南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

平成２９年度

成 果 報 告 書

平成３０年５月

文 部 科 学 省　研　究　開　発　局

国立研究開発法人　海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施した平成29年度「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の成果を取りまとめたものです。

実施機関

国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人東北大学
国立研究開発法人防災科学技術研究所
国立大学法人名古屋大学
国立大学法人京都大学
国立大学法人東京大学地震研究所
国立研究開発法人産業技術総合研究所

無断複製等禁止

１．東日本大震災教訓活用研究



図１　「動画でふりかえる 3.11」の地図検索画面

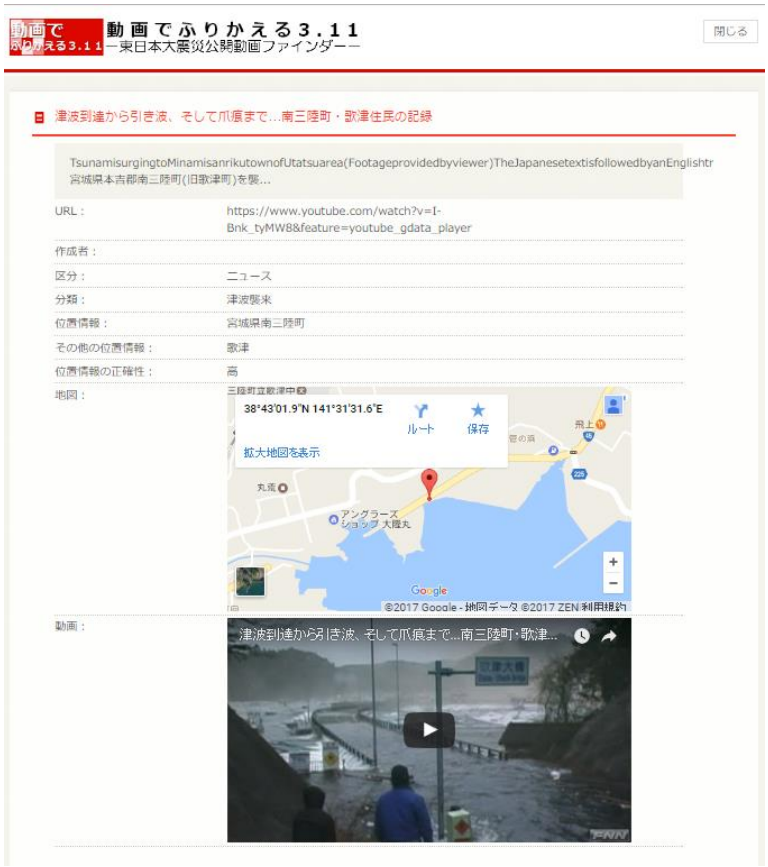
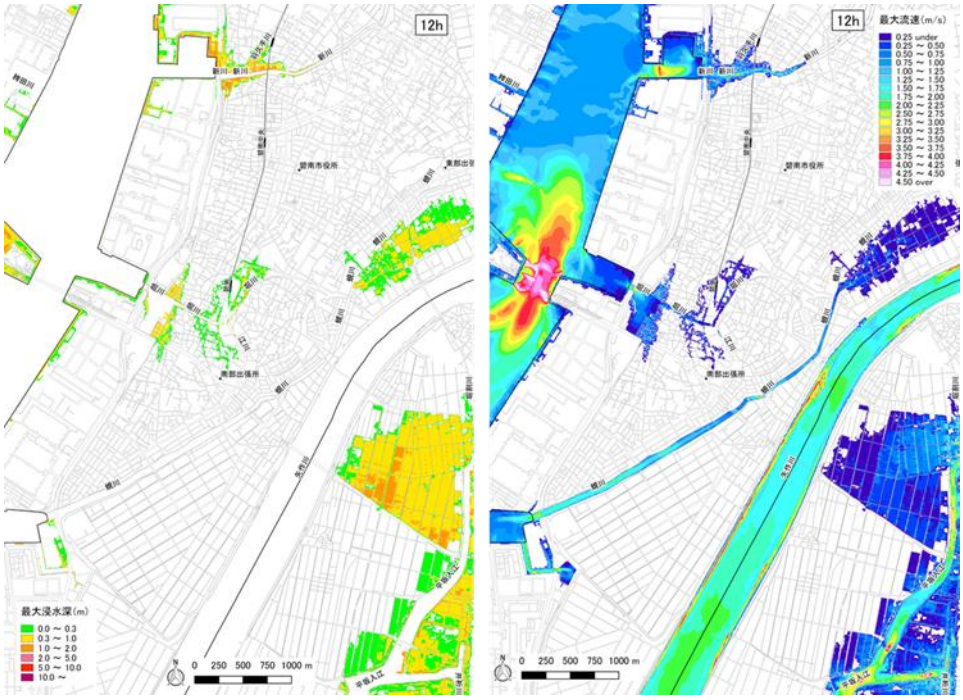
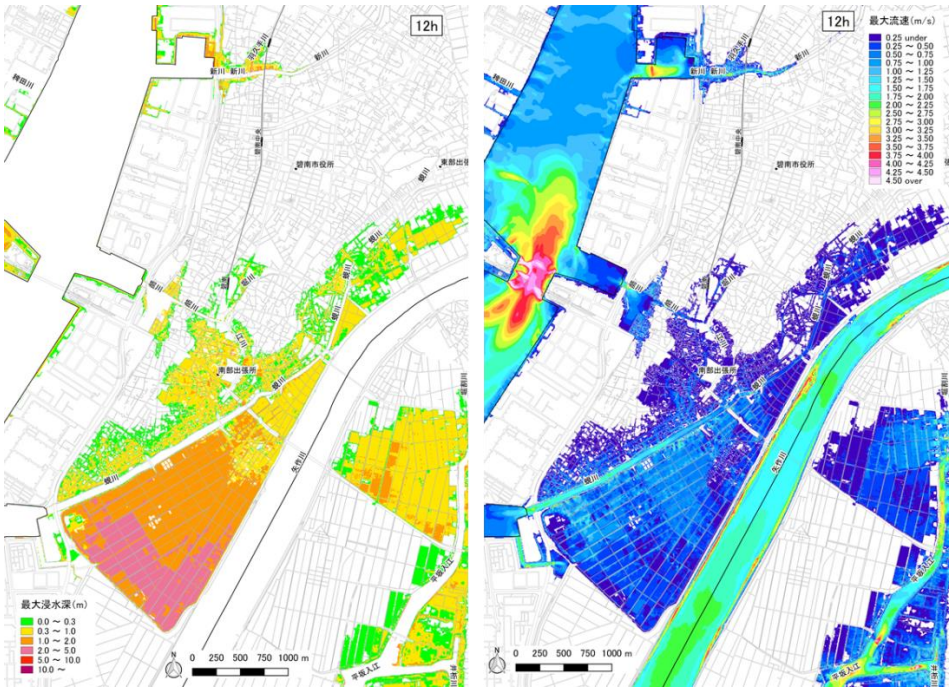


図２　「動画でふりかえる 3.11」の検索結果の詳細画面

２．地震・津波被害予測研究



a）想定南海トラフ地震の津波による最大浸水深と最大流速分布
（河岸・海岸構造物が健全な場合）



b）想定南海トラフ地震の津波による最大浸水深と最大流速分布
（河岸・海岸構造物が被災する場合）

図３　愛知県碧南市を対象に、津波の詳細解析を実施

３．防災・減災対策研究



第 9 回東海地域研究会



第 10 回東海地域研究会



第 9 回関西地域研究会



第 10 回関西地域研究会



第 7 回四国地域研究会



第 7 回九州地域研究会



減災エンス塾



宮崎市内見学

図 4　地域研究会、イベントの様子

４．災害対応・復旧復興研究

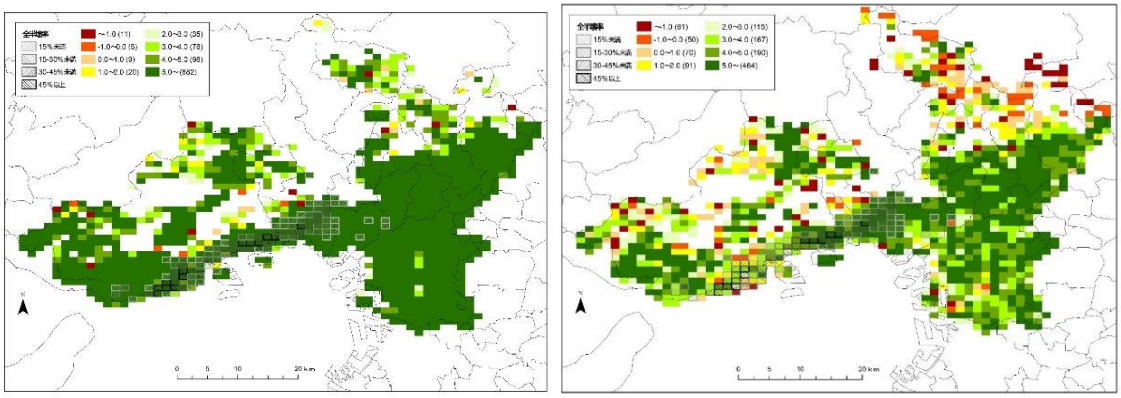


図５　人口構造係数と被害率の関係（左：1990＜震災前＞、右：2005＜震災 10 年後＞）



図６　福良における住民ビジョン抽出・整理のプロセス

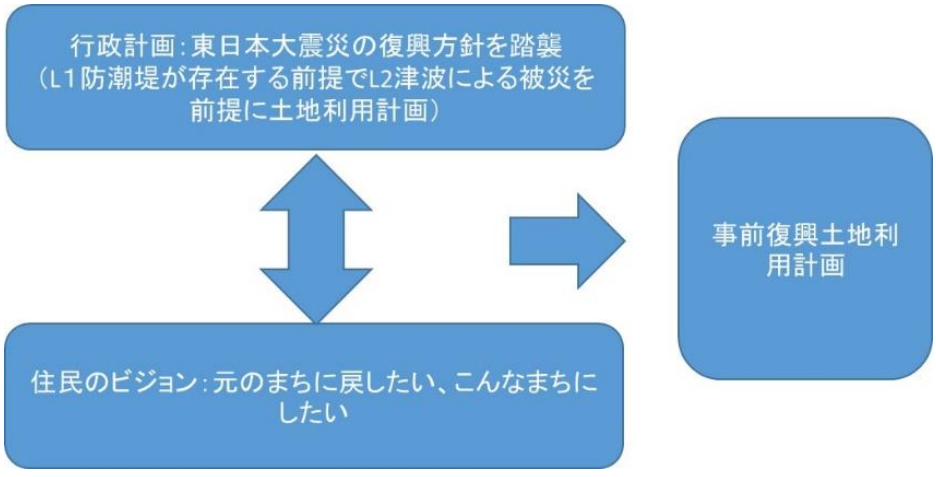


図７　事前復興土地利用計画策定のフレーム

５．防災・災害情報発信研究

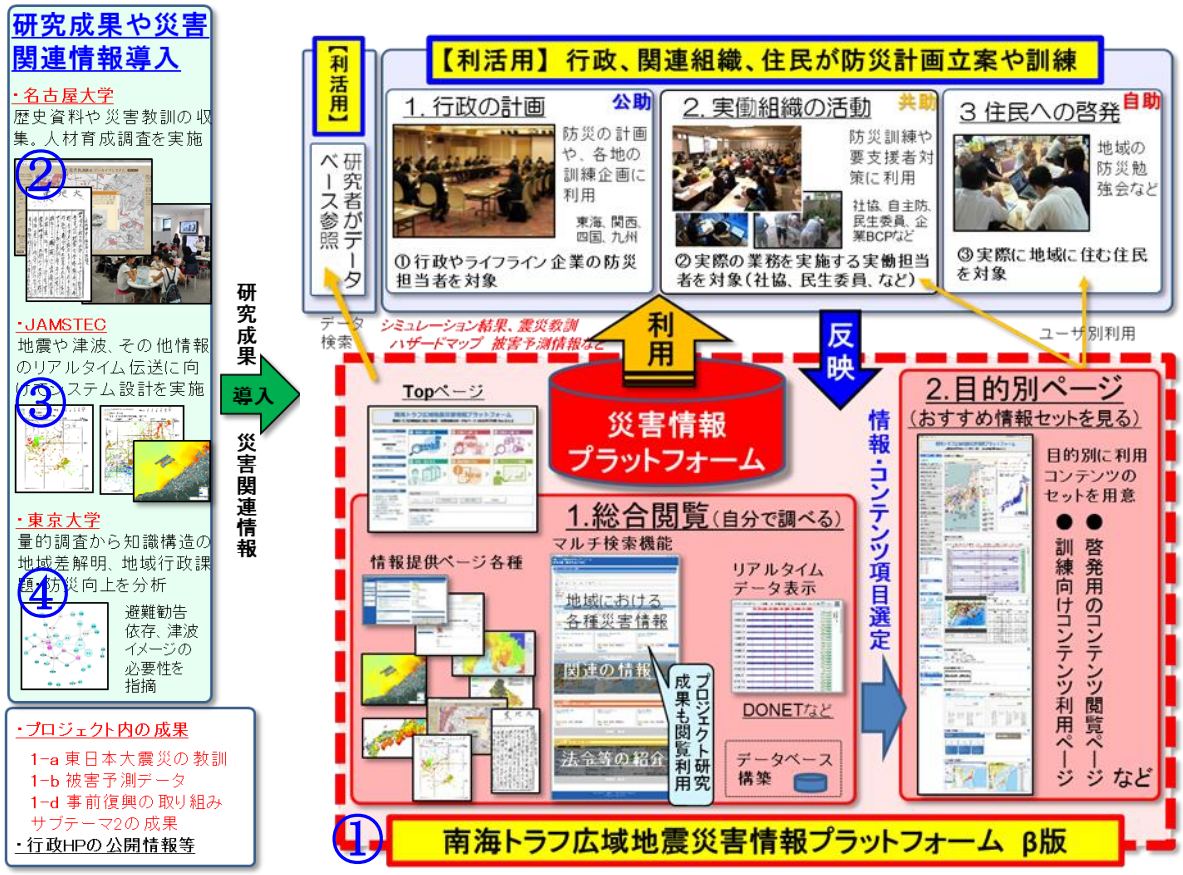


図８　1-e 防災・災害情報発信研究のH29年度実施内容

平成 29 年度は、災害情報プラットフォームベータ版を Ver.1.1 へと改良し公開した。他の研究課題の成果のデータベース（以下：DB）化とともに、成果の運用に関する連携技術について検討・開発した。また、リアルタイム伝送システムとの連動機能を開発した。RC・人材育成のための社会的仕組みの概念設計と教材開発を行った。

① 災害情報プラットフォーム利用検証を継続実施した。研究成果やシステムの連携について各関係機関と調整を行い、DONETリアルタイムデータの試験的閲覧を開始した。防災・災害関連データの収集・DB化を継続した。改良版Ver.1.1の公開を実施した。

② 減災関連情報の収集・整理として、大垣市内に残る濃尾地震の慰霊碑・記念碑調査・報告を行った。南海トラフ地震に対する減災対策等に有効活用するための情報システムやアプリケーション開発を行い、減災館を場とした社会実装実験にて効果を検証した。

③ これまで開発してきた自動読み取り、海陸構造を取り入れた即時震源決定、これらの情報に基づく地震活動と統計情報の可視化を進めた。統計処理や可視化に必要なパラメータ設定の検討を開始した。

④ 避難意図ならびにその避難意図を規定する要因に関する量的調査の詳細分析を行うとともに、知識構造、地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、和歌山県美浜町における地域防災リーダーを対象とした量的調査の分析を進めた。加えて、今年度から予備的に検討を開始する地域産業の事業継続計画について先行的に聞き取り調査を行った。

６．プレート・断層構造研究

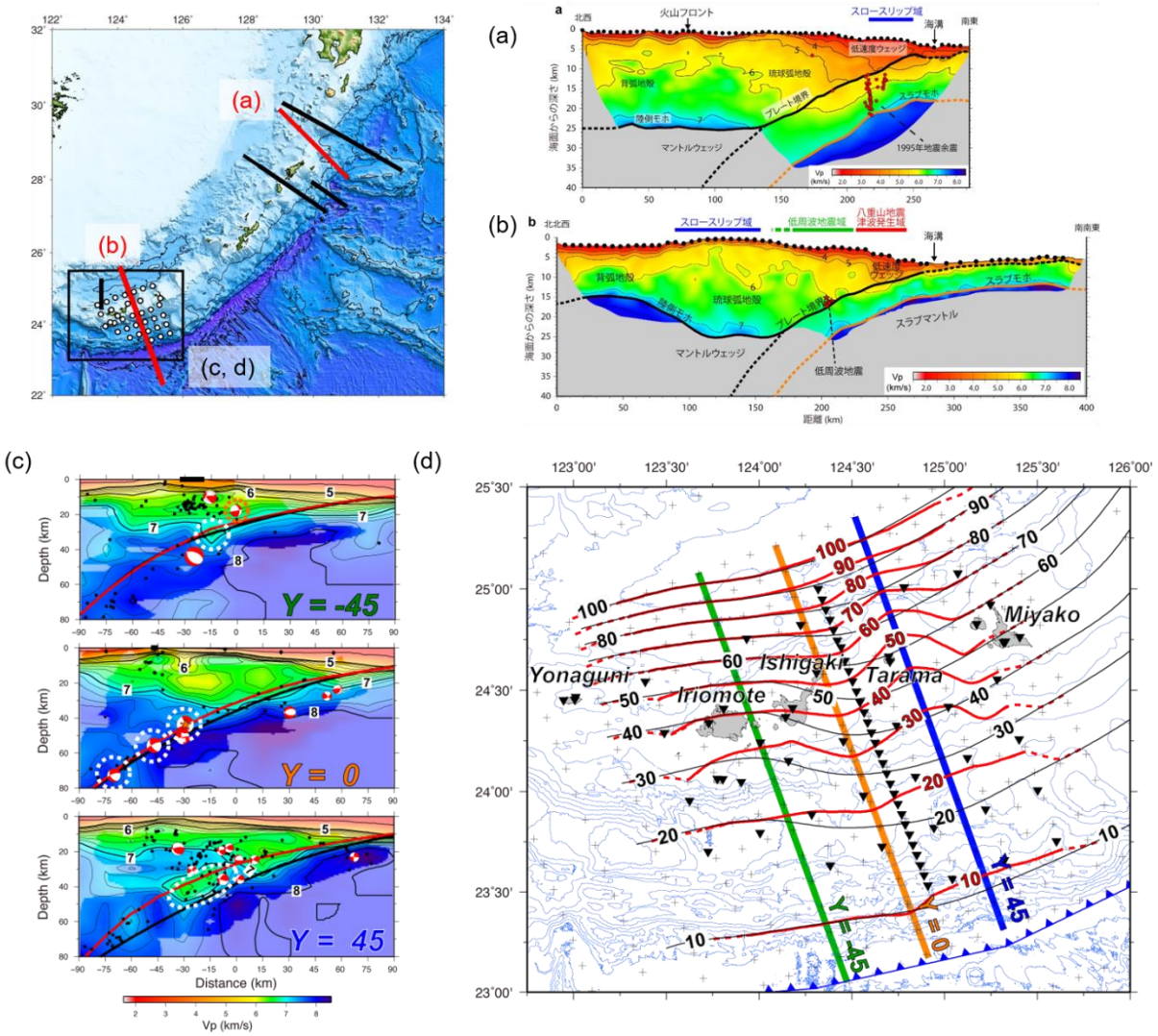


図９　南西諸島北部(a)と南部(b)の沈み込み構造

(a, b) 屈折法地震探査から推定したP波速度構造とプレート形状(Arai et al. 2016; 2017a)。典型的な海洋性地殻（厚さ～6km）が沈み込んでいる南部(b)とは対照的に、北部(a)では10km程度の厚い地殻が沈み込んでおり、海溝軸近傍には沈み込む海山も確認できる。1995年にはこの海山の前縁部でプレートを断ち切る正断層地震（マグニチュード7.1）が発生している。(c, d) 自然地震観測記録から推定したP波速度構造とプレート境界モデル(赤線)(Yamamoto et al. 2018)。既存モデル（黒線：Hayes et al., 2012）に比べて詳細な形状が明らかとなり、特に多良間島付近は既存モデルに比べて約10 kmほど浅いことが判明した。

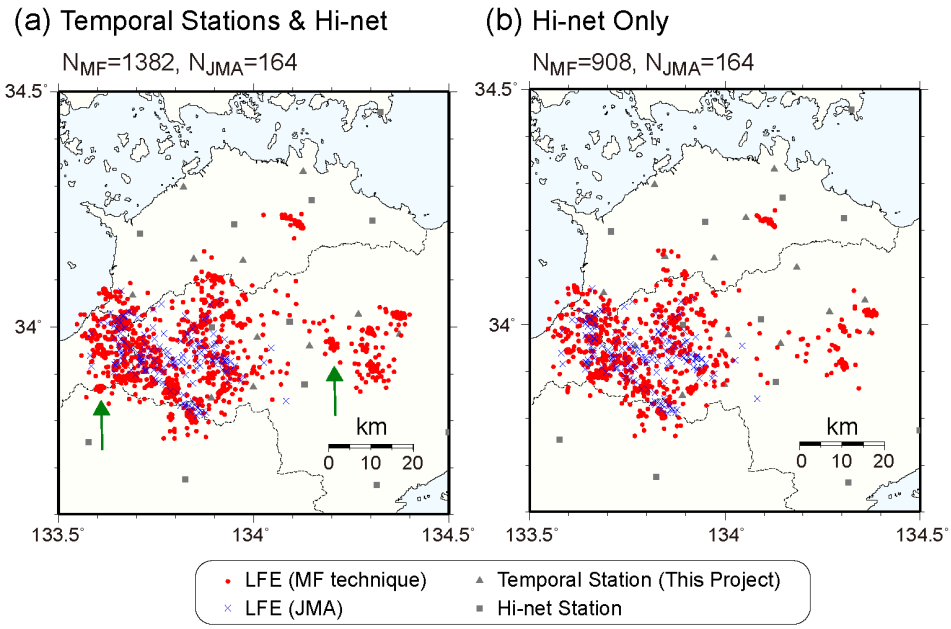


図 10　2017 年 8 月 8 日～14 日に四国東部で発生した深部低周波地震の震央分布。本解析により決定された震央位置を赤丸で、気象庁一元化処理震源カタログに基づく震央位置を青×印で示す。(a) 本プロジェクトにおける臨時観測点及び防災科研 Hi-net 観測点の地震波形記録を使用した結果。(b) 防災科研 Hi-net 観測点の地震波形記録のみを使用した結果。三角及び四角は本プロジェクトによる臨時地震観測点と防災科研 Hi-net 観測点の位置を表す。本解析により、気象庁カタログには登録されていない香川県や徳島県中部における深部低周波地震を検知した。また、臨時地震観測点を活用することにより、微小なクラスタ活動（緑矢印）の検出に成功した。

７．海陸津波履歴研究

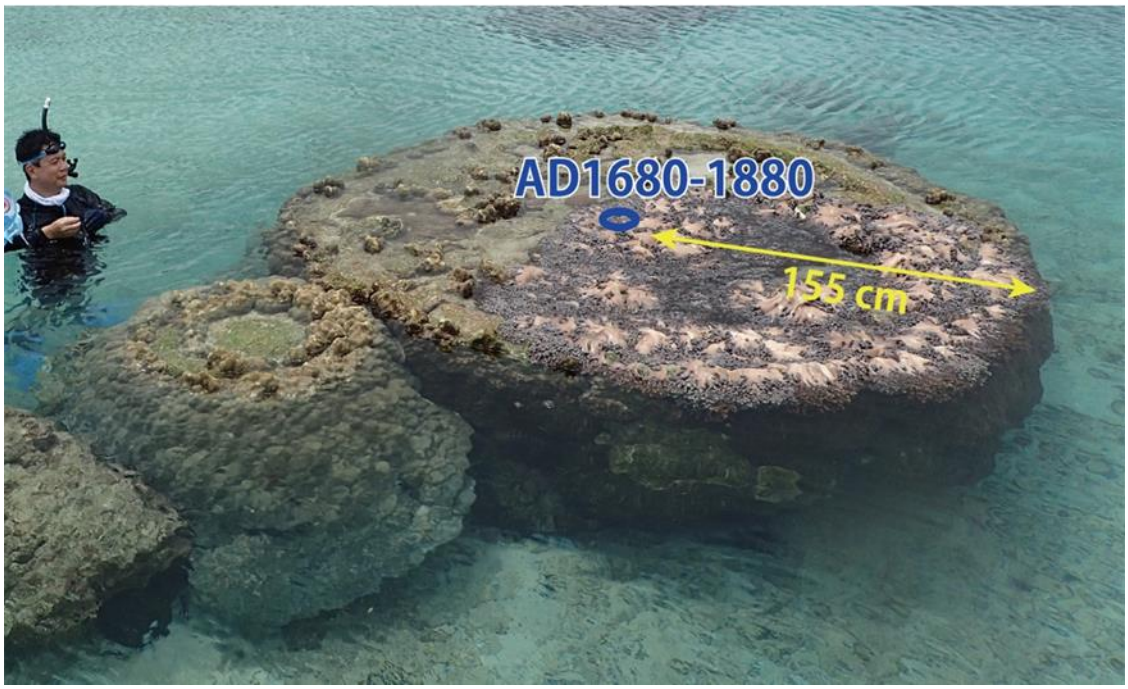


図 11　奄美群島喜界島で発見された半径 155cm の現成サンゴ・マイクロアトール。低潮位面に対応した平坦な頂面は、相対的海面がほぼ一定の環境で成長していることを示す。年間 1 cmずつ外径を成長させることと、中心付近の ^{14}C 年代が AD1680-1880 であることから、少なくとも過去 155 年間は地殻変動がほぼ安定していると考えられる。

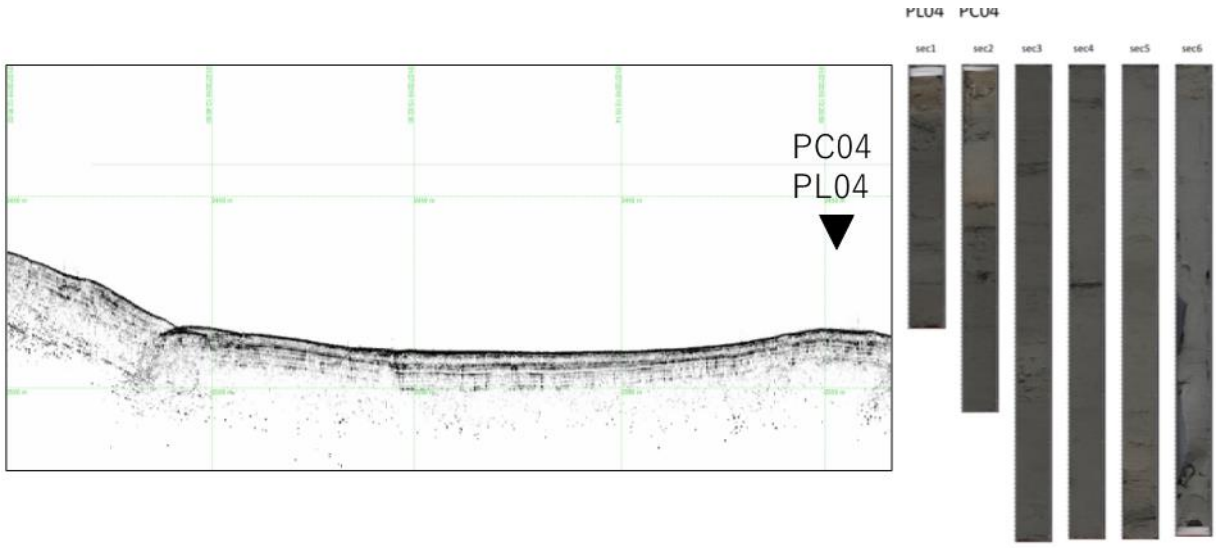


図 12　「みらい」MR18-01C 航海で石垣島南方前弧域で得られた小海盆の表層地層探査記録（左）と海底堆積物コア（右）。海底面に平行な反射面を持つ堆積層で埋積されており、採取されたコアと合わせるとタービダイトと通常時の堆積物の累重からなると考えられる。

８．広帯域地震活動研究

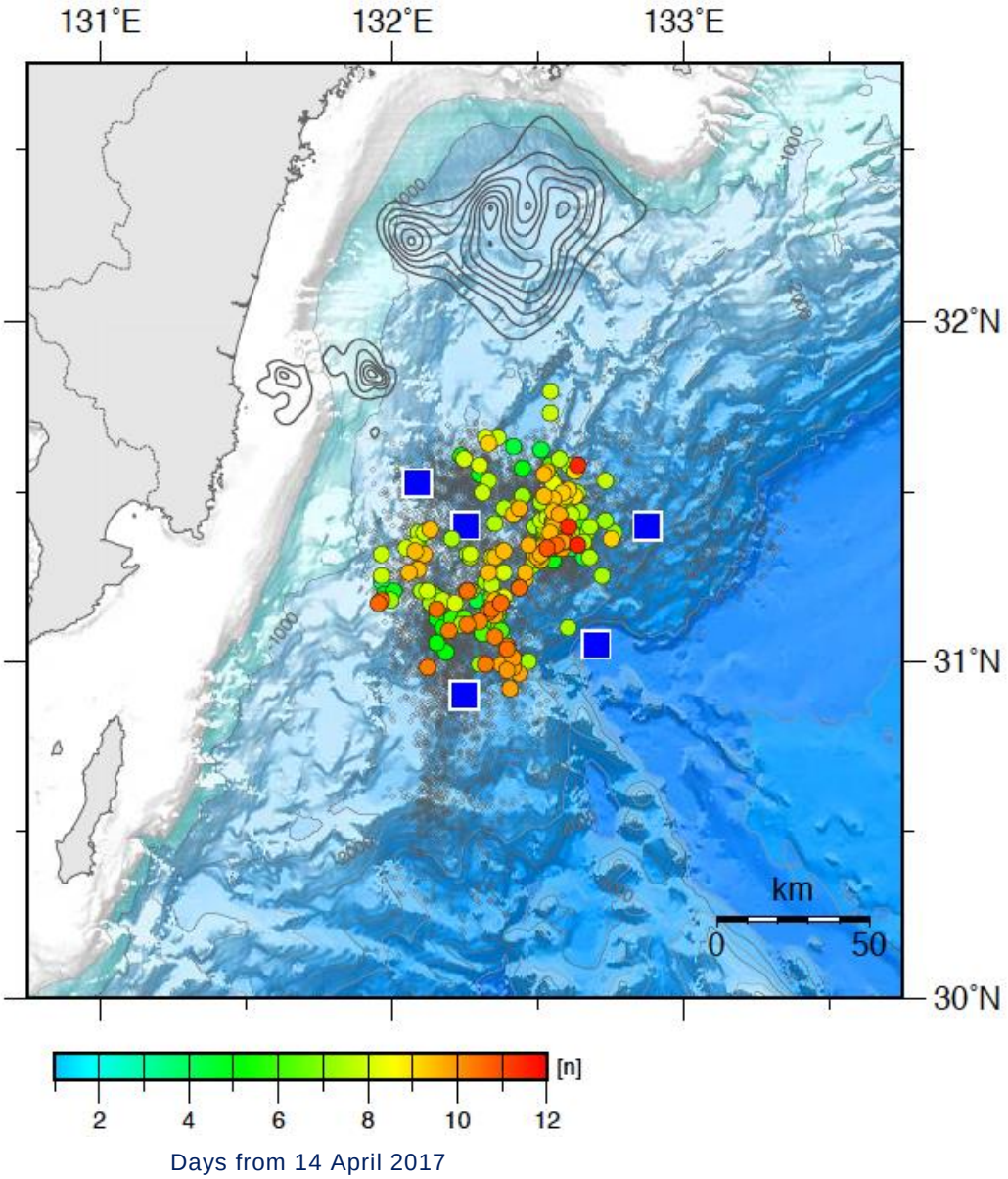


図13　2017年４月14日から25日までに震源決定された低周波微動の分布(Watanabe et al., 2017)。色つき丸が低周波微動の震央を示し、色は活動が開始してからの日数を表す。四角は、解析に用いた海底地震計の位置。背景の灰色丸は、2013年から2015年までの低周波微動震央。コンターは、1968年日向灘地震（八木・他，1998)、1996年10月と12月の地震（Yagi et al., 1999)の滑り量分布。コンター間隔は0.5mである。

９．データ活用予測研究

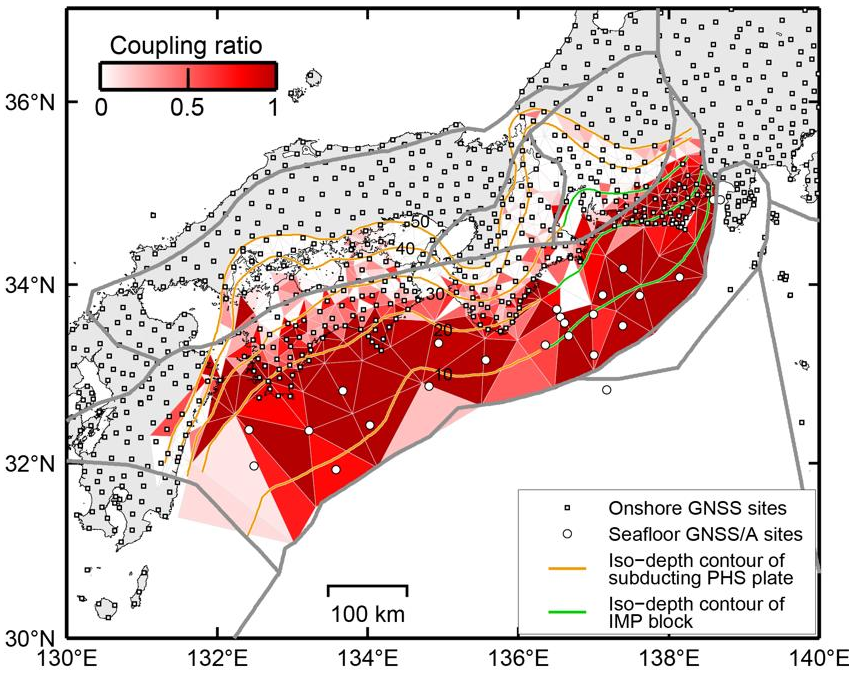


図 14　推定されたフィリピン海プレート上面でのカップリングの空間分布

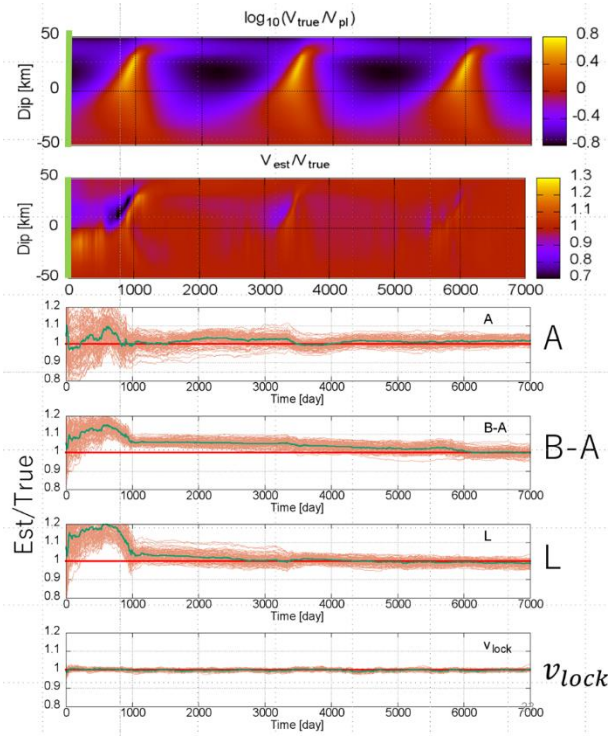


図 15　EnKF による推定されたすべり速度(V)、摩擦パラメータ A，B-A，L および固着域のすべり欠損速度の逐次推定結果。

１０．震源モデル構築・シナリオ研究

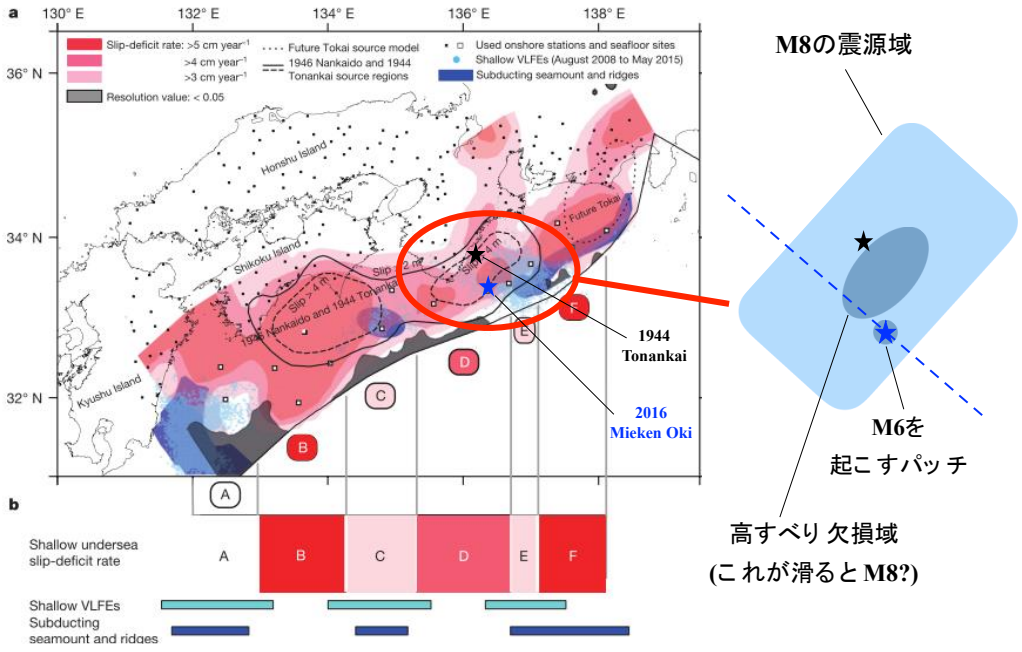


図 16　最近の研究結果などから構築した東南海域の震源の概念モデル。すべり欠損の分布は「Yokota *et al.*, 2016」による。

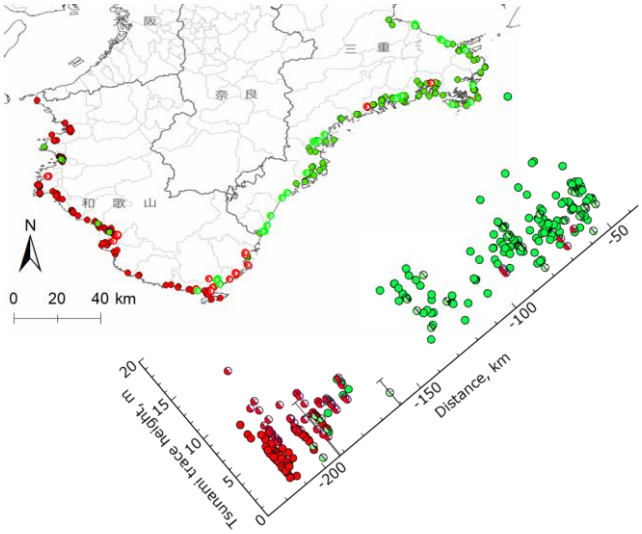


図 17　三重県および和歌山県太平洋沿岸における安政東海・南海地震による津波痕跡高分布。赤丸と緑丸は既往研究による安政南海地震および安政東海地震の痕跡高、赤白丸および緑白丸は本業務における安政南海地震および安政東海地震の痕跡高を示す。

まえがき

南海トラフを震源域とする東海・東南海・南海地震は、過去の地震等記録から、連動して発生する可能性が高いと考えられ、連動発生した場合に推定される被害の甚大さや、将来の発生確率の高さからも、きわめて切迫度の高い地震とされている。

このため、平成 20～24 年度の５年間で実施された文部科学省の科学技術試験研究委託事業「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」（以下、「連動性評価研究」という。）において、多数の機関の参加のもと、東海・東南海・南海地震の想定震源域等における稠密な海底地震・津波・地殻変動観測、大規模数値シミュレーション研究、強震動予測、津波予測、被害想定研究等が総合的に進められてきた。これにより、東海・東南海・南海地震の時間的及び空間的な連動性評価に資する知見の獲得や、連動に対応した災害対策等の検討に必要な情報提供が実現した。その一方で、さらに広い範囲での連動性評価研究や、災害対策を行う防災機関との連携の強化、減災教育や地域の人材育成を通じた地域対応力の向上などが課題として残っていた。

また、平成 23 年３月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえ、南海トラフ地震の長期評価手法の見直しが進められており、南海トラフの想定震源域は従来の評価より拡大された。政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会の平成 25 年５月の発表によれば、見直し後の評価では、南海トラフでは最大クラスの地震として M9.1 の巨大地震が起きる可能性があることが示され、M8～M9 クラス地震の今後 30 年以内の発生確率は 70～80%程度（平成 30 年１月１日での算定）となっている。

本プロジェクトは、「連動性評価研究」の成果と新たに明らかになった課題及び南海トラフの想定震源域の拡大を踏まえ、将来発生が危惧される南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会学の連携で実施するものである。具体的には、長期評価の見直しにより拡大された震源域や、南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて求め、津波履歴や地震の広帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。さらに、これらを用いて３次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸島海域まで含んだ震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価し、防災・減災対策へ活かす。また、地震・津波のあらゆる被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復興対策を検討するとともに、地域研究会を通じて行政等と連携し、これにより、科学的知見の獲得から成果の社会実装までを総合的に推進するものである。

目次

１．プロジェクト概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・：・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

２．業務の実施体制 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

３．研究成果報告
地域連携減災研究（防災分野）
３．１　東日本大震災教訓活用研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
３．１．①　アーカイブシステムの構築・利活用 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
３．１．②　復興 ・・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29
３．１．③　被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
３．１．④　強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価 ・・・・・・・・・ 47
３．２　地震・津波被害予測研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53
３．２．①　津波被害予測研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
３．２．②　地震動 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 69
３．２．③　地盤被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75
３．２．④　建物被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 85
３．２．⑤　ライフライン ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96
３．２．⑥　広域リスク評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 106
３．２．⑦　都市災害と経済被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 116
３．３　防災・減災対策研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 123
３．４　災害対応・復旧復興研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 140
３．４．①　影響シナリオ構築シミュレーションの構築 ・・・・・・・・・・・・・・ 142
３．４．②　事前復旧・復興計画作成システムの他地域への導入可能性、
有用性・課題の検証 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 147
３．４．③　津波防災地域づくりの実践的構築 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 151
３．４．④　地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の圏域マスタープラン及び
地区まちづくりへの展開（三重県及び鈴鹿市の事例研究） ・・・・・ 153
３．５　防災・災害情報発信研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 159
３．５．①　南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築 ・・・・・・・・ 161
３．５．②　防災・災害関連データの収集・整備、及び利活用システム開発開始と
人材育成・教育のための調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 192
３．５．③　DONET を用いたリアルタイム震源決定と統計情報の可視化 ・・・・・ 201
３．５．④　住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査 ・・・・・・・・・・ 226

巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）
３．６　プレート・断層構造研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 244
３．６．①　海域におけるプレート・断層構造調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 246
３．６．②　自然地震を用いた構造解析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 255
３．７　海陸津波履歴研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 267

３．７．① 海域での津波履歴調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 269
３．７．② 陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析（九州沿岸） ・・・ 279
３．７．③ 陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析（南西諸島） ・・・ 282
３．７．④ 陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
（駿河湾奥浮島ヶ原） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 286
３．７．⑤ 陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
（四国沿岸・徳島） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 288
３．７．⑥ 陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
（四国沿岸・高知） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 291
３．７．⑦ 富士川河口域における 1854 年安政東海地震の地殻変動と
断層位置の推定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 295
３．８ 広帯域地震活動研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 300
３．８．① 南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測 ・・・・・・・・ 302
３．８．② 広帯域観測 ブイシステムによる水圧観測 ・・・・・・・・・・・・・ 311

巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）
３．９ データ活用予測研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 316
３．９．① 地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析・・・ 318
３．９．② 東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴抽出 ・・・・・・・・・・ 326
３．９．③ 予測システムの検証・予測試行実験 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 334
３．９．④ 余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発 ・・・・・・・・・ 340
３．１０ 震源モデル構築・シナリオ研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 349
３．１０．① 日本列島粘弾性モデル構築とその応用 ・・・・・・・・・・・・・・ 352
３．１０．② 地震サイクル計算手法の高度化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 356
３．１０．③ 南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証 ・・・・・・・・・ 363
３．１０．④ 地震発生シナリオ評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 370
３．１０．⑤ 巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発 ・・・・・・・・・ 377
３．１０．⑥ 強震動・津波・地殻変動シミュレーションに基づく
地震・津波ハザードの評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 386
３．１０．⑦ 1854 年安政東海地震および南海地震の史料再精査と
それに基づく現地調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 402

４．全体成果概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 447

５．成果の論文発表・口頭発表等 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 455

６．むすび ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 475

７．運営委員会
７．１ 活動報告 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 476

７．２　運営委員会構成員　・・・

1. プロジェクト概要

将来発生する南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会科学の連携で実施する。地震・津波の被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復興対策を検討する。地域研究会を通じて行政等と連携、成果の社会実装を目指す。東日本大震災の状況も含め情報をデータベース化し､社会実装のための情報発信システムを構築し市民を広く啓発する。これらの背景となる地下構造モデル､特に内閣府による最大級の地震断層モデルを念頭に、南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて地下構造モデルを求め、津波履歴や地震の広帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。これらを用いて３次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸島海域まで含んだ震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価、防災・減災対策へ活かす。

(1)　地域連携減災研究（防災分野）

2011 年東日本大震災の各種要素をデータベース化し、南海トラフ沿いの地域と比較して、被害、事前対策、復興状況など、将来の南海トラフ巨大地震への備えの要素をあぶりだす。同時に、巨大地震の発生時期や発生の多様性を考慮した広域の地震・津波リスク評価と地域防災・減災を念頭に高分解能な地域リスク評価も合わせて実施する。復旧・復興対策にこれらのデータや予測を取り込み、地域研究会を活用して社会実装を目指す。社会実装には情報発信が欠かせない。これまでの成果を取り込んだ Web サービス「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築し、市民を巻き込んだ防災・減災の啓発活動を実施、人材育成にも努める。

(a)東日本大震災教訓活用研究

前半の４年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広域で複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課題や教訓を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、東日本大震災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海トラフ地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の 4 年間では公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムの β 版を構築する。同アーカイブを用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災害時の生きる力醸成プログラムを作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興計画の現状に対してアクションリサーチ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

(b) 地震・津波被害予測研究

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、地震の発生時期や発生の多様性等を考慮した広域の地震・津波ハザード・リスク評価を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設に対しては、地盤の非線形性を考慮した地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハザード・リスク評価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究(1-e)と連携し情報提供できるようにする。

(c) 防災・減災対策研究

「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト」では、地域の防災・減災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、地域研究会を開催して議論を進められてきた。この地域研究会を発展させ、前半４年間は、地方自治体やライフライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された課題を含め、最新の成果を地域の防災減災対策へインプットすることに重点を置き、後半４年間では、具体的な社会実装に向けた提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけではなく、内閣府をはじめとする府省への働きかけを強化し、国レベル、地方自治体レベルの両面から防災・減災対策の推進を図る。前半４年では、サブテーマ１で期待される成果である被害予測やデータベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装にすることを検討する。後半４年では、地域行政の防災対策に向けた実装を進めると共に、社会的な活用を目指して、市民参加の防災・減災カフェや地元メディアとも連携した防災・減災の啓発活動を推進する。

(d) 災害対応・復旧復興研究

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーション結果にもとづき、南海トラフ巨大地震の各地域の影響についての「納得」プロセスの開発、さらには各地域で想定される影響にもとづき事前の復旧・復興計画策定、災害対応計画の策定を行う。得られた成果は防災・減災対策研究（1-c)、防災・災害情報発信研究（1-e）と共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画については東日本大震災教訓活用研究（1-a)、地震・津波被害予測研究（1-b）の知見を利用する。

(e) 防災・災害情報発信研究

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信されるWebサービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築する。プラットフォーム上では、各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等のリアルタイムデータ、他の研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評価などの情報を統合して発信できるものとする。このプラットフォームを基盤とした、あるいは連携した、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防災人材育成、教育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用する。これらを効果的に進めるためのリスクコミュニケーション手法を開発し、人材育成を図る。

(2)　巨大地震発生域調査観測研究

2-1 調査観測分野：

サブテーマ１の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。内閣府が最大級の南海トラフ地震を評価したが、改めて広がった地震発生域の地下構造の特性を明らかにする。また、

ほとんど知見のない九州から南西諸島海域にかけての沈み込み帯の構造を明らかにし、地震発生の構造的な背景を明らかにする。海陸両方で津波履歴を調査し、地震発生間隔の知見を新たに加える。また広帯域観測からプレート境界のすべり特性を解明する。これらの知見はサブテーマ２－２のシミュレーション分野へ受け渡す。

(a) プレート・断層構造研究

稠密な地下構造調査と稠密地震観測を実施することにより、地震発生帯のプレート形状及び物性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。また、南西諸島域では大規模構造探査によりこれまで明らかになっていない地震発生帯プレート形状を明らかにする。得られた成果は海陸津波履歴研究（2-1-b）や広帯域地震活動研究(2-1-c)の研究成果との整合性を確認し、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。

(b) 海陸津波履歴研究

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調査などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究（2-2-d、2-2-e）の項目に提供する。また、防災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を受ける。

(c) 広帯域地震活動研究

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。得られた成果はシミュレーション研究（2-2-d、2-2-e）の項目に提供する。

2-2 シミュレーション分野：

南海トラフ地震の広域地震・津波対策の高度化に向け、観測データを用いた地震発生の予測を行うとともに、南海トラフ～南西諸島海溝で発生する巨大地震の震源モデルを構築して、全国の地震動と津波のシミュレーションを行う。本研究の成果は、地震・津波被害予測研究（1-b）の入力データとして用い、また、防災・減災・復旧・復興研究の検討の条件として活用を図る。リスク評価や防災・災害情報発信として求められる解像度のハザード情報を、その不確実性を含めて適切に提供するために、サブテーマ間の連携を強く意識した研究を進める。

(d) データ活用予測研究

① 地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

HPCI 戦略プログラムにおいて京コンピュータで計算される多数の地震シナリオとその前後のゆっくりすべりのシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・

DONET・水準測量や三辺・三角測量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイルした観測データベースを構築する。

② プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータベースと比較する同化の模擬テストを行なう。また、次の豊後水道のゆっくりすべりや東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを通して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

③ 逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り込みながらモデルパラメタや初期値を更新できるように同化手法を改善するとともに、地殻変動以外の観測データ（特に地震活動データ）の同化手法を開発する。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

粘弾性を考慮した日本列島広域構造モデルを開発し、構造探査結果を随時取り入れて３次元不均質構造モデルの改良を図る。本モデルを用いて、沈み込み帯の応力・強度分布の推定とそれにもとづく地震発生予測を行う。誤差を考慮した予測結果を受けて、幅のある想定地震発生モデルに対して強震動と津波を評価する災害予測システムを開発する。更に、巨大地震発生前後の内陸地震の活発化や、巨大地震の発生後の余震や誘発・連動地震の推移の評価手法を開発する。

① 巨大地震の震源モデルの構築

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラフで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化（レシピ）を図るとともに、地震発生サイクルの計算結果に基づき、発生しうる破壊伝播シナリオの検討を行う。また、津波堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸国を含めて古文書等の記録を集めることによりデータが少ない過去地震の震源過程を評価する。

② 地震ハザードの高精度評価

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化するとともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性（多様性）に伴う短周期強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる実用的なハザード評価を行う。南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、相模トラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による広域津波について評価も行う。

2. 業務の実施体制

このプロジェクトは、海洋研究開発機構、東北大学、防災科学技術研究所、名古屋大学、京都大学、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所が体制を構築し、関係する研究機関・研究者の参加・協力を得て実施する。本プロジェクトの代表機関は海洋研究開発機構（プロジェクト代表者：金田義行）とする。

また、研究を効果的に実施するために、関係する研究機関・研究者等により構成する「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会」（事務局は海洋研究開発機構）を設置する。

調査観測項目	担当機関	担当者 （◎は各項目代表者）
プロジェクト代表者	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
地域連携減災研究（サブテーマ 1） 代表者	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫
地域連携減災研究（サブテーマ 1） (a) 東日本大震災教訓活用研究	国立大学法人東北大学	◎今村文彦 佐藤翔輔 蝦名裕一 保田真理 後藤さつき 森實香純 姥浦道生
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 飛田潤 野田利弘 護雅史 田代喬 都築充雄 菅沼淳 中井健太郎 北川夏樹
	国立大学法人東京大学	古村孝志
地域連携減災研究（サブテーマ 1） (b) 地震・津波被害予測研究	名古屋大学減災連携研究センター	福和伸夫 曽根好徳 ◎野田利弘 長江拓也 平山修久

		護雅史 新井伸夫 田代喬 武村雅之 都築充雄 菅沼淳 山﨑雅人 浦谷裕明 北川夏樹 宮腰淳一 石原宏
	名古屋大学災害対策室	飛田潤
	名古屋大学工学研究科	中井健太郎
	名古屋大学環境学研究科	平井敬
	名古屋大学地震火山研究センター	山中佳子
	東京大学工学系研究科	廣井悠
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	今井健太郎
	徳島大学大学院	馬場俊孝
	東北大学災害科学国際研究所	今村文彦
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	藤原広行 平田賢治 河合伸一 中村洋光 森川信之 前田宜浩 佐伯琢磨 先名重樹 大角恒雄 東宏樹 内山庄一郎
	東京大学地震研究所	古村孝志 原田智也
地域連携減災研究（サブテーマ 1） (c) 防災・減災対策研究	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行 ◎高橋成実 堀　高峰 今井 健太郎 兵藤 守 中田　令子

		大林　涼子
	国立大学法人名古屋大学	福和 伸夫 野田 利弘 武村 雅之 田代 喬 曽根　好徳 護 雅史 新井　伸夫 平山　修久 都築 充雄 菅沼 淳 山﨑 雅人 倉田 和己 浦谷　裕明 北川　夏樹 平井 敬 飛田　潤
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	藤原 広行 青井 真 中村 洋光 前田 宜浩 田口 仁 李 泰榮 大角 恒雄 東 宏樹 崔 青林 水井 良暢
	国立大学法人東北大学	今村 文彦 佐藤 翔輔 保田 真理
	国立大学法人東京大学	古村孝志 原田 智也
	国立大学法人徳島大学大学院	馬場 俊孝
地域連携減災研究（サブテーマ 1） (d) 災害対応・復旧復興研究	国立大学法人京都大学　防災研究所	牧紀男
	国立大学法人東京大学　生産技術研究所	加藤孝明 ヤスミン・バタチャリヤ

	国立大学法人東京大学大学院　工学系研究科都市工学専攻	村山顕人
地域連携減災研究（サブテーマ 1）(e) 防災・災害情報発信研究	国立研究開発法人防災科学技術研究所	◎藤原広行 高橋成実 臼田裕一郎 田口仁 李泰榮 東宏樹 崔青林 水井良暢 池田真幸
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行 高橋成実 中野優 今井健太郎
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 護雅史 山中佳子 武村雅之 倉田和己
	国立大学法人東京大学	田中淳 関谷直也 定池祐季 宇田川真之 磯打千雅子 三船恒裕
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1）代表者	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1）(a) プレート・断層構造研究	国立研究開発法人海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター	金田義行 ◎小平秀一 三浦誠一 仲西理子 山下幹也 新井隆太 石原靖 高橋努 山本揚二朗 利根川貴志

	国立研究開発法人防災科学技術研究所　地震津波防災研究部門	汐見勝彦 上野友岳 松澤孝紀 浅野陽一 木村武志 木村尚紀 齊藤竜彦 田中佐千子 松原誠
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1） (b) 海陸津波履歴研究	国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質情報研究部門	◎池原研 板木拓也 杉崎彩子 宇佐見和子
	国立研究開発法人産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門	宍倉正展 澤井祐紀 行谷佑一 松本弾 谷川晃一朗 伊尾木圭衣 藤原　治
	国立研究開発法人海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター	金松敏也
	国立大学法人高知大学　教育研究部	岩井雅夫
	法政大学　文学部	前杢英明
	国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	安藤亮輔
	一般財団法人地域地盤環境研究所	越後智雄
	国立大学法人筑波大学　生命環境系	藤野滋弘
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1） (c) 広帯域地震活動研究	国立大学法人東京大学地震研究所	◎篠原雅尚 小原一成 塩原肇 酒井慎一 望月公廣 山田知朗 一瀬建日 前田拓人 八木健夫 阿部英二

		西本太郎 池澤賢志
	国立大学法人京都大学防災研究所	伊藤喜宏
	国立大学法人東京海洋大学	中東和夫
	国立大学法人九州大学	松島健
	国立大学法人京都大学防災研究所	山下裕亮
	国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	木戸元之
	国立大学法人東北大学大学院理学研究科	日野亮太 太田雄策 鈴木秀市
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	末次大輔 高橋成実 高橋努 伊藤亜妃 今井健太郎 利根川貴志 中島倫也
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ 2-2）代表者	国立大学法人東京大学	古村孝志
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ 2-2） (d) データ活用予測研究	国立大学法人東北大学大学院理学研究科	日野亮太 太田雄策 内田直希
	国立大学法人京都大学大学院理学研究科	◎平原和朗 宮崎真一
	国立大学法人京都大学防災研究所	西村卓也 伊藤喜宏
	国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	鷺谷威
	国立大学法人名古屋大学大学院 環境学研究科附属地震火山研究センター	伊藤武男
	国立研究開発法人産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門	行谷佑一
	国立大学法人東京大学大学院理学研究科	安藤亮輔
	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	堀高峰 中田令子

		兵藤守 有吉慶介
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ 2-2） (e) 震源モデル構築・シナリオ研究	東京大学地震研究所 災害科学系研究部門	◎古村孝志 原田智也
	東京大学地震研究所 巨大地震津波災害予測研究センター	市村　強
	京都大学　大学院理学研究科	平原和朗
	名古屋大学大学院　環境学研究科	橋本千尋
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	福山英一
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	堀高峰 今井健太郎
	東京大学大学院理学系研究科	安藤亮輔
	京都大学　防災研究所	岩田知孝 関口春子 浅野公之
	東北大学　災害科学国際研究所	今村文彦 蝦名佑一
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	大谷真紀子

3. 研究成果報告

3.1 東日本大震災教訓活用研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「東日本大震災教訓活用研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学 災害科学国際研究所 大学院工学研究科	教授 准教授 准教授 プロジェクト講師 技術支援員 技術支援員 准教授	今村文彦 佐藤翔輔 蝦名裕一 保田真理 後藤さつき 森實香純 姥浦道生
国立大学法人京都大学 防災研究所	教授	牧紀男
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	教授 教授 教授 特任教授 特任教授 寄付研究部門准教授 特任准教授 准教授 特任助教	福和伸夫 飛田潤 野田利弘 護雅史 田代喬 都築充雄 菅沼淳 中井健太郎 北川夏樹
国立大学法人東京大学 地震研究所	教授	古村孝志

(c) 業務の目的

前半の４年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広域で複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課題や教訓を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、東日本大震災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海トラフ地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の４年間では公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブ システムのβ版を構築する。同アーカイブを

用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災害時の生きる力醸成プログラムを作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興計画の現状に対してアクションリサーチ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

(d) ８か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

プロジェクト指向型アーカイブの基本設計と震災の教訓に関する学術論文・調査報告書の文献調査を行った。また東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行った。

平成 26 年度：

アーカイブコンテンツの収集・連携を行うとともに、アーカイブシステムのα版を構築した。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集を行った。

平成 27 年度：

震災教訓文献データベースのシステム利用評価、東日本大震災の津波の来襲状況や被害について撮影・公開されている動画検索システムの試験実装、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集（宮城県)、東北沖海域に発達する断層のうち海溝軸外海側の構造データの収集、復興していく市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用、東日本（静岡県以北）の 自治体の東北地方における 地震波形データに関する関係機関と調整・手続き、東日本大震災における液状化被害・河川堤防被害・造成地被害の発生状況の整理、東北地方太平洋沖地震と M7 級地震の長周期地震動と比較を行った。

平成 28 年度：

実装したプロジェクト指向型アーカイブ（プロトタイプ）の改良およびユーザー利用評価を行った。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関する課題の分析・抽出を行った。復興していく市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」について観測の継続を行うと共にシステムの移設を行った。平成 27 年度に引き続き、東日本（静岡県以北）の 自治体の東北地方における地震波形データに関する関係機関と調整・手続きを行った。仙台市の上水道の被害状況・復旧状況の分析と今後の対策の提言、免震住宅の被害と建物の強震観測の状況に関する分析と課題の提示、ならびに、地盤や河川堤防の液状化・耐震効果に関する検証事例整理と課題の提示を行った。東北地方太平洋沖地震における関東平野の長周期地震動の生成要因を地震波形解析と波動伝播シミュレーションにより評価し、震源域直上での表面波の励起と平野への伝播増幅特性が大きく寄与していることを確認した。また、KiK-net 築館で観測された震度 7 の強震記録を熊本地震における KiK-net 益城における強震波形記録と比較し、揺れの継続時間と周期成分の違いから、海溝型巨大地震の強震動の特性と被害に与える影響を検討した。

平成 29 年度：

これまでに開発してきたデータベースにおいて、その後発表された研究成果を追

加更新するとともに、そのユーザー利用評価調査を行った。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集の基礎的検討を行った。復興していく市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」について観測の継続を行うと共にシステムの移設を行った。1）ライフライン、2）建築構造物および3）地盤・土構造物について、平成 25～28 年度に実施した構造物被害調査結果を主として 1-b）に情報提供するとともに、ひきつづき当課題において当該情報の有効性などを精査した。2011 年東北地方太平洋沖地震の観測波形解析から得られた強震動・長周期地震動の特性に関する知見に基づき、不均質地下構造モデルを用いた地震波伝播シミュレーションにより、関東平野における長周期地震動の伝播・増幅と、震源の方位による都心部での長周期地震動レベルの変動（バラツキ）要因を評価した。

平成 30 年度：

初年度以降に公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版を構築する。また、コンテンツを追加した上で、平成 27 年度の実施内容を更新する。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集（岩手県）を行う。

平成 31 年度：

前年度の更新を受けて、平成 28 年度の実施内容を更新する。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集（宮城県）を行う。

平成 32 年度：

前年度の成果を実装し、効果の検証ならびに研究プロジェクトの総括を行う。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関する課題の分析・抽出を行う。

(e) 平成 29 年度業務目的

プロジェクト指向型アーカイブ(プロトタイプ)のユーザー評価を踏まえるとともに、熊本地震における教訓を反映することで、南海トラフ地震に対応した同アーカイブの改良を行うとともに、地域防災や防災教育で実装するフィージビリティスタディを行う。東日本大震災からの基礎自治体レベルの復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集範囲についての検討を行うとともに、復興の進展状況に応じてデータの分析も行う。平成 25～28 年度に実施した構造物被害調査結果を主として 1-b）に情報提供するとともに、ひきつづき当課題において当該情報の有効性などを精査する。また、平成 25 年度から実施している東日本大震災の復興プロセスのモニタリングを継続して行う。

(2) 平成 29 年度の成果

①アーカイブシステムの構築・利活用

(a) 業務の要約

平成 29 年度は、「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計（３層アーカイブモデル）のうち、理論データベースと事例データベースに関する検討を行った。平成 27 年度までに理論データベースの一つとして実装した「震災教訓文献データ

ベースー論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー」に、新たに２学会と熊本地震に関する研究を対象にした追加登録を行った。平成 28 年度に事例データベースとして公開した東日本大震災の津波の来襲状況・シミュレーション・被害の状況に関する動画を検索できるシステムを、「動画でふりかえる 3.11－東日本大震災公開動画ファインダーー」についてユーザー評価調査を行った。

東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集範囲について決定すると共に、その過程で得られたデータ、具体的には復興初動期の建築規制の実態及びそれと開発実態との関連性に関する調査・分析を行った。

(b) 業務の成果

1)「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計

平成 25 年度に、東日本大震災の教訓を活用することに特化した「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計を行った。基本設計においては、南海トラフ広域地震津波災害の想定被災地における自治体の防災担当職員へのインタビュー調査を実施した。その結果、主に次の３つのニーズがあることが明らかになった。以下、平成 25 年度成果報告書(文部科学省研究開発局･独立行政法人海洋研究開発機構, 2014)からの再掲となるが説明する。

a) 東日本大震災で明らかになった、いわゆる「教訓」を簡便に詳細に検索・閲覧したい。

b) 東日本大震災における津波に関する動画（津波の来襲映像、津波のシミュレーション動画）を検索・閲覧したい。

c) 東日本大震災の被災自治体において、被災経験を踏まえて策定された各種計画、設計・実施された訓練等の事例を参照したい。

a) のような回答をした地域では、すでに南海トラフ広域地震津波について活発な対策活動が行われていた。このような組織・自治体においては、すでに一定の対策を講じているために、より即効性が高い対策を講じようと、直近で発生した「東日本大震災の教訓」、言い換えれば、東日本大震災の経験を踏まえて、津波災害への対応として効果的な対策・対処方法、次の大津波被災地でも起こる可能性が高い問題やその解決策に対して、高い関心が寄せられる傾向があった。具体的な例としては、三重県防災対策部（2014）では、東日本大震災において「誰が何に困ったのかリスト」を作成している。防災・減災の実務者にとっては、「東日本大震災の教訓」を災害が起きる前にすべき備えや、発災時の効果的な対応として調べたいというニーズが高いことが分かった。

b) のような回答をした地域は、南海トラフ広域地震津波の対策を徐々に始めているような地域であった。そのような地域では、過去の津波の経験があまりなく、地域住民の意識があまり高くない傾向にあった。行政担当者としては、まず、動画というリアリティのある映像を地域住民に見てもらうことで、津波に対する危機意識をもってもらいたい、という回答が得られた。実際に、住民からそのようなニーズが寄せられることもあるという。 最初のステップとして、危険意識がそれほど高くない地域住民

に対して、津波の危険性を視覚的に訴えることで、津波防災・減災への対策・行動に関心をもってもらいたいというニーズが存在することが分かった。

c）は、事前の防災・減災施策の具体例として、東日本大震災で大津波を経験した被災自治体が現在、何をどのように準備しているのかを直接把握したいという実務に携わる上での直接的なニーズであった。

以上は、行政や住民が求めるアーカイブの要件である。これに加えて、研究者は各種の分析・解析のために、基本的には生データ（いわゆるローデータ）の利用を希望することが想像される。

以上のインタビュー調査や考察を踏まえて、平成 25 年度に図３－１－①－１のような東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計（概念図）を作成した。

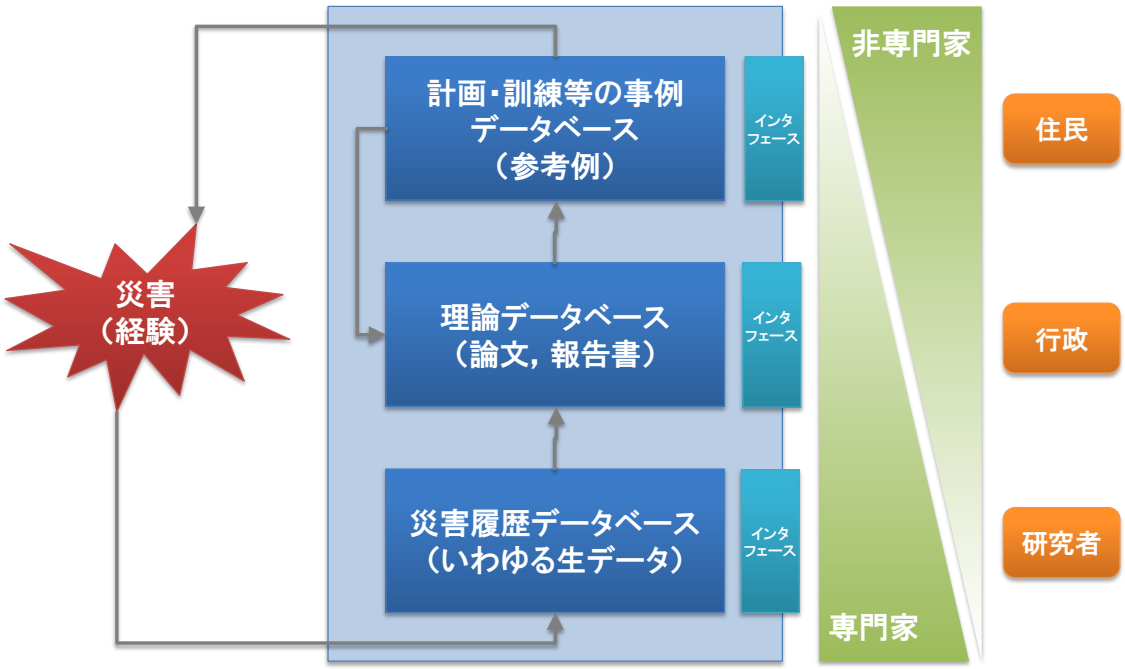


図３－１－①－１　東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計
（概念図：３層アーカイブモデル）

東日本大震災の教訓を活用する上で、利用者の業種や専門性によって必要になるアーカイブコンテンツの概念レベルを大きく３種類に分類した（３層アーカイブモデル）。災害の経験をもとにして生成される情報は、(1) 生データとしての災害履歴（災害履歴データベース）、(2) 学術論文や報告書などで報告された知見としての結論・理論（理論データベース）、(3) 災害の経験や一般化された理論をもとに設計された各種計画・訓練事例（事例データベース）に分けることができる。これらは、利用者の業種・立場（住民、行政、研究者）やコンテンツを扱うリテラシーや専門性によって、アクセスの範囲が異なる。東日本大震災に関して収集したコンテンツを同一のインタフェースで閲覧するのではなく、具体的な利用ケースに応じたインタフェースを用意することで「東日本大震災の教訓」をより効果的・効率的に活用することが可能と考えた。

インタビュー調査から分類された３通りのニーズを３層アーカイブモデルに照らし合わせると、行政担当者は「東日本大震災の教訓」を情報として検索するために中層の理論データベースを参照する（上記 a)）。災害履歴データベースにおいて、研究者が主にローデータを活用する。津波に関する映像の検索・閲覧は下層の災害履歴データベースから、行政・住民が行う（上記 b)）。さらに避難訓練等の設計において上層の事例データベースを参照する（上記 c)）といった例が考えられる。

平成 28 年度は、上記のデータベースのうち、理論データベースと災害履歴データベースについて以下のような検討を行なった。検討のうち、前者２つは、理論データベースに関する検討、３つ目は災害履歴データベースに関する検討である。

・「震災教訓文献データベース」の改良（コンテンツ追加とメタデータの再付与）
・「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」のユーザー評価調査
・「動画でふりかえる 3.11」の公開（映像資料への位置情報の付与）

2)「震災教訓文献データベース」へのコンテンツ追加

平成 26 年度は、「東日本大震災の教訓」を集約した理論データベース（教訓検索システム）を公開するウェブシステムとして「震災教訓文献データベースー論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー」を公開した。同システムは、平成 25 年度に実施した東日本大震災、その他の地震災害に関する学術論文と報告書の文献調査を行った「東日本大震災ほか災害に関する文献調査」（文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構，2014）の結果をシステムにインポートしたものである。学術論文は、地震工学会・地域安全学会・自然災害学会・日本災害情報学会・日本災害復興学会の５つの学会が発行する学会誌・予稿集等に掲載されている論文・調査報告・事例報告・特集を対象にした。平成 29 年度からは、日本建築学会、都市計画学会も対象に追加した。報告書は、官公庁・研究機関・団体等が発行している成果報告書・機関誌・研究資料・技術報告などを調査主体として収集した。作業手続きは、対象論文マスターテーブルの作成、対象論文の収集（電子版のダウンロード、紙面の電子化)、対象要件の二次精査、「教訓」の抽出（文中から教訓等を抽出)、内容・分類に関するコーディングからなる。

図３－１－①－２に教訓検索システム「震災教訓文献データベースー論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー」のトップ画面を示す。ここでいう「教訓」とは、学術論文･報告書から結語部分をもとに情報を整理した文章でフリーワード(自然語)入力による検索ほか、タグ（統制語）で、トップ画面中央下部に表示されているタグクラウドからキーワードを選択して検索することができる。タグクラウドは、登録件数が多いものからフォントサイズを大きくして上位に表示している。



図３－１－①－２「震災教訓文献データベース」のトップ画面
（上から、メニュー、フリーワード検索ボックス、タグクラウド）

図３－１－①－２に「震災教訓文献データベース」のトップ画面と、図３－１－①－３に検索結果の例を示す。タグクラウドに表示されたキーワード（タグ）から検索ができる。図３－１－①－３はある著者名を選択して検索した例がである。検索結果一覧には、雑誌名、学会名、災害名、対象なども表示され、それらをキーにして欲しい情報の絞り込みが可能である。

震災教訓文献データベース
−論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム−

トップページ　調べる　震災教訓文献データベースとは　関連リンク

佐藤 翔輔　検索

作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)
- 佐藤 翔輔 (18)

区分
- 論文 (18)

雑誌名
- 地域安全学会論文集 (15)
- 自然災害科学 (3)

学会名
- 地域安全学会 (15)
- 自然災害学会 (3)

災害名
- 東日本大震災 (11)
- 阪神・淡路大震災 (7)

対象
- 避難 (6)
- ボランティア (4)
- その他 (2)
- 復興計画 (2)
- 防災体制 (2)

次の5件 »

検索結果一覧

ID	文献名	フェーズ	対象	カテゴリ	場所
p0341	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	支援団体	その他・非該当
p0342	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0343	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0344	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該当	その他	その他・非該当	その他・非該当
p0345	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該当	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0438	東日本大震災について報じられたウェブニュースコーパスの基礎的解析	直後・初動期 応急復旧期	情報	その他・非該当	その他・非該当
p0960	地震によるライフライン停止と住宅損傷を考慮した短期的避難需要の評価モデル：生活支障の計量評価を利用した震害波及過程の記載	直後・初動期	避難	その他・非該当	その他・非該当

図３－１－①－３　「震災教訓文献データベース」の検索結果の例



図３－１－①－４　「教訓」の表示例

図３－１－①－３の検索結果一覧の中から、一つの行（ID の割り振られた文献名）を選択して表示した画面例を図３－１－①－４に示す。ページのトップに論文中で結語として記述されていた文章を、その下部にタグ付けした結果や書誌情報を表示している。なお、文献がウェブ上にあるものについては、文献（URL）へのリンクも示している。

平成 29 年度は、平成 27 年度から継続して同システムに登録する文献（教訓）を追加した。同システムリリース以降にも、震災に関連する論文は多数発行されているため、開発時点までに発行されている文献を対象に新たに登録作業を行ったものである。特に、内陸直下型の教訓を取り入れるために、2016 年熊本地震に関する文献も収集・登録対象とした。

図３－１－①－５に、「震災教訓文献データベース」に登録した文献のうち、論文とその結語（教訓）の数を、各論文が発行された年で時系列変化として示した。平成 29 年度は、新たに 254 編の論文と 697 件の教訓（結語）を登録し、全体では 884 編、教訓（結語）は 3,370 件となった（平成 29 年度の登録件数の占める割合、論文：28.7%、教訓：20.7%）。なお、平成 29 年度より追加対象となった熊本地震は、論文で 49 編、

教訓（結語）で 162 件となった。

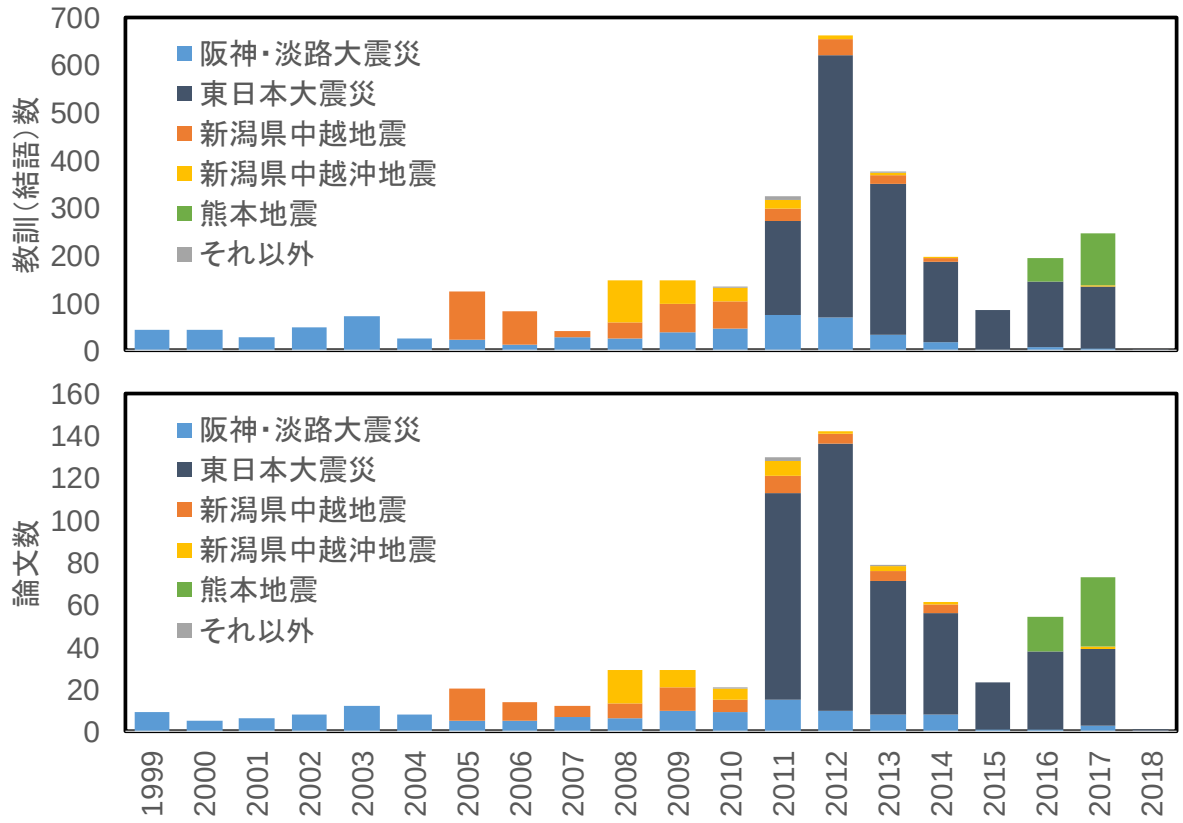


図３－１－①－５　「震災教訓文献データベース」に登録した文献・教訓（結語）の数

3)「動画でふりかえる 3.11」のユーザー評価調査

平成 29 年度は、事例データベースとして開発・公開している「動画でふりかえる 3.11－東日本大震災公開動画ファインダー－」に対して、実際の利用を通したユーザー評価調査をおこなった本システムは、東日本大震災の津波の来襲状況や被害について撮影され、既に公開されている動画を検索するもので、一般の人が当時の様子を動画情報でふりかえり、どこの場所でどのような被害があったのか、被災の状況をイメージしながら津波およびその被害に対する正しい知識や認識を持って、避難行動等を検討するためのツールとして構築し、平成 28 年度から公開している。

本システムでは、東日本大震災の津波に関する情報に特化し、インターネット上（YouTube）で公開されている映像・動画を地図上で検索することができる。現在、YouTube 上に公開されている動画には、位置情報が入っているものはごくわずかしかない。そこで、インターネット上（YouTube）で公開されているすべての動画を目視で確認し、映像に写っている地物を参考に「撮影された場所（位置情報）」を一つずつ探し、同定する作業を行い、各映像に位置情報を付与して、地図上に表示した。

現在、本システムには、1,369 件の「映像・動画」をリンクしている。このうち、

元から位置情報が入っているものは数十件で、これ以外は改めて位置を同定したものになる。このうち、位置を正確に、もしくは概ね正確に同定できているものは、あわせて 973 件で全体の 75.8%となった。図３－１－①－６に「動画でふりかえる 3.11」のトップページ画面、図３－１－①－７に「動画でふりかえる 3.11」の検索結果詳細画面、図３－１－①－８に「動画でふりかえる 3.11」の検索結果の詳細画面を示す。

本システムでは、「映像」を地図上に配置、時系列により３色に色分けして表示しており、バルーンをクリックするとウェブサイト上で簡単に動画を見ることができる。その他、フリーキーワードを入力して検索する方法、タグクラウドからキーワードを選択して検索する方法の３通りの検索方法があり、目的にあった使い方ができる。

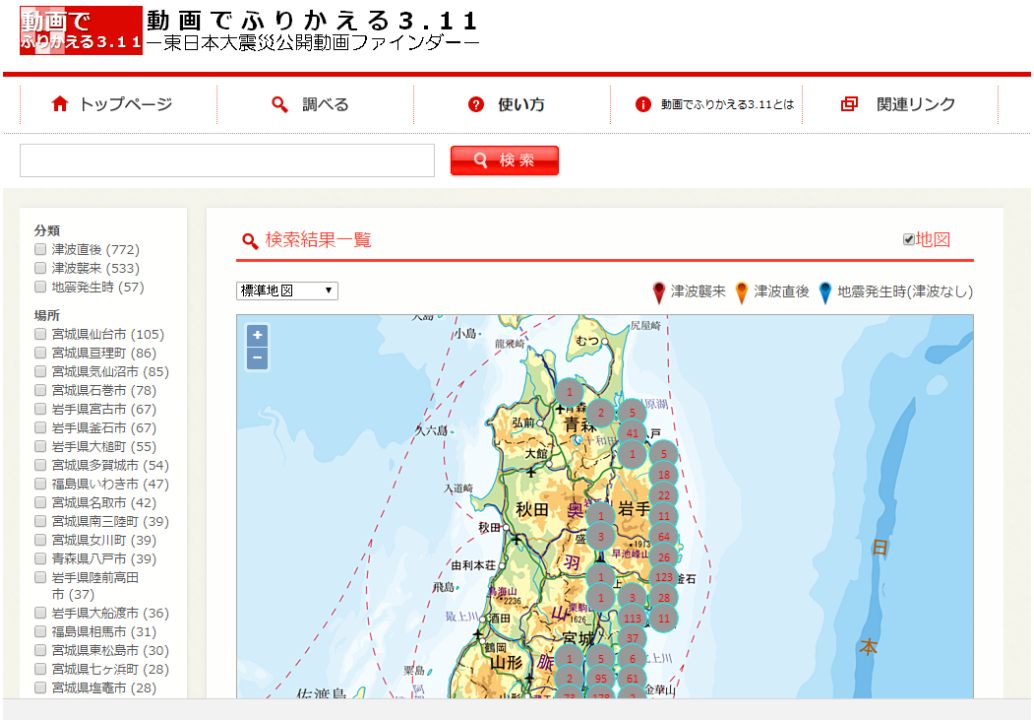


図３－１－①－６　「動画でふりかえる 3.11」のトップページ画面



図３－１－①－７　「動画でふりかえる 3.11」の検索結果詳細画面

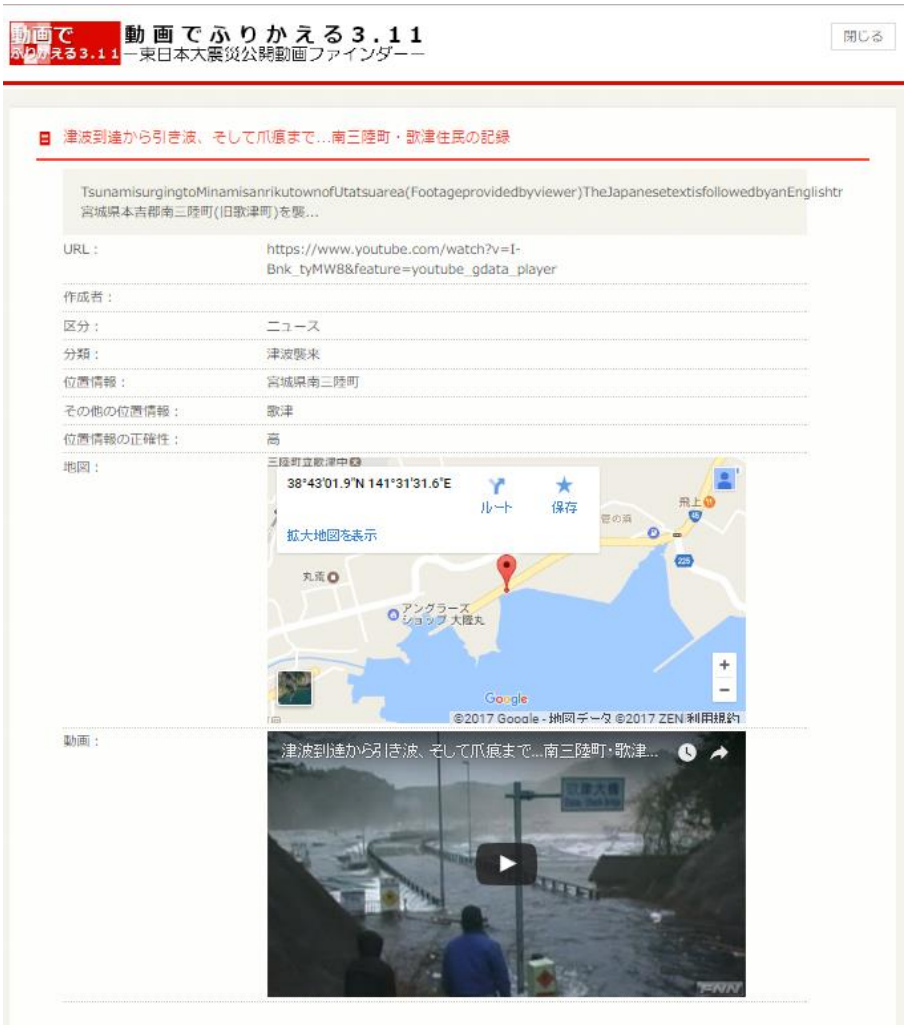


図３－１－①－８　「動画でふりかえる 3.11」の検索結果の詳細画面

ユーザー利用調査は、インターネットモニター調査（株式会社サーベイリサーチセンター）によって行った。調査項目は、1）全体的な感想、2）操作性に対する評価、3）機能に対する評価、4）システムに対する感想（自由回答）を問うた。

調査においては、「モニター（ユーザー）が実際にシステムを操作した」上で、評価を行ってもらうために、回答フォームの冒頭で 1）一定の操作に関する教示を行い、そこに表示される内容について回答を求める問い（２題、選択形式、正答選択肢はランダム）を用意したほか、2）５分程度の利用をお願いする教示を行ったうえで、実際の評価に関する設問に回答してもらった。1）で誤答したモニターは、サンプル対象外とし、200 名のモニターから回答を得た。

モニター調査の回答者は、男性 68.5%、女性 31.5%、10・20 代 3.0%、30 代 21.5%、40 代 37.5%、50 代 29.5%、60 代以上 8.5%、やや男性や 40 代が多い傾向となっている。

図３－１－①－９にモニター調査における全体的な感想の結果を示す。設問は「1. 興味・関心をもって操作した」「2. 自分がイメージしていた映像が見れた」「3. もっと使ってみたい」「4. 同僚・知人などに利用をすすめたい」という設問について、「ま

ったくそう思わない」～「とてもそう思う」までの５段階で問うている。結果は、「どちらとも言えない」または「まあまあそう思う」の回答のいずれかが最も多い。「まあまあそう思う」と「とてもそう思う」を合わせた回答（ポジティブな回答）は、「1. 興味・関心をもって操作した」で最も多く、「4. 同僚・知人などに利用をすすめたい」で最も評価が低かった。

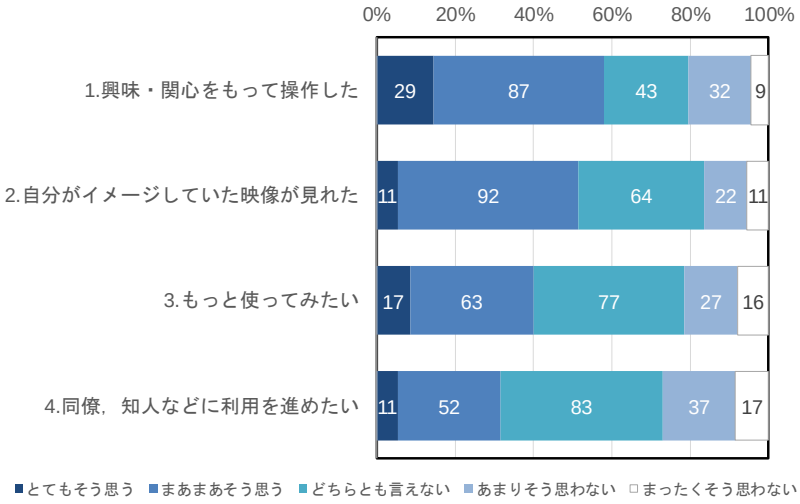


図３－１－①－９　「動画でふりかえる 3.11」の全体的な感想

図３－１－①－10 にモニター調査での操作性に対する評価の結果を示す。設問は「1. すでに自分で自由に使える」「2. 不便なところはない」「3. 十分なデータがあった」という設問について、「まったくそう思わない」～「とてもそう思う」までの５段階で問うている。「1. すでに自分で自由に使える」は、約６割でポジティブな回答（「とてもそう思う」と「まあまあそう思う」を合わせた回答）を得ている。それ以外では、ポジティブな評価は４割程度である。

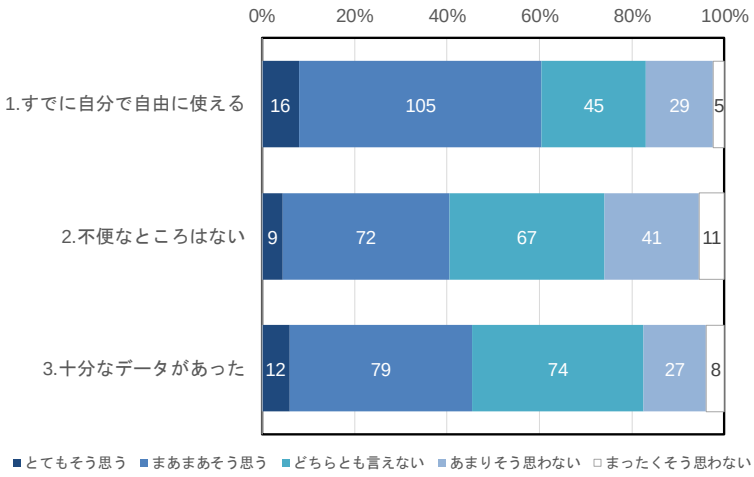


図３－１－①－10　「動画でふりかえる 3.11」の操作性に対する評価

図３－１－①－11 に、モニター調査での機能に対する評価の結果を示す。設問は、「1. 地図上で検索できるところ」「2. バルーン（地図上）のピンの色で映像内容が分類されているところ」「3. ページ左側のチェックボックスで、映像候補を絞ることができるところ」という設問について、「ぜんぜんよくなかった」～「とてもよかった」の５段階で問うている。図３－１－①－11 見ると、すべての設問（機能）で、「とてもよかった」と「まあまあよかった」を併せてポジティブな回答が６割を超えている。

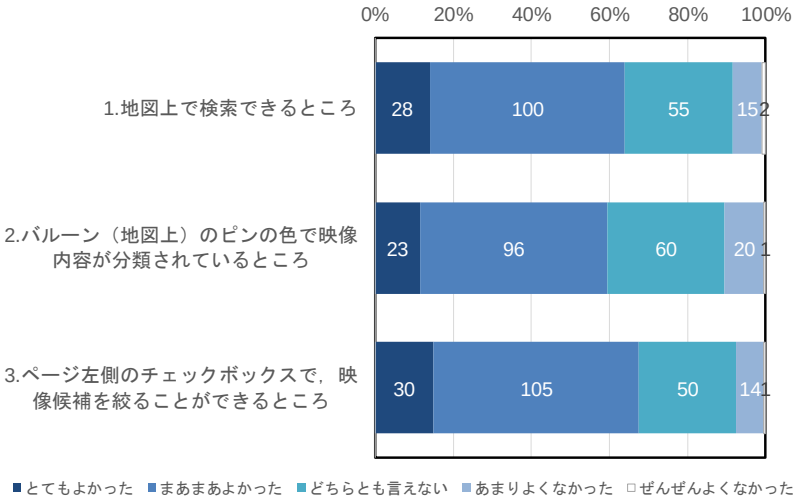


図３－１－①－11　「動画でふりかえる 3.11」の機能に対する評価

以上をまとめると、モニター評価の結果、システムに対する興味や操作性については良い評価が得られたものの（図３－１－①－10 と図３－１－①－11）、継続的な利用への態度やデータ量においてやや否定的な評価（図３－１－①－９の一部）であったことが分かる。なお、図３－１－①－９～図３－１－①－11 の設問について、性別・年代との対応関係を分析したところ、統計的な有意差や相関などの系統的な対応関係を確認することができなかったことを付記する。

4）東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集

東日本大震災からの基礎自治体レベルの復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集範囲について検討を行い、そのうち特に、復興初動期の建築規制の実態及びそれと開発実態との関連性に関する調査・分析を行った。

復興初動期の建築規制としては、宮城県下の７市町において、震災直後から復興事業の障害を防止する目的で 84 条制限等の区域が指定された。指定パターンで分類すると、広範囲指定型、分散市街化区域指定型、市街化区域内抽出型の３つに分けられる（表３－１－①－１）。

表３－１－①－１　都市計画区域内における 84 条制限等区域と浸水区域

	84条制限等区域[ha]	津波浸水区域[ha]	84条制限等区域/津波浸水区域	用途地域における84条制限等の指定	指定パターン
気仙沼市	669.8	907.6	73.8%	一部	広範囲指定
南三陸町	175.7	279.2	62.9%	全域	広範囲指定
女川町	273.6	170.2	160.8%	全域	広範囲指定
石巻市	449.4	3002.3	15.0%	一部	市街化区域内抽出
東松島市	162.7	3403.5	4.8%	一部地区全域	分散市街化区域指定
名取市	102.7	2528.9	4.1%	一部地区全域	分散市街化区域指定
山元町	198.1	2085.3	9.5%	ー	その他
総計	2032.0	12377.0	16.4%		

広範囲指定型のメリットとしては、震災直後の時間的の余裕や将来的な復興の見通しがない中で、暫定的に区域を指定することで無秩序な建築行為を抑制できる点が挙げられる。また、本震災においては、住民の再建意欲の低下を最小化するためにも能動的に区域の除外・変更が行われる姿勢が見られた。一方デメリットとしては、初期の指定区域に対して事業が施行されない割合が大きくなってしまう点であり、規制が課されながらも面的整備事業を実施しなかった地区の地権者からは反発も生じていた。

分散市街化区域指定型では、結果として、これら区域内の高い割合で面的整備事業や災害危険区域の指定が行われていた。一方で、農漁村集落等が市街化調整区域であったために 84 条制限等を指定できず、指定できる地域とできない地域の差を懸念している自治体もあった。

市街化区域内抽出型のメリットとしては、初期段階からある程度事業を見越した区域指定であったために、住民説明会等の際に、町内会単位でどのような復興を目指すかを検討する際の一要因となっていた点が挙げられる。一方デメリットとしては、初期に指定された区域が初動期建築規制の期限切れまで一貫して指定されており、指定区域内において事業が行われない区域の割合が大きくなってしまったことが挙げられる。

復興推進地域は 84 条制限と比較して規制期間が長く、時間が経過し復興事業の計画が固まってくる中で、より的確に面的整備事業や災害危険区域指定の障害となる建築行為を防ぐことを目的としており、宮城県下の７ 市町、岩手県下の３市町において導入された。規制内容は条文で決められているものの、復興事業の見通しが立たない自治体では個別許可が認められていた。一方で、気仙沼市や女川町では事業の可能性が高い地域において、事前相談で事業の支障とならないように調整したり、場合によっては規制内容を満たしていても自粛を要請したりすることで、事業の支障となりうる開発を防いでいた（図３－１－①－12)。以上のように、復興推進地域は２ 年間という長い期間での規制ではあるものの、自治体それぞれの状況に合わせてフレキシブルな運用がなされていた。

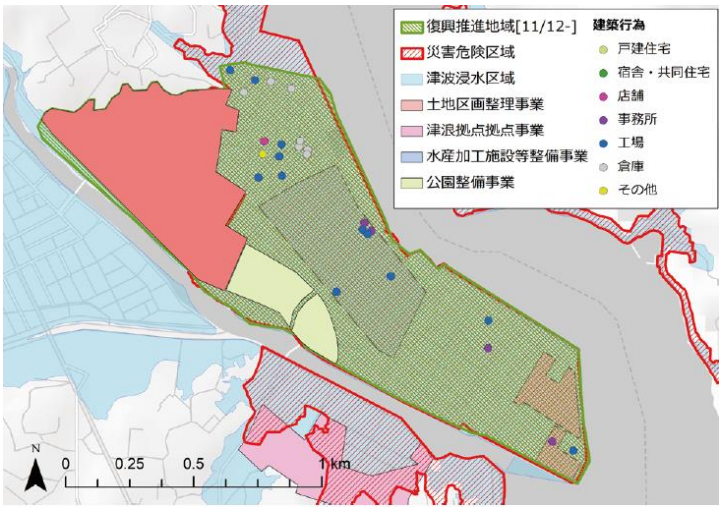


図３－１－①－12　南気仙沼地域（広範囲指定型）における復興初動期の規制実態と開発状況

また、初動期建築規制は、本来的な目的である面的整備事業の障害防止だけではなく、災害危険区域の指定前の建築抑制にも活用され、効果的であった。しかし、現在のような都市計画事業の可否による区域選択では、都市計画区域外の集落部における復興事業とそれらに繋がる災害危険区域の指定へとつなげるための建築規制として機能できない（写真３－１－①－１）。今後の災害発生時には、初動期建築規制を都市計画事業に限定せずに、災害危険区域の指定を含めた、全体的な空間復興へとつなげる制度にすることが求められる。



写真３－１－①－１　災害危険区域における不適格建築物（奥）と適格建築物（手前）［2018 年３月撮影］

(c) 結論ならびに今後の課題

「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計（３層アーカイブモデル）のうち、理論データベースとして開発した「震災教訓文献データベース」へのコ

ンテンツ追加を行ったとともに、「動画でふりかえる 3.11－東日本大震災公開動画ファインダー－」のモニターを対象にしたユーザー利用評価調査によって操作性や機能について概ね良好な結果が得られた。一方で、これらのデータベースにおいては利用の意欲を醸成し、利用者への防災教育効果があるかなどは明らかになっていない。今後はこれらの個別のデータベースを利用した人材育成のための研修プログラムを検討していく必要がある。

東日本大震災からの基礎自治体レベルの復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集範囲については、まずは空間形成に関する要素として開発動向とその基礎となる被災者の意向調査結果についてのデータ収集を行うこととした。復興初動期の建築規制の実態及びそれと開発実態との関連性に関する調査・分析の結果、初動期建築規制のパターンは「広範囲指定型」「分散市街化区域指定型」「市街化区域内抽出型」の３つに分けられ、それぞれにメリットデメリットがあること、初動期建築規制は狭義の都市計画実施のための規制ではなく災害危険区域指定を含めた総合的な空間形成実現のための規制として機能する必要があること、等を明らかにした。

(d) 引用文献

Sato, S. and F. Imamura, An Attempt of Extraction and Sharing Lessons Learned from Experiences of the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Based on Viewpoints of Experts on Disaster Science: 3.11 Lessons Learned Web Database System, Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 5, pp. 881-888, 2016.10.
三重県防災対策部（2014),「誰が何に困ったのかリスト」, 三重県新地震・津波対策行動計画・資料, http://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/84149007964.htm, 2014
文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構,南海トラフ広域地震防災プロジェクト, 平成 25 年度成果報告書, 410p, 2014.
山梨裕太、姥浦道生「東日本大震災の被災地における開発許可動向に関する研究」日本都市計画学会学術論文集、52-3, 1044-1051, 2017.11
岩渕風太、姥浦道生、苅谷智大「東日本大震災における被災者再建意向の推移に関する研究」2017 年度日本都市計画学会東北支部研究発表会発表要旨集, pp.21-24, 2018.03

②復興

(a) 業務の要約

大規模災害により被災した市街地の復興を､「復興モニタリンスシステム」を通じて、定点観測により、アーカイブ化することを引き続き行っている。本年度は、データ提供を受けていたカメラが撤去されたことにより、新たに大槌町役場屋上にカメラの設置を行った。

(b) 業務の実施方法

大槌町町方復興ＣＭカメラ（大槌町）が工事完了に伴い撤去されることから、大槌町役場の屋上に新たにカメラの設置を行った。




写真３－１－②－1　新たに大槌町役場屋上に設置したカメラ

本業務のモニタリングカメラの設置場所の現状と概要を表３－１－②－1 に示す。

設置都市	設置先	設置台数	概要
大槌町	UR 都市機構大槌復興支援事務所	1	毎週火曜日：4 時～16 時　毎時撮影 その他：10～15 時　毎時撮影
大槌町	大槌町役場カメラ	1	毎週火曜日：0 時～23 時　毎時撮影 その他：10、14、20 時の 2 つの時間に撮影
陸前高田市	みんなの家	1	土地のかさ上げ工事に伴い、2016 年 8 月 16 日にみんなの家の解体が決まり、 2016 年 7 月 23 日にカメラを移設 現在は、毎週火曜日：0 時～23 時　毎時撮影 その他：10～20 時　毎時撮影
石巻	松川横町（東向き）	1	民家に設置 毎週火曜日：0 時～23 時　毎時撮影 その他：10、15、20 時の 2 つの時間に撮影
	松川横町（西向き）	1	民家に設置 毎週火曜日：0 時～23 時　毎時撮影 その他：10、15、20 時の 2 つの時間に撮影
	アイトピア商店街	1	今後再開発するアイトピア商店街のにぎわいを街燈から定点観測 毎週火曜日：0 時～23 時　毎時撮影 その他：10、15、20 時　毎時撮影
神戸市	長田区御蔵地区	2	毎日 10 時、14 時に撮影

(c) 業務の成果

東日本大震災の復興状況を継続に記録しつつ、阪神淡路大震災の復興について、長

田区御蔵地区における２つのカメラモニタリングをウェブサイトに取り込み復興過程の変化を提供していく。また、大槌町については工事の完了に伴い町方 CMR からのデータ提供がおこなわれなくなることから大槌町役場屋上に新たにカメラの設置を行った。カメラの設置については観測データの継続の観点からできる限り、以前のデータと同じ画角で撮影の継続をすることができるように設置を行ったが、カメラの変更に伴い若干変化が生じている。

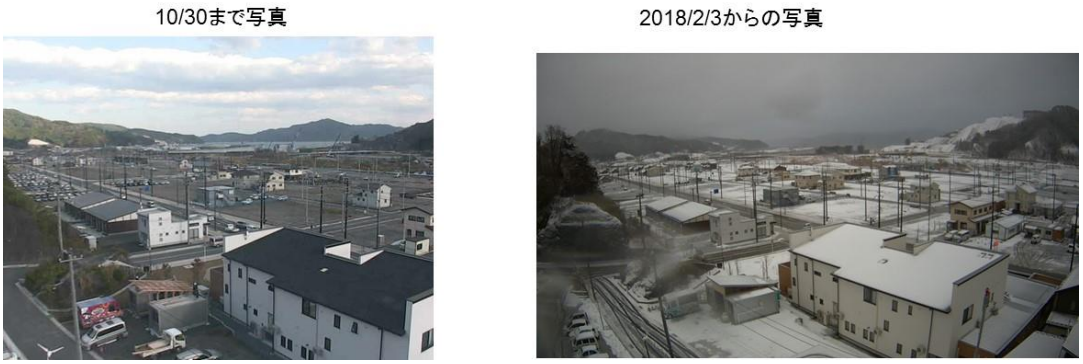


写真３－１－②－２　従来のカメラと新たに設置したカメラのデータの比較

(d) 結論ならびに今後の課題

復興モニタリングを開始して４年間が経過、カメラが設置されている場所のかさ上げにより、モニタリングの終了ではなく、新たな場所へのカメラの移設を行うことにより、継続的に復興事業を記録することができた。

今後は観測データを用いた復興進捗状況の分析を実施していく予定である。

(e) 引用文献

なし

③被害

(a) 業務の要約

2011 年３月 11 日に発生した東日本大震災における構造物の被害状況について、平成 25～28 年度においては本プロジェクトにおいて、1)ライフライン、2)建築構造物および 3)地盤・土構造物を取り上げて整理してきた。ここでは、平成 25～28 年度に実施した構造物被害調査結果を主として本プロジェクト 1-b に情報提供するとともに、ひきつづき当課題において当該情報の有効性などを精査した。具体的には次の通りである。

1) 昨年度までの取り組みにおいては、東日本大震災におけるライフラインの被害状況と復旧状況について照査し、浄水場やポンプ場等の水道施設・水道管の耐震性強化以外に、非常用電源燃料の備蓄増強、水源の多様化が、継続的な水供給および早期給水の実現に重要であることが明らかとなった。

本年度は、南海トラフ巨大地震での被災が想定される実際の市町村（碧南市）を対象にヒアリングを行い、現況の水道施設の諸元や、管路耐震化等の防災減災事業の状況

について把握した。加えて、昨年度までの取り組みで得られた知見を踏まえつつ、碧南市で実行可能かつ効果的な減災対策案について同市の水道担当者とともに取りまとめた。

2)建築構造物の被害状況については、東日本大震災における被災建物や超高層・免震建物における強震観測記録の取得状況と、それに基づく応答特性の分析結果および今後の耐震対策に向けた知見について、主に文献調査により示した。これにより南海トラフ地震の被災地域における観測の必要性を考察した。

3) 地盤・土構造物については、碧南市蜆川下流域を検討対象地域として、液状化判定に従来用いられる FL 法の妥当性を確認するとともに、FL 法の課題を指摘した。

(b) 業務の実施方法

1) ライフライン（上水道）については、碧南市の水道設備の状況について碧南市のご協力を得て調査し、今後講じ得る減災対策について検討する。

2) 建築構造物については、東日本大震災における地盤・建物の強震観測状況を概観し、特に被災建物、超高層・免震建物などに関する調査検討結果（日本免震構造協会、2012；鹿嶋他、2012；日本建築学会構造委員会・長周期建物地震対応小委員会、2012など)に基づき、建築物の応答特性と今後の大規模地震に向けた知見について整理する。

3) 地盤・土構造物については、碧南市蜆川下流域を検討対象地域として、FL 法による液状化判定結果と地震応答解析結果を比較し、課題を抽出する。

(c) 業務の成果

1) ライフライン（上水道）

a) 水道施設の現況の把握

まず、今回の対象地域である愛知県碧南市の水道事業の概況について、「碧南市水道ビジョン」を参照しながら整理した。碧南市の水道施設は、２つの排水拠点（第１配水場および第２配水場）で愛知県水道用水供給事業（以下、愛知県水道）から受水し、配水ポンプにより市内全体に水を供給している。主系統として使用されている第２配水場については、耐震性能を有しており、地震発生時における被害は少ないものと考えられる。また、非常電源用燃料の備蓄があり、約半日以上は取水ポンプを稼働させて水道管路に給水することが可能である。しかし、碧南市水道管路の復旧に着手する前に、電力の復旧が完了すると予測されることから、実際の被災時にこれらの非常用電源を使用する機会は少ないと思われる。一方、第 1 配水場は耐震化されておらず、今後の耐震化が予定されている。

続いて、碧南市にヒアリングし、昨年度までに考案した被害予測手法の適用に必要な上水道施設諸元情報を収集した（得られた情報を本プロジェクト 1-b に情報提供し、現況の施設が被災した場合の上水道被害について推計を行った)。同市では幹線配水管震災対策事業として、基幹的な管路の耐震化を重点的に実施している。一方で、非耐震管路（塩化ビニル管やダクタイル鋳鉄管 K 型等）も数多く埋設されていることから、これらの入れ替えによる耐震化の推進についても検討されている。

図３－１－③－１に、同市の水路管の管種別分布を示す。

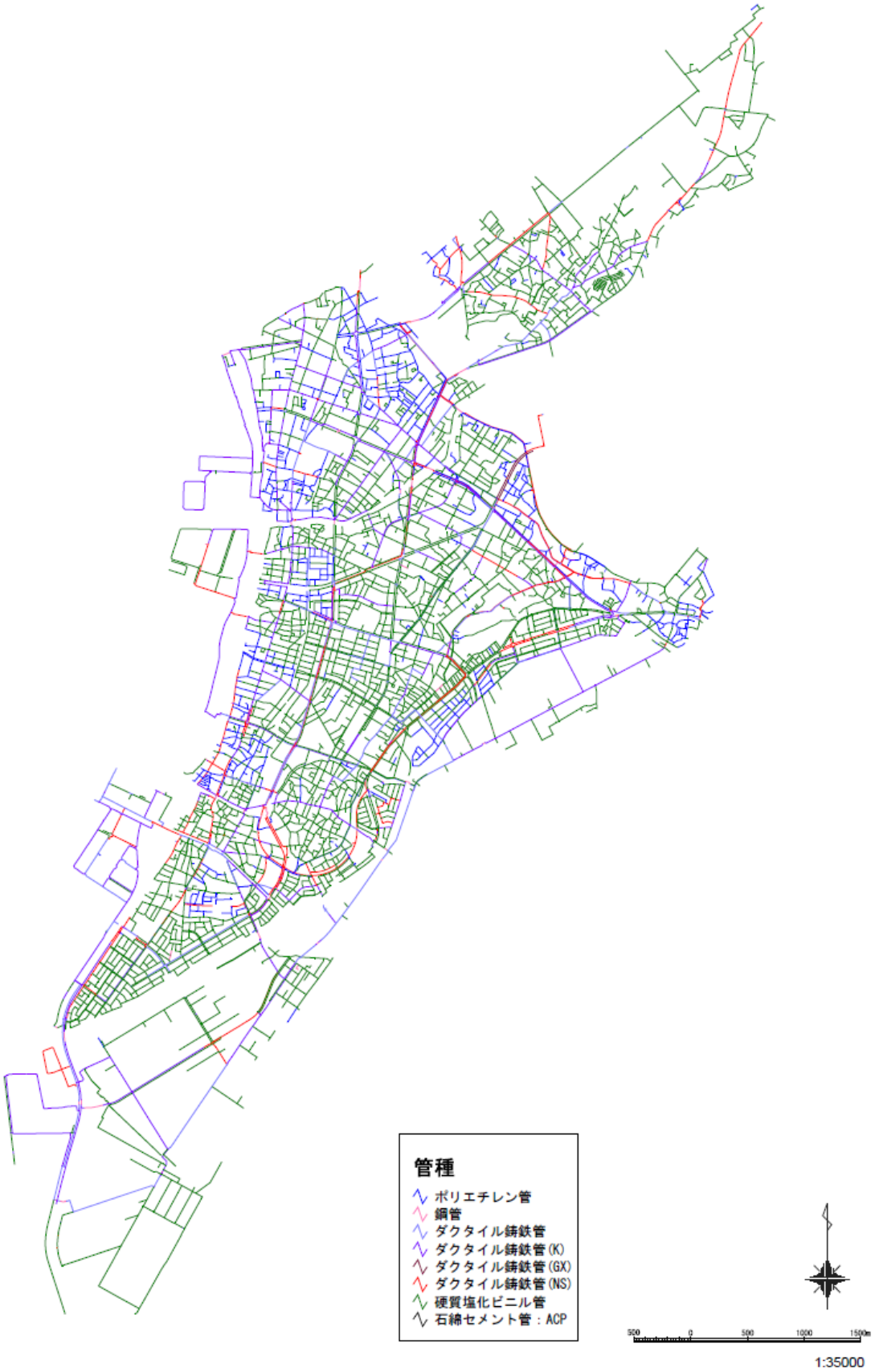


図３－１－③－１　碧南市水道の管種別分布図

b) 減災対策案の考案

水道施設情報の整理を実施した後、碧南市と共同で今後講じ得る減災対策について議論し、表３－１－③－１のように取りまとめた。

Case1 から Case5 は、碧南市独自によるハード的施策である。ただし、これらの施策は大規模な工事が必要となることから、予算面や所要期間の面で、碧南市の実情を考慮しながら実施することとなる。一方、Case6～Case8 はソフト的施策の案となっている。これらは市独自に達成できる取り組みではなく、他の水道事業体や市民との連携が不可欠となることから、その実現可能性についての現実的な検討が不可欠である。Case9 は複数の対策を組み合わせて実行するものであるが、これに関してもその実行可能性について市の実情を考慮して検討が必要である。

表３－１－③－１　碧南市水道事業における減災対策案

想定した対策		前提条件
市独自の施設整備	Case1	第２配水場に加えて、第１配水場を耐震化した場合
	Case2	第１配水場の有効貯水量を、5,500 ㎥から１万㎥に増量した場合
	Case3	小口径管路延長の大半を占める、経年塩ビ管の耐震化を実施した場合
	Case4	準幹線（口径 200mm 以上）の耐震化を実施した場合
	Case5	給水ブロックの細分化を実現し、細かいエリアでの給水開始や遮断が可能となった場合
連携による施設整備	Case6	愛知県水道との支援連絡管や、近隣市町村行政との緊急時連絡管、応急給水支援設備を活用した場合
需要者の自助による対策	Case7	水道需要者一人あたり 3L/日×3 日の飲料水を備蓄した場合
計画的復旧	Case8	復旧作業班（周辺からの応援）の確保・効率的な復旧作業班の配置をした場合
上記対策を複数実施	Case9	上記からいくつかを選択して実施した場合

2) 建築構造物

a) 背景と目的

日本の強震観測は半世紀以上の歴史があり、1980 年代までに国内で 2000 台程度が設置されていた。観測記録は耐震設計の確立に大きな役割を果たし、また超高層、大空間、原子力施設、免震・制震など各時代の先進的な構造技術の進展に寄与した。その後、1995 年兵庫県南部地震において、甚大な被害の原因となった震度７の揺れや「震災の帯」による被害分布を適切に観測できなかったことを受けて、地盤の強震観測体制が整備された。現在では、気象庁、消防庁計測震度計、防災科研 K-NET など数千箇所の観測点が全国を均等に覆い、オンライン化により地震発生後直ちに震度分布が報道される。また構造物、ライフライン、都市などの防災目的の観測も、公的機関を中

心に積極的に行われている。観測・データ利用の技術面でも進展が著しい。

2011 年３月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、こうした地震観測体制がはじめて捉えた広域の巨大地震災害といえる。地盤の面的な観測記録は建物や都市への入力を明らかにし、応答観測記録は建物の挙動や耐震性能を知る情報となる。ここでは、地盤と建物の観測状況について、主に文献調査により概観する（飛田他、2014)。

b) 地盤の強震観測の概要

まず公的機関等による大規模観測体制を概観する。気象庁では直轄の約 600 地点を含む全国の震度分布を直ちに公開している。東北地方太平洋沖地震の本震では、最大震度７（宮城県栗原市築館)、宮城・福島・茨城・栃木の 30 地点以上で震度６強、東北から関東に到る広い範囲で震度６弱、さらに北海道から九州まで全国で震度１以上の有感となっている。また、最大震度６強（２回）などを含む震度５以上の余震が 50 回以上、三陸沖の前震（３月９日 11:45、最大震度５弱)、震源域から離れた誘発地震として長野県北部の地震（３月 12 日 3:59、最大震度６強)、静岡県東部の地震（３月 15 日 22:31、最大震度６強）も記録されている。気象庁の震度計は加速度記録を収録しており、デジタルデータとして定期的に公開されている。

防災科学技術研究所の強震観測ネットワーク（K-NET）は 1000 箇所強の観測点があり、全国を 20km 程度の間隔で均等に覆っている。また基盤強震観測網（KiK-net）は約 700 箇所について、地表と地中の観測点がある。観測結果は加速度波形も含めてウェブで公開される。本震で最大の記録は K-NET 築館（MYG004、３成分合成の最大加速度 2933gal、震度 6.7）であった。

消防庁の補助金による自治体震度情報ネットワークは､全国で約 2800 地点に計測震度計があり、各市町村の震度情報を県や気象庁が集約して防災対策に活かす。以上の公的機関による観測体制で合計 5000 箇所を超え､全国を高密度で覆う地盤強震観測網となっている。また自治体震度計を除き、デジタルデータも比較的容易に入手可能である。このほかに大規模自治体やライフライン企業の防災用観測システムもある。国土交通省､港湾空港技術研究所､その他の研究所･大学などでも観測が行われている。この状況は東海地域でも同様であり、2016 年４月 1 日の観測結果について平成 28 年度報告書３．２．④で述べたとおりである。これらの観測記録は、設計用入力地震動や防災対策、発災時の応急対応に利用されている。

c) 建物の強震観測の概要

建物については、地盤観測網のような全国統一の公的な観測体制は今のところ整備されていない。建築研究所（鹿嶋他、2012)、大学などの公的研究機関、建設やライフラインなどの民間で、それぞれの目的で観測を行っている。建物所有者の意向や観測目的などにより観測結果が公開されないことが多く、全貌は明らかではない。そのような中で東北地方太平洋沖地震の発生により、広域で多数の建物の強震観測記録が得られ、また建物の挙動や被害への関心の高さから、何らかの形で公表に結びつく例が多くなっている。東海地域では、免震庁舎や超高層建物のみならず、一般建物でも多数の地震観測が行われており、本報告書３．２．④ではその特徴を考察している。

d) 顕著な損傷を受けた一般建物の強震記録

東北地方太平洋沖地震では地震規模に比して一般建築物の振動被害は多くなく、顕著な損傷を受けた建物の観測記録は少ない。関東では震度５強～６強であり、多数の観測記録が得られているが、観測対象は超高層や免震などが多い。

仙台の東北大学工学部人間・環境系研究棟は 1969 年竣工の SRC 造９階建で、１階と９階に強震計があり、1978 年宮城県沖地震の際に９階で 1000gal を超える記録が得られた。2001 年に耐震改修がなされた後、2005 年宮城県沖地震、2008 年岩手・宮城内陸地震などを受けている。今回の地震では、本震により東西妻面にある連層耐震壁の３階部分（１・２階は低層部がある）の４隅の外柱が全て大破した。観測記録は１階で 300gal 強（計測震度 5.6）、９階で 900 gal 強、変位で 30cm 以上、平均層間変形角で 1/100 程度まで達した。上部構造の固有振動数は、本震前の微動と比べて本震中で張間 1.61→0.78Hz（48%）、桁行 1.61→0.88Hz（55%）に低下し、剛性にして各々23%、30%まで低下、本震後の微動では小振幅のため多少戻るものの、剛性で 53%、72%まで低下した。図３－１－③－２に平均層間変位と固有周期の変化を示す（源栄ほか、2011）。竣工から 1978 年宮城県沖地震、耐震改修、そして今回の本震以降まで、固有周期は振幅依存性を示しながら変化していることがわかる。

入力は１Hz 弱で卓越しており、建物周期が伸びるにしたがって共振することで進行性破壊を生じたと考えられる。東北大学青葉山キャンパスでは同時期に建設された他の９階建建物３棟が甚大な損傷を受けたことからも、地盤との共振の可能性が高い。

以上の結果から、南海トラフ地震に備えて、一般的な中低層建物では、少なくとも建物の周期の変化をとらえられる観測体制により継続的な観測記録を蓄積し、被災による損傷や劣化を評価できることが有効であるといえる。

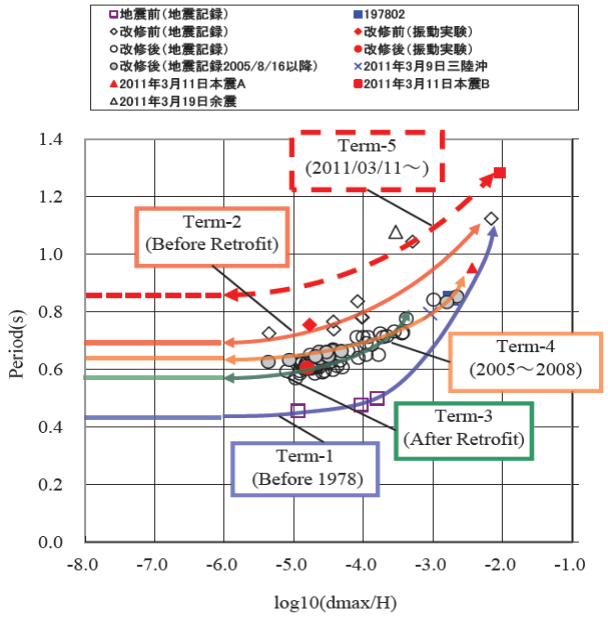


図３－１－③－２　顕著な被災を受けた建物の層間変形と固有周期の変化

e)　超高層建物の強震記録

日本建築学会構造委員会では、2007 年度から内閣府「長周期地震動対策に関する検

討業務」により長周期地震動に対する超高層建物等の対応を検討した。2011 年度には、超高層建物の地震観測記録の収集をはじめ、建物被害状況、地震後対応、体験者へのアンケートなどの調査が行われた。地震観測記録の分析結果を以下に整理する。

入力地震動は、仙台では告示波と同レベルで５分以上、東京では告示波の半分程度で 10 分以上揺れたが、超高層建物に補修を必要とするような構造被害は起きなかったとされている。応答について図３－１－③－３にまとめた。宮城県では最下層で 200～300gal、最上階で S 造は 300～450gal、RC 造は 450～600gal、首都圏では最下層で 50～150gal、最上階で 100～400gal、関西の最上階で 20～120gal 程度である。地域ごとに見れば建物による増幅傾向の差は大きくない。頂部最大揺れ幅は RC 造集合住宅で片振幅 50cm、変形角で 1/200、S 造事務所で片振幅 90cm、変形角で 1/250 程度である。特に東京湾岸では、周辺に比べて２倍程度大きい揺れとなっていることもわかる。

大阪府咲洲庁舎（55 階）では、建築研究所の強震計が設置されて間もなく観測記録が得られた。図３－１－③－４に応答波形とスペクトル等をまとめて示す（鹿嶋他、2012)。1 階では振幅 30gal、８cm 程度の揺れが、最上階では 120gal、130cm 以上まで増幅し、10 分以上継続している。１階の応答スペクトルは告示波より低いが、５～７秒に明確なピークがある。一方、フーリエ振幅スペクトル比から建物の固有周期は水平２方向ともに６～７秒であり、地盤入力と上部構造が共振に近い状況となっている。

この建物では構造躯体には顕著な損傷はなかったものの、内装材や防火戸などに 360 箇所もの被害を生じたため、直後の継続使用や耐震補強が問題となり、制震補強がなされている。震源から 700km 以上遠方でも、地震動、地盤条件や建物特性の一致によりこれほど大きな応答を生じたことは、耐震設計にあたってきわめて重要な知見であり、その後の超高層建物の入力地震動設定にもつながっている。東海地域でも、建築研究所や企業・大学などにより超高層建物の観測が行われており、深部地盤による卓越周期との共振の検討などが行われている（本報告書３．２．④など)。

f)　免震・制振建物の強震記録

日本免震構造協会では、東日本大震災における免震・制振建物の状況と課題について調査・検討している（日本免震構造協会、2012)。強震観測記録の収集も行われ、免震建物 20 棟、制振建物 18 棟などについて、観測記録の波形、スペクトル解析、固有モード解析などを統一的に行い、詳細な資料としてまとめている。けがきによる免震層の相対変位記録が得られた免震建物もある。結果として、広い範囲の免震建物で、免震層に５～40cm の変形が発生したこと、長周期地震動であっても免震効果は発揮されたこと、継続時間の長い本震と多数回の余震により繰返し振動を受けて免震装置に変状が発生した例があること、免震エキスパンションジョイントの不作動とそれに伴う損傷の例があったこと、などがまとめられている。

免震・制振建物の最大加速度増幅に関しては、上述の建築学会長周期建物地震対応小委員会にも記載があり、図３－１－③－５に示す。これより免震建物は、おおむね十分な加速度低減効果を示していることなどが確認できる。

南海トラフ被災域では多くの庁舎、病院、重要建物等が免震化されており、地震観測記録も得られつつある。免震建物の設計性能と入力地震動の関係を精査するために

も、建物観測体制の推進と記録の活用が必要である。

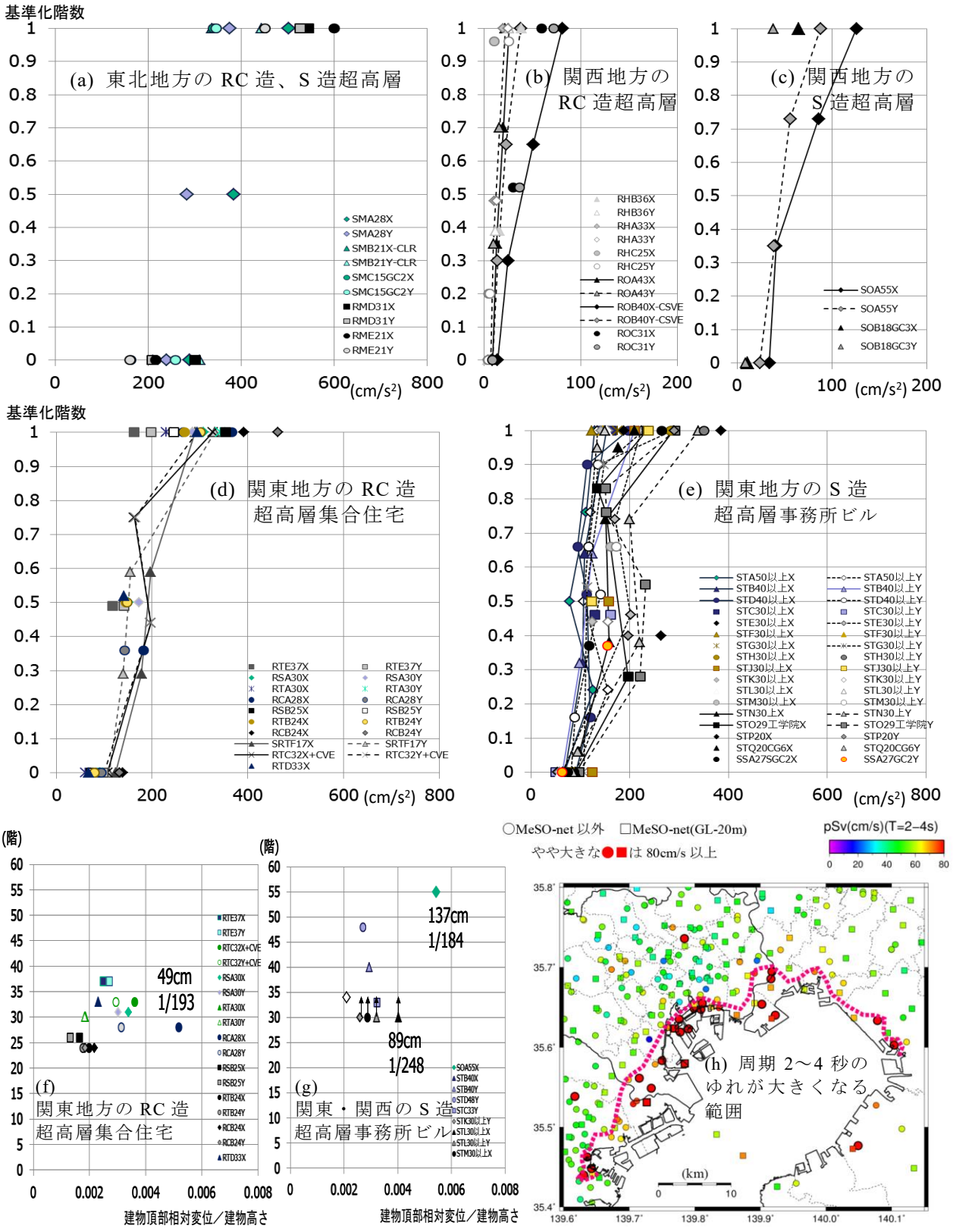
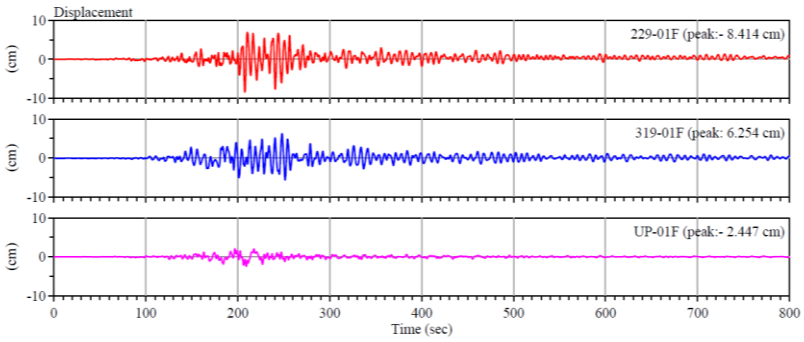
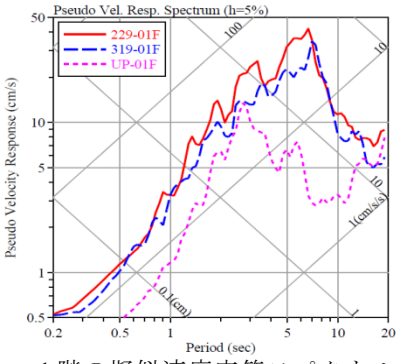


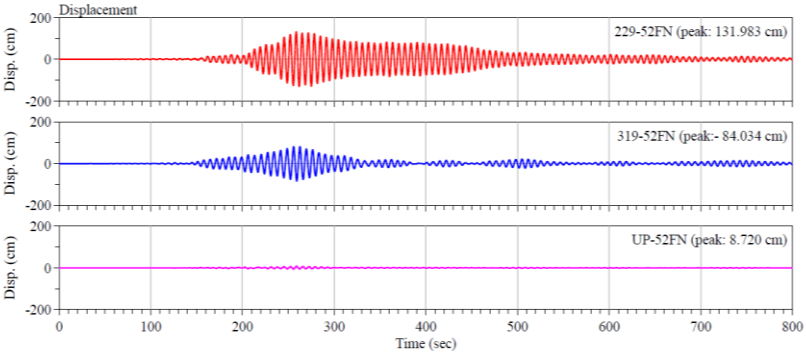
図３－１－③－３　東北・関東・関西の超高層建物の応答特性



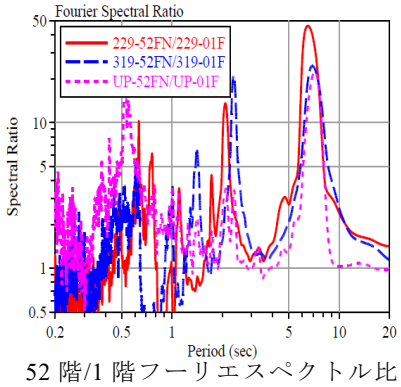
1 階の変位記録



1 階の擬似速度応答スペクトル



52 階の変位記録



52 階/1 階フーリエスペクトル比

図３－１－③－４　大阪の超高層建物の応答特性

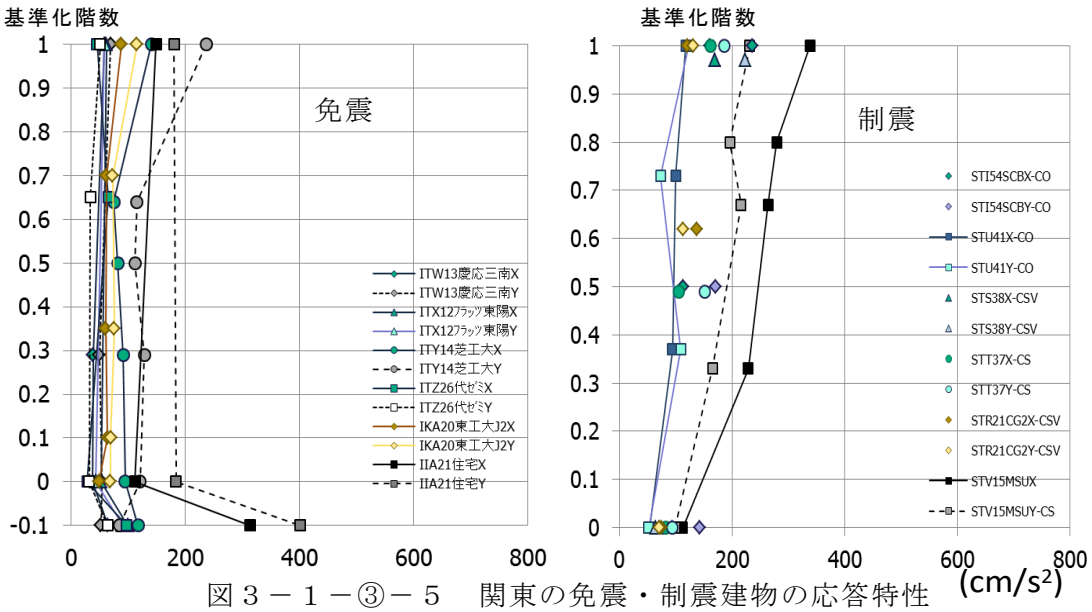


図３－１－③－５　関東の免震・制震建物の応答特性

3） 地盤・土構造物

図３－１－③－６は、検討対象とした碧南市蜆川下流域で実施されたボーリング柱状図（碧南市、2017）および柱状図から推定した地層構成である。沖積層は砂質土と粘性土（シルト）の互層となっており、その下部に洪積層が存在する。地表付近の砂質土層の N値は 10 以下と小さく、液状化の危険性が高いことがわかる。また、砂質土層の下部に堆積する粘性土層の N値は１～３程度と軟弱な状態にあり、層厚に関しては、右岸側で 20m と厚いのに対し、左岸側では薄くなることも特徴である。

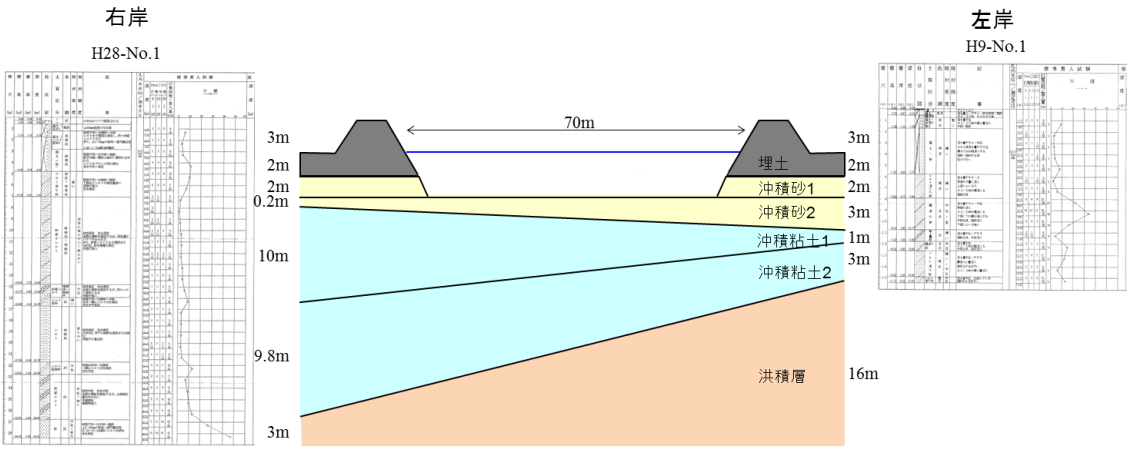


図３－１－③－６　蜆川下流域の地層構成図

このような断面に対して、FL 法（公益社団法人日本道路協会、2017）を用いて液状化危険度評価を行った[8)]。液状化簡易判定ソフト CKC-Liq（中央開発㈱）を用いて実施した判定結果を図３－１－③－７から図３－１－③－10 に示す。判定は道路橋示方書基準に従い、地域区分は A1（地域補正係数 c_z=1.0、c_{Iz}=1.2、c_{IIz}=1.0）、地盤種別はⅢ種地盤とした。判定結果を見ると、レベル１地震動の場合は砂層の一部で F_L値が 1.0 以下となって液状化するが、F_Lの値は比較的大きい。地層全体の液状化可能性指数 P_L値は左岸で 3.19、右岸で 0.84 と５未満であり、表３－１－③－２によると、「液状化による影響は小さい」と判定される。一方、レベル２地震動の場合、地下水位以下の砂質土層のほとんどで F_L値が 1.0 以下となって液状化を示す。想定地震動がプレート境界型の大規模な地震による地震動（タイプⅠの地震動）の場合、P_L値は左岸で 24.19、右岸で 19.52 と非常に大きく、「液状化による影響は非常に大きい」「液状化による影響は大きい」と判定される。図３－１－③－７から図３－１－③－10 中には、Dcy 法（一般社団法人日本建築学会、2001）による液状化に伴う地盤沈下量も示している。地震後の沈下量はレベル２地震動で 0.20m～0.28m と推定された。



標尺 m	柱状図	地層深度 m	層厚 m	γt kN/m3	γsat kN/m3	γ′ kN/m3	計算深度 m	N値	σv kN/m2	σv′ kN/m2	Fc %	Pc %	Ip	D50 mm	D10 mm	計算式の種別	レベル1地震動 R	L	FL	低減係数 DE
							1.30	9	11.70	11.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
		1.70	1.70	9.00	19.00	9.00	2.30	3	20.70	20.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
							3.30	3	29.70	29.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
							4.30	4	38.70	38.70	8.5			0.731	0.143	S	0.169	0.140	1.206	1
5		5.75	4.05	9.00	19.00	9.00	5.30	8	57.70	47.70	8.5			0.731	0.143	S	0.230	0.167	1.377	1
							6.30	3	75.60	55.60	13.3			0.990	0.160	S	0.144	0.185	**0.778**	2/3
		7.90	2.15	7.00	17.00	7.00	7.30	6	92.60	62.60	7.0			0.990	0.160	S	0.188	0.198	**0.950**	2/3
							8.30	22	109.60	69.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
							9.30	34	126.60	76.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
10		10.75	2.85	7.00	17.00	7.00	10.30	16	143.60	83.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
		11.80	1.05	7.00	17.00	7.00	11.30	4	160.60	90.60	20.0		9.7	0.500	0.013	S	0.161	0.221	**0.727**	1
		12.60	0.80	7.00	17.00	7.00	12.30	15	177.60	97.60	74.5		9.7	0.500	0.013	S	8.733	0.223	39.235	1
							13.30	12	192.50	102.50	74.5		9.7	0.500	0.013	S	2.095	0.226	9.292	1
		14.90	2.30	4.00	14.00	4.00	14.30	6	206.50	106.50	66.8		9.7	0.500	0.013	S	0.276	0.228	1.210	1
15		15.45	0.55	7.00	17.00	7.00	15.30	13	221.70	111.70	43.2		9.7	0.500	0.013	S	0.337	0.229	1.470	1
20																				

レベル1地震動：C_z = 1.00、K_{hg0} = 0.15、K_{hg} = 0.15

N値の深度分布 ●　FLの深度分布　レベル1地震動 △

P_L	3.19
C_{NL}	0.00
沈下量	0.16 m

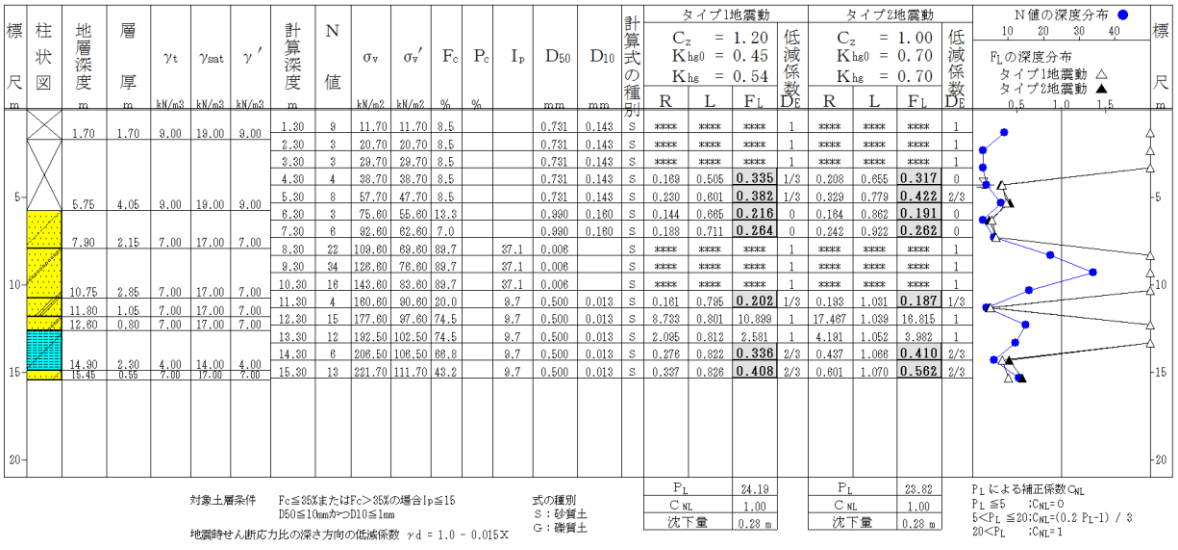
対象土層条件　Fc≦35%またはFc>35%の場合Ip≦15
D50≦10mmかつD10≦1mm

地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数　γd = 1.0 - 0.015X

式の種別　S：砂質土　G：礫質土

P_Lによる補正係数C_{NL}
P_L ≦5　：C_{NL}=0
5<P_L ≦20：C_{NL}=(0.2 P_L-1) / 3
20<P_L　：C_{NL}=1

図３－１－③－７　左岸側での FL 判定結果（レベル１地震動）



標尺 m	柱状図	地層深度 m	層厚 m	γt kN/m3	γsat kN/m3	γ′ kN/m3	計算深度 m	N値	σv kN/m2	σv′ kN/m2	Fc %	Pc %	Ip	D50 mm	D10 mm	計算式の種別	タイプ1地震動 R	L	FL	低減係数 DE	タイプ2地震動 R	L	FL	低減係数 DE
							1.30	9	11.70	11.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
		1.70	1.70	9.00	19.00	9.00	2.30	3	20.70	20.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
							3.30	3	29.70	29.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
							4.30	4	38.70	38.70	8.5			0.731	0.143	S	0.169	0.505	**0.335**	1/3	0.208	0.655	**0.317**	0
5		5.75	4.05	9.00	19.00	9.00	5.30	8	57.70	47.70	8.5			0.731	0.143	S	0.230	0.801	**0.382**	1/3	0.329	0.779	**0.422**	2/3
							6.30	3	75.60	55.60	13.3			0.990	0.160	S	0.144	0.665	**0.216**	0	0.164	0.862	**0.191**	0
		7.90	2.15	7.00	17.00	7.00	7.30	6	92.60	62.60	7.0			0.990	0.160	S	0.188	0.711	**0.264**	0	0.242	0.922	**0.262**	0
							8.30	22	109.60	69.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							9.30	34	126.60	76.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
10		10.75	2.85	7.00	17.00	7.00	10.30	16	143.60	83.60	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
		11.80	1.05	7.00	17.00	7.00	11.30	4	160.60	90.60	20.0		9.7	0.500	0.013	S	0.161	0.795	**0.202**	1/3	0.193	1.031	**0.187**	1/3
		12.60	0.80	7.00	17.00	7.00	12.30	15	177.60	97.60	74.5		9.7	0.500	0.013	S	8.733	0.801	10.899	1	17.467	1.039	16.815	1
							13.30	12	192.50	102.50	74.5		9.7	0.500	0.013	S	2.095	0.812	2.581	1	4.191	1.052	3.982	1
							14.30	6	206.50	106.50	66.8		9.7	0.500	0.013	S	0.276	0.822	**0.336**	2/3	0.437	1.066	**0.410**	2/3
15		14.90	2.30	4.00	14.00	4.00	15.30	13	221.70	111.70	43.2		9.7	0.500	0.013	S	0.337	0.826	**0.408**	2/3	0.601	1.070	**0.562**	2/3
		15.45	0.55	7.00	17.00	7.00																		
20																								

タイプ1地震動：C_z = 1.20、K_{hg0} = 0.45、K_{hg} = 0.54
タイプ2地震動：C_z = 1.00、K_{hg0} = 0.70、K_{hg} = 0.70

N値の深度分布 ●　FLの深度分布　タイプ1地震動 △　タイプ2地震動 ▲

P_L	24.19	23.82
C_{NL}	1.00	1.00
沈下量	0.28 m	0.28 m

対象土層条件　Fc≦35%またはFc>35%の場合Ip≦15
D50≦10mmかつD10≦1mm

地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数　γd = 1.0 - 0.015X

式の種別　S：砂質土　G：礫質土

P_Lによる補正係数C_{NL}
P_L ≦5　：C_{NL}=0
5<P_L ≦20：C_{NL}=(0.2 P_L-1) / 3
20<P_L　：C_{NL}=1

図３－１－③－８　左岸側での FL 判定結果（レベル２地震動）



標尺 m	柱状図	地層深度 m	層厚 m	γt kN/m3	γsat kN/m3	γ′ kN/m3	計算深度 m	N値	σv kN/m2	σv′ kN/m2	Fc %	Pc %	Ip	D50 mm	D10 mm	計算式の種別	R	L	FL	低減係数 DE
							1.30	6	11.70	11.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
		1.75	1.75	9.00	19.00	9.00	2.30	3	20.70	20.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
							3.30	4	29.70	29.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1
		4.80	3.05	9.00	19.00	9.00	4.30	11	47.70	38.70	8.5			0.538	0.140	S	0.281	0.173	1.624	1
5							5.30	10	65.70	46.70	4.2			1.206	0.298	S	0.258	0.194	1.329	1
		7.05	2.25	7.00	17.00	7.00	6.30	7	82.70	53.70	13.3			1.173		S	0.219	0.209	1.045	1
							7.30	2	98.95	59.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
							8.30	1	112.95	63.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
							9.30	2	126.95	67.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
							10.30	3	140.95	71.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1
10							11.30	3	154.95	75.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1
							12.30	3	168.95	79.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1
							13.30	4	182.95	83.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1
		14.80	7.75	4.00	14.00	4.00	14.30	4	196.95	87.95	66.8		41.0	0.017		S	****	****	****	1
15		15.60	0.80	4.00	14.00	4.00	15.30	6	210.95	91.95	43.2		41.0	0.093		S	****	****	****	1
		16.70	1.10	7.00	17.00	7.00	16.30	9	227.05	98.05	24.3			0.266		S	0.239	0.262	**0.911**	1
							17.30	3	242.25	103.25	24.3			0.266		S	0.145	0.261	**0.556**	2/3
							18.30	3	256.25	107.25	98.6		78.6	0.002		S	****	****	****	1
							19.30	3	270.25	111.25	98.6		78.6	0.002		S	****	****	****	1
							20.30	3	284.25	115.25	98.2		62.8	0.001		S	****	****	****	*
20		21.70	5.00	4.00	14.00	4.00	21.30	4	298.25	119.25	98.2		62.8	0.001		S	****	****	****	*

レベル1地震動
C_z = 1.00
K_{hg0} = 0.15
K_{hg} = 0.15

P_L	0.84
C_{NL}	0.00
沈下量	0.12 m

対象土層条件　Fc≦35%またはFc>35%の場合Ip≦15
D50≦10mmかつD10≦1mm

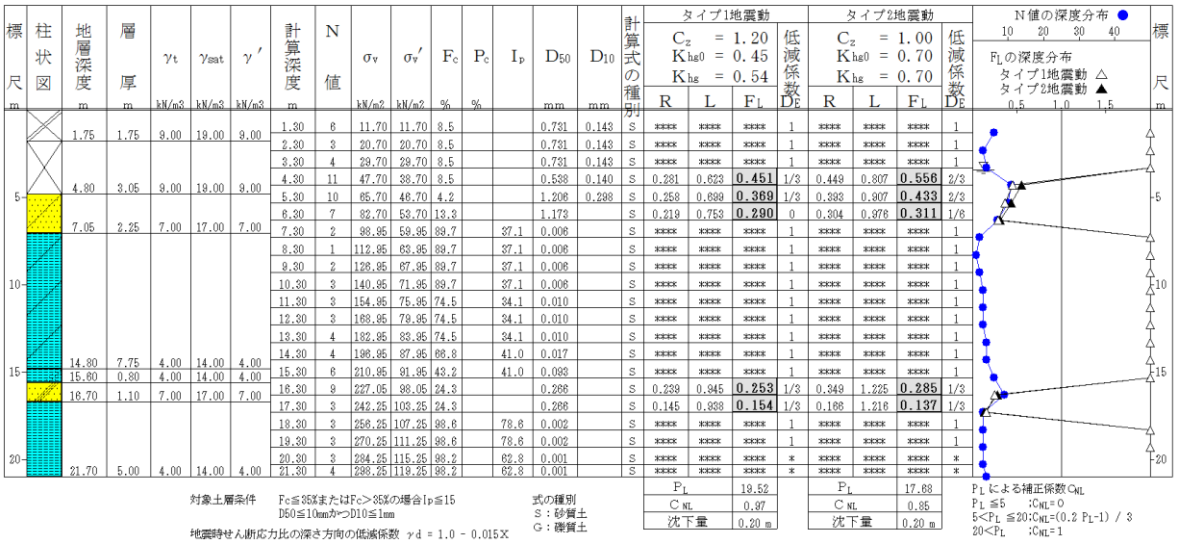
地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 γd = 1.0 - 0.015X

式の種別
S：砂質土
G：礫質土

N値の深度分布
F_Lの深度分布
レベル1地震動 △

P_Lによる補正係数C_{NL}
P_L ≦5　:C_{NL}=0
5<P_L ≦20:C_{NL}=(0.2 P_L-1) / 3
20<P_L　:C_{NL}=1

図３－１－③－９　右岸側での FL 判定結果（レベル１地震動）



標尺 m	柱状図	地層深度 m	層厚 m	γt kN/m3	γsat kN/m3	γ′ kN/m3	計算深度 m	N値	σv kN/m2	σv′ kN/m2	Fc %	Pc %	Ip	D50 mm	D10 mm	計算式の種別	タイプ1 R	タイプ1 L	タイプ1 FL	タイプ1 低減係数 DE	タイプ2 R	タイプ2 L	タイプ2 FL	タイプ2 低減係数 DE
							1.30	6	11.70	11.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
		1.75	1.75	9.00	19.00	9.00	2.30	3	20.70	20.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
							3.30	4	29.70	29.70	8.5			0.731	0.143	S	****	****	****	1	****	****	****	1
		4.80	3.05	9.00	19.00	9.00	4.30	11	47.70	38.70	8.5			0.538	0.140	S	0.281	0.623	**0.451**	1/3	0.449	0.807	**0.556**	2/3
5							5.30	10	65.70	46.70	4.2			1.206	0.298	S	0.258	0.699	**0.369**	1/3	0.393	0.907	**0.433**	2/3
		7.05	2.25	7.00	17.00	7.00	6.30	7	82.70	53.70	13.3			1.173		S	0.219	0.753	**0.290**	0	0.304	0.978	**0.311**	1/6
							7.30	2	98.95	59.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							8.30	1	112.95	63.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							9.30	2	126.95	67.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							10.30	3	140.95	71.95	89.7		37.1	0.006		S	****	****	****	1	****	****	****	1
10							11.30	3	154.95	75.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							12.30	3	168.95	79.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							13.30	4	182.95	83.95	74.5		34.1	0.010		S	****	****	****	1	****	****	****	1
		14.80	7.75	4.00	14.00	4.00	14.30	4	196.95	87.95	66.8		41.0	0.017		S	****	****	****	1	****	****	****	1
15		15.60	0.80	4.00	14.00	4.00	15.30	6	210.95	91.95	43.2		41.0	0.093		S	****	****	****	1	****	****	****	1
		16.70	1.10	7.00	17.00	7.00	16.30	9	227.05	98.05	24.3			0.266		S	0.239	0.845	**0.253**	1/3	0.349	1.225	**0.285**	1/3
							17.30	3	242.25	103.25	24.3			0.266		S	0.145	0.938	**0.154**	1/3	0.166	1.216	**0.137**	1/3
							18.30	3	256.25	107.25	98.6		78.6	0.002		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							19.30	3	270.25	111.25	98.6		78.6	0.002		S	****	****	****	1	****	****	****	1
							20.30	3	284.25	115.25	98.2		62.8	0.001		S	****	****	****	*	****	****	****	*
20		21.70	5.00	4.00	14.00	4.00	21.30	4	298.25	119.25	98.2		62.8	0.001		S	****	****	****	*	****	****	****	*

タイプ1地震動
C_z = 1.20
K_{hg0} = 0.45
K_{hg} = 0.54

P_L	19.52
C_{NL}	0.97
沈下量	0.20 m

タイプ2地震動
C_z = 1.00
K_{hg} = 0.70
K_{hg} = 0.70

P_L	17.88
C_{NL}	0.85
沈下量	0.20 m

対象土層条件　Fc≦35%またはFc>35%の場合Ip≦15
D50≦10mmかつD10≦1mm

地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 γd = 1.0 - 0.015X

式の種別
S：砂質土
G：礫質土

N値の深度分布
F_Lの深度分布
タイプ1地震動 △
タイプ2地震動 ▲

P_Lによる補正係数C_{NL}
P_L ≦5　:C_{NL}=0
5<P_L ≦20:C_{NL}=(0.2 P_L-1) / 3
20<P_L　:C_{NL}=1

図３－１－③－10　右岸側での FL 判定結果（レベル２地震動）

表３－１－③－２　PL 法による液状化の判定区分

P_Lの区分	レベル１ 地震動	レベル2 地震動
判定対象外	液状化による影響なし	液状化による影響なし
$0 \leq P_L < 5$	液状化による影響は小さい	液状化による被害は小さい
$5 \leq P_L < 15$	液状化による影響は大きい	液状化による影響は大きい
$15 \leq P_L < 20$	液状化による影響は非常に大きい	液状化による影響は大きい
$20 < P_L$	液状化による影響は非常の大きい	液状化による影響は非常に大きい

図３－１－③－11 と図３－１－③－12 は、本プロジェクト 1-b で実施した *GEOASIA*（Noda et al., 2008）による地震応答解析結果であり、それぞれ、平均有効応力とせん断ひずみの分布を示す。解析は盛土部も飽和土として扱っており、豪雨直後のように、地下水位面が地表付近にあるもっとも危険な状態を想定している。解析に用いた地震動は、当該地点付近で想定される南海トラフ巨大地震モデル検討会による想定地震動の EW 成分であり、モデル地盤下端におけるせん断波速度 V_sに応じて補正（振幅を 1.53 倍）している（図３－１－③－13)。また、図３－１－③－14 と図３－１－③－15 はそれぞれ、左岸と右岸における盛土直下の層別沈下量を示す。

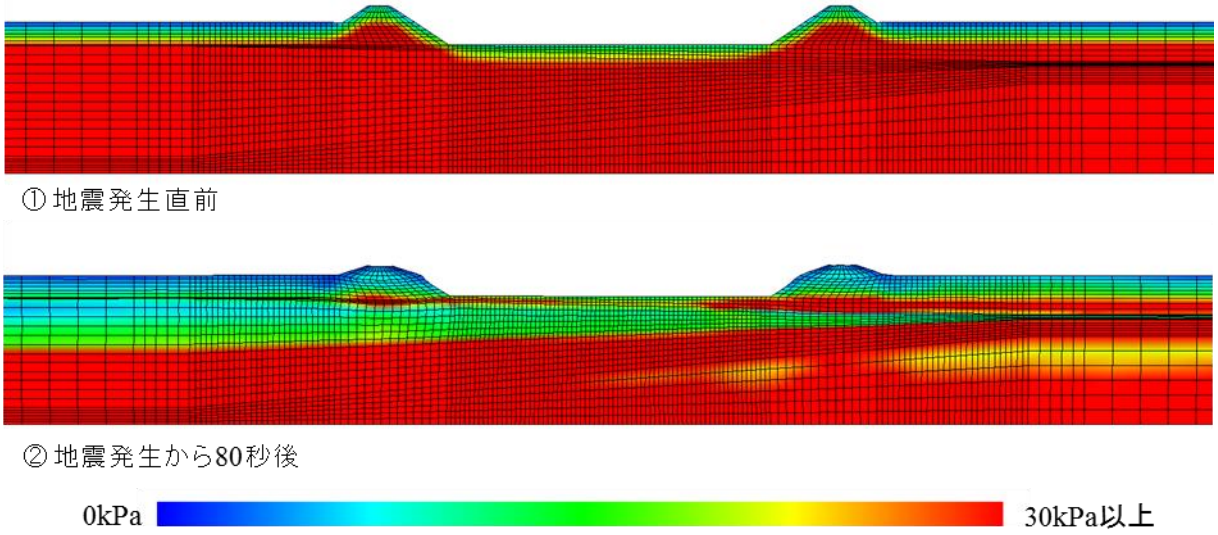


図３－１－③－11　平均有効応力分布

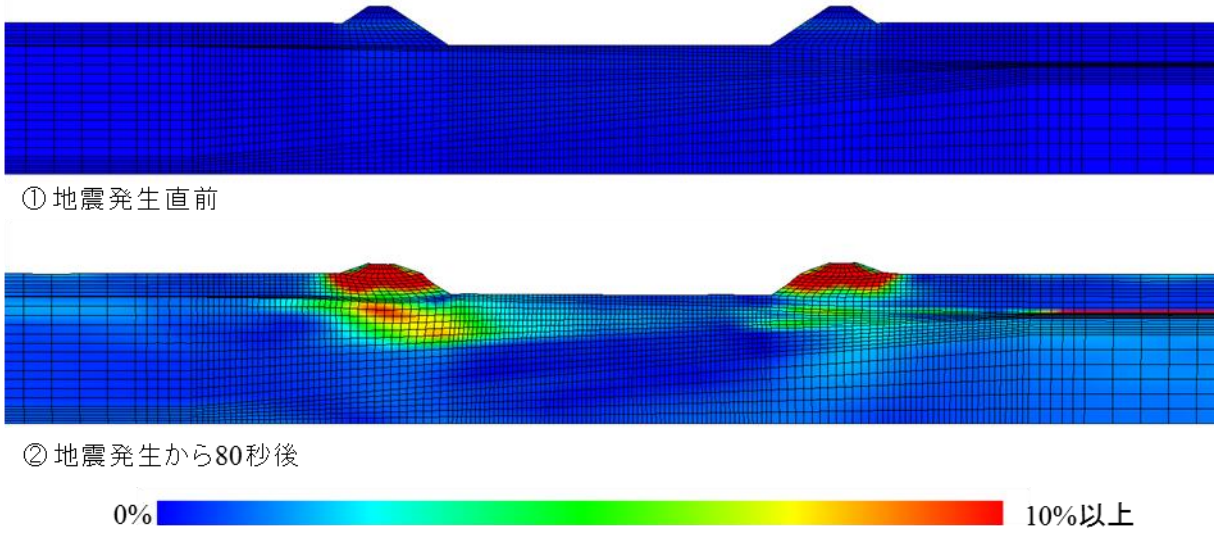


図３－１－③－12　せん断ひずみ分布

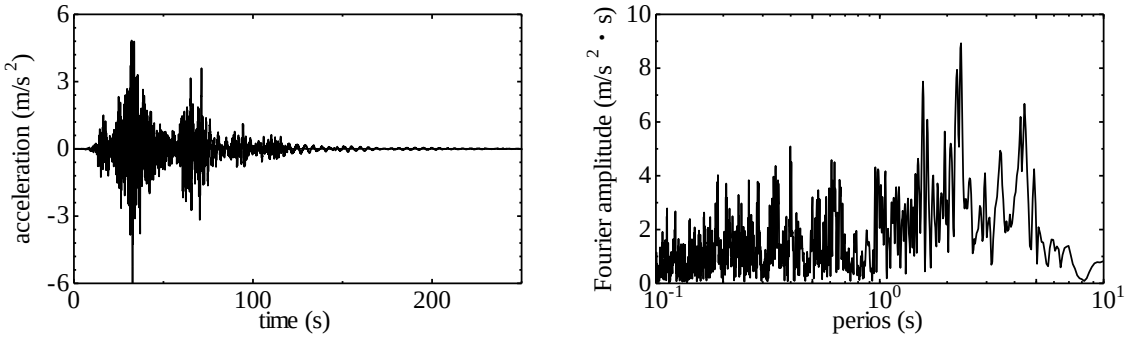


図３－１－③－13　入力地震動

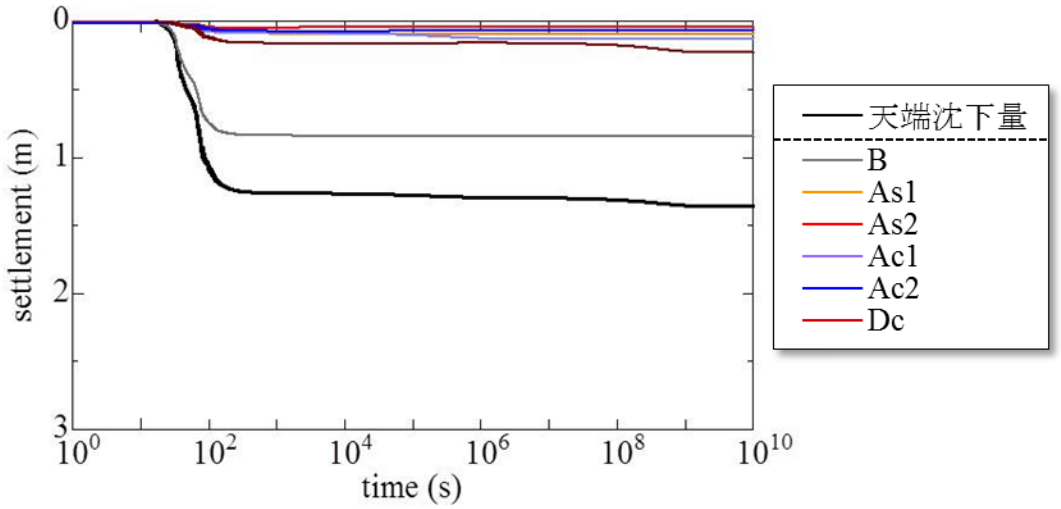


図３－１－③－14　左岸盛土直下の層別沈下量

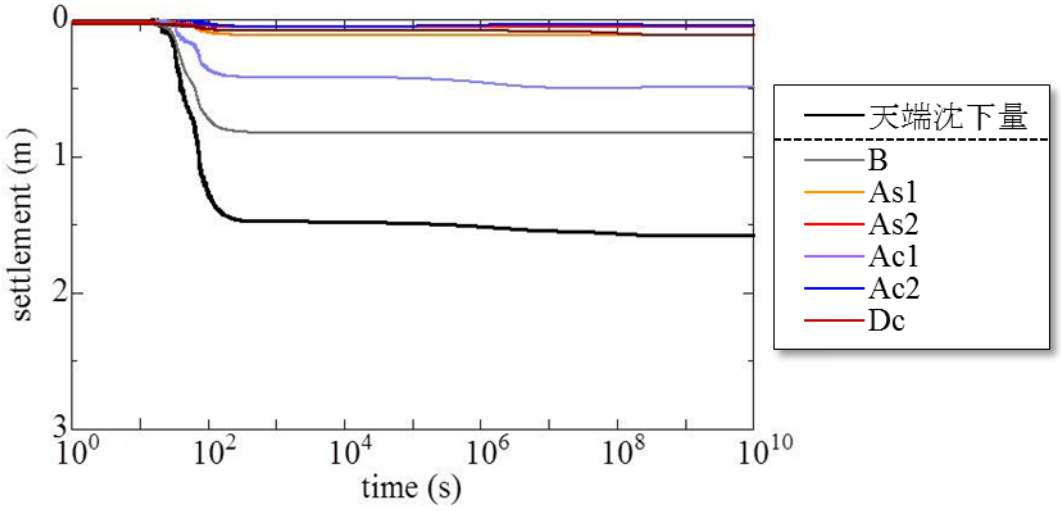


図３－１－③－15　右岸岸盛土直下の層別沈下量

図３－１－③－11 を見ると、地震中に盛土部およびその下の沖積砂１層で平均有効応力が低下していることから地盤が剛性を失っており、FL 法で液状化危険度が高いと判定されたことと一致する。せん断ひずみも盛土部および沖積砂１層で大きい。沖積砂層の沈下量を見ると、左岸で 0.14m、右岸で 0.17m となっており、Dcy 法による沈下予測量ともよく整合している。しかし、図３－１－③－12 を見ると、盛土や沖積砂層に加えて、沖積粘土１層でもせん断ひずみが大きくなっている。FL 判定では、①現地盤面から 20m 以深、②細粒分含有率が 35%以下の土層または細粒分含有率が 35%を超えても塑性指数が 15 以下の土層、③平均粒径が 1mm 以下でかつ 10%粒径が 0.005mm 以下の土層、は液状化判定の対象外、つまり液状化しないとあらかじめ判定されてしまう。今回の対象断面で言えば、沖積粘土１および沖積粘土２層は物理特性から非液状化層と判定される。しかし、地震応答解析結果を見ると、沖積粘土１層においても平均有効応力が低下し、せん断ひずみも盛土直下の当該層で局所的に大きくなる。先述の通り、沖積粘土１層は *N* 値が小さく軟弱な状態にある。盛土直下のように上載荷重を受ける場所においては、地震中のせん断変形が卓越して地盤が乱され、地震中の安定性が低下したためである。粘土層厚の厚い右岸の層別沈下量（図３－１－③－15）を見ると、沖積粘土１層において 0.5m と、大きな沈下が発生していることもわかる。

FL 法によると、今回対象とした碧南市蜆川下流域では、レベル２地震動に対しては、砂質土層のほとんどが液状化してしまい、液状化危険度は高いと判定された。*GEOASIA* による解析結果も、盛土直下の沖積砂１で著しく平均有効応力が低下し、砂質土層に関しては同じ傾向にあった。しかし、FL 法では非液状化と事前判定される粘性土層においても、*N* 値が小さく軟弱な沖積粘土１層で平均有効応力が低下し、せん断ひずみの増加と地震中～地震後の沈下が発生した。このような粘性土の地震時被害は FL 法では考慮することができない事案であり、対象地域のように軟弱粘土層が厚く堆積する地域においては、従来法を用いて地震被害予測を行うと、被害の見逃しや過小評価に繋がる危険性があることがわかった。

(d) 結論ならびに今後の課題

1）ライフライン（上水道）については、碧南市の水道施設の状況を調査、把握した上で、今後講じ得る減災施策案を９ケース掲げた。

次年度以降は、別途本プロジェクト 1-b で検討する被害想定（および、各種対策を講じた場合の減災効果）の結果を碧南市と共有し、取りまとめた減災施策の各々の実施可能性を考慮した上で、現実的かつ効果的な対策方針の策定につなげていく。

2）建築構造物については、国内の地盤・建物の強震観測状況を概観し、東日本大震災の特徴的な観測記録のまとめと、南海トラフ地震に向けた知見を整理し、今後の計測体制の拡充を課題として挙げた。

3）地盤・土構造物については、河川堤防を対象として、従来用いられる液状化判定法 FL 法の妥当性を確認するとともに、FL 法の課題を指摘した。今後は、軟弱地盤上の河川堤防に対して、耐震戦略としての止水対策や L1 対策の L2 地震動に対する耐震効果について、数値解析的に検証していく。

(e) 引用文献

1）碧南市水道ビジョン、
http://www.city.hekinan.aichi.jp/SUIDOUKA/bijyon/bijyon.htm

2）日本免震構造協会：応答制御建築物調査委員会報告書、2012.1.

3）鹿嶋俊英、小山信、大川出：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録、建築研究資料 No.135、建築研究所、2012.3.

4）日本建築学会構造委員会・長周期建物地震対応小委員会：長周期地震動対策に関する公開研究集会、2012.3.16.

5）飛田潤、鹿嶋俊英、中村充、植竹富一、山村一繁、栗田勝実、神原浩：国内の強震観測建物台帳の作成、日本建築学会技術報告集、第 20 巻、第 46 号、pp.901-904、2014.

6）源栄正人、三辻和弥、田中匠子、鹿嶋俊英、大野晋：2011 年東北地方太平洋沖地震における被害建物の地震前後の振動特性の変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、vol.B-2、pp.45-46、2011.8.

7）碧南市，平成 28 年度緊急防災対策河川工事の内地質調査業務委託(堤防耐震対策)報告書，2017.

8）公益社団法人日本道路協会（2017）：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編

9）中央開発株式会社、http://www.ckcnet.co.jp/csr/freesoftware/

10）一般社団法人日本建築学会（2001）：建築基礎構造設計指針

11）Noda, T., Asaoka, A., and Nakano, M. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model. Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790.

12）内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/

④強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価

(a) 業務の要約

2011 年東北地方太平洋沖地震の観測波形解析から得られた強震動・長周期地震動の特性に関する知見に基づき、南海トラフ巨大地震の強震動予測手法の高度化に資するために、不均質地下構造モデルを用いた地震波伝播シミュレーションにより、関東平野に行う長周期地震動の伝播・増幅と、震源の方位による都心部での長周期地震動レベルの変動（バラツキ）要因を評価した。３次元差分法シミュレーション結果に対しアレイ解析（Particle Motion 解析、Wave Gradiometry 解析）を適用し、平野内での表面波の伝播・増幅特性を詳しく調べた。そして、2004 年新潟県中越地震や 2004 年紀伊半島南東沖地震のように、それぞれ表面波が関東平野に対して北北西から、あるいは南西東側から入射した際には、平野の北東側の厚く溝状に延びた堆積層構造において表面波が Focusing 現象を起こして強く増幅されること､そして複数の伝播経路を通って表面波が都心に集中することで、振幅が大きく継続時間の長い長周期地震動が生成することが確認できた。一方、東北地方太平洋沖地震を含む、日本海溝の地震では、関東平野に対して北北東から入射する地震波が筑波山付近で周囲の低速度層に向けて散逸（Defocusing）し、その一部だけが都心へと向かうために、長周期地震動の振幅が大きくならないことが確認できた。以上から、平野の３次元不均質構造が長周期地震動の増幅特性の強い方位性依存性を作り出すことが確認できた。

(b) 業務の成果

関東平野における長周期地震動の生成・増幅には強い方位依存性があり、南海トラフの地震では長周期地震動の震幅が大きく揺れの継続時間が長くなるのに対し（Furumura et al., 2008)、東北方向で発生した地震では長周期地震動が弱いことが指摘されている（古村、2014 ; Furumura, 2014; 植竹、2012; 湯沢・南雲、2012)。同様の長周期地震動生成の地震依存性は、濃尾平野（平井・福和、2016）など、他の平野でも指摘されている。

図３－１－④－1 に、2004 年新潟県中越地震（M6.8;h=５ km）と 2011 年福島県浜通りの地震（M6.6;h=５km）の K-NET 強震観測記録（速度波形 NS 成分）を用いて、震源～関東平野にかけての長周期地震動の伝播・生成の特徴を比較する。二つの地震は、深さと規模（M）ともに同程度であるが、福島県浜通りの地震では関東平野内の長周期地震動の振幅が小さく、大地震の際にしばしば観測される、周期６~８秒のＳ波の後続相がほとんど見られないことがわかる。新潟県中越地震の観測記録に見られる、震源近傍での表面波も小さく、震源からの放射特性にも違いがあると考えられる。

本研究では、関東平野における長周期地震動生成の方位依存性を、2004 年新潟県中越地震（M6.8; h=８km）と 2011 年福島県浜通りの地震（M6.8; h=８km）の３次元地震波伝播シミュレーションに基づき検討した。

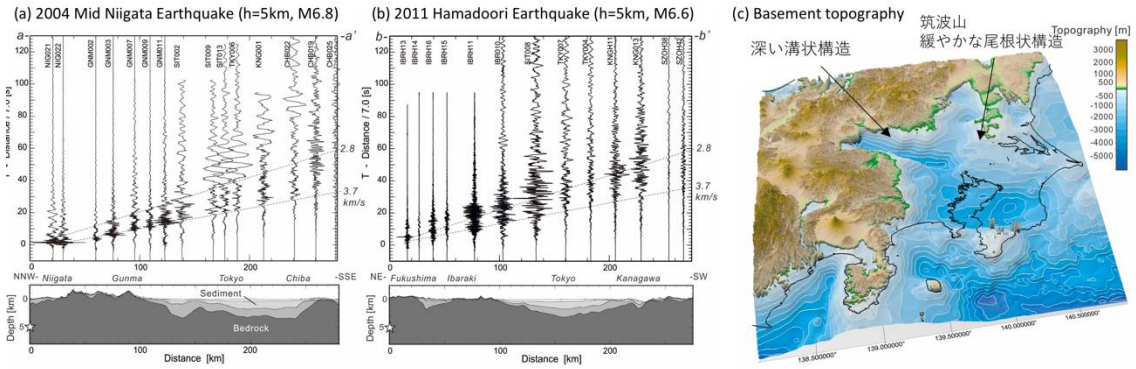


図３－１－④－１　震源から関東平野にかけての地震波の伝播と関東平野での長周期地震動の生成・増幅特性。(a)2004 年新潟県中越地震、(b) 2011 年浜通りの地震。いずれも地動速度 Radial 成分を示す。(c)関東平野の地形・基盤の深度分布図。二つの地震は深さ、規模ともにほぼ等しいが、福島県浜通りの地震では都心での長周期地震動（周期６～８秒）の生成・増幅が弱いことがわかる。

図３－１－④－２に示す東経 136.8～141.95 度、北緯 N34.3～38.45 度、深さ０～40 km の範囲（460.8 km×460.8 km×40 km）を、0.12 km の格子間隔で離散化し、全国１次地下構造モデル(JIVSM; Koketsu et al., 2012)を用いて平野内での長周期地震動の増幅過程を評価した。５km 間隔に置いた仮想観測点でのシミュレーション波形に対し、振動軌跡(Particle motion；PM)解析と、波動場勾配（Wave Gradiometry；WG）解析（Langston,2007; Maeda et al., 2016)を行った。PM 解析では、変位波形に対して周期７秒のバンドパスフイルタを施し、７秒の Time window における地表面の振動軌跡を描いた。WG 解析は、地震波動場の局所的な勾配から地震波の空間的なスローネス(伝播方向と位相速度）を評価する手法であり、変位波形の上下動成分に適用することで平野内の Rayleigh 波の伝播特性を調べた。

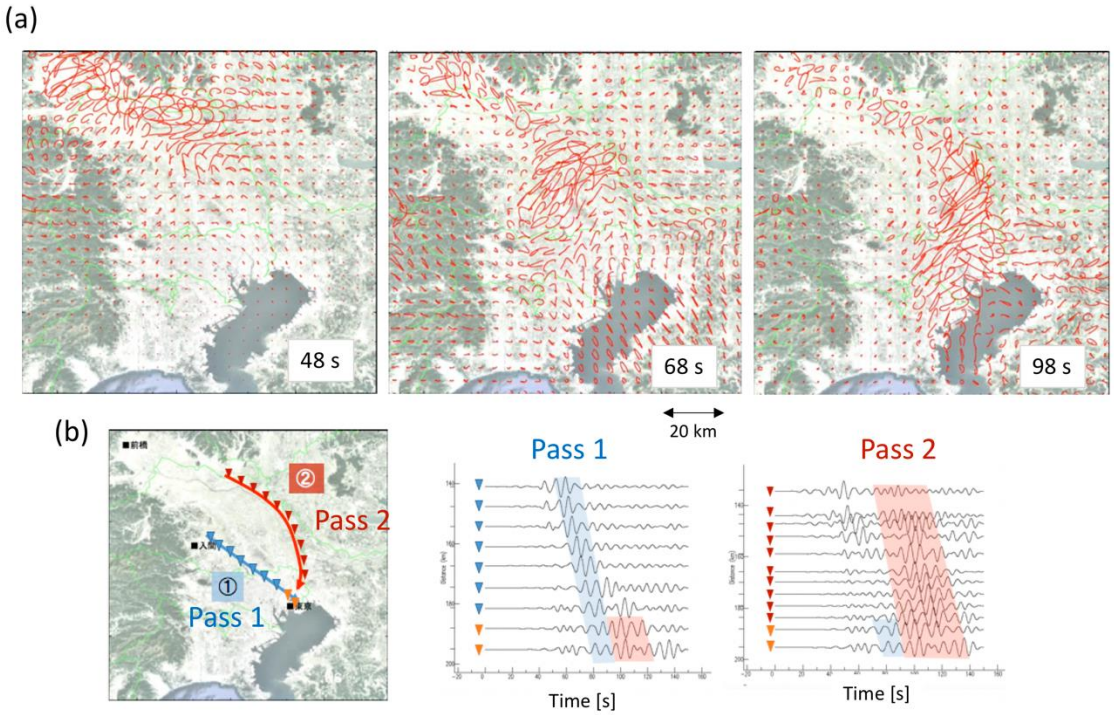


図３－１－④－２　2004 年新潟県中越地震の３次元地震波伝播シミュレーション結果に対して行った Particle Motion（PM）解析。(a) 地震発生から 48s, 68s, 98s 後の、周期７秒前後の表面波の振動軌跡。(b) 入間～都心にかけての伝播経路（Pass１）と高崎～都心にかけての伝播経路（Pass ２）に沿ったレコードセクションと表面波群（それぞれ、青と赤でハッチをかけた波群）、二つの経路から都心へ表面波が集中（マルチパス）する様子。

1）2004 年新潟県中越地震

図３－１－④－３に 2004 年新潟県中越地震のシミュレーション結果の PM 解析のスナップショット（地震発生から 48、68、98 秒後）を示す。

関東平野の厚い堆積層において周期７秒前後の表面波が数倍に強く増幅され、そして複数の経路を通って都心へと向かう様子が見られる。一つ目の表面波群は、平野北西部（群馬県前橋市付近）の溝状の厚い堆積層で強く増幅されたものであり、震動軌跡が伝播方向に対し直交又は平行してことから、Rayleigh 波と Love 波が混合した波群であると判断できる。別の大振幅の表面波群として、関東平野の西縁山地を速い速度で南下した後に、入間～国分寺付近で都心へと方向転換して伝播するものも確認できた。こうして、複数の伝播経路から表面波が集まる（マルチパス）ことで、都心に大振幅かつ長時間揺れが継続する長周期地震動が生成することが理解できた。また、PM 解析から、平野北西部の溝状の堆積層で強く増幅された表面波は、１ km/s 以下の遅い速度で都心に向けて南下し、西方から到来する表面波と合流することが確認できた。なお、関東平野における表面波のマルチパス現象は、2011 年長野県北部地震や、南海トラフ沿いの想定地震（ここで評価した二つの地震と同距離の磐田市付近に震源を置いた仮想地震）など、関東平野の西方を震源とする地震において共通して見られるこ

ともシミュレーションから確認した。また、表面波のマルチパス現象は、周期１~５秒の短周期の表面波では確認できなかったことから、関東平野の堆積層の不均質構造(溝状構造）のスケールで規定された周期帯の表面波が強く影響を受けると考えられる。

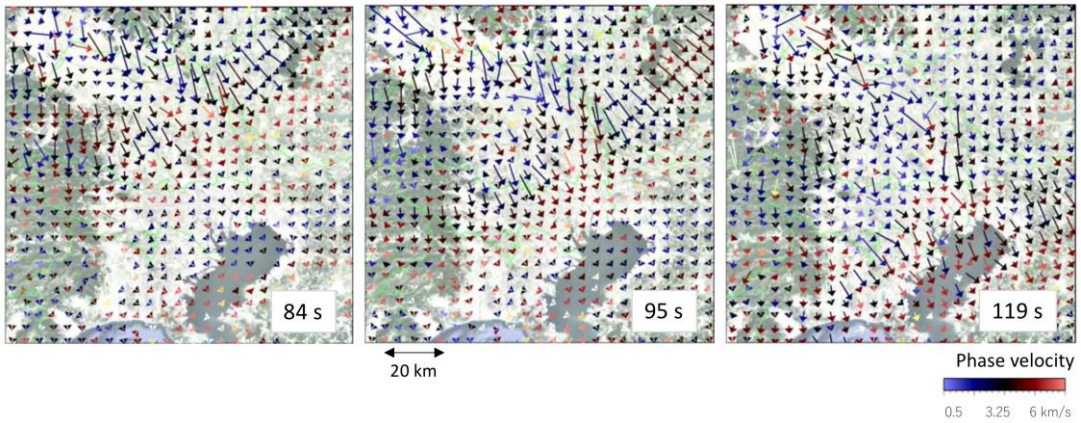


図３－１－④－３　2004 年新潟県中越地震の３次元地震波伝播シミュレーション結果に対して行った、Wave Gradiometry (WG)解析。地震発生から 84s, 95s, 119s 後の、周期７秒前後の表面波の振動方向（矢印）と位相速度（色）を表す。関東平野の北西部の溝状の堆積層に沿って伝わる表面波と、平野の西側の山地に沿って伝わり東に伝播方向を転換した二つの表面波群が都心に集まる様子が確認できる。

2) 2011 年福島県浜通りの地震

2011 年福島県浜通りの地震のシミュレーション結果に対して行った PM 解析と WG 解析の結果を図３－１－④－４に示す。

PM 解析から確認された表面波の振動方向は、波の伝播方向(北東方向)と一致することから、Reyleigh 波であることが確認できた。また、PM 解析と WG 解析のスナップショットから、筑波山周辺の基盤が尾根状に高まった構造を通過する過程で、表面波が周囲に広がる（Defocus する）様子が確認できた。都心へは、広がった表面波の一部のみが到達する。2004 年新潟県中越地震と同様に、平野の北西部の溝状構造での表面波の増幅は起きるが、その表面波は西方へと伝わるために、都心の長周期地震動には寄与しない。

以上の表面波伝播の特徴は、関東方向から見て北～北東側で発生する地震に共通する現象であることも確認でき、2011 年東北地方太平洋沖地震を含む、東北地方の地震（日本海溝の地震）において関東平野での長周期地震動を小さくする原因と考えられる。

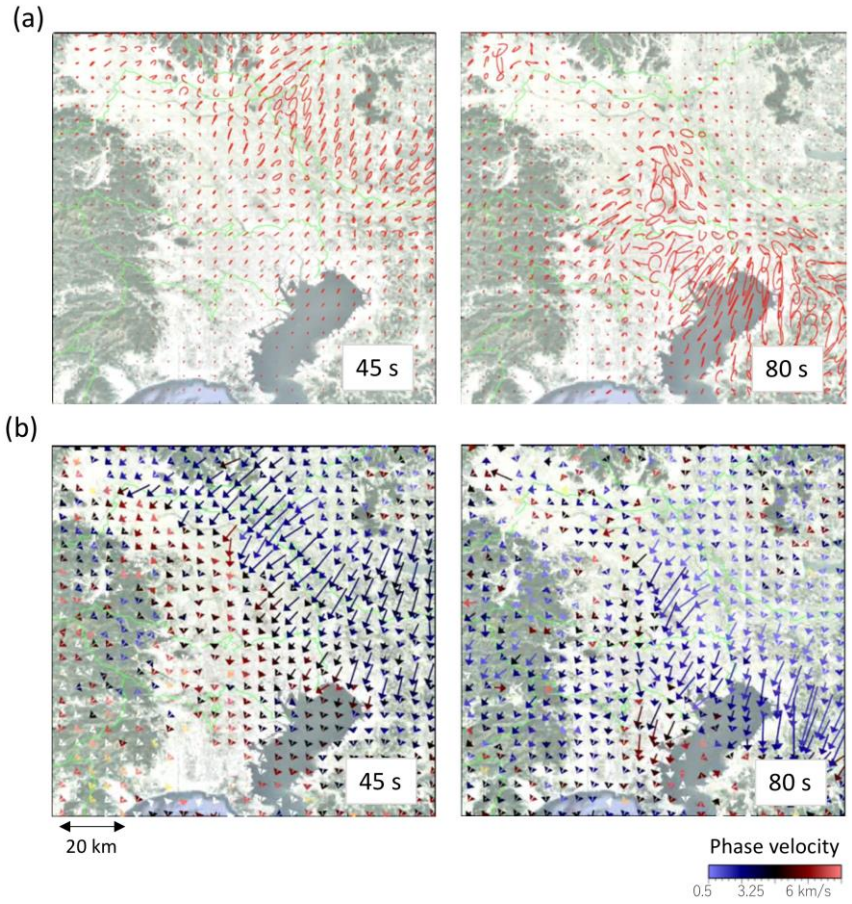


図３－１－④－４　2011 年福島県浜通りの地震の３次元地震波伝播シミュレーション結果に対する、(a) PM 解析、及び(b) WG 解析の結果。いずれも、地震発生から 45s と 80s　後のスナップショットを表す。関東平野に対して北東方向からの表面波の入射において、表面波が筑波山付近をから周囲に広がる結果、表面波の一部のみが都心に向かうために、震幅が小さくなることが確認できる。

(c) 結論ならびに今後の課題

関東平野の地下の不均質な堆積層構造により、長周期地震動の生成強度には地震波の入射方向の強い依存性があることが確認できた。長周期地震動の生成を考える際に、堆積層の深さだけでなく、堆積層の局所的な水平不均質性による表面波伝播のマルチパス効果の考慮が重要であることがわかった。マルチパスにより長周期地震動の振幅に加え、揺れの継続時間が長くなることも重要である。こうした、堆積平野の構造不均質性と長周期地震動生成の震源方位依存性は、他の大型平野（大阪平野や濃尾平野など）でも起きることが想定される。南海トラフ地震による長周期地震動評価に向けて、観測波形解析と地震波伝播シミュレーションに基づく評価が必要である。

(d) 引用文献

古村孝志，関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク，地学雑誌，123(4)，434-450，2014，doi:10.5026/jgeography.123.434.

Furumura, T., Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 Earthquake, Journal of Disaster Research, J. Disast. Res., 9(3), p281-p293, 2014, doi:10.20965/jdr.2014.p0281.
Furumura, T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba, Development of long-period ground motions from the Nankai Trough, Japan, earthquakes: Observations and computer simulation of the 1944 Tonankai (Mw8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula (Mw7) Earthquakes, Pure Appl. Geophys., 165(3), p585-p607, 2008, doi:10.1007/s00024-008-0318-8.
平井敬・福和伸夫, 大阪堆積盆地上の長周期地震動の震源位置による変動, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) ８月, 2012.
Koketsu, K., Miyake, H. and H. Suzuki (2012) Japan integrated velocity structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Libson, Portugal, Paper No. 1773.
Langston C. A. and C. Liang, Gradiometry for polarized seismic waves, J. Geo. Res., 113(B8) , 2008, doi:10.1029/2007JB005486.
Maeda, T., K. Nishida, R. Takagi, and K. Obara, Reconstruction of a 2D seismic wavefield by seismic gradiometry, Prog. Earth Planet. Sci., 3(31), 2016, doi:10.1186/s40645-016-0107-4.
植竹富一, 東北地方太平洋沖地震及びその前震・余震で観測された東京湾岸の長周期地震動, 日本地震工学会論文集 12(5), p192-206, 2012,doi:10.5610/jaee.12.5_192.
湯沢豊・南雲秀樹, 長周期地震動の揺れ易さ係数の変動要因とその低減対策-関東平野を例として-, 日本地震工学会論文集 12(2), p41-p59, 2012,
doi:10.5610/jaee.12.2_41.

(3) 平成 30 年度業務計画案

①これまで開発してきた教訓等に関するアーカイブシステムを用いて、自治体・地域防災や防災教育での利用プログラムを支援するシステムを開発する。既存のコンテンツに加え、熊本地震に関する教訓データを追加する。東日本大震災からの基礎自治体レベルの復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集及び分析を行う。

②平成 25 年度から実施している東日本大震災の復興プロセスのモニタリングを継続して行う。

③構造物等の被害調査結果利活用のための戦略に関する検討を実施する。

平成 29 年度に継続して、南海トラフ地震等の巨大地震による長周期地震動の予測の高度化に繋げるために、東北地方太平洋沖地震と南海トラフ地震における地震波（表面波）伝播と増幅の違いを、震源の深さや伝播経路の地下構造の観点から詳しく評価し、震源、伝播経路、そして平野の不均質構造のそれぞれの影響による予測の変動要因を総合的に評価する。

3.2 地震・津波被害予測研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「地震・津波被害予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学減災連携研究センター	センター長・教授	福和伸夫
	副センター長・寄附研究部門教授	曽根好徳
	副センター長・教授	野田利弘
	准教授	長江拓也
	准教授	平山修久
	特任教授	護雅史
	特任教授	新井伸夫
	副センター長・特任教授	田代喬
	寄附研究部門教授	武村雅之
	寄附研究部門准教授	都築充雄
	特任准教授	菅沼淳
	寄附研究部門准教授	山﨑雅人
	寄附研究部門助教	浦谷裕明
	特任助教	北川夏樹
	客員准教授	宮腰淳一
	研究員	石原宏
名古屋大学災害対策室	教授	飛田潤
名古屋大学工学研究科	准教授	中井健太郎
名古屋大学環境学研究科	助教	平井敬
名古屋大学地震火山研究センター	准教授	山中佳子
東京大学工学系研究科	准教授	廣井悠
国立研究開発法人海洋研究開発機構	技術研究員	今井健太郎
徳島大学大学院	教授	馬場俊孝
東北大学災害科学国際研究所	教授	今村文彦
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原広行
	総括主任研究員	平田賢治
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	中村洋光

	主任研究員 主任研究員 研究員 主幹研究員 主幹研究員 契約研究員 契約研究員	森川信之 前田宜浩 佐伯琢磨 先名重樹 大角恒雄 東宏樹 内山庄一郎
東京大学地震研究所	教授 特任助教	古村孝志 原田智也

(c) 業務の目的

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、地震の発生時期や発生の多様性等の時間の概念を取り入れた広域の地震・津波ハザード・リスク評価を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設等に対しては、地盤の非線形性を考慮した地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハザード・リスク評価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究 1-e と連携し情報提供できるようにする。

(d) 8 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

広域リスク評価に必要な人口や建物等のモデルの整備を行った。人口モデルは将来人口推計を適用し、建物モデルは建物滅失率を考慮した。津波は既往被害事例を網羅的に整理した。地域リスク評価に必要なハザード予測・構造物応答予測手法の開発を行った。

平成 26 年度：

暫定的な広域リスク評価を実施した。地震発生の時期や規模等の各種要因のばらつきがリスク評価に与える影響度を把握した。津波被害を地形特性等の観点から分類し、地域リスク評価に必要な火災、ライフライン被害、経済被害の予測モデルの構築を行った。

平成 27 年度：

直線海岸を有する地域の木造建物被害関数の構築、高精度地震動予測手法の開発とそれによる地震動のデータベース化、防波堤の地震時変形挙動と地盤・建物の動的相互作用を考慮した建物応答予測に関する検討、発災後の電力需給ギャップの想定と電力供給設備対策の現状抽出、開発被害予測手法による巨大地震時の上水道設備の被害と復旧の予測、現在から将来における地震・津波の確率論的ハザード情報を利用した建物被害と人的被害の広域リスク評価、帰宅困難者の移動が地域の避難行動に及ぼす影響の量的把握、および全国 47 都道府県間動的応用一般均衡モデルによる巨大地震時の製油所被災の経済被害の推計を実施した。

平成 28 年度：

徳島市を対象とした長期湛水のモデリング、中京地域の地震動を予測する WEB システムの開発、盛土造成斜面の地震時変状メカニズムの解明、熊本地震で被災した建物における地盤・建物の相互作用の影響の検討、基礎滑りを許すことによる建物の耐震性向上に向けた要素実験とその分析、南海トラフ巨大地震時に想定される電力需給ギャップ解消のための需要抑制の可能性の検討、長期断水が経済に及ぼす影響の検討、道路閉塞と帰宅困難者の渋滞、消防運用を考慮した大都市における避難シミュレーションの開発、全国 207 生活圏単位での南海トラフ地震による経済被害予測を実施した。また、対策の有無による広域リスク評価結果を比較することで、対策の効果を定量的に評価した。

平成 29 年度：

地域リスク評価については、特定地域として具体的に碧南市を対象にし、平成 28 年度に構築した長周期地震動作成システムの拡張と地震動短周期成分の付加および建物応答の映像化、河口付近の地盤と盛土の弾塑性モデル化と地震応答評価、高解像度な津波氾濫過程解析に向けた環境整備と津波被害軽減に資する基礎的な対策手法についての検討、市庁舎の常時微動計測による建物振動特性分析、災害廃棄物の収集運搬と仮置場の確保を考慮した災害廃棄物処理フローモデルの構築、水道事業の被害予測と設備の耐震化による被害軽減効果の定量的評価を行うとともに、碧南市を含む圏域について、工業統計調査等に基づく市区町村単位の産業連関の可視化を用いた評価、災害後の避難・移住行動を記述する数理モデルの構築、電力関連種施設の位置情報を用いた重要道路の優先順位検討ツールの開発と評価の試行などを実施した。広域リスク評価については、発災後の災害シナリオの高度化のため、直接被害を受けない地域の間接被害の試算が可能な応用一般均衡モデルを利用し、間接被害の算出方法について検討した。

平成 30 年度：

津波被害予測モデル地区において、当該地域の特性に合わせた津波被害軽減に資する対策の検討を行う。間接被害の算出手法を高度化し広域的に評価を行う。特徴的な災害パターンを類型化するための手法の検討を行い、広域での評価に向け一部地域で類型化を試行する。具体的な地域を想定して、地域活動の枢要地域を中心とした BCP と減災戦略を立案する。避難行動に活用できるモニタリング手法及び地域リスク低減のための普及啓発手法の開発を行う。

平成 31 年度：

モデル地区における津波被害予測と対応策の効果を数値シミュレーションにより検討する。類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、類型パターン毎に災害シナリオを作成する。各種災害予測手法及び対策等の減災戦略の社会実装について、地域展開を図る上での問題点・課題の抽出と解決を図る。

平成 32 年度：

ハザード・リスク評価や災害シナリオ、及び対策前後のリスク評価によるリスク低減効果の評価結果を総括し、南海トラフ沿いに発生しうる巨大地震に対して戦略

的に備えるための基盤情報として防災・災害情報発信研究等と連携し、外部に汎用的な形式で提供できるようにする。

(e) 平成 29 年度業務目的

想定される南海トラフ地震に対する発災後の災害シナリオの高度化のため、間接被害の算出方法について検討するとともに、広域での間接被害の評価に向け一部地域で試算を行う。また、具体的な地域を想定して、予測地震動等に対する被害予測と被害軽減方針を検討する。本業務で構築した津波被害予測手法を南海トラフ沿岸の想定地域で検証する。

(2) 平成 29 年度成果

①津波被害予測研究

(a)業務の要約

河口部を包含する沿岸域は、高度成長期にともって高度な土地利用が展開され、産業の高度化や物流網の効率化に貢献してきた．このような地域は沖積平野や埋め立て地に土地利用展開される場合が多く、液状化現象による地盤沈下などの脆弱化による津波氾濫被害の拡大が懸念されている。このような状況において、重要施設においては耐震化の整備が進められている一方、二級河川や一部の港湾・漁港施設においては耐震化の整備途上にある。より現実的な地震・津波ハザード評価とそれに対応した具体的対策を講じるためには、液状化による海岸・河岸構造物の基礎部の沈下量に関する高精度評価とそれに基づいた氾濫解析が求められる。

本業務では、愛知県の巨大産業を支えるサプライチェーンを擁する地域のひとつである碧南市を対象として、南海トラフ巨大地震による地震動と津波による複合的な被害予測を行うために、高精度な氾濫解析に必要となる詳細地形データの作成と長期湛水解析に必要な排水網のモデリングを行った。これらを用いた高精度氾濫解析とその水位時系列を初期条件とした長期湛水解析の予備解析を実施した。

(b)業務の成果

i) 碧南市における津波氾濫に関する基礎検討

愛知県碧南市をモデル地区として、南海トラフ巨大地震によって励起される津波複合災害予測を実施するために必要となる土地利用情報モデルの作成を行った。座標参照系は平面直角座標第 7 系である。対象領域は愛知県碧南市を含む空間分解能 10/3m の範囲において、内閣府提供の地形データと国土地理院による 5mDEM を用いて作成した（図３－２－①－１）。

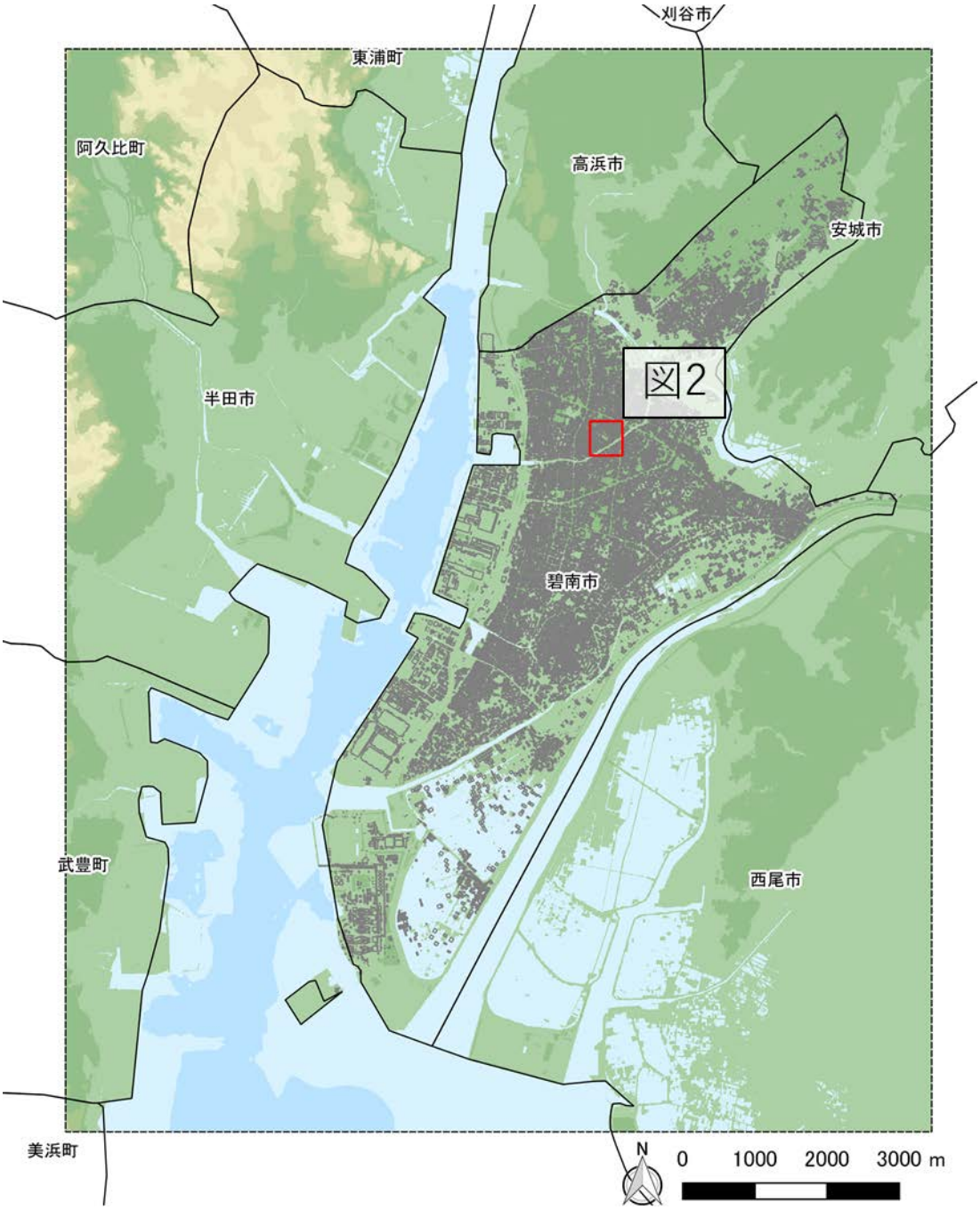


図３－２－①－１　愛知県碧南市を含む空間分解能 10/3m の津波氾濫解析領域

本業務での津波氾濫解析は、建物の影響を地形として考慮する合成地形モデル（今井ら，2013）を用いるため、建物形状情報も必要となる。建物情報は碧南市から貸与された建物 DB のポリゴンデータと階数情報に基づき作成した（図３－２－①－２）。さらに、被害関数による建物被害評価も今後行うことから、建築年、構造大分類（木造、非木造）、構造詳細分類（木造、RC、S、SRC、CB、不明）、階層についても、建物情報として取り込んだ。図３－２－①－３にそれらの分類別けを行った建物分布例を示す。このような情報を被害予測に結び付けることでより高精度な津波被害予測や簡易的ではあるが災害瓦礫発生量の推定が可能となると考えられる。

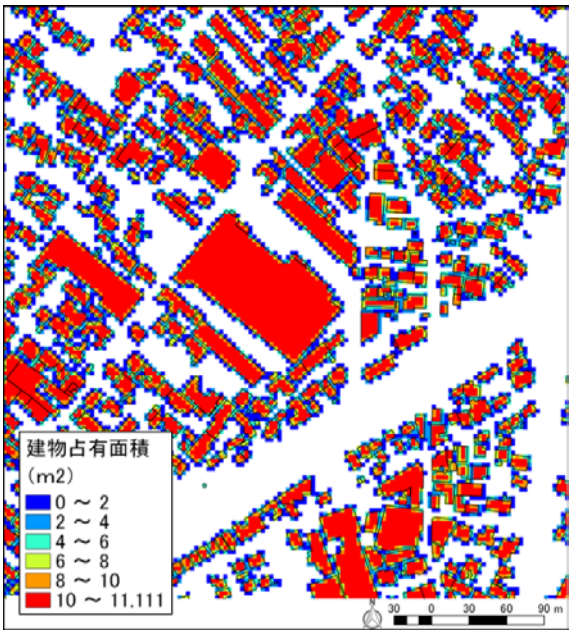


図３－２－①－２　最小領域（10/3 m）における建物占有面積分布の一例。

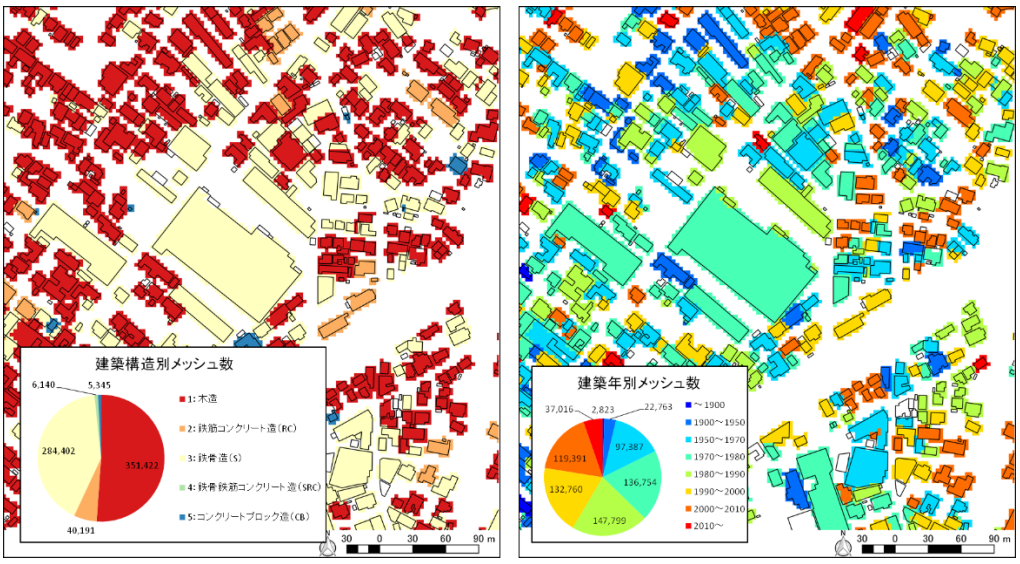


図３－２－①－３　分類別けを行った建物分布例。左図は建築構造物種別、右図は建築年代種別を示す。

以上のような地形データと建物データを統合し、各メッシュにおける建物占有率を考慮することで、合成地形モデルとした。地盤標高に建物高さを反映した起伏地形標高メッシュによって、建物反射の影響を考慮した氾濫流の再現計算が可能になる。数メートル程度のメッシュサイズでは建物形状を正確に解像出来ないことから、建物が密集する地域では、建物どうしの僅かな隙間が無視され、建物群が１つの巨大な壁に定義され氾濫流をせき止めてしまう可能性がある。また、その逆に、小さな建物群を無視した結果、氾濫流が実際よりも流れやすくなる可能性もある。合成地形モデルでは、このような建物形状の近似に依存した氾濫流の計算精度を改善するため、各メッシュの建物占有面積率とメッシュ水深の関係から導かれる合成等価粗度を底面粗度として運動方程式に採用している。メッシュの建物占有面積率が 99%以上の場合、建物高さを反映した起伏標高によって水のせき止め効果を発揮させ、それより小さい建物占有面積率の場合、建物高さを除いた地盤標高と合成等価粗度によって水の流れを制御する。なお、建物が全く無いメッシュの場合、通常の津波氾濫解析同様に、建物高さを除いた地盤標高と粗度による計算を行っている。合成地形モデルの概念図を図　３－２－①－４に示す。

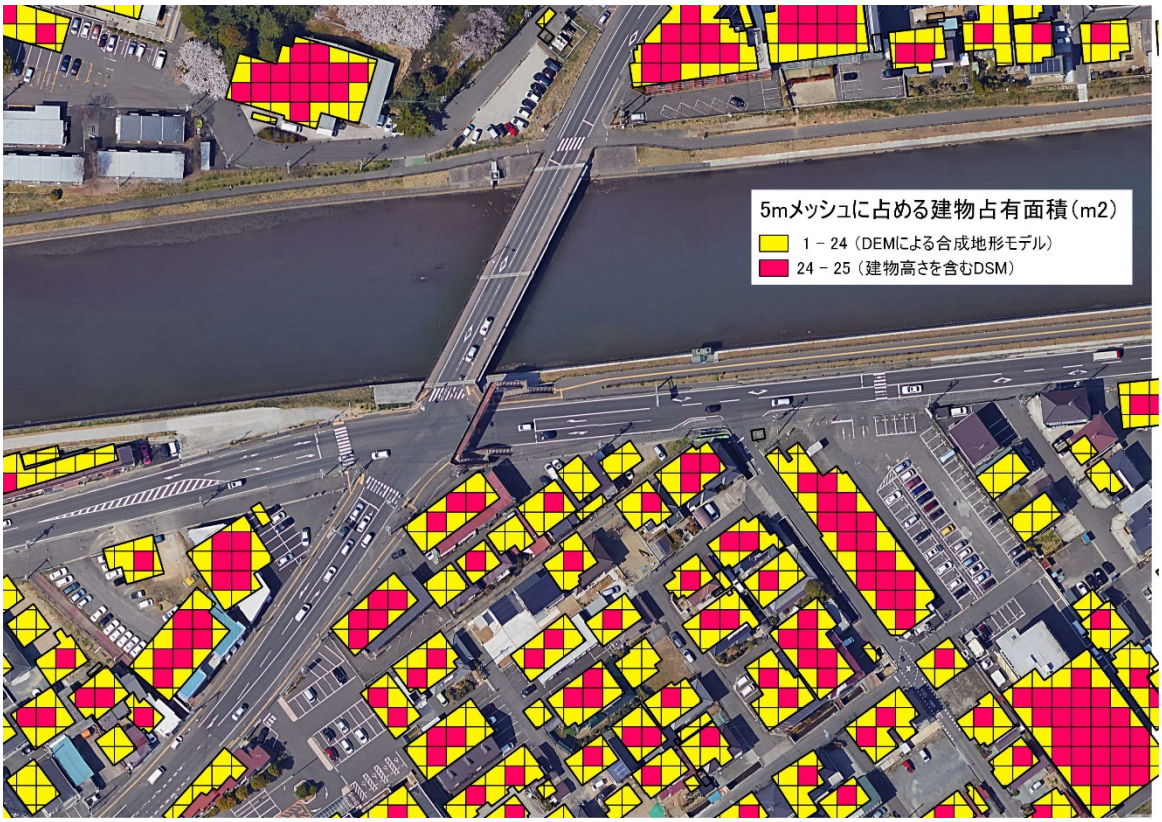


図３－２－①－４　合成地形モデルの概念図

内閣府の地形モデルは 10m の空間分解能であり、本業務での解析は 10/3m であるため、海岸・河川構造物モデルについても修正を加えた。これは津波氾濫を抑制する構造物（防波堤、防潮堤、河川堤防、水門、樋門、陸閘等）を計算メッシュ境界線上に天端高を定義するものであり、メッシュ境界線の水位が天端高以下では流れを完全に

せき止め、天端高を超えた場合、本間越流公式による越流量を通過させる。本業務においては愛知県碧南市の防災上重要と考えられる蜆川、新川を対象に海岸・河川構造物モデルデータを現況地形と一致するように修正した（図３－２－①－５）。修正にあたって参照したデータは国土地理院基盤地図情報　（道路縁、水涯線、建築物外周線）および Google マップ（航空写真）である。また、堤防天端高は蜆川水系河川整備計画と高浜川水系河川整備計画（新川）現地調査を行って作成した（写真３－２－①－１）。

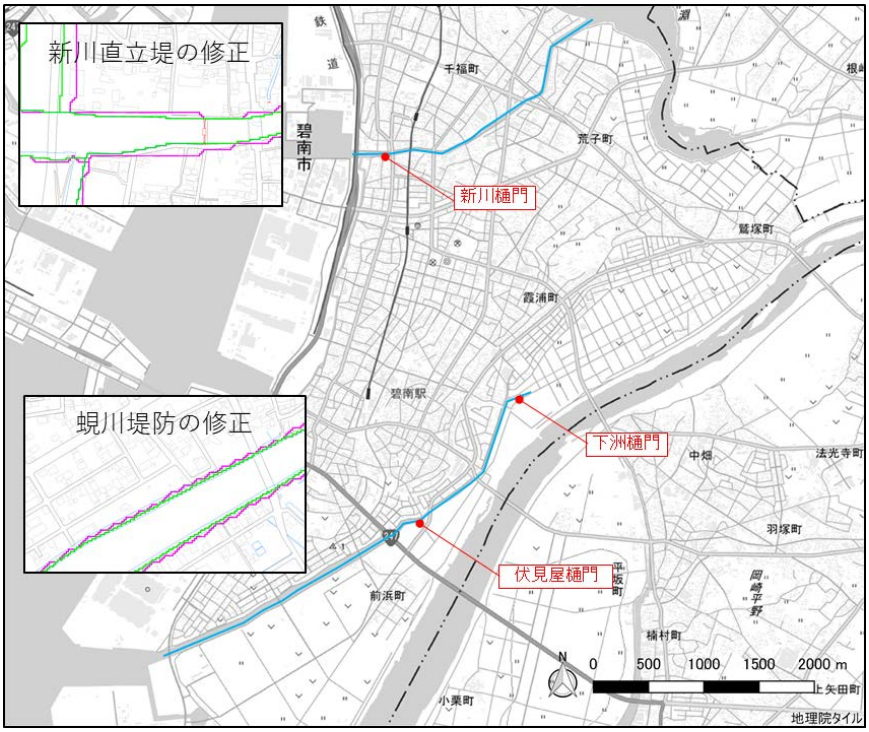


図３－２－①－５　海岸・河川構造物の修正例。



写真３－２－①－１　現地調査の様子（蜆川中流部）

本解析では津波断層ケース 09（内閣府，2012）を初期波源として解析を行った（図３－２－①－６）。潮位は朔望平均満潮位（T.P. 1.0 m)、蜆川上流部の水門は開いている条件とし、河岸・海岸構造物の取り扱いについては健全な場合と内閣府想定に従って河岸・海岸構造物被害が生じる場合（天端高さを 25%に下げる）の２ケースの検討を行った。

図３－２－①－７に河岸･海岸構造物が健全な場合の地震発生から 12 時間後の最大浸水深および流速分布を示す。当該地域は三河湾の内海に位置しており、内閣府想定の M9 クラスの波源であっても､その地形的要因により津波の流入が抑制されるため当該地域沿岸での津波高は潮位基準からおおよそ 2 m 程度であり、外海の沿岸域に比べて津波高は相対的に低い傾向にある。蜆川の直立堤が健全な場合では、右岸側では地震性の地殻変動による沈降を考慮しても市街地への浸水はない。一方で、蜆川上流部では浸水が生じているが、これは水門開閉の影響であり、水門が機能する場合に浸水は抑制されるものと考えられる。最大流速については、衣浦の狭窄部では４ m/s かそれ以上、蜆川や新川河口部でも２ m/s 以上の流速が生じ得ることがわかる。蜆川や新川沿岸にはマリーナ施設などがあるため多くのプレジャーボートが停泊しており、船舶漂流被害発生基準（例えば、今井ら，2014）と照らし合わせることで漂流被害発生の検討が必要であろう。

図３－２－①－８に河岸・海岸構造物が内閣府想定に従って河岸・海岸構造物被害が生じる場合の地震発生から 12 時間後の最大浸水深および流速分布を示す｡海岸構造物被害が生じると、蜆川沿いに津波浸水が広がっていることがわかる。一級河川や重要港湾などの施設においては耐震化の整備が進められている一方、二級河川や一部の港湾・漁港施設においては耐震化の整備途上にある。より現実的な地震・津波ハザード評価とそれに対応した具体的対策を講じるためには、海岸・河岸構造物の脆弱性を高精度かつ定量的に評価し、その結果と津波氾濫解析を組み込みその氾濫過程や浸水域に与える影響について検討を行う必要があろう。

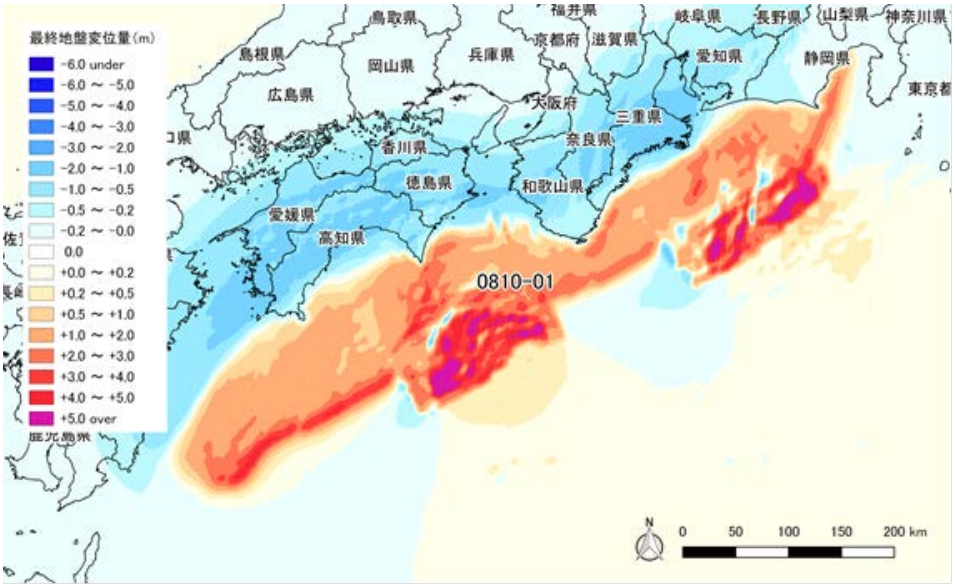


図３－２－①－６　解析に用いた初期波源（内閣府による津波断層ケース 09）

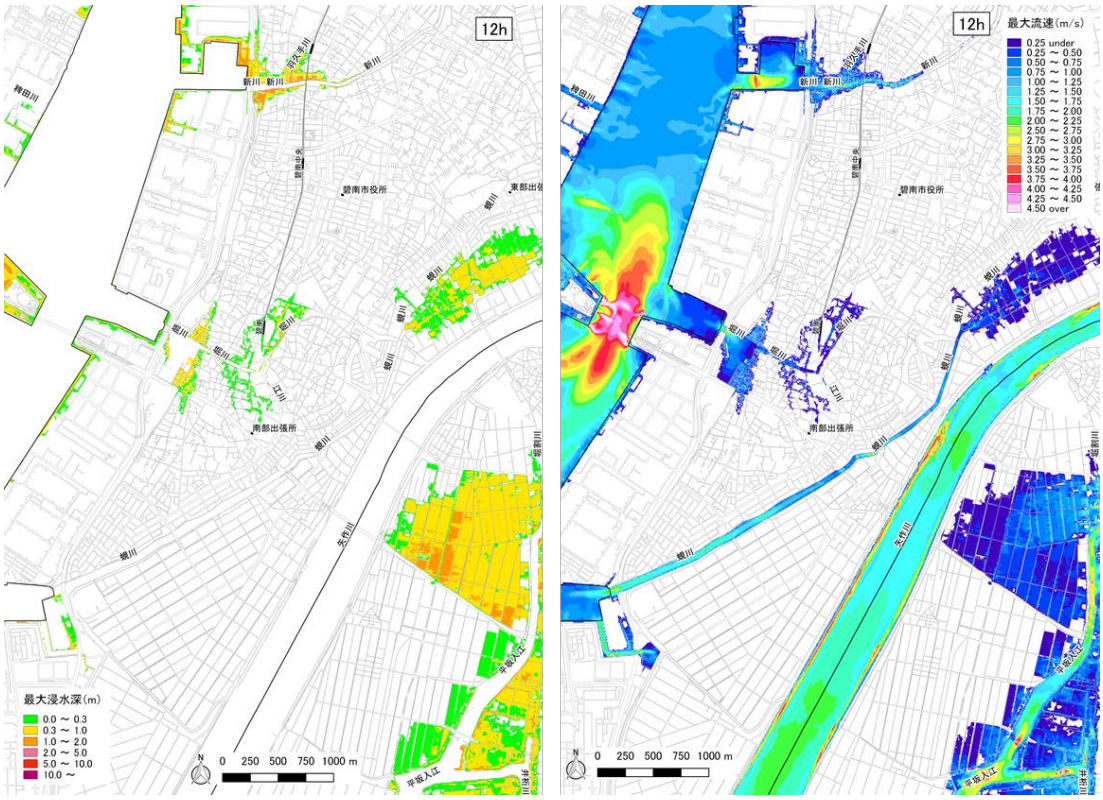


図３－２－①－７　最大浸水深と最大流速分布（河岸・海岸構造物が健全な場合）

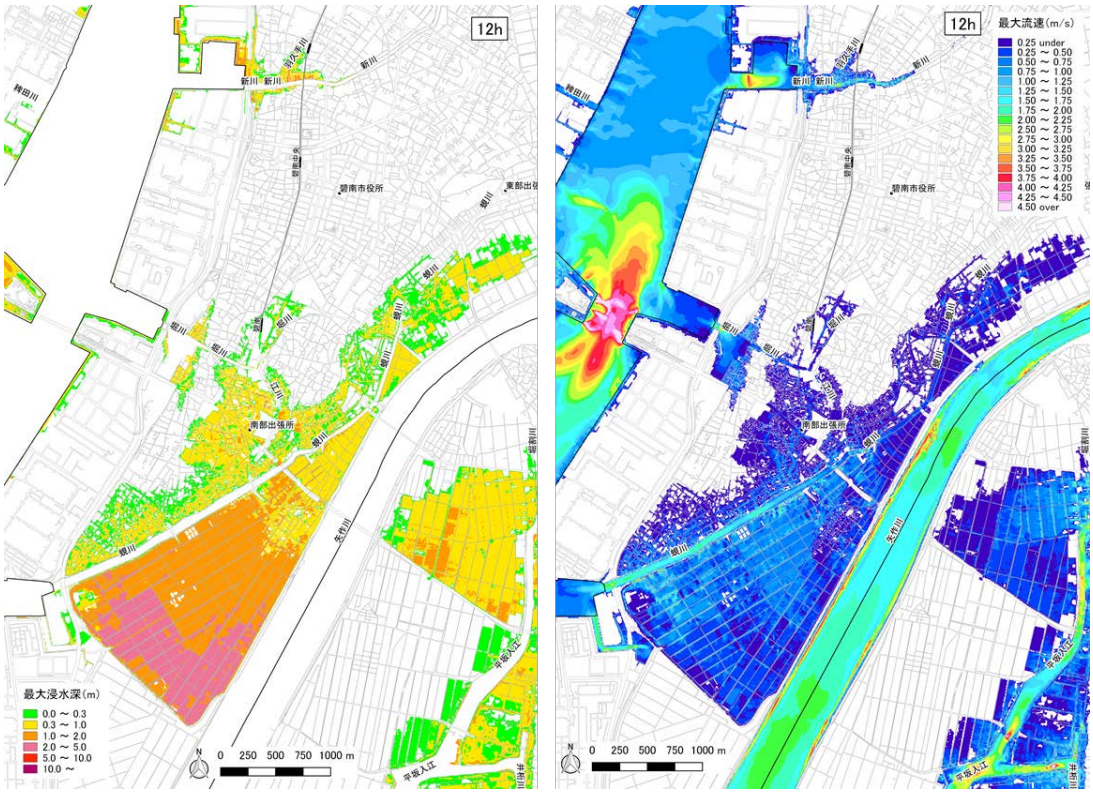


図３－２－①－８　最大浸水深と最大流速分布（内閣府想定に従って河岸・海岸構造物に被害が生じる場合）

ii）碧南市における長期湛水に関する基礎検討

碧南市中心市街地において津波の長期湛水解析（例えば、三好ら，2016；谷口ら，2016）に必要な陸域の排水路ネットワークモデルを作成した。排水路ネットワークには、碧南市提供の排水路網データ、排水路網以外の地形データ、粗度係数データ、海岸構造物データ国土地理院の基盤地図情報を利用した。なお、長期湛水解析における地形分解能は 25 m とした。

開水路を設定した箇所を図３－２－①－９に示す。排水路の幅・深さは次頁から設定した。開水路幅Bと深さhに関する詳細な情報を入手することが出来なかったため、水理学的に最も有利な断面が用いられていると仮定した。水理学的に有利な断面は径深が最大、つまり潤辺が最小の断面である。本モデルは矩形断面と仮定するため、水理学的に有利な断面は B と h の比が 2:1 の断面と仮定した。

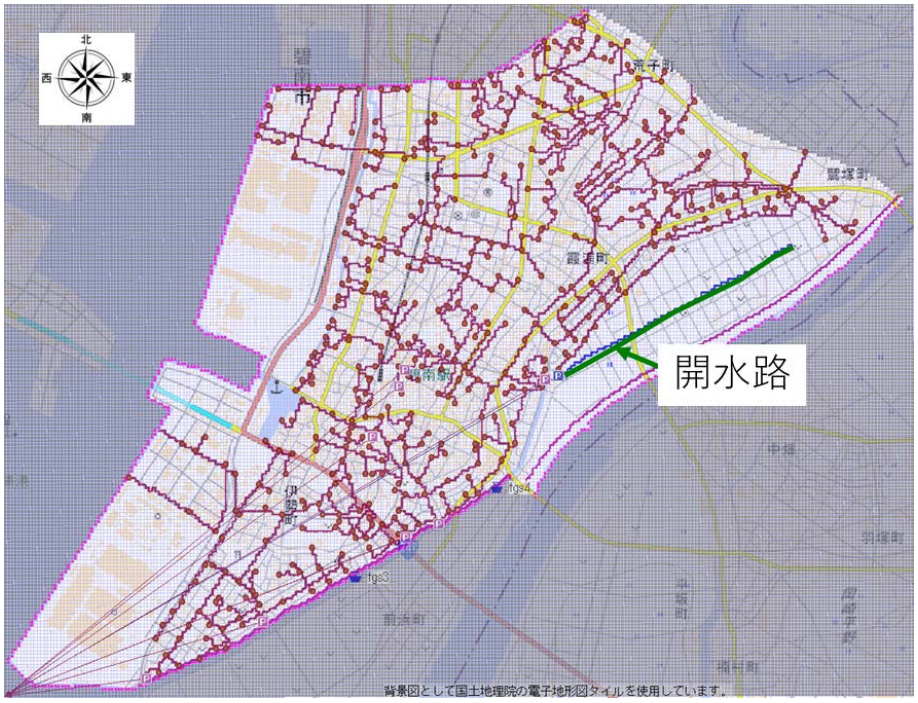


図３－２－①－９　開水路網の概略

当該地区の各メッシュにおける地形勾配は以下の手順で求めた（図３－２－①－10）。東西方向に隣り合っている地盤標高の差 ΔZx は以下で与えられる。

$$\Delta Z_x = \left| Z_{i,j} - Z_{i+1,j} \right| \tag{1}$$

ΔZx をメッシュサイズ ΔX で割り、X 方向の勾配 I_{bx} を求める。

$$I_{bx} = \Delta Z_x / \Delta x \tag{2}$$

南北方向も同様にして、隣り合っている地盤標高の差 ΔZy と ΔY から、Y 方向の勾配 I_{by} は次式で与えられる。

$$I_{by} = \Delta Z_y / \Delta y \tag{3}$$

平均勾配 I_b は次式で与えた。

$$\tan^{-1}(I_b)=\frac{1}{n}\left\{\sum\tan^{-1}(I_{bx})+\sum\tan^{-1}(I_{by})\right\} \quad (4)$$

当該地区の平均勾配は 45/1,000 となる。

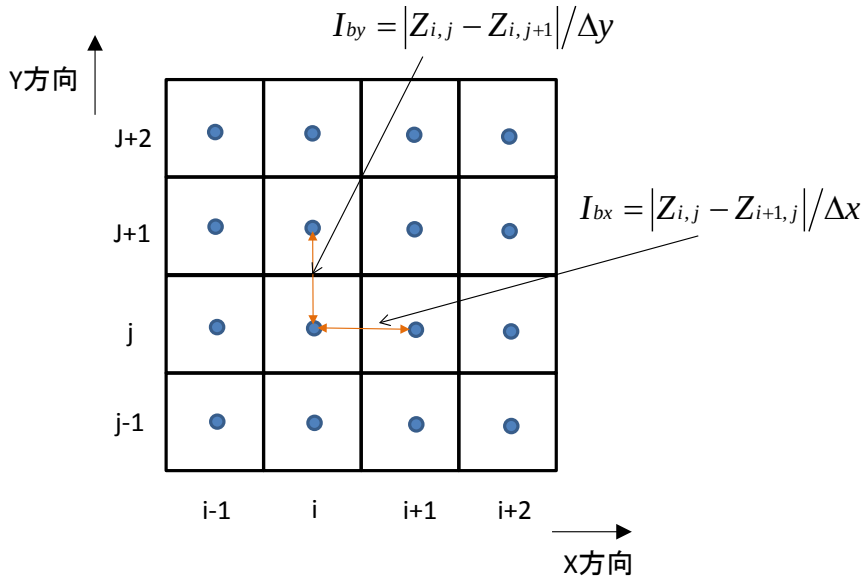


図３－２－①－10　空間格子点と各成分の勾配 I

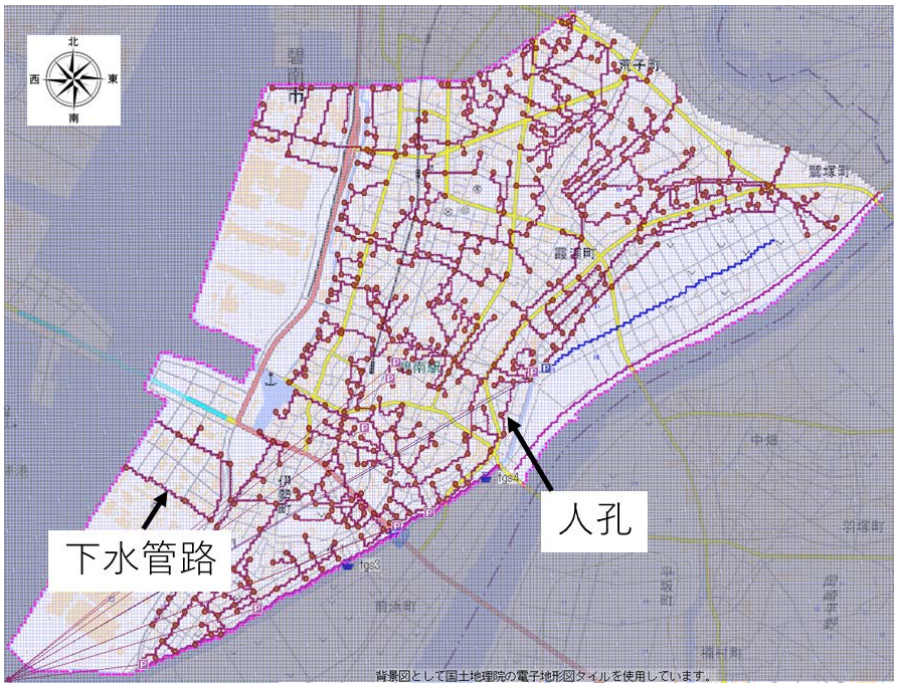


図３－２－①－11 下水管路の設定箇所

下水管路の設定箇所を図３－２－①－11 に示す。下水管路の管径 D は以下のように設定した。マニングの平均流速公式を変形して、

$$Q = A \cdot v = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} \right)^{2/3} \cdot \left(I_b \right)^{1/2} \tag{5}$$

ここで、式(5)の流量 Q は下水管路末端に設置されている排水機場８機の平均排水能力として 4.91 m^3/s とした。また、$n = 0.02$、$I_b = 0.045$ より、

$$D = 1.160\,(\mathrm{m}) \fallingdotseq 1.20\,(\mathrm{m}) \tag{6}$$

管路の設置深さ L は 5.97 m とした。

長期湛水解析は現状では氾濫解析と同時実行は出来ないため、図３－２－①－１の解析対象地域における周囲の 17 点に対して津波波形を 12 時間分出力し（図３－２－①－12)、出力点間は線形補間を行い、朔望平均満潮位（T.P. 1.0ｍ）や潮汐変動を考慮した 72 時間分の水位時系列波形を入力条件として空間分解能 25ｍの解析領域（例えば、図３－２－①－９）において実施した。津波解析は JAGURS（Baba et al, 2016)、排水解析については AFREL を用い、排水ポンプの動作の有無について検討を行った。

図３－２－①－13 に排水ポンプを動作さなかった場合の 72 時間後の最大浸水深分布、図３－２－①－14 に排水ポンプを動作させた場合の 72 時間後の最大浸水深分布を示す。北東側に位置する農地では、ポンプ稼働において湛水が解消されている状況が確認できる。

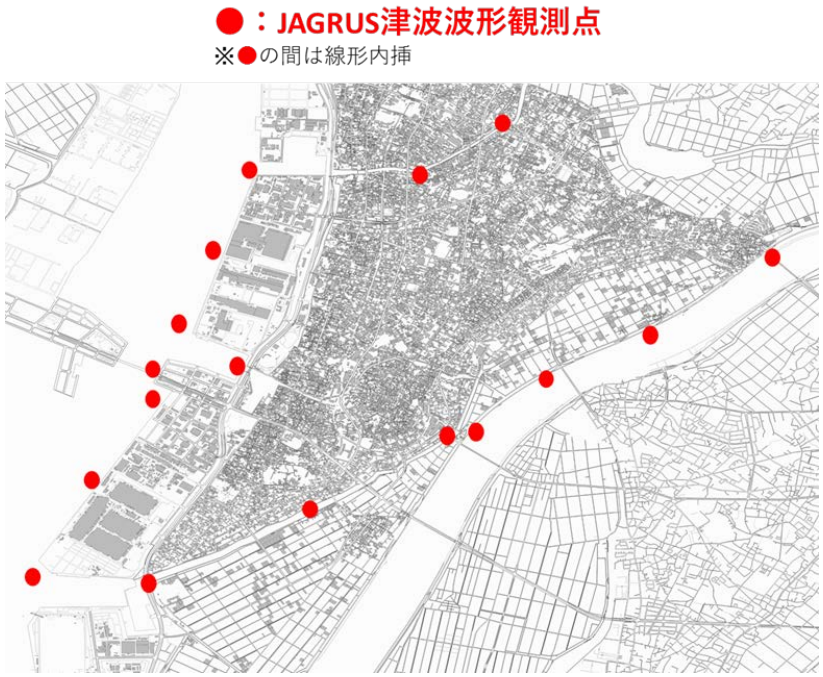


図３－２－①－12　排水解析の境界条件となる津波波形出力点

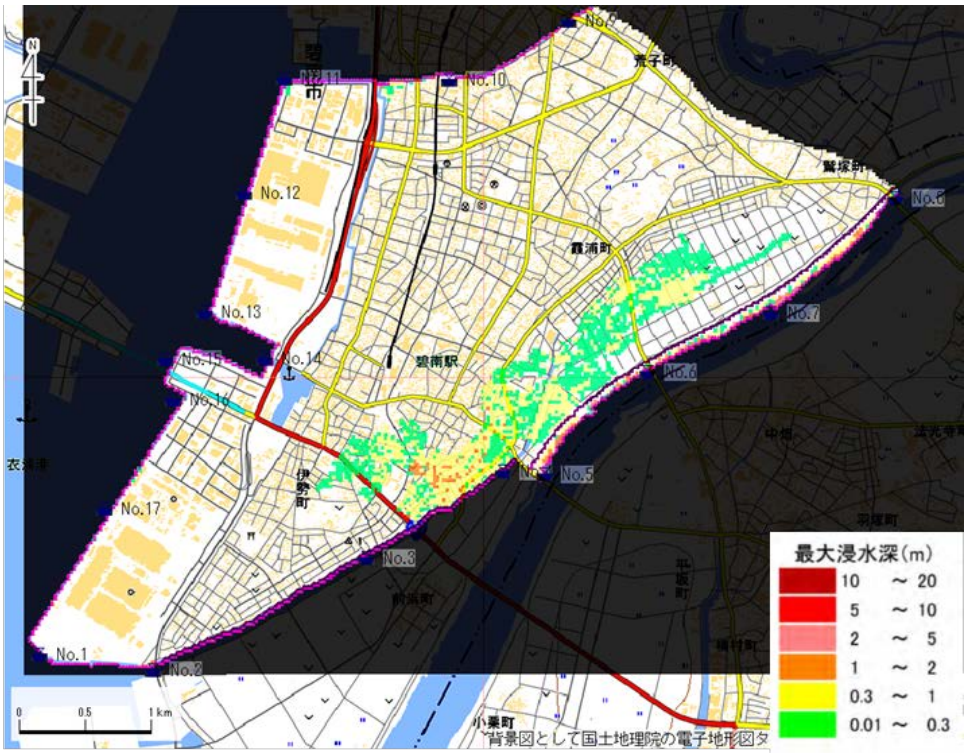


図３－２－①－13　排水ポンプを動作さなかった場合の 72 時間後の最大浸水深分布

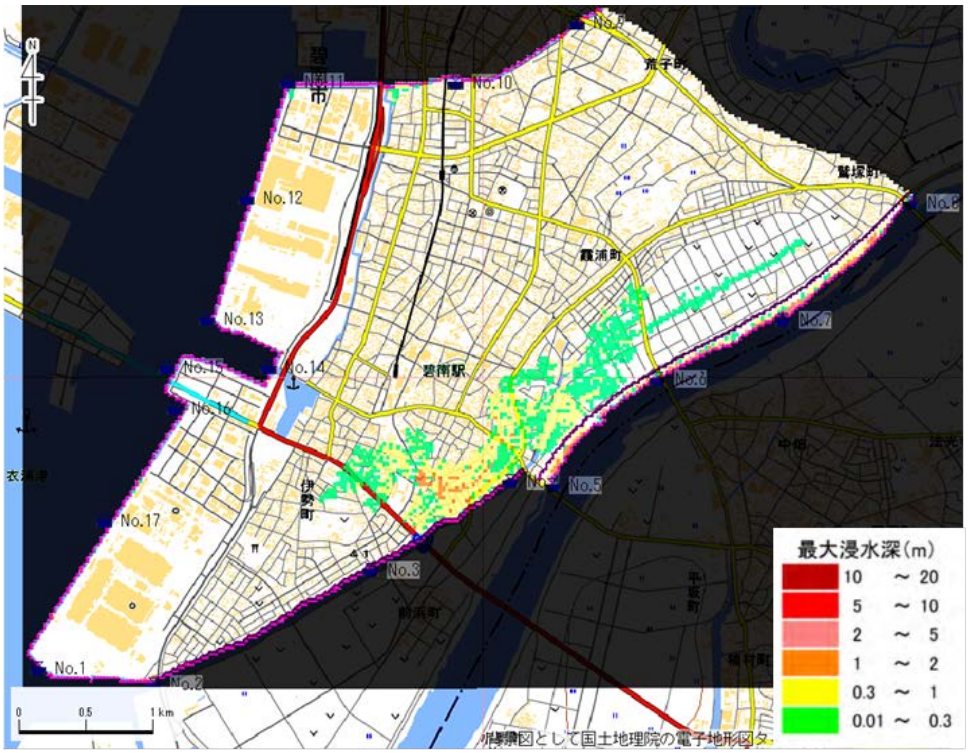


図３－２－①－14　排水ポンプを動作させた場合の 72 時間後の最大浸水深分布

(c)結論ならびに今後の課題

地震津波統合解析のモデル地区である愛知県碧南市において、空間分解能 10/3 m の高精度地形データに基づいた合成地形モデルを作成した。この条件において、内閣府（2012）想定の波源モデルを用いて、当該地域の氾濫解析を実施した。この解析から、中心市街地を流れる２級河川の地震動被害状況によってその氾濫状況も大きく変化することを示した。

当該地域の長期湛水解析を行うための、排水路網に関するモデリングを行い、上述の津波伝播解析結果を条件とした長期湛水解析を実施した。排水路網が機能する場合には、一部で長期湛水が早期解消される地域を定量的に示すことができた。

より詳細な被害予測のためには河川護岸の地震動被害の定量的な評価とそれを考慮した詳細な氾濫過程解析が必要であろう。

(d) 引用文献

(1) 今井健太郎・今村文彦・岩間俊二，市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案，土木学会論文集 B2（海岸工学），69-2，311-315，2013.

(2) 今井健太郎・今村文彦・岩間俊二・サッパシー アナワット，人的・物的被害軽減に向けた実用的な津波ハザード・被害予測評価手法の提案，自然災害科学，33，特別号，1-12，2014.

(3) 内閣府，南海トラフの巨大地震モデル検討会/津波断層モデル(8)初期水位データ_07 系_0810-99),https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/120807,参照 2018-3-27.

(4) 三好学・田村隆雄・武藤裕則・安藝浩資，都市郊外部における排水路基底流量を考慮した内水氾濫解析，土木学会論文集 B1（水工学），60，139- 144，2016.

(5) 谷口純一・馬場俊孝・三好学・安藝浩資，徳島市を対象とした津波による流入水の堤外排水シミュレーション，土木学会論文集 B2（海岸工学），72-2，1525-1530，2016.

(6) Baba, T., K. Ando, D. Matsuoka, M. Hyodo, T. Hori, N. Takahashi, R. Obayashi, Y. Imato, D. Kitamura, H. Uehara, T. Kato, R. Saka, Large-scale, high-speed tsunami prediction for the great Nankai trough earthquake on the K computer, Inter. Jour. of High Per. Comp. App., 30, 71-84, DOI 10.1177/1094342015584090, 2016.

②地震動

(a) 業務の要約

地盤震動の研究としては、スペクトルインバージョンにより 2016 年４月１日に発生した三重県南東沖の地震のパラメータを推定した。さらにこれを要素地震として用い、経験的グリーン関数法により南海トラフ巨大地震の地震動を予測した。

(b) 業務の実施方法

本業務の実施方法について説明する。2016 年４月１日、三重県南東沖を震源とする気象庁マグニチュード 6.5 の海溝型地震が発生した。この地震は、内閣府が想定する南海トラフ巨大地震の破壊開始点や、昭和東南海地震の推定破壊開始点の近傍を震源とするものであり、地震のタイプも同じであることから、南海トラフ巨大地震の地震動予測のために重要な地震である。この地震による地震動を用いて、経験的グリーン関数法により南海トラフ巨大地震の地震動を予測することとした。

まず、三重県南東沖の地震の地震モーメントとコーナー振動数を推定した。野津・他[1)]の方法に従い、震央から 150 km 以内の KiK-net 地中観測点 15 点を用いてスペクトルインバージョンを行った。図３－２－②－１にこの地震による地動加速度分布を、図３－２－②－２にスペクトルインバージョンを行うにあたり使用した観測点の分布を示す。

次に、三重県南東沖の地震による地震動観測記録を用いて、経験的グリーン関数法により南海トラフ巨大地震の地震動を予測した。震源モデルには内閣府（南海トラフの巨大地震モデル検討会）によるもの[2)]を用いた。これは強震動生成域のみのモデルであるが、背景領域の震度への影響は小さいものとして考慮しないこととした。図３－２－②－３に震源モデルを示す。波形合成には、壇・佐藤[3)]の方法による経験的グリーン関数法を用いた。図３－２－②－４に波形合成法の概念図を示す。

(c) 業務の成果

本業務の成果について説明する。

まず、2016 年４月１日の三重県南東沖の地震についてスペクトルインバージョンにより震源パラメータを推定した結果について述べる。図３－２－②－５に、推定された加速度震源スペクトルおよび変位震源スペクトルを示す。加速度震源スペクトルのコーナー振動数を 0.3 Hz、変位震源スペクトルのフラットレベル U_0 を 25 cm s km と読み取った。

変位震源スペクトルのフラットレベルを式（３－２－②－１）により地震モーメントに換算し、4.3×10^{17} N m と見積もった。

$$M_0 = \frac{4\pi\rho V_S^3}{AP} U_0 \qquad (３－２－②－１)$$

ここで、媒質の密度 ρ = 2700 kg m^{-3}、S 波速度 V_S = 3200 m s^{-1}、放射特性係数の平均値 A = 0.63、水平二成分への分配を表す係数 P = １とした。また、震源パラメータの推定値が有効である振動数範囲としては 0.2 Hz 以上と推定した。図３－２－②－６

に、推定された震源パラメータにより地震動波形の３~20 s の成分を再現した結果を示す。地震動のレベルと継続時間はほぼ再現できていると判断した。

次に、南海トラフ巨大地震の地震動予測を行った結果について述べる。強震動生成域を分割した小断層による地震、実際に観測された要素地震ともにひとつのコーナー振動数を有するω^{-2}型の震源スペクトルを仮定し、次式で表す。

$$S(\omega)=\frac{M_0}{\left(1+i\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2} \qquad （３－２－②－２）$$

また、小断層のコーナー振動数は、以下のように表せる。

$$\omega_c=2V_S\sqrt{\frac{\pi r\Delta\sigma}{M_0}} \qquad （３－２－②－３）$$

ここで、$\omega_c=2\pi f_c$（f_cはコーナー振動数）、V_Sはその地点のせん断波速度、$\Delta\sigma$は応力降下量、rは強震動生成域全体をひとつの円形断層として考えた場合の等価半径である。小断層による地震と要素地震の震源スペクトルの比を周波数領域で要素地震に乗じることで、観測記録を小断層による地震動に補正できる。これを全ての小断層で行い、時刻ずれを考慮して重ね合わせることにより大地震の地震動を求めた。この際、合成時の距離減衰には表面波のものを採用した。断層の破壊伝播速度は 2.7 km s^{-1}、せん断波速度は 3.2 km s^{-1}とした。図３－２－②－７に、波形合成結果の一例を示す。

波形合成結果の妥当性を検証するために、三の丸波[4]との比較を行った。図３－２－②－８に、東西方向成分の擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を示す。ここでは、三の丸波を一次元重複反射理論により地表まで増幅させたものと、経験的グリーン関数法による地表での合成結果を比較している。使用している強震断層モデルが異なるが、振幅レベルはほぼ同等である一方、卓越周期に違いがみられる。これは、実際に観測された要素地震の段階でも三の丸波と差異があり、これが合成結果に現れたと考えられる。この結果は実現象を表現している強震観測記録を用いることの利点でもあるが、三重県南東沖の地震が特異なものか、検証を行う必要がある。次に、強震動生成域ごとに距離減衰式との比較を行った。図３－２－②－９に波形合成結果の水平最大速度と距離減衰式との比較を示す。距離減衰式には、司・翠川のもの[5]を用いた。合成地点に近い強震動生成域では比較的良好な結果が得られたが、遠い強震動生成域では距離減衰式から大きく離れたところにプロットされた。これは合成時の距離減衰の与え方によるものであり、このことが波形合成結果に大きな影響を与えている可能性がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務の結論ならびに今後の課題を整理する。本業務では、スペクトルインバージョンにより 2016 年４月１日に発生した三重県南東沖の地震のパラメータを推定し、さらにこれを要素地震に用いて経験的グリーン関数法により南海トラフ巨大地震の地震動を予測した。結論として、従来考えられてきた三の丸波とほぼ同等の振幅レベルの地震動が得られた。ただし、卓越周期に違いがみられた。これは、波形合成に用いた要素地震の特性が現れた結果である。今後の課題としては、要素地震として用いた三重県南東

沖の地震が南海トラフにおける地震として特異なものであるかどうか、検討を行う必要がある。また、本業務では少数の代表的な観測点についての地震動を予測したので、さらに広域について面的に地震動を予測する必要がある。

(e) 引用文献

1) 野津厚、長尾毅、山田雅行：スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例、日本地震工学会論文集、第７巻、第２号、pp.215-234、2007

2) 内閣府（南海トラフの巨大地震モデル検討会・首都直下地震モデル検討会）：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告　図表集、2017

3) 壇一男、佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測、日本建築学会構造系論文集、No.509、pp.49-60、1998

4) 宮腰淳一、中田猛、福和伸夫、柴田昭彦、白瀬陽一、斉藤賢二：名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成、日本地震工学会年次大会、2005

5) 司宏俊、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 523 号、pp.63-70、1999

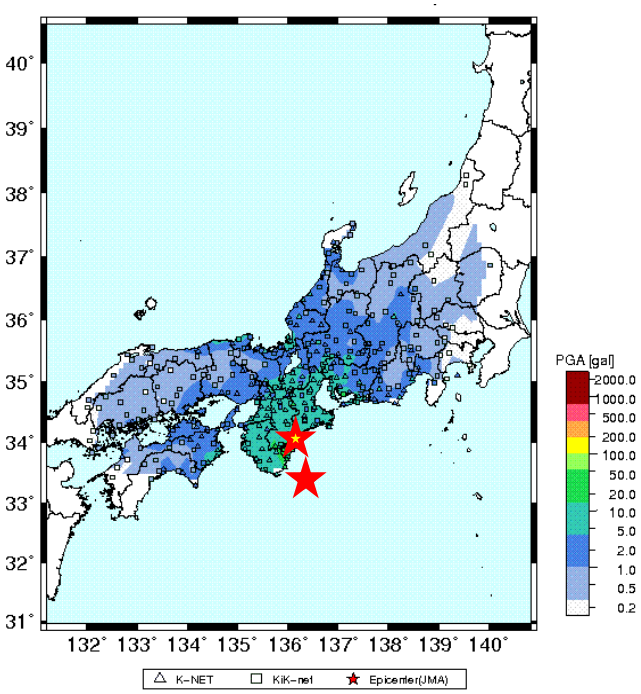


図３－２－②－１　2016 年４月１日の三重県南東沖の地震による地動加速度分布



図３－２－②－２　スペクトルインバージョンに用いた観測点の分布

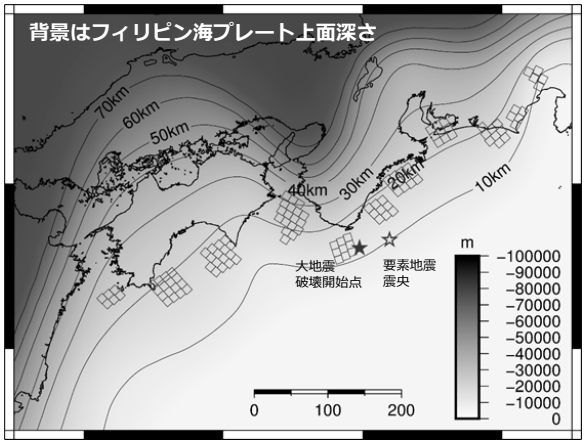


図３－２－②－３　南海トラフ巨大地震の震源モデル

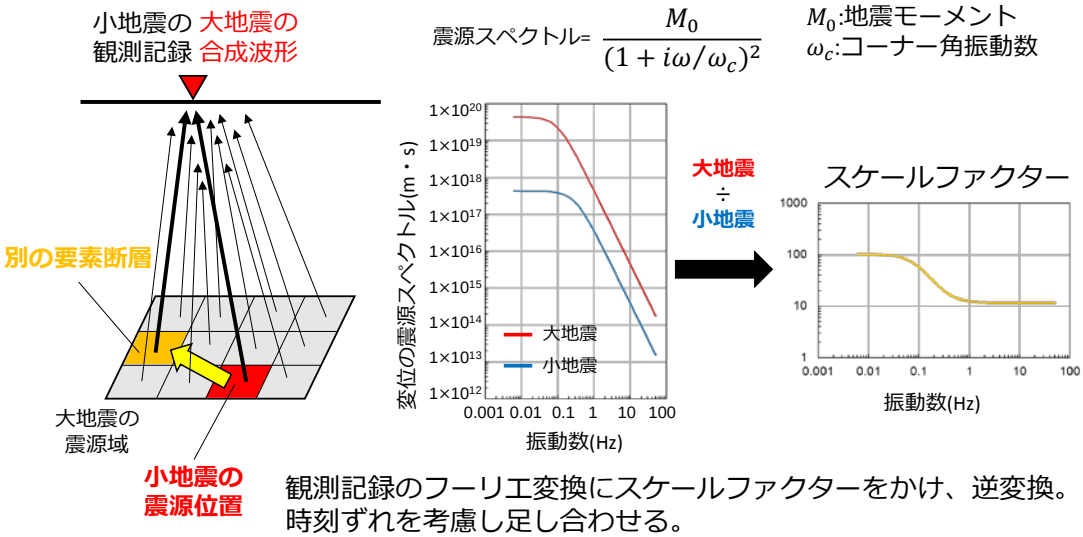


図３－２－②－４　波形合成法の概念図

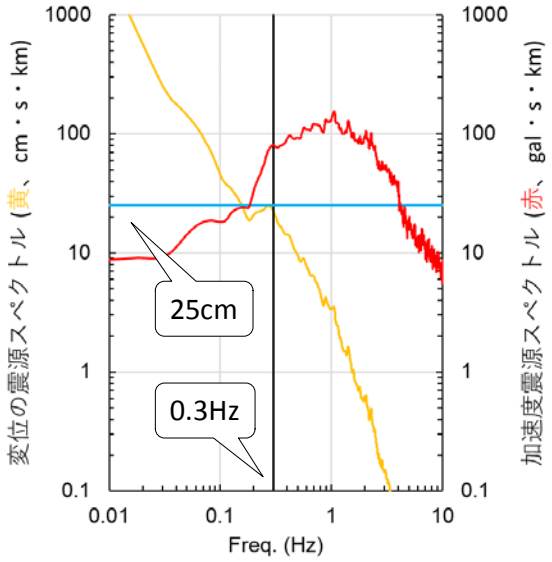


図３－２－②－５　スペクトルインバージョンの結果

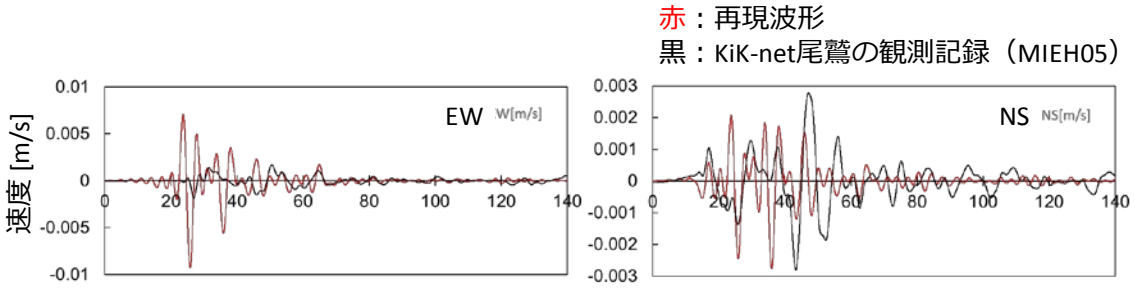


図３－２－②－６　地震動観測記録の再現

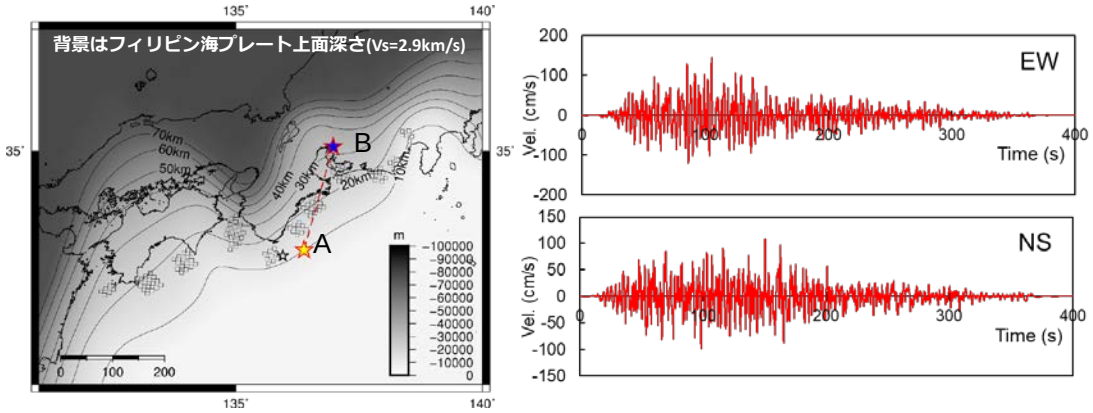


図３－２－②－７　波形合成結果の一例（K-NET 名古屋）

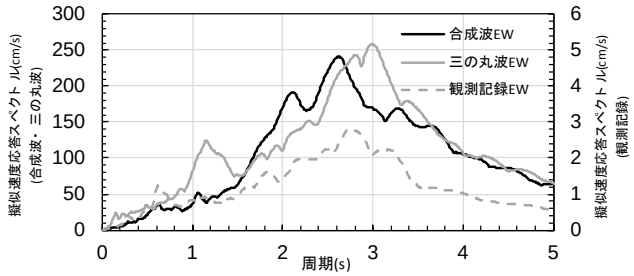


図３－２－②－８　波形合成結果と三の丸波との比較

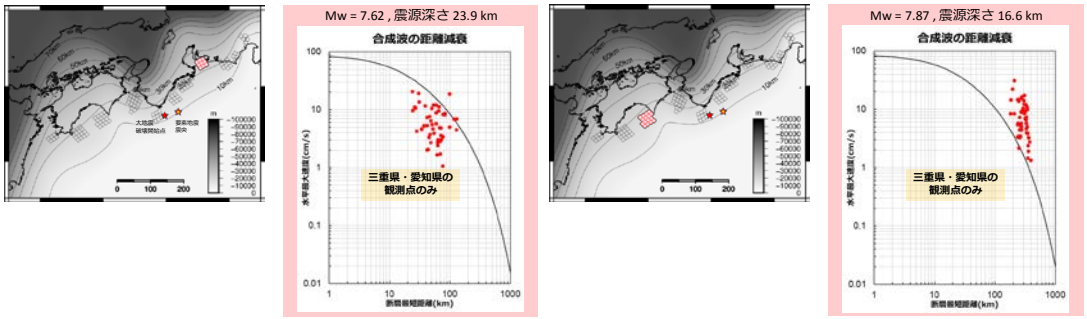


図３－２－②－９　波形合成結果と距離減衰式の比較

③地盤被害

(a) 業務の要約

碧南市蜆川下流域で実施された地盤調査結果を参考に簡易モデルを作成し、想定される南海トラフ地震発生時の河川堤防の地震時変状予測を行った。地震応答解析による検討の結果、地震時に左岸で初期堤防高の約 40%（1.2m）、右岸で約 45%（1.4m）の沈下が生じ、さらに圧密沈下収束後には左岸で 45%（1.4m）、右岸で 53%（1.6m）に達する可能性があることがわかった。右岸において沈下量がより大きい理由は、盛土直下の厚く堆積した軟弱粘性土が地震中に乱され、局所的にせん断変形が卓越するためである。

(b) 業務の実施方法

使用した解析コードは、土の骨格構造とその働きの差異によって砂から粘土、両者が混在した中間土を同じ理論的枠組みの中で記述する弾塑性構成式 SYS カムクレイモデル(Asaoka, A. et al., 2002)を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード *GEOASIA*(Noda, T. et al., 2008)で、静的も動的も区別なく扱う事ができる。解析に用いる弾塑性性状は、現地で実施された地盤調査結果と室内物理試験結果をもとに推定している。

(c) 業務の成果

今回の検討では、蜆川下流域（図３－２－③－１中 No.1 調査地点周辺）で実施された地盤調査結果(愛知県, 2017)を参考に簡易モデルを作成した。簡易モデルを図３－２－③－２に示す。沖積層は砂質土と粘性土（シルト）の互層となっており、その下部に洪積層が存在する。地表付近の砂質土層の N 値は 10 以下と小さく、大地震発生の際は液状化の危険性が高いことが伺える。また、砂質土層の下部に堆積する粘性土層の N 値は１～３程度と軟弱な状態にあることもわかる。粘性土層厚に関しては、右岸側で 20m と厚いのに対し、左岸側では薄くなるのも特徴である。このような地盤に対し、GEOASIA を用いて地震応答解析を実施し、南海トラフ地震来襲時の河川堤防の変状予測を行った。ここでは、河川堤防に対する耐震補強がされていない場合を示す。

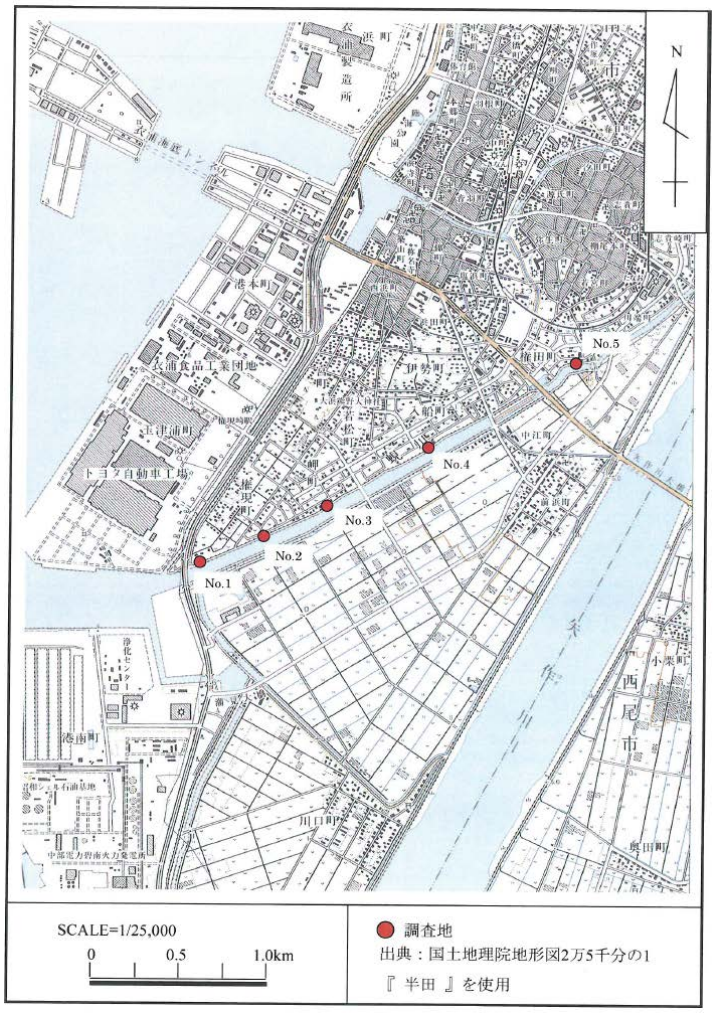


図３－２－③－１　碧南市蜆川周辺図

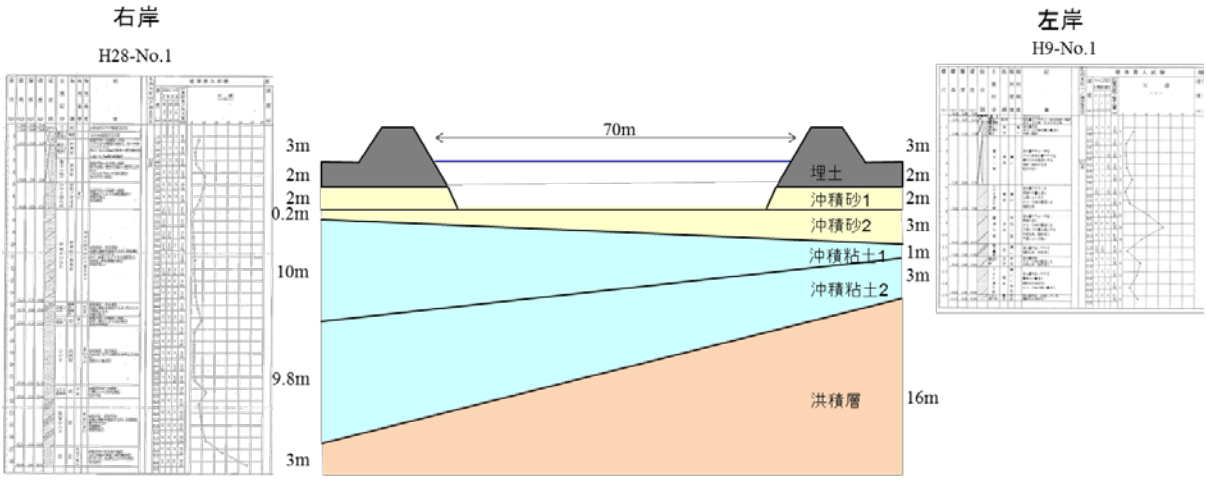


図３－２－③－２　簡易地層断面図

解析に用いた弾塑性性状の一覧を表３－２－③－１に示す。弾塑性性状は、図３－２－③－３に示す粒度試験(愛知県，2017)など、原位置で実施された地盤調査結果（物理試験結果）から決定した。図３－２－③－４～図３－２－③－６に決定した定数から推定した非排水せん断応答と一次元圧縮応答の例を示す。盛土 B 層および沖積砂 As1 層は、非排水せん断応答において塑性膨張を伴う硬化（平均有効応力 p' の増加を伴う軸差応力 q の増加）を示しており、典型的な砂質土の特徴を再現している。一方の沖積粘性土 Ac1 層は、非排水せん断応答における塑性圧縮を伴う軟化（平均有効応力 p' の減少を伴う軸差応力 q の減少）や一次元圧縮応答において正規圧縮線 NCL の上側に応力状態を取る「嵩張り」を示しており、SYS カムクレイモデルに基づくと、構造の発達した軟弱粘性土の特徴を示しており、当該層の N 値が小さいこととも整合する。

表３－２－③－１　解析に用いた弾塑性性状の一覧

		B	As1	As2	Ac1	Ac2	Dc
弾塑性	NCL の切片 N	1.66	1.65	1.66	2.15	2.83	1.99
	限界状態定数 M	1.58	1.58	1.58	1.52	1.45	1.54
	圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.047	0.046	0.048	0.15	0.30	0.12
	膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.0047	0.0046	0.0048	0.015	0.03	0.012
	ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則	$-D_v^p$ と $\|D_s^p\|$ の割合 c_s	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2
	構造劣化指数 $a(b=c=1.0)$	1.34	1.35	1.33	0.57	0.17	0.74
	正規圧密土化指数 m	1.28	1.26	1.30	7.44	87.3	4.31
	回転硬化指数 br	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	回転硬化限界面 m_b	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
初期値	構造の程度 $1/R^*_0$	2.70	2.53	1.55	4.06	4.04	3.47
	過圧密比 $1/R_0$	23.7	26.9	70.6	2.83	2.87	4.07
	応力比 η_0	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
	異方性の程度 ς_0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

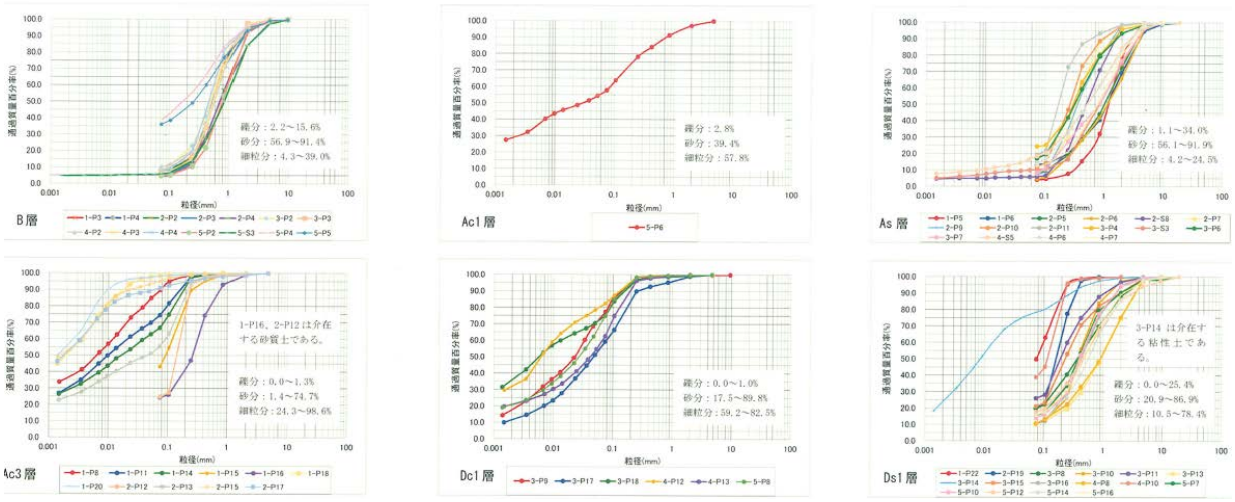
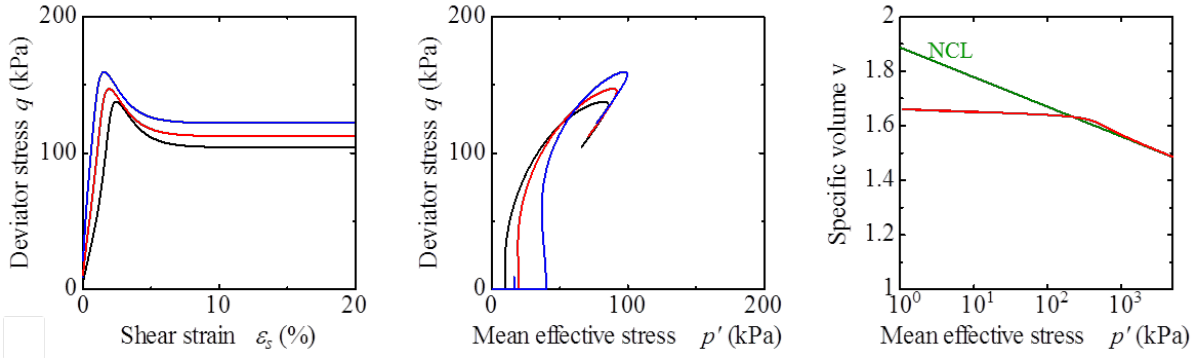
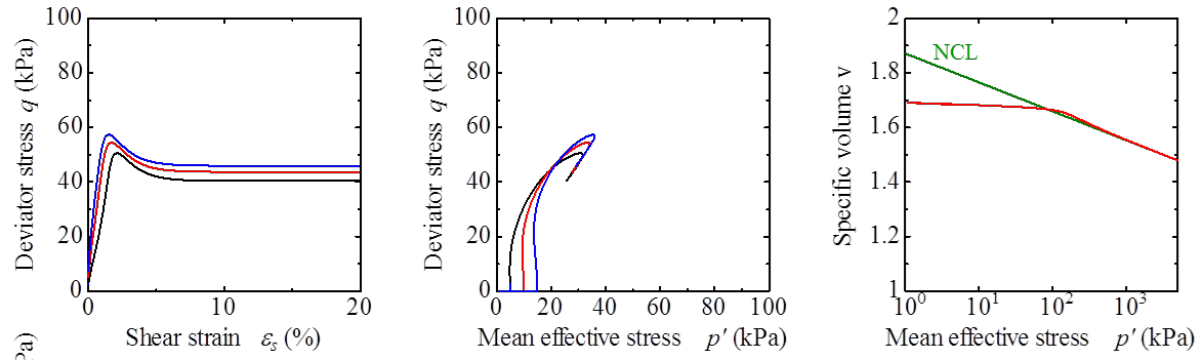


図３－２－③－３　各層の粒径加積曲線のまとめ



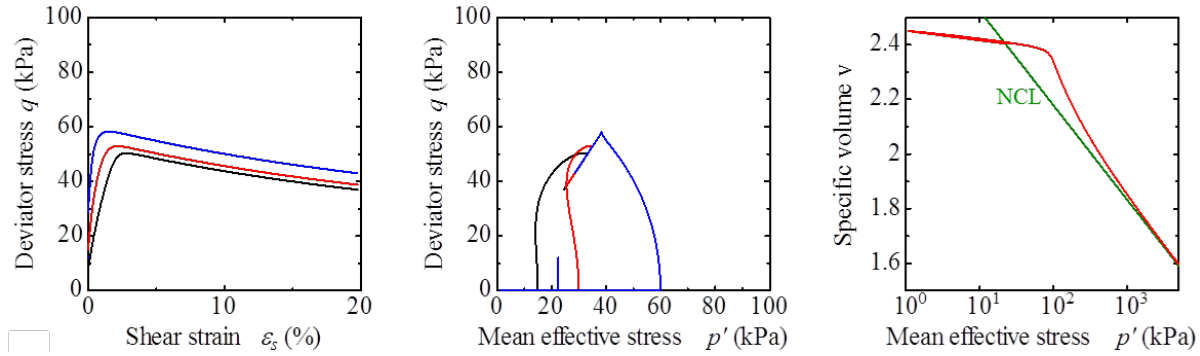
（a）非排水せん断応答　　（b）一次元圧縮応答

図３－２－③－４　盛土 B 層の非排水せん断応答と一次元圧縮応答



（a）非排水せん断応答　　（b）一次元圧縮応答

図３－２－③－５　沖積砂 As1 層の非排水せん断応答と一次元圧縮応答



（a）非排水せん断応答　　（b）一次元圧縮応答

図３－２－③－６　沖積粘土 Ac1 層の非排水せん断応答と一次元圧縮応答

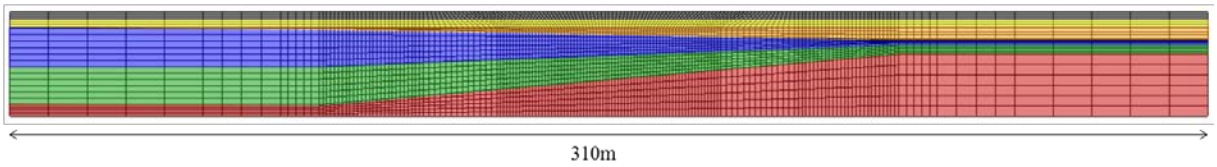
図３－２－③－７は、解析に用いた有限要素メッシュを示す。地層区分および各層の層厚は図３－２－③－２に示すとおりである。地表面が水平な地盤を初期状態とし、有限要素メッシュを追加・削除する方法で、河川堤防構築および河道掘削を行った。水理境界については、両側面および下端は非排水境界であり、地表面は大気圧境界である。解析に用いた地震動を図３－２－③－８に示す。当該地点付近で想定される南海トラフ巨大地震モデル検討会（内閣府）による想定地震動の EW 成分を地盤底面の全有限要素節

点の水平方向に入力した。現地では PS 検層は行われていないが、道路橋示方書(2017)の推定式(1)を用いて、モデル下端におけるせん断波速度 V_s=340m/s と推定した。図３－２－③－８に示す加速度振幅は、この V_s を用いて、翠川三郎(1987)および Sugito, M. et al (2000)の式(2)に従って補正している（振幅を 1.53 倍)。地盤下端節点は底面粘性境界(V_s=340m/sec)を設け、地盤両側端要素に側方境界要素単純せん断変形境界を設けた。なお、解析は盛土部も飽和土として扱っており、降雨が長期間続いている時のように、地下水位面が地表付近にあるもっとも危険な状態を想定していることとなる。

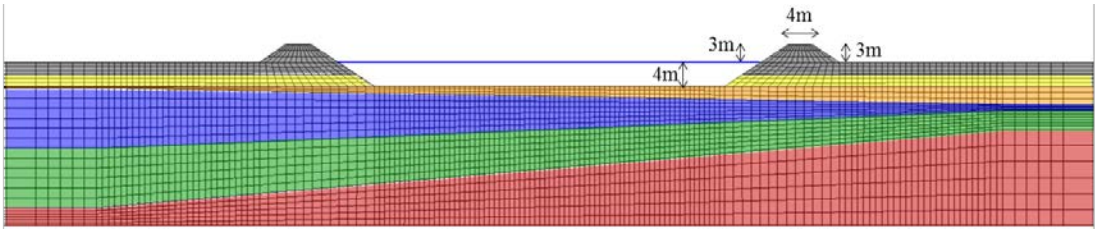
$$V_s = 80 \times N^{1/3} \quad : \text{砂質土}(1 \leqq N \leqq 50)$$
$$V_s = 100 \times N^{1/3} \quad : \text{粘性土}(1 \leqq N \leqq 25) \qquad (1)$$

$V_s = 3000m/s$ を地震基盤とした時の最大速度振幅の増幅度 A_v

$$A_v = 170 \times V_s^{-0.6} \quad : V_s < 1100\text{m/s}$$
$$A_v = 2.5 \quad : V_s \geqq 1100\text{m/s} \qquad (2)$$



(a) 初期メッシュ



(b) 河川堤防構築－河床掘削後

図３－２－③－７　解析に用いた有限要素メッシュ

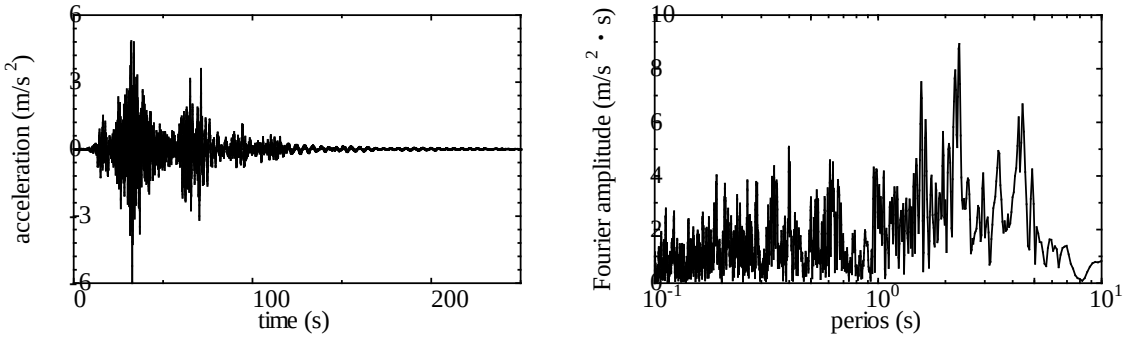


図３－２－③－８　入力地震動

図３－２－③－９は、平均有効応力の経時変化を示す。地震発生直後から、盛土層および浅部砂質土 As1 層で有効応力が低下し、その箇所を中心に地盤が剛性を失っていることがわかる。地震動の継続時間が長いため、主要動付近（③地震発生から 80 秒後）になると、沖積粘土 Ac1 層においても有効応力の低下が見られる。地震被害は砂質土の液状化が中心であり、粘性土層は被害がほとんど発生しないとも言われているものの、対象層のように *N* 値が小さく軟弱な粘性土層の場合、盛土直下のように局所的な上載荷重を受けている場所ではせん断変形が卓越して地盤が乱され、有効応力が著しく低下する。図３－２－③－10 は、せん断ひずみの経時変化を示す。地震直後から盛土内部で円弧上のせん断ひずみが発生し、次第に盛土内部および表層の沖積砂 As1 層へと拡がっていく。上述の通り、盛土直下の沖積粘性土 Ac1 層も地震動で乱され、大きなせん断ひずみが発生する。地震後は成果の過剰間隙水圧の消散とともに、有効応力が回復して圧密沈下が発生し、せん断ひずみが増加する。

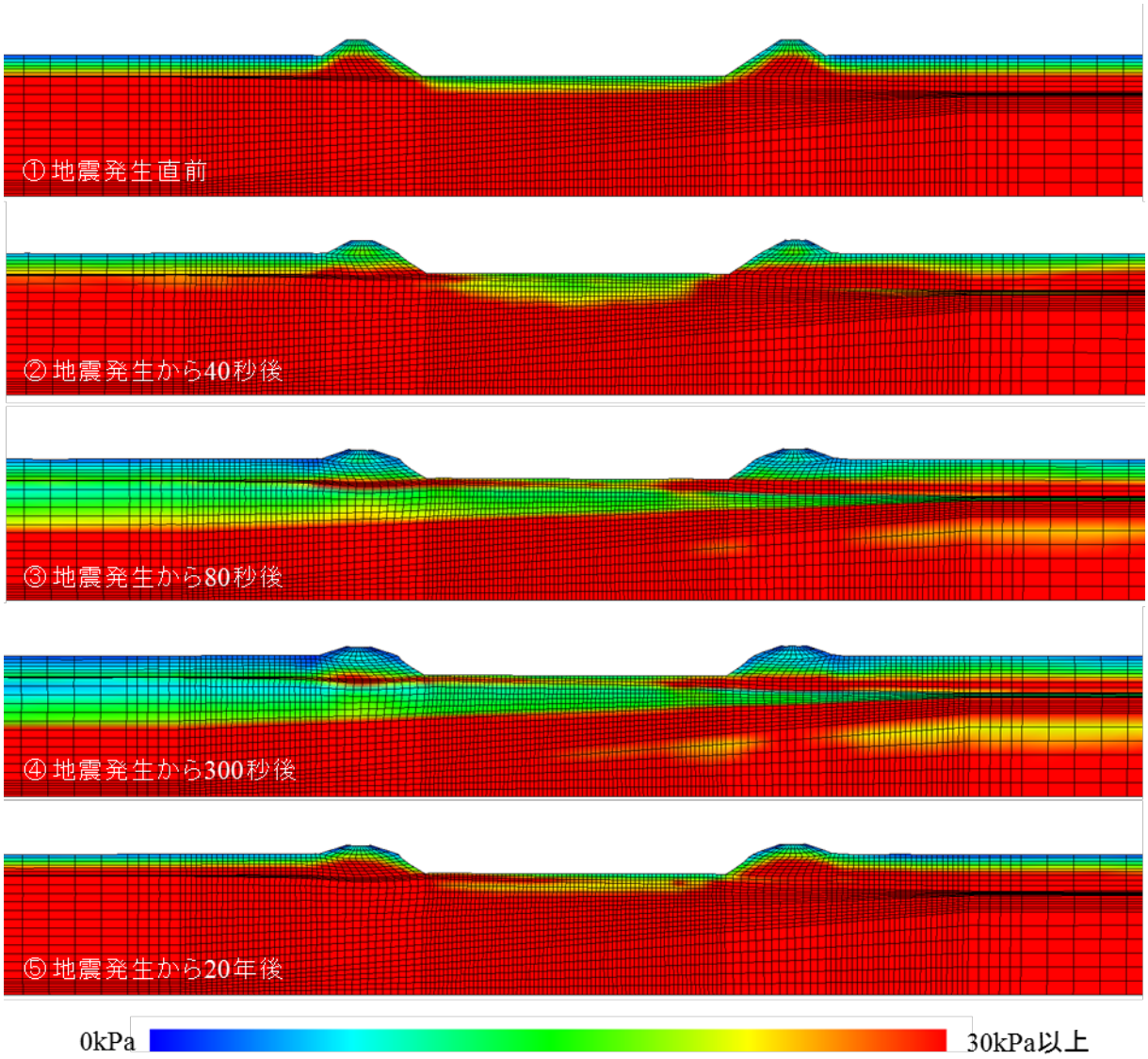


図３－２－③－９
平均有効応力の経時変化

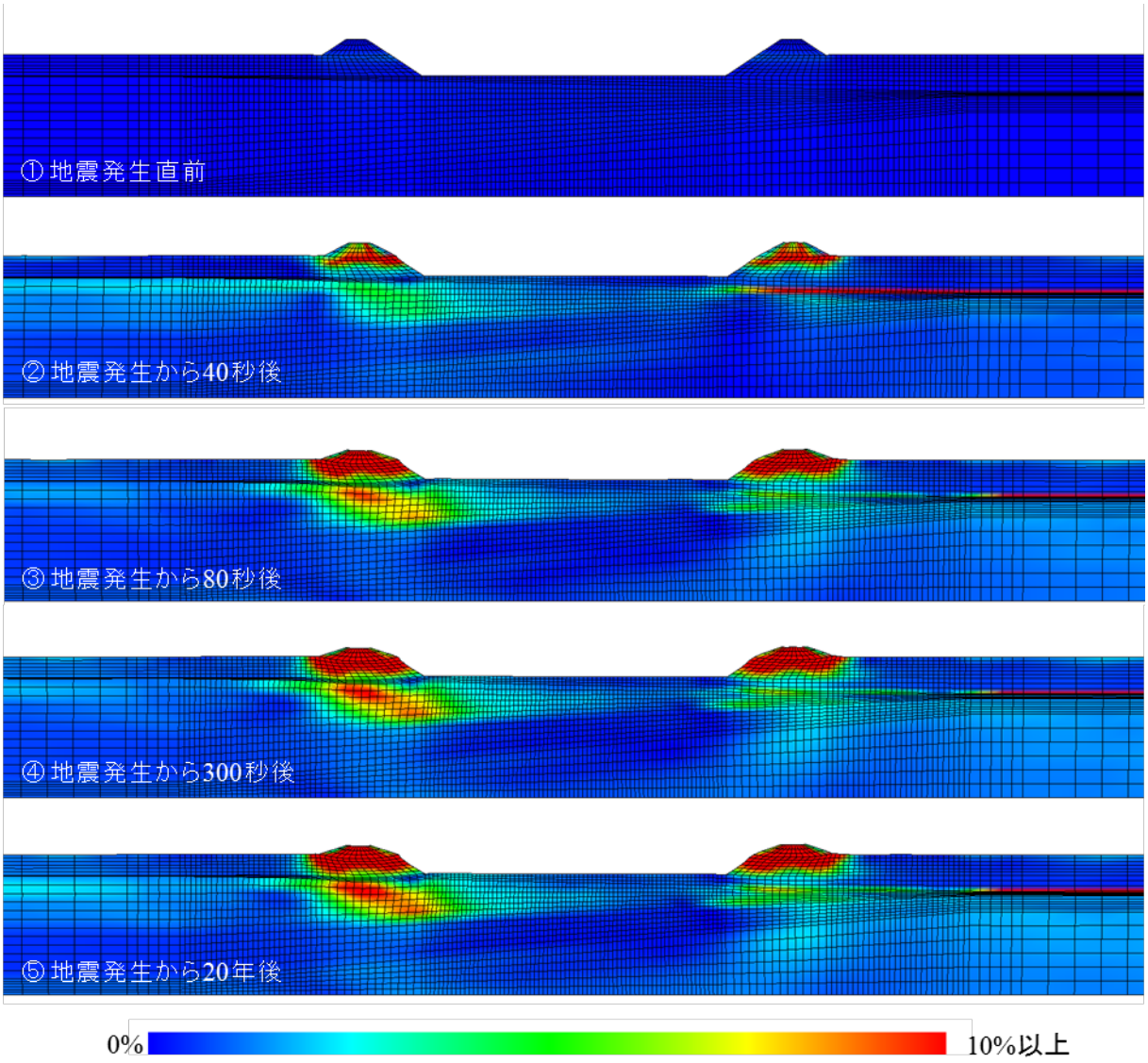


図３－２－③－10　せん断ひずみの経時変化

図３－２－③－11 と図３－２－③－12 は、右岸・左岸の盛土天端の沈下量と盛土直下における層別沈下量を示す。平均有効応力が大きく減少する盛土 B 層と沖積砂 As1 層で大きな沈下を生じ、特に盛土層で大きい。左岸と右岸で比較すると、軟弱粘土層厚の厚い右岸では粘性土層の沈下量も大きい。図３－２－③－13 は、明治以降に日本で発生した地震動による河川堤防の沈下量と堤体初期高さの関係をまとめたものである(国土交通省，2012)。地震動の種類や規模、地盤の状態がそれぞれ異なるので定量的評価は難しいが、地震による河川堤防の沈下量は最大で初期堤防高さの 75%にまで達することがわかる。今回の検討では、地震時に左岸で初期堤防高の約 40%（1.2m)、右岸で約 45%（1.4m)の沈下が生じ、さらに圧密沈下収束後には左岸で 45%(1.4m)、右岸で 53%(1.6m)にまで達することがわかり、堤防機能が低下する可能性があることがわかった。

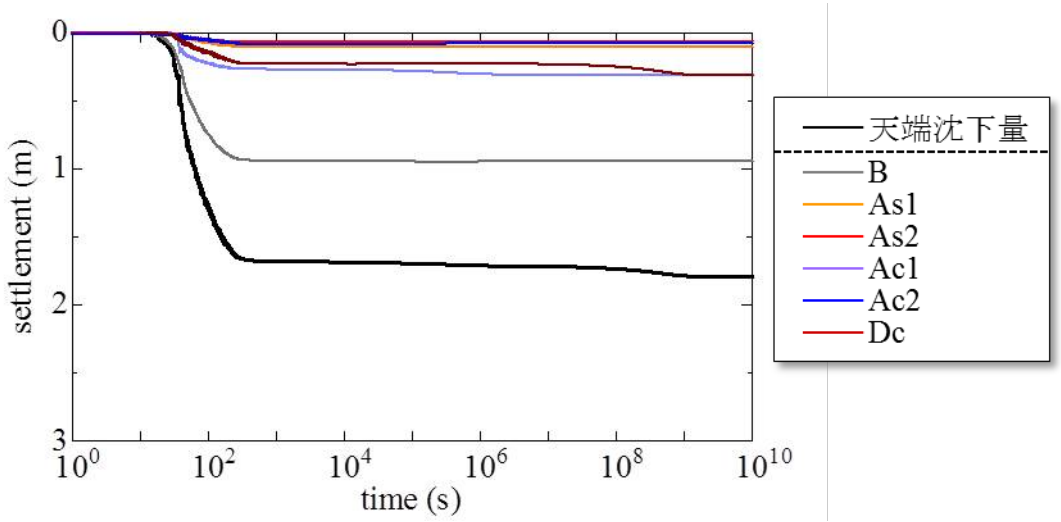


図３－２－③－11　左岸の層別沈下量

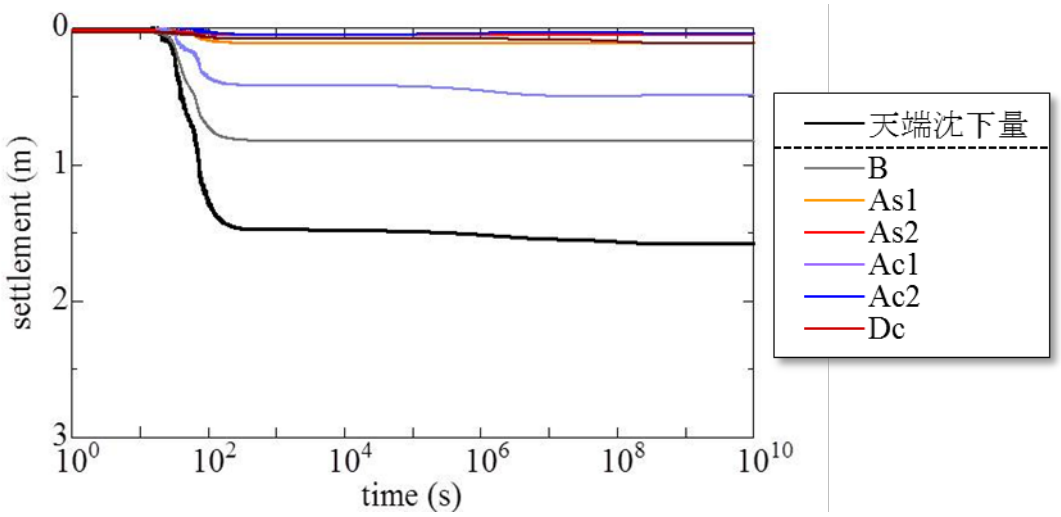


図３－２－③－12　右岸の層別沈下量

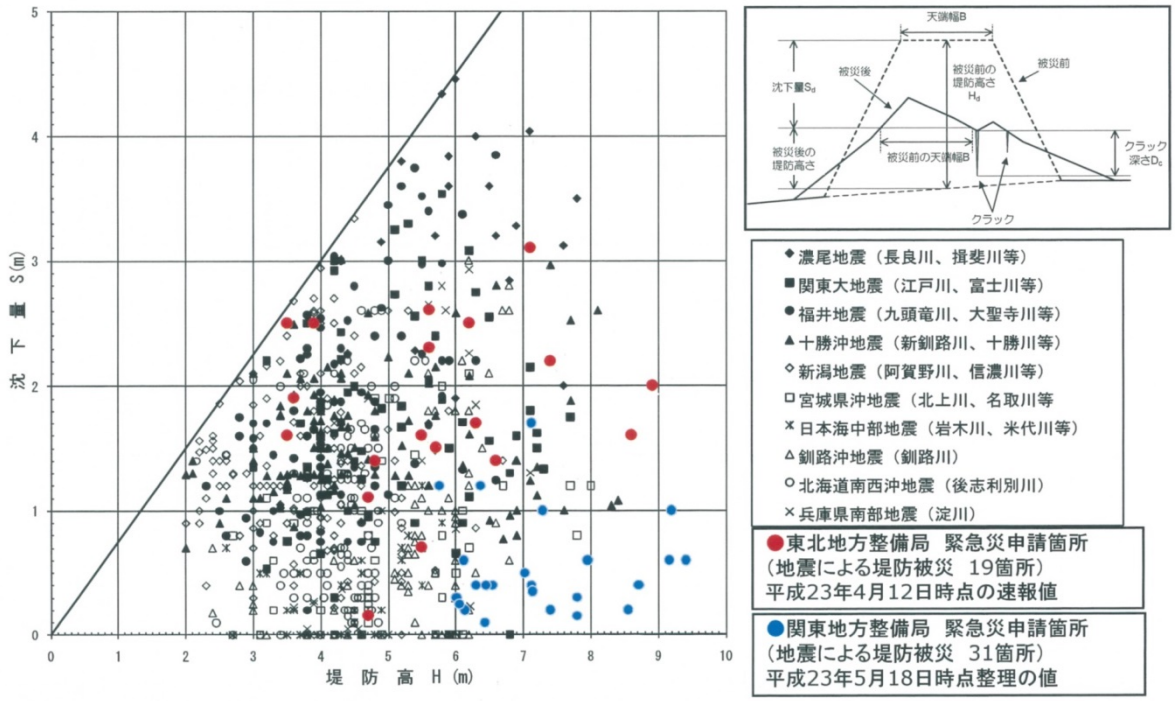


図３－２－③－13　地震動による河川堤防の沈下量と堤体初期高さの関係

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務の結論を述べる。基礎地盤に軟弱粘土層が介在する河川堤防に、南海トラフ巨大地震が発生した時の地震被害評価として、蜆川下流域の簡易モデルを用いた地震応答解析を、GEOASIA を用いて実施した。河川堤防は、地震時に左岸で初期堤防高の約 40%（1.2m）、右岸で約 45%（1.4m）の沈下が生じ、さらに圧密沈下収束後には左岸で 45%（1.4m）、右岸で 53%（1.6m）にまで達することがわかった。右岸において沈下量が大きくなるのは、表層の砂質土だけでなく深部の軟弱粘性土が地震動によって乱され、局所的にせん断変形が卓越するためである。今後は、耐震補強が施された場合の河川堤防の耐震性評価や、地震後に来襲する津波や高潮を考慮しつつ適切な対策を検討していくとともに、異なる地震動を想定したシナリオも把握していく必要がある。また、今回の地震応答解析で用いた弾塑性性状は原位置調査結果と室内物理試験結果から推定している。より詳細な弾塑性性状を把握するためには、現地から採取した不攪乱試料の室内力学試験の実施が必要となる。

(e) 引用文献

1) Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol 42. No.5, pp.47-57, 2002.

2) Noda, T., A. Asaoka and M. Nakano, Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay

model, *Soils and Foundations*, Vol.48, No.6, pp.771-790, 2008.
3)愛知県, 平成 28 年度緊急防災対策河川工事の内地質調査業務委託(堤防耐震対策)報告書, 2017.
4)内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/
5)公益社団法人日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2017.
6)翠川三郎, 関東平野を対象とした震度分布予測, 構造工学論文集, Vol.33B, pp.43-48, 1987.
7)M.Sugito, Y.Furumoto, and T.Sugiyama, Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, Proc. of the 12th WCEE, CD-ROM, Oakland, New Zealand, 2000.
8)国土交通省, 河川構造物の耐震性能照査指針・解説, 2012.

④建物被害

(a) 業務の要約

大規模地震災害時の地域対応において影響の大きい市庁舎等の重要構造物を想定し、強震観測・常時微動測定などによる応答・被害予測の検討を行った。まずモデル地域の市庁舎（10 階建て SRC・S 混合構造、杭基礎）について、常時微動観測に基づく詳細な振動特性評価を行った。また東海地域の免震建物、高層建物、中低層建物などについて、2016 年４月１日に発生した三重県南東沖地震の観測記録の収集・分析を行った。

(b) 業務の成果

1)南海トラフ地震の被災地域に立地する庁舎建物の振動特性評価

a)背景と目的

2016 年４月 14 日及び 16 日に発生した熊本地震では、宇土市、益城町をはじめ熊本県内の７つの自治体で庁舎の損壊等による機能移転を余儀なくされた。このため災害対応に支障を生じる結果となり、復旧・復興への影響も大きく、庁舎建物の耐震対策の重要性を改めて知ることとなった。最近建設される庁舎・病院等の重要建物には免震が採用されるケースが増えているが、上記の被災建物はいずれも中低層 RC 造耐震構造であり、このような一般的な建物の応答・被災の想定に向けた検討が必要である。

ここでは実在する愛知県内の自治体庁舎を対象として、南海トラフの地震に対する被害予測のため、多点同時の常時微動計測を行い建物の詳細な振動特性を把握した。

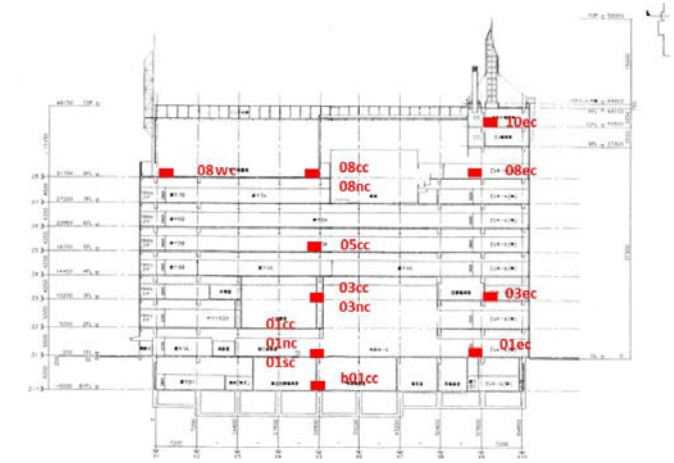
b) 建物と計測の概要

表３－２－④－１に建物概要、図３－２－④－１に断面図、写真３－２－④－１に建物外観を示す。当該建物は 2000 年１月竣工で、地上 10 階（塔屋 8～10 階)、地下１階、最高高さ 59.9m、建物高さ 32.9mである。構造種別は柱が SRC 造、大梁は SRC 造とＳ造を併用した混合構造となっている。平面形状は地下階～３階が 64.8m ×54.5ｍ（東西方向×南北方向)、３～７階は 64.8m×18.5mであり、南北方向でセットバックしている。８~10 階にあたる搭屋は東端にあり、それ以外の７階屋上にはＳ造の屋根型構造が載っている。１階以上は両方向ともラーメン構造で、東西方向では地下１階から７階まで９スパン、南北方向では地下１階から１階までが５スパン、２階が３スパン、３～７階は１スパンとなっている。また２階に 21.6m×18.5m、３階に 36ｍ×18.5m、８階に 14.4m×18.5mの吹抜がある。階高は地下１階が６ｍ、１、２階は５ｍ、３～６階は 4.25m、７階は 4.5mである。基礎は、杭径 1300～2000φ の杭 72 本の場所打ちコンクリート杭による杭基礎構造である。

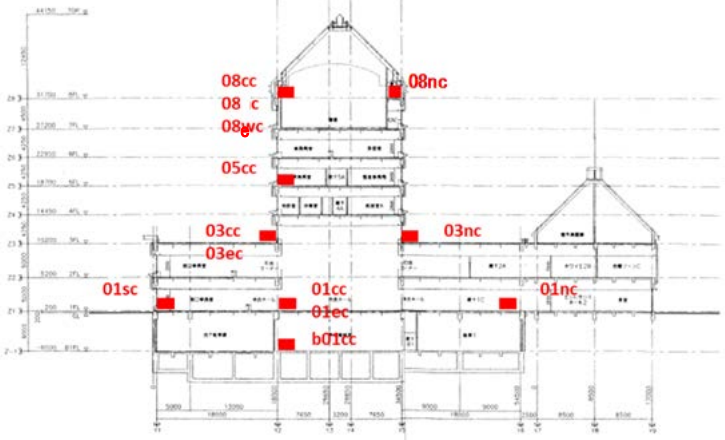
以上の構造的特徴を考慮して常時微動計測を実施した[1)]。使用したセンサは加速度計である。建物内センサの配置を図３－２－④－１の断面図に示す。建物内は 14 点あり、並進、ねじれ、床面内の弓形変形、ロッキング、高次モード、吹き抜けの影響などを考慮した配置となっている。また地盤は、建物への入力を想定して建物周囲４点とした。計測日時は 2017 年 10 月６日、12 時 10 分から 13 時 10 分の１時間、天候は曇りのち雨、風はほぼない状況であった。

表３－２－④－１　計測対象建物の概要

面積：	建築面積　4,524.29 ㎡、　延床面積　18,008.59 ㎡
階数：	地上 10 階（搭屋８～10 階）、地下１階
高さ：	最高高さ 59.9m（突出部）、建物高さ 32.9m
基礎：	杭基礎、基礎深さ（基礎版）GL-10.9m
重要度係数：	1.5（目標値 2.0）
地盤種別：	第２種地盤
竣工：	2000 年１月



(a) 東西断面図（図の右が東）



(b) 南北断面図（図の右が北）

図３－２－④－１　対象建物の断面図、及び微動計の設置位置（設計図書の図面に追記）



写真３－２－④－１　観測対象とした庁舎建物の外観（南側より）

c）計測結果の分析

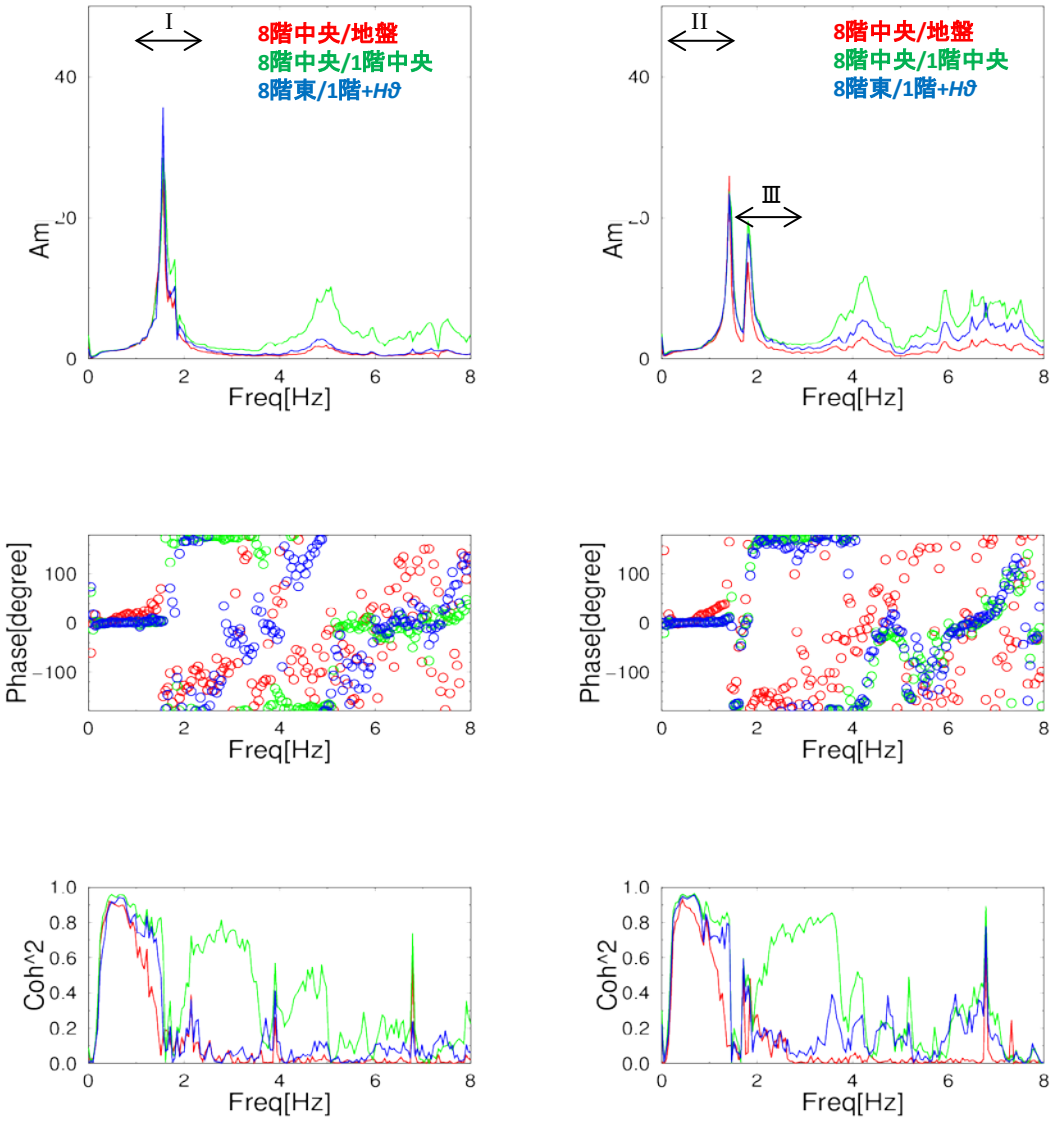
観測は平日の昼に行われているため、大きな人為ノイズ等の影響がある波形は除き、統計的スペクトル解析を行った。まず建物の全体的な振動特性について、建物－地盤連成系（８F/GL)、スウェイ固定系（８F/１F)、基礎固定系（８F/(１F+$H\theta$)）の伝達関数を図３－２－④－２に示す。ここでHは等価高さ、θは１階のロッキング回転角である。図から東西方向の伝達関数で約 1.6Hz、南北方向で約 1.4Hz と約 1.8Hz に明確なピークが確認できる。平面端部の記録も含む後述のアニメーション分析（図３－２－④－６のⅠ,Ⅱ）も参照すれば、低いほうから 1.4Hz が南北方向の並進１次、1.6Hz が東西方向の並進１次、1.8Hz がねじれ１次であることが確認できる。

以上の計測結果から推定した固有周期と減衰定数をまとめて表３－２－④－２に示す。ピークが鋭く明確なため、固有周期は伝達関数またはスペクトルのピーク振動数の逆数、減衰定数は伝達関数のピーク高さから 1/2h で略算した。建物－地盤連成系と基礎固定系で１次固有振動数がほぼ重なっていることから、地盤と建物の動的相互作用は小さいことが推定される。これは地下･低層部の平面が大きいためと考えられる。比較のため設計用固有周期を求めてみると、塔屋を除く建物高さに 0.02 を乗じた値は 0.66 秒となり、２方向の観測周期の中間で、差は振動数にして 0.1Hz 程度と小さい。

次に、対象建物の不整形性などによる特徴的な挙動を分析する。上述のように３階以上の階では細長い平面で、搭屋は東に偏心し、不規則な吹き抜けがある。図３－２－④－３に地下１階、１階、３階、５階、８階の各中央、10 階（東端）の南北方向成分の加速度フーリエスペクトルを示す。並進１次固有振動数の 1.4Hz とねじれ１次の 1.8Hz のいずれも、３階から８階にかけて明瞭なピークが確認できることから、セットバックする３階以上で並進・ねじれともに大きくなっていることがわかる。３、８階で東西両端の南北成分の差および南北端の東西成分の差を、それぞれ計測点間距離で除してねじれ回転角成分を抽出し、それらのスペクトルを図３－２－④－４に示す。これより 1.8Hz に１次ねじれの明確なピークが認められる。また 1.4Hz 近傍の低いピークから、南北方向の１次並進モードもねじれを伴うことがわかる（アニメーション図３－２－④－６のⅢ)。さらに３階では２次に対応する 3.8～４Hz にもねじれ成分が明確である。これらの特性は、塔屋が建物東端にあることや吹き抜けなどにより質量・剛性の偏心があるためと推測される。

長方形平面の面内変形について、両端と中央の南北成分の差から弓型変形成分を求める、図３－２－④－５に８階の弓形変形成分の加速度フーリエスペクトルを示す。4.3Hz と 7.2Hz 近傍にピークが確認できる。アニメーションによりフーリエスペクトルのピークを含む振動数域における挙動を確認すると、4.3Hz(図３－２－④－６のⅣ)では弓型＋並進、7.2Hz（同図のⅤ）では弓型のみが表れている。

スペクトルの考察に合わせて参照したアニメーション[2)]を図３－２－④－６に示す。振動数範囲は、Ⅰ～Ⅲは図３－２－④－２、Ⅳ・Ⅴは図３－２－④－５に示した。これらからも、当該建物の複雑な振動特性を見ることができる。



(a) 東西方向　　(b) 南北方向

図３－２－④－２　計測記録から算定した伝達関数

表３－２－④－２　常時微動計測に基づく固有周期・減衰定数のまとめ

	固有周期（秒）			減衰定数（%）		
	長辺	短辺	ねじれ	長辺	短辺	ねじれ
フーリエスペクトル 8F	0.63	0.71	0.56			
伝達関数 8F/GL	0.63	0.71	0.56	1.96	1.91	3.63
伝達関数 8F/B1F	0.63	0.71	0.56	1.14	1.19	1.91
伝達関数 8F/1F	0.63	0.71	0.56	1.76	2.11	2.55
伝達関数 8F/(1F+$H\theta$)	0.63	0.71	0.56	1.40	2.13	2.81
設計周期 0.02×高さ	0.66					

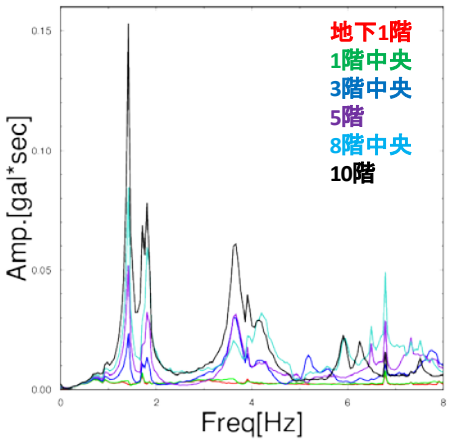
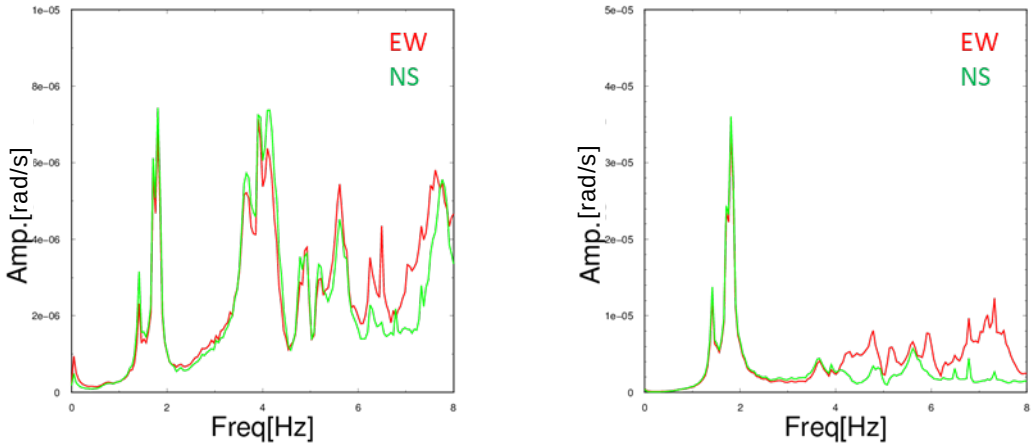


図３－２－④－３　各階の南北方向の加速度フーリエスペクトル



(a)　３階　　(b) ８階

図３－２－④－４　３、８階におけるねじれ回転角の加速度フーリエスペクトル

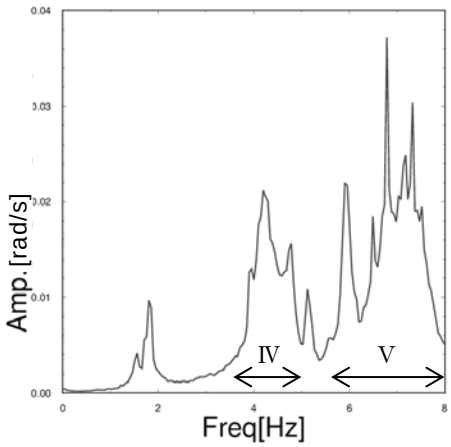


図３－２－④－５　８階・南北方向の弓形変形成分の加速度フーリエスペクトル

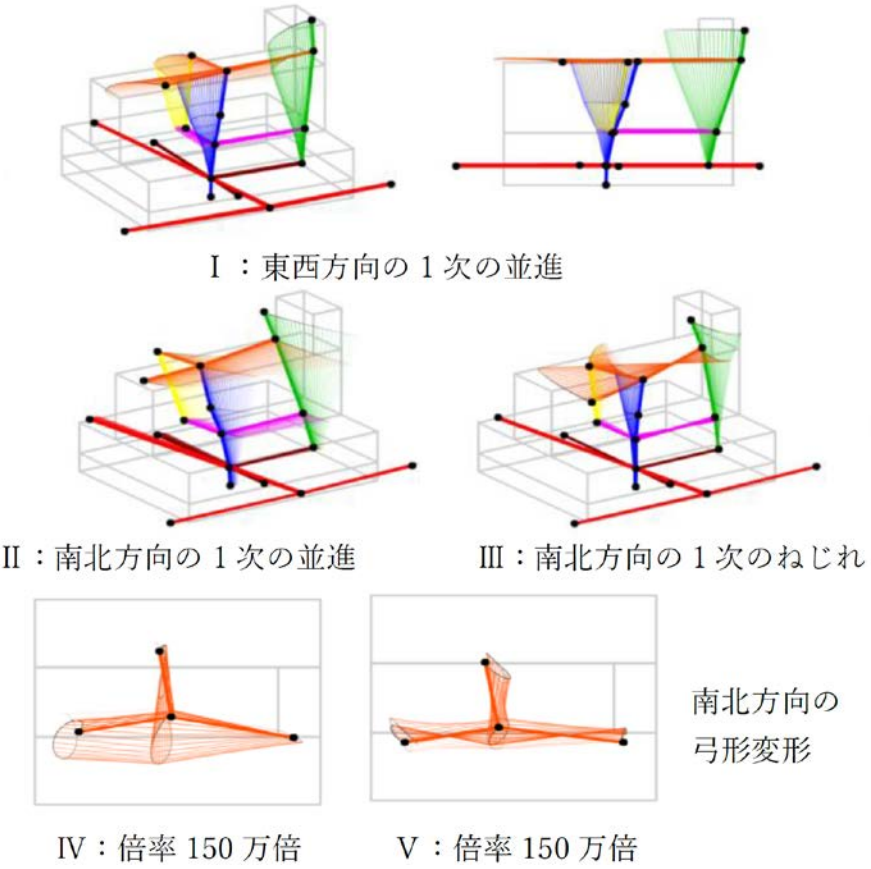


図３－２－④－６　アニメーションによる挙動の確認

（Ⅰ～Ⅲは図３－２－④－２、Ⅳ・Ⅴは図３－２－④－５の振動数範囲を示す）

d）まとめ

南海トラフ地震に対する被害予測を行うための準備として、ある庁舎建物の常時微動多点同時測定を行い、建物振動特性を把握した。３～８階の短辺方向でねじれを伴う並進となり、ねじれ挙動も明確であること、８階床スラブでは弓形の面内変形が生じること、建物と地盤建物の動的相互作用効果は小さいことなどが示された。今後はこれらの特性を参考に建物モデルを構築し、応答解析による検討を行う。

2)2016 年三重県南東沖の地震における東海地域の建物の地震観測記録

a）背景と目的

2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震（M6.1）では、東海から近畿、四国に至る広域で最大震度 4 の揺れとなった。この地震は震源位置が中央防災会議で想定された南海トラフ巨大地震の破壊開始点の近傍であり、メカニズムも類似であることから、観測波形は将来の南海トラフ地震の地震動予測において重要と考えられている。また、2017 年 11 月 1 日より開始された南海トラフ地震に関する臨時情報においては、震源域内でＭ７以上の地震が発生した場合、あるいはＭ６以上でひずみ計に変化がみられる場合には大規模な地震との関連の調査を開始することになるため、このような場合の状況の予測という意味でも検討の必要がある。

本プロジェクトの平成 28 年度報告においては、2016 年三重県南東沖の地震に関する東海地域の地盤観測記録の特性について検討し、1944 年東南海地震の震度分布との比較や地盤構造との関係を考察した。ここでは建物の観測記録を検討する。

b) 免震建物の応答

地震観測記録が得られている免震建物のうち、ここでは表３－２－④－３の３棟の観測結果を検討する。建物 a は大学の防災施設[3]、建物 b、c は庁舎[4]である。各建物の伝達関数などを図３－２－④－７に示す。

建物 a は屋上/基礎と１階/基礎のピークがほぼ重なり、かつ２方向の特性も一致しており、RC 造で壁が多い上部構造が剛体的に挙動している。応答の周期はおおむね 1Hz 前後で、設計周期 5.2 秒に比べてかなり短いが、屋上/１階の固有振動数は 2.6～2.8Hz にあり、免震としての挙動は明快である。これは非線形性の大きい免震装置が使用されていないためと推察される。

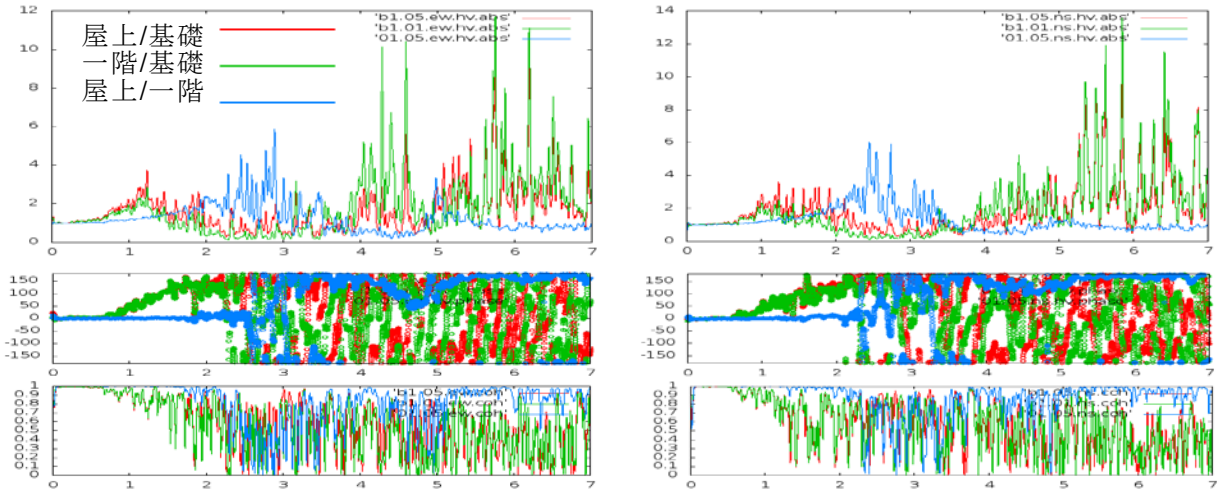
建物 b では、１階/基礎の１次ピークは１Hz 付近で高さも低いが、屋上/基礎の１次ピークは高振動数側で、かつ高い。屋上/１階の１次ピークは 1.7～1.8Hz にあり、さらに２次、３次以上のピークも見られる。これは S 造の上部構造の剛性が RC 造などに比べて相対的に高くなく、増幅するためと考えられる。免震装置は一部に塑性化を考慮しているため、応答振幅によりこれらの特性が変わることが予想される。

建物 c は歴史的な建築物の免震レトロフィットであり、「日」の字型の平面を有するため、高さの異なる建物四辺の挙動に相違があることも予想される。伝達関数の図は建物 a、b とは異なり、建物上部/基礎について建物内の場所による相違を示している。固有振動数は２Hz 強で、他の建物に比して高振動数にあり、応答倍率も大きいため、免震装置の振幅依存性が影響している。一方、建物の場所により応答倍率は異なるが、ピーク振動数はいずれも一致しており、免震として一体で挙動していることもわかる。

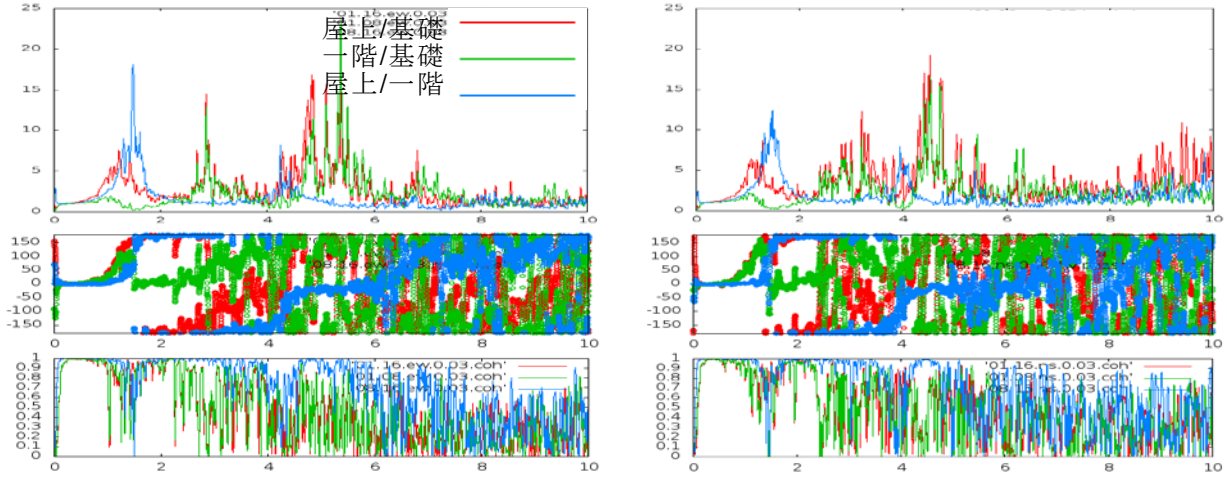
三重県南東沖の地震において名古屋市周辺の震度は２～３、地盤最大加速度は数 gal 程度であり、以上の図からは免震建物は設計時に想定した長周期の応答にはなっていない。一方、同様の構造・高さの建物に比べれば周期は長く、応答増幅は小さくなっており、その程度は免震装置の特性や上部構造の設計によっても異なっている。

表３－２－④－３　観測結果を比較する建物の諸元

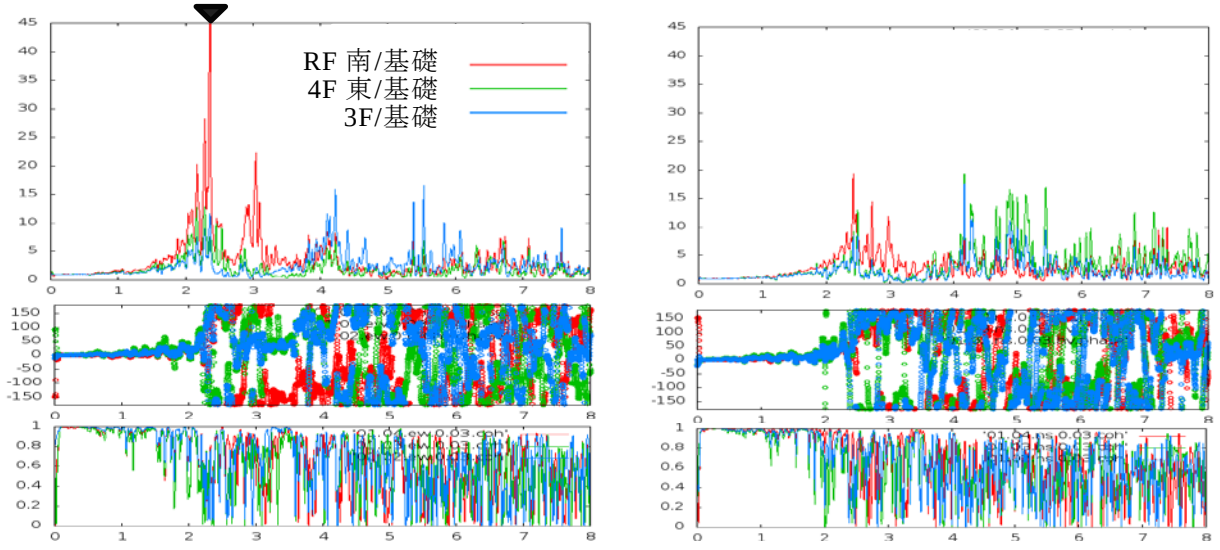
	a 名古屋大学減災館	b 半田市庁舎	c 愛知県庁舎
建設年	2014	2014	1938、2008 免震レトロフィット
階数	地上 4 階＋屋上実験室	地上 5 階、搭屋 1 階	地上 6 階、地下 1 階、搭屋 1 階
述床面積	2,898	15,181	28,314
構造種別	RC 造	S 造（一部 SRC、RC）	上部 SRC 造、下部 RC 造
基礎種別	直接基礎	直接基礎	直接基礎
免震装置	天然ゴム系積層ゴム CLB（直動転がり支承） オイルダンパー	天然ゴム系積層ゴム 鉛プラグ入積層ゴム CLB（直動転がり支承） オイルダンパー	鉛プラグ入積層ゴム CLB（直動転がり支承） オイルダンパー 鉛ダンパー
設計周期	5.2 秒	4.7 秒	3.9 秒
地盤震度	2	3	2
特徴	建物加振設備	接続型スイッチダンパー	文化財の免震レトロフィット



(a) 建物 a　左：EW 方向、右：NS 方向



(b) 建物 b　左：EW 方向、右：NS 方向



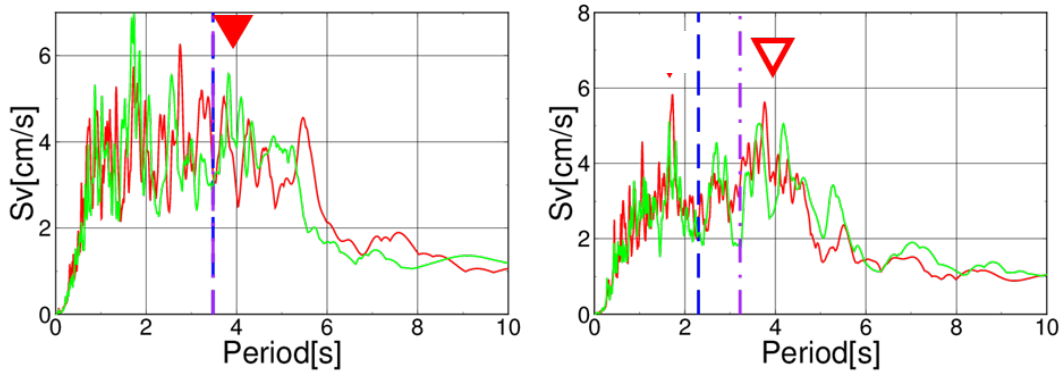
(c) 建物 c　左：EW 方向、右：NS 方向

図３－２－④－７　三重県南東沖の地震における免震建物の応答の伝達関数
各図で上段：伝達関数の振幅、中段：伝達関数の位相、下段：コヒーレンス

c）高層建物の応答 [5)]

名古屋周辺の高層建物でも地震観測記録が得られている。応答は頂部で 10 数 gal 程度であり、ほぼ弾性応答となっている。ここでは、地盤入力に対する共振について検討する。図３－２－④－８に、名古屋市に立地する２棟の高層建物の直近の地盤観測点における三重県南東沖の地震の際の速度応答スペクトルを示す。それぞれ地盤構造に対応する深部地盤卓越周期を▽、観測値から推定した建物の水平２方向の固有周期を縦の破線であわせて示した。観測された地震動のスペクトルは深部地盤の卓越周期に近い成分を多く持っている。建物ｄでは地盤と建物の周期が比較的近接しているのに対し、建物ｅは比較的剛性が高く地盤周期と離れていることがわかる。

特に高層建物に関しては、今回の地震記録を用いて経験的グリーン関数法などにより南海トラフ地震の入力地震動を推定することで、応答状況の検討ができるものと推察される。



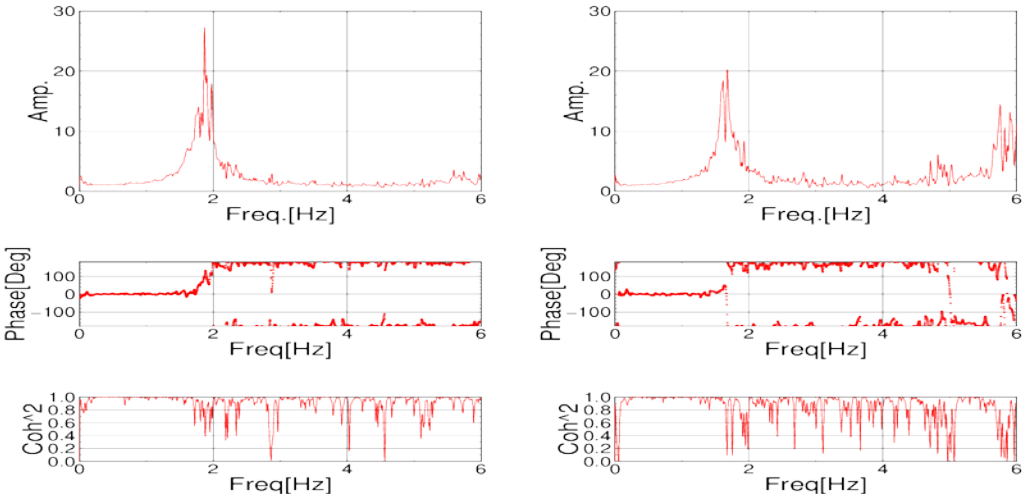
(a) 建物ｄ（高さ 134m）　　(b) 建物ｅ（高さ 170m）

図３－２－④－８　三重県南東沖の地震における高層建物の入力地震動

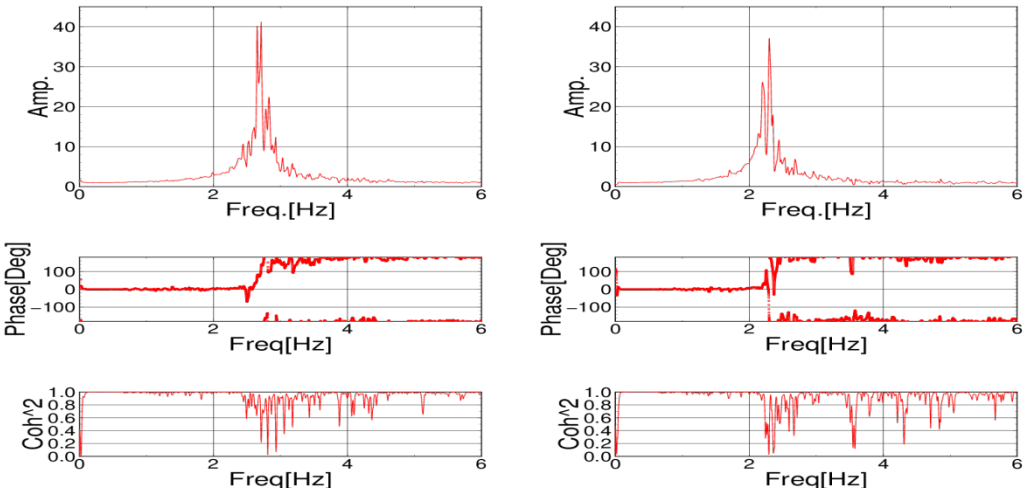
d）中低層建物の応答

中低層建物では、本プロジェクトの平成 25～26 年度報告書で検討した地震観測対象建物 [6)]などで三重県南東沖の地震の記録が得られている。ここでは、それらのうち３棟について観測記録を検討する。ここで扱うのは、建物ｆ（SRC 造 10 階）、建物ｇ（PC 造７階）[7)]、建物ｈ（SRC 造６階）であり、平成 26 年度報告書の表３－２－④－１において、それぞれ②、③、⑤にあたる。建物の応答最大値は建物ｆで 17gal、建物ｇで 9gal、建物ｈで 7gal 程度、地盤はいずれも震度２、３gal 程度である。各建物の伝達関数などを図３－２－④－９に示す。

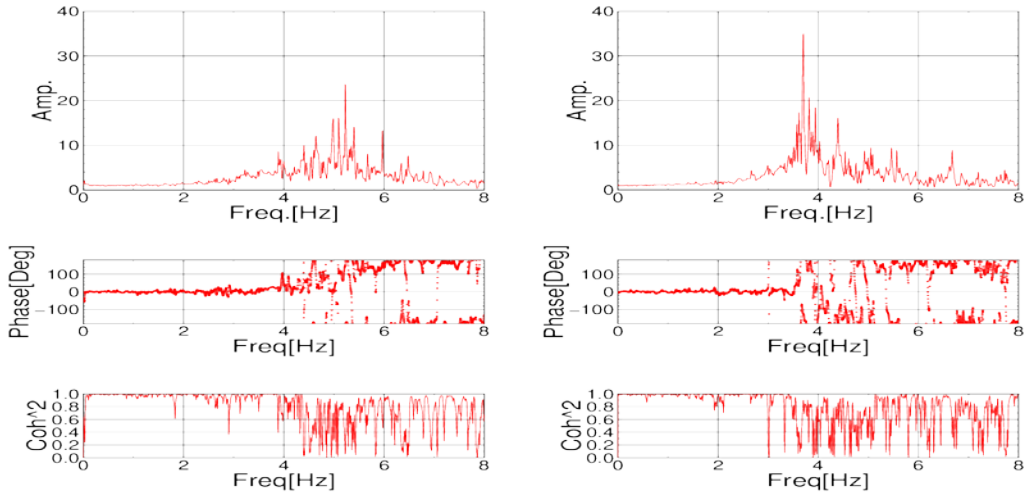
いずれの建物でも１次固有振動数は明確であり、減衰定数は２～３%程度と小さめに推定される。これらの値は、これまでの地震記録や常時微動観測とほぼ整合する。ただし建物ｈの長辺方向のみ、従来の観測記録や常時微動の結果に比して、より高振動数にピークがある。三重県南東沖の地震におけるこれらの敷地の地盤記録は約４Hz 以上の振動数域で振幅が小さいこと、建物ｈの長辺方向に RC 造３階の建物が隣接していることなどの影響を受けたと考えられる。このような一般的な建物は、なるべく多数の対象で記録の蓄積を行う必要がある



(a) 建物 f（SRC 造 10 階　左：長辺方向、右：短辺方向）



(b) 建物 g（PC 造 7 階　左：長辺方向、右：短辺方向）



(c) 建物 h（SRC 造 6 階　左：長辺方向、右：短辺方向）

図３－２－④－９　三重県南東沖の地震における中低層建物の応答の伝達関数
各図で上段：伝達関数の振幅、中段：伝達関数の位相、下段：コヒーレンス

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ地震における重要建物の応答と被害を推定するため、地震観測や常時微動測定などによる応答特性特性の検討を行った。まず一般的な構造（非免震）の庁舎建物について、常時微動多点同時測定を行い、振動特性の抽出を行った。結果として、細長い平面となる上層階で水平応答が増幅すること、ねじれを伴う並進となること、床面内の弓形の変形が存在すること、建物と地盤の動的相互作用は低層部の影響で小さいことなどが確認された。これらの知見に基づき、実際的な建物モデルの構築と応答解析結果の検討を行うことを予定している。

地域の地震観測データの蓄積の観点から、2016 年三重県南東沖の地震の観測記録の収集・分析を実施した。昨年度に検討した地盤の記録に加えて、今年度は建物観測記録を分析した。免震建物は小振幅の応答で周期は短くなるとともに、免震装置の種類や上部構造の構造種別・形式によっても相違があることを示した。高層建物は、近傍地盤観測点のスペクトルから、深部地盤構造に対応する長周期の卓越成分があること、建物の固有周期と地震動の卓越周期が比較的近い建物の強震の可能性などを検討した。中低層建物は、振幅が小さいため比較的整った振動特性を示している。

今後は、これらの観測記録を用いて、本震時の入力地震動の推定とそれに基づく適切な建物モデルの構築を通じて、応答・被害予測への活用を検討する必要がある。

(e) 引用文献

1) 山下善也、護雅史、福和伸夫、飛田潤、井上波彦：高密度常時微動計測に基づく軟弱地盤に立地する杭基礎中層 RC 造建物の振動特性と動的相互作用効果、日本建築学会技術報告集、Vol.20、No.46、pp895-899、2014.10
2) 廣野衣美、牧原慎一郎、福和伸夫、飛田潤、護雅史、小島宏章：多点多成分振動観測記録の効果的な分析を支援する動画アプリケーションの開発、日本建築学会技術報告集、第 28 号、pp.423-428, 2008.10
3) 成澤健太、福和伸夫、飛田潤：実在免震建物を利用した振動実験環境の構築、構造工学論文集、Vol.63B、pp.251-258、2017.3
4) 西澤崇雄、大野富雄、大西稔、福和伸夫：愛知県庁本庁舎免震レトロフィット工事における基本設計の概要、第 28 号、pp.465-470, 2008.10
5) 松下卓矢、西澤崇雄、飛田潤、福和伸夫：振動実験・強震観測に基づく超高層建物の振動特性とその変化、日本建築学会技術報告集、Vol.20、No.46、pp.879-884、2014.10
6) 松下卓矢、飛田潤、福和伸夫：長期の強震観測に基づく複数の中低層建物の応答特性とその変化、構造工学論文集、Vol.60B、pp.441-452、2014.3
7) 海野元伸、福和伸夫、飛田潤：高密度観測・強制加振実験に基づく地盤－建物連成系の立体振動性状及び履歴特性評価、構造工学論文集、Vol.57B、pp.239-248、2011.3

⑤ ライフライン

(a) 業務の要約

平成 29 年度は、南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧についての検討を目的として、電力については、電力復旧におけるボトルネックについて議論するとともに、そのうちの道路について、電力復旧の観点からの道路・区間に対する優先順位付けについて検討した。また、上水道については、具体的な地域の水道網を対象に、現状の施設が被災した場合ならびにハード対策を講じた場合の施設被害を推計し、両者の比較を行った。

(b) 業務の実施方法

本章では、電力および上水道に着目して、南海トラフ巨大地震による電力復旧方策の検討と上水道被害の推計を行った。

電力については、産官学の連携の場（プラットフォーム）を活用し、電力復旧に係るボトルネックについて議論するとともに、中でも電力復旧に不可欠な道路について、電力復旧の観点からの道路・区間に対する優先順位付けの方策等について検討した。また、上水道については、昨年度までに構築した被害予測手法を活用して具体的な地域の被害予測を行うとともに、施設被災に伴う断水による需要者への影響を想定した。

(c) 業務の成果

1) 電力

a) 南海トラフ地震による電力需給ギャップ対策の方向性

前報までの考察により、南海トラフ地震発災時における電力需給シミュレーション事例について調査した結果、季節・時間帯によっては２週間から１か月程度の電力需給ギャップが生じ、需供双方によるギャップ抑制の対応が必要になることが解った。また、需給ギャップ解消のための地域連携の取組み事例として、西三河防災減災連携研究会において地域連携の現状と課題に関するワークショップを実施した結果、行政やインフラ事業者等の双方が互いに被害復旧に関する知見や対応方針を共有しておくことが重要であることがわかり、そのための産官協働で課題解決を考える枠組構築の有効性が把握できた。とりわけ、南海トラフ巨大地震のような広域災害においては、復旧リソースが限られることが明白であることから、具体的地域における組織間相互の対策方針の整合や復旧の優先順位等についての意見交換および合意形成をしておくことが有効となる。

b) 電力復旧に供する重要道路の抽出の試み

上述のように、膨大な復旧リソースが求められる南海トラフ巨大地震による復旧活動については、各組織間でその復旧方針や優先順位などについてあらかじめ議論しておくことが重要である。また、これら議論を進め、実効性をともなったものとするためには、具体的な地域を特定し、その地域の特性を踏まえるとともに、地域に根差す様々な組織が共通して抱える課題を具体的に設定することが有効となる。

前報までの平成 23 年東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震における電力の復旧過程でも見たように、電力設備・ネットワークの早期復旧には、被災設備・箇所への人材・物資を早期に投入することが求められ、そのための道路啓開が重要となることは明白である。また、電力だけでなくガス・水道を含めたライフラインの復旧活動はもとより、被災直後の人命救護・保護・支援活動等、あらゆる面で、人材・資機材・物資の運搬のために道路の早期啓開は必要不可欠となる。

これらを踏まえ、本検討では、具体的地域として名古屋市周辺において、復旧活動に欠くことのできない重要な社会基盤である道路の早期啓開を具体的検討課題として、その区間等に対する優先順位付けの方策について検討を試みることとした。

なお、ある道路・区間に対する優先順位付けは、発災後の限られたリソースの中での効果的な人材・資機材の投入先の選択・選定に供するだけでなく、事前対策として、その優先順位に従って順次対策を講じていくことができるなど、限られた資金の中で効果的な対策を進める上でも有意義である。

c）道路・区間の優先順位付けの方法および試検討

道路は、主に人・モノを、ある地点（始点）から他のある地点（終点）へ運ぶために用いられ、両地点を結ぶルートは、多くの場合、複数のルートを選択することができる。発災直後などの非常時においては、始点・終点間を結ぶ複数のルートから、被災状況（通行の可否）を第一義的に加味してルートが選択されるが、平時においては、これら複数のルートの内、移動時間や通行性などから効率的なルートが選択されている。平時において選択される道路・区間が、非常時にも使用できるのであれば、より効率的・効果的な復旧・復興作業につながることと期待される。

本検討では、発災直後の人命保護・支援に加え、電力施設の機能維持・早期回復などのために、人材・資機材の運搬が特に期待される様々な地点間を結ぶルートを平時の考え方で選択し、これら選択された多数のルートの重なり合う道路・区間を、より重要度が高い道路・区間と考え、重なり合いに応じて、優先順位付けすることとした。

発災後における物資等の運搬が重要となると考えられる、緊急支援物資の運搬および電力施設復旧に係る人材・資機材等の運搬について、それぞれの始点・終点を複数点選択し、各始点・終点間を結ぶルートの検索およびその重なり合いを算定した。

緊急支援物資について、いわゆる「国のプッシュ型支援」では、被災地域外から様々な方法（陸送、空送、海送）で、広域物資輸送拠点に入り、そこから地域内輸送拠点、避難所等に運搬されるものとされている（愛知県，2016）。今回は、仮に海送された物資が一旦名古屋港に荷揚げされ、この名古屋港から各広域物資拠点に陸送されると想定し、荷揚げ地点を始点として、名古屋港の岸壁のうち大江ふ頭および潮凪ふ頭を選定（愛知県，2016）するとともに、愛知県指定の広域物資拠点（愛知県，2016、中央防災会議幹事会，2017）を終点として選定してルート検索を行った。

電力施設について、電気は発電所で作られた電気が送電網を介して終端利用者へ運ばれるが、その際、電気ロス低減および公衆保安などから、発電所から終端利用者への流れの中で順次電圧を下げて届けられている。このような変圧を行う主な電力施設

が変電所であり、電力供給ネットワーク全体の中でもひとつの基幹部となることから、変電所の早期機能回復は、電力復旧の重要な一要素となる考えられる。そこで本検討では、各変電所を人材・資機材等の運搬先（終点）として選定し、人材・資機材の運搬元（始点）を各変電所の最寄りの電力センター・電力所と仮定して選定した。電力センターおよび電力所については中部電力 Web ページ（http://www.chuden.co.jp/corporate/company/officelist/jigyosho/jig_aichi/index.html）から地点を特定し、変電所については、中部電力電力設備系統図（https://www. chuden.co.jp/resource/corporate/com_setsubi_2016.pdf）を参照するとともに地図等から検索した。

始点・終点間のルート選定については、カーナビなどで経路探索に用いられるダイクストラ法（Dijkstra, 1959）によりルートを特定した。なお、その際、高速道路・有料道路はルート検索対象から除外した。そして、各始点・終点間のルートが重なり合う部分の重複数を算定し、重複数が多い道路・区間をより重要な道路・区間として抽出した（図３－２－⑤－１）。図３－２－⑤－１は、上記方法で検索されたルートのうち重複数の多い道路・区間がより太く、また青→紫→赤と着色して表示したものである。

このような方法によって、道路ネットワークの中から、ある観点をもって、道路・区間に対して優先順位を付与することができる。

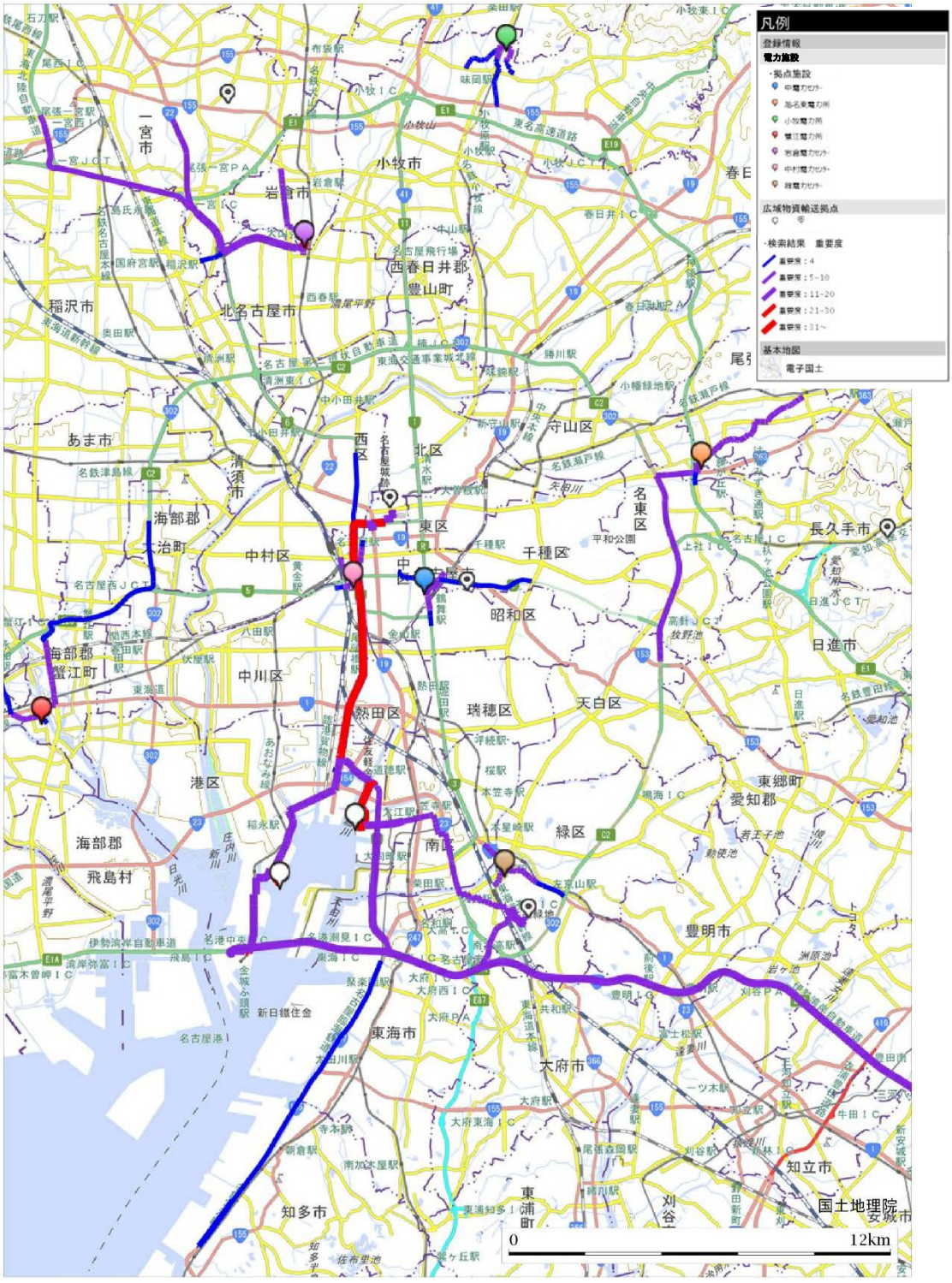


図３－２－⑤－１　名古屋市周辺における重要な道路・区間の抽出例

d）課題および今後の検討方針

上記「c）道路・区間の優先順位付けの方法および試検討」では、緊急支援物資の運搬および電力設備の早期復旧に資する人材・機材の運搬の観点から、重要な道路・区間の抽出し、ある道路・区間に対する優先順位付けの方法について検討した。

しかしながら、実際に事前対策を進める上でのインセンティブや事後対応の基礎デ

ータとして活用するには、現実に即したデータの使用および検討が必須である。
以下では、本検討をより実効性の高いものとするための課題などについて記す。

＜取り上げる観点についての合意形成＞

上記試検討では、検討の例として緊急支援物資の運搬および電力設備の早期復旧に資する人材・機材の運搬の観点を取り上げた。

緊急支援物資の運搬など、人命保護に直接的に関係する観点については、取り上げるべき観点として比較的容易に合意されるとも考えられるが、一方で電力については、社会機能を支える重要なライフラインであり、復旧・復興には欠かせないものではあるが、電力だけでなく、ガス、水道、燃料などについても同様に社会機能維持には欠かせないものである。また、復旧・復興活動のタイムラインを考えた場合においては、発災直後とある程度時間が経過した状態とでは、必要とされるものが変化することもある。

今後は、これら様々な観点を洗い出すとともに、タイムラインを意識して、それぞれ重要となる観点での抽出結果を重ね合わせて考える必要がある。

＜より正確なデータの使用＞

上記試検討において、緊急支援物資についての観点としては海上輸送拠点から広域物資輸送拠点間を、電力施設としては電力センター等から変電所間を考慮の対象とした。

緊急支援物資に関しては、海上輸送だけでなく、陸送、場合によっては空輸などの手段も考えられるため、このような点についても考慮する必要がある。また、平成 28 年熊本地震における物資輸送について指摘されている「ラストワンマイル（平成 28 年熊本地震に係る初動対応検証チーム，2016)」を踏まえると、広域物資輸送拠点から地域内輸送拠点間、地域内輸送拠点から各避難所間については、より一層道路による輸送が重要となり、これらを考慮する必要もある。

電力施設に関しては、まずもって電力施設の正確な位置データを用いる必要があるが、公衆保安等の観点から、一般にデータ入手が困難なものと考えられる。また、今回は、仮に電力センターを変電所復旧の拠点的に扱ったが、実際の電力復旧活動においてもこのようなオペレーションが為されるか、詳細は不明である。

今後は、物資輸送を担う自治体やライフライン企業などと広く連携して、現実に即したデータや想定を用いて検討を行う必要がある。

2) 上水道

a)はじめに

「南海トラフ巨大地震対策検討WG」の最終報告(内閣府、2013)における、上水道の被害想定手法は、津波（浄水場の停止）や停電（浄水場の停止）が全体系に及ぼす影響について、東日本大震災の教訓として考慮されているものの、簡易的な予測に留まっている。水供給システムの特徴である連続性（取水～浄水～送配水に関わる施設・管路等の全ての設備が無被害で供給可能）や、ネットワーク（隣接市町村や他系統からのバックアップ等）等を考慮した、上水道被害想定手法の高度化を目指し、平成 25、26 年度では、上述した内容を含む、国および自治体の上水道被害想定手法が抱える課題を明らかにし、それらを克服する高度化した被害想定手法の構築を試みた。平成 27 年度は、構築した被害想定手法を用いて、愛知県内のある市町村を対象に、南海トラフ巨大地震時における上水道設備の被害想定および復旧予測を実施した。これらの検討を通じ、浄水場や配水池等の構造物や上流側の施設にもたらされる被害を考慮した、より正確な被害予測が可能となった他、断水による需要者への影響を定量的に評価することが可能となった。

上記の検討に加えて必要となるのが、被災による施設被害や需要者への影響を低減するための減災計画策定に資する知見である。当該計画を構成する水供給システムの減災対策としては、管路や施設の耐震化をはじめとするハード対策の他、被災した管路を修繕する復旧班の適正配置や、応急給水車の活用といったソフト対策も考えられる。しかしながら、南海トラフ地震の発生が間近に迫っていることや、水道事業体の人員に限りがあることを踏まえると、全ての対策を即座に施すことは難しい可能性がある。ついては、減災効果と対策の実行可能性の両方を考慮した各種対策の優先順位を事業体と共に整理し、減災計画策定の一助とする。

本年度は、碧南市水道が現況で被災した場合の被害状況について想定すると共に、サブテーマ 1-a)で別途考案した、愛知県の水道事業体（碧南市）で考えられる減災対策案のうち、ハード的対策の一部を実施した際の減災効果について考察した。

b)検討対象の減災対策案と本年度の取り組み範囲

本検討では、愛知県碧南市における水供給システム（以下、碧南市水道）を対象にその被害予測と各種対策による減災効果を推計する。なお、碧南市水道はその水源の100%を愛知県水道用水供給事業（以下、愛知県水道）に依存していることから、愛知県水道の被災による影響も考慮する。

サブテーマ 1-a)にて、碧南市水道の減災対策案について表３－２－⑤－１の通り考案した（詳細は、同サブテーマの報告書を参照)。

本年度はまず、碧南市から水道設備（配水場）および管路の位置情報および諸元データを受領し、過年度構築した被害想定手法を適用するための情報集約を行った。その上で、現況の施設（平成 29 年度の管路耐震化事業が完了した状態）が被災した場合の施設被害ならびに需要者への影響を推計した。その後、現在は十分な耐震性を有していない配水場および管路に耐震化を施した場合の被害想定を実施した。

表３－２－⑤－１　減災対策案の一覧

想定した対策		前提条件
なし（現況）	Case0	愛知県水道からの２つの受水点の内、主要な第２配水場のみ耐震性あり、の条件
市独自の施設整備	Case1	第２配水場に加えて第１配水場を耐震化した場合
	Case2	第１配水場の有効貯水量を 5,500 ㎥から１万㎥に増量した場合
	Case3	小口径管路延長の大半を占める経年塩化ビニル管の耐震化を実施した場合
	Case4	準幹線（口径 200mm 以上）の耐震化を実施した場合

現況の施設を対象とした被害想定では、愛知県水道からの主な受水点である第２配水場に十分な耐震性があることから、管路にのみ被害が発生する結果となった。管路被害率は塩化ビニル管を中心とした小口径の管で大きく、また地震動や液状化の影響の大きい市南部で多くの被害が想定された。水供給システムの復旧日数の想定では、復旧作業班を最大 25 班とした場合で、完全復旧（断水率 0%）まで 57 日を要し、それまでの間は平常時の需要水量である 250L/人日を充足できない結果となった。作成した水道管路網（現況）の被害件数分布を図３－２－⑤－２に、給水充足率の時間推移を図３－２－⑤－３に示す。

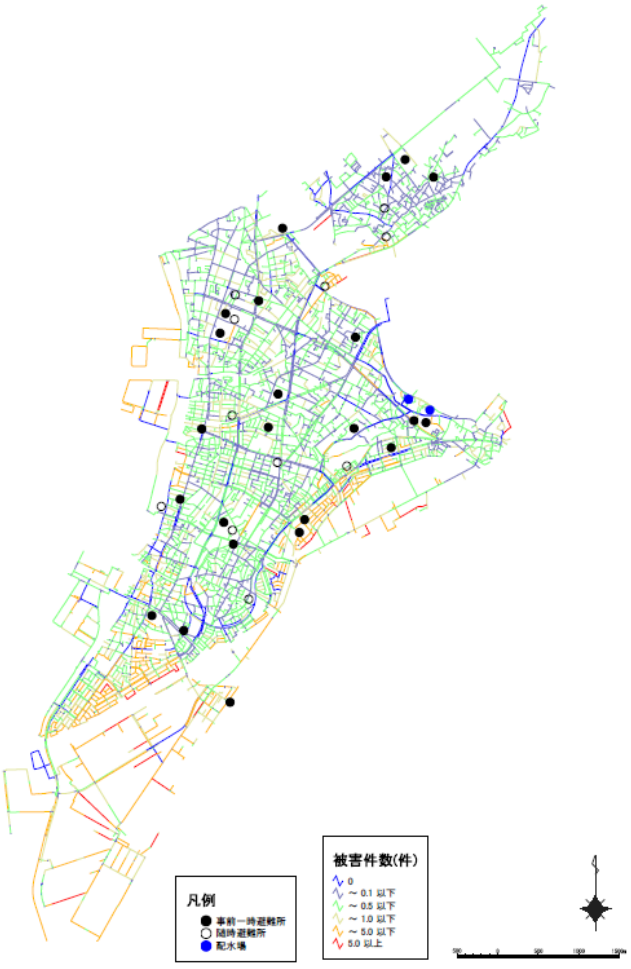


図３－２－⑤－２　現況管路の被害件数分布

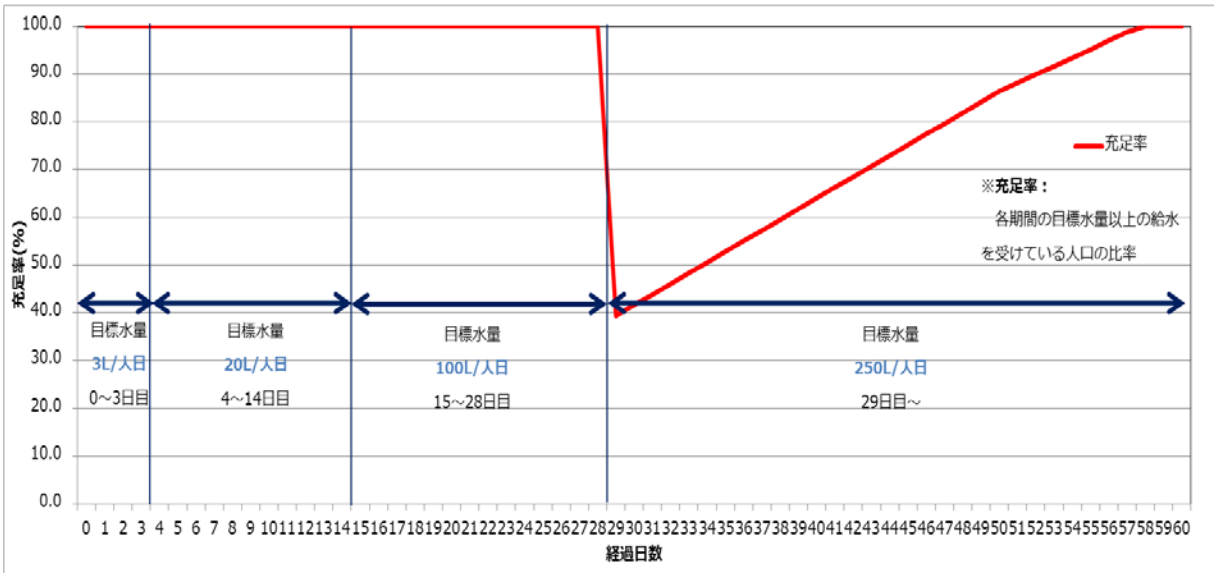


図３－２－⑤－３　現況施設被災時における給水充足率推移

減災対策を講じた場合の効果検証として、本年度はCase1からCase4の４つのケースを検討した。

Case1とCase2については、現況で耐震化済みである第２配水場の貯留量だけで応急給水に必要な水量は確保できることから、減災対策効果は明らかにならなかった。このことから、これら２つの対策事業の実施優先順位は低いと考えられる。ただし、応急給水量の拡大や貯留水を活用した管路被害の調査および管路復旧の前倒しなどを行うことで、復旧期間の短縮効果は期待できる。

Case3とCase4の対策事業を実施した場合の被害件数分布を、図３－２－⑤－４、図３－２－⑤－５に示す。Case1~3は被害率の高い塩化ビニル管を中心に耐震化を行っていることから、被害件数の減少効果が期待できる。一方で、Case4は重要な管路を中心に耐震化を行っていることから、市内全域に耐震管路網が構築されており、被災時の重要拠点である避難所を耐震管路網がカバーできていることも分かる。完全復旧までの所要日数はCase3の場合で46日、Case4の場合で49日間であり、現況のCase0（57日）と比較して定量的な短縮効果が見られた。

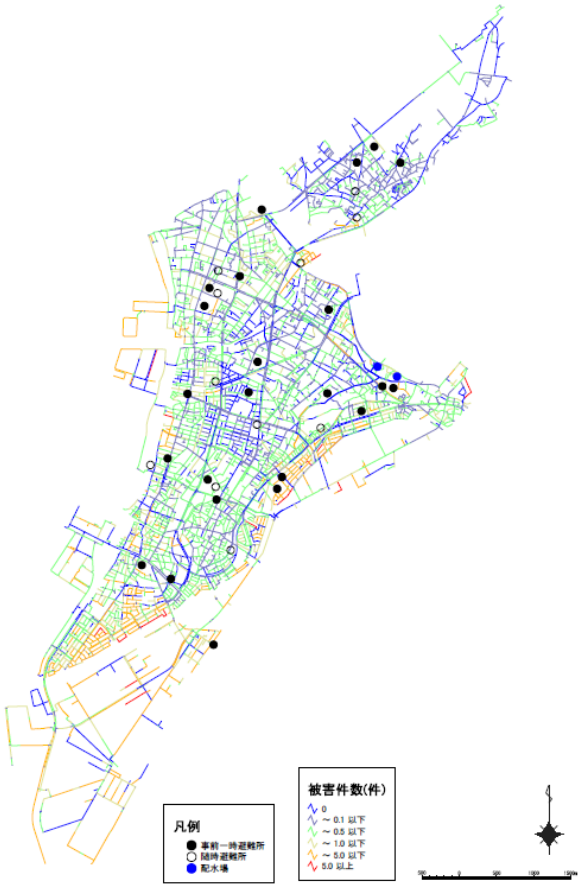


図３－２－⑤－４
Case3：経年塩化ビニル管の耐震化を実施した場合の被害件数分布



図３－２－⑤－５
Case4：準幹線（口径 200mm 以上）の耐震化を実施した場合の被害件数分布

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 電力について

平成 23 年東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震における電力の復旧過程で見えるように、電力の早期復旧には、被災設備・箇所への人材・物資を早期に投入することが求められ、そのための道路啓開が重要となる。また、電力だけでなくガス・水道を含めたライフラインの復旧活動はもとより、被災直後の人命救護・保護・支援活動等、あらゆる面で、人材・資機材・物資の運搬のために道路の早期啓開は必要不可欠となる。そのため、本検討では、具体的地域として名古屋市周辺において、道路の早期啓開を目的として、道路・区間等に対する優先順位付けの方策について検討を試みた。

様々な観点での道路利用の重なり合いを見ることで、ある道路・区間対して相対的な優先順位を付与することができる。このような優先順位付けを行うことで、発災後の限られたリソースの中での効果的な人材・資機材の投入先の選択・選定に供するだけでなく、事前対策としても、効果的な対策を進める上で有意義であると考えられるが、そのためには、企業や行政、一般市民など地域社会全体で協働して現実に即した

データや想定を持ち寄って検討を行うことが必須である。

2) 上水道について

本年度検討ではサブテーマ 1-a)で考案したハード的対策の内、既設管路の耐震化による減災効果を検証した。その結果、復旧日数の短縮が見られ、対策実施による効果は明白と言えよう。しかし、長延長の管路を耐震管に入れ替えるためには相応の費用と工期を要し、一朝一夕に改善することは難しいため、中長期的な視座に立って計画することが肝要である。

そして、こうしたハード的対策に加え、今後取り組んでいくソフト的対策を推進していくこともまた、効果的な減災対策となりうる。次年度以降は各々のソフト的対策による減災効果の検証に加え、複数の対策を組み合わせて実施した場合の検証も試みる。さらに、それぞれの実行可能性について事業体と共同で検討することで、実現性のある減災計画につなげていく。

(e) 引用文献

1)Dijkstra, E.W., 「A Note on Two Probles in Connexion with Graphs」. *Numerische Mathematik*, Vol.1, No.1, pp.269-271, 1959.

2)愛知県, 南海トラフ地震における愛知県広域受援計画, 2016, Available at: http://www.pref.aichi.jp/soshiki/saigaitaisaku/nankaijuenkeikaku.html.

3)中央防災会議幹事会, 南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画, 2017, Available at: http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/.

4)平成 28 年熊本地震に係る初動対応検証チーム, 平成２８年熊本地震に係る初動対応の検証レポート, 2016, Available at: http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/shodotaio.html.

5)内閣府, 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/index.html

⑥広域リスク評価

(a)業務の要約

本業務では、発災後の災害シナリオの高度化のため、直接被害を受けない地域の間接被害の試算が可能な応用一般均衡モデルを利用し、間接被害の算出方法について検討した。具体的には、2004 年新潟県中越地震、2011 年東北地方太平洋沖地震、2016 年熊本地震を対象に、観測記録から推定した面的な地震動分布や空間的な産業の暴露データを利用して、間接被害を試算するとともに、その妥当性について検討した。また、南海トラフで発生する地震について複数のシナリオ地震による間接被害額を試算し、それぞれの間接被害の波及状況について示した。

(b)業務の実施方法

本業務で用いる応用一般均衡モデルは、平成 17 年地域間産業連関表(経済産業省, 2010)をベースとした８地域 23 部門でモデル化されたものを利用する。そのため、１つの地域が複数の都府県にまたがる形となる。しかし、地域内の産業分布や地震動分布などは均一な分布とはなっていない。そこで、メッシュ単位で産業分布を示すデータを整備するとともに、過去の被害地震を対象に、作成した産業分布データと観測波形から推定した面的な地震動分布、既往の産業別フラジリティ曲線から、応用一般均衡モデルに与える資本の毀損率の与え方を検討した。その上で、南海トラフで発生する地震について、複数のシナリオ地震を設定し、作成した産業分布データと、予測した地震動分布、フラジリティ曲線から、応用一般均衡モデルを利用して、シナリオ毎に間接被害額を試算した。

(c)業務の成果

1)過去の被害地震を対象とした間接被害額の試算

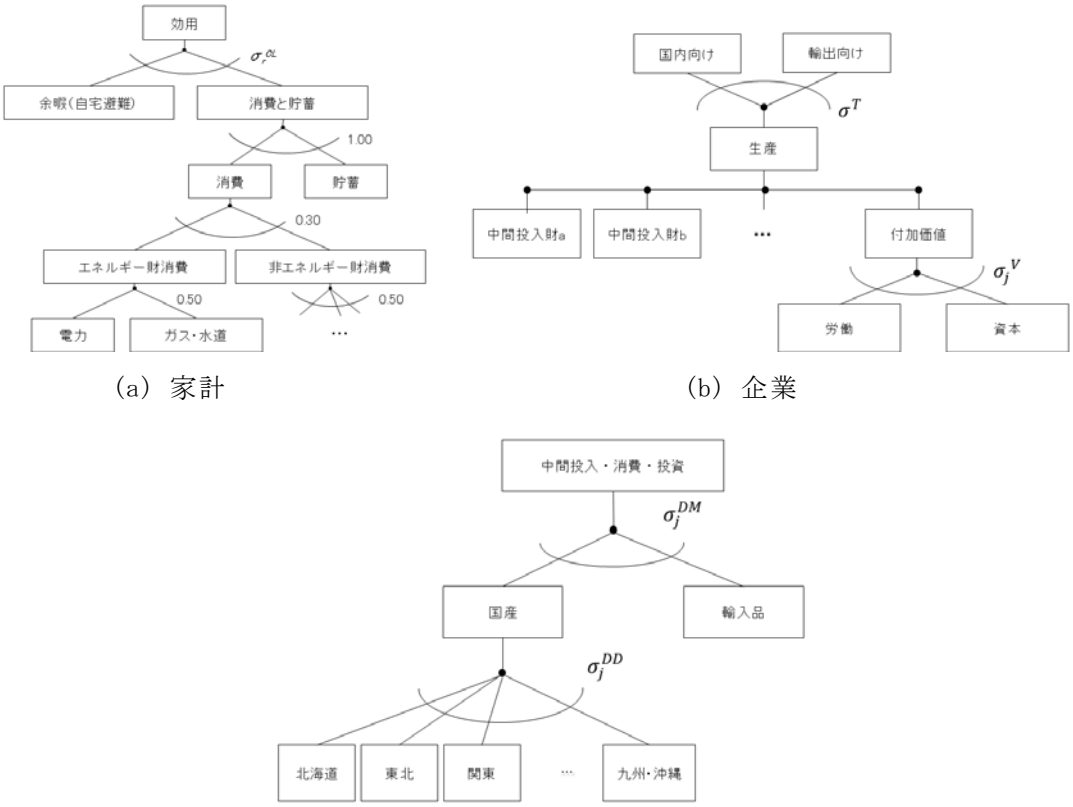
応用一般均衡モデルは、経済を連立方程式として表現する一般均衡理論モデルと現実の産業間取引および産業と家計の取引等を記載した産業連関表から構築されたシミュレーションモデルで、近年では山崎ほか(2016)や小池・右近(2012)のように地震被害による影響試算に利用されている。本業務では、平成 17 年地域間産業連関表に基づく８地域、複数のサービス産業を１つのサービス産業に集約した 23 産業部門の産業連関表をベースに作成された応用一般均衡モデルを利用した。本業務で利用した応用一般均衡モデルの家計、企業、地域間交易の構造を図３－２－⑥－１に示した。また、地域区分、産業分類の定義を表３－２－⑥－１、表３－２－⑥－２に示した。

表３－２－⑥－１　地域区分の定義

地域	該当する都道府県
北海道	北海道
東北	青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県
関東	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、山梨県、長野県、静岡県
中部	富山県、石川県、岐阜県、愛知県、三重県
近畿	福井県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県
中国	鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県
四国	徳島県、香川県、愛媛県、高知県
九州・沖縄	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

表３－２－⑥－２　モデルにおける産業分類

農林水産	窯業・土石製品	その他輸送機械
鉱業	鉄鋼	精密機械
建設	非鉄金属	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ・ｺﾞﾑ製品
飲食料品	金属製品	その他製造業
繊維・衣服	一般機械	電力
製紙・印刷	電気機器	ガス・水道
化学	輸送機械	その他サービス
石油・石炭製品	輸送関連機器	



（a）家計　　（b）企業

（c）地域間交易

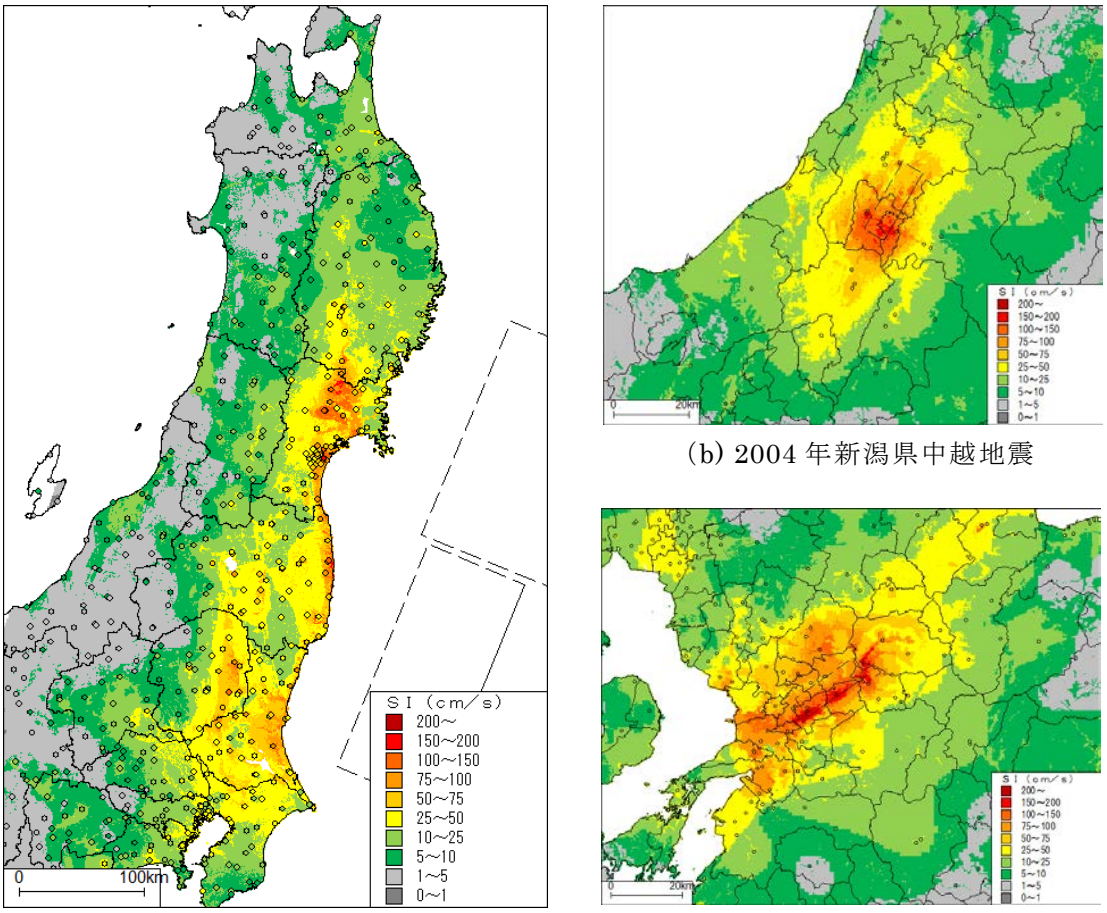
図３－２－⑥－１　家計、企業、地域間交易の構造

本業務で検討対象とした被害地震は以下の３地震である。

- 2004 年新潟県中越地震
- 2011 年東北地方太平洋沖地震
- 2016 年熊本地震

応用一般均衡モデルに与える地震被害の与え方は、表３－２－⑥－１の地域単位、表３－２－⑥－２の産業部門単位で資本の毀損額を与えるが、地震動分布は同一市町村内であっても震源、伝搬経路、地盤状況の影響を受け空間的に異なる。また、産業分布も均一に分布はしていない。そのため、上記３地震の地震動分布や産業分布を推定した。地震動は防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET・KiK-net(Aoi et al., 2011)や気象庁の観測点で記録された観測波形を利用し、表層地盤による増幅の影響を考慮

して空間補間法（防災科学技術研究所，2007）により面的な分布を推定した（図３－２－⑥－２）。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水範囲は復興支援調査アーカイブの浸水域データを利用することとした。



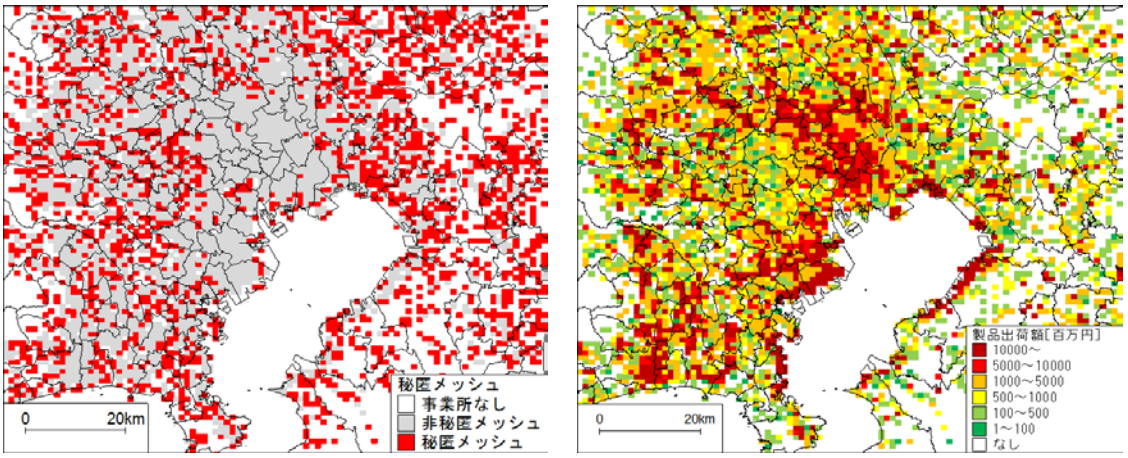
（a）2011 年東北地方太平洋沖地震

（b）2004 年新潟県中越地震

（c）2016 年熊本地震

図３－２－⑥－２　観測波形から推定した地震動分布

製造業の産業分布は平成 22 年工業統計メッシュの産業別製造品出荷額を利用した。ただし、工業統計メッシュのデータは秘匿メッシュの数が非常に多い（図３－２－⑥－３）。そこで、秘匿メッシュを解除したメッシュ別産業別製造品出荷額データを作成した。具体的には、平成 22 年工業統計調査の産業別市町村別集計値と、工業統計メッシュにおける非秘匿メッシュの集計値の差を秘匿メッシュの産業別市区町村別製造品出荷額集計値とした。一方、工業統計メッシュでは、従業員数は秘匿されていないため、秘匿メッシュにおける従業員数を配分用の重みとして、秘匿メッシュの産業別市区町村別製造品出荷額集計値を秘匿メッシュに配分することで、面的に製品出荷額を推定した。作成したメッシュ別産業別製造品出荷額を図３－２－⑥－３に示した。非製造業の産業分布に関しては、サービス業部門は平成 22 年国勢調査・平成 21 年経済センサス基礎調査等のリンクによる地域メッシュ統計の昼間人口、それ以外の非製造業は平成 22 年国勢調査地域メッシュ統計の夜間人口を重みとして利用した。



(a) 工業統計メッシュの秘匿状況　　(b) 秘匿解除後のメッシュ別製品出荷額

図３－２－⑥－３　工業統計メッシュの秘匿状況と秘匿解除後の製品出荷額分布

地震動と被害の関係は、製造業・非製造業の地震動と操業停止率の関係を示すNakano(2011)を利用した。ただし、Nakano(2011)は被害モード毎の地震動と超過確率の関係を示しているため、梶谷ほか(2013)と同様に、各被害モードの操業停止率の中央値を利用して、Nakano(2011)を地震動と操業停止率の関係に補正した関係を用いた（図３－２－⑥－４）。なお、本業務では図３－２－⑥－４の操業停止率を資本の毀損率と読み替えて資本の毀損率の算出に利用した。また、東北地方太平洋沖地震の津波浸水地域に関しては、すべての産業の資本は全損（毀損率 100%）と仮定した。

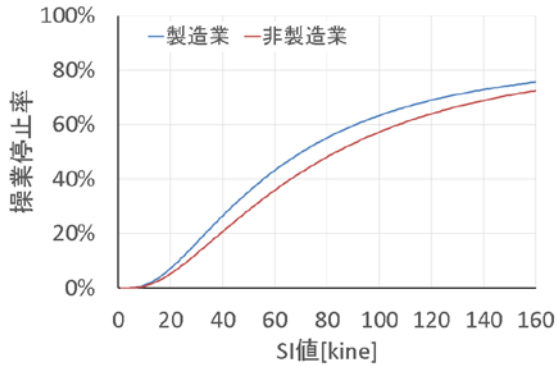
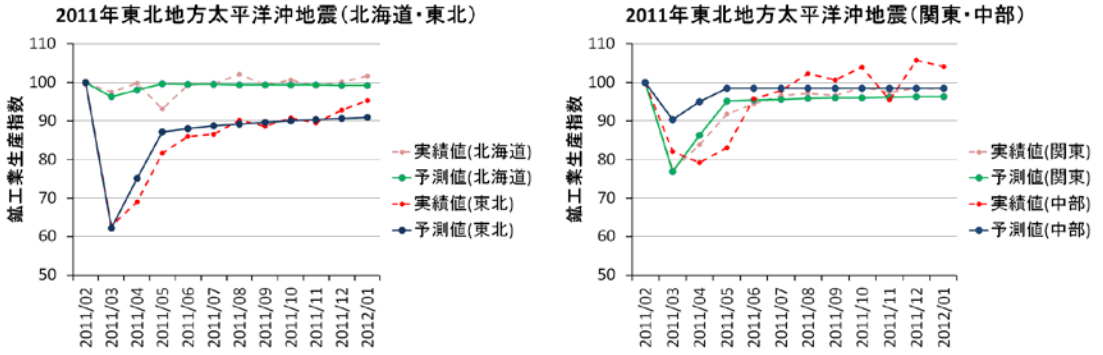


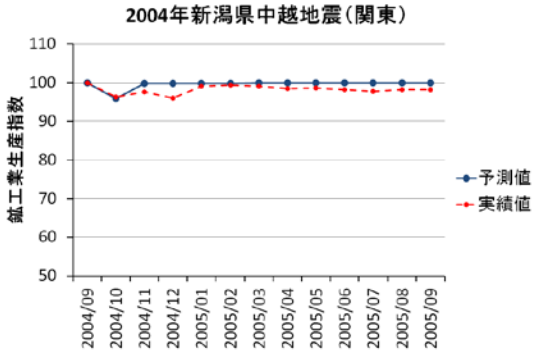
図３－２－⑥－４　本検討で利用した地震動と操業停止率の関係

メッシュ単位の地震動・津波分布、産業分布とフラジリティカーブから、地域内の地震・津波ハザードや産業の空間分布を反映した形で図３－２－⑥－２に示した地域単位の資本の毀損率を算出するとともに、算出した資本の毀損率を応用一般均衡モデルに初期値として入力し、地震発生後の各期（１期１ヵ月とした）の GDP を算出した。その上で地震が発生していない場合の各期の GDP を試算し、その差額を間接被害額とした。試算の結果、３つの地震の間接被害額は、2004 年新潟県中越地震で 1.2 兆円、2011 年東北地方太平洋沖地震で 25 兆円、2016 年熊本地震で 1.0 兆円となった。東北地方太平洋沖地震の場合、東北地域の間接被害額は 4.4 兆円、関東地域で 17.8 兆円、

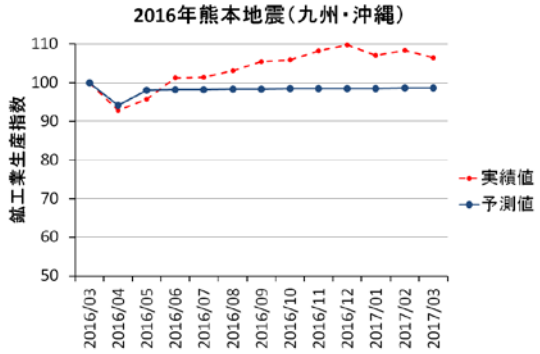
それ以外の地域で 2.7 兆円となった。本モデルにおける関東地域は、関東地方のほか新潟県・長野県・静岡県などを含む広範な地域であり直接被害を受けた地域はその一部であると考えると、東北地方太平洋沖地震のような広域的な災害では直接被害を受けていない地域でも大きな影響を受けたことが定量的に示された。また、モデルにより得られた鉱工業生産指数の予測値と実績値の推移をみると、震災直後の落込みとその後の回復過程を概ね再現できていることを確認した（図３－２－⑥－５）。



（a）2011 年東北地方太平洋沖地震



（b）2004 年新潟県中越地震



（c）2016 年熊本地震

図３－２－⑥－５　過去の被害地震における鉱工業生産指数の試算結果

2)南海トラフで発生する地震を対象とした試算

本業務では、南海トラフで発生する地震を対象に作成する災害シナリオを高度化することを目的とし、広域リスク評価の一環として応用一般均衡モデルを利用して表３－２－⑥－１に示した地域単位で間接被害の試算を行った。具体的には、以下の５つのシナリオ地震の試算を実施した。なお、本試算では地震動による被害のみを考慮した。

- シナリオ１日向灘・南海・東南海・東海が連動するパターン（Mw9.1）
- シナリオ２南海・東南海・東海が連動するパターン（Mw8.9）
- シナリオ３日向灘・南海・東南海が連動するパターン（Mw9.0）
- シナリオ４　東南海・東海で地震（Mw8.3）が発生し、その２か月後に南海で地震

（Mw8.5）が発生するパターン

● シナリオ５　南海で地震（Mw8.5）が発生し、その２か月後に東南海・東海で地震（Mw8.3）が発生するパターン

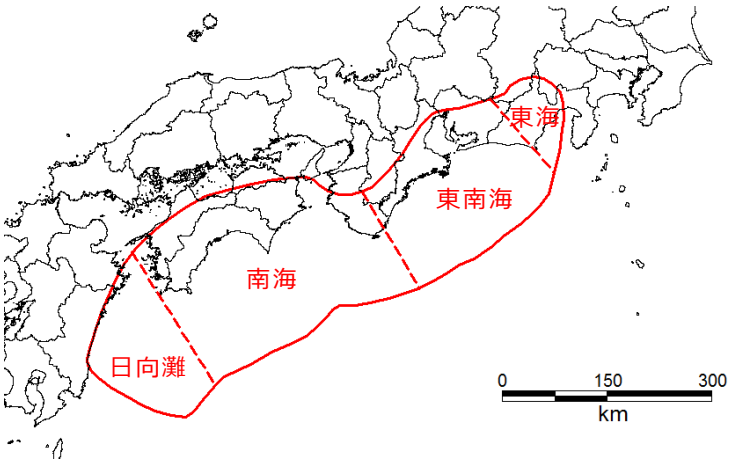
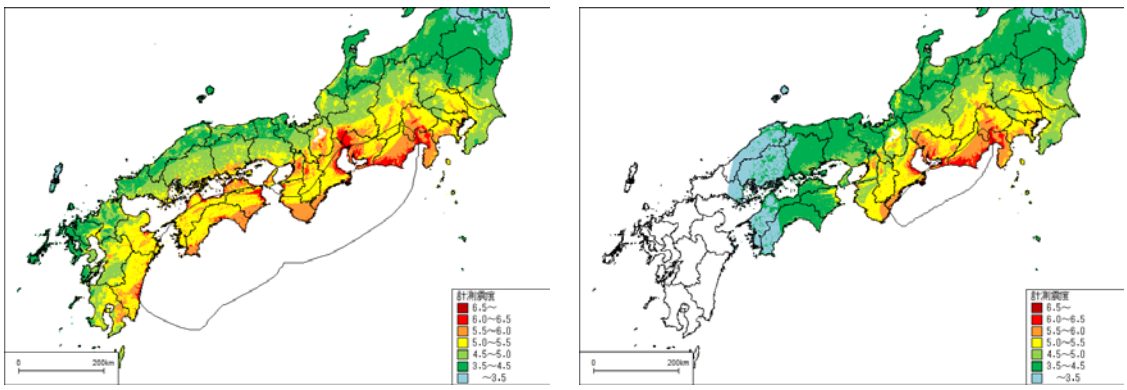


図３－２－⑥－６　本業務で用いた南海トラフの震源領域区分

各シナリオの地震ハザードは、全国地震動予測地図（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017）の簡便法と同様に、距離減衰式により推定した（図３－２－⑥－７）。これらの地震動分布と Nakano(2011)のフラジリティ曲線から算出したメッシュ別産業別の資本の毀損額を集計し、図３－２－⑥－２に示した地域別の資本の毀損率を算出した。なお、試算に利用した産業分布は、製造業は１km メッシュ別産業別製品出荷額、非製造業は昼夜間人口を利用した。得られた資本の毀損率を応用一般均衡モデルに与える初期値として利用し、各シナリオの間接被害額、鉱工業生産指数を試算した。

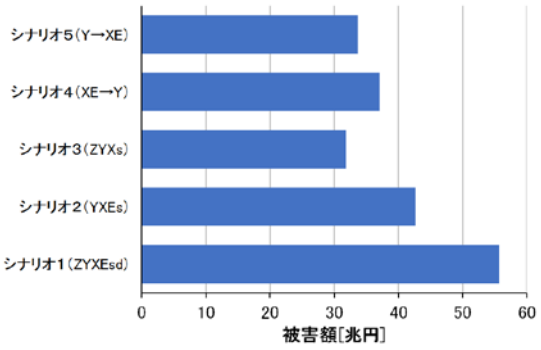


（a）シナリオ１　　（b）シナリオ４・５の東南海・東海の地震

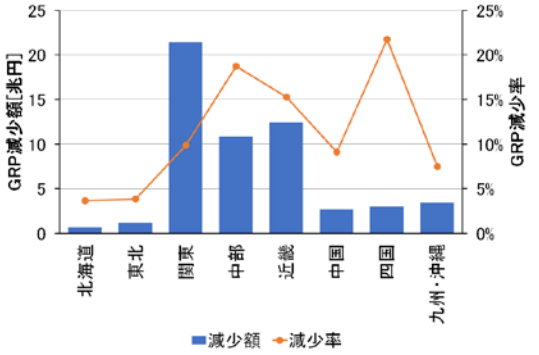
図３－２－⑥－７　各シナリオの地震動分布の推定結果の例

５つのシナリオ地震による間接被害額（GDP 減少率）は、シナリオ１～５それぞれ 55.6 兆円(11.2%)、42.7 兆円(8.6%)、31.9 兆円(6.4%)、37.1 兆円(7.5%)、33.7 兆円(6.8%)となり、シナリオ１で最も間接被害が大きくなった。また、ほぼ同規模のシナリオ２と３では関東地域（静岡県を含む）の被害が大きいシナリオ２のほうが、間接

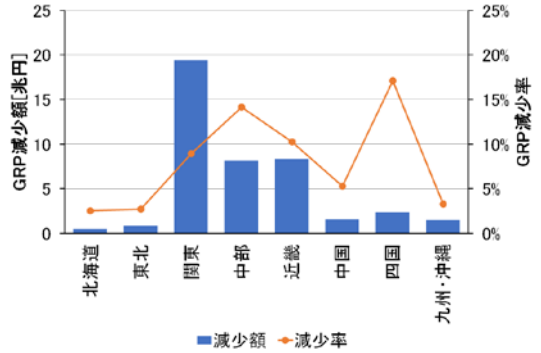
被害が２%程度大きくなる結果となった。これは、東南海・東海が震源となるシナリオのほうが関東地域に与える影響が大きくなるためと考えられる。また、地域別の特徴としては、全体の間接被害額として占める割合は低いものの、四国地域の GRP（域内総生産）減少率が最大となるシナリオが多い。特にシナリオ１～３のようにＭ９クラスの地震で被害が発生する場合は、すべてのシナリオで四国地域の GRP 減少率が最大となり、これらのタイプの地震による影響が大きい地域であることが改めて明らかとなった。また、直接被害を受けない北海道や東北地域でも２～４%程度 GRP が減少しており、今回、対象とした５つのシナリオ地震では、南海トラフ地震による経済的影響は全国的に波及することが示された。



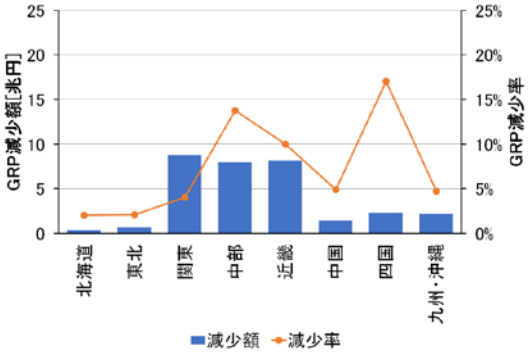
(a) 各シナリオの GDP 減少額



(b) シナリオ１の各地域の GRP 減少額・率

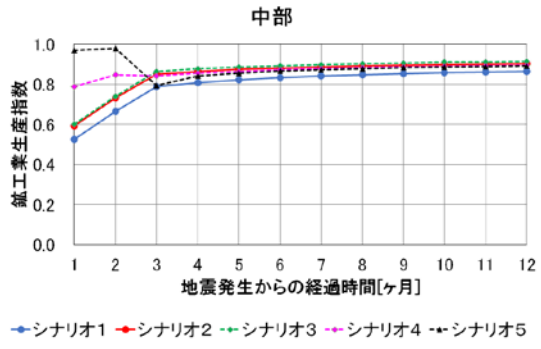


(c) シナリオ２の各地域の GRP 減少額・率

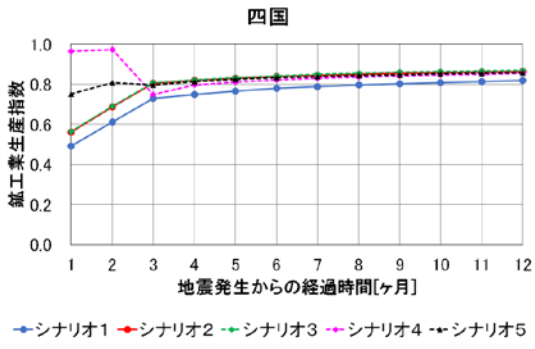


(d) シナリオ３の各地域の GRP 減少額・率

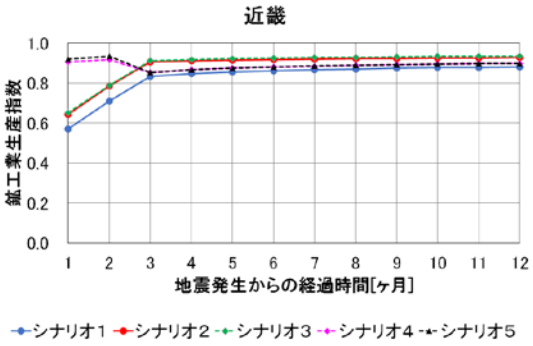
図３－２－⑥－８　各シナリオの間接被害の試算結果



(a) 中部地域



(b) 四国地域

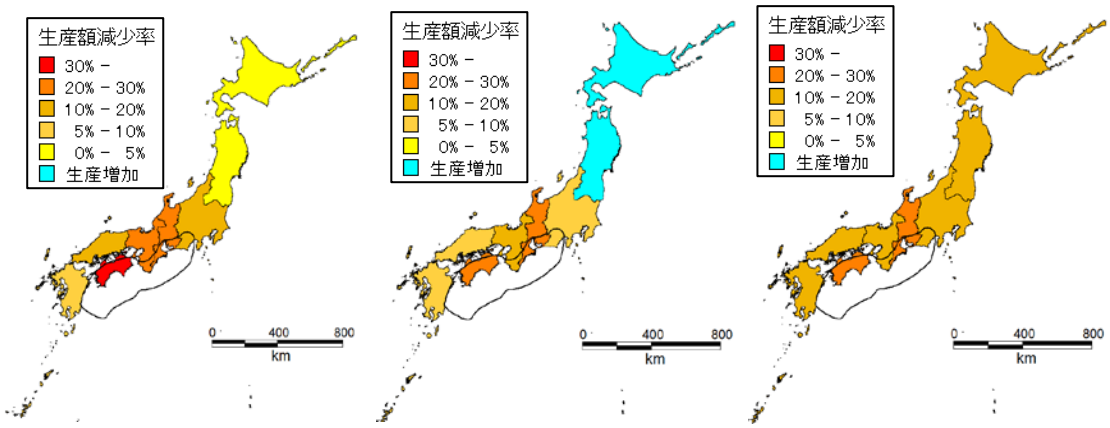


（c）近畿地域

図３－２－⑥－９　各シナリオの鉱工業生産指数の推移

各地域の鉱工業生産指数の推移をみると、最も被害が大きいシナリオ１では、中部・近畿・四国地域において発災１カ月後の鉱工業生産指数は地震前の 50～60%程度まで落ち込む。これらの地域においては発災３カ月後には四国地域は 70%程度、中部地域は 80%程度、近畿地域は 80%以上まで急速に回復する。その後も徐々に回復するが、中部・近畿地域とは異なり、四国地域は地震発生から１年を経過しても 80%前後までしか回復しない結果となった。本試算結果からは、地域が抱える産業構造や空間分布の違いにより被災後の回復傾向に違いがあり、四国地域では鉱工業全体として他地域よりも回復しにくい可能性が示唆された。また、シナリオ４・５の２つの地震が時間差をおいて発生するシナリオでは、それぞれの地域に近い震源域で地震が発生した後のほうが鉱工業生産指数の落ち込みが大きい。しかし、近畿地域では、１地震目と２地震目の鉱工業生産指数の落ち込みはほぼ同程度となった。これは、近畿地域では東南海・東海および南海で発生する地震ともに同程度の被害が発生しているためで、２度の地震被害の影響を強く受ける地域と考えられる。

各地域の産業別生産額の動向では、（ア）関東・中部・近畿・四国地域を中心に生産額が減少する産業、（イ）関東・中部・近畿・四国地域で生産額が減少するとともに、それ以外の直接被害を受けていない地域で生産額が増加する産業、（ウ）関東・中部・近畿・四国地域の生産額の減少に伴い、他地域でも大きく生産額が減少する産業、の３タイプに分かれる結果となった。各タイプの代表的な産業としては、タイプ（ア）には「食料品」「鉄鋼」、タイプ（イ）には「紙・パルプ」「化学」、タイプ（ウ）には「輸送機械」「自動車部品」「精密機械」等の産業が該当した。



（a）食料品　　（b）紙・パルプ　　（c）輸送用機械

図３－２－⑥－10　シナリオ１における産業別の年間の生産減少率

(d)結論ならびに今後の課題

本年度は、災害シナリオの高度化を目的に、応用一般均衡モデルを利用して、地震による間接被害額の試算を実施した。具体的には、過去に発生した被害地震３地震を対象に、間接被害の試算を行ってモデルによる予測値と実被害の整合性を確認した上で、南海トラフで発生した５つのシナリオ地震による被害を与えた場合の間接被害の試算を行った。得られた成果と今後の課題を以下に示す。

1)メッシュ単位の地震ハザード情報、産業分布を利用して、８地域 23 産業部門の応用一般均衡モデルを利用した間接被害推定までの流れを構築し、過去の被害地震で試算を行った。具体的には、メッシュ単位のハザード情報については強震観測点で記録された観測波形から推定した面的な地震動分布を作成するとともに、産業分布については工業統計メッシュの秘匿メッシュを解除しメッシュ単位の産業別製品出荷額データを整備した。その上で、Nakano(2011)の地震動と操業停止率を産業別の地震動と資本の毀損率の関係とみなして資本の毀損額を算出し、応用一般均衡モデルに初期値として与えることにより、間接被害額の試算を行った。

2)2004 年新潟県中越地震、2011 年東北地方太平洋沖地震、2016 年熊本地震を対象に間接被害額の試算を行ったところ、それぞれ 1.2 兆円、25 兆円、1.0 兆円との試算結果を得るとともに、鉱工業生産指数の予測値の推移は概ね実績値を反映した結果が得られた。

3)南海トラフで発生する地震について、５つのシナリオ地震を設定し地震動による被害のみを対象に間接被害額の試算を実施した。設定したシナリオでは GDP は 6.4～11.2%減少することが予測され、その影響は直接被害を受けない北海道・東北地域まで及ぶことを示した。また、間接被害額は小さいものの四国地域の GRP 減少率はいずれのシナリオでも大きいこと、各地域の産業別生産額の動向では、直接被害を受ける地域とそれ以外の地域の生産額の増減関係から３タイプに分かれることを示した。

4)日本の産業はサービス業の占める割合が高い。本年度は８地域 23 産業部門のモデルを利用したが、23 部門の産業構成としては製造業が細分化されているのに対し、第

三次産業に関しては「その他サービス業」の占める割合が非常に大きく、これら非製造業の適切な細分化が必要と考えられる。また、南海トラフの地震に関しては、津波による被害の入力方法の検討や、災害シナリオに利用するシナリオ地震での間接被害額の試算等に関しても今後の課題である。

(e)引用文献

1)経済産業省，平成 17 年地域間産業連関表，2010，
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result_02.html

2)山崎雅人，小池淳司，曽根好徳，南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害推計：多地域応用一般均衡モデルによる分析，土木計画学研究・論文集，第 33 巻（特集），pp.I_111-I_121，2016.

3)小池淳司，右近崇，電力供給不足による経済的影響分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.5，pp.I_111-I_119，2012.

4)Aoi，S.，T. Kunugi，H.Nakamura，and H. Fujiwara，Deployment of new strong motion seismographs of K-NET and KiK-net，Earthquake Data in Engineering Seismology，14，pp.167-186，2011.

5)防災科学技術研究所，文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト III.1 震災総合シミュレーションシステムの技術の開発 III.2 大都市特性を反映する先端的な災害シミュレーションの技術の開発 公開ソフトウェア，2007.

6)復興支援調査アーカイブ，http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/，2012.

7)Nakano，K.：Economic Impact Assessment of a Natural Disaster to Industrial Sectors，Kyoto University，2011.

8)梶谷義雄，多々納裕一，吉村勇祐：大規模災害時における産業部門の生産能力の推計－東日本大震災を対象として，自然災害科学，Vol.31，No.4，pp.283-304，2013.

9)地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震動予測地図 2017 年版，
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2017/，2017.

⑦都市災害と経済被害

(a) 業務の要約

都市災害について、2017 年度は碧南市を対象とすることも踏まえて、これまでに構築した大都市避難シミュレーションの復興期への拡張を試みた。その結果、住まいを失った世帯が住宅を再取得する段階で、どのような移動を行うかに関する予測モデルを構築した。

経済被害について、東海圏における県産業連関表および工業統計調査、経済センサス等の経済データを利用し、東海圏の市区町村レベルの経済被害に関わる経済データの整備および防災・減災への利活用に関わる基礎的検討を行った。検討の結果、市区町村によって主要産業や産業間取引の様態が大きく異なることが明らかとなり、経済被害の発生やその対策のあり方が市区町村毎で異なり得ることが示された。

(b) 業務の実施方法

1) 都市災害

2017 年度は､2016 年度までに作成した大都市複合災害時避難シミュレーションの対象を拡大し、復興期の居住地選択に関するシミュレーションを構築するため、予測モデルの開発を行った。

2)経済被害

2017 年度は、市区町村における産業間取引マトリックスの作成および経済被害の観点から基礎的検討を行った｡まず各都道府県が公表している平成 23 年産業連関表の産業分類の統一化を行った。本研究では東海 4 県（愛知県、三重県、岐阜県、静岡県）の産業連関表について、経済分析上重要な共通産業分類を作成した。統合後の産業分類は 48 業種であり、農業や漁業を含む第一次産業、化学製品や自動車を含む第二次産業、商業や医療・福祉を含む第三次産業を含んでいる。統合後の産業分類は表３－２－⑦－１の通りである。

表３－２－⑦－１　統合後の産業分類

1. 農業	13. 石油･石炭	26. 電気機械	38. 不動産
2. 林業	14. プラスチック	27. 情報通信機械	39. 運輸･郵便
3. 漁業	15. ゴム製品	28. 自動車	40. 情報通信
4. 鉱業	16. 皮革製品	29. 航空機	41. 公務
5. 食料品	17. 窯業･土石	30. その他の輸送機械	42. 教育･研究
6. 飲料･飼料	18. 鉄鋼	31. その他	43. 医療･福祉
7. 繊維	19. 非鉄金属	32. 建設	44. その他の非営利団体サービス
8. 木材･木製品	20. 金属製品	33. 電力･ガス･熱供給	45. 対事業所サービス
9. 家具･装備品	21. はん用機械	34. 水道	46. 対個人サービス
10. パルプ･紙	22. 生産用機械	35. 廃棄物処理	47. 事務用品
11. 印刷	23. 業務用機械	36. 商業	48. 分類不明
12. 化学	24. 電子部品	37. 金融･保険	

続いて、各市区町村の産業別生産額の推定を行った。県の産業連関表に記載されている産業別の生産額を、その県の市区町村の該当する産業に配分する必要がある。こ

の配分は、平成 26 年度工業統計調査および平成 26 年経済センサスを利用し、第二次産業については製品出荷額で、第三次産業については産業の従業者数で按分した。

続いて中間投入額の推定を行った。工業統計調査および経済センサスから求めた各市区町村の上記 48 業種の生産額に、その市区町村が所属する県の産業連関表から求めた産業別の投入係数を掛け、各産業の中間投入額及び付加価値投入額を計算した。これにより東海圏の市区町村における各産業の中間投入額が明らかとなる。すなわち各市区町村の各産業が生産のために何をどれだけ利用しているかが明らかとなる。ただしどこから調達しているかはこの時点では明らかではない。どこからどこへ何がどれだけ移動したかについては別途推定する必要があり、今後の課題である。

(c) 業務の成果

1) 都市災害

2017 年度以降、大規模災害が発生した後の復興期における人口移動予測技術の構築を行う。このため今年度は、仮住まい住宅から恒久住宅に生活の場を移す移住行動に伴って生じる人口移動を予測するための数理モデルを構築した。ここでは簡単のため、移住行動は図３－２－⑦－１のように恒久住宅の種類を決める「居住形態の選択」と「移住先の選択」の２段階のプロセスを経るものと仮定し、モデル化を試みた。

選択モデルにおける効用は、ランダム効用理論をもとにして、筆者らによるアンケート調査の結果をもとに、最尤推定法を用いてパラメータを求めている。表３－２－⑦－２、表３－２－⑦－３のように、居住形態の選択における変数や効用関数の係数、移住先の選択における変数や効用関数の係数などについて求めた（効用関数の確定項はそれぞれの変数の線形和で定義した）。ここで自宅―職場間距離の係数の大きさをみると、職場と自宅の距離が遠くなるほど、中古住宅の購入や賃貸住宅への入居といった、居住地の移動を伴う選択をする傾向が高まることが分かった。これまでは学術研究においてもあまり扱われてこなかった就業地と居住地の関係を被災後の住宅再建の意思決定構造に組み込み、予測モデルを構築した点が本研究の特徴であり、これにより産業の停滞や移転などが人口回復に与える影響などを量的に把握することが可能となった。

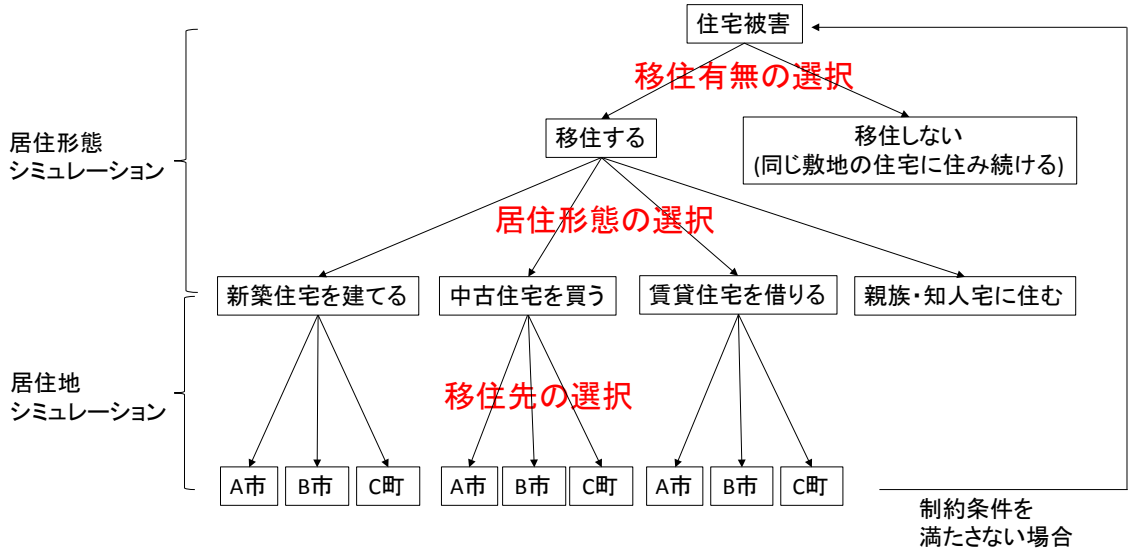


図３－２－⑦－１　本研究で想定した移住行動の意思決定プロセス
（右側の矢印は、来年度以降の国土復興シミュレーションで扱うフローを想定）

表３－２－⑦－２　居住形態の選択における効用関数の変数の概要と係数

変数名		単位	概要
自宅職場間距離	$x_{1,n}$	[km]	現在の自宅から職場・学校までの距離
大世帯ダミー	$x_{2,n}$	[ダミー]	核家族・二世代・三世代世帯は1、単身世帯・夫婦世帯は0
高齢者ダミー	$x_{3,n}$	[ダミー]	世帯主が65歳以上なら1、65歳未満なら0
戸建てダミー	$x_{4,n}$	[ダミー]	自宅が戸建てなら1、それ以外なら0
集合住宅ダミー	$x_{5,n}$	[ダミー]	自宅が集合住宅なら1、それ以外なら0
年収	$x_{6,n}$	[百万円]	世帯年収
DID人口率	$x_{7,n}$	[%]	自宅のある市区町村における、総人口に対する人口集中地区(DID)に居住する人口の割合

居住形態	定数項	$x_{1,n}$	$x_{2,n}$	$x_{3,n}$	$x_{4,n}$	$x_{5,n}$	$x_{6,n}$	$x_{7,n}$
1. 自宅再建	17.34	0.98	3.20 **	0.45	-14.24	-15.74	1.04	1.81
2. 新築住宅	1.14	0.97	3.77 **	-0.73 *	-1.02	-0.19	1.01	2.83
3. 中古住宅	1.37	1.00	1.69	-0.39	-0.03	0.01	1.04	1.88
4. 賃貸住宅	15.90	0.99	2.81 *	0.43	-14.84	-13.69	1.01	3.72
5. 親族知人宅	1	1	1	1	1	1	1	1 *
McFadden尤度比	0.19			※**：1%有意，*：5%有意，.：10%有意				

表３－２－⑦－３　居住形態の選択における効用関数の変数の概要と係数

変数名		単位	概要
距離	d_{ij}	[km]	自宅のある市区町村iと移住先の市区町村jの距離
人口密度	y_j	[千人/㎢]	移住先の市区町村jの人口密度
職場距離	d_{wj}	[km]	職場wと移住先jの距離
大型小売店数	z_j	[所]	移住先の市区町村jの大型小売店の数

居住形態	d_{ij}	y_j	d_{wj}	z_j	McFadden尤度比
1. 自宅再建	居住地の移動なし				
2. 新築住宅	-0.002	0.074 .	-0.019 *	0.013 **	0.13
3. 中古住宅	-0.015 *	-0.029	0.003	0.012 .	0.11
4. 賃貸住宅	-0.018 ***	0.026	-0.001	0.014 ***	0.16
5. 親族知人宅	居住地の推定を行わない				

※***：0.1%有意**：1%有意，*：5%有意，.：10%有意

2）経済被害

愛知県、三重県、岐阜県、静岡県の各市区町村について、産業別の生産額と中間投入額を推定し、下図のマトリックス形式で整理した。産業間取引のマトリックス表において各列はそれぞれの産業の費用構造を示す。産業間取引のマトリックス表である図３－２－⑦－２、図３－２－⑦－３、図３－２－⑦－４では、金額が大きい項目ほど暖色系の色が付けられている（百分位）。縦に赤系の色が多く並ぶ場合、その列で示される産業は当該市区町村内において相対的に生産規模が大きい。一方で横に赤系の色が並ぶ場合は、その行の産業の生産物が相対的に多く投入されている事を示している。ただしマトリックスの各項目は表３－２－⑦－１で示した順番で産業名が入っている。東海４県の全市区町村について同マトリックス表を作成したが、愛知県内の３つの市区を例として取り上げ、経済被害の観点から以下で基礎的な検討を行う。

図３－２－⑦－２は、愛知県名古屋市中区の産業間取引のマトリックス表である。縦方向で見た場合、例えば商業や情報通信といった業種で大きな金額が見られ、同地域で相対的にこれらの産業規模が大きいことを示す。また横方向で見た場合、商業や不動産、運輸、情報通信サービスといった業種の金額が大きく、名古屋市中区においては、第三次産業間の取引が重要であることが示されている。同地域の防災・減災に対しては、災害後においても第三次産業間取引が早期に復旧するよう、それを支える諸資源を明らかにし、対策を講じる必要がある。

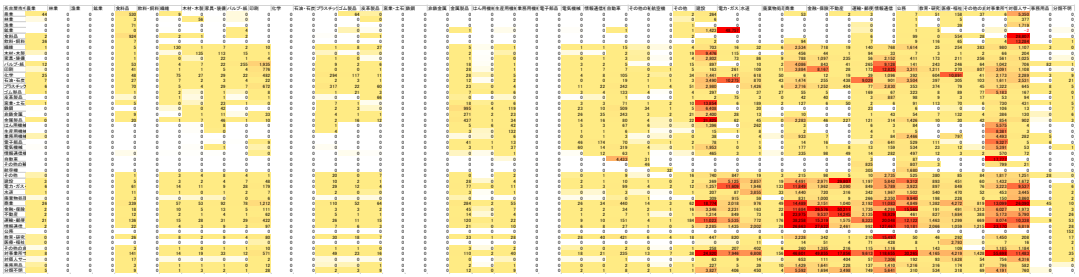


図３－２－⑦－２　名古屋市中区の産業間取引

図３－２－⑦－３は、愛知県東海市の産業間取引のマトリックスの表である。縦方向に見ることで分かるとおり、東海市では鉄鋼製品の生産規模が大きい。また鉄鋼製品に対する需要も大きい。これは銑鉄等の鉄鋼業の生産物を同じ鉄鋼業が中間投入している結果である。銑鉄の生産部門とその前後の工程を分けることは可能である。しかし、一般に銑鉄は市場に出回らず各製鉄メーカーの内部にとどまるため、今回は独立した生産物として扱わない。その他の業種では化学産業や建設産業の生産規模が大きい。横方向で見ると鉄鋼業による鉱業（鉄鉱石や石炭）の投入以外では、商業や運輸の投入規模が大きい。鉄鋼業と商業や運輸といった産業の関連性をより具体的に明らかにし、そのつながりが維持できるよう、防災・減災のための対策が実施されるべきである。

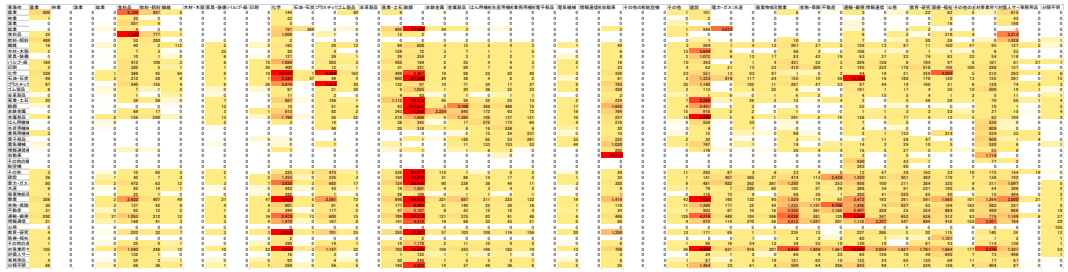


図３－２－⑦－３　東海市の産業間取引

続いて、愛知県碧南市について産業間取引のマトリックス表を考察する（図３－２－⑦－４参照）。縦方向に見た場合に「自動車」の生産額が突出して大きい。なおここで「自動車」とは、組立てだけでなく部品等の自動車関連製品も含む。これに続いて、鉄鋼製品や食料品、電力・ガス・熱供給部門が続く。横方向に見た場合、自動車関連製品や鉄鋼製品が自動車関連製品の生産に投入されている構造が見て取れる。ただし、碧南市には碧南火力発電所が立地しており、電力の生産額について適切に反映できているか検討する必要がある。すなわち按分指標として経済センサスの従業員数では同産業の生産額の過小評価につながる可能性があり、大規模設備を伴う発電部門は別途実態に即した按分指標を検討する必要ある。これは来年度の研究課題とする。来年度の課題でも述べるが、市区町村間の交易マトリックス表の推定が可能となれば、碧南市の火力発電所で生産された電力が他の市区町村にいかに配分されているか明らかとなる。これは碧南市の火力発電所が南海トラフ巨大地震で被災した場合、ここから電

力供給を受けている他の市区町村の産業にいかなる被害が生じるかも明らかにすることができる。

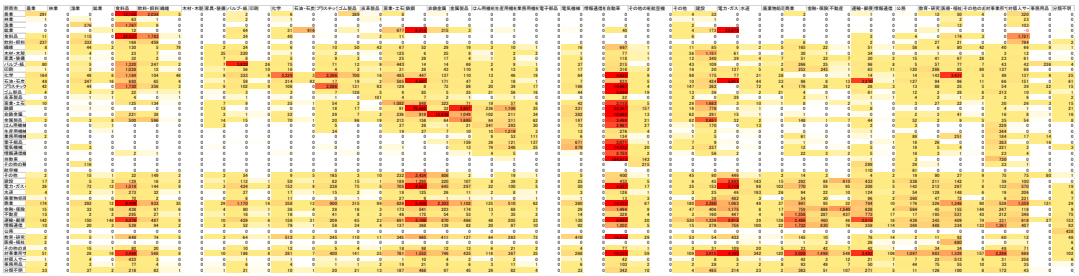


図３－２－⑦－４　　碧南市の産業間取引

(d) 結論ならびに今後の課題

1)都市災害

今年度は、住まいを失った世帯における復興期の住宅取得に関する数理モデルを作成した。来年度以降はこれをもとにして国土復興シミュレーションを構築する。

2)経済被害

2017 年度は、東海圏の各市区町村について産業間取引のマトリックス表を作成し、産業的特性や経済被害の観点から基礎的な検討を行った。市区町村の産業構造は均質ではなく、特定の産業構造に偏っていることが示された。これに応じて各市区町村における適切な産業防災のあり方を検討する事が可能となる。本研究は生産規模の大きな産業の特定のみならず重要な産業間取引を定量的に示しており、この産業間取引に対する防災・減災対策の検討が重要であると考える。今後の課題として、東海圏の産業が各市区町村間を越えていかなる交易を行っているのかを明らかにする。今年度作成した産業間取引のマトリックス表と交易マトリックス表を整合的に接合させる。

(e) 引用文献

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

① モデル地区である碧南市を対象に、地震動による護岸被害や船舶漂流など、科学的根拠に基づいた複数の被害シナリオを作成し、地震津波の統合的な被害予測を実施する。
② 地盤や建物の被害予測に用いる地震動を予測し、それぞれの検討グループに提供する。
③ 地震応答解析により、碧南市における重要施設の立地地盤に対して大地震発生時の変状予測を実施し、必要に応じて適切な耐震対策も検討する。
④ 特定地域・建物の実測等に基づくモデル化と地震応答解析を行い、建物被害の予測を行う。
⑤ 電力については、西三河南部碧南市における重要施説への電力供給を事例として、電力復旧のための道路インフラ対策を検討し、ボトルネックを抽出する手法を検討する。上水道については、本年度に実施したハード的対策を施した際の減災効果検証に加え各々のソフト的対策による減災効果の検証を行うとともに、複数の対策を組み合わせて実施した場合の検証を試みる。
⑥ 広域リスク評価は間接被害の算出手法を高度化し、評価を行う。特徴的な災害パターンを類型化するための手法の検討を行い、広域での評価に向け一部地域で類型化を試行する。
⑦ 都市災害については、H29 年度に開発した「住まいを失った世帯における復興期の住宅取得に関する数理モデル」をもとにして国土復興シミュレーションを構築する。経済被害については、東海圏の産業が各市区町村間を越えていかなる交易を行っているのかを明らかにするため、H29 年度に作成した産業間取引のマトリックス表と交易マトリックス表を整合的に接合させる。

3.3 防災・減災対策研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「防災・減災対策研究」

(b) 担当者（◎は各地域（括弧内）の代表幹事）

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	上席技術研究員	◎金田 義行（四国、九州）
	グループリーダー	高橋 成実
	グループリーダー	堀　高峰
	技術研究員	今井 健太郎
	特任技術研究員	兵藤　守
	特任技術研究員	中田 令子
	特任技術スタッフ	大林 涼子
国立大学法人名古屋大学	教授	◎福和 伸夫（東海）
減災連携研究センター	教授	野田 利弘
	寄附研究部門教授	武村 雅之
	産学協同研究部門教授	田代　喬
	寄附研究部門教授	曽根 好徳
	特任教授	護　雅史
	特任教授	新井 伸夫
	准教授	平山 修久
	寄附研究部門准教授	都築 充雄
	産学協同研究部門准教授	菅沼　淳
	寄附研究部門准教授	山﨑 雅人
	特任准教授	倉田 和己
	寄附研究部門助教	浦谷 裕明
	産学協同研究部門助教	北川 夏樹
環境学研究科	助教	平井　敬
災害対策室	教授	飛田　潤
国立大学法人京都大学 防災研究所	教授	◎牧　紀男（関西）
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原 広行
	総括主任研究員	青井　真
	主任研究員	中村 洋光
	主任研究員	前田 宜浩
	主任研究員	田口　仁
	主任研究員	李　泰榮
	主幹研究員	大角 恒雄

	研究員 研究員 研究員	東　宏樹 崔　青林 水井 良暢
国立大学法人東北大学 災害科学国際研究所	教授 准教授 プロジェクト講師	今村 文彦 佐藤 翔輔 保田 真理
国立大学法人東京大学 地震研究所	教授 特任助教	古村 孝志 原田 智也
国立大学法人徳島大学大学院	教授	馬場 俊孝

(c) 業務の目的

理学・工学・社会学の研究者が最新の研究成果を、地域の防災・減災対策に活かすため、行政やライフライン担当者との闊達な議論を通じて、より実践的な防災・減災対策を目指す。また、地方自治体やライフライン事業者に加え、積極的に市民参加の減災カフェなどを通じて一般社会へも情報発信する。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

これまで地域の防災・減災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、地域研究会を開催して議論を進めてきた。この地域研究会を発展させ、前半4年で地方自治体やライフライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された課題を含め最新の成果のインプットに重点を置き、後半4年で具体的な社会実装に向けた提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけではなく、内閣府をはじめとする府省への働きかけを強化し、国レベル、地方自治体レベルその両面から防災・減災対策の推進を図る。前半4年では、サブテーマ1で期待させる成果である被害予測やデータベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装にすることを検討する。後半4年では、地域行政による対策としての実装を強化しつつ、社会実装を進めるため、市民参加の減災カフェや地元メディアとも連携した防災減災の啓発活動を開催する。年次実施業務と想定される成果は以下である。

平成 25 年度：

地域研究会の体制を整えて、開催のレールを敷いた。

平成 26 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、現実的な被害予測に対する課題を整理した。地域防災のボトルネックとなる課題について調査活動を実施した。

平成 27 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、防災・減災の効果を高める情報発信のあり方を検討した。情報発信の社会実装を進めるために必要な課題を洗い出した。

平成 28 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、課題の洗い出しを継続し、地域行政に活かすための課題を整理した。社会実装を進めるために現実的な復旧・復興対策の検討などに着手した。国レベル、地方自治体レベル両面から実装を見据えた議論を展開した。

平成 29 年度：

地域研究会を通じて、被害予測、情報発信、復旧復興対策等について社会実装の現状を評価し、あらたな社会実装に向けた計画を検討、一部についてはその概要を提案した。新しい災害シナリオについて、対策の可否などを議論した。減災カフェ等を通じた啓発活動を進めた。

平成 30 年度：

地域研究会を通じて、これまでの防災研究の成果を社会実装するためのシステムを提案し、地域側との連携を深化させる。地域に適した防災・減災対策を整理し、地方自治体と連携して、防災・減災対策の有効性を確認する。減災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進める。

平成 31 年度：

地域研究会を通じて、地域防災に活かすための方策や情報発信システムの利活用を検討し、地方自治体との連携を図り、地震前後のシナリオを整理する。市民参加の減災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進める。

平成 32 年度：

研究成果を実装した後の地域防災の再構築結果を評価し、修正個所を見直し、地域毎に自律的・継続的に活動できるような体制を整備する。これまでの成果をまとめた１-(e)の情報発信プラットフォームを活用して広く市民参加の減災カフェを開催し、地元メディアとも連携して、防災・減災のための啓発活動を進める。

(e) 平成 29 年度業務目的

東海、関西、四国、九州の４か所で地域研究会を開催し、国や府県、市町、ライフライン事業者、地域の大学等から防災・減災対策の課題やニーズを抽出して社会実装の現状を評価、プロジェクトの研究成果紹介を継続する。かつ前半４年間で抽出された課題やニーズを踏まえ、地域との連携を深化させながら、研究成果の社会実装への提案を働きかける。さらに、県ごとに特化した課題やニーズに応え、きめ細かいプロジェクト側からの提案・助言等を行うために、分科会の開催を積極的に検討して実施する。また、各地域・各県の枠を超えた地域連携の強化が進み始めていることも視野に入れ、地域研究会の周辺地域の情報収集も行った。加えて、研究成果の社会普及や啓発のために防災・減災カフェ等を開催する。

(2) 平成 29 年度成果

(a) 業務の要約

これまで通り、東海、関西、四国、九州と４つのエリアに分けて、県などの自治体、国土交通省地方整備局や気象台、海上保安部等の国の機関（地方支分部局）、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地域の大学などの地域側のメンバーとプロジェクト側のメンバーが集まり地域研究会を実施した。それぞれの幹事が主導して、前回までの地域研究会における議論やアンケート結果等の要望を踏まえて地域の事情に即したテーマを定め、そのテーマに適した話題を提供し、意見交換や議論を行った。研究成果の地域への社会実装に向けて、プロジェクト側の成果を報告し、地域の防災対策上のニーズや課題の洗い出しに努めた。

東海地域研究会では、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを念頭に置き、愛知県名古屋市内と愛知県碧南市内で各１回開催した。不確実な地震発生予測情報、経済被害、地震火災、津波流入水の堤外排水や研究会開催地域の行政の取り組みなどの話題提供に基づき意見交換や議論を行った。碧南市での地域研究会では、臨海部の工業地帯の見学会も実施した。これら議論もきっかけとなり、碧南市において地域リスク評価に関する具体的な検討・評価を実施していくことになった。

関西地域研究会では、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを念頭に置き、兵庫県神戸市内と大阪市内で各１回開催した。不確実な地震発生予測情報、地震火災、津波流入水の堤外排水、事前復興の話題提供に基づき意見交換や議論を行った。これら機論等から不確実な巨大地震発生予測情報に関する議論継続の声が高まった。

四国地域研究会では、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを念頭に置き、高知市内で１回開催した。東海地震から南海トラフ地震対策への方針転換、地震津波海底観測網の利活用、空間資源マネジメントなどの話題提供に基づき意見交換や議論を行った。地域研究会に加え、県危機管理部門からの出席に限定した分科会も高知県で１回開催した。これら議論等から、不確実な巨大地震発生予測情報に関する議論や地震津波海底観測網の利活用、四国四県の連携について今後も議論の中心としていくことになった。

九州地域研究会では、大分県、鹿児島県、熊本県、宮崎県のエリアを念頭に置き、鹿児島市内で１回開催した。不確実な地震発生予測情報、地震津波海底観測網の利活用、空間資源マネジメントなどの話題提供に基づき意見交換や議論を行った。分科会は、宮崎県で２回開催した。これら議論等から、不確実な巨大地震発生予測情報に関する議論と地震津波海底観測網の利活用について今後も議論の中心としていくことになった。

啓発・啓蒙活動としては、高知市内で高校生を対象とした対話型イベントとして「減災エンス塾」を開催した。好評につき、継続して実施することと、他の地域にもこのスタイルの対話型イベントを徐々に広げていくことになった。

(b) 業務の実施方法

1) 東海地域研究会

代表幹事を名古屋大学の福和伸夫氏とし、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを

吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を夏季に愛知県名古屋市内（名古屋大学減災館）で、冬季に愛知県碧南市内（碧南市役所）で各１回開催した。また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際にはアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各県と政令市や中核市などの地方自治体、国土交通省中部地方整備局、第四管区海上保安本部、各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業、地域の大学などであった。碧南市で開催した冬季の研究会では、研究会に先立って国内産業を支える重要拠点である衣浦臨海工業地帯を洋上から見学して研究会の議論に役立てた。

2）関西地域研究会

代表幹事を京都大学の牧紀男氏とし、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災･減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災･減災対策を洗い出すため、地域研究会を夏季に兵庫県神戸市（人と防災未来センター）で、冬季に大阪市内（大阪赤十字会館）で各 1 回開催した。また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際にはアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各府県と大阪市などの地方自治体、国土交通省近畿地方整備局、第五管区海上保安本部、大阪管区および各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地域の大学などであった。

3）四国地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構の金田義行氏とし、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を冬季に高知市内（高知城ホール）で 1 回開催した。また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際や他の機会においてアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自治体、国土交通省四国地方整備局、各地方気象台、四国運輸局といった地方支分部局、ライフライン事業者、経済団体、地域の大学などである。地域研究会と平行して、地域ごとのニーズや特性をより詳しく把握するための分科会の実施も検討した。対象は四国 4 県の防災部局であり、それぞれと個別に議論を深める事案が生じた場合など必要に応じて実施することとし、平成 29 年度は高知県で 1 回開催した。

4）九州地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構の金田義行氏とし、大分県、鹿児島県、宮崎県、熊本県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を冬季に鹿児島市内（TKP ガーデンシティ鹿児島中央）で 1 回開催した。地域側のニー

ズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際にはアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自治体、国土交通省九州地方整備局、各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、経済団体、地域の大学などである。地域研究会と平行して、地域ごとのニーズや特性をより詳しく把握するための分科会の実施も検討した。分科会の主な対象は大分県、鹿児島県、宮崎県の３県の防災部局であったが、その対象範囲は柔軟に対応した。個別に議論を深める事案が生じた場合など必要に応じて実施することとし、平成 29 年度は宮崎県で２回開催した。

5）啓発・啓蒙活動

一般の皆様へ地域の防災上の課題などを深く共有するための取組みとして、平成 26 年度より少人数による対話型イベント「減災エンス塾」を開催しており、平成 29 年度は高校生を対象としたものを高知市内で１回実施した。

(c) 業務の成果

1）東海地域研究会

平成 29 年度は、平成 29 年７月 25 日（火）と平成 30 年１月 22 日（月）に愛知県名古屋市内と愛知県碧南市内において各１回、計２回の地域研究会を開催した。代表幹事は名古屋大学減災連携研究センター長 福和伸夫氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

７月 25 日の第９回東海地域研究会は名古屋大学減災館で開催した（写真３－３－①－１）。出席メンバーは、愛知県、岐阜県、静岡県、三重県、岡崎市、豊田市、豊橋市、名古屋市、名古屋港管理組合、碧南市、四日市市、第四管区海上保安本部、名古屋地方気象台、国土交通省中部地方整備局、名古屋工業大学、三重大学、中部経済連合会、中部電力株式会社、東海旅客鉄道株式会社、東邦ガス株式会社、トヨタ自動車株式会社、中日本高速道路株式会社、名古屋商工会議所、名古屋第二赤十字病院、公益財団法人名古屋まちづくり公社、西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 27 機関、39 人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、京都大学、防災科学技術研究所、江戸川大学、文部科学省（オブザーバー）の６機関、21 人であった。京都大学大学院理学研究科教授 平原和朗氏より「不確実な地震発生予測に関する情報とは」と題して、内閣府中央防災会議でのこれまでの検討内容について研究者としての見解を添え紹介した。前駆すべり現象がこれまで見出されていないことから、確度の高い発生予測が難しいこと、今後の海陸の地殻変動リアルタイムモニタリングの重要性などを話した。次に、名古屋大学減災連携研究センター准教授 山崎雅人氏より「東海圏の産業構造の特性と南海トラフ巨大地震の経済被害」と題して、これまでの被害想定手法の課題にも触れつつ経済被害を押さえる事前策を中心に紹介した。最後に東海地域研究会の代表幹事である名古屋大学減災連携研究センター長 福和伸夫氏から東海圏における防災減災への取り組みの最新情報と今後の動向について紹介があった。研究会内

の総合的な議論や研究会終了後のアンケートからは、不確実な地震発生予測の扱いが行政やライフライン事業者を中心に難しくなることへの戸惑いや本研究会で継続してこのテーマを扱う希望などが寄せられた。また、経済界からの参加も多いことから、南海トラフ地震の経済被害への関心も高かった。

１月 22 日の第 10 回東海地域研究会は碧南市役所で開催した（写真３－３－①－２）。出席メンバーは、愛知県、静岡県、三重県、安城市、岡崎市、刈谷市、高浜市、知立市、豊田市、豊橋市、名古屋市、名古屋港管理組合、碧南市、四日市市、第四管区海上保安本部、名古屋地方気象台、中部地方整備局、中部経済連合会、中部電力株式会社、東海旅客鉄道株式会社、東邦ガス株式会社、トヨタ自動車株式会社、中日本高速道路株式会社、名古屋第二赤十字病院、公益財団法人名古屋まちづくり公社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 26 機関、48 人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、防災科学技術研究所、東京大学、徳島大学、京都大学、国土地理院（オブザーバー)、文部科学省（オブザーバー）の８機関、27 人であった。東京大学生産技術研究所准教授 加藤孝明氏が「都市震災における地震火災の危険性　想定外の状況は、あり得るか？（大量の人的被害)」と題して、“延焼運命共同体”という概念を用いて東京をモデルケースとして地震火災リスクの評価を行った研究を紹介した。さらに避難行動モデルの構築についても VR を用いた最新の研究を紹介した。次に、徳島大学大学院教授 馬場俊孝氏が「津波による流入水の堤外排水解析」と題して、長期湛水となる要因や、碧南市と徳島市を対象地域として精度の高い堤内津波浸水と排水の手立てに関する最新の研究成果を紹介した。さらに碧南市副市長 松井高善氏より「碧南市の防災減災への取組」について、碧南市の地理的な概要や経済的な位置づけを交えて、地域連携 BCP や防災対策行動計画と産学官協働の取組の紹介があった。碧南市の取組として特徴的なものは、碧南市が位置する西三河地域を一つの単位とした様々な連携が進んでいることであった。これは地域研究会を介したプロジェクト成果の社会実装や地域ごとの自律に向けた大きなきっかけとなることが期待されるものであった。同研究会の議論に役立てるため、過去のアンケートでも要望が多い見学会を、同研究会に先立って当日午前に実施した（写真３－３－①－３）。この見学会では、今後の東海地域研究会の議論の対象となる経済被害抑制に関しての知見を高め、海から臨海部の産業集積状況や防災減災対策の実施状況と課題を実感するために、衣浦臨海工業地帯を洋上から見学した。衣浦港湾は、西三河地方に展開する我が国随一の産業の海の玄関で、機能停止に陥ると我が国の産業に多大な影響を及ぼす事態となることが予想される重要な拠点である。研究会内の総合的な議論や研究会終了後のアンケートからは、東海地域でも研究対象として地震火災の危険性の検証をする希望や、津波浸水の詳細なシミュレーションや排水手段の検討の重要性を再認識した旨の声が沿岸部の自治体から聞かれた。

東海地域の課題や今後の議論の方向性としては、関係組織とその関わりが複雑であることとライフライン事業者が相互に依存しあっている現状がこれまで指摘されてきたことを受け、社会実装のためには、選定されたモデル地域へ重点的にプロ

ジェクトの研究成果や取り組みを反映させる仕組みを作りあげ、それをプロトタイプとして他地域にも展開することを検討してくことになった。そのモデル地域として愛知県碧南市を選定し、今後は集中的に社会実装に向けた取り組みを投入し、地域研究会は、その進捗状況の発信の場と議論の場としても活用されることになった。




写真３－３－①－１　第９回東海地域研究会の様子（名古屋大学減災館）




写真３－３－①－２　第 10 回東海地域研究会の様子（碧南市役所）




写真３－３－①－３　衣浦臨海工業地帯の見学
（写真左：乗船時の様子　写真右：船内の様子）

2）関西地域研究会

平成 29 年度は、平成 29 年 7 月 24 日（月）と平成 30 年 1 月 23 日（火）に兵庫県神戸市内と大阪市内において各１回、計２回の地域研究会を開催した。代表幹事は京都大学防災研究所 牧 紀男氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

７月 24 日の第９回関西地域研究会は人と防災未来センターで開催した（写真３－３－①－４）。出席メンバーは、大阪府、和歌山県、大阪広域水道企業団、大阪市、和歌山市、第五管区海上保安本部、大阪管区気象台、神戸地方気象台、和歌山地方気象台、東海・東南海・南海地震津波研究会、兵庫県立大学、NTT コミュニケーションズ株式会社、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 16 機関 24 人であった。プロジェクト側は、京都大学、海洋研究開発機構、東京大学、名古屋大学、防災科学技術研究所、江戸川大学、文部科学省（オブザーバー）、の７機関 11 人であった。海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センターグループリーダー 堀 高峰氏より「不確実な地震発生予測に関する情報とその活用」と題して内閣府中央防災会議でのこれまでの検討内容と、不確定情報の扱いをどう進化させていくべきかという視点を含めて話題提供があった。東京大学生産技術研究所准教授 加藤孝明氏が「大都市震災における地震火災の潜在的危険性」に関して、“延焼運命共同体”という概念で面的な火災の延焼とその被害を評価する研究を紹介した。研究会内の総合的な議論や研究会終了後のアンケートからは、不確実な地震発生予測であっても平時からいざという時の行動を考えておけば大きな減災につながると言った声や、延焼を防ぐ具体的な対策を早急に検討したいといったコメントがあった。

１月 23 日の第 10 回関西地域研究会は大阪市内の日本赤十字社大阪府支部大阪赤十字会館で開催した（写真３－３－①－５）。出席メンバーは、大阪広域水道企業団、和歌山県、大阪市、高石市、東大阪市、第五管区海上保安本部、大阪管区気象台、神戸地方気象台、和歌山地方気象台、東海・東南海・南海地震津波研究会、NTT ファシリティーズ、NTT コミュニケーションズ株式会社、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 17 機関 23 人であった。プロジェクト側は、京都大学、海洋研究開発機構、徳島大学、防災科学技術研究所、国土地理院（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）の６機関 11 人であった。徳島大学大学院教授 馬場俊孝氏が「津波による流入水の堤外排水解析」と題して、前日の第 10 回東海地域研究会と同様に碧南市や徳島市における浸水シミュレーションや堤外排水の手立てに関する最新の研究を紹介した。次に、関西地域研究会代表幹事の京都大学防災研究所教授 牧紀男氏より「南海トラフ地震災害を見据えた事前復興の取り組みー和歌山県由良町、兵庫県南あわじ市ー」と題して、阪神・淡路大震災後と東日本大震災後の被災地域における事前復興の取り組みを紹介し、それらが当初予想より進まない理由も踏まえて話題提供を行った。研究会内の総合的な議論では、事前復興について、その難しさやイメージし難い旨の意見や、紹介された先進事例のポイントなどについて質

疑応答があった。研究会終了後のアンケートから今後議論したい内容として、津波の長期浸水予測は河川遡上と河川堤防の精緻なシミュレーションが必須でありそれらの早い実現を期待する声や、事前復興は住民意識を上手く集約させることが難しいという指摘があった。

関西地域の課題や今後の議論の方向性としては、事前復興について現在研究対象となっている地域の取り組みを紹介することや、不確実な地震発生予測の情報の扱いをどうしていくべきかといった部分に焦点を当てていくことが提案された。それらについては、まずは行政の取り組みや考え方、経済界の対応を紹介いただき、それをもとに議論を深化させるべきである旨の意見も出た。




写真３－３－①－４　第９回関西地域研究会の様子（人と防災未来センター）




写真３－３－①－５　第 10 回関西地域研究会の様子（大阪赤十字会館）

3）四国地域研究会・分科会

平成 29 年度の四国地域研究会は、平成 30 年１月 31 日（水）に高知市内で開催した。分科会は、高知分科会を平成 29 年 10 月 10 日に高知市内で行った。代表幹事は海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員 金田義

行氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

１月 31 日の第７回四国地域研究会は、高知市内の高知城ホールで開催した（写真３－３－①－６）。出席メンバーは、愛媛県、香川県、高知県、徳島県、高知地方気象台、高松地方気象台、四国運輸局、四国地方整備局、香川大学、山口大学、四国電力株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 14 機関 26 人であった。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、京都大学、人と防災未来センター、防災科学技術研究所、東北大学、文部科学省（オブザーバー)、国土地理院、(オブザーバー）の８機関 14 人であった。京都大学大学院理学研究科教授 平原和朗氏から「想定東海地震から南海トラフ地震対策へ」と題して、予知情報として重要とされてきた前駆すべりはこれまでの巨大地震時には観測されていないといった課題も含めて大震法見直しに至った経緯と研究として今後行わなければならないことなどの紹介があった。次に海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センターグループリーダー 高橋成実氏から「地震津波海底観測網の整備に関する現状と利活用の先進事例」と題して話題提供があった。足摺岬沖の海底観測網が無い海域で高密度・高感度の観測をする学術的な重要性と、海底観測網が整備された場合の期待される効果について、他の海域で取り組んでいる利活用の先進事例を交えて紹介された。最後に、人と防災未来センター主任研究員 本塚智貴氏が「災害初動期における空間資源マネジメント -2016 年熊本地震時の益城町を事例として-」と題して、熊本地震直後からの現地調査による研究成果が紹介された。熊本地震では、活用されていない空間資源や活用方法の再検討が必要な空間資源が多くあり、今後の巨大地震等の大災害への備えとして研究を進化させ、それらを社会実装させる必要性が説明された。研究会内の総合的な議論では、地震津波海底観測網が未整備海域にも整備された場合の具体的なメリットや利活用方法についての質問や意見が相次ぎ、関心の高さが伺えた。研究会終了後のアンケートからは、ライフライン事業者として今回の３つの話題すべてが早急に知識を深め検討しなくてはならないといった声や、新しい視点である空間資源マネジメントについて今後も研究進捗を紹介して欲しいといった声が聞かれた。さらに、南海トラフ地震対策における不確定情報の扱い方の難しさと重要性についてのコメントも目立った。

高知分科会は 10 月 10 日（火）に高知県庁で開催した。出席メンバーは高知県と海洋研究開発機構であった。高知県が導入を進めている避難シミュレーションについての意見交換、地震津波海底観測網整備の最新情報等の意見交換がなされた。なお、香川県、徳島県、愛媛県とは分科会の開催には及ばなかった。これは、非定期に行っている情報共有や意見交換とアンケート調査などで、結果的に間に合ったからである。

四国地域の課題や今後の議論の方向性としては、アンケートや研究会における議論の内容から、不確実な地震発生予測の情報の扱いを主要テーマのひとつとすることになった。地域側がどのような情報が必要か、研究側はどのような情報を伝えられるか、さらにその伝え方など、ざっくばらんな議論を行い、意識向上を図ってい

くことになるだろう。地震津波海底観測網の利活用や、四国４県の連携、教育・啓発も重要な位置づけとなると思われる。




写真３－３－①－６　第７回四国地域研究会の様子（高知城ホール）

4）九州地域研究会・分科会

平成 29 年度の九州地域研究会は、１月 17 日（水）に鹿児島市内で開催した。分科会は、宮崎分科会を平成 29 年７月 24 日（月）と平成 30 年２月 22 日（木）に宮崎市内で行った。代表幹事は海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員 金田義行氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

１月 17 日の第７回九州地域研究会は鹿児島市内の TKP ガーデンシティ鹿児島中央で開催した（写真３－３－①－７）。出席メンバーは、鹿児島県、熊本県、宮崎県、宮崎市、鹿児島地方気象台、熊本地方気象台、九州運輸局、九州地方整備局、鹿児島大学、宮崎大学、NTT ファシリティーズ、NTT フィールドテクノ、九州経済連合会（オブザーバー）、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 14 機関 28 人であった。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、防災科学技術研究所、人と防災未来センター、国土地理院（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）５機関９人であった。海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員金田義行氏から「大震法の見直しにともなう情報発信の在り方南海トラフ巨大地震に備えて －地震予測研究の推進－」と題して、大震法が見直しになった経緯や、それにともなう今後の対応例が紹介された。また、南海トラフ地震研究の方向性についても新しい科学技術を活用した内容が紹介された。次に、海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センターグループリーダー 高橋成実氏から「地震津波海底観測網の整備に関する現状と利活用の先進事例」について紹介があった。宮崎沖の日向灘が海底観測網の空白海域であり、特に宮崎県や宮崎市から高い関心が寄せられ、研究会の最中だけでなく、終了後も質問や意見交換が続いた。最後に、人と防災未来センター主任研究員 本塚智貴氏が「災害初動期における空間資源マネジメント -2016 年熊本地震時の益城町を事例として-」と題して、熊本地震の発災直

後に現地に入った経験を基に、自治体としての発災時の対応について空間スペースの活用に視点をおいた考え方と取り組みが紹介された。研究会内の総合的な議論やアンケートからは、空間資源の活用を被災時の危機管理防災行政に活かしていきたい、地震津波海底観測網から得られる情報で津波警戒区域の設定やハード整備に活用したいと言った声が聞かれた。

宮崎分科会は２回開催しており、その一回目は平成 29 年７月 24 日に宮崎県庁で行われた南海トラフ巨大地震対策九州ブロック協議会（事務局：宮崎県）を同会と位置付けた。九州地域研究会代表幹事金田義行氏から本プロジェクトが紹介され、宮崎県も含めた九州地域全体との意見交換の場となった。南海トラフ地震対策について、九州全県での対応が求められ、その具体的な取り組みを加速させることなどの共通認識が確認された。また、平成 30 年２月 22 日には宮崎県危機管理課担当者と宮崎県庁で二回目の分科会を行った（写真３－３－①－８）。大規模地震対策特別措置法の見直しに関して研究の視点で概要を説明し、宮崎県の課題について議論を行った。また、地震津波海底観測網について、先進事例の最新情報の提供と、宮崎県としての今後の活用について、突っ込んだ意見交換を行った。また、この分科会に先立って、外所地震の津波被害の痕跡や宮崎市内の津波対策施設の見学を行った（写真３－３－①－９）。外所地震の津波被害は、海から離れた地域まで達したと言われており、実際にその痕跡を見学することでその大きさを体感できた。南海トラフ地震における不確定な地震発生予測の扱い方を検討するうえで、この外所地震の歴史的な調査が重要であることが再認識できた。なお、大分県、鹿児島県とは分科会の開催には及ばなかった。非定期に行っている情報共有や意見交換などで、結果的に間に合ったからである。熊本県は平成 29 年度からの参加であり、分科会の開催は平成 30 年度より具体的に検討することとした。

九州地域の課題や今後の議論の方向性としては、アンケート調査や研究会、分科会における議論の内容から、四国地域と同様に不確実な地震発生予測の情報の扱いを主要テーマのひとつとすることになった。地域側がどのような情報が必要か、研究側はどのような情報を伝えられるか、さらにその伝え方など、ざっくばらんな議論を行い、意識向上を図っていくことになるだろう。そして、特に宮崎県や宮崎市が高い関心を寄せている地震津波海底観測網の利活用や教育・啓発についても重要な位置づけとなると思われる。




写真３－３－①－７　第７回九州地域研究会（TKP ガーデンシティ鹿児島中央）




写真３－３－①－８　宮崎分科会の様子の例（宮崎県庁）




写真３－３－①－９　宮崎市内の見学の様子

表３－３－①－１　平成 29 年度の各地域研究会実績一覧

研究会名	話題提供	提供者
第９回東海地域研究会 平成29年７月25日（火） 14：00～17：00 名古屋大学減災館	不確実な地震発生予測に関する情報とは	京都大学大学院理学研究科　平原　和朗　教授
	東海圏の産業構造の特性と南海トラフ巨大地震の経済被害	名古屋大学減災連携研究センター　山崎　雅人　准教授
第10回東海地域研究会 平成30年１月22日（月） 14：00～17：00 碧南市役所 ２階　会議室４・５	都市震災における地震火災の危険性 －想定外の状況（大量の人的被害）は、あり得るか？－	東京大学生産技術研究所　加藤 孝明　准教授
	津波による流入水の堤外排水解析	徳島大学大学院　馬場　俊孝　教授
	碧南市の防災減災への取組	碧南市　松井　高善　副市長
第９回関西地域研究会 平成29年７月24日（月） 14：00～17：00 人と防災未来センター 東館６階会議室	不確実な地震発生予測に関する情報とその活用	海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター 堀　高峰 グループリーダー
	大都市震災における地震火災の潜在的危険性	東京大学生産技術研究所　加藤 孝明　准教授
第10回関西地域研究会 平成30年１月23日（火） 14：00～17：00 大阪赤十字会館 301会議室	津波による流入水の堤外排水解析	徳島大学大学院　馬場　俊孝　教授
	南海トラフ地震災害を見据えた事前復興の取り組み －和歌山県由良町、兵庫県南あわじ市－	京都大学防災研究所　牧　紀男　教授
第７回四国地域研究会 平成30年１月31日（水） 14：00～17：00 高知城ホール ４階　多目的ホール	想定東海地震から南海トラフ地震対策へ	京都大学大学院理学研究科　平原　和朗　教授
	地震津波海底観測網の整備に関する現状と利活用の先進事例	海洋研究開発機構　高橋成実　グループリーダー
	災害初動期における空間資源マネジメント -2016年熊本地震時の益城町を事例として-	人と防災未来センター　本塚　智貴　主任研究員
第７回九州地域研究会 平成30年１月17日（水） 14：00～17：00 TKPガーデンシティ鹿児島中央 ２階「桜島プレミアム」	大震法の見直しにともなう情報発信の在り方	香川大学　特任教授／海洋研究開発機構　上席技術研究員 金田　義行
	地震津波海底観測網の整備に関する現状と利活用の先進事例	海洋研究開発機構　高橋成実　グループリーダー
	災害初動期における空間資源マネジメント -2016年熊本地震時の益城町を事例として-	人と防災未来センター　本塚　智貴　主任研究員

5）啓発・啓蒙活動

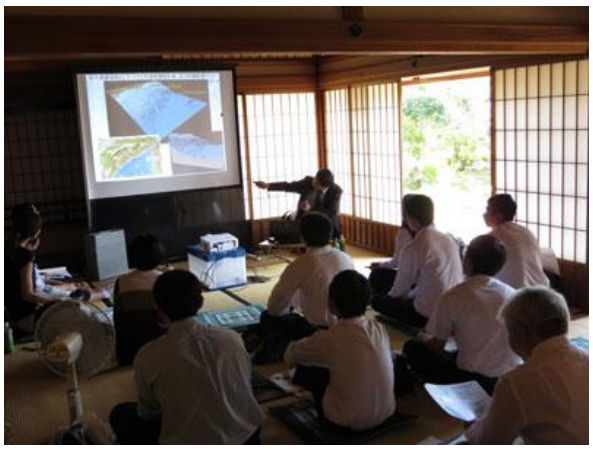
対話型イベントとして平成 26 年度より高知市内の寺田寅彦記念館において「高知減災エンス塾　寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ ―減災科学研究（げんさいえんす）の推進―」を行っている。平成 29 年度は、通算三回目となる高校生向けの同塾を、10 月９日（月）に開催した（写真３－３－①－10）。講師は海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員 金田義行氏であった。高知市内の土木関係への就業希望の方、消防士や看護師を目指す方々、地元大学にある防災関連分野の受験を考えている方々など、高知県内の高校生 13 名が参加し、オブザーバーとして県内高校の教諭４名、付き添いの保護者２名の参加あった。高校生を対象としていることから、最新の研究成果紹介だけでは無く、地球科学の基礎知識や、全ての学問分野において防災・減災の課題が内在していること等も紹介した。参加者からは津波火災や地震による液状化に対しての防災・減災に関する質問、大地震が発生する前に起きる現象に関する質問、高校や自宅が海抜の低い地域にある場合の避難行動や心構えに関する質問、災害に対応する人材育成に関する質問など多数の質問が寄せられた。それらの質問や議論は、休憩時間中やイベント終了後も続き、活発な対話がなされた。



寺田寅彦記念館　正面



活発な発言が相次いだ



講師の話を真剣に聞く参加者



休憩中にも質問が続いた

写真３－３－①－10　第三回高校生高知減災エンス塾
「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」の様子

(d) 結論ならびに今後の課題

プロジェクト側からは最新の研究成果等を紹介し、地域側からは行政の取り組みやその課題などを紹介していただいた。平成 29 年度は、大規模地震対策特別措置法の見直しが行われることになり、研究の観点からその補足的な情報や今後予想される展開などの話題をタイムリーに提供し、地域側からは情報提供や関連する議論の継続希望が多数寄せられた。リアルタイムの津波浸水予測システムの最新の取組みも紹介し、大きな津波被害が想定される地域から、特に高い関心を集めた。さらに、これまで地域研究会ではあまり議論を深めていなかった研究分野の地震火災や経済被害について紹介することで、本プロジェクトへの期待があらためて高まった。また、本プロジェクトではないものの、注目を集め始めている災害時の空間資源マネジメントも紹介することで、南海トラフ地震における防災・減災対策研究の幅広い情報発信の場として、地域研究会の存在をさらに強化できた。

分科会は、ニーズの掘り起こしや地域に特化した情報共有と議論のために、四国と九州の地域研究会を補完する形で実施した。地域連携や地震津波海底観測網整備と利

活用、地域研究会では時間の関係等で出来なかった大規模地震対策特別措置法の見直しに関する深堀した議論、さらに、県が抱える課題や取組みなどについて議論や意見交換を行った。

こうした話題提供と議論から、地域連携を図る上での方向性や社会実装が見込めそうな研究内容などについて認識が深まった。さらにそれらを踏まえた地域研究会の今後の進め方の意見も出された。具体的な例としては、幅がある不確実な地震発生予測の考え方や地域側の対処方法、自治体が進めている災害情報発信システムへの津波浸水予測情報の取り込み方など地震津波海底観測の利活用、事前復興として取り組むべき内容の抽出、東海地域研究会で先進的に実施する地域リスク評価といったところが今後の主要なテーマとなる可能性をもって議論等を深めていくことになった。

８か年の本プロジェクトは、平成 29 年度が後半４か年の折り返しスタートであり、本プロジェクトの目的の一つである研究成果の社会実装の実現と地域研究会の自律に向け、地域のニーズや関心等を深堀して具体的な議論を進めていく。地域連携の必要性の高まりから、これまでの枠組みからの拡大も検討する予定である。

(e) 引用文献

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

平成 30 年度も、これまで同様、東海、関西、四国、九州の４か所で地域研究会を開催し、国や府県、市町、ライフライン事業者、地域の大学等から防災・減災対策の課題やニーズを抽出して社会実装の現状を評価、プロジェクトの研究成果紹介を継続する。これまで抽出された課題やニーズを踏まえ、研究成果の社会実装への提案やその体制を検討し、地域側との連携を深化させる。さらに、各県単位など特定の地域に特化した課題やニーズに応え、きめ細かい提案・助言・議論を行うために分科会などの取組みも積極的に検討する。また、各地域・各県の枠を超えた地域連携の強化が進み始めていることも視野に入れ、地域研究会の周辺地域の情報収集なども実施する。加えて、研究成果の社会普及や啓発のために防災・減災カフェ等を開催する。

3.4 災害対応・復旧復興研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「災害対応・復旧復興研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人　京都大学　防災研究所	教授	牧紀男
国立大学法人　東京大学　生産技術研究所	准教授 特任研究員	加藤孝明 ヤスミン・バタチャリヤ
国立大学法人　東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻	准教授	村山顕人

(c) 業務の目的

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーション結果にもとづき、南海トラフ巨大地震の各地域の影響についての「納得」プロセスの開発、さらには各地域で想定される影響にもとづき事前の復旧・復興計画策定、災害対応計画の策定を行う。得られた成果は 1－c、e と共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画については１－a、b の知見を利用する。

(d) 8 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料や土地利用・建物・人口等の減災に関わる情報の収集及び将来の地域特性評価システムの構築等を行い影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復旧・復興対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要となる行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行った。

平成 26 年度：

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料等減災関連情報の収集、将来の地域特性評価システムの構築・検証、被害イメージ共有のための基礎的考察と影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復旧・復興対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要となる行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行い、事前復興計画を策定するための基礎的検討を行った。

平成 27 年度：

平成 25 度から 26 年度に検討した災害による地域への影響を把握するための「地

域特性評価システム」の高度化を行い、災害による影響を定量的に評価可能なシステムの構築を行うとともに、地域研究会における議論を踏まえ一般企業の BCP 策定に資する共通被害シナリオの構築を行った。また事前復興の理論的枠組みの構築を行うため、地域特性をふまえた事前復興のあり方、地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の検討を行った。

平成 28 年度：

影響評価、事前計画システムのプロトタイプ構築について、平成 27 年度までに開発した将来の「地域特性評価システム」を用いて、災害が地域に与える影響の定量的評価の試みを図った。また、将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行った。さらに事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、プロトタイプの構築を行った。

平成 29 年度：

影響シナリオ構築シミュレーションの具体的構築、事前復興計画の策定作業を継続する。将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行うと共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、現場での活用方法の検討を交えた被害を軽減するためのまちづくり方策プロトタイプの構築を行った。

平成 30 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での試行実装・展開検証。

平成 29 年度から検討を開始したより精緻な新たな災害影響評価手法の検討を継続すると共に開発した手法を元に東日本大震災による影響評価を実施する。また、福良地区においてこれまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムへの住民ビジョンの反映手法の検討を行うとともに、他地域への導入可能性の検討を行う。南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムを静岡県内の都市地域（都市型モデル）で実際に利用し、事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 31 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での実装・検証。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、これまでの開発してきた災害影響評価システムを用いて南海トラフ地震の総合的な影響評価を試行する。また、開発した事前復旧・復興計画策定システムにもとづき事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、計画策定システムの有効性の検証・他地域への展開可能性についての検証を実施する。兵庫県内の非都市地域（漁村型モデル）で実際に利用し、これまでの検証結果に基づくチューニングを行う。さらに、本システムを利用した事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 32 年度：

全体とりまとめ。

南海トラフ地震の災害影響評価を実施し、評価結果の検証を行う。また、これまで

開発してきた事前復旧・復興計画策定システムについて、他地域においても利用可能なようにマニュアル化を行い、システムの普及を行う。

(e) 平成 29 年度業務目的

影響シナリオ構築シミュレーションの構築、事前復興計画の策定手法の開発を継続する。平成 28 年度に検討を行った災害影響評価システムの試行結果の検証、地域特性が異なる地域での適応可能性の検証を行い、プロトタイプの構築について検討を行う。またこれまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムの他地域への導入を行い、その有用性の検証の試行をする。

(2) 平成 29 年度成果

① 影響シナリオ構築シミュレーションの構築

(a) 業務の要約

昨年度に実施した阪神・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とした災害による総合的な影響評価分析の精度検証を目的に、分析範囲を北摂地域に拡大するとともに、分析期間を国勢調査については 1990－2005 年の４時期（昨年度は 1990、1995、2000 の３時期)、事業所・企業統計については 1991－2006 年の４時期（昨年度は 1991、1996、2001 の３時期）に拡大して検討を行った。

国勢調査及び事業所・企業統計調査を基にした地域メッシュ統計等を用いて、地域メッシュごとの地域人口･経済構造についてデータ分析を行い指標化した。また、公共施設や被害想定等のデータをあわせて、ＧＩＳを用いて、地域特性の経年変化や災害が地域に与える影響等について地理空間的な分析を行った。前記データを用いて地域特性の推移や被害の大きさ（全半壊率）および復興事業との関連性を分析し、災害が地域に与える影響について分析を行った。

(b) 業務の成果

1) 震災による影響の総合評価

昨年度に実施した 2000 年までの人口構成に着目した災害による影響評価結果の検証を目的に、a) 阪神・淡路大震災前（1990）と震災の復興が概ね完了した時期（2005）b) 評価範囲を北摂地域に拡大して、人口構成の評価を行った（図３－４－①－１）。人口構成の評価については、人口ピラミッドの形状を若い世代が多い地域を＋と評価する人口構造係数 [1)] を用いている。その結果、一般的な傾向として、時代経過に伴い人口構造係数が低下していっているのに対し、阪神・淡路大震災で大きな被害を受けた灘区・東灘区・芦屋市・西宮市においては人口構造係数が低下しない傾向が見られる。

今後、灘区・東灘区・芦屋市・西宮市と同じような特長を持つ地域を抽出し、同様の傾向を持つ地域の人口構造係数の変化と比較することにより、震災が与えた影響についての詳細な分析を行い、被害、災害対応、復旧・復興という災害があたえる総合的な影響評価のより詳細な分析を行う。

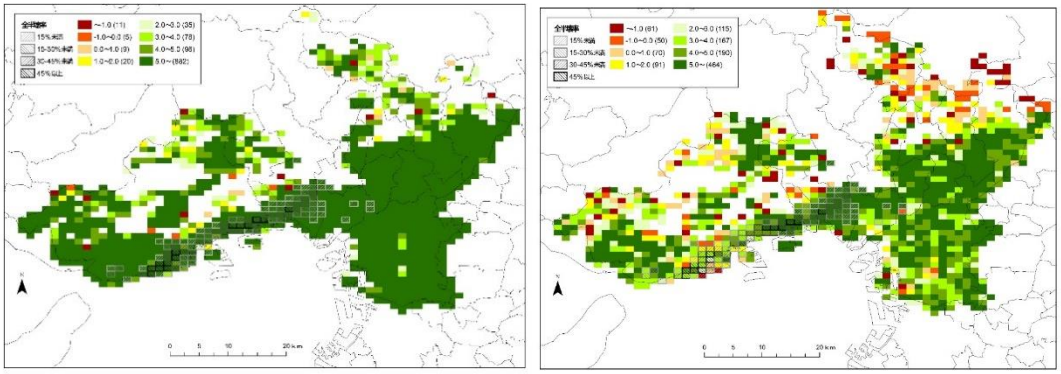


図３－４－①－１　人口構造係数と被害率の関係
（左：1990＜震災前＞、右：2005＜震災 10 年後＞））

2）地域特性の抽出

昨年度実施した国勢調査、事業所・企業統計調査を用いたクラスタ分析による地域特性抽出結果の検証を行うため地域を北摂地域に拡大、さらに分析対象期間を国勢調査（1990～2005）＜昨年度は 1990～2000＞、事業所・企業統計調査（1991～2006）＜1991～2001＞に拡大して検討を行った。分析手法は昨年度と同様、Ward 法（平方ユークリッド距離）による大規模クラスタ分析である。また昨年度は国勢調査と事業所・企業統計調査の統合分析を行ったが、今年度は用いたデータの特性をより詳細に分析するために国勢調査、事業所・企業統計調査を独立で分析を行った。

その結果、国勢調査については以下の８つのグループに地域特性を分類できることが明らかになった。

・クラスタ A：持ち家、雇用者、親族世帯の多い地域（1,083 クラスタ）
・クラスタ B：持ち家、親族世帯の多い地域（573 クラスタ）
・クラスタ C：就業者数の多い地域（18 クラスタ）
・クラスタ D：共同住宅、核家族世帯の多い地域（2,452 クラスタ）
・クラスタ E：民営借家、核家族世帯の多い地域（26 クラスタ）
・クラスタ F：給与住宅世帯の多い地域（76 クラスタ）
・クラスタ G：持ち家、親族世帯、第一次産業就業者の多い地域（252 クラスタ）
・クラスタ H：高齢化地域（112 クラスタ）

また事業所・企業統計調査については以下の６つのグループに分類できることが明らかになった。

・クラスタ A：大規模事業所（製造業）の多い地域（14 クラスタ）
・クラスタ B：事業所・企業のない地域（112 クラスタ）
・クラスタ C：小規模事業所（第三次産業）の多い地域（325 クラスタ）
・クラスタ D：第二次産業の多い地域（1,214 クラスタ）
・クラスタ E：サービス業の多い地域（654 クラスタ）
・クラスタ F：卸売・小売業、飲食店の多い地域（2,287 クラスタ）

昨年度、国勢調査と事業所・企業統計調査を統合して地域特性の分析は年度毎（国勢調査 1990＋事業所・企業統計調査 1991、国勢調査 1995＋事業所・企業統計調査

1996、国勢調査 2000＋事業所・企業統計調査 2001）に実施しており、表３－４－①－１に示すような結果が得られている。国勢調査と事業所・企業統計調査を統合して分析して年度別に分析を行った昨年度の結果と、今年度実施した国勢調査、事業所・企業統計を別個にかつ全ての年度（国勢調査 1990～事業所・企業統計調査 2006）を統合して行った分析では、地域分類の結果が異なっており、今後、どちらの手法が震災の影響を評価するための分類として適切なのかについて検討していく必要があることが明らかになった。

表３－４－①－１　阪神地域クラスタ分析結果[2)]

1990年

	平均	分散
ホワイトカラー持ち家	6.2	4.8
ブルーカラー	7.3	0.9
ホワイトカラー既成	7.0	2.3
農村高齢化	5.1	4.1
オフィス・繁華街	6.9	1.1
観光・その他	2.5	2.9
全体	6.4	3.7

1995年

	平均	分散
複合市街地	6.4	1.2
ブルーカラー	6.8	1.1
ホワイトカラー	6.7	1.7
卸流通	4.2	8.0
観光・高齢化	3.3	10.0
農村高齢化	4.2	5.1
全体	5.7	4.9

2000年

	平均	分散
複合市街地	5.5	1.6
ブルーカラー	5.8	2.5
ホワイトカラー	5.4	3.3
卸流通	5.7	5.3
観光・高齢化	2.0	11.4
農村高齢化	3.7	3.4
全体	4.9	5.4

昨年度実施した国勢調査と事業所・企業統計調査の統合分析では、被災地域（全半壊率８％以上）とそれ以外の地域で違いが見られる（図３－４－①－２）のに対し、本年度実施した独立分析では国勢調査では違いが見られないが、事業所・企業統計調査の結果では違いが見られる（図３－４－①－３、図３－４－①－４）。今年度の検証の結果、事業所・企業統計調査が地域特性の違いに大きな影響を与えていることが推察され、事業所・企業統計調査に着目し、地域特性の分類を行っていくことが有効であること、また昨年度の結果からクラスタ分析を用いた地域特性は時間経過に伴い変化していくことから震災の前・後のデータを統合して地域特性の抽出を行うことが有効であることが明らかになった。

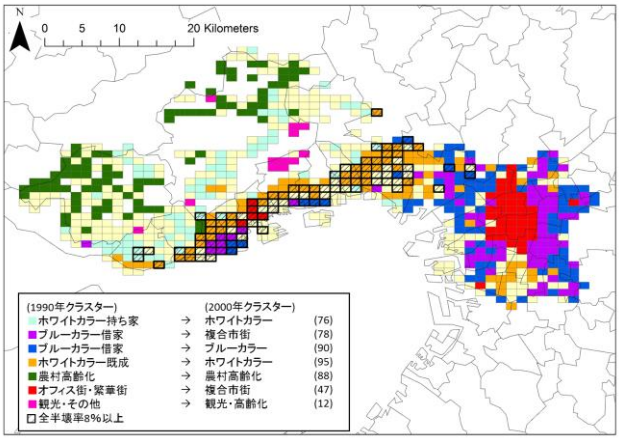


図３－４－①－２　阪神地域クラスタ標準推移(1990-2000)[3)]

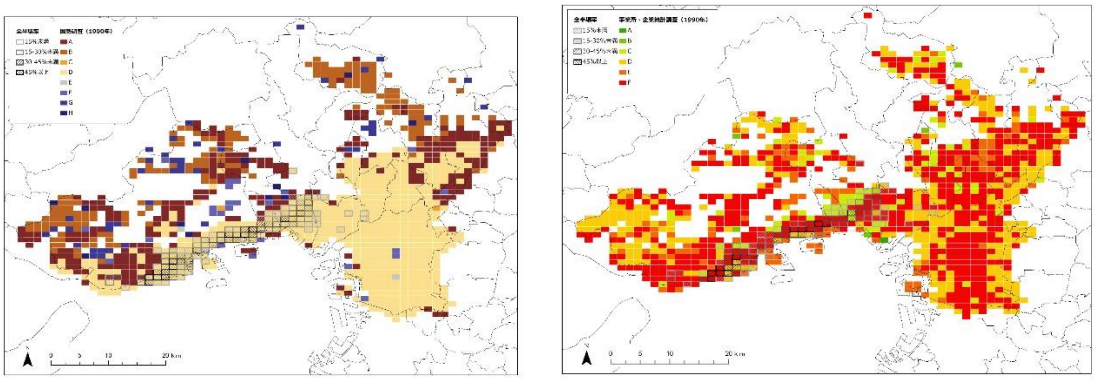


図３－４－①－３　1990 年（震災前）の地域特性
（左：国勢調査、右：事業所・企業統計）

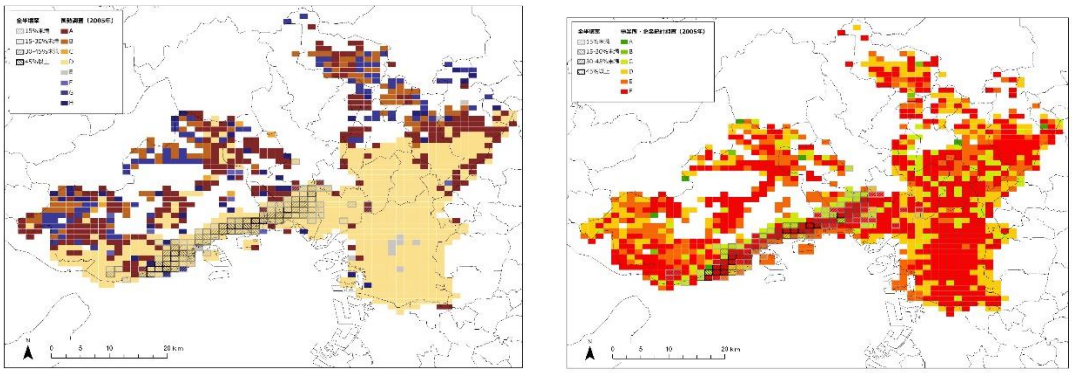


図３－４－①－４　2005 年（復興完了後）の地域特性
（左：国勢調査、右：事業所・企業統計）

3）被害と災害復興完了後の人口特性

被害の大きさ（全半壊率）と復興事業が、人口構成の関係を明らかにするため横軸に人口構造評価指数の変化分、縦軸に人口構造評価指数の変化分に応じた地域メッシュ数の構成比をとり、災害が地域に与える影響について分析を行った。

図３－４－①－５に示すように全半壊率 15%以下の地域では人口構造指数の変化がほとんど見られないのに対して、被害が大きい地域では全体的にグラフが右側にシフトしていく傾向が見られる。右側にシフトするということは人口指数がプラスに変化している、すなわち全体の人口構成が若くなっているということを示している。同様の傾向は図３－４－①－６の復興事業地域においても見られる。復興事業は被害が大きかった地域で行われるため被害状況とリンクしているが、全半壊率 30%以上の地域と比較して完全に同様の傾向を持っているわけではなく、公営住宅の影響も考えられるが、復興事業も地域の人口構成に影響を与えていることが推察され、今後より詳細な分析を行っていきたいと考える。

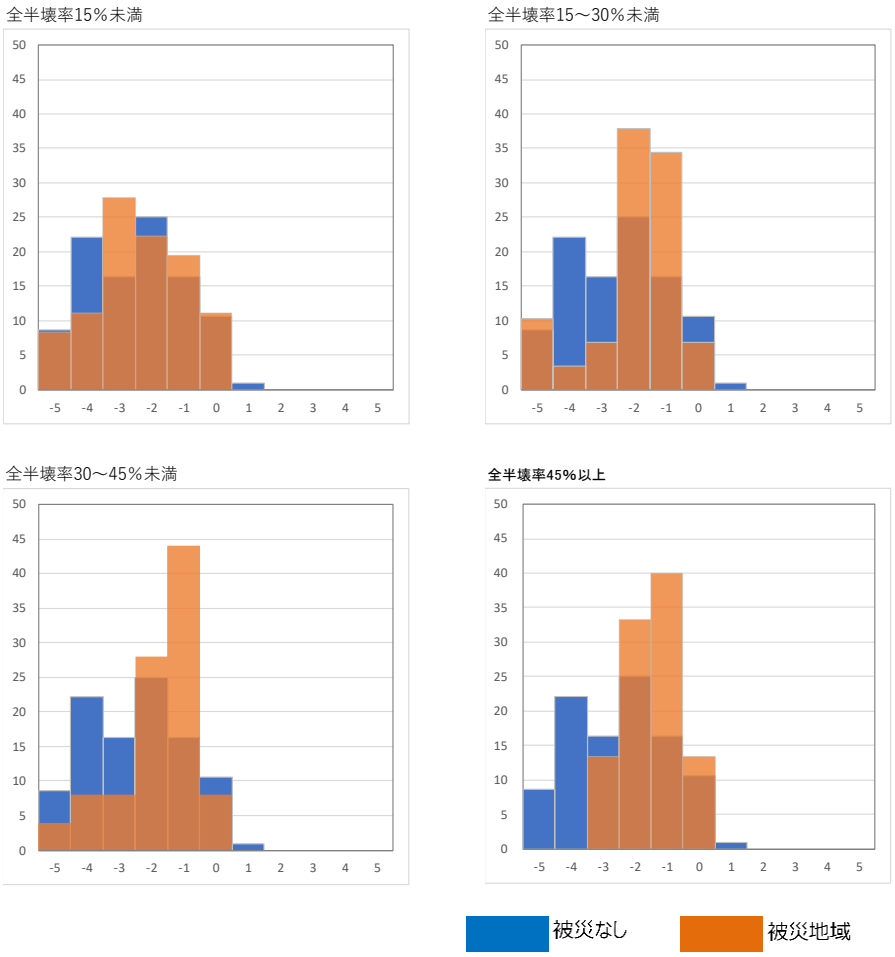


図３－４－①－５　全半壊率の大きさと人口構造評価指数の変化分の関係

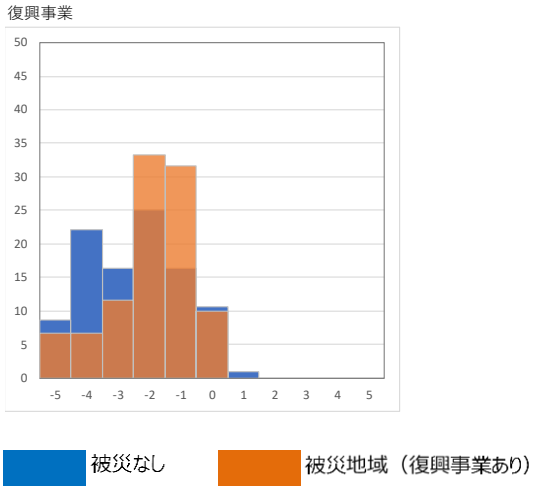


図３－４－①－６　復興事業の有無と人口構造評価指数の変化分の関係

注）復興事業：土地区画整理事業、市街地再開発事業、災害公営住宅整備

（c）結論ならびに今後の課題

災害前（1990）と復興事業完了後（2006）の期間の国勢調査、事業所・企業統計調査データを利用して、災害の被害、その後の復旧・復興が地域の人口特性に与え

る影響の検討を行った。

災害による被害、復旧・復興が地域の人口特性に与える影響としては、被災していない地域では時代経過に伴い人口構造係数が低下していっているのに対し、阪神・淡路大震災で大きな被害を受けた灘区・東灘区・芦屋市・西宮市においては人口構造係数が低下しない傾向が見られる。今後、灘区・東灘区・芦屋市・西宮市と同じような特長を持つ地域を抽出し、同様の傾向を持つ地域の人口構造係数の変化と比較することにより、震災が与えた影響についての詳細な分析を行い、被害、災害対応、復旧・復興という災害があたえる総合的な影響評価のより詳細な分析を行う。

地域特性の抽出については今年度の検証の結果、事業所・企業統計調査が地域特性の違いに大きな影響を与えていることが推察され、事業所・企業統計調査に着目し、地域特性の分類を行っていくことが有効であること、また昨年度の結果からクラスタ分析を用いた地域特性は時間経過に伴い変化していくことから震災の前・後のデータを統合して地域特性の抽出を行うことが有効であると明らかになった。

また被害率と人口構造指数の関係については、全半壊率 15%以下の地域では人口構造指数の変化がほとんど見られないのに対して、被害が大きい地域では全体的にグラフが右側にシフトしていく傾向が見られ、全体の人口構成が若くなっているということが明らかになった。

今回は、始めて震災から 10 年が経過した 2006 年までのデータを用いた検討を行ったが、今後より詳細な分析を行っていく必要があることが明らかになった。また、今後、地域特性毎に災害後の地域復興の姿が異なるという仮説に基づき、本年度実施した地域類型ごとに災害前（1990）と復興事業完了後（2005）の人口特性の比較を行い、その結果に基づき災害復興シミュレーションを実施していきたいと考える。

(d) 引用文献

1) 曽我部哲人、牧紀男、田中傑、佐藤慶一、災害が社会に与える影響の定量的評価方法の基礎的研究―阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象にして―、地域安全学会論文集、No.27, pp.95-104、2015

2) 文部科学省研究開発局、国立研究開発法人海洋研究開発機構、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト平成２８年度成果報告書、pp.164、2017

3) 文部科学省研究開発局、国立研究開発法人海洋研究開発機構、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト平成２８年度成果報告書、pp.167、2017

② 事前復旧・復興計画作成システムの他地域への導入可能性、有用性・課題の検証

(a) 業務の要約

これまでに和歌山県由良町衣奈地区で開発してきた事前復旧・復興計画策定システムを和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市福良地区に導入し、その有用性の検証ならびに課題の抽出、改良の実施を行うとともに復興土地利用計画策定のフレーム構築を行った。

(b)　業務の成果

１）開発した復興ビジョンの構築手法の検証

これまでに和歌山県由良町衣奈地区のケーススタディーを元に開発してきた事前復旧・復興計画策定システムを、和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市福良地区に導入し、開発したシステムの他地域での利用可能性・有用性・課題の検討を行った。福良地区での実際の計画策定はひょうご震災記念 21 世紀研究機構の研究プロジェクトとして実施されており、本研究プロジェクトでは計画策定フレーム・プロセスの導入、ならびに提案した計画策定フレーム・プロセスの検証の実施を行った。福良地区においては、本研究で開発した図３－４－②－１に示すような考え方で事前復興計画の策定を行った。

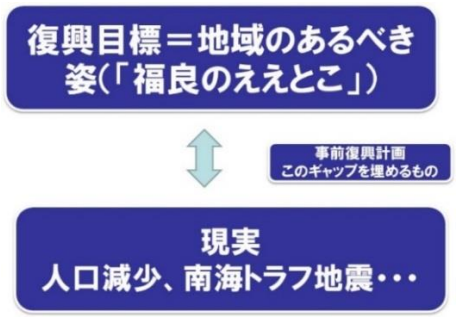


図３－４－②－１　事前復興を考えるフレーム

福良においては、衣奈で行った住民を対象にした模型を用いた手法を基本としながらも、衣奈地区での反省を踏まえ、住民、来訪者、高齢者、子供といった様々な立場の人の、その地域での現在ライフスタイルを、模型を媒介としてできる限り抽出し、模型さらには文字として整理を行った。開発した手法について、対象を拡大し、模型を用いたワークショップの期間を１週間に拡大する（衣奈地区では１日）という改良を行った結果、1393 もの証言（衣奈地区では 57）を集めることが可能となった（Step１）。また、福良地区の取り組みでは、地区ごとに整理した上で（Step２）、抽出した証言について住民が検証するというプロセス(Step３)を新たに導入し、各証言の地域での共通性の検証を行った。図３－４－②－２に福良の取り組みを示す。



図３－４－②－２　福良における住民ビジョン抽出・整理のプロセス

また、住民の証言（ライフスタイル）を復興ビジョンとすることの有用性については、東日本大震災で大きな被害を受けた宮城県石巻市で復興まちづくりに関わる苅谷智大は復興のグランドデザインについて次のように述べており、住民の証言（ライフスタイル）を復興ビジョンとすることの妥当性についての照査が行われた。

「グランドデザインを当時震災直後から描かなきゃいけなかったのか、なお今必要かと言われると、（中略）私自身はそう思っていなくて、むしろ、その時その時で、地域の人なのか、あるいは観光客なのかが、石巻の中心市街地、あるいは石巻市でどういう時間を過ごすか、暮らしを営むかっていう、平たく言ってしまうと、ライフスタイルのデザインみたいなのを積み重ねていくことが必要だったのかなと。（中略）それが、もう少し見えるかたちで、地域の人たちが求める、絵とか、もう少し立体的な、空間的なものとして示せると、震災直後に見たかった、あるいは、今になっても、どういう暮らしが、ここで実現できるかっていうのを知ることができたのかなと思います。」[1)]

本プロジェクトでは、昨年度まで総合的な復興計画の策定手法の構築を行ってきたが、本年度はより具体的な事前復興土地利用計画策定手法についての検討も行った。東日本大震災では災害復興を迅速に進める必要があることから、津波シミュレーション結果にもとづき決定される土地利用計画に、じっくりと時間をかけて住民のビジョンを反映させていくことができなかったという反省を踏まえ、「行政計画」、「住民のビジョン」を個別に描き、「行政計画」に時間をかけて「住民ビジョン」を反映させていくというモデルを構築した。

「行政計画」とは東日本大震災の復興土地利用計画の考え方にもとづくもので、1）頻繁に発生するL1クラスの津波については防潮堤で防ぐ、2）L1対応の防潮堤が存在するという前提でL2津波（東日本大震災を引き起こした津波）のシミュレーションを実施し、２ｍ以上の浸水が想定される地域は災害危険区域とし住宅建設を規制する、3)シミュレーション結果に基づき２ｍ以上の浸水深さが想定される住宅地は①盛土を行い２ｍ以下の浸水深さとする、②高台・内陸に住宅地を移転する、というものである。

福良地区ではL1対応の防潮堤の計画が行われており、L1対応の防潮堤が建設された場合のL2津波による浸水深さが示されており、２ｍ以上の浸水深の地域を盛土さらには土取り用地も兼ねた高台の住宅地を整備する土地利用計画の検討が可能である。

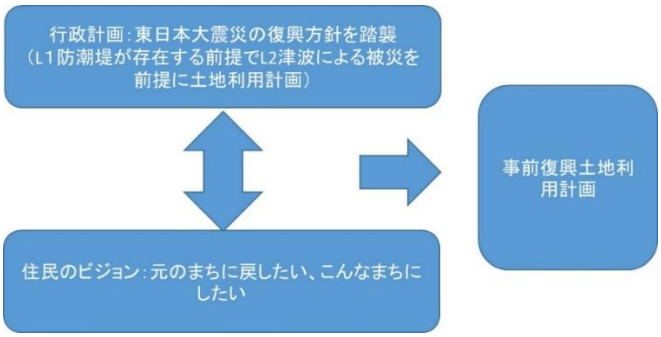


図３－４－②－３　事前復興土地利用計画策定のフレーム

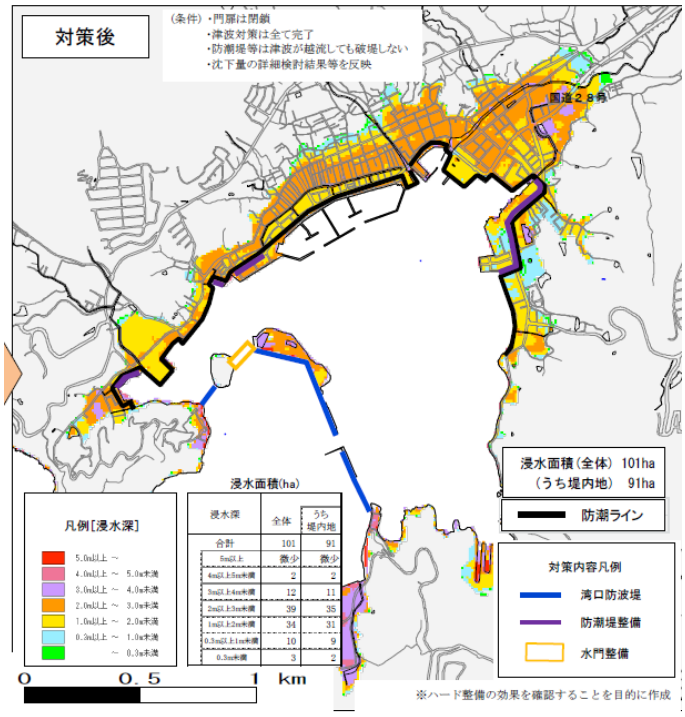


図３－４－②－４　福良地区のＬ１防潮堤設置時、浸水想定図（L2 津波）[2)]

事前復興の利点・有用性は、災害後にはできない「行政計画」に十分に時間をかけて「住民のビジョン」を反映させていくことができる点である。今後、「行政計画」に「住民ビジョン」を融合させていくための手法について検討を行っていく必要があると考える。

(c) 結論ならびに今後の課題

これまでに和歌山県由良町衣奈地区で開発してきた事前復旧・復興計画策定システムを和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市福良地区に導入し、その有用性の検証ならびに課題の抽出、改良の実施を行うとともに復興土地利用計画策定のフレーム構築を行った。

その結果、本研究プロジェクトで開発してきた事前復旧・復興計画策定システムの枠組みは、東日本大震災の教訓とも整合的であり、また他地域へ展開しても有効に機能することが明らかになった。また東日本大震災の復興土地利用計画策定の考え方にもとづき「行政計画」を策定し、その計画に住民のビジョンを反映させていくという事前復興土地利用計画策定のフレームの開発も行った。

今後、今回開発したフレームにもとづき事前復興土地利用計画の策定を行っていく場合、どのようにして住民のビジョンを「行政計画」に反映させていくのかについての手法開発を行っていく必要がある。

(d) 引用文献

1）認定 NPO 法人日本都市計画家協会、JSURP まちづくりカレッジ 2016『人口減少社会を読む２』特別企画『マスタープランは必要か？～日本型のプレイス・ベースト・プランニングを考える～』、2017 年 9 月 21 日（木）18:00～20:30、東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 141 講義室

2）兵庫県、福良港（L2）津波浸水想定図対策後、
https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks04/documents/001jyuutennawajisima.pdf 、 2018 年 3 月 28 日閲覧

③ 津波防災地域づくりの実践的構築

(a) 業務の要約

伊豆市で進められる津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策定に主体的に関わることを通して、津波防災地域づくりの計画プロセス、計画策定手法に関して考察を行い、津波ハザード評価を実社会につなげる計画理論の確立に向けての知見を得た。

(b) 業務の実施方法

伊豆市では、2016 年１月から津波防災地域づくり法に基づく推進計画の議論を進めている。西伊豆有数の観光地である土肥地域を対象に「伊豆市“海と共に生きる”観光防災まちづくり推進計画」と称した計画を策定している。法定協議会は、2016 年３月に第１次計画、2017 年 11 月に第２次計画を答申した。この計画は、南海トラフ巨大地震で想定される最大 10m、最短６分の津波災害の防災を進めるだけではなく、年間 80 万人近い観光客が訪れる土肥地域の観光の振興、かつ、過疎化に起因する地域の持続性の課題の解消を事業者・住民・行政が問題意識を共有し、地域一丸となって前向き、かつ、自律的に取組める状況を創り出すことを目的としている。加藤は推進計画の法定協議会の会長の立場から計画に関わる議論、取り組みのコーディネートを通して津波防災地域づくりの新しいモデルを構築し、その過程で津波防災地域づくりの策定手法、支援技術に関する考察を深めた。

伊豆市、静岡県、研究分担者らとの研究会、現地での協議会および大小の市民集会への主体的参画を通して実践的に津波防災地域づくりを構築した。2017 年度は、東京大学での研究会９回、現地での協議会・市民集会など合計７回に参画した。

(c) 業務の成果

この計画策定モデルは、観光と防災の両立を目指すこと、リスクコミュニケーションのためのツールの開発、それを用いた丁寧なリスクコミュケーション、通算 30 回を超える大小の市民集会による市民レベルのボトムアップの議論を積み上げ、津波防災地域づくり法に基づく「津波災害特別計画区域」を全国初の指定、それを契機とした津波先進地域としてのブランド化戦略、津波防災地域づくりと地区防災計画の連結等、特記すべき特徴がある。

１） ボトムアップの議論積み上げによる計画策定手法の確立

市民レベルの草の根議論を積み上げて計画は策定されたことが特徴である。策定プ

ロセスでは、「丁寧」がキーワードとなり、通算 30 回以上の大小の市民集会を開催し、地域とのリスクコミュニケーション、議論を丁寧に行った。当面の津波リスクを共有した上で、計画は、“地域ができること”を中心に市民の声を積み上げた内容となっている。実際の取り組みにおいても地域主体の内発型取り組みを促している。地域組織、旅館組合等の民間組織、中学校がそれぞれ「『がんばる』地域宣言」を行い、取り組みについての議論を喚起し、さらに相互の工夫の共有を行い、地域社会全体として前向きな気運の醸成が図られた。また中学校でワークショップが開催され、今の防災の担い手、未来の地域づくり中核となる人材としての期待が共有された。中学生の意見は、大人にとって刺激となり、地域社会全体の取り組みを促進した。

2） リスクコミュニケーションのための津波ハザード可視化システムの有効性の検証

昨年度開発した Google Earth を用いた津波ハザード可視化システムの有効性の検証を市民集会等で活用し、その有効性を検証した。

3） 観光と防災の両立

計画名称にあるとおり、地域の現状や災害リスクを踏まえ、観光と防災のバランスのとれたまちづくり、特に海水浴場を有する地域では防潮堤の建設を巡って対立する観光と防災を、対立ではなく両立を目指すこととした。賛否が分かれる防潮堤の是非については当面行わない方針とし、市街地側での安全対策の議論を優先することとした。さらに観光と防災の相乗効果を得る方策としては、先進的な防災対策を進めることを通して津波災害対策の先進地域として地域ブランドを確立し、防災対策を拡充しながら、平時の観光振興、地域の持続性の維持・向上を図り、災害後に回復できる地域力を平時に醸成することを目指す計画とした。

4） 津波防災地域づくり法に基づく「津波災害特別計画区域」指定の負のイメージの転換

全国初となる津波災害特別警戒区の指定は 2012 年の法律制定以降、皆無である。区域指定は、「危険な区域」というレッテル張りにつながる懸念があることがその一因と推察される。実際、伊豆市の特別警戒区域に関わる報道で「津波災害警戒区域はリスクの高い地域」とする誤った解説もみられた。すでに津波被害想定において津波による被災リスクは公表されている、むしろ区域指定に進む自治体は被災リスクを低減させる意思のある地域である。本来、津波災害警戒区域、津波災害特別警戒区域は下記のように解釈されるべきものであるとして市民と共有を図った。

津波災害警戒区域	津波ハザードを正しく理解し、そこで安全に暮らす工夫を行う区域
津波災害特別警戒区域	津波リスクを今以上に蓄積しない区域

伊豆市では、区域指定にあたっては、上記の弊害をできる限り低減し、本来の意味を全国民に誤解無く理解してもらえるような工夫として、愛称をつけることとした。愛称は公募され、2018 年 3 月 22 日に正式決定した。また、区域指定に関する議論では、反対論として超えるメリットがないことが指摘された。ただし、メリットとして先進地域として国、県とともに主体的に議論し、津波防災地域づくりを促進するための支援のしくみを検討できることが共有された。なお、2018 年 3 月 27 日に区域指定

がなされた。これは新しい地域づくりのモデルの創出につながるものと考えられる。

５）　津波防災地域づくり推進計画と地区防災計画の連携

津波防災地域づくり推進計画に地区防災計画の策定が明記された。2017 年度の『がんばる』地域宣言を起点として今後、各組織、各地区にて地区防災計画策定につながる道筋が描かれた。地区防災計画制度の新たなモデルとなり得るものと考えられる。

なお、一連の取り組みに対して、2018 年３月 20 日、レジリエンスアワードの最高賞「グランプリ」を授与された。

(d)　結論ならびに今後の課題

伊豆市の事例は、観光と防災の両立、丁寧なボトムアップの議論の積上げによる計画策定、支援技術を用いた丁寧かつ確実なリスクコミュニケーションの実現、法定の津波災害（特別）警戒区域の負のイメージの転換による区域指定、津波防災地域づくりと地域防災計画制度の連結等、特記すべき特徴のある事例となった。

今後、経過観察を行いつつ、改善、さらに発展させる方策を検討することが必要とされる。あわせて他地域に展開できる普遍的な要素の抽出、また他事例のレビュー、現地調査を通して津波防災地域づくりの計画理論、計画技術の確立に資する知見を蓄積する必要がある。

④ 地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の圏域マスタープラン及び地区まちづくりへの展開（三重県及び鈴鹿市の事例研究）

(a)　業務の要約

三重県県土整備部都市政策課と連携し、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」（平成 28 年８月策定）を「都市計画基本方針」（平成 29 年３月策定）に反映させた成果に基づき、県内５圏域（北勢・中南勢・伊賀・伊勢志摩・東紀州）のマスタープランを策定した。特に北勢・東紀州の圏域マスタープランの策定には村山が策定検討委員会委員長として深く関与した。

また、昨年度に行った三重県鈴鹿市沿岸部に「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」を適用する際の課題や方法を検証するための基礎的分析の結果に基づき、長太（なご）地区を取り上げ、地区の現状と防災・減災上の課題を整理した上で、鈴鹿市都市整備部都市計画課の協力を得て、地域づくり協議会（長太地区まちづくり協議会）を通じた「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」の地区まちづくりへの展開の方法について検討を開始した。

(b)　業務の実施方法

三重県都市計画審議会（７月 26 日：欠席のため７月 21 日個別対応、10 月 23 日、12 月 25 日、３月 28 日）及びその元に設置された三重県圏域・都市計画区域マスタープラン幹事会（11 月 22 日）、北勢圏域・都市計画区域マスタープラン策定検討委員会（９月５日、２月 27 日）、東紀州圏域・都市計画区域マスタープラン策定検討委員会（９月６日、９月 28 日）に村山が策定検討委員会委員長として参加し、「地震・津波被害の低減

に向けた都市計画指針」（平成 28 年８月策定）及び「都市計画基本方針」（平成 29 年３月策定）の圏域マスタープラン（都市計画分野の広域のマスタープラン）への反映を行った。圏域・都市計画区域マスタープラン策定検討委員会及びその作業部会には、各都市（計画区域）からの代表者や各都市の都市計画分野の職員が参加し、プランの内容を納得できる形で調整した。

鈴鹿市沿岸部に位置し、同市の都市マスタープランでは「土地利用規制見直しエリア」にも指定されている長太地区を取り上げ、昨年度の基礎的分析の結果に基づき地区の現状と防災・減災上の課題を整理した上で、鈴鹿市都市整備部都市計画課の協力を得て、長太地区まちづくり協議会の都市計画出前講座（11 月８日）にオブザーバー参加し、当該地区の住民が認識する地区の課題を把握した。その上で、再度、長太地区の現地踏査を行い、長太地区まちづくり協議会を通じた「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」の地区まちづくりへの展開の方法を検討した。

(c)　業務の成果

三重県内５圏域のマスタープランでは、共通して、「災害に対応した安全性の向上」が柱の１つとして位置付けられ、都市計画が担うべき中心課題と都市計画の目標が次のように示された。

北勢圏域及び東紀州圏域のマスタープランの「災害に対応した安全性の向上」

［中心課題］

・沿岸部を中心に地震災害による大規模な被害が想定されていることや洪水被害、土砂災害等の風水害が懸念されていることをふまえ、防災・避難施設の整備等のハード対策と土地利用規制・誘導等のソフト対策を一体的に進めることが必要である。

・緊急輸送道路や河川・海岸堤防、土砂災害防止施設等の公共土木施設について、未整備箇所の整備や、老朽化対策を進める必要がある。

［目標］

・「防災・減災」に必要な避難施設等の整備や長寿命化を図り、災害に強い都市づくりを進めるとともに、災害時の防災・医療の拠点と各地域の連携を強化し、安全・安心を実感できる生活環境づくりを進める。

・災害リスクの高い場所では、用途を考慮した都市的土地利用の抑制や建築物の構造規制を行うほか、災害リスクの低い場所への都市機能や居住の移転を進めるなど、大規模自然災害による被害の低減に向けて都市構造の再編を検討する。

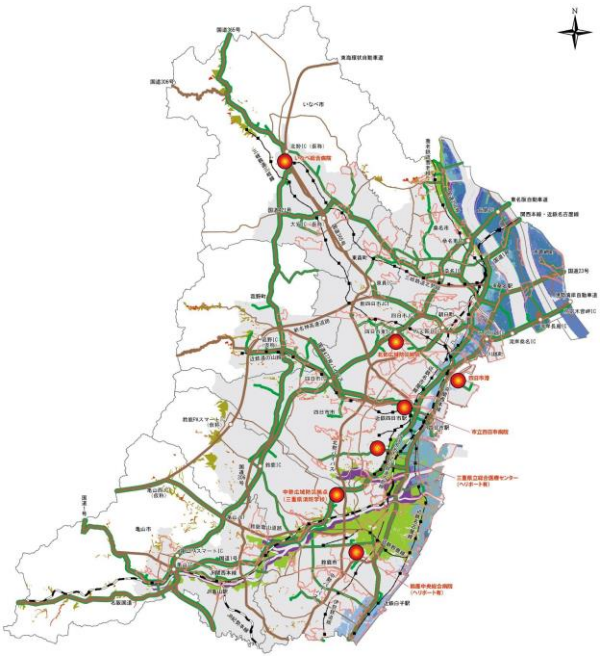


図３－４－④－１
北勢圏域将来都市構造図

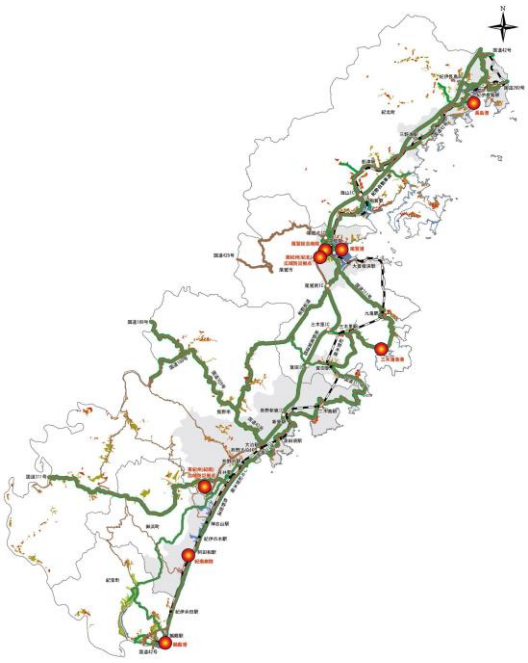


図３－４－④－２
東紀州圏域将来都市構造図

鈴鹿市長太地区の現状と防災・減災上の課題は、次のように整理された。

・長太地区は、近鉄名古屋線長太ノ浦駅周辺の線路と海に挟まれた市街地・津波浸水域（最大津波浸水深：1.5～2.0m）であり、鈴鹿市都市マスタープランでは、都市的機能（住宅ゾーン）及び土地利用規制見直しエリアとして位置づけられている。

・沿岸部の長太新町は第一種低層住居専用地域（容積率 100%・建蔽率 60%）に指定される低層住宅地、長太旭町・長太栄町は第一種住居地域（容積率 200%・建蔽率 60%）の低層密集市街地である。北長太町は主に市街化調整区域、一部は市街化区域で第一種低層住居専用地域（容積率 100%・建蔽率 60%）に指定されている。これら沿岸部の地区では、耐震性の低い建物の倒壊と津波避難の課題がある。特に密集市街地では地震によって細街路沿いの建物や塀が倒壊し、避難路が閉塞する可能性もある。そもそも平常時でも緊急車両が進入できない。

・市街化区域内の低未利用地を含む内陸側の北長太町と長太栄町５丁目では、平成 12 年から平成 22 年の 10 年間で、戸建住宅開発が進行し、人口がそれぞれ 86.5%、111.1%増加し、平成 22 年時点の高齢化率はそれぞれ 10.6%、15.3%と低く、人口ピラミッドを見ても若いファミリー層が転入してきたことが分かる。土地利用変化を見ると、農地または山林・原野から住宅地への転換が確認できる。近年の戸建住宅開発では、地盤が嵩上げされている。

・これらの地区では、２階建て以下の非堅牢建物がほとんどで、建築年が 1981 年以降の建物が北長太町では約 80%、長太栄町５丁目では約 63%を占める。津波浸水深は最大 1.5m なので津波による建物全壊（流出）の可能性は低いが、PL 値は 15 前後で地震時に土地が液状化する可能性が高い。新規開発地の建物内垂直避難可能性は、北長太町で７割、長太栄町５丁目で４割弱である。

・地区内人口 7,600 人に対して、避難ビル収容力は 2,700 人で、避難収容力が不足している。浸水のない内陸部への避難は 2km 以上の移動が必要で、しかも近鉄名古屋線との平面交差がある。

また、長太地区まちづくり協議会の都市計画出前講座（11 月 8 日）において把握した当該地区の住民が認識する地区の課題は次の通りである。

・既成市街地の土地区画整理事業は困難だが、老朽化したものを壊し、新しくする「スクラップ＆ビルド」の都市計画が必要とされている。

・密集市街地では、建物の新築・建て替え時に道路中心線から２ｍ建物をセットバックさせるが、いわゆる「蛇玉」の状況で緊急車両が進入できない。また、せっかくセットバックしても電柱や花壇が設置されており、道路が実質的に拡幅されない。

・津波浸水域も住宅ゾーンになっていることが問題ではないか。公共施設は、更新時には、安全なところに移設したい。津波から逃げる道、逃げる先（避難路・避難施設）の確保が必要である。

・市街化調整区域の土地のうち、使われていないものは放棄されている。



写真３－４－④－１
密集市街地の細街路



写真３－４－④－２
建替に伴い一部拡幅された道路



写真３－４－④－３
老朽化した建物



写真３－４－④－４
空き地・耕作放棄地の発生



写真３－４－④－５
宅地開発が進んだ北長太町



写真３－４－④－６
避難ビルに指定された商業施設

(d)　結論ならびに今後の課題

三重県においては、地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」（平成 28 年８月策定）を「都市計画基本方針」（平成 29 年３月策定）に反映させ、さらには、県内５圏域（北勢・中南勢・伊賀・伊勢志摩・東紀州）のマスタープランに「災害に対応した安全性の向上」に関わる都市計画の中心課題と目標を明示され、従来のプランにはない新しい内容として、災害リスクの高い場所では大規模自然災害による被害の低減に向けた都市構造の再編を行うことを明記することができた。鈴鹿市長太地区は、こうした検討を行う先進事例になる可能性があるが、他の自治体・地区でも同様に検討を進める必要がある。

一方、鈴鹿市長太地区については、長太地区まちづくり協議会を通じた「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」の地区まちづくりへの展開の方法として、具体的に次の内容が考えられる。

・沿岸側の低層密集市街地：低密度化を通じた居住人口（＝避難が必要な人口）の減少、老朽化した建物の除却、空き地と街路を戦略的につなぐことによる避難路の確保
・内陸側の市街地：災害に強い建物の誘導（地区全体として人口を維持するために新規宅地開発を許容）、沿岸側密集市街地居住者のための十分な避難施設の確保
・鉄道を超える避難の可能性の検討
・まちづくり協議会における以上を踏まえた具体的な空間整備計画の策定

今後は、長太地区まちづくり協議会の幹部と現状・課題・展開方法を検討・共有した上で、鈴鹿市都市計画課のサポートの下、具体的な空間整備計画を検討することが課題である。

(e)　引用文献

・三重県：三重県北勢圏域マスタープラン，2018 年
・三重県：三重県東紀州圏域マスタープラン，2018 年

(3) 平成 30 年度業務計画案

影響シナリオ構築シミュレーションの精緻化と、事前復興計画の策定手法の開発の継続を行う。平成 29 年度から検討を開始したより精緻な新たな災害影響評価手法の検討を継続する。これまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムへの住民ビジョンの反映手法の検討を行うとともに、他地域への導入可能性の検討を行う。

3.5 防災・災害情報発信研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目　「防災・災害情報発信研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長 総括主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 研究員 研究員	藤原広行 高橋 成実 臼田裕一郎 田口仁 李泰榮 東宏樹 崔青林 水井良暢 池田 真幸
国立研究開発法人海洋研究開発機構	上席技術研究員 グループリーダー 技術研究員 技術研究員	金田義行 高橋成実 中野優 今井健太郎
国立大学法人名古屋大学	教授 特任教授 准教授 寄附研究部門教授 特任准教授	福和伸夫 護雅史 山中佳子 武村雅之 倉田和己
国立大学法人東京大学	教授 准教授 東北大学　国際研究所情報管理・社会連携部門　災害復興学実践分野 人と防災未来センター研究部 香川大学特命准教授 高知工科大学	田中淳 関谷直也 定池祐季 宇田川真之 磯打千雅子 三船恒裕

(c) 業務の目的

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信されるWebサービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(以下、「災害情報プラットフォーム」という。)を構築する。災害情報プラットフォーム上では、各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等のリアルタイムデータ、他の

研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評価などの情報を統合して発信できるものとする。この災害情報プラットフォームを基盤とした、あるいは連携した、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防災人材育成、教育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用する。これらを効果的に進めるためのリスクコミュニケーション（RC）手法を開発し、人材育成を図る。

(d) ８か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

災害情報プラットフォームの基本設計を行った。自治体が有する各種地域データの収集・整備を開始した。リアルタイム伝送システム設計のための検証等を開始した。加えて、RC・防災に関わる人材育成・教育のための調査を開始した。

平成 26 年度：

災害情報プラットフォームの詳細設計を開始した。データの収集・整備を引き続き実施するとともに、これらの利活用システムについて検討した。リアルタイム伝送システムのアプリケーション開発を開始した。防災に関する知識構造の解明と、RC・防災人材育成の手法の検討を行った。

平成 27 年度：

災害情報プラットフォームの実装情報と表示機能について行政関係者への調査やモデル地区での試験的利用を行い検討・反映した。データの収集・整備、利活用システム開発を引き続き実施した。データベースの構築を開始しマルチ検索表示機能の試験ページを試作した。RC・人材育成については、地域特性を考慮した基礎データ、減災関連情報の収集・整理を行うとともに、これらを減災対策等に有効活用・提供していくための情報システムを構築した。効果的なリスクコミュニケーション実現のため､知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。

平成 28 年度：

災害情報プラットフォームのベータ版（Ver.１）の公開を行い、試験的な運用を開始した。また、これと各種利活用システムとの連携について検討を開始するとともに、データやシステムの整備と RC・人材育成手法の継続的検討と教材開発を行った。稠密な量的調査を行い、知識構造の地域差の解明を行うとともに、HUG 方式でワークショップを実施し地域人材の育成を試みた。

平成 29 年度：

他の研究課題の成果のデータベース（以下：DB）化とともに、成果の運用に関する連携技術について検討・開発した。また、リアルタイム伝送システムとの連動機能を開発した｡RC･人材育成のための社会的仕組みの概念設計と教材開発を行った。

平成 30 年度：

地域研究会や防災教育等での活用を通じて、災害情報プラットフォームや各システムを高度化する。RC・人材育成の社会実装実験を行う。

平成 31 年度：

引き続き災害情報プラットフォームや各システムを高度化するとともに、RC・人材育成手法の地域への展開や利活用推進を図る。

平成 32 年度：

最終的な実証実験を行い、システムの有効性を評価する。その結果を踏まえ、災害情報プラットフォームを最終版（Ver.２）として整備するとともに、開発した各システムの地域展開を検討する。

(e) 平成 29 年度業務目的

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究との成果運用に関する連携技術・手法について検討と開発を開始する。また、DONET を介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの情報との連動に対応するための機能検討と開発を開始する。公開済みの「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」ベータ版（Ver.１）が広く社会で利用されるための調査・実験を行い、各種利活用システムとの連携について検討を進める。データやシステムの整備とリスクコミュニケーション（RC）の継続的調査・検討と教材開発を行い、避難意図を直接規定する地域変数から RC を改善する。

(2) 平成 29 年度成果

①南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築（防災科学技術研究所）

(a) 業務の要約

これまで、プロジェクト内の研究成果（サブテーマ１防災減災１-a、b、c、d、サブテーマ２観測調査・シミュレーション）を含み多様な既存情報を集めて提供できる災害情報プラットフォームを構築してきた（図３－５－①－１）。

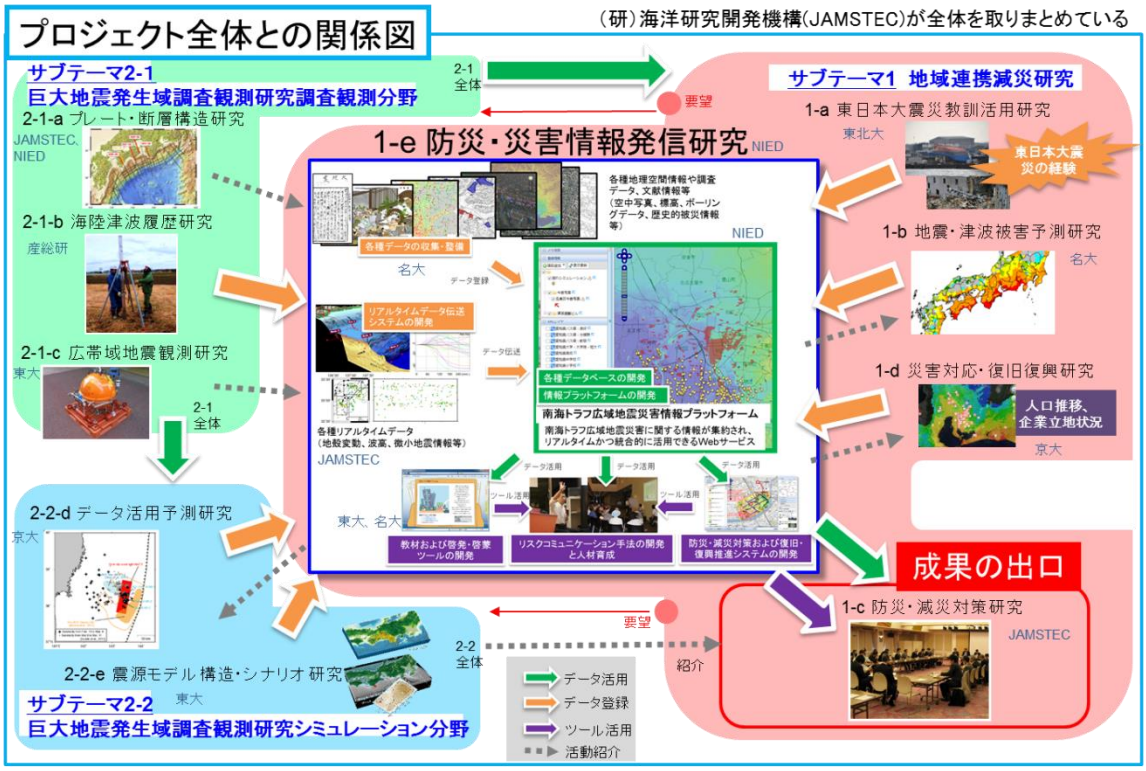


図３－５－①－１　１-e 研究とプロジェクト全体との関係性

平成 29 年度は、昨年度公開した災害情報プラットフォーム Ver1.0 を活用し、モデル地区等にて実際のユーザに閲覧利用していただき、情報・コンテンツ内容や表示デザイン等について意見を収集し、改善・改良の継続を実施した。また DONET 観測データを表示閲覧できるように連携のための検証を実施し、災害情報プラットフォームに組み込む実験を開始した。なお、新規に登録できる情報はデータベース（以下：DB）に継続して導入している。利用した基本システムは防災科学技術研究所が開発した「地域協働・防災活動支援ソフトウェア（ｅコミウェア）」である。（防災科学技術研究所，　2009）

以下の３つが主に実施した業務内容である。図３－５－①－２に記述している左側、上段、下段にそれぞれ相当する。

１．研究成果や災害情報を DB やポータルサイトに追加（左側）

２　１.の情報を追加した災害情報プラットフォーム Ver.1.0 を利用した検証実験をモデル地区にて実施（上段）

３．ユーザ意見を反映した災害情報プラットフォーム Ver.1.1 を構築（下段）（図３－５－①－３、４）

平成 30 年３月末に公開した南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム Ver.1.1 の URL は、以下である。

http://nankai-bosai.jp/v1.1/



図３－５－①－２　平成 29 年度に実施した業務内容

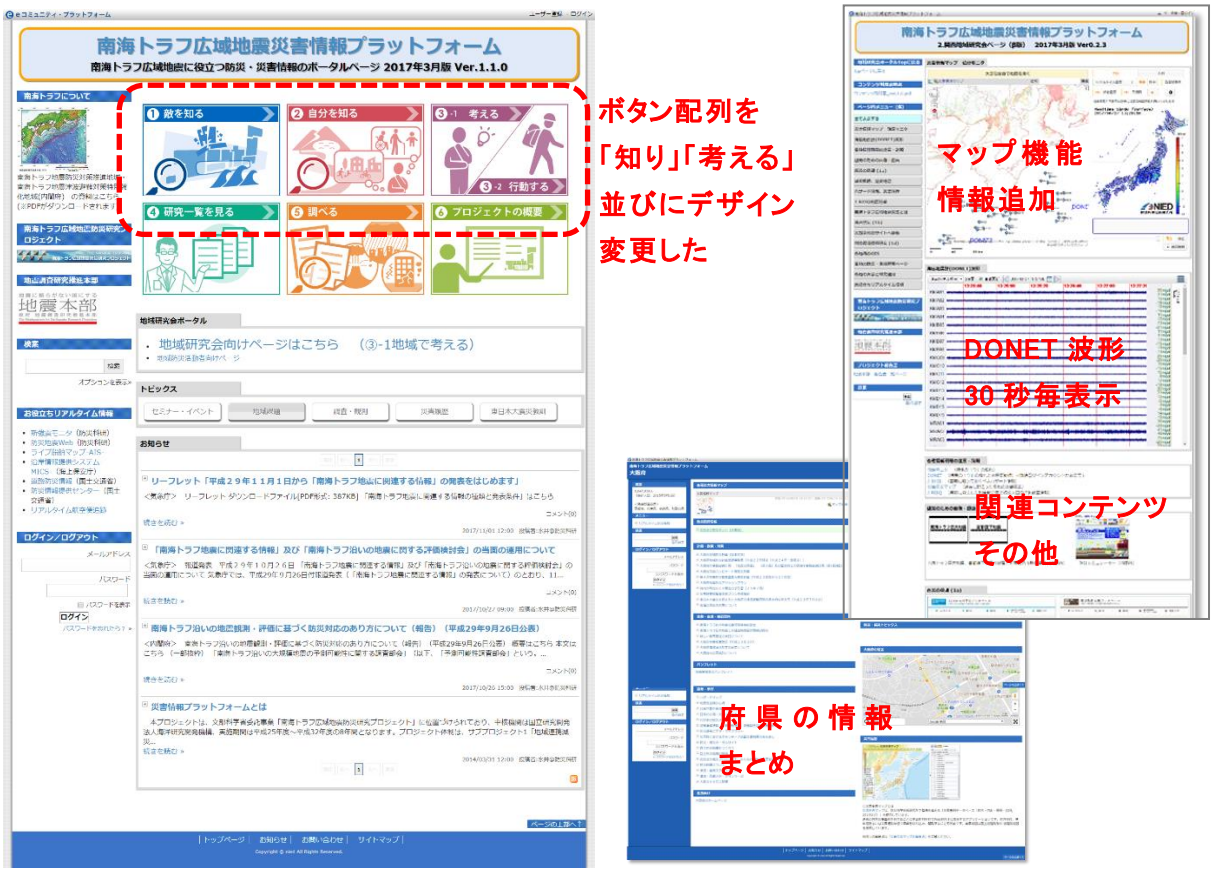


図３－５－①－３　（左）災害情報プラットフォーム Ver.1.1 の Top ページ

図３－５－①－４　（右）閲覧ページの一例（府県情報、コンテンツ集ページ）

(b) 業務の実施方法

以下の５つが実施した業務内容である。

1) 災害情報プラットフォームの検証方法の検討

災害情報プラットフォーム ver.1.0 を用いて、モデル地区にて検証実験を行い、ユーザ意見を得たのち災害情報プラットフォームの改良を実施。改良されたバージョンを用いて、検証実験を繰り返し、より内容を改善するという手法を用いる。前述している図３－５－①－２の上段と下段の関係が検証のサイクルである。

2) 利用者の権限設定

利用者の権限設定については、取り扱われる情報の公開・非公開性などを配慮して条件付ける方針とした。昨年度と違い、一般ユーザと地域研究会ユーザの間に、実務者ユーザの権限を新たに作成することを検討した。

3) モデル地区での検証実験

実際の災害対応を行う、自治体職員と実務担当者（関連組織・団体）に実際に閲覧していただき、情報やコンテンツ内容と表示、活用可能性の評価を行った。利用目的としては、防災訓練や災害ボランティアセンター（以下：災害 VC）設置訓練の企画・計画段階で南海トラフに関する情報を活かしてもらうことである。前述している図３－５－①－２の上段が相当する部分である。

4) 調査と分析

上記の検証結果と、利用者からの意見を聞き取り分析し取りまとめた。

5) 検証結果を反映した災害情報プラットフォームの再改良

上記の取りまとめ結果を災害情報プラットフォームに反映し、Ver1.1 を構築した。

(c) 業務の成果

今年度の活動結果として、以下の成果が得られた。

1. 実務者権限の設置
2. 利用実験から得られた評価意見を表示機能やコンテンツ内容に反映し改良
   ・関連する各種 GIS データ導入と現在と未来（被害想定）の閲覧マップ構築
   ・プロジェクト内研究成果との連動（教訓活用、被害予測、災害対応・復旧復興、DONET 観測データほか）
3. DONET リアルタイム情報の閲覧機能改善
4. 災害情報プラットフォームの改良と Ver1.1 の公開

1) 利用者の権限設定について

利用者の権限設定については、表３－５－①－１で説明しているように、取り扱われる情報の公開・非公開性などを配慮して条件付ける方針とした。昨年度と違い、一般ユーザと地域研究会ユーザの間に、行政と住民の間をつなぐ中間支援的な立場の組織・団体を対象とした実務者ユーザの権限を新たに作成した。

この権限を設定した理由としては、地域での福祉・防災活動を担当している社会福祉法人社会福祉協議会（今回は大阪府）の平常時・災害時情報共有の実験、および災害ボランティアセンター（以下：災害 VC）設置訓練の場を利用するためである。

表３－５－①－１　ユーザ種別と権限

ユーザ種別	権限の条件
一般ユーザ	公開情報のみ閲覧
実務者ユーザ ※新規追加	防災訓練等を実施する自治体職員や社会福祉協議会（以下：社協）職員を対象とし、地域研究会メンバーに関係する内部情報はNGとするが、閲覧限定している観測データのDONET情報はOKとしている
地域研究会ユーザ	限定公開も含むすべての情報の閲覧およびコメント等入力も許可
プロジェクト研究者	限定公開も含むすべての情報の閲覧および最新研究成果の登録が可能

2) モデル地区での検証実験

行政や福祉職員が、災害情報プラットフォームから得られる南海トラフの広域災害に関する情報をどの目的で、どのように利活用するのか。また、どのような情報内容や提供素材を求めているのかを主な目的として、検証実験と調査を実施した。

また、訓練には複数市町村の社協職員が参加しており、広域災害に対処するための行政区をまたいだ支援・受援の連携協力と、被害に関する相互の情報共有と発信についての意識向上も目的としている。

a) 大阪府での災害情報ポータルサイト利活用研修

平常時や災害時に地域福祉・防災活動を実施運営する「大阪府社協」と「各市町村社協」、「監督行政担当者」にて、「震災教訓」や「観測結果」、「被害想定情報」等を防災訓練や災害対応組織の設置運営訓練等にて企画・計画時に利用する試みを実施した。

閲覧できるコンテンツとして南海トラフ PJ 研究成果物や地域特性、国や自治体から発信されている災害に関する情報などである。コンテンツと対象者の一例を表３－５－①－２と表３－５－①－３に記す。

表３－５－①－２　検証実験で紹介した情報コンテンツの一例

災害規模と種別	広域災害（南海トラフ巨大地震）	強震動予測図
		津波浸水域予測図
		液状化発生予測図
		311 震災教訓データベース
		DONET リアルタイム波形データ
		津波痕跡データベース
	局所災害（洪水、土砂災害など）	地域の地形特性
		災害年表マップ（過去の災害把握）
		他地域との災害発生比較
一般的な情報		国の南海トラフ災害対策情報
		府県の対策情報
		地区の人口推移データ
		地域の経済規模

表３－５－①－３　ユーザ種別と対象者の一例

ユーザ種別	対象者
一般ユーザ	地域住民（H29年度は、大阪府阪南市、河内長野市、松原市の方々）
実務者ユーザ	大阪府の社協職員、関連する行政の担当職員
地域研究会ユーザ	地域研究会参加者（H28年度から登録開始）
プロジェクト研究者	関係研究者

平成27年度から、大阪府社協の協力のもと、府内の市町村社協間（42地域）で平常時から災害に備えた情報共有を行える社協の災害情報ポータルサイトの構築を実施し、試験運用を試みている。

この災害情報ポータルサイトに掲載しておく平時から知るべきコンテンツの一つとして、災害情報プラットフォームをリンクし閲覧できるように組み込んだ。図３－５－①－５の右側が社協の災害情報ポータルサイトである。赤色破線部分に災害情報プラットフォームへのリンクを埋め込み、一般公開情報のみではあるが閲覧可能な状態で提供した。

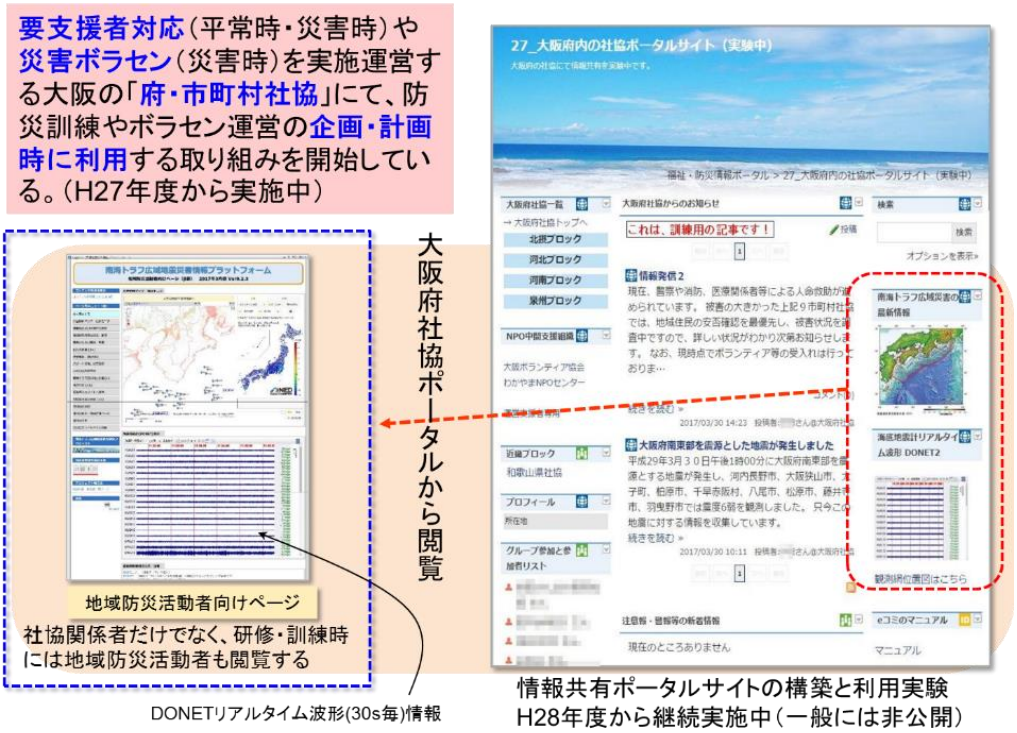
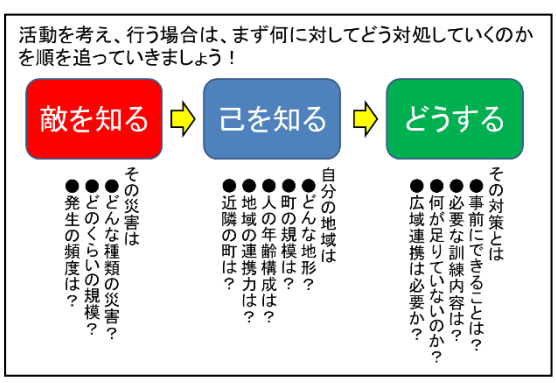


図３－５－①－５　大阪府の社協が活用する災害情報ポータルサイトと災害情報プラットフォームのリンク

防災活動の企画・計画時点のスタートとして、まずは図３－５－①－６に示すように「①敵を知る」「②己を知る」「③考える」の手順で説明し、広域地震災害である南海トラフ巨大地震の被害想定について「①敵を知る」の部分で災害情報プラットフォームをコンテンツ集として利活用した（図３－５－①－７、８、９）。実務担当者だけでなく住民に対しても「広域災害」「甚大被害」「発生頻度小」の自然災害として正しく認識し、自らの活動計画・内容に活かせるように啓発していくことを心掛けた（写真３－５－①－１、２）。



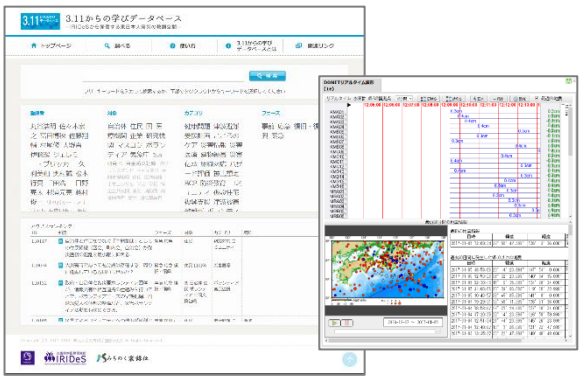
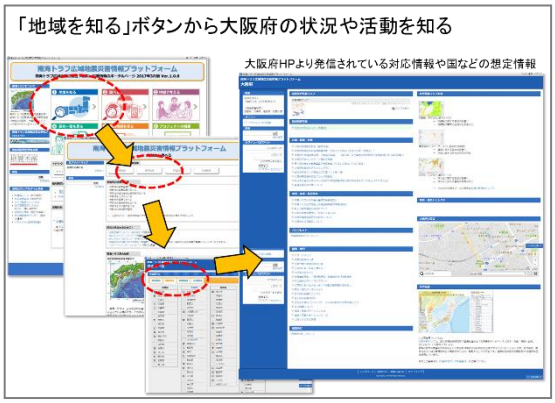


図３－５－①－６　（左）計画を考えるステップ
図３－５－①－７　（右）コンテンツの例（311震災教訓、DONET情報）



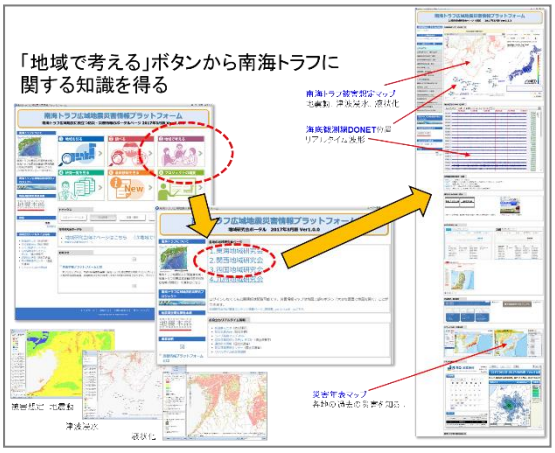


図３－５－①－８　（左）自分の地域対策状況を知る（大阪府）
図３－５－①－９　（右）最新研究のコンテンツを知る

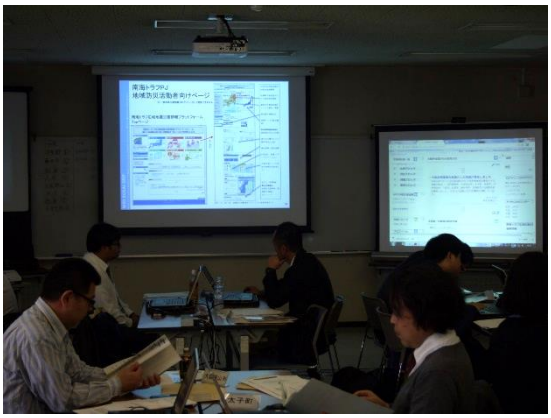




写真３－５－①－１（左）災害情報プラットフォームの利用検証（平成28年３月）
写真３－５－①－２（右）大阪府のハザード・リスク情報を知る

b)　平常時要支援者対応への試み

利用目的を限定して、大阪府社協と阪南市社協、および松原市社協と協力し、広域災害（南海トラフ巨大地震）や局所災害（水害など）を想定した平常時見守り活動についての計画・検討を実施した。参加者は、府社協、市社協、民生委員、婦人会、地区住民、消防団、市役所。災害情報プラットフォームを講習会プログラム初期に説明し、南海トラフ巨大地震について現在何が判明し、どのような調査・研究が行われているのかを知り、自分達の災害対応の活動内容に活かしてもらえるよう試みた（図３－５－①－10、11、写真３－５－①－３、４）。なお阪南市は昨年度から継続、松原市は今年度新規の試みとなる。

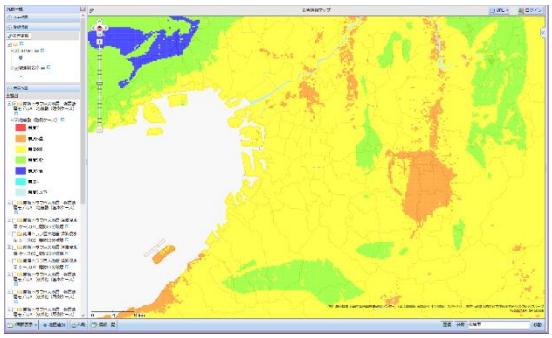
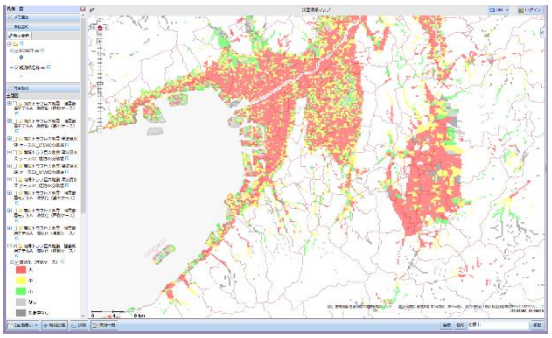



図３－５－①－10（左）大阪府の強震動の想定図（陸側ケース）
図３－５－①－11（右）大阪府の液状化の想定図（陸側ケース）




写真３－５－①－３（左）大阪府松原市河合地区での利用検証（平成29年７月）
写真３－５－①－４（右）民生委員や地域住民など参加して地域を把握（平成29年７月）

c） 災害時対応への試み

同じく目的を限定して、災害時対応の訓練にて利用実験を実施した。この試みは昨年度から継続している。大阪府、河内長野市、羽曳野市、八尾市、大阪狭山市、柏原市、藤井寺市、松原市、羽曳野市、太子町、千早赤坂村、11地域の社協実務担当者が参加した（写真３－５－①－５、６）。地震・津波の被害ではないが、平成29年10月に台風21号対応にて災害対応が実践された（写真３－５－①－７、８）。





写真３－５－①－５（左）河内長野市災害ボランティアセンター情報ページ
写真３－５－①－６（右）広域災害と局所災害の被害想定入手や対応計画の研修





写真３－５－①－７（左）河内長野市災害ボランティアセンター（平成29年10月）
写真３－５－①－８（右）台風21号の地域情報や災害対応情報マップ（平成29年10月）

これらa)、b)、c)の検証実験により、以下のニーズが出された。

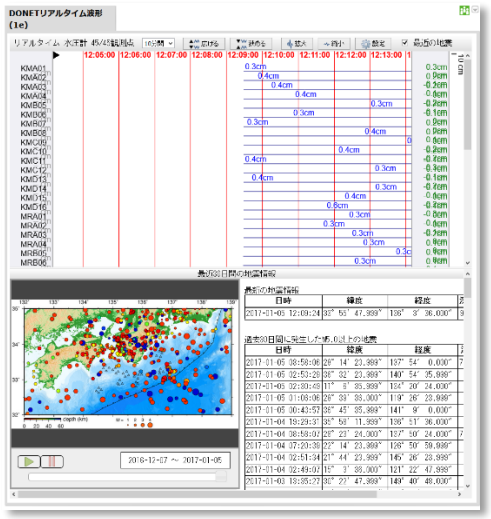
・求めている情報に到達しやすいユーザインターフェースへの改良
・地域住民の方にも解りやすく翻訳・加工された資料やデータ
・企画・計画資料を作成する裏付けデータとして利用できる情報（例えば国や県の指針や、他の地域での事例など）
・どのように考え作業を進めれば良いのかの誘導機能

3) DONET 観測データの閲覧機能改良

地震・津波観測監視システム（DONET）データのリアルタイム閲覧を昨年度から実施しているが、今年度は受信データを軽減するため 30 秒毎の画像描写の仕組みを JAMSTEC にて開発した。

図３－５－①－12 では完全なリアルタイムデータの受信画面であったが、閲覧している間にパケット通信量が膨大になるため、図３－５－①－13 のような一般向けユーザを対象としたデータ量軽減対策のため、30 秒ごとの波形画面をキャプチャーし切り替える表示手段を JAMSTEC 側で開発した。このコンテンツは、JAMSTEC サーバで画像を作成・蓄積し、災害情報プラットフォームに連動し、表示を実施している。

なお、完全なリアルタイムデータの受信画面も、ログインすれば現在も閲覧可能である。



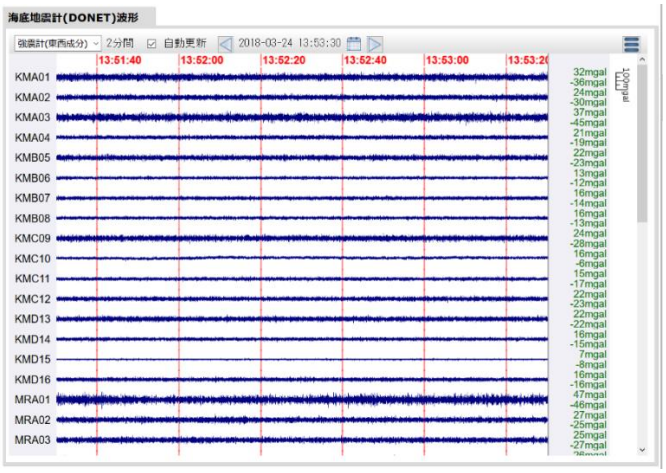


図３－５－①－12　（左）H28 年度に表示を開始した完全リアルタイムの表示画面（出典：JAMSTEC）

図３－５－①－13　（右）データ軽減版表示画面（30 秒毎表示）（出典：JAMSTEC）

4）災害情報プラットフォームの改良と Ver.1.1 の公開

a）Top ページの改良

検証実験の利用者からは、情報を入手するだけの災害情報プラットフォームではなく、何を実施していけば良いのかを導いてくれるような作りこみが欲しいとの要望が出された。今年度の Top ページでは、ユーザの操作手順として「知り」「考え」利活用していくための流れを反映した。



図３－５－①－14　災害情報プラットフォーム ver.1.0 の Top ページ画面

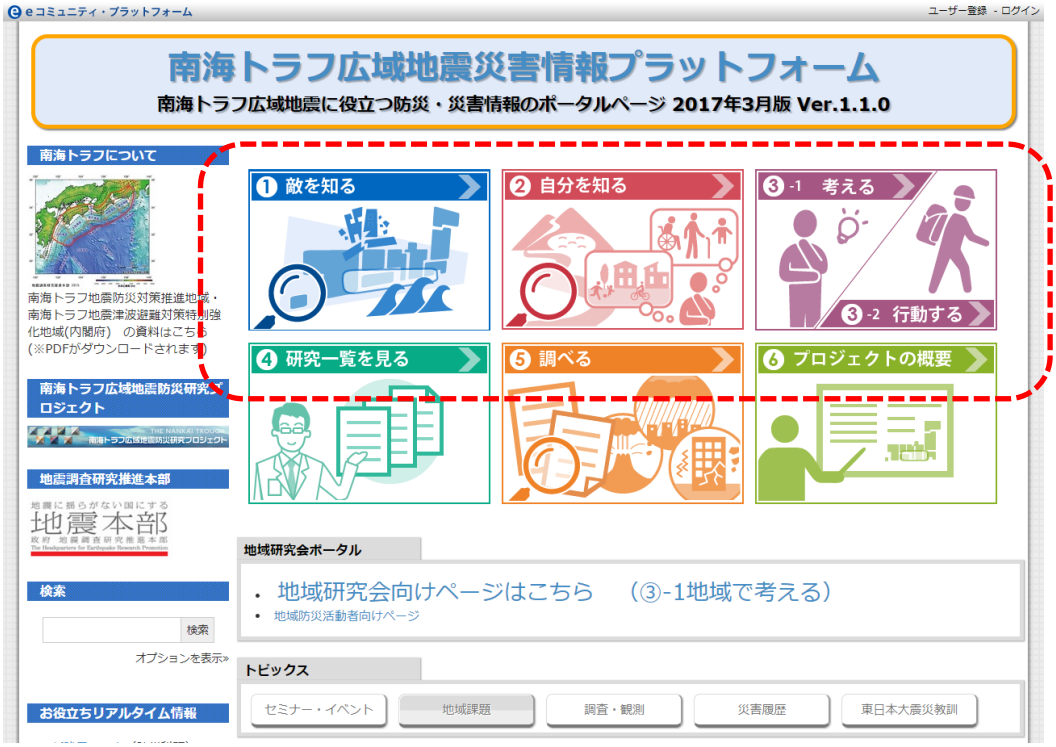


図３－５－①－15　災害情報プラットフォーム ver.1.1 の Top ページ画面

図３－５－①－14 は Ver1.0 の Top ページである。図３－５－①－15 の Ver1.1 では「①敵を知る」「②自分を知る」「③-１考える、③-２行動する」の手順でページ上段のボタンを組み合わせて並び替え、左から右に進むにつれて利用者の知識が増えて、行動していくきっかけまで導けるよう試みた。それぞれのページ詳細内容については後述するが、以下が各ボタンの主な内容である。

・「①敵を知る」南海トラフそのもの。理学・工学的な情報、調査・シミュレーション分野、発生シナリオ（破壊力、構造、国の対策・計画など）

○地震・津波被害を知る：動画で振り返る 3.11　東日本大震災公開動画ファインダー（１-a 教訓）

○現在の対策について：現在の確率論的地震動、現在の観測網、対策など

○未来（被害想定）について：被害想定や、防災・減災計画、輸送道路計画など

○地震本部の南海トラフについて（文部科学省）

○参考資料：防災対策推進地域の指定、避難対策特別強化地域の指定（内閣府）

なお、関係者はログインすると、「関係者向けマップ（限定公開）」の閲覧が可能となる。

・「②自分を知る」地域特性や各自治体の対策・対応を知ることができる

○被害が想定される自治体：公開情報の集約閲覧、その地域周辺の被害想定マップの閲覧、災害年表マップ（防災科研）にて各自治体の災害履歴を知ることができる
○自分の地域を知ろう：住んでいる地域の特性を調べる（地域防災 Web)。人口・高齢化率・財政力指数などをグラフ等で対比し閲覧できる

・「③－１考える」地域研究会向け、地域活動者向けのネタ集ページを閲覧できる
○考える：被害想定のマップや、リアルタイム観測情報など、現在の最新研究成果などをまとめたページを利用して、講座やワークショップ等で参考情報として利用

・「③－２行動する」自分達で行動するためのヒントを提供
○過去の教訓を知る：3.11 からの学びデータベース、震災教訓文献データベース（1-a 教訓）
○事前に復興計画を立てる：過去の災害教訓を活かし、自分の地域に甚大な被害が発生する前から､災害後のことを考え計画しておく（１-d 事前復興）
○対策・対応の計画を作る：みんなでつくる地区防災計画（内閣府）
○各地の教育・啓発施設：相談できる地元研究機関や教育機関のリンク情報

全体のページ構成について以下に記す。

○災害情報プラットフォーム Ver.1.1 の Top ページ（図３－５－①－15）
① 敵を知る_ボタン
・地震・津波被害を知る
・現在の対策について
・未来（被害想定）について
・地震本部の南海トラフについて
・参考資料

② 自分を知る_ボタン
・被害が想定される自治体の閲覧
・府県の選択画面
・愛知県のページ
・静岡県
・三重県
・大阪府
・和歌山県
・　・・・四国地域
・　・・・九州地域

・自分の地域を知ろう

③ １考える_ボタン
・地域防災活動者（一般利用者）向けページ
［ログイン］→　地域研究会向けページ
２行動する_ボタン
・過去の教訓を知る
・事前に復興計画を立てる
・対策・対応の計画を作る
・各地の教育・啓発施設

④ 研究一覧を見る_ボタン
・研究一覧

⑤ 調べる_ボタン
・検索機能

⑥ プロジェクトの概要_ボタン
・プロジェクトの紹介

○トピックス
・セミナー、地域課題、調査観測、災害履歴、東日本大震災教訓

○お知らせ

○左側カラム
・南海トラフについて
→「南海トラフ地震防災対策推進地域」及び「南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域」の指定基準の説明資料が入手可能
・南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
→プロジェクト全体の HP を閲覧
・地震調査研究推進本部
→地震本部のプロジェクト全体の HP を閲覧
・検索
→サイト内の検索が可能
・お役立ちリアルタイム情報
→地震や津波に関するものだけでなく、公開されている役立ちそうなリアルタイムコンテンツの紹介（道路、船舶、航空機等）

b）①敵を知るページの内容詳細



図３－５－①－16　①敵を知るページ

ｉ)過去の被害

まず地震・津波の被害を自分事と意識してもらうために、直近の被害動画を閲覧できるようにした。(図３－５－①－17、18)





図３－５－①－17　（左）動画でふりかえる 3.11 の Top ページ

図３－５－①－18　（右）場所を選択し選んだ動画を閲覧

まだ開発中のため掲載していないが､南海トラフの過去を知るコンテンツとして災害記録データと発生領域や時期の対比をマップで選択表示可能な機能を準備している｡以下は行政の地域防災計画に記載されている被害情報と震源エリアとの連動イメージである（図３－５－①－19、20、21、22)。図中の茶色丸印は地域防災計画に過去の災害記録データが記載されている自治体の場所を表示している。

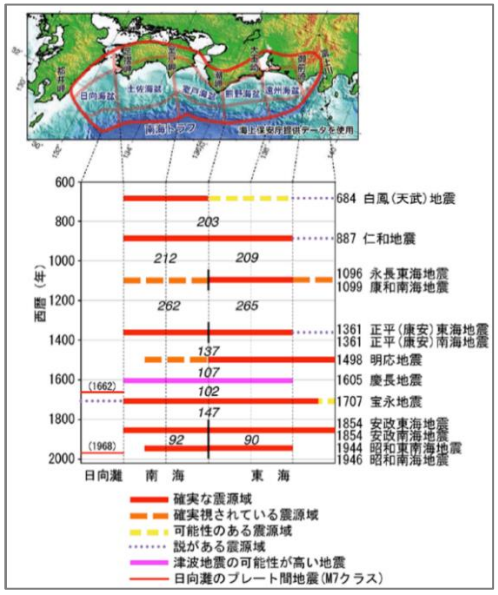


図３－５－①－19　過去の発生領域と年代（出典：地震本部_南海トラフで発生する地

震）

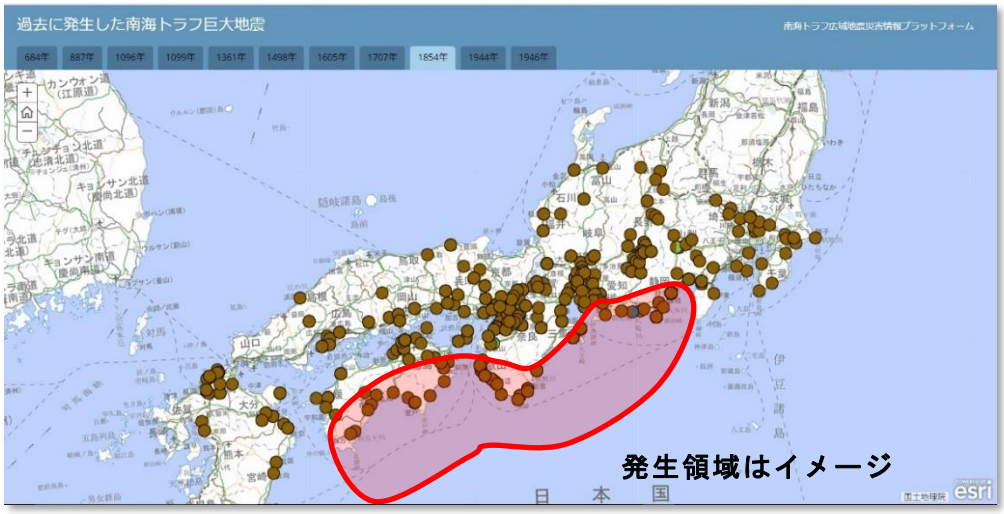


図３－５－①－20　1854 年 安政南海地震

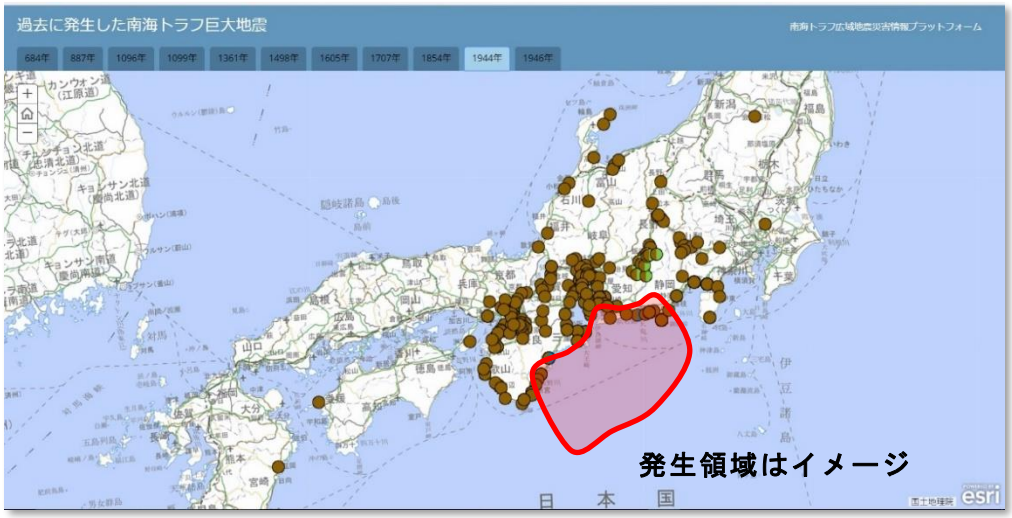


図３－５－①－21　1944 年 昭和東南海地震

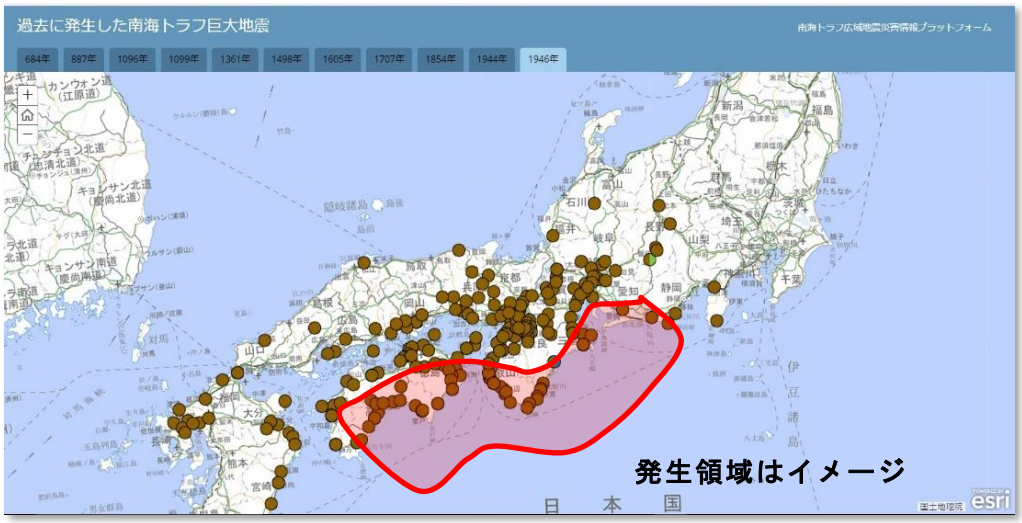


図３－５－①－22　1946 年 昭和南海地震

ⅱ）現在の計画と観測

このマップでは現在実施されている「対策」と「関連する情報」について知る。確率論的地震動のメッシュデータや現在の観測網関連の表示、また、役場等の公的施設や、指定されている避難所、病院、福祉施設、上下水道施設、海岸保全設備、その他施設・設備など（主に国土数値情報）を重ね合わせて実情を把握する。

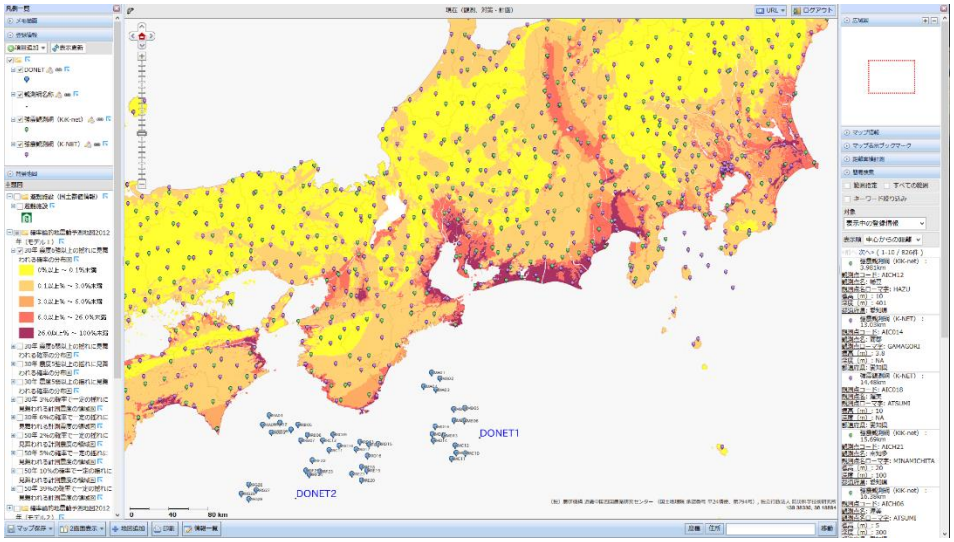


図３－５－①－23　確率論的地震動と陸上・海底の地震津波観測網（DONET ほか）

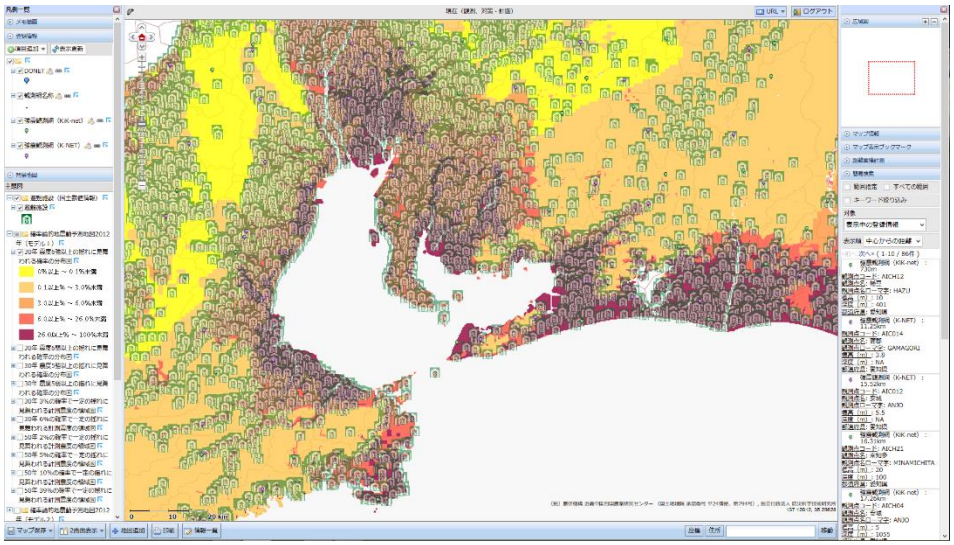


図３－５－①－24　東海地域の確率論的地震動と指定避難所



図３－５－①－25　愛知県碧南市の海岸保全施設と上下水道施設と市町村役場

ⅲ)将来の被害推定

未来（被害想定）についてマップ機能を活用し、「被害想定」や、「防災・減災計画」など、将来想定されている内容を知る。内閣府の被害想定情報（地震動、液状化、津波浸水深）のメッシュデータや緊急輸送道路の表示、また、役場等の公的施設や、指定されている避難所、病院、福祉施設、上下水道施設、海岸保全設備、その他施設・設備など（主に国土数値情報）を重ね合わせて実情を把握する。

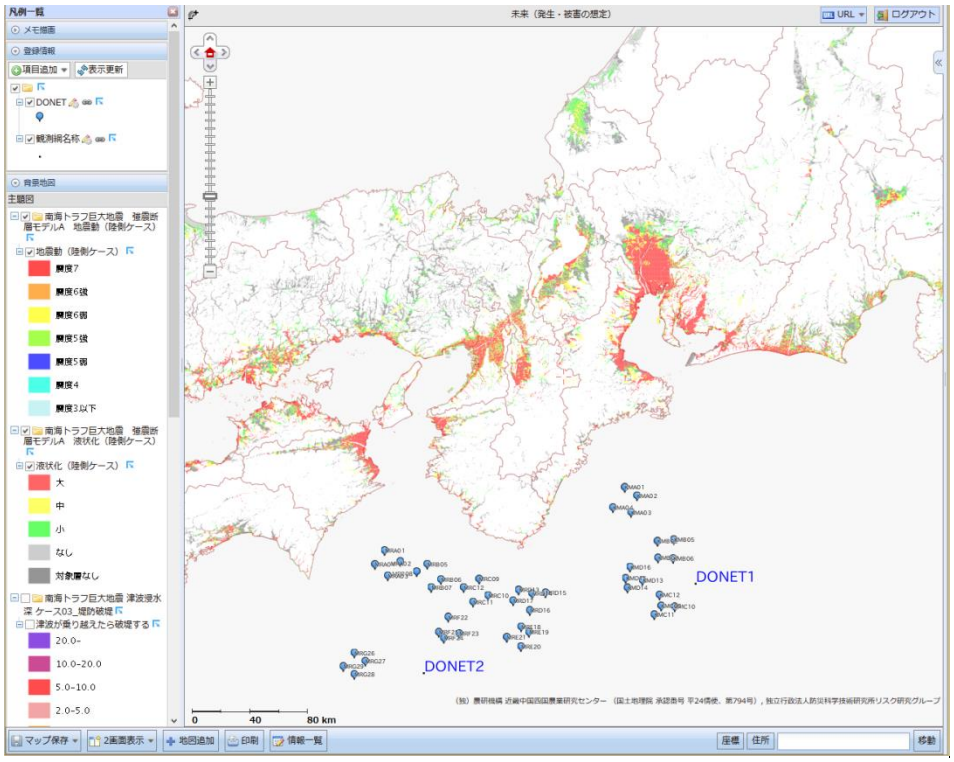


図３－５－①－26　液状化被害想定（内閣府）と DONET

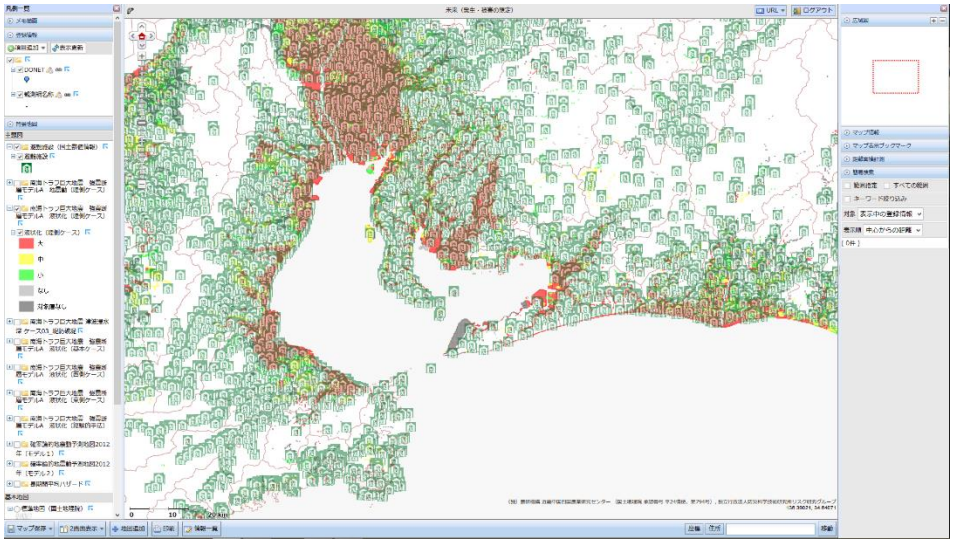


図３－５－①－27　東海地域の液状化被害想定（内閣府）と指定避難所

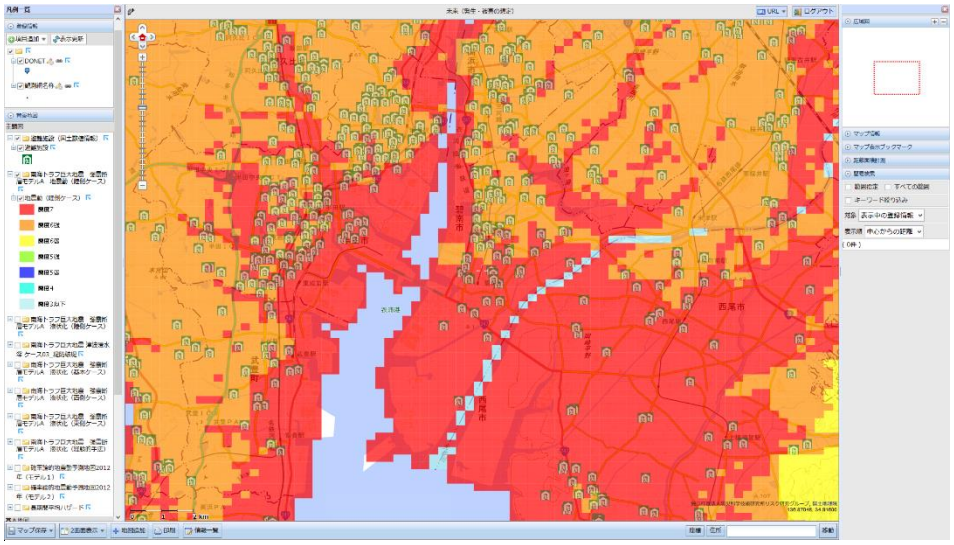


図３－５－①－28　愛知県碧南市の地震動被害想定（内閣府）と指定避難所

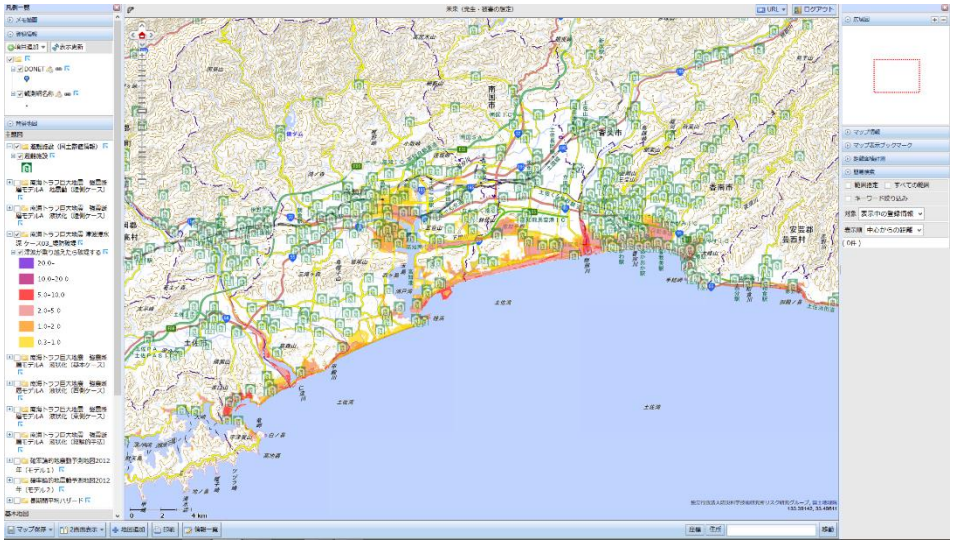


図３－５－①－29 高知県高知市周辺の津波浸水被害想定（内閣府）と指定避難所

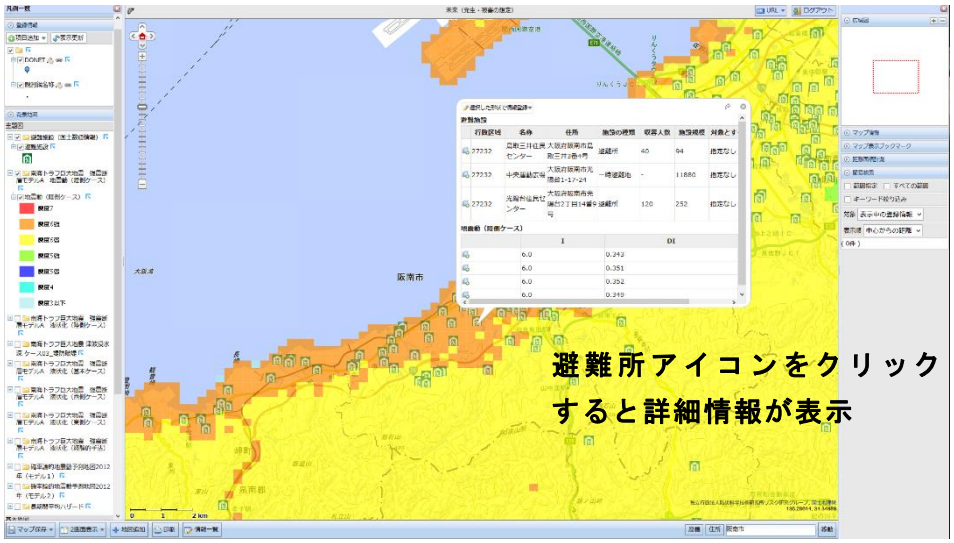


図３－５－①－30 大阪府阪南市の地震動被害想定（内閣府）と避難所データ表示

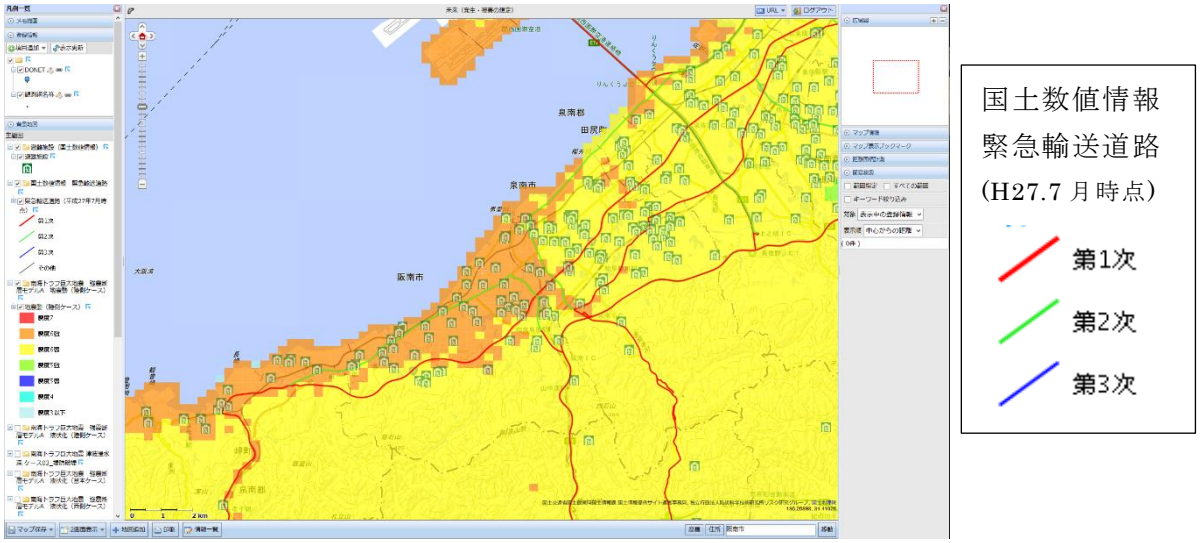


図３－５－①－31 愛知県碧南市の地震動被害想定（内閣府）と緊急輸送道路

ⅳ)関係者向けのデータ閲覧マップ（限定公開）

当研究プロジェクト以外の最新研究成果も情報として投入し活用することを進めており、データを試験的に投入し動作検証を開始した。なお実験途中のデータも一部含まれているため、データの利用に関しては取り扱い注意となる。

ログインすると関係者向けのマップが表示される。当プロジェクトの研究成果である被害予測研究（1-b）や、SIP 関連の訓練シナリオデータなど一般には非公開の情報の閲覧が可能なマップである。今後も取り扱い条件を検討しつつ新規情報を順次追加していく（図３－５－①－32、33）。



図３－５－①－32　ログインした場合の画面表示

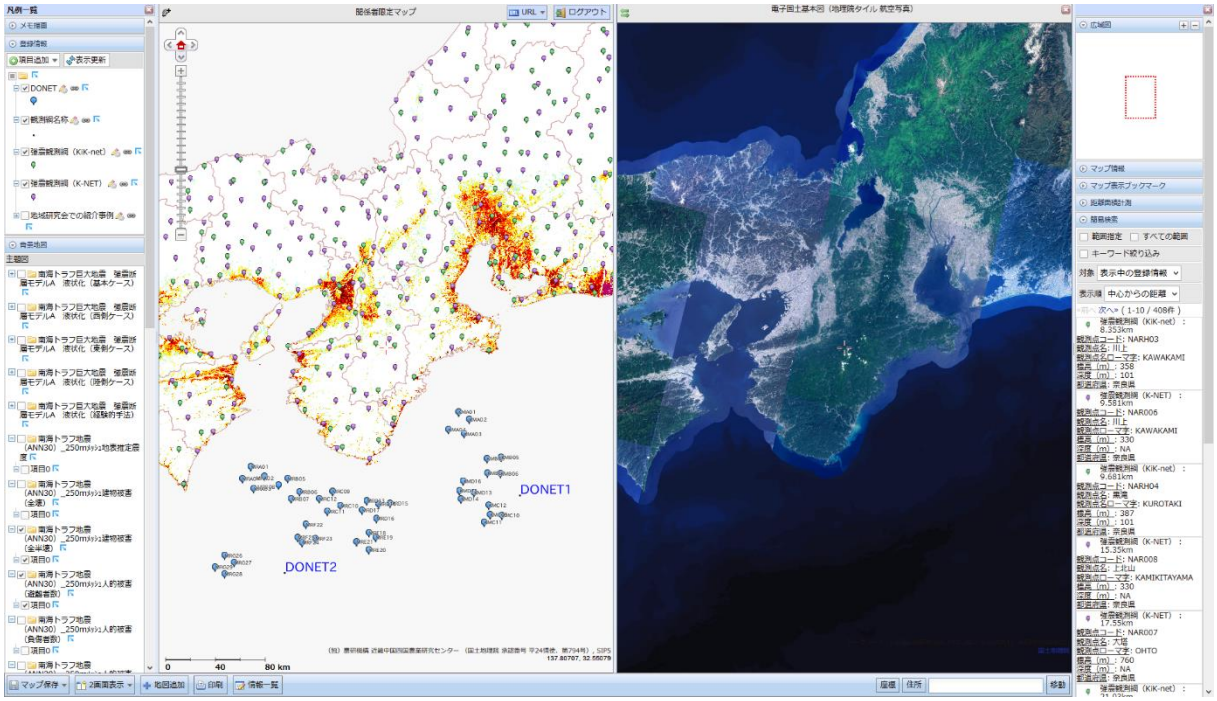


図３－５－①－33 関係者向け（限定公開）マップ

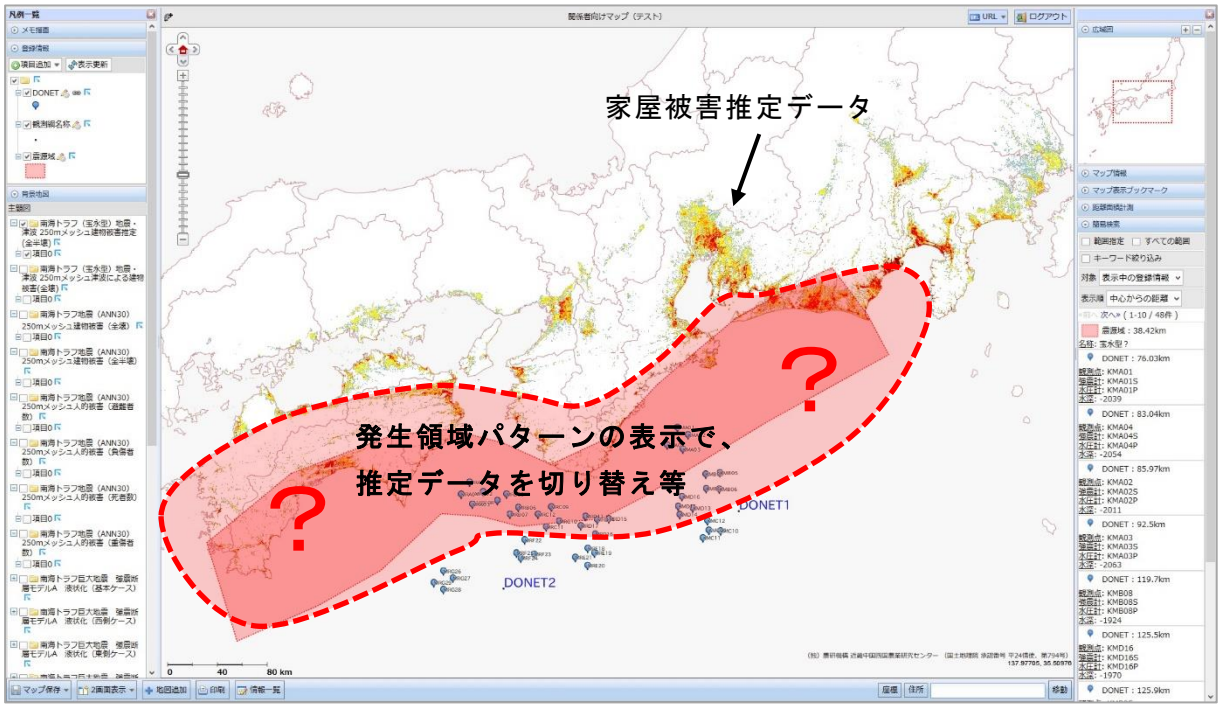


図３－５－①－34 例として家屋被害推定（全壊）データと想定される震源域、観測点 DONET の組み合わせテスト画面

上記の図３－５－①－34 は、SIP 成果データの建物被害推定データと震源エリアイメージ、および DONET 観測点の重ね合わせなど、他のプロジェクト成果物との連携表示についてデータの動作確認や閲覧効果の検証の例である。

c）②自分を知るページの内容詳細

昨年度は「地域を知る」ボタンに連携されていたが、同様に各府県の公開情報や、その自治体を中心としたマップ機能などが閲覧できる集約ページの利用が可能である（図３－５－①－35、36）。府県の集約ページの詳細については昨年度の報告書を参照のこと。

また、別の研究成果の公開機能ではあるが、選択した地域の統計情報を表示する「あなたの地域を知ろう」パーツを掲載した。人口や高齢化率、財政力指数などを地域間で比較したグラフを表示し、自分の地域について俯瞰的に評価するための参考資料として利用できる。都道府県と市区町村のプルダウンボタンを操作し知りたい地域を選択すると結果が閲覧できる（図３－５－①－37、38）。



図３－５－①－35　②自分を知るページ

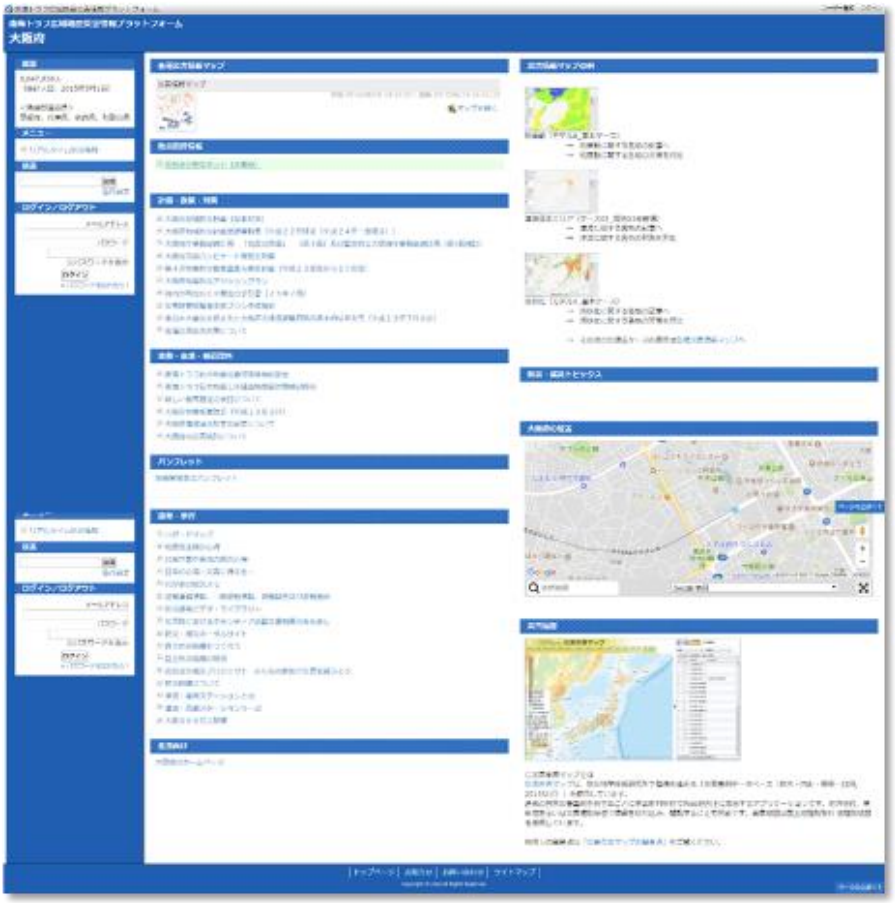


図３－５－①－36　各府県の南海トラフ関連情報集約ページ

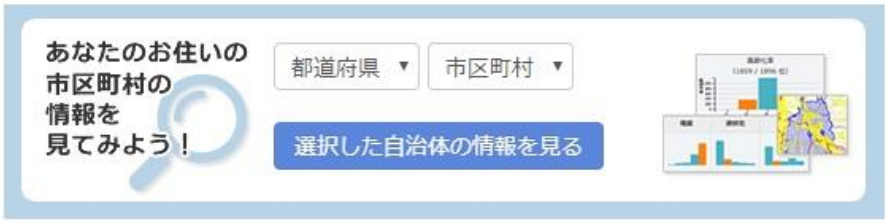


図３－５－①－37　あなたの地域を知ろうパーツ（出典：防災科研_地域防災 Web）



図３－５－①－38　愛知県碧南市の地域特性（出典：防災科研_地域防災 Web）

d）③－１考えるページの内容詳細

昨年度は「地域で考える」ボタンに連携されていたが、同様に「東海、関西、四国、九州」地域ごとの特設ページを設置し、関連情報のまとめページとして利用できる。

座学やワークショップなどで、「考える」ための「コンテンツ集」に使われることを想定している（図３－５－①－39、40）。



図３－５－①－39　（左）③－１ 考えるページ

図３－５－①－40　（右）地域研究会向けページ一例

e）③－２行動するページの内容詳細

下記の流れで、行動するべき方向性を意識させる構成とした。

・過去の災害の教訓を知ることにより、これまで他の被災地にて行われてきた活動を参考に自分達がどのように行動するべきかを知る。
・それら教訓を踏まえて、災害が発生する前から自分達の復興計画を考え始める。
・地区防災計画等の行動計画を作成していくことを意識し、今後の災害に対して備えを行う。

また、相談できる地元の研究機関や教育機関のリンク情報と、その場所を表示するマップを設置した（図３－５－①－41）。



図３－５－①－41　③－２行動するページ

ｉ）過去の教訓を知る

東北大学で研究が実施されている東日本大震災に関する災害教訓のデータベースを利用することができる（図３－５－①－42、43）。





図３－５－①－42　3.11 からの学びのデータベース

図３－５－①－43　震災教訓文献データベース

ⅱ）事前に復興計画を立てる

当プロジェクトの成果でもある事前復興に関する資料を閲覧できるようにした。

ⅲ）対策・対応の計画を作る

内閣府が推進している「地区防災計画」を作成していくページを紹介している。また行政向けとして「地域防災計画」に関する資料も閲覧可能としている。行政職員だけでなく、住民側にもこれら計画のことについて認識し、自身の意識も高めていただくことも目的としている。

ⅳ）各地域の教育・啓発施設

当事者のみでは知見も不足し方針が定まらず、災害への対策や対応に不安がある場合が多々あると思われる。そのような場合には各地にある大学や研究機関、啓発施設などに相談をしたり、実施される防災活動等に参加して知見を広げることも効果が大きいはずである。

ここでは、各地の機関・施設について一覧表と位置図にて紹介している。

5）検索ページの項目とデータベースの追加

今年度も南海トラフにかかわる関連情報をデータベースに追加を実施した。また、タグ付の項目改善を実施し、資料の公開年月による検索機能を追加した。（図３－５－①－44）



図３－５－①－44 検索項目の追加（情報の公表年月）

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

検証実施後にヒアリングやアンケート調査を行った結果､ユーザからは次のような効果の可能性と課題があげられている。

・広域災害、甚大被害、発生頻度小の南海トラフ巨大地震と、局所災害、局所被害、発生頻度大の風水害など対象とする災害規模や種別を正しく認識したことは、防災訓練や災害VC設置・運営訓練を企画・計画することに役立つ可能性はある

・広域災害の時は、自分の地域や市町村だけでは対処できないため、近隣の地域や自治体との連携が必要になる事を再認識した。平常時から訓練を実施する段階でも連携を意識して計画・企画を作っておくこと。地域や自治体等の組織団体での横連携を常時作り上げておくことも重要と意識できた

以下に、検証実験により実務者ユーザから出された意見と災害情報プラットフォームの今後の改善課題ポイントをまとめる（表３－５－①－４）。

表３－５－①－４　対象組織と利用検証結果

対象者		活用コンテンツ例	効果	意見・課題
府域	府社協内	広域被害想定、津波浸水深・強震動・液状化の想定情報（発生パターンごと）、大阪府の災害対策・計画、DONETリアルタイムデータ、311震災教訓	各市町村連携強化	通常業務で役立つ利用方法
	市町村社協		広域・局所災害を意識	関係組織との平時の関係性
沿岸部（阪南市）			沿岸部の津波浸水エリアと内陸部の地震動被害を把握	地域に合わせた災害対策内容の検討、現状の訓練内容に情報をどう反映するか
内陸部・都市部（松原市）			液状化把握、要支援者避難ルートに反映	地域住民の意識向上に役立てる取り組み手法
内陸部・山地渓谷（河内長野市）			地震動と土砂災害の関係、近隣連携強化	現状の訓練内容に情報をどう反映するか

上記のように、災害情報プラットフォームをツールとして利活用することにより「事前に知ること、事前に計画すること、事前に連携すること」を啓発・推進する効果があるとの意見も出された。

これら検証の結果を反映し、今年度は前述しているように、Topページのボタン構成を「敵を知る」「自分を知る」「考える、行動する」へと変更した。「敵を知る」「自分を知る」では、広域災害を意識し、現在の対策や計画を知り、地域の設備や施設を把握することができるような､現在と未来(被害想定)のマップを新たに作成し、地域を知るパーツを設置した。また、「考える、行動する」では、今後の活動のきっかけや参考情報として利用してもらえるように､災害教訓データベースと事前復興に関するコンテンツを配置しなおした。

2）今後の課題

今後も継続して、新規の情報・コンテンツや、現在進められている調査・研究の成果を収集し追加登録していく。また、その情報・コンテンツを受動的ではなく能動的に災害情報プラットフォームにアップデートできるような自動化技術や、各地域の協力者（各大学機関等）を募り、連携を強化していく取り組みが必要である。

次年度以降もユーザの意見をさらに聞き取り、地域別比較、災害パターンごとの被害シナリオなど、イメージし易いコンテンツを活用し、より訓練等の企画・計画に役

立てられ、防災意識を向上させる社会実験を地域と協働し実施していく予定である。また、リアルタイム観測情報や調査結果など連動可能なものを順次動作検証していく。

(e) 引用文献

1) 防災科学技術研究所,「地域協働・防災活動支援ソフトウェア（ｅコミウェア)」を GPL 公開・無償ダウンロード提供（参照年月日：2013.12.25），http://www.bosai.go.jp/news/press_release/20091218_01.pdf, 2009

②防災・災害関連データの収集・整備、及び利活用システム開発開始と人材育成・教育のための調査

(a)　業務の要約

南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB 化を継続して実施する。利活用システム整備を SIP とも連携して継続的に実施した。具体的には、歴史資料等の基礎データの収集・整理をした。また、これらの減災対策等に有効活用できる、あるいは、一般住民にきめ細やかで分かりやすく、納得感が得られる情報として提供していくための情報システムを構築し、社会実装実験によりその効果を検証した。

(b)　業務の実施方法

ハザード評価やリスク評価、及びこれらに予測精度を向上させるための地域特性を考慮した基礎データ、歴史的資料をはじめとする減災関連情報の収集・整理として、大垣市内に残る濃尾地震の慰霊碑・記念碑調査を行う。また、南海トラフ地震に対する減災対策等に有効活用するための情報システムやアプリケーションの開発を行うとともに、また、開発アプリを減災館に設置して社会実装実験を実施し、その効果を検証した。

(c)　業務の成果

1)　大垣市内に残る濃尾地震の慰霊碑・記念碑調査

日本の地震学の先駆けとして地震観測網の必要性や震度階を提唱するなど、現代に通じる地震学の基礎を作り上げた関谷清景の生誕の地として知られる大垣市を訪れ、2017 年３月３日と３月８日に大垣市内に残る関連物の調査を行った。本報告では、この中から濃尾地震の慰霊碑・記念碑の調査結果について示す。

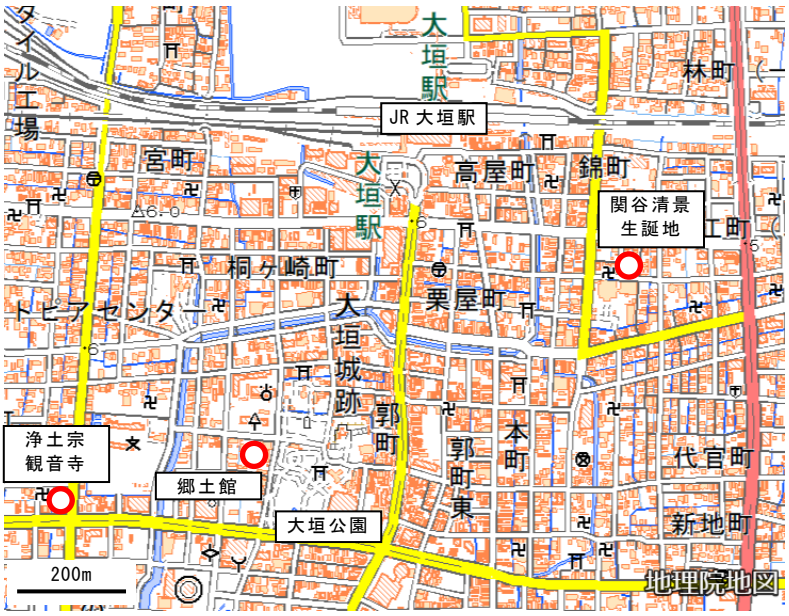


図３－５－②－１　大垣市中心部の地図

図３－５－②－１は大垣市の中心部の地図である。1891（明治 24）年の濃尾地震は近代日本の発展に大きな警鐘を鳴らした。国家をあげて地震に関する学問の進展を図る必要が痛感され、翌 1892（明治 25）年に設立されたのが震災予防調査会である（武村，2009)。震災予防調査会は関東大震災の直後の 1925（大正 14）年に廃止されるまでの約 33 年間、日本の地震学の中心的役割を果たした組織である。その目的は「地震予知と耐震構造法の研究」であり、すべては地震防災に重点が置かれた。関谷は濃尾地震の前年 1890（明治 23）年に「地震及建築」という論文のなかで、地震学の目的に関し同様の趣旨を述べている（武村，2009)。病床にありながらも震災予防調査会の設立に大きな役割を果たしたものと思われる。さらに設立後の 1893（明治 26）年に病を押して復職し、翌年まで東京に滞在している。橋本，(1983）は、震災予防調査会の立ち上げに関谷が欠くべからざる人であったためであろうと指摘している。その結果死期を早めることになった可能性は充分考えられる。

関谷が見た郷里大垣町の被害は凄まじいもので、岐阜測候所がまとめた明治 27 年の「大震報告」によれば安八郡大垣町は人口 18306 人、総戸数 4474 戸で、死者 670 人、全壊住家 2676 戸、焼失 1089 戸をだし、全壊率 59.8%、焼失率 24%という甚大なものであった（飯田，1985)。

このような被害を今に伝える慰霊碑や記念碑が市内にいくつか残されている。



写真３－５－②－１　大垣市西崎町の観音寺

a）浄土宗観音寺（大垣市西崎町２丁目９）

図３－５－②－１にあるように、観音寺は大垣公園の西、神田町１丁目の交差点から西に一筋目を北に入った右側にある。外見はまったく一般住宅のような寺院である（写真３－５－②－１)。羽賀，(1999）は後で述べる「震災横死者供養塔」を調査し、敷地が一般住宅だと指摘しているが、門柱には「観音寺」とあり少なくとも現在は寺院である。



写真３－５－②－２　観音寺の震災横死者供養塔

ⅰ）震災横死者供養塔

門を入りすぐ左側に供養塔が立っている（写真３－５－②－２）。

（正面）　　震災横死者供養塔

（左側面）　明治二十四年十月二十八日濃尾大震災

（右側面）　海津郡西江村帆引　明治四十一年十月　内田ぢう建之

建立年は 17 周忌に当っている。一方、門を挟んで震災供養塔とは反対側に「戦病死英霊供養塔」が同じ年に建立されている。日清、日露の戦争の慰霊碑であろうか。建立者はやはり「内田ぢう」とある。この女性がどのような方なのかは不明である。

ⅱ）濃尾大震災横死者供養塔（日泰寺）

羽賀,（1999）も指摘しているが名古屋市千種区の日泰寺にも同じ女性が建立したと見られる慰霊碑がある。ただし、建立年の記載はない。こちらは同じ敷地内に親族、内田氏先祖代々、当村各無縁、七右衛門新田開墾霊など地縁・血縁を対象にした供養碑が建立されている。いずれも同人が建立したものらしい。参考に写真（2012 年３月撮影）（写真３－５－②－３）と記載事項を掲載する。

（正面）七千百十五人精霊

濃尾大震災横死者供養塔

（左側面）　岐阜縣海津郡西江村帆引　内田志う子

（右側面）　明治廿四年十月二十八日



写真３－５－②－３　名古屋市千種区の日泰寺の供養塔



写真３－５－②－４　観音寺の震災記念碑

ⅲ）震災記念碑

一方、観音寺の境内には、今回の調査でもう一つ震災記念碑があることが分った。供養塔から振り返った植え込みの中にその記念碑はある（写真３－５－②－４）。柵があり樹木が生い茂って記載事項を完全には読めないが御詠歌のような文言が刻まれている。

（題）　震災紀念

（正面）　善悪を見るに／つけても／南無阿弥陀佛／

　　申す心を／うは〇れぬは

（背面）明治三十三年十月廿八日

　　大垣本町大塚榮吉建之

（赤字は判読できない部分）

震災９年目の命日に建立されたもので、建立者の大塚榮吉の名は、明治 44 年 11 月 30 日現在の養老鉄道の大株主のリストにあるがそれ以上のことは分らない。

b）護国霊園（大垣市笠木町）

養老鉄道の北大垣駅からすぐの護国霊園の駐車場脇に慰霊碑がある。説明板によれ

ば、護国霊園は 1937（昭和 12）年の日華事変以来の戦死者を合葬したところであり、他に日露戦争による戦没者の慰霊碑２つと濃尾・関東の震災横死者供養塔があると書かれている。

ⅳ） 濃尾関東横死者供養塔

写真３－５－②－５に写真を示し、以下に供養塔の記載事項を示す。

（正面）

濃尾關東／大震火災横死者供狼塔

齢八十四　進竹堂書

（背面）

昭和六年三月十五日　大垣消防組建之

建立は 1931（昭和６）年で 1891 年の濃尾地震から 40 周年、1923 年の関東大震災から８周年にあたる。建立者は大垣消防組である。由来は分らない。



写真３－５－②－５　護国霊園の慰霊碑。中央が濃尾・関東震災、右の２つが日露戦争の慰霊碑

2）建物応答可視化アプリケーションの社会実装と改良

住宅耐震化を目的とした様々な啓発活動が行われる中、様々な教材や実験・シミュレーション映像が用いられている。そこでは、啓発の対象者にリスク情報を提示するだけでは不十分であり、いかにして当事者感を与えるかが重要である。本研究では、本プロジェクトの他課題の成果として得られた強震動予測結果や、建物の強震観測記録を活用し、最新のバーチャル映像技術を組み合わせることで、没入感のある地震応答体感環境を構築してきた。平成 29 年度は、それらをパッケージ化し、多様な環境において社会実装を試みた。

図３－５－②－２は開発したシステムの外観である。ゴーグル型ディスプレイ（ヘッドマウントディスプレイ、以下 HMD）と PC を接続し、入力した応答波形に応じて、室内映像が揺れ、家具オブジェクトが点灯する。映像再生時のイメージを図３－５－②－３に示す。この時の映像は利用者周辺を囲む 360°に展開しており、HMD 内蔵のジャイロセンサーによって利用者の向いている方向を検知し、映像の方向を同期させることで、高い没入感を演出している。また、左右の視差を利用した 3D 効果も演出しているため、家具が転倒するにあたり、本当にこちらに向かって飛んで来るような感覚が得られる。家具オブジェクトの動きはリアルタイム演算しており、家具の配置や部屋のタイプを変更し、任意の入力地震動と組み合わせることで、様々な体感が可能である。

平成 29 年度はこれらのシステムをパッケージ化し、小型かつ十分な映像処理速度を持った PC、HMD、タッチパネルモニターを組み合わせることで、容易に運搬・設置が可能なシステムとした。以下では、このシステムを用いた社会実装の状況を報告する。

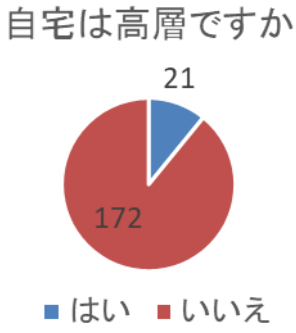


図３－５－②－２　没入型の地震応答体感システム外観



図３－５－②－３　システム利用時の映像イメージ

民間啓発施設における活用としては、まず愛知県名古屋市が運営する港防災センターに於いて、2017 年５月から特別企画展示として設置された。同センターの来館者は年間約５万人で、同種の施設の中では比較的多くの来館がある。展示開始から約半年間でアンケート調査を行い、193 件の結果を得た。回答者の半数は名古屋市内在住、３割が愛知県内で、残りは愛知県外である。利用者属性として自宅が高層（10 階以上）か否かを質問しているが、高層と回答したのは１割強であった（図３－５－②－４）。本システムの特徴上、長周期地震動を再現した場合、長い時間・大きく揺れるため没入感を高く感じやすい。しかしながら、利用者の多くは高層以外の住まいであっても、図３－５－②－５に示す通り良い評価が得られた。また、アンケートの自由記載からも、「思っていたよりも大きく動く事に驚いた」「対策を見直したい」等の意見が得られた。これに伴い、港防災センターは 2018 年４月より、本システムを正式なコンテンツとして展示することを決定した。本研究の成果が社会実装された事例である。



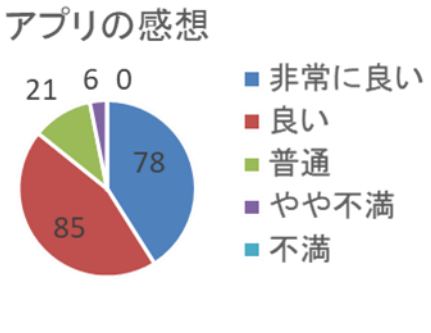


図３－５－②－４　利用者属性（住まい）　図３－５－②－５　アプリに対する満足度

また、愛知県豊田市が運用する豊田防災学習センターにおいても、特別企画展で同様の展示を行った。写真３－５－②－６に展示の様子を示す。ここでも港防災センターと同様の評価を得られたため、常設展示とするための準備が進められている。今後、更に多数の施設に展開していく事を考えている。



写真３－５－②－６　豊田防災センターにおける展示の様子

その他の社会実装例としては、様々なイベントへの出張展示が挙げられる。写真３－５－②－７は、JST が実施する科学イベントのサイエンスアゴラにおける展示の様子である。最新の情報機器であり、体感している様子が他者の目を引くことも有って、多くの来場者が体感し、室内リスクの大きさに驚いた。また、写真３－５－②－８は静岡県にある高校の学園祭における展示の様子である。生徒らから要望を受け、システム一式を検証目的で設置し、生徒が１教室において運営する「防災学習展示」の一部として活用された。実際の来場者対応や説明は生徒の手によって行われ、本システムが必ずしも専門家の解説が無くとも活用可能な事を示す事例となった。



写真３－５－②－７　科学イベントの展示



写真３－５－②－８　学園祭での展示

(d) 結論ならびに今後の課題

関谷清景の生誕の地の碑の調査を中心に濃尾地震に関するものについて、大垣市内を調査し、その結果を取りまとめた。また、本プロジェクトの他課題の成果として得られた強震動予測結果や建物の強震観測記録を活用し、最新のバーチャル映像技術を組み合わせた没入感のある地震応答体感環境をパッケージ化し、多様な環境における社会実装を試みた。

(e) 引用文献

1) 武村雅之：未曾有の大災害と地震学-関東大震災、古今書院、209pp、2009
2) 橋本万平：地震学事始-開拓者・関谷清景の生涯、朝日選書、朝日新聞社、237pp、1983
3) 飯田汲事：東海地方地震・津波災害誌、飯田汲事教授論文選集発行会、800pp、1985
4) 羽賀祥二：1891 年濃尾震災と死者追悼-供養塔・記念碑・紀念堂の建立をめぐって、名古屋大学文学研究論集（史学)、pp. 1-31、1999

③DONET を用いたリアルタイム震源決定と統計情報の可視化

(a) 業務の要約

海洋研究開発機構では、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの地域連携減災研究のうち、防災・災害情報発信研究の一環として、海域に設置された地震・津波観測監視システム（DONET）の地震や津波の早期検知の情報を即時的に発信できるシステムを検討してきた。この研究の一部として横浜研究所のサーバに導入済みの自動震源監視ソフトによる震源決定の精度向上に努め、さらに決定された震源情報から地震の統計的性質を推定することによる震源監視能力の向上に努めてきた。地震発生の空間分布や時間変化、統計情報等について地図上やグラフ上にプロットし、視覚化することで、現在の地殻活動の情報やその時間変化を容易に把握することが出来、また情報発信に活用することが出来る。本年度は、これらの情報を南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおいて一般利用を目指して構築を進めているプラットフォーム上で即時的に展開するための開発と機能向上を行った。すなわち、自動震源決定システムによって得られた震源情報を基に、地震の分布、時間変化、地震活動度と統計情報について、定期的に可視化を行うシステムの構築を行った。これにより、自動震源監視ソフトによって検知された地震情報の即時把握、地震活動度の時間変化と空間分布、地震の統計的性質の変化について即時把握が可能となり、南海トラフにおける震源監視能力が向上することになる。

(b)業務の実施方法

これまで DONET データの震源情報の自動化を進め、さらに震源情報から地震発生の時間変化および統計情報の可視化を行った。震源情報と地震発生の時間変化、統計情報の定期的な可視化を行った。アーカイブデータに基づく高精度な震源情報に基づく可視化は毎日定時に作成し、リアルタイムデータに基づく可視化は地震検知後、即時更新される。これらを表示する web を構築し、可視化した情報を容易に確認できるようにした。これらの情報をプラットフォーム上で展開することは、地震活動を監視し、今後の長期予測につながり得る重要な情報を発信できると考えている。

1) アーカイブデータによる震源決定による震源情報

自動震源決定システムによる、アーカイブデータによる震源決定結果を可視化するシステムの構築を行った。このシステムでは、自動震源決定による出力からプロットに必要な震源情報を抽出し、地震活動の地図上でのプロット、活動の時間変化、地震の統計情報に関するプロットを自動で作成する。プロットは自動震源決定の結果を受けて、毎日、定時に更新する。

a) 震源情報の抽出

自動震源決定では西南日本の陸上観測点のデータも用いているため、広範囲の地震の震源が決定される。本システムではまず、自動震源決定システムによる震源決定結果から、監視対象領域である南海トラフおよび周辺域の地震に関する情報を抽出する。自動震源決定システムによる震源情報は、震源が決まったすべての地震について、図３－５－③－１

に示すように固定カラムフォーマットで地震発生の時間順に保存される。地震情報は次のようなフォーマットで出力される。

震源パラメータのみ
以下では、最初の１文字目が、ijklmn　のパラメータは４バイト整数。それ以外は実数。

　最新の 10000 イベントの震源パラメータ(arriv/hypo_month.dat),月ごとの震源パラメータ　 hypo_年月.dat。

```
  121 1210 3 435 27.00   42.30  0.06-43.6244 0.0059 172.6982 0.0057 28.14
0.39 2.73 0.26  28  17  30 2.92
  121 1210 3 435 27.00   42.30  0.06-43.6244 0.0059 172.6982 0.0057 28.14
0.39 2.73 0.26  28  17  30 2.92
  121 1210 3 435 27.00   42.30  0.06-43.6244 0.0059 172.6982 0.0057 28.14
0.39 2.73 0.26  28  17  30 2.92
```

Hypo_month.dat　 hypo_年月.dat のオープン方法　　1

```
        open(7,file=' hypo_month.dat' ,access='direct', form='formatted',
     1 recl=120,status='unknown')
```

フォーマット

```
  read(7,130,rec=irece) cret,neqt,iy,im,id,ih,imin,sec,t,dt,
     1   phi,dphi,ram,dram,dep,ddep,fmagj,sd,nobsp,nobss,nobsall,fmag
  130 format(a1,i5,1x,5i2,f6.2,f8.2,f6.2,f8.4,f7.4,f9.4,f7.4,
     1   2f6.2,2f5.2,3i4,f5.2)
```

cret:character*1　改行コード
neqt:地震番号
　 iy,im,id,ih,imin：年月日時分（整数)、sec トリガー時刻の秒（実数）
　phi,dphi,ram,dram,dep,ddep：緯度、経度、深さとその誤差
sd　：読み取りデータの標準誤差　　sd=9.9 はノイズの可能性が高いイベント。
nobsp,nobss,nobsall：Ｐ波、Ｓ波読み取り数、観測点数。
fmag:マグニチュード

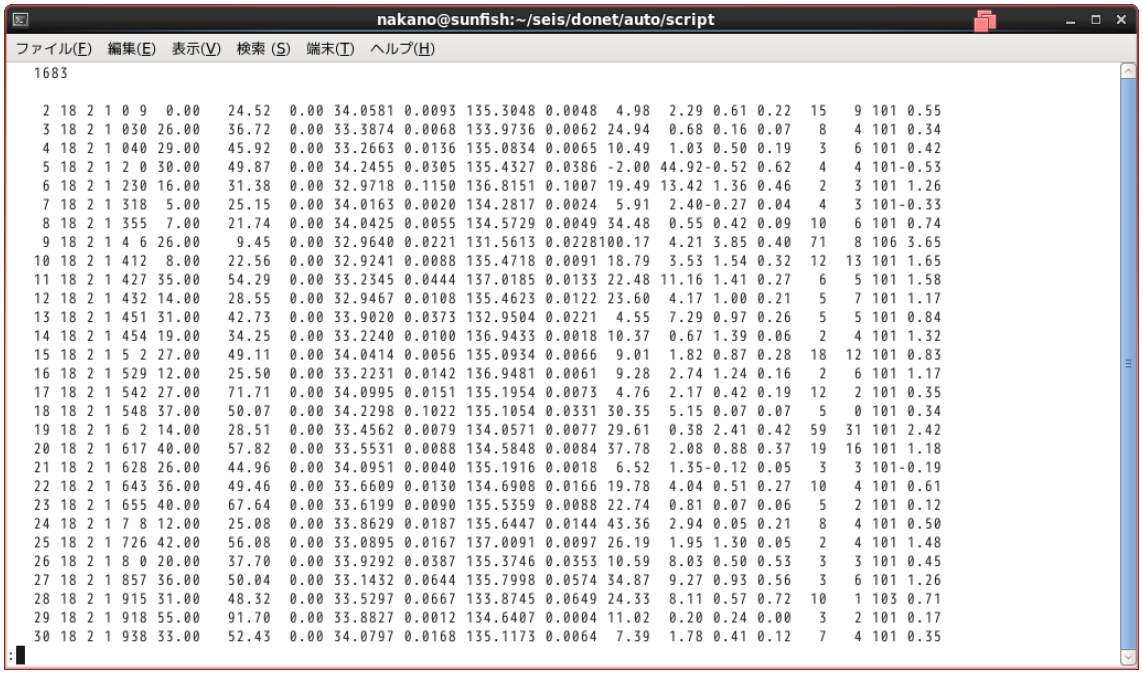


図３－５－③－１　自動震源決定システムによる震源決定結果の出力

この震源パラメータを出力したファイルから、プロット作成のために必要な情報、すなわち地震発生の年月日時分秒、震源の緯度、経度、深さ、マグニチュードを整形して抽出する（図３－５－③－２）。

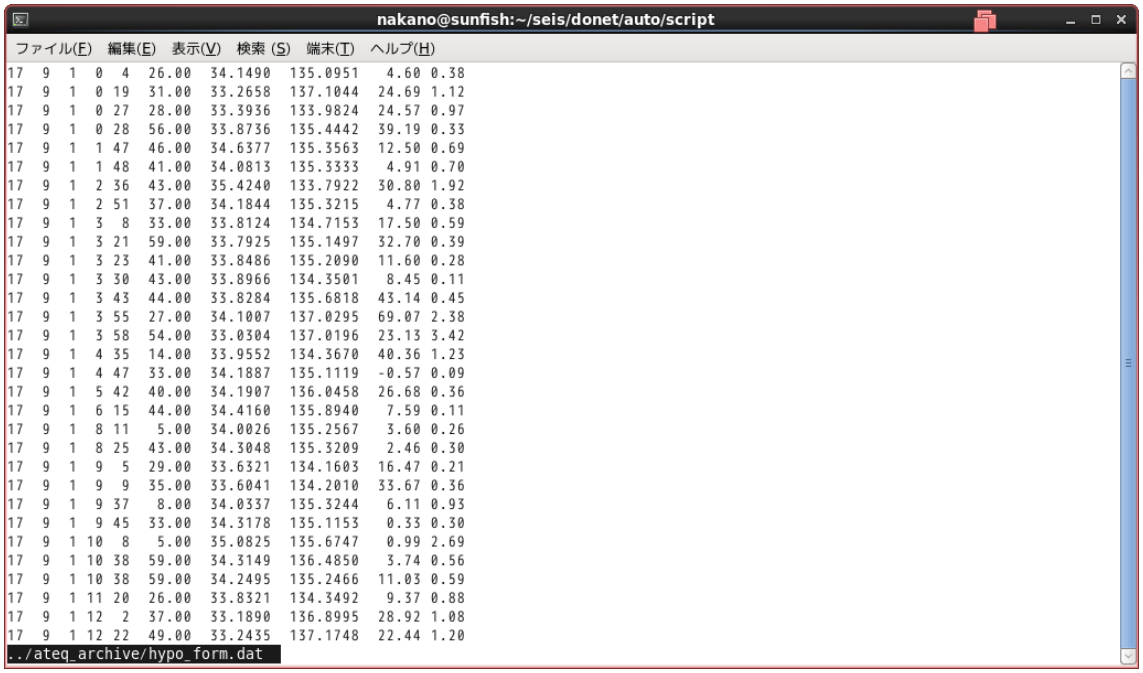


図３－５－③－２　整形された震源情報

整形した震源情報から、さらにプロットに必要な空間範囲の地震を抽出する。次のよう

にパラメータを設定し、必要な地震情報を取り出す。

```
lonmin=134.0
lonmax=138.0
latmin=32.0
latmax=34.5
depmin=-5
depmax=60

lonmin：震源の西限
lonmax：震源の東限
latmin：震源の南限
latmax：震源の北限
depmin：震源深さの上限（マイナスは海水面より浅い場合）
depmax：震源深さの下限
```

ここで震源深さに下限を設けたのは、南海トラフプレート境界巨大地震の震源域の深さの限度が対象領域では 30～40km 程度であるため､監視に不要な深発地震などを取り除くためである。地震活動は、いくつかの活動が活発なクラスターがあることが分かっている。地震活動度などの統計情報について、これらのクラスターについても個別に評価するために、クラスターごとの震源情報の抽出を同時に行う。各クラスターの地震情報の抽出は以下の様なパラメータ設定で行う。また、各クラスターの位置については全体の地図上で範囲を示す（後述)。ここで注目するクラスターは全て海底下の地震活動であるため、震源深さについては次のように、海面下から深さ 60km までとした。

```
depmin=0
depmax=60
```

各クラスターの名前と範囲は以下の様に設定した。

```
# Cluster A (NE below DONET1)
lonmin=136.8
lonmax=137.3
latmin=33.15
latmax=33.5

# Cluster B (SE below DONET1)
lonmin=136.9
lonmax=137.4
```

```
latmin=32.65
latmax=33.15

# Cluster C (SW below DONET1)
lonmin=136.6
lonmax=136.9
latmin=32.65
latmax=33.15

# Cluster D (SE below DONET2)
lonmin=135.5
lonmax=136.1
latmin=32.5
latmax=33.0

# Cluster E (NW below DONET2)
lonmin=134.5
lonmax=135.4
latmin=33.0
latmax=33.5

# Cluster F (SW below DONET2)
lonmin=134.1
lonmax=134.6
latmin=32.5
latmax=33.0

# Cluster G (20160401 eq area)
lonmin=136.1
lonmax=136.6
latmin=33.2
latmax=33.6
```

b) 震源情報の可視化

震源情報を可視化するために、次のようなプロットを作成した。ⅰ）監視領域全体（西南日本）の震源分布の地図上プロット、ⅱ）紀伊半島沖および室戸海盆における地震活動の時間変化のプロット、ⅲ）地震の統計情報のプロット。

ｉ）監視領域全体（西南日本）の震源分布

このプロットの対象領域は、DONET１および DONET２の観測領域、すなわち西南日本の南海トラフ周辺について、海域から陸域で起きた地震の活動を可視化する（図３－５－③－３）。この図は４つのパネルから構成され、全体を大きく占める左上のパネルは地震活動の地図上のプロット、その右側および下側のパネルはそれぞれ、地震活動の南北および東西から見た深さ分布を示す。断面図で示す地震は左上のパネルに示した範囲の地震である。図では DONET 観測点を黒三角、地上の観測点を赤のダイヤモンドで示し、地震の震源を丸印で示す。丸印の大きさは地震のマグニチュードに、色は震源の深さに対応する。深さと色の対応は地図内の右下に示す。地図内の資格で示すエリアは、ⅱ）のプロットで示す範囲である。右下のパネルにはプロットしている地震の期間と数（N)、丸印の大きさとマグニチュードの対応を示す。

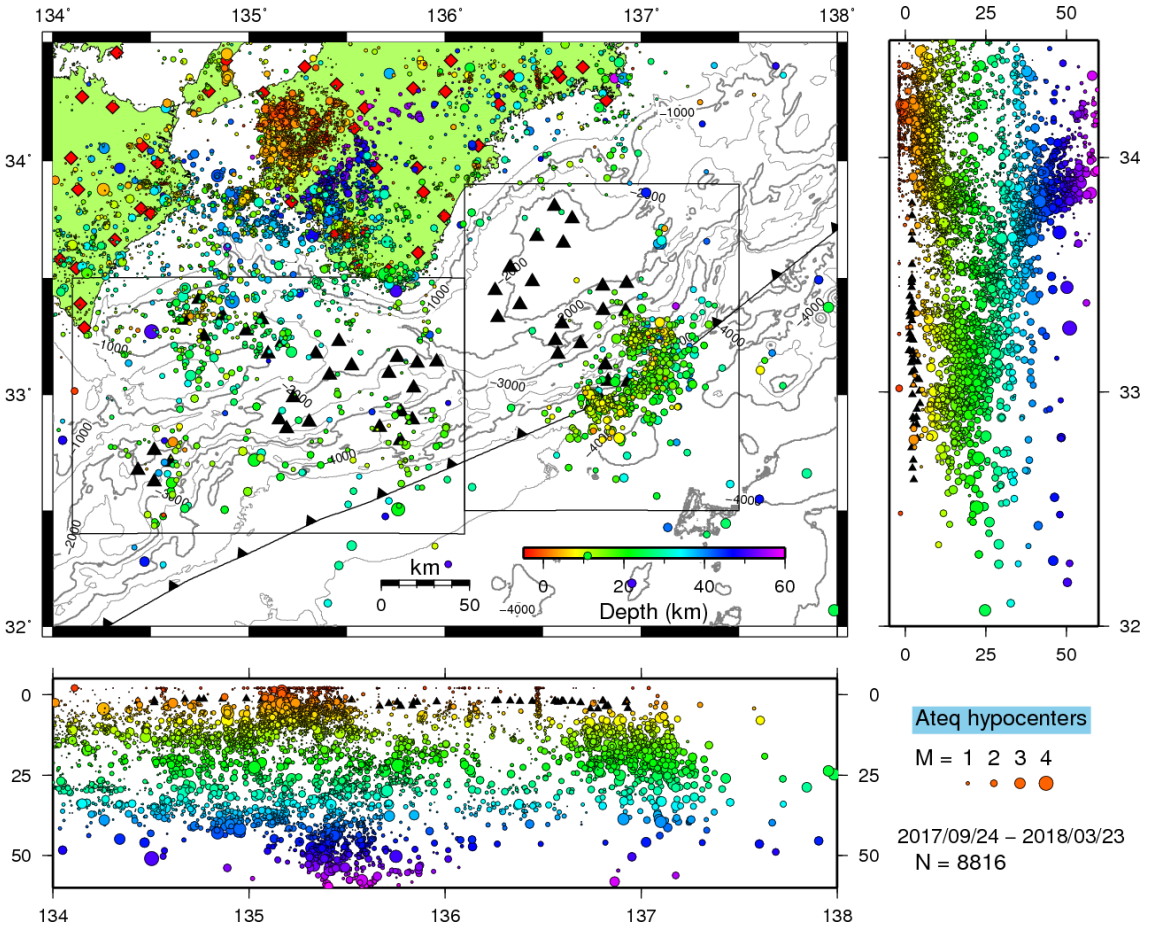


図３－５－③－３ 監視領域全体（西南日本）の震源分布。左上のパネルは地震活動の地図上のプロット、その右側および下側のパネルはそれぞれ、地震活動の南北および東西から見た深さ分布を、右下のパネルにはプロットしている地震の期間と数(N)を示す。DONET 観測点を黒三角、地上の観測点を赤ダイヤモンドで示し、地震の震源を丸印で示す。丸印の大きさは地震のマグニチュードに、色は震源の深さに対応する。

ⅱ）紀伊半島沖および室戸海盆における地震活動の時間変化

このプロットでは、DONET１および DONET２の観測網の下の地震活動と時間変化について

示す（図３－５－③－４、５）。図３－５－③－３から分かるように、地震は対象領域において満遍なく起きるのではなく、いくつかの領域でまとまって起きている。DONET１観測網の下、紀伊半島の東沖の熊野海盆下では、主にトラフ軸付近で活発な地震活動が見られる。一方、熊野海盆の陸に近い側では定常の地震活動がほとんど見られない（ただし、2016 年４月１日には DONET１ノード E 観測点の下、図３－５－③－４で示す領域 G において三重県南東沖地震、気象庁マグニチュード 6.5 が発生した）。

プロットは４つのパネルから構成され、左上のパネルは対象領域の地震の地図上の分布、右上と左下は地震活動の時間変化、右下はプロットしてある地震の期間等に関する情報が記載されている。

左上のパネルでは、対象領域と地震の分布を地図上に示す。図３－５－③－４では DONET１観測網の下、紀伊半島の東方沖を、図３－５－③－５では DONET２の観測網の下、紀伊水道から室戸沖の海域下における地震活動と時間変化を示している。これらの図では図３－５－③－３と同様に、DONET 観測点を黒三角、地震の震源を丸印で示す。右上のパネルでは、地震活動の時間変化を示している。横軸に時間、縦軸に震源の緯度を取り、地震の発生を丸印で示す。この図から、地震の発生は全体としては定常的であるが、時期によって丸印の密度、すなわち地震の発生頻度に変化が見られることが分かる。例えば緯度 33’15”の辺りに着目すると、11 月から 12 月にかけて地震活動の低下が見られる（図３－５－③－４）。12 月中旬から 11 月上旬には地震が多くなるが、その後再び活動の低下が見られる。左下のパネルは、右上のパネルと同様地震活動の時間変化を示しているが、こちらは縦軸に時間を取り、横軸に経度、すなわち東西方向のセクションを示す。こちらの図でも地震活動の変化が見られ、例えば 136’45”付近において、地震活動に増減があるように見える(図３－５－③－４)。右下のパネルには、図の凡例やプロットしている期間、プロットにある地震の数 N、図を作成した時刻が示してある。

左上のパネルにはいくつかの領域が四角で示してあり、それぞれ違う色で区別してある。四角の横には A~G のラベルがあり、これによって領域を識別する。これらの領域は周りと比べて地震活動の高い領域（クラスター）を示しており、また紀伊半島沖のクラスターA~C は、地図上では一つの塊に見えるが、これまでの研究においてそれぞれ異なる断層の活動に関係していると推定されている活動である。これらのクラスターにおける地震活動について、次のⅲ）で示す図３－５－③－６に示す。

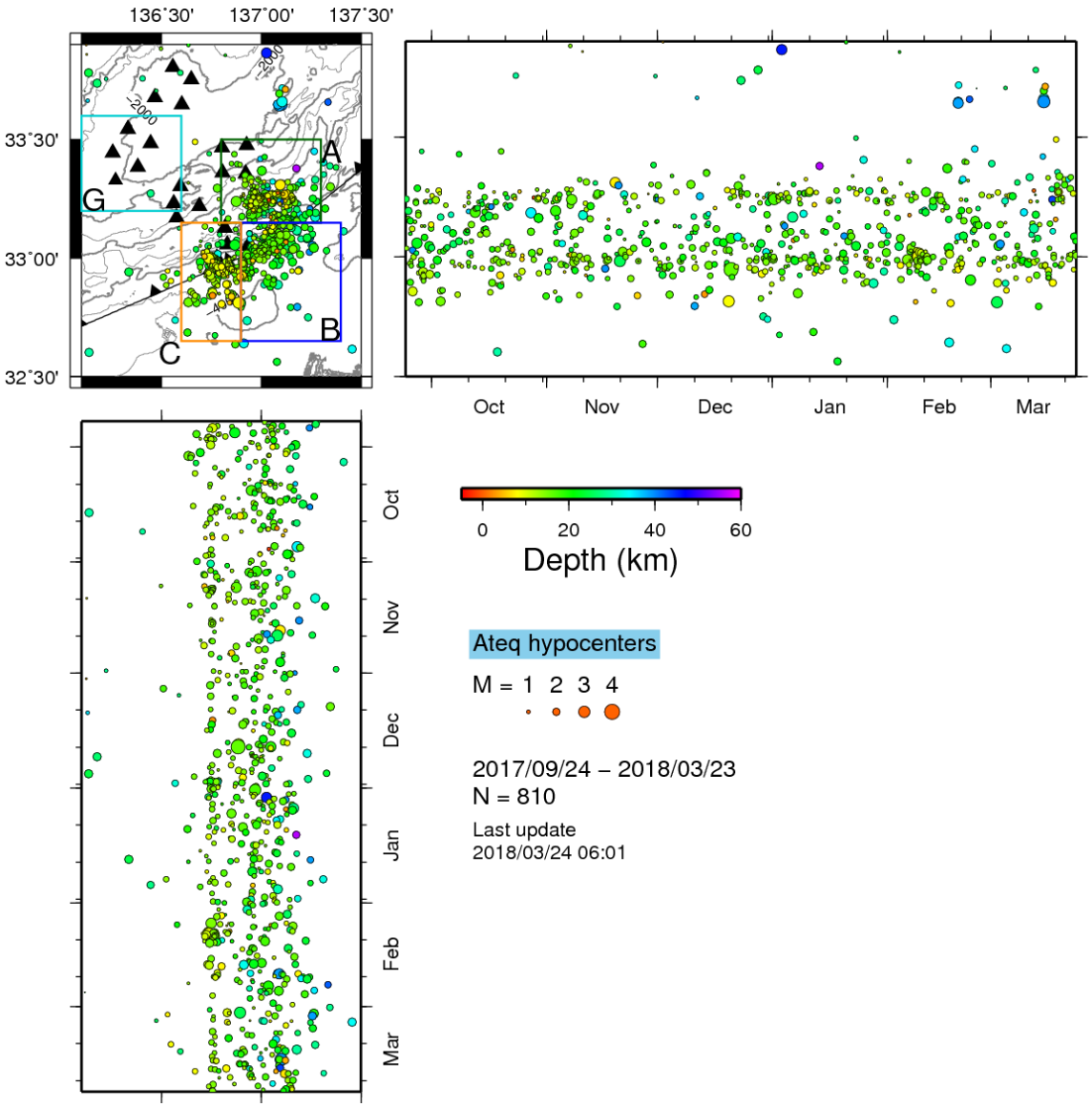


図３－５－③－４　紀伊半島沖における地震活動の時間変化。左上のパネルは対象領域の地震の地図上の分布、右上と左下は地震活動の時間変化、右下はプロットの期間を示す。印の意味は図３－５－③－３と同じ。

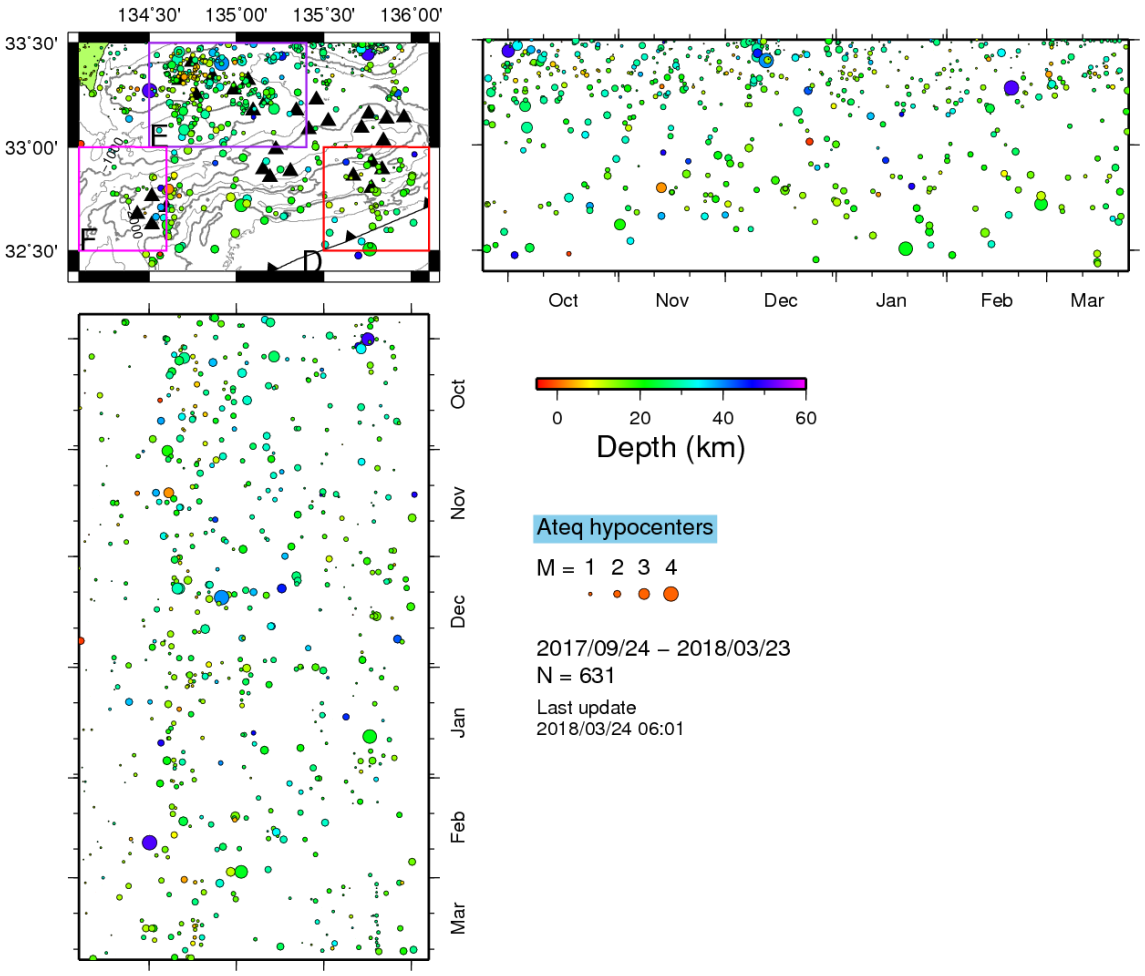


図３－５－③－５　室戸海盆における地震活動の時間変化。構成と印は図３－５－③－４と同じ。

iii）地震の統計情報

地震活動を地図上に示した図３－５－③－３、４、５から分かるように、地震活動は領域全体に満遍なく起きるのではなく、いくつかの領域に集中して起きることが分かっている。これら地震のクラスターごとに、地震活動の時間変化と統計的性質を監視するためのプロットを作成した。地震活動のクラスターは、ii）で設定した範囲である。

プロットは３つのパネルから構成され、上のパネルには地震の累積頻度、左下のパネルは地震のサイズ分布、右下には色分けしてあるクラスターの情報とプロットに用いた地震の期間等に関する情報が示してある。

上のパネルでは、プロット開始日からの地震の累積頻度を、各クラスターについて異なる色で示している。線の色とクラスターのラベルとの対応は右下のパネルに示してある。縦軸の累積頻度は全てのクラスターで共通である。ただし、図３－５－③－３の対象領域全体の活動を示すAll（黒線）については、各クラスターと比べて地震の数が10倍以上と圧倒的に多く、従ってグラフは全クラスターの中の最大値で規格化してあり、必ず右上の点を通る。また、グラフの左下と右上を結ぶ直線が点線で示してある。地震活動が定常なら各クラスターの活動を表す線は直線になるが、実際には地震活動には変動があり、グラ

フは階段状の変化を示すこともあれば､ほぼ平らになる(＝地震がほとんど起きていない)期間も見られる。

左下のパネルでは、地震のサイズ分布を各クラスターに対して示している。横軸にマグニチュードを取り、それより大きいマグニチュードの積算個数をプロットしてある。従ってグラフは必ず左上がりの線となる。各クラスターで起きた最大の地震のマグニチュードにおいて積算個数は１（ただし最大マグニチュードの地震が複数個起きていれば、その数に）になる。縦軸は、小さい地震ほど爆発的に個数が大きくなるため、対数軸となっている。ただし横軸もマグニチュードであり、地震モーメントで考えるとこちらも実質的に対数軸となっている。一般的に地震のサイズ分布は、このような両対数のグラフにプロットした場合、傾き－１もしくはそれに近い値の線に乗ることが分かっている（グーテンベルクーリヒターの法則)。グラフの傾きを−bとし、b 値の大小で地震の統計的性質を評価できる。b 値が１より大きい、すなわちグラフの傾きが大きく、小さい地震の数が相対的に大きい場合、地殻の応力は相対的に低い状態にあると考えられている。一方 b 値が大きく、相対的に大きい地震の数が多くなると、地殻の応力が高い状態にあると考えられている。大きめの地震が起きた時、前震では b 値が大きく、余震では b 値が小さくなるという研究もある。このような研究を参照すると、地震のサイズ分布の図から、地殻の応力状態を把握できると期待される。サイズ分布の線はマグニチュードが小さくなると傾きが小さくなる。これは小さい地震の検知限界によるもので、DONET の場合は海洋底特有の環境ノイズのため、マグニチュード 1.5 より小さい地震は十分検知されていない可能性がある。統計的な性質の議論を行う際には観測網の地震の検知能力について注意する必要がある。

右下のパネルではプロットに用いた地震活動の期間、各クラスターと色の対応および地震の数 N、プロットを作成した日時が示してある。

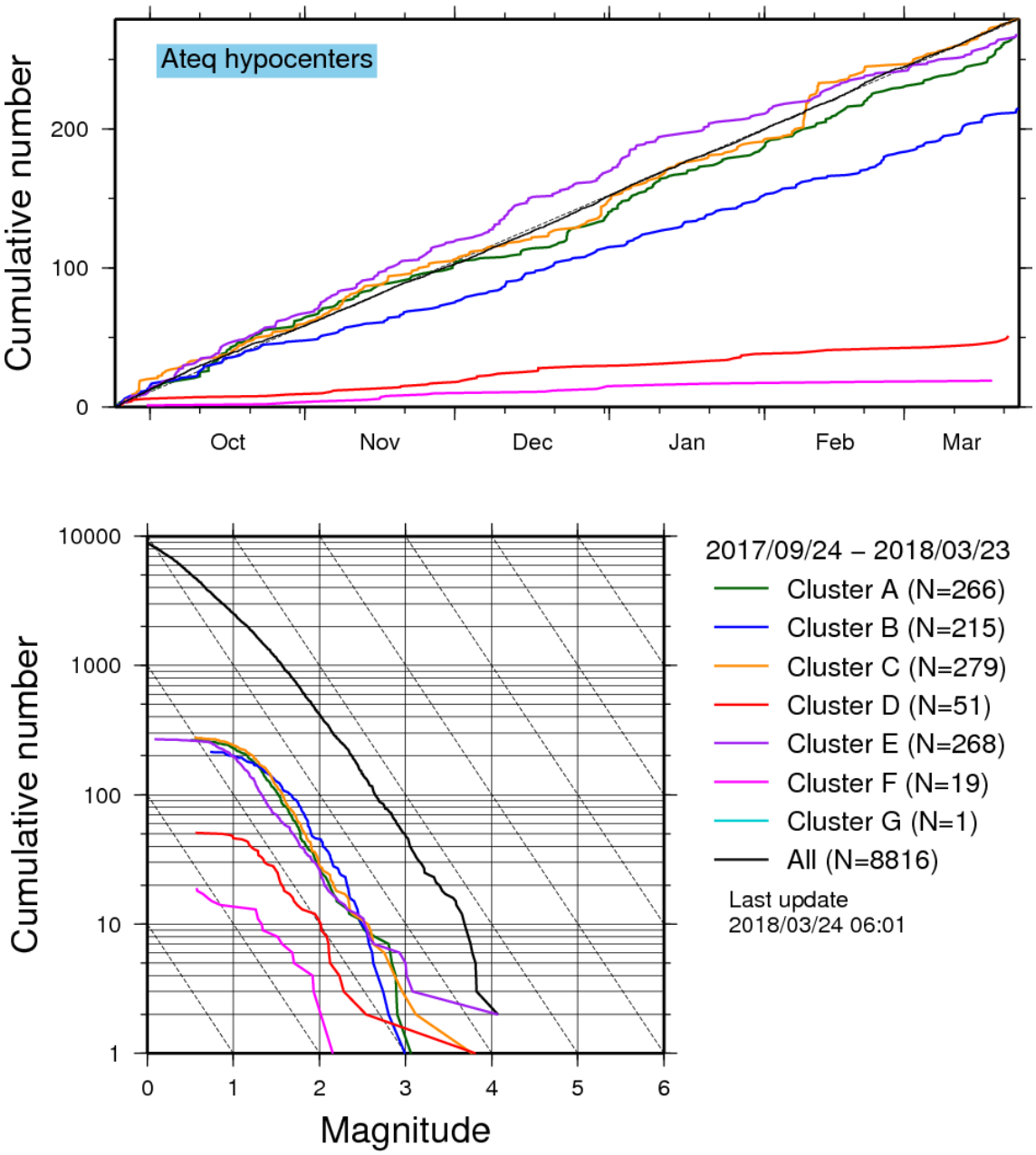


図３－５－③－６　地震の統計情報。上のパネルには地震の累積頻度と時間変化、左下のパネルは地震のサイズ分布、右下にはクラスターと色の対応を示す。

c）複数の期間の地震活動に関するプロットの作成

地震活動を監視する際、それを評価する期間の長さを変えることとで違ったものが見えてくる。長い期間のデータを用いれば、より平均的な描像を見ることが出来る。一方、短い期間のデータからは詳しい変化についても見ることが可能となる。ここではプロットを作成する期間として、１週間、１か月間、半年間の３種類を設定した。より長い期間についても作成可能であるが、プロットが多すぎても確認の手間が増えるため、ここでは長期間の活動として、半年間を代表とすることとした。これらのプロットは一つの web ページにまとめて表示されており（図３－５－③－３、４、５、６）、新しいプロットが作成され

ると随時更新され、最新の情報がチェック可能である。

図３－５－③－７、８、９に、１週間および１か月間の地震活動のプロットを示す。半年間のプロットについては、既に図３－５－③－３、４、５に示してある。これらは基本的に半年間のプロットと同じでプロットされる地震の期間が異なるだけだが、b) iii）地震の統計情報については、地震の累積頻度を示している上のパネルのグラフに、発生した地震のマグニチュードも示してある。これにより、例えば地震の数が一時的に増えた場合に、これが大きめの地震が起きた事による余震活動なのか、群発地震的な活動なのかの区別が可能となる。また、左下のパネルのサイズ分布の縦軸は地震の総数に応じて自動的に調整され、半年間、１か月間のプロットでは最大値が 10000 であるのに対し、１週間のプロットでは最大値が 1000 となっている。

今回プロットを示した期間においては地震活動の顕著な変化は見られないが、あるクラスターで地震活動が活発化した場合などは、これらのプロットから活動の変化を読み取ることが出来る。しかし、アーカイブデータによる震源決定は１日に１回の頻度で行われるため、地震活動の変化をいち早くとらえるためには、次に示す、リアルタイム震源決定によるプロットが役に立つ。

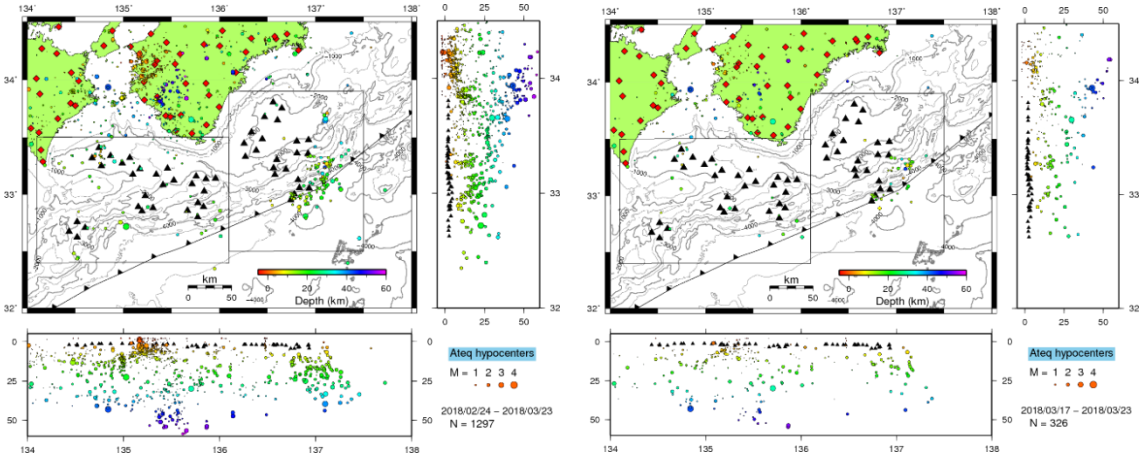


図３－５－③－７　監視領域全体（西南日本）の震源分布。表示する地震活動の期間は（左）１か月および（右）１週間。

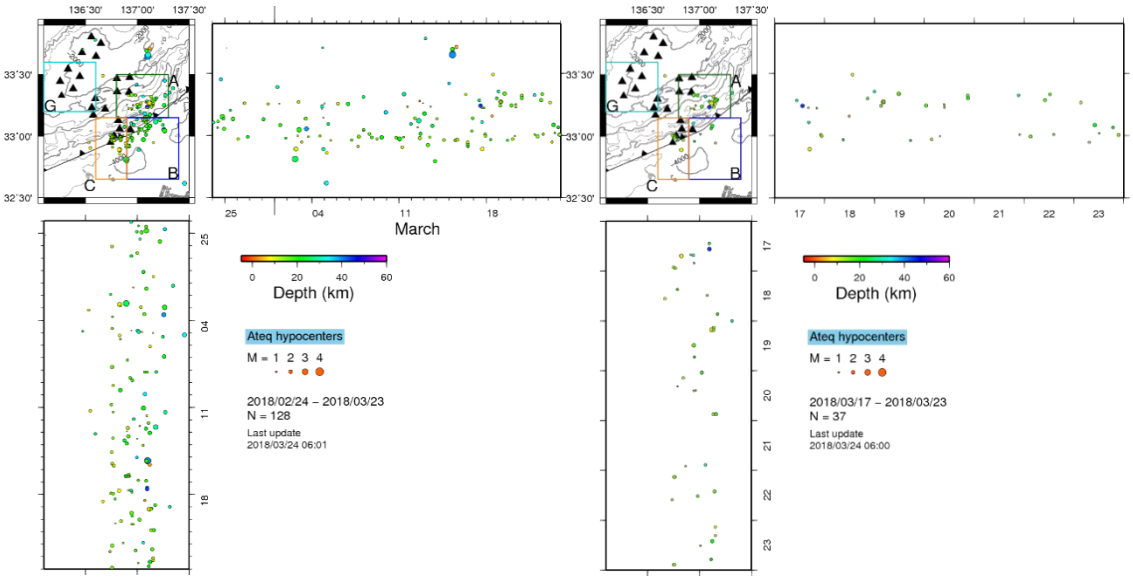


図３－５－③－８　紀伊半島沖における地震活動の時間変化。表示する地震活動の期間は（左）１か月および（右）１週間。

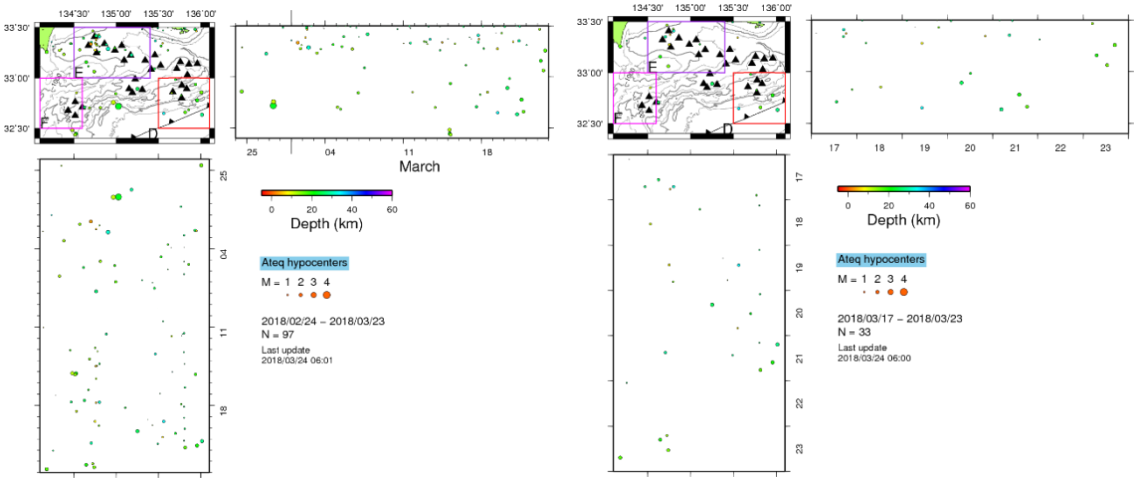


図３－５－③－９　室戸海盆における地震活動の時間変化。表示する地震活動の期間は（左）１か月および（右）１週間。

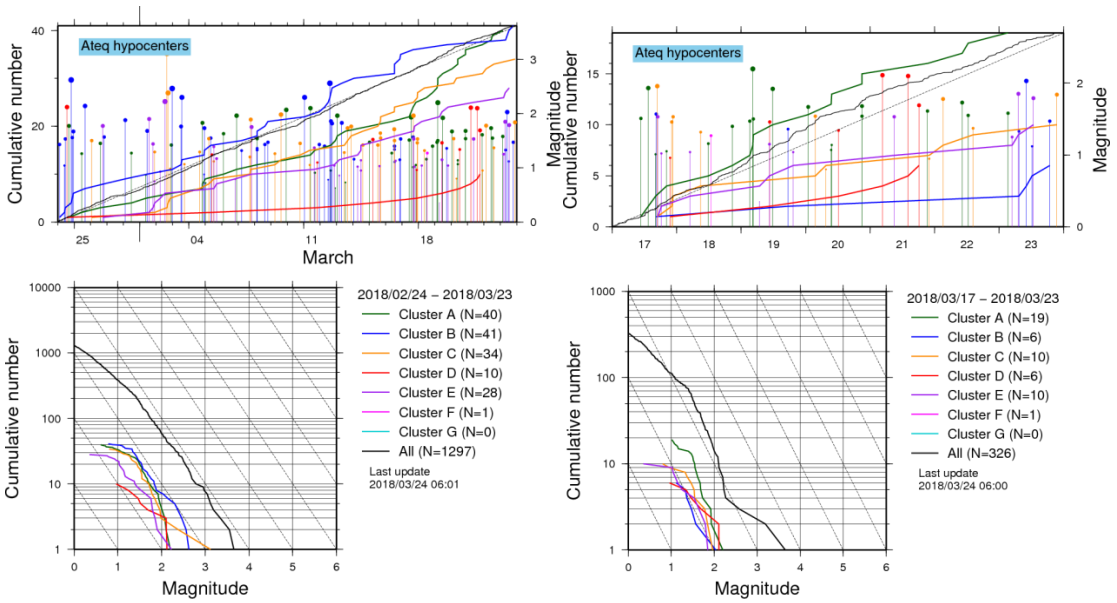


図３－５－③－10 地震の統計情報。表示対象の地震活動の期間は（左）１か月および（右）１週間。

2) リアルタイム震源決定による震源情報

アーカイブデータによる震源決定は地震の検知率や精度が優れるが、震源決定が毎日定時に実行されるため、リアルタイムでの地震情報の確認はできない。一方、別途リアルタイムデータによる震源決定を実施しており、こちらの情報を可視化することでリアルタイムでの地震情報の把握ができる。リアルタイムデータによる地震の震源決定は、データの未着等の可能性があるためにアーカイブデータと比べて精度が劣る事があるが、地震を検知するたびに情報が更新されるので、常に地震情報の監視が可能である。

リアルタイム震源決定においても、自動震源決定システムからの出力はアーカイブデータを用いた場合と同じである。したがって、震源情報の抽出には 1)a) と同様の手順で行う。作成されるプロットはアーカイブデータに対するものと基本的には同じである。しかし、リアルタイム震源決定のプロットでは最新の情報を知ることが重要であるため、b) ｉ）監視領域全体（西南日本）の震源分布にいくつかの情報を追加した。また、少ないプロットで情報が得られるよう、少し改変を加えた。

図３－５－③－11 にリアルタイム震源のプロットを示す。変更点としてすぐに分かるのが、二つのポップアップ「Latest」と「Largest」である。これらは最新および期間（過去１週間）中最大の地震の詳しい震源情報（発生日時、マグニチュード、深さ）を示している。ポップアップの矢印の先が、該当する地震の震源である。もう一つ大きな違いが、観測点が DONET、陸上ともに、グレーのマークになっている点である。しかし、自動震源決定システムによって地震動シグナルが検知され、地震波到達時刻が震源決定に利用された観測点を濃いグレーで示すようにした。大きな地震では多くの観測点で地震が検知される一方、小さい地震では検知する観測点が少なくなるため、これにより、一見して地震の大きさを把握することが可能である。地震のトリガに関する情報は、自動震源決定システム

によって出力される地震の震源情報ファイルから抽出している。震源情報ファイルは、東京大学地震研究所によって開発された WIN システム（http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/WIN/Jindex.html）で利用する pick ファイルのフォーマットに従っており、ここから地震を検知した観測点の情報を抽出している。他の改変点として、地震の深さを示すカラースケールは、ポップアップと重なり隠れてしまうことを避けるため、右上の深さ分布を示すパネルに移動した。また、この図と b)iii）地震の統計情報だけで十分情報が得られるよう、地震のクラスターの位置と色を地図上に示した。b)ii）紀伊半島沖および室戸海盆における地震活動の時間変化のプロットも作成しているが、以下に述べる web では情報量を減らすため、これらのプロットは一段奥のページに掲載することとした。

図３－５－③－11、12 に示すのは、2018 年２月８日から DONET１のノード C 観測点の下で地震活動が活発化した時の例である。８日の夜からクラスターC での地震の数が急激に増加していることが、図３－５－③－12 から知ることが出来る。地震活動の時間変化のプロット（図３－５－③－13）を見ると、同じ場所で継続して地震が発生していることが分かる。地震のマグニチュードは１から３の範囲で不規則に起きており（図３－５－③－12）、群発地震型の活動であると考えられる。

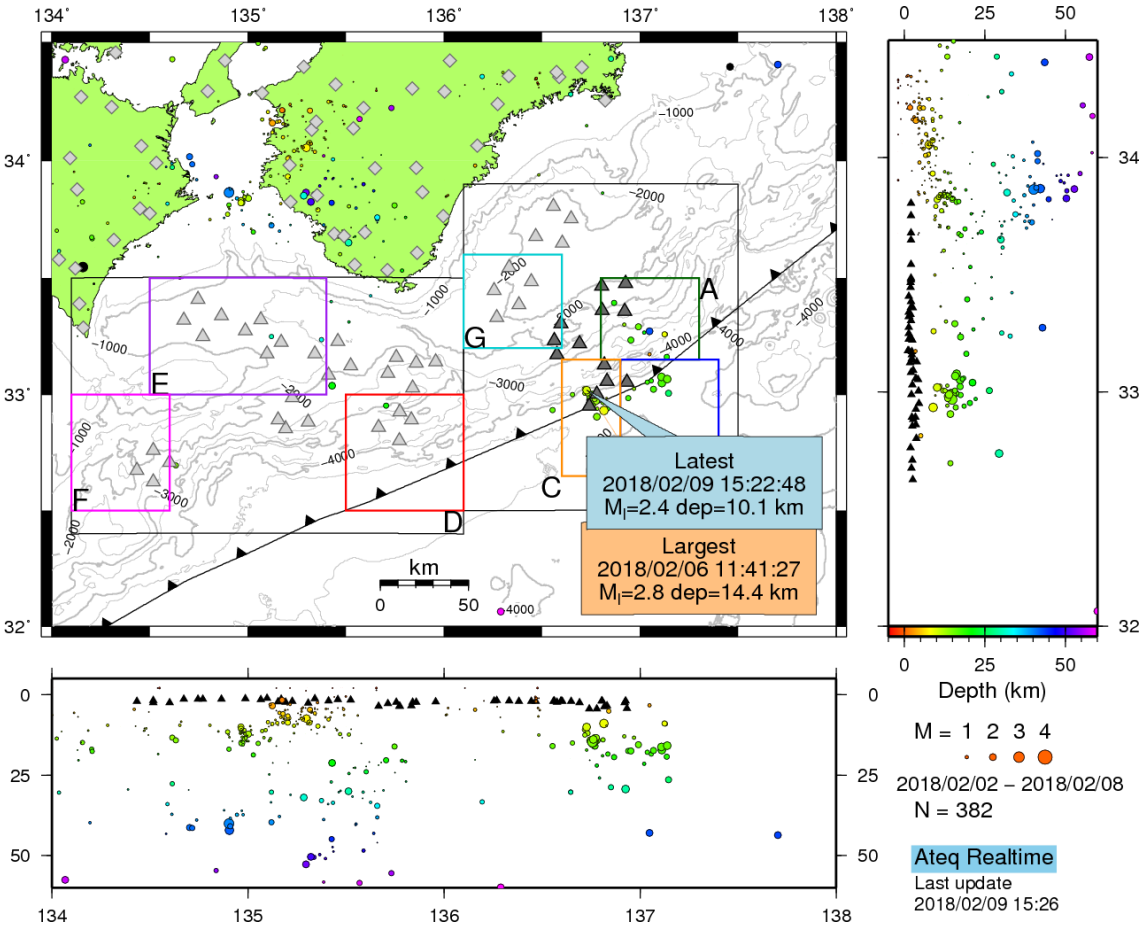


図３－５－③－11 リアルタイム震源情報に基づくプロット。ポップアップ「Latest」と「Largest」により、最新および期間（過去１週間）中最大の地震の詳しい震源情報（発生日時、マグニチュード、深さ）を示している。DONET および陸上の観測点はグレーのマー

クで示し、地震を検知した観測点を黒で示している。

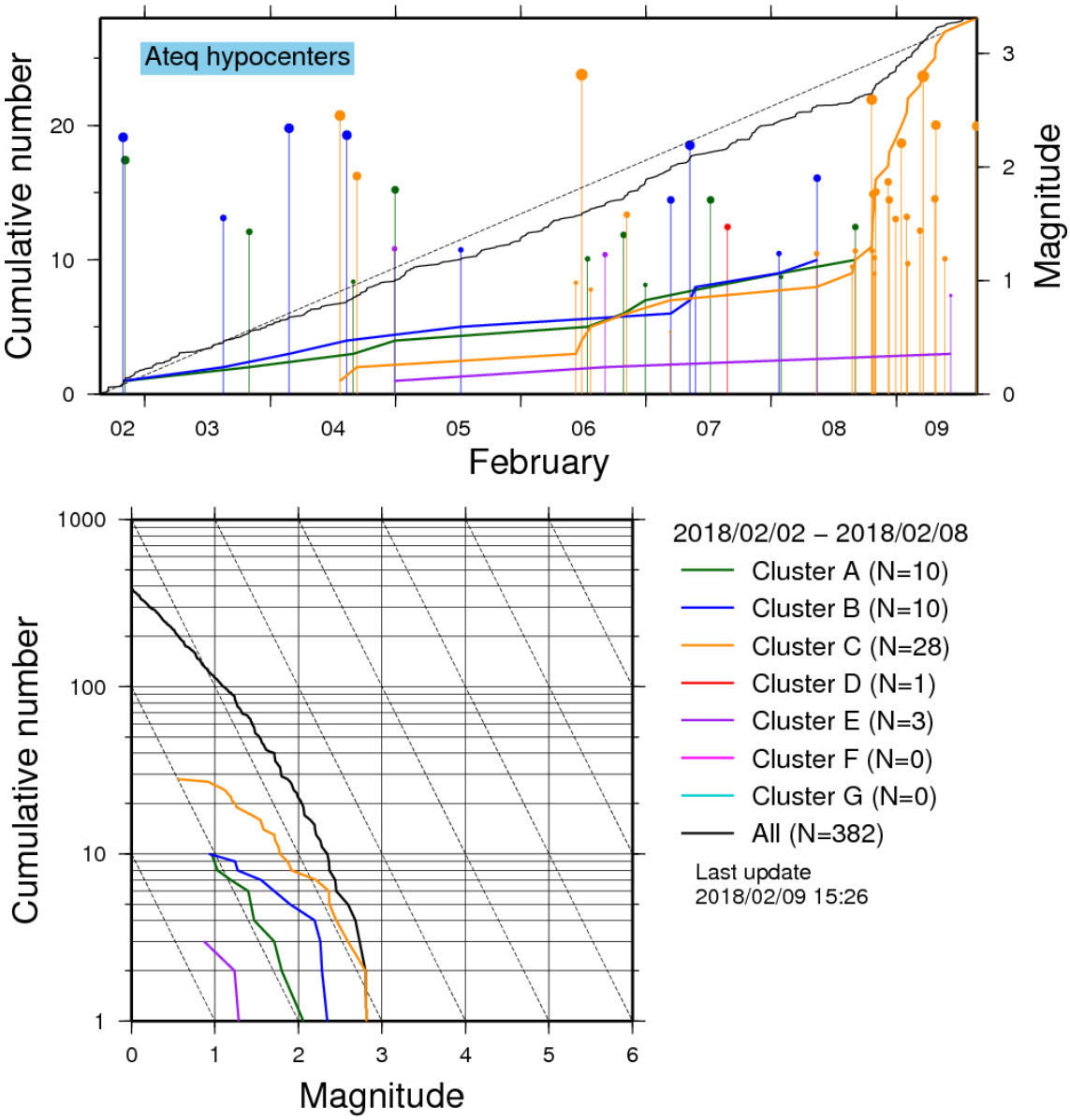


図３－５－③－12 リアルタイム震源決定に基づく地震の統計情報の可視化

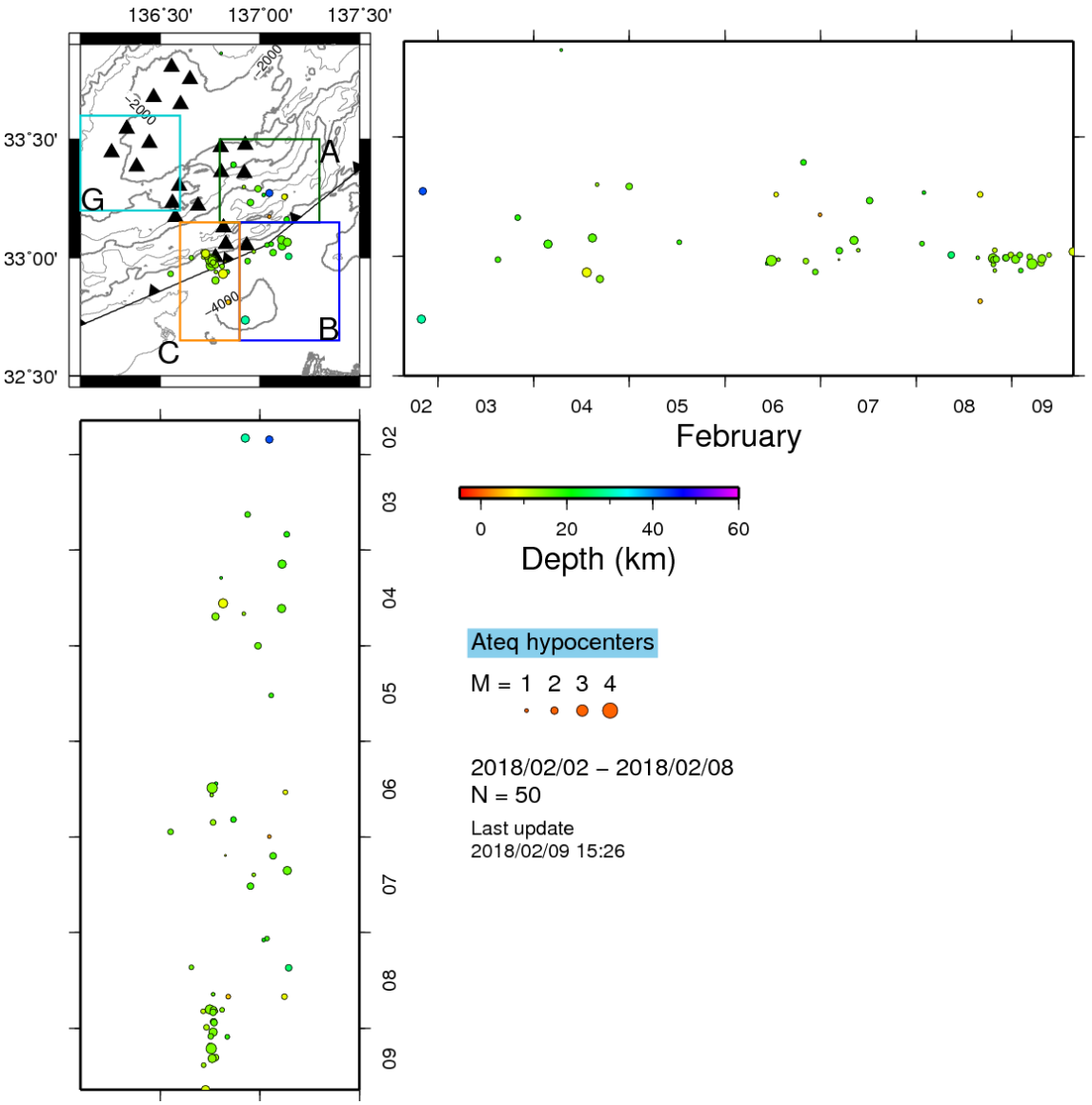


図３－５－③－13 リアルタイム震源決定に基づく紀伊半島沖の地震活動と時間変化の可視化

3) 地震の統計的性質の可視化

地震の活動度（発生率）やサイズ分布といった統計的な情報は、応力場とともに地震発生場の状態をモニタする上で重要である。地震の累積頻度とサイズ分布については２章で可視化を行ったが、ここではより高度な情報理論に基づく地震の統計的性質や、これらの時間変化の検出、有意性、すなわち変化が誤差の範囲なのか、統計的に有意であるかに関する指標について可視化を行った。ここでは、地震活動度とその変化、z 値、b 値（これらのパラメータについては後述）、平均マグニチュード、そして、これらの変化の有意性に関する指標（AIC）である。

地震がポアソン過程などの確率過程に従って発生することから、地震活動を客観的に数値表現するには統計処理が必要となる。ただし、震源分布図、時空間図、あるいは地震規模-時間図などの生データを検討することが、統計処理の前提となる。ここでは、検討の結

果切り出された震源要素の時系列を対象として､変化点の検出や有意な変化の検出を行う。変化点の検出には cusum 法を提案する。この方法によって、時系列に現れる変化点の候補を視覚化することが可能となる。また、解析対象とするパラメータの時系列に多くて一個の変化点が含まれるとの前提で､情報量規準(AIC)によって統計的に有意な変化を検出する。

a) 可視化を行う地震の統計情報

ここで可視化する地震の統計量として、地震の発生率及びサイズ分布に関する指標をいくつか導入する。それぞれについて評価の指標は複数ある事で、変化についての多面的な評価が可能となる。各指標の詳しい解説については昨年度の報告書に記載した。

ⅰ) 地震発生率

地震活動が定常的であり、地震発生率が期間中不変であれば、観測された地震数の積算 Sum(t)は傾きがほぼ一定の直線 N(t)=λｔ の周辺を変動する。ここで、λ は平均的な地震発生率である。期待値と観測値の偏差

Res(t) = Sum(t) - λｔ

が０の周辺にとどまっていれば期間中に地震発生率は変化しなかったと見なせる。

Res(t)のグラフで右上がりの傾向が認められれば、地震活動がその期間中は平均より活発であったことを示す. 右下がりの場合には、平均より静かであったといえる。グラフの傾斜から発生率の変化分を見積もることができる。その変化の有意性については、別途解析が必要となる。この手法は Cusum (cumulative sum control chart 累積和管理図) と呼ばれ、E.S. Page によって開発された時系列解析の手法であり、変化点の検出に用いることができる。

ⅱ) z 値

地震発生率の変化を調べるために､z 値による方法が提案されている (例えば Habermann, 1981; Habermann, 1982; Haberman, 1987). z 値は次の式で定義される。

$$z = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^{\,2}}{N_1} + \frac{\sigma_2^{\,2}}{N_2}}}$$

ここに、μ_1、 μ_2 と σ_1、 σ_2 は期間 T1、 T2 における地震発生率と標準偏差である. この期間に発生した地震数を n_1、 n_2 とする。 期間 T_1 と T_2 は dt の長さで N_1 と N_2 区間に分けられているとする。即ち、$N_1=T_1/dt$ と $N_2=T_2/dt$ と表される。全期間を通して地震発生率に変化がない場合には、十分大きい標本では、 z 値は平均 0. で標準偏差 1. の標準正規分布に従う。z=±2.575 (99%) を越えると有意な変化があったと見る。

ⅲ) b 値

b 値は 2)章に記したとおり、地震のサイズ分布の傾斜で表される。b 値の最尤推定値は

以下で与えられる。

$$b = \log e \times \beta$$

ただし、βの最尤推定値は次式で与えられる。

$$\beta = \frac{n}{\sum M_i}$$

ⅳ）平均地震規模

地震の規模(マグニチュード)の変化について、平均的なものの変化を地震発生率同様、Cusum法で調べる。期間Tにn個の地震が発生していたとする。平均地震規模M_{av}は・Mi/nで与えられる。もし、地震規模頻度分布が期間中不変であれば、i個の地震規模の和は$M_{av}\times i$を期待値としてその周辺を変動する。この期待値からの偏差ResM(t)を調べることで、問題とする期間における地震規模頻度関係式の変化を検出することができる。

$$\mathrm{ResM}(t) = \sum_{t_j<t} (M_j - M_{av})$$

右上がりの傾向は平均地震規模がM_{av}より大きいことを表す。

ⅴ）変化の有意性に関する指標（AIC)

地震発生率及びｂ値の変化の有意性について、情報量基準 AIC を用いた評価を行う。対象とする期間を前半と後半の二つに分け、二つの期間における平均的な地震発生率もしくはｂ値が異なるかについて、AIC の差（DAIC）を計算する。DAIC の値が１程度より大きい場合、変化が有意であると見なせる。

b）地震の統計情報のプロット

ここでは、上に示した地震活動度およびサイズ分布に関する各指標と DAIC について、対象とする期間と領域に関する計算値を可視化するシステムを構築した。上述のクラスターA~C を対象領域として作成したプロットを例に示す（図３－５－③－14)。

図３－５－③－14 では、左に震源の分布、右には一番上に地震活動の時間変化を示し、その下に、統計的性質に関する各指標および DAIC を示す。統計的性質は、上から順に、

・地震発生率：地震の累積頻度（実線）と Cusum（点線）
・地震発生率に関する DAIC
・z 値
・b 値：指定した日付より前（実線）、および後（点線）の地震から推定したｂ値
・b 値に関する DAIC
・平均地震規模の変化に対する Cusum

時間変化の有意性を判断するための DAIC と z 値については、有意水準を示す値（DAIC=1、

z 値＝±2.575）を点線で示した。

クラスターA について作成した図３－５－③－14 を見ると、Cusum のグラフ（点線）から地震発生率（Seismicity）が１か月から数か月の周期で周期的に変動していることが分かる。変動の有意性を評価する DAIC および z 値は指定した日付の前後での変化について評価しており、周期的な変化の場合は、周期より長い期間で見ると平均的な活動度は変化せず、従って有意な変化は認められない。一方クラスターB の図３－５－③－15 を見ると、地震発生率は前半では増加傾向であるが、Jul から Aug の辺りで減少に転じる。DAIC は Jul と Aug で１より十分大きく、この頃に地震発生率が減少したことが分かる。z 値も有意水準に近い値を取っており、地震活動に変化が見られたことを示唆している。b 値については、クラスターC の場合に変化が見られ（図３－５－③－16）、期間前半では b 値が大きかったものが、時間とともに減少していく。DAIC が１より十分大きく、この変化が有意である事を示している。平均地震規模の変化に対する Cusum は、期間の前半で平均地震規模が減少している事を示している。

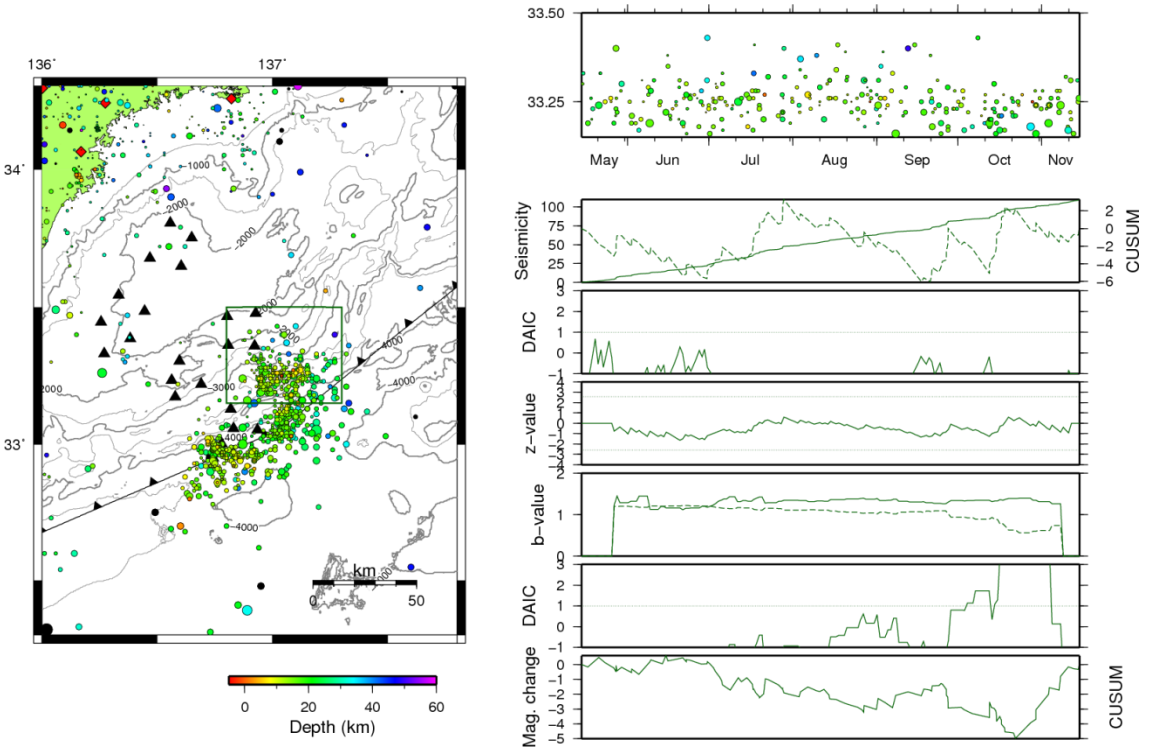


図３－５－③－14 クラスターA における地震の統計情報の可視化。左のパネルに震源の分布、右のパネルには一番上に地震活動の時間変化を示し、その下に地震発生率（地震の累積頻度；実線と Cusum；点線）、地震発生率に関する DAIC、z 値、b 値（指定した日付より前；実線、および後；点線）、b 値に関する DAIC、平均地震規模の変化に対する Cusum を示す。

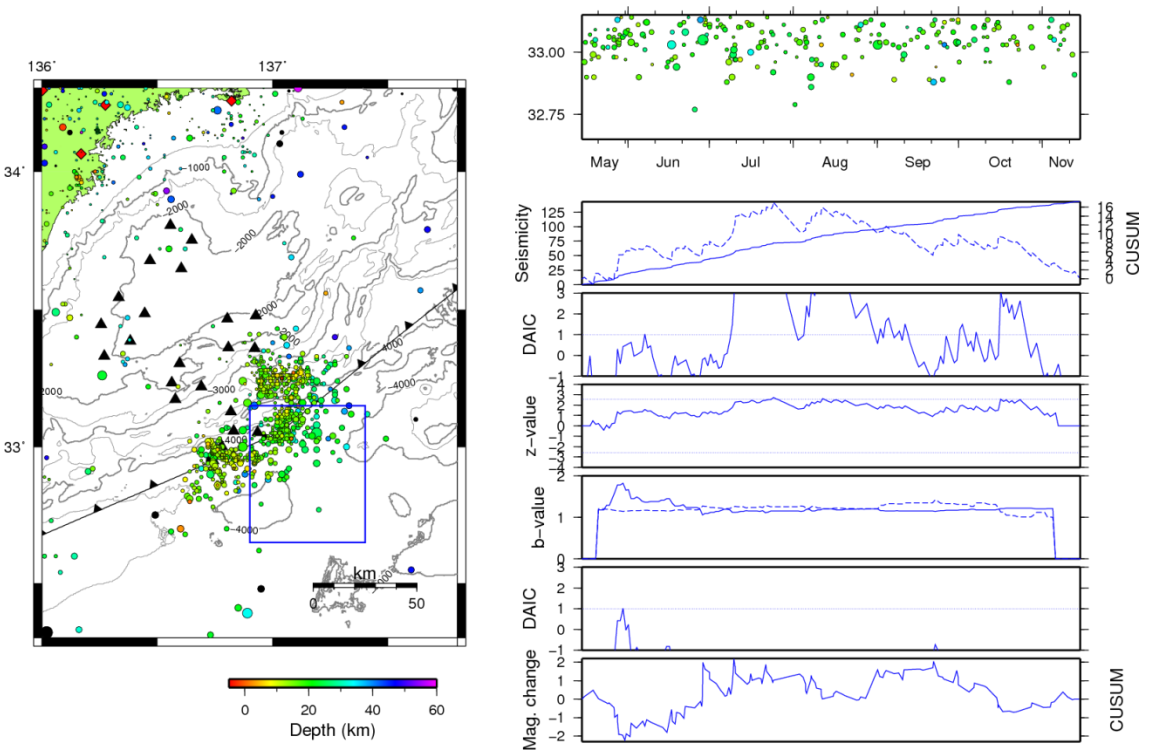


図３－５－③－15 クラスターB における地震の統計情報の可視化。表示されている情報は図３－５－③－14 と同じ。

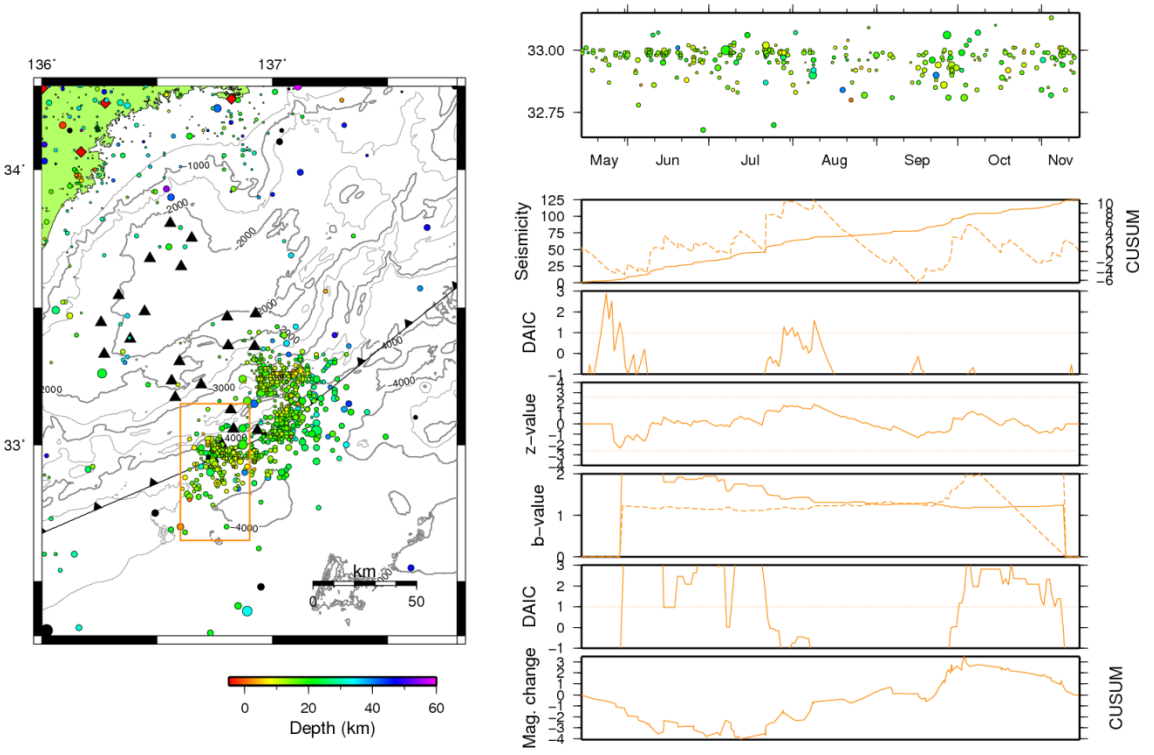


図３－５－③－16 クラスターC における地震の統計情報の可視化。表示されている情報は図３－５－③－14 と同じ。

(c) 業務の成果

震源情報の可視化については、表示のための web サイトを構築した。web サイトで情報を発信するために、ネットワークにつながった PC なら容易に地震情報を確認することが出来る。表示用サイトは、アーカイブデータによる結果を用いたバージョンと、リアルタイムデータによるバージョンを作成した。アーカイブデータによる自動震源決定は毎日午前４時に、前日１日分のデータを用いて震源決定を行う。得られた震源情報を基に、過去１週間、１か月間、半年間の地震活動について定期的にプロットを作成し、地震活動と時間変化を可視化し、監視に役立てる（図３－５－③－17)。

リアルタイム震源決定の可視化において、プロットは地震発生後、震源情報が得られ次第なるべく早く作成する必要がある。そのため、自動震源決定システムの震源情報を監視するシステムを unix サーバ上の cron システムにより毎分実行することで、新しい震源情報の有無を確認する。新しい情報が無い場合は何もせず、新しく震源が決まっている場合はプロットの作成を開始する。一般に震源決定を行う場合、複数の観測点における地震シグナルの検知が必要であり、また P 波、S 波の両方の到達時刻を使った方が震源決定精度を高くすることが出来る。従って自動震源決定システムでは地震検知から震源決定開始までに、少なくとも 20 秒程度の遅延を設けている。本システムでは地震発生から数分程度でプロットが作成され、気象庁から地震情報が発信されるのと同程度の時間で地震情報を取得することが出来る。

リアルタイム震源情報の web 表示において、b) iii）地震の統計情報の上のパネルは現在の地震活動の状況を把握するのに役立つ。しばらく地震が起きていない場合にはその事が分かる方が良い。地震発生のタイミングでプロットを作成した場合、しばらく地震が発生していない場合にはプロットが更新されず、正確な地震活動の状況把握が困難になる。したがって、地震発生後だけでなく、毎時０分にもプロットを更新するようにした。

リアルタイム震源情報 web（図３－５－③－18）では、左のパネルに b) i ）監視領域全体（西南日本）の震源分布を示し、右のパネルに (3) 地震の統計情報を配置した。必要な情報はこれらの図から把握が可能である。さらに詳しい情報（b) ii ）紀伊半島沖および室戸海盆における地震活動の時間変化）については、ページ下のリンク「Other plots」をクリックすると確認することが出来る。

作成した地震活動、震源情報に関するプロットは web 上で随時更新し、監視に役立てる。さらに、上述のように多数のプロットを作成するため、一つのディスプレイでも複数の情報が確認できるよう、自動的に巡回表示を行うページを構築し、監視能力の向上を図った（図３－５－③－19)。画面は 30 秒で次のプロットに変更され、リアルタイム震源情報とアーカイブデータによる震源情報が交代で表示される。これにより、随時必要な情報を監視することが可能となった。

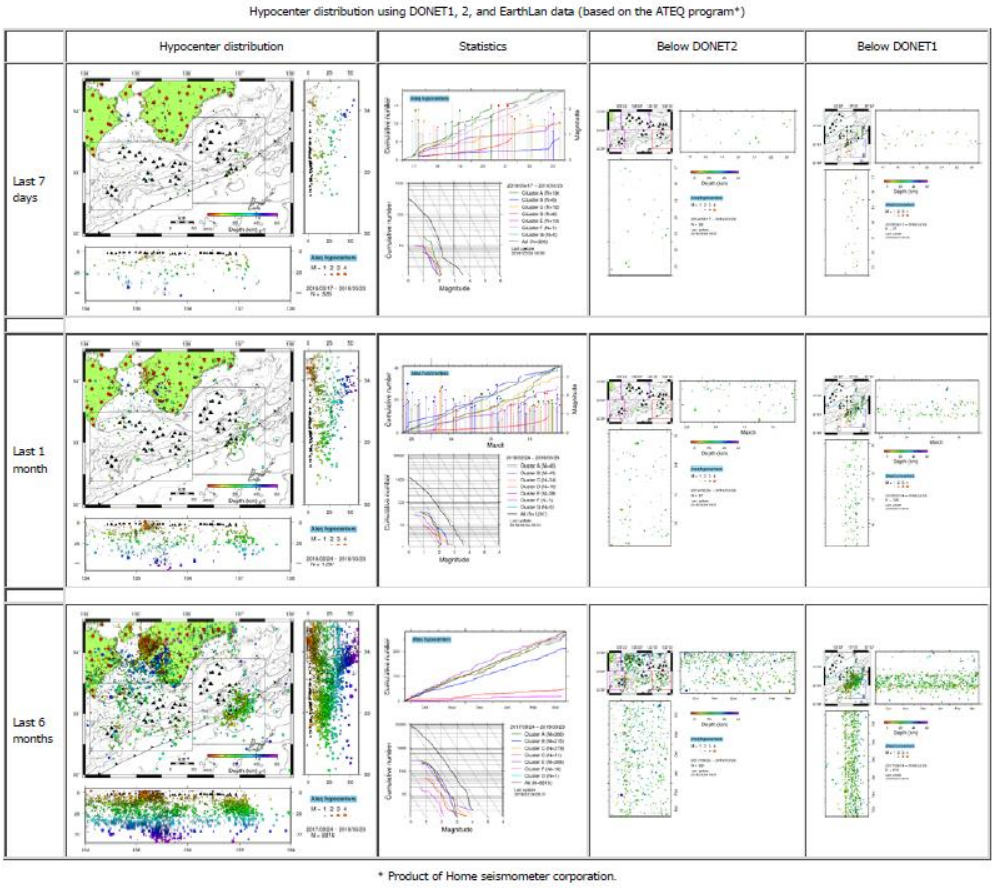


図３－５－③－17 アーカイブデータによる震源情報を表示する web 画面。

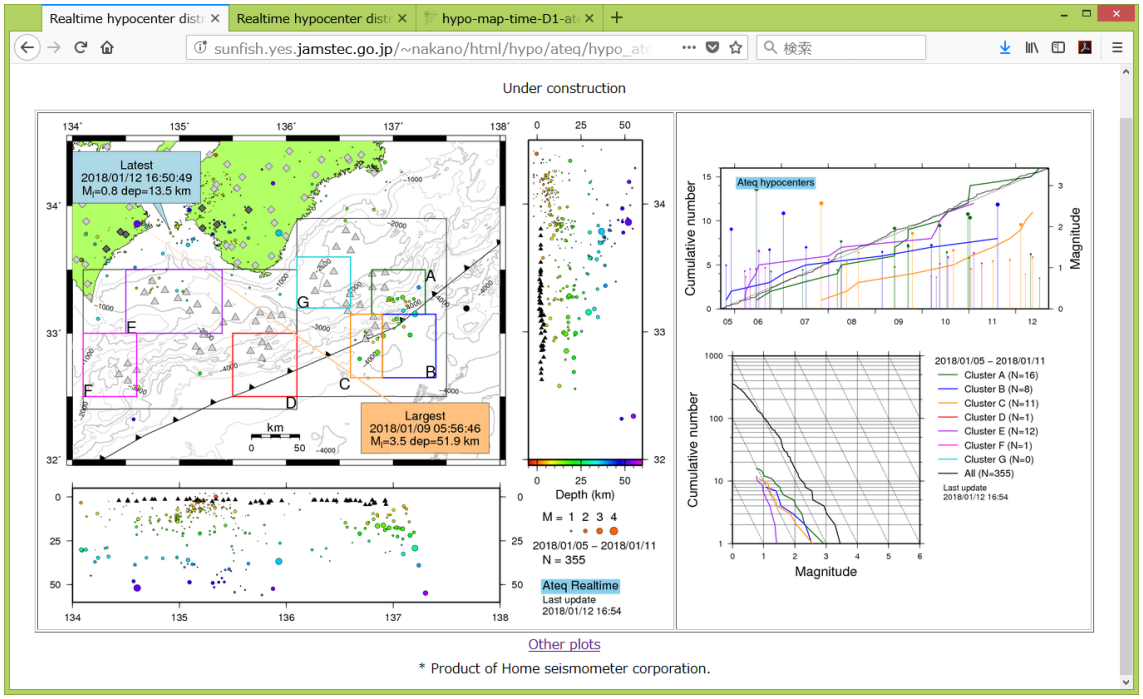


図３－５－③－18 リアルタイム震源情報を表示する web 画面。

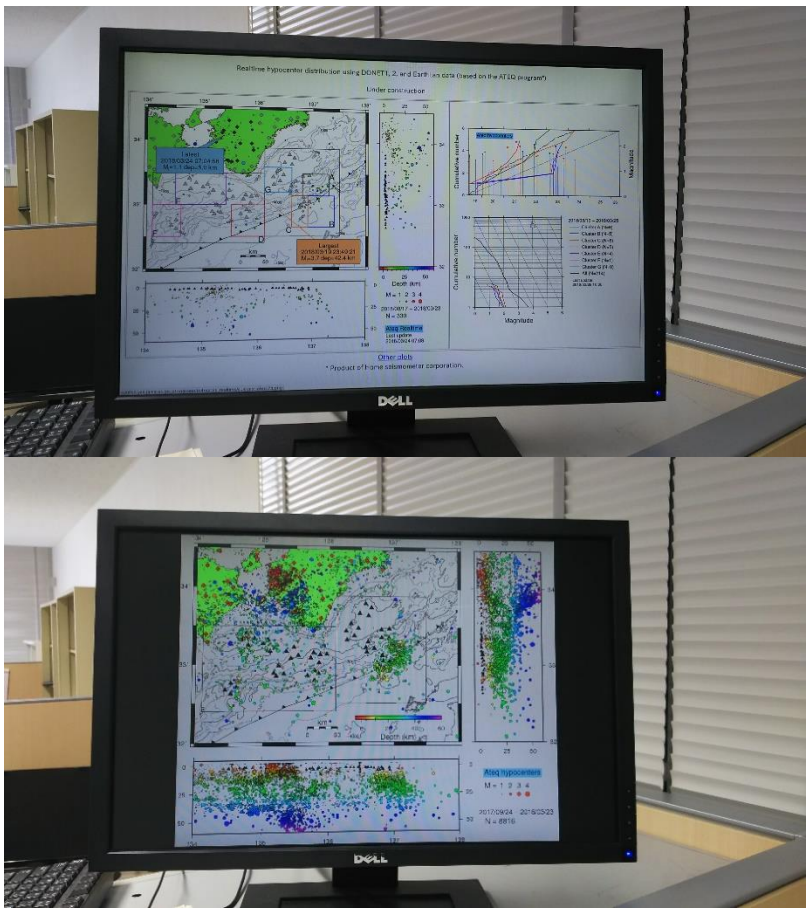


図３－５－③－19 可視化した地震情報の各プロットを巡回表示する画面。(上) リアルタイム震源情報を表示している所。(下)アーカイブデータによる震源情報を表示している所。様々な種類のプロットが 30 秒ごとに交代で表示される。

(d) 結論ならびに今後の課題

ここまで、DONET データによる地震の検知から震源決定までを自動で行うシステムを構築し、さらに得られた震源情報から地震活動やその時間変化、地震の統計情報の推定と可視化を定期的に行うようにした。可視化を行うのはリアルタイムの震源情報に基づくものと、より高精度なアーカイブデータに基づくものの両方である。これにより、高精度な情報に基づく検討と、リアルタイムでの対応の両面に役立てられると期待される。今後より視認性の良い作図を検討し、より情報の把握しやすい表現による可視化を行っていく予定である。

(e) 引用文献

Habaermann, R.E. (1981). Precursory seismicity patterns: Stalking the mature seismic gap, in Earthquake Prediction, An International Review, Maurice Ewing Ser., vol. 4, edited by D. W. Simpson and P. G. Richards, p29-42, AGU, Washington, D.C.

Habermann, R.E. (1982). Seismicity rates in the Kuriles Island Arc, Earthquake Predict. Res., 1, 73-94.

Habermann, R.E. (1987). Man-made changes of seismicity rates, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 141-159.

④住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査

(a) 業務の要約

平成 29 年度においては、昨年度までの成果を踏まえて、1)意図行動モデルの詳細分析、2)避難意図に寄与する規定因の安定性の確認ならびに地域課題の分析を継続的に実施するとともに、3)地域 BCP の分析に向けての予備的検討を行った。

このうち、1)意図行動モデルの詳細分析については、平成 28 年度の調査で確立した尺度を実際の地震時の避難意図の結果との比較から再解析を行い避難意図構造の安定性を確認するとともに、避難意図の規定因に関して地域別の再解析を実施した。さらに、この 2)避難意図に寄与する規定因の安定性の確認ならびに地域課題の分析として、平成 29 年度においては和歌山県美浜町で住民調査を実施し、同時に地域課題の抽出を行った。これらの継続的な分析に加えて、平成 29 年度においては、3)地域 BCP の分析に向けての予備的検討として、静岡県焼津市ならびに高知県全県を対象に事前産業復興対策の実施状況について聞き取り調査を行った。

(b) 業務の実施方法

1)意図行動モデルの詳細分析については、平成 28 年度で得られた稠密な量的住民調査結果を因子分析手法ならびに重回帰分析手法を用いて実施した。2)避難意図に寄与する規定因の安定性の確認ならびに地域課題の分析については、和歌山県美浜町で住民調査を実施し、同時に地域課題の抽出を行った。これらの継続的な分析に加えて、平成 29 年度においては、早期の地域産業の復興を目的に策定が望まれる 3)地域 BCP の分析に向けての予備的検討として、静岡県焼津市ならびに高知県全県を対象に事前産業復興対策の実施状況について聞き取り調査を行った。

(c) 業務の成果

1)意図行動モデルの詳細分析

地震避難行動の意図モデルに関しては、平成 28 年度の調査データを詳細に分析した。具体的には因子構造の再分析と地域別の重回帰分析である。

a)因子構造の再分析

因子構造の再分析に際しては、平成 28 年 11 月、福島県地方においてマグニチュード 7.4、最大震度 5-を記録する地震が発生した。2011 年東北地方太平洋沖地震の余震と思われるこの地震の直後、平成 28 年度の調査によって確立した地震津波避難行動の意図モデルを測定する尺度を用いて、調査が行われた。

意図モデルの尺度に関しては、平成 28 年度の調査で確立した尺度を、過去の地震に対する避難行動に対応するように修正した尺度が用いられた。本研究プロジェクトとは別のプロジェクトのため詳細は割愛するが、ひとつの重要な知見として、平成 28 年度調査のデータとは異なる因子構造が見られたという点が挙げられる。「周りの多くの人は、避難するだろうと思った」などの記述的規範項目、「自分が避難することを周りの人は望んでいるだろうと思った」などの命令的規範項目、「その時いた所まで、たい

した津波は来ないと思った」などのリスク項目に関しては平成 28 年度の沼津調査と福島調査において共通した因子構造が認められたものの、他の項目に関しては違いがみられた。具体的には、「避難先までたどりつければ、命は助かると思った」などの楽観的・ポジティブな項目と、「すぐに逃げ出しても、無事に避難できる自信がなかった」などの悲観的・ネガティブな項目に分かれる傾向があった。これらの分析結果をもとに、平成 28 年度の沼津調査データでも同様の因子構造がみられるかどうかを因子分析によって検証した。

平成 28 年度調査の因子分析で用いた項目から、記述的規範・命令的規範・リスクに関する項目を除外した項目群に対して最尤法・プロマックス回転・２因子指定の因子分析を行った。結果を表３－５－④－１に示す。分析結果は平成 28 年度の沼津調査で実施した分析結果と同様の結果となり、実行可能性と効果性評価がひとつの因子にまとまり、コストが別の因子としてまとまった。福島調査とは異なり、「地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う」などの悲観的・ネガティブ項目も、「避難場所は津波に対して安全だと思う」などの楽観的・ポジティブ項目もひとつの因子にまとまった。

表３－５－④－１避難意図構造モデルの再分析結果（２因子指定）

	Factor1	Factor2		
Q5_07	0.667	0.079	実行可能性	G．地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う
Q5_14	0.635	-0.010	実行可能性	N．地震の後に、すぐに家から逃げ出しても、無事に避難できる自信がない
Q5_10	0.369	0.129	効果性評価	J．いまの避難場所では、津波に対して十分ではないと思う
Q5_17	-0.501	-0.072	効果性評価	Q．避難場所は津波に対して安全だと思う
Q5_04	-0.514	0.028	効果性評価	D．避難場所までたどりつければ命が助かると思う
Q5_01	-0.698	0.143	実行可能性	A．地震が起きた後、すぐに家から逃げ出せば、避難場所まで無事にたどり着くことができると思う
Q5_08	0.040	0.825	コスト	H．避難をすると、大切なものを失ってしまうかもしれないと思う
Q5_03	-0.043	0.494	コスト	C．避難をすると、支障がでてしまう大事なことがあると思う
Q5_16	-0.046	-0.370	コスト	P．家を離れて避難をしても、失うものやできなくなって困ることはない

探索的に、上記の項目に対して３因子指定（反復主因子法、プロマックス回転）の因子分析を行った結果を表３－５－④－２に示す。こちらの結果でも、楽観的・ポジテ

ィブ項目と悲観的・ネガティブ項目に分かれるという福島の結果とは異なる結果がみられた。言い換えれば、平成 28 年度の分析結果が、分析方法を変えても再現されるロバストな結果だということが示された。

表３－５－④－２ 避難意図構造モデルの再分析結果（３因子指定）

	Factor1	Factor2	Factor3		
Q5_07	0.735	0.097	0.051	実行可能性	G．地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う
Q5_14	0.641	0.026	-0.007	実行可能性	N．地震の後に、すぐに家から逃げ出しても、無事に避難できる自信がない
Q5_04	-0.383	0.069	0.215	効果性評価	D．避難場所までたどりつければ命が助かると思う
Q5_01	-0.662	0.137	0.066	実行可能性	A．地震が起きた後、すぐに家から逃げ出せば、避難場所まで無事にたどり着くことができると思う
Q5_08	0.012	0.767	-0.051	コスト	H．避難をすると、大切なものを失ってしまうかもしれないと思う
Q5_03	0.009	0.543	0.097	コスト	C．避難をすると、支障がでてしまう大事なことがあると思う
Q5_16	0.054	-0.365	0.149	コスト	P．家を離れて避難をしても、失うものやできなくなって困ることはない
Q5_17	-0.050	-0.018	0.910	効果性評価	Q．避難場所は津波に対して安全だと思う
Q5_10	0.220	0.128	-0.244	効果性評価	J．いまの避難場所では、津波に対して十分ではないと思う

b)避難意図の規定因に関する詳細分析

平成 28 年の沼津調査では９つの単位自治会に対して調査を行ったが、これらの地区それぞれに対して、意図構造モデルにおけるどの要因が避難意図に影響しているかを検討するため、重回帰分析を行った。説明変数としたのは９つの自治会全体の因子分析で抽出された５因子であるが、ステップワイズ法によって変数の選定を行った。被説明変数としたのは「強い揺れを感じたとき」及び「長い揺れを感じたとき」の二つの回答値の平均値である。結果を表３－５－④－３から 11 に示す。

各表に示したように、多くの地区で一貫して主観的規範が有意な効果を持っていた。しかし、実行可能性と効果性評価、リスク、コスト、記述的規範は地区によって有意な効果を示したり示さなかったりする結果を得た。なかでも、一本松町の避難意図に

対する重回帰分析結果では、主観的規範、実行可能性、効果性評価、リスク、コスト、記述的規範のすべてが有意であることが確認されたが、津島町については、５つの要因全てが効果を持たないという結果になった。
これらの因子が有意であるということは、単位自治会内で認知に多様性があり、かつその認知の分布が避難意図の分散を説明しうることを示唆する。他方、単位自治会内で認知の分散が小さい場合、あるいは分散があっても避難意図の分散を説明できない場合には有意とはならない。

表３－５－④－３ 江川町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	2.10895	0.47841	4.41	<.0001	0
主観的規範	1	0.41324	0.11885	3.48	0.0009	0.3875
リスク	1	-0.2471	0.10833	-2.28	0.0259	-0.2542

表３－５－④－４ 東町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	1.05068	0.26243	4	0.0004	0
主観的規範	1	0.43166	0.14735	2.93	0.0064	0.47163

表３－５－④－５ 一本松町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	2.09696	0.68586	3.06	0.0032	0
実行＆効果	1	-0.19206	0.13095	-1.47	0.1472	-0.15422
主観的規範	1	0.27582	0.11836	2.33	0.0228	0.25714
記述的規範	1	0.32519	0.14972	2.17	0.0334	0.25361
リスク	1	-0.25438	0.10596	-2.4	0.0191	-0.26803

表３－５－④－６ 津島町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	2.1	0.16059	13.08	<.0001	0

表３－５－④－７ 浜町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	3.0125	0.53085	5.67	<.0001	0

主観的規範	1	0.65593	0.11871	5.53	<.0001	0.61593
リスク	1	-0.43571	0.12039	-3.62	0.0007	-0.38834
コスト	1	-0.25584	0.12463	-2.05	0.0459	-0.23112

表３－５－④－８ 林町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	3.78034	0.94102	4.02	0.0003	0
実行＆効果	1	-0.52304	0.22608	-2.31	0.0273	-0.32956
主観的規範	1	0.58768	0.13543	4.34	0.0001	0.55786
リスク	1	-0.55967	0.15786	-3.55	0.0012	-0.46276

表３－５－④－９ 稲荷町の避難意図に対する重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	0.32183	0.46256	0.7	0.4897	0
実行＆効果	1	0.22771	0.15224	1.5	0.1409	0.18321
記述的規範	1	0.60268	0.16081	3.75	0.0005	0.45905

表３－５－④－10 秋葉町の避難意図に対する重回帰分析

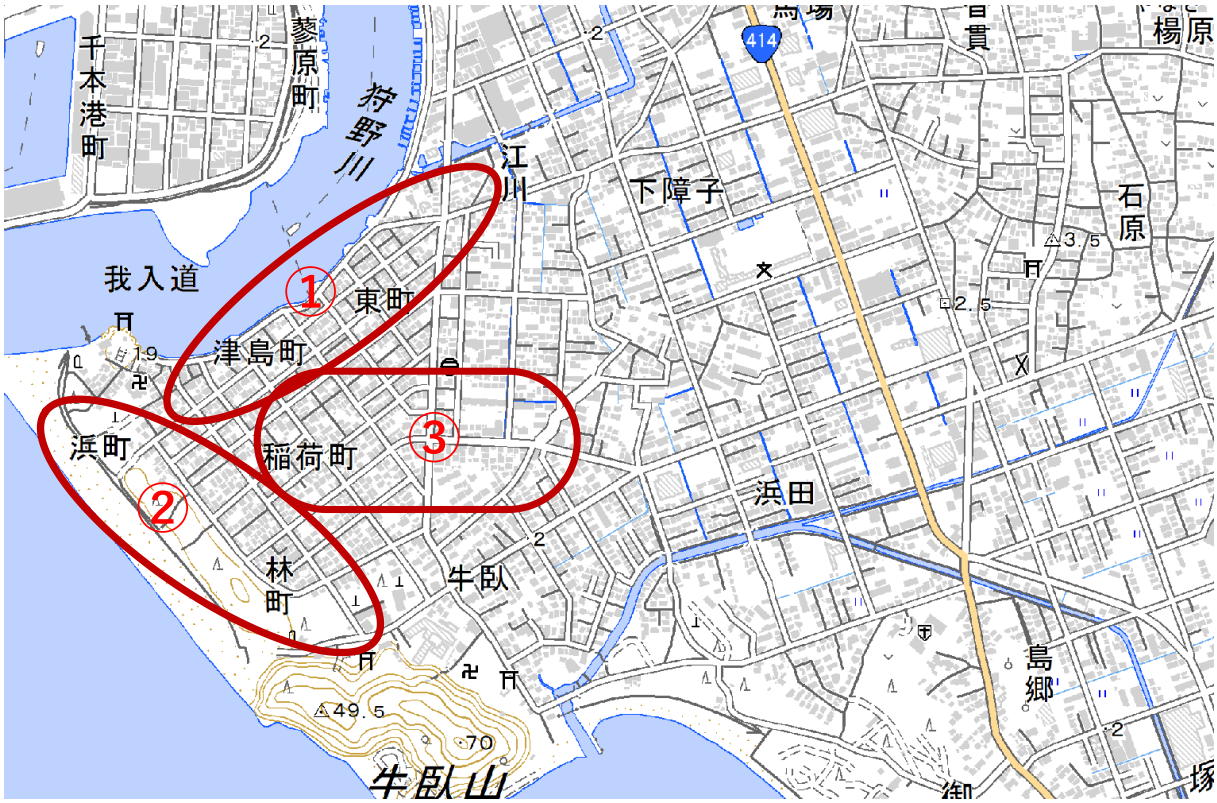
変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	1.07295	0.42645	2.52	0.0149	0
実行＆効果	1	-0.29138	0.15643	-1.86	0.068	-0.20731
主観的規範	1	0.35662	0.12138	2.94	0.0049	0.32617
コスト	1	0.42652	0.1081	3.95	0.0002	0.44412

表３－５－④－11 南条寺町の避難意図に対する重回帰分析

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > |t|	標準推定値（β）
Intercept	1	0.68818	0.28915	2.38	0.0222	0
記述的規範	1	0.69207	0.14358	4.82	<.0001	0.60614

図３－５－④－１に、各単位自治会の位置を示したが、図中赤枠で囲った①の津島町や東町の狩野川沿いでは川から浸水すると予想される地区であり、地震発生から 10 分以内に陸域で 30cm の津波浸水深となり、最終的な浸水深は２～４ｍとなる。これらの地区ではリスク認知は高い可能性が高い一本松町は最終的な浸水深は２～４ｍとなるが、30cm の津波が浸水するまで 15 分程度と予測されている。図中橙色の枠で囲った②の浜町や林町は海に近いが、浜堤があるため川や牛伏山の東側から津波は回りこ

む地区であり、③の稲荷町や秋葉町と同様に最終的な浸水深も２ｍ以下と予測されている。これらの地区では付近に高い建物が限られることから、実行可能性や効果の認知が影響している可能性がある。今後、こうした地区の違いが何によって生じているのか、また一般化可能性について検証する必要があるだろう。



国土数値情報（津波浸水想定データ）、地理院地図（国土交通省）より作図

図３－５－④－１　沼津市我入道地区対象地区

2)避難意図に寄与する規定因の安定性の確認ならびに地域課題の分析

避難意図構造の理論モデルを、平成 27 年度に実施した高知県南国市での避難意図構造分析結果に基づき改善するとともに、避難意図に寄与する規定因の安定性を確認するため、平成 30 年度においては和歌山県美浜町で住民調査を実施した。南国市では主たる避難場所は、東日本大震災後に整備された地区内の多数の避難タワーであった。これに対し、今年度調査対象とした美浜町では、震災後に大規模な高台が 1 箇所地区内に整備されている。

a)地域の概要

美浜町沿岸部の浜ノ瀬地区は、和歌山県の津波被害想定（平成 25 年度）では、南海トラフ地震の発生時に約 30 分程度で津波が襲来する地域である。地区内の避難場所である、浜ノ瀬避難タワーで 3.95m の第一波の津波が 25 分で襲来すると想定されている。想定に基づくと、地区の一部は、津波襲来までに安全な場所に避難することが時間的に困難な「津波避難困難地域」（対象人口 932 人）と判明した。そのため、津波避難用

の高台が地区の北に整備されることとなり、2017 年９月に「松原高台」が完成した（図３－５－④－３左写真）。松原高台は、海抜 15.5 メートル、広さは 2400 平方メートルで約 2,000 人が一時避難できる。また、飲料水や非常食などの備蓄倉庫、マンホールトイレ(図３－５－④－３右写真)などが整備されている。

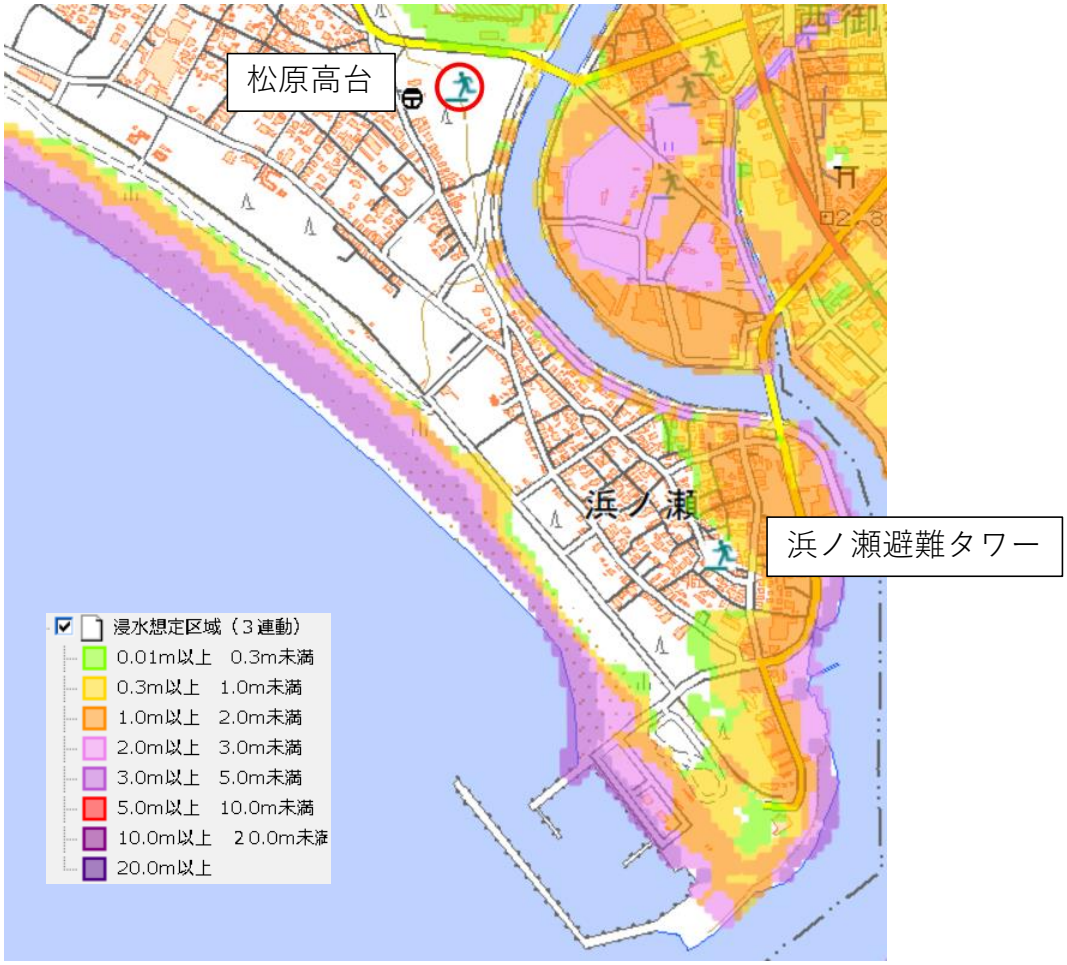


図３－５－④－２　和歌山県美浜町対象地区津波浸水想定図
（「わかやま防災 GIS」（http://bousai-portal.pref.wakayama.lg.jp/）に施設名称を追記）

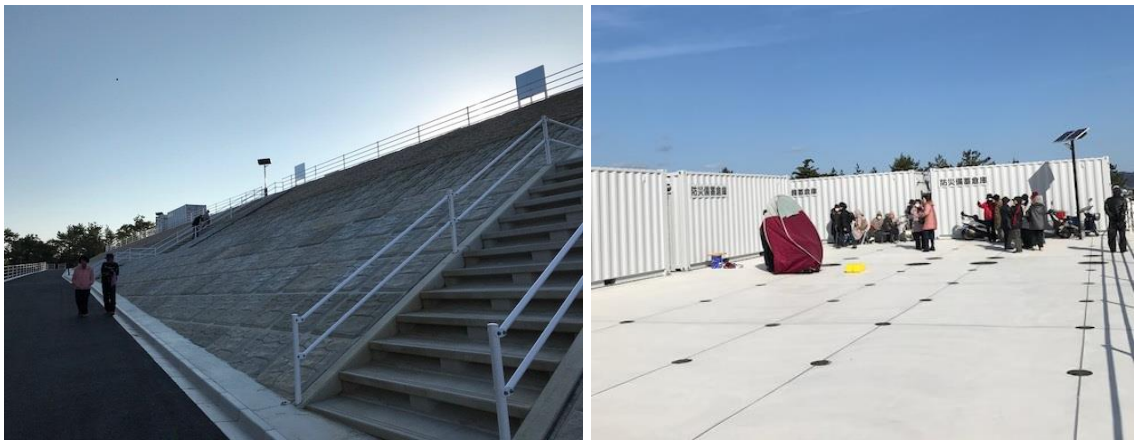


図３－５－④－３　松原高台とマンホールトイレ設備

今年度の調査は、この津波高台と避難タワーとを避難場所とする美浜町浜ノ瀬地区（265 世帯）および田井畑地区（356 世帯）で実施した。浜ノ瀬地区の指定緊急避難場所は、従来の地区中心部に位置する浜ノ瀬避難タワーと、新しく地区北方に整備された松原高台である。後者の方が、浸水区域外にあり収容人数も多いが、距離は遠い。市中心部からは 1.5km ほどの距離で、道路が狭いため徒歩での避難が基本的に想定されている。田井畑地区は、松原高台の東側の地区で、指定緊急避難場所は、従来の地区中心部に位置する田井畑コミュニティセンターと、川を渡った先の松原高台となる。

浜ノ瀬および田井畑地区における自治会組織は、５～10 世帯程度の複数の区により構成されている。今年度は、これら区の代表者を対象に、予備的な住民調査を実施した。調査は、区長会の機会に会場に集まった対象者に、質問紙調査票を配布し、自記記入された調査票を回収した。回収時に、回答時に不備があった際には修正等を促し、設問に対する問い合わせには口頭で回答をした。質問紙調査は、浜ノ瀬の 36 名と、田井畑 19 世帯を対象に、それぞれ別の会場にて約１時間で実施した。

b)調査結果の概要

昭和 21 年の南海道地震の体験談を聞いた率をみると、61.8%が聞いたことがないと回答しており、聞いた人は 38.2%に留まる。質問項目が異なるため直接の比較はできないものの、平成 28 年度に実施した沼津での住民調査では、「聞いたことはない」とした人は 51.0%であったことと比べると必ずしも高いわけではない。

しかし、全体的に津波や防災に高い関心がある。図３－５－④－４に示したように、63.6%が「とても関心がある」と回答しており、「ある程度関心がある」（36.4%）を合わせると 100%に達する。なかでも、浜ノ瀬北地区の関心が高く、81.3%がとても関心があると回答している。全国的に見ても高い水準にある。回答者が防災担当ではないものの区の代表者であり、地域課題に敏感な層である。したがって、地域課題のひとつである津波防災に敏感である可能性も考えられ、地域住民全体の分布とは異なる恐れがあることには留意が必要である。その留保を前提としつつも、地域課題として認知されていることからも、津波防災に関心の高い地域と見ることは十分な妥当性を持つと考えられる。

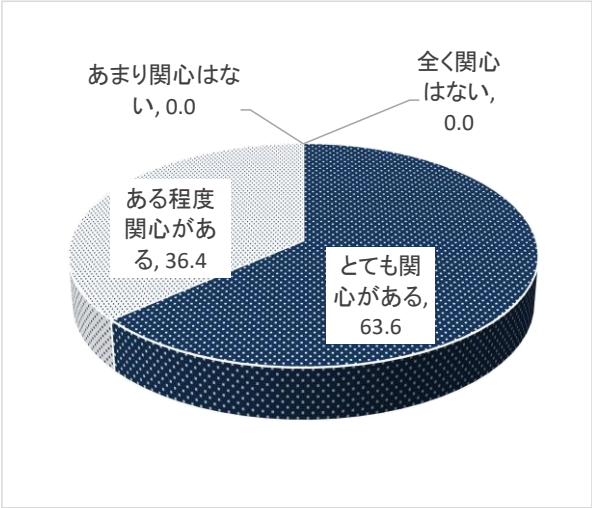


図３－５－④－４　津波や防災への関心

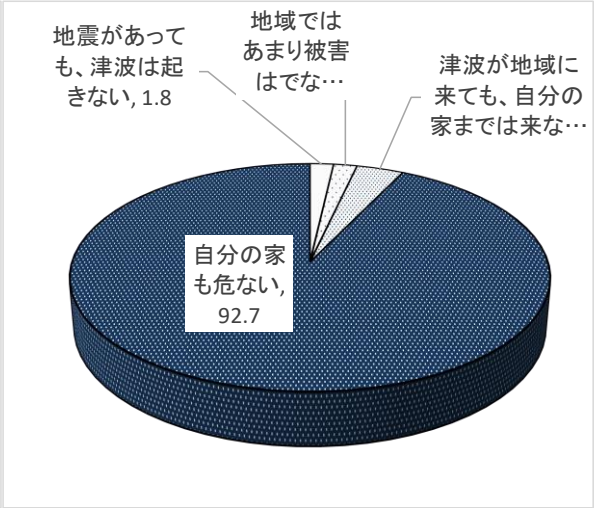


図３－５－④－５　津波の被害予想

津波への危機感も高く、図３－５－④－５に示したように、92.7%が「自分の家も危ないと思っている」としており、「我がこと感」としてとらえている。津波の到達時間は「10 分以内」が 20.0%、10 分から「30 分以内」が 63.6%と続いている。ただし、「わからない」と回答した人は、浜ノ瀬北地区ではいなかったが、田井畑地区(21.1%)と浜ノ瀬南地区(15.0%)では比較的高い。

この高い津波危機意識を背景に、早期の避難意図は高い。図３－５－④－６に示したように、全体的には 52.7%が「地震のときは、みんなで避難しようという周りの雰囲気を感じ」ているが、浜ノ瀬南地区（65.0%）で高く、浜ノ瀬北地区（37.5%）では低い。

また図３－５－④－７に示したように、避難の開始について、「揺れが大きかったら逃げると思う」と 54.5%が回答しており、「避難勧告」待ちは低い（3.6%)。これもその一方で、「津波警報を聞いたら」とする人も 30.9%おり、地区別にみると浜ノ瀬北地区（43.8%）でやや多い。少しでも早い避難開始を促すことが必要と思われる。

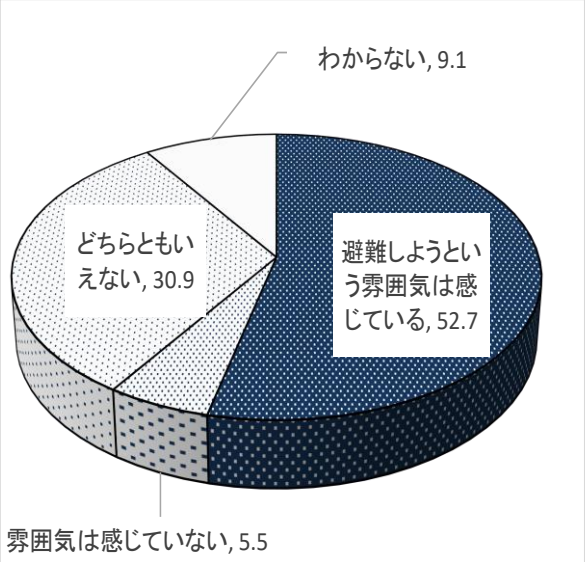


図３－５－④－６　地域の避難意識

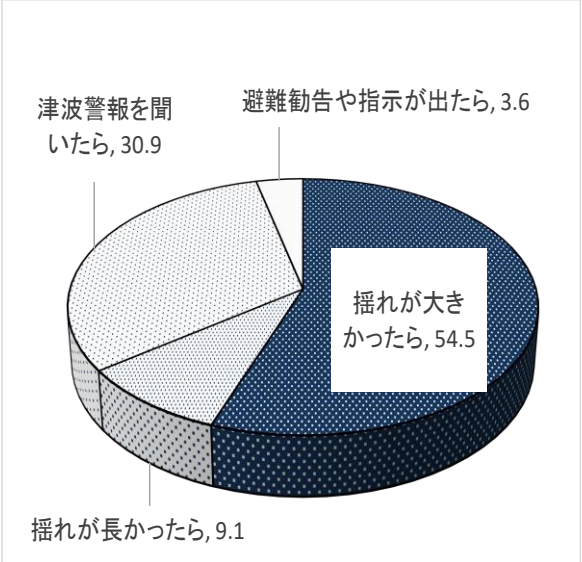


図３－５－④－７　避難の契機の予想

避難先は新たにできた「松原高台」をあげる人が 87.3％と多いが、松原高台まで距離のある浜ノ瀬南地区では 50.0％が「田井畑コミュニティセンター／浜ノ瀬公民館の避難タワー」も合わせて考えている。

しかし、避難の有効性に影響を与える避難場所の安全性に関しては、不安視している住民も少なくない。安全度に余裕を持たしている「松原高台」に対してすら、図３－５－④－８に示したように、56.4％が高台にあがっても心配と思っている。なかでも浜ノ瀬北地区では 75.0％と高く、田井畑地区では 42.1％と低い。高台は、想定からみればかなり安全性に余裕を持って作られているが、東日本大震災を見てしまった住民にしては不安を拭いきれないと考えられる。避難場所の安全性への不安は避難の実行可能性を低下させ、避難意図自体をも低下させてしまいかねない。想定を上回る事態への安全度も含めて科学的な説明が求められる。

松原高台まで距離のある浜ノ瀬南地区では、75.0％がたどり着けるかを心配しており、「建物の倒壊や火災などで通れない道がある」こと（73.3％）ならびに「松原高台までの距離が遠い」こと（53.3％）を指摘する割合も高い。他方、田井畑地区では「途中に川や水路がある」こと（72.7％）があげられている。

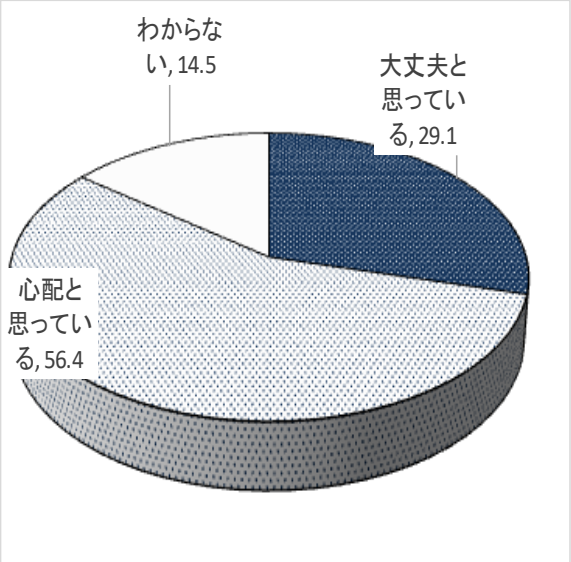


図３－５－④－８ 松原高台の安全性認知

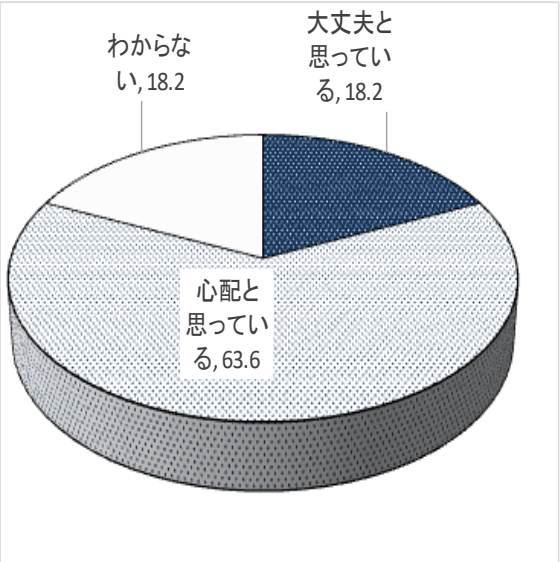


図３－５－④－９ 避難タワーの安全性認知

「田井畑コミュニティセンター／浜ノ瀬公民館の避難タワー」については、図３－５－④－９に示したように、松原高台を上回る 63.6%がタワーにあがっても心配と思っている。浜ノ瀬北地区（75.0%）で比較的高い。その一方で、住宅の近くにあることから、たどり着けるか心配する人が多いものの 37.5%と割合は高くはない。田井畑地区では 84.6%避難場所の高さを心配理由としてあげているが、浜ノ瀬地区では高さ（72.7%）に加えて、「頑丈さ」や「広さ」があげられる割合が高く、特に浜ノ瀬南地区ではいずれも 60.0%に達している。津波避難タワーの安全性に加えて、建物の倒壊や火災などのため通れない道があることを 61.1%があげている。なかでも、浜ノ瀬北地区では83.3%と特に高く、同地区では「津波がくるまでの時間が短いこと」(66.7%)や「道が混んで通れないこと」（66.7%）など幅広いことがあげられている。避難場所の整備の次に、避難経路の整備や周辺の住宅の耐震性の向上などへ関心が広がっていると言えよう。

このように、安全性に不安を表明する声もあるが、避難の目的が定まったことも事実である。図３－５－④－10 に示したように、松原高台ができた後、地区の「津波防災の関心」が高まったと 63.6%が感じている。浜ノ瀬北地区（75.0%）で特に高く、田井畑地区（47.4%）では低く、「あまり変わらない」（42.1%）と受け止めている人と同レベルとなっている。

これまでも高知県南国市などで津波避難タワー等の整備が進むにつれ、住民の訓練参加率が上がったり、避難に関する具体的な課題解決が模索されるようになったりといった傾向が見られた。津波避難タワーというハード面の整備が、訓練参加や避難生活への関心などソフト面を促進する可能性が今回の美浜町でも確認されたといえよう。これまでの防災が、「公助の限界を自助や共助で補う」ことから「公助の整備で自助や共助を進める」思想への切り替えを示唆する一貫した結果である。

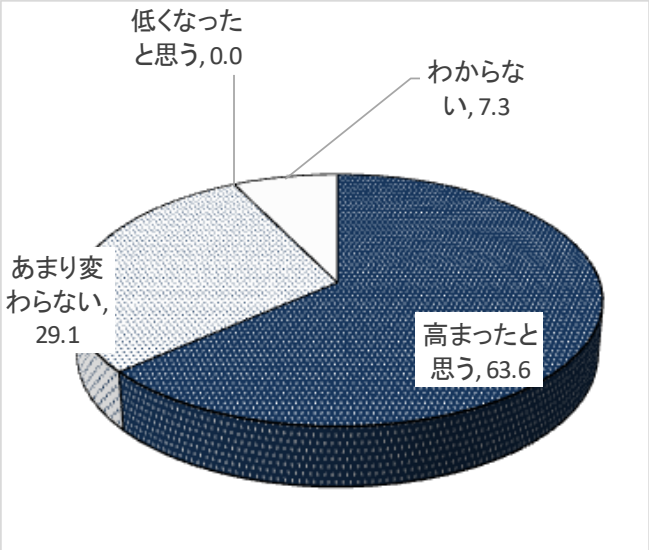


図３－５－④－10　松原高台の効果

行政、地域ならびに家庭にそれぞれ求められる取り組みにも、避難場所の整備が避難経路や避難生活の環境整備といった対策へ拡大している状況を見て取ることができる。

行政への期待としては、図３－５－④－11に示したように「津波から避難した後の、避難所などでの安全で衛生的な生活環境の整備」（67.3%）や「道路の拡幅やブロック塀除去など津波避難経路を安全にすること」（65.5%）があげられる割合が高い。この２つの対策への要望が３分の２を超え、ついで「防潮堤のかさ上げや強化」（52.7%）が続いていた。

地区別では、田井畑地区では避難所の生活環境の整備（84.2%）、浜ノ瀬北地区（65.5%）および浜ノ瀬南地区（70.0%）では避難経路の整備があげられている。

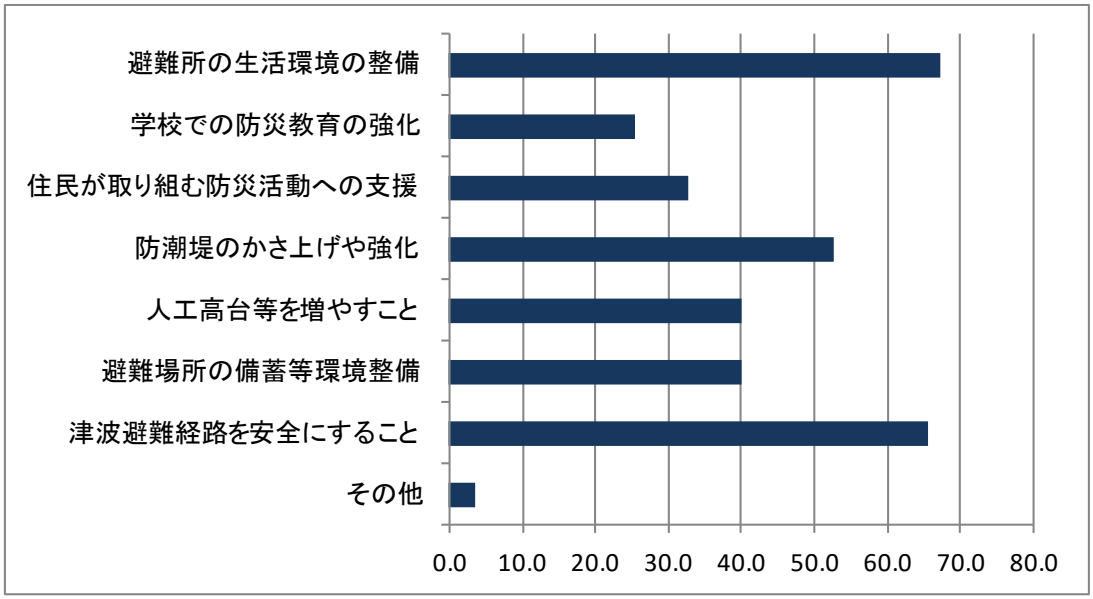


図３－５－④－11　行政への期待

地域で取り組むことについては、図３－５－④－12 に示したように「日常的に住民同士が交流を持つこと」をあげる人が 58.2%と多く、防災行事を実施すること(32.7%)といった直接的な取り組みを大きく上回っている。ついて「ブロック塀除去など津波避難経路を安全にすること」(38.2%)、「津波避難場所の備蓄などの環境整備」(36.4%)、「避難所運営について考えておく」(34.5%) と続いている。

地区別にみると、田井畑地区では避難所運営 (47.4%) や「日常的に住民同士が交流を持つこと」(47.4%) が高く、浜ノ瀬北地区では「津波避難場所の備蓄などの環境整備」(56.3%) が、浜ノ瀬南地区では避難経路の安全性 (50.0%) が高い。

なお、防災訓練については、全体的には「同じような訓練内容なので、ほかの訓練内容もしたらよいと思う」(49.1%) が多く、「参加者が減ってきている」(9.1%) や「真剣さが減ってきている」(21.8%) と感じている人は少ない。

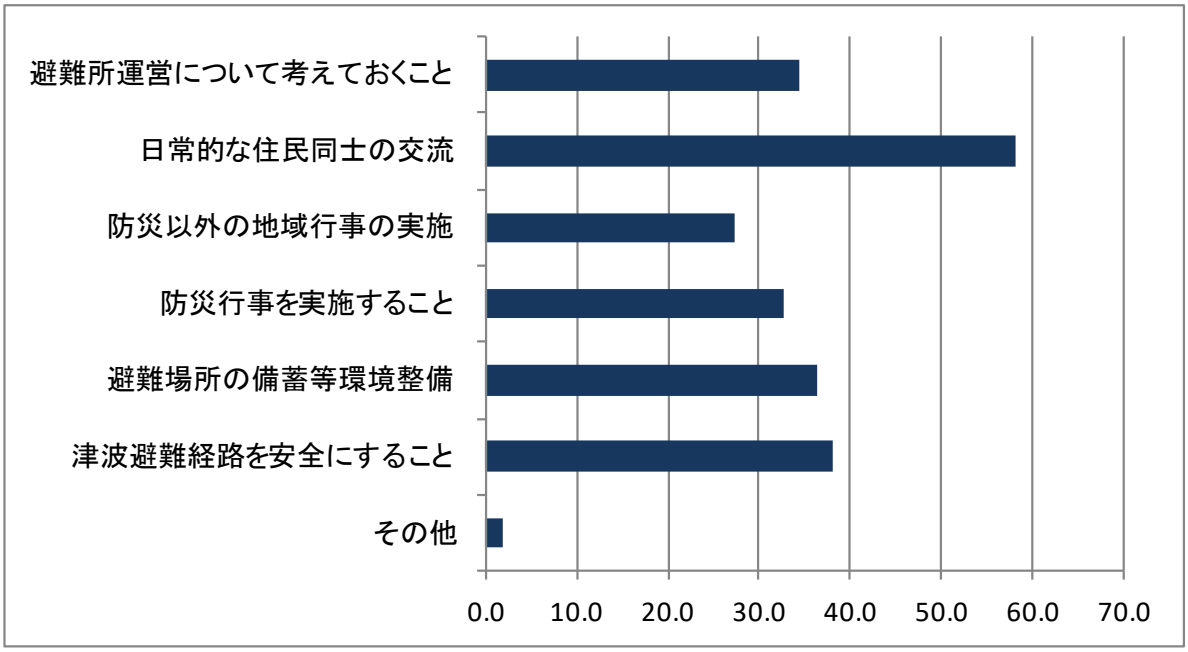


図３－５－④－12　地区として取り組むべきこと

最後に、家庭で取り組むこととして、図３－５－④－13「非常用持ち出し品を用意しておくこと」(76.4%)、「備蓄品を用意しておくこと」(63.6%)、「災害時の家族の集合場所を決めておくこと」(60.0%) の順となっている。「近所の人と交流を持つこと」をあげる人も 56.4%と、「最寄りの避難場所までの避難経路を確認しておくこと」と同程度になっている。その一方で、これらの対策と比べて、津波から避難をすることならびに避難路の確保をする前提となる「自宅の耐震化」は 41.8%と決して高いとは言えない。

地区別にみると、田井畑地区では「地域の防災行事に参加すること」(84.2%) や「近所の人と交流を持つこと」 (78.9%) が高く、浜ノ瀬北地区では全体的傾向と類似しているが「家屋の耐震化をすること」 (56.3%) をあげる人が比較的多い。浜の南地

区では非常持ち出し品の準備に集中している。

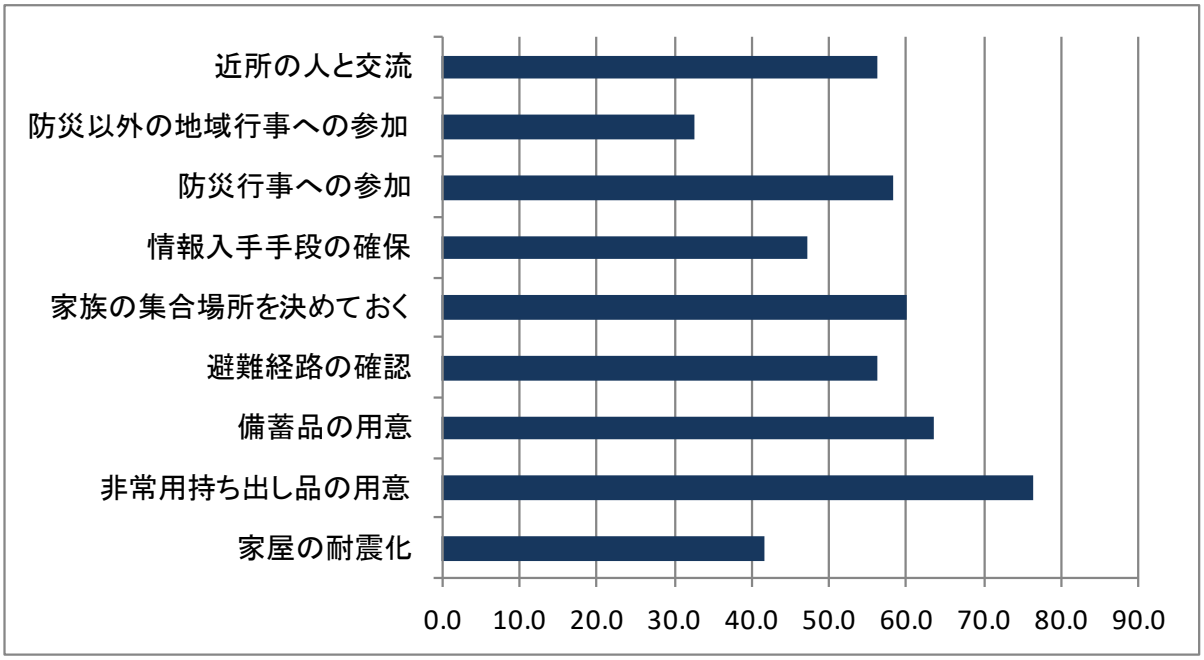


図３－５－④－13　家庭で取り組むべきこと

3)地域 BCP の分析に向けての予備的検討

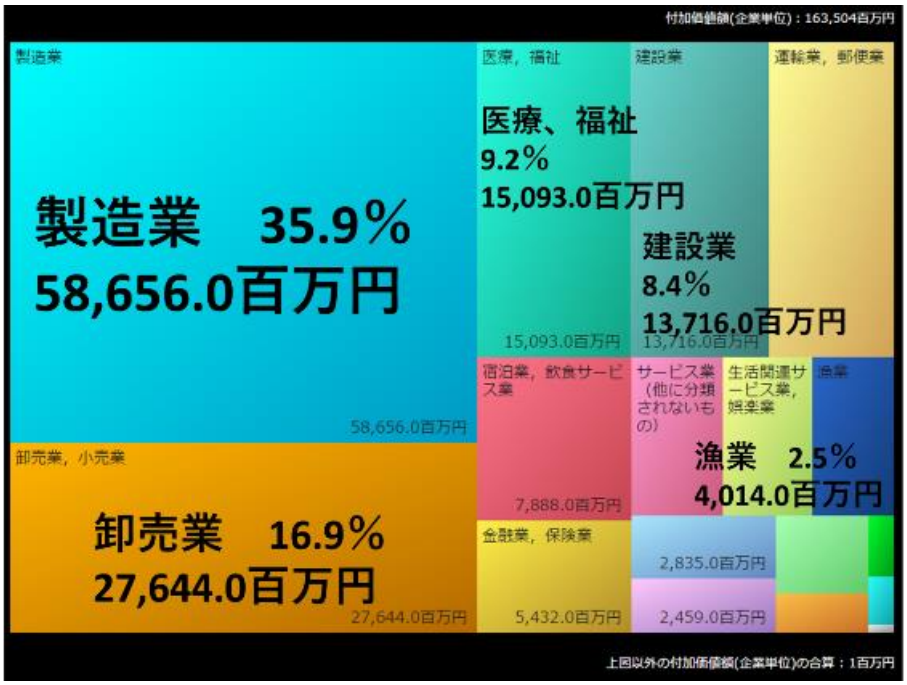
前項で紹介したように、地域住民の関心は、長期化する避難生活や地域へ向かっている事例が見られる。本広域防災プロジェクトの中でも復興を扱う研究グループがあるように、避難から避難後の生活維持、地域再建に至る全体的な防災・減災を高めていく必要性から見れば重要な意識変化であり、その充実･強化が求められる。

加えて、平成 28 年 11 月から気象庁が発表することとなった「南海トラフ地震に関連する情報」の活用を考える上で、個人の避難行動は企業の休業判断に依存する。この観点からも企業の地震対策の実態と課題とを明らかにしていくことは有意義であると考えられることから、今年度は、これまで住民の避難意識を検討してきた静岡県焼津市と高知県とを対象に、企業の事業継続計画の予備的検討を新たに行った。

a)静岡県焼津市

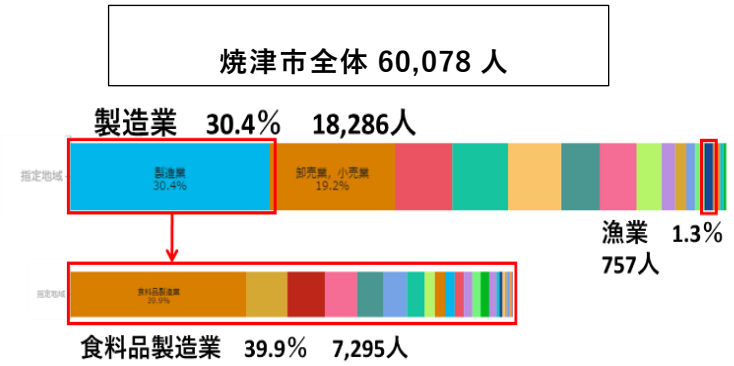
焼津市の産業構造は、焼津市全体の年間付加価値額から概観すると、図３－５－④－14 に示したように、製造業が卓越しており市全体の 35.9%に当たる 58,656.0 百万円を占めている。さらにその内、焼津漁港という国内屈指の漁港を擁していることから、製造業の中でも、食料品製造業が 45.6%（26,651.0 百万円）を占める地域である。加えて、食料品製造業に従事する従業者数は 7,295 人と市全体（60,078 人）の 12%を占める地域の中核産業を形成している（図３－５－④－15 参照）。

そこで、本研究では、東日本大震災で大きな被災と地域再建を進めている宮城県気仙沼市との異同も視野に入れつつ、同市における食料品製造業について聞き取り調査を行った。



出典１：地域経済分析システム（RESAS）

図３－５－④－14　焼津市全体の年間付加価値額[1]



出典 1

図３－５－④－15　焼津市全体の従業者数に占める食料品製造業従事者数の割合

・防災対策・事業継続対策の実施状況と課題

加工品は、カツオ節等の加工品と缶詰が主。加工業者の多くは堤内に位置しているが、堤外には市場や冷蔵庫がある。焼津漁港の機能は、水揚げ、市場、冷凍・冷蔵であり、加工は水産加工団地でなされている。一方、カツオやマグロ、サンマなどの水揚げ港である気仙沼漁港に代表される宮城県気仙沼市では、主にカツオ等は生鮮食品として域外へ出荷されており焼津漁港と生産形態が大きく異なる。

製造品出荷までの一連のプロセスでは、関連団体が複雑かつ密接に関与しているものの、組合等における防災訓練の実施といった連携した取り組みはなされていない。今後、被災後の事業継続を見据えた当該地から域外への製造品出荷プロセスの分析と被害想定、事業復旧に向けた課題の洗い出し等が必要である。

b)高知県

高知県の年間付加価値額（企業単位）は 777,284 百万円（2012 年）で、内訳は卸売業・小売業が最も多く 196,717 百万円、次いで医療・福祉業 162,276 百万円、製造業 92,585 百万円となっている。県内の地域経済循環率では、域外からの資本流入が多く（図３－５－④－16 中赤色部）、循環率で 78.3%となっており、域内での資本形成の取り組みとして地産外商の産業振興対策が推進されている。

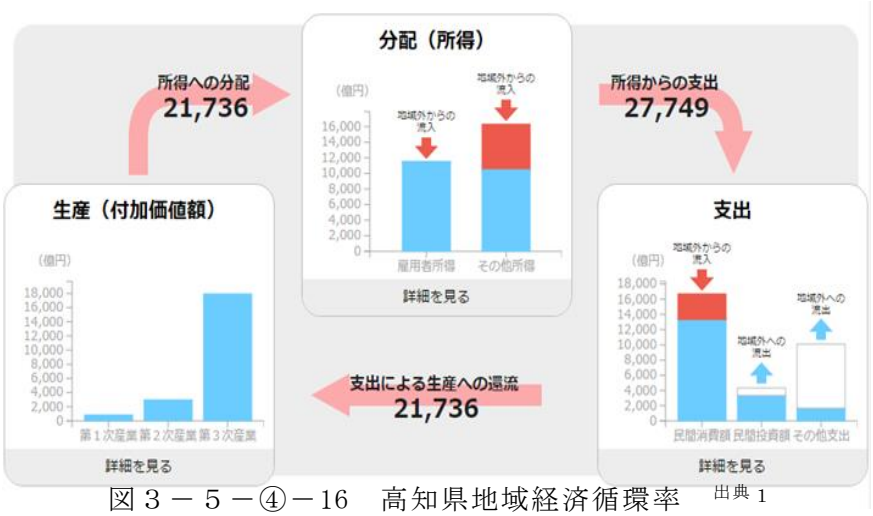


図３－５－④－16　高知県地域経済循環率　出典 1

・高知県産業振興計画の取り組み

高知県は、今後益々加速が想定されている人口減少と市場の縮小化に鑑み、「高知県産業振興計画」を策定。産業面での持続的な地域機能の継続に資する取り組みを行っている。当該計画では、業種を「クラスター」単位で設定。クラスターごとに推進テーマを掲げ、行政が企業同士や地域との有機的なつなぎ役を担っている（図３－５－④－17 参照）。

・防災対策・事業継続対策の実施状況と課題

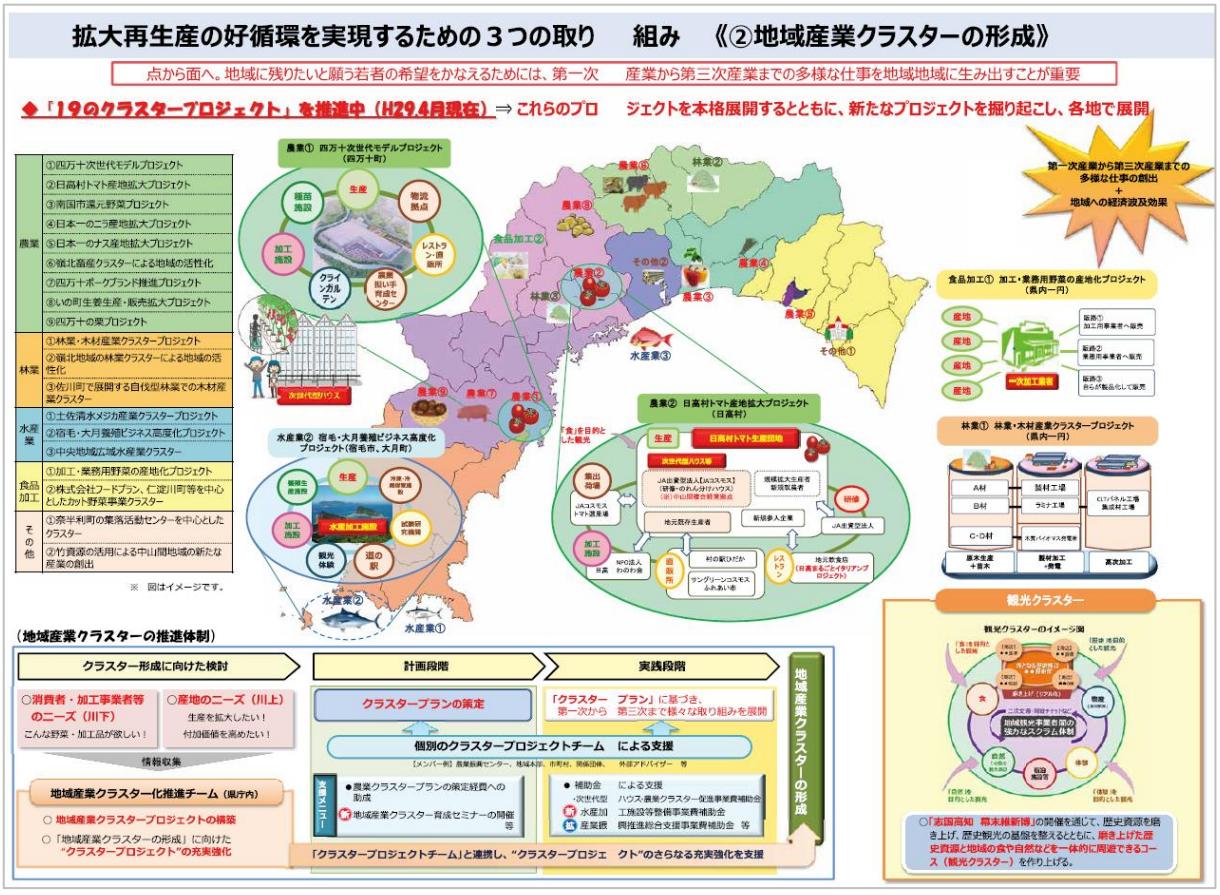
企業等の事業者の事業継続計画（BCP）については、業種によって計画策定率にばらつきがあるものの、認定制度やガイドラインの策定等幅広い支援策を実施している。行政の BCP についても市町村では策定率が現状で 27/34 であり、今後の進展でほぼ 100%となる予定である。

現状の課題は、前述の産業振興計画に関連し、被災後も各産業が早期復旧・継続可能な事前対策の実施を目的とした産業別復興計画への取り組みであり、一昨年より庁内勉強会を開始したところ。今後は、東日本大震災の教訓を学びつつ、事前復興の手引きや手順・準備等を明らかにしていく予定。本研究では、高知県の強みを活かしつつ、平時の産業振興と連動した事前産業復興対策の取り組みを焦点に、当該テーマへの関与の可能性について引き続き注視していく予定である。

③南海トラフ地震関連情報の発表による企業等の事業継続への影響把握

南海トラフ地震関連情報が発表された場合には、企業等の事業継続活動への影響が

懸念される。本研究では、来年度以降の予備調査実施を目的に、企業等が気象庁から発表情報に対して、現段階の事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）においてどのような対応が許容できるか大企業２社（製造業、金融業）へヒアリングを行った。



出典　第３期高知県産業振興計画 ver.2 平成 29 年度版

図３－５－④－17　地域産業クラスター

結果、両社ともに事業を継続する計画（BCP）を策定し、計画の維持運営を行っているが事業を中断する基準や計画はない。企業は、創業時点から継続企業であることが金融法で求められており、災害等の社会環境の変化に適応するための一手段としてBCPの策定が推進されているものの、同計画の性格上から事業中断を計画するものではない。先の大震法の見直しにより南海トラフ地震関連情報の発表がなされることとなっているが、発表情報をトリガーとした対応についてBCP等で想定しておく必要がある。

今後においては、引き続き企業等における事業継続上の影響評価に資する予備調査を実施し、本格調査実施にむけた評価項目の精査等を行っていく予定である。

(d) 結論ならびに今後の課題

避難意図ならびにその避難意図を規定する要因に関する量的調査の詳細分析を行うとともに、知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、平

成 29 年度に実施した和歌山県美浜町における地域防災リーダーを対象とした量的調査の分析を進めた。加えて、今年度から予備的に検討を開始する地域産業の事業継続計画について先行的に聞き取り調査を行った。

(e)引用文献

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法について検討と開発を継続する。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、災害情報プラットフォームや各システムを高度化する。DONET を介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの情報との連動に対応するための機能検討と開発を継続し、DONET のリアルタイムデータのみならず震源分布や統計情報など、理学系の情報も合わせて災害情報プラットフォームに自動展開を試み、連動強化を試みる。また広く防災活動等で利用されるために、「災害情報プラットフォーム」を利活用した社会実験を地域と協働し実施する。

必要に応じて、防災・災害関連データの収集を継続するとともに、情報システムやアプリケーションの開発に関して、研究課題における評価結果を踏まえ、より実践的な利活用方法に即した教材開発を進める。例として、自治体が運用する起震車等とアプリの連動を検討している。さらに、同システムのスマートフォンアプリケーション公開や、Web ページ版の公開も検討している。それらの開発は、SIP とも連携して実施する。

また、RC・人材育成のための支援プログラムの開発を探索的に行うために、平成 29 年度までに実施してきた行動意図モデルに基づいた避難意図の因子の分析に加え、避難意図に影響を与えかつ円滑な地域再建に向けた地域産業の事業継続計画について予備的検討を行う。

3.6 プレート・断層構造研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「プレート・断層構造研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	上席技術研究員 研究開発センター長 グループリーダー 技術研究員 研究員 研究員 グループリーダー 主任研究員 研究員 研究員	金田　義行 小平　秀一 三浦　誠一 仲西　理子 山下　幹也 新井　隆太 石原　靖 高橋　努 山本　揚二朗 利根川　貴志
国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門	主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員	汐見　勝彦 上野　友岳 松澤　孝紀 浅野　陽一 木村　武志 木村　尚紀 齊藤　竜彦 田中　佐千子 松原　誠

(c) 業務の目的

サブテーマ１の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。このため、稠密な地下構造調査と稠密地震観測により、大津波の発生要因となる南海トラフのトラフ軸付近の詳細プレート構造を得るとともにすべり履歴の解明を図る。

南海トラフから、特に知見の不足する九州、南西諸島海溝までの地震発生全域における地震発生帯及び海陸境界域深部構造のイメージングを行い、地震発生帯のプレート形状及び物性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。得られた成果は他の観測研究成果との整合性を確認し、シミュレーション研究の項目に提供する。

(d) ８か年の年次実施業務の要約

基本的に前半の４年を震源モデル構築の準備と予測計算のため、基礎データを取得する。後半の４年は国レベル、地方行政レベルの現実的な防災・減災のための予測の再計算などに資するため、不足しているデータを取得する。

平成 25 年度：

南海トラフ（高知沖）の前縁断層イメージと南西諸島海域南部（八重山付近）でのプレート構造イメージを得た。

平成 26 年度：

南海トラフの前縁断層イメージと地震発生帯の浅部・深部のプレート構造イメージを得た。

平成 27 年度：

南海トラフの前縁断層構造イメージと地震発生帯の浅部・深部の構造イメージ、南西諸島海域北部（奄美大島北方）のプレート構造イメージを得た。

平成 28 年度：

南海トラフ（日向灘）の前縁断層構造イメージ、南西諸島海域北部（奄美大島北方）のプレート構造イメージと四国西部の深部低周波微動発生域周辺の構造イメージを得た。また、四国東部の深部低周波地震発生状況を把握した。南西諸島北部（奄美大島北方）で自然地震観測を実施し、手動検測による震源決定を進めた。

平成 29 年度：

南西諸島海域中部（奄美群島付近）で構造探査を実施し、プレート構造イメージを解明するためのデータを取得した。南西諸島南部と北部の構造イメージを得た。南西諸島北部の詳細な震源決定を進めた。

また、四国東部の深部低周波地震発生状況の詳細把握を継続するとともに、四国東部のプレート構造イメージを得るためのデータベース構築を行った。

平成 30 年度：

平成 29 年度に構築したデータベースに基づき、四国東部の深部低周波地震発生域のプレート物性情報を得る。南西諸島海域中部（沖縄本島北方）で自然地震観測を行い、地震活動の実態を把握する。

平成 31 年度：

南西諸島海域中部（沖縄本島北方）、四国中部～東部のプレート形状イメージを得る。沖縄本島北方での自然地震観測記録（平成 30 年度取得）を用いて地下構造イメージを得る。

平成 32 年度：

四国中部～東部で深部低周波地震発生域のプレート物性情報を得る。沖縄本島南方で自然地震観測を行い、地震活動の実態を把握し地下構造イメージを得る。

(e) 平成 29 年度業務目的

南西諸島海域中部のプレート構造イメージの解明に向け、屈折法地震探査および反射法地震探査を実施し観測記録の解析を行う。また前年度までに取得した構造探査お

よび自然地震観測で得られた記録を用い、プレート形状や詳細な地下構造と震源分布を把握するための解析を進める。

四国東部で発生する深部低周波地震震源ならびに微小地震震源の高精度決定や陸域のプレート形状推定を目的として、引き続き四国東部を対象とした陸域稠密地震観測を実施する。平成 27 年度～28 年度に実施した稠密観測の結果を踏まえ、同地域及びその周辺域を対象とした新たな稠密観測を開始する。これらの観測点及び周辺の基盤的地震観測網等でこれまでに収録された観測記録を収集し、四国東部における深部低周波地震活動状況や低周波地震活動とプレート形状ならびに物性の特徴との相対的位置関係を把握するための解析の精度を向上させる。

(2) 平成 29 年度成果

①海域におけるプレート・断層構造調査

(a) 業務の要約

南西諸島におけるプレート・断層構造の解明に向け、南西諸島中部の奄美群島付近で屈折法地震探査と反射法地震探査を実施した。また前年度までに取得した反射法地震探査および自然地震観測データの解析を進め、トカラ列島周辺の詳細な地殻構造と宮古・八重山諸島周辺の震源分布や三次元速度構造を解明し、種子島・トカラ列島付近において自然地震の詳細な震源決定を進めた。

南海トラフから南西諸島全体にわたるプレート形状モデル構築に向け、既存の構造探査データを集約・統合し、南海トラフと南西諸島の境界部付近での構造モデル接合を実現するために解決すべき課題の特定などを進めた。また南海トラフにおけるプレート境界物性の解明に向け、既存の反射法地震探査記録をデータベース化し管理することで、プレート境界付近の物性評価に有効と期待される物理量などの抽出に向けた準備を行った。本年度はフィリピン海プレート境界面として海洋地殻上面の反射波走時および基準面となる海底面走時の読み取りを全測線において実施した。

(b) 業務の実施方法

奄美群島付近における屈折法地震探査と反射法地震探査を、海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」の KM17-08C 航海（平成 29 年８月 16 日～９月６日）で実施した（図３－６－①－１）。屈折法地震探査では海底地震計 30 台を RK03 測線上に 6km 間隔で設置し、測線を往復してエアガンを発振し 100m の発振間隔での探査記録を取得した。反射法地震探査は RK03 と RK04 の２測線で実施し、エアガンおよびストリーマーケーブルを曳航して 50m 間隔でエアガンを発振し記録を取得した。

屈折法地震探査で使用した海底地震計（(株) 東京測振製 TOBS-24N 型）は、３成分受振器(固有周波数 4.5Hz)とハイドロフォンで構成され、サンプリングレートを 200Hz として連続収録を行った。「かいめい」のエアガンシステムは 12 個のエアガンで１つのサブアレイ(容量 2,650 cu.in.)が構成され、３つのサブアレイ(計 7,950 cu.in.)を同時に曳航し発振した。「かいめい」のストリーマーケーブルは受信点間隔 3.125m

でハイドロフォンが配置され、本調査ではケーブル長を 1,500m とし 480 個のハイドロフォンで記録を収録した。エアガンとストリーマーケーブルの曳航深度はそれぞれ 10m と 21m とした。屈折法地震探査で得られた記録は、得られた波形記録中に含まれる特徴的なシグナルの特定と解釈を進め、地下構造推定に向けたデータ処理を進めた。また反射法地震探査記録はノイズ除去などのデータ編集の後、反射断面を作成した。

トカラ列島を横断する２つの測線で平成 27 年度に取得した反射法地震探査の記録に基づき、トカラ列島周辺および沖縄トラフ内の詳細な地殻構造を明らかにした。宮古・八重山諸島周辺で平成 25 年度に取得した自然地震観測記録の解析から、震源分布や震源メカニズム、P 波・S 波の三次元速度構造を解明し、プレート形状モデルを得た。種子島・トカラ列島周辺で平成 28 年度に実施した自然地震観測記録の解析では、自動処理で得られた震源リストのうち誤検知の可能性が低いものを中心に手動検測を進めた。この平成 28 年度の自然地震観測で種子島とトカラ列島に設置した臨時陸上地震観測点は、長期間にわたる地震活動モニタリングのほか、「広帯域地震活動研究」の成果向上が見込めることから、平成 29 年度も種子島（西之表市・南種子町）と中之島で観測を継続した。また平成 30 年度に実施予定の奄美・沖縄周辺での自然地震観測に向けて奄美大島北部に地震観測点を設置し、観測点の地盤特性の検証や微小地震活動の記録の精査を進めた。

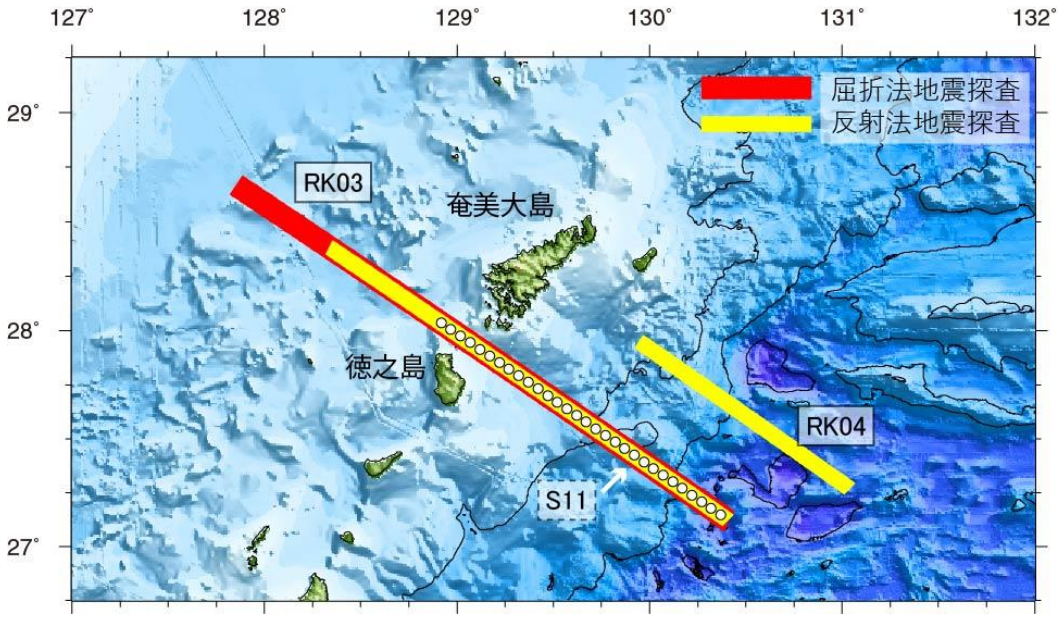


図３－６－①－１　平成 29 年度に実施した地殻構造探査の調査海域図。赤線と黄線がそれぞれ屈折法地震探査と反射法地震探査の測線を表し、丸印は屈折法地震探査で設置した海底地震計を表す。

(c)　業務の成果

1)　奄美群島付近における屈折法および反射法地震探査

屈折法地震探査により RK03 測線で得られた記録の一例として、琉球海溝から約 60km

西側の地点に設置した海底地震計（S11）の記録を図３－６－①－２に示す。プレート境界からの反射波や、沈み込むフィリピン海プレートのモホ面からの反射波などを確認することができた。プレート境界からの波群は、陸側プレートの海溝軸付近に低速度域が存在することや、また RK03 測線の約 150km 北側の調査測線におけるプレート境界（Arai et al. 2017a）に比べ、プレート形状が複雑である可能性が高いことも示唆している。

反射法地震探査により RK03 測線で得られた反射断面のうち、琉球海溝付近の結果を図３－６－①－３に、沖縄トラフ付近の結果を図３－６－①－４に示す。プレート境界からの反射波は、海溝軸から約 80km 西側まで明瞭に観測されている。また陸側プレートの海溝軸付近には陸側に傾斜する反射面が存在することも確認された。島嶼部から西側の沖縄トラフ内では、海底面近くに多数の断層が分布している。RK04 測線では、プレート境界からの反射波は RK03 と同様に観測されているが、陸側プレート先端部付近の陸側傾斜の反射面は明瞭には見られなかった。

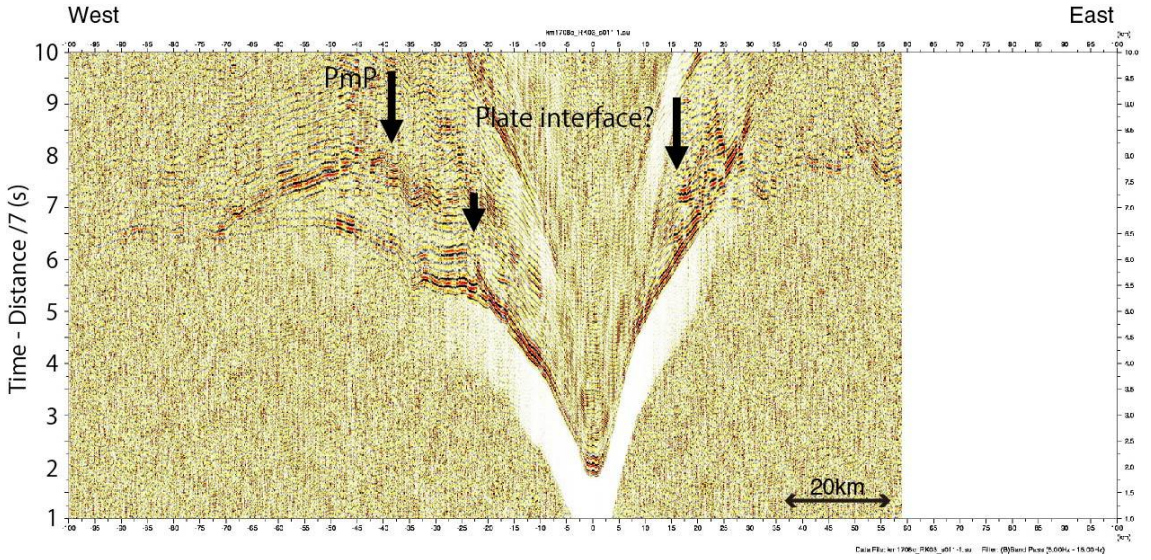


図３－６－①－２　屈折法地震探査で得られた S11 観測点（図３－６－①－１参照）の記録。矢印はプレート境界からの反射波と、沈み込むフィリピン海プレートのモホ面からの反射波(PmP)を示す。

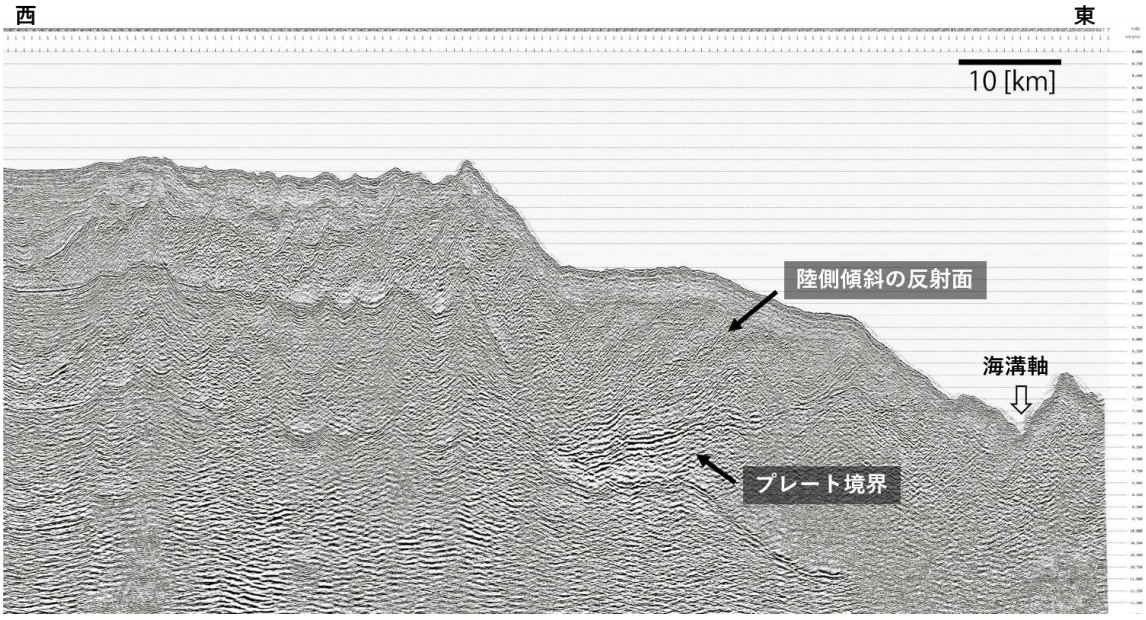


図３－６－①－３　RK03 測線での反射法地震探査で得られた海溝軸付近の反射断面。

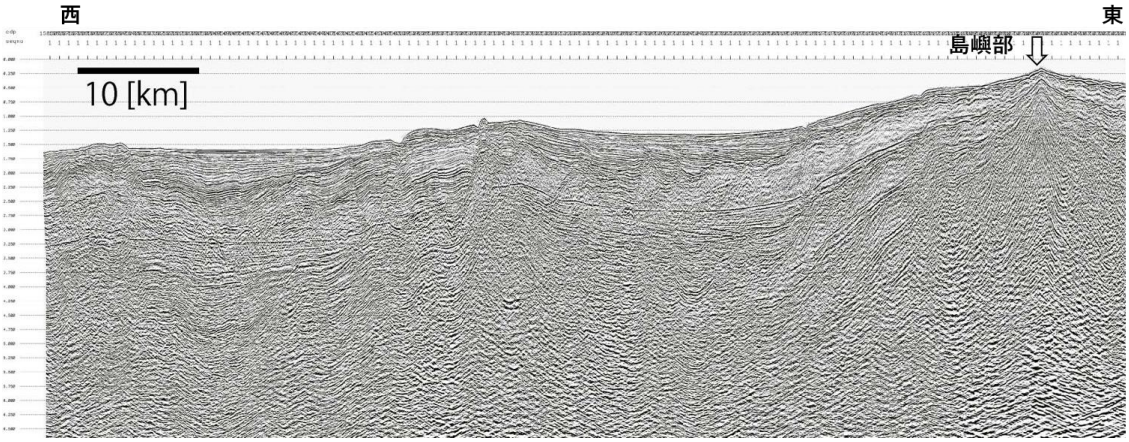


図３－６－①－４　RK03 測線での反射法地震探査で得られた島嶼部～沖縄トラフの反射断面。

2) 南西諸島北部の島嶼部および沖縄トラフの地殻構造

トカラ列島付近で平成 28 年度に実施した反射法地震探査の記録に基づき、トカラ列島周辺と沖縄トラフ北部の地殻構造の解釈を行った。沖縄トラフ北部では広域的に大陸地殻のリフト過程が進行しており、地殻浅部での地震活動が定常的に活発である。沖縄トラフ南部ではトラフ軸に対して対称に正断層が発達していることが反射法地震探査により分かっている(Arai et al. 2017b)。一方、トカラ列島を横切る２つの測線のうち北側の測線(RK01)では横ずれ断層が卓越し、南側の測線(RK02)では正断層域から横ずれ断層域へ急激に遷移していることが分かった（図３－６－①－５)。この結果は既存研究で震源メカニズム解から推定された応力場（Terakawa & Matsu’ura, 2010）

とも整合する。

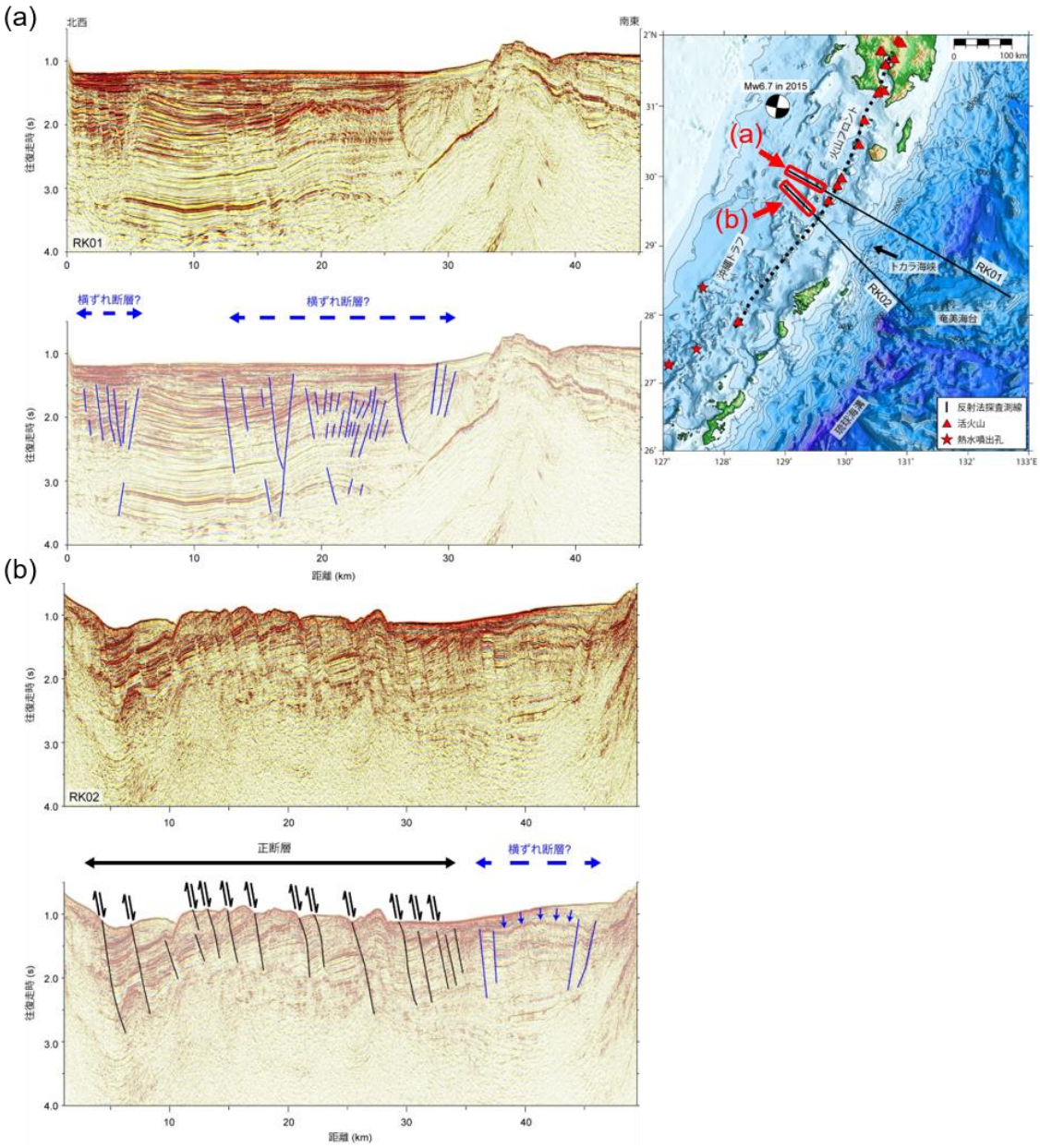


図３－６－①－５　(a)RK01 測線と(b)RK02 測線で得られた沖縄トラフ内の反射断面と解釈図（Arai et al. under review)。

3) 宮古・八重山諸島周辺の三次元速度構造とプレート形状

宮古・八重山諸島周辺で平成 25 年度に実施した自然地震観測の記録を用い、平成 27 年度の成果報告書への記載内容からデータの精査などを進め、詳細な震源分布や震源メカニズム解、P 波・S 波の三次元速度構造を推定し、プレート形状モデルを構築した(Yamamoto et al. 2018)。得られた P 波速度構造とプレート形状モデルを図３－６－①－６に示す。領域東側の多良間島付近では、プレート境界が既存のプレート形状

モデル（Hayes et al. 2012）に比べ約 10 km ほど浅いことがわかった。また西部では既存のモデルとの差異はほとんど見られなかった。

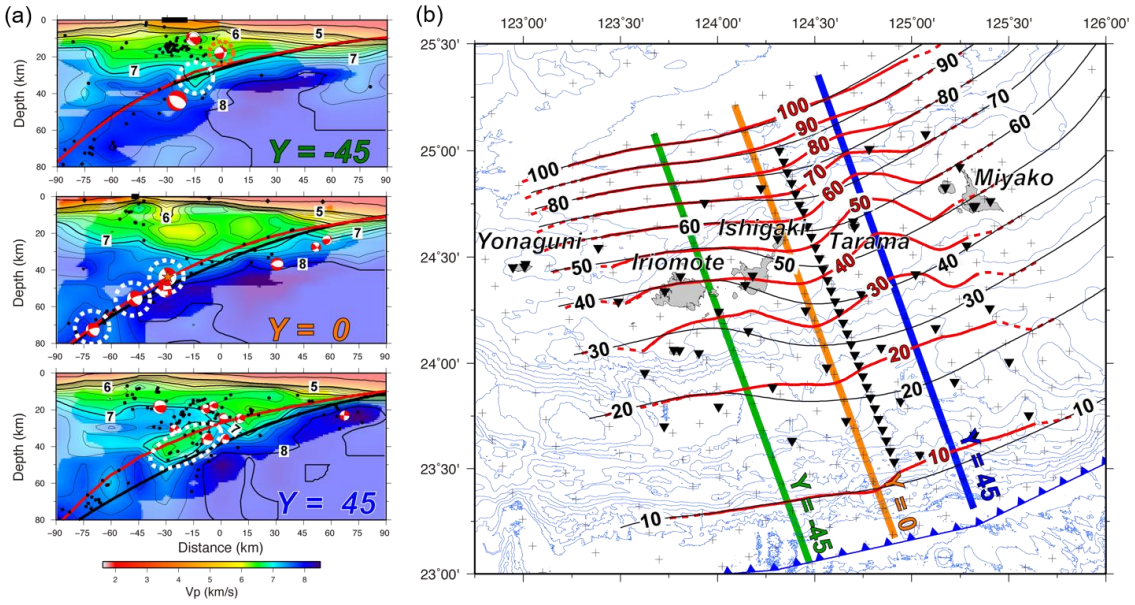


図３－６－①－６　(a) 宮古・八重山諸島周辺での P 波速度構造の深さ断面と(b) 宮古・八重山諸島周辺のプレート形状モデル(Yamamoto et al. 2018)。提案したプレート形状モデルを赤線、既往研究で提案された Slab 1.0 モデル(Hayes et al. 2012)を黒線で示す。赤色で示す震源メカニズム解は初動極性解析により得られた結果を表し、黒点は再決定された震源位置を表す。黒三角は使用した観測点を表す。

4) 種子島・トカラ列島周辺における自然地震活動

種子島・トカラ列島周辺で平成 28 年度に実施した自然地震観測記録を用いた震源決定では、これまでに約 1,500 個の地震の手動検測を終えた。得られた震源分布を図３－６－①－７に示す。図中の色丸が本課題で得られた震源を表し、防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net により決定された震源メカニズム解と既往研究(Hayes et al. 2012)によるプレート形状モデルを合わせて示す。領域全体において沈み込むフィリピン海プレートでの地震活動が活発で、陸側プレート内にはクラスタ状の地震活動が活発な領域も見られる。海溝軸から 30～50km ほど西側には、地震活動が低調な帯状の領域が北東・南西方向に分布する。領域北部にはプレート境界での地震活動が低調な領域があり、浅部低周波微動と呼ばれるスロー地震現象の震央域(Yamashita et al. 2015)に対応する。浅部低周波微動はプレート境界で発生している可能性が高いことから、通常の地震と発生域が棲み分けている可能性が高いと考えられる。解析領域南部には、陸側プレートに浅部の地震活動が活発な領域が存在する（図３－６－①－７(a)）。この地震活動域を横断する RK01 測線（図３－６－①－５）の反射法地震探査の記録では、海底面に到達する断層面を多数確認でき（図３－６－①－８）、この断層群が現在の地震活動と関連した構造である可能性が考えられる。

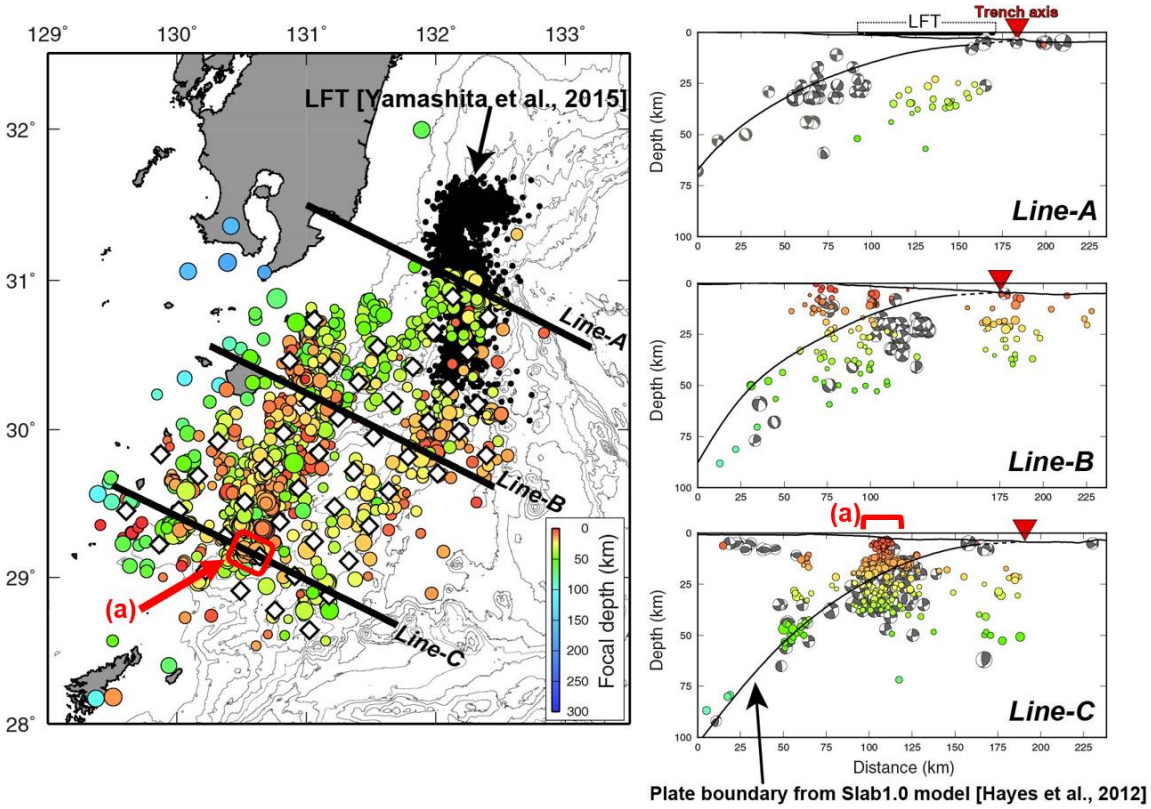


図３－６－①－７　種子島・トカラ列島周辺の震源分布。色丸が手動検測に基づいて推定した震源、黒点が浅部低周波微動(LFT)の震央(Yamashita et al. 2015)、灰色が防災科学技術研究所 F-net により決定されたモーメントテンソル解を表す。白四角が解析に用いた観測点を表す。

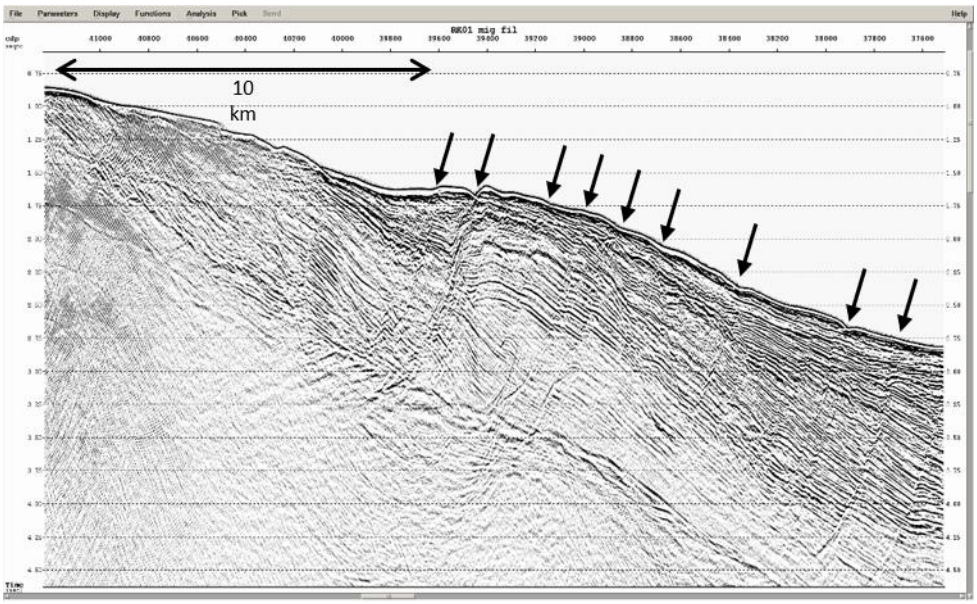


図３－６－①－８　地殻浅部での地震活動が活発な領域（図３－６－①－７ (a)）を横切る RK01 測線で得られた反射断面。明瞭な断層面を矢印で示す。

5) 南海トラフ～南西諸島プレート形状モデル

南海トラフ域から南西諸島域までの統一的なプレート形状モデルを構築するため、「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」の調査データに基づいて構築された南海トラフ域のプレート形状モデルをはじめ、震源分布に基づいて作成された世界中の沈み込み帯のプレート形状モデルSlab1.0(Hayes et al.,2012)や東京大学地震研究所から公開されている日本列島周辺域のプレート境界面分布（http://evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp/database/PLATEmodel/）を参考に南海トラフから南西諸島域へのプレートモデルの連続的な拡張を試みた。さらに、南西諸島域のプレートモデルの構築に必要なデータとして、本プロジェクトで実施したこれまでの調査の成果（Arai et al., 2016,2017a; Yamamoto et al., 2018)に加えて、海域断層評価プロジェクトで構築したプレートモデルと使用データ、海上保安庁で実施している南西諸島域の調査の成果を収集した。収集したデータの一部を図３－６－①－９に示す。

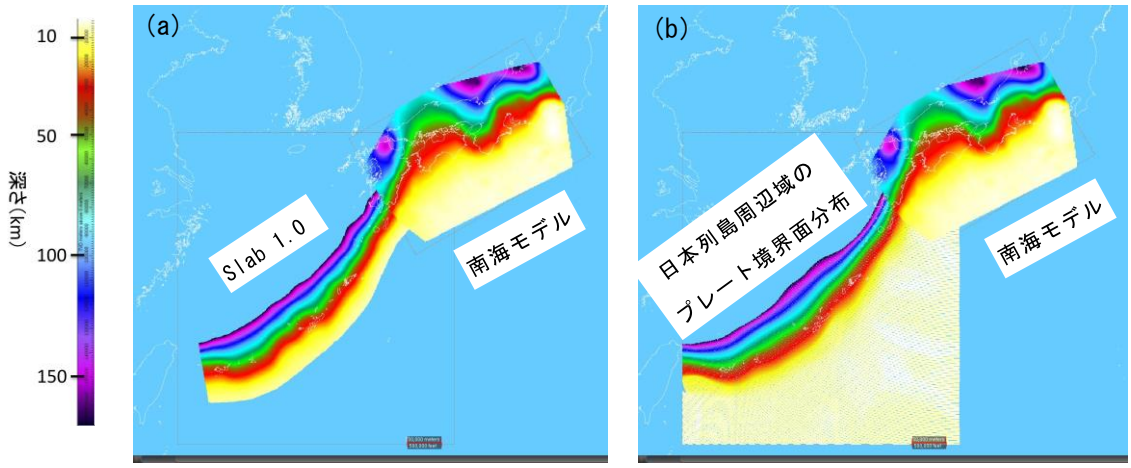


図３－６－①－９

南海トラフ域から南西諸島域までの統一的なプレート形状モデルを構築するために収集したデータの一部と「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」による南海トラフ域のプレート形状モデル（南海モデル）。(a)、(b)にはSlab 1.0モデル(Hayes et al. 2012）と日本列島周辺域のプレート境界面分布（http://evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp/database/PLATEmodel/）をそれぞれ示す。

6) 南海トラフ・プレート境界物性

南海トラフにおけるプレート間固着の不均質性を表す物性情報をプレート境界にマッピングするため、既存の反射法地震探査データからプレート境界における振幅情報の抽出を試みた。既存の反射法地震探査データは複数年度に渡って取得されており、観測仕様も大きく異なる。これらの振幅情報を一元化して物性評価を行うため、観測仕様別に測線を整理し、それぞれの仕様に沿った情報を抽出できるデータベースを整

備した。その上で本年度はフィリピン海プレート境界として海洋地殻上面の反射波走時を既存全測線の読み取りを完了した。また基準面として海底面走時の読み取りを実施し来年度以降の振幅情報の抽出に向けた環境整備が完了した。

(d) 結論ならびに今後の課題

南西諸島中部の奄美群島付近で屈折法および反射法地震探査を実施し、地殻構造の解明やプレート形状モデルの構築に向けたデータを取得した。得られた記録から、琉球海溝付近の陸側プレートに低速度域が存在する可能性が高いことや、トカラ列島東方沖に比べてプレート形状が複雑であることが分かった。またトカラ列島を横断する測線での反射法地震探査記録の解析に基づき、沖縄トラフ内で正断層域から横ずれ断層域へ急激に遷移していることを明らかにした。南西諸島北部における自然地震の震源決定を進め、地震活動が低調な領域が複数存在することや、日向灘では浅部低周波微動と自然地震が棲み分けている可能性が高いことを明らかにした。

今後は、今年度取得した奄美群島付近の構造探査記録の解析を進め、速度構造や断層分布を解明する。また自然地震観測の記録から南西諸島北部における詳細な震源分布と三次元速度構造を解明する。

(e) 引用文献

1) Arai R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura, Y. Kaneda, Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench, Nature Communications, 7, 12255, doi:10.1038/ncomms12255, 2016.
2) Arai R., S. Kodaira, T. Yamada, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda, A. Nishizawa, M. Oikawa, Subduction of thick oceanic plateau and high-angle normal-fault earthquakes intersecting the slab, Geophys. Res. Lett., 44, 6109-6115, doi:10.1002/2017GL073789, 2017a.
3) Arai R., S. Kodaira, Y. Kaiho, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda, Crustal structure of the southern Okinawa Trough: Symmetrical rifting, submarine volcano and potential mantle accretion in the continental back-arc basin, J. Geophys. Res. - Solid Earth, 122, doi:10.1002/2016JB013448, 2017b.
4) Hayes G. P., D. J. Wald, R. L. Johnson, Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, J. Geophys. Res., 117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524, 2012.
5) Terakawa, T. and Matsu’ura, M., The 3‐D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, Tectonics, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626, 2010.
6) Yamamoto, Y., Takahashi, T., Ishihara, Y., Kaiho, Y., Arai, R., Obana, K., Nakanishi A., Miura S. Kodaira S., Kaneda Y., Modeling the geometry of p

late boundary and seismic structure in the southern Ryukyu Trench subduction zone, Japan, using amphibious seismic observations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 123. https://doi.org/10.1002/2017JB015330, 2018.

7) Yamashita Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirano, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, K. Obara, Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, Science, 348, 676-679, DOI: 10.1126/science.aaa4242, 2015.

②自然地震を用いた構造解析

(a) 業務の要約

四国東部で発生する深部低周波地震震源ならびに微小地震震源の高精度決定や陸域のプレート形状推定を行うため、平成27年度に展開した稠密地震観測施設の一部（11点）を継続して運用するとともに、新たに7地点に地震計を設置し、当該地域の稠密地震観測を高度化した。これらの観測点で観測された波形データに対し、気象庁一元化震源カタログに登録されている深部低周波地震をテンプレートイベントとしたMatched Filter法を適用し、深部低周波地震活動の検出レベルの向上を図った。また、稠密観測点及び定常観測点を対象に、プレート形状や地震波速度構造を把握するためのレシーバ関数データベース、検測値データベースの構築を進めた。

(b) 業務の成果

1) 四国東部における稠密地震観測の実施

西南日本で発生する深部低周波地震（微動）の震源分布は、南海トラフ巨大地震の想定震源域下限設定の根拠のひとつに挙げられている。四国東部地域における深部低周波微動の分布を図３－６－②－１に示す（防災科学技術研究所, 2017)。四国東部における深部低周波微動活動は四国西部のように東西方向に空間的に連続しておらず、北西－南東方向に列をなすいくつかの孤立的なクラスタからなっている。ほぼ定常的に活動が確認されているクラスタもあるが、３か月弱に１回程度の頻度で活動域が移動しながら活発化する様子も確認されている（例えば、Obara, 2010)。一方、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの形状について、これまでに地震活動やトモグラフィ解析、変換波解析などから様々なモデルが提案されているが、紀伊半島西部から紀伊水道を経て四国東部に至る地域はモデル間の差異が大きい。特に、Ide *et al.* (2010)は紀伊水道でプレートが断裂している可能性に言及しており、現在も結論が出ていない。

四国東部におけるフィリピン海プレートの位置や形状及びそのプレート境界における物性、巨大地震発生域と深部低周波地震（微動）活動との関連を調べるため、本研究では、2015年10月に四国東部の15地点に固有周波数１ Hzの三成分短周期地震計

（OYO Geospace 社製 GS-1）を設置した。2017 年２月下旬に、このうちの４地点で機材を撤収したが、残りの 11 地点による臨時稠密観測は引き続き継続して実施した。また、2017 年８月上旬には、これらの臨時観測点と定常観測点の密度が粗な地域及び観測対象地域の周辺部の計７地点に、新たに同型の地震計を設置した。本研究で設置した臨時観測点の位置を、本研究で用いた定常観測点の位置とあわせて、図３－６－②－１に示す。いずれの臨時観測点においても、観測された波形データは現地に設置したデータ収録装置でサンプリング周波数 100 Hz で離散化したのち、装置内のコンパクトフラッシュ（CF）カードに蓄積した。平成 29 年度は、既存 11 点について８月上旬に観測点メンテナンス作業を実施し、データの回収及びバッテリー交換を行ったほか、2018 年２月下旬には全点を対象に同様のメンテナンスを実施した。

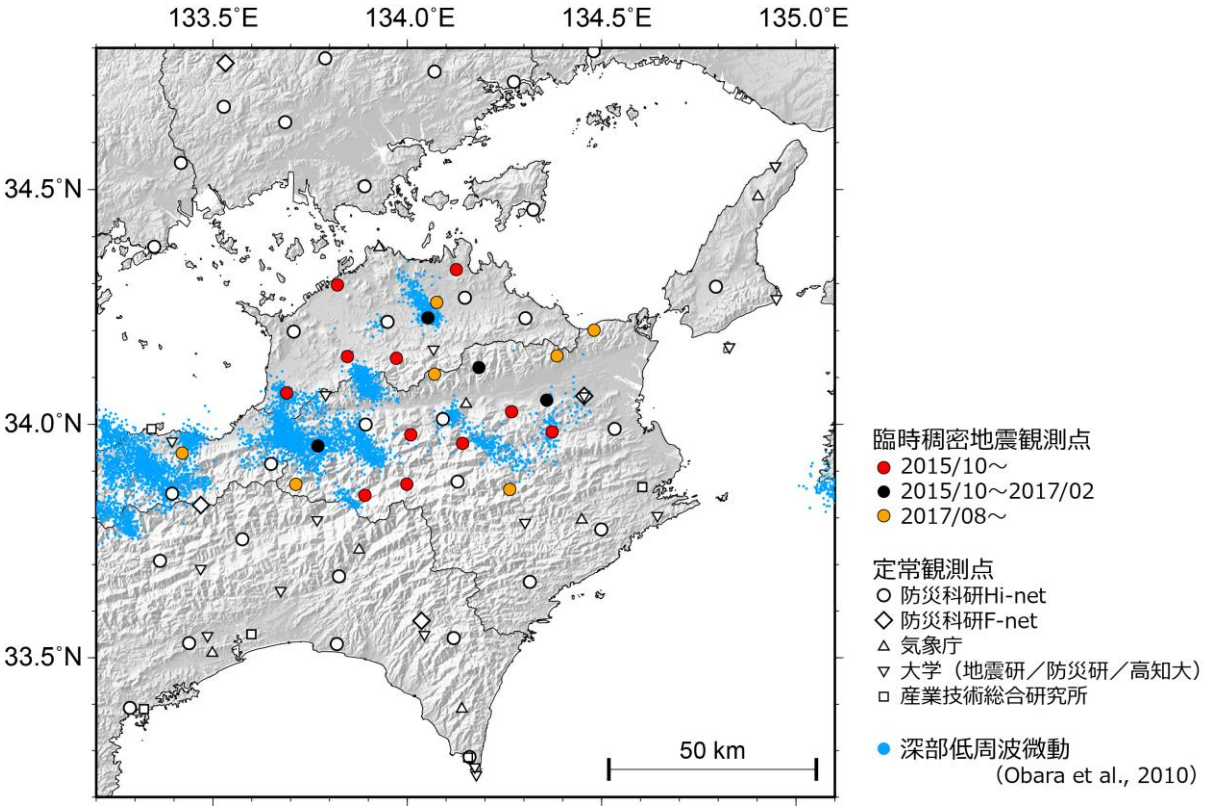


図３－６－②－１　四国東部における深部低周波微動の空間分布。ハイブリッド法（Maeda and Obara, 2009）及びクラスタ処理（Obara *et al.*, 2010）によって１時間毎に自動処理された微動分布の重心位置を水色で表す。本研究で設置した稠密地震観測点の位置を、その観測期間に応じて、赤丸、黒丸、橙丸で示す。また、周辺に位置する定常地震観測施設のうち、レシーバ関数データベース構築対象とした観測点の位置をあわせて示す。

2)　四国東部における自然地震観測データの解析

a)　深部低周波地震の検出

四国東部で実施している臨時地震観測データを利用し、同地域で発生する深部低周波地震の高精度検出を行った。検出手法には、テンプレートイベントを用いた Matched Filter 法（以下、MF 法。例えば Shelly *et al.*, 2007）を用いた。エンベロープ波形

を用いた従来の解析手法による震源位置は、位相情報が欠落するため大きなばらつきを示すが、本手法は波形そのものの相関を利用するため、より高い時空間分解能を持った震央分布が得られることが期待される。

以下で示す解析においては、四国東部における臨時稠密地震観測による観測点のうち、昨年度から同一地点に継続して設置されている 11 観測点（図３－６－②－２の三角印）に加え、同領域周辺に位置する防災科研 Hi-net 観測点 16 点（図３－６－②－２の四角印）のデータを使用した。気象庁による一元化処理震源カタログにおける低周波地震の震央位置を緯度・経度ともに 0.05 度刻みのグリッドで分け、それぞれのグリッドで一つのイベントを選ぶことにより、MF 法で使用するテンプレートイベントを定めた。用いたテンプレートイベント数は 57 個である。深部低周波地震の震源位置の推定にあたって、S 波速度は 3.2 km/s で一様と仮定し、テンプレートイベントの震央位置を中心として緯度・経度ともに 0.1 度の範囲を探索した。深さについては、テンプレートイベントの震源情報で固定した。相関を計算するタイムウィンドウは、S 波到達予想時刻の２秒前から４秒後までの計６秒間とした。上下動と水平動２成分、計３成分のデータを用い、すべての点についての相関係数の平均値を計算して検出の指標とした。なお、地震波形データには２～６Hz の帯域通過フィルタを適用し、毎秒 20 サンプルとなるようにデシメーションを行ったうえで解析に用いた。

解析結果の一例として、観測対象期間中に四国東部で活発な深部低周波地震活動がみられた 2017 年８月８日から 14 日までの期間の検出結果を図３－６－②－２及び図３－６－②－３に示す。両図とも、MF 法において相関係数の Median Absolute Deviation(MAD)の 10 倍以上を基準とした場合に検出された震央位置を赤丸で示した。表示に際し、基準とする MAD は 2017 年８月８日０時台のデータを用いて計算した。

図３－６－②－２は１日毎の深部低周波地震の震央分布を示す。本解析によって多くのイベントが検出されている領域の付近では、気象庁カタログによってもイベントが決定されているが、MF 法で検出された数は、それぞれの日について少なくとも気象庁カタログの４倍以上となった。さらに、表示対象期間中には気象庁カタログで報告されていない徳島県中部や香川県の活動も検出できており、深部低周波地震活動が東西両方向に拡大していく様子が見られる。これらのことから、MF 法を適用することにより、時空間的に詳細な深部低周波地震の活動状況が把握出来ていることが分かる。

図３－６－②－３は、防災科研 Hi-net 観測点のみを用いて同様の MF 法による解析を行った結果、すなわち臨時稠密地震観測を行わなかった場合に得られる深部低周波地震の震央分布との比較を示す。臨時観測点を加えることにより、深部低周波地震の検出数は約 1.5 倍となった。また、深部低周波地震活動がクラスタ的な分布をしていることがより明瞭となったほか、図３－６－②－３中に緑矢印で示した部分では、Hi-net のみの解析では検出出来なかったクラスタの検出に成功した。ただし、テンプレートイベントの選択の影響については未評価であるため、さらなる検討が必要である。今後は蓄積されているデータを追加し、複数の活動エピソード間の比較を行うことで、深部低周波地震活動の時空間的な挙動の差異を明らかにできることが期待される。

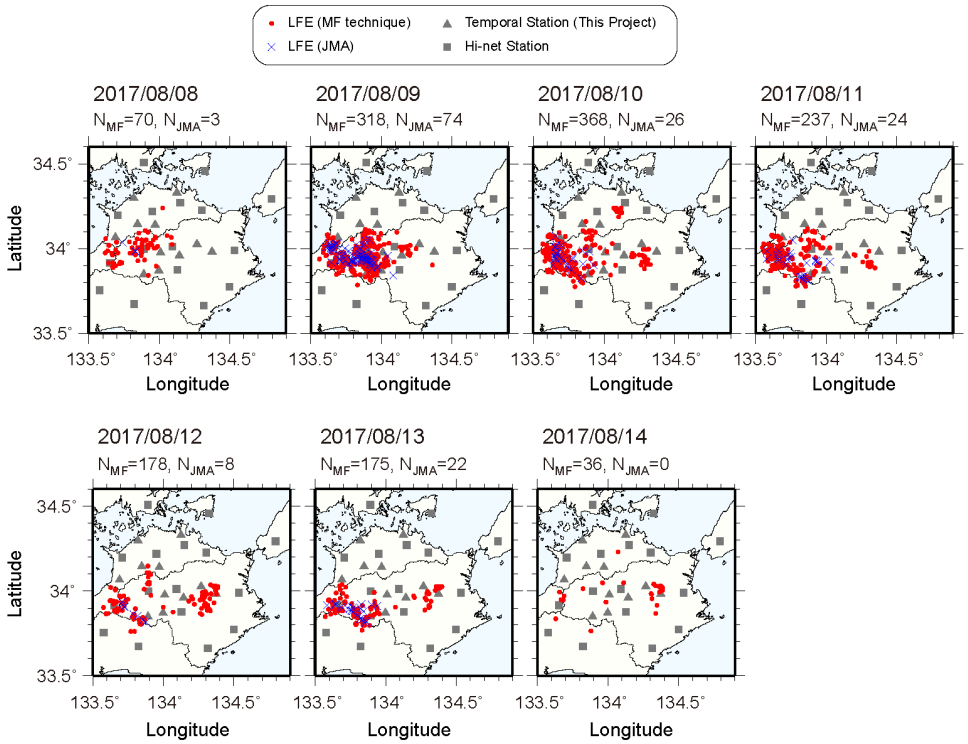


図３－６－②－２　2017 年８月８日～14 日に四国東部で発生した深部低周波地震の日別震央分布。本解析の結果を赤丸、気象庁一元化処理震源カタログに基づく震央を青×印で示す。三角印及び四角印は、それぞれ解析に使用した臨時観測点と防災科研 Hi-net 観測点の位置を示す。各図上部には、本解析及び気象庁カタログによる検出数を N_{MF}, N_{JMA} としてそれぞれ示した。

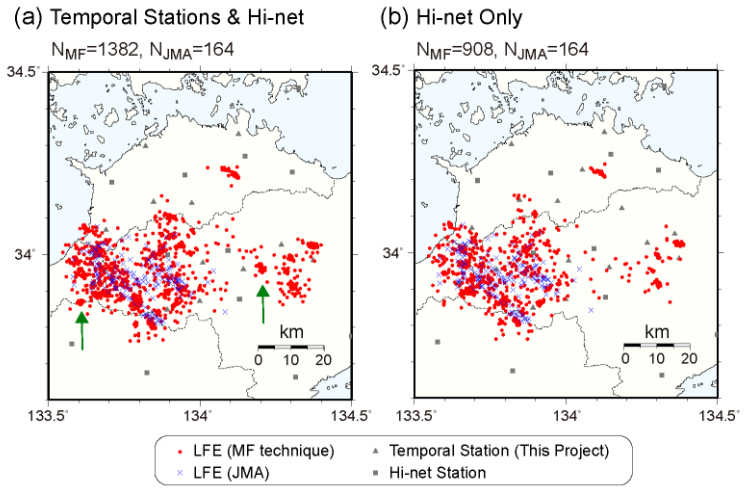


図３－６－②－３　2017 年８月８日～14 日に四国東部で発生した深部低周波地震の震央分布。本解析における MF 法により決定された震央位置を赤丸で示す。(a) 本プロジェクトにおける臨時観測点と防災科研 Hi-net 観測点の地震波形記録を使用した結果。(b) 防災科研 Hi-net 観測点の地震波形記録のみを使用した結果。青×印、三角印、四角印は、図３－６－②－２と同様である。各図上部に、それぞれの検出数を示した。

b) 陸域フィリピン海プレート形状の再検討

紀伊水道から四国東部周辺下に沈み込むフィリピン海プレートの形状は現在でも様々なモデルが提案されており、一定の結論は得られていない。本研究では、昨年度、四国東部の防災科研Hi-netやF-netをはじめとする定常的な地震観測点ならびに本件で設置した稠密地震観測点で観測された遠地地震波形からレシーバ関数を推定し、データベース化を行うとともに、得られたレシーバ関数と既存モデルの比較検討を行った。その結果、四国東部、とりわけ徳島県や香川県の観測点で得られるレシーバ関数のPs変換波の振幅が明瞭ではなく、空間的な連続性が不明確であること、既存モデルと変換波の分布の整合が取れないことを示した。観測点下に地震波速度の不連続面が存在する場合、レシーバ関数の後続波位相として検出することが可能である。深部が浅部よりも高速度である地震波速度不連続面においては、一般的に、レシーバ関数の振幅は正値を、深部の方が低速度の場合は負値をとるため、レシーバ関数の後続波位相の特徴を見ることにより、地下の不連続面の位置や形状を推察することが出来る。

今年度は、新たに蓄積された遠地地震波形データを用いてデータベースを充実させるとともに、レシーバ関数のHarmonic decomposition analysis法（以下、HA法。例えば、Bianchi *et al.*, 2010; Park and Levin, 2016）を適用することを前提とした観測波形の精査ならびに高品質波形の抽出を行った。前述の通り、レシーバ関数を用いることにより、観測点下の地震波速度不連続面の有無やそのおおよその深さを推定することが可能であるが、レシーバ関数単独ではその不連続面が持つ意味を評価することは困難であり、他の情報との突合が必要となる。また、昨年度に確認したとおり、四国東部域では、従来行われている動径方向（radial）成分のレシーバ関数から検出される地震波速度不連続面は複雑であり、その連続性を高い確度で示すことは困難である。HA法は、ある観測点において様々な方位の遠地地震記録から求められたレシーバ関数を用いて、観測点下の地震波速度不連続面の傾斜方向や異方性構造の特徴を求める解析方法であり、動径方向成分だけでなく、それに直交するtransverse成分のレシーバ関数も解析に使用する点が特徴である。各観測点で得られる複数の地震波速度不連続面の傾斜方向を調査することにより、不連続面の空間的な連続性を考慮するひとつの根拠となることが期待される。

データベース構築対象とした観測点の位置を図３－６－②－１に示す。昨年度は対象範囲を四国東部及び岡山県内の１点に限定していたが、より広域のプレート形状を把握するため、今年度から、隣接する兵庫県、岡山県及び広島県の観測点の一部も対象に含めた。レシーバ関数データベースの構築には、これらの観測点で2017年11月末までに観測されたマグニチュード5.8以上、震央距離30～90度の遠地地震の観測波形記録を用いた。震源情報は、米国地質調査所（USGS）による暫定震源カタログ（PDE；ftp://hazards.cr.usgs.gov/NEICPDE）を用いた。従来は、この観測波形を目視あるいは簡易計算により、十分なS/Nを有する記録のみを抽出し、解析に用いていた。ところが、今年度回収した臨時稠密地震観測点の記録の精査の段階において、特定の成分の振幅が低下している観測点があることが判明した。観測波形の一例として、本研究

で設置した No11 観測点の観測波形を図３－６－②－４に示す。図３－６－②－４の上段に示した図を見ると、EW 成分の波形の振幅が著しく低下しており、地震波の到来を目視で確認することができない。これは地震計装置に何らかの不具合が生じ、EW 成分の感度が低下したためと考えられる。感度変化は、装置の劣化等のために徐々に低下する場合もあれば、断線や漏水などの物理的な不具合により突然発生し、その後、回復する場合もある。No11 観測点においては、図３－６－②－４の下段に示したように、感度特性の変化（低下）は自然回復した。図３－６－②－４の上段の波形記録のように明らかに振幅が記録されていない場合は、S/N の確認の過程で除去することが可能であるが、感度特性の変化が徐々に進行する場合、地震計特性の変化を目視や簡易な S/N 検査で検出することは難しい。現地メンテナンス時に地震計周辺の地面を軽く叩くことにより観測される振動を確認するといった簡易検査を実施しているが、そのデータで地震計のわずかな感度変化を抽出することは難しく、今後の課題とする。

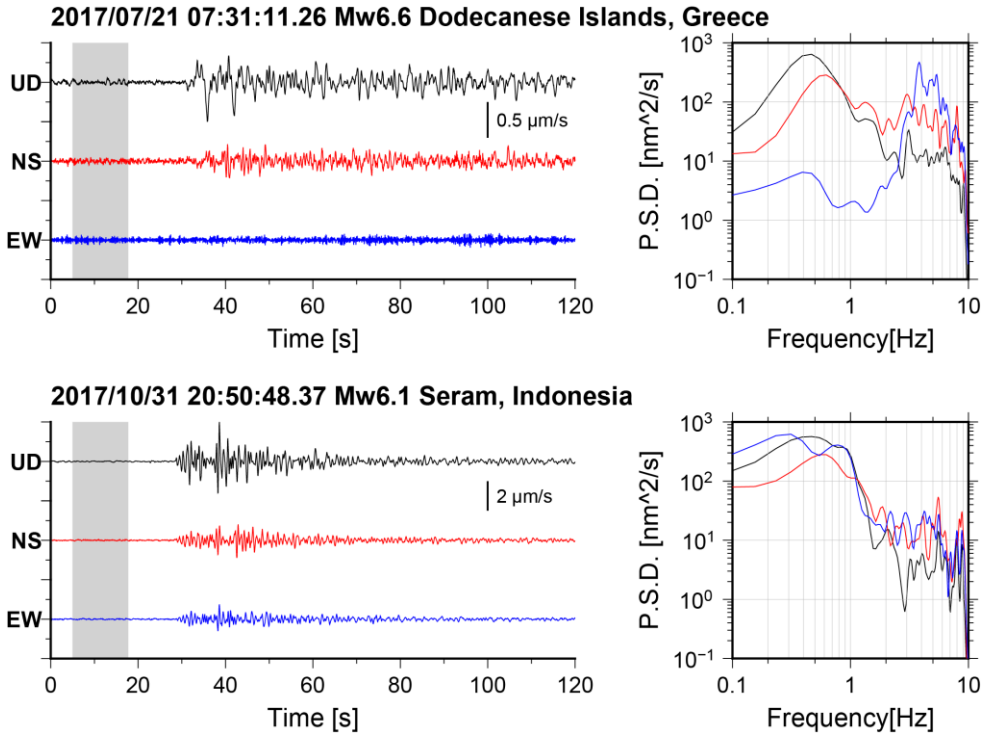


図３－６－②－４　本研究で設置した臨時観測点 No11 における観測波形及び雑微動のパワースペクトル密度の例。左列は、上から順に UD、 NS、 EW の各成分の観測波形を表す。右列は左に示した観測波形のうち、灰色で示した雑微動の時間帯におけるパワースペクトル密度を表す。UD、 NS、 EW 各成分のスペクトルをそれぞれ黒、赤、青線で表す。上段は 2017 年 7 月 21 日 7 時 31 分頃（JST）にギリシアで発生した Mw6.6 の地震、下段は同年 10 月 31 日 20 時 50 分頃にインドネシアで発生した Mw6.1 の地震の波形。

本年度は、データベース用に抽出するすべての遠地地震波形に対し、各成分の観測波形に対する直達 P 波到達前の雑微動のパワースペクトル密度と直達 P 波の粒子軌跡を確認する過程を追加した。前者については、観測点の雑微動の特徴は長期的には大きく変化することは無いとの仮定のもと、レシーバ関数解析の主な解析対象とする 0.5～10 秒の周波数帯域における雑微動の各成分間の振幅比を確認することとした。この比が大きく変動している記録だけでなく、一定以上の期間にわたって比が不安定となっている場合、その間のデータをデータベースから削除することとした。一例として、防災科研 Hi-net の N.SADH（徳島県・貞光）観測点の結果を図３－６－②－５に示す。この図から、2016 年２月に UD 成分と NS 成分の感度変化が始まり、青縦線で示した 2017 年３月の地震計改修まで継続していたことがわかる。したがって、データベースからは、この観測点の 2016 年２月から 2017 年３月（図３－６－②－５　赤線）の全データを除外した。また、観測点近傍で発生したほかの地震等、対象とした地震とは異なる原因による振動が混在した場合、直達 P 波の振動方向と震源の方位角に大きな差が生じる可能性がある。ここでは、直達 P 波による振動に対して主成分解析を適用し、方位角の差が 60 度以上となる場合はデータベースから削除するとともに、30 度以上となる場合については観測記録の精査を行って採否を判断した。なお、直達 P 波以降に同様の振動が混入する場合はこの方法では除外できないため、目視で除外することとした。新たなデータ確認の過程は解析対象とした全観測点に導入するとともに、前年度までにデータベース化したものについても再確認を実施し、一部の登録済みデータをデータベースから除外した。

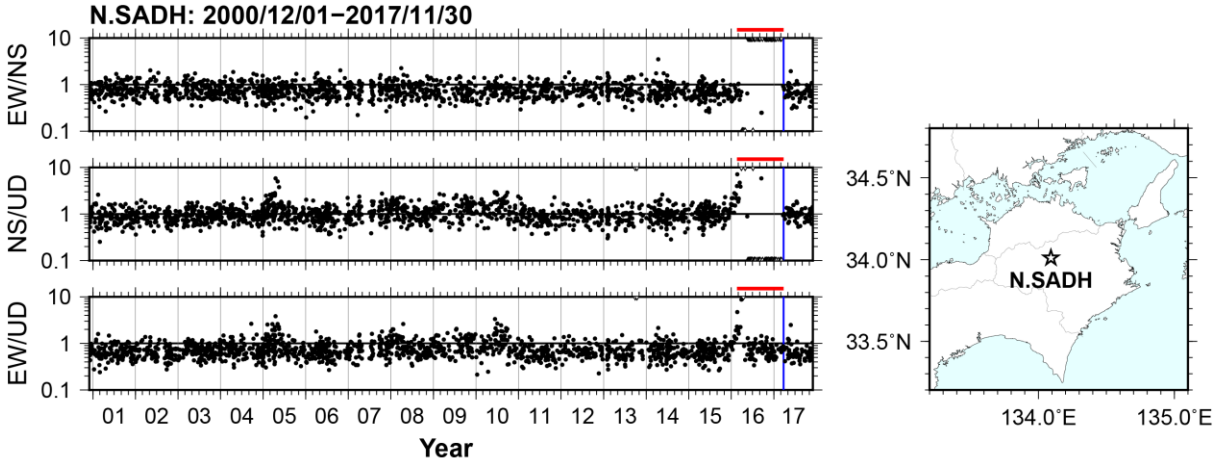


図３－６－②－５　防災科研 Hi-net の N.SADH（徳島県・貞光）観測点における各成分の雑微動のパワースペクトル密度比の変化。青縦線は地震計改修を行った時期を示す。データベースからは赤線の期間のデータを除去した。

本研究で設置した No.01 観測点のレシーバ関数を図３－６－②－６に示す。臨時点で観測期間が短いため記録が得られていない方位が多いほか、一部の方位で十分なデータがないために結果が安定しない様子が見えるが、動径方向（radial）成分（図左

側）では、南東方向（方位：180～270 度）から到来する地震波に対して、経過時間 4.5 秒付近に顕著な後続波が見える。観測点から見て南西方向に震源が位置する場合に大きな振幅が出ているので、定性的には南西方向に傾斜する速度不連続面の特徴を表しているが、この特徴は一般的なフィリピン海プレートモデルとは整合しない。この後続波の解釈を含め、今後の検討が必要である。一方、transverse 成分を見ると、経過時間ゼロ秒で正の振幅（赤）と負の振幅（青）が、方位角に対して約 90 度ごとに交互に現れていることがわかる。この特徴は、地震計の水平動２成分が正確に東西・南北方向に向いていない可能性が高いことを示している。このような特徴を示す点では、もともと微弱な transverse 成分の出現パターンが乱されている可能性が高いので、正しい地震計設置方位情報を推定し、必要な補正を行ったうえで解析に供する必要がある。

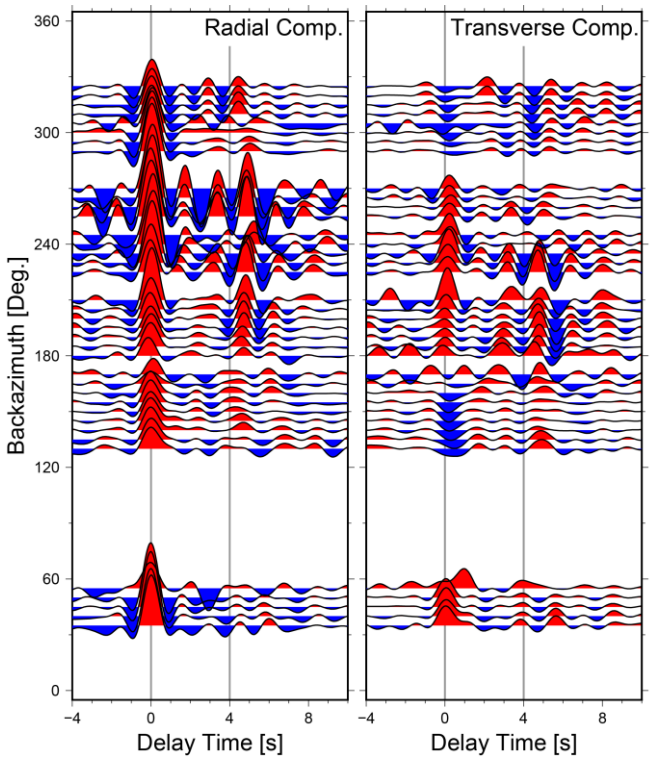


図３－６－②－６　本研究で設置した No01 観測点におけるレシーバ関数。横軸は直達 P 波到着からの経過時間、縦軸は地震波到来方向を表す。振幅の正負を赤あるいは青に塗色して示す。

レシーバ関数データベースを活用し、四国東部地域下に存在するフィリピン海プレートに起因する速度不連続面を高精度に検出するためには、当該地域の詳細な地震波（P 波及び S 波）速度構造が必要となる。今後、当該地域を対象とした地震波トモグラフィ解析に供することを目的として、近地地震波の P 波及び S 波到着時刻に関するデータベース（検測値データベース）を構築する。昨年度までに観測開始から 2016 年 11 月までの処理を実施済みである。今年度は、８月上旬に観測データの回収を実施

したため、2016 年 12 月から 2017 年 7 月までを今年度のデータベース構築対象期間とした。本研究で設置した臨時稠密観測点に加え、震央距離 150 km 程度以内に存在する防災科研 Hi-net 観測点を検測対象とし、防災科研 Hi-net 震源カタログにおいて、震央位置が北緯 33.3 度から 34.8 度、東経 133.0 度から 135.0 度の範囲に含まれるマグニチュード 1.6 以上の地震による波形記録の検測を行った。本作業により求められた震源の分布を図３－６－②－７に示す。一部の震源が解析対象領域外に求まっているが、これは震源再決定の結果によるものである。

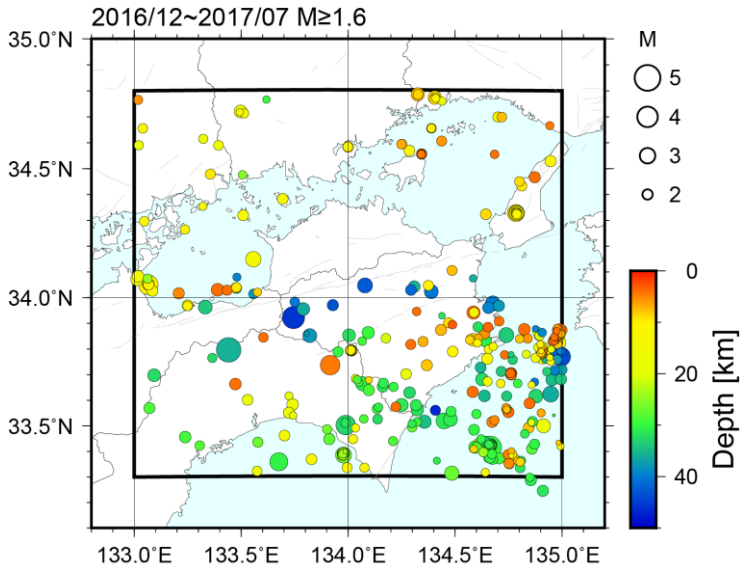


図３－６－②－７　今年度の検測値データベース構築に用いた震源の分布。シンボルの大きさは地震のマグニチュード、色は震源の深さを表す。

本年度の検測情報を昨年度までに構築済みのデータベースと統合するとともに、処理状況を可視化して確認したところ、本研究で設置した地震観測点の一部で刻時情報に問題があることが明らかになった。障害があったと考えられる２観測点（No03 及び No08）の O-C 値（観測された地震波走時と計算から予測される地震波走時の時間差）の時間変化を図３－６－②－８に示す。これらの観測点では、P 波、S 波ともに、2016 年６月ごろから O-C 値が明らかに負値に変化しており、最大で約２秒の遅れとなった。この時間差は 2016 年 12 月のメンテナンス時で解消していることから、何らかの理由で GPS 信号を正常に受信出来なくなり、時刻校正に失敗を続けたものと考えられる。この結果を踏まえ、2016 年６月から同年 12 月のメンテナンス終了までの両観測点の検測値は、今後の解析対象から除外することとした。

なお、レシーバ関数解析では、地震計各成分に記録される様々な地震波の相対的な時間差に基づく解析であるため、本障害の影響は受けない。逆に、前項で述べた地震計の感度の低下は、P 波及び S 波の到着時刻の検測には影響しないため、検測値データベースに登録し、活用することは可能である。

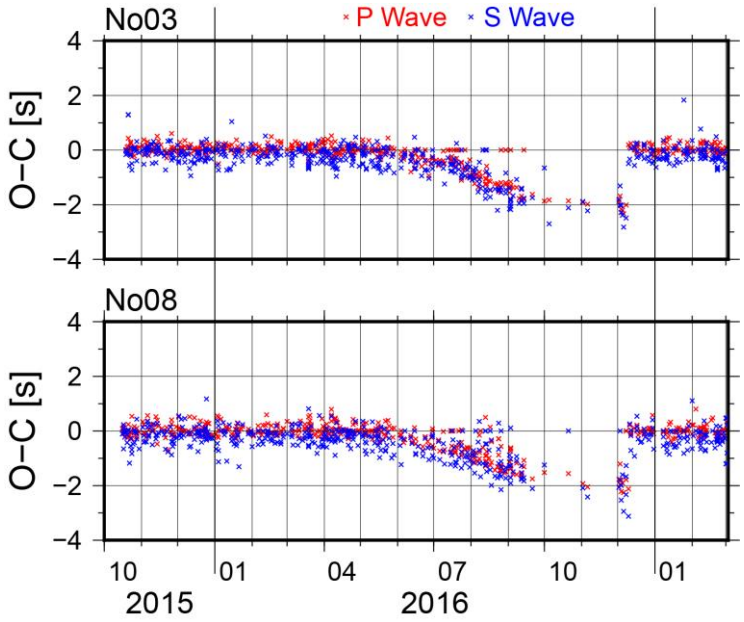


図３－６－②－８　本研究で設置した臨時観測点の O-C 値の変化。上段は No03、下段は No08 観測点の例を示す。P 波及び S 波の結果をそれぞれ赤及び青のシンボルで表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 27 年度に四国東部地域を対象に設置した稠密地震観測点 15 点のうち、平成 28 年度末に撤収した 4 点を除く 11 点の運用を継続するとともに、対象地域内の空白域の解消し、また対象地域を東西に拡大すべく、新たに 7 点の地震観測点の設置を行った。深部低周波地震（微動）に対して、MF 法による解析を実施した結果、気象庁一元化震源カタログと比べて検出数が大幅に増加した。また、気象庁カタログには登録されていない深部低周波地震のクラスタ活動を発見するとともに、活動が東西方向に拡大していく様子がより明瞭となった。四国東部下に存在するフィリピン海プレート形状を推定するためのデータとして、稠密地震観測点及び周辺の定常観測点で収録された遠地地震波形を抽出した。これらの観測波形について、今後の高精度な解析に適用するため様々な視点から十分な品質確認を行い、問題ないと判断される波形記録に基づくデータベースを構築した。この際、一部の観測点において、解析対象とする 1 秒以上の周期帯の波動場が正確に記録されていない可能性が高いことや地震計水平成分の設置方位が不明確であり、そのままでは解析に使用すべきではないデータがあることが明らかになった。一方、対象地域で発生したマグニチュード 1.6 以上の地震について、P 波及び S 波の検測を実施し、今後の地震波速度構造モデル構築の基礎となるデータベースを構築した。この際、既に観測を終了した観測点で、一部の期間にデータの刻時異常が発生していたことが判明した。地震観測データは必ずしも正しい地動を記録している訳ではなく、異常なデータが混入することにより正確な情報の抽出に支障を生じうる。オフラインでの臨時機動観測では、観測データの異常を検知するのはメンテナンス時、あるいは回収したデータを詳細に解析する際に限られてしまうため、高

精度な観測を実施するための機器のメンテナンス、異常を出来るだけ簡易に判断するための解析法を充実させるとともに、収録されたデータについては、解析方法に沿った精度が担保されたデータであることを事前に確認することが重要である。四国東部域における深部低周波地震・微動の時空間分布や沈み込むフィリピン海プレート形状を高精度に把握し、起きている現象を適確に理解するためには、引き続き稠密地震観測を実施するとともに、適切な品質管理に努める必要がある。

(d)引用文献

1) Bianchi, I., J. Park, N. Piana Agostinetti, and V. Levin, Mapping seismic anisotropy using harmonic decomposition of receiver functions: An application to Northern Apennines, Italy, J. Geophys. Res., 115, B12317, doi:10.1029/2009JB007061, 2010.
2) 防災科学技術研究所, 西南日本における深部低周波微動活動(2016 年 11 月～2017 年 4 月）, 地震予知連絡会会報, 98, 343-348, 2017.
3) Ide, S., K. Shiomi, K. Mochizuki, T. Tonegawa, and G. Kimura, Split Philippine Sea plate beneath Japan, Geophys. Res. Lett., 37, L21304, doi:10.1029/2010GL044585, 2010.
4) Maeda, T., and K. Obara, Spatio-temporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, J. Geophys. Res., 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043, 2009.
5) Obara, K., Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan: Spatiotemporal characteristics and segmentation, J. Geophys. Res., 115, B00A25, doi:10.1029/2008JB006048, 2010.
6) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, Geophys. Res. Lett., 37, L13306, doi:10.1029/2010GL043679, 2010.
7) Park, J. and V. Levin, Anisotropic shear zones revealed by backazimuthal harmonics of teleseismic receiver functions, Geophys. J. Int., 207, 1216-1243, doi:10.1093/gji/ggw323, 2016.
8) Shelly, D.R., G.C. Beroza, and S. Ide, Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms, Nature, 446, 305-307, doi:10.1038/nature05666, 2007.

(3) 平成 30 年度業務計画案

海域におけるプレート・断層構造調査では、奄美・沖縄周辺域において海底地震計と臨時陸上観測点による自然地震観測を実施する。この観測で取得するデータの解析を進めるとともに、平成 29 年度まで取得したデータを用いて奄美群島付近で詳細な地殻構造を解明し、南西諸島北部の震源分布や P 波・S 波の三次元速度構造などを解明する。

四国東部で発生する深部低周波微動源ならびに微小地震震源の高精度決定や陸域のプレート形状推定を目的として、四国東部を対象に平成 27 年度及び 29 年度に設置した陸域稠密地震観測点群の運用を継続するとともに、観測空白域に新たな観測点を追加する等の高度化を図る。これらの観測点及び周辺の基盤的地震観測網等でこれまでに収録された観測記録を収集し、四国東部におけるフィリピン海プレート形状モデルのプロトタイプを構築するとともに、深部低周波微動源の位置の高精度推定を行う。

3.7 海陸津波履歴研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目 「海陸津波履歴研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門	首席研究員 主任研究員 研究員 客員研究員	池原 研 板木拓也 杉崎彩子 宇佐見和子
国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	研究グループ長 上級主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 研究員 研究部門付	宍倉正展 澤井祐紀 行谷佑一 松本 弾 谷川晃一朗 伊尾木圭衣 藤原 治
国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	グループリーダー	金松敏也
国立大学法人高知大学 教育研究部	教授	岩井雅夫
法政大学 文学部	教授	前杢英明
国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤亮輔
一般財団法人地域地盤環境研究所	主任研究員	越後智雄
国立大学法人筑波大学 生命環境系	准教授	藤野滋弘

(c) 業務の目的

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調査などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。また、防災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を受ける。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成25年度：

陸域では四国沿岸において津波浸水や地殻変動の履歴について調査を行った。海域では四国沖海域での調査航海を実施し、地震・津波履歴の調査を行った。

平成26年度：

陸域では平成25年度に得られた試料の分析と四国～九州沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴を得た。海域では平成25年度に得られた試料や既存試料の分析と九州～琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成27年度：

陸域では前年度までの四国沿岸における掘削調査試料および紀伊半島沿岸と駿河湾奥における既存の掘削試料の解析、さらに駿河湾奥での歴史記録調査と地中レーダー探査から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では九州～琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成28年度：

陸域では駿河湾奥での歴史記録調査とボーリング掘削調査から地殻変動の履歴を得た。また九州沿岸で予備調査を実施した。海域では琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。また、日本海溝域で比較研究を実施した。

平成29年度：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成30年度：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～南九州沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成31年度：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～南九州沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成32年度：

海陸の調査結果のとりまとめと比較検討を行い、本地域全体での地震・津波の発生履歴についてまとめる。

(e) 平成29年度業務目的

陸域では駿河湾北縁沿岸において、平成28年度実施の掘削調査で採取した試料や産総研所有の未分析の試料について年代測定や微化石分析を進め、隆起履歴と沈降履歴を復元し、シミュレーション分野と連携して南海トラフ東端の破壊挙動の解明を目標とする。また南海トラフ中部の紀伊半島から西端の宮崎平野の間および南西諸島北部において、津波堆積物および隆起痕跡について調査を行い、本事業による平成25～26

年度に四国での掘削調査で採取された地層サンプルの年代測定や微化石分析等と併せ、地域間対比から南海トラフ全体での履歴解明を目指す。

海域では、2-1-a で実施する調査航海に参加し、琉球海溝周辺海域から海底堆積物コアを採取する。また、本事業による平成 26～28 年度の調査航海で採取されたコア試料について分析を進め、琉球海溝南部域の地震・津波発生履歴を復元する。東海～四国沖の既存コアの検索を行い、地震・津波発生履歴研究に使用できそうなものを抽出し、予察的な分析を開始する。また、南海トラフや日本海溝域の堆積物記録との比較研究を実施する。これらから、堆積構造解析により地震・津波により形成された堆積層を識別し、その時空間分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析は、2-1-a との密接な連携のもとに共同して実施する。

(2) 平成 29 年度成果

①海域での津波履歴調査

(a) 業務の要約

琉球海溝沿いで発生する地震･津波に伴って形成されるイベント堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から過去の地震発生履歴を推定するために沖縄八重山～沖縄島沖海域で平成 26～28 年度に採取された海底堆積物試料の分析と追加の海底堆積物の採取と解析を行った。平成 26～28 年度に宮古島～西表島南方前弧域から採取したピストンコア試料について年代測定から前弧域への石灰質生物源粒子からなるタービダイトの堆積間隔は石垣島南方沖の海底戦場地上で最も短く、およそ 400～1000 年間隔であることがわかった。これは石垣島の津波堆積物の堆積間隔にほぼ一致し、八重山諸島域の地震･津波の再来間隔を示している可能性がある。さらにこの結果を確認するため、八重山沖海域で海洋研究開発機構の調査船「みらい」による MR18-01C 航海で宮古島～西表島南方前弧域で堆積物試料の採取と海底地形調査並びに表層地層探査を行った。その結果、この海域においてもタービダイトの挟在が確認された。堆積物の色調変化を基にするとタービダイトの挟在頻度は石垣島南方海域よりも低い可能性が示唆された。

(b) 業務の実施方法

琉球海溝域における地震･津波イベント堆積物の認定とこれに基づく過去の地震･津波発生履歴の解明のため、平成 26～28 年度に実施された沖縄宮古島～西表島南方沖海域において採取された海底表層堆積物試料の年代分析を行った。また、これらに挟在するイベント堆積物の起源を特定するため、いくつかの試料について底生有孔虫分析と非破壊蛍光 X 線コアスキャナーによる化学分析を実施した。さらに、八重山沖海域の全域でのタービダイトの時空間分布を把握するため同機構の調査船「みらい」の MR18-01C 航海を実施し、これまでの航海で調査が実施されていない宮古島～西表島南方沖海域において海底地形、表層地層構造探査とピストンコア試料の採取を行った。調査航海では、コア採取がされていなかった石垣島南方の海底谷沿いで５本のピストンコアと３本の表層堆積物試料を採取した。また、1771 年明和津波の起源として海底地すべりの可能性が示されている斜面域において海底地形及び表層地層構造探査と斜面の先の海盆底

において１本のピストンコア試料の採取を行った。採取された堆積物コアは、船上でマルチセンサーコアロガーによる物性測定の後、半割され、マルチセンサーコアロガーのイメージセンサーによるコア表面の可視画像撮影、肉眼観察・記載と各種分析用試料の分取を行った。また、熊野～四国沖の既存コアから本研究に使用可能なコアの選定を行い、可能性のあるコアの観察と分析用試料の分取を行なったほか、タービダイトを用いた地震・津波履歴の解明手法の高度化を目指して、琉球海溝と堆積学的な設定が異なる日本海溝並びにその陸側斜面において採取されたコア試料の堆積構造やタービダイトの堆積間隔、堆積過程の比較検討を実施した。

(c) 業務の成果

海溝型地震の震源の多くは海底下にある。このため、もっとも大きな地震動とそれに伴う変動は海底で起こると考えられる。海底での大きな震動は海底堆積物粒子の再配列を引き起こし、粒子間の間隙を埋める水（間隙水）の圧力を上昇させ、粒子を間隙水中に浮かすことで堆積物を不安定にし、海底地すべりを発生しやすくする。また、浅海に侵入した津波は海底の傾斜変換点でエネルギーを集中させ、海底表層堆積物を巻き上げる可能性がある（Arai et al.、2013；Ikehara et al.、2014)。さらに震源近傍の海底では震動によって表層堆積物をまき上げたり（Sakaguchi et al.、2011)、変形させたり（Ikehara et al.、2014）するプロセスの存在も示されている。このような地震や津波に伴う海底での土砂の輸送／再配置は、海底地すべりや堆積物の巻き上げ起源の堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重力の効果により海底斜面を流れ下る密度流である混濁流によると考えられる。混濁流からの粒子の堆積は平常時に堆積する泥と異なる粒度組成や堆積構造をもつことが知られている（Bouma、1962；Stow and Shanmugam、1980 など）ので、海底堆積物中から混濁流起源の堆積層であるタービダイトを認定し、その堆積年代を決めることで過去の地震の発生時期を特定できる可能性がある（Adams、1990；池原、2001；Goldfinger et al.、2003 など)。本課題では、沖縄八重山沖前弧域を中心とした海域を対象に、海底堆積物中の地震・津波起源のタービダイトからこの海域における地震・津波の発生間隔の解明と、1771 年明和津波発生における海底地すべりの影響の評価を目的とする。

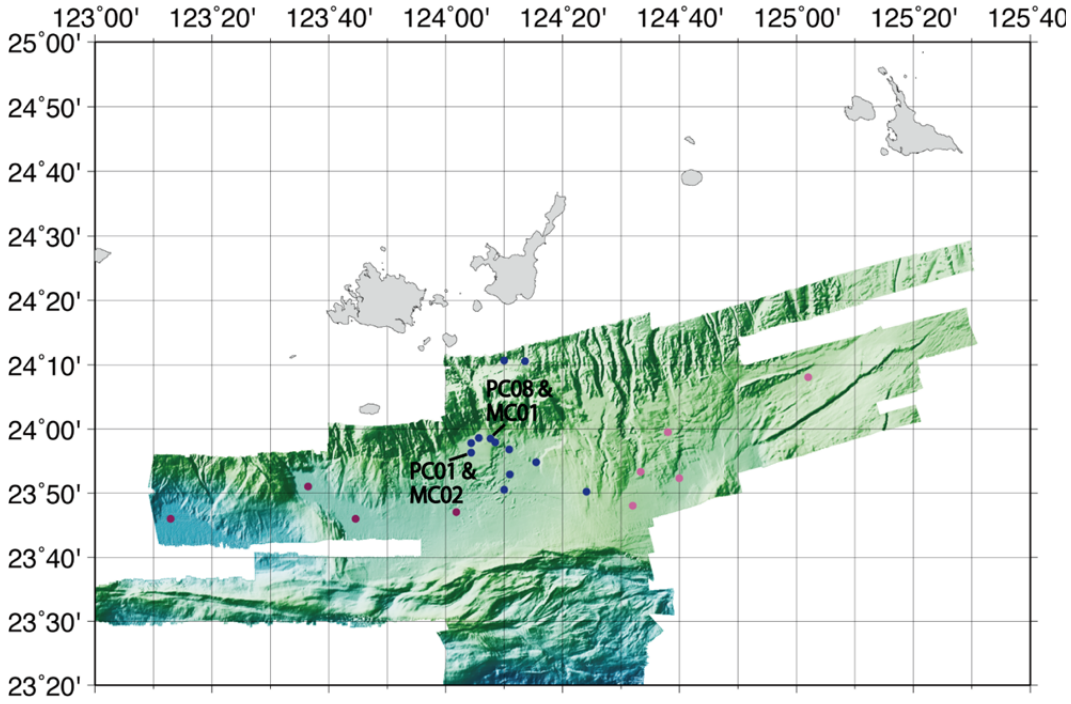


図３－７－①－１　平成 26～28 年度の「よこすか」YK15-01、「かいれい」KR15-18、KR16-E06 航海で作成した八重山前弧域の海底地形とコア採取地点（青：YK15-01、紫：KR15-18、ピンク：KR16-E06）

昨年度までの研究によって、平成 26 年度に「よこすか」の YK15-01 航海で沖縄石垣島南西沖前弧域の海底扇状地上から採取された２本のピストンコア試料(YK15-01 PC01、PC08：採取地点は図３－７－①－１、柱状図は図３－７－①－２）には多数の砂質堆積物の挟在が確認され、下面が明瞭かつ侵食的で、上方へ細粒化する構造などから、混濁流から形成されたタービダイトと解釈された。そしてコア深度方向へのタービダイトの挟在状況の異なるこの２本のコア試料について、タービダイト間の通常時の堆積物（半遠洋性泥）中に含まれる浮遊性有孔虫を用いた放射性炭素年代測定を実施した（PC01 について 10 層準、PC08 について 15 層準）結果、およそ 400～1000 年というタービダイトの堆積間隔が得られた。さらに、同じ地点で採取された不擾乱表層堆積物試料（YK15-01 MC01、MC02：採取地点は図３－７－①－１、柱状図は図３－７－①－３）の年代測定結果から最上位のタービダイトは３～４世紀以降に堆積したこと、タービダイトの堆積間隔は 1000 年弱（約 3500 年間に４枚）であることがわかっている。これら表層堆積物試料の示すタービダイトの堆積間隔はピストンコア試料のそれと調和的であるが、Araoka et al.（2013）による八重山地方の沿岸に分布する多数の津波石の放射性炭素年代測定に基づく、八重山地方における津波の再来間隔である 150～400 年よりも長い。しかし、石垣島などの津波堆積物の堆積間隔である 500～1000 年（河名・中田、1994）や、石垣島の津波堆積物での 1771 年明和津波のほかに約 800 年前、約 2000 年前の津波堆積物（Ando et al.、2018）とタービダイトの堆積間隔は整合的に見える。一方、この２本のコアが採取された海底扇状地以外の場所でのタービダイトの堆積間隔は数千年以上と計算さ

れ、すべての地震・津波記録が残されていない可能性が高い。今後、年代測定結果をまとめて、タービダイトのコア間対比の可能性を検討し、より低頻度でも広域にわたるイベントの有無を検討する必要がある。

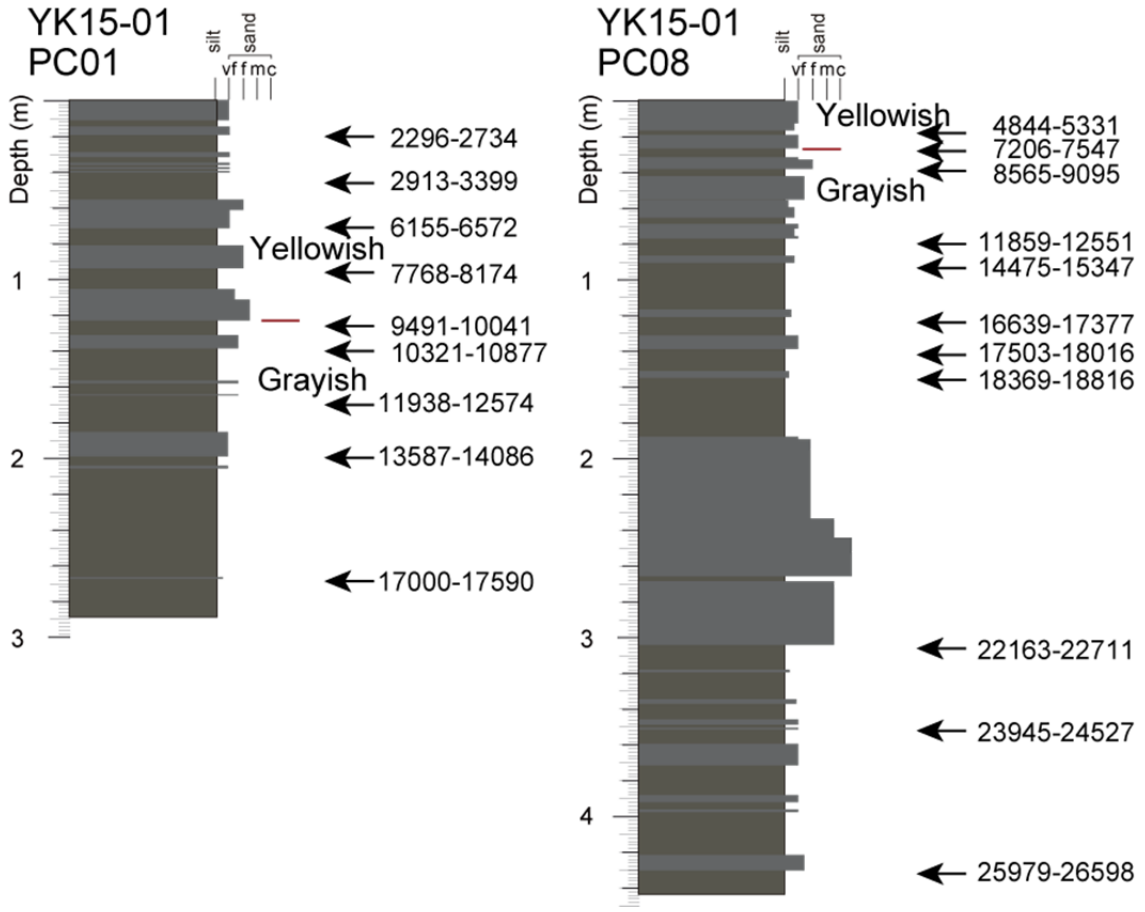


図３－７－①－２　「よこすか」YK15-01 航海で八重山前弧域の海底扇状地上から採取された２本のコア（YK15-01 PC01 と PC08）の岩相と年代測定結果

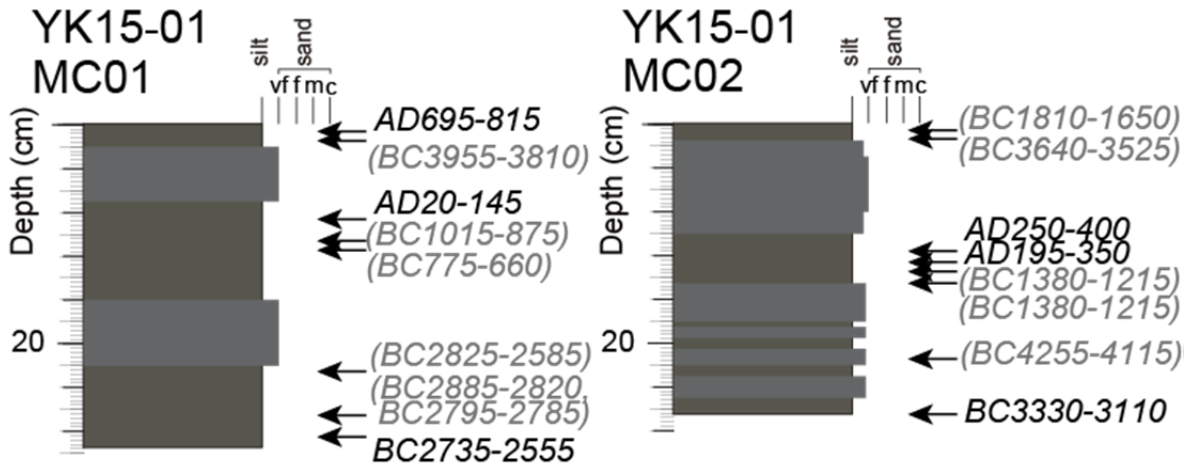


図３－７－①－３　「よこすか」YK15-01 航海で採取された不擾乱表層堆積物試料（YK15-01 MC01 と MC02）の岩相と年代測定結果

一方 YK15-01 航海と KR16-E06 航海の調査海域の間にも明瞭な海底谷が存在し、この海底谷は石垣島側から伸びてきていることが既存の海底地形図から推定され、1771 年明和津波に関連したイベント堆積物がこの海底谷沿いに形成されている可能性も考えられた。このため平成 29 年度は海洋研究開発機構の「みらい」の MR18-01C 航海においてこの海底谷沿いから５本のピストンコアを採取した（図３－７－①－４と表３－７－①－１）。得られたコア試料の岩相は図３－７－①－５にまとめた。

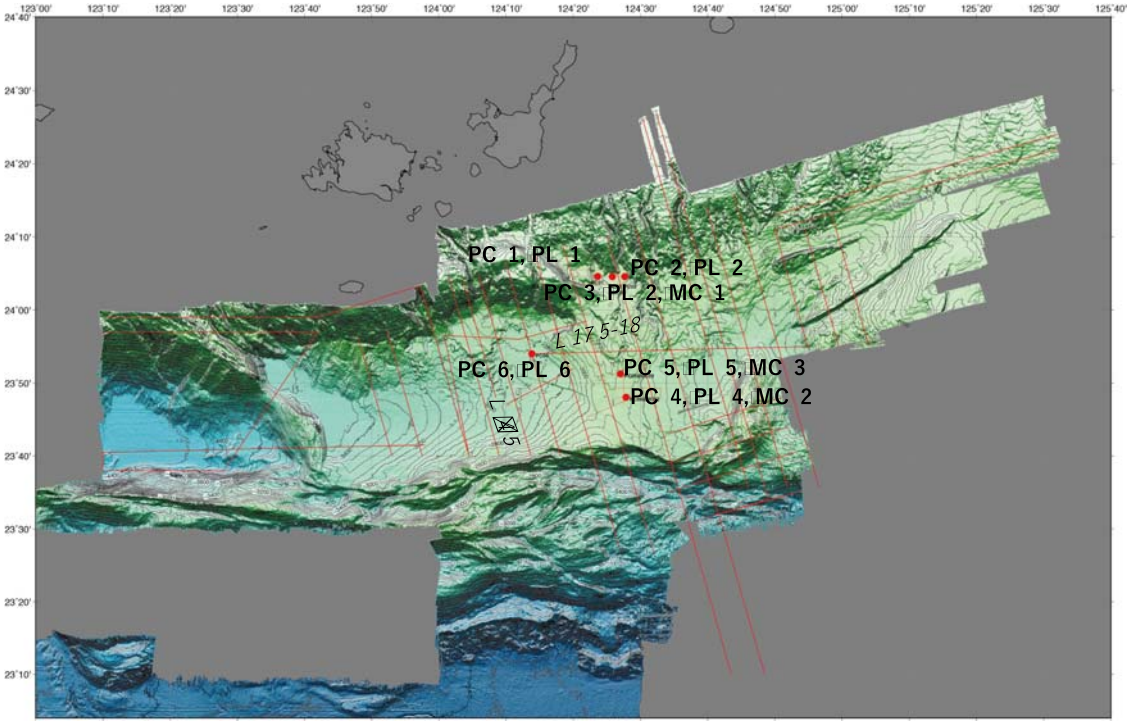


図３－７－①－４　「みらい」MR18-01C 航海のピストンコア採取地点と表層地層探査測線

表３－７－①－１　「みらい」MR18-01C 航海での堆積物試料採取地点の位置と水深

	緯度（北緯）		経度（東経）		水深（m）
PC01, PL01	24	4.5998	124	23.6320	2190
PC02, PL02		4.5882		27.6599	2239
PC03, PL03		4.5826		25.8288	2229
PC04, PL04	23	48.0456		27.8484	2533
PC05, PL05		51.2605		27.0450	2531
PC06, PL06		54.0114		13.8548	2848
MC01	24	4.5800		25.8231	2229
MC02		48.0425		27.8573	2532
MC03		51.2567		27.0376	2529

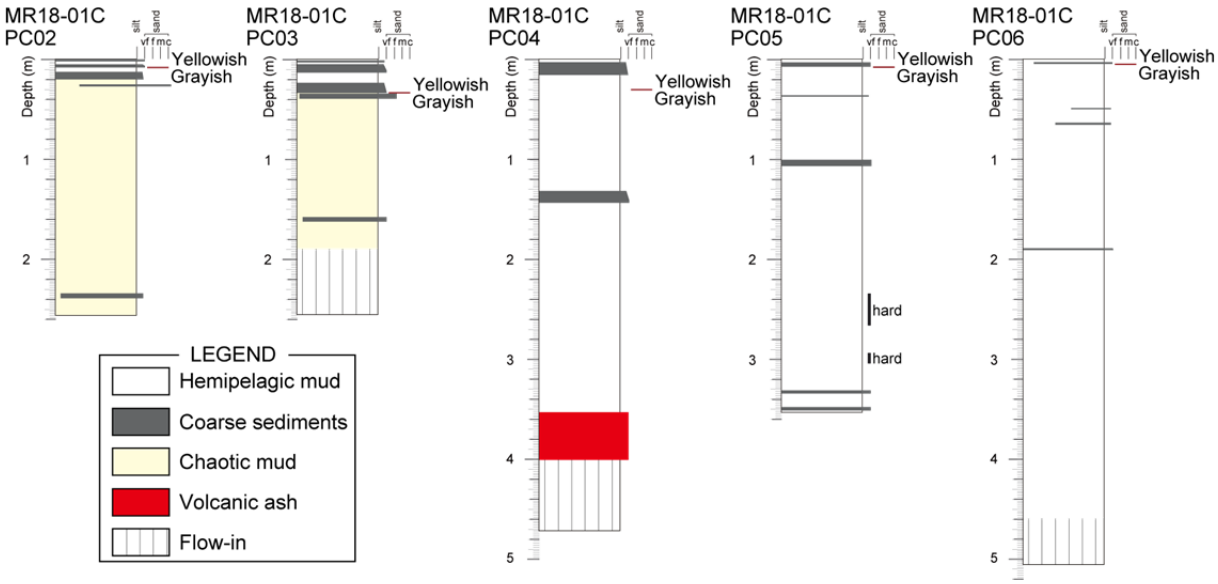


図３－７－①－５　MR18-01C 航海で採取されたピストンコア試料
コア試料の採取位置は、図３－７－①－４、表３－７－①－１を参照。PC01 はコア試料が採取できなかった。

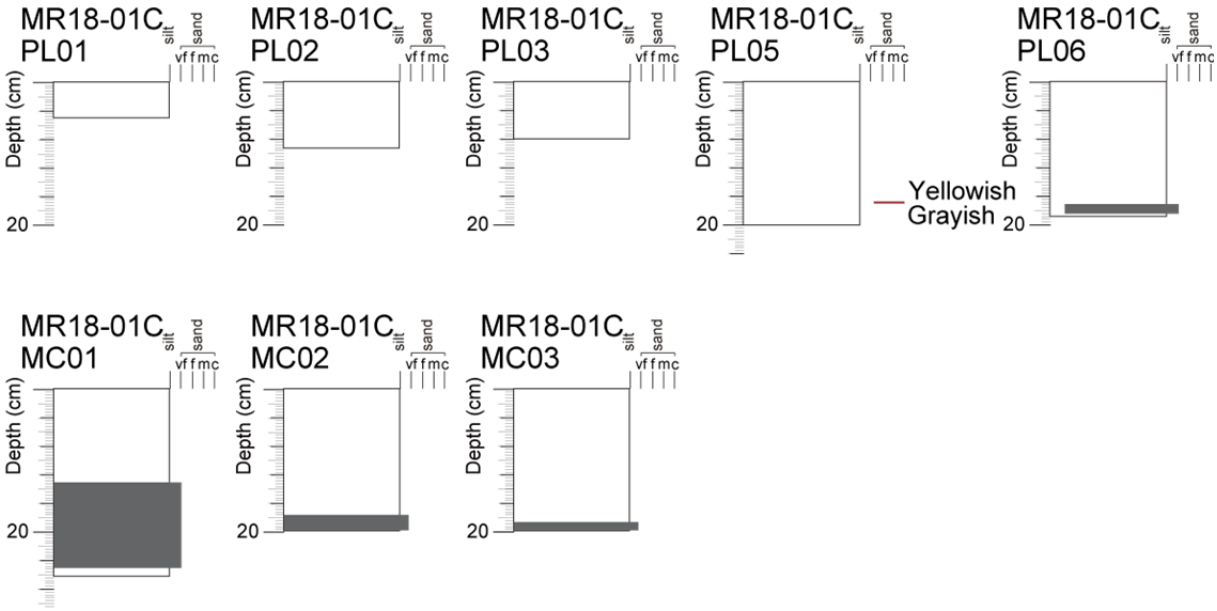


図３－７－①－６　MR18-01C 航海で採取されたパイロットコア（PL）及びマルチプルコア（MC）試料
コアの採取位置は図３－７－①－４、表３－７－①－１を参照。

石垣島南方に谷頭をもつ海底谷沿いから採取された４本のコアは斜面中部の２つの海底谷が合流する平坦面（MR18-01C PC02、PC03）からと海底谷が開いた斜面基部の小海盆（MR18-01C PC04、PC05）から採取された。前者では１ないし２枚の薄いタービダイトとその下に 1m 以上の厚さを持つマッドクラストを含むカオティックな層相の水中

土石流起源の堆積物が認められる（図３−７−①−５）。通常時の堆積物の色調変化（黄色っぽい色調から灰色っぽい色調への変化）を同時間面と仮定すると２本のコアの水中土石流堆積物は互いに対比されると考えられる。小海盆からの２本のコアには数枚の薄いタービダイトの挟在が認められる（図３−７―①−５）。同様に通常時の堆積物の色調変化に基づけば、上流側の PC05 の方がタービダイトの挟在頻度はやや大きいと思われるが、両者にそれほど顕著な違いはない。表層地層探査記録ではこの小海盆は平行に成層し、斜面にアバットする堆積層で埋積されているので、側方から供給されるタービダイトと通常時の半遠洋性堆積物からなるコアの結果と整合的である。また、色調変化に基づけば、昨年度にこの東側の海盆底から採取されたコア KR16-E06 PC03 のタービダイトの挟在状況は今回採取されたコア MR18-01C PC05 のそれと類似しており、石垣島南方〜南東方の海底谷沿いのタービダイトの挟在パターンは同じである可能性がある。今後、年代測定によってそれを確認する必要がある。

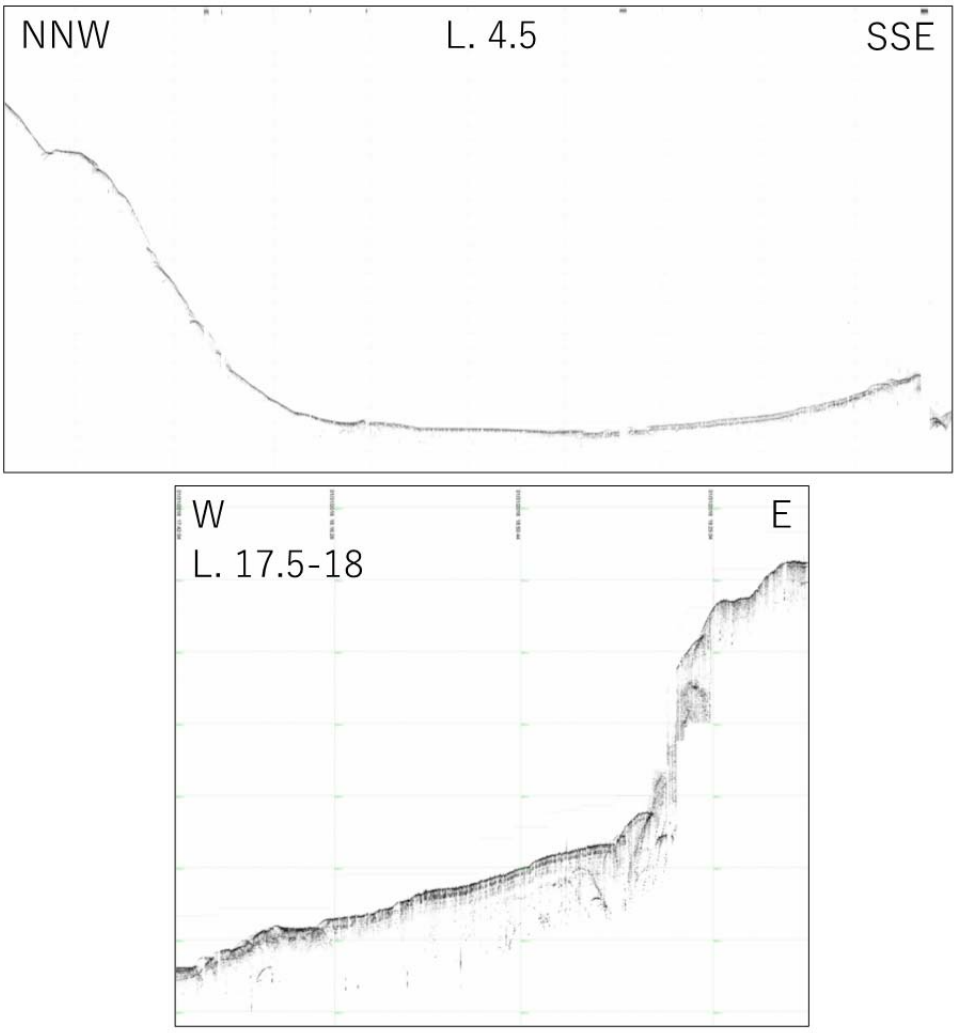


図３－７－①－７　前弧斜面〜海盆底を横切る測線での表層地層探査記録

一方、この海底谷と地形的高まりを隔てて存在する明瞭な前弧海盆の西端近くから採取されたコア MR18-01C PC06 は生物擾乱を受けたシルト中に薄い砂層あるいはパッチ状の砂を挟む層相からなる。ピストンコア本体（MR18-01C PC06）ならびにそのパイロットコア（MR18-01C PL06）の表層に粗粒堆積物はない（図３－７－①－６）。この前弧海盆西端部の前弧斜面では 1771 年明和津波の波源となりうる海底地すべりの存在の可能性が指摘されていた（Miyazawa et al.、2012）が、その斜面基部で採取されたコアの表層にそれに相当するイベントを示す堆積物はない。また、MR18-01C 航海で取得された表層地層探査記録（図３－７－①－７）でも前弧斜面に海底地すべり様の構造は認められない。さらに、Miyazawa et al. (2012)が示した海底地すべり域には昨年度及び今年度に調査を行なった斜面を削り込む海底谷が存在しており、Miyazawa et al. (2012) が示した全域に新しい地すべりがあるとは思えない。これら新たに得られた海底地形、表層地層探査、海底堆積物の記録から前弧斜面域での海底地すべりが 1771 年明和津波の波源である可能性は低いと考えられる。なお、図の測線 17.5-18 に見られる西向き斜面では大きな双曲線状の反射パターンが見られ、斜面崩壊に関連するものである可能性がある。しかし、その斜面基底の海盆底は密に清掃した堆積物で覆われており、コア MR18-01C PC06 や YK14-の結果を踏まえれば、斜面崩壊があったとしても最近のものではないと考えられる。

琉球海溝前弧域と琉球海溝底のタービダイトの給源と堆積過程を検討するため、蛍光 X 線コアスキャナーによる化学分析と底生有孔虫分析を行なった。琉球海溝底のタービダイトでは粒度指標である Rb/Zr 比と陸源粒子の指標である Ca/比にタービダイト相当部での明瞭な異常が検出された（図３－７－①－８）。蛍光 X 線コアスキャナーによる分析は高解像度で迅速に行えるので、今後のタービダイト層の検出に有効である可能性が示された。今後さらに様々な場所からのコアに適用し、場所や組成による違いの有無を検討していく予定である。また、一昨年度に採取された２本のコアについて底生有孔虫分析を行った。西表島南西の前弧海盆から採取されたコア KR15-18 PC05 ではコア上部に石灰質の細粒～中粒砂からなるタービダイトが、下部に石灰質の粗粒～極粗粒砂からなる水中土石流堆積物が通常時のシルト中に認められる。通常時のシルト中に含まれる底生有孔虫は黒潮域の深層水域の群集であるのに対して細粒～中粒砂のそれは中層水域の群集に表層水域の群集が混じっており、粗粒砂のそれは珊瑚礁域の群集と表層水域の群集が混じっていて、いずれも海盆よりも浅いところから供給されたものであることを示した。また沖縄島南方から採取されたコア KR15-18 PC06 でも細粒砂からなるタービダイトに含まれる底生有孔虫は表層水域の群集を含み、浅海域から供給されたことを示している。タービダイトを堆積させる混濁流は、混濁流の中の粒子を堆積させるとともに海底堆積物から粒子を取り込むのでタービダイト中の粒子組成がそのまま給源を示すわけではないが、今回の底生有孔虫分析の結果は前弧海盆のタービダイトが珊瑚礁域から前弧斜面中部付近から供給されたことを示しており、琉球列島側から流下した混濁流によるものであることがわかった。

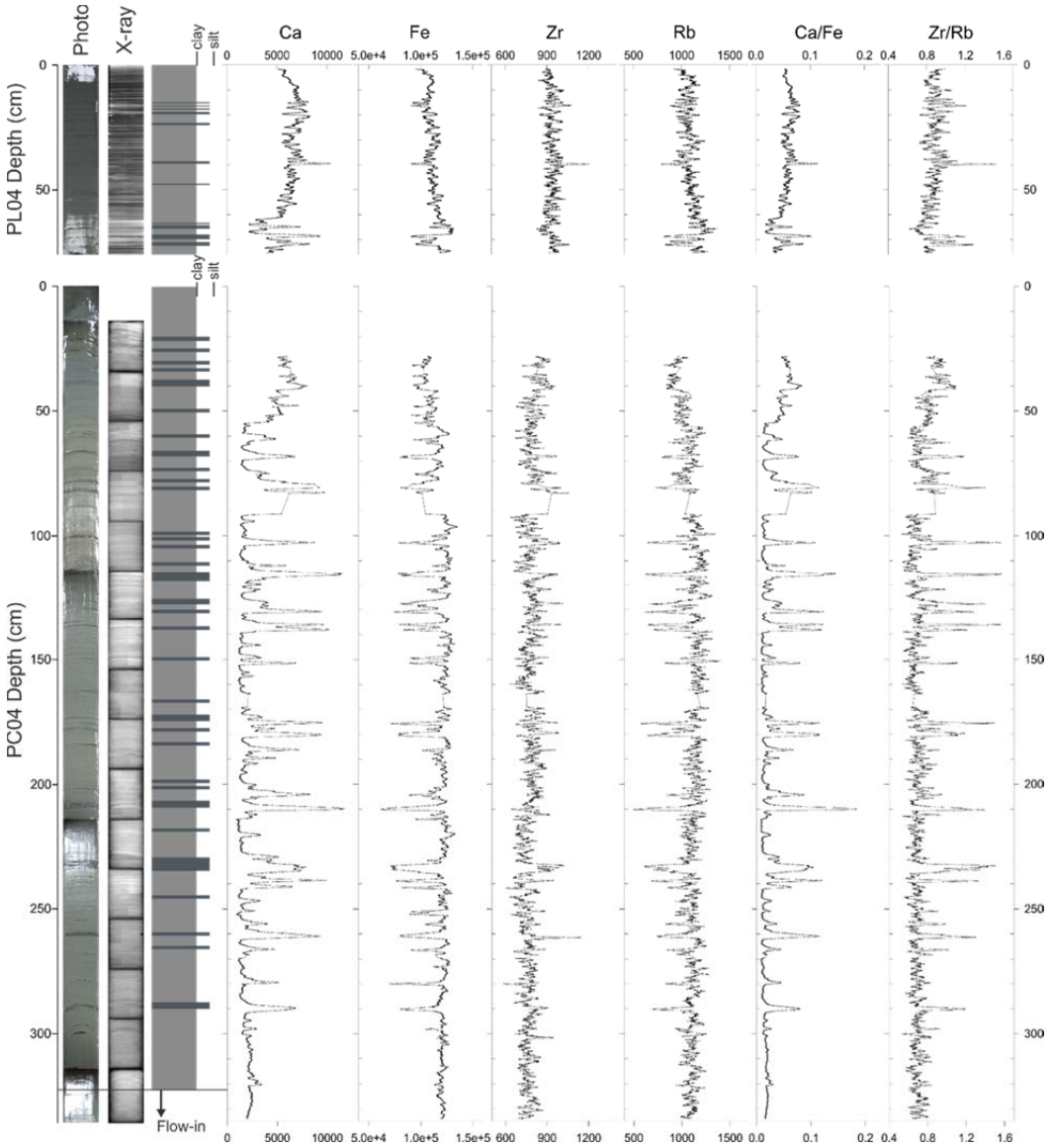


図３－７－①－８　琉球海溝底コア KR15-18 PC04、PL04 の蛍光 X 線コアスキャナーによる分析結果（Hsiung et al.投稿準備中）

琉球海溝前弧域と異なり、小さな海盆の連なる日本海溝では細粒タービダイトの累重が確認されており、細粒の深海底タービダイトを用いた地震発生履歴の研究が進められており（例えば、Ikehara et al.、2016)、タービダイト古地震学遂行の適地の一つと考えられている（Ikehara et al.、2018)。今年度の比較研究の結果では、斜面下部の平坦面上から採取されたコア中に挟在するタービダイトの正確な堆積年代の決定から陸上の津波堆積物との詳細な対比が検討された。さらに、発生パターンの地域差や時間変化も捉えられた（Usami et al.、in press)。このような詳細な議論は詳細な堆積年代決定(この場合は地磁気永年変動曲線を用いた年代モデルの構築;Kanamatsu et al.、2017）に支えられている。琉球海溝域でも陸上の津波石（Araoka et al.、2013）や津波堆積物（Ando et al.、2018）の記録と本研究で得られつつあるタービダイト記録の比較を今後進めねばならない。

(d) 結論ならびに今後の課題

以上のように、平成 26～28 年度までに加え、平成 29 年度に「みらい」MR18-01C 航海で沖縄石垣島南方沖前弧海域から新たに採取された海底堆積物コアを踏まえると、この海域において地震性と考えられるタービダイトの最も短い堆積間隔は石垣島南西沖の海底扇状地における 400～1000 年程度であることがわかった。この間隔は石垣島などの沿岸に存在する津波石の形成年代から見積もられている津波の再来間隔（150～400 年：Araoka et al.、2013）よりも有意に長いが、陸上の遡上型津波堆積物の堆積間隔である 500～1000 年程度（河名・中田、1994；Ando et al.、2018）とは整合的である。一方､石垣島南方の海底谷沿いでは頻度は少ないものの昨年度の｢かいれい｣の KR16-E06 航海で隣接する海盆から採取されたコア中のタービダイト記録と類似しており､頻度は小さいがより広くタービダイトを堆積されるイベントの存在の可能性を示唆した。今後、年代測定を行うことでタービダイトの同時性の確認することが重要である。また、今年度新たに得られた表層地層探査記録と海底堆積物コアから 1771 年明和津波に対応する前弧斜面域での海底地すべりは認められず､明和津波に対する前弧斜面域の海底地すべりの寄与はなかったものと考えられた。また、琉球海溝底コアについて行った蛍光 X 線コアスキャナーによる化学分析結果はタービダイト層準で明瞭な組成変化を示し､迅速なタービダイトの識別にこの手法が有効であることを示した。今後、迅速なタービダイト識別方法の一つとなることが期待される。

(e) 引用文献

Adams, J., Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, Tectonics, 9, 569-583, 1990.

Ando, M., A. Kitamura, Y. Tu, Y. Ohashi, T. Imai, M. Nakamura, R. Ikuta, Y. Miyairi, Y. Yokoyama and M. Shishikura, Source of high tsunamis along the southernmost Ryukyu trench inferred from tsuami stratigraphy, Tectonopysics, 722, 265-276, 2018.

Arai, K., H. Naruse, R. Miura, K. Kawamura, R. Hino, Y. Ito, D. Inazu, M. Yokokawa, N. Izumi, M. Murayama and T. Kasaya, Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geology, 41, 1195-1198, 2013.

Araoka, D., Y. Yokoyama, A. Suzuki, K. Goto, K. Miyagi, K. Miyazawa, H. Matsuzaki and H. Kawahata, Tsunami recurrence revealed by Porites coral boulders in the southern Ryukyu Islands, Japan, Geology, 41, 919-922, 2013.

Bouma, A.H., Sedimentology of some flysch deposits, Elsevier, Amsterdam, 168p, 1962.

Goldfinger, C., C.H. Nelson, J.E. Johnson and the Shipboard Scientific Party, Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites, Annual Rev. Earth Planet. Sci., 555-577, 2003.

池原　研，深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定，地学雑，110，471-478，2001.
Ikehara, K., T. Irino, K. Usami, R. Jenkins, A. Omura and J. Ashi, Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku, Marine Geol., 358, 120-127, 2014.
Ikehara, K., T. Kanamatsu, Y. Nagahashi, M. Strasser, F. Hiske, K. Usami, T. Irino and G. Wefer, Documenting large earthquakes similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake from sediments deposited in the Japan Trench over the past 1500 years, Earth Planet. Sci. Lett., 445, 48-56, 2016.
Ikehara, K., K. Usami, T. Kanamatsu, K. Arai, A. Yamaguchi and R. Fukuchi, Spatial variability in sediment lithology and sedimentary processes along the Japan Trench: Use of deep-sea turbidite records to reconstruct past large earthquakes, Geological Society Special Publication, No. 456, 75-89, 2018.
Kanamatsu, T., K. Usami, C.M.G. McHugh and K. Ikehara, High-resolution chronology of sediment below CCD based on Holocene paleomagnetic secular variations in the Tohoku-oki earthquake repture zone. Geochem. Geophys. Geosys., 18, 2900-3002.
河名俊男・中田　高，サンゴ質津波堆積物の年代からみた琉球列島南部周辺海域における後期完新世の津波発生時期、地学雑，103，352-376，1994.
Miyazawa, K., K. Goto and F. Imamura, Re-evaluation of the 1771 Meiwa tsunami source model, southern Ryukyu islands, Japan, Y. Yamada et al. (eds.) Submarine Mass Movements and Their Consequences, Springer, Dordrecht, 497-506, 2012.
Sakaguchi, A., G. Kimura, M. Strasser, E.J. Screaton, D. Curewitz and M. Murayama, Episodic seafloor mud brecciation due to great subduction zone earthquakes, Geology, 39, 919-922, 2011.
Stow, D.A.V. and G. Shanmugam, Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments, Sed. Geol., 25, 23-42, 1980.
Usami, K., K. Ikehara, T. Kanamatsu and C.M. McHugh, Supercycle in great earthquake recurrence along the Japan Trench over the last 4000 years, Geosci. Lett., in press.

②陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析（九州沿岸）

(a)　業務の要約

陸域津波履歴調査では宮崎県日向市南部の海岸低地において掘削調査を実施した。本調査では、表層からおよそ１ｍ程度の範囲の地層の層相をハンドコアラーおよびハンディジオスライサーを用いて確認した。また得られた試料に対し放射性炭素年代測定を実施し、最も古い堆積年代として地表面からの深さ約 60 cm のところで AD1492～1602 が

得られた。このことから少なくともこの年代以降の堆積物を観察したことになるが、津波と明確に呼べるイベント砂層は現時点では見つかっていない。

(b) 業務の実施方法

宮崎県太平洋沿岸は日向灘や南海トラフで発生する大規模な地震に伴って発生する津波に襲われていたことが知られている（たとえば、地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004)。また、内閣府による南海トラフ巨大地震の被害想定（内閣府，2012）では、宮崎県沿岸部が最大 10m 以上の津波に襲われる可能性があることを指摘している。しかし、これまで宮崎県において地層中から津波堆積物を検出した研究例は生田ほか（2014）や市原ほか（2015）などごく限られており、過去の地震・津波の実態については十分に解明されていない。そこで、本研究では宮崎県における津波の履歴・規模を解明することを目的として地質調査を計画した。

平成 29 年度には地層中から津波堆積物を検出する調査に最も適した場所として宮崎県日向市の海岸低地を選定した。この海岸低地は幅広の海岸砂丘（お倉ヶ浜）の背後に分布する小規模な低地であり、河川などの流水の影響が比較的小さくイベント堆積物の検出に適していると考えられる。この海岸低地に位置する田畑において、堆積物の層相確認とイベント堆積物の検出を目的として、ハンドコアラーおよびハンディジオスライサーを用いた掘削調査を実施した（図３－７－②－１）。さらに採取した堆積物試料の層相の観察および放射性炭素年代測定を実施した。堆積物の堆積年代の推定には、泥質堆積層から抽出した種や葉などの植物化石の年代を用いた。

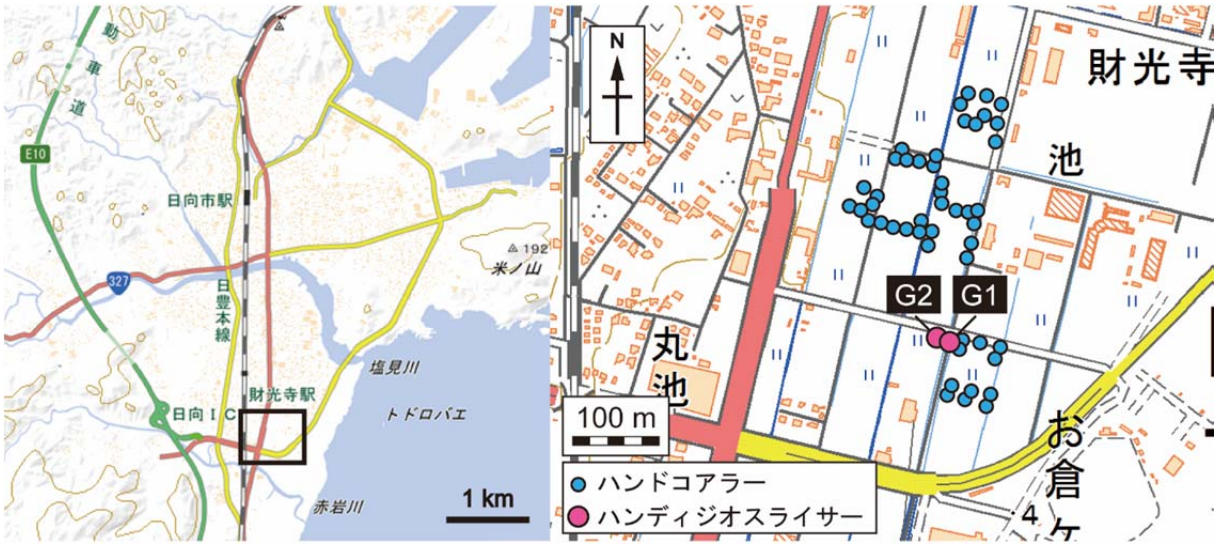


図３－７－②－１　宮崎県日向市の調査地域の地図。国土地理院地図を使用。左図内の黒四角の範囲を拡大したものを右図に示す。

(c) 業務の成果

平成 29 年度は宮崎県日向市の海岸低地においてハンドコアラーによる掘削を 48 地点、ハンディジオスライサーによる掘削を２地点で実施した。それぞれ地表面から約１ m まで掘削を行い、層相を確認した。この海岸低地の堆積物の層相は、ほとんどの地点で

表層付近の耕作土を除き深さ約１ ｍまで主に淘汰のよい細粒砂で構成されている。ただし、ハンディジオスライサーによる調査地点付近では深さ０～60cm 程度までやや有機質な泥が分布し、その中に層厚 10～20cm の細粒砂層がみられた（図３－７－②－２）。深さ 60cm 以深は他地点と同じく淘汰のよい細粒砂で構成されている。周囲の層相が砂勝ちであることから、現時点でこの泥層中の細粒砂層がどの程度の範囲まで分布するか十分に把握できていない。

また、この泥層中の細粒砂層の堆積年代を明らかにするため、地層中に含まれる果実や葉などの植物化石に対し放射性炭素年代測定を実施した。放射性炭素年代測定の結果、この泥層中の細粒砂層は、AD1485 年から現在までの間に形成されたことが明らかになった。

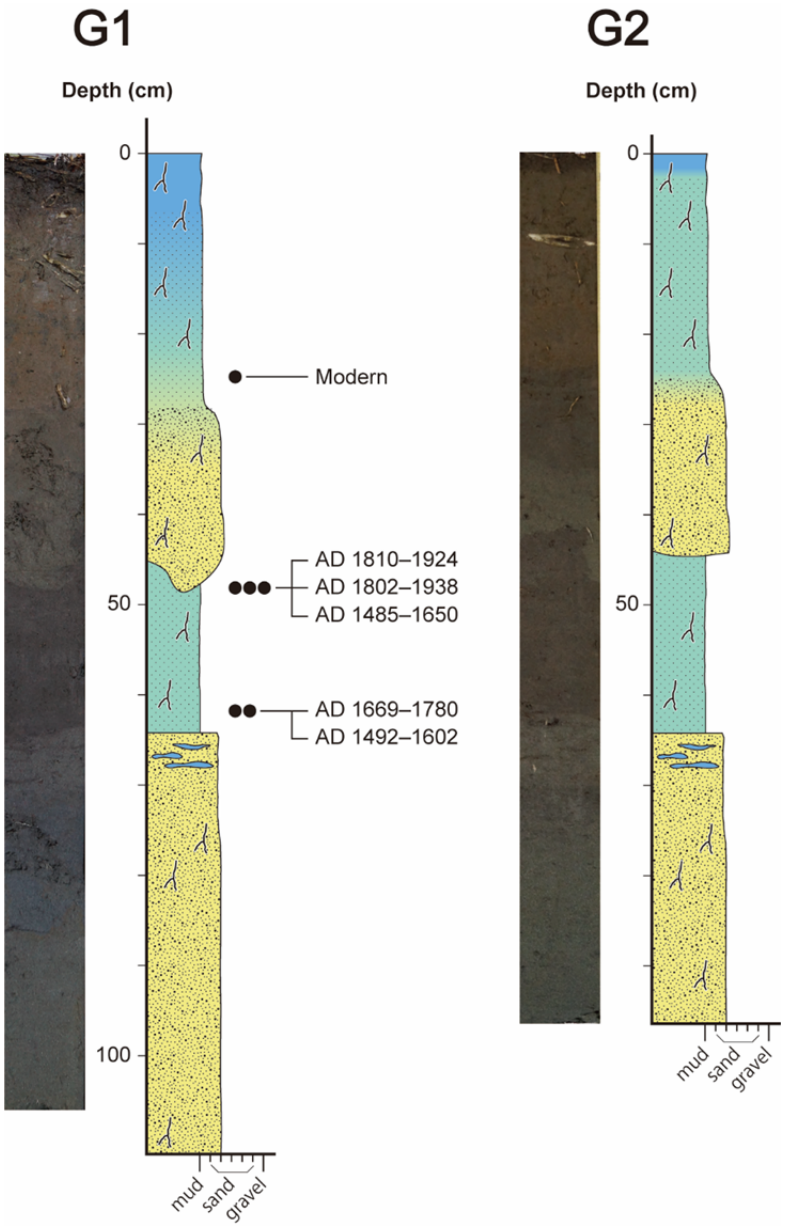


図３－７－②－２　G1、G2 の柱状図、コア写真および放射性炭素年代。

(d) 結論ならびに今後の課題

宮崎県日向市の海岸低地において津波堆積物調査を実施した。調査の結果、海岸低地には表層から１ｍまでの範囲に広く淘汰の良い細粒砂が分布することが明らかになった。また、一部の地点では表層付近に泥層が確認され、その中に層厚 10～20cm の細粒砂層がみられた。放射性炭素年代測定を実施した結果、この泥層中の細粒砂層は、AD1485 年から現在までの間に形成されたことが明らかになった。

今後は、この泥層中の細粒砂層が津波堆積物であるか判断を行うために、この砂層の分布範囲を把握するための追加調査の必要性を検討するとともに、砂層に含まれている珪藻や有孔虫などの微化石分析の必要性についても検討する。また、ここことは別の調査地域を新たに選定し掘削調査を実施することの必要性も併せて検討したい。

(e) 引用文献

1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価について，<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04feb_hyuganada/s01.pdf>（2017 年 12 月 13 日閲覧），2004.
2) 内閣府，南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び 被害想定（第一次報告）について，< http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/shiryo.pdf>（2017 年 12 月 13 日閲覧），2012.
3) 生田正文，丹羽正和，高取亮一，鎌滝孝信，黒澤英樹，宮崎平野における完新世堆積物の分析データ，JAEA-data/code 2014-2，日本原子力研究開発機構，2014.
4) 市原季彦，黒木昌，伊集院弘尚，宮崎平野における津波イベント堆積物について，日本地質学会第 122 年学術開会講演要旨，2015.

③陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析（南西諸島）

(a) 業務の要約

南西諸島北部奄美群島の喜界島において、地震履歴の解明と長期的な地殻変動を評価するため、現成および離水サンゴ・マイクロアトールの調査を実施した。また一部で試料を採取し、^{14}C 年代測定を行った。その結果、島の北部、東部、南部の３地点でそれぞれ現成マイクロアトール、北部で離水マイクロアトールを発見し、過去 155 年程度はおおよそ地殻が安定していること、また 14～17 世紀の間でも少なくとも 270 年間はおおよそ地殻が安定していたことが明らかになった。また 16～17 世紀にネットで 25cm 程度の急激な相対的海面低下があった可能性がある。

(b) 業務の実施方法

南海トラフの南西延長にあたる琉球海溝沿いは、島嶼地域であるため、陸域で津波堆積物調査に適した場所は少ない。一方、喜界島は間欠的な地震性隆起によって形成されたと考えられる完新世海岸段丘が発達しており、古くから地震履歴に関する研究が行われてきた（中田ほか，1978 など）。しかし完新世海岸段丘の成因について、地震性の隆

起よりむしろ定常的な隆起が主な要因とするシミュレーション結果もある（Shikakura, 2014）。そこで亜熱帯～熱帯地域において過去の地殻変動の復元に有効なサンゴ・マイクロアトールを用いて、喜界島の長期的な地殻変動と地震履歴の解明を試みた。サンゴ・マイクロアトールは、ハマサンゴ属がつくる円筒形状のサンゴ群体で、その頂面が低潮位を示す。年間１cm 程度ずつ成長して径を拡大していくが、その過程において海面の変動に敏感に反応してレベルを変化させるため、年単位の地殻変動を復元することができる（Meltzner and Woodroffe, 2015；図３－７－③－１）。

今年度はまず喜界島沿岸の踏査を行い、現成および離水サンゴ・マイクロアトールの分布を確認した。発見したサンゴ・マイクロアトールは、頂面の形状観察および直径の計測を行った。離水サンゴ・マイクロアトールについては高度の計測と、一部試料の採取を行い、試料は ^{14}C 年代測定を行った。

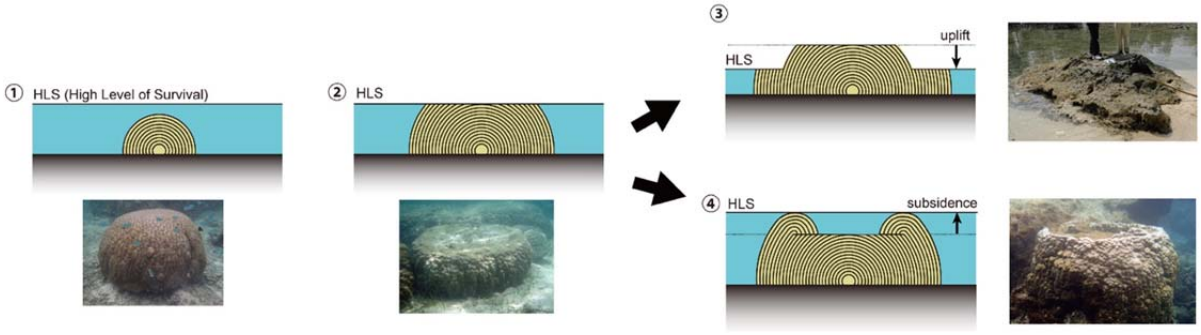


図３－７－③－１　サンゴ・マイクロアトールの成長プロセス。
ハマサンゴ属（Porites）は球形（①）に年間１cm 程度ずつ成長するが、頂面が低潮位に達すると水平方向に成長してマイクロアトールを形成する（②）。海面の上下変動に応じて形状を変化させ（③、④）、地震時の急激な変動だけでなく、定常時の変動も復元できる非常に優れた旧汀線指標である。

（c）業務の成果

喜界島沿岸の踏査の結果、北部の小野津地区、東部の嘉鈍地区、南部の上嘉鉄地区の３地点でそれぞれ複数個体の現成サンゴ・マイクロアトールを発見した（図３－７－③－２）。さらに北部・小野津地区では離水サンゴ・マイクロアトールを１個体発見した。

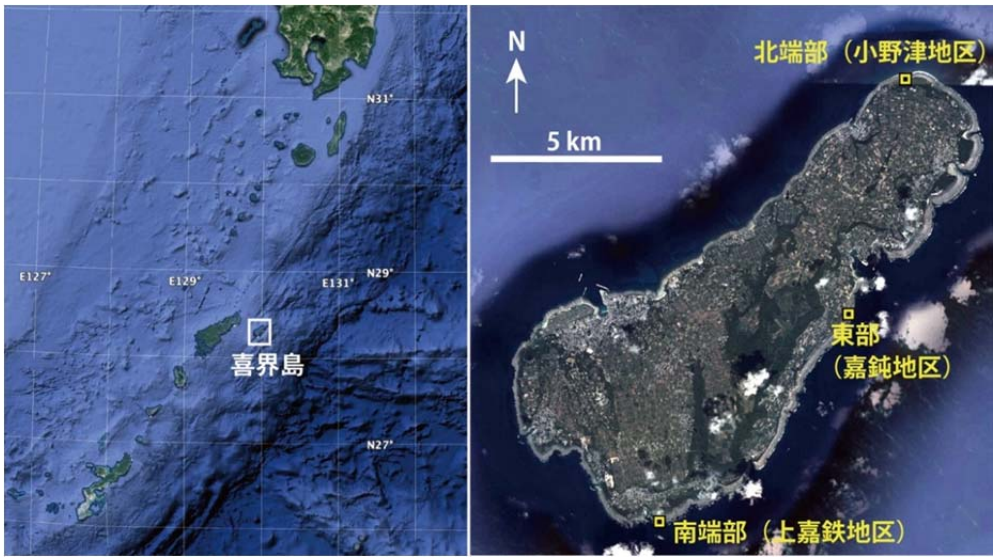


図３－７－③－２　喜界島の位置と調査地点の位置。Google Earth 使用。

現成サンゴ・マイクロアトールについては、北部・小野津地区で５個体確認した。いずれの個体もその頂面の形状はほぼ水平で、目立った勾配もない。これらの長径と短径を計測したところ、最も大きいものは長径 160cm（半径 80cm）であった。東部・嘉鈍地区では 15 個体確認した。頂面の形状は基本的にはほぼ水平で、長径が最大 310cm（半径 155cm）あった。また最大の個体の中心付近から採取した試料からは、AD1680-1880 の ^{14}C 年代を得た（図３－７－③－３）。南部・上嘉鉄地区では、他地域と同様に頂面がほぼ水平な現成サンゴ・マイクロアトールを 2 個体確認した。最大のものは長径が 160cm（半径 80cm）であった。

北部・小野津地区で発見した離水サンゴ・マイクロアトールは、頂面がほぼ水平で、現成サンゴ・マイクロアトールに対して 20～25cm 高く、長径は 540cm（半径 270cm）であった。中心付近から採取した試料は AD1305-1425、縁辺部付近から採取した試料は AD1490-1650 の ^{14}C 年代をそれぞれ得た（図３－７－③－４）。



図３－７－③－３　最大の現成サンゴ・マイクロアトールと中心付近の ^{14}C 年代

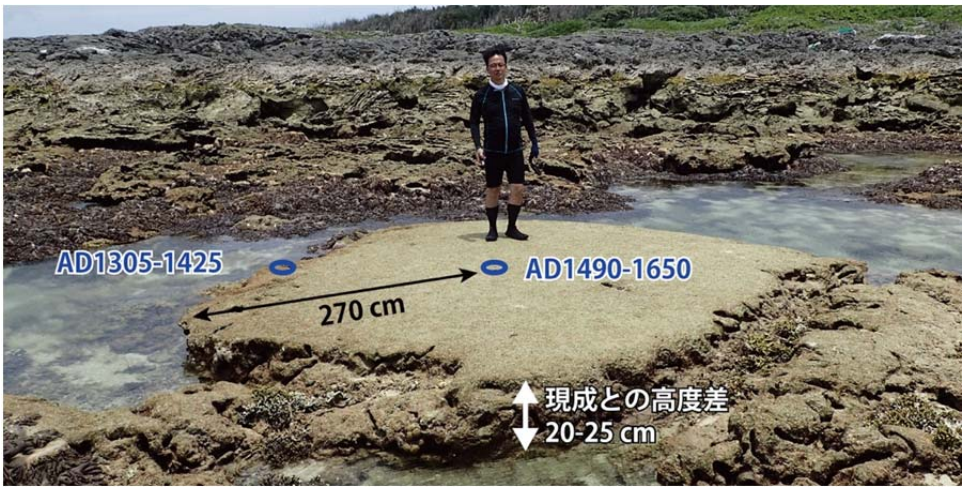


図３－７－③－４ 離水サンゴ・マイクロアトールと中心および縁辺付近の ^{14}C 年代

(d) 結論ならびに今後の課題

発見された現成サンゴ・マイクロアトールが、いずれの地点とも頂面の形状がほぼ水平であったことは、喜界島のほぼ全域において、最近の地殻変動がほぼ安定していることを示す。地球温暖化による海面上昇の影響も考慮しなければならないが、少なくともそれを上回るような定常的な隆起は認められない。その傾向は、東部・嘉鈍地区で見つかった最大の個体が半径 155cm であったことや、中心付近の ^{14}C 年代が AD1680-1880 であったことから、少なくとも過去約 155 年間は継続していたと考えられる。

離水サンゴ・マイクロアトールについても、半径が 270cm であったことや、中心付近と縁辺部の ^{14}C 年代がそれぞれ AD1305-1425、AD1490-1650 であったことから、14 世紀から 17 世紀にかけての間の少なくとも 270 年程度は、地殻変動がほぼ安定していたことを示す。また離水イベントは 16～17 世紀に起こっており、ネットで 20～25cm の相対的海水準低下を生じている。

今のところサンゴ・マイクロアトールの形状と ^{14}C 年代値で地殻変動を評価しているため、誤差の幅が大きいが、今後は、サンゴ・マイクロアトールのスライス断面を解析し、年単位のより詳細な地殻変動の履歴を解明していく必要がある。

(e) 引用文献

1) Meltzner A. J. and Woodroffe C. D., Coral microatolls, (Shennan, I., Long A. J., & Horton B. P., Ed.), Handbook of Sea‐Level Research, 125-145, 2015.
2) 中田高, 高橋達郎, 木庭元晴, 琉球列島の完新世離水サンゴ礁地形と海水準変動, 地理学評論, 51-2, 87-108, 1978.
3) Shikakura, Y., Marine terraces caused by fast steady uplift and small coseismic uplift and the time-predictable model: Case of Kikai Island, Ryukyu Islands, Japan, Earth and Planetary Science Letters, 404, 232-237, 2014.

④陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（駿河湾奥浮島ヶ原）

（a） 業務の要約

静岡県富士市の低地では、採取された既存の柱状堆積物試料について、過去に発生した地殻変動を検出するために化石群集の分析および放射性炭素年代測定を行った。昨年度までに行った珪藻化石分析では、長さ８ｍのボーリングコア中に少なくとも５回の沈水イベントを記録していることが明らかになっている。大型植物化石の群集変化からは、さらに２回あるいは３回の沈水イベントが認定された。放射性炭素年代測定の結果、HTG-2 コアで認められた沈水イベントについて、上位２回が歴史地震に対応している可能性があることが明らかになった。

（b） 業務の実施方法

静岡県富士川市の浮島ヶ原の湿原堆積物を記載した Fujiwara et al. (2016)によれば、南海トラフ東端（駿河トラフ）に面した同地域の堆積物には、過去の東海地震に関連した地殻変動の繰り返しが沈水イベントというかたちで記録されている。このイベントは主に層相の変化から読み取られているが、歴史地震との対比は必ずしもうまくいっていない。この問題を解決するため、浮島が原で採取された既存のボーリングコア試料（図３－７－④－１）の化石群集の解析を行った。昨年度は、光学顕微鏡レベルの大きさである珪藻化石の分析を行った。本年度は、珪藻化石の分析結果を補完するため大型植物化石の分析を行った。具体的には、① 2010 年度に産業技術総合研究所によって採取されたボーリングコアを２cm 間隔で分割し、② 分割した試料を 0.5 mm および 0.25 mm メッシュの篩いで水洗し、③ 水洗した残渣を実態顕微鏡下で拾い出した。拾い出した大型植物化石は、同定した後に放射性炭素年代測定用試料とした。

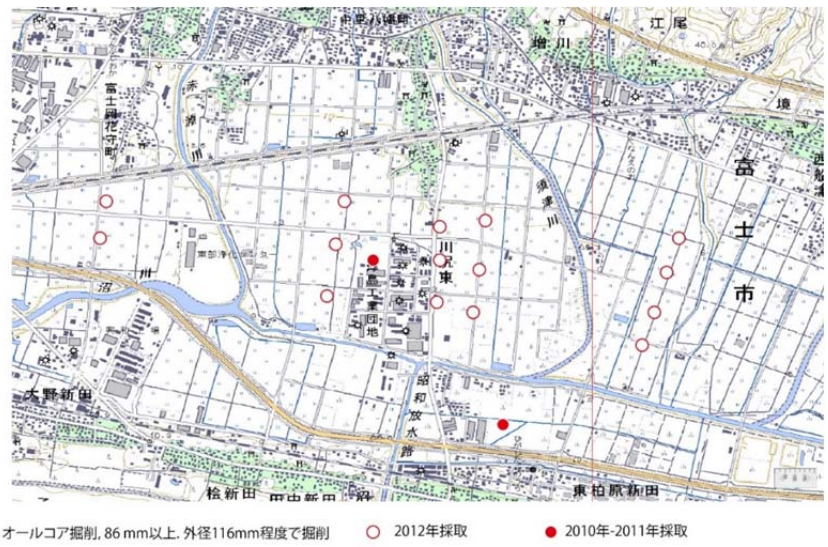


図３－７－④－１　2010 年度～2012 年度にボーリング調査が行われた場所（藤原・澤井 2014 を改変）（静岡県富士市。国土地理院発行 1:25000 地形図「吉原」「沼津」を使用）。

(c) 業務の成果

昨年度までの分析結果から、過去 3000 年間に少なくとも５回の沈水イベントが記録されている。珪藻化石によって認められた最も古い沈水イベントより下位の層準では、１回あるいは２回の沈水イベントが大型植物化石によって認められた。これらのうち一つは、抽水植物である *Bolboschoenus fluviatilis* や *Elecoharis* 属の消長によって判断された（図３－７－④－２におけるイベント７）。また、*Potamogedon* 属が増加している層準も沈水イベントを表している可能性がある（図３－７－④－２におけるイベント６）。これらの珪藻化石や大型植物化石が急激な変化は、周囲の水位が上昇して湿地化することにより、最適な環境が失われたからだと考えられる。放射性炭素年代測定の結果、珪藻および大型植物化石から明らかになった沈水イベントは、過去 3500 年間に発生していたことが明らかになった。また、地層の上下関係から判断して明らかに不自然な年代を除いた場合、HTG-2 コアの堆積速度はほぼ一定であると判断される。仮に、この沈水現象が、すべて過去の地震性地殻変動に関係しているのであれば、過去 3500 年間に少なくとも６回の巨大地震が発生していたことを示している。

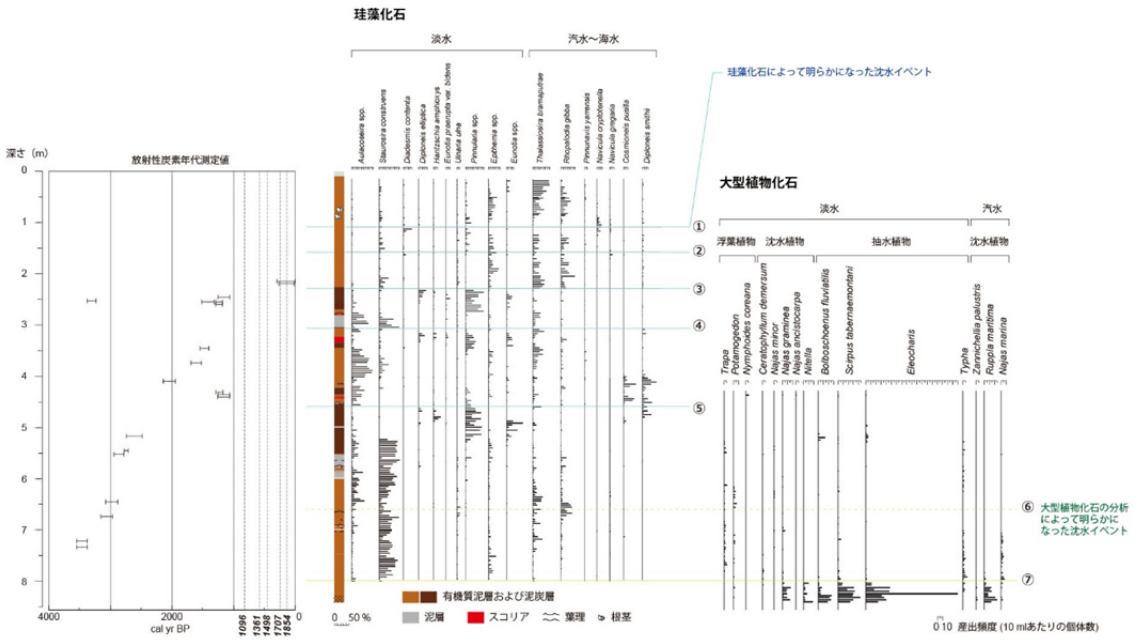


図３－７－④－２　地点 HTG-2 における放射性炭素年代測定結果（左）、珪藻化石群集の変化（中央）、および大型植物化石の変化（右）。

(d) 結論ならびに今後の課題

静岡県富士市の低地において採取された既存の柱状堆積物試料について大型植物化石および珪藻化石の分析を行った結果、過去 3500 年間に少なくとも６回の沈水イベントが明らかになった。この沈水が地殻変動を表しているとすれば、沈水イベントの年代を推定することで過去の巨大地震が発生時期を復元することができる。今後はさらに年代測定値を増やし、より信頼性の高いイベント年代の決定を目指す。

(e) 引用文献

1) 藤原　治，澤井祐紀，静岡県沿岸の古地震・津波堆積物調査，巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告（地質分野研究企画室　編）独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター，39-48，2014

2) Fujiwara, O., Fujino, S., Komatsubara, J., Morita, Y., Namegaya, Y., Paleoecological evidence for coastal subsidence during five great earthquakes in the past 1500 years along the northern onshore continuation of the Nankai subduction zone, Quaternary International, 397, 532-540, 2016.

⑤陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（四国沿岸・徳島）

(a) 業務の要約

徳島県海部郡牟岐町と美波町の低地では、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、柱状堆積物試料の放射性炭素年代測定を行った。牟岐町においては新規に堆積物試料を採取したが、美波町については筑波大学が保有している既存の試料を用いた。掘削調査の結果、牟岐町における連続柱状堆積物試料には７枚の砂層および２枚の礫層が認められた。これらのイベント層の直上と直下において大型植物化石を拾い出し、放射性炭素年代測定用と試料とした。この結果、同地域では 1500 年前～5500 年前の環境変化および津波の浸水履歴を記録している可能性があることがわかった。美波町では、700 年前～6000 年前の地質学的イベント（津波、高潮、洪水など）を記録していることが明らかになった。

(b) 業務の実施方法

徳島県海部郡牟岐町では、シンウォールサンプラーおよびロシアンサンプラーを用いて深さ 450cm までの連続柱状堆積物試料を採取した。採取の際は、コアの継ぎ目における試料の欠損を防ぐため、別孔において 10cm～15cm 程度オーバーラップさせて試料を採取した。採取した試料は、肉眼に加えて高知大学 海洋コア総合研究センターの CT スキャナーを用いて詳細な観察を行った。イベント層である砂層の直上と直下では、大型植物化石を洗い出し、放射性炭素年代測定用試料とした。美波町の試料については、Fujino et al. (2014)および Fujino (2014)においてその詳細が報告されている。本研究では、このコアを１cm 毎に分割した後に篩で洗浄し、大型植物化石を拾い出して放射性炭素年代測定用の試料とした。大型植物化石の洗い出し方法は、静岡県富士市において採用したものと同様である。



図３－７－⑤－１　2017 年度に掘削調査を行った場所（徳島県海部郡牟岐町。国土地理院発行 1:25000 地形図「牟岐」「山河内」を使用）。

（c） 業務の成果

徳島県牟岐町において深さ 450cm までの掘削調査を行い、得られた堆積物の CT スキャン画像を観察した結果、有機質シルト堆積物中に複数のイベント層（７枚の砂層、２枚の礫層）が認められた。砂質のイベント層は粗粒砂～細粒砂から構成され、礫質のイベント層は淘汰不良の角礫（細礫-中礫）で構成されていた。CT 画像からは、下位２枚の砂層について明瞭で侵食的な基底面を持つことが確認され、イベント砂層が急激に運搬されたものであることが推定された。放射性炭素年代測定の結果（図３－７－⑤－２）、これらのイベント層が 1500 年前～5500 年前に堆積したものであると考えられた。

徳島県美波町では、既存の堆積物コアについて放射性炭素年代測定を行った。その結果、本地域の堆積物は 700 年前～6000 年前の地質学的イベント（津波、高潮、洪水など）を記録していることが明らかになった（図３－７－⑤－３）。

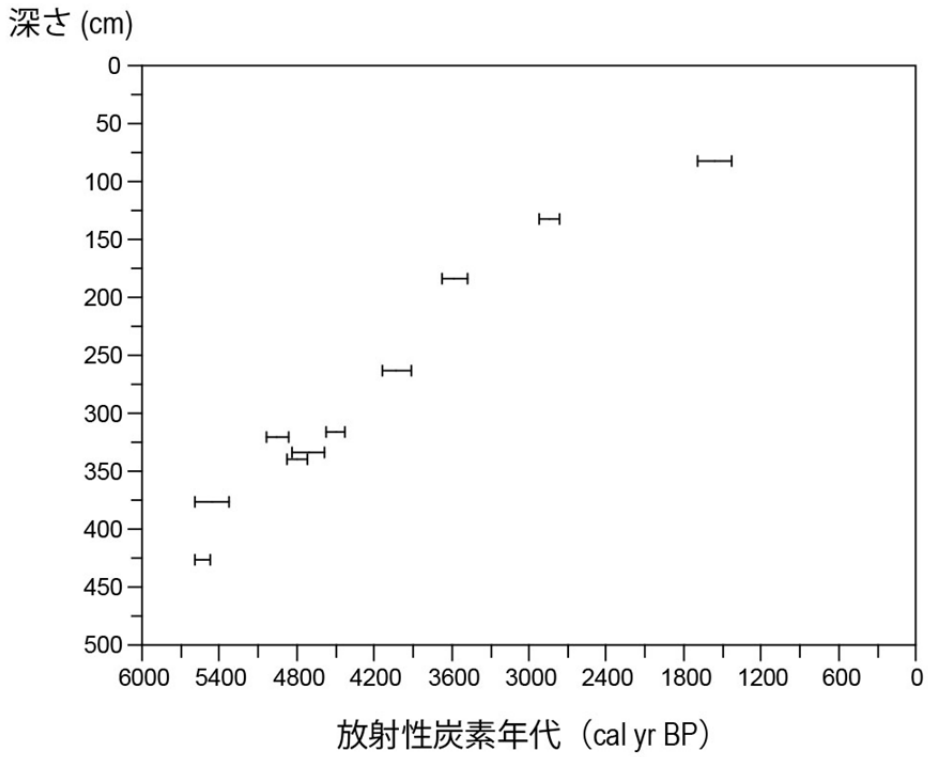


図３－７－⑤－２　徳島県海部郡牟岐町における放射性炭素年代測定の結果。

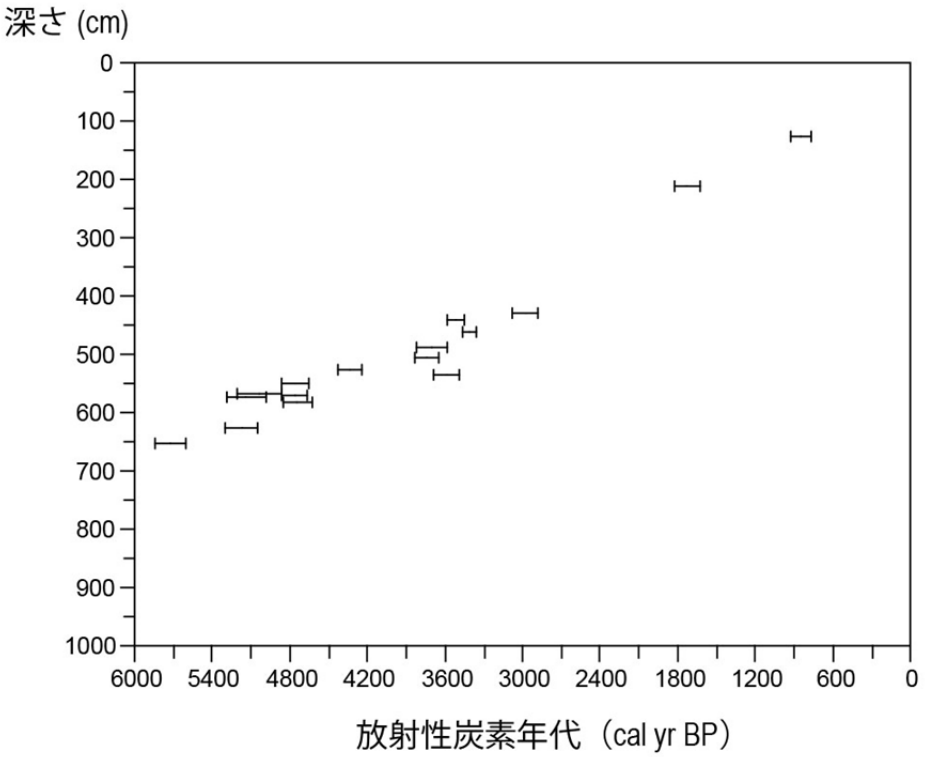


図３－７－⑤－３　徳島県海部郡美波町における放射性炭素年代測定の結果。

(d) 結論ならびに今後の課題

徳島県海部郡牟岐町では、新規および既存の柱状堆積物試料の年代測定を行った結果、1500 年前～5500 年前の間に９枚のイベント堆積物が認められた。また、海部郡美波町では、既存のコア試料の年代測定を行った結果、700 年前～6000 年前の地質学的イベント（津波、高潮、洪水など）を記録していることが明らかになった。今後はさらに年代測定を行うとともに、珪藻化石分析などによって津波堆積物の認定や地殻変動の検出が可能となるかもしれない。また、牟岐町や美波町を含めた各地域の地域間対比を行うことによって、四国東部における津波浸水履歴を明らかにできる可能性がある。

(e) 引用文献

1) Fujino, S., Kobori, E., Chiba, T., Shinozaki, T., Yamada, M., Stratigraphic records of tsunamis in the past 5,600 years in Tokushima, western Japan, AOGS 11th Annual Meeting, 2014.
2) Fujino, S., Recurrence intervals of tsunamis associated with earthquakes at the Nankai Trough may vary over time and place, Geological Society of Japan and Geological Society of London Joint Symposium, Tsunami hazards and risks: using the geological record in 2014 annual meeting of The Geological Society of Japan, 2014.

⑥陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（四国沿岸・高知）

(a) 業務の要約

陸域津波履歴調査では高知県黒潮町において平成 26 年度に採取したボーリング試料の層相の観察および放射性炭素年代測定を行った。その結果、西暦 700 年以降に突発的な水流によって堆積したイベント砂層を２層検出した。

(b) 業務の実施方法

高知県黒潮町（図３－７－⑥－１）では、入野地区で平成 26 年度に行ったボーリング調査により採取した堆積物試料の層相の観察、剥取り標本の作製を行った。剥取り標本は、堆積物試料の表面に親水性樹脂 SAC-100 を塗布し、それを固化させて作成した。砂礫などの間隙の大きい粗粒堆積物には、泥質の細粒堆積物に比べ樹脂が染み込みやすく、剥取り標本は堆積物の粒度を反映して粗粒堆積物で厚くなる。そのため、剥取り標本は粒度の違いや堆積構造を読み取るのに有用である。また、放射性炭素年代測定を実施し、イベント堆積物の堆積年代を推定した。年代測定の試料には、イベント堆積物の直上および直下の堆積物から、実体顕微鏡下で種や葉などの植物化石を抽出して用いた。これらの植物化石は堆積物そのものや木片、炭化物に比べ真の堆積年代を示す可能性が高く、イベント年代の推定に適した測定試料である。



図３－７－⑥－１　陸域津波履歴調査地域。地理院地図を使用。

（c） 業務の成果

黒潮町では平成 26 年度に海岸から約 500m 内陸（入野地区）の低地でボーリング５地点と約 1.8km 内陸（下田の口地区）の低地でボーリングを２地点、ジオスライサーを１地点で実施した（図３－７－⑥－２）。本年度は入野地区で採取したボーリング試料の観察および年代測定を行った。

入野地区の掘削地点は東西を浜堤に挟まれ、海岸線と平行に分布する細長い堤間湿地で、その多くが水田として利用されている。掘削地点の標高は約２～3.5m で中央部が最も高く南北に向かって低くなる。掘削は最大で深さ３m まで行った。

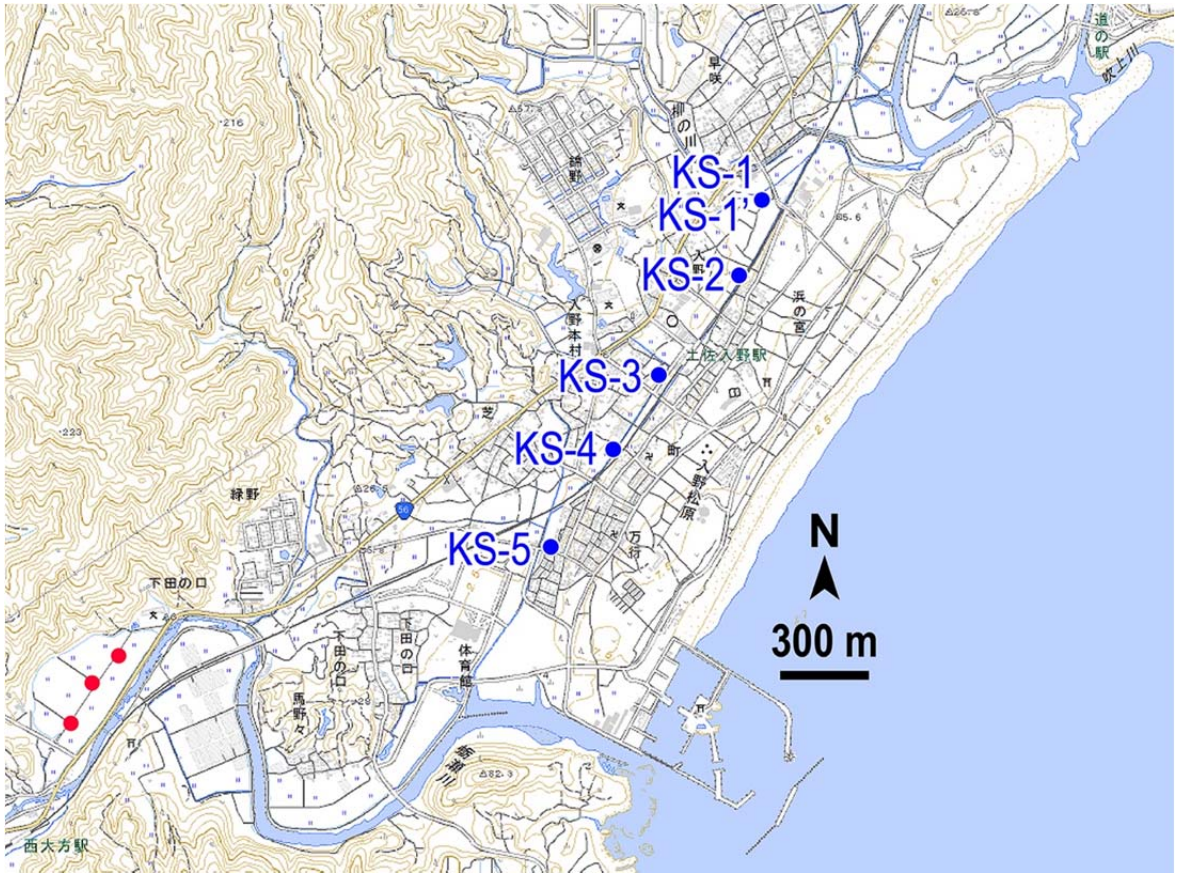


図３－７－⑥－２　黒潮町入野（青丸）と下田の口（赤丸）の掘削地点。2 万 5 千分の 1 地形図「土佐佐賀、蕨岡」を使用。

以下に各地点の層序を記述する（図３－７－⑥－３）。

・KS－１：深さ 35cm まで耕作土、深さ 35～54cm は中粒の砂層からなり、この砂層下限の地層境界は明瞭である（図３－７－⑥－４）。深さ 54～90cm はシルト層、深さ 90～300cm までは中粒の砂層となり、砂層中には粘土がパッチあるいはレンズ状に挟在する。

・KS－１’：深さ 36cm まで耕作土、深さ 36～61cm は中粒の砂層からなる。この砂層は下位にマッドクラストを含み、下限の地層境界は明瞭である。深さ 61～97cm はシルト、深さ 97～200cm は中粒の砂層で構成され、砂層中にはパッチ状の粘土が挟在する。

・KS－２：深さ 25cm まで耕作土、深さ 25～41cm は砂質シルト層からなる。深さ 42～200cm は中粒の砂層となり、深さ 175cm 以下はシルト質である。

・KS－３：深さ 20cm まで耕作土、深さ 20～29cm は砂質シルト層からなる。深さ 29～47cm は中粒の砂層、深さ 47～80cm は有機質の粘土層からなる。この砂層の上下の地層境界は非常に明瞭であるが、砂層中には有機質粘土が、下位の有機質粘土層中には中粒砂がそれぞれパッチ～斑状に含まれており、ボーリングコアのみからそれらの層位関係を判断することは難しい。深さ 80～99cm は中粒の砂層で、上下に明瞭な地層境界をもち、マッドクラストを含む。深さ 99～218cm は木片が点在する砂質シルト層、深さ 218～300cm は中粒～粗粒の砂層となる。

・KS－４：深さ 19cm まで耕作土、深さ 19～45cm は砂質シルト層からなり、砂質シルト

層中の深さ 35～37cm には中粒砂層が挟在する。深さ 45～78cm は中粒砂層で、深さ 74cm 以下にマッドクラストを含み上下の地層境界は明瞭である（図３－７－⑥－４）。深さ 78～143cm は植物片を多く含む有機質のシルト層、深さ 143～300cm は中粒の砂層からなる。

・KS－５：深さ 35cm まで耕作土、深さ 35～38cm は砂質シルト層、深さ 38～59cm は上下に明瞭な地層境界をもつシルト質砂層からなる。深さ 59～63cm は砂質シルト層、深さ 63～118cm は上下に明瞭な地層境界をもつ砂層、深さ 118～125cm はシルト層で構成される。深さ 125～300cm は中粒砂層で、深さ 125～157cm はパッチ状に砂質シルトが挟在する。

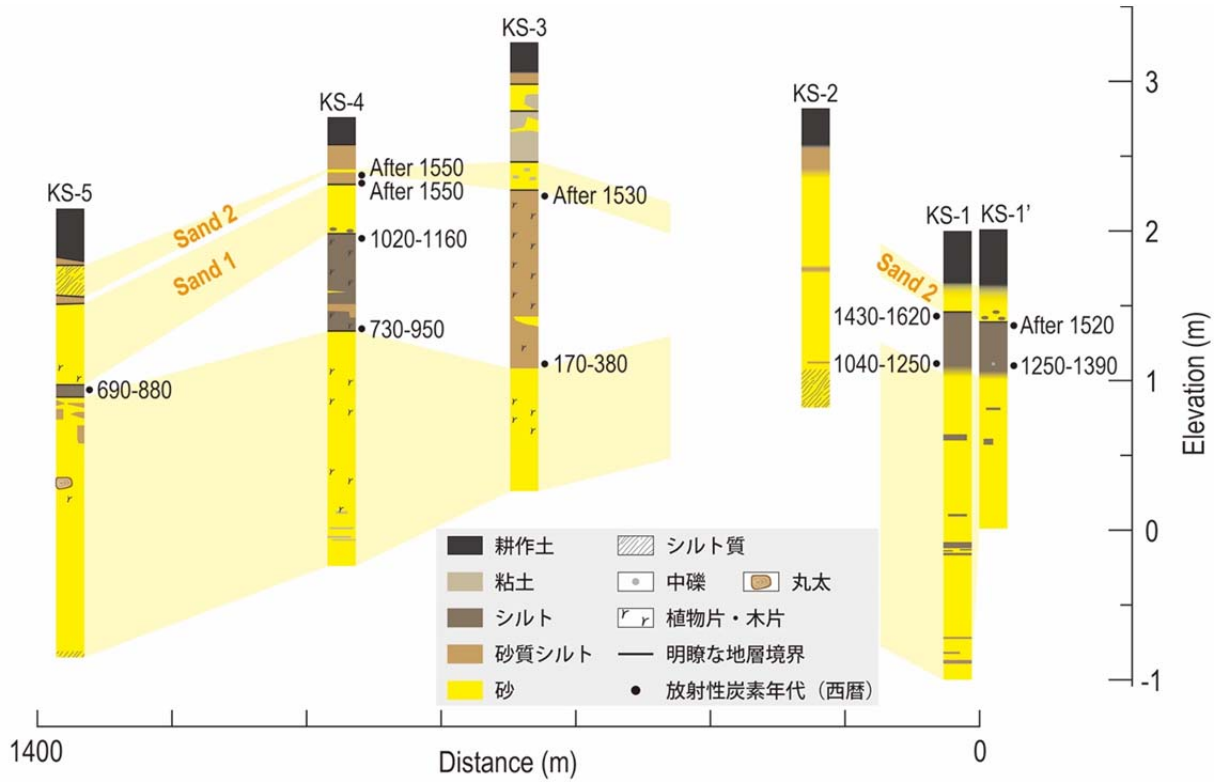


図３－７－⑥－３　黒潮町入野地区の地質断面図。掘削地点は図３－７－⑥－２を参照のこと。

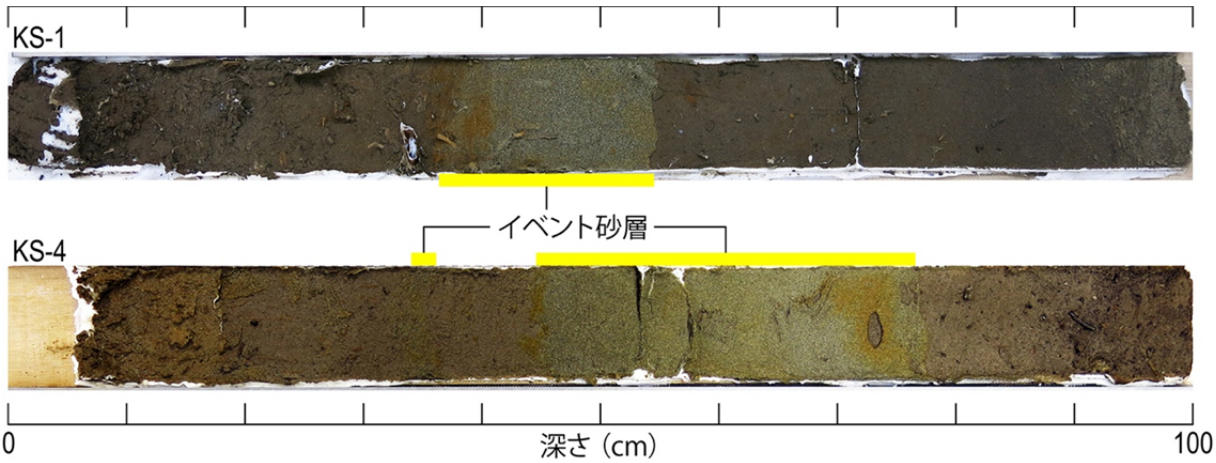


図３－７－⑥－４　KS－１と KS－４の深さ０～100cm の剥取り標本

以上のように、入野低地の地質は、標高約１m（深さ１～２m）まで主に砂層、シルト層、砂質シルト層で構成され、標高１～-１m では砂層が主体となる（図３-７-⑥-３）。下位の砂層は掘削地点の海側の浜堤に連続するとみられる。この砂層の直上から得られた年代は、掘削測線の中央の KS-３で AD 170～380 と古く、河川の河口に近い測線の両側（KS-１、KS-５など）でより新しい年代を示す。この違いは河川や海流よる粗粒な堆積物の供給を反映すると考えられ、それらの影響の小さい KS-３と KS-４では植物片や木片などの有機物に富むシルトおよび砂質シルト層が比較的厚く堆積している。

KS-２以外の４地点では、これらのシルト層中やシルト層と表層の耕作土の間にそれぞれ１～２層の砂層が挟在している。これらの砂層の下限の地層境界は明瞭でマッドクラストを包含するものもあり、突発的な水流により堆積したイベント砂層と考えられる。現時点で得られている植物化石の放射性炭素年代および層序から判断すると、イベント砂層は KS-４および KS-５で見られる Sand１と、KS-２以外の全てのコアに見られる Sand２の２つに分けられる可能性が高い。Sand１と Sand２の堆積年代はそれぞれ、西暦約 700～1550 年と西暦約 1500 年以降と考えられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

高知県黒潮町の海岸低地において採取したボーリングコアを観察し、低地地下に分布するシルトおよび粘土層中からイベント堆積物を少なくとも２層検出した。これらのイベント堆積物は下限に明瞭な地層境界を有する中粒砂層で、複数の地点で見られる。放射性炭素年代測定により、２つのイベント砂層の堆積年代は西暦約 700～1550 年、西暦約 1500 年以降と推定される。今後は珪藻分析を実施しイベント砂層の成因を考察するとともに、年代測定を引き続き行って、より詳細にイベント砂層の年代を明らかにする。また、現在までの成果を踏まえ新たな調査地点でも掘削調査を実施し、より多くのイベント堆積物を検出して、広域でのイベント堆積物の広がりを検証したい。

⑦富士川河口域における 1854 年安政東海地震の地殻変動と断層位置の推定

(a) 業務の要約

富士川河口域西部の蒲原低地において、平成 28 年度に実施したボーリング掘削調査で得られた試料について、^{14}C 年代測定および珪藻分析を行った。その結果、蒲原低地内に推定されている富士川河口断層帯入山瀬断層は、従来考えられているよりも活動度が低く、平均変位速度は１～２m/千年程度と見積もられる。また蒲原低地は 1854 年安政東海地震で隆起したと考えられているが、長期的にみるとネットでは沈降している可能性がある。

(b) 業務の実施方法

平成 28 年度に実施したボーリング掘削地点（KNB）は、富士川河口右岸から約 1.7 km 西の入山瀬断層の隆起側に位置し、標高約 6.5 m である（図３-７-⑦-１）。得られた深度 100m までのコア試料について、層相観察を行い、おもに粘土～シルト層を中心に分析用の試料抽出を行った。得られた分析用試料のうち、深度 11.9m（３試料）、22.7m、

32.5m、36.7m、55.1m、63.0m、74.3m、88.7m、93.7m の計 11 試料について、堆積年代を解明するため、おもに植物遺体の ^{14}C 年代測定を実施した。また堆積時の古環境について復元するため、深度 11.9～55.8 m の間で 65 試料について珪藻分析を実施した。

また富士川河口域の沿岸では、これまで産業技術総合研究所が地下水調査のため、深度 160m と 350m の２本のボーリング掘削を実施しており、これらは入山瀬断層の沈降側に位置する。そこで断層活動を評価するため、それらの既存の資料と本分析で得られた結果と層相、年代の対比を行った。



図３－７－⑦－１　富士川河口周辺におけるボーリング掘削地点の位置と活断層の分布。活断層の位置は尾崎ほか（2016）に基づく。基図は地理院地図（電子国土 Web）を使用。

(c)　業務の成果

層相観察の結果、深度 97m 以深が基盤の火成岩である。それより上位は基本的に砂礫からなるが、層厚１～５m 程度の腐植物混じりのシルト-粘土層がサイクリックに 10 層以上挟まっている。^{14}C 年代測定の結果、深度 11.9m（標高-5.4m）で 470-310 cal yBP（AD1480-1640）、深度 22.7m(標高-16.2m)で 5895-5660 cal yBP、深度 32.5m(標高-24.0m)で 8340-8180 cal yBP、深度 36.7m（標高-30.2m）で 9255-9080 cal yBP、深度 55.1m（標高-48.6m）で 10,515-10,290 cal yBP、深度 63.0m（標高-56.5m）で 11,065-10,695 cal yBP、深度 74.3m（標高-67.8m）で 12,005-11,760 cal yBP、深度 88.7m（標高-82.2m）で 13,550-13,415 cal yBP、深度 93.7m（標高-87.2m）で 13,990-13,760 cal yBP であった（図３－７－⑦－２）。また珪藻分析の結果、湾奥浅海域から干潟、潟湖の環境を示す海水～汽水環境の珪藻群集が深度 36m 以下の層準から得られた。しかしそれより上位の層準からは淡水生の珪藻がわずかに含まれるのみであり、海成の証拠は得られなかった。

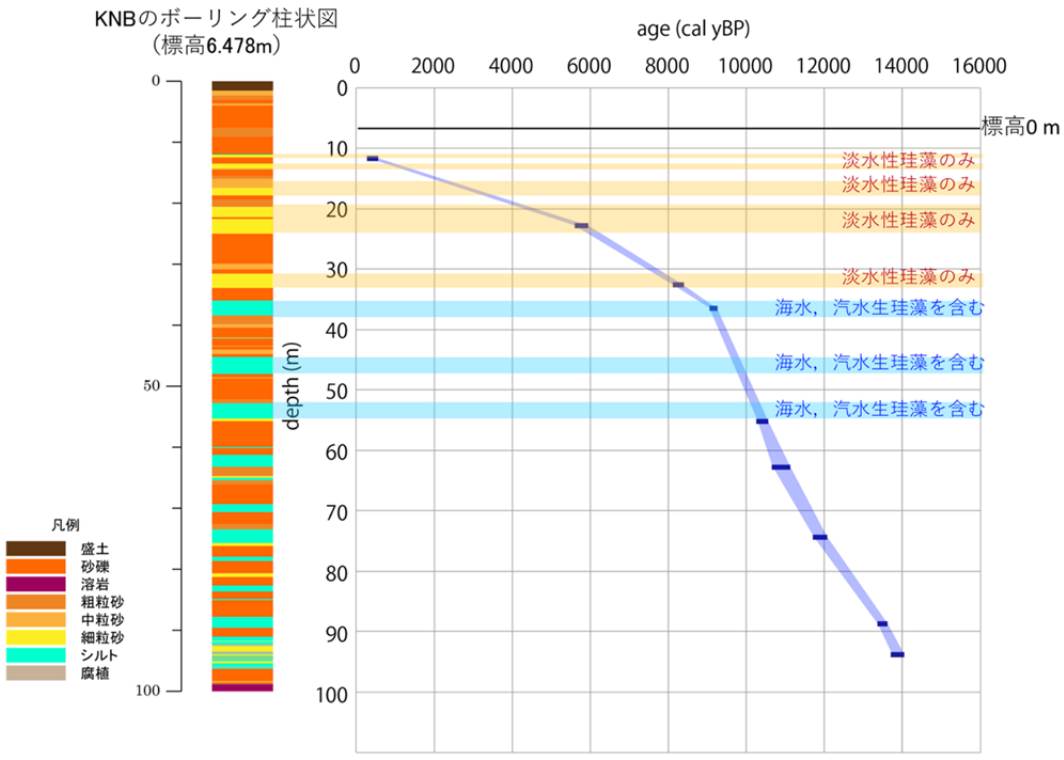


図３－７－⑦－２　蒲原低地で得られたボーリング試料（KNB）の地質柱状図と ^{14}C 年代に基づく堆積変化曲線および珪藻分析を行った層準と検出した群集の特徴。

(d) 結論ならびに今後の課題

分析の結果から、標高-30～-32m 付近のシルト層は 9000 年前頃に海面付近で堆積したと考えられる。これをユースタティックな海水準（9000 年前頃で標高-20～-30m 付近；遠藤，2015 など）と比べると、ほぼ同じかやや低いレベルにある。また縄文海進頂期頃の年代を示すシルト層（陸成の可能性）は標高-14～-18m に分布し、現在の海面よりもかなり低い位置にある。これらの証拠は、この地点が活発な隆起をしておらず、むしろ沈降傾向にある可能性があることを示唆する。しかし本地域では安政東海地震で隆起した記録もあり、状況は複雑である。

既存のボーリング資料との対比を試みたところ、5000-6000 年前のシルト～粘土層は、入山瀬断層を挟んで 12～14m 程度西側（隆起側）が高く、また 11,000～12,000 年前頃のシルト～粘土層は、同様に 14～20 m 程度西側（隆起側）が高かった（図３－７－⑦－３）。現段階では不確定要素も大きいが、仮に両者が堆積時に同レベルにあったとすると、平均１～２m/千年程度の速度で上下変位し、かつ累積している可能性を指摘できる。この結果は地震調査研究推進本部（2010）等による従来の推定値よりもかなり低い。一方、蒲原低地より西の由比川沿いでは、完新世を通じた隆起を示唆する段丘地形も存在することから、より活発な断層が今回のボーリング地点よりも西側に存在する可能性もある。今後はその位置の特定のため、沿岸の地形・地質調査を進めていく予定である。

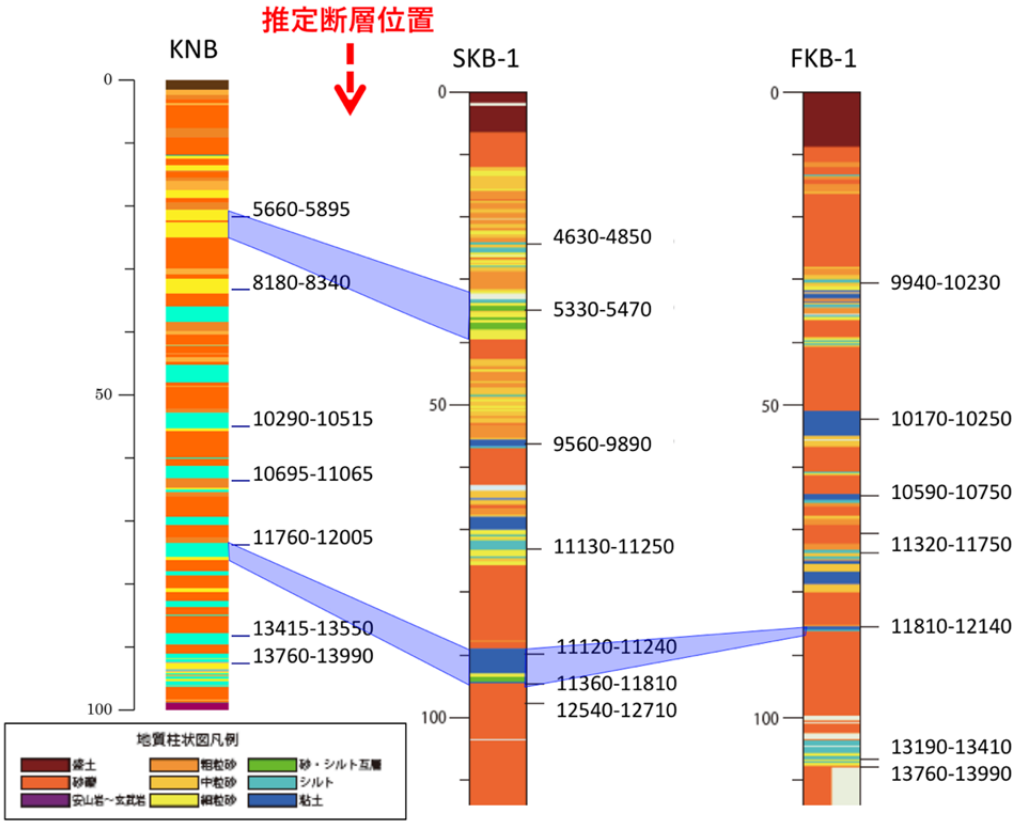


図３－７－⑦－３　産業技術総合研究所（2016）による既存のボーリング資料（SKB-1 および FKB-1）との対比。地質柱状図横の数値は ^{14}C 年代（cal yBP）。

（e） 引用文献

1) 遠藤邦彦，日本の沖積層，冨山房インターナショナル， 415p，2015.
2) 地震調査研究推進本部，富士川河口断層帯の長期評価，54p，2010.
3) 尾崎正紀，水野清秀，佐藤智之，5 万分の 1 富士川河口断層帯及び周辺地域地質編纂図説明書，海陸シームレス地質情報集，駿河湾北部沿岸域，海陸シームレス地質図 S-5，57p，2016.
4) 産業技術総合研究所，平成 27 年度「海域地質環境調査確証技術開発」成果報告書，374p，2016.

(3) 平成 30 年度業務計画案

陸域では喜界島など南西諸島北部での生物遺骸を用いた隆起痕跡の調査を行う。また四国沿岸で津波堆積物や隆起痕跡の補完調査を行うとともに、本事業で H29 年度までに得られた地層サンプルについて、年代測定や微化石分析などを進め、南海トラフ西部から琉球海溝北部の地震・津波履歴情報を収集する。駿河湾沿岸地域についてもこれまでに得られた試料の分析を進めるとともに、隆起痕跡に関する補完調査を行い、2-2 シミュレーション分野と連携して南海トラフ東端の破壊挙動の解明を目指す。

海域では海洋研究開発機構で実施する日向灘～南九州沖の海底調査航海を行い、海底堆積物コアを採取する。また、本事業による平成 26～29 年度の調査航海で採取されたコア

試料について分析を進め、琉球海溝南部域の地震・津波発生履歴を復元する。東海～四国沖の既存コアの検索を行い、地震・津波発生履歴研究に使用できそうなものを抽出し、その分析を実施する。また、日本海溝域などの堆積物記録との比較研究を実施する。これらから、堆積構造解析により地震・津波により形成された堆積層を識別し、その時空間分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析は、海洋研究開発機構との密接な連携のもとに共同して実施する。

3.8 広帯域地震活動研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「広帯域地震活動研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	篠原　雅尚
	教授	小原　一成
	教授	塩原　肇
	准教授	酒井　慎一
	准教授	望月　公廣
	助教	山田　知朗
	助教	一瀬　建日
	助教	前田　拓人
	技術専門職員	八木　健夫
	技術職員	阿部　英二
	技術職員	西本　太郎
	技術職員	池澤　賢志
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	伊藤　喜宏
国立大学法人東京海洋大学	准教授	中東　和夫
国立大学法人九州大学	准教授	松島　健
国立大学法人京都大学防災研究所	助教	山下　裕亮
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	木戸　元之
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授	日野　亮太
	准教授	太田　雄策
	技術職員	鈴木　秀市
国立研究開発法人海洋研究開発機構	分野長	末次　大輔
	グループリーダー	高橋　成実
	主任研究員	高橋　努
	技術研究員	伊藤　亜妃
	技術研究員	今井　健太郎
	研究員	利根川　貴志
	技術スタッフ	中島　倫也

(c) 業務の目的

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。

南海トラフ陸側斜面域で発生する、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津

波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、地震動だけでなく海底における水圧を広帯域・高ダイナミックレンジで連続して取得するためのシステムを開発し、トラフ付近の低周波イベントや、津波発生を伴うような地殻変動を含めた地震の活動実態の把握を行い、巨大地震発生域の事前推定の高度化に寄与する。さらに、観測成果を地殻活動モニタリング情報として、シミュレーション研究に提供する。

(d) ８ヵ年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震（水圧）計を計 10 台設置し、長期海底地震観測を開始した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測に着手した。海底の水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発に必要な基礎データを実海域で取得した。

平成 26 年度：

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、同じ海域に設置した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続して実施した。海底の水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発に必要な基礎データの取得を継続して実施した。

平成 27 年度：

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、日向灘に設置した。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続した。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進めた。

平成 28 年度：

南海トラフ西部の領域（日向灘）において、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、同じ海域に半径 3.5km の円状アレイを２セット作成し、計８台を設置した。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続した。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進めた。

平成 29 年度：

南海トラフ西部の領域に設置されていた海底地震圧力計を回収した。また、長期観測型海底地震（圧力）計 10 台を南西諸島海溝域に設置した。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を継続した。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、

ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化の検討を進めた。

平成 30 年度：

南西諸島海溝域において､海底地震(圧力)計 10 台程度の回収･再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化を行う。

平成 31 年度：

南西諸島海溝域において、海底地震圧力計 10 台程度の回収･再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化を行うとともに、処理解析の準リアルタイム化を実現する。

平成 32 年度：

南西諸島海溝域に設置されている海底地震圧力計 10 台程度を回収する。また、観測データに基づき、成果をとりまとめる。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を完了する。本年度中の試験観測で得られる海底の水圧変動に対して、前年度までに開発した準リアルタイム処理解析の手法を適用し、本業務で開発した広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステムの性能の実証を行う。

(e) 平成 29 年度業務目的

南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を実施する。また、海底地震（水圧）計のデータ解析を実施する。これまでに、南海トラフ中部において、平成 25～28 年度の熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測により得られたデータの解析を実施する。

(2) 平成 29 年度成果

①南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測

(a) 業務の要約

豊後水道において約６年に１回の頻度で発生するスロースリップイベントに同期して浅部低周波地震が発生することが知られている日向灘では、低周波微動がより頻繁に発生することが明らかになってきた。そこで、浅部長低周波地震や低周波微動発生域直上で長期海底地震観測を実施し、浅部超低周波地震・低周波微動活動とスロースリップイベントの関係を明らかにする。本年度は、日向灘より南の南西諸島海溝域における活動の連続性等を検証するため、前年度日向灘に設置した長期観測型海底地震計６台と広帯域型海底地震計２台を回収し、南西諸島海溝・種子島東方沖に新たに長

期観測型海底地震計６台、圧力計付き広帯域型海底地震計４台を設置した。回収された海底地震計から、良好な波形データを取得できた。観測期間中の 2017 年３月には、浅部低周波微動と超低周波地震活動が観測点近傍で発生した。長期観測型海底地震計２台には、圧力計が取り付けられていたが、2017 年３月のスロー地震活動において、圧力計の記録からはスロースリップに伴うと考えられる明瞭な地殻変動は検出できなかった。

(b) 業務の実施方法

豊後水道周辺域では、スロースリップイベントが約６年に１回の頻度で発生していることが知られている（Hirose et al., 2010)。このスロースリップイベントに関連して、海溝軸よりの領域で、浅部超低周波地震活動が発生していることが明らかになっている（Hirose et al., 2010; Asano et al., 2015)。一方、近年、浅部超低周波地震活動域直上での広帯域海底地震計を用いた海底観測が行われ、活動の詳細が推定されている（Sugioka et al., 2012)。足摺沖から日向灘にかけての海溝近傍における短周期海底地震計アレイによる地震観測により、このような浅部超低周波地震活動と同期する形で、この領域において浅部低周波微動が発生することが明らかになった（Yamashita et al., 2015)。この微動活動は時間変化とともに発生領域の移動がみられ、スロースリップイベントの発生との関係が示唆される結果が得られている。そこで、南海トラフ西方に位置する浅部低周波微動活動域に計８点の長期観測型海底地震計、広帯域型海底地震計、海底圧力計を前年度に設置し、低周波微動・超低周波地震活動の時空間分布を明らかにするとともに、これらの活動の背景にあると考えられるスロースリップに伴う地殻変動を観測することを目的とした広帯域地震・測地観測ネットワークを形成する。

今年度は、前年度に設置した海底地震計を回収し、取得したデータの解析を開始する。また、日向灘より南の南西諸島海溝域においても日向灘と同様の活動の発生が指摘されており、これらの活動の連続性や、日向灘との違いなどを明らかにするため、南西諸島海溝域の種子島東方沖において、浅部低周波微動活動域の直上に長期観測型海底地震計と広帯域型海底地震計による観測網を構築し、観測を継続する。

(c) 業務の成果

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行い、プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与することを目的として、日向灘にかけての領域に前年度に設置した長期観測型海底地震計を回収した（図３－８－①－１、図３－８－①－５、図３－８－①－６、表３－８－①－１)。また、本年度以降は日向灘でこれまで実施してきた観測網をさらに南の南西諸島海溝域に広げるため、種子島東方沖において観測を継続した（図３－８－①－２、図３－８－①－３ 、図３－８－①－４、表３－８－①－２)。本回収・設置作業には海洋研究開発機構所属の「よこすか」YK17-16C 航海（2017 年７月 24 日神戸港出港、同年同月 28 日那覇新港帰港）を利用した。回収された海底

地震計は良好なデータを取得できており、このうち 2017 年３月には２箇所のアレイのうち B アレイの近傍において、浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。

昨年度回収した第３期観測のデータの解析を進めた結果、2016 年熊本地震後に観測網近傍で発生した浅部低周波微動活動について特徴が明らかとなった。第３期観測期間中の活動は 2016 年熊本地震後の２週間断続的に発生した活動のみで、そのほかの期間に活動は見られなかった。活動開始のタイミングから、この活動は 2016 年熊本地震に誘発された低周波微動活動であると考えられる。低周波微動は熊本地震の余震と重なっているイベントが多く、かつ海底地震観測点数が第１期・第２期に比べると少なかったため、従来の半自動的な震源決定が非常に困難であった。そのため、目視によるイベント選別を行い、震源決定が可能なイベントについてエンベロープ相関法に振幅値を組み合わせたハイブリッド手法（Maeda and Obara, 2009）による震源決定を行った（図３－８－①－７）。その結果、誘発微動活動はこれまで観測されている自発的な微動活動と震源分布そのものは大きく変わらないものの、これまで微動が多く発生している領域で特に発生しているように見える。このことは、日向灘における微動活動が活発な領域は比較的微動パッチが多く存在しているが、その強度が弱く、わずかな応力変化で誘発されやすい可能性を示唆している。今後、弾性波速度の解析やプレート形状の解析などから得られている情報と比較し、特徴的な構造が見られないか検討を行う必要がある。波形記録からは、これまでの自発的な微動活動と同様に、低周波微動と同期して超低周波地震が発生していることが確認された（図３－８－①－８）。一方で、2013 年や 2015 年の活動で見られた顕著なマイグレーションは確認できていない。活動規模の違いもあるが、誘発微動活動と自発的な微動活動で活動様式が異なる可能性が考えられるため、より詳細な活動特性の理解と事例の積み重ねが必要である。

また、低周波微動に加えて浅部超低周波地震の活動特性も把握するため、それらの自動震央決定に関する手法開発も行った。浅部長低周波地震の活動時には、海底の観測ではそれらの活動によって励起されたレーリー波が顕著に見られる。そのため、まずは第３期観測のノイズ記録に地震波干渉法を適用してレーリー波の抽出を行い、それらの伝播速度を測定することで、観測領域内の平均的な群速度の分散曲線を推定した。その結果、0.09-0.15 Hz の帯域では群速度は 0.7 km/s ほどで一定であり、その一方で、0.09 Hz よりも低周波側では深部構造の影響を受け群速度は急激に上昇した。そのため、浅部長低周波地震の震央を自動で決定する際には、観測された連続記録に 0.09-0.15 Hz のバンドパスフィルターを適用し、そのエンベロープ波形を用いてエンベロープ相関法（Maeda and Obara, 2009）を行った。第３期観測の記録に適用した結果、低周波微動（図３－８－①－７）の震源分布とほぼ同じ場所に浅部超低周波地震の震央が推定された（図３－８－①－９）。しかし、その一方で、観測範囲の南西側では低周波微動の活動は活発だが、浅部超低周波地震の活動は顕著ではないといった違いも確認できた。今後、低周波微動との空間的な対応／未対応の事例の積み重ねに加えて、浅部超低周波地震の活動に関しても、周囲の特徴的な構造との比較を検討して

いく必要がある。

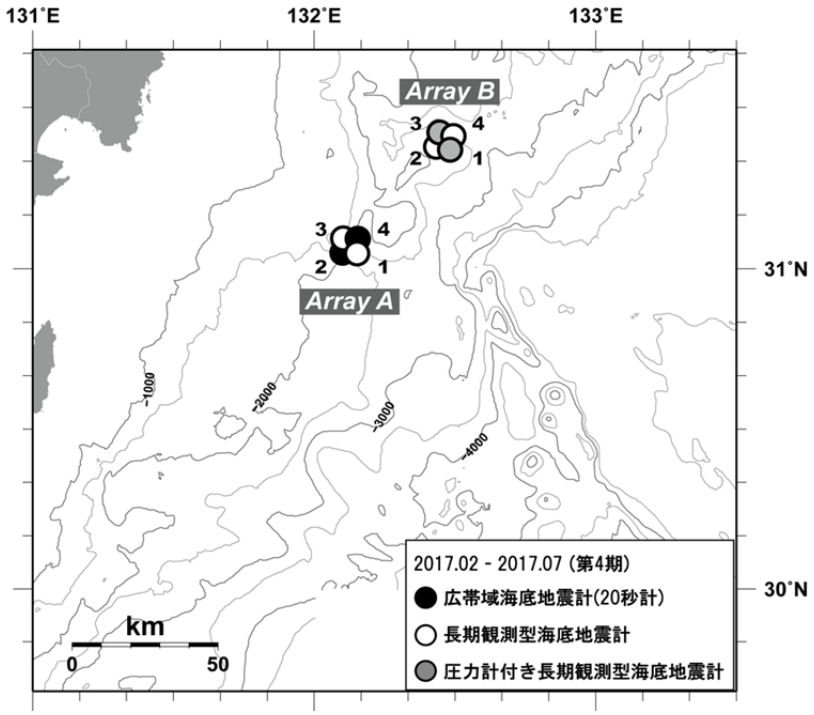


図３－８－①－１　海底地震観測点（2017 年２月設置）
2016 年度に設置を行った長期観測型海底地震計、圧力計付き長期観測型海底地震計、広帯域海底地震計の位置。

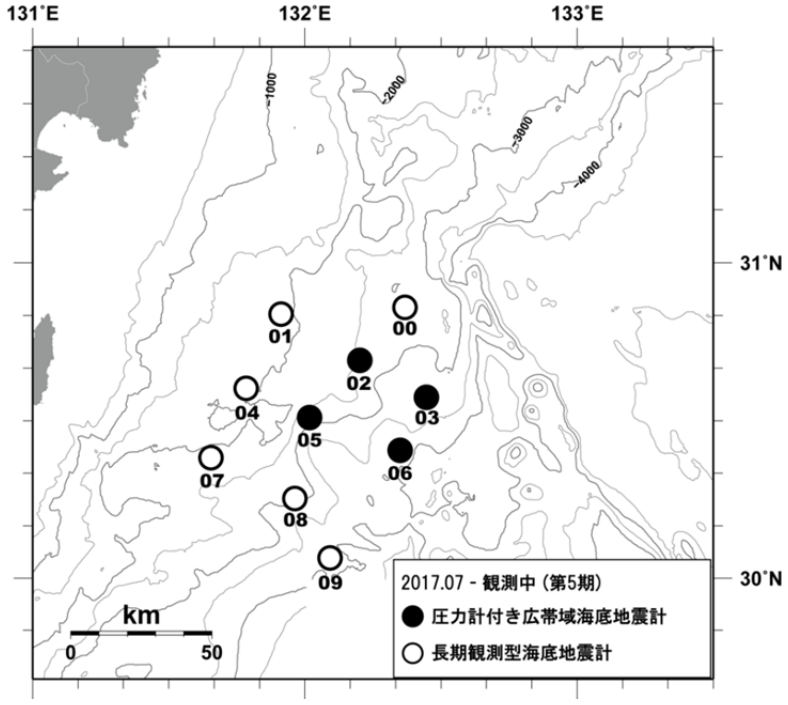


図３－８－①－２　海底地震観測点（2017 年７月設置）
本年度設置を行った長期観測型海底地震計、圧力計付き広帯域型海底地震計の位置。



図３－８－①－３　本年度設置した海底地震計（予備機材を含む）

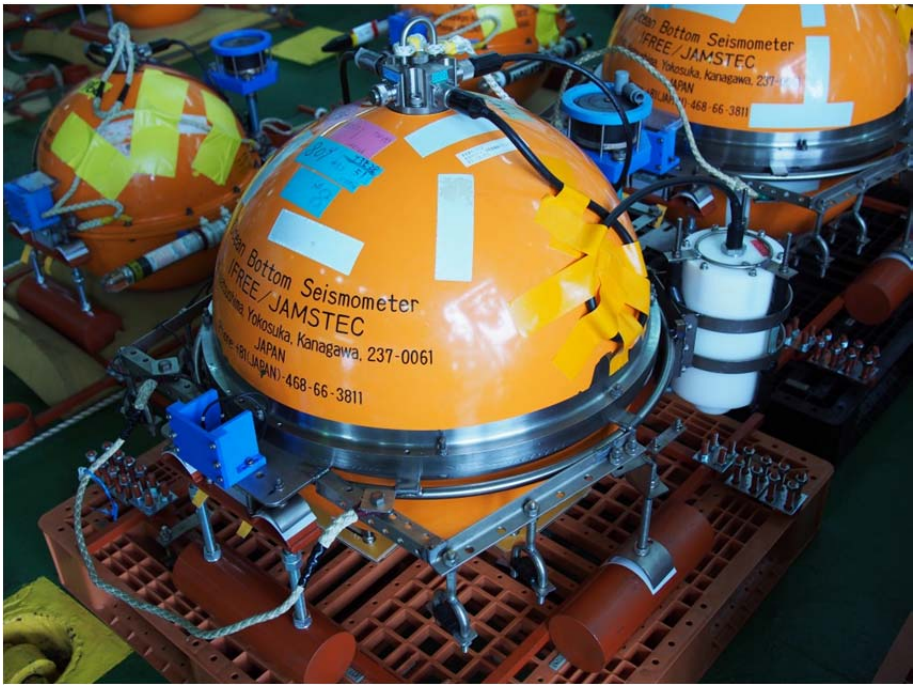


図３－８－①－４　本年度設置した圧力計付き広帯域型海底地震計。本体右の白い筒の部分が圧力計。

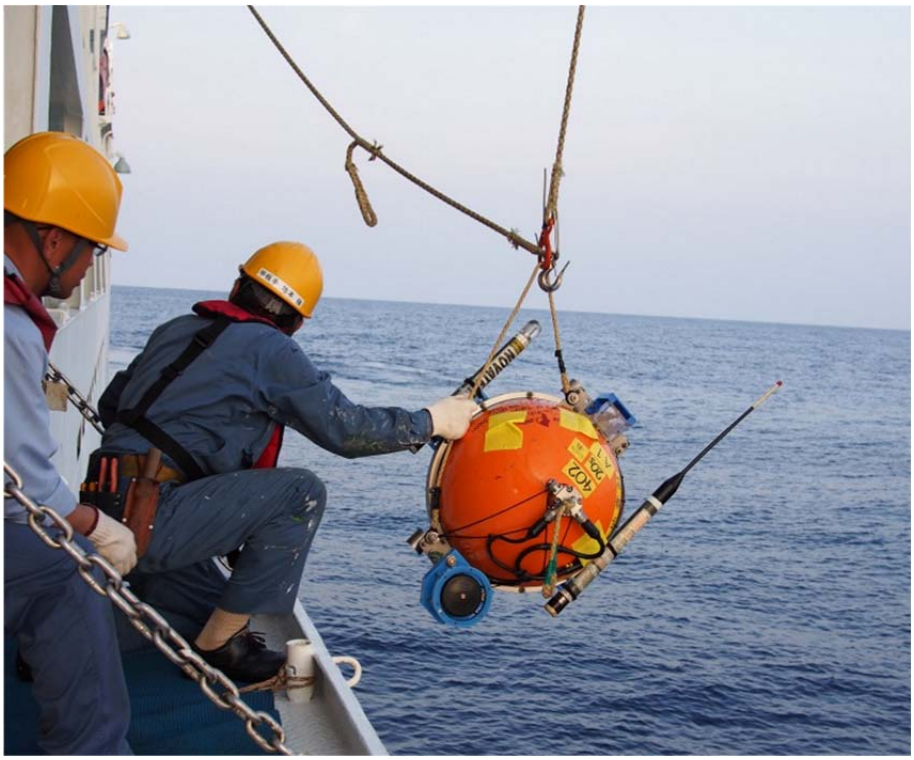


図３－８－①－５　海底地震計の回収の様子



図３－８－①－６　回収された海底地震計

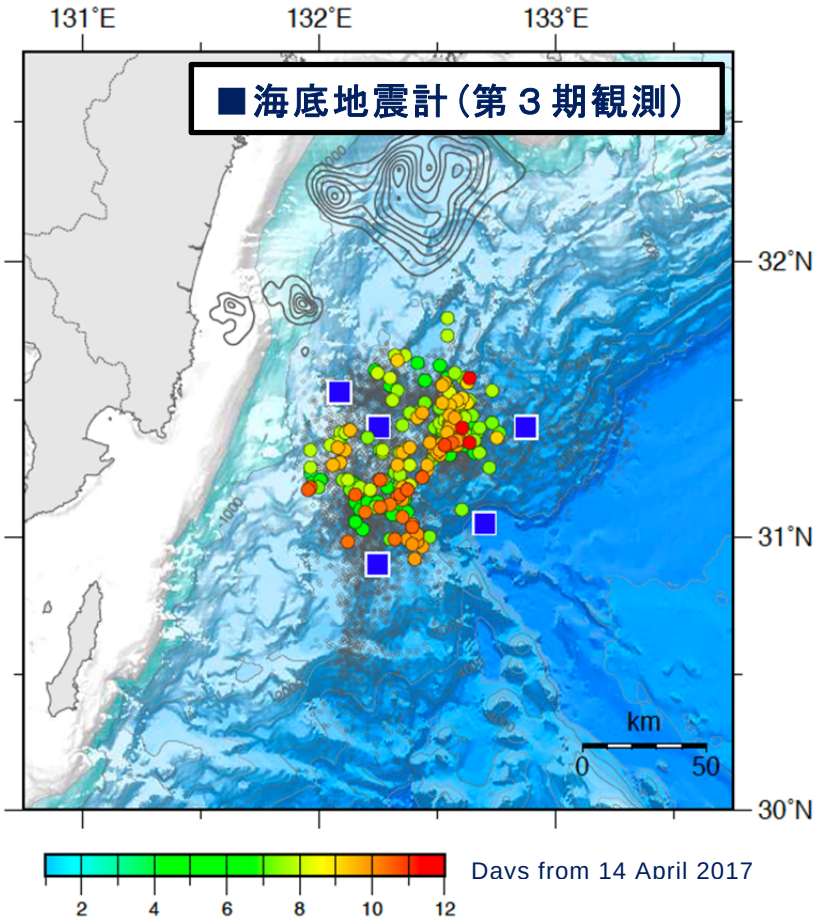


図３－８－①－７　震源決定された低周波微動の分布（Watanabe et al., 2017）。コンターは、1968 年と 1996 年の地震の滑り量分布（八木・他, 1998、Yagi et al., 1999）。

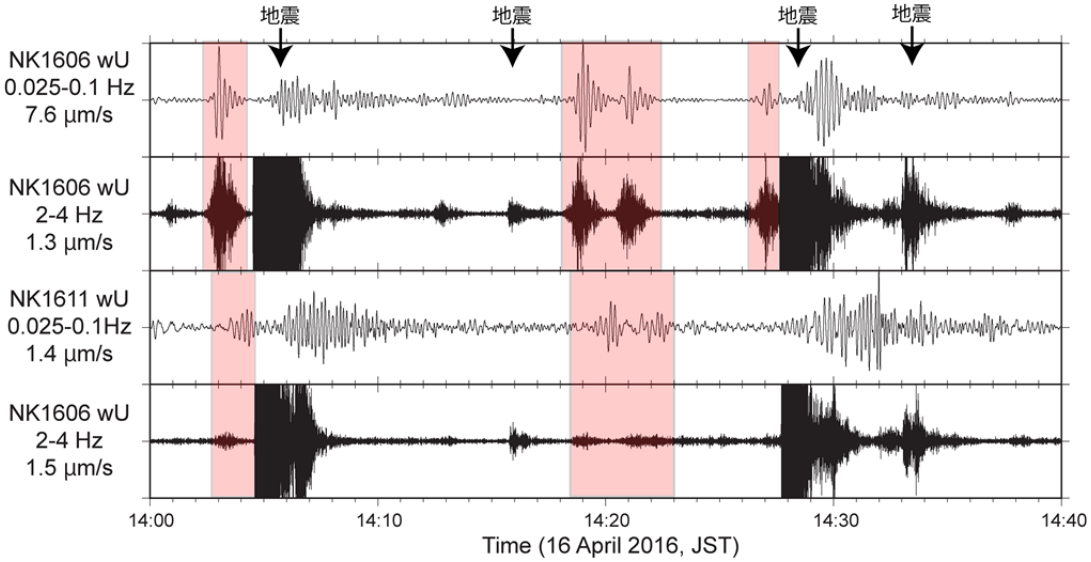


図３－８－①－８　低周波微動帯域（2-4Hz）と超低周波地震帯域（0.025-0.1Hz）における広帯域海底地震計（NK1606 と NK1611）の波形記録例。赤の陰をつけた部分は、低周波微動と超低周波地震が同期して確認できる時間帯を示し、「地震」は 2016 年熊本地震の余震を示す。

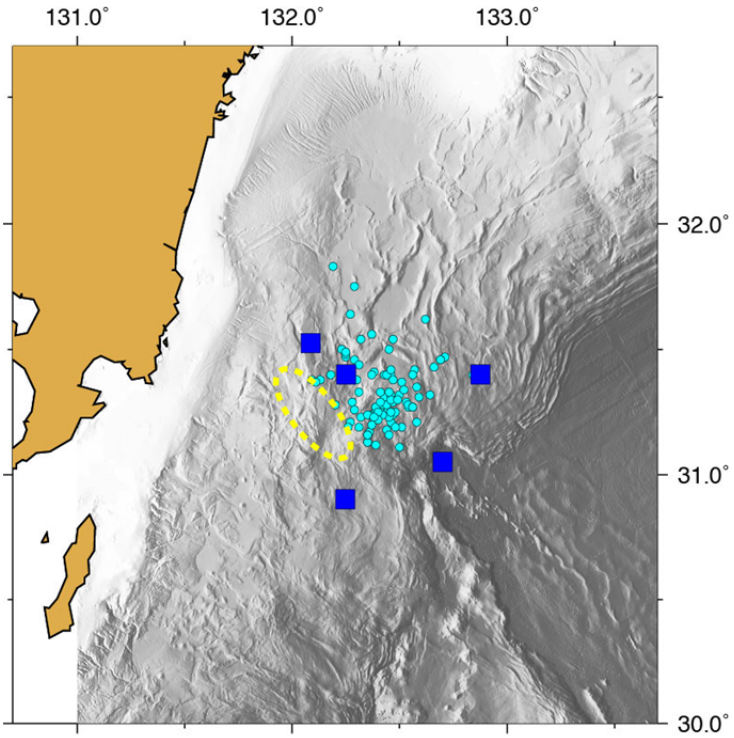


図３－８－①－９　推定された浅部超低周波地震の震央位置（●）と第３期観測の観測点配置（■）。点線丸は低周波微動が活発で浅部超低周波地震の活動が低調な領域を示す（利根川・他、2017）。

表３－８－①－１　2015 年に設置した海底地震計の設置位置

観測点名	Trコード	緯度		経度		水深
		度	分	度	分	m
NK17A1	402	31	02.930	132	06.008	2,115
NK17A2	*728*	*31*	*05.617*	*132*	*06.179*	*1,850*
NK17A3	401	31	05.561	132	09.313	2,238
NK17A4	*765*	*31*	*02.859*	*132*	*09.162*	*2,573*
NK17B1	**762**	**31**	**22.636**	**132**	**26.023**	**2,304**
NK17B2	403	31	25.313	132	26.711	2,500
NK17B3	**738**	**31**	**24.685**	**132**	**29.683**	**2,511**
NK17B4	404	31	22.099	132	29.002	2,337

* 斜字は広帯域海底地震計

** 太字は圧力計搭載型長期観測型海底地震計

表３－８－①－２　本年度に設置した海底地震計投入点位置と設置日時

観測点名	Trコード	緯度		経度		水深	設置日時	
		度	分	度	分	m	年月日	時分秒
B00	725	30	51.516	132	22.025	2,844	2017/07/26	00:29:30
B01	766	30	50.233	131	54.743	1,730	2017/07/26	03:27:25
B02	*812*	*30*	*41.461*	*132*	*12.100*	*2,592*	*2017/07/25*	*09:09:54*
B03	*809*	*30*	*34.463*	*132*	*26.805*	*3,227*	*2017/07/25*	*11:30:18*
B04	768	30	36.190	131	47.039	1,930	2017/07/26	05:57:36
B05	*816*	*30*	*30.585*	*132*	*01.038*	*2,837*	*2017/07/26*	*10:18:49*
B06	*804*	*30*	*24.371*	*132*	*20.975*	*3,951*	*2017/07/26*	*12:55:54*
B07	724	30	22.959	131	39.271	2,277	2017/07/26	21:00:44
B08	779	30	15.221	131	57.777	2,825	2017/07/26	18:42:06
B09	767	30	03.832	132	05.556	3,677	2017/07/27	00:53:00

* 斜字は広帯域海底地震計

(d) 結論ならびに今後の課題

日向灘海域において、圧力計搭載型の２台を含む長期観測型海底地震計８台の回収を行った。また、今年度は日向灘に隣接する南西諸島海溝での観測を実施するため、種子島東方沖に 10 台の長期観測型海底地震計および広帯域型海底地震計を設置し、観測を開始した。

今年度回収した海底地震計では、良好な波形データを取得することができており、平成 29 年３月に観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。

本観測はオフラインシステムのため、データ取得は次年度の回収作業が必須である。そこで得られたデータをもとに、プレート境界のすべり現象についての解析を実施する。また、スロースリップイベントの検知や微動活動の推移把握のためには、継続的な観測ならびにスロースリップイベント帯域に適した観測が重要であり、次年度以降も観測を継続する。

(e)引用文献

Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, Slow Earthquakes Linked Along Dip in the Nankai Subduction Zone, Science, 330(6010), 1502, doi: 10.1126/science.1197102, 2010.

Asano, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, H. Hirose, and Y. Ito, Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes, Geophys. Res. Letts., 42, 331-338, doi:10.1002/2014GL062165, 2015.

Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara, and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow

subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, Nature Geoscience, 5, 414-418, doi:10.1038/NGEO1466, 2012.
利根川貴志・山下裕亮・高橋努・篠原雅尚・石原靖・小平秀一・金田義行，海底観測記録を用いた日向灘の浅部超低周波地震の震央位置決定，日本地震学会 2017 年秋季大会，鹿児島，2017.
八木勇治・菊地正幸・吉田真吾・山中佳子，1968 年 4 月 1 日，日向灘地震（M7.5）の震源過程とその後の地震活動，地震 2，51，139-148，1998.
Yagi, Y., M. Kikuchi, S. Yoshida, & T. Sagiya: Comparison of the coseismic rupture with the aftershock distribution in the Hyuga-nada Earthquakes of 1996, Geophys. Res. Lett., 26, 3161-3164, 1999
Yamashita, Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirao, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, and K. Obara, Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, Science, 348 (6235), 676-679, doi:10.1126/science.aaa4242, 2015.
Maeda, T., and K. Obara, Spatiotemporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, Journal of Geophysical Research, 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043, 2009.
Watanabe, S., Y. Yamashita, T. Yamada, and M. Shinohara, Shallow Tremor Activity in the Hyuga-nada region after the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by Ocean Bottom Seismological Observation, American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, S41C-0794, 2017

②広帯域観測 ブイシステムによる水圧観測

(a) 業務の要約

平成 26 年度から 27 年度（2015.12.9 から 2016.12.20）にかけて実施した熊野灘沖におけるブイシステムによる水圧観測では 15 秒サンプリングの音響伝送に合わせて、0.023Hz のローバスフィルターを通してデータを出力して海底局に保存していた。今年は、この海底局の水圧データにおいて、フィルター処理を行い、どのようなイベントが記録されているのか、約 1 年間のデータの検証を行った。各周期帯における海底水圧変動の時系列とその特徴について、大気圧データとの比較検討を行った。

(b) 業務の成果

平成 26 年度から 27 年度（2015.12.9 から 2016.12.20）にかけて熊野灘沖においてブイシステムによる水圧観測データを取得した。このシステムは、水圧センサーを登載した海底局、気象センサーや GNSS アンテナを登載した表面ブイ等から構成される。

本業務では、海底局における水圧観測データにおいて、周期帯の異なるバンドパスフィルター処理を行い、各周期帯における水圧変動の傾向について検討を行った。

観測データについて、海底局では 0.023Hz のローバスのプレフィルター通して水圧

値と水温を 15 秒間隔で観測した。表面ブイにおいては、気象・海象データ（潮流の流向と流速、気温、気圧、湿度）を 10 分間隔で観測した。バンドパスフィルター処理は、水圧値のみに施した。本業務では水圧値と気圧の比較を行った。

図３－８－②－１に観測データの時系列を示す。図中の bp01 は２～４分、bp02 は４～８分、bp03 は８～16 分、bp04 は 16～32 分、bp05 は 32～64 分、bp06 は 64～128 分、bp07 は 128～256 分のバンドパス周期に対応する。なお、bp00 はフィルター処理を施していない観測データを示す。図３－８－②－１(a)は、観測開始の 2015.12.9 から 2015.12.31 までの観測データを示す。図中の灰色区間が投入前の船上での大気中の値であるため、実質的な海底観測開始日は 12 月 10 日である。図から、水圧値の長周期成分の方が短周期成分に比べて常時振幅は大きく、bp01 は±0.1 hPa 程度であるが、bp07 においては±0.5 hPa 程度かそれ以上であることがわかる。 気圧低下が生じている時には、各周期帯の水圧値に擾乱が生じており、特に bp01 や bp02 でその振幅が大きく、ノイズレベルが増加する傾向にある。一方、気圧変動がそれほど生じていない場合でも、水圧値にパルス的な変動が生じている場合もある（図３－８－②－１(a)中の矢印)。これらの信号は数分から 30 分程度、数分から１時間程度、数分から２時間程度の周波数成分を持つケースがある。いわゆるスロースリップよりも低い周波数帯の信号を含み、10 分以上の継続時間を持つ。図３－８－②－１(b)は 2016 年 11 月１日から同 30 日までの水圧計データであるが、ノイズレベルの変化と気圧との相関、パルス的な変動を示すデータの特性は数分から２時間程度の周波数成分を持つケースと、１－２時間程度の周波数成分を持つが数分程度の周波数帯にはあまり成分を持たないケースも観測された。これら様々な周波数帯成分を持つ変動があることが明らかになった。

これらの信号の地殻活的な意味については、より定量的な検討を行う必要がある。この水圧計が設置された紀伊半島南東沖ではスロースリップの活動があまり活発でないとされているが、より低い周波数帯での活動がある可能性を今回示した。これらの地球科学的な意味を理解するためには、DONET のあらゆるセンサーとの比較を行い、設置海域の地震活動との対比を行いながら、注意深く検討を進めていく必要がある。

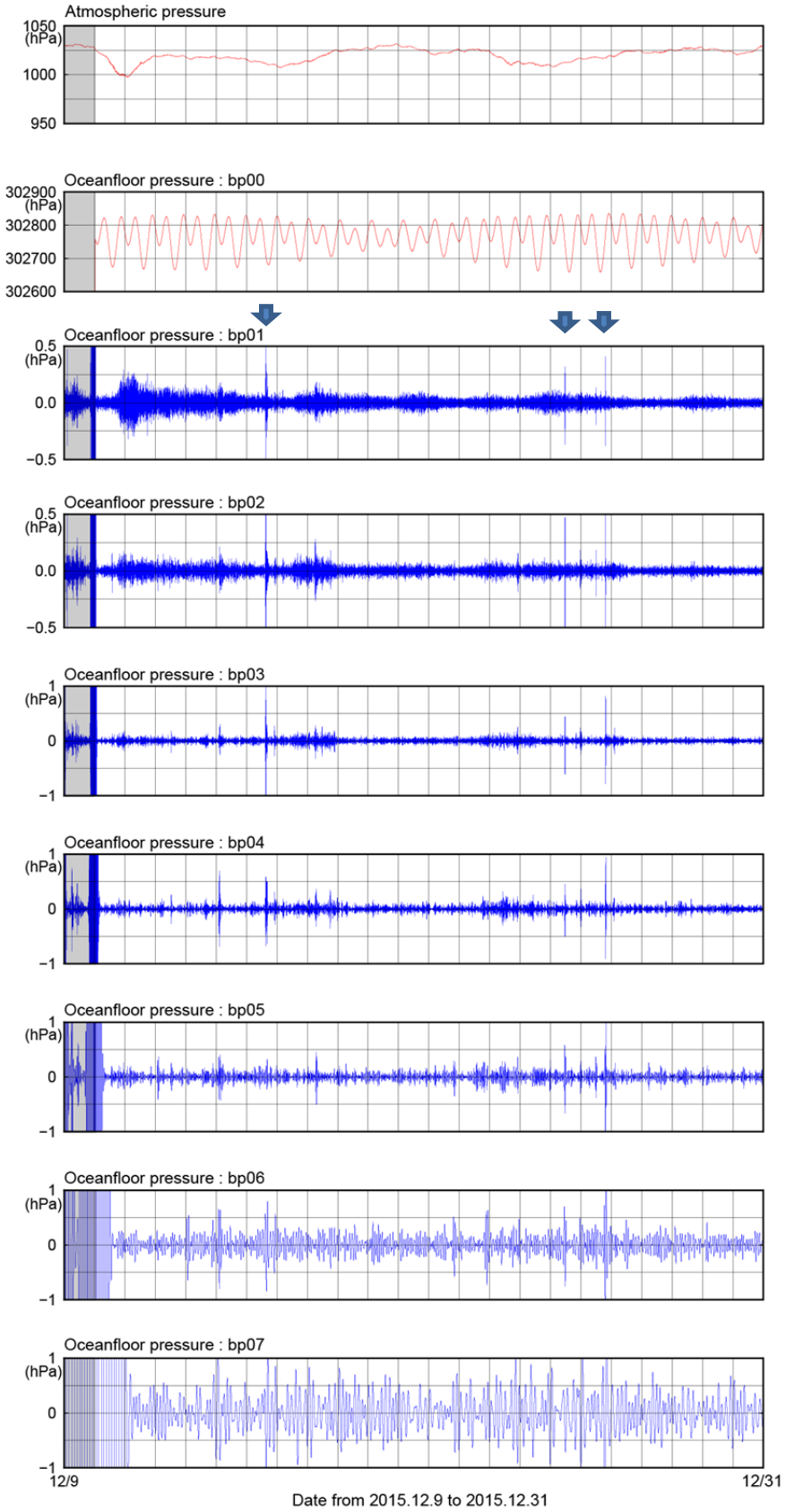


図３－８－②－１(a) 2015 年 12 月 9 日から同 31 日の水圧計データ。上から大気圧、水圧計元データ、以下、２～４分、４～８分、８～16 分、16～32 分、32～64 分、64～128 分、128～256 分のバンドパスフィルターをかけた水圧データである。矢印はパルス状の信号。

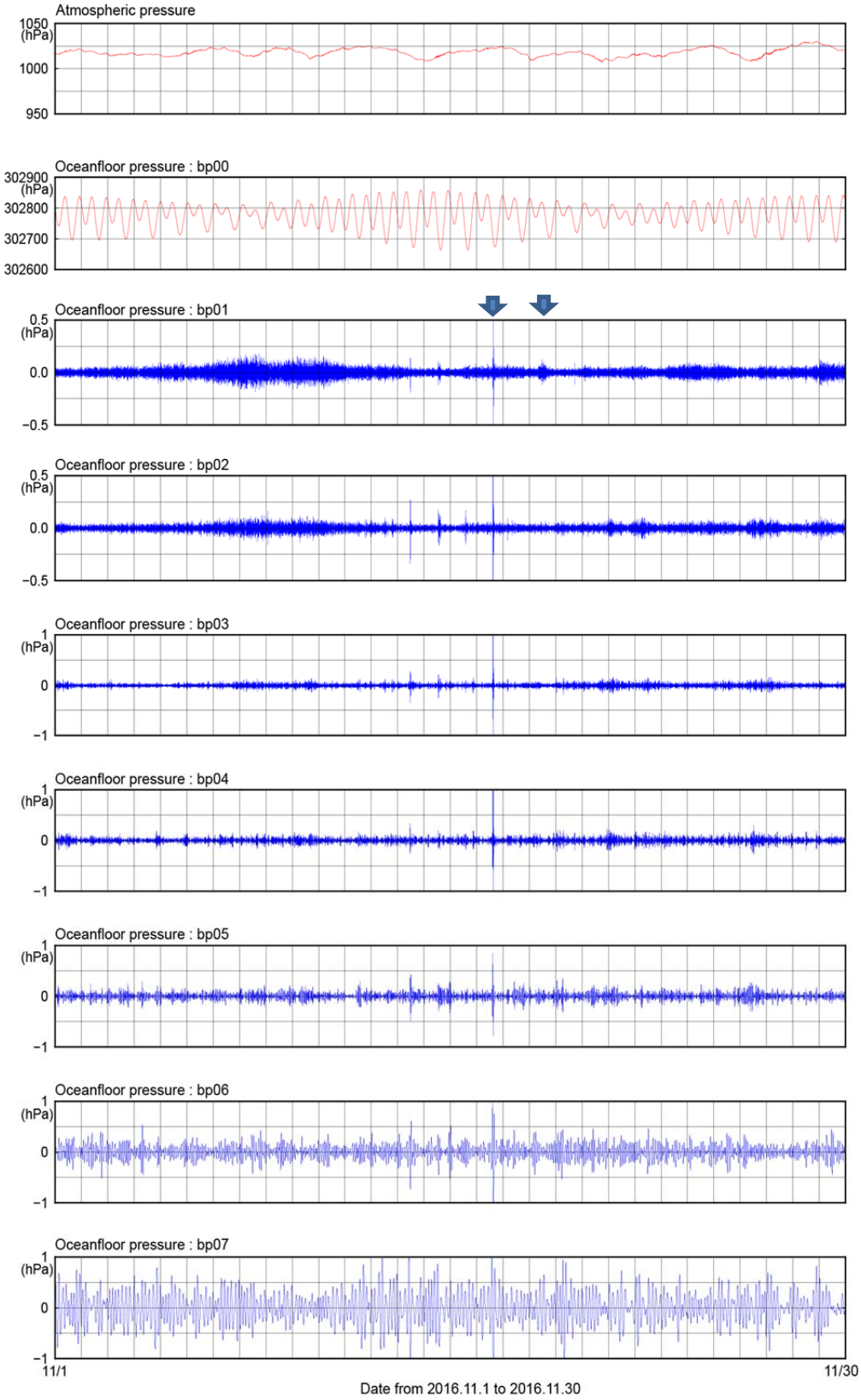


図３－８－②－１(b)2016 年 11 月１日から同 30 日の水圧計データ。上から大気圧、水圧計元データ、以下、２～４分、４～８分、８～16 分、16～32 分、32～64 分、64～128 分、128～256 分のバンドパスフィルターをかけた水圧データである。矢印はパルス状の信号。

(c) 結論ならびに今後の課題

今回のデータ検証を通じて、スロースリップよりも低い周波数帯の成分を持つ信号が確認された。数分から 30 分程度、数分から１時間程度、数分から２時間程度の周波数成分を持つケース、１～２時間程度の周波数成分を持つが数分程度の周波数帯にはあまり成分を持たないケースも観測された。また、数分程度の成分の記録のノイズレベルは気圧の変化と相関があることもわかった。ここで使用している水圧計は DONET で使用している水圧計と同等のスペックを持ち、製造メーカーも共通している。これらの水圧計は、ドリフト成分は残るものの、地殻変動と同等の低い周波数帯から観測できる特性を持っている。これらの低い周波数帯の成分を持つ信号の意味を、DONET で観測された地殻活動と対比しながら探る必要がある。

(d) 引用文献

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

南海トラフから南西諸島海溝の領域において､長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を実施する。また、海底地震（水圧）計のデータ解析を実施する。ブイシステムを用いた海底水圧試験観測により、これまでに得られているデータの解析を継続する。

3.9 データ活用予測研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「データ活用予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授 准教授 准教授	日野亮太 太田雄策 内田直希
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	教授 准教授	平原和朗 宮崎真一
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授 准教授	西村卓也 伊藤喜宏
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	教授	鷺谷威
国立大学法人名古屋大学大学院 環境学研究科附属地震火山研究センター	准教授	伊藤武男
国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	主任研究員	行谷佑一
国立大学法人東京大学大学院理学研究科	准教授	安藤亮輔
国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	グループリーダー 特任技術研究員 特任技術研究員 研究員	堀高峰 中田令子 兵藤守 有吉慶介

(c) 業務の目的

・地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

京コンピュータ等で計算される多数の地震シナリオとその前後のゆっくりすべりのシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・DONET・水準測量や三辺・三角測量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイルした観測データベースを構築する。

・プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータベースと比較する同化の模擬テストを行う。また、次の豊後水道のゆっくりすべりや東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを通して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

・逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り

込みながらモデルパラメータや初期値を更新できるように同化手法を改善するとともに、地殻変動以外の観測データ（特に地震活動データ）の同化手法を開発する。

(d) ８か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

これまでに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、追加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次同化の模擬テストを行う準備を進めた。また、観測データベースの仕様を検討し、東北地方太平洋沖地震前後のデータのコンパイルを始めた。複数データの尤度評価手法の開発を進めた。

平成 26 年度:

前年度までに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、さらに追加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次同化の模擬テストを行った。また、観測データベースの仕様を決め、東北地方太平洋沖地震前後のデータを引き続きコンパイルした。複数データの尤度評価手法の開発に着手した。

平成 27 年度：

東北地方太平洋沖地震前後のデータ整備・解析を進め、シミュレーションデータベースを構築した。地震前後のすべりに対する予測の試行実験に向けて、観測データをある程度定量的に再現するシミュレーションモデルを構築した。このようにして得られたモデルによるシナリオでは、日本海溝における M９クラスの地震発生後から次の宮城県沖地震発生までの間隔が、M９地震発生以前の繰り返し間隔よりも短くなる傾向が見られた。また、西南日本よび南西諸島における地殻変動データの整備・解析を進め、プレート沈み込みおよびゆっくり地震の解析を行った。更に、プレート境界におけるすべり発展予測システム構築に向けてモデルパラメータを逐次更新するデータ同化手法の開発に着手した。

平成 28 年度：

前年度に引き続き、東北地方太平洋沖地震前後のデータの解析と、シミュレーションデータベースの蓄積を行うとともに、データ同化手法を用いた推移予測の模擬テストに着手した。前年度までに整理した地殻変動データを統合して解析するため、日本列島のブロック運動モデルの解析手法の開発を実施した。西南日本における地殻変動データ解析を継続し、ゆっくりすべりやプレート間固着といったすべりの時空間発展予測システム構築に向けて、モデルパラメータを逐次更新する手法を開発した。

平成 29 年度：

海･陸地殻変動観測データに基づき､西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いならびに日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布とその経年変化を調査し、その知見を、東北地方太平洋沖を対象にしたシミュレーションデータベースに反映させた。模擬テスト結果にもとづいて同化手法を改善するとともに、

豊後水道のゆっくりすべりで数値実験を行った。

平成 30 年度：

明治以降の水準測量・三角測量等の地殻変動データを用いて、明治期から現在までの南海トラフ地震の１サイクル分をカバーする測地データベースを整備して、地震発生サイクルシミュレーションとの比較検討を行う。海・陸地殻変動観測データに基づき、西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いならびに日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布とその経年変化を前年度に引き続き調査するとともに、その知見を、東北地方太平洋沖を対象にしたシミュレーションデータベースに反映させる。プレート境界の余効すべり・ゆっくりすべりのデータ同化手法の開発を継続して進めるとともに、豊後水道ならびに東北地方太平洋沖を対象にしたシミュレーションデータベースを利用した既存データ同化手法での予測試行実験を継続する。

平成 31～32 年度：

海･陸地殻変動観測データに基づき､西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いならびに日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布とその経年変化を引き続き調査するとともに、その知見を、東北地方太平洋沖を対象にしたシミュレーションデータベースに反映させる。模擬テスト結果や手法改良研究にもとづいて、プレート境界の余効すべり・ゆっくりすべりのデータ同化手法の改善を進めるとともに、南海トラフならびに日本海溝において、リアルタイム予測試行実験を行い、予測の問題点を整理する。また、地殻変動・相似地震と地震活動データを用いた同化システムのプロトタイプを構築する。

(e) 平成 29 年度業務目的

明治以降の水準測量・三角測量等の地殻変動データを整理して、明治期から現在までの南海トラフ地震の１サイクル分をカバーする測地データベースを整備する。海・陸地殻変動観測データに基づき、西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いならびに日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布を詳細に評価する。これらの観測による知見に基づいたシミュレーションデータベースの蓄積を行う。余効すべり・ゆっくりすべりのデータ同化手法の開発を平成 28 年度に継続して進めるとともに、豊後水道を対象にした既存手法での予測試行実験に着手する。

(2) 平成 29 年度成果

①地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

(a) 業務の要約

本プロジェクトでは過去の地殻変動データの整理、有限要素モデルの構築等を実施してきた。本年度では、前年度に作成したブロック運動モデルの解析手法を西南日本の地殻変動データに適用し解析した。観測データは、陸上の GEONET による GNSS 観測データに加え、海底地殻変動観測結果も統合して解析を行なった(図３－９－①－１)。本解析の特徴は、(１)マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)を用いることで、空間的なスムー

ジングを導入しない解析手法を採用（２）ブロック分割を半自動化するプログラム設計により、試行錯誤的なブロック分割が容易(３)赤池情報量基準(AIC)に基づく最適なブロック分割の判別（４)有限要素モデルによる応答関数の取り込みを意識したプログラムデザインである。これらの解析の結果、プレート境界における固着分布の不均質性が明らかになった。また、内陸断層での固着の分布、ブロック間の相対運動、観測された地殻変動の弾性応答成分と剛体運動成分を明らかにした。西南日本における海洋プレートの沈み込みは複数の内陸ブロック運動と相互に影響しあっており、これらの相互作用を定量的に評価することが重要である。

また、過去の水準データを含む地殻変動データの整理を継続して実施し、より効率的に過去の測地測量データの抽出ができるプログラムを作成した。

一方、GEONET データの統一的な再解析結果を用いることにより、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前に、東北地方の太平洋沿岸部で加速的な沈降が生じていたことを明らかにした。先行研究で同時期に海溝向きの水平変位が加速していたことも知られており、両者を考慮すると、プレート境界の深さ 50km 程度より浅い部分で加速的なすべりないし固着のはがれが生じていたと推定される。

(b) 業務の成果

1) ブロック運動モデルとプレート間固着の同時推定

新規に開発された解析手法では、マルコフ連鎖モンテカルロ手法に基づく解析手法を採用することで、既存のブロック運動モデルの解析ではできなかった、推定パラメータ間の共分散解析が可能になる。これらの解析手法を西南日本の GEONET の GNSS データ及び海底地殻変動データに適用した(図３－９－①－１)。これらの手法を適用するために、広域のブロック境界は Bird (2003)をベースに、日本列島内部のブロックは活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉, 2002)に記されている活断層地表トレースデジタルデータをベースに 18 のブロックモデルの構築し、AIC により、最適なブロックモデルを選択した（図３－９－①－２)。上記のデータと最適化されたブロックモデルを用いて、ブロックモデル間の滑り遅れの分布を推定した（図３－９－①－３)。解析の結果、フィリピン海プレートの沈み込みの固着率は空間的に不均質な分布をしていることが明らかになった。また、先行研究（Yokota et al., 2016）では濃尾平野直下に強いカップリングが見られたが、ブロック運動を同時推定することで、濃尾平野直下ではカップリングしていないことが明らかになった。さらに、三重県沖には弱いカップリング領域が推定されており、海底地殻変動のデータの精度は検討の課題ではあるが、観測データを精査した結果、弱いカップリング領域である可能性が高い。その一方、本研究で推定された、中央構造線沿いの滑り遅れ分布と相対運動は先行研究（Tabei et al., 2002）とよい一致を示した（図３－９－①－４)。

過去の測地測量データには多くの誤差が含まれている。それらを効率的に検出し、修正できる手法の構築を試みた。検討した手法は水準測量データを用いて、固着分布の時空間発展を計算し、大きな誤差を持ったデータセットを取り除いた上で、再度固着分布の時空間発展を計算し、顕著な誤差がでるデータセットがなくなるまで繰り返す。しか

しながら、このアルゴリズムでは、修正されたデータの閉合差を取った時にデータの整合性がとれず、うまく機能しないことがわかった。よって、大きな変動をもつ、データセットも削除されてしまうため、異なる手法の検討が必要である。

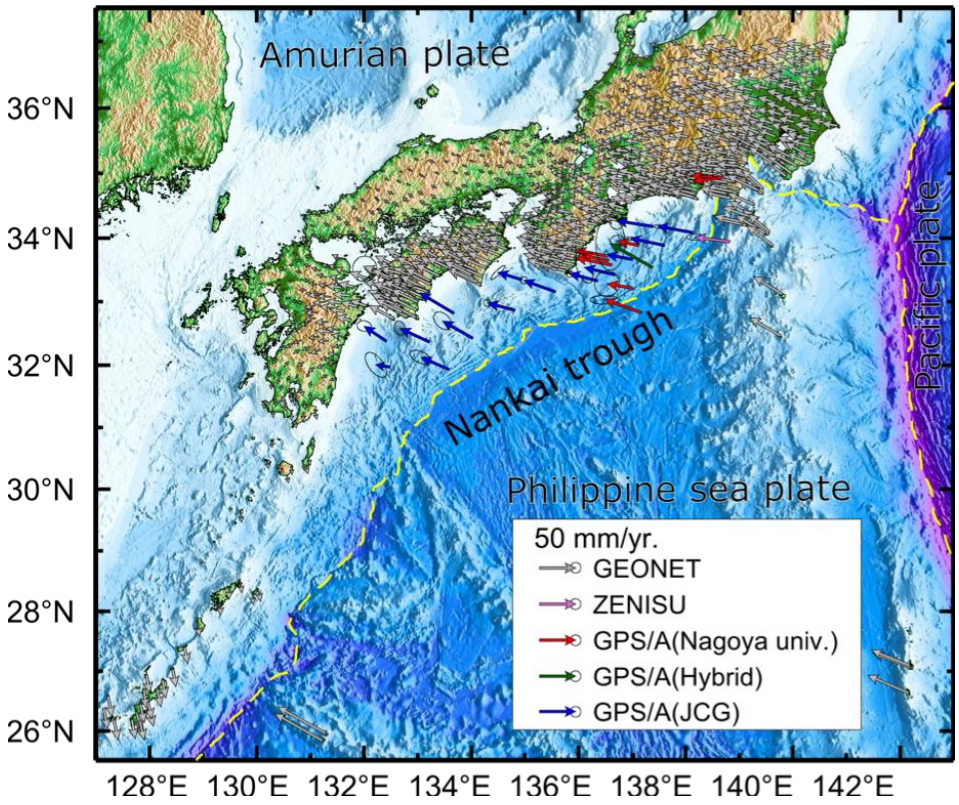


図３－９－①－１　ブロック運動解析に使用した地殻変動場データセット

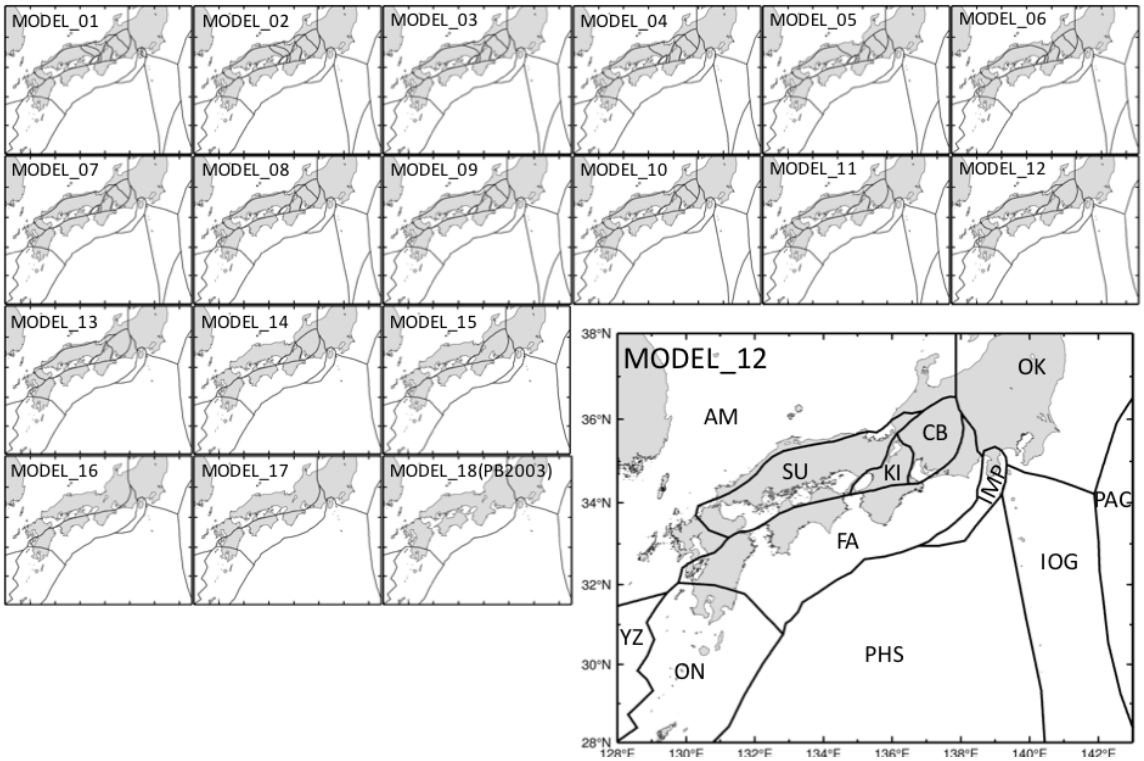


図３－９－①－２　評価したブロックモデル群と AIC によって最適化されたブロックモデル（右下図）

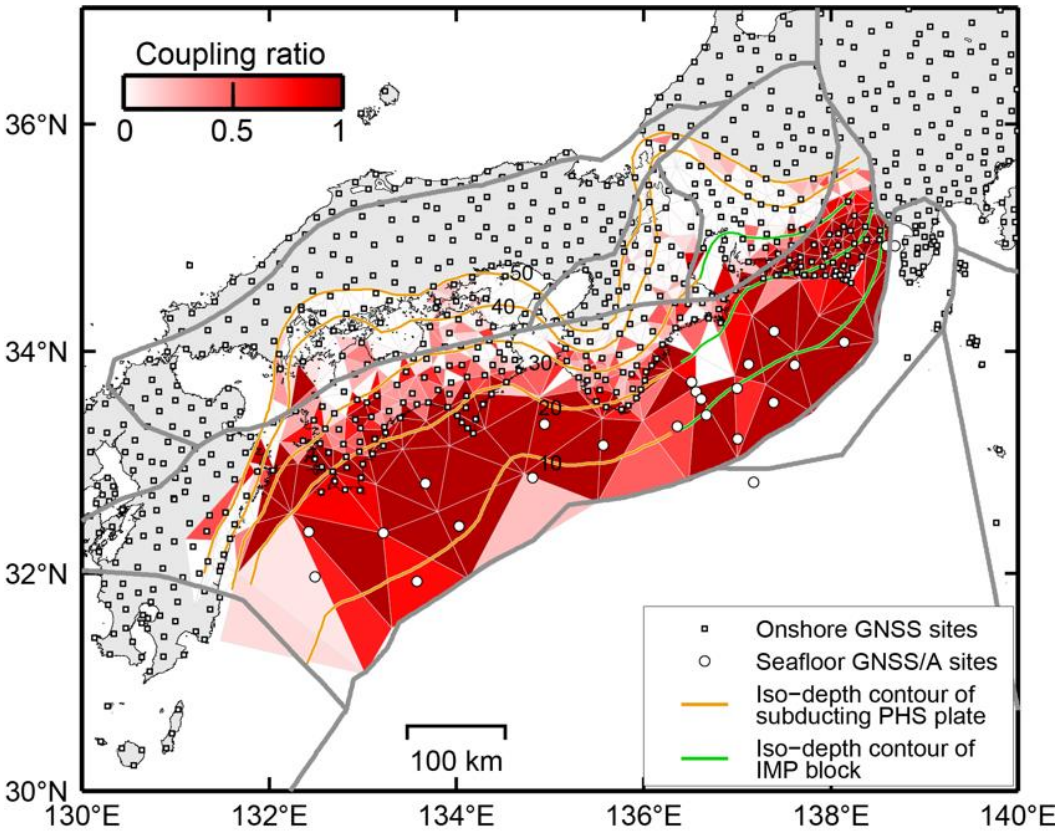


図３－９－①－３　推定されたフィリピン海プレート上面でのカップリングの空間分布

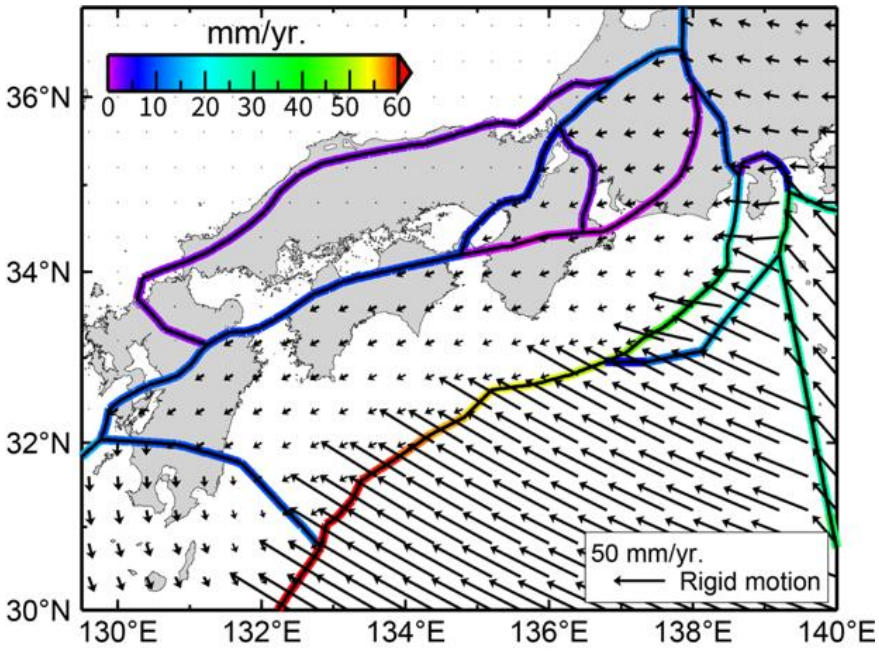


図３－９－①－４　推定された各ブロックの剛体運動とすべり欠損速度

2）2011 年東北地方太平洋沖地震に先行する加速的地殻変動の検討

プレート境界で巨大地震が繰り返し発生する間の地殻変動は、次の地震発生へ向けた準備過程を反映すると考えられ、その理解は将来の大地震に備える上で重要である。最も単純な地震サイクルモデルでは地震間の地殻変動速度は常に一定と仮定するが、時間変化する地震間地殻変動の例が数多く見つかっている。その１つとして、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震の前に、本震の震源域周辺で海溝向きの地殻変動が加速していたという報告がある（Mavrommatis et al., 2014; 2015)。地震に先行する加速的地殻変動は、大地震の前兆現象として提唱されており（例えば Stuart, 1988)、こうした観測例は地震間の地殻変動や大地震の先行過程の理解に重大な意義を有している。上記の先行研究では、国土地理院による GPS 観測網（GEONET）のルーチン解析結果（F3 解）の水平成分に注目した解析が行われていたが、こうした先行的な変化は上下変動も伴うと予想される。加速的地殻変動がプレート境界における固着・すべりの時間変化により生じるのであれば、上下変動データは固着・すべりの変化が生じた位置を特定する上で重要な拘束を与えると期待される。また、上下変動の議論は、水準測量や潮位観測データが過去 100 年以上にわたって存在するため、GPS 観測が開始された 1990 年代中頃よりも時間をさかのぼった議論を行える可能性がある。こうした理由から、特に上下変動成分に注目して加速的地殻変動の検討を実施した。

まず、GEONET の Ｆ３解を用いた上下変動の解析を試みた。1996 年～2010 年の期間を、2003 年を境として前後２つに分け、それぞれの期間について上下変位の時系列を直線近似して上下変位速度を求め、２期間の速度の差を求めた。その結果は図３－９－①－５に示す通りで、前半と後半を比較すると太平洋岸は変化が見られないが、日本海側で隆起が加速していたという結果になった。この結果は地球物理的な解釈が困難であり、２つの期間で GPS による上下速度を同じ地域の潮位変化と比較すると、期間により傾向

が異なっていた。そこで、GPS の解析結果に何らかのバイアスが含まれているのではないかと考え、F3 解とは独立な再解析を実施した。

再解析では、各観測点のデータを独立に処理する精密単独測位法（Precise Point Positioning, PPP）を用いた。解析に使用したソフトウェアは Bernese version 5.2 である。衛星の軌道暦および時計誤差は、ドイツの GFZ が ITRF2008 座標系に準拠して統一的に再処理して得た結果を用いた。解析対象は東北地方の GEONET 観測点 82 点である。解析により得られた座標時系列は Ｆ３解とほぼ同様の再現性を有しており、2000 年以前ではＦ３解より良い再現性を示す場合もある。この座標値を用いて求めた上下変位の加速度を同様な手順で Ｆ３解から求めた結果との比較を図３－９－①－６に示す。既に述べた通り、Ｆ３解では日本海側で隆起の加速が見られていたが、PPP 解では逆に太平洋側の加速的沈降を示す結果となった。また、太平洋岸で沈降の加速が見られた場所は、先行研究で海溝向きの加速的変位が見られていた範囲とほぼ対応する。

以上の結果は、この加速的な地殻変動がプレート境界の固着・すべり変化に起因すると仮定すれば、その変化は逆断層的なすべりが加速するセンスで、そうした加速が起きていたのは太平洋岸の海岸線付近よりも東のプレート境界の深さ 50km 付近より浅い部分であることを示す。なぜなら、陸域の地下で加速すべりが生じると、太平洋岸は隆起するないし中立的であると考えられるからである。日本海溝に沿ったプレート境界面では、従来から GPS データを用いたプレート間固着の推定が行われていた（例えば Nishimura et al., 2004, Suwa et al., 2006, Hashimoto et al., 2009）。これらのうち、GPS による地殻変動速度の上下成分を含む３成分を用いた解析(Suwa et al., 2006)では陸域下の深部まで固着が及んでいるという結果が得られたのに対し、水平成分のみを用いた解析（Nishimura et al., 2004, Hashimoto et al., 2009）では、固着域は海岸線よりも東側の浅部に限られていた。地震前の加速的すべりがプレート境界の深さ 50km 付近よりも浅部のみで発生していたとすれば、固着域は 50km よりも深い陸域下まで及んでいなかったと考える方が合理的である。この推定は、2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時破壊が深さ 50km より浅部に限られること（例えば Yagi and Fukahata, 2011）、地震後に生じている余効変動から粘性緩和の影響を差し引いた結果から推定される余効すべり分布が陸域の下には殆ど及んでいないこと（Sun and Wang, 2015）、といった観測事実と整合的である。

地震前に起きる加速的地殻変動は、大地震の直前予知につながると考えられてきた（例えば Kato and Hirasawa, 1999）。1944 年東南海地震では、この加速的変化が２～３日程度の時定数を持つと推定され、長く東海地震の直前予知が可能である根拠とされてきた（Mogi, 1984）。本研究を通して、加速的地殻変動が生じていた可能性は高まったとは言えるが、その加速的変化の時定数は 10 年単位であり、この結果を見る限りこうした観測に基づく直前予知は困難と言わざるを得ない。Kato and Hirasawa (1999)は、プレート境界の摩擦構成則を仮定して前兆的地殻変動を示す数値シミュレーションを行ったが、加速的変化の時定数そのものは、従来通り東南海地震のケースを念頭に設定されていた。実験室で得られた摩擦構成則を大地震に適用するためには適切なスケーリング則を導入することが必要であるが、特定の観測事例に特化した最適化を行うこと

により、実際の現象とはかけ離れた計算となってしまっていたとも考えられる。2011年東北地方太平洋沖地震の前の観測データは、M９クラスの超巨大地震に先行する地殻変動変化を精確に記録した初めての例であり、今後、こうした事例を再現するような数値モデルを検討していく必要がある。

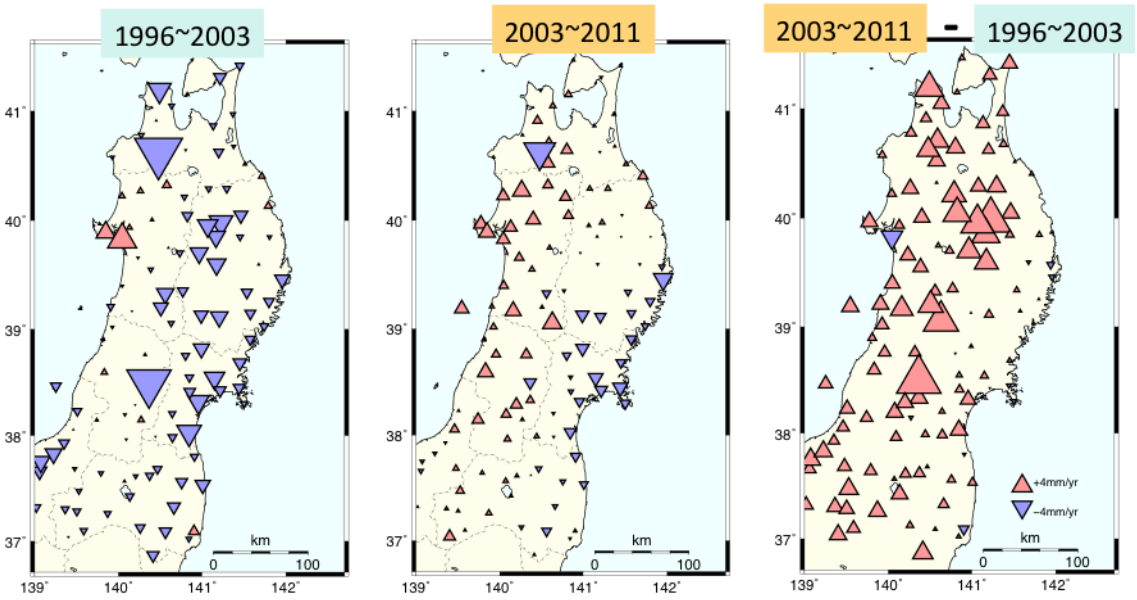


図３－９－①－５　GEONET のＦ３解に基づく上下変位速度の変化。日本海側が 2003 年以前の停滞から隆起に転じている一方、太平洋側は変化が見られない。

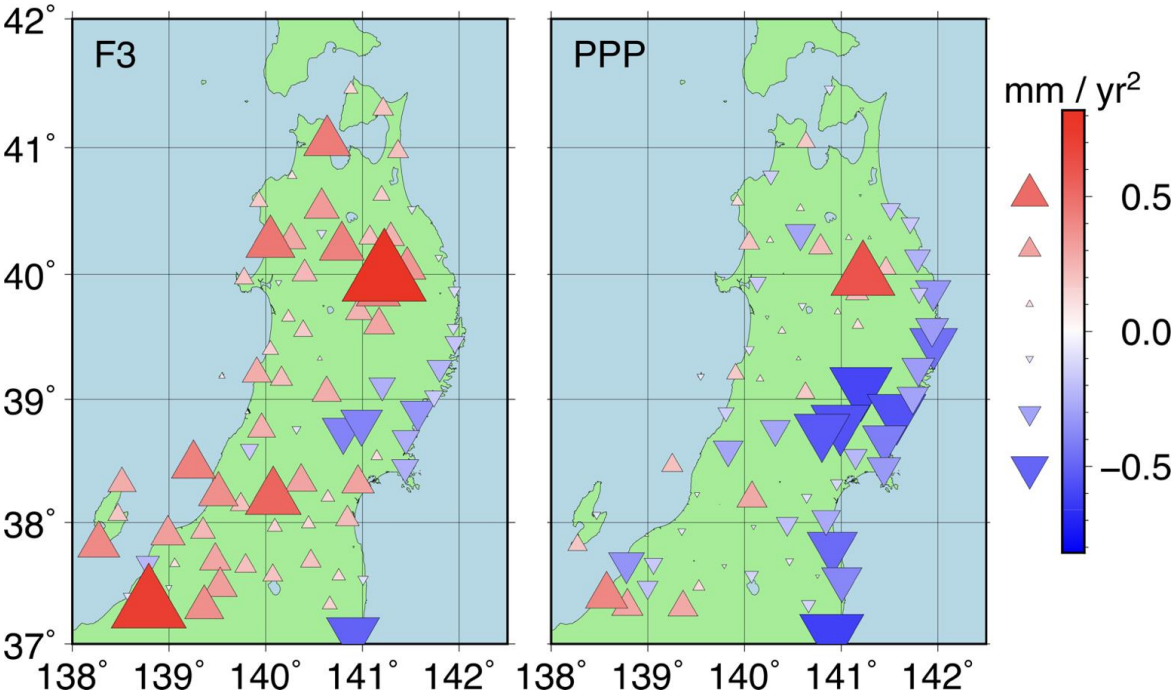


図３－９－①－６　1996 年～2010 年における上下変位の加速度分布。左：Ｆ３解に基づく結果。右：PPP 解に基づく結果。PPP 解では、日本海側では加速が見られず、太平洋側で沈降が加速していたことを示す結果が得られた。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は前年度に開発したブロック運動解析プログラムを GEONET と海底地殻変動データに適用した。その結果、フィリピン海プレート上面の不均質な滑り遅れ分布が得られた。海底地殻変動のデータの精度に問題はあるが、三重県沖に固着が小さい部分があることがわかった。今後の海底地殻変動のデータの蓄積が望まれる。また、内陸部のブロック運動を考慮したことで、約 30km 以深では大きな固着域は認められなくなった。一方、過去の測地測量データを自動的に整理するアルゴリズムを構築した。しかしながら、クリーニングしたデータセットに対して、閉合差をとると、大きな誤差がでることから、異なるアルゴリズムの検討が必要である。

国土地理院の GEONET のルーチン解とは独立な方法で再解析した時系列に基づき、2011 年東北地方太平洋沖地震に先行して、東北地方の太平洋沿岸部で加速的な沈降が生じていたことを明らかにした。この結果は、プレート境界の加速すべりが深さ 50km 付近よりも浅い場所を中心として生じていたことを示唆しており、プレート境界の固着分布に対しても制約を与える。水平方向の加速度データと合わせた解析により、加速すべりの空間分布を推定していくことは次年度の課題である。さらに、潮位記録や水準測量データを参照することで、この加速的沈降がいつから始まったのか明らかにすること、こうした 10 年単位の加速すべりを再現するようなプレート境界の摩擦パラメータ推定などが今後の課題として挙げられる。

(d) 引用文献

1) Bird, P., An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252, 2003.
2) 中田高・今泉俊文, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, ISBN: 978-4130607407, 2002.
3) Yokota, Y., Ishikawa,T., Watanabe, S., Tashiro, T. and Asada A., Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, Nature, 534, 374-377, doi:10.1038/nature17632, 2016.
4) Tabei, T., Hashimoto, M., Miyazaki, S., Hirahara, K., Kimata, F., Matsushima, T., Tanaka, T., Eguchi, Y., Takaya, T., Hoso, Y., Ohya, F., and Kato, T., Subsurface structure and faulting of the Median Tectonic Line, southwest Japan inferred from GPS velocity field, Earth Planets Space, 54, 1065-1070, 2002.
5) Mavrommatis, A. P., P. Segall, and K. M. Johnson, A decadal-scale deformation transient prior to the 2011 Mw9.0 Tohoku-oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 41, 4486-4494, 2014.
6) Mavrommatis, A. P., P. Segall, N. Uchida, and K. M. Johnson, Long-term acceleration of aseismic slip preceding the Mw9 Tohoku-oki earthquake: constraints from repeating earthquakes, Geophys. Res. Lett., 42, 9717-9725, 2015.

7) Stuart, W. D., Forecast model for great earthquakes at the Nankai Trough subduction zone, PAGEOPH, 126, 619-641, 1988.
8) Nishimura, T., T. Hirasawa, S. Miyazaki, T. Sagiya, T. Tada, S. Miura, and K. Tanaka, Temporal change of interplate coupling in northeast Japan during 1995-2002 estimated from continuous GPS observations, Geophys. J. Int., 157, 901-916, 2004.
9) Suwa, Y., S. Miura, A. Hasegawa, T. Sato, and K. Tachibana, Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three-dimensional displacement field, J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2004JB003203, 2006.
10) Hashimoto, C., A. Noda, T. Sagiya, and M. Matsu'ura, Interplate seismogenic zones along the Kuril-Japan trench inferred from GPS data inversion, Nature Geoscience, 2, 141-144, 2009.
11) Yagi, Y. and Y. Fukahata, Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, Geophys. Res. Lett., 38, doi:10.1029/2011GL048701, 2011.
12) Sun, T., and K. Wang, Viscoelastic relaxation following subduction earthquakes and its effects on afterslip determination, J. Geophys. Res., 120, 1329-1344, 2015.
13) Kato, N., and T. Hirasawa, A model for possible crustal deformation prior to a coming large interplate earthquake in the Tokai district, central Japan, Bull. Seismo. Soc. Am., 89, 1401-1417, 1999.
14) Mogi, K., Temporal variation of crustal deformation during the days preceding a thrust-type great earthquake-the 1944 Tonankai earthquake of magnitude 8.1, Japan, PAGEOPH, 122, 765-780, 1984.

②東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴抽出

(a) 業務の要約

東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震(以下､東北沖地震)の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を継続して進めた。

まず、東北沖地震前後のプレート境界での地震活動について検討を進めた。その結果、東北沖地震による余効すべりによる非地震性すべり速度の増加にともなって､それまで地震が発生していなかったところに新たに地震が起こったことがわかった｡このような現象は条件付き安定の性質によるものと考えられる。また、東北沖地震が、釜石沖地震に与えた影響についても調べた｡東北沖地震後の地震発生間隔が極端に短くなった期間においても地震サイクル後半の微小地震活動の活発化が見られ､固着域内部およびごく近傍での地震活動が､固着域での固着状況の時間発展という同一の物理過程に支配されている可能性を示唆する。

また、ゆっくり地震の一種である超低周波地震 (Very Low Freqnency Earthquake,

VLFE）の震源特性を日本海溝の海溝軸近傍に設置された短周期海底地震計を用いて明らかにした。具体的には 2011 年東北沖地震以降の短周期海底地震観測データにもとづき、VLFE は同規模通常地震と比較した場合、1 Hz 程度での帯域に比べて２～４Hz の帯域での強度の減少が大きく、同規模の通常地震に比べはるかに小さなコーナー周波数を持つ可能性が高いことを明らかにした。日本海溝における VLFE の存在は、近年新たに報告されたものであり、それらの活動様式を VLFE 発生域近傍における観測に基づいて明らかにできたことは、日本海溝におけるプレート間固着強度の時空間ゆらぎを知る上できわめて重要な成果である。

さらに、海底水圧計を用いたプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測の高度化を目的とした海底水圧計に含まれる長期機器ドリフト成分の客観把握手法の開発を進めた。その結果、事前に長期機器ドリフト成分を実験室環境下で正確に把握可能であること、および、それが実海域データの結果とも大局的には一致することを明らかにした。

(b) 業務の成果

1) 東北沖地震前後のプレート境界地震の活動

東北沖地震によりその周辺で大きな余効すべりが発生した。この余効すべりの地殻活動に関する影響を調べるため、岩手県沖において長期のプレート境界地震活動の推移を調査した。その結果、東北沖地震前の約 80 年間にプレート境界地震がほとんど起きていなかった領域で東北沖地震後プレート境界地震が発生していることがわかった（図３－９－②－１）。さらに、2003 年以降について、ダブル・ディファレンス法を用いた震源再決定をしたところ、地震の出現やその後の消滅過程が明らかになった（図３－９－②－２）。この現象は、非地震性すべり速度の増加にともなって、それまで地震が発生していなかったところに新たに地震が起こったことを示す。このような現象は、地震の発生場所や規模を推定する上で、非地震性すべりによる載荷レートが重要な役割を果たす場合があることを示す (Hatakeyama et al., 2017)。

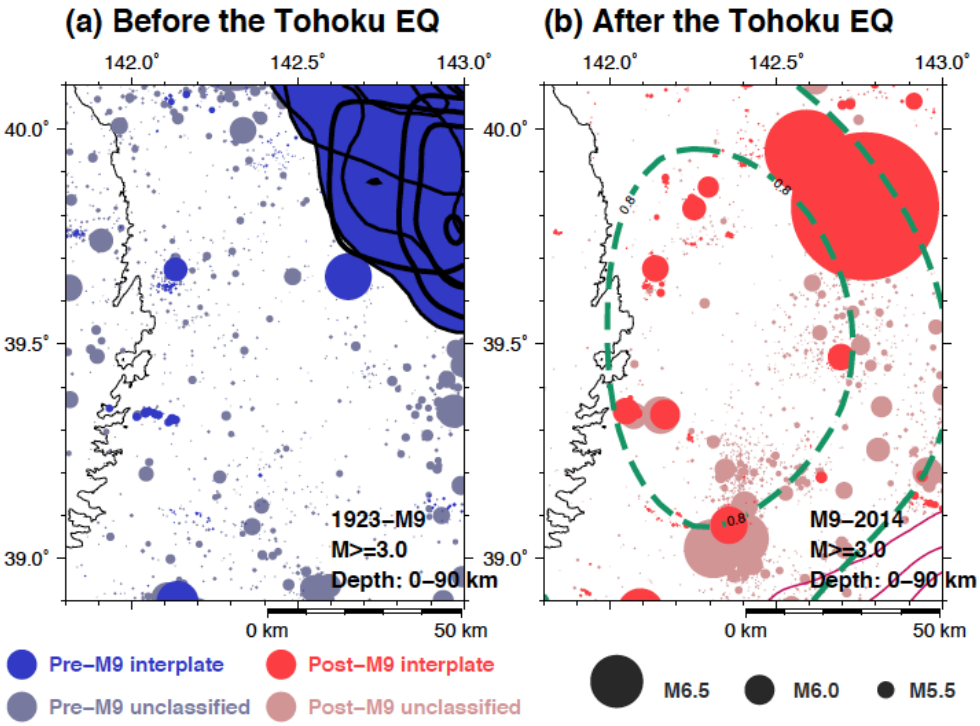


図３－９－②－１　2011 年東北地方太平洋沖地震前（a：1923 年以降、青系統色）および地震後（b：2014 年まで、赤系統色）の地震活動。丸のサイズはおおよその断層サイズを示す。色の濃淡は、プレート境界の地震であると確認されたもの（濃い色）および、メカニズム解等のデータがないプレート境界地震である可能性もあるもの（薄い色）を示す。

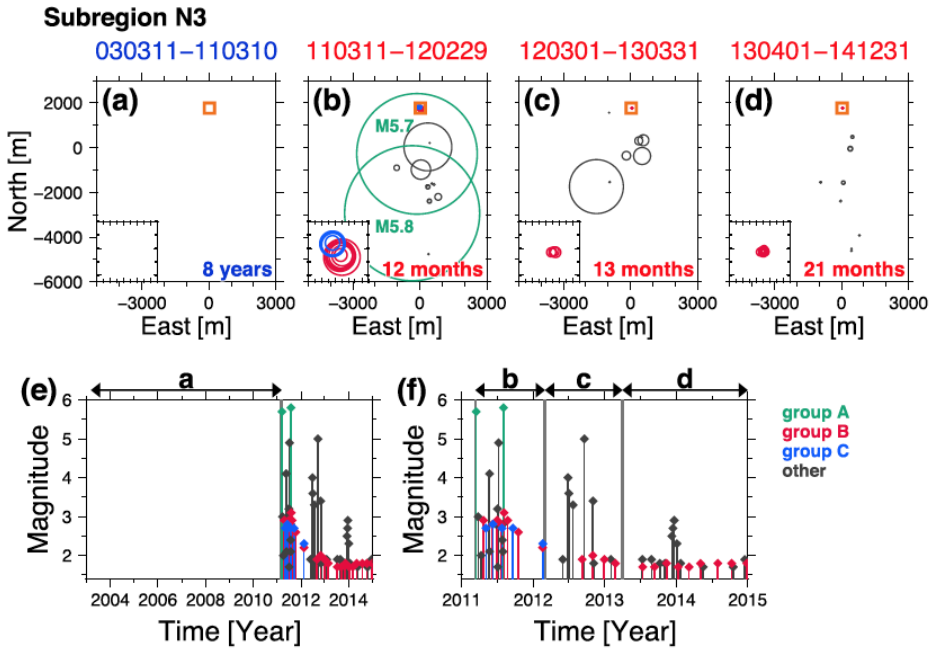


図３－９－②－２　岩手県沖の 39.85N，142.35E 付近における東北沖地震前の地震活動（a）および、地震後（b-d）の地震分布。（e）と（f）は、M-T 図を示す。東北沖地震後 M６弱の地震が発生し（b）、その後地震の規模が小さくなっていった。

2) 東北沖地震直後の釜石沖での地震活動

岩手県釜石沖の繰り返し地震では、地震サイクル後半に小地震活動が活発化する傾向がある。しかし、東北沖地震後の地震発生間隔が極端に短くなった期間においては、同じような活動があるのかどうかは明らかになっていない。そこで、2011 年３月 11 日から４月 13 日までの 34 日間の連続波形データに対し Matched Filter 法（MF 法）を適用し、25 個の地震を検出した（図３－９－②－３）。このうち 18 個は気象庁一元化カタログに未記載の地震であった。 MF 法の性質から、これらの地震は M4.8 前後の地震の繰り返しで知られていた釜石沖の繰り返し地震の極近傍で発生した地震であると考えられる。得られた地震活動は、これまでの約６年に比べ、繰り返し間隔が９～23 日と極端に短くなっている時期においても、地震サイクル後半の活動が活発な傾向が保存されていたことを示す（図３－９－②－３）。地震サイクルにおける小地震の活動の静穏化・活発化が釜石沖の本震の繰り返し間隔に依存しないという結果は、このような活動が、固着域内部での固着状況の時間発展という同一の物理過程に支配されている可能性を示唆する（奥田・他，in review)。

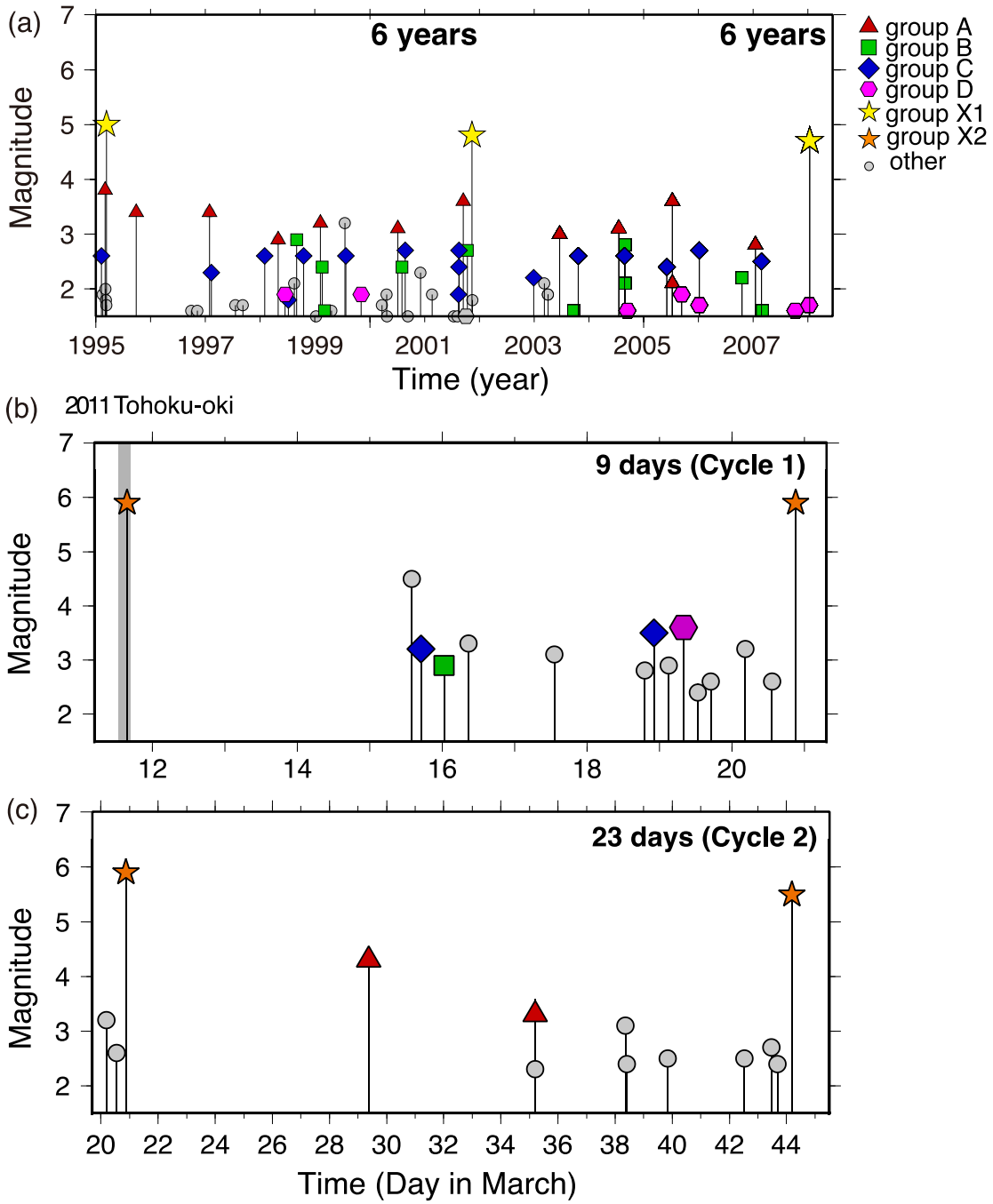


図３－９－②－３　岩手県沖の釜石沖の地震クラスターでの東北沖地震前(a)と東北沖地震後の最初の地震サイクル(b)およびその次の地震サイクル(c)での地震活動。

3) 日本海溝における超低周波地震（VLFE）の震源特性把握に関する研究

超低周波地震（VLFE）は、断層面のゆっくりすべりの一種であり、これまでに南海トラフ等でその活動が見出されてきた。例えば南海トラフではプレート境界の固着域の深部延長や海溝軸近傍の付加体内部などで VLFE の発生が確認されている。Matsuzawa et al.（2015）は陸上の広帯域地震計記録を精査することによって、これまで活動が見出されていなかった日本海溝における VLFE の活動を明らかにした。その

一方で、Matsuzawa et al.（2015）の結果ではVLFEによると考えられる信号レベルはノイズレベルとほぼ同等であり、VLFE の震源特性を明らかにすることは難しかった。そうした観点から、本研究では日本海溝に設置された短周期地震計を用いて、Matsuzawa et al.（2015）が見出したVLFEの震源特性について新たな知見を得た。対象としたのは 2011 年東北地方太平洋沖地震後の岩手－青森沖の海溝軸近傍における VLFE である。VLFE の震源特性を把握するために、VLFE と近い震源で発生した通常地震とのスペクトル比を取った。その結果、VLFEは同規模通常地震と比較した場合、１Hz 程度での帯域に比べて２～４Hz の帯域での強度の減少が大きく、同規模の通常地震に比べはるかに小さなコーナー周波数を持つ可能性が高いことを明らかにした（図３－９－②－４）。こうした特徴は一般的に考えられているゆっくり地震の震源特性と整合する結果であり、そうした特徴を短周期海底地震計のみで見出したことは、2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート境界におけるプレート間固着のゆらぎを考える上で重要な成果であると考えられる。

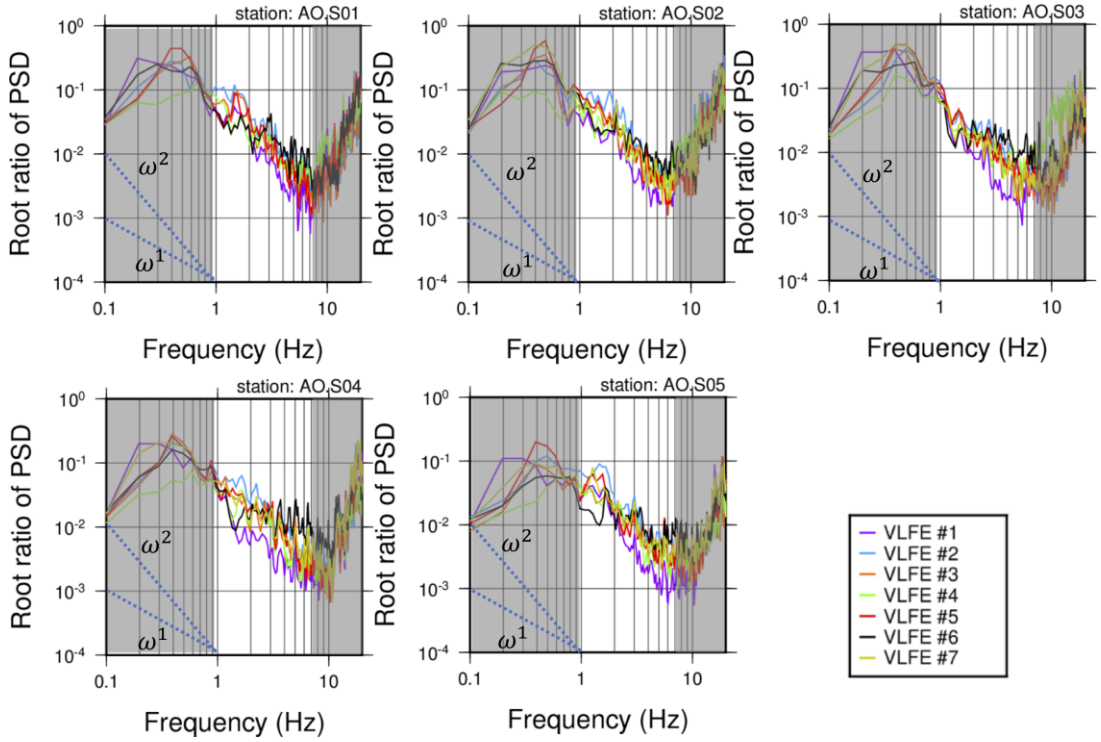


図３－９－②－４　５つの短周期 OBS で得られた VLFE と VLFE の近傍で発生した通常の地震との震源スペクトル比。各図がそれぞれの観測点(OBS)での結果を示し、VLFE イベントごとに異なる色の線で示す。灰色のハッチを掛けた周波数帯域はノイズレベルが大きく議論が難しい帯域を示す。

4）実験室環境における海底水圧計データ長期ドリフト特性把握に関する研究

プレート境界における固着ゆらぎを正確に捉えるためには、海底における地殻変動観測がきわめて重要である。海底水圧計（OBP）は上下地殻変動を連続的に観測可能な観測手段であるが、一方で OBP によって得られる水圧データには機器特有のドリフト成

分が重畳し、真の地殻変動との分離が困難という問題が存在する。東北大学が 2011 年東北地方太平洋沖地震前後に日本海溝に設置した自己浮上式の OBP においてもこれら長期ドリフトの取り扱いが問題となっている。こうした観点から本年度は、実験室環境下で正確な圧力を生成し、それを OBP センサーに印加することで、OBP センサーの長期ドリフト特性を試みた。さらにそれら長期ドリフト特性を用いて実海域における長期ドリフトを除去できるかについて検討を行った。室内実験には産業技術総合研究所計量標準総合センターが保有する重錘形圧力天びんを用いた。当該の圧力天びんを用いて水深 7,000m に相当する 70MPa を OBP センサーに印加した。OBP センサーには Paroscientifc 社の圧力センサーを用いた。得られた長期ドリフト特性はおおむね指数関数と多項式の重ね合わせで説明な結果となった。さらに実海域データからそれら長期ドリフト特性を除去するために、ドリフト特性を示す時系列に対して指数関数と多項式の重ね合わせによる関数を当てはめ、その係数を求めた。この時に最適な多項式の次数は AIC（赤池情報量基準）を用いて求めた。長期ドリフト成分の除去は日本海溝の水深約 6,900m に設置した OBP のデータ（ADM1A 観測点）に対して行った。この水深は実験室環境で長期ドリフト特性推定のために与えた 70MPa に近い圧力環境である。ドリフト除去は、上で係数を推定した関数で潮汐補正を行った OBP データから差引くことで行った。得られた結果を図３－９－②－５に示す。図３－９－②－５を見ると、赤色線で示される残差時系列の傾きが除去できていることが分かる。より定量的にドリフト除去の効果を見るために、OBP 設置直後を除いた期間（図中薄青色ハッチ部分）に対して線形回帰を行ったところ、地殻変動量に換算して+1.2±0.063 mm/年という値となり、仮に室内実験で正確にドリフト特性が把握できているとするならば、この観測点で地殻変動はほぼゼロという結果となった。今回用いた実海域データは 2011 年東北地方太平洋沖地震後のデータであり、余効変動等の影響が含まれていることも十分に考えられる。そのため一概にこの結果だけでドリフト成分が完全に除去可能と結論付けることは難しいものの、室内実験による OBP の長期ドリフト特性把握の可能性を示す結果と考えられる。

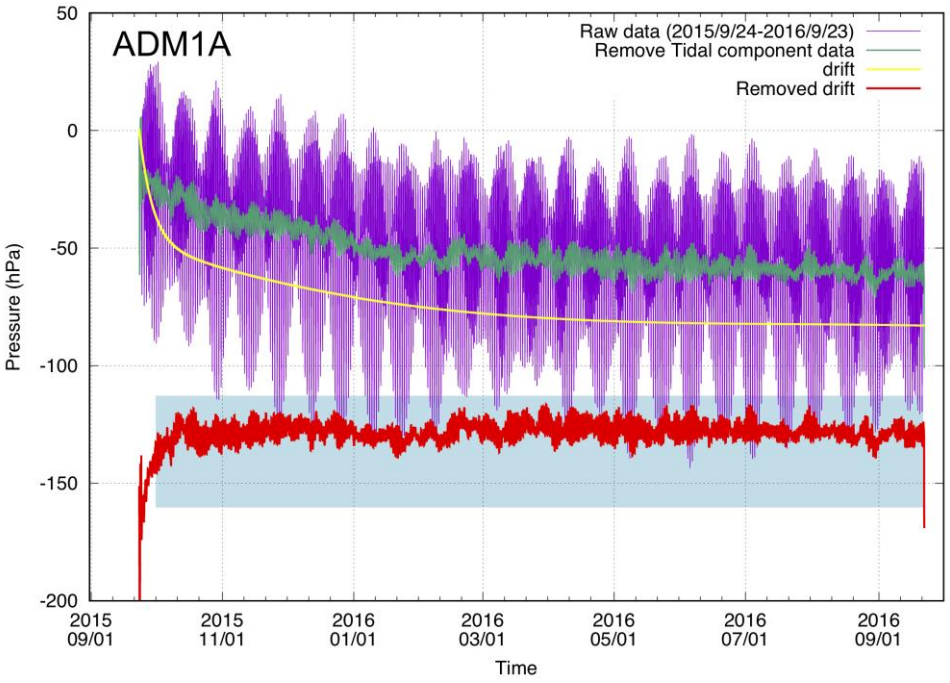


図３－９－②－５　実験室環境で推定した長期ドリフト特性を用いて実海域データにおける長期ドリフトの除去を試みた例。紫色の線が ADM1A 観測点における OBP による相対水圧値。緑色の線が潮汐補正後の時系列。黄色の線が実験室環境下で推定した長期ドリフト特性。赤色線が緑色の時系列から黄色線の時系列を差し引いたもの。おおむねドリフトを除去できていることが分かる。薄青色でハッチを掛けた部分はドリフト除去後の時系列に対して線形回帰を行った期間を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

H29 年度は東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011 年東北地方太平洋沖の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を継続して進めた。2011 年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界での地震活動について検討を進め、東北沖地震による余効すべりによる非地震性すべり速度の増加にともなって、それまで地震が発生していなかったところに新たに地震が起こったことを明らかにした。また、東北沖地震が、釜石沖地震に与えた影響についても調べ、東北沖地震後の地震発生間隔が極端に短くなった期間においても地震サイクル後半の微小地震活動の活発化が見られ、固着域内部およびごく近傍での地震活動が、固着域での固着状況の時間発展という同一の物理過程に支配されている可能性を示唆した。また、ゆっくり地震の一種である超低周波地震（VLFE）の震源特性を日本海溝の海溝軸近傍に設置された短周期海底地震計を用いて明らかにした。具体的には 2011 年東北地方太平洋沖地震以降の短周期海底地震観測データにもとづき、VLFE は同規模通常地震と比較した場合、1 Hz 程度での帯域に比べて２～４Hz の帯域での強度の減少が大きく、同規模の通常地震に比べはるかに小さなコーナー周波数を持つ可能性が高いことを明らかにした。日本海溝における VLFE の存在は、近年新たに報告されたものであり、それらの活動様式を VLFE 発生域近傍における観測に基づいて明らかにできたことは、日本海溝

におけるプレート間固着強度の時空間ゆらぎを知る上できわめて重要な成果である。さらに、海底水圧計を用いたプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測の高度化を目的とした海底水圧計に含まれる長期機器ドリフト成分の客観把握手法の開発を進めた。その結果、事前に長期機器ドリフト成分を実験室環境下で正確に把握可能であること、および、それが実海域データの結果とも大局的には一致することを明らかにした。

このように東北地方太平洋沖地震前後のプレート間固着強度の時空間ゆらぎ等に関する諸情報に関する整理は確実に進みつつある。次年度以降もこれらの知見の整理を着実に進め、そうした知見を、シミュレーションを通じた地震発生予測の高度化に結びつける作業を継続して実施する必要があると考える。

(d) 引用文献

1) Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate, J. Geophys. Res., 122(7), 5160-5180, doi:10.1002/2016JB013914, 2017.
2) 奥田貴・内田直希・浅野陽一, Matched Filter 法を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の小地震の検出 - 釜石沖繰り返し地震クラスターへの適用-, in review.
3) Matsuzawa, T., Y. Asano, and K. Obara, Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, Geophys. Res. Lett., 42(11), 4318-4325, doi:10.1002/2015GL063959, 2015.

③予測システムの検証・予測試行実験

(a) 業務の要約

プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行に向けて、シミュレーションデータベースに多様性を与えるために、日本海溝域での地震発生サイクルシミュレーションを実施した。観測とは異なるシナリオを追加するために、Nakata et al. (2016)で再現していたＭ７クラスの地震を仮定しないモデルを複数パターン作成した。より観測と整合的なシナリオを追加するために、観測から明らかになってきた周期的なスロースリップや重力異常の値から示唆されるプレート境界面上の摩擦不均質を反映させたモデルを作成したところ、Ｍ９クラス地震震源域の南北への広がり方が、その周囲でのスロースリップの挙動に影響を与えていることを確認できた。

(b) 業務の実施方法

プレート間固着強度の時空間ゆらぎの同化の模擬テストを行うために必要なシミュレーションデータベースを蓄積する。これは、既に構築した日本海溝地域のモデル(Nakata et al., 2016)を基に、摩擦パラメータ A (= aσ)、B (= bσ)、L (特徴的すべり量) について様々な空間分布を仮定して、地球シミュレータを用いた地震発生サ

イクルのフォワード計算によって行う。フォワード計算では、プレート境界で発生する地震の繰り返しを、プレート相対運動からのずれの蓄積と解放過程としてモデル化する(e.g., Rice, 1993)。プレートの相対運動に起因するすべりによって生じる準動的近似でのせん断応力変化と、強度の変化に伴うすべりの時空間変化を計算する。プレート境界面の摩擦は、すべり速度・状態依存摩擦則(Dieterich, 1979)に従うと仮定し、断層の構成則は Nakatani (2001)に従うと仮定した。強度の時間発展則には、slowness (aging) law (Dieterich, 1979; Ruina, 1983)を用いた。地震波の放射によるエネルギーの減衰を準動的に近似する項（ダンピング係数）は、小さめの値を仮定した(Thomas et al., 2014)。

Nakata et al. (2016)では、摩擦パラメータの空間分布は、Ｍ７クラスの地震の震源域を円で、Ｍ９クラスの地震の震源域を矩形で近似し、周囲よりも不安定な摩擦条件（A-B＜０、Ｌ小）を仮定していた。これらの地震の震源域以外の領域は、一様な分布を仮定していた。

本年度は、５つ設定していた Ｍ７クラスの地震を仮定しないモデル（例えば、図３－９－③－１、３－９－③－２）を複数パターン作成し、観測と明らかに異なるシナリオを追加した。さらに、より観測された特徴に近いシナリオを作成するために、観測から明らかになった周期的なスロースリップの周期の空間分布(Uchida et al., 2016)および、重力異常分布 (Hino et al., 2017)で示唆される不均質な分布を、地震の震源域以外の領域に反映させた。モデル１では、A-B は Nakata et al. (2016)と同じ条件のままにしたうえで、スロースリップの周期の短いところでＬを小さくした(図３－９－③－３)。モデル２では浅部の重力異常値ΔGA>-10 の部分に、Ｍ９クラスの地震を起こしやすい摩擦条件を設定した（図３－９－③－４）。

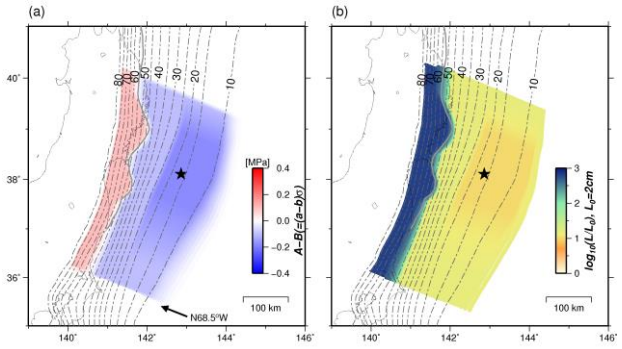


図３－９－③－１　Ｍ７クラスの地震を１つも仮定しない摩擦条件の例。(a)A-B。(b)L。星印は 2011 年東北地方太平洋沖地震の震央。

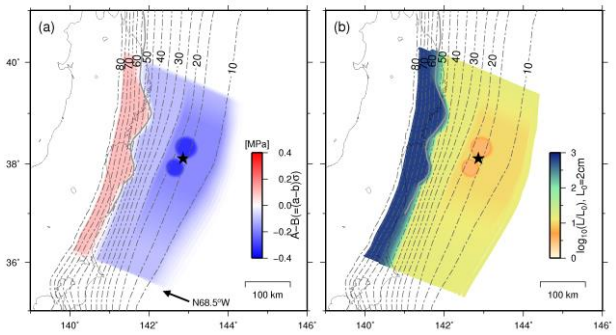


図３－９－③－２　宮城県沖・福島県沖・茨城県沖にはＭ７クラスの地震を仮定しない摩擦条件の例。(a)A-B。(b)L。

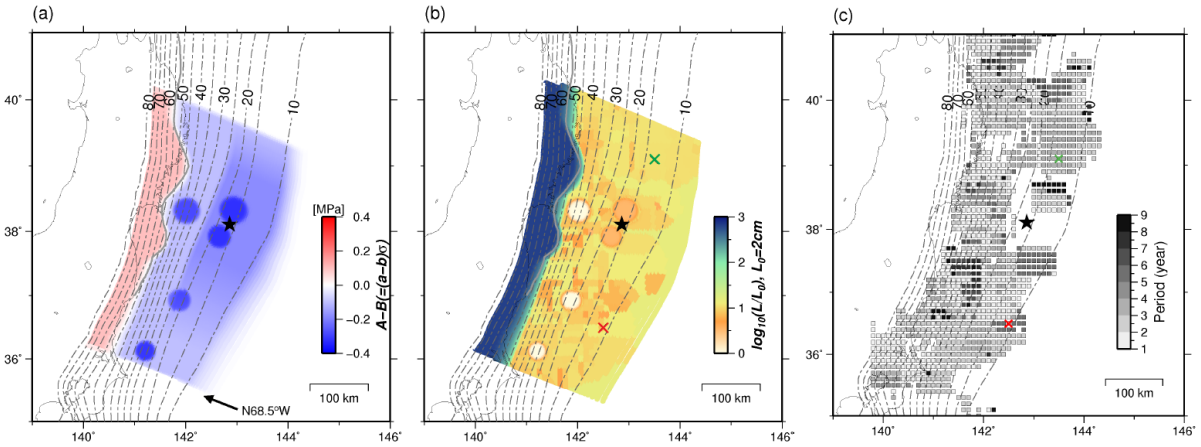


図３－９－③－３　モデル１の摩擦条件。(a)Uchida et al. (2016)を参考にした摩擦パラメータ分布（A-B)。(b)Uchida et al. (2016)を参考にした摩擦パラメータ分布（L)。(c)スロースリップ周期の空間分布（Uchida et al. (2016)より作図)。図中の赤色と緑色の×印は、図３－９－③－６、９ですべり速度の時間変化を求めた地点を示す。

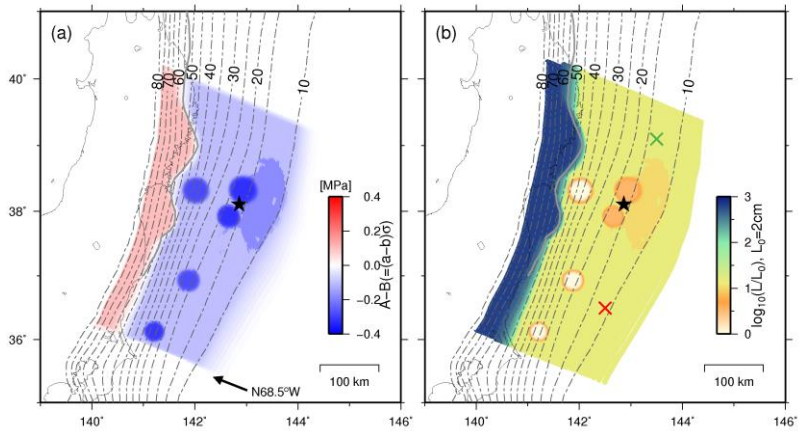


図３－９－③－４　モデル２の摩擦条件。Hino et al. (2017)を参考にした摩擦パラメータ分布。(a)A-B。(b)L。

(c) 業務の成果

M７クラスの地震を１つも仮定しない場合（図３－９－③－１）、2011 年３月９日のような前震や、宮城県沖地震などは発生せず、M９クラスの地震だけが繰り返すシナリオを得た。宮城県沖・福島県沖・茨城県沖には M７クラスの地震を仮定しない摩擦条件の場合（図３－９－③－２）、M９クラス地震の繰り返し間隔や、M９クラス地震前の前震については、Nakata et al. (2016)と大きく変わらないシナリオを得た。これらの結果も、シミュレーションデータベースに追加した。

モデル１では、Nakata et al. (2016)に比べて、M９クラス地震のすべり域が南へ拡がり、規模が M9.2 とやや大きくなった（図３－９－③－５）。繰り返し間隔は約 40 年長くなった（図３－９－③－６）。M９クラス地震発生後約 200 年間は広域にわたって固着していた（図３－９－③－６（１））が、その後、M９クラス地震震源域の北部（三陸沖浅部）や南部（福島県域浅部）において、プレートの沈み込み速度より遅いすべり速度のふらつきが見られた（図３－９－③－６（２））。しかし、その多くは、福島県沖深部における M７クラス地震の余効すべりによるものであった。その後、ややすべり速度の速いスロースリップ（図３－９－③－６（３）、図３－９－③－７）が発生し、再び固着した（図３－９－③－６（４））。その固着がはがれた後、加速しながら M９地震発生に至る様子が見られた（図３－９－③－６（５））。

モデル２では、Nakata et al. (2016)に比べて、M９クラス地震のすべり域が狭くなり、規模が M<９とやや小さくなった（図３－９－③－８）。繰り返し間隔は約 170 年短くなった（図３－９－③－９）。M９地震後しばらくは、モデル１の場合と同様の変化を示した（図３－９－③－９（１））。しかし、図３－９－③－６（３）と図３－９－③－６（４）のような、規模の大きなスロースリップとそれに伴う 100 年程度の固着は、このモデルでは見られなかった。

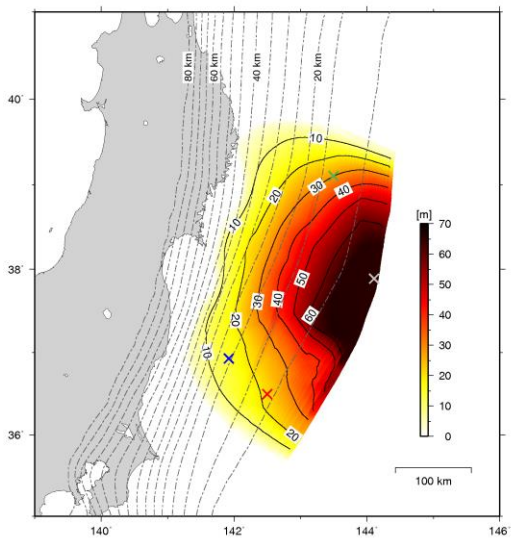


図３－９－③－５　モデル１で得られた T=800 年頃の M9.2 の地震時すべり分布。図中の青・赤・緑・灰色の×印は、図３－９－③－６ですべり速度の時間変化を求めた地点を示す。

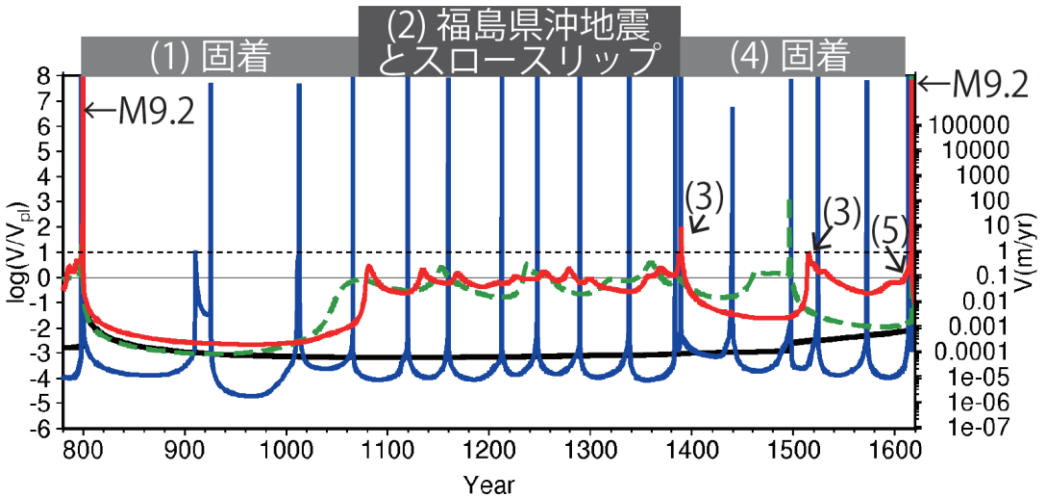


図３－９－③－６　モデル１で得られたＭ９地震間のすべり速度の時間変化。黒線はＭ９地震震源域内。青線が福島県沖地震震源域。赤線が福島県沖浅部。緑線が三陸北部浅部。

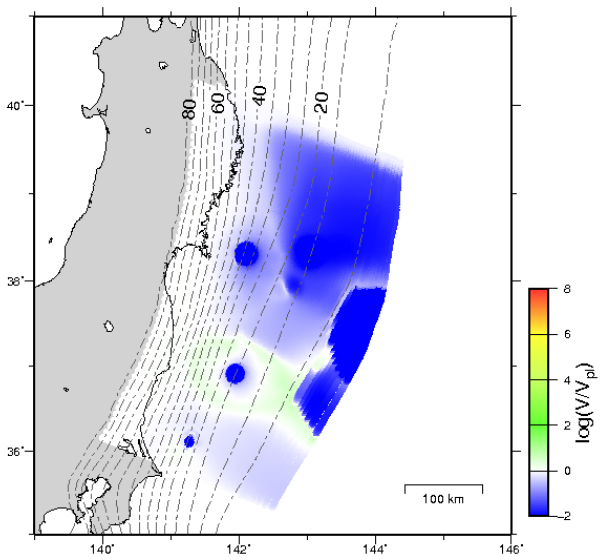


図３－９－③－７　モデル１で得られたT=1530年頃のすべり速度分布。緑色の部分はスロースリップが発生しているエリア、青色の部分は固着していることを示す。

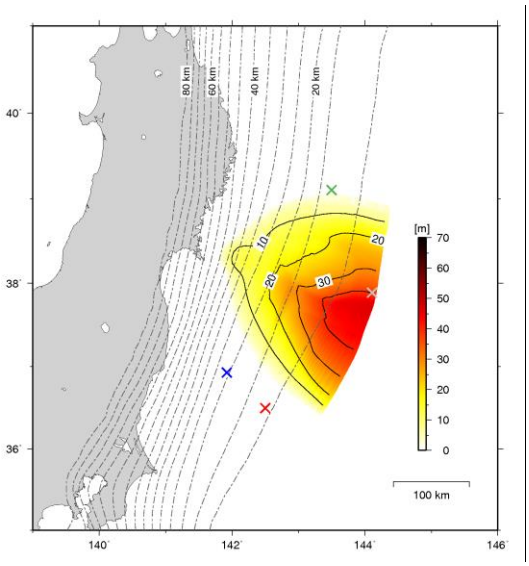


図３－９－③－８　モデル２で得られた T=1100 年頃の M8.9 の地震時すべり分布。

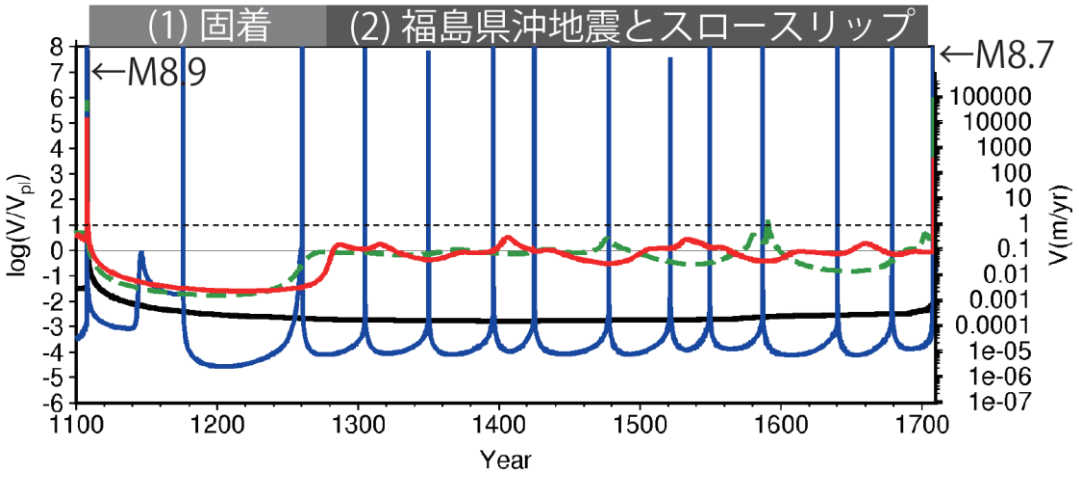


図３－９－③－９　モデル２で得られた M９地震間のすべり速度の時間変化。

(d)　結論ならびに今後の課題

南海トラフや日本海溝でのプレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行に向けて、日本海溝地域において地震発生サイクルシミュレーションデータベースの蓄積を行い、M９クラス地震震源域周辺で、周期的なスロースリップが発生するためには、M９クラス地震のすべり域をより正確に再現することが重要であることを示唆する結果が得られた。

現在のシミュレーションで再現している事象の問題点を洗い出して、摩擦条件やモデルパラメータを改善し、南海トラフ地域での試行実験に反映できる知見を得る必要がある。さらに多くのモデルで計算してシミュレーションデータベースを増やすとともに、多数のシナリオにもとづいた今後の地震発生についての確率評価方法を検討することが、今後の課題である。また、観測に基づく知見とより整合するモデルを得るために、本「データ活用予測研究」課題で整理された観測データおよび開発された逐次データ同

化手法を取り入れながらパラメータ探索範囲を広げて、摩擦パラメータのチューニングを行うことが必要である。

(e) 引用文献

1) Nakata, R., Hori, T., Hyodo, M., and Ariyoshi, K., Possible scenarios for occurrence of M~7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, Scientific Reports, 6, 25704, doi:10.1038/srep25704, 2016.
2) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, J. Geophys. Res., 98(B6), 9885-9907, 1993.
3) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations, J. Geophys. Res., 84, B5, 2161-2168, 1979.
4) Nakatani, M., Conceptual and physical clarification of rate and state friction: Frictional sliding as a thermally activated rheology, J. Geophys. Res., 106(B7), 13347-13380, 2001.
5) Ruina, A., Slip instability and state variable friction laws, J. Geophys. Res., 88(B12), 10359-10370, 1983.
6) Thomas, M. Y., N. Lapusta, H. Noda, and J.-P. Avouac, Quasi-dynamic versus fully dynamic simulations of earthquakes and aseismic slip with and without enhanced coseismic weakening, J. Geophys. Res., 19, 1986-2004, doi:10.1002/2013JB010615, 2014.
7) Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Burgmann, and R. Hino, Periodic slow slip triggeres megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, Science, 351, 6272, 488-492, doi:10.1126/science.aad3108, 2016.
8) Hino, R., S. Kodaira, T. Kanamatsu, M. Shinohara, and Y. Ito, Along-strike segmentation of Japan Trench and its relevance to co- and postseismic slip of the 2011 Tohoku Earthquake, JpGU, SSS04-27, 2017.

④余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発

(a) 業務の要約

1) MCMKF（モンテカルロ混合カルマンフィルタ）によるすべり推定（東海 SSE）

GNSS 等による地殻変動の連続時系列データから断層のすべりの時空間変化を推定する手法である改良型のネットワークインバージョンフィルター(モンテカルロ混合カルマンフィルタ、以下 MCMKF) (Fukuda et al., 2008)を、1996 年から 2016 年の東海地方の GNSS 時系列データに適用し、プレート境界で発生するスロースリップイベント(以下、SSE)の時空間変化を推定した。その結果、43 個の短期的 SSE が検出された。特に、モーメントマグニチュード(Mw)６程度の短期的 SSE におけるすべり域の移動が GNSS データのみから推定できたのは本研究が初めてである。このような小規模の SSE においても、すべりの時空間発展が推定できたことは、MCMKF の優位性を示すものである。

2) EnKF（アンサンブルカルマンフィルター）による摩擦パラメータ推定とすべり発展予測（豊後水道 SSE：数値実験）

SSE の活動は外部からの応力に敏感で、応力計として注目され(Obara and Kato, 2016)、SSE 域の摩擦パラメータ推定およびすべり発展予測は、巨大地震震源域における応力状態を調べる上で大きな意味を持つ。そこで、H28 年度に引き続き、豊後水道 SSE 領域においてアンサンブルカルマンフィルター(EnKF)適用の可能性を探る数値実験を行った。その際、初期アンサンブルメンバーの設定法を改善し、また南海地震震源域における固着を考慮するパラメータを導入し、より現実的な手法を開発し、GEONET 観測点分布に対し数値実験を行った。その結果、初期アンサンブルメンバーへの解の依存性が軽減し、また固着域を設定した場合でも、摩擦パラメータの推定、および LSSE 域のすべり発展に加え、固着域のすべり遅れ速度の推定に成功し、現実データ適用への準備が整った。

(b) 業務の成果

1) MCMKF（モンテカルロ混合カルマンフィルタ）によるすべり推定（東海 SSE）

1996 年 1 月から 2016 年 12 月までの期間において、東海地方の GEONET 観測点 222 点と GPS 大学連合が設置した 19 点の GNSS データから日座標値を算出し、定常トレンドと地震やアンテナ交換に伴うオフセット、季節成分を推定・除去した上で、MCMKF を用いてフィリピン海プレートと陸側プレートの境界面におけるすべりの時空間発展を推定した。

なお、今回の解析には 2004 年紀伊半島沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動が含まれており、これらの変動を適切に補正しないと、解析結果からはプレート境界すべりに押しつけられてしまうと考えられる。ただし、これらの余効変動は数ヶ月以上の継続時間を持つ長期的な変化であり、１ヶ月以下の短期的な変動に対する影響は小さいと考えられる。そこで、今年度はすべりの推定結果のうち、継続時間が１ヶ月以下の短期的 SSE のみに注目することとする。

解析した 20 年間で、推定誤差を超えるすべり速度が得られた短期的 SSE は 43 個であり、一番小さな SSE は、Mw5.5 であるが、ほとんどは Mw6.0 以上である（図３－９－④－１）。図３－９－④－２は、2006 年１月７日頃から 22 日頃に発生した短期的 SSE の推定すべりを示したものである。この短期的 SSE は、伊勢湾を中心としたすべり分布を示し、駿河トラフの走向方向のすべりの広がりは、同期間に活発化した深部低周波微動の範囲とほぼ等しい。このイベントは、傾斜計データによりすべり域が三重県北部から北東方向に移動し、微動の震源も同じような移動が見られたことが報告されている(Obara and Sekine, 2009)が、GNSS データのみを用いた本研究においても、明瞭なすべり域の北東方向への移動が推定された（図３－９－④－２b)。また、すべりのモーメント速度の時間発展は、微動のエネルギーの時間発展に概ね対応している(図３－９－④－２c）ことがわかった。

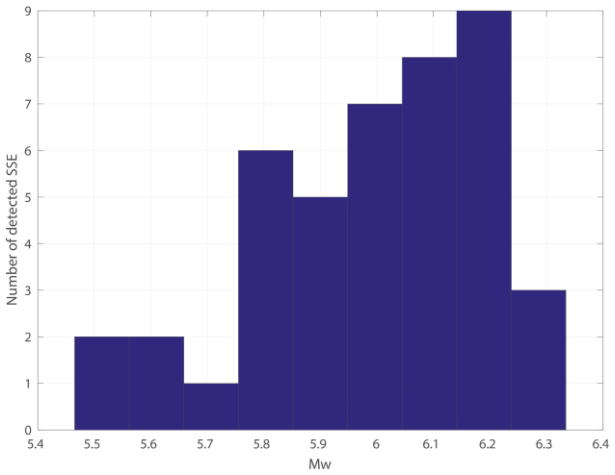


図３－９－④－１　解析期間 20 年間で検出された短期的 SSE の Mw 毎の頻度分布。

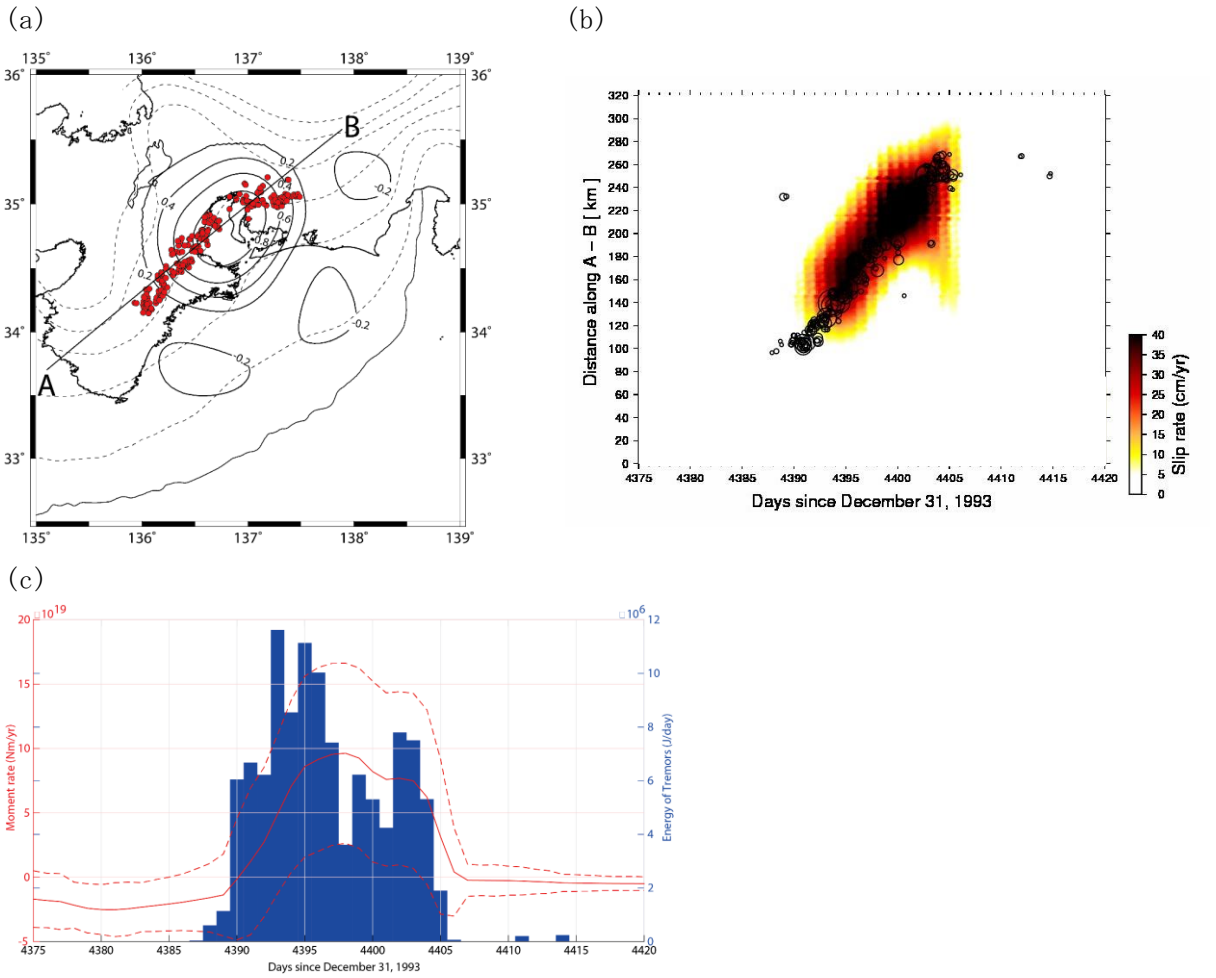


図３－９－④－２　2006 年１月７日から 22 日頃に発生した短期的 SSE のすべりと低周波微動の関係。(a)短期的 SSE のすべり分布と（コンター）と低周波微動の震源（赤丸）分布。(b)A-B 断面におけるすべり速度（カラースケール）及び微動震源（黒丸）の時空間発展。(c)すべりのモーメント(赤線)と微動のエネルギー（青棒グラフ）の時間変化。

2) EnKF（アンサンブルカルマンフィルター）による摩擦パラメータ推定とすべり発展予測（豊後水道 SSE：数値実験）

観測データと物理モデルを融合した逐次データ同化の一手法であるアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）(淡路・他，2009)による SSE 領域での摩擦パラメータおよびすべりの発展を推定･予測する数値実験を、豊後水道 SSE 領域で数値実験を行った。

図３－９－④－３上左図に、固着域を含む SSE 断層モデルを示す。H28 年モデルに加えて、SSE 断層域（速度弱化 A-B<０）の浅部に南海地震震源域に対応する固着域を設けてある。フィリピン海プレートの収束速度 Vpl＝6.5cm/年に対して、固着域におけるすべり欠損速度 Vlock=6.0cm/年を仮定して、速度状態依存摩擦則のパラメータを調整して、豊後水道 SSE を模して、繰り返し間隔 7.17 年、継続時間 1.67 年となる SSE を発生させた。図３－９－④－３上右図に、LSSE 断層域中心を通る測線上（図３－９－④－３上左図）でのすべり速度発展を示す。また、図３－９－④－３下図に、上右図の時刻１～６に対応する、SSE 断層面上のすべり速度分布を示す。固着域を設けないモデルでは、円形の速度弱化パッチの中心から円対称で SSE すべりが始まり最大すべり速度も中心になるが、今回のモデルでは、最大すべり速度域は上側にシフトしているのが特徴である。

このモデルによる GEONET 観測点における地表変位速度を計算し、模擬データとした。図３－９－④－４にこのモデルから生成された、国土地理院 GEONET 観測点分布および３観測点における模擬観測データ例を示す。

次に、3000 個の各断層セル内のすべり速度（および状態変数）、および一定値とした A、L、パッチ内の B-A の値、固着域におけるすべり欠損速度 Vlock を推定すべきパラメータとして、100 個のアンサンブルメンバーを用いて EnKF により逐次推定した。その結果を図３－９－④－５に示す。上図から図３－９－④－３左図に示した中心部を通る測線における、仮定したモデルによるすべり速度（Vtrue）とプレート収束速度 Vpl の比、推定したすべり速度（Vest）と Vtrue の比を示す。以下、推定した摩擦パラメータ A、 B-A、 L および固着域におけるすべり欠損速度 Vlock と真値との比を示す。ほぼ２回目の SSE 発生後にほぼ真値に収束していることが分かる。

図３－９－④－５に示した摩擦パラメータ A、B-A、L の初期アンサンブルのばらつきから分かるように、設定方法を変えている。H28 年度はあるアンサンブル値の周りに分散を与えて初期アンサンブルメンバー値を設定していた。その場合、初期アンサンブル値によっては収束が遅く、場合によってはすべり発展の計算の際に数値破綻する現象もみられた。そこで、SSE が発生するパラメータ範囲でかつ再来間隔がほぼ５～７年程度になる摩擦パラメータ群から 100 メンバーを抽出して初期アンサンブルメンバーとする方法を取ったので、最初は大きなばらつきをもっているが、かなり早く真値に収束し、また初期メンバー依存性を気にする必要がなくなったと言える。

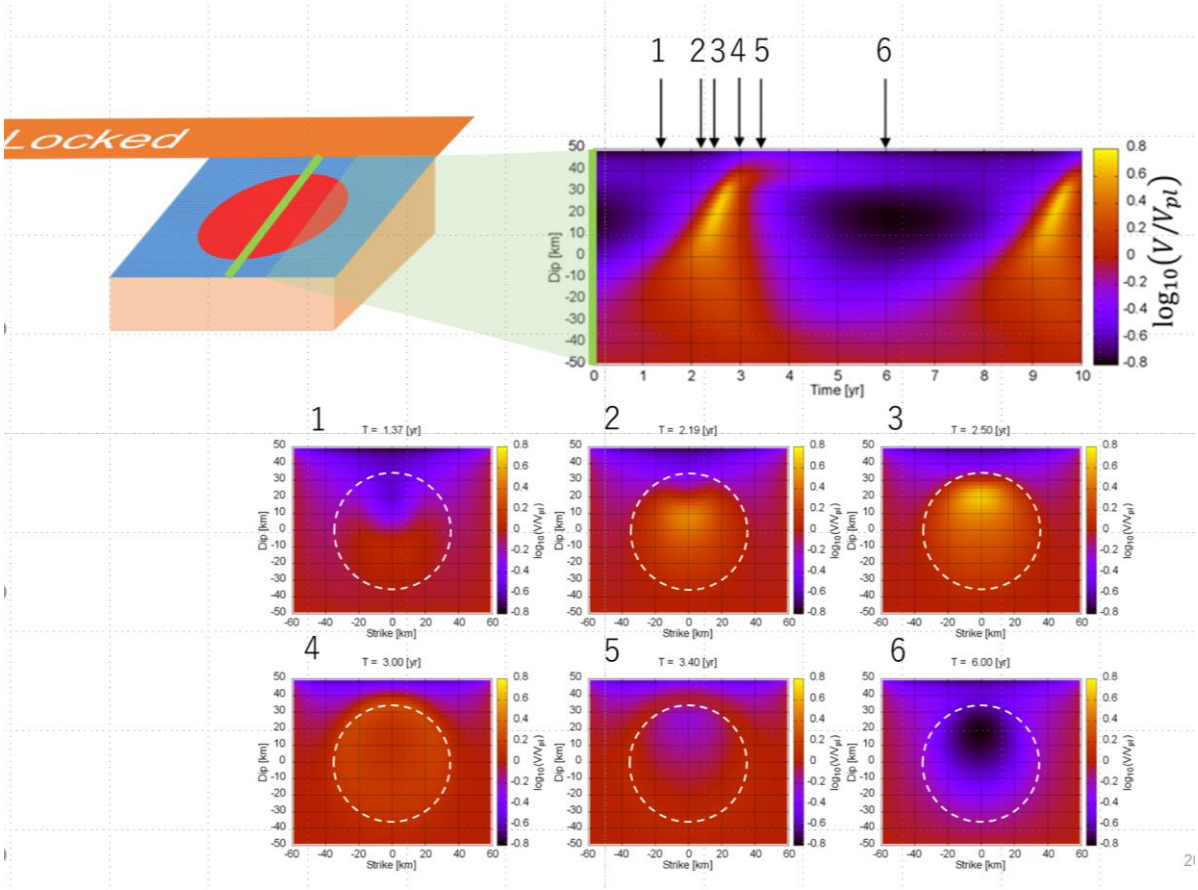


図３－９－④－３　豊後水道 SSE 断層モデルと真値としたすべり発展。

上左図：固着域を含む SSE 断層モデル　速度強化域（青色）内に半径 35 kmの速度弱化域（赤色）を設け、２×２kmのセルに分割し、プレート収束速度 Vpl=6.5 cm/年で沈み込むプレート境界面上では、速度状態依存則に従い、豊後水道 SSE を模して、繰り返し間隔 7.17 年、継続時間 1.67 年となるように摩擦パラメータを設定した。その際、SSE 域の浅部に南海地震震源域に対応する固着域（Locked）に対応して、すべり欠損速度 Vlock＝6.0 cm/年とした。

上右図：モデルにより計算された SSE 域中心を通る測線（左図緑線）に沿った、すべり速度 V とプレート収束速度（Vpl）の比の常用対数（log(V/Vpl)））の時間発展

下図：各時刻（１～６：上右図）における SSE 断層面内におけるすべり速度分布とプレート収束速度の比の常用対数（log(V/Vpl)）表示

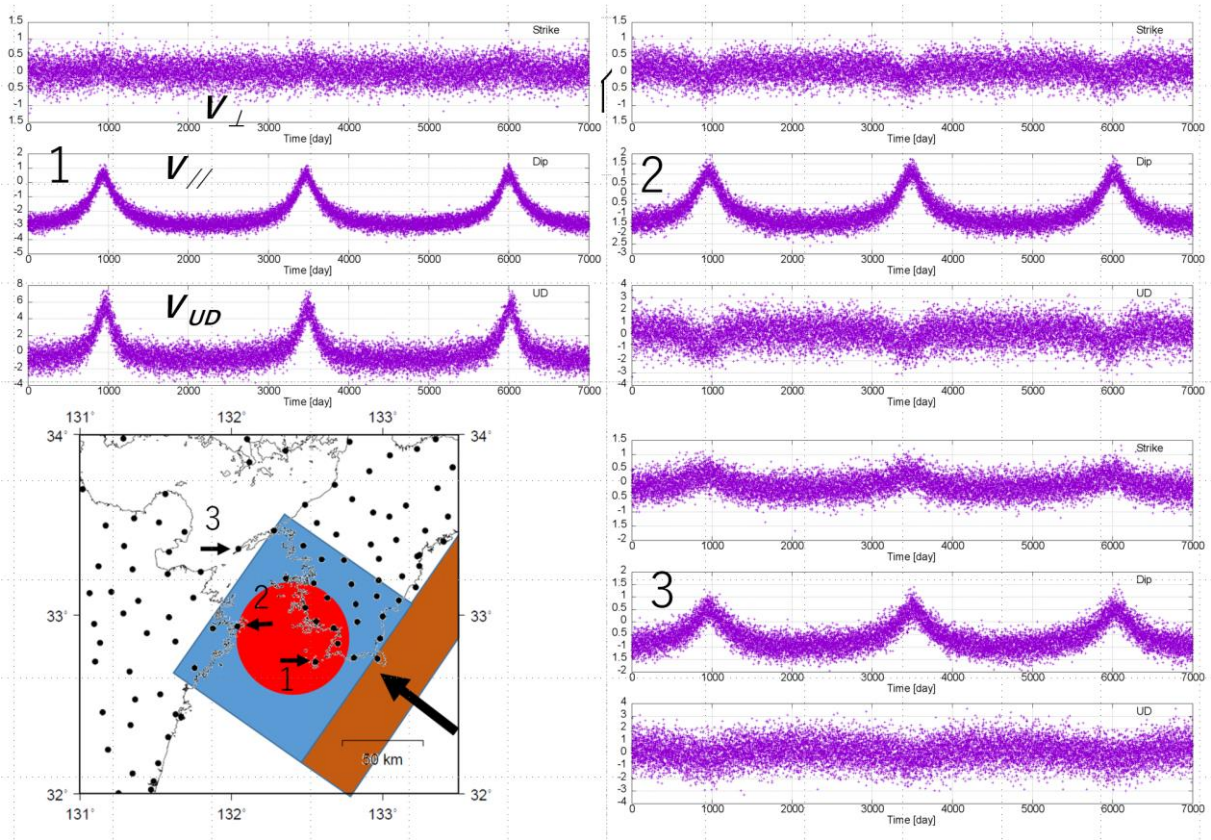


図３－９－④－４　GEONET 観測点を仮定した変位速度模擬観測データ。下左図に示した国土地理院 GEONET 観測点１、２、３に対応する、模擬観測データ時系列を示す。各図で、上からプレート沈み込み方向と直交する成分、沈み込み方向成分、上下動成分の変位速度の時系列を示す。

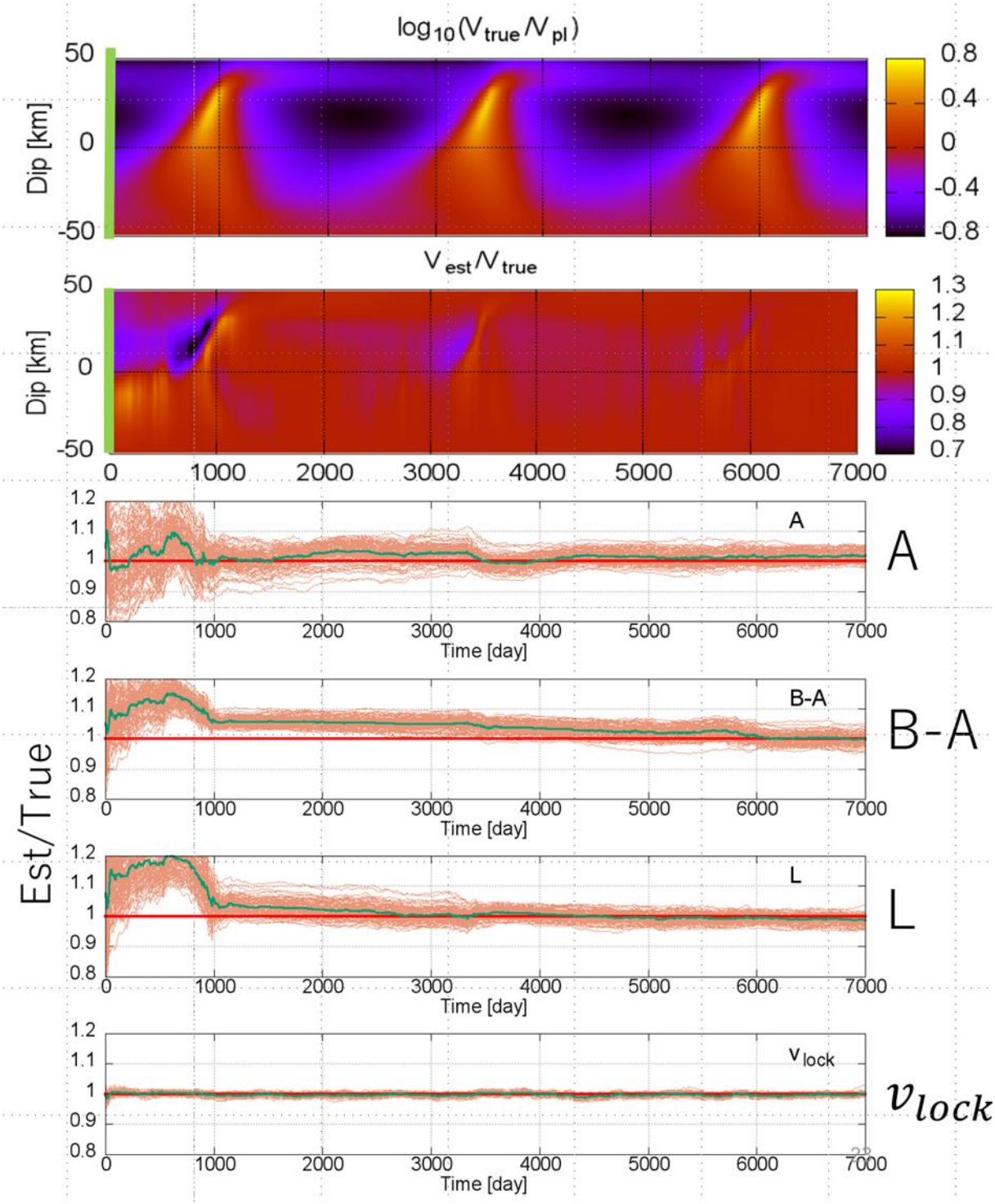


図３－９－④－５　EnKF による推定されたすべり速度(V)、摩擦パラメータ A、 B-A、 L および固着域のすべり欠損速度の逐次推定結果。上図から、SSE 域の中心を通る測線における、真のすべり速度 Vtrue とプレート収束速度 Vpl の比の常用対数 log(Vtrue/Vpl)表示、推定されたすべり速度 Vest と Vpl の比 Vest/Vtrue の時間変化、摩擦パラメータ A、 B-A、 L および固着域におけるすべり欠損速度 Vlock の推定値と真値の比を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) MCMKF（モンテカルロ混合カルマンフィルタ）によるすべり推定（東海 SSE）

東海地方の GEONET と GPS 大学連合の GPS 観測点のデータを用いて、1996～2016 年に駿河トラフ沿いの沈み込みプレート境界で発生する短期的 SSE のすべりの時空間発展を推定した。すべりの推定手法としては、MCMKF を用いた。短期 SSE に伴う地殻変動は数 mm 程度と小さく、その規模も Mw６程度であるが、時間方向の平滑を可変とした MCMKF により、単なるすべりの検出だけでなく、その移動や伝播についても推定することが可能であることが示された。今後の課題としては、2004 年紀伊半島沖や 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を適切に補正して、東海地方における複数の長期 SSE の比較や、短期 SSE、微動などのスロー地震との関係について詳細な解析・考察を進めていくこと、この地域のプレート間すべりの特性を明らかにしていくことが挙げられる。また、すべり域の移動は全てのイベントで確認された訳ではなく、微動の時間発展との対応も数日間ずれている場合もあり、本解析におけるすべりの分解能を時空間ともに検証する必要がある。

2) EnKF（アンサンブルカルマンフィルター）による摩擦パラメータ推定とすべり発展予測（豊後水道 SSE：数値実験）

豊後水道 SSE 断層域浅部に南海地震震源域の固着に対応するすべり欠損速度を設定し、固着の影響を考慮して、豊後水道 SSE を再現するモデルを構築した。次に、そのモデルにより GEONET 観測点での地表変位速度模擬観測データを作成し、EnKF による断層面におけるすべり速度と固着域におけるすべり欠損速度ならびに摩擦パラメータ推定の逐次データ同化を試みた。初期アンサンブルメンバーの設定として、SSE を発生し繰り返し間隔がある程度観測された繰り返し間隔になる摩擦パラメータ群から構成することにより、２回の SSE 発生後にほぼ真値に収束することが確認された。

南海地震震源域におけるすべりも速度状態依存摩擦則に従う物理モデルを採用すると、SSE 震源域よりさらに細かなセルに細分する必要がある。そこで、この固着領域は運動学的に、SSE 領域は物理モデルに基づき推定するハイブリッド的手法を開発している。これにより、例えば、南海トラフ全域での固着、および長期的 SSE 域での摩擦パラメータおよびすべり発展の逐次推定が可能になった。

今後は、摩擦パラメータの不均質を導入した複雑なモデルや実際のプレート面形状を考慮したモデルにより EnKF 適用の可能性を探り、GEONET 実データを用いて豊後水道 SSE における実解析へと進む必要がある。

(d) 引用文献

1) 淡路敏之・蒲時政文・池田元美・石川洋一、データ同化、京都大学出版会、2009.

2) Fukuda, J., S. Miyazaki, T. Higuchi, and T. Kato, Geodetic inversion for space-time distribution of fault slip with time-varying smoothing regularization, Geophys. J. Int., 173(1), 25-48, 2008.

3) Obara, K., and A. Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, Science, 353(6296), 253-257, 2016.
4) Obara, K. and S. Sekine, Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan, Earth Planet Space, 61: 853-862. https://doi.org/10.1186/BF03353196, 2009.

(3) 平成 30 年度業務計画案

①長期的な測地測量データの整理を遂行し、南海トラフにおける、海洋プレートの滑り遅れの約 100 年間の時空間変動を求める。

②東北地方の海陸地殻変動観測データを用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前後に起こった、プレート間固着強度の時空間ゆらぎ（余効すべりを含むゆっくりすべりイベント、前震活動、余震活動）の予測実験を継続する。平成 30 年度は平成 25・26・27・28・29 年度に実施した過去の地震や、ゆっくりすべりの観測データの整理を引き続き進めるとともに、東北沖地震後の長期的な余効すべりの推移や繰り返し地震の破壊過程の変化についての検討を進める。また 2011 年東北地方太平洋沖地震前後のゆっくりすべりの特徴を海域観測データから抽出する。さらに、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を実施する。

③日本海溝沿いでシミュレーションデータベースの蓄積を継続する。日本海溝沿いで観測された周期的なゆっくりすべりを再現するために、福島県沖と三陸沖を対象とした小規模モデルでの地震発生サイクルシミュレーションに着手する。

④ゆっくり地震のデータ同化手法の開発を継続する。具体的には、MCMKF による SSE 領域におけるすべり速度推定、および EnKF による SSE 域域における摩擦パラメータ推定とすべり速度発展予測および固着域におけるすべり欠損速度推定では、すべり速度不均質およびすべり欠損速度時空間変化モデルの検討を行うとともに GEONET データを用いて豊後水道 SSE 領域における実データ解析を試みる。

3.10　震源モデル構築・シナリオ研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目　「震源モデル構築・シナリオ研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所 災害科学系研究部門	教授 特任助教	古村孝志 原田智也
東京大学地震研究所 巨大地震津波災害予測研究センター	准教授	市村　強
京都大学 大学院理学研究科	教授	平原和朗
名古屋大学大学院 環境学研究科	准教授	橋本千尋
国立研究開発法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	福山英一
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー 技術研究員	堀　高峰 今井健太郎
東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤亮輔
京都大学 防災研究所	教授 准教授 准教授	岩田知孝 関口春子 浅野公之
東北大学災害科学国際研究所	教授 准教授	今村文彦 蝦名佑一
国立研究開発法人産業技術総合研究所	研究員	大谷真紀子

(c) 業務の目的

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラフで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化（レシピ）を図る。また、津波堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸国を含めて古文書等の記録を集めることにより、データが少ない過去地震の震源過程を評価する。

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化するとともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性（多様性）に伴う短周期強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる実用的なハザード評価を行う。史料調査や津波調査等に基づき、過去の南海トラフ地

震の震源モデルと津波波源モデルを明確化して、次の南海トラフ地震のシナリオ作りに反映させるとともに、南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、相模トラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による広域津波についての評価も行う。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成25～26年度:

日本列島広域構造モデルを開発し、データに整合するようパラメータを推定した。過去の地震とその後の粘弾性応答を考慮した応力・強度分布の推定手法を構築した。津波に伴う土砂移動を評価できる津波浸水計算コードを開発した。プレート形状と三次元地殻・堆積層構造モデルを整備して、近年の大地震の強震動・長周期地震動生成メカニズムを検証するとともに、地震動・津波シミュレーションの高精度化・広帯域化を行った。

平成27～28年度：

平成27年度には、日本列島広域構造モデルを大地震発生前後の内陸地震の活発化問題に適用するため、日本列島規模の地殻粘弾性モデルの整備と、三次元有限要素法に基づく大規模並列シミュレーションコードを開発した。堆積層の精緻化により高精度化・広帯域化した強震動・津波シミュレーションと、昭和東南海・南海地震及び安政東海・南海地震の史料詳細解析から推定した震度・地殻変動・津波データに基づいて、南海トラフの過去地震の震源過程の再評価を進めた。連動の多様性を含む地震発生シナリオを提案するために、動的破壊過程を含めた地震発生サイクルシミュレーション手法を整備した。これらの成果に基づき、最大クラスを含む震源モデルのレシピ化と、日向灘地震等による誘発条件を検討した。超巨大地震の発生可能性の検討に向け、津波堆積物シミュレーションを用いたトラフ軸付近を含む過去の超巨大地震の波源推定の有効性を示した。

平成28年度には、日本列島規模の100億自由度の大規模地殻モデルを整備し、これを用いた弾性・粘弾性解析有限要素法コードの高速化を図るとともに、東北地方太平洋沖地震の地殻変動計算結果と観測との比較から、南海トラフ地震への適用可能性を確認した。南海トラフ地震発生サイクルの高度化に向けて、粘弾性モデルの導入を進めるとともに、大地震発生前のプレート滑り遅れの蓄積状態の違いによる、大地震の発生・拡大過程を検討した。さらに、2016年4月1日に発生した紀伊半島沖地震（Mjma6.5）後の推移シナリオを検討した。南海トラフ巨大地震モデルのレシピ化と最大級の地震の明確化に向け、不均質強震動生成モデルを提案し、東北地方太平洋沖地震の強震動生成が良く説明できることを確認した。強震動評価に広帯域Qモデルを新規導入し、長周期地震動シミュレーションにより震源モデルの多様性が強震動・長周期地震動のバラツキに与える影響を定量評価した。過去の南海トラフ地震の震源像の明確化のための基礎資料として、1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震の震度情報を収集してデータベース化した。

平成 29～30 年度：

平成 29 年度には、南西諸島海溝から南海トラフを含めた日本列島の詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた、粘弾性地殻変動解析モデルと解析手法を整備し、構造の曖昧さを考慮した巨大地震発生時・発生後の地殻変動解析を行うとともに、これを用いた震源シナリオ推定のためのグリーン関数データベースを構築した。スペクトル要素法を用いた不均質媒質中での動的破壊を含む地震サイクルシミュレーションコードを開発し、実用計算に向けた高速計算手法の導入を進めた。GEONET データを用いたインバージョン解析からプレート境界の滑り遅れ分布を求め、昭和南海地震以降の滑り遅れ蓄積分布を推定して、次の南海トラフ地震の地震発生シナリオを破壊伝播特性の多様性を含めて検討した。2016 年三重県沖地震の発生過程と余効変動の伝播特性をシミュレーションから再現するとともに、中規模（M7 級）地震から南海トラフ巨大地震に発展するまでの地震シナリオを検討した。南海トラフ巨大地震の強震動・長周期地震動の高度評価に向けて、不均質強震動生成域(SMGA)モデルを開発して大阪平野の強震動評価を行うとともに、関東平野における長周期地震動の生成要因を観測データ解析と地震動シミュレーションから検討した。昭和東南海地震・南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地震のアンケート震度分布から地震の不均質断層モデルを推定し、南海トラフの過去地震とこれと前後する内陸地震の震源シナリオを詳細に検討した。史料調査と現地調査に基づき、安政東海・南海地震の波源域の広がりを明確化した。

平成 30 年度には、南西諸島海溝を含む南海トラフまでの日本列島３次元広域プレート構造モデルを整備の整備を継続して進め、プレート境界での歪みの蓄積状態に基づき、想定される巨大地震の震源モデルを構築する。これに基づく強震動・津波・地殻変動シミュレーションから地震・津波ハザードを評価する。また、史料調査に基づいて、昭和東南海・南海、及び安政東海・南海地震の震源域・波源域を明確化し、２つの地震の共通性・相補性を明確化して、過去の南海トラフ地震の震源像と地震発生シナリオを改訂する。粘弾性を考慮した広域構造モデルでの地殻変動解析・データ同化手法の開発を平成 29 年度に継続して進めるとともに、その高度化に不可欠な海底地形やプレート形状、固着パラメータ等の要件と、将来のリアルタイム海底地殻変動観測の効果を検討する。

平成 31～32 年度：

本研究により整備された地下構造モデルとシナリオに基づき、南海トラフ地震および西南諸島海溝地震による全国の地震津波ハザード評価に資する地震シナリオ及び巨大地震の震源モデルの一般化を図る。南海トラフ地震と相模トラフ、日本海溝の地震との巨大連動や、西南諸島海溝地震との巨大連動の可能性と、これによる強震動と津波のハザード評価を行う。

(e) 平成 29 年度業務目的

南西諸島海溝から南海トラフまでの３次元プレートモデルを整備して日本列島広域構造モデルを完成させ、プレート境界での歪みの蓄積状態に基づき、巨大地震の震源モ

デルを構築する。また、本地域での海・陸地殻変動観測データからプレート固着状態の知見を得て、強震動・津波・地殻変動シミュレーションに基づき地震・津波ハザードを評価する。安政東海・南海地震、昭和東南海・南海地震を対象に津波高・浸水範囲、地殻変動、震度・被害等の史料調査を進め、他課題の成果を取り入れて、過去の南海トラフ地震の震源像と地震発生シナリオを改訂する。粘弾性を考慮した広域構造モデルでの地殻変動解析・データ同化手法の開発を平成 28 年度に継続して進める。

(2) 平成 29 年度成果

①日本列島粘弾性モデル構築とその応用

(a) 業務の要約

震源シナリオ研究の高度化へ向けた研究として、日本列島規模の大規模地殻モデルを用いた弾性・粘弾性応答の解析のための有限要素法コードの改良と、地殻構造・物性の曖昧さを考慮可能な地殻変動解析手法の開発を行った。本手法を用いて、地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動解析を行った。前年度（H28 年度）に整備したデータサーバーを増強してグリーン関数データベースを構築し、曖昧さを考慮した震源シナリオ推定を行った。

(b) 業務の成果

地殻・マントルの形状や物性の不均質性が地殻変動シミュレーション結果に及ぼす影響が大きいため、３次元有限要素法などを使って、地殻・マントルの形状や物性の不均質性及び粘弾性を考慮した地震時・地震後地殻変動のシミュレーションが行われている。しかし、蓄積されてきた地殻・マントルの形状や物性のデータから構築される地殻・マントル構造モデルは高詳細であるものの、これらを用いて３次元有限要素モデルを構築し、地殻変動シミュレーションを行うことは、解析コストの観点から難しいため、上記の地殻変動シミュレーションで用いられる地殻・マントル構造モデルはやや低詳細化されたものが用いられている。蓄積されてきた地殻・マントルの形状や物性のデータから構築される高詳細モデルをそのままシミュレーションで用いるために、ハイパフォーマンスコンピューティングの技術に基づき、高詳細モデルから３次元有限要素モデルを構築し、これを用いた弾性・粘弾性応答解析が可能な手法の構築をすすめてきた。一方で、地殻・マントルの形状や物性の情報は完全には分かっていないため、この曖昧さを如何に考慮するかが課題となる。モンテカルロシミュレーションにより曖昧さを考慮するアプローチが考えられるが、大自由度の有限要素解析を多数回行う必要があるため、その実現は難しい。本年度は、開発をすすめてきた有限要素モデル自動生成手法と GPU ベースの地殻変動シミュレーション手法を組み合わせることで、東北日本サイズの３次元有限要素地殻モデル（10^8 オーダーの自由度）を対象としてモンテカルロシミュレーションにより、地殻・マントルの形状や物性の曖昧さを考慮した解析の可能性を示した。

以下に具体例を示しながら詳細を説明する。ここでは、多数回の３次元有限要素地殻モデル構築と地殻変動シミュレーションによる地殻構造の曖昧さを考慮した地震時

すべり量推定を説明する。対象領域を図３-10-①-１に示す。解析対象領域のサイズはx、y、z 方向にそれぞれ 784、976、400 km であり、４層からなる。図３-10-①-１に示すような仮想的な観測データが GEONET、GPS-A、S-Net の観測点上で得られたとして、すべり量推定を行うこととする。生成される３次元有限要素モデルの自由度のオーダーはおよそ 10^8 弱となる。図３-10-①-２にオリジナルの地殻データから生成された３次元有限要素地殻モデルを示す。このオリジナルの地殻データのプレート境界面形状に曖昧さがあるとして、この曖昧さを考慮して地震時すべり量を推定する。図３-10-①-２に示すようにプレート境界に 180 の小断層を配置し、各小断層について strike 方向と dip 方向におけるすべり量を推定するため、一つの３次元有限要素地殻モデルに対して 180×２＝360 個のグリーン関数を計算するための地殻変動シミュレーションを行う必要がある。また、地殻モデルの幾何形状が変化するたびに、有限要素モデルを構築しなおす必要がある。ここでは、モンテカルロシミュレーションで得られた確率的応答の収束性が十分担保されるよう、1000 回試行したため（＝1000 種類の地殻モデルを考えたため)、1000 回の有限要素モデル構築と 360×1000 で 360,000 回の地殻変動シミュレーションを行うこととなった。解析には、８台の計算ノードにより構成した GPU クラスタを用いた。各計算ノードは２CPU（Intel Xeon E5-2695 v２、24 コア）と８GPU（NVIDIA Tesla K40）からなる。この計算機環境において、図３-10-①-３に示す解析フローにより、解析を行った。逆解析１回当たりの計算時間は、4,312 秒となった（このうち有限要素モデル構築には 1,364 秒かかった)。図３-10-①-３に示す効率的な解析フローを用いることで、1000 種類の地殻モデルに対する、1000 回の有限要素モデル構築と 360×1000＝360,000 回の地殻変動シミュレーションはおよそ９日で実行可能であることが分かった。図３-10-①-4 に 1000 ケースの逆解析によって得られる地震時すべり量分布について平均値と標準偏差を示す。また図３-10-①-５は、図３-10-①-４Ｐ１、Ｐ２、Ｐ３におけるポイントワイズの確率応答の収束の推移を示している。800 ケース以後は値に大きな変化が見られないことから、モンテカルロシミュレーションにより解析した確率応答が十分に収束していることが確認できる。すべり分布の標準偏差は平均値の 13%に達する箇所も確認されており、地震時におけるすべり量分布や応力状態の議論の際に、地殻構造の情報の曖昧さが議論の結果に優位な差をもたらす可能性があることが示された。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、高詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析手法のさらなる改良をすすめるとともに、日本列島モデルの高分解能な地殻変動解析モデルを整備した。さらにそのモデルを用いて、地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動解析を行った。また、データサーバー上に、曖昧さを考慮可能なグリーン関数データベースを構築し、曖昧さを考慮した震源シナリオ推定を行った。

来年度以降は、震源シナリオ研究の高度化・プレート間モニタリングシステム実現へ向けた研究として、日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の

解析のための有限要素法コードの改良と、地殻構造・物性の曖昧さを考慮可能な地殻変動解析手法の開発を行う。地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生前、発生時、及び発生後の地殻変動を解析できるように開発する。

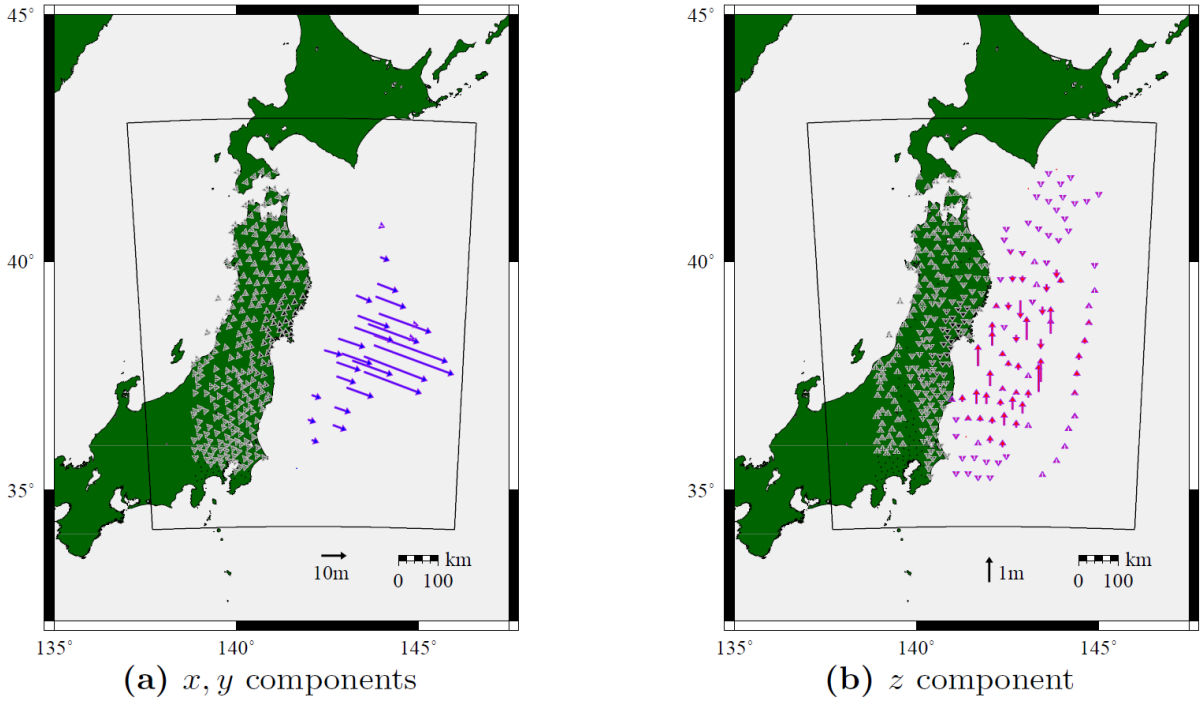


図３−10−①−１　東北沖地震を対象とした解析領域（黒線）と観測点における入力ベクトル。仮想的な観測データを、GEONET（黒矢印）、GPS-A（青矢印）、S-NET（赤矢印）の観測点に設定した。

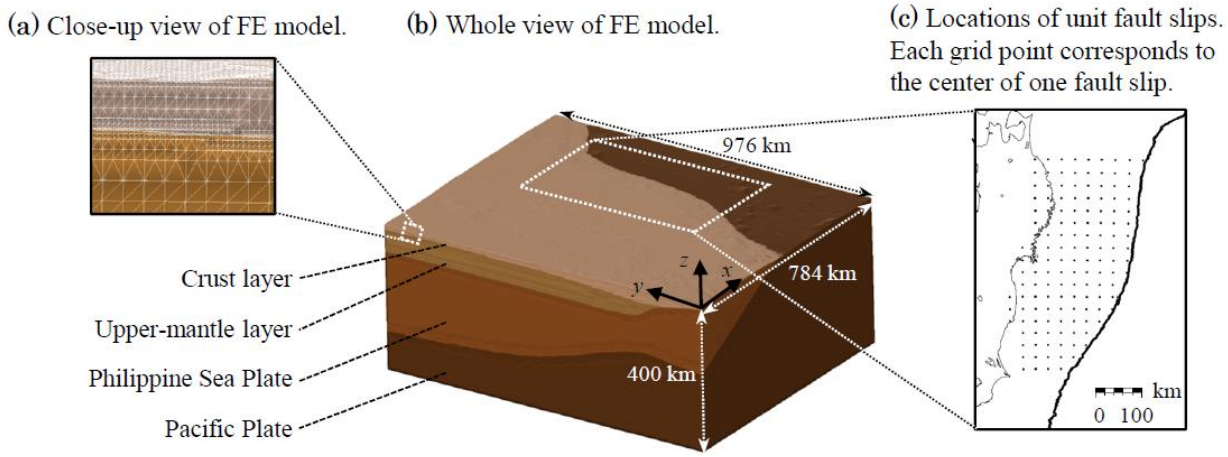


図３−10−①−２　オリジナルの地殻データを用いて生成した３次元有限要素地殻モデルと小断層の位置。

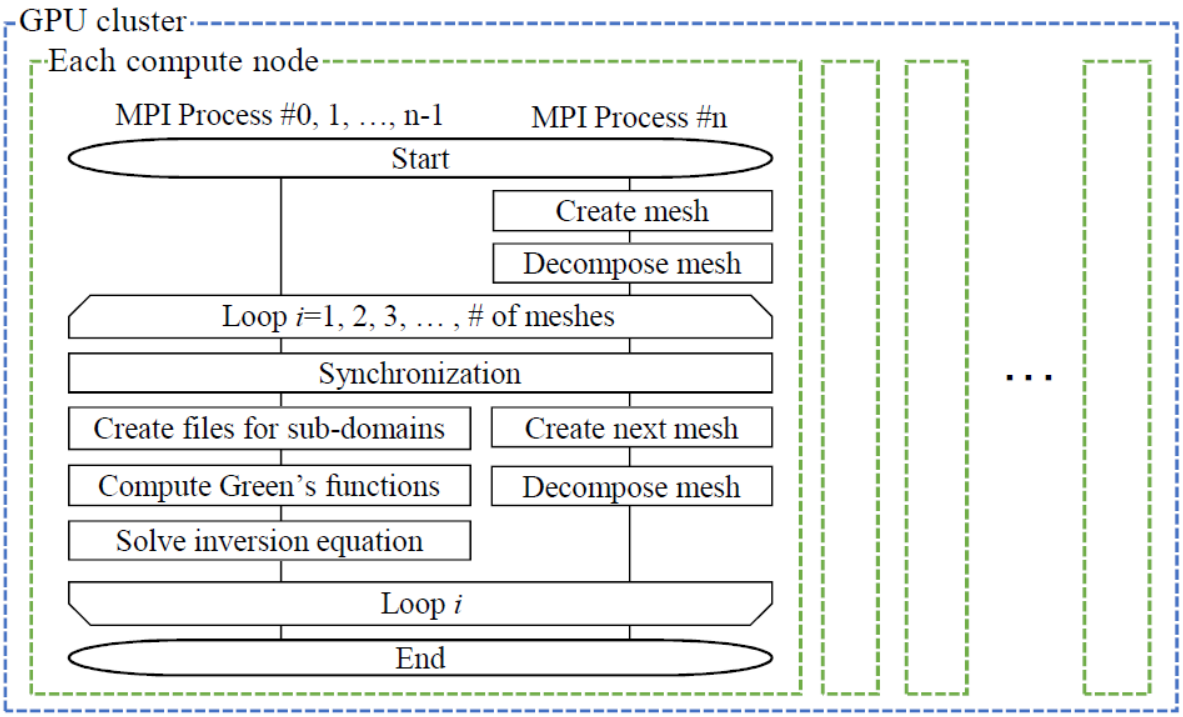


図３−10−①−３　1000 ケースの逆解析のための解析のフレームワーク。有限要素モデル構築とグリーン関数の計算とこれらを用いた逆解析を効率的に実行可能なフレームワークになっている。

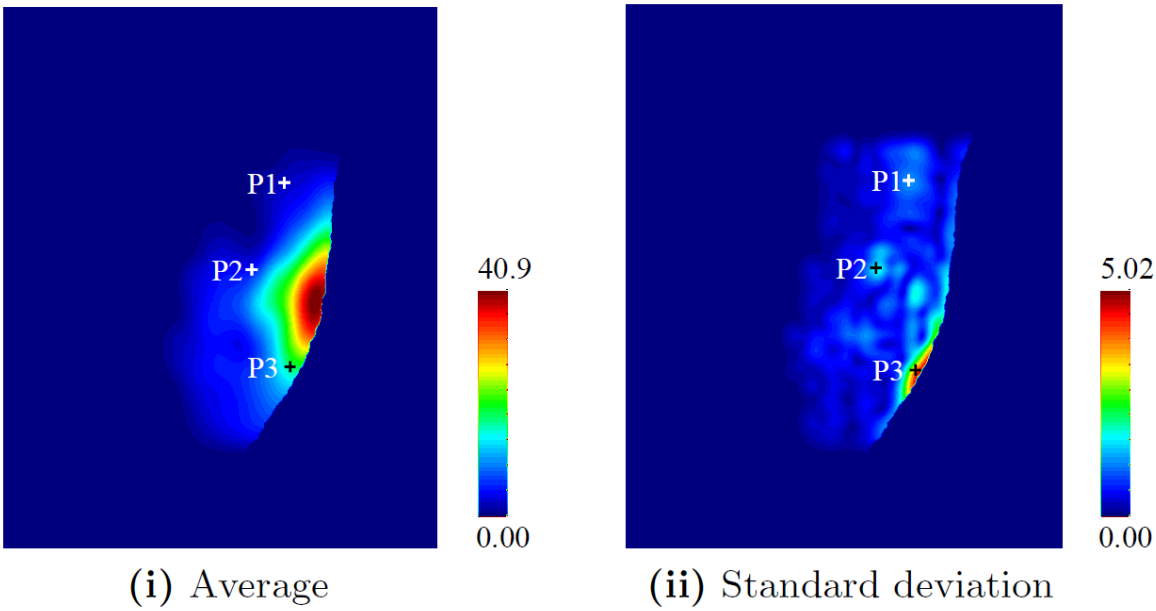


図３−10−①−４　1000 回の試行によるモンテカルロシミュレーションを用いた逆解析によって得られる、地震時すべり量分布の平均値と標準偏差。

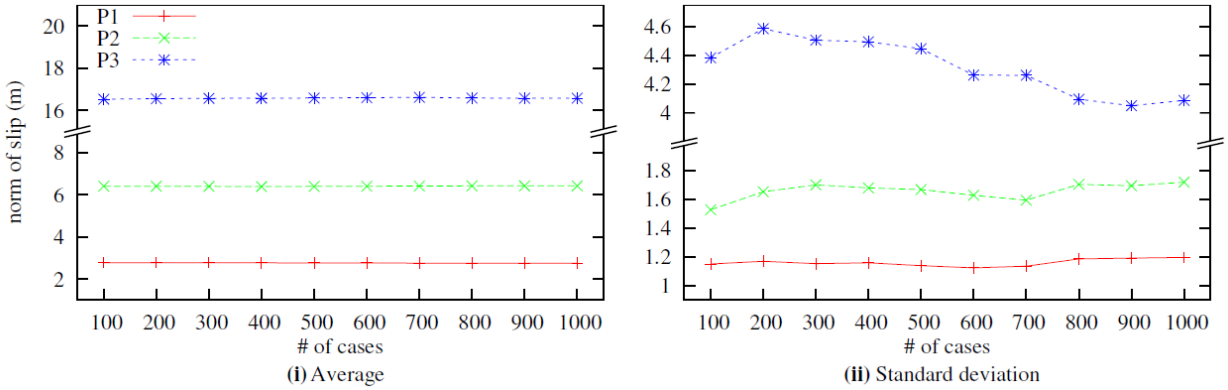


図３-10-①-５　1000 回の試行に伴うＰ１、Ｐ２、Ｐ３（図３-10-①-４参照）における確率応答の平均と標準偏差の推移。

②地震サイクル計算手法の高度化

(a)　業務の要約

1)　スペクトル要素法（SEM）による地震サイクルシミュレーションコードの開発

公開されているペクトル要素法（SEM）を用いた２次元動的破壊シミュレーションコード SEM2DPACK 「Ampuero, 2002」を元に、地震間における準動的過程を実現するようにコードを改良し、２次元 inlane 不均質弾性媒質における傾斜断層上での、速度状態依存摩擦則に従う動的過程を含む地震サイクルシミュレーションコードを開発した。高角傾斜逆断層における、断層を挟んで異質が異なる bimaterial 問題における地震サイクル計算を行い、その効果を確かめた。

2)　粘弾性バネ―ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

H28 年度にはメモリ変数を用いた粘弾性媒質中での地震サイクル計算の一例として、標準線形モデルによる準動的計算を行い、固着―すべりの繰り返し間隔の粘性率依存性を調べたが、今年度は動的計算を行い、粘性率を小さくすると繰り返し間隔が２つの値に分岐する bifurcation 現象が起こるのを確認した。

3)　粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

非弾性ひずみを等価外力として扱うことで粘弾性媒質の効果を弾性体中のグリーン関数を用いて考慮する「Barbot and Fialko, 2010」の方法に対して、H 行列法を用いた高速計算法を試み、粘弾性媒質中での南海・東南海地震による周辺の応力の時間発展計算を行ない、その有効性を調べた。

(b)　業務の実施方法

1)　スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーションコードの開発

公開されているペクトル要素法（以下、「SEM」）を用いた２次元動的破壊シミュレーションコード SEM2DPACK「Ampuero, 2002」を元に、「Kaneko *et al.*, 2008」、「Kaneko *et al.*, 2011」では、２次元 in-plane 問題での地震サイクルコードへと拡張したが、

この場合には断層面における split-node（断層上での節点）で垂直な変位成分がなく考慮する必要がなかった。「清水, 2016」は、２次元 anti-plane 問題での地震サイクル計算へと発展させ、垂直断層での計算に成功したが、傾斜断層では発散する現象が生じていた。

そこで、本研究では、この対策として、以下の点を考えた。「清水 ,2016 」では、断層面両側の split-node での変位 u_f^+、u_f^-を x、ｙの２成分で計算していたが、変位を相対変位（$u_f^+ - u_f^-$）／２、および重心の変位（$u_f^+ + u_f^-$）／２に分離し、速度状態依存摩擦則に従う摩擦力とせん断応力のつり合いから断面に沿う傾斜方向の相対変位を計算した。一方、断層面上 split-node での重心変位は断層以外の媒質のノードの変位に組み込み、断層面における相対すべりから媒質ノードにおける変位を求める方式に変更した。これは、実質「Melosh and Raefsky, 1981」により提唱された有限要素法における split-node 法と同じ定式化になっている。この改良により、「清水,2016」で計算できなかった傾斜断層での動的・準動的地震サイクル計算が可能になった。

2)　粘弾性バネ―ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

H28 年度には、線形粘弾性媒質中での地震サイクル計算の一例として、バネ―ブロックモデルにおいて、バネを線形粘弾性である標準線形媒質に取り替えて、速度状態依存則に従う、固着―すべり振動子の繰り返し間隔の粘性率依存性を準動的計算により調べた。「Mitsui and Hirahara, 2001」は、動的計算を行うと、粘性率に従って繰り返し間隔が２つの値に分岐する bifurcation 現象が生じると報告している。そこで、今年度はすべり速度が閾値を超えると放射ダンピングを用いる準動的計算から慣性項を含む動的計算をスイッチでする手法を用い、計算を行った。慣性項には質量が含まれるが、この効果を自由周期 T_b を導入して、安定な解析が可能な T_b=20 秒として計算を行った。

3)　粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

「Barbot and Filalho, 2010」は、任意のレオロジー媒質中での全ひずみを弾性ひずみと非弾性ひずみに分解し、非弾性の影響を等価外力の形として準静的弾性体方程式を考えることで、非弾性ひずみ体積セルによる任意の点での応力は、弾性体でのひずみ応答関数を用いて計算できることを示した。非弾性ひずみは任意の非線形粘弾性則に従い、これまで考えてきた線形念弾性体に限られないので応用範囲が広い。

弾性・非弾性媒質中での断層面上でのすべりを考える場合、まず断層面上はこれまで通り摩擦則から要請される細かなセルに分割し、また非弾性媒質領域を任意の大きさの立方体に分割する。次に、弾性体中のすべり応答関数（断層における単位すべりによる応力変化）および、ひずみ応答関数（立方体での単位ひずみによる応力変化）を計算する。均質半無限弾性体でのすべり応答関数は、例えば、「Okada,1992」、後者のひずみ応答関数は、「Barbot *et al*, 2017」により計算できる。ある点での応力は、弾性媒質でのすべり応答関数とすべりの積の積分、および非弾性媒質中の各立方体でのひずみ応答関数とひずみの積の積分で与えられる。断層面におけるすべり発展は、計算された応力と摩擦構成則によりすべり速度が計算され、また非弾性中でのひずみ速度は、計算さ

れた応力の時間変化と媒質の非線形構成則から計算され、これを各時間ステップで、全断層面上および全非弾性立方体中について計算し、時間発展させる。この際、すべり応答関数とすべり、およびひずみ応答関数とひずみの積の計算には H 行列（例えば、「Ohtani *et al.*,2011」）により、計算の効率化を図る。

(c) 業務の成果

1) スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーションコードの開発

メッシュサイズを変えて収束計算を行って、アルゴリズムがうまく働くことを確認したといった、テスト計算の段階であるが、一例として、図３-10-②-１に示した SEM メッシュを用いた、高角逆断層における、地震サイクル計算を示す。図３-10-②-１左に示すように、y 軸０～-45ｍの断層面領域にローディング速度(Vp１=２mm/年)を与え、45～０m の領域の断層面上には、右図に示す速度状態依存の摩擦パラメータ分布を与えている。また、初期法線応力は一様に 120MPa、摩擦パラメータＬは 84μｍとしている。これらのモデルパラメータ値は、「Kaneko *et al.*, 2011」に基づいている。基準モデルとして、Ｐ波およびＳは速度を、Vp=６km/s, Vs=3.364km/s を採用し、断層左側（右側）の媒質の Vp,Vs を-20%としたモデルを Model DBL（以下、「DBL」)、Model DBR（以下、「DBR」）とし、断層面を境に媒質が異なる場合（bimaterial と呼ばれる）の地震サイクル計算の比較を行った。図３-10-②-２に地震サイクル中でのすべり発展を示す。最初の地震発生は初期条件の影響を受けて安定していないので、それを除いて安定した計算ができている地震サイクルの平均では、地震の繰り返し間隔は、それぞれ 7.81 年、7.23 年となり、DBL の方が長くなる。地震波速度の遅い（弾性定数の値が小さく柔らかい）媒質側のすべりの向きを positive direction と呼ぶが（例えば、「Ma and Beroza, 2008」）（図３-10-②-２にその方向を示している)、すべり弱化則を用いた動的破壊伝播計算から、この方向には破壊伝播速度が大きくなることが知られている。コンターが混んでいて確認しにくいが、確かに、破壊が速度弱化(a-b<０)域にある期間では、positive direction の方向の破壊伝播速度が大きく、DBL と DBR では破壊伝播の様子が非対称になっている。破壊が速度強化（a-b>０）域に入ると逆転するように見えるが、最大すべり量は 1.58×10^{-2}m、および 1.45×10^{-2}m となり、これが繰り返し間隔の差を生み出している。このようにこのモデルでは bimaterial 媒質効果が確認されたが、地表に近い速度強化域を大きくして破壊が地表に達しない場合には、左側（上盤)、右側（下盤）の地震波速度が小さいといった bimaterial 断層モデル間で繰り返し間隔に差異が生じなかった。

2) 粘弾性バネ―ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

図３-10-②-３に H28 年度に実施した準動的計算に加えて、動的計算（T_b=20 秒）の場合について、粘性係数 η（図ではマクスウェル時間 $T_M=\eta/k2$: k2 については、H28 年度報告書参照）を変えた時の、計算された繰り返し間隔（T_C）をプロットしている。動的計算では T_M=200 年より小さくなると、T_C が２つの値に分岐する bifucation が生じているのが分かる。

3)　粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

30km の弾性層の下に深さ 55km まで粘弾性層を置き、弾性層内の断層面を Nf 個の長方形セル、粘弾性媒質を Nd 個の直方体セルに分割し、非弾性ひずみの時間発展は、マックスウェル粘弾性体に従うとして、時間可変のルンゲクッタ法 DOP853「Hairer *et al.*, 1993」により、応力・ひずみの時間発展を求めた。Nd=69,120 の時、H 行列を用いた計算は十分な精度をもち、また Nd を変えた時の計算時間は、オリジナルの O（Nd^2）に対し、O（Nd*log(Nd)）程度で、高速化が図られている。

次に、図３-10-②-４に示した 1944 年昭和東南海・1946 年南海地震の地震時すべりを、また粘弾性層の粘性を 10^{18}Pa・s と仮定し、応力の時間発展を計算した。図３-10-②-５に深さ 31.5km 面上における応力（σ_{11}, σ_{12}）の時間発展を示す。このように断層すべりによる粘弾性層にたまった応力は時間の経過とともに非弾性変形が進み解消されていく過程がよく再現され、従来手法と同じ結果が得られた。

(d)　結論ならびに今後の課題

1)　スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーションコードの開発

スペクトル要素法を用いて、不均質弾性媒質中での動的破壊過程を含む２次元 in-plain 問題における地震サイクルシミュレーションコードを開発し、断層を挟んで媒質が異なる bimaterial 媒質中での高角傾斜断層での地震サイクル計算により bimaterial 効果を確認した。これまで動的破壊伝播シミュレーションでの研究はあるが、地震サイクルにおける研究は初めての成果と言える。現状のモデルは小さいものであり、沈み込み帯における現実的な断層スケールの大規模モデルを扱うには、コードの並列化が必要である。また、メッシュ生成ソフトは単純なものを用いており、手作業でメッシュ生成を行っており、低角傾斜断層での計算に成功していない。海溝型地震を扱うには、高度なメッシュ生成ソフトを用いて低角逆断層モデルを扱う必要がある。

2)　粘弾性バネ―ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

H28 年度の準動的計算に加えて、慣性項を含む動的計算を行い、「Mitsui and Hirahara, 2001」と同様に、粘性率を小さくすると、計算された繰り返し間隔が２つの値に分岐する bifurcation 現象が生じることが確認された。興味深い現象であるが、この動的計算は、安定させるために T_b=20 秒と言った大きな値を用いており、またこの安定性は準動的と動的計算を切り替えるすべり速度の値にも依存しており、注意が必要である。さらに、こういった単純なバネ―ブロックのバネを線形粘弾性媒質に変えた固着―すべり振動子モデルでの振る舞いは、何らかの示唆を含んでいるとは思うが、今のところ現実の連続体モデルとどのように結びつくのか不明であり、現状では線形粘弾性の地震サイクル計算手法の開発として意味を持つとしか言えない。

3)　粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

非線形粘弾性を扱いうる「Barbot and Fialko, 2010」の計算手法を地震サイクル計算に組み込む準備を行った。南海トラフ地震を例に粘弾性層での応力緩和を計算したところ、うまく計算できることが分かった。我々が弾性体の地震サイクル計算に使用している H 行列を用いると効率よく計算できることも確認した。H 行列の適用については、非弾性領域を断層に近いとことは密に、離れるに従い大きな立方体に離散化する方が効率的と考えられるが、その際 H 行列の効率が下がる可能性があり、分割については検討を要する。また、これまで用いていたメモリ変数を用いる手法では非線形粘弾性を扱えなかったが、現実的な非線形粘弾性媒質での地震サイクル計算に向けてコード開発ができる環境が整ったと言える。

(e) 引用文献

Ampuero, J.-P.,SEM2DPACK, http://web.gps.caltech.edu/~ampuero/software. html, 2002.

Barbot, S., and Y. Fialko, A unified continuum representation of post-seismic relaxation mechanisms: semi-analytic models of afterslip, poroelastic rebound and viscoelastic flow. Geophysical Journal International, 182(3), 1124-1140, 2010.

Barbot, S., J. D. P. Moore, and V.Lambert, Displacement and stress associated with distributed anelastic deformation in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, 107, pp. 821-855, 2017.

Hairer, E., S. P. Nørsett, and G. Wanner, Solving Ordinary Differential Equations I, Springer, 1993.

Kaneko, Y., N. Lapusta, and J.-P Ampuero, Spectral element modeling of spontaneous earthquake rupture on rate and state faults: Effect of velocity-strengthening friction at shallow depths, Journal of Geophysical Research, 113, B09317, doi:10.1029/2007JB005553, 2008.

Kaneko, Y., J.-P. Ampuero, and N. Lapusta, Spectral-element simulations of long term fault slip: Effect of low-rigidity layers on earthquake-cycle dynamics, Journal of Geophysical Research, 116, B10313, doi:10.1029/2011JB008395, 2011.

Ma, S., and G. C. Beroza, Rupture dynamics on a bimaterial interface for dipping faults. Bulletin of the Seismological Society of America, 98(4), 1642-1658, 2008.

Melosh, H. J., and A. Raefsky, A simple and efficient method for introducing faults into finite element computations, Bulletin of the Seismological Society of America, 71, 5, 1391-1398, 1981.

Mitsui, N., and K. Hirahara, Viscoelastic simulation of earthquake cycle using a simple spring‐Dashpot‐mass system with a friction law. Geophysical research letters, 28(23), 4391-4394, 2001.

Ohtani, M., K. Hirahara, Y. Takahashi, T. Hori, M. Hyodo, H. Nakashima, and T. Iwashita, Fast computation of quasi-dynamic earthquake cycle simulation with Hierarchical Matrices, Procedia Com. Sci., 4, 1456-1465, 2011

Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2), 1018-1040, 1992.

清水宏幸、スペクトル要素法を用いた 2 次元地震サイクルシミュレーション手法の開発、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士論文、2016.

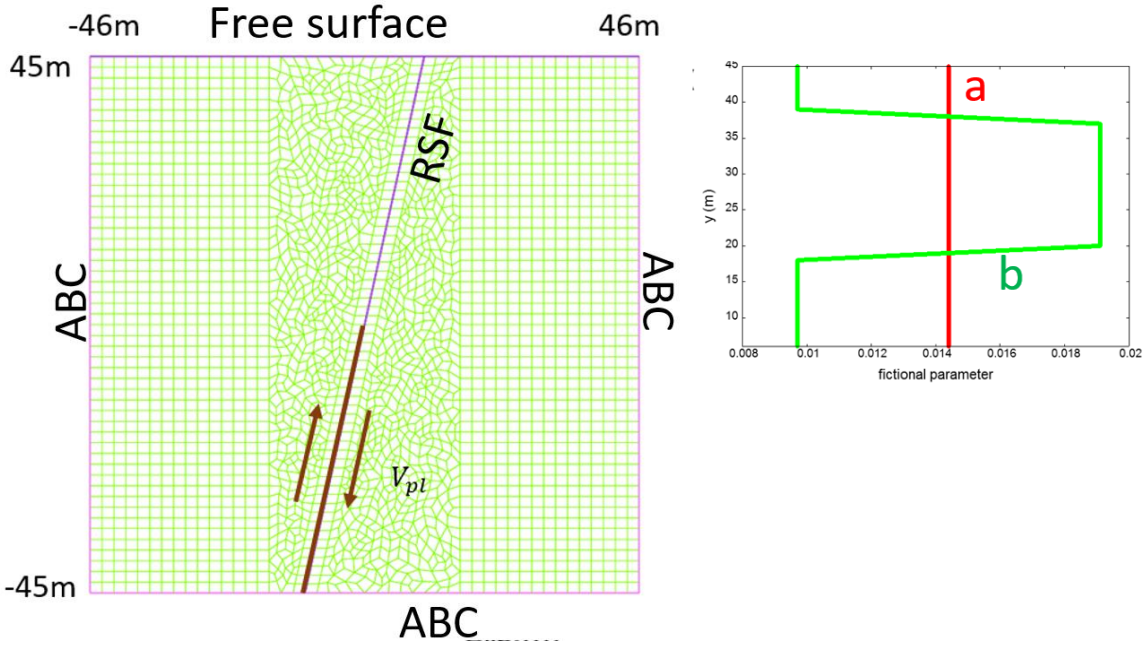


図３-10-②-１　SEM メッシュ図と摩擦パラメータ分布

左図：計算に用いた SEM メッシュ　90m×90m の小さなモデル中に傾斜角 77° の高角断層を表す SEM メッシュを示す。上端は自由境界、他の境界は消波境界（ABC：Absorbing Bounary Condition）を課している。断層面上では、縦（ｙ）軸０～-45m の領域に、ローディング速度（Vpl=２mm/年）を与え、45～0m の RSF 領域では、速度状態依存の摩擦則に従うすべり発展が生じる。

右図：RSF（左図）領域での摩擦パラメータ分布　速度強化(a-b＞０)域中の y=28～19m 域に速度弱化(a-b＜０)域を設定している。

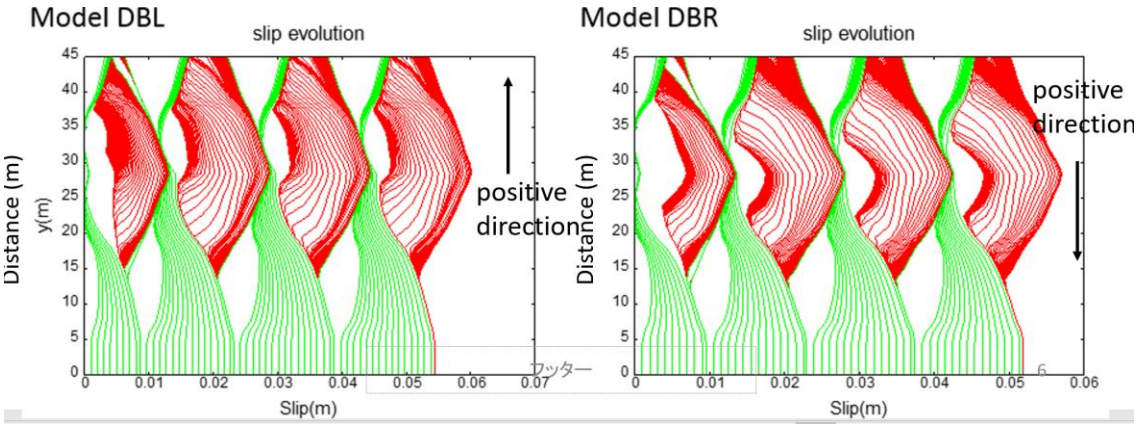


図３-10-②-２　RSF 断層面上における地震サイクル中での累積変位の深さ分布左図、右図はそれぞれ、断層を挟んで左側（上盤）、右側（下盤）媒質の地震波速度が 20%遅い bimaterial 断層における地震中での累積変位分布を示す。緑線と赤線の時間間隔は 0.5 年および１ x 10^{-3} 秒である。

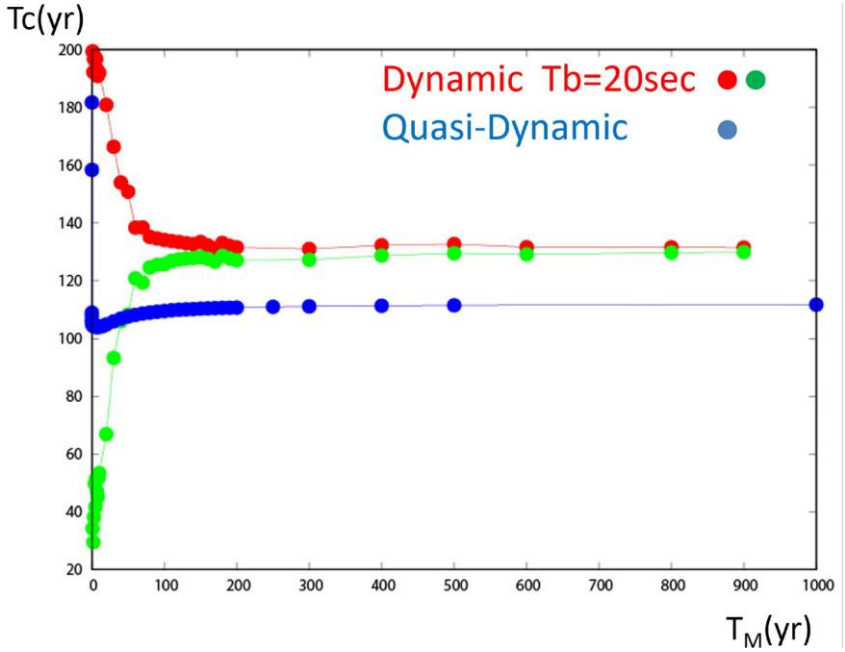


図３-10-②-３　動的と準動的計算における粘性率（マクスウェル時間）と繰り返し間隔(T_c)の関係。H28 年度の準動的（Quasi-Dynamic　T_b=20 秒）計算（青色）に加え、動的（Dymaic）計算（赤・緑色）における繰り返し間隔の粘性率（マックスウェル時間 $T_M=\eta/k2$ H28 年度モデル図参照）依存性を示す。T_M=200 秒以下では、T_C が二つの値に分岐する bifurcation が生じているのが分かる。

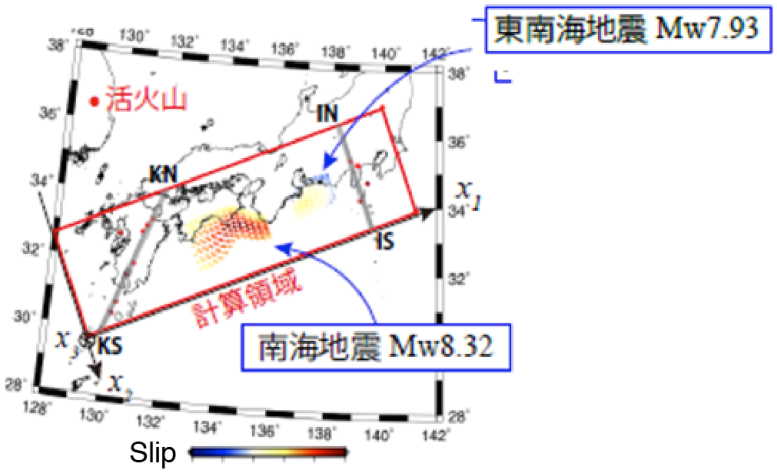


図３-10-②-４　仮定した 1944 年昭和東南海・1946 年南海地震すべり分布。

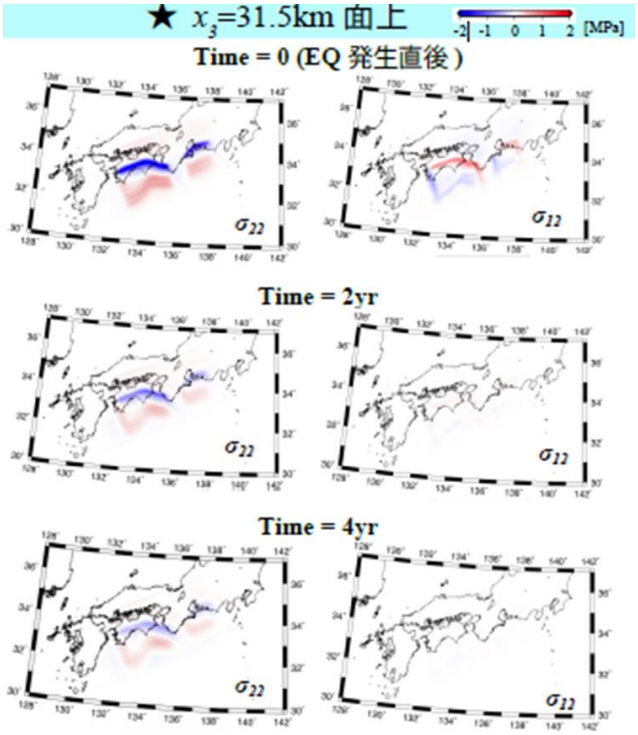


図３-10-②-５　深さ 31.5 ㎞面上における応力変化。
左図：σ 11　右図：σ 12　（座標軸は図３-10-②-４に示してある）

③　南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証

(a) 業務の要約

地震発生の物理に基づき地殻応力状態の時間発展を再現するための理論的なフレームワークが「Hashimoto *et al.*, 2014」によって構築された。これに基づき、或る時点の応力状態を適切に推定し、次ステップの地震発生シナリオを生成する為には、過

去のすべり履歴を整合的に再現し得る断層構成関係を設定することが重要な課題となる。2017 年度は、南海トラフ地震の発生域を対象として、地震発生シナリオの生成と評価方法の検討を行った。準静的テクトニックローディングシミュレーションにおける任意の時点での地震破壊可能性の評価は、その時点の応力状態と断層構成関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより可能である。これに基づき、1996-2000 年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1946 年南海地震後 50 年の状態）を再現し、その後の地震発生シナリオを生成する試行を行った。この結果により、時間ステップ毎に、地震破壊は何処から始まり得るか、開始した破壊は伝播し得るか、破壊はどのように伝播するか、破壊はどこまで広がるか、等の議論を定量的に行うことが可能であることを示した。シミュレーション結果（シナリオの集合）を過去の地震発生履歴（時系列）、震源位置、地震時すべり分布等のデータと比較することにより、構成関係パラメータの分布をより詳細に推定できる可能性がある。

(b) 業務の実施方法

地震発生の物理に基づき地殻応力状態の時間発展を再現するための理論的なフレームワークが「Hashimoto *et al.*, 2014」によって構築された。地震発生サイクルシミュレーションシステムは、三次元プレート境界面形状モデルを共通の基盤とする、準静的テクトニックローディングモデルと動的地震破壊伝播モデルから成る。これを用いて、或る時点の応力状態を適切に推定し、次ステップの地震発生シナリオを生成する為には、過去のすべり履歴を整合的に再現し得る断層構成関係を設定することが重要な課題となる。準静的テクトニックローディングシミュレーションから得られた応力状態と断層構成関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより、動的破壊伝播過程を再現できれば、さらに、そこから生じる地震波動も同時に計算可能となる（「Fukuyama *et al.*, 2009」）。断層構成関係の設定において、パラメータ分布に制約を与えるためには、地殻変動データのインバージョン解析による地震間のすべり遅れ分布（「Hashimoto *et al.*, 2009」、「Hashimoto *et al.*, 2012」）、過去の地震の開始点や伝播範囲、大地震の発生間隔、及びスロースリップの発生などの多様な情報を通して数値シミュレーション結果を検討する必要がある。以上を踏まえて、昨年度は、「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づき、地震発生領域のピーク強度・臨界すべり量の値や分布を変えたモデルを設定して、各モデルについて、準静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した。これにより、準静的シミュレーションにおいて、大地震発生後 50 年で実現したすべり遅れレート分布は、1996-2000 年の GPS データに基づくインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1944 年東南海・1946 年南海地震後 50 数年の状態）を再現し得ることを確かめた。その後、すべり遅れレート分布は徐々に変化してゆくが、この時間変化には、断層構成則の設定により、違いが生じることを明らかにした。

今年度は、準静的テクトニックローディングシミュレーションから得られた応力状

態と断層構成関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより、任意の時点での地震破壊可能性を評価する手法を検討した。これに基づき、1996-2000年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1946 年南海地震後 50 年の状態）を再現し、その後の地震発生シナリオを生成する試行を行った（「Hashimoto *et al.*, 2017」、「Urata *et al.*, 2017」）。この結果により、任意の時間ステップ毎に、地震破壊は何処から始まり得るか、開始した破壊は伝播し得るか、破壊はどのように伝播するか、破壊はどこまで広がるか、等の議論を定量的に行うことが可能であることを示した。これらの情報を踏まえて、南海トラフ地震の発生域を対象として、より現実的な断層構成関係の検討を進めた。

(c) 業務の成果

今年度の業務実施の結果、以下の成果を得た。

1) 準静的テクトニックローディングシミュレーションから得られた応力状態と断層構成関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより、任意の時点での地震破壊可能性を評価する手法を検討した。準静的シミュレーションに際しては、「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づき、パラメータ・、・、c の設定により、地震発生領域のピーク強度・臨界すべり量の値や分布を変えたモデルを設定する必要がある。ピーク強度を、室戸沖、紀伊半島南端域共に２MPa 程度に、Dc を 0.7 m 程度になるように設定した場合に実現したすべり遅れレート分布のスナップショットを図３-10-③-１に示す（昨年度実施の計算例 Case1 に該当）。ここで、第１サイクルの計算は、妥当な初期条件を生成するための前処理に相当する。この数値シミュレーション結果は、1996-2000 年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1946 年南海地震後 50 年の状態）を再現するが、その後、すべり遅れレート分布は徐々に変化してゆく。このとき、断層構成関係もまた時間発展する。地震発生領域中央におけるすべり弱化曲線の時間変化を図３-10-③-１に示す。これにより、臨界すべり量 D_c が時間と共に増加してゆくことが確認できる。これらの断層構成関係とすべり遅れ分布が作り出す応力場が、その時点で発生する可能性のある地震の破壊伝播過程を強く規定する。

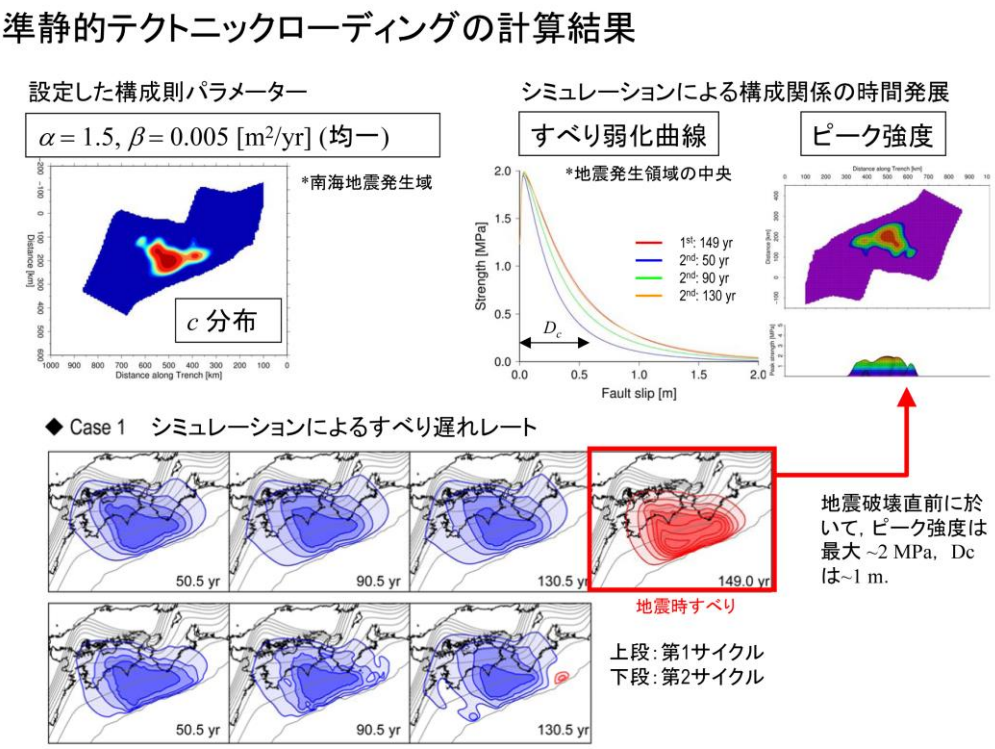


図３-10-③-１　準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海域の地震発生サイクル（H28 年度計算結果 Case１に該当）。すべり遅れレートのスナップショットにおいて、地震間の青コンターはすべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表し（１cm/yr 間隔）、地震時（上段最右パネル）の赤コンターは、すべり量を表す（0.5 m 間隔）。

続いて、準静的シミュレーションで得られたテクトニックローディング過程の時系列に対して、任意の時間ステップで実現している状態の下での地震破壊可能性の評価を行った。テクトニックローディング過程を通して、時々刻々変化する断層構成関係と初期応力分布に対応して、適切な地震発生シナリオを構築するためには、任意の時間ステップにおいて実現する状態の下で、地震破壊は何処から始まり得るか、開始した破壊は伝播し得るか、破壊はどのように伝播するか、破壊はどこまで広がるか、等の議論を定量的に行うことが重要である。これらの評価を実現するために、初期クラック（地震の破壊核に相当）位置の設定をさまざまに変化させて、動的破壊伝播の計算を行った。図３-10-③-２は第２サイクルの 150 年時点における、これらの計算結果を表す。このとき、初期クラックの大きさは、静的応力拡大係数の考え方に基づき推定した。開始点３と４は全領域をカバーする破壊に発展する。他の開始点は、部分的破壊に止まる。このことは、この設定において実現する応力状態では、開始点３と４が大地震の震源になり易い傾向にあることを意味する。開始点４は、1946 年南海地震の震源付近に対応する。図３-10-③-２の下段パネルは、破壊を開始させる為に必要な応力擾乱（単位は‘力’） を表す。これにより、点３と４が破壊開始点となるためには、他の地点より大きな力の擾乱が必要になることが分かる。従って、点３と４につ

いては、破壊開始点となるためにより臨界に近い応力状態が必要であるが、一度破壊が開始すれば、大地震に発展することになると考えられる。

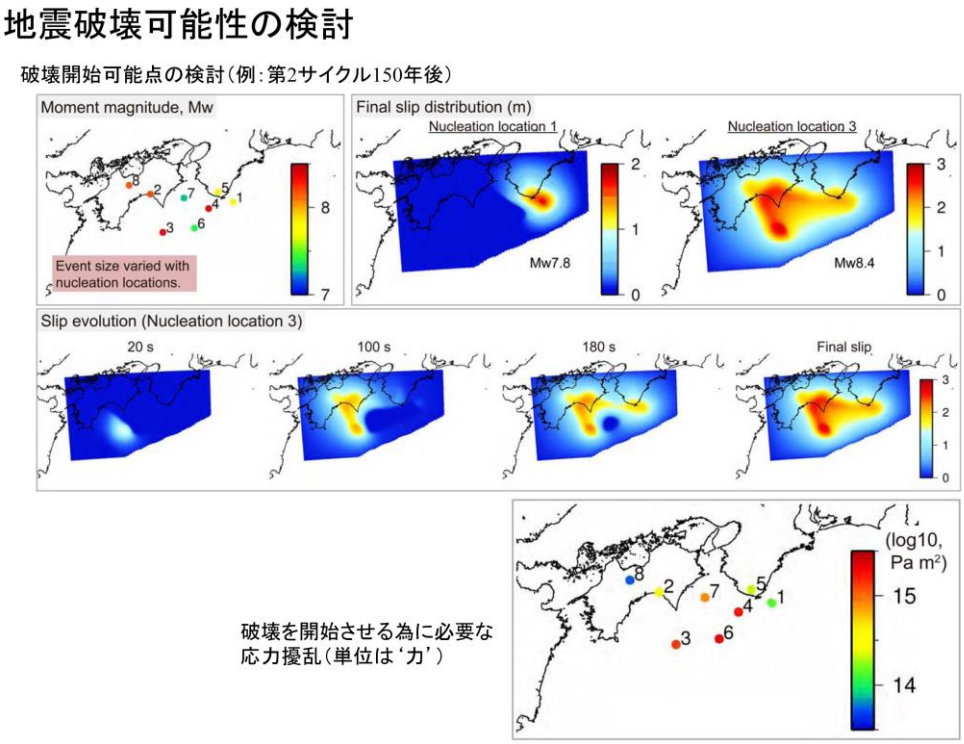


図３-10-③-２　動的破壊伝播シミュレーションによる地震破壊可能性の検討(破壊開始点と破壊伝播可能性)。上段は開始点とそこから開始した動的破壊のイベントサイズ。中段はシミュレーションにより計算された動的破壊伝播過程の例。下段は破壊を開始させる為に必要な応力擾乱（単位は‘力’)。

更に、応力状態の時間発展に対応するイベントサイズ（Mw）の変化の検討を行なった。図３-10-③-３は、点３を破壊開始点としたときのシミュレーション結果を表す。時間経過による応力増加に対応して、破壊可能領域（及びその時点で発生し得る地震の規模）が拡大してゆく。これらのシミュレーション結果から、全領域をカバーする破壊が可能になるためには、少なくとも 150 年のローディング時間が必要なことが分かる。この時点のイベントの最大すべり量 は＜３ｍ である。これらの結果は、1854 年と 1946 年のイベント間隔や、1946 年の地震時すべり量を十分に説明できない。これらの比較により、このケースにおいては、設定した構成則パラメータ分布が、十分には現実を表現できていないことが分かる。逆に、構成則パラメータ分布範囲を適切に探索しつつ、シミュレーション結果（シナリオの集合）を過去の地震発生履歴（時系列)、震源位置、地震時すべり分布等のデータと比較することにより、構成則パラメータ分布をより詳細に推定できる可能性がある。

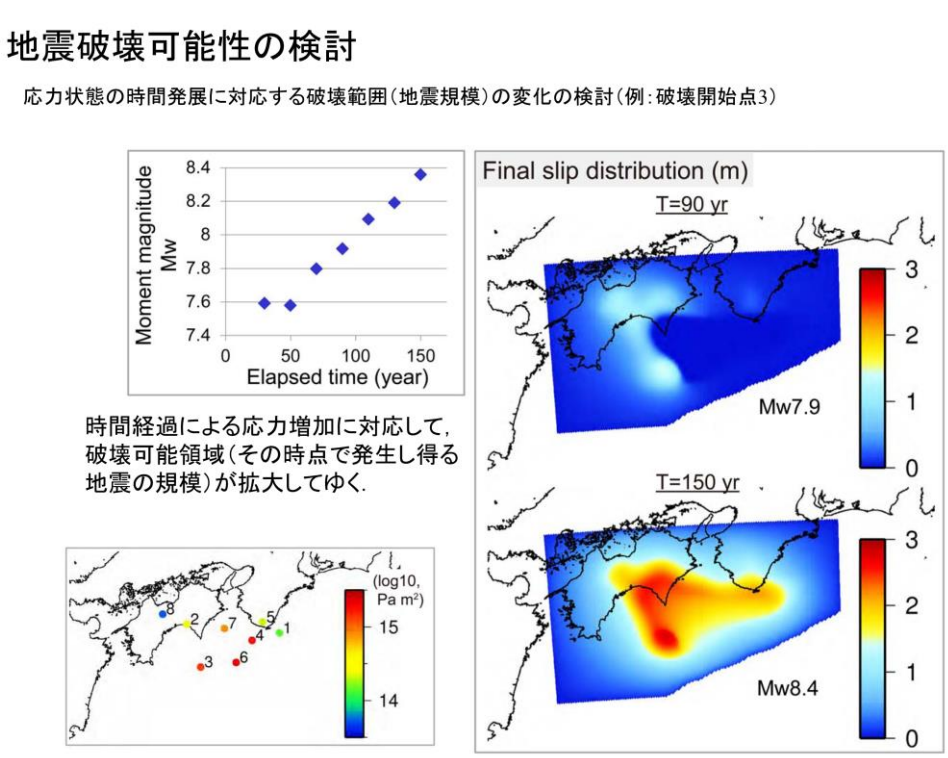


図３-10-③-３　動的破壊伝播シミュレーションによる地震破壊可能性の検討(破壊可能領域の時間発展)。左上段はローディング期間が長くなることに伴って、その時点で発生し得る地震の規模が増大してゆくことを表わしている。右パネルはローディング時間が長くなることに伴って拡大してゆく破壊可能領域の例。左下段は破壊を開始させる為に必要な応力擾乱（単位は‘力’)。

2)　構成関係パラメータ分布の推定とその不確定さの検討に向けて、異なる構成則パラメータ分布を与えた場合に、生成されるシナリオがどのように変化するかを検討した。図３-10-③-４はその一例を表す。より現実的な構成関係の設定、及び、地震発生シナリオの生成のためには、今後のより詳細な検討が必要である。

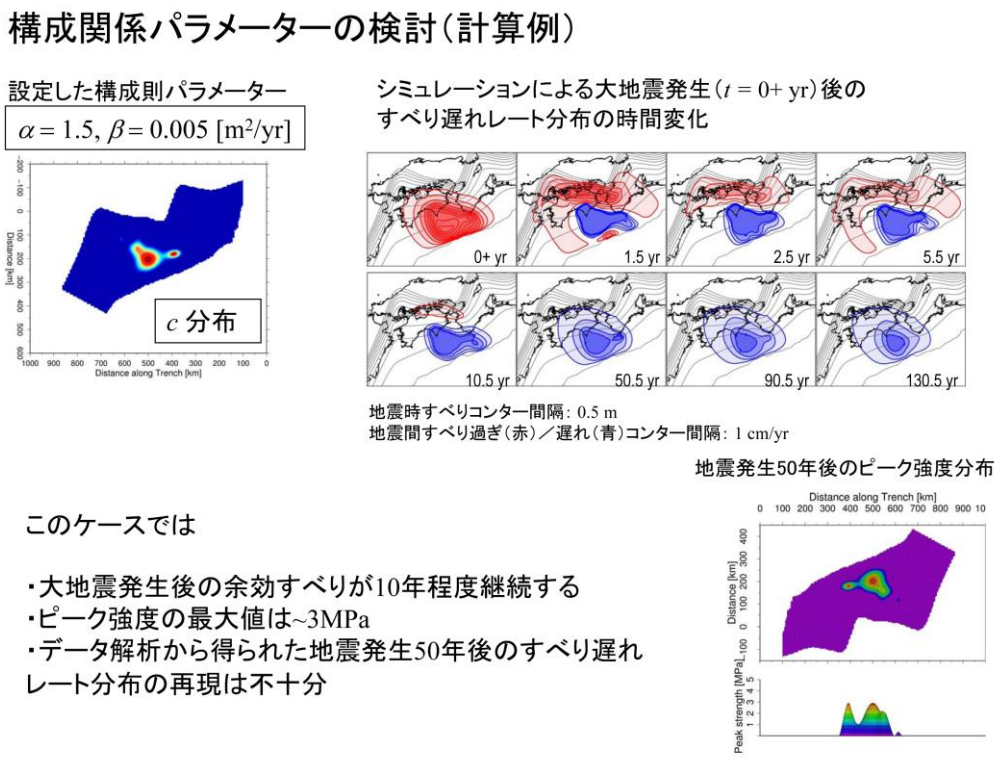


図３-10-③-４　断層構成則パラメータの検討例

(d) 結論ならびに今後の課題

準静的テクトニックローディングシミュレーションから得られた応力状態と断層構成関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより、任意の時点での地震破壊可能性を評価することが可能となった。これに基づき、1996-2000 年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1946 年南海地震後 50 年の状態）を再現し、その後の地震発生シナリオを生成する試行を行った。この結果により、各時間ステップ毎に、地震破壊は何処から始まり得るか、開始した破壊は伝播し得るか、破壊はどのように伝播するか、破壊はどこまで広がるか、等の議論を定量的に行うことが可能であることを示した。昨年度（H28 年度）に実施したテクトニックローディングシミュレーション例 Case１を用いた動的破壊伝播の計算においては、初期クラック（地震の破壊核に相当）位置の設定をさまざまに変化させて、地震破壊可能性の評価を行った結果、特定の開始点３と４は全領域をカバーする破壊に発展する一方で、他の開始点は部分的破壊に止まることが分かった。さらに、これらの破壊開始に必要な力（擾乱）の大きさは、点毎に異なることが分かった。また、テクトニックローディング過程における時間経過による応力増加に対応して、破壊可能領域（及びその時点で発生し得る地震の規模）が拡大してゆくことが分かった。この結果は、全領域をカバーする地震破壊が可能になるためには、ある時間以上のローディング期間が必要になることを示している。これらのシミュレーション結果（シナリオの集合）を過去の地震発生履歴（時系列）、震源位置、地震時すべり分布等のデータと比較することにより、構成関係パラメータの分布をより詳細に推定できる

可能性がある。構成関係パラメータ分布の推定とその不確定さの検討に向けて、異なる構成関係パラメータ分布を与えた場合に、生成されるシナリオがどのように変化するかを検討した。より現実的な構成関係の設定、及び、地震発生シナリオの生成のためには、今後のより詳細な検討が課題である。

(e) 引用文献

Aochi, H. and M.Matsu'ura, Slip-and time-dependent fault constitutive law and its significance in earthquake generation cycles, Pure Appl. Geophys., 159, 2029-2046, 2002.

Fukuyama, E., R.Ando, C.Hashimoto, S.Aoi, and M. Matsu'ura, A physics-based simulation of the 2003 Tokachi-oki, Japan, earthquake to predict strong ground motions, Bull. Seismol. Soc. Am., 99, 3150-3171, doi:10.1785/0120080040, 2009.

Hashimoto, C., E.Fukuyama, and M.Matsu'ura, Physics-based 3-D simulation for earthquake generation cycles at plate interfaces in subduction zones, Pure Appl. Geophys., 171, 1705-1728, 2014.

Hashimoto, C., A.Noda, and M.Matsu'ura, The Mw9.0 northeast Japan earthquake: total rupture of a basement asperity, Geophys. J. Int., 189, 1-5, 2012.

Hashimoto, C., A.Noda, T.Sagiya, and M. Matsu'ura, Interplate seismogenic zones along the Kuril-Japan trench inferred from GPS data inversion, Nature Geoscience, 2, 141-144, 2009.

Hashimoto, C., Y. Urata, and E. Fukuyama, Physics-based simulation for possible interplate earthquakes along the Nankai trough, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS08-16, 2017.

Urata Y., E. Fukuyama, C. Hashimoto, A Possible Dynamic Rupture Scenario of the Nankai-trough Earthquakes, southwest Japan, IAG-IASPEI General Assenbly, S13-P-18, 2017

④地震発生シナリオ評価

(a) 業務の要約

2016 年４月１日の三重県沖地震は、1944 年東南海地震の破壊開始位置近傍で発生した。 こういった中規模地震の発生は南海トラフでは稀な事象であり、三重県沖地震がなぜこのタイミングで発生したのかを理解し、来るべき巨大地震とどう関連しうるかを明らかにすることは重要である。このため、昨年度から三重県沖地震と南海トラフ巨大地震との関連を準動的地震サイクルのシミュレーションによって検討を進めてきた。しかし、昨年度に実施した内容では、三重県沖地震後に観測された余効すべりの伝播の時間スケールを再現し得る摩擦パラメータ範囲での検討はできていなかった。このことから、今年度はモデル対象領域を東南海域に限定することで計算コストを抑え、探索できていなかった摩擦パラメータ範囲を調査することによって地震後の余効すべりの伝播

パターンに整合するシナリオの導出を試みる。このために、まずは巨大地震の震源内部に中規模地震に相当する摩擦不均質が階層的に存在する条件での二次元断面内のシミュレーションを実施し、巨大地震サイクル中に中規模地震が発生するシナリオを導出した上で、中規模地震後の余効すべりが浅い側に速く伝播する条件を調べた。その結果、観測されたトラフ軸に向かう速い余効すべりの伝播は、中規模地震の震源域からその浅部域でのすべりに伴う強度弱化に対応するパラメータ B/L が大きい条件での応答に整合することが明らかとなった。続いて、二次元断面モデルを三次元的にトラフ軸方向にも拡張したシミュレーションを行い、中規模地震発生時の巨大地震発生サイクルの段階に応じて、中規模地震後の余効すべりの伝播パターンが変化することを確認した。つまり、固着の剥がれが不十分（今回の地震に対応）な状態で中規模地震が発生すると、浅い側のみに余効すべりが伝播する。一方、固着の剥がれが四方から十分進行した状態で中規模地震が発生すると、縮小した固着域を余効すべりが回り込んで固着域の深部にまで進展し、巨大地震発生に至る可能性があることがわかった。

(b) 業務の実施方法

三重県沖地震震源は、陸・海域の GNSS 観測から示唆されている熊野灘のすべり欠損率の高い領域「Yokota *et al.*, 2016」と比較すると、その高すべり欠損域の沖側（トラフ側）に位置づけられる。このため、この領域を図３-10-④-１に示す階層的な摩擦特性を有すアスペリティであると仮定し、すべり速度状態依存摩擦則と均質半無限弾性体でのすべり応答関数を利用した準動的地震サイクルのフォワードシミュレーションを行う。そして、まずは南海トラフ巨大地震の繰り返し中に、三重県沖地震のような中規模地震の発生が説明できるシナリオを構築する。続いて、以下に示す三重県沖地震発生後にみられた余効すべり伝播を参考に、それらに整合するよう摩擦パラメータ分布に修正を加える。三重県沖地震発生後には、震源の浅い側に位置する DONET 観測点に接続された掘削孔内において、数日程度でトラフ軸に向かう余効すべりの伝搬に対応する体積歪変化が観測されている「Araki *et al.*, 2017」。さらに、Hi-net と DONET の地震計データを含めた解析からは、三重県沖地震震源の浅い側で超低周波地震（VLFE）がトラフ軸方向に２-３週間程度の時定数で移動する様子が見えており、ゆっくりすべりの伝播に対応すると解釈されている「中野・他, 2017」。こういった三重県沖地震後に観られたゆっくりすべりの浅部への伝播は、この領域でのプレート境界の摩擦的性質と地震発生時のそこでの固着状態を強く反映すると考えられる。このため、構築した巨大地震サイクル中での中規模地震発生を説明可能なシナリオに対し、中規模地震後に浅部に向かって余効すべりが速く伝播するような摩擦パラメータ条件を加え、中規模地震後の変動にも整合するようにシナリオを修正する。これらにより、観測に整合する摩擦特性分布を南海トラフ巨大地震震源域やその周囲に当てはめ、今後の振る舞いの検討に役立てられるようにする。

(c) 業務の成果

まず、三重県沖地震の震源を含む沈み込み方向断面内での二次元的なモデル化を行

った。具体的には「Hori and Miyazaki, 2010」の階層アスペリティモデルを参考に、地震発生帯（A-B＜０）には「Yokota *et al.*, 2016」の解析に基づく熊野灘の高すべり欠損域に対応する摩擦不均質と、そのやや浅い側に三重県沖地震に対応する摩擦不均質が存在すると仮定した（図３-10-④-２）。その条件での地震サイクルシミュレーションの結果から、トラフ軸近傍が定常すべりする条件で巨大地震の震源内部に中規模地震に相当する不均質が存在すると、巨大地震間にトラフ軸側からの固着の剥がれが生じることわかった（図３-10-④-３左の黒色領域の縮小に対応）。また、その固着剥がれの時間進行に伴って、巨大地震サイクルの中盤から後半にかけて巨大地震震源内の浅部で中規模地震が発生し得ることが示された（図３-10-④-３左の黒矢印）。続いて、こういった二次元断面で構築したシナリオに対し、摩擦特性を修正し、三重県沖地震後に観測された、トラフ軸に向かう速い余効すべりの伝播に整合する条件を調べた。その結果、中規模地震震源域浅部での摩擦強度のすべりに伴う弱化に関連するパラメータ B/L をある程度大きく設定すると観測に整合するような数週以内での余効すべりの伝播がみられた（図３-10-④-３右）。こうした二次元断面でのシナリオ検討で得られた摩擦パラメータを、図に示す三次元モデルに拡張してサイクル計算を実施したところ、巨大地震発生サイクルの進行段階に応じて、中規模地震発生後の余効すべりの伝播パターンが大きく変化することが明らかになった（図３-10-④-５、図３-10-④-６）。つまり、固着の剥がれが不十分な段階で中規模地震が発生した場合には、その深部には強い固着域が帯状に存在するために浅い側にのみ余効すべりは伝播する（図３-10-④-５の(g)、(h)、(i)）。一方、固着の剥がれがより進行した状態で中規模地震が発生すると、強い固着域は四方から縮小してきているために、浅い側のみならず深い側にも余効すべりが固着域を回り込むように進展し、巨大地震発生に影響を及ぼす可能性がある（図３-10-④-６の(o)-(t)）。今回のシミュレーション結果からは、三重県沖地震はこのうちの前者に対応すると考えられるが、今後、同じような中規模地震が繰り返し発生した場合には後者のシナリオを念頭においてその後の推移をモニタする必要がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

昨年度に引き続いて、2016 年の三重県沖地震の発生を巨大地震の発生サイクルと関連付けて理解・解釈するためのフォワードシミュレーションを行った。二次元断面でのシミュレーションに階層アスペリティモデルを適用することにより、浅部・深部から強い固着域が徐々に縮小し、巨大地震サイクルの中盤から後半に中規模地震が浅い部分で発生したのちに、固着域の深部から巨大地震が発生・アスペリティ全域を破壊するシナリオを得た。更に、こういった二次元断面シミュレーションの浅部領域の摩擦パラメータを修正することによって、三重県沖地震後に観測された余効すべりの伝播特性が、震源域浅部からトラフ軸近傍でのすべりに伴う強度弱化に関連するパラメータが大きい場合に再現されることを明らかにした。また、二次元断面で得られたシナリオの三次元モデルへの拡張からは、巨大地震サイクルの進展に伴って固着域は深さ方向のみならず、横方向からも縮小するため、サイクル後半で中規模地震が発生すると、その余効すべり

が固着域を回り込んで巨大地震発生に直接影響し得ることを示した。これは、こういった中規模地震が発生した場合に、リアルタイムで地震後の余効すべりの推移をモニタすることが、巨大地震に至る可能性を検討する上で重要なこと示している。また、三重県沖地震で余効すべりが観測された領域は、1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の破壊域の境界の近傍に位置している。このため、三重県沖地震後の余効すべりに整合する摩擦特性を正しく導出することは、1944 年東南海地震後に南海地震破壊開始位置へ影響を及ぼした余効すべりを正しく評価するためにも非常に重要である。しかし、今回実施した三次元シナリオでは、三重県沖地震後に観測された浅い側への速い余効すべりの伝播を定量的には再現できていない。よって今後は三重県沖地震後に起こったことに定量的に整合するシナリオの検討をさらに進めるとともに、南海トラフ全域の地震サイクルモデルにも今回の結果を反映し、次の地震に向けたシナリオの絞込を進めることが必要である。

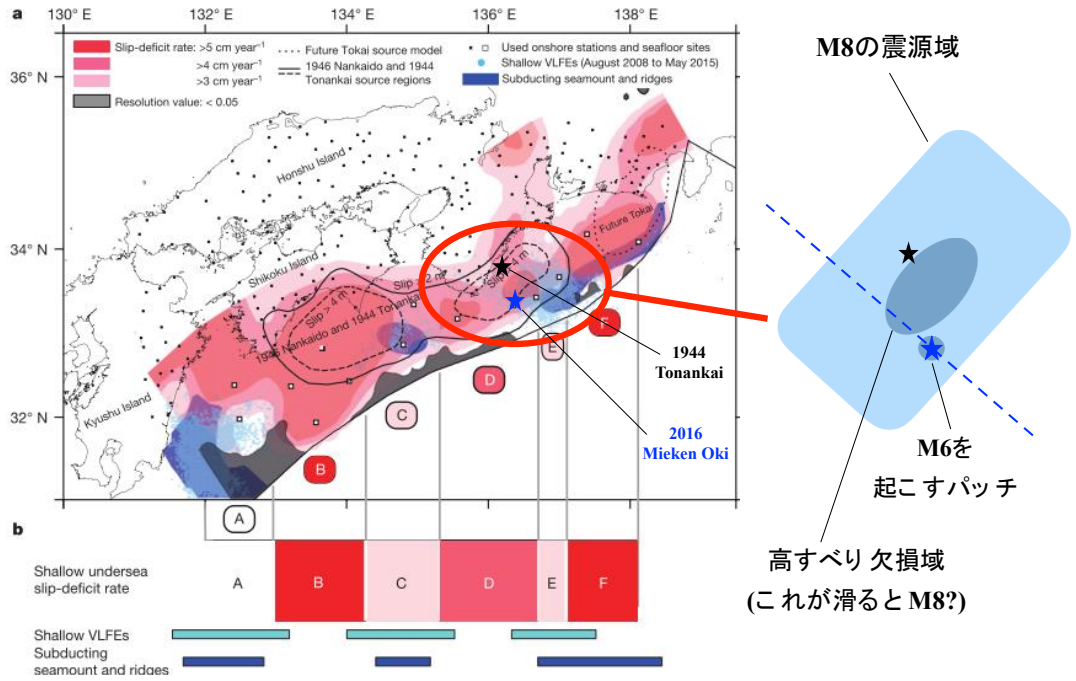


図３-10-④-１　最近の研究結果などから構築した東南海域の震源の概念モデル。すべり欠損の分布は「Yokota *et al.*, 2016」を引用している。

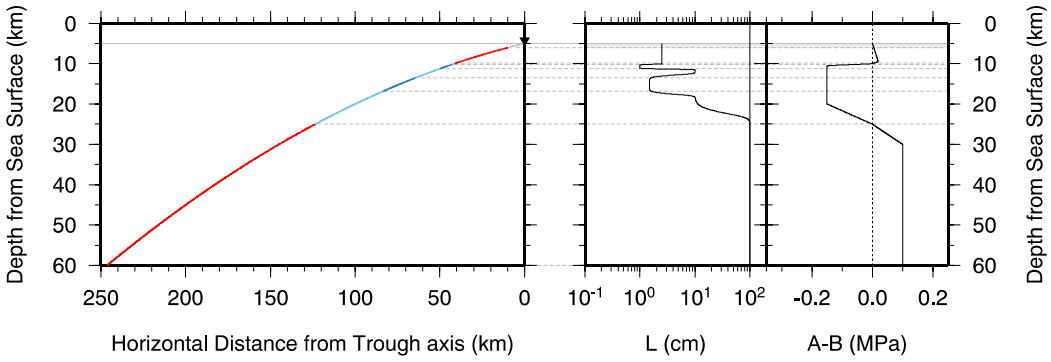


図３−10−④−２　東南海域の沈み込み方向の二次元断面を扱った地震サイクルのフォワードシミュレーションのパラメータスタディで見つけた、中規模地震後の浅部への早い余効すべりを再現し得る摩擦パラメータ分布の一例。

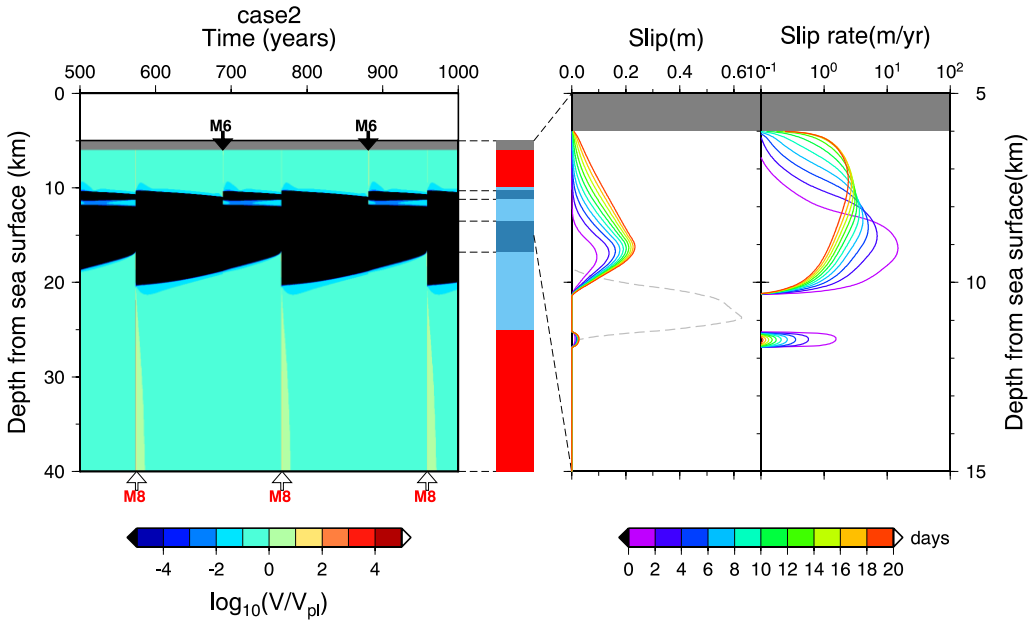


図３−10−④−３　図３−10−④−２の摩擦パラメータ分布に対し予測される地震サイクルシミュレーションの結果。（左）地震サイクル中のすべり速度の時空間変化。赤と黒の矢印がそれぞれ巨大地震、中規模地震の発生を示す。（右）中規模地震後20日間における、中規模地震震源域近傍の余効すべりと余効すべり速度の変化。色付きの実線がカラーバーに示す中規模地震後の日数に対応した余効すべり・余効すべり速度である。灰色破線は中規模地震の地震時すべり分布を表す。

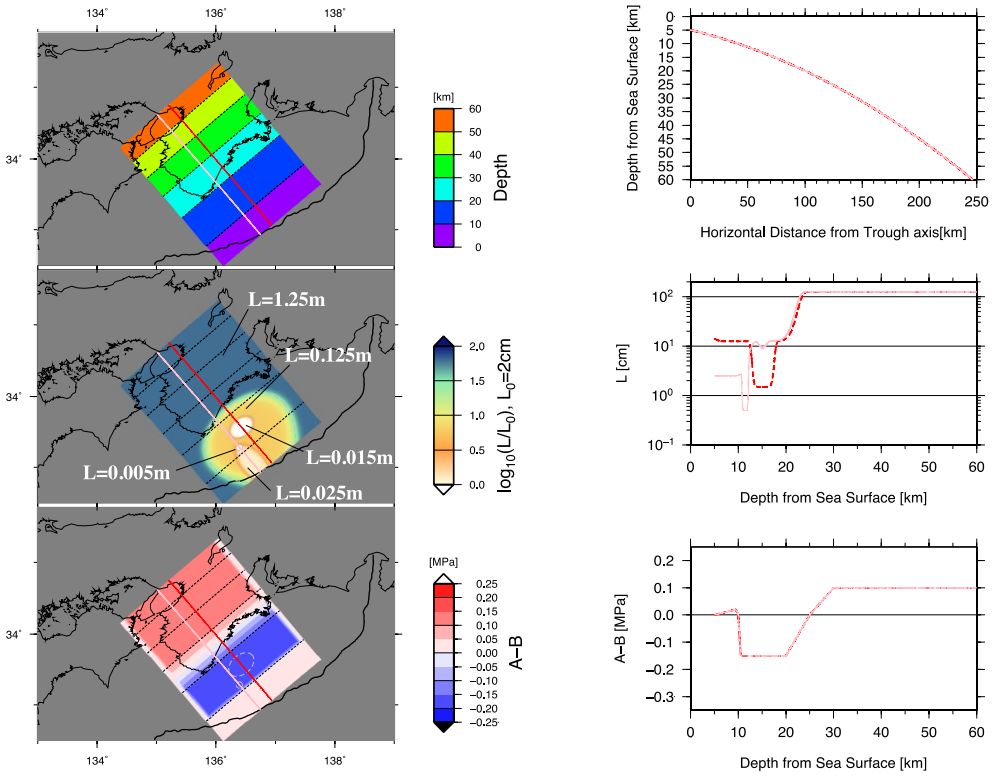


図３−10−④−４　図３−10−④−３に示す二次元断面で検討した摩擦パラメータ分布を三次元に拡張した分布の一例。（左）上からそれぞれ、仮定したプレート境界形状の深さ分布、プレート境界上に仮定した特徴的すべり量 L の分布、仮定した A－B の分布に対応している。（右）左のマップ図上の赤線及びピンク線での深さ断面内での、プレート境界形状、L、A － Bの深さプロファイルを示す。

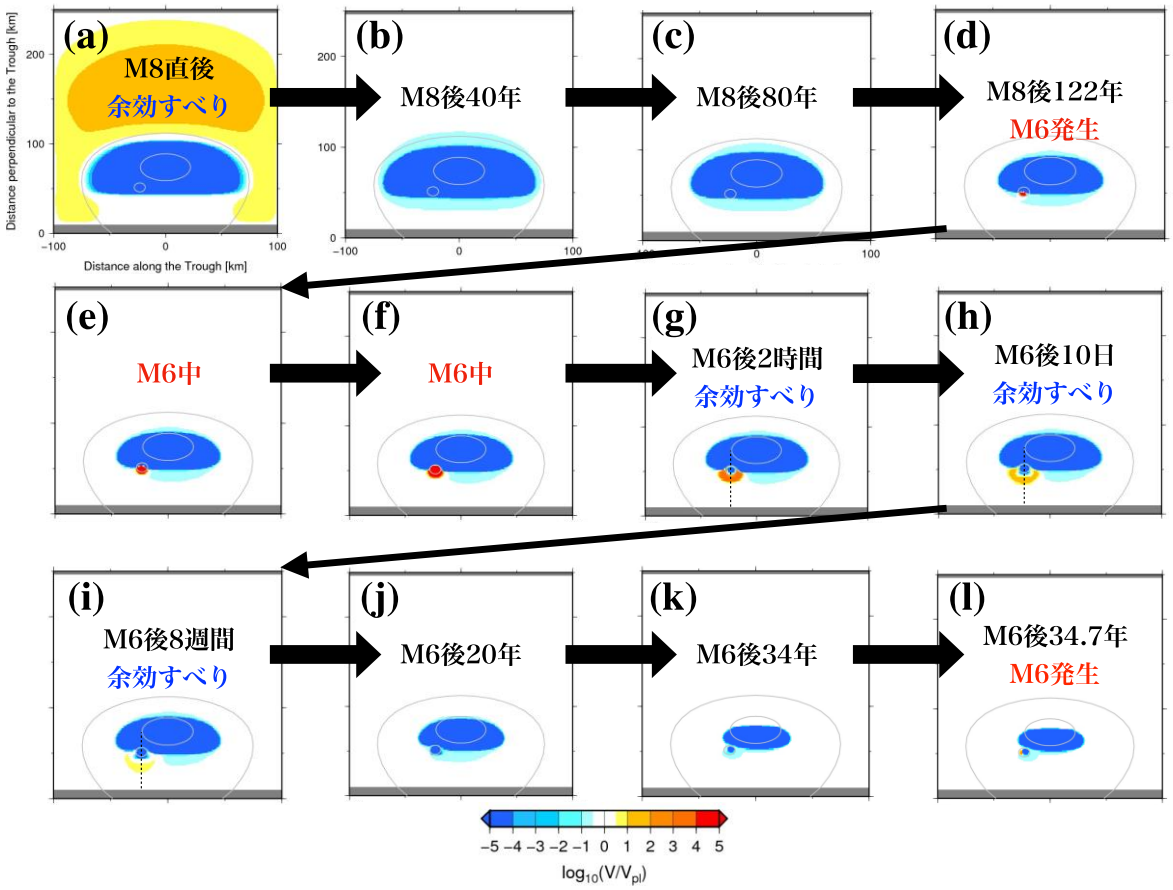


図３−10−④−５　図３−10−④−４の摩擦パラメータ分布に対し予測される巨大地震サイクル中のすべり速度分布のスナップショット。暖色部分がプレート収束速度より速い速度でのすべり（地震など）、寒色部分が遅い速度でのすべり（固着）を示している。

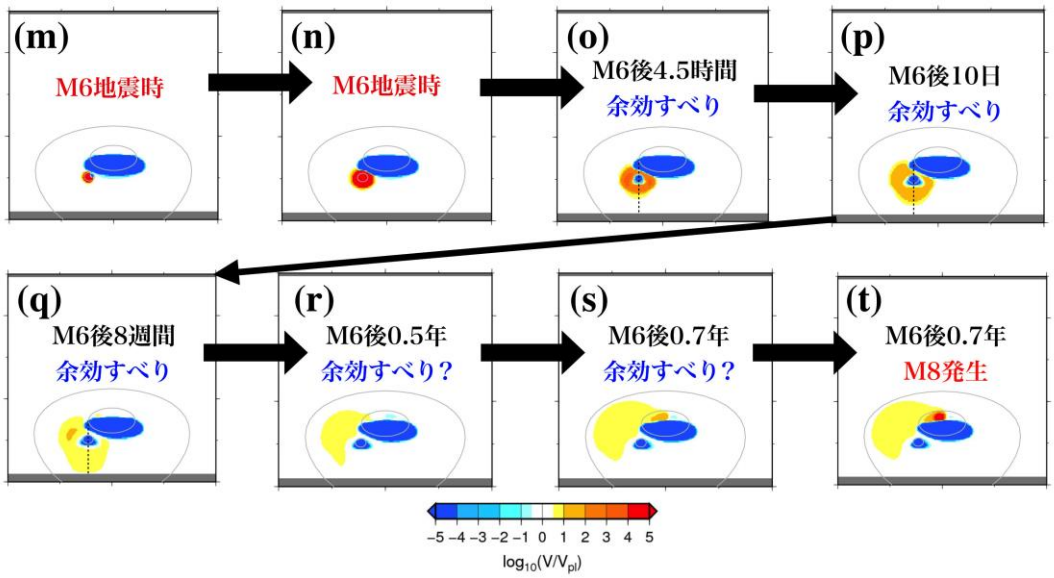


図３−10−④−６　図３−10−④−５の続き。

(e) 引用文献

Araki, E., D. M. Saffer, A. J. Kopf, L. M. Wallace, T. Kimmura, Y. Machida, S. Ide, and E. Davis, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction mega-thrust, Science, 356, 1157-1160, 2017.

Hori, T., and S. Miyazaki, Hierarchical asperity model for multiscale characteristic earthquakes：A numerical study for the off Kamaishi earthquake sequence in the NE Japan subduction zone, Geophys. Res. Lett., 37, L10304, 2010.

中野・他, 南海トラフにおける浅部スロースリップと同期して発生する浅部超低周波地震, 日本地震学会 2017 年秋季大会講演予稿集, 2017.

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada, Seafloor geodetic constrains on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, Nature, 534, 374-377, 2016.

⑤巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発

(a) 業務の要約

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、既往研究の強震動生成域（以下、「SMGA」）のすべり量の特徴を踏まえて昨年度までに構築した不均質 SMGA 場モデルを、南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用した。均質 SMGA モデルと不均質 SMGA モデルによる計算地震動を比較し、不均質化により高周波数成分が増強されることを確認した。また、DONET１を含む海域の強震記録及び陸域の強震記録の波形モデリングに基づき、2016 年４月１日に発生した熊野灘の地震（M_{JMA} 6.5）の SMGA 震源モデルを推定した。推定された震源モデルの特徴について、SMGA 面積－地震モーメントの関係に着目し、東北日本のプレート境界地震や内陸地殻内地震との震源特性の比較を行った。

(b) 業務の成果

１）強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築

強震動予測のためのプレート境界地震震源モデルは、強震動予測の対象周波数（0.1-10 Hz）で定義される強震動生成域（以下、「SMGA」）をベースに構築するという方針を立て、昨年度までに、M６～９のプレート境界地震地震の SMGA の大きさ、応力降下量、すべり量のパラメータ間の関係から、応力降下量分布とすべり分布の不均質分布モデルを構築した。また、この不均質 SMGA の場のモデルにより、2011 年東北地方太平洋沖地震の宮城沖 SMGA と同様の平均応力降下量、平均すべり量を持ち、かつ、強い短周期パルス源とされる小領域（全体の平均応力降下量の約４倍の応力降下量）を持つものが得られることを確認した。今年度は、この不均質 SMGA 場モデルを用いて、将来の南海トラフ巨大地震を想定して設定された均質な SMGA からなるモデル（南海トラフの巨大地震モデル検討会・首都直下地震モデル検討会、

2015)（以下、「内閣府 2015 モデル」）を不均質化するように変形し、不均質 SMGA による南海トラフ巨大地震の広帯域震源モデルを作成し、大阪地域の地震動を計算した。

昨年度までにモデル化した不均質 SMGA 場の応力降下量およびすべり量の不均質分布は図３－10－⑤－１のようなものである。基本形状としては、空間的には、応力降下量分布はk^{-1}、すべり分布はk^{-2}の波数スペクトル形状を持つフラクタル分布を仮定し、確率分布には対数正規分布を仮定している。分布のパラメータは、既往地震の SMGA の平均応力降下量－面積の関係、平均すべり量－面積の関係に合うよう調整されている。この不均質 SMGA 場から、内閣府 2015 モデルの南海トラフ巨大地震 SMGA モデルの面積や平均応力降下量に合う範囲を抽出したものが図３－10－⑤－２である。ライズタイムはすべり量の変動に比例させて、内閣府 2015 モデルから変動させた。これら不均質な応力降下量、ライズタイム、すべり量から、「中村・宮武, 2000」によって断層面上各点のすべり時間関数を作り、不均質 SMGA モデルの各部のすべり速度時間関数とした。破壊伝播速度は、当然、不均質になることが予測されるが、応力降下量やすべり量などとの相関させ方が明らかでないため、ここでは内閣府 2015 モデルと同様、均質とした。なお、今回、地震動計算の対象地域が大阪盆地のみであり、また、震源モデル開発途上の試験的計算であるため、内閣府 2015 モデルのうち、大阪盆地から遠距離にある東経 133 度以西、および、東経 137 度以東の SMGA を省略した。

大阪堆積盆地内に限り S 波速度 350 m/s 以上の地盤を考慮して、それ以外では基盤岩が露頭している設定で、０～0.7 Hz の地震動を３次元差分法で理論的に計算した。計算には、不等間隔格子、４次精度３次元差分法コード「Pitarka, 1999」を用いた。計算領域は北緯 32～35.5 度、東経 133～137.5 度、深さ０～100 km の範囲とし、差分計算の有効周波数帯域の上限が 0.7 Hz 程度となるよう格子分割した。大阪堆積盆地内の計算格子幅は水平方向 0.1 km、鉛直方向 0.05 km である。計算に用いる地下構造モデルは、地震基盤以深の３次元地殻構造モデルの中に、大阪堆積盆地３次元地盤構造モデル「Sekiguchi *et al.*, 2016」の大阪堆積盆地部分をはめ込んだものを設定した。地殻構造モデルは、「古村, 2002」で使われた深部構造モデルをもとに構築した。また、大阪堆積盆地のうち S 波速度 350 m/s 未満の部分は 350 m/s に置き換えた。SMGA 震源モデルは、「古村, 2002」のフィリピン海プレート上面に水平方向 1.2 km 間隔に配置した点震源で表現した。上述のように生成された各点でのすべり時間関数は、点震源が代表する有限面積の効果を近似するため、点震源間隔／破壊伝播速度の時間幅を持つ面積１の矩形時間関数でコンボリューションした。

図３－10－⑤－３に、計算された地震動の、大阪堆積盆地周辺の最大速度分布を示す。左は不均質 SMGA モデルによるもの、右は均質 SMGA モデルによるものである。破壊伝播は両モデルで全く同じであるが、すべり量や応力降下量といったパラメータが異なることにより、地震動の強弱の空間分布が異なっている。しかし、どちらかのモデルがもう片方より最大速度が大きいというようなことにはなっていない。

また、不均質 SMGA モデルによる最大速度分布には、均質モデルのそれに比べて、より短波長の変化が見られる。計算地震動の一例として、図３－10－⑤－４に大阪湾岸部に位置する KiK-net 此花（OSKH02）と大阪盆地南縁部の千早赤坂（大阪府震度情報ネットワークの観測点）における計算波形を、図３－10－⑤－５に同地点の不均質 SMGA モデルと均質 SMGA モデルの計算地震動のスペクトル比を示した。これらの地点における比較では、不均質 SMGA モデルによる計算地震動は、均質 SMGA モデルのそれに比べ 0.3Hz 以上の高周波数成分のレベルが高まっていることがわかる。

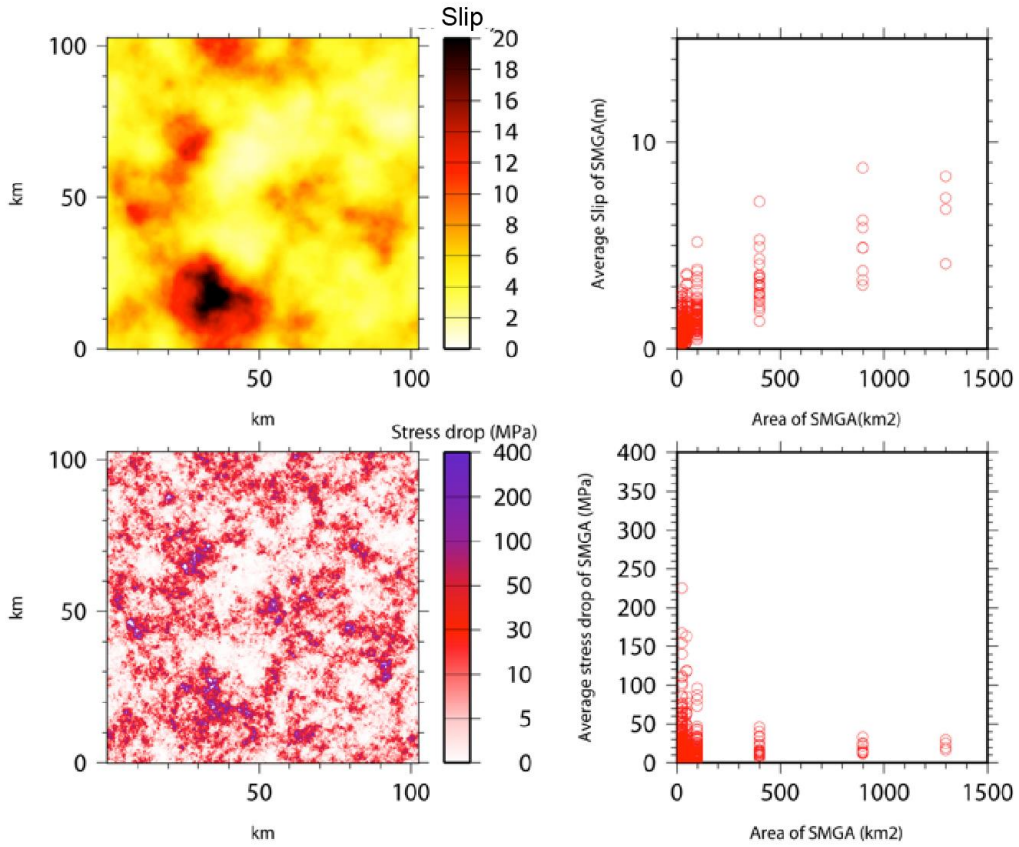


図３－10－⑤－１　上左：不均質 SMGA 場のすべり量分布モデル（但し平均を約 5m とした場合）。上右：左図のすべり量分布の場で様々な大きさの SMGA が発生した場合の、SMGA の面積とすべり量の関係。但し、すべり量が SMGA 面積の 1/2 乗に比例する（＝モーメントが SMGA 面積の 3/2 乗に比例する）と仮定し補正したもの。下左：不均質 SMGA 場の応力降下量分布モデル。下右：応力降下量分布モデルから再現された SMGA の面積と応力降下量の関係。

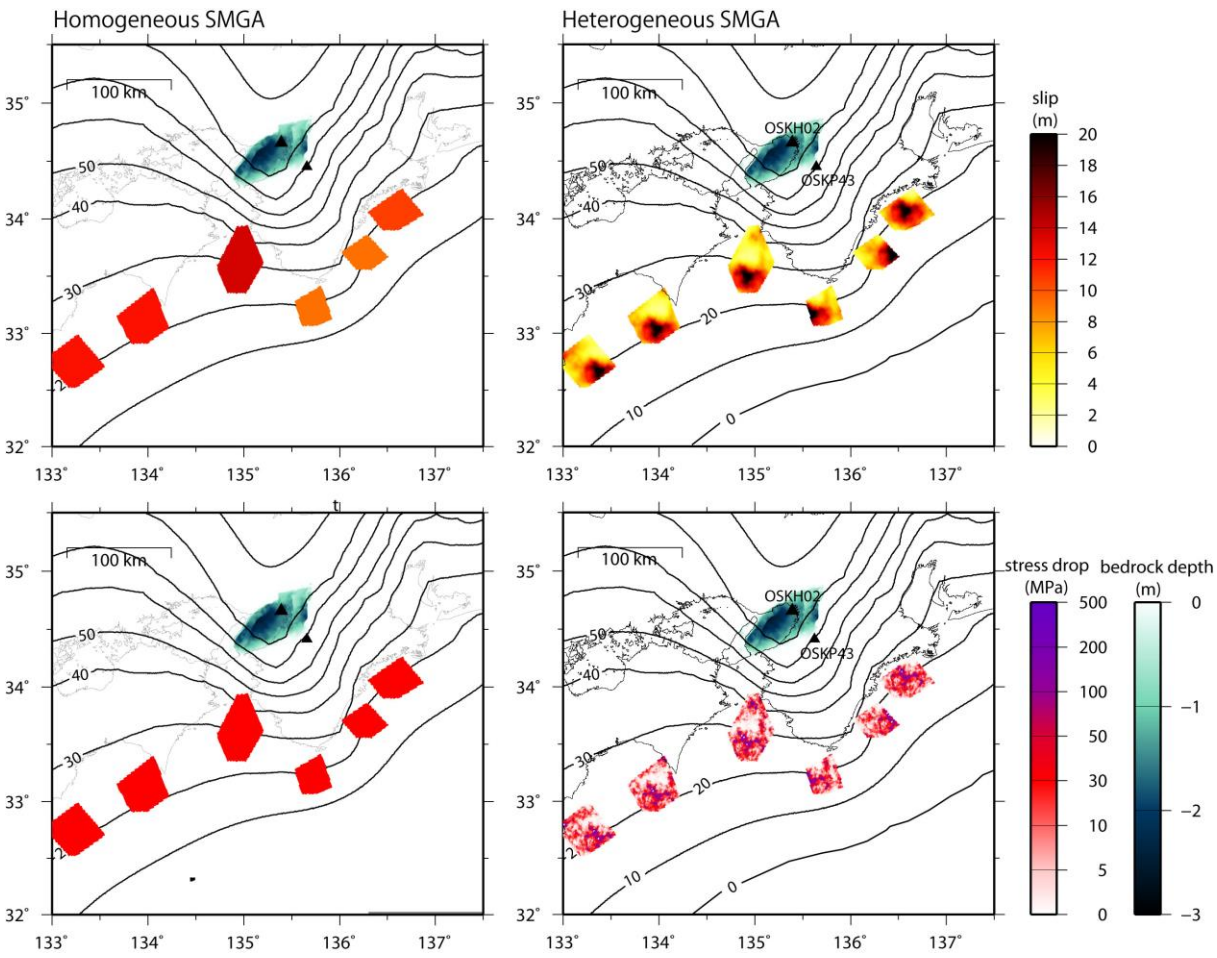


図３－10－⑤－２　南海トラフ巨大地震 SMGA モデルのすべり量分布（上）と応力降下量分布（下）。左が内閣府 2015 モデルに沿った均質モデル。右が不均質 SMGA モデル。

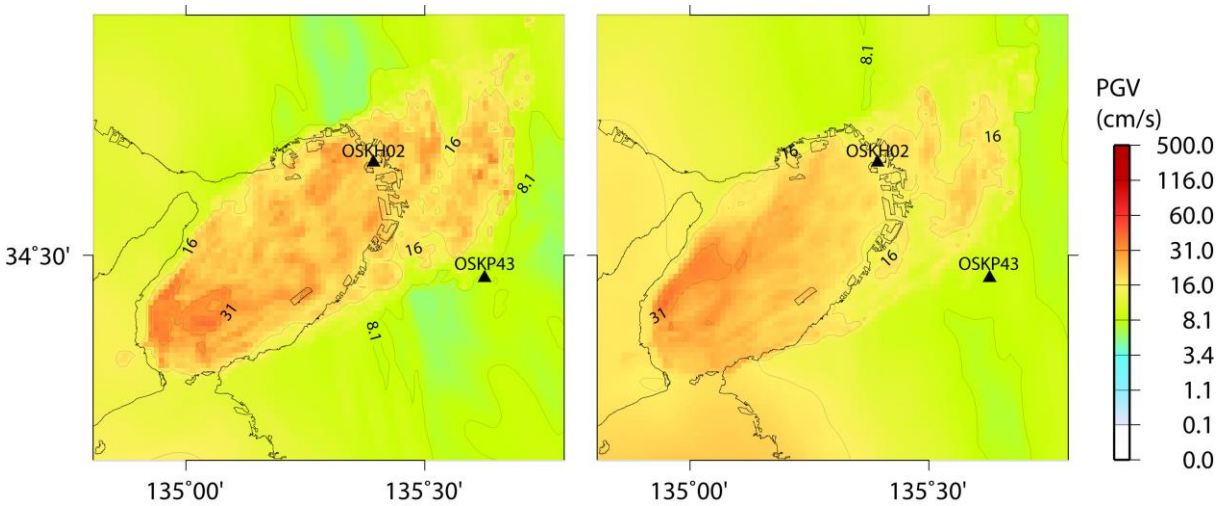


図３－10－⑤－３　計算された予測地震動の最大速度分布。左は不均質 SMGA モデルによるもの、右は均質 SMGA モデルによるもの。

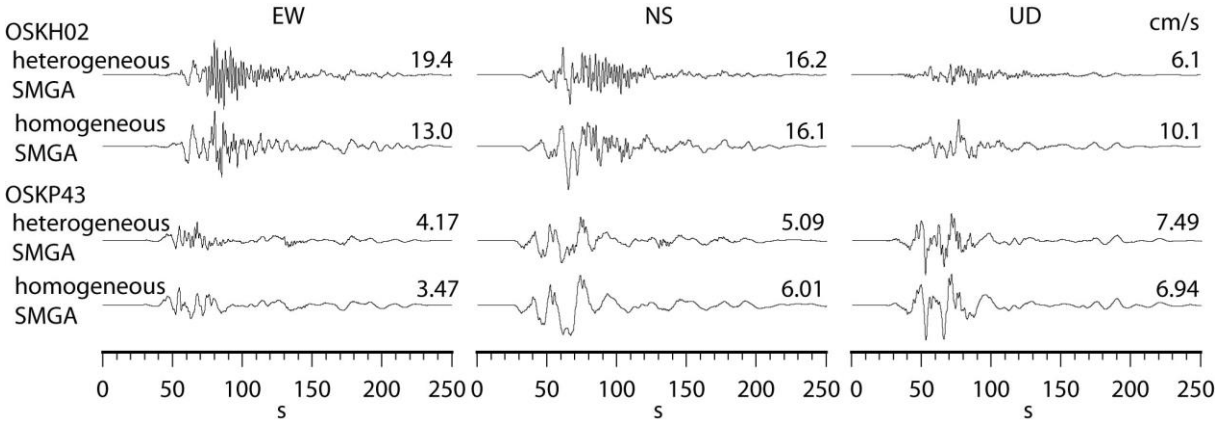


図３－10－⑤－４　均質及び不均質 SMGA モデルにより計算された、大阪湾岸部の此花（KiK-net OSKH02 地点）と大阪盆地南縁の千早赤坂（大阪府震度情報ネットワーク OSKP43 地点）における予測地震動（速度）。

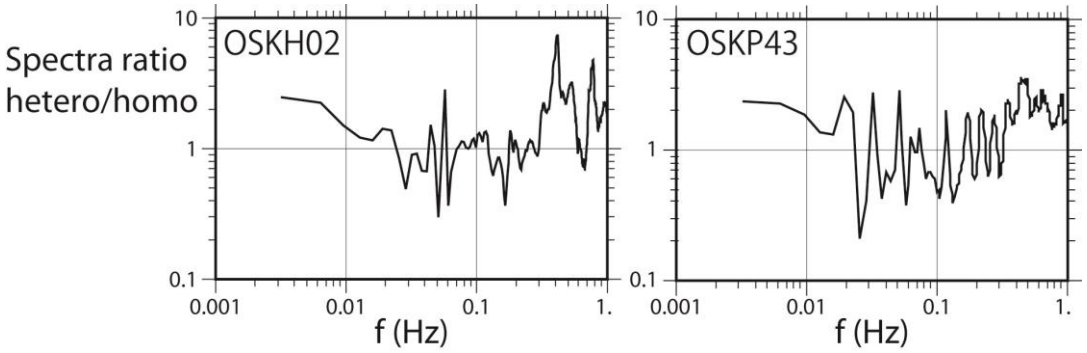


図３－10－⑤－５　均質及び不均質 SMGA モデルにより計算された、大阪湾岸部の此花（KiK-net OSKH02 地点）と大阪盆地南縁の千早赤坂（大阪府震度情報ネットワーク OSKP43 地点）における予測地震動のスペクトル比。

2)　DONET 海底強震計データを用いた震源モデルの検討

1）強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築において、これまでに参照されてきたプレート境界地震の SMGA 震源モデルは、既往文献から収集されたものであり、強震動予測の対象周波数（0.1～10 Hz）で解析された 2011 年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）、2003 年十勝沖地震（Mw7.9）、1994 年三陸はるか沖地震（Mw7.7）をはじめとする過去の Mw6.0～9.0 のプレート境界地震のものであった。これらのプレート境界地震は、東北地方から北海道にかけての日本海溝沿いで発生した地震であった。従来、南海トラフ域で同様の解析を行うことのできるプレート境界地震が発生していなかったためである。南海トラフの震源域上に位置する熊野海盆周辺海域では、国立研究開発法人防災科学技術研究所及び国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）によって地震・津波観測監視システム（DONET１）が整備、運用されている。そのような状況下で、2016 年４月１日に熊野灘で M_{JMA} 6.5 の低角逆断層型のプレート境界地震が発生

した「Wallace *et al.*, 2016」。この地震は、南海トラフで発生したＭ６クラスのプレート境界地震として希有なものであることに加え、DONET１の全観測点において、この地震の強震動が観測された（図３－10－⑤－６）。特に、震源に近い海底観測点では、陸域の観測点に比べ、極めて大きな地震動が観測された。陸上の観測点での観測最大震度は４であったのに対し、E ノードの KME20 では、震度７相当の強震動が記録された(図３－10－⑤－７)。南海トラフでのプレート境界地震の震源特性を検討する上で、滅多に取得することのできない貴重な記録が得られたため、今年度は DONET１の観測記録を解析し、2016 年熊野灘の地震の SMGA 震源モデルを推定した。解析手法は、従来、東北日本のプレート境界地震に適用されてきた手法と同様に、経験的グリーン関数法（「Irikura, 1986」）によるフォワードモデリングを用いた（例えば、「Miyake *et al.*, 2003」)。「Asano and Iwata, 2012」は本手法により、2011 年東北地方太平洋沖地震を対象に４つの SMGA を推定し、各 SMGA の震源パラメータを得ている。本業務においても、「Asano and Iwata, 2012」の手続きに従い、2016 年熊野灘の地震の SMGA のパラメータを強震波形モデリングに基づいて推定した。

観測記録は、DONET１の海底強震計、JAMSTEC 長期孔内観測システムの海底ボアホール強震計（KMDB１）ならびに紀伊半島の広帯域地震観測網 F-net（KIS）及び京都大学防災研究所（SMK）の VSE-355G３強震計の記録を使用した（図３－10－⑤－８）。破壊開始点(震源)位置は、「Wallace *et al.*,2016」によって再決定された位置(33.34999・N, 136.4010・E, 11.37 km）に固定し、SMGA の長さ、ライズタイム、破壊伝播速度、SMGA 内の相対的な破壊開始位置を未知パラメータとして、グリッドサーチにより推定した。経験的グリーン関数として採用した小地震記録は、同日の 13 時４分に発生した M_{JMA} 3.2 の余震記録である。グリッドサーチによる推定結果を図３－10－⑤－９に示す。最適解は、SMGA の長さ 4.5 km、面積 20.3 km^2、ライズタイム 0.32 秒、破壊伝播速度 3.3 km/s であり、主として北に向かって、浅部から深部に破壊が進む破壊様式となった。図３－10－⑤－10 に観測波形と合成波形の比較を示す。この図では、0.4～10 Hz の加速度、速度、変位波形を比較している。海域及び陸域の観測点について、推定された SMGA モデルに基づく合成波形は観測波形の特徴をよく説明している。

SMGA 面積と地震モーメントの関係について、2016 年熊野灘の地震と既往のプレート境界地震の結果を比較した図を図３－10－⑤－11 に示す。東北日本で発生した既往のプレート境界地震（図中の黒丸）と異なり、2016 年熊野灘の地震（図中の黒星印）の SMGA 面積は、同規模の内陸地殻内地震のもの（図中の灰丸）に近いという結果が得られた。このことから、SMGA 面積の地震規模依存性に関して、南海トラフ沿いの地震と東北日本日本海溝沿いの地震では、異なる特徴を有していることが分かった。ただし、南海トラフでの解析事例はこの１例のみであるため、これが南海トラフにおける普遍的な性質と言えるかどうかについては、将来的にさらに事例を積み重ねることで検討を続けていかなくてはならない。また、本成果の利用に際しては、震源モデルの不確実性について注意をすべきである。

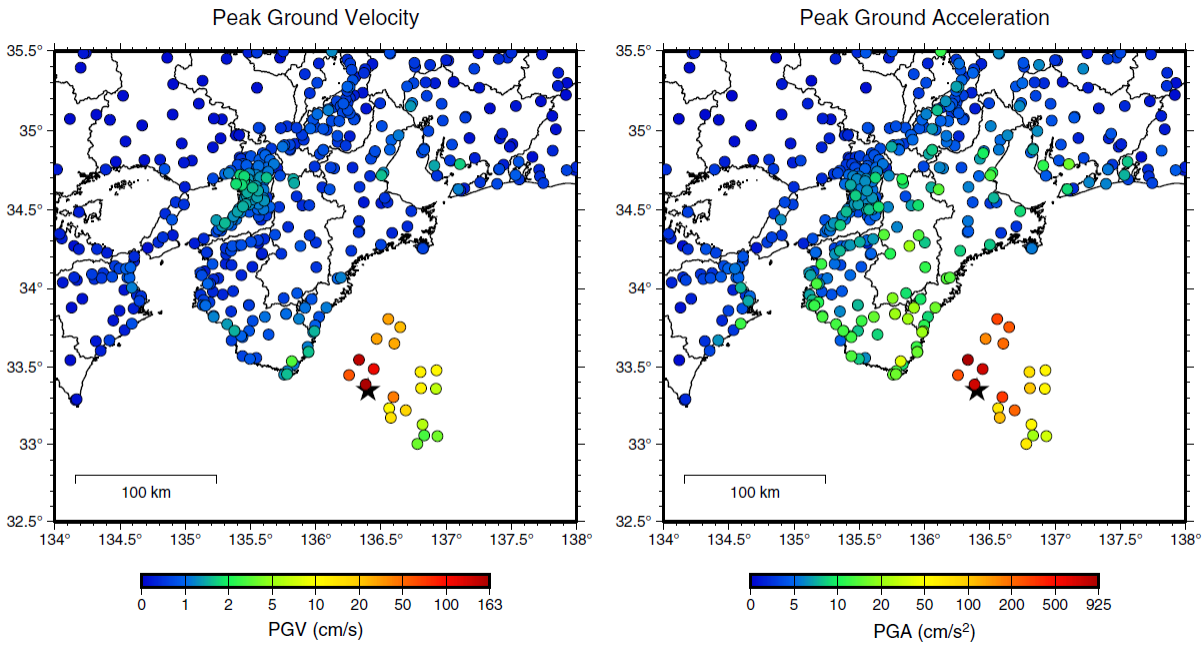


図３－10－⑤－６　2016 年熊野灘の地震で観測された最大速度(左)及び最大加速度(右)の分布。DONET１、K-NET、KiK-net、気象庁、滋賀県、大阪府、和歌山県、兵庫県、徳島県、京都大学防災研究所の強震記録を用いた。

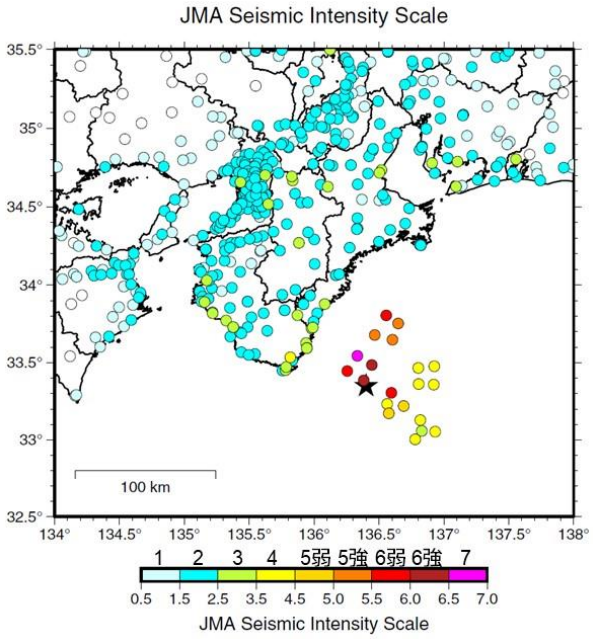


図３－10－⑤－７　2016 年熊野灘の地震での計測震度相当値の分布。DONET１、K-NET、KiK-net、気象庁、滋賀県、大阪府、和歌山県、兵庫県、徳島県、京都大学防災研究所の強震記録を用いた。

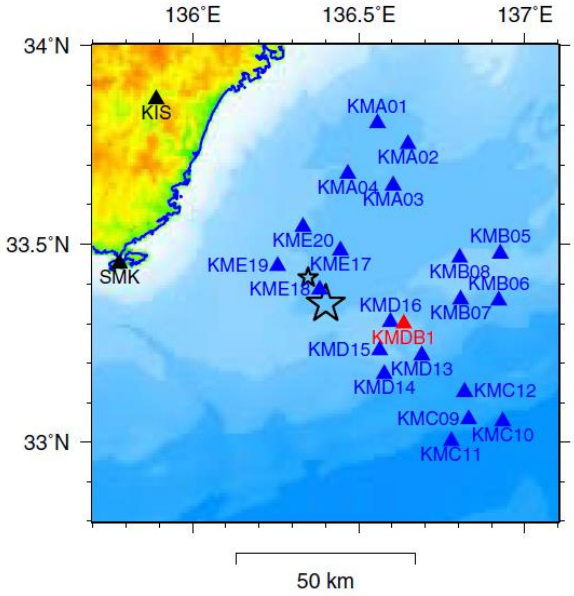


図３－10－⑤－８　2016 年熊野灘の地震及び余震の震央（☆印）、解析に使用した観測点（▲印）。

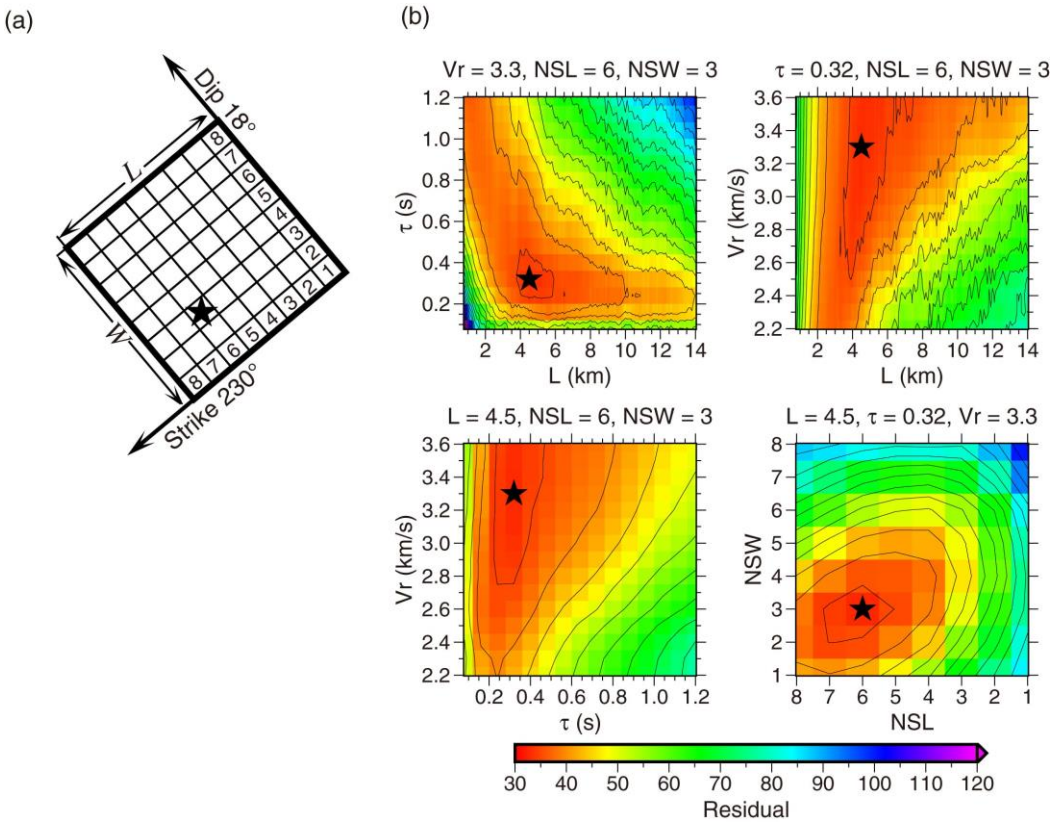


図３－10－⑤－９（a）2016 年熊野灘の地震の震源モデルの概念図。（b）グリッドサーチによるモデルパラメータ空間上の残差分布。★印が最適解を表す。

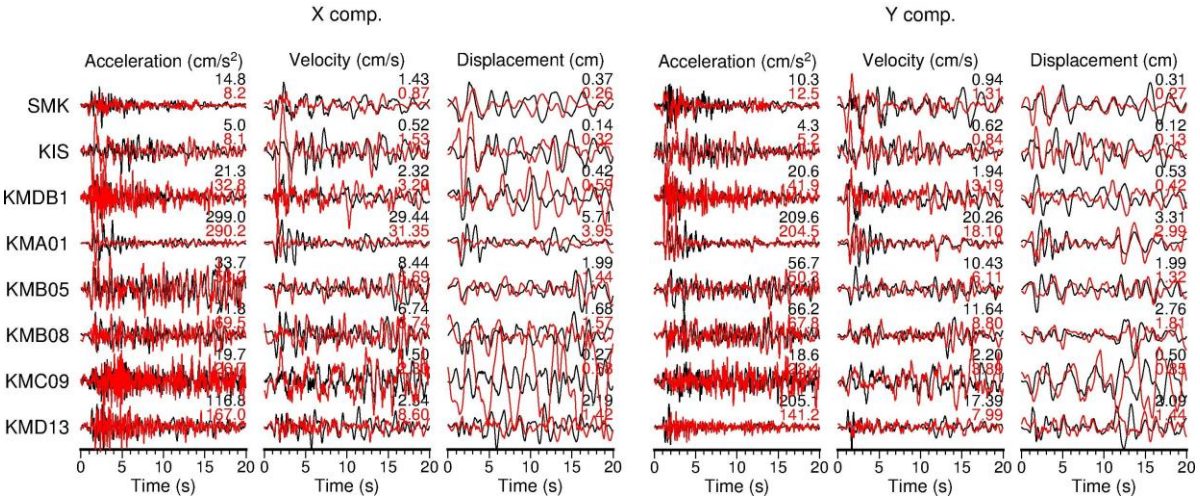


図３－10－⑤－10　観測波形（黒）及び合成波形（赤）の比較。周波数帯は 0.4～10 Hz。

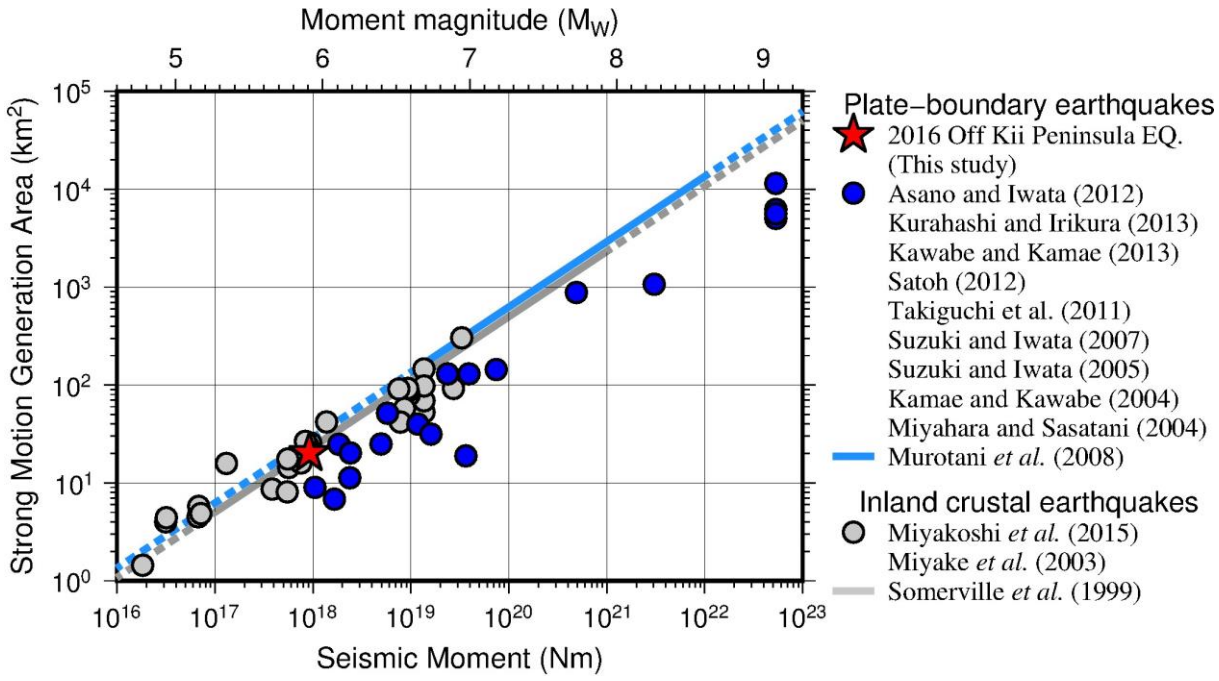


図３－10－⑤－11　強震動生成域の面積と地震モーメントの関係。

(c) 結論ならびに今後の課題

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、今年度は、不均質 SMGA モデルを南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、大阪盆地地域の地震動を計算した。均質 SMGA モデルによる計算波形との比較から、高周波数成分が増強されることがわかった。今後は、破壊伝播など、残る震源パラメータの不均質分布のモデル化を進め、波形モデリングを通して不均質 SMGA モデルの妥当性を検討したい。また、海域と陸域の強震記録を併用し、2016 年４月１日熊野灘の地震（M_{JMA} 6.5）の震源モデルを推定した。得られた震源モデルの SMGA 面積は、20.3 km^2 であり、同規模の内陸地殻内地震と同程度の面積であった。このことから、南海トラフのプレート境界地震は、東北日本のプレ

ート境界地震とは異なる SMGA 面積－地震モーメントの関係を有している可能性が考えられる。

(d) 引用文献

Asano, K. and T. Iwata, Source model for strong ground motion in 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake. Earth Planets Space, 64, 1111-1123, 2012.

Irikura, K., Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function. Proc. of the 7th Japan Earthq. Eng. Symposium, Tokyo, Japan, 151-156, 1986.

Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura, Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area. Bull. Seismol. Soc. Am., 93, 2531-2545, 2003.

中村洋光・宮武隆, 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式. 地震 2, 53, 1-9, 2000.

Pitarka, A., 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 54-68, 1999.

Sekiguchi H, Asano K, Iwata T, Yoshimi M, Horikawa H, Saomoto H, Hayashida T (2016) Construction of 3D velocity structure model of Osaka sedimentary basin. In: Proceedings of the 5th international symposium for effects of surface geology on seismic motion, Taipei, 15-17 August, 2016

古村孝志, ３次元不均質場での波動伝播と強震動シミュレーション, A70, 日本地震学会講演予稿集, 2002 年度秋季大会, 横浜, 2002.

Wallace, L. M., E. Araki, D. Saffer, X. Wang, A. Roesner, A. Kopf, A. Nakanishi, W. Power, R. Kobayashi, C. Kinoshita, S. Toczko, T. Kimura, Y. Machida, and S. Carr, Near-field observations of an offshore Mw 6.0 earthquake from an integrated seafloor and subseafloor monitoring network at the Nankai trough, southwest Japan. J. Geophys. Res., 121, 8338-8351, 2016.

⑥強震動・津波・地殻変動シミュレーションに基づく地震・津波ハザードの評価

(a) 業務の要約

南海トラフ巨大地震による長周期地震動評価の高度化のために、関東平野を対象として、震源モデルの多様性が長周期地震動の生成・伝播に与える影響と、これによる都心部での長周期地震動の推定の変動（バラツキ）の大きさを評価した。震源断層モデルの違いによる地震波の放射特性の変動に加えて、関東平野の３次元不均質構造による地震波の伝播・増幅特性の影響を加味し、都心における長周期地震動の生成と変動要件を総合的に検討した。2011 年東北地方太平洋沖地震を含む、日本海溝沿いで起きる地震では、その震源メカニズムにより関東方向への表面波の放射が弱いこと、加えて、表面波の入射方向にあたる関東平野の北東側の緩やかな基盤構造は表面波の強い増幅を起こ

さないことが確認できた。一方、2004 年新潟県中越地震や想定される南海トラフ地震のように、関東平野の北西～西側で起きる地震では、これらの地域の地震で特徴的な震源メカニズムによる地震波放射特性から関東平野への長周期地震動の入射が大きいこと、さらにこれらの地震では震源メカニズムが多少変動しても、平野の北西側に溝状に延びた基盤構造が表面波を捉え、都心へと表面波を誘導する効果により、いつも長周期地震動が大きくなることを確認した。

地震直後に東京大学地震研究所によって行われた 1944 年東南海地震(M_{JMA} 7.9)、1946 年南海地震（M_{JMA} 8.0)、1945 年三河地震（M_{JMA} 6.7)、1948 年福井地震（M_{JMA} 7.1）の震度アンケート調査の結果を再検討することにより得られた高密度な震度分布から、これらの地震の不均質断層モデルを推定した。1944 年東南海地震では熊野灘と遠州灘東部において地震波が強く放射された領域（以下、「アスペリティ」）を持つ不均質断層モデルが推定され、1946 年南海地震では高知県沖と紀伊水道沖にアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。1945 年三河地震については、震源付近から仮定した断層面の南東浅部にかけてアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。1948 年福井地震については、震源付近の仮定した断層面の深部から南部の浅い領域にかけてのアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。本研究で推定された不均質断層モデルのアスペリティ分布と既往研究のそれとは良い一致を示し、高密度に得られたアンケート震度分布から、特に内陸地震に関して、その震源モデルを高い精度で得ることが可能であることが確認された。

三重県において、1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1944 年昭和東南海地震に関する文献資料の調査と収集を行った。その結果、度会郡南伊勢町棚橋竈にいて宝永・安政・昭和の被害比較が可能であることが分かった。また、今年度の文献資料調査から、新たな津波高測定地点の候補が複数点確認された。三重県度会郡南伊勢町五ヶ所浦区、相賀区、奈屋浦区、河内区、古和浦区、棚橋竈区において、昭和東南海地震津波による津波高を測定した。その結果、旧南勢町（五ヶ所湾地域）で７地点、旧南島町で９地点の 1944 年東南海地震の津波高が得られた。そのうち５地点は遡上高である。五ヶ所浦区・古和浦区の浸水高は３ｍ程度、奈屋浦区のそれは４ｍ程度であった。

(b) 業務の成果

1) 関東平野における長周期地震動生成の方位依存性評価

関東平野における長周期地震動の生成・増幅には、強い震源方位依存性がある。そして、東北の方位で発生する地震では、他の方位の地震と比較して長周期地震動の生成強度が弱いことが指摘されている（「古村, 2014」、「Furumura, 2014」)。

こうした、長周期地震動生成の特徴的な方位変動を作り出す原因として、関東平野の３次元不均質構造における長周期地震動（表面波）の伝播・増幅特性に加え、震源から関東平野に向けての長周期の地震波（表面波）の放射指向性（Radiation pattern）が影響していると考えられる。2004 年新潟県中越地震や 2007 年新潟県中越沖地震のように、東北日本で発生する内陸地震には、地殻の広域応力場を反映して北西-南東圧縮の逆断層の震源メカニズムを持つものが多く、これらの地震では震源から関東平野

方向に向けて SV 波（Raleigh 波）の放射が強い。一方、太平洋岸の地震でからは関東方向への SV 波の放射が弱いことが、長周期地震動生成の方位依存性を作る原因と考えられる。

そこで、2004 年新潟県中越地震(M6.8; h=５km)と 2011 年福島県浜通りの地震(M6.6, h=８km）を対象に、震源メカニズム（断層の走向）を変えた地震波伝播シミュレーションを実施して、都心での長周期地震動の速度応答スペクトルの変動を調べた。計算には、全国１次地下構造モデル（JIVSM「Koketsu *et al.*, 2012」）を用い、都心における周期７秒前後の長周期地震動を３次元差分法シミュレーションに基づき評価した（図３-10-⑥-１）。震源断層は 24 km×13 km の矩形型とし、200×200 個の点震源を断層面上に配置して周期１秒のパルス幅を持つ地震波を放射させることで、Mw6.8 規模の地震断層運動をモデル化した。新潟県中越地震の逆断層型の震源メカニズムは防災科学技術研究所の F-net 解（走向 212 度、傾斜角 47 度、すべり角 90 度）を採用した。また、福島県浜通りの地震のシミュレーションについても同様に、走向 132 度、傾斜角 50 度、すべり角-80 度の正断層型の解を用いて計算を行った。

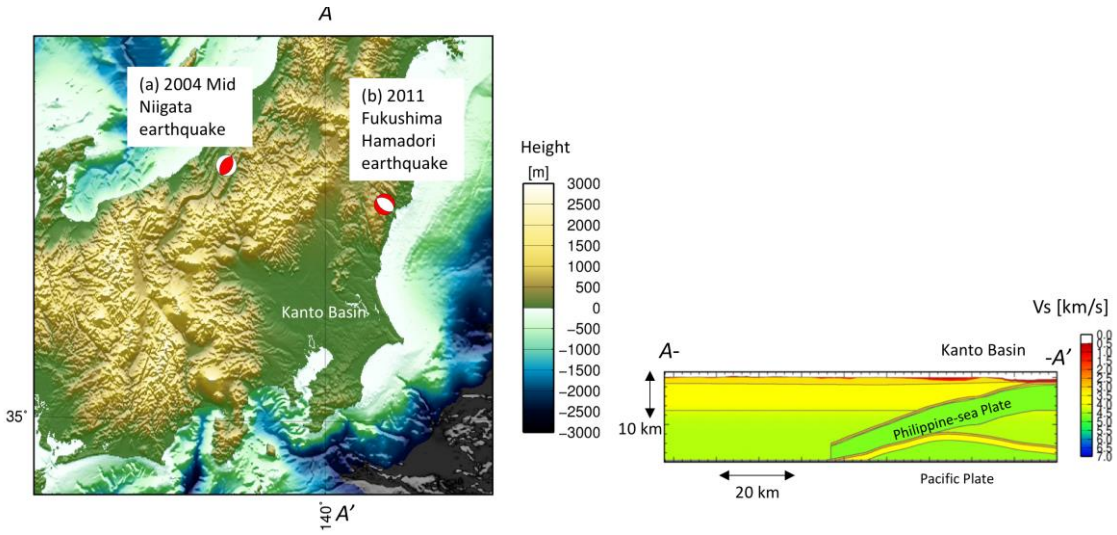


図３-10-⑥-１　３次元差分法に基づく長周期地震動の計算領域とその鉛直（A-A’）断面。2004 年新潟県中越地震（M6.8; h=８km）と 2011 年福島県浜通りの地震（M6.6, h=８km）の震源メカニズム（防災科学技術研究所 F-net による）を示す。

図３-10-⑥-２に差分法シミュレーションから求められた、２つの地震の長周期地震動の伝播のスナップショット（地震発生から 48 秒と 90 秒後）を示す。計算された地震波形速度成分と観測波形の特徴（長周期地震動の卓越周期、継続時間、速度応答スペクトルレベルなど）が良く一致することを確認した。

新潟県中越地震の震源断層から放射された地震波が関東平野に入射し、厚い堆積層で強く増幅され、都心に大振幅かつ長時間継続する揺れが作り出される様子が確認できる（図３-10-⑥-２(a)）。一方、福島県浜通りの地震（図３-10-⑥-２(b)）からは、関東方向に向け南東―北西方向への地震波の放射が強く、南南西方向の関東平野に向けての地震波放射が弱い。その結果が、新潟県中越地震と比べて、都心での長周期地

震動の強度が弱めていると判断できた。

次に、新潟県中越地震と福島県浜通りの地震について、それぞれ断層走向を 45 度ずつ回転させた８個の仮想震源モデルを用いて差分法シミュレーションを実施し、関東平野の中央に位置する川越地点（SIT009 観測点）での速度波形と速度応答スペクトルの変動を調査した。

新潟県中越地震では、実際の震源の断層走向を 180 度回転させた場合に関東平野内での長周期地震動のレベル（固有周期７秒での速度応答スペクトル値）が最も大きくなることが確認された。この断層走向は、関東平野方向への SV 波（又は Rayleigh 波）の放射強度が強い方向に対応する。逆に、断層走向を 45 度、又は 315 度回転させ、関東平野への SV 波の放射を弱くした場合には、関東平野での長周期地震動のレベルが 1/2 程度に小さくなることを確認した。

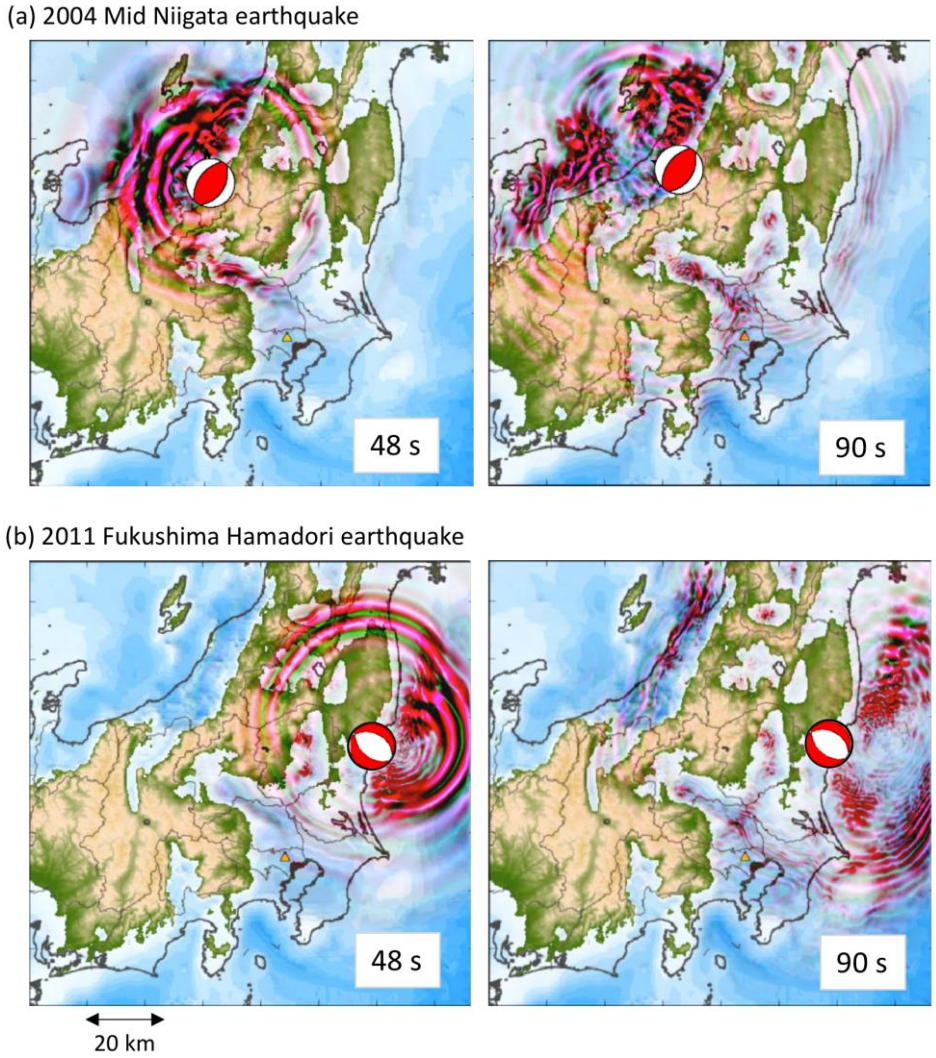


図３−10−⑥−２　３次元差分法シミュレーションにより求められた、地震波動場のスナップショット。地震発生から 48 秒後と 90 秒後。赤は水平動、緑は上下動の揺れを表す。（a）2004 年新潟県中越地震、（b）2011 年福島県浜通りの地震。

それぞれの計算結果から得られた川越地点での速度応答スペクトルを比較すると、

断層メカニズム（走向）の回転と SV 波の放射パターンの変化に合わせて、都心の長周期地震動の速度応答スペクトル値が変動する際に、その挙動は連続的ではなく、ある走向を越えると応答レベルの大小が急激に変動し、速度レベルの大／小のグループに二極化することが分かった。地震波伝播のスナップショットを確認したところ、震源から放射された長周期の地震動は、関東平野の北西方向の（熊谷～高崎にかけての）の溝状の厚い（>3000 m）堆積構造（低速度帯）に周囲の岩盤構造（高速度帯）から“吸い込まれる”ように集まり、強く増幅される特徴が確認できた（図３-10-⑥-２(a)）。そして、溝状構造による地震波の集中と増幅は、断層走向の変動により地震動の放射パターンが多少変動しても、いつも起きることが分かった。そして、断層走向の回転が大きくなり、溝状構造に対して長周期の地震動がほとんど放射されない状態になると初めて増幅が止まり、都心での長周期地震動レベルが急激に低下することが分かった。すなわち、この溝状構造に長周期の地震波が捉えられるか否かが都心の長周期地震動のレベルに大きく影響するものと考えられる。

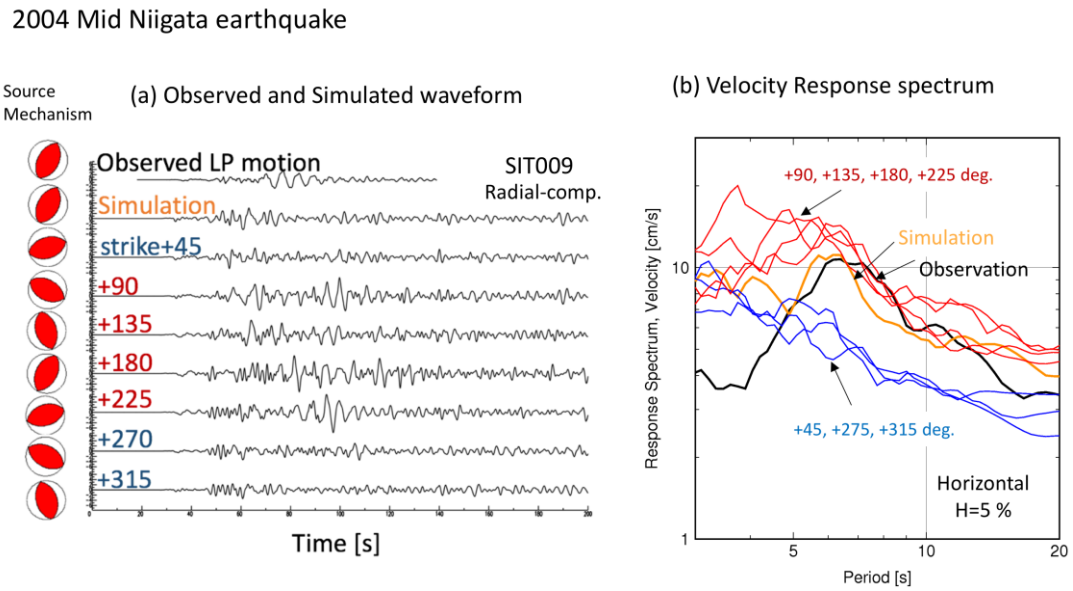


図３-10-⑥-３　2004 年新潟県中越地震と、走向を回転させた仮想地震を用いた長周期地震動のシミュレーション結果。K-NET SIT009 観測点（川越地点）での速度波形 Radial 成分と速度応答スペクトル（水平動、減衰定数＝５％）の比較。黒は観測波形、オレンジはシミュレーション波形を表す。赤と青は断層走向を回転させた場合のシミュレーション結果。青は長周期地震動が弱いグループ、赤は大きいグループを表す。

図３-10-⑥-４に、2011 年福島県浜通りの地震の断層メカニズムを回転させた、仮想地震のシミュレーション結果を示し、観測との速度波形及び速度応答スペクトルと比較する。この地震では関東平野への SV 波（Rayleigh 波）の放射が弱く、断層走向を回転させた８つの仮想震源の計算結果と比較しても、その中の最も小さいものに相当することが確認できた。この地震において、都心で観測された長周期地震動の速度応答レベルは、断層走向を 90 度回転させた仮想震源による計算結果の数分の１程度となった。そして、長周期地震動の速度応答レベルは、断層走向を 225 度回転させ場合

に、最も大きくなり、観測の 1.5 倍程度となることも確認した。

福島県浜通りの地震の断層走向の変動と都心での長周期地震動レベルの変動のリンクは、先に述べた新潟県中越地震のものと異なることもわかった。この地震では、断層走向の変化とともに都心での長周期地震動のレベルは直接的に変動し、震源からの地震波の放射強度にそのまま反映していることが考えられる。これは、関東平野の北東側からの地震波の入射において、先に述べたような局所的な構造異常（溝状の堆積層構造）がなく、平野中央に向けて基盤が緩やかに深くなるシンプルな構造であることで、長周期の地震動がそのまま都心へと伝わるためと説明づけられる。

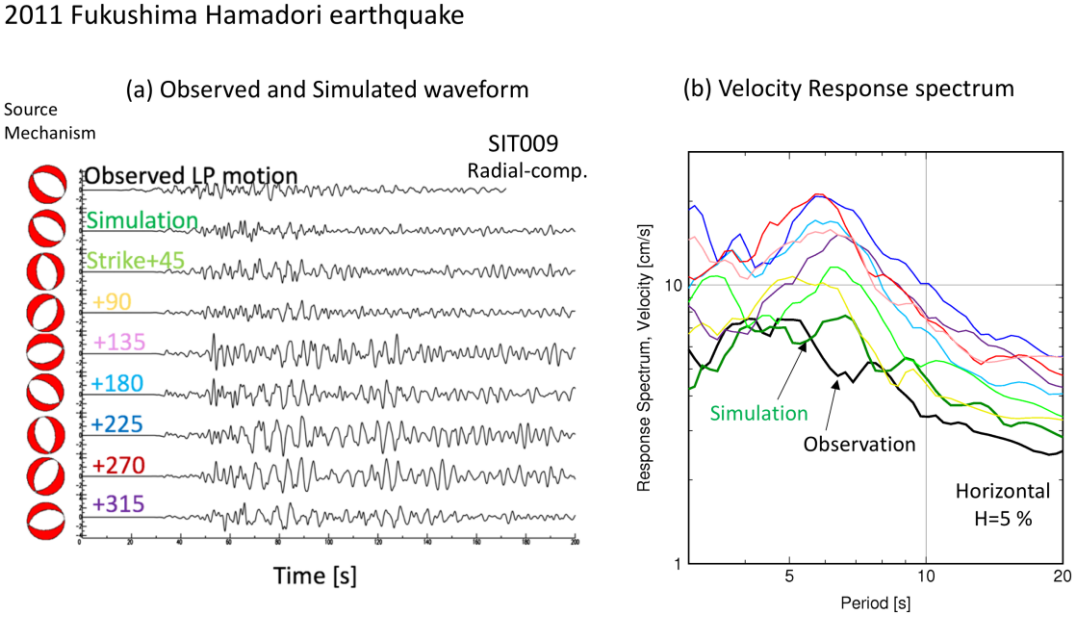


図３-10-⑥-４　2011 年福島県浜通りの地震と、走向を回転させた仮想地震を用いた長周期地震動のシミュレーション結果。K-NET SIT009 観測点（川越地点）での速度波形 Radial 成分と速度応答スペクトル（水平動、減衰定数＝５％）の比較。黒は観測波形、緑はシミュレーション波形を表す。その他は、断層走向を回転させた場合のシミュレーション結果を表す。

2)　アンケート震度調査に基づく過去地震の震源モデル推定

平成 28 年度までに、地震直後に東京大学地震研究所によって行われた 1944 年東南海地震（M_{JMA} 7.9）、1946 年南海地震（M_{JMA} 8.0）、1945 年三河地震（M_{JMA} 6.7）、1948 年福井地震（M_{JMA} 7.1）の震度アンケート調査の結果の再検討を行った結果、中央気象台（気象庁）によって発表されている震度分よりも高密度の震度分布が得られた。図３-10-⑥-５～図３-10-⑥-８は、1944 年東南海地震、1946 年南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地震のアンケート震度分布を示す。図３-10-⑥-５の 1944 年東南海地震のアンケート震度ついては、濃尾平野や諏訪盆地内において高密度なアンケート震度を得ることができたが、アンケート回収の密度にムラがあったために、気象庁の震度分布と統合している。図３-10-⑥-６の 1946 年南海地震については、「中央気象台，1953」によって報告されている震度が 585 点であるのに対して、1011 点の非常に高密

度なアンケート震度データを得ることができた。さらに、図３−10−⑥−７、図３−10−⑥−８に示すように、三河地震と福井地震についても、気象庁の震度分布がほとんど報告されていない震源域周辺において高密度に得られ、これらの地震の断層モデルの精度の高い明確化に利用できることが期待できる。

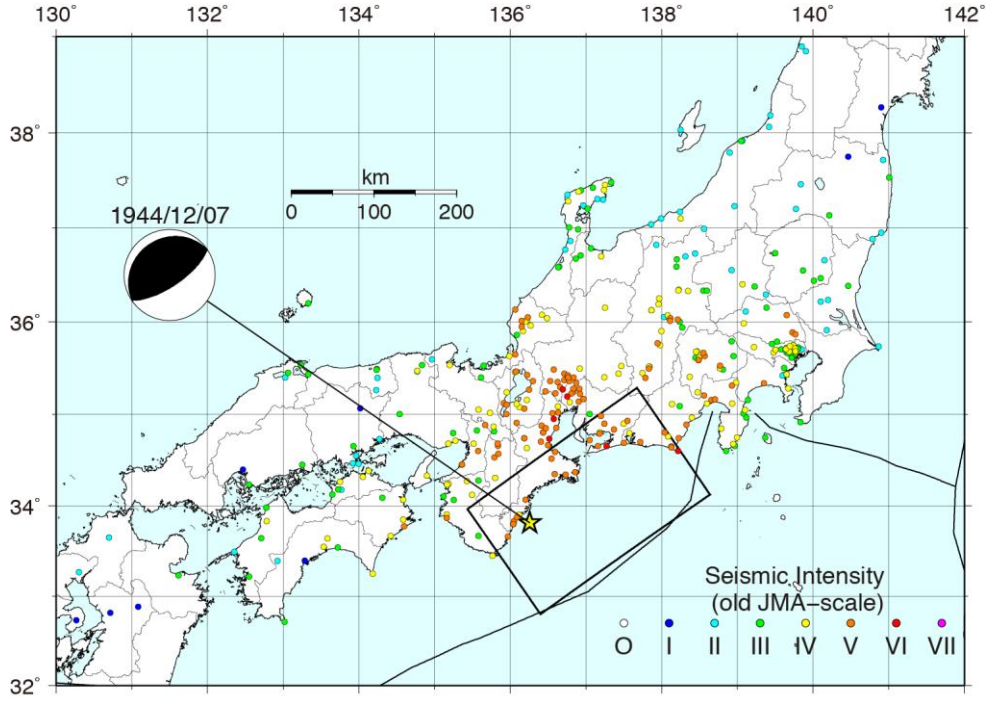


図３−10−⑥−５　1944 年東南海地震のアンケート震度分布と「中央気象台，1951」による震度分布（370 点）。星印と矩形は、それぞれ本震の震央と仮定した断層面を示す。

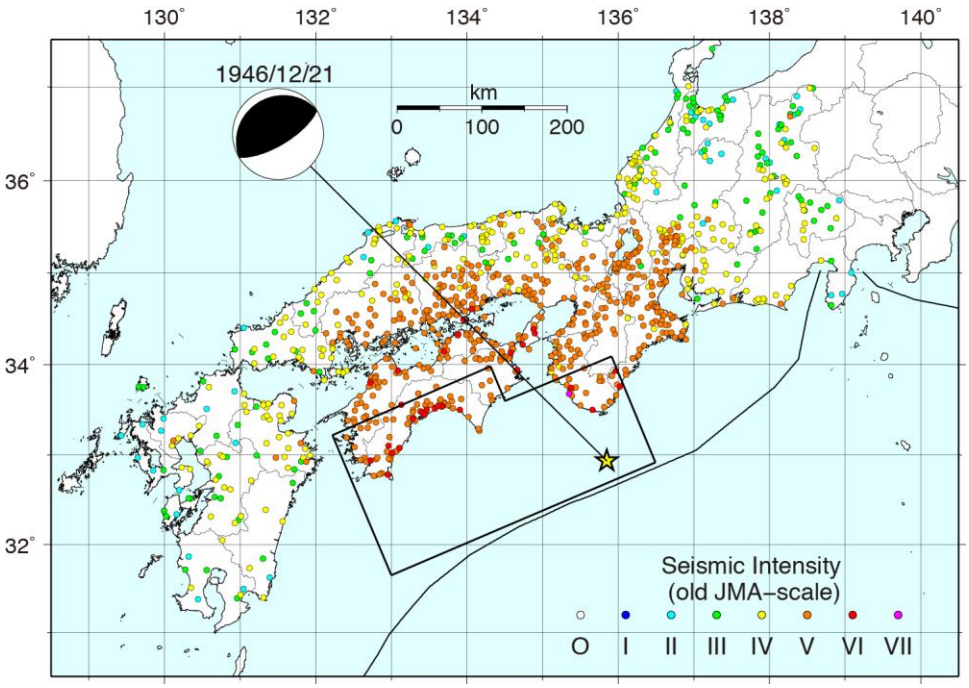


図３−10−⑥−６　1946 年南海地震のアンケート震度分布（1011 点）。星印と矩形は、そ

れぞれ本震の震央と仮定した断層面を示す。

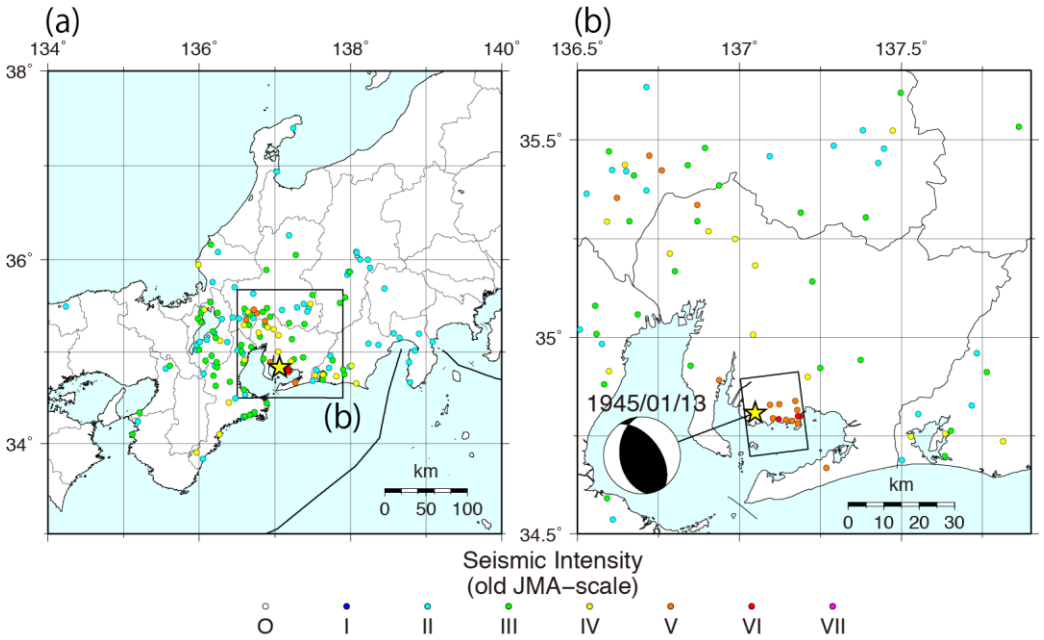


図３−10−⑥−７　1945 年三河地震のアンケート震度分布（149 点）。星印と矩形は、それぞれ本震の震央と仮定した断層面を示す。

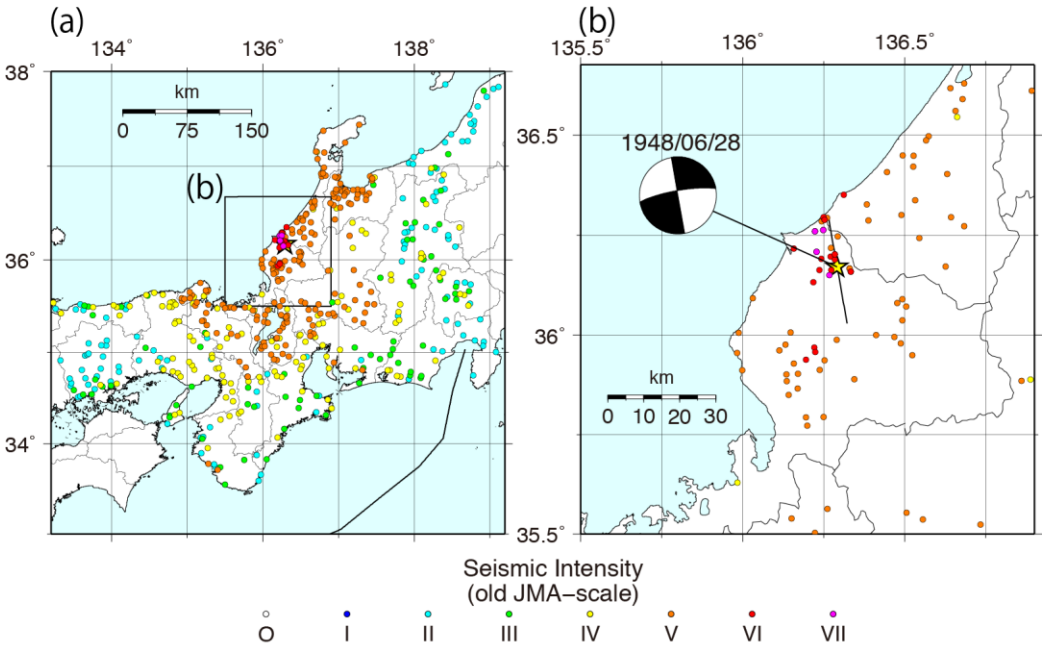


図３−10−⑥−８　1948 年福井地震のアンケート震度分布（545 点）。星印と直線は、それぞれ本震の震央と仮定した断層面の上端を示す。

本年度では、1944 年東南海地震、1946 年南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地震について、前年度までに得られたアンケート震度分布を用いてこれらの地震の震源モデルの明確化、すなわち、これらの地震の不均質断層モデルを推定した。不均質

の推定には、「司・翠川，1999」による地震動の最大速度と最大加速度の距離減衰式を用いた。この距離減衰式では、等価震源距離を考えることにより、断層面上の不均質を考慮した地震に対する地震動の最大速度と最大加速度を評価することができる。したがって、「神田・武村，2003」、「神田・武村，2004」で行われたように、震度分布から等価震源距離を計算する際に用いる断層面の不均質を逆に推定するという方法をとった。

具体的には、以下の手続きで震度の計算を行った。まず、「司・翠川，1999」の距離減衰式をもちいて、S 波速度 600m/s の硬質地盤における地震動の最大速度を計算する。次に、「松岡・翠川,1994」による表層地盤の速度増幅度算定式を用いて、S 波速度 600m/s の硬質地盤から S 波速度 400m/s に相当する工学的基盤における地震動の最大速度を計算する。そして、地表における地震動の最大速度を J-SHIS（Japan Seismic Hazard Information Station）の表層地盤データを用いて計算し、これから「藤本・翠川,2005」の式を用いて震度を計算した。1945 年三河地震と 1948 年福井地震による震度の計算に際して、断層破壊伝播による地震波の指向性（Directivity）と地震波の放射指向性（Radiation pattern）による効果を、「香川，2009」による評価式を用いて考慮した。なお、1944 年東南海地震と 1946 年南海地震については、「香川，2009」の評価式の適応外であるために、これらの効果を考慮しなかった。

本研究で考慮した Directivity と Radiation pattern の「香川，2009」による評価式には断層の不均質が考慮されているので、不均質断層モデルの推定には、「神田・武村，2003」、「神田・武村，2004」が行ったような線形インバージョンによって求めることができない。したがって、本研究では、モンテカルロ法を用いて不均質断層モデルを推定した。具体的には、仮定した断層面上を複数の小断層に分け、それぞれの小断層に、断層面全体での総和が 1.0 になるように 0.0～1.0 の重みを乱数で与えた不均質断層モデルを 100,000 通り仮定し、その中から、計算された震度とアンケート震度との残差の二乗和が最小になるような不均質断層モデルを最適なモデルとして採用した。なお、1945 年三河地震と 1948 年福井地震については、「武村，1990」の式を用いて、気象庁マグニチュード（M_{JMA}）からモーメント・マグニチュード（M_W）を求めた。1944 年東南海地震と 1946 年南海地震に関しては、複数の M_W を仮定して不均質断層モデルを計算し、計算震度とアンケート震度との残差が最小になるような M_W を求めた。

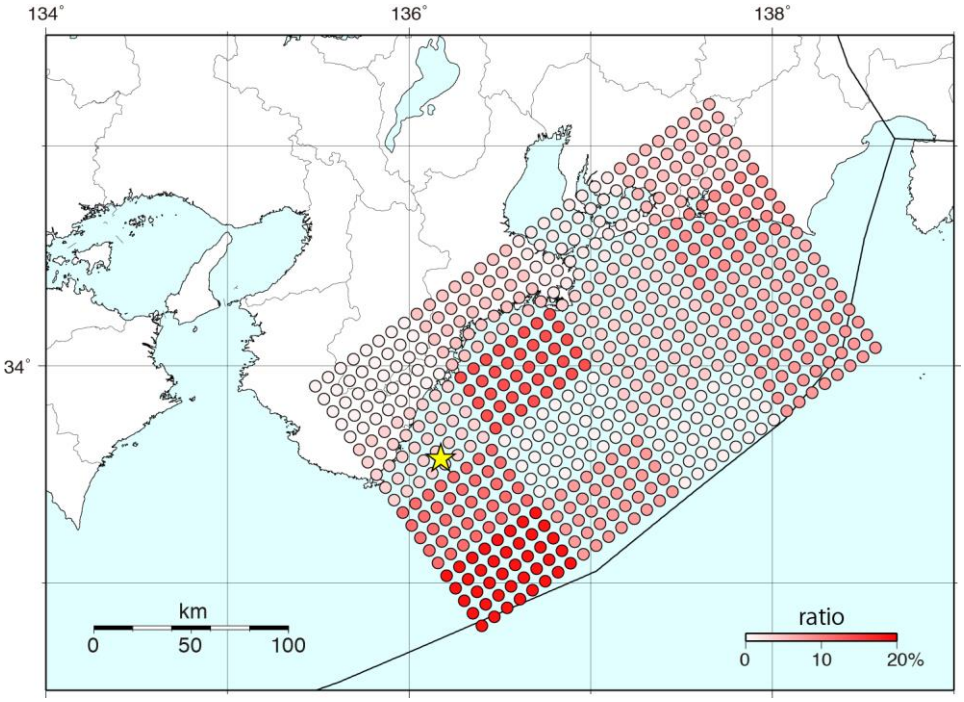


図３-10-⑥-９　推定された 1944 年東南海地震の不均質断層モデル。色の濃さは地震波放射強度を示す。

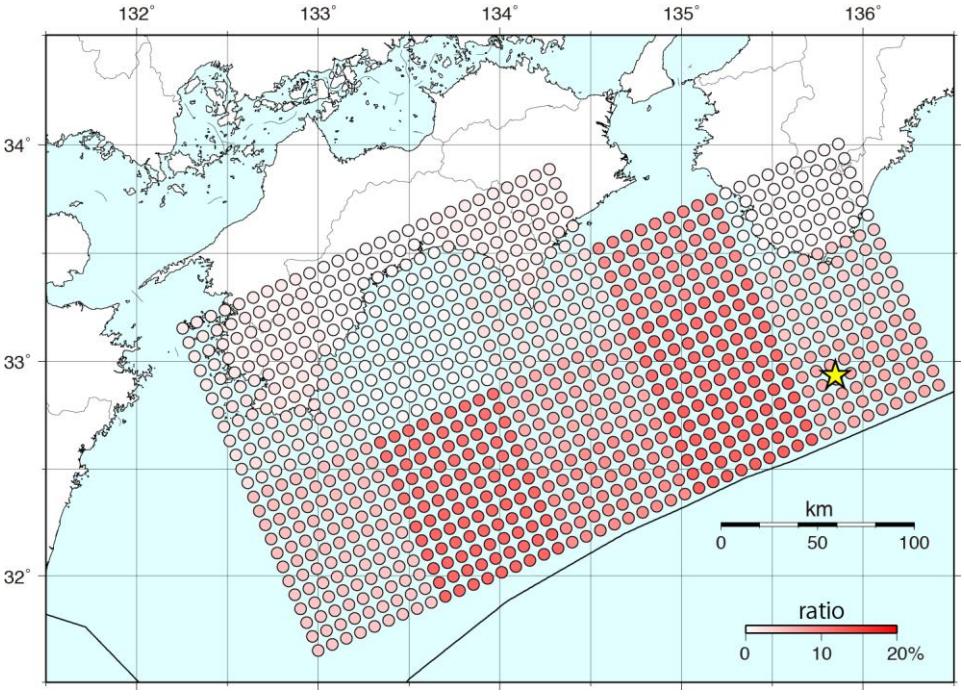


図３-10-⑥-10　推定された 1946 年南海地震の不均質断層モデル。色の濃さは地震波放射強度を示す。

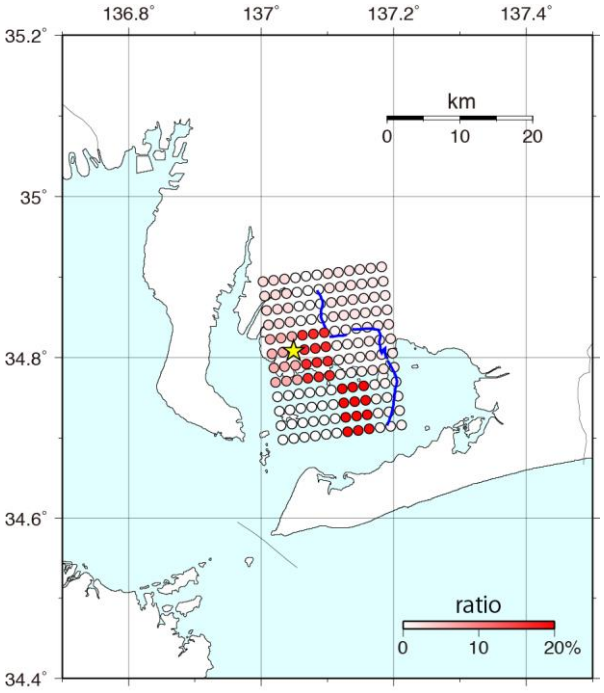


図３−10−⑥−11　推定された 1945 年三河地震の不均質断層モデル。色の濃さは地震波放射強度を示す。青線は地表地震断層の地表トレース。

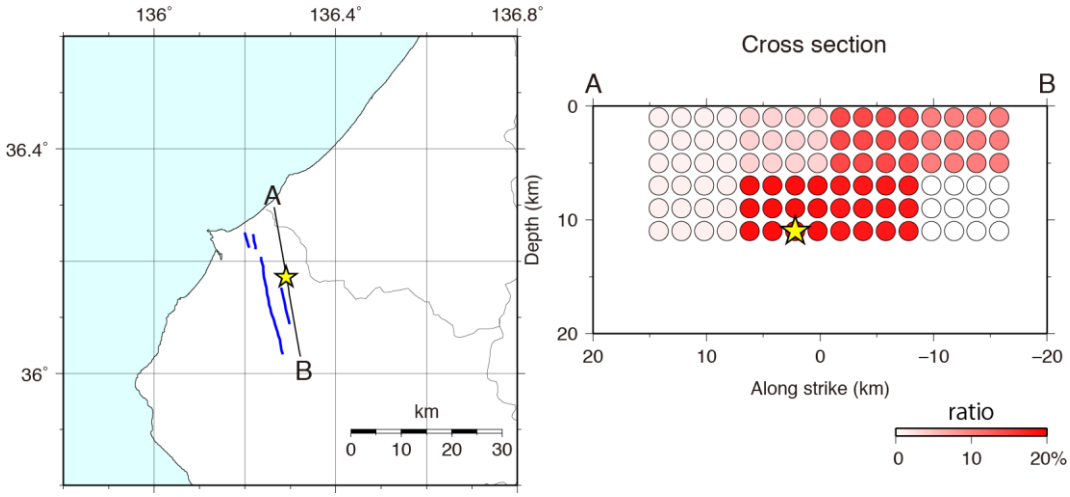


図３−10−⑥−12　推定された 1948 年福井地震の不均質断層モデル。色の濃さは地震波放射強度を示す。青線は活断層の地表トレース。

図３−10−⑥−９～図３−10−⑥−12 に、本研究で推定された 1944 年東南海地震、1946 年南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地震の不均質断層モデルを示す。さらに、図３−10−⑥−13～図３−10−⑥−16 は、本研究で推定された 1944 年東南海地震、1946 年南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地震の不均質断層モデルから計算された震度分布である。1944 年東南海地震については、熊野灘と遠州灘東部において地震波が強く放射された領域（以下、「アスペリティ」）を持つ不均質断層モデルが推定された（図３−10−⑥−９）。本研究によって推定された２つのアスペリティは、「神田・武村, 2003」

によって推定されたそれらと近い位置に分布している。推定された 1944 年東南海地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（図３-10-⑥-13）について、特に震度 V の分布についてはアンケート震度の分布（図３-10-⑥-８）と比較的良い対応を示していることが分かる。1946 年南海地震については、高知県沖と紀伊水道沖にアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された（図３-10-⑥-10)。これらのアスペリティ分布は、「神田・武村，2003」によって気象庁震度震度のインバージョンによって求められた短周期地震波発生域とほぼ同じ位置に推定されていることが分かった。推定された 1946 年南海地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（図３-10-⑥-14）について、計算された震度 V の分布範囲は、震度 V のアンケート震度分布（図３-10-⑥-６）と比べて小さくなっている。一方、計算された震度 IV の範囲は、アンケート震度 IV の範囲と比べて広く分布している。1945 年三河地震については、震源付近から仮定した断層面の南東浅部にかけてアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された（図３-10-⑥-11)。そして、推定されたアスペリティと「山中，2004」によって近地地震波から推定された大すべり域が比較的近い位置にあることが分かった。推定された 1945 年三河地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（図３-10-⑥-15）について、計算された震度 V の分布範囲は、震度 V のアンケート震度分布（図３-10-⑥-６）と比べてやや広く分布している。1948 年福井地震については、震源付近の仮定した断層面の深部から南部の浅い領域にかけてのアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された（図３-10-⑥-12)。このアスペリティの位置と「菊地・他，1999」による地震波インバージョンによって推定されたアスペリティの位置は、ほぼ一致することが分かった。推定された 1948 年福井地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（図３-10-⑥-15）について、計算された震度 V の分布範囲は、震度 V のアンケート震度分布（図３-10-⑥-６）の範囲と比べて小さい。したがって、高密度に得られたアンケート震度分布から、特に内陸地震に関して、その震源モデルを高い精度で明確化することが可能であることが分かった。

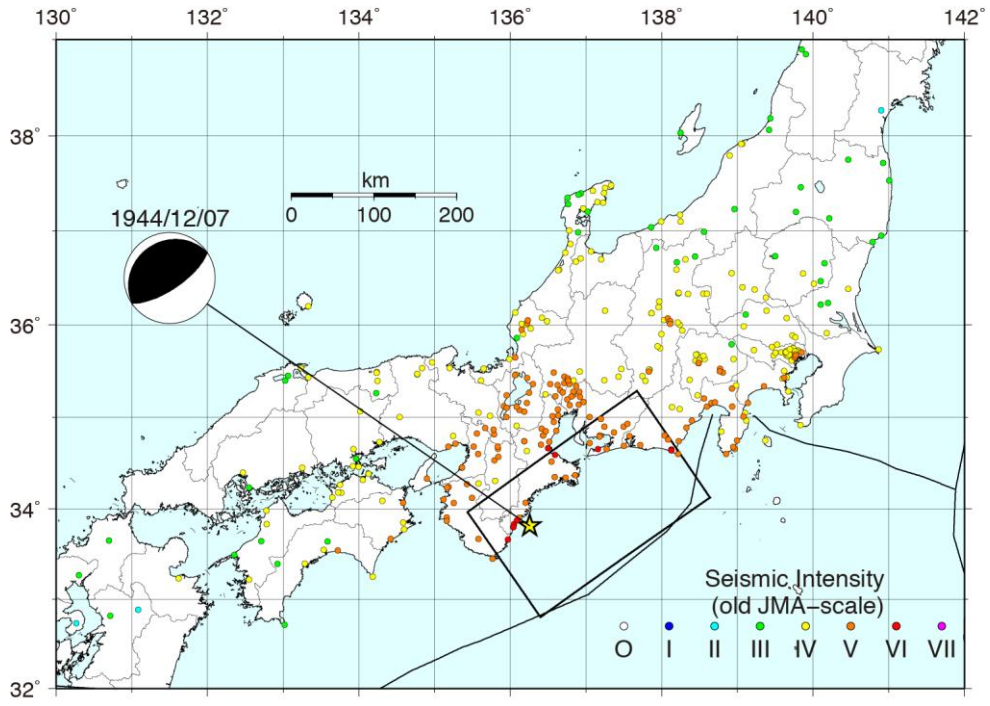


図３−10−⑥−13　推定された 1944 年東南海地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（370 点）。図中の記号は図３−10−⑥−５と同じ。

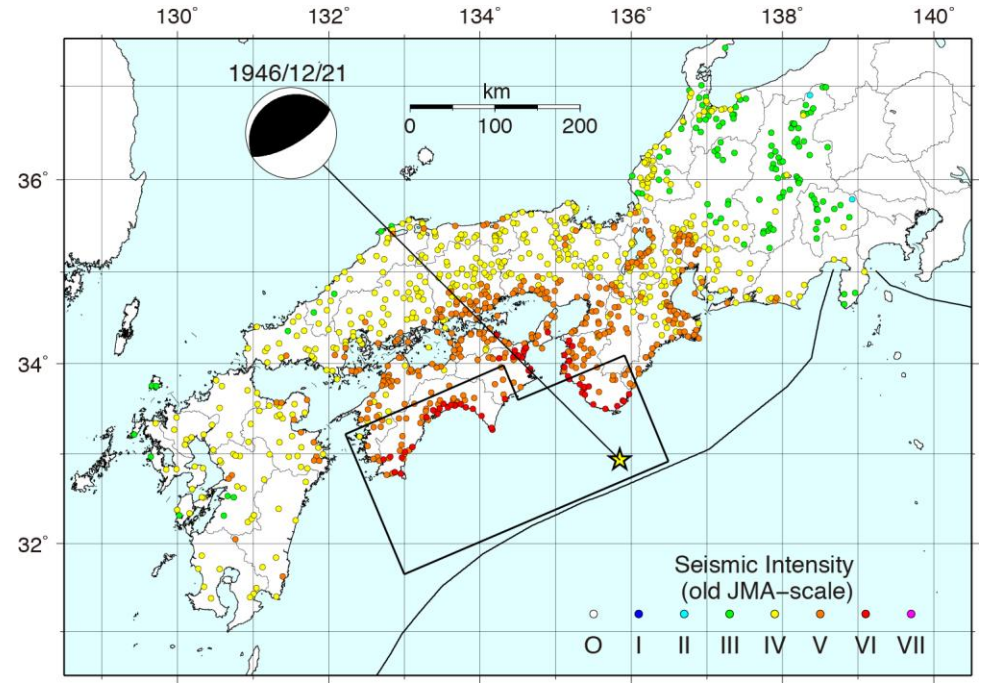


図３−10−⑥−14　推定された 1946 年南海地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（1011 点）。図中の記号は図３−10−⑥−６と同じ。

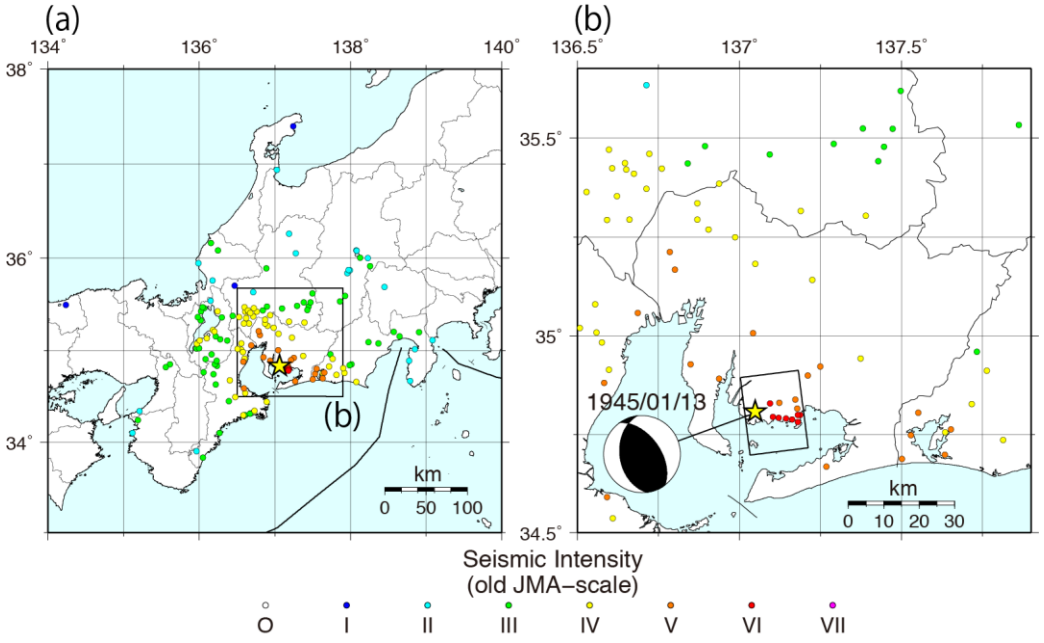


図３−10−⑥−15　推定された 1945 年三河地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（149 点）。図中の記号は図３−10−⑥−７と同じ。

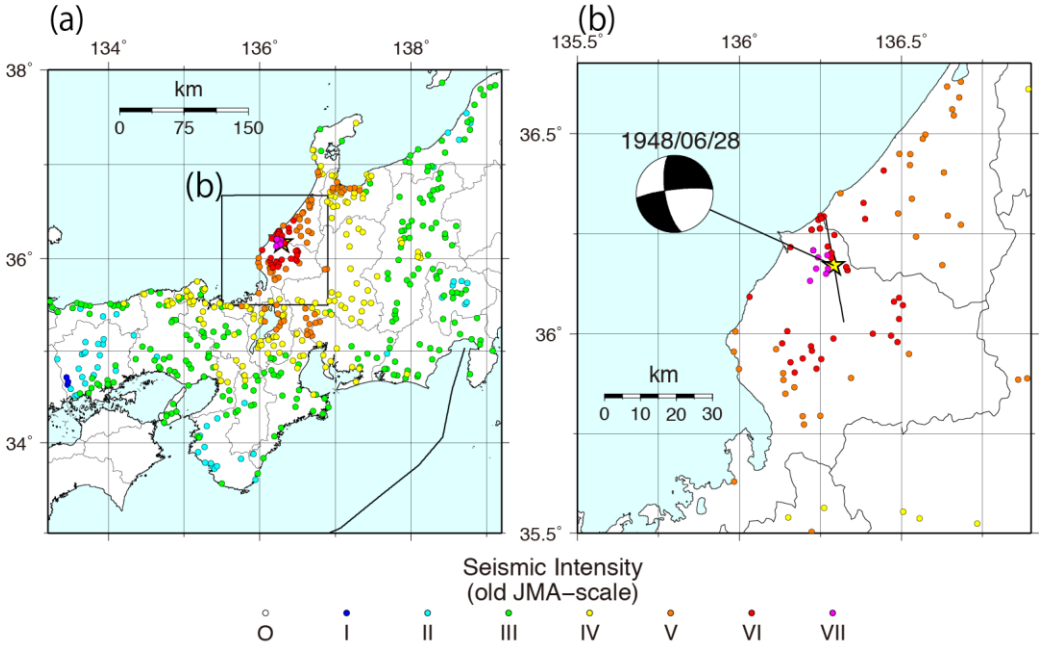


図３−10−⑥−16　推定された 1948 年福井地震の不均質断層モデルから計算された震度分布（545 点）。図中の記号は図３−10−⑥−８と同じ。

三重県において、1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1944 年昭和東南海地震に関する文献資料の調査と収集を行った。三重県南伊勢町棚橋竈地区においては、1944 年東南海地震当時の同地区における住民の動向についての詳細な記録『棚橋竈の東南海津波記』を確認し、複写収集した。地震発生の 43 年後に作成されたものであるが、被災者に直接取材して作成されており、その詳細さも含め非常に貴重な文献である。

また、1707 年宝永地震による同地区における被害状況を記録した『宝永四年十月四日ニ大地震津浪上り候時地下中人数覚帳』を確認し、複写収集した。この史料は戸別に人的被害をまとめたもので、被害状況を復元する上で有効な史料が少ない宝永津波にあって当史料は貴重であり、また棚橋竈における宝永・安政・昭和の地震被害の比較が可能であることが分かった。また、今年度の文献資料調査から、新たな津波高測定地点の候補が複数点確認された。

三重県度会郡南伊勢町五ヶ所浦区、相賀区、奈屋浦区、河内区、古和浦区、棚橋竈区において、レーザー距離計を用い、昭和東南海地震津波による津波高を測定した。測定には、おもに当該地区住民の聞き取り調査結果を使用した。1944 年東南海地震発生から 70 年以上経っているが、当該地域には地震経験者が多数住居しており、聞き取り調査結果であるが比較的信頼性の高い浸水高・遡上高が得られた。また、五ヶ所浦区の山本家、河内区の加藤家では、1944 年東南海地震による津波痕跡を確認し、浸水高を計測した。測定にはレーザー距離計 TruPulse360 を用い、2500 分の 1 地形図記載の標高点を基準として行った。浸水高は「行谷・都司, 2005」を参考にして推定した。本年度の津波高測定の結果、旧南勢町（五ヶ所湾地域）で７地点、旧南島町で９地点の 1944 年東南海地震の津波高が得られた。そのうち５地点は遡上高である。五ヶ所浦区および古和浦区の浸水高は、３m 程度であった。奈屋浦区では４m 程度となった。

(c) 結論ならびに今後の課題

関東平野における長周期地震動の生成強度の方位変動には、日本の各地の応力場に反映した地域毎の地震の震源メカニズムに対応した地震波(表面波)放射パターンと、関東平野の方位との関係に加え、関東平野に入射した長周期地震動（表面波）の増幅特性に方位性が、の二つの影響が大きいと結論づけられた。

新潟県中越地震のように、関東平野の北西方向で起きる地震では、関東平野への長周期の地震動の放射が強く、さらに平野の北東部の溝状の堆積層構造に地震波が捉えられることで都心に振幅が大きく継続時間の長い長周期地震動が生成することがわかった。他方、福島県浜通りの地震のように、関東平野の北東方向の地震の断層メカニズムでは、関東方向への長周期地震動の放射が弱いことが考えられ、またこの地震波の入射方位の基盤構造の変化が緩やかであるために、地震波の放射パターンの強度が直接関東平野の長周期地震動の変動を規定することがわかった。

2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）では、その地震規模に対して長周期地震動のレベルは比較的弱く、震源距離がほぼ等しい 1994 年東南海地震（M7.9）の際の都心の長周期地震動のレベルと同程度であった（すなわち、M9.0 という地震の規模に対して小さかった）ことが指摘されている（「古村, 2014」、「Furumura, 2014」）。東北地方太平洋沖地震のメカニズムは、本研究で検討した福島県浜通りの地震の走向を 45～90 度程度回転させたものに相当し、関東方向への長周期地震動の放射は比較的弱かったことが考えられる。

一方、1944 年東南海地震（Mw 7.9）や 2004 年紀伊半島南東沖地震（Mw 7.6）からの都心での大振幅かつ継続時間の長い長周期地震動の観測（「Miyake and Koketsu,

2005」、「Furumura *et al.*, 2008」が示すように、南海トラフ沿いの地震では長周期地震動の関東平野に向けての強い放射と、トラフ軸に沿って発達する厚い堆積層（付加体）の影響により、震源メカニズムの変動によらずいつも大きくなる可能性が高い。

1944 年東南海地震(M_{JMA}7.9)、1946 年南海地震(M_{JMA}8.0)、1945 年三河地震(M_{JMA}6.7)、1948 年福井地震（M_{JMA}7.1）のアンケート震度分布から、これらの地震の不均質断層モデルを推定した。その結果、1944 年東南海地震では熊野灘と遠州灘東部において地震波が強く放射された領域（以後、簡単のためにアスペリティと呼ぶ）を持つ不均質断層モデルが推定され、1946 年南海地震では高知県沖と紀伊水道沖にアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。これらのアスペリティは、「神田・武村, 2003」による気象庁震度を用いた震度インバージョンによって求められた短周期地震波発生域と比較的近い位置に推定されていることが分かった。1945 年三河地震については、震源付近から仮定した断層面の南東浅部にかけてアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。推定されたアスペリティと「山中, 2004」によって近地地震波から推定された大すべり域が比較的近い位置にあることが分かった。1948 年福井地震については、震源付近の仮定した断層面の深部から南部の浅い領域にかけてのアスペリティを持つ不均質断層モデルが推定された。このアスペリティの位置と「菊地・他, 1999」による地震波インバージョンによって推定されたアスペリティの位置は、ほぼ一致することが分かった。したがって、高密度に得られたアンケート震度分布から、特に内陸地震に関して、その震源モデルを高い精度で明確化することが可能であることを示した。

三重県において、1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1944 年昭和東南海地震に関する文献資料の調査と収集を行った。その結果、1944 年東南海地震の記録『棚橋竈の東南海津波記』、1707 年宝永地震による同地区における被害状況を記録した『宝永四年十月四日ニ大地震津浪上り候時地下中人数覚帳』を確認し、複写収集した。また、今年度の文献資料調査から、新たな津波高測定地点の候補が複数点確認された。三重県度会郡南伊勢町において、1944 年東南海地震津波による津波高を測定した。その結果、旧南勢町（五ヶ所湾地域）で７地点、旧南島町で９地点の 1944 年東南海地震の津波高が得られた。そのうち５地点は遡上高である。五ヶ所浦区および古和浦区の浸水高は、３ｍ程度であった。奈屋浦区では４ｍ程度となった。

(d) 引用文献

中央気象台, 7 日 13 時 35 分ごろの熊野灘（東南海大地震）の地震［顕］, 気象要覧 昭和 19 年 12 月, 544, 40-45, 1951.

中央気象台, 21 日 04 時 19 分ごろの南海道大地震［顕］, 気象要覧 昭和 21 年 12 月, 568, 40-45, 1953.

藤本一雄・翠川三郎, 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, 7, 214-246, 2005.

古村孝志, 関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク, 地学雑誌, 123(4), 434-450, doi:10.5026/jgeography.123.434, 2014.

Furumura, T., Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 Earthquake, Journal of Disaster Research, J. Disast. Res., 9(3), p281-p293, doi:10.20965/jdr.2014.p0281, 2014.
Furumura, T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba, Development of long-period ground motions from the Nankai Trough, Japan, earthquakes: Observations and computer simulation of the 1944 Tonankai (Mw8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula (Mw7) Earthquakes, Pure Appl. Geophys., 165(3), 585-607, doi:10.1007/s00024-008-0318-8, 2008.
香川敬生，断層モデルとの比較に基づく震源は破壊進行を考慮した経験的距離減衰特性の補正について，土木学会論文集 A1（構造・地震工学)，65，1，59-60，2009.
神田克久・武村雅之，震度データを用いた震源断層からのエネルギー放出分布のインバージョン解析，地震，２，56，39-57，2003.
神田克久・武村雅之，震度インバージョン解析による南海トラフ巨大地震の短周期地震波発生域，地震，２，57，153-170，2004.
菊地正幸・中村操・山田眞・伏見実・巽誉樹・吉川一光，1948 年福井地震の震源パラメータ，地震，２，52，121-128，1999.
Koketsu, K., Miyake, H. and H. Suzuki, Japan integrated velocity structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Libson, Portugal, Paper No. 1773, 2012.
松岡昌志・翠川三郎，国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第 22 回地盤振動シンポジウム，日本建築学会，1994.
Miyake, H. and Koketsu, K., Long-period ground motions from a large offshore earthquake: The case of the 2004 off the Kii peninsula earthquake, Japan, Earth Planets Space 57, 3, 203-207, 2005.
行谷佑一・都司嘉宣，宝永（1707)・安政東海（1854）地震津波の三重県における詳細津波浸水高分布，歴史地震，20，33-56，2005.
司宏俊・翠川三郎，断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，523，63-70，1999.
武村雅之，日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震，２，43，257-265，1990.
山中佳子，1944 年東南海地震と 1945 年三河地震の震源過程，月刊地球，26，739-745，2004.

⑦1854 年安政東海地震および南海地震の史料再精査とそれに基づく現地調査

(a) 業務の要約

安政東海・南海地震津波に関する歴史資料について、既往研究で未使用な史料を抽出・収集し、その解釈の問題点から再検討が必要な歴史資料を抽出し、これらの資料について再解釈を行い、これに基づいて現地調査を実施した。本調査から、和歌山県と三重県の県境（鵜殿）ではふたつの地震津波による津波被害が皆無であったことか

ら、津波終息点のひとつとして考えることができる。

(b) 業務の成果

１） 1854 年安政東海・南海地震津波に関する歴史資料の再精査

1854 年安政東海・南海地震津波の諸相は、既往の歴史地震研究（例えば、羽鳥、1978；相田、1981）により検討されてきた。羽鳥・相田の先駆的な検討は 1980 年代前後に実施されたものであり、検討に用いられている史料はこの時代ではそれほど多く発掘されておらず、評価に用いている津波痕跡は数十点程度である。昨今、史料の新発掘と蓄積・整理により、この地震津波に関する膨大な史料は史料集に翻刻され整理されている。安政東海・南海地震の地震・波源像再構築を行うためには、これら史料の網羅的な再精査とそれに基づく痕跡高評価を行うことが急務である。また、これらの史料について、その成立過程や記述の信頼性に関する歴史学的見地からの評価も加えた精査が必要となる。

本年度は、安政東海・南海地震津波に関する歴史資料について、既往研究で未使用な史料を抽出・収集し、その解釈の問題点から再検討が必要な歴史資料を抽出し、これらの資料について再解釈を行い、これに基づいて現地調査を実施した。

a) 文献資料調査の実施

本年度の調査では、まず『増訂大日本地震史料』、『新収日本地震史料』、『日本の歴史地震史料』、『紀伊半島地震津波史料―三重県・和歌山県・奈良県の地震津波史料』などに掲載されている 1854 年安政東海・南海地震の地震津波記事について、史料ごとに抽出した。（表３-10-⑦-１）本年度の調査では、『増訂大日本地震史料』、『新収日本地震史料』、『日本の歴史地震史料』、『紀伊半島地震津波史料―三重県・和歌山県・奈良県の地震津波史料』に掲載されている 1854 年安政東海・南海地震の地震津波記事について、史料ごとに抽出した。

本年度は三重県における調査を重点的に進める事とし、三重県立図書館において文献調査を実施し、三重県の地方史料の刊行物や地域史・郷土史研究の雑誌論文、ガリ版刷や古文書の解読原稿の稿本などを調査し、先述の史料集に掲載されていない史料の情報を収集した。同時に、先述の史料集に収録されている史料についても、作成者や成立年代など、その成立背景を判明する情報を収集した。

b) 既往研究における未使用史料と信頼度の評価

次に、安政東海・南海地震津波について論じている既往研究において、既に検討されている史料の抽出をおこなった。本調査で対象とした既往研究論文は、「今村, 1938」、「羽鳥，1976」、「羽鳥，1978」、「羽鳥，1979」、「都司，1979」、「羽鳥，1980」、「羽鳥・他，1983」、「都司・他，1991」、「都司・岩崎，1996」、「都司・行谷，2006」の 10 編である。これらの既往論文に示された津波痕跡点について、三重県。・和歌山県・静岡県の三県を対象として痕跡情報を抽出し、さらにその痕跡点について典拠とする史料が明確な痕跡を抽出した。（表３-10-⑦-２）

表３-10-⑦-１　対象史料集一覧

No.	史料集名
1	新収日本地震史料 第五巻別巻五－一
2	新収日本地震史料 第五巻別巻五－二
3	新収日本地震史料 補遺別巻
4	新収日本地震史料 続補遺別巻
5	「日本の歴史地震史料」拾遺別巻
6	「日本の歴史地震史料」拾遺二
7	「日本の歴史地震史料」拾遺三
8	「日本の歴史地震史料」拾遺四ノ上
9	「日本の歴史地震史料」拾遺五ノ下
10	東海地方地震津波史料（Ⅰ・下巻）
11	紀伊半島地震津波史料

表３-10-⑦-２　既往研究の痕跡数と引用史料

	三重県	和歌山県	静岡県	引用史料の記載がある痕跡	三重県	和歌山県	静岡県	引用史料の記載がある痕跡
今村(1938)	0	0	0	0	0	11	0	7
羽鳥(1976)	0	0	1	1	記載なし			
羽鳥(1978)	0	0	54	47	記載なし			
羽鳥(1979)	21	3	0	24	記載なし			
都司(1979)	0	0	18	18	0	0	0	0
羽鳥(1980)	0	2	0	2	0	39	0	38
羽鳥ほか(1983)	記載なし				0	12	0	11
都司ほか(1991)	111	6	24	141	記載なし			
都司･岩崎(1996)	0	12	0	12	0	66	0	66
行谷･都司(2005)	30	0	0	30	記載なし			
合計				275				122

c) 未使用史料の抽出と信頼度の評価

前述したとおり、a)の過程で安政東海・南海地震に関する記述を有する歴史資料のリストから、b)の過程で抽出された既往論文で検討された津波痕跡点を除いた史料が、従来の先行研究において未使用の歴史資料ということになる。これらの未使用史料について、さらに次のような基準での評価を行った。

①地震に関する直接の記録（庄屋が各地から取寄せた被害記録など）。当時の写しも含む。
②地震からさほど遠くない時期に筆写された、または編集された記録。史料の性格については確認必要な記録もあり。
③原史料や史料の性格・年代について調査が必要な記録。
④史料の典拠が示されていないもの。

この基準により、新規調査あるいは再調査を要する津波痕跡地点について、①…◎、②…○、③…△に分類し、信頼度が④のもの、または情報源が言い伝えのみのものはここから除外した。現在までに史料の信頼度を評価できた地点は 140 地点であり、◎…34 地点、○…22 地点、△…84 地点となった。（表３−10−⑦−３）

表３−10−⑦−３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その１）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
1	外宮子良館日記		新収日本地震史料第5巻別5-1（以下「新収5-1」）	1269-1275	御塩焼の竈損失	御塩殿神社 波入所の西隣	◎
2	外宮子良館日記	大湊	新収5-1	1269-1275	大湊神社辺は大塩にて大変の由、	日保見山八幡宮、志宝屋神社 （大湊神社不明）	◎
3	地震之事		新収5-1	1313-1314	河崎大いたみ、別して向河崎甚だしく、船江はかろし、大湊地震より津波にて大損し、 つきせきは流失人多し、神社は大湊よりはいたみすくなし、 鳥羽小浜まとやは津波にて大損し	河崎、向河崎、船江、大湊	△
4	御薗村誌	大湊	拾遺別	563	海上津浪にて大湊築屋敷は人家へ打揚て、御役所裏へも浪打揚り、磯瀬迄も揚る、凡3尺斗も堤へ揚る、	大湊築屋敷、役所、3尺	○
5	地震津波ニ付願書諸事控帳	甲賀	阿児町史	107	津波5度押寄せ，丑寅より白浪十重二十重に打重り，一時に村里中一面に押流し，磯際にて浪高さ3丈5尺，浪先17・8丁来り	3丈5尺	◎
6	地震大乱諸集記	越賀村	志摩町史	539	御高札場相砕，普門寺兼百姓家以上56軒流失，家数56軒	御高札場、普門寺3m以上	◎
7	（志摩町越賀地下蔵文書）	波切村	大王町史	233	流失潰家12軒		◎
8	（志摩町越賀地下蔵文書）	船越村	大王町史	233	流失潰家16軒		◎
9	（志摩町越賀地下蔵文書）	片田村	大王町史	233	流失潰家2軒		◎
10	（志摩町越賀地下蔵文書）	和具村	大王町史	233	流失潰家136軒		◎
11	（志摩町越賀地下蔵文書）	越賀村	大王町史	233	流失潰家44軒		◎
12	（志摩町越賀地下蔵文書）	浜島村	大王町史	233	流失潰家1軒		◎
13	地震津波ニ付御上江書上帳	阿児	新収5-1	1325-1327	上は岩本より汐廻り下は川尻より野千坊縄手、汐打越、其後高さ3・4丈ほども之有り、天神下、三反田にて波打合に相成、村方一同汐のり、下筋は浜辺より汐打越、・・・村内汐乗り深さ凡そ下筋6・7尺余もこれあり、当家内ゆ家上より3尺2寸汐のり、・・・ 5日夕刻にも地震これあり候えば、またぞろ高波浦田地打廻り、	岩本、川尻 3・4尺 天神下、三反田 下筋6・7尺	◎
14	大地震之控		新収5-1	1253	大坂は浜手の者大津波にて人死数多、		△
15	嘉永七寅年十一月四日朝より五日夜へ向け大地震並高汐に付		新収5-1		汐入家13軒内床上まで5軒床下まで8軒、破損船1艘（40石積磯端）		◎

表３−10−⑦−３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その２）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
16	津領郷中書上写		新収5−1	1256	塩漬町数7町余砂入り、堤防切所長486間、堤防欠所長19854間、汐入43軒内28軒床上まで10軒床下まで、漁船小越船破損12艘（流失共）、流失小屋2ヶ所（塩釜小屋共）、汐留破損133ヶ所、流失割木11495把、		◎
17	嘉永七寅年十一月四日五日地震高汐ニ付	津	日本の歴史地震史料拾遺4ノ上（以下「拾遺4上」）	845−847	潰家50軒、半潰115軒、大破傾306軒、潰土蔵12ヶ所、半潰破損傾124ヶ所、潰堂2ヶ所、半潰大傾4ヶ所、汐入13軒、石垣崩2ヶ所、破船1隻		◎
18	甲賀宇奥の旧家中村兵助氏蔵旧記	甲賀（阿児）	新収5−1	1331	流失家134軒、流失隠居59軒、納屋128軒、大潰家11軒、半潰家11軒ほか		△
19	寅十一月四日　大地震津波荒痛控帳　名田村	名田（大王町）	新収5−1	1331−1334	大痛家15軒、土蔵5ヶ所、納屋12軒、潰こや1軒、 大井之浜堤17間、大野大堤27間程、六枚道堤13間・両堤汐痛田10石余、蟹田砂入1石余、大井之浜砂入8斗余、ほこち砂入2石、宇津木谷堤30間程、鰯浦間の義は水込にあいなり、ほか		◎
20	十一月四日大地震痛控帳	名田（大王町）	新収5−1	1334−1335	大野堤27間、六枚路13間、大井之浜堤14間程、ほか畑高被害		◎
21	嘉永七年甲寅十一月四日大地震　大津波記　剣光控	和具（志摩町）	新収5−1	1341−1346	未申の方位より海面一様潮高くあいなり、浜辺は至る所踏み込み、潮湧出、あたかも温泉の如し、最初の波先1丁余込入り、又1丁余汐干去り、高さ3丈余の大波となり、波先7丁斗込入り、人家124軒、隠居14軒、土蔵2ヶ所、作納屋52軒流失、12軒大潰れ、船大小116艘、ほか家財残らず流失		△
22	津波流倒記		新収5−1	1346−1347	汐干およそ3・4尋、山のごとき高さ3丈ばかり、波先5・6丁程込入り御高札場および普門寺、倒れ在家21軒、納屋14ヶ所、土蔵1ヶ所、流失24軒、土蔵6ヶ所大潰れ破損、浜辺筋田地砂入大荒れ2町2反8畝17歩ほか		△
23	浜島旧記調子控	浜島村	新収5−1	1347−1349	両村へ津浪家々へ5・6尺は浪押入り村中半分は2・3尺計りも浪押上り、残らず少々づつ上りこれあり候へども格別の痛むこれなく、 その時の大津波にて浜辺新田大破に、不通田地一ヶ所もこれなく、浜畑へ汐入、麦は皆無、 村々流失大痛潰れ家数900軒余と聞き及ぶも当村方にては潰家これなく		○
24	嘉永七寅十一月大地震津浪控	南張村（浜島町）	新収5−1	1360−1362	流失家30軒、潰家17軒、半潰29軒、宝永より汐高さ3尺余、高き隠居屋敷へも1尺余上り、本家汐高さ平もの5寸ばかりもつき		△
25	当村汐入の人数	浜島村	拾遺別	566−568	床上浸水9戸、床下浸水5戸、郷蔵の詰米68俵が沢手米となり、前浜堤防大破、 隣村について、和具村136軒、越賀村44軒、田曽村16軒流失		△
26	地震の記〈抜粋〉		新収5−1	1260−1261	田の破れ、青名を吹出し所有之、近辺にては蛸路の地大荒也		○
27	随筆耳の垢	松崎	新収5−1	1261	松崎辺高汐床上1尺7・8寸		○
28	随筆耳の垢	南島	新収5−1	1261	南島津浪家蔵申すに及ばず怪我人多し、		○
29	竹川竹斎記		新収5−1	1261−1262	津岩田橋へ水上り所々家倒れしと云 六軒雲津に津波上りしと云		○
30	三重県松ヶ崎郷土史		新収5−1	1264	諸道具流失、漁船・漁具も流失、田地・浪除け堤数カ所破損、井関千〆、土橋、のこらず破損、皆潮入り、所々洲入りとなり、かなり潮関出来、		△

表３-10-⑦-３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その３）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
31	嘉永七寅十一月四日地震津波之始末	船越	拾遺別	568	海底より涌出るがごとくゆご鳴，御祓島も見へざるように汐増，前浜へ満たりしが，北の愛神の前浜へ押込，大田の堤切れて子易の神，前の田まで汐込入，それより南の方さして押廻り，仮墓所近所の家々3・4尺も汐入，前浜手は土手際まで打越たる，館の世古より南は汐2度めに満込し時は家の庭まで込入たり，・・・	御祓島（不明） 館の世古（不明）	◎
32	安政二卯冬十一月有馬安太夫扣写　諸式覚		拾遺４上	8478-852	志摩の各村々の被害記録		○
33	諸事手控	船越	拾遺４上	907-908	4日五つ後古来稀なる大地震、程なく大津波2・3度汐ゆご迄ひく、北浜より館瀬古迄土手を越す、これより南土手より2・3軒汐越す、南大道筋は寺下迄残らず汐入り、これより南腰折、汐一面になる、程なく浦は一度に波高し、出張、宮後、浦作一統破損、北の大道筋中頃でうち合い、南は館瀬古中頃まで浜、浦一同に入る也 5日暮れ六つ頃大地震、汐浦畑一面へ上る事	館瀬古（不明） 腰折、出張、宮後、浦作（不明 5日南海地震津波の記録	○
34	仙遊寺古過去帳（欄外記）	波切村	拾遺４上	908	大津波にて鰹船，テント船，サッパ船，チョロ船取揃え200余も流失，其外櫓，網等数知れず流失，大里浜より大波打入り，浜辺の家20軒余打破れ，小保へも打入り，小池へ打入り，波当寺へも少々打入る，浦の田地破損多し		○
35	外宮子良館日記		新収5-1	1269-1275	鳥羽稲垣摂津守殿大手門高塩にて皆無の由	大手門	◎
36	外宮子良館日記	国崎	新収5-1	1273	国崎村にある高さ7尺5寸の大岩の上にある松を打越し、枝等一切これなく、村方に流れ候家2軒、コウカ村400軒のところ300軒余流れ大サツ同様の由、其余村々島々何れも家流れ、無難の家はこれなく、	大岩	◎
37	大地震津浪の筆記　松尾文書		続補遺別	659	本町は半分頃迄津浪につかり、片町は常安寺口迄汐行、横町辺は光岳寺の御門の石面迄参り、舛形御門は残り、御堀は行ぬけにあいなり、中ノ郷は1軒も残らず皆々流れ、	本町、中ノ郷 行谷（2015） 片町（常安寺4.8m） 横町（光岳寺3.7m）	○
38	大地震津浪の筆記　松尾文書		続補遺別	659	海辺通り先堅神村は観音院本堂ばかり残り、是よりひくみの家々は皆々流れ、玉泉寺はおよそ地面より8・9尺程つかり、小浜・桃取・答志村同断、菅島村はさしたる事もなく、坂手村は寅の前迄井戸へ汐くづれこみ、もっとも家々にはかまいなく、船津村は3・4ヶ所の新田堤やぶれ、木場の木は残らず流れ、汐は森の下まで来たりて大海を見るが如し	行谷・都司（2005） 観音寺2.6m以上 玉泉寺5.8m 常安寺4.8m 光岳寺3.7m	○
39	嘉永弐年舊記調子控（中表紙：嘉永七甲寅年地震津浪ニ付破損流失物調子帳南張村扣）国崎常福寺文書）	国崎	続補遺別	665-666	塩防の場所、両側両堤破損、前浜御手当場所御通行の橋大破、さつは1艘破損流失、売り木1万5千余散乱流失、納屋2軒10丁余奥の田地、細越と申す所に散乱ほか		◎
40	此の精霊簿年忌全部終了ス（国崎常福寺文書）	国崎	続補遺別	666-668	西村へ津浪家々へ5・6尺位浪入り、村半分には2・3尺ばかりも浪押上り、格別の痛みなし、 浜辺新田大破に不痛田地一ヶ所もこれなく、浜畑の汐入、麦は皆無になり、 大津波にて流失大痛潰家数900軒余、当村にてもあり 津波より、汐の満干大汐小汐にても冬中高汐込入り、汐干これなく、漸年明二三月時分より土手汐普請いたし		△
41	嘉永七年　津浪記録　嘉永七年地震津浪贄浦状況）		新収5-1	1372	河内・赤崎・村山・神前より古和辺りは又々中組よりは大造の事也、		△

表３−10−⑦−３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その４）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
42	年代諸事覚書		南勢町史	333	泉では波先が宮ノ前道ノ下まで来て，東浜田木場除ヶ堤が30間余り切れ，田地へ砂が入った		○
43	「万覚帳」（五ヶ所浦地下）より	五ヶ所浦	新収5−1	1355	流家30軒浦方・30軒山方		△
44	大地震大津浪見舞控（嘉永七年十一月四日津浪資料）	五ヶ所浦	新収5−1	1355−1356	五つ半時より大津波の事、浦方30軒もながれ、ほかに塩天井迄付候家30軒もこれあり、山方も家かず20軒もながれ、塩天井迄付家14・5軒もこれあり、 我家は納屋共ながれず、隠居の床2尺もあがり、		△
45	加津佐森井朝雄氏土蔵「板書」	加津佐	新収5−1	1356	五つ時大地震四つ半時大津浪高1丈5尺也		○
46	為地震津浪心得謹世残（加津佐徳田家蔵文書）	加津佐	新収5−1	1356−1357	波の高さ1丈5尺・・・（歌のなかに地名などはいる）		△
47	相賀浦「桂雲寺過去帳」中	相賀浦	新収5−1	1358	村内半分床へ水付、大向井の橋石垣共に崩れ落		○
48	田曾浦文書	田曾浦	新収5−1	1358−1360	流失家8軒、半潰れ16軒、ほか潮入田地、堤決壊について		○
49	『南秋平家過去帳』後書	五ヶ所浦	新収5−1	1362	うちのゆかより2尺5寸はかり上り、大しん、大手の山より大岩坂に岩おおくこける、	うちのゆかより2尺5寸はかり上り	△
50	『南秋平家過去帳』三裏書	五ヶ所浦	新収5−1	1362−1363	先しをの高さ、土代上り4尺上り、 五日浪、前田中の間へ迄くる、しをの高大い■、浦方・川原・村家みなをち合までながし、 五ヶ所・加津佐流れ、当村30家流、	土代上り4尺上り 5日南海地震津波の記録	△
51	嘉永七年ノ地震高浪ニ付南島地方ノ被害	新桑竈	新収5−1	1365	家16軒流失、14軒半潰、土蔵2ヶ所潰、		△
52	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	棚橋竈	新収5−1	1365	家32軒流失、村残らず皆流失		△
53	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	古和浦	新収5−1	1365	家124軒流失、18軒潰、隠居家70軒流失、御高札場皆流失		△
54	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	栃木竈	新収5−1	1365	家8軒流失、13軒半潰		△
55	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	小方竈	新収5−1	1365	家12軒流失、20軒半潰、土蔵5ヶ所半潰、		△
56	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	方座浦	新収5−1	1365	家4軒流失、10軒半潰、浜納屋13軒流失		△
57	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	神前浦	新収5−1	1365	家112軒流失、26軒半潰、御高札場皆流失		△
58	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	村山村	新収5−1	1365	家54軒流失・半潰・汐入共		△
59	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	赤崎竈	新収5−1	1365	家23軒、村惣皆流失なり	3m以上	△
60	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	河内村	新収5−1	1365	家14軒流失、7軒潰汐入、土蔵2ヶ所破損、大日堂1軒流失		△
61	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	東宮村	新収5−1	1365	家5軒流失、22軒潰汐入		△
62	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	奈屋浦	新収5−1	1365	家26軒流失、御口前所1軒流失、家21軒潰汐入		△
63	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	贄浦	新収5−1	1365	家67軒流失、38軒半潰汐入、納屋14軒流失、6軒半潰、土蔵3ヶ所破損		△
64	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	慥柄浦	新収5−1	1365	家50軒半潰汐入、土蔵5ヶ所大破損		△
65	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	道行竈	新収5−1	1365	家25軒半潰汐入、土蔵5ヶ所破損、納屋5軒破損		△
66	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	道方村・大江村・大方村	新収5−1	1365	津浪は村へは入り申さず候	浸水なし	△
67	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	阿曾浦	新収5−1	1365	汐入にあいなり候家一同これなく候		△
68	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	相賀浦	新収5−1	1366	家37軒汐入	浸水あり	△

表３-10-⑦-３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その５）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
69	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	礫浦	新収5-1	1366	家3軒流失、村残らず汐入		△
70	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	迫間浦・中津浜浦村	新収5-1	1366	残らず汐入候由	浸水あり	△
71	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	五ヶ所浦村	新収5-1	1366	家44軒流失、30軒潰、隠居32軒流失潰汐入、土蔵3ヶ所流失、御高札場皆流失		△
72	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	神津佐村	新収5-1	1366	家18軒流失、16軒潰、土蔵7ヶ所流失		△
73	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	木谷村	新収5-1	1366	家21軒潰汐入		△
74	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	宿浦	新収5-1	1366	家3軒流失、7軒潰		△
75	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	田曾浦	新収5-1	1366	家8軒流失、14軒潰		△
76	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	下津浦村	新収5-1	1366	家5軒流失、9軒潰、土蔵4ヶ所半潰		△
77	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	船越村	新収5-1	1366	家3軒流失、27軒汐入		△
78	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	内瀬村	新収5-1	1366	家1軒潰、6軒半潰汐入、土蔵9ヶ所破損		△
79	宝永四年　嘉永七年　地震高浪の南島地方の被害	慥柄組	新収5-1	1366	流失家579軒、潰汐入662軒、船51艘、網1920帖		△
80	嘉永七年　津浪記録(覚)	贄浦	新収5-1	1367	村総数105軒内67軒流失・38軒潰、納屋20軒内14軒流失・6軒半潰、土蔵3ヶ所破損、網100帖流失、船数十艘皆打破少々破損		○
81	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1371	村中数十軒居家流失、 峯ヶ谷より浦の浜へ大浪来り、豆方の方より来る浪と一所に成り、浦浜へ来る、 前浜土手より大浪打越、村中数十軒後の田へ押流し、	峯ヶ谷、浦の浜、豆方	△
82	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	奈屋浦	新収5-1	1372	浜の地より汐湧出吹出、多東宮へ向押流れ、	多東宮	△
83	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	慥柄組	新収5-1	1372	阿曾・相賀・礫宿・田曾近辺は少々破損、汐入洗家に相成ばかり也	阿曾・相賀・礫宿・田曾	△
84	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	慥柄浦	新収5-1	1372	慥柄浦は屋敷地後高の処故、此度の津浪にも浪勢和らかく、夫故か流家多分これなく汐入ばかり也、西光寺の近所石橋の処まで浪先来る由	西光寺の近所石橋	△
85	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1373	自分屋敷地は先祖より高き所にこれあり流失なし、ホンノ汐入洗家に成ばかり也、但し居宅へどろ汐入に成立、道具流失もこれあり、その他塩米諸品の流失もあり、奈屋向相破損居宅共諸造作大造にあいなり候		△
86	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1373	此度の津浪在所の真中中世古の辺にて汐の高さ凡そ1丈2尺程	真中中世古(?)1丈2尺	△
87	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1373	浦の浜吉蔵・吉助・善六居宅の近辺にて汐の高さ凡そ1丈4・5尺程、尤も家の屋根上一ぱい潰り	個人名宅1丈4・5尺	△
88	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1373	庄屋の宅にて浪の高さ凡そ8尺程、尤も四方の内東西南は土蔵并納屋等立ならべこれある故後口は山也、それ故浪勢これなくどよみ候か、居宅格別大破にもこれなく、家の天井下平物まで浪潰りに成立道具類内のり一はい浪潰り候	庄屋宅8尺	△
89	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1373-1374	津浪在所流家の筋は多里中筋と浦の真中ばかり也、但し里の中残り家の筋左の通り（床上5尺汐入など記述あり）	床上5尺	△
90	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1374	当浦流行の筋多くは後の田へ流れ込み、浦の家々同様、		△
91	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)	贄浦	新収5-1	1375	薬師堂床より三尺計り汐潰り	薬師堂(不明)床より3尺	△

表３-10-⑦-３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その６）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
92	嘉永七年　津浪記録 嘉永七年地震津浪贄浦状況）	贄浦	新収5-1	1375	次郎三郎右衛門道大道の所より最明寺の門前田の所二枚目田半分頃まで津浪先くる、此所限り浪上り不申	個人名宅、最明寺の門前田	△
93	嘉永七年　津浪記録 嘉永七年地震津浪贄浦状況）	贄浦	新収5-1	1375	高浜の畑浜通汐入、寺の田薬師堂の上田一枚汐入	高浜、薬師堂の上田	△
94	嘉永七年　津浪記録 嘉永七年地震津浪贄浦状況）	贄浦	新収5-1	1375	船倉の畑庄屋持上の段田一枚汐上り、その上の段一枚は上り申さず	船倉	△
95	嘉永七年　津浪記録 嘉永七年地震津浪贄浦状況）	贄浦	新収5-1	1375	ふくら・あそら・豆方何れも畑六七分通り浪上り、浪の上りたる畑皆々表はかれ仕舞		△
96	地震津浪記	新桑竈	新収5-1	1391	四日到来津浪にて肝を冷やし、其翌日にも七ツ頃中地震ゆり候処、其時も汐先寺の前まで来候、文吾方床を流し候	5日南海地震津波の記録 寺とは長泉寺？	△
97	地震津浪記	新桑竈	新収5-1	1391	家数20軒流失、文吾・権左衛門両宅残り、…田畑并石垣等大荒にあいなり	個人名宅	△
98	南島町史	吉津村	拾遺別	568	吉津村で高さ9～10メートルの大津波が襲い、田畑流失20町歩	9～10m	△
99	南島町史	鵜蔵村	拾遺別	568	流失家屋81、漁船流失10、漁具・家財道具流失多数		△
100	南島町史	島津村	拾遺別	568	家財道具流失多数、人家14・5軒のこるだけ		△
101	南島町史	中島村	拾遺別	568	流失家屋あり		△
102	万年記 抄）		明和町史 史料編二	451-452	八木戸浜田よりは津浪参し候と申し、海辺にては大普請出来候処所々にこれあり、中郡沖へは堤切込み夫よりいさば船押込み、とうとう破てのけ申し候…新田村は其後地下み候て水落ち申さず、村方の田地半分も仕付出来申さず、	八木戸、浜田	○
103	1乍恐以書付奉申上候	八木戸	新収5-1	1265	広瀬新田4軒の儀は、人家其外建物等別条無御座候得共、大津波にて大手堤打越洲方同様に相成	広瀬新田　不明）	◎
104	嘉永七年　津浪記録 嘉永七年地震津浪贄浦状況）		新収5-1	1372	熊野・長島・尾わし浦々村々尚々大造の荒、それより上の方同様なり		△
105	安政海嘯景況上申書	九鬼	新収5-1	1412	九木浦 :160中流失27・半流失63・浪入27		△
106	安政海嘯景況上申書	尾鷲浦	新収5-1	1412	尾鷲 :1064中流失682・半流失71・半潰19・浪入30		△
107	安政海嘯景況上申書	須賀利	新収5-1	1412	須賀利浦 :120中流失24・浪入41・破損31		△
108	2乍恐以書付奉申上候	八木戸	新収5-1	1265	広瀬新田4軒の儀は大津波にて未だ潮引かず、 字笹笛川下・潮除堤長530間の内、南浦5間程八分通切所にあいなり、北浦の堰大破にあいなり、 字ふけ・潮除中堤字権現と申す所まで長300間普請所内3ヶ所大破	広瀬新田　不明） 南浦、北浦　不明）	◎
109	3乍恐以書付御届け奉申上候	八木戸	新収5-1	1266	字八丁洲湊口より3丁程東洲方押切れ湊口同様に相成り、洲方海岸凡そ6・7間も欠流、御林場所の小松凡そ五分通り泥砂にて埋り残り五分通の儀は悪潮のため枯木にあいなり	八丁洲湊口	◎
110	加納郡・有馬領の地震被害		拾遺 4上	847	曲郡林崎村　現鈴鹿市）・多気郡浜田村　現明和町）の被害状況		◎
111	7大地震大津波流失場所	八木戸	新収5-1	1268	3度目大波打越し、喜平次・太助・太次右衛門所持の建家一円に押流し、4度善次郎所持之家作物置納屋其外のこらず相流れ、並仁左衛門新田所に建快助所持の家作1ヶ所とも残らず相流し、 扇松木末よりおよそ6・7尺も高く見請け、広瀬新田の方へも押込み、5度目海手付堤大洲一円に押流し、	個人名宅	◎
112	外宮子良館日記	大淀	新収5-1	1269-1275	大淀辺40件ばかり同断の由　高潮にて皆無）		◎
113	鳥羽方面の地震被害　忠摩国大地震大洪浪混雑記）	鳥羽	拾遺 4上	847	鳥羽城の被害、町家が50軒余流失したことなど		◎

表３-10-⑦-３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その７）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
114	長島神社嘉永五(ママ)年津浪記録	長島	紀伊長島町史	155-159	潮の高さ2丈くらいと覚ゆ，往還町にては高さ5尺位也，流失家屋は横町・裏町・新町は長楽寺前より西，往還町・西町・本町合せて400軒程也	長島沿岸6.1m 往還町1.5m+地盤	△
115	(海山町相賀・庄屋文書)	相賀	紀伊長島町史	162-163	浜の汐5尺余直に津波来り町渡し場より下町筋津波通る，渡し場より上は津波不通也，引本浦人家汐入，吉祥院門まで津波，矢口浦人家流失，津波本地札場まで，鰹船鷲下まで流行，仏光寺・長楽寺両寺は汐入	相賀沿岸1.5m 渡し場・下町筋 吉祥院門 矢口浦・本字札場 鰹船鷲 長楽寺 仏光寺2.9m(行谷・都司(2005))	◎
116	大地震津波記	長島	新収5-1	1411	巳の上刻に津波海汀より起こり湧出、其勢い天を蹴る、高さ凡そ2丈余、それより海面陸地とに別れ、低地にチョウ流するに甚疾し、長島においては人家流失500軒余、中道より西の方干原地辺りに至て郷中に浪入ること浜の並木松よりようよう2・3間、低地は4・5O間に過ぎず、 明て5日未ノ下刻また再び高浪起る、然れども前日よりは低し	長島沿岸6.1m 中道・干原地・浜の並木松	○
117	雲祥寺記録	引本浦	新収5-1	1412	引本在中8～9尺浪上り、在中家一軒残らず洗い、諸道具流失	引本2.7m+地盤	△
118	聞書	島勝浦	新収5-1	1412	島勝浦では中熊で一軒流失、安楽寺の三文流失、寺内浸水	安楽寺3.4m(行谷・都司(2005))	△
119	小山浦元右衛門の手記	海山	拾遺別	569-570	田地にては芝草まで津波上がり麦みな腐る、古本(相賀)は本地祓い場(現本地踏切地点)まで上り、船津は日中屋の水路まで上る、渡利は渡し場より下は浪乗る、引本は寺の広庭(現引本小学校庭)まで乗りかかり、寺町は板敷まで、役所より北浦は家の破風まで乗り、家2～3軒つぶれ、矢口にては家26軒流れ、浪は馬瀬越のしばまで上る、島勝浦・白浦大荒、	船津の二中屋水路 渡利の渡し場 馬瀬越のしば (一部は行谷・都司(2005))	○
120	雲祥寺記録	引本浦	拾遺別	569	引本在中8～9尺浪上り、在家1軒残らず洗い、諸道具流失	引本2.7m+地盤	△
121	雲祥寺記録	島勝浦	拾遺別	569	中熊で1軒流失、安楽寺の山門流失・寺内浸水、	安楽寺3.4m(行谷・都司(2005))	△
122	中村熊夫氏所蔵文書	白浦	拾遺別	569	家数95軒の内流家44軒ただし本行のうち余は水込に相成、納屋数28軒ただし釜納屋・網納屋惣て諸色納屋共荒	推定困難 (浸水家屋数不明)	△
123	おぼえ帳		拾遺4上	864	家財不残(もミ弐俵、米　四俵、そば弐俵)	推定困難 (数値化不可)	○
124	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	小山浦	拾遺4上	865	小山にては浪上る事浜は常の中浪ぐらい、やさ谷は寺の藪しきまで、田地にては芝草まで上りしほのり候、畑は麦皆々くさる	小山 やさ谷の寺	◎
125	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	古本浦	拾遺4上	865	古本にては本地祓場まで上り畑地多きにいたむ事	2.3m(行谷・都司(2005))	◎
126	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	船津	拾遺4上	865	船津にては日中道のゆらまで上る事	日中道のゆら	◎
127	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	渡利	拾遺4上	865	渡りは渡し場より下もは浪のり候へとも上みは町へのらず	渡し場	◎
128	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	引本浦	拾遺4上	865	引本浦は寺のひろにわにのり掛り、寺町は板じきまで、役所より北浦は家のはふまでのり、家2・3軒つぶれ	4.3m(行谷・都司(2005))	◎
129	嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳	矢口	拾遺4上	865	矢口にては家28軒ながれ、浪は馬瀬越のしばまで上る事	馬瀬越のしば	◎
130	大江日記	矢の川	拾遺別	570-571		推定困難 (数値化不可)	△
131	嘉永七年　津浪記録(嘉永七年地震津浪贄浦状況)		新収5-1	1372	熊野・長島・尾わし浦々村々尚々大造の荒、それより上の方同様なり	推定困難 (数値化不可)	△
132	安政海嘯景況上申書	九鬼	新収5-1	1412	九木浦:160中流失27・半流失63・浪入27	九木浦1.7m+地盤 真厳寺8.5m(行谷・都司(2005))	△
133	安政海嘯景況上申書	尾鷲浦	新収5-1	1412	尾鷲:1064中流失682・半流失71・半潰19・浪入30	尾鷲2.4m+地盤	△

表３-10-⑦-３　三重県内の安政東海・南海津波の痕跡と史料の信頼度（その８）

番号	資料名	場所	掲載書誌	掲載頁	津波被害の記述	津波高の記述	信頼
134	安政海嘯景況上申書	須賀利	新収5-1	1412	須賀利浦：120中流失24・浪入41・破損31	4.0m（矢沼他（2017））	△
135	北牟婁郡　相賀村誌	相賀	新収日本地震史料補遺別巻（以下「補遺別」）	502	同十一月四日四ツ時大地震直様津浪来る同五日暮六ツ時大地震有る夫より驚き大心配日本国中藪又は野へ小屋建住居する宝永四亥十一（ママ）四日大地震津浪ある浪高鷲下道元水神様迄行船津前迄行本地平札場、荘司町迄行其年海辺大なんぎ山方左程の事もなし四日には大坂辺大地震津浪なし	鷲下道元水神様 船津 本地平札場 荘司町	△
136	高野家家譜		新収5-1	1240	伊勢路ハ六月程の事は無之候へとも、東海道筋吉田宿ゟ小田原迄廿弐宿之間大荒、中ニは」三嶋宿・沼津宿・掛川宿・袋井宿」壱軒も家無之宿も有之候由	広域被害	△
137	藤堂藩肥田組大庄屋文書		新収5-1	1241	十一月四日朝大地震ニ付」破損無之書附	場所不明	○
138	地震津波并江戸表武術道場御取建等之書面写		新収5-1	1262-1264	（略）	広域被害	△
139	内意伺并義倉講下書		補遺別	503-504	（前略）一猶又旧冬ノ津浪ニ而御郭内御役屋舗御破損所之儀は枚挙ニ不遑候（後略）	上之町（鳥羽市？）	△
140	平野家文書	波瀬村	続補遺別	674	同年（嘉永七年）十一月十四（ママ）日大地震並海岸筋ハ大津波松崎浦等ハ大船数杯津屋城村上ノ宮近傍へ颶風飄流シ前代未聞、我等御上納米ニ附添ヒ松崎ニテ警護ス、夜間ニハ権現前ニ而守護ス	松崎浦（松阪市）	○

なお、今年度の調査において新たに確認された史料、特に三重県内の地誌類や古文書の解読原稿については、原史料の所在まで確認がとれていないものも多数残されており、今後の検討課題としておきたい。

２） 1854 年安政東海・南海地震津波に関する歴史資料の現地調査

安政東海・南海地震津波に関する歴史資料精査から、新たな痕跡点となり得る箇所について現地調査を行った。図３−10−⑦−１に現地調査に基づく津波痕跡高分布を示す。本調査から、和歌山県と三重県の県境（鵜殿）ではふたつの地震津波による津波被害が皆無であったことから、津波終息点のひとつとして考えることができるであろう。

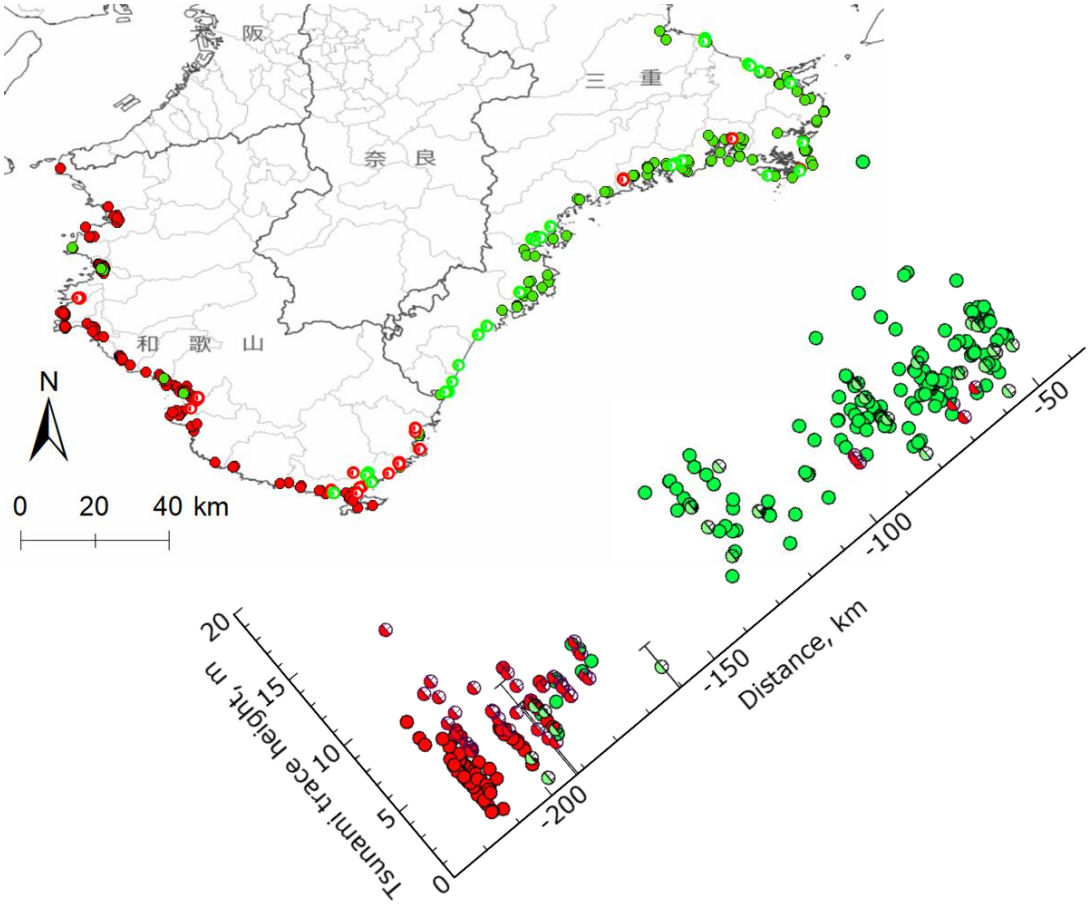


図３−10−⑦−１　三重県および和歌山県太平洋沿岸における安政東海・南海地震による津波痕跡高分布。赤丸と緑丸は既往研究による安政南海地震および安政東海地震の痕跡高、赤白丸および緑白丸は本業務における安政南海地震および安政東海地震の痕跡高を示す。

以下にそれぞれの調査地点とその概要を示す。なお、表３-10-⑦-３からの引用の場合には史料番号を付記してある。なお、古座切目屋日記、小野翁遺稿熊野史、熊野灘漁村資料集、北牟婁郡相賀村誌は三重県立図書館所蔵史資料から引用されたものである。

a）池ノ山（いけのやま）

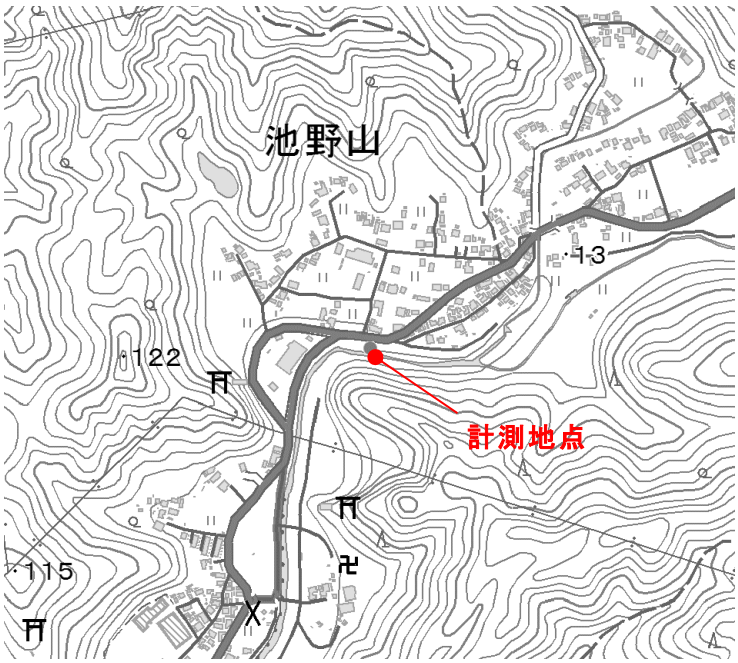
古座切目屋日記には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

一ッ同五日、七ッ時より又大地震にて諸国大混雑。
（中略）
一ッ津浪川長く打ち込み候処は川口村迄、池之口、小川筋は池之山迄参る。

以上に基づき、池野山川の水面標高を計測した。当該地点を遡上限界として、津波遡上高は T.P.+4.0m とした。







緯度 33 度 32 分 14.85 秒、経度 135 度 49 分 9.29 秒、標高：T.P.+4.00m

図３-10-⑦-２　池ノ山の津波痕跡高

b）池ノ口（いけのぐち）

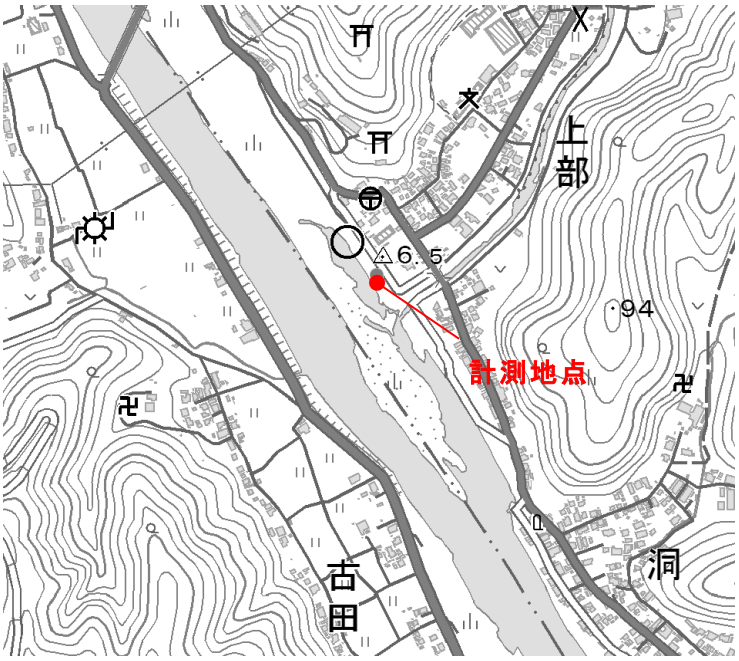
同じく古座切目屋日記（三重県所蔵）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

一ッ同五日、七ッ時より又大地震にて諸国大混雑。
（中略）
一ッ川内には大船、小船ども廿艘計り繋ぎ居候処、小船は古田村、池之口辺迄流れ込み、大船は中洲畑中へ打ち寄せ又は古田迄流れ込み候もこれあり候。大船二艘破船に相成る。此の船、日置船。水主は別条なく、皆々無事。尤も右二艘の破船は川口悪しく候に付き、川外にて荷積致居候船なり。
一ッ津浪川長く打ち込み候処は川口村迄、池之口、小川筋は池之山迄参る。尤も汐嵩池之口村にて中之段一ぱい、池之口村宇津木、月之瀬辺にて海鳥沢山に拾ひ候ひたるこれあり候。
一ッ地震に当所は潰れ家一軒もなく候へども土蔵は少しくいたみ、当山金堂、石段は大いたみ。池之口山王社石の鳥居倒れ、同所橋杯は地震に川中へ潰れ込み候。

以上に基づき、古座川町役場下駐車場（古座川高水敷）の地盤標高を計測した。当該地点で「中之段一ぱい」から浸水深を１ｍとして、津波浸水高を T.P.+2.8m とした。







緯度 33 度 31 分 53.03 秒、経度 135 度 48 分 53.18 秒、標高：T.P.+1.79m

図３-10-⑦-３　池ノ口の津波痕跡高

c）浦神（うらがみ）

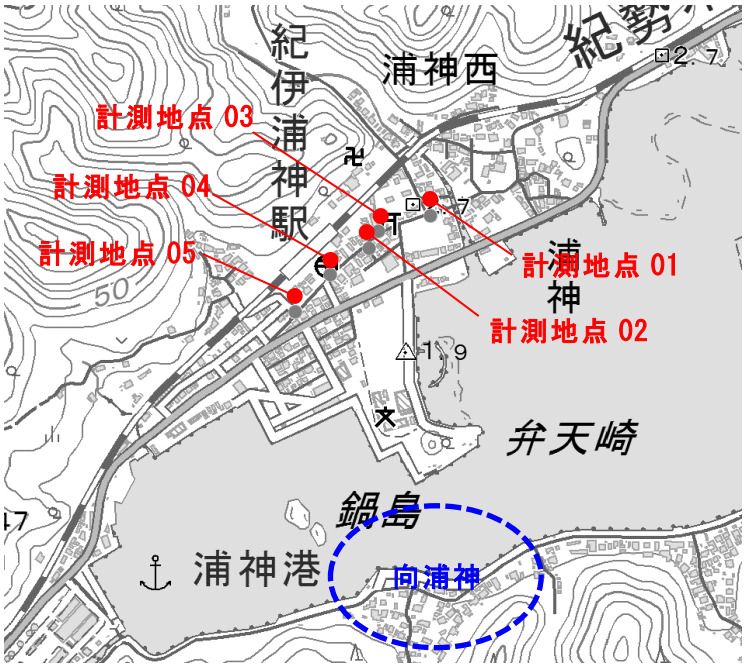
小野翁遺稿熊野史（三重県所蔵）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

浦神にては床より五尺上り死人七人。向浦神無事、高芝無事。

以上に基づき、旧街道沿いの地盤標高を計測した。当該地点で「床より五尺上り」から床高 0.3m を加算して浸水深を 1.8m として、津波浸水高を T.P.+3.7m～4.7m とした。







標高値

01：緯度 33 度 33 分 39.23 秒、経度 135 度 53 分 44.50 秒、標高：T.P.+2.95m

02：緯度 33 度 33 分 38.59 秒、経度 135 度 53 分 41.92 秒、標高：T.P.+2.21m

03：緯度 33 度 33 分 37.87 秒、経度 135 度 53 分 41.46 秒、標高：T.P.+1.87m

04：緯度 33 度 33 分 36.79 秒、経度 135 度 53 分 39.51 秒、標高：T.P.+2.71m

05：緯度 33 度 33 分 35.24 秒、経度 135 度 53 分 37.80 秒、標高：T.P.+2.55m

図 3-10-⑦-4　浦神の津波痕跡高

d）鵜殿（うどの）

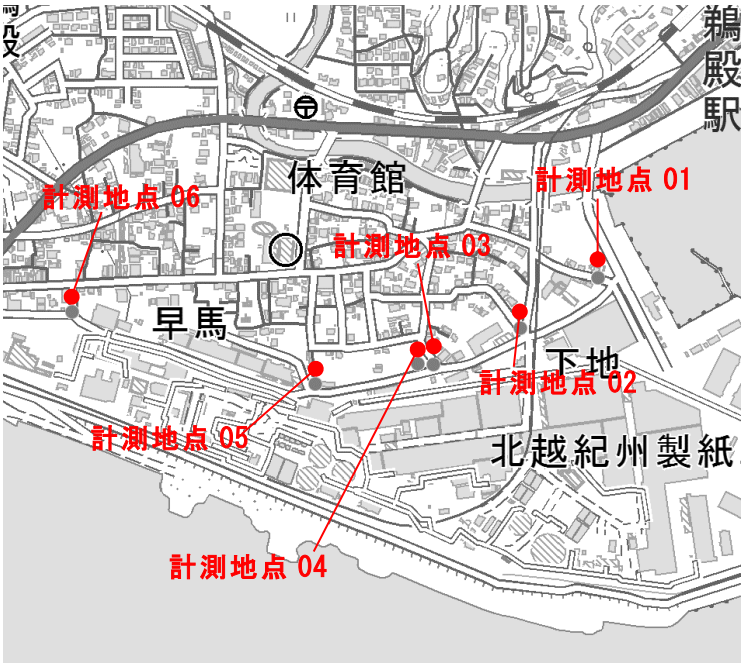
小野翁遺稿熊野史（三重県所蔵）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

鵜殿・井田・阿田和・市木・有馬・木本流家なし

以上に基づき、鵜殿においては、旧海岸線と推定される道路の地盤標高を計測した。当該地点で「流家なし」から浸水深は若干の浸水深もしくは標高以下であるとして、津波浸水高を T.P.+3.2m 以下とした。







01：緯度 33 度 44 分 0.57 秒、経度 136 度 0 分 50.52 秒、標高：T.P.+3.47m
02：緯度 33 度 43 分 58.48 秒、経度 136 度 0 分 46.66 秒、標高：T.P.+3.21m
03：緯度 33 度 43 分 56.99 秒、経度 136 度 0 分 42.35 秒、標高：T.P.+3.20m
04：緯度 33 度 43 分 57.01 秒、経度 136 度 0 分 41.56 秒、標高：T.P.+3.29m
05：緯度 33 度 43 分 56.18 秒、経度 136 度 0 分 36.46 秒、標高：T.P.+3.60m
06：緯度 33 度 43 分 59.18 秒、経度 136 度 0 分 24.38 秒、標高：T.P.+5.17m

図３-10-⑦-５　鵜殿の津波痕跡高

e）井田（いだ）

鵜殿と同様に、旧街道（紀伊井田郵便局前）の地盤標高を計測した。当該地点で「流家なし」から浸水深は若干もしくは標高以下であるとして、参考値として津波浸水高を T.P.+8.6m 以下とした。







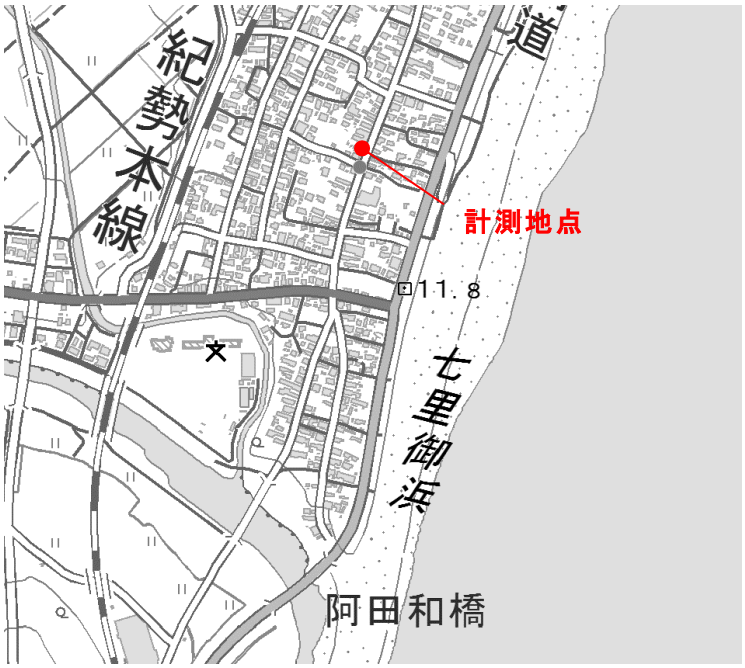
緯度 33 度 45 分 29.38 秒、経度 136 度 1 分 26.94 秒、標高：T.P.+8.56m

図 3-10-⑦-6　井田の津波痕跡高

f）阿田和（あたわ）

鵜殿と同様に、旧街道（坂口ふとん店前）の地盤標高を計測した。当該地点で「流家なし」から浸水深は若干もしくは標高以下であるとして、参考値として津波浸水高を T.P.+10.8m 以下とした。





緯度 33 度 47 分 53.25 秒、経度 136 度 2 分 23.59 秒、
標高：T.P.+10.78m

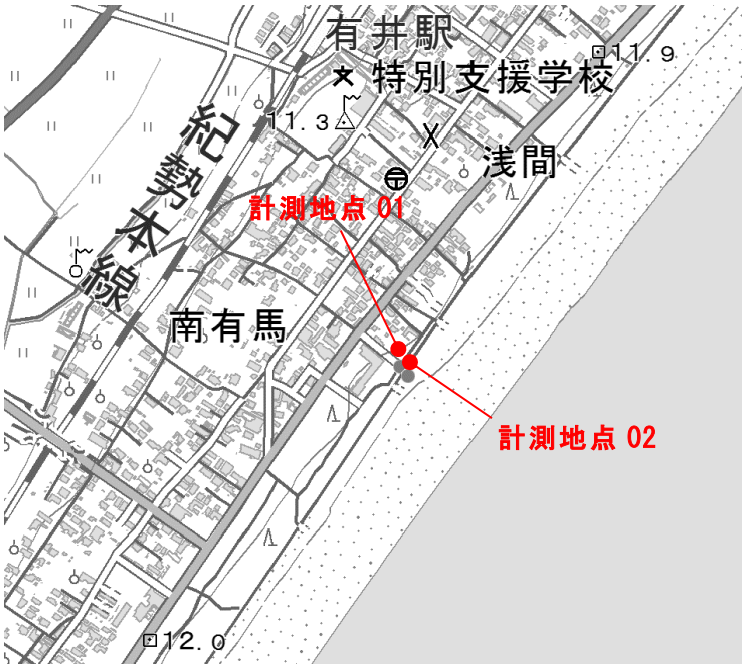
図３-10-⑦-７　阿田和の津波痕跡高

g）有馬（ありま）

鵜殿と同様に、旧街道近くの防潮堤近傍の地盤標高を計測した。当該地点で「流家なし」から浸水深は若干もしくは標高以下であるとして、参考値として津波浸水高を T.P.+9.7m 以下とした。







01：緯度 33 度 52 分 20.45 秒、経度 136 度 5 分 11.98 秒、標高：T.P.+11.25m

02：緯度 33 度 52 分 20.06 秒、経度 136 度 5 分 12.38 秒、標高：T.P.+9.65m

図 3-10-⑦-8　有馬の津波痕跡高

h）木本（きもと）

鵜殿と同様に、木本町を流れる小河川沿い道路の低い地盤標高を計測した。当該地点で「流家なし」から津波高は若干もしくは標高以下であるとして、参考値として津波浸水高を T.P.+6.7m 以下とした。







01：緯度 33 度 53 分 31.40 秒、経度 136 度 6 分 28.16 秒、標高：T.P.+6.79m

02：緯度 33 度 53 分 31.62 秒、経度 136 度 6 分 27.81 秒、標高：T.P.+6.72m

図 3-10-⑦-9　木本の津波痕跡高

i）賀田の安政津浪潮位点

賀田にある津波碑には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

［正面］「安政津浪潮位点」「同元年 1854 十一月」賀田津浪対策同志会

以上に基づき、津波到達地点の地盤標高を計測した。当該地点を遡上限界として、津波遡上高は T.P.+7.7m とした。







緯度 33 度 58 分 31.53 秒、経度 136 度 11 分 15.86 秒、標高：T.P.+7.65m

図 3-10-⑦-10　安政津浪潮位点の津波痕跡高

j）賀田（かた）

熊野灘漁村資料集（三重県所蔵）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

賀田村家数 161 軒津浪流家 73 軒、半浪 2 軒
1854 年安政地震津波（文献：尾鷲市海洋文化収　田中氏記録）
賀田村指道標に「津浪高さ二丈」
賀田村家数百六十一中流失七十三、死者六浪の高さ宝永の津浪よりおよそ三尺四～五寸低い。

以上に基づき、集落内を通る道沿いの地盤標高を計測した。当該地点で「賀田村指道標の津浪高さ二丈（計測地点 05 を仮定）」から浸水深は 6.1m であるとして、津波浸水高を T.P.+7.8m とした。







01：緯度 33 度 58 分 31.65 秒、経度 136 度 11 分 15.89 秒、標高：T.P.+5.30m
02：緯度 33 度 58 分 31.63 秒、経度 136 度 11 分 15.23 秒、標高：T.P.+5.32m
03：緯度 33 度 58 分 30.78 秒、経度 136 度 11 分 14.88 秒、標高：T.P.+2.73m
04：緯度 33 度 58 分 29.57 秒、経度 136 度 11 分 14.61 秒、標高：T.P.+2.03m
05：緯度 33 度 58 分 29.42 秒、経度 136 度 11 分 17.82 秒、標高：T.P.+1.73m

図 3-10-⑦-11　賀田の津波痕跡高

k）鷲毛（わしげ）

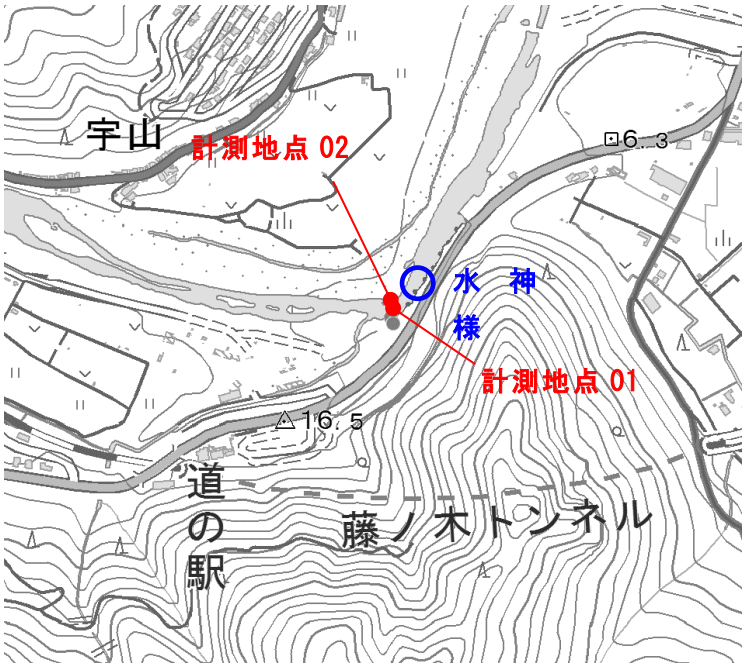
北牟婁郡相賀村誌（三重県所蔵）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

同十一月四日四ツ時大地震直様津浪来る同五日暮六ツ時大地震有る夫より驚き大心配日本国中藪又は野へ小屋建住居する宝永四亥十一（ママ）四日大地震津浪ある浪高鷲下道元水神様迄行船津前迄行本地平札場、荘司町迄行其年海辺大なんぎ山方左程の事もなし四日には大坂辺大地震津浪なし

以上に基づき、銚子川の高水敷及び水面の標高を計測した。計測地点 01 を遡上限界として、津波遡上高は T.P.+3.9m とした。







01：緯度 34 度 6 分 13.91 秒、経度 136 度 13 分 0.34 秒、標高 ：T.P.+3.89m

02：緯度 34 度 6 分 14.16 秒、経度 136 度 13 分 0.19 秒、標高 ：T.P.+1.41m

図 3-10-⑦-12　鷲毛の津波痕跡高

1）小山浦

嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳（表３-10-⑦-３：番号 124）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

小山にては浪上る事浜は常の中浪ぐらい、やさ谷は寺の藪しきまで、田地にては芝草まで上りしほのり候、畑は麦皆々くさる

以上に基づき、長泉寺の境内地盤標高を計測した。当該地点の「藪しき」が不明のため、浸水深は１ｍであるとして、津波浸水高を T.P.+8.7m とした。







緯度 34 度 6 分 2.26 秒、経度 136 度 13 分 31.46 秒、標高：T.P.+7.42m

図３-10-⑦-13　小山浦の津波痕跡高

m）引本浦（ひきもとうら）

雲祥寺記録（表３-10-⑦-３：番号 117）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

引本在中８～９尺浪上り、在中家一軒残らず洗い、諸道具流失

以上に基づき、当該地点の地盤標高の標高を計測した。当該地点で「８～９尺浪上りより」から浸水深を 2.7m として、津波浸水高を T.P.+4.9m とした。







緯度 34 度 6 分 25.24 秒、経度 136 度 14 分 23.58 秒、標高：T.P.+2.19m

図３-10-⑦-14　引本浦の津波痕跡高

n）矢口浦（やぐちうら）

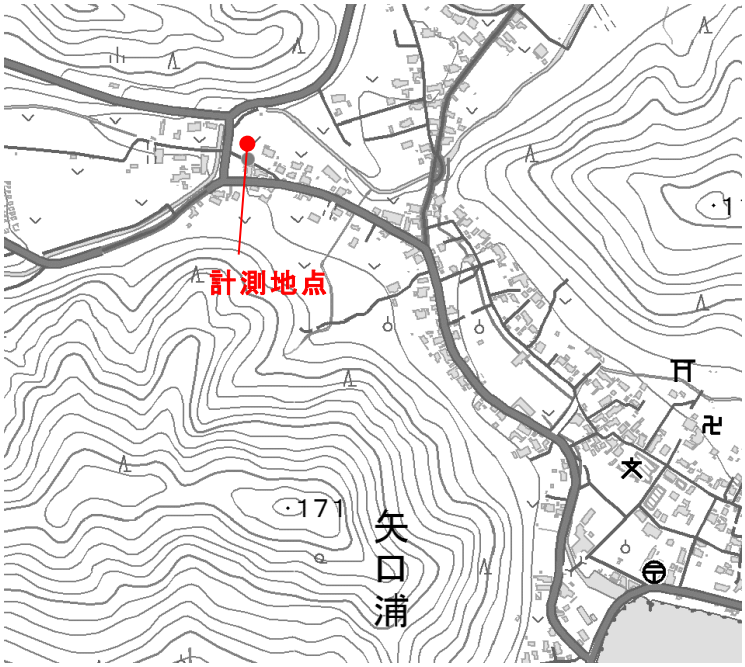
嘉永七寅年地震高浪ニ付村々荒あらまし記録帳（表３-10-⑦-３：資料番号 129）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

矢口にては家 28 軒ながれ、浪は馬瀬越のしばまで上る事

以上に基づき、津波到達地点の地盤標高を計測した。馬瀬越を峠の入口と推定し集落上端周辺を遡上限界として、津波遡上高は T.P.+14.7m とした。







緯度 34 度 8 分 2.82 秒、経度 136 度 15 分 46.03 秒、標高：T.P.+14.74m

図３-10-⑦-15　矢口浦の津波痕跡高

o）八木戸 01（やきど）

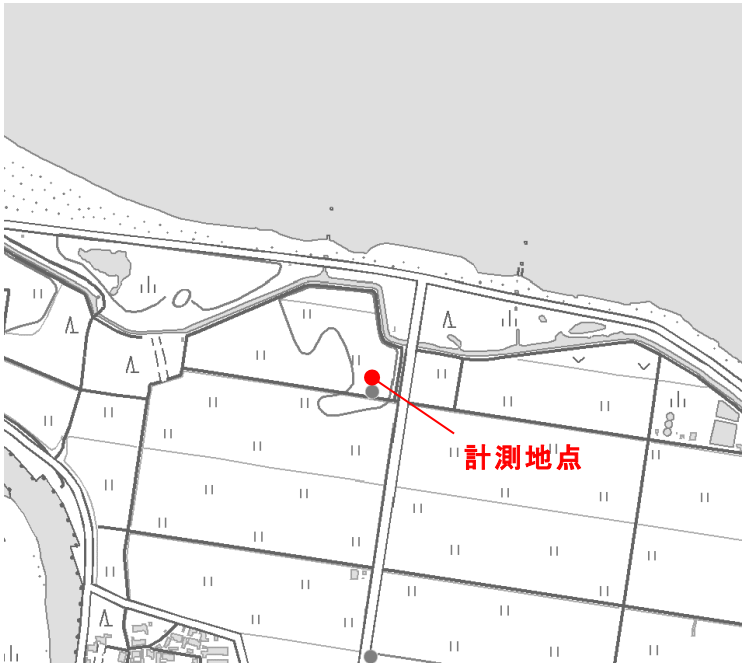
明和町史史料編二（表３-10-⑦-３：番号 102）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

八木戸浜田よりは津浪参し候と申し、海辺にては大普請出来候処所々にこれあり、中郡沖へは堤切込み夫よりいさば船押込み、とうとう破てのけ申し候

以上に基づき、八木戸の水田標高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０m）として、津波浸水高を T.P.-0.1m 以上とした。







緯度 34 度 35 分 28.58 秒、経度 136 度 38 分 12.02 秒、標高：T.P.-0.12m

図３-10-⑦-16　八木戸 01 の津波痕跡高

p）八木戸 02（やきど）

明和町史史料編二（表３-10-⑦-３：番号 102）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

八木戸浜田よりは津浪参し候と申し、海辺にては大普請出来候処所々にこれあり、中郡沖へは堤切込み夫よりいさば船押込み、とうとう破てのけ申し候

以上に基づき、八木戸の水田標高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０m）として、津波浸水高を T.P.-0.1m 以上とした。







緯度 34 度 35 分 17.74 秒、経度 136 度 38 分 11.94 秒、標高：T.P.-0.08m

図３-10-⑦-17　八木戸 02 の津波痕跡高

q）八木戸 03（やきど）

明和町史史料編二（表３-10-⑦-３：番号 102）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

八木戸浜田よりは津浪参し候と申し、海辺にては大普請出来候処所々にこれあり、中郡沖へは堤切込み夫よりいさば船押込み、とうとう破てのけ申し候

以上に基づき、八木戸の水田標高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０m）として、津波浸水高を T.P.+0.9m 以上とした。







緯度 34 度 35 分 4.08 秒、経度 136 度 38 分 9.36 秒、標高：T.P.+0.85m

図３-10-⑦-18　八木戸 03 の津波痕跡高

r）日保見山八幡宮（ひほみやまはちまんぐう）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号２）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

大湊神社辺は大塩にて大変の由

以上に基づき、大湊神社の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深 0.5m）として、津波浸水高を T.P.+2.1m 以上とした。





緯度 34 度 31 分 39.88 秒、経度 136 度 44 分 31.54 秒、標高：T.P.+1.58m

図３-10-⑦-19　日保見山八幡宮の津波痕跡高

s）大湊御役所跡（おおみなとおやくしょあと）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号２）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

大湊神社辺は大塩にて大変の由、
1854 年安政地震津波（文献：拾遺別）
海上津浪にて大湊築屋敷は人家へ打揚て、御役所裏へも浪打揚り、磯瀬迄も揚る、凡３尺斗も堤へ揚る、
1854 年安政地震津波（文献：地震史料に収録された山中立之介の手記）
築屋敷橋詰の灯明台は弐上七尺有之所、其上をこしたる由なれば浪の高さ三四丈もありしなるべし

以上に基づき、大湊町民会館前の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０m）として、津波浸水高を T.P.+4.0m 以上とした。







緯度 33 度 32 分 14.85 秒、経度 135 度 49 分 9.29 秒、
標高：T.P.+4.00m

図３-10-⑦-20　大湊御役所跡の津波痕跡高

t）灯明台跡（とうみょうだいあと）

御薗村誌（表３-10-⑦-３：番号４）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

築屋敷橋詰の灯明台は弐上七尺有之所、其上をこしたる由なれば浪の高さ三四丈もありしなるべし

以上に基づき、灯明台跡の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深 1.5 m）として、津波浸水高を T.P.+5.3m とした。







緯度 34 度 31 分 28.02 秒、経度 136 度 44 分 50.97 秒、標高：T.P.+3.79m

図３-10-⑦-21　灯明台跡の津波痕跡高

u）御塩殿神社（みしおどのじんじゃ）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号１）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

築御塩焼の竈損失

以上に基づき、御塩殿神社の海側地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深 1.5m）として、津波浸水高を T.P.+5.0m とした。







緯度 34 度 30 分 39.64 秒、経度 136 度 46 分 14.31 秒、標高：T.P.+3.49m

図３-10-⑦-22　御塩殿神社の津波痕跡高

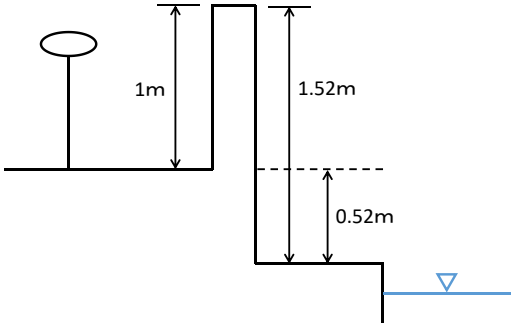
v）鳥羽城大手水門跡（とばじょうおおてすいもんあと）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号 35）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

鳥羽稲垣摂津守殿大手門高塩にて皆無の由

以上に基づき、鳥羽城大手水門跡の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深 1.0ｍ）として、津波浸水高を T.P.+2.8m とした。







緯度 34 度 28 分 56.12 秒、経度 136 度 50 分 43.45 秒、標高：T.P.+1.87m

図３-10-⑦-23　鳥羽城大手水門跡の津波痕跡高

w）源慶寺境内（げんきょうじけいだい）

新収第五巻別５－１には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

源慶寺・宗七内等ハゆ家下迄汐乗申候

以上に基づき、源慶寺境内の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+2.9m 以上とした。







緯度 34 度 20 分 19.37 秒、経度 136 度 52 分 32.11 秒、標高：T.P.+2.89m

図３-10-⑦-24　源慶寺境内の津波痕跡高

x）祥雲寺前（しょううんじまえ）

拾遺別には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

海底より涌出るがごとくゆご嶋､御祓島も見へざるように汐増､前浜へ満たりしが、北の愛神の前浜へ押込、大田の堤切れて子易の神、前の田まで汐込入、それより南の方さして押廻り、仮墓所近所の家々３・４尺も汐入、前浜手は土手際まで打越たる、館の世古より南は汐２度めに満込し時は家の庭まで込入たり、
５日暮れ六つ頃大地震、汐浦畑一面へ上る事

以上に基づき、祥雲寺境内の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０m）として、津波浸水高を T.P.+3.5m 以上とした。







緯度 34 度 16 分 9.08 秒、経度 136 度 52 分 3.1 秒、標高：T.P.+3.46m

図３-10-⑦-25　祥雲寺前の津波痕跡高

y）船越田畑（ふなこしたはた）

拾遺別（表３-10-⑦-３：番号 31）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

海底より涌出るがごとくゆご嶋､御祓島も見へざるように汐増､前浜へ満たりしが、北の愛神の前浜へ押込、大田の堤切れて子易の神、前の田まで汐込入、それより南の方さして押廻り、仮墓所近所の家々３・４尺も汐入、前浜手は土手際まで打越たる、館の世古より南は汐２度めに満込し時は家の庭まで込入たり、
５日暮れ六つ頃大地震、汐浦畑一面へ上る事【南海地震】

以上に基づき、船越北部の畑の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+2.3m 以上とした。







緯度 34 度 16 分 25.38 秒、経度 136 度 52 分 6.78 秒、標高：T.P.+2.25m

図３-10-⑦-26　船越田畑の津波痕跡高

z）普門寺前（ふもんじまえ）

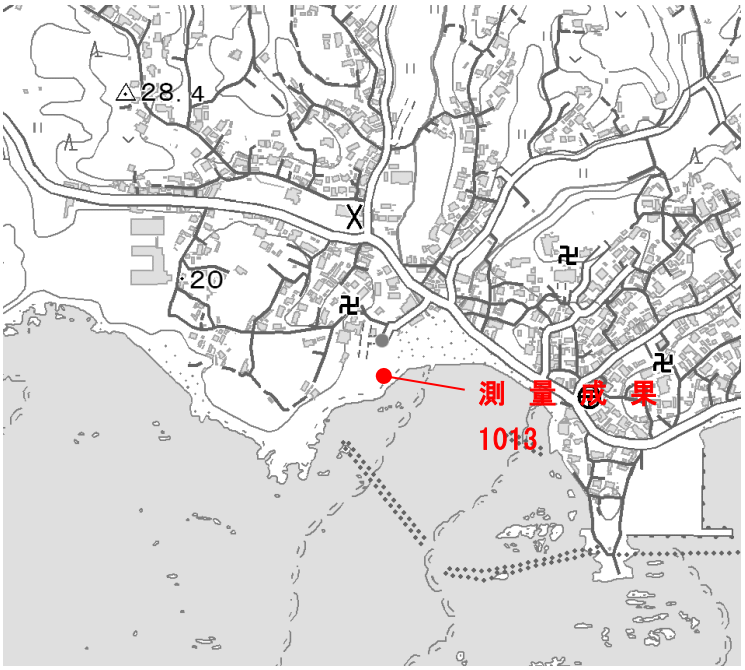
志摩町史（表３-10-⑦-３：番号６）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

御高札場相砕、普門寺兼百姓家以上 56 軒流失、家数 56 軒

以上に基づき、普門寺前（下）の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+2.3m 以上とした。







緯度 34 度 15 分 28.42 秒、経度 136 度 47 分 24.26 秒、標高：T.P.+5.60m

図３-10-⑦-27　普門寺前の津波痕跡高

aa）五ヶ所浦田地（ごかしょうらたち）

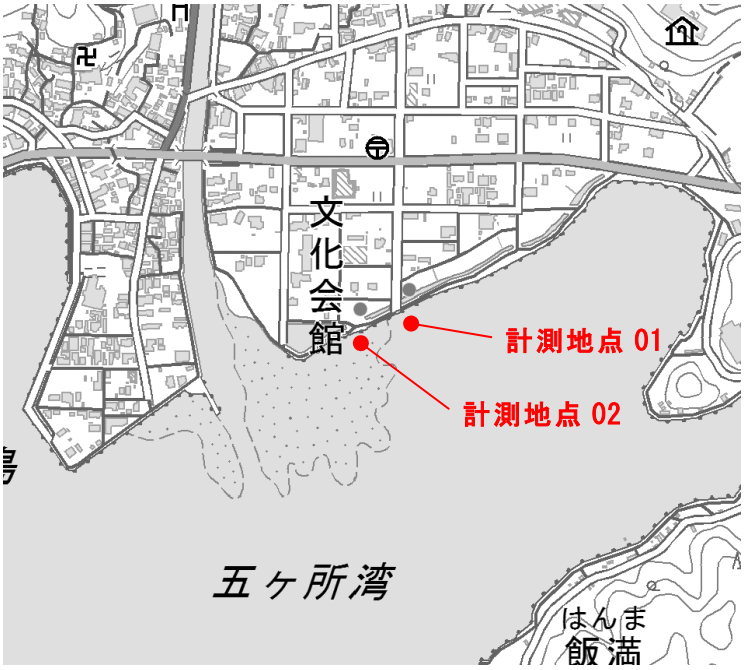
志摩町史（表３-10-⑦-３：番号６）には、安政東海および南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

先しをの高さ、土代上り４尺上り、五日浪、前田中の間へ迄くる、しをの高大い■、浦方・川原・村家みなをち合までながし、五ヶ所・加津佐流れ、当村 30 家流、【南海地震】

以上に基づき、五ヶ所浦の低い箇所の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+2.4m 以上とした。【南海地震】







01：緯度 34 度 20 分 53.00 秒、経度 136 度 42 分 13.07 秒、標高：T.P.+1.43m
02：緯度 34 度 20 分 52.19 秒、経度 136 度 42 分 10.63 秒、標高：T.P.+2.35m

図３-10-⑦-28　五ヶ所浦田地の津波痕跡高

ab）道方（みちかた）

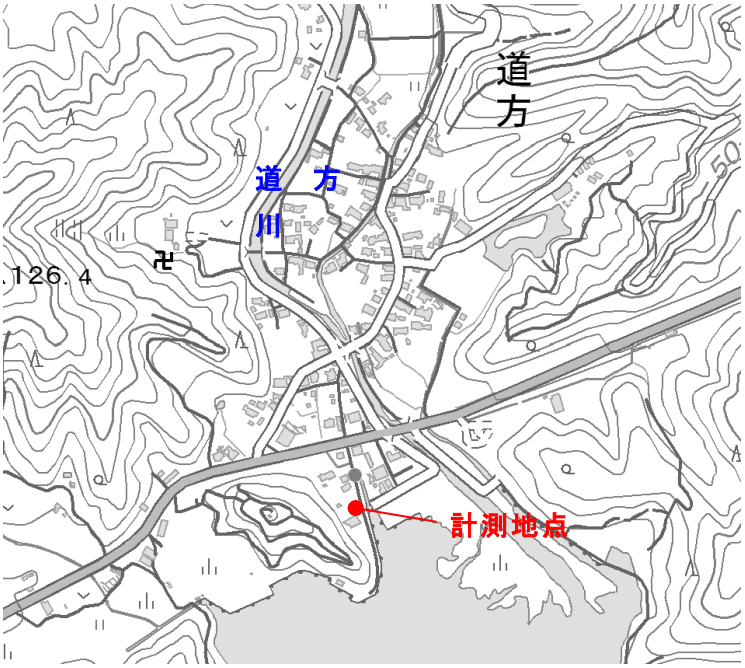
羽鳥（1979）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

地震で家・蔵・納屋いたむ。村へは津波入らず。

以上に基づき、道方川河口部付近の地盤高を計測した。浸水地点は地盤高以下として、津波浸水高を T.P.+1.2m 以下とした。







緯度 34 度 17 分 39.52 秒、経度 136 度 34 分 52.24 秒、
標高 ：T.P.+1.18m

図 3-10-⑦-29　道方の津波痕跡高

ac）西光寺境内（さいこうじけいだい）

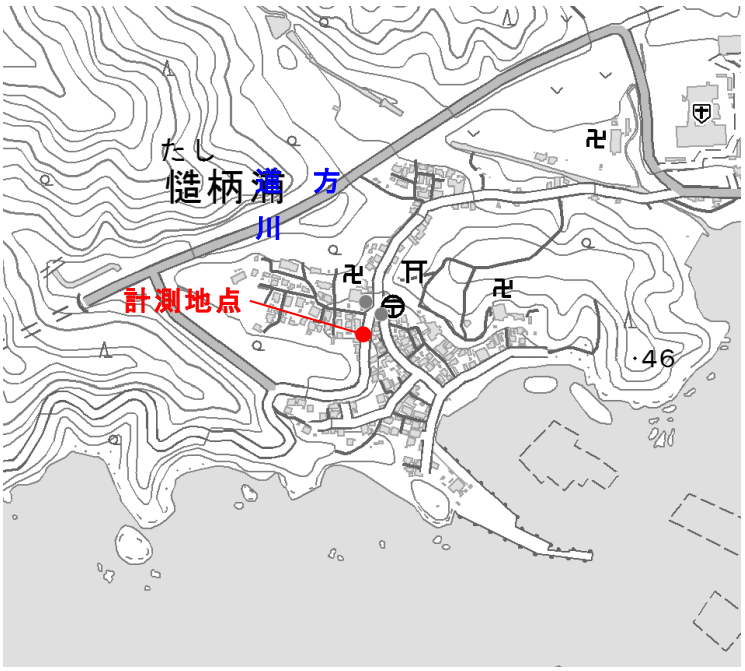
新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号 84）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

慥柄浦は屋敷地後高の処故、此度の津浪にも浪勢和らかく、夫故か流家多分これなく汐入ばかり也、西光寺の近所石橋の処まで浪先来る由

以上に基づき、道方川河口部付近の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+6.86m 以上とした。







緯度 34 度 17 分 15.66 秒、経度 136 度 33 分 53.38 秒、標高：T.P.+6.86m

図３-10-⑦-30　西光寺境内の津波痕跡高

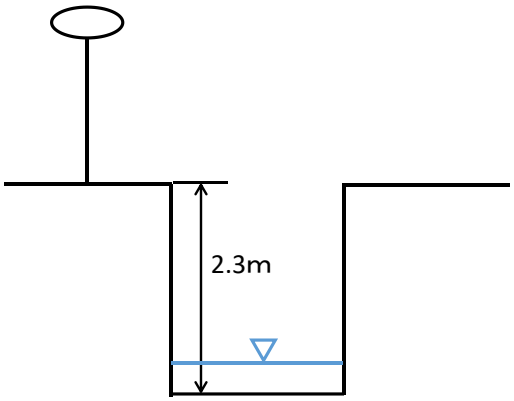
ad）西光寺近所の石橋（さいこうじきんじょのいしばし）

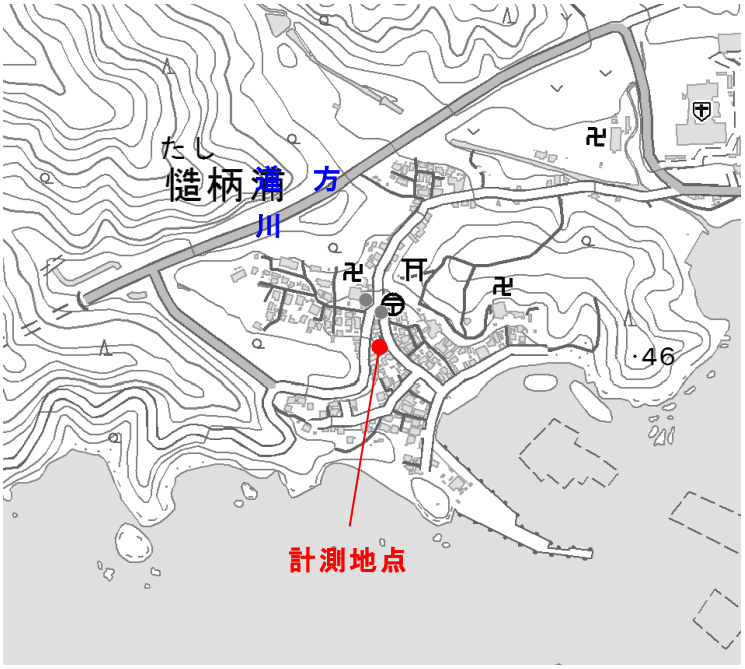
新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号 84）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

慥柄浦は屋敷地後高の処故、此度の津浪にも浪勢和らかく、夫故か流家多分これなく汐入ばかり也、西光寺の近所石橋の処まで浪先来る由

以上に基づき、西光寺南を流れる小河川に掛かる石橋の地盤を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+4.2m 以上とした。







緯度 34 度 17 分 15.13 秒、経度 136 度 33 分 54.19 秒、標高：T.P.+6.50m

西光寺南を流れる小河川の河床高として、標高：T.P.+4.20m

図３-10-⑦-31　西光寺近所の石橋の津波痕跡高

ae）最明寺前の旧田畑（さいみょうじまえのきゅうでんぱた）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号 92）には、安政東海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

慥庄屋の宅にて浪の高さ凡そ８尺程、尤も四方の内東西南は土蔵并納屋等立ならべこれある故後口は山也、それ故浪勢これなくどよみ候か、居宅格別大破にもこれなく、家の天井下平物まで浪漬りに成立道具類内のり一はい浪漬り候【→住職ヒアリングより庄屋宅は不明】
薬師堂床より三尺計り汐漬り【→住職ヒアリングより薬師堂は境内にあるが、移設した可能性大】
次郎三郎右衛門道大道の所より最明寺の門前田の所二枚目田半分頃まで津浪先くる、此所限り浪上り不申

以上に基づき、最明寺前にあったと思われる田畑跡（現在は駐車場）の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深０ｍ）として、津波浸水高を T.P.+6.0m 以上とした。







緯度 34 度 17 分 2.26 秒、経度 136 度 33 分 23.92 秒、
標高：T.P.+6.03m

図３-10-⑦-32　最明寺前の旧田畑の津波痕跡高

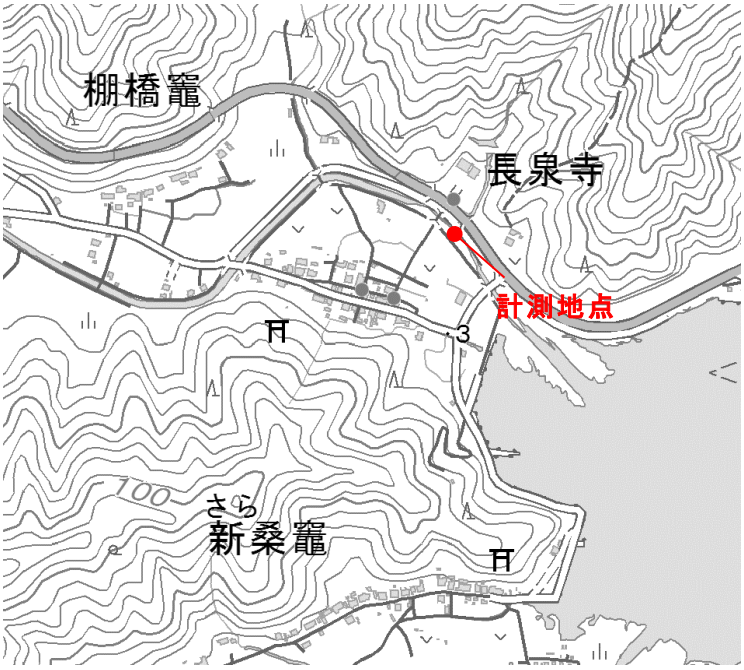
af）長泉寺前（ちょうせんじまえ）

新収第五巻別５－１（表３-10-⑦-３：番号 96）には、安政南海地震の津波被害状況について、以下の記載があった。

【新桑竈の記載のとして、】
四日到来津浪にて肝を冷やし、其翌日にも七ツ頃中地震ゆり候処、其時も汐先寺の前まで来候、文吾方床を流し候【南海地震】

以上に基づき、長泉寺前の地盤高を計測した。当該地点を浸水地点（浸水深 0m）として、津波浸水高を T.P.+3.8m 以上とした。





緯度 34 度 14 分 59.22 秒、経度 136 度 26 分 22.73 秒、
標高：T.P.+3.80m

図３-10-⑦-33　長泉寺前の津波痕跡高

（c）結論ならびに今後の課題

安政東海・南海地震津波に関する歴史資料について、三重県における調査を重点的に進め、三重県の地方史料の刊行物や地域史・郷土史研究の雑誌論文、ガリ版刷や古文書の解読原稿の稿本などを調査し、先述の史料集に掲載されていない史料の情報を収集した。同時に、先述の史料集に収録されている史料についても、作成者や成立年代など、その成立背景を判明する情報を収集した。これらの中で既往研究で未使用な史料を抽出・収集し、その解釈の問題点から再検討が必要な歴史資料を抽出し、これらの資料について再解釈を行い、これに基づいて現地調査を実施した。本調査から、和歌山県と三重県における津波高分布の概形をより明確にすることができ、特に両県の県境（鵜殿）ではふたつの地震津波による津波被害が皆無であったことから、津波終息点のひとつと

して考えることができる。今後は本業務で得られた津波痕跡分布に基づく波源解析が必要であろう。

(d) 引用文献

相田勇，尾鷲市街に遡上した津波の調査 ： 1944 年東南海・1960 年チリおよび 1854 年安政津波，地震研究所彙報，56（１），245 - 263，1981.

今村明恒，和歌山縣下に於ける寶永安政年度の津浪状況調査，地震，1，10(６)，236-249，1938.

羽鳥徳太郎，安政地震（1854 年 12 月 23 日）における東海地方の津波・地殻変動の記録 ： 明治 25 年静岡県下 26 ヵ町村役場の地震報告から，東京大学地震研究所彙報 ，51(１)，13-28，1976.

羽鳥徳太郎，静岡県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査，東京大学地震研究所彙報，52(３/４)，407-439，1978.

羽鳥徳太郎，三重県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査，東京大学地震研究所彙報，53(４)，1191-1225，1979.

都司嘉宣（編），東海地方地震津波史料（Ｉ・下巻）−静岡県・山梨県・長野県南部編−（安政元年 11 月４日，５日の地震），防災科学技術研究資料，36，pp.857，1979.

羽鳥徳太郎，大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査，東京大学地震研究所彙報，55(２)，505-535，1980.

羽鳥徳太郎・相田勇・坂下至功・日比谷紀之，和歌山県湯浅・広に遡上した南海道津波の調査 ： 1946 年南海道および宝永・安政津波について，東京大学地震研究所彙報 ，58 （１），187-206，1983.

都司嘉宣・日野貴之・岩崎伸一・矢沼隆・北原糸子，安政東海地震津波（1854）の浸水高の精密調査，歴史地震，７，43-56，1991.

都司嘉宣,・岩崎伸一，和歌山県沿岸の安政南海津波(1854)について，歴史地震,12，169-187，1996.

行谷佑一・都司嘉宣，宝永（1707)・安政東海（1854）地震津波の三重県における詳細津波浸水高分布，歴史地震，20，33-56，2005.

(3) 平成 30 年度業務計画案

南海トラフ地震の多様な震源シナリオに対応した長周期地震動の直前把握､及び地震発生時の即時把握に向け､強震観測データ同化等に基づく長周期地震動のリアルタイム波動伝播解析と予測に向けた研究開発を進める。

4. 全体成果概要

平成 29 年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の５年度目として、平成 28 年度に引き続き各サブテーマ内の研究課題の進捗を重点的に行った。以下に各サブテーマの成果の概要を示す。

4.1 サブテーマ１：地域連携減災研究

2011 年東日本大震災の教訓を活かし、南海トラフ巨大地震大津波の被害軽減への対応、将来の南海トラフ巨大地震の復旧復興､高分解能な地域リスク評価も併せて実施している。また､情報発信や情報の共有化の観点から｢東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」構築・利活用と、プロジェクトの成果を防災減災に活用するための「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」の構築を進めている。そして、引き続き地域研究会の活用や減災の啓発活動を実施、人材育成にも努めている。

本サブテーマは、(a)東日本大震災教訓活用研究、(b) 地震・津波被害予測研究、(c) 防災・減災対策研究、(d) 災害対応・復旧復興研究、(e) 防災・災害情報発信研究の研究課題で構成されている。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

(a) 東日本大震災教訓活用研究の成果

①｢東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計（３層アーカイブモデル）のうち、理論データベースとして開発した「震災教訓文献データベース」へのコンテンツ追加と「動画でふりかえる 3.11－東日本大震災公開動画ファインダー－」のモニターを対象にしたユーザー利用評価調査によって概ね良好な結果が得られた。

②大規模災害により被災した市街地の復興を､｢復興モニタリンスシステム」を通じて、定点観測により、アーカイブ化することを引き続き行っている。本年度は、データ提供を受けていたカメラが撤去されたことにより、新たに大槌町役場屋上にカメラの設置を行った。

③1) ライフライン、2) 建築構造物および 3) 地盤・土構造物について、平成 25～28 年度に実施した構造物被害調査結果を主として本プロジェクト 1-b に情報提供するとともに、ひきつづき当課題において当該情報の有効性などを精査した。

④東北地方太平洋沖地震において、関東平野の長周期地震動レベルが地震規模に比べて小さかった原因を、地震波伝播シミュレーション結果のアレイ解析に基づき検討し、関東平野の堆積層構造の不均質性による表面波の散逸効果による長周期地震動レベル低下のメカニズムを明らかにした。

(b) 地震・津波被害予測研究

①地震津波被害統合解析のモデル地区である愛知県碧南市における高解像度な津波氾濫過程解析に向けた環境整備を行い、津波被害軽減に資する基礎的な対策手法について検討した。内閣府の条件に倣った検討から、沿岸都市部の中心に流れる２級河川護岸の地震動被害が津波氾濫域に大きく影響を及ぼし得ることを確認した。

②スペクトルインバージョンにより 2016 年４月１日に発生した三重県南東沖の地震のパラメータを推定した。さらにこれを要素地震として用い、経験的グリーン関数法により南海トラフ巨大地震の地震動を予測した。

③蜆川河口付近の地盤と堤防の弾塑性モデル化と L2 地震に対する応答評価（地震後を含む）を実施し、粘性土がより厚く堆積している右岸は左岸よりも大きく沈下する可能性などを示した。

④市庁舎等の重要構造物を想定し、強震観測・常時微動測定などによる応答・被害予測の検討を行った。まずモデル地域の市庁舎（10 階建て SRC・S 混合構造、杭基礎）について、常時微動観測に基づく詳細な振動特性評価を行った。また東海地域の免震建物、高層建物、中低層建物などについて、2016 年４月１日に発生した三重県南東沖地震の観測記録の収集・分析を行った。

⑤南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧についての検討を目的として、電力については、電力復旧におけるボトルネックについて議論するとともに、そのうちの道路について、電力復旧の観点からの道路・区間に対する優先順位付けについて検討した。また、上水道については、具体的な地域の水道網を対象に、現状の施設が被災した場合ならびにハード対策を講じた場合の施設被害を推計し、両者の比較を行った。

⑥発災後の災害シナリオの高度化のため、直接被害を受けない地域の間接被害の試算が可能な応用一般均衡モデルを利用し、間接被害の算出方法について検討した。具体的には、2004 年新潟県中越地震、2011 年東北地方太平洋沖地震、2016 年熊本地震を対象に、観測記録から推定した面的な地震動分布や空間的な産業の暴露データを利用して、間接被害を試算するとともに、その妥当性について検討した。また、南海トラフで発生する地震について複数のシナリオ地震による間接被害額を試算し、それぞれの間接被害の波及状況について示した。

⑦都市災害について、2017 年度は碧南市を対象とすることも踏まえて、これまでに構築した大都市避難シミュレーションの復興期への拡張を試みた。その結果、住まいを失った世帯が住宅を再取得する段階で、どのような移動を行うかに関する予測モデルを構築した。経済被害について、東海圏における県産業連関表および工業統計調査、経済センサス等の経済データを利用し、東海圏の市区町村レベルの経済被害に関わる経済データの整備および防災・減災への利活用に関わる基礎的検討を行った。検討の結果、市区町村によって主要産業や産業間取引の様態が大きく異なることが明らかとなり、経済被害の発生やその対策のあり方が市区町村毎で異なり得ることが示された。

(c) 防災・減災対策研究

①前年度に議論した各地方自治体の防災・減災対策の状況を踏まえ、東海、関西、四国、九州で地域研究会を開催した。四国・九州地域では、地域研究会と平行して分科会も行い、各県危機管理部門の関係者に出席いただき、情報交換や議論を行った。プロジェクト側研究者や自治体等の取り組みの現状の報告等から議論を行い、課題やニーズの抽出を行った。

②啓発活動として、10 月には高校生を対象とした対話型イベントを高知市で開催した。

(d) 災害対応・復旧復興研究

①昨年度に実施した阪神・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とした災害による総合的な影響評価分析の精度検証を目的に、分析範囲を北摂地域に拡大するとともに、分析期間を国勢調査については 1990－2005 年の４時期（昨年度は 1990、1995、2000 の３時期)、事業所･企業統計については 1991－2006 年の４時期(昨年度は 1991、1996、2001 の３時期）に拡大して検討を行った。また、国勢調査及び事業所・企業統計調査を基にした地域メッシュ統計等を用いて、地域メッシュごとの地域人口・経済構造についてデータ分析を行い指標化した。また、公共施設や被害想定等のデータをあわせて、ＧＩＳを用いて、地域特性の経年変化や災害が地域に与える影響等について地理空間的な分析を行った。前記データを用いて地域特性の推移や被害の大きさ（全半壊率）および復興事業との関連性を分析し、災害が地域に与える影響について分析を行った。

②これまでに和歌山県由良町衣奈地区で開発してきた事前復旧・復興計画策定システムを和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市福良地区に導入し、その有用性の検証ならびに課題の抽出、改良の実施を行うとともに復興土地利用計画策定のフレーム構築を行った。

③伊豆市で進められる津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策定に主体的に関わることを通して、津波防災地域づくりの計画プロセス、計画策定手法に関して考察を行い、津波ハザード評価を実社会につなげる計画理論の確立に向けての知見を得た。

④地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の策定とその検証については、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」が市町都市計画担当者の納得を経て圏域（広域）のマスタープランに反映されたことを確認するとともに、それを市町の都市計画さらには地区のまちづくりに適用する際の課題や方法を検証するための基礎的分析を行った。

(e) 防災・災害情報発信研究

①「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」の利用検証を継続して各地で行った。研究成果データ公開や各種利活用システムの連携が可能となるよう各関係機関と調整を行い、DONET リアルタイムデータの試験的閲覧を開始した。メタデータの仕様について再検討し、防災・災害関連データの収集・DB 化を継続して実施した。利用者ニーズを反映し改善された Ver.1.1 の公開を実施した。

②減災関連情報の収集・整理として、大垣市内に残る濃尾地震の慰霊碑・記念碑調査・報告を行った。また、南海トラフ地震に対する減災対策等に有効活用するための情報システムやアプリケーションの開発を行い、減災館を場とした社会実装実験を通してその効果を検証した。

③これまで開発してきた自動読み取り、海陸構造を取り入れた即時震源決定、これらの情報に基づく地震活動と統計情報の可視化を進めた。統計処理や可視化に必要なパラ

メータ設定の検討を開始した。

④避難意図ならびにその避難意図を規定する要因に関する量的調査の詳細分析を行うとともに、知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、平成 29 年度に実施した和歌山県美浜町における地域防災リーダーを対象とした量的調査の分析を進めた。加えて、今年度から予備的に検討を開始する地域産業の事業継続計画について先行的に聞き取り調査を行った。

4.2 サブテーマ２：巨大地震発生域調査観測研究

南海トラフ、南西諸島域の調査観測による震源域の実態解明とそれらの成果に基づくシミュレーションによる発生予測、被害予測研究の推進を目的とする。

これらの研究成果を、サブテーマ１の地域連携減災研究に確実に活用し、南海トラフ広域地震防災・減災を図るものである。

本サブテーマは、調査観測分野とシミュレーション分野で構成されており、各分野に研究課題が設定されている。

調査観測課題では、(a)プレート・断層構造研究、(b)海陸津波履歴研究、(c)広帯域地震活動研究、シミュレーション課題では、(d)データ活用予測研究、(e)震源モデル構築・シナリオ研究の課題がある。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

4.2.1 巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）

(a) プレート・断層構造研究

①奄美群島付近で屈折法地震探査および反射法地震探査を実施した。宮古・八重山諸島周辺の三次元速度構造や震源分布に基づいてプレート形状モデルを構築し、南西諸島北部の震源分布やトカラ列島周辺の断層分布を解明した。また南海トラフの拡大想定震源域上限の構造マッピング、拡大想定震源域下限および海洋プレート構造・物性の決定を実施した。

②四国東部における稠密地震観測点データの解析により、深部低周波地震の高精度検出に着手するとともに、四国西部における深部低周波微動等の活動域とその周辺におけるプレート境界付近の地下構造の特徴把握を行い、地下構造の概略モデルを構築した。

③南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築、南海トラフの拡大想定震源域上限の構造マッピング、拡大想定震源域下限及び海洋プレート構造・物性の決定を実施した。

④四国東部における稠密地震観測点データの解析により、深部低周波地震の高精度検出を実施するとともに、四国東部におけるフィリピン海プレート形状モデル構築に向けた様々なデータベース構築を行った。

(b)海陸津波履歴研究

①宮崎平野で掘削調査を実施し、日向市南部において地表面から深さ約 60 cm に AD1492～1602 以降の砂層が検出されたが、津波と明確に呼べる堆積物は現時点で見つかっていない。

②奄美群島喜界島において、現成および離水サンゴ・マイクロアトールの調査を実施し、過去 155 年程度はおおよそ地殻が安定していること、また 14～17 世紀の間でも少なくとも 270 年間はおおよそ地殻が安定していたことが明らかになった。また 16～17 世紀にネットで 25cm 程度の急激な相対的海面低下があった可能性がある。

③静岡県富士市の浮島ヶ原低地で採取された既存の柱状堆積物試料について、化石群集の分析および放射性炭素年代測定を行った結果、過去 3500 年間に少なくとも６回の沈水イベントがあり、上位２回が歴史地震に対応している可能性があることが明らかになった。

④徳島県牟岐町での掘削調査の結果、1500～5500 年前の地層中に７枚の砂層および２枚の礫層が認められた。同県美波町では既存の試料について放射性炭素年代測定を行った結果、700～6000 年前の地質学的イベント（津波、高潮、洪水など）を記録していることが明らかになった。

⑤高知県黒潮町において平成 26 年度に採取したボーリング試料の層相の観察および放射性炭素年代測定を行った結果、西暦 700 年以降に突発的な水流によって堆積したイベント砂層を２層検出した。

⑥富士川河口域西部の蒲原低地で平成 28 年度に得られたボーリング試料について、^{14}C 年代測定および珪藻分析を行った結果、富士川河口断層帯入山瀬断層は、従来考えられているよりも活動度が低く、また長期的にみると蒲原低地は沈降している可能性があることが明らかになった。

(c) 広帯域地震活動研究

①南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を実施した。また、海底地震（水圧）計のデータ解析を行った。平成 29 年度は、平成 28 年度に設置した圧力計搭載の長期観測型海底地震計を回収し、種子島東方沖に長期観測型海底地震計を設置し観測を開始した。目的は、種子島東方沖において海底地震観測を行うことにより、南西諸島海溝北部におけるプレート境界浅部のスロー地震活動モニタリングを行うことである。今年度回収された海底地震計には、良好な波形データを取得されており、微動活動および超低周波地震が記録されていることが確認された。これまでに回収されたデータからは、平成 28 年４月に発生した熊本地震により、日向灘における低周波微動活動および超低周波地震活動が活性化されたことが確認された。

②平成 26 年度から 27 年度（2015 年 12 月 9 日から 2016 年 12 月 20 日）にかけて実施した熊野灘沖における地殻変動観測ブイシステムによる水圧観測データにおいて周波数領域のフィルター処理を行い、各周期帯における海底水圧変動の時系列とその特徴について、大気圧データとの比較検討を行った。気圧低下が生じている時には、海底の水圧観測とブイで計測した海面高とも高い相関が認められ、各周期帯の水圧値に擾乱が生じており、特に２～８分の周期帯でその振幅が大きい傾向にある。一方、気圧変動がそれほど生じていない場合でも、水圧値にパルス的な変動が生じている場合もある。より定量的な検討を行うためには、設置海域の地震活動との対比を行いながら、

注意深く検討を進めていく必要がある。

4.2.2 巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）

(d) データ活用予測研究

①過去の地殻変動データの整理、有限要素モデルの構築等を実施した。H28年度に作成したブロック運動モデルの解析手法を西南日本の地殻変動データに適用した結果、プレート境界における固着分布の不均質性が明らかになった。また、内陸断層での固着の分布、ブロック間の相対運動、観測された地殻変動の弾性応答成分と剛体運動成分を明らかにした。また、過去の水準データを含む地殻変動データの整理を継続して実施し、より効率的に過去の測地測量データの抽出ができるプログラムを作成した。さらに、GEONETデータの統一的な再解析結果を用いることにより、2011年東北地方太平洋沖地震の発生前に、東北地方の太平洋沿岸部で加速的な沈降が生じていたことを明らかにした。プレート境界の深さ50km程度より浅い部分で加速的なすべりないし固着のはがれが生じていたと推定される。

②東北沖地震前後のプレート境界での地震活動について検討を進めた結果、東北沖地震による余効すべりによる非地震性すべり速度の増加にともなって、それまで地震が発生していなかったところに新たに地震が起こったことがわかった。また、東北沖地震が、釜石沖地震に与えた影響についても調べ、固着域内部およびごく近傍での地震活動が、固着域での固着状況の時間発展という同一の物理過程に支配されている可能性を示唆する結果を得た。また、超低周波地震（VLFE）の震源特性を日本海溝の海溝軸近傍（VLFE発生域近傍）に設置された短周期海底地震計を用いて明らかにした。これは、日本海溝におけるプレート間固着強度の時空間ゆらぎを知る上できわめて重要な成果である。さらに、海底水圧計に含まれる長期機器ドリフト成分の客観把握手法の開発を進め、事前に長期機器ドリフト成分を実験室環境下で正確に把握可能であること、および、それが実海域データの結果とも大局的には一致することを明らかにした。

③2011年東北地方太平洋沖地震前後のすべりに対する予測の試行実験に向けて、シミュレーションデータベースに多様性を与えるために、日本海溝域での地震発生サイクルシミュレーションを実施した。観測とは異なるシナリオを追加するために、Nakata et al. (2016)で再現していたM７クラスの地震を仮定しないモデルを複数パターン作成した。より観測と整合的なシナリオを追加するために、観測から得られる知見をモデルパラメータの空間分布に反映させた地震発生サイクルシミュレーションを行い、M９クラスの地震時すべり域の分布をより観測と整合性のある分布にすることが、日本海溝域で観測されている周期的なスロースリップの再現には重要であることがわかった。

④モンテカルロ混合カルマンフィルタ（MCMKF）を、1996年から2016年の東海地方のGNSS時系列データに適用し、プレート境界で発生するスロースリップイベント(SSE)の時空間変化を推定した。その結果、Mw６程度の小規模な短期的SSEにおけるすべり域の移動がGNSSデータのみから推定できた。これは、MCMKFの優位性を示すものである。また、H28年度に引き続き、豊後水道SSEに対してアンサンブルカルマンフィルター

（EnKF）適用の数値実験を行った。初期アンサンブルメンバーの設定法を改善し、南海地震震源域における固着を考慮するパラメータを導入し、より現実的な手法を開発した。その結果、初期アンサンブルメンバーへの解の依存性が軽減し、固着域を設定した場合でも、摩擦パラメータの推定、およびLSSE域のすべり発展に加え、固着域のすべり遅れ速度の推定に成功し、現実データ適用への準備が整った。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

①高詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析手法の改良を進めるとともに、日本列島モデルの高分解能な地殻変動解析モデルを整備した。本モデルを用いて、地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動解析を行った。また、データサーバー上に、地殻構造推定の曖昧さを考慮可能なグリーン関数データベースを構築して震源シナリオ推定を行った。

②スペクトル要素法（SEM）を用いて、不均質弾性媒質中での動的破壊過程を含む２次元 in-plain 問題における地震サイクルシミュレーションコードを開発した。断層を挟んで媒質が異なる現実的な bimaterial 媒質中の高角傾斜断層での地震サイクル計算から、断層近傍の不均質性の影響を確認した。準動的計算に加えて、慣性項を含む動的計算を行い、媒質の粘性率が小さい場合において、地震発生繰り返し間隔が長い／短いの２値に分岐する“bifurcation 現象”が起きることを確認した。

③非線形粘弾性を扱う事ができる計算手法を地震サイクル計算に組み込んだ予備解析を行った。南海トラフ地震を例に粘弾性層での応力緩和が適切に評価できることを確認するとともに、弾性体の地震発生サイクル計算で利用する“H 行列”高速計算手法を用いることで計算の効率化が期待できることを確認した。

④1996-2000 年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1946 年南海地震後 50 年の状態）を再現した。これを用いることで、地震発生シナリオ生成において、各時間ステップ毎に、地震破壊点、破壊伝播可能性、破壊伝播特性、破壊の拡大範囲、等の議論が可能となった。

⑤テクトニックローディングシミュレーションを考慮した動的破壊伝播計算を実施した。初期クラック位置（地震破壊開始点）を変えてシミュエーションから、開始点によって全領域への破壊の発展あるいは部分的破壊に止まるなど、破壊開始点依存の地震拡大特性を確認した。また、破壊開始に必要な力（擾乱）の大きさは場所毎に異なること、そしてテクトニックローディング過程における時間経過による応力増加に対応して、破壊可能領域が拡大することを確認した。

⑥2016 年三重県沖地震の発生を巨大地震の発生サイクルシナリオと関連付けて理解・解釈するためにフォワードシミュレーションを行った。二次元断面でのシミュレーションに階層アスペリティモデルを適用することにより、強い固着域が浅部及び深部から徐々に縮小すること、巨大地震サイクルの中盤から後半において中規模（M7 級）地震が浅部で発生した後に、固着域の深部から巨大地震が発生・アスペリティ全域を破壊するという地震発生シナリオを得た。三重県沖地震後に観測された余効すべりの伝播特性が、震源域浅部からトラフ軸近傍でのすべりに伴う強度弱化に関連するパラメー

タが大きい場合に再現できることを明らかにした。

⑦強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築のために、不均質 SMGA モデルを南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、大阪盆地地域の地震動計算を行った。その結果、従来の均質 SMGA モデルによる計算波形と比較して、現実に近い高周波数成分の生成が再現されることを確認した。

⑧海域陸域の強震記録を併用し、2016 年三重県沖の地震（M_{JMA} 6.5）の震源モデルを推定した。得られた震源モデルの SMGA 面積は、20.3 km^2 であり、同規模の内陸地殻内地震と同程度の面積であることを確認した。このことから、南海トラフのプレート境界地震は、東北日本のプレート境界地震とは異なる SMGA 面積－地震モーメントの関係を有している可能性が考えられる。

⑨関東平野における長周期地震動の生成強度の方位変動の原因として、日本の各地の応力場に反映した地域毎の地震の震源メカニズムに対応した地震波（表面波）放射パターン、関東平野の方位との関係に加え、関東平野に入射した長周期地震動（表面波）の増幅特性に方位性、の二つの影響が大きいこと明らかにした。

⑩1944 年東南海地震（M_{JMA} 7.9）、1946 年南海地震（M_{JMA} 8.0）、1945 年三河地震（M_{JMA} 6.7）、1948 年福井地震（M_{JMA} 7.1）のアンケート震度分布から、これらの地震の不均質断層モデルを推定した。特に、内陸地震において高密度に得られたアンケート震度分布から震源モデルを高い精度で推定することが可能であると示された。

⑪安政東海・南海地震津波に関する歴史資料について、既往研究で未使用な史料を抽出・収集し、現地調査により再解釈を行った。和歌山県と三重県の県境（鵜殿）では２地震の津波による津波被害が皆無であったことから、２地震の波源域の境界として考えられた。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(1) 東日本大震災教訓活用研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
戸川直希，佐藤翔輔，今村文彦，岩崎雅宏，皆川満洋，佐藤勝治，相澤和宏，横山健太	津波避難訓練が実際の津波避難行動に及ぼす効果－宮城県石巻市2016年11月22日福島県沖地震津波時の事例－	土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.73，I_1531-I_1536	2017年10月17日
佐藤翔輔，平川雄太，奥村誠，今村文彦	津波伝承知メディアによる人的被害低減効果の統計的分析－東日本大震災で被災した岩手県・宮城県における津波碑と津波由来地名に着目して－	土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.73，I_1525-I_1153	2017年10月17日
佐藤翔輔，平川雄太，白幡勝美，今村文彦	東日本大震災発生前における津波碑に対する岩手県陸前高田市の住民の認知・認識	土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.73，I_1537-I_1542	2017年10月17日
佐藤翔輔，今村文彦，相澤和宏，横山健太，佐藤勝治，岩崎雅宏，皆川満洋，戸川直希	宮城県石巻市における2016年11月22日福島県沖の地震津波による避難行動実態	土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.73，I_1603-I_1608	2017年10月17日
佐藤翔輔，岡元徹，今村文彦	震災からの「教訓」を伝える2つのデータベースの実装とその評価：「3.11からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」	災害情報，No.16，pp. 95-104	2018年1月
Shosuke Sato, Toru Okamoto, Fumihiko Imamura	Development and Evaluation of a Search Support Portal for Public Videos Related to the Great East Japan Earthquake: ″3.11 Video Portal－ Great East Japan Earthquake Public Footage Finder″	Journal of Disaster Research, Vol.13 No.2, pp. 313-320	2018年3月20日
Shosuke Sato, Fumihiko Imamura, Masarhiro Iwasaki	An Analysis of Web Coverage on the 2016 Kumamoto Earthquake Disaster	Journal of Disaster Research, Vol.13 No.2, pp. 321-325	2018年3月20日
佐藤翔輔，今村文	2017年7月九州北部豪雨災害におけ	自然災害科学，	2018年5月

彦	る「#救助」ツィートの実態分析	Vol.37, No. 1, 印刷中	
Y.Mukai and T. Furumura	Generation conditions of long-period ground motions in the Kanto Basin	S07-P-07 IAG-IASPEI 2017	2017年８月２日
佐藤翔輔，相澤和宏，横山健太，佐藤勝治，遠藤匡範，　高橋大輔，岩崎雅宏，皆川満洋，　戸川直希，今村文彦	2016年11月22日福島県沖地震に伴う津波避難の実態：石巻市と亘理町の住民を対象にした調査から	第36回日本自然災害学会年次学術講演会講演概要集，pp. 13-14	2017年９月
須藤龍也，佐藤翔輔	2017年7月九州北部豪雨における「#救助」ツィートの発信状況とその考察	日本災害情報学会 第19回研究発表大会予稿集，pp. 158-149	2017年10月
佐藤翔輔，岡元徹，今村文彦	東日本大震災に関する公開動画検索システムの構築：「動画でふりかえる3.11－東日本大震災公開動画ファインダー－」	日本災害情報学会 第19回研究発表大会予稿集，pp. 204-205	2017年10月
佐藤翔輔，今村文彦	2016年熊本地震災害におけるウェブ報道の量的傾向：それ以前の地震災害報道と比較して	日本災害情報学会 第19回研究発表大会予稿集，pp. 48-49	2017年10月
Y. Mukai, T. Furumura, and T. Maeda	Characterizing directional variations in long-period ground motion amplifications in the Kanto Basin, Japan	AGU Faull Meeting, 2017	2017年12月13日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(2) 地震・津波被害予測研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日

Baba, T., J. Taniguchi, N. Kusunoki, M. Miyoshi, H. Aki	Preliminary Study on Long-Term Flooding After the Tsunami	J. Disaster Research, vol. 12, pp. 741-747, doi:10.20965/jdr.2017.p0741,	2017年8月1日
M. Yamazaki, A. Koike, Y.Sone	The effect of an earthquake's sequential pattern on total economic loss caused by earthquakes	57th European Regional Science Association Congress, Groningen, The Netherlands.	2017年8月30日
山田沙代，平井敬，福和伸夫	中京地域で発生する長周期地震動に対する堆積盆地及び付加体の影響	日本建築学会構造系論文集，第82巻，第738号，pp.1165-1175	2017年8月30日
小島大輝，山田沙代，平井敬，福和伸夫	高密度強震観測記録に基づく 2016 年三重県南東沖の地震による東海地方の地震動の特性分析	日本建築学会2017年度大会	2017年8月31日
丹裕也、護雅史、福和伸夫	2016 年熊本地震で被災した低層 RC 造杭基礎建物の非線形相互作用解析 常時微動計測結果に基づく検討	日本建築学会2017年度大会	2017年9月2日
山田沙代，平井敬，福和伸夫	中京地域で発生する長周期地震動に対する不整形な堆積盆地構造の影響	日本建築学会2017年度大会	2017年9月3日
平井敬，福和伸夫	グリーン関数の相反性を利用した長周期地震動作成システムの構築	日本建築学会2017年度大会	2017年9月3日
福井優太，倉田和己，平井敬，福和伸夫	仮想現実技術と振動台を組み合わせた超高層建物の地震応答体験環境の構築	日本建築学会2017年度大会	2017年9月3日
中村洋光･藤原広行･佐伯琢磨･河合伸一・森川信之･清水智･小丸安史･時実良典･若浦雅嗣	南海トラフ地震で発生する地震・津波を対象とした確率論的リスク評価に基づく防災対策の費用対効果の検討	日本地震工学会第 13 回年次大会	2017年11月13日

福井優太，倉田和己，平井敬，福和伸夫	2016年4月1日三重県南東沖の地震の強震観測記録を用いた南海トラフ巨大地震の地震動予測と地震応答体験環境の構築	日本建築学会東海支部研究集会	2018年2月19日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(3) 防災・減災対策研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
高橋成実	南海トラフ沿いの各県自治体と研究者の勉強会「地域研究会」について	第49回海洋工学パネル	2017年８月１日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(4) 災害対応・復旧復興研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
佐藤克志、金玟淑，大津山堅介，牧紀男	事前復興計画案策定における地域の記憶抽出の試み ― 和歌山県由良町衣奈地区を対象として ―	地域安全学会論文集No.32	2018年３月26日
牧紀男	南海トラフ地震に対する事前復興のあり方－人口減少と地震･津波被害－	21世紀ひょうご、Vol.22、pp.19-28	2017年10月17日
加藤孝明，ヤスミン・バタチャリヤ，原田賢治，山口雄一，鎌田亮	日本初の津波災害特別警戒区域指定に進む伊豆市“海と共に生きる”観光防災まちづくり推進計画の策定	地区防災計画学会大会梗概集	2018年３月３日
磯村和樹、牧紀男	南あわじ市における事前復興の試み	災害復興準備方策に関する公開研究会、日本建築学会事前復興・災害対策小委員会	2018年３月16日
加藤孝明	復興準備の必要性と復興イメージトレーニング	災害復興準備方策に関する公開	2018年３月16日

		研究会、日本建築学会事前復興・災害対策小委員会	

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(5) 防災・災害情報発信研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
島崎敢、水井良暢	Differences between scientific prediction and objective perception of focal area and seismic intensity of Nankai trough giant earthquake	Journal of Disaster Research (JDR),Vol.12, No.5, pp.916-925	2017年7月
水井良暢、池田真幸、臼田裕一郎、藤原広行	南海トラフ災害情報プラットフォームの利用検証	日本地震工学会	2017年11月14日
武村雅之	関谷清景の生誕の地、岐阜県大垣市を巡る	中部「歴史地震」研究年報第6号	2018年1月
福井優太、平井敬、倉田和己、福和伸夫	2016年4月1日三重県南東沖の地震の強震観測記録を用いた南海トラフ巨大地震の地震動予測と地震応答体験環境の構築	日本建築学会東海支部研究集会	2018年2月19日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

(6) プレート・断層構造研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Arai, R., Kodaira, S., Yamada, T., Takahashi, T., Miura, S.,	Subduction of thick oceanic plateau and high-angle normal-fault earthquakes intersecting the slab	Geophysical Research Letters, Vol.44, Issue12,	2017年6月28日

Kaneda, Y., Nishizawa, A., Oikawa, M.		pp.5873-6470	
Yamamoto, Y., Takahashi, T., Ishihara, Y., Kaiho, Y., Arai, R., Obana, K., Nakanishi A., Miura S. Kodaira S., Kaneda Y.,	Modeling the geometry of plate boundary and seismic structure in the southern Ryukyu Trench subduction zone, Japan, using amphibious seismic observations	Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol.123, Issue 2, pp.917-2032	2018年2月28日
新井隆太	Marine Science Seminar 地震波を使って海底下を診る	Blue Earth 150号	2017年8月30日
Arai, R., Kodaira, S., Yamada, T., Takahashi, T., Miura, S., Kaneda, Y., Nishizawa, A., Oikawa, M.	Subduction of buoyant oceanic plateaus and intraslab high-angle normal-fault earthquakes	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017年5月23日
Takahashi T., Ishihara Y., KaihoY., Yamamoto Y., Obana K., Miura S., Kodaira S., Kaneda Y.	Trans-dimensional imaging of random velocity inhomogeneity at southern Ryukyu arc	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017年5月20日
山本 揚二朗、高橋 努、石原 靖、尾鼻 浩一郎、三浦 誠一、小平 秀一、金田 義行	琉球海溝北部における自然地震観測	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017年5月25日
石原靖、山本揚二朗、高橋努、	An evidence of existence of transition region from slow-slip	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017年5月24日

新井隆太	area to general earthquake area		
新井隆太、小平秀一、高橋努、三浦誠一、金田義行	反射法データによる北部琉球弧の断層構造とマグマ貫入	日本地震学会2017年秋季大会	2017年10月27日
石原靖、山本揚二朗、高橋努、新井隆太	繰り返し起こる深部超低周波地震	日本地震学会2017年秋季大会	2017年10月26日
山本揚二朗、高橋努、石原靖、尾鼻浩一郎、三浦誠一、小平秀一、金田義行	琉球海溝沈み込み帯北部における自然地震観測	ブルーアースサイエンス・テク 2018	2018年1月16日
高橋努、新井隆太、仲西理子、三浦誠一、小平秀一、金田義行	奄美大島周辺における反射法および屈折法地震探査	ブルーアースサイエンス・テク 2018	2018年1月17日
汐見勝彦	スラブ起源Ps変換波振幅分布に基づく四国西部下深部低周波微動発生域周辺の構造的特徴	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017年5月24日
Shiomi, K. Takeda, T. and Ueno, T.	Seismological evidence of slab dehydration based on a highresolution receiver function image of the subducting Philippine Sea plate beneath western Shikoku	IAG-IASPEI2017	2017年8月3日
Shiomi, K. Takeda, T. and Ueno, T.	Seismological features around the LFE zone beneath western Shikoku based on converted Ps phases	Joint Workshop on Slow Earthquakes 2017	2017年9月20日
汐見勝彦	四国西部深部低周波微動域周辺における異方性構造の変化	日本地震学会秋季大会	2017年10月27日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(7) 海陸津波履歴研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
谷川晃一朗、宍	高知県四万十町興津における津波堆	活断層・古地	2017年9月

倉正展、藤原治、行谷佑一、松本　弾	積物調査（予報）	震研究報告第 17 号, pp. 31-38	15 日受理
Koichiro Tanigawa 、Masanobu Shishikura 、Osamu Fujiwara、Yuichi Namegaya、 Dan Matsumoto	Mid- to late-Holocene marine inundations inferred from coastal deposits facing the Nankai Trough in Nankoku、 Kochi Prefecture、 southern Japan	The Holocene	2017 年 11 月 9 日受理
Yuki Sawai、Arata Momohara	Coastal submergence at Ukishima-ga-hara adjacent to the Suruga Trough (eastern Nankai Trough)、 central Japan	Geological Society of America Annual Meeting	2017 年 10 月 22 日
宍倉正展、前杢英明、越後智雄	奄美群島喜界島におけるサンゴマイクロアトールの分布と年代からみた地殻上下変動（予察）	日本活断層学会 2017 年秋季学術大会	2017 年 11 月 25 日
Yuki Sawai、Arata Momohara	Coastal submergence at Ukishima-ga-hara adjacent to the Suruga Trough (eastern Nankai Trough)、 central Japan、 inferred from diatoms and plant macrofossils	American Geopysical Union fall meeting	2017 年 12 月 12 日
Hsiung, K.-H., Kanamatsu, T., Ikehara, K., Shiraishi, K., Horng, C.-S. and Usami, K.	Morpho-sedimentary features and sediment dispersal systems of the southwest end of the Ryukyu Trench: a source-to-sink approach	Geo-Marine Letters, 37, 561-577	2017 年 12 月
Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T., Danhara, T. and	Three important Holocene tephras off the Pacific coast of the Tohoku region, Northeast Japan: Implications for correlating onshore and offshore event deposits	Quaternary International, 456, 138-153	2017 年 10 月

Yamashita, T.			
Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T., Arai, K., Yamaguchi, A. and Fukuchi, R.	Spatial variability in sediment lithology and sedimentary processes along the Japan Trench: Use of deep-sea turbidite records to reconstruct past large earthquakes	Tsunamis: Geology, Hazards and Risks, Geological Society, Special Publication, No. 456, 75-89	2018年1月
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K., Hsiung, K.-H. and Ajioka, T.	Two different sources of turbidity currents along the southern Ryukyu arc	JpGU-AGU 2017 Meeting	2017年5月25日
Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T., Strasser, M. and proponents of IODP proposal 866-Full	Tracking past earthquakes in the sediment record along the Japan Trench using giant piston coring: IODP proposal 866-Full	JpGU-AGU 2017 Meeting	2017年5月25日
Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T. and Strasser, M.	Comparative trench sedimentology along the NW Pacific margin: Introduction of IODP proposal 866-Full (Japan Trench paleoseismology) & source-to-sink along the southern Ryukyu Trench	AME & WEPAD Meeting	2017年7月18日
池原　研、金松敏也	沖縄宮古島～西表島前弧域の堆積作用	日本堆積学会2018年秋田大会	2018年3月27日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K., Ajioka, T. and Hsiung, K.-H.	Depositional processes and recurrence of seismo-turbidites along the southern Ryukyu Trench	European Geoscience Union 2017 General Assembly	2017年4月26日
Ikehara, K.	Controlling factors of	American	2017年12月

and subaqueous event deposit study group	stratigraphic occurrences of fine-grained turbidites: Examples from the Japanese waters	Geophysical Union 2017 Fall Meeting	15 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(8) 広帯域地震活動研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Katakami, S., Y. Yamashita, H. Yakihara, H. Shimizu, Y. Ito, and K. Ohta	Tidal Response in Shallow tectonic tremors	Geophys. Res. Lett., 44, 19, doi:10.1002/2017GL074060	2017 年 9 月 26 日
Yusuke Yamashita, Masanao Shinohara, Hiroshi Yakiwara, Tomoaki Yamada, Saki Watanabe, Kazuo Nakahigashi, Hajime Shiobara, Kimihiro Mochizuki, Takuto Maeda, and Kazushige Obara	Shallow slow earthquake activity from the Hyuga-nada to Ryukyu Trench	AGU Fall Meeting 2017	2017 年 12 月 14 日
Saki Watanabe, Yusuke Yamashita,	Shallow Tremor Activity in the Hyuga-nada region after the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by Ocean Bottom Seismological	AGU Fall Meeting 2017	2017 年 12 月 14 日

Tomoaki Yamada, and Masanao Shinohara,	Observation		
Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Hajime Shiobara, Yusuke Yamashita	Development of compact long-term broadband ocean bottom seismometer for seafloor observation of slow earthquakes	AGU Fall Meeting 2017	2017年12月14日
山下裕亮・篠原雅尚・八木原寛・山田知朗・渡邉早姫・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成	長期海底地震観測に基づく日向灘～南西諸島海溝中部域にかけての浅部低周波微動活動の特徴	日本地震学会2017年度秋季大会	2017年10月26日
渡邉早姫・山下裕亮・山田知朗・篠原雅尚	日向灘における海底地震観測にもとづく2016年熊本地震後の浅部低周波微動活動	日本地震学会2017年度秋季大会	2017年10月26日
利根川貴志・山下裕亮・高橋努・篠原雅尚・石原靖・小平秀一・金田義行	海底観測記録を用いた日向灘の浅部超低周波地震の震央位置決定	日本地震学会2017年度秋季大会	2017年10月26日
Yusuke Yamashita, Masanao Shinohara, Hiroshi Yakiwara, Tomoaki Yamada, Kazuo	Low-frequency tremor activity in the shallow part of Nankai trough and Ryukyu trench revealed by long-term ocean bottom observation	IAG-IASPEI 2017	2017年８月１日

Nakahigashi, Hajime Shiobara, Kimihiro Mochizuki, Takuto Maeda, and Kazushige Obara			
近藤健太郎・清水 洋・山下裕亮・八木原寛・馬越孝道・松島 健・平野舟一郎・内田 和也	陸上および海陸地震観測データの統合解析による日向灘の３次元速度構造の推定	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017 年５月 24 日
片上 智史・山下 裕亮、・八木原 寛・清水 洋・伊藤 喜宏・太田 和晃	Tidal response in shallow micro low-frequency tremors	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017 年５月 24 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(9) データ活用予測研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Yo Kawashima and Takeshi Sagiya	Verification of accelerated vertical crustal movements in the Tohoku region prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake by reanalysis of GEONET data using Precise Point Positioning	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SGD01-P08	2017 年５月 24 日
木村洋・伊藤武男・田所敬一	MCMC 法を用いたプレート間カップリングを含むブロック運動モデルの構築	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS10-P16	2017 年５月 22 日
Sagiya, T.	Predictability in earthquake science and its uncertainties	JpGU-AGU Joint	2017 年５月 21 日

		Meeting 2017, HCG33-P04	
Takao Tabei, Masahiko Shiomi, Takeo Ito, and Makoto Okubo	Interseismic Strain Partitioning in Nankai Subduction Zone, Southwest Japan: Block Movement and Internal Deformation of the Forearc Sliver	IAG-IASPEI Joint Metting 2017, J03-1-05	2017年7月31日
木村洋・田所敬一・伊藤武男	MCMC法を用いて推定したブロック運動モデルに基づく南海トラフ沿いのプレート間カップリング	日本測地学会第128回講演会, 43	2017年10月６日
Sagiya, T.	Lessons from the 2011 Great Tohoku-oki Earthquake: What is the role of science in natural disaster mitigation?	VIET-GEOPHYS-2017 (keynote lecture)	2017年10月19日
Takeo Ito, Syota Suzuki, Kachishige Sato, and Mamoru Hyodo	Spatio-temporal afterslip distribution following the 2011 Tohoku-Oki earthquake using 3D viscoelastic Green's functions	The 7th International Symposium on Earth-Hazard and Disaster Mitigation	2017年11月20日
Hiroshi Kimura, Takeo Ito, and Keiichi Tadokoro	Estimation of interplate coupling along Nankai trough considering the block motion model based on onland GNSS and seafloor GPS/A observation data using MCMC method	American Geophysical Union Fall Meeting 2017, G43B-0938	2017年12月14日
Sagiya, T., and Y. Kawashima	Decadal variation in interseismic deformation rate associated with subduction zone earthquake cycle	American Geophysical Union Fall Meeting 2017, G42A-04	2017年12月14日
Delbridge, B. G., S. Kita, N.	Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0	Geophys. Res. Lett., 44(8),	2017年４月24日

Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Bürgmann	Tohoku-oki earthquake	3580-3590, doi:10.1002/2017GL072876, 2017	
Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura	Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate	J. Geophys. Res., 122(7), 5160-5180, doi:10.1002/2016JB013914, 2017	2017年7月15日
Tomita F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino	Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake	Sci. Adv., 3, e1700113	2017年7月19日
Pratama, C., T. Ito, R. Sasajima, T. Tabei, F. Kimata, E. Gunawan, Y. Ohta, T. Yamashina, N. Ismail, I. Nurdin, D. Sugiyanto, U. Muksin, and I. Meilano	Transient rheology of the oceanic asthenosphere following the 2012 Indian Ocean Earthquake inferred from geodetic data	J. Asian Earth Sci., 147, 50-59	2017年7月22日
田中昌之・岡田正実・内田直希	繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証	地震2, 70, 195-213, doi:10.4294/zisin.2016-17	2018年2月10日
Nakata, R.,	Detection of Preparation Process of	Asia Oceania	2017年8

M. Hyodo, and T. Hori	M~9 Earthquake Using Crustal Deformation Due to M~7 Earthquake and Its Afterslip Near the Hypocenter of M~9 Earthquake	Geoscience Society 14th Annual Meeting, SE12-A012	月 10 日
中田令子・堀高峰	2011 年東北地方太平洋沖地震前に観測された周期的なスロースリップのモデル化	日本地震学会 2017 年秋季大会, S08-P22	2017 年 10 月 26 日
Sakaue, H., J ,Fukuda, T. Kato, and T. Nishimura	Estimation of the spatiotemporal evolution of the slow slip events in the Tokai region, central Japan, since 2013 using GNSS data	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS04-P29	2017 年５月 24 日
Nishikiori, K. and K. Hirahara	Estimation of frictional properties and slip evolution on the Long-term SSE fault with Ensemble Kalman Filter -numerical experiments-	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS04-P60	2017 年５月 25 日
Nishikiori, K. and K. Hirahara	Numerical experiments on estimation of frictional properties and slip evolution on the Bungo Channel Long-term SSE fault with Ensemble Kalman Filter	IAG-IASPEI Joint Metting 2017, J-06-01	2017 年７月 31 日
錦織健人・平原和朗	アンサンブルカルマンフィルタを用いた豊後水道長期的スロースリップ発生域の摩擦特性およびすべり発展推定に関する数値実験	日本地震学会 2017 年秋季大会, S06-11	2017 年 10 月 25 日
坂上啓・西村卓也・福田淳一・加藤照之	1994 年から 2016 年に東海地方で発生したスロースリップイベントの時空間発展の推定	日本地震学会 2017 年秋季大会, S03-P05	2017 年 10 月 27 日
Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda, and T. Kato	Estimation of the spatiotemporal evolution of the slow slip events in the Tokai region, central Japan, during 1994-2016 using GNSS data	American Geophysical Union Fall Meeting 2017, S41C-0795	2017 年 12 月 14 日
Nishimura,	Strain partitioning and interplate	Geosphere,	2018 年２月

T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi	coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data	doi:https://doi.org/10.1130/GES01529.1	
西間木佑衣・太田雄策・日野亮太・大園真子	2011年東北地方太平洋沖地震前に発生したスロースリップイベントの再検討	日本測地学会第128回講演会	2017年10月4日
富田史章・太田雄策・飯沼卓史・木戸元之・日野亮太	粘弾性グリーン関数を用いた地震時・地震後すべり分布の同時推定	日本測地学会第128回講演会	2017年10月5日
太田雄策・日野亮太・鈴木秀市・佐藤真樹子・伊藤喜宏･梶川宏明, 小畠時彦	重錘型圧力天びんを用いた海底水圧計ドリフト特性評価（序報）	日本測地学会第128回講演会	2017年10月6日
Yui Nishimagi, Yusaku Ohta, and Ryota Hino	Reexamination of the fault model for transient slow slip event in the Japan Trench before the 2011 Tohoku-Oki earthquake	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS10-P14	2017年5月22日
Tatsuya Kubota, Ryota Hino, Yusaku Ohta, Daisuke Inazu, and Syuichi Suzuki	Finite fault model of the 2012 intraslab earthquake doublet and its implication for coseismic stress change in the Pacific plate associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS04-P05	2017年5月24日
Ryota Hino, Syuichi	Feasibility study on long-term monitoring of seafloor deformation	JpGU-AGU Joint	2017年5月24日

Suzuki, Makiko Sato, Yusaku Ohta, and Yoshihiro Ito	with ocean bottom pressure recorders of pop-up type	Meeting 2017, SCG71-P16	
奥田貴・井出哲・内田直希	東日本で発生する中規模繰り返し地震の震源過程解析	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS04-P04	2017 年 5 月 24 日
Uchida, N., N. Hatakeyama, T. Matsuzawa, and W. Nakamura	Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes after the 2011 Tohoku-oki earthquake: transition between slow slip and earthquakes	IAG-IASPEI Joint Meeting 2017, J06-2-04	2017 年 7 月 31 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

(10) 震源モデル構築・シナリオ研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
山口 拓真,藤田航平, 市村 強, 堀 宗朗,ラリスウィジャラトネ	OpenACC を用いた多数回地殻変動計算高速化手法の開発	土木学会 応用力学シンポジウム	2017 年 5 月
山口 拓真,藤田航平, 市村 強, 堀 宗朗,ラリスウィジャラトネ	OpenACC による地殻変動計算高速化手法の開発	計算工学講演会	2017 年 5 月
Yamaguchi, T., Ichimura, T., Yagi, Y., Agata, R.,	Fast crustal deformation computing method for multiple computations accelerated by a graphics processing unit cluster	Geophysical Journal International	2017 年 5 月

Hori, T., & Hori, M.			
Hirahara, K.	Synchronization of Stick-Slip Oscillator by Periodic External Forces -Elastic and Viscoelastic Cases-	日本地球惑星科学連合 2017 年大会（JpGU2017)、SSS08-15	2017 年５月
Hashimoto, C., Y. Urata & E. Fukuyama	Physics-based simulation for possible interplate earthquakes along the Nankai trough	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017 年５月
関口春子・浅野公之・岩田知孝	A heterogeneous SMGA model for plate boundary earthquakes	日本地球惑星科学連合･米国地球物理学連合 2017 年合同大会	2017 年５月
Asano, K.	Analyzing Strong Motion Generation Area of the MJMA 6.5 Earthquake Occurring Offshore the Kii Peninsula on April 1, 2016	日本地球惑星科学連合･米国地球物理学連合 2017 年合同大会	2017 年５月
兵藤守・縣亮一郎・市村強・堀高峰	南海トラフ地震震源域内で中～大規模地震が発生した後の推移のフォワードシミュレーションと対応する地殻変動	JpGU-AGU Joint meeting 2017	2017 年５月
Yamaguchi, T., Fujita, K., Ichimura, T., Hori, T., Hori, M., & Wijerathne, L.	Fast Finite Element Analysis Method Using Multiple GPUs for Crustal Deformation and its Application to Stochastic Inversion Analysis with Geometry Uncertainty	International Conference on Computational Science	2017 年６月
Hirahara, K.	Synchronization of Stick-Slip Oscillator by Periodic Exteranal Forces -Implications for Earthquake Activity Rhythms-	IAG-IASPEI Joint Meeting 2017, S09－1－02	2017 年８月
Y. Urata, E. Fukuyama, & C. Hashimoto	A Possible Dynamic Rupture Scenario of the Nankai-trough Earthquakes, southwest Japan	IAG-IASPEI General Assenbly	2017 年８月
Mukai, Y. & T.Furumura	Generation conditions of long-S07-P-07 period ground motions in	IAG-IASPEI 2017	2017 年８月

	the Kanto Basin		
山口 拓真,藤田 航平, 市村 強, 堀 宗朗,ラリス ウィジャラトネ	マルチＧＰＵを用いた高速な疎行列ベクトル積による多数回地殻変動計算	土木学会全国大会	2017 年 9 月
平原和朗・大谷真紀子	メモリ変数を用いた粘弾性媒質中での地震サイクルシミュレーション	日本地震学会 2017 年秋季大会、S09－32、鹿児島	2017 年 10 月
関淳平・平原和朗・野田博之	スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーション手法の開発	日本地震学会 2017 年秋季大会、S08－P18、鹿児島	2017 年 10 月
大谷真紀子・平原和朗	粘弾性媒質中の応力計算における H 行列法適用	日本地震学会 2017 年秋季大会、S08－P07、鹿児島	2017 年 10 月
浦田優美・橋本千尋・福山英一・齊藤竜彦	準静的応力蓄積計算に基づく南海トラフ地震の動的破壊伝播シミュレーション: 発震位置とマグニチュード	日本地震学会秋季大会	2017 年 10 月
兵藤 守・堀 高峰	三重県沖地震を考慮に入れた東南海地震震源域の地震サイクルモデルの再考	日本地震学会 2017 年秋季大会	2017 年 10 月
Yamaguchi, T., Fujita, K., Ichimura, T., Hori, M., Lalith, M., & Nakajima, K.	Implicit Low-Order Unstructured Finite-Element Multiple Simulation Enhanced by Dense Computation using OpenACC	Workshop of Accelerator Programming using Directives	2017 年 11 月
Hirahara, K., and M. Ohtani	Viscoelastic Earthquake Cycle Simulation with Memory Variable Method	American Geophysical Union Fall Meeting 2017, S53D-05	2017 年 12 月
Ohtani, M. and K. Hirahara	Application of H-matrices method to the calculation of stress field in a viscoelastic medium	American Geophysical Union Fall Meeting 2017,	2017 年 12 月

		S21-0718	
Asano, K.	Source Model of the M_{JMA} 6.5 Plate-Boundary Earthquake at the Nankai Trough, Southwest Japan, on April 1, 2016, Based on Strong Motion Waveform Modeling	米国地球物理学連合 2017 年秋季大会	2017 年 12 月
Mukai, Y., T. Furumura & T. Maeda	Characterizing directional variations in long-period ground motion amplifications in the Kanto Basin, Japan	AGU Faull Meeting, 2017	2017 年 12 月
Baranes, H., J.D.Woodruff, J.P.Loveless, and M. Hyodo	Interseismic Coupling-Based Earthquake and Tsunami Scenarios for the Nankai Trough	Geophysical Research Letters	2018 年３月 26 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

なし

6. むすび

平成 29 年度においては、８年計画の５年目として、地域減災研究（サブテーマ１）、巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野　サブテーマ２－１）及び巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野　サブテーマ２－２）の各テーマにおいて研究計画に沿った研究を着実に進め、それらの成果がではじめたところである。

事業計画後半に入り、引き続き地域研究会等の場を通じた自治体、地元ライフライン企業、地元大学、経済界等との連携を進めながら、各地域の特性等に照らした防災・減災対策に資する成果の還元を目指し、研究を着実に進めて行くこととする。

7. 運営委員会

7.1 活動報告

（1）第1回運営委員会

日時：平成 29 年 6 月 19 日（月）　13：30～17：00

場所：国立研究開発法人海洋研究開発機構　東京事務所　共用会議室 A/B
（東京都千代田区内幸町２－２－２　富国生命ビル 23 階）

議題：

（1）平成 29 年度研究計画について
- 全体概要
- 地域連携減災研究
- 調査観測分野
- シミュレーション分野

（2）総合討論

（3）その他

（2）第2回運営委員会

日時：平成 30 年 2 月 16 日（金）　13:30～17:00

場所：国立研究開発法人海洋研究開発機構　東京事務所　共用会議室 A/B
（東京都千代田区内幸町２－２－２　富国生命ビル 23 階）

議題：

（1）　プロジェクト全体の状況について（今年度の成果と今後の研究計画等）
- 調査観測分野
- シミュレーション分野
- 地域連携減災研究

（2）総合討論

（3）その他

7.2 運営委員会構成員

（第２回運営委員会開催時）

委員長	本蔵　義守	国立大学法人東京工業大学 名誉教授
委　員	中島　正愛	株式会社小堀鐸二研究所 代表取締役社長
委　員	廣瀬　昌由	内閣府政策統括官（防災担当）付 参事官（調査・企画担当）
委　員	田辺　康彦	総務省 消防庁 国民保護・防災部 防災課長
委　員	相津　晴洋	愛知県 防災局長
委　員	楠本　正博	徳島県 危機管理部長
委　員	上垣内　修	気象庁 地震火山部長

委　員	矢来　博司	国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
委　員	佐藤　克英	国土交通省 水管理・国土保全局 防災課長
委　員	西澤あずさ	海上保安庁 海洋情報部 技術・国際課 海洋研究室長
委　員	中川　和之	時事通信社 解説委員
委　員	芳永　和之	人と防災未来センター 研究部長
委　員	堀　宗朗	国立大学法人東京大学地震研究所 巨大地震津波災害予測研究センター長 教授
委　員	室伏きみ子	国立大学法人お茶の水女子大学 学長
委　員	清水　洋	国立大学法人九州大学大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター長 教授
委　員	松澤　暢	国立大学法人東北大学大学院理学研究科理学部附属 地震・噴火予知研究観測センター長 教授
委　員	村田　昌彦	関西国際大学グローバル教育推進機構 教授
委　員	佐々木啓介	経済産業省 商務情報政策局 サービス政策課長