

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 准教授	今村文彦 佐藤翔輔 蝦名裕一 保田真理 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 災害対策室 大学院工学研究科	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 特任助教 教授 准教授	福和伸夫 野田利弘 護雅史 田代喬 都築充雄 菅沼淳 北川夏樹 飛田潤 中井健太郎
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3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) 7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充実化を図るとともに、その利用頻度を可視化した。加えて、災害時の 8 つの「生きる力」を向上させる人材育成プログラムの検証も行った。各自治体の復興計画の実施状況とその課題に関して、特に被災者の意向変化の実態に着目して、データの収集及び分析を行った。構造物等の被害については次の通りである。1) ライフライン(上水道)については、碧南市との議論や東日本大震災での事例検証を行う中で、昨年度 1-a) で取りまとめた上水道システムの減災対策に加え、新たに複数の対策を提案した。2) 建築構造物については、地震観測記録に基づき重要施設の機能継続につながる構造モニタリングを検討した。3) 地盤・土構造物については、現行のレベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検フローの三次点検に必要とされる代表的ないくつかの解析手法について特徴を比較・整理した。南海トラフ巨大地震による、大規模平野での長周期地震動の予測の実現に向け、2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した長周期地震動の観測波形データに基づき、強震観測データ同化と地震波伝播シミュレーションによる、即時予測の数値実験を行なった。

平成 31 年度（令和元年度）：

利用プログラムの充実と共に、東日本大震災で被災した地域において実施されている研修・教育プログラム（自治体、学校）の事例把握・検証を行った。また、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について、その後、新たに得られた知見や災害の事例をもとに、コンテンツの充実化を継続した。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を行うと共に、特にそのための事業としての土地区画整理事業に着目し、効果と課題を抽出すると共に、その原因を明らかにした。構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究および総括した。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手法のとりまとめを行うとともに、今後のモニタリングの継続についての検討を行った。7 カ年の取組みについて、可能な限り、研究論文等にまとめるとともに、社会への周知・発信を行った。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を行った。構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究および総括を行った。

(e) 平成 31 年度（令和元年度）業務目的

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について、その後、新たに得られた知見や災害の事例をもとに、コンテンツの充実化を図り、アーカイブされたコンテンツの全容および利用頻度（アクセス数）を可視化する。東日本大震災の教訓につ

いて、その理解度・浸透状況を調査し、実態の把握・検証を行う。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データ収集を行うと共に、その実現に関する課題の分析・抽出を行う。特に実現のための事業として土地区画整理事業に着目し、効果と課題を抽出すると共に、その原因を明らかにする。構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究および総括を行う。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手法のとりまとめを行うとともに、今後のモニタリングの継続についての検討を行う。

(2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

① アーカイブシステムの構築・活用

(a) 業務の要約

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充実化を図るとともに、その利用頻度を可視化した。加えて、東日本大震災の教訓の全国的な浸透状況についても調査した。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を行うと共に、特にそのための事業としての土地区画整理事業に着目し、効果と課題を抽出すると共に、その原因を明らかにする。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を行うと共に、特にそのための事業としての土地区画整理事業に着目し、効果と課題を抽出すると共に、その原因を明らかにした。

(b) 業務の実施方法

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、過去に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おうことで、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-(2)-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。

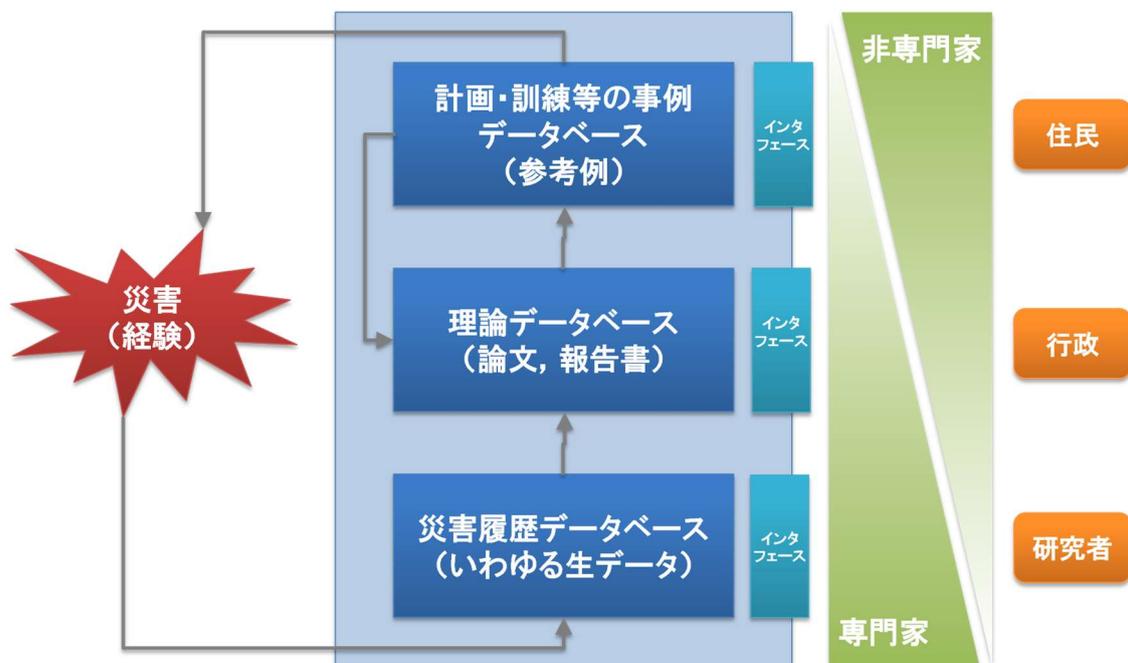


図 3-1-(2)-①-1 東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計（概念図：3層アーカイブモデル）

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。

令和元年度は、これまでにひきつづいて、以下の検討を行った。

- ・「震災教訓文献データベース」のコンテンツ追加
- ・「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」「動画でふりかえる3.11」の利用頻度調査

2) 「震災教訓文献データベース」のコンテンツ追加

本プロジェクトにおいて平成26年度に、「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。図3-1-(2)-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。

🔍 検索

フリーキーワードを入力して検索するか、下部のタグクラウドからキーワードを選択してください

作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)	区分	雑誌名	学会名	災害名
環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 尋子 井ノ 口 宗成 村田明 子 田村 圭子 新 藤 淳 金子由芳 重川 希志依 古 屋 貴司 田中正 人 河村 正美 書	論文 調査報告 書	消費者アンケー ト調査結果 地域 安全学会論文集 復興 日本地震工 学会論文集 日本 災害復興学会論 文集 災害情報 自然災害科学 消 費者アンケート 調査 (1次調査) その他 (未記)	地域安全学会 日 本災害復興学会 地震工学会 日本 災害情報学会 自 然災害学会	東日本大震災 阪 神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越沖地 震 新潟県中越・ 中越沖地震 東 海・東南海地震 阪神淡路大震災 昭和南海地震 東 南海地震 南海地 震

図 3-1-(2)-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-(2)-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-(2)-①-3 はある著者名を選択して検索した例である。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。

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-(2)-①-3 「震災教訓文献データベース」の検索結果の例

■ 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

メディアが及ぼす人的支援の量への影響は、市町村の名称といった表象的な内容だけでなく、発信された内容がネガティブなのか、ポジティブなのか、といった質的な要素も影響することが予想される。これについても同様に今後の課題としたい。あわせて、人的支援量は十分であったか、不足していたかについても、別途、分析・評価することで、あるべき人的支援量を検証する必要がある。

作成者(論文:筆頭著者,報告書:発行機関):	2015/02/13
著者:	佐藤 翔輔
フェーズ:	その他・非該当
対象:	ボランティア
カテゴリ:	その他・非該当
場所:	その他・非該当
区分:	論文
掲載誌名:	地域安全学会論文集
掲載巻ページ:	No.19
出版者:	地域安全学会
災害種別:	東日本大震災

▶ 関連URL

- http://issj.jp.net/issj-site/wp-content/uploads/2013/08/2012-841_cd.pdf

▶ 登録者の他の教訓 (コンテンツ)

- 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
- 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

図 3-1-(2)-①-4 「教訓」の表示例

図 3-1-(2)-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-(2)-①-4 に示す。ページのトップに論文の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。

令和元年度は、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。

図 3-1-(2)-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。令和元年度は、新たに 167 編の論文と 402 件の教訓 (結語) を登録し、全体では 1,812 編、教訓 (結語) は 4,999 件となった (令和元年度の登録件数の占める割合、論文 : 9.2%、教訓 : 8.0%)。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 228 編、教訓 (結語) で 400 件となった。熊本地震に関する論文は 2017 年から 2018 年にかけて 5 分の 1 程度 (166 編から 34 編) に大幅に減少しているのに対して、東日本大震災に関する論文は約半分 (85 編から 40 編) に減少が留まっていることから、今後も東日本大

震災を事例とする論文の発行が継続する可能性が伺える。

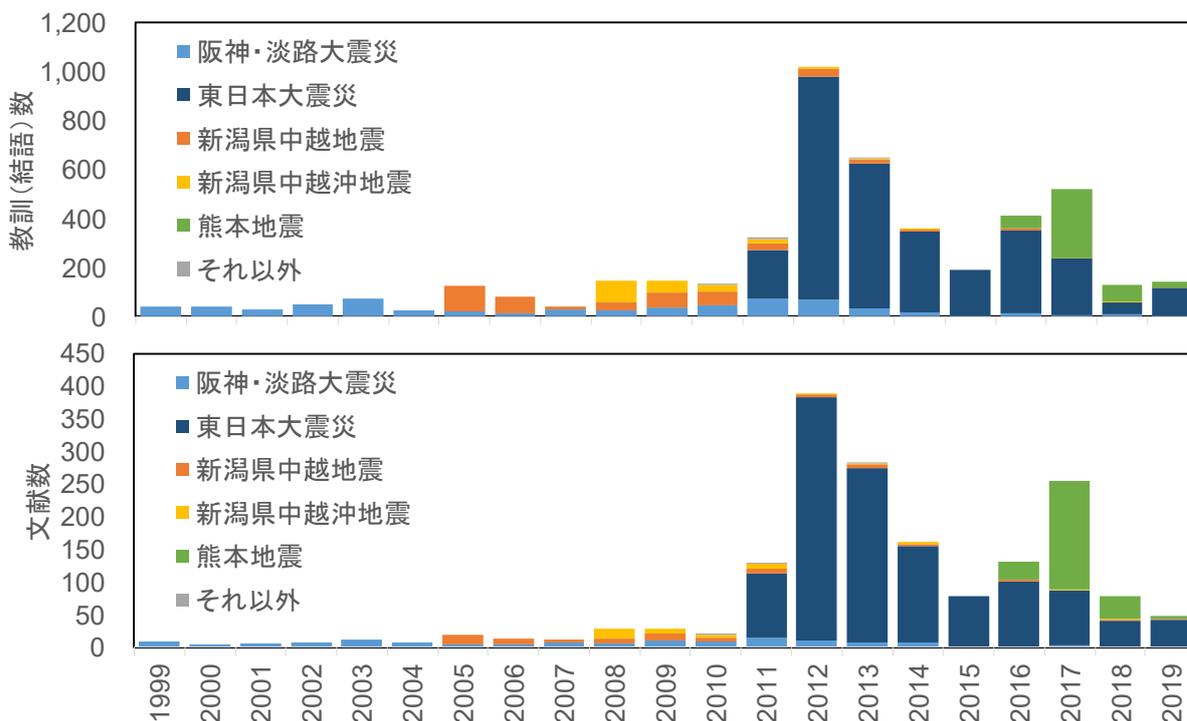


図3-1-(2)-①-5 「震災教訓文献データベース」に登録した文献・教訓(結語)の数 (上段:教訓(結語)数、下段:文献数)

3) 「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」「動画でふりかえる3.11」の利用頻度調査

本プロジェクトにおいては、理論データベースとして、「3.11 からの学びデータベース-IRIDeS から発信する東日本大震災の教訓空間-」、前述の「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-」、災害履歴データベースとして「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-」といった3つのデータベースを公開している(図3-1-(2)-①-6)。「3.11 からの学びデータベース」は、東北大学災害科学国際研究所の教員が、学术论文などの出典とともに、なるべく平易にわかりやすく解説を行った「教訓」として掲載したもの、「震災教訓文献データベース」は文献中の結語から教訓として見なして掲載したもの、「動画でふりかえる3.11」は既に公開されている震災映像を地図上にリンクしたものである。ユーザーによる利用評価は、平成28年度、平成29年度の業務および、佐藤ら(2018)とSato et al. (2018)で実施し、それぞれのシステムの有用性を既に示している。ここでは、公開後から2020年3月までの、それぞれのアクセス件数について述べる。



動画でふりかえる 3.11

3.11からの学び 震災文献データベース

データベース

図 3-1-(2)-①-6 3つのデータベースのトップページ画面

図 3-1-(2)-①-7に、3つのデータベースのアクセス件数の時系列変化(月別)を示した。「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」は2015年2月に、「動画でふりかえる3.11」は2017年2月に公開を開始している。「動画でふりかえる3.11」の公開月と翌月は、公開期間において著しくアクセス件数が多い(それぞれ、約10万件、約32万件)、図の表示範囲から除外している。「3.11からの学びデータベース」は、2020年2月までに累計590,813件・月平均9,685件、「震災教訓文献データベース」は累計852,632件・月平均13,978件、「動画でふりかえる3.11」は累計1,648,769件・月平均44,561件、いずれのデータベースも高頻度のアクセスがみられる。それぞれを $Y=aX+b$ の直線で回帰したところ、「3.11からの学びデータベース」と「動画でふりかえる3.11」は正の傾き、「震災教訓文献データベース」は横ばいと継続的に利用されていることが分かる。

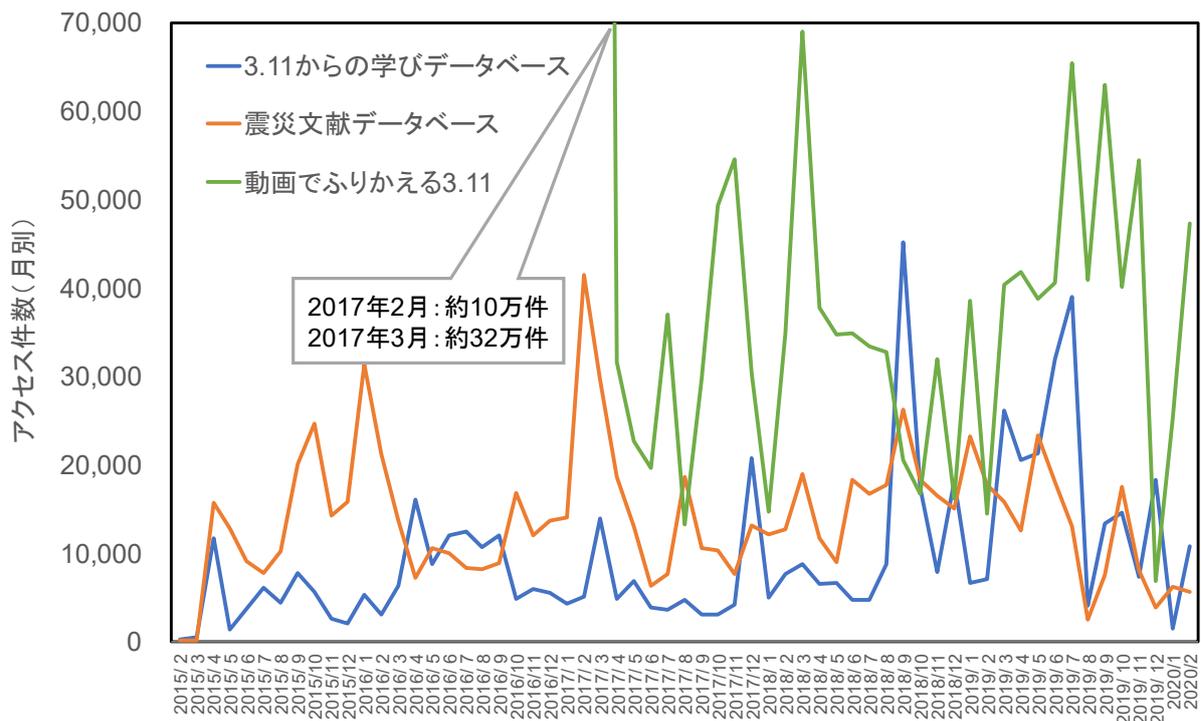


図 3-1-(2)-①-7 「3.11からの学びデータベース」「震災教訓文献データベース」「動画でふりかえる3.11」のアクセス件数の時系列変化

4) 東日本大震災の教訓の浸透度合いの評価の試み

東日本大震災の教訓は様々な主体により発信されているものの、これまで被災経験のない人を含め、教訓がどの程度浸透しているかは明らかになっていない。本業務では東日本大震災の教訓の浸透状況を明らかにするために、どのような教訓が理解されているのかを明らかにすることを目的とする。

本研究では、東北大学 MOOC「東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチ—災害科学の役割」の受講者を対象にウェブ調査を実施した。この講座は、東日本大震災における調査研究、復興事業への取り組みから得られる知見などを紹介することを目的として、2019年9月25日から11月26日まで開講していたオンライン講座である。本研究では、教訓理解度や防災行動に影響を及ぼす要因を顕在化させることを狙いとしているため、防災に関心があると予想される同講座の受講者を対象にした。2019年11月26日時点で、172名から回答を得た。男性の回答者がやや多く、被災経験がない回答者が52.3%、被災経験がある回答者が47.7%であった。

本研究では、東日本大震災の教訓を東日本大震災で明らかになった知見、または東日本大震災以前も既知であったが、東日本大震災発生以降さらに謳われるようになった知見と定義した。東日本大震災の教訓は多岐にわたっており、東日本大震災の教訓を整理し選定するのは困難であると考えられる。本研究では、調査対象が一般市民であることを考慮して岩手県釜石市が住民向けに制作した「東日本大震災教訓集 未来の命を守るために」、および東北大学が発信している教訓をまとめた「3.11からの学びデータベース」から教訓を選定した。その後、予備調査を実施し、10個の教訓を採用した。

採用した教訓を表3-1-(2)-①-1のように設問化し、各設問文に対して回答者の考えを「そう思う」、「そう思わない」、「分からない」の3択で尋ね、東日本大震災の教訓に沿った回答を正答とした。例えば、問1では「津波てんでんこで行動する」という教訓に対し、津波てんでんこという言葉を知っているかどうかを測定するために、「津波てんでんことは三陸地方に昔から伝わる津波伝承のための伝統舞踊のことである。」という設問文を作成した。なお、今回は問10を除くすべての回答において「そう思わない」を正答とした。これは、「そう思う」が正答の場合、教訓を理解していなくても回答者が熟慮せずに「そう思う」を選択する可能性が考えられたためである。

表3-1-(2)-①-1 採用した東日本大震災に関する教訓と設問・正答

設問番号	教訓	設問文	正答
問1	「津波てんでんこ」で行動する	「津波てんでんこ」とは三陸地方に昔から伝わる津波伝承のための伝統舞踊のことである。	そう思わない
問2	50cmの津波でも恐ろしい	津波の高さが50cm程度の浸水であれば、成人男性のほとんどは流されず立っていることができるが、1m以上になると成人男性のほとんどが流されてしまう。	そう思わない
問3	避難所運営は住民主体で行う	避難所には、高齢者や障がい者など色々な人々がいる。したがって、高齢者などの様々な視点を加えた避難所運営を行政がすべきである。	そう思わない
問4	「遠く」より「高く」に避難する	海や川の近くにいる場合は、地震の揺れを感じたら、高いところよりも、とにかく海や川から遠く離れた場所へいくべきである。	そう思わない
問5	子供を学校へ迎えにいかない	津波発生時には、子供が沿岸部の学校にいる場合には、避難をスムーズにするために、子供を学校に迎えにいったほうがよい。	そう思わない
問6	避難したら絶対戻らない	大きな地震のあと、あなたは高台に避難したとする。まだ津波は来ていないとしたら、あなたは自分で避難するのが困難な高齢者などを助けに行く。	そう思わない
問7	想定にとらわれない	我が国では、東日本大震災の教訓を受けて、ハザードマップを改訂している。震災後に改訂されたハザードマップならば、浸水想定域外に津波は来ることはない。	そう思わない
問8	逃げるときは「声かけ」しながら	津波避難時には、周りの人の避難を促す声掛けをするよりも、一目散に逃げるのがよい。	そう思わない
問9	避難は「徒歩」が原則	津波の陸上での速度は時速25kmを超えることがあり、車での避難が望ましい。	そう思わない
問10	木造家屋は2mを超えると流出	一般的な木造の家が津波によって流されやすくなるのは、津波が何メートルを超えるときか？（この設問のみ、2m/5m/8m/10m/15mの選択式。）	2m

図3-1-(2)-①-8に、正答率の高い順に設問番号、教訓の設問文、正答の割合、誤答の割合、「わからない」の割合を示す。最も正答率が高かったのは問7「知識・経験・想定にとらわれ過ぎない」で87.2%、最も低かったのは問3「避難所運営はみんなの手で」で18.6%であり、教訓毎に理解度は大きく異なることが明らかになった。

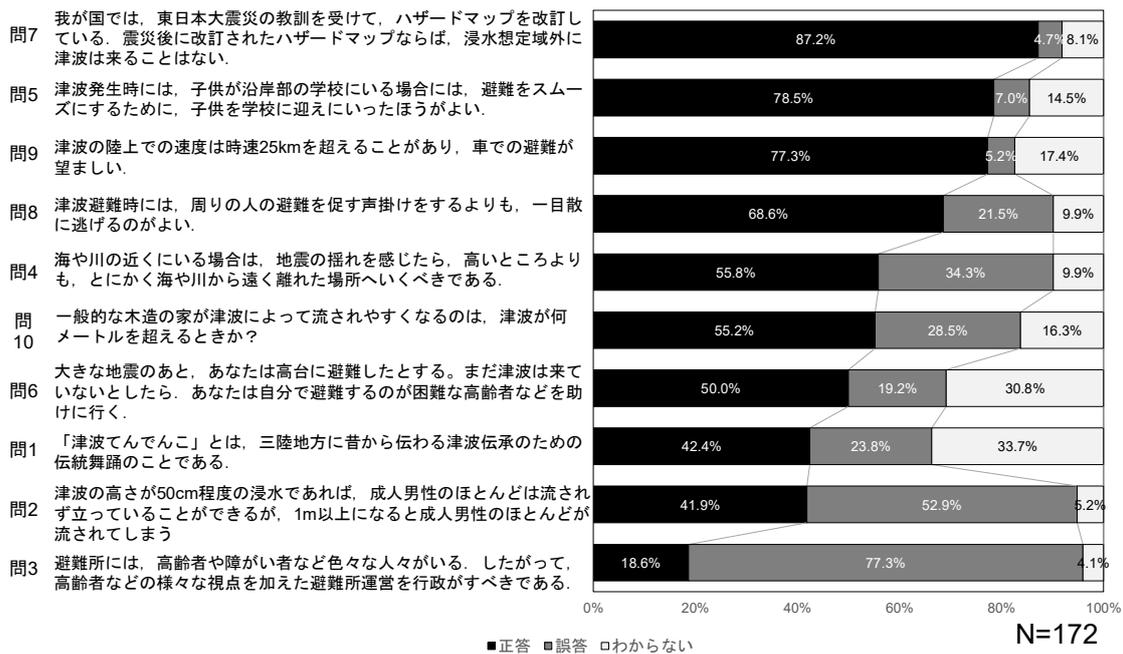


図3-1-(2)-①-8 東日本大震災の教訓に関する設問の回答結果

図3-1-(2)-①-8を見ると、東日本大震災の教訓は教訓毎に理解度は大きく異なっており、よく理解されている教訓とそうではない教訓があることがわかる。理解の程度が低い教訓（誤答が多い設問）は、津波外力の危険性、避難所運営の主体性、津波避難後に戻らないことであった。これらの教訓について、さらに周知していく必要がある。

「想定にとらわれない」という東日本大震災発災以降の津波想定のお考え方は日本全国を対象とした調査において最も良く理解されていたことが明らかになった。これは、東日本大震災発生以降、行政やメディアなどの様々な伝承活動を通し、この教訓が人々に届き、理解されている可能性があることを示唆している（問7）。

津波避難に関しては、理解されている教訓とされていない教訓に分かれた。「沿岸部の学校に迎えに行かないこと」や「原則徒歩避難」、「周りに声掛けをしながら避難すること」などの教訓は理解されているもの、「遠いところより高いところに避難すること」、「避難後は戻らないこと」などはあまり理解されていない（問4、問5、問6、問8、問9）。

「津波てんでんこ」は防災関心層を対象とする本研究においても理解度が低い。一方で、「津波てんでんこ」の内容を踏まえた教訓（問5、問8）の理解度が高かったことから、「津波てんでんこ」という用語自体は理解していなくても、「津波てんでんこ」が意味する内容に関しては理解している人が多いと考えられる（問1、問5、問8）。家屋や人間に対する津波外力の危険性に関する教訓の理解はあまり理解が進んでいない。過去の研究や調査報告においても津波外力を過小評価することにより避難行動が妨げられていることが示されている。津波避難を促進する上で、津波外力の危険性についてさらに伝えていく必要があると考えられる（問2、問10）。

避難所運営に関する教訓の理解度は最も低く、避難所運営は行政が行うものであると考える住民が多い。このことは、災害発生時の津波避難に比べて、災害発生後の被災生活に関する教訓はあまり理解されていない可能性を示している（問3）。

5) 東日本大震災における土地区画整理事業の効果と課題に関する分析

まず基礎自治体復興計画の実現について、ハード整備については、2019年時点ではほぼ終了していることが明らかになった。具体的には、災害公営住宅整備進捗率についても、また防災集団移転促進事業や土地区画整理事業などの民間住宅等用地造成工事完了の進捗率についても、ともにいずれの県においてもほぼ100%となっている（図3-1-(2)-①-9、図3-1-(2)-①-10）。民間住宅等用地造成に関して、整備後にさらに住宅等の建設に時間がかかることを勘案しても、2018年度末の段階ではほぼ100%に近い数字になっていることから、住宅等の復興が2019年度末には一通り終了していることが分かる。

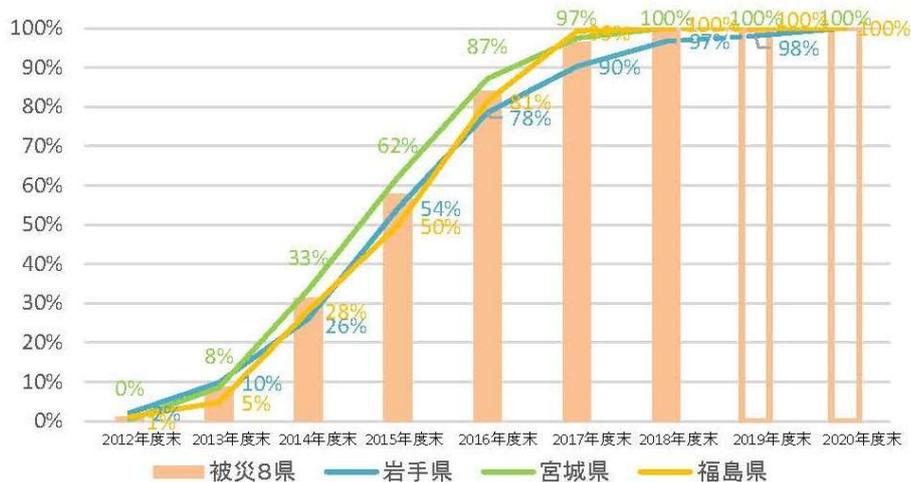


図3-1-(2)-①-9 災害公営住宅整備完了進捗率
(出典：復興庁(2019))

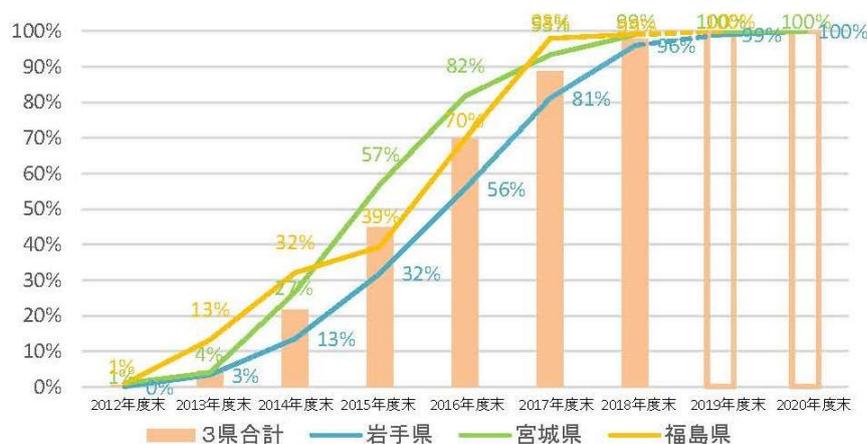


図3-1-(2)-①-10 民間住宅等用地造成工事
(出典：復興庁(2019))

一方で、課題として浮上してきているのが、土地区画整理事業における「空き地」問題である。具体的には、土地区画整理事業によって嵩上げをし、L2にも対応した市街地を造成し、地権者に引き渡されたにもかかわらず、その利用率が非常に低く空き地だらけになっている、ということである（図3-1-(2)-①-11）。そこで、大槌町町方地区を事例として、区画整理事業の前後の土地所有の状況や意向調査との関係性について調査・分析を行った。



図3-1-(2)-①-11 大槌町町方地区の区画整理後の状況
(2020年3月筆者撮影)

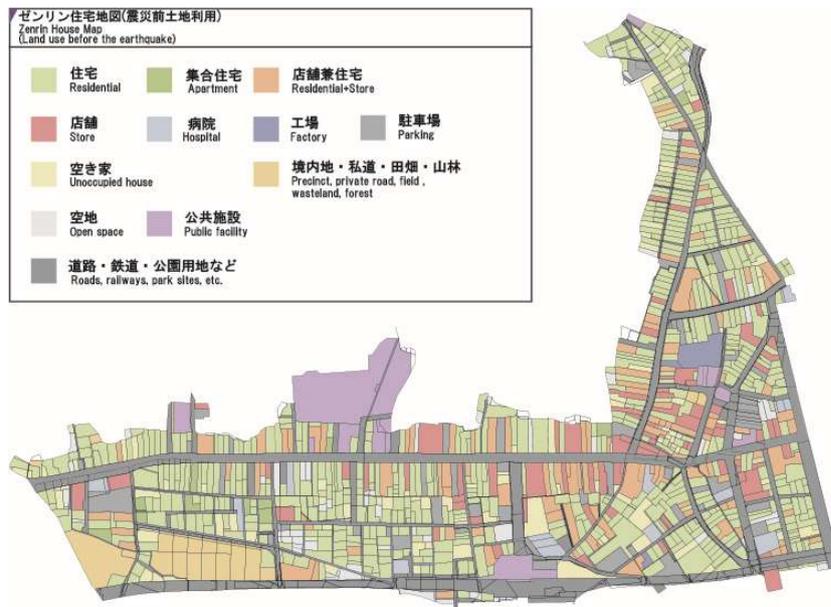


図3-1-(2)-①-12 震災前の町方地区の土地利用状況

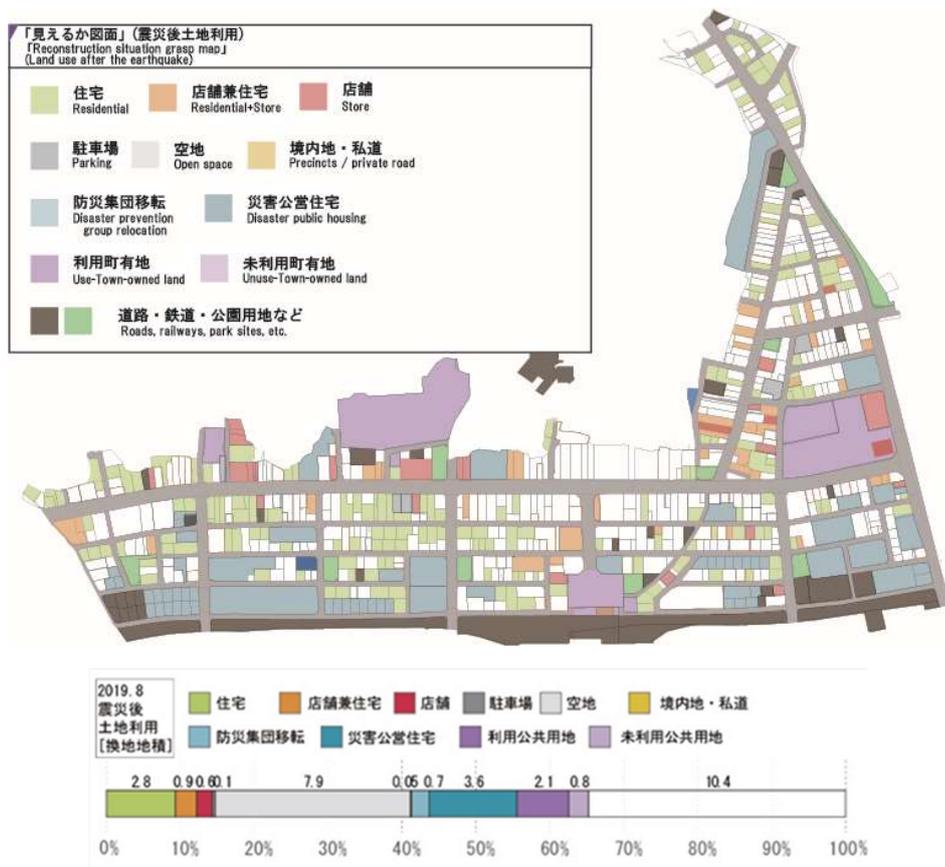


図 3-1-(2)-①-13 事業後の町方地区の土地利用状況

震災前と事業後の土地利用を比較すると(図3-1-(2)-①-12、図3-1-(2)-①-13)、震災前は地区面積30.0haの5割を越えていた住宅、集合住宅、店舗兼住宅、店舗等の民間土地利用が、震災後は2割にも満たなくなった一方で、震災前は2.5haと1割にも満たなかった空き家・空き地は、空き地7.9haと3倍以上になったことが分かる。ただし、災害公営住宅用地と防災集団移転促進事業の移転団地用地が合計4.3haと、民間土地利用とほぼ同程度の15%程度を占めており、これが嵩上げ地の有効利用に寄与していることが分かる。また、道路・鉄道・公園用地といったインフラ用地は、震災前の7.2ha(24%)から事業後には10.4ha(35%)にまで増加し、インフラ整備が進行した状況が読み取れる。

これをそれぞれの土地利用ごとに見てみると(図3-1-(2)-①-14)、震災前に住宅であった土地の2割程度が住宅として再建したものの、3割は売却して公共公益施設用地に、また3割以上が空地のままとなっていることが分かる。この傾向は、店舗兼住宅や店舗のような他の民間土地利用についてもほぼ同様である。さらには、震災前空き家や空き地でも再建率2割程度とほぼ同様の傾向が見られ、それらの再建率が顕著に低いわけではない。

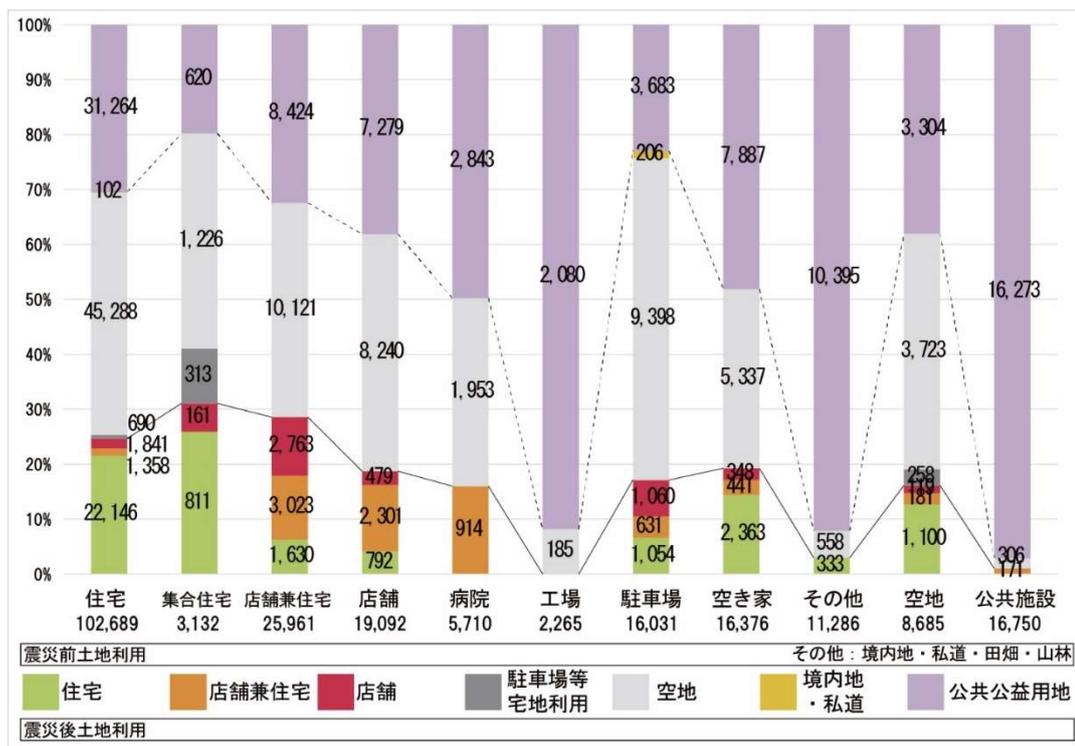


図 3-1-(2)-①-14 震災前土地利用別の事業後土地利用

また、震災直後の 2012 年に行われた意向調査と震災後の土地利用との関係を見てみると(図 3-1-(2)-①-15)、2012 年意向調査では区域内での再建を積極的に希望していたのは 4 割強である一方、実際に再建したのは 4 割弱であることから、町方地区においては、震災直後の意向調査に基づく積極的利用意向を有する世帯の所有地を基準として区画整理事業を行っていけば、大量の空地が発生することはなかったといえる。積極的に売却する意向を基準ではなく、積極的に利用する意向を基準とすることの優位性が示唆される。

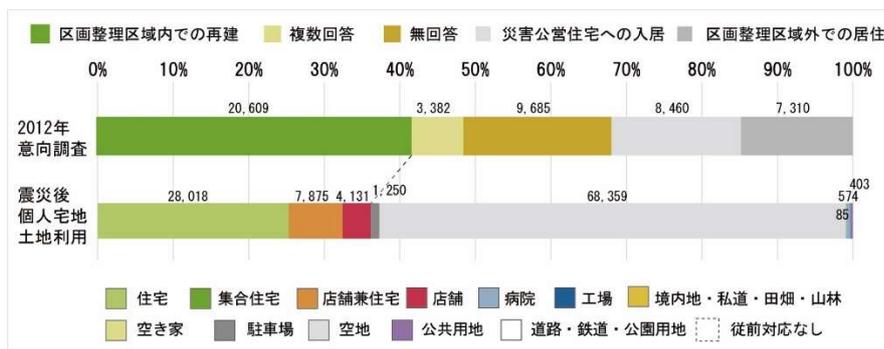


図 3-1-(2)-①-15 2012 年意向調査結果と震災後の個人宅地土地利用状況

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、これまで開発・公開してきているアーカイブシステムが高頻度で利用されていることを確認した。また、本業務の焦点である「東日本大震災の教訓」の全国的な理解度を評価・検証する試みを行い、その実態を把握した。

被災地における復興計画の実現手法として、嵩上げ型の区画整理事業を用いた地区においては、震災前に利用されていた土地の再建率が低く、低未利用地・空き地が大量に発生していること、それを防止するためには事業区域を慎重に設定する必要があること、その際には積極的売却意向ではなく積極的利用意向が一つの基準となる可能性があることを明らかにした。

(d) 引用文献

- 三重県防災対策部,「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.
- 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, 2018.1.
- 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, 2018.3.
- 東北大学 MOOC: 東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチ, 2019.
- 釜石市: 東日本大震災釜石市教訓集 未来の命を守るために, 2016.
- 復興庁: 第3回東日本大震災の復興施策の総括に関するワーキンググループ資料3 『住まいとまちの復興』, 2019.

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、「復興モニタリングシステム」を通じて、定点観測システムによる観測、アーカイブ化を引き続き行っている。

(b) 業務の実施方法

システムの維持管理作業を以下の通り、実施した。2018年11月10日—11日大槌町・石巻(図3-1-(2)-②-1)。また、プロジェクト終了後も継続的に観測を可能にするために地元協力者をホームページ上に明記し(図3-1-(2)-②-2)、今後も継続して観測が可能な仕組みの構築を行った。



図 3-1-(2)-②-1 システムメンテナンスの状況
(左：大槌町役場、右：石巻市)

復興モニタリングプロジェクト
復興のプロセスを記録する

東日本大震災に大きな被害を受けた地域では復興が始まったところです。一方、被災地に対する世間の関心も薄れ始めています。京都大学では、少しでも世の中の関心を集めることを主たる目的に、阪神淡路大震災の長田区や台湾集集地震の被災地の復興過程をモニタリング・配信してきた経験を活かし、東日本大震災の被災地の「日々のまちの変化」を記録し、インターネット配信するプロジェクトを企画しました。

2020年までの7年間、宮城県と岩手県の被災地から、「まち」「街並み」「にぎわい」の3テーマで20地域を選定し、各地域の復興プロセスをWebカメラでモニタリング。復興の様子は、インターネットで常時配信します。

各地のカメラ

東日本大震災

- UR都市機構大槌復興支援事務所（大槌町 2018.7.25まで）
- 陸前高田市（鶴浦様宅 2016.7.23から / みんなの家 2016.7.19まで）
- 大槌町町方復興カメラ
町方CMrカメラ（2017.11まで）
京都大学カメラ（町方CMrカメラ-2を継続、2018.2.3〜）
- 石巻中心部
松川横町（東向き）| 松川横町（西向き）| アイトピア商店街

阪神・淡路大震災

- 神戸市長田区御蔵地区

■本プロジェクトにご協力いただいているみなさま

かめ七呉服店

岩井電気株式会社

大正二年創業 **八幡家**

大槌町

図 3-1-(2)-②-2 地元協力組織のバナーの追加

(c) 業務の成果

カメラの維持管理を行うことで東日本大震災の連続観測を継続的(図 3-1-(2)-②-3)に実施し、復興事業の進捗にともなう、まちの連続的変化の記録を行うことができた。また地元組織との協力により本プロジェクト終了後も継続して観測を行うための枠組みの構築を行った。



大槌（2020年1月5日） 陸前高田(2020年1月5日) 石巻（2020年1月5日）

図3-1-(2)-②-3 観測画像

(d) 結論ならびに今後の課題

被災地の復興状況について6年間継続的に実施してきた。地元組織との協力体制を構築し、本プロジェクトの終了後も継続的に観測システムを維持するための枠組みが構築できた。実際に観測を継続していく取り組みが重要である。

(e) 引用文献

なし

③ 被害

(a) 業務の要約

平成25～30年度に実施した本プロジェクト成果を利活用・補遺するとともに、1-b)とも連携しながら、構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究を実施した。具体的には次の通りである。

1) ライフライン（上水道）については、昨年度までの取り組みとして、碧南市水道課との協議を通じて被害軽減・復旧早期化に資する施策についてとりまとめ、別途1-b)で構築したツールを用いて給水復旧のシミュレーションを実施してきた。一方、同市の一部の地域は津波による浸水が想定される。東日本大震災では、津波浸水地域の堪水解消や瓦礫の除去、交通インフラの復旧等を要し、即座に上水道の修繕を行うことが困難な事例があった。過年度の復旧シミュレーションではこうした要素を考慮せず、一様に修繕を行う前提となっていたが、既往の災害事例を鑑みると浸水地域の復旧が大幅に遅くなることも想像しうる。上記を踏まえ、今年度業務では津波浸水のない市域に限定した復旧シミュレーションを実施した。そして、市内における「発災後当面」の給水環境について概観した。

2) 建築構造物については、実際の市庁舎に関する観測結果をもとに、1-b)における3次元モデルを用いた地震応答解析、1-e)のVRによる室内体験などと連携して地震時の構造モニタリングや安全確保の高度化について考察した。また、建物地震時の機能確保に関して、エレベーターの停止・閉じ込め事例に関する文献調査を行った。

3) 地盤・土構造物については、地震動による斜面災害対し降雨が及ぼす影響の観点から、先行降雨が地震時の斜面災害発生あるいは被害拡大に寄与した事例などに関する文献調査を行った。

(b) 業務の実施方法

1) ライフライン（上水道）については、(c)業務の成果に含まれるため省略する。

2) 建築構造物については、対象とする市庁舎建物に関して、地震観測結果に基づく変形特性推定のモニタリングの検討を行うとともに、同建物に関して 1-b)、1-e)で行われている成果との連携を考察する。エレベーターの停止・閉じ込めに関しては、業界団体及び国土交通省等の資料を中心に文献調査を行う。

3) 地盤・土構造物については、降雨の影響が斜面における地震災害に及ぼす影響に関する事項を中心に文献調査を行う。

(c) 業務の成果

1) ライフライン（上水道）

碧南市の津波ハザードマップ（碧南市、1985）を参照し、津波浸水が予想される地域（「浸水深 1cm 以上」と「浸水深 1m 以上」の 2 通りを想定した）の上水道管路を除いた状態で従来の被害予測・復旧シミュレーションを行った。その結果を表 3-1-(2)-③-1 に示す。

過年度 1-b)での試算では、碧南市全域が津波浸水地域も含め一様に復旧可能であると仮定した場合、上水道システムの完全復旧に要する日数は 124 日であった。これに対し、津波浸水深 1 m 以上もしくは 1 cm 以上のエリアを除く地域に限定した場合、復旧所要日数はそれぞれ 84 日、66 日と算出された。

表 3-1-(2)-③-1：各エリアを対象とした被害予測、復旧シミュレーションの結果

対象エリア	管路被害件数	復旧所要日数
1: 碧南市全域	2,146 件	124 日
2: 「津波浸水深 1m 以上」を除く地域	1,383 件（▲763 件）	84 日（▲40 日）
3: 「津波浸水深 1cm 以上」を除く地域	1,011 件（▲1,135 件）	66 日（▲58 日）

2) 建築構造物

a) 重要構造物の対策を想定したモニタリングシステム

2016 年熊本地震では、自治体庁舎等の被災による機能喪失が課題となった。新耐震設計法に従っていても、靱性能に期待した構造物では変形が大きくなり、震度 6 強～7 レベルの地震動に対して、ある程度の構造損傷は避けられない。南海トラフ地震における広域大災害ではきわめて多数の建物が被災するため、被災後の対応は困難である。災害時の重要機能継続のためには、耐力を確保した耐震性の高い構造物を指向するとともに、被災後の建物が使用可能か否か（健全度）の判断材料が重要になる。

近年は自治体庁舎や病院の新築の際には免震建物で計画されることが増えたが、保有水平耐力で設計された中層庁舎建物も多い。ここでは実在する市庁舎建築（SRC 造 10 階建、新耐震、重要度係数 1.5）を対象に、比較的簡易な観測体制を設置し、小地震における変形性状の把握を試みて、靱性の大きい構造物であれば十分に変形をとらえら

れることを示した（30年度報告書）。

1-b)では同建物に関する高密度常時微動観測を実施し、3次元動的モデルを構築して、地震観測記録の再現によるチューニングを試みている。変形の比較的大きい構造物について、中小の地震を繰り返し観測することでモデルの精度向上を進め、将来の大地震の応答解析と損傷評価を行うことは可能である。これを用いることで、モニタリングによる層間変形の推定と合わせて、構造物の健全性（余力）の評価が可能となる。

一方、1-e)ではこれらの応答解析結果をVRで視覚化することにより、建物使用者による室内安全や非常対応体制整備などの事前対策を促進することを目指している。その際に、モニタリングシステムの出力も併せて視覚化し、被災建物を想定したトレーニング等を行うことが可能になる。

b) 地震災害時のエレベーターの運転停止と閉じ込め

東日本大震災では多数の建物でエレベーターが緊急停止している。都内の高層ビル34棟で行われた気象庁の調査によれば、全建物ですべてのエレベーターが停止し、うち閉じ込めは1件、30分以内にメンテナンス会社により救出されたとされる。さらに重大なロープの絡まりも4件あった。平成26年度本研究報告に記された別の例では、関東地域の11棟について、震度5強のエリアで全て停止6棟、一部停止4棟、震度5弱で停止なしが1棟となっている。復旧に要した日数は1日以内も多いが、1週間以上を要した例も2棟ある。震源から離れた大阪でも、咲洲庁舎が52階で片振幅137cmの応答を記録し、26基のエレベーターがすべて停止、うち4基で5人が閉じ込め、大阪市消防局救急隊員により5時間余りで救出された。大阪ではこの地震の被害はほとんどなく、救急隊員が活動できたと推察される。平成29年度本研究報告から、高層建物において観測された応答は、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程度となっている。

地震に対するエレベーターの設備は、S波を検知する装置に加えて、2009年9月の建築基準法施行令改正により戸開走行保護装置（2006年の戸開走行による死亡事故に対応）、P波センサ、予備電源が義務付けられている。2018年のエレベーター保守台数は約76万台、うち地震時管制運転が備わるものは約57万台で約75%。乗用エレベーターは約8割の約62万台、うち約46万台が地震時管制運転を備える（一般社団法人日本エレベーター協会、2019）。このうち現行の地震時管制運転を備えるものが約3割の20万台とされる（国土交通省、2019）。ここ数年の新規設置+リニューアル件数はおおむね2.2万台（平均的な運用期間約30年）であるので、現行基準不適合の台数はあまり減らないことが予想される。

現行基準のエレベーターの地震時管制運転の代表例を図3-1-(2)-③-1に示す。この際の基準加速度を表3-1-(2)-③-2にまとめた（谷口、2010）。P波検知があるものは、初期微動から管制運転に入ることが分かる。またS波低加速度の基準を検知した場合は、自動復旧機能があれば自動で点検し運転再開する。S波高加速度の基準を検知すると運転停止し、保守会社の点検を経て再開する。このとき、人が乗っていて最寄階への着床ができなければ閉じ込めとなる。表3-1-(2)-③-2から建物底部の加速度80～120galで停止することになり、おおむね震度5弱程度に相当する。

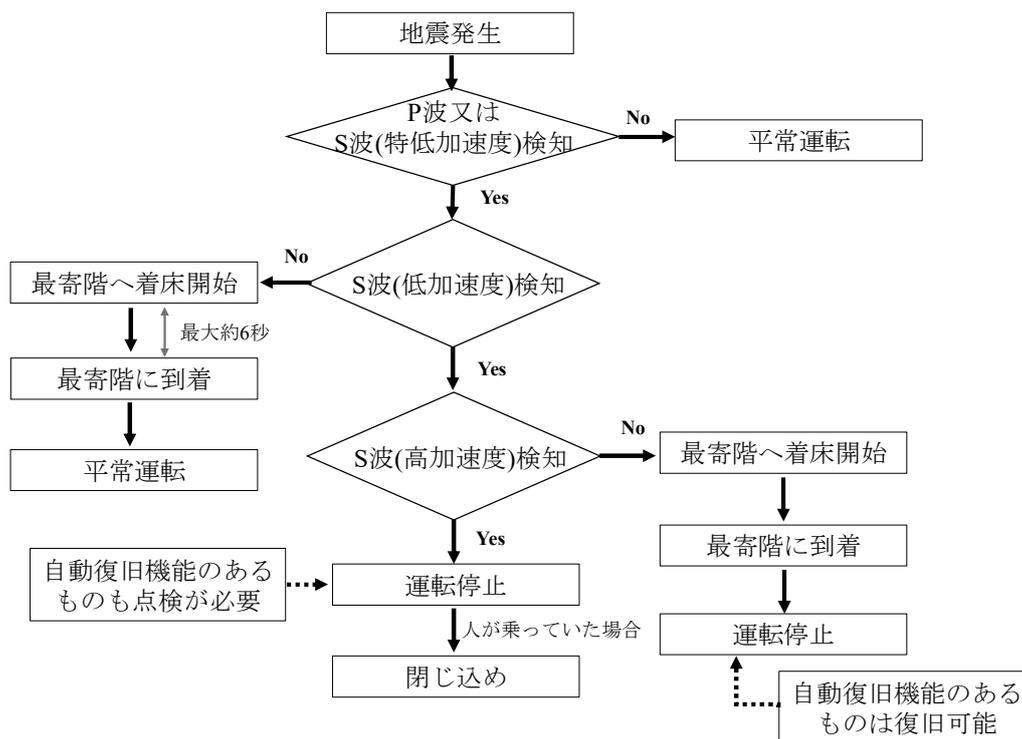


図 3-1-(2)-③-1 地震時管制運転のフロー

表 3-1-(2)-③-2 地震時管制運転の基準となる加速度 (gal)

	P 波	S 波		
		特低	低	高
P 波センサなし (2009 年以前)		80 (頂部) 30 (底部)	150 (頂部) 60 (底部)	200 (頂部) 100 (底部)
	P 波センサあり (2009 年以降)	2.5~10	200 (頂部) 80 (底部)	300 (頂部) 120 (底部)

2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震では、近畿地方の 2 府 9 県で 63,338 台のエレベーターが停止し、346 台で閉じ込めが発生した（国土交通省、2019）。府県ごとの運転停止発生台数を表 3-1-(2)-③-3 に示す。停止の割合は、大阪府で 6 割弱、京都府と奈良県で約 5 割、兵庫県で 4.5 割である。観測された最大震度は大阪府で震度 6 弱、京都府で 5 強、奈良県、兵庫県、滋賀県で 5 弱であり、表 3-1-(2)-③-2 の基準加速度とおおむね調和的である。台数が多いこともあり、復旧には数日を要している。府県ごとの閉じ込め発生台数を表 3-1-(2)-③-4 に示す。管制運転の有無による発生台数の内訳は調査で示されているが、母数は保守台数総数しか資料がないため、先に述べた比率を乗じて概算した。これより、現行基準の管制では必ずしも発生割合は低くなく、管制運転なしのケースの方が低い結果となった。閉じ込め発生の原因を表 3-1-(2)-③-5 に示す。最も多いのは、大きな加速度の検知と並んで、地震管制ではない戸開走行保護装置が揺れにより誤作動したものである。次に多い停電は予備電源がないかあるいは不備によるものと思われる。

表 3-1-(2)-③-3 大阪府北部の地震の運転停止台数

府県	運転停止台数	保守台数*	停止割合(%)
大阪府	37,831	64,633	58.5
京都府	7,440	14,623	50.9
奈良県	2,434	4,800	50.7
兵庫県	13,824	31,198	44.3
滋賀県	1,388	4,876	28.5
三重県	146	5,335	2.7
岐阜県	97	5,809	1.7
福井県	15	2,713	0.6
愛知県	152	40,843	0.4
和歌山県	7	3,361	0.2
香川県	4	3,750	0.1
計	63,338	181,941	34.8

表 3-1-(2)-③-4 閉じ込め発生台数

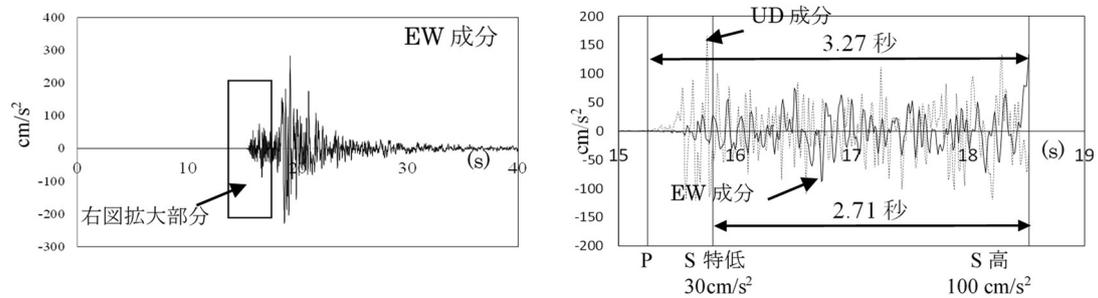
府県	現行基準適合			既存不適格			地震時管制運転なし		
	発生台数	保守台数	割合	発生台数	保守台数	割合(%)	発生台数	保守台数	割合(%)
大阪府	121	21,300	0.57	144	27,800	0.52	13	15,500	0.08
京都府	13	4,800	0.27	11	6,300	0.17	0	3,500	0.00
奈良県	1	1,600	0.06	4	2,100	0.19	0	1,200	0.00
兵庫県	4	10,300	0.04	33	13,400	0.25	1	7,500	0.01
滋賀県	0	1,600	0.00	1	2,100	0.05	0	1,200	0.00
計	139	39,600	0.35	193	51,700	0.37	14	28,900	0.05

表 3-1-(2)-③-5 閉じ込め発生の原因

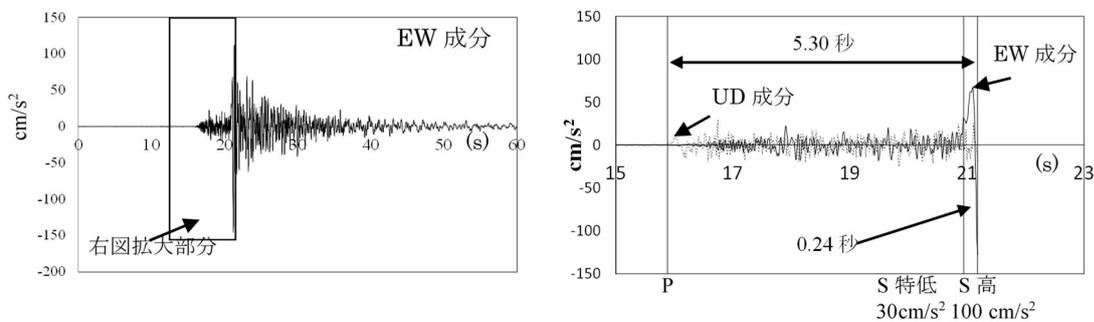
原因	件数
乗場戸スイッチまたはかご戸スイッチの一時的な開路	211
大きな加速度の検知	195
停電	54
調速機の過速スイッチの作動	17
乗場戸スイッチまたはかご戸スイッチの開路（一時的なものを除く）	12
非常停止装置の作動	7
その他の安全装置の作動	2
乗場戸の施錠装置の係合外れ	1

図 3-1-(2)-③-2 に地震波形の代表例を示す。震源に最も近い地点は高槻などだが、ここでは K-NET 大阪 (OSK005、最大加速度 294gal、震度 5 弱) を図 3-1-(2)-③-2 (a) に示した。P 波検知から S 波高加速度検知まで 3.27 秒、特低加速度検知から高加速度検知まで 2.71 秒となり、初期微動から水平動も大きいため P 波センサは 0.5 秒程度早いすぎず、十分な効果を上げていない。一方、図 3-1-(2)-③-2 (b) の堺市では全体に振動レベルが下がり、P 波検知から S 波高加速度検知まで 5.30 秒、特低加速度検知から高加速度検知まで 0.24 秒で、P 波センサが約 5 秒早くなっている。このように内陸直下地震では、P 波を検知してから S 波までの時間が十分に

確保できず、急速な運転停止が発生する可能性がある。また大加速度による戸開走行防止装置の誤作動も影響が大きい。逆に地震時管制運転がない場合は、エレベーターの機能に支障がなければそのまま走行して、結果として停止や閉じ込めが少なかったと考えられる。これは揺れがあまり大きくない地震ゆえであり、広域大地震では異なる傾向となろう。



(a) K-NET 大阪 (OSK005)



(b) K-NET 堺 (OSK006)

図 3 - 1 - (2) - ③ - 2 大阪府北部の地震の観測波形と地震時管制運転のタイミング

他の例として、2005年7月23日の千葉県北西部の地震について、運転停止・閉じ込めの台数を表3-1-(2)-③-6に示す(社会資本整備審議会建築分科会、2008)。東京、千葉、埼玉、神奈川の都県で約64,000台が地震時管制運転で停止し、復旧に約1日を要した。閉じ込めは78台で、そのうち73台が地震時管制ありとなっている。この地震は2009年の施行令改正のきっかけとなったもので、地震時管制はそれ以前の基準であることに注意を要する。首都圏の地震動記録を検討すると、S波低レベルと高レベルの時間差は1秒弱しかないが、もしP波センサがあったとすれば数秒程度は時間があり、最寄階停止の可能性は高まると考えられる。

表 3-1-(2)-③-6 千葉県北西部の地震におけるエレベーターの停止・
閉じ込め台数

	台数	割合
保守台数 (A)	227,000	
うち地震時管制運転あり (B)	144,000	B/A 63.44%
うち装置が作動し停止 (C)	64,000	C/B 44.44%
閉じ込め台数 (D)	78	D/A 0.03%
うち地震時管制運転あり (E)	73	E/B 0.05%
部品の故障・損傷等台数 (F)	44	F/A 0.02%

3) 地盤・土構造物

日本は山地が多く（国土の約6割）平地がせまいため、山の斜面や谷の出口、盛土造成斜面など、土砂災害の起こりやすい場所にもたくさんの方が住んでおり、斜面災害・土砂災害で大きな被害が出る原因となっている。地震時における斜面の被害は、沢部や谷部などの集水地形に建設された盛土や排水性の悪い材料による盛土斜面に被害が集中する傾向にあり、排水溝等の整備状況や維持管理状況によって耐震性が左右される可能性が高いと言われている。すなわち、排水条件によっては、降雨や融雪等による浸透によって地盤物性が変化し、斜面の耐震性が低下する可能性がある。降雨が斜面の耐震性に及ぼす影響に関しては、1968年十勝沖地震、1975年大分県中部地震、1984年長野県西部地震、1999年台湾集集地震、2003年宮城県北部地震、2004年新潟県中越沖地震などの被害について、地震前の先行降雨の影響が指摘されているが、降雨・融雪による浸潤面変化によって地盤物性が変化することについては十分に考慮されていない（内田ら、2004など）。

実際に先行降雨が地震時の斜面災害発生あるいは被害拡大に寄与したと考えられる事例を以下に示す。

a) 十勝沖地震（1968）

十勝沖地震では、青森県八戸市西方の丘陵地で多数の斜面崩壊（青森県など）が発生した。青森県では地震発生直前の3日間で100mm～200mmの降雨があり、地震直前の降雨が盛土の被害を拡大したと言われている。また、この地震直前の降雨は長雨というよりむしろ、短時間に集中的に多量の雨が降る豪雨であった（時間雨量24.5mm）という記録も残っている（防災科学技術研究所、1968）。中村・栗山（1997）は、東北線八戸貨物・陸中市川間の盛土を対象に、十勝沖地震と三陸はるか沖地震（1994）の被害を比較することで、地下水位と地震被害の関係性を調べている。なお、前述の通り、十勝沖地震では直前の降雨によって盛土内の浸潤面はかなり上昇していたと考えられるが、三陸はるか沖地震では地震前の降水量は15mm程度の積雪のみであった。当該地点で観測された揺れの大きさは、十勝沖地震で325galに対して、三陸はるか沖地震では678galと倍の大きさであったにも関わらず、十勝沖地震では大きな崩壊を示す一方で、三陸はるか沖地震では変状がほとんど発生していない。地震発生時期が異なるとは言え、十勝沖地震では多くの降水量があったことを踏まえると、地震規模の小さな十勝沖地震でも盛土が崩壊に至った一因として、降雨に伴う地下水位の上昇の影響

が十分に考えられる。なお、十勝沖地震での盛土の被災形態は盛土の表層崩壊であり、地震直前の降雨によって盛土の飽和度が高まり、表層でのせん断強度がかなり低下した状態で地震動を受けたと考えられる。

b)新潟県中越地震（2004）

新潟県中越地震では、河岸段丘沿いの盛土や、山間部の盛土に多くの被害が発生した（新潟県、2005）。土砂災害が頻発した原因として、震源域が中山間地域であったことに加えて、図3-1-(2)-③-3に示すように、地震発生3日前の台風23号の通過による先行降雨によって、盛土が多くの水分を含み、地下水位が高い状態にあったことが挙げられている。震源に近い地域においては、小千谷市で最大加速度1,314galの非常に強い地震動が観測されている。一般に地震に起因して生じる斜面崩壊の機構は、豪雨によって引き起こされる斜面崩壊の機構と異なると言われているが、新潟県中越地震では土層内の含水比が高かった状態で大きな地震動が加わったため、斜面内の土層が著しく乱され、土層の強度低下が大きかったと考えられている。

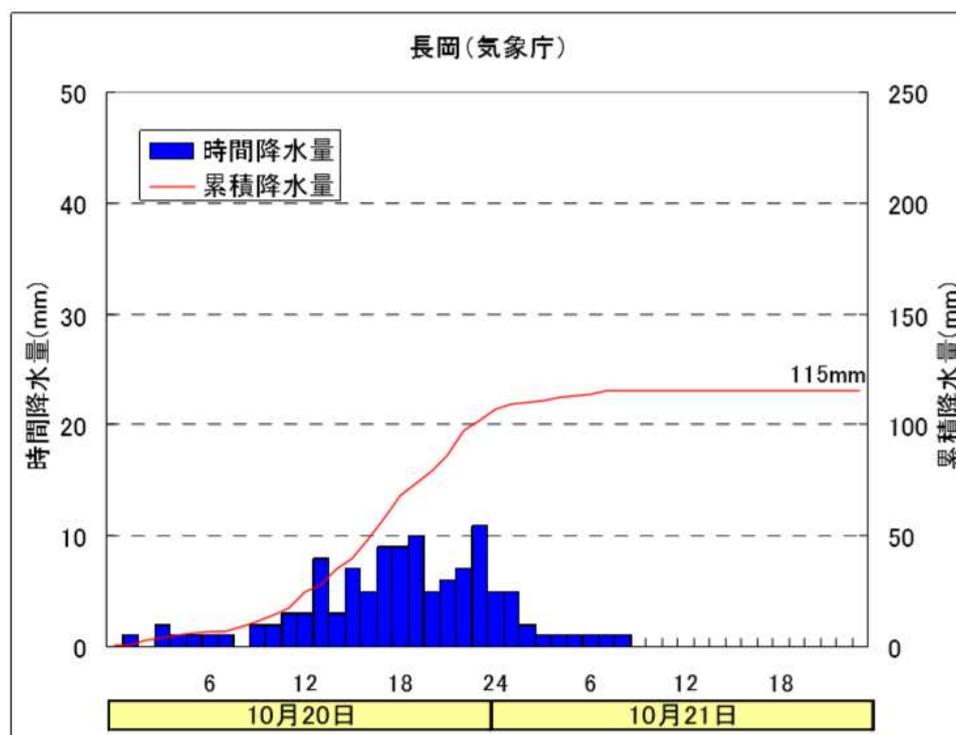


図3-1-(2)-③-3 2004年台風23号による長岡の連続雨量

なお、秦ら（2018）は、先行降雨量が多く地盤が比較的湿潤な状態で斜面崩壊が発生した新潟県中越地震（2004）と、先行降雨量が少なく地盤が比較的乾燥した状態で斜面崩壊が発生した岩手・宮城内陸地震（2008）との2地震を対象として、地震発生時の土壌水分に影響を及ぼしうる因子（先行降雨量、集水面積）と実績崩壊面積率の関係を整理・分析している。その結果、新潟県中越地震（湿潤状態）は最大加速度が1,300gal程度であり、岩手・宮城内陸地震（乾燥状態）の最大加速度4,500galよりかなり地震動が小さいにもかかわらず、同一集水面積の実績崩壊面積率が高い傾向が確認された。これより、新潟県中越地震では先行降雨及びそれに起因する土壌水分量

が多かったため、岩手・宮城内陸地震より実績崩壊面積率が高くなっている可能性を指摘している。

c) 北海道胆振東部地震 (2018)

北海道胆振東部地震では、内陸の深さ 37 km という比較的深いところで発生した地震にも関わらず、北海道厚真町では震度 7 という強い揺れに見舞われ、大きな地震被害が発生した。震源に近い厚真町を 中心に広い範囲で斜面崩壊が発生した。国土交通省によると、崩壊面積は推定約 13.4km²、崩壊土砂量は約 30 百万 m³ とされ、明治以降の主要な地震による土砂崩壊の中で最も大きい。斜面崩壊は、比較的勾配の緩い地形で発生した崩壊多かったことが指摘されているが、新潟県中越地震に伴う斜面崩壊など、火山灰が厚く堆積した地域の地震に起因した斜面崩壊では、斜面勾配が 30 度以下の比較的緩い斜面で崩壊した例が知られており、本地震もその事例の一つとされている。王ら (2019) は、斜面崩壊の誘因として、強い地震動以外に地震前の降雨量を指摘している。図 3-1-(2)-③-4 は AMeDAS 厚真の降雨量データである。厚真町周辺では、地震前日の 9 月 5 日の降雨量は 10 数ミリ程度であり、斜面崩壊に直接的に大きな影響を与えたとは考え難い。しかしながら、7 月上旬および 8 月中旬には、日雨量 50mm を超える降雨量が発生している。これらの先行降雨が今回の群発した斜面崩壊の発生・運動にどのような影響を与えたかは、今後より詳細な調査が必要となる。

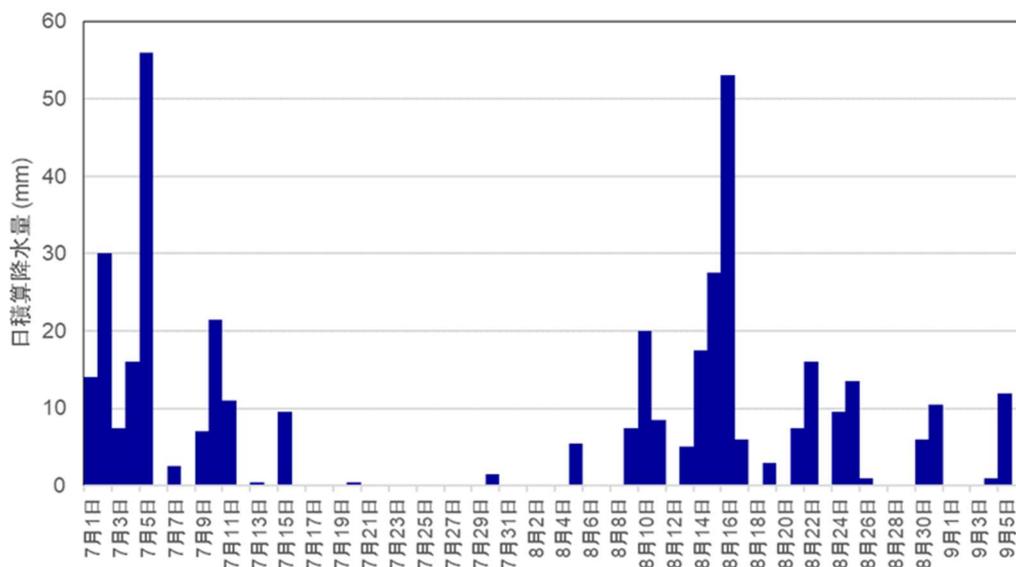


図 3-1-(2)-③-4 AMeDAS 厚真の降雨量データ

以上のように、先行降雨が地震時の斜面災害発生あるいは被害拡大に寄与した例は数多く報告されている。このような中、Murao and Nakai (2017) は、浸潤面位置を変えた不飽和模型斜面の 1G 場振動台実験を実施し、浸潤面位置が盛土造成斜面の安定性に及ぼす影響を実験的に調べている。その結果、浸潤面位置の低い不飽和地盤に比べて、浸潤面位置の高い飽和地盤の方が耐震性能は低いこと、不飽和地盤は浸潤面付近を先端とする後退的なすべりが発生するのに対し、飽和地盤は表層の流動的な滑りが次第に深部

へと進展し、崩壊モードが異なることを実験的に示している（図3-1-(2)-③-5）。つまり、斜面災害に及ぼす先行降雨の影響把握のためには、浸潤面位置を適切に評価することが重要であることを示唆している。

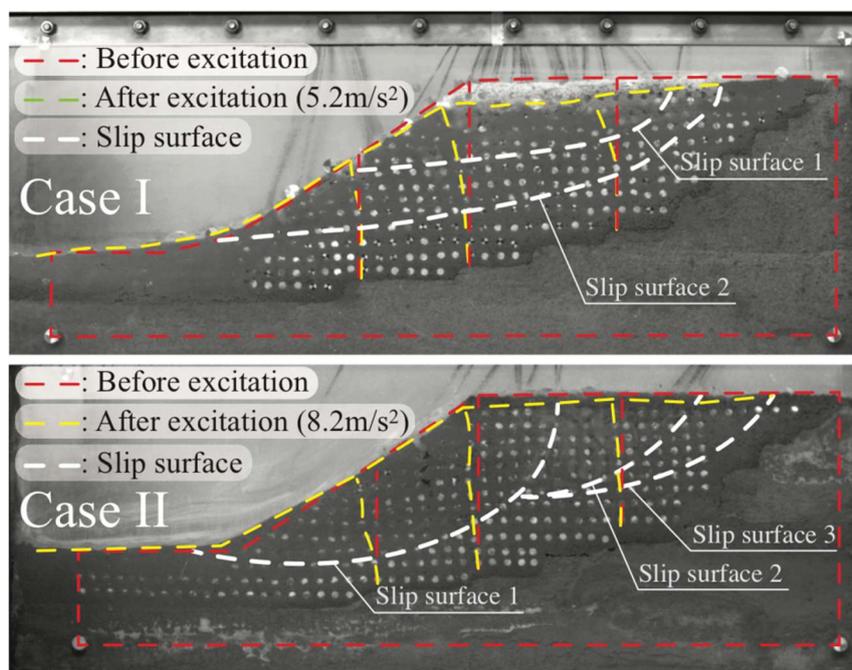


図3-1-(2)-③-5 CaseI(不飽和)と CaseII(飽和)の実加振後の側面状況

ここまで、地震被害に及ぼす先行降雨の影響について述べてきたが、地震後の降雨によって発生する崩壊もまた、地震の影響を受けていると考えられている。地震加速度によって、尾根や山腹勾配の変化する凸部において多くのクラックが発生するが、地震発生時に崩壊にまで至るのはその一部分であり、その後の降雨によって崩壊に至る例も数多く報告されている。例えば、地震時及び地震後に発生した崩壊に関して多くの調査・研究が実施された兵庫県南部地震（1995）において、六甲山地では、700ヶ所以上で山腹が崩れる等の土砂災害が発生したが、さらに、地震後の雨によって崩壊地の数は2000ヶ所以上に増加している。特に、図3-1-(2)-③-6のように、神戸市灘区の鶴甲地区では、六甲山の南斜面標高250～400m付近で地震直後に崩壊が発生し、その後の降雨のたびに、約8か月にわたって崩壊が拡大した（国土交通省水管理・国土保全局砂防部）。このように、大地震の後に大規模な崩壊や土石流等の土砂災害が発生した事例は過去に全国で数多く報告されている。

以上から、地震による斜面の不安定化を定量的に把握するには、地震前後の降雨実績をもとに、斜面崩壊の引き金となった浸潤面位置を分析するのが有効であると考えられる。



震災直後の鶴甲地区
(1995年5月撮影)

震災後7月の豪雨で
新たな崩壊が発生
(1995年8月撮影)

図3-1-(2)-③-6 神戸市灘区の鶴甲地区の斜面崩壊

(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、本年度検討において、津波浸水地域における早期の復旧着手が困難である状況を想定し、非浸水地域に限定した上水道システムの復旧シミュレーションを行った。その結果、津波被害に伴う瓦礫の撤去等、上水道システムの復旧の妨げとなる要因の一部を取り除いた形でのシミュレーションが可能となり、早期に復旧が可能な地域の給水再開までのプロセスが明らかとなった。

上記の算出結果に加えて、津波浸水地域から非浸水地域へ避難する人口について推計することができれば、非浸水地域での復旧で給水を受けられる実際の人口が明らかになる。そうすれば、浸水地域に留まって依然として給水を受けられない人口に対する（給水運搬車の派遣等の）応急給水の必要量についても試算することができ、当該状況下で上水道事業者の取るべき対応がより明確なものとなると考えられる。

2) 建築構造物については、地震時の構造健全性判定や事前の準備等に用い得るモニタリングとして、1-b)で検討した3次元モデル化による応答解析や、1-e)のVRによる被災状況の視覚化との関係を考察した。広域大災害における多数の建物の被災を想定すれば、多様な用途と複合したモニタリングシステムの重要性は高まるものと考えられる。

エレベーターの地震時管制運転と停止・閉じ込めの発生状況について、文献調査から検討した。P-S 時間の短い直下地震では現行基準の P 波センサが有効に機能しないこと、強い揺れによる戸開走行保護装置の誤動作がみられることなどを示した。高層建物では特に、エレベーターの運転継続や早期復旧が機能継続のために重要であり、建物応答特性やエレベーター被災なども含めた知見の蓄積と活用が必要と考えられる。

3) 地盤・土構造物については、地震動による斜面災害に対する降雨の影響を調査した。その結果、先行降雨が地震時の斜面災害発生あるいは被害拡大に寄与した事例および

地震発生時は崩壊にまで至らなくてもその後の降雨によって崩壊に至る事例を抽出し、斜面内の浸潤面位置の把握が重要であることを確認した。

(e) 引用文献

- 1) 碧南市ハザードマップ、津波最大浸水深分布図（理論上最大想定モデル）。
- 2) 一般社団法人日本エレベーター協会：2018 年度昇降機設置台数等調査結果報告，Elevator Journal No.26 2019. 8.
- 3) 谷口元彦：エレベータ設備の災害対策，建築設備技術者協会会誌，2010.10.
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課：大阪府北部を震源とする地震に因るエレベーターの被害状況の分析と対策の実施状況について，2019. 6.
- 5) 社会資本整備審議会建築分科会：建築物等事故・災害対策部会：エレベーターの地震防災対策の推進について，2008 年 4 月。
- 6) 内田太郎，片岡正次郎，岩男忠明，松尾修，寺田秀樹，中野泰雄，杉浦信男，小山内信智：地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究，国土技術政策総合研究所資料 No.204，pp.1-95，2004.
- 7) 青森県、青森県防災ホームページ：
<http://www.bousai.pref.aomori.jp/DisasterFireDivision/archivedata/earthquakeoverview/tokachioki/index.html>
- 8) 国立防災科学技術センター：1968 年十勝沖地震災害調査報告、防災科学技術研究資料、第 5 号、pp.1-52、1969.
- 9) 中村宏，栗山道夫：三陸はるか沖および十勝沖地震による鉄道盛土崩壊メカニズムの検討，降雨と地震から危険斜面を守る地盤工学に関するシンポジウム発表論文集，pp.137-142，1997.
- 10) 新潟県土木部砂防課：新潟県中越地震と土砂災害，2005.
<http://npdas.pref.niigata.lg.jp/sabo/5ec49bc4a1e2b.pdf>
- 11) 秦雅之，平尾暢美，池田寛，一松晃弘：先行降雨が地震時斜面崩壊の発生場に及ぼす影響の検討，平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集，No. 83，pp.499-500，2018.
- 12) 王功輝，古谷元，渡部直喜，土井一生，馬寧：平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害の特徴，京都大学防災研究所年報，第 62 号，pp.48-56，2019.
- 13) Murao, H. and Nakai, K.: 1G shaking table tests on saturated fill slope focusing on resonance phenomena, Proc. of 19th ICSMGE, pp.947-950, 2017.
- 14) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部
<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/index.html>

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

南海トラフ巨大地震による、大規模平野での長周期地震動発生リスクの評価を目的として、2011 年東北地方太平洋沖地震において西南日本の広域で観測された、周期 15 秒及び周期 70 秒前後の長周期 Love 波の生成と伝播メカニズムを調べた。まず、1 次元

地下構造モデルを用いた Love 波の理論分散曲線を計算し、周期 10～20 秒及び 40～500 秒の二つの周期帯で Love 波の基本モードの群速度が一定値を持つことで、パルス状の Love 波が生成することを確認した。次に、3次元不均質地下構造を用いた地震波伝播シミュレーションから、東北地方太平洋沖地震で観測された長周期 Love 波パルスの生成・伝播を再現した。この地震の際に、箱根火山の直下での地震活動の活発化や、東北～九州にかけての内陸地震の活性化、そしてプレート境界深部の低周波数微動の誘発が報告されている。これら地震活動の活性化は地震波の到来直後に起きており、また、震源からの Love 波放射パターンが強い方位に位置していることから、長周期 Love 波パルスの影響が考えられる。南海トラフ巨大地震においても同様の現象が起きる可能性が考えられ、Love 波が強く放射される方位での誘発地震やプレート境界の状態変化に注意が必要である。

(b) 業務の成果

2011 年東北地方太平洋沖では、震源域から数百キロ以上離れた中部日本～九州の広い範囲にわたって 1 cm を越える大きな地動が観測され、その方位は Love 波の放射パターンと対応することがわかった (図 3-1-(2)-④-1)。Love 波の放射パターンが強い東北～九州にかけての F-net 広帯域強震記録を調べたところ、Transverse 成分に長周期 (15～70 秒) のパルス状の Love 波の伝播が認められ、その振幅は Radial 成分や Vertical 成分に見られる Rayleigh 波の数倍以上の大きさを持つことがわかった。

長周期 Love 波パルスの一例として、九州の TCMF 観測点 (熊本県下益城郡美里町) の F-net 3 成分変位記録と、Transverse 成分の周波数-時間プロットを図 3-1-(2)-④-2 に示す。西南日本に大きな地動を作り出した揺れは、S 波に後続する周期 70 秒と 15 秒の 2 つの Love 波パルスであったことが確認できる。2 つの長周期 Love 波パルスは分散性が弱く、震源から九州まで 1500 km 以上を伝播してもパルス形状を保持している。同様に Love 波放射強度の強い東北～北海道の方位でも震源域近傍では長周期 Love 波の生成が認められるが、日本海溝から内陸 (石狩低地帯) にかけての厚い堆積層を伝播すると強い分散を起こして減衰する様子が見られる。

長周期 Love 波パルスが観測された西南日本の平均的な 1 次元地下構造モデルを JIVSM モデル (Koketsu et al., 2012) から作成し、Love 波の理論分散曲線を計算した (図 3-1-(2)-④-3 (a))。これを見ると、周期 10～20 秒で Love 波の群速度が一定 (約 3.2 km/s) となるために、Love 波が分散を起こすことなくパルス形状を保って伝播することが分かった。同様に、周期 40～500 秒の周期帯においても Love 波の群速度が一定 (約 4.2 km/s) となり、これが観測に見られたもう一つの Love 波パルスの成因と考えられる。なお、この超長周期の Love 波は G 波と名付けられており、大地震の際に遠地記録に明瞭に認められる。周波数-時間プロット (図 3-1-(2)-④-2) から読み取った、2 つの Love 波パルスの群速度は Love 波基本モードの理論分散曲線とおおよそ一致した。

これに対し、Rayleigh 波には群速度が一定となる周期帯が存在せず、周期 18 秒と 200 秒前後に群速度の停留点 (Airy 相) が存在するのみである (図 3-1-(2)-④-3 b)。したがって、Rayleigh 波は Love 波のように長周期パルス波は存在できず、伝

播とともに分散により減衰することが分かる。

2011年東北地方太平洋沖地震で観測された、2つの長周期 Love 波パルスの生成・伝播と、西南日本での大きな地動を再現するために、3次元不均質地下構造モデル(JIVSM)を用いて地震波伝播シミュレーションを行った。震源域から西南日本にかけての $640 \times 1536 \times 200 \text{ km}^3$ の範囲を 0.25 km の格子間隔で離散化し、3次元差分法により波動伝播を評価した。この地震の震源は、GCMT 解（走行： 203° 、傾斜： 20° 、伏角： 88° 、深さ 20 km ）に基づく点震源モデルで近似し、震源時間関数には周期 50 秒 の triangular 関数を用いた。図 3-1-(2)-④-4 に震源から九州 (TMCF 観測点) を横切る方位の地下断面での波動伝播のスナップショット（地震発生から 30 、 120 、 \dots 、 390 秒 ）と、その直上の F-net 観測点における計算波形（黒線）と観測記録（青線）の比較を示す。波動伝播のスナップショットは、震源から西南日本に向けて周期 70 秒 と 15 秒 前後の長周期 Love 波パルスが分散を起こさずに大きな振幅を保ったまま伝播する様子が確認できる。計算波形と観測波形は良い一致を示し、巨大地震の長周期地震動計算における JIVSM モデルの有効性が確認できた。

ところで、東北地方太平洋沖地震の直後から箱根火山下の地震活動が活発化し (Yukutake et al., 2013)、また東北～九州にかけて内陸地震が発生した。同時に深部低周波数地震（微動）が活発化したことが報告されている (Miyazawa, 2011)。これらの地震活動の変化は、東北地方太平洋沖地震の表面波の到来時刻と良く対応することから、大振幅の揺れによる誘発が疑われる。また、深部低周波数微動の誘発は、台湾や米国西海岸、ニュージーランドなど、太平洋を渡った対岸でも報告され、表面波 (Love 波、Rayleigh 波) による誘発が議論されている (Chao et al., 2013)。

図 3-1-(2)-④-5 に、上記の研究で報告された誘発地震・微動が発生した地域を示す。これらの地域は、東北地方太平洋沖地震の震源からの Love 波放射パターンが強い方位と概ね対応することから、図 3-1-(2)-④-1、図 3-1-(2)-④-2 で確認された長周期 Love 波パルスの伝播が影響している可能性が考えられる。なお、超長周期（約 100 秒 ）の Love 波パルス (G 波) は、地殻の薄い海洋経路を良く伝播する特徴があり (Furumura and Kennett, 2000)、また波長が長く地下深部にまで大きな振幅を持つことから、太平洋を渡った対岸の地殻やプレート境界での地震活動に影響を与えた可能性が考えられる。

南海トラフ巨大地震は、東北地方太平洋沖地震など日本海溝で起きる地震に比べてプレート境界が浅いため、強い表面波を生み出す可能性がある。従って、長周期 Love 波パルスが観測された西南日本では、Love 波の放射パターンの強い方位での内陸地震の活性化や、プレート境界の固着状態の変化に注意が必要である。

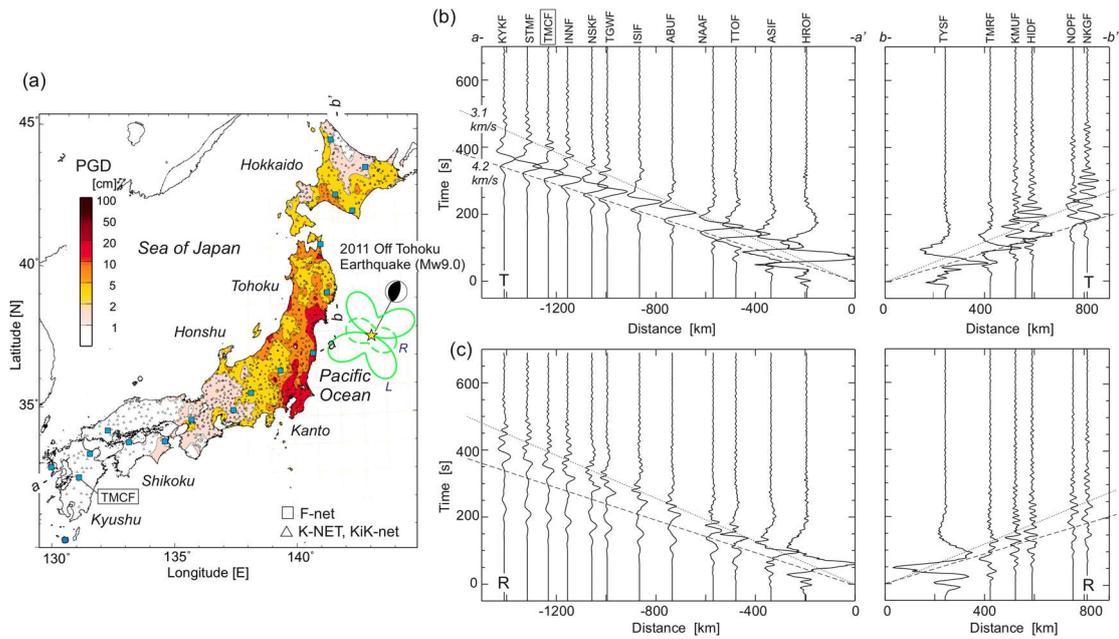


図 3-1-(2)-④-1 (a) 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動により生じた最大地動分布 (PGD; cm) と、(b) 震源～九州にかけての F-net 広帯域強震観測記録 Transverse 成分、(c) Radial 成分 (側線 a-a' と b-b' 上の観測点の位置は図 3-1-(2)-④-1 (a) に青四角で示す)。Love 波及び Rayleigh 波の放射パターンを、それぞれ緑色の実線と点線で示す。

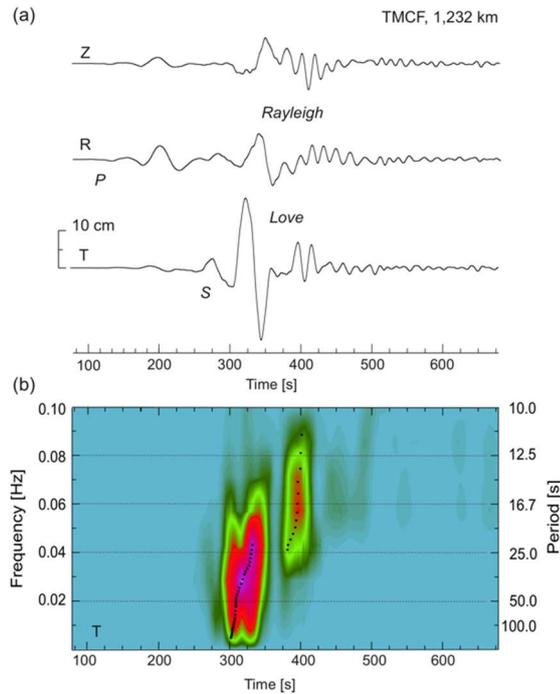


図 3-1-(2)-④-2 (a) 九州の TCMF 観測点 (位置は図 3-1-(2)-④-1 (a) を参照のこと) での 3 成分 (Z: 上下動, R: Radial, T: Transverse) 変位記録。(b) T 成分の周波数-時間プロット。黒丸は、読み取った各周波数毎の最大振幅の到達時間 (群速度) を表す。

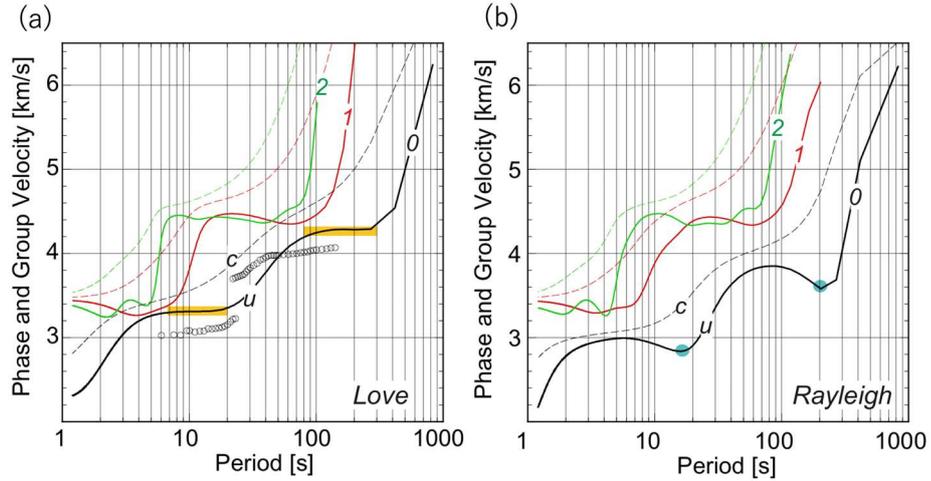


図3-1-(2)-④-3 (a) 西南日本の1次元S波速度構造から計算されたLove波の理論分散曲線(実線:群速度、波線:位相速度)、基本モード(黒)、および1次(赤)、2次(緑)高次モード。黄色マーカーは、群速度が一定となる範囲を示す。○は、図3-1-(2)-④-2の観測波形から読み取られたLove波の群速度。(b) Rayleigh波の理論分散曲線。青丸は、群速度の停留点(Airy相)を表す。

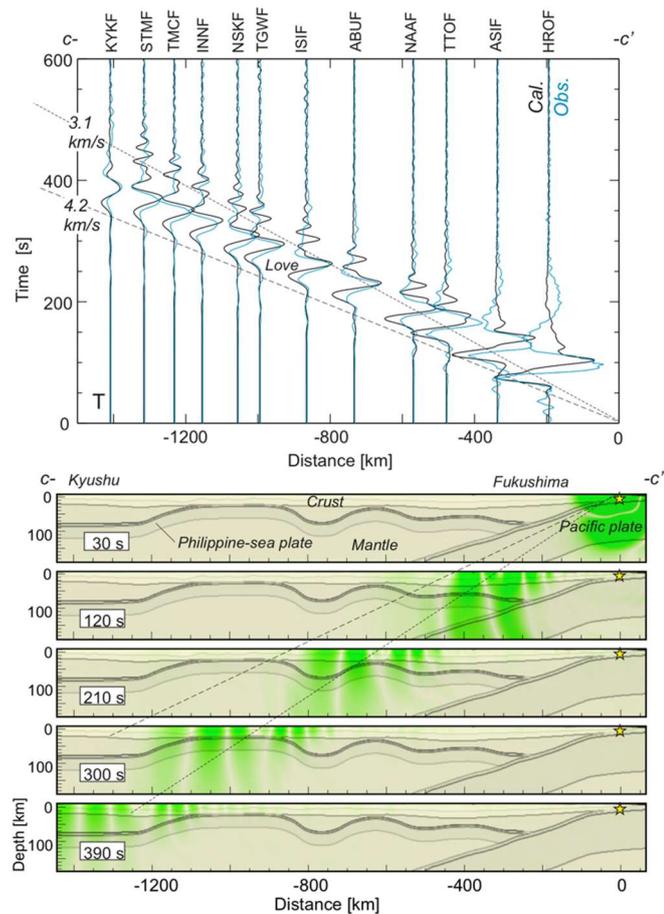


図3-1-(2)-④-4 2011年東北地方太平洋沖地震の地震波伝播シミュレーション。地震発生から30、120、…390秒後の波動場のスナップショット(震源~九州にかけての断面)とF-net観測点での計算波形(黒線)と観測記録(青線)との比較。

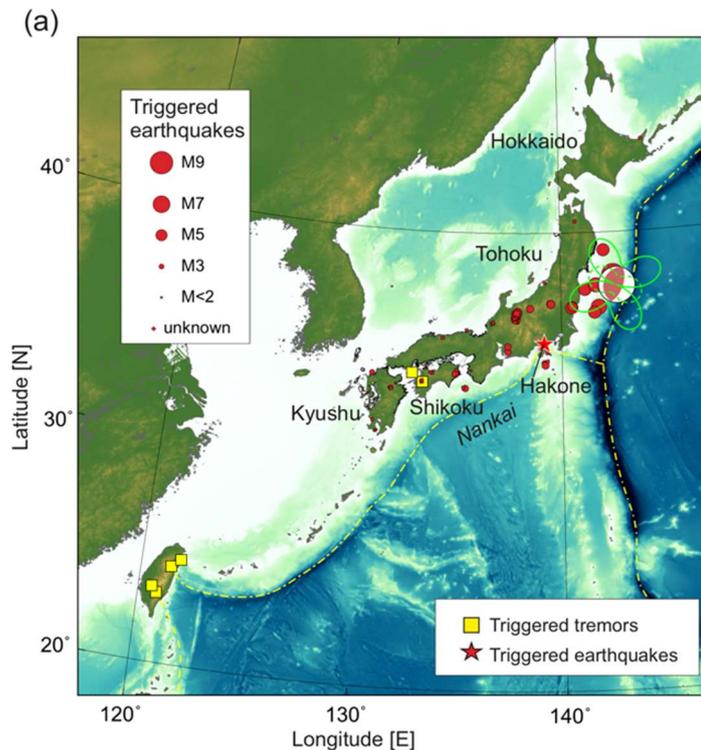


図 3-1-(2)-④-5 2011 年東北地方太平洋沖地震において(a) 日本周辺で報告された誘発地震（赤丸、赤星印）と誘発微動（黄色四角）の分布。Love 波と Rayleigh 波の放射パターンをそれぞれ緑色の実線と破線で示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

2011 年東北地方太平洋沖地震では、西南日本の広い範囲で 1 cm を越える地動が観測され、また、内陸地震の誘発や深部低周波数微動の活性化が起きた。広帯域強震観測記録から、その原因が長周期 Love 波パルスの伝播によるものであることが分かった。堆積層が薄い地殻構造では、周期 10~20 秒と 40~500 秒の範囲で Love 波の基本モードの群速度が一定となり、分散性を持たない Love 波パルスが生成・伝播することを理論分散曲線から示し、また 3 次元不均質地下構造を用いた地震波伝播シミュレーションから検証した。同様の Love 波パルスが南海トラフ巨大地震でも発生する可能性があり、その伝播による内陸地震の誘発やプレート境界の固着状態の変化に注意が必要である。

(d) 引用文献

Chao, K. P., Zhigang, Gonzalez - Huizar, H., Aiken, C., Enescu, B., Kao, H., Velasco, A. A. & Obara, K., Matsuzawa, T., 2013. A Global Search for Triggered Tremor Following the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 1551-1571. doi: <https://doi.org/10.1785/0120120171>.

Furumura, T., & BLN Kennett, 2020, Propagation of distinct Love-wave pulses from regional to teleseismic distances in continental and oceanic environments, *Geophys. I. Int.*, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa028>.

Koketsu, K., Miyake, H., Fujiwara, H. & Hashimoto, T., 2008. Progress towards a Japan integrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, S10-038.

Miyazawa M., 2011. Propagation of an earthquake triggering front from the 2011 Tohoku - Oki earthquake, Geophys. Res. Lett. 38, doi: <https://doi.org/10.1029/2011GL049795>.

Yukutake, Y., Honda, R., Harada, M., Ito, H., Minoru, S., Koketsu, K. & Akio, Y., 2013. Earth Planet Space, 63, <https://doi.org/10.5047/eps.2011.05.004>.

(3) 平成 25～平成 31 年度（令和元年度）の成果

(a) 業務の要約

①東日本大震災アーカイブシステムの構築・試行と教訓活用：本業務では、これまで開発・公開してきている東日本大震災に関するアーカイブシステムが高頻度で利用されていることを確認した。また、東日本大震災の経験から得られた危機回避・困難克服に有利な個人の性格・考え方・習慣に関する災害を「生きる力」を向上させる人材育成プログラムを開発した。最後に、本業務の焦点である「東日本大震災の教訓」の全国的な理解度を評価・検証する試みを行い、その実態を把握した。

②復興モニタリングシステムの構築・試行：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、定点観測システムによる観測、アーカイブ化を6年間計測して実施した。

③被害：平成 25～令和元年度に実施した構造物被害調査の成果等をまとめた。具体的には次の通りである。

1) ライフライン（上水道）については、本業務において、東日本大震災で多大な被害に見舞われたライフライン（電力、都市ガス、上水道）に着目し、同震災における各ライフライン施設の詳細な被災状況や復旧過程、今後の防災減災上の課題について取りまとめた。その後、東日本大震災における上記の知見を活かしながら、上水道事業者が実際に講じる減災対策について整理を行うとともに、水道被害予測手法の高度化を目的とするサブテーマ 1-b) にてその効果について検証した。

2) 建築構造物については、東日本大震災とその他の地震災害に関する被災状況の資料収集と分析、関連する地震観測や構造実験、さらには構造被災度・構造健全性モニタリングなどの開発成果を通して建築物の安全確保と機能維持に関する考察を行い、1-b)、1-e) の成果と合わせて将来の南海トラフ地震などの災害に向けた方策を明らかにした。

3) 地盤・土構造物については、既往の地震被害予測手法の妥当性を確認しつつも、軟弱粘性土が厚く堆積している、上部構造物によって下部地盤が偏荷重を受けている場合、地震発生前の豪雨のように浸潤面位置が上昇しているときには、現行地震被害予測手法は被害を過小評価している危険性を指摘した。

④強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価：関東平野では大地震による長

周期地震動が強く生成するが、東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の生成強度は、その地震の規模 (Mw9.0) に比べて小さく、過去の M8 級の地震と同程度以下であった。関東周辺の M7 級の地震による長周期地震動の生成強度を比較したところ、平野の北東方向で起きた地震では、いつも長周期地震動の生成強度が弱くなることが分かった。地震波伝播シミュレーションから、関東平野の北東方向の基盤深度の変化が緩やかな場所では表面波の増幅が弱く、さらに表面波が都心に向けて広がる(デフォーカス) ために、都心での長周期地震動が弱くなることがわかった。一方、南海トラフ沿いの地震では、基盤深度が急激に変化する方位で表面波の強い増幅が発生し、そして都心に向けてフォーカシングを起こすように表面波が集まるために、大振幅かつ長い継続時間を持つ長周期地震動が生成することが確認できた。箇のため、南海トラフ沿いで東北地方太平洋沖地震と同規模の地震が発生した場合には、その 2 倍以上の強度の長周期地震動が発生する可能性が地震波伝播シミュレーションより示された。

(b) 業務の実施方法

①東日本大震災アーカイブシステムの構築・試行と教訓活用：南海トラフ地震想定エリアでのインタビュー調査を通して、「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」への要件を明らかにし、その基本設計を行った。この基本設計をもとに、「3.11 からの学びデータベースーIRIDeS から発信する東日本大震災の教訓空間ー」、「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」、「動画でふりかえる 3.11ー東日本大震災公開動画ファインダーー」といった 3 つのデータベースを開発・公開を実施し、その利用頻度(アクセス状況)を評価した(平成 27 年度～令和元年度)。

東日本大震災の被災者を対象にして実施された質問紙調査から、危機回避・困難克服に有利な個人の性格・考え方・習慣に関する災害を「生きる力」8 因子が明らかにされている。本業務では、大学での災害・防災・復興を題材にした半期講義プログラムにおいて、この「生きる力」8 因子を向上させる人材育成プログラムを設計・実装し、その効果を検証した。実装・評価においては、報告者の一人が担当する石巻専修大学の「復興の社会学」と、尚絅学院大学の「災害社会学」にて、2016 年度(平成 28 年度)前期と 2018 年度(平成 30 年度)前期で実施した(平成 28 年度～平成 30 年度)。

東北大学 MOOC「東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチー災害科学の役割」というオンライン講座の受講者を対象にしたウェブ調査によって、東日本大震災の教訓理解度を評価した。評価にあたっては、刊行資料やデータベースから東日本大震災の教訓に関する記述・内容を抽出し、これを設問化し、その点数によって教訓の全国的な浸透状況の評価した。同オンライン講座受講者(防災関心層)のうち、2019 年 9 月 25 日～11 月 26 日までのウェブ調査に参加した 172 名の回答結果について分析を行った(令和元年度)。

②復興モニタリングシステムの構築・試行：東日本大震災で大きな被害を受けた大槌町、陸前高田市、石巻市に復興プロセスを連続的にモニタリングするためのカメラを設置し、毎年メンテナンス作業をおこない復興の進捗状況についての連続観測を実施した。復興事業の進捗にともない設置場所の変更を余儀なくされた箇所については、設置場所の変更を行い観測の継続を行った。

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-(3)-1に示す。

表3-1-(3)-1 モニタリングカメラの設置場所の現状と概要

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

③被害：1)ライフライン（上水道）については、(c)業務の成果に含まれるため省略する。

2)建築構造物については、地震による被災状況の文献調査、複数の地震災害の状況から安全確保と機能維持に必要な要素の考察、そしてその基礎となる地盤と構造物の地震観測や振動実験の結果の収集・考察、さらには将来の地震災害に備えた構造モニタリングに関するデータ収集を行った。

3)地盤・土構造物については、東日本大震災における被害調査報告やその後の被害分析結果をもとに再整理するとともに、1-b)地震津波被害予測研究との連携を通して、地震応答解析や1G場振動台実験結果から得られた知見も考慮した。

④強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価：東北地方太平洋沖地震において全国で観測された強震動と長周期地震動の特性を、K-NET、KiK-net、F-net 強震記録の解析により評価し、近年の内陸地震（1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2016年熊本地震など）との比較からM9巨大地震の強震動特性の一般化とこの地震

の特異性を明確化した。また、関東平野における長周期地震動のレベルを 1944 年東南海地震の強震動記録の応答スペクトルを比較し、日本海溝沿いの巨大地震と南海トラフ域の地震による長周期地震動の生成過程と伝播経路および平野での増幅特性を検討した。

(c) 業務の成果

①東日本大震災アーカイブシステムの構築・試行と教訓活用：2020 年 2 月までのアクセス解析の結果、「3.11 からの学びデータベース－IRIDeS から発信する東日本大震災の教訓空間－」は 2015 年 2 月の公開から約 59 万件、「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－」は 2015 年 2 月の公開から約 85 万件、「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－」は 2017 年 2 月の公開から約 165 万件のアクセスがあった、それぞれの月平均では、約 9 千件、約 1.4 万件、約 4.5 万件で、かつ時系列で見ても、ほぼ横ばいのアクセス頻度である。南海トラフ地震想定エリアでのインタビュー調査をもとに設計・開発した結果、高い頻度で利用される東日本大震災の教訓に関するデータベースが構築された。

2つの大学の講義での実践を行ったところ、「F1 人をまとめる力」、「F2 問題に対応する力」、「F3 人を思いやる力」、「F4 信念を貫く力」、「F5 きちんと生活する力」、「F6 気持ちを整える力」、「F7 人生を意味付ける力」、「F8 生活を充実させる力」といったいずれの「生きる力」因子とも有意に向上することが明らかになった。東日本大震災の教訓をもとに抽出された災害を「生きる力」を向上させる人材育成プログラムのいち方法を構築することができた。

防災に関心があるであろう一般住民を対象に、東日本大震災の教訓の理解度の評価したところ、理解されている・されていない教訓には特徴があることが明らかになった。津波避難に関しては、理解されている教訓とされていない教訓に分かれた。「沿岸部の学校に迎えに行かないこと」や「原則徒歩避難」、「周りに声掛けをしながら避難すること」などの教訓は理解されているもの、「遠いところより高いところに避難すること」、「避難後は戻らないこと」「津波外力の危険性」「避難所運営の主体性」はあまり理解されておらず、東日本大震災の教訓を全国的な普及における課題が明らかになった。

②復興モニタリングシステムの構築・試行：カメラの維持管理を行うことで東日本大震災の復興状況の連続観測を継続的に実施し、復興事業の進捗にともなう、まちの連続的变化の記録を行うことができた。陸前高田においては造成事業の進捗状況（2014 年－2016 年）、復興事業完了後も住宅が建設されていない状況（2020 年）が観測画像から読み取ることができる。大槌町についても造成事業の進捗状況（2014－2016 年）、復興事業完了後、空き地は見られるものの多くの住宅が建設されている姿を観測画像から読み取ることができる。石巻市については川沿いに商業施設が建設されていく姿（2014－2020 年）を観測画像から読み取ることができた。



2014年2月28日



2016年2月28日



2020年1月5日
(設置場所変更)

陸前高田



2014年8月19日



2016年8月23日
(8月19日観測データ欠測)



2020年1月5日
(設置場所変更)

大槌



2015年4月3日



2017年4月3日



2020年1月5日

石巻

図3-1-(3)-1 復興の進捗にともなうまちの変化

③被害：1)ライフライン（上水道）

平成25年度は、東日本大震災におけるライフラインの被害状況について、特に電力分野と都市ガス分野における震災の教訓に関する学術論文や調査報告書などの文献調査を行った。電力については、広域かつ大規模な停電が発生した中、阪神・淡路大震災の経験で得られた教訓を活かしながら各電力会社や他電力会社の応援等による復旧が進められた。一方で、津波被害地域での復旧は瓦礫の撤去や排水作業、ガソリンなどの物資不足で困難を極めた。来る南海トラフ巨大地震に関しても当該地域の復旧困難性について十分認識すべきであることを確認し、平成31・令和元年度業務の着想につなげている。都市ガスについては、ガス導管の被害率は低かった。これは、設備対策としてポリエチレン管や溶接鋼管等、耐震性の高い導管への取り替えを促進してきた効果が大きく寄与したものと考えられる。

平成28年度は、仙台市水道局へのヒアリングを通じ、同市の上水道システムの被害状況・復旧過程について整理した。特に、硬質塩化ビニル管（VP）における管路被害が被害全体の7割弱を占めること、口径75mm以下の小口径管路における被害が大半であることが明らかとなった。これを教訓として、平成29年度、30年度の碧南市における検討では「経年劣化した小口径塩化ビニル管の更新（耐震化）」を減災対策の一つとして提案している。

平成 29 年度は、これまでの業務で得られた知見を実際のライフライン防災に活用するため、愛知県碧南市と協働して同市の上水道システムを対象とした減災対策を検討した。同市の水道施設や管路の諸元、他自治体との連絡管の有無などを確認した上で、過年度業務で得られた知見を踏まえつつ、「経年塩化ビニル管の更新（耐震化）」を含む 9 種の減災対策案を考案した。

平成 30 年度は、碧南市との協議を重ね、前年度に考案した減災対策案に新たな対策を加え 11 種類の減災対策案とした（表 3-1-(3)-2）。特筆すべき対策として、東日本大震災における水道復旧事例にも見られた「仮設配管の敷設による給水再開の早期化」を、管路被害が甚大な地域で実施することが効果的であると判断し、減災対策の一つとしている。また、別途サブテーマ 1-b) で構築した水道システムの復旧シミュレーションモデルのうち、運搬給水車および管路修繕班の稼働可能数の精緻化を試みた。

表 3-1-(3)-2 上水道事業者の取りうる減災対策メニュー（11 種）

対策の種別	対策内容	碧南市での適用イメージ
水道施設・管路の耐震化、新規整備	配水拠点の耐震化	主力で運用していない配水場に耐震化を施す。 ※主力の配水場は既に耐震化済み。
	配水拠点の能力増強	主力で運用していない配水場の貯水量を増強する。
	小口径管路の耐震化	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する。
	中～大口径管路の耐震化	口径150mm以上の管路の耐震化を実施する。
	管路のブロック化	管路網を細分化した区域（ブロック）ごとの給水開始や遮断を可能とする。
周辺事業者との連携	都道府県や近隣市町村との連携	愛知県水道との支援連絡管や、近隣市町村との緊急時連絡管、応急給水支援設備を有効活用する。
需要家による自助	市民による水の備蓄	上水道需要家一人あたり3L/日×3日の飲料水を備蓄する。（そのための啓発活動や備蓄水の配布を行う。）
応急復旧の充実	仮設管路による仮復旧	液状化被害の甚大な地域において、修繕に替えて仮設管路を敷設し、給水を再開する。
	応急給水栓	市内の応急給水栓を現状の計画より早期に設置する。
	耐震性貯水槽	指定避難所の近隣に耐震性貯水槽を配備する。
対策の複合的な実施	上記の対策を複合的に実施する。	

令和元年度（平成 31 年度）：平成 28 年度業務において、津波浸水エリアにおける復旧の長期化事例を確認したことを踏まえ、サブテーマ 1-b) で試みた碧南市における上水道復旧シミュレーションを、（先立って復旧が行われる）非浸水エリアに限定した形で実施した。その結果、津波により発生した瓦礫の除去や交通インフラの復旧等、上水道の復旧をコントロールできなくなる要因を除いた形での、現実的な復旧予測が可能となった。

2) 建築構造物

a) 建築構造物の被害

東日本大震災における建築構造物の被害状況と得られる教訓について、その他の地震災害の情報も併せて文献調査等により整理・考察した。重要な点は以下の通り。

東日本大震災は広域で大震度が観測されたが、兵庫県南部地震などに比して構造物の震動被害は必ずしも多くない。これは地震動の周期特性の相違や、活断層地震におけるキラパルスのような波形特性が見られないことも影響している。2016年熊本地震では、活断層のずれに伴う大きな地動変位を観測し、免震や木造への影響が意識された。

鉄筋コンクリート造は旧耐震基準の被害が顕著であり、層崩壊も見られた。非構造壁の被害は集合住宅などで多く、継続使用が困難になる点が重要である。2016年熊本地震ではRC庁舎が使用不能となり、靱性能の大きい建物の応答変形が機能継続に関わることが意識された。耐震補強済みの建物の被害、津波による構造被害など、防災対応において重要な知見が得られている。

鉄骨造は兵庫県南部地震で見られた接合部等の顕著な構造被害は必ずしも多くない。体育館などのブレース等の構造被害に加えて、広い面積の天井の落下などの被害が目され、特定天井の対策や避難施設の対策につながっている。

木造住宅は、広域の被害状況から被害率曲線が推定されており、従来に比べ被害率が低い傾向がある。地震動特性の影響に加えて、東北地方の住宅は耐震性が高いこと、また強い地震の発生回数から弱い建物が減った可能性もある。地盤に関連して、造成地の盛土被害や液状化の影響がみられ、あらためて地盤状況の把握の重要性が示された。

超高層建物は首都圏で大きな応答となったが、構造躯体に大きな損傷を生じるほどではなく、非構造部材の損傷やエレベーターの停止、室内の什器等の被災が重要である。震源から離れた大阪で超高層建物が大きく応答した例があり、長周期地震動の影響を考慮した設計用入力地震動や高層建物の減衰性能の重要性が明らかになった。

免震建物は期待される挙動を示したが、塑性ダンパーの劣化やエクステンション部分の損傷の例がある。熊本地震など活断層の地震で大変位地動が生じる場合には、免震建物の応答変位が過大となる可能性も指摘されている。

b) 建築構造物と地盤の地震観測、構造モニタリング

地盤の強震観測は1995年兵庫県南部地震以降に拡充され、気象庁、防災科研、自治体計測震度網などにより全国約500カ所で観測が行われている。東日本大震災では最大震度7、東北から北関東の広域で震度6弱以上が観測された。

建築構造物における地震観測は、全国統一の観測体制は今のところ整備されておらず、公的研究機関や民間がそれぞれの目的で観測を行っている。東日本大震災では広域で多数の建物の強震記録が得られ、公表される例が多くなっている。高層建物、免制振建物、宮城県の全壊建物（耐震補強済み）、大阪の超高層建物などの記録は、それぞれ今後の耐震安全や機能維持の向上に影響を与えた。特に長周期地震動特性と高層建物の応答は、設計におけるいわゆる基整促波につながった。

建物の構造モニタリングは、東日本大震災時に首都圏で実施例があり、建物の継続使用に有用だったことから注目を集め、実用化が進んでいる。靱性能に期待する構造物は変形が大きくなり、震度6強以上の地震動ではある程度の構造損傷も起こりうることから、機能継続を判断するシステムは重要である。広域大規模災害では技術者が不足するため、被災後の対応を迅速にするシステムの普及は必要性が高い。本研究では、1-b)と合わせて実在する市庁舎建築（SRC造10階建、新耐震、重要度係数1.5）を対象に、比較的簡易な観測体制を設置し、小地震における変形性状の把握を試みた。結果として

構造解析結果とも整合し、モニタリングの有効性を確かめている（図 3-1-(3)-2）。

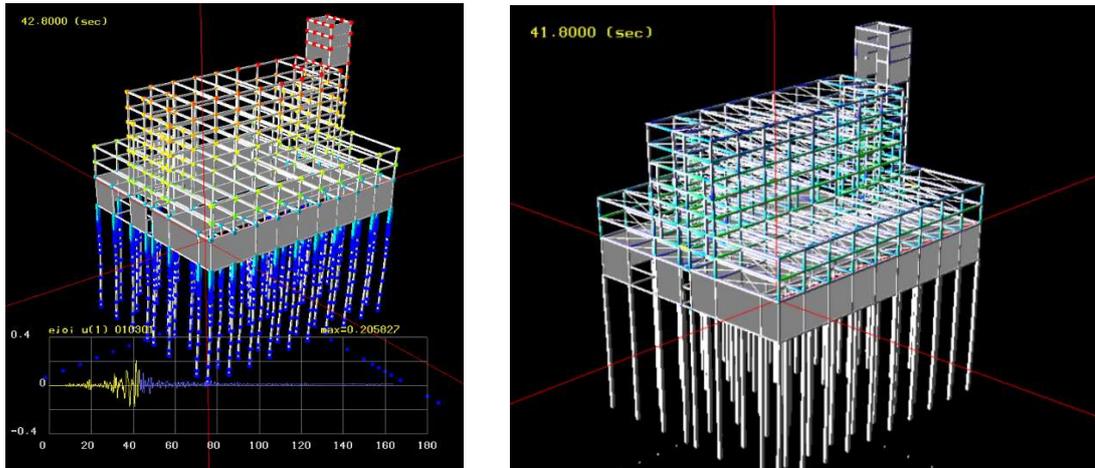


図 3-1-(3)-2 モニタリングに基づく構造解析（加速度と曲げモーメント）

3) 地盤・土構造物については、業務の全体構成を図 3-1-(3)-3 に示す。

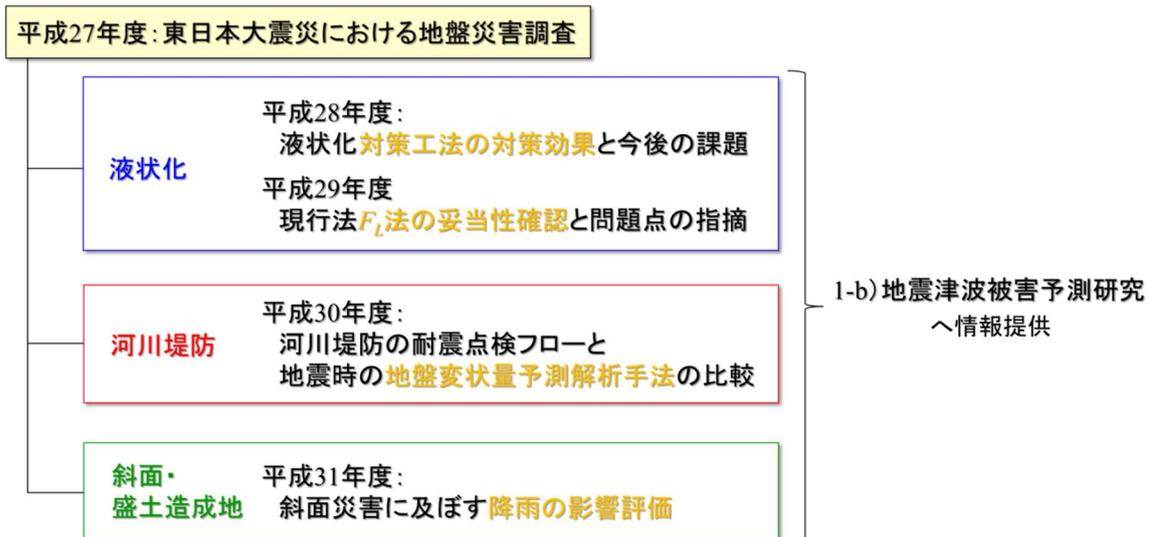


図 3-1-(3)-3 本業務（地盤・土構造物）の構成と実施方法

平成 27 年度は、東日本大震災における土構造物を含む地盤災害の被害状況と教訓について、文献調査を中心として整理した。地盤災害といっても、液状化被害、河川堤防・道路盛土・鉄道盛土、造成地、ため池・アースフィルダムなどの土構造物被害、自然斜面被害、災害廃棄物・津波堆積物などの地盤環境問題など、極めて多岐にわたるため、液状化被害、河川堤防被害、造成地被害に絞って整理した。

平成 28 年度以降は、液状化、河川堤防、斜面・盛土造成地に対して、現状の耐震診断手法を整理しながら妥当性を確認し、現行法では考慮されていないことの影響評価や問題点を抽出した。

平成 28 年度は、地盤の液状化に対する対策効果や、河川堤防の浸透対策が地震時にも有効であったかを調査した。液状化対策は東日本大震災においても有効であったが、

安価かつ狭隘地でも施工できる工法の開発が望まれている。また、鋼管矢板による浸透対策は、川面あるいは川裏どちらか一方にしか根入れされていない場合、根入れの反対側で変位が大きくなり、対策が逆効果となる危険性があること、大きな補強効果を得るためには、両岸ともに根入れを洪積層まで行うことが重要であることを示した。

平成 29 年度は、河川堤防を対象として従来用いられる液状化判定法 F_L 法の妥当性を確認するとともに、 F_L 法の課題を指摘した。液状化ハザードマップをはじめとする既往の地震被害予測は、鉛直一次元モデルに基づいているが、実際の地層は傾斜している。特に地層不整形性が大きく、上部構造物による偏心荷重の影響を受けている地盤では、一次元モデルに比べて地震時被害が闊外する危険性を指摘した。

平成 30 年度は、河川堤防の耐震点検フローと地震時地盤変状予測解析手法の比較を行った。現行のレベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検フローにおける三次点検においては、「地震時地盤変形解析」に基づく性能照査を実施することとなっている。現状用いられている解析コードはそれぞれに長所・短所が存在するが、すべての解析コードが砂質地盤の液状化を対象としており、粘性土の地震被害は考慮されていないこと、レベル 2 地震動のような大きな揺れの場合、砂質土だけでなく N 値が小さい軟弱な粘性土の地震被害も危惧されることを指摘した。解析コードごとに適用性・予測精度・適用限界があることを理解した上で、目的と条件に応じて、技術者の判断で適切に利用することが望まれる。

令和元年度（平成 31 年度）は、降雨の影響が斜面における地震災害に及ぼす影響に関する文献調査を実施した。先行降雨によって、地震時の斜面災害が発生した、あるいは被害拡大に寄与した事例は数多く存在する。また地震時は被災しなくても地震中に地盤が損傷を受け、その後の降雨によって崩壊に至る例も数多く報告されている。自然斜面や盛土造成斜面の地震時安定性評価のためには、降雨等の影響を考慮した浸潤面位置の特定が重要であることを指摘した。

④ 強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価：1) 東北地方太平洋沖地震と南海トラフ地震の長周期地震動レベル

東北地方太平洋沖地震では、新宿の超高層ビルが十数分間以上にわたって大きく長く揺れ、天井や配管などの被害やエレベーター閉じ込めが発生するなど、防災上の大きな問題となった。

この地震による長周期地震動の特性を K-NET 新宿 (TKY007) 地点の強震記録から調べたところ、固有周期 6～10 秒の速度応答スペクトルの強度は 30～40cm/s 程度（水平動、減衰 5%）であり、震央距離がほぼ等しい 1944 年東南海地震 (M7.9) の際に東京（大手町、本郷）地点で観測された長周期地震動のレベルと同規模であった。また、この地震において東北地方で観測された周期 6～10 秒の速度応答スペクトルは、2003 年十勝沖地震 (Mw8.0) において釧路、帯広、苫小牧で観測されたレベル（最大 100 cm/s 程度）と同程度であった（古村, 2014）。このことから、Mw9.0 の地震規模に対し、観測された長周期地震動のレベルは過去の M8 級の地震と同程度であったと見なすことができる。

東北地方太平洋沖地震において長周期地震動の生成強度が過去の M8 級地震と比べ

て想定的に弱かった原因を調べるために、近年、関東平野の周辺で発生した M7 級の震源の浅い (<40 km) 地震について、新宿地点での長周期地震動の生成強度を比較した。その結果、平野の北東方向（福島、宮城県沖、岩手県沖など）で起きた地震では、他の方位（岩手、新潟、能登半島、和歌山県沖など）の地震に比べて長周期地震動の生成強度（周期 7～8 秒での速度応答スペクトル値）が 1/3 程度以下にしかならないことが分かった（Furumura, 2014）。

この原因を 3 次元地下構造モデル（JIVSM; Koketsu et al., 2008）を用いた地震波伝播シミュレーションに基づき調査したところ、関東平野の北東方向では基盤深度の変化が緩やかであり、かつ都心部に向けて尾根状に高まった基盤構造を持つために、表面波がデフォーカスして振幅が弱まることが確認された。これに対し、南海トラフの方位から関東平野に表面波が入射する場合には、平野端部での基盤深度の急激な変化により表面波が強く増幅され、そして基盤深度が深い都心に向けて、表面波がフォーカシングすることで振幅が強まることが分かった（向井・他, 2018）。

南海トラフ沿いで M9 級の超巨大地震が起きた場合の長周期地震動の生成を評価するために、東北地方太平洋沖地震の震源モデルを南海トラフ沿いに置いた地震動シミュレーションを行った。その結果、関東平野の中心部（新宿地点）では、東北地方太平洋沖地震の 2 倍以上の強い震幅を持つ長周期地震動の発生可能性が確認された。この原因として、南海トラフ地震の震源が浅いこと、関東平野の 3 次元基盤構造の影響、これは、伝播経路に存在する付加体での表面波が増幅と関東平野への表面波の誘導が起きるためである。また、大阪平野では東北地方太平洋沖地震に比べて震源距離が小さく、長周期地震動のレベルは東北地方太平洋沖地震の 5 倍以上となる可能性が示された（図 3-1-(3)-5）。

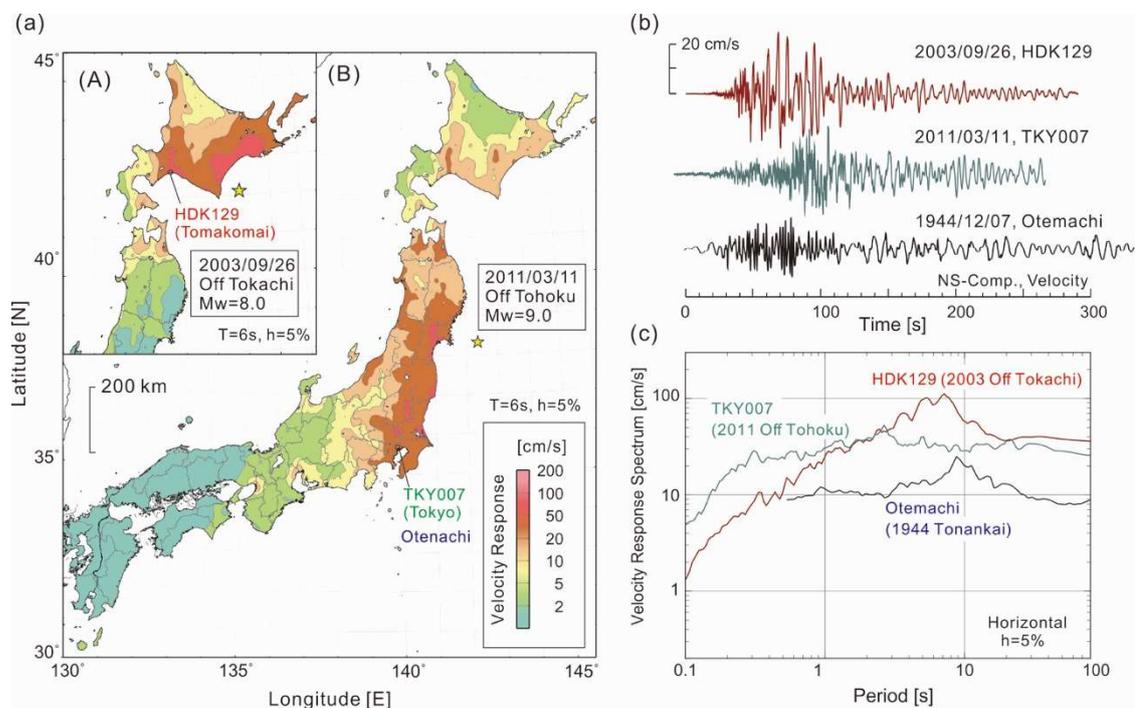


図 3-1-(3)-4 (a) 東北地方太平洋沖地震における、全国の長周期地震動分布（固有周期 6 秒の速度応答スペクトル、減衰定数 = 5%）と、2003 年十勝沖地震の速

度応答スペクトルの比較 (Furumura, 2014 による)。(b)十勝沖地震における苫小牧観測点 (HDK129) の地震動、東北地方太平洋沖地震での新宿観測点 (TKY007) での地震動、及び 1944 年東南海地震での東京大手町の地震動の比較。(c) 3 つの地震の速度応答スペクトルの比較 (H25 年成果報告書の図の再掲)。

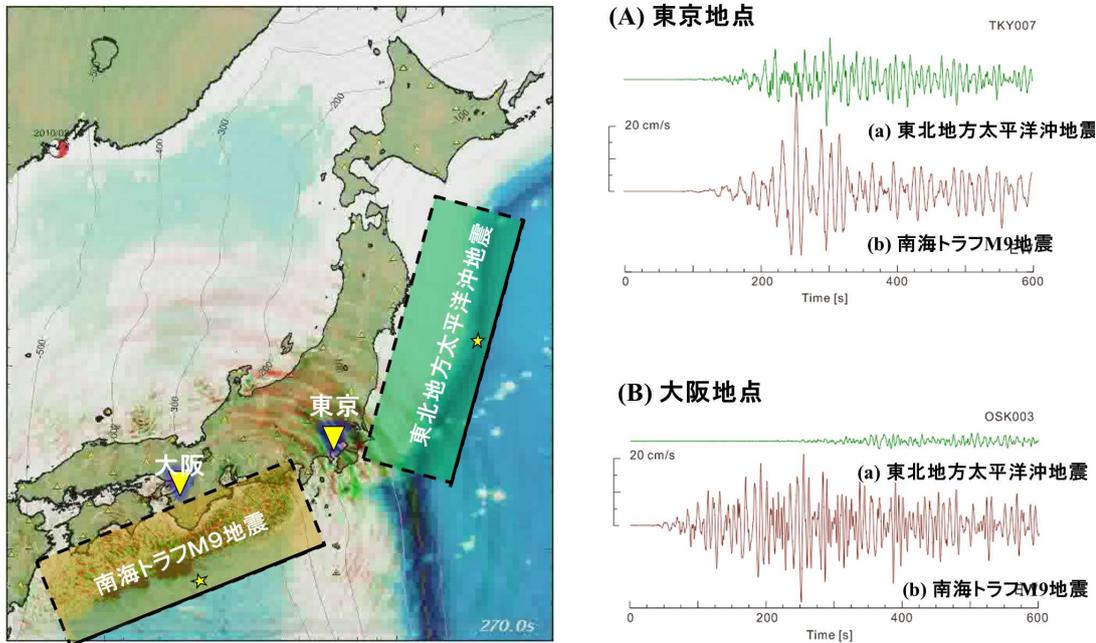


図 3-1-(3)-5 東北地方太平洋沖地震の震源モデル (Lee et al., 2011) を用いた同地震による長周期地震動の再現 (緑色) と、同震源モデルを南海トラフのフィリピン海プレート上面に置いた場合の長周期地震動シミュレーション結果 (茶色) の比較。東京地点 (K-NET、TKY007 観測点地点) と大阪地点 (OSK003 地点) の地震波形は地動速度、東西成分を示す。地震波伝播のスナップショットは地震発生から 270 秒後の地動の強さを現す (H26 年成果報告書の図の再掲)。

2) 東北地方太平洋沖地震と熊本地震の震度 7 強震動特性の比較

東北地方太平洋沖地震では、宮城県栗原市築館にて震度 7 の激しい揺れが観測された。その強度は、K-NET 築館観測点 (MYG004) で最大 2,933 cm/s/s (3 成分合成値) になり、100 cm/s/s 以上の揺れが 150 秒間以上長く続いた。これに対して、同様に震度 7 を観測した M7 級の内陸地震 (2016 年熊本地震、1955 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震) での震源近傍の強震動は、継続時間がせいぜい十数秒と短かく、M9 級の超巨大地震と M7 地震による強震動の違いは明瞭である (図 3-1-(3)-6)。

また、震度 7 を示した 4 つの内陸地震の強震動を比べても、そこに含まる揺れの周期成分が大きく異なっていることが分かった。たとえば、兵庫県南部地震と熊本地震の強震動は、木造家屋を倒壊させる力を持つ、やや長周期 (1~2 秒) の成分が強く (380~490 cm/s) 含まれていたのに対し、新潟県中越地震の強震動ではその半分の 200 cm/s 程度であり、これが木造家屋の全壊・半壊率に関与した可能性が高い。一方、新潟県中越地震では、ごく短周期地震動成分 (周期 0.7 秒前後) が強く (470 cm/s 程度)、液状

化や崖崩れなど地盤災害に大きな影響を与えた可能性がある。

東北地方太平洋沖地震の強震動（築館）を見ると、周期 1～2 秒の速度応答は 100 cm/s 程度と小さい一方で、周期 0.2 秒前後のごく短周期地震動の速度応答レベルが大きかった（最大 270 cm/s 程度）（図 3-1-(3)-6）。これが、新潟県中越地震と同様に、土砂崩れや液状化などの地盤災害と、木造家屋の倒壊率に結びついたと考えられ、同じ震度 7 の強震動でも被害の様相は地震毎に大きく異なると言える。

東北地方太平洋沖地震における強震動の特徴は、太平洋プレート深部の強震動生成域（SMGA）からの短周期地震動の強い放射と、岩盤上に薄い砂層が覆った東北地方北上山地などの特徴的な地盤構造による高周波成分の強い増幅現象の効果が考えられる。従って、南海トラフ巨大地震の強震動は、東北地方太平洋沖地震とは異なる可能性が高く、木造家屋に大きく影響する周期 1～2 秒の周期帯の強震動の生成には注意が必要である。

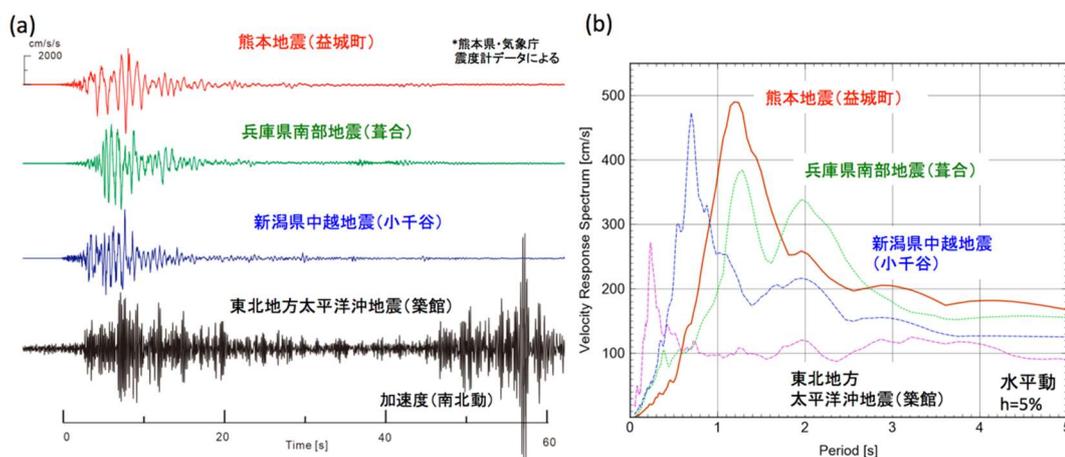


図 3-1-(3)-6 震度 7 の強震波形記録（加速度、南北成分）と、速度応答スペクトル（水平動、減衰定数 5%）の比較。2016 年熊本地震（益城町）、1995 年兵庫県南部地震（葦合）、2004 年新潟県中越地震（小千谷）、2011 年東北地方太平洋沖地震（築館）。

(d) 結論ならびに今後の課題

①東日本大震災の教訓に関する 3 つのデータベース「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」、「動画でふりかえる 3.11」を開発・実装し、高頻度で利用されていることを確認した。これらのデータベースを継続的に更新・維持することや、個人や地域の防災計画に役立てるワークショップ等の開発が重要となってくる。

災害を「生きる力」を向上させる人材育成プログラムとして、大学での半期の講義形態のものを開発・実装し、その効果を確認した。大学講義以外での「生きる力」向上させるプログラムを開発することが重要となる。

防災関心層を対象にした東日本大震災の教訓の理解度を評価し、その内容について理解度に差があることを確認した。防災の非関心層を含めた理解度の調査を行うとともに、教訓の理解がもたらす防災行動への影響についても慎重に検討を進めることが必要である。

②(e) 日本大震災で大きな被害を受けた地域にカメラを設置し、連続的に復興プロセスを観測することで復興プロセスを連続的に観測することが可能となり、また復興の進捗状況を画像データから読み取ることが可能になった。また連続観測画像を動画化し、事前復興計画策定時の資料として利用することが可能になった。現在も復興途上にある地域もあり、本プロジェクト終了後も確実に観測を継続していくことを検討すべきである。

③1) ライフライン（上水道）については、南海トラフ巨大地震がいつ襲来してもおかしくない中、より効果の高い防災減災対策を的確に選定し、講じていくことが肝要であり、これはライフラインの「備え」や「応急対応」においても例外ではない。本業務では東日本大震災で発生したライフライン被害と、その復旧の推移を教訓としながら、今後の上水道インフラの強靱化や被害の低減を図る上で有用な対策について体系的に網羅した。

上記の成果と、別途サブテーマ 1-b)地震津波被害予測研究で構築した復旧シミュレーションモデルを活用することで、上水道事業者毎に各対策の減災効果について定量把握することが可能となった。この成果は、当該事業者による上水道の強靱化計画の策定に際し有効に活用できると考えられる。

2) 建築構造物については、東日本大震災およびその他の地震災害の被災状況から、人命にかかわる構造損傷を防ぐだけでなく天井等の非構造や室内被害の対策が重要であること、災害対応に重要な施設や住宅などでは被災後の機能維持が必須であることなどの知見が得られた。構造物の被災状況を迅速かつ的確に判断しうる構造モニタリングは、大規模地震災害におけるきわめて多数の建物の同時被災において、重要な役割を果たす。さらなる発展のためには、センサによる個々の建物の状況把握をすることが重要となる。

3) 地盤・土構造物については、東日本大震災における被害調査報告やその後の被害分析結果をもとに再整理するとともに、1-b)との連携を通して、地震応答解析や1G場振動台実験結果から得られた知見も考慮した。

④東北地方太平洋沖地震は、Mw9.0の超巨大地震であったが、強い揺れによる被害は液状化や斜面崩壊など地盤災害が顕著であった一方で、住宅倒壊の被害は地震の規模から考えると1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2016年熊本地震等のM7級の内陸地震と比べて相対的に小さかった。この原因は、強震動には極短周期（0.2～0.3秒前後）の成分が強く含まれ、また継続時間が長い特色があったが、木造家屋を倒壊させる周期1～2秒の成分が弱かったためである。こうした特徴は、東北地方太平洋沖地震の特異性と考え、南海トラフ巨大地震には当てはまらない可能性が高く、強い揺れへの注意が必要である。

(e) 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, Vol. 123, No4, 434-450, 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, Journal of Disaster Research Vol.9 No.3, 281-290, 2014.

Koketsu, K., Miyake, H., Fujiwara, H. & Hashimoto, T., Progress towards a Japan integrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, S10-038, 2008.

向井優理恵・古村孝志・前田 拓人, 関東平野における長周期地震動強度の特徴的方位依存性とその要因, 東京大学地震研究所彙報, 93, 15-30, 2018.

Lee, S.-J., B.-S. Huang, M. Ando, H.-C. Chiu, and J.-H. Wang, Evidence of large scale repeating slip during the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. L ett., 38, L19306, doi:10.1029/2011GL04958, 2011.

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・教授	野田利弘
	副センター長・特任教授	田代喬
	准教授	長江拓也
	准教授	平山修久
	特任教授	新井伸夫
	特任教授	武村雅之
	特任教授	護雅史
	特任教授	利藤房男
	特任准教授	菅沼淳
	特任准教授	都築充雄
	特任准教授	山崎雅人
	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
	副部門長・主任研究員	中村洋光
	主任研究員	森川信之
	主任研究員	前田宜浩
	研究員	佐伯琢磨
	主幹研究員	先名重樹
	主幹研究員	大角恒雄
	契約研究員	東宏樹

	契約研究員	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

広域リスク評価については、災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、類型毎に災害シナリオを作成した。その際、地域の類型化の結果から、各シナリオで地域類型毎に被害・復旧状況について整理する。

最終的に、本プロジェクトで実施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価や、評価に基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめ、1-e)と連携し、地域リスク評価とともに、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能にする。

地域リスク評価については、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、地域企業のBCP/DCP検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防沈下予測、市街地津波氾濫水予測、発災後対応を視野に入れた庁舎建物の構造・室内被害評価、対策計画等の実効性の向上に資する重要道路の抽出、上水道の設備投資方針決定判断材料の提供を行う。また、地域の経済被害については、広域リスク評価での経済被害の評価手法と同様の応用一般均衡モデルを用いているため、広域と地域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計する。さらに、中長期的な視点から、廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対応リソースに関する優先順位検討や地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を行う。また、1-e)と連携し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能にする。

最終的に、広域リスク評価として、本プロジェクトで実施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価や、評価に基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめ、地域リスク評価として、予測技術の確立によりこれまでに検討した地域リスクの総合的評価に基づき、地域の自治体等の防災計画等への基礎的資料としての活用に資するべく、地域の状況に応じた重要リスクの抽出と評価について整理する。さらには、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった重要リスクの抽出と課題整理を行う。

(d) 7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：

広域リスク評価は間接被害の算出手法を高度化し、評価を行った。また、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した。具体的には、経済活動別 GDP の構成比等を参考に、サー

ビス業を「卸売・小売」「金融・保険」「不動産」「運輸・通信」「サービス」に細分化し、応用一般均衡モデル（CGEモデル）を改訂した。次に、次年度に災害シナリオを作成することを念頭に、その際のシナリオ地震を6シナリオ設定し、改良したCGEモデルを利用して、南海トラフで発生する間接被害の試算を実施した。試算の結果、間接被害額（GDP減少額）は60～140兆円と推定される結果となった。また、各地域で、特徴的な災害パターンを類型化するため、過去の被害地震の被災地の災害事象別（揺れ・津波等）の建物被害率や人口動態等の統計値を利用し、市区町村単位で地域別の災害パターンを類型化する手法検討するとともに、設定したシナリオ地震が発生した場合の類型化を試行し、シナリオ地震の被災地を、被害の様相として7類型に、社会・経済的特長として5類型に分類した。

地域リスク評価は、具体的なモデル地域とした碧南市等を対象に、地域活動の枢要地域を中心とした減災戦略立案に向けた以下に示す検討や予備解析・試算などを実施した。地震動の影響などを考慮した複合被害シナリオにおける津波氾濫解析と長期湛水解析を実施し、より実像に近い津波被害予測を検討した。ここでは、想定南海トラフ巨大地震に対する河川堤防の沈下量を水～土骨格連成有限変形解析により評価した結果を津波氾濫解析に組み込み、堤体基礎などの脆弱性が浸水域に与える影響を調べた。また、発災時対応の中心となる碧南市役所建物のモニタリング及び被害予測に向けた予備解析の実施、碧南市上水道システムの被害軽減シミュレーションや災害廃棄物処理フローモデルを用いた対応策の提示、電力復旧のための道路の優先順位付けツールの開発と試算、碧南市を含む周辺市町村間の経済的関係の産業間取引レベルでの分析、ならびに国土復興シミュレーションツールの開発と試算を行った。

平成31年度（令和元年度）：

広域リスク評価は災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、地域類型を反映した災害シナリオを作成した。これに加えて、ハザード・リスク評価や災害シナリオ、およ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本プロジェクト1-e等と連携し、1-eによる「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（Ver. 2）を介して提供可能となるよう、WebGISでのマップ情報等の汎用的な形で、研究成果を整理した。

地域リスク評価については、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、地域企業のBCP/DCP検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防沈下予測、市街地津波氾濫水予測、発災後対応を視野に入れた庁舎建物の構造・室内被害評価、対策計画等の実効性の向上に資する重要道路の抽出、上水道の設備投資方針決定判断材料の提供を行った。また、地域の経済被害については、広域リスク評価での経済被害の評価手法と同様の応用一般均衡モデルを用いているため、広域と地域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計した。さらに、中長期的な視点から、廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対応リソースに関する優先順位検討や地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を行った。また、1-eと連携し、「南海トラ

「広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能とした。

最後に、7年間の成果のまとめとして、広域リスク評価として実施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価や、評価に基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめ、地域リスク評価として検討した地域リスクの総合的評価に基づき、地域の自治体等の防災計画等への基礎的資料としての活用に資するべく、地域の状況に応じた重要リスクの抽出と評価について整理した。さらには、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった重要リスクの抽出と課題整理を行った。

(e) 平成31年度（令和元年度）業務目的

広域リスク評価は災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、地域類型を反映した災害シナリオを作成する。これに加えて、ハザード・リスク評価や災害シナリオ、およ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1-e)等と連携し、1-e)による「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver.2)を介して提供可能となるよう、WebGISでのマップ情報等の汎用的な形で、研究成果を整理する。

地域リスク評価については、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、地域企業のBCP/DCP検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防沈下予測、市街地津波氾濫水予測、発災後対応を視野に入れた庁舎建物の構造・室内被害評価、対策計画等の実効性の向上に資する重要道路の抽出、上水道の設備投資方針決定判断材料の提供を行う。また、地域の経済被害については、広域リスク評価での経済被害の評価手法と同様の応用一般均衡モデルを用いているため、広域と地域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計する。さらに、中長期的な視点から、廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対応リソースに関する優先順位検討や地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を行う。また、1-e)と連携し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能とする。

最後に、7年間の成果のまとめとして、広域リスク評価として実施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価や、評価に基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめ、地域リスク評価として検討した地域リスクの総合的評価に基づき、地域の自治体等の防災計画等への基礎的資料としての活用に資するべく、地域の状況に応じた重要リスクの抽出と評価について整理する。さらには、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった重要リスクの抽出と課題整理を行う。

(2) 平成31年度（令和元年度）の成果

① 津波被害予測

(a) 業務の要約

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に対する堤体基礎の沈下量を考慮して、津波氾濫解析とそれに伴ったプレジャーボートを対象とした漂流物解析を行い、堤体基礎の脆弱性が氾濫過程と漂流物拡散に与える影響について検討を行った。堤体基礎の沈下や直立堤の崩壊、樋門開閉を考慮することにより津波浸水域と漂流物の拡散過程や集積分布は大きく変化し、漂流物の拡散経路も変化することが明らかになった。

(b) 業務の成果

1) 堤体基礎の地震動脆弱性を考慮した津波氾濫解析

a) 背景

本業務では矢作川河口域において高度な土地利用展開されてきた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る地震動に対する堤体基礎の沈下量の水～土骨格連成有限変形解析によって評価した。この解析結果を津波氾濫解析に組み込む。氾濫解析は建物を地形と底面摩擦として取り扱う合成地形モデル¹⁾を用い、それを入力条件とした漂流物の拡散解析を行う。当該年度では海岸・河岸構造物の被害状況、潮位、建物の影響による漂流物の拡散過程、影響範囲と集積状況を明らかにすることを目的とする。

b) 解析対象領域

本研究の対象領域である愛知県碧南市は、三河湾北部沿岸に位置し、周囲を水域で囲まれている碧海台地と矢作川沖積地からなる平坦地であり、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。図3-2-(2)-①-1に愛知県碧南市の位置と津波数値解析領域、図3-2-(2)-①-2に碧南市市街地に注ぐ蜷川と樋門位置を示す。本検討では平成30年度の成果に基づき、堤体基礎部の地震動応答解析を行い、堤体の沈下量を津波氾濫解析に反映させた。詳細は今井・他²⁾を参照されたい。

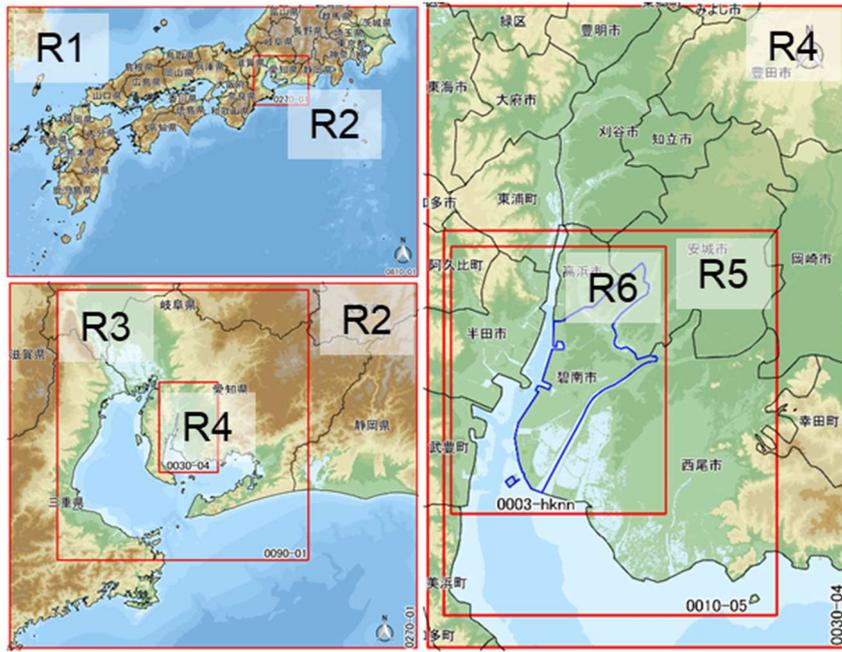


図 3-2-(2)-①-1 愛知県碧南市の位置と津波数値解析の対象領域。空間格子間隔は R1 : 810 m、R2 : 270 m、R3 : 90 m、R4 : 30 m、R5 : 10 m、R6 : 10/3 m である。



図 3-2-(2)-①-2 碧南市市街地に注ぐ蜷川と樋門位置

c) 漂流物拡散解析

対象とする漂流物は、平成 29 年度に実施された「南海トラフ巨大地震津波による津波漂流物拡散解析業務」の中で実施した現地調査より、蜷川両岸に係留されていた船舶を想定した。写真 3-2-(2)-①-1 に現地調査における船舶状況を示す。

漂流物である船舶は、小型漁船程度を想定として表 3-2-(2)-①-1 に示す漂流物諸元を設定した。以下のその条件を示す。

- ①漂流物の喫水については、船底までの 0.5m を想定
- ②漂流物（船舶）の初期位置である係留位置は、Google Earth による 2017 年

5月30日撮影（全308隻）の空中写真から判読した。

③漂流物（船舶）の漂流開始の条件として、漂流開始は、係留なしとした。現地調査より、蜷川兩岸に係留されている船舶は、写真3-2-(2)-①-4に示すように、護岸に設置された簡易的な金具等に係留ロープが結ばれている状態である。よって、地震動や広域地盤沈下あるいは堤体の液状化に伴う沈下等による係留金具の破損により、係留は十分に機能しないものと推測される。

④漂流物（船舶）の諸元で設定した喫水0.5m（浸水深0.5m）を下回る浸水深の場合に停止するとした。

漂流物の拡散解析は、後藤³⁾による漂流物拡散モデルを利用した。漂流物の水平方向の運動は、慣性、水流の圧力勾配、付加質量、流水抵抗と拡散により記述できる。解析は、拡散を除く4種類の力の釣り合いを決定論的に扱い、拡散は、決定論的に定まる漂流物の位置のずれと考えると確率論的に扱った。拡散解析にあたっては、以下の項目に留意した。

- ①対象とする漂流物は、蜷川兩岸に係留されている船舶を対象に実施した。
- ②漂流物の物理特性（慣性質量、投影面積および漂流開始水深等）の設定内容については、一般的な漁船を対象として検討を行った。
- ③計算モデルの制限として、漂流物から津波への反作用や漂流物同士の衝突や建物からの反作用は考慮しない。

時刻 $t=0$ に座標 X_0 に存在していた漂流物が、 t 時間後に座標 X に移動したものとす。決定論的な力の釣り合いは、 u_t 、 u をそれぞれ漂流物の速度および水粒子速度とすると、次の式で表される。

$$\rho_t V \frac{du_t}{dt} = \rho V \frac{du}{dt} + \rho(C_M - 1)V \left(\frac{du}{dt} - \frac{du_t}{dt} \right) - \frac{1}{2} \rho C_D A (u_t - u) |u_t - u| \quad (1)$$

ここで、 ρ_t 、 ρ はそれぞれ漂流物および水の密度、 V は漂流物の体積、 A は漂流物の接水投影面積である。また、 C_M 、 C_D はそれぞれ漂流物の付加質量係数および抵抗係数である。

漂流物の拡散によるずれは、拡散係数 κ を満たす散らばりとなるように (0, 1) 間の一様乱数 ξ を用いて定める。これより、漂流物の位置は、次の式で計算することができる。

$$X = X_0 + \int_0^t u_t dt + \sum_{k=0}^{n\Delta t} \sqrt{24\kappa\Delta t} \left(\xi_k - \frac{1}{2} \right) \quad (2)$$

ここで、 $t=n\Delta t$ 、 Δt ：時間発展間隔、 n ：計算ステップ数、 κ ：拡散係数、 ξ_k ：一様乱数である。

$$\frac{\kappa}{u_* h} = 0.032 \quad (3)$$

$$C_D = [0.91 + 32.5R_e^{-1/2}]^2 + 0.1F_r^{0.25} \quad (4)$$

$$C_M = 1.78 \quad (5)$$

ここで、 Re ：レイノルズ数、 Fr ：フルード数である。

なお、漂流物衝突による構造物の損壊は考慮していない。



写真 3 - 2 - (2) - ① - 1 蜷川両岸に係留された船舶状況

表 3 - 2 - (2) - ① - 1 漂流物諸元

漂流物	形状	底辺	高さ	密度	喫水
小型漁船	円柱形	6.4 m	1.2 m	108.5 kg/m ³	0.5 m



写真 3 - 2 - (2) - ① - 2 蜷川両岸された船舶位置

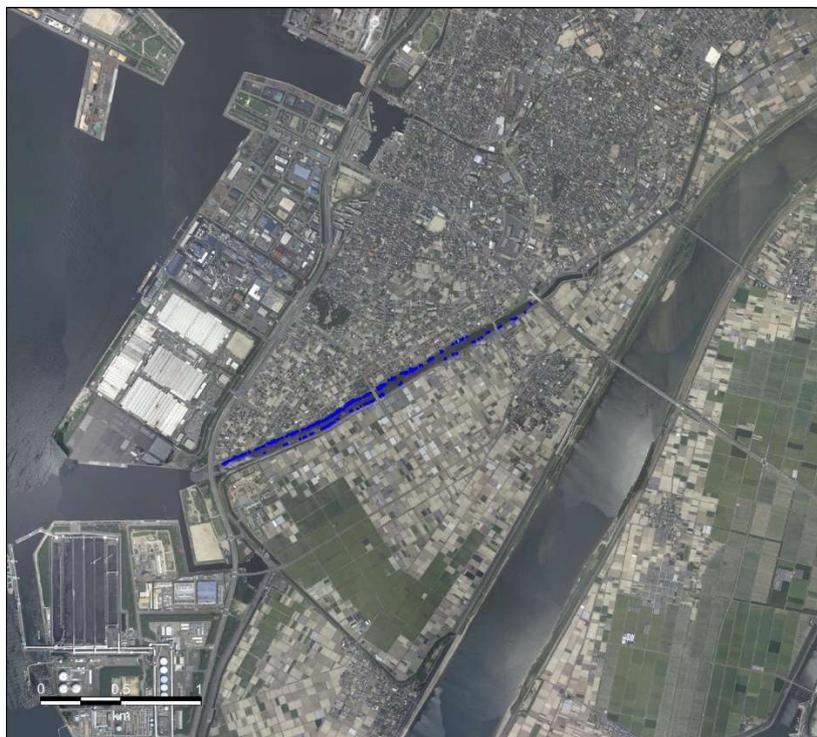


写真 3 - 2 - (2) - ① - 3 蜷川両岸に係留された漂流物（船舶）の初期配置分布図
【全 308 隻】。漂流物の初期位置は図中の青色丸で示している。



写真 3 - 2 - (2) - ① - 4 蜷川両岸の係留金具の例

d) 解析結果

津波氾濫解析は、今井・他³⁾と同様であるため結果のみ示す。図 3 - 2 - (2) - ① - 3 に堤体基礎の沈下量に応じた各被害ケースに応じた地震発生から 6 時間後までの最大津波浸水深分布を示す。当該沿岸に到達する津波高は 2 m 程度であるため、Case 1 においては、衣浦港では若干の浸水が認められるが、蜷川流域において、津波は直立堤を越流することがないため、市街地に津波は溢れないことがわかる。

Case 1 において、伏見屋樋門より下流では蜷川における河岸堤体基礎天端の沈下により、右岸側で津波の浸水が生じる。これは、右岸側基礎堤体の方が、沈下量が大きいためである。Case 2 は伏見屋樋門が開門している条件である。この樋門より上流では堤体基礎や直立堤が整備されていないため、この地点より上流から氾濫した津波は左岸南部の低平地に流れ込むことになる。

Case 3 では直立堤崩壊により、さらなる浸水域の拡大が生じていることがわかる。Case 3 と 4 の比較から、直立堤が崩壊する場合、伏見屋樋門開閉の影響は僅かであることがわかる。これは、護岸機能の消失により蜷川沿岸から津波が越流することにより、伏見屋樋門周辺の津波流入量が減少したためと考えられる。

これらの津波氾濫解析において、各ケースで得られた浸水深と流速分布の時系列を入力条件として、式(1)から(4)に従って漂流解析を行った。

各ケースに対する漂流物の拡散過程を図 3 - 2 - (2) - ① - 4 に示す。図 3 - 2 - (2) - ① - 4 (a) の Case 1 において、相対的に右岸の沈下量が多いことから、右岸側で浸水が始まるため、それに伴って漂流物も右岸側の市街地に流れ込む様子がわかる。ただし、その量をそれほど多くない。また、伏見樋門が閉まっているため、樋門より上流には漂流していない。

図 3 - 2 - (2) - ① - 4 (b) の Case 2 においては、樋門より下流は Case 1 と同様であるが、樋門が開いているため、漂流物は樋門より上流まで漂流するようになる。樋門より上流部の河岸には堤体部やパラペットが存在しないため、比高の低い左岸から漂流物は市街地に流れ込む様子が確認できる。

堤体上部のパラペットも堤体沈下とともに破損する Case 3 の図 3 - 2 - (2) - ① - 4 (c) においては、樋門下流部の両岸から漂流物が市街地にながれ込む様子が

確認できる。また、津波とともに樋門まで押し流された後に、樋門によって津波がせき上げられることによって、樋門近傍の比高の低い左岸から漂流物が流れ込んでくる様子が見られる。さらに、市街地への流れ込む津波浸水の拡大とともに、左岸南部まで漂流物が到達していることが確認できる。

樋門が開いている条件の Case 4 の図 3-2-(2)-①-4(d) では、Case 2 と Case 3 の漂流物拡散の傾向を合わせたように、漂流物の拡散が確認できる。

図 3-2-(2)-①-5 に各ケースにおける 6 時間後の漂流物の軌跡および集積位置を示す。漂流物は道路沿って漂流していることがわかる。これは構成地形モデルにより建物構造物による遮蔽効果の影響により津波氾濫の流束が道路に沿っているためである。このように、合成地形モデル上で漂流物拡散解析を行うことにより、より現実的な漂流予測が可能となる。

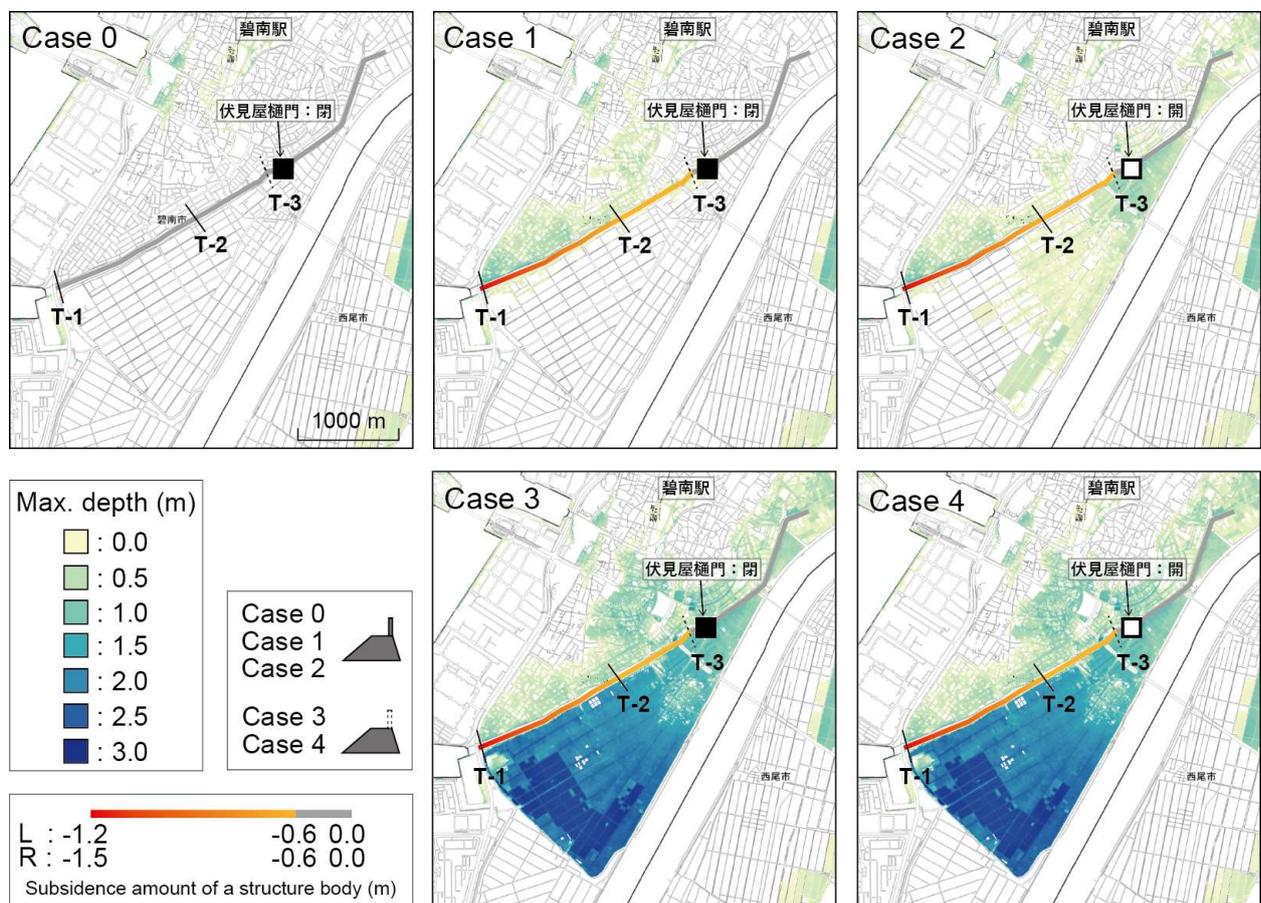
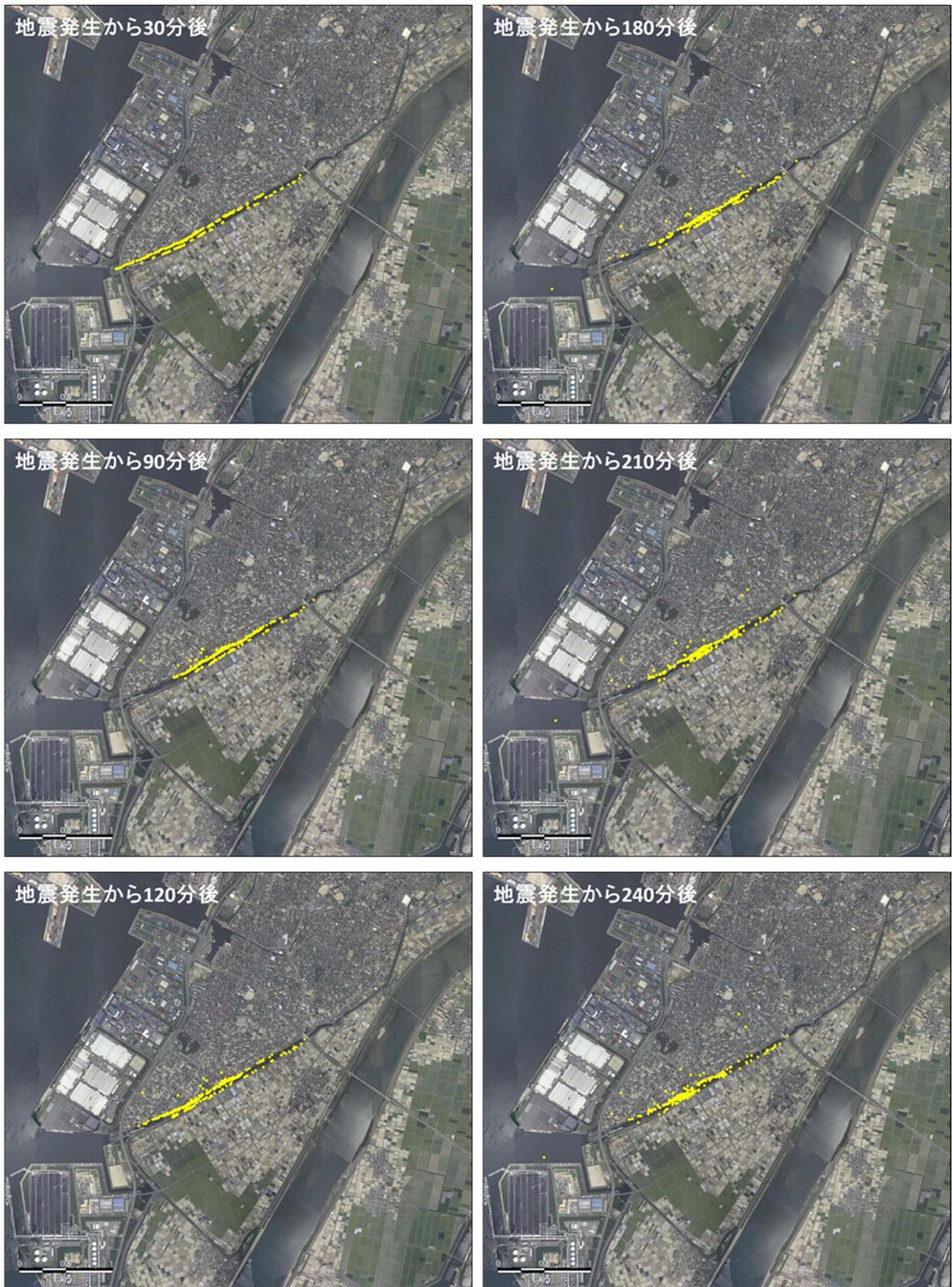
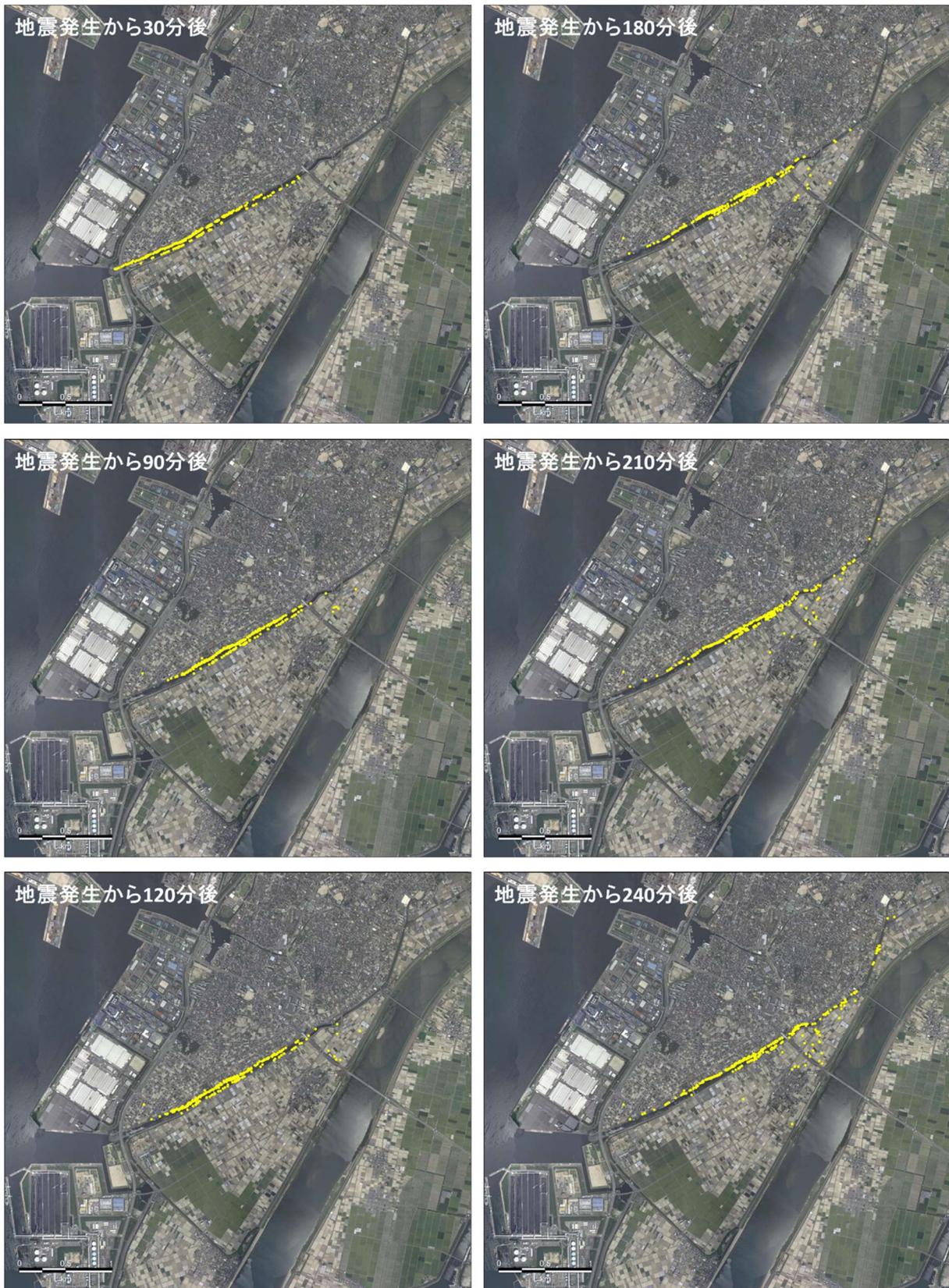


図 3-2-(2)-①-3 堤体基礎の沈下量に応じた各被害ケースに応じた地震発生から 6 時間後までの最大津波浸水深分布



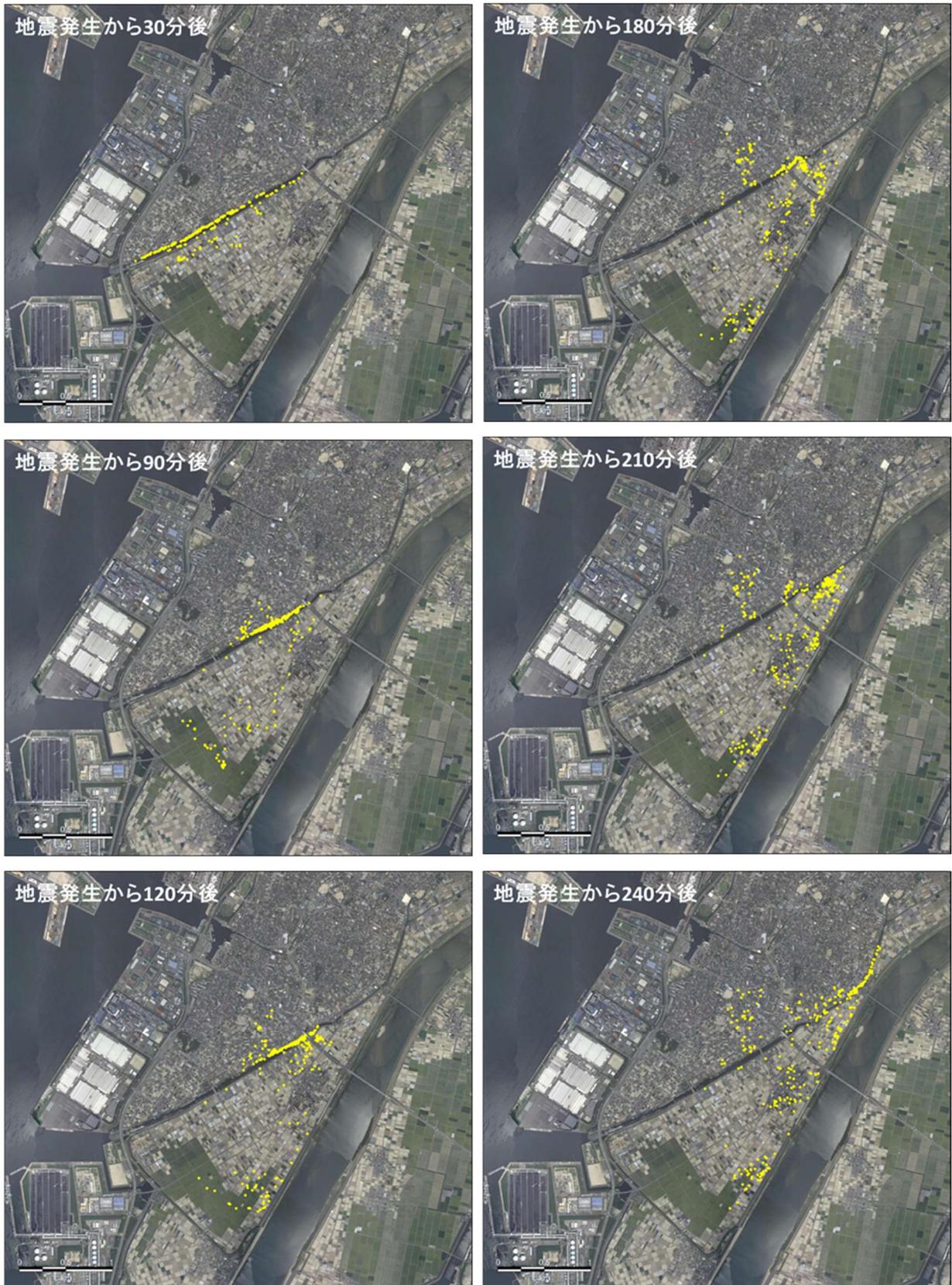
(a) Case 1

図3-2-(2)-①-4 漂流物漂流過程



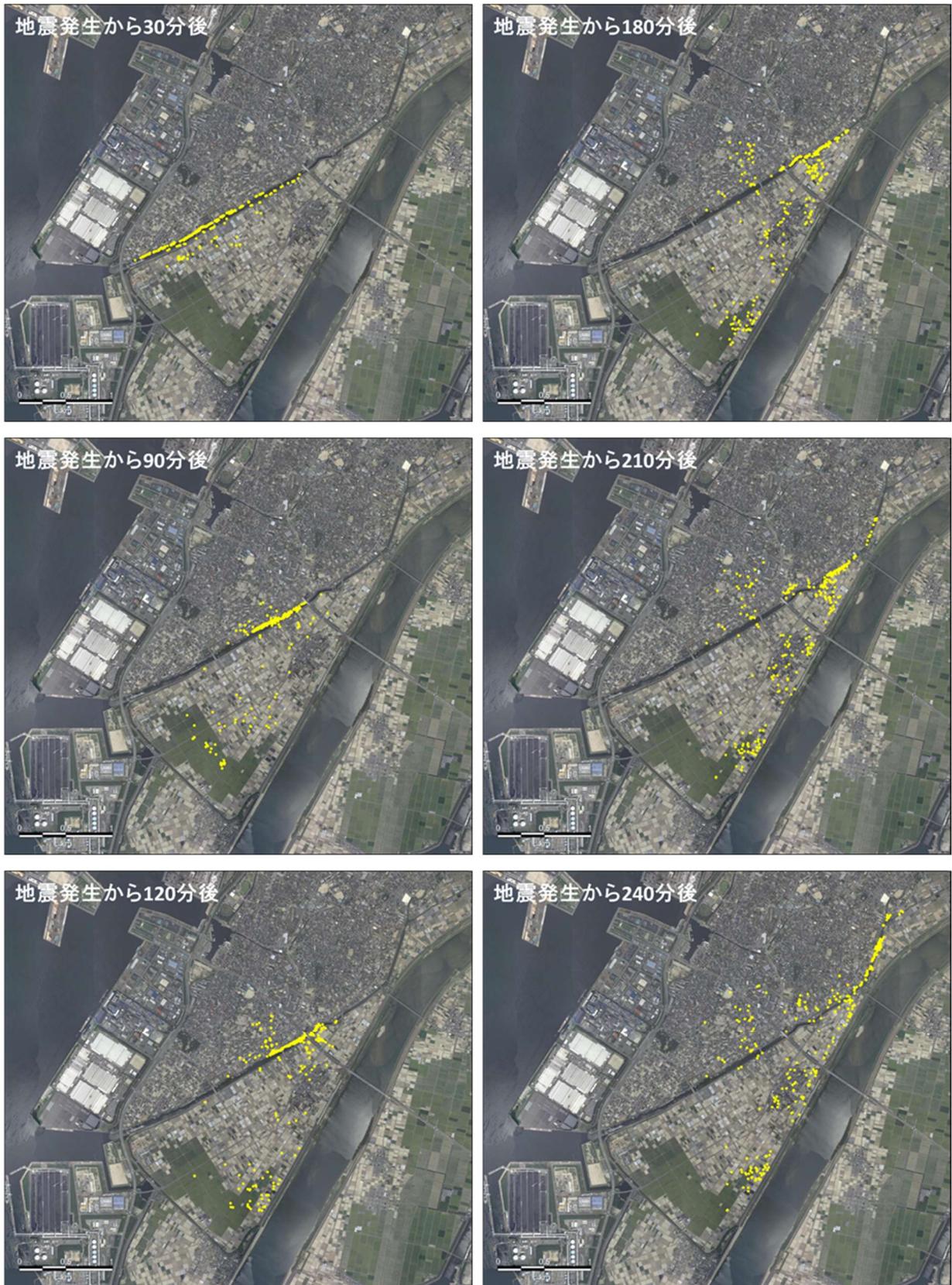
(b) Case 2

図3-2-(2)-①-4 漂流物漂流過程



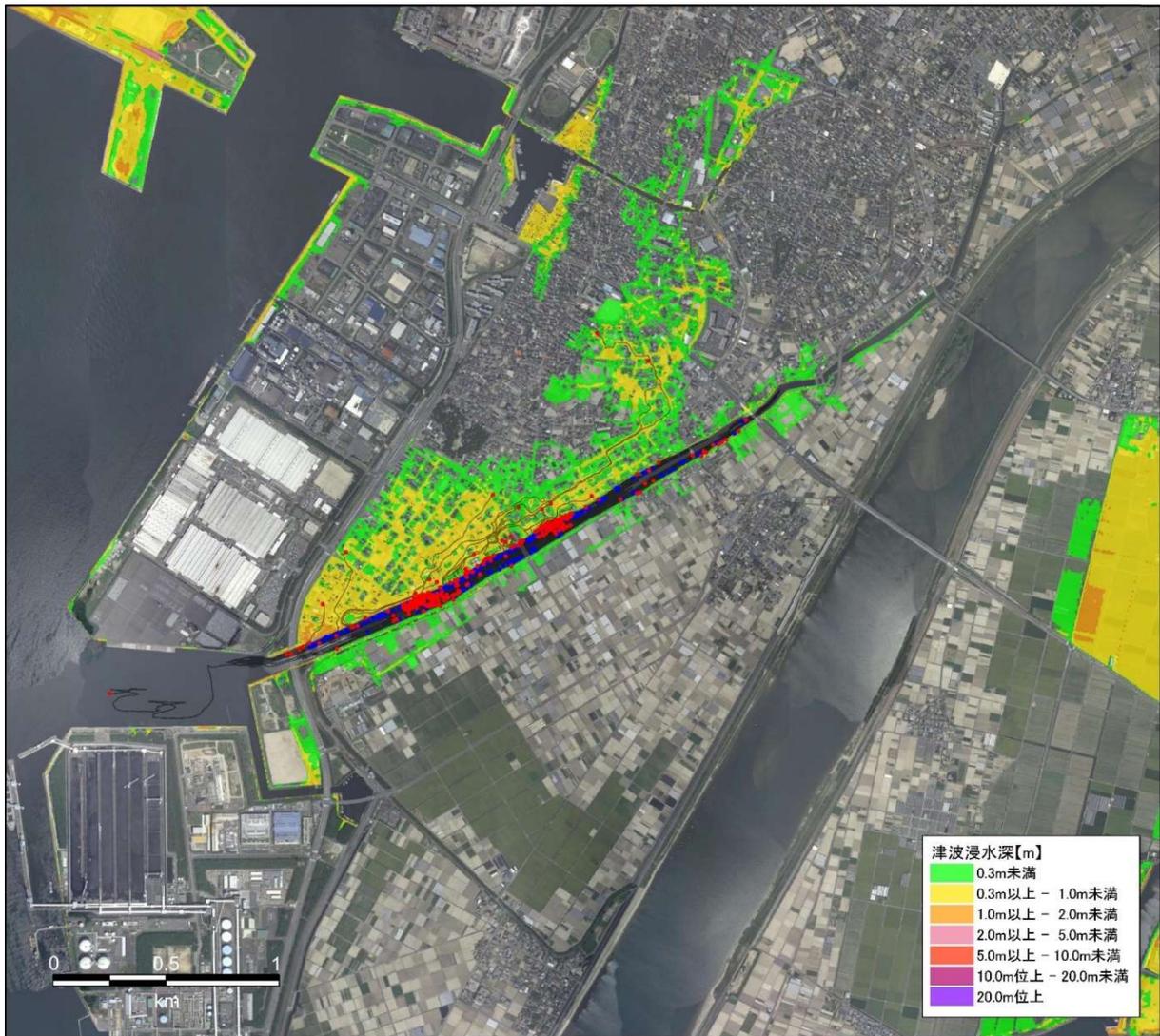
(c) Case 3

図3-2-(2)-①-4 漂流物漂流過程



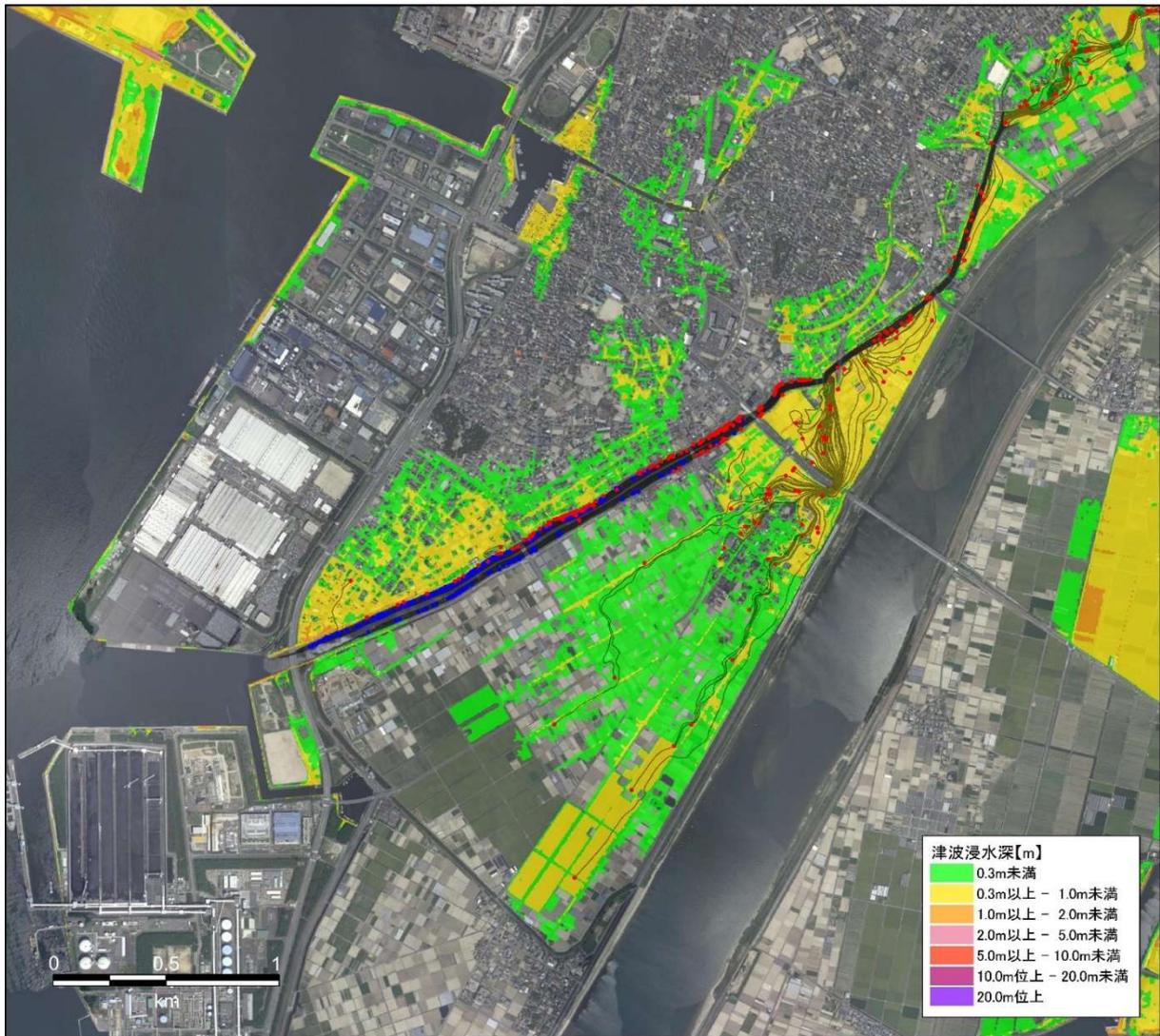
(d) Case 4

図3-2-(2)-①-4 漂流物漂流過程



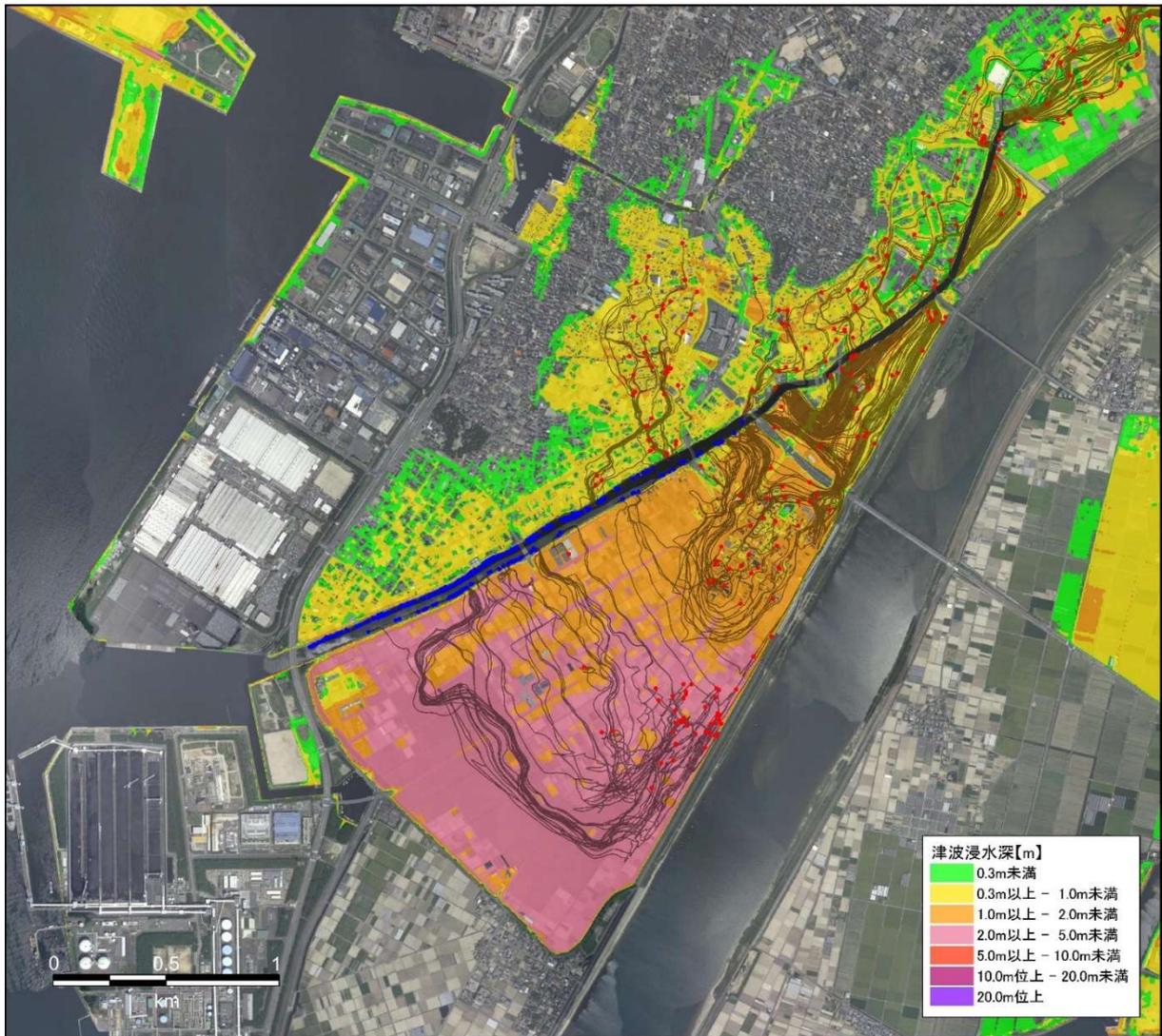
(a) Case 1

図3-2-(2)-①-5 6時間後の漂流物の軌跡および集積位置。青丸は初期位置、赤丸は最終集積位置、黒実線は漂流軌跡を示す。



(b) Case 2

図3-2-(2)-①-5 6時間後の漂流物の軌跡および集積位置。青丸は初期位置、赤丸は最終集積位置、黒実線は漂流軌跡を示す。



(c) Case 3

図3-2-(2)-①-5 6時間後の漂流物の軌跡および集積位置。青丸は初期位置、赤丸は最終集積位置、黒実線は漂流軌跡を示す。

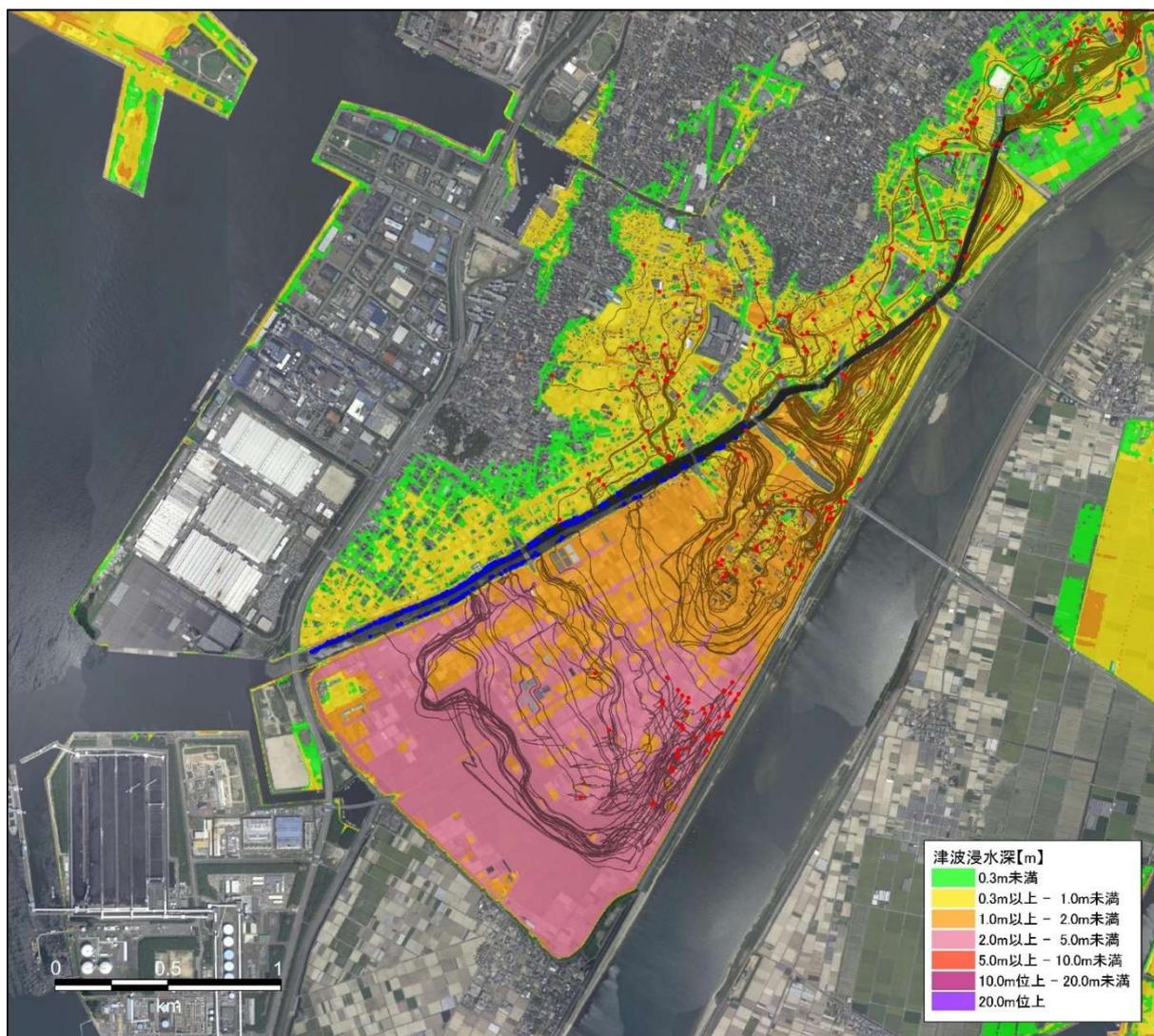


図3-2-(2)-①-5 6時間後の漂流物の軌跡および集積位置。青丸は初期位置、赤丸は最終集積位置、黒実線は漂流軌跡を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

愛知県碧南市をモデル地区として、想定南海トラフ巨大地震による地震動に対する堤体基礎の沈下量を水～土骨格連成有限変形解析によって評価し、この解析結果を津波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が浸水域や漂流物拡散に与える影響について検討を行った。

津波氾濫解析において、蜷川流域の堤体基礎が沈下するが河岸構造物は機能する場合は右岸堤体基礎の沈下量が大きいために蜷川北部に浸水が集中し、蜷川中流域の樋門の開閉の影響により蜷川南部にも浸水域が拡大する。浸水域の拡大や堤体基礎の被害状況に応じて、漂流物の拡散過程や集積状況も大きく変化することが明らかになった。中小河川や一部の港湾施設を擁する地域においては、これら構造物の耐震化の重要性を示していることはもちろんのこと、強震動による海岸・河岸構造物や堤体基礎部の脆弱性が津波ハザード評価に与える影響を無視できないことを示している。

(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)、Vol. 69-2、311-315、2013.
- 2) 今井健太郎、中井健太郎、野田利弘、新井伸夫、岩間俊二、馬場俊孝：堤体基礎の脆弱性が津波氾濫解析に与える影響に関する検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、74-2、247-252、2018.
- 3) 後藤智明、津波による木材の流出に関する計算、第 30 回海岸工学講演会論文集、594-597、1983.

② 地震動

(a) 業務の要約

地盤震動の研究としては、平成 30 年度に構築した 3 次元有限差分法によるグリーン関数の補間を利用した強震動評価法を利用して、震源モデルの構成による予測地震動の違いを評価した。

(b) 業務の実施方法

本業務の実施方法について説明する。平成 30 年度に検討を行ったグリーン関数の補間を利用した強震動評価法では、震源域のうち、震度への影響が小さい背景領域は考慮せず、強震動生成域（以下、SMGA と表記する）のみの強震断層モデルで評価する。厳密に地震動を計算する場合は、SMGA を構成するすべての要素断層について、全地表面に対するグリーン関数をあらかじめ計算しておき、震源過程に応じて適切に合成することで地震動を評価する。一方、グリーン関数の補間を利用する場合は、一部の要素断層によるグリーン関数のみ 3 次元有限差分法 1) により計算する。図 3-2-(2)-②-1 に計算方法の概念図を示す。(a) は評価地点近傍の SMGA である。これは評価地点の地震動に大きな影響を与えるため、すべての要素断層についてグリーン関数を理論的に計算する。(b) は評価地点からある程度離れた SMGA である。この場合、各要

素断層からの地震波の伝播経路は近接しており、要素断層ごとのグリーン関数の波形の差は小さいと考えられる。そのため、SMGA の四隅の要素断層によるグリーン関数を理論的に計算しておき、残りの要素断層によるグリーン関数はそれらの補間により求める。これを補間によるグリーン関数と呼ぶ。(c)は評価地点から非常に遠い SMGA である。この場合、要素断層ごとのグリーン関数の波形の差はほぼ無いものと考えられる。そのため、SMGA を代表する要素断層ひとつによるグリーン関数のみを理論的に計算しておき、他の要素断層に対してもこれを代用する。その際、地震動の評価地点と要素断層間の距離による補正、走時の補正等を行わず、破壊時刻の分だけ時間シフトさせ合成する。平成 30 年度の検討により、南海トラフ地震の東海域の SMGA に対しては、(b)の補間を利用する地震動評価法が有効であることがわかっている。令和元年度は、グリーン関数の補間を利用した地震動評価法により、震源断層のモデル化の違いが地震動予測結果に及ぼす影響について検討を行った。

図 3-2-(2)-②-2 に、内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会による震源モデル²⁾を示す。あわせて、3次元有限差分法の計算に用いた地下構造を地震基盤面の深さ分布として示した。このうち、本業務では番号 1、2、3、4 の SMGA による地震動を評価対象とした。表 3-2-(2)-②-1 に各 SMGA の諸元を示す。これらの SMGA を 2×2 、 3×3 、 4×4 、 5×5 に再分割した震源モデルを図 3-2-(2)-②-3 のように作成し、これによる予測地震動の変化を検討した。まず、図 3-2-(2)-②-2 中の要素断層 A、B、C、D について、愛知県碧南市域を中心とする地域の地震動を表すグリーン関数を 3次元有限差分法により計算し、これを $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ 、 $u_C(t)$ 、 $u_D(t)$ とする。このとき、震源時間関数としては表 3-2-(2)-②-1 に示すライズタイムを有する Smoothed Ramp Function を時間微分した関数を採用した。これらのフーリエスペクトルを $U_j(\omega) = \alpha_j(\omega)e^{i\theta_j(\omega)}$ として、フーリエ振幅 $\alpha_j(\omega)$ と群遅延時間 $t_{gv}(\omega) = d\theta_j(\omega)/d\omega$ に対して空間補間を施すことにより、異なる位置の要素断層による地震動を表すグリーン関数を推定した。ここで、群遅延時間の算出には、佐藤・他の計算法³⁾を用いた。空間補間は、補間対象の量 V の値を緯度 ϕ と経度 λ の 1 次関数として $V = a\phi + b\lambda + c$ とモデル化し、図 3-2-(2)-②-2 の要素断層 A、B、C、D に対する値を標本として最小二乗法的に係数 a 、 b 、 c を決定することで行った。また、再分割後の要素断層の破壊時刻も同様の空間補間によって設定し、波形合成により東海域の震源による地震動を計算した。

なお、3次元有限差分法による計算は防災科学技術研究所による地震動計算ソフトウェア GMS⁴⁾を用いて行い、工学的基盤面 ($V_s = 500$ m/s) での地震動とした。空間格子の大きさは 250m、時間刻みは 0.0125s、計算結果の有効周期範囲は 2.5s 以上である。

なお、論文中の一部の図の作成に Generic Mapping Tools (GMT)⁵⁾を使用した。

(c) 業務の成果

図 3-2-(2)-②-4 に、図 3-2-(2)-②-2 に示した要素断層 A、B、C、D の破壊による地震動を表すグリーン関数を示す。地震動予測対象地点は碧南市中心部付近の 1 地点とした。いずれも、周期 3s 弱の成分が卓越している。また、陸域に

近い要素断層 C、D のグリーン関数が比較的振幅が大きいことがわかる。

図 3-2-(2)-②-5 に、図 3-2-(2)-②-3 に示した再分割後の要素断層 a、b、c、d による地震動を表すグリーン関数を示す。これらは、グリーン関数の補間を利用する方法によって計算されたものである。再分割後の要素断層 a、b、c、d はそれぞれ元の要素断層 D、C、A、B に近い位置にあり、これに対応してグリーン関数の振幅の大小の傾向が似通ったものになっていることがわかる。しかし、通常のグリーン関数とは異なり、負の時刻の領域にも値が現れている。すなわち、時間関数としての因果性が崩れている。これは、グリーン関数の補間の際、フーリエ振幅と群遅延時間を分離して推定していることにより、フーリエスペクトルの実部と虚部の間にヒルベルト変換対の関係が成り立たなくなっているためである。これについては、改善の余地が認められる。

図 3-2-(2)-②-6 に、再分割した断層モデル全体による地震動を示す。2×2 分割のモデルによる地震動は特に振幅が大きい、3×3、4×4、5×5 分割のモデルによる地震動はあまり違いがない。特に、3×3 分割のモデルは元の震源モデルに近いものであり、地震動のレベルに関しては元の震源モデルでほぼ表現が可能であることがわかる。

図 3-2-(2)-②-7 に、地震動予測対象地域の工学的基盤面での地震動速度の最大値の分布を示す。いずれの震源モデルを使用した場合でも、領域の南西部で大きな値が出現している。また 2×2 分割のモデルは全体的に値が大きいこともわかる。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 30 年度に構築したグリーン関数の補間を利用する地震動評価法のひとつの応用として、震源モデルの要素分割の違いによる予測地震動の違いについて検討を行った。補間により作成されたグリーン関数は、地震動のレベルとしては適切と考えられるが、時間関数としての因果性が崩れることがあった。これについては、改善対策も含め慎重に対応する必要がある。

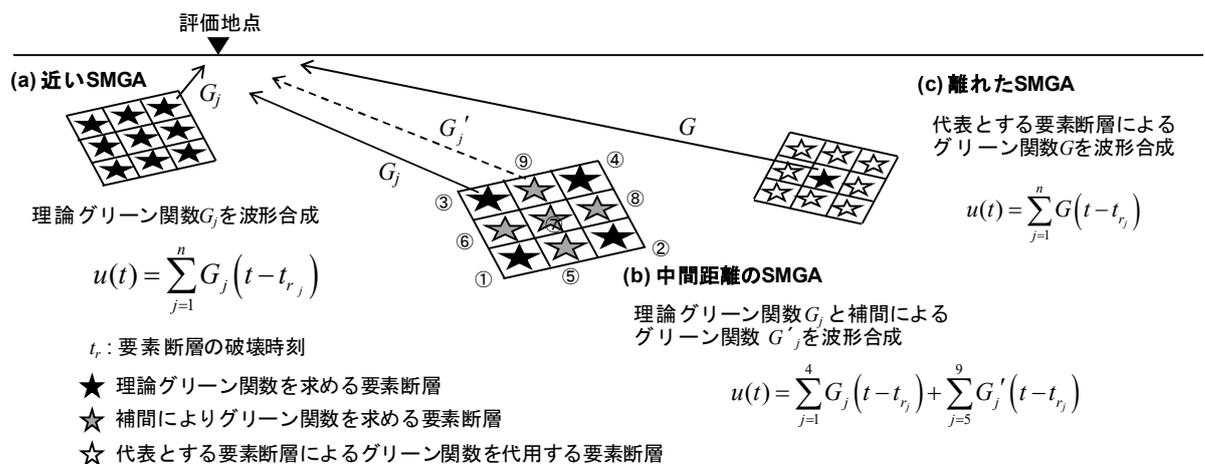


図 3-2-(2)-②-1 グリーン関数の補間による地震動評価法の概要

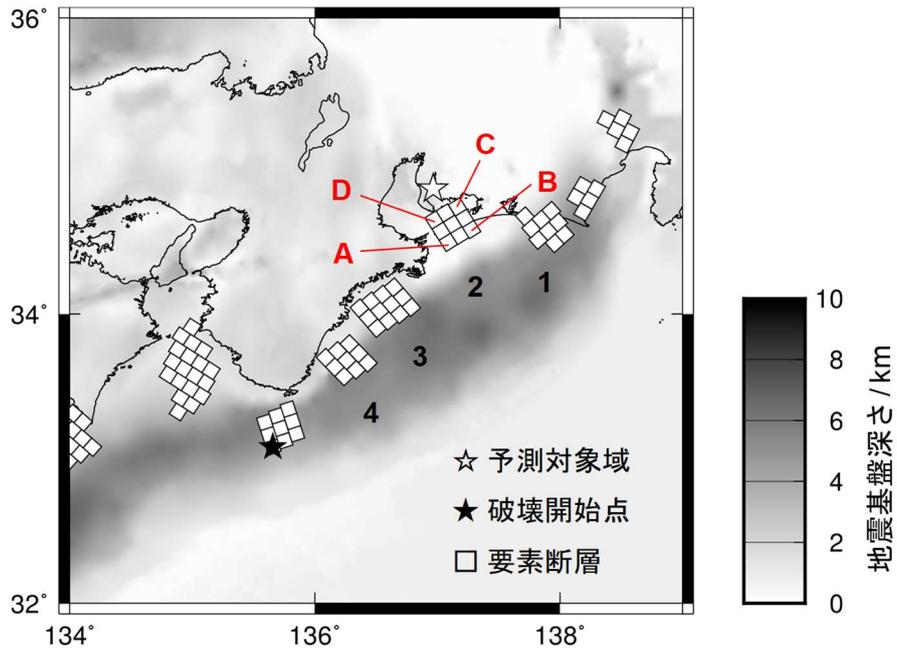


図 3-2-(2)-②-2 地震動の予測に用いた震源モデル（最大クラス）と地下構造

表 3-2-(2)-②-1 震源モデルの諸元

断層番号	面積 / km ²	地震モーメント / N m	応力降下量 / MPa	ライズタイム / s
1	914	3.39×10^{20}	30	5.59
2	913	3.39×10^{20}	30	5.60
3	1240	5.35×10^{20}	30	5.59
4	927	3.47×10^{20}	30	5.63

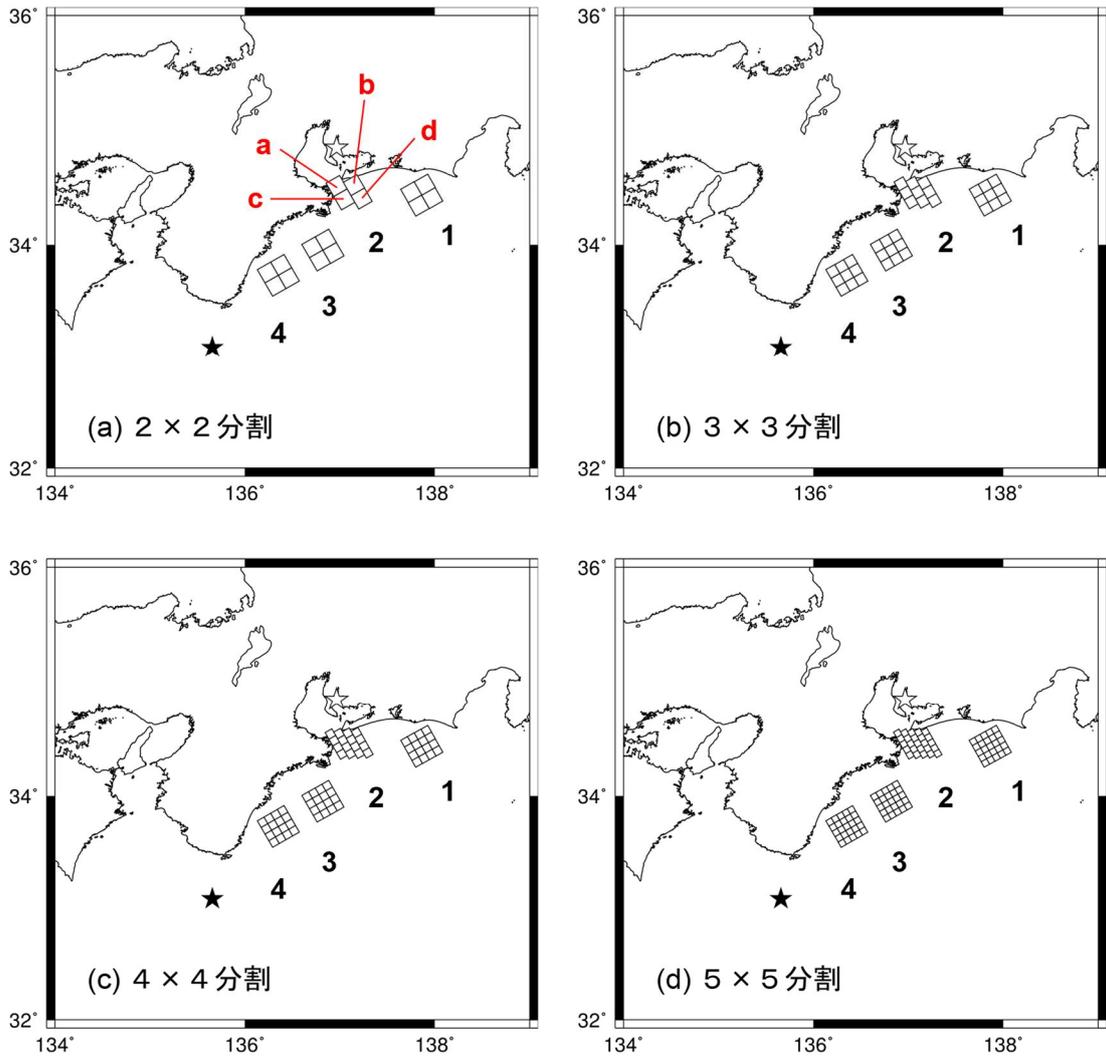


図 3-2-(2)-②-3 再分割した強震動生成域 1~4 の断層モデル

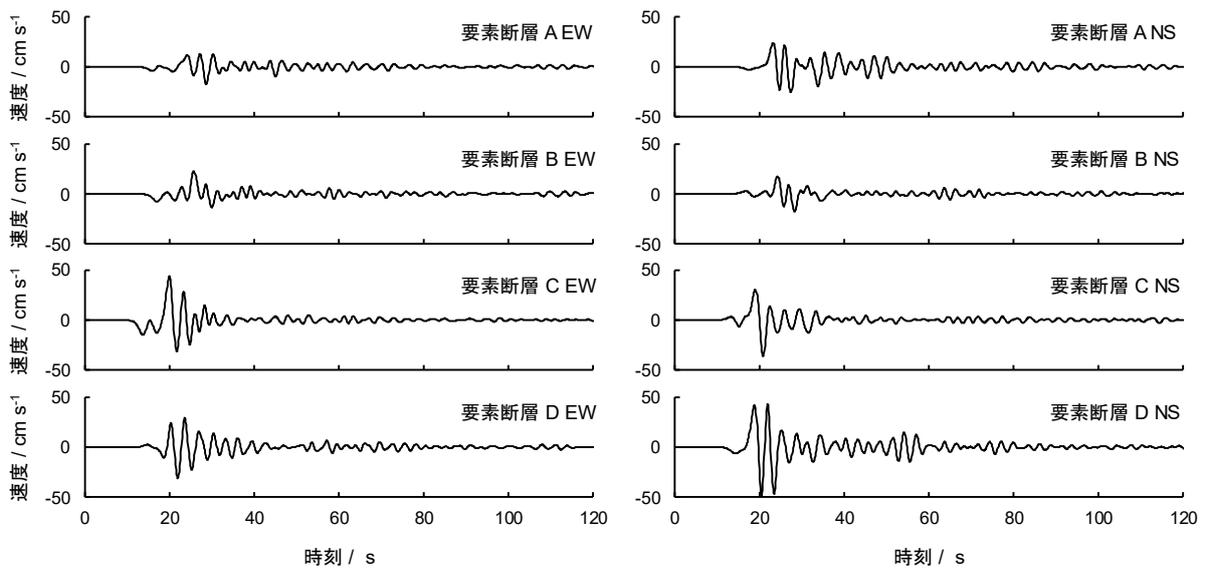


図 3-2-(2)-②-4 基準とする要素断層による地震動のグリーン関数

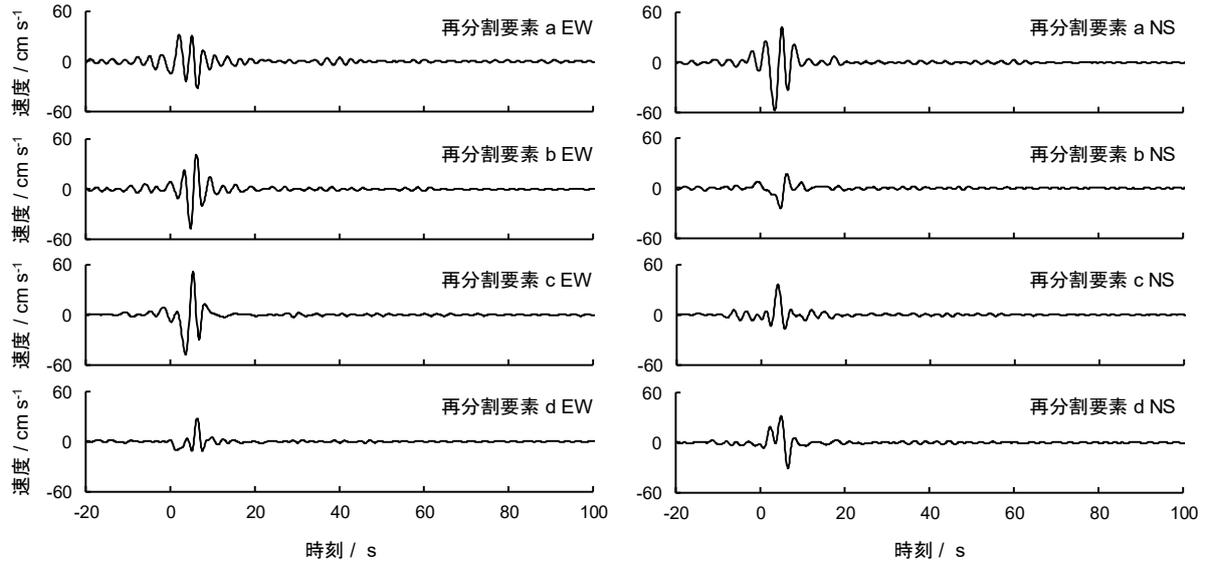


図 3-2-(2)-②-5 補間によって作成されたグリーン関数

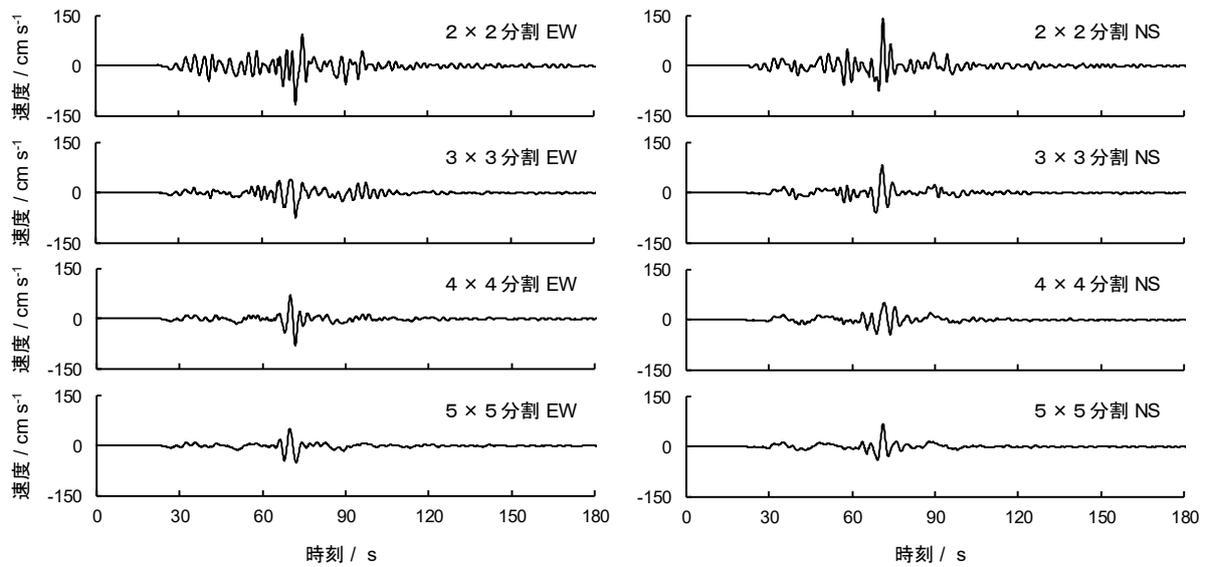


図 3-2-(2)-②-6 再分割した震源モデルによる地震動

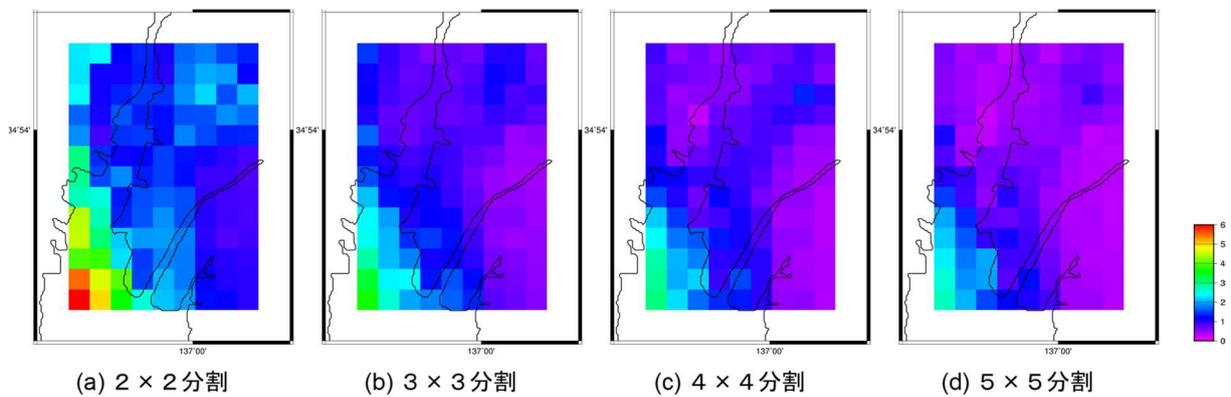


図 3-2-(2)-②-7 地震動最大速度の分布

(e) 引用文献

- 1) Graves, R. W., Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bulletin of the Seismological Society of America, Col.86, No.4, 1091-1106, 1996.
- 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、2015.
- 3) 佐藤忠信、吉田郁政、大島義信、地震動位相のモデル化について、土木学会論文集 A1 (構造・地盤工学)、Vol. 70、No.4、pp. I_273-I_284、2014.
- 4) 青井真、早川俊彦、藤原広行、地震動シミュレータ、GMS, 物理探査、Vol. 57、651-666、2004.
- 5) Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F., Wobbe, F. Generic Mapping Tools, Improved version released EOS Transactions of American Geophysical Union, Vol. 94, No. 45, 409-410, 2013.

③ 地盤災害

(a) 業務の要約

本年度は、液状化被害が危惧される碧南市を対象に地震応答解析を実施し、液状化危険度について従来判定法 (F_L 法) と比較するとともに、地震中～地震後に発生する地盤変状を算出した。対象とした地点の表層付近はいずれも、砂質土が支配的であり、地震応答解析結果は現行 F_L 法とよく似た液状化危険度を示した。地震後の変状に着目すると、干拓地・埋立地上にある地点では特に L2 地震動で大きな変状が生じた。一方、市中央の自然地盤上にある地点では比較的小さな被害に収まった。干拓地や埋立地の臨海部では、深部で粘性土が厚く堆積しているため、特に地震動の長周期成分が共振によって増幅され、地表面での大きな揺れ (水平変位) につながることがわかった。

(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土骨格の弾塑性構成式 SYS カムクレイモデル¹⁾ を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾ で、静的も動的も区別なく扱うことができる。液状化被害が危惧される碧南市を対象に地震応答解析を実施した。液状化の危険性について、従来判定法 (F_L 法) と比較するとともに、地震中～地震後に発生する地盤変状を算出した。

(c) 業務の成果

碧南市は、北は油ヶ淵、東は矢作川、西および南には衣浦港と、周囲を水に囲まれている。図 3-2-(2)-③-1 に碧南市の干拓と埋立の歴史を示す。もともと矢作川の流入によってできた土地であったが、さらに 1600 年代以降の干拓と埋立によってできた地形が広がっている。内陸部においても、矢作川の流路の切り替えや油ヶ淵からの新規排水路開設 (新川・蜷川) などによって土地改変が近代まで行われてきて

いる。そのため、市全体として標高が低く、堆積年代の若い軟弱地盤が広がっており、地震時の液状化被害が危惧される。実際、図3-2-(2)-③-2で示される液状化ハザードマップを見ると、市全域で液状化危険度は高く、特に南部ではほぼ全域で「極めて高い」と判定されている。本業務では、碧南市の協力のもとで400地点強のボーリングデータを入手し、市内において災害時に重要拠点となる病院や避難所など12地点を抽出して地震応答解析を実施した。解析対象地点を図3-2-(2)-③-3に示す。市内において災害時に重要拠点となる病院や避難所など12地点を抽出した。

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土骨格の弾塑性構成式SYSカムクレイモデル¹⁾を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コードGEOASIA²⁾であり、静的も動的も区別なく扱うことができる。



図3-2-(2)-③-1 碧南市の干拓と埋立の歴史 (碧南市)³⁾

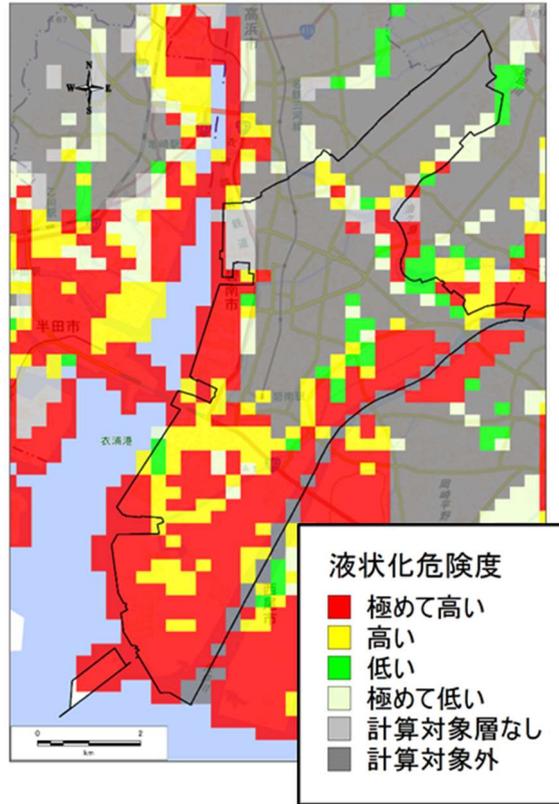


図 3 - 2 - (2) - ③ - 2 現行 F_L 法を用いた液状化危険度マップ (愛知県) ⁴⁾

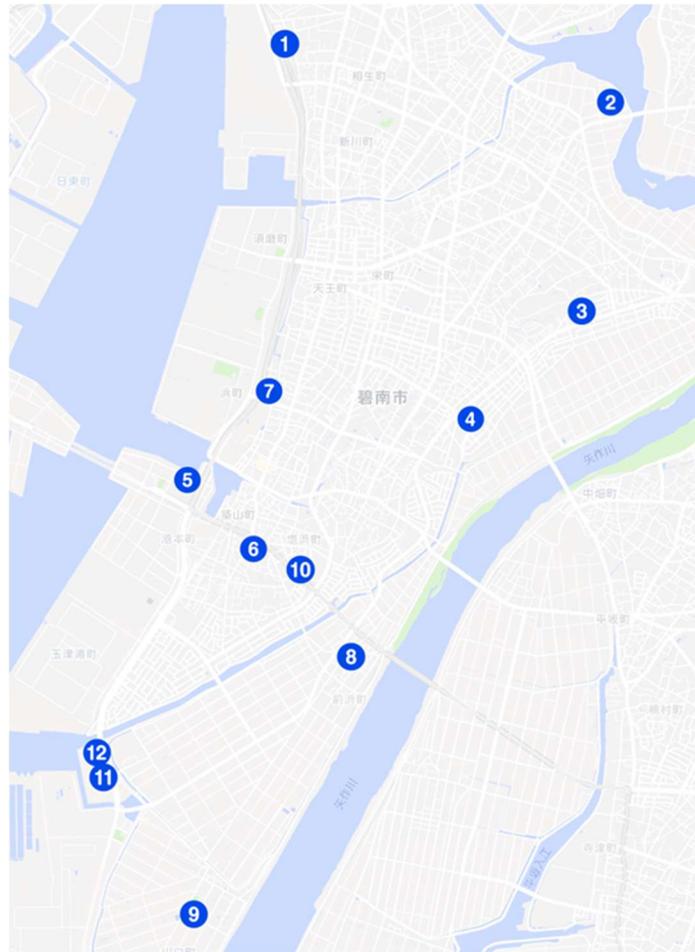


図 3 - 2 - (2) - ③ - 3 解析対象地点

選出した 12 地点に対し、以下の手順で地震応答解析を実施した。

- ① 全地点のボーリングデータおよび土質区分から、碧南市の地層を、埋め土 B 層、中砂と粗粒分が多い砂 As1 層、細粒分が多い砂 As2 層、シルト質層 Ac1 層、粘土層 Ac3 層の 5 つに分類した。
- ② 選出地点にボーリングデータがある場合は生のデータを、ない場合は近隣数か所のボーリングデータの平均値(層厚および N 値の分布)を地層構成として用いた。なお、層厚が 0.5m 未満の薄層はモデル化せず除外した。
- ③ 地震応答解析断面では、層内で状態量は均一と仮定するので、地層ごとにボーリングデータから得られている N 値分布の平均値を層の代表値とした。モデル化の例として、⑦地点における地層構成作成結果を図 3 - 2 - (2) - ③ - 4 に示す。
- ④ 新たに作成した地層構成で F_L 法による液状化判定を行った。液状化判定は道路橋示方書に従って判定し、地震動特性はレベル 1 地震動とレベル 2 タイプ I 地震動の 2 種類を用いた。加えて、液状化との変状予測のために、建築構造設計指針に記載の D_{cy} 法で地震後の沈下量を算出した。
- ⑤ 新たに作成した地層構成をもとに、当該地点の弾塑性性状を推定し、地震応答解析を実施した。入力地震動には海溝型の L1 地震動と L2 地震動を用いた。

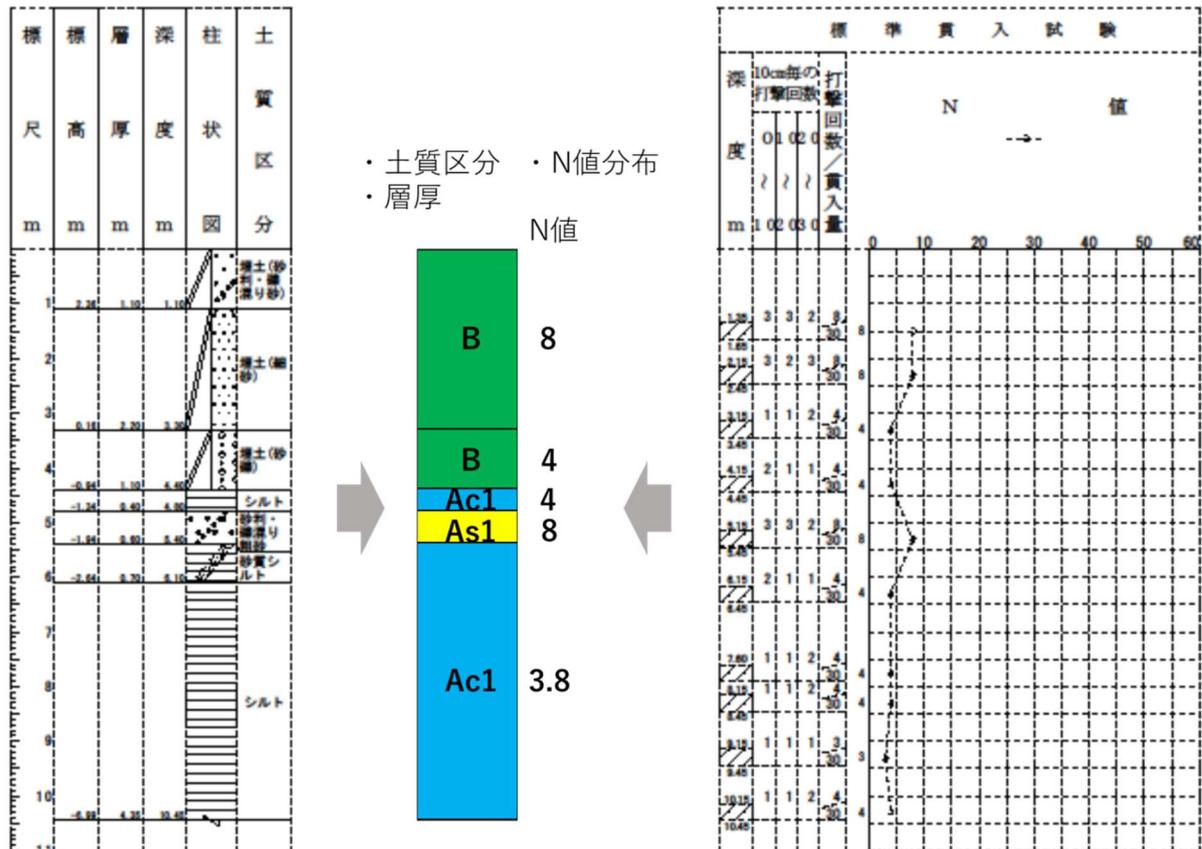


図3-2-(2)-③-4 ⑦地点におけるボーリングデータと解析用地層構成の作成

解析メッシュは一次元の棒モデルとし、 $0.1\text{m} \times 500$ 要素の 50m とした。側面に周期境界を設定し、水平成層地盤を仮定した。すべての地点で共通のメッシュを利用し、軟弱層／沖積層より下部はすべての地点で共通の洪積層とした。また、下端にはせん断波速度 $V_s=400\text{m/s}$ の粘性境界を設けた。深度 50m 地点の地盤硬さ（せん断波速度）は、洪積層の厚さも異なるので、地点によって異なると考えられるが、PS 検層の情報も得ることができなかつたため、簡単のため等しいとしている。地震動はメッシュ最下端の水平方向に入力し、地震動入力終了後は、地震中に蓄積した過剰間隙水圧が完全に消散するまでそのまま圧密放置し、地震中～地震後までを一貫して解いている。入力地震動を図3-2-(2)-③-5および図3-2-(2)-③-6に示す。L1地震動としては、国土交通省国土技術政策総合研究所で公開されている地方港湾の常滑港における L1 地震動（国土交通省国土技術政策総合研究所）⁵⁾ を用いた。L2 地震動としては、内閣府が公開の当該地点周辺における南海トラフ地震に長周期成分を新たに含めた想定地震動である⁶⁾。設計用地震動や公開想定地震波などは、一般的に工学的基盤面（せん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ ）での入力地震動となっているため、本研究モデルの最下端（せん断波速度 $V_s=400\text{m/s}$ ）との地震波補正が必要である。そこで、以下の翠川の補正式⁷⁾を用いて、加速度振幅を調整した。下式を用いると、 $V_s=700\text{m/s}$ と $V_s=400\text{m/s}$ 間での増幅度比率は 1.39 となる。

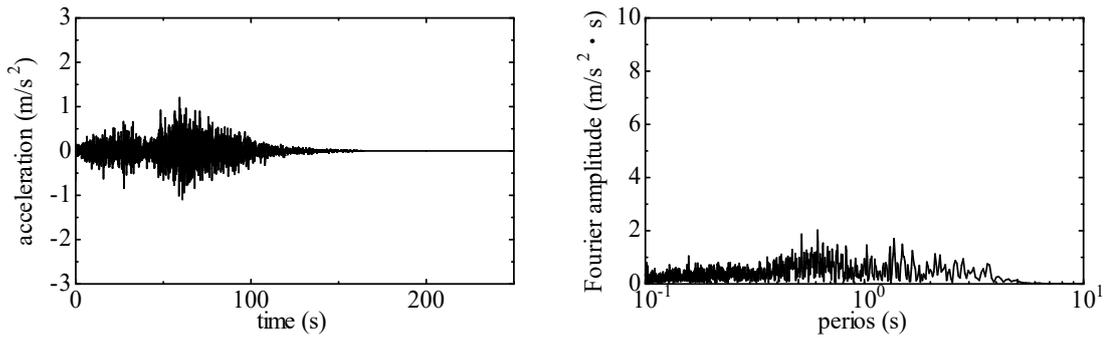


図 3-2-(2)-③-5 入力地震動 (L1 地震)

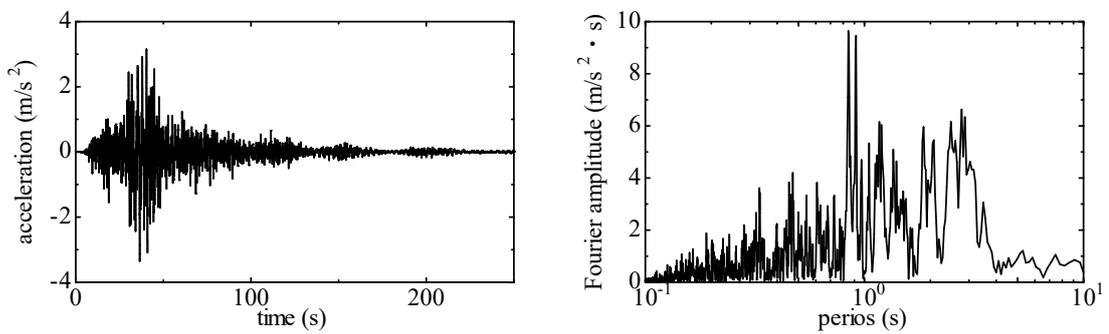


図 3-2-(2)-③-6 入力地震動 (L2 地震)

地点⑥の結果を示す。地点⑥は、災害時には市民の避難先となる重要施設である。地層的な特徴として、自然地盤上にあり沖積層が薄く、粘性土層が薄いことが挙げられる。図 3-2-(2)-③-7 と表 3-2-(2)-③-1 に L1 地震動に対する結果をまとめて示す。左端のグラフは解析用に作成した地層構成を用いて実施した F_L 判定結果、中央と右端の図は地震応答解析結果である。中央の図は地震動入力終了直後の平均有効応力、右端の図は圧密放置後のせん断ひずみのコンター図である。表には地震による圧密終了後の沈下量および残留水平変位を示している。まず、 F_L 判定結果を見ると、表層の B、As1、As2 層で FL が 1.0 以下となっており、液状化の危険性がある。平均有効応力を見ると、 F_L 判定で液状化と判定された層と同じ B、As1、As2 層で青色（平均有効応力が 10kPa 以下）となっており、著しく拘束圧を失っている様子がうかがえる。せん断ひずみを見てみると、有効応力の低下した表層でせん断ひずみが発生している。地震後の沈下量を見ると、L1 地震動による沈下量は 5 cm 程度と小さく、地盤変状被害は小さい。

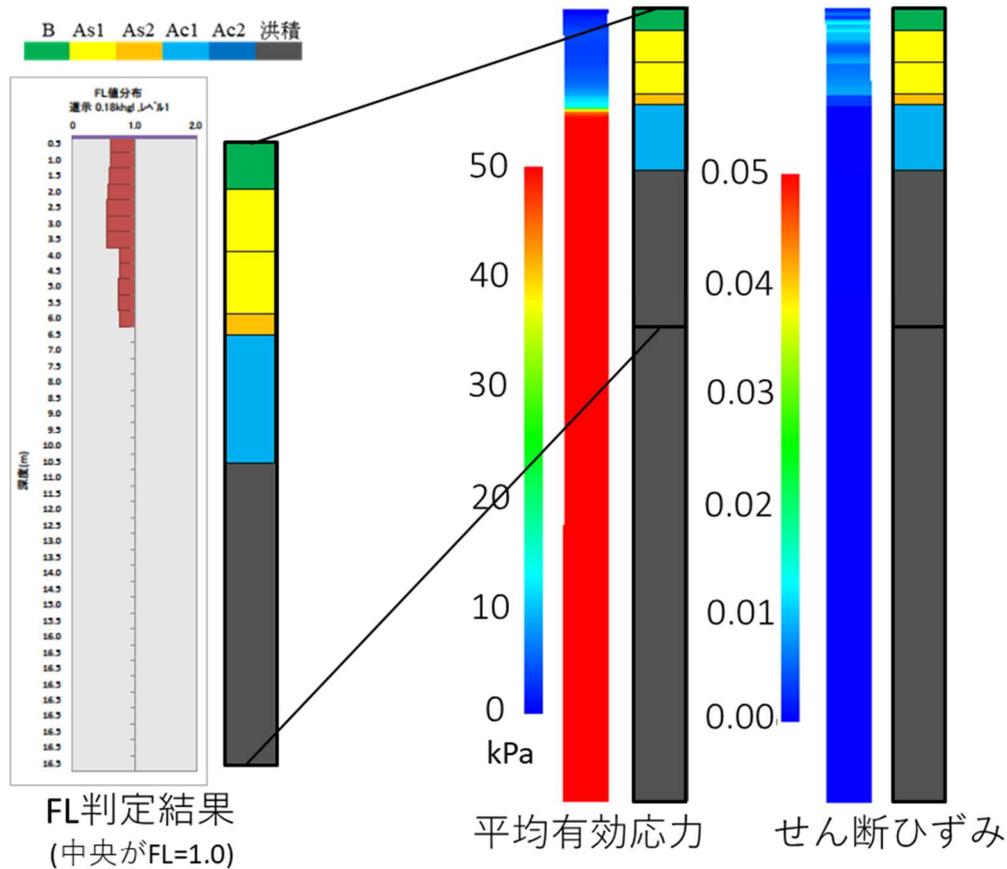


図 3 - 2 - (2) - ③ - 7 L1 地震動に対する地点②の液状化判定結果

表 3 - 2 - (2) - ③ - 1 地点②の L1 地震による地盤変状

	F_L 法 (D_{cy} で算出)	地震応答解析
地震後沈下量	1.4 cm	5.4 cm
地震後残留水平変位	—	3.6 cm

続いて、図 3 - 2 - (2) - ③ - 8 と表 3 - 2 - (2) - ③ - 2 に地点⑥に対する L2 地震動の結果をまとめて示す。 F_L 判定結果を見ると、地震動が大きくなったことで B、As1、As2 層の F_L 値がほぼ 0 まで減少しており、液状化の危険性が非常に高いと判定されている。平均有効応力を見ると、 F_L 判定で液状化と判定された層と同じ B、As1、As2 層で青色（平均有効応力が 10kPa 以下）となっている。せん断ひずみを見てみると、有効応力が大きく低下した B および As1 層で大きなせん断ひずみが発生し、残留水平変位も大きい。地震後の沈下量を見ると L1 地震動のときよりも大きくなっている。やや地震応答解析の方が大きい、大きな乖離はない。

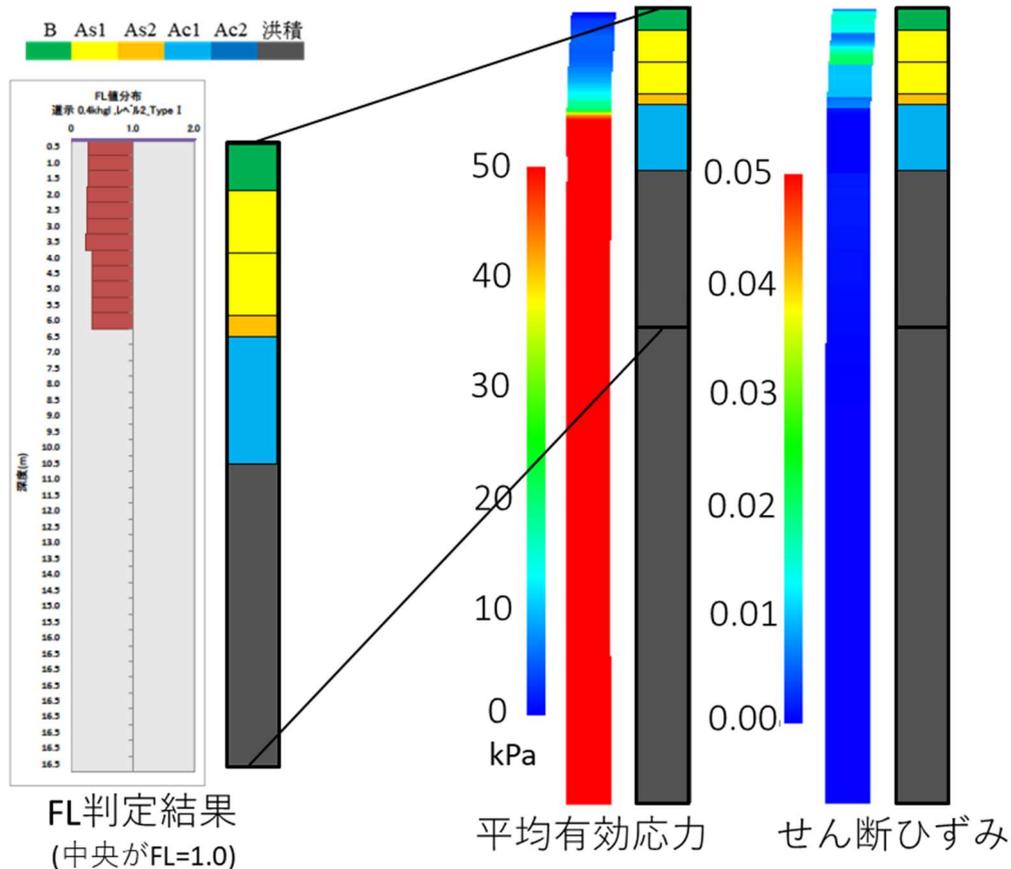


図 3-2-(2)-3-8 L2 地震動に対する地点⑥の液状化判定結果

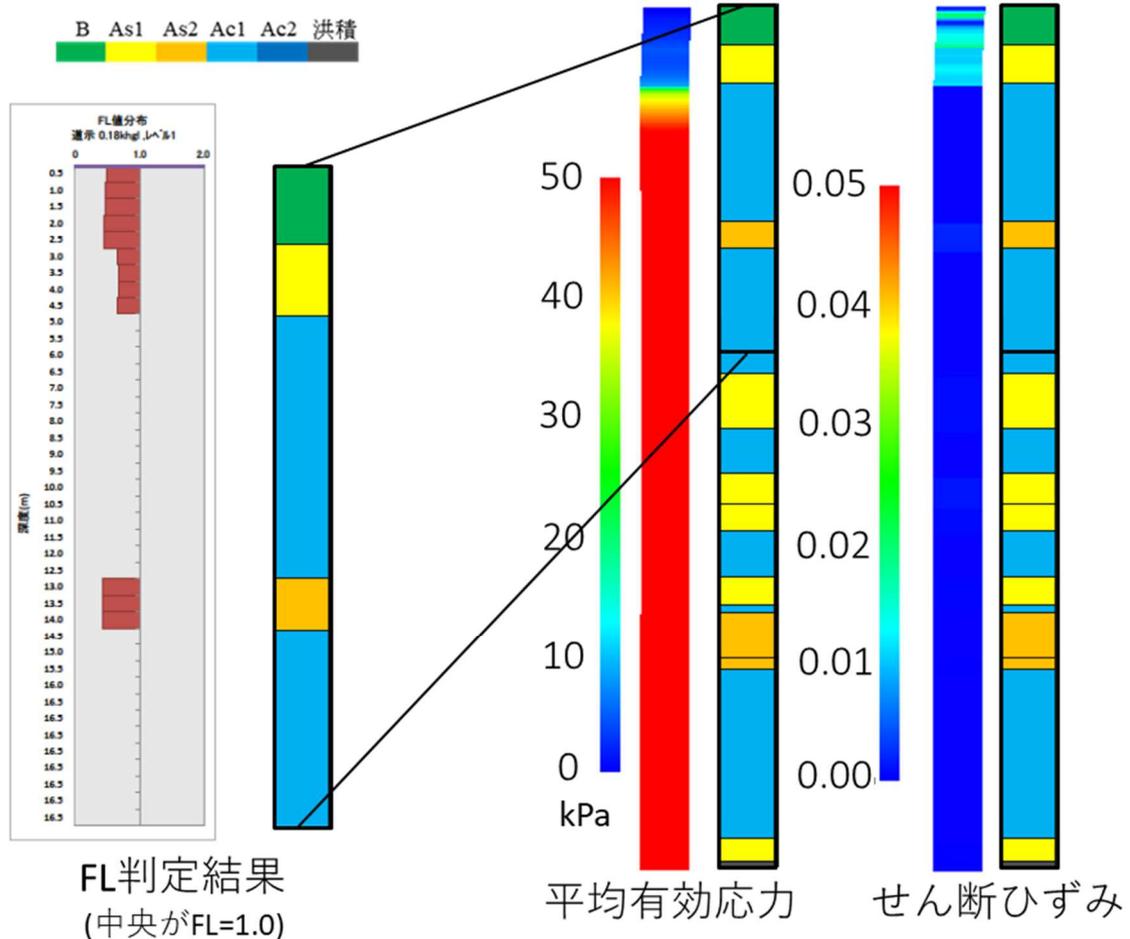
表 3-2-(2)-3-2 地点⑥の L2 地震による地盤変状

	F_L 法 (D_{cy} で算出)	地震応答解析
地震後沈下量	6.8 cm	7.5 cm
地震後残留水平変位	—	14.0 cm

地点⑥の被害をまとめると、表層の B および As1 層は軟弱な状態にあり、地震動発生時は液状化の危険性が高いと言える。しかしながら、L1 地震動の場合は液状化の程度は小さく、沈下量や残留変位は小さい。一方、L2 地震動の場合は特に表層の液状化程度が大きく、7.5cm の沈下と 14cm の残留水平変位が危惧される。また、 F_L 法で液状化すると判定された土層で平均有効応力の著しい低下とせん断ひずみの発生が確認できたことから、 F_L 法の液状化判定結果と地震応答解析による結果の整合性は高いといえる。沈下量の程度もおおむね一致している。

地点②は、災害時の救護・救急の拠点となる重要施設である。地層的な特徴として、干拓地上に存在し沖積層が厚く、粘性土層が厚いことが挙げられる。図 3-2-(2)-3-9 と表 3-2-(2)-3-3 に L1 地震動に対する結果をまとめて示す。まず、 F_L 判定結果を見ると、表層の B 層と As1 層で F_L が 1.0 以下となっており、液状化の危険性がある。Ac1 層は判定対象外となるが、10m 付近の As2 層も F_L 値が 1.0 以下とな

っている。平均有効応力を見ると、 F_L 判定で液状化と判定された B と As1 層で青色（平均有効応力が 10kPa 以下）となっており、著しく拘束圧を失っている様子がうかがえる。せん断ひずみを見てみると、有効応力の低下した表層でせん断ひずみが発生している。地震後の沈下量を見ると、L1 地震動による沈下量は 5 cm 程度と小さく、地盤変状被害は小さいことがわかる。



FL判定結果
(中央がFL=1.0)

平均有効応力 せん断ひずみ

図 3 - 2 - (2) - ③ - 9 L1 地震動に対する地点②の液状化判定結果

表 3 - 2 - (2) - ③ - 3 地点②の L1 地震による地盤変状

	F_L 法 (D_{cy} で算出)	地震応答解析
地震後沈下量	6.7 cm	5.5 cm
地震後残留水平変位	—	6.9 cm

続いて、図 3 - 2 - (2) - ③ - 10 と表 3 - 2 - (2) - ③ - 4 に地点②に対する L2 地震動の結果をまとめて示す。 F_L 判定結果を見ると、B、As1、As2 層の F_L 値がほぼ 0 まで減少しており、液状化の危険性が非常に高いと判定されている。平均有効応力を見ると、 F_L 判定で液状化と判定された B および As1 層で青色（平均有効応力が 10kPa

以下) となっている。せん断ひずみを見てみると、有効応力が大きく低下した B 層で非常に大きなせん断ひずみが発生し、残留水平変位も大きい。地震後の沈下量を見ると、やや地震応答解析の方が大きい。平均有効応力を見ると、 F_L 法では判定対象外となる 20m 以下にある As1 層 (砂層) でも有効応力低下がみられる (平均有効応力は 30kPa 程度で、表層のように液状化に達するまではいかない)。L2 地震動のように加速度が大きく、長時間継続する場合は、地盤深部にまで被害が及ぶ危険性があることを示唆している。

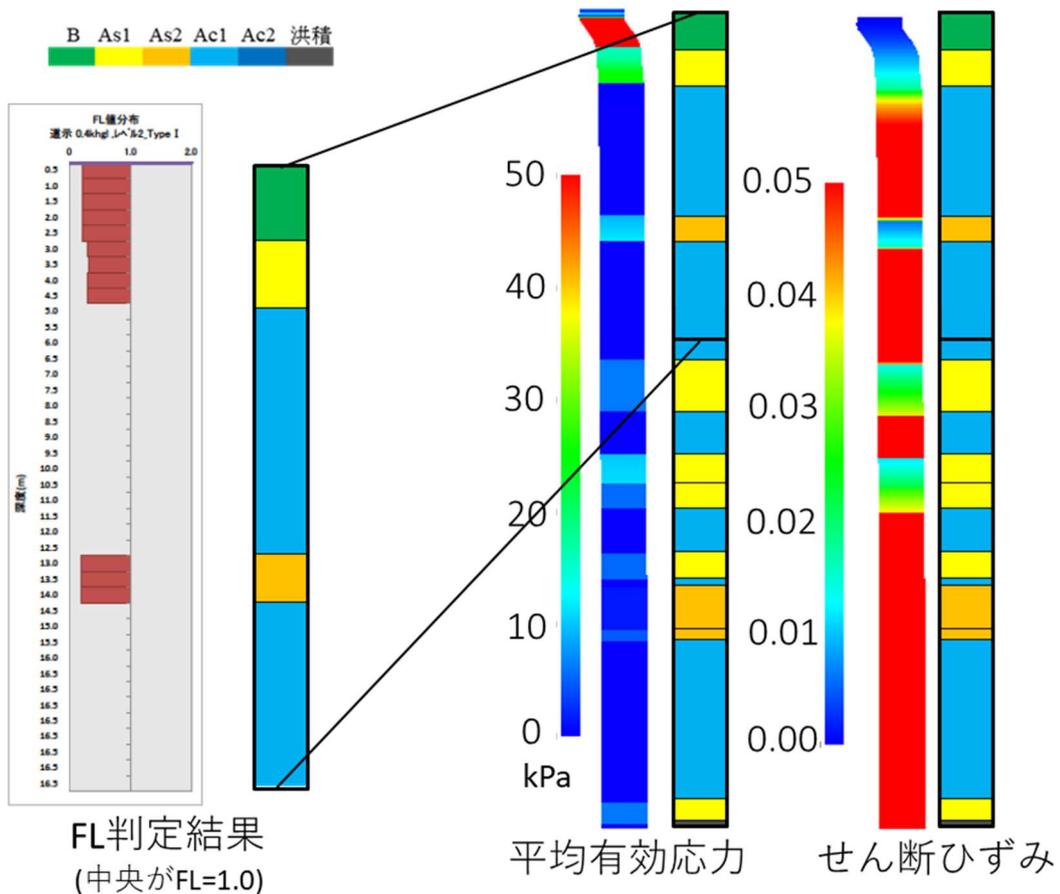


図 3-2-(2)-3-10 L2 地震動に対する地点②の液状化判定結果

表 3-2-(2)-3-4 地点②の L2 地震による地盤変状

	F_L 法 (D_{cy} で算出)	地震応答解析
地震後沈下量	12.8 cm	17.1 cm
地震後残留水平変位	—	50.9 cm

地点②の被害をまとめると、表層の B および As1 層は軟弱な状態にあり、地震動発生時は液状化の危険性が高いと言える。しかしながら、L1 地震動の場合は液状化の程度は小さく、沈下量や残留変位は小さい。一方、L2 地震動の場合は特に表層の液状化

程度が大きく、20cm 弱の沈下と 50cm 程度の残留水平変位が危惧される。 F_L 法による液状化判定結果と地震応答解析の結果は一致しているが、地盤変状を見ると地震応答解析のほうが被害の程度が大きい。20cm の段差が発生すると、救急車等の緊急車両の交通に支障をきたすことが危惧される。また、大きな水平変位が予想されており、地中の埋設管の損傷や構造物内の激しい揺れが心配される。

ここまでは F_L 法による判定結果と地震応答解析結果との比較のために、両者の結果がよく整合していた地点⑥と、深部砂層の有効応力低下や大きな水平変位がみられた地点②について細かに説明した。他地点の結果の詳細は省略するが、他地点の地層構成はほとんど地点⑥に類似しており、深部地層こそ異なっても、表層付近は液状化の危険性の高い埋め土や砂質土が支配的であった。このような地盤においてはいずれも、 F_L 法と地震応答解析はよく似た液状化判定および地震後の変状結果（やや地震応答解析の方が大きい傾向にあった）となっていた。しかしながら、地点②では L2 地震動を入力した際に 20cm 弱の沈下に加えて、50cm 程度の大きな残留水平変位が発生した。図 3-2-(2)-③-11 と図 3-2-(2)-③-12 は、今回入力した L2 地震動と、その時の地表面応答である。これらを見てみると、入力された地震動は同じでも、異なる地層を通過することで地表面では異なる応答が観測されていることがわかる。地点⑥と地点②両者の加速度の大きさはほぼ変わらないものの、地点⑥では周期 1 秒後半～2 秒の成分が卓越しているのに対し、地点②では周期 2 秒～3 秒の成分が卓越している。これは地点②では粘性土が厚く堆積していることが関係しており、この増幅された長周期成分が地表面での大きな揺れ（水平変位）につながった。

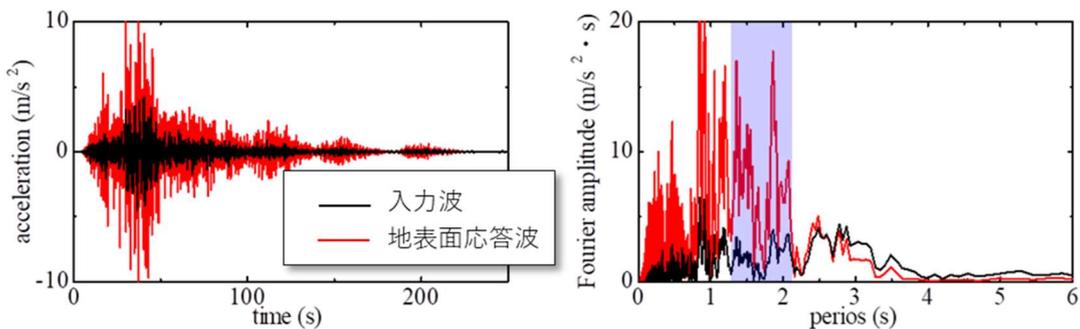


図 3-2-(2)-③-11 地点⑥における入力した地震動と地表面応答波

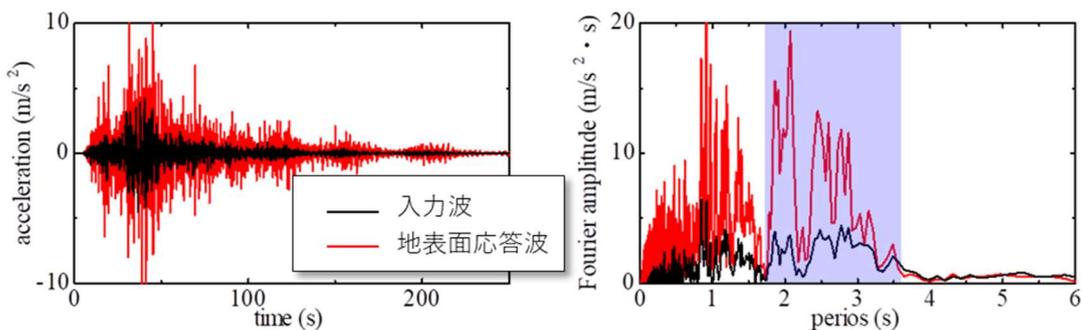


図 3-2-(2)-③-12 地点②における入力した地震動と地表面応答波

最後に、対象とした12地点の地盤変状のまとめを表3-2-(2)-③-5に、地形分類を図3-2-(2)-③-13に示す。干拓地・埋立地上にある地点②、⑪、⑫ではL2地震動で大きな変状が生じている。市中央の自然地盤上にある地点⑥と⑩は比較的小さな被害に収まっている。これらの違いは、堆積している軟弱粘性土層が厚いか薄いかの違いによると推測される。

表3-2-(2)-③-5 地震応答解析による地盤変状のまとめ

番号	L1		L2	
	側方変位	沈下量	側方変位	沈下量
①	4.1	4.8	26.9	8.9
②	6.9	8.9	50.9	19.7
③	0.3	9.9	24.1	11.0
④	3.9	9.8	38.9	11.9
⑤	0.1	1.8	2.1	4.5
⑥	3.6	5.4	14.0	7.5
⑦	1.8	5.2	28.8	9.0
⑧	0.0	8.0	26.3	13.4
⑨	2.0	3.9	4.4	6.6
⑩	2.7	4.5	7.0	6.5
⑪	2.1	6.8	38.0	10.5
⑫	1.7	12.1	19.1	18.7

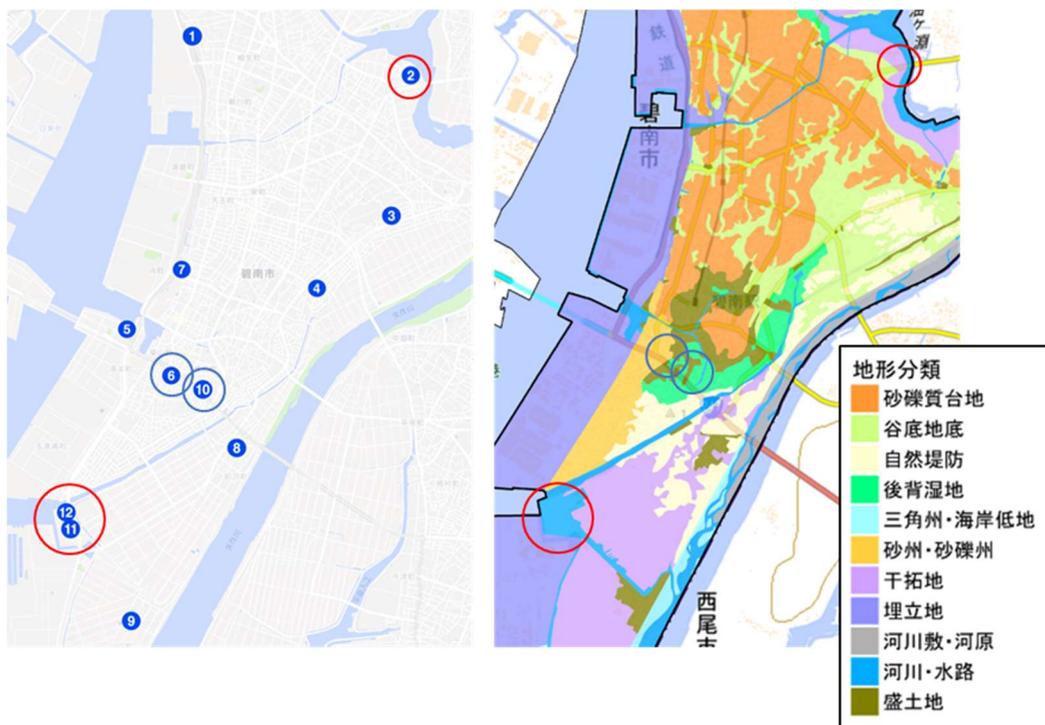


図3-2-(2)-③-13 12地点の地形分類

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務の結論と今後の課題を以下に述べる。

- 1) 碧南市を対象に地震応答解析を実施し、液状化危険度について従来判定法 (F_L 法) と比較したところ、液状化危険度について両者はよい整合性を示した。
- 2) 地震後の変状に着目すると、干拓地・埋立地上にある地点では特に L2 地震動で大きな変状が生じた。一方、市中央の自然地盤上にある地点では比較的小さな被害に収まった。干拓地や埋立地の臨海部では、深部で粘性土が厚く堆積しているため、特に地震動の長周期成分が共振によって増幅され、地表面での大きな揺れ (水平変位) が発生した。

本業務では、一次元モデル、つまり水平成層地盤を対象とした液状化危険度評価を行った。しかし、実際の地盤は地層が傾斜した地層不整形性を形成しており、地中内の波動伝播は複雑となる。また、河川堤防や建物などの構造物を考慮した場合、構造物直下の地盤は偏荷重によって、水平地盤に比べて大きなせん断を受けるはずである。これら影響を考慮した精緻な液状化被害予測を行うためには、多次元解析の実施が重要となってくる。

(e) 引用文献

- 1) Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elastoplastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol 42. No.5, 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, 771-790, 2008.
- 3) 碧南市、
<http://www.city.hekinan.lg.jp/soshiki/shiminkyoudou/bosai/6/1067.html>.
- 4) 愛知県、
<http://www.pref.aichi.jp/bousai/2014higaiyosoku/2014higaiyosoku.html>.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所、<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>.
- 6) 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 年度大会学術講演梗概集 2017 (構造 II)、407-408、2017.
- 7) 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、43-48、1987.

④ 建物被害

(a) 業務の要約

モデル地域の市庁舎 (10 階建て SRC・S 混合構造、杭基礎) を対象として、これまで実施してきた当該建物の強震観測記録に対するシミュレーション解析に基づく、杭、周辺

地盤を含む3次元フレームモデルの妥当性検証と当モデルを用いた南海トラフ地震に対する応答予測を行った。さらに、詳細は1-eに譲るが、1-eとの連携を考慮して、上記解析結果のVRによる活用方法について検討した。

(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想定地震に対する応答評価

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、これまでに実施してきた多点同時の地震観測結果を用いて、3次元解析モデルの妥当性検証を行うとともに、本解析モデルと推定地震波を用いた、南海トラフ地震に対する当該建物の詳細な応答予測を行う。

b) 対象建物と地震観測の概要

写真3-2-(2)-④-1に建物外観を、表3-2-(2)-④-1に建物概要、図3-2-(2)-④-1に断面図を示す。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である。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階にあたる塔屋は東端にあり、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。

解析モデルの検証に用いた地震観測記録は、図3-2-(2)-④-1に示す当該建物の1階と9階の2か所に2017年12月に設置した地震計、及び地表位置(GL)に設置された震度計によって得られている。観測開始時点より2019年3月25日までに9地震が観測されたが、地震によっては最大加速度がトリガレベルに達しなかったため、記録が得られていない場合もあった。そこで本検討では、これらのうち、地表、1階、9階の3点すべてで記録が得られている3地震((a)大阪府北部の地震(2018.6.18)、(b)静岡県西部の地震(2018.8.14)、(c)愛知県東部の地震(2018.10.7))を検証用に用いることとした。表3-2-(2)-④-2にそれらの地震の諸

元等を、図3-2-(2)-④-2に各地震の震源と最大加速度分布図（防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net)）¹⁾を示す。図中の★は震央、○は対象建物位置である。なお、これらの地震に対する碧南市の震度は1～2であった。図3-2-(2)-④-3～図3-2-(2)-④-5に各地震で観測された加速度波形と加速度フーリエスペクトルを示す。



写真3-2-(2)-④-1 観測対象とした庁舎建物の外観（南側より）

表3-2-(2)-④-1 計測対象建物の概要

面積：	建築面積 4,524.29 m ² 、 延床面積 18,008.59 m ²
階数：	地上10階（搭屋8～10階）、地下1階
高さ：	最高高さ 59.9m、 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

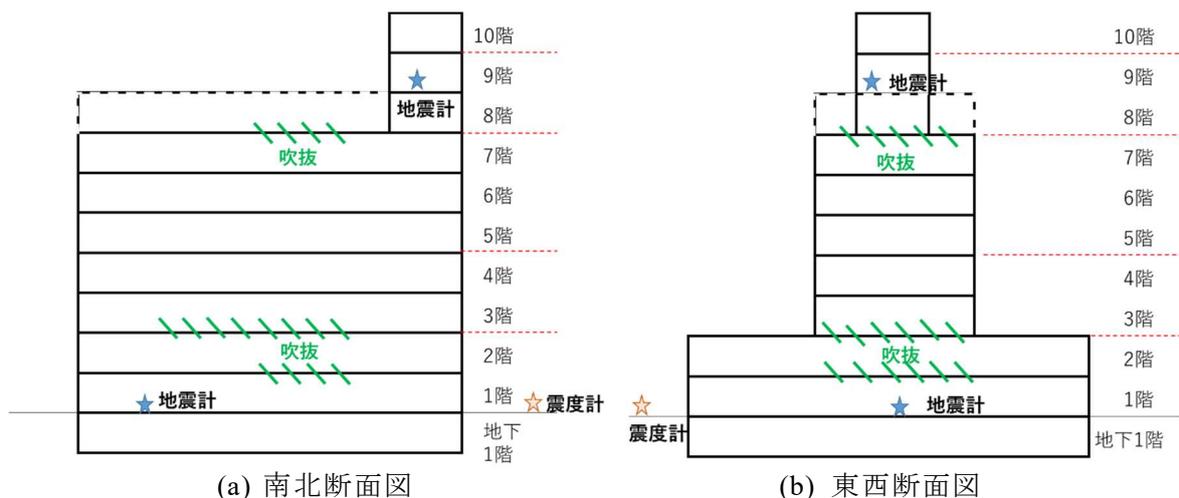


図3-2-(2)-④-1 対象建物の断面図、地震計（及び震度計）の位置

表 3-2-(2)-④-2 分析対象とする地震の諸元

発生日	時間	震央地名	北緯[度]	東経[度]	深さ[m]	震源との距離[km]	規模[M]	最大震度	碧南市の震度
2018.06.18	7:58	大阪府北部	34.843	135.622	13	128.6	6.1	6弱	2
2018.08.14	20:51	静岡県西部	34.752	137.497	37	59.0	3.9	3	1
2018.10.07	10:14	愛知県東部	35.037	137.573	42	67.6	5.0	4	2

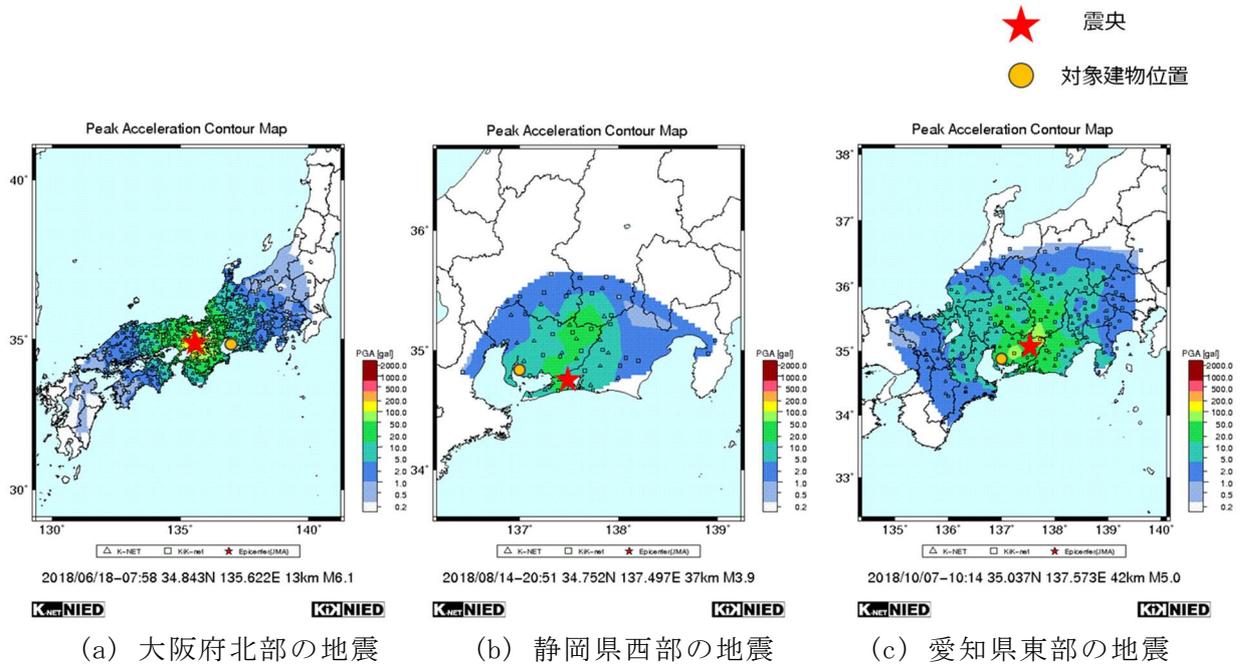
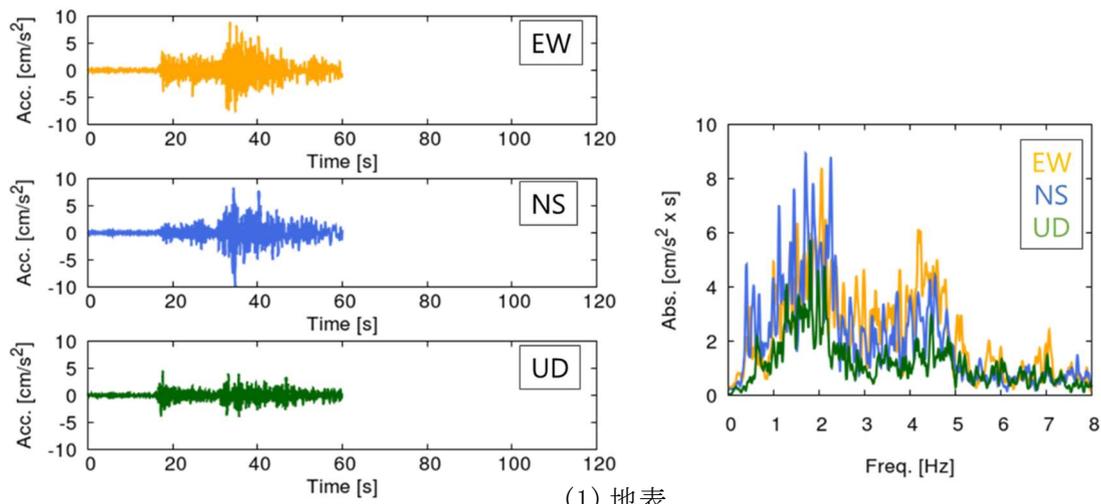
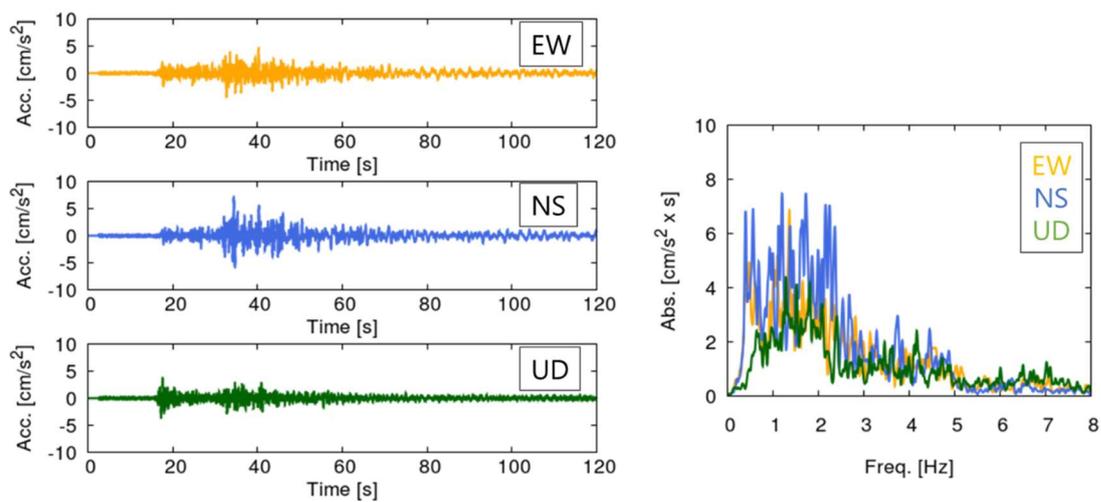


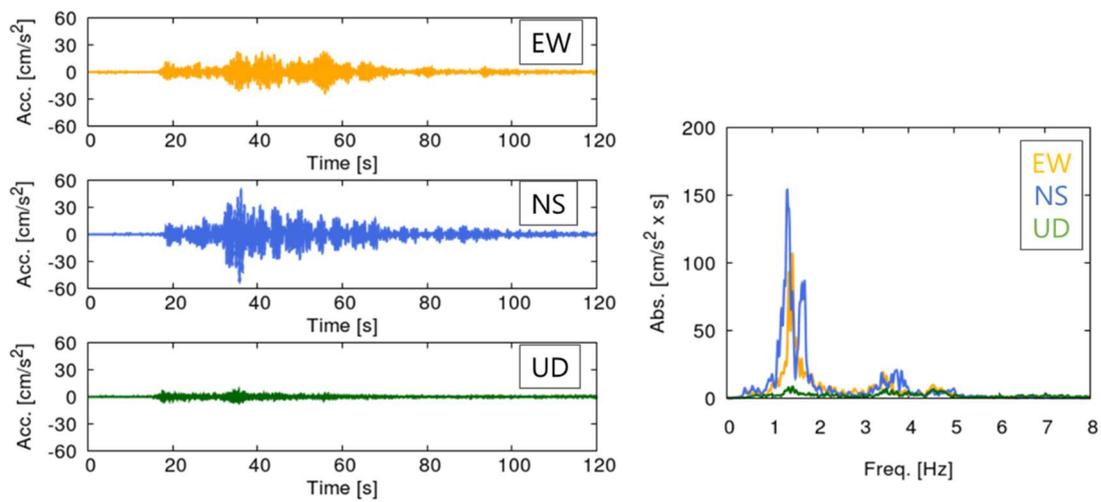
図 3-2-(2)-④-2 対象建物で観測された地震の震源と最大加速度分布図¹⁾



(1) 地表

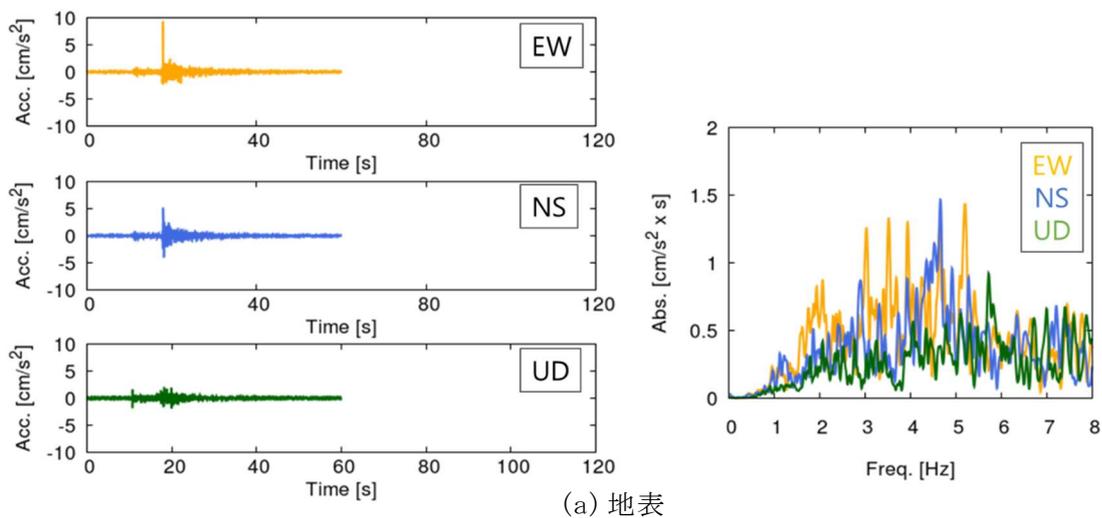


(2) 1階

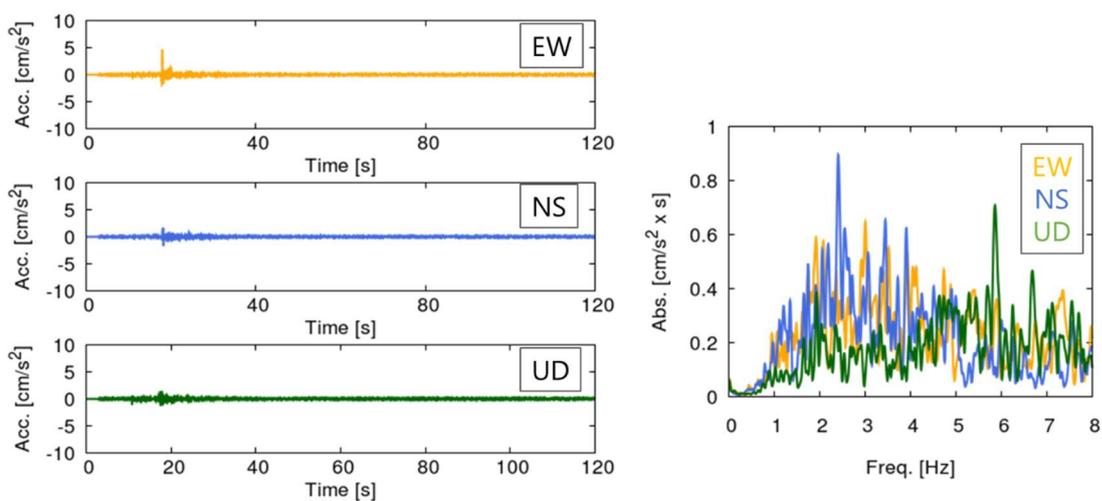


(3) 9階

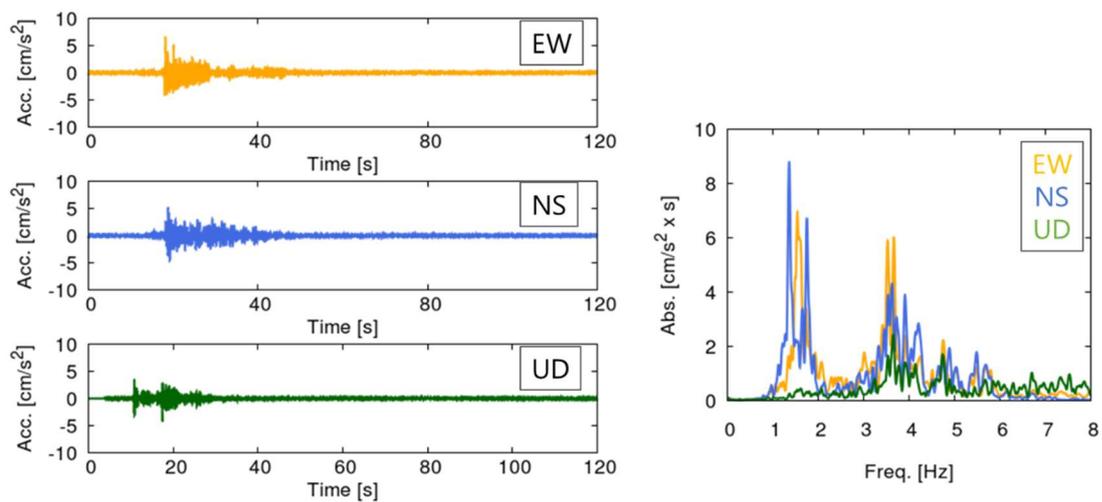
図 3-2-(2)-④-3 観測された加速度波形と加速度フーリエスペクトル
(a) 大阪府北部の地震)



(a) 地表

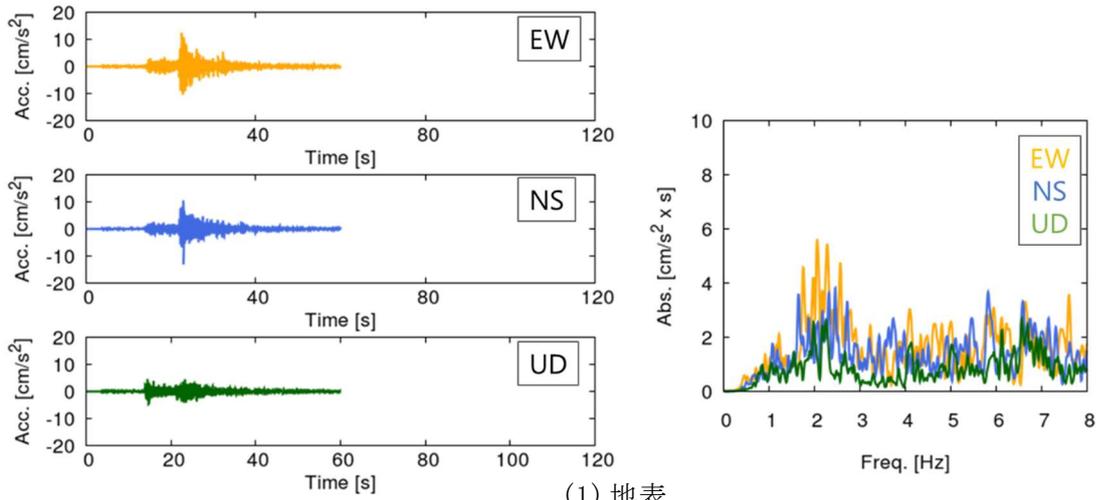


(2) 1階

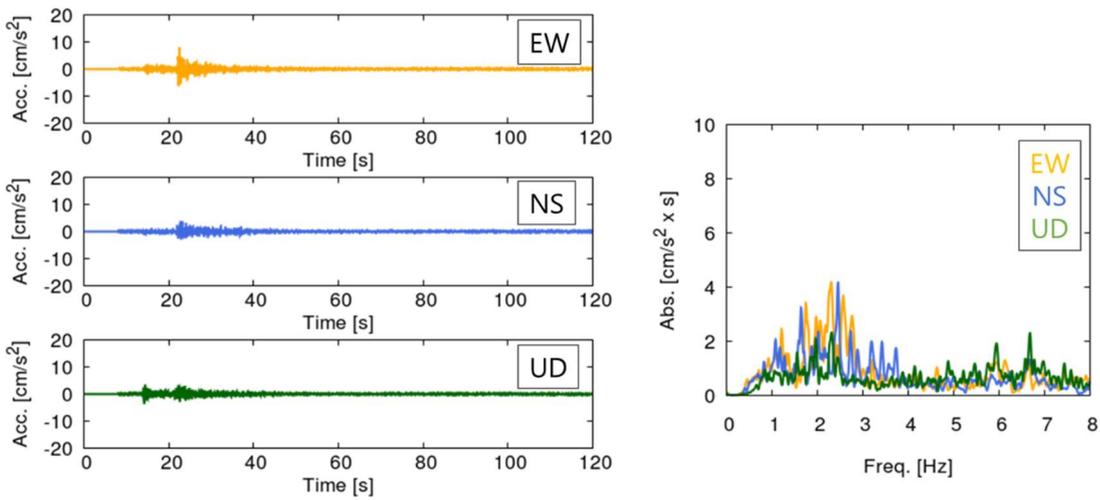


(3) 9階

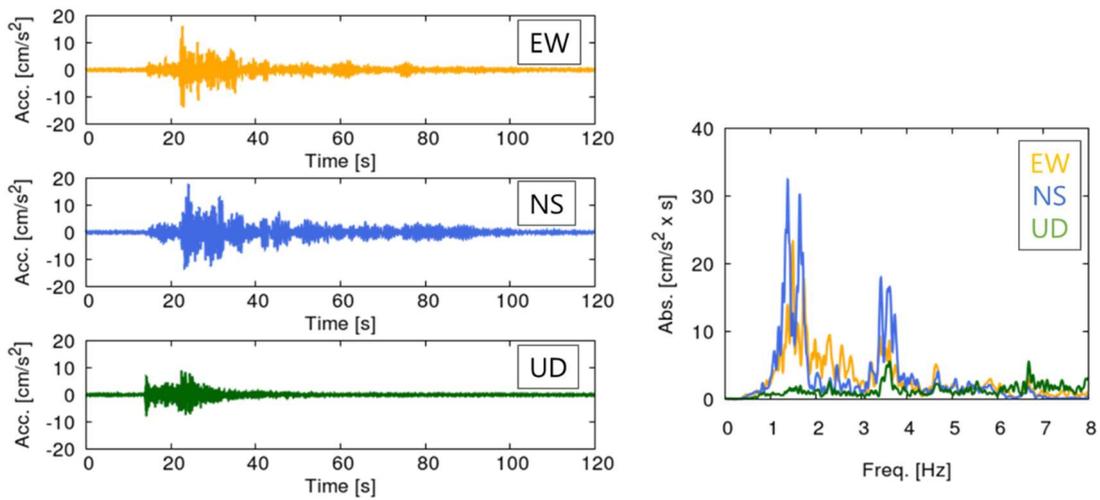
図3-2-(2)-④-4 観測された加速度波形と加速度フーリエスペクトル
(b) 静岡県西部の地震)



(1) 地表



(2) 1階



(3) 9階

図 3 - 2 - (2) - ④ - 5 観測された加速度波形と加速度フーリエスペクトル
(c) 愛知県東部の地震)

c) 解析モデル・解析手法の概要

通常の中低層建物の耐震設計においては、上部構造のみを扱うことが一般的である。また、高さ 60m を超える建物や免震建物の場合に実施されるような動的応答解析は設計フローに含まれていない。しかし、軟弱地盤に杭基礎で支持された中低層建物においては、杭とその周辺地盤間の動的な力のやり取り（いわゆる動的相互作用効果）が発生することから、実現象としては、地下や杭基礎を考慮しない設計とは異なる可能性がある。さらに、杭基礎については、大地震時に対する耐震設計は実施されないのが通常であることから、南海トラフ地震のような巨大地震が建物を襲った場合の基礎の健全性については、担保されていない。しかし、2016 年熊本地震でも明るみになったが、市庁舎建物や病院施設等、いわゆる災害時重要拠点となる建物に対しては、基礎を含めた被害像をなるべく具体的、かつ正確に推定することが、事前対策を講じるためにも重要である。

そこで本検討では、地盤と建物の非線形動的相互作用効果を考慮でき、かつ、建物の空間的位置の違いによる揺れの違いを評価するために、対象建物の内、上部構造と杭、及び杭周辺地盤を 3 次元のフレームモデルによりモデル化し、表層地盤、杭、及び上部建物の非線形性を考慮した非線形時刻歴応答解析により、当該建物の応答推定を行うこととする。

解析モデルの概念図を図 3-2-(2)-④-6 に示す。モデル作成に当たっては、文献 2) 等を参考とした。本検討では、上下方向の自由度を固定としている。質量は、集中質量とし、各階質量を各節点の支配面積に応じて分配した。柱・梁は、材端ばね要素に置換し、曲げモーメント-回転角関係に非線形性を考慮した。復元力特性は、ノーマルトリリニア型とし、骨格曲線は、文献 3) 等を参考に設定した。杭は、大よそ 1m~数 m に分割して、それぞれを材端ばね要素に置換し、曲げモーメント-回転角関係に非線形性を考慮した。復元力特性は、ノーマルトリリニア型とし、骨格曲線は、一般社団法人コンクリートパイル建設技術協会：杭の M - M 図・ M - ϕ 図・せん断力図作成システム Ver3.4.1 を用いて算定した。杭の各節点には、杭周地盤ばね⁴⁾を設置し、杭とその周辺地盤間の動的な力のやり取り（いわゆる動的相互作用効果）を考慮した。さらに、杭とその周辺地盤との相対変位に対して非線形性を考慮した。上部構造の減衰特性については、微動計測や地震観測記録の分析結果を参考に、1 次固有振動数に対して 2% の初期剛性比例型としてモデル化した。解析においては、杭先端で定義した入力地震動による慣性力と杭周地盤ばねを介して杭に作用する地盤震動に伴う相互作用力を同時に考慮する。対象建物の 3 次元フレーム解析モデルの鳥観図（杭周地盤ばねを除く）を図 3-2-(2)-④-7 に示す。解析にあたっては、清水建設（株）開発解析コード idac を使用させていただいた。

入力地震動は、観測記録の再現解析の場合には、杭先端位置の観測記録がないことから、剥ぎ取り解析により推定した。一方、南海トラフ地震に対する応答推定の場合には、本サブテーマ内で評価された工学的基盤における地震動を用いた。解析に用いる表層地盤の応答波については、文献 5)、6) を参考に表層地盤モデルを作成し、観測記録の再現解析では線形解析により、南海トラフ地震については、時刻歴非線

形解析（全応力解析）により算定した。解析諸元（密度、せん断波速度、基準歪み $\gamma_{0.5}$ 、最大減衰定数 h_{max} ）を図 3-2-(2)-④-8 に示す。

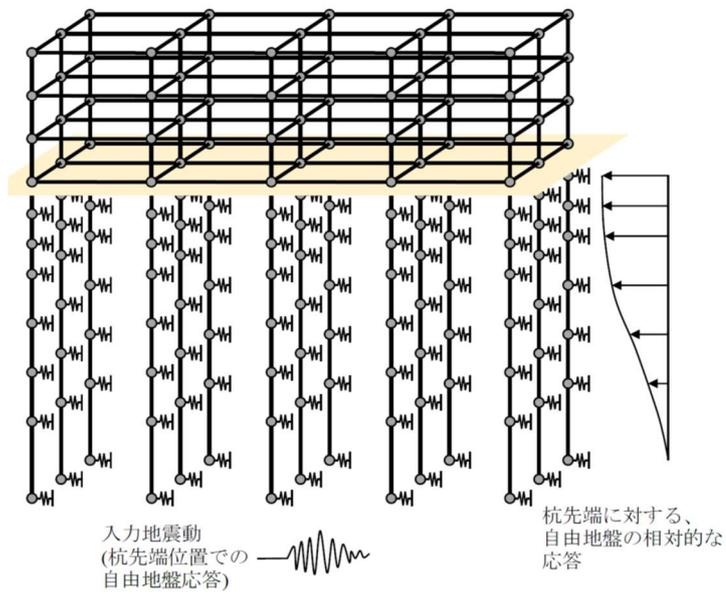


図 3-2-(2)-④-6 3次元フレームモデルの概念図

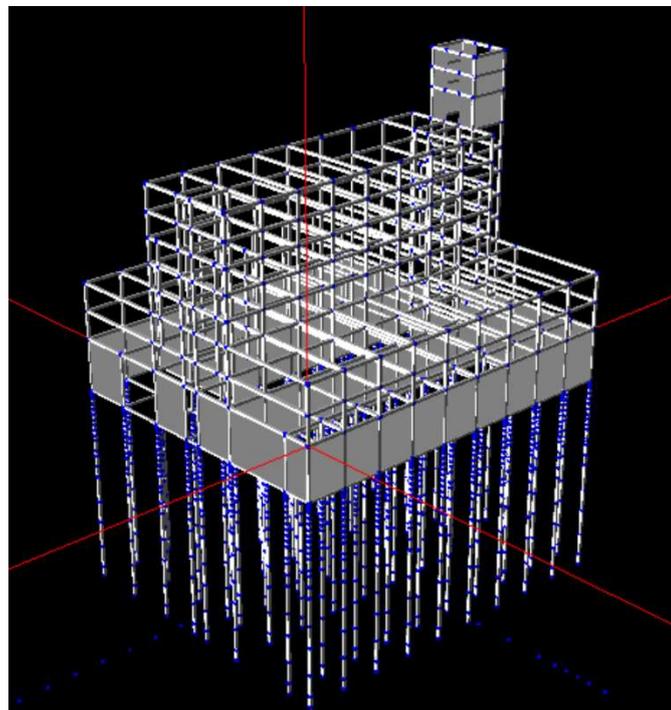
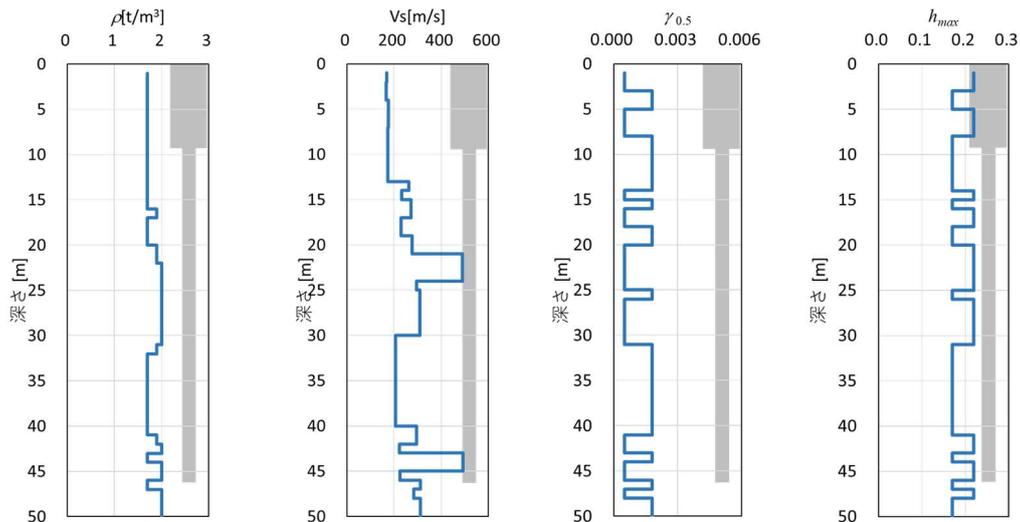


図 3-2-(2)-④-7 当該建物の3次元フレーム解析モデルの鳥観図



(a) 密度 (b) せん断波速度 (c) 基準歪み ($\gamma_{0.5}$) (d) 最大減衰定数 (h_{max})

図 3-2-(2)-④-8 評価地点の表層地盤モデル
(灰色は根入れ部と杭を表す)

d) 観測記録の再現解析による解析モデルの妥当性検証

ここでは、b)で示した3つの地震観測記録に対する再現解析を行い、c)で示した解析モデルの妥当性について検証する。図3-2-(2)-④-9は、解析モデルより得られた固有振動数、及び固有振動モード(1次～3次)である。1次がNS方向の1次モード、2次がEW方向の1次モード、3次がねじれモードとなった。表3-2-(2)-④-3に固有振動数を解析モデルと地震観測、常時微動計測結果と比較して示す。これより、水平1次については、両者はよく対応しているが、ねじれについては解析モデルの方が高めの評価になっていることが分かった。後述するが、ここでは検証していない水平方向2次モードを含めて、今後の検討課題である。

次に、解析モデルに対して静的増分解析を実施し、各層の層せん断力一層間変形角関係を算定した。その結果を図3-2-(2)-④-10に示す。図中には、設計図書²⁾に記載された層間変形角1/200における各層の保有水平耐力を赤の▲(高層部ほど保有水平耐力は小さい)で示している。また、静的増分解析結果より算定した初期せん断剛性について、解析モデルと一昨年度実施した常時微動計測結果に基づく推定値と比較した結果を図3-2-(2)-④-11に示す。保有水平耐力については、層間変形角1/200で比較すると、解析モデルの方が、EW方向では、低層部は低め、高層部は高めの評価、NS方向では、中低層部の対応がよく、高層部は高めの評価となっていることが分かる。一方、初期剛性については、EW方向では低層部で、NS方向では中層部でやや違いが認められる。

次に再現解析結果について述べる。図3-2-(2)-④-12～図3-2-(2)-④-14に3つの地震観測記録について、推定した杭先端位置における入力地震動の加速度波形と・擬似速度応答スペクトル($\zeta=5\%$)を示す。また、この地震波を用いて実施した表層地盤の地震応答解析結果のうち、最大加速度(A_{max})応答分布を図3-2-(2)-④-15に、最大相対変位(D_{max})応答分布を図3-2-(2)-④-

-16 に、最大せん断歪み (γ_{max}) 応答分布を図 3-2-(2)-④-17 にそれぞれ 3つの地震で比較して示す。上部建物の地震応答解析結果 (Cal.) を観測記録 (Obs.) と比較して、図 3-2-(2)-④-18~図 3-2-(2)-④-20 に示す。図では、1階と9階の加速度応答波形、相対速度応答波形、及び擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$) について比較して示している。図 3-2-(2)-④-18 より、(a) 大阪府北部の地震では、両階、両水平方向とも比較的良く対応していることが分かる。これは、遠方の浅い地震であるため、地震動に含まれる短周期成分がそもそも小さく、解析モデルと微動計測で対応が良好であった1次固有振動数付近の入力が支配的であったためと考えられる。その一方で、図 3-2-(2)-④-19、図 3-2-(2)-④-20 に示すように、評価地点近傍で発生した地震に対しては、特に NS 方向、9階における2次モードの応答に違いが認められる。また、1階については、0.1秒~0.2秒のピークが観測記録に比べて大きく、入力損失効果に違いが生じた。以上から、まだ検討の余地があるものの、作成した解析モデルで観測事実を大よそ説明可能であることが確認された。以降では、この解析モデルを用いて想定南海トラフ地震に対する対象建物の応答評価を実施する。

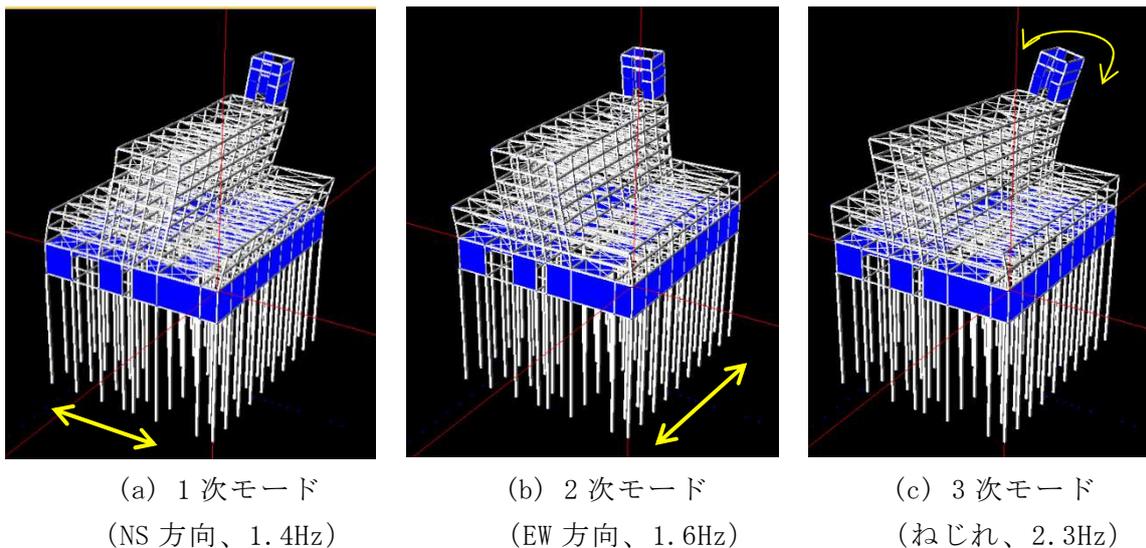
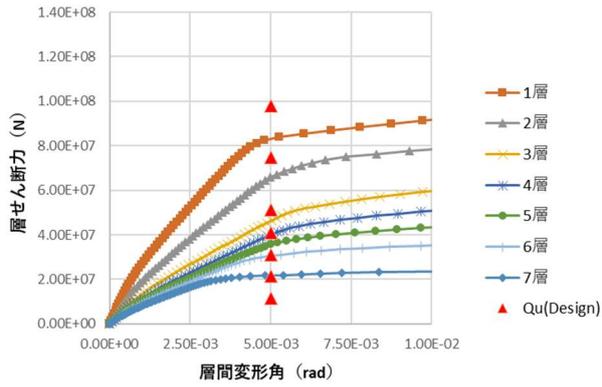


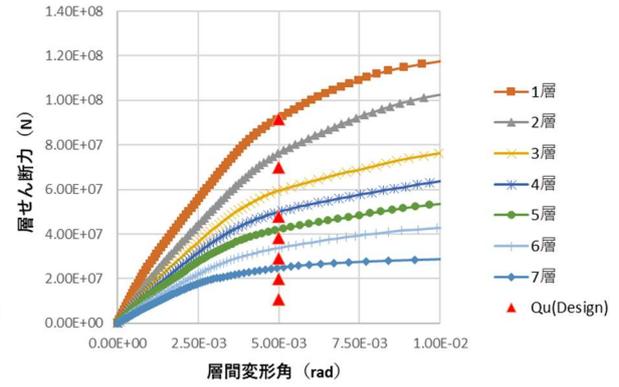
図 3-2-(2)-④-9 解析モデルより得られた固有振動モード (1次~3次)

表 3-2-(2)-④-3 建物の固有周期の解析モデルと地震観測、
常時微動計測結果の比較

	常時微動	地震(2018/6/16)	地震(2018/8/14)	地震(2018/10/01)	解析
NS方向	1.4Hz	1.3Hz	1.4Hz	1.4Hz	1.4Hz
EW方向	1.6Hz	1.5Hz	1.6Hz	1.5Hz	1.6Hz
ねじれ	1.8Hz	/			2.3Hz

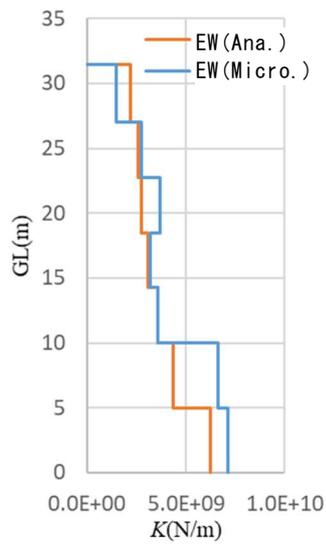


(a) EW 方向

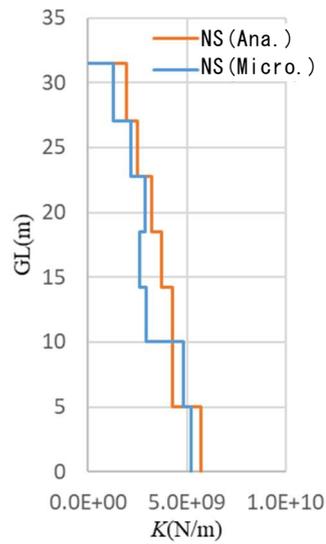


(b) NS 方向

図 3-2-(2)-④-10 静的増分解析結果に基づく解析モデルにおける各層の層せん断力—層間変形角関係と設計における保有水平耐力（層間変形角 1/200 時、▲）の比較

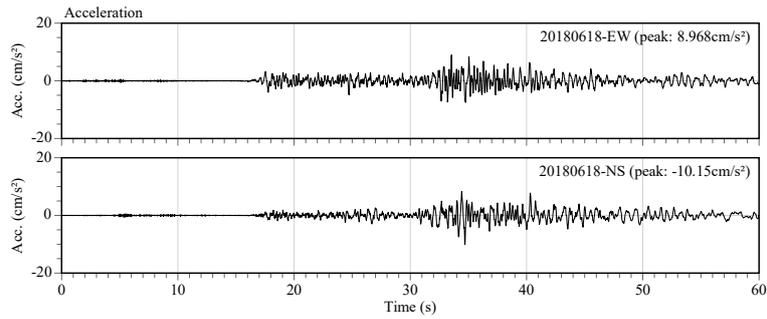


(a) EW 方向

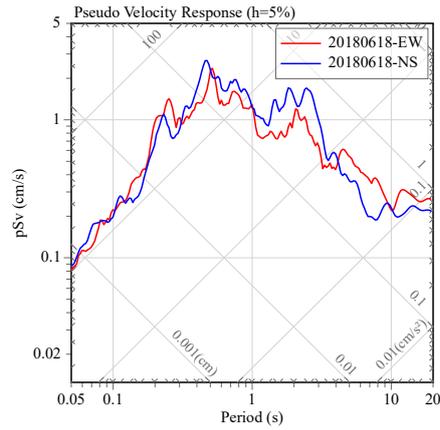


(b) NS 方向

図 3-2-(2)-④-11 初期層せん断剛性(K)分布の解析モデル (Ana.) と常時微動計測(Micro.)との比較

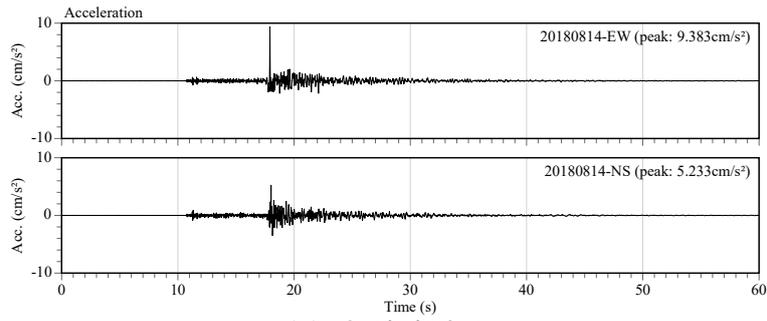


(1) 加速度波形

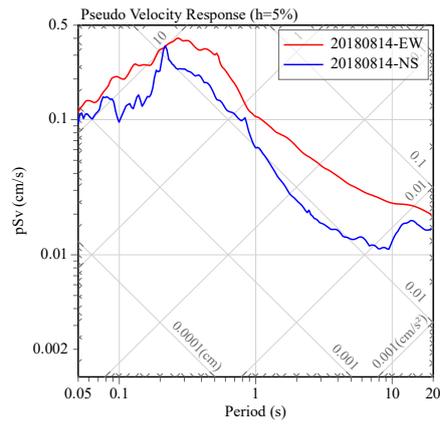


(2) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

図 3 - 2 - (2) - ④ - 12 推定した GL-46m における入力地震波
(加速度波形・擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)、(a) 大阪府北部の地震)

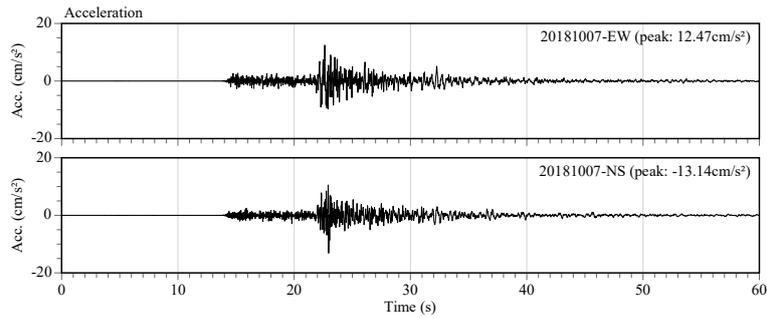


(1) 加速度波形

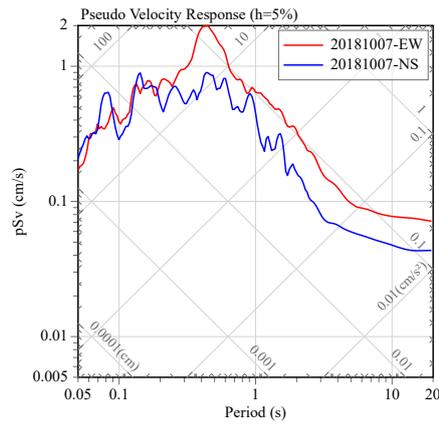


(2) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

図 3-2-(2)-④-13 推定した GL-46m における入力地震波
(加速度波形と擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)、(b) 静岡県西部の地震)

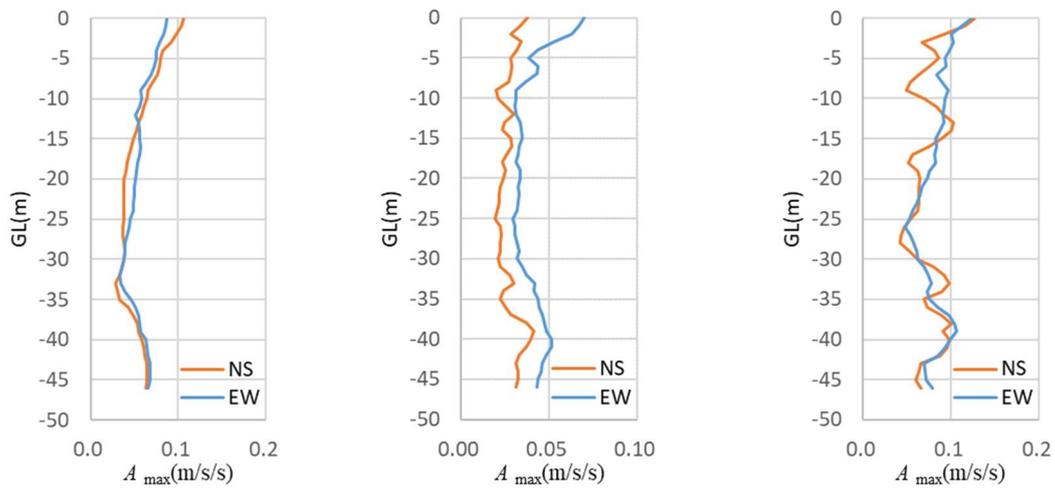


(1) 加速度波形



(2) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

図 3-2-(2)-④-14 推定した GL-46m における入力地震波
(加速度波形と擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)、(c) 愛知県東部の地震)



(a) 大阪府北部の地震

(b) 静岡県西部の地震

(c) 愛知県東部の地震

図 3-2-(2)-④-15 各観測地震における表層地盤の地震応答解析結果
(最大加速度 A_{max})

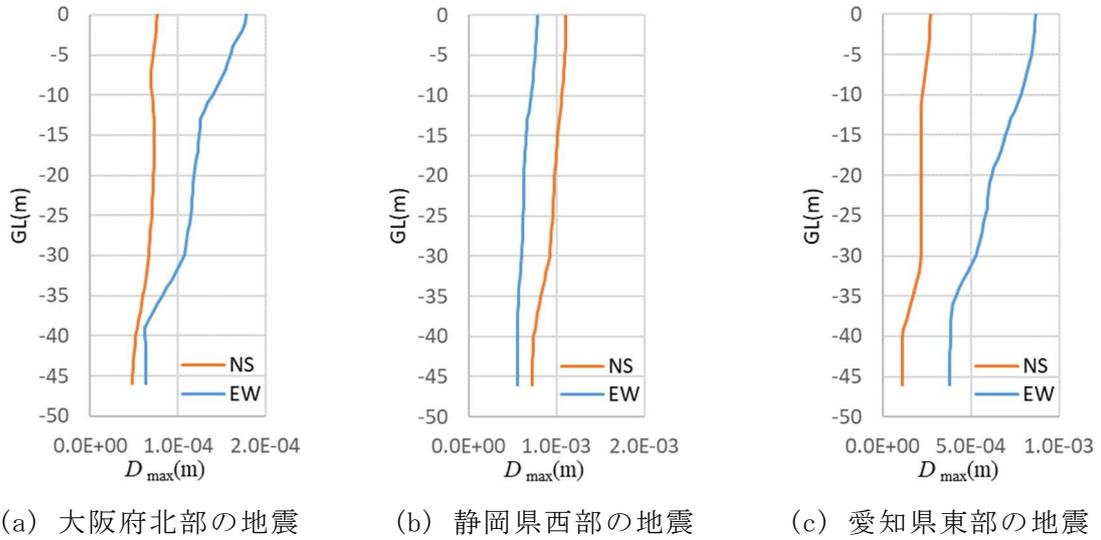


図 3 - 2 - (2) - ④ - 16 各観測地震における表層地盤の地震応答解析結果
(最大相対変位 D_{max})

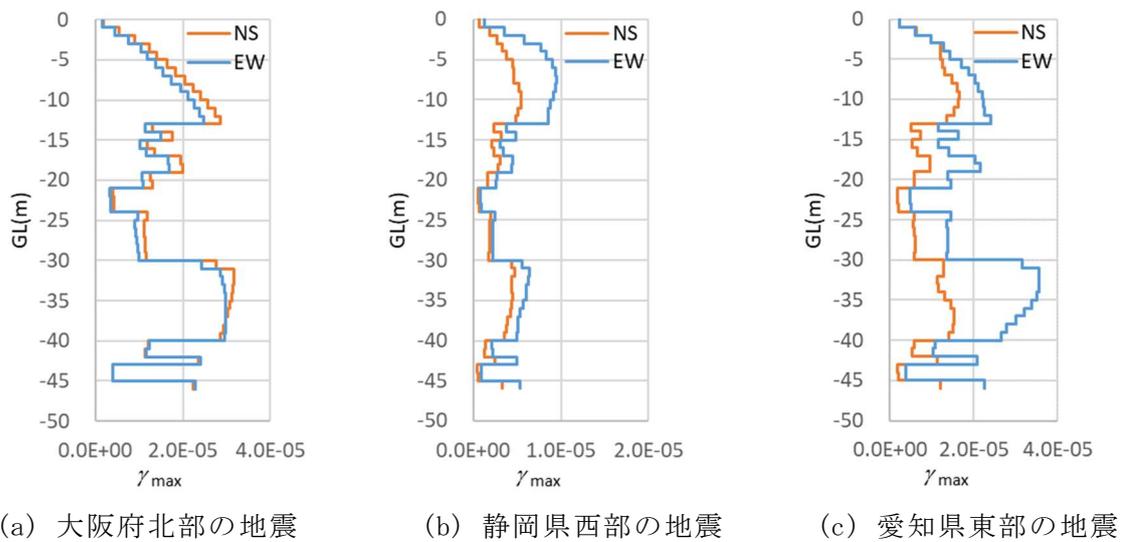
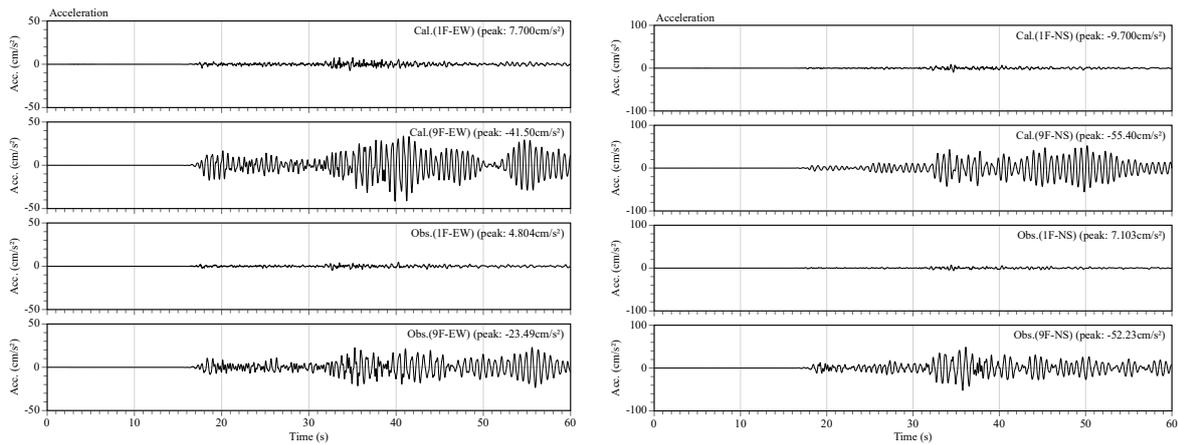
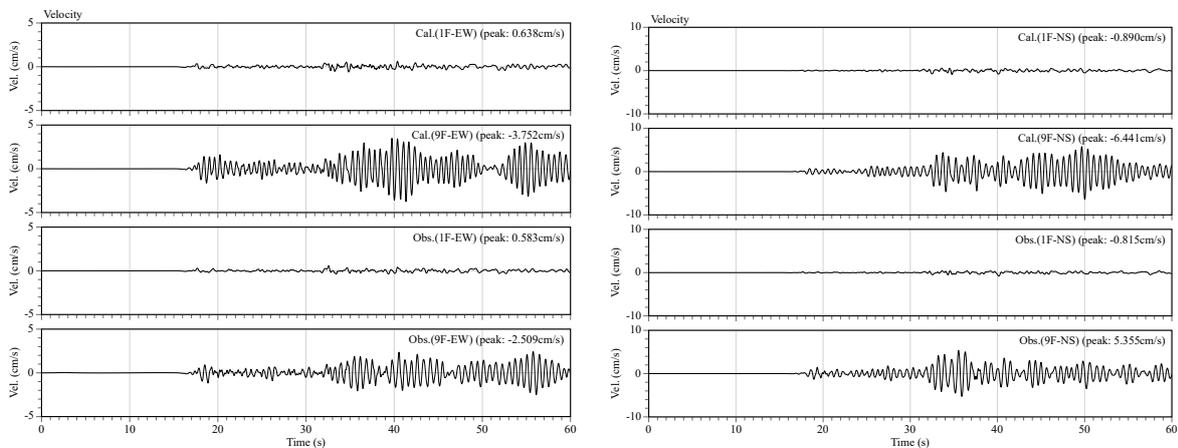


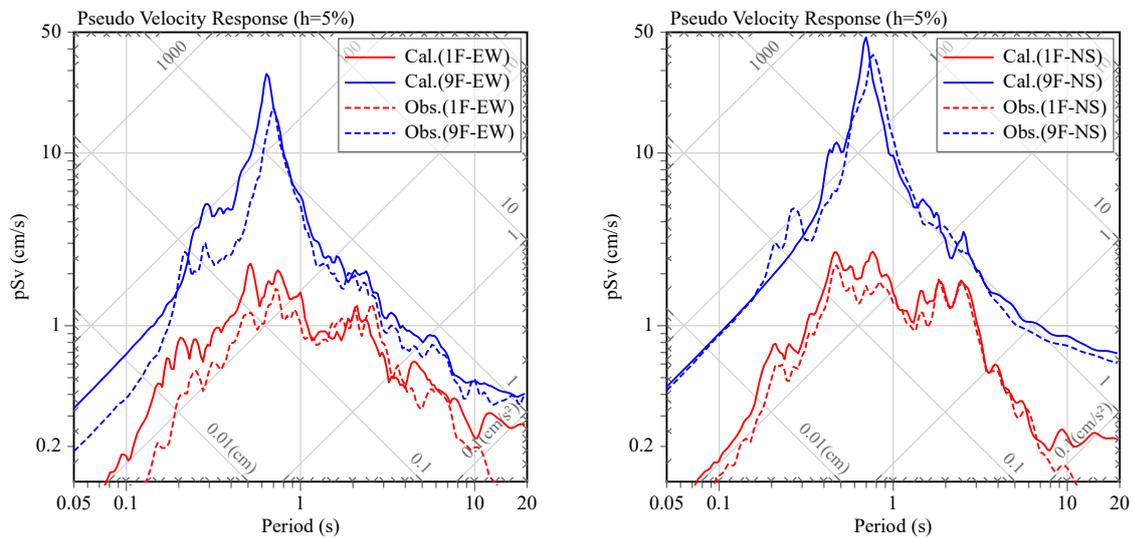
図 3 - 2 - (2) - ④ - 17 各観測地震における表層地盤の地震応答解析結果
(最大せん断歪み γ_{max})



(1) 絶対加速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)



(2) 相対速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)

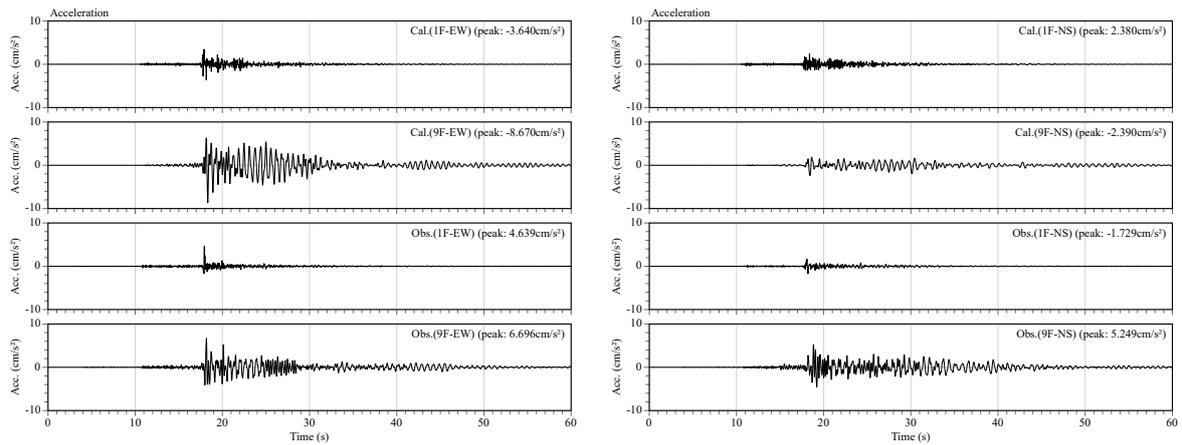


(3) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

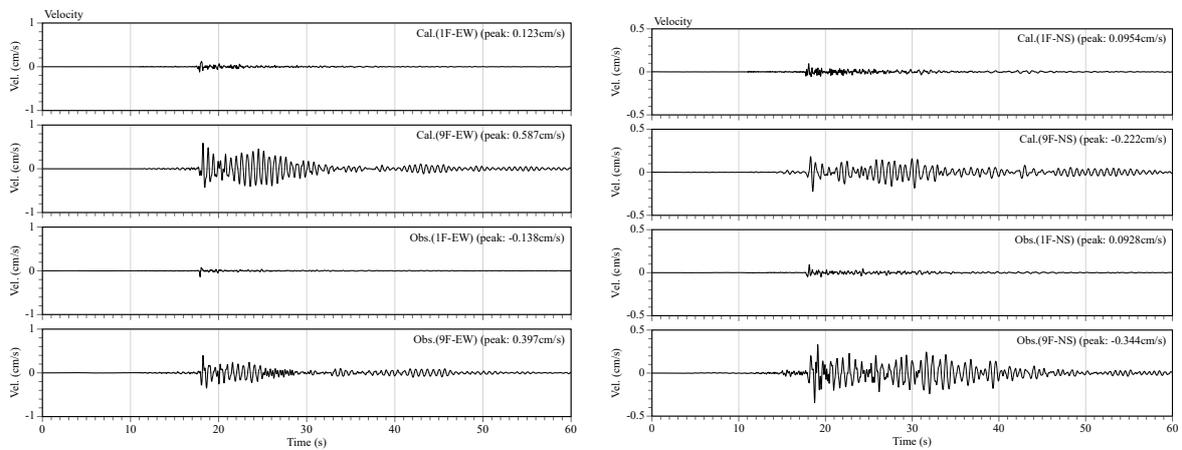
(a) EW 方向

(b) NS 方向

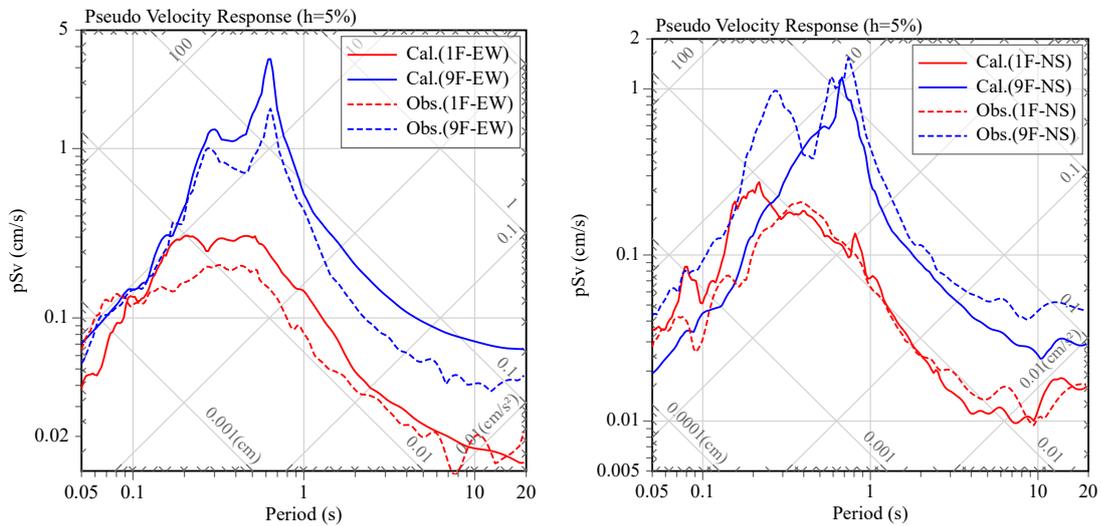
図3-2-(2)-④-18 上部建物の地震応答解析結果と観測記録との比較 (加速度波形と擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$), 1階と9階、(a) 大阪府北部の地震)



(1) 絶対加速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)



(2) 相対速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)

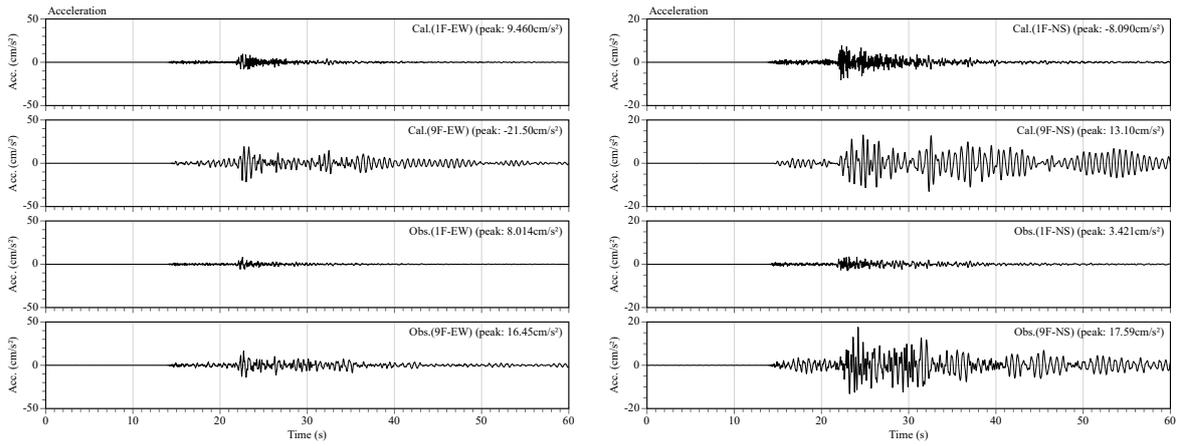


(3) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

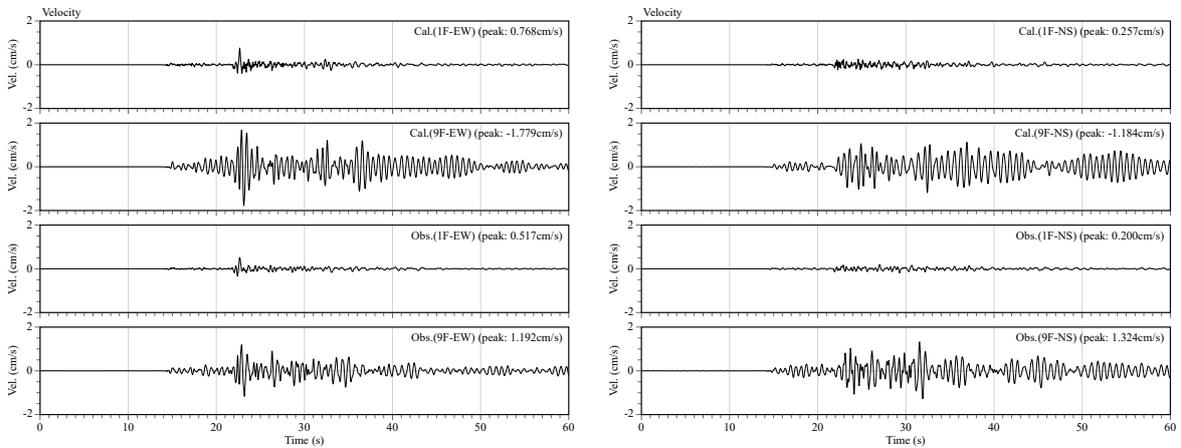
(a) EW 方向

(b) NS 方向

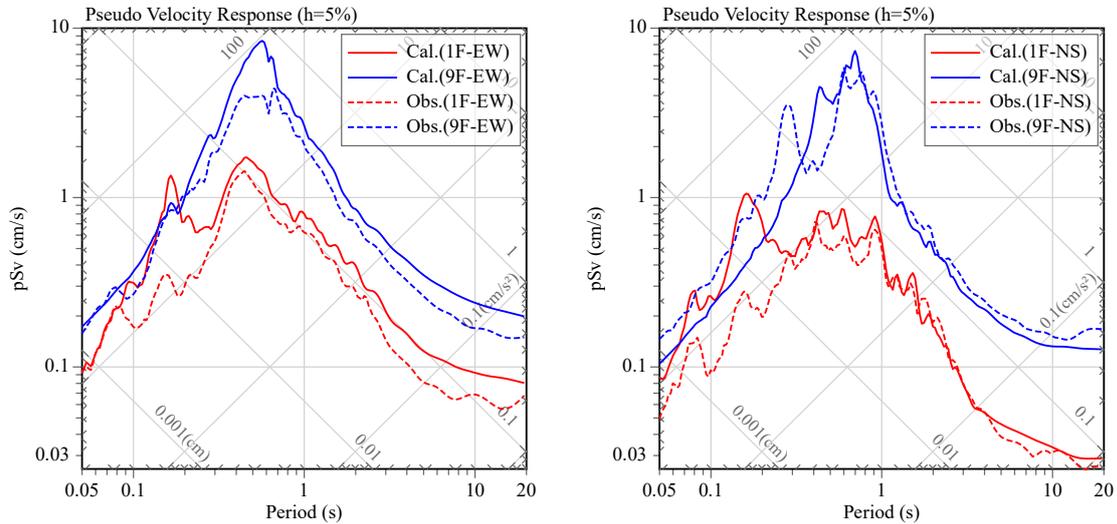
図3-2-(2)-④-19 上部建物の地震応答解析結果と観測記録との比較
(加速度波形と擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)、1階と9階、(b) 静岡県西部の地震)



(1) 絶対加速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)



(2) 相対速度応答波形 (上2列: 解析結果、下2列: 観測記録)



(3) 擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

(a) EW 方向

(b) NS 方向

図3-2-(2)-④-20 上部建物の地震応答解析結果と観測記録との比較 (加速度波形と擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$), 1階と9階、(c) 愛知県東部の地震)

e) 南海トラフに対する想定地震波を用いた建物応答予測

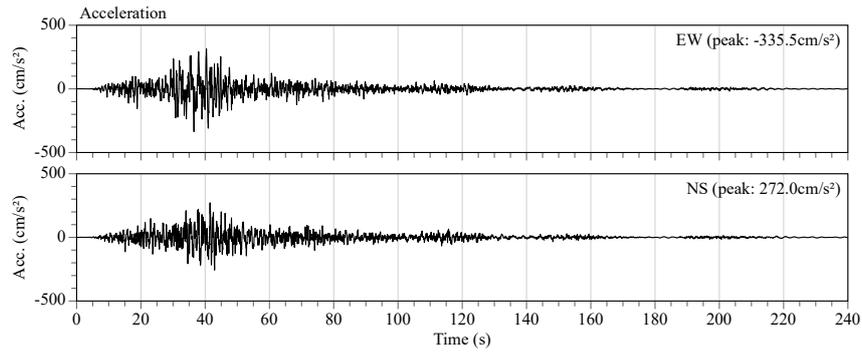
ここでは、b)で示した解析モデルを用いて実施した想定南海トラフ地震に対する対象建物の応答評価結果について示す。入力地震動としては、本サブテーマ内で評価された工学的基盤における推定波を用いた。図3-2-(2)-④-21にその加速度波形、速度波形、及び擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$) を示す。

地盤応答評価は、地盤の液状化を考慮しない全応力解析と考慮した有効応力解析の2通りで実施した。図3-2-(2)-④-22に想定した南海トラフ地震に対する表層地盤の全応力解析による地震応答解析結果を示す。これより、地表面位置における最大加速度は $4\text{ m/s}^2 \sim 5\text{ m/s}^2$ であることが分かる。また、地盤のせん断歪みは、最大となる GL-30m~GL-40m でも 1%以下と結果と推定された。

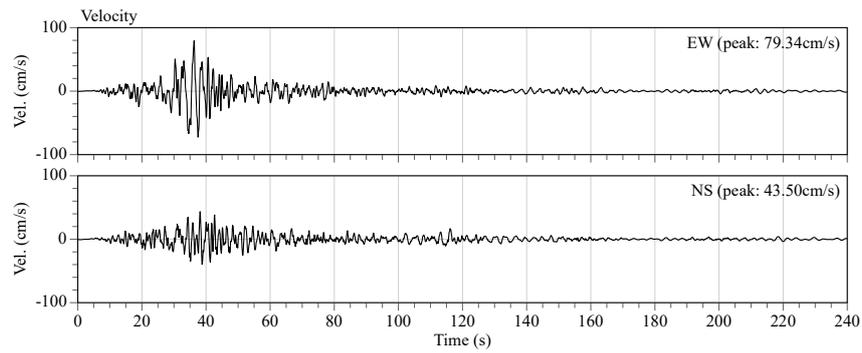
次に、想定南海トラフ地震に対する対象建物の応答評価結果について述べる。全応力解析による表層地盤応答を用いた場合の結果を図3-2-(2)-④-23と図3-2-(2)-④-24に示す。図3-2-(2)-④-23は、塔屋がある建物東側での(a)最大応答加速度分布、(b)最大応答相対速度分布、及び各層で平均した(c)平均最大応答層間変形角について示している。これより、両水平方向でほぼ同程度の加速度応答となり、7階(居室を有する最上階、GL27m)では、 7 m/s^2 程度(震度7相当)の揺れが生じる可能性があることがわかる。また、1階では $2\text{ m/s}^2 \sim 3\text{ m/s}^2$ 程度(震度5強程度)で、7階の半分以下の応答となっている。(c)平均最大応答層間変形角についてみると、3階~5階で1/200を超える応答を示した。ただし、レベル2のクライテリアである1/100には達していないことから、損傷は免れないが、倒壊するような被害は生じない可能性が高いと考えられる。ただし、上層部では、大きな加速度応答示すため、家具固定など、室内に安全性に配慮する必要がある。杭については、杭頭部での塑性化が認められた。ただし、杭頭部は鋼管巻きのRC杭となっていることから、靱性能は高いものと考えられる。図3-2-(2)-④-24は、上述の結果を3次元モデル上で可視化した結果である。左図は最大応答加速度、右図が柱・梁材の最大応答曲げモーメント分布図である。これより位置による応答の違いが確認できる。

このような解析モデルによれば、各節点、各部材での応答が評価できるため、任意の階、任意の位置にある居室の応答を抽出することが可能になり、例えば、居室ごとの室内家具応答等の予測やVRによる可視化システムへの活用が期待される(詳細は1-eに譲る)。

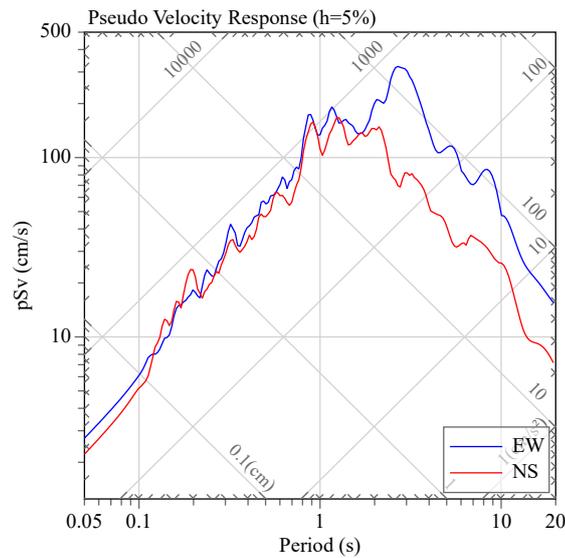
なお、一部の図の作成には、ViewWave⁷⁾を使用させていただいた。



(a) 加速度波形



(b) 速度波形



(c) 擬似速度応答スペクトル

図 3 - 2 - (2) - ④ - 21 解析に用いた入力地震波
 (加速度波形、速度波形、擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$))

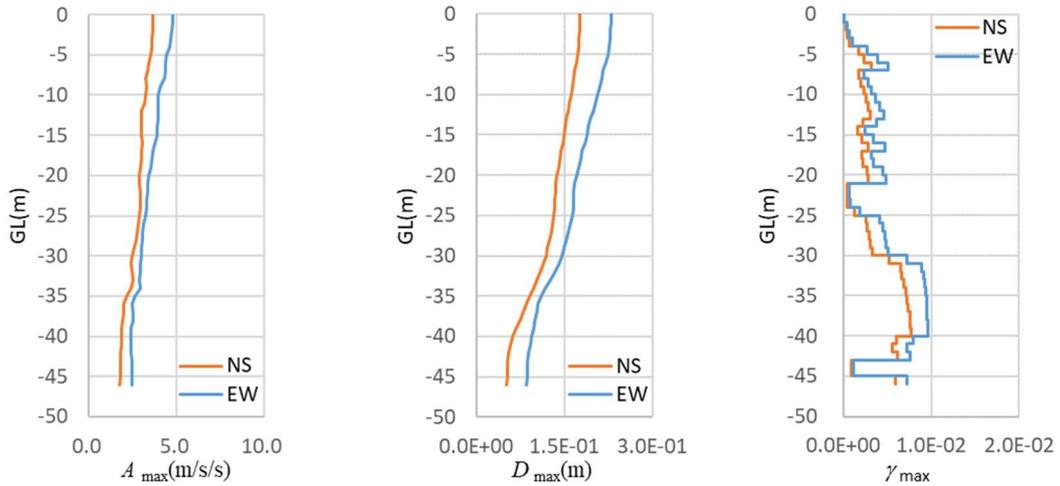


図 3 - 2 - (2) - ④ - 22 想定した南海トラフ地震に対する表層地盤の地震応答解析結果

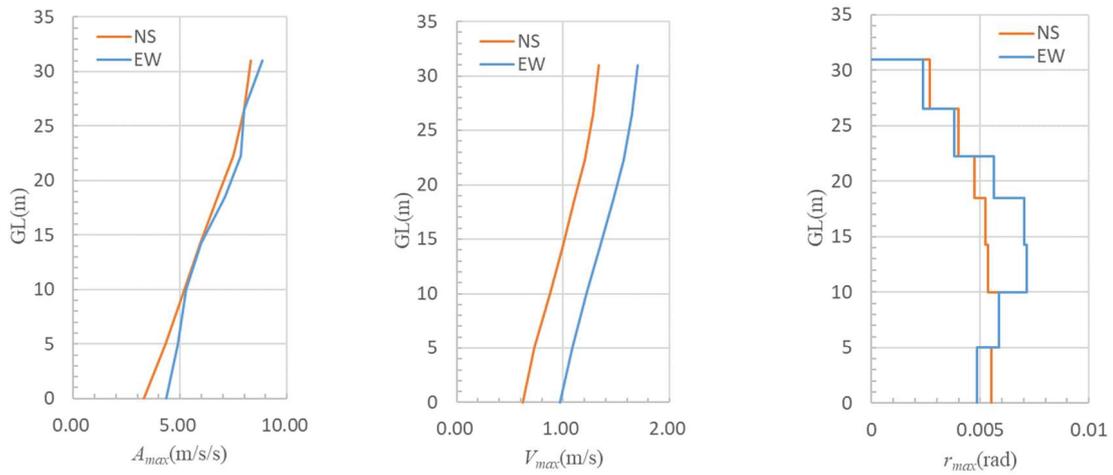
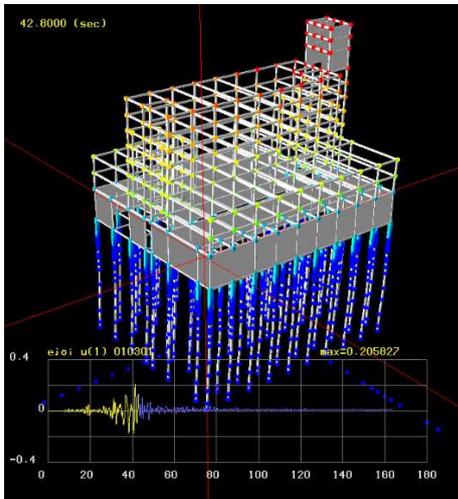


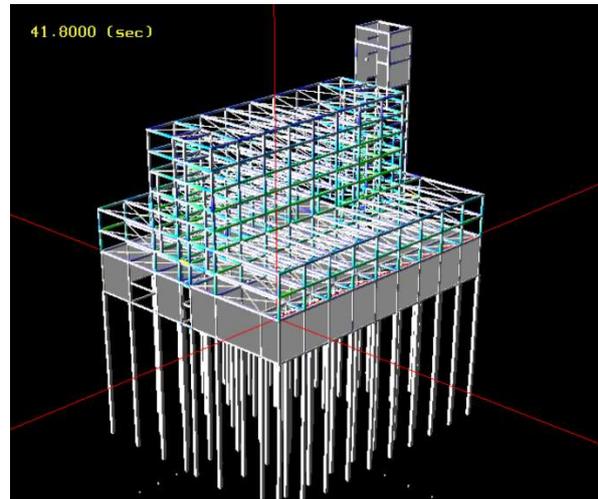
図 3 - 2 - (2) - ④ - 23 想定南海トラフ地震に対する対象建物の地震応答解析結果 (その 1)

赤： $8\text{m/s}^2 < A_{max}$
 黄： $4.5\text{m/s}^2 < A_{max} \leq 8\text{m/s}^2$
 緑： $2.5\text{m/s}^2 < A_{max} \leq 4.5\text{m/s}^2$
 青： $1.5\text{m/s}^2 < A_{max} \leq 2.5\text{m/s}^2$
 灰： $A_{max} \leq 1.5\text{m/s}^2$

赤：最大耐力 $< M_{max}$
 黄：終局耐力（塑性ヒンジ） $< M_{max} \leq$ 最大耐力
 緑：降伏耐力 $< M_{max} \leq$ 終局耐力（塑性ヒンジ）
 青：ひび割れ耐力 $< M_{max} \leq$ 降伏耐力
 灰： $M_{max} \leq$ ひび割れ耐力



(a) 各節点の最大応答加速度



(b) 各柱・梁部材の最大応答曲げモーメント

図 3-2-(2)-④-24 想定南海トラフ地震に対する対象建物の地震応答解析結果 (その2)

(c) 結論ならびに今後の課題

実在する愛知県内の自治体庁舎を対象として、これまでに実施してきた多点同時の地震観測結果を用いて、3次元解析モデルの妥当性検証を行うとともに、本解析モデルと推定地震波を用いた、南海トラフ地震に対する当該建物の詳細な応答予測を行った。再現解析の結果、まだ検討の余地があるものの、作成した解析モデルで観測事実を大よそ説明可能であることが確認された。さらに、南海トラフ地震に対する応答評価としては、7階（居室を有する最上階、GL27m）では、 7m/s^2 程度（震度7相当）の揺れが生じる可能性があること、1階では $2\text{m/s}^2 \sim 3\text{m/s}^2$ 程度（震度5強程度）で、7階の半分以下の応答となることが示された。最大応答層間変形角としては、3階～5階で $1/200$ を超える応答を示したが、レベル2のクライテリアである $1/100$ には達していないことから、損傷は免れないが、倒壊するような被害は生じない可能性が高いと推定された。ただし、上層部では、大きな加速度応答を示すため、家具固定など、室内に安全性に配慮する必要があることを指摘した。

最近の新しい庁舎は免震が増えているが、本建物のように新耐震で設計された中層建物もまだ多い。このような建物は早期に建て替えられることがないため、本研究のような検討を行い、1-aで述べられた構造モニタリングや、1-eのVRを用いた訓練などもあわせて、南海トラフ地震等の機能継続に向けた対策検討を使用者とともに行うことが重要と考えられる。

(d) 引用文献

- 1) 防災科学技術研究所、強震観測網(K-NET, KiK-net)、<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>.
- 2) 碧南市新庁舎建設事業_構造計算書、1997.

- 3) 日本建築学会、鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—許容応力度設計と保有水平耐力—（第2刷）、2015.
- 4) 日本建築学会、建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計、2006.
- 5) 碧南市、碧南市新市庁舎建設事業地質調査業務委託、1996.
- 6) 高橋広人、池田善考、辻岡秀樹、福和伸夫、名古屋市域浅部地盤のN値とS波速度の関係、第39回地盤工学研究発表会、2004.
- 7) T. Kashima、View Wave、<https://smo.kenken.go.jp/~kashima/ja/viewwave>.

⑤ ライフライン

(a) 業務の要約

平成31年度（令和元年度）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、具体的な地域での電力の早期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。

上水道については、碧南市で過年度に考案した各種減災対策の費用対効果分析を行い、各対策の実施判断に資する知見を得た。また新たな試みとして、某事業体の上水道システムを対象に、災害時支援拠点に対する、被災管路の優先的な修繕オペレーションについて検討を行った。

(b) 業務の実施方法

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、具体的な地域において電力復旧に加え緊急支援物資輸送からの観点、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。

上水道減災対策の費用対効果分析では、昨年度までに考案した上水道システムの減災対策について、実施に必要な「費用」と、見込まれる「便益」を、各種文献を参照しながら推計し、両者の比較を試みた。被災管路の優先的な復旧検討では、災害時に「入浴支援拠点」としての役割が期待される地域の一般公衆浴場（銭湯）に焦点を当てる。銭湯への水供給再開を優先して管路復旧を行った場合の早期化効果、ならびに入浴支援が早期に実施された場合に発現する社会的な便益の大きさについて考察した。

(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

電力に関して、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。

平成 23 年東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震、最近では 2019 年台風 15 号被害における電力の復旧過程でも明らかなように、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。また、ある観点からの道路・区間への優先順位付け方策として実施した試検討からは、復旧活動のタイミング（タイムライン）によっては、要求される観点（人命救助、維持、再建など）が変化するとともに、具体的な地点で、その地域に根差したより実際的なデータを用いて検討を行うことが重要となる。

昨年までに、具体的地域として碧南市において、電力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、発災直後の電力供給の観点から、ある道路・区間等に対する優先順位付けの方策についての検討を実施してきた。

検討では、碧南市において、発災直後にも機能維持のため電力の供給が求められる施設として、災対本部（市役所）、警察・消防に加え、碧南市地域防災計画¹⁾より、救急医療施設、下水排水機場施設、避難所施設をピックアップして（以下、「重要施設」と記す）、これら施設への電力供給を観点に、電力設備復旧のための人材・資機材の運搬に供するルートを生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、優先順位を付けた。

電力ネットワークでは、電力の性質として、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る²⁾。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。このことから、終端利用者への電力供給を確保するには、当該利用者への電力供給の基幹部となる変電所の機能維持・早期回復が、電力復旧の要となるとともに、基幹部となる変電所と当該利用者との間の配電ルートの確保が重要な一要素となる。

これらを踏まえ、重要施設および碧南市内の各変電所を電力復旧のための人材・資機材等の運搬先（終点）として選定し、人材・資機材の運搬元となる電力設備復旧部隊の拠点（始点）を、碧南市を管轄する中部電力・刈谷営業所として選定してルート

検索および重要となる道路・区間の検討を行うとともに、各変電所―各重要施設間についても同様の検討を行った。なお、碧南市周辺の各変電所については、住宅地図等から検索し、各重要施設と電力供給元となる変電所との関係は、各重要施設から距離的に最も近い変電所と仮定して検討を行った。

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³⁾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。

c) 災害対応物資の集積と配布経路との重ね合わせ

昨年度は、電力の早期復旧に着目して重要な道路・区間を抽出してきたが、道路に着目した場合、南海トラフ地震発災時には電力復旧以外のオペレーションにおいても重要な役割が求められていることは明らかである。

そこで、本年度は、昨年同様の手法を用いて、災害対応物資の集積と配布に着目して重要な道路・区間を選定し、電力早期復旧に重要な道路・区間と比較検討することにより、より信頼性の高い重要道路選定の方法を整理した。また、国・自治体が指定し被災時の早期啓開が求められている緊急輸送路が、それらのオペレーションを果たすうえで十分かどうか考察を加えた。なお、名古屋大学減災連携研究センターが主催運営している一般社会人向けの若手技術者セミナー「ESPER」にて、地域の自治体防災担当者とともに重要道路検索の方策についての議論を行い、本手法の社会実装に関する検討も実施した（図3-2-(2)-⑤-1参照）。

重要道路検索分科会とは

西三河9市1町などが構成員の「西三河防災減災連携研究会」で進めているプロジェクトで、緊急輸送道路に関する研究（緊急輸送道路PT）を進めている。

その中では、西三河9市1町で現在行っている**緊急輸送道路網の見直しは、誰のためのもの**であるか。

そのスピンオフとして、**GISデータを分析して自治体とも共有**することで見直し内容が適切であるかを検討、研究をしたい分科会である。

2

図3-2-(2)-⑤-1 ESPER 成果報告会資料（抜粋）

d) 災害対応物資の集積と配布に着目した重要道路の選定

災害対応物資の集積と配布に関しては、愛知県が定める「南海トラフ地震における愛知県広域受援計画」（平成31年3月）⁴⁾によった。計画においては、発災後から3日間は家庭等の備蓄と県及び市町村の備蓄物資により対応することとされている。しかしながら、地方公共団体の備蓄物資量のみでは必要物資量を迅速に確保することが困難となることが想定されるため、国は、被災府県からの具体的要請を待たず、避難所避難者への支援を中心に必要不可欠と見込まれる物資について、4日目～7日目に必要となる物資量を、発災後3日目までに府県の広域物資輸送拠点まで届けることとしている（以下「国のプッシュ型支援」とする。）。これを受けて、県は、国のプッシュ型支援により広域物資輸送拠点に運ばれた物資については、市町村からの具体的要請を待たず、不足量の割合等に応じて、市町村が設置する物資集積拠点（以下「地域内輸送拠点」という。）まで届けることとなっている。

今回の検討では、広域物資輸送拠点から地域内輸送拠点、地域内輸送拠点から避難所を始点・終点としたルートを検索し、災害対応物資の集積と配布に着目して重要な道路・区間を選定することとした。

図3-2-(2)-⑤-2に国・自治体が指定する緊急輸送路、図3-2-(2)-⑤-3に災害対応支援物資の集積と配布経路を示す。西三河全域を示しているため詳細の判別は難しいが、緊急輸送路だけでは物資を効率良く末端まで届けることは困難であることが推定される。

なお、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。このような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で期待されるといった前提条件での考察であるということに注意が必要である。

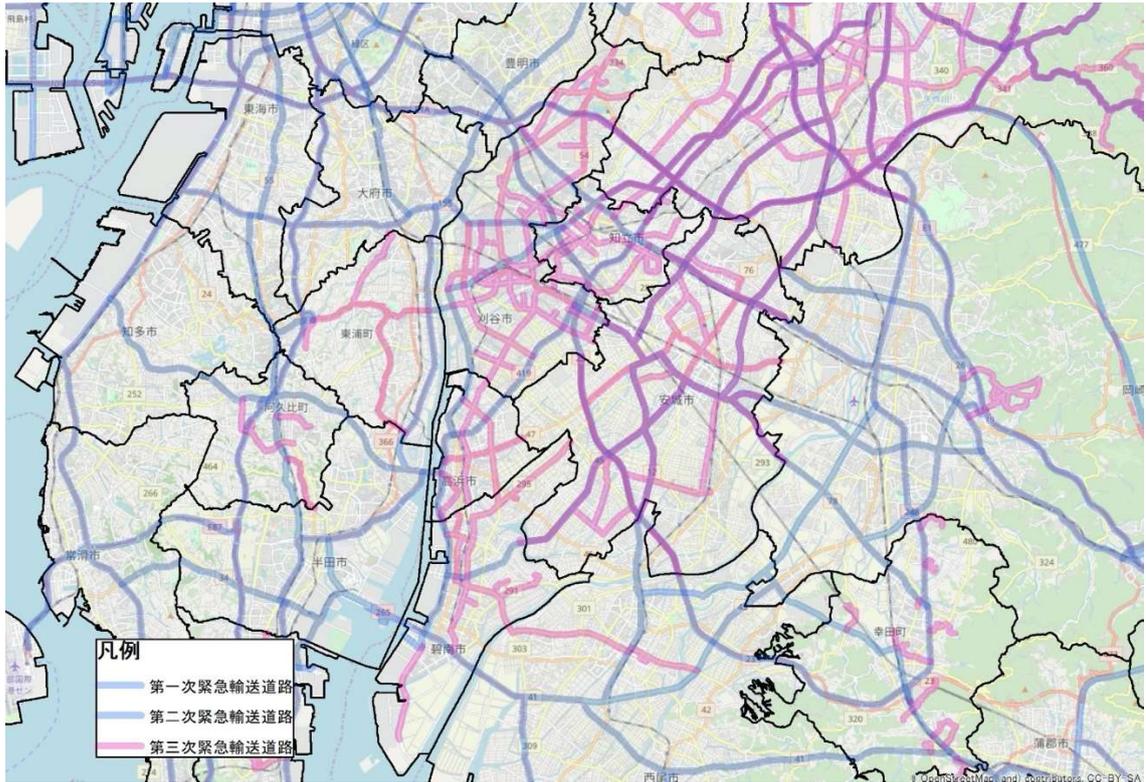


図 3-2-(2)-⑤-2 国・自治体が指定する緊急輸送路
(道路情報として、文献 5, 6) を使用)

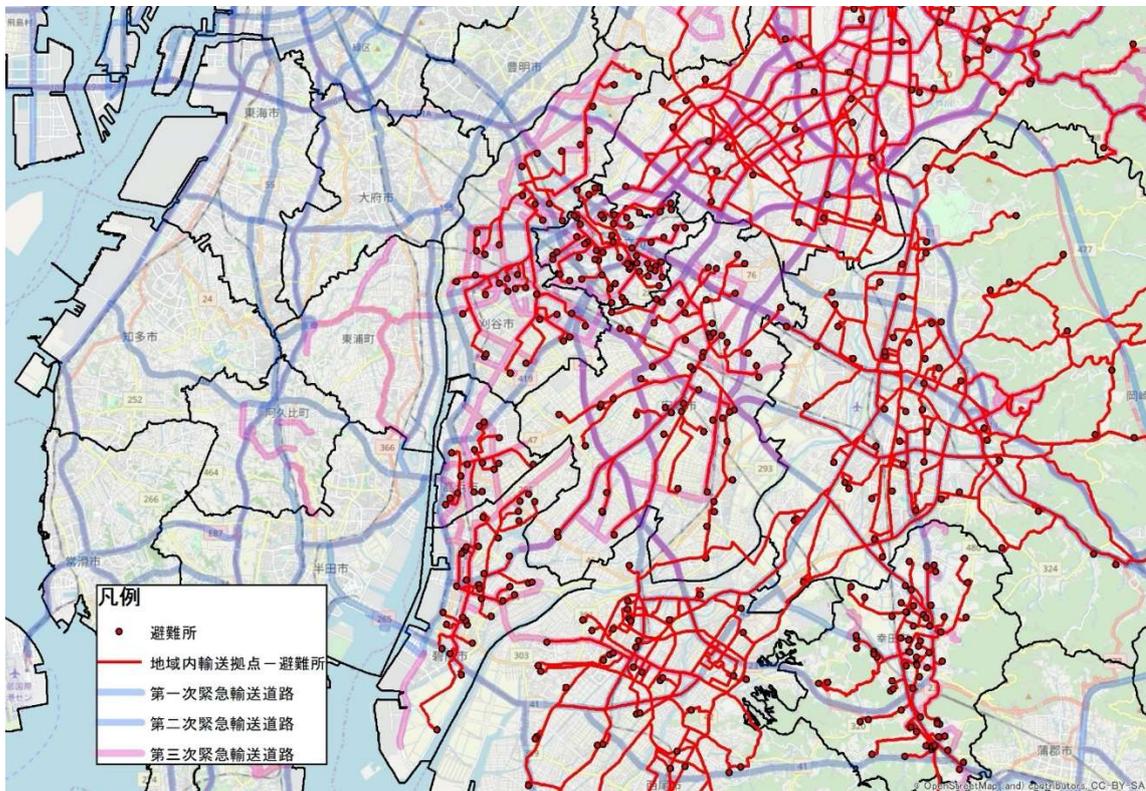


図 3-2-(2)-⑤-3 災害対応支援物資の集積と配布経路
(道路情報として、文献 5, 6) を使用)

e) 電力復旧に供する重要道路との重ね合わせ

図3-2-(2)-⑤-4に災害対応支援物資の集積と配布経路と電力復旧ルートとの重ね合わせを示す。それぞれの目的別に重要ルートが重なったり、全く別ルートであったりと、一義に重要道路が選定できない状況が見える。また、前項同様、緊急輸送路だけでこれらのオペレーションを完遂することには無理があると見受けられる。

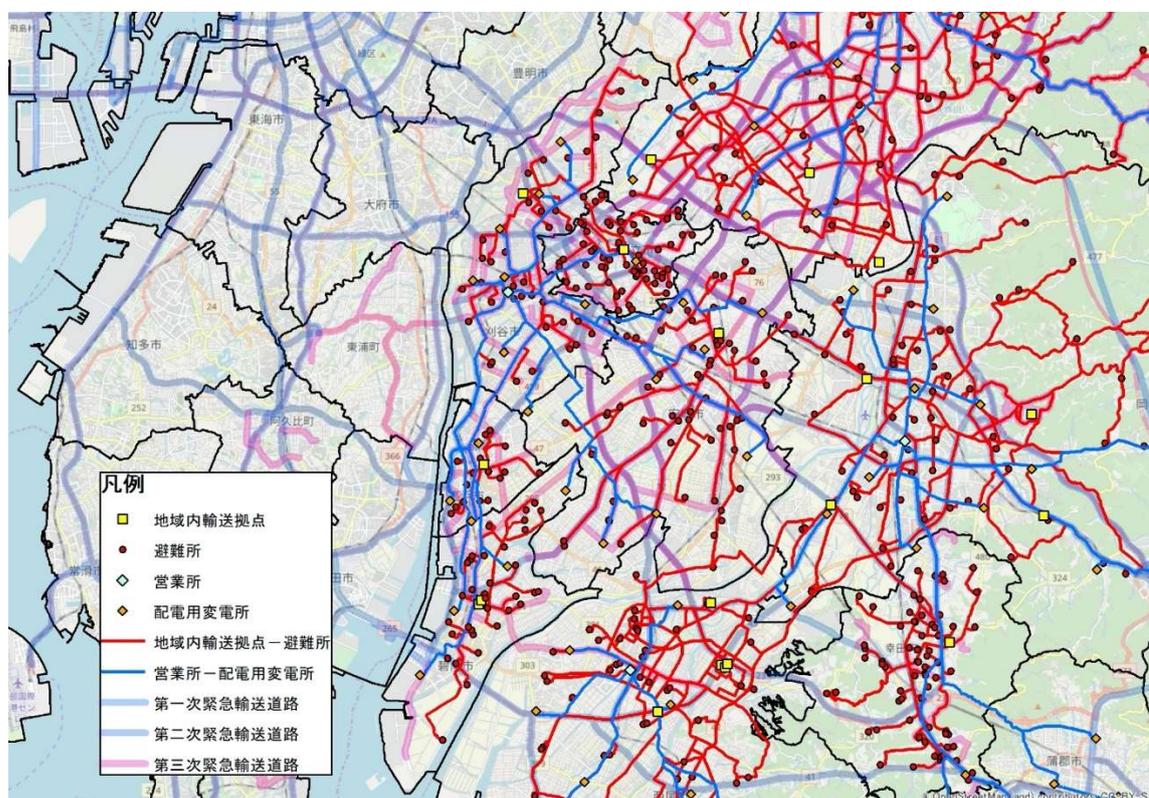


図3-2-(2)-⑤-4 災害対応支援物資の集積と配布経路+電力復旧ルート
(道路情報として、文献5),6)を使用)

図3-2-(2)-⑤-5に災害対応支援物資輸送と電力復旧(西三河西部拡大)を、図3-2-(2)-⑤-6に災害対応支援物資輸送と電力復旧(碧南市拡大)を示す。両図とも判別しやすいように、広域物資輸送拠点から地域内輸送拠点を緑線、地域内輸送拠点から避難所を赤線、電力復旧拠点から変電所を青線とし、変電所から重要拠点ルートは省略した。同様に、一義には重要道路を選定できないが、重要な動線の定性的な特徴をつかむことができる。

碧南市は、東は矢作川に、西は衣浦湾に挟まれた半島の形状で、その地整的に南北を繋ぐルートが重要となることは明らかであるが、本検討からも、どの目的を達成するかに問わず刈谷市から碧南市を結ぶ南北のルートが相対的に重要となる結果となっている。また、碧南市と刈谷市を結ぶ主な南北のルートとしては、R247、R419があり、これらは、第一次緊急輸送路として指定されているが、ハザードとの関係を見ると、液状化危険度の比較的高いエリアを通過している。一方で、本検討結果は、比較的液状化危険度の低いエリアを通り、南北を結んでいるが、当該ルートは、大部分が刈谷市・高浜市・碧南市における第三次緊急輸送路とされているものの、高浜市・碧

南市間の一部分などでは緊急輸送路とはされていない区間もある。道路というものの性質上、首尾繋がることで使いうるものである以上、このような区間がきちんと繋がり、非常時にもきちんと使いうるということには大きな意義があると思われる。

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なものと考えられる。

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。このような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ものと期待される。

現在、西三河9市1町などが構成員の「西三河防災減災連携研究会」において、緊急輸送道路に関する検討（緊急輸送道路プロジェクト）が進められている。本手法により、ある地域におけるある観点での重要な道路・区間を明示することができ、道路というインフラを通して隣接する自治体間での連携のきっかけや様々な事前対策のインセンティブ、事後対応方針の策定に供するものと期待される。本手法を用いて、重要な動線の定性的な特徴を踏まえた議論の上、実務上有効な緊急輸送道路の指定に向けた取り組みが期待される。

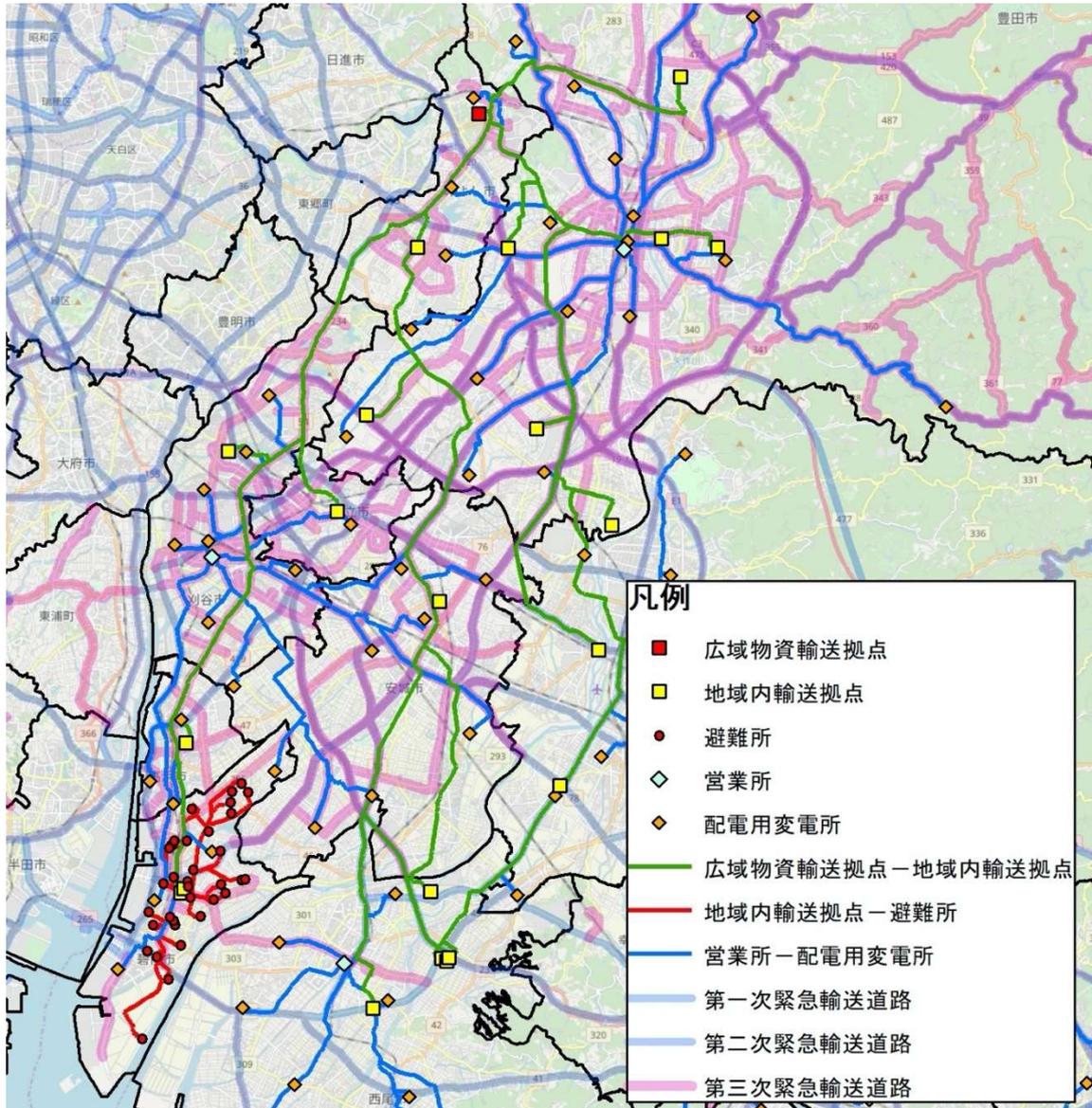


図 3 - 2 - (2) - ⑤ - 5 災害対応支援物資輸送と電力復旧（西三河西部拡大）
 （道路情報として、文献 5), 6) を使用）

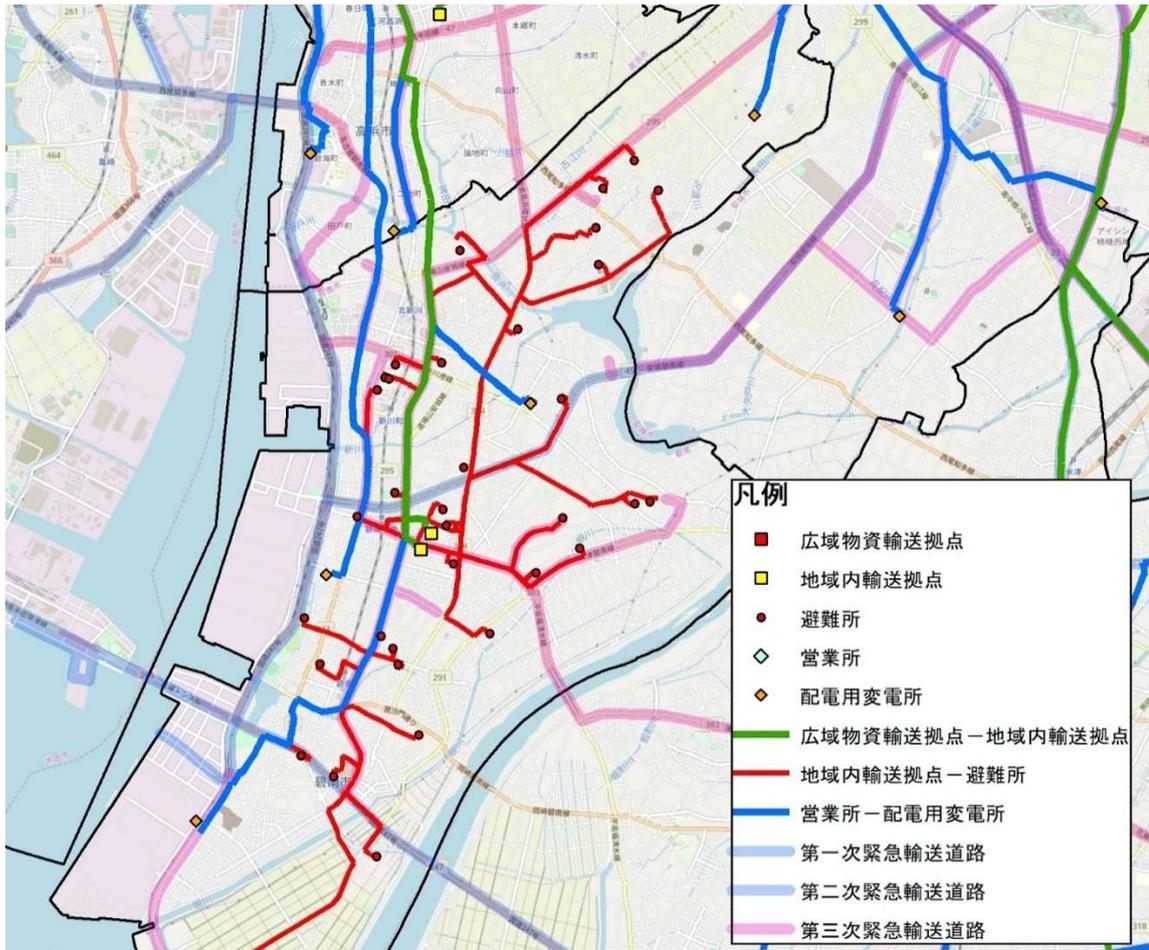


図3-2-(2)-⑤-6 災害対応支援物資輸送と電力復旧（碧南市拡大）
（道路情報として、文献5),6)を使用）

2) 上水道事業者による減災対策の費用対便益分析

a) 費用と便益の定義

上水道事業は、市民や産業等に水を供給することで様々な「便益」を創出している一方、上水道インフラの築造や維持管理、更新に伴う様々な「費用」を必要とする（それぞれの発生イメージを、図3-2-(2)-⑤-7に示す）。

本検討では碧南市水道課と協議しながら、過年度に考案した減災対策の実施に必要な「費用」と「便益」について、表3-2-(2)-⑤-1の通り取りまとめた。以降で、各項目の推計方法について説明する（碧南市との協議により、表3-2-(2)-⑤-1のうち「Case5の費用と便益」、「Case7の費用」、「Case9の費用」を除いた残りの項目について推計することとした）。

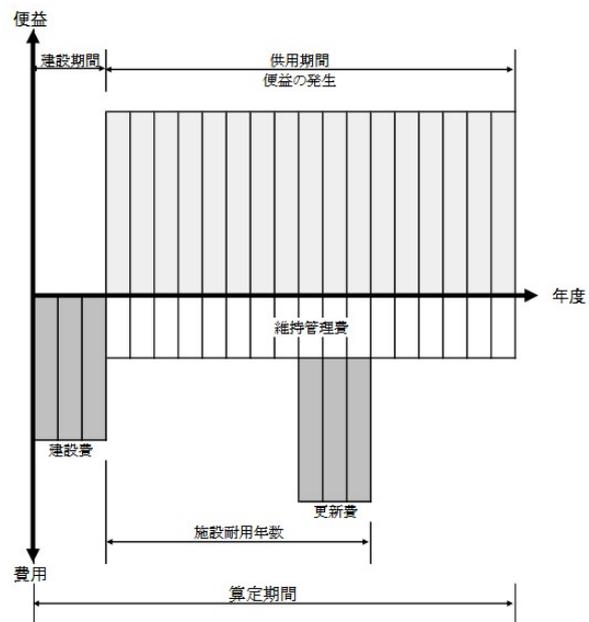


図 3 - 2 - (2) - ⑤ - 7 上水道事業における「費用」と「便益」の発生イメージ（出典：厚生労働省資料⁷⁾）

表 3-2-(2)-⑤-1 各種減災対策の「費用」と「便益」

想定した対策	費用 (C)	便益 (B)
	項目	項目
Case1 : 第1配水場を耐震化した場合	既設配水池の耐震化工事費	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case2 : 第1配水場を10,000m ³ に増量した場合	既設配水池の全面更新+増強工事費	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case3 : 経年塩ビ管の耐震化を実施した場合	経年塩ビ管の更新工事費	漏水事故の削減 給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case4 : 準幹線 (φ150mm以上の管路) の耐震化を実施した場合	準幹線の耐震化工事費	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case5 : ブロック本管整備による配水ブロック化を実現した場合	ブロック本管の耐震化工事費	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case6 : 県水との支援連絡管・応急給水支援設備、近隣自治体との緊急時連絡管の活用 (近隣自治体の被害が軽微な場合)	他事業体の連絡管の整備費用	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case7 : 1人あたり3L/日×3日の飲料水備蓄を前提	※市民への広報費用等が考えられるが、今回は具体的な費用算出はしない。	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case8 : 管路の応急復旧方法の見直し (仮設配管を敷設し、応急給水を行う。管路の本復旧は管内の断水が終息後に行う。)	仮設配管工事費+本復旧工事費	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case9 : 応急給水方法の見直し (仮設給水栓の早期立ち上げ)	※作業変更に伴う訓練費用等が考えられるが、今回は具体的な費用算出はしない。	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)
Case10 : 避難場所への耐震性緊急貯水槽の設置	耐震性緊急貯水槽の整備	給水充足率の増加 (生活用) 給水充足率の増加 (業務営業用) 給水充足率の増加 (工場用)

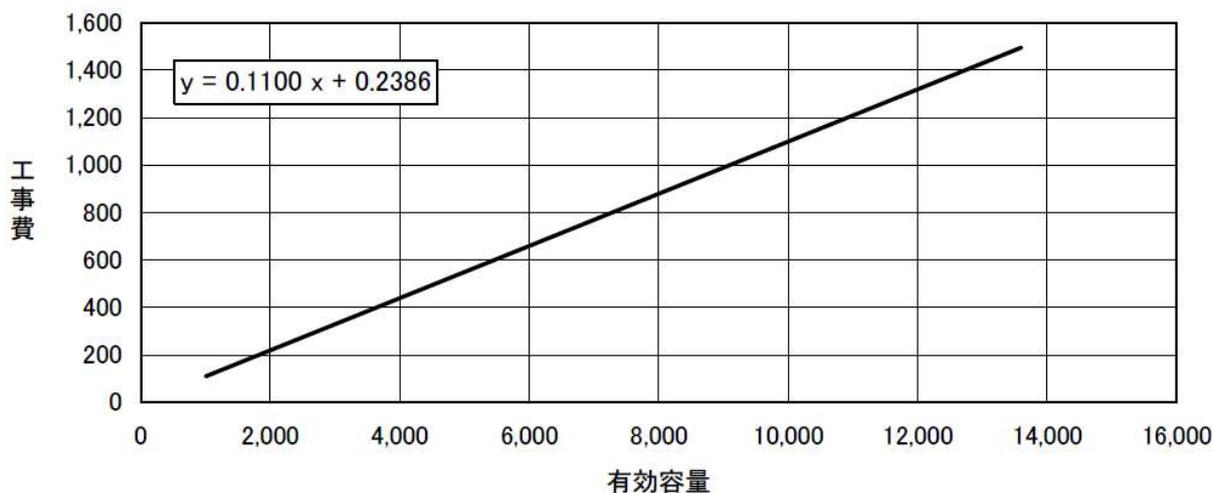
※1 給水充足率：発災後の時期別の目標水量（下記参照）以上の給水を受けている人口の比率。

※2 目標水量は、「発災後 0～3日：3L/日、4～14日：20L/日、15～28日目：100L/日、29日目以降：250L/日」と設定する。

b) 費用の算出

表 3-2-(2)-⑤-1 に基づいて、減災対策ごとの費用について算出する。減災対策に必要な費用の算出にあたっては、「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き⁸⁾」に掲載されている費用関数に基づいて実施するが、費用関数が用意されていない減災対策（本検討では、耐震性緊急貯水槽）の費用は、実績値や経験値から想定する。

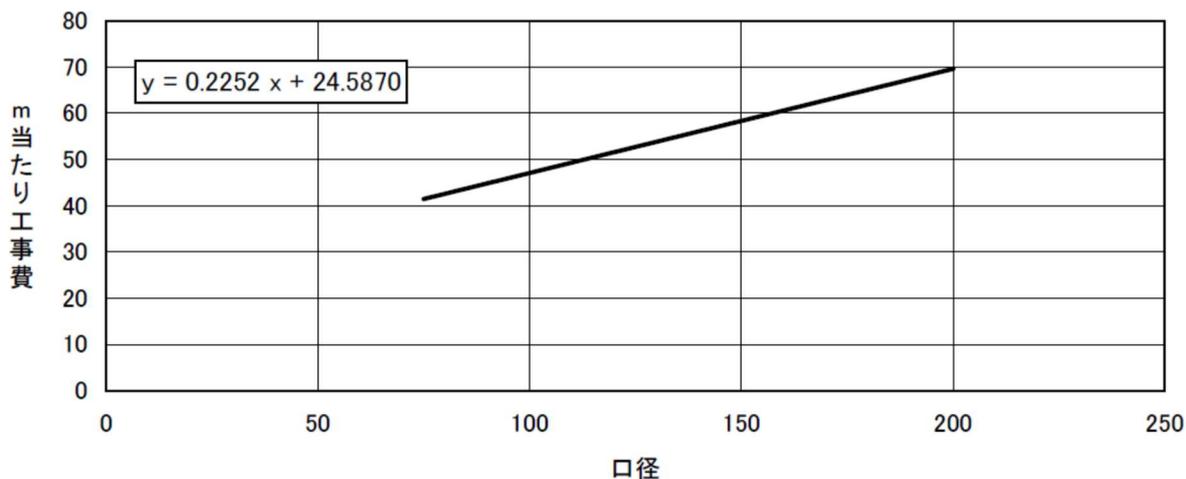
今回使用した費用関数について、図 3-2-(2)-⑤-8～図 3-2-(2)-⑤-10 に示す。なお、この費用関数が作成されてから一定期間が経過していること、消費税率が改訂されていることから、消費税率およびデフレター（国土交通省）⁹⁾により補正した上で、使用した。



X	有効容量 (m³)	1,000	2,000	4,000	7,000	10,000	12,000	14,000
Y	工事費 (百万円) 税込み	110	220	440	770	1,100	1,320	1,540

図3-2-(2)-⑤-8 配水池配水池新設工事に伴う費用関数 (Case1、2で使用)

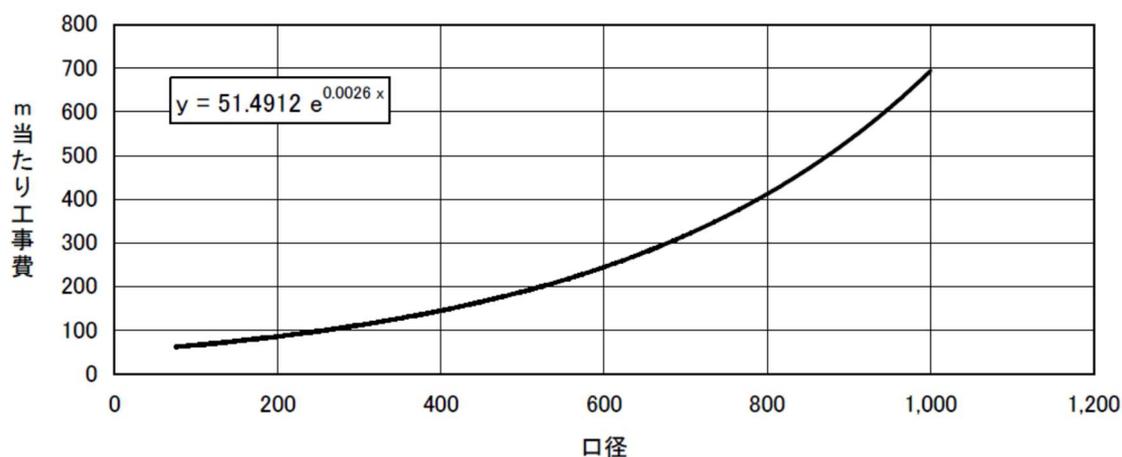
適用範囲：開削工事一式 (m 当たり工事費、諸経費及び消費税込み)、ポリエチレン管、車道、昼間施工



X	口径 (mm)	75	100	150	200			
Y	m 当たり工事費 (千円/m) 税込み	41	47	58	70			

図3-2-(2)-⑤-9 管路更新工事 (ポリエチレン管) に伴う工費関数 (Case3、Case6、Case8で使用)

適用範囲：開削工事一式 (m 当たり工事費、諸経費及び消費税込み)、ダクタイル鋳鉄管 (耐震継手)、車道、昼間施工



X	口径 (mm)	75	150	250	350	600	800	1,000
Y	m 当たり工事費 (千円/m) 税込み	63	76	99	128	245	412	693

図3-2-(2)-⑤-10 管路更新工事(ダクタイル鋳鉄管)に伴う工費関数
(Case4で使用)

c) 便益の算出

平常時に享受できる便益と、災害が発生した際に発現する便益の2種類が考えられる。厚生労働省「水道事業の費用対効果分析マニュアル⁷⁾」(以下厚労省マニュアル)を参照しながら、それぞれについて推計した。

<平常時における便益>

■漏水事故の削減(Case3で使用)

老朽管の耐震化により、平常時に発生する漏水損失額と維持管理費の低減効果が以下の通り得られるとした。

① 漏水損失額の低減額

老朽管更新により、現行の有収率(93.4%、平成30年度実績)が、95%(近年最大程度)に回復するものとした。これによる漏水損失額の低減額は、以下のとおりとする。

$$\begin{aligned}
 \text{漏水損失額の低減額} &= \text{年間給水量} \times (\text{有収水量の差}) / 100 \times \text{給水原価} \text{【H30実績ベース】} \\
 &= 8,000,000 \text{ (m}^3\text{/年)} \times 0.016 \times 140.97 \text{ (円/m}^3\text{)} \\
 &= 18,044 \text{ (千円/年)}
 \end{aligned}$$

② 維持管理費の低減額

老朽管による管路破損事故などの修繕・復旧工事費、漏水調査等の維持管理費が、実績で年間20百万円程度発生していることから、この維持管理費削減分を便益として計上する。

③ 合計

①と②を加算し、漏水事故の削減によって得られる便益の合計額は38.044(百万円/年)と算出される。

<災害発生時における便益の推計方法>

■応急給水充足率の増加（全ての Case で使用）

①生活用水

給水充足人口の増加量（当該対策を行ったことで、新たに目標水量を享受できるようになった需要家数）に、被害原単位を乗ずることで算出する。

被害原単位は厚労省マニュアルで試算されている「7,428 円/人・日（完全断水状態で、220L の水を得るために必要な費用）」を参考とし、以下のように設定した。

i) 発災後 0～3 日における被害原単位

対策により完全断水状態（0L/日）から目標水量（3L/日）の享受が可能になると想定する。

$$\text{被害原単位} = 7,428 \times (3-0) / 220 \approx \underline{101 \text{ 円/人・日}}$$

ii) 発災後 4～14 日（目標水量は 20L/日）における被害原単位

対策により、3 日目までの水量充足状態（3L/日）から目標水量（20L/日）の享受が可能になると想定する。

$$\text{被害原単位} = 7,428 \times (20-3) / 220 \approx \underline{574 \text{ 円/人・日}}$$

iii) 発災後 15～28 日（目標水量は 100L/日）における被害原単位

対策により、14 日目までの水量充足状態（20L/日）から目標水量（100L/日）の享受が可能になると想定する。

$$\text{被害原単位} = 7,428 \times (100-20) / 220 \approx \underline{2,701 \text{ 円/人・日}}$$

iv) 発災後 29 日以降（目標水量は 250L/日）における被害原単位

対策により、28 日目までの水量充足状態（100L/日）から目標水量（250L/日）の享受が可能になると想定する。

$$\text{被害原単位} = 7,428 \times (250-100) / 220 \approx \underline{5,065 \text{ 円/人・日}}$$

②業務営業用水

給水充足率の増加量（当該対策を行ったことで、新たに目標水量を享受できるようになった需要家の割合）を、業務営業用水の使用可能量の増加分と同等とみなし、これに被害原単位を乗ずることで算出する。今回の検討では、災害発生後 15 日以降において、完全断水状態から各事業に必要な水量が確保できる状況を想定し、当該期間における給水充足率の増加量を計算対象とした。

i) 被害原単位

平成 23 年度愛知県産業連関表¹⁰⁾より、水道からの中間投入割合が大きい部門と小さい部門（水道の供給が止まった場合の営業停止損失の大きい業種と小さい業種）に分類し、それぞれの生産額を合計した（表 3-2-(2)-⑤-2）。ただし、碧南市単独での生産額は、平成 18 年度事業所・企業統計調査の結果¹¹⁾から、愛知県内の事業所数、従業者数における碧南市の占める割合をもとに設定している。

次に、分類ごとの生産額に断水による影響率を乗じて、被害原単位を算出した（表 3-2-(2)-⑤-3）。影響率は厚労省マニュアルに準拠し、断水率 100% の場合の影響率は、営業停止損失の大きい部門で 100%、営業通信損失の小さい部

門で 16%とした。

以上のプロセスにより、業務営業用水の被害原単位を以下のとおりとする。

営業停止損失の大きい部門：205,000 千円/日

営業停止損失の小さい部門：32,800 千円・日

表 3-2-(2)-⑤-2 営業停止損失の大きい業種と、比較的小さい業種における生産額

	愛知県内		碧南市内
	(百万円/年)	(百万円/日)	(百万円/日)
総生産額	71,918,209	197,036	2,085
営業停止損失の大きい業種			
小売	2,308,233	6,324	67
医療	2,263,474	6,201	66
介護	383,186	1,050	11
飲食サービス	1,582,856	4,337	46
宿泊業	154,173	422	4
浴場等	392,223	1,075	11
6業種計	7,084,145	19,409	205
営業停止損失の小さい業種			
上記以外	64,834,064	177,628	1,879

	(件)	(%)
愛知県	335,601	
碧南市	3,552	1.058
従業者数		
	(人)	(%)
愛知県	3,762,487	
碧南市	38,648	1.027

表 3-2-(2)-⑤-3 業務営業用水の被害原単位

給水制限率 (%)	市内総生産 (千円/日)	影響率 (%)	被害額 (千円/日)
0		0	0
5		0.5	1,025
10		1	2,050
15		3	6,150
20		5	10,250
25		7	14,350
30		10	20,500
35		13	26,650
40		17	34,850
45		21	43,050
50		26	53,300
60		37	75,850
70		50	102,500
80		65	133,250
90		81	166,050
100	205,000	100	205,000

給水制限率 (%)	市内総生産 (千円/日)	影響率 (%)	被害額 (千円/日)
0		0	0
5		0.5	1,025
10		1	2,050
15		3	6,150
20		5	10,250
25		7	14,350
30		10	20,500
35		11	22,550
40		12	24,600
45		13	26,650
50		14	28,700
60		15	30,750
70		16	32,800
80		16	32,800
90		16	32,800
100	1,879,000	16	32,800

③工場用水

業務営業用水の場合と同様、災害発生後 15 日以降における給水充足率の増加量に被害原単位を乗ずることで算出する。

i) 被害原単位

厚労省マニュアルの算出方法に基づき、平成 26 年度工業統計表¹²⁾の知多・衣浦工業地区のデータ、および物価指数^{13)、14)}を用いて算出すると、表 3-2-(2)-⑤-4 の通り、碧南市内の工業用水被害原単位は「0.200 千円/m³」と設定することができる。

表 3-2-(2)-⑤-4 工場用水における 1 日あたりの被害原単位の算出

	(1) 淡水使用水量 (m3/日)	(6) 用水分付加価値 (百万円/年)	(7) 淡水補給水量 (m3/日)	(8) 用水効果額単価 (千円/m3)	(9) 上水道 (m3/日)	(10) 工業用ウエイト	(11) 工場用 (千円/m3)
製造業計	904,418	238,796	153,921	4.25	24,235	1.000	0.200
09 食料品製造業	98,996	1,404	27,427	0.14	2,215	0.091	0.013
10 飲料・たばこ・飼料製造業	726	11	726	0.042	307	0.013	0.001
11 繊維工業	685	7	685	0.028	106	0.004	0
12 木材・木製品製造業 (家具を除く)	116	0	116	0	97	0.004	0
13 家具・装備品製造業	266	0	266	0	171	0.007	0
14 パルプ・紙・紙加工品製造業	34,589	475	3,911	0.333	86	0.004	0.001
15 印刷・同関連業	145	0	145	0	143	0.006	0
16 化学工業	31,035	431	17,342	0.068	851	0.035	0.002
17 石油製品・石炭製品製造業	2,580	34	1,854	0.05	20	0.001	0
18 プラスチック製品製造業 (別掲を除く)	4,810	52	4,765	0	1,690	0.070	0
19 ゴム製品製造業	618	7	618	0.031	53	0.002	0
21 窯業・土石製品製造業	85,309	1,186	13,317	0.244	1,361	0.056	0.014
22 鉄鋼業	187,762	2,582	21,678	0	659	0.027	0
23 非鉄金属製造業	1,084	18	1,084	0.045	259	0.011	0
24 金属製品製造業	5,174	77	5,174	0.041	4,021	0.166	0.007
25 はん用機械器具製造業	2,172	46	2,172	0	1,428	0.059	0
26 生産用機械器具製造業	3,774	112	1,473	0.208	654	0.027	0.006
27 業務用機械器具製造業	30	0	30	0	29	0.001	0
28 電子部品・デバイス・電子回路製造業	5,161	69	3,710	0.051	41	0.002	0
29 電気機械器具製造業	25,692	351	4,399	0.219	571	0.024	0.005
30 情報通信機械器具製造業	36	0	34	0	34	0.001	0
31 輸送用機械器具製造業	413,649	6,077	42,986	0.387	9,430	0.389	0.151
32 その他の製造業	9	0	9	0	9	0.000	0

出典：H26工業統計調査（知多・衣浦地区）

d) 各項目の算出結果と、費用対便益分析

表 3-2-(2)-⑤-5 に、各対策 Case における費用と便益および、その比率 (B/C) の算出結果についてまとめる。

表 3-2-(2)-⑤-5 各対策の費用対便益分析結果

対策Case	総費用 (C)	総便益 (B)	B/C	備考
Case1：第1配水場を耐震化した場合	705百万円	31百万円	0.04	
Case2：第1配水場を10,000㎡に増量した場合	1,282百万円	31百万円	0.02	
Case3：経年塩ビ管の耐震化を実施した場合	1,864百万円	3,242百万円	1.74	
Case4：口径150mm以上の管路の耐震化を実施した場合	3,788百万円	1,534百万円	0.40	
Case5：給水ブロックの細分化を実現した場合	-	-	-	協議により実施せず
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	6百万円	25百万円	4.17	
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	-	6百万円	-	今回、費用は算出していないが、市民の備蓄を促す啓発事業等に約6百万円を支出する価値があると解釈することができる。
Case8：被害の集中するエリアで修繕に替えて仮設管路の敷設を実施した場合	3,672百万円	4,907百万円	1.34	費用には仮設管路の配管費用に加え、将来の本復旧費用も含む。
Case9：仮設給水栓を早期に立ち上げた場合	-	31百万円	-	今回、費用は算出していないが、仮設給水栓の立ち上げに伴う職員の人件費等に約31百万円を支出する価値があると解釈することができる。
Case10：市内に耐震性緊急貯水槽を設置した場合	350百万円	50百万円	0.14	50百万円/基（設置工事費込み）を7基設置。

※1：Case3、Case4では、対策が長期間で完了すると想定し、年次算定法を採用した。各年度毎に投資金額・便益を算定したのち、対策完了後50年先までの累積値を総費用・総便益とした。

※2：Case3、Case4以外の対策では、対策が短期間で完了すると想定し、換算係数法を用いて金額補正を行っている。

表 3-2-(2)-⑤-5 から、費用対便益分析の結果は、以下のように考察できる。

➤ 被災直後の応急給水量を充実させる減災施策 (Case1、Case2、Case10) について

は、今回の便益項目の設定下では投資に見合う便益は得られない結果となった。ただし、今回の便益算出では水の「単位価値」を時期にかかわらず一定とみなしている（「目標水量が 3L/日の時点での 1L 当たりの価値」と「目標水量が 100L/日の時点での 1L 当たりの価値」を等価とみなしている）。単位価値に重みをつける形で便益を算出する場合、得られる総便益が総費用を上回る可能性があることを補足する。

- ▶ 復旧日数を短縮させる減災施策（Case3、Case4、Case8）では、Case3（経年塩化ビニル管の耐震化）および Case8（仮設管路の敷設）で B/C が 1 を超え、投資に見合った減災効果が得られる結果となった。

Case7（市民による水の備蓄）および Case9（応急給水栓の早期立ち上げ）について、便益から逆算すると、Case7 で 6 百万円程度、Case9 で 31 百万円程度の投資までであれば、B/C が 1 を超える。今回、具体的な費用について算出していないが、上記金額以下で対策が完了できるような施策を立案することが望ましい。

3) 災害時支援拠点に対する、被災管路の優先的復旧の考察

a) はじめに

今日、全国の水道事業者では、管内の水道管路の耐震化が計画的に進められている。一方で、財源の限られる中での耐震化事業は一朝一夕に成るものではなく、近い将来に巨大地震が発生すれば管路の被害や、それに伴う断水被害は避けられない現状である。そんな中、断水被害による社会的な影響を最小化するための応急対応計画、中でも被災管路の効率的な修繕計画の策定は、事業者が取り組むべき重要課題である。本業務では、災害発生時に公益に資する施設を「優先復旧施設」と位置付け、当該施設に至る水道管路に対し優先的に修繕を行うことを検討する。

今回、「優先復旧施設」として取り扱うのは、地域の一般公衆浴場（銭湯）である。既往の災害において、銭湯は多くの被災者に対して「入浴支援」を提供してきた。現在では多くの自治体が、地元の銭湯が加入する「公衆浴場業生活衛生同業組合」との間で災害時連携協定を締結する等、災害時の支援拠点としての銭湯への期待は大きいといえる。しかし当然ながら、業務用水がなければ銭湯は営業を継続できないため、災害時には早期の給水再開が必要となる。同じく災害時の重要施設である医療機関や避難所等に対しては、事前の管路の耐震化が優先的に進められている（e. g. 厚生労働省：重要給水施設管路の耐震化計画策定の手引き¹⁵⁾）が、銭湯に対するこうした動きは活発でない現状である。

以上を鑑みて、本検討では某市における各銭湯の水源に関する調査を行った後、銭湯の営業再開を早期化するための復旧施策について考察した。

b) 某市内における銭湯の水源調査と、某市における管路被害予測

はじめに、某市内の銭湯に業務用水に関するヒアリングを行った。回答を得られた 54 件の銭湯のうち、30 件では井戸水の利用によって営業が継続できる一方、24 件は上水道が復旧しなければ業務用水を確保できないことが明らかとなった。

続いて、某市上水道事業者の協力のもと、同市における三つの供給区域を対象に、

南海トラフ巨大地震が発生した際の水道管路の被害予測を行った（過年度の業務で構築した被害予測ツールを活用。なお、同市の水道管路以外の施設は十分な耐震性を有するとし、水道管路のみの被害予測を行っている）。その結果を表3-2-(2)-⑤-6に記す。

表3-2-(2)-⑤-6 三つの供給区域内の水道管路被害予測結果

供給区域	管路口径	被害件数
ア	φ 1,000mm 以上	2.8 件
	φ 400mm 以上 φ 1,000mm 未満	3.9 件
	φ 400mm 未満	35.3 件
イ	φ 1,000mm 以上	0.2 件
	φ 400mm 以上 φ 1,000mm 未満	4.6 件
	φ 400mm 未満	22.8 件
ウ	φ 1,000mm 以上	0.8 件
	φ 400mm 以上 φ 1,000mm 未満	2.0 件
	φ 400mm 未満	20.7 件

本検討では、後者の24件の銭湯に至る水道管路を優先的に復旧した場合、銭湯の営業再開がどれだけ早期化されるかをシミュレーションすることとした。

c) 復旧手順シナリオ

本検討では、浄水場から銭湯に至るまでの管路のみを優先して復旧する「シナリオその1」と、φ1,000mm以上の管路（基幹幹線と呼称する）とφ400mm以上φ1,000mm未満の管路（幹線と呼称する）を優先修繕する「シナリオその2」を想定し、それぞれにおいて銭湯への給水再開までに要する日数を推計する。

■シナリオその1における復旧の推移（図3-2-(2)-⑤-11に、そのイメージを図示する）

対象とする供給区域を500m四方のメッシュに分割する。各メッシュに対し、以下の手順で「復旧班（修繕作業をする班）」を投入し、復旧を進めていく。

<事前作業>

供給起点（浄水場や配水場）の点検を行う（所要日数は3日とする）。今回の検討では、供給起点は3地点となった。供給起点のあるメッシュ毎に「復旧班」を1班配置し、メッシュ内の管路被害の確認および復旧を開始する。なお某市との協議を踏まえ、復旧班の班数（同時に活動できる最大数）を20班と設定している。

<手順1>

配置されたメッシュ内の基幹幹線に被害箇所がある場合は復旧を行う。被害がない場合、手順2へ。

復旧の所要日数は、被害件数を復旧能力（0.25 件/日）で除して算出する。基幹幹線の復旧が完了したら、手順 2 へ。

<手順 2 >

当該メッシュ内に銭湯がある場合、メッシュ内に幹線を復旧する班と、支線を復旧する班を投入する。銭湯がない場合、手順 4 へ。

まず、幹線の被害件数を（0.5 件/日）で除して所要日数を算出する。幹線の復旧が完了したら、手順 3 へ。

<手順 3 >

支線の被害件数を（1.5 件/日）で除して所要日数とする。支線の復旧が完了した時点で、メッシュ内の銭湯は水利用可能とみなす。支線の復旧が完了したら、手順 2 へ。

<手順 4 >

隣接する下流のメッシュ内に銭湯がある場合、またはそのさらに下流のメッシュに銭湯がある場合、隣接するメッシュに移って手順 1 から再開する。隣接するメッシュが複数ある場合は、それぞれに復旧班を 1 班ずつ配置し、並行して復旧検討を行う。



図 3-2-(2)-⑤-11 「シナリオその 1」における復旧のイメージ

■シナリオその 2 における復旧の推移

<事前作業>

供給起点（浄水場や配水場）の点検を行う（所要日数は 3 日とする）。

<手順 1 >

供給区域毎の基幹幹線の被害件数を、総復旧能力（復旧班数×復旧能力（0.25 件/日）と定義）で除することで、基幹幹線の復旧にかかる日数を概算する。

<手順 2 >

手順 1 と同様に、幹線の被害件数を総復旧能力（復旧班数×復旧能力（0.5 件/日）と定義）で除することで、幹線の復旧にかかる日数を概算する。

<手順 3 >

各銭湯に至るまでの支線部分のみの復旧所要日数としては、シナリオその 1 の手

順3の所要日数を用いる。

d) シミュレーション結果

シナリオその1で復旧を進めた場合に実現する、水利用が可能となった銭湯数の推移を下表にまとめる。発災後22日の終わりにすべての対象管路の復旧が完了し、23日目から水供給が再開されるという結果となった(表3-2-(2)-⑤-7)。

表3-2-(2)-⑤-7 シナリオその1における銭湯の水利用可能性

水利用の形態	発災直後	発災後8日	発災後15日	発災後22日	発災後23日
井戸水	30件	30件	30件	30件	30件
上水道	0件	3件	15件	23件	24件
計	30件	33件	45件	53件	54件

シナリオその2で復旧を進めた場合に実現する、水利用が可能となった銭湯数の推移を下表にまとめる。発災後28日目の終わりにすべての対象管路の復旧が完了し、29日目から水供給が再開されるという結果となった(表3-2-(2)-⑤-8)。

表3-2-(2)-⑤-8 シナリオその2における銭湯の水利用可能性

水利用の形態	発災直後	発災後8日	発災後15日	発災後22日	発災後29日
井戸水	30件	30件	30件	30件	30件
上水道	0件	0件	7件	11件	24件
計	30件	30件	37件	41件	54件

(d) 結論ならびに今後の課題

電力については、南海トラフ地震による電力需給ギャップ対策の方向性、及び電力復旧に供する重要道路の抽出を行った。特に道路は、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。このような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ものと期待される。

現在、西三河9市1町などが構成員の「西三河防災減災連携研究会」において、緊急輸送道路に関する検討(緊急輸送道路プロジェクト)が進められている。本手法により、ある地域におけるある観点での重要な道路・区間を明示することができ、道路というインフラを通して隣接する自治体間での連携のきっかけや様々な事前対策のインセンティブ、事後対応方針の策定に供するものと期待される。今後は、本手法を用いて、重要な動線の定性的な特徴を踏まえた議論の上、実務上有効な緊急輸送道路

の指定に向けた取り組みが期待される。

上水道事業者による減災対策の費用対便益分析では、各種減災対策に必要な費用と得られる便益の大きさについて推計することで、これらの対策を中長期的に計画するための判断材料となりうる知見を得ることができた。一方で、災害発生時に発現する便益について精緻に推計するためには、(例えば、地場産業の操業再開の可能性など) 対象とする地域の被災後の姿について詳細に思い描く必要があるだろう。他のサブテーマで得られた知見の活用も含めた、多角的な視点での検証を行うことが肝要といえる。

災害時支援拠点に対する、被災管路の優先的復旧について、銭湯への給水再開を優先したシナリオその1では、発災後15日目時点で全24件中15件と、6割以上の銭湯への給水が再開している。これは、基幹幹線、幹線の復旧を優先したシナリオその2の同時点における復旧速度の2倍である。水供給が再開することで銭湯が営業を再開したと仮定すると、シナリオその1はその2よりも早期に営業を再開することが可能となる。シナリオその1における銭湯の「延べ営業日」は、シナリオその2よりも150日多い結果となった。

銭湯への給水再開の早期化は、実際の入浴支援にどれだけの効果を及ぼすのかについては、熊本地震における無料入浴支援の記録¹⁶⁾を参照すると、ある銭湯での1日当たりの入浴者数(最大時)は1,050人であったとの記載がある。当該銭湯では入浴時間に制限(10分まで)を設けており、多くの入浴客にサービスを提供するために苦心したことが伺えるが、仮に各銭湯が最大で1,000人分の入浴を提供できると仮定すると、150営業日で15万人分の入浴が可能になると推計できる。

熊本地震の事例では、民間実施された入浴支援(地元銭湯や宿泊施設による支援)で、延べ32万人分の入浴が賄われた。今回の入浴人数の推計結果はそのおよそ半数とみなすことができ、優先復旧が入浴支援事業に少なくない効果を及ぼす可能性が確認できた。

熊本地震の事例では無料入浴支援を行った銭湯やホテル等に対し、営業補償金の意味合いで、約1.3億円の補助金(熊本県へのヒアリング結果による)が支払われている。これらの数値から、「入浴支援1回あたり」の補助金は約406円と推計することができる。仮にこの金額を、入浴支援によってもたらされた入浴の「価値」と捉えると、延べ15万人分の入浴は約6,100万円もの価値を創出したと考えることができる。

本検討では地域の銭湯に焦点を当てた検証で、上水道の復旧を優先した際の効果について推計した。実際の復旧施策については、その他の重要施設も対象とした検討を積み重ねる中で熟慮されることが望ましい。

(e) 引用文献

- 1) 碧南市防災会議、碧南市地域防災計画、<http://www.city.hekinan.lg.jp/soshiki/shiminkyoudou/bosai/3/1061.html>、2019.
- 2) 中部電力 Web ページ、営業所・サービスステーション(愛知県)、https://www.chuden.co.jp/corporate/company/officelist/eigyosho/eig_aichi/index.html.

- 3) Dijkstra, E. W., A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numerische Mathematik, Vol.1, 1959, 269-271.
- 4) 愛知県、南海トラフ地震における愛知県広域受援計画、2020.
- 5) 国土交通省、Web「緊急輸送道路」、<https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index3.html>.
- 6) 住友電気工業株式会社、拡張全国デジタル道路地図データベース標準(ADF標準)、Version 3.31、2014.
- 7) 水道事業の費用対効果分析マニュアル、厚生労働省健康局水道課、2011.
- 8) 水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き、厚生労働省健康局水道課、2011.
- 9) 国土交通省、建設工事費デフレーター、
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/jouhouka/sosei_jouhouka_tk4_000112.html (令和2年2月25日閲覧)
- 10) 愛知県、平成23年(2011年)愛知県産業連関表統計表、2016.
- 11) 総務省、平成18年事業所・企業統計調査、2007.
- 12) 経済産業省、平成26年工業統計調査、2016.
- 13) 日本銀行、企業物価指数(2015年1月速報)、2015.
- 14) 日本銀行、企業物価指数(2020年1月速報)、2020.
- 15) 厚生労働省医薬・生活衛生局、重要給水施設管路の耐震化計画策定の手引き、
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000166062.html> (令和2年3月23日閲覧)、2017.
- 16) 全国公衆浴場業生活衛生同業組合連合会：平成28年熊本地震被災者入浴支援活動記録、2017.

⑥ 広域リスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、過去の南海トラフの地震発生状況から、多様性のある南海トラフの地震の分類(シナリオタイプの類型化)を行うとともに、地域類型化手法の高度化検討を実施した。検討結果に基づき、6ケースのシナリオの地域類型を推定するとともに、地域類型を反映した各ケースの災害シナリオを試作した。

(b) 業務の実施方法

シナリオタイプの類型化については、①南海トラフで過去に地震が発生した際の発生パターン、②南海トラフ周辺の地震発生状況、③南海トラフの地震・津波に対する現状の防災対策、④東日本大震災における災害対応の課題や被災地以外への影響の波及状況、⑤災害の全体像を様々な観点から論じた研究等、に関連する既往研究・文献等を調査した上で、南海トラフの地震像を構成する要因や地震像の枠組みについて検討した。

地域類型化手法の高度化検討については、産業連関表の各産業の影響力係数や感応度係数を利用して、南海トラフの地震・津波による間接的な影響に関する地域類型化を検討した。さらに、平成30年度に検討した「被害の様相」「社会経済的特徴」、本年度

に検討した「間接的影響」、3種類の地域類型について、6つのシナリオ地震が発生した場合の地震・津波ハザードを元に、地域類型の分布を推定した。

以上の結果を利用し、6ケースの災害シナリオを試作した。具体的には、羅・岡田¹⁾の四面会議システムを準用し、発災直後や復旧・復興期を含む期間を対象に、「被害の様相」「社会的・経済的特徴」の地域類型の構成要素毎の状況を整理し、地域類型ごとの災害シナリオを作成した。

(c) 業務の成果

1) シナリオタイプの類型化

(b)項に関連する既往研究・文献等の調査結果を整理すると、災害の基本構造は「素因」「必要要因」「拡大要因」で構成されること²⁾、災害対応は発災直後から1か月程度を扱っていること、中央防災会議 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ³⁾では南海トラフ沿いで発生する典型的な異常な現象として4つのケースが想定されていること、南海トラフの地震には多様性があるとともにも南海トラフの地震発生前後には周辺地域でも大きな地震が発生していること、等が明らかとなった。これらの調査結果を元に、南海トラフの地震・津波による災害の「素因」「必要要因」「拡大要因」となる要素を検討した。その結果、「素因」は南海トラフの地震の発生規模、領域等の要素、「必要要因」は曝露対象、「拡大要因」は応急対応に関連する事項や被災地の社会・経済的特徴が該当すると考えられた。図3-2-(2)-⑥-1に検討結果を示した。

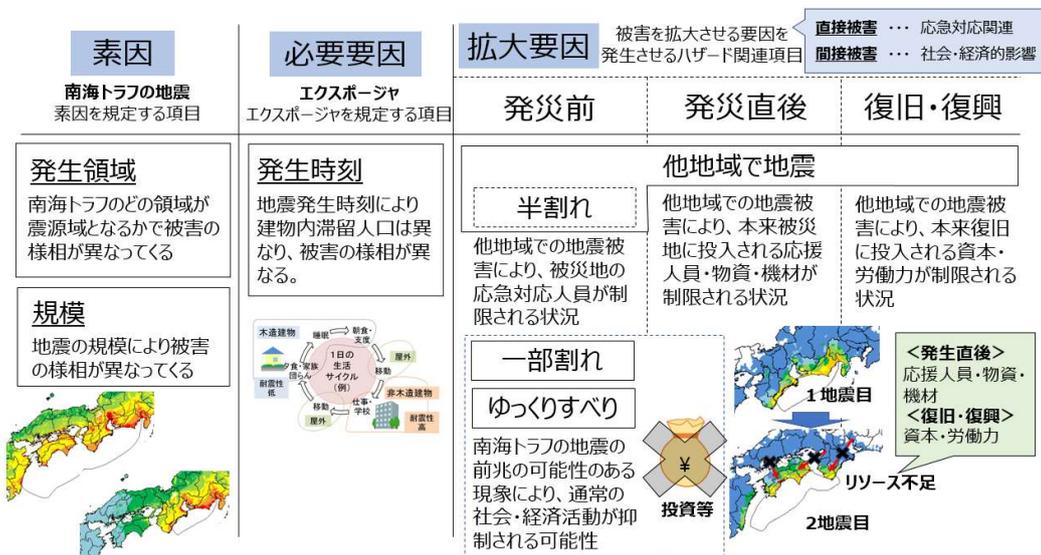


図3-2-(2)-⑥-1 素因・必要要因・拡大要因となる要素

南海トラフの地震の分類を行う場合、これら素因、必要要因、拡大要因の組合せが類型の候補と考えられる。このうち拡大要因に着目すると、他地域等の地震により災害対応・復旧対応等に影響を及ぼすシナリオ（直接的な影響を重視するシナリオ）と、素因発生前の現象により社会・経済活動が抑制され地震が発生していない

にも関わらず被害が出るシナリオ（間接的な影響を重視するシナリオ）の2つに分類される。また、これらの影響は、他地域の地震の発生時期によりその内容が分かると考えられた。素因や必要要因に関しても分類が可能ではあるが、ここでは広域的に見た場合の地震災害の全体像を捉えることを重視し、最終的には、「拡大要因の影響」、「拡大要因の発生時期」の2つの組み合わせで表3-2-(2)-⑥-1のように分類した。なお、拡大要因発生時期を発災直後とした場合、緊急対応に関する事象がシナリオの主となることが想定されることから、間接的な影響重視のタイプは設定していない。今年度に災害シナリオを作成した6ケースのシナリオのタイプ分類を表3-2-(2)-⑥-2に示した。

表3-2-(2)-⑥-1 災害シナリオのタイプ分類

		拡大要因の影響の考え方	
		直接的な影響重視	間接的な影響重視
拡大要因発生時期	発災前	タイプ1	タイプ3
	発災直後	タイプ2	***
	復旧・復興	タイプ4	

表3-2-(2)-⑥-2 各ケースの災害シナリオの概要とタイプ分類

ケース番号	タイプ	地震の発生状況
1	タイプ2	南海トラフの東海地域(CDE)でM8.3の地震が発生し、その2か月後に南海地域(ZAB)でM8.7の地震が発生
2	タイプ3	紀伊半島沖でM7.3の地震が発生し、その半年後に南海トラフ全域(ZABCDE)でM9.1の地震が発生
3	タイプ3	東海地震の震源域(E)で前兆現象が観測され、政府から「南海トラフ地震に関連する情報」が発表されたが、なにも発生せずに、2年後に南海トラフ全域(ZABCDE)でM9.1の地震が発生
4	タイプ1	都心南部直下でM7.3の地震が発生し、その2か月後に南海トラフ全域(ZABCDE)でM9.1の地震が発生
5	タイプ4	南海トラフの南海地域(ZAB)でM8.7の地震が発生し、その2年後に東海地域(CDE)でM8.3の地震が発生
6	タイプ2	南海トラフの東海地域(CDE)でM8.3の地震が発生し、その1か月後に猿投-高浜断層帯でM7.1の地震が発生。さらに、その1年11か月後に南海地域(ZAB)でM8.7の地震が発生

※表中のZ,A,B,C,D,Eは南海トラフの長期評価(第二版)における6つの震源域に対応する

2) 地域類型化手法の高度化検討

南海トラフの地震・津波による間接的な影響を地域類型に反映させるため、産業連関表の影響力係数や感応度係数を利用して、間接的な影響に関する市区町村毎の地域類型を検討した。具体的には、2011年産業連関表⁴⁾による製造業各産業について、影響力係数の大きい産業が他の産業に対する生産波及の大きい産業、感応度係数の大きい産業が他の産業からの影響が大きい産業とし、各市区町村におけるそれらの産業の割合を中村ほか⁵⁾の産業別市区町村別民間企業資本ストックを利用し市

区町村毎に算出した。

地域類型は、各市区町村における他産業への影響の大きい産業の割合、および他産業からの影響の大きい産業の割合をそれぞれ規準化した上でクラスター分析し設定した。その結果、本検討では表3-2-(2)-⑥-3に示す3つの分類が得られるとともに、規準化した値の中央値や四分位偏差から各類型の特徴づけを行った。

表3-2-(2)-⑥-3 間接被害の地域類型

指標の概要	中間投入財の供給者の割合	中間投入財の需要者の割合	各タイプの特徴
CLS- α	低い	低い	中間投入財の供給者・需要者の割合が低く、間接被害が相対的には発生しにくい、または製造業が停止した場合に相対的には他地域への経済被害波及の原因となりにくい地域
CLS- β	普通	普通	中間投入財の供給者・需要者の割合がやや高く、間接被害が発生しうる、または製造業が停止した場合に他地域への経済被害波及の原因となりうる地域
CLS- γ	高い	高い	中間投入財の供給者・需要者の割合がやや高く、間接被害が発生しやすい、または製造業が停止した場合に他地域への経済被害波及の原因となりやすい地域

表3-2-(2)-⑥-4 被害の様相、社会経済的特徴の地域類型
(被害の様相)

	地震動	液状化	火災	土砂災害	津波
CLS1	L3	L2	L2	L1	L1
CLS2	L4	L1	L4	L1	L1
CLS3	L2	L1	L1	L1	L1
CLS4	L4	L1	L1	L4	L1
CLS5	L2	L1	L1	L1	L3
CLS6	L2	L1	L1	L1	L4
CLS7	L2	L4	L1	L1	L2

※ L4：極めて被害が出やすい L3：被害が出やすい
L2：被害が出る可能性がある L1：被害が相対的に出にくい

(社会経済的特徴)

	人口増減率	75歳以上人口率	持ち家率	他地域から電車・バス通勤人口	第一次産業人口割合
CLS-A	やや高い	やや低い	やや低い	やや低い	やや低い
CLS-B	高い	やや低い	低い	高い	やや低い
CLS-C	やや低い	高い	高い	やや低い	高い
CLS-D	やや低い	やや高い	やや高い	やや低い	やや低い

平成30年度の検討結果も合わせ、最終的に得られた地域類型の種類は表3-2-(2)-⑥-3および、表3-2-(2)-⑥-4に示す「被害の様相」、「社会経済的特徴」、「間接的影響」の3種類である。「被害の様相」は被災地の被害の原因となるハザードのタイプの類型で、災害シナリオ作成の際、発災直後の対応を考

えるための類型である。「社会経済的特徴」は被災地が元来保有している地域性で、復旧・復興期において発生する課題について、検討するための類型である。また、「間接的影響」は、製造業を中心に間接被害を受けやすい地域または間接被害を引き起こす原因となりうる地域を区分するための類型で、複数のシナリオ地震から構成される災害シナリオ等で発災前の状況が問題となる災害シナリオの検討に役立てることが期待されるものである。なお、社会的経済的特徴に関しては、本年度作成した間接的影響の類型と重複しないように平成30年度成果を見直し、製造業人口割合を除いた5つの指標を利用し再定義したものである。表3-2-(2)-⑥-5に地域類型化の種類、類型化のねらい、類型対象地域を整理した。

表3-2-(2)-⑥-5 地域類型化のまとめ

類型化の種類	災害シナリオ上有効な時期	類型化の狙い	類型対象地域
被害の様相	発災直後	被災地がどのような種類のハザードによって被害を受けるのかを示すことで、発災直後の対応状況を検討できるようにする	震度6弱以上の市区町村 津波がL2以上となるCLS-5.6.7の市区町村 社会経済的特徴がCLS-Bとなる市区町村で震度5弱以上となる市区町村
社会経済的特徴	(主に)復旧・復興期	被災地がもともと保有している社会状況を分類することで、復旧・復興期において発生する課題について、地域性の違いを考慮してシナリオを作成・検討できるようにする	同上
間接的影響	全般	製造業を中心に、間接被害の影響を受けやすい地域、また間接被害を引き起こす原因となる地域を区分しておくことで、被災後の間接被害や複数地震発生するシナリオの発災前の行動等による間接被害の影響等に関して、検討できるようにする	全国

表3-2-(2)-⑥-5の3種類の地域類型を表3-2-(2)-⑥-2に示した6ケースのシナリオを構成する各地震に適用した。適用結果の一例として、各ケースにおける被災地(表3-2-(2)-⑥-5の類型対象地域)の社会経済的特徴と間接的影響の各類型の構成割合を図3-2-(2)-⑥-2に示した。

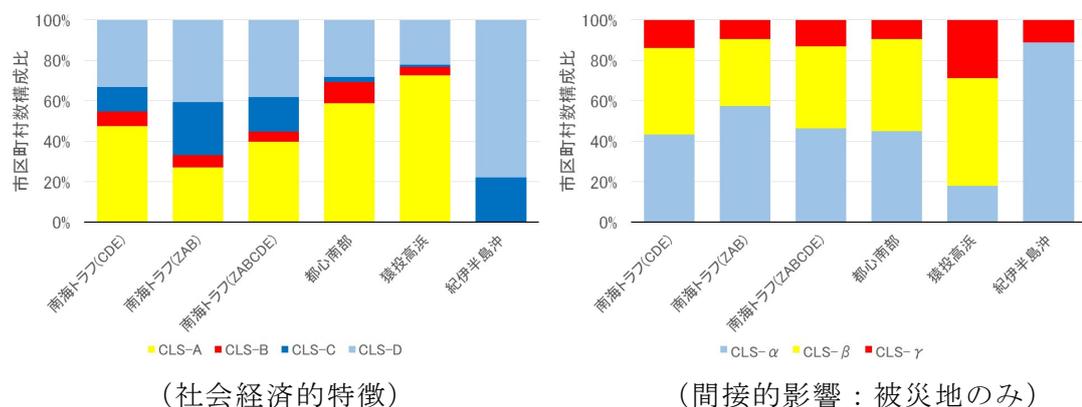


図3-2-(2)-⑥-2 類型対象市区町村における各類型の構成比

また、本検討により得られた地域類型結果の概要をまとめると以下の通りである。

① 南海トラフ東側(CDE)の地震による被災地は紀伊半島～東海地方を中心に広がる。これらの地域では、地震動がL4となるCLS-2やCLS-4といった類型が

震源域に近い地域で出現し、沿岸部では津波の影響のある CLS-6 がみられた。被災地の社会経済的特徴としては、東海地方では CLS-A に分類される地域が多い一方、紀伊半島南部等では CLS-C や D といった類型がほとんどで、高齢者の割合が高く、被災からの回復力は東海地方とは異なってくるのが想定される。間接的影響の観点からは CLS-γ に分類される市区町村が被災地内に多く分類し、製造業を中心に他地域へ様々な影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。

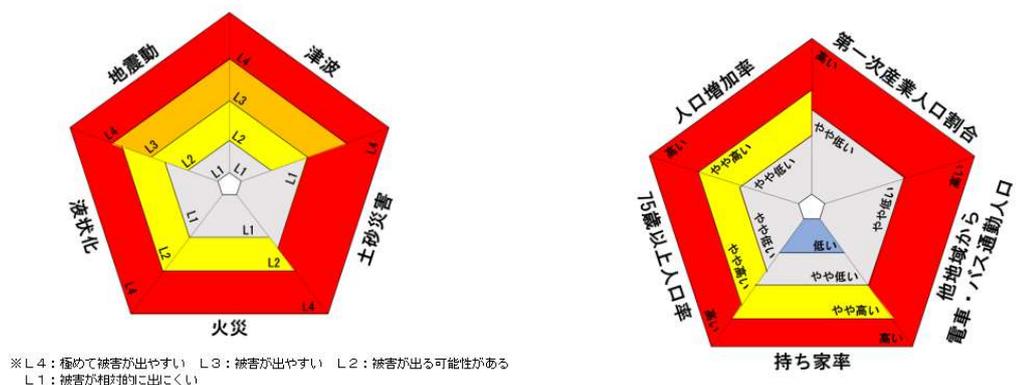
- ② 南海トラフ西側(ZAE)の地震では、紀伊半島～四国～九州南部を中心に被災地が広がる。沿岸部では津波の影響の大きいCLS-6や地震動の影響が大きいCLS-1、また四国では地震動と土砂災害の影響の大きいCLS-4が目立つ。これら被災地の社会経済的特徴としてはCLS-CやCLS-Dに属する市町村が多い。間接的影響に関しては、多くの被災地はCLS-αに分類されており、他地域への影響は相対的には低くなる結果が得られた。
- ③ 南海トラフ全域(ZABCDE)の地震では、関東～九州の太平洋側の市区町村が被災地となる。沿岸部では津波の影響の大きいCLS-5またはCLS-6が多く、震源に近い地域では、地震動の影響の大きいCLS-1、CLS-2、CLS-4、その外側にCLS-3が分布する傾向となった。これらの地域の社会経済的特徴としては、関東・東海地方や瀬戸内海沿岸ではCLS-Aが分布する。また、東京・名古屋・大阪といった大都市部ではCLS-Bに分類され帰宅困難等の問題が想起された。一方、紀伊半島～四国～九州南部といった地域では、CLS-CやCLS-Dに分類されており、復旧リソースが十分でない場合、効率性を重視するか回復力の弱い地域を重視するかが問題となる可能性が考えられる。
- ④ 都心南部直下地震や猿投～高浜断層帯の地震は、南海トラフの地震と比較すると被災地の広がりはかなり限定される。これら2地震の被災地の社会経済的特徴はCLS-AまたはCLS-Bの地域に分類され、持家率もやや低いまたは低く、兵庫県南部地震のような都市型の被害状況となると考えられる。また、猿投～高浜断層帯の地震では、被害規模と比べ間接的な影響が大きい可能性がある。

3) 災害シナリオの作成

1)項のシナリオタイプの分類により位置づけが明確化された災害シナリオの各ケースそれぞれについて、2)項で示した被災地の「被害の様相」「社会経済的特徴」「間接的影響」の地域類型を反映させた形で災害シナリオを作成した。

災害シナリオの作成にあたっては羅・岡田¹⁾の四面会議システムを援用し、被害の様相、社会経済的特徴のそれぞれについて、会議システム図を作成した。その上で、地震発生前後の状況について出し合った意見を集約して、災害シナリオを作成した。会議システム図は、図3-2-(2)-⑥-3に示すような形で、地域類型結果に応じてレベル分けを設定した。会議参加者は、各要素(例えば、「被害の様相」では図3-2-(2)-⑥-3の五角形の各辺に記載された『液状化』『土砂災害』などが要素に該当する)の各レベルに応じた状況に関する意見を付箋に記述

し、会議システム図に添付することとした。四面会議は、会議参加者は5名、ファシリテーターは1名で実施した。本業務で対象としたシナリオの多くは複数の地震で構成されるシナリオであり、2地震目以降を会議参加者が知って意見を述べることは望ましいことではない。そのため、シナリオの全容は会議参加者に事前に知らせず、ファシリテーターのみ地震の発生状況等を事前に把握する形で実施した。会議はファシリテーターの1地震目の発生の告知で始め、地震発生直後から1日後の状況について、会議参加者に会議システム図への記述を求め、会議参加者は付箋に担当する要素の状況を記述した。ファシリテーターは、開始から10分後に1日後から1週間後の状況についての記述を会議参加者に求めるとともに、会議参加者は担当する要素の状況を記述した。同様の手順で、1週間後から1か月後、1か月後から1年後についても、ファシリテーターの合図の下、会議参加者は順に記述を行った。なお、事前に設定したケースに応じてファシリテーターは2地震目を会議参加者に告知し、上述の手順と同様に2地震目以降の状況について合図を行い、会議参加者は担当する要素の状況の記述を行った。写真3-2-(2)-⑥-1には、会議後の参加者の意見を記した会議システム図を示した。



(被害の様相) (社会経済的特徴)
図3-2-(2)-⑥-3 作成した会議システム図



写真3-2-(2)-⑥-1 会議後の会議システム図

災害シナリオは、横軸に時間の推移、縦軸に地域類型を表し、地域類型ごとの社会の状況を整理した。図3-2-(2)-⑥-4および、図3-2-(2)-⑥-5に作成例としてケース5の作成例を示した。

災害シナリオの最上段には、地震イベントごとの被害量と併せて、災害シナリオ

の特徴を記した。

下段には、地域類型ごとの社会状況を時系列ごとに記しており、被災直後は「被害の様相」と「社会経済的特徴」の地域類型毎の状況を併記した。また、「被害の様相」と「社会経済的特徴」のつながりの強さ（該当市区町村数）を矢印の幅で表すとともに、被災直後以降は社会経済的特徴による地域類型ごとの状況を記した。

具体的な災害シナリオの内容については、上述の四面会議システムでの議論内容、東日本大震災等の震災誌による被災後の状況等を参考に作成した。地震間の社会・経済状況や南海トラフ巨大地震に関する臨時情報への対応等については内閣府⁶⁾を参考に、主に企業の動きを付け加える形で作成した。

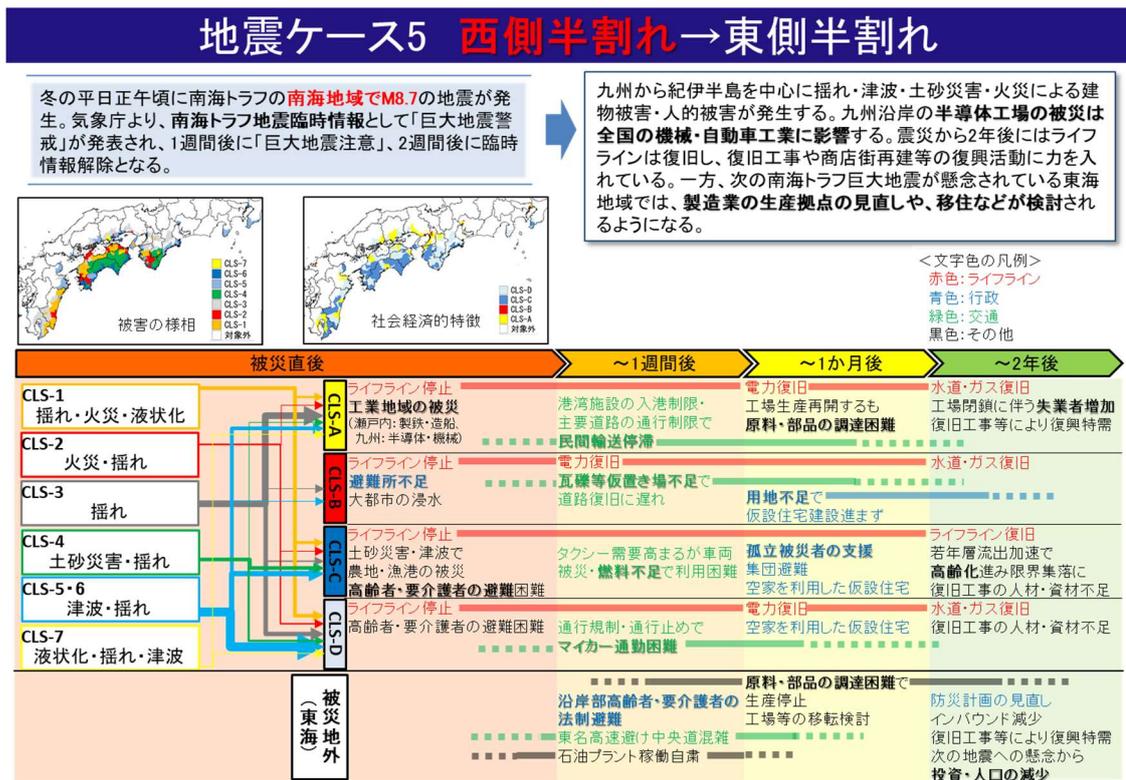
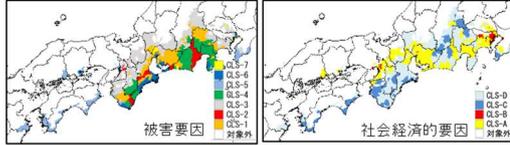


図3-2-(2)-⑥-4 災害シナリオの作成例（ケース5(前半)）

地震ケース5 西側半割れ→東側半割れ

西側半割れから2年後の冬の平日正午頃に、南海トラフの東海地域でM8.3の地震が発生。

紀伊半島から東海地方を中心に揺れ・津波・土砂災害・火災による建物被害・人的被害が発生する。特に沿岸部の工業地域での被災で製造業が停滞。名古屋市では避難所不足、復旧時には用地不足が問題となる。西側半割れから落ち込んだ日本経済がさらに落ち込み、経済回復がさらに遅れる。



<文字色の凡例>
 赤色: ライフライン
 青色: 行政
 緑色: 交通
 黒色: その他



図3-2-(2)-⑥-5 災害シナリオの作成例(ケース5(後半))

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 過去の南海トラフ及びその周辺での地震発生状況等と災害論の枠組みから、地震規模や発生パターン等に多様性のある南海トラフで発生する地震像を分類した。具体的には、災害の素因・必要要因・拡大要因とハザードの要素を整理するとともに、シナリオ作成における拡大要因の影響の考え方と拡大要因の発生時期の組み合わせによる4分類を設定した。
- 平成30年度業務で実施した地域類型化について、間接的影響に関する類型化を検討し、3つの類型を得ることができた。さらに平成30年度業務で実施した「被害の様相」「社会経済的特徴」と合わせ、6ケースの災害シナリオを構成する各地震が発生した場合の3種類の地域類型化を実施し、定量的な数値を元に各地震による地域別の特徴を明らかとした。類型結果から、南海トラフの東側を震源とする地震のほうが間接的な影響が大きい点、西側を震源とする地震は津波の影響が相対的に大きいと考えられる点、南海トラフ全域の地震では、関東～九州の太平洋側の多く市区町村が被災地となるが、社会経済的特徴は大きく異なっており、復旧リソースが十分でない場合、効率性を重視するか災害弱者を重視するかが問題となる可能性が示唆された。
- 災害シナリオの各ケースそれぞれについて、2)で示した被災地の「被害の様相」「社会経済的特徴」「間接的影響」の地域類型を反映させた形で災害シナリオを作成した。その結果、ケース1・2では復旧速度に地域差が出るのが想定されること、ケース2・3では、一部割れ等の通常とは異なる現象の発生後から地震(本

震)発生までに時間が経過すると人々の関心が薄れ防災・減災に対する具体的な行動がとられにくい可能性のあること、ケース4では首都直下地震の影響により災害対応に大きな混乱が予想されることや、資材・人的資源等の様々なリソース不足が想定されること、ケース5では西側の半割れが先に起こるため東海地域の地震発生の懸念から地震が発生しなくとも経済的な影響が大きくなる可能性のあること、ケース6では東側半割れ後に愛知県が活断層の地震により再度被災するため、製造業を中心に大きな被害が発生する可能性があること、などの多様な発生形態が予想される南海トラフの地震において、具体的なシナリオを得ることができた。

(e) 引用文献

- 1) 羅貞一、岡田憲夫、四面会議システムで行う知識の行動過形成家庭の構造か検証に関する基礎的な研究、京都大学防災研究所年報、第52号B、2009.
- 2) 佐藤武夫、奥田穰、高橋裕、災害論、勁草書房、1964.
- 3) 中央防災会議、南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ、南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について（報告）、2017.
- 4) 総務省、平成23年(2011年)産業連関表 総合解説編、2015.
- 5) 中村洋光、藤原広行、高橋郁夫、清水智、山崎雅人、地震・津波による経済被害予測のための全国を対象とした産業別民間企業資本ストックデータの試作、日本地震工学会・大会2019梗概集、2019.
- 6) 内閣府、南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン、第1版、2019.

⑦ 都市災害と経済被害

(a) 業務の要約

都市災害ではこれまでの検討を生かす形で、今年度は国土復興シミュレーションを作成した。これは巨大地震によって住まいを失った世帯が住宅を再取得する際、どのように移動を行い、それによって被害地の人口分布がどう変わるかを様々なシナリオのもとで記述するものである。地震被害に伴う雇用の喪失が被災地の人口減少に与える影響を確認することができた。このシミュレーションは現状では非被災地域での人口増加の推定精度は高くないものの、今後の精度向上の取り組みを通じて、復興特区制度による災害ハザードの低い場所への人口誘導など様々な復興の政策効果を定量的に評価可能になるものと考えられる。

経済被害について、愛知県を対象に市区町村単位の地域分類で応用一般均衡モデルを構築し、南海トラフ地震の経済被害評価を試みた。2019年度は愛知県を主とする東海地域を対象とし、2018年度に構築した愛知県市区町村間産業連関表に基づく経済シミュレーションモデルを構築した。分析事例として豊田市の製造業の50%の稼働停止に伴う経済被害を分析した。地域で異なるハザードおよび産業構造の情報をより活用できる経済被害の推計手法を開発した。

(b) 業務の実施方法

1) 都市災害

本業務では、2017年度までに復興期の居住地選択モデルを作成し、2018年度にシミュレーションを構築するためのアンケート調査分析を行っている。そして今年度の業務は、これらをもとに国土復興シミュレーションを作成した。このシミュレーションは、被災者が仮住まいから恒久住宅に移動する際の移住行動を扱ったものであり、それに伴って生じる復興時の将来人口分布を把握することを目的とする。

2) 経済被害

2018年度に構築した愛知県市区町村産業連関表を用いて、代替の弾力性の値以外のパラメータをカリブレーションした多地域応用一般均衡モデルを構築した。応用一般均衡モデルの地域数は愛知県の市区町村 69 地域であり、産業分類は農林水産業、鉱業、鉄鋼業、自動車関連産業、その他製造業、電力、ガス・水道、建築業、商業、輸送業、その他サービス業の 11 業種とした。また各地域の家計や産業は自地域内だけでなく他地域との取引も行っており、地域間は経済的取引によってつながっている。全ての産業が生産する財やサービスは全ての地域で取引されている。また全ての地域で利用される労働と資本についてもすべての地域で市場が存在し取引が行われている。

各地域の家計は代表的家計として単一の主体としてモデル化している。代表的家計とは現実に存在する各地域の複数の家計を集計しモデル化したものである。代表的家計は自らの効用水準を予算制約のもとで最大化するため、消費する財の組み合わせを選択すると仮定する。予算制約とは各市区町村に賦存する労働力および資本ストックの価値である。代表的家計が消費する財は自地域のみならず他地域からも取引を通して購入する。地域の各産業は地域の資本ストックと労働力を代表的家計から賃借あるいは購入すると同時に、自地域を含む各地域の様々な産業から原材料や部品等の中間財を購入し生産活動を行う。ただし各産業は任意の生産水準を最小費用で達成する中間投入財や資本ストックの利用、労働力の雇用水準の組み合わせを選択する。応用一般均衡モデルでは、労働力や資本ストックの賃借も含めた全ての市場において需給が一致する様に価格が調整される。また本モデルは静学モデルであり投資等に伴う経済の時間的変動は分析しない。

上記の設定は標準的な応用一般均衡モデルの構造を当てはめているが、市区町村間応用一般均衡モデルの場合には必ずしも適当でない仮定もある。今後の研究では現実に即したモデル構造の改良が必要である。ただしモデルの挙動を確認することを目的とする上では標準的な応用一般均衡モデルの構造あるいは仮定を採用し、より現実的な地域分析に向けた応用一般均衡モデルの改良は今後の課題としたい。

(c) 業務の成果

1) 都市災害

ここで再現する「移住行動」は、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、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た。表3-2-(2)-⑦-1は、居住形態の選択における変数の概要と効用関数の係数であり、表3-2-(2)-⑦-2は移住先の選択における変数の概要と効用関数の係数である(2018年度報告書参照)。表3-2-(2)-⑦-1の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る。表3-2-(2)-⑦-2の距離と職場距離の係数の大きさから、新築住宅を選ぶ世帯は職場と移住先との位置関係の方を重視するが、中古住宅と賃貸住宅を選択する世帯では現居住地と移住先の位置関係の方を重視することが分かる。

表3-2-(2)-⑦-1 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・二世帯・三世帯世帯は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-(2)-⑦-2 居住地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/km]	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

図3-2-(2)-⑦-1にシミュレーションのフローを示す。推定は次の下記に示す5つの手順を経て行った。

Step1 パラメータの入力

市区町村ごとの全壊世帯数、市区町村間の距離、上記で推定した効用関数の係数、居住地と従業地のOD表、市町村統計(大世帯の割合・高齢化率・戸建て住宅に住む住民の割合・集合住宅に住む住民の割合・平均年収・DID人口率・人口密度・大型小売店の数)のパラメータを入力する。

Step2 個人データの生成

個人 n ごとに、職場の位置 w_n と居住形態の選択における効用関数の変数 $x_{2,n}$, $x_{3,n}$ … $x_{5,n}$ をモンテカルロ法によって仮定する。

Step3 居住形態のシミュレーション

表 3-2-(2)-⑦-1 の係数と Step2 で仮定した変数の線形和から居住形態ごとの効用の大きさ $V_n^{(k)}$ の計算を計算する。式(1)より、選択確率 $P_n^{(k)}$ を算出する。

$$P_n^{(k)} = \frac{\exp(V_n^{(k)})}{\sum_{k=1}^5 \exp(V_n^{(k)})} \quad (1)$$

そして、乱数を選択確率 $P_n^{(k)}$ に基づいて識別し、個人 n の居住形態 H_n を決定する。

Step4 居住地のシミュレーション

Step3 で決定した個人 n の居住形態が「1. 自宅再建」の場合は、移住しないものとし、「2. 新築住宅」「3. 中古住宅」「4. 賃貸住宅」の個人のみ、以下の計算を行う。移住先の選択肢 j ごとに表 3-2-(2)-⑦-2 の変数 d_{ij} , y_j , d_{wj} , z_j を代入し、居住形態 H_n を選択した個人 n が市区町村 i から j に移住する効用の大きさ $V_{ij,n}^{(H_n)}$ を算出する。式(2)から現住地 i から移住先 j に移住する確率 $P_{ij,n}^{(H_n)}$ を算出し乱数を識別して移住先 $trip_n$ を定める。

$$P_{ij,n}^{(H_n)} = \frac{\exp(V_{ij,n}^{(H_n)})}{\sum_j \exp(V_{ij,n}^{(H_n)})} \quad (2)$$

Step5 結果の集計と出力を行う。

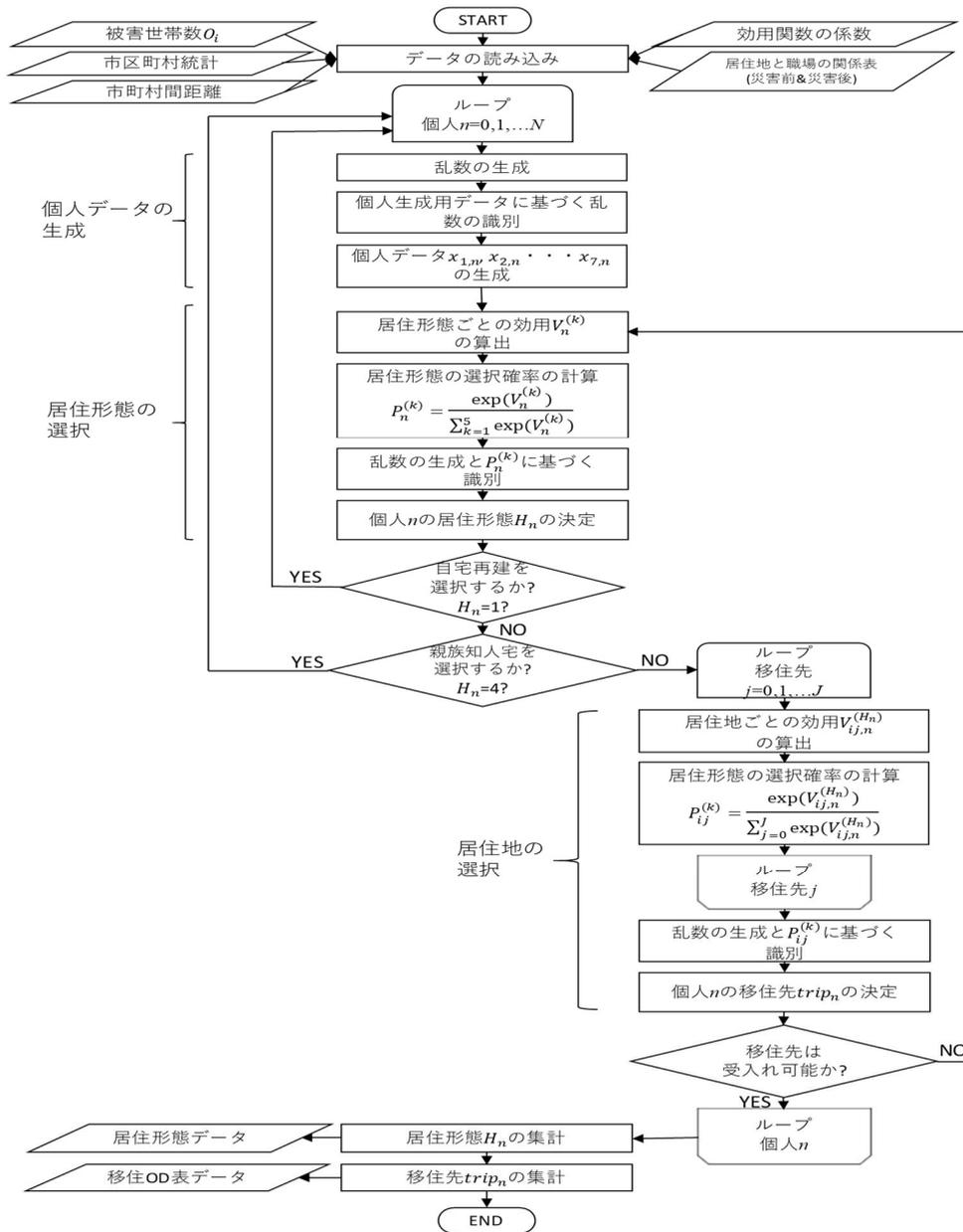


図 3-2-(2)-⑦-1 災害時移住シミュレーションのフロー

なお、この種の大規模シミュレーションは検証の手続きが必須である。そこで本業務では、東日本大震災の被害データを用いることで、東日本大震災版の国土復興シミュレーションを作成し、国勢調査における移動世帯数（以下、実態値と呼ぶ）と比較することでシミュレーションの検証を行った。平常時の世帯移動の影響を除くため、2010年から2015年にかけての値から、2005年から2010年にかけての値の差分をとった。シミュレーションによる予測値と実態値を比較したものが図3-2-(2)-⑦-2である（ただし実体値・推測値ともに、正であれば対象地域の人口が増加しているものとして作図している）。これによれば、被害の大きい地域は世帯減少を過大に見積もり、被害の大きい地域に隣接した地域は世帯増加を過大に見積もり、被災地から遠方の地域は世帯増加を過少に見積もっている。例えば被害が発生した地域で

は、シミュレーション結果としての推測値が実態値にどの程度当てはまるかを R^2 で示すと、これは 0.407 とそれなりに高い相関が得られたが、被害が生じていない地域では R^2 が 0.185 と精度が低く、移動が到達する地域の推定が課題として残った。

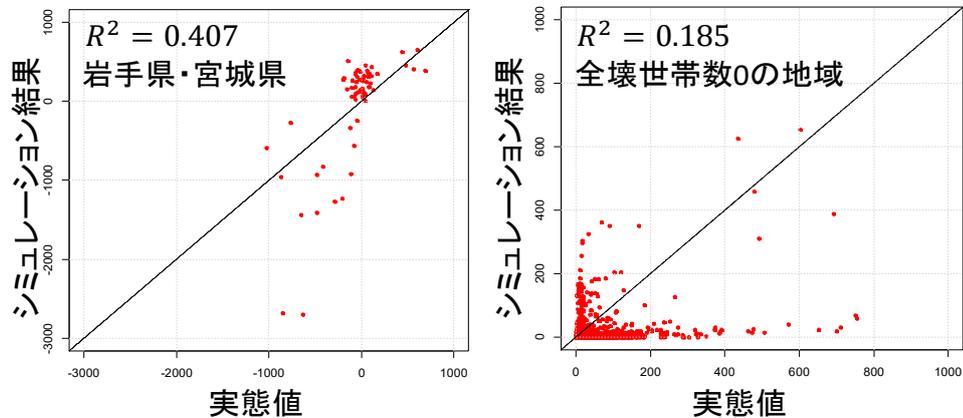


図 3-2-(2)-⑦-2 東日本大震災におけるシミュレーション結果と実態値の散布図

このような手続きを経て、南海トラフ巨大地震陸側①ケースの復興時の人口移動を推定する。なお大規模地震時は事業所も被災し、ある程度の雇用が喪失する可能性が考えられる。そこで、雇用が喪失する場合としない場合のシミュレーションを行うことで、事業所の防災対策が復興時の人口分布に与える影響を把握することとした。図 3-2-(2)-⑦-3 に、雇用喪失の有無別の従業者分布を示す。ここでは簡単のため、被害率と同等だけ雇用が減少し、減少分を他地域に按分している。

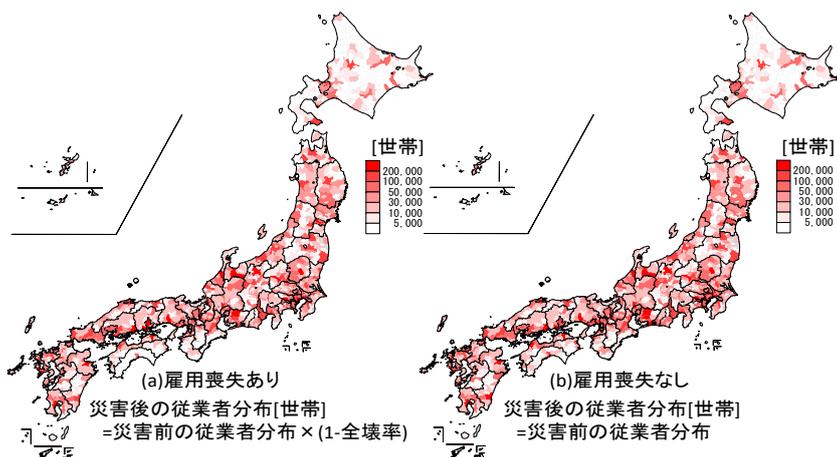


図 3-2-(2)-⑦-3 雇用喪失の有無別の従業者分布

この条件の下でシミュレーションを行った結果が図 3-2-(2)-⑦-4 である。これは雇用喪失がある場合の世帯増減数と増減率を示しているが、雇用喪失がある場合と比べて、喪失がない場合は居住地の変化がない自宅再建を選択する世帯が増加した。図 3-2-(2)-⑦-5 は雇用喪失なしの場合のケースと雇用喪失ありのケースの増減世帯数の差分値である。沿岸部の赤色の地域では、雇用喪失を防ぐこと

で流出世帯を抑制することができているものと考えられる。また、表3-2-(2)-⑦-3に示すように、雇用喪失がない場合、同一市町村に留まる世帯が増加していることがわかる。事業所の防災対策を進める政策は、被災地の人口流出を防ぐ効果もあることが、この国土復興シミュレーションを用いることで明らかとなった。

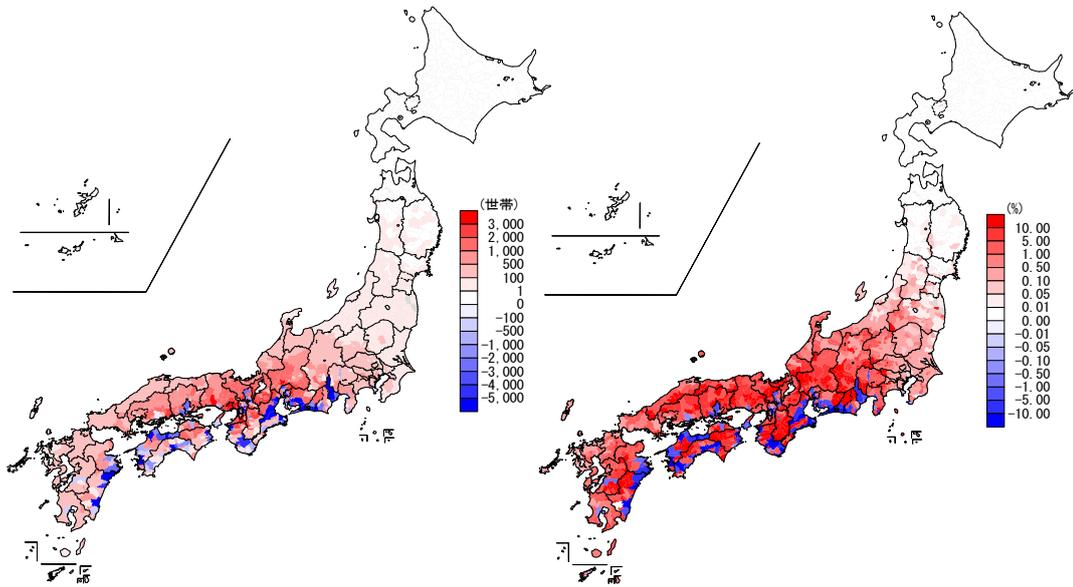


図3-2-(2)-⑦-4 南海トラフ地震の際の世帯増減数と世帯増減率

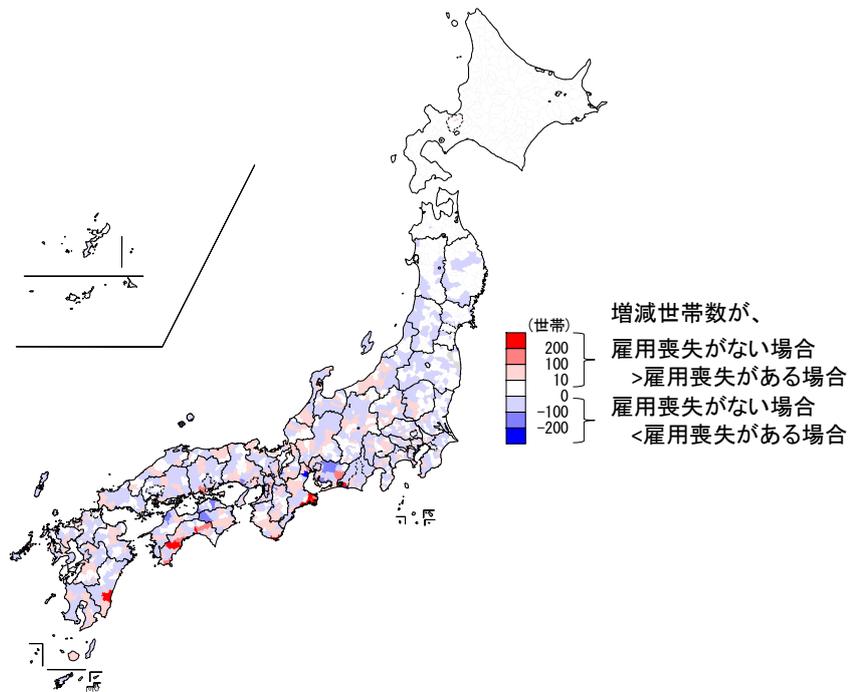


図3-2-(2)-⑦-5 雇用喪失の影響

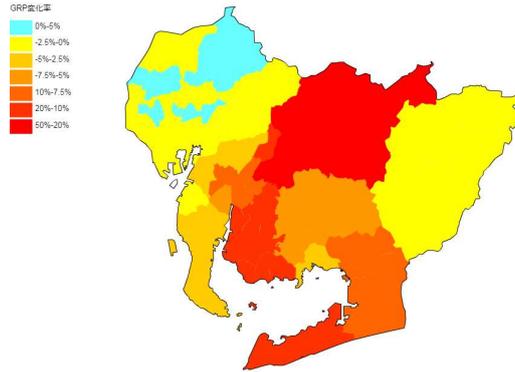


図3-2-(2)-⑦-7 愛知県内市区町村の付加価値低下率

(d) 結論ならびに今後の課題

都市災害については、移住期の世帯移動を推定する国土復興シミュレーションを構築し、これを南海トラフ巨大地震に適用した。このシミュレーションを用いることで、災害によって雇用の立地が変わってしまった場合の移住行動の変化や、家計への経済的支援による移住行動の変化を見ることが可能と考えられる。それを通じて、災害後に望ましい地域の将来像（例えば災害ハザードの低い場所への人口の誘導、地域の存続等）を実現するうえで、有効な政策を分析することが重要となる。

経済被害について、本年度は愛知県の市区町村を地域分類とする応用一般均衡モデルを構築し、その挙動を確認した。シミュレーション結果より、自動車関連産業のサプライチェーンの実態に合うシミュレーション結果を得る事ができた。ただしより説得力のあるシミュレーション分析を行う上では、小地域分類の分析に適したモデル構造の改良とデータの精度向上が必要である。特に市区町村間産業連関表の推定精度の向上は重要である。世界的にも市区町村間の物流を業種別に把握したデータは存在しないため推定するための統計的手法の高度化が望まれる。

⑧ 災害廃棄物

(a) 業務の要約

平山ら¹⁾は、大規模災害時における家屋解体を伴うがれき処理に係る災害対応業務とそのリソースに着目し、災害廃棄物対応業務と災害対応リソースとの関係を明らかにし、南海トラフ巨大地震の国難を克服するためには、徹底的な災害廃棄物の減量を進めることが必要不可欠であることを指摘している。すなわち、住宅の耐震化や住家の建て替えの促進が重要である。

災害廃棄物量の把握システムを用いて、住宅耐震化や建て替えによる災害廃棄物の減量効果を明らかにするとともに、事前の住宅耐震化によって、災害廃棄物処理事業、公費解体等の災害時の社会的費用がどの程度低減しうるのかについて明らかにする。住宅の建て替えによる災害廃棄物の減量効果について、震度分布、国勢調査に関する地域メッシュ統計、住宅・土地統計調査、災害廃棄物量原単位により、地域メッシュ別に災害廃棄物量を把握²⁾し、評価する手法を開発する。

(b) 業務の実施方法

国勢調査に関する地域メッシュ統計における世帯総数、共同住宅世帯数より、木造住宅と非木造住宅の割合を地域メッシュ別に算出し、住宅・土地統計調査における第2表都道府県別の住宅棟数、世帯総数、第4表住宅の種類、構造、建築の時期別住宅数より、地域メッシュ別での建築の時期別の木造住宅棟数分布、非木造住宅棟数分布を算出する。なお、建築の時期については、中央防災会議における住宅被害関数³⁾に従い、木造住宅は、1960年以前、1961年～1970年、1971年～1980年、1981年～1990年、1991年～2000年、2001年以降の6区分、非木造住宅は、1970年以前、1971年～1980年、1981年以降の3区分とする。そして、建築の時期別の木造・非木造住宅棟数分布と地域メッシュ別計測震度分布より、住宅被害関数を用いて、地域メッシュ別に木造・非木造住宅の全壊棟数分布ならびに半壊棟数分布を推定する。そのうえで、推定した地域メッシュ別建物被害棟数に対して、住家の被災区分別の災害廃棄物量原単位を乗じて、地域メッシュ別での災害廃棄物量を算出する。

本稿では、南海トラフ広域地震の強震断層モデル（陸側ケース）、津波断層モデル（東海地域が最も被害を受けるケース、堤防破堤）を対象とし、2005年時点から2018年時点での愛知県ならびに碧南市において推定される災害廃棄物量を比較する。2005年時点では、平成17年国勢調査に関する地域メッシュ統計ならびに平成15年住宅・土地統計調査により、2分の1地域メッシュ上で災害廃棄物量を推定する。2008年時点では、平成17年国勢調査に関する地域メッシュ統計と平成20年住宅・土地統計調査、2010年時点では、平成22年国勢調査に関する地域メッシュ統計と平成20年住宅・土地統計調査、2013年時点では、平成22年国勢調査に関する地域メッシュ統計と平成25年住宅・土地統計調査により推定する。2015年時点では、平成27年国勢調査に関する地域メッシュ統計と平成25年住宅・土地統計調査により、2018年時点では、平成27年国勢調査に関する地域メッシュ統計と平成30年住宅・土地統計調査により、4分の1地域メッシュ上で災害廃棄物量を推定する。住宅被害関数は、内閣府中央防災会議で示された被害関数³⁾を、災害廃棄物量原単位は、東日本大震災の処理実績から推定された原単位⁴⁾を用いる。

(c) 業務の成果

平成17年国勢調査、平成22年国勢調査、平成27年国勢調査、平成15年住宅・土地統計調査、平成20年住宅・土地統計調査、平成25年住宅・土地統計調査、平成30年住宅・土地統計調査を用いて、2005年、2008年、2010年、2013年、2015年、2018年時点での愛知県ならびに碧南市における南海トラフ地震による災害廃棄物量を推定した。

住宅・土地統計調査の住宅の種類、構造、建築の時期別住宅数から木造住宅、非木造住宅の建築の時期割合を算出し、木造住宅は6区分、非木造住宅は3区分として建築時期別の住宅棟数を推定した。図3-2-(2)-⑧-1に愛知県における2005年から2018年の建築時期別の木造住宅棟数、非木造住宅棟数を示す。

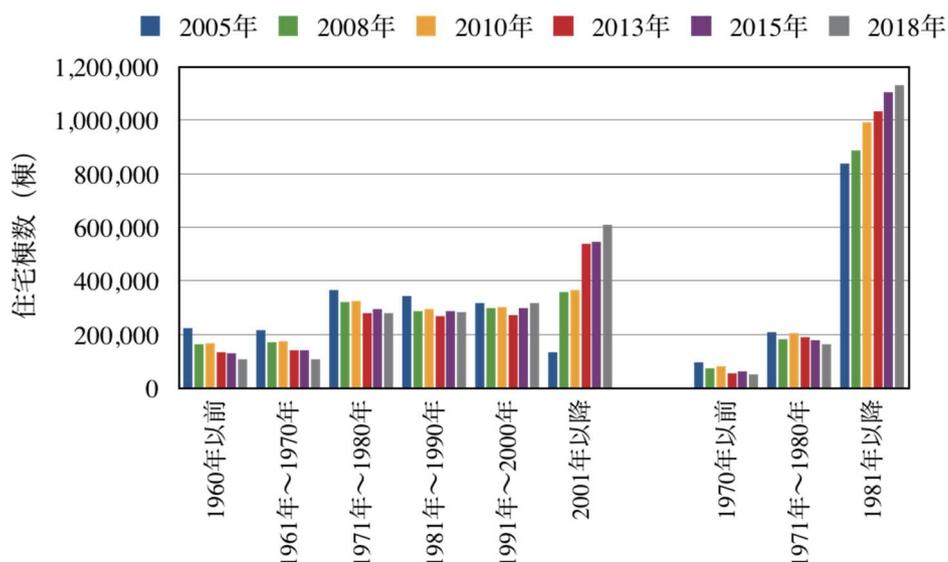


図3-2-(2) - ⑧-1 愛知県における2005年から2018年の建築時期別の木造住宅棟数、非木造住宅棟数

これより、1981年以前の旧耐震基準の木造住宅は、愛知県で、2005年で80.4万棟、50.4%、2008年で65.2万棟、40.8%、2010年で66.5万棟、40.8%、2013年で55.3万棟、33.9%、2015年で56.6万棟、33.3%、2018年で49.0万棟、28.8%に減少している。1981年以降の新耐震基準の木造住宅は、79.3万棟、49.6%、94.5万棟、59.2%、96.5万棟、59.2%、108.0万棟、66.1%、113.2万棟、66.7%、120.8万棟、71.2%となっている。2008年から2010年にかけて棟数が増加しているのは、愛知県内の人口が増加したことによるものである。非木造住宅では、旧耐震基準の建物は、30.3万棟、26.5%、25.6万棟、22.4%、28.6万棟、22.4%、24.7万棟、19.3%、23.9万棟、17.8%、21.6万棟、16.0%となっている。

住宅被害関数を用いて、地域メッシュ別に建物被害棟数を算出した。その結果、2005年における愛知県では、木造住宅の全壊263,393棟、半壊322,549棟、非木造住宅の全壊47,791棟、半壊67,458棟、床上浸水29,060棟、床下浸水42,262棟と算出された。2018年における愛知県では、木造全壊133,523棟、木造半壊222,599棟、非木造全壊31,802棟、非木造半壊59,921棟、床上浸水22,927棟、床下浸水40,384棟であった。本研究での算出手法は、国勢調査と住宅・土地統計調査の調査年が異なるのみであり、それ以外の解析条件は同一である。したがって、住宅の建て替え等により、2005年から2018年にかけて、1981年以前の旧耐震基準の木造住宅が314,822棟、旧耐震基準の非木造住宅が87,318棟少なくなったことで、木造の全壊棟数が129,870棟、49.3%、非木造の全壊棟数が15,989棟、33.5%に少なくなっていると指摘できよう。

算出した愛知県における2005年時点から2018年時点での災害廃棄物量の分布を図3-2-(2) - ⑧-2に示す。なお、凡例における災害廃棄物量の階級については、1995年時点と2015年時点での地域メッシュ単位が異なることから、階級における単位面積当たりの災害廃棄物量を同じものとした。愛知県における災害廃棄物量の推定結果は、2005年時点で5,236万トン、2008年時点で4,563万トン、2010年で4,765万トン、2013

年で4,286万トン、2015年3,395万トン、2018年で3,086万トンであった。碧南市では、120.7万トン、105.3万トン、108.7万トン、97.1万トン、81.7万トン、74.5万トンであった。図3-2-(2)-⑧-3に碧南市の災害廃棄物量の分布を示す。

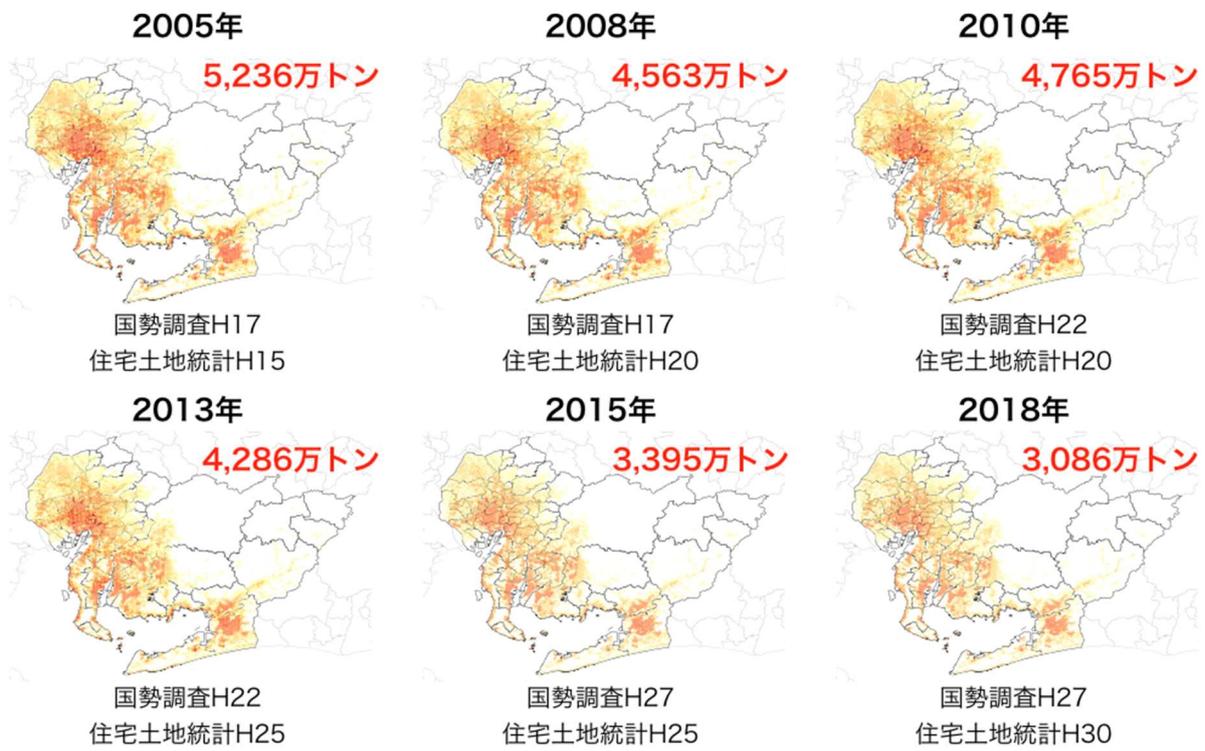


図3-2-(2)-⑧-2 愛知県の2005年から2018年の災害廃棄物量推定結果

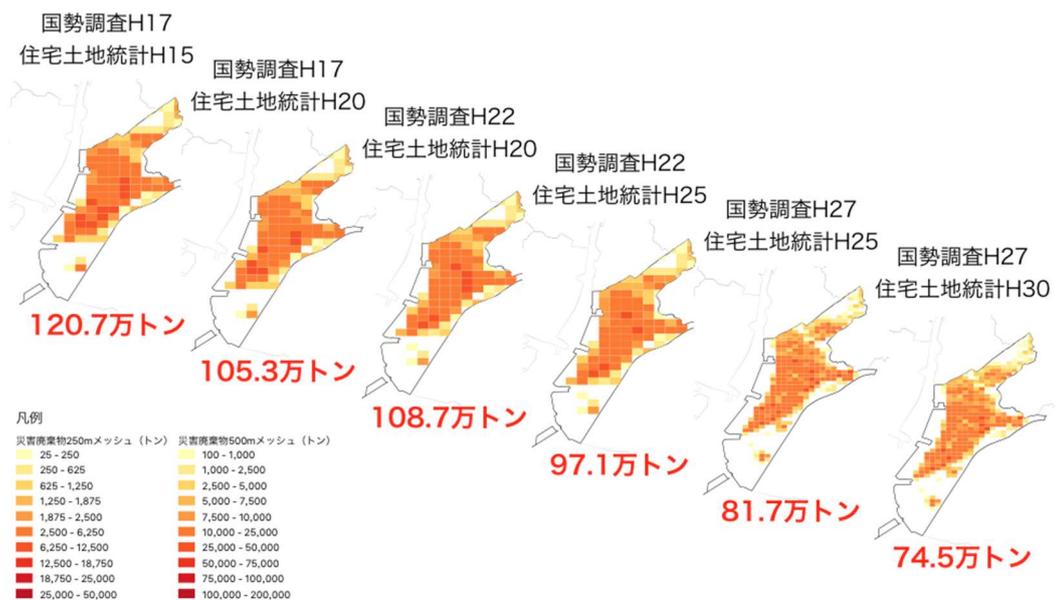


図3-2-(2)-⑧-3 碧南市の2005年から2018年の災害廃棄物量分布推定結果

1981年新耐震基準による住宅棟数、住家被害の全壊棟数、災害廃棄物量の2005年から2018年の推移を図3-2-(2)-⑧-4に示す。これより、木造、非木造ともに1981年以降の新耐震基準による住宅棟数が2005年から2018年の間に707,092棟増加したことで、全壊棟数が311,184棟から165,325棟まで抑えられ、46.9%減少している。そして、災害廃棄物量は5,236.5万トンから3,085.6万トンと41.1%低減している。以上のことから、災害廃棄物の処理量を効果的に減量するには、耐震補強や住宅の建て替えなどの住宅耐震化が必要不可欠であると指摘できる。一方、津波の浸水による全壊棟数、床上浸水棟数については、2005年時点での38,144棟、29,060棟数から2018年時点での全壊19,138棟、床上22,927棟と、全壊で49.8%、床上浸水で21.1%の減少となっている。

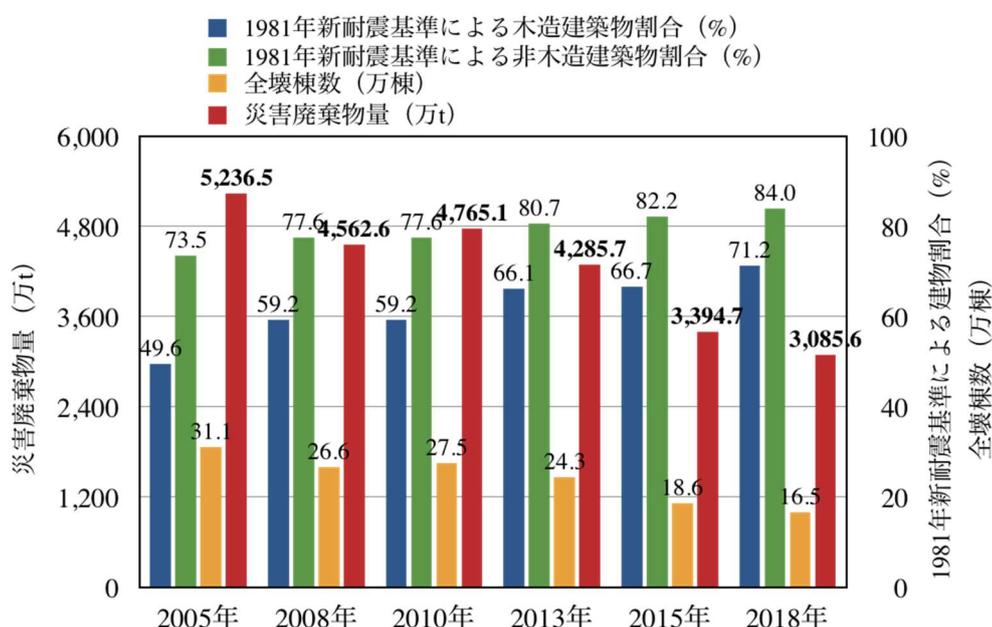


図3-2-(2)-⑧-4 愛知県における災害廃棄物量、1981年新耐震基準による住宅棟数、住家被害の全壊棟数の2005年から2018年の推移

災害廃棄物処理事業費など住家の被災に伴い社会全体が負担させられる費用である災害後の社会的費用に着目し、住宅耐震化に伴う旧耐震基準の住宅棟数減少によって地震時の社会的費用がどの程度低減しうるのか検討する。なお、地震時の社会的費用として、災害廃棄物処理事業費、公費解体、災害救助法（応急仮設住宅建設費用）、被災者生活再建支援法、復興公営住宅建設費用を取り扱うものとする。また、住宅耐震化によって、旧耐震基準の住宅が減少し、住家被害が軽微な被害にとどまることとした。

災害廃棄物については、2005年時点と2018年時点とを比較すると、2150.9万トンが低減されている。災害廃棄物処理単価が33.8千円/トン¹⁾であることから、1981年以前の旧耐震基準の住宅402,140棟に対する耐震化により、726,992百万円の地震時の社会的費用が低減される。

大規模災害時において公費による解体の実施を決定した場合、全壊の判定を受けた家

屋については、補修により元通りに再使用することが困難なものであると考えられることから、市町村が主体となって、所有者の同意に基づき撤去した場合には、災害廃棄物処理に係る国庫補助の対象となる。り災証明書により対象家屋のり災の程度を確認することから、り災証明書発行後に、公費による解体の申請を受け付けることとなる。廃棄物の処理及び清掃に関する法律において、損壊家屋等の災害廃棄物は事業活動に伴って生じた廃棄物ではなく、一般廃棄物に区分されるため、一般的には工事ではなく業務委託により実施される。2011年東日本大震災や2016年熊本地震では、損壊家屋等の解体の基準単価が示されており、木造住宅で7,500円/m²～11,900円/m²、鉄筋コンクリート造で12,800円/m²～19,400円/m²となっている^{5)・6)}。2011年東日本大震災での仙台市の実績では、管理件数10,504件で、損壊家屋等の解体撤去業務委託料26,680,508,400円であり、1件当たり254万と報告されている⁵⁾。したがって、全壊1棟当たりの公費解体費用を254万と設定すると、2005年から2018年の間で全壊棟数が145,859棟減少していることから、370,482百万円の地震時社会的費用が低減されることとなる。

災害救助法は、災害に際して、国が地方公共団体、日本赤十字社その他の団体及び国民の協力の下に、応急的に、必要な救助を行い、被災者の保護と社会の秩序の保全を図ることを目的としている⁷⁾。そして、救助の種類のひとつに、避難所及び応急仮設住宅の供与がある。建設型仮設住宅での費用の限度額の一般基準は1戸当たり平均561万円以内である。2005年から2018年の住宅の建て替えにより、全壊が145,859棟減少していることから、地震時の社会的費用については818,269百万円が軽減されうる。

被災者生活再建支援法は、自然災害によりその生活基盤に著しい被害を受けた者に対し、都道府県が相互扶助の観点から拠出した基金を活用して被災者生活再建支援金を支給することにより、その生活の再建を支援し、もって住民の生活の安定と被災地の速やかな復興に資することを目的としている⁸⁾。支援金の支給額は、住宅の被害程度に応じて支給する支援金（基礎支援金）が全壊では100万円、住宅の再建方法に応じて支給する支援金（加算支援金）が建設・購入では200万円となっており、これら2つの支援金の合計額300万円が最大となる。したがって、地震時社会的費用については、全壊世帯では1世帯当たり少なくとも300万円が低減され、今回のケースでは437,577百万円の地震時社会的費用の低減となる。

復興公営住宅の補助対象費用の限度額は、標準的な住宅を基本とし、特別な工事については加算することにより算出される。そして、標準建設費は、住宅の立地条件、構造、階数に応じて、毎年度の価格変動が反映されている。2011年東日本大震災の被災3県における標準建設費は最大2,188万円/戸であった⁹⁾。したがって、1981年以前の旧耐震基準の住宅40.2万棟に対する耐震化により復興公営住宅建設が不要となることで、地震時の社会的費用は3,191,395百万円の軽減となる。

これらのことから、1981年以前の旧耐震基準の住宅40.2万棟、うち木造31.5万棟、非木造8.7万棟、の住宅耐震化により、住家の被害のうち全壊棟数が46.9%減少し、災害廃棄物量が41.1%減量される。このことは、災害廃棄物処理事業費、公費解体、災害救助法（応急仮設住宅建設費用）、被災者生活再建支援法、復興公営住宅建設費用による地震時の社会的費用が低減されることとなり、その低減効果は5,544,714百万円と算定された。すなわち、40.2万棟の住宅耐震化により約1.76兆円の災害時社会的費用を

守ることができるといえよう。本稿で取り上げた災害廃棄物処理事業費、公費解体、災害救助法（応急仮設住宅建設費用）、被災者生活再建支援法、復興公営住宅建設費用は、住宅の耐震改修や建て替えなどの住宅耐震化が促進されないことで、地震災害時に住家の被災に伴い社会全体が負担させられる社会的費用である。したがって、事前の防災投資、すなわち住宅耐震化によって地震時の社会的費用を低減できうとするならば、5.54兆円を約40.2万棟の耐震化に投資することが可能となる。つまり、愛知県においては、1棟当たり最大約1,379万円まで事前投資としての住宅耐震化施策を実施することが可能であるといえる。

ここでは、住家の被災に伴い社会全体が負担させられる費用である災害後の社会的費用に着目し、住宅耐震化による地震時の社会的費用の低減効果を評価する手法を示した。そして、事前の住宅耐震化が地震時の社会的費用の縮減に効果的であることを示した。これらのことから、地震時の社会的費用という視点から、南海トラフ広域地震の災害対策においては、災害廃棄物の減量対策の重要性、事前の住宅耐震化の推進の効果を示すとともに、徹底的な事前防災投資や事前対策による社会の活力向上が重要であるといえよう。

(d) 結論ならびに今後の課題

災害廃棄物量の把握システムを用いて、南海トラフ地震における愛知県を対象として、住宅耐震化や建て替えによる災害廃棄物の減量効果について検討した。さらに、地震時の社会的費用として、災害廃棄物処理事業費、公費解体、災害救助法（応急仮設住宅建設費用）、被災者生活再建支援法、復興公営住宅建設費用を取り上げ、住宅耐震化によって地震時の社会的費用がどの程度低減しうるのか検討した。

住宅の建て替え等に伴う旧耐震基準の住宅棟数の減少による災害廃棄物の減量効果について、国勢調査と住宅・土地統計調査の異なる調査年度を用いることで、災害廃棄物量の把握システムを用いて評価する手法を開発した。

2005年、2008年、2010年、2013年、2015年、2018年時点での愛知県における南海トラフ地震による災害廃棄物量を推定した。その結果、旧耐震基準による木造住宅棟数が31.5万棟、非木造住宅棟数が8.7万棟減少したことで、全壊棟数が46.9%減少し、災害廃棄物量は5,236.5万トンから3,038.6万トンと41.1%減少することを示した。

南海トラフ地震での災害廃棄物の処理量を効果的に減量するには、耐震補強や住宅の建て替えなどの住宅耐震化が必要不可欠であると指摘した。

住家の被災に伴い社会全体が負担させられる費用である災害後の社会的費用に着目し、住宅耐震化による地震時の社会的費用の低減効果を評価する手法を示した。地震時の社会的費用という視点から、事前の住宅耐震化の推進の効果を示すとともに、徹底的な事前防災投資や事前対策による社会の活力向上が重要であることを指摘した。

今後、将来の人口減少社会に向けた都市の再構築や更新、あるいは、南海トラフ巨大地震などの巨大災害後の地域復興計画においては、災害時の社会的費用と事前防災投資の視点が重要である。しかしながら、将来の人口減少社会に向けた都市の再構築方策や、地域の人口変化や地域特性、地震ハザードを考慮した旧耐震基準の住宅の建て替えや耐震補強に係る施策、巨大災害後の復興計画と関連付けての検討には至っていない。した

がって、ここで提示した災害時の社会的費用や事前防災投資の視点から、旧耐震基準の住宅を低減するための建て替えや住宅耐震化の施策に対する政策分析を行うことで、より実効性のある南海トラフ巨大地震対策に結実していくことが望まれる。

(e) 引用文献

- 1) 平山修久、永田尚人、上村俊一、河田恵昭、南海トラフ巨大地震時における災害廃棄物処理に係る災害対応リソース、地域安全学会論文集、No. 33、157-164、2018.
- 2) 平山修久、大迫政浩、林春男、災害初動期における災害廃棄物量の把握システムの構築-2016年熊本地震でのケーススタディによる-、地域安全学会論文集、No. 30、2016-069、1-7、2017.
- 3) 内閣府中央防災会議、南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、2013.
- 4) 平山修久、大迫政浩、東日本大震災の経験を踏まえた災害廃棄物の発生量原単位の推定、環境衛生工学研究、第28巻第3号、139-142、2014.
- 5) 仙台市環境局、東日本大震災における震災廃棄物処理の記録、406、2016.
- 6) 益城町、平成28年熊本地震による益城町災害廃棄物処理事業記録、84、2018.
- 7) 内閣府防災（被災者行政担当）、災害救助法について、平成30年度災害救助法等担当者全国会議、2018.
- 8) 内閣府、被災者生活再建支援法の概要、2016.
- 9) 復興庁、適正な契約価格の設定、国土交通省、加速化措置参考資料、住宅再建・復興まちづくりの加速化措置（第三弾）[平成25年10月19日]、2013.

(3) 平成25～平成31年度（令和元年度）の成果

(a) 業務の要約

広域リスク評価としては、現在～将来時点の南海トラフの地震・津波による広域リスク評価を実施するための人口・建物モデルを作成した。作成した人口・建物モデルと全国地震動予測地図の南海トラフの震源モデルを利用し、現在～将来時点の地震・津波による建物被害・人的被害を対象とした広域リスク評価を実施した。リスク評価基準年の経過による10年期待値の推移をみると、建物全壊棟数は2035年で、死者数は2045年でピークを迎え、ともにその後は徐々に減少するが、建物全壊率・死者率は年々上昇する結果となった。リスクの増加要因としては地震発生確率の上昇のほか、全壊率は建物の経年劣化、死者率は高齢化率の上昇が考えられる。また広域リスク評価の利活用の一環として、耐震補強、堤防嵩上げ、低地の土地利用規制等の防災戦略を実施した場合の費用対効果の検討を実施し、今後も人口増加が見込まれる地域では中長期的には津波リスクを抑制するような土地利用が効果的と示唆される結果を得た。南海トラフで発生する多様な地震・津波によってもたらされる災害の具体像を示すため、災害シナリオを試作するとともに、これを高度化するため設定した6つのシナリオの経済被害予測を実施した。その結果、地震発生後から1年間（複数の地震が発生するシナリオでは最初の地震発生から最後の地震発生1年後までの期間）の経済被害額として約60～140兆円との結果を得た。また、過去に発生した被害地震

の被災地の被害データ等から災害パターンの類型化手法の検討を行い、南海トラフの地震・津波被害が発生した場合の地域類型化を試行した。

最終年度においては、災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、地域類型を反映した災害シナリオを作成した。これに加えて、ハザード・リスク評価や災害シナリオ、およ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本プロジェクト 1-e 等と連携し、1-e による「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2) を介して提供可能となるよう、WebGIS でのマップ情報等の汎用的な形で、研究成果を整理した。

地域リスク評価としては、前半 4 年間において、既存の被害予測において考慮されていない項目や外力と被害の因果関係が不明確な項目に照準を当て、それらの項目に対する評価手法の開発や高度化を実施した。その中では、新たな手法による長周期地震動評価や液状化とポスト液状化を考慮した地盤応答・沈下予測とこれを考慮した防波堤や宅地の評価、庁舎等の耐震対策に向けた建物データ蓄積と解析、あるいは具体的な情報に基づく電力需給ギャップとその対策、さらにはサプライチェーンを考慮した経済被害予測手法の開発等を行ってきた。後半の 2 年間では、それまでに開発した一連の評価手法の特定地域における社会実装実験を行ってきた。その過程においては、各開発手法を繋ぐ試みも行い、その有効性を明らかにした。実際的な例として、愛知県碧南市を対象とした総合的な被害予測と対応方針策定に向けた検討を行っている。想定南海トラフ巨大地震に対する強震動予測に基づき、堤防に関する堤体基礎の沈下量を水～土骨格連成有限変形解析により評価し、その解析結果を津波氾濫解析に組み込み、堤体基礎の脆弱性が浸水域に与える影響を明らかにした。また発災後の対応に着目し、市役所建物等の詳細な被害予測や、市内の電力復旧作業における道路の優先順位付けツールの開発と適用、上水道システムの被害軽減シミュレーションを実施した。さらに最終年度での実際的な適用検討に向け、碧南市を含む周辺市町村間の産業間取引の分析、災害廃棄物処理フローモデルや国土復興シミュレーションツールを構築した。

最終年度においては、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、地域企業の BCP/DCP 検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防沈下予測、市街地津波氾濫水予測、発災後対応を視野に入れた庁舎建物の構造・室内被害評価、対策計画等の実効性の向上に資する重要道路の抽出、上水道の設備投資方針決定判断材料の提供を行った。また、地域の経済被害については、広域リスク評価での経済被害の評価手法と同様の応用一般均衡モデルを用いているため、広域と地域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計した。さらに、中長期的な視点から、廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対応リソースに関する優先順位検討や地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を行った。また、1-e) と連携し、南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能にした。

さらには、最終的に、広域リスク評価として、本プロジェクトで実施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価や、評価に基づく災害

シナリオ等の研究成果をとりまとめ、地域リスク評価として、予測技術の確立によりこれまでに検討した地域リスクの総合的評価に基づき、地域の自治体等の防災計画等への基礎的資料としての活用に資するべく、地域の状況に応じた重要リスクの抽出と評価について整理した。さらには、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった重要リスクの抽出と課題整理を行った。

(b) 業務の成果

広域リスク評価としては、将来推計人口を元に現在～将来の人口モデル・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・リスク評価を行った。また、ハザード・リスク評価結果を元に類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出するとともに、災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究 1-e と連携し情報提供可能となるようデータ整備を行った。

現在～将来にかけての広域的な地震・津波ハザード・リスク評価を実施するため、将来推計人口や今後の建物の新設・滅失を考慮した、現在～将来の人口・建物モデルを作成した。その上で、全国地震動予測地図¹⁾の南海トラフの震源モデルを元に、現在～将来の南海トラフの地震・津波ハザード評価を行い、現在～将来の地震・津波のリスク評価を実施した。

規模や発生パターン等に多様性のある南海トラフで発生する地震・津波を対象に、災害シナリオを作成するためのシナリオタイプの類型化を実施した。さらに、各地域における特徴的な災害パターンを抽出し、それらの類型毎に特徴的な災害シナリオを試作した。

2015年、2025年、2035年、2045年、2065年時点の南海トラフの地震・津波による広域リスク評価を実施するための人口・建物モデルを作成した。作成した人口・建物モデルと全国地震動予測地図の南海トラフの震源モデルを利用し、現在～将来時点の地震・津波による建物被害・人的被害を対象とした広域リスク評価を実施した。リスク評価基準年の経過による10年期待値の推移をみると、建物全壊棟数は2035年、死者数は2045年でピークを迎え、ともにその後は徐々に減少するが、建物全壊率・死者率は年々上昇する結果となった。リスクの増加要因としては地震発生確率の上昇のほか、全壊率は建物の経年劣化、死者率は高齢化率の上昇が考えられる。また広域リスク評価の利活用の一環として、耐震補強、堤防嵩上げ、低地の土地利用規制等の防災戦略を実施した場合の費用対効果の検討を実施し、今後も人口増加が見込まれる地域では中長期的には津波リスクを抑制するような土地利用が効果的と示唆される結果を得た。

規模や発生パターン等に多様性のある南海トラフで発生する地震・津波を対象に、災害シナリオを作成するためのシナリオタイプの類型化を実施し、災害の拡大要因の組み合わせから4タイプの類型を得た。加えて、過去に発生した被害地震の被災地の被害データ等から災害パターンの類型化手法を検討し、「被害の様相(7分類)」「社会経済的特徴(4分類)」等の地域類型を得た。また、災害シナリオの基礎資料として経済被害の試算も実施した。これらの検討結果を元に、災害対策の基礎資料としての

利用を念頭に、被災地の地域類型を反映させた形で6ケースの災害シナリオを作成した(図3-2-(3)-1)。その結果、東海地方と紀伊半島～四国地方では社会経済的特徴が異なるため復旧速度に地域差が出るのが想定されること、一部割れ等の通常とは異なる現象が発生するケースでは、その後の地震(本震)発生までに時間が経過すると人々の関心が薄れ防災・減災に対する具体的な行動がとられにくい可能性のあること、首都直下地震発生後に南海トラフの巨大地震が発生するケースでは、首都直下地震の影響により災害対応に大きな混乱が予想されることや、資材・人的資源等の様々なリソース不足が想定されること、南海トラフ西側で先に地震が発生するケースでは、南海トラフ東側の地震発生の懸念から地震が発生しなくとも経済的な影響が大きくなる可能性のあること等、多様な発生形態が予想される南海トラフの地震において、具体的なシナリオを作成した。

本業務では、地震の発生時期や発生の多様性等を考慮した現在～将来の広域的な地震・津波ハザード・リスク評価を行った。その結果、今後の南海トラフの地震・津波のリスク量の推移を定量化することができた。災害対策の基礎資料としての利用を念頭に、災害シナリオを作成し、多様な発生形態が予想される南海トラフの地震における具体的なシナリオを作成することができた。

本業務のハザード・リスク評価は地表最大速度・計測震度をベースとした評価であるが、より精度を高めるには、揺れの周期の特性を評価できる、応答スペクトルに基づくハザード・リスク評価手法の検討が必要と考えられる。また、南海トラフの地震では、長周期地震動による被害等も懸念されることから、超高層建物・免震建物や石油タンク等を対象にした長周期地震動によるリスク評価手法の検討も課題となる。経済被害に関しては、本業務では日本全国を9地域に分割したモデルを利用したが、地震・津波の被害を表現するためには空間解像度が不足しており、地震・津波の被害の入力方法の高度化も含め、今後、より詳細なモデル開発を行う必要がある。また、災害シナリオの作成で可能性が明らかとなった、南海トラフ西側で先に地震発生した場合に、南海トラフ東側の地震に備えた社会経済活動の低下に関する検討が必要と考えられる。

地震ケース5 西側半割れ→東側半割れ

冬の平日正午頃に南海トラフの南海地域でM8.7の地震が発生。気象庁より、南海トラフ地震臨時情報として「巨大地震警戒」が発表され、1週間後に「巨大地震注意」、2週間後に臨時情報解除となる。

九州から紀伊半島を中心に揺れ・津波・土砂災害・火災による建物被害・人的被害が発生する。九州沿岸の半導体工場の被災は全国の機械・自動車工業に影響する。震災から2年後にはライフラインは復旧し、復旧工事や商店街再建等の復興活動に力を入れている。一方、次の南海トラフ巨大地震が懸念されている東海地域では、製造業の生産拠点の見直しや、移住などが検討されるようになる。

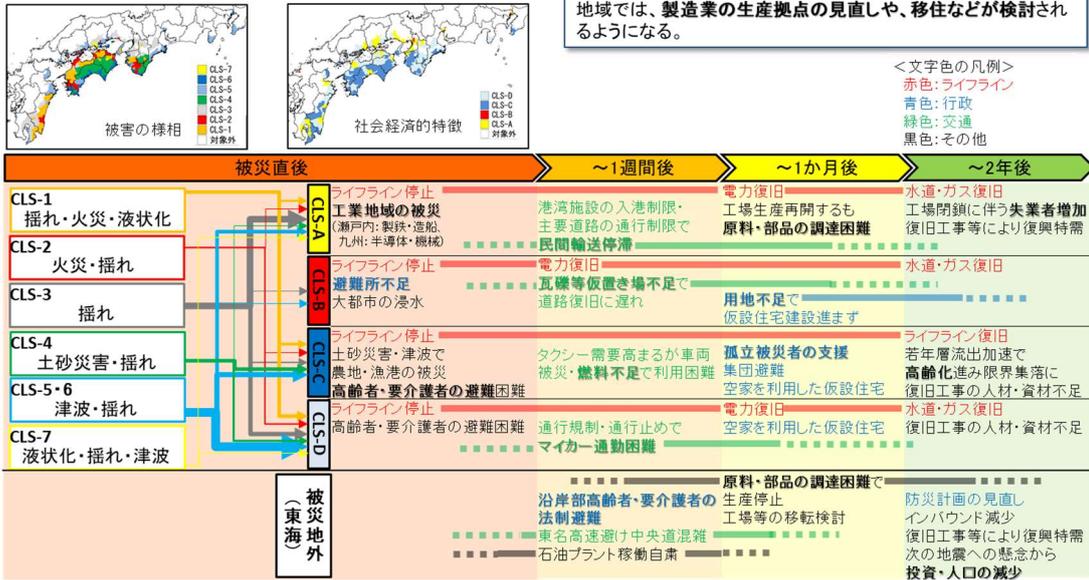


図3-2-(3)-1 災害シナリオの作成例 (ケース5の前半部)

地域リスク評価のうち、津波被害予測としては以下を実施した。

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に対する堤体基礎の液状化による沈下量を数値解析によって高精度に評価した。また、この解析結果を津波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が氾濫過程や浸水域に与える影響について検討を行った。具体的には、碧南市中心部に流れる蜷川の堤体基礎を解析対象とし、地震動に対する変形解析を行った。解析には砂や粘土からなる自然堆積地盤や人工埋立地盤に適用可能な水-土骨格連成有限変形解析モデル GEOASIA²⁾を用い、蜷川下流を代表断面とした2次元解析を行った。変形解析モデルに必要な土質物理特性は実際のボーリングデータを用い、強震波形は内閣府モデルを用いた。本解析から、蜷川下流の堤体基礎は地震発生から100秒で液状化により右岸で1.5m、左岸で1.2mの沈降が生じ得ることが明らかとなった。この強震動とそれに伴った堤体基礎高さの沈降により、津波氾濫域は内閣府の想定浸水域よりも拡大することが懸念されるため、津波氾濫解析を実施した。津波氾濫解析は非線形長波方程式に基づき、GEOASIAによる基礎堤体の変形と河岸構造物被害を地形データに反映させた。GEOASIAによる解析結果、詳細建物データ(碧南市)、5mDEM(国土地理院)とGNSS測量に基づいて最小空間分解能3.3mの合成地形モデル³⁾を構築した。波源は内閣府モデルの津波断層Case9とし、朔望平均満潮位(T.P.+1.0m)とした。蜷川に設置されている樋門や水門開閉による影響についても検討を行った。

解析対象領域において、強震動による堤体基礎の沈下量が最大浸水深に与える影響の一例を図3-2-(3)-2に示す。図から、河岸構造物の崩壊や堤体基礎の沈

下を考慮することにより、その浸水域が大きく変化することがわかった。蜷川流域の堤体基礎が沈下するが河岸構造物は機能した場合には、蜷川右岸における堤体基礎の沈下量が大きいため蜷川北部に浸水が集中することが分かった。また、蜷川流域の堤体基礎が沈下し河岸構造物も崩壊した場合には、内閣府モデルの条件よりも浸水範囲は広がり、浸水深も深くなることわかるこのように、耐震化未整備区間では強震動の影響によって護岸などの沈下が生じ、これにより津波浸水域は大きく拡大することを定量的に示すことができた。このことは、2級河川や一部の港湾施設を擁する地域においては、これら構造物の耐震化の重要性を示していることはもちろんのこと、強震動による海岸・河岸構造物や堤体基礎部の脆弱性が津波ハザード評価に与える影響を無視できないことを示唆していることを指摘した。

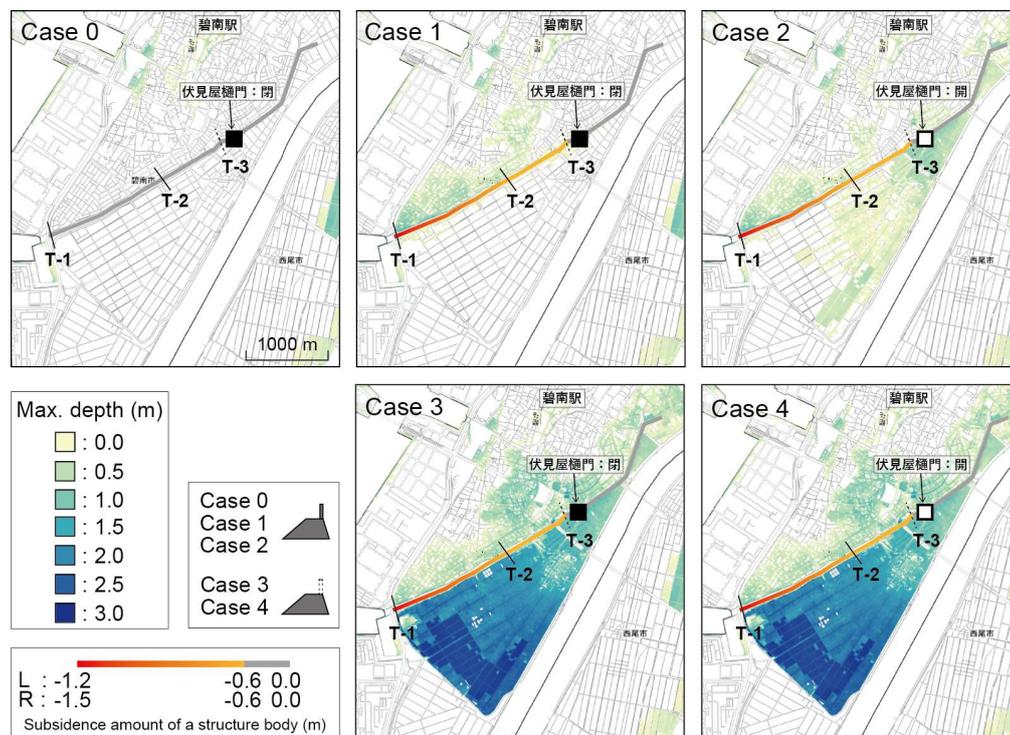


図 3 - 2 - (3) - 2 堤体基礎の沈下量に応じた各被害ケースに応じた地震発生から 6 時間後までの最大津波浸水深分布。

地震動評価としては、平成 25 年度から平成 28 年度にかけて、グリーン関数の相反性を利用した有限差分法による長周期地震動の予測に関する検討を行った。具体的には、平成 25 年度には都市が位置する大規模堆積盆地での長周期地震動の特性についてパラメータスタディを行い、平成 26 年度には震源が位置するプレート境界面についてグリーン関数の伝達関数を評価することで任意位置の震源による地震動を予測する方法を構築した。平成 27 年度・平成 28 年度には、特定の地震動予測対象地点についてグリーン関数のデータベースを作成することで、任意の震源に対する地震動を予測する方法を提案し、Web 上で動作する地震動予測システムを開発した (図 3 - 2 - (3) - 3)。その後、令和元年度にかけて、震源域に位置する小断層による

地震動を表すグリーン関数の補間を行う方法について検討を行い、異なる震源モデルに対する面的な地震動予測を効率化する方法を構築した。これら一連の研究により、南海トラフ地震のような巨大地震において特徴的な長周期地震動について、都市が位置する堆積盆地の特性や震源の特性を考慮しながら、任意の震源モデルまたは任意の対象地点における地震動を効率的に予測することが可能となった。

本プロジェクトにおける一連の研究により、南海トラフ地震のような巨大地震において特徴的な長周期地震動について、都市が位置する堆積盆地の特性や震源の特性を考慮しながら、任意の震源モデルまたは任意の対象地点における地震動を効率的に予測することが可能となった。

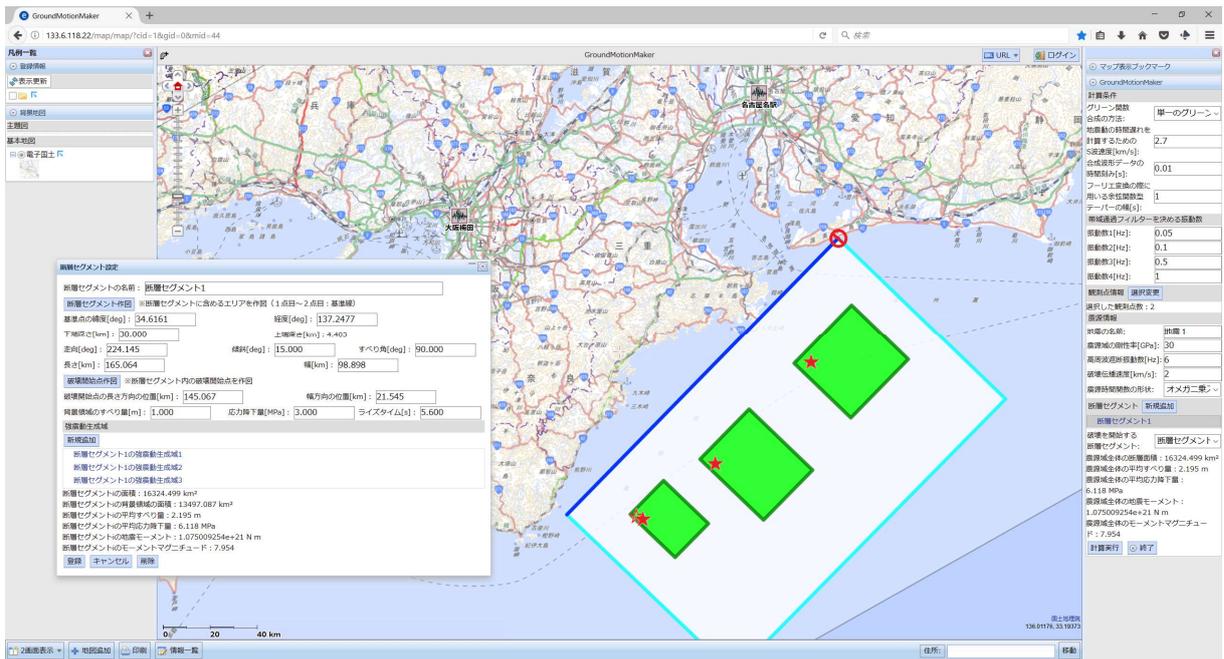


図 3-2-(3)-3 グリーン関数データベースを利用した任意震源対応の地震動予測システム

地盤災害評価としては、軟弱地盤およびその上に存在する各種構造物の地震被害を推定するために、地震応答解析および 1G 場振動台模型実験を実施した。平成 25 年度～平成 28 年度は、東日本大震災教訓活用研究 1-a で実施した各種耐震診断手法の調査結果をもとに、現行の被害予測手法の課題や問題点を抽出した。平成 29 年度以降は、具体の地域として碧南市を対象とし、地震応答解析による詳細な耐震診断を実施し、現行の耐震診断手法では考慮することのできない危険性を抽出した。

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土骨格の弾塑性構成式 **SYS** カムクレイモデル⁴⁾を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾で、静的も動的も区別なく扱うことができる。1G 場振動台模型実験は、名古屋大学で所有の施設を利用した。

本業務全体の構成を図 3-2-(3)-4 に示す。平成 25 年度～平成 28 年度は、

東日本大震災教訓活用研究 1-a で実施した各種耐震診断手法の調査結果を参考に、現行の被害予測手法の課題や問題点を抽出した。平成 25 年度は、軟弱地盤上に築造された河川堤防の耐震性を静的／動的水～土連成有限変形解析によって評価した。その結果、砂質土層の液状化だけでなく、粘性土層に生じる滑りによって河床の隆起や堤体の沈下が引き起こされ、堤防の機能が著しく損なわれることを示すとともに、鋼管矢板による補強の仕方によっては、被害が逆に拡大する危険性を指摘した。平成 26 年度は、液状化する砂地盤上に建設された建物の液状化被害形態に関し、隣接家屋の影響に着目した地震応答解析を実施した。その結果、①建物周囲の地盤が液状化した場合、建物と建物直下の液状化していない地盤の揺れは液状化層の揺れに支配され建物が傾斜していくこと、②建物高さが高いほど揺れが伝わりやすく、傾斜が大きくなること、③建物が 2 棟隣接している場合、隣接距離により傾斜方向が変化すること、④建物の沈下による地盤の沈み込みと押し広げの境で建物同士が向き合って傾斜していくか、外向きに反発しあって傾斜していくかが決定することを示した。平成 27 年度は、愛知県内に設置された防波堤の地震時変形挙動の把握を試みた。地震応答解析による検討の結果、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、砂質土の液状化だけでなく、軟弱粘性土地盤においても著しく剛性が低下し、地震中～地震後にかけて大きな変状が発生し得ることがわかった。平成 28 年度は、地震時における盛土造成斜面の変状メカニズム解明の一環として、盛土造成斜面の共振、すなわち固有振動数と入力振動数の関係に着目した 1G 場振動台模型実験を実施した。その結果、盛土造成斜面の地震時安定性は、単に入力加速度の大きさで決まるのではなく、盛土造成斜面の固有振動数と入力振動数の関係に強く依存することがわかった。平成 29 年度、30 年度は、減災戦略の立案に資するために、碧南市蜷川下流域を対象とし、現地調査結果を参考に下流域に加えて中流域の現況河川堤防をモデル化し、L1 地震動および L2 地震動に対する異なる外力シナリオ下での地震時地盤変状予測を実施した。L1 地震動の場合、表層の砂質土は液状化するものの、堤防の沈下量は両断面ともに堤防高の 20%弱と小さく、地震時に健全性を保つ。一方、L2 地震動の場合は、最大加速度が大きいことに加えて、継続時間が長く、長周期成分を多く含むため、軟弱粘土層も乱されて剛性を失い、堤防の沈下量は堤防高の 36%～50%程度と L1 地震動に比べて大きくなるものの、内閣府等における浸水被害予測で用いられる堤防高 75%喪失にまでは至らない可能性があることを確認した。平成 31 年度は、液状化被害が危惧される碧南市を対象に地震応答解析を実施し、液状化危険度について従来判定法 (F_L 法) と比較するとともに、地震中～地震後に発生する地盤変状を算出した。対象とした地点の表層付近はいずれも、砂質土が支配的であり、地震応答解析結果は現行 F_L 法とよく似た液状化危険度を示した。地震後の変状に着目すると、干拓地・埋立地上にある地点では特に L2 地震動で大きな変状が生じた。一方、市中央の自然地盤上にある地点では比較的小さな被害に収まった。干拓地や埋立地の臨海部では、深部で粘性土が厚く堆積しているため、特に地震動の長周期成分が共振によって増幅され、地表面での大きな揺れ（水平変位）が発生することを明らかにした。

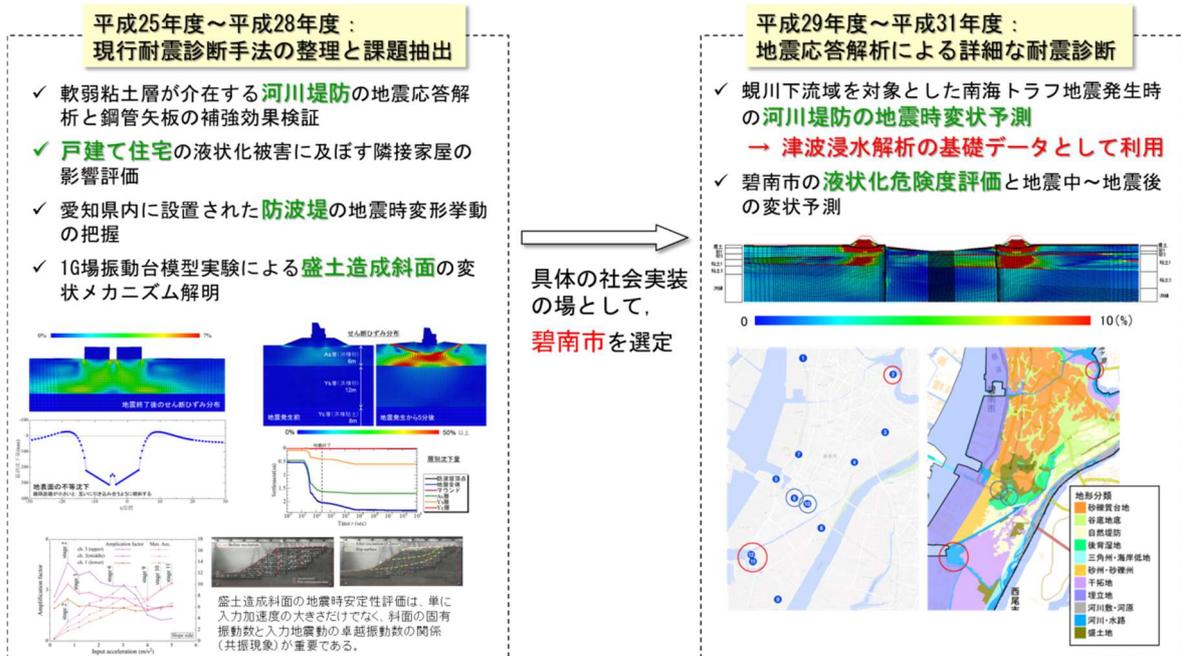


図 3 - 2 - (3) - 4 本業務の構成と流れ

建物被害評価として、東日本大震災およびその後の地震災害における建物被害の状況を踏まえて、南海トラフ地震などの大規模地震災害における建物被害を適切に予測し、またその対応方針を定めるための検討を行った。以下に示すとおり、大別して、東日本大震災における被害状況、建物・地盤系の応答と被害の予測手法、重要建物の被災と機能継続などを検討したうえで、モデル地域における実在庁舎について南海トラフ地震における応答予測と防災対応を検討した。

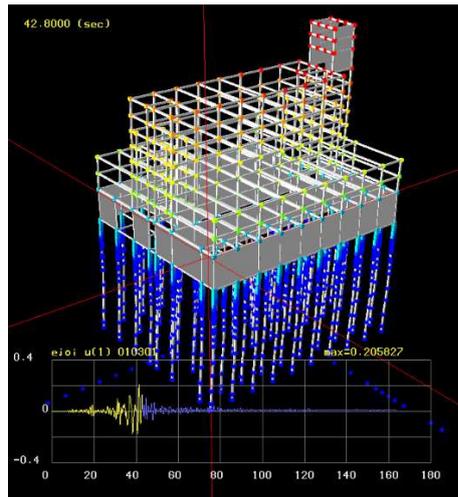
東日本大震災における建物の被害状況については、構造種別ごとの特徴が 1-a で示されている。東北から北関東の広域で震度 6 弱以上の揺れとなっているが、地震による顕著な構造被害は必ずしも多くない傾向があり、地震動特性などとの関係も考察されている。ここでは特に木造住宅について、消防庁の報告に記載された市町村単位の全壊棟数、計測震度、住宅・土地統計調査による住宅総数などを用いて算定した。東日本大震災の結果は、震度 6 弱までのデータに限られることもあり、この範囲で翠川らの結果（2003～2008 の 7 地震）と整合した。より低い震度から全壊率が増加する阪神淡路大震災の結果とは異なっており、地震動特性の相違や建物の耐震性、これまでの地震の頻度などが影響していると考えられた。また、県ごとの被害率にも差異が見られ、新しい基準の建物の割合や、強い地震の被災経験などが影響している可能性があることを指摘した。

次に、一般的な中低層建物の被害状況の分析や被害予測に向けて、強震観測記録の収集を継続的に実施し、データベースを構築するとともに、多数の記録の分析から建物応答特性の評価を行った。特に中低層庁舎などの構造の特徴を考慮して、立体振動特性、相互作用特性、杭基礎の特性、基礎入力動、隣接建物の影響などを明らかにし、現行設計法との関係の考察も行った。工場、倉庫などの大規模産業施設について常時微動計測を行い、大規模建屋の振動は剛体的でないこと、入力が場所により一様でな

いこと、長い梁の中間の応答は増幅されることなどの特徴を示した。免震建物では、応答レベル依存性や上部構造の特性などを示した。以上の観測結果を地盤・杭・建物モデルでも検討し、弾塑性応答解析による被害予測を検討した。さらに家具転倒や天井落下可能性を応答解析結果に基づき階数との関係で検討した。これらの成果は、地震により異なる被災状況を考慮して、将来の地震災害の被害予測につながる。

また、2016年熊本地震ではRC造庁舎建築の被災が多く、行政機能の継続に大きな課題を残した。そこで、震度7の地震動を受けた庁舎建築の常時微動計測結果を用いて、強震観測記録と整合するように地盤-建物連成系のモデル化を試みた。結果として地盤に非線形性を考慮することで、比較的適切な応答予測が可能であった。また入力地震動については、広域・詳細かつ実地的な地震動予測のために、南海トラフ地震と類似の震源位置や破壊メカニズムを持つ地震（2016年三重県南東沖）の記録収集を行い、1944年東南海地震との比較などの検討を行った。さらに、モデル地域における市庁舎（10階建てSRC・S混合構造、杭基礎、新耐震）について、南海トラフ地震の際の状況想定と対応を考察した。まず常時微動多点同時観測および地震観測に基づいて、詳細な立体振動特性評価を行った。次に、対象建物の上部構造と杭、及び杭周辺地盤を3次元のフレームモデルによりモデル化し、表層地盤、杭、及び上部建物の非線形性を考慮した時刻歴応答解析により、当該建物の応答推定を行った。入力地震動は本研究で推定された当該地点の南海トラフ地震の工学的基盤の地震動を用いた。結果として1階で $2\text{m/s}^2 \sim 3\text{m/s}^2$ （震度5強程度）、7階（GL27m）では、約 7m/s^2 （震度7相当）となり（図3-2-(3)-5）、最大応答層間変形角は3階～5階で1/200を超える応答を示した。ただし、レベル2のクライテリアである1/100には達していないことから、倒壊するような被害は生じないと考えられる。上層部では応答加速度が大きく、家具固定などの室内被害防止を考慮すべきであることを指摘した。

最近の新しい庁舎は免震が増えているが、本建物のように新耐震で設計された中層建物もまだ多い。このような建物は早期に建て替えられることがないため、本研究のような検討を行うことで、BCP策定にあたり建物の損傷状況を考慮するなどの対応も考えられる。また1-aで述べられた構造モニタリングや、1-eのVRを用いた訓練などもあわせることで、被災後に建物を使用する際の安心感につながるし、使用者の心構えにも影響する。このように南海トラフ地震等の機能継続に向けた対策を使用者とともに行うことが重要と考えられる。



赤： $8\text{m/s/s} < A_{max}$
 黄： $4.5\text{m/s/s} < A_{max} \leq 8\text{m/s/s}$
 緑： $2.5\text{m/s/s} < A_{max} \leq 4.5\text{m/s/s}$
 青： $1.5\text{m/s/s} < A_{max} \leq 2.5\text{m/s/s}$
 灰： $A_{max} \leq 1.5\text{m/s/s}$

図 3-2-(3)-5 想定南海トラフ地震に対する対象建物の地震応答解析結果
 (各節点の最大加速度)

ライフライン対策として、南海トラフ巨大地震による被害が想定される各種のライフラインのうち、「電力」と「上水道」に着目し、それぞれの早期復旧に資する知見を得るべく、多様な観点から検証を行った。

電力分野では、平成 25 年度には、南海トラフ地震における内閣府の被害想定の問題抽出を行った。内閣府試算では 1 ヶ月後に西日本は電力供給が約 9 割まで回復するとあるが、想定通りには復旧しない可能性があることが分かった。これは、南海トラフ地震時には火力発電を中心に電力の供給力が長期間大きく損なわれる可能性があることによるものである。平成 26 年度には、被災後の電力需要予測の問題点を抽出した。設計情報を有し構造解析手法が比較的整備されている電力供給施設の被害予測に比べると、発災後の電力需要の予測については一般的な方法が存在せず、南海トラフ地震においては過去の被害データから統計的に電力需要を予測する手法では誤差が大きくなることがわかった。平成 27 年度には、東日本大震災後の電力需給バランスがどう保たれたのかを調査した結果、節電効果と被災による需要の落ち込みにより需要が抑制され、結果として電力需給バランスが保たれたことがわかった。南海トラフ地震では被災後の電力需要および供給力を予測することも大切であるが、非常時の電力需要抑制について事前に産業界・一般市民など社会全体と共有しておく事の重要性を指摘した。平成 28 年度において、南海トラフ地震による電力需給ギャップの解消へ向けて、一般市民・自治体・産業界と優先復旧の意見交換を行った結果、社会機能が相互に依存した現実社会においてボトルネックを克服するためには、信頼関係に基づき社会全体で対応を考えるプラットフォームの構築が有効であることがわかった。平成 29 年度において、産官学が連携して大規模災害に対する社会全体での対応を考えるプラットフォームを構築し、電力復旧における道路のボトルネックを洗い出すための方策について議論した。その結果、電力施設の具体的な位置情報に基づく優先復旧の順位付けが重要であることがわかり、復旧は被災現場における作業を伴うことから電力施設と道路を関連付け重要道路を選択するためのツールを開発した。平成 30 年度には、電力復旧における道路のボトルネックを洗い出すた

めの方策として開発した、電力施設と道路を関連付け重要道路を選択するためのツールを活用して、西三河南部碧南市における電力施設および重要施設の電力供給を事例とした具体的な位置情報に基づく道路の優先順位付けを行い、碧南市に提示した。平成31年度（令和元年度）には、重要道路選定のために開発したツールを利用して、電力復旧以外の重要なオペレーションとの重ね合わせを実施した。その結果、災害対応物資の集積と配布など他の観点との重ね合わせにより、信頼性の高い重要道路選定が可能になった。また、基礎自治体が指定する第3次緊急輸送路だけでは様々な緊急支援は不十分であることを地図情報システム上で示すことができた。

上水道分野では、平成25年度には、既存の被害予測手法である内閣府のフローで考慮されていない諸要素（ex. 配水場等の水道施設の機能停止、水道管路のネットワーク性など）を抽出し、より高度な被害予測手法を構築するための準備を行った。平成26年度には、前年度に引き続いて被害予測手法の高度化のために考慮すべき要素（ex. 水道施設の津波浸水深に応じた機能停止規模の大小）を抽出した。また、東日本大震災における水道施設（浄水場、配水池、ポンプ場等）の被災状況を照査しながら、施設の構造とハザード（地震動、液状化、津波浸水）の大きさからその影響度（機能停止の規模）について予測する「照査フロー」を考案した。平成27年度には、愛知県内の某自治体を対象とし、これまで考案してきた照査フローを活用して上水道被害予測を行った。また、水道施設や管路の被害状況が需要家に及ぼす影響の大きさを定量化するために、給水達成率（目標水量以上の給水が可能な人口の割合）や給水形態（「通常給水（水道から水が出る）」や「運搬給水（給水車等に、水を取りに行く必要がある）」等）という独自の指標を導入し、地震発生から水道の復旧完了までの各指標の推移を可視化できるようにした（図3-2-(3)-6）。平成28年度には、災害時の断水が市民に及ぼす影響を市民の目線から評価すべく、環境評価等の分野で用いられる仮想評価法（CVM: Contingent Valuation Method）を用いたアンケート調査を行った。回答結果を分析することで、市民が断水時の不便な状況を受け入れる際に必要と考える「受入補償額（WTA: Willingness to Accept）」を算出し、市民生活への影響度を金額換算するとともに、個人属性との関係性も考察した。平成29年度には、愛知県碧南市の水道施設・管路を対象に過年度に構築した被害予測手法を適用し、被害件数や復旧に要する日数を推計した。また、同市の水道課との協議の中で水道施設・管路の強靱化対策を考案し、これらの対策を講じた場合の減災効果（被害件数の削減や復旧所要日数の短縮）についても検証した。平成30年度には、前年度に考案した減災対策に加えて、「仮設管路の敷設による給水再開」や「仮設給水栓の早期活用」等の応急復旧策を考案し、碧南市として講じうる減災対策を網羅的に取りまとめた。また、前年度と同様に各対策を講じた場合の減災効果を推計した。平成31年度（令和元年度）には、過年度に考案した減災対策について費用対便益の分析を行い、その収益性について判定することで、上水道事業体による各対策の実実施計画の策定に資する知見を得た。また、地震発生後の被災管路の効果的な修繕に関する一考察として、被災者の入浴支援を担う「銭湯」への給水再開を優先した場合の復旧早期化効果についてシミュレーションを実施した。

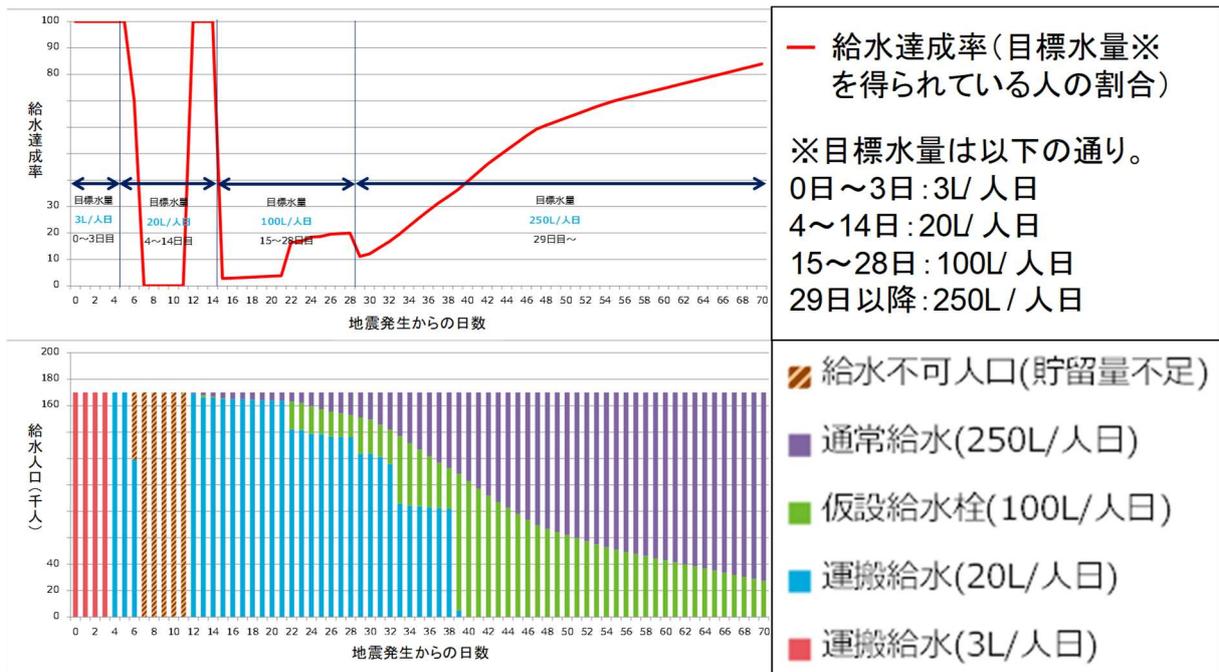


図 3 - 2 - (3) - 6 給水達成率の推移 (上図) と給水形態の推移 (下図)

以上、電力分野では、南海トラフ地震発災時には電力の需要側供給側双方に過去の経験則からは想定することが困難な被害量となる。そこで、東日本大震災における電力の需給ギャップの解消を分析した結果、被害量の予測精度を上げることよりも、現実社会のボトルネックを把握して社会の総力を結集して克服することが重要であることがわかった。この課題を解決するために、一般市民・自治体・産業界と優先復旧の意見交換を行い、社会機能が相互に依存した現実社会においてボトルネックを克服するための信頼関係に基づいた社会全体で対応を考えるプラットフォームを構築した。そこで電力復旧における道路のボトルネックを洗い出すための方策について議論し、電力施設の具体的な位置情報に基づき電力施設と道路を関連付け重要道路を選定するためのツールを開発し、具体的に西三河南部碧南市において展開を図った。本方法により、ある地域におけるある観点での重要な道路・区間を明示することができ、道路というインフラを通して隣接する自治体間での連携のきっかけや様々な事前対策のインセンティブ、事後対応方針の策定に供するものと期待される。一方、上水道分野では、従来の手法の抱える問題点を補完する形で、水道システムのより詳細な被害状況について予測することが可能となった。加えて、発生した被害が断水という形で及ぼす、市民生活への影響について定量評価することも可能となった。また、別途サブテーマ 1-a の業務と連携しながら上水道事業者の取りうる減災対策と、その実施費用や減災効果の推計方法について整理することで、事業者における今後の上水道整備計画の策定に資する成果を創出したと考えられる。

本業務では、愛知県碧南市の上水道事業者と緊密に連携し、同市の保有する管路修繕能力や他自治体との連携体制等を考慮した結果、現実的かつ詳細な検討が可能となった。ただし、今回考案した種々の減災対策やその減災効果の推計結果は碧南市の独自の「マクロな知見」であり、他の事業者で、同じ対策の実施で碧南市と同様の効

果が得られるとは限らないことを補足する。今回構築した手法を他の事業者で活用する場合においても、当該事業者を取り巻く環境や講じる対策の種類について、十分精査した上で実行されることが望ましい。

都市災害・経済被害のうち、都市災害についての平成25年度から平成31年度までの主な成果は、大規模災害時疎開シミュレーションと国土復興シミュレーションの2種類のシミュレーションを開発し、これを熊本地震や東日本大震災で検証したうえで、南海トラフ巨大地震に対して適用したことである。大規模災害時における疎開行動や移住行動に関するアンケート調査（意向調査）をそれぞれ行い、それをもとにした人の行動を記述する数理モデルを作成し（アンケートデータをもとにしてパラメータ推定）、仮設住宅などの容量制約の下でそれぞれ約1000回のモンテカルロシミュレーションを行い、大規模災害後の人口移動を把握、その平均値を導出することでシミュレーションを行った。疎開シミュレーションについては熊本地震で、復興シミュレーションでは東日本大震災で検証を行った。南海トラフ巨大地震時（陸側①ケース）における疎開時の人口増減が図3-2-(3)-7、復興時の人口増減を図3-2-(3)-8に示す。疎開シミュレーションについては、市場に流通していない「その他空き家」をみなし仮設とするかどうかで結果が大きく変わるため、両方のケースを計算した結果を示す。人口増加地域での精度がやや低いものの、これらのシミュレーションを作成して計算することで、南海トラフ巨大地震時には被災地で相当の人口減少と地域の衰退が課題となる可能性があること、防災対策はもとより、その他空き家の供給や事業所の防災対策（雇用を喪失させない）が被災地域の衰退を防ぐ可能性があることが示唆された。

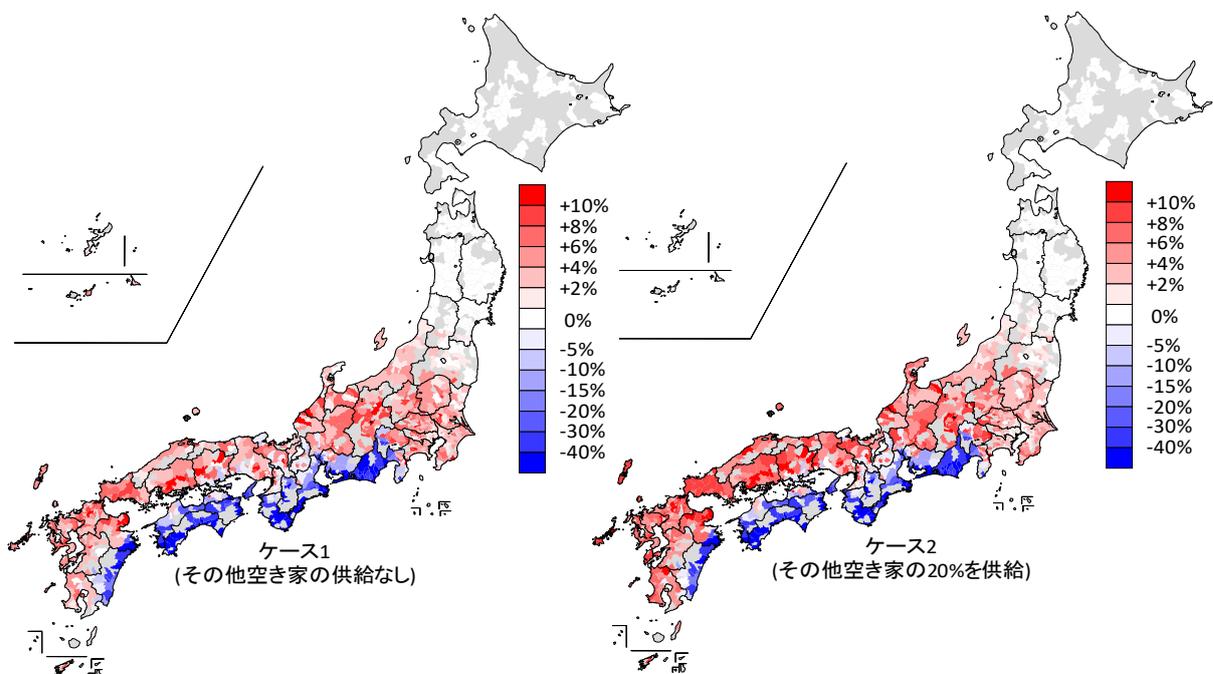


図3-2-(3)-7 疎開期における世帯増減率

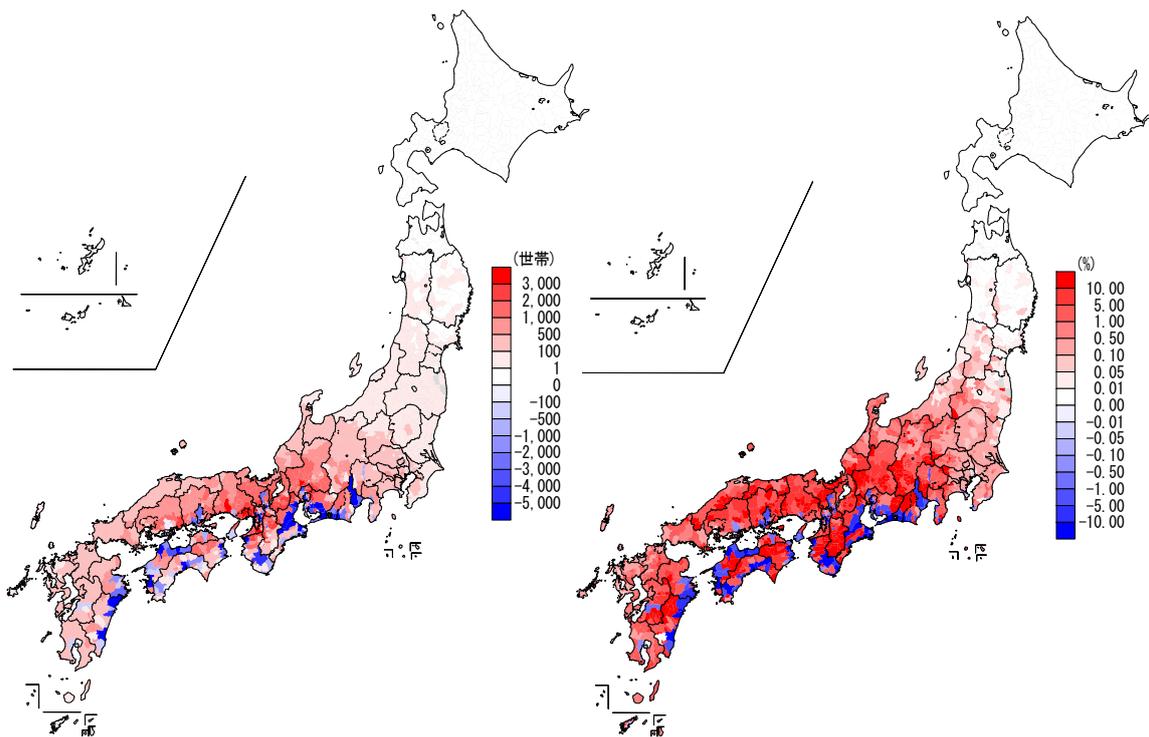


図3-2-(3)-8 復興時における世帯増減数(左)と世帯増減率(右)

経済被害については、南海トラフ巨大地震に伴う経済被害を日本全国および市区町村のレベルで予測するための経済モデルの研究開発を行った。経済モデルとして「応用一般均衡モデル」と呼ばれる経済学の一般均衡理論と産業連関表を基に構築する経済モデルを採用し、巨大地震の経済被害評価に活用できるように工夫を行った。

応用一般均衡モデルとは、経済学の一般均衡理論と産業連関表を基に構築する経済シミュレーションモデルである。本来同モデルは貿易や環境政策で多く利用されているモデルであるが、本研究では巨大地震の経済被害評価に活用できるように工夫を行った。応用一般均衡モデルを利用する理由は、政府の経済被害の推計手法ではサプライチェーンを適切に考慮できないためである。

本研究で用いた応用一般均衡モデルは多地域モデルである。すなわち地域間取引を明示的にモデルに組み込んでいる(図3-2-(3)-9)。モデルにおける各地域には家計と複数の産業群が存在する。家計は労働力と資本ストックを保有しており、それらを産業に提供することで労賃や資本ストックの賃料を得る。産業群は労働力と資本ストックと中間財を利用し財を生産する。生産された財の一部は自地域の産業の中間投入のために利用される。残りは自地域の家計に最終消費されたり、移輸出され他地域の家計の最終消費や中間投入に利用されたりする。モデルでは労働市場と資本市場、各種の財市場が存在し需給が一致するようそれぞれの価格が決定される。応用一般均衡モデルに時間の概念を導入し動的な経済シミュレーションを行うことも可能である。図3-2-(3)-10の通り生産されたものが全てその期に消費されることはなく、一部は貯蓄され次期の生産設備拡張のための投資される様

モデル化すれば良い。

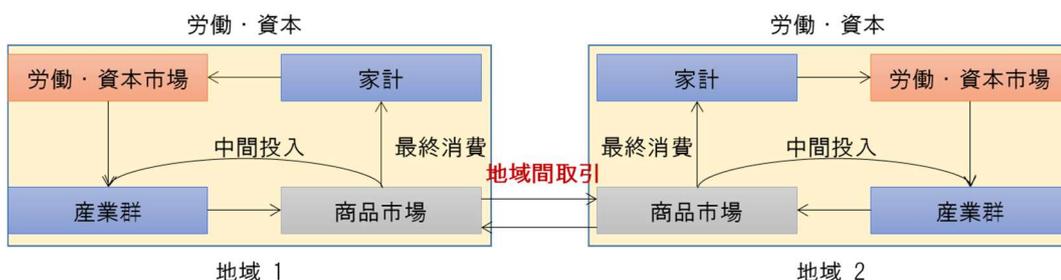


図 3-2-(3)-9 応用一般均衡モデルの空間構造

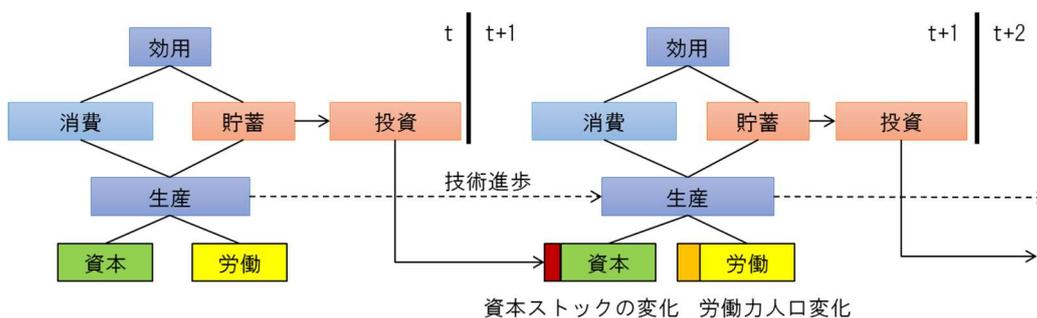


図 3-2-(3)-10 応用一般均衡モデルの時系列構造

まず、全国を「生活圈」と呼ばれる 207 の地域に分割した全国モデルを構築し、理論上最大の南海トラフ巨大地震が発生した場合の日本の実質年間 GDP 損失を推計した。より詳細な地域分類でモデルを構築するのは、地震ハザードと産業構造の地域特性を可能な限り適切に捉えるためである。同じ県であっても震度とそれに曝される産業は場所によって大きく異なる。そのため、全国 47 都道府県のモデルよりも 207 生活圈のモデルの方が地震の経済被害推計には適している。ただし、地域数が増加するほど推定すべきパラメータやシミュレーションに必要な計算量も増加することには留意が必要である。また、地域数が増加するほど地域間産業連関表の精度も一般に落ちるため、慎重な検討が必要である。

図 3-2-(3)-11 は、日本全国の実質 GDP の変化額を示している。ただし、生活圈の中心市の市内最大震を当該生活圈全体の震度としていること等、今回のシミュレーション分析では南海トラフ巨大地震の経済被害を大きく推計する傾向がある。シミュレーションによれば南海トラフ巨大地震により日本の年間実質 GDP 損失は最悪の場合で 76.5 兆円となる。図 3-2-(3)-11 の通り、震源から離れた地域へも経済被害が波及している。その要因の 1 つに家計所得の大幅な低下がある。地震により被災地の資本ストックが毀損し、資本ストックの所有者である家計の所得は低下する。これにより家計の財やサービスに対する最終需要が減少する。家計は被災地外からも財やサービスを購入するため被災地の生産物のみならず被災地外の実業物に対する最終需要も減少する。これに伴い生産活動も減少する。生産活動の減少は中間投入財の取引も減少させ関連する生産活動をさらに低下させる。もう 1 つの要因は被災地における資本ストックの毀損が直接に生産活動を制限することである。

労働による代替が一定程度可能であったとしても生産量を減らさざるを得ない場合が多い。被災地から原材料を購入している生産者や被災地へ原材料を販売している被災地外の生産者も被災地での生産減少に応じて生産量が減少する。東日本大震災等で起きたサプライチェーン寸断に相当する現象である。これらの現象が被災地外で所得の低下をもたらしている。

これに続き、市区町村毎の経済被害を推計する経済モデル開発を行った。東海圏を対象に市区町村産業連関表を構築するデータを選定し収集を行い、収集したデータを産業連関表とするための数値調整を実施し、愛知県を対象に市区町村産業連関表を開発し、これを基に愛知県市区町村間応用一般均衡モデルを構築した。同モデルは愛知県の市区町村間取引を明示的にモデル内に組み込んでいる。しかし、他地域との取引は存在するが明示的でないため、他地域との取引では、価格を外生的に与えた。

図3-2-(3)-12は3つの生活圏における主要産業の南海トラフ巨大地震の影響を示している。発災直後1ヶ月間から12ヶ月目の月間生産水準の推移を平時に対する変化率として示している。「輸送機械産業」（主と自動車・自動車部品産業）は全国レベルの分業体制により効率的な生産を実現した一方、特殊な部品の生産が数少ない地域で集中して行われており、地域間で代替生産が難しい。「輸送機械産業」についてはモデルにおける地域間取引の代替の弾力性の値を低く設定している。シミュレーション結果に基づけば「豊田」の「輸送機械産業」は、南海トラフ巨大地震で甚大な被害を受けるものの、他の産業に比べて復旧が速い。これは「豊田」の「輸送機器産業」が域外の需要に大きく依存する外需型産業でありかつ製品そのものが他に代え難い特性を持つためと考えられる。地震発生後も「豊田」の「輸送機器産業」の需要が維持され、これを背景として旺盛な復旧投資がなされたと考えられる。一方で「名古屋」の「サービス産業」は「豊田」の「輸送機器産業」とは異なり生産水準は回復しない。サービス産業は生産と消費が同一地域内で閉じる傾向がある。そのため被災地家計の所得低下の影響を受け、需要低下が続き復旧投資が実現しないと考えられる。「北勢」（中心市は四日市市）における基礎素材型産業の生産額の推移は平時の半分以下に減少するがその後徐々に回復する。基礎素材型産業は主たる出荷先である加工組立型産業および輸送機械産業の生産水準の回復と密接に連動すると考えることができる。東海圏の3つの生活圏でそれぞれの地域を特色付ける産業の生産水準の推移を見たが、その回復の速さには複数の要因が関わるものの、主たる要因として他地域との関係性があると考えられる。

続いて各市区町村の経済被害を推計する愛知県市区町村産業連関表を用いた応用一般均衡モデルによるシミュレーション結果を説明する。シミュレーションシナリオは南海トラフ巨大地震の経済被害ではなく、豊田市の生産設備の50%が機能停止した場合の経済被害の波及についてである。今回のシミュレーションでは豊田市の資本ストックの賦存量を外生的に50%減らしている。各地域で生み出された付加価値を示す域内総生産の減少率は図3-2-(3)-13の通りである。豊田市には自動車組立工場が複数立地しており、そこへの部品供給のために隣接する市町でも自動車部品工場が多く立地している。そのため生産設備が機能停止する豊田市で最も域内総生産が低下するが、隣接する刈谷市や安城市等の市町でも自動車部品に対す

る需要が低下し、自動車関連産業の生産が落ち込み域内総生産も低下している。同様に自動車産業の大きな工場が立地する高浜市や田原市でも域内総生産が落ち込んでいる。図3-2-(3)-13で見ると自動車関連産業が集積する西三河地区で域内総生産の落ち込みが大きい事が分かる。

東海圏の企業間取引ネットワークはスケールフリーネットワークであり、一部の大企業の生産活動が停止すると取引関係を通して多くの企業の生産活動に影響することが明らかになっている。応用一般均衡モデルにおいても上記の現象を再現する事は原理的に不可能ではないと考えるが、そのためにはより詳細な地域分類と産業分類のモデルを構築する必要がある。その理由は経済主体の不均一性や取引ネットワークの複雑性を表現するためである。現実により近い経済主体の多様性や取引ネットワークをモデルに反映させることが今後の課題である。

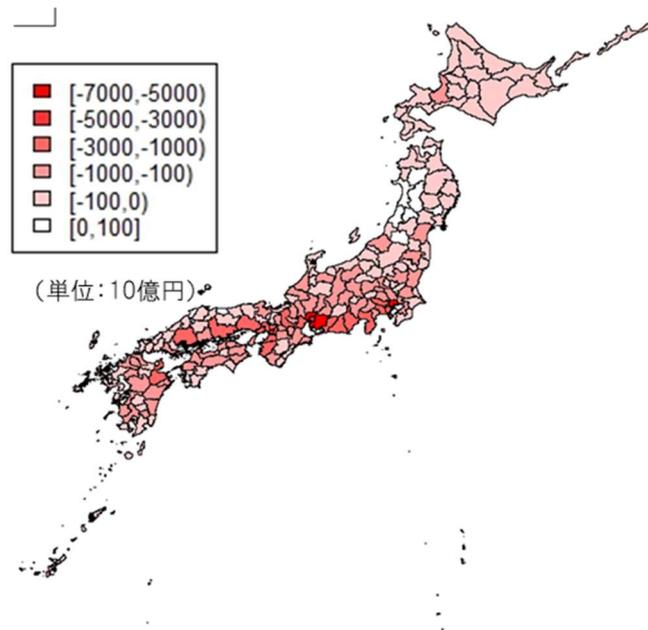


図3-2-(3)-11 年間実質 GRP 減少額

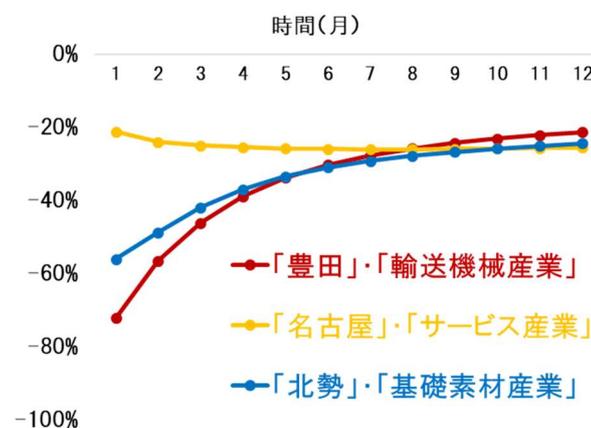


図3-2-(3)-12 地域別主要産業の生産減少率

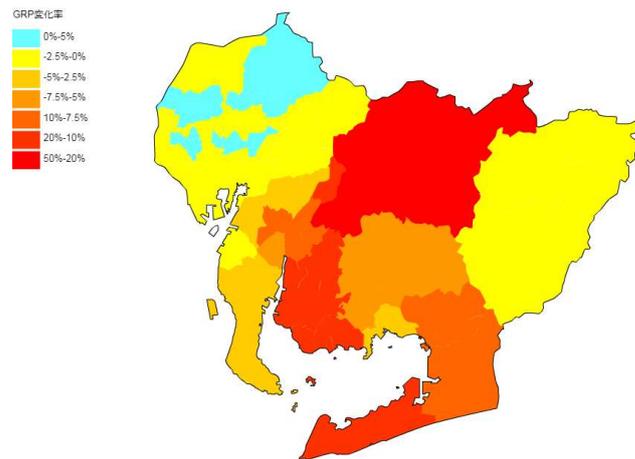


図 3 - 2 - (3) - 13 愛知県各市区町村の域内総生産減少率

災害廃棄物評価として、仮置場確保と災害廃棄物の収集運搬を統合的に検討するツールとして、仮置場の確保面積、収集運搬効率を考慮した災害廃棄物処理フローモデルを構築した。構築した災害廃棄物処理フローモデルは、地域メッシュ単位で算出された災害廃棄物量に対して、運搬車両、一次仮置場、処理施設および二次仮置場に係る制約条件下において、一次仮置場への搬入計算および一次仮置場からの搬出計算を行うことで、日単位での被災現場や一次仮置場における災害廃棄物量の把握を可能とした。

仮置場の確保面積、運搬車両数、処理・再生利用量を政策変数とした災害廃棄物処理シナリオを構築し、災害廃棄物の仮置場への搬入期間と処理期間を算出した。その結果、仮置場が十分確保できない場合においても、運搬車両数、処理・再生利用量など災害廃棄物の収集運搬を確保することができれば、目標処理期間内に対応できるといえた。仮置場が十分確保できた場合でも、運搬車両、処理・再生利用量を十分確保しなければ処理の遅延が生じることが示された。また、仮置場が十分確保されていない場合、運搬車両を十分確保しても、処理が間に合わず運搬能力を有効に活用できない場合があるといえた。以上のことから、仮置場が十分に確保できない場合においては、処理・再生利用量などの災害廃棄物の出口の確保が重要であるといえた。

災害廃棄物量の把握システムを用いて、住宅耐震化や建て替えによる災害廃棄物の減量効果を明らかにするとともに、事前の住宅耐震化によって、災害廃棄物処理事業、公費解体等の災害時の社会的費用がどの程度低減しうるのかについて明らかにした。

住宅の建て替えによる災害廃棄物の減量効果については、震度分布、国勢調査に関する地域メッシュ統計、住宅・土地統計調査、災害廃棄物量原単位により、地域メッシュ別に災害廃棄物量を把握する手法を用いた。南海トラフ広域地震の強震断層モデル（陸側ケース）、津波断層モデル（東海地域が最も被害を受けるケース、堤防破堤）を対象とし、2005年時点から2018年時点での愛知県ならびに碧南市において推定される災害廃棄物量を比較検討した。住宅被害関数は、内閣府中央防災会議で示された被害関数を、災害廃棄物量原単位は、東日本大震災の処理実績から推定された原

単位を用いた。

1981年新耐震基準による住宅棟数、住家被害の全壊棟数、災害廃棄物量の2005年から2018年の推移を図3-2-(3)-14に示す。

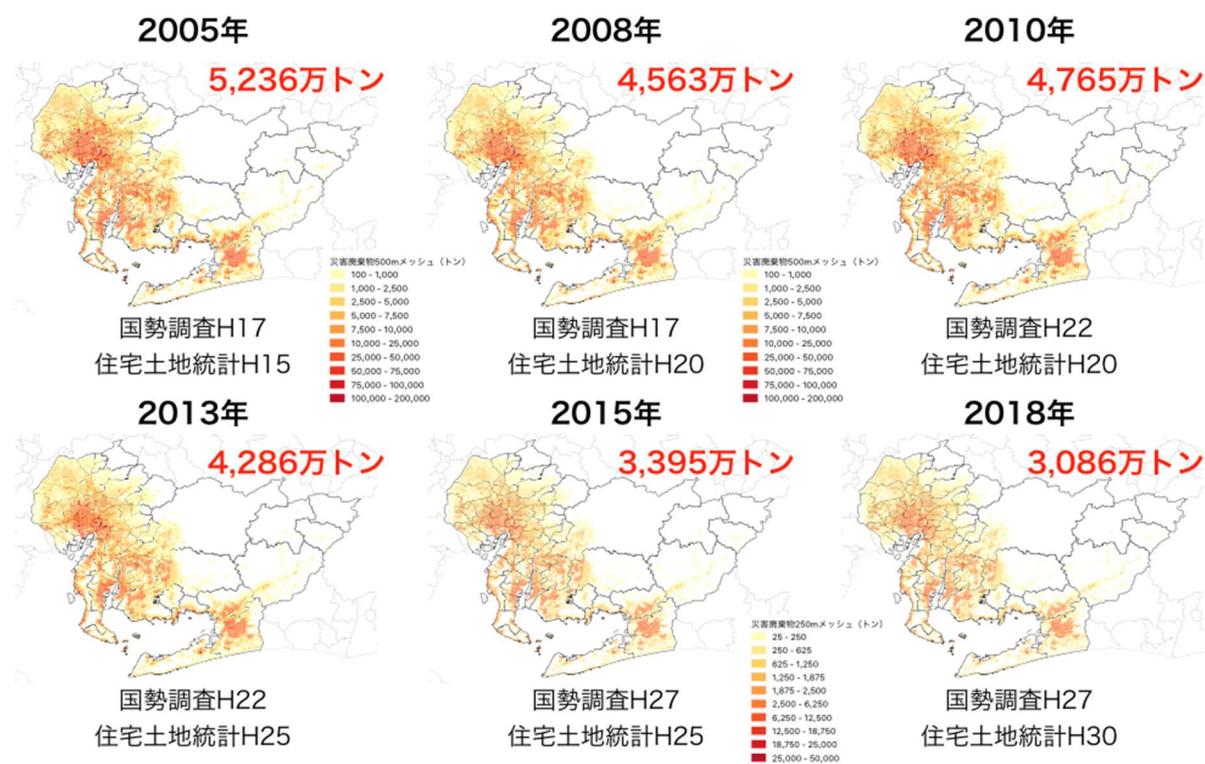


図3-2-(3)-14 愛知県の2005年時点から2018年時点での災害廃棄物量推定結果

1981年新耐震基準による住宅棟数、住家被害の全壊棟数、災害廃棄物量の2005年から2018年の推移を図3-2-(3)-15に示す。これより、木造、非木造ともに1981年以降の新耐震基準による住宅棟数が2005年から2018年の間に707,092棟増加したことで、全壊棟数が311,184棟から165,325棟まで抑えられ、46.9%減少している。そして、災害廃棄物量は5,236.5万トンから3,085.6万トンと41.1%低減している。以上のことから、南海トラフ地震での災害廃棄物の処理量を効果的に減量するには、耐震補強や住宅の建て替えなどの住宅耐震化が必要不可欠であると指摘した。

災害廃棄物処理事業費など住家の被災に伴い社会全体が負担させられる費用である災害後の社会的費用に着目し、住宅耐震化に伴う旧耐震基準の住宅棟数減少によって地震時の社会的費用がどの程度低減しうるのか検討した。

災害廃棄物については、2005年時点と2018年時点とを比較すると、2150.9万トンが低減されている。災害廃棄物処理単価が33.8千円/トンであることから、1981年以前の旧耐震基準の住宅402,140棟に対する耐震化により、726,992百万円の地震時の社会的費用が低減される。全壊1棟当たりの公費解体費用を254万と設定すると、2005年から2018年の間で全壊棟数が145,859棟減少していることから、370,482百万円の地震時社会的費用が低減されることとなる。建設型仮設住宅での費用の限度

額の一般基準は1戸当たり平均561万円以内である。2005年から2018年の住宅の建て替えにより、全壊が145,859棟減少していることから、地震時の社会的費用については818,269百万円が軽減されうる。被災者生活再建支援法においては、したがって、地震時社会的費用については、全壊世帯では1世帯当たり少なくとも300万円の低減がなされ、今回のケースでは437,577百万円の地震時社会的費用の低減となる。復興公営住宅の補助対象費用については、1981年以前の旧耐震基準の住宅40.2万棟に対する耐震化により復興公営住宅建設が不要となることで、地震時の社会的費用は3,191,395百万円の軽減となる。

これらのことから、1981年以前の旧耐震基準の住宅40.2万棟、うち木造31.5万棟、非木造8.7万棟、の住宅耐震化により、住家の被害のうち全壊棟数が46.9%減少し、災害廃棄物量が41.1%減量される。このことは、災害廃棄物処理事業費、公費解体、災害救助法（応急仮設住宅建設費用）、被災者生活再建支援法、復興公営住宅建設費用による地震時の社会的費用が低減されることとなり、その低減効果は5,544,714百万円と算定された。すなわち、40.2万棟の住宅耐震化により約1.76兆円の災害時社会的費用を守ることができるといえよう。

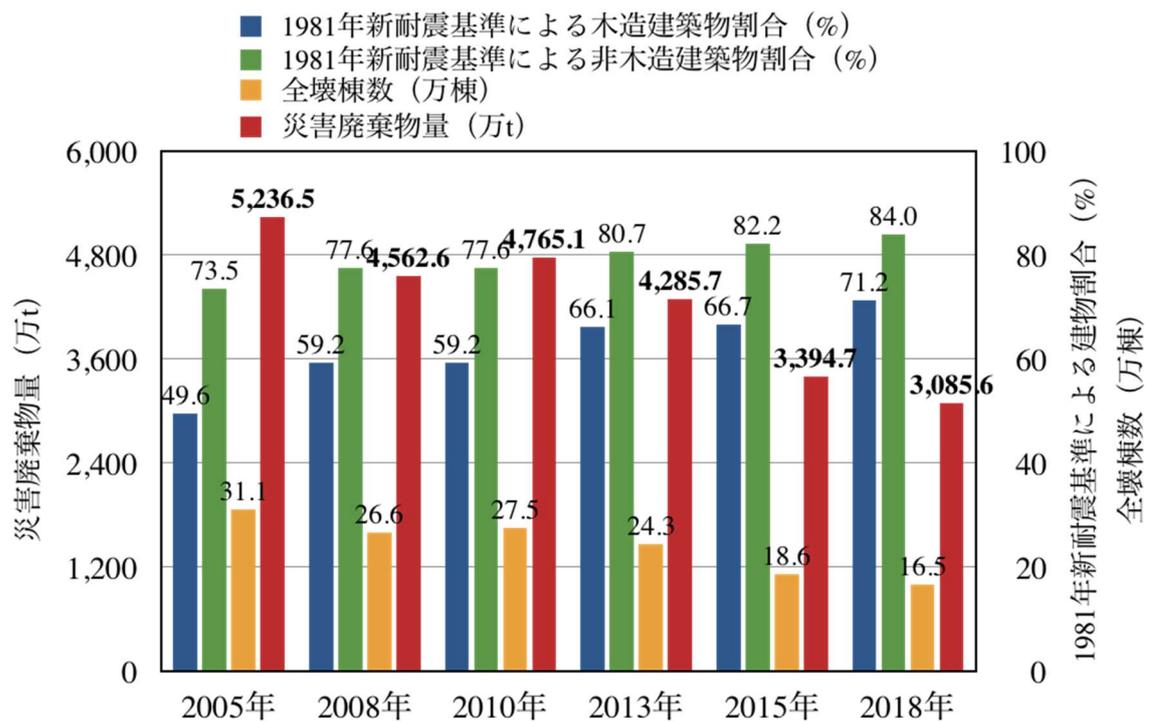


図3-2-(3)-15 愛知県における災害廃棄物量、1981年新耐震基準による住宅棟数、住家被害の全壊棟数の2005年から2018年の推移

以上のことから、地震時の社会的費用という視点から、南海トラフ広域地震の災害対策においては、災害廃棄物の減量対策の重要性、事前の住宅耐震化の推進の効果を示すとともに、徹底的な事前防災投資や事前対策による社会の活力向上が重要であるといえた。

(c) 結論ならびに今後の課題

以上、地震・津波被害予測研究(1-b)では、将来の南海トラフ地震に対し、地震の発生時期や発生の多様性等を考慮した広域リスク評価と、地域にとって影響の大きい建物や施設に対する災害発生リスク要素の因果関係に着目した高分解能な地域リスク評価を実施した(図3-2-(3)-16)。これらは国や自治体が行ってきた過去の災害の被災率に重点を置くような従前のリスク評価とは異なる。

また、我が国の産業集積地にある愛知県碧南市をモデル地域とし、プロジェクト前半で開発・高度化した被害予測解析ツールを用いて、市庁舎、堤防沈下に伴う津波氾濫・漂流物、上下水道、災害廃棄物、道路啓開等に関するオーダーメイド型の被害予測を実施し、被害様相を具体的に提示した。(図3-2-(3)-16の右側)。評価項目の大半は市役所の担当者の意見を踏まえ(写真3-2-(3)-1)、評価結果は減災施策・アクションプラン策定等の検討・協議や、市役所のほぼ全課係長が参加した災害対応・復旧復興研究(1-d)との連携ワークショップにおいて活用された。加えて、これまで定性的にしか語られなかった将来の被災像(疎開・移住と国土復興など)の定量化の試みから、碧南市への影響も評価した。

本事業の成果を通じて、新たに挙げられる今後の課題に関わるキーワードとしては、臨時情報、長周期地震動、複合災害、ビックデータが挙げられる。

広域リスク評価では、主として、

1. 広域的な経済的影響評価の検討・高度化として、メッシュ単位の地震・津波ハザード情報を生かした産業部門の直接被害推計手法の検討とこのための基礎データ整備、間接的影響の推定手法の高度化
2. 南海トラフ地震による長周期地震動による被害推計手法の検討
3. 南海トラフの臨時情報発表による広域的な影響評価の検討

等が挙げられる。

一方、地域リスク評価では、主として、

1. リアルタイム地域事態想定 of 検討・高度化
2. 地域特性・多様性を考慮した評価手法の他地域展開と波及予測手法の検討として、社会経済活動に対する人やモノの偏在、局在把握と、それによる被害や影響・波及予測

等が挙げられる。

さらに、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、2018～2019年度に発生した自然災害に対して、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった課題を以下に例示する。

- ・広域・複合自然災害のシナリオ検討と対策
- ・国民の災害に対する危機意識の更なる向上
- ・災害時重要拠点の災害対応能力評価と対策検討
- ・主要インフラの防災対策・相互依存性の解明
- ・複雑な都市機能の紐解きと脆弱性・ボトルネックの評価
- ・社会インフラ、社会問題が自然災害に与えるインパクト評価
- ・人的ソース不足

令和2年に入り、新型コロナウイルスが世界中で猛威をふるっており、イタリアやアメリカでは医療崩壊に近い状況が起き、多くの死者が発生しているとともに、ニューヨーク市等ではロックダウンと呼ばれる都市封鎖が実施され、日常生活が半強制的に制約される事態を招いている。日本においても、様々な感染拡大抑制のための対策が講じられているが、南海トラフ地震に対する臨時情報が発生された場合にも、今回と非常に酷似した状況が起こることは想像に難くない。したがって、新型コロナウイルス問題への国や自治体の対応、経済動向、情報提供のあり方(提供側と受け手側)、国際動向、住民行動等を常に注視し、時間的、空間的な整理・分析によって課題を教訓として抽出するとともに、臨時情報発令時の対処法等の検討に活かしていくことが非常に重要である。

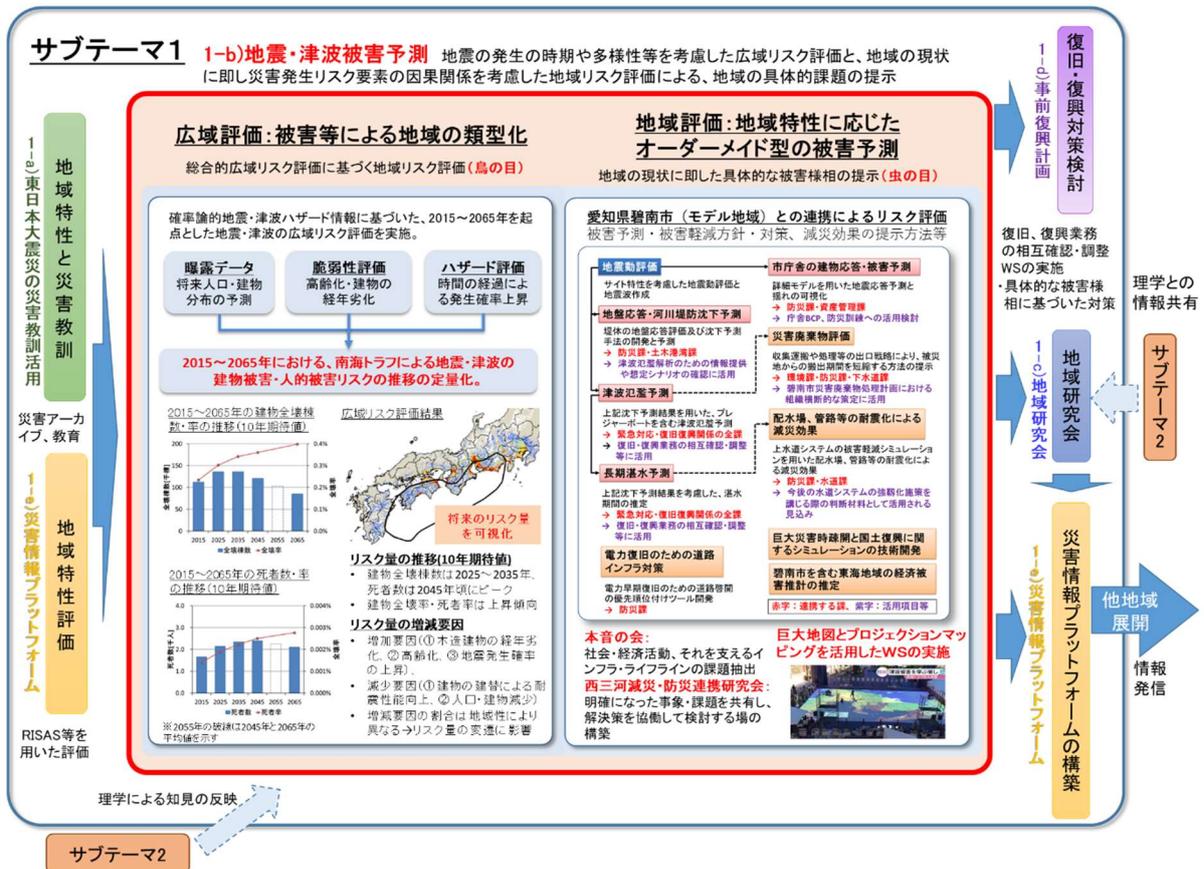




写真 3 - 2 - (3) - 1 碧南市役所における報告会の様子（令和元年度実施）

(d) 引用文献

- 1) 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 2014 年版 ～全国の地震動ハザードを概観して～、2014.
- 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, 771-790, 2008.
- 3) 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)、Vol.69-2、311-315、2013.
- 4) Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elastoplastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol 42. No.5, 47-57, 2002.

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 海域地震火山部門	上席技術研究員	◎金田 義行（四国、九州）
	上席技術研究員	高橋 成実
	センター長	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
	ポストドクトラル研究員 技術スタッフ	楠本 聡 大林 涼子
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	センター長・教授	◎福和伸夫（東海）
	副センター長・教授	野田利弘
	副センター長・特任教授	田代喬
	教授	西川智
	准教授	長江拓也
	准教授	平山修久
	特任教授	新井伸夫
	特任教授	武村雅之
	特任教授	護雅史
	特任教授	利藤房男
	特任准教授	荒木裕子
	特任准教授	倉田和己
	特任准教授	菅沼淳
	特任准教授	都築充雄
	特任准教授	山崎雅人
	特任助教	北川夏樹
	客員准教授	宮腰淳一
	環境学研究科	研究員 研究員
災害対策室	教授	富田孝史
地震火山センター	助教 教授 准教授	平井敬 飛田潤 山中佳子
国立大学法人京都大学	教授	◎牧 紀男（関西）

防災研究所		
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 主任研究員 主幹研究員 研究員 研究員 研究員	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 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。これまでのサブテーマ1、サブテーマ2の成果を地域に還元する取り組みを実施する。

(d) 7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、後半で具体的な社会実装に向けた取り組みを進めてきた。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の動向も把握しつつ、経済界やライフライン企業、地元大学とも議論を進めてきた。特に気象庁が臨時情報を今後発表することが公知にされ、これにいかに対応するか、の議論が進んだ。前半は、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蓄積した情報プラットフォームへのインプットを進めた。後半では、サブ1の計算手法等の様々な研究成果を碧南市に提供、事前復興を含めた地域との防災力向上の議論が進んだ。また、和歌山県や三重県に実装してきた津波即時予測システムの瀬戸内地域への浸透を図った。九州地域でも各県ごとに防災特性が異なるが、地域間の連携が進んだ。

平成 25 年度：

地域研究会の体制を整えて、開催のルールを敷いた

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、これまでの研究成果の社会実装システムを提案し、地域側との連携を深化させた。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・減災対策の有効性の確認を行い、地域防災に活かすための方策や 1-(e)の情報発信プラットフォームも含めた情報発信システムの利活用の検討も始めた。減災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進めた。

平成 31 年度（令和元年度）：

地域研究会を通じて、地方自治体との連携を図り、地盤情報、津波遡上、漂流物等の予測情報をとりまとめ、基礎自治体とともに事前復旧・復興計画を立て、地域とともに防災力を向上させた。また、情報発信プラットフォームに基づいた地域の防災情報を構築して、津波遡上などの地震発生後の動きを見ながら避難シナリオを立て、地域の避難訓練を実施した。瀬戸内地域の避難即時予測の有効性を確認し、浸水の動きに合わせた訓練も実施した。九州では、各県の連携が強まり、それぞれの役割毎に連携する体制が構築されている。市民参加の減災カフェ等、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た。

(e) 平成 31 年度（令和元年度）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、地域の意識向上と防災減災対策に資する情報提供を継続する。自治体や地域の大学との連携も含めた様々な地域特性に合わせた取り組みが進み始めており、新たな懸案である臨時情報に関する地域特有

の課題も共有し、対策の最適化や深化を推進する。きめ細かい提案・助言・議論のために分科会などの取組みも実施し、また、情報共有と情報発信の強化のために、これまでの地域研究会の枠組みを広げた連携も検討する。これらより、避難の在り方や早期復旧を念頭に、地域連携と行政による研究成果の利活用など社会実装の提案を行い、現在進めている社会実装を更に拡張する。加えて、研究成果の普及や啓発・人材育成のために防災・減災カフェ等を開催する。

(2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

(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、海上保安本部等の国の機関（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。各エリアを担当する幹事が主導して、南海トラフ地震の防災減災対策に関する国の動向や前回までの地域研究会における議論、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、最終年度であることを踏まえた意見交換や議論を行った。研究成果の利活用など地域への社会実装や連携の深化に向けて、プロジェクト側の成果を報告し、地域の防災減災対策上のニーズや課題に応える情報発信を行った。一部地域では成果の実装の試行が行われており、地域研究会においてその進捗を紹介し、意見の収集も行った。さらに、南海トラフ地震の震源域で異常な現象が観測された場合に出される南海トラフ地震臨時情報については、地域が直面する課題を聞き取り、プロジェクト側からはこれまで得られた知見などを紹介するなどして、意見交換を深化させた。

東海地域研究会では、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを対象として、愛知県名古屋市内で 2 回開催した。本プロジェクトの調査観測研究とシミュレーション研究の特に推移予測を中心とした南海トラフ地震研究における理学分野の成果と課題、本プロジェクト防災分野の 7 か年の成果等を基に意見交換や議論を行った。これら議論から、プロジェクト成果の課題や今後の期待など有益なコメントが得られ、ライフライン企業や経済界も含めた地域との連携や防災分野の成果の実装が評価され、さらなる期待が寄せられた。

関西地域研究会では、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを対象として、大阪市内で 2 回開催した。本プロジェクトの課題 2 であるシミュレーション研究の成果と課題、南海トラフ地震臨時情報と推移予測に関する話題を中心とした南海トラフ地震研究における理学分野の現状、本プロジェクト防災分野の 7 か年の成果等を基に意見交換や議論を行った。これら議論から、プロジェクト成果の課題や今後の期待など有益なコメントが得られ、事前復興を中心に地域との連携や臨時情報に関する情報提供が評価され、東海地域で行われた成果の実装に対して関西地域での試行に期待が寄せられた。

四国地域研究会では、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを対象として、香川県高松市内で 1 回開催した。南海トラフ地震臨時情報に関連して地域のマスメディアからその情報発信などの取り組みや課題、リアルタイムの地震津波観測網のデータ利活用の四国四県の取り組みについての話題提供を基に、意見交換や議論を行った。地域

研究会に加え、香川、徳島の各県危機管理担当との分科会を各1回開催した。本プロジェクトの成果を中心に南海トラフ地震研究の理学的な成果について、行政の視点で利用できたことや課題、今後の期待について意見交換や議論を行った。地域研究会と分科会から、これまで7か年の本プロジェクトの取り組みについての評価や課題、南海トラフ地震研究への今後の期待が寄せられた。

九州地域研究会では、大分県、宮崎県、鹿児島県、熊本県、福岡県のエリアを対象として、大分市内で1回開催した。リアルタイムの地震津波観測網のデータ利活用について現状や今後の進展、本プロジェクトのシミュレーション研究の成果を中心に南海トラフ地震臨時情報と推移予測に関する話題を中心とした話題提供を基に、意見交換や議論を行った。地域研究会に加え、大分県と宮崎県の危機管理担当と分科会を行った。大分県とは3回、宮崎県とは1回行った。四国の分科会と同様、本プロジェクトの成果を中心に南海トラフ地震研究の理学的な成果について、行政の視点で利用できたことや課題、今後の期待について意見交換や議論を行った。地域研究会と分科会から、7か年の本プロジェクトの取り組みについての評価や課題、南海トラフ地震研究への今後の期待が寄せられた。また、地域研究会や分科会での意見交換がきっかけとなり、宮崎県延岡市の危機管理担当との意見交換会を2回実施した。基礎自治体における南海トラフ地震の課題などをヒアリングし、本プロジェクトの成果など最新の情報を提供し、課題の洗い出しを行い今後の進展について議論をおこなった。

啓発・啓蒙活動として、高知市内で高校生を対象とした対話型イベント「減災エンス塾」を開催した。高校生の将来を考える上で、また次の世代を担う人材育成という観点からも好評で、これまでの開催への評価と今後の継続についても期待が寄せられた。

(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・減災対策を洗い出し、成果の実装を行い、愛知県名古屋市（名古屋大学減災館）で2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、各地方气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。

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・減災対策を洗い出し、成果の実装を進めるため、地域研究会を大阪市内（ホテルプリムローズ大阪）で2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・減災対策を洗い出し、成果の実装を進めるため、地域研究会を夏季に高松市内（かがわ国際会議場）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、各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、地域の大学、マスメディアなどである。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柔軟に実施することとした。令和元年度は香川県と徳島県で各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、福岡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・減災対策を洗い出し、成果の実装を進めるため、地域研究会を夏季に大分市内（大分県労働福祉会館ソレイユ）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、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柔軟に実施することとした。令和元年度は大分県と3回、宮崎県で1回開催した。また、宮崎県延岡市との意見交換会を2回実施した。そのうち1回は延岡市内の津波対策施設や津波想定対策に課題がある地区の見学を行い対策のコメントなどを行った。

5) 啓発・啓蒙活動

一般の皆様へ地域の防災減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、令和元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

令和元年度の各地域研究会の実績は次のとおり（表3-3-(2)-①-1）。

表 3-3-(2)-①-1 令和元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13回 東海地域研究会 5月17日(火) 14:00~17:00 名古屋大学減災館	南海トラフ地震観測：何がわかって、何がわからないか	海洋研究開発機構 海域地震火山部門 小平 秀一 部門長
	10年後の『南海トラフ地震臨時情報』及び『南海トラフ地震関連解説情報』	京都大学 名誉教授/理化学研究所 革新知能統合研究センター 非常勤研究員 平原 和朗
第14回 東海地域研究会 1月21日(火) 14:00~17:00 名古屋大学減災館	『南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト』地域連携減災研究(防災分野)各課題のトピックとまとめ	
	東日本大震災教訓活用研究	東北大学 佐藤 翔輔 准教授
	地震・津波被害予測研究	名古屋大学 野田 利弘 教授 防災科学技術研究所 藤原 広行 部門長
	災害対応・復旧復興研究	京都大学 牧 紀男 教授
	防災・災害情報発信研究	防災科学技術研究所 藤原 広行 部門長
	防災・減災対策研究	海洋研究開発機構 高橋 成実 上席技術研究員
第13回 関西地域研究会 5月13日(月) 13:00~16:00 ホテルプリムローズ大阪 2階 「鳳凰(東)」	南海トラフ巨大地震の実体 一分かったこと・分からないこと	東京大学地震研究所 古村 孝志 教授
	被害軽減のための巨大地震発生予測研究 ～長期目標の見直しと当面の計画～	海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター 堀 高峰 センター長
第14回 関西地域研究会 1月29日(水) 14:00~17:00 ホテルプリムローズ大阪 2階 「鳳凰(東)」	『南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト』地域連携減災研究(防災分野)各課題のトピックとまとめ	
	東日本大震災教訓活用研究	東北大学 佐藤 翔輔 准教授
	地震・津波被害予測研究	名古屋大学 野田 利弘 教授 防災科学技術研究所 藤原 広行 部門長
	災害対応・復旧復興研究	京都大学 牧 紀男 教授
	防災・災害情報発信研究	防災科学技術研究所 藤原 広行 部門長
	防災・減災対策研究	海洋研究開発機構 高橋 成実 上席技術研究員
第9回 四国地域研究会 9月9日(月) 14:00~17:00 かがわ国際会議場	四国におけるDONET利活用への期待	香川大学 四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構 地域強靱化研究センター 藤澤 一仁 副センター長・特命教授
	臨時情報に関するNHK徳島のこれまでの報道や取り組み	日本放送協会徳島放送局 宮原 豪一 記者(災害気象担当)
第9回 九州地域研究会 8月27日(火) 13:30~16:30 大分県労働福祉会館 「ソレイユ」7階 カトレアA	南海トラフ海底観測網(DONET、N-net)への期待	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
	南海トラフから日向灘の地殻活動の現状や起こり得るシナリオとその知見の活用	海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター 堀 高峰 センター長

1) 東海地域研究会

令和元年度は、令和元年5月17日(火)と令和2年1月21日(火)に愛知県名古屋市市内において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。

5月17日の第13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-(2)-①-1)。プロジェクトの理学分野の成果紹介と大きな関心を集めている南海トラフ地震臨時情報について深掘りする機会と位置付けられた。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、静岡地方气象台、名古屋地方气象台、国土交通省中部地方整備局、名古屋工業大学、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、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（オブザーバー）の 23 機関、36 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、京都大学、江戸川大学、時事通信社、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、43 人であった。海洋研究開発機構部門長 小平秀一氏より「南海トラフ地震観測：何がわかって、何がわからないか」と題して、南海トラフの調査観測研究から本プロジェクトが始まる前にわかってきたこと、7 年間の本プロジェクトによってわかったことや理解が深まったこと、そしてわからなかったことや課題について紹介した。次に、京都大学名誉教授／理化学研究所非常勤研究員 平原和朗氏より「10 年後の『南海トラフ地震臨時情報』及び『南海トラフ地震関連解説情報』」と題して、シミュレーション研究を中心に南海トラフ地震研究について、周辺の地震研究の状況を踏まえ、特に推移予測について紹介した。理学的な研究における現状についての質疑応答や議論は理学分野の他の研究者のコメントも交えて活発に行われ、それらが地域側の行政やライフライン企業にもわかりやすく、かつ研究側の本音も含めて理解が深まった。また南海トラフ臨時情報の理解と各機関がそれぞれで臨時情報をどう捉えて備えをするべきかを考えるきっかけも提供できた。質疑応答では、臨時情報は受け手にとって現時点では曖昧なことが多すぎ、警戒や注意の区分の不明確さもあり、特に行政は住民や関係機関への情報発信、ライフライン企業は具体的な対応が難しいとする困惑の声がかかれた。ライフライン企業の対応については、「システムをどう維持して発生まで備えるのか、発生しなかった場合はいつまで備えを続けるのか。それを継続することによって企業として立ち行かなくなるかもしれない」といった非常に難しい課題も投げかけられた。さらに、臨時情報のマスメディアの報道の在り方にも課題が示された。特に半割れケースと言われる南海トラフの東側半分、あるいは西側半分で M8 クラスの地震が起きた際、大津波警報の情報発信や発生した被害の報道ばかりとなり、壊れていない半分が壊れて再び大地震を起こすことへの備えが疎かになるリスクが指摘された。こうした課題に対しては、今後もこの様な場も含め、研究側からの情報発信と意見交換の場を継続することで合意された。

1 月 21 日の第 14 回東海地域研究会も名古屋大学減災館で開催した（写真 3-3-(2)-①-2）。この時期の研究会は例年、様々な課題を抱える都市で現場を見て感じて理解してからの議論とするための見学会とセットで行うのが常であったが、本プロジェクト最後の東海地域研究会であり、防災分野の各研究成果の紹介と将来直面する防災上の問題を議論するために前回と同様の名古屋大学での開催となった。出席メンバーは、愛知県、岐阜県、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、岐阜地方気象台、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、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、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 24 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、防災科学技術研究所、京都大学、東京大学、東北大学、国土地理院（オブザーバー）、リアルタイム地震・防災情

報利用協議会（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）の9機関、32人であった。「『南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト』地域連携減災研究（防災分野）各課題のトピックとまとめ」と題して、防災分野の5つの課題についてそれぞれの担当者が7年間の成果をまとめた。東北大学災害科学国際研究所准教授 佐藤翔輔氏が「東日本大震災教訓活用研究」のうち、震災教訓のデータベース構築やそれらも用いた震災教訓の伝承についての取り組みを中心に紹介した。次に、名古屋大学減災連携研究センター教授 野田利弘氏と防災科学技術研究所部門長 藤原広行氏が「地震・津波被害予測研究」のうち、地域／広域リスク評価の成果を中心に紹介した。次に、京都大学防災研究所教授 牧紀男氏が「災害対応・復旧復興研究」のうち事前復興計画策定手法の開発や災害影響評価手法の開発について紹介した。続いて、防災科学技術研究所部門長 藤原広行氏が「防災・災害情報発信研究」で行ってきたWeb上で活用する災害情報プラットフォームの構築やその閲覧できるコンテンツ利用例を中心に紹介した。最後に海洋研究開発機構上席技術研究員 高橋成実氏が「防災・減災対策研究」で実施してきた地域研究会の取り組みやその成果について紹介した。防災分野における様々な成果について高い評価をいただき、震災教訓のデータベース活用について行政目線での利活用の方向性や復興計画手法の東海地域での実装を期待する声が聴かれた。また地域／広域リスク評価は、詳細かつ総合的なリスク手法の開発であり、すでに愛知県碧南市での実装事例とその検証報告から、碧南市での深化と他地域での実装を期待するコメントがあった。そして、こうした研究成果の紹介や成果の実装の機会を提供してきた地域研究会への高い評価をいただいた。

東海地域研究会では、地域との具体的なつながり、特にライフライン企業や経済界とも連携する形で話題提供や意見交換や議論が行われ、ライフラインのボトルネックを地域研究会の場で情報共有してきた。また、これまでのリスク評価は、個々の具体的な情報が少なく、かつ、それらのリンクもきちんと成されておらず誤差が大きく、長期的な経済活動も含めた長期的な評価が出来ていなかったが、その新しい取り組みを地域研究会で共有し実装に貢献してきた。リスク評価だけでなく防災分野の研究成果が他地域へ展開される可能性をこの東海地域研究会で提供できた。加えて、理学分野の現状をあたためて理解いただく機会も提供でき、そうした機会を継続していくことの重要性も周知できた。本プロジェクトにより、地域研究会として行ってきた取り組みは、本来各地域が独自に実施すべきであるといった意識醸成がなされた。



写真 3-3-(2)-①-1
第 13 回東海地域研究会の様子



写真 3-3-(2)-①-2
第 14 回東海地域研究会の様子

2) 関西地域研究会

令和元年度は、令和元年 5 月 13 日（月）と令和 2 年 1 月 29 日（水）に大阪市内において 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教授 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。

5 月 13 日の第 13 回関西地域研究会はホテルプリムローズ大阪で開催した（写真 3-3-(2)-①-3）。上項の第 13 回東海地域研究会と同様、プロジェクトの理学分野の成果紹介と大きな関心を集めている南海トラフ地震臨時情報について深掘する機会と位置付けられた。出席メンバーは、和歌山県、大阪広域水道企業団、大阪市、高石市、第五管区海上保安本部、大阪管区气象台、神戸地方气象台、和歌山地方气象台、近畿地方整備局、関西国際大学、人と防災未来センター、東海・東南海・南海地震津波研究会、NTT コミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関西経済連合会、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、西日本高速道路株式会社、西日本電信電話株式会社、日本製鉄株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 21 機関 34 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、防災科学技術研究所、文部科学省（オブザーバー）、の 5 機関 10 人であった。東京大学地震研究所教授 古村孝志氏より「南海トラフ巨大地震の実体一分かったこと・分からないこと」と題して、シミュレーション研究を中心に本プロジェクトが始まるころの理学分野における南海トラフ地震に対する理解、そして本プロジェクトが進むにつれて見えてきた課題、今後の方向性について紹介した。次に海洋研究開発機構センター長 堀高峰氏より「被害軽減のための巨大地震発生予測研究～長期目標の見直しと当面の計画～」と題して、被害軽減のための予測研究という視点でこれまでの本プロジェクトや関係する研究における推移予測について紹介した。2つの話題提供から南海トラフ地震研究における理学分野での現状について、質疑応答も含め理解が広まった。さらに、同分野での今後の研究の進展に期待が寄せられ、行政やライフライン企業、経済界などから南海トラフ地震臨時情報への一応の理解も得られた。議論の場ではライフラインにおけるボトルネック抽出とその解決に向けた考え方も提唱され、東海地域で実施されているリスク評価の考え方も紹介された。

1月29日の第14回関西地域研究会は大阪市内のホテルプリムローズ大阪で開催した(写真3-3-(2)-①-4)。上項の第13回東海地域研究会と同様、本プロジェクト最後の関西地域研究会となり、防災分野の各研究成果の紹介と今後の課題を議論する会となった。出席メンバーは、大阪府、大阪広域水道企業団、和歌山県、和歌山市、第五管区海上保安本部、大阪管区气象台、神戸地方气象台、和歌山地方气象台、近畿地方整備局、東海・東南海・南海地震津波研究会、NTTコミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関西経済連合会、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、日鉄テクノロジー株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)の18機関33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、名古屋大学、東北大学、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7機関18人であった。

『南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト』地域連携減災研究(防災分野)各課題のトピックとまとめ」と題して、防災分野の5つの課題についてそれぞれの担当者が7年間の成果をまとめた。東北大学災害科学国際研究所准教授 佐藤翔輔氏が「東日本大震災教訓活用研究」のうち、震災教訓のデータベース構築やそれらも用いた震災教訓の伝承についての取り組みを中心に紹介した。次に、名古屋大学減災連携研究センター教授 野田利弘氏と防災科学技術研究所部門長 藤原広行氏が「地震・津波被害予測研究」のうち、地域/広域リスク評価の成果を紹介した。次に、京都大学防災研究所教授 牧紀男氏が「災害対応・復旧復興研究」のうち事前復興計画策定手法の開発や災害影響評価手法の開発について、地元和歌山県由良町での実装事例を中心に紹介した。続いて、防災科学技術研究所部門長 藤原広行氏が「防災・災害情報発信研究」で行ってきたWeb上で活用する災害情報プラットフォームの構築やその閲覧できるコンテンツ利用例について関西地域での実装事例を中心に紹介した。最後に海洋研究開発機構上席技術研究員 高橋成実氏が「防災・減災対策研究」で実施してきた地域研究会の取り組みやその成果について紹介した。東海地域と同様、防災分野における様々な成果について高い評価をいただいた。震災教訓のデータベース活用は阪神淡路大震災での教訓活用を行っている組織から高評価をいただき、地域/広域リスク評価の手法の関西地域への導入希望の声もあった。また、事前復興についても地元での取り組み紹介ということもあり高い関心が寄せられた。総合討論では当日参加の各組織からコメントをいただいた。最新の知見や国の動き、他の機関の動向を知る機会であり、参加機関同士の連携や情報共有の場になり非常に有益であったという声が多かった。こうした機会の継続希望はすべての参加者から聞かれた。

関西地域は、阪神淡路大震災や最近では大阪北部の地震など、南海トラフ地震の備えにおける先進事例が具体的にあるところでもある。そうした経験や知見に基づく危機意識・問題意識が関西地域研究会の場で共有され、関西地域としてのつながりを深める機会の一つにこの研究会は位置していたと言える。東海地域と同様、こうした機会の継続が、労力をかけても必要であることを根付かせた。東海地域の経済界の活動を踏まえ、それらを先進事例として、関西地域の経済界でも取り組みが始まろうとするきっかけを提供できたことも関西地域研究会の成果の一つである

う。



写真 3-3-(2)-①-3
第 13 回関西地域研究会の様子



写真 3-3-(2)-①-4
第 14 回関西地域研究会の様子

3) 四国地域研究会・分科会

令和元年度の四国地域研究会は、令和元年 9 月 9 日（月）に高松市内で開催した。分科会は、徳島分科会を令和 2 年 1 月 9 日（木）に徳島市内で、香川分科会を令和 2 年 1 月 24 日（金）に高松市内で行った。代表幹事は海洋研究開発機構海域地震火山部門上席技術研究員 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。

9 月 9 日の第 9 回四国地域研究会は、高松市内のかがわ国際会議場で開催した（写真 3-3-(2)-①-5）。本プロジェクト最後の四国地域研究会であり、7 年間の議論を総括する位置づけで開催された。出席メンバーは、愛媛県、香川県、高知県、徳島県、則島市、高知地方気象台、高松地方気象台、徳島地方気象台、松山地方気象台、四国地方整備局、香川大学、株式会社 NTT フィールドテクノ、四国電力株式会社、香川県社会福祉協議会、株式会社瀬戸内海放送、日本赤十字社、日本放送協会、日本郵便株式会社（オブザーバー）の 18 機関 24 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、国土地理院（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）の 4 機関 8 人であった。まず、香川大学副センター長 藤澤一仁氏から「四国における DONET 利活用への期待」と題して、四国における地震津波海底観測網に関する研究開発の状況とその利活用が紹介された。他地域の先進事例も紹介され、地震発生時だけでなく、南海トラフ臨時情報が出た際、この観測網で得られる情報と利活用が行政の対応に役立つことが見込まれることやこれらを活用した図上訓練も話題に上がった。次に日本放送協会徳島放送局記者 宮原豪一氏から「臨時情報に関する NHK 徳島のこれまでの報道や取り組み」として、NHK 徳島の臨時情報を中心とした南海トラフ地震に対する取り組みの現状や課題について紹介された。情報リテラシーが今後より重要になってくること、特に臨時情報という曖昧な情報が出された際の各々の情報の集め方や評価の仕方、関係者への情報発信や啓発活動の在り方などが議論された。出席者全員からの本プロジェクトや地域研究会に対するコメントからは、理学的な知見と臨時情報の解釈や各組織の備え、そこに地震津波海底観測網からの情報の扱いなどについて、継続的な情報提供

や議論の場を期待する声が大きかった。もちろん、全員からはこの地域研究会が果たしてきた役割について高い評価をいただいた。

分科会は徳島分科会、香川分科会の2つを行った。徳島分科会は1月9日（木）に徳島県庁で行った（写真3-3-(2)-①-6）。出席メンバーは徳島県危機管理部と海洋研究開発機構であった。香川分科会は1月24日（金）に香川県庁で行った（写真3-3-(2)-①-7）。出席メンバーは香川県危機管理総局と海洋研究開発機構であった。どちらの分科会も本プロジェクトの成果が役立ったことや感じられる課題と今後に求めること、臨時情報に関する課題、地震津波海底観測網の利活用に関すること、さらには臨時情報にも関連する情報リテラシーや教育啓発活動について忌憚ない意見交換が行われた。役立ったこととしては、地域研究会や分科会が施策を計画・推進する上でのきっかけや後押しとなったことがあげられた。教育啓発活動については達成度の評価が難しい現状と新たな評価方法について意見交換が行われた。また、地震津波海底観測網は地域研究会では時間の関係もあり議論や意見交換に資する時間が足りなかったこともあり、より詳細な意見交換が行われた。分科会についてもこの様な議論や意見交換の深化だけでなく、地域研究会ではフォローしきれない四国四県の異なる課題や取り組みに関する議論を補完する位置づけを評価いただいた。なお、高知県、愛媛県とは分科会の開催には及ばなかった。これは、非定期に実施している情報共有と意見交換（別件訪問のついでも含む）で令和元年度は結果的に事足りたからである。

四国地域研究会では、最終年度となる今年度だけでなく、この数年間は臨時情報関連と地震津波海底観測網を大きなテーマとして議論を重ねてきた。加えて最終年度として、今後大きな課題となる情報リテラシーに関することにも視点を置いてきた。昨年度の拡大分科会よりマスメディアにも参画いただいて四国地域における情報発信やその扱い方の議論も重ねてきた。さらに、四国地域で実施してきた後述の対話型イベントなどの啓発活動についてもその評価手法模索の議論を深めてきた。四国地域における議論継続のテーマとしてそれらの意識付けを果たせたと言えよう。もちろんこれらは四国地域に限ったことではなく、他地域にも広げていかなければならない課題である。広域災害においては四国四県だけではなく周辺地域との連携も極めて重要であり、そこには行政レベルの連携に研究の視点、特に臨時情報の扱いや備えに理学的な要素が大切であることを根付かせたこともこの四国地域研究会の大きな成果である。これは、四国四県の地震津波海底観測網の利活用推進など南海トラフ地震対策の連携を図るべく四国四県の活動の中心となっている地元大学の成果でもある。地域研究会の位置づけやその継続の重要性などは地元大学に伝授できたと考えている。



写真 3 - 3 - (2) - ① - 5
第 9 回 四 国 地 域 研 究 会 の 様 子



写真 3 - 3 - (2) - ① - 6
徳 島 分 科 会 の 様 子



写真 3 - 3 - (2) - ① - 7
香 川 分 科 会 の 様 子

4) 九州地域研究会・分科会

令和元年度の九州地域研究会は、8月27日（火）に大分市内で開催した。分科会は、大分分科会を平成31年4月16日（火）、年号の改まった令和元年8月27日（火）、令和2年2月5日（水）に大分県庁で行った。宮崎分科会は令和元年12月16日（月）に宮崎県庁で行った。代表幹事は海洋研究開発機構海域地震火山部門上席技術研究員 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。

8月27日の第9回九州地域研究会は大分市内の大分県労働福祉会館「ソレイユ」で開催した（写真3-3-(2)-①-8）。本プロジェクト最後の九州地域研究会であり、7年間の議論を総括する位置づけで開催された。出席メンバーは、大分県、宮崎県、大分市、佐伯市、延岡市、大分地方气象台、宮崎地方气象台、九州運輸局、九州地方整備局、西日本電信電話株式会社、九州電力株式会社、日本製鉄株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）の13機関23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、国土地理院（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）4機関11人であった。海洋研究開発機構海域地震火山部門上席

技術研究員 金田義行氏から「南海トラフ海底観測網 (DONET、N-net)への期待」と題して、南海トラフに整備された及び整備中の地震津波海底観測網に関する最新情報とその利活用が紹介された。さらにそれらの利活用も含めた臨時情報の扱いや備えについて、加えて推移予測についても理学的な知見を中心に解説した。次に海洋研究開発機構地震火山部門センター長 堀高峰氏から「南海トラフから日向灘の地殻活動の現状や起こり得るシナリオとその知見の活用」として、本プロジェクトの成果を中心に日向灘の地震活動やゆっくりすべりなどの知見や南海トラフ地震との関係について紹介し、今後起こり得る地震活動のシナリオについても触れた。地震津波海底観測網に関する最新情報とその利活用の紹介では、宮崎県沖に N-net の構築が進んでいることから本プロジェクトでも利活用を進めている DONET について高い関心が寄せられた。加えて臨時情報の扱い方についても注目を集めた。また、日向灘の地震活動についてもまさに目前のことであり活発な質疑応答があった。出席者全員からの本プロジェクトや地域研究会に対するコメントからは、四国地域研究会と同様、理学的な知見と臨時情報の解釈やそれぞれの備え、地震津波海底観測網からの情報の扱いなどについて、継続的な情報提供や議論の場を期待する声が大きかった。地域研究会がきっかけになって九州全域で取り組んでいる南海トラフ巨大地震対策九州ブロック協議会への貢献、基礎自治体向けの勉強会への協力も含め、この地域研究会が果たしてきた役割について高い評価をいただいた。

分科会は大分分科会を3回、宮崎分科会を1回行った。平成31年4月16日の大分分科会は大分県主催の講演会場で講演会前後に、8月27日と令和2年2月5日の同分科会は大分県庁で行った(写真3-3-(2)-①-9)。出席メンバーは大分県生活環境部防災局担当者と海洋研究開発機構であった。4月の分科会では本プロジェクトが最終年度を迎え、見込まれる成果と県の取り組みへの貢献について意見交換を行った。8月と2月の分科会は四国の分科会と同様に、プロジェクト成果が役立ったことや感じられる課題と今後に求めること、臨時情報に関する課題、地震津波海底観測網の利活用に関する話題を中心に意見交換が行われた。なお、8月の分科会は地域研究会の前でもあり、同研究会の事前打ち合わせも兼ねていた。分科会では具体的な事例についての議論や意見交換がしっかり行えることが高い評価を得た。具体的には最新の知見を県の取り組みに具体的に生かせる可能性が高くなること、そのために細かい話ができることなどであった。大分県の場合は、南海トラフ地震についても津波想定やその被害予測に関する最新の知見を得られること、さらに、南海トラフ地震との関連も危惧される別府湾の地震活動と熊本地震に関連して中央構造線の活動も関心も高く、そうした意見交換が出来ることも大きなメリットとのことであった。さらに南海トラフ地震への備えに危機意識が高い県内基礎自治体の存在にも触れ、後述の宮崎だけでなく大分県でも基礎自治体との連携の可能性が示された。宮崎分科会は令和元年12月16日(月)に宮崎県危機管理課担当者と宮崎県庁で実施した(写真3-3-(2)-①-10)。プロジェクト成果が役立ったことや感じられる課題と今後に求めること、臨時情報に関する課題、地震津波海底観測網の利活用に関する話題を中心に意見交換が行われた。地域研究会や分科会の情報が県の施策等に関する資料作成や担当者の知識向上に果たした役割

が大きかったとのことであった。県内の臨時情報への備えを検討する勉強会のうち、昨年度末に開催された第一回の同会には本プロジェクト研究者が参加したが、その後の補足情報提供など同会との連携も続いた。後述の今年度の新たな取り組みとして実現した延岡市との意見交換会と津波対策施設や津波想定対策に課題がある地区の見学会（写真3-3-(2)-①-11、写真3-3-(2)-①-12）は分科会がきっかけであった。

九州地域研究会では、四国地域研究会と同様、最終年度となる今年度だけでなく、この数年間は臨時情報関連と地震津波海底観測網を大きなテーマとして議論を重ねてきた。臨時情報関係は難しい課題であり、今後様々な知見や運用について改善が重ねられることであり、こうした研究会の継続が強く求められている。この研究会を通じて九州ブロック協議会など九州全域における南海トラフ地震対策に貢献する機会ができ、これは今後も継続されるべきことであり、その事務局である宮崎県ともその必要性について合意された。また、延岡市との取り組みもこの地域研究会の大きな成果であり、こちらもなんらかの形で継続が求められている。さらに大分の基礎自治体との連携も具体化が進みそうな状況を得られた。県担当の知識向上が県庁内の調整検討の円滑化にもつながった事例や県の防災対策の見直しを行う委員会にも地域研究会の情報が生かされた事例も聞け、地道ながら確実に地域研究会が成果を上げてきたと言える。本プロジェクト地域研究会の取り組みの趣旨や手法は、県が主催する基礎自治体との臨時情報の勉強会・説明会にも生かされており、地域に根付き始めている。



写真3-3-(2)-①-8
第9回九州地域研究会



写真 3-3-(2)-①-9
令和 2 年 2 月 5 日の大分分科会の様子



写真 3-3-(2)-①-10
宮崎分科会の様子



写真 3-3-(2)-①-11
延岡市との意見交換会



写真 3-3-(2)-①-12
延岡市内の津波避難施設の見学

5) 啓発・啓蒙活動

対話型イベントとして初年度より減災カフェなどを開催してきた。その代表的なものが平成 26 年度より高知市内の寺田寅彦記念館において実施している「高知減災エンス塾 寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ 一減災科学研究（げんさいえんす）の推進一」である。令和元年度は、高校生向けとしては通算 5 回目となる同塾を、12 月 22 日（日）に開催した（写真 3-3-(2)-①-13）。講師は海洋研究開発機構海域地震火山部門上席技術研究員 金田義行氏であった。学校の課題研究で津波について研究している方、防災減災研究に興味を持っている方、クラブ活動で地震の研究をしている方、大学で地震や津波の研究をしたい方、報道に携わりたい方など高知県内の高校生 15 名が参加した。オブザーバーとして高知県内高校の教諭ら 6 名の参加があった。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なく、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 1 あること、視点を変えて事象をとらえること、自分の街の良さを知ることによって減災につながるきっかけがあること、全ての学問や身近なちょっとしたところから防災減災の取り組みが始められること等を紹介した。また最近目立った風水害についても触れて、地震と他の災害との複合災害の考え方も説いた。参加者からは、「課題研究

のヒントになった」、「地元の堤防工事のことに関心が生まれた」、「視点を変えて偏見を持たずに考えることが大切であることが理解できた」、「実際に起きた時をイメージして複数の避難路を確認する必要性がわかった」など、多数のコメントが寄せられた。課題研究に取り組む方は休憩時間や終了後も講師への質問を積極的に行うなど、活発な対話がなされた。オブザーバーの教諭からは「質疑応答を聞いていて、生徒がもつイメージと理論・現実に差があり、それらを埋めていかなければならかいと感じた」、「前向きに柔軟に考えることを若い教員も学んで生徒を導いてほしい」、「総合学習のヒントになった」と言ったコメントが寄せられ、県教育委員会も含め、今後も同様のイベントの継続希望があった。なお、同塾は当初は10月開催であった。しかし開催日直前に近づく台風のリスクを考慮して延期し、その代替開催がこの12月となった。



写真 3 - 3 - (2) - ① - 13

第5回高校生高知減災エンス塾の様子

(d) 結論ならびに今後の課題

各地域とも、プロジェクトの最終年度であることを踏まえ、本プロジェクトの成果の紹介とその評価、さらには今後の課題や方向性などの議論に重点が置かれた。4地域共通の議論のテーマとして、臨時情報も視野に入れた理学分野の成果に関することがある。また、防災分野については本プロジェクトで取り組んできた個々の研究成果を一つにまとめて実装を試みた地域／広域リスク評価の議論が中心テーマであった地域もある。具体的には東海地域研究会と関西地域研究会は理学分野の成果を踏まえわかったこととわからないことの整理と臨時情報への備え、防災分野の各課題の成果紹介に加えて地域／広域リスク評価の紹介に基づく議論を行った。四国地域研究会と九州地域研究会は、理学分野の成果の紹介と臨時情報など不確定情報の扱い方や情報リテラシー、地震津波海底観測網の利活用の議論に重点が置かれた。これらは各地域の特性やニーズ、アンケート調査に基づき、地域側の考え方や取り組み、抱える課題や疑問に適切に応えたものであり、最終年度である今年度の地域研究会も例年以上に高い評価を得た。その高い評価を得た具体事例としては、地域研究会の場が、東海地域研究会では地

域／広域リスク評価の実装試行の紹介による情報共有とフィードバックの場になった。関西地域研究会は事前復興計画策定手法の開発や災害影響評価手法の開発の紹介と関係者からのコメントやフィードバックの機会となった。また経済界との連携強化の気運が地域研究会での議論や働きかけにより上がってきた。九州地域研究会と四国地域研究会では臨時情報と情報リテラシー議論の機会となった。また分科会の意見交換や議論から基礎自治体との連携構築の機会が生まれた。

地域研究会はプロジェクト研究と地域側を繋ぎ、成果の実装や地域ニーズのフィードバック、そのためにはオフレコの本音を言える場であり、7年間の取り組みでそうしたつながりを強く太くしてきた。最終年度はプロジェクト成果の実装や地域連携の深化と広がりを進めることをこれまで以上に意識した。南海トラフ地震研究への期待は更に高まり、幅広い情報共有や議論の場、情報発信の手立てとしての地域研究会の存在は確立したと言える。地域研究会の考え方の醸成や取り組むべき内容の継承もなされ、地域研究会の自律も達成できたと考える。例えば臨時情報に関する勉強会などは、自治体からプロジェクト側に協力依頼や検討内容に関する相談が寄せられるなど、わかりにくい理学分野に関しても主体的に南海トラフ地震に備える取り組みを行うようになった。実施にあたりプロジェクト成果やプロジェクトの実施事例を踏まえるようになり、今年度の目的を達成できたと判断できる。

現状では、例えば東海地域で実装されたリスク評価について四国や九州では東海地域までのニーズには至らなかった。これは、リスク評価の要素が異なることや基礎自治体の全面的な協力体制が必要となることもあるため、このような場合、実装試行に向けた橋渡しを地域研究会が担うことは難しい。しかし、地域研究会はプロジェクトの防災分野の大きな成果であり、東海地域での精度向上も行った上で、なんらかの形で提供できるように検討すべきかもしれない。こうしたプロジェクト終了後のフォローや関係者へのその後の情報展開が新たな課題としてあげられる。四国や九州で話題の中心としてきた臨時情報など理学の不確定な情報の扱いについても、今後も継続して地域と連携していく必要のあるテーマであろう。また、四国地域の地震津波海底観測網の活用も大切な継続案件と言える。九州では県の協力をいただきながら、基礎自治体との連携もあらたに進化し始めている。さらに、四国では地元教育委員会や関心の高い教員、地元行政などとの関係を維持発展させながら、次の時代を担う貴重な人材、特に参加が希少な高校生世代へ向けた啓発イベントは継続すべきであり、他地域への展開も行っていかなければならない取り組みである。また四国の県教育委員会や教員などからは先方主催の啓発イベントへの協力や連携も打診されており、こうした意識の醸成は本プロジェクトの成果の一つである。

一方で、地域研究会は成果の客観的な評価が難しい面がある。プロジェクトの成果が行政などの施策や計画に反映されるためには、早くても数年、多くは5年以上の年数、あるいは10年程度がかかることもある。プロジェクトの成果が国のさまざまな組織で認知され、それらが国の具体的な指針や計画に取り込まれてから初めて、地域の行政が具体的に実装するための検討調整に着手できるのが通常のパターンである。また啓発活動も、その成果の検証は難しい。学校単位の活動であれば学校への問い合わせなどある程度の検証はできる可能性もあるが、個人情報保護の観点からも検証は容易とは

いけない。そうした検証方法の開発やその体制づくりも新たに生まれた課題と言える。

(e) 引用文献

なし

(3) 平成 25～平成 31 年度（令和元年度）の成果

(a) 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、後半で具体的な社会実装に向けた取り組みを進めてきた。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の動向も把握しつつ、経済界やライフライン企業、地元大学とも議論を進めてきた。特に気象庁が臨時情報を今後発表することが公知にされ、これにいかに対応するか、の議論が進んだ。前半は、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蓄積した情報プラットフォームへのインプットを進めた。後半では、サブテーマ 1 の計算手法等の様々な研究成果を碧南市に提供、事前復興を含めた地域との防災力向上の議論が進んだ。また、和歌山県や三重県に実装してきた津波即時予測システムの瀬戸内地域への浸透を図った。九州地域でも各県ごとに防災特性が異なるが、地域間の連携が進んだ。

(b) 業務の実施方法

東海地域、関西地域、四国地域、九州地域の 4 地域を対象に年に 1 - 2 回の地域研究会を開催、サブテーマ 1 とサブテーマ 2 からの研究成果と、様々な地域の取り組みを紹介し、それぞれの取り組みの情報共有と水平展開を進めてきた。参加機関は、各自治体や基礎自治体、インフラ事業者、地元の大学の研究者、地方气象台、海上保安庁、地方整備局などから構成された。地域研究会を開催してきた各地域に対して、それぞれの防災上の特性から、地域への研究成果の実装を促進させる媒体として、議論を進めてきた。地域研究会に参加するメンバーは、各機関の防災担当者であり、それぞれの防災対策や復興計画に携わる方々である。液状化やゼロメートル地帯をはじめとする軟弱地盤問題、津波浸水や長期湛水の問題、地域の防災情報を共有するための体制・連携の問題、円滑な事前復興計画立案の問題など、地域の防災特性に応じた情報交換と議論を行ってきた。

(c) 業務の成果

地域研究会での議論を 4 地域で重ね、いくつかの地域への実装の成果が得られた。それぞれの地域の取り組みの結果と、地域研究会実施時に頂いたアンケート結果から、それぞれの地域の成果を取りまとめる。

東海地域研究会では、碧南市を対象として、軟弱地盤や堤防変形の計算を行い、市内

の河川を含む津波浸水と漂流物を検討し、河川を管理する水門の動きが市内の被害に大きくかかわることを示した。また、地域で地元の方々が自ら被災時の状況を想定し何を復興させるか検討する事前復興の取り組みも進められた。愛知県は産業の集積地でもあり、中部経済連合会からは防災に対する提言書がまとめられ、この内容も参加メンバーに広く共有された。地域からの要望では、自治体ベースの研究の継続、災害情報プラットフォームなどの情報共有システムによる情報提供、事前防災対策や事前復興計画のための被害予測や社会的影響予測の提供、被災後の復旧段階の研究に対する期待、角度が低くても判断材料できる情報の提供、関係機関が横断的に連携できる仕組み等が挙げられた。これらの要望は、これまでに比較して理学・工学的な情報提供への期待を示すものであり、サブテーマ1とサブテーマ2からの研究成果の浸透がプロジェクト実施前に比べて向上したことを示唆している。

関西地域研究会では、大都市圏では長周期地震動や軟弱地盤問題、地方では津波浸水や地域の孤立化の問題が防災特性として挙げられる。このプロジェクトでは、和歌山県による地震・津波観測監視システム（DONET）を用いた津波即時予測システムの利用が報告された。実際にこのシステム構築のための津波データベースを用いて広川町では住民が自ら決める事前復興計画が立案され、同様の検討が南あわじ市でも行われるなど、事前復興の取り組みの情報共有と水平展開が進んだ。また、津波計算から、防災情報プラットフォームを用いた避難訓練の事例もあり、地元の社会福祉協議会との連携も進んだ。地域からの要望としては、臨時情報が発表された時の人命保護やBCP、都市機能の維持の方策に関する研究、最大クラスの想定だけでなく平均的なケースでの想定に関する研究、河川氾濫や高潮被害などにも応用できる検討の議論、一般市民も含めた情報共有や啓発活動への期待などが示された。大都市の機能を維持するための取り組みの議論を期待しつつ、一般住民それぞれが自ら判断して適切な行動につなげる状況構築への期待が示唆されている。

四国地域研究会では、津波被害が深刻な高知県や徳島県、香川県や愛媛県は津波の高さがそれほど大きくないが長時間継続する津波への備えが議論されてきた。1946年昭和南海地震でも高知市内では広く長期湛水した写真が残っているが、市内の漂流物や津波浸水の状況を3D表示で可視化する研究も紹介された。瓦礫の発生と集積、軟弱地盤地域での強震動による液状化も防災上の課題として議論された。一方で、瀬戸内地域は津波高は低いものの、太平洋沿岸のような高い防波堤は必ずしも多くはなく、最大クラスの地震が発生すれば、沿岸部を中心に浸水の可能性が提示されている。瀬戸内地域は瓦礫の問題はあるものの、津波到達まで時間があるため、即時データの直接的な防災への利活用への期待が示されている。また、広い津波浸水域が分布することから、浸水しない場所の空間土地利用の問題も提起された、避難住民の居住地域、廃棄物や瓦礫の置き場所など、事前に想定して場所を確保する必要性が示されている。地域からの要望としては、DONETをはじめとする即時情報を用いた津波即時予測の実装と更なる情報展開への期待、他県の行政やライフライン事業者の取り組みの共有、研究成果や防災情報の一般住民への共有と有効利用、四国4県での連携体制などのコメントが寄せられた。ここでもサブテーマ1やサブテーマ2の研究成果を用いた防災力向上への意識の高まりがアンケートから読み取れる。

九州地域研究会では、過去に発生した南海トラフ地震による亡村になった箇所もあり、地震や津波に対する意識が高い。2016年に発生した熊本地震の影響もあり、地震や津波発生時の九州地域内の地域連携の意識はかなり向上し、実際の連携作業も進んでいる。これまで、海域観測網を用いた防災対策の先進事例や、大震法や臨時情報、地方整備局による発災時の対応事例など国の施策の現況、東日本大震災の教訓や土地利用のマネジメントなどが議論された。地域からのコメントとしては、熊本地震の教訓から、事前復興を含めた復興復旧に関する研究、日向灘を含めた南海トラフ地震そのもの研究への期待、避難率向上のための方策等、かなり多岐にわたった研究への期待が寄せられた。これを反映し、地域からの要望として、海域観測網データの利活用や、臨時情報発表時の地殻活動の背景への理解、これらの情報の出し方への検討などが求められている。気象庁から発表される臨時情報に対して、どのような情報をどう伝えるか、その時のマスコミの伝え方はどうなるか、と言った具体的なイメージを求めるコメントもあった。様々な被害が想定される中で、議論の内容を絞った検討への期待も寄せられている。

(d) 結論ならびに今後の課題

各地域のアンケート結果から、全体的にサブテーマ1やサブテーマ2からの理学・工学・社会科学の研究の成果を知って頂いたことが分かった。また、参加メンバーそれぞれにおいて、組織に戻ってからのフィードバックもなされており、南海トラフ研究への理解は進んだと考えられる。碧南市における様々な研究成果の取り込みと防災対策の現状との議論もなされ、実装の事例としても積み上げることはできた。津波の観点からは、DONETや次期観測網を用いた津波即時予測システムの水平展開と、そこで構築された津波データベースの事前復興への取り組みへの活用も行われている。四国地域や九州地域では、それぞれの県において、抱える防災特性が異なるケースもあり、それぞれの地域での連携体制や情報共有が求められていることもわかった。気象庁から発表される臨時情報を念頭に、地殻活動等の確度の低いあいまいな理学的情報の取り扱いと、工学的な研究成果を組み合わせた地域の評価、同じような防災特性を持っている4地域の枠を超えた情報の共有と連携が重要である。

(e) 引用文献

なし

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	教授 特任研究員	加藤孝明 キム・ジェホ
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) 7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な行政制度、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な行政制度、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年度から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した。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った。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、東日本大震災の事例等も用いて継続して実施した。これまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムへの住民ビジョンの反映手法について東日本大震災のデータを用いてその妥当性を検証するとともに、和歌山県由良町を事例に他地域への導入可能性の検討を行った。

平成 31 年度（令和元年度）：

研究成果の最終とりまとめとして、これまで兵庫県（まち）・和歌山県（集落）を事例として開発をおこなってきた事前復興計画策定手法を 1-a、b の知見も利用し、都市地域へと適用し、開発した計画手法の妥当性の検証を行うとともに、1-c、e の研究を通じての成果の社会への発信を行った。また、これまで開発を行ってきた災害影響評価手法についてのとりまとめを行った。

(e) 平成 31 年度（令和元年度）業務目的

研究成果の最終とりまとめとして、これまで兵庫県（まち）・和歌山県（集落）を事例として開発をおこなってきた事前復興計画策定手法を 1-a、b の知見も利用し都市へと適用し、開発した計画手法の妥当性の検証を行うとともに、成果を 1-c、e の研究を通じ社会に発信する。また、これまで開発を行ってきた災害影響評価手法のとりまとめを行う。

(2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

① 事前復興計画手法の都市部（愛知県碧南市）への適用と計画手法の妥当性検証

(a) 業務の要約

本業務では、これまで兵庫県南あわじ市、和歌山県由良町で行ってきた、ハザード情報や時系列別の災害対応を考慮した事前復興計画策定手法の都市への適用・検証を行うことを目的として、愛知県碧南市にて 2 回に分けて市役所、市民病院、警察署、消防署職員参加のもと、災害対応図上訓練ワークショップを行い、その成果をまとめたものである。本業務より得られた成果としては、それぞれの課での取り組みや複合的なハザードにより各場所・時系列で想定される状況を共有することで、自治体全体として検討すべき課題を抽出・認識することが可能であることが明らかとなった。

(b) 業務の成果

兵庫県南あわじ市(まち)、和歌山県由良町(集落)にて開発・検討を行ってきた行政職員による事前復興計画策定手法の都市自治体への適応可能性を検討するために、愛知県碧南市で 2 回のワークショップによる実践を行い、兵庫県南あわじ市、和歌山県由良町で開発した手法が都市地域においても適用可能なことの確認を行った。

1) ワークショップの概要

2019 年 7 月 31 日(以下 WS1 とする)と同年 10 月 25 日(以下 WS2 とする)に、碧南市庁舎 2 階会議室 4・5 にて行政職員、碧南警察署員、碧南消防署員、碧南市民病院職員を対象にワークショップを実施した。ワークショップ参加部局は表 3-4-(2)-①-1 に示す。

表 3-4-(2)-①-1 WS 参加部局

所属	人数	所属	人数
防災課	2名	健康課	1名
秘書情報課	3名	市民病院管理課	1名
経営企画課	1名	商工課	1名
資産活用課	1名	農業水産課	1名
会計課	1名	環境課	1名
地域協働課	2名	建築課	2名
税務課	2名	土木港湾課	2名
市民課	1名	都市整備課	1名
監査事務局	1名	水道課	1名
福祉課	1名	下水道課	2名
こども課	1名	庶務課	1名
国保年金課	1名	生涯学習課	1名
高齢介護課	1名	議事課	1名

WS1 では、兵庫県南あわじ市、和歌山県由良町での手法を援用し、碧南市の災害対策図(1/8000)をベースマップとして、震度分布、津波浸水分布、液状化危険度分布や焼失率分布、長期湛水域、L1 防潮堤ありの場合の津波浸水域などのハザードを示したシートを時系列ごとの状況や議題に応じて重ねながら、7 つの時系列((1)地震発生直後～津波到達前、(2)津波到達～1 日目、(3)～3 日目、(4)～1 週間、(5)～3 か月、(6)～1 年、(7)1 年～)ごとに透明シートに災害対応に関する情報の確認・書き込みを

行って議論し、検討課題を抽出するという形式で行った。所要時間は約 4 時間であった。

WS2 では WS1 にて抽出された検討課題を碧南市職員で事前に検討を行い、その検討結果を共有し、議論を行った。また、WS2 の際は、京都大学牧より事前復興都市計画の必要性について、約 1 時間の講義を行った。所要時間は講義を含め、約 4 時間であった。

WS2 では、WS1 で抽出された検討課題リストを作成し、碧南市で事前にそれらの課題を検討、また京都大学で WS1 での時系列ごとの災害対応計画を先述の 7 時系列ごとにまとめた地図を作成し、検討結果をそれに書き込んでいくという形式で行った。

2) 業務の成果

これら 2 回のワークショップの最終成果物として、WS1, 2 の結果をまとめ、時系列別の碧南市内災害対応状況地図(図 3-4-(2)-①-1) 及び各部局での時系列別災害対応行動表(表 3-4-(2)-①-2)を作成した。

時系列別災害対応情報地図

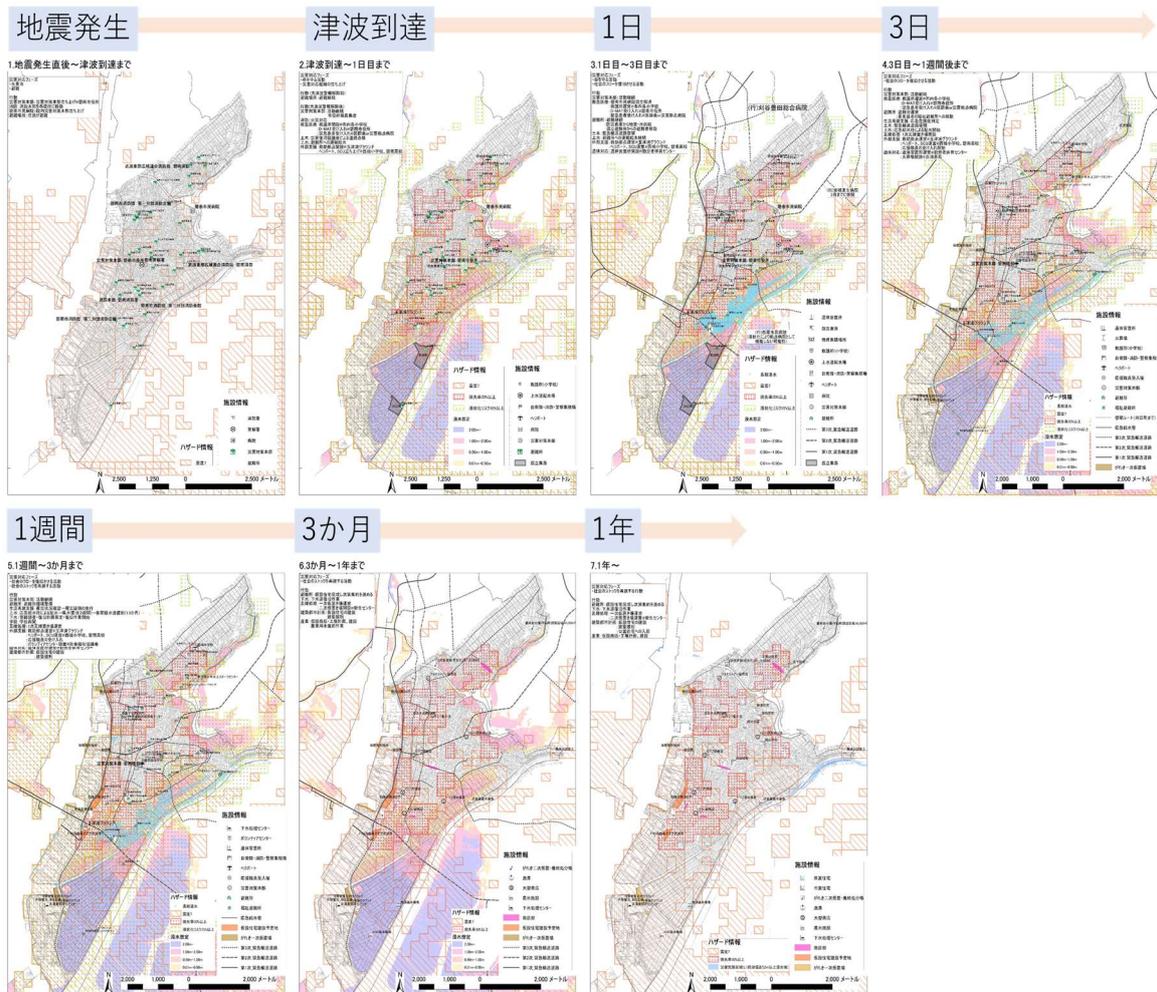


図 3-4-(2)-①-1 時系列別災害対応情報地図

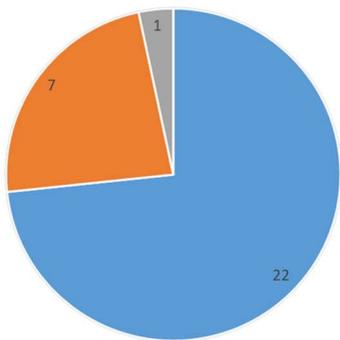
表 3 - 4 - (2) - ① - 2 時系列別災害対応行動表

区分	初動期～応急期				復旧・復興期		
	失見当期 (混乱状態)	命を守る活動		社会のフローを回復させる活動		社会のストックを再建する活動	
災害対応段階				情報と資源の管理			
時間	地震発生	津波到達 (55分後)	1日目	3日目	1週間	3か月	1年
災害対策本部	災害対策本部立ち上げ	市役所に職員集合					
消防	消防本部は市役所に移動	火災対応	救命活動				
医療	碧南市市民病院	院内災害対策本部立ち上げ		3日以内に稼働し孤立解消			
	災害対応		救護所開設@各小学校				
			D-Kit受け入れ@碧南市役所				
			緊急患者受け入れ@市内医師会/災害拠点病院 (安城東生病院、西尾市民病院、刈谷豊田総合病院)				
避難所	避難住民の受け入れ	防災倉庫から物資・水供給	要支援者の福祉避難所への移動			仮設住宅が完成次第、避難所を集約	
生活再建支援		孤立避難所からの移動		応急危険度判定	罹災証明の発行 (1~3か月後)		
インフラ/ライフライン	土木・道路	液状化等により、随所で通行不可	災害復旧協議会による道路点検	緊急輸送道路啓閉			
	上水	断水	避難所へ飲料水の運搬給水	応急給水栓による配水 (4日目)	湧水復旧 (2週間)	各家庭水道復旧 (約1.5か月)	
	下水	使用不可			管路調査・復旧計画策定 (1か月)	復旧作業	
	電気	停電発生			停電復旧 (約1週間)	学校再開 (約2週間)	
学校							
瓦礫処理				1次瓦礫置き場開設			2次瓦礫置き場開設@衛生センター
外部支援受け入れ		消防・警察・自衛隊の救助拠点@玉津浦グラウンド (or 高浜市・五反田グラウンド、高浜高校)	ヘリポート@西端小学校、碧南高校	行政応援職員の受け入れ	ボランティアセンター設置@社会福祉協議会		
遺体対応			遺体安置所設置@勤労者体育センター	火葬対応@衣浦茶屋			
建築・都市計画					仮設住宅の建設 (最大1150戸)	大きな被害のあった地域で建築規制 (2週間)	公営住宅入居
産業							仮設商店・工場計画、建設

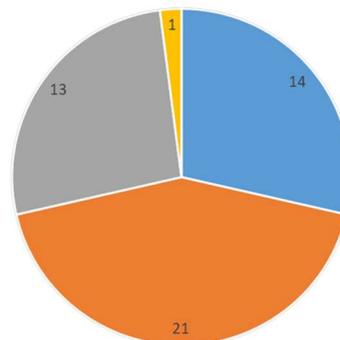
また、碧南市職員を対象に行ったアンケートでは、各部局での取り組みを市内で共有できたことが特に役に立ったという回答が多く得られた(図 3 - 4 - (2) - ① - 2)。

問1 今回のWSは、各課が防災の取組みを推進していくにあたり、役に立ちましたか？

問2 問1で「①役に立った」とお答えいただいた方にお聞きします。どの点が特に役に立ったと思われますか？(複数回答可)



■ ①役に立った ■ ②少し役に立った ■ ③あまり役に立たなかった



■ ①専門家の意見を聞くことができた
 ■ ②庁内の関係者が集まって、それぞれの課の取組みを聞くことができた
 ■ ③改めて課題を認識し、取り組みきっかけになった
 ■ ④その他(組織間の風通しがよかった)

WSに参加した市役所28課及びその他の2機関が回答(回答率100%)

図 3 - 4 - (2) - ① - 2 WS参加職員アンケート結果

以上より、共有・地図上で可視化する手法によって、市職員全体として検討すべき課題を抽出・認識することができるという成果が得られた。

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、これまで町レベル、市レベルで開発・発展させてきた事前復興計画策定手法を都市レベルで適用し、その成果をまとめた。その結果、それぞれの課での取り組みや複合的なハザードにより各場所・時系列で想定される状況を共有することで、液状化や密集市街地での火災など、複合的なハザードが想定される都市レベルにおいても、自治体全体として検討すべき課題を抽出・認識することが可能であることが明らかとなった。この検討手法の一般化のためには、自治体職員のみでも同様の検討を実施できるようなフレーム作りや、碧南市職員アンケートでの指摘(例：拘束時間が長い、自身の業務と無関係の内容が多い、など)を踏まえ検討することが望ましい。

(d) 引用文献

- 1) 南海トラフ地震に対する復興グランドデザインと事前復興計画のあり方研究会：
南海トラフ地震に対する復興グランドデザインと事前復興のあり方 研究報告書，
(公財)ひょうご震災記念 21 世紀研究機構研究戦略センター，2018. 3.
- 2) 金玟淑， 牧紀男， 住広則枝， 岸川英樹：和歌山県由良町の事前復興計画イメージ
図作成の試み，地域安全学会梗概集，No. 43，2018. 11.
- 3) 都市自治体における災害対応の課題の検討-愛知県碧南市を対象として-， 地域安
全学会梗概集，No. 45，2019，11.

② 災害影響評価手法のとりまとめ

(a) 業務の要約

本業務では災害影響評価手法についての一連の業務をとりまとめ、残された課題の抽出ならびに、その検証ならびに課題解決の報告性についての検討を行った。

(b) 業務の成果

これまで開発をおこなってきた評価手法を用いた災害影響評価について検討をおこなった結果、以下の2点が課題として抽出された。1) 阪神・淡路大震災の被災地域において被害がそれほど多くないエリアで人口の若返りが抽出されており、その原因が震災によるものか、他の社会的要因によるものなのかが判別できない、2) 災害影響評価に利用するメッシュデータについて、範囲の選択、利用する統計データにより評価結果が変化する可能性がある。以下、2つの課題について検討を行い、検討結果ならびに今後の報告性について示す。

1) 神戸市超高層マンションが地域人口変動に与えた影響

本研究では、阪神淡路大震災により大きな被害を受けた、神戸市東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区、須磨区、垂水区を対象に、平成7年度(阪神淡路大震災直後)～平成27年度(阪神淡路大震災から20年後)の国勢調査結果より得られた地

域メッシュ人口、人口構造評価指標や被害率、超高層マンションの立地との関係性を分析した。

超高層マンションありとなしで地域メッシュを分類し、それぞれの平成7年度から平成27年度にかけての人口増減、人口構造評価指標変化、全半壊・焼失率の箱ひげ図を示す（図3-4-(2)-②-1）。

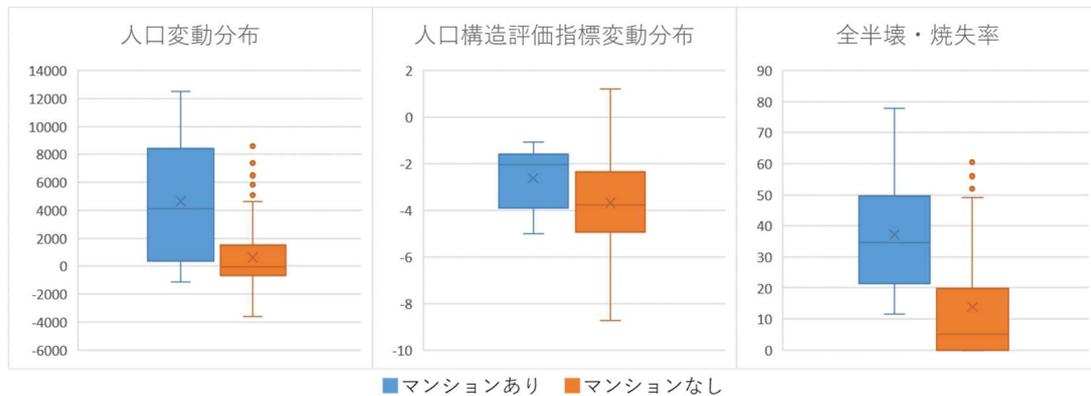


図3-4-(2)-②-1 マンション有無による人口動態、被害率の比較

いずれの値においても、超高層マンションのあるメッシュは超高層マンションのないメッシュの平均値を上回っている。特に、被害の大きさには両者の間に顕著な差があり、阪神淡路大震災からの復興の中で、超高層マンションは被害の大きかった地域に特に建設され、建設のあった地域では人口回復、人口更新が他の地域に比べて促進されたことがわかる。人口変動、人口構造評価指標変動、全半壊・焼失率とマンション立地の分布を図3-4-(2)-②-2、図3-4-(2)-②-3、図3-4-(2)-②-4に示す。

人口増減と全半壊・焼失率を比較すると、東灘区から長田区にかけての中心部で大きな人口増加と被害率が共通してみられる。これは、震災直後に減少していた人口が回復したことによると考えられる。また、超高層マンションは主にそれらの地域に存在している。人口増加したメッシュの中でも、神戸市中央区では人口構造評価指標が上昇している地域が集中している。それらの地域には超高層マンションも集中して立地しており、阪神淡路大震災では超高層マンションは市中心部の人口回復、特に比較的若年人口の流入による人口更新に貢献したと考えられる。

以上のように、本事業によって得られた成果である人口構造評価指標による災害影響評価は、個々の事業の結果を評価する上でも有効であると考えられる。

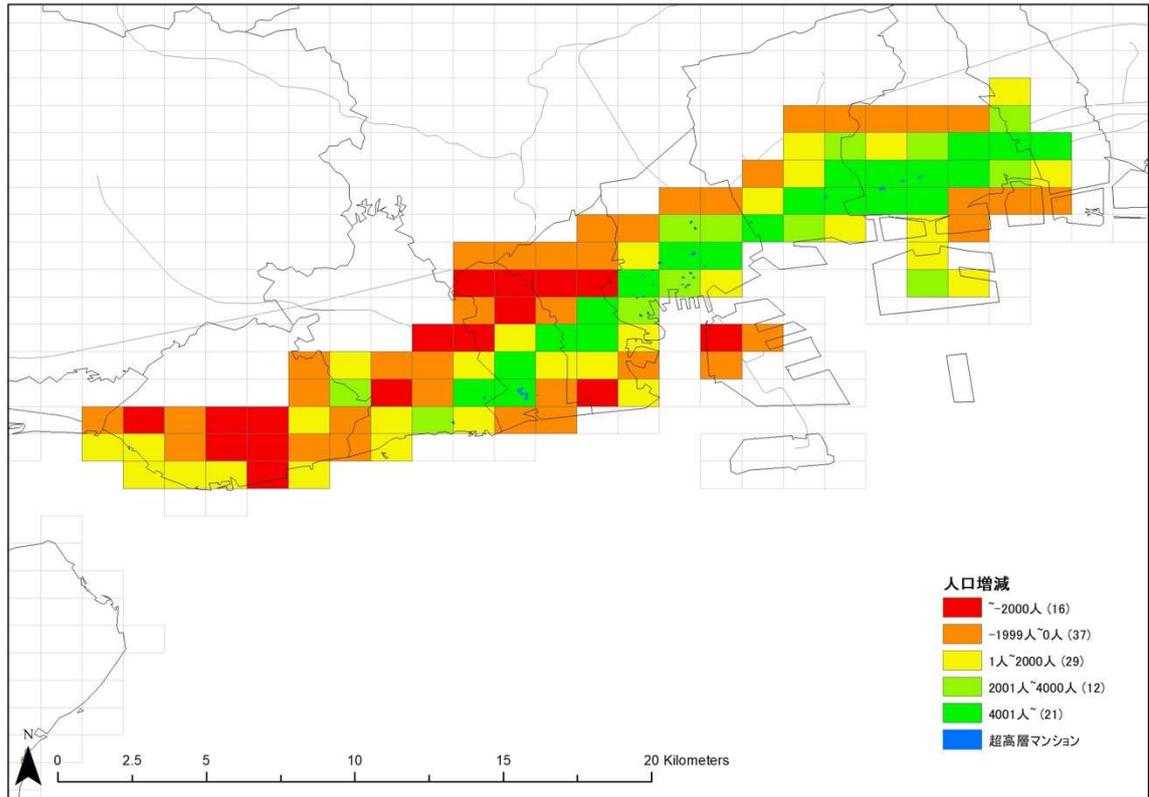


図3-4-(2)-②-2 各メッシュ人口増減

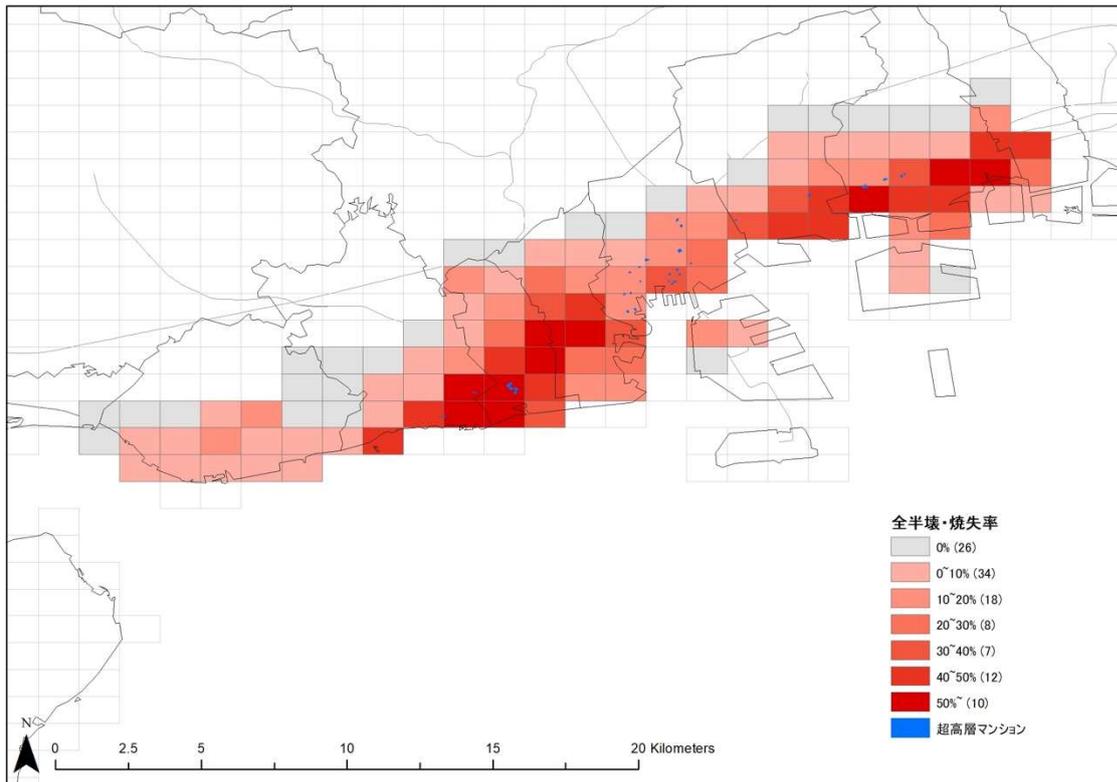


図 3-4-(2)-②-3 各メッシュ人口構造評価指標変動

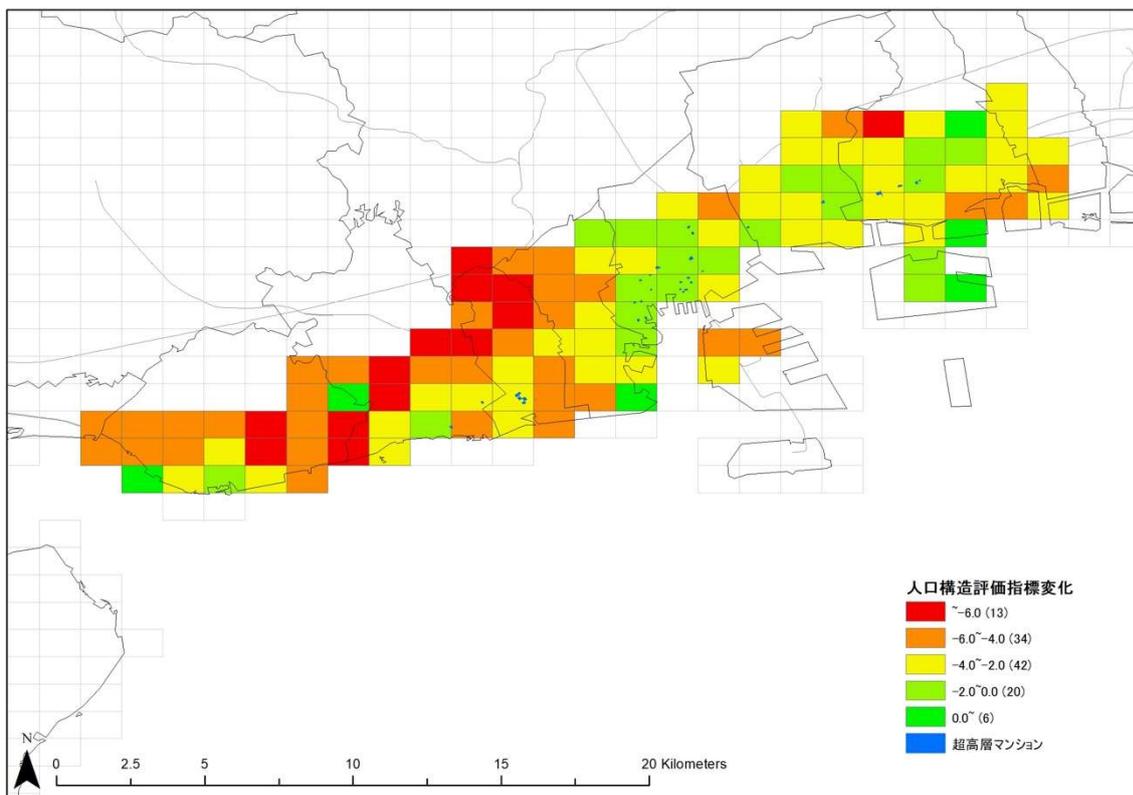


図 3-4-(2)-②-4 各メッシュ全半壊・焼失率

2) 災害影響評価の解析に利用するメッシュデータ

国勢調査データに加え、事業所・企業統計調査も利用し、分析を行うことが可能であることは明らかにするとともに、事業所・企業統計調査を追加して利用することの課題についても抽出をおこなった。

2-1) 現時点での課題

2-1-1) 地域特性の対象範囲による変化の問題

平成 28 年度は大阪市、尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市を対象地域として、平成 29 年度はそれらの地域に北摂地域を加え、クラスター分析による地域特性の抽出を行ったが、その結果から分析を行う範囲によって分類結果が異なるという課題が示された。南海トラフ地震は非常に広範囲の被害が予想されており、それに適用するにあたっては、分析対象範囲の課題を踏まえ、地域特性を評価する必要がある。

2-1-2) 得られる地域特性の変数依存性

平成 28 年度は国勢調査、事業所・企業統計調査を統合したものをを用いて、平成 29 年度は国勢調査を用いてクラスター分析を行ったが、分析に用いる指標の種類によって分析結果が変動する。また、分析に当たっては、用いる指標同士の関係性によっては、ある特定の側面が重みづけられ、それを中心とした地域特性評価となる可能性がある。そのため、地域特性評価に用いる指標の統一と指標間の関係性を踏まえた分析を行う必要がある。

2-1-3) 期間内の地域特性変化要因の不明確さ

本事業では、神戸市などの阪神淡路大震災の主な被災地と、大阪市などの比較的被害の小さかった地域とを比較することで災害による影響を考察した。しかし、比較的被害の小さかった地域がある一定の範囲内であり、その地域にも特殊性が存在することを考えると、ある特定の要因(今回であれば震災による全半壊率の差異)による影響かどうか不明確であると言える。そのため、比較対象として、地域特性に応じた標準的な推移を示す必要があると考えられる。

2-2) 現時点での課題を踏まえた新たな地域特性評価手法の提示

令和元年度、2-1)で指摘した現時点での課題を解決するための方法論の検討をおこない、以下のような方法が有効に機能するという示唆を得ることができた。

1) 日本全体を対象とした因子生態分析とクラスター分析による地域の定量・定性評価手法が考えられる。因子生態分析とは、因子分析や主成分分析を用いて変数を要約し、要約された因子群を用いて地域の分析を行う手法であり、これまで、日本では主に個々の大都市を対象として都市内部の地理分析に用いられてきた。この手法を分析に用いることで、日本国内全体を対象とすることによる対象範囲の課題、主成分分析で変数の要約を行うことによる変数依存性の課題、地域類型や成分得点に基づく標準的な推移を示すことによる変化要因の不明確さの課題をそれぞれ解決できるという示唆をえた。

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、これまで行ってきた災害影響評価手法の構築によって得られた手法の実践と、現時点での評価手法の課題及びその解決手法の提示を行った。その結果、人

口構造評価手法は個々の事例の影響評価への活用が期待できること、今後のさらなる改善の方向性についての示唆をえることができた。

(d) 引用文献

- 1) 曾我部哲人、牧紀男、金玟淑、新井伸夫、馬場俊孝、都市自治体における災害対応の課題の検討—愛知県碧南市を対象として—、地域安全学会梗概集 No. 45、地域安全学会、pp. 75-76、2019. 11.

③ 津波防災まちづくりの実践的研究

(a) 業務の要約

これまで参与を行った集落域（徳島県美波町伊座利、伊豆市土肥地区、沼津市戸田地区）における津波防災地域づくりの新しいモデルの実証的構築、都市域（静岡市、沼津市）における津波防災に関わる行政計画策定を通して得られた知見を総括した。特に津波リスクに関する科学的情報の地域づくり、行政計画における適切な活用方法、津波リスクに関する科学的情報の理解を起点とした地域づくりのプロセスに焦点をあて、総括的な考察を行うとともに、現段階での課題を整理した。なお、今年度新たに、隣接する沼津市戸田地区における地区防災計画策定、隣接する西伊豆町、それに隣接する松崎町における津波防災地域づくり推進計画の策定プロセスに関して情報収集と参与観察を行った。

(b) 業務の実施方法

伊豆市土肥地区における津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策定への継続的な参与観察、沼津市戸田地区における地区防災計画策定の参与観察、西伊豆町および松崎町における津波防災地域づくり推進計画の検討への参与観察、沼津市、静岡市の関連計画に関する行政へのヒアリングにより業務を実施した。

(c) 業務の成果

集落域、および、都市域の各地区の特徴を簡潔に整理すると、以下のようになった。なお、集落域としては、過年度から継続的に対象としている伊豆市土肥地区（2017年～）、徳島県美波町伊座利集落（2013年～）、今年度から始めた土肥地区に隣接する、沼津市戸田地区、松崎町、西伊豆町とした。都市域としては、静岡市清水区、および、沼津市とした。なお、都市域については立地適正化計画に焦点をあてた。

集落域については以下のとおり。伊豆市土肥地区は、2015年から検討が始まった津波防災地域づくり推進計画を策定し、これまでに2017年に第1版、2018年に第2版を策定している。津波防災地域づくり推進計画は、「伊豆市“海と共に生きる”観光防災まちづくり推進計画」と呼称するとおり、集落の基幹産業である観光と防災の両立を図ろうとする総合的な計画となっている。なお、策定過程では、「“海と共に生きる”観光防災まちづくりをみんなで考える市民集会」と称する任意参加のワークショップを継続的に行い、徹底したボトムアップの議論が積み上げられた。なお、「みんなで考える会」としてレジリエンスアワード2018グランプリ（最高賞）を授与され

ている。2018 年度からは、地区内の地域組織（区）と組織（旅館組合、観光協会、小中一貫校）が地区防災計画の策定を開始し、現在までに3地区・組織で完成している。今年度も1地区完成予定である。この取り組みの特徴は、津波災害特別警戒区域の指定を全国初・唯一受け、その先駆性から国の多様な支援を創り出していること、集落の死活を握る基幹産業である観光業の振興と津波防災の両立を目指す、防災だけではない総合的な取り組みとなっていること、津波防災地域づくり法による推進計画と災害対策基本法による地区防災計画を連携させて相乗効果をもたらしていること、官民連携とそれを支援する専門家集団の絶妙な役割分担があること、が挙げられる。取り組みが構築されるプロセスでは、国、県の担当部局を分野横断的に巻き込んだことも特徴として挙げられる。



図3-4-(2)-③-1 伊豆市土肥地区避難訓練および地区防災計画策定の風景



図3-4-(2)-③-2 “海と共に生きる”観光防災まちづくりを小中一貫校も考える会

徳島県美波町伊座利は、集落の総人口約100人が参加する伊座利の未来を考える協議会が事前復興アクションプランを行政の手を借りずに策定した。南海トラフ地震にも備えつつ、集落の持続性を維持・向上させる総合的な集落づくりを志向したものである。専門家の関与は、若干の意見交換のみであった。「自立・自律発展・総合型」の取り組みである。



図3-4-(2)-③-3 徳島県美波町伊座利とのインターネット中継によるワークショップ

沼津市戸田地区は、沼津市に吸収合併された旧戸田村である。2018年度に沼津市主導で避難計画が策定され、2019年度には地区防災計画の策定が2つの自治会で試みられた。合併前は村役場をはじめとする公助が集落内に存在したが、合併後は正規職員が2名のみと相対的に公助が乏しいと見受けられる集落である。地理的にも沼津市中心地域から離れており、災害時には自立的な対応がいやおうなく求められる集落である。そこで2019年度は官製の避難計画を集落の実情に併せて地区防災計画として各自治会で作りあげてを試みている。自立性・自律発展性の喚起が必要とされる地区である。現在、地区防災計画活字化チームが2つの自治会で作られ、策定が進められつつある。なお、取り組みの一環として2020年12月1日、ビーコンを使った避難訓練を支援した。



図3-4-(2)-③-4 沼津市戸田地区における地区防災計画策定の風景

なお、この他、西伊豆町、および、松崎町の津波防災地域づくり推進計画の策定プロセスに参加観察した。考察に関しては、現在策定が進行中のため、ここでは考察を含め秘匿することとした。

集落域では、居住地等の代替性がないため、災害への備えとしては、そこで暮らす、少なくとも当面の間はそこで暮らす前提を置き、地域で事前復興に取り組むことが基本となっている。その際、あきらめ感の醸成につなげず、当面のリスクを受容した上で、住民自らが①内発性をもって取り組み、②自律発展的に取り組みを膨らませられる状況をつくるのが目標となっている。さらに観光、環境、集落の持続性等の集落

のクリティカルな課題と防災を③総合的に考えるスタンスがみられる（土肥、美波町伊座利）。またイニシアティブについては、いずれの地区も災害時には孤立するもあり、計画検討のフェーズでは、市民が主体的に検討する雰囲気が醸成されている。取り組みのきっかけこそ、土肥地区、および、戸田地区では行政から提供されているものの、現在ではイニシアティブは住民側に移行されつつあると見受けられる。なお、伊座利は、イニシアティブはすべて住民側にある先駆的な取り組みといえる。④住民が先行し、行政が後を追う形で柔軟に支援を行う形となっている。担い手に関しては、自治会などの既存の地域組織を主軸とする例（戸田地区）、地域組織に加えて学校や旅館組合など⑤多様な組織で構成する例（土肥地区）があり、後者の取り組みは一般性のある先駆的事例といえる。伊座利では、住民全員が参加する協議会を組織しているが、実質的には町会、漁協等のコミュニティベースの各種組織の連合体となっている。

前向きに災害に備える前提として、移住先がなく、当面の災害リスクを受容することを自覚するというプロセスが共通する。その上で、①内発性（自立性）、②自律発展性、③総合性、④市民先行行政後追いの型、⑤多様性と緩やかな連携が重要な要素であることが確認された。

都市域については、静岡市清水地区（旧清水市域）、および、沼津市を対象に、主に立地適正化計画に焦点をあてて、行政からヒアリングなどを行った。

都市域については以下のとおり。静岡市と沼津市、災害リスクに対してそれぞれ異なる典型的な対応が行われている。

静岡市清水地区の中心地は、立地適正化計画（2018年度末）の都市機能誘導区域に指定されている。清水庁舎（旧清水市市庁舎）の建て替えの検討が2017年に始まり、2016年度末に基本構想、2018年度末に基本計画が策定された。現庁舎は、津波ハザードが存在する区域に位置し、移転先も駅前の津波ハザードが存在する区域が選定された。基本計画によると、被災した場合に備え、周辺の避難安全性を確保するため、非浸水空間を確保し、浸水した場合でも機能する計画が示されている。なお、計画策定過程、および、現在もなお、移転先についての住民投票のための署名が行われるなど、市民レベルで賛否が並立している。



津波ハザード（静岡市防災情報マップ）



立地適正化計画における
都市機能誘導区域

図 3-4-(2)-③-5 静岡市清水区の津波ハザード分布と都市機能誘導区域（集約化拠点形成区域）の対応

沼津市では、2018 年度末、立地適正化計画が策定された。居住誘導区域、都市機能誘導区域として津波ハザードの存在する区域が指定されているが、「避難困難区域」は除外されている。避難困難区域とは、一定時間内に避難ビル、あるいは、避難タワーに到達できないエリアを意味する。現在の避難困難という災害危険性のある区域への機能集積を避けるため、居住誘導区域、あるいは、都市機能誘導区域から排除した例である。

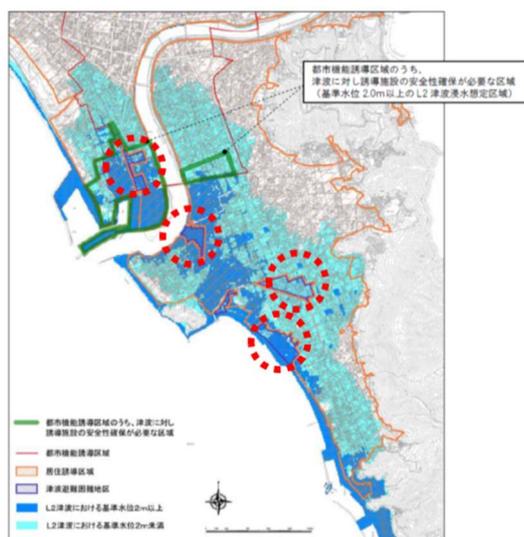


図 3-4-(2)-③-6 沼津市立地適正化計画
(上：都市機能誘導区域、下：居住誘導区域)

上記の二つの事例は、都市域における相反する典型的な対応事例である。災害ハザード・リスクを理解した上での逆志向の意思決定の事例である。清水区の例は、ハザードの存在を理解した上で、市街地の撤退や低密度化ではなく、未来も中心地として使い続けることを前提とし、持続的に投資を行い、周辺を安全にさせるストックを集積させることによってより早期にリスク低減を図ろうとする事例である。一方、沼津市の事例は避難困難区域を指定し、その危険性を避け、その区域に限って開発を誘導しないとする事例である。いずれも論理としては成り立ち得る。

(d) 結論ならびに今後の課題

- ・ 集落域では、そこで暮らす以外に代替案がみあたらない状況下で、前向きに災害に備えることが必要条件である。まず、当面の災害リスクを受容することを自覚するというプロセスが不可欠である。その上で、①内発性（自立性）、②自律発展性、③総合性、④市民先行行政後追いの型、⑤多様性と緩やかな連携が重要な

要素であることが確認された。

- ・ 都市域では、移転先の代替性がある状況下では、安全性の確保の考え方が二分される。都市域における相反する典型的な事例の存在が確認された。災害ハザード・リスクを理解した上での逆志向の意思決定の事例である。清水区の例は、ハザードの存在を理解した上で、市街地の撤退や低密度化ではなく、未来も中心地として使い続けることを前提とし、持続的に投資を行い、周辺を安全にさせるストックを集積させることによってより早期にリスク低減を図ろうとする事例である。一方、沼津市の事例は避難困難区域を指定し、その危険性を避け、その区域に限って開発を誘導しないとする事例である。いずれの意思決定も論理としては成り立つものである。どういう要素が意思決定に影響するか、議論のプロセスを分析する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 伊豆市：“海と共に生きる”観光防災まちづくり推進計画
http://www.city.izu.shizuoka.jp/gyousei/gyousei_detail007172.html (2020.3.2 閲覧)
- 2) 沼津市：立地適正化計画,
<https://www.city.numazu.shizuoka.jp/shisei/keikaku/various/ricchitekiseika/index.htm> (2020.3.2 閲覧)
- 3) 静岡市：立地適正化計画,
- 4) https://www.city.shizuoka.lg.jp/299_000040.html, (2020.3.2 閲覧)
- 5) 静岡市：新清水庁舎建設基本計画
https://www.city.shizuoka.lg.jp/153_000081.html (2020.3.2 閲覧)

④ 事前復旧・復興計画の考え方を含む都市計画区域マスタープランの策定

(a) 業務の要約

都道府県や市町村で策定されている都市計画法に基づく各種マスタープランや都市再生特別措置法に基づく立地適正化計画に事前復旧・復興計画の考え方を組み込むことを目的に、前年度までの成果を展開する形で、三重県都市計画区域マスタープランを策定した。

(b) 業務の実施方法

三重県県土整備部都市政策課との協議を重ね、三重県の主に北勢圏域・中南勢圏域の合計10の都市計画区域のマスタープランに「都市防災の観点から必要な都市的土地利用の抑制に関する方針」と「大規模自然災害の被害低減に向けた方針」を組み込んだ。

(c) 業務の成果

都市計画法に基づく三重県の都市計画区域マスタープランは、三重県地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針¹⁾、三重県都市計画方針²⁾、圏域マスタープラン（北

勢・中南勢・伊勢志摩・伊賀・東紀州の5圏域)³⁾に基づき、各都市計画区域の土地利用、都市施設整備、市街地開発事業、自然的環境の整備・保全、地域の特性に応じて定めるべき事項の決定方針を示すもので、市町村の都市計画の上位計画として先導的な役割を持つ。その中に、事前復旧・復興の考え方を組み込むことが本業務の目標であった。

業務の成果として、次の内容が、密度の高い市街地を有する北勢圏域・中南勢圏域内の各都市計画区域マスタープラン素案⁴⁾に組み込まれた。

＜土地利用に関する主要な都市計画の決定方針：都市防災の観点から必要な都市的土地利用の抑制に関する方針＞

- ・拠点及びその周辺地は、将来にわたり都市機能を集約し存続させる区域（以下「都市機能の集約をめざす区域」）なので、都市防災に係る施策を実施し、安全性の向上を図る。
- ・都市機能の集約をめざす区域を除く、一定の広がりをもった住居系の既成市街地の著しく災害リスクが高い区域については、地域地区の見直しや建築物の構造規制に係る条例制定等の検討を促進する。
- ・土砂災害の危険性の高い地域では、市街化を抑制するほか、水源涵養機能を持つ樹林地等の保全を図り、災害の防止に努める。

＜地域の特性に応じて定めるべき事項：大規模自然災害の被害低減に向けた方針＞

- ・南海トラフ地震防災対策推進地域の指定を受けているため、三重県防災・減災対策行動計画の展開により、災害に強いまちづくりを進める。また、地震・津波の災害リスクの高い区域については、「三重県地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」で示した土地利用検討区域を設定のうえ、土地利用や防災・減災施策の取組を促進する。このほか洪水等の災害リスクの高い区域についても、今後の土地利用を検討したうえで、被害低減に向けた施策の取組を促進する。この土地利用検討区域は、立地適正化計画における居住誘導区域に含めないこと等により、自然人口減少を目指す。
- ・大火災の発生防止のため、防火地域や準防火地域の指定を維持し、建築物の建て替えにあわせて耐火構造化等を促進する。（四日市市のみ）
- ・石油コンビナート地帯では、「三重県石油コンビナート等防災計画」で緩衝地帯又は緑地の整備が努力義務として定められているので、既決定の緑地等については、市街地の安全を確保するため、引き続き保全を図る。（四日市市のみ）
- ・広域的な防災拠点に位置づけた三重大学医学部附属病院、津市伊勢湾ヘリポート、津松阪港へのアクセスの維持及び向上等を図るほか、市街地において必要な都市基盤整備を図る。（津市のみ）
- ・災害に強い都市の形成をめざし、広域的な防災拠点に位置づけた津松阪港、松阪市民病院、済生会 松阪総合病院、松阪中央総合病院へのアクセスの向上等を図るほか、市街地において必要な都市基盤整備を進める。（松阪市のみ）
- ・市街地に必要なオープンスペースの確保や安全な避難路等について、適正な配置を促進する。
- ・河口部に位置する市街地では、浸水対策を進める。（鈴鹿市のみ）

- ・市街地を中心とした水害を防止するため、河川改修に努めるほか、流域における保水・遊水機能の保全を図るため、無秩序な市街化を抑制する。（松阪市のみ）
- ・あわせて、ハザードマップを活用した防災意識の啓発や災害時の速やかな応急・復旧体制、近隣での応援協力体制づくり等のソフト対策や地籍調査についても進める。

(d) 結論ならびに今後の課題

密度の高い市街地を有する三重県北勢圏域・中南勢圏域内の各都市計画区域マスタープラン素案に「都市防災の観点から必要な都市的土地利用の抑制に関する方針」や「大規模自然災害の被害低減に向けた方針」が示され、その策定プロセスにおいては県と市町が南海トラフ地震に対する都市計画分野の中長期的対応方針を検討し、マスタープランに事前復旧・復興の考え方が組み込まれたことは成果であると言える。南海トラフ地震への対応の考え方が近年頻発する洪水（外水氾濫・内水氾濫）や土砂崩れへの対応にまで拡張できたことも特筆すべきであろう。

ただし、各都市計画区域のマスタープランに掲載される土地利用構想図に「土地利用検討区域」を図示することができなかったこと、つまり、事前復旧・復興の要である「土地利用検討区域」を都市計画区域マスタープラン策定時に県と市町が協議して設定することができず、その設定が市町に委ねられたことは反省点である。「土地利用検討区域」の設定には当該区域の地権者、住民、事業者の納得・合意形成が必要であるが、それには当該区域の将来像とその実現手段に関する丁寧な検討が必要であるため、県の都市計画区域マスタープランでは方針のみを示し、具体的な区域設定については市町に委ねるのが現実的であることが判明した。このことから、「土地利用検討区域」を設定して南海トラフ地震の被害低減に向けた施策を実施していくためには専門的かつ創造的な検討が必要であり、そのための市町への人的・経済的支援が必要となることが示唆される。その際、「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」で実施した愛知県碧南市を対象とする取り組みは大変有用だと考えられる。

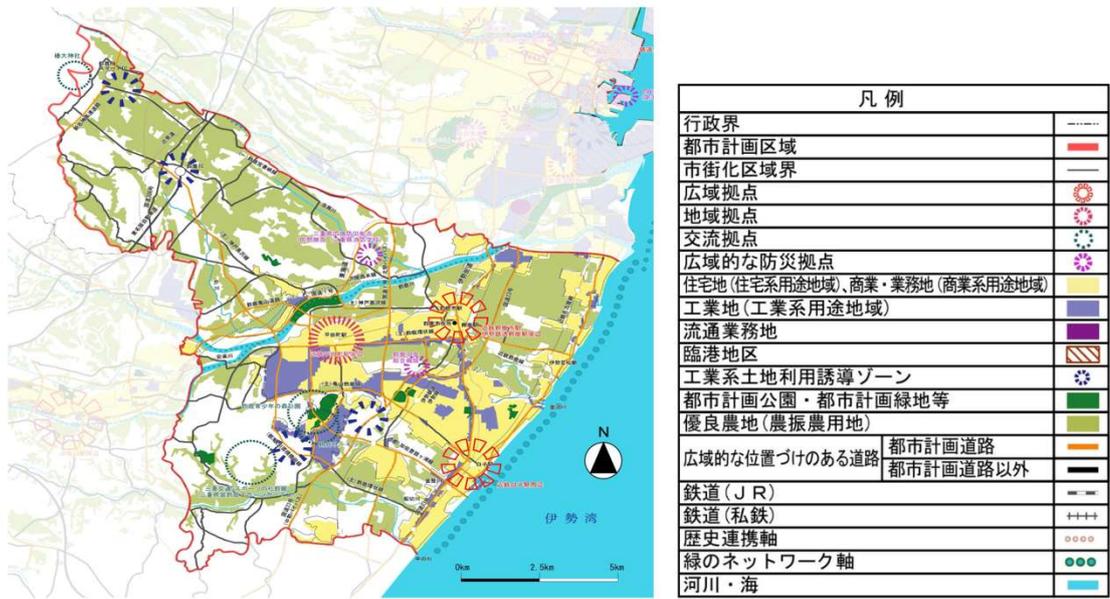


図3-4-(2)-④-1 鈴鹿都市計画区域の土地利用構想図
出典：鈴鹿都市計画区域マスタープラン素案（2020年）

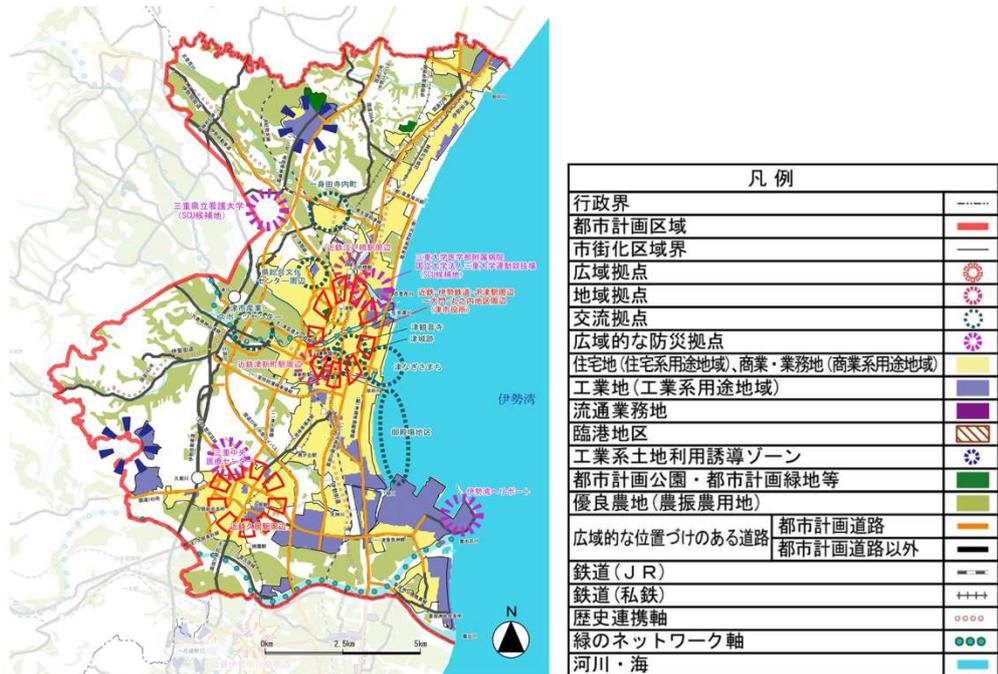


図3-4-(2)-④-2 津都市計画区域の土地利用構想図
出典：津都市計画区域マスタープラン素案（2020年）

(e) 引用文献

- 1) 三重県：地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針（2016年8月）
- 2) 三重県：都市計画方針（2017年4月）
- 3) 三重県：圏域マスタープラン（北勢・中南勢・伊勢志摩・伊賀・東紀州の5圏域、

2018年4月)

4) 三重県：都市計画区域マスタープラン素案（桑名・四日市・鈴鹿・いなべ・亀山・津・松阪・安濃・多気・明和の10区域、2020年3月）

(3) 平成25～平成31年度（令和元年度）の成果

① 事前復興計画策定手法の開発

(a) 業務の要約

本業務では、東日本大震災の復興計画策定やその後の復興プロセスの分析を踏まえ、発災前に事前に復興計画を作成する際の計画策定手法の開発を行った。具体的な計画策定手法の開発は、和歌山県由良町、兵庫県南あわじ市福良地区、愛知県碧南市におけるケーススタディーを通して、計画手法の妥当性・他地域での利用可能性の検証を行うという形式で行った。ケーススタディーは各地域の自治体と共同で実施し、その成果は行政の防災対策へ反映させた。

(b) 業務の成果

本業務では、事前の復旧・復興計画のための計画策定プロセスの開発と各段階において必要な要素技術開発を行うことができた。それに加えて、行政職員とのワークショップを通して災害後の災害対応・土地利用に関わる課題を抽出することもできた。以下にその詳細を記す。

1) 計画策定プロセスの開発

これまで検討されてこなかった事前の復旧・復興計画について、i) 復興ビジョン、ii) 地域の現状分析（南海トラフ地震の被害・人口減少）、iii) 対策案の構築、iv) 土地利用計画の作成から構成される「事前復旧・復興計画のための計画プロセス」の開発を行った（図3-4-(3)-①-1）。計画プロセスと各要素技術（i～iv）の開発は和歌山県由良町衣奈地区（漁業集落）で行い、さらにその技術の有用性・他地域での利用可能性についての検証を兵庫県南あわじ市福良地区、和歌山県由良町、愛知県碧南市で行った。



図3-4-(3)-①-1 事前復旧・復興計画のための計画プロセス

2) 事前復興計画策定のための要素技術開発

2-1) 住民の合意形成のための「納得」する仕組みの開発

事前復興計画策定、すなわち、土地利用・まちづくりを進める上での鍵は「合意形成」である。和歌山県由良町衣奈地区では様々なシナリオを住民に提供することで住民自ら津波浸水範囲について納得し、その上で災害後の復興まちづくりにおいて必要な津波ハザード情報を住民自ら決定する仕組みを開発した(図3-4-(3)-①-2)。従来では「命を守る」ことを目的とした最大津波浸水範囲(最悪シナリオ)がハザードマップとして提供されてきたが、「合意形成」には「ハザード情報について選択肢が示されること」が重要であると考えた。そのため、ワークショップ参加者に下記のように様々なシナリオを提供した。

- ・過去(安政・昭和)の南海トラフ地震時の浸水範囲
- ・行政が提供するハザードマップ(最大浸水範囲)
- ・その他の津波シミュレーション結果(和歌山県の場合、DONETの津波観測情報を活用した1506通りの波現源モデルのシミュレーションを使用)

次に、参加者を5-7人の小グループに分け、グループごとに命を守る(避難するためのハザード情報と財産・生業を守るためのハザード情報の読み取りについて説明した上で、グループごとに復興まちづくりを行う場合の津波ハザード情報について検討を行い、浸水ラインを描くようにした。グループによって設定した浸水範囲は異なったので、その決定の理由を発表し、参加者みんなで共有した。その上で、どの浸水範囲の設定がまちづくりに良いのかについて投票を行い、全体の傾向をみるようにした。投票は多数決で決めるためではなく、異見の差を確認するために実施した。投票結果を踏まえた上で議論を行い、合意可能な浸水範囲を決定することができれば合意形成の目的は達成する仕組みである。

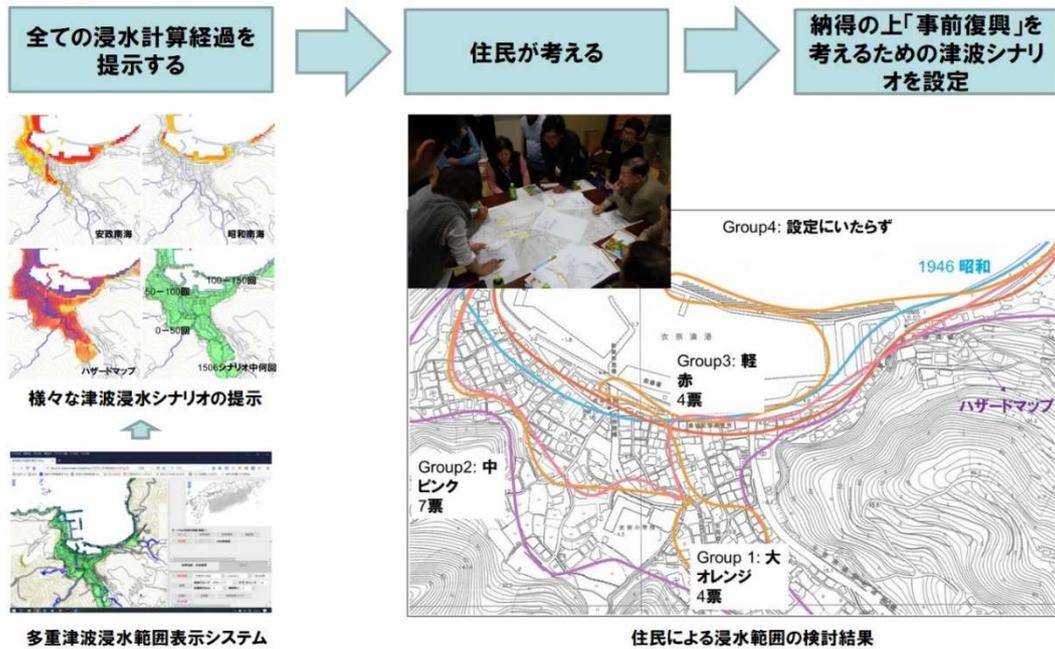


図 3-4-(3)-①-2 住民が津波浸水範囲について「納得」する仕組みの開発

2-2) 災害後の土地利用（事前復興計画）についての検討手法の確立

兵庫県南あわじ市福良地区で開発を行った災害後の土地利用計画策定手法を和歌山県由良町に適用し、その利用可能性ならびに手法の高度化を行った。さらに、その技術の有用性・妥当性についての検証を愛知県碧南市で行った。土地利用計画策定の流れを図 3-4-(3)-①-3 に示す。

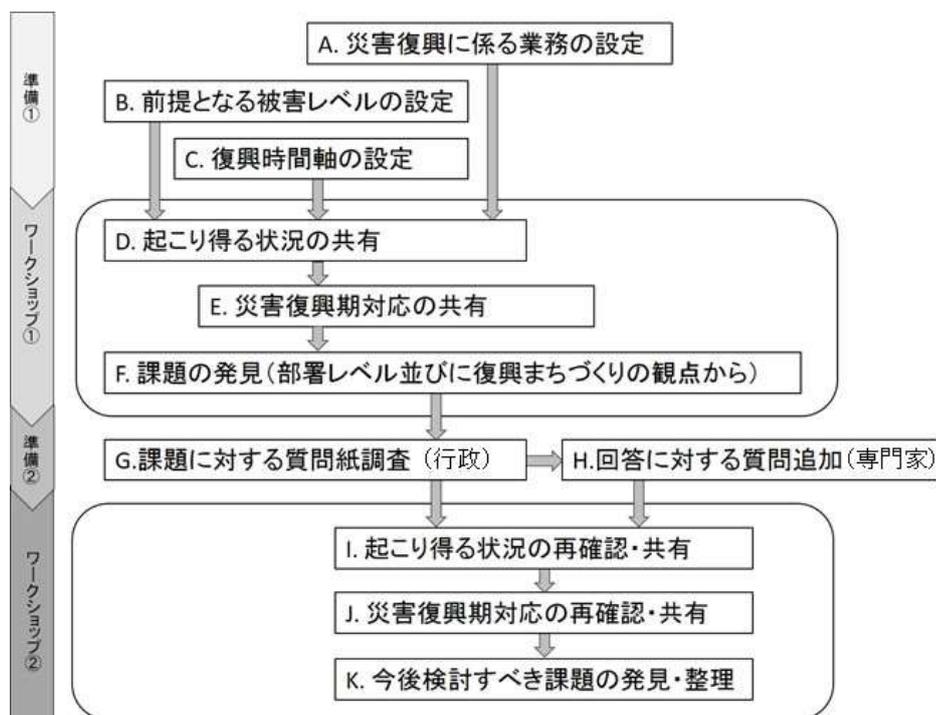


図 3-4-(3)-①-3 災害後の土地利用計画作成の流れ

以下に兵庫県南あわじ市福良地区、和歌山県由良町、愛知県碧南市の3つのケーススタディーから得られた手法をまとめる。

ワークショップ前の準備としては、(A) 災害復興に係る業務の設定、(B) 前提となる被害レベルの設定、(C) 復興時間軸の設定が必要である。まず、(A) については行政内の都市計画・管財・防災・住宅・建設・産業・水道・下水・災害廃棄物・学校関連の業務を基本参加とし、医療・警察・消防などとも協議できる場合は必要に応じて参加者に入れるようにする。(B) については、震度分布、津波浸水域、液状化危険度分布、焼失率分布、長期湛水域など、地域で考慮すべきハザード情報を用意する。(C) については、7つの時系列(①地震発生直後～津波到達前、②津波到達～1日目、③～3日目、④～1週間、⑤～3か月、⑥～1年、⑦1年～)を設定する。ワークショップに必要な(B)と(C)のデータセットは図3-4-(3)-①-4の通りである。

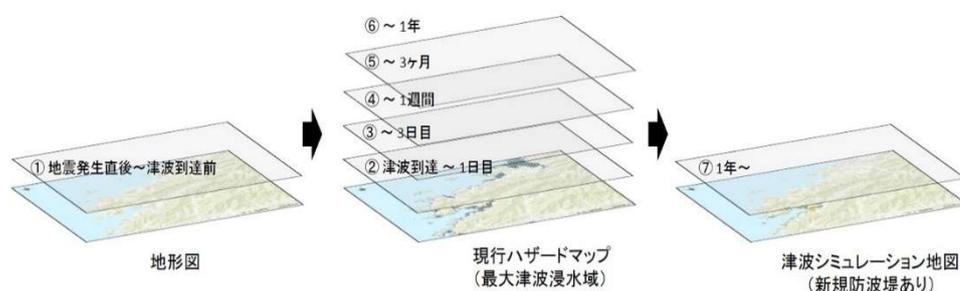


図3-4-(3)-①-4 土地利用計画策定のために必要なデータセット
(由良町の例)

ワークショップは少なくとも2回開催が望ましい。ワークショップ①で災害対応と土地利用に関する議論をし、ワークショップで浮上した地域の課題について行政の協力を得て質問紙調査などの追加調査を行う。次にワークショップ②ではワークショップ①の成果物(災害対応のフロー、時系列に整理した土地利用の地図)を確認しながら、漏れ・落ち等がないか確認をし、修正・追記などを行う。

3) 災害後の災害対応・土地利用に関わる課題の抽出

本業務は、災害後の土地利用についての検討を行う目的でワークショップを実施したが、ハザード情報を示した地図と時系列対応について検討することで、災害時に発生し得ることについて具体的にイメージすることができた。また災害対応に関わる全課の職員が参加して共通の場で議論を行うことで部局横断的に災害時の課題について議論が可能になり、土地利用計画を策定すると同時に災害対応、復旧・復興についての課題についても抽出することが可能になった。図3-4-(3)-①-3の作業を経て、図3-4-(3)-①-5に示すような時系列での土地利用計画と課題の抽出を行うことができた。

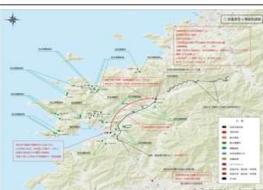
	①地震発生直後	②津波到達～1日目	③～3日目	④～1週間
初期期～応急期				
検討課題	発災時の職員の避難対応 災対本部設置までの空白の時間の対応 火災発生時の対応	道路（急患移送ルート）啓開 孤立集落の急患・負傷者の対応 各避難所の備蓄物資の対応（3日間までは自立）	避難所の耐震性のチェックと避難所指定の是非検討	道路（物資運搬等）啓開 災害廃棄物処理計画の策定
復旧・復興期	⑤～3か月	⑥～1年	⑦1年～	-
検討課題	学校再開可否の検討 仮設住宅地適地の検討 借上げ仮設の検討		学校被災時の再建場所の検討 まちの中心部の適地に関する検討	-

図3-4-(3)-①-5 災害後の土地利用計画（案）と検討課題

(c) 結論ならびに今後の課題

本検討では、和歌山県由良町衣奈地区で事前復興計画策定のプロセスと要素技術の開発を行い、兵庫県南あわじ市福良地区、和歌山県由良町、愛知県碧南市を事例として検証を重ねることで漁業集落・まち・町レベル・都市レベルにおける計画手法の有用性について確認することができた。

事前復興計画策定をさらに推進するためには、制度設計や策定した計画の災害復興時の有用性についての実証的・定量的研究が重要になる。さらに、策定した手法の南海トラフ地震の想定被災地域への展開方法についても検討することが望ましい。

(d) 引用文献

- 1) 金玟淑、佐藤克志、牧紀男、平田隆行、稲地秀介、岸川英樹、田中秀宜「「地域の営み」の継続に着目した事前復興計画策定手法の構築—和歌山県由良町衣奈での住民参加型ワークショップを通して—」、地域安全学会論文集 No. 30、pp. 1-11、2017. 3.
- 2) 牧紀男、馬場俊孝、高橋智幸、柄谷友香、川崎浩司、キム・ミンスク「シナリオによって変化する津波・水害シミュレーション情報の適切な提示手法に関する研究」、地域安全学会梗概集 No. 43、2018. 11
- 3) 金玟淑、牧紀男、住広則枝、岸川英樹、和歌山県由良町の事前復興計画イメージ図作成の試み、地域安全学会梗概集 No. 43、pp. 179-182、2018. 11.
- 4) 曾我部哲人、牧紀男、金玟淑、新井伸夫、馬場俊孝、都市自治体における災害対

応の課題の検討—愛知県碧南市を対象として—、地域安全学会梗概集 No. 45、地域安全学会、pp. 75-76、2019. 11.

②災害影響評価手法の開発

(a) 業務の要約

年齢構成比に着目した「地域特性評価システム」の発展・一般化を行った一連の業務をまとめ、そこから得られた人口構造類型による評価手法と、人口構造定量評価手法の2種の手法、国勢調査、経済センサスを用いた地域特性分類手法およびそれらを用いた災害影響評価手法の開発をおこなった。

(b) 業務の成果

1) 災害影響評価手法の開発、2) 災害影響評価手法の実践の2つの項目に分け、これまでの業務の成果を示す。

1) 災害影響評価手法の開発

1-1) 本業務の経過

これまでの本業務の経過について、表3-4-(3)-②-1に示す。

表3-4-(3)-②-1 「地域特性評価システム」発展の経過

	プロジェクト以前	H26	H27	H28, H29
災害影響評価手法の開発	0). Chen et al.,(2009)、陳ら(2010)による年齢構成比による地域類型・災害影響評価手法の考案	1). 複数年(1995-2010)・日本全国データを用いた類型抽出による手法の発展(佐藤ら(2014))	2). 類型評価手法に基づいた定量評価手法の開発(曾我部ら(2015))	3). 居住地・経済特性を評価する地域特性分類手法の開発

以下に、表3-4-(3)-②-1内の0.~3.の各業務の実施概要について解説する。

0. 年齢構成比による地域類型手法

本業務の前提となる既往研究として、Chen¹⁾らによる年齢構成比による人口構造に着目した地域類型手法について解説する。この方法では1990、1995、2000、2005年度国勢調査での大阪府・和歌山県の1km×1kmメッシュの男女・5歳年齢階級別人口構成を用いた階層クラスター分析から、各年度において持続、依存、限界の3つの人口構造パターンを抽出し(表3-4-(3)-②-2)、その人口構造パターンとの最短距離法を用いて各地域の類型を行った。さらに陳²⁾らは、神戸市、芦屋市、西宮市における1990年と2005年の類型の変化により、阪神・淡路大震災が地域に与えた影響の評価を行っている。

表 3-4-(3)-②-2 年齢構成比による地域類型

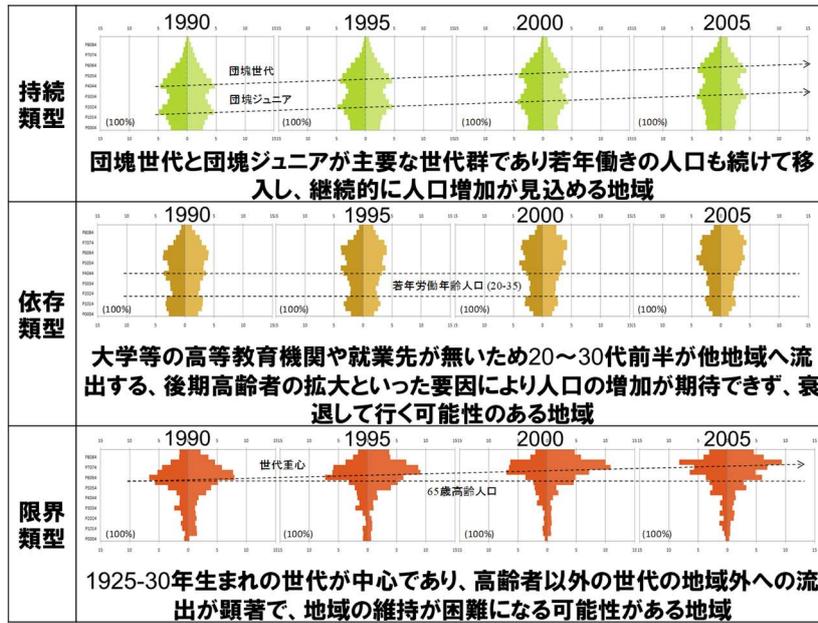
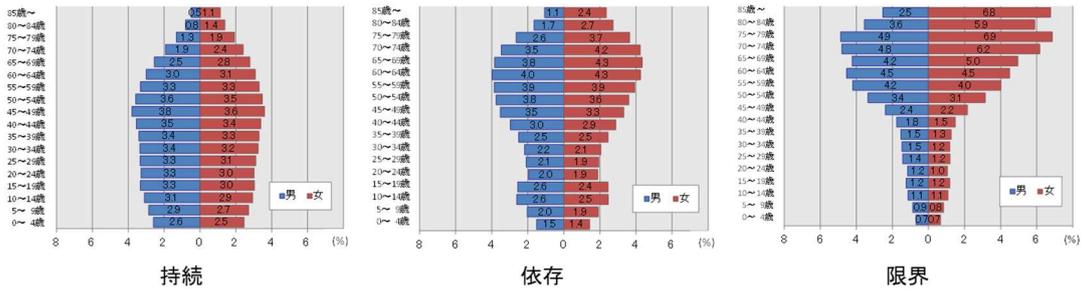


表 3-4-(3)-②-3 人口構造パターン



1. 複数年(1995-2010)・日本全国データを用いた地域類型手法の改善

既往の研究では大阪府と和歌山県の調査年ごとのデータのみを対象としており、年度ごとの人口構造パターンの違い、データの地域性といった課題が残された。本研究ではそれらの課題を解消するため、1995, 2000, 2005, 2010 年度全国データを統合し、非階層クラスター分析(k-means 法)を行った結果、3 種類の人口構造パターンが得ることができ(図 3-4-(3)-②-3)、この人口構造パターンを用いて、地域類型さらには地域類型の変化から災害影響評価を行う手法の確立を行った。以下に計算手法を示す(佐藤ほか³⁾)。

各地域人口構造について、図 3-4-(3)-②-1)の 3 種類の人口構造パターンを用いて、以下の式から地域類型を判別する。

$$\min_{q=\{1,2,\dots,q\}} D_q = \sqrt[2]{\sum_{n=1}^{36} (qP_n - P_n)^2}$$

$P_n = \{p_1, p_1, \dots, p_{36}\}$: 各地域男女・年齢階級別 (0~4 歳から 80~84 歳までと 85 歳以上、合計 18 年齢階級) の人口構成比

$qP_n = \{qP_1, qP_2, \dots, qP_{36}\}$: 人口構造パターン q の男女・年齢階級別 (0~4 歳から 80

～84 歳までと 85 歳以上，合計 18 年齢階級）の人口構成比

D_q は各地域人口構造と人口構造パターン q との間の距離を意味し、 D_q が最小となる q をその地域の判別結果とする。

2. 類型評価手法の課題を踏まえた定量評価手法の開発

上記の人口構造類型手法では、実態上は大きな違いのある人口ピラミッドが同一の類型として評価されるケースや、2つの年度間で類型結果の変化があったとしても、実際の人口ピラミッド上はあまり変化していないケースが存在するという課題がある。これらの課題を解消するため、各地域人口構造と3種類の人口構造パターンとの多次元ユークリッド距離(以下、距離とする)を用いた人口構造定量評価手法の開発を行った(曾我部ほか⁴⁾)。以下に計算方法を示す。

1. の手法で類型された類型ごとに、各人口構造パターンとの距離を用いて、以下の式を当てはめて人口構造評価指標 I を算出する。

$$\text{持続類型} \quad I = \frac{\sqrt{2}D_S + (1 - \sqrt{2})D_D - D_M}{2}$$

$$\text{依存類型} \quad I = -\frac{D_S - D_M}{2}$$

$$\text{限界類型} \quad I = \frac{D_S + (\sqrt{2} - 1)D_D - \sqrt{2}D_M}{2}$$

I : 人口構造評価指標

D_S : 地域人口構造と人口構造パターン：持続との距離

D_D : 地域人口構造と人口構造パターン：依存との距離

D_M : 地域人口構造と人口構造パターン：限界との距離

3. 居住地・経済特性を評価する地域特性分類手法の開発

1.、2. の手法では、地域の年齢構成比を評価する手法が得られた。しかし、年齢構成比は、地域の居住地・経済特性によって決定される要素であると考えられるため、年齢構成比だけでなく、それらを用いて地域の社会的な位置づけを評価する必要がある。そこで、国勢調査・経済センサスのクラスター分析による地域特性分類手法の考案・開発を行ったことが本研究の大きな成果である。

4. 災害影響評価手法

4-1. 人口構造評価手法を用いた災害影響評価手法

災害影響評価は、被災前時点での国勢調査結果から国立社会保障・人口問題研究所の都道府県別仮定値(女子5歳年齢階級別出生率、男女5歳年齢階級別生残率および男女5歳階級別純移動率)を用いて推計した人口構造と当該年の国勢調査結果の人口構造との間の人口構造類型や人口構造評価指標の違いを評価することで行う。

4-2. 地域特性分類手法を用いた災害影響評価手法

各地域において、被災前と被災後の地域特性の変化を評価する形で行う。また、災害による被害・復興による影響を評価するため、被害の大小によって地域を再分類し、その分類ごとに地域特性変化の傾向の違いから評価する。

2) 災害影響評価手法の実践・検証

1)で発展・開発をおこなった手法を用いて、1995年阪神淡路大震災における阪神地域、2011年東日本大震災における宮城・岩手両県の災害影響評価の実践を行った。それぞれの実践の概要及びそれらの研究より得られた知見を示す。

1. 1995年阪神淡路大震災が阪神地域に与えた影響評価

(実施年：平成28年、平成29年)

阪神・淡路大震災の災害影響評価では、1990～2005年大阪市、北摂地域、尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市を対象として人口構造定量評価指標を用い、被害の大小と指標変化との関係を分析した。また、地域特性分類手法を用いて被災前後の居住者、産業それぞれの面から地域特性の変化を分析した。

2. 2011年東日本大震災が岩手・宮城両県に与えた影響評価

(実施年：平成30年度)

東日本大震災の災害影響評価では、2010、2015年岩手県、宮城県を対象として、人口構造類型手法を用い、被災前後の地域人口構造の変化を評価し、防災集団移転などの震災復興事業や地理的特徴との関係性を分析した。

3. 災害影響評価の実践より得られた知見

以上の分析を通して得られた知見について、以下に示す。

- 1) 阪神淡路大震災では、全半壊率 15%以上の地域、復興事業実施地域で、被害なしの地域と比べ、人口構造評価指標の向上が見られた。このことから、都市部において復興事業にともない新たに開発が行われ、人口の若返る契機になったと考えられる。(図3-4-(3)-②-1、図3-4-(3)-②-2)

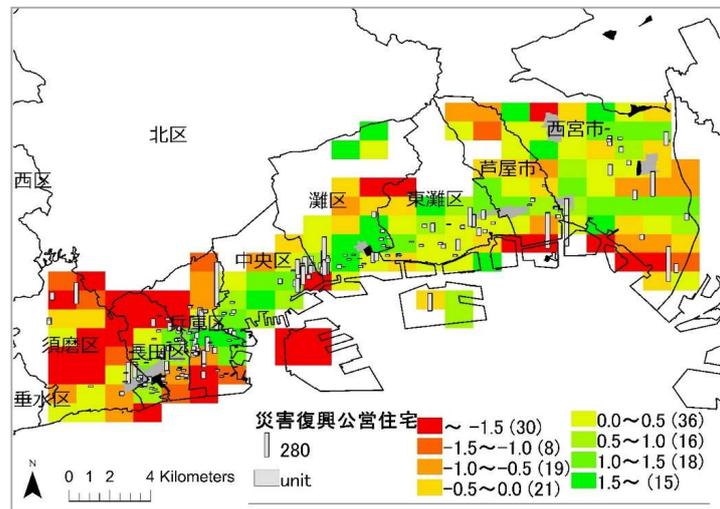


図3-4-(3)-②-1 人口構造評価指標による震災影響評価

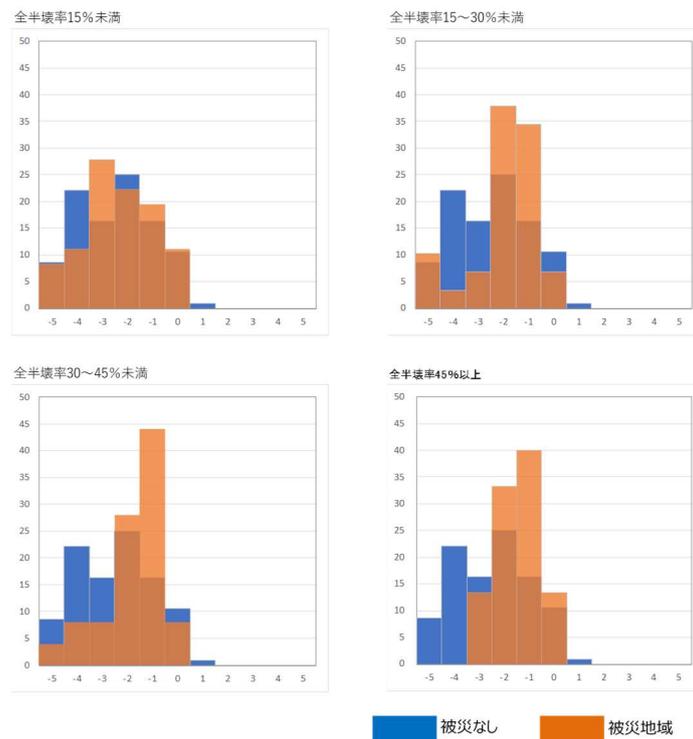


図3-4-(3)-②-2 全半壊率の大きさと人口構造評価指標の変化の関係

- 2) 東日本大震災では、三陸沖沿岸部の半島地域やその周辺市街地において、復興事業の実施や被害による人口流出によるものと考えられる高齢化の傾向が見られた。(図3-4-(3)-②-3)

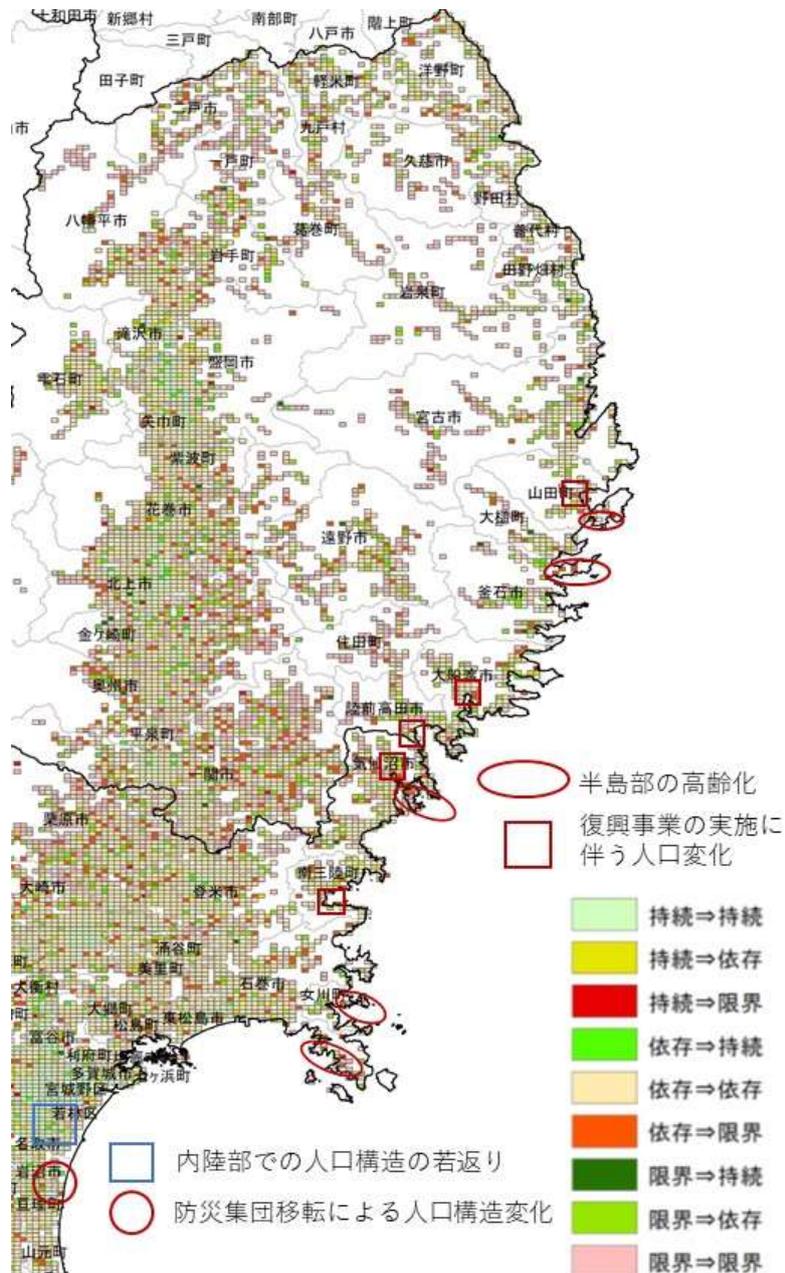


図3-4-(3)-②-3 東日本大震災による地域人口構造類型変化
(平成27年国勢調査による)

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務を通して、地域特性の定量的評価による災害の影響評価手法の開発を行い、被害、災害対応、復旧・復興もふくめた総合的な災害影響評価をおこなった。南海トラフ地震などの将来発生する災害について、被害だけではなく、復旧・復興まで見据えた総合的な災害影響評価をおこなうことが重要である。

(e) 引用文献

- 1) Chen, H., Maki, N. and Hayashi, H., 2009, Evaluating the Impact of Demographic Transition in the Context of the Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake, Japan, Journal of Natural Disaster Science, Volume 31, Number 2, 2009, pp. 21-32
- 2) 陳海立・牧紀男・林春男, 2010, 地域人口特性に基づく地域復興の評価: 阪神・淡路大震災と新潟県中越地震の地域特性と復興像、地域安全学会論文集 (13), 347-355, 2010年11月, 地域安全学会
- 3) 佐藤慶一、牧紀男、堀田綾子、岸田暁郎、田中傑 被災前の人口トレンドが被災地の地域人口構造へ与える影響、—阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象として—、地域安全学会論文集 No. 24、pp. 293-302, 2014年11月.
- 4) 曾我部哲人、田中傑、佐藤慶一、牧紀男 (2015)、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として—、地域安全学会論文集 No. 27、pp. 95-104、2015年11月.

③津波防災地域づくりの実践的構築

(a)業務の要約

津波災害リスクのある集落域を対象として、地域社会の実態を把握し、それをふまえた事前復興（災害への備え）について参与観察を中心として分析を行った。対象地区は、徳島県美波町伊座利（2013年～）、伊豆市土肥地区（2015年～）、沼津市戸田地区（2018年～）、静岡県松崎町および西伊豆町（2019年～）の5地区・町である。いずれも周辺に大都市域がない、災害時には孤立する恐れの高い集落であり、過疎化を主な地域課題とする集落である。なお、一部地区では、参与観察とともに関係者として事前復興の新しいモデル構築を支援した。また、都市域については、静岡市、沼津市における津波防災に関わる行政計画策定をレビューするとともに、一部については参与観察を行い、津波ハザードと地域づくりの関係について考察を試みた。主に立地適正化計画に着目した分析を行った。

(b)業務の実施方法

現地の実態調査、参与観察を主軸として実施した。行政が関与しない地区の場合、地域社会との信頼関係を醸成するところから丁寧にすすめた。条件が整い次第、対象を追加し、最終的には、集落域では5地区・町、都市域は2市となった。

・2013年：

集落域における先駆事例地区、典型地区の選定

・2014年：

徳島県美波町伊座利地区：信頼関係の醸成および実態調査

・2015年：

徳島県美波町伊座利地区：事前復興アクションプランの策定支援および参与観察

静岡県伊豆市土肥地区：津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察

静岡市：津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察

- 2016 年 :
 - 徳島県美波町伊座利地区 :
 - 静岡県伊豆市土肥地区 : 津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察
 - 静岡県沼津市戸田地区 : 地域社会との信頼関係づくり
 - 静岡市 : 津波防災地域づくり推進計画の策定、立地適正化計画へ参与観察
- 2017 年 :
 - 徳島県美波町伊座利地区 :
 - 静岡県伊豆市土肥地区 : 津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察
 - 静岡市 : 立地適正化計画、清水庁舎基本構想策定へ参与観察
- 2018 年 :
 - 徳島県美波町伊座利地区 :
 - 静岡県伊豆市土肥地区 : 津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察、および地区防災計画策定支援・参与観察
 - 静岡県沼津市戸田地区 : 行政主導の避難計画策定へ参与観察
 - 静岡市 : 清水庁舎基本計画策定へ参与観察
- 2019 年 :
 - 徳島県美波町伊座利地区 :
 - 静岡県伊豆市土肥地区 : 津波防災地域づくり推進計画の策定への参与観察、および地区防災計画策定支援・参与観察。
 - 静岡県沼津市戸田地区 : 地区防災計画策定への参与観察
 - 静岡県西伊豆町・松崎町 : 津波防災地域づくり推進計画への参与観察

(c) 業務の成果

以下の 4 つの項目についての知見を得た。

(1) リスクの適切な理解における情報提供

集落域における住民ワークショップへの参加プロセスを通して災害ハザード・リスクを適切に理解するため、情報提供方法のあり方について検討し、低コストかつ使いやすいつールを実際に利用し、その効果を確認した。なお、比較分析の対象は、①静的な地図情報としてハザードマップ、②時系列で津波の浸水状況を示す静岡県提供の 25000 分の 1 をベースマップとする GIF 形式の動画、③研究担当者らが静岡県の被害想定算定結果をもとに Google Earth 上に構築したしくみで、時系列の数値データを Google Earth に変換し、タイムライン機能を活用したアニメーション表示、および、任意の時間での浸水深を Street View で使用者が疑似体験できるしくみ、の 3 点である。

(2) 集落域における地域社会を主体とする津波防災地域づくりの進め方：必要条件

必要条件として下記の 3 つが抽出された。

① 災害リスクの理解と受容

災害リスクを適切に理解するにとどまらず、現象の不確実性、リスク評価

の誤差も含め、主体的に咀嚼し、当面の受容リスクを自覚することが最下層の基盤として不可欠である。

② 自助・共助・公助のあるべき関係の構築

集落で起こり得る災害状況についての理解と自助・共助・公助の担える役割・責任についての相互理解を行うことを必要条件とした関係性が構築される必要がある。そうすることで、自助・共助・公助を足しても対応できない課題があることを共有し、その上で建設的な議論を行う場をつくりだすことが不可欠である。

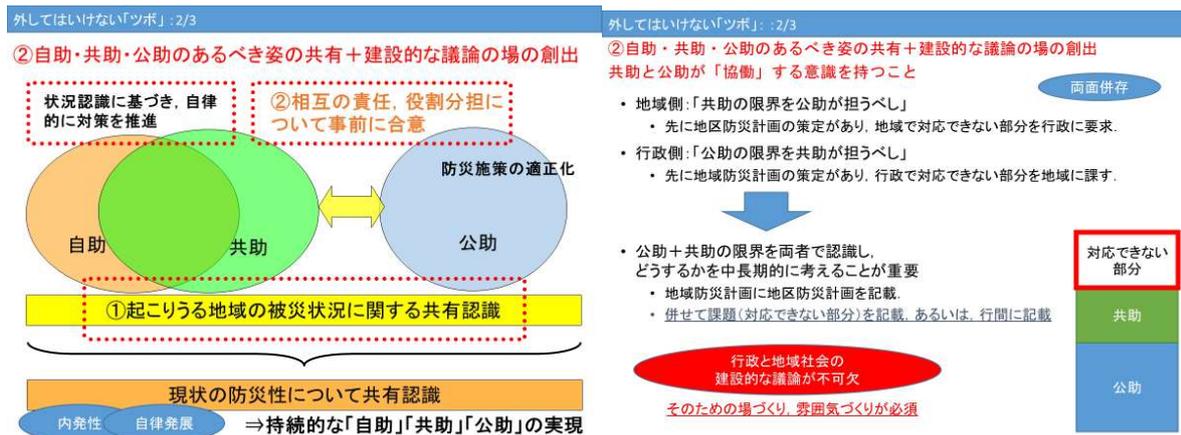


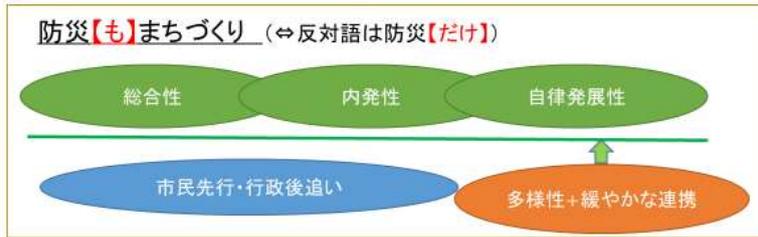
図3-4-(3)-③-1 自助・共助・公助のあるべき関係

③ 意識すべき5つの要素

一連の取り組みの過程で、下記の5つの要素を集落の地域社会に埋め込まれる必要がある。なお、「多様性+緩やかな連携」の例としては、すべての住民が参加する「伊座利の未来を考える協議会」の伊座利の事例、”観光防災まちづくり“をみんなで考える会の伊豆市土肥地区の事例にみられる。人材発掘の機能にもつながる。

- 「総合性」：防災だけではなく、総合的地域課題を考える。
- 「内発性」：自分たちでやるべき、やりたいと思う。
- 「自律発展性」：やりながら、内容が膨らんでいく。
- 「市民先行・行政後追い」：市民が先に進み、行政が後追的に支援するアプローチ。
- 「多様性+緩やかな連携」：活動主体・内容の多様性の確保と地域組織の緩やかな連携が「総合性」「内発性」「自律発展性」を下支えする。

③地域社会に埋め込むべきキーワードと必要とされるアプローチ



- ・「総合性」: 防災だけではなく、総合的地域課題を考える
- ・「内発性」: 自分たちでやるべき、やりたいと思う。
- ・「自律発展性」: やりながら、内容が膨らんでいく。
- ・「市民先行・行政後追い」: 市民が先に進み、行政が後追的に支援するアプローチ
- ・「多様性+緩やかな連携」: 活動主体・内容の多様性の確保と地域組織の緩やかな連携が「総合性」「内発性」「自律発展性」を下支えする。

図3-4-(3)-③-2 意識すべき5つの要素

(3) 集落域における地域社会を主体とする津波防災地域づくりの進め方のモデル
進め方のモデルとして下記が有効であることが一定程度検証された。

- 初動期のフェーズ
 - ※フェーズとは、時間軸での連続的な展開を意味する。
 - 地域社会への外部からの刺激・触発
 - キーパーソンの出現
 - 想定される災害状況の理解と課題の理解
 - 地域社会主体の検討と行政への支援の要請
 - 行政側からの総合的な支援
- 持続性創生期のパーツ
 - ※パーツとは、適宜、断続的に行うことを意味する。
 - コミュニティの重層化
 - 関心を持つ層の拡大
 - 刺激の内生化
 - 断続的な外部からの刺激
 - 進捗の可視化（地域内での経験の共有）

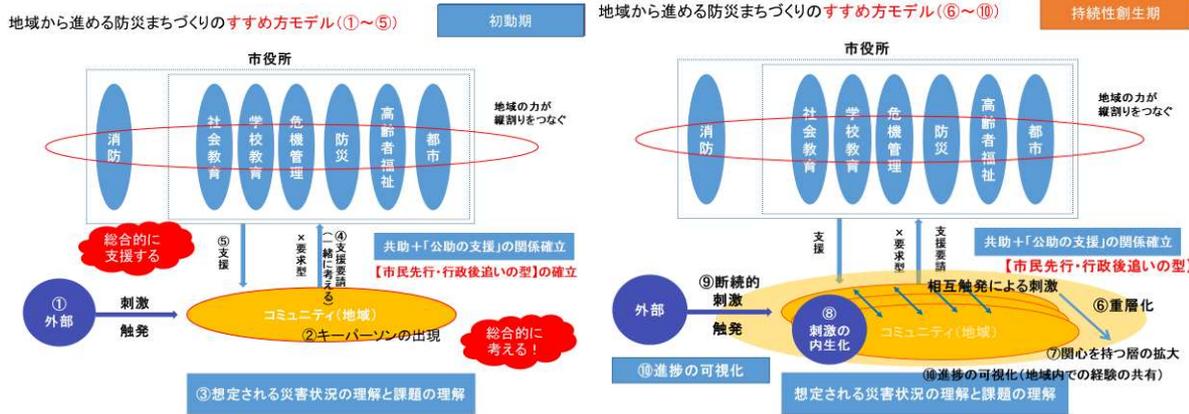


図 3-4-(3)-③-3 集落域における地域社会を主体とする津波防災地域づくりの進め方のモデル

(1) 都市域における津波ハザード・リスクの相反する典型 2 モデル

沼津モデルと静岡市清水区モデルの存在が確認された。災害ハザード・リスクを理解した上での逆志向の意思決定の事例である。清水区の例は、ハザードの存在を理解した上で、市街地の撤退や低密度化ではなく、未来も中心地として使い続けることを前提とし、持続的に投資を行い、周辺を安全にさせるストックを集積させることによってより早期に地区全体のリスク低減を図ろうとする事例である。一方、沼津市の事例は避難困難区域を指定し、その危険性を避け、その区域に限って開発を誘導しないとする事例である。いずれも論理としては成り立ち得る。

なお、研究期間内に徳島県美波町伊座利集落が国土交通省先進まちづくりシティコンペ審査員特別賞（2018.3）、静岡県伊豆市土肥地区がレジリエンスアワード 2018 グランプリ（2018.3）を「伊豆市土肥地区“観光防災”まちづくりをみんなで考える会」を受賞した。なお、伊座利集落では、2015年に住民自ら「事前復興アクションプラン～なにもないけど、なにかある！人口1万人の村を目指す、たかが100人されど100人のむらづくり物語」を策定している。この計画は、津波防災を含め、持続可能な漁村集落を維持することを目的と掲げたものである。



図 3-4-(3)-③-4 伊座利未来を考える協議会：国土交通省先進的まちづくりシティコンペ授賞式



図 3-4-(3) -③-5 伊豆市土肥地区“観光防災まちづくり”をみんなで考える会：レジリエンスアワード 2018 グランプリ授賞式他

(d) 結論ならびに今後の課題

結論は以下の 4 点である。

(1) リスクの適切な理解における情報提供のあり方を検討し、地域社会レベルで活用可能な行政情報だけでは不十分であり、改善の余地があることが明らかになった。また、行政情報を加工することによって住民主体のリスク認識、リスクの受容の促進につながり得るツールを低コストで活用可能であることを実践的に実証した。

(2) 集落域における地域社会を主体とする津波防災地域づくりを進めるにあたって、はずしてはならない必要条件として、①災害リスクの理解と当面のリスクを受容することを自覚するプロセスが不可欠であること、②自助・共助・公助のあるべき関係を理解し、構築すること、③地域社会の取り組みにおいて 5 つの要素：「総合性」「内発性」「自律発展性」「市民先行・行政後追い」「多様性+緩やかな連携」が必要であること、が分かった。

(3) 集落域における地域社会を主体とする津波防災地域づくりの進め方として下記のモデル記が有効であることが検証された。

- 初動期のフェーズ ※フェーズ：時間軸での展開
 - 地域社会への外部からの刺激・触発
 - キーパーソンの出現
 - 想定される災害状況の理解と課題の理解
 - 地域社会主体の検討と行政への支援の要請
 - 行政側からの総合的な支援
- 持続性創生期のパーツ ※パーツ：随時、断続的に行うという意味として用いる
 - コミュニティの重層化
 - 関心を持つ層の拡大
 - 刺激の内生化
 - 断続的な外部からの刺激
 - 進捗の可視化（地域内での経験の共有）

(4) 都市域における津波ハザード・リスクに対して地域づくりの相反する典型 2 モデ

ルが存在することが確認された。ハザードの存在を理解した上で、市街地の撤退や低密度化ではなく、未来も中心地として使い続けることを前提とし、持続的に投資を行い、周辺を安全にさせるストックを集積させることによってより早期に地区全体のリスク低減を図ろうとする事例である。一方、その危険性を避け、その区域に限って開発を誘導しないとする事例である。いずれも論理としては成り立ち得る。

なお、研究期間内に徳島県美波町伊座利集落が国土交通省先進まちづくりシティコンペ審査員特別賞（2018. 3）、静岡県伊豆市土肥地区がレジリエンスアワード 2018 グランプリ（2018. 3）を「伊豆市土肥地区“観光防災”まちづくりをみんなで考える会」を受賞し、先駆的なモデルであることの傍証となった。

④ 事前復旧・復興計画の考え方を含む都市計画区域マスタープランの策定

(a) 業務の要約

都道府県や市町村で策定されている都市計画法に基づく各種マスタープランや都市再生特別措置法に基づく立地適正化計画に事前復旧・復興計画の考え方を組み込む実践的研究を実施した。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ地震の影響を受ける三重県の都市計画分野の指針・方針・計画の策定に積極的に携わり、三重県県土整備部都市政策課と協議を重ねながら、事前復旧・復興計画の考え方を公式な都市計画図書^{1), 2), 3), 4)}に組み込んだ。同時並行的に三重県鈴鹿市の都市マスタープラン⁵⁾の抜本的改定も先導し、防災・減災の都市づくりの方針とそれを踏まえた土地利用構想を策定した。

(c) 業務の成果

本業務の成果の1つは、事前復旧・復興計画の考え方を三重県の公式な都市計画図書^{1), 2), 3), 4)}に組み込んだことであり、要点は次の通りである。

- ・限られた財源の中、施設整備だけですべての市街地を災害から守ることは困難であるため、地震・津波災害から守るべき対象を減らす施策を組み合わせ、限られた対策費用での目標達成を目指す考え方を導入。事前復旧・復興に関わる都市施策が「人命を守ること」、「都市機能の確保・被害の低減」、「安全で快適な都市づくり」の3つで構成されることを説明し、そのための「対策対象」と「都市施策実施の費用」の関係を示す図を提示した。¹⁾
- ・地震・津波リスクの低い場所で市街地を形成することを基本として、地震・津波リスクが高い場所では、用途を考慮した都市的土地利用の抑制等を行うという土地利用・施設配置の考え方を市街地の断面図として示した。¹⁾
- ・都市的土地利用の抑制や建築物の構造等の規制による被害の低減などの施策実施を検討すべき「土地利用検討区域」の概念を導入した。¹⁾
- ・「土地利用検討区域」の概念を踏まえた都市構造再編シナリオとして、「集約型シナリオ」、「移転型シナリオ」、「現状維持型シナリオ」の3つを提示した。¹⁾
- ・これからの都市計画の基本的な考え方の中に、人口減少・超高齢社会の「都市経

営」、大規模自然災害に対応する「都市防災」、地域経済の維持・向上に向けた「都市活力」の3つの変革の観点を導入し、総合的な都市計画の枠組みの中で都市防災（特に南海トラフ地震への対応）を重要な柱として位置付けた。²⁾

- ・三重県の5つの圏域のマスタープラン³⁾及び北勢圏域・中南勢圏域の10の都市計画区域のマスタープラン⁴⁾において、地震・津波被害の低減に向けた指針や都市防災の観点を導入し、土地利用の決定方針として展開した。

もう1つは、三重県鈴鹿市の都市マスタープランの抜本的改定において、防災・減災の都市づくりの方針とそれを踏まえた土地利用構想を策定したことであり、その要点は次の通りである。

- ・「防災・減災の都市づくりの方針」について各種ハザードマップを踏まえた詳細な図面を作成して検討し、新たな市街地の形成を認める「市街地形成検討地区」を災害リスクの小さい地区に限定するとともに、三重県の「土地利用検討区域」に相当する「土地利用規制見直しエリア」を特定した。
- ・「土地利用規制見直しエリア」に特定された地区における住民参加型防災・減災まちづくりの可能性を検討した。

以上の成果の一部は、都市計画教科書「都市計画学：変化に対応するプランニング」⁶⁾の「1章 土地利用と施設配置」に掲載し、都市計画の実務家・研究者・学生に周知されつつある。

(d) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの他の研究成果を理解しながら、中長期的な都市計画分野における事前復旧・復興の考え方を検討し、その結果を三重県の公式な都市計画図書に組み込んだこと、そして、鈴鹿市の都市マスタープランにその内容をいち早く取り入れたことは本業務の大きな成果である。一方、事前復旧・復興の要である「土地利用検討区域」を都市計画区域マスタープラン策定時に県と市町が協議して設定することができず、その設定が市町に委ねられた。このことは、自治体と協議を行う上で発生しうる問題の一つとして共有していく必要がある。「土地利用検討区域」の設定と同区域内における施策の検討においては、住民参加型の防災・減災まちづくりが不可欠であり、その実践を積極的に進める必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 三重県：地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針（2016年8月）
- 2) 三重県：都市計画方針（2017年4月）
- 3) 三重県：圏域マスタープラン（北勢・中南勢・伊勢志摩・伊賀・東紀州の5圏域、2018年4月）
- 4) 三重県：都市計画区域マスタープラン素案（桑名・四日市・鈴鹿・いなべ・亀山・津・松阪・安濃・多気・明和の10区域、2020年3月）
- 5) 鈴鹿市：都市マスタープラン（2016年4月）
- 6) 中島直人，村山顕人，高見淳史，樋野公宏，寺田徹，廣井悠，瀬田史彦：都市計画学：変化に対応するプランニング，学芸出版社（2018年9月）

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) 7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：

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した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフォームや各システムを高度化した。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継続し、「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）への連動強化を試みた。また広く防災活動等で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の地震と台風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災者災害対応で検証した。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）・人材育成手法の調査・検討と教材開発を継続実施し東海地域にて社会実装を試みた。避難意図の規定変数を被災想定地域にて調査継続し、現状の RC の改善を図るとともに、地域産業の事業継続計画に関する予備的な調査を行った。

平成 31 年度（令和元年度）：

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・手法と、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を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装した。

1-e で開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材を、行政や地域が防災活動を考えるために Web 上で一括して閲覧できるような連動実装と、行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継続的な分析ととりまとめを行った。

上記の、開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材と、リスクコミュニケーション（RC）・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（Ver. 2）を一般公開した。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（Ver. 2）を利活用した社会実験を行政組織と協働で実施し、情報・コンテンツの一通貫利用を行い、システム活用の地域展開も実施した。

(e) 平成 31 年度（令和元年度）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、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・手法と、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を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装する。

1-e で開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材を、行政や地域が防災活動を考えるために Web 上で一括して閲覧できるような連動実装と、行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継続的な分析ととりまとめを行う。

上記の、開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材と、リスクコミュニケーション（RC）・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（Ver. 2）を一般公開する。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（Ver. 2）を利活用した社会実験を行政組織と協働で実施し、情報・コンテ

ンツの一气通貫利用を行い、システム活用の地域展開も実施する。

(2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

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

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・手法と、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を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装した。

1-e で開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材を、行政や地域が防災活動を考えるために Web 上で一括して閲覧できるような連動実装と、行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継続的な分析ととりまとめを行った。

上記の、開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材と、リスクコミュニケーション (RC) ・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2) を一般公開した。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2) を利活用した社会実験を行政と地域実動組織と協働で実施し、平常時から情報・コンテンツの一气通貫利用を行い、システム活用の地域展開を行った。また、2018 年の地震と高潮被害において、災害対応現場で災害情報プラットフォームを実際に活用した。

(b) 業務の実施方法

本年度の研究では以下の項目内容を実施した。

- 1) 復興から平常時に利用される災害情報のニーズ調査と対策調査
 - a) 平常時における災害時要支援者対応の調査
 - b) 復旧・復興時における行政の被災者対応業務の Web 調査
 - c) 大河川における河口部および水害対策の現状と過去の被害規模調査
- 2) 災害情報プラットフォームの改良
 - a) 地震・津波関連の新規研究成果の導入
 - b) 研究 PJ サブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ追加作成
- 3) 研修や訓練による情報利活用検証
- 4) 平常時、災害時、復旧・復興時での一气通貫利活用のまとめ
- 5) 災害情報プラットフォームの一般公開

- 1) 復興から平常時に利用される災害情報のニーズ調査と対策調査

災害後の復旧・復興時から次の平常時に戻る過程で明らかになる必要となる災害情報の実態調査を行い、災害情報プラットフォームの改善に役立てた。

a) 平常時における災害時要支援者対応の調査

災害時要支援者向けの活動を実施している組織に対して、大阪府北部の地震と台風 21 号被害から 1 年経過した時点の、被災者対応の実態について Web による活動報告情報調査と、アンケート・ヒアリング調査を実施した。災害後の活動フェーズで行政とその関係機関で必要になる情報は何なのかを把握した。

以下の 4 項目について調査した。(表 3-5-(2)-①-1)

・災害ボランティアセンター(以下:災害 VC)の設置の有無に関わらず、災害支援後の課題に対する取り組み

- ・通常業務において被災者対応の実態
- ・災害支援を踏まえ組織運営の改善や他の関係機関との連携強化
- ・今後の災害に向けて、通常業務でも役立てられる活動

b) 復旧・復興時における行政の被災者対応業務の Web 調査

大阪府内の行政ホームページにて公開されている、復旧・復興期の被災者対応内容や、助成制度の仕組みなどを調査し、発信されている災害関連情報の内容を把握した。これにより、行政による直接対応、間接支援、次の災害に備えた対策計画などの現状を把握した。(表 3-5-(2)-①-2)

c) 大河川における河口部および水害対策の現状と過去の被害規模調査

大阪湾に流れ込む淀川水系の防災設備について調査を実施し、津波や高潮による遡上被害と、複合的な洪水災害についての対策事項を把握した。

河口部の設備や対策計画・費用の調査、および上流域から河口部までの水害対策設備と、過去の被害履歴調査を行った。これらは、津波や高潮被害だけでなく、0 m 地帯や地盤沈下による湛水対策の基礎データとして活用できる。(表 3-5-(2)-①-3)

2) 災害情報プラットフォームの改良

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、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と開発を実施した。

a) 地震・津波関連の新規研究成果の導入

昨年度から継続し、名古屋大学のデータベース、JAMSTEC の DONET 震源決定システム、東京大学の地域質的調査の結果を災害情報プラットフォームに反映した。また、津波ハザードステーション(J-THIS)をコンテンツとして追加した。

b) 研究 PJ サブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ追加作成

平成 29 年度の報告書内容を災害情報プラットフォームのコンテンツに追加した。WebGIS のマップにて、テーマごとに各担当分野の研究内容を閲覧できるようにした。

3) 研修や訓練による情報利活用検証

大阪府の災害時要支援者対策において、平常時・発災時、復旧・復興時における活動

計画の検討作業に災害情報プラットフォームを利用検証した。各地の市町村行政と社会福祉協議会（以下：社協）による災害時要支援者への対応を計画する場面、および実際の地震と風水害による被災者対応の現場にて、災害情報プラットフォームのコンテンツや WebGIS ツールを活用して、求められる情報内容の検証を行った。

4) 平常時、災害時、復旧・復興時での一気通貫利活用のまとめ

2018年の災害対応を振り返ると同時に、平常時から復興時までを取りまとめた。

5) 災害情報プラットフォームの一般公開

1)2)3)の調査結果や検証結果を災害情報プラットフォームに反映し最終公開版「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver2.0)を開発し、一般公開した。

表3-5-(2)-①-1 調査対象の社会福祉協議会

No	広域運営支援者研修の開始時期	ブロック	所属社協	詳細調査の有無
1	1	河南	河内長野市	ヒアリング有り
2	1	泉州	阪南市	ヒアリング有り
3	1	泉州	和泉市	
4	2	北摂	池田市	
5	2	河北	枚方市	
6	2	泉州	岸和田市	ヒアリング有り
7	3	河南	八尾市	
8	3	河南	千早赤阪村	
9	4	北摂	摂津市	
10	5	北摂	能勢町	
11	5	北摂	豊能町	
12	5	河北	守口市	
13	5	河南	松原市	
14	5	河南	河南町	
15	5	泉州	岬町	
16	6	北摂	高槻市	
17	6	北摂	島本町	
18	6	河南	藤井寺市	
19	6	泉州	忠岡町	
20	7	北摂	吹田市	
21	7	河北	門真市	
22	7	河北	交野市	
23	7	河南	羽曳野市	
24	7	泉州	貝塚市	
25	7	泉州	熊取町	

表3-5-(2)-①-2 調査対象の自治体ホームページ

No.	自治体名	ホームページ URL
1	大阪府	http://www.pref.osaka.lg.jp/
2	池田市	http://www.city.ikeda.osaka.jp/
3	泉大津市	https://www.city.izumiotsu.lg.jp/
4	泉佐野市	http://www.city.izumisano.lg.jp/
5	和泉市	http://www.city.osaka-izumi.lg.jp/
6	茨木市	https://www.city.ibaraki.osaka.jp/
7	大阪狭山市	http://www.city.osakasayama.osaka.jp/
8	大阪市	https://www.city.osaka.lg.jp/
9	貝塚市	https://www.city.kaizuka.lg.jp/
10	柏原市	http://www.city.kashiwara.osaka.jp/
11	交野市	https://www.city.katano.osaka.jp/
12	門真市	https://www.city.kadoma.osaka.jp/
13	河南町	http://www.town.kanan.osaka.jp/
14	河内長野市	https://www.city.kawachinagano.lg.jp/
15	岸和田市	https://www.city.kishiwada.osaka.jp/
16	熊取町	https://www.town.kumatori.lg.jp/
17	堺市	https://www.city.sakai.lg.jp/
18	四條畷市	https://www.city.shijonawate.lg.jp/
19	島本町	http://www.shimamotocho.jp/
20	吹田市	https://www.city.suita.osaka.jp/
21	摂津市	https://www.city.settsu.osaka.jp/
22	泉南市	http://www.city.sennan.lg.jp/
23	太子町	https://www.town.taishi.osaka.jp/
24	大東市	http://www.city.daito.lg.jp/
25	高石市	http://www.city.takaishi.lg.jp/
26	高槻市	http://www.city.takatsuki.osaka.jp/
27	田尻町	http://www.town.tajiri.osaka.jp/
28	忠岡町	https://www.town.tadaoka.osaka.jp/
29	千早赤阪村	http://www.vill.chihayaakasaka.osaka.jp/
30	豊中市	https://www.city.toyonaka.osaka.jp/
31	豊能町	http://www.town.toyono.osaka.jp/
32	富田林市	https://www.city.tondabayashi.lg.jp/
33	寝屋川市	https://www.city.neyagawa.osaka.jp/
34	能勢町	http://www.town.nose.osaka.jp/
35	羽曳野市	https://www.city.habikino.lg.jp/
36	阪南市	http://www.city.hannan.lg.jp/
37	東大阪市	https://www.city.higashiosaka.lg.jp/
38	枚方市	https://www.city.hirakata.osaka.jp/
39	藤井寺市	https://www.city.fujiidera.lg.jp/
40	松原市	https://www.city.matsubara.lg.jp/
41	岬町	http://www.town.misaki.osaka.jp/
42	箕面市	https://www.city.minoh.lg.jp/
43	守口市	http://www.city.moriguchi.osaka.jp/
44	八尾市	https://www.city.yao.osaka.jp/

表 3-5-(2)-①-3 調査対象のデータ項目

No	データ名
1	河川流路
2	流域界・非集水域
3	湖沼
4	ダム
5	下水処理場施設
6	ポンプ場施設
7	浄水場施設
8	上水道給水区域
9	土地利用
10	居住人口
11	年齢別人口
12	建て方別世帯数
13	淀川流域自治体別水害被害額
14	淀川水系河川整備事業費

(c) 業務の成果

1) 復興から平常時に利用される災害情報のニーズ調査と対策調査

a) 平常時における災害時要支援者対応の調査

大阪府で発生した災害から1年後の災害時要支援者対応の現状調査と、復旧・復興期の活動で必要とされる情報内容を調査・把握した。調査結果の一部を表3-5-(2)-①-4に記す。行政との事前対策連携強化、要支援者リストの事前共有、行動マニュアルの見直し、ほか関係組織との連携強化の必要性について把握することができた。

b) 復旧・復興時における行政の被災者対応業務のWeb調査

大阪府の行政が公式に発表している災害後の活動内容をWeb調査にて把握した。災害後の活動内容のリストを作成し、復旧・復興時に提供すべき災害情報の選別に参考とした。なお、ふるさと納税を活用した災害支援向けの資金調達方法は、これまでの寄付金や義援金とは異なる新しい試みであると考えられる。今後、取り扱う災害情報の1項目として、復旧・復興時に役立つ資金調達ノウハウや保険制度なども、収集・発信していく必要があるかもしれない。(表3-5-(2)-①-5)

c) 大河川における河口部および水害対策の現状と過去の被害規模調査

近年、豪雨で氾濫した河川による洪水災害が頻繁に発生している。洪水災害は、地震・津波被害の二次災害として発生しうるため、河川周辺の設備等の調査を行った。対象は大阪府に河口部がある淀川水系である。その結果を、閲覧権限を限定とし災害情報プラットフォームのコンテンツの一つとして導入した。(表3-5-(2)-①-6、図3-5-(2)-①-1)

表 3-5-(2)-①-4 アンケート結果概要一覧 (社協)

回答 NO	ブ ロ ッ ク	所属社協	災害 VC の設置の有無に関わらず、災害支援後の課題に対しての取り組み	通常業務における被災者対応の実態
1	河南	河内長野市	避難行動要支援者が犠牲になることが多いなか、名簿を活用しどう減らすか	災害 VC を閉所したから終わりでない。その後の支援・見守りの必要性の認識
2	泉州	阪南市	災害 VC 設置。避難行動要支援者名簿の活用→福祉委員、民生委員と協働し全員の安否確認	-
3	泉州	和泉市	事務局内で災害対策プロジェクトチームとして4つの部会を立ち上げ、検討を実施	毎年、台風の接近にともない、ヘルプ等の事業にて、利用者の安否確認やサービス提供の調整を実施
4	北摂	池田市	-	サービス利用者の安否確認
5	河北	枚方市	行政との災害 VC 協定書締結、ブルーシート張りボランティア (以下:V) 養成講座、行政との防災訓練連携	各避難所との情報共有が迅速に出来なかった。避難行動要支援者名簿をもとに安否確認
6	泉州	岸和田市	テクニカル V の育成、資器材の確保、各種様式の追加修正、行政との協定案作成 (まだ案のまま)。地区福祉委員会における避難行動要支援者登録の啓発	職員の参集基準の作成を行った。職員の緊急連絡カードも作成
7	河南	八尾市	災害 VC マニュアルの見直し	地区福祉委員長への聞きとり
8	河南	千早赤阪村	小規模の為、人員が配置できない	-
9	北摂	摂津市	V ネットワーク設置予定	安否確認と同時にニーズ把握できず
10	北摂	能勢町	-	サービス利用者の安否確認実施
11	北摂	豊能町	避難行動要支援者名簿の活用方法	サービス利用者の安否確認の徹底
12	河北	守口市	災害 VC 設置・運営にかかる市との協定は課題	職員の参集は、交通機関等の関係で全職員というわけにはいかなかった。ニーズ把握や避難所の訪問を行った
13	河南	松原市	災害 VC 設置・運営にかかる行政との協定。避難行動要支援者の対応	福祉委員や見守り対象者の安否確認の徹底
14	河南	河南町	行政との協定は平成 27 年締結済み	-
15	泉州	岬町	協定に基づく、災害 VC 設置・運営等にかかる行政との具体的協議	災害登録 V との連携
16	北摂	高槻市	青年会議所と物資やマンパワーの確保の仕組みを両者で検討	福祉委員会など地域 V とのニーズ調査時の連携や情報提供に課題
17	北摂	島本町	避難行動要支援者名簿を活用した机上訓練	各地区における被災状況と利用者の安否を確認
18	河南	藤井寺市	-	近隣市 (3 市) で定期的に災害 VC 担当者会議を開催
19	泉州	忠岡町	災害 VC 設置・運営にかかる行政との協定を結んでいるが、行政側の災害 VC 設置への理解が弱い。2018 年は社協判断で災ボラ設置。行政側へ協定書の理解と見直しを提案	地区福祉委員の状況の把握
20	北摂	吹田市	-	職員参集、昨年の地震・台風でほとんど出勤できなかった
21	河北	門真市	行政との協定とその後の連携方法	職員に災害支援の意識が弱い
22	河北	交野市	行政との協定が宙に浮いている	各事業の利用者の状況・情報の収集。地域の状況確認。居宅介護支援事業所の状況把握、職員の状況把握 未対応事項として、各関係機関の役割分担や連絡の一元化などのルール化
23	河南	羽曳野市	社協と行政の災害 VC 活動に対しての考え方に温度差があり相互理解必要	-
24	泉州	貝塚市	災害 VC 設置・運営後、市担当課と話し合いを重ね、協定書の策定・締結	被害状況 (地域) の把握が不十分
25	泉州	熊取町	運営にかかる行政との費用面の調整。地区福祉委員との連携	-

表 3-5-(2)-①-5 復旧・復興と広域災害に関する自治体ホームページ公開情報
一覧

自治体種別	自治体名	平成 30 年大阪府北部地震・台風 21 号対応						南海トラフ巨大地震対策			先進的な取り組み
		復旧・復興期の対応		ふるさと納税による資金調達		地域防災計画		ハザードMap	業務継続計画	地域防災計画	
		地震	台風	地震	台風	地震	台風				
都道府県	大阪府	○	○			○	○	○	○	○	
政令指定都市(2)	大阪市	○	○			○	○	○	○	○	
	堺市	○	○					○	○	○	
中核市(6)	豊中市	○	○			○	○	○	○	○	
	高槻市	○	○	○	○			○	○	○	
	枚方市	○	○	○				○	○	○	
	寝屋川市	○	○					○	○	○	
	東大阪市	○	○							○	
	八尾市	○	○			○	○	○	○	○	
施行時特例市(3)	吹田市	○	○			○	○		○	○	
	茨木市	○	○	○				○	○	○	○
	岸和田市	○	○		○			○		○	
その他の市町村(32)	池田市							○		○	
	箕面市	○	○						○	○	
	摂津市	○	○						○	○	
	泉大津市	○	○					○	○	○	
	和泉市	○	○		○			○		○	
	高石市							○		○	
	貝塚市	○	○					○		○	
	泉佐野市	○	○				○	○		○	
	泉南市	○	○		○			○		○	○
	阪南市	○	○		○			○		○	○
	守口市	○	○					○		○	
	大東市	○						○		○	
	門真市	○	○		○			○		○	
	四條畷市	○	○							○	
	交野市	○	○							○	
	柏原市	○								○	
	富田林市	○			○					○	
	河内長野市	○	○		○			○		○	
	松原市	○	○							○	
	羽曳野市		○							○	
	藤井寺市	○	○							○	
	大阪狭山市	○	○					○		○	
	能勢町								○	○	
	豊能町		○					○		○	
	島本町	○	○					○		○	
	忠岡町							○		○	
熊取町		○					○	○	○		
田尻町		○					○		○		
岬町							○		○		
太子町									○		
河南町		○					○		○		
千早赤阪村									○		

表 3-5-(2)-①-6 取得したデータ一覧（座標系は全て JGD2000/経緯度）

データ名	出典	作成年度	形式	内容
河川流路	国土数値情報	平成 18～21 年度	shape	河川法による 1 級直轄区間、1 級指定区間、2 級河川区間、その他流路について、形状（線）、区間種別（1 級直轄区間、1 級指定区間、2 級河川区間等）、河川名、原典資料種別等を整備したもの
流域界・非集水域	国土数値情報	昭和 52 年度	shape	流域界あるいは非集水域界について、範囲（線）、水系コード等を整備したもの
湖沼	国土数値情報	平成 17 年度	shape	全国の湖沼及び貯水池の範囲の広がりについて、GIS（面）データとして整備したもの
ダム	国土数値情報	平成 26 年度	shape	全国のダムについて、形式（アーチダム、重力式コンクリートダム、ロックフィルダム等）、目的（洪水調節・農地防災、灌漑用水、発電等）、総貯水量、有効貯水量、事業者、名称等の位置を整備したもの
下水処理場施設	国土数値情報	平成 24 年度	shape	下水道統計、下水道年鑑を元に、処理場施設およびポンプ場施設を整備したもの
ポンプ場施設	国土数値情報	平成 24 年度	shape	
浄水場施設	国土数値情報	平成 24 年度	shape	
上水道給水区域	国土数値情報	平成 24 年度	shape	水道地図（都道府県）、水道統計（（公社）日本水道協会）、全国簡易水道統計（厚生労働省）、水道年鑑（水道産業新聞社）により、給水区域および浄水場の位置情報を整備したもの
土地利用	国土数値情報	平成 26 年度	shape(ラススタ版)	全国の土地利用の状況について、3 次メッシュ 1/10 細分区画（100m メッシュ）毎に作成されたデータ（土地利用細分メッシュ）をもとに、本業務において 500m メッシュ単位で再集計したもの
居住人口	国勢調査（地域メッシュ統計）	平成 27 年度（2015 年度）	shape/500m メッシュ	地域メッシュ単位（500m）で作成された、人口等基本集計に関する事項
年齢別人口	国勢調査（地域メッシュ統計）	平成 27 年度（2015 年度）	shape/500m メッシュ	
建て方別別世帯数	国勢調査（小地域）	平成 27 年度（2015 年度）	shape/町丁目	町丁・字等の単位で作成された国勢調査データ（住宅の建て方別住宅に住む主世帯数、主世帯人員及び 1 世帯当たり人員）を、本業務において 500m メッシュ単位に編成したもの
淀川流域自治体別水害被害額	国土交通省水害統計調査（市区町村別水害被害）	平成 23 年～平成 29 年（2011～2017 年）	原典：表形式（shape データ作成）	洪水、内水、高潮、土石流等の水害により、個人・法人が所有する資産、河川・道路等の公共土木施設、及び運輸・通信等の公益事業等施設に発生した被害の実態を把握したもの（本業務で GIS データを作成）
淀川水系河川整備事業費	淀川水系直轄河川改修事業評価資料	平成 29 年度 対象年：平成 26 年以降	原典：書類（shape データ作成）	近畿地方整備局事業評価監視委員会（平成 29 年度第 6 回）評価資料をもとに、淀川水系直轄河川における整備箇所、整備項目、費用等を把握したもの（本業務で GIS データを作成）

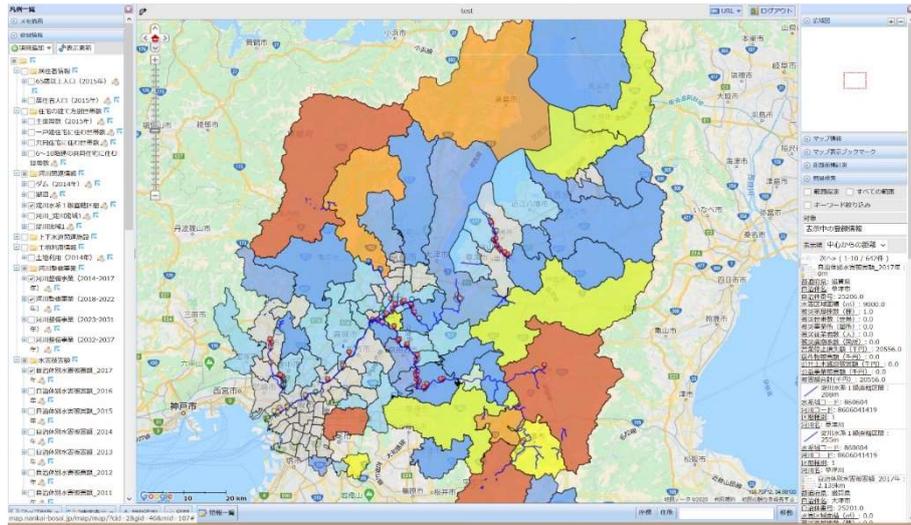


図 3-5-(2)-①-1 淀川水系の災害対策施設と過去の被害金額マップ

2) 災害情報プラットフォームの改良

a) 地震・津波関連の新規研究成果の導入

名古屋大学が作成している愛知県内の災害関連データベース、JAMSTEC の DONET 震源決定システム、東京大学の地域質的調査の結果を反映した。(図 3-5-(2)-①-2)

また、防災科学技術研究所では 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえ、多様な津波ハザード情報を利活用できることを目指して J-THIS 津波ハザードステーションを開発し一般公開した。この情報もコンテンツとして追加した。(図 3-5-(2)-①-3 と 4)

b) 研究プロジェクトサブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ追加作成

平成 29 年度のプロジェクト報告書の内容を災害情報プラットフォームのコンテンツに追加した。WebGIS のマップにて、テーマごとに各担当分野の研究内容を閲覧することができるようにした。(図 3-5-(2)-①-5 と 6)

上記 a)b)と、1)で前述している調査結果に基づき、平常時と災害時、復旧・復興時で必要とされている情報内容を災害情報プラットフォームのコンテンツに反映し改良を行った。



図 3-5-(2)-①-2 名古屋大学データの連携一例（明治のため池情報ほか）

津波ハザードステーション (J-THIS)

海岸（汀線）に沿って設けられた数十万点を超えるハザード評価点において推定された確率論的ハザードカーブ群から、確率論的に予想される30年超過確率分布図を作成し、公開しています。南海トラフに面した太平洋沿岸地域のどの海岸が他に比べて相対的に津波に襲われる可能性が高いか低いかを知ることができます。



左の地図をクリックするとWeb_GISが開きます。概要説明は [こちら](#)

地図クリックで、J-THIS マップが開く

J-THIS 津波ハザードステーション（以下、本システムと省略）では、「南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価」（地震調査委員会、2020）（以下、津波評価と省略）の公表内容と等価な確率論的津波ハザード評価結果を公開しています。

図 3-5-(2)-①-3 津波ハザードステーション閲覧パーツ



図 3-5-(2)-①-4 津波ハザードステーション J-THIS
(URL <http://www.j-this.bosai.go.jp/map/>)

本プロジェクト研究成果一覧

・平成29年度

・平成28年度 ・平成27年度 ・平成26年度 ・平成25年度

<使い方>

1. 上記地図画像をクリックすると各年度の研究活動が「点、線、面」情報で表示されます。
(地図画面左上にある縮尺変更バーで縮尺を変えられます)
2. 地図上の「点、線、面」情報をクリックすると吹き出しにて概要説明が表示されます。
(複数ある場合はどれか1つを選択してください)
3. 吹き出しの下部にあるURLから報告書詳細情報へ移動できます。
(地震本部のHP公開資料)

※地図左列の凡例情報欄を切り替えることにより、閲覧したい情報のみを表示することもできます。

図 3 - 5 - (2) - ① - 5 プロジェクト研究成果の年度報告書閲覧パーツ

各アイコンをクリックすると概要の吹き出しが開く

報告書概要 (サブテーマ-1)

更新日: H29.2.1
更新内容:
海陸両域地質調査とリンブルデータ解析 (関西編)
①陸域との地質調査結果とリンブルデータ解析 (関西編)
在野調査も併せて調査結果の整理を行い、地質図説の編纂と長期
的な地質データ管理を行うため、追加および修正データマイグ
レートの実施を実施しました。また一部のデータを採取し、14C年代
測定を行った。

北地域 (小野地区)

調査内容:

図 3 - 5 - (2) - ① - 6 平成 29 年度研究プロジェクト報告書内容の閲覧マップ

3) 研修や訓練による情報利活用検証

大阪府の災害時要支援者対策において、平常時・発災時、復旧・復興時における活動計画作業の研修に災害情報プラットフォームを利用検証した。実施した地域は阪南市・河内長野市・松原市など約 15 市町村である。(写真 3-5-(2)-①-1 と 2)

また、2019 年 6 月 16 日には、2018 年の大阪府北部の地震を経験した大阪府枚方市の総合防災訓練（枚方ひこ防'z）にて社協と行政の情報連携訓練を実施した。被害想定情報、避難所情報、被災者対応情報、現地被害状況、交通規制などの両組織が取得している情報を相互利用した。この訓練には地元大学から学生ボランティアも参加しており、街中での被害状況報告や、避難所での不足物資項目などをリアルタイムで発信し行政と社協に情報を提供する試みも行われた。(写真 3-5-(2)-①-3 と 4)

4) 平常時、災害時、復旧・復興時での一気通貫利活用のまとめ

また、大阪府北部の地震と台風 21 号被害の災害時要支援者対応を振り返り、平常時から災害時、また復旧・復興時で行われる活動について、災害情報利活用の実情と今後の理想的な使われ方について意見交換を行い、検証しとりまとめた。

図 3-5-(2)-①-7 では、社協、行政、福祉委員、地域 NPO、地域住民などの関連する組織の関係性を示す。図からもわかるように各組織が縦割りで個別に活動を行っていることが多く、それぞれの組織団体が把握している情報の共有が不足している。図 3-5-(2)-①-8 では、対応フェーズごとの活動内容のイメージを示す。災害対応時と復旧・復興時に実施されている活動内容を、いかに事前の平常時で処理しておけるかが重要となる。事前処理に役立つ情報を災害情報プラットフォームで提供できれば役立つ可能性がある。図 3-5-(2)-①-9 では、実際の対応における災害情報プラットフォームの平常時、災害時、復旧・復興時での一気通貫利活用のタイミングと活動内容フローを示す。

災害対応におけるこれらの検証結果は、災害情報プラットフォームのコンテンツやユーザーインターフェースの改良に反映している。

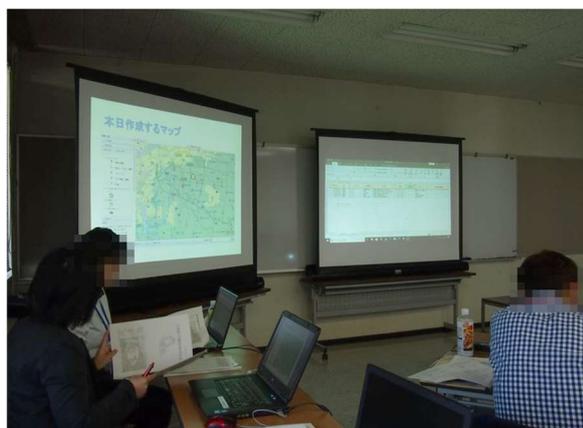


写真 3-5-(2)-①-1 (左) 平常時の研修 (被害想定情報を使った避難ルートの作成など)

写真 3-5-(2)-①-2 (右) 被害の想定情報を活用した計画の策定



写真 3-5-(2)-①-3 (左) 枚方市総合防災訓練 (6/16 ひこ防'z) 情報連携 (社協側)

写真 3-5-(2)-①-4 (右) 枚方市総合防災訓練 (6/16 ひこ防'z) (市役所側)

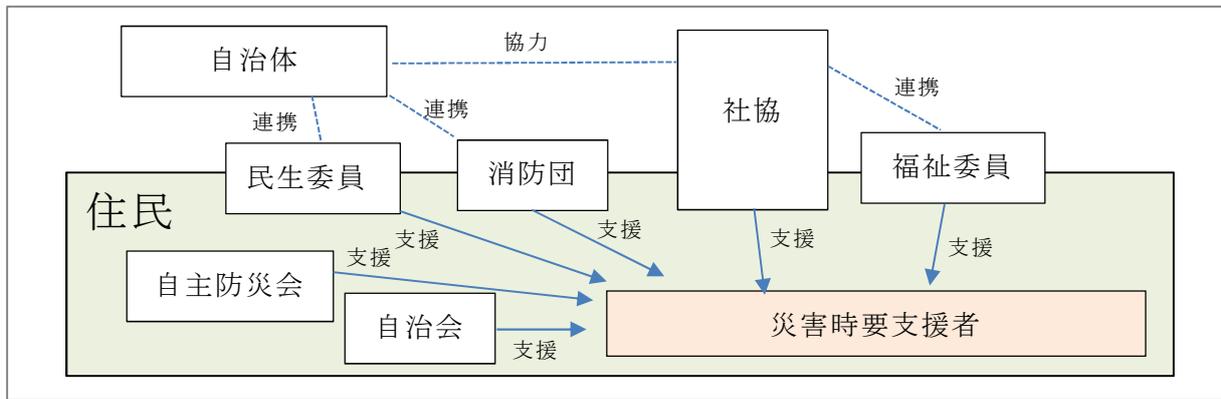


図 3-5-(2)-①-7 大阪府での災害時要支援者対応の組織関係 (概要イメージ)

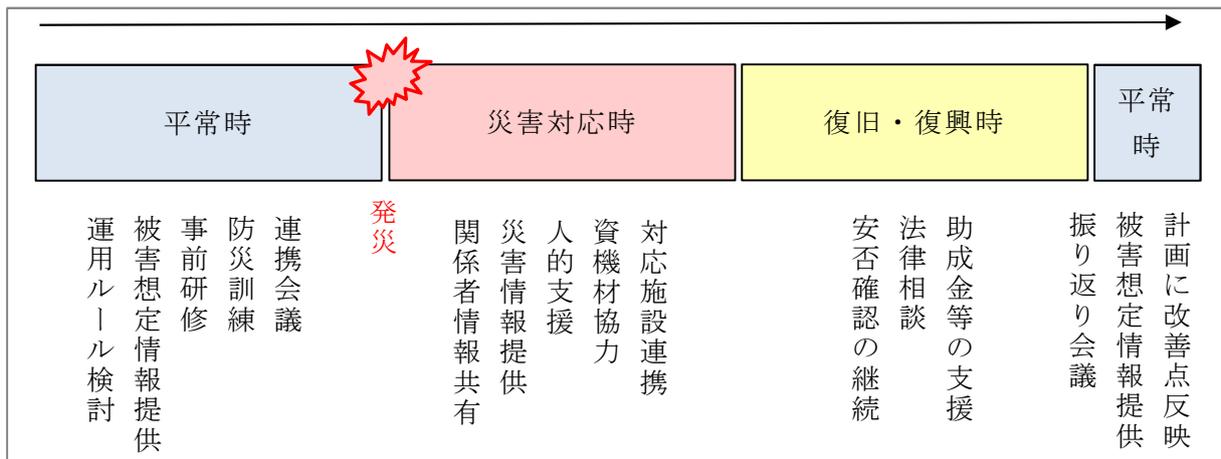


図 3-5-(2)-①-8 フェーズごとの活動概要

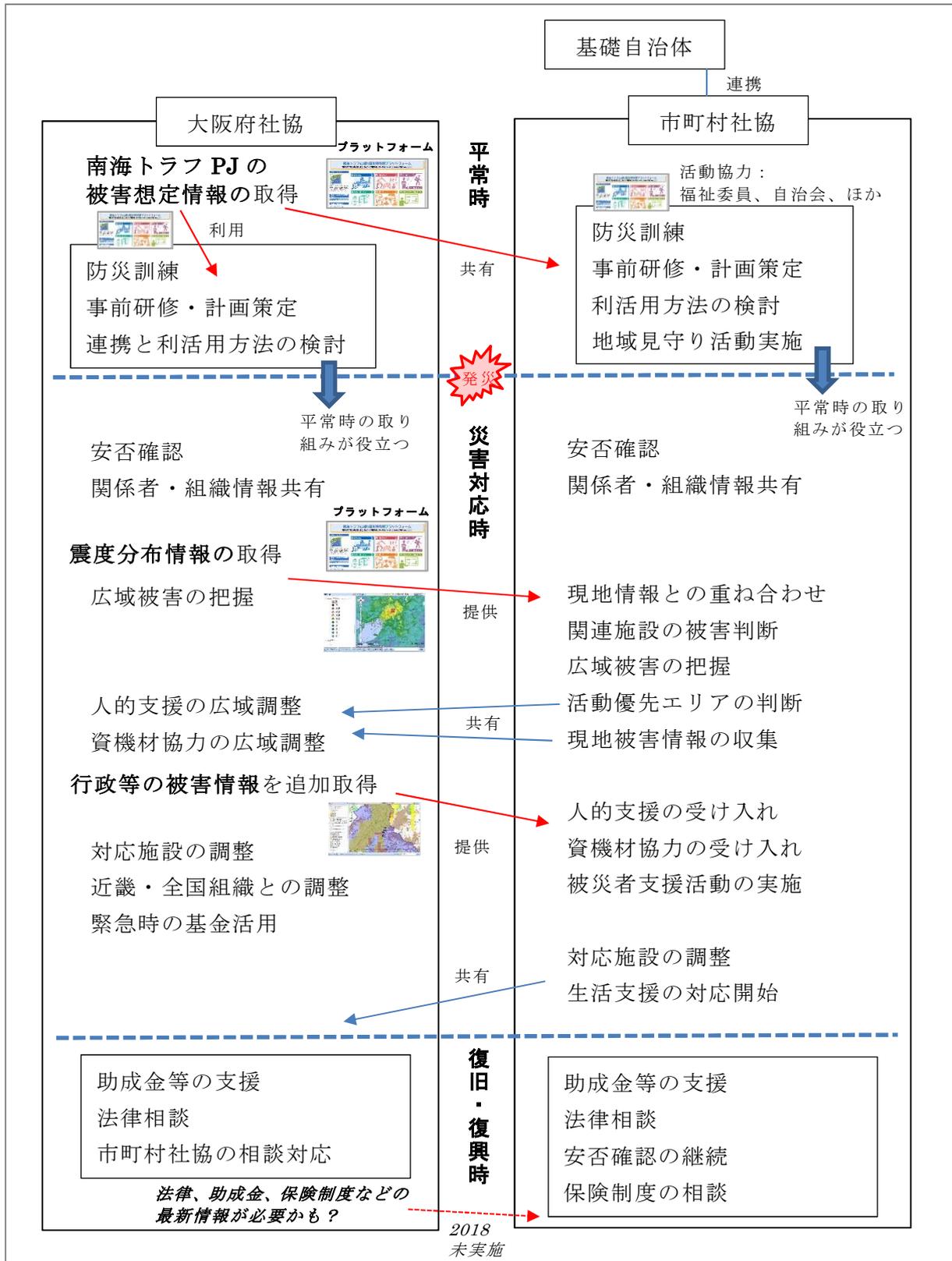


図 3-5-(2)-①-9 災害時要支援者対応における社協間の情報利活用フロー (赤い実線矢印が災害情報プラットフォームおよび機能の一部が利活用された箇所)

5) 災害情報プラットフォームの一般公開

大阪での災害対応を経験した後である令和元年度は、復旧・復興時の活動と、次の災害を見据えた事前取り組みを重視した調査と検証を行った。また、新たな研究成果をデータベースに導入した。その調査と検証結果、データを改良に反映し、令和2年3月に、最終版の災害情報プラットフォーム Ver.2.0 を一般公開した。(図3-5-(2)-①-10)



図3-5-(2)-①-10 災害情報プラットフォーム ver2.0_Top画面
(https://nankai-bosai.jp/v2.0/)

(d) 結論ならびに今後の課題

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・手法と、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を、災害情報プラットフォームに実装した。

1-eで開発、整備してきたデータ、システム、及び教材と、リスクコミュニケーション(RC)・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2.0)を一般公開した。

同時に、地域の防災計画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行政と関連組織で実施し、情報・コンテンツの一气通貫利用を行い、システム活用の地域展開(大阪府)も実施した。

災害情報プラットフォームを利用し、平常時に最新研究コンテンツを使って地域の要配慮者への対応計画を考えた。この事前取り組みが、実際の災害にて災害時要支援者(要配慮者含む)への支援活動の調整と、広域支援の体制作りに役立てられ、これまでよりも円滑な活動が行われたことを振り返り会議にて確認した。

今後の展望として、災害時要支援者の対応を行う担当部署だけでなく、初動対応の消防や医療、復旧期の交通、通信、ライフラインを担当する組織への情報利活用促進の働きかけや、復旧・復興時の経済支援に必要となる保険制度などを啓発する研修での利活用展開が必要であると考えられる。また、平常時には、防災教育の一環として学校や地域リーダーへの啓発もより強く実施すべきである。

(e) 引用文献

なし

②防災・災害関連データの利活用システム開発

(a) 業務の要約

昨年度開発した没入感のある地震応答体感環境に、本プロジェクトの他課題 1-b で実施した市庁舎建物の詳細な 3 次元モデルによる南海トラフ地震に対する地震応答解析結果を利活用するとともに、現地の 3 次元点群撮影等から作成した室内モデルによる映像を組み込むことにより、研究成果をより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へと拡張した。

(b) 業務の実施方法

対象建物について現地に赴き、室内映像を 3 次元点群撮影し、ここから椅子や机、書架等の実内モデルを作成するとともに、各階からの風景写真を撮影した。次に、他課題で実施された地震応答解析で用いられた解析モデルから揺らす場所を選択するための画面を作成した。振動データは地震応答解析から得られた応答波形を当システムに取り込んだ。最後に、対象建物の居住者に対する社会実装実験を行い、その効果を検証した。

(c) 業務の成果

1) 地域展開にむけた普及型 VR システムの拡張

名古屋大学では、本プロジェクトを通じて、HMD (Head Mounted Display) を用いた没入型の揺れ映像体感装置を開発してきた。近年の HMD および VR (Virtual Reality) 技術の進歩はめざましく、個人向けに市販されている安価な機材を用いて、極めて没入感の高い 3D 映像が再現できる。HMD のヘッドトラッキング機能 (利用者の頭部の向きを検出し、映像の向きを変更する機能) を活用して、利用者がまさに地震時の室内に居るような体験を提供するものである。昨年度において、より安価かつ簡易に多人数が利用できることを目的として開発したシステムは、写真 3-5-(2)-②-1 に示すように、利用者が写真中央の簡易型 HMD (写真中には同型が 3 台) を装着し、写真左の無線 LAN ルーターを介して接続されたノート PC からコントロールされる。本年度は、本システムの拡張版として、本プロジェクトの他課題 1-b で実施した市庁舎建物の詳細な 3 次元モデルによる、南海トラフ地震に対する地震応答解析結果を利活用し、建物内の任意の地点の揺れを選択し、その場所の室内挙動を可視化することを試みた。この際、現実感を高めるために、当該建物のある居室空間の 3D 点群計測、並びに、そのデータを元に SfM (Structure from Motion) 技術を用いて簡易 3D モデルを作成した (図 3-5-(2)-②-1 参照)。さらに、作成した簡易 3D モデルは、居室全体が 1 つの 3D モデルになっているため、ここから各家具等を個別の 3D モデルに分離した室内 3D モデルを作成した。また、さらに現実感を演出するため、庁舎の各フロアの窓から風景写真を撮影し、3D モデルの窓の外の風景画像として使用した (図 3-5-(2)-②-2、図 3-5-(2)-②-3 参照)。選択位置は、煩雑さを避けるため、1 階、3 階、5 階、7 階のそれぞれ北側 3 点 (西、中央、東) と南側 3 点 (西、中央、東) の合計 24 点から選択できるようにした (図 3-5-(2)-②-4 参照)。

以上により、階数等、場所の違いによる揺れの違い、室内挙動の違い(図3-5-(2)-②-5参照)がその場で体験可能な、より現実感のある可視化システムが開発できた。今後は、複数人が同時に体験できるという本システムの特徴を生かして、庁舎内での防災訓練等への活用をめざし、本年度末に実施した碧南市における報告会においてデモンストレーション(写真3-5-(2)-②-2参照)を行なった。その結果、本システムは参加者に好印象を与え、令和2年度の防災訓練で活用することとなった。



写真3-5-(2)-②-1 普及型の震動体感環境システム



図3-5-(2)-②-1 点群撮影した3D室内画像

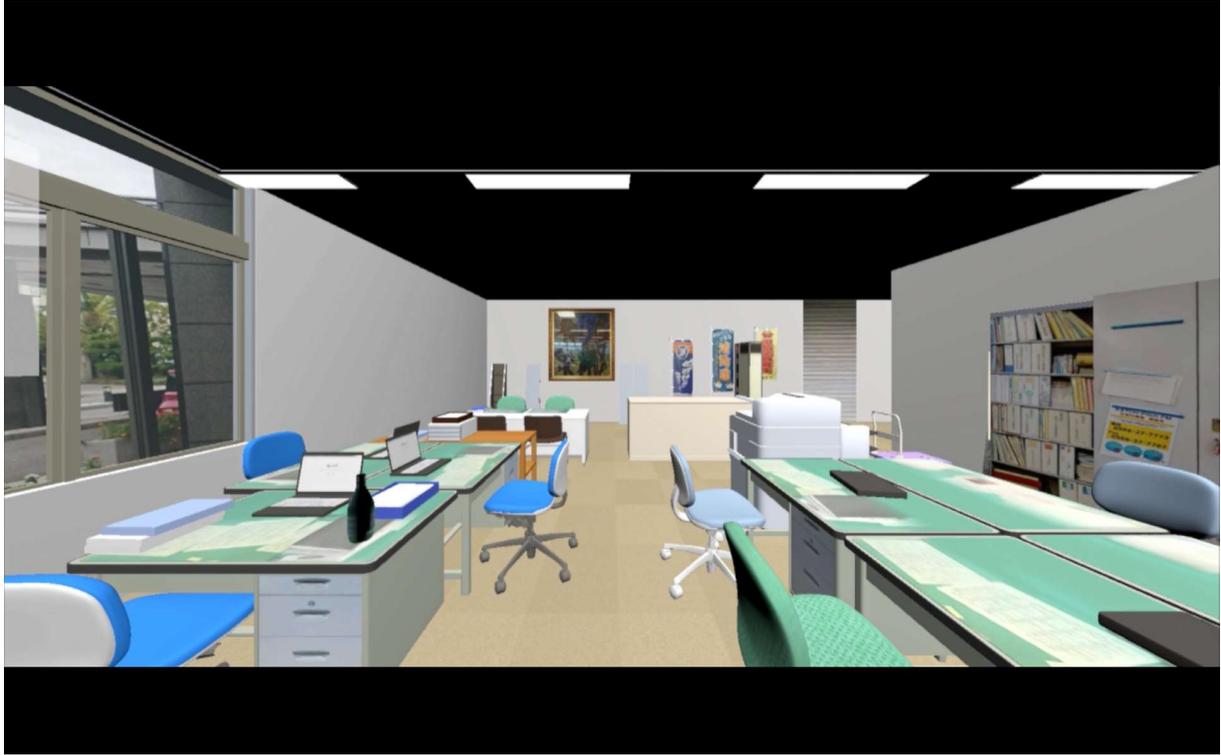


図 3-5-(2)-②-2 作成した室内 3Dモデル (1階)

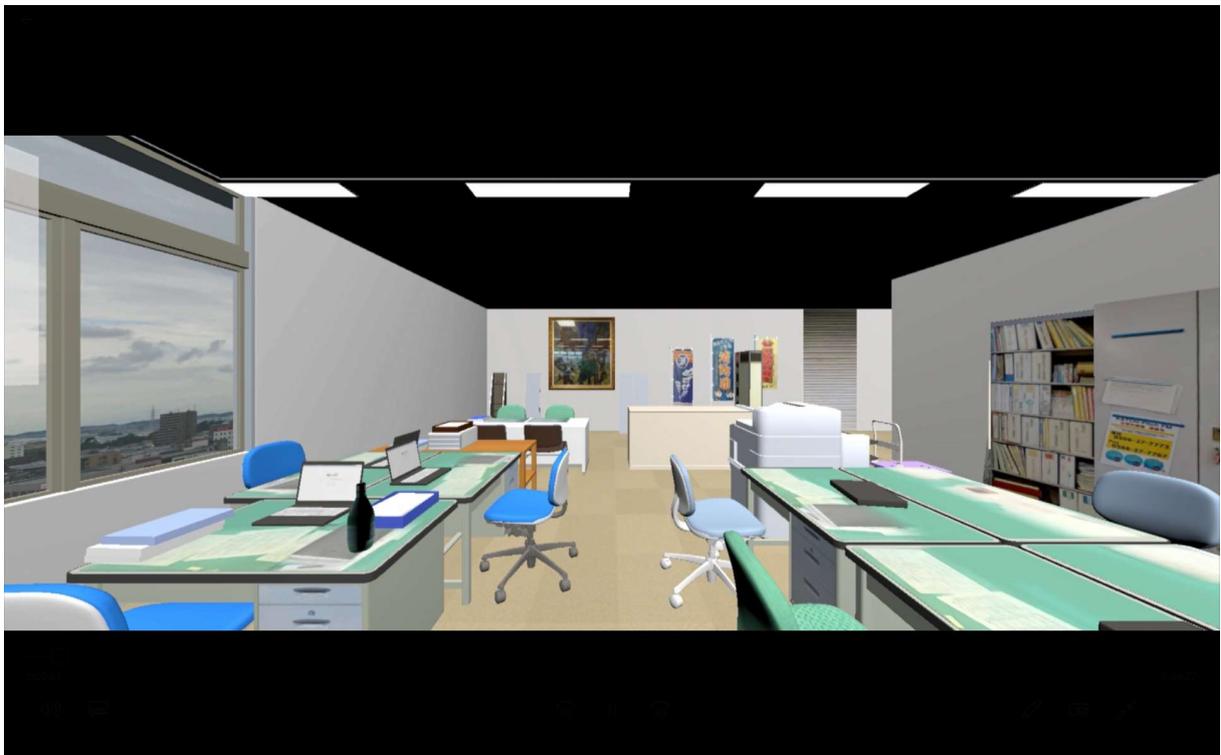


図 3-5-(2)-②-3 作成した室内 3Dモデル (7階)

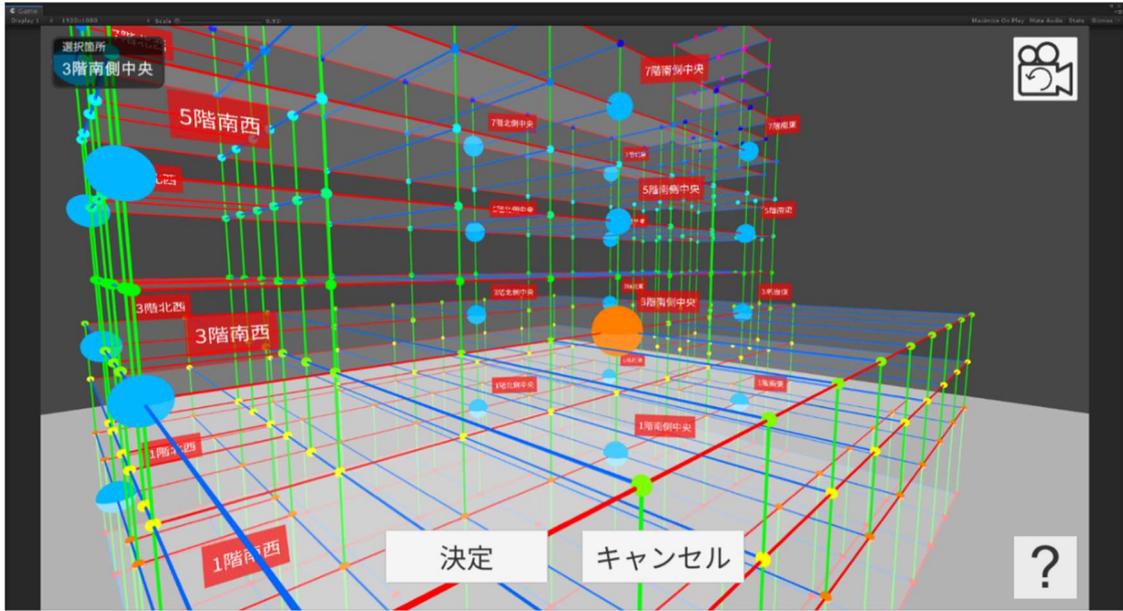
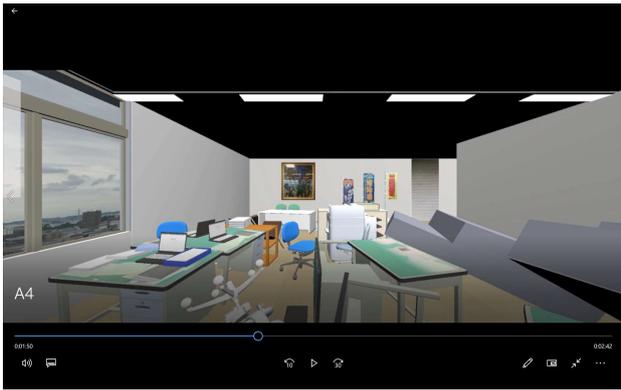
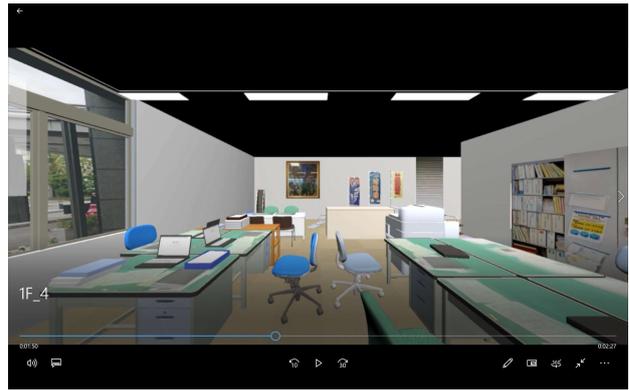


図 3 - 5 - (2) - ② - 4 室内挙動を体験したい場所の選択画面 (PC 上)



(a) 7階



(b) 1階

図 3 - 5 - (2) - ② - 5 室内挙動の1階と7階の比較 (家具固定無しの場合の例)



写真 3 - 5 - (2) - ② - 2 碧南市での報告会でのデモの様子

(d) 結論ならびに今後の課題

昨年度開発した没入感のある地震応答体感環境に、本プロジェクトの他課題で実施した市庁舎建物の詳細な3次元モデルによる南海トラフ地震に対する地震応答解析結果を利活用するとともに、現地の3次元点群撮影等から作成した室内モデルによる映像を組み合わせることにより、これまで以上に現実感のあるVRシステムへと拡張させた。今後の展望として、庁舎内での防災訓練等への活用が期待される。また、本システムは、多点同時地震観測を実施している建物に対するモニタリングシステム等への展開も期待できる。

(e) 引用文献

なし

③地震活動度および統計情報の可視化

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、また地殻活動や応力状態把握のための地震の統計情報や地殻変動の情報と併せて総合的に解析するための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と震源監視能力の向上、決定された震源情報から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、視覚化するシステムの構築を行ってきた。昨年度、DONET および陸上観測によって得られた震源情報を基に、地震の分布、地震活動度、地震活動の時空間変化等について、インタラクティブに表示するシステム構築のための検討、設計と試作を行った。今年度は、このシステムのユーザーインターフェイスを改良し、ブラウザを用いたシステムとして完成させた。

(a) 業務の要約

これまで DONET および陸上観測データによる震源決定の自動化および高精度化を進め、さらに震源情報から地震発生の時空間変化および統計情報の可視化を定期的に自動で行うシステムを構築してきた。このシステムにおいて、アーカイブデータに基づく高精度な震源情報を毎日定時に作成し、リアルタイムデータに基づく震源情報を即時更新した。震源情報をインタラクティブにエリアを設定して表示し、情報を容易に確認、モニタするためのシステムの設計と試作を行った。地震活動は、地殻内の応力場によって、その時空間分布が変化するため、精緻な震源分布の表示を通して、現在南海トラフ沿いで起こっている地殻活動の変遷をモニタリングする。今年度は、昨年度から、更に開発を進め、任意のグラフを作成し、詳しい地震活動が可視化できるシステムを構築した(図3-5-(2)-③-1)。

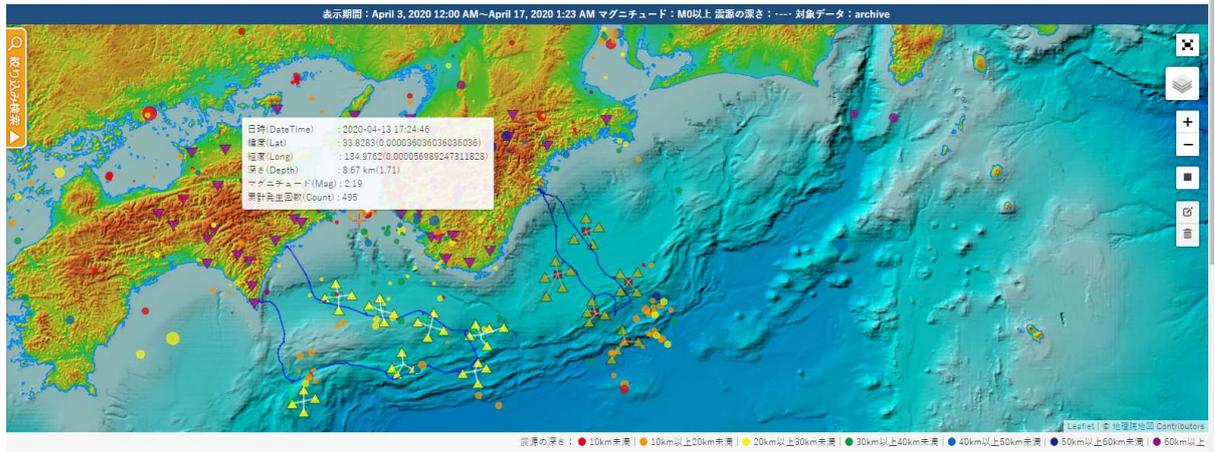


図3-5-(2)-③-1 南海トラフ地震・津波観測監視システムモニタリング情報スタート画面。カーソルをイベントに合わせて、図中のような震源情報が表示される。

(b) 業務の実施方法

今年度は、さらに詳しく地震活動を把握するため、表示されている地震の震源カタログから様々なタイプのグラフを作成することが出来るように改良した(図3-5-(2)-③-2)。ここでグラフは横軸、縦軸をリストから任意に指定できる仕様とした。これによってユーザーが好みの情報をグラフ化でき、独自の視点に基づいて震源情報を可視化、比較、分析が可能となる。それぞれの軸には「日時」、「緯度」、「経度」、「深さ」、「マグニチュード」、「累積個数」、および「サイズ分布」が指定可能である。東西方向に対する震源の深さ分布をプロットした場合を図3-5-(2)-③-3に示す。縦軸、横軸の組み合わせは自由であるが、横軸に「サイズ分布」を指定した場合の縦軸は累積個数に固定され、軸は10を底とする対数表示となる(図3-5-(2)-③-4)。表示する地震リストの地図上の範囲については、マウスで矩形をドラッグして指定する。また、地震活動度の他に、DONET観測点における水圧データを並べて表示できるようにした。本プロジェクトで実施しなかったが、この機能を拡張すれば陸上の地殻変動の観測データ等を地震活動度と並べてプロットすることも可能となる。なお、これらの表示機能は、ユーザーごとに設定できるため、様々な組み合わせでモニタリングを試みる事が可能である。

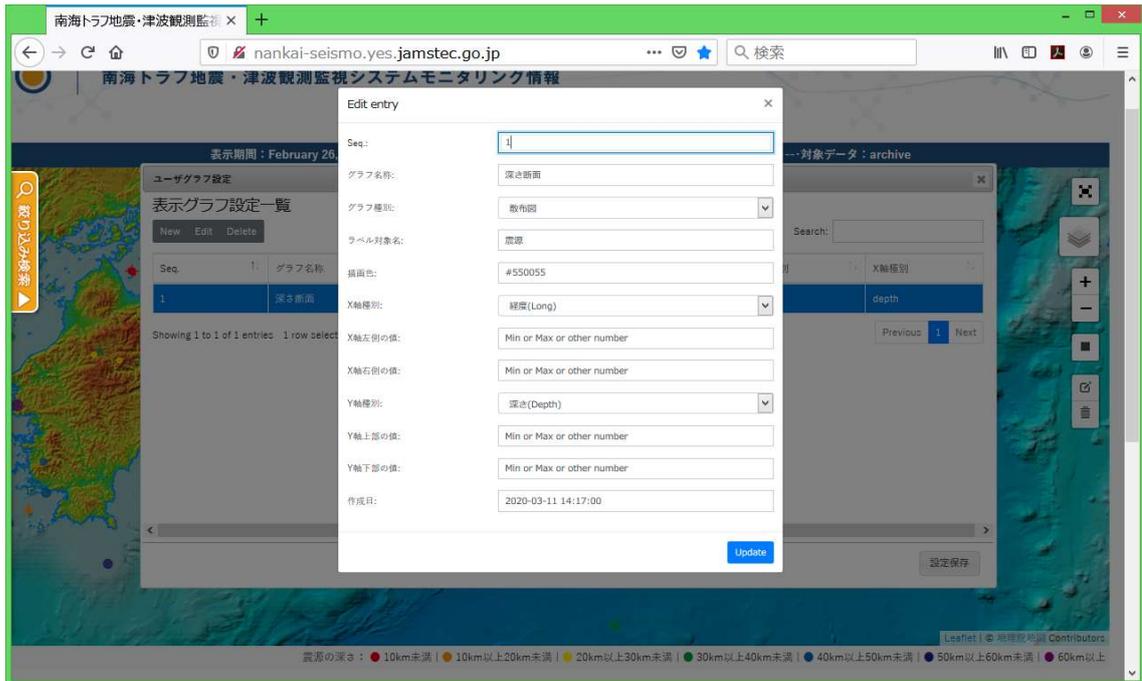


図 3-5-(2)-③-2 グラフ作成のための設定画面。グラフの縦軸、横軸にプロットする量は、日時、緯度、経度、深さ、マグニチュード、累積発生回数から任意の組み合わせで選択が出来る。

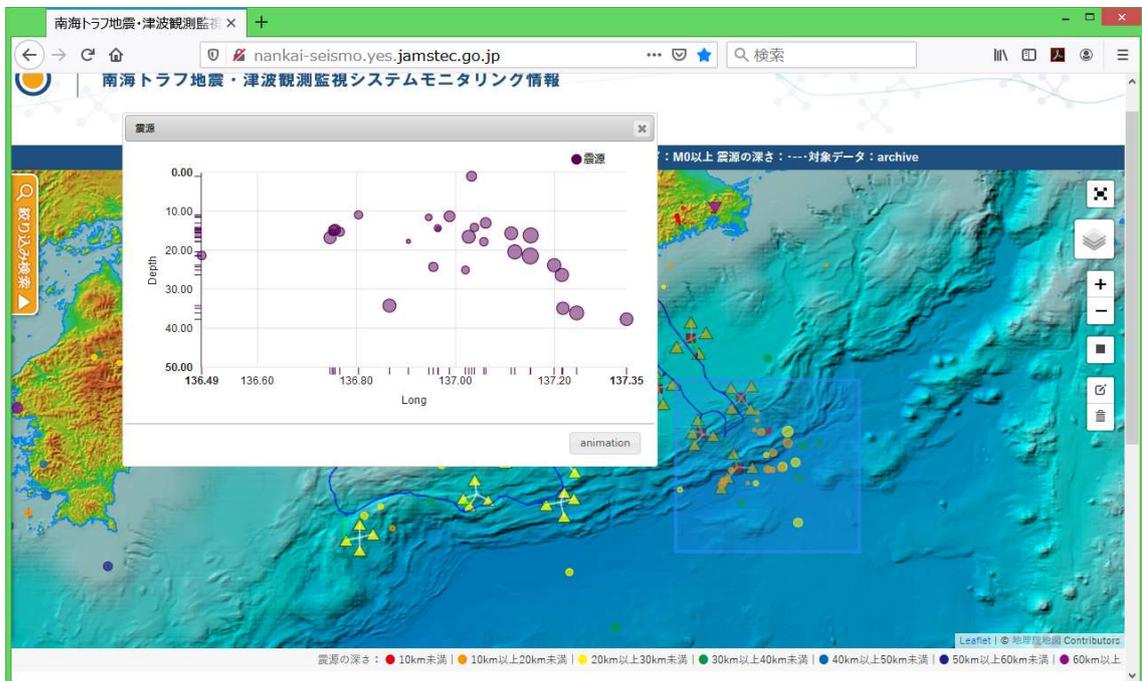


図 3-5-(2)-③-3 DONET1 観測点直下の地震について、東西方向に対する深さ断面をプロットした例。プロットに使用する震源の範囲は、マウスのドラッグ操作で指定（青四角）。

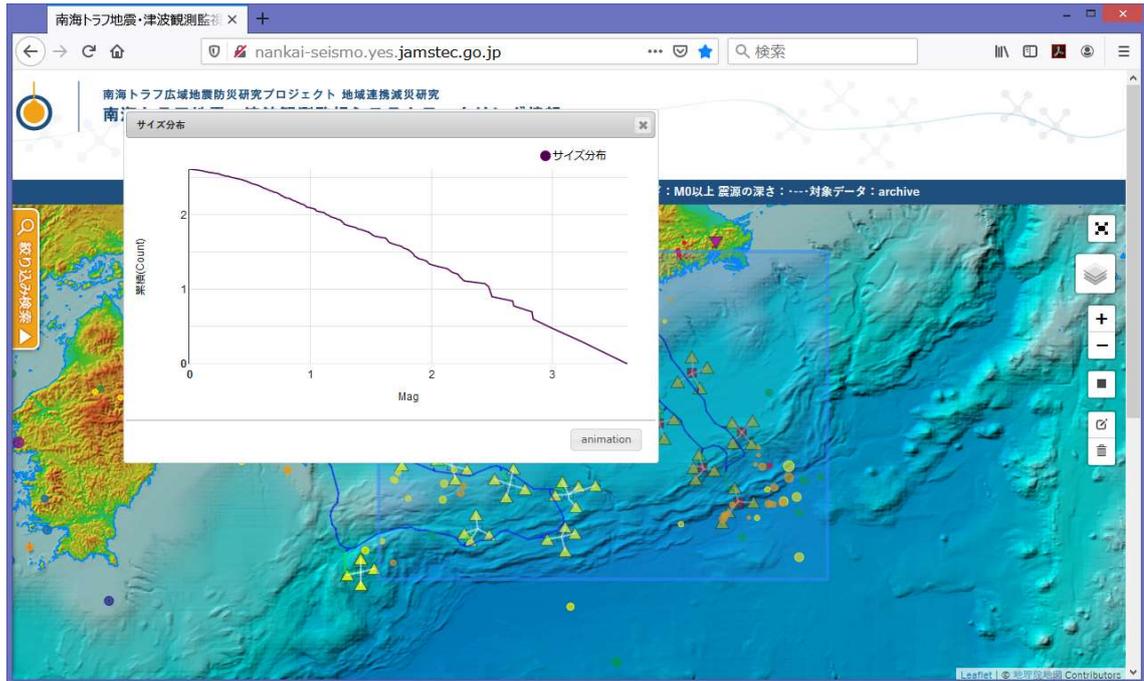


図 3-5-(2)-③-4 地震のサイズ分布を表示した例。縦軸は対数なので、0 なら累積 1 個、1 なら累積 10 個、2 なら累積 100 個の地震が発生した事を示す。

(c) 業務の成果

DONET データを用いて自動で南海トラフにおける地震活動の監視のため、震源決定を行い、震源カタログを用いた解析から地殻の応力状態の把握、地震活動の状態の可視化による分析を行うための一連のシステムを開発、構築した。これにより、南海トラフにおける地震活動の監視能力と地殻の応力状態の把握、分析能力の向上が可能となった。

(d) 結論ならびに今後の課題

地震活動を定常的にモニタし、得られる震源情報および地殻変動などの関連情報から地殻活動に関する情報を引き出すためには多様な視点に基づく様々なデータを比較することが重要である。本業務ではインタラクティブなシステムを構築し、様々な情報を自由な形で比較できるシステムの基礎を完成させた。ここで構築したシステムで比較できるのは、開発期間の制限から震源カタログに基づく情報に限られる。そのため、そこから計算される地震活動の統計的性質などは含まれない。地震活動の統計的計算も同時に行い、それぞれの時空間で比較可能なシステムを構築すれば、地震活動度と地殻の応力状態の検討がより詳しくできるようになると期待される。また、システムを拡張し、地震活動度と陸上における地殻変動観測データ等との比較も有用であると考えられる。構築したシステムでは震源を地図上にプロットしたが、詳細な地震活動の把握のためには、三次元の震源分布を既存の断層の分布等の構造データに重ねて表示する等の工夫が必要かもしれない。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の展開、情報発信する道筋をつくった。

(e) 引用文献

なし

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

本業務について過年度の平成 30 年度には、i) 避難意図構造モデルの安定性を確認する量的調査を高知市で実施、ii) 事業継続については製造業大手 4 社に対する面接調査ならびに静岡県沿岸部に立地する製造業事業所を対象とした量的調査を実施した。

令和元年度においては、i) 昨年度までに実施してきた避難意図構造の詳細分析を行うとともに、ii) 昨年度調査で重要性の明らかとなった地域の中小製造業事業者への事業継続計画の支援策に関する聞き取り調査を実施した。さらに、地域の事業所の業務継続の可否や住民の生命健康に大きく影響することから社会的重要性の高い、iii) 医療福祉施設の事業継続に関する調査を、新たに実施した。

i) 避難意図構造については、過年度に津波からの避難意図に対して主観的規範とリスク認知が影響することが示されていた。今年度の詳細分析の結果で、回答者においては居住階層が高くなるほどリスク認知が高まり、それによって避難意図が高まる媒介効果があることなどが明らかとなった。

そして ii) 地域の中小製造業事業者への事業継続計画策定の支援策として、静岡県における事例調査から、標準様式等の提供や、インセンティブの付与、策定後の実効性確保などを整理した。また、地域の安全性への影響の観点からは、事業の継続のみならず、中断も必要な場合もあることを近年の災害事例から考察した。

さらに iii) 医療福祉施設の事業継続については、入院・入所者への食事提供サービスの事業継続に焦点をあてた調査を行い、施設で一定程度の備蓄は行われているものの、多く施設で食事提供は給食サービス会社に委託されており、南海トラフ地震情報や大規模な災害時など 1 週間程度以上のインフラ支障が想定される場合には、業界全体のサプライチェーンとしての取組が必要であることを確認した。

(b) 業務の実施方法

i) 避難意図構造の理論モデルの詳細分析では、過年度に高知市での調査によって取得したデータをもとに解析を行った。

地域の中小企業の事業継続計画への支援策については、静岡県御殿場市商工会の取り組みを事例研究として、聞き取り調査を行った。

福祉施設の事業継続に関する調査においては地域産業の継続の観点から、その食事供給等に焦点をあてた。そして、①福祉施設に対する面接調査を高知市で実施し、②医療・福祉施設での給食事業の継続に係る給食サービス事業者および医療用食材卸事業者を対象とした量的調査を実施した。また、③医療・福祉施設への給食関連事業者団体への面接調査を実施した。

(c) 業務の成果

1) 避難意図構造モデルに関する詳細分析

a) 分析の概要

津波避難行動に対する避難意図構造モデルの検証については、過年度の報告書および、それに基づく宇田川ら（2020）で発表された高知市の調査データに関して再分析を行った。宇田川ら（2020）では津波からの避難意図に対して主観的規範とリスク認知が影響することが示されている。さらに、居住階数の違いや居住年数の違いに関する分析がなされている。本年度は宇田川ら（2020）で分析していないこれら要因の影響についてさらに、高知市のデータが意味するものを正確に把握することを目的とした分析を行った。具体的には、居住階数や居住年数といった変数について、それらが主観的規範やリスク認知とは独立に避難意図に効果を持つのか、居住年数の高い地域において特に主観的規範の影響が強くみられるのか（居住年数と主観的規範の交互作用効果）、居住階数の低い人にとってリスク認知が避難意図に強く影響するのか（居住階数とリスク認知との交互作用効果）、をそれぞれ回帰分析によって検証した。

b) 分析結果

ア) 各変数について

居住年数に関して地域ごとに定義する2つの変数を用いた。1つ目は調査回答から作成した変数であり、回答者が回答した自分の地域に関して、南金田および知寄町1丁目を1、日の出町および二葉町を2、宝永町および弥生町を3とした変数である。これは居住年数の高い人が多く住んでいる地域ほど高い値として設定している。同様に、国勢調査のデータから、各地域の居住10年以上の家の割合を二つ目の変数として用いた。どちらも値が高いほど居住年数の高い人たちが住んでいる地域に回答者が住んでいることを表している。

居住階層については、調査回答者の回答から、その人がマンションの3階以上に住んでいる場合を1、それ以外を0としたダミー変数を用いた。これは、地震津波の発生に伴い、居住している部屋まで浸水してこない場合かどうかを判別する目的で設定した。

イ) 変数間の相関

居住年数に関する調査回答の変数と国勢調査に基づく変数の相関は非常に高かった ($r=.91$, $p<.01$)。居住階層との相関は、調査の居住年数とは $r=-.30$ ($p<.01$)、国勢調査の居住年数とは $r=-.20$ ($p<.01$) と、どちらも弱い負の相関を示した。

居住年数や居住階層と、避難意図や行動意図モデルの6因子との相関を表3-5-(2)-④-1に示す。居住年数が長い地域に住んでいるほどリスク認知が低い傾向が見られた。また、居住階層が高いほどリスク認知が高く、主観的規範も高い傾向が見られた。

表 3-5-(2)-④-1 居住年数・居住階層と避難意図・意図モデル6 因子との相関

	避難意図	リスク 認知	有効性	実行 可能性	コスト	主観的 規範	記述的 規範
居住年数 (調査)	-0.01	-0.26	0.04	-0.01	0.05	-0.08	0.03
	0.84	<.0001	0.36	0.87	0.33	0.08	0.56
居住年数 (国勢)	0.00	-0.24	0.07	-0.03	0.05	-0.07	0.04
	0.97	<.0001	0.14	0.52	0.32	0.12	0.40
居住階層	0.13	0.33	0.13	-0.14	0.10	0.24	-0.09
	0.00	<.0001	0.00	0.00	0.03	<.0001	0.06

ウ) 居住年数に関する分析

避難意図を従属変数、主観的規範と居住年数を独立変数とした回帰分析の結果を表 3-5-(2)-④-2 に示す(切片に関する記述は省略した)。モデル 1 は主観的規範が避難意図に有意な効果を持つことを示している。モデル 2 は避難意図に対する居住年数の効果は有意ではないことを示している。モデル 3 は避難意図に対する主観的規範の効果は居住年数を投入しても変わらないことを示している。モデル 4 は主観的規範と居住年数の交互作用が有意ではないことを示している。これらの結果は、地域の居住年数は避難意図に対して直接の効果を持たないだけでなく、主観的規範に対する媒介及び調整効果も持たないことを示している。

表 3-5-(2)-④-2 避難意図に対する主観的規範と居住年数の効果

	モデル 1		モデル 2		モデル 3		モデル 4	
	β	p	β	p	β	p	β	p
主観的規範	0.46	<.01			0.45	<.01	0.43	<.01
居住年数(調査)			-0.01	0.84	0.06	0.17	0.06	0.17
交互作用							0.03	0.82
主観的規範	0.46	<.01			0.45	<.01	0.40	0.06
居住年数(国勢)			0.00	0.97	0.06	0.12	0.06	0.12
交互作用							0.06	0.79

エ) 居住階層に関する分析

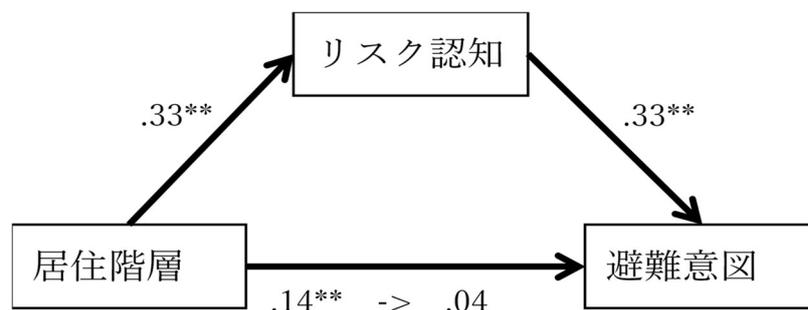
避難意図を従属変数、リスク認知と居住階層を独立変数とした回帰分析の結果を表 3-5-(2)-④-3 に示す(切片に関する記述は省略した)。モデル 1 はリスク認知が避難意図に有意な効果を持つことを示している。モデル 2 は居住階層が避難意図に有意な効果を持つことを示している。モデル 3 はリスク認知と居住階層を同時に回帰分析に投入すると、居住階層の効果は有意ではなくなり、リスク認知の効果が残る

ことが示されている。これは居住階層の避難意図に対する効果がリスク認知によって媒介される可能性を示している。そこでブートストラップ法によって媒介分析を行ったところ(図3-5-(2)-④-1)、間接効果は有意であることがわかった($p < .01$)。したがって、回答者においては居住階層が高くなるほどリスク認知が高まり、それによって避難意図が高まることが示された。

モデル4は交互作用効果が有意であることを示している。そこで、低階層と高階層に分けて避難意図に対するリスク認知の効果を検討したところ、低階層でも高階層でも有意な効果が示されたが、低階層よりも($\beta = 0.23, p < .01$)高階層の方が、効果が強いことが示された($\beta = 0.51, p < .01$)。

表3-5-(2)-④-3 避難意図に対するリスク認知と居住階層の効果

	モデル1		モデル2		モデル3		モデル4	
	β	p	β	p	β	p	β	p
リスク認知	0.34	<.01			0.33	<.01	0.23	<.01
居住階層			0.13	<.01	0.04	0.44	-0.03	0.52
交互作用							0.21	<.01



図中**は1%水準未満で有意であることを示す

図3-5-(2)-④-1 リスク認知の媒介効果

2) 地域産業の事業継続に関する調査研究

a) 企業の事業継続に関する公的機関支援の事例調査

地域における企業の事業継続計画(Business Continuity Plan、BCP)に関する公的機関の支援事例について、静岡県取り組みの内容や効果などを、静岡県庁および御殿場市商工会対象として聞き取りを行った。

ア) 調査結果

①静岡県庁

静岡県内企業は、東海地震の警戒宣言をトリガーとした防災対応や事業継続対応について検討してきた経緯から、東海地震対策を南海トラフ地震に関する情報による対

策へ置き換えようと考えている企業が多い。警戒宣言ありきの対応が前提となっていたことから、これを払拭することが必要となっている。

そして49人以下の小規模な事業所におけるBCP策定率は16%程度であることから、令和3年度を目途に策定率25%を目指している。静岡県は支援策として、静岡県事業継続計画モデルプランを公開しており、入門編（10業種別に様式を用意）と本編とを用意している。さらに、BCP普及啓発を目的に静岡県BCP研究会を開催し、企業、大学、民間、行政等が連携し情報交換の場を提供している。加えて指導者養成や専門家派遣制度も設けている。

また、事業の再建に必要な資金の迅速な提供を目的に、「災害時発動型予約保障（BCP特別保証）」が、静岡県信用保証協会によって運用されている。この予約保障はBCP策定済み企業を対象にしており、事前に予約しておけば大規模な地震など激甚な災害発生の際に利用できる。また、静岡県のモデルプランや中小企業庁の運用指針に準拠した計画策定を要件としていることから、BCP取り組みのインセンティブとして効果が期待されている。

②御殿場市商工会

御殿場市商工会の会員企業は約1,520社あり、最も多い種別は商業である。商業の内訳は、御殿場プレミアムアウトレットやキリンなどの大企業から中小企業など120社ほどで、他には建設業が多く450社ほどである。そして想定する災害として富士山の噴火による火山灰の降下が懸念され、製造業では防災対策が熱心である。

商工会独自で会員企業に対するBCPの普及啓発を行っている。具体的には、セミナーによるBCP策定講習と安否確認システムの一括導入である。セミナーでは、3回のワークショップによる研修を行い、参加した6企業中5社がその後計画策定に至っていた。また商工会（2/3）と企業（1/3）の費用負担による専門家派遣により、1社あたり10万円強で計画策定に取り組める事業を行っていた。計画策定にあたっては、静岡県のモデルプランを用いるよう推進している。

また、静岡大学が構築した安否確認システムに、商工会はユーザー数500まで対応できるものを契約している。一方で、企業側は、ユーザー100までの利用で3千円/月以下の負担ですみ、年間2万円程度の安価な値段で利用可能である。現在は、企業規模で20名程度の小企業を中心に利用が進んでいる。さらに平成29年度には、当安否確認システムを利用している企業に安否報告カードを配布し、机上訓練を行った。

商工会議所における企業のBCP策定支援での課題として、ハザード情報が挙げられた。市から提供されるハザード情報は住民（夜間人口）を対象としたものであるが、例えばアウトレットモールなどの商業施設では集客時間中の被災が懸念されるためである。

イ) 今後に向けて

調査結果では、地域の中小企業の業務継続計画の策定支援策として、①BCP策定そのものを支援する様式や事例の提供、②BCPの実効性を高めるための保障制度や対策の提供、③BCP策定にインセンティブを付与することにより策定のモチベーションを高める効果を狙った取組みなどが行われていた。中小企業におけるBCP策定

においては、策定に着手するまでのハードルが高いことが大きな阻害要因となっていることから、これらの地域施策は一定の効果が得られると期待される。

一方、BCPの策定率を指標としてとらえると、その効果は未だ限定的であり、BCP策定を促進するとともに、従来の防災対策を促進させる対策も重要であり、特に防災対策に重点を置いた事業継続力強化計画認定制度の活用も望まれる。

ウ) 南海トラフ地震に関連する情報（臨時）への対応が示唆するBCPの今後

平成30年7月豪雨災害における岡山県総社市のアルミ工場爆発事故や、令和元年佐賀豪雨における佐賀鉄工所による約5万リットルの油流出など、昨今の水災害による2次被害で周辺地域への有害物質の拡散が懸念されている。本来、事業継続計画は、企業が自社の操業をいかに継続するかを目的としたものであるが、災害の影響により自社の操業そのものが周辺地域に与えるリスクの分析と、地域のための操業停止判断についても事業継続計画で考える必要性が明瞭になってきた。

過年度に実施した静岡県における製造業への量的調査結果では、南海トラフ地震に関する情報（臨時）が発表された場合における対応判断は、事業所でなされると回答した企業が多く、事業所独自で地域の災害環境や社会状況を読み解き、対応を判断する必要性が高まっている。事業所での判断においては、福祉施設の事業継続状況が、社員の出勤可否に影響することから次項で調査を行っている。

その一方で、現在主流である自社とサプライチェーンを見据えたBCPでは、会社全体の事業継続に係る判断は本社機能に委ねられる傾向があり、事業所単位での判断は安全・労務管理に位置付けられている。しかしながら、災害時における周辺地域への負の影響を想定すると、その判断如何によっては会社全体の事業継続に多大な損失を及ぼす懸念がある。

今後においては、自社の直接的な重要業務の継続といった近視眼的なBCPではなく、自社の事業継続による周辺地域への影響も考慮し、地域との共生といった中長期的な観点でのBCPへの転換が求められると考えられる。南海トラフ地震に関する情報への対応は、本来BCP策定プロセスで議論されるべき自社の社会的位置づけを、“自社の操業停止判断基準”といった視座からとらえなおす好機であると考えられる。

c) 医療福祉機能の事業継続

ア) 調査の概要

災害時の医療活動の事業継続については、これまでも多くの研究がなされている。ただし、それらは災害派遣医療チーム（Disaster Medical Assistance Team; DMAT）や災害拠点病院等の超急性期に関する医療機能に関する対策が検討の中心だった。しかし、東日本大震災などの過去の災害では、拠点病院に医療措置というよりも福祉的措置が求められる高齢者等が多数来訪していた。また、令和元年台風15号や台風19号に際しては、長期停電による給食サービスの停止などの施設機能の低下による病院間の移送がなされた事例も見られた。そして、南海トラフ地震対策としては、「南海トラフ地震に関連する情報」の発表時に、安全性に留意しつつ通常の地域医療や福

社機能の停止を避ける必要がある。福祉施設等の事業継続状況は、前項で報告したように地域における事業所の事業継続の可否にも影響することから重要である。

こうした観点から、災害拠点病院等での超急性期の重症患者に適切に医療資源を投入するためにも、また一般病院や福祉施設の利用者そのものの命を守るためにも、一般病院や福祉施設の機能維持が必要といえる。そこで、医療・福祉施設の事業継続にむけて、地域産業やサプライチェーンの事業継続の観点から、入院・入所者への食事供給等に焦点をあてて調査を行った。

具体的には、①福祉施設に対する面接調査を高知市で実施した。また、②医療・福祉施設での給食事業の継続に係る給食サービス事業者および医療用食材卸事業者を対象とした量的調査を実施した。そして、③医療・福祉施設への給食関連事業者団体への面接調査を実施した。

イ) 福祉施設に対する面接調査

①調査の概要

福祉施設を対象に、グループ・インタビューを行った。インタビューは、高知市内において特別養護老人ホーム事業を行っている5事業者を対象とした。ヒアリングは、3事業者と2事業者にわけて各約2時間実施した。対象事業者とした福祉施設の給食の形態としては、従来型およびユニット型（厨房で作られた料理をユニット内のキッチンで配膳）の両方を対象とした。

②調査の結果

食事の形態は、常食ではなく「刻み食」や「とろみ食」などの利用者が大半であり、一部の施設では経管栄養中の利用者も存在した。調理作業は、直営で行っている施設は1つのみで、残り4施設は給食サービス企業に委託をしていた。食材は、給食サービス会社が調達する場合のほか、食材卸や地元小売から調達している場合もあった。

施設における、食事の備蓄量は、多い施設でも5日分程度であった。より多量の備蓄は、費用および保存スペースの制限から困難とされた。なお、廃棄ロスを防ぐため、缶詰等については計画的に平常時の食事メニューに組み込まれていた。そのほか熱源がなくても提供可能な主食として、災害対応のためアルファ米等は備蓄されていた。

そして災害発生時の食事サービスに関する事業継続上の課題としては、厨房内での調理作業の継続のみならず、居室における食事介助の人員の確保が課題であることが多く指摘された。健常者と異なり、入所者への食事サービスを継続するためには、入所者の特性に応じて食事介助を行えるスタッフが必要となるためである。津波襲来後は通勤経路が浸水し、職員の参集や応援派遣は難しい可能性があり、施設における他サービスの継続と同様に職員確保が大きな課題となることが改めて確認された。

なお調査においては、食事サービス事業継続のほか、津波襲来時の緊急避難対策の課題についても多く指摘された。介護度の高い入居者を停電時に高層階に避難させることは、特に職員数が少ない夜間には困難とされた。

ウ) 医療・介護向けの給食サービス業および食材卸を対象とした量的調査

①調査の概要

病院や福祉施設等に給食サービスを提供している事業者、および、食材を供給している事業者を対象に、その災害対策についてアンケート調査を行った。調査票を各事業者の防災担当に郵送し、回答後に郵送で返送を求める方法とした。調査期間は、2019年11月6日から12月3日とした。調査仕様の詳細について、給食サービス事業者および、および、食材卸事業者毎に表3-5-(2)-④-4に示す。

表3-5-(2)-④-4 避難意図に対するリスク認知と居住階層の効果

	給食サービス事業者	食材卸事業者
対象事業者	日本メディカル給食協会会員	全国病院用食材卸売業協同組合
配布範囲	南海トラフ地震防災対策推進地域指定市町村を有する都道府県内に本社のある事業者	全事業者
配布数	172	55
回収数・率	39 (回収率 23%)	16 (回収率 29%)

②調査の結果

i) 事業規模

回答のあった食材卸事業者が食材を納品している事業所数は100施設以下から1,000施設以上まで幅があった。1~100施設と回答した場合には中間値の50施設で代表させ、最多の1,000施設以上の場合には最小値の1,000施設で代表させると、1社あたりの提供数は700施設程度となる。(表3-5-(2)-④-5)

朝食あたりの提供食数でも、回答9事業者では、最小が200食以下、最大20万食と幅以上が大きく、かつほぼ均等に分布していた。前述と同じように中間値で代表させると、平均で5万食程度を供給している。

表3-5-(2)-④-5 食材卸業の提供施設数

	調査数	なし	1 5	2 1 0 0	5 2 0 0	1 5 0 0	1 0 0 0 以上
(1)医療施設:病院、診療所等	16 100.0	-	5 31.3	2 12.5	7 43.8	2 12.5	-
(2)老人福祉施設:介護老人保健施設・特別養護老人ホーム等	16 100.0	-	3 18.8	5 31.3	7 43.8	-	1 6.3
(3)その他:給食サービス会社等	16 100.0	1 6.3	11 68.8	1 6.3	2 12.5	-	1 6.3

回答のあった給食サービスでは、提供先が医療機関の場合は10施設以下が過半数を占め、福祉施設の場合は若干多く50施設以下で3分の2、10施設以下では4割弱とな

る。選択肢の中央値で代表させると、平均で医療関係 22 事業所、福祉関係 26 事業所となる。提供食数でみると、平均 401 食となるが、提供食数 501 食以上が半数強に当たる 20 社を占める。(表 3-5-(2)-④-6)

表 3-5-(2)-④-6 給食サービス業の提供施設数

	調査数	なし	1 5 1 0	1 1 5 2 0	2 1 5 5 0	5 1 5 1 0 0	1 0 0 以上	無 回 答
(1)医療施設:病院、診療所等	39	3	20	6	3	1	5	1
	100.0	7.7	51.3	15.4	7.7	2.6	12.8	2.6
(2)老人福祉施設:介護老人保健施設・特別養護老人ホーム等	39	4	15	2	9	4	3	2
	100.0	10.3	38.5	5.1	23.1	10.3	7.7	5.1

ii) 事業エリア

全ての回答食材卸事業者が、複数市町村にまたがって範囲の施設に食材を納品している。ひとつの都道府県内の複数市町村を対象としている事業者が 8 社、複数の都道府県に展開している事業者が 8 事業者と同数であった。

給食サービス事業者でも、4 以下の都道府県エリアにまたがって提供している事業者が最も多く 4 割強の 16 社となっており、食材卸業と同等であった。ただし、一つの市町村内と狭い範囲で事業を行っている事業者も 1 割にあたる 4 社ある一方で、6 都道府県以上にまたがる事業者も 2 割の 8 社におよんでおり、事業規模の大小は両極に分かれている。

(図 3-5-(2)-④-2)

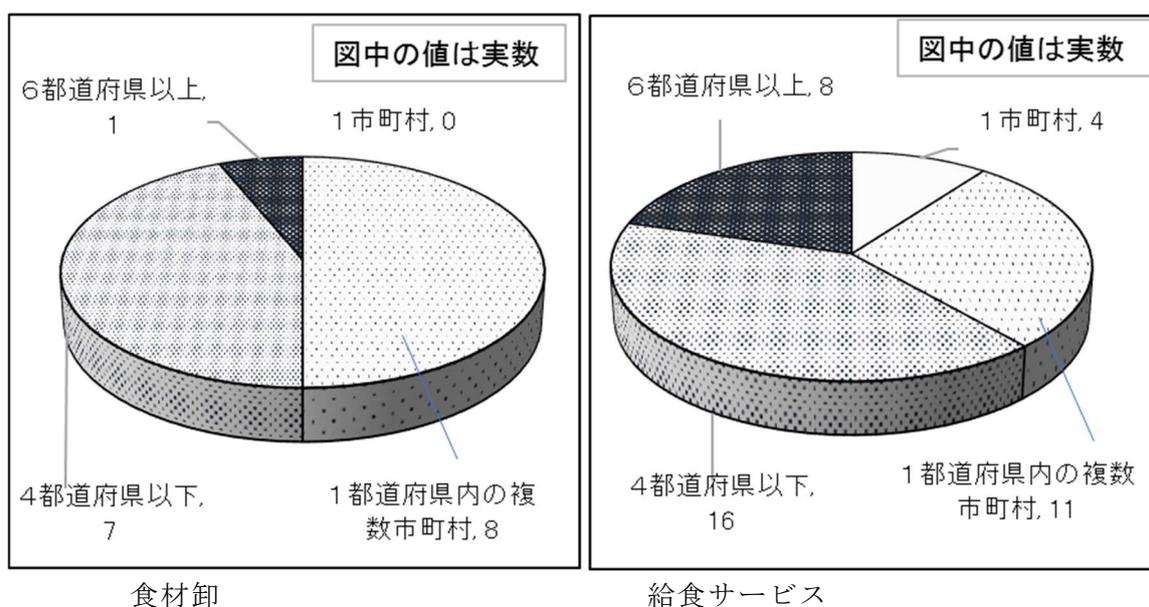


図 3-5-(2)-④-2 提供施設の空間的範囲

iii) 災害被害に対する懸念

食材卸における地震時の懸念としては、「揺れによる自社の施設の建物や設備の損壊」、「水や電気、ガスなどの供給停止」を最も多く4分の3にあたる12社が心配している。そして同じく12社で「津波で浸水の恐れある地域内に納品先や配送ルートがある」ことを懸念している一方で、「津波による自社の施設（オフィス、事業所等）への浸水」は2割以下の3社にとどまっている。自社の立地よりも、食材の納品先となる施設及び配送ルートへ懸念が高い様子が伺える。

一方、給食サービス業では最も多く4分の3にあたる30社と最も多くの事業者が「水や電気、ガスなどの供給停止」をついで、3分の2にあたる事業者が「従業員を確保できるか心配」（26社）を挙げており、給食事業を受託している施設の厨房の機能支障および、施設へ職員を派遣できるか懸念している様子が伺える。一方で、「派遣先の津波の恐れ」をあげる事業者は3分の1にあたる13社となっていた。（図3-5-(2)-④-3）

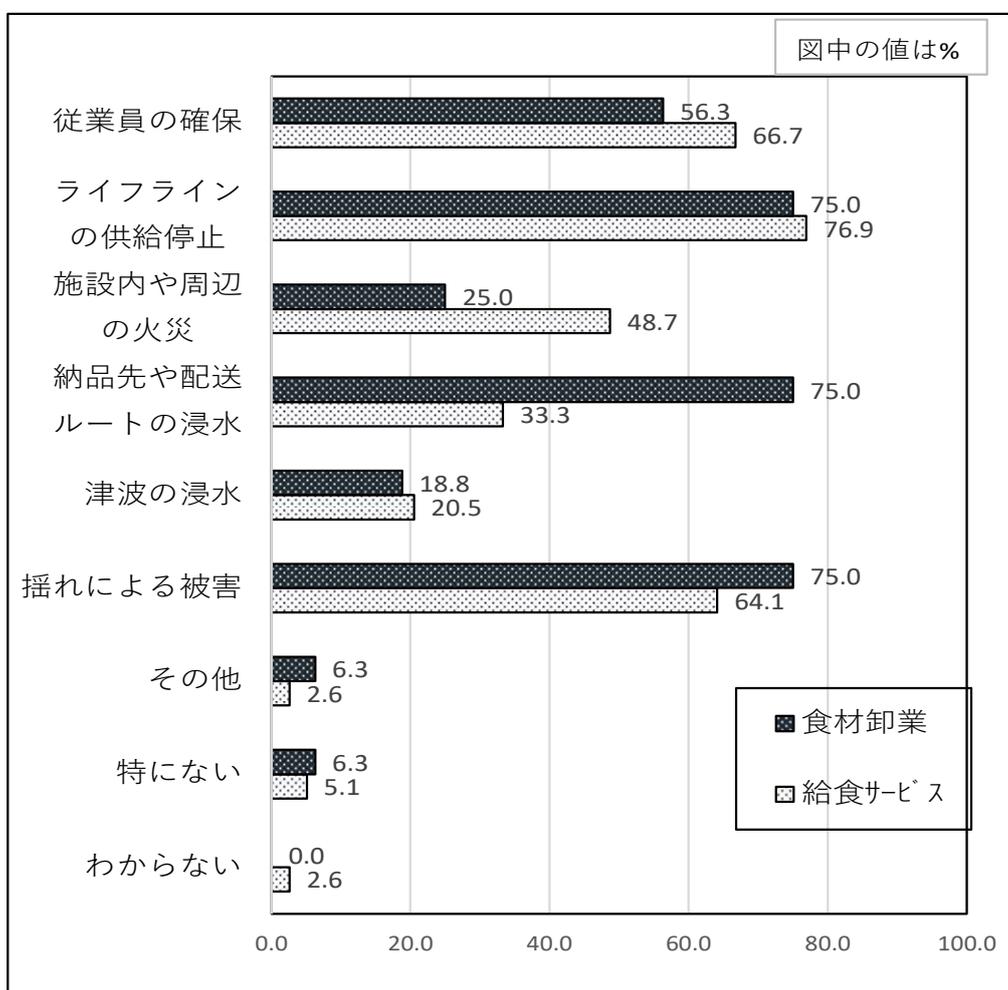


図3-5-(2)-④-3 地震による被害で心配なこと

iv) 地震・津波対策

回答のあった食材卸では、前項で揺れによる被害は心配している施設が多かったが、「自社の施設の耐震化」をしている食材卸事業者は4分の1にあたる4社にとどまる。「拠点稼働のための自家発電機の設置」や「燃料の確保」も1割強の2社にとどまる。また、「調達

先や納品先と協働した防災訓練の実施」は1社のみであった。逆に、比較的多いのは、4割強の7社が実施している「従業員（配送中のスタッフを含む）の安否を確認する仕組みの導入」と「地震を対象とした防災訓練の実施」である。なお、その他としてあげられていた対策はいずれも備蓄である。

給食サービス事業者においても、「自社の施設の耐震化」対策を進めているのは7社に1社程度の6社にとどまる。「拠点稼働のための自家発電機の設置」や「燃料の確保」も1割程度と少ない。他方、「地震を対象とした防災訓練の実施」は2割強の9社であったが、業態から考えれば求められる「派遣先の事業所の防災訓練に参加」している事業者は過半数の20社に上っている。なお、その他としてあげられていた対策は非常食や水の確保、寝所の確保である。

v) 備蓄

すべての回答のあった食材卸事業者では一定程度以上の備蓄をしており、「1～2日」と少ない備蓄量の事業者も1社にとどまる。最も多い日数は4割を超える「6日以上」の7社で、ついで「4～5日」の5社と合わせると全体の4分の3の事業者が4日分以上の備蓄をしている。（図3-5-(2)-④-4）

一方、給食サービスでは備蓄量は少ない傾向であった。「在庫はない」あるいは「1日未満」という事業者が半数近い17社を占める。備蓄をしている事業でも、「1～2日」及び「3日」と回答した事業者がそれぞれ2割弱の7社であり、「6日以上」を備蓄している事業者は1割の4社にとどまった。

ただしサービス提供先の医療機関や福祉施設で備蓄をしているところも多い。半数近い事業者の19社が提供先の「多くの施設では備蓄をしている」としている。その一方で、「備蓄している施設はない」（4社）あるいは「少しの施設では備蓄をしている」（11社）と4割近い事業者では提供先でも備蓄量は乏しい。食材卸からの供給あるいは地元の調達先からの供給がないと短期間で給食を出せなくなることになる。

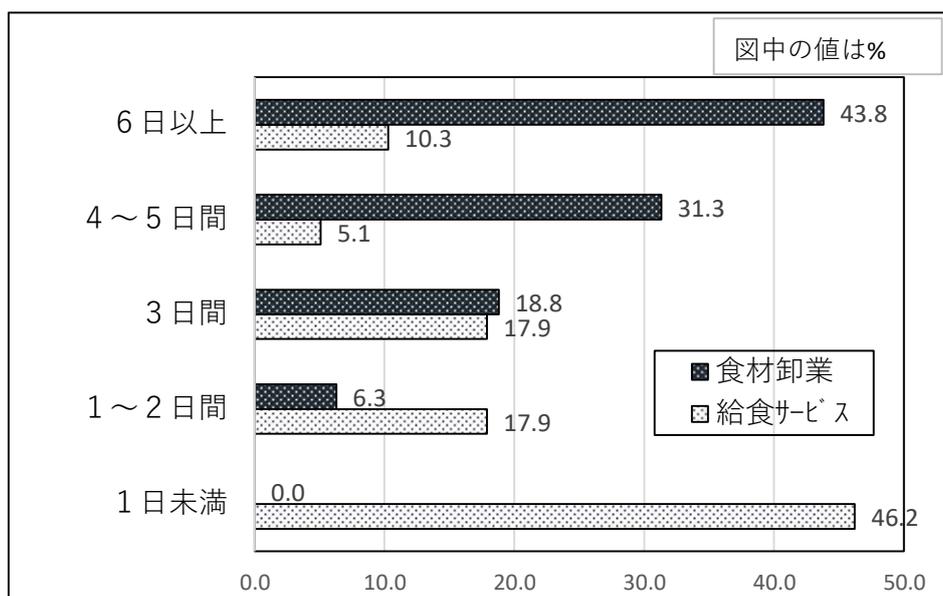


図3-5-(2)-④-4 食事の備蓄量 (日数)

vi) 代替食材の検討

食材卸では、医療機関も福祉施設も通常の食事は症状や嚥下能力に応じて栄養士の管理のもとで計画的にメニューが決められており、そのメニューの計画に従って食材を納入している。災害時は該当する食材の調達が難しくなった場合に備えて、「代替品として利用できる食材を検討している」事業者は4割弱の6社、調達先については「主要な調達先での防災対策の状況を確認している」が4分の1の4社、「調達先を分散させている」が2割弱の3社にとどまっており、検討状況は高いとは言えない。

代替品の検討についても、「社内で検討」および「調達先（メーカー等）と協議」が4割弱の6社あるものの、「納入先との協議」は1社にとどまる。サプライチェーンの上流側との協議が中心となっており、利用者に届けるうえで最終的に重要である下流側の病院や福祉施設との協議がより求められる。（図3-5-(2)-④-5）

給食サービス事業者においても、調達が難しくなった場合に備えて、「調達先を分散させている」事業者は4分の1にあたる10社、「提供先に自社資産として在庫の積み増しを進めている」（14社）もしくは「自社の倉庫等に在庫の積み増しを進めている」（10社）といった対策をとっている事業者があるものの2割弱は対策をとっていない。小規模事業者では在庫積み増しの経済負担は大きいと考えられる。

代替品の検討についても、「社内で検討」している事業者が3割弱の11社、「調達先（メーカー等）と協議」が1割強の5社にとどまるが、「提供先（病院、福祉施設等）と協議している」事業者が過半数の22社ある。下流に近い給食サービス業では、サプライチェーンの下流側の病院や福祉施設との協議が進んでいるようである。

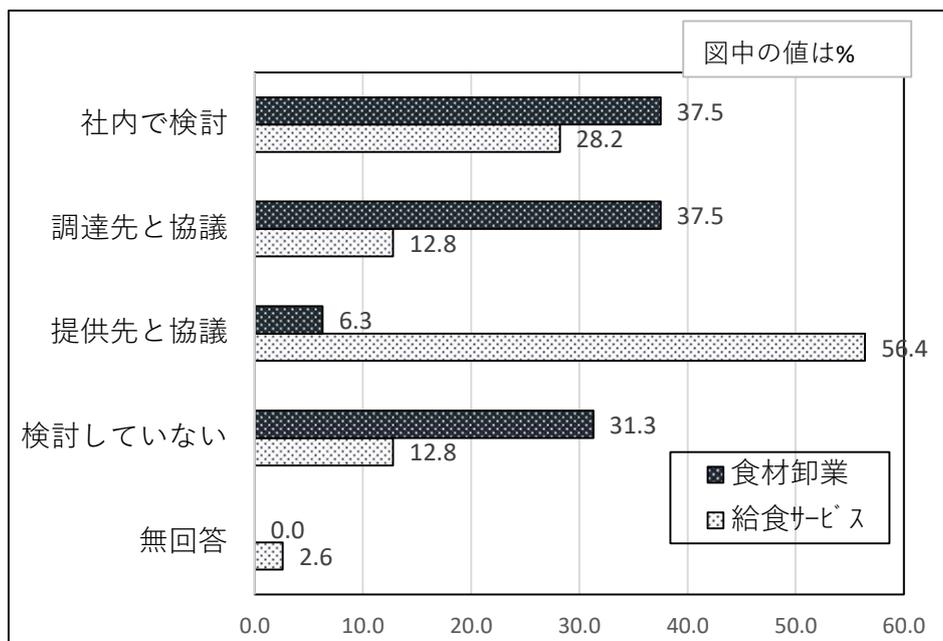
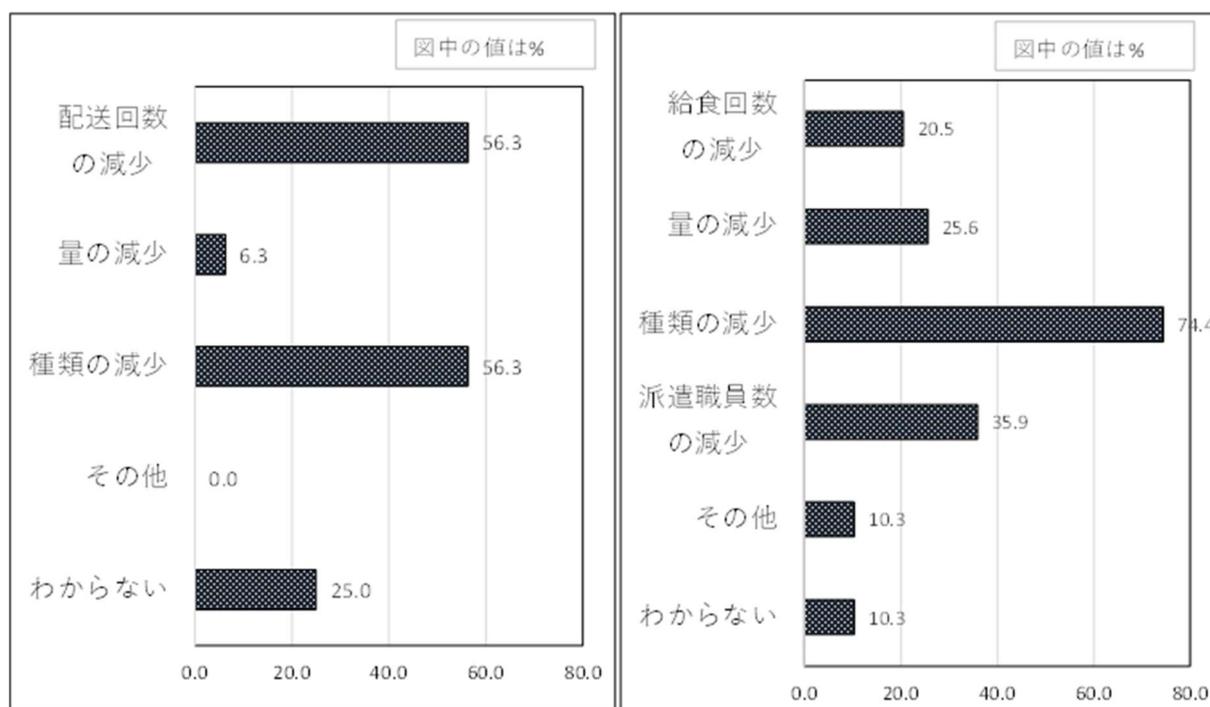


図3-5-(2)-④-5 代替品の検討状況

vii) 資源不足時の対応

食材卸事業者では、備蓄量は一定量確保されていたものの、大規模災害の発生後には、商品調達や供給能力がすぐには回復しない場合が懸念される。そうした平常時どおりの納品先へ納品することが難しい事態となった場合には、過半数が「各納品先へ配送する回数を減らして対応すると思う」（9社）あるいは「納品する食材の種類を減らして対応すると思う」（9社）としており、種類を減らしてでも量の確保を優先する方針であった。（図3-5-(2)-④-6）

給食サービス業でも、4分の3にあたる29社が「メニューの種類を減らすことで対応する」としている。「1食あたりの量を減ら」さざるを得ないと考える事業者も4分の1にあたる10社いる。



食材卸 給食サービス
図3-5-(2)-④-6 納品先への供給が難しくなった場合の対応方針

viii) 全納入先へ納入が難しくなった場合

食材卸事業者では、全ての取引先に食材を納品することが難しくなった場合の優先順位については、「量や種類を少なくしても、できるだけ全ての納品先へ供給」する方針の事業者が3割強にあたる5社であった。これに対して、「当社のみ納品している取引先を優先すると思う」事業者が半数の8社、「提供している食数の多い施設を優先すると思う」という大口優先は4割弱の6社となっている。ただし、病院優先および施設優先はそれぞれ3社ずつで差はみられない。（図3-5-(2)-④-7）

給食サービス事業者でも、「量や種類を落とすとしても、できるだけ全ての提供先に提供する」方針と回答した事業者が3分の2にあたる26社と多い。「大口顧客を優先する」や「提供している食数の多い施設を優先すると思う」とした事業者はいなかった。なお、福

社施設よりも病院を優先する事業者が4社、施設を優先する市業者が1社と若干ではあるが病院への提供を優先する傾向がみられる。

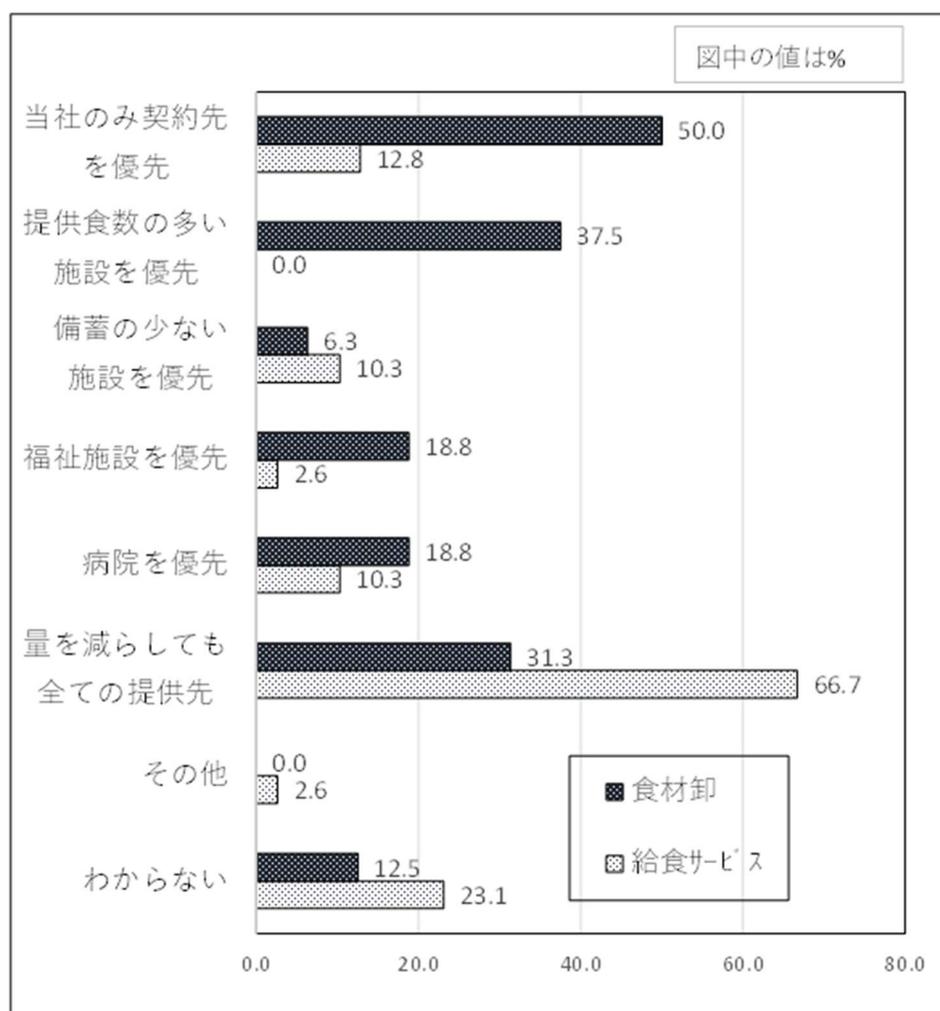


図3-5-(2)-④-7 全納入先へ納入が難しくなった場合の優先順位

ix) 南海トラフ地震に関連する情報の発表時

食材卸事業者では「南海トラフ地震に関連する情報」について、「テレビや新聞などで見聞きしたことがある」とした事業者が9割近い14社あった。「業界などで話題となった」とした事業者は3割強の5社あったが、「気象庁のHPなどで詳しく調べたことがある」事業者は1割強の2社と多くはない。

そして臨時情報が発表された場合に、「津波の危険な地域にある事務所での業務の中止」の「可能性が高い」とした事業者は約3割の5社、「可能性は少しある」が1社であり、過半数の8社は「可能性はない」としている。揺れによる被害を心配していた事業所は12社あったが、津波による浸水は3社のみだったことを反映している。選択率が高かったのは「津波の危険な配送ルートでの安全管理の確認・強化」で過半数の9社が「可能性が高い」、3社が「可能性は少しある」としていた。さらに「津波の危険な地域にある取引先への納品中止」についても4割の7社が「可能性は高い」、4分の1の4社が「可能性は少しある」としている。津波危険地域に立地している病院や福祉施設では食材を新規に調達でき

ず、ただちに食材を在庫に頼る危険性もある。

給食サービス事業者では、「南海トラフ地震に関連する情報」について、9割を超える36社が「テレビや新聞などで見聞きしたことがある」としており、対象事業者が南海トラフ地震の影響範囲であることから認知率は高い。しかし、「気象庁のHPなどで詳しく調べたことがある」事業者は1割強の5社あったものの、「業界などで話題となった」とした事業者はなかった。

そして臨時情報が発表された場合に、「津波の危険な地域の派遣先事業所へは給食サービスを停止」する「可能性が高い」とした事業者は約3割弱の11社、「可能性は少しある」が半数近い18社に達している。「津波の危険な事業所での業務の中止」や「調理済みの食事を配送」する「可能性が高い」とした事業者はそれぞれ3割弱の11社、半数程度の事業者が「可能性は少しある」としている。調理済みを増やすことで、通常は非常に長い滞在時間を津波危険地域では少しでも短くして、派遣する職員の身の安全を守る考えからであろう。津波危険地域に立地している病院や福祉施設では給食メニューが大きく制約される可能性がある。(図3-5-(2)-④-8)

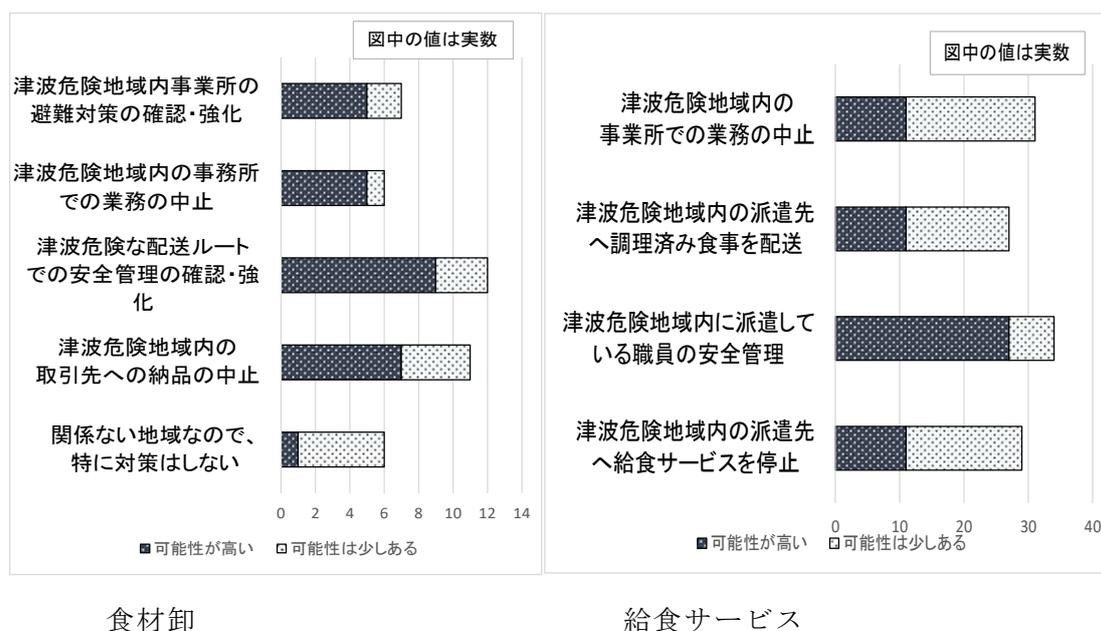


図3-5-(2)-④-8 南海トラフ地震に関連する情報発表時に予想される対応

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、i) 昨年度までに実施してきた避難意図構造の詳細分析を行うとともに、ii) 昨年度調査で重要性の明らかとなった地域の中小製造業事業者への事業継続計画の支援策に関する聞き取り調査を実施した。さらに、地域の事業所の業務継続の可否や住民の生命健康に大きく影響することから社会的重要性の高い、iii) 医療福祉施設の事業継続に関する調査を実施した。

i) 避難意図構造については、過年度に津波からの避難意図に対して主観的規範とリスク認知が影響することが示されていた。今年度の詳細分析の結果で、回答者においては居住階層が高くなるほどリスク認知が高まり、それによって避難意図が高まる

媒介効果があることなどが明らかとなった。

ii) 地域の中小製造業事業者への事業継続計画策定の支援策として、静岡県における事例調査から、標準様式等の提供や、インセンティブの付与が普及啓発に一定の効果があることを確認された。さらに、策定後の実効性確保作を商工会といった団体がリーディングすることで中小企業単体では資金面で整備が難しい対策も普及が進むことが確認された。

iii) 医療福祉施設の事業継続については、入院・入所者への食事提供サービスの事業継続に焦点をあてた調査を行い、施設で一定程度の備蓄は行われているものの、多く施設で食事提供は給食サービス会社へに委託されており、南海トラフ地震情報や大規模な災害時など1週間程度以上のインフラ支障が想定される場合には、業界全体のサプライチェーンとしての取組が必要であることを確認した。災害時に食材卸、給食サービス会社、病院・施設などの業界がどのように連携すべきか、平時より役割分担や対応工程などの検討がなされていないことがわかった。

(e) 引用文献

1) 宇田川真之, 三船恒裕, 定池祐季, 磯打千雅子, 黄欣悦, 田中淳, 平常時の津波避難行動意図の規定要因と規範意識の影響～汎用的なフレームに基づく高知市の調査結果から～, 地域安全学会論文集 No. 36, 2020 (登載決定 2020. 1. 11 : 印刷中)

(3) 平成 25～平成 31 年度（令和元年度）の成果

(a) 業務の要約

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトは、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・社会学の連携で実施し、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、成果の社会実装を目指した文科省のプロジェクトである。その成果コンテンツを集約し発信するサイトを構築し、実社会にて防災計画や災害対応で利活用される検証を大阪府の災害時要支援者対応にて実施し、効果を確認した。仕組みは防災科学技術研究所が構築し、データ収集は名古屋大学ほか研究機関、南海トラフ地震発生域における自動震源決定システム設計は JAMSTEC、住民と社会の構造調査は東京大学が担当した。

(b) 業務の実施方法

成果コンテンツを集約し発信するサイト「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を開発するにあたり、7年間の研究で以下の項目内容を実施した。

1) 地域住民の避難行動促進と地域産業の事業継続に関する調査研究

発生が懸念されている南海トラフ地震の被害軽減にむけ、リスク・コミュニケーションの観点から、命を守る避難行動を促進するための対策に焦点を当てた一連の研究を7年間実施した。具体的には、平常時における避難意図を規定する認知心理モデルの構築を行った。モデルの構築にあたっては、まず既往の避難行動研究、および、避難行動

に類似する健康予防行動や環境配慮行動分野での社会心理学的な心理モデルを参照して抽象的な心理要因として①リスク認知、②有効性、③実行可能性、④コスト、⑤主観的規範ならびに⑥記述的規範の6つを選定した。そして、これら心理要因を適切に測定できる標準的な設問文を、地域住民への質的調査などにもとづき作成し、量的調査によって検証をした。さらに、構築したモデルを用いた住民調査によって、避難意図の向上に資する要因を調査検討した。

地域産業の事業継続に関する調査研究として、地域における事業所の事業継続を対象とした調査研究を行なった。事業所を対象とした理由は、これまでの住民調査結果から住民へのリスク・コミュニケーションの有効な経路として職場等が示唆されたこと、「南海トラフ地震に関連する情報」の事前発表時の地域の事業所の事業継続状況が、周辺地域住民の事前避難行動の有無等に影響することが確認されているためである。

具体的には、まず地域の主要産業の事業継続に関する研究調査を静岡県を製造業を対象に平成29年度より実施した。調査方法としては、津波浸水区域内に立地する事業所への量的調査とともに、商工会議所等への聞き取り調査を併用した。また、従業員の出勤の可否は、学校とともに地域の福祉施設・病院が事業を継続するかどうかに影響されてしまうことから、福祉施設・病院を対象としたそれぞれの事業継続に関する調査を、令和元年度に実施した。調査にあたっては、サプライチェーンの観点から施設等における給食事業の事業継続に着目し、関連業界の事業者への量的調査および聞き取り調査を実施した。

2) 災害に関する情報の収集とデータベース構築および教育ツールの試作

名古屋大学では、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ボーリングデータ等の基礎データ、歴史的資料をはじめとする減災関連情報の収集・整理・分析を行った。また、これらを減災対策等に有効活用するための、web やスマートフォン、VR 環境技術を活用した情報システムツールやアプリケーションを開発した。さらに、名古屋大学減災館や各種イベントにおける社会実装実験を実施し、本開発システムの効果を検証した。

ハザード評価やリスク評価については、ボーリングデータ、浅層地盤モデルデータに加え、本プロジェクト他課題の研究成果等を取集した。歴史的資料については、東海地域に関連する1891年濃尾地震、1944年昭和東南海地震、1945年三河地震を対象に、既往の文献の収集・再整理を行い、被害状況や推定震度分布の再評価等を行うとともに、ヒアリング等の实地踏査により、地震や関連する慰霊碑や記念碑について調べた。また、GISに関する情報収集、及びGISを用いた災害危険度に関する分析について、特に、世の中に流通している、またはこれから流通が予想される様々なオープンデータに関する情報収集を行った。

なお、防災に関わる人材育成・教育のための調査については、防災教育・啓発に関する「ヒト・コト・モノ・バ」の観点から整理するとともに、独自開催のワークショップや研究会を通じて自治体や学校において実施されている防災教育の概要整理・課題の抽出等、あるいは、子供向け減災体験企画を通じた防災教育手法の検討を行った。また、減災館を活用した教育実践にも取り組んだ。

3) DONET 震源決定の仕組みを開発

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と情報の即時的発信、また地殻活動や応力状態把握のための地震の統計情報や地殻変動の情報と併せて総合的に検討するためのシステムを開発した。それまで DONET データに WIN システムを用いてイベントのトリガを行い、オペレータによる手動処理によって詳細な震源決定を行ってきた。しかし、手動処理による震源決定には時間を要し、地震情報の即時把握は困難である。そこで本プロジェクトにおいて、新しい自動震源監視ソフト（ateq）を導入し、このソフトの地震検知アルゴリズムに関して海底地震津波観測網 DONET のデータに対する最適化を行い、震源決定の即時化と高精度化を行った。さらに、P 波、S 波の初動自動読み取りの改良によって地震の検知能力を向上させ、さらに、海陸の速度構造の違いを考慮した 2D 速度構造を用いて波線計算をして震源決定精度を向上させた。高精度な自動震源決定の結果を地震活動評価に役立てるため、得られた震源情報から地震の統計的性質を計算するための機能を強化した。自動処理によって震源情報がリアルタイムで安定して得られるようになったため、これを web 上で可視化するシステムを開始した。まず、定期的に震源分布と地震活動度を web に表示した地図上に表示できるようにした。地震活動度をさらに詳しく確認できるよう、web 上で地震活動度に関するグラフ作成や震源の検索機能を追加した。このシステムについてグラフ作成機能を強化し、DONET 水圧記録との比較などが出来るよう、機能向上を行った。

これらの開発により、南海トラフにおける地震活動について DONET1、DONET2 および陸上観測網のデータのリアルタイム震源決定、およびアーカイブデータによる高精度な震源決定が可能となり、地震活動の把握が容易になった。特にインタラクティブな web インターフェースによって、地震活動度の時空間分布が詳細に把握できるようになったことにより、地殻活動についての詳細な分析が可能となり、南海トラフにおける震源監視能力の向上が期待される。

4) 災害情報プラットフォームの開発

上記の取り組みと、プロジェクト内の他テーマの研究成果情報を集約・発信するサイト「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を開発した。モデル地区で災害情報プラットフォームの平常時から災害時まで一括利用の試みを実施し、情報内容と機能の検証を行った。その結果をふまえて、令和 2 年 3 月末に最終版（Ver2.0）を一般公開した。

(c) 業務の成果

1) 地域住民の避難行動促進に関する調査研究

a) 背景

リスク・コミュニケーションについては、これまでも多くの研究や実践が行われてきた。その成果として、多くの沿岸住民は津波の基本的特性について知っている。実

際に、平成 25 年度に実施した調査からも「海の水が必ず大きく引く」および「必ず大きな揺れがある」という誤った津波イメージが依然として認められたが、その他のたとえば津波は繰り返し来襲する、川を遡上する、防潮堤等の効果は限定的であることなど多くの知識を正しく理解していた。それにもかかわらず、避難率は十分とは言えない。同じ平成 25 年度調査からは、避難を開始するきっかけに個人差ならびに地域差が存在することが明らかとなった。図 3-5-(3)-1 に示したように、強い揺れを感じたら「必ず避難する」し、大津波警報を聞いても「必ず避難する」層が 35.0% 存在する。この層は、理想的避難層となる。これに対して、揺れでは「多分避難する」あるいは「多分避難しない」、「避難しない」と避難意向は下がるものの大津波警報を聞けば「必ず避難する」層が 31.6% いる。警報避難型と言えよう。

他方、図中の中央に位置する、揺れでも警報でも「多分避難する」と「多分避難しない」という迷いが見られる躊躇層が、29.2% 存在する。いずれにせよ避難しないとした人は 1% にとどまる。

揺れで避難を意図する理想的避難層の比率を 35% から高めて行くために、残りの層にそれぞれ、何を伝えるべきか明らかにする必要があるが、働きかけ方はそれぞれの層によって異なる可能性がある。この目的を達成するために、それぞれの避難意図を規定する心理構造の解明と、避難意図の向上に寄与する要因の探索を行った。

		警報を聞いたら			
		必ず避難	多分避難する／ 多分避難しない	避難しない	
揺れを感じたら	必ず避難	35.0	3.0	0.3	0.0
	多分避難する／ 多分避難しない	31.6	29.2		0.0
	避難しない		0.3	0.0	1.0

図 3-5-(3)-1 リスク認知の媒介効果

b) 避難意図を規定する構造の解明

津波避難行動の促進に資する要因を定量的に評価するため、まず、その前提となる避難行動の意図を規定する構造の定量モデルを構築した。最終的な目標は、実際の津波襲来時の避難行動(図 3-5-(3)-2 中の⑥)を起こす住民の比率を高めるためのリスク・コミュニケーションに資する知見を生み出すことであるが、避難行動自体は平時には測定ができない。そこで、平時に測定可能で、避難行動に寄与すると仮定した避難意図(図中⑤)を高めることを目指し、平時の避難意図の規定する構造を実証的に解明することを研究目標とした。

平時の避難意図に対して、図3-5-(3)-2中の①で示したより一般的な防災全般に対する態度ならびに態度の行動的な側面の指標である防災準備行動、②で示した個人属性、④で示した実行可能性や効果性評価等の規定因が直接的に影響していることを仮定している。また、③で示した地域課題や世帯毎の課題の認知は、実行可能性や規範等の避難意図の規定因(④)に影響しているものと仮定している。

多くの地域に共通して適用できる構造の構築を目指し、まず平成25年度には、地域特性の異なる複数の地域を調査対象に選定した。具体的には、地域類型の指標として昼夜間人口比と社会増減率を用いて、地域特性の異なる静岡県沼津市と焼津市、高知県土佐市と南国市とを対象地として抽出した。そして、上記で仮定した心理要因を測定できるよう設問文を作成し、量的調査を実施した。その結果、避難意図には、津波へのリスク認知、避難することが津波対応行動として有効との認知、避難すべきという規範意識が寄与しているなど、概ね作業仮説や先行研究と整合的な傾向が得られた。しかし、仮定した6つの心理要因に関する因子分析の結果は、対象地域によって異なるなど、安定しなかった。

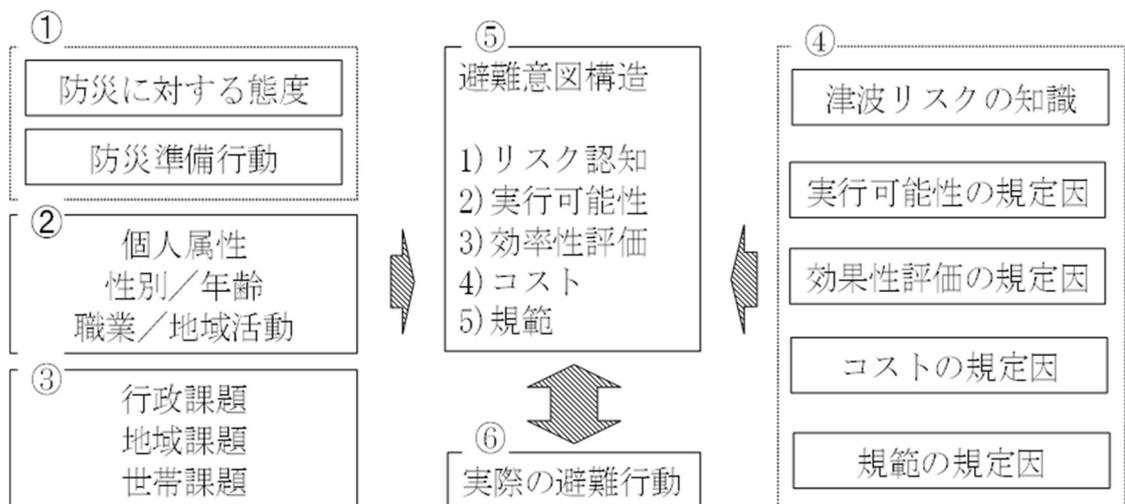


図3-5-(3)-2 調査票の設計

そこで、平成26年度には、地域環境を限定して尺度構成の完成度をあげることにした。精密かつ深く地域住民の津波避難意識を明らかとするために、質的研究として半構造化された質問紙に基づいた面接調査を静岡県焼津市および高知県南国市の津波浸水の想定される地域の自主防災会を対象に実施した。

両市とも「揺れたらすぐ避難」という地域的な規範があった。ただし、近年では津波被害を受けていない焼津市と比べて、南国市では昭和南海地震で津波被害を受けているものの被害が少なかったことから、高齢者に「揺れたらすぐ避難」という心構えを持っている人が少ないという指摘があった。リスク認知に関連する津波のイメージについても、南国市では「津波は来ても、それほど大きな津波は来ないというイメージ」を持つ地域の存在が指摘されていた。すなわち、被災経験そのものは、避難意図を促進する場合もあれば、抑制する場合もあり、被災経験がどのような心理要因に媒介され避難意図に寄与するか測定する必要性が確認された。

そして調査結果にもとづき、規範意識を主観的規範と記述的規範に再整理するとともに、各因子を測定する設問文の改善を行った。そして、平時の避難意図の規定する心理要因として「実行可能性」、「効果性評価」、「主観的規範」、「記述的規範」、「リスク認知」ならびに「コスト認知」の6因子を仮定し、各因子を測定する3項目5尺度の設問文からなる質問紙を作成した。以後の調査では、当該質問紙を用いた複数の地域での調査を繰り返し、モデルの妥当性と安定性を検証した。

平成27年度には、高知県南国市内の比較的狭く地域環境の類似した地区を対象に量的調査を実施した。その結果、おおむね当初の予測通りの因子構造が抽出された。さらに、平成28年度には、沼津市内の自然環境の異なる複数地区を対象に量的調査した。最終的に平成30年度には、これまでの調査から避難意図に対して規範意識の寄与が大きかったことから、規範意識に影響すると仮定した居住歴の長さの異なる住民の混在する高知市の地区を対象に実施した。その結果、表3-5-(3)-1に示すように安定した因子構造が抽出された。一連の調査研究によって、汎用的な平時の津波避難意図に関わる6要因モデルの構築を達成できた。

表3-5-(3)-1 避難意図構造モデルにもとづく因子分析結果

	実行可能性	記述的規範	主観的規範	リスク	コスト	効果評価	
Q7_14	0.77115	-0.12248	0.03105	0.17692	0.08543	0.03513	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
Q7_7	0.71237	-0.00404	0.02365	-0.02811	0.13057	-0.01269	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
Q7_1	-0.73317	-0.04826	0.10202	0.04971	0.0514	0.07152	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
Q7_13	0.05698	0.79193	-0.0007	0.13563	0.06641	0.01969	M. 強く長い揺れを感じたら、周りの人は、すぐに避難すると思う
Q7_9	-0.06942	0.53704	0.09899	0.04942	0.06258	0.08758	I. 津波警報が出たら、地域の人の中で避難する人は多いと思う
Q7_15	0.08217	-0.77283	0.05715	0.06224	0.07994	0.08317	O. 大きな地震があっても、周りでは、すぐに逃げる人は少ないと思う
Q7_6	0.05276	0.18684	0.8248	-0.03355	0.03575	-0.03489	F. 地震が起きたら、周りの人も私が避難することを望んでいると思う
Q7_2	-0.11249	0.0433	0.79943	0.00605	0.07579	-0.03703	B. 周りの人は私に対して「大きな地震のときはあなたも避難したほうがいい」と思っている
Q7_11	-0.02055	0.14756	-0.57542	-0.04064	0.13128	-0.03205	K. 大きな揺れの後に自分が避難しないでいても、周りからとがめられることはないと思う
Q7_12	-0.13084	-0.00215	-0.0419	0.89998	0.12138	-0.15499	L. 自宅の建物は、津波に対して危険だと思う
Q7_18	-0.12263	-0.27823	0.11602	-0.33588	0.15322	-0.04604	R. 自宅まで、たいした津波は来ないと思う
Q7_5	-0.12028	0.00491	-0.20988	-0.58036	0.14622	-0.14047	E. 津波がきたとき、自宅に残っていても、たいした危険にはあわずにすむと思う
Q7_3	-0.00895	-0.06615	-0.04378	-0.09829	0.84634	0.03297	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
Q7_8	0.13605	0.08008	-0.03876	0.02913	0.59925	0.00538	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
Q7_16	-0.02418	-0.0014	-0.04129	-0.00288	-0.20024	0.07038	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
Q7_17	-0.0435	0.12966	-0.00553	-0.05687	0.04235	0.76732	Q. 避難場所は津波に対して安全だと思う
Q7_4	-0.38756	-0.03206	-0.05762	0.162	0.03028	0.40069	D. 避難場所までたどりつければ命が助かると思う
Q7_10	0.00345	0.11706	-0.01152	0.03061	0.07532	-0.62234	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

c) 避難意図の向上に寄与する要因の探索

前項で得られた避難意図構造モデルを用いて、避難意図の向上に寄与する要因の探索を行った。前項の量的調査結果に基づき、因子得点を説明変数として、平常時の避難意図を目的変数とした重回帰分析を行った。平成27年度の南国市での調査からは、規範、実行可能性並びにリスク認知が避難意図に対して有意であり、平成28年度の沼津市調査では、主観的規範、記述的規範、リスク認知が、平成30年の高知市調査では主観的規範とリスク認知が有意であった。以上の結果から、複数地域に共通して、リスク認知と規範意識が有意な傾向があることが明らかとなった。

その一方で、地域によって有意な要因は異なり、また前項における因子構造にも違いが見られた。こうした結果は、津波避難に関する地域環境の差異、例えば避難場所までの距離などから解釈できる可能性があった。すなわち、本研究で構築した汎用的な避難意図モデルにもとづく調査票は、地域間比較研究にも有用といえる。その調査結果は、地域特性を考慮したリスク・コミュニケーションの内容を検討する基礎デー

タとなる可能性が示された。

そして、避難意図を向上させるためには、避難意図の向上に有意な結果の得られた記述的規範、リスク認知などの心理因子が向上するように働きかけることが効果的と判断される。これらの心理因子を高低させる具体的な要因を特定することで、地域における防災施策の方向性や、地域住民とのリスク・コミュニケーションで焦点をあてるべき事項を明らかにすることができるかと期待される。例として平成 28 年度に実施した沼津市での調査結果において、6 つの心理因子に有意な影響を及ぼしていた、具体的な要因を下表 3-5-(3)-2 にまとめた。

表 3-5-(3)-2 心理因子に影響する具体的な要因

心理要因	有意な具体的な要因
効果性評価	避難場所の高さ
実行可能性	避難場所までの距離、自分の体力
コスト	同行避難の困難なペット、携帯の困難な家財
リスク認知	津波浸水深さ、(大地震の発生確率の認知は有意ではない)
記述的規範	防災活動の活性度
主観的規範	なし

2) 地域産業の事業継続に関する調査研究

a) 地域の主要産業（製造業）の事業継続に関する調査

平成 29 年度においては、静岡県焼津市ならびに高知県全域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。両県では中小企業向けに事業継続計画策定の推進策をとっている。高知県では、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」を策定し、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。静岡県でも、同様に業種毎に事業継続計画の策定のひな型を示し、推進を図っている。しかし、いずれも規模が小さくなると災害時の前に目の前の経営環境への対応に関心が向くことからインセンティブの導入等の環境整備の必要性を指摘していた。

また、平成 30 年度は静岡県静岡市及び浜松市の沿岸に立地する製造業に対する量的調査を行った。地域 BCP の分析に向けての予備的検討において、大手企業本社への事業継続に関するヒアリング調査では、各社とも業務の優先順位を明示しており、人命保護を最優先に置く企業が多かった。そして、事業所における事業中断の判断基準について計画策定時や全社的観点から本社から示すこともあるが、基本的には事業所で判断する企業が多かった。そのため「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」への対応としても、各事業所においては立地市町村から避難勧告等の指示が発令された際には、事業は中断されるとの考えであった。

静岡県における製造業への量的調査結果（表 3-5-(3)-3）では、「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」について聞いたことがある事業所は 9 割に及んで

おり、約6割の事業所が今後に検討する意向であることを確認した。計画策定を考えると、自治体の避難勧告を重視しており、津波避難困難地域では事業中断もありえる。住民と企業とで異なる対応を求めることは現実的には難しく、避難勧告等のエリアが拡大すると企業活動が縮小することも予想される。事業継続の判断は、事業所の現場判断とする傾向もみられ、地域での検討が求められる。

表3-5-(3)-3 静岡県における製造業への量的調査結果の概要

<p>「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」：高い関心</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 86.8%の事業所がテレビや新聞などで見聞きしたことがある。 ● 加えて、気象庁のHPなどで詳しく調べたり、業界などで話題となったとした事業所も7社に1社程度
<p>対応の検討意向：約6割の事業所が今後に検討する意向</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 情報発表時の対応計画をすでに立てている事業所は、13.2%。 ● 今後は検討したいという事業所が60.5%。
<p>判断材料：避難勧告等の発令状況が最多</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 80.3%が、自治体による避難勧告等の発令の有無を大変重要としている。 ● ついで従業員の出社に係わる公共輸送機関の状況（72.4%）を重視しており、原材料等の調達元の状況や物流の状況、製品の納入先の状況を上回っている。
<p>情報発表時の対策：業務の中断や縮小も</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 事業所の業務の中断も46.1%が「可能性が高い」と回答。 ● 従業員の勤務形態の変更（48.7%）や事業所の業務の縮小（40.8%）を予想する事業者も少なくない。
<p>在庫：1週間の避難を考えると75%が在庫を使い果たすことになる</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 8日以上ある事業所が25% ● 1日から3日分程度（34.2%）と在庫なし（21.1%）が合計55%。

b) 医療・福祉施設の事業継続に関する調査

前項の調査の結果、従業員の出勤の可否に影響する、地域の福祉施設・病院の事業継続に関する調査を、令和元年度に行った。サプライチェーンの観点から、医療機関や福祉施設の事業継続に関わる事業者団体への聞き取り調査と、特に食事サービスの提供に焦点をあて給食サービス事業者および食材卸事業者への量的調査を行った。全般に関連商品の在庫量はメーカーに偏り、流通在庫は少ない傾向がみられた。量的調査結果でも、食材卸業では全体の4分の3が4日以上以上の備蓄をしているものの、給食サービス業では「在庫はない」あるいは「1日未満」という事業者が半数近くに達した。福祉施設への聞き取り調査では施設で備蓄をしているものの、量は5日間程度以内の施設が多く、大規模災害時に食事供与を1週間継続することは困難と考えられる。

2) 災害に関する情報の収集とデータベース構築および教育ツールの試作

名古屋大学では、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を収集・整理した。地盤調査用に掘られたボーリングデータについては、愛知県、三重県、静岡県を対象として、主に公的機関やライフライン企業が有する紙データやpdfデータを収集するとともに、XML化を進めた。さらに、地盤モデル表示システムを開発・改良し、これらのデータの可視化を行った(図3-5-(3)-3参照)。旧版地図などの様々な地図や災害を記した文献などの資料については、国勢調査の結果や土地利用などの情報と重ねることにより、集落の変遷から災害危険度の増加等を明らかにした。歴史地震に関しては、1944年昭和東南海地震、及び1945年三河地震における被害状況を再度精査して、推定震度分布^{1)、2)}を作成した(図3-5-(3)-4参照)。さらに、愛知県に数多く残されている軍需工場と関連する地震の慰霊碑や記念碑の調査・収集(写真3-5-(3)-1参照)するとともに、これら通して、昭和東南海地震による愛知県内の死者数の71%を占める半田市³⁾と名古屋市において、その大きな原因となった軍需工場での被害の実例を概観した。関谷清景博士の生誕の地の碑の調査を中心に濃尾地震に関するもの^{例えば4)、5)}について、大垣市内を調査し、その結果を取りまとめた(写真3-5-(3)-2、3参照)。さらに、地域版災害教訓アーカイブ(プロトタイプ)システムを構築し、基礎自治体と連携して収集してきたデータ(約3,000枚の写真等)を、スキャン・デジタル化し、災害種別、災害日時、災害名称によって分類整理を行うとともに、GIS上での見える化を実現した。加えて、濃尾地震の証言を新たにデータベース化し、災害教訓として閲覧できるようにした(図3-5-(3)-5参照)。

他課題における研究成果の利活用のためのシステム開発としては、データベース化された南海トラフの地震に対する推定地震波を用いて、地震が起こった際、任意の場所、任意の建物で再現できるスマートフォンアプリケーション(アプリ)をSIPと連携して開発⁶⁾した(図3-5-(3)-6参照)。これは、「将来見舞われるかもしれない揺れ」を疑似体験することにより、揺れの大きさや危険性を実感できることを目的としている。さらには、最新のバーチャル映像技術(HMD、VR等)を組み合わせた没入感のある地震応答体感環境(写真3-5-(3)-4参照)をパッケージ化⁷⁾し、多様な環境におけるシステムの社会実装も試みた(写真3-5-(3)-5、図3-5-(3)-7参照)。さらに、一つの建物内の任意の室内で想定される揺れを、3Dで複数人が同時に体験できるツールへと機能拡張した(図3-5-(3)-8参照)。



写真 3-5-(3)-2
観音寺の震災横死者供養塔



写真 3-5-⑤-3
観音寺の震災記念碑

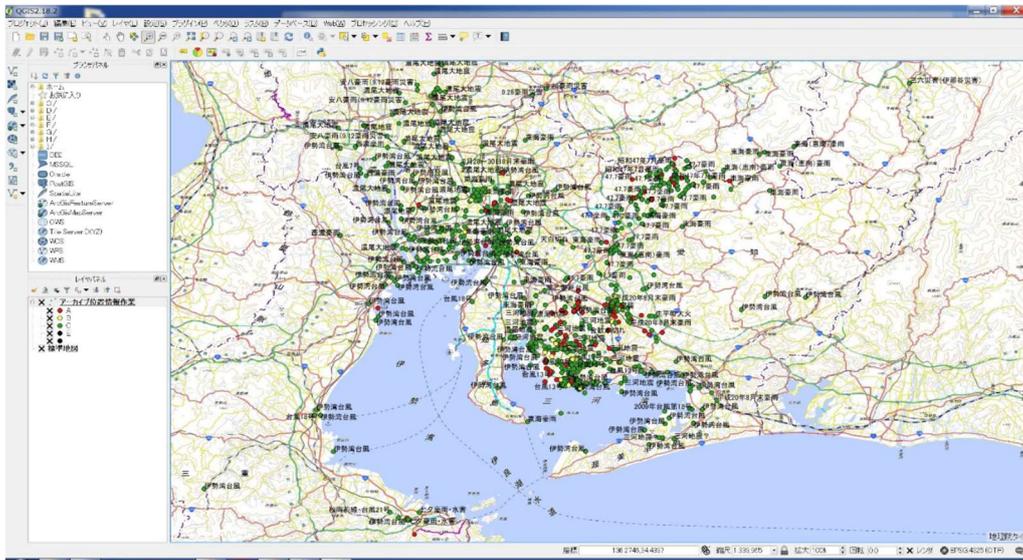


図 3-5-(3)-5 アーカイブデータの可視化例



図 3-5-(3)-6 室内挙動の様子 (例)

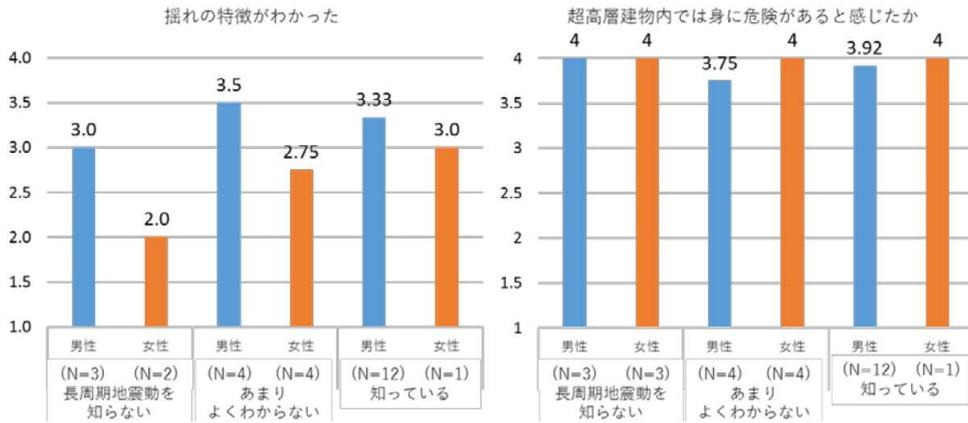


図3-5-(3)-7 アプリ利用による効果の評価例 (各値はグループの平均点)
 ※回答項目は4 (そう思う) ~ 1 (そう思わない) の4段階



写真3-5-(3)-4 没入型の地震
 応答体感システム外観



写真3-5-(3)-5 科学イベントの展示

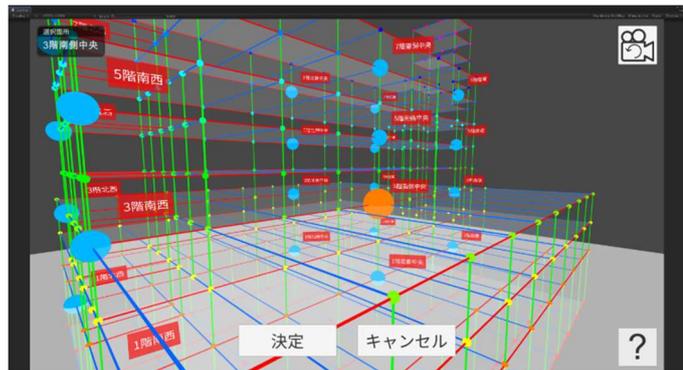


図3-5-(3)-8 対象建物 (左) と室内挙動を体験したい場所の選択画面 (右)

3) 南海トラフにおける地震活動の監視と可視化

a) 業務の要約

これまで海域における地震活動モニタと震源決定は、その多くを人手に頼っており即時性と精度について課題があった。本プロジェクトによる DONET データを用いた一連の開発によって高精度な震源情報が自動処理によって即時に得られるようになった。さらに、地震活動のリアルタイムモニタ、地震の統計的性質による地殻の応力状態の把握、インタ

ラクティブな web インターフェースによる地震活動の効率的な把握、そしてグラフ表示による分析が可能となった。これらの情報をプラットフォーム上で展開することによって、南海トラフにおける地震活動を監視し、今後の長期予測につながり得る重要な情報を発信可能とした。

b)業務の実施方法

1 全体の構成

本システムでは、海洋研究開発機構（JAMSTEC）横浜研究所に設置された、DONET データを受信、監視する横浜バックアップサイト（横浜 BS）から配信される DONET データおよび、防災科学技術研究所が運用する EarthLAN により配信される陸上地震観測網のデータを受信し、新たに開発・導入した震源決定ソフト（ateq）によって地震活動を監視する。地震活動の監視はリアルタイムで処理され、さらに、データは一旦ストレージに保存、アーカイブされて一日毎にまとめて処理するプロセスに分けられる。リアルタイム処理では即時的に地震活動が把握できる。一方で、アーカイブデータの処理の方が、震源決定精度が良い。震源決定処理の開発について 2 自動震源決定処理システムにまとめた。得られた震源カタログから、地震の震源解や統計的性質を調べることで、地殻内の応力状態を把握することが可能である。これらの解析を行うプログラムの導入を行った（3 地震の統計的性質の抽出）。さらに震源分布を可視化し、地震活動度について容易に把握できるよう、web による可視化システムの開発を行った（4 震源情報可視化システム）。可視化システムについて、リアルタイムおよびアーカイブデータの処理に対してそれぞれ作成した。これらの一連のシステムにより、南海トラフにおける地震活動度をリアルタイムかつ高精度で把握するためのシステムが構築された。

2 自動震源決定処理システム

2.1 自動震源決定処理システム「ateq」の導入

DONET データによる地震の検出と震源決定には、これまで日本の地震研究機関で標準的に用いられてきた「WIN システム」を用いてイベントのトリガを行い、自動処理による地震の検出と震源決定、そしてオペレータによる手動処理によって詳細な震源決定を行ってきた。しかしオペレータによる処理では必然的に震源決定までに数日の遅れが生じる。また、規模の大きい地震が起きて余震が多発した場合、また群発地震が起きるなどして地震活動レベルが上昇すると、オペレータによる処理には限界が生じ、震源カタログの作成までに数か月程度の遅延の原因となる。また、オペレータによる読み取りでは、作業によって初動の読み取り位置に個人差が生じる可能性がある。したがって、高精度な自動処理システムを用いた長期間の定常モニタの導入が必要である。

DONET データによる紀伊半島沖の熊野灘下および南海トラフ近傍の地震モニタリング精度向上のため、自動震源決定ソフトウェア「ateq」を導入した。この手法はこれまで様々な工夫が施され、我々が用いていた既存の手法よりも遥かに高い地震の検出率を示している。一方、ateq システムはこれまで主に陸上での観測データに適用され、精度向上のための数々の工夫が施されてきた。しかし、海底での地震観測データはノイズの性質や P 波、S 波初動の現れ方の特徴が陸上観測と異なる場合がある。したがって当初はこれまで陸上

観測データに適用されてきた現行のバージョンを導入し、WIN システムによる現行 DONET 自動震源決定及びオペレータによる手動読み取りの結果と比較を行った（図 3-5-(3)-9、10）。既存の ateq システムによる自動震源決定は、WIN システムよりは精度が向上したものの、まだオペレータによる手動震源決定には及ばない。したがって次節において、海域データに最適化した ateq の導入を行った。

2.2 自動震源決定処理システム「ateq」の改良による震源決定精度向上

2.1 節で導入した自動震源決定システムの機能向上を行った。特に、海域データにおける地震検出精度向上のため、以下の点について改良を行った。

1. P 波 S 波識別フィルターの開発による、S 波読み取りの高精度化
2. 理論的エンベロープ波形と観測波形の比較による、間違っただけの結果の除去
3. 2次元レイトレースによる、海と陸との構造を用いた走時計算方法の導入

2.2.1 P 波 S 波識別フィルターの開発による、S 波読み取りの高精度化

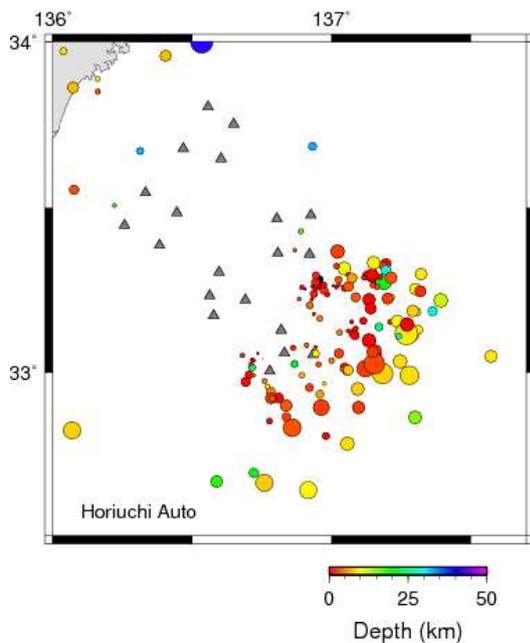


図 3-5-(3)-9 ateq システムによる震源分布

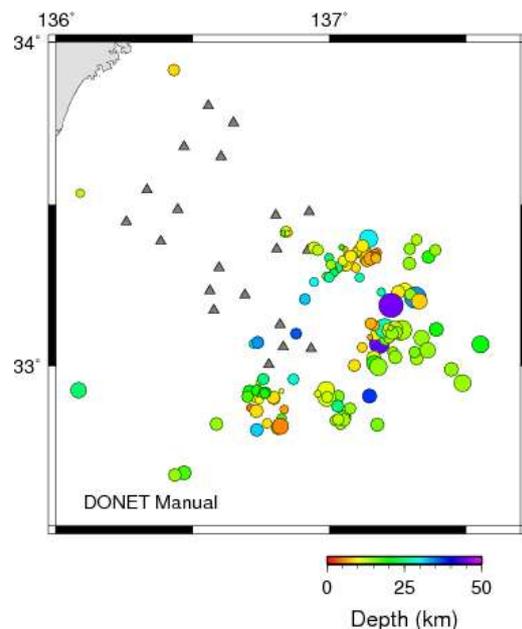


図 3-5-(3)-10 DONET 手動処理による震源分布

地震計記録から地震動の初動を検出し、震源決定を行うシステムにおいて、一般に初動の検出は地震動振幅の急激な増加によって行う。P 波の検出は比較的容易であるが、S 波の検出は P 波コーダの影響を考慮しなければいけない。また、P 波の振幅が小さい場合、S 波を間違っただけと誤認する可能性がある。P 波と S 波を正しく識別することは震源決定において重要である。一般に P 波、S 波はそれぞれ上下および水平動において卓越する。しかし、P 波コーダにも時に水平動が卓越することがあり、上下水平の振幅比だけでは、S 波を誤検知する場合がある。一方、S 波は P 波と比べて卓越周期が長くなることが知られている。この卓越周期を同時にモニタすることで、S 波の検知精度を向上できると考えられる。地震波継続中における卓越周期のモニタは、簡易的に速度波形と加速度波形の振

幅比を取ることで行うことが出来る。しかし、P波コーダの中にもやはり一時的に卓越周期が変化するため、卓越周期単独ではやはりS波読み取りの精度を向上することは難しい。

ここでは、以下の式を用いて水平上下動の振幅比と、卓越周期の変化を組み合わせでモニタすることにより、S波の読み取りの高精度化を行った。

$$F(t) = \{2Z(t) - NS(t) - EW(t)\} - c\{V(t) - rA(t)\} \quad (1)$$

ここで、 $Z(t)$ 、 $NS(t)$ 、 $EW(t)$ はそれぞれ地震動波形の上下、南北、東西各成分の絶対値の移動平均、 $V(t)$ は三成分速度波形の絶対値の移動平均、 $A(t)$ は三成分加速度波形の絶対値の移動平均である。また、 r はP波コーダ部分の $V(t)$ と $A(t)$ の平均値との比、すなわち $r=V/A$ 、であり、P波の卓越周期を表す。 c はH/V振幅変化と周波数変化からS波を検出するための重みで、経験的に0.3とした。(1)式の右辺の二つの項はどちらも、S波の到着によって値が負になると期待される。どちらか一方が一時的に負になる場合と比べ、二つの指標を組み合わせることによってS波の到着による変化が顕著となり、誤検知しにくい指標となる。新システムでは(1)式の $F(t)$ の符号が負になる時刻を基に、S波を検出する。

2.2.2 理論的エンベロープ波形と観測波形の比較による、間違った処理結果の除去

ノイズの混入や、変換波等による顕著な位相を間違ってP波もしくはS波と認識してしまう事がある。このような誤検知による震源決定結果を取り除くための処理を導入した。

実際の波形の振幅はP波、S波の理論的な到着時刻周辺で大きくなるはずであるが、ノイズによる誤認識等によって震源が大きくずれた場合、P波、S波の理論的な到着時刻とは異なる時刻で振幅が大きくなる。従って理論的なエンベロープ波形を計算し、観測波形のそれと比較することで、間違った処理結果を除去するようにした。

2.2.3 2次元レイトレースによる、海と陸との構造を用いた走時計算法の導入

DONETデータと陸上における観測データを統合してプレート収束域における地震活動をモニタする場合、海陸の構造の変化を考慮した地震波速度構造による震源決定が必要である。一方、プレート収束帯における正確な三次元速度構造を用いた震源決定計算は計算機への負荷が大きく、特にリアルタイム処理には適さない。しかしながら、一次元の水平成層構造を仮定した震源決定では正確な震源分布を得ることは難しい。ここでは、海陸それぞれの一次元構造から、プレートの沈み込みを反映した二次元速度構造を作成し、震源決定に用いるための開発を行った(図3-5-(3)-11)。海域と陸域の速度構造は全く異なる一方で、複雑な三次元速度構造は即時性に劣る。そのため、海陸の境界を設定し(Hc)、即時性を維持しつつ、海陸の構造の違いも反映させる仕組みを組み込んだ。また、海陸の境界はいくつかのセグメントに分けることで、実際のプレート形状を近似するモデルとした(図3-5-(3)-12)。

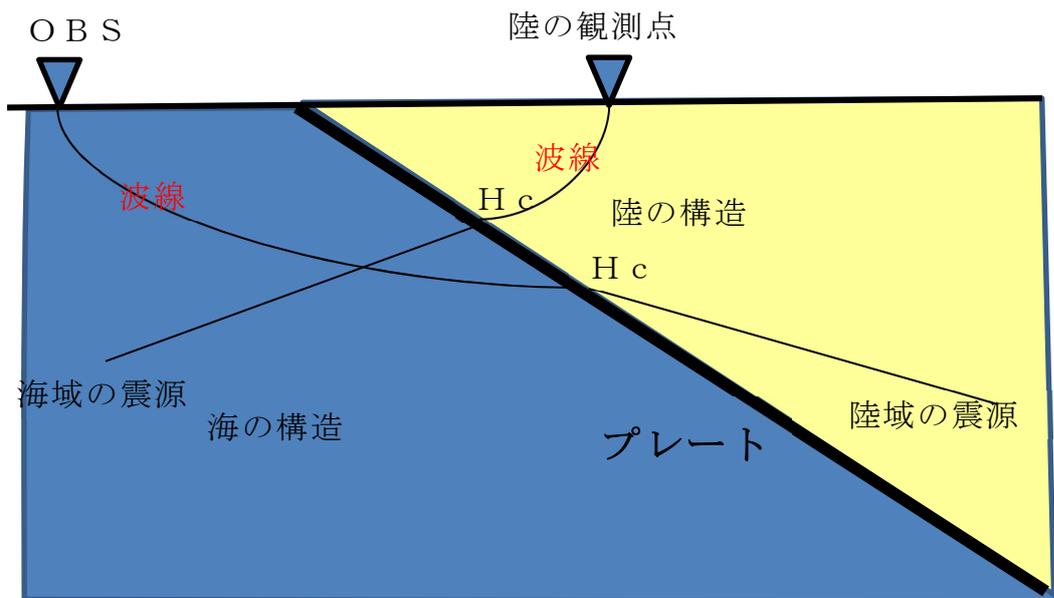


図 3-5-(3)-11 二次元モデルにおける波線計算の概念図

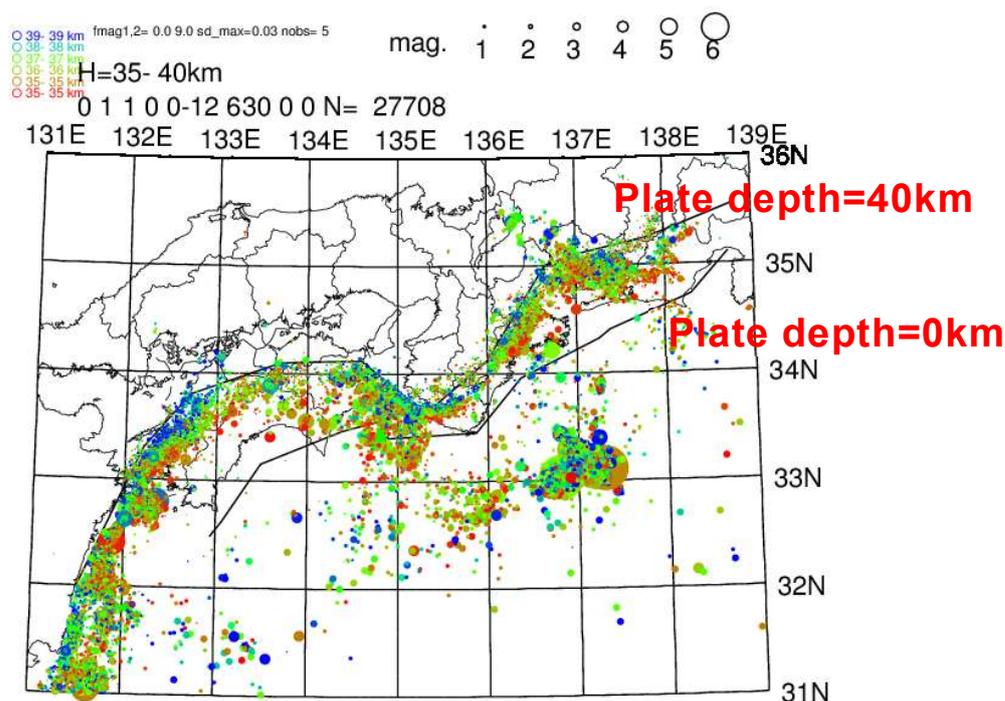


図 3-5-(3)-12 海と陸との構造モデルに採用した深さ 0 km と 40 km のプレートの等深線。気象庁による深さ 35 km-40 km の地震がプロットされている

2.2.4 改良した後の震源決定結果

上記の改良を施した震源決定結果図 3-5-(3)-13 および図 3-5-(3)-14 に示す (2015 年 2 月 1 日から 14 日までの 2 週間の自動処理結果)。図 3-5-(3)-13 では、DONET データに対し上記 1、2 の改良を行ったシステムによる震源決定結果を、

図3-5-(3)-14には海陸データを統合した、2,2,3項の改良を行ったシステムによる震源決定結果を示す。海陸データを統合した場合は、陸域においても多数の震源が求まっている。両者の震源決定について精査し、さらに改良を加えることで、より震源決定の精度を向上していく事ができると期待される。

3 地震の統計的性質の抽出

P波初動極性データから地震のメカニズムを推定し、これを用いたインバージョンによって応力場を推定するためのシステムの開発、地震発生率から直接地震活動度の時間変化を検出する方法、z値による地震発生率の時間変化の検出法、地震の規模別頻度分布を表すパラメータである、グーテンベルグ・リヒター式のb値の推定法とその時間変化の検出法、そしてこれらによって検出された時間変化の有意性を評価するシステムの開発を行った。

3.1 応力テンソルインバージョン

地震は地殻内の応力によって発生するため、地震発生場の状態モニタにおいて応力場を推定、モニタすることは重要である。地震の発震機構解を用いて応力場推定（応力テンソルインバージョン）を行うためのシステムの開発を行った。

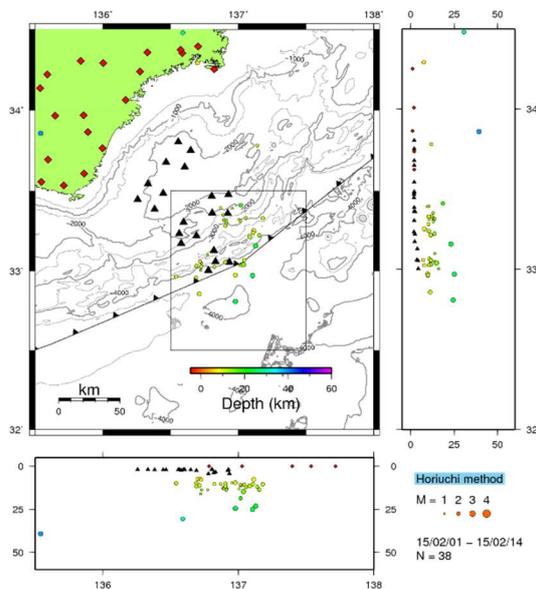


図3-5-(3)-13 新しいシステムを用いたDONETデータによる自動震源決定結果

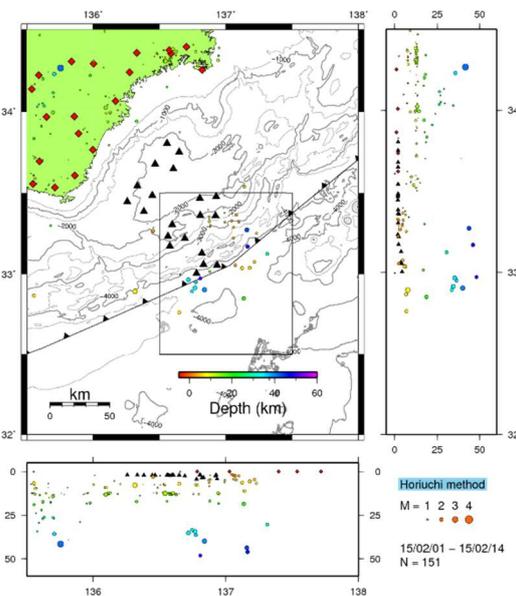


図3-5-(3)-14 DONETおよび陸上のデータを統合して自動震源決定を行った結果。

3.1.1 P波極性の読み取り手法の改良

応力テンソルの推定では、P波極性データをできるだけ多く、かつ正確に読み取る必要がある。そこで、ここでは、これまでに開発してきた自動震源決定システムに対し、P波初動極性データの自動読み取り手法を高度化するための開発と機能向上を行った。ここでは、これまでに用いてきた2 Hz高周波帯域通過フィルターによる波形の他に、ARモデル

によるノイズ成分を除去するフィルターを用いる手法の開発を行った。さらに読み取りにおける判定条件を検討し、誤った極性の読み取りデータを最小限にするためのアルゴリズムを開発した。

3.1.2 応力テンソルインバージョン法

ここでは、解析対象領域で応力場が均質であると仮定し、その領域内で発生する地震の発震機構解が異なるのは、地震が弱面に沿って発生するからであるとの解釈に基づき行う。断層運動の滑り方向は、断層面に加わる剪断応力が最大となる方向であると仮定し、多数の極性データから、最大 (σ_1)、最少 (σ_3)、中間 (σ_2) 主応力の方向を指定する 3 個の未知数と、応力の比 ($r = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$) を求める。断層運動の方向は、断層面に加わる剪断応力が最大となる方向であるとの仮定から、応力場が決定されると、地震の発震機構解の決定は、断層面の向きを決定する問題となる。応力場が決定されない場合の発震機構解の未知パラメータの数は 3 個であるが、応力場が決定されると、発震機構解の未知パラメータは 2 個になる。この手法によって応力テンソルを推定する。

応力テンソルインバージョン法の実効性を確認するために、シミュレーションデータによるテストを行った。まず、1) 応力場を適当に仮定し、2) この応力場と矛盾しない極性データを持つ地震を発生させ、3) インバージョンを実行する。与えた応力場と、インバージョン結果とを比較した。図 3-5-(3)-15 に、この場合の最大主応力軸の推定結果を示す。図が示すように、与えた応力場と計算結果とは、完全に一致している。図は省略するが、最小主応力軸、中間主応力軸の結果も同様である。

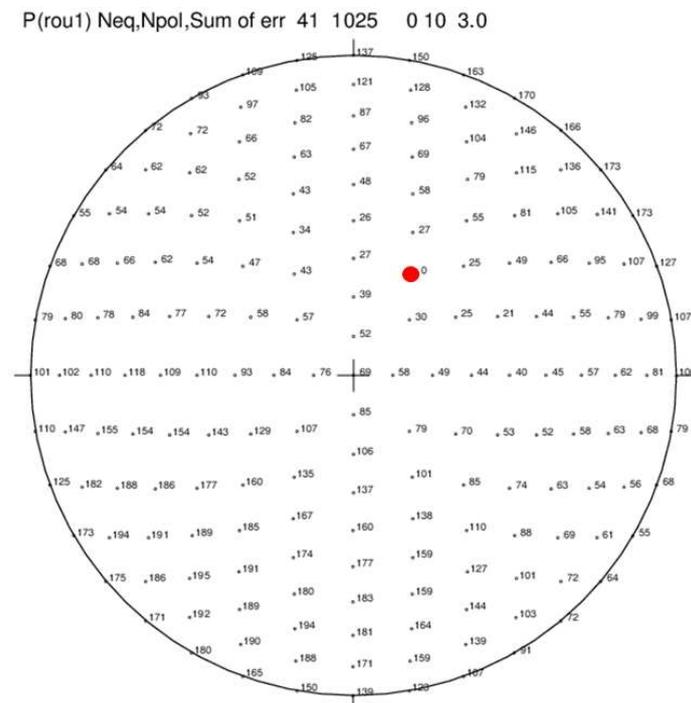


図 3-5-(3)-15 テストデータを用いた最大主応力方向のインバージョン結果。グリッド横の数字は極性データが矛盾する観測点の数を示す。与えた主応力軸とインバージョンで得られた計算結果は完全に一致しており、極性データの矛盾する観測点は 1025 個中に、1 個も含まれていない

図3-5-(3)-16に、テストデータを用いた場合に得られた発震機構解と、得られた断層面を示す。太い実線は断層面、細かい実線は補助面を表している。スコアが同じ解が存在する場合には、複数の解が表示されている。図は断層面と補助面を区別できる場合もあるが、できない場合もあることを示している。

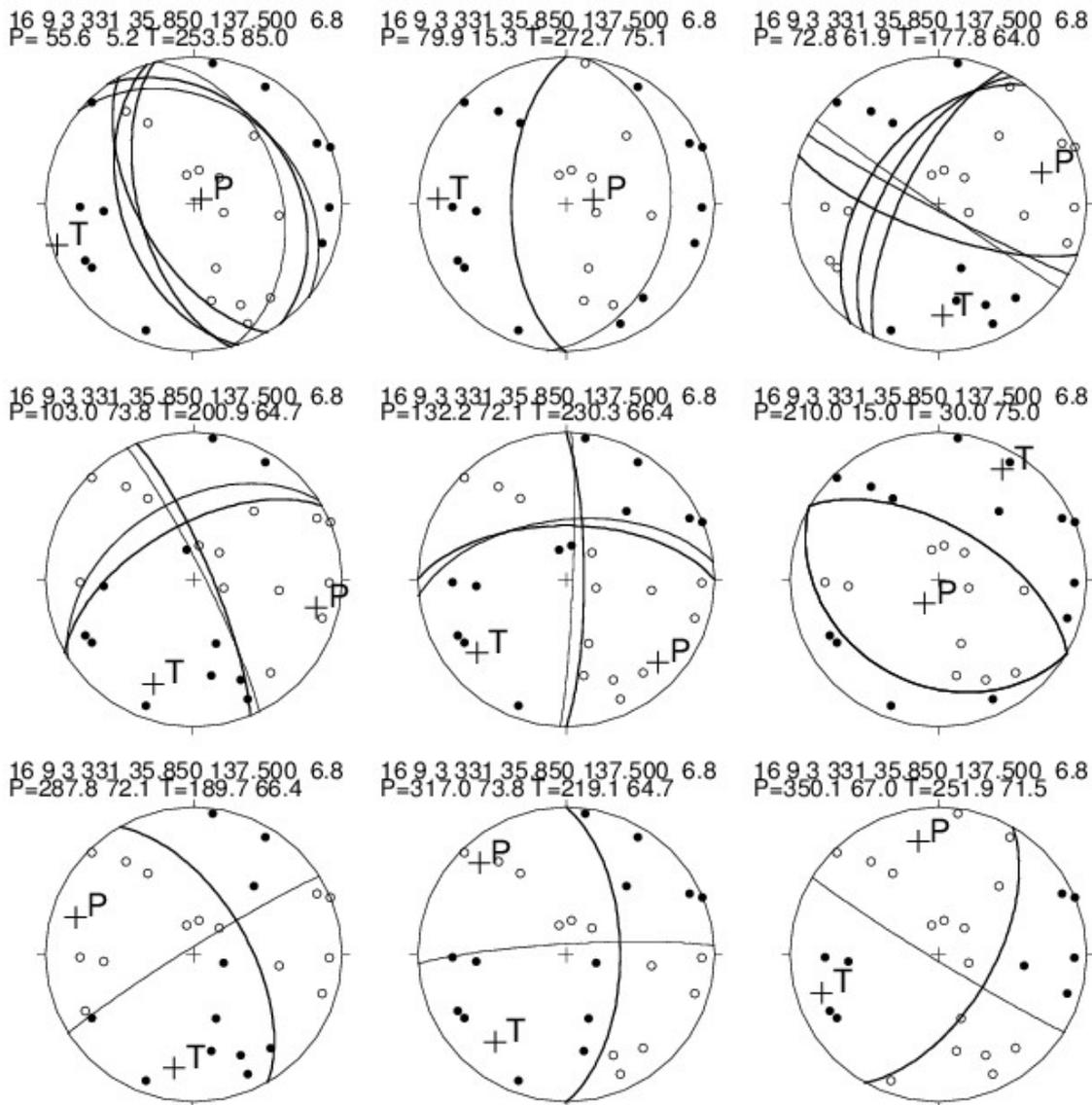


図3-5-(3)-16 テストデータを用いた場合に得られた断層面(太い実線)と、補助面(細かい実線)

3.2 地震の統計情報の推定と時間的変化の有意性の推定

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。これらの情報の推定とともに、得られた時間変化について、統計的に有意であるかの検証が大切である。ここでは地震発生率から直接時間変化を検出する方法、z値による地震発生率の時間変化の検出法、地震のサイズ分布を表すパラメータである、グーテンベルグ・リヒター式(地震規模頻度分布の関係式)のb

値の時間変化の検出法、そしてこれらによって検出された時間変化の有意性を評価するシステムの開発を行った。

地震発生率の変化点の検出は Cusum (cumulative sum control chart 累積和管理図) 法 (E.S. Page によって開発された時系列解析の手法) によった。これは、期待値と観測値の偏差が 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。偏差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り、逆に右下がりの場合には、平均より静かであったといえる。検出した変化の有意性の判定は、解析対象とする期間を前半と後半の二つに分け、地震発生がポアソン過程に従うとし、両者で活動度に変化がなかった場合の情報量規準 AIC_1 と変化があった場合の情報量規準 AIC_2 の差 ΔAIC を計算、 ΔAIC の値が 1 (程度の値) より大きい場合を目安としている。期間を分ける日時を変化させることで、地震活動度に変化が生じた時期を推定する。

また、地震発生率の変化を調べる別の方法として、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。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 が ± 2.575 (99%) を越えると有意な変化があったと見る。

グーテンベルグ・リヒター式の b 値の時間変化の有意性について、地震発生率の変化の場合と同様に情報量基準 AIC の変化によって評価する。また、平均地震規模の変化について、cusum 法で評価する。

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 ΔAIC (DAIC) について、対象とする期間と領域に関する計算値のプロットを例に示す (図 3-5-(3)-17)。

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.

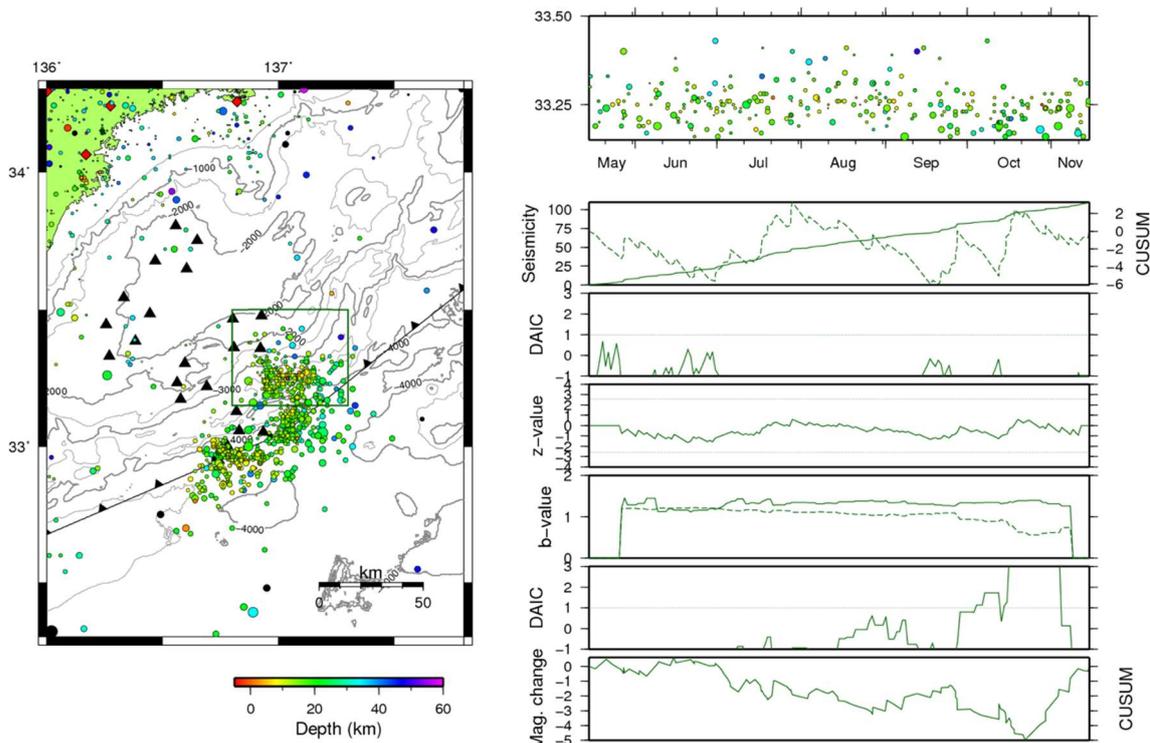


図 3-5-(3)-17 緑の四角の範囲における地震の統計情報の可視化。左のパネルに震源の分布、右のパネルには一番上に地震活動の時間変化を示し、その下に地震発生率（地震の累積頻度；実線と Cusum；点線）、地震発生率に関する DAIC、z 値、b 値（指定した日付より前；実線、および後；点線）、b 値に関する DAIC、平均地震規模の変化に対する Cusum を示す

4 震源情報可視化システム

地震活動の空間分布や時間変化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、現在の地殻活動の状態やその時間変化を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。地震の震源情報について可視化し、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、情報発信するために、web を利用した情報発信システムを構築した。本システムは海洋研究開発機構で運用されている仮想サーバ上に構築され、DMZ に移行することで外部からの閲覧も可能である。

4.1 地震発生情報の可視化

本システムではアーカイブデータおよびリアルタイムデータによる自動震源およびオペレータの手動検測データを利用した高精度震源情報を web 上で可視化する。分かりやすく、かつ地震活動監視に必要な情報を取り出すことが出来るようにするため、次のような構成とした。

本システムによる web サイトを開くと、まず最近（過去二週間）の地震を地図上にプロットした画面となる（図 3-5-(3)-18）。表示範囲はインタラクティブにマウスで拡大縮小が出来、注目したい場所の活動を詳しく見る事が出来る。背景地図は地理院地図の「色別標高図」を基本とした。これは標高だけでなく海底地形が分かるため、南海トラフにおける地震活動度の把握に適切である。背景地図を任意の地図画像に変更する事

も可能とした。地図上には震源が深さ別で色分けされて表示される。震源にはそれぞれ誤差の範囲を示す棒が表示される（ほとんどの場合は震源を表す印のサイズより誤差の範囲が狭いため、棒は見えない）。表示する震源カタログは、アーカイブデータおよびリアルタイムデータによる自動震源、そしてオペレータによる高精度震源情報から選択することが出来る。絞り込み検索により、震源情報を表示する期間、マグニチュード、深さの範囲も指定可能である。

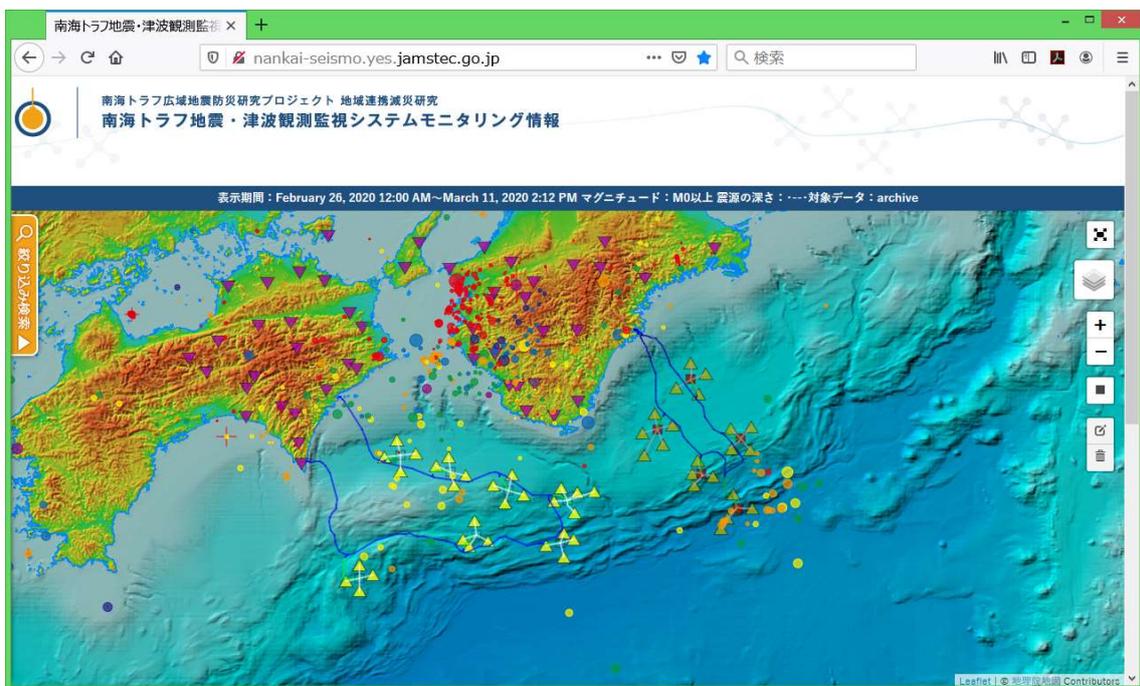


図 3-5-(3)-18 震源情報を可視化する web サイト。アクセス時は地図上での過去 2 週間分の震源分布を表示する

4.2 任意のグラフ作成による詳しい地震活動の可視化

さらに詳しく地震活動を把握するため、表示されている地震の震源カタログから様々なタイプのグラフを作成することが出来る（図 3-5-(3)-19）。ここでグラフは横軸、縦軸をリストから任意に指定できる仕様とした。これによってユーザが好みの情報を可視化でき、独自の視点に基づいて震源情報を可視化、比較、分析が可能となる。それぞれの軸には「日時」、「緯度」、「経度」、「深さ」、「マグニチュード」、「累積個数」、および「サイズ分布」が指定可能である。

東西方向に対する震源の深さ分布をプロットした場合を図 3-5-(3)-20 に示す。縦軸、横軸の組み合わせは自由であるが、横軸に「サイズ分布」を指定した場合の縦軸は累積個数に固定され、軸は 10 を底とする対数表示となる（図 3-5-(3)-21）。表示する地震リストの地図上の範囲については、マウスで矩形をドラッグして指定する。また、地震活動度の他に、DONET 観測点における水圧データを並べて表示できるようにした。この機能を使えば陸上の地殻変動の観測データ等を地震活動度と並べてプロットすることも可能であるが、そのためには今後の機能の拡張が必要である。

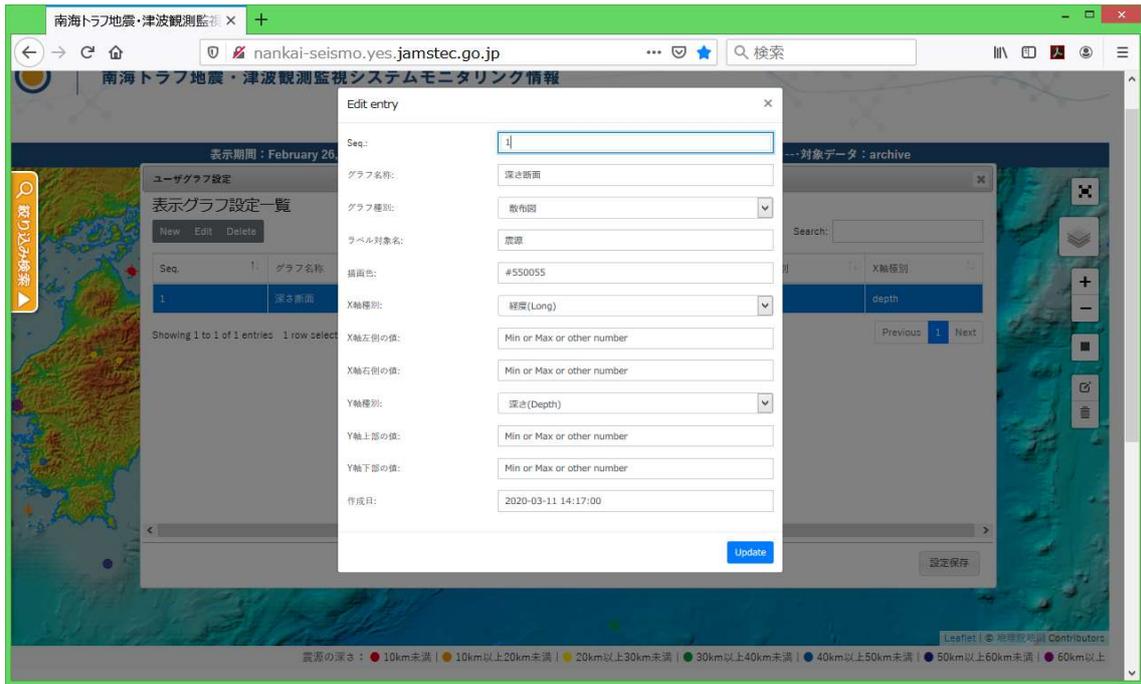


図 3-5-(3)-19 グラフ作成のための設定画面。グラフの縦軸、横軸にプロットする量は、日時、緯度、経度、深さ、マグニチュード、累積発生回数から任意の組み合わせで選択出来る

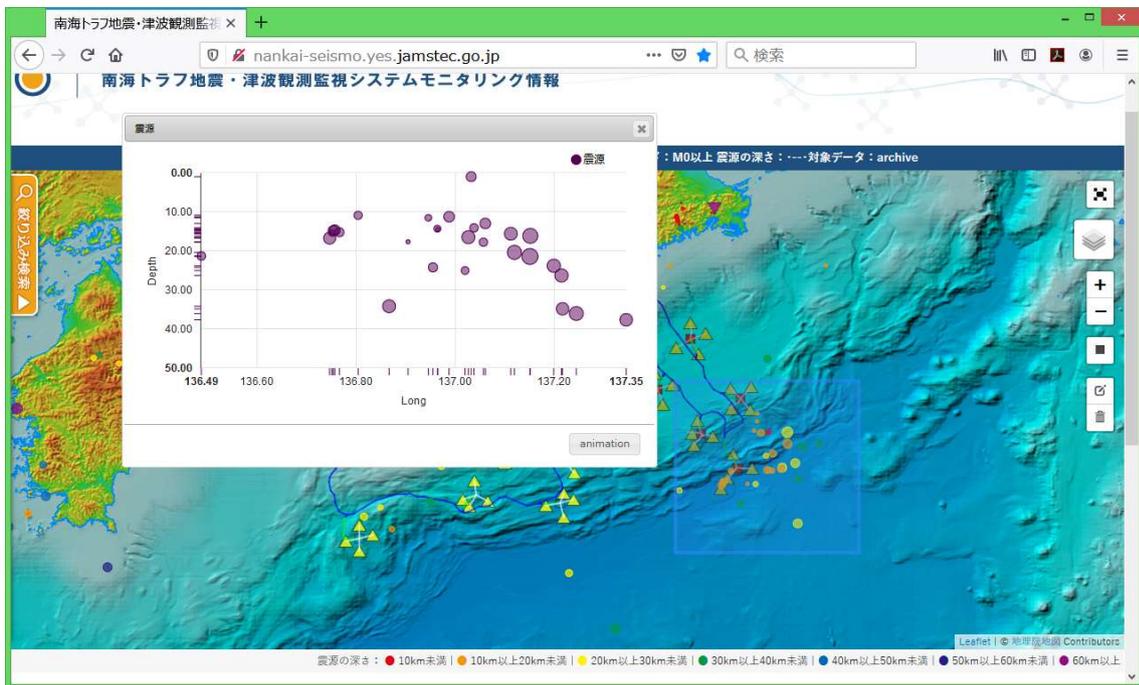


図 3-5-(3)-20 DONET1 観測点直下の地震について、東西方向に対する深さ断面をプロットした例。プロットに使用する震源の範囲は、マウスのドラッグ操作で指定 (青四角)

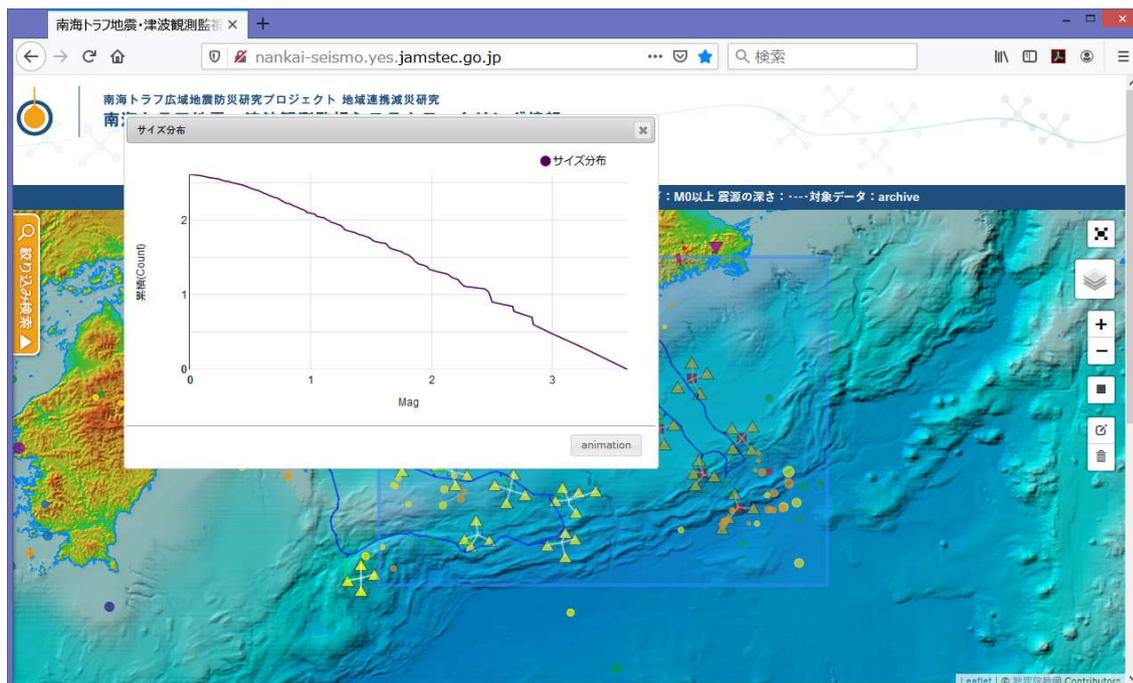


図 3-5-(3)-21 地震のサイズ分布を表示した例。縦軸は対数なので、0 なら累積 1 個、1 なら累積 10 個、2 なら累積 100 個の地震が発生した事を示す

c) 業務の成果

DONET データを用いて自動で南海トラフにおける地震活動を監視、震源決定を行い、震源カタログを用いた解析から地殻の応力状態の把握、地震活動状態の可視化による分析を行うための一連のシステムを開発、構築した。これにより、南海トラフにおける地震活動の監視能力と地殻の応力状態の把握、分析能力の向上が可能となった。

d) 結論ならびに今後の課題

地震活動を定常的にモニタし、得られる震源情報および地殻変動などの関連情報から地殻活動に関する情報を引き出すためには多様な視点に基づく様々なデータを比較することが重要である。本業務ではそのためにはインタラクティブなシステムを構築し、様々な情報を自由な形で比較できるシステムの基礎が完成した。ここで構築したシステムで比較できるのは、開発期間の制限から震源カタログに基づく情報に限られ、そこから計算される地震活動の統計的性質などは含まれない。このような計算も同時に行い、比較可能なシステムを構築すれば、地震活動度と地殻の応力状態の検討がより詳しくできるようになると期待される。また、地震活動度と陸上における地殻変動観測データ等との比較も有用である。構築したシステムでは震源は地図上にプロットしたが、詳細な地震活動の把握のためには、三次元の震源分布を既存の断層の分布等の構造データに重ねて表示する等の工夫が必要かもしれない。本システムは様々なアイデアを目的に応じて付加することが可能であり、このように高機能化することで、南海トラフにおける地震活動の多様性の把握やその分析にも役立てられることが期待される。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の展開、情報発信も必要である。

4) 災害情報プラットフォームの開発

a) 南海トラフ災害情報プラットフォームの開発

文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の取り組みの一つとして、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サービスを可能にする「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）を構築した。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、観測設備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している。（図3-5-(3)-22)



図3-5-(3)-22 災害情報プラットフォーム ver2.0_Top画面
(<https://nankai-bosai.jp/v2.0/>)

ア) 災害情報プラットフォームの設計

まず、災害情報プラットフォームの設計を行った。自治体が有する各種地域データと、1)2)3)にて前述しているプロジェクト内の研究成果（名大、JAMSTEC、東大など）を含み多

様な既存データの収集・整備を実施するとともに、これらの利活用システムについて検討した。

Topページと各地域の自治体ページを作成し、それぞれから各地の地震や津波、および液状化の想定情報をマップで閲覧、各地の自治体HPで公開されている災害に関する対策の活動や広報の情報などについてテキストやリンクURLの閲覧が可能となった。

イ) 利用者の権限設定と閲覧情報種別

利用者の権限については、扱われる情報の公開・非公開性を配慮して条件づけることとして設定する方針とした（表3-5-(3)-4と図3-5-(3)-23）。

表3-5-(3)-4 ユーザと権限

ユーザ種別	権限の条件
一般ユーザ	公開情報のみ閲覧
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



図3-5-(3)-23 各ユーザ向けの閲覧情報種別

ウ) 災害情報の種別と閲覧方法

内閣府が公開している南海トラフ広域地震に関する地震動、液状化、津波浸水の想定マップや、その他災害に関するハザード情報、各自治体がホームページ等で公開している対策や広報の情報などを取り扱う。公開情報については随時調査し、マップにて表示できる源データが入手可能なものはマップ化し、それ以外のデータは入手先のリンク集として取りまとめている。(図3-5-(3)-24)

図3-5-(3)-24 各情報・機能への移動

i) 「敵を知る」

南海トラフによる被害想定情報や各地の対策設備などの情報が閲覧することができる。
 (図3-5-(3)-25から29)

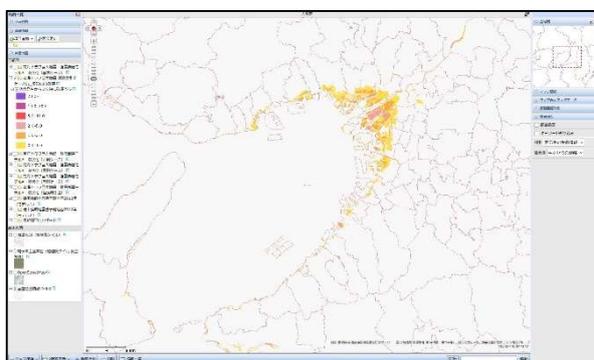
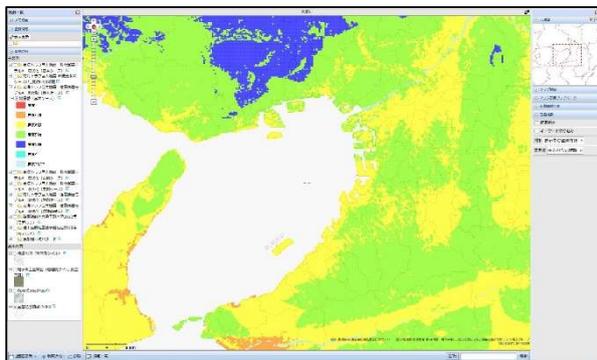


図3-5-(3)-25 (左) 地震動 (モデル A_基本ケース)

図3-5-(3)-26 (右) 津波浸水深 (ケース 01_堤防3分破壊)

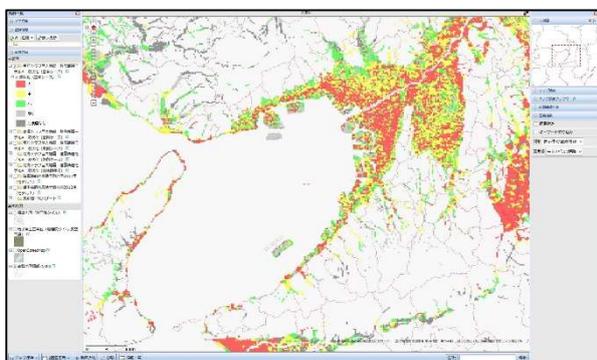


図3-5-(3)-27 (左) 液状化 (モデル A_基本ケース)

図3-5-(3)-28 (右) 関西地域の国土数値情報緊急輸送道路データ

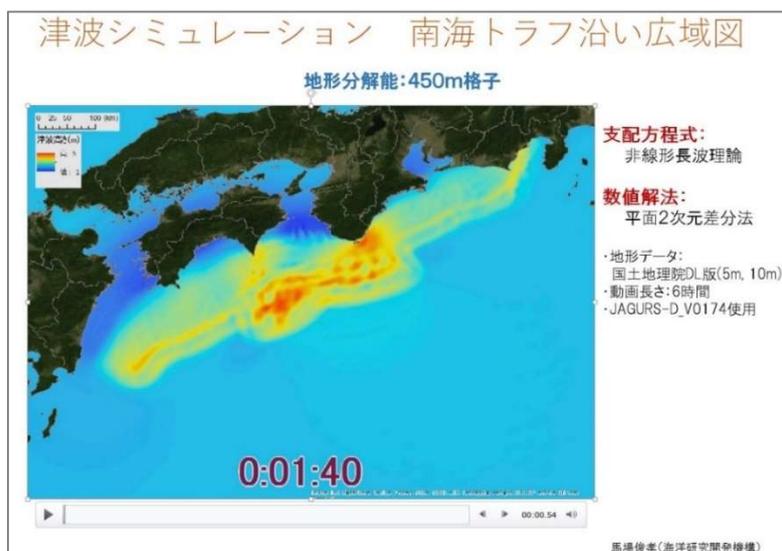


図3-5-(3)-29 南海トラフの津波到達シミュレーション例 画像1 (JAMSTEC)

ii) 「自分を知る」

自治体（主に府県）の災害に関する情報をまとめて閲覧することができる。(図3-5-(3)-30、31)



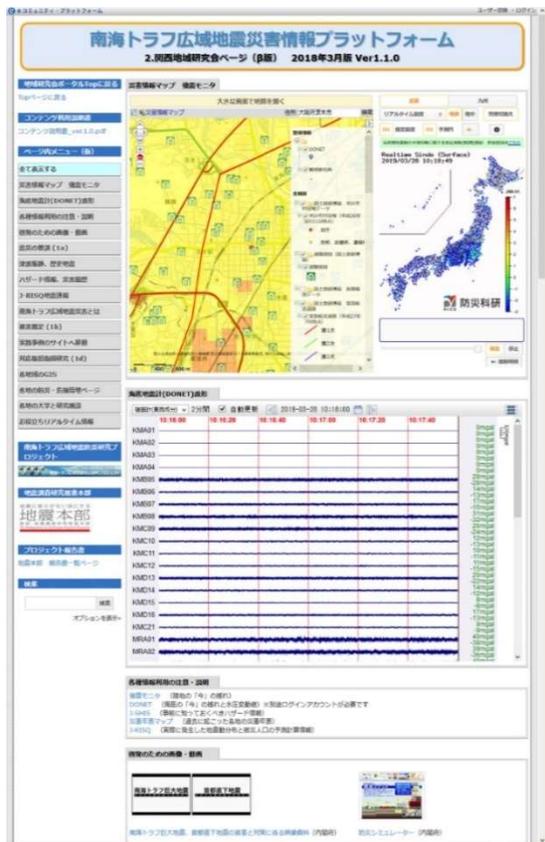
図3-5-(3)-⑤-30 地域選択ページ



図3-5-(3)-31 大阪府ページ(例)

iii) 「考える」

現在公開もしくは非公開で利用できる最新の研究成果を閲覧することができる。また、東海、関西、四国、九州向けに表示を工夫した情報掲載マップを利用することができる。アカウント登録を行うことにより、意見交換の場となる掲示板や非公開情報の利用も可能となる。(図3-5-(3)-32)



- WebGIS マップ
- ・ 想定震度
 - ・ 想定液状化危険度
 - ・ 想定津波浸水エリア
 - ・ 指定避難所
 - ・ 役場や支所
 - ・ 緊急輸送道路
- 地震動の閲覧
- ・ 強震モニタ (陸域)
 - ・ DONET リアルタイム波形 (海域)
- 津波浸水シミュレーション動画
- ほか関連情報

図3-5-(3)-32 各地域向けの関連情報閲覧ページ (関西地域版)

iv) 「行動する」

事前復興に関する資料や、内閣府など国が推奨する防災・減災活動に関する資料が閲覧できる。また、東海地域の愛知県碧南市など他地域で現在実施されている防災・減災活動を参考情報として紹介している。(図3-5-(3)-33)

事前復興計画のための計画プロセス

1. 復興ビジョンの設定
2. 地域の現状分析 (南海トラフ地震の被害、人口減少)
3. 対策案の構築
4. 土地利用計画の作成

5. 復興評価の枠組み

どのシナリオで復興を考える？

1. 命を守る
2. 財産を守る
3. まちづくり

→ 自分たちはどういう想定を前提にまちの問題を抽出し、その対策を考えるか？

図3-5-(3)-33 事前復興の資料一例

v) 「研究一覧を見る」

研究 PJ サブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ。当プロジェクトが実施した研究成果を、研究対象位置および実施エリアについて WebGIS マップにて「点」、「線」、「面」の表記により表現し、全貌を閲覧できるようにした。災害情報プラットフォームの Top 画面と、研究一覧を見るページにて、マップのサムネイル画像を表示している（図 3-5-（3）-34）。サムネイル画像をクリックすると WebGIS の画面が別ウインドウで起動し、調査研究推進本部（以下：地震本部）のホームページからプロジェクト報告書より該当するページを閲覧できる（図 3-5-（3）-35）。



図 3-5-（3）-34 南海トラフ PJ の研究成果の閲覧マップ選択画面



図 3-5-（3）-35 PJ 研究成果の概要表示イメージ

vi) 「調べる」

災害情報プラットフォーム内のデータを検索することができる。(図3-5-(3)-36)

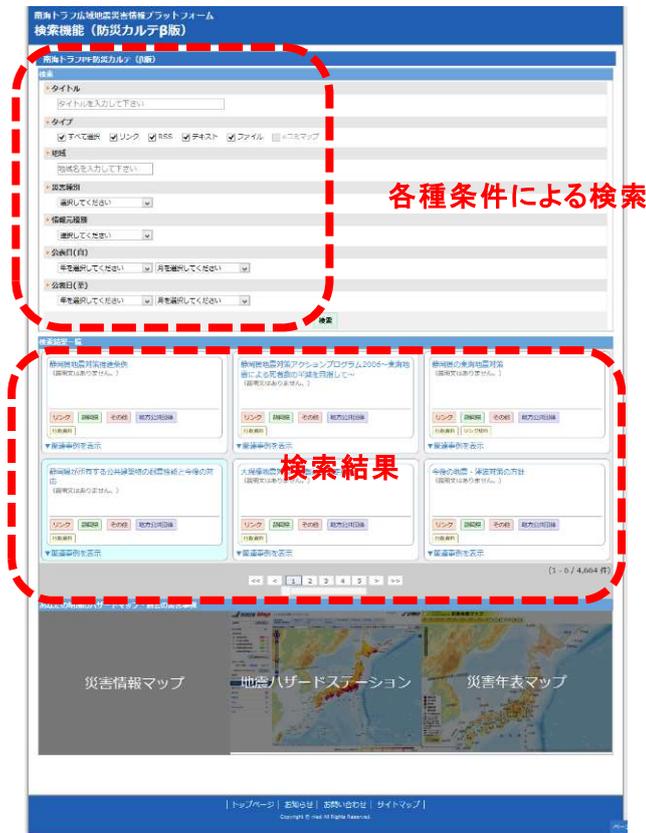


図3-5-(3)-36 検索機能ページ

vii) 「プロジェクトの概要」

当研究プロジェクトの概要説明資料の閲覧ができる。(図3-5-(3)-37)



図3-5-(3)-37 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト概要説明ページ

viii) その他の主な情報例

東京大学で調査した地域ユーザの災害対応の特徴を災害情報プラットフォームのユーザインターフェイス構築やコンテンツ内容の選別に役立てた。また、実証実験を行う段階で、対象地域の設定として地域リーダーや行政、中間組織などの地域構成の条件を参考にし、大阪府の都市部、沿岸部、中山間部の選定を行った。名古屋大学のサーバにあるデータを連携し、東海地域で作詞絵・集約されたローカル情報を災害情報プラットフォームで表示し、必要とされるユーザ向けのコンテンツとして活用した。DONETの波形情報と震源決定画面の表示連携を実施した。(表3-5-(3)-5、図3-5-(3)-38と39、写真3-5-(3)-6)

また、当プロジェクト内の他テーマ研究成果や、広域災害に関連するコンテンツをデータベースに各種登録している。(図3-5-(3)-40から45)

表3-5-(3)-5 登録情報の一例(東京大学の調査・分析結果)

	実行可能性	記述的規範	主観的規範	リスク	コスト	効果評価	
Q7_14	0.77115	-0.12248	0.03105	0.17692	0.08543	0.03513	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
Q7_7	0.71237	-0.00404	0.02365	-0.02811	0.13057	-0.01269	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
Q7_1	-0.73317	-0.04826	0.10202	0.04971	0.0514	0.07152	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
Q7_13	0.05698	0.79193	-0.0007	0.13563	0.06641	0.01969	M. 強く長い揺れを感じたら、周りの人は、すぐに避難すると思う
Q7_9	-0.06942	0.53704	0.09899	0.04942	0.06258	0.08758	I. 津波警報が出たら、地域の人の中で避難する人は多いと思う
Q7_15	0.08217	-0.77283	0.05715	0.06224	0.07994	0.08317	O. 大きな地震があっても、周りでは、すぐに逃げる人は少ないと思う
Q7_6	0.05276	0.18684	0.8248	-0.03355	0.03575	-0.03489	F. 地震が起きたら、周りの人も私が避難することを望んでいると思う
Q7_2	-0.11249	0.0433	0.79943	0.00605	0.07579	-0.03703	B. 周りの人は私に対して「大きな地震のときはあなたも避難したほうがいい」と思っている
Q7_11	-0.02055	0.14756	-0.57542	-0.04064	0.13128	-0.03205	K. 大きな揺れの後に自分が避難しないでも、周りからとがめられることはないと思う
Q7_12	-0.13084	-0.00215	-0.0419	0.89998	0.12138	-0.15499	L. 自宅の建物は、津波に対して危険だと思う
Q7_18	-0.12263	-0.27823	0.11602	-0.33588	0.15322	-0.04604	R. 自宅まで、たいした津波は来ないと思う
Q7_5	-0.12028	0.00491	-0.20988	-0.58036	0.14622	-0.14047	E. 津波がきたとき、自宅に残っていても、たいした危険にはあわずにすむと思う
Q7_3	-0.00895	-0.06615	-0.04378	-0.09829	0.84634	0.03297	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
Q7_8	0.13605	0.08008	-0.03876	0.02913	0.59925	0.00538	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
Q7_16	-0.02418	-0.0014	-0.04129	-0.00288	-0.20024	0.07038	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
Q7_17	-0.0435	0.12966	-0.00553	-0.05687	0.04235	0.76732	Q. 避難場所は津波に対して安全だと思う
Q7_4	-0.38756	-0.03206	-0.05762	0.162	0.03028	0.40069	D. 避難場所までたどりつければ命が助かると思う
Q7_10	0.00345	0.11706	-0.01152	0.03061	0.07532	-0.62234	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

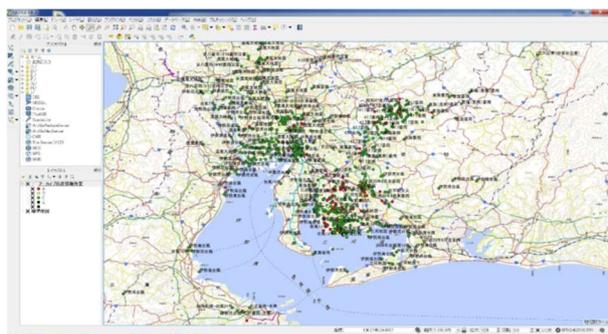


図3-5-(3)-38 (左) 登録情報の一例(名古屋大学が収集したマップ情報)
写真3-5-(3)-6 (右) 登録情報の一例(VR学習ツール)

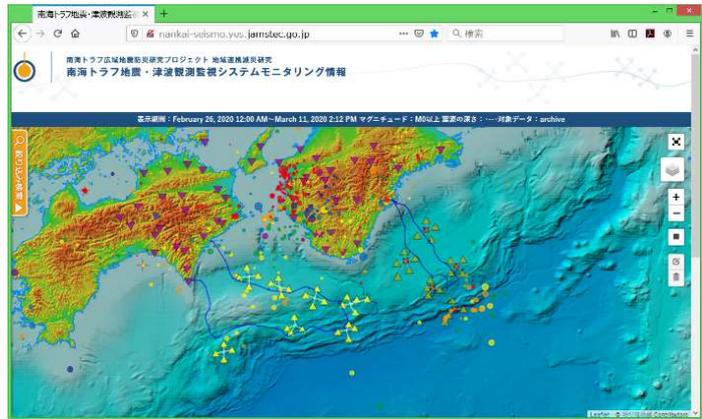
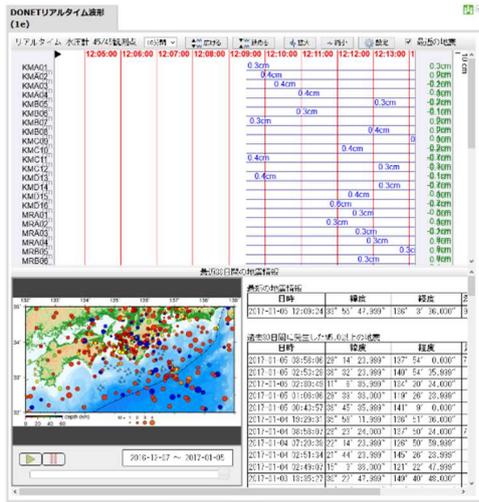


図 3-5-(3)-39 登録情報の一例 (DONET 観測データ、表示システム)



図 3-5-(3)-40 (左) 3.11からの学びのデータベース

図 3-5-(3)-41 (右) 震災教訓文献データベース



図 3-5-(3)-42 (左) 動画でふりかえる 3.11 の Top ページ
 図 3-5-(3)-43 (右) 場所を選択し選んだ動画を閲覧



図 3-5-(3)-44 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



図 3 - 5 - (3) - 45 自治体の災害履歴マップ

b) モデル地区での検証と実際の利用

害情報プラットフォームを構築するだけでなく、コンテンツの種類や閲覧既往の改善を図るため、実際にユーザによる利用実験を実施した。ユーザは行政の防災担当者、地域の実務組織（社会福祉協議会など）、地域住民である。

対象としたユーザの中でも、特に、詳細な検証を行うことができた社会福祉法人社会福祉協議会（以下：社協）と行政による災害時の被災者向けの事前研修・訓練と、実際の災害での利活用について述べる。

ア) 平常時の試み

i) 想定被害情報の提供

地震動と津波の被害が発生すると想定されている大阪府にて、要支援者対策を実務担当する行政と社協の職員を対象に、災害情報プラットフォームの利用検証を実施した。（図 3 - 5 - (3) - 46）

災害情報プラットフォーム全体についての利用研修会は、大阪府全域を担当する府社協と協力し府下の41地域の市町村社協職員を対象に実施した。写真 3 - 5 - (3) - 7 のように全体説明を実施し、平常時からどのような災害情報があるのかを知っておくこと、また平常時からの災害時要支援者対応業務の運用改善につながるツールの利活用方法について理解し、災害時にも無理なく活用できるかを検証している。災害情報としては、予想される地震動や津波浸水エリア、避難所などの主要施設や交通インフラの現状把握などである（図 3 - 5 - (3) - 47 と 48）。



図 3-5-(3)-46 (左) 南海トラフと大阪府の位置関係
写真 3-5-(3)-7 (右) 大阪府での研修



図 3-5-(3)-47 想定震度分布と想定津波浸水エリアの情報

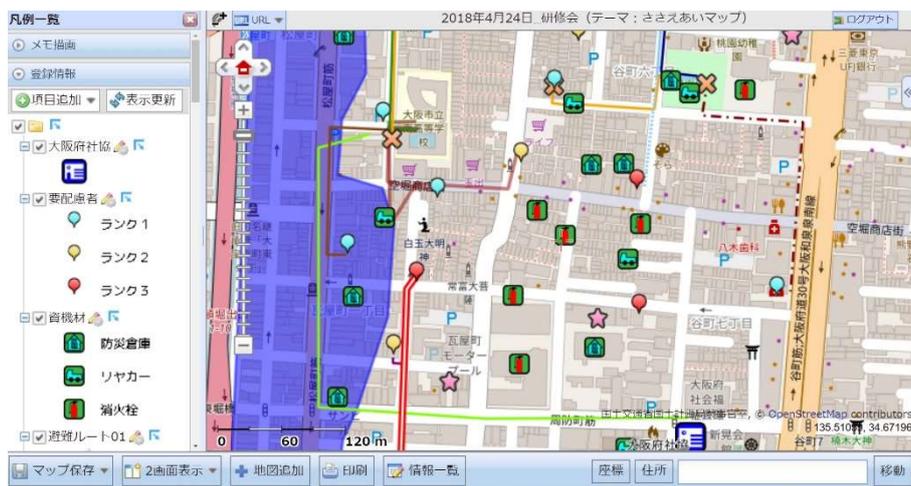


図 3-5-(3)-48 要支援者避難ルート検討マップ 左側青色は浸水エリア

ii) DONETのリアルタイム観測情報の提供

研修会では、紀伊半島沖および四国東部沖で観測しているDONETの観測情報を提供し、震源エリアが西と東に分割して被害が発生する可能性を考慮した災害対応についての検討も実施した(図 3-5-(3)-49)。その場合、大阪府では数日から数年の時間差を置いて

大地震に見舞われる可能性があるため、突発的な対応と同時に事前準備に時間的猶予がある場合の計画を考えておく必要がある。

iii) 既存の仕組みを活用した広域連携の計画立案

社協における府全域の連携に関しては、既存の仕組みとして4ブロックに分けられたエリアが相互協力する関係性が構築されていた。この仕組みを活用し、情報利用の面でこの仕組みを強化するために、情報共有の場としてポータルサイト構築をおこない、また、迅速な情報共有を実現するための書類やデータフォーマットの統一を行った。(図3-5-(3)-50)

iv) 参加している組織・団体

事前研修や地域実践活動への参加リストを以下の表3-5-(3)-6で示す。これら組織・団体は、災害発生時に地域内での支援活動を実働することが期待される共助と公助のリソースと考えられる。平常時から研修や訓練に参加し相互協力の可能性について議論した。



図3-5-(3)-49 大阪府における地震動と津波の影響とDONETリアルタイム波形情報などの提供

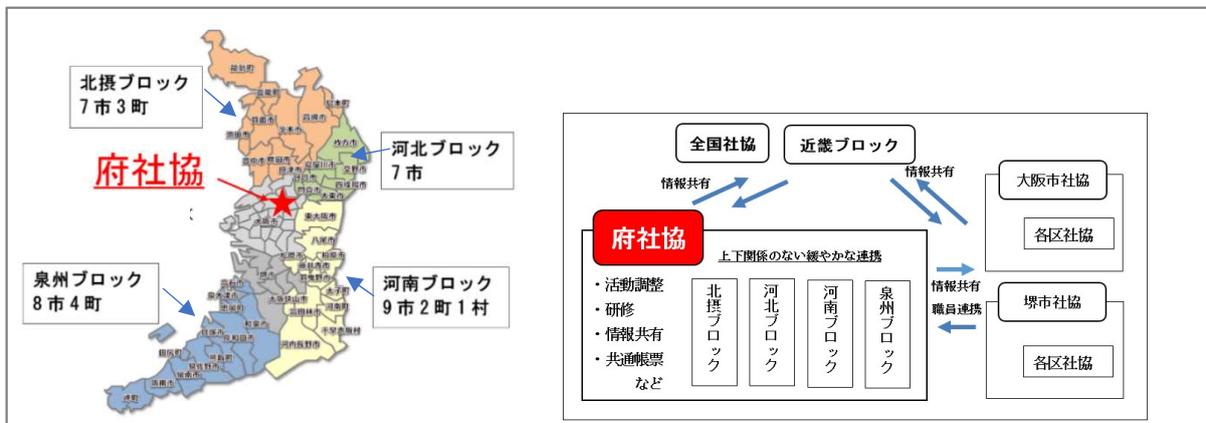


図3-5-(3)-50 大阪府内の社協地域ブロックと連携体制

表 3-5-(3)-6 研修と訓練に参加している組織・団体

名称	社会的役割	規模	参加活動の概要
大阪府社会福祉協議会	住民主体の理念に基づき・地域住民やボランティアの参加により地域の様々な福祉課題の解決に取り組む組織	都道府県	地域福祉・防災に関する大阪府内の調整や事前研修の実施
各市町村社会福祉協議会（41市町村）	同上	基礎自治体	地域福祉・防災に関する現地の実務組織
社会福祉施設	老人、児童、心身障害者、生活困窮者等社会生活を営む上で、様々なサービスを必要としている者を援護、育成し、または更生のための各種治療訓練等を行い、これら要援護者の福祉増進を図る	基礎自治体	災害時要支援者などの受け入れ施設
社会福祉推進委員	社会福祉協議会における各事業のあり方検討と推進、災害救援活動の応援体制の確立	基礎自治体	社会福祉協議会の活動をサポート
民生委員児童委員協議会	社会的孤立の問題が顕在化していることから、地域における見守り活動の強化	町/区	地域見守り活動の実施
自主防災会	地域住民が協力して「自分たちの地域を自分たちで守る」ために立ち上げる組織	町/区	防災に関する地域住民の協働組織
消防団	消防組織法に基づき、各市町村に設置される消防機関。地域における消防防災のリーダーとして、平常時・非常時を問わずその地域に密着し、住民の安心と安全を守る	基礎自治体	災害発生時の火災などへの対処
婦人会	男女平等の推進、青少年の健全育成、家庭生活並びに社会生活の刷新、高齢化社会への対応、地域社会の福祉増進などの実現	町/区	高齢化社会への対応や、地域社会の福祉対応
町内会/自治会	そこに住んでいる誰もが住んでよかったと思える地域社会の実現に向け、地域のさまざまな課題を協働して解決していく場であるとともに、住民相互のコミュニケーションづくりの中心となるもの	町/区	地域住民コミュニケーションの場
NPO法人（福祉・防災関連）	ボランティア活動をはじめとする市民の自由な社会貢献活動としての特定非営利活動の健全な発展を促進する	民間	保健、医療、福祉の増進を図る活動、災害救援活動、地域安全活動
市町村役場	行政事務を取り扱う役所	基礎自治体	

イ) 災害時の試み

i) 2018年大阪府北部の地震

2018年6月18日7時58分に発生したM6.1の地震では、6月19日から22日の間に災害VCが大阪府の北摂地域各地で開設された。この状況に対し、大阪府社協と連絡・調整を行った上、災害発生直後から被害状況の把握を行うことができた。また、活動判断が可能となるように、推定震度分布と災害前の航空写真を災害情報プラットフォームに掲載し、大判地図（B0版）を印刷し利用した。この大判地図は現地災害VC内に掲示され、災害VC運営者らの被災状況の把握と、地域内外から参加した災害ボランティアに向けた被害状況の発信にも活用された。このように、災害情報プラットフォームは、被害の大きな地域の判断、作業箇所の優先順位や被災者支援活動での必要人員数予測に役立てられた。（図3-5-(3)-51と52、写真3-5-(3)-8と9）

ii) 2018年台風21号による災害

2018年9月4日に西日本を通過した台風21号（大阪府：最大瞬間風速58.1m/s、最高潮位329cm）は大阪湾沿岸部への高潮の影響と強風の被害をもたらした。大阪府沿岸部に南海トラフによる津波浸水の想定情報を、大判印刷地図とWebGISツールにより大阪府社協および被災現地の市町社協に提供した。今回の災害は津波ではないため、津波浸水の想定情報が直接的に役に立ったわけではないが、沿岸部の低標高地域や河川

の遡上の危険性がある箇所についての危険性の再確認や、海からの浸水被害に対する意識啓発を目的に情報提供した。関西国際空港への高潮被害は想定外の結果になったが、幸いなことに大阪府南部に位置する泉州地域の本州陸側では目立った高潮被害は無かった。(図3-5-(3)-53と54)



図3-5-(3)-51 (左) 大阪府北部の地震にて対応した市の位置図 (着色箇所)
 図3-5-(3)-52 (右) 推定震度の広域地図 (6/18) と災害VCの位置
 (オレンジ: 震度6弱、250mメッシュデータ)

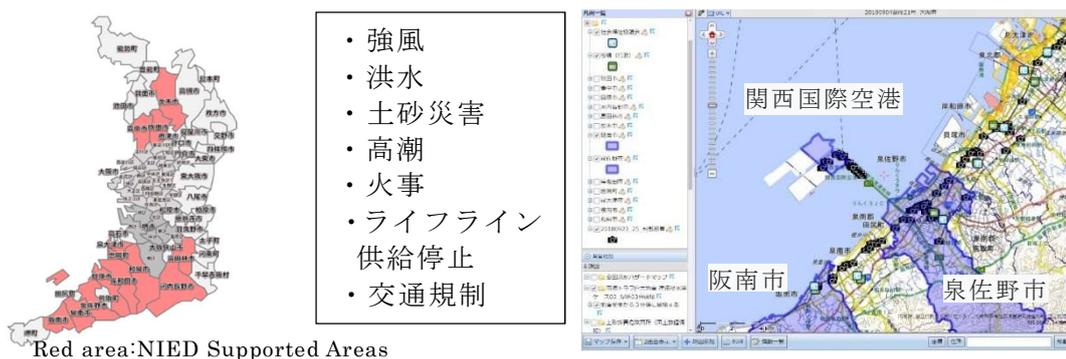


図3-5-(3)-53 (左) 台風21号被害にて対応した市町の位置図 (着色箇所)
 図3-5-(3)-54 (右) マップには津波浸水想定と現地写真を表示



写真3-5-(3)-8 (左) 大阪府茨木市災害VCの推定震度マップ (平成30年6/24)
 写真3-5-(3)-9 (右) 大阪府北部の地震による被害 (平成30年6/19)

iii) 活動内容の検証

平常時から災害対応時、また復旧・復興時における災害情報プラットフォームの利活用実情について関係者と振り返りの会議を実施し、改善点について検証を行った。(図3-5-(3)-55、写真3-5-(3)-10と11)

ユーザが平常時から最新研究成果を知り、事前計画や災害対応の活動に役立てる。



図3-5-(3)-55 災害情報プラットフォームの利活用検証サイクル



写真3-5-(3)-10 (左) 大阪府の社協による北部地震と台風21号の対応振り返り (平成30年11/19)

写真3-5-(3)-11 (右) 同上

c) 災害情報が利活用されたことによる効果

ア) 現地運営の活動効率向上

災害ボランティア活動の運営調整を実施する社協職員やNPO等の関係者において、平常

時から被害想定や震度情報などの災害情報を活用する研修や訓練を実施していたことにより、災害発生時には迅速に災害情報を利活用するという手法が定着した。その手法定着により、災害情報に関わる作成・発信側と受け手側のスムーズな連携が可能となった。2018大阪府北部の地震では、震度6弱が発生したと想定された地域である大阪府の枚方、高槻、茨木、箕面、豊中、吹田、摂津市の7市と、全体を把握する立場にある府社協を合わせた8か所に対して面的な想定震度分布情報が閲覧できるWebマップと印刷された大判地図を提供した。茨木市では推定震度分布情報を利用し、被災者支援が必要なエリアの優先順位を判断した(図3-5-(3)-56)。台風21号被害では、合計14か所に必要な災害情報を提供した。大阪府沿岸南部の、阪南、泉南、泉佐野、貝塚、岸和田、泉大津、和泉市の7市と熊取町の1町に対して高潮被害を考慮し、浸水想定エリア情報が閲覧できるWebマップと印刷された大判地図を提供した。また強風被害エリアとして内陸の河内長野、富田林、茨木市、豊中、吹田の5市と、全体を把握する府社協に対しては、土砂災害危険区域を閲覧できるWebマップと印刷された大判地図を提供した。これらの各種災害情報を運営関係者が利用することにより、各地域での迅速な被害想定把握が可能となり、活動調整に役立てられた。

イ) 府域の広域運営支援の実施

大阪府北部の地震では、災害ボランティア活動の運営調整を実施する社協職員やNPO等の関係者において、平常時から被害想定や震度情報などの災害情報を活用する研修や訓練を実施していたことにより、災害発生時における府全体の活動調整と、必要人材の派遣調整にも推定震度分布と建物被害推定情報による判断が行われ、甚大被害地域への効率的な支援活動が実施された。(図3-5-(3)-57から60)



図3-5-(3)-56 推定震度分布を利用した調査被害エリア有無の判断
(茨木市)

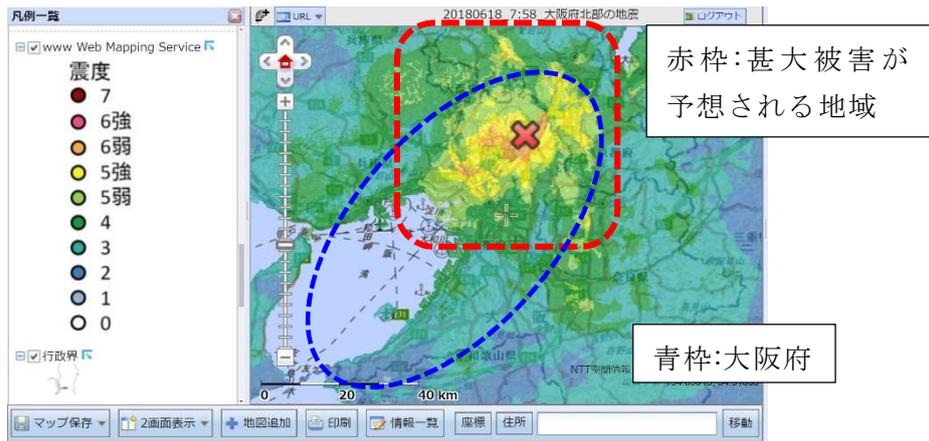


図 3-5-(3)-57 広域推定震度分布を利用した大阪府内の甚大被害エリア判断



図 3-5-(3)-58 大阪府域での人的支援の連携と府・市町村の関係



図 3-5-(3)-59 (左) 平常時の効果 (大阪府)

図 3-5-(3)-60 (右) 災害時の効果 (大阪府)

d) 災害情報利活用実験のまとめ

災害時要支援者への対応について一貫通貫の利用検証を行った。実動組織としては、主に社協、行政、福祉委員、地域 NPO、地域住民である。図 3-5-(3)-61 では実際の対応において災害情報プラットフォームの利活用タイミングと活動フローを記述する。

災害後 1 年経過したのち、関係者への調査検証を実施し、災害情報プラットフォームを利活用したことによる、事前の取り組みや、災害時の活動判断に役立ったことが裏付けられた。

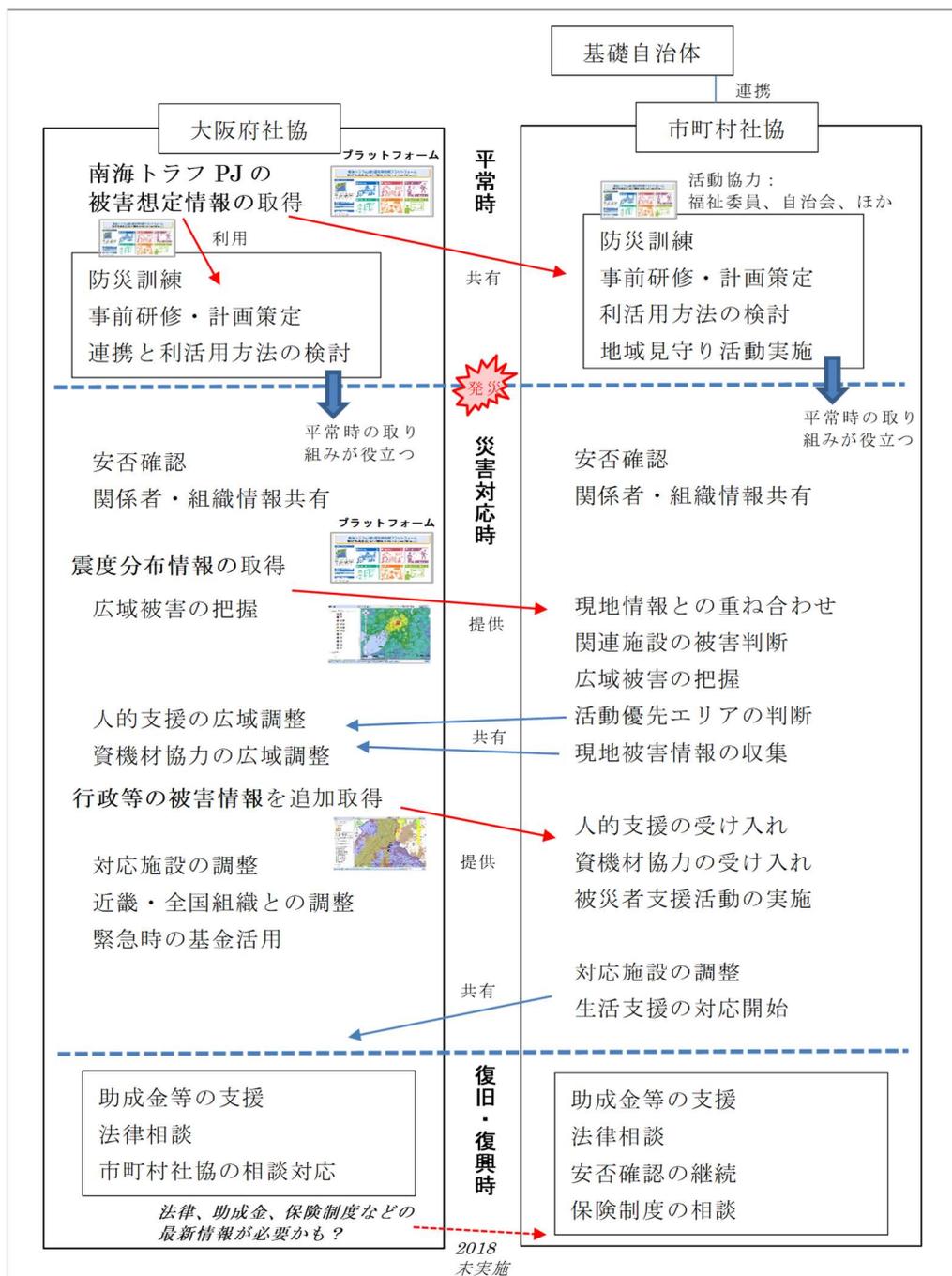


図 3-5-(3)-61 災害時要支援者対応における社協間の情報利活用フロー
(赤い矢印が災害情報プラットフォームおよび機能の一部が利活用された箇所)

(d) 結論ならびに今後の課題

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・手法と、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を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装した。

1-e で開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材を、行政や地域が防災活動を考えるために Web 上で一括して閲覧できるように実装し、行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継続的な分析ととりまとめを行った。

上記の、開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材と、リスクコミュニケーション (RC) ・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2.0) を一般公開した。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2.0) を利活用した社会実験を行政と関連組織で実施し、情報・コンテンツの一气通貫利用を行い、システム活用の地域展開も実施した。実際に地震・津波被害が想定されている地域で利用し実証実験を行った。対象地域は、大阪府全域であり、沿岸部では津波被害と液状化、内陸部では地震動と液状化について検証した。また二次被害としての斜面災害や、河川氾濫なども考慮した利活用も試みた。平常時から最新研究コンテンツを知り、地域の要配慮者への対応計画を考えた。そして事前研修の知見が、災害後の災害時要支援者（要配慮者含む）への支援活動の調整と、広域支援体制に役立てられ、これまでよりも円滑な活動が行われた。地域で災害対応を実施する災害 VC 運営者や NPO 等が、自分の町の局所的な被害だけでなく、隣町との人的・物的リソースについて考え始めた。

今後の南海トラフ巨大地震の発生を見据えて、広域連携が必要となる行政や関連の日常業務や住民訓練等の防災に関する計画に対して、当研究で判明した知見を助言し取り入れる事ができる枠組みを複数の自治体などを対象に作る必要がある。行政（都道府県、市区町村）の防災担当者だけでなく、実際の社会を構成している災害対応に関連する各分野（消防、医療、福祉、交通、通信、ライフライン、教育、民間企業、住民など）に対して情報を提供し、実務にて利活用されるための平常時からの研修や訓練をますます実施していくべきである。さらに、復旧・復興期に必要なとされる法律相談や、生活を回復していくために必要となる資金（助成金や保険制度）についての情報も平常時から提供し、災害時に備えることを検討する必要があると考えられる。

(e) 引用文献

なし