

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、「復興モニタリングシステム」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蜷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、¹⁴C 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、ブロック間の相對運動、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

(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-plane 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) を変えてシミュレーションから、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。