

防災対策に資する南海トラフ地震
調査研究プロジェクト

令和3年度
成果報告書

令和4年5月

文部科学省 研究開発局

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施した令和3年度「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」の成果を取りまとめたものです。

実施機関

国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立研究開発法人防災科学技術研究所
国立大学法人東北大学
国立大学法人東京大学地震研究所
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立大学法人京都大学
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学
国立大学法人東京大学
国立大学法人香川大学
国立大学法人徳島大学

無断複製等禁止

1. 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発

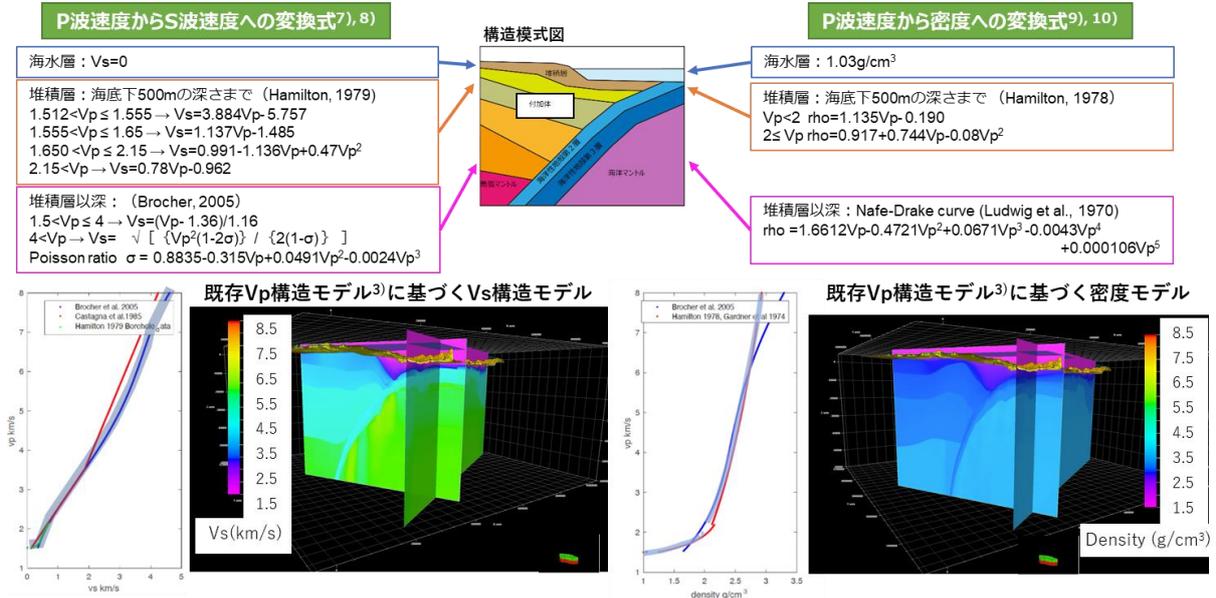


図1 令和2年度にとりまとめたP波速度からS波速度及び密度への変換式と、既存P波速度構造モデル (Nakanishi et al., 2018) への適用結果

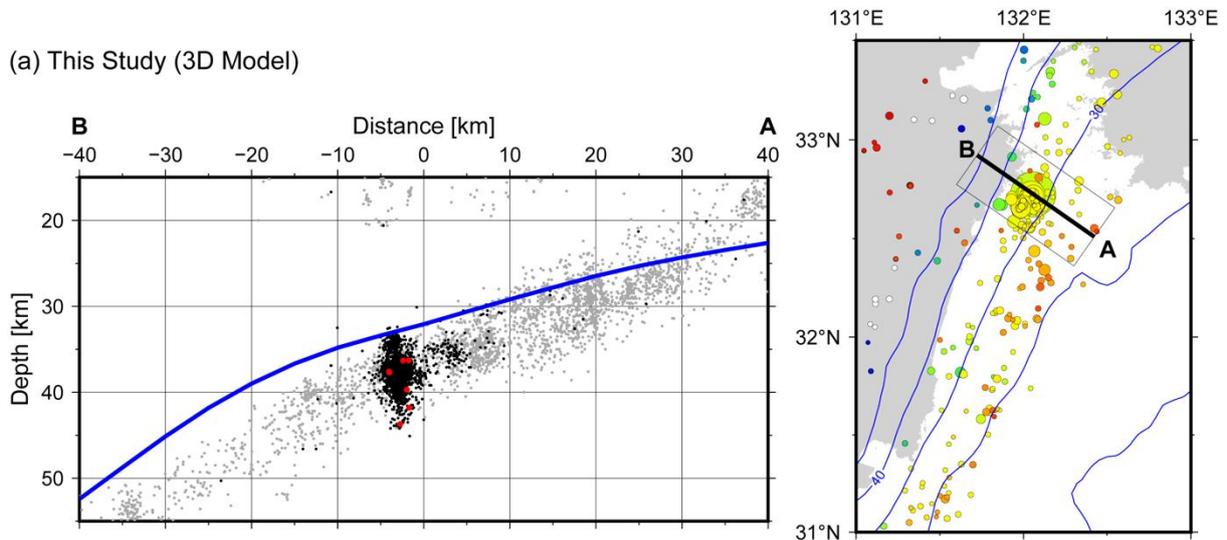


図2 Matsubara et al. (2019)による3D構造モデルを用いて再決定した日向灘北部における地震活動。左) 2022年1月22日のMj6.6の地震(本震)から2022年2月末までに発生したM4.5以上の地震を赤点で、M1.5以上の地震を黒点で示す。また、2012年1月から本震発生前までに発生したM1.5以上の地震を灰色の点で示す。断面線の位置は右側地図に示す。右) 本震発生から2022年2月末までに発生したM1.5以上の地震の震源位置を示す。青線はフィリピン海プレート上面の深さ (Nakanishi et al., 2018) を表す。

2. プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築

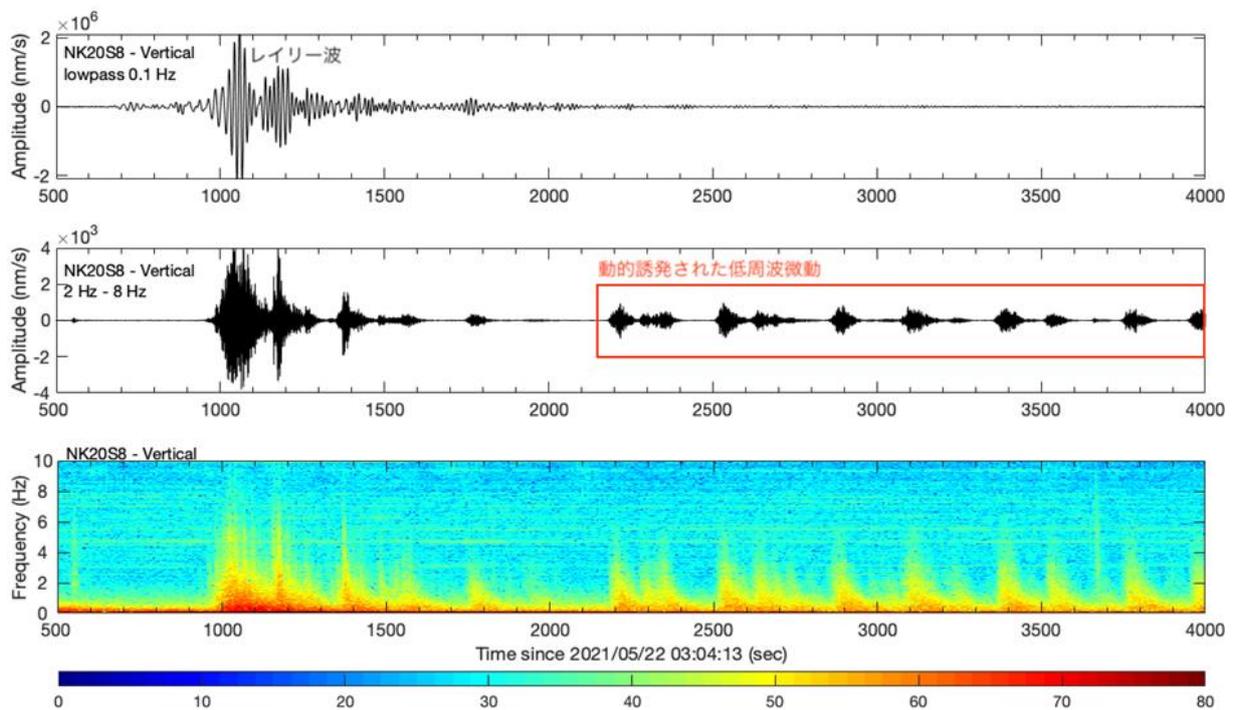


図3 中華人民共和国・青海省で発生した地震 (Mw7.3) のレイリー波と、レイリー波によって動的誘発された低周波微動。NK20S8 観測点の上下動記録であり、時間は本震発生時刻からの経過時間 (秒) を示す。(上) 0.1 Hz のローパス・フィルタをかけた波形記録。(中) 2 Hz ~ 8 Hz のバンドパス・フィルタをかけた記録。赤枠は動的誘発された浅部低周波微動を示す。(下) パワースペクトルの最小値でスケールしたスペクトログラム。

3. 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

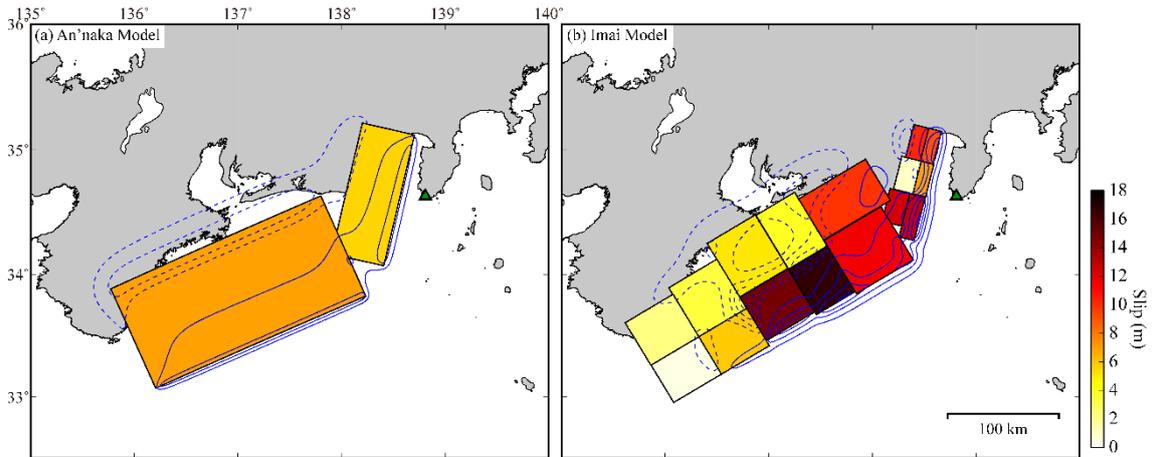


図4 1854年安政東海地震の推定津波波源モデル。左図(a)は安中ほか(2003), 右図(b)は今井ほか(2021)によってそれぞれ提案されたものである。緑三角は静岡県南伊豆町入間集落の位置を示す。実線・破線コンターはそれぞれ地震時における隆起・沈降を示す。安中モデルと比較して、今井モデルは御前崎沖に大滑り域を与えている。

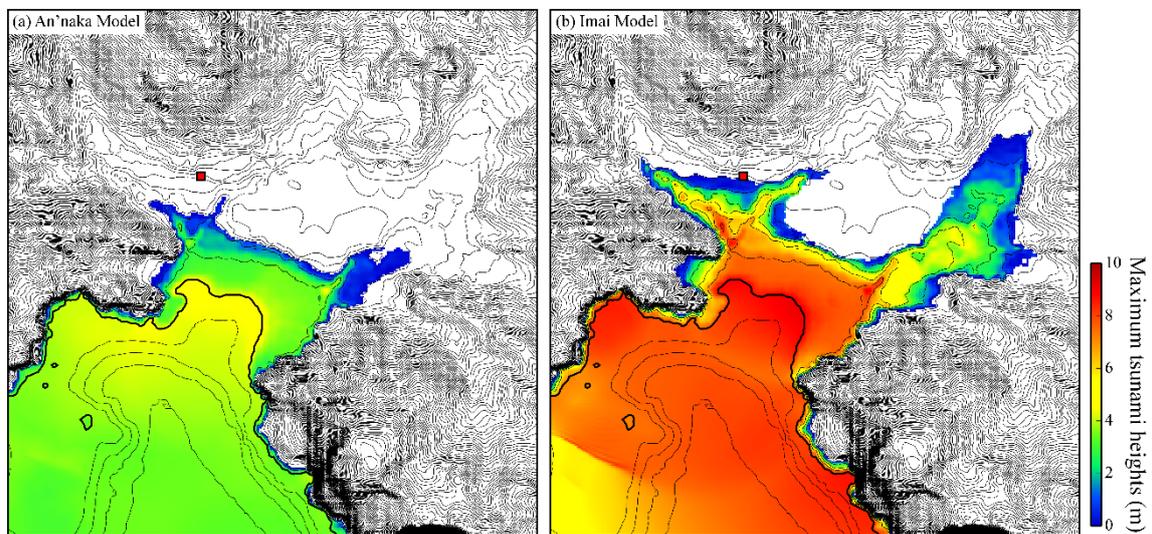
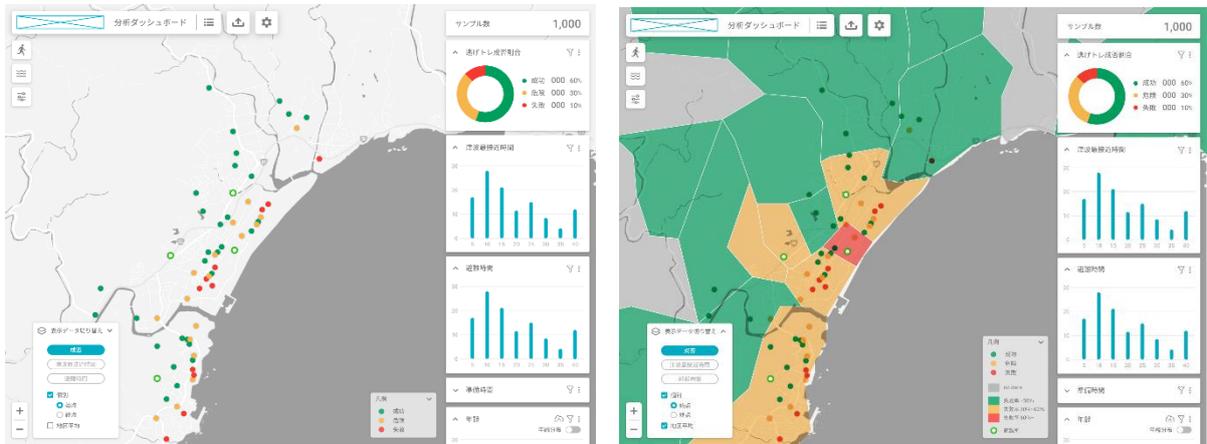


図5 安中モデルと今井モデルを初期津波波源とした静岡県南伊豆町入間における最大浸水深の比較。赤四角は安政東海地震で津波が到達したとされる現在の外岡家の位置を示す。安中モデルでは外岡家まで津波は到達しないが、今井モデルでは観測事実を説明できる。

4. 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

①『事前避難要不要判断ツール』に関する検討



避難訓練結果の全体像の表示画面

避難困難度の地区別診断・表示画面

図6 臨時情報が発表された際、どの範囲の、どのような属性をもった人が事前避難する必要が大きいのか、その判断に資する情報を、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」を用いた避難訓練のビッグデータをもとに自治体関係者等に可視化して提供するためのシステム「集合的避難行動の解析・表示システム」（「逃げトレView」）のプロトタイプが完成。

②避難困難区域での「避難を可能にする」まちづくり方策の検討



図7 安全な高台までの避難時間を色塗りし、様々な世代が安全に避難するための「話し合いの道具」として利用されている「逃げ地図」ワークショップの実施を支援するシステムの改良を実施。

5. 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

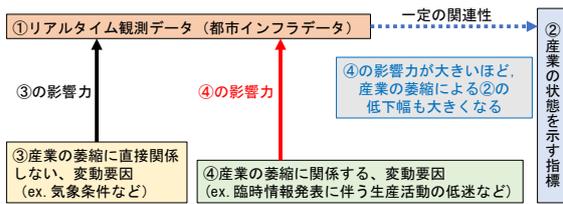


図8 産業萎縮の要因把握

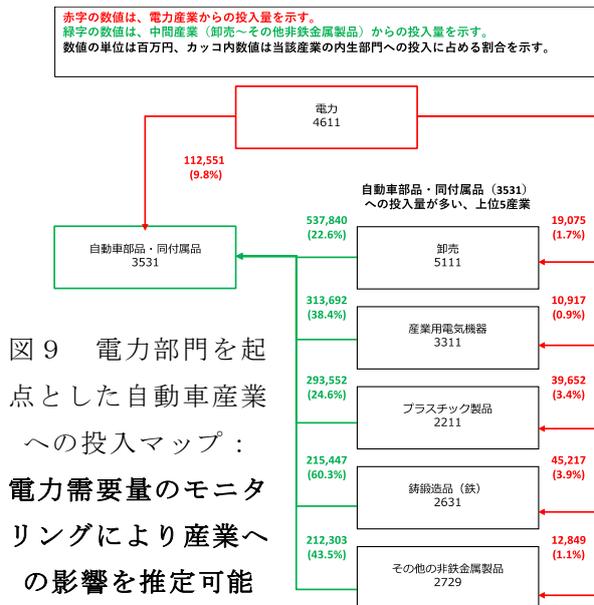


図9 電力部門を起点とした自動車産業への投入マップ：電力需要量のモニタリングにより産業への影響を推定可能



図12 南海トラフ地震臨時情報ワークショップの様子と臨時情報（巨大地震注意）

社会様相のワードクラウド：

南海トラフ地震臨時情報発表時の特徴的時間断面での社会様相の解明に

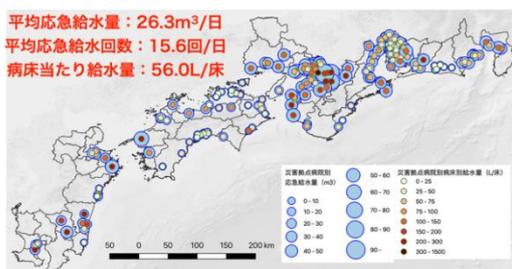


図13 災害拠点病院の応急給水量数値解析：臨時情報発表時の社会様相把握

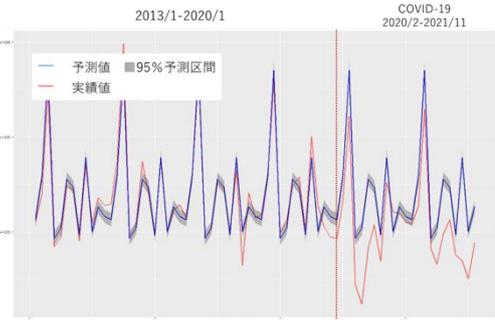


図10 新型コロナウイルス COVID-19による産業への影響評価結果
 自動車産業（新車販売台数）：
 状態空間モデルと時系列データより
 COVID-19の定量的影響を把握

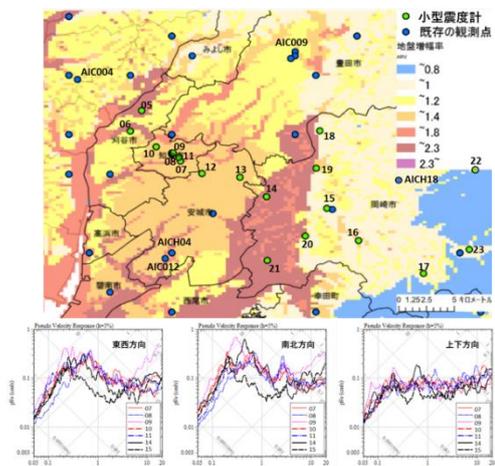
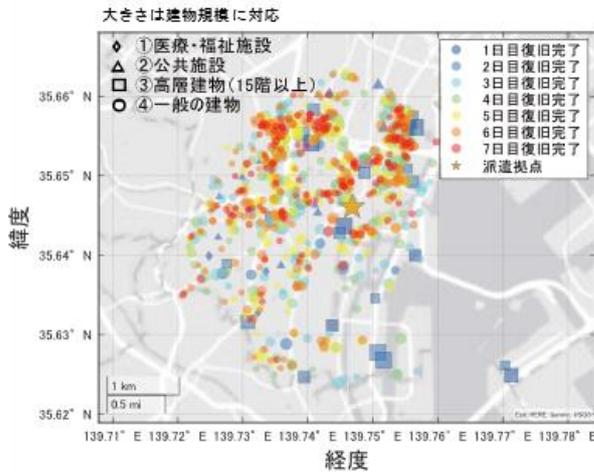
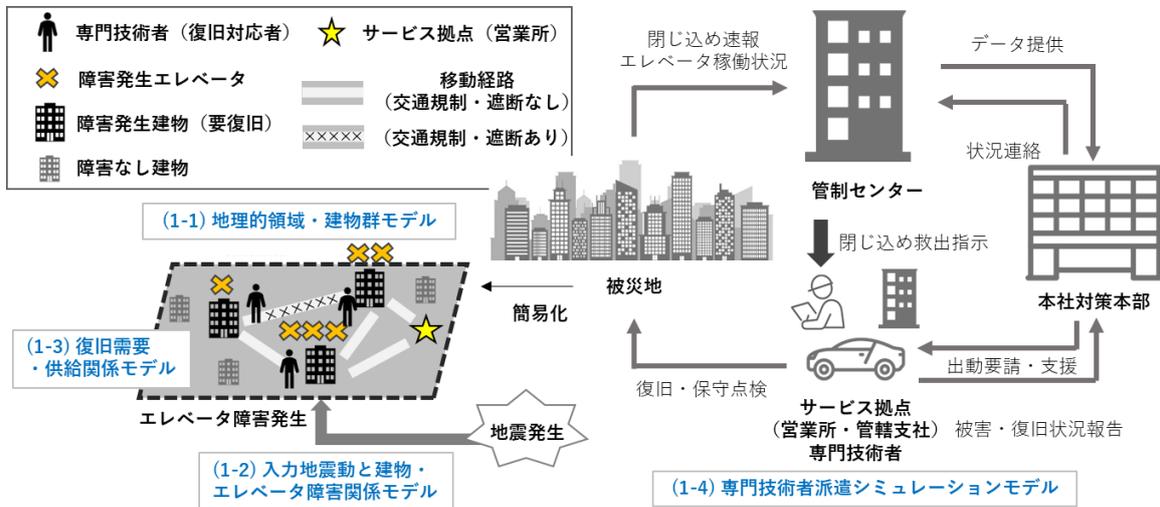


図11 MEMS震度計配置図と2021年12月3日紀伊水道の地震擬似速度応答スペクトル：既存の震度計配置を補間する連続モニタリングとしての活用可能性を把握

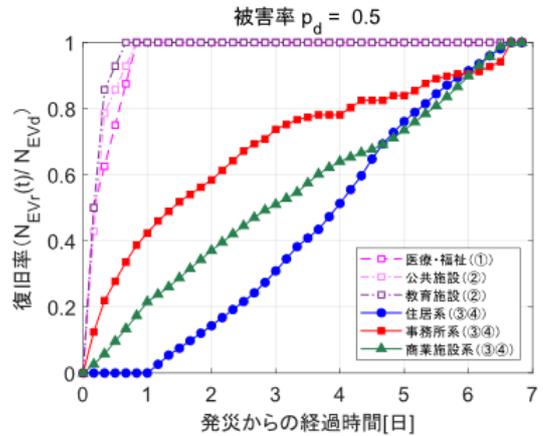


図14 臨時情報遠隔型ワークショップ：臨時情報発表時に関する地域情報共有連携手法の探究

6. 発災時の大都市機能の維持



(a) 復旧日数分布



(b) 建物用途ごとの EV 復旧率

図 16 今年度は汐留・品川駅周辺エリア②において、仮想的に中規模程度の被害を発生させたうえで、その復旧シミュレーションを試行的に行った。その結果は、例えば「延床面積が大きい順に復旧」という優先順位で行った場合、上記のようになる。

7. 地震防災基盤シミュレータの構築

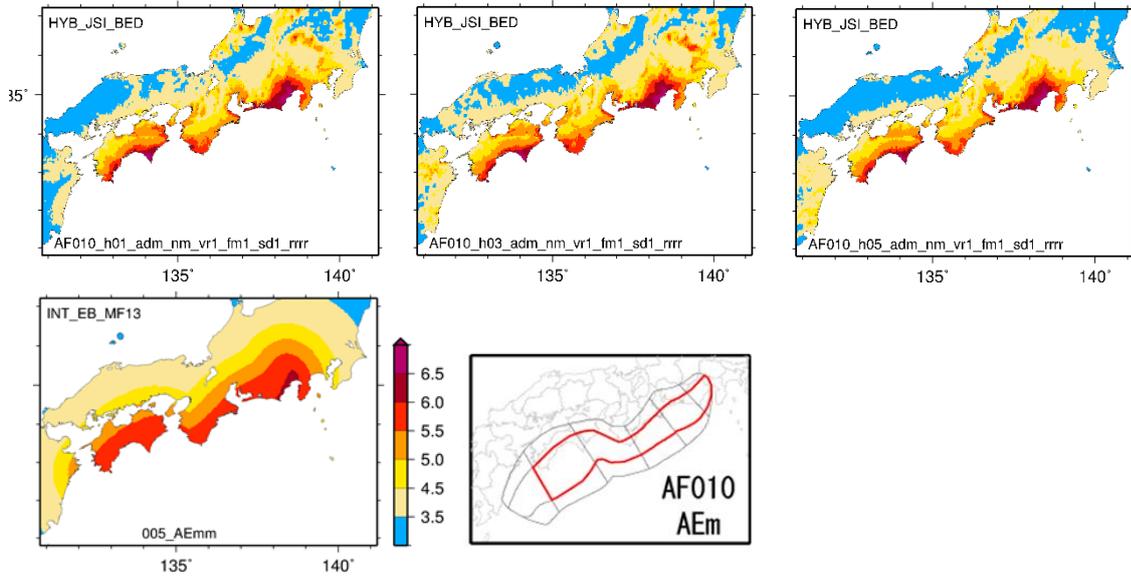


図 17 ハイブリッド合成法広帯域強震動シミュレーションによる計測震度分布の例。上段は破壊開始点の異なる3ケースの計算結果（左、中央、右はそれぞれ破壊開始点が震源域の西側、中央、東側に位置する震源モデルに対応）。下段左は経験式による計測震度分布。下段右は計算対象とした震源モデルの巨視的断層モデル（赤線で囲んだ領域が震源域となるモデル）。

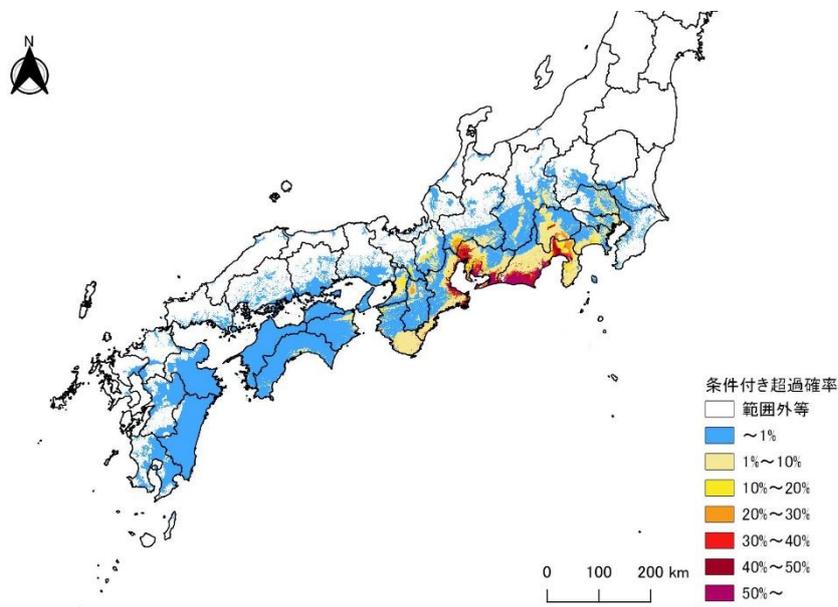


図 18 南海トラフ沿いの地震発生の多様性の一例として、西側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード評価の試算結果。計測震度 6.0（震度 6 強）以上の条件付き超過確率分布。

8. 創成情報発信研究

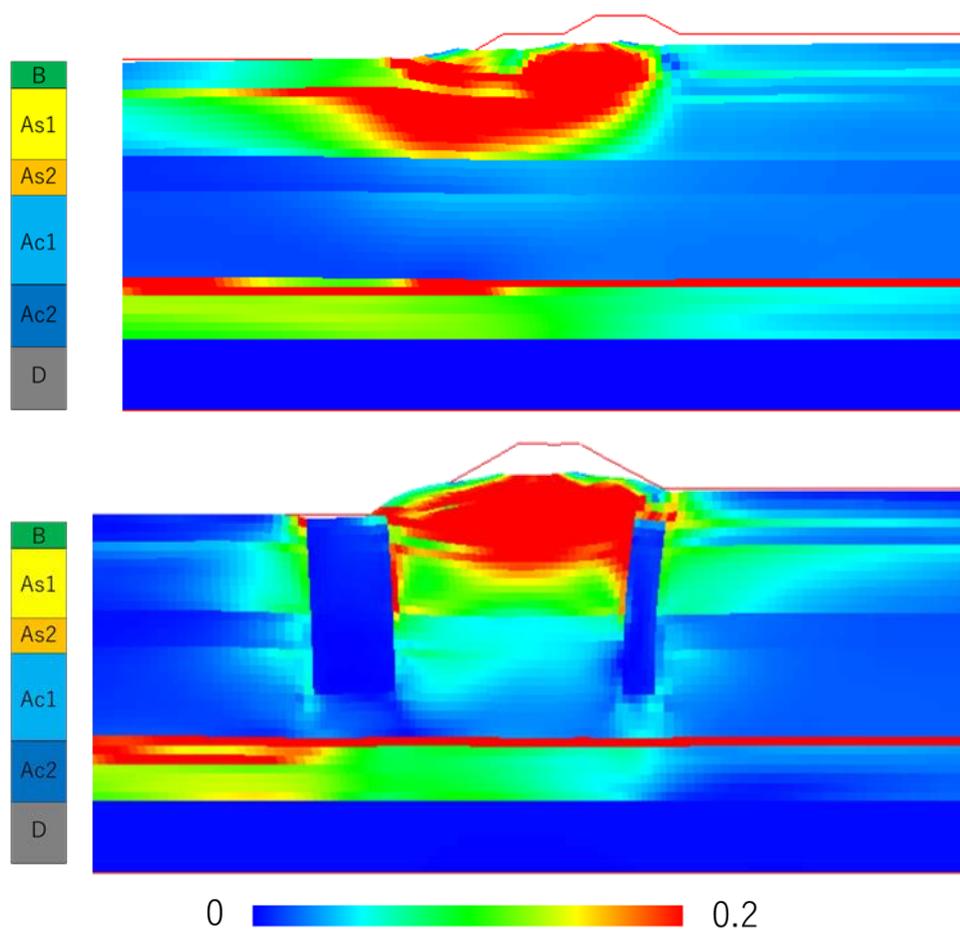


図 19 南海トラフ地震のハイブリッド波形を用いた徳島県那賀川下流域のせん断歪分布。左の柱状図は地下の層序を示し、B は埋め土、As1 と As2 は沖積砂層、Ac1 と Ac2 は沖積粘土層、D は洪積層である。(上) 液状化対策前、(下) 堤防の嵩上げと堤体法尻への静的砂杭圧入による地盤改良による対策後。

はじめに

南海トラフにおいては、過去に発生した巨大地震の多様性が指摘されるとともに、国難級の巨大地震の発生が危惧されている。そこで、令和2年度より5年間の計画で開始された本プロジェクトでは科学的・定量的なデータに基づき地震活動・プレート固着状態の現状を把握するとともに、これまでとは異なるゆっくりすべり等が起こった際にその活動と今後の推移に関する情報を迅速かつ精度よく評価し情報発信する手法の開発を行う。また、発信された情報を被害軽減に最大活用するため、平時や通常と異なるゆっくりすべり等に関する情報が発信された場合、住民・企業等の防災対策のあり方、防災対応を実行するにあたっての仕組みについて研究を実施する。さらに、自治体等と連携し、本プロジェクトで進めた研究成果が被害軽減の向上にどのように貢献したか定量的な評価を行い、防災・減災計画に向けた効果的な研究開発項目を明らかにする。これらの目標達成に向けて、本プロジェクトでは地殻活動情報創成研究、地震防災情報創成研究、創成情報発信研究の3つの研究課題を設定している。

地殻活動情報創成研究では南海トラフの地震・地殻変動の現状を即時的に把握し情報を発信するため、海陸地震・地殻変動データを最大活用した地震活動・プレート固着すべりモニタリングシステムの構築をすすめるとともに、一定規模以上の地震が想定震源域、あるいはその近傍で発生した場合や、通常と異なるゆっくりすべりが進行した場合に備えてプレート固着状態の推移予測の確立をめざす。

地震防災情報創成研究では地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例としてとらえることにより、地震や津波のハザード・リスクの防災情報基盤を創出し、「命を守る」「地域産業活動を守る」「大都市機能を守る」の3つの目標を立て研究を推進する。

創成情報発信研究では地殻活動情報創成研究、地震防災情報創成研究の成果を踏まえて、地域や企業と連携して、それらの情報を利活用する手法を検討して情報の水平展開を行う。

以上、本プロジェクトではこれらの取り組みの成果を地震防災関係機関、自治体、企業などに展開し、南海トラフ地震・津波の災害軽減に資する研究を統合的に推進するものである。

目次

1. プロジェクト概要	1
(1) サブ課題1：地殻活動情報創成研究	1
(2) サブ課題2：地震防災情報創成研究	3
(3) サブ課題3：創成情報発信研究	5
1. 1 研究概要の説明	6
(1) 研究者別の概要	6
(2) 研究実施日程	9
2. 研究成果	
地殻活動情報創成研究	
2. 1 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発	10
(1) 業務の内容	10
(2) 令和3年度の成果	12
2. 2 プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築	29
(1) 業務の内容	29
(2) 令和3年度の成果	31
2. 3 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測	55
(1) 業務の内容	55
(2) 令和3年度の成果	57
地震防災情報創成研究	
2. 4 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供	110
(1) 業務の内容	110
(2) 令和3年度の成果	113
2. 5 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ	132
(1) 業務の内容	132
(2) 令和3年度の成果	135
2. 6 発災時の大都市機能の維持	217
(1) 業務の内容	217
(2) 令和3年度の成果	218
2. 7 地震防災基盤シミュレータの構築	237
(1) 業務の内容	237
(2) 令和3年度の成果	239
創成情報発信研究	
2. 8 創成情報発信研究	282
(1) 業務の内容	282
(2) 令和3年度の成果	284

3. まとめ	348
4. 活動報告	354
5. むすび	358

1. プロジェクト概要

南海トラフ地震の多様性が指摘され、また巨大地震発生確率が高まる中、本プロジェクトでは、科学的・定量的なデータに基づき南海トラフの現状や一定規模の地震発生時、及びこれまでとは異なるゆっくり滑り等が起こった際の地震・地殻活動とその推移予測に関する情報を迅速かつ精度よく評価し情報発信する手法の開発を行う。また、発信された情報を被害軽減に最大活用するため、平時や「南海トラフ地震臨時情報」が出された場合、住民・企業等の防災対策のあり方、防災対応を実行するにあたっての仕組みについて研究を実施する。さらに、自治体等と連携し、本プロジェクトで進めた研究成果が被害軽減の向上にどのように貢献したか定量的な評価を行い、防災・減災計画に向けた効果的な研究開発項目を明らかにする。

(1) サブ課題1：地殻活動情報創成研究

南海トラフの地震・地殻活動の現状や、「通常と異なる現象」を即時的に把握し情報を発信することを可能とするため、海陸地震・地殻変動データを最大活用した地震・地殻活動モニタリングシステムを構築する。そのため以下の三つの取り組みを行う。(a)地震活動情報評価：南海トラフの地震活動の現状を迅速かつ精度よく把握する為に、海陸統合三次元構造モデル（以下「3D構造モデル」という。）を用いた自動震源決定システム及び通常と異なる地震活動の検出と情報発信するためのシステムを開発する。(b)プレート固着・すべり評価：海底や陸域で観測された地殻変動・ゆっくり地震活動からプレート固着・すべりの現状把握と通常と異なる状態の検出を即時的かつ精度よく行う為に、3D構造モデルを用いた固着・すべりの時空間変化と地震時すべりの即時推定の手法及び情報発信システムを開発する。(c)推移予測：一定規模以上の地震が想定震源域で発生した場合や、通常と異なるゆっくり滑りが進行した際、その後のプレート固着・すべり推移予測を即時的に行う手法開発を進める。

(a) 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発

「地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）」において、海溝型地震の発生予測手法の高度化を行うために取り組む課題として、地震活動状況や海溝付近を含む海陸の堆積物データ、広域かつ三次元的な海域地下構造データ等の各種データの時間・空間分解能の向上を図ることと、時間・空間分解能を向上させた地震活動データ等を用いてプレート間固着・すべりのモニタリングの高度化を図ることが挙げられている。本サブテーマでは、3D構造モデル及び海陸の観測データを用いた自動震源決定システムを構築し、南海トラフ及びその周辺の地震活動の現状を即時的に把握出来るようにする。「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト（平成25年度～令和元年度）」で構築したP波速度3D地下構造モデルについて、「海域における断層情報総合評価プロジェクト（平成25年度～令和元年度）」の成果も活用し、最新の地下構造研究成果を取り入れることで高精細化するとともに、S波速度や密度等を含めたマルチパラメータ化を行う。海底に設置された常設地震・津波観測点（DONET等）については、各観測点直下の堆積層構造を詳細に評価

し、震源決定の高度化に資する観測点補正値を求め、3D構造モデルに反映する。構築した3D構造モデルを自動震源決定システムに適宜採用することで、過去及び現在の地震活動を適切に把握するとともに、通常と異なる活動の検出に向けた研究開発を行う。なお、本サブテーマで構築する3D構造モデルは、本プロジェクトにおける基本モデルとして、随時、他のサブテーマに提供する。

(b) プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築

南海トラフにおける巨大地震震源域の様々な時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現し、情報発信するために、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの不確実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発を行う。同システムにはプレート境界以外の断層も含む3D構造モデルに基づいた、地下の断層におけるすべりと地表及び海底での地殻変動を結びつけるグリーン関数を組み込む。さらに3D構造モデルに不均質粘弾性構造を追加したグリーン関数を導入する。これによって、プレート境界におけるすべり遅れの蓄積、地震時のすべり及びゆっくりすべり等の時空間分布を迅速かつ精度よく把握するとともに、その推定誤差を定量的に提示し、情報発信できるシステムのプロトタイプを実現する。加えて分岐断層等のプレート境界以外の海域断層も考慮に入れた推定を試みるとともに、広帯域海底地震観測により、プレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を行う。3D構造モデルが更新されれば、それに追従してグリーン関数を修正して随時再解析を行う。これらのうち、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりの推定の曖昧さを含めた推定技術については、国土地理院が別途進めている「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための高精度な地殻活動把握手法の研究開発」と密接に連携する。また、地震時すべり分布の即時推定については、国土地理院で運用しているREGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）への技術移転を念頭に置いた開発を行う。

(c) 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

過去の地震履歴についての知見を拡充するとともに、地殻変動データと整合する3D粘弾性構造モデルを構築し、過去の地震履歴や固着・すべりの現状把握の結果が与えられたもとで、現在の応力蓄積状態を推定するとともに、擾乱（半割れ等）が与えられた際の推移を予測する手法を開発する。そのために、断層すべりによる地殻変動計算と断層面での応力評価を、3D不均質粘弾性構造を考慮して行うための大規模有限要素モデルを南海トラフを対象として構築するとともに、前回の南海トラフ地震以降の地殻変動データと整合する物性パラメータを推定した上で、グリーン関数を計算する。また、断層構成則と組み合わせることで、与えられた固着・すべりの後の推移の計算を実現する。履歴については、海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出するとともに歴史地震について史料調査を実施する。陸域では掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底堆積物調査から地震・津波の発生

履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。また、史料解析に基づいて歴史地震における諸現象をより正確に復元する。

(2) サブ課題 2：地震防災情報創成研究

将来の発生が確実視され、地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例として取り込んだ地震や津波のハザードやリスクの防災情報基盤を創生し、3つの目標を立て総合的に研究を推進する。命を守ることを目標として、津波到達時間が短い地域を対象に、「南海トラフ地震臨時情報」の効力を十分に引き出すための事前避難の診断、人口動態をモニタリングする技術の開発を行う。また、地域産業活動を守ることを目標に、製造業の盛んな地域に対して、社会様相モニタリングデータ等に基づく事態想定シミュレーション技法を開発し、社会萎縮回避や事前防災投資のための地域産業回復シナリオを作成する。さらに、大都市機能を守ることを目標に、首都圏を対象に災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、復旧オペレーションを確立する。

(d) 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

「南海トラフ地震臨時情報」には、同地震・津波による被害を大幅に軽減することが期待されている。しかし、本情報をはじめ不確実性を含む災害情報の効力を十分に引き出すためには、どの範囲の、どのような人々が事前避難すべきなのかに関する客観的基準、避難先及び避難方法に関する知見とノウハウが必要とされる。そこで、(g)で開発する地震防災基盤シミュレータの津波シミュレーションをベースに、事前避難の要不要の診断ツールを開発し実装する。また、臨時情報発表時の人口動態予測システムを開発し実装する。さらに、津波到達時間が短い地域での地域研究会を実施し、両システムの実装と効果検証作業を行う。具体的には、第1に、先行プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第1期）で津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」を、訓練のたびに住民の空間移動データを標準化された形式でビッグデータとして蓄積可能なシステムとして再編し、『事前避難要不要判断ツール』として社会に実装する。第2に、空間モバイルデータを活用して、人や車の移動に伴った大規模な空間移動動態を予測・実測し、「臨時情報」発表時にどの地域でどのような人口移動が生じ、どこにどの程度の避難所が必要となるのかについてシミュレーションするための『広域人口動態予測システム』を開発し、「避難が可能なまち」を実現するためのシステムとして社会に実装する。なお、上記のツール及びシステムの実証実験のフィールド及び実装先については、高知県、和歌山県内の自治体の中から選定し実施する。

(e) 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

既往の調査研究プロジェクト成果を考慮した臨時情報発表時に製造業を中心とする地域産業活動が継続するために必要となる要素を構造化し、事前防災対策と事後対応を構成要素とした産業タイムラインモデルを構築し、都市インフラとサプライチェーンの回復力のリスク評価を行う。地域の人流、物流に対しては、地震センサー、停電

情報や都市インフラのスマートデータ、自動車センサーによるプローブデータに対する減災情報利活用の高度化等を行い、臨時情報発表時の俯瞰的かつ総合的なリアルタイムでの社会様相モニタリング手法を開発する。(g)で開発する地震防災基盤シミュレータと連携し、様々な階層における社会様相モニタリングデータを用いたリスク評価手法によるマルチエージェントの時間断面での行動と資源を取り入れた事態想定シミュレーション技法を開発し、社会萎縮回避や事前防災投資のための地域産業回復シナリオを作成し、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、情報提供できるようにする。

(f) 発災時の大都市機能の維持

南海トラフ巨大地震は国難ともいべき災害であり、このような状況下で東京・名古屋・大阪などの大都市機能を維持することはとりわけ重要である。特に長周期地震動の影響がある首都圏は、政治・経済・報道などを代表とする中枢管理機能が集中しており、例えば高層ビルなどの被害は首都機能維持や国全体としての災害対応そのものに少なくない影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、平時に極めて高度かつ複合的に設計されている大都市は、一たび突発的な災害が発生した際、どの程度・どういった形で都市機能が喪失するかは詳らかにされていない。他方で今後はあらゆるものにセンサーが埋め込まれ、モニタリングが可能なスマートシティ時代を迎える。それゆえ被害量の精緻な即時的予測は技術的に可能となりつつあり、これを災害対応に運用するための社会技術が求められる。具体的には、大規模災害時に都市機能の喪失に至らないための復旧オペレーションを、その災害の特徴を踏まえた形で発災直後に示すことも可能になるものと考えられる。

本研究では、このようなスマートシティ時代における新しい防災対応手法の確立もにらんで、「都市機能の維持」に必要な対策をリアルタイムで抽出するための研究を、首都圏を対象として行う。研究の手順としては、①大都市における災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、②これを基に都市機能を維持するための対応タイムライン作成手法を確立する。このうち災害シナリオの自動生成技術は、分担者責任者が開発している定性的被害予測技術を用いる。この技術は、これまでの災害教訓から得られる膨大な災害事象の網羅的な因果データベースを機械学習を用いて構築し、それを利用して近い将来に起こりうる災害事象をリアルタイムで抽出するものであり（イベントツリー・タイムラインの形）、本研究ではこれを援用して「大都市機能の維持」に焦点を絞った検討を行う。研究の後半では社会への実装を図るが、ここでは(g)で開発する地震防災基盤シミュレータによる長周期地震動対策を対象とし、長周期地震動が大きく影響を与える都市機能として、超高層ビル等の被害（エレベータ障害等）に着目して、モデル地域における復旧状況をシミュレーションする手法を開発し、都市機能を守るための大都市圏ならではの復旧オペレーションの検討を実施する。

(g) 地震防災基盤シミュレータの構築

時空間的な地震発生の多様性を持つ南海トラフ地震を対象に、上記テーマ(d)～(f)

の研究で活用可能とする将来を予測する基盤となる情報として、地震や津波のハザードやそれによって引き起こされるリスク情報を創出する。具体的には、「通常と異なる現象」を地震発生の一多様性の一例として捉え、それが起こった後の時間推移を考慮した条件付きリスク評価手法の開発を行う。また、地震本部の知見を採り入れつつ、地震発生の一多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組み合わせからなる断層モデル群に対して、長継続時間・広帯域強震動（長周期地震動を含む）や津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションできる手法を開発し、上記テーマに関連して、事前避難、産業活動及び大都市機能維持のそれぞれの地域性の観点から南海トラフの地震像を類型化する手法の開発を行い、類型化毎の代表的な広域災害シナリオを構築する。このように創出したハザード・リスク情報を格納する情報基盤を、防災科研の地震ハザードステーション（J-SHIS）、津波ハザードステーション（J-THIS）及びリアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）と連携できる形で地震防災基盤シミュレータとして構築し、(d)～(f)のそれぞれの目的に適した形態で提供可能とするとともにサブ課題3「創成情報発信研究」と連携して利活用を進めることで防災対策に活かす。

(3) サブ課題3：創成情報発信研究

地域防災力の向上のために、事前準備、災害時対応及び災害後対応の各ステージで各種情報を地域の防災に活用するための情報発信の在り方を探る。サブ課題1の理学的な成果とサブ課題2の工学・社会的な成果を、地殻変動や地震活動等、異常な現象が発生した時にどのように活かすか、これまでの南海トラフ巨大地震関連のプロジェクトの地域研究会での議論も参考に、情報発信検討会を共通の防災上の特性を有する複数の地域で開催して検討する。検討には、気象庁からの臨時情報・解説情報の発表のケースを念頭に、これまで地震調査研究推進本部から公表されているハザードマップや各種情報も入力情報として使用する。研究成果を直接的に防災に活かせるよう、地域毎に異なる防災上の課題を整理し、その解決手段を講じる。つまり、単に研究成果を防災情報としてアウトプットするだけでなく、正しくかつ効果的に防災情報を利用し適切な防災行動につなげてもらう必要がある。例えば、津波浸水を考えた場合、浅い浸水深が安心情報になってはいけない。それは、浸水評価の誤差の問題のみならず、浅い浸水深は瓦礫集積や津波火災の可能性を示唆するからである。個々人の知識と経験から、各地域が防災上のリーダーシップをとって行動に移すことができる体制の構築を目指し、災害対応評価システムを構築して、本プロジェクトの成果の地域への貢献度を評価する。この評価のために、地方自治体や地域の研究者の協力を仰ぎ、特定多数における情報リテラシーを計測する。また、これらの取り組みや分析結果について、情報発信検討会を通じて地域と共有して検証し、次の防災力向上の計画へとつなげる。

1. 1 研究概要の説明

(1) 研究者別の概要

所属機関・部署・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費(円)	間接経費(円)
国立研究開発法人海洋研究開発機構	小平秀一	プロジェクト研究代表・サブ課題1責任者。プロジェクト全体については、サブ課題1・2・3の連携を意識した議論・検討を行った。サブ課題1については、3課題連携し、地震・地殻活動モニタリングシステム、及び推移予測手法の構築を進めた。	令和3年4月1日～ 令和4年3月31日	80,872,632	24,261,789
	堀 高峰	サブ課題1c責任者。サブ課題1・2のシナリオ構築での連携の議論、1c内の推移予測と履歴の連携の検討・整理を進めた。			
	仲西理子	サブ課題1a分担者。既存・新規調査研究成果の収集とともに、それらを取り入れた速度構造モデル更新・構築、及びモデルのマルチパラメータ化を進めた。また、作成したマルチパラメータモデルをもとに、サブ課題間の連携を進めるための他のサブ課題関係者との議論を推進した。			
	飯沼卓史	サブ課題1b分担者。プレート境界でのすべり・固着に対する地表・海底面での変位応答について、既存の有限要素モデルを改良した全国一次地下構造モデルにできうる限り準拠したモデルを構築たうえで計算を実施し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数を得た。			
	今井健太郎	サブ課題1c及びサブ3分担者。サブ課題1cでは史料に基づいた履歴調査を行い、昭和東南海地震による津波痕跡情報の再			

		整理を行い、波源推定の情報整備を行った。 サブ課題3では、延岡市における津波被害予測に関わる土地利用の情報整理を行い、それに基づく津波氾濫解析を実施した。			
国立研究開発法人防災科学技術研究所	藤原広行 汐見勝彦 中村洋光 高橋成実	サブ課題2責任者。 サブ課題2について、4つのテーマ間での連携を進めるとともに、サブ課題1及びサブ課題3との連携体制を構築した。 サブ課題1a責任者。 3D構造モデルを用いた自動震源計算システムの仮運用を行うとともに、震源計算結果の性能評価を進めた。 サブ課題2g責任者。 地震動や津波のハザード・リスク評価結果を搭載可能な地震防災基盤シミュレータのプロトタイプ開発を行った。 サブ課題3責任者。 サブ課題1とサブ課題2の連携を通じて、研究成果の可視化と地域との成果共有・理解の体制構築を進めた。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	64,624,061	19,387,218
国立大学法人東北大学大学院	太田雄策	サブ課題1b責任者。 断層モデルの推定不確かさを含めた推定アルゴリズムの開発について継続するとともに、推定誤差が津波浸水計算に与える影響を可視化するアルゴリズム開発を行い、数値実験によって予備的な成果を得た。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	5,633,616	1,690,084
国立大学法人京都大学防災研究所	矢守克也	サブ課題2d責任者。 事前避難要否判断ツールの開発について、分析システムの基本構成、避難訓練支援アプリの拡充版、及び、「逃げ地図」の活用法について検討し、プロトタイプを作成した。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	26,810,077	8,043,023

国立大学 法人東海学 国立大 機構名古 屋大学	平山修久	サブ課題2e 責任者。 産業タイムライン構築 把握について、都市イン フラデータモデル、産業 構造モデルを構築し、南 海トラフ地震臨時情報 発表時の社会活動の萎 縮状況に関する結果が 得られた。 リアルタイム社会様相 把握について、既存震度 計を補間する連続モニ タリグを開始した。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	35,499,539	10,649,861
	中井健太郎	サブ課題3 分担者。 複数の地震外力シナリ オ下で、軟弱地盤上に立 地する河川堤防の耐震 性再照査を実施し、継続 時間が長く長周期成分 を有する地震動の場合、 従来は地震被害が発生 しないと考えられる粘 土層が乱される危険性 を指摘した。			
国立大学 法人東京 大学	廣井 悠	サブ課題2f 責任者。 作成した災害因果デー タベースを用いた、都市 機能維持に関する災害 シナリオのダイナミッ ク自動生成技術のプロ トタイプを作成した。 エレベータ復旧オペレ ーション方針の検討に ついて、地震動とエレベ ータ障害の有無を関係 づけ、障害の復旧過程を 模擬できるアルゴリズ ムを開発できた。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	13,376,539	4,012,961
国立大学 法人東京 大学地震 研究所	篠原雅尚	サブ課題1b 分担者。 プレート境界付近の地 震活動把握について整 備した海底観測網の維 持を行い、長期海底観測 を継続した。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	37,865,077	11,359,523
国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	宍倉正展	サブ課題1c 分担者。 海域及び陸域の地震・津 波履歴について、主に堆 積物の分析を行い、発生 年代や再来間隔に関する データが得られた。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	22,037,693	6,611,307
国立大学 法人香川 大学	金田義行	サブ課題3 分担者。 情報リテラシー向上研 究として複数学校で地	令和3年 4月1日 ～	2,700,000	810,000

		震津波アンケート調査を実施し、知識や行動力等で地域性や年代の違いが存在する結果が得られた。	令和4年 3月31日		
国立大学 法人徳島 大学	馬場俊孝	サブ課題3分担者。 情報発信研究について、 防災教育コンテンツの 在り方を議論し、コンテ ンツを動画で試作した。	令和3年 4月1日 ～ 令和4年 3月31日	1,350,000	405,000

(2) 研究実施日程

業務項目	実 施 日 程											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
【理学研究】(サブ課題1: 地殻活動情報創成研究)												
(a) 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発	←											→
(b) プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築	←											→
(c) 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測	←											→
【工学・社会科学研究】(サブ課題2: 地震防災情報創成研究)												
(d) 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供	←											→
(e) 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ	←											→
(f) 発災時の大都市機能の維持	←											→
(g) 地震防災基盤シミュレータの構築	←											→
【地域連携】(サブ課題3: 創成情報発信研究)	←											→

2. 研究成果

2.1 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー	藤江 剛
	主任研究員	仲西 理子
	特任研究員	Xin Liu
	臨時研究補助員	田中 恵介
	グループリーダー	尾鼻 浩一郎
	副主任研究員	中村 恭之
	主任研究員	利根川 貴志
	副主任研究員	新井 隆太
	副主任研究員	白石 和也
	副主任研究員	山本 揚二郎
	研究員	Yanfang Qin
	招聘主任研究員	山下 幹也
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	副部門長
主任研究員		浅野 陽一
主任研究員		植平 賢司
主任研究員		木村 武志
主任研究員		松原 誠
主任研究員		田中 佐千子
主任研究員		松澤 孝紀
主任研究員		武田 哲也
主任研究員		三好 崇之
主幹研究員		関口 渉次

(c) 業務の目的

マルチパラメータ化した三次元地下構造モデル（以下、マルチパラメータ3D構造モデル、あるいは3D構造モデル）ならびに海陸の観測データを用いた自動震源決定システムを構築し、南海トラフ及びその周辺の地震活動の現状を即時的に把握出来るようにすることを目的とする。3D構造モデルの構築にあたっては、様々な既往研究成果や最新の地下構造研究成果を取り入れることで、既に構築済みの三次元P波速度構造モデルを高精細化するとともに、S波速度や密度等を含めたマルチパラメータ化を行う。また、海底に設置された常設地震観測点直下の堆積層構造を詳細に評価し、震源決定の高度化に資する観測点補正值を求め、3D構造モデルに反映する。構築した3D構造モデルを

自動震源決定システムに適宜採用することで、過去及び現在の地震活動を適切に把握する。構築した3D構造モデルは、本プロジェクトにおける基本モデルとして、他の研究課題と共有する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

熊野灘海域の速度構造モデルの更新の仕組みの構築及びDONET観測点の観測点補正值推定方法の検討を進めた。3D構造モデルを用いた自動震源決定システム構築に向け、既存モデルを用いた震源計算システムを整備した。

2) 令和3年度：

熊野灘周辺の海陸統合3D構造モデルの構築を進めた。ここまで構築した3D構造モデルについて、サブ課題1「地殻活動情報創成研究」内で共有するとともに、他のサブ課題との共有方法等について、プロジェクト内外の関係者と議論を開始した。自動震源決定システムに新しい3D構造モデルを反映する仕組みを構築し、解析結果の評価・検討を進めた。

3) 令和4年度：

熊野灘周辺の3D構造モデルの検証や更新を実施しつつ、解析対象を紀伊水道域へ拡張するとともに、観測点補正值を3D構造モデルに反映する。熊野灘周辺の3D構造モデルを自動震源決定システムに反映させるとともに、構築した震源カタログに基づいて地震発生層の評価手法の検討を行う。他の研究課題と共有した3D構造モデルについて、新たに構築したモデルへの更新を行う。

4) 令和5年度：

3D構造モデルの構築対象領域を四国沖へ拡張するとともに、観測データを用いたモデルの検証や改善を進める。構築した震源カタログに基づき、地震発生層の評価や地震活動解析手法の確立を進める。他の研究課題と共有した3D構造モデルについて、新たに構築したモデルへの更新を行う。

5) 令和6年度：

前年度までに構築した3D構造モデルの検証や更新を実施しつつ、堆積層構造解析結果のモデルへの反映、東海沖及び日向灘沖への対象領域の拡張を行う。モデルの誤差評価手法を開発する。前年度までに得られたモデルを自動震源決定システムに反映させるとともに、地震活動を可視化して表現するシステムを構築する。他の研究課題と共有した3D構造モデルについて、新たに構築したモデルへの更新を行う。

(e) 令和3年度業務目的

熊野灘周辺の最新の構造研究成果を統合することで、海陸統合高精細マルチパラメータ3D構造モデルの構築を進める。また、前年度に引き続きDONETの観測点直下の堆積層構造解析を実施する。前年度構築した3D構造モデルを用いた自動震源決定システムの仮運用を開始し、震源計算結果等の評価を進める。並行して、震源計算に用いる3D構造モデル等の計算パラメータを効率的に更新する仕組みを構築する。

(2) 令和3年度の成果

①過去の探査や基盤観測データに基づく3D構造モデルの構築と検証

(a) 業務の要約

南海トラフ域におけるマルチパラメータ3D構造モデルの高精細化のため、これまで未活用だった研究成果に基づく速度構造情報を新たに取り込むことで、熊野灘周辺の三次元P波速度構造モデルの高精細化を進めた。さらに、令和2年度に取りまとめたマルチパラメータ化手法を適用することで、熊野灘周辺の高精細マルチパラメータ3D構造モデルの構築も進めた。南海トラフ全域を対象とする他のサブ課題等との連携を進めるため、高精細化されていない既存の広域三次元P波速度構造モデル¹⁾に同様のマルチパラメータ化手法を適用することで、南海トラフ全域のマルチパラメータ3D構造モデルを構築した。この全域モデルをもとに、他のサブ課題等とのモデル共有について議論を開始した。令和2年度に引き続き、既存構造探査データを新しいアプローチで解析することで、DONETの観測点直下の補正值として活用可能な堆積層内の詳細S波速度構造モデルの構築を進めた。

(b) 業務の成果

1) P波速度構造モデル作成・更新とマルチパラメータ化及び検証方針の検討

南海トラフにおける高精度なマルチパラメータ3D構造モデルの高精細化として、先行の「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」²⁾で実施された主に2D屈折法地震探査の成果に基づき、「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」³⁾で取りまとめられたプレート形状を含む既存三次元P波速度構造モデル¹⁾に、昨年度、収集・整理した「海域における断層情報総合評価プロジェクト」⁴⁾で収集された反射法地震探査の成果、加えて既存の調査観測研究の成果や新たに発表された研究成果を統合し、熊野灘周辺を中心に三次元P波速度構造モデルを更新した。さらに、令和2年度に取りまとめたマルチパラメータ化手法を適用することで、熊野灘周辺の三次元S波速度構造モデルを作成した(図2-1-①-1)。

他のサブ課題との連携を進めるため、高精細化されていない既存三次元P波速度構造モデル¹⁾に上述のマルチパラメータ化手法を適用し、それぞれ三次元のS波速度構造及び密度構造モデルを先行して作成した(図2-1-①-2)。これについては後述する。

作成したマルチパラメータ化モデル(S波速度、密度)は、経験式に基づいてP波速度構造から変換したものであり、変換式自体を含め今後も修正が必要である。これらを修正するためには、まず、経験式に基づいて変換した構造モデルと実際の構造を比較し、検証する必要がある。今年度、従来から行われている検証方法に従い、変換式により作成した3D構造モデルから計算される数値データと観測データを比較して評価することを想定し、検証のために必要な作業環境の整備を進めた。具体的には、2D地震探査測線に沿った観測データと数値データを比較するために、作成した3D構造モデルから測線に沿った2D速度構造情報を抽出する作業手順のフロー化やツールの整備、及びモデル領域の観測重力異常と比較するため、密度の3D構造モデルから重力異常を計算するツールの整備をSchlumberger社製の地震探査データ等解析・可視化ソフトウェアであるPetrelなどを用いて進めた。

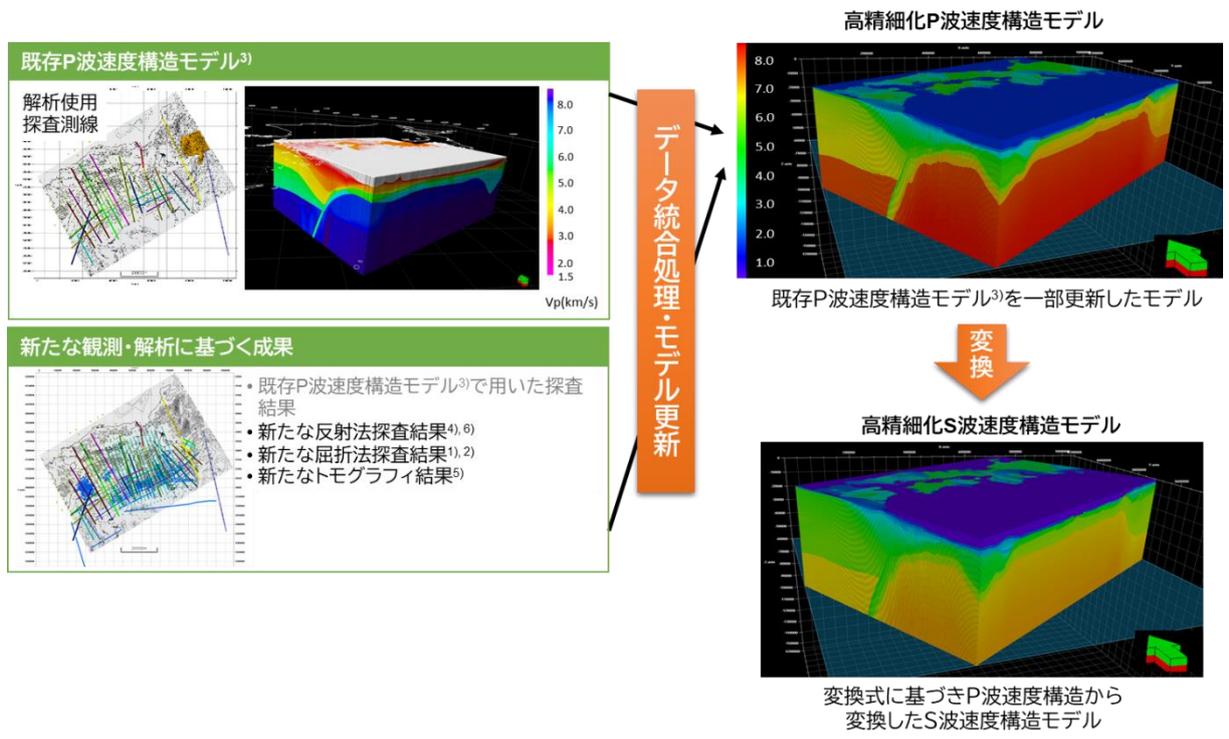


図 2 - 1 - ① - 1 既存 P 波速度構造モデル¹⁾ (左上) に新たな観測・解析に基づく成果 (左下) を追加し、熊野灘周辺を中心に P 波速度構造モデルを更新するとともに (右上)、変換式に基づき P 波速度構造から S 波速度構造モデル (右下) を構築した。

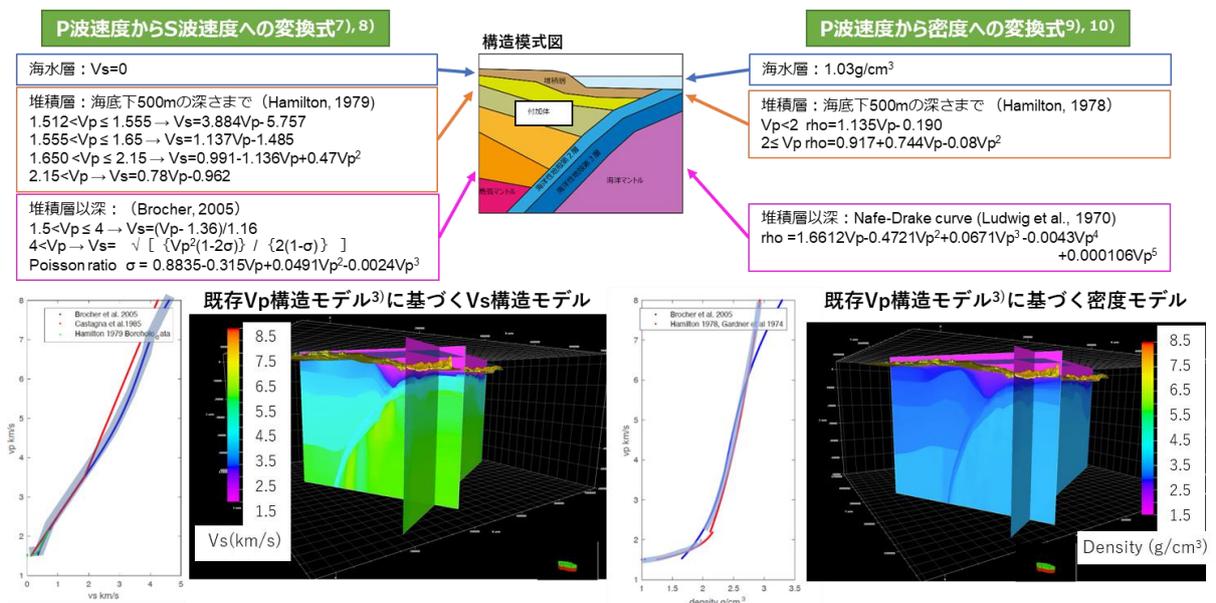


図 2 - 1 - ① - 2 令和 2 年度にとりまとめた P 波速度から S 波速度と密度への変換式と、既存 P 波速度構造モデル¹⁾への適用結果

2) 3D構造モデル統合方針の検討

構造モデルは、震源決定のほか、滑り分布の推定や地震動の計算など様々な場面で活用されている。しかし、現状は、研究者や研究機関、あるいは活用用途や研究課題ごとに使用するモデルが異なり、使用したモデルによって震源位置や滑り分布の推定にばらつきが存在する。そのため、例えば、2016年4月1日の三重県南東沖の地震(M6.5)について各研究機関が報告した震源位置のばらつきが大きく、当該地震がプレート境界型であったか否かの判断に時間を要したことや¹¹⁾、同じ地殻変動観測データに基づくプレート間固着強度分布であっても構造モデルの違いに応じて推定結果が異なる^{12), 13)}といった問題が生じている。これらの問題の解決には、構造モデル情報を研究機関や活用用途の垣根を越えて共有化する取り組みが必要であるが、これまで十分に行われてきたとは言い難い。

本サブ課題で作成する南海トラフ域を対象としたマルチパラメータ3D構造モデルは、サブ1課題で震源決定や滑り分布の推定・推移予測に活用し、サブ2g課題の地震防災基盤シミュレータにおける強震動、長周期地震動計算や津波評価でも活用することを念頭においているほか、地震本部等での地震動予測等でも活用されることを目指している。このため、構造モデル情報の効果的な共有方針を確立し、それに沿って構造モデル情報を整備することが必要である。

そこで、今年度は構造モデル情報の共有化方法やデータ仕様、モデル構築、活用方法などを検討するために、本プロジェクトの他サブ課題関係者や地震本部の構造モデル構築に関する委員と月1回程度の意見交換を重ねた。この検討に既存の三次元P波速度構造モデル¹⁾と現状の変換式に基づき作成した暫定的なマルチパラメータモデルを活用した。検討はまだ初期段階ではあるが、地震本部の取り組みや他のサブ課題に効果的に貢献するためには、地下構造情報を集約したマルチスケールの地下構造情報共通基盤を整備し、その発展形として様々な用途に活用できる新たな海陸統合モデルを作成することが望ましいという認識を共有した(図2-1-①-3)。これを受け、本プロジェクトにおいては、マルチスケール地下構造情報共通基盤への円滑な活用を見据えたモデル構築を目指すこととした。

この構造モデル情報共有の取り組みや将来の課題等について、2021年12月と2022年2月に地震本部の委員会で話題提供を行った。

3D構造モデルの共有及び統合方針の検討状況

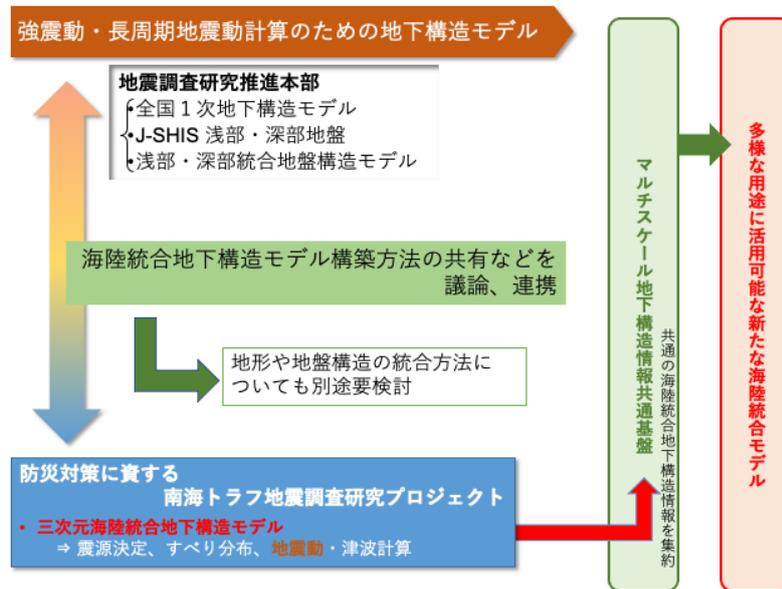


図 2-1-①-3 3D構造モデルの共有及び統合方針の検討状況

3) 浅部堆積層構造の推定方法の検討

震源決定の高精度化に重要な観測点補正值を求めるため、構造探査データを用いた DONET 観測点直下の堆積層内の P 波及び S 波速度構造推定方法について、その有効性や限界、最適な適用方法などについて、前年度に引き続き検討を進めた。

過去に実施された多数の地震波反射法探査によって、DONET 海域の堆積層内地震波反射構造（P 波反射面分布と P 波速度）の詳細は広範囲で明らかになっている。ここでは、この堆積層内地震波反射構造と DONET 観測点で観測した構造探査データから、堆積層内で P 波から S 波に変換された信号（PS 変換波）を抽出、解析することで、堆積層内の S 波速度構造を推定することを目指している。令和 2 年度に潮岬沖の DONET 観測点で PS 変換波による地下構造解析を行ったところ、観測点直下の堆積層内には多数の PS 変換面があることが確認できた。しかし、PS 変換面と P 波反射面の関連づけが容易ではなく、S 波速度の見積もりには大きな不確実性が残ってしまうことが分かった。S 波速度の推定精度を向上させるためには、PS 変換波がどの P 波反射面で生じているのかを確からしく推定する必要がある。

今年度は、DONET 観測点に加えて DONET 近傍で実施された稠密 OBS（自己浮上式海底地震計）を用いた地震探査データにも同様の解析を施すことによって、PS 変換面分布を空間的にマッピングし、P 波反射面分布との相関から変換面・反射面同定の信頼性を高めた（図 2-1-①-4）。その結果、比較的陸域に近い水深 1500m～2000m 程度の海域では、海底下 500m 程度までの浅層の V_p/V_s が 4～5 程度と推定された。一方、トラフ軸近傍では有意に大きな V_p/V_s を示すなど浅層の V_p/V_s には地域性があることも分かってきた。今後、このような地域性に注意しつつ、推定した S 波速度構造情報を 3D マルチパラメータ構造モデルに反映していく。

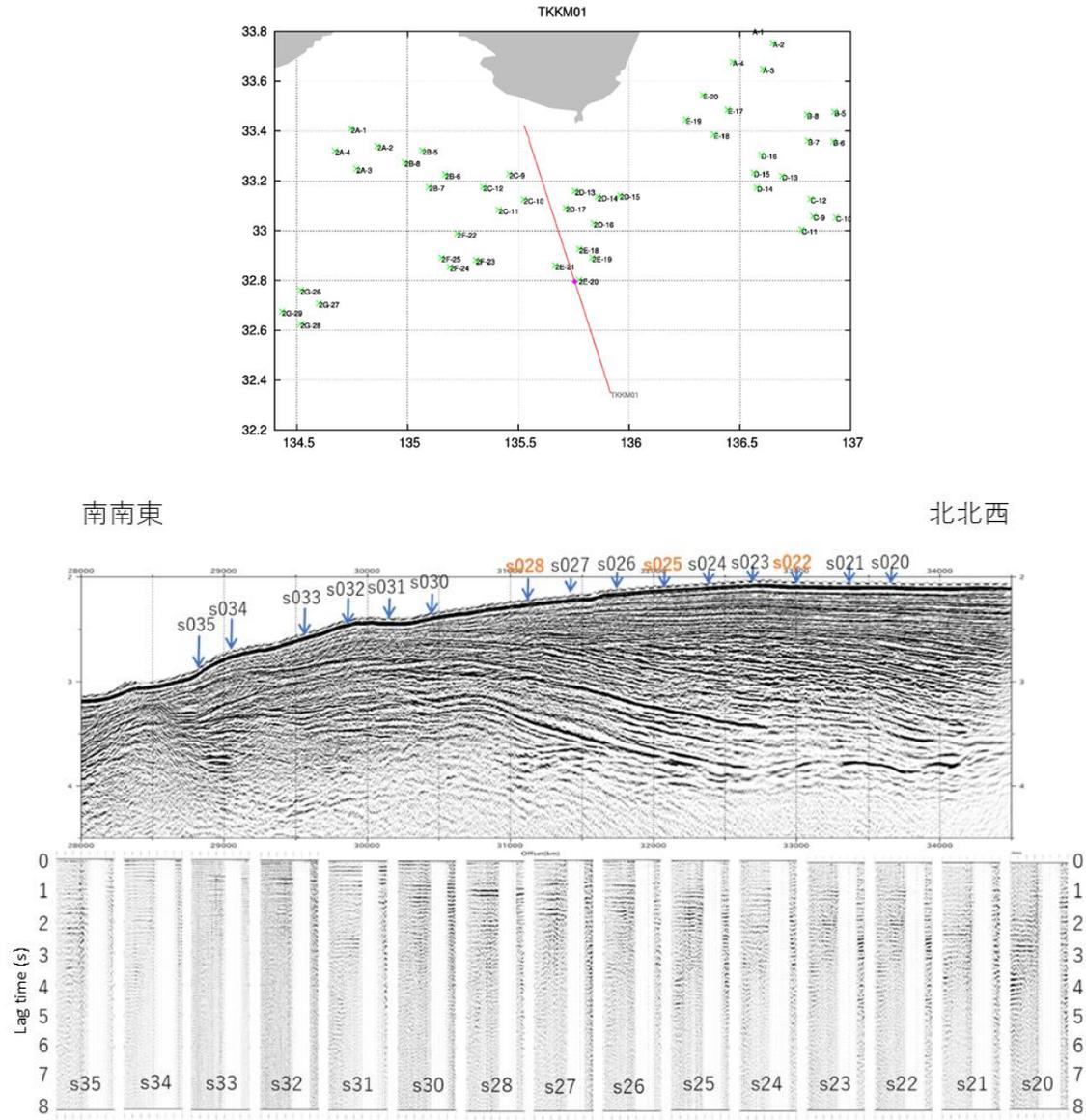


図 2-1-①-4 上) 解析に使用した DONET 近傍の地震探査測線 (赤)。中) 上図の測線に沿った反射法地震探査記録断面。矢印は測線上に設置した OBS の位置を示す。下) 上で示した海底地震計のレーシーバ関数 (PS 変換面分布)。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ域を対象としたマルチパラメータ 3D 構造モデルの高精細化のため、これまで未活用だった熊野灘周辺の構造探査成果等を既存の三次元 P 波速度構造モデル¹⁾に取り込み、熊野灘周辺の 3D 構造モデルの高精細化を進めた。ただし、異なる空間解像度の構造モデルを統合した場合の信頼性や誤差の評価に関しては、今後も引き続き検討を進める必要がある。

マルチパラメータ 3D 構造モデルの構築にあたっては、現状では主に P 波速度から変換式 (経験則) を用いて他のパラメータ (S 波速度、密度) へ変換することで進めている。今後は、実データに基づき独立に求めた S 波速度構造情報などの新たな知見や、変換式により作成したマルチパラメータ 3D 構造モデルで計算した数値データと観測デ

一タの際から、変換式の改良を進める必要がある。

サブ課題間連携等を進めることを目的としたモデル統合方針の検討を開始した。本プロジェクトにおいては、マルチスケール地下構造情報共通基盤への円滑な活用を見据えたモデル構築を目指す方針であるが、現時点で問題認識と情報の整理と共有が十分とは言えない。引き続き構造モデル関係者への情報共有を進めつつ、具体的に、本研究プロジェクトが終了した後も効率的にモデル統合を進めていくための体制整備やそのための取り組みについても配慮しながら、本研究プロジェクトで構築するモデルについて議論を詰めていく必要がある。

震源位置ならびに震源断層推定の高精度化に重要な堆積層内の詳細な S 波速度構造の推定を目指し、DONET 観測点周辺の稠密 OBS 構造探査データを用いた解析を行い、堆積層浅部の S 波速度を推定した。ただし、堆積層浅部の S 波速度には OBS 構造探査測線に沿って顕著な地域性を示す傾向も確認された。今後、DONET 観測点における観測点補正值の確からしさを向上させるために、今年度解析した測線のトラフ軸側を対象としたより広範囲の OBS 構造探査データを用いた解析を進めることが不可欠である。

(d) 引用文献

- 1) Nakanishi, A. et al.: Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan: Implications for seismogenesis, in “Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura”, ed. by T. Byrne, M. B. Underwood, III, D. Fisher, L. McNeill, D. Saffer, K. Ujiie, A. Yamaguchi, Geological Society of America Special Paper 534, 69–86, doi: 10.1130/2018.2534(04), 2018.
- 2) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構：東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト 平成 20～24 年度 成果報告書 平成 25 年 5 月, 1–397, 2013.
- 3) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構：南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト 令和元年度 成果報告書 令和 2 年 5 月, 1–655, 2020.
- 4) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構：海域における断層情報総合評価プロジェクト 平成 31 年度（令和元年度）成果報告書 令和 2 年 5 月, 1–385, 2020.
- 5) Yamamoto, Y., T. Takahashi, Y. Kaiho, K. Obana, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda: Seismic structure off the Kii Peninsula, Japan, deduced from passive- and active-source seismographic data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 461, 163–175, doi: 10.1016/j.epsl.2017.01.003, 2017.
- 6) 中村 恭之・海宝 由佳・野 徹雄・白石 和也・藤江 剛・小平 秀一・木村 学・尾鼻 浩一郎・三浦 誠一・仲西 理子：潮岬－足摺岬沖南海トラフにおける稠密反射法探査による構造マッピング, 日本地震学会 2021 年秋季大会, S06P-05, 2021.
- 7) Hamilton, E. L.: V_p/V_s and Poisson’s ratios in marine sediments and rocks, *J. Acoust. Soc. Am.*, 66, 1093, doi: 10.1121/1.383344, 1979.
- 8) Brocher, T.M.: Empirical relations between elastic wavespeeds and density

in the Earth' s crust, Bull. Seism. Soc. Am., 95, 2081-2092, doi: 10.1785/0120050077, 2005.

- 9) Hamilton, E. L.: Sound velocity-density relations in sea-floor sediments and rocks, J. Acoust. Soc. Am., 63, 366, doi: 10.1121/1.381747, 1978.
- 10) Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake: Seismic refraction, in The Sea, A. E. Maxwell (Editor), Vol. 4, Wiley-Interscience, New York, 53-84, 1970.
- 11) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 2016年4月の地震活動の評価, 1-48, <https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_04.pdf>, (参照 2022-3-31), 2016.
- 12) Hashmoto, C. E. Fukuyama, T. Terakawa, T. Sagiya, K. Nakajima, T. Sato, and M. Matsu' ura: Development of a Predictive Simulation System for Crustal Activities in and around Japan - VIII, Annual Report of the Earth Simulator Center April 2010-March 2011, 89-93, 2011.
- 13) Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada: Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, Nature, 534, 374-377, doi: 10.1038/nature17632, 2016.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Constructing a 3D seismic S-wave velocity model of the Nankai Trough（ポスター）	仲西 理子・Qin Yanfang・藤江 剛・汐見 勝彦・小平 秀一・高橋 成実・中村 武史	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年6月	国内
潮岬-足摺岬沖南海トラフにおける稠密反射法探査による構造マッピング（ポスター）	中村 恭之・海宝 由佳・野 徹雄・白石 和也・藤江 剛・小平 秀一・木村 学・尾鼻 浩一郎・三浦 誠一・仲西 理子	日本地震学会 2021年秋季大会	2021年10月	国内
南海トラフ域の3次元地震波速度・密度構造の構築（口頭）	仲西 理子・Qin Yanfang・Liu Xin・藤江 剛・汐見 勝彦・小平	日本地震学会 2021年秋季大会	2021年10月	国内

	秀一・高橋 成 実・中村 武史・ 富士原 敏也			
Unsupervised data mining applied to marine active-source seismic data from a linear OBS array in Nankai Trough (口頭)	Liu Xin・仲西 理 子・藤江 剛・利 根川 貴志・尾鼻 浩一郎・小平 秀 一	American Geophysical Union 2021 Fall meeting	2021年12 月	国外

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌 等名）	発表した時期	国内・ 外の別
Upper-plate controls on subduction zone geometry, hydration and earthquake behaviour	Adrien F. Arnulf, Dan Bassett, Alistair J. Harding, 小平秀一, 仲西理子, Gregory Moore	Nature Geoscience	2022年2 月	国外

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

② 3D構造モデルを用いた自動震源決定処理システムの構築

(a) 業務の要約

昨年度構築した自動震源決定処理システムの仮運用を行うとともに、震源計算に用いる3D構造モデルや様々な計算パラメータを更新し、計算処理に反映するためのツール、アーカイブされたデータを対象とした震源再計算ツール等の整備を進めた。2022年1月22日に日向灘北部で発生した地震ならびにその余震活動を対象として、震源決定処理システムによる結果の確認及び評価を行った。さらに、3D構造モデルの走時計算に、複雑な3D構造モデルにも適用可能な最短経路法を採用することの利点等について検討に着手した。

(b) 業務の成果

1) 震源決定処理システム運用のための環境整備

南海トラフ周辺のように、複雑な地下構造が想定されている場所で発生する地震の震源位置を正確に知るためには、詳細かつ高精度な3D構造モデルを用いる必要がある。本研究課題で構築した震源決定処理システム（以下、本システム）では、2021年3月、サーバ上に3つの仮想マシン（Virtual Machine, VM）を設定し、各VM上で異なる震源計算プログラムの試験稼働を開始した。本システムの概略構成図を図2-1-②-1に示す。サブシステム1では、与えられた3D構造モデルに対して、pseudo-bending法¹⁾により波線経路ならびに走時の計算を逐次行う方法を採用した。サブシステム2では、あらかじめ仮想震源と観測点間の走時を計算した走時表を整備しておき、震源位置を探索する際にはその情報を活用することで計算時間の短縮を行う方法²⁾を用いた。サブシステム3には、NonLinLocと呼ばれる震源決定のためのソフトウェアパッケージ³⁾を採用した。

本研究課題では、並行して実施している高精細マルチパラメータ3D構造モデル構築の進展に伴い、最新の3D構造モデルを本システムに適切なタイミングで反映しながら運用を行うことを計画している。各サブシステム上で必要とされる3D構造モデルあるいは走時表のフォーマットはそれぞれ異なる。そのため、新たな3D構造モデルを用いた震源計算処理を行うためには、都度、各サブシステムで使用可能な形式に変換し、配布する作業を実施しなくてはならない。そこで、今年度、3D構造モデルを更新する際に、各サブシステム向けのフォーマット変換や走時表作成を一定の手順で行い、その出力結果を各サブシステムに適切に配布するツールの開発を進めた。なお、高精細マルチパラメータ3D構造モデル構築にあたって実施しているサブ課題間の意見交換において、地殻変動研究等の他用途では全国1次地下構造モデル（Japan Integrated Velocity Structure Model, JIVSM）⁴⁾で採用されている層構造フォーマットを標準としている事例があることが明らかになった。本システムで用いているマルチパラメータ3D構造モデルは、適切な間隔に設定された格子点（グリッドポイント）上に地震波速度等の情報が配置されたグリッドデータ形式である。JIVSMで採用されているフォーマットで定義された3D構造モデルを用いた震源計算を実施する場合は、上記ツールにおいて、一旦グリッドデータ形式に変換し、グリッドデータから構造モデルの変換等を行うこととした。

震源位置の推定結果は、構造モデルのほか、様々な計算パラメータ、例えば、計算に用いる検測位相の重みや観測点ごとの補正值、地球半径などの影響を受ける。自動震源計算処理に用いる構造モデルや計算パラメータを変更する場合、過去の震源位置についても、同じ構造モデルならびに同じ計算パラメータで再計算しておかないと、両者を直接比較することは出来ない。今年度は、各VMで稼働している自動震源計算処理で使用している構造モデル（または、走時表）ファイルならびに計算パラメータを確認するためのツールを構築した。さらに、それらと同じ構造モデル（または、走時表）や計算パラメータを用いて、過去に発生した地震の震源再計算を容易に実行するためのツールも構築した。再計算前後の結果の評価を効率的に実施するため、再計算結果は自動処理と異

なるフラグを付与した状態でデータベースに保存可能とした。

昨年度、本システムを稼働させるためのオペレーティング・システム（OS）としてCentOS8.2を採用した。しかし、システム構築着手後の2020年12月、当該OSのサポート終了が2021年末までに大幅に短縮されることが発表された。システムを安定稼働させるためには、サポートが終了したOSの継続使用を避けなくてはならない。そのため、システムOSのRocky Linux 8.5への更新ならびに新OS上での安定動作の確認も併せて行った。OS選択にあたっては、サポート期間が十分に長いことに加え、構築済みシステムの改修や検証のための工程が極力抑制出来ることを条件とした。

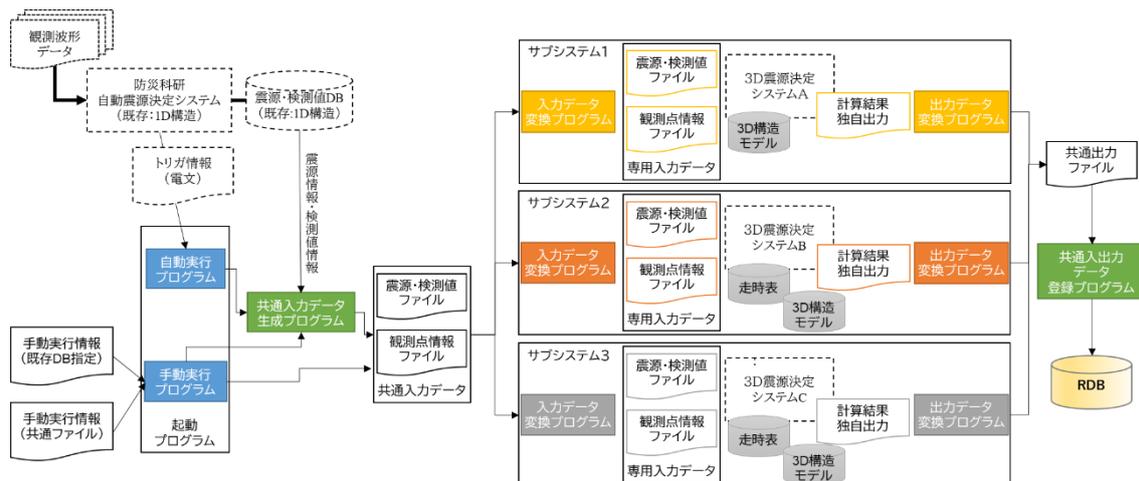


図2-1-②-1 3D構造モデルを用いた自動震源決定処理システムの概略構成図。本研究で新たに構築した部分を実線枠で、本システムと連携する既存システムなどは破線枠で示した。

2) 自動震源決定システム処理結果の確認と評価

2022年1月22日1時8分頃、日向灘を震源とする気象庁マグニチュード（ M_j ）6.6の地震が発生した。この地震は、地震調査委員会において、沈み込むフィリピン海プレート内で発生した地震として評価がなされている⁵⁾。本システム稼働後に、南海トラフ海域で初めて発生したマグニチュード6を超える地震であり、活発な余震活動を伴ったことから、この地震活動を対象として本システムの処理結果の確認を行った。なお、ここでは、pseudo-bending法¹⁾により波線経路ならびに走時の計算を逐次行う方法（サブシステム1）の結果を参照する。解析には、地震波走時トモグラフィ解析によって求められた、日本周辺海域を含めた3D構造モデル⁶⁾を用いた。

図2-1-②-2及び表2-1-②-1に、2022年1月22日1時8分頃に発生した地震（以下、本震）の震源計算結果を示す。図2-1-②-2において、本システムの結果を赤星印で示すとともに、参考として1D構造モデルに基づく防災科研Hi-netによる震源計算結果（黒星印）と気象庁一元化震源計算結果（青星印）を併せて示した。また、Nakanishi et al. (2018)によるフィリピン海プレート上面位置⁷⁾を破線で示した。ここで、本システムの震源計算には、防災科研Hi-netによる震源と同じ検測値情報を用いている。本システムの震源計算結果は、他のカタログと同様にフィリピン海プレ

ート上面より有意に深く、沈み込むプレート内で発生した地震という地震本部の評価と矛盾しない。本システムによる震央位置は、1 D構造モデルに基づく震源カタログと大きな違いは見られないが、断面図からは、3 D構造モデルを用いた本システムによる結果が他の結果よりわずかに浅く、北西側（陸側）に移動したことが分かる。図2-1-②-3に、本システムでの震源計算に用いたP波速度構造のパターバージョン（平均値からのゆらぎ）を示す。図中、本震のおおよその震源位置を黒楕円で示した。海域のA側から陸域のB側に向かって深くなる高速度異常領域として、沈み込むフィリピン海プレートがイメージされており、本震の震源はこの高速度異常域の上端付近に位置している。一方、この地域の地震観測点は陸域にのみ配置されている。震源と陸域の間には、暖色系で表された低速度異常を示す領域が存在する。これは、当該間の地震波走時が平均値よりも時間を要することを表しており、逆に平均的な1 D構造モデルを用いると、震源を深く決めてしまうことを意味する。3 D構造モデルを用いて、このような構造異常による走時の変化を評価することにより、1 D構造モデルを用いた震源計算結果よりも、震央位置はわずかに浅く、また陸域に近づく方向（北西方向）に移動したと考えられる。

この地震は、活発な余震活動を伴った。本震周辺で2022年2月末までに発生した地震について、本システムにおいて3 D構造モデルを用いた震源再決定を行った結果を図2-1-②-4 (a)に示す。図中、M4.5以上の地震を赤点で、M1.5以上の地震の位置を黒点で示した。また、2012年1月から本震発生前までの10年間に検知したM1.5以上の地震について、灰色の点で示した。なお、本システムにおける自動処理は、2021年3月に試験稼働を開始した。試験稼働開始以前の震源カタログについては、本年度構築した震源位置再計算ツールを用いて、震源の再決定を行った。

灰色の点で示された過去の地震活動から、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う厚さ7～8 km程度の地震発生層が存在することを確認出来る。黒点ないし赤点で示された今回の地震活動は、ほぼこの発生層内で鉛直に分布している。今回の震源計算に用いた3 D構造モデル⁶⁾と図に青線で示したフィリピン海プレート上面形状モデル⁷⁾は異なるデータに基づくため、両者を詳細に比較することは難しいが、余震分布の上端はフィリピン海プレート上面に近接していたことが分かる。比較のため、図2-1-②-4 (b)及び(c)に1 D構造モデルによる防災科研 Hi-net カタログ、気象庁一元化震源カタログの結果をそれぞれ示した。マグニチュード計算方法が異なるため表示されている地震数に違いがあるが、(b)と(c)で震源分布の傾向に大きな差はない。フィリピン海プレート沈み込みに伴う地震発生層は10～15 km程度と(a)よりも厚くなっている。これは、3 D構造モデルを用いた(a)の方が正しい震源位置に集中して求まっているためと考えられる。また、(b)や(c)で求められた今回の地震活動の上端は(a)よりもやや深く、フィリピン海プレート上面との間にわずかな空隙が確認出来る。

以上から、本システムにおいて3 D構造モデルを用いることにより、従来の1 D構造モデルを用いた震源計算よりも、深さ方向に締まった震源分布が得られており、震源決定精度が改善されていると判断可能である。

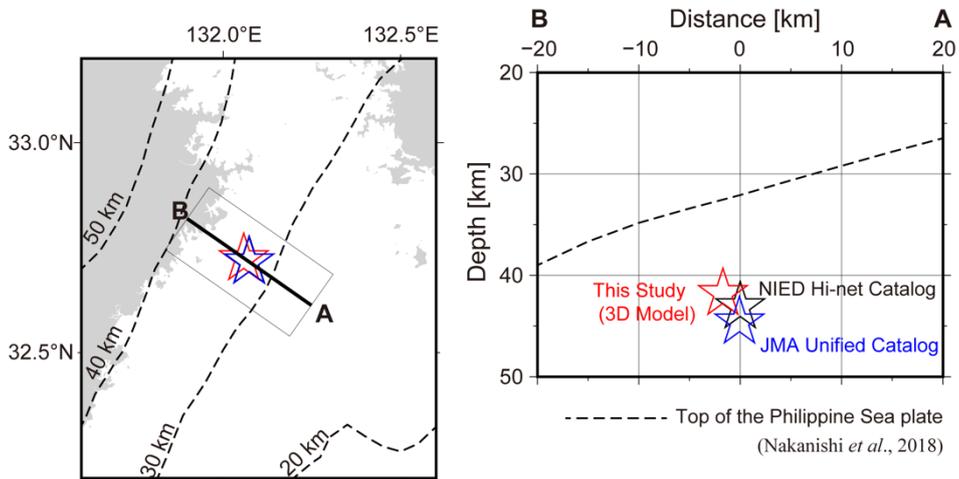


図 2-1-②-2 2022 年 1 月 22 日 1 時 8 分頃に発生した日向灘の地震の震源計算結果。地図上 A-B 測線の断面図を右側に示す。赤星、黒星、青星はそれぞれ本システムの結果、防災科研 Hi-net の結果、気象庁一元化震源の結果を表す。破線は、フィリピン海プレートの上面位置⁷⁾を表す。

表 2-1-②-1 2022 年 1 月 22 日 1 時 8 分頃に発生した日向灘の地震の震源計算結果

	震源位置			M
	緯度 [°N]	経度 [°E]	深さ [km]	
本システム処理結果	32.724	132.058	41.8	6.7
防災科研 Hi-net カタログ	32.717	132.074	43.1	6.7
気象庁一元化震源	32.716	132.072	44.6	6.6

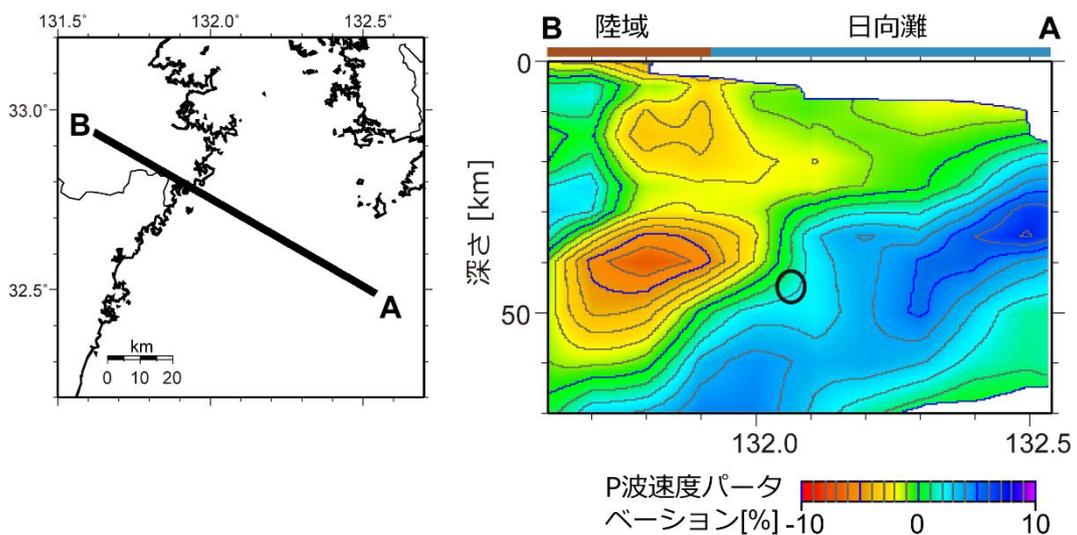


図 2-1-②-3 2022 年 1 月に発生した日向灘の地震活動周辺の P 波速度構造のゆらぎ⁶⁾。断面図中の黒楕円は、本震の概略震源位置を表す。

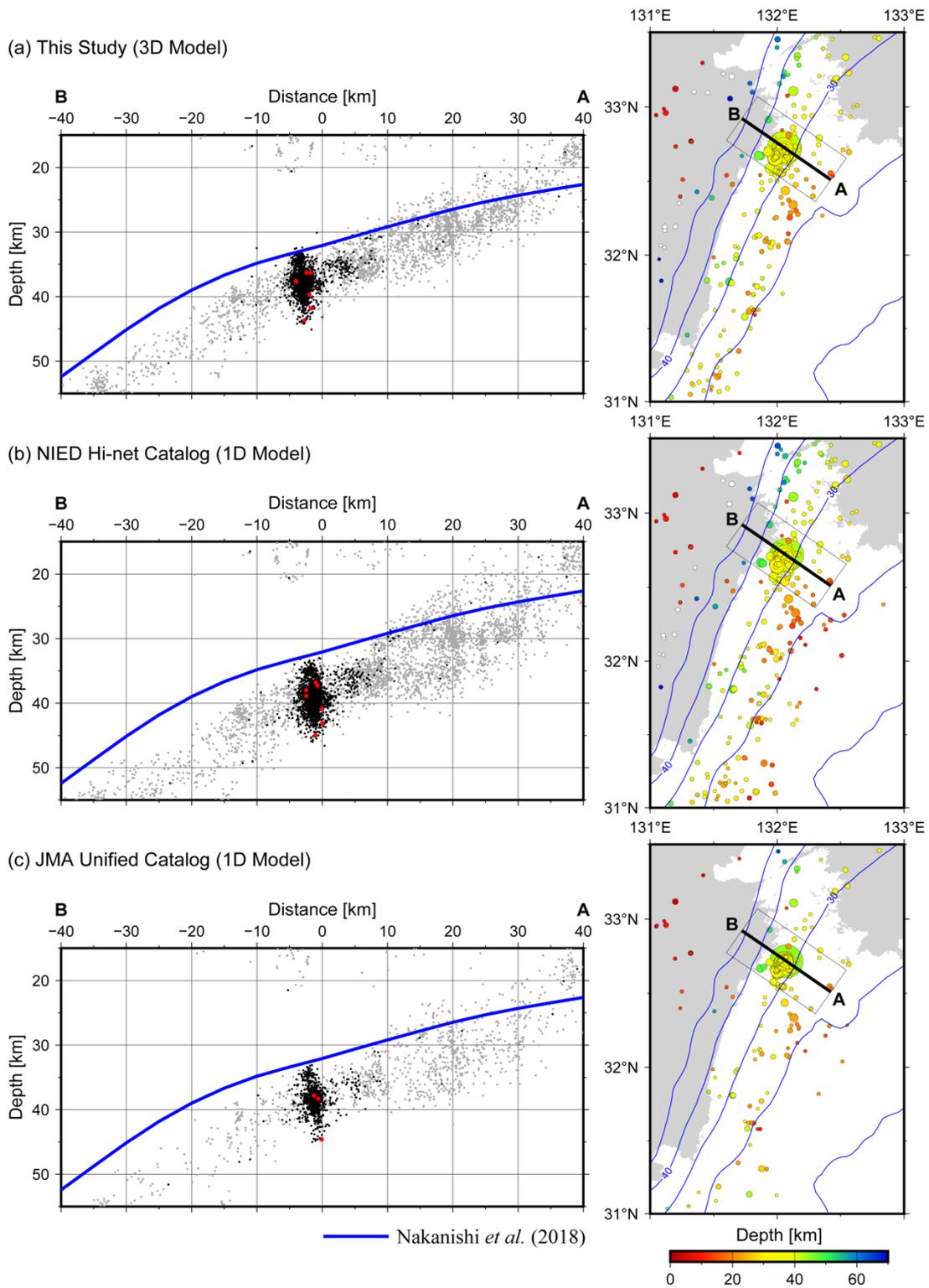


図 2-1-②-4 日向灘北部における地震活動。(a) 本システム、(b) 防災科研 Hi-net カタログ、(c) 気象庁一元化震源カタログ。左) 本震発生から 2022 年 2 月末までに発生した M1.5 以上の地震を黒点で、M4.5 以上の地震を赤点で示す。また、2012 年 1 月から本震発生前までに発生した M1.5 以上の地震を灰色の点で示す。断面線の位置は右側地図に示す。右) 本震発生から 2022 年 2 月末までに発生した M1.5 以上の地震の震源位置を示す。青線はフィリピン海プレート上面の等深線⁷⁾を表す。

3) 最短経路法を用いた迅速な震源決定の実施

地震の震源位置は、与えた構造モデルに対し、震源－観測点間を接続する波線経路とその間を地震波が伝播するために要する時間（走時）を計算するための波線追跡を行い、計算による走時と観測走時との差が最小となる場所を探索することで推定可能である。3D構造モデルを用いた場合、1D構造モデル使用時に比べ、波線が通過する経路が複雑になるため、この波線追跡に計算時間を要する。近年、pseudo-bending 法の開発¹⁾や計算機の能力の向上により、波線追跡に要する時間も大幅に短縮されるようになったため、最近では逐次的に波線追跡を行う方法でも迅速な震源決定が可能になってきた。実際、サブシステム1において pseudo-bending 法により波線経路ならびに走時の計算を逐次行う方法を採用しており、前節ではこの方法による震源計算結果を示した。一方、あらかじめ計算時間のかかる波線追跡及び走時計算の結果を走時表としてデータベース化しておき、震源決定処理実施時にはその計算結果を参照することで、計算時間の劇的な迅速化を可能とする方法もある²⁾。ここで、事前計算の対象となる計算走時は、計算対象領域の全グリッド点と各観測点を結ぶ経路となるが、事前に行う走時計算に厳しい即時性は求められないため、ある程度計算時間を必要とする走時計算手法でも使用可能となる利点がある。今年度は、いろいろな分野で利用されている最短経路法(shortest path method)を波線追跡に適用した手法³⁾を震源計算に用いるための試験的な評価を実施した。最短経路法は異方性媒質を含む複雑な構造モデルに対しても適用可能であり、得られた波線経路が局所解にならないといった特徴がある。その反面、多くの計算時間を要することが欠点とされており、事前に計算した走時表を参照する震源計算方法に適していると言える。

図2-1-②-5に、最短経路法で求めた走時表を用いて、2015年1年間に紀伊半島周辺の深さ120km以浅で発生した地震を対象に試験的に再決定した震源の分布を示す。紀伊半島沖では2016年にDONET2が完成し、定常的な海域観測網の運用が始まったが、本課題では、DONET整備以前の震源カタログも整備する計画である。本試験ではDONET2運用開始直前の2015年を対象とし、2000年より運用されている陸域に設置された防災科研Hi-netの観測データのみを用いた震源決定を試みることにより、3D構造モデル採用による影響の有無や計算の安定性を確認した。前節同様、震源計算には、地震波走時トモグラフィ解析による3D構造モデル⁴⁾を用いた。解析には、領域内に位置する防災科研Hi-net150点における検測値データを用いており、1D構造モデルに基づく防災科研Hi-netカタログの震源(青印)を初期震源として計算を行った。計算対象となった約9000イベント全てを処理するために要した時間は、一般的なPCで3.8秒であった。

3D構造モデルへの最短経路法適用にあたって、まず、計算対象領域を直方体のセルに分割し、各頂点に地震波速度構造の値を与えた。セル内部の地震波速度は線形補間することにより速度を算出した。セル境界面上にノードを均質に分布させ、各セル内で可能なすべての組み合わせの2組のノードをパスで結び、観測点から各ノードへの最短経路を求めた。この際、セルの数、ノードの数は、必要な精度の走時値を得られるまで増加させた。セルの頂点で得られた計算走時は3次スプライン関数で補間し、スプライン関数として保存した。

今回の手法と防災科研Hi-netのカタログでは、おおむね同じ位置に震源が推定され

ているが、フィリピン海プレートの沈み込みに伴って発生する地震の深さが若干浅く決まっているなど、相違点もある。海域下の地震については陸上の観測点のみでは深さ方向に十分な制約が与えられていないため、両カタログともばらつきが大きい。最近のデータについては、DONET 等、海域観測のデータを追加することにより改善することが期待される。

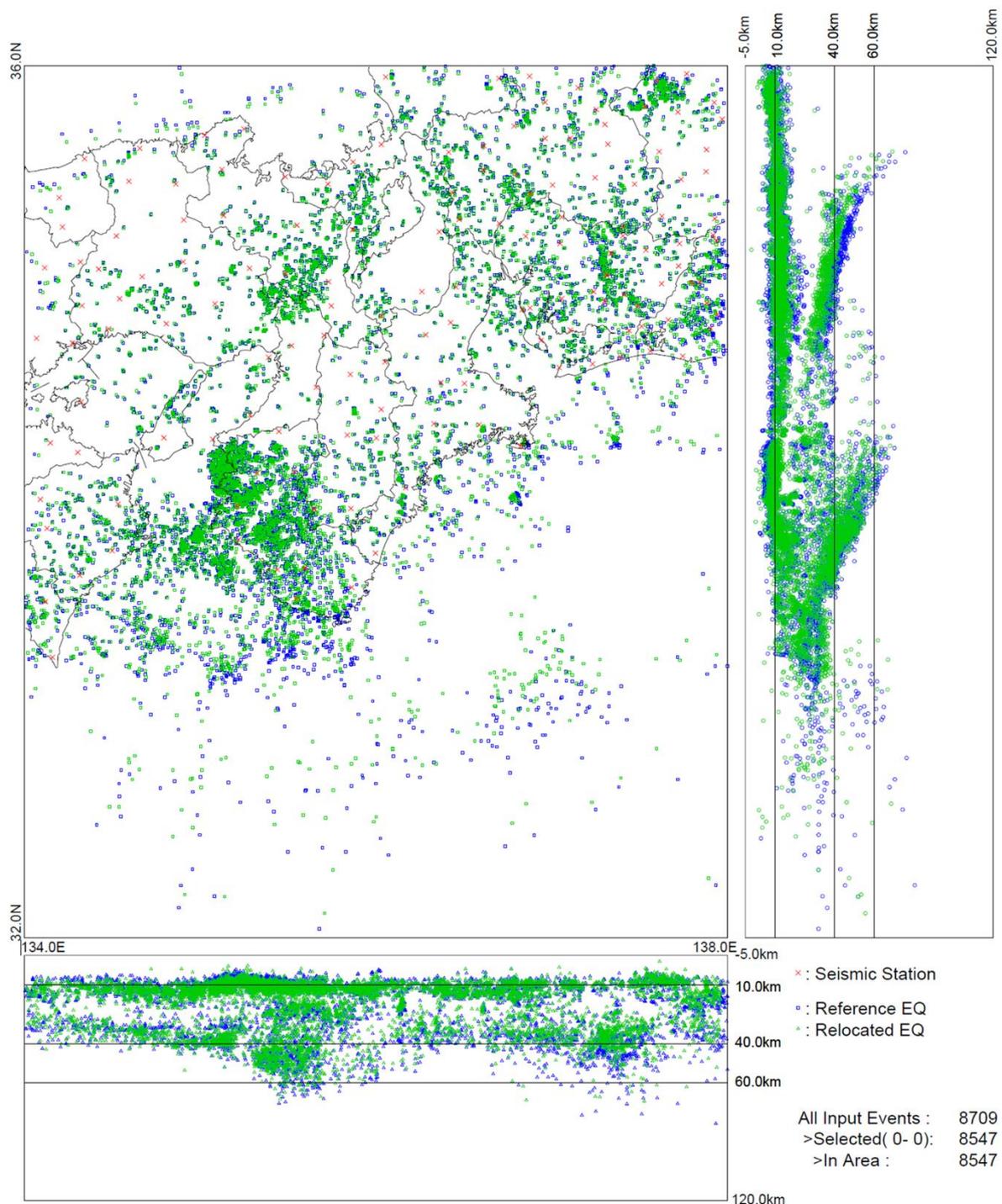


図 2-1-②-5 2015 年に発生した地震の震源分布。最短経路法⁸⁾と Matsubara et al. (2019)による 3D 構造モデル⁶⁾から求めた走時表を用いて震源再決定をした結果を緑印で示す。青印は 1D 構造モデルを用いて求められた防災科研 Hi-net カタログによる結果を表す。赤印は解析に用いた観測点の位置を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ及びその周辺域で発生する地震の活動状況を逐次的かつ適確に把握するためには、より現実に即した地震波速度構造を用い、自動的に震源位置の推定を行う必要がある。本年度は、昨年度構築した3D構造モデルを用いた自動震源決定システムの仮運用を行うとともに、震源計算に用いる3D構造モデルや様々な計算パラメータを更新するためのツール、保存されている過去の検測値データに基づいて震源再計算を行うツールの整備等を実施した。2022年1月22日に発生した日向灘の地震について、本システムにより求めた震源の深さは、従来の1D構造モデルを用いた震源分布よりも数km程度浅くなることが分かった。過去10年間に日向灘北部周辺で発生した地震について、震源再計算ツールを用いて3D構造モデルに基づく震源分布を求めた。その結果、フィリピン海プレート沈み込みに伴って発生する地震の層は、1D構造モデルで求められた結果よりも薄く、厚さ7~8 km程度であること、2022年1月22日の地震の余震活動は、この地震発生層内で鉛直に分布することを明らかにした。また、3D構造モデルの走時計算に最短経路法をあらかじめ適用することについて、その利点や効果についての検討を行った。

前述の通り、現時点で求められた震源分布について、参照しているプレート上面位置の推定と震源計算に用いた3D構造モデルが異なるため、両者の空間的な関係を詳細に比較検討することは難しい状況にある。今後、高精細化したマルチパラメータ3D構造モデルの構築が進み、震源計算に使用可能な3D構造モデルでプレート形状モデルも検証が出来れば、容易にプレート間地震を抽出し、評価することが可能になると期待される。そのためには、高精細化したマルチパラメータ3D構造モデルを用いた震源再計算が必要になる。新たな3D構造モデルを本システムに導入する前に、モデル更新が震源計算結果に与える影響の度合いを把握するためのツール類の構築や年々増大する過去データを効率的に再計算する環境の整備、地震カタログの特徴を把握するための可視化方法の検討を進めることが重要である。

(d) 引用文献

- 1) Koketsu, K. and S. Sekine: Pseudo-bending method for three-dimensional seismic ray tracing in a spherical earth with discontinuities, *Geophys. J. Int.*, 132, 339-346, doi: 10.1046/j.1365-246x.1998.00427.x, 1998.
- 2) 関口渉次: 事前走時計算をもとにした3次元速度構造における迅速な震源決定手法について, 防災科学技術研究所研究報告, 77, 1-5, doi: 10.24732/nied.0000120, 2010.
- 3) Lomax, A., J. Virieux, P. Volant, and C. Berge: Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in "Advances in Seismic Event Location", ed. by C. H. Thurber, N. Rabinowitz, Kluwer, Amsterdam, 101-134, 2000.
- 4) Koketsu, K., H. Miyake, and H. Suzuki: Japan integrated velocity structure model version 1, *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake*

Engineering, Vol. 1-4,

<http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1773.pdf>, (参照 2022-3-31), 2012.

- 5) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 2022年1月の地震活動の評価, 1-46, <https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2022/2022_01.pdf>, (参照 2022-3-31), 2022.
- 6) Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, K. Suzuki, and S. Kamiya: Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Seismic Waves - Probing Earth System, IntechOpen, 1-19, doi: 10.5772/intechopen.86936, 2019.
- 7) Nakanishi A. et al.: Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan: Implications for seismogenesis, in "Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura", ed. by T. Byrne, M. B. Underwood, III, D. Fisher, L. McNeill, D. Saffer, K. Ujiie, A. Yamaguchi, Geological Society of America Special Paper 534, 69-86, doi: 10.1130/2018.2534(04), 2018.
- 8) Sekiguchi, S.: Efficient seismic ray tracing based on the shortest path method, Geophys. J. Int., 225, 729-743, doi: 10.1093/gji/ggab001, 2021.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
最短経路法を走時計算に適用した3次元速度構造での震源決定（ポスター）	関口 涉次	日本地震学会2021年秋季大会	2021年10月	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

2. 2 プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東北大学大学院理学研究科	准教授	太田雄策
東北大学大学院理学研究科	教授	日野亮太
東北大学大学院理学研究科	助教	東 龍介
東北大学大学院理学研究科	助教	本荘千枝
東北大学大学院理学研究科	助教	中田令子
東北大学大学院理学研究科	技術専門職員	鈴木秀市
東北大学大学院理学研究科	技術専門職員	平原 聡
東北大学大学院理学研究科	技術専門職員	中山貴史
東北大学大学院理学研究科	技術専門職員	出町知嗣
東北大学大学院理学研究科	技術専門職員	海田俊輝
東北大学大学院理学研究科	学術研究員	佐藤真樹子
東北大学大学院理学研究科	技術補佐員	平岡恵美子
東北大学大学院理学研究科	技術補佐員	小鳥谷久美子
東北大学災害科学国際研究所	教授	木戸元之
海洋研究開発機構	主任研究員	飯沼卓史
海洋研究開発機構	研究員	縣 亮一郎
東京大学地震研究所	教授	篠原雅尚
東京大学地震研究所	教授	小原一成
東京大学地震研究所	教授	塩原肇
東京大学地震研究所	准教授	望月公廣
東京大学地震研究所	助教	悪原岳
東京大学地震研究所	技術専門職員	阿部英二
東京大学地震研究所	技術専門職員	田中伸一
東京大学地震研究所	技術専門職員	増田正孝
東京大学地震研究所	技術専門職員	宮川幸治
東京大学地震研究所	技術職員	橋本匡
京都大学防災研究所	准教授	伊藤喜宏
京都大学防災研究所	助教	山下裕亮

(c) 業務の目的

南海トラフにおける巨大地震震源域の様々な時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現し、情報発信するために、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの不確

実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発を行う。同システムにはプレート境界以外の断層も含む3D構造モデルに基づいた、地下の断層におけるすべりと地表及び海底での地殻変動を結びつけるグリーン関数を組み込む。さらに3D構造モデルに不均質粘弾性構造を追加したグリーン関数を導入する。これによって、プレート境界におけるすべり遅れの蓄積、地震時のすべり及びゆっくりすべり等の時空間分布を迅速かつ精度よく把握するとともに、その推定誤差を定量的に提示し、情報発信できるシステムのプロトタイプを実現する。加えて分岐断層等のプレート境界以外の海域断層も考慮に入れた推定を試みるとともに、広帯域海底地震観測により、プレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を行う。3D構造モデルが更新されれば、それに追従してグリーン関数を修正して随時再解析を行う。これらのうち、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりの推定の曖昧さを含めた推定技術については、国土地理院が別途進めている「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための高精度な地殻活動把握手法の研究開発」と密接に連携する。また、地震時すべり分布の即時推定については、国土地理院で運用しているREGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）への技術移転を念頭に置いた開発を行う。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

正確な地殻変動の再現を目指し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数の構築を行うために、3D構造モデルに基づくグリーン関数の計算を行った。推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するための手法の枠組みを得るために、プレート間固着・すべり分布推定の誤差を定量評価する手法の開発を開始した。また、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指し、南海トラフ中西部における長期海底地震観測を開始した。

2) 令和3年度：

正確な地殻変動の再現を目指し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数の構築及び改良を行った。推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するための手法の開発を継続した。また、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指し、広帯域長期海底地震観測を継続した。

3) 令和4年度：

プレート境界以外の断層面が地震間や地震時の地殻変動に与える影響を評価することを目指し、分岐断層等を含めた海域構造を考慮した全国地下構造モデルでのグリーン関数を得る。構築した3D構造モデルの不確実性が固着・すべり分布推定に与える影響について予察的知見を得る。推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するための手法の開発を継続する。粘弾性構造を考慮した地殻変動場の再現を目指し、3D粘弾性構造モデルに基づいたグリーン関数の作成に着手する。さらに、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指し、広帯域地震観測データを得るとともに、浅部プレート境界における固着状況の把握・モデル化について予察的な知見を得る。

4) 令和5年度：

プレート境界以外の断層面が地震間や地震時の地殻変動に与える影響を評価することを目指し、内陸断層を含めた構造モデルでのグリーン関数を得るとともに、プレート境界と内陸断層におけるすべり・固着分布を同時推定した結果を得る。構造モデル等の不確実性が固着・すべり分布推定に与える影響について知見を得る。前回の南海トラフ地震以降のすべり遅れの蓄積並びに現在の応力状態とその不確かさについて知見を得る。さらに、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指し、広帯域地震観測データを得るとともに、浅部プレート境界における固着状況の把握・モデル化について知見を得る。

5) 令和6年度：

内陸断層及びプレート境界における固着・すべりの履歴を同時推定した結果を得る。開発を進めた誤差の定量評価付きプレート間固着・すべり分布即時推定手法を、REGARDへ技術移転するために必要な情報を得る。南海トラフ中西部における長期観測型海底地震観測データの取りまとめと、それを用いた浅部プレート境界における固着状況の把握・モデル化についてまとめの知見を得る。

(e) 令和3年度業務目的

正確な地殻変動の再現を目指し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数の構築及び改良を行う。具体的には既存の全国一次地下構造モデルを基盤とした3D構造モデルで簡略化されているプレート境界浅部の構造を忠実に反映させたグリーン関数の構築を実施する。推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を活用した推定手法の開発を行うとともに、得られた断層すべりの推定不確実性をリスク情報へと変換するための試みとして津波浸水リスクマップとして可視化するための手法開発を行う。また、得られた断層すべりの推定不確実性を可視化するためのWebアプリの改良を行う。開発した技術の将来的な実装を念頭に国土地理院との協議を行う。さらに、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指した広帯域地震観測データを得ることを目的に、固有周期120秒の広帯域地震計を搭載したレベリング装置付き小型広帯域海底地震計を用いた広帯域長期海底地震観測を機材の入れ替えによって継続しつつ、回収データに対して予備的な解析を実施する。

(2) 令和3年度の成果

① 固着・すべり状態の変化による地殻変動の計算

(a) 業務の要約

プレート境界におけるすべり遅れの蓄積や、地震時のすべり、スロースリップなどの時空間分布を迅速かつ精度よく把握するシステムの構築を実現するため、地殻変動データからプレート間の固着・すべり分布を推定するうえで必要となる、地下の断層におけるすべりと地表及び海底での地殻変動を結びつけるグリーン関数を、現実的な3D構造モデルに基づいて計算する。

本年度は、上記目的達成のため、全国一次地下構造モデルを基盤とした既存の3D有限要素法モデルでは簡略化されていた地下浅部に関して、全国一次地下構造モデルにできる限り忠実に従った有限要素法モデルを構築するとともに、プレート境界でのすべり・固着による陸域及び海底に設置されている地殻変動観測点における変位応答グリーン関数の計算を実施した。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ域全域に対して、全国一次地下構造モデル^{1,2)}に基づいて計算されたグリーン関数ライブラリがすでに整備されている³⁾が、そこで用いられている有限要素法モデルでは、地下の浅い部分の地下構造が簡略化されている。具体的には、堆積層や付加体に対して定義されている第14層までが2層にまとめられて同じ物性値を持つようになってしまっている(表2-2-①-1参照)。トラフ軸に近い浅部プレート境界におけるプレート間の固着・すべり分布を精度よく推定するためには、浅い部分の地下構造の影響を正しく反映した変位応答グリーン関数に基づく解析を実施する必要がある。このため、全国一次地下構造モデルにおいて定義されているすべての層を可能な限り表現した有限要素法モデルを構築したうえで、グリーン関数の計算を実施することとした。

(c) 業務の成果

全国一次地下構造モデルのDigital Elevation Model (DEM) データを基に有限要素法計算のためのメッシュを作成したうえで(図2-2-①-1及び図2-2-①-2)、スプライン関数を基底として表現されたプレート境界面における単位すべり分布に対する、地表面での変位応答の計算を地球シミュレータ上で実施した。スプライン関数を配置する位置を変えていき、走向方向及び傾斜方向の単位すべりそれぞれに対するグリーン関数を得た。作成したDEMデータをそのまま用いた場合、作成したDEMデータに基づくが複数の層の物性値を一つにまとめた場合、及び、作成したDEMデータに基づくがすべての層の物性値を同じにした場合について計算を行い、物性の与え方によるグリーン関数の違いを把握できるようにした。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務により、精密な3D構造モデルに基づいた有限要素法モデルを用いてプレート境界面における固着・すべり分布の把握するために必要なグリーン関数を整備することができた。次年度、今回計算したグリーン関数を用いた解析を実施してプレート境界での固着分布を不確かさも含めて推定する解析を行うとともに、詳細構造を取り込んだ効果について定量的な比較を行うことを計画している。

(e) 引用文献

- 1) Koketsu, K., Miyake H., and Tanaka Y.: A proposal for a standard procedure of modeling 3-D velocity structures and its application to the Tokyo metropolitan area, Japan. *Tectonophysics*, 472(1-4), 290-300, doi:10.1016/j.tecto.2008.05.037, 2009.

- 2) Koketsu, K., Miyake H., and Suzuki H.: Japan integrated velocity structure model version 1, in Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, pp. 1773, Lisbon, 2012.
- 3) Hori, T., Agata R., Ichimura T., Fujita K., Yamaguchi T., and Iinuma T.: High-fidelity elastic Green's functions for subduction zone models consistent with the global standard geodetic reference system. Earth Planets Space, 73, 41, doi:10.1186/s40623-021-01370-y, 2021.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし
- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

Layer	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qs	
1	1.7	0.35	1.80	119	70	
2	1.8	0.5	1.95	170	100	
3	2.0	0.6	2.00	204	120	
4	2.1	0.7	2.05	238	140	
5	2.2	0.8	2.07	272	160	
6	2.3	0.9	2.10	306	180	
7	2.4	1.0	2.15	340	200	付加体を含む
8	2.7	1.3	2.20	442	260	
9	3.0	1.5	2.25	510	300	
10	3.2	1.7	2.30	578	340	
11	3.5	2.0	2.35	680	400	
12	4.2	2.4	2.45	680	400	
13	5.0	2.9	2.60	680	400	地震基盤(近畿圏)
14	5.5	3.2	2.65	680	400	地震基盤(上部地殻第1層)
15	5.8	3.4	2.70	680	400	上部地殻第2層
16	6.4	3.8	2.80	680	400	下部地殻
17	7.5	4.5	3.20	850	500	マントル
18	5.0	2.9	2.40	340	200	海洋性地殻第2層(フィリピン海プレート)
19	6.8	4.0	2.90	510	300	海洋性地殻第3層(フィリピン海プレート)
20	8.0	4.7	3.20	850	500	海洋性マントル(フィリピン海プレート)
21	5.4	2.8	2.60	340	200	海洋性地殻第2層(太平洋プレート)
22	6.5	3.5	2.80	510	300	海洋性地殻第3層(太平洋プレート)
23	8.1	4.6	3.40	850	500	海洋性マントル(太平洋プレート)

- 地震本部などによる地下構造モデル
- Ludwig et al. (1970)
- 長周期地震動予測地図2009年試作版(宮城県沖地震)
- Yamada and Iwata (2005)
- H17年度大々特広域モデル(田中・他, 2006)
- $Q_s=1000*V_s/5$ $Q_p=1.7*Q_s$ Q_s が400を超える場合は400とする
(Kawabe and Kamae, 2008 を参考)

表 2 - 2 - ① - 1 全国一次地下構造モデルの物性値

(https://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/nankai/lp2012nankai_str_val.pdf より)。

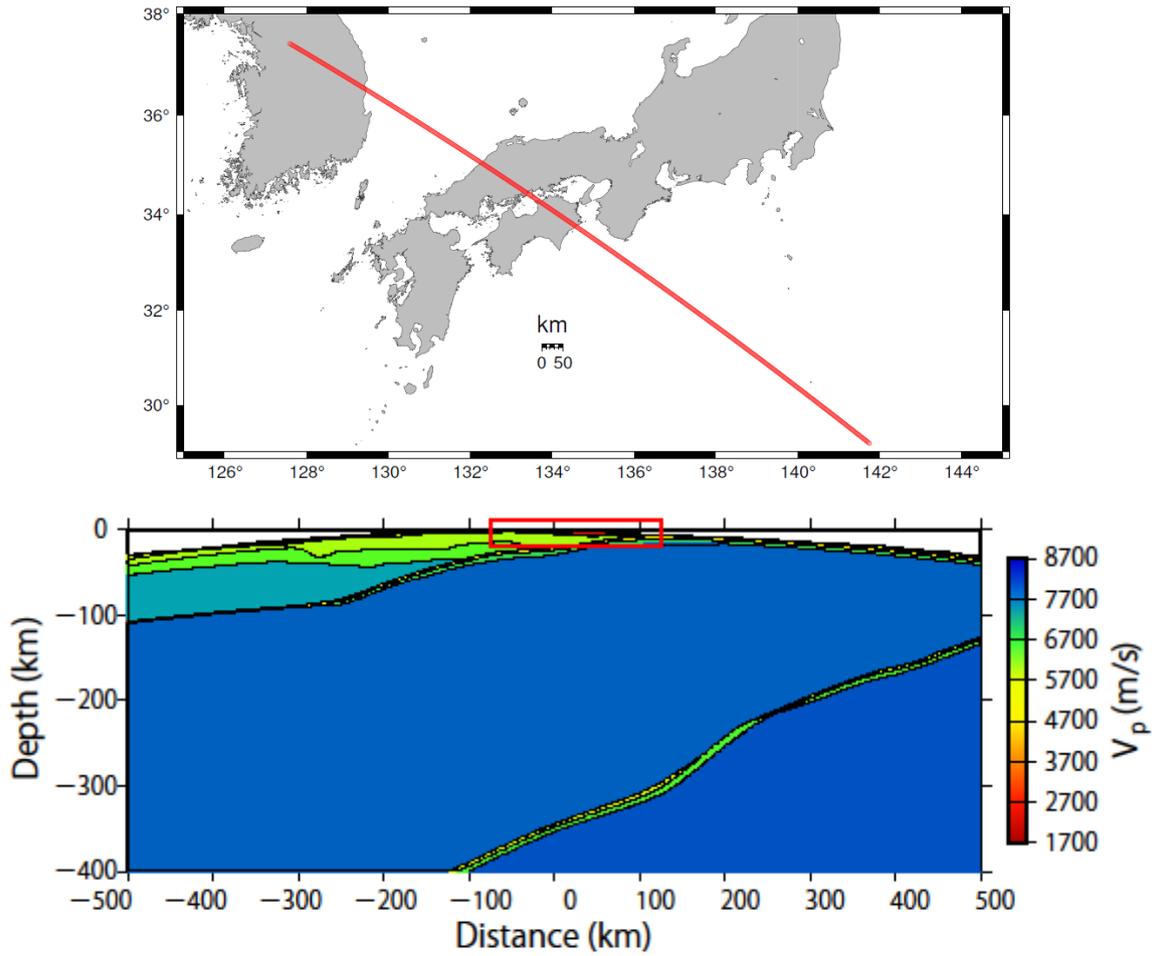


図 2-2-①-1 構築した 3D 構造モデルの断面。上段の赤線に沿った断面を下段に示す。赤枠内を拡大したものが図 2-2-①-2。

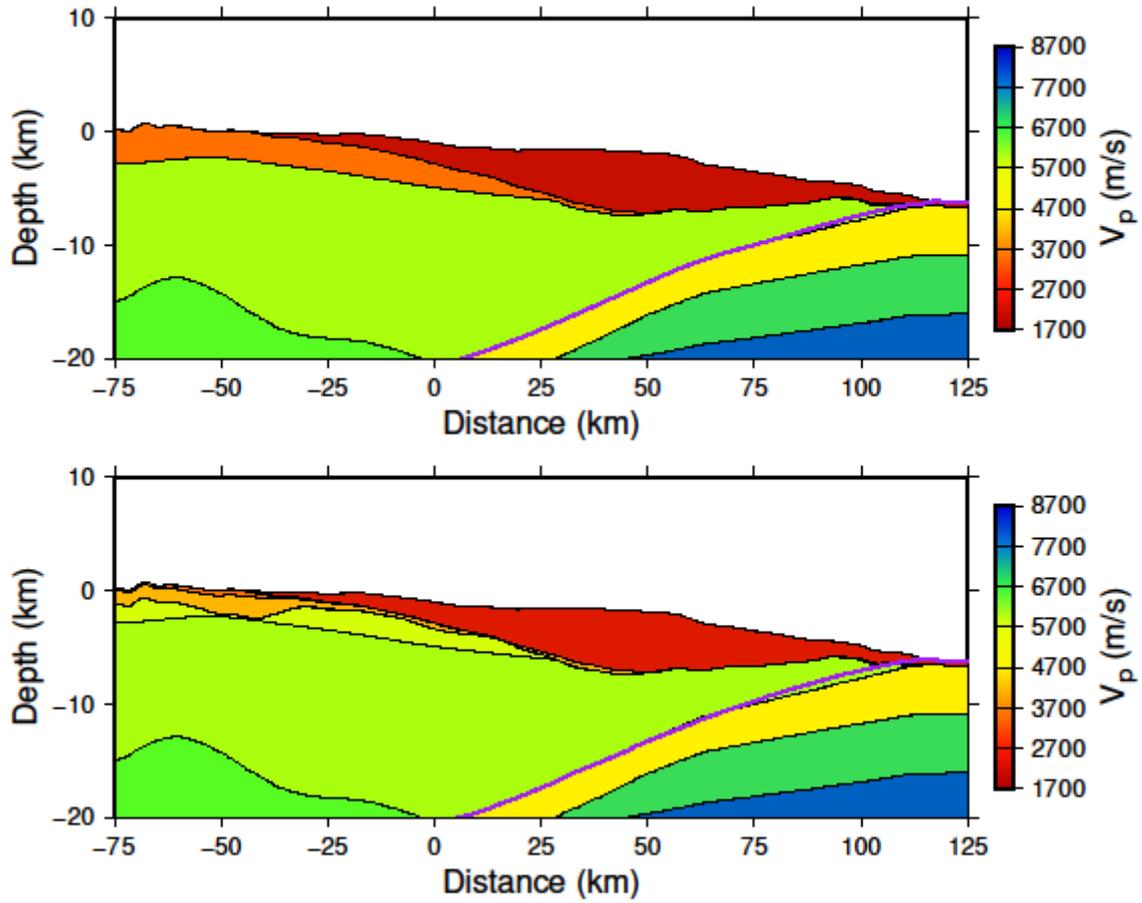


図 2-2-①-2 3D 構造モデルの断面の比較。上段は既存のグリーン関数ライブラリ³⁾で用いられている地震波速度構造、下段は本業務で構築した全国一次地下構造モデルをなるべく忠実に反映した地震波速度構造をそれぞれ示す。

②固着・すべり分布の即時推定

(a) 業務の要約

南海トラフにおける巨大地震震源域の様々な時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現し、情報発信するために、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの不確実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発を行う。

上記目的を達成するために本年度は、推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を活用した推定手法の開発を継続するとともに、得られた断層すべりの推定不確実性をリスク情報へと変換するための試みとして津波浸水リスクマップとして可視化するための手法開発を行った。また、得られた断層すべりの推定不確実性を可視化するためのWebアプリの改良を実施した。令和3年6月及び令和4年3月に国土地理院測地観測センター及び地理地殻活動研究センターと打ち合わせを行ない、本研究課題の進捗状況についての報告及び議論を行った。

(b) 業務の実施方法

プレート間の固着、すべりを限られた測地観測データから推定するとき、得られた断層すべりには大きな推定不確実性が内在する。これを定量評価することを目的に、本年度はマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）を用いた断層すべり分布の即時推定アルゴリズムの開発を令和2年度に引き続き実施するとともに、得られた断層すべりの推定不確実性をリスク情報へと変換するための試みとして津波浸水リスクマップとして可視化するための手法開発を行った。具体的には令和2年度に開発した「段階的全分割アルゴリズム」に基づいて推定されたプレート境界におけるすべり推定の不確実性から、リスク情報の一つである津波浸水リスクを地図上に可視化するための技術開発を行った。対象として、南海トラフで過去に発生した1707年宝永地震を模したすべり分布（Mw 8.75）¹⁾のシミュレーションデータを用いた。MCMC法では、データを同程度に説明する複数のシナリオを多数獲得することができる。一方で、それら多数シナリオをそのまま津波浸水等のリスク情報に用いてしまうと、シナリオ爆発を起こしてしまう。そのため、シナリオの類似性に着目して津波浸水計算が実施できる数にシナリオを縮減するための手法開発を行った。まず、「段階的全分割アルゴリズム」によって推定されたシナリオのうち、データをよく説明する（Variance Reduction値が大きい）シナリオを選別した。次に、教師なし機械学習の一つであるk-means法を用いて断層すべりモデルのシナリオ数を100個に縮減した。そして、100個のシナリオそれぞれで高知県高知市周辺を対象として津波浸水計算を行い、地点毎の津波浸水頻度を計算することで、断層モデルの推定不確実性がもたらす津波浸水のリスクマップを作成した。グリーン関数には均質半無限媒質の解析解²⁾を用いた。

MCMC法で最も一般的に用いられている手法の一つがメトロポリス・ヘイスティングス法（M-H法）であるが、同手法はその実装が簡便である一方で、事後確率分布を安定して取得できるまでに長い混合時間を必要とする。これは、すべり分布等の高次元の問題や、グリーン関数の計算を事前に行うことができない非プレート境界型地震等、1ステップ毎の計算時間が大きな問題における適用性という観点で課題である。そのため、本

年度は M-H 法と比較して収束性が早いハミルトニアンモンテカルロ法（HMC 法）を断層モデル推定に適用するための手法開発に着手し、1 枚矩形断層推定への適用を試みた。

MCMC 法を活用した上記手法では、観測データを同程度に説明する多数の異なる断層すべりモデルが得られる。これら得られた結果から、断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的として、令和 2 年度に開発した多数断層モデル可視化ツールの機能追加を進めた。

本研究課題で実施する内容の内、地震時すべり分布の即時推定については、国土地理院で運用している REGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）への技術移転を念頭に置いている。そのため、令和 3 年 6 月 11 日及び令和 4 年 3 月 9 日に国土地理院測地観測センター及び地理地殻活動研究センターと打ち合わせを行ない、本研究課題の進捗状況についての報告及び開発技術の今後についての議論を行った。

(c) 業務の成果

令和 2 年度に開発した「段階的全分割アルゴリズム」を、1707 年宝永地震を模したすべり分布（Mw 8.75）のシミュレーションデータに適用し、その結果にもとづいて本年度開発した手法により作成した、断層モデルの推定不確実性がもたらす津波浸水のリスクマップを図 2-2-②-1 に示す。同図を見ると、100 シナリオすべてで必ず浸水が確認されるエリア（図中ピンク色）がある一方で、低い確率で浸水するエリア（図中青色）が広い範囲で確認できる。この青色の包絡線を取ることによって、同イベントにおける津波浸水エリアのワーストケースを抽出可能であると考えられる。

HMC 法による 1 枚矩形断層推定手法の開発を行い、同手法を 2016 年熊本地震における REGARD の結果に対して適用し、M-H 法との比較を行った。その結果、両者それぞれで得られた事後確率分布はきわめて高い一致度を示し（図 2-2-②-2）、HMC 法で断層推定が可能であることを初めて示した。また、収束に必要なステップ数について検証したところ、M-H 法の数%程度のマルコフ連鎖の数で収束することが判明した。これは HMC 法の収束効率の高さを示す結果であり、より高次の問題等への適用における有用性を期待させる結果である。

断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的とした、Web ベース多数断層モデル可視化ツールへの機能追加によって、迅速に各小断層が持つ推定不確実性を描画することが可能になった（図 2-2-②-3）。また、令和 3 年 6 月 11 日及び令和 4 年 3 月 9 日に行った国土地理院との打ち合わせにより、国土地理院で現在機能改善を進めている REGARD の現状等についての情報共有を実現するとともに、本プロジェクトで開発した手法の技術移転等について議論を行った。

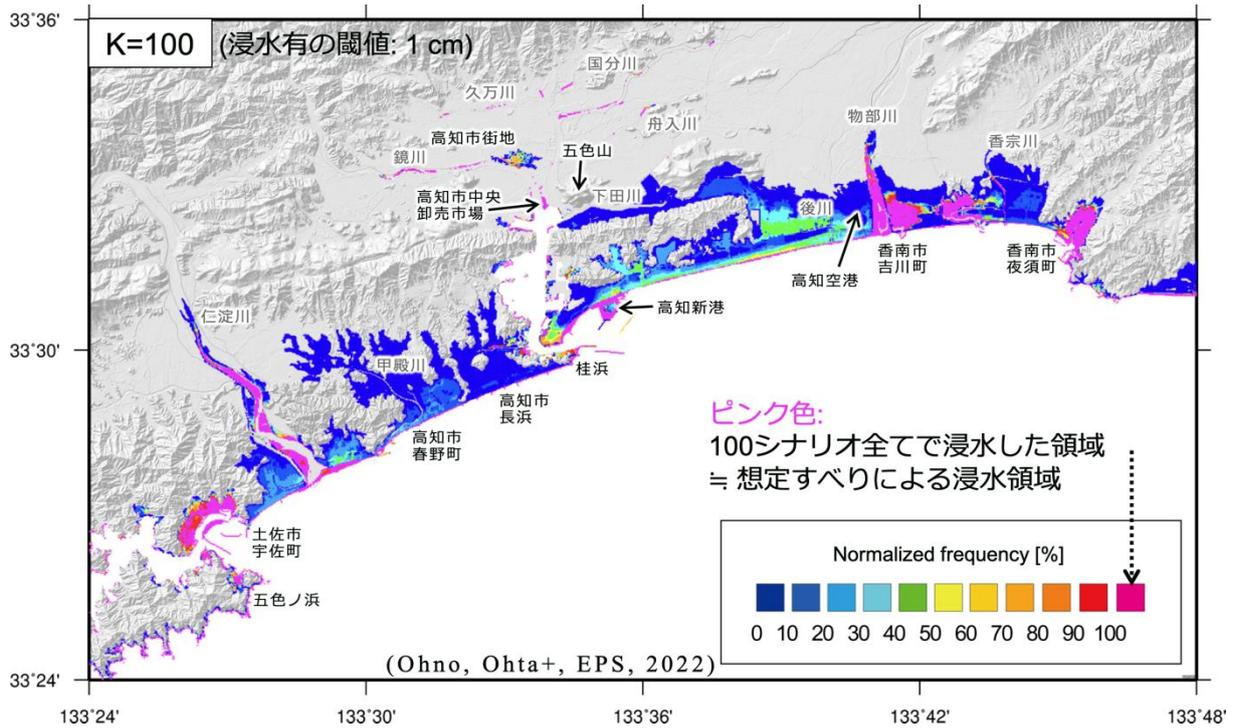


図 2-2-②-1 断層モデルの推定不確実性がもたらす津波浸水のリスクマップ。1707年宝永地震を模したすべり分布 (Mw 8.75) のシミュレーションデータにもとづき、令和2年度に開発した「段階的全分割アルゴリズム」を適用した結果を用い、今年度開発した手法によってシナリオ数を縮減することで得た。色が津波浸水リスクを表し、暖色系ほどそのリスクが高いことを示す。

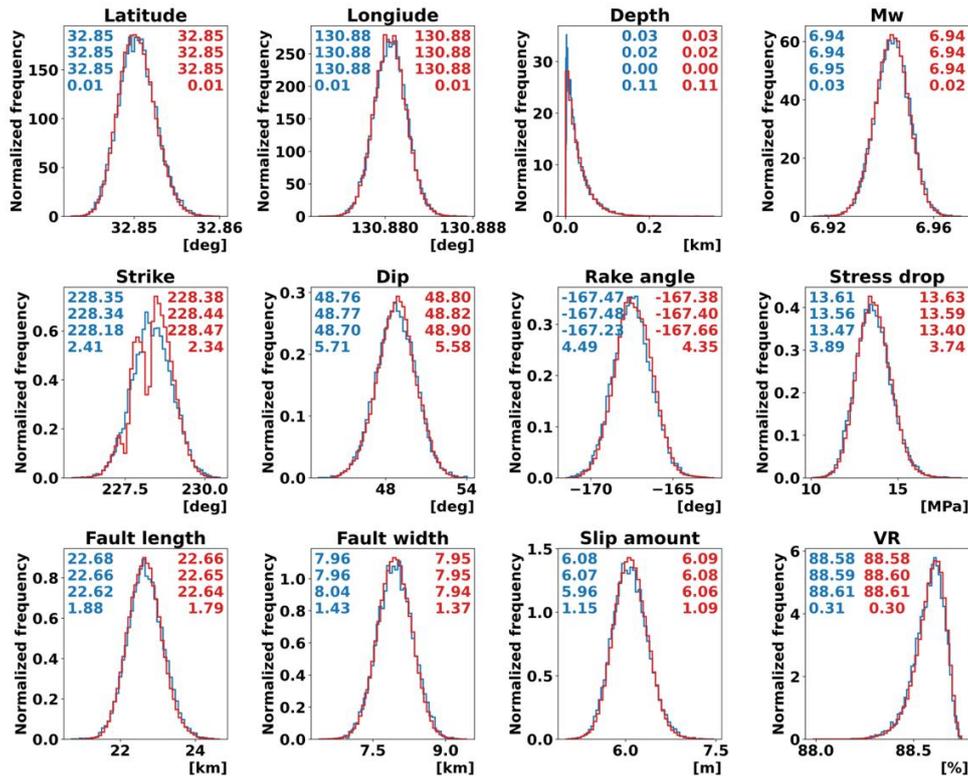


図 2-2-②-2 2016 年熊本地震時の REGARD による永久変位データに対して HMC 法及び M-H 法で 1 枚矩形断層モデルを推定した結果の事後確率分布。両者がよく一致していることが分かる。

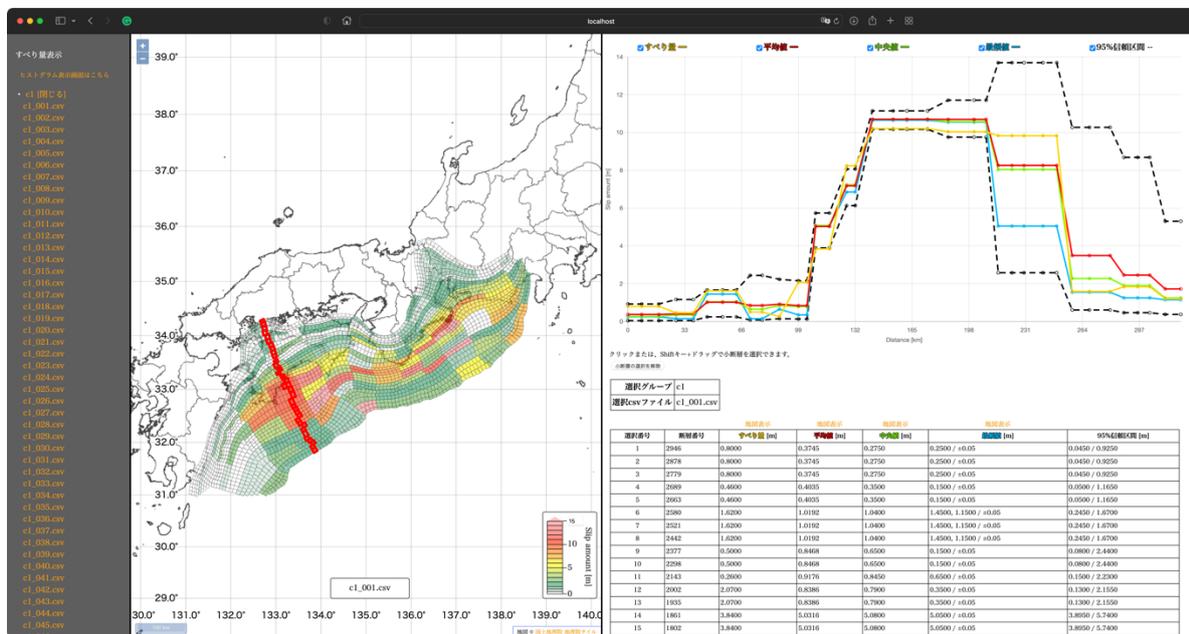


図 2-2-②-3 断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的とした、多数断層モデル可視化ツールへの機能追加。推定されたすべり分布が持つ推定誤差を迅速に可視化できる。図中左図の赤枠で囲まれた断層をドラッグして選択すると、右図のようなすべり(平均値、中央値、最頻値)とその 95%信頼区間を迅速に描画できる。

(d) 結論ならびに今後の課題

断層すべりモデルの不確実性を迅速に推定するためのアルゴリズム開発を継続することで、推定の枠組みを得るとともに、同手法によって得られる断層すべりの不確実性をリスク情報として活用するための手法開発を行った。これによって津波浸水リスクを地図上に可視化することに成功した。また従来法と比べて収束性が高い HMC 法による断層モデル推定手法の開発に着手し、同手法によって1枚矩形断層推定が可能であることを示した。さらに断層すべりモデルの不確実性を可視化するための多数断層モデル可視化ツールへの機能追加を行った。また、令和3年6月及び令和4年3月に国土地理院との打ち合わせを行った。来年度は断層すべりモデルの不確実性定量評価手法の開発を継続するとともに、3D構造モデルによる推定の実施及び海底地殻変動観測データの利活用等の検討を行う。

(e) 引用文献

- 1) Furumura, T., Imai K., and Maeda T.: A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 116 (2), 1-17. doi:10.1029/2010JB007918, 2021.
- 2) Okada, Y.: Internal Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 2, pp.1018-1040, 1992.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
単一矩形断層推定に関するハミルトニアンモンテカルロ法の適用可能性（口頭）	山田太介、太田雄策	日本地球惑星科学連合2021年大会	令和3年6月	国内
ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較（口頭）	山田太介、太田雄策	日本地震学会2021年度秋季学術大会	令和3年10月	国内
ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較（口頭）	山田太介、太田雄策	日本測地学会第136回講演会	令和3年11月	国内

Efficient estimation of the fault model using the GNSS data based on the Hamiltonian Monte Carlo approach (ポスター)	Taisuke Yamada, Yusaku Ohta	American Geophysical Union Fall Meeting 2021	令和3年12月	国外
Application of GNSS for real-time prediction of geohazards and its transformation to disaster information (口頭) (招待講演)	Yusaku Ohta	Geospatial Capacity Development Conference on GNSS applications and DRR	令和4年1月	国外

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Rapid and quantitative uncertainty estimation of coseismic slip distribution for large interplate earthquakes using real-time GNSS data and its application to tsunami inundation prediction	Ohno K., Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, T. Abe, H. Kobayashi	Earth, Planets Space	令和4年2月	国外

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③ 浅部プレート境界の固着状態の推定（広帯域地震観測）

(a) 業務の要約

浅部スロー地震活動はプレート境界浅部におけるプレート間固着状態を把握する上で有用な指標の1つである。本研究では浅部スロー地震活動が活発な南海トラフ中西部において広帯域海底地震観測によりプレート境界浅部におけるスロー地震活動の詳細な時空間把握を行う。また、プレート境界からの分岐断層付近に代表される非プレート境界域における地震活動の時空間把握も行う。観測より得られるこれらの地震活動の時空間変化を、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの不確実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発に役立てる。

本年度は、上記目的達成のため、南海トラフ西部に位置する日向灘に昨年度設置した海底地震計10台の回収を行った。また、新規の固有周期120秒の広帯域地震計を搭載した海底地震計用レベリング装置3台の整備を行い、長期観測可能な海底地震計を10台設置して観測を継続した。これらのうち、6台は小型広帯域海底地震計である。回収した海底地震計にはデータが取得されており、複数のスロー地震活動とスロー地震活動に同期発生したと考えられる地震活動を含む良好なデータが取得されていることを確認した。これらに加え、本年度は過去に実施された観測データの再解析も行い、日向灘における浅部低周波微動活動の新たな活動特性を明らかにした。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ中西部域ではトラフ近傍のプレート境界浅部域においてスロー地震の発生が確認されており、特に海底観測によって活動特性が明らかになりつつある^{1,2,3)}。これらの浅部スロー地震活動の時空間変化はプレート間固着状態を反映していると考えられる。また、浅部スロー地震のうち、浅部低周波微動に関しては時間と共に発生領域が移動するマイグレーション現象が確認されている³⁾。これらは短期的なスロースリップの発生を示唆しており³⁾、南海トラフ中部域においては孔内間隙水圧観測の変化からもスロースリップの発生が推定されている²⁾。浅部超低周波地震は波形解析からプレート境界地震と同様の発震機構であることが明らかになっており¹⁾、浅部低周波微動と浅部超低周波地震が同期発生していることも明らかになっている³⁾。これらの異なる周波数帯域を持つ地震活動特性を総合的に理解するためには、海底で発生する地震の震源近傍での広帯域観測が必要不可欠である。南海トラフ中西部では1年～数年間隔でマイグレーション現象を伴う比較的規模の大きな浅部スロー地震活動が発生しており、本研究期間中にも複数回の浅部スロー地震活動が発生することが期待される。南海トラフ域では、過去の地震の震源域内にプレート境界からの分岐断層が存在することが明らかにされ⁴⁾、地震発生様式やプレート間固着への影響が議論されている。そこで、浅部スロー地震活動と非プレート境界域における地震活動の詳細な時空間変化を明らかにすることを目的として、南海トラフ中西部の浅部スロー地震震源域周辺に通常地震から浅部低周波微動、超低周波地震まで観測できる広帯域海底地震計を含めた稠密観測網を構築することとした。

(c)業務の成果

南海トラフ中西部のプレート境界浅部におけるスロー地震活動と非プレート境界域における地震活動の詳細な時空間把握が本研究業務の目的である。これらの結果は、3D構造モデルに基づいたプレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを定量化するシステム開発に寄与する。本年度は、固有周期 120 秒の広帯域地震計 (Nanometrics 社 Trillium Compact) を搭載した海底地震計レベリング装置を導入して、小型広帯域海底地震計⁵⁾ 3 台の整備を行った。その後、南海トラフ西部に位置する日向灘に昨年度設置した海底地震計 10 台の回収を行うとともに、本年度整備した 3 台のレベリング装置付き小型広帯域海底地震計に加え、固有周期 20 秒の小型広帯域海底地震計 3 台、固有周波数 1 Hz の地震計を搭載した長期観測型海底地震計 4 台の計 10 台の海底地震計を新たに設置して、観測を継続した(図 2-2-③-1、写真 2-2-③-1~7、表 2-2-③-1)。

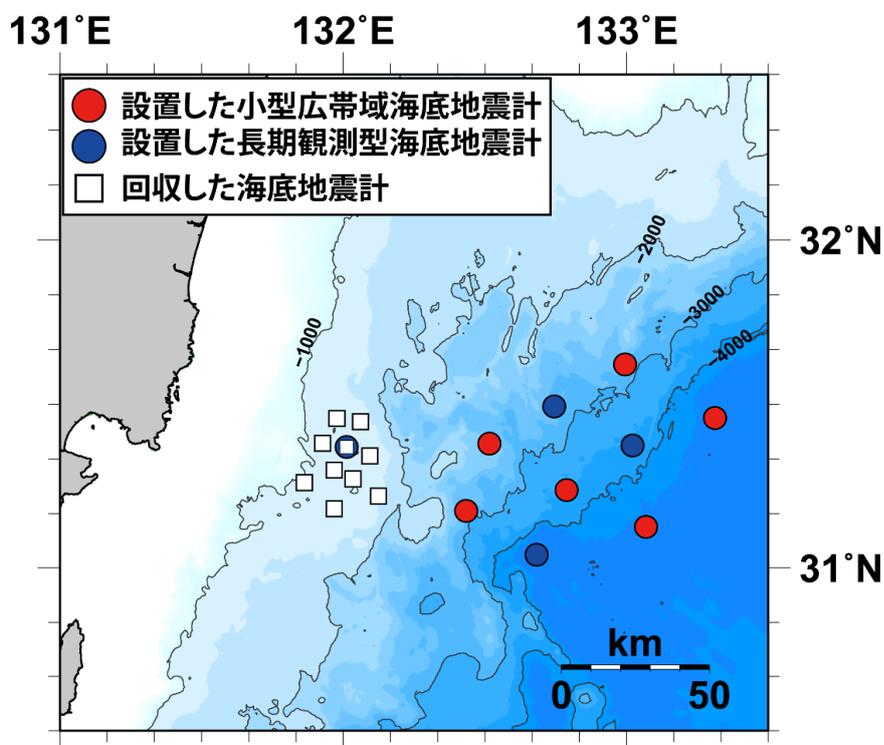


図 2-2-③-1 設置した海底地震計位置

令和 2 年度に設置され、令和 3 年度に回収した長期観測型及び小型広帯域海底地震計 10 台と、令和 3 年度に設置された長期観測型及び小型広帯域海底地震計 10 台の設置位置。四角の点に設置されていた海底地震計を回収した。また、青丸の 4 点に長期観測型海底地震計、赤丸の 6 点に小型広帯域海底地震計を新たに設置して、観測を開始した。これらの海底地震計は、次年度以降まで観測を継続し、その後回収を予定している。なお、図中のコンターは 1000m 間隔の等水深線である。



写真 2 - 2 - ③ - 1 観測に使用した研究船「第三開洋丸」



写真 2 - 2 - ③ - 2 観測船に搭載された海底地震計

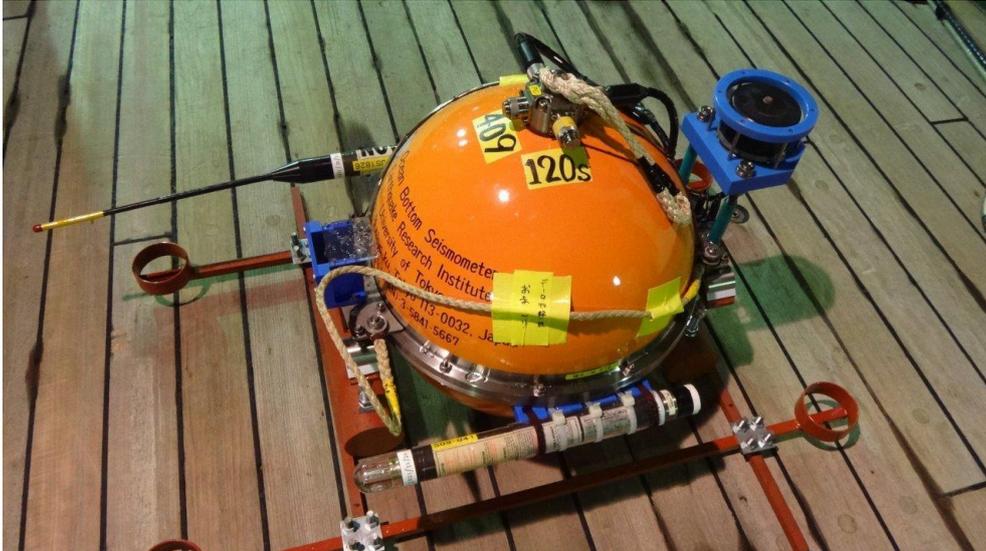


写真 2 - 2 - ③ - 3 今回新たに整備した小型広帯域海底地震計。外見は従来の長期観測型海底地震計と全く同じである。

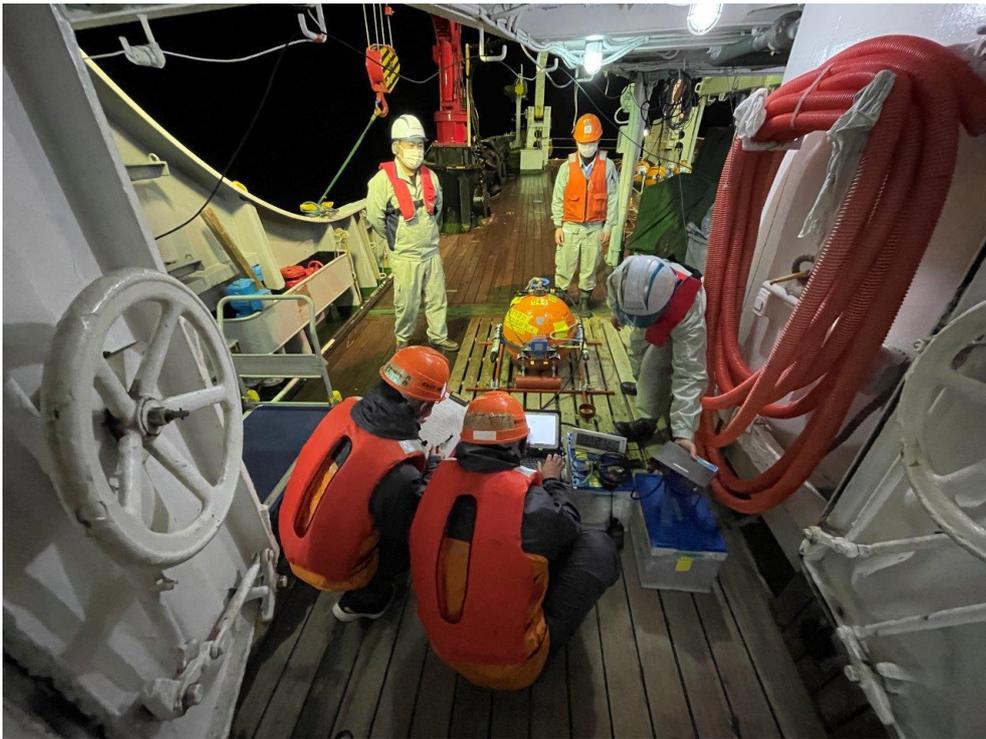


写真 2 - 2 - ③ - 4 海底地震計設置前準備作業の様子。



写真 2 - 2 - ③ - 5 海底地震計投入作業の様子。



写真 2 - 2 - ③ - 6 海底地震計回収作業の様子。



写真 2-2-③-7 回収された海底地震計。

表 2-2-③-1 海底地震計設置位置

観測点名	緯度		経度		水深 m	備考
	度	分	度	分		
NK21A6	31	22.42	132	00.97	1146	LOBS
NK2101	31	02.63	132	41.10	4872	LOBS
NK2102	31	10.65	132	26.00	2824	CBB0BS (120)
NK2103	31	23.05	132	30.93	2437	CBB0BS (20)
NK2104	31	29.69	132	44.71	2913	LOBS
NK2105	31	14.54	132	47.41	3504	CBB0BS (20)
NK2106	31	07.76	133	04.21	4666	CBB0BS (20)
NK2107	31	22.70	133	01.48	3572	LOBS
NK2108	31	37.31	132	59.68	2750	CBB0BS (120)
NK2109	31	27.57	133	18.77	4834	CBB0BS (120)

備考欄の LOBS は長期観測型海底地震計、CBB0BS は小型広帯域海底地震計で、20 と 120 はそれぞれ固有周期 20 秒と 120 秒の広帯域地震計を搭載していることを示す。座標値は着底後の音響測量によって求められた着底位置である。ただし、NK2108 と NK2109 は作業時間不足のために設置位置決定のための測量を実施していないので、投入位置である。

設置・回収作業には、海洋エンジニアリング株式会社所属の第三開洋丸（令和4年1月7日宮崎港出港、同年同月10日宮崎港帰港）を使用した。なお、NK20A6の回収作業及びNK21A6の設置作業は長崎大学練習船「長崎丸」を用いて、行われた（令和3年8月2日実施）。本年度は昨年度よりもさらに東側のプレート境界浅部域におけるプレート間固着状況の把握に着目し、平成27年（2015年）5月～7月にかけて浅部低周波微動・超低周波地震活動が確認されている日向灘のロー地震活動域付近を観測対象域とした。海底地震計の設置間隔は20～30 kmとし、特に海溝軸周辺における活動の有無を確認できるような観測網を構築した。同領域には別プロジェクト（文部科学省 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次） 課題番号 DPRI01⁶⁾）により海底地震計短スパンアレイが設置されており、この短スパンアレイと連携可能となるように観測点を配置した。

回収した海底地震計すべてでデータが取得されており、複数のロー地震活動と、ロー地震活動に同期発生したと考えられる地震活動を含む、良好なデータが取得されていることを確認した。令和3年（2021年）5月22日の3時4分（JST）に中華人民共和国・青海省で発生したMw 7.3の地震では、日向灘は本震の震源から約3,200 kmの距離があるものの、本震のレイリー波により浅部低周波微動が動的誘発された事が確認された（図2-2-③-2）。この後、低周波微動活動は活発化と静穏化を繰り返しつつ、6月8日頃まで活動度の高い状態が続いた。

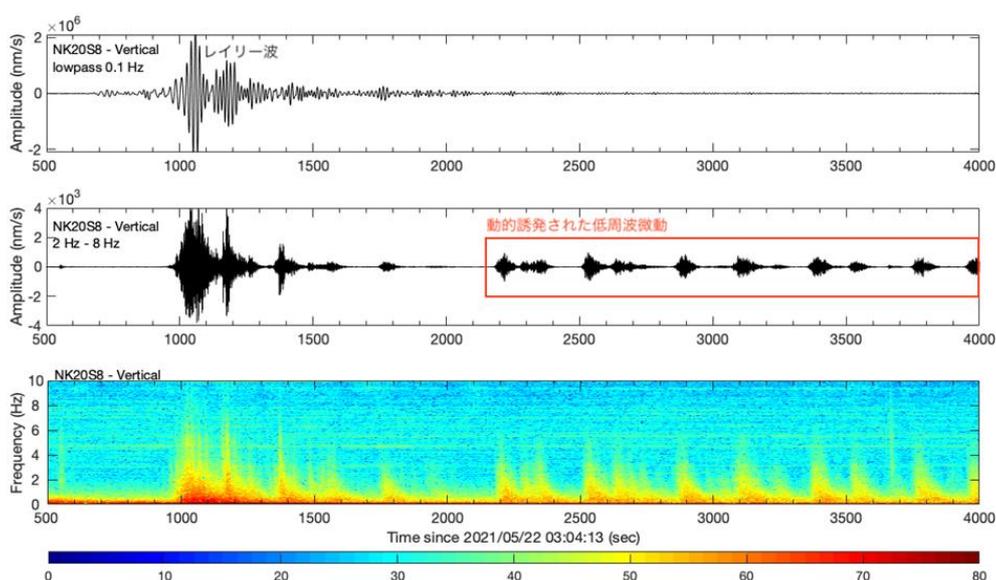


図2-2-③-2 中華人民共和国・青海省で発生した地震（Mw7.3）のレイリー波と、レイリー波によって動的誘発された低周波微動。時間は本震発生時刻からの経過時間（秒）を示す。（上）0.1 Hzのローパス・フィルタをかけたNK20S8観測点（上下動）の波形。（中）2 Hz～8 Hzのバンドパス・フィルタをかけたNK20S8観測点（上下動）の波形。赤枠内が動的誘発された浅部低周波微動。（下）パワースペクトルの最小値でスケールリングしたスペクトログラム。

新たな観測によるデータ取得に加え、過去に取得されたデータの再解析を行い、日向灘における浅部低周波微動活動の新たな特性について明らかにした⁷⁾。平成 26 年～29 年(2014 年～2017 年)にかけて行われた観測データを網羅的に解析した結果、平成 25 年(2013 年)に観測された南から北への移動を伴う活動とは異なり、西から東へ移動を伴う活動が明らかとなった(図 2-2-③-3)。これらは活動域が一部は重複するものの異なっており、さらに移動速度に大きな差があることが分かった。西から東への移動は南から北への移動よりも遅く、この違いは浅部低周波微動活動域より深いプレート境界の固着強度の違いに起因していると考えられる。さらに、浅部低周波微動と比較的大きな浅部超低周波地震の分布を比較すると、基本的には誤差を考慮すれば両者は同じ場所で発生しているように見えるが、細かく見ると浅部低周波微動の震央が疎な部分において、浅部超低周波地震が多く発生しており、互いに相補的な分布をしている事が明らかとなった(図 2-2-③-4)。これらはプレート境界浅部の固着の空間変化の不均質性を反映している可能性が高いと考えられる。

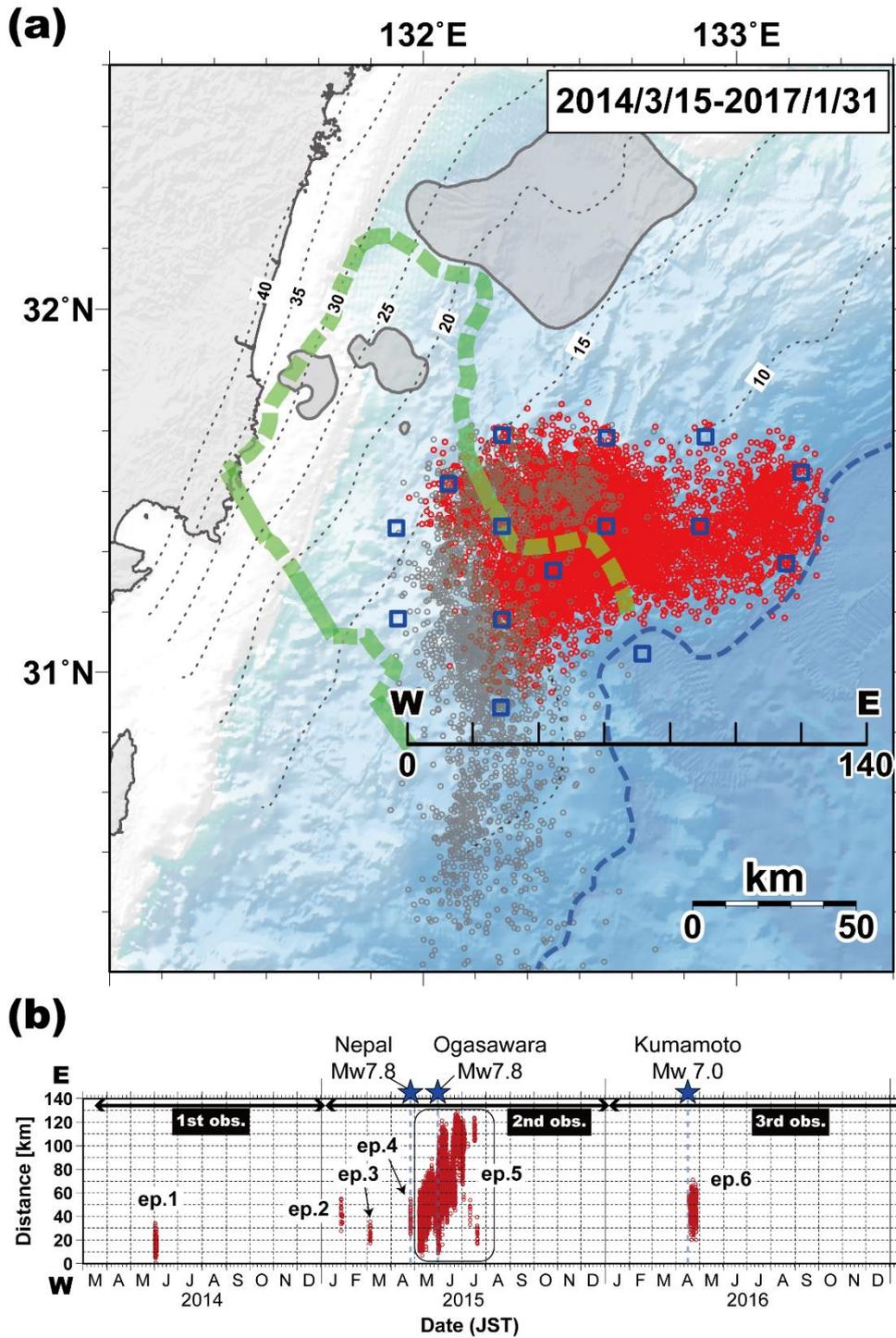


図 2 - 2 - ③ - 3 平成 26 年～29 年(2014 年～2017 年)の間に発生した浅部低周波微動の(a)震央分布と(b)時空間プロット⁷⁾。赤丸が 2014 年～2017 年、灰丸は 2013 年の活動²⁾。図中の黒破線はプレート境界面の等深度線⁸⁾、青四角は解析に用いた海底地震計の設置位置、緑実線・破線は沈み込んだ九州パラオ海嶺の縁⁹⁾を示している。時空間プロットは、震央分布図上の W-E 測線に投影されおり、主要な活動 (episode) が ep.1～6 まで示されている。青星は浅部低周波微動活動に影響を与えた主要な大地震の発生時間を示す。

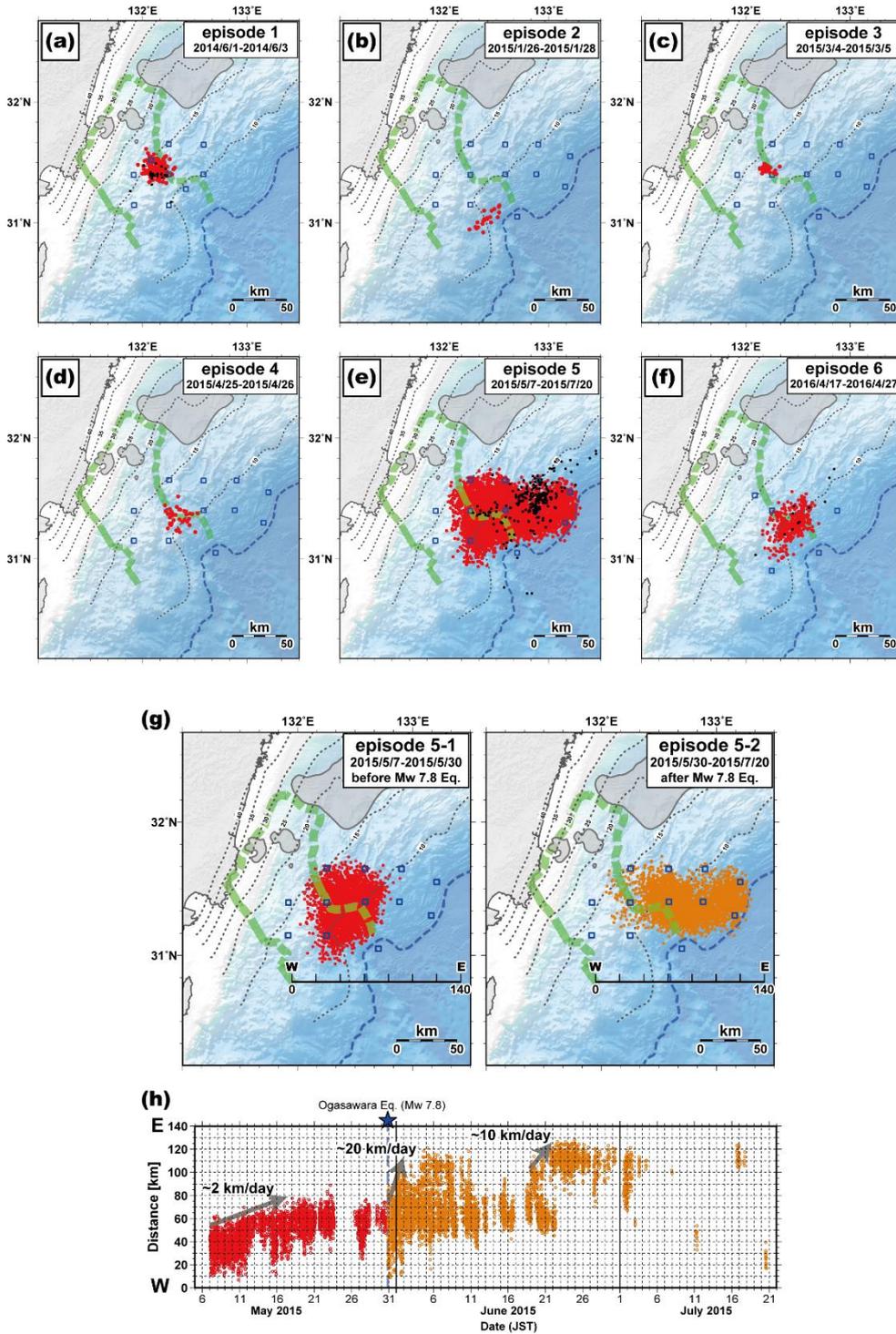


図 2 - 2 - ③ - 4 平成 26 年～29 年 (2014 年～2017 年) の間に発生した浅部低周波微動の (a-g) episode 毎の震央分布と、(h) episode 5 における時空間プロット⁷⁾。episode は図 2 - 2 - ③ - 3 (b) に示されている。黒色の点は浅部超低周波地震の震央分布¹⁰⁾。

(d) 結論ならびに今後の課題

新たに固有周期 120 秒の広帯域地震計を搭載した海底地震計用レベリング装置 3 台の整備を行った。日向灘において、昨年度設置した海底地震計 10 台の回収を行うとともに、整備した小型広帯域海底地震計を含めた計 10 台の長期観測可能な海底地震計の設置を行

い、観測を継続した。今年度設置した海底地震計は、海底地震計耐圧容器内の記録媒体にデータ収録されるため、データ取得には次年度以降の海底地震計回収作業が必須である。回収し得られたデータをもとに、プレート境界及びその周辺で発生していると考えられるスロー地震を含めた地震活動を把握し、浅部プレート境界域における解析を実施する。地震活動の詳細な時空間把握のためには、継続的な観測ならびにスロー地震の帯域まで記録可能な機材による観測が重要である。次年度以降においても、広帯域海底地震計を含めた海底観測網を構築し、観測を実施する予定である。そのため、新たにレベリング装置付き小型広帯域海底地震計の整備を行うことも計画している。

(e) 引用文献

- 1) Sugioka, H., Okamoto T., Nakamura T., Ishihara Y., Ito A., Obana K., Kinoshita M., Nakahigashi K., Shinohara M., and Fukao Y.: Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, 5 (6), 414-418, doi: 10.1038/NGE01466, 2012.
- 2) Yamashita, Y., Yakiwara H., Asano Y., Shimizu H., Uchida K., Hirao S., Umakoshi K., Miyamachi H., Nakamoto M., Fukui M., Kamizono M., Kanehara H., Yamada T., Shinohara M., and Obara K.: Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, *Science*, 348 (6235), 676-679, doi:10.1126/science.aaa4242, 2015.
- 3) Araki, E., Saffer D. M., Kopf A. J., Wallace L. M., Kimura T., Machida Y. et al.: Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust. *Science*, 356(6343), 1157-1160, doi:10.1126/science.aan3120, 2017.
- 4) Park, J.-O., Tsuru T., Kodaira S., Cummins P. R., and Kaneda Y.: Splay fault branching along the Nankai subduction zone, *Science*, 297, 1157-1160, 2020.
- 5) Shinohara, M., Yamada T., Shiobara H., and Yamashita Y.: Development of Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer for Monitoring of Slow Earthquakes, *Seism. Res. Lett.*, 92(6), 3610-3625, doi:10.1785/0220210100, 2021.
- 6) 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」令和2年度成果報告書:
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/OpenReport/R2/r2_kikanbetsu.pdf
- 7) Yamashita, Y., Shinohara M. and Yamada T.: Shallow tectonic tremor activities in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, based on long-term broadband ocean bottom seismic observations, *Earth, Planets and Space*, 73(1), 196, doi:10.1186/s40623-021-01533-x, 2021.
- 8) Nakanishi A., Takahashi N., Yamamoto Y., Takahashi T., Ozgur Citak, S., Nakamura T., Obana K., Kodaira S., Kaneda Y.: Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan:

Implications for seismogenesis. In: Byrne T, Underwood MB, III, Fisher D et al. (eds) Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura, vol 534. Special Paper of the Geological Society of America. doi:10.1130/2018.2534(04), 2018.

9) Yamamoto Y., Obana K., Takahashi T., Nakanishi A., Kodaira S., Kaneda Y.: Imaging of the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone. Tectonophysics 589:90-102. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.028, 2013.

10) Tonegawa T., Yamashita Y., Takahashi T., Shinohara M., Ishihara Y., Kodaira S., Kaneda Y.: Spatial relationship between shallow very low frequency earthquakes and the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region of the Nankai subduction zone. Geophys J Int 222(3):1542-1554. https://doi.org/10.1093/gji/ggaa264, 2020.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

なし

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・ 外の別
Shallow tectonic tremor activities in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, based on long-term broadband ocean bottom seismic observations	Yamashita, Y., M. Shinohara and T. Yamada	Earth, Planets Space	令和3 年10月	国外
Development of Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer for Monitoring of Slow Earthquakes	Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita	Seism. Res. Lett.	令和3 年7月	国外

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

2. 3 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター	センター長 副主任研究員 技術スタッフ 事務副主任 ポストドクトラル 研究員	堀 高峰 今井 健太郎 大林 涼子 中野 祥房 楠本 聡
国立大学法人東京大学地震研究所 計算地球科学研究センター	教授	市村 強
国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震発生帯研究センター	専門部長	金松 敏也
国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門 海洋地質研究グループ	招聘研究員 (特命上席研究員) 上級主任研究員 主任研究員	池原 研 片山 肇 杉崎 彩子
国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ	研究グループ長 上級主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 副研究部門長	宍倉 正展 澤井 祐紀 行谷 佑一 松本 弾 谷川 晃一朗 伊尾木 圭衣 嶋田 侑眞 藤原 治
法政大学 文学部	教授	前杵 英明
国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤 亮輔

(c) 業務の目的

過去の地震履歴についての知見を拡充するとともに、地殻変動データと整合する3D粘弾性構造モデルを構築し、過去の地震履歴や固着・すべりの現状把握の結果が与えられたもとの、現在の応力蓄積状態を推定するとともに、擾乱（半割れ等）が与えられた際の推移を予測する手法を開発する。そのために、断層すべりによる地殻変動計算と断層面での応力評価を、3D不均質粘弾性構造を考慮して行うための大規模有限要素モデルを、南海トラフを対象として構築するとともに、前回の南海トラフ地震以降の地殻変動データと整合する物性パラメータを推定した上で、グリーン関数を計算する。また、断層構成則と組み合わせることで、与えられた固着・すべりの後の推移の計算を実現する。履歴については、海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出するとともに歴史地震について史料調査を実施する。陸域では掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底堆積物調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年

代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。また、史料解析に基づいて歴史地震における諸現象をより正確に復元する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

推移予測では3D不均質粘弾性構造を考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデル構築の基礎検討を行った。陸域では駿河湾奥から九州東部沿岸において掘削調査を行い地震・津波履歴を推定した。海域では御前崎沖海域において調査航海を実施し、地震・津波履歴の調査を実施した。史料調査では明応東海地震から昭和東南海・南海地震において現地調査に基づいた史料収集及びその精査を行った。

2) 令和3年度：

推移予測では、応力蓄積過程の計算に必要な前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を引き続き行うとともに、南海トラフを対象として、3D不均質粘弾性構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデルを構築した。陸域では紀伊～四国沿岸陸域における掘削調査と試料採取及び既存の掘削試料の解析を行った。海域では日向灘～南九州沖の海底堆積物試料の分析から日向灘～南九州における地震・津波履歴を推定した。史料調査ではこれまで得られた史料調査の結果を基に昭和東南海・南海地震の津波波源モデルの再評価を行った。

3) 令和4年度：

推移予測では、令和2・3年度で得られた成果を基に3D不均質粘弾性構造を考慮したグリーン関数を求める。陸域では紀伊～四国沿岸陸域において掘削調査から地震・津波の発生履歴を得る。海域では東海～四国沖における海底堆積物試料の分析から地震・津波の発生履歴を得る。史料調査ではこれまで得られた史料調査の結果を基に宝永地震及び安政南海地震の津波波源モデルの再評価を行う。

4) 令和5年度：

推移予測では、履歴研究に基づいた過去の地震履歴と1(b)の成果にもとづくすべり欠損をもとに、初期条件の計算とすべり後の推移予測の試行計算を行う。陸域では東海～紀伊沿岸陸域において掘削調査から地震・津波の発生履歴を得る。海域では令和4年度に引き続き、東海～四国沖における海底堆積物試料の分析から地震・津波の発生履歴を得る。史料調査では明応東海地震津波に関わる津波痕跡、地殻変動の陸上調査を実施する。

5) 令和6年度：

推移予測では、履歴研究と1(b)の成果にもとづいて更新したプレート間の固着及びすべり状態を与えたその後の推移予測の試行計算結果をまとめる。陸域では東海～九州沿岸陸域において補完的な掘削調査を実施し、海域ではこれまで採取した海底堆積物の分析及び評価を実施する。さらに陸域と海域の成果をまとめて地質試料による統合地震履歴情報を得る。史料調査では令和5年度までに得られた史料調査の結果を基に明応東海地震の津波波源モデルの検討を行う。

(e) 令和3年度業務目的

前回の南海トラフ地震からの応力蓄積過程計算準備と過去の地震履歴の拡充に着手する。

このため、応力蓄積過程の計算に必要となる前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を引き続き行うとともに、南海トラフを対象として、3D粘弾性不均質構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデルを構築する。また履歴については、陸域では紀伊～四国沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では東海～九州沖海域の試料の分析等から地震・津波の発生履歴、史料調査では、1498年明応東海地震から1944年昭和東南海地震までの津波痕跡高・地殻変動の史料収集とその精査を引き続き実施するとともに、1944年昭和東南海地震及び昭和南海地震の波源モデルについて津波痕跡高に基づいた再検討を行う。

(2) 令和3年度の成果

① 3D不均質粘弾性構造モデルを考慮した推移予測手法の開発

(a) 業務の要約

応力蓄積過程の計算に必要となる前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を引き続き行うとともに、南海トラフを対象として、3D不均質弾性構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算を行った。また、地殻変動データとの比較と断層面での応力評価を行うための3D不均質粘弾性構造の大規模有限要素モデルを構築した。サブ課題1・2のシナリオ構築での連携の議論、1c内の推移予測と履歴の連携の検討・整理を進めた。

(b) 業務の成果

地殻変動データについては、1944年昭和東南海地震・1946年昭和南海地震前後の地殻変動¹⁾、ならびに、水準測量データや潮位記録をもとに補間されたデジタルデータ¹⁾を入手した(図2-3-①-1)。この地殻変動データとの比較をするための粘弾性モデルについて、モデル構築と粘弾性応答の計算手法については昨年度報告済みである。一方、入手した実データとの比較に用いる粘弾性モデル構築にあたって、3次元弾性地下構造のDEMデータを改善するとともに、粘弾性構造としてどのようなモデルで比較するかの検討を行った。陸側の弾性層の厚さは、同じデータにもとづいて2.5次元の粘弾性モデルで検討をした研究³⁾の結果を参照して設定した。また、沈み込むプレートの下の粘弾性構造は不明な点が多いので、図2-3-①-2aに示した通り、4つの場合を用意する。

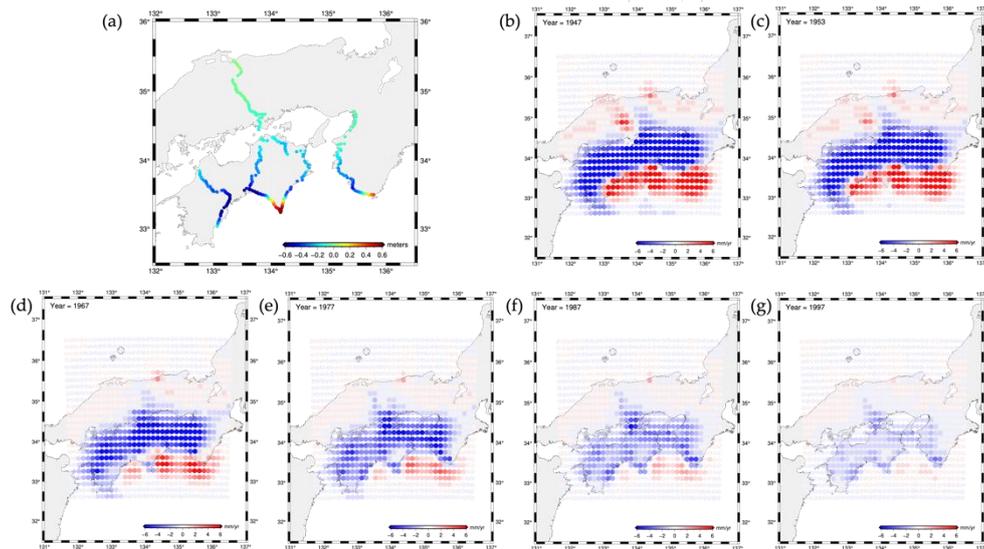


図 2-3-①-1 モデルと比較するための地殻変動データ。(a)1944・1946 年前後の水準測量データ¹⁾。(b)-(g)1947 年から 1997 年までの補間された上下地殻変動データ²⁾。

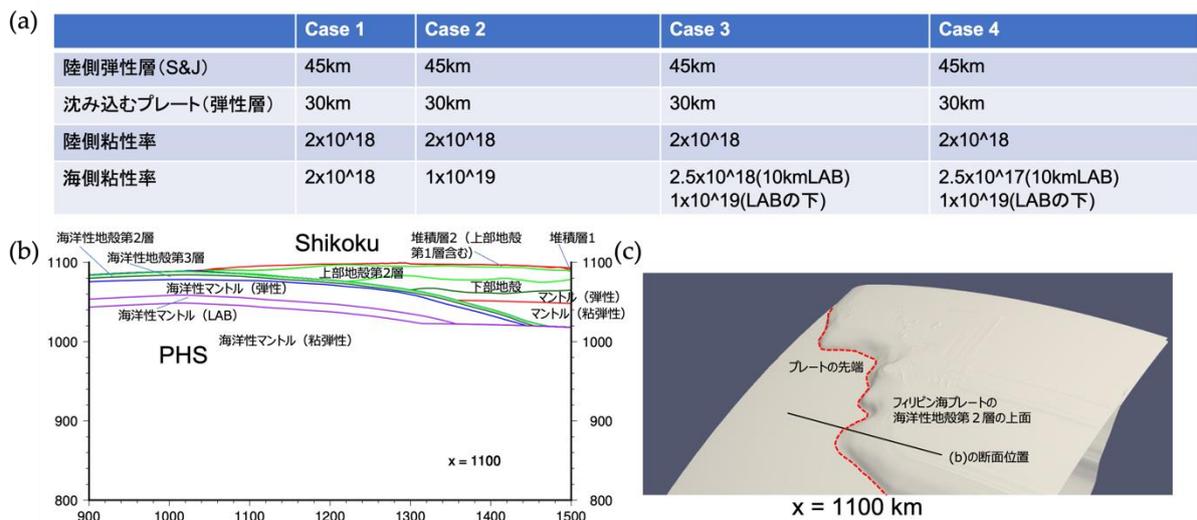


図 2-3-①-2 (a)実データと比較するための粘弾性構造モデルの候補(4ケース)。(b)層構造の DEM データの断面の例。(c)に断面位置を示す。(c)プレート境界形状((b)の海洋性地殻第2層の上面に相当)。赤点線が沈み込むフィリピン海プレートの先端を示す。

3次元地下構造不均質を考慮した粘弾性応答を計算する上で、弾性不均質構造の曖昧さが地殻変動計算に与える影響が無視できないと考えられるため、今年度その影響についての検討を行った⁴⁾。昨年度構築した3次元不均質弾性構造の有限要素モデルに、仮定の南海トラフ地震時のすべり分布を与え、観測点での地殻変動を計算する。これにもっともらしい観測誤差を仮定したものを疑似観測データとして生成する。この疑似観測データの計算に用いた地下構造モデルの曖昧さが、地震時すべりの逆解析結果に与える影響を数値実験で評価する。図 2-3-①-3は、仮定した地震時すべりの分布と観測点の分布、

計算に用いた有限要素法のメッシュ、地震時のすべり分布と仮定している構造との位置関係を示すための断面図である。この断面図を見ると、地震時のすべりが主に影響するのは、上部地殻であることが想定される。実際、堆積層や下部地殻、マンツルの物性の違いはそれほど影響しないことがわかった。以下では、上部地殻での物性の違いが与える影響についての解析結果を述べる。

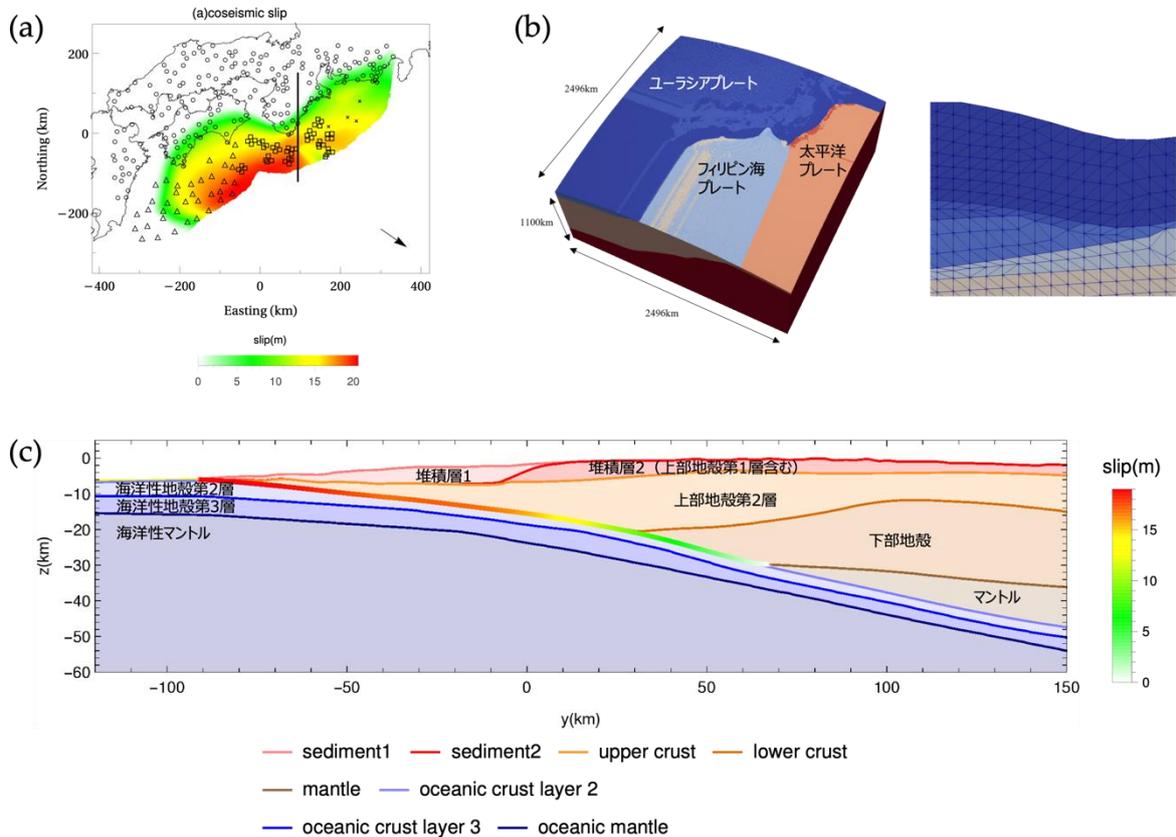


図 2-3-①-3 (a) 仮定した地震時すべりの分布と観測点の分布。縦の線は(c)の断面の位置を示す。(b)計算に用いた有限要素法のメッシュ。左は全体像、右は拡大イメージ。(c) (a)に示した位置での地下構造の断面図。プレート境界に沿った地震時のすべりの分布を右のカラーバーの色で示す。

疑似観測データには観測誤差が含まれており、また、観測点分布も一様ではないので、正しい構造(疑似データを生成する際に用いた3次元地下構造)を用いた場合でも、推定結果の誤差がゼロになる訳ではない。実際にその結果を図2-3-①-4aとbに示す。全体的な分布を捉えることはできているが、与えたすべり分布との差を見ると、観測点から離れた場所や与えたすべりに急峻なすべり量の変化が設定されている場所については、局所的に推定精度が悪化していることがわかる。ここで、すべりの推定結果の誤差を定量化するために図に示した式で相対誤差 r を定義した。仮定する観測誤差をさまざまに変えて逆解析を行い、相対誤差 r の平均と標準偏差を求めた。その結果、参照解の相対誤差は 0.103 であるが、その標準偏差は 0.006 であり、誤差のばらつきがその平均に比べて非常に小さい。つまり、観測誤差の多様性によらず一定の推定精度が得られていることがわかる。一方、上部地殻の物性値について、P波速度 V_p [m/s] = 5800 を 6600 に、S波速度

V_s [m/s]=3400 を 3921 に、密度 ρ [g/m³]=2700 を 2910 に変化させた場合の推定結果について、図 2-3-①-4c と d に示した。この場合、相対誤差の平均が 0.127 (標準偏差 0.003) と大きく、推定精度が明らかに低下する。推定されたすべり分布の特徴としては、参照解においてすべり値が設定されていない深部の領域で、逆向きのすべり量が推定されていることである。この傾向は、いずれの観測誤差の与え方のパターンにおいても、系統的に逆向きの値になる傾向があることがわかった (図 2-3-①-5)。逆向きのすべりは地震時には生じないはずなので、非負の拘束条件を与えた解析を行なった。その結果、すべりを与えていない深部でのすべりは無くなった。しかし、地震時すべりの分布が正解から大きくずれてしまい、相対誤差が 0.147 に増加することとなった (図 2-3-①-6)。このことから、いかに正しい物性を用いることが重要かがわかる。また、地震時すべりでは基本的に逆向きすべりは起きないことが想定されるので、実際のデータの解析の結果として逆向きすべりが生じた場合には、用いている地下構造モデルの物性が正しくないことの影響を受けている可能性がある。そこで、許容される範囲で物性値を変えたすべり応答関数を用意して、非負の拘束はせずにすべりを推定することで、その推定結果に逆向きすべりがより出ないような物性値を探すことで、より正しい物性値を推定できることが期待される。

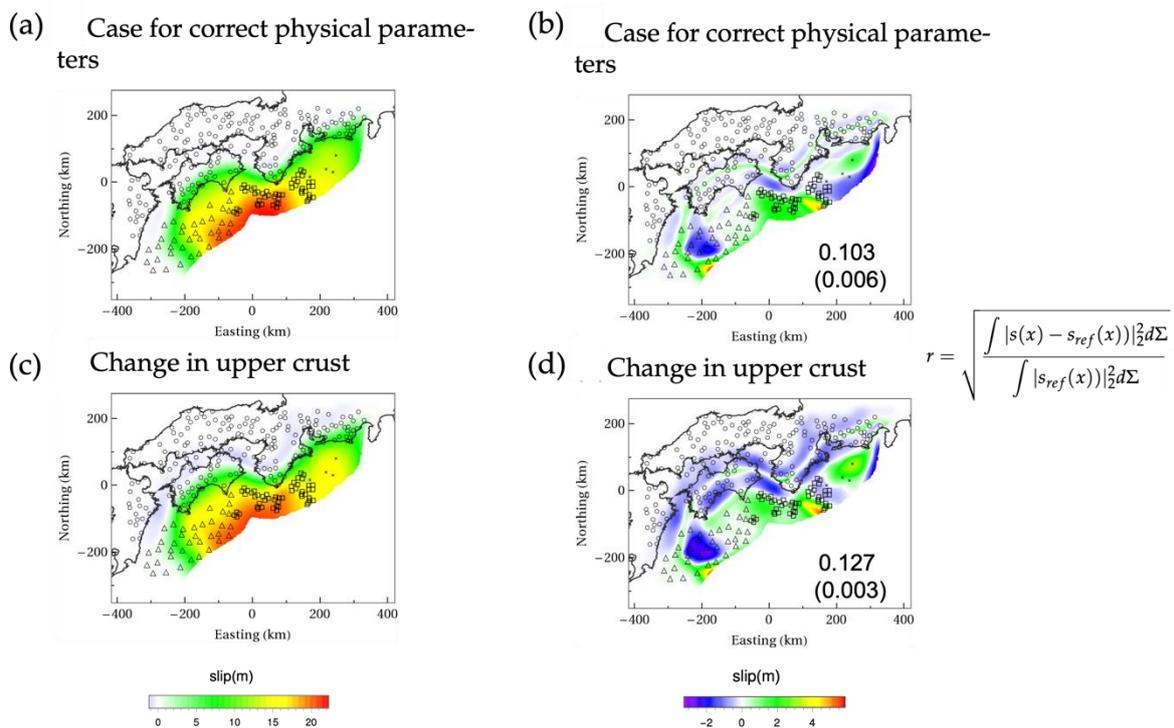


図 2-3-①-4 (a) 正解の地下構造で推定したすべり分布。(b) 正解のすべり分布と (a) の差。右下の数値は相対誤差 r (定義は右の式、なお $||_2$ は L2 ノルム (2 乗和の平方根) を意味している) の平均値と括弧内が標準偏差。(c) 上部地殻の構造を変えた場合のすべり分布の推定結果。(d) 正解のすべり分布と (c) の差。右下の数値は相対誤差 r (定義は右の式) の平均値と括弧内が標準偏差。

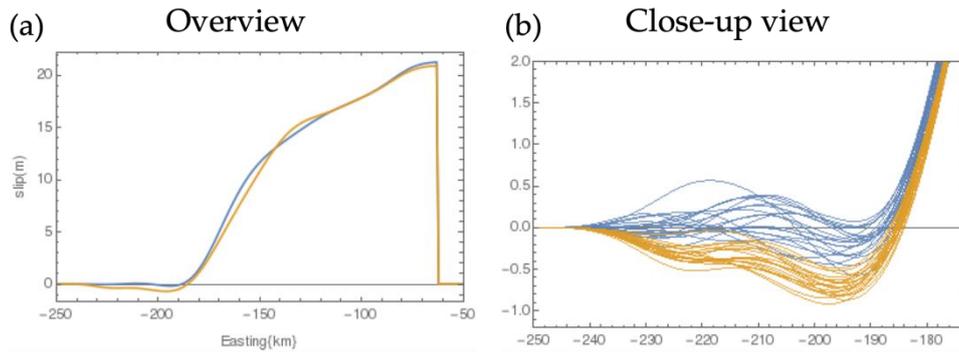


図 2-3-①-5 (a)ある断面でみたときのすべり量の平均値。正解の地下構造で推定した場合（青）と上部地殻の構造を変えた場合（オレンジ）。(b)観測誤差が異なる20ケースについて、上部地殻の構造を変えた場合に逆向きのすべり（負の値）になる部分を拡大したもの。

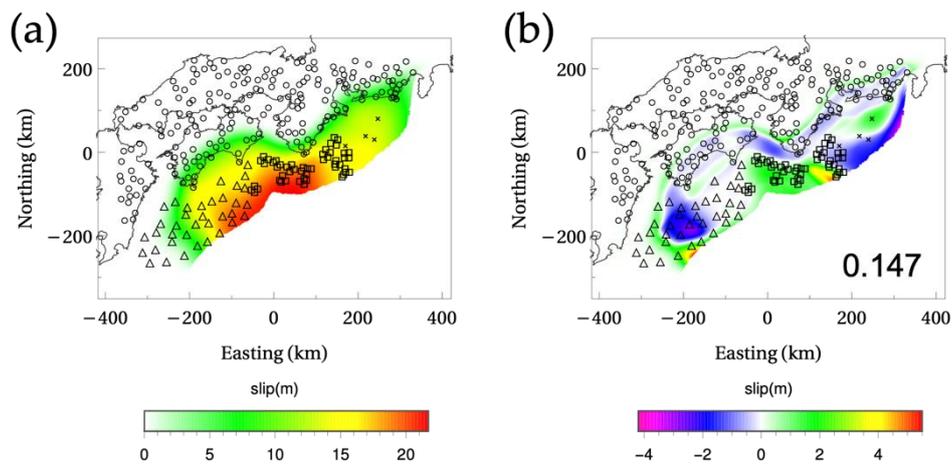


図 2-3-①-6 (a) 非負の拘束条件で、上部地殻の構造をかえてすべり分布を推定した結果。(b)正解のすべり分布と(a)の差。右下の数値は相対誤差 r の平均値。

最後に、サブ課題1・2のシナリオ構築での連携の議論と1c内の推移予測と履歴の連携の検討・整理について触れる。今回の南海プロジェクトでは、プレート境界の固着・すべり状態についての現状把握・推移予測を地殻活動データ解析によって行うための手法開発に重点を置いていた。そのため、次の南海トラフ地震のシナリオを作成する課題を明示的には立てていなかった。しかし、サブ課題2（地震防災基盤シミュレータ）で地震動や津波のハザード評価（時間依存を含む）を行うためには、地震シナリオが必要になるため、防災科研では、すべり遅れ分布を起点とした1つのシナリオ構築手法⁵⁾にもとづいて、シナリオ検討が始まっていた。これは、サブ1b・1cで行うデータ解析結果を活用するものとして位置付けられるため、今後連携していくこととなった。また、シナリオをリスク

評価に使う場合には、様々な課題があることがサブ2側で認識されているので、それを共有するとともに、サブ1としての提供のあり方を今後議論していくことになった。また、推移予測と履歴との連携については、推移予測からみた南海トラフの地震履歴の統一モデル(ver1.0)のイメージについて検討した。まず、1707年以降については、各南海トラフ地震時のすべり分布を推定すること。その際には、史料、津波痕跡、隆起・沈降痕跡等と整合するすべり分布とすること。また、粘弾性モデルに入力して応答を計算し、現在の応力状態推定に用いることになる。次に、1707年より前は、長期間の平均的な再来間隔と規模を推定すること。その際には、海域ならびに陸域の地質学的痕跡と整合する再来間隔や規模を推定すること。シナリオ計算に使う断層強度のレベルを整合させるために用いることになる。最後に、地震間の長期的な沈降や隆起パターンについては、陸域の地質学的痕跡と整合する地震間の地殻変動を推定することで、測地学的データ以前の期間の粘弾性モデルへの拘束を行うことになる。

(c) 結論ならびに今後の課題

以上のように、推移予測に必要な3次元粘弾性不均質構造モデルの構築を進めるとともに、その計算結果を比較するための実データを入手した。また、弾性構造の曖昧さがすべり分布の推定に与える影響を定量的に評価し、特に、南海トラフでは上部地殻の物性の影響が大きいことを示した。さらに、サブ課題1・2のシナリオ構築での連携の議論、1c内の推移予測と履歴の連携の検討・整理を進めた。

今後の課題としては、構築した粘弾性構造モデルを実データと比較して、妥当な粘弾性構造の推定を行なった上で、すべり応答関数を計算するとともに、シナリオ構築や履歴情報との連携をさらに強化する。

(d) 引用文献

- 1) Sagiya, T., and Thatcher, W.: Coseismic slip resolution along a plate boundary megathrust: The Nankai Trough, southwest Japan. *Journal of Geophysical Research*, Vol.104(B1), pp.1111-1129. <https://doi.org/10.1029/98jb02644>, 1999.
- 2) Johnson, K. M., and Tebo, D.: Capturing 50 years of postseismic mantle flow at Nankai subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.123(11), pp.10091-10106. <https://doi.org/10.1029/2018jb016345>, 2018.
- 3) Sherrill, E. M., and Johnson, K. M.: New insights into the slip budget at Nankai: An iterative approach to estimate coseismic slip and afterslip. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.126, e2020JB020833. <https://doi.org/10.1029/2020JB020833>, 2021.
- 4) Murakami, S., Ichimura, T., Fujita, K., Hori, T., and Ohta, Y.: Impact of Ambiguity of Physical Properties of Three-Dimensional Crustal Structure Model on Coseismic Slip and Interseismic Slip

Deficit in the Nankai Trough Region, *GeoHazards*, Vol.3(2), 162-177;
<https://doi.org/10.3390/geohazards3020009>, 2022.

- 5) Noda, A., Saito, T., Fukuyama, E., and Urata, Y.: Energy-based scenarios for great thrust-type earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, using an interseismic slip-deficit model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.126, e2020JB020417. <https://doi.org/10.1029/2020JB020417>, 2021.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
高詳細三次元地殻構造モデルを用いた断層すべり推定における海底観測網の感度解析（口頭）	村上 颯太, 市村 強, 藤田 航平, 堀 高峰, 太田 雄策	第24回応用力学シンポジウム	令和3年5月15日	国内
高詳細三次元地殻構造モデルを用いた断層すべり推定における海底観測網の感度解析（口頭）	村上 颯太, 市村 強, 藤田 航平, 堀 高峰, 太田 雄策	第26回計算工学講演会	令和3年5月27日	国内
震源シナリオ推定のための高詳細三次元地殻構造モデルとスパース性を用いた地震時すべり分布逆解析手法の検討（ポスター）	村上 颯太, 市村 強, 藤田 航平, 堀 高峰	日本地震工学会第16回年次大会	令和3年11月30日	国内
Sensitivity analysis with large-scale 3D finite element crust structure model for seafloor geodetic constraints on coseismic slip and interseismic slip-deficit distributions（口頭）	村上 颯太, 市村 強, 藤田 航平, 堀 高峰, 太田 雄策	Japan Geoscience Union Meeting 2021	令和3年6月5日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Sensitivity Analysis for Seafloor Geodetic Constraints on Coseismic	Sota Murakami, Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita,	Frontiers in Earth Science. Solid Earth Geophysics.	令和3年4月	国外

Slip and Interseismic Slip-Deficit Distributions	Takane Hori and Yusaku Ohta			
Impact of ambiguity of physical properties of three-dimensional crustal structure model on coseismic slip and interseismic slip deficit in the Nankai Trough region	Sota Murakami, Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Takane Hori, Yusaku Ohta	Geohazard 特集号 Advance Numerical Simulation for Earthquake Hazards and Disasters	投稿中	国外

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

② 海域における地震・津波履歴調査

(a) 業務の要約

南海トラフ沿いで発生する巨大地震・津波に伴って形成されるイベント堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から地震発生履歴を推定するために御前崎沖から採取された海底堆積物コアの分析を行った。御前崎沖のコアでは浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定から過去約4～4.5万年間に渡る堆積物記録が得られたことが確認された。そして、挟在するタービダイトの平均的な堆積間隔は200年程度と見積もられた。これは南海トラフの巨大地震の発生間隔に調和的である。また、このコアでは歴史地震に対応する可能性のある部分が欠如していると考えられたので、同じ地点から新たに採取された不擾乱表層堆積物を解析し、歴史地震に対応する可能性のあるタービダイトの存在を確認した。

(b) 業務の成果

海底堆積物中の地震・津波イベント堆積物の認定とこれに基づく南海トラフ沿いの地震・津波履歴の情報整備のため、令和3年度は令和2年度に引き続き、海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」の Expedition 912 により御前崎沖で採取された掘削コアの分析と解析を実施した。「ちきゅう」により採取された掘削コア C9035 Hole A と C9035 Hole B 中に挟在するタービダイトを用いた地震・津波履歴の解明にあたっては、詳細な堆積年代モデルの構築とイベント堆積物の堆積プロセスの推定が重要である。そこで年代モデルの構築については、浮遊性有孔虫遺骸を用いた放射性炭素年代測定と高感度パススルー型超電導磁力計による残留磁化測定を実施した。また、堆積プロセスの推定については、タービダイトを構成する粒子の給源を推定するため、底生有孔虫群集の解析を

行った。さらに、令和2年度の分析結果から、このコアには歴史地震に対応するタービダイトを挟在する可能性のある海底最表層付近の堆積物が欠如していると考えられたので、同じ地点から新たに採取された不擾乱表層堆積物試料を取得し、歴史地震に対応する可能性のあるタービダイトの存在を確認した。

海溝型巨大地震の震源の多くは海底下にある。このため、もっとも大きな地震動とそれに伴う変動は震源近傍の海底で起こると考えられる。海底での大きな震動は海底堆積物粒子の再配列を引き起こし、粒子間の間隙を埋める水（間隙水）の圧力を上昇させ、粒子を間隙水中に浮かせることで海底堆積物の強度を弱化させ、海底地すべりを発生しやすくする。また、地震の大きな震動や浅海に侵入した津波は、未固結の海底表層堆積物を巻き上げ、再移動させる^{1)、2)}。このような地震や津波に伴う海底での土砂の再移動は、堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重力の効果により海底斜面を流れ下る堆積物重力流によると考えられ、斜面やその基部では水中土石流堆積物やタービダイトを堆積させる。これらの地震・津波起源で形成された堆積物（イベント堆積物と呼ばれる）は平常時に海底に堆積する泥とは異なる粒度組成や堆積構造を持つことが知られている^{3)、4)}ので、海底堆積物中からイベント堆積物を認定し、その堆積年代を決めることで過去の地震や津波の発生時期を特定できる可能性がある^{5)、6)、7)}。本課題では、南海トラフ沿いの海域を対象に、海底堆積物中の地震・津波起源のイベント堆積物からこの海域の地震・津波の発生履歴情報を得ることが目的となる。

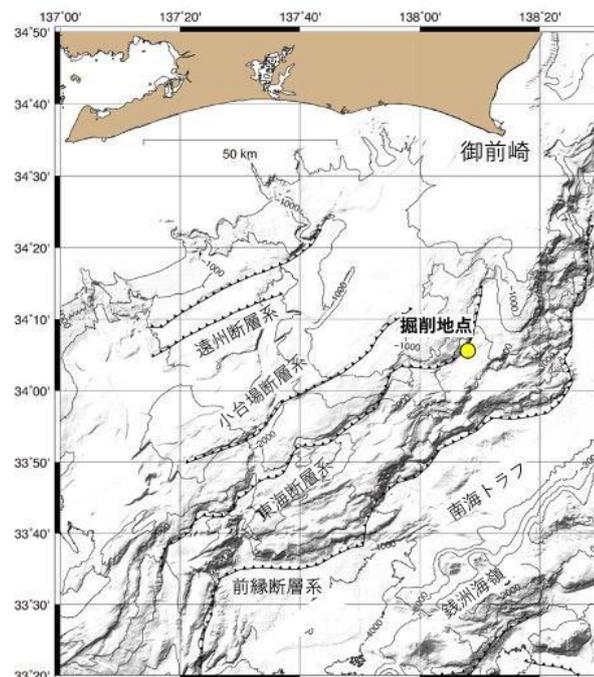


図2-3-②-1 「ちきゅう」による御前崎沖試料採取地点（本プロジェクト令和2年度報告書から引用⁸⁾）

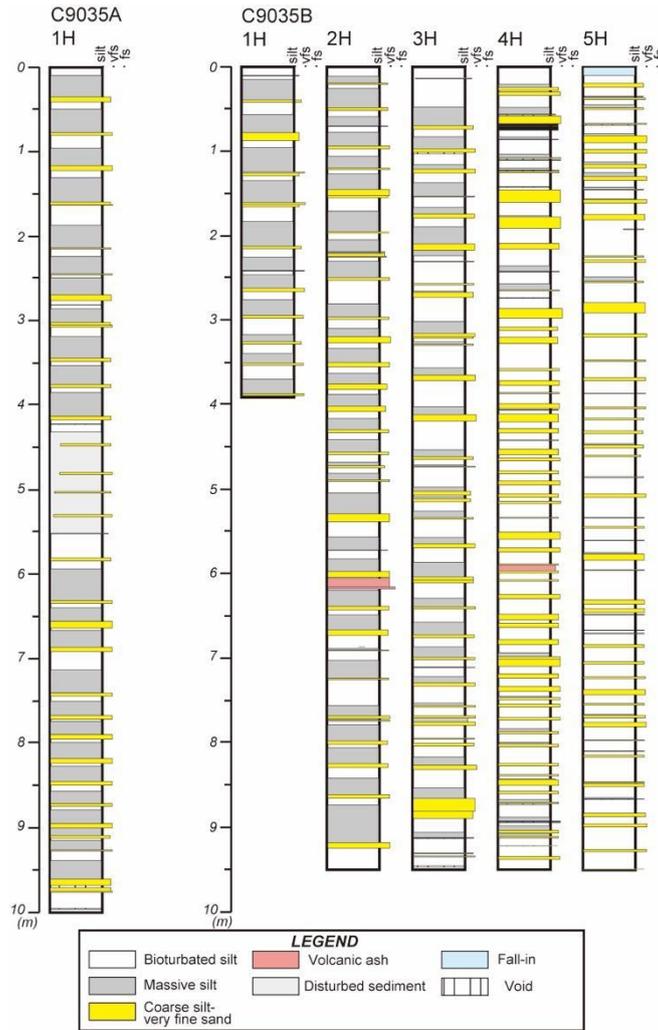


図 2-3-②-2 御前崎沖から採取された C9035 Hole A 及び C9035 Hole B コア上部の柱状図。黄色がタービダイト砂、灰色がタービダイト泥、ピンクは火山灰層。（本プロジェクト令和 2 年度報告書から引用⁸⁾）

掘削コア C9035 Hole A と C9035 Hole B は、静岡県御前崎沖の金洲ノ瀬トラフから「ちきゅう」により採取された試料である（図 2-3-②-1）。今回は C9035 Hole A コアの全体（長さ 10m）と C9035 Hole B コアの上部 42m を用いた。いずれのコアにも多数の砂質堆積物の挟在が確認され、下面が明瞭で侵食的で、上方へ細粒化する構造などから、堆積物重力流の一つである混濁流から形成されたタービダイトと解釈される。タービダイトの砂質部分の上位にはわずかに上方に細粒化する生物擾乱を持たない泥が存在し、タービダイト泥と判断される。C9035 Hole A コアには変形しているセクションを除いて 25 枚の、C9035 Hole B コアには 192 枚のタービダイトの挟在が船上の肉眼記載及び X 線 CT 画像から識別されている（図 2-3-②-2）。令和 2 年度の予察的分析では、C9035 Hole B コアで、生物擾乱を持ち通常時の堆積物と考えられる半遠洋性泥 11 層準での浮遊性有孔虫による放射性炭素年代測定が実施された。その結果、半遠洋性泥の厚さ（深度）の増加とともに年代が古くなる傾向が確認されており、解析層準の基底付近の深度約 41.8m 付近で約 40500 年の年代が得られていた。しかし、測定数はコアの長さ（約 42m）

に対して十分でなく、このコア試料が連続的に堆積しているかの判断や火山灰などの他の年代指標間の整合性の確認、タービダイト毎の堆積年代の決定は行われていなかった。そこで今年度は、タービダイト毎の堆積年代の決定を目指して、半遠洋性泥中の浮遊性有孔虫を用いた放射性炭素年代測定を 30 層準で実施した。令和 2 年度の 11 層準も含めた 41 層準の年代測定の結果（図 2-3-②-3 の青色の丸）、コア深度からタービダイトの厚さを除いた半遠洋性泥の厚さ（深度）と堆積年代は、18~23m で年代の逆転（深度の浅い試料の方が年代が古い）が認められるものの、全体としては深度の増加とともに年代が古くなる傾向を示し、コアの分析層準の基底付近の深度 42.3m（タービダイト部分を除いた深度で 24.1m）で 42980 年前の年代を示した。また、このコアに挟在する 3 枚の明瞭な火山灰層のうち、最上位のものと最下位のものは鬼界-アカホヤ（K-Ah）火山灰と始良 Tn 火山灰（AT）に対比される可能性が高いが、その挟在層準の下位で得られた年代はそれぞれ 7160 年前と 26720 年前であり、陸域から知られているこれらの火山灰の年代と矛盾しない。以上のことから、C9035 Hole B コアの上部 42m は、タービダイトを含めた平均堆積速度が約 1m/千年という早い堆積速度を持つ連続した堆積物コアであり、タービダイトを用いた地震・津波履歴の解析に適したコアであることが確認された。このコアでのタービダイトの枚数は約 200 枚であるので、コア基底の年代を 4~4.5 万年とすれば、タービダイトの平均堆積間隔として、200 年強の数字が得られる。これは、金洲ノ瀬トラフの表層部分のコアから報告されている間隔⁶⁾、⁹⁾にほぼ等しく、ここでは過去約 4 万年間にわたって同じ程度の間隔でタービダイトが繰り返し堆積してきたことを示す。またこの値は、南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔とされる 150~200 年¹⁰⁾と調和的である。今後、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代に後述する古地磁気永年変動曲線から得られる年代目盛を加えて解析することで、約 200 枚のタービダイトの一つ一つの堆積年代とタービダイトの堆積間隔及びそのばらつきを得ることができると期待される。

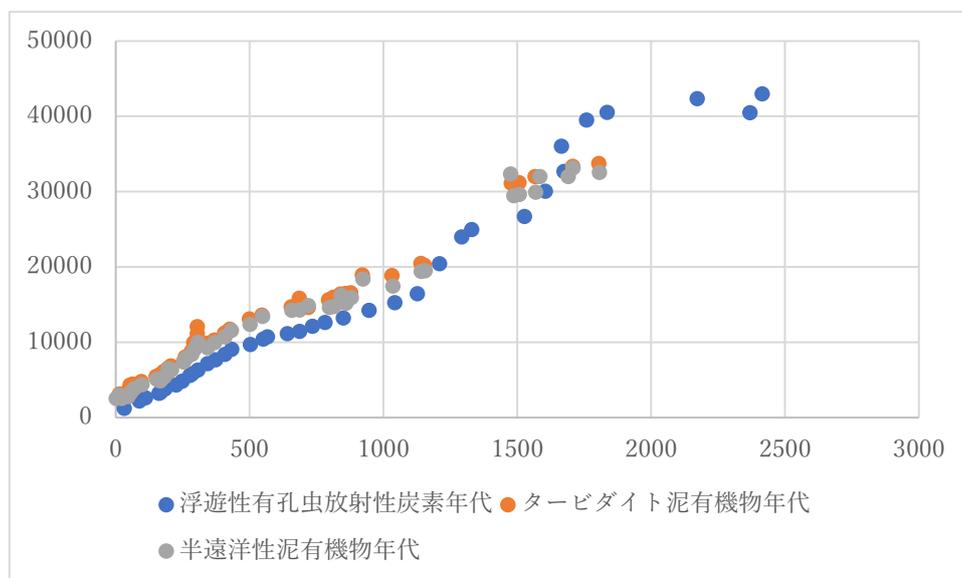


図 2-3-②-3 御前崎沖から採取された C9035 Hole B コアの半遠洋性泥中の浮遊性有孔虫（青色）、有機物（灰色）及びタービダイト泥中の有機物（オレンジ色）の年代測定結果。縦軸が放射性炭素年代（年）、横軸がタービダイト部分を除いた半遠洋性泥の深度（cm）。

上記のような早い堆積速度の場合では、古地磁気永年変動曲線がコア間対比や堆積年代の推定に有効である。このため、昨年度に引き続き、古地磁気測定を進めた。昨年度の古地磁気測定は予察的な測定で、20mTでの消磁後の測定のみであったが、今年度は堆積物の地磁気記録の安定性を確認するため、採取試料（2×2cm断面のUチャンネル試料40本）の段階消磁とその後の磁化測定を高知大学の高感度パススルー型超電導磁力計により行った。段階消磁は20～80mT間の9段階で行い、各消磁毎に試料を2cm間隔で測定した。また、磁性鉱物の粒度や種類といった情報を得るために、非履歴性残留磁化と等温残留磁化を着磁させ、0～80mT間の11段階の消磁を実施し、各消磁毎に試料を2cm間隔で磁化測定した。これらのデータは、今後解析される。

次に、このタービダイトの堆積プロセスやタービダイト構成物の給源を検討するため、底生有孔虫群集の解析を34層準（タービダイト23層準、半遠洋性泥11層準）で行った。タービダイトに含まれる底生有孔虫群集は、コア上部の深度12m付近（約8400年前）までは、半遠洋性泥に含まれる底生有孔虫群集とほぼ同じであり、金洲ノ瀬トラフ近傍の斜面から供給されたものと考えられる。昨年度実施したタービダイト泥と半遠洋性泥に含まれる有機物の放射性炭素年代測定結果では、タービダイト泥の放射性炭素年代値は近傍の半遠洋性泥のそれと大きな違いはなく（図2-3-②-3）、日本海溝の陸側斜面で報告された¹¹⁾のと同様な地震動による表層堆積物の再懸濁・再移動起源のタービダイトである可能性が高い。御前崎沖でも、金洲ノ瀬トラフの陸側斜面から地震動により再移動した表層堆積物がトラフ底にタービダイトを堆積させたと考えられる。一方、タービダイトに含まれる底生有孔虫群集は深度約14m（約10000年前）以深では少し群集組成を変える。具体的には、半遠洋性泥に含まれる群集に、より水深の浅い表層水（水深300～400m）種が加わった群集となる。金洲ノ瀬トラフのコア採取地点の現在の水深は約2400mであり、100m規模の後期第四紀の海水準変動では水深が大きく変わらず、また金洲ノ瀬トラフには陸棚に続く海底谷が存在しないので、タービダイトの堆積に海水準変動に影響された浅海からの土砂輸送モードの変化は小さいと考えられる。実際、熊野トラフで見られるような最終氷期最盛期以降の海水準上昇に伴うタービダイトの挟在頻度の変化は、金洲ノ瀬トラフでは認められない⁹⁾。しかし、今回得られた底生有孔虫群集が示すタービダイトの給源は、最低海水準期から海水準上昇期の途中にかけて、それ以降と異なることを示しており、2つの時期のタービダイトの堆積機構に違いがある可能性を示した。タービダイトの岩相を見ると、コア上部では比較的厚いタービダイト泥が普遍的に認められるのに対して、深度16m付近からタービダイト泥の厚さが薄くなり、深度25m付近からはタービダイト泥が薄いか認められない（図-2-3-②-2）。これも、タービダイトの給源の変化あるいは給源域の堆積環境の変化を示している可能性がある。このようなタービダイトの特徴や給源の変化は、地震に対する斜面（給源域）の応答の変化、例えばタービダイトを形成できる地震動の大きさが変わるなどに関係する可能性があるため、今後、より詳細な検討が必要である。

地層記録からの地震・津波履歴の解読においては、その場に残されたイベント堆積物がどの程度の規模の地震・津波の記録であるかの理解が重要である。これを理解するため、令和2年度にC9035 Hole A及びC9035 Hole Bコアの表層部分の堆積物について放射性

セシウムと過剰鉛-210 の測定を行い、コア中のイベント堆積物と歴史地震との対比を試みた。その結果、測定試料から放射性セシウムは検出できず、過剰鉛-210 のアクティビティも C9035 Hole A の最上部のタービダイト泥の層準を除くと低く、年代の特定に至らなかった。つまり、この場所には最近の海底堆積物の堆積がないか、これらのコアでは最表層の海底堆積物が回収されていない可能性が示唆された。そこで、海洋研究開発機構により同じ地点からマルチプルコアラーにより新たに採取された不擾乱表層堆積物試料の解析を行った。このコア試料は採取時に海水-堆積物境界が確認されており（図 2-3-②-4）、最表層の海底堆積物は回収されている。解析はまだ途中であるが、予察的観察ではコア中にタービダイトの挟在が認められており、歴史地震と対応する可能性がある。また、同じくマルチプルコアラーによる不擾乱表層堆積物試料は、尾鷲沖熊野トラフの斜面基部からも採取されており、同様な予察的観察によるとコア中に歴史地震と対応する可能性のあるタービダイトの挟在が認められている。

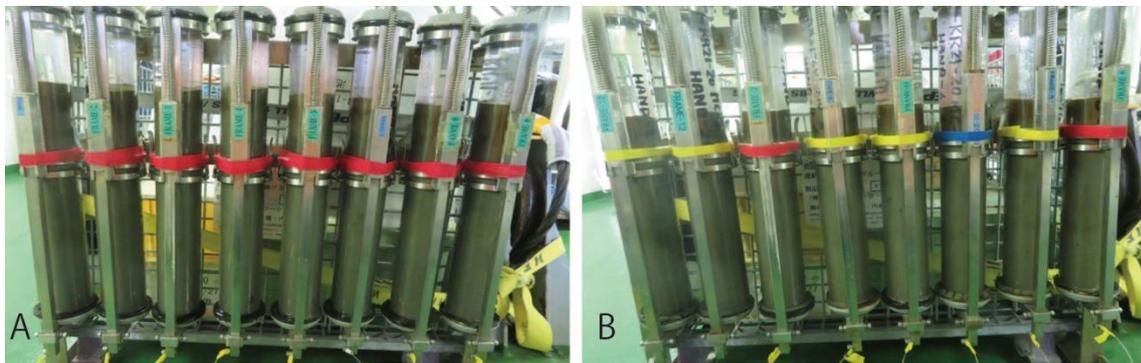


図 2-3-②-4 御前崎沖 (A) 及び尾鷲沖 (B) から採取されたマルチプルコアラー試料の写真。いずれも海水-堆積物境界が保持されている。

(c) 結論ならびに今後の課題

以上のように、令和 3 年度の海底堆積物コアの分析結果から以下のことがわかった。

御前崎沖の「ちきゅう」による掘削コアの分析により、4~4.5 万年間に約 200 枚のタービダイトが連続的に堆積していることが明らかとなった。タービダイトの平均堆積間隔は南海トラフのプレート境界型巨大地震の発生間隔とされる 150~200 年にほぼ等しく、長期間にわたって同様の間隔で巨大地震が発生していた可能性が示唆された。タービダイト中の底生有孔虫群集の分析結果は、コア上部ではタービダイト間の半遠洋性泥に含まれる群集とほぼ同じであり、令和 2 年度のバルク有機物の放射性炭素年代測定結果も踏まえると、掘削地点近傍斜面域の表層堆積物が地震動により再移動して、タービダイトが形成されたと考えられた。一方約 10000 年前以前は、タービダイトにはより浅い海域に生息する底生有孔虫を含み、タービダイトを構成する粒子の給源が異なっていたことを示唆した。これにほぼ合わせて、タービダイトもそれ以降の厚いタービダイト泥を伴うものから、それ以前のタービダイト泥をほとんど伴わないものに変化する。これは、巨大地震時にタービダイトの給源となる斜面堆積物の地震動への応答が変化した可能性を示すので、今後さらに検討が必要である。また、この掘削地点周辺における歴史地震に対応するタービダイ

ト記録の有無は、掘削コア中のタービダイトがどのような地震の記録であるかの検討に重要である。今年度取得された表層堆積物コア試料の詳細な解析が必要である。

古地磁気測定は高知大学海洋コア総合研究センターの全国共同利用（課題番号：21A005 及び 21B005）として行った。関係者に感謝する。

(d) 引用文献

- 1) 池原 研, 宇佐見和子: 海底の地震・津波堆積物ー巨大地震・津波による海底の擾乱と擾乱記録を用いた巨大地震・津波履歴の解明ー, シンセシオロジー, Vol.11, pp.12-22, 2018.
- 2) 池原 研: 海底地すべりと混濁流の発生, 地盤工学会誌, Vol.68, No.7, pp.52-57, 2020.
- 3) Bouma, A.H.: Sedimentology of some flysch deposits, Elsevier, Amsterdam, pp.168, 1962.
- 4) Stow, S.A.V. and Shanmugam, G.: Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments, Sed. Geol., Vol.25, pp.23-42, 1980.
- 5) Adams, J.: Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, Tectonics, Vol.9, pp.569-583, 1990.
- 6) 池原 研: 深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定, 地学雑, Vol.110, pp.471-478, 2001.
- 7) Goldfinger, C., Nelson, C.H., Johnson, J.E. and the Shipboard Scientific Party: Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites, Ann. Rev. Earth Planet. Sci., Vol.46, pp.555-577, 2003.
- 8) 文部科学省, 海洋研究開発機構: 防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト令和2年度成果報告書, pp.57-68, 2021.
- 9) Omura, A., Ikehara, K., Sugai, T., Shirai, M. and Ashi, J.: Determination of the origin and processes of deposition of deep-sea sediments from the composition of contained organic matter: an example from two forearc basins on the landward flank of the Nankai Trough, Japan, Sed. Geol., Vol.249-250, pp.10-25, 2012.
- 10) Ando, M.: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, Tectonophys., Vol.27, pp.119-140, 1975.
- 11) Ikehara, K., Usami, K. and Kanamatsu, T.: Repeated occurrence of surface sediment remobilization along the landward slope of the Japan Trench by great earthquakes, Earth Planets Space, Vol.72, 114, doi:10.1186/s40623-020-01241-y, 2020.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Possible tsunami-induced sediment transport from coral reef to deep-sea through a submarine canyon at forearc slope of the southern Ryukyu Islands, Japan (口頭)	Ikehara, K., Kanamatsu, T. and Usami, K.	INCISE2021 (International Symposium of Submarine Canyons 2021)	令和3年6月15日	国外
The link between upper-slope submarine landslides and mass transport deposits in the hadal trench (口頭)	Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T., Schwestermann, T., Kioka, A. and Strasser, M.	5 th World Landslide Forum	令和3年11月5日	国外
津波による石灰質サンゴ礁堆積物の海底谷を通じた深海への輸送 (口頭)	池原 研, 金松敏也, 宇佐見和子	日本堆積学会2021年オンライン大会	令和3年11月15日	国内
SCORE Exp. 912 Leg. 1 東海沖南海トラフ掘削御前崎沖 SCORE 掘削コア C9035B を用いたタービダイト古地震研究 (口頭)	池原 研, 金松敏也, Hsiung, K.-H., 奥津なつみ, 三浦伊織, 里口保文, 長橋良隆	J-DESC ワークショップ Post-IODP 時代に向けた科学海洋掘削の展望	令和4年3月3日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Seafloor morphology and sediment magnetic fabric in a putative 1771 Meiwa Tsunami source region, in the southern Ryukyu Islands, southwest Japan	Kanamatsu, T., Ikehara, K. and Misawa, A.	Geological Society Special Publication, Characterization of Modern and Historical Seismic-Tsunamic Events, and Their Global-Societal Impacts	令和3年5月	国外

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③ 陸域における地震・津波履歴調査

(a) 業務の要約

陸域における地震・津波の履歴調査は、紀伊半島から四国にかけての沿岸において、4地域で掘削調査等を実施するとともに、1地域で既存の堆積物コア試料の分析（おもに放射性炭素同位体年代測定）を行い、さらに活断層のトレンチ掘削調査現場で露出したイベント砂層の試料採取を実施した。

三重県南伊勢町のこがれ池において採取された湖底堆積物について、CT画像による詳細な観察の結果、過去約3,000年間に形成された19枚のイベント堆積物が保存されていることが分かった。ベイズ統計を用いたAge-Depthモデルの作成を行ったところ、19枚のイベント堆積物のうち15枚は津波またはストームによって堆積したと考えられる。特に15枚のうち6枚は南海トラフで発生したとされている歴史地震の年代と対応するため、津波堆積物の可能性が高い。

和歌山県東牟婁郡那智勝浦町の海岸付近の低地において、人力による掘削調査を行った。その結果、泥層や泥炭層中に1～2枚の薄い砂層と、数十cm程度の砂層がみられ、津波堆積物である可能性が高いことが確認された。また得られた試料に対し8件の放射性炭素年代測定を実施した結果、これらの堆積物は約5300～5000年前に形成されたことが明らかとなった。

徳島県鳴門市大麻町では、文部科学省委託調査「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」によって、鳴門南断層で実施されたトレンチ調査において、トレンチ壁面に津波痕跡の可能性のあるイベント砂層が確認されたため試料採取を行った。

高知県南国市の物部川西岸に分布する浜堤の発達過程を明らかにすることを目的に、地中レーダ（GPR）探査、ハンドオーガーと機械ボーリングによる掘削調査を実施した。また、浜堤背後の海岸低地において、津波の浸水履歴を明らかにすることを目的としたボーリング調査も併せて実施した。地中レーダ探査により、浜堤内部には海側に傾く反射面と陸側に傾く反射面が発達することが明らかになった。浜堤の砂質堆積物を最大深さ6mまでハンドオーガーで採取し、OSL年代測定用のサンプルを採取した。また、浜堤頂部から深さ34.5mの基盤岩まで到達するボーリングを行い、浜堤を構成する砂質堆積物とその下位のシルト層、砂層、砂礫層などを連続的に採取した。

高知県須崎市及び土佐清水市の低地では、過去に発生した巨大津波の履歴を明らかにするために掘削調査を行った。その結果、須崎市では1枚、土佐清水市では2枚の砂質イベント堆積物を見つけることができた。

(b) 業務の成果

1) 三重県南伊勢町・こがれ池

三重県南伊勢町のこがれ池という沿岸湖沼において採取された湖底堆積物について、昨年度も放射性炭素同位体年代測定を行ったが、本年度はさらに件数を増やす形で、3件の濃縮花粉を用いた年代測定を行った（図2-3-③-1）。分析の前処理として、層厚にして3cm または4cm に分割した堆積物から花粉を抽出し、測定物とした。昨年度までの年代測定の結果と併せて、堆積曲線（Age-Depth モデル）の推定を行った。堆積曲線の作成には、ベイズ統計を用いた年代統計学のパッケージである Bchron^{1), 2)} を利用した



図2-3-③-1 分析を行った湖底堆積物が採取されたこがれ池の位置（三重県南伊勢町。国土地理院発行1:25000地形図「贅浦」を使用）。

Age-Depth モデルの作成により、イベント堆積物 19 枚（湖底からの深度が浅い順に E1-E19 と命名）の堆積年代の推定を行った（図2-3-③-2）。Bchron による Age-Depth モデルの構築は3度行い、各イベント堆積物の堆積年代は3回の結果の平均値により算出した。E1の堆積年代は1751-1988 CE、E2の堆積年代は1612-1782 CE、E3の堆積年代は1566-1705 CE、E4の堆積年代は1525-1612 CE、E5の堆積年代は1446-1563 CE、E6の堆積年代は1139-1298 CE、E7の堆積年代は1062-1245 CE、E8の堆積年代は700-878 CE、E9の堆積年代は668-763 CEであった。E1～E9は、こがれ池の海側の地点で連続的に観察されたことから、海水の侵入により堆積したと考えられる。加えて、上記の堆積年代と歴史地震の年代との比較をしてみたところ、6枚のイベント堆積物（E1、E2、E3またはE4のどちらか、E5、E7、E9）の堆積年代が歴史地震の年代を含んでいたため、南海トラフで発生した地震による津波堆積物の可能性が高い。具体的には、E1が西暦1944年昭和東南海地震または1854年安政東海地震、E2が1707年宝永地震、E3またはE4が1606年慶長地震、E5が1498年明応地震、E7が1096年永長地震、E9が684年白鳳地震による津波堆積物の可能性がある。

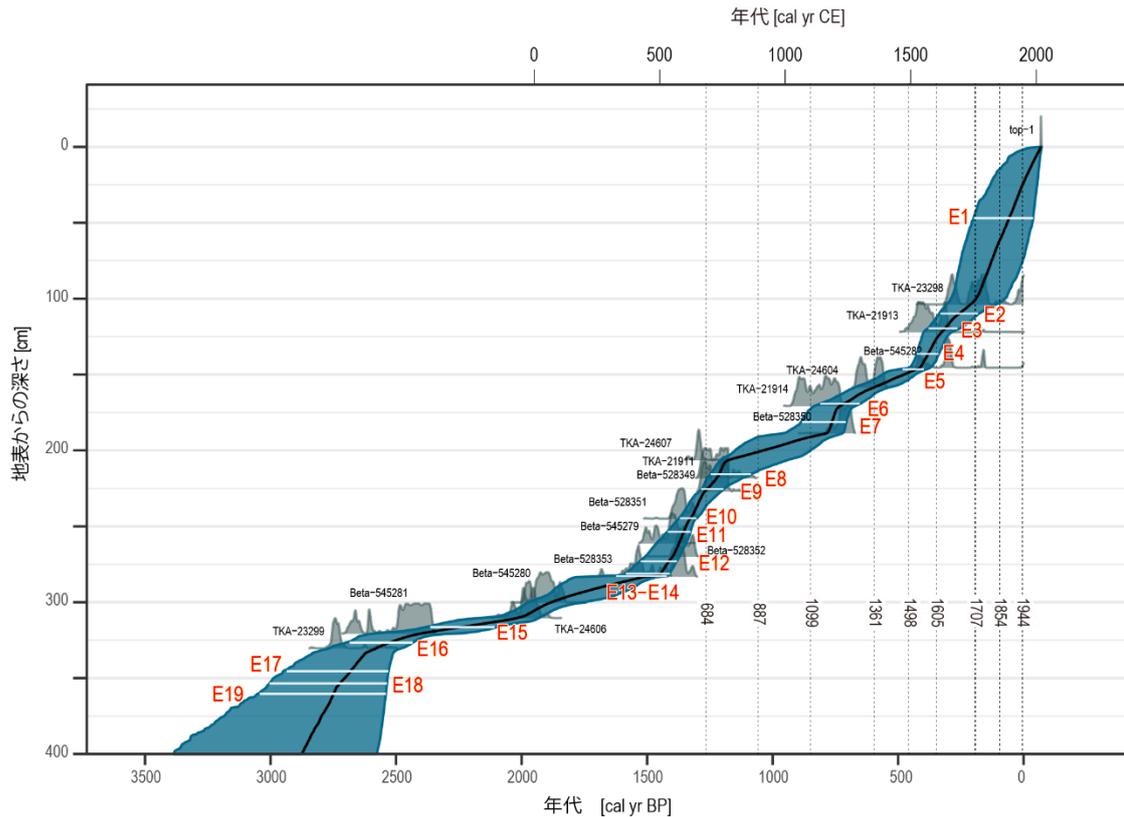


図 2-3-③-2 こがれ池の湖底堆積物の堆積曲線 (Age-Depth モデル)。青色で各深度における 95% confidence interval の堆積年代、白線でイベント堆積物の深度を示している。なお、イベント堆積物は瞬時に堆積したとされるため、各イベント堆積物の層厚は 0 と定義している。ゆえに、あるイベント堆積物の深度は、実際の湖底からの深度から自身よりも上位にあるイベント堆積物の層厚を引いた深度となっている。

2) 和歌山県那智勝浦町

和歌山県東牟婁郡那智勝浦町では、人力による掘削機器（ハンドオーガーやハンドコアラー）を用いて、最大深度 1.8 m 程度の地質試料の採取調査を実施した（図 2-3-③-3）。調査地は那智勝浦町下里の太田川河口から直線距離は 1 km 未満のところに位置し、幅約 50 m、奥行き約 200 m 程度の谷底の湿地（廃棄水田）である。採取した試料は、肉眼や実体顕微鏡で観察を行うとともに、試料中に含まれる種子や植物片を洗い出し、放射性炭素年代測定用の試料とした。

なお、この調査地から約 1.5 km 西の八尺鏡野湿地では南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの一環として産総研により津波堆積物を対象としたボーリング調査が実施されており、地表から約 5 m までの間に 7 枚のイベント層が確認されている（文部科学省・海洋研究開発機構、2020）³⁾。また約 1 km 南東に位置する太地町の谷底低地では、約 670 cm のコア中に 3 枚の薄い砂層と 1 枚の含礫砂層が報告されている（此松・岡橋、2001）⁴⁾ が、これらがイベント堆積物であるかは不明である。



図 2-3-③-3 調査地域の位置図。国土地理院の地理院地図を加工して作成。

最大深度 1.8 m 程度の地質試料の採取を行った結果、いずれの地点でも地表面からの深さ 0.2 m 程度までの表層付近に泥炭が堆積しており、その下には明灰色の泥層（場所によっては砂質泥層）がみられる（図 2-3-③-4）。この泥層は深さ約 0.4~1.0 m まで続いており、その上部には植物の根痕がみられる。この明灰色泥層が比較的薄い地点 SMS1 や地点 SMS5 では、その下に泥炭層や暗灰色の泥層がみられ、その中に 1~2 cm 程度の細粒砂層が 1~2 枚挟まれる。この挟在する砂層中には微化石は確認されなかった。また SMS2~5 の各地点では、明灰色の泥層や泥炭層／暗灰色の泥層の下に層厚数十 cm の細粒~中粒砂層がみられる。この細粒~中粒砂層は、石英や長石と若干の有色鉱物から構成されているが、それ以外にも有孔虫や貝殻片などの微化石が多く含まれる。またこの砂層には植物片濃集層やレンズ状の泥炭層を多数挟んでいる。

これらの堆積物の形成年代を推定するために、地点 SMS5 で得られた地質試料のうち深さ約 0.5~1.2 m までの範囲から種子や植物片を洗い出し、依頼分析により放射性炭素年代測定を 8 件実施した。その結果、この範囲の堆積物の形成年代はおおよそ約 5300~5000 年前であることが明らかになった（図 2-3-③-4）。

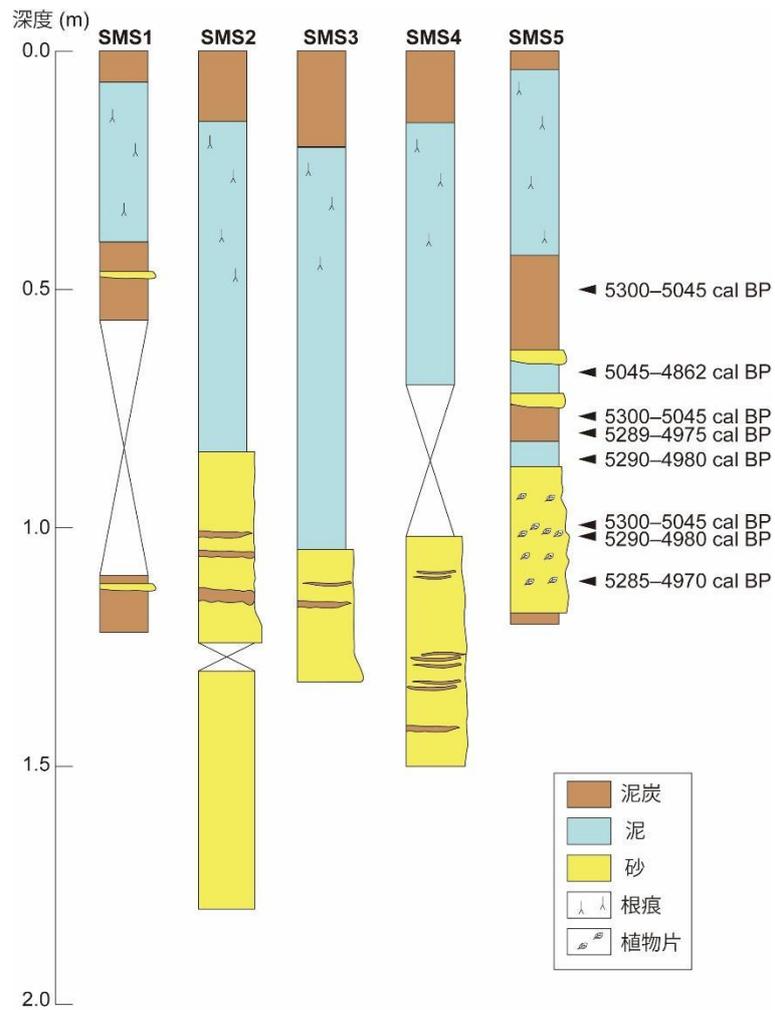


図 2-3-③-4 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町においてハンドオーガー・ハンドコアラで掘削した代表地点の柱状図。右側柱状図横の数値は放射性炭素年代値（較正值）。

3) 徳島県鳴門市

讃岐山脈南縁を東西に延びる鳴門南断層を対象に鳴門市大麻町の阿波大谷地区で実施されたトレンチ（以下、阿波大谷トレンチ、図 2-3-③-5）においてイベント砂層が確認された。イベント砂層の給源を推定し成因を明らかにするため、トレンチ壁面から堆積物試料を採取した。トレンチは断層（撓曲崖）に直交方向と平行方向に L 字型に掘削されており（図 2-3-③-6）、試料は直交方向の東側壁面から、イベント砂層を含む高さ約 150cm 分の堆積物を 10 個のブロックに切り出して採取した（図 2-3-③-7）。

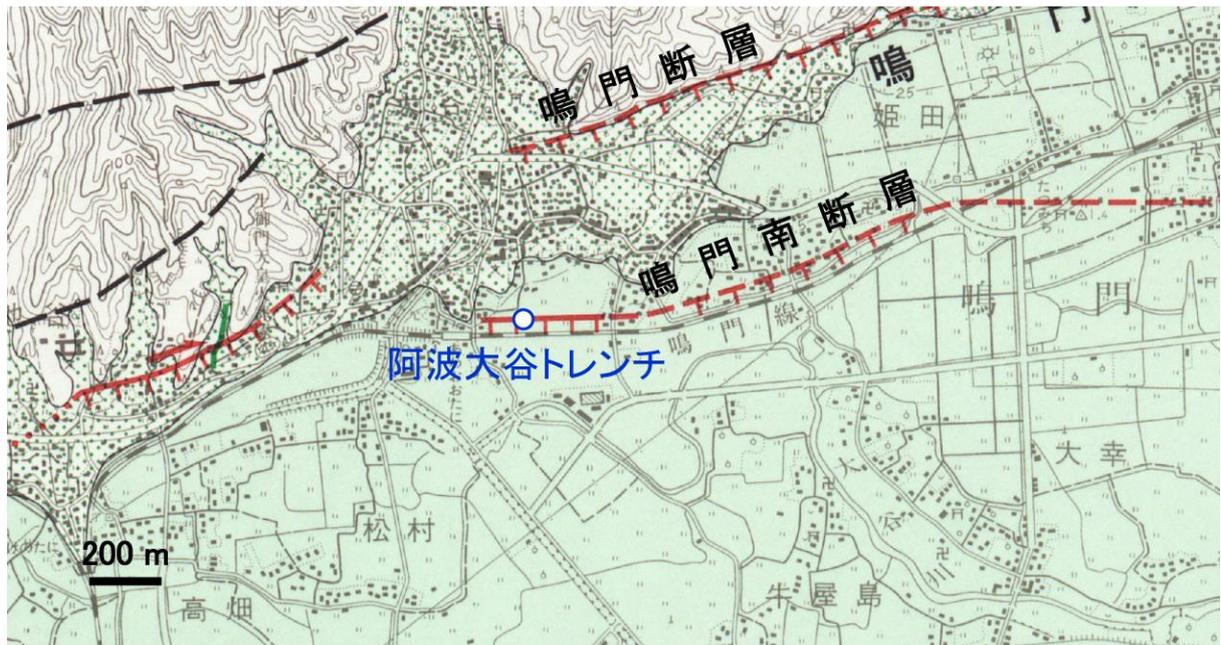


図 2-3-③-5 阿波大谷トレンチ位置図。基図には国土地理院の活断層図を使用。



図 2-3-③-6 阿波大谷トレンチの写真。近藤久雄氏提供。



図 2-3-③-7 阿波大谷トレンチの試料採取位置の写真。近藤久雄氏提供。

淘汰の良い極細粒～細粒砂からなるイベント砂層はシルト～有機質粘土層中に挟在し、トレンチ壁面の広範囲に層状に分布する。イベント砂層の上位は主に灰～灰褐色シルト層で構成され、砂層直上の約 20cm は砂質でパッチ状に砂を含む（図 2-3-③-8）。イベント砂層下位は植物片に富む暗褐色の有機質粘土層で、砂層直下からは貝殻片が確認された。イベント砂層は現海面より低い標高約-1m 付近に分布するが、砂層下位の有機質粘土層はその層相から淡水の湿地で形成された堆積物とみられる。一方、貝殻片を含む層準では一時的に汽水～海水の環境下にあった可能性も考えられる。

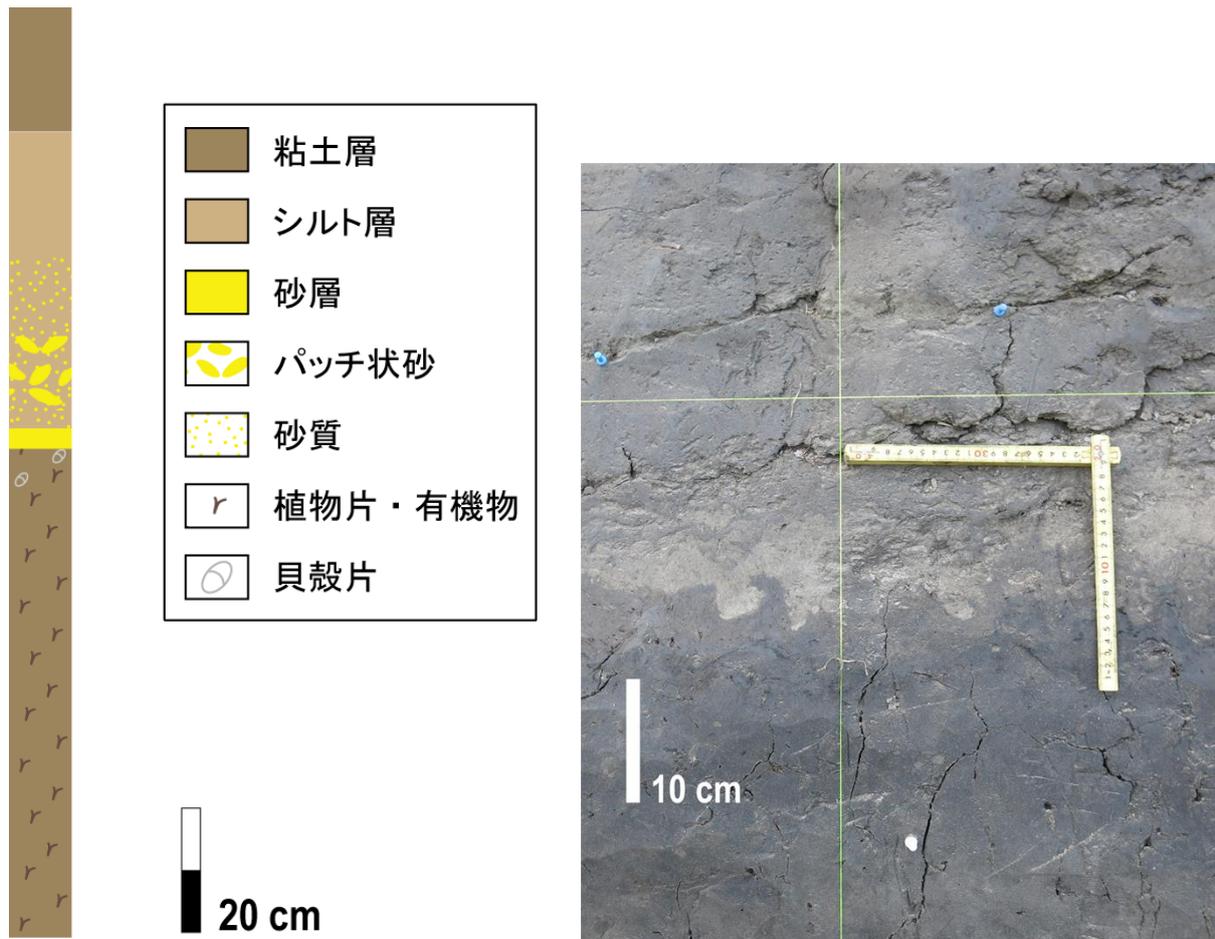


図 2-3-③-8 イベント砂層とその上下の地層（左）、直交方向のトレンチ西側壁面で確認された砂層の写真（右）。

4) 高知県南国市

高知県南国市の十市及び浜改田地区の海岸沿いに東西に分布する浜堤と、その背後（北側）の海岸低地で調査を実施した（図 2-3-③-9）。この浜堤は、物部川河口の西岸から高知市の浦戸湾東岸まで約 12km にわたって分布し、調査地域の浜堤頂部の標高は約 12m、海岸線と直交方向の幅は 400～500m である。浜堤背後の低地は、物部川下流域の扇状地性の平野からは間の丘陵によって隔てられ、洪水などの河川による影響を受けにくい環境である。浜堤の地中レーダ探査は、海岸線と直交する 3 つの南北方向の測線、海岸線と平行な 2 つの東西方向の測線を設定して行った（図 2-3-③-9）。地中レーダは Sensors & Software 社の PulseEKKO Pro を使い、周波数 100MHz のアンテナを使用した。南北方向の 3 測線は畑地上で、東西方向の 2 測線は道路上で探査を行った。また、浜堤の堆積物を採取するため、南北測線に沿う 15 地点でサンドオーガーを用いた人力の掘削を深さ最大 6m まで行った。さらに、1 地点でロータリー式ボーリングマシンを使用して、浜堤頂部から下位の沖積層を連続的に採取するボーリングを深さ 36m まで行った。浜堤背後の低地では、パーカッション式ボーリングマシンを用いて深さ 5m まで掘削を実施した。



図 2-3-③-9 高知市南国市の調査地域。GPR 探査の測線と掘削地点を示す。基図には国土地理院の地理院地図を使用。

地中レーダ探査によって得られた、A-A'、B-B' 測線（図 2-3-③-9）の反射断面とその反射面のトレース図を図 2-3-③-10a, b に示す。当測線では浜堤の幅は約 400m で、浜堤頂部から海岸までが約 300m、陸側が約 90m である。地表面には畑の境界部に段差が作られているが、地表面のおおよその勾配は A-A' が 1.6/100、B-B' が 6/100 で、それぞれ海側と陸側へ傾いている。

A-A' 測線では、全体として海側へ傾く反射面がみられる（図 2-3-③-10a）。反射面の勾配は地表面より大きく、最大で 9.8/100 程度である。反射面は標高約 5m より上位で勾配が緩やかになる傾向がみられる。標高約 5m より下位は海岸線で波浪の影響を受けて堆積した地層、それより上位は風による再移動により形成されたものと考えられる。B-B' 測線では全体として陸側へ傾く反射面がみられ、その勾配は最大 20/100 程度である（図 2-3-③-10b）。標高約 3.5m にはほぼ水平に 50m 以上連続する強い反射面があり、地下水位面を示していると考えられる。

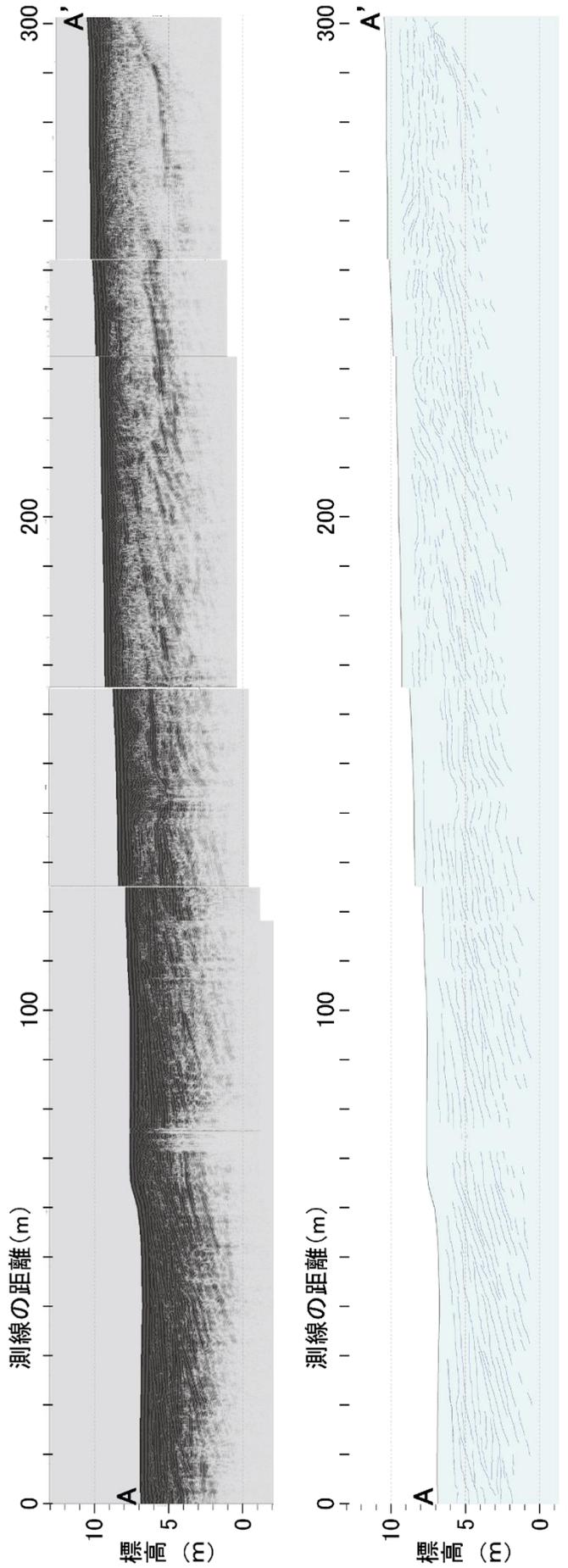


図 2 - 3 - ③ - 10a A-A' 測線の
 反射断面と反射面のトレース。測線
 位置は図 2 - 3 - ③ - 9 を参照。

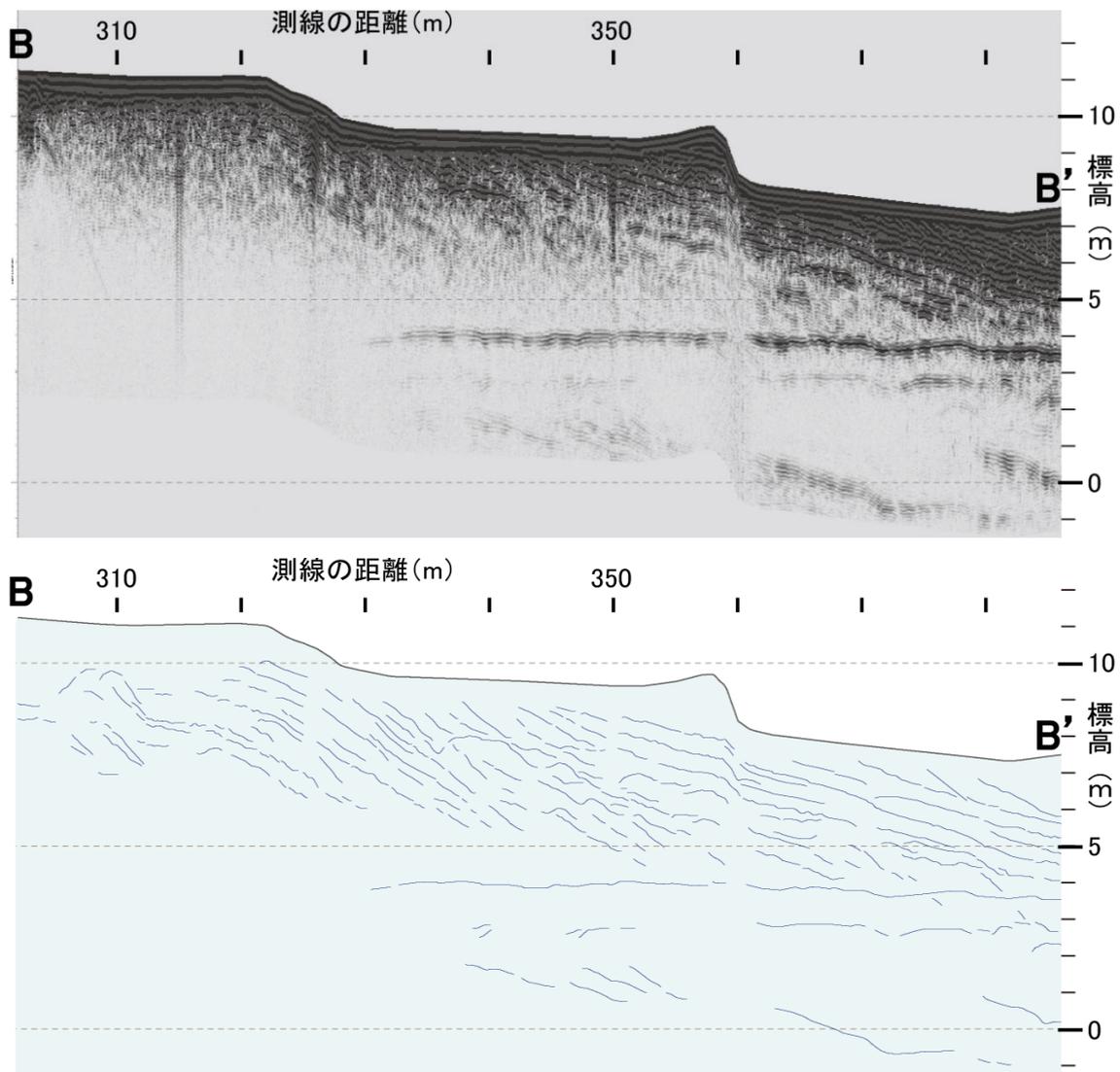


図 2-3-③-10b B-B' 測線の反射断面と反射面のトレース。測線位置は図 2-3-③-9 を参照。

B-B' 測線沿いの浜堤頂部にあたる地点 B1 (図 2-3-③-9、標高 11.3m) において深さ 36m までの地層を採取した。図 2-3-③-11 にボーリング柱状図を示す。B1 地点の地質は、地表から深さ 12.4m まで中～粗粒砂を主体とし細礫の混じる砂層である。深さ 12.4～14.9m までは砂礫層で、含まれる礫は最大 50mm である。深さ 16m までは砂礫質シルト層、深さ 16～17.7m は砂層で構成される。この砂層の上位 30cm は細粒砂主体、それ以下は中粒～粗粒砂主体で深さ 16.1m 付近には植物片が見られる。深さ 17.7～23.5m は亜角～亜円礫主体とする砂礫層で、深さ 22.7m には砂質シルト層が挟在する。深さ 23.5～26m は砂礫の混じるシルト層、深さ 29.1m までは亜角～亜円礫主体とする砂礫層となる。この砂礫層には長径 120mm 以上の大礫も含まれる。深さ 29.1～34.5m は砂礫層を挟在する砂礫質の砂～シルト層で、深さ 32.2～34.2m の砂質シルト層には有機物が多く含まれる。深さ 34.5～36m は風化した基盤岩となる。

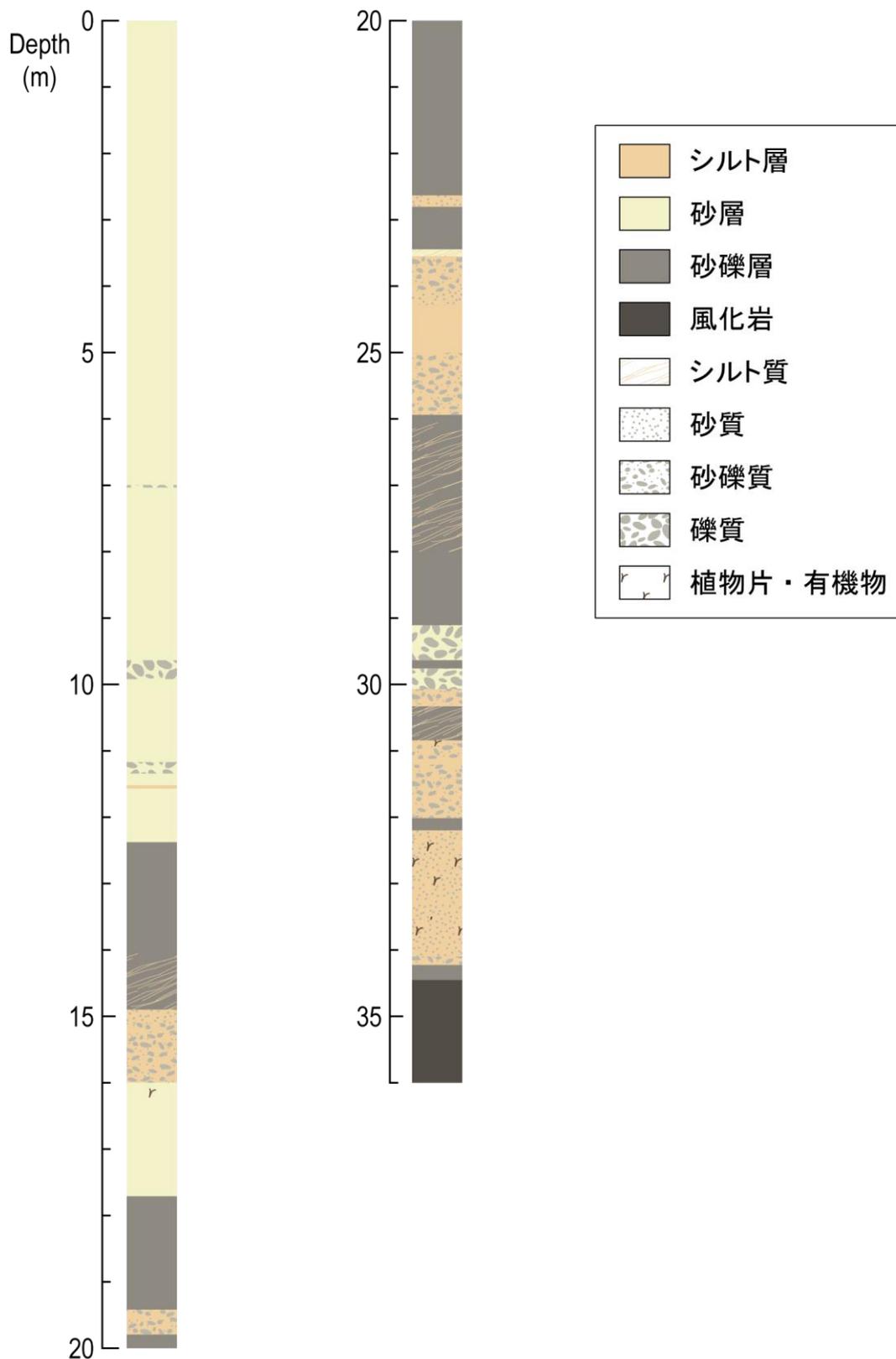


図 2 - 3 - ③ - 11 地点 B1 におけるボーリング柱状図

浜堤背後の海岸低地の地点 B2 (図 2 - 3 - ③ - 9、標高 3m) において、ボーリングを深さ 5m まで行った。この海岸低地の西隣の低地では Tanigawa et al. (2018)⁵⁾によ

て津波堆積物調査が行われているが、西隣の低地表層は土地改良などにより深さ約 2～3 m までは自然の地層が残っていない。そのため、最近 1000 年程度の記録は失われてしまっている。今回、掘削を実施した低地は大規模な土地改良が行われておらず、自然の地層が比較的表層まで分布していると考えられるため、先行研究で明らかになった浸水履歴を補完する目的でボーリングを行った。なお、ボーリング試料の半割・記載や放射性炭素年代測定、珪藻化石分析などは来年度から実施する。

5) 高知県須崎市

高知県須崎市の低地では、ハンドコアラー及びハンディージオスライサーを用いて 2 地点において連続柱状堆積物の採取を行った。ジオスライサーで採取した試料は、肉眼に加えて医療用 CT スキャナーを用いて詳細な観察を行った (図 2-3-③-12)。

図 2-3-③-13 の地点 URN-1 ではハンディージオスライサーにより地表から深さ 60m まで、地点 URN-2 ではハンドコアラーにより地表から深さ約 2.1m まで連続柱状堆積物試料を採取することが出来た。どちらの地点においても現在の湿地の堆積物 (有機質シルト層) の下位に粘土層が堆積していた。URN-2 地点では、粘土層中に 1 枚の砂質イベント層が確認された。



図 2-3-③-12 掘削を行った高知県須崎市の沿岸低地の位置。赤枠の範囲を図 2-3-③-13 に示す。国土地理院の地理院地図を使用。



図 2-3-③-13 高知県須崎市の沿岸低地における掘削地点の位置。
(国土地理院 2020/06/22 撮影 CSI20202-C6-11 を使用)。

6) 高知県土佐清水市

高知県土佐清水市の低地では、ハンドコアラーにより 5 地点において連続柱状堆積物の採取を行った(図 2-3-③-14)。そのうち、1 地点(図 2-3-③-15 の MK-5 地点)の堆積物について 1 件の放射性炭素同位体年代測定を行った。測定物については、大型植物化石を用いた。バルク試料をふるい(250 μm メッシュ)にかけ、実体顕微鏡下で大型植物化石を拾い出した。測定は、株式会社地球科学研究所に委託し、加速器質量分析法により測定された。

ハンドコアラーにより地表から最大で 245 cm まで連続柱状堆積物を採取することが出来た。この中に、最大で 2 枚の砂質イベント層が確認された。この湿地では、耕作土の下に粘土層ないし砂質粘土層が堆積しており、その中にイベント層が 1 枚(E1)が見つかった。また、図 2-3-③-15 の地点 MK-5 においては、粘土層の下位に有機質シルト層が見られ、有機質シルト層に挟まれる形で砂質粘土層と E1 とは別の砂質イベント層(E2)が確認された。E2 よりも上位に見られた有機質シルト中から産出した大型植物化石の放射性炭素年代測定の結果は、2736-2490 cal yr BP であった。MK-2 から MK-5 では、それぞれ最下部に砂層が見られたが、砂層の下位を確認できなかったため、本報告書ではイベント層とはみなしていない。



図 2-3-③-14 掘削を行った高知県土佐清水市の沿岸低地の位置。赤枠の範囲を図 2-3-③-15 に示す。国土地理院の地理院地図を使用。

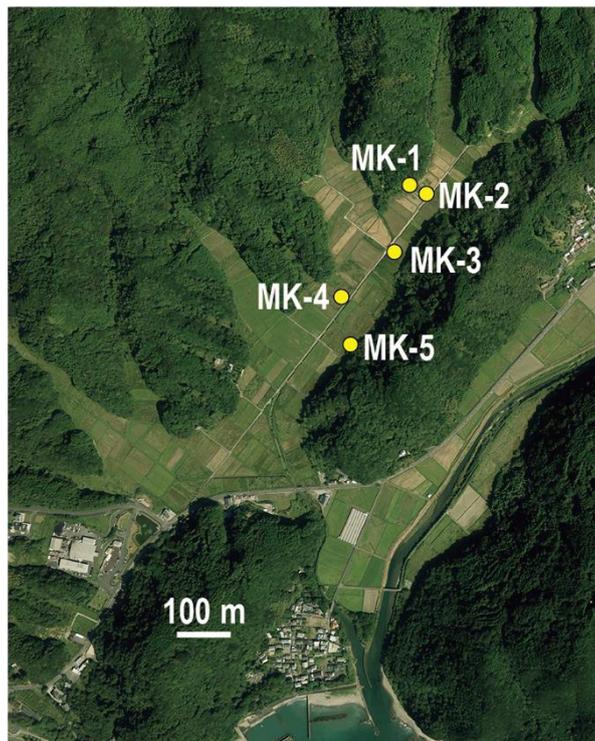


図 2-3-③-15 高知県土佐清水市の沿岸低地における掘削地点の位置 (国土地理院 2019/09/17 撮影 CSI20192-C8-25 を使用)。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ沿い陸域沿岸の4地域において掘削調査等を実施し、1地域での既存の堆積物試料の分析を行った。さらに活断層のトレンチ掘削調査現場で露出したイベント砂層の試料採取を行った。これらによって明らかになったことと、今後の課題はそれぞれ以下の通りまとめられる。

三重県南伊勢町のこがれ池で得られた堆積物の詳細な観察、及び、測定物の選定を行った上での年代測定と Age-Depth モデルの構築を行った結果、南海トラフの歴史地震による津波堆積物の可能性があるイベント堆積物を6枚見つけることが出来た。今後は、先史時代のイベント堆積物について、周辺地域の先行研究と比較することが必要である。また今後も各地域における数千年間の津波浸水履歴を復元することで、南海トラフにおける地震発生履歴を詳細に解明できる可能性がある。

和歌山県東牟婁郡那智勝浦において、ハンドオーガー・ハンドコアラによる掘削調査を実施した。その結果、津波堆積物の可能性があるものとして泥炭層や暗灰色の泥層に挟在する薄い砂層や、層厚数十 cm 程度の細～中粒砂層を確認することができた。挟在砂層には海から運ばれてきた証拠である海棲微化石が確認できていないことから、今後さらなる掘削調査により面的な分布を調べるとともに、より詳細な微化石分析を行うことでその形成起源を検討していく必要がある。また細～中粒砂層には植物片濃集層やレンズ状の泥炭層、海棲微化石がみられるが、その基底を明確に確認することができておらず、海水準が高かった時代の海浜に近い環境で形成された定常的な堆積物である可能性も否定できない。地形測量や周辺地域の過去の海水準との比較検討により、イベント堆積物である可能性を検証していくことが重要となる。

鳴門南断層・阿波大谷トレンチにおいてイベント砂層が確認されたため、その成因を明らかにすることを目的に試料採取を行った。今後、珪藻化石分析などを実施して砂層の給源を明らかにしたい。また、イベント砂層直下の淡水成とみられる有機質粘土層中から貝殻片が確認された。試料採取位置は断層の低下側にあたり、断層活動に伴う沈降により一時的に当地点に海水の影響が増した可能性も考えられる。このような断層活動に伴う環境変化の有無についても珪藻化石分析から検証したい。

高知県南国市の十市・浜改田地区に分布する浜堤の発達過程を明らかにすることを目的に、地中レーダ探査、ハンドオーガーと機械ボーリングによる掘削調査を実施した。地中レーダ探査からは、浜堤頂部から南側では海側に傾く反射面が、浜堤頂部から北側では陸側に傾く反射面が、それぞれ確認された。地中レーダに沿って15地点で実施したハンドオーガーによる掘削では、最大深さ6mまで砂質堆積物を採取した。今後、これらの試料のOSL年代測定や粒度分析を実施し、浜堤がどのように形成されたのかを明らかにしたい。浜堤頂部で実施した掘削長36mのボーリングでは、浜堤を構成する砂質堆積物と、それより下位の地層も採取した。浜堤の地下は標高約-1mまで砂層が連続して堆積し、その厚さは約12mである。それより下位の地層は、標高-23.2mの基盤岩まで主に砂礫層と砂礫質シルト層によって構成される。今後、放射性炭素年代測定や珪藻化石分析を実施し堆積環境やその年代を明らかにする。浜堤背後の低地で過去に行われた津波堆積物調査では、約900～2400年前に明瞭なイベント砂層が確認されていない。得られた浜堤の発達史と、

その浸水履歴を比較し、浜堤の成長が津波の浸水にどのような影響を与えたのかを考察したい。

高知県須崎市及び土佐清水市の沿岸低地で掘削調査を行った結果、泥質堆積物中に前者では1枚、後者では2枚の砂質イベント層を確認できた。今後は、須崎市においても土佐清水市においても追加の掘削調査と年代測定を行う予定である。

(d) 引用文献

- 1) Haslett, J. and Parnell, A.: A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, Vol.57, No.4, pp.399-418, 2008.
- 2) Parnell, A. C., Haslett, J., Allen, J. R. M., Buck, C. E. and Huntley, B.: A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. *Quaternary Science Reviews*, Vol.27(19-20), pp.1872-1885, 2008.
- 3) 文部科学省, 海洋研究開発機構: 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト令和元年度成果報告書, pp.414-419, 2020.
- 4) 此松昌彦, 岡崎久世: 和歌山県太地町南西縁における完新世の古植生変遷, 日本地質学会第108年学術大会講演要旨, P-233, 2001.
- 5) Tanigawa K, Shishikura M, Fujiwara O, Namegaya Y, and Matsumoto D.: Mid-to late-Holocene marine inundations inferred from coastal deposits facing the Nankai Trough in Nankoku, Kochi Prefecture, southern Japan, *The Holocene*, 28, pp.867-878, 2018.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
三重県南伊勢町の湖底堆積物に残された過去3000年間のイベント堆積物（ポスター）	嶋田侑眞、澤井祐紀、松本弾、谷川晃一郎、行谷佑一、宍倉正展、伊藤一充、田村亨、藤野滋弘	日本地球惑星科学連合2021年大会	令和3年6月6日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
珪藻化石群集から明らかになった高知県土佐清水市の大岐低地にお	嶋田侑眞、澤井祐紀、藤野滋弘、中島 礼、	Diatom	令和3年12月	国内

ける古環境変動と津波堆積物	松本 弾、岡田 里奈			
---------------	---------------	--	--	--

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

④ 史料に基づく南海トラフ巨大地震の履歴

(a) 業務の要約

歴史時代の史料に基づく南海トラフ巨大地震の履歴は 684 年白鳳地震まで遡ることができ、昭和東南海・南海地震を含めて 9 回発生していることがわかっている。昭和から安政、宝永、明応と一連の南海トラフ巨大地震の事例を見てもその地震発生域には多様性を含んでいるため、これらの波源評価に関連する情報を可能な限り入手し、詳細な波源の検討を行うとともに、地震発生の多様性を定量的に示すとともに、地震発生推移予測の重要な拘束条件を示すことができる。そこで本業務では、静岡県南伊豆町入間における安政東海地震の津波痕跡高の数値再現と体験談に基づいた現地測量から昭和東南海地震の津波痕跡調査を実施した。その結果、まず今井ほか(2021)¹⁾で提案された新しい安政東海地震の断層モデルを用いることで津波痕跡高を再現することが可能になった。また昭和東南海地震の津波痕跡高は 1.6~13.6m で、三重県南部ほど痕跡情報が多く、また痕跡高が高くなる傾向にあった。さらに、歴史津波の被害の記録からその高さを推定する指標を構築する目的で、1854 年安政南海地震津波による高知県須崎市周辺の記録を例に、家屋の流失率と浸水深との関係を構築した。この結果、浸水深が 2 m 程度において急激に流失率が上昇する傾向となることがわかった。

(b) 業務の成果

1) 静岡県入間における安政東海地震の津波痕跡高及び津波堆積物の数値再現

本業務では、静岡県南伊豆町入間で周囲に比べて非常に高い津波痕跡高 (15.7 m ; 都司ほか, 2019²⁾) が確認されていることに着目して、安中モデル (安中ほか, 2003³⁾) と今井モデル (今井ほか, 2021¹⁾) を初期津波波源とする津波数値シミュレーションを実行し、津波痕跡点までの津波遡上を再現できるかどうか検証した (図 2-3-④-1)。

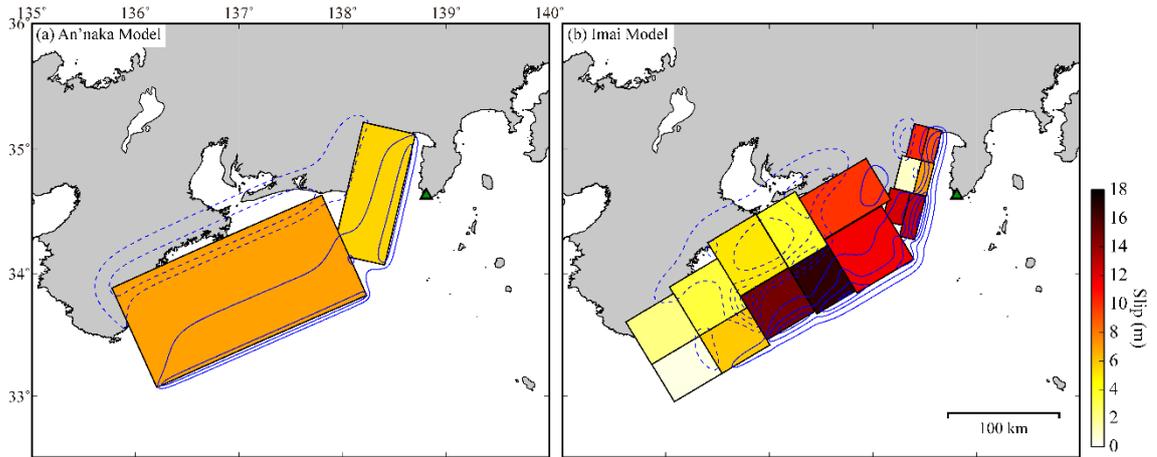


図 2-3-④-1 1854 年安政東海地震の推定津波波源モデル。緑三角は静岡県南伊豆町入間集落の位置を示す。実線・破線コンターはそれぞれ地震時における隆起・沈降を示す。

まず地震発生当時の地形を再現するため、海岸構造物を除去し、航空写真・古地形図を基に復元した（図 2-3-④-2）。入間の集落は砂堆の上に発達しているが、旧家である外岡家の歴史を綴った『加美家沿革誌』や現地での聞き取りによれば、「安政東海地震津波以前には現在の集落地の西方に位置する外岡家から集落地の東方に位置するビニールハウス付近の畑を見渡すことができた。しかし現在は集落に阻まれておりその畑を望むことはできない」という証言がある（浅井ほか，1998⁴⁾）。また安政東海地震によるものと思われる津波堆積物（地表からおよそ 3.4 m 下位に層厚 1 m 程度の砂礫層）が確認されており、この砂堆の標高は安政東海地震発生当時もっと低かった可能性がある。そこで砂堆の標高は現在のものと津波堆積物の下限標高を基にしたものの二種類の地形を用意して、数値解析を実行した。

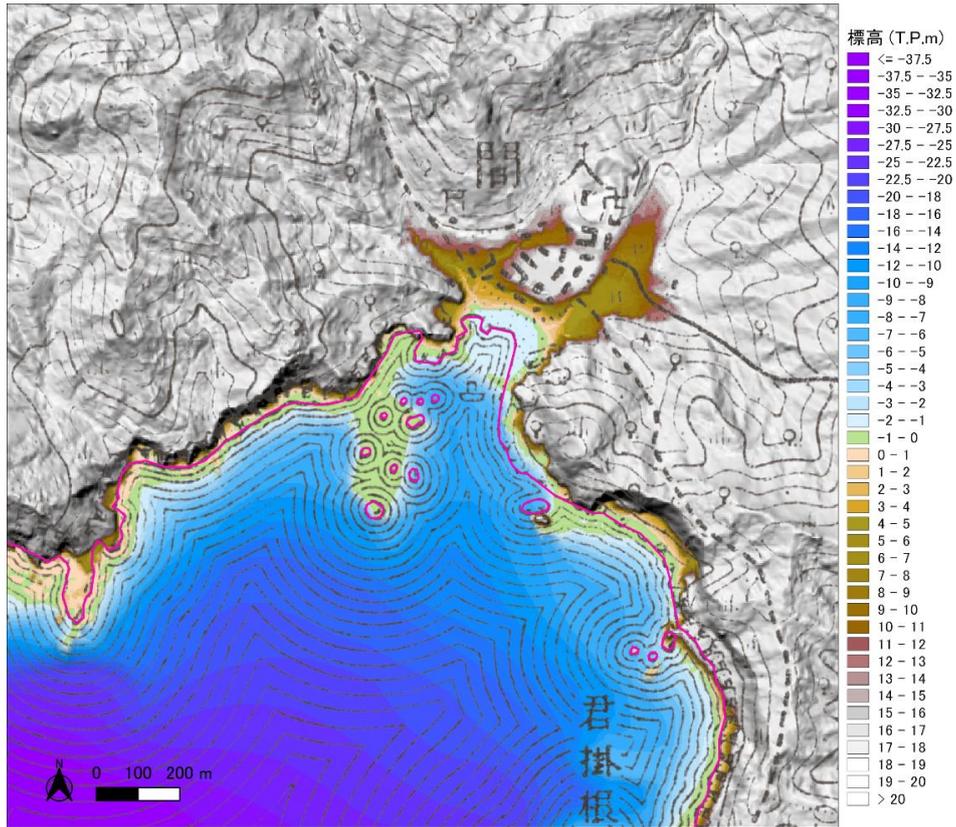


図 2-3-④-2 静岡県南伊豆町入間集落の現地形と地震発生当時の地形復元。標高データは国土地理院の基盤地図情報を利用した。

図 2-3-④-3 に安中モデルと今井モデルの最大浸水深の比較結果を示す。安中モデルで計算した最大浸水深分布は津波痕跡点まで到達しなかった。一方、今井モデルは津波痕跡点まで津波が到達し、観測事実と整合した。また砂堆の標高に関しては、計算結果に大きく影響を及ぼすものではないことも明らかとなった。これらの結果は今井モデルが安中モデルより現実に近い津波波源モデルであることを支持している。

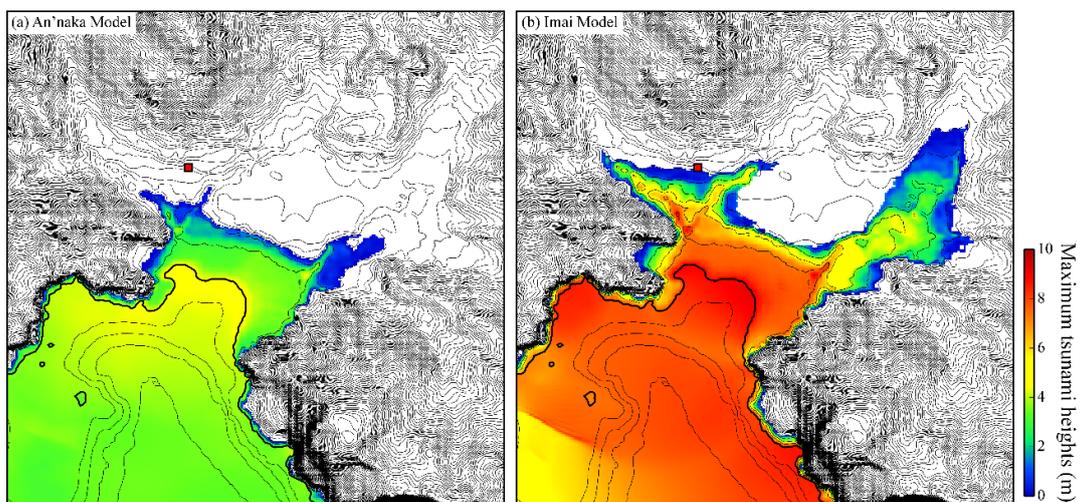


図 2-3-④-3 安中モデルと今井モデルの最大浸水深の比較。赤四角は現在の外岡家の位置を示す。

最後に、今井モデルと津波土砂移動数値解析モデルを使って、安政東海地震の津波堆積物を再現できるかどうか試みた。数値解析の結果、東側の溪谷には1 m 近い浸食が発生し、平均堆積層厚は20cm、場所によって60cm 前後の砂が堆積することが明らかとなった（図2-3-④-4）。この結果は観測事実と大きく矛盾しない。一方、砂丘の上に土砂は全く堆積しなかった。これは外岡家の証言と矛盾しており、解釈の一部に誤りがある可能性を示唆している。

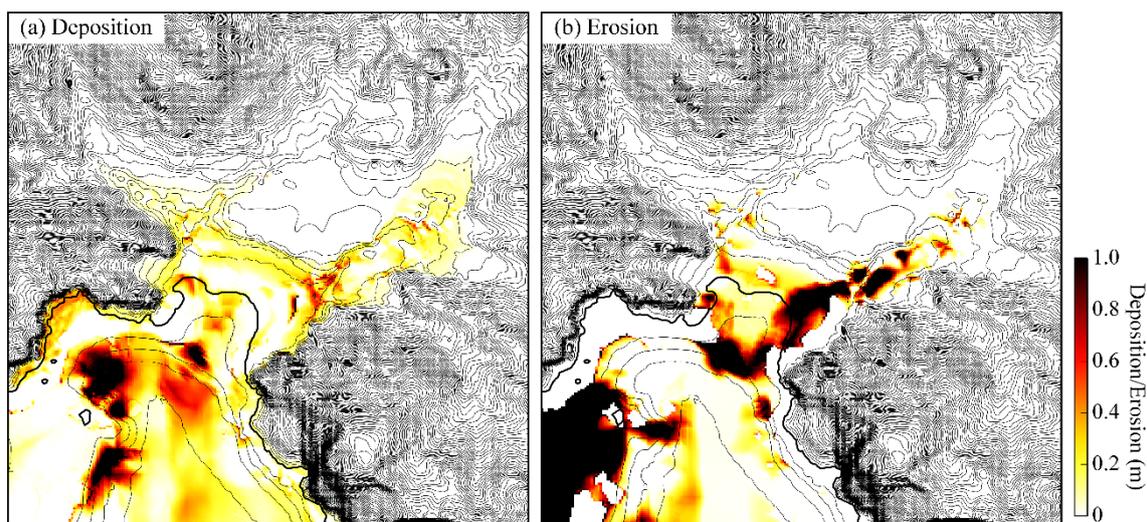


図2-3-④-4 地震発生3時間後における土砂の(a)堆積・(b)浸食の空間分布。赤四角は外岡家の位置を示す。

2) 昭和東南海地震の三重県津波痕跡調査

昭和東南海地震による津波被害について記述された三重県調査報告書（三重県，1995⁵⁾）を基に、津波痕跡として評価できる場所及び三重県に点在する津波碑について、東北大学の津波痕跡データベースと照らし合わせて未登録である地点を洗い出し、現地調査により津波痕跡高の測量を行った（東北大学・原子力安全基盤機構，2022⁶⁾）。本調査では、三重県調査報告書に記録されている津波被害痕跡情報で新たに評価ができる箇所及び未計測の津波碑について、全18箇所について調査を行うこととした。以下、三重県南伊勢町田曾浦から沿岸に沿って南下して行った津波痕跡調査の成果を示す。

2.1 南伊勢町田曾浦

三重県調査報告書によると田曾浦・宿浦では200件近くの浸水家屋があったと記述されており、今回の調査では田曾浦で現地住民に当時の状況の聞き込みを行った。聞き込みから津波の遡上境界位置の証言を得られたため、測量を行ったところ図2-3-④-5に示す通り8.2mであった。



図 2 - 3 - ④ - 5 南伊勢町田曾浦の津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.2 南伊勢町磯浦

三重県調査報告書によると磯浦では浸水家屋 200 戸以上との記載があり、図 2 - 3 - ④ - 6 に示す通り津波による建物浸水区域として記録されている。今回の調査では磯浦にある龍泉院でヒアリングを行い、木製墓標が津波で倒れていったところを目撃したとの証言が得られたため図 2 - 3 - ④ - 6 の位置で浸水高として測量を行うこととし 5.5m であった。



図 2 - 3 - ④ - 6 磯浦龍泉院の津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.3 南伊勢町相賀浦

三重県調査報告書では相賀浦は図2-3-④-7に示す通り、津波による建物浸水地域として記録されている。今回の調査では郵便局近くまで遡上という情報が得られたため図2-3-④-7の位置で遡上高として計測を行った結果1.6mであった。



図2-3-④-7 南伊勢町相賀浦の津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.4 南伊勢町贅浦

三重県調査報告書によると贅浦の図2-3-④-8で示す地域は津波による建物浸水地域として記録されている。今回の調査では現地住民へヒアリングを行い、民家の床の間まで床上浸水があったという証言が得られたため、図2-3-④-8の民家跡地で浸水高として測量を行った結果3.5mであった。



図2-3-④-8 南伊勢町贅浦の民家跡地における津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.5 三重県大紀町錦

三重県調査報告書によると錦の図2-3-④-9に示す地域は津波による建物浸水及び流出地域として記録されている。また東北大学の津波痕跡データベースにも図2-3-④-9の緑点に示す通り痕跡情報が登録されている。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波碑があることが判明したため、浸水高として測量を行った結果5.1mであった。



図2-3-④-9 大紀町錦の津波碑での津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.6 紀北町東長島名倉

三重県調査報告書によると名倉の図2-3-④-10に示す地域は津波による建物浸水及び流失地域として記録されている。今回の調査では、図2-3-④-10で示す位置に新たに津波痕跡データベースに未登録の津波碑があることが判明したため、浸水高として計測を行い6.9mであった。



図 2 - 3 - ④ - 10 紀北町名倉の津波碑での津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.7 紀北町引本浦

三重県調査報告書によると引本浦の湾港地域に位置する集落で津波の高さは 2.5m ほどで流失家屋はなかったと記載がある。今回の調査では、現地住民にヒアリングを実施し、図 2 - 3 - ④ - 11 で示す位置にある十字路まで津波が上がってきたとの証言を得られたため、遡上高として計測を行い 3.2m であった。



図 2 - 3 - ④ - 11 紀北町引本浦の津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.8 尾鷲市天満

三重県調査報告書によると図2-3-④-12の地域は津波による建物浸水地域として記録されている。また、津波痕跡データベースにも図2-3-④-12の緑点に示す通り痕跡情報が登録されている。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波碑があることが判明したため、浸水高として測量を行った結果5.1mであった。



図2-3-④-12 尾鷲市天満の津波碑での津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.9 尾鷲市賀田

三重県調査報告書によると図2-3-④-13の地域は津波による建物浸水地域として記録されている。また図2-3-④-13の緑点で示す位置で津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波碑があることが判明したため、浸水高として測量した結果6mであった。



図 2-3-④-13 尾鷲市賀田の津波碑での津波浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.10 熊野市甫母町

津波痕跡データベースには図 2-3-④-14 の緑点の位置に史料の記載を基にした 1 点の登録がある。今回の調査では、その付近に津波痕跡データベース未登録の津波到達を示す津波碑があることが判明したため遡上高として計測を行い 5.1m であった。



図 2-3-④-14 甫母町の津波碑での津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.11 熊野市二木島町

図2-3-④-15の緑点で示す位置で津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では、新たに津波痕跡データベース未登録の津波碑が3点あることがわかった。図2-3-④-15東側にある津波碑について、浸水高として計測を行い7.2mであった。また、図2-3-④-15西側に位置する2点の津波碑は津波到達を示しており、遡上高として計測を行った結果、それぞれ8.8m、6.7mであった。



図2-3-④-15 二木島の津波碑での津波浸水及び遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.12 熊野市遊木町

図2-3-④-16の緑点で示す位置で津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波到達碑があることが判明したため、遡上高として測量した結果5.3mであった。



図 2 - 3 - ④ - 16 遊木町の津波碑での津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.13 熊野市新鹿町

図 2 - 3 - ④ - 17 の緑点で示す位置に津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波碑が 2 点あることが判明した。図 2 - 3 - ④ - 17 北側に位置する津波碑では遡上高として測量を行い 13.6m であった。また図 2 - 3 - ④ - 17 南側に位置する徳司神社にある津波碑では浸水高として測量を行い 8.4m であった。



図 2 - 3 - ④ - 17 熊野市新鹿町の津波碑での津波遡上及び浸水高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.14 熊野市磯崎町

図2-3-④-18の緑点で示す位置で津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波到達碑があることが判明したため、遡上高として測量した結果5.2mであった。



図2-3-④-18 磯崎町の津波碑での津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

2.15 熊野市大泊町

図2-3-④-19の緑点で示す位置で津波痕跡データベースに津波痕跡としての登録がある。今回の調査では津波痕跡データベースに未登録の津波到達碑があることが判明したため、遡上高として測量した結果4mであった。



図2-3-④-19 熊野市大泊町の津波碑での津波遡上高測量結果。国土地理院の地理院地図を加工。

昭和東南海地震による津波による被害について記述された三重県調査報告書を基に、津波痕跡として評価できる場所と三重県に点在する津波碑について、東北大学の津波痕跡データベースに未登録の地点の調査を実施した。図2-3-④-20は今回の調査における津波痕跡高について取りまとめたものである。津波痕跡高は1.6～13.6mで、三重県南部ほど痕跡情報が多く、また痕跡高が高くなる傾向にあった。

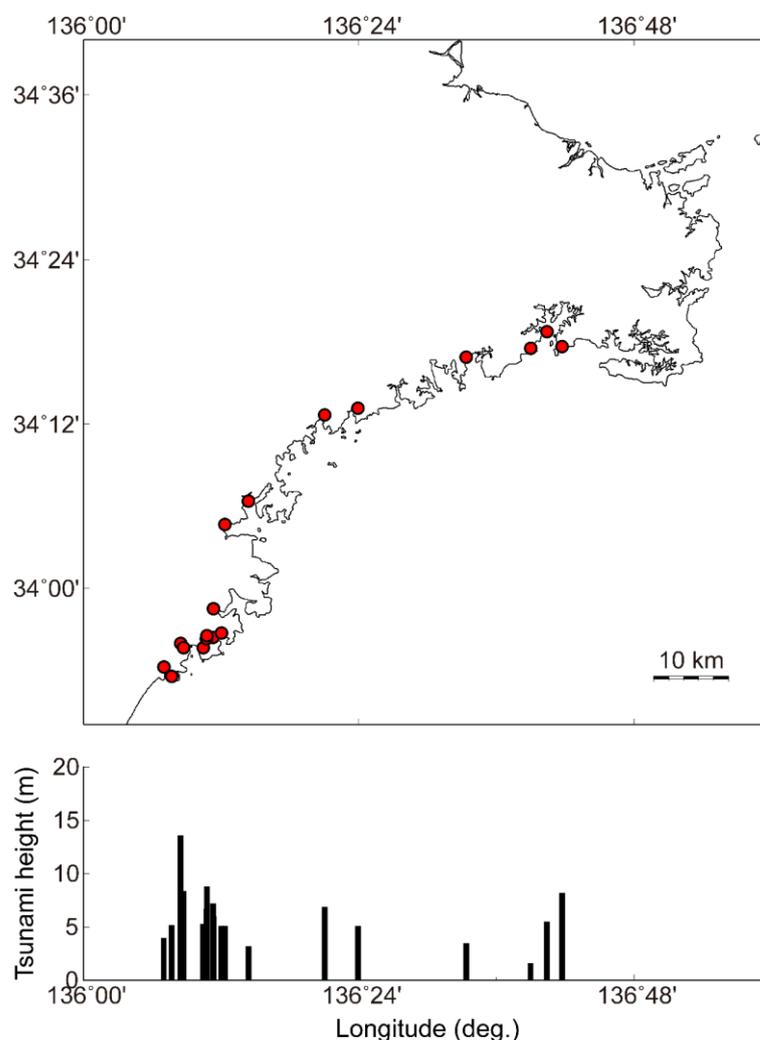


図2-3-④-20 昭和東南海地震津波の痕跡調査全体図

3) 歴史津波による家屋の流失率と浸水深との関係構築

歴史津波の被害記録として、1854年安政南海地震津波による高知県内（図2-3-④-21）の被害が記された、『新収日本地震史料第五卷別巻五ノ二』〔東京大学地震研究所（1987）⁷⁾〕の2121頁以降に所収された『嘉永甲寅大地震筆記 徳永達助記録』を利用した。同書はおもに高知県西域の集落における被害状況を集落ごとに記しており、これらから各集落における流失家屋数を抽出した。ただし同書にはその集落の総家数に関する情報が記されていない。そこで、『日本歴史地名大系 高知県』〔平凡社（1983）⁸⁾〕に記された『御国七郡郷村牒（寛保郷帳）』（1743）により集

落の総家数を調べ、流失家屋数に対して総家数を割ることで、その集落における流失率を算出した。

つぎに浸水深については、既往研究 [羽鳥 (1981)⁹⁾; 都司・他 (1994)¹⁰⁾] により測定された津波の高さのうち、基本的には被害状況からの類推ではない直接的に測定されたと考えられる高さを利用した。そして、国土地理院による基盤地図情報 (数値標高モデル、5 mDEM) を用いてその津波の高さよりも低い地盤標高について平均標高を計算し、津波の高さ (浸水高) から平均標高を差し引くことで浸水深を推定した。例えば押岡集落 (高知県須崎市) の例では、都司・他 (1994) により 5.4 m の津波の高さであると測定されているので、まず押岡を含むと思われる領域 (図 2-3-④-22 の赤線領域) 内において標高 5.4 m 以下の地盤を抽出しその平均値を計算した。この結果地盤標高の平均値が 3.6 m と計算されるので、5.4 m から 3.6 m を差し引き 1.8 m をここでの浸水深と推定した。以上の手順で流失率と浸水深との関係を構築した。

被害記録の出典である『嘉永甲寅大地震筆記 徳永達助記録』には 50 以上の集落の被害記録が記されていたが、これらの集落全てについて総家数や津波の高さが判明しているわけではない。これらの集落のうち、『寛保郷帳』による総家数が判明し、既往研究により津波の高さも判明している集落に着目した結果、下分、久礼、神田、多ノ郷、土崎、須崎、及び押岡の 7 つの集落 (図 2-3-④-21) について検討を行った。その結果を表 2-3-④-1 に示す。ただし、図 2-3-④-23 のように『嘉永甲寅大地震筆記 徳永達助記録』では久礼については久礼浦と久礼村、須崎については須崎浦と須崎村と分けて記録されている。しかしながら、寛保郷帳ではこの区分けに対応しているのか判別がつかなかった。このため、表 2-3-④-1 のように久礼村の流失家屋数のみを考慮した場合、久礼浦の流失家屋数のみを考慮した場合、及び久礼村と久礼浦の流失家屋数を合算した場合の 3 パターンを考えた。須崎についても同様である。表 2-3-④-1 の結果を図示したものが図 2-3-④-24 である。この図から、浸水深が 2 m 程度を境にして流失率が急激に上昇することがわかる。すなわち、浸水深が 2 m 周辺では流失率が 0.3 以下に留まる集落が多いのに対し、浸水深が 2.9 m で流失率が 0.7 となる集落が存在することがわかった。

表 2-3-④-1 推定された流失率と浸水深

ID	集落	家数	流失家屋数	流失率	浸水高(m)	平均標高(m)	推定浸水深(m)
1	下分村	162	45	0.28	5.2	3.3	1.9
2	久礼村	570	102	0.18	5.2	2.9	2.3
2'	久礼浦	570	24	0.04	5.2	2.9	2.3
2''	久礼浦+久礼村	570	126	0.22	5.2	2.9	2.3
3	神田村	137	37	0.27	6.8	4.7	2.1
4	多ノ郷	226	10	0.04	5	2.8	2.2
5	土崎町	36	24	0.67	5.3	2.4	2.9
6	須崎村	494	138	0.28	5	2.7	2.3
6'	須崎浦	494	132	0.27	5	2.7	2.3
6''	須崎浦+須崎村	494	270	0.55	5	2.7	2.3
7	押岡村	53	2	0.04	5.4	3.6	1.8

浸水高のうち久礼については羽鳥 (1981)⁹⁾ による値であり、それ以外は都司・他 (1994)¹⁰⁾ による値である。



図 2-3-④-21 流失率や浸水深を推定した地域の位置（左図）とその拡大図（右図）。国土地理院の地理院地図を利用。

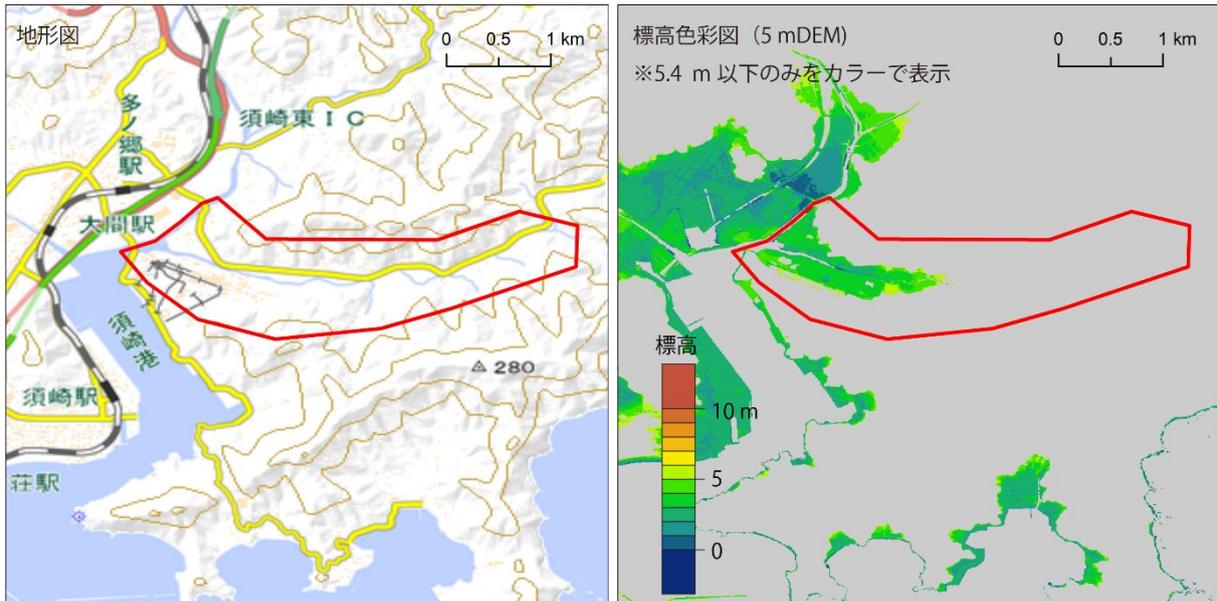


図 2-3-④-22 高知県須崎市押岡における浸水深推定の例。左図は地形図（地理院地図）を表し、右図はここでの津波高さ 5.4 m（都司・他、1994）¹⁰⁾よりも低い標高をカラーで表示している。赤枠は押岡のおおよその範囲。標高データは国土地理院による基盤地図情報を利用。

- (前略) 下分村
- 一家数 四拾五軒流失
 - 同 四拾五軒沙入半潰
 - 土蔵 壹ヶ所流失
 - 米搗庫屋 壹軒同
 - 八拾軒 納屋既共
 - 女老人死
 - 馬老疋同
 - 同 二疋行衛不知
 - 田地九百二拾石損田
 - 但本田新田領地共
 - 御普請所六百間斗傷
- (中略)
- 久礼浦
- 御高札場流失
 - 御分一家大破
 - 御藏番傷
 - 御米蔵 二ヶ所大破
 - 御国産改 壹ヶ所流失
 - 往還道橋等傷二相成
 - 家数 百貳軒流失
 - 同 貳拾軒潰家
 - 同 七拾四軒半潰
 - 女三人流失
 - 女老人過死
 - 男老人過人
 - 女老人同
 - 御普請所人家閉諸所大破
 - 市艇 二艘流失
 - 諸船 四拾八艘同
 - 諸網 拾五張同
- (中略) 久礼村
- 一家数 貳拾四軒流失
 - 同 三軒潰家
 - 同 貳拾五軒潰家半潰
 - 同 拾九軒大破
 - 同 五軒流失
 - 同 壹軒半潰
 - 男老人死
 - 女老人同
 - 本田 地百五拾石斗損田
 - 新田 百貳拾七石斗同
 - 地貳石斗役知損田
 - 同 拾九石斗領知同
 - 御普請所 処々傷 四百五拾四間斗
 - 往還所々傷
- (前略) 神田村
- 一家数 三拾七軒流失
 - 同 貳拾八軒沙入
 - 御普請所 拾八ヶ所貳百間
 - 往還筋 三ヶ所百間斗破損
 - 地面 貳百五拾石斗損田本田給知
 - 同 五石也損田新田
 - 同 百七拾六石也沙入
 - 但給知領知
 - 麦作 百石也同
 - 男老人死
- 多ノ郷
- 一家数 拾軒流失
 - 同 七軒沙入
 - 接待堂 壹宇流失
 - 一家数 二軒半潰
 - 橋 壹ヶ所流失
 - 往還 六ヶ所五百間斗破損
 - 御普請所 八ヶ所二百間斗
 - 船 三艘流失
 - 本田地 壹百五拾石也損田
 - 新田 三百石也同
 - 地 三百七拾石也役知同
 - 麦作傷 百六拾石也沙入
- (中略) 土崎町
- 一家数 貳拾四軒流失
 - 寺 一ヶ寺同
 - 宮 壹社同
 - 家 壹軒 庄屋宅沙入
 - 地 九石也本殿御免許町屋敷
 - 同 壹石斗 新田四方
- (中略) 須崎村
- 一家数 百三拾貳軒流失
 - 同 拾九軒潰
 - 同 三拾貳軒大破
 - 藏 壹ヶ所潰
 - 同 拾壹ヶ所大破
 - 納屋 二軒同
 - 同 拾軒流失
 - 藏 壹軒同
 - 男老人死
 - 男女 四人内男老人女三人但
 - 小船 二乘流出、行衛相分不申候
 - 本田 百四拾石斗 但沙入損田 烟屋敷
 - 新田 百五拾石也 但沙入二相成候所
 - 今以干落不申候
 - 同 貳百拾石也長三拾間斗流失
 - 井流 壹ヶ所流失
 - 板橋 壹ヶ所同
 - 同 三社大破
 - 同 貳社流失
 - 同 拾壹軒流失
- (前略) 須崎浦
- 御分一家 壹軒潰
 - 御米蔵 壹軒大破
 - 一家数 百三拾八軒流失
 - 同 拾六軒潰
 - 同 五拾九軒大破
 - 男女 三拾人
 - 内男九人女貳拾老人但小
 - 船乗流出行衛相知不申候
 - 諸漁船 八拾三艘流失
 - 諸網 貳拾七張同
 - 納屋 貳拾五軒同
 - 同 八軒潰
 - 藏 三軒同
 - 同 拾三軒大破
 - 同 二軒流失
 - 地蔵堂 壹ヶ所大破
 - 堤 壹ヶ所 人家閉長三丁斗破損
- 押岡村
- 御普請所 長三百四拾間斗破損
 - 本田 壹丁斗損田
 - 但新田分未沙干落不申
 - 依而委細相分申候
 - 一家数 二軒流失
 - 同 拾四軒潰
 - 同 拾件傷
 - 同 拾四軒潰
 - 小船 四艘流失
 - 馬 壹疋死
- (後略)

図 2 - 3 - ④ - 23 『嘉永甲寅大地震筆記 徳永達助記録』（『新収日本地震史料第五卷別巻五ノ二』〔東京大学地震研究所（1987）〕）による被害記録の一部

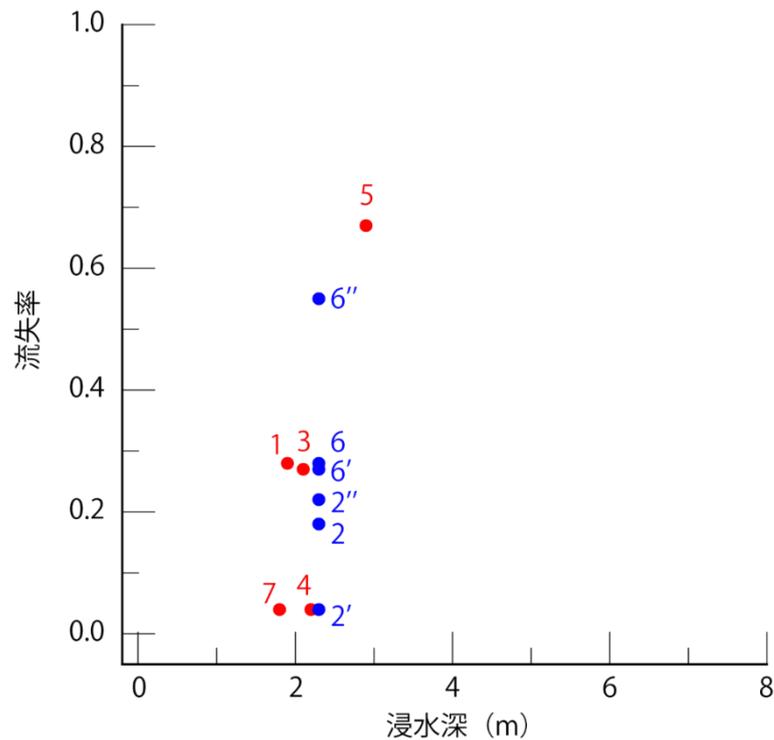


図 2-3-④-24 流失率と浸水深との関係。数字は表 2-3-④-1 の ID 番号に対応する。青色は久礼の流失数について久礼村(2)、久礼浦(2')、及び久礼村と久礼浦の数を足したもの(2'')、須崎の流失率について須崎村(6)、須崎浦(6')、及び須崎村と須崎浦の数を足したもの(6'')を表す。従って、青色については、2、2'、あるいは2''のどれか、6、6'、あるいは6''のどれかという見方をする必要がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、静岡県南伊豆町入間における津波痕跡高の数値再現と体験談に基づいた現地測量から昭和東南海地震の津波痕跡調査を行った。その結果、今井ほか(2021)³⁾で提案された新しい安政東海地震の断層モデルを用いることで静岡県南伊豆町入間の津波痕跡高を再現することが可能になった。また昭和東南海地震の津波痕跡高は 1.6~13.6m で、三重県南部ほど痕跡情報が多くその痕跡高が高くなる傾向にあった。さらに、1854 年安政南海地震津波に関する記録『嘉永甲寅大地震筆記 徳永達助記録』から流失家屋数を調べ、『寛保郷帳』による家数を利用して流失率を推定した。また既往文献による津波の高さを利用し、平均標高を差し引くことで浸水深を推定した。この結果、7 つの集落における流失率と浸水深との関係が得られ、浸水深が 2 m 程度において急激に流失率が上昇する結果となった。流失率と浸水深との関係を構築することは、被害の様子はわかるものの津波の高さ等には直接結びつかないような記録から定量的に津波の高さ等を推定できる可能性があるという点で重要である。一方で、この関係は津波の波源や浸水範囲の地形、浸水時の家屋強度など多くの要因が影響すると考えられるため、今後も事例を増やしその傾向を分析することが必要である。

(d) 引用文献

- 1) 今井健太郎, 楠本聡, 堀高峰, 高橋成実, 古村孝志: 地殻変動および津波痕跡高の分布に基づく 1854 年安政東海地震の波源断層モデル, 日本地震学会 2021 年度秋季大会, S17-04, 2021.
- 2) 都司嘉宣, 今井健太郎, 蛭名裕一, 岩瀬浩之: 安政東海地震 (1854) の静岡県海岸での津波の高さ, 津波工学研究報告, Vol. 36, pp.71-105, 2019.
- 3) 安中正, 稲垣和男, 田中寛好, 柳沢賢: 津波数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴、土木学会地震工学論文集 (CD-ROM) .
- 4) 浅井大輔, 今村文彦, 首藤伸夫, 高橋智幸: 伊豆半島入間における安政東海地震津波の波高と土砂移動, 海岸工学論文集第 45 巻, pp. 371-375, 1998
- 5) 三重県: 津波調査報告書～検証・東南海地震津波～, 1995
- 6) 東北大学, 原子力安全基盤機構: 津波痕跡データベース, <https://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/>
- 7) 東京大学地震研究所: 新収日本地震史料第五巻別巻五ノ二、 pp. 2528, 1987
- 8) 平凡社: 日本歴史地名大系 高知県, pp. 755, 1983
- 9) 羽鳥徳太郎: 高知県南西部の宝永・安政南海道津波の調査ー久礼・入野・土佐清水の津波の高さ, 地震研究所彙報, 56, pp. 547-570, 1981
- 10) 都司嘉宣, 上田和枝, 荒井賢一: 須崎市を襲った歴史津波, 歴史地震, 14, pp. 95-115, 1994

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果 (発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時期	国内・外の別
Comparison of Observations and Numerical Simulations of Sediment Transport Using the 1707 CE Hiei Tsunami Source Model: Application to Kanigaike Pond in Kochi Prefecture, Japan (ポスター)	Satoshi Kusumoto, Kentaro Imai, Narumi Takahashi, Takane Hori and Daisuke Sugawara	日本地球惑星科学連合大会	令和3年6月4日	国内
ヒアリングに基づく昭和東南海・南海地震による和歌山沿岸の津波被害 (口頭)	中野祥房・稲住孝富・今井健太郎・堀高峰	歴史地震研究会	令和3年9月3日	国内
1854年安政東海地震の波源断層モデル再評価 (口頭)	今井健太郎, 楠本聡, 堀高峰, 高橋成実, 古村孝志	歴史地震研究会	令和3年9月3日	国内

高知県蟹ヶ池における津波堆積物の再現解析－宝永地震の事例と今後の課題（口頭）	楠本聡・今井健太郎・堀高峰・山本阿子・菅原大助	歴史地震研究会	令和3年9月3日	国内
安政南海地震による高知県内の被害率と浸水深との関係（口頭）	行谷佑一，今井健太郎	歴史地震研究会	令和3年9月3日	国内
地殻変動および津波痕跡高の分布に基づく1854年安政東海地震の波源断層モデル（口頭）	今井健太郎，楠本聡，堀高峰，高橋成実，古村孝志	日本地震学会	令和3年10月15日	国内
静岡県南伊豆町入間における安政東海地震の津波堆積物（口頭）	楠本聡・今井健太郎・堀高峰・菅原大助	日本地震学会	令和3年10月15日	国内
静岡県南伊豆町入間における安政東海津波堆積物の数値的再現（口頭）	楠本聡・今井健太郎・堀高峰・菅原大助	津波堆積物研究会	令和3年12月5日	国内
静岡県南伊豆町入間における安政東海津波堆積物の数値再現（口頭）	楠本聡・今井健太郎・堀高峰・菅原大助	巨大津波災害に関する合同研究集会	令和3年12月23日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Time Difference Between the 1854 CE Ansei-Tokai and Ansei-Nankai Earthquakes Estimated from Distant Tsunami Waveforms on the West Coast of North America	Kusumoto Satoshi, Imai Kentaro, Takane Hori	Progress in Earth and Planetary Science	令和4年1月5日	国外
目撃情報ヒアリングに基づく昭和東南海・南海地震による和歌山沿岸の津波痕跡調査	中野祥房・稲住孝富・今井健太郎・堀高峰	歴史地震	令和4年1月4日	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

- 3) 仕様・標準等の策定
なし

2.4 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

(1) 業務の内容

(a) 業務題目「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
京都大学防災研究所	教授	矢守克也
京都大学防災研究所	教授	牧 紀男
京都大学防災研究所	教授	畑山満則
京都大学防災研究所	准教授	大西正光
京都大学防災研究所	助教	中野元太
京都大学防災研究所	特定研究員	杉山高志
京都大学防災研究所	特定研究員	岡田（静間）夏美
京都大学防災研究所	研究員	李 勇昕
京都大学防災研究所	技術補佐員	山岡孝子
京都大学防災研究所	教務補佐員	曾我部哲人
東北大学災害科学国際研究所	准教授	佐藤翔輔
関西大学社会安全学部	准教授	城下秀行
日本ミクニヤ株式会社	社員	金玟淑
明治大学理工学部	教授	山本俊哉
明治大学まちづくり研究所	客員研究員	森脇環帆
和歌山大学システム工学部環境システム学科	准教授	平田隆行

(c) 業務の目的

本研究は、南海トラフ地震に関する「臨時情報」を、事前避難対応に効果的に活用するために、事前避難の必要性を地域ごとに分析・判断するためのシステム（『事前避難要不要判断ツール』）を開発し、社会実装することを目的とする。

南海トラフ地震に関する「臨時情報」には、同地震・津波による被害を大幅に軽減することが期待されている。しかし、大きな不確実性を含む本情報の効力を十分に引き出すためには、どの地域の、どの範囲の、どのような人々が事前避難すべきなのかに関する客観的基準、及び、避難先の設定、避難方法に関する知見とノウハウが必要とされる。

そこで、本サブ課題では、本ツールの効果的運用の前提となる「臨時情報」に関する認知・理解を高めるための基礎研究を実施しつつ、まず、サブ課題2(g)で開発する地震防災基盤シミュレータの津波シミュレーションをベースに、津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」（福岡工業大学・特許第5737683号を使用）を改良し、事前避難の要不要について分析し診断するためのツール（『事前避難要不要判断ツール』）を開発し、社会実装する。次に、臨時情報発表時に予想される、より広域の避難人口動態予測システムを開発する。さらに、津波到達時間が短い地域で「逃げ地図」を基幹ルールとしたワークショップを実

施し、両システムの実装と効果検証作業を行う。以上が本研究の主目的である。

具体的には、第1に、先行プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第1期）において津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」を、訓練のたびに住民の空間移動データを標準化された形式でビッグデータとして蓄積可能なシステムの形式で再編し、『事前避難要不要判断ツール』として社会に実装する。第2に、人や車の移動に伴った大規模な空間移動動態を予測・実測し、「臨時情報」発表時にどの地域でどのような人口移動が生じ、どこにどの程度の避難所が必要となるのかについてシミュレーションするための『広域人口動態予測システム』を開発する。第3に、津波防災まちづくりのツールとして開発された「逃げ地図」をもとに、その課題の検証・改善方法の抽出を行い、避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策を検討するための仕組みの構築を行う。

なお、上記のツール及びシステムの実証実験のフィールド及び実装先として、高知県、和歌山県内を想定する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

第1に、『事前避難要不要判断ツール』については、先行プロジェクト（SIP第1期）で津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」を、訓練のたびに住民の空間移動データを標準化された形式でビッグデータとして蓄積可能なシステムの形で再編するための基礎作業を実施した。まず、本ツールの効果的運用の前提となる「臨時情報」に関する認知・理解を高めるための基礎研究を進めた。次に、臨時情報発表時に想定される津波浸水想定について、サブ課題2(g)と連携のもと、想定の内容、データの形式などについて事前協議を行った。さらに、『事前避難要不要判断ツール』の基本構成、UI（ユーザ・インタフェース）の概要について検討した。最後に、現行の「逃げトレ」システムを『事前避難要不要判断ツール』と接続するために必要な改修内容について協議した。

第2に、「逃げ地図」については、テストフィールドとして和歌山県串本町を選択するとともに、同地域において「逃げ地図」ワークショップを試行し、避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策について検討した。また「逃げ地図」ワークショップを支援するためのシステムの改良を行った。

2) 令和3年度：

前年度までに製作した『事前避難要不要判断ツール』のプロトタイプをもとに、事前避難の要不要の分析アルゴリズムを確定させ、「集合的避難行動の解析・表示システム」の分析結果の可視化方法（結果表示画面）のデザイン作業を継続した。それらの開発作業と並行して、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」に、臨時情報発表時に想定される津波浸水想定（サブ課題2(g)と連携）など、複数の津波シミュレーションを新たに実装するための準備作業を完了した。また、『事前避難要不要判断ツール』で活用する個人属性情報（避難時の支援の必要性など）を同定するための仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定し「逃げトレ」を拡充した。以上の開発研究とともに、実際のフィールド（高知県内の自治体）で『事前避難要不要判断ツール』

の実証実験を行うための準備作業も行った。

またテストフィールド（和歌山県串本町）において避難困難区域における事前避難のあり方について検討を行うとともに、「逃げ地図」については先行して実施している地域において先進事例調査、改良されたワークショップ支援システムの検証を行った。

3) 令和4年度：

『事前避難要不要判断ツール』については、改良されたプロトタイプを用いた実証実験を高知県内のテストフィールド（高知県黒潮町、四万十町、須崎市を想定）において反復し、『事前避難要不要判断ツール』（1次版）を完成させる。

「逃げ地図」については、改良されたワークショップをテストフィールド（和歌山県串本市）で継続的に実施し、『事前避難要不要判断ツール』（1次版）と連携させて、臨時情報を効果的に活用して事前避難を行うための手法について検討する。

4) 令和5年度：

『事前避難要不要判断ツール』については、『事前避難要不要判断ツール』（1次版）をテストフィールドとは別の地域にも水平展開するための手法を策定するとともに、このツールに集積されるビッグデータをもとに、臨時情報発表時に、どの地域でどのような人口移動が生じ、どこにどの程度の避難所が必要となるのかについてシミュレーションするための『広域人口動態予測システム』開発のための基礎作業を行う。

「逃げ地図」については、改良されたワークショップを、テストフィールドとは別の地域にも水平展開するための手法を策定するとともに、『事前避難要不要判断ツール』（1次版）及び『広域人口動態予測システム』と連携させて、広域的な事前避難について検討するための手法の開発を行う。

5) 令和6年度：

『事前避難要不要判断ツール』、「逃げ地図」、両プロジェクトの成果を統合し、『事前避難要不要判断ツール』（1次版）の水平展開作業の結果をベースに完成させた『事前避難要不要判断ツール』（最終版）、「逃げ地図」、『広域人口動態予測システム』の3ツールを通して、臨時情報発表時の事前避難に関する当事者（自治体、地域社会など）の意思決定を支援するためのシステムを完成させて社会実装する。あわせて、以上の成果を社会に発信するためのアウトリーチメディアについても作成する。

(e) 令和3年度業務目的

前年度までに製作した『事前避難要不要判断ツール』のプロトタイプをもとに、事前避難の要不要の分析アルゴリズムの確定、「集合的避難行動の解析・表示システム」の分析結果の可視化方法（結果表示画面）のデザイン作業を継続する。それらの開発作業と並行して、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」に、臨時情報発表時に想定される津波浸水想定（サブ課題(g)と連携）など、複数の津波シミュレーションを新たに実装する。また、『事前避難要不要判断ツール』で活用する個人属性情報（避難時の支援の必要性など）を同定するための仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定し「逃げトレ」を拡充する。以上の開発研究とともに、社会情勢を見極めながら、実際のフィールド（高知県内の自治体）で「集合的避難行動の解析・表示システム」を中核とした『事前避難要不要判断ツール』の実証実験を実施するための準備作業も行う。

加えて、避難困難区域において「逃げ地図づくり」ワークショップについての先進事例地での調査、行政の臨時情報対応ワークショップを実施する。

(2) 令和3年度の成果

①『事前避難要不要判断ツール』に関する検討

(a) 業務の要約

昨年度までの研究で作成済の『事前避難要不要判断ツール』のプロトタイプをもとに、事前避難の要不要の分析アルゴリズムを確定させ、「集合的避難行動の解析・表示システム」の分析結果の可視化方法（結果表示画面）の開発作業を継続した。それらの開発作業と並行して、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」に、臨時情報発表時に想定される津波浸水想定（サブ課題2(g)と連携）など、複数の津波シミュレーションを新たに実装するための準備作業を完了した。また、『事前避難要不要判断ツール』で活用する個人属性情報（避難時の支援の必要性など）を同定するための仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定し「逃げトレ」を拡充した。以上の開発研究とともに、実際のフィールド（高知県内の自治体）で『事前避難要不要判断ツール』の実証実験を実施するための準備作業も行った。

(b) 業務の成果

1) 臨時情報に関する意識啓発と臨時情報発表時の津波浸水シミュレーション

臨時情報が発表されるのは、「半割れ」、「一部割れ」、「ゆっくりすべり」等のケースとされており、突発的な地震に伴って発生する津波（政府想定として公表されているL1、L2想定、及び、自治体等が独自に計算・公表している想定）とは、規模や性質等において異なる津波が想定される。また、それに応じた社会的対応が求められている。

しかし、これらの内容は、本研究のテストフィールドとなる地域の住民を含め国民に十分理解されていないのが現状である。そのため、本情報に関する理解・認知の程度を正しく把握すること、及び、それを向上させるための手法を探るための研究として、昨年度、テストフィールドの一角（高知県四万十町旧興津中学校内）に簡易な防災ミュージアムをアウトリーチ活動（臨時情報の普及啓発手法に関する実証実験）の拠点として開設し、ワークショップや展示などの手法を用いたリスク・コミュニケーションの効果を検証する研究を実施した。本年度も、この拠点を中心に、「臨時情報」に関する認知度・理解度を把握するための研究、それを向上させるための手法を探るための研究、及び、コロナ禍における社会的対応を参考にして臨時情報対応と社会経済活動の両立を実現するための社会的対応を探る研究を継続した。その結果、コロナ禍で長期間閉館を余儀なくされていたにもかかわらず、上記ミュージアムに四万十町内外から300名以上が訪問し、同時に、四万十町内で臨時情報発表時に事前避難する要支援者を選定するための作業が進められるなど、ワークショップ、展示などのさまざまなアウトリーチ手法の有効性について確認することができ、その成果の一部を学術誌にも公表した。

また、本研究のベースとして使用する津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」（図2-4-①-1）は、基本的に、L2想定など、臨時情報の制度が発足する前に発表された既存想定に対応してアプリが構築されているため、『事前避難要不要判断ツール』と「逃げトレ」を有機的に接続するために、新たに、臨時情報発表時に想定される津波に関するシミュレ-

ションを実施し、その結果を「逃げトレ」に搭載することが必要とされる。

津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」

スマートフォンさえもっていれば、「いつでもどこでも、だれでも、だれとでも、すぐに津波避難訓練が可能！最新の津波浸水想定からあなたは逃げ切れるか？」

最新の津波想定と自分の避難行動を同時にライブで可視化！

使用中のスマホ画面

敵を知り
己を知る

結果集約画面に避難の成否、所要時間、移動距離など表示

(目標1): 避難成功か失敗か「判定」できない、従来の訓練を変えたい
(目標2): いつ、どこに、どこを通過して、だれと逃げるか、当事者が決める。すべて第三者(行政)が決めていた従来の訓練を変えたい

「津波到達まであと5分！」=カラーで切迫度表示

2018年グッドデザイン賞「金賞」受賞！

無料で！アプリストアから素々ダウンロード、ビデオマニュアルで簡単操作、サポートHPも充実！<https://nigetore.jp/>

開発: 京大・防災研 矢守研究室

福岡工業大学・特許第5737683号を使用

図 2-4-①-1 津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の概要

本研究では、この目的のためサブ課題 2 (g) と連携して、新たに津波浸水シミュレーションを実施して、その成果を「逃げトレ」に新規に実装する。次に、それを活用した避難訓練を繰り返すことで、臨時情報発表時に、仮に事前避難を行わなかった人びとが、成功裡に避難行動を完遂できるかどうかに関するチェック作業（組織的な避難訓練）を行う。

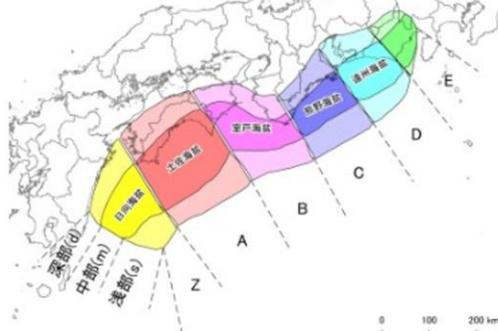
令和 3 年度は、この目的のため、臨時情報発表時に想定される津波シナリオのうち、どのシナリオに基づく津波浸水想定を「逃げトレ」に実装するのが望ましいのかに関して体系的に検討した。その結果、パイロット版では、「半割れ」ケースを取り上げて、紀伊半島南端を基準として、先に西側で地震が発生しその後東側で後続地震が発生するパターン（西先行・東後続パターン）と、先に東側で地震が発生しその後西側で後続地震が発生するパターン（東先行・西後続パターン）の 2 つのパターンについて、『事前避難要不要判断ツール』とともに用いる「逃げトレ」に実装することとした。

あわせて、「逃げトレ」システムとサブ課題 2 (g) で開発中の津波シミュレーションとを連携させるためのデータ形式の統一化などテクニカルな課題についても詳細に検討した。

以上に略述した新たな津波浸水シミュレーション開発と「逃げトレ」システムとの連携作業の概要は、図 2-4-①-2 及び図 2-4-①-3 に示した通りである。

半割れケース後の震源域セットの作成 (案)

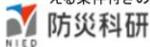
- ① 半割れ後の震源域セットは半割れケースで破壊されていない部分のみで作成
 東側半割れ後の震源域セット: 串本沖より西側のみで作成・A・B)
 西側半割れ後の震源域セット: 串本沖より東側のみで作成・D・E)
- ② 上記以外は確率論的津波評価の考え方を参考にする。



■ ハザード評価のための重みの分配(最大クラスあり)

$$P(H > h; \Delta t) = P(t, \Delta t) \sum_k W(Q_k) P(H > h | Q_k)$$

- $P(H > h; \Delta t)$: ある地点の最大水位上昇量が或る閾値を超える確率(超過確率)
- $P(t, \Delta t)$: Δt 年間に次の南海トラフの大地震が発生する確率
- $W(Q_k)$: k 番目の地震セット Q_k の相対重み
- $P(H > h | Q_k)$: Q_k が出現する場合にある地点で最大水位上昇量が或る閾値を超える条件付きの超過確率



藤原ほか (2020) 1)

図 2-4-①-2 「半割れ」後の津波浸水シミュレーションのための震源域セット (サブ課題 2 (g) の研究成果のインプット)

サブ2(d)との連携(多様性モデルによる津波遡上)

- 課題間連携として、サブ2(d)の実証実験対象地域(高知県四万十町志和地区、四万十町興津地区、黒潮町佐賀地区、黒潮町入野地区)を対象に、昨年度実施した津波遡上の試計算結果をもとに、津波遡上シミュレーション動画(地震発生から1時間を対象、1分間隔)や最大浸水深分布図等を作成し、提供している。
- これらのデータは、サブ2(d)における、臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する効果的な情報の提供に向けて、自治体職員や地域住民への説明等に使用されている。
- 本スライドでは、サブ2(d)の対象地域のうち高知県黒潮町佐賀地区について、「半割れケース」で想定される津波遡上のシミュレーション動画および最大浸水深分布図を紹介する。

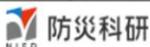
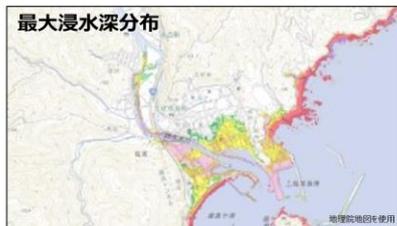


図 2-4-①-3 多様性モデルに基づく「半割れケース」津波浸水シミュレーション (サブ課題 2 (g) の研究成果のインプット)

2) 『事前避難要不要判断ツール』の構築（基本構成の確定）

本研究の基幹ツールとなる『事前避難要不要判断ツール』の開発研究については、大きく分けて2つの成果があった。第1の成果は、『事前避難の要不要診断ツール』を中心とした開発プロジェクトの全体構想の確定であり、第2の成果は、そのプロトタイプの実成である。これら業務の実施方法としては、研究チーム（主にシステム作成とデザイン担当の研究分担者）によるリサーチ・ミーティング、及び、自治体関係者へのヒアリングを中心とした。その概要は、以下の表の通りである（表2-4-①-1、及び、表2-4-①-2）。

表2-4-①-1 令和3年度におけるリサーチ・ミーティング

日時	参加人数	協議アジェンダ
令和3年4月1日	7人	今年度の業務内容と分析プラットフォームのデザインに関する協議
令和3年4月7日	4人	事前避難要不要システムで用いる津波想定についての情報共有と防災科学技術研究所で計算出力するスケジュールについての協議
令和3年5月12日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザインに関する協議
令和3年6月1日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザインに関する協議
令和3年7月1日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザインに関する協議
令和3年7月28日	7人	地震被害や津波浸水データのプラットフォーム化に関する協議
令和3年8月11日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザインに関する協議
令和3年9月16日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザイン、要不要診断システムの全体設計、Androidのシステム改良に関する協議
令和3年10月14日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザイン、要不要診断システムの全体設計に関する協議
令和3年11月18日	7人	逃げトレのアプリのUIと分析プラットフォームのデザイン、要不要診断システムの全体設計に関する協議
令和3年12月15日	8人	分析プラットフォームのデザイン、南海トラフ地震の臨時情報の解説ムービーに関する協議
令和4年1月19日	8人	分析プラットフォームのデザイン、南海トラフ地震の臨時情報の解説ムービーに関する協議

令和4年2月24日	7人	分析プラットフォームのデザイン、南海トラフ地震の臨時情報の解説ムービーに関する協議
令和4年3月17日	7人	要不要診断システムの全体設計に関する協議
令和4年3月22日	5人	要不要診断システムの全体設計に関する協議

表2-4-①-2 自治体関係者への聞き取り等の概要

日時	参加人数	聞き取り対象（自治体など）	調査項目・聞き取りアジェンダ
令和3年7月29～30日	2人	高知県四万十町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和3年10月7日～13日	4人	高知県四万十町・須崎市	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和3年11月4日～7日	4人	高知県四万十町・黒潮町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和3年11月23日～24日	2人	高知県四万十町・黒潮町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和3年11月28日～30日	2人	高知県四万十町・黒潮町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和3年12月13日	2人	高知県四万十町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認
令和4年1月31日	2人	高知県黒潮町	令和4年1月22日に発生した日向灘の地震の際の臨時情報対応についての聞き取り
令和4年2月10日	4人	大阪府堺市	令和4年1月22日に発生した日向灘の地震の際の臨時情報対応についての聞き取り
令和4年2月15日	2人	高知県四万十町	令和4年1月22日に発生した日向灘の地震の際の臨時情報対応についての聞き取り

令和4年3月1日	10人	高知県黒潮町	臨時情報に関する映像教材を使ったワークショップの実施と臨時情報対応についての聞き取り
令和4年3月18日	19人	高知県黒潮町	臨時情報に関する映像教材を使ったワークショップの実施と臨時情報対応についての聞き取り
令和4年3月24～26日	12人	高知県四万十町・黒潮町	臨時情報の普及啓発手法について「逃げトレ」の稼働状況確認

まず、第1の成果の概要は、図2-4-①-4に示した通りである。具体的には、主に個人ユーザによる個人使用を原則としていた「逃げトレ」アプリを発展させ、アプリ使用によって収集される大量の避難行動データを集合データ（ビッグデータ）として再構成するデータベースシステムをシステムの中核として設定した。そこから派生したコンテンツとして、一つには、専門家や自治体関係者など限定されたユーザのみが参照できる分析・可視化ツールとして「逃げトレダッシュボード」（今後、「逃げトレView」の名称で社会実装を目指す）を構築した。さらに、もう一つのコンテンツとして、一般住民等も自由に参照できるツール「逃げトレWEB」を構築するという全体構想を固めた。

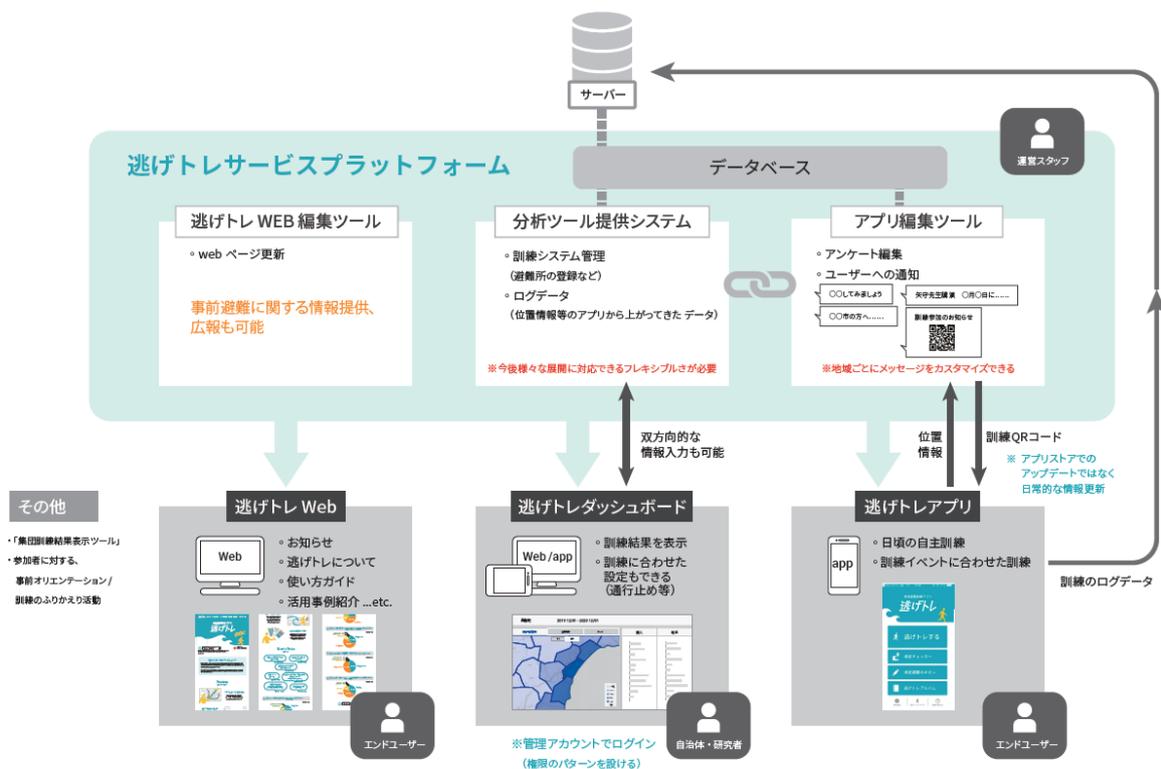


図2-4-①-4 『事前避難要不要判断ツール』の全体像

次に、第2の成果の概要は、図2-4-①-5から図2-4-①-7に示した通りである。具体的には、高知県黒潮町入野地区をテストフィールド（事例）とした本図に示した通り、「逃げトレ」による避難訓練結果を集合的に表示する仕組みを作成した（図2-4-①-5、各個人の結果はポイントで示されている）。次に、その結果を、訓練のスタート地点の地区ごとに、その地区から避難した人について、一定の基準に従って（たとえば、80%以上が避難成功、50%以上が成功、それ以下など）、地区ごとの避難困難度を診断（本事例の場合、3段階（赤、黄、緑色で表示））するためのシステムを、一次プロトタイプとして構築した（図2-4-①-6）。あわせて、津波想定が変わった場合、地震発生後避難開始までに要する準備時間を変化させた場合、あるいは、移動速度を変化させた場合などに、それぞれ避難困難度がどのように変化するかをシミュレーションし、その結果を提示する機能も盛り込んだ（図2-4-①-7）。また、津波浸水想定（津波ハザードマップ）と避難行動の結果とをオーバーラップ表示する機能（図2-4-①-8）や、避難行動に関するより詳しい分析結果（避難成功率、避難所要時間、平均移動距離等）のサマリー情報を地区ごとに可視化して表示するシステムもプロトタイプ（図2-4-①-9）に組み込んだ。

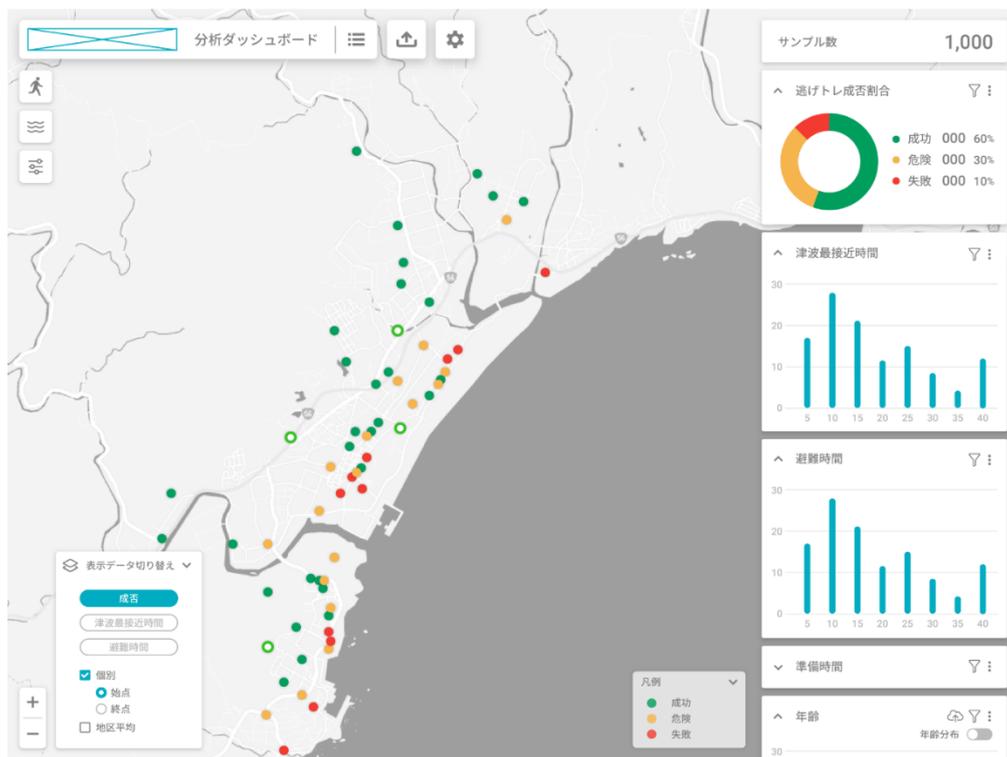


図2-4-①-5 避難訓練結果の全体像の表示画面

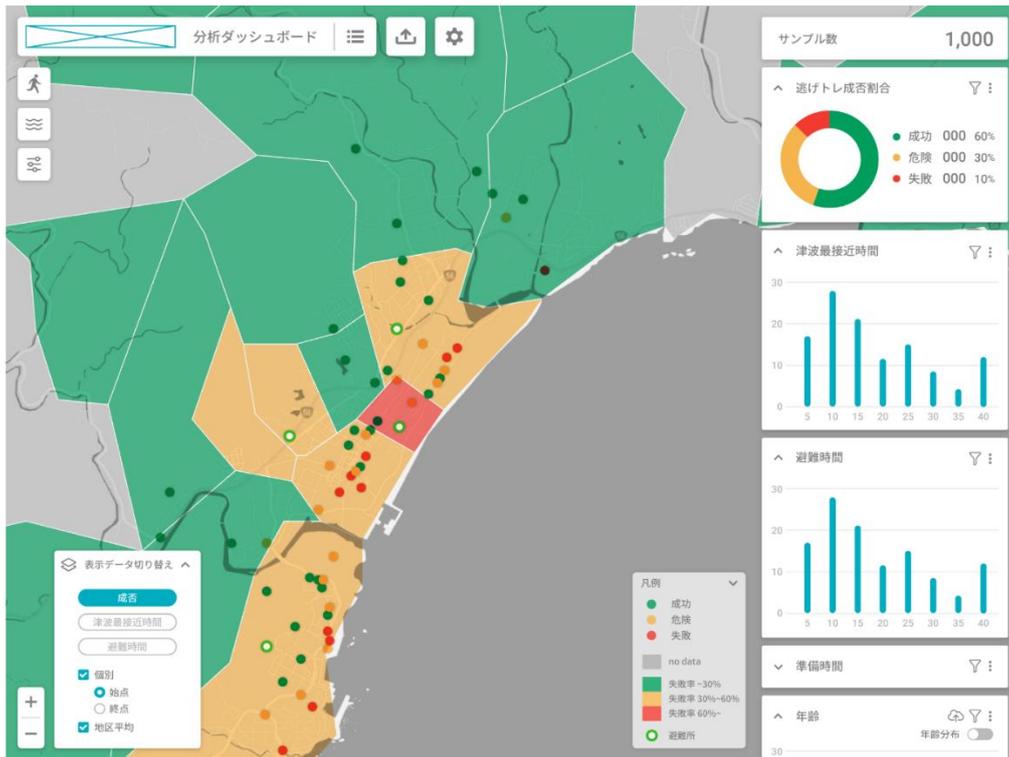


図 2-4-①-6 避難困難度の地区別診断・表示画面

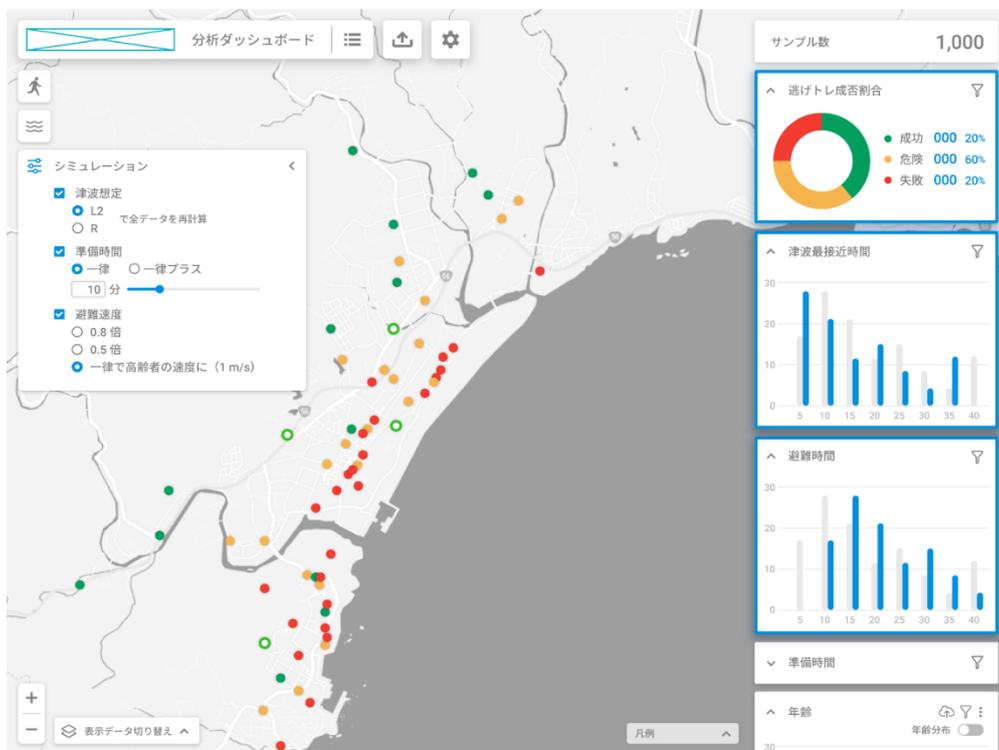


図 2-4-①-7 津波想定・準備時間・移動速度などの条件変更時のシミュレーション結果画面

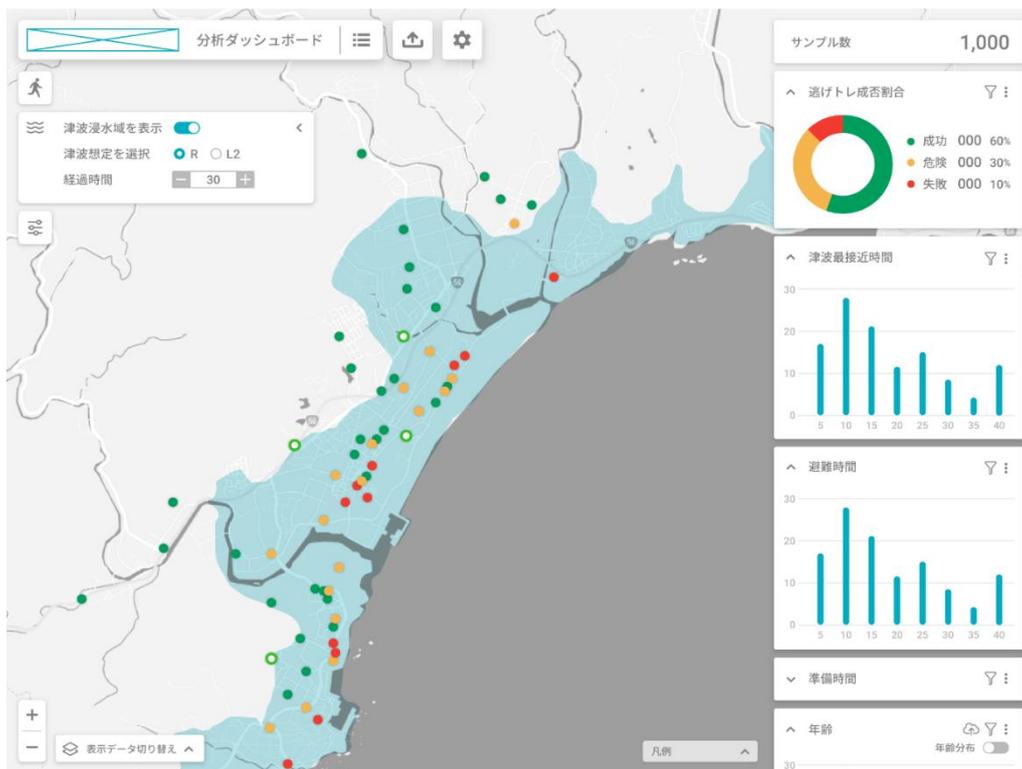


図 2-4-①-8 津波浸水想定とのオーバーラップ表示画面

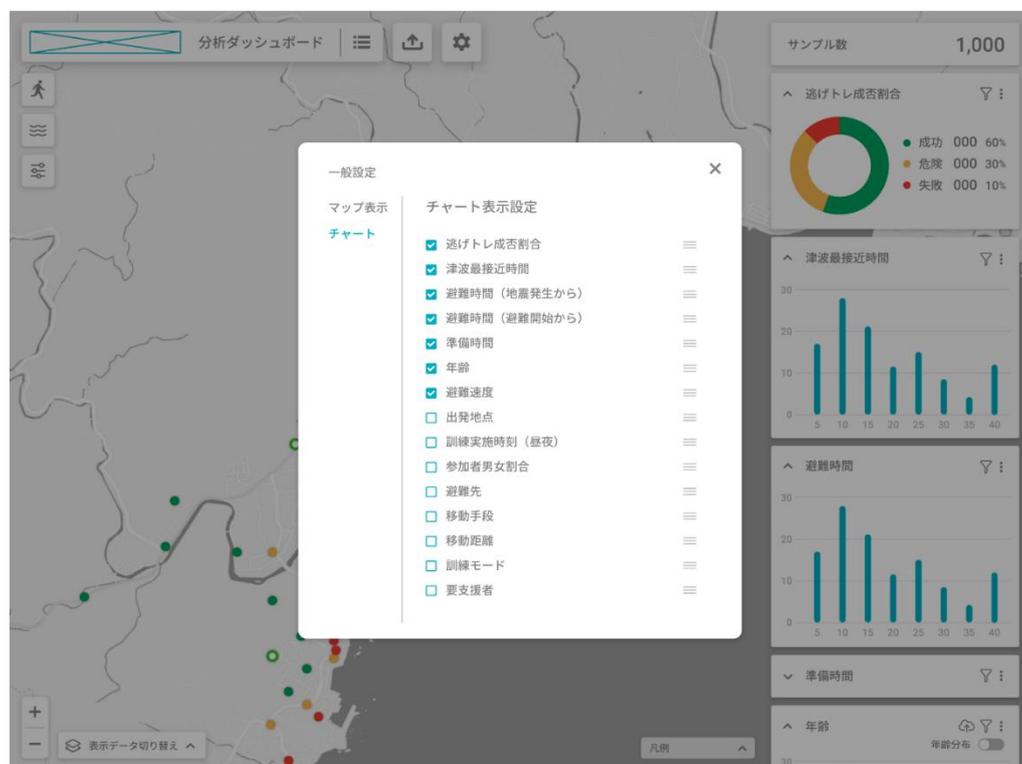


図 2-4-①-9 避難行動の分析結果のサマリー情報の表示画面

3) 「逃げトレ」の拡充

「逃げトレ」は、もともと、個人ユーザを対象に、個人として自らの津波避難上の課題を主体的かつ個人的に検証するためのツールとして開発したものである。そのため、現行システムにおいては、臨時情報発表時の事前避難の必要性の有無について集合的に（地域単位で）検証し体系的に分析するために必要な個人情報を収集することは考慮されていない。

しかし、『事前避難の要不要診断ツール』の構築にあたっては、いくつかの個人属性情報を把握しておくことが必要不可欠となる。特に、臨時情報発表時の事前避難は、内閣府のガイドラインにおいて災害時要支援者を中心に考慮することが望ましいとされているため、年齢や性別といったデモグラフィック要因に加えて、近隣住民や家族による避難支援の必要性の有無に関する情報が必要とされる。

この重要かつ慎重な取り扱いが求められる情報について、アプリ「逃げトレ」上で取得するのか、またその場合、どのような画面遷移で取得することが望ましいのか、あるいは、別途自治体等の協力を得て本人の同意のもと収集した情報と事後的にマッチングするのか、こういった諸方式の是非・可否について検討を進めた。その結果、パイロット版としては、アプリ上でユーザの承諾を得た上で取得する方法を採用することになり、まず、アプリのフローの全体を再構成し（図2-4-①-10）、その中に、ユーザの個人属性情報を取得するためのルーチーンを組み入れた（図2-4-①-11）。

なお、取得した個人情報の管理システムについても予備的な検討を進め、次年度の実証実験のための準備作業を実施した。



図2-4-①-10 アプリ「逃げトレ」の全体フロー（拡充後）



図 2-4-①-11 個人促成情報の取得・確認画面の流れ

(c) 結論ならびに今後の課題

基幹ツールである『事前避難要不要判断ツール』については、プロトタイプをもとに、事前避難の要不要の分析アルゴリズムを確定させ、「集合的避難行動の解析・表示システム」の分析結果の可視化手法を、「逃げトレ View」のプロトタイプの完成という形で完了させた。このことをもって、本年度の達成目標は 100%達成できたと自己評価している。

この開発研究と並行して、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」に、臨時情報発表時に想定される津波浸水想定（サブ課題 2 (g) と連携）など、複数の津波シミュレーションを新たに実装するため、パイロット版に搭載する「半割れ」ケースを確定させた。具体的には、「西先行・東後続パターン」と「東先行・西後続パターン」の 2 つのパターンを、『事前避難要不要判断ツール』とともに用いる「逃げトレ」に実装することとした。

さらに、「逃げトレ」本体の拡充に関する開発研究も予定通り進捗させた。具体的には、「逃げトレ View」で活用する個人属性情報（避難時の支援の必要性など）を同定するための仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定し「逃げトレ」を拡充した。

以上の開発研究とともに、実際のフィールド（高知県内の自治体）で「逃げトレ View」を中核とした『事前避難要不要判断ツール』の実証実験を来年度以降行うための準備作業を、現時点でも未だ認知度が低い臨時情報に関する普及啓発手法に関する研究とともに実施した。

今後の課題は、新しい動作フローを実装した「逃げトレ」（及び、必要に応じて、旧来の「逃げトレ」）から得られた訓練データを、プロトタイプを完成させた「逃げトレ View」にインプットし、解析アルゴリズムの妥当性やユーザ・インターフェースの適切性を、高知県内のテストフィールドで実証実験を通して検証し、その結果を基に「逃げトレ」及び「逃げトレ View」の改修をさらに進めることである。

(d) 引用文献

- 1) 藤原広行ほか：南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価－第一部本編－，2020. <http://doi.org/10.24732/nied.00002257>

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ地震の「臨時情報」発表時における事前避難分析ツールの開発－自治体職員に対するインタビュー調査を踏まえて－（口頭）	杉山高志・ 矢守克也・ ト部兼慎・ 西野隆博・ 中村洋光・ 土肥裕史	電子情報通信学会	令和3年5月28日	国内
Analysis of Regional Response to “Special Early Warning Information” on the Nankai Trough Earthquake（口頭）	Sugiyama, T. and Yamori, K	Integrated Disaster Risk Management (IDRiM) Society 2021 Conference	令和3年9月23日	国外
津波避難訓練のデータを用いた「臨時情報」発表時の事前避難分析ツールの開発（口頭）	杉山高志・ 矢守克也・ ト部兼慎・ 西野隆博・ 中村洋光・ 土肥裕史	日本災害情報学会 2021年度大会	令和3年11月27日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内外の別
南海トラフ地震の「臨時情報」発表時における事前避難分析ツールの開発－自治体職員に対するインタビュー調査を踏まえて－	杉山高志・ 矢守克也・ ト部兼慎・ 西野隆博・ 中村洋光・ 土肥裕史	信学技法, 121(49), 26-31.	令和3年6月	国内
「ポスト東日本大震災／プレ南海トラフ地震」について再考する	矢守克也・ 中野元太	自然災害科学, 40, 427-439.	令和4年1月	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②避難困難区域での「避難を可能にする」まちづくり方策の検討

(a) 業務の要約

津波防災まちづくりのツールとして開発された「逃げ地図」を元に、その課題の検証・改善方法の抽出を行い、避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策を検討するための仕組みの構築を行う。本年度は、テストフィールド（和歌山県串本町）において避難困難区域における事前避難のあり方について検討を行うとともに、「逃げ地図」ワークショップの本格実施に向けた知見を得るため、先行して実施している地域において先進事例調査、ワークショップ支援システムの改良・評価を行った。

(b) 業務の成果

1) 串本町における避難困難区域における事前避難のあり方について検討

避難困難区域からの避難を考える上で、臨時情報発令時に行政が適切に対応することが重要であり、行政対応の課題についての検討を行った。具体的には、串本町の行政職員 12 人が参加する「南海トラフ臨時情報発令時の対応を考えるワークショップ」を 2022 年 3 月 15 日（火）に開催、1) 南海トラフ臨時情報について講演（30 分）、2) 災害対策本部班（5 人）と現場・避難対象地域班（7 人）の 2 班に分けてグループワークという手順で検討を行った。グループ分けは、当該自治体の地域防災計画の職員体制に倣ったものである。参加者 12 人のうち 3 人が担当職員で、他はロールプレイング方式を採用し、職員体制の残りの役を他の職員が代理で務め、発生しそうな対応について考えることにした。特に、避難対象地域班は現場対応時に発生し得る現場のニーズについて検討を行った。表 2-4-②-1 に班分けと役割分担を示す。

表 2-4-②-1 班分けと役割分担

災害対策本部班 (計 5 人)	現場・避難対象地域班 (計 7 人)
<ul style="list-style-type: none"> ・総務課長 (★) ・福祉課長 (★) ・防災防犯課長 (★) ・こども未来課長 ・建設課長 	<ul style="list-style-type: none"> ・こども園職員 ・小学校教員 ・在宅高齢者 (☆) ・企業 (☆) ・観光客・一般住民 (☆) ・消防職員 ・福祉課職員

※「★」印は本人参加。「☆」印はWSで決めた役割。

検討は、『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）』（内閣府（防災担当）、令和3年5月一部改定¹⁾）に掲載されている「異常な現象を観測した場合の情報発表までの流れ」と「防災対応の流れ」をもとに、グループワークは大きく4つの時系列（①臨時情報発令時、②事前避難時、③警戒情報から注意情報に変わる1週間後、④注意情報の解除となる2週間後）を設定した。災害対策本部班と現場・避難対象地域班のフェーズごとの状況付与を表2-4-②-2と表2-4-②-3に示す。災害対策本部班では主に南海トラフの想定震源域内のプレート境界においてM8.0以上の地震が発生した場合（串本町で被害発生）と、それ以外の場合を想定して起こりえる対応について話し合うとともに休日や夜発生時についても検討を行った。現場・避難対象地域班では名古屋や三重で被害が発生しているが、串本では被害が限られている想定のもとで想定クレームや住民等からの質問、想定される状況・意見等について検討を行った。

表 2-4-②-2 災害対策本部班における状況付与

区分		状況付与（前提条件）			
		M8.0以上		M7.0以上	M7.0以下
		被害あり	被害なし	被害なし	被害なし
① 臨時情報発令	調査中	○	○	○	—
② 事前避難時	臨時情報発令 →注意対応	○	—	○	—
	臨時情報発令 →警戒対応	○	—	—	—
	警戒対応時	○	—	—	—
③ 警戒情報から注意情報に変わる 1週間後		○	○	—	—
④ 注意情報の解除となる 2週間後		—	—	—	○

表 2-4-②-3 現場・避難対象地域班における状況付与

区分		状況付与（前提条件）	備考
①臨時情報発令	調査中	平日・日中に発令（東海地震発生）	-
②事前避難時	臨時情報発令 →注意対応	地震 30 分後（平日日中・注意対応が発令）	-
	臨時情報発令 →警戒対応	名古屋や三重で被害、串本では被害は限られていると想定	-
	警戒対応時	1 週間の警戒対応となった場合（道路・人的被害もあると考えられる）	-
③警戒情報から注意情報に変わる 1 週間後		串本の被害は限られていると想定（東海で被害）	想定クレーム・質問／想定される状況・意見
④注意情報の解除となる 2 週間後		串本の被害は限られていると想定（東海で被害）	

ワークショップでの検討の結果、図 2-4-②-1 に示すような災害対応上の課題を得た。串本町の場合、昭和・安政のような時間差発生を考えると、両震源域に近いことからいわゆる「半割れ」の場合も、揺れ・津波の被害が発生しているということが特徴として挙げられ、1つの震源域のみによる被害が想定される地域とは異なる課題、例えば、実際に被災している人の救助をどうするのかといった実際に被害への対応も課題となった。

(災害対策本部)

災害対策本部	対応全般			建設部
	M8以上・被害あり	M8以上・被害なし	M7・被害なし	
臨時情報発令時	<ul style="list-style-type: none"> 調査中時点での住民からの問い合わせへの対応方法 調査中時点での災害対策本部の体制 沿岸部の状況を庁舎から確認する手段の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 警戒対応への移行が想定される中で、調査中の間の通常の避難を踏まえた避難指示の出し方の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 避難を呼びかけるかも含め、住民に対してどのような情報を発信するか 避難所開設に向けた動きはどうかの検討 	<ul style="list-style-type: none"> 調査中時点での道路関係の通行止め 情報発信方法、内容の検討
警戒対応時	<ul style="list-style-type: none"> 1週間の事前避難に向けた避難呼びかけの内容・方法 	<ul style="list-style-type: none"> 避難困難区域の防犯体制 役場職員の勤務体制 避難困難区域の通行止め可否、外部への交通手段 避難困難区域での救援活動、復旧活動の可否 1週間分の各避難所での物資確保方法 学校の休校 事前避難を拒む住民への対応方法 高台に釘付けとなる可能性がある観光客への対応 津波避難タワーなどに一時避難した人への対応 車避難・車中泊者への対応 病人、被介護者の移送、1週間の事前避難方法 	<ul style="list-style-type: none"> (平日中でない場合)臨時情報発令下での参集基準の検討 	
注意対応時	<ul style="list-style-type: none"> 自主避難継続希望者への対応 対応切り替えに当たっての住民へのアナウンス方法の検討 避難困難区域での放課、復旧を開始するに当たっての安全確保 被災状況の確認方法の検討 対応切り替えのタイミングの情報ルートの確認 	<ul style="list-style-type: none"> 自主避難となる中での避難所開設・運営、職員招集体制 注意対応下での学校等の通常業務体制の検討 		
日常	<ul style="list-style-type: none"> 復興作業に移行するにあたっての安全確保基準の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 町役場の本部体制 自主避難継続希望者への対応 学校や福祉施設などへの情報発信内容の検討 		

(避難対象地域)

現場・避難対象地域班	こども園	小学校教員	企画課・会計課職員	消防職員	福祉課職員	その他
臨時情報発令時	関係者(児童、保護者、要配慮者など)の行動指示、対応方法の検討		要配慮者情報の事前確認	被害状況に関する情報収集		土地勘のない方(観光客など)の行動指示
警戒対応時	関係者(児童、保護者、要配慮者など)の行動指示、対応方法	民間企業の事業継続・避難の行動指示	職員の出先などにおける従業員の安否確認方法と避難情報の周知	職員の出先などにおける従業員の安否確認方法と避難情報の周知	職員の出先などにおける従業員の安否確認方法と避難情報の周知	
注意対応時	関係者(児童、保護者、要配慮者など)の行動指示、対応方法の検討		一次避難→自主避難となったことへの呼びかけ・説明	自主避難に向けた避難所開設・避難対応方法の検討		
日常			避難解除が不明確な中での安全確保や、注意対応終了の説明方法の検討			

図 2 - 4 - ② - 1 串本町の災害対応における臨時情報発令時の課題

本年度の検討では、「逃げ地図」の成果も反映して住民の避難困難区域からの避難を考える上で重要な臨時情報発令時の行政対応の課題についての検討を行った。本年度の検討は課題の抽出にとどまっておらず、来年度以降、明らかになった課題をもとに具体的にどのような対応を行っていくのかについて検討を行う。

2) 「逃げ地図」WSの先進事例地の実績調査ならびにシステムの検証

本年度は住民参加型での「逃げ地図」ワークショップ実施についての知見を得るため先進的に実施している静岡県下田市朝日地区の先進事例調査を行うとともに、過去の実施事例をもとに「逃げ地図」ワークショップ開催支援システムの改良、システムの評価を行った。

調査対象地域の静岡県下田市朝日地区は2015年²⁾から「逃げ地図」の取り組みを実施しており、実施支援を行っている担当者に具体的な実施方法についての知見、実施する上での問題点、システム利用の可能性についてのインタビュー調査を行った。インタビュー結果の概要は

- ・朝日小学校地区では小学5年生が実施し、その後、実際に避難経路・避難場所のフィールドワークを行っている。
- ・小学生が作成した「逃げ地図」等の成果を地域の人々に発表している。
- ・地図ではわかりにくい高低差を、ジオラマ模型で説明することで理解が深まる。
- ・ワークショップ実施前に事前に主催者が「逃げ地区」作成を行っておく。
- ・ワークショップに利用する地図の制作が大変なこと

である。

また、先進実施地域での経験もふまえて改良を行うために静岡県のデータも取りこむみ(図2-4-②-2)、先行事例の経験を踏まえ、修正を行った。主な改良点は以下の通りである。1) 説明画面の文章、2) 避難目標地点の設定：バッファーを置くことで適切に設置することを可能にする。こういった改良を行った実施支援システムを先述の担当者にも提供を行っている。

『逃げシルベ』へようこそ！

『逃げ地図』は、津波からの避難時間が一目でわかる地図。

安全な高台までの避難時間を色分けする「逃げ地図」は、ワークショップ（体験型講座）などを通じ、様々な世代が安全に避難するための「話し合いの道具」として役立っています。

そうした「逃げ地図」を作成できるデジタルツール、『逃げシルベ』。

下地になる地図を選び、避難場所（および避難目標地点）をチェックし、ワンクリックすれば自動的に逃げ道（避難経路）を塗り分けてきます。既存の地図にはない新たな逃げ道（避難階段や避難通路）を追加することや、できなかった「逃げ地図」を印刷することもできます。



1 Step 1 2 Step 2 試してみる！

(説明画面)

逃げ地図を完成させよう！

☛ 一括設置・描画ツール

> 避難目標地点の一括設置 ①

周辺の浸水区域と道路の交点を自動的に判定し、「避難目標地点」を一括して設置できます。ただし、実行に負担と時間がかかります。

判定制限値 2

一括設置 一括リセット

> 逃げ道の一括描画 ②

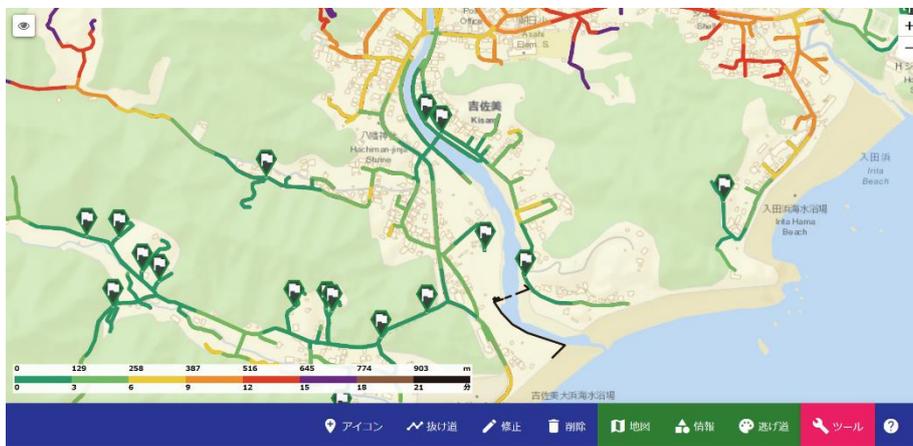
設置した画面内の「避難場所」と「避難目標地点」から、「逃げ道」を一括して描画できます。ただし、実行に負担と時間がかかります。

現在: 0 ヶ所

一括描画 一括リセット

閉じる

(避難目標地点の設定)



(避難到達点自動抽出) 静岡県下田市朝日小学校学区近郊

図 2-4-②-2 ワークショップ支援システム（修正版）

本年度、本格的な住民ワークショップ実施に必要な運営上の知見を得るため串本町において地域住民による「逃げ地図」ワークショップの「試行」によることを想定していたが、先進地域の下田市朝日小学校地区での調査により、実施上の知見、またシステムの改良のための知見を得ることができ、当初予定していた成果を得ることができた。また、ヒアリングから明らかになった事前の「逃げ地図」作成、さらには地図の印刷という準備に関する

る負担の軽減に大きく貢献することからその有用性が確認された。

(c) 結論ならびに今後の課題

テストフィールド（和歌山県串本町）において避難困難区域における事前避難のあり方について検討を行うとともに、「逃げ地図」については先行して実施している地域（静岡県下田市）において先進事例調査を行った。

その結果、住民の避難困難区域からの避難を考える上で重要な臨時情報発令時の行政対応の課題についての知見を得ることができた。また、先進地域での調査から、今後の「逃げ地図」ワークショップ本格実施を行うために必要な具体的な知見、過去の事例をもとに「逃げ地図」ワークショップ実施支援システムの改良、その有用性の確認を行うことできた。これはワークショップの試行による知見を得ることを予定していた成果である。

今後の課題として、明らかになった臨時情報発令時の行政対応の課題をどのように解決していくのか、また行政対応もふまえて地域で住民の具体的な対応（避難対応、まちづくり対応）を行うのかについての検討が残されており、来年度以降、取り組んでいく。

(d) 引用文献

- 1) 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）（令和3年5月一部改定），2021.
- 2) 逃げ地図づくりプロジェクトチーム編著：災害から命を守る「逃げ地図」づくり、ぎょうせい，2019.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし
- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

2. 5 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学減災連携研究センター	准教授	平山修久
	寄附研究部門特任准教授	都築充雄
	寄附研究部門特任助教	蛭川理紗
	産学協同研究部門特任准教授	菅沼淳
	産学協同研究部門特任助教	北川夏樹
	寄附研究部門特任教授	利藤房男
	寄附研究部門特任准教授	山崎雅人
	特任教授	新井伸夫
	特任准教授	倉田和巳
	センター長・教授	飛田潤
	助教	平井敬
	特任准教授	荒木裕子
	教授	福和伸夫
	教授	西川智
研究員	千葉啓広	
研究員	石原宏	
名古屋大学災害対策室	教授	護雅史
名古屋大学大学院工学研究科	教授	野田利弘
名古屋大学大学院環境学研究科	教授	富田孝史

(c) 業務の目的

既往の調査研究プロジェクト成果を考慮した南海トラフ地震臨時情報（以下「臨時情報」とする）発表時に製造業を中心とする地域産業活動が継続するために必要となる要素を構造化し、事前防災対策と事後対応を構成要素とした産業タイムラインモデルを構築し、都市インフラとサプライチェーンの回復力のリスク評価を行う。地域の人流、物流に対しては、地震センサー、停電情報や都市インフラのスマートデータ、自動車センサーによるプローブデータに対する減災情報利活用の高度化等を行い、臨時情報発表時の俯瞰的かつ総合的なリアルタイムでの社会様相モニタリング手法を開発する。サブ課題2 (g)で開発する地震防災基盤シミュレータと連携し、様々な階層における社会様相モニタリングデータを用いたリスク評価手法によるマルチエージェントの時間断面での行動と資源を取り入れた事態想定シミュレーション技法を開発し、社会萎縮回避や事前防災投資のための地域産業回復シナリオを作成し、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、情報提供できるようにする。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

産業タイムライン構築のため、必要な構成要素データを整備した。そのため、産業復旧タイムラインの都市インフラデータ（GIS）構築支援業務として、産業連関構造のモデル構築に関する調査・分析を行いつつ、災害時の社会状況モニタリングのための多様な情報共有システムの開発に取り組み、産業連関構造のモデル構築のためのデータを整備した。新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）による社会の活動委縮等と南海トラフ地震臨時情報発表時の社会の活動萎縮との相違を踏まえ、人流、物流のリアルタイムでの把握システムを網羅的に整理した。リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発として、リアルタイム震動モニタリング基盤システムを開発するとともに、リアルタイムでの社会様相把握のための加速度センサー計測ソフトウェアの開発に従事した。リアルタイム社会様相把握のためのデータの収集調査、分析を行った。愛知県西三河地域を対象として、西三河防災減災連携研究会、あいち・なごや強靱化共創センター、国土交通省中部地方整備局と連携し、南海トラフ地震での臨時情報発表時の特徴的な時間断面での災害対応の図上演習シナリオを検討するための場づくりとして、ワークショップを実施し、地域におけるモニタリング情報共有の協働参画手法を探求した。

2) 令和3年度：

産業復旧タイムライン構築に向けて、令和2年度に収集した構成要素データの拡張整備を行った。気象条件等の内生的な要因のほかに、社会情勢に起因したさまざまな外力の影響が電力需要量を左右していることを示した。そのうえで、地域産業の相互依存関係を抽出した。また、産業活動データを用いて産業への影響分析モデルを構築し、業種別のCOVID-19の影響を評価した。リアルタイムでの社会様相把握手法の開発のため、令和2年度に整備したリアルタイム振動モニタリングによりモニタリングデータの収集と社会様相との関連について検討した。産業活動に係る人流、物流のリアルタイム把握システムの構成を検討し、リアルタイムモニタリングの要素モデルを作成した。高密度・階層的な地震動モニタリングシステムを構築し、地盤条件の異なる近接2地点間の観測記録の差異を明らかにした。組織間を横断した災害情報共有の試行実験により、人的リソースと対応状況の効率的把握のための必要要素を示した。事態想定シナリオ構築に向けて、臨時情報発表時の社会萎縮に伴う事態想定シナリオのため、COVID-19の都市インフラリアルタイムデータからみた事態想定を検討を行った。名古屋大学減災連携研究センター、自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、ワークショップを地域研究会活動として実施した。地域におけるモニタリング情報共有の協働参画手法の検討として、巨大地図へのプロジェクションマッピングを用いて、南海トラフ地震発生時のさまざまなリスク等を共有するとともに、南海トラフ地震臨時情報発表時の事態想定を学び、その際の取るべき行動や事前準備について考え、関係機関の現状や課題を共有することで、関係機関の連携強化を図った。

3) 令和4年度：

産業タイムライン構築を目指して暫定的なサプライチェーンと都市インフラの回復力による地域リスク評価手法を開発する。社会様相把握手法の開発のため地域のモニタリングデータの高度化とその共有手法の開発を実施する。事態想定シミュレーション手法の構築のため事態想定シナリオ作成手法の高度化を行う。地域産業活動が継続するために必要となる要素を構造化し、暫定的なサプライチェーンと都市インフラの回復力による地域リスク評価を実施する。地域の種々のセンサーを活用したモニタリングデータの高度化と地域研究と協働し、共有促進のための環境整備を行う。臨時情報発表時のエージェントの事後対応を考慮した事態想定シミュレーションを実施する。

4) 令和5年度：

事態想定シミュレーションの開発を目指し、産業タイムラインモデルとリアルタイム社会様相把握のためのビッグデータ活用による事前防災対策と事後対応の地域リスク低減効果を定量的に評価する。そのため情報発信研究でのフィードバックに基づき、リアルタイムでのモニタリングデータの社会への情報提供手法を検討し、事態想定シミュレーションによる地域の回復力評価を実施し、臨時情報発表時の産業活動の萎縮回避のための具体的な事前防災投資による対策技術を検討する。

5) 令和6年度：

産業タイムライン作成手法の高度化を目指し、産業タイムラインの妥当性を検証する。リアルタイム社会様相把握手法の実践を目指して社会様相モニタリングデータの共有手法を標準化する。事態想定シミュレーション手法の社会実装を目指し、事態想定シミュレーションを実施する。社会萎縮回避や事前防災投資における産業タイムラインモデルの妥当性をシミュレーションにより検証する。具体的な地域やステークホルダーを想定し、産業活動回復力向上のためのリアルタイムでの社会様相モニタリングデータの共有手法を導出する。産業タイムラインと社会様相モニタリングによる事態想定シミュレーション手法の妥当性を検証、さまざまな階層での社会萎縮回避、事前防災投資方針を数値解析により検討する。

(e) 令和3年度業務目的

産業復旧タイムライン構築に向けて、令和2年度に収集した構成要素データの拡張整備を行うとともに、地域産業の相互依存関係を抽出する。リアルタイムでの社会様相把握手法の開発を目指す。そのため、令和2年度に整備したリアルタイム振動モニタリングによりモニタリングデータの収集と社会様相との関連について検討する。産業活動に係る人流、物流のリアルタイム把握システムの構成を検討し、リアルタイムモニタリングの要素モデルを作成する。

事態想定シナリオ構築に向けて、臨時情報発表時の社会萎縮に伴う事態想定シナリオのため、COVID-19の都市インフラリアルタイムデータからみた事態想定検討とともに、官民における時間的・空間的な階層での臨時情報発表時の対応に関するデータ収集を行う。地域におけるモニタリング情報共有の協働参画手法を探究する。

(2) 令和3年度の成果

①産業復旧タイムライン構築に向けた都市インフラデータ整備

(a) 業務の要約

産業復旧タイムライン構築に向けて、令和2年度に収集した構成要素データの拡張整備を実施する。気象条件等の内生的な要因のほかに、社会情勢に起因したさまざまな外力の影響が電力需要量を左右していることを、統計学的手法を用いて明らかにする。そのうえで、地域産業の相互依存関係を抽出する。また、産業活動データを用いて産業への影響分析モデルを構築し、業種別の COVID-19 の影響を評価した。

大規模災害時の国難や臨時情報発表時の社会活動の停滞を克服するためには、市民生活や社会経済活動の迅速な回復という観点からの水道システムの応急復旧戦略の検討が必要不可欠である。そこで本研究では、日々の応急復旧過程において断水人口や消火機能だけでなく、復旧過程における地域の経済機会損失も評価することのできる応急復旧戦略の評価手法を構築する。

COVID-19 以前の産業の生産水準に関する時系列データを利用し、COVID-19 が無かった場合の各産業の生産水準を予測するモデルを開発する。モデルの予測値、すなわち COVID-19 が無かった場合の生産水準と COVID-19 における実際の各産業の生産水準を比較する事により、COVID-19 が生産に与えた影響を定量的に明らかにする。分析により COVID-19 が生産に与えた影響は産業によって大きく異なることが定量的解析を行う。

(b) 業務の実施方法

実際に時系列データ分析を行って電力需要量の変動をモデル化し、産業の萎縮を含む各種の影響要因の存在について検証を試みた。なお、今年度業務では産業萎縮を引き起こす可能性のある変動要因（図2-5-①-1の④）として、2020年4月から5月にかけて発出された COVID-19 感染症の蔓延に伴い発令された「緊急事態宣言」を取り扱う。

離散的被害推定手法を用いた地震発生時における水道管網上の被害発生箇所の推定、被害推定水道管が地震発生後何日後に復旧するかを算出する応急復旧モデル、被害状態を反映させた管網解析を行い、水圧分布に基づきメッシュ単位での日々の断水率を求めたうえで、断水率から断水人口や消火機能とともに、電力や企業の建築物の被害も考慮した経経済機会損失を算出する機会損失評価モデルを構築する。

本研究では状態空間モデルと時系列データを用いて、いくつかの産業における COVID-19 の影響を定量的に把握する。本研究の特徴は自然災害（今回は COVID-19）の影響が無い場合の仮想の生産水準をシミュレートし、実際の生産水準と比較する事で自然災害の影響の定量的把握を試みる時系列データを解析する場合、データ間の自己相関を考慮した統計的手法が必要となる。こうした手法の1つに自己回帰モデル（Auto regressive モデル）とその拡張版の ARIMA モデル等のモデルが存在するが、近年ではよりモデルの解釈に重きを置いた状態空間モデルが利用されている。また状態空間モデルの状態変数を推定する手法としてカルマンフィルターが存在する。カルマンフィルターは状態変数に関して線形であり、その状態変数が従う確率分布が正規分布である状態空間モデルにおいて、その状態変数を推定することのできるアルゴリズムである。まず状態空間モデルについてその概要を説明する。状態空間モデルにおいて「状態」とは、ある変数について将来

の値を予測する上で必要な、過去の情報を集約した現在の情報である。

(c) 業務の成果

1) リアルタイム観測データを用いた産業活動の「萎縮」状態の想定

a) はじめに

南海トラフ地震臨時情報（以下、臨時情報）の対象地域における企業の対応については、現在もなお議論・検討が続けられているが、工場の操業停止や交通機関の運休等の措置が講じられることも考えられる。こうした産業活動の「萎縮」による影響が、サプライチェーンや人流の停滞を通じて、社会全体の萎縮に繋がることも容易に想像できる。こうした萎縮を予防、あるいは早期の解消を図るためには、産業の活性度についてリアルタイムでの把握を行い、速やかに打ち手を講じることが求められる。本テーマでは産業や市民生活に関わりが深く、リアルタイムに観測されるデータに焦点を当て、産業活動の状態をモニタリングすることを検討する。

令和2年度の業務ではまず、リアルタイムに観測が可能で、かつ産業活動への関わりが深いデータについて探索した。その結果、中でも電力需要量（電力事業者管内での、電力消費量）について、観測の即時性やデータの粒度（時間帯単位、1日単位での把握が可能）、産業への影響度等を勘案してモニタリングに有効である可能性を提示した。

令和2年度業務では観測したデータの活用可能性についても論じた。電力需要データは周期的な変動成分を持つ「時系列データ」であることが知られている。こうしたデータを取り扱う「時系列データ分析」の分野では、周期性を加味したモデリングや将来値の予測についても知見が蓄積されつつある。そこで本テーマでは電力需要データを用いた時系列データ分析を行い、同分析で提案されるデータの予測値と実測値を比較することで、両者の乖離を示す「異常値」を感知することを提案した（図2-5-①-2のイメージ）。

加えて、リアルタイム観測データ（今回の場合は電力需要データ）への影響要因について探索し、異常値を引き起こす要因を探索することを提案した（図2-5-①-2のイメージ）。

今年度の業務では実際に時系列データ分析を行って電力需要量の変動をモデル化し、産業の萎縮を含む各種の影響要因の存在について検証を試みた。なお、今年度業務では産業萎縮を引き起こす可能性のある変動要因（図2-5-①-2の④）として、2020年4月から5月にかけて発出されたCOVID-19感染症の蔓延に伴い発令された「緊急事態宣言」を取り扱う。

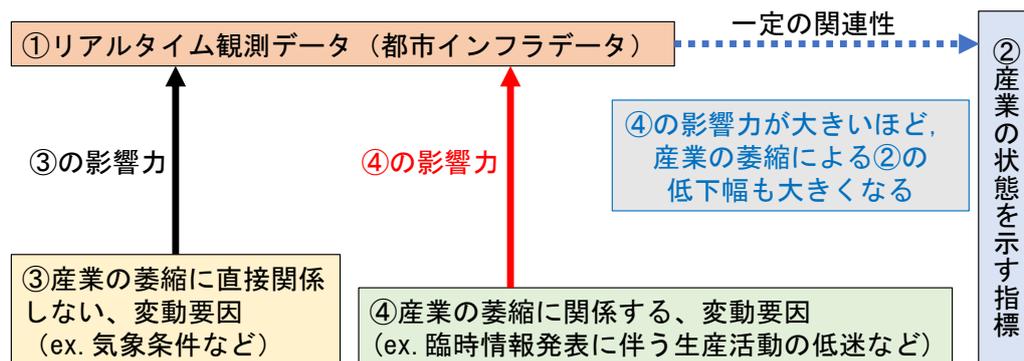


図 2 - 5 - ① - 1 産業萎縮の要因把握イメージ

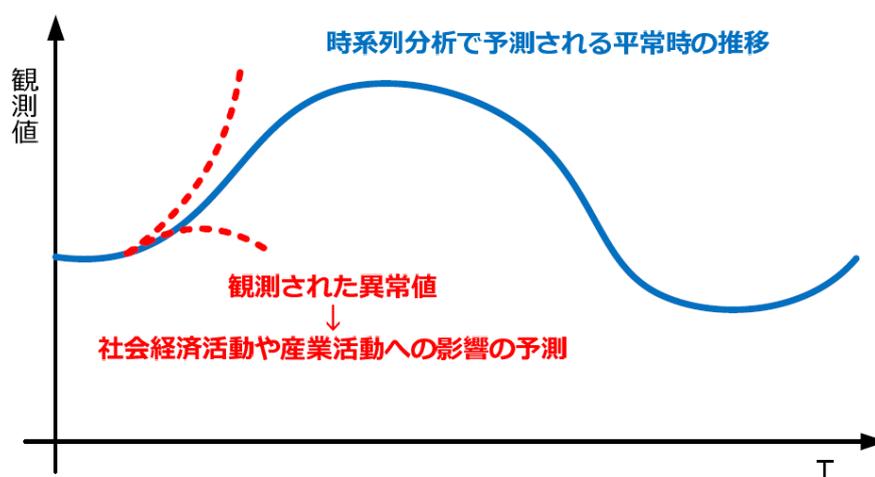


図 2 - 5 - ① - 2 時系列データ分析による異常値感知のイメージ

緊急事態宣言の発出下では、事業者（特定の業種を除く）への「出勤者の4割減少」が政府から要請され¹⁾、外出の自粛やテレワークをはじめとする勤務形態の変化が推奨された。当該の状況変化に伴い、事業を一時的に中止・縮小した事業者も少なくはない。当該事例は本テーマの対象とする、臨時情報をもたらす社会的な影響とは本質的に異なるものの、「産業に物理的な被害が生じていない状況で、産業の不活性化をもたらす」可能性がある点では類似していると考えられる。については今回の分析が、臨時情報発表時の社会や産業の様相を想像する上で参考となる知見を提供しうると考えた次第である。

b) 分析用データの整理

時系列データ分析で用いる、各種データについて説明する。

i) 電力需要量

電力需要量については、中部電力（株）管内の需要量を参照した。中部電力パワーグリッド（株）のホームページ²⁾から、5つの県（愛知・岐阜・三重・静岡・長野）へ電力を供給する中部電力（株）を含むすべての電力事業者の過去の電力需要量入手して分析対象とした。

図2-5-①-3に2018年～2020年の3月～6月における同社の電力需要量の推移を図示する（1日単位、単位は万kWh）。年毎に違いはあるものの周期的な変動を繰り返しており、時系列データとしての分析の余地があることが確認できる。

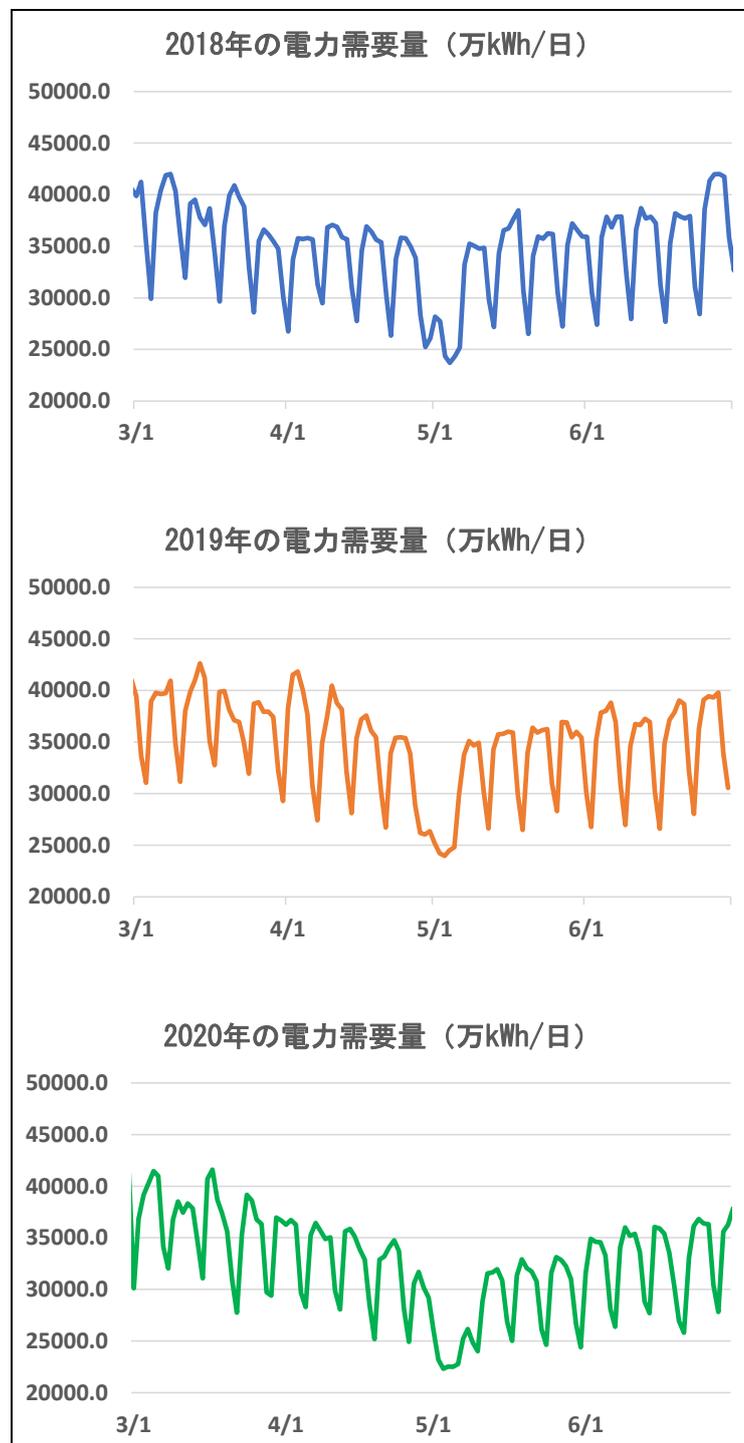


図2-5-①-3 電力需要量の推移（2018年1月1日～2020年6月30日）

今回の業務で電力消費量の低減要因として考慮する緊急事態宣言が発出された2020年と、他の年とで電力需要量の比較を行う（緊急事態宣言は複数回発出されて

いるが、今回の分析対象は2020年4月～5月にかけての「第一次緊急事態宣言」とする。3か年の「4月10日～5月31日（愛知県における緊急事態宣言の発出期間。ただし、同県による“独自宣言”の期間も含む）」における電力需要量の1日あたり平均値（表2-5-①-1に、各年の値を示す）に対してMann-WhitneyのU検定を実施した結果、2020年の値と2018年・2019年の値の間には統計的有意差が確認された。一方で2018年と2019年の値には有意差が確認されず、3か年の中では2020年のみが低い値であることが明らかとなった。

表2-5-①-1 各期間における電力需要量の平均値

年	期間	電力需要量（万 kWh）
2018	2018年4月10日～5月31日	32673.5
2019	2019年4月10日～5月31日	32663.5
2020	2020年4月10日～5月31日	29443.4

今回の時系列分析では電力需要量を従属変数として取扱い、以降で示す独立変数による影響の有無について検証する。電力需要量を従属変数とするに際し、本業務では「①2018年3月1日（木）～6月30日（土）」、「②2019年3月1日（金）～6月30日（日）」、「③2020年3月1日（日）～6月30日（火）」を繋げて1つの時系列として扱うが、このままでは曜日が不連続となってしまう、電力需要量の持つ周期性が崩れかねない。

そこで、①と②の間に「2018年7月1日（日）～2018年7月5日（木）」、②と③の間に「2019年7月1日（月）～2019年7月6日（土）」を追加し、計377日間の電力需要量を従属変数として取り扱うこととした。

ii) 平均気温

気象条件の中でも、気温は電力需要量に影響を及ぼす要因として知られる。本研究の令和2年度業務でも、各電力会社の電力需要量の変動と気温の変動を見比べ、冬季は気温が低いほど、夏季は気温が高いほど電力需要が増加する傾向を確認している。

そこで今回の時系列データ分析では、名古屋地方気象台の平均気温³⁾を独立変数の一つとして位置づけることとした。

iii) 平日/休日

平日か、あるいは休日（土・日曜日及び祝日）であるかの違いにより電力の使用状況に大きな違いが生じるため、同じく独立変数の構成要素として取り扱う。

iv) 緊急事態宣言の有無

今回の分析の主目的である、緊急事態宣言の有無についても独立変数として考慮する。

なお、緊急事態宣言の有無を先述の「平日/休日」と合わせて考えると、図2-5-①-4のような場合分けを示すダミー変数が設定できる。

「休日・宣言無し」ダミー：休日（土日祝）かつ、緊急事態宣言発出の無い場合に1、それ以外の場合0を示す。
「平日・宣言有り」ダミー：平日かつ、緊急事態宣言発出の有る場合に1、それ以外の場合0を示す。
「休日：宣言有り」ダミー：休日（土日祝）かつ、緊急事態宣言発出の有る場合に1、それ以外の場合0を示す。
※上記のダミー変数がいずれも0の場合、「平日かつ、緊急事態宣言発出の無い場合」を示す。

図2-5-①-4 場合分けに関するダミー変数

以上を踏まえ、今回の分析で想定する因果構造を図2-5-①-5に示す。

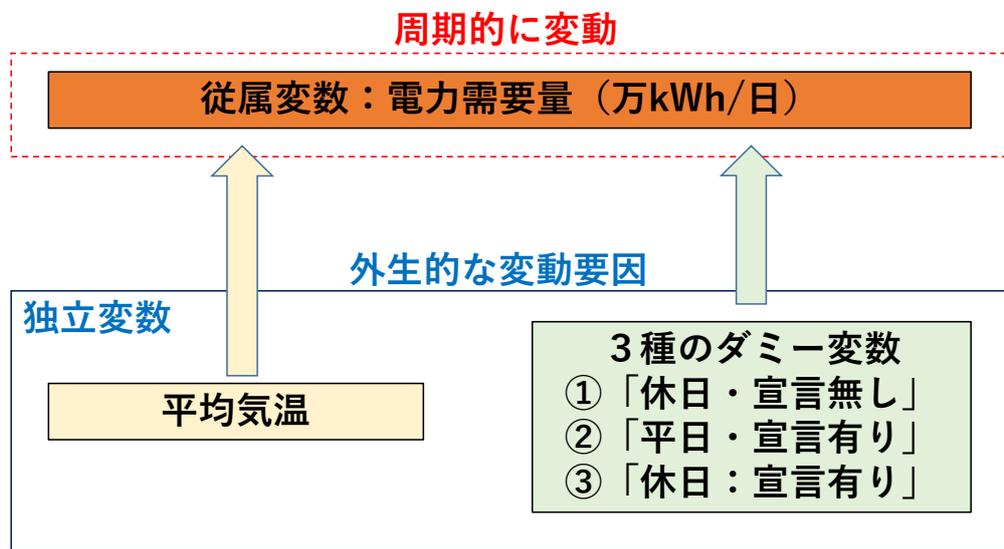


図2-5-①-5 時系列分析で想定する因果構造

c) 分析の実施及び結果の考察

i) 周期的な変動部分について

ARIMA (Auto-Regressive integrated moving-average) モデルは、時系列データを自己回帰 (p, P)、差分 (d, D)、移動平均 (q, Q) の3モデルを用いて複合的に表現したものである。ARIMAモデルの一般形である、 $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)[s]$ のうち、 (p, d, q) は季節に無関係な要素、 (P, D, Q) は季節性を持つ要素である。 s は周期を表すが、本研究では電力需要量が曜日とともに変動していることを踏まえ、 $s=7$ (7日間)としている。季節性を考慮したARIMAモデルはSARIMAモデルと呼ばれる。本研究では時系列分析にあたり、統計分析ソフトIBM SPSS Forecastingを使用した。時系列分析では時系列データの周期性をモデル化する際、自己相関や偏自己相関を考慮したモデル次数の同定を行う必要があるが、同ソフトウェアのエキスパートモデラーを用いるとこれらの検討を機械的に実施することができる。エキスパートモデラーによるモデル次数の同定の結果、 $ARIMA(2,0,1)(0,1,1)$ モデルが提案された。

自己回帰の次数 (p, P) は、過去の観測値が及ぼす影響を表す。今回の ARIMA モデルでは $p=2, P=0$ であるため、電力需要量は 1 日前と 2 日前の値に影響を受けていることを示すモデルとなっていることがわかる。差分の次数 (d, D) は、 t 時点での電力需要量と、 q 期前の電力需要量の差 $y_t - y_{t-q}$ がモデルの説明項となっていることを示す。今回提案された ARIMA モデルでは $d=0, D=1$ である。 D は周期単位であるため、ある時点 t における電力需要量は、当該の値と 1 周期前 (7 日前) との値の差分によって説明される。移動平均の次数 (Q, q) は、 t 時点での電力需要量が当該時点及び過去のホワイトノイズに影響を受ける状態を表現したものである。今回の ARIMA モデルでは $q=1, Q=1$ であり、1 日前及び 1 周期前までのホワイトノイズが t 時点の電力需要量に影響していることが示唆されている。

ii) 外生的な要因について

電力需要量は先述の ARIMA モデルに、独立変数を用いた回帰式を足すことで説明される。

エキスパートモデラーで提案されたモデル ARIMA(2,0,1)(0,1,1)を採用しつつ、すべての独立変数を強制投入する形で時系列分析を行い、各変数の影響力を確認することとした。表 2-5-①-2 に、本研究における時系列分析の結果を示す。

表 2-5-①-2 の通り、4 つの独立変数のうち「平日宣言有り」のダミー変数が統計的有意 ($p < 0.05$) となった。また、「休日宣言有り」のダミー変数は有意水準を満たさなかったが、統計的有意傾向 ($p < 0.1$) を示した。これらの結果から、緊急事態宣言が発令されていた期間は平常時と比較して電力需要量が低減しており、特に平日では 660 万 kWh 前後の低下があったことが示唆された。

表 2-5-①-1 の通り、2020 年の 4 月 10 日～5 月 31 日の電力需要量は過去の同一期間と比較して、1 日平均で 3,200 万 kWh 程度低下していた。ダミー変数のパラメータ推定値からは、今回の分析結果はこの低下幅のうちおよそ 2 割が、緊急事態宣言の発出という外生的な要因によるものであると判断することができる。ただし、これは独立変数による説明項のみによる影響である。先述の通り、ARIMA モデルによる説明項では過去の電力需要量が現在の電力需要量に影響を及ぼすことが表現されている。過去の電力需要量が緊急事態宣言により低い値であった場合、その影響で現在の電力需要量がさらに低下していた可能性があることを補足する。

表 2-5-①-2 時系列分析の結果

時系列分析結果 ($R^2=0.825$)		パラメータ 推定値	有意確率
定数		-10.868	0.958
AR	ラグ1	0.564	0.002 ***
	ラグ2	0.300	0.079 *
MA	ラグ1	-0.563	0.000 ***
季節差分		1	
MA, 季節性	ラグ1	0.948	0.000 ***
平均気温	ラグ0	0.487	0.964
休日宣言無し	ラグ0	-0.686	0.965
平日宣言有り	ラグ0	-666.344	0.025 **
休日宣言有り	ラグ0	-549.705	0.060 *

*** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$

d) 他電力事業者の管轄エリアでの追加検証

前節では、中部電力管内における電力需要量の時系列分析を行ったが、本節では、その他9電力（北海道電力⁴⁾、東北電力⁵⁾、東京電力⁶⁾、北陸電力⁷⁾、関西電力⁸⁾、中国電力⁹⁾、四国電力¹⁰⁾、九州電力¹¹⁾、沖縄電力¹²⁾）においても同様に時系列分析を行った。

時系列分析の結果について、結果一覧を表2-5-①-3に示す。分析結果として、東京電力、中部電力（愛知県独自緊急事態宣言間）、関西電力エリアにおいて、独立変数のうち「平日宣言有り」、「休日宣言有り」のパラメータ推定値が負、かつ、統計的有意傾向($p<0.1$)もしくは統計的有意($p<0.05$)を示した。これより、緊急事態宣言が発令されていた期間は、平常時と比較して電力需要量が小さくなったことが示唆された。

東京電力エリアに着目すると、緊急事態宣言が発令されていた期間は、平常時と比較して、平日では1,282万kWh、休日では1,413万kWh電力需要量が小さくなったことが示唆された。東京電力エリアの2020年と2019年の緊急事態宣言発令間における電力需要量の差は3,785万kWhであるため、この差の約71%が、第一次緊急事態宣言の発令というイベントを用いて説明できたことを表している。なお、同割合は、中部電力（愛知県独自緊急事態宣言間）で38%、関西電力エリアで40%であった。

中部電力エリア（愛知県独自緊急事態宣言間）に着目すると、ARIMAモデルを含んだモデル全体の決定係数は $R^2=0.825$ と、他のエリアに比べて比較的大きい。これは、電力需要量の変動の8割強を、時系列データの周期性、気温、緊急事態宣言、土休日、及び、緊急事態宣言の有無によって説明可能であることを表している。

表 2-5-①-3 時系列分析の結果一覧

電力会社	主要都市	第一次緊急事態 宣言期間	ARIMA分析					
			休日宣言無し		平日宣言有り		休日宣言有り	
			推定値	有意確率	推定値	有意確率	推定値	有意確率
北海道	(札幌)	4/16-5/25	6.193	0.117	1.978	0.883	-5.300	0.751
東北	(仙台)	4/16-5/14	-7.247	0.352	222.952	0.234	242.689	0.257
東京	(東京)	4/7-5/25	-25.652	0.422	-1282.886	0.065	-1413.162	0.045
北陸	(金沢)	4/16-5/14	-0.572	0.893	106.369	0.183	122.620	0.168
中部	(名古屋)	4/16-5/14	-5.808	0.720	274.705	0.453	534.778	0.195
中部	(名古屋)	4/10-5/31(県独自含む)	-0.686	0.965	-666.344	0.025	-549.705	0.060
関西	(大阪)	4/7-5/21	-23.263	0.651	-438.104	0.024	-442.932	0.037
中国	(広島)	4/16-5/14	-10.365	0.200	-4.810	0.978	85.079	0.653
四国	(松山)	4/16-5/14	0.406	0.864	-15.801	0.791	-36.349	0.590
九州	(福岡)	4/7-5/14	-6.811	0.499	-188.765	0.253	-172.478	0.312
沖縄	(那覇)	4/16-5/14	-77.054	0.000	-8.124	0.742	-13.211	0.678

電力会社	主要都市	第一次緊急事態 宣言期間	ARIMA分析			
			ARIMAモデル	定常R2乗	平均気温	
					推定値	有意確率
北海道	(札幌)	4/16-5/25	ARIMA(2,1,1)(0,1,1)	0.449	1.293	0.032
東北	(仙台)	4/16-5/14	ARIMA(1,0,2)(0,1,1)	0.782	-6.576	0.288
東京	(東京)	4/7-5/25	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)	0.720	-20.835	0.350
北陸	(金沢)	4/16-5/14	ARIMA(1,0,1)(0,1,1)	0.824	0.826	0.794
中部	(名古屋)	4/16-5/14	ARIMA(2,0,1)(0,1,1)	0.824	2.510	0.825
中部	(名古屋)	4/10-5/31(県独自含む)	ARIMA(2,0,1)(0,1,1)	0.825	0.487	0.964
関西	(大阪)	4/7-5/21	ARIMA(0,0,2)(0,1,1)	0.739	124.670	0.000
中国	(広島)	4/16-5/14	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)	0.785	-0.296	0.961
四国	(松山)	4/16-5/14	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)	0.751	5.052	0.013
九州	(福岡)	4/7-5/14	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)	0.739	21.598	0.011
沖縄	(那覇)	4/16-5/14	ARIMA(0,1,4)(1,0,1)	0.284	5.695	0.000

e) 産業用、民生用の電力需要量に関する分析

本節では、電力需要を産業用と民生用の電力需要量に区分し、その割合について分析を行った結果について述べる。分析対象とする電力エリアは、時系列分析の結果、ARIMA モデルの説明力が高いと思われる中部電力、北陸電力、沖縄電力エリアに比較参考として九州電力エリアを加えた4エリアとする。

電力需要量の区分は、経済産業省資源エネルギー庁の公表する高圧、低圧等の電気契約の種別ごとの電力需要実績¹³⁾より、以下のように仮定する。電力需要実績は月毎にとりまとめられているため、月毎に割合を比較する。

- 産業用：その他需要(自由料金)の特別高圧、高圧、低圧のうち「電力」
特定需要(経過措置料金)のうち「電力」
- 民生用：その他需要(自由料金)の低圧のうち「電灯」
特定需要(経過措置料金)のうち「電灯」

産業/民生別の電力需要量及びその割合について、表 2-5-①-4 ~ 2-5-①-7 に示す。

表 2-5-①-4 中部電力エリアの産業/民生別の電力需要量と割合

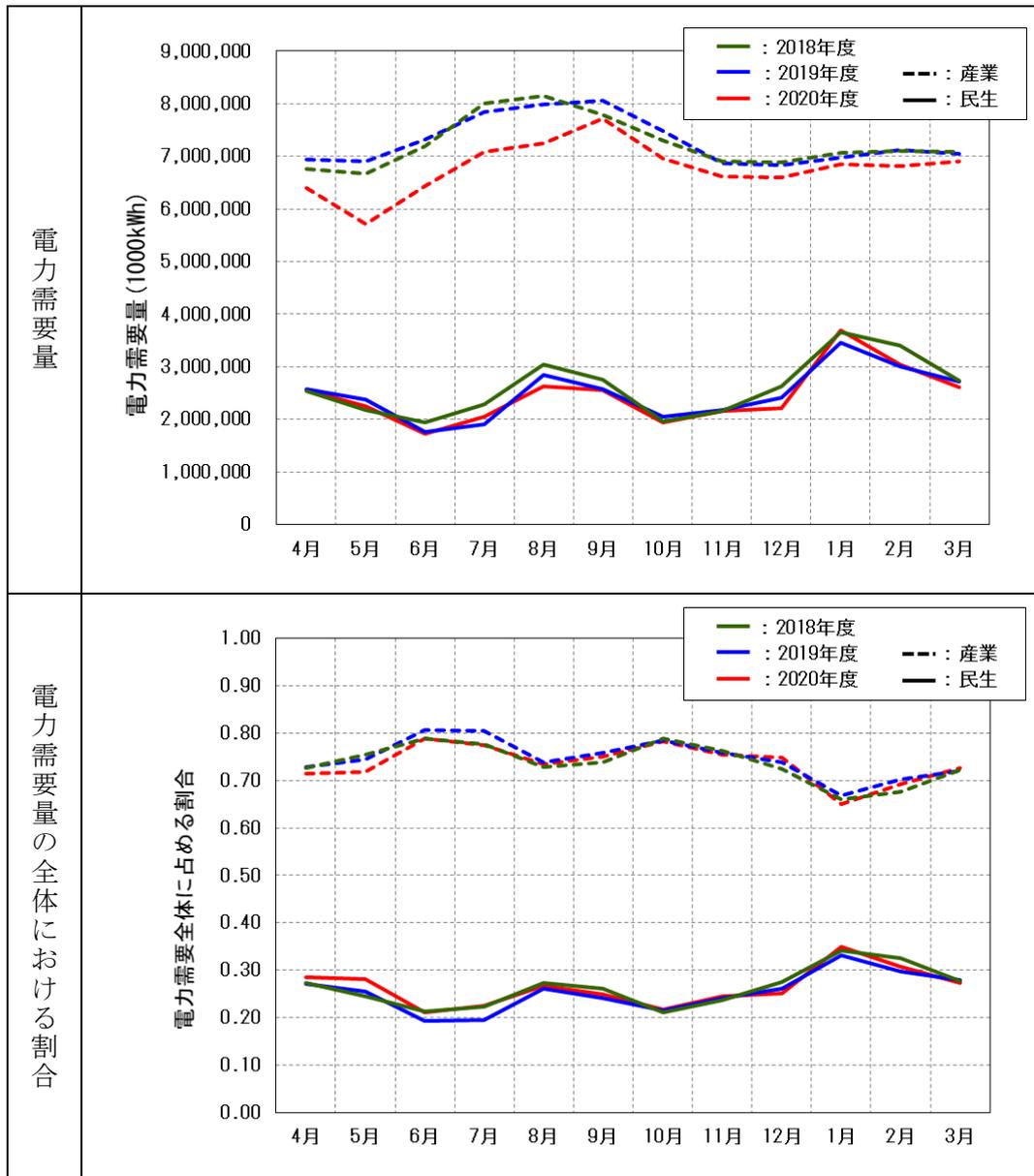


表 2-5-①-5 北陸電力エリアの産業/民生別の電力需要量と割合

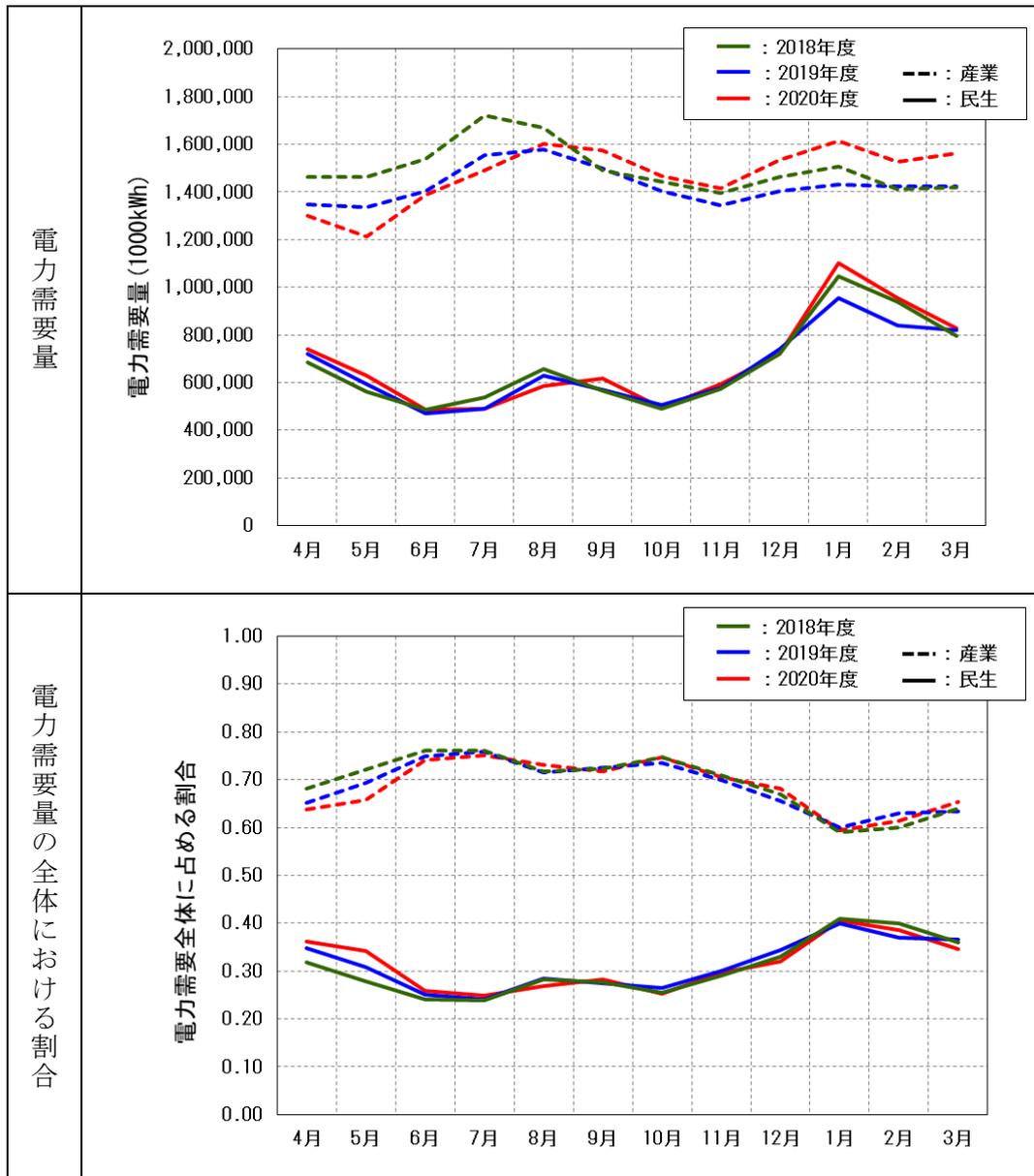


表 2-5-①-6 沖縄電力エリアの産業/民生別の電力需要量と割合

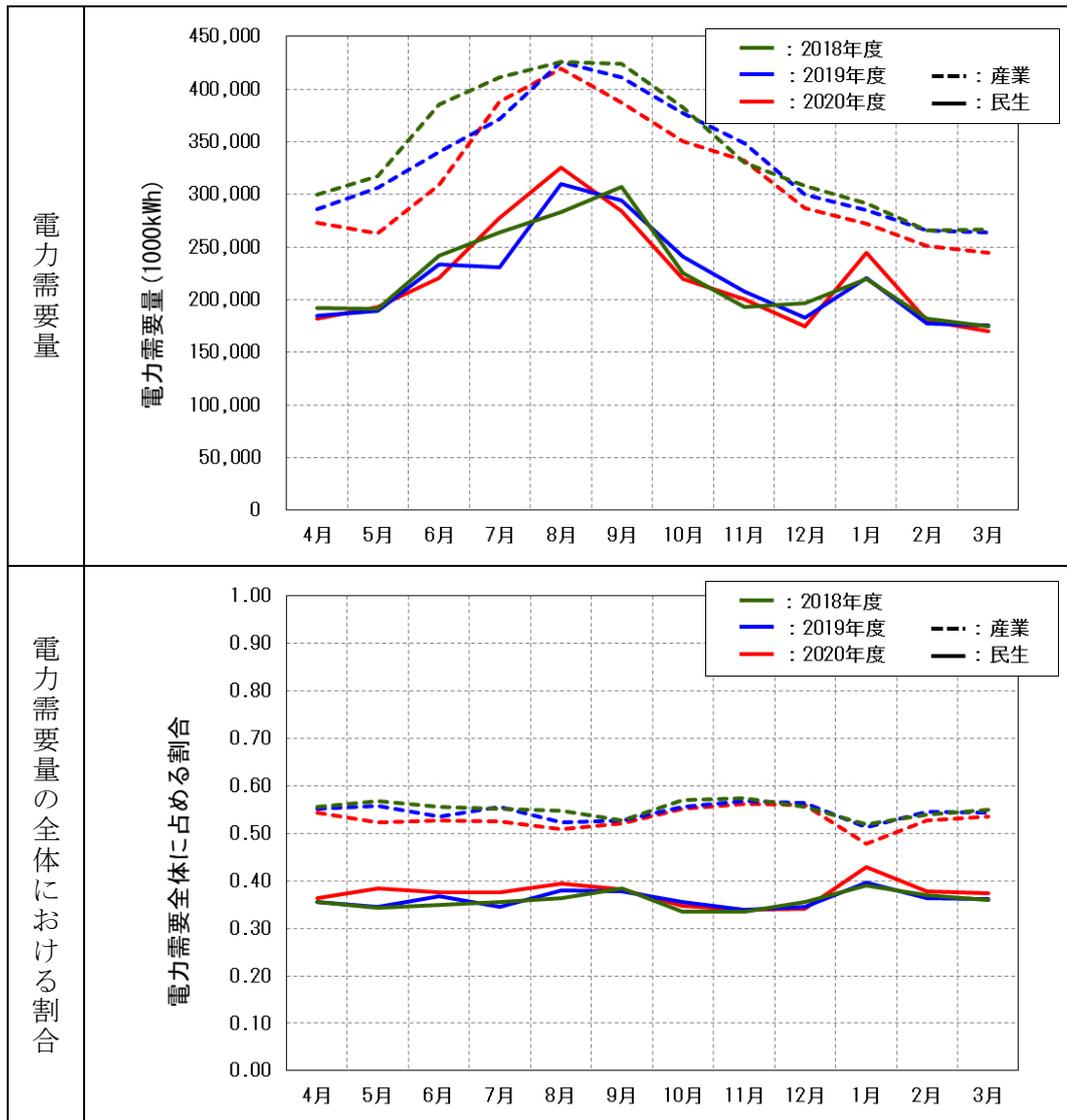
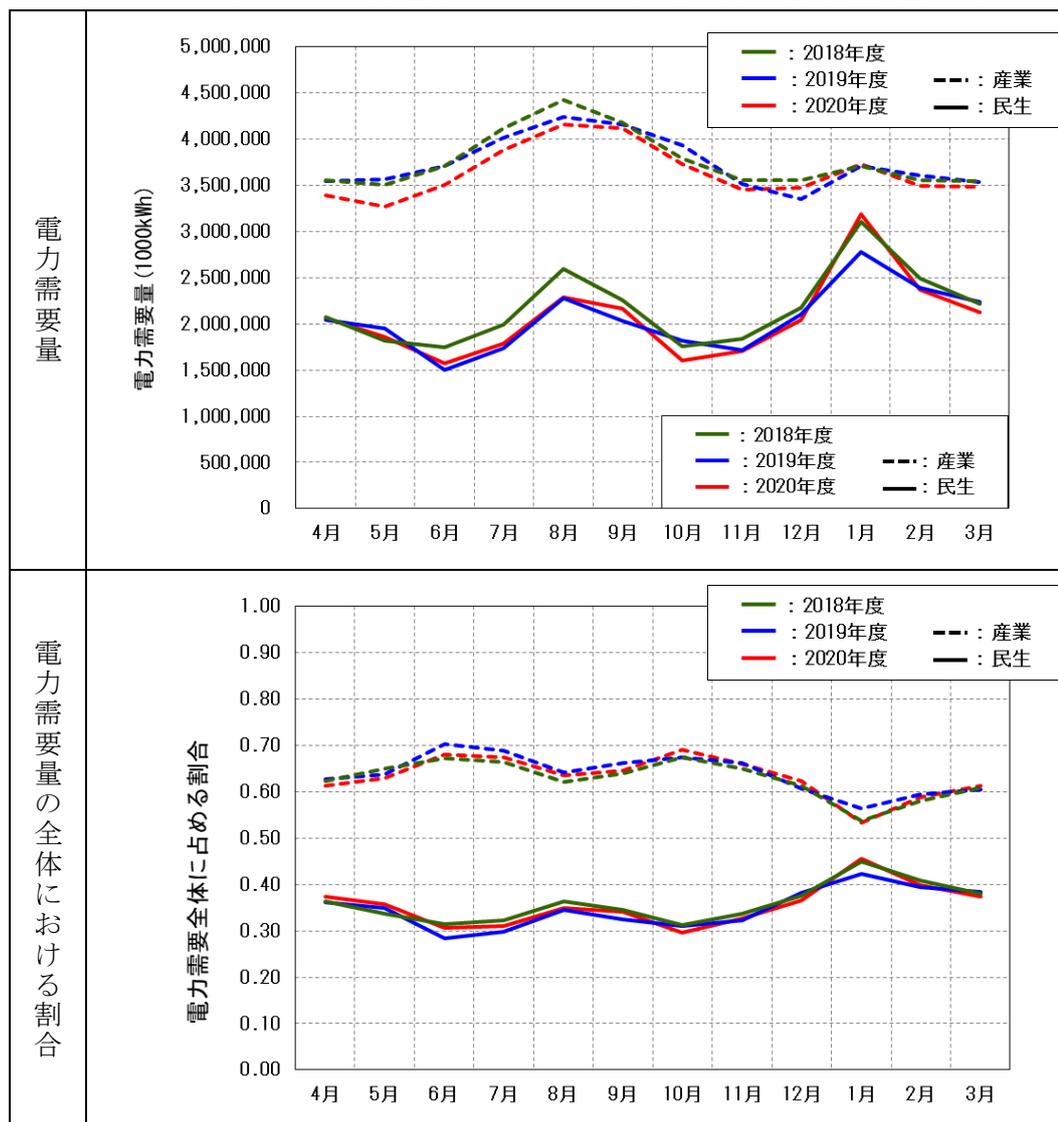


表 2-5-①-7 九州電力エリアの産業/民生別の電力需要量と割合



産業用の電力需要量に着目すると、何れのエリアにおいても2020年5月の電力需要量は2018年、2019年の5月に比べて小さくなっており、2020年4月に比べても小さくなっている。加えて6月には再び大きくなっていることから、2020年5月の電力需要量の低下には緊急事態宣言発令の影響が考えられる。なお、この傾向は民生用の電力需要量には確認できない。

中部電力エリアに着目すると、上記の傾向に加えて、2020年5月～8月の電力需要量は2018年度、2019年度の同期間に対して1割以上小さい。中部電力エリアでは自動車産業をはじめとした産業活動が盛んな地域であるが、緊急事態宣言発令、及びそれ以降の社会情勢の変化により、産業活動が抑制された可能性が考えられる。

これらの結果から、今後、新たな説明変数を用いた分析、地域をさらに絞った局所的な分析、特定の産業に着目した分析を行うことも、より精度の高い結果を得るために有効であると思われる。

f) 産業への影響の概観

図2-5-①-2で示した通り、本テーマではリアルタイム観測データと産業活動の活性度に影響を及ぼしていることを仮定した上で、前者を観測する中で産業活動の萎縮を認知することを狙いとしている。

ここではまず、c)でモデル化した中部電力(株)管内の電力需要データと、中部地方の主要産業である自動車産業の活性度を示す指標との間の関連性について検証する。

令和2年度の業務では、電力をはじめとしたインフラデータと産業との繋がりを概観する資料として「産業連関表」に言及した。愛知県の公表する同資料¹⁴⁾を参照すると、県内で多くの電力が自動車産業で消費されていることが伺える。図2-5-①-6は、産業連関表における「電力産業(4611※同表における通し番号、以下も同様。)」から「自動車部品・同付属品(3531)」への主な資源投入の経路を示したものである。電力産業からの直接的な投入額は112,551百万円であり、これは電力産業が内生部門に投入している総額の9.8%に相当する。また、「卸売(5111)」、「産業用電子機器(3311)」、「プラスチック製品(2211)」、「鑄鍛造品(鉄)(2631)」、「その他の非鉄金属製品(2729)」は「自動車部品・同付属品(3531)」への投入量が多い上位5産業であるが、これらを経由した間接的な投入量も考慮すべきである。例えば卸売(5111)の場合、同産業への投入割合である1.7%と、同産業からの投入割合22.6%を乗じた0.3%が、間接的な投入量と推計できる。5つの産業を経由した間接投入の割合は4.4%であり、直接・間接合わせた約14.2%が電力産業から自動車産業へ投じられている状況が確認できる。

赤字の数値は、電力産業からの投入量を示す。
 緑字の数値は、中間産業（卸売～その他非鉄金属製品）からの投入量を示す。
 数値の単位は百万円、カッコ内数値は当該産業の内生部門への投入に占める割合を示す。

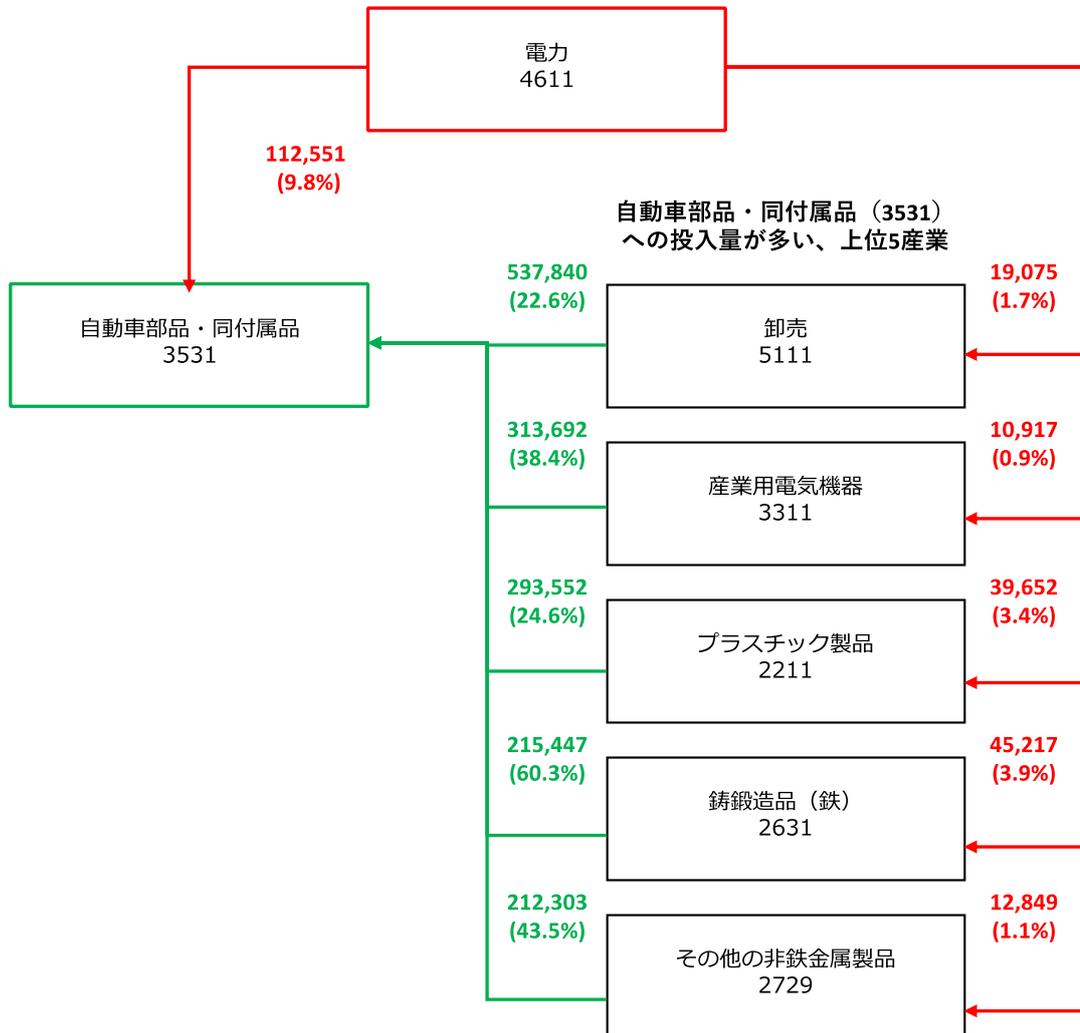


図 2-5-①-6 電力部門を起点とした、自動車産業への投入マップ

続いて、電力需要量と産業活性度の関係性についても考察を行う。令和2年度業務では、産業の活性度を示す指標の一つとして、生産量について言及した。参考文献¹⁵⁾では愛知県内における各産業の生産指数（2015年を100とした場合の、生産量の増減）について月毎に公表されている。自動車を含む「輸送機械工業」の指数と中部電力（株）管内の電力需要量（月平均、期間は2018年1月～2020年12月）との間で相関分析を行ったところ、正に有意な相関関係（Pearsonの相関係数：0.368、有意確率 $p=0.027$ ）にあることが示唆された。この結果は、表2-5-①-1のように電力需要量が前月比で1割減少している状況が見られた場合、輸送機械の生産額がおよそ3.7%低下することを意味する。

無論、電力需要の減少が各産業の活性度に一様に影響するわけではない。実際に緊急事態宣言下の業況感¹⁶⁾を見ると、業種別に大きくばらつきが出ていることには注意する必要がある。このような注意点はあるものの、今回の検証結果は、電力需要量

をモニタリングすることで産業への影響を推定できる一定の可能性を示すものといえる。

2) 産業タイムライン構築のための都市インフラ被害と機会損失評価

a) はじめに

大規模災害が発生した際、被災地域において直接的な被害による資産（ストック）の損失だけではなく、その後の経済活動の機会損失に伴う間接的（フロー）損失も非常に大きい。1995年の阪神・淡路大震災と2011年の東日本大震災発災後の鉱工業生産の減少を比較すると、東日本大震災では減少幅が増加し、もとの水準近くまで回復するのに要した期間が長期化していることがわかる。その主な理由はサプライチェーンの寸断にあり、被災した東北地域での生産停止により、被災地域以外の生産活動も停止してしまっただけである¹⁷⁾。水道は市民生活のみでなく経済活動にも不可欠であり、断水からの復旧の遅れで生産活動を停止させ、サプライチェーンの寸断が長期化した場合の経済への影響は非常に大きい。したがって、経済的な観点からも、適切な水道の復旧について検討する必要があると考えられる。

以上のことから、大規模災害時の国難や臨時情報発表時の社会活動の停滞を克服するためには、市民生活や社会経済活動の迅速な回復という観点からの水道システムの応急復旧戦略の検討が必要不可欠である。そこで本研究では、日々の応急復旧過程において断水人口や消火機能だけでなく、復旧過程における地域の経済機会損失も評価することのできる応急復旧戦略の評価手法を構築することを目的とする。

b) 災害発生時の地域経済活動における損失評価手法について

大規模災害が発生した際の経済損失は、直接的な被害による資産（ストック）の損失とその後の経済活動の機会損失に伴う間接的な（フロー）損失に分けられる。大規模災害後のフロー損失に関して、その算出方法や軽減対策に関して調査研究がなされている。豊田¹⁸⁾は、地震工学と経済学の接点を求め、学術的研究の新領域を開くことを目的にその関係をまとめる中で、地震後のフロー損失の算出方法を3つ挙げている。そのうちの1つとして震災以前のデータを用いて、産業ごとの生産関数を想定し、各部門の資本ストックの毀損による産出高減少分を算出する方法を挙げている。この方法は、震災以前の情報から行う手法であるため、被災前の被害額のシミュレーションとして用いることができる。この手法を応用して、生産関数は企業の人材や原材料等の生産要素から生産量を求めるものであるが、その代わりに、水道や電力といった資源やエネルギーの投入量から生産量を算出する関数を作成することで、フロー被害を求めることが可能であると考えられる。土屋ら¹⁹⁾は、災害時におけるライフライン機能損傷が地域経済に及ぼす影響を軽量化するために、応用一般均衡モデルを用いて経済被害の評価を行っている。新潟県中越地震を対象に分析を行った結果、損失の大部分は、電力途絶を伴う水道・ガスの全ライフラインが途絶している地震発生直後の3日間に集中しており、電力が回復してからの1日あたりの被害額と比べても、電力の途絶が地域経済に大きく影響していると明らかにしている。

c) 経済機会損失評価モデルについて

大規模災害発生時の水道被害による経済機会損失を評価する経済機会損失評価モデルを構築する。まず、平常時における 500m メッシュ当たりの製造業、非製造業の経済活動量の算出方法について述べる。つぎに、災害時の経済活動を求めるために重要な、企業の資本ストックと電力の地震災害発生時の被害と復旧過程の算出方法について述べる。なお、本研究では、企業の資本ストックとして建築物のみを扱う。さらに、水道、建物、電力の回復過程から経済機会損失を算出する手法を製造業と非製造業で構築する。

i) 平常時の経済活動量について

一般に公開されている経済活動量のデータにおいては、市区町村あたりの産業大分類別の年間売上高²⁰⁾が地域としては最も細かい範囲でのデータである。そのため本研究では、それと 500m メッシュ当たりの産業大分類別の従業者数を用いて、500m メッシュ当たりの製造業、非製造業の平常時 1 日の売上高を算出した。まず、研究対象地域を含む愛知県の全市区町村において、対象とした製造業と非製造業において従業員数と年間売上高の関係の決定係数を算出した。その結果、データが公表されている 2012 年と 2016 年の両方で、製造業、非製造業ともに決定係数が 0.7 以上であったため、市区町村における従業員数と年間売上高には強い相関があると判断した。そこで、本研究では 500m メッシュ単位での製造業、非製造業の平常時一日の売上高を、各市区町の従業員一人当たり売上高に 500m メッシュ内の従業員数を乗じることで算出した。本研究では公表されているデータのみを用いて経済活動の算出を行ったが、年間の売上高が公表されている業種は対象地域の市区町によって異なっていたため、すべての市区町共通で公表されていた業種のみについて研究対象業種とした。対象とした業種の製造業と非製造業の分類を表 2-5-①-8 に示す。

表 2-5-①-8 業種の製造業と非製造業の分類

製造業	非製造業
食料品製造業，飲料・たばこ・飼料製造業，繊維工業，木材・木製品製造業，家具・装備品製造業，パルプ・紙・紙加工品製造業，印刷・同関連業，化学工業，石油製品・石炭製品製造業，プラスチック製品製造業，ゴム製品製造業，なめし革・同製品・毛皮製造業，窯業・土石製品製造業，鉄鋼業，非鉄金属製造業，金属製品製造業，汎用機械器具製造業，生産用機械器具製造業，業務用機械器具製造業，電子部品・デバイス・電子回路製造業，電気機械器具	情報通信業（情報サービス業，インターネット附随サービス業），卸売業，小売業，不動産業，物品賃貸業，学術研究，専門・技術サービス業，宿泊業，飲食サービス業，生活関連サービス業，娯楽業，教育・学習支援業（その他の教育，学習支援業），医療，福祉，サービス業（政治・経済・文化団体，宗教を除く）

製造業，情報通信機械器具製造業， 輸送用機械器具製造業	
--------------------------------	--

ii) 平常時の経済活動量について

災害時の経済活動を算出する上で重要な企業の資本ストックの毀損として、本研究では企業建築物の被害を扱う。企業建築物の被害とその復旧過程の算出方法としては、本研究で対象とした南海トラフ地震発生時に、研究対象地域は地震と津波の2種類の被害を受けると予測されている。そのため、まず500mメッシュで地震と津波それぞれの被害率を算出する。地震による建築物被害率の算出方法について述べる。まず、国土交通省²¹⁾の愛知県の法人等非住宅建築物の延べ床面積データを用いて、内閣府²²⁾の震度に対する建築物の全半壊率曲線における、木造・非木造の築年別の9区分に対して、延べ床面積割合を算出した。さらに、内閣府²³⁾による南海トラフ地震の予測震度 I を用いて、500mメッシュごとに震度と全半壊率曲線から求められる9区分の被害率を延べ床面積割合で按分し、地震による建築物被害率を算出した。

津波による建築物被害率の算出方法について述べる。まず、対象地域全体の木造・非木造建築物の割合を国土交通省²¹⁾から算出し、各500mメッシュを人口集中地区かそれ以外の2つに区分する。さらに、浸水深分布と内閣府²³⁾の人口集中地区かそれ以外かでの津波浸水深に対する全半壊率曲線から、木造・非木造それぞれの10mメッシュ当たりの被害率を算出し、各500mメッシュ内の全10mメッシュの被害率の平均を、500mメッシュの津波による建物被害率とした。

地震による建物被害の復旧過程については、阪神・淡路大震災での事例²⁴⁾を参考に、1年後の社屋の立て直し率を製造業、非製造業それぞれ58.8%、53.6%として線形での復旧プロセスとした。

津波による建物被害の復旧過程については、内閣府²³⁾の手法における仮定と同様に製造業、非製造業ともに、1年後の復旧率を10%として線形での復旧プロセスとした。

iii) 電力の被害と復旧過程について

企業の資本ストックと同様に経済活動を評価する上で重要な、電力の災害発生後の被害とその復旧過程については、東日本大震災発生時の東北電力管内における事例の復旧曲線を用いた²⁵⁾。図-2-5-①-7に電力の復旧曲線を示す。東日本大震災では本震の約1ヶ月後に大規模な余震が発生したため、その際に電力復旧率が低下しているが、本研究では当該日の値をその前後2日間の平均値とした。

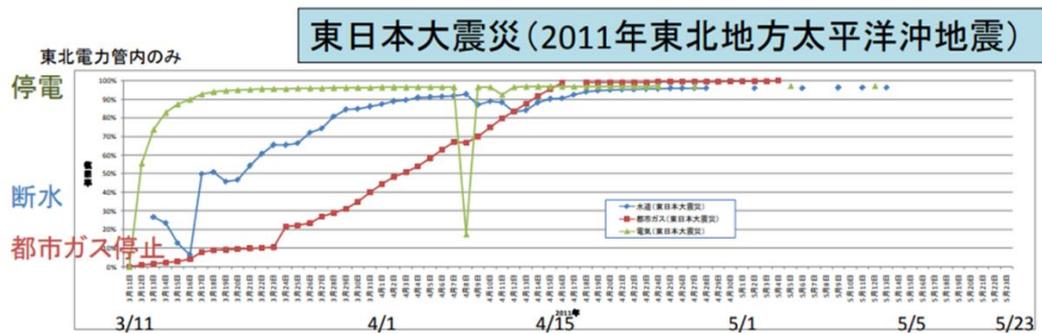


図 2-5-①-7 電力復旧曲線²⁵⁾

iv) 水道の復旧期間における製造業の経済機会損失評価手法について

本研究で構築した、災害発生後の経済活動について平常時の経済活動と水道、電力及び企業の建物の復旧過程から、製造業の水道復旧期間における経済機会損失を算出する手法について述べる。まず、生産活動と水道、電力の関係を分析するために、2019年と2020年の24か月間の愛知県の鉱工業生産原指数と愛知県内の4つの工業用水の使用量を鉱工業生産指数のウェイトを用いて指数化したもの及び愛知県内の電力使用量²⁶⁾を指数化したものから、製造業の生産活動量と水道、電力の使用量の相関係数を算出した。その結果、水道との相関係数約0.6、電力との相関係数約0.5となり、ある程度の正の相関がみられた。そこで、水道、電力の2種類のリソースと生産活動の量を線形関係で表すことができると考え、24か月間の鉱工業生産原指数を目的変数、工業用水道使用量と電力使用量を説明変数として重回帰分析を行い、2種類のリソースの使用量から製造業の生産活動量を算出する式を導出した。なお、切片は0.0とした。その結果、自由度調整済み決定係数0.985、1つ目の説明変数(水道使用量)の係数0.722、 p 値0.048、 t 値2.1、2つ目の説明変数(電力使用量)の係数0.279、 p 値0.43、 t 値0.81となった。電力使用量の p 値、 t 値は有意ではなかったが、水道使用量の p 値、 t 値は有意であったため、本研究における目的である水道の被害から災害後の経済活動を評価するという点については、ある程度達成できていると考えられる。さらに災害発生後、企業の建築物が全半壊した場合、その企業の生産活動は行えないものとし、上記の重回帰分析から導出した生産活動量に、建物使用可能率(=1.0-建物被害率)を乗じた式により、製造業の経済活動可能率を算出することとした。さらに、復旧期間全体で積分した経済機会損失を、経済活動可能率と製造業の平常時一日あたりの売上高により算出した。なお、水道使用可能率=1.0-断水率、電力使用可能率=1.0-停電率である。

v) 水道の復旧期間における非製造業の経済機会損失評価手法について

平常時の経済活動と水道、電力及び企業の建物の復旧過程から、非製造業の水道復旧期間における経済機会損失を算出する手法について述べる。製造業と異なり、水道、電力の使用量と非製造業の活動量を表す第三次産業活動指数の相関関係からは有意な相関は見られなかった。このことは、非製造業は製造業と異なり、水道や電力を用いて何かを生産するわけではなく、生産活動の効率化等に利用する業種が多いため、リソースの使用量と生産活動量の多寡が関係しないからであると考えら

れる。そこで非製造業においては、リソースの使用量から生産活動の量を算出するのではなく、リソースが使用可能かどうかで、企業活動が可能かどうかを判断することで経済活動可能率を算出した。まず、非製造業全体の生産活動における、水道、電力、建物の3種類のリソースそれぞれの影響の大きさを評価した。具体的には、対象とした非製造業の産業小分類140項目の生産活動において、3種類のリソースが必要かどうかを判断した。そして必要と判断された業種の第三次産業活動指数に用いられる、各業種の付加価値額の大きさから決定したウエイトを合計し、3種類のリソースそれぞれの影響評価点数を算出した。その結果、水道3,104.6、電力7,774.4、建物7,774.4となった。この影響評価点数を用いて、災害時において3種類のリソースがそれぞれ使用可能かどうかによる8つの異なる状況の活動量を算出した。8つの状況の割合を、水道の断水率、使用可能率、電力の停電率、使用可能率、建物の被害率、使用可能率の掛け算によって求めた。さらに、状況別活動量と状況別割合を乗じたものから非製造業の経済活動可能率を算出した。これにより、非製造業の一日当りの売上高を用いて、経済機会損失を算出するものとした。

d) 数値解析結果と考察

本研究における研究対象地域は愛知県N市上下水道局の給水エリアとし、図2-5-①-8に示す被害シナリオのひとつである610件の水道被害に対して復旧優先順位を設定し、その復旧過程における断水人口、消火機能、経済機会損失を評価した。

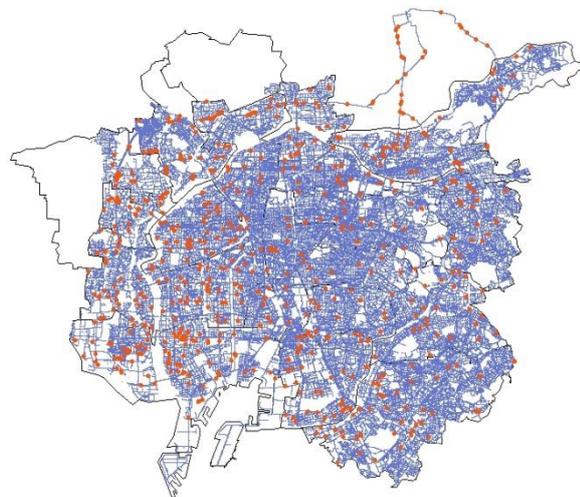


図2-5-①-8 水道管路の離散的被害推定結果

i) 断水人口の算出結果と考察

図2-5-①-9に発災直後の断水率分布、図2-5-①-10に復旧過程における断水人口変化を示す。この期間における総断水人口は約2,744万(人×日)であった。発災直後は人口分布の多いメッシュのほとんどで断水率が高くなっており、給水人口の約6割にあたる約140万人が断水している。発災後15日程度で断水人口は発災初期の約140万人から、半数の70万人程度まで減少している。復旧作業の開始は発災後3日目からとしており、復旧が完了したのは38日目であるため、実際の復旧作業期間のうち約3分の1の時間で、断水人口を半数まで減少させられて

いることから管路復旧の基本方針が有効に機能しているといえる。

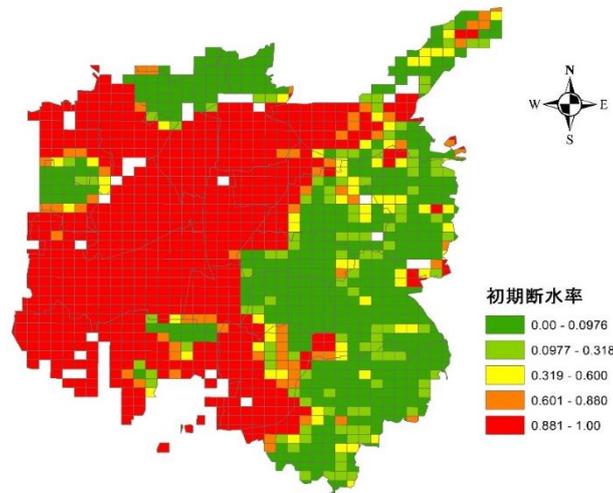


図 2-5-①-9 発災直後の断水率分布

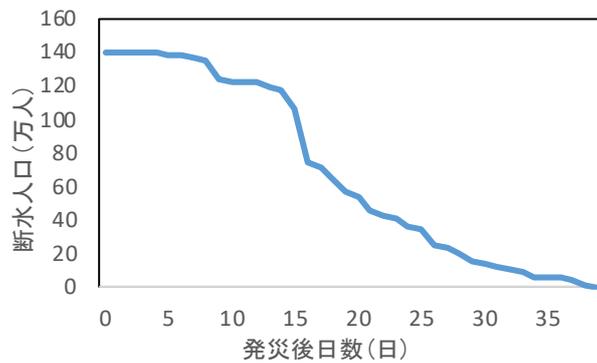


図 2-5-①-10 復旧過程における断水人口推移

ii) 消火機能回復過程の算出結果と考察

図 2-5-①-11 に消火機能を有する取水点の割合の回復過程を示す。回復の傾向は断水人口と似ており、15 日目あたりで一度急激に回復したのちに、緩やかに復旧完了まで上昇している。



図 2-5-①-11 消火機能回復過程の数値解析結果

iii) 経済機会損失の算出結果と考察

図-2-5-①-12 に製造業、非製造業、全業種合計の経済活動可能率の回復過程、表 2-5-①-9 に経済機会損失を示す。回復過程と経済機会損失ともに、全業種合計と非製造業が似た値となっている。これは、この地域の売上高の比率が製造業:非製造業=1:9程度と非製造業の影響が非常に強いためであると考えられる。製造業よりも非製造業の回復が早く、電力の復旧過程と形が非常に似ている。これは、本研究の手法で非製造業において水道よりも電力の影響を大きく評価したことによると考えられる。本研究の対象地域においては、全体の経済活動を考える場合、非製造業の回復が特に重要であるといえた。

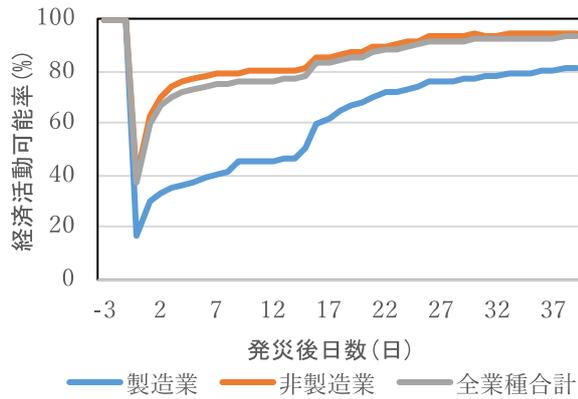


図 2-5-①-12 経済活動可能率の災害レジリエンス曲線

表 2-5-①-9 業種別経済機会損失の数値解析結果

業種	経済機会損失 (%×日)
製造業	1,569.5
非製造業	602.8
全業種合計	681.2

3) COVID-19 による産業への影響調査

a) はじめに

本研究では COVID-19 以前の産業の生産水準に関する時系列データを利用し、COVID-19 が無かった場合の各産業の生産水準を予測するモデルを開発する。モデルの予測値、すなわち COVID-19 が無かった場合の生産水準と COVID-19 における実際の各産業の生産水準を比較する事により、COVID-19 が生産に与えた影響を定量的に明らかにする。分析により COVID-19 が生産に与えた影響は産業によって大きく異なることが定量的解析を行う。ここでは、「宿泊業」、「国内旅行業」、「新車販売台数」の COVID-19 による活動水準について取り扱う。産業間での違いは政府による事実上の規制の有無や感染対策のし易さ及び消費者の考え方などに起因する。本研究では産業間の違いが何に起因するのかまでは定量的に分析しておらず今後の課題とし

ている。

b) 本研究の分析手法

時系列データを解析する場合、データ間の自己相関を考慮した統計的手法が必要となる。こうした手法の1つに自己回帰モデル (Auto regressive モデル) とその拡張版の ARIMA モデル等のモデルが存在するが、近年ではよりモデルの解釈に重きを置いた状態空間モデルが利用されている。また状態空間モデルの状態変数を推定する手法としてカルマンフィルターが存在する。カルマンフィルターは状態変数に関して線形であり、その状態変数が従う確率分布が正規分布である状態空間モデルにおいて、その状態変数を推定することのできるアルゴリズムである。まず状態空間モデルについてその概要を説明する。状態空間モデルにおいて「状態」とは、ある変数について将来の値を予測する上で必要な、過去の情報を集約した現在の情報である。将来予測において「状態」を利用することにより過去の全ての情報を利用する必要はなくなる。過去の情報は現在の状態に反映されているからである²⁷⁾。

状態は時系列変数である。 t を時間を表す添え字とし、 t 期の状態を x_t と表せば、関数 F を用いて $x_t = F(x_{t-1})$ と表現できる。ただしこれは x_{t-1} に対して x_t が確定的に決まる場合を表現している。将来の不確定性を考慮する場合には、システムノイズ $G_t(v_t)$ を考え、状態 x_t は $x_t = F_t(x_{t-1}) + G_t(v_t)$ と表現することができる。これはシステムモデルと呼ばれるが、関数自体も時間によって変化するとした一般的な表現である。他方で状態 x_t が与えられ時の観測値 y_t は、状態に観測誤差 w_t を考慮したものとして、 $y_t = H_t(x_t) + w_t$ と表すことができる。これは観測モデルと呼ばれる。

再掲するとシステムモデルは一般に式 2-5-①-1 の様に示すことができる。

$$x_t = F_t(x_{t-1}) + G_t(v_t) \quad \text{式 2-5-①-1}$$

観測モデルは一般に式 2-5-①-2 の様に示すことができる。

$$y_t = H_t(x_t) + w_t \quad \text{式 2-5-①-2}$$

本研究では式 2-5-①-1 及び式 2-5-①-2 から成る状態空間モデルを線形・ガウス型状態空間モデルに特定し分析に用いる。線形・ガウス型状態空間モデルでは $F_t(x_{t-1}) = F_t x_{t-1}$ 、 $G_t(v_t) = G_t v_t$ 、 $H_t(x_t) = H_t x_t$ とし、また $v_t \sim N(0, Q_t)$ 、 $w_t \sim N(0, R_t)$ と仮定する。すなわちシステムモデルと観測モデルの誤差項は平均が0で分散がそれぞれ Q_t と R_t の正規分布に従う。

線形・ガウス型状態空間モデルを再掲する。

システムモデルは以下の式 2-5-①-3 の通りとなる。

$$x_t = F_t x_{t-1} + G_t v_t \quad \text{式 2-5-①-3}$$

観測モデルは式 2-5-①-4 の通りとなる。

$$y_t = H_t x_t + w_t \quad \text{式 2-5-①-4}$$

まず観測モデルについて説明する。観測モデルは式 2-5-①-5 から式 2-5-①-9 で構成される。 y_t は観測値であり、本研究では産業の活動指数などが相当する。 x_t は状態を表す状態変数である。 $\gamma_{1,t}$ は周期 (12 カ月) ダミーであり、産業活動の季節性を捉えるために利用する。 ε_t は観測誤差を示している。

$$y_t = x_t + \gamma_{1,t} + w_t \quad \text{式 2-5-①-5}$$

$$\gamma_{1,t+1} = -(\gamma_{1,t} + \gamma_{2,t} + \dots + \gamma_{11,t}) \quad \text{式 2-5-①-6}$$

$$\gamma_{2,t+1} = \gamma_{1,t} \quad \text{式 2-5-①-7}$$

⋮

$$\gamma_{11,t+1} = \gamma_{10,t} \quad \text{式 2-5-①-8}$$

$$w_t \sim N(0, Q_t) \quad \text{式 2-5-①-9}$$

続いてシステムモデルは式 2-5-①-10 及び式 2-5-①-11 の通りとなる。ここで状態変数 x_t は周期的変動が毎年同じように生じると仮定した上で、周期的変動の影響を取り除いた生産水準のトレンドを示す。

$$x_{t+1} = x_t + w_t \quad \text{式 2-5-①-10}$$

$$w_t \sim N(0, R_t) \quad \text{式 2-5-①-11}$$

以上の状態空間モデルを用いて、COVID-19 が産業活動に与えた影響を分析する。分析内容は以下の通りである。まず日本における COVID-19 感染症の始まりを 2020 年 2 月とする。それまでに国内感染者は確認されているが、経済活動に大きな影響をもたらしてはいないと仮定する。データが利用可能な月から 2020 年 1 月までのデータを用いて、特定の産業の活動水準の月単位の変動を上記の状態空間モデルで再現する。この状態空間モデルを利用し 2020 年 2 月以降の経済活動を予測するが、この予測は COVID-19 の存在しない場合の生産活動水準をシミュレーションしていることになる。仮想の世界をシミュレーションしているが、このシミュレーション結果と実際の COVID-19 下における生産活動水準を比較する事により COVID-19 の影響を定量的に明らかにできる。

c) 分析の結果

経済産業省が公表している「第 3 次産業 (サービス産業) 活動指数」を用いて COVID-19 の「宿泊業」への影響をまず分析した。図 2-5-①-13 は分析結果を示している。図中の赤色の点線より右側が COVID-19 以降であり、この領域の青い実線は COVID-19 が無かった場合の活動指数の予測値を示す。一方、赤い実線は活動指数の実績値である。COVID-19 以前は固有の周期性を示しながら比較的安定した活動水

準を保っていたが、COVID-19 以後は大きくその活動水準を低下させている。特に COVID-19 の初期において大幅に低下させている。その背景には1回目の緊急事態宣言の発令が考えられる。その後は政府の旅行費用に対する補助政策もあり、活動水準は一時的に回復するものの、感染状況の悪化とそれに伴う政府の補助政策の停止により、2021年9月に至るまで活動水準は落ち込んでいる。図2-5-①-14は「国内旅行業」に関する分析結果であるが、COVID-19については、宿泊業と同様の影響を受けている。

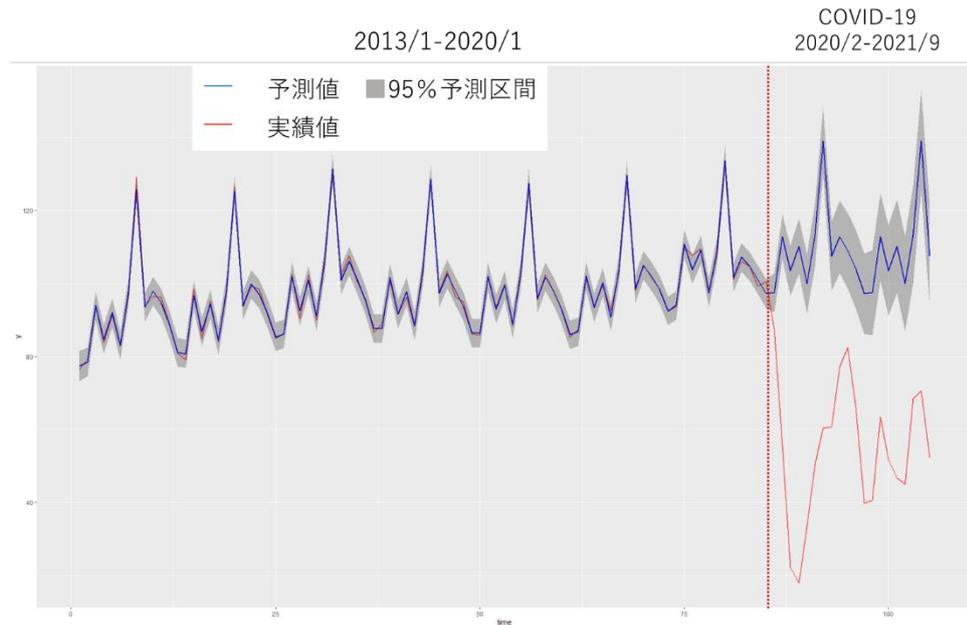


図2-5-①-13 「宿泊業」の活動指数の予測値と実績値

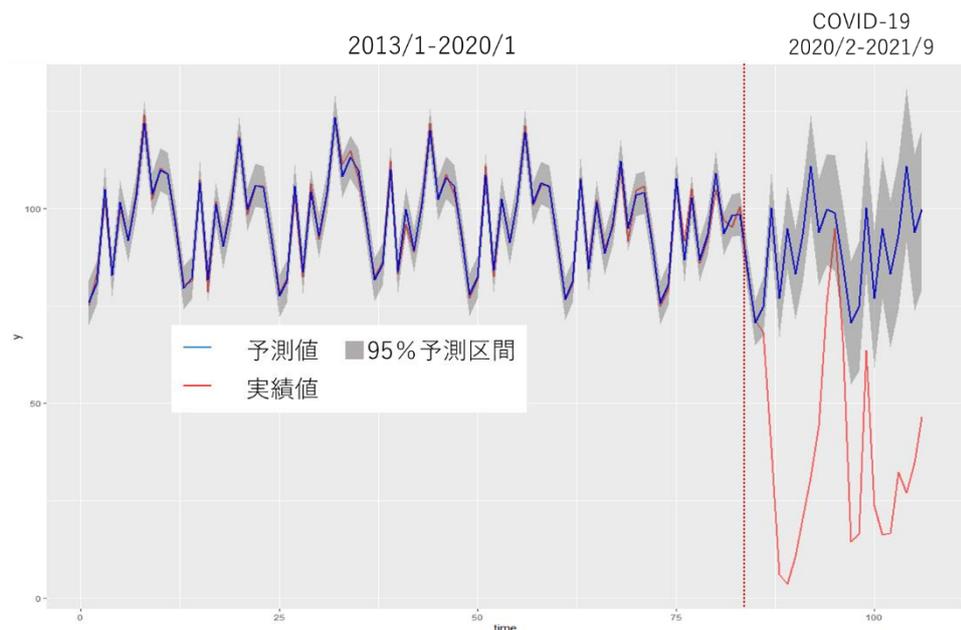


図2-5-①-14 「国内旅行業」の活動指数の予測値と実績値

図 2-5-①-15 は新車販売台数について分析したものである。COVID-19 の初期に大幅に販売台数が落ち込んでいる。外出自粛要請等により購入希望者が販売店に行かなくなったことが要因と考えられる。その後は概ね COVID-19 以前と同程度まで回復している。感染症に対する理解が進み、2021 年の 5 月前後から再び落ち込みが見られる。これは半導体不足で自動車生産が制限されたことが原因であり、COVID-19 の影響は大きくないと考えられる。図 2-5-①-16 は「半導体・フラットディスプレイ産業」について分析した結果である。他産業と比べて COVID-19 の影響はほとんど確認できず、特に初期においても影響は見られない。落ち込みが見られる期間があるが、これは国内大手メーカーの工場火災の影響である可能性がある。その後は需要の急増によって COVID-19 が無かった場合の予測値を上回る生産の増加が見られる。

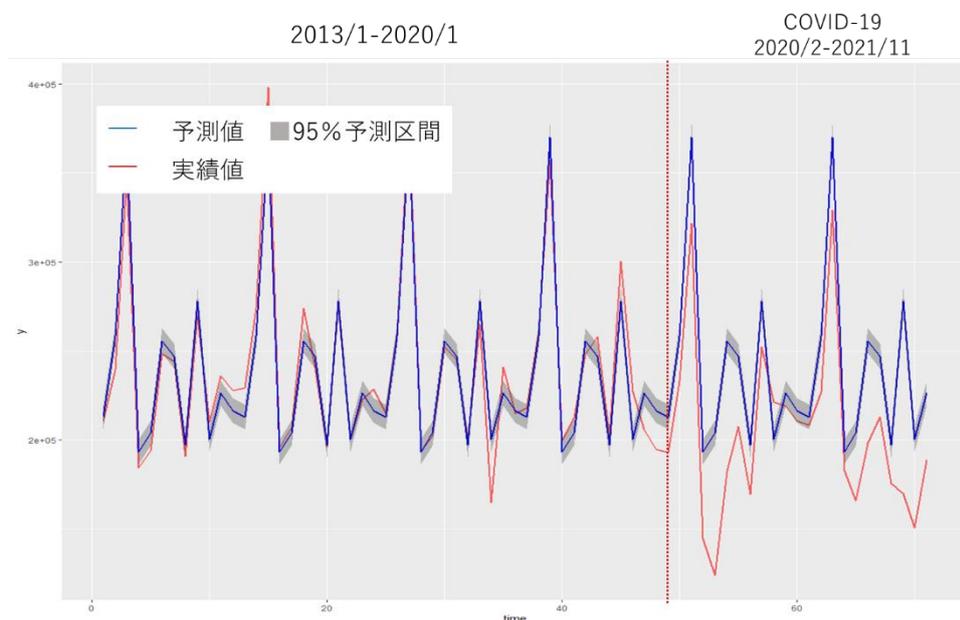


図 2-5-①-15 「新車販売台数」の予測値と実績値

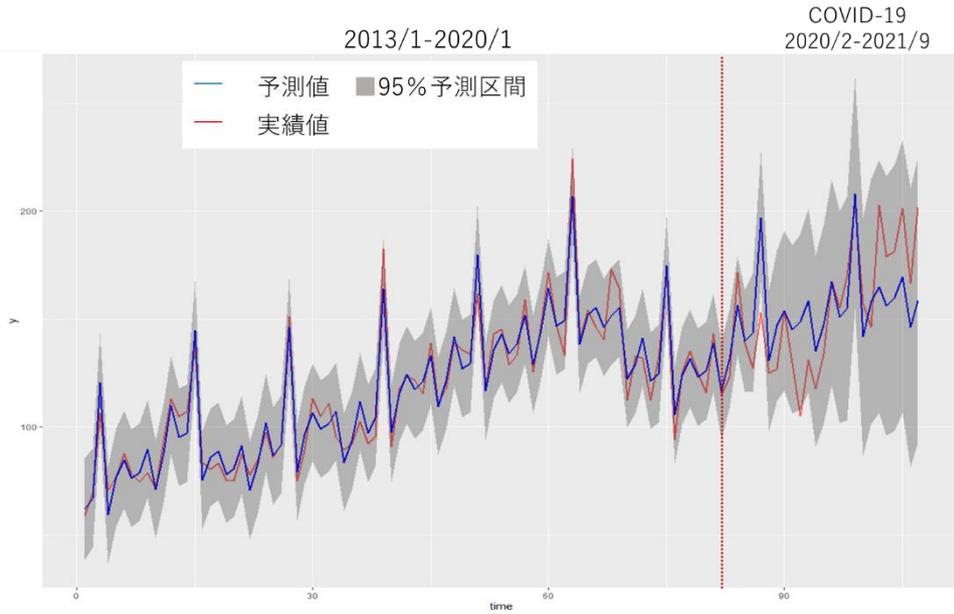


図 2-5-①-16 「半導体・フラットディスプレイ産業」の予測値と実績値

最後に「ゲームソフトウェア」の生産の活動水準について分析する（図 2-5-①-17 参照）。COVID-19 の影響は初期に大きく生産が増える形で表れており、外出自粛の影響で需要が高まった結果であると考えられる。その後も実績値は予測値よりも高く推移している様に見えるが、95%予測区間の範囲内であることから COVID-19 の影響は初期において短期間で大きく表れたものの、その後に需要は落ち着きを見せ、産業の活動水準も COVID-19 以前のトレンドに回帰していると考えられる。

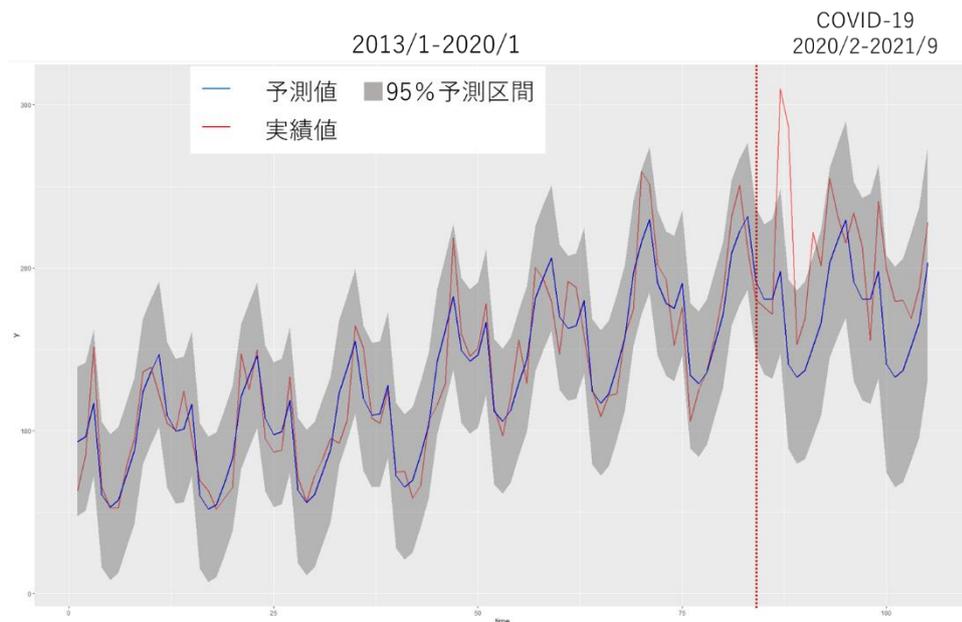


図 2-5-①-17 「ゲームソフトウェア」の予測値と実績値

(d) 結論ならびに今後の課題

1) リアルタイム観測データを用いた産業活動の「萎縮」状態の想定

今年度の業務では産業の活性度を映し出す鏡として、産業に欠かせない電力の需要量（消費量）をモニタリングすることを考案し、その妥当性について時系列データ分析等の統計学的手法を用いて検証した。結果、電力需要量の増大・低下をリアルタイムに観測することで、産業の活性度に変調があるかどうかを判断できる可能性があることが示唆された。今後、その他の説明変数の検討や、他の社会的イベントを対象とした分析を追加することで、より精度の高いモニタリングに関する知見が得られるものとする。

なお、電力需要の減少が各産業の活性度に一様に影響するわけではないため、今後は、各電力会社管内における民間企業資本ストックの産業別賦存量ポートフォリオなどを考慮した地域特性との相関について分析を進める。

2) 産業タイムライン構築のための都市インフラ被害と機会損失評価

離散的被害推定手法を用いた地震発生時における水道管網上の被害発生箇所の推定、被害推定水道管が地震発生後何日後に復旧するかを算出する応急復旧モデル、被害状態を反映させた管網解析を行い、水圧分布に基づきメッシュ単位での日々の断水率を求めたうえで、断水率から断水人口や消火機能とともに、電力や企業の建築物の被害も考慮した経経済機会損失を算出する機会損失評価モデルを構築した。

構築した手法を用いて、断水人口、消火機能及び経済機会損失の3つから、市民生活と社会経済活動を合わせた総合的な観点から応急復旧戦略としての被害水道管の復旧優先順位を検討できるといった。

解析対象地域においては、南海トラフ地震が発生した際、発災直後給水人口の約6割の断水や、最長1ヶ月以上の断水が予測される地域があり、今後も水道管路・施設の耐震化と応急復旧の迅速化の両方を推進していくことが重要である。そのうえで、電力、水道、経済活動との産業構造を明らかにすることが、産業構造を明らかにし、臨時情報発表時の産業活動の極度の停滞を回避するためには必要である。

3) COVID-19による産業への影響調査

本研究では状態空間モデルと時系列データを用いて、いくつかの産業におけるCOVID-19の影響を定量的に把握した。本研究の特徴は自然災害(今回はCOVID-19)の影響が無い場合の仮想の生産水準をシミュレートし、実際の生産水準と比較する事で自然災害の影響の定量的把握を試みることである。結果は概ね解釈可能なものであったが、新車販売台数への影響を分析した際に半導体不足の影響とCOVID-19の影響を分けるまでに至らなかった。地域や業種を特定すれば報道等を参考に説明変数を加え、適切な定量化が可能となる。しかしながら、その様な情報がない場合や要因が多い場合には、主要な経済変数を多く説明変数として考慮する必要がある。今後は、この点について効率的な手法についてについて調査を行い、災害の経済被害を定量化する1手法として技術的に確立することが産業構造を明らかにし、タイムラインを検討するためには必要である。

(e) 引用文献

- 1) 首相官邸ホームページ：新型コロナウイルス感染症対策本部 第 27 回(令和 2 年 4 月 7 日開催)資料,
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/taisaku_honbu.html (令和 3 年 12 月 6 日閲覧)
- 2) 中部電力パワーグリッド株式会社：中部エリアの電力需給（送電端）のお知らせ,
<https://powergrid.chuden.co.jp/denkiyoho/> (令和 3 年 1 月 7 日閲覧)
- 3) 気象庁ホームページ：過去の気象データ検索,
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>(令和 3 年 1 月 7 日閲覧)
- 4) 北海道電力ネットワーク株式会社：北海道エリアのでんき予報,
http://denkiyoho.hepco.co.jp/area_forecast.html (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 5) 東北電力ネットワーク株式会社：東北 6 県・新潟エリアでんき予報,
<https://setsuden.nw.tohoku-epco.co.jp/graph.html> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 6) 東京電力パワーグリッド株式会社：でんき予報,
<https://www.tepco.co.jp/forecast/> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧),
- 7) 北陸電力送配電株式会社：エリア需給実績について,
http://www.rikuden.co.jp/nw_jyukyudata/area_jisseki.html (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 8) 関西電力送配電株式会社：関西エリアの需給実績の公表,
<https://www.kansai-td.co.jp/denkiyoho/area-performance.html> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 9) 中国電力ネットワーク株式会社：でんき予報,
<https://www.energia.co.jp/nw/jukyuu/> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 10) 四国電力送配電株式会社：でんき予報（四国エリアの電力使用状況）,
<https://www.yonden.co.jp/nw/denkiyoho/index.html> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 11) 九州電力送配電株式会社：でんき予報,
https://www.kyuden.co.jp/td_power_usages/pc.html (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 12) 沖縄電力株式会社：需給関連情報（需給実績）の公表,
<http://www.okiden.co.jp/business-support/service/supply-and-demand/index.html> (令和 4 年 1 月 11 日閲覧)
- 13) 経済産業省資源エネルギー庁：電力調査統計表過去のデータ,
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results_archive.html/ (令和 4 年 2 月 9 日閲覧)
- 14) 愛知県ホームページ：2015（平成 27）年愛知県産業連関表,
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/io2015.html> (令和 3 年 4 月 12 日閲覧)
- 15) 愛知県ホームページ：愛知県鉱工業指数,
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/iip.html> (令和 3 年 4 月 12 日閲覧)
- 16) 総務省：情報通信白書，令和 3 年版，2021

- 17) 内閣府：地域の経済 2011－震災からの復興，地域の再生－，2011
- 18) 豊田利久：地震と経済学：地震工学との接点を求めて，国民経済雑誌，第 183 巻，pp. 1-12，2001
- 19) 土屋哲，多々納裕一，岡田憲夫：地震災害時のライフライン途絶が及ぼす経済被害の計量化に関する研究，地域安全学会論文集，No. 10，pp. 355-364，2008
- 20) 総務省統計局：平成 28 年経済センサス - 活動調査 売上（収入）金額等 2-1，2016
- 21) 国土交通省：建築物ストック統計 法人等の非住宅建築物，2018
- 22) 内閣府：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，2012
- 23) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された震度分布・浸水域等に係るデータ提供について，2012
- 24) 神戸市商工会議所：阪神大震災に関する被害及び今後の神戸経済に関する調査結果，1995
- 25) 能島暢呂，佐土原聡，稲垣景子：東日本大震災におけるライフライン被害と今後の課題，首都直下地震 防災・減災特別プロジェクト，2012
- 26) 経済産業省資源エネルギー庁：電力調査統計表，2019，2020，2021
- 27) 北川源四郎：状態空間モデル，岩波データサイエンス，Vol. 6，5-31，2017.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Emergency Restoration Strategy for Water Distribution System from the Viewpoint of Disaster Resilience Curves（口頭）	N. Hirayama, T. Okano, and J. Tamai	ASCE Lifeline2021-2022, Online	2022. 2. 11	国外
COVID-19 感染症蔓延に伴う「緊急事態宣言」発出による電力需要への影響分析（口頭）	北川夏樹，蛭川理紗，菅沼淳，都築充雄	第12回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集	2022. 1. 6	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Emergency Restoration Strategy for Water	N. Hirayama, T. Okano,	J. of American Society of Civil	2022. 1. 31	国外

Distribution System from the Viewpoint of Disaster Resilience Curves (査読あり)	and J. Tamai	Engineering		
---	--------------	-------------	--	--

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②リアルタイム社会様相把握システム構築に関する検討

(a) 業務の要約

災害後の応急復旧から地域経済の再立ち上げにいたるまで、さまざまな局面で必要となる種々の対応を的確に実施するためには、発災から復旧・復興に至るまでの時系列の中でその時々々の社会状況を適切に把握し、その状況に応じた対応行動を選択することが重要となる。特に、南海トラフ地震のように被害が広域かつ甚大な場合の対応行動の選択においては、被害状況を含む地域社会の様態の事前想定には限度があることから、被害の全体像の早期把握はもちろんのこと、その後の時間経過に応じた状況把握が重要と考える。また、臨時情報発表時のような、直接の被害は生じていないものの社会活動の状態が変化する事態の出現が想定されるとき、その状況（変化の有無、その程度）を把握することも重要と考えている。

地震に見舞われたこと（あるいは臨時情報が発表されたこと）による状態変化を、物的なもの／社会活動に係るもの、長期的なもの／短期的なものに区分すると、物的なものとは、強い揺れが作用することなどによる1次被害と定義される。その様態の詳細、及び全貌は最終的には災害の調査により把握されるものである。しかし、広域大規模災害においては、深刻なダメージを受けている地域ほど状況把握に手間取ることが指摘されており、最も対応が必要な地域の確認が遅れ、その結果、対応が後手に回るものがしばしばあると言われている。そのような事態を回避するために、被害の有無やその程度を概括する手段が必要と考え、本研究においてもその仕組みの検討を行っている。加えて、社会活動を長期的、及び短期的な観点で、平常時から臨時情報発表時、発災時を通してシームレスに把握する手段にはどのようなものがあるかを検討している。

具体的には、「1）リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤」の検討において、令和2年度に引き続き社会をモニタリングする手法・手段の調査と整理を行うとともに、「2）リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発」において、令和2年度に検討したMEMSセンサーによる振動モニタリングを地域に展開して連続観測を試行した。加えて、「3）リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築」において、ICTを用いたさまざまな情報集約手段を試行しながら

らシステムの高度化をおこなっている。

(b) 業務の実施方法

「リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤」研究においては、社会状況の観測可能性、及びその目的に照らして、現行で活用できると思われる手段やその将来像について、令和2年度に引き続き文献調査を実施し整理を行った。

「リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発」については、令和2年度に構築・性能検討を行った MEMS センサーと 4G ネットワークによる振動モニタリングを、愛知県内の産業集中地域に展開して観測を試行するとともに、観測記録の検討を行う。

「リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築」においては、従来から改良してきた情報収集システムを災害対応訓練に適用し、組織内・組織間の両面で対応状況把握への活用が可能かを試行した。

(c) 業務の成果

1) リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤

令和2年度の検討では、社会状況把握を行い得る手段として電力需要のモニタリングに基づく事例を紹介するとともに、他のモニタリングの方法についても広く文献調査を行い、国や企業の取り組み状況を取りまとめた。調査の結果として、電力需要量に係る情報が社会状況（地域社会の活性度）を把握するには有効なこと、その情報は災害前から発災後にかけてほぼシームレスに利用できる可能性があること、また車両によるセンシングの状況や将来の展望を勘案すると、車両交通に係る情報が社会状況の把握に利用できる可能性が高いことなどを結論として得た。今年度は、令和2年度に引き続き、社会活動のモニタリング手段や分析方法についての調査・整理を行った。

電力需要量による社会の活性度の評価については、前章に詳しく述べた通り、本研究の中でも需要量の変化により COVID-19 にかかる緊急事態宣言がもたらした社会活動の活性度合の低下を把握し得るかという点について検討を行っている。分析は「自己回帰和分移動平均モデル（ARIMA モデル）」により行われ、結果として、電力需要の変動の8割強を時系列データの周期性、気温、平日か土休日かの別、緊急事態宣言の有無によって説明可能であることが示された。ARIMA モデルは従属変数の説明性を示すもので必ずしも因果性が明らかになるわけではないが、電力需要量の分析は、地域社会の状態把握を目的とする場合には十分活用可能と考えられる。

また、国立環境研究所ではエネルギーモニタリング事業¹⁾を推進しており、図2-5-②-1に示すようなエネルギーモニタリングシステムを開発し社会活動のモニタリングを試行している。システムは、所与の時間間隔毎に電力消費計測装置でデータを集計し、インターネットを経由してデータ集約パートにデータを転送するという仕組みである。この事業は、低酸素社会への移行を加速させることを目的に、エネルギー需要を減少させるために「エネルギーをどこでどれだけ使っているか」を把握するものとしているが、生活に係るエネルギー消費を把握することで社会活動の把握にも適用可能と考える。

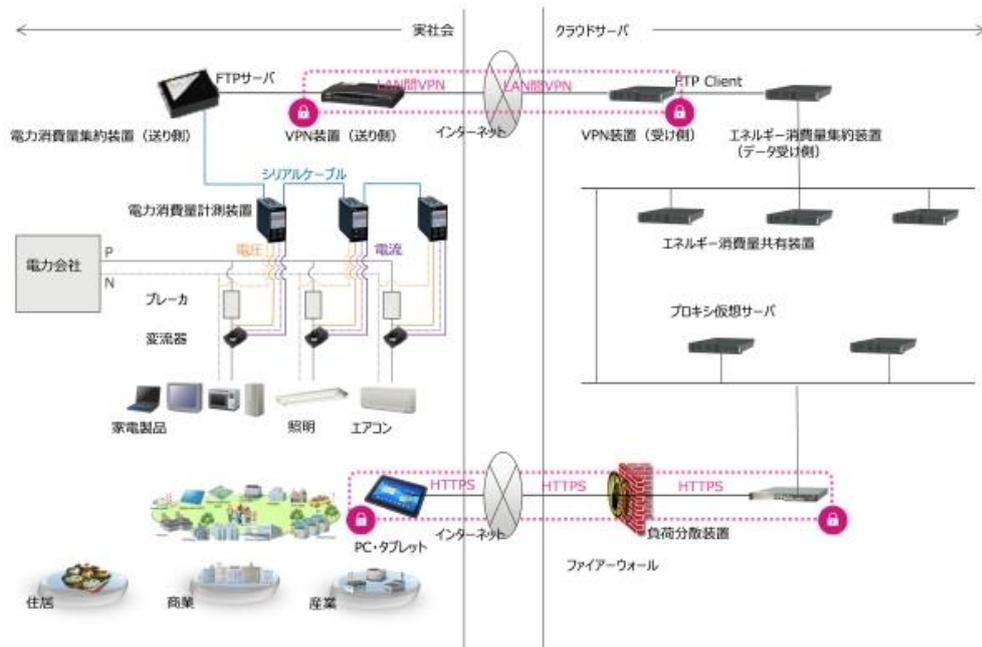


図 2-5-②-1 エネルギーモニタリングシステム¹⁾

これらの結果からは、電力需要量データをモニタリングすることで社会の状況、特に地域の活性度合を把握し得る可能性が示された。この手法は、ガスや水道といったライフラインの需要量データにも展開可能と考えられ、災害による地域社会の動態把握において活用し得るデータ基盤と言えるであろう。

他方、交通状況により社会の動態を把握しようとする試みも実装のレベルに近づいている。例えば、つくば市では都市活動のモニタリングとして交通情報の活用を検討している²⁾。表 2-5-②-1、図 2-5-②-2 に交通状況に係るデータをどのように評価し活用するのかについて分析された結果を示す。データとしては、プローブカー情報の活用などが検討されている。ここで指向しているモニタリングは、公共交通のマネジメントを目的としたもので、快適な移動空間の構築、低炭素な移動手段への転換や低炭素交通シェアリングといったテーマに沿って実施されているが、多様なデータを集約することで高齢者の人口分布の可視化等、都市活動のモニタリングへも適用可能であることも示されている。災害発生前後の社会動態の把握においても、ここで示された情報や分析手段は、活用可能と推察される。

表 2-5-②-1 データの活用シーンと分析に必要なデータとの関係²⁾

No.	動線データの活用シーン	既存統計データ			活用が想定される動線データ（一例）					基盤データ	
		PT調査	道路交通センサス	国調メッシュ	携帯電話（基地局・GPS）	交通系ICカード	無線LAN	車両プローブ	バスロケ	電子地図	各種NW
1	特定地域（都心部）の都市活動の見える化	◆	◆	◆	◆	◆	◇	◆	◆	◆	◆
2	防災計画・避難誘導方針の検討	◆	-	◆	◆	◆	◇	-	-	◆	◆
3	高齢者等の移動支援に資する公共交通サービス	◆	-	◆	◆	◆	-	-	-	◆	◆
4	公共交通の潜在需要の発掘	◆	◆	◆	◆	◆	-	◆	◆	◆	◆
5	パーソントリップ調査の補充・効率化・高度化	◆	-	◆	◆	◆	◇	◇	-	◆	◆
6	道路交通センサスの補充・効率化・高度化	-	◆	-	◆	-	-	◆	◆	◆	◆
7	道路整備効果計測の多様化・高度化	◆	◆	◆	◆	◆	◇	◆	◆	◆	◆
8	外国人旅行者の移動支援、移動障害の抽出	-	-	-	◆	◇	◇	-	-	◆	-

（◆◇：評価に必要となるデータ等（◆：必須，◇：理想），-：対象外）

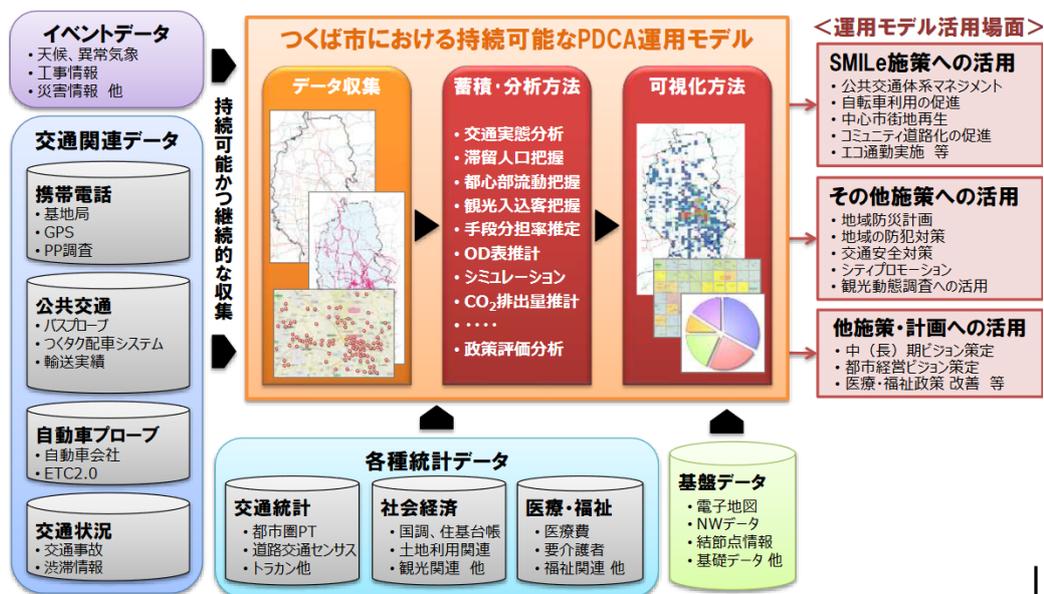


図 2-5-②-2 動線データのユースケース分析結果³⁾

また、産業技術総合研究所は、雑微動（交通振動や工場などが発生する振動）の変化により社会活動の変化が捉えられると報告している⁴⁾。図 2-5-②-3 の上段は東京都の新規感染者数の変化を、下段は 20~45Hz の微動のパワースペクトル密度（PSD）の中央値の変化を示しているが、この両者の比較から以下がわかる。

- ・第 1 回緊急事態宣言の際には、平日・日曜ともに日中の振動レベルが下がっている。
- ・Go To トラベルキャンペーンのころには振動レベルは例年程度に回復している。
- ・第 2 回緊急事態宣言の際には、自粛を求められていない平日の日中は振動レベルが下らない。

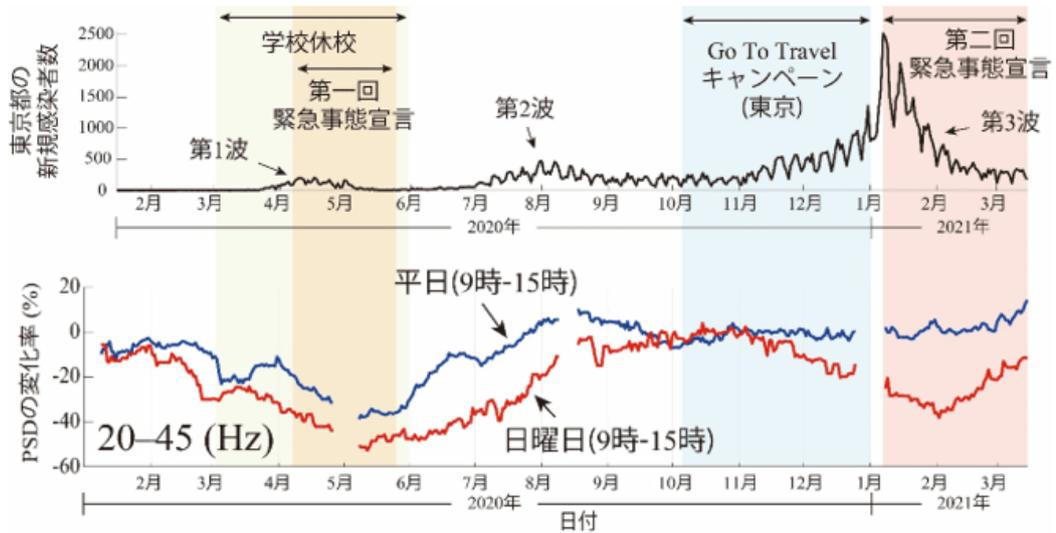


図 2-5-②-3 東京都の新型コロナウイルス新規感染者数(上図)と季節変動を除去した人間活動に伴う振動の強さの変化(下図)^{4),5)}

PSD は振動の強さを表すパワースペクトル密度 (Power Spectral Density)

図 2-5-②-4 に、東京・池袋にて観測された雑微動のパワースペクトル密度を示す。2020 年以降はそれ以前に比べて青色が顕著であるように見て取れるが、これは、COVID-19 の発生に伴う雑微動のパワーの減少を示していると考えられる。曜日による強弱や毎年 1 月頃にパワーが大きくなっていることも見て取れ、コロナ禍による社会の変化を詳細に調べるには曜日や季節変動による影響を除去する必要があることが分かるとともに、社会全体の活性度合を時間経過とともに可視化し得る可能性を示していると言えるであろう。

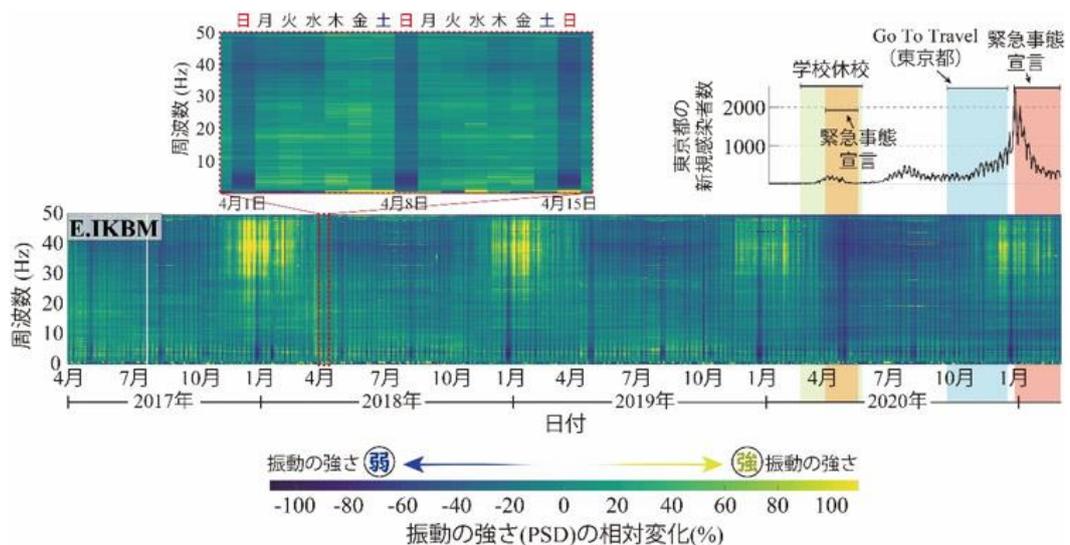


図 2-5-②-4 東京・池袋で観測された雑微動の強さの時間変化^{4),5)}

以上のことから、振動レベルの変化と社会状況には何らかの関連があること、言い換えれば、振動レベルをモニタリングすることで社会の活性状況を概括しうる可能性のあることがわかる。

以上、ここまで行ってきたレビューに基づけば、社会に展開されている様々なモニタリングデータを用いれば、社会の活動状況の評価や変化の把握を行いうることが明らかとなったと考える。

ただし、経済活動の状態は物的被害によるものの他、産業構造の変化（生産拠点の移動等）や風評等の心理的なものにも影響を受けることから、長期的な状態についてはGDP（ローカルにはGRP）算出により把握できるものの、短期的な状態変化についての把握は、現状では難しいと考えている。

社会活動の状況を把握できそうとは言え、上述したようなデータをやみくもに可視化し、あるいは共有すればよいかというそのようなことではないであろう。災害対応の視点から考えてどのような側面から社会をモニタリングすべきか、何のどのような状態変化をとらえることが適切な対応行動選択において求められているのかを整理したうえでモニタリングに用いるデータを選定し、分析手法を検討する必要がある。その意味では、事前に事態を想定しておくこと（事態予測）が重要であり、本研究の中でも行っている、臨時情報発表時や災害発生時に出現する可能性のある事態を整理する取り組みと連携した検討の深化が、今後行うべきことと考えている。

2) リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発

大規模地震災害の発生を想定して、都市や構造物、特に重要施設やライフライン等の被災状況を早期に把握し、効果的な初動対応や二次災害抑止につなげるためには、面的な地震動分布の把握が重要となる。令和2年度は、災害を想定した社会様相把握にむけて、地域における地震動特性の面的な把握と、そのための階層的なモニタリングについて考察するとともに、基礎技術の検討を行った。今年度はその成果に基づき、振動モニタリングや地震観測の高密度化が有効な地域を選定し、試験的に展開した成果をまとめる。

地震発生時に震度が報告される地点は気象庁、自治体（消防庁）、防災科学技術研究所を合わせて全国で4,300地点余であり、国土面積との比で100km²弱に1地点、すなわち平均で10km程度の間隔となる。このほかに自治体が独自に観測を展開するケースもあり、大都市圏など人口密度が高い地域は観測密度も高い傾向がある。一方で地方では自治体合併などにより観測点が減ることや、配置が偏る場合も見られる。

このような観点で愛知県の震度観測点分布をみると、名古屋市周辺や濃尾平野は観測点密度が高いが、産業や基幹交通が集中する西三河地域では相対的に密度が低い傾向がある（ただし上記の全国平均に対しては少なくない）。図2-5-②-5に今回対象とする地域の表層地盤増幅率⁶⁾の分布と震度計配置を重ねて示す。この図から、既存の震度計の配置が相対的に疎な地域が読み取れ、地盤条件の相違の影響を観測できていない可能性がある。今回はこの範囲におおむね2～5km間隔で東西・南北測線に沿って19地点の設置を試みた（令和3年度末で4地点は未設置）。この地域は製造業が集積しており、特に東西の測線は物流で重要な国道1号線に沿っている。この地域は北から南に流れる河川があるため、東西測線上の地盤の変化が大きい傾向がある。また、岡崎平野の地下構造調査結果⁷⁾によれば、この範囲で東は基盤岩がごく浅く、西に行くほど深部地盤が深くなっている傾向がある。

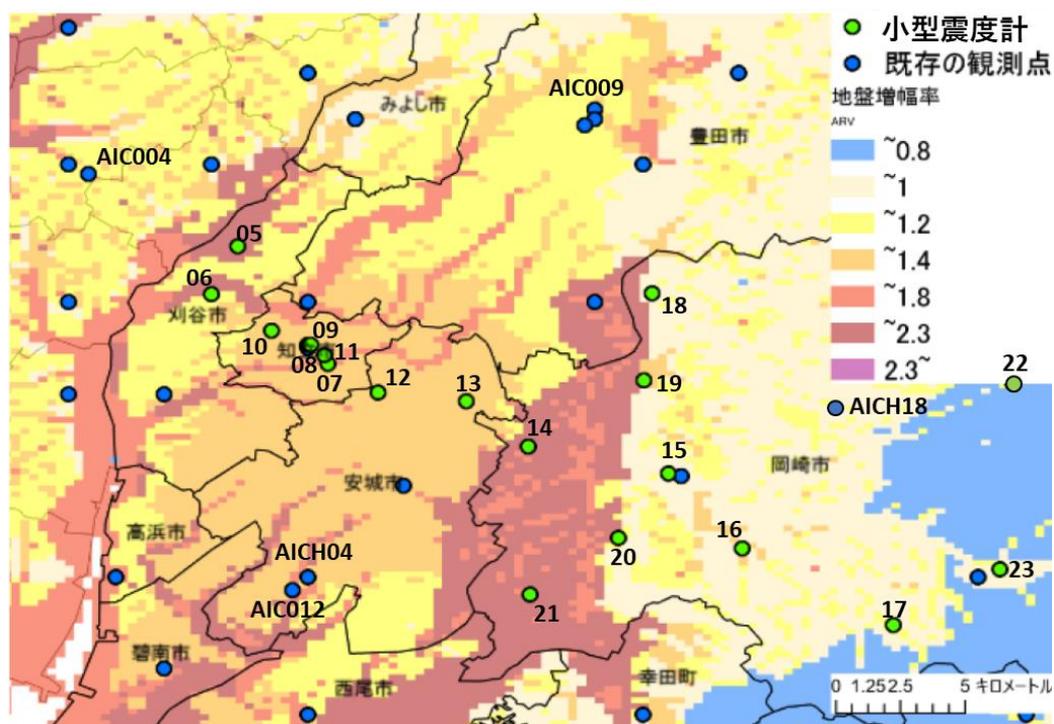


図 2-5-②-5 対象地域の震度計配置と表層地盤増幅特性⁶⁾

設置した施設は自治体関係施設、及び電力施設等であり、将来的には当該施設の被災モニタリングへの活用も想定している。設置条件は電源や管理の都合から建物の1階床を基本としている。このため、建物と地盤の動的相互作用により、地盤の地震記録に対して建物内では建物固有周期の影響と短周期成分の低減の可能性がある。これらの影響を減じるため、可能な限り小規模の建物を選定している。後述する小地震の観測結果では、比較的規模の大きい庁舎建物で1階の記録に対する上部建物の影響は必ずしも明確ではないものの、今後は周辺地盤と建物内の微動計測などによる検証が必要と考えられる。

機器の設置状況を図 2-5-②-6 に示す。MEMS 地震計、LTE ルーター及び電源が設置され、4G ネットワークで震度情報及び加速度記録がモニタリングサーバーに転送される。



図 2-5-②-6 観測装置一式設置状況 (RC 造 1 階床)

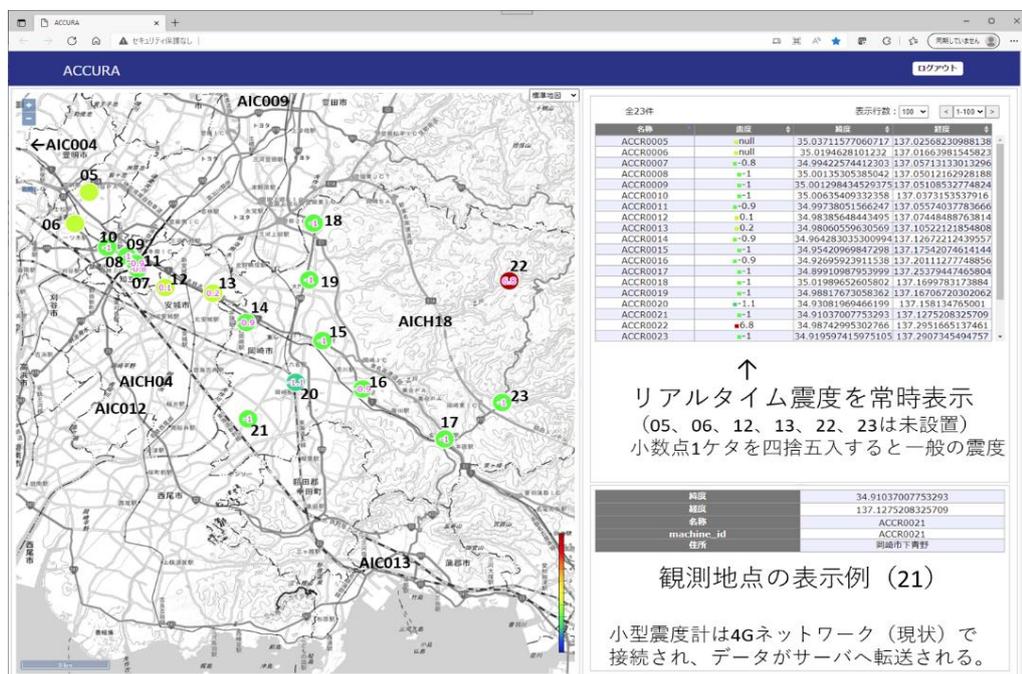


図 2-5-②-7 モニタリングサーバー画面例 (地点 22 はテスト信号)

表 2-5-②-2 今回配置したモニタリング地点と周辺の地震観測点

地点番号・記号	設置対象 (特記以外は 1 階)	3/16 震度	12/3 震度
05	電力施設 1	未設置	未設置
06	電力施設 2	未設置	未設置
07	自治体施設 1	1.9	0.6
08	自治体施設 2 (地階)	2.0	0.4
09	自治体施設 2 (屋上)	2.1	1.1
10	電力施設 3	1.9	0.7
11	電力施設 4	2.0	0.6
12	電力施設 5	未設置	未設置
13	電力施設 6	未設置	未設置
14	自治体施設 3	1.9	0.9
15	自治体施設 4	0.8	0.4
16	自治体施設 5	0.7	未設置

17	自治体施設 6	0.5	未設置
18	自治体施設 7	0.7	未設置
19	自治体施設 8	1.2	未設置
20	自治体施設 9	1.0	未設置
21	自治体施設 10	1.9	未設置
22	自治体施設 11	未設置	未設置
23	自治体施設 12	未設置	未設置
AIC004	K-NET 名古屋	1.8	記録無
AIC009	K-NET 豊田	1.8	0.7
AIC012	K-NET 安城	1.7	0.9
AIC014	K-NET 蒲郡	0.9	0.9
AICH04	KiK-net 安城	2.0	1.0
AICH18	KiK-net 岡崎	0.8	0.9

機材一式は幅 26×奥行 33×高さ 23cm のプラスチックカバーに収まり、AC100V 電源のみを供給している。各地点から転送された記録はデータサーバに蓄積され、図 2-5-②-7 に画面例を示すように、平常時は各地点のリアルタイム震度が表示されている。

なお、使用する地震計は、メーカー公表資料や前年度に実施した性能試験から、MEMS であっても震度 0～1 程度の精度が確保できることを確認している。地震計は 2021 年 8 月から設置を開始して順次増設しており、小地震の観測記録がいくつか収録されている。ここでは例として、13 地点で観測された 2022 年 3 月 16 日の福島県沖の地震、7 地点の 2021 年 12 月 3 日紀伊水道の地震などを分析する。表 2-5-②-2 に 2 地震の各観測地点での計測震度を示す。また周辺の既存観測点をあわせて示している。この結果から、20km 以内の範囲で震度 0.5～2.0 となっており、震度 1 以上の差がある。後述するように地点 07～11（知立市域）と地点 14～21（岡崎市域）では地震動の周期特性が大きく異なっているが、このうち岡崎市域では地盤増幅率の大きい地点 14 や 21 で他の地点より震度 1 程度大きくなる傾向がみられる。また近傍の K-NET 等でも、ほぼ対応する震度となっている。

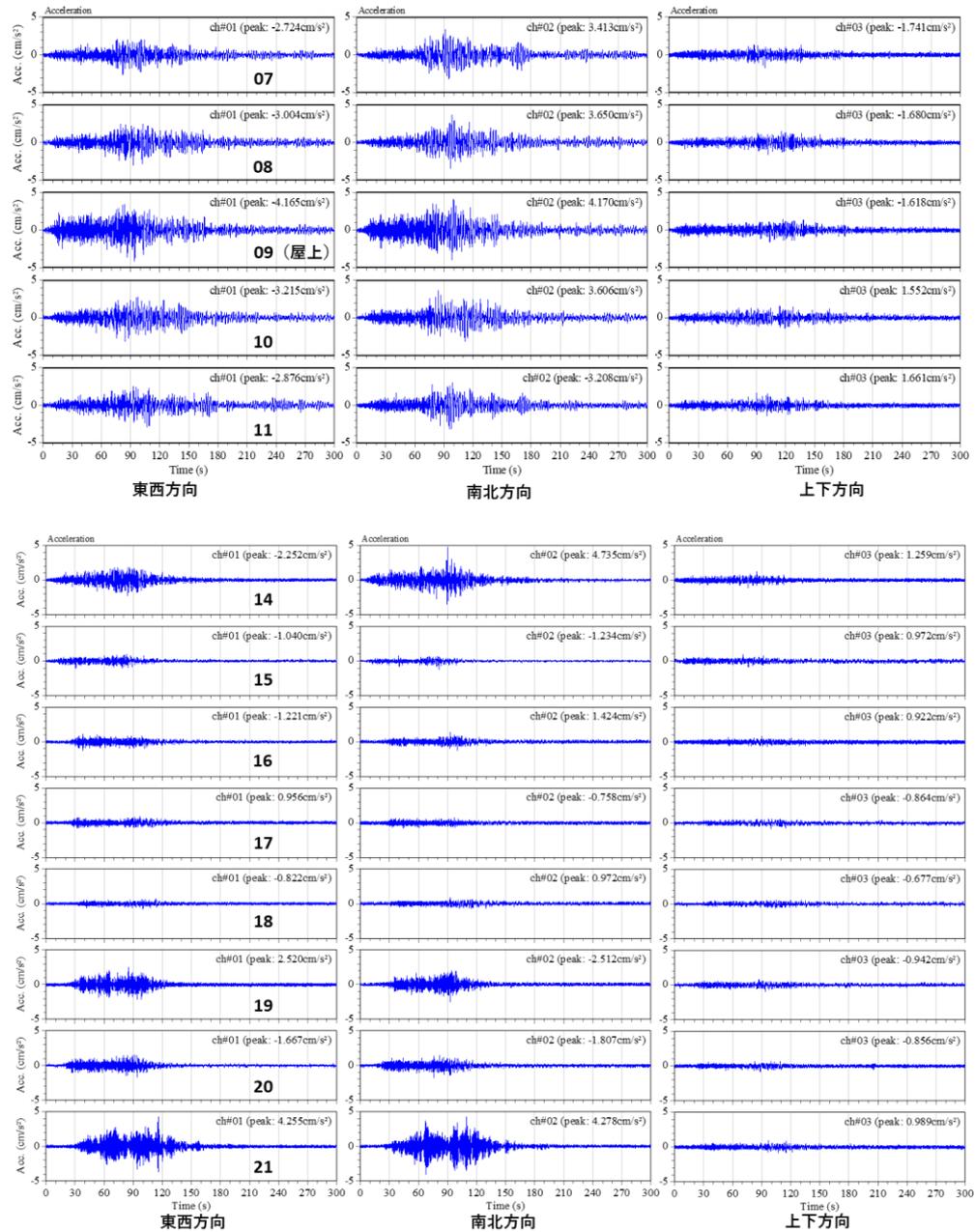


図 2-5-②-8 加速度観測記録 2022年3月16日福島県沖の地震

図 2-5-②-8 に 3 月 16 日の地震の 07~11 の 5 地点と 14~21 の 8 地点の波形を、また図 2-5-②-9 にそれぞれの擬似速度応答スペクトル ($h=0.05$) を示す。この地震で 07~11 の各地点は周期 2 秒程度の成分が共通して卓越しており、短周期成分の差はあまり大きくない。地点 09 は RC 造 5 階建の屋上に設置されており、建物の影響と考えられる周期 0.3~0.4 秒の成分の卓越がみられる。一方、14~21 の 8 地点は、周期 2 秒以上の長周期成分は類似の特性であるが、07~11 より大幅にレベルが低い。この差は深部地盤構造の相違に由来すると考えられる。一方、1 秒前後より短周期は地点の差が大きく、表層地盤の影響が考えられる。

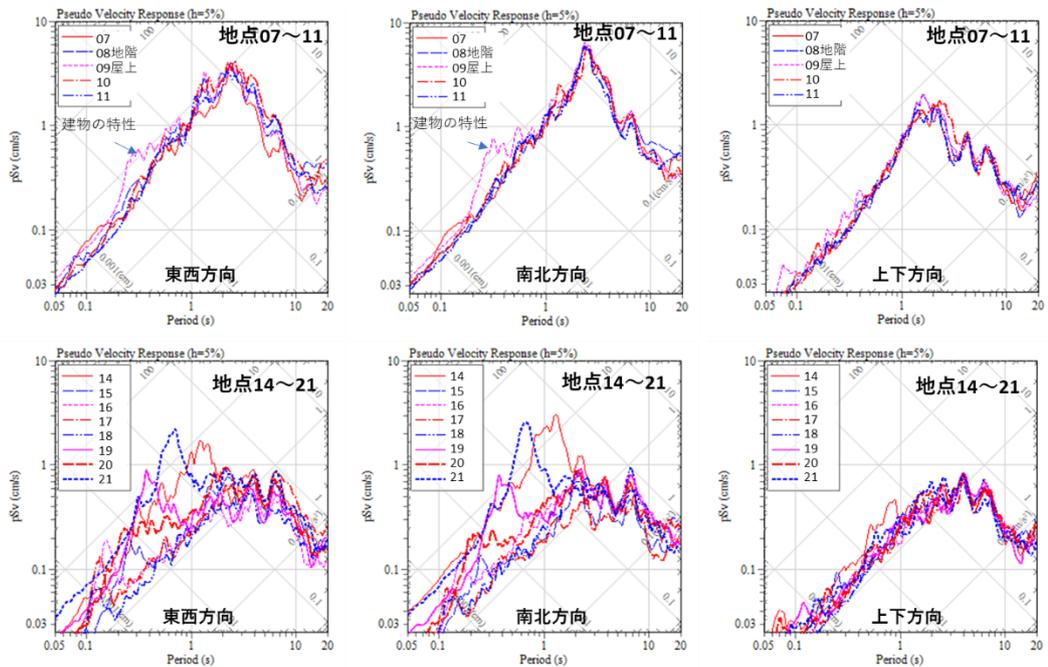


図 2-5-②-9 擬似速度応答スペクトル
2022年3月16日福島県沖の地震

以上の地点間の相違の傾向は2021年12月3日紀伊水道の地震でも、ほぼ同様に見られる(図2-5-②-10、図2-5-②-11)。地点07~11では周期2秒程度の成分が見られ、地点14、15では長周期が小さくなっている。短周期成分では地点の差が大きい。

地点07~11は約3km、一方、地点14~23は15km程度の範囲であり、近傍地点間は2~5km以内である。この地域でも上述の深部地盤構造の影響がみられ、一方で、比較的狭い範囲でも表層地盤の影響と思われる震度の差がみられる。それらの傾向は地震によっても異なり、既存の震度計配置では十分な震度分布情報が得られない場合があることが分かる。

ここで検討したような小地震記録の蓄積が将来の対応に有用であると同時に、臨時情報が発表される状況の中で、当該地域が大地震となる場合、あるいはいわゆる「西半割れ」の際にも活用しうる情報であると考えられる。また、加速度連続記録の分析から、かなり低レベルの振動も観測されており、ノイズの影響で震度の精度が十分でなくても、連続モニタリングとして活用の可能性もあると考えられる。

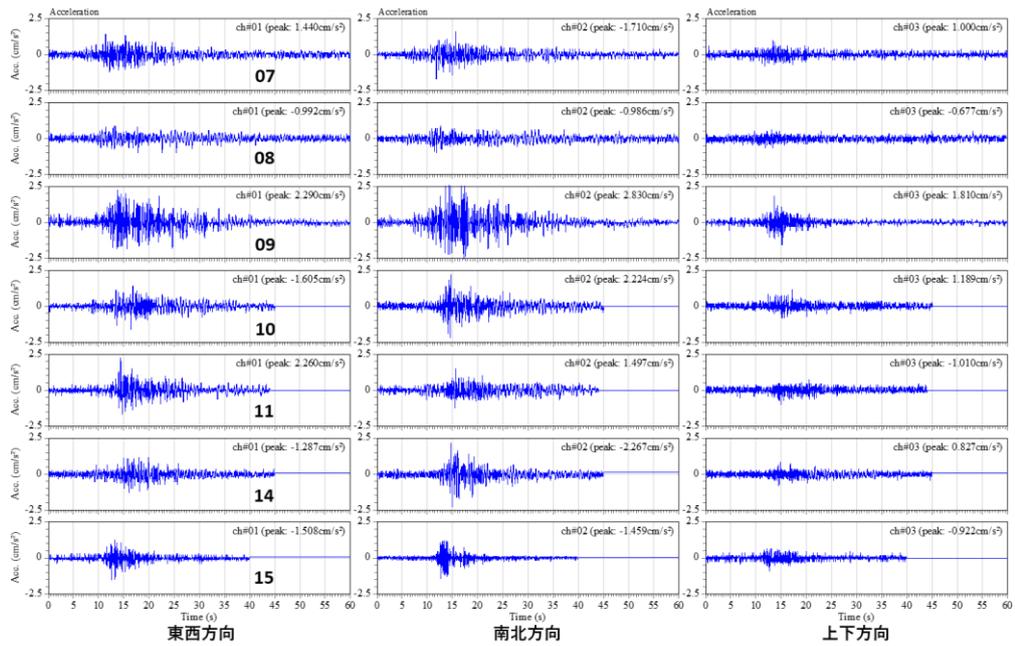


図 2-5-②-10 加速度観測記録 2021年12月3日紀伊水道の地震
(各記録の時刻ずれは未補正)

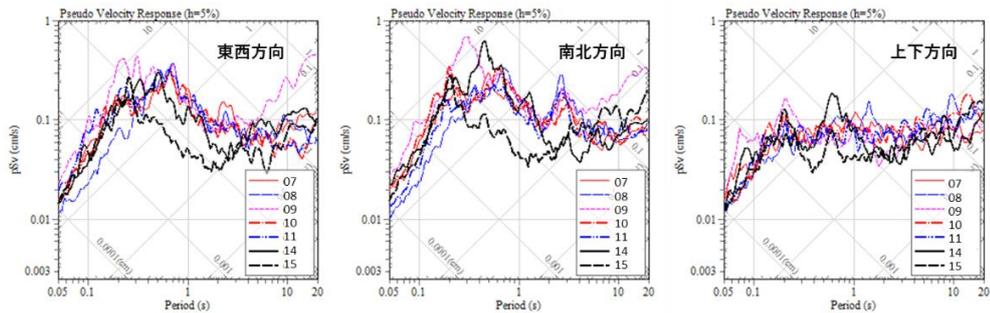


図 2-5-②-11 擬似速度応答スペクトル 2021年12月3日紀伊水道の地震
(地点 14, 15 を黒色で表示)

今後の検討内容として、大きく以下の3点があげられる。

- ・設置点拡充・記録蓄積と地盤・建物特性との関係の検討。現状の測線に加えて新たな観測計画を検討する。また観測記録の特性と、地盤や建物の資料との整合を確認するとともに、常時微動観測により検証を行う。これにより観測精度の向上が期待できる。
- ・他のモニタリング情報との統合利用環境の構築。ウェブ GIS を使い、一般的な地理・都市情報のほか、本研究課題で検討されている他の情報との統合利用を検討する。
- ・重要建物のモニタリングの検討。現状の試験的配置において、建物の1階と最上階に地震計を設置し、建物特性の評価を行っている。この成果に加えて、他の建物でも同様の観測を実施することにより、建物特性の検出及び被災等による変化の有無などを迅速に判断する機能を実装する。災害時に重要な役割を果たす建物のモニタリングは、地盤震度分布と合わせて初期対応等に重要な情報となりうる。

3) リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築

令和2年度の検討では、A県下において水道事業を担当するA県企業庁を対象に、これまで名古屋大学が開発してきた情報共有システム CASI-KA を用いた災害情報リアルタイム共有を導入するための調整、並びに用件定義をおこなった。また、実証実験を行うための各種データ整備を行なった。

これを踏まえ、今年度はA県企業庁と名古屋大学減災連携研究センターの合同で災害対応訓練を実施し、この中で CASI-KA を試行することで、システム上の課題に加え、運用体制に関わる課題を洗い出すこととした。訓練の概要は、2021年10月29日、南海トラフ地震の発生を想定して、企業庁、減災連携研究センターの双方で発災対応をシミュレーションする。その中で、CASI-KA を用いたリアルタイムの情報収集を行い、組織間でも情報共有を行うものである。企業庁の災害対応は策定済みの BCP に沿って行われるが、今回は BCP に定められる「非常時の（管路網等に係る）情報収集」並びに「応急対応の報告」において、CASI-KA を用いることとした。一方、減災連携研究センターは明確な BCP が定められていないため、災害対策本部が設置された後、個別指示によって CASI-KA を用いた情報収集を行なうこととした。さらに、一般市民役からの CASI-KA 投稿も同日併せて実施した。この意図は、システム上にノイズとなる情報を混入することで、情報量の増大並びに仕分けの困難さを際立たせることで、現実の災害状況を多少シミュレートするものである。また、ノイズの中から社会動態を捉え対応に活かすことが可能かどうかを検証する目的もある。システム上での訓練の参加者は、企業庁4名、減災連携研究センター10名、一般市民役（実際は消防団や減災連携研究センターOB）が14名である。当日のタイムテーブルを表2-5-②-3に示す。

表2-5-②-3 CASI-KA を用いた訓練タイムテーブル

時刻	状況付与・対応
11:00	災害発生（南海トラフ地震 全割れM9.0 ） 一般市民 による自主的な地域の被害情報収集開始 A県企業庁職員 による管路網の被害状況収集開始（BCPに基づく自動対応） 愛知県企業庁に災害対策本部設置
13:00	企業庁職員 による管路網の復旧状況報告開始（BCPに基づく自動対応）
13:30	名古屋大学減災Cに災害対策本部設置
14:30	名古屋大学減災C職員 による大学周辺の被害状況収集開始
15:30	名古屋大学減災Cで災害対策本部会議における状況報告を実施 A県企業庁で災害対策本部会議における状況報告を実施
	実験終了、振り返り

実験の結果、終了時まで企業庁16件、減災連携研究センター14件、一般市民役104件の情報が登録された。企業庁、減災連携研究センターとも情報集約を行う本部は1台

の PC でこれら全ての情報を閲覧することになり、情報量としてはかなりのものとなった。図 2-5-②-12 に、PC で災害対策本部が閲覧していた画面の例を示す。地図上には、訓練参加者がスマートフォンで撮影した情報の位置がアイコンで表示されており、地図上部には写真がリストになっている。写真をクリックすれば、対応する地図上のアイコンがフォーカスされる仕組みとなっている。また、画面左には登録された情報の詳細がタイムライン（時系列で上から下）に並んでおり、時間の流れに沿って状況を確認することもできる。

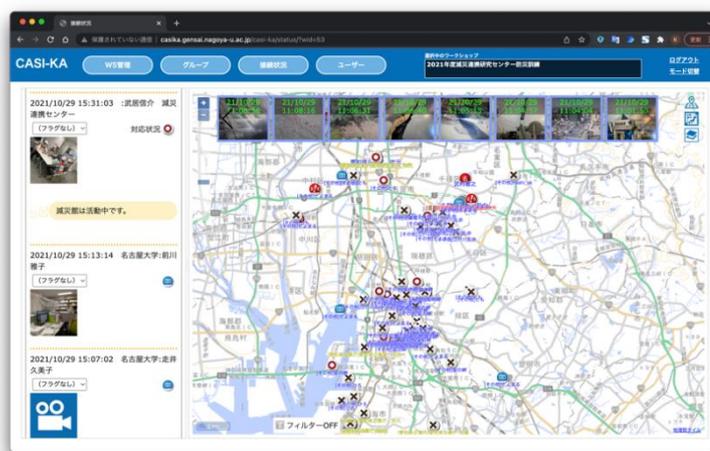


図 2-5-②-12 CASI-KA 本部画面（実験結果）

実験終了後、企業庁の参加者及び災害対策本部係を担当した職員への聞き取り調査を行った。そこで得られた反応や課題を以下に取りまとめる。まず、BCP に取り決められている、非常参集時の状況共有のための報告や、応急処置実施時の報告において、CASI-KA のようなリアルタイム・位置情報付きの仕組みは有益であるとの意見だった。通常、リアルタイム性を求める場合は無線などの手段を用いるが、この場合は正確な位置や状況などのディテールが伝わらない。他方、正確性を期す場合は書面にて FAX 等での伝達を行うが、この場合は即時性が失われる。このように、既存の情報集約では両立し難いメリットをシステム上で実現できることが、現場で実感されたことは成果の一つである。また、システム化することで、後から情報を任意で取り出し、振り返ることも有益であるとされた。訓練・実際の災害対応のいずれにおいても、後から検証することは極めて重要である。そのため、こうしたシステムを平時から訓練に運用していくことには意義がある。

他方、システムを用いることの課題も浮かび上がってきた。最たるものは、今回のように（そして本番の災害で予見されるように）大量の情報が一度に押し寄せた場合、対応の要否によって優先順位をつけなければならない。現状、こうした点を AI 等で自動化するには至らないため、効率的に人が処理できるような仕組みが必要である。そこで、図 2-5-②-13 に示すようなフラグ機能を実装した。従前より、情報種別や情報登録者によって地図・タイムラインを表示制御するフィルタリング機能は有していたが、これは情報登録時に決められた属性を用いていた。新たに追加したフラグ機能では、災

害対策本部側で情報に対して「要対応」「対応済み」など任意の属性を追加し、フラグを用いて表示がコントロールできるようになる。これにより、情報の整理役（フラグ付与係）が本部に一人いれば、情報が多すぎて把握ができないという事態を避けられるものとする。

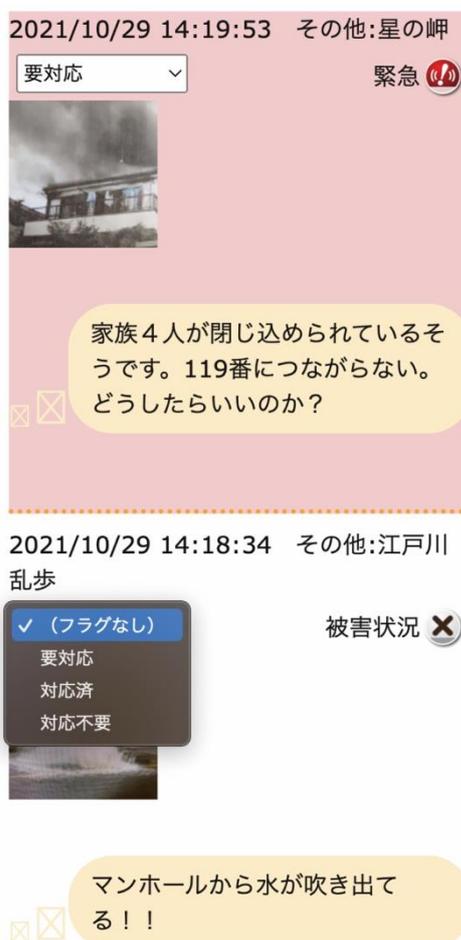


図 2 - 5 - ② - 13 CASI-KA 機能追加（フラグ機能）

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) ライフラインの稼働状況や需要量の推移、交通状況やさらには地震計によってとらえられた雑微動のデータなどにより社会の活性度合やその変化（災害時には被災状況）を推定しうる可能性のあることを明らかにした。社会のモニタリング手法には様々な可能性があるとは言えるものの、社会活動そのものは多様であり、かつ幅広いものであることから、災害対応という視点からは何のどのような状態変化を把握すべきなのか（把握したいのか）を整理し、対象を絞ったうえで検討を深めていく必要があると考えている。その意味では事前の予測も重要であり、例えば臨時情報に対する社会活動の変化について、予めどのような事態の出現が想定されるのかを検討し、その結果をもとにモニタリングに用いるデータやその分析手法を具体的に検討していく必要があると考える。臨時情報発表時の事態想定については、別途ワークショップなどにより把握・整理を行っていることから、既往災害において

出現した状況の分析とともに、その取り組みとも連携して検討を進めていくことが次年度に向けての課題と考えている。

- 2) 地盤条件や社会状況から見て既存の震度観測の密度が相対的に低い地域があること、このような地域に、無線ネットワーク接続された小型地震計を階層的かつ戦略的に配置する振動モニタリングで、多大なコストを要せずに、事前の対策や発災後の対応に有用な情報が得られる可能性があることを示した。今年度の小地震の観測例は限定的であるが、ここ数年の地震発生状況から見れば、検討に必要な多様な観測記録が比較的短期間で得られることが期待できる。今後の課題は、モニタリングが有効な地域の選定と設置拡充、建物や地盤情報との整合の検討、他の各種の地域情報との統合利用、そして建物被災状況モニタリングへの展開、などである。
- 3) 実験を通じ、CASI-KA システムを用いた災害情報の収集・共有について、明確なメリットがある事が確認できた。また、ノイズを含む情報によってシステムで共有される情報量を増加させたところ、システム利用上の課題が見つかり、それに対する改修を行った。今後の課題として、別組織からの情報や、市民役からの情報をもとに社会動態を踏まえた対応を行うには至っていないことも確認された。情報システムを使う最大のメリットは、物理的な距離を超えて情報を共有できることにある。全く異なる組織間での情報共有には政治的なハードルがあるが、まずは組織内の部署間など比較的近いところから情報共有を試み、そのためのシステム最適化を図っていく。

(e) 引用文献

- 1) 国立環境研究所： 社会の活動を“見える化”する～エネルギーモニタリング事業と社会実装研究，
<https://www.nies.go.jp/kanko/news/36/36-1/36-1-05.html>
- 2) 今井龍一・他： 多様な動線データ動線データの組み合わせ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察，第48回土木計画学研究発表・講演集，2013
- 3) つくばモビリティ・交通研究会資料：
https://www.city.tsukuba.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/001/925/koutuukenkyuukai2015.pdf
- 4) 産業技術総合研究所： 地震計データから読み解くコロナ禍による経済・余暇活動の縮小，
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2021/pr20211105/pr20211105.html
- 5) Nimiya et al. : Temporal changes in anthropogenic seismic noise levels associated with economic and leisure activities during the COVID-19 pandemic, 11:20439, Scientific Reports, 2021
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-00063-6>
- 6) 防災科学技術研究所： 地震ハザードステーション J-SHIS, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 7) 愛知県： 三河地域堆積平野地下構造調査，2003

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
A Study on Application of Seismic Interferometry to Traffic Induced Vibration (ポスター)	T. Hirai, H. Takahashi, and M. Mori	17th World Conference on Earthquake Engineering	2021.9.27	国外
中核市自治体における住民の避難意向に関する調査 その1 河川氾濫における避難について（口頭）	穴井英之, 倉田和己, 新井伸夫, 荒木裕子, 平山修久	第48回地域安全学会研究発表会（春季）梗概集	2021.5.21	国内
中核市自治体における住民の避難意向に関する調査 その2～南海トラフ臨時情報について（口頭）	倉田和己, 穴井英之, 荒木裕子, 新井伸夫, 平山修久	第48回地域安全学会研究発表会（春季）梗概集	2021.5.21	国内
災害時における社会活動のモニタリング（口頭）	新井伸夫, 都築充雄, 福島誠一郎	日本建築学会大会学術講演会	2021.9.10	国内
組織間を横断した災害情報共有の試行実験と考察～人的リソースと対応状況の効率的把握を目指して～（口頭）	倉田和己, 田代喬	第24回日本災害情報学会・学会大会	2022.3.19～20	国内
大沢家本願寺関係文書に記された安政東海・南海地震（ポスター）	平井敬	第38回歴史地震研究会（苫小牧大会）	2021.9.2	国内
多様なセンサーに対応した総合的波形分析・可視化システムの開発 その2 センサーの性能評価とリアルタイム波形処理（口頭）	平井敬, 福和伸夫	日本建築学会2021年度大会	2021.9.10	国内
低周波数サンプリングの加速度記録に適用可能なリアルタイム震度演算法（ポスター）	平井敬, 吉岡優樹	日本地震学会2021年度秋季大会	2021.10.15	国内

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

③事態想定シミュレーション手法の構築に関する検討

(a) 業務の要約

南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相シナリオ構築するためには、官民における時間的・空間的な階層での南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相や各主体における対応に関するデータ収集を行うことが必要である。本研究では、名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、ワークショップを地域研究会活動として実施し、南海トラフ地震臨時情報に対する被災シナリオについて検討する。

(b) 業務の実施方法

名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相を考えるワークショップを設計し、名古屋大学減災館で実施する。ワークショップで得られた結果を構造化する。また、南海トラフ地震臨時情報に関する思考実験を行い、テキストマイニングにより、社会様相を構成する要素について検討する。

(c) 業務の成果

1) 南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相シナリオ構築

a) はじめに

南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相シナリオ構築するためには、官民における時間的・空間的な階層での南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相や各主体における対応に関するデータ収集を行うことが必要である。本稿では、名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、ワークショップを地域研究会活動として実施し、南海トラフ地震臨時情報に対する被災シナリオについて検討する。

b) 南海トラフ地震臨時情報ワークショップ

2021年9月28日、名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相を考えるワークショップを、名古屋大学減災館で実施した。

本ワークショップには自治体職員等約30名が参加した。

i) ワークショップ手法

まず、南海トラフ地震臨時情報について確認し、西側の半割れケースについて、東側に位置する中部地域の社会様相について考えるワークショップを行う。南海トラフ地震臨時情報に関する話題提供の後、3グループに分かれ、半割れケース（西側）が発生したケースでの中部地域で生じるイベントやそれぞれの主体の対応について「イベントカード」としてアイデアを抽出し、模造紙とポストイットを用いて時系列で構造化した。

その後、各グループ別に模造紙を用いて発表を行い、質疑応答を行いながら、共有した。

写真2-5-③-1にワークショップの様子を示す。



写真2-5-③-1 南海トラフ地震臨時情報ワークショップの様子

ii) ワークショップ結果

図2-5-③-1にワークショップで得られた結果を示す。

ここでは、

- ・最寄りの役所への問い合わせが殺到する
- ・行政への過度な要求（避難所や食事提供など）が寄せられる
- ・食料品の購入のため住民が殺到する

- ・大型商業施設が臨時休業する
 - ・通販に頼る人が急増し、物流が滞る
 - ・事前避難しない人がいるが、その状況がわからない
 - ・介護が必要な人の受け入れができない
 - ・避難行動に支援が必要な人ほど事前避難準備地域に取り残される
 - ・企業の事業活動に支障が出て、休業や操業停止する
- などの社会様相が示された。

今後、これらのイベントカードについて、因果関係や連関を踏まえて構造化することが必要である。



図 2-5-③-1 南海トラフ地震臨時情報ワークショップでの結果
(臨時情報発表時の社会様相アイデアカード)

- c) 令和 4 年 1 月 22 日日向灘の地震を題材とした臨時情報（巨大地震注意）想定
- 令和 4 年 1 月 22 日 01 時 08 分頃、日向灘において、深さ 45km、M6.6、最大震度 5 強（大分県大分市等）の地震が発生した。この地震は、図 2-5-③-2 に示すように、南海トラフ地震想定域内で発生した地震であり、緊急地震速報の第 1 報（地震発生後 4.0 秒）は M7.2 であった。速報値は M6.4 であり、暫定値は M6.6 であった。南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）の条件は、監視領域内において、モーメントマグニチュード 7.0 以上の地震が発生したと評価した場合、もしくは、想定震源域内のプレート境界面において、通常と異なるゆっくりすべりが発生したと評価した場合、である。したがって、この地震の規模がもう少し大きい場合には、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）が発表されたと想像される。

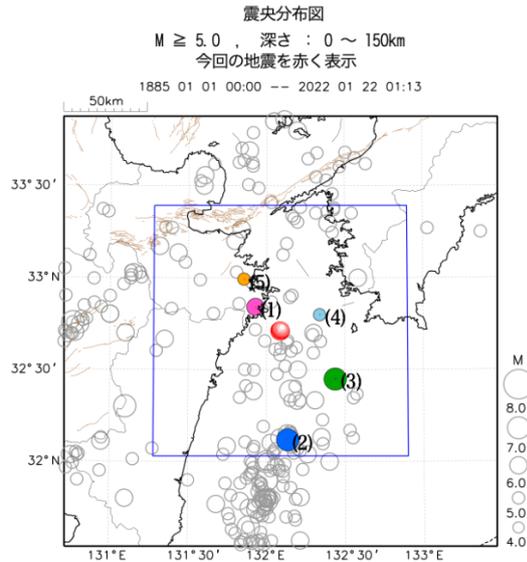


図 2-5-③-2 令和 4 年 1 月 22 日日向灘の地震に係る過去の地震¹⁾

そこで、名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会において、令和 4 年 1 月 22 日の日向灘の地震で、もし臨時情報（巨大地震注意）が発表されていたとしたら、社会はどうなっているのか、それぞれの主体はどう対応しているのか、社会様相に関するアイデアを箇条書きで抽出した。その結果、20 名から 79 件の社会様相に関するアイデアが収集された。

この収集された社会様相に関するアイデアについて、テキストマイニングにより、出現頻度を可視化した。図 2-5-③-3 にワードクラウドを示す。これより、南海トラフ地震臨時情報発表時においては、社会、心理、サプライチェーン、対象地域に関する事象が多く、これらに関連する産業、避難、インフラ、経済活動など、特徴的な時間断面での社会様相が想定される。今後は、さまざまな特徴的時間軸における社会様相解明のため、臨時情報発表時の企業の対応に関して、BCP や人・施設の確保の観点からの対応を明らかにすることが必要であるといえよう。

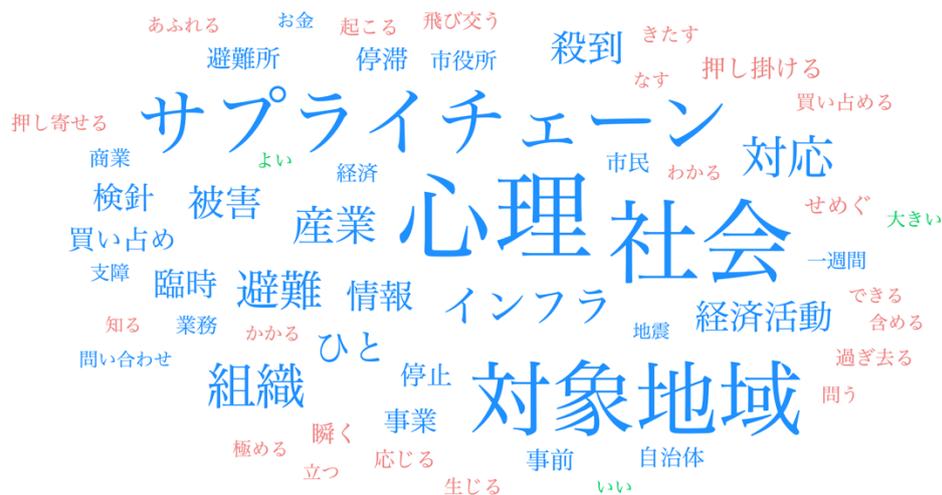


図 2-5-③-3 南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）を想定した社会様相に関するワードクラウド

2) 南海トラフ地震臨時情報発表時における事態想定検討

a) はじめに

南海トラフ地震臨時情報発表時での事態想定を検討するためには、南海トラフ地震での事態想定について、ワークショップ手法のみならず、さまざまな数値解析モデル、シミュレーション手法により検討することが求められる。本稿では、災害拠点病院への応急給水に着目し、南海トラフ地震での災害拠点病院に関する事態想定について検討する。すなわち、災害拠点病院への応急給水に着目し、セルオートマトン法による災害拠点病院への応急給水数値解析モデルを構築することを目的とする。

b) 南海トラフ地震と災害拠点病院

新水道ビジョンで示された「強靱」「安全」「持続」のもと、水道の強靱化に向けて水道施設の耐震化が進められてきている。水道施設の耐震化においては、災害時において重要となる拠点となる指定避難所、公立小中学校、災害拠点病院は、人命の安全確保を図るために給水優先度が特に高いものとして位置付け、最重要施設へ供給する管路の優先的な耐震化の重要性が指摘されている²⁾。しかしながら、基幹管路の耐震化率は平成 30 年度において 25.9%にとどまっている³⁾。

近い将来の発生が危惧されている南海トラフ地震では、直後で最大約 3,440 万人の断水が想定されている⁴⁾。被災水道事業者での震災時の初動体制や応急体制の確立、応急給水、応急復旧活動や広域災害時の水道事業者の災害対応体制強化の取り組みがなされてきている^{5) 6)}。しかしながら、初動体制、受援体制、広域災害時の資源確保についてはさまざまな課題が指摘されている⁷⁾。

i) 解析対象地域

南海トラフ地震防災対策推進地域は、(1)震度 6 弱以上の地域、(2)津波高 3 m 以上で海岸堤防が低い地域、(3)防災体制の確保、過去の被災履歴への配慮、に基づき、1 都 2 府 26 県 707 市町村が指定されている⁸⁾。日本水道協会では、応急給水の相互支援については、地方支部単位、都道府県単位で検討がなされてきている。災害

拠点病院については、基幹災害医療センターは都道府県に原則 1 箇所以上、地域災害医療センターは二次医療圏ごとに原則 1 箇所以上整備されている。二次医療圏は、地理的条件等の自然的条件及び日常生活の需要の充足状況、交通事情等の社会的条件を考慮して、一体の区域として病院における入院に係る医療（前条に規定する特殊な医療並びに療養病床及び一般病床以外の病床に係る医療を除く。）を提供する体制の確保を図ることが相当であると認められるものを単位として設定すること、と規定されている⁹⁾。したがって、本研究では、解析対象の単位を都道府県ではなく、都道府県内の地域を解析単位とする。すなわち、一例として愛知県では、名古屋市、尾張地域、海部地域、知多地域、西三河地域、東三河地域とした。

南海トラフ地震防災対策推進地域のうち、都府県内の震度 6 弱以上の区域が面積の 10% 以上である都府県であり、津波浸水想定区域内に災害拠点病院もしくは浄水場が存在する 1 府 13 県 43 地域を解析対象地域とした。

ii) 災害拠点病院

災害拠点病院一覧¹⁰⁾より、解析対象地域内の災害拠点病院を抽出し、ジオコーディングにより災害拠点病院の住所から緯度経度に変換した。解析対象の災害拠点病院は 186 箇所であり、病床数は 87,886 床である。図 2-5-③-4 に災害拠点病院と病床数の分布を示す。

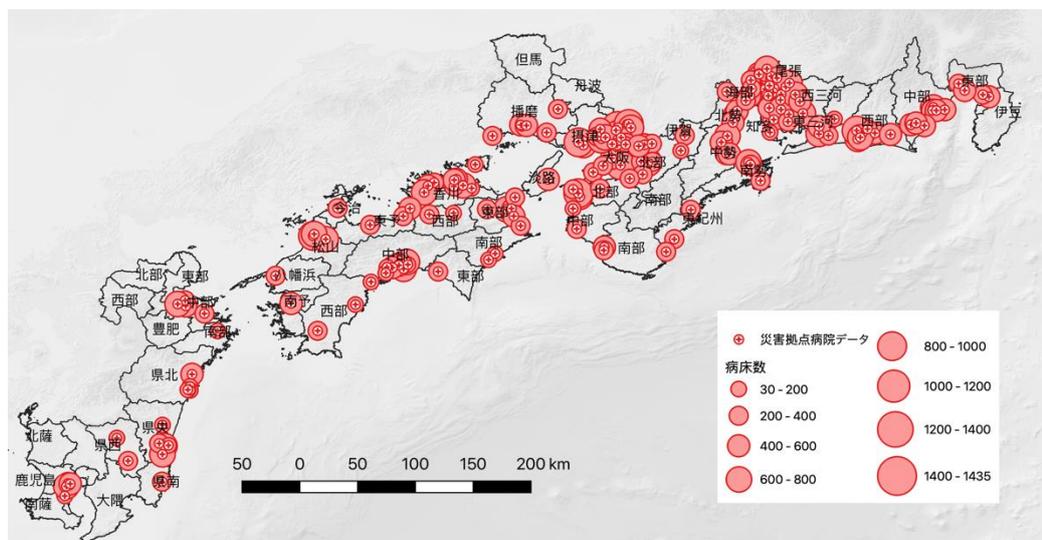


図 2-5-③-4 南海トラフ地震防災対策地域における災害拠点病院と病床数分布

災害拠点病院の震度暴露は、中央防災会議による強震断層モデル⁴⁾のうち被害量が大きくなる陸側ケースの場合、震度 7 に 34 箇所、14,364 床、震度 6 強に 65 箇所、30,255 床、震度 6 弱に 70 箇所、36,130 床となる。解析対象地域では、震度 6 強以上に 53.2% の災害拠点病院が存在し、病床は 50.8% であった。図 2-5-③-5 に震度別災害拠点病院数と病床数を示す。

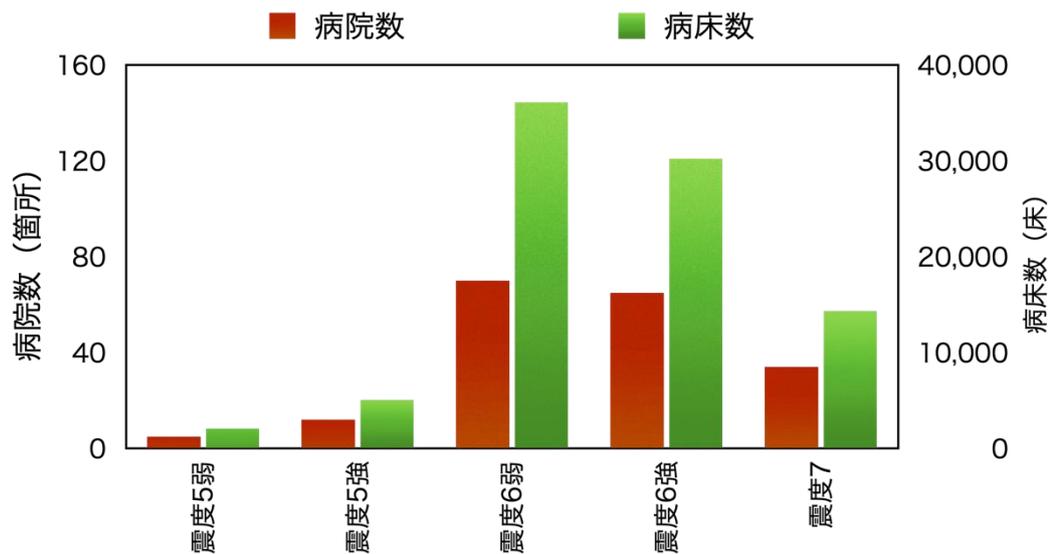


図 2 - 5 - ③ - 5 震度別災害拠点病院数と病床数

津波浸水深別の災害拠点病院数と病床数を図 2 - 5 - ③ - 6 に示す。津波浸水深が 0.0m、すなわち津波による浸水被害を受けない災害拠点病院は、駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域+超大すべり域を設定した場合（ケース 1）で 162 箇所、78,469 床、紀伊半島沖に大すべり域+超大すべり域を設定した場合（ケース 2）で 161 箇所、78,846 床、紀伊半島沖から四国沖に大すべり域+超大すべり域を設定した場合（ケース 3）で 160 箇所、78,903 床であった。

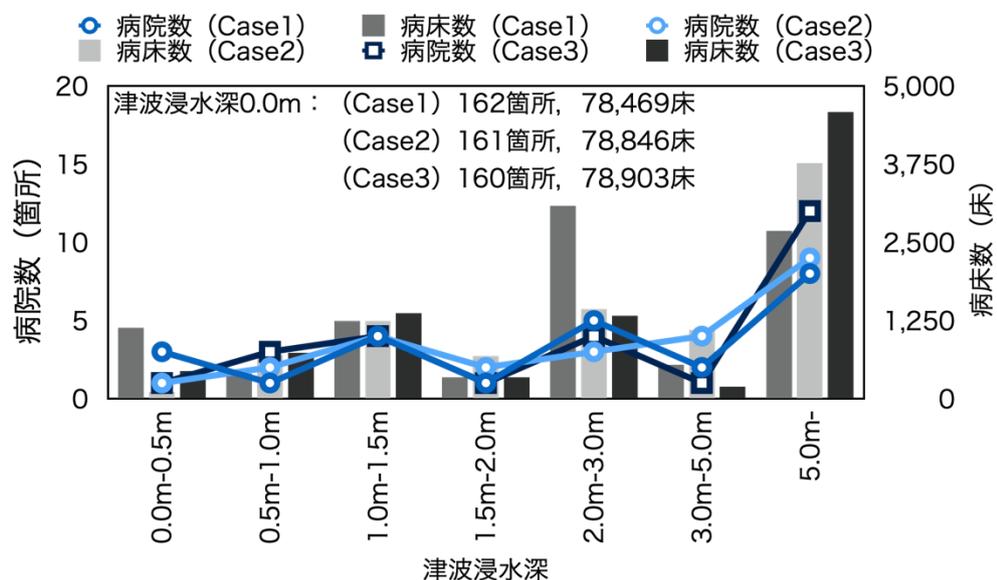


図 2 - 5 - ③ - 6 災害拠点病院の津波浸水暴露量

災害拠点病院が同定される地域メッシュの周辺地域メッシュの津波浸水深について検討した。その結果、周辺 8 地域メッシュすべてが 1.5m 以上の津波浸水深となる、すなわち、津波浸水で孤立する災害拠点病院は、ケース 1、ケース 2 でそれぞれ 11 箇所、ケース 3 で 13 箇所となることがわかった。

c) セルオートマトン法による災害拠点病院への応急給水

i) セルオートマトン法

セルオートマトンは、Neumann¹¹⁾により生物の自己再生の数理モデルとして導入され、現在では社会、物理、化学等の広範囲における複雑現象解明のための有力な手法となっている。セルオートマトン法とは、同じ大きさのセルで区切られた基盤を考え、そこに単純な規則を当てはめることで様々な現象をシミュレーションすることのできる離散的計算モデルである。

ii) セルオートマトン法による災害拠点病院への応急給水数値解析モデル

標準地域メッシュをセルとみなし、時刻 t における給水車の状態に対して、浄水場、災害拠点病院、道路情報などのセルに格納されたラスタデータに基づき時刻 $t + dt$ における給水車の状態遷移を計算する。給水車の状態として、1) 浄水場で給水車に注水、2) 目的地の災害拠点病院を設定、3) 災害拠点病院へ移動(往路)、4) 災害拠点病院で待機、5) 災害拠点病院で応急給水活動、6) 注水する浄水場を決定、7) 浄水場へ移動(復路)、8) 浄水場で待機、の8つのステップを設定する。また、給水車の状態に関する情報として、給水車 ID、現在座標、状態、状態継続時間、目標地点 ID、目標地点地域メッシュコード、給水タンク容量、応急給水積載量、移動経路などを保持するものとした。解析時間単位 dt 毎に、すべての給水車に対して状態を算出することで、災害時の災害拠点病院への応急給水活動をシミュレーションする。

災害時の道路については、被災箇所とともに災害時の通行可能な道路や交通規制による緊急交通路の確保状況は災害対応において重要なインフラ情報となる。本研究では、セルオートマトン法による給水車の数値解析モデルを構築することから、道路情報として地域メッシュ別の道路密度を用いるものとした。

d) 南海トラフ地震での災害拠点病院への応急給水結果

本稿では、セルオートマトン法による応急給水数値モデルを適用し、南海トラフ地震での災害拠点病院への応急給水活動シミュレーションを実施した。数値解析については、1日の応急給水活動を8時から20時の12時間で、解析時間単位を10分とした。給水車のタンク容量はすべて2t車とし、給水タンク容量は1.7m³とした。

浄水場における給水車への注水作業時間は20分とし、同時に注水可能な給水車数を2台とした。災害拠点病院における応急給水活動時間は20分/回とし、同時に給水可能な給水車台数は1台とした。本稿では、道路密度はあくまでも給水車の移動経路の選択に用いるものとし、交通量、交通密度、速度への影響については取り扱わないものとした。移動経路については、道路密度の大きな地域メッシュを移動するものとした。移動速度は、平成27年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査集計結果整理表¹²⁾の表5旅行速度整理表における都道府県別の昼間非混雑時旅行速度より、東日本大震災における災害時の速度割合実績値0.54を用いることとした。

応急給水活動を行う災害拠点病院、注水する浄水場は、一様乱数により地域内で選択するものとし、モンテカルロ法 $N=100$ での数値解析を行った。

災害拠点病院別応急給水量ならびに病床当り給水量の $N=100$ での平均値を図 2-5-③-7 に示す。災害拠点病院への平均応急給水量は $26.3\text{m}^3/\text{日}$ 、最大 $93.5\text{m}^3/\text{日}$ であった。災害拠点病院への平均応急給水回数は $15.6\text{回}/\text{日}$ となり、病床当り給水量平均値は $56.0\text{L}/\text{床}$ であった。水道施設設計指針では業態別原単位において病院一床当り水使用量は $1,290\text{L}/\text{床}\cdot\text{日}$ と示されている¹³⁾。松原ら¹⁴⁾は愛知県内の災害拠点病院の 1 日水使用量を $100\sim 700\text{m}^3$ と報告している。小坂¹⁵⁾は病院の単位給水量分析を行い、床当り給水量を $542\text{L}/\text{床}\cdot\text{日}$ としている。これより、災害拠点病院が断水した場合、被災地域の水道事業者での給水車による応急給水では大きく不足する。

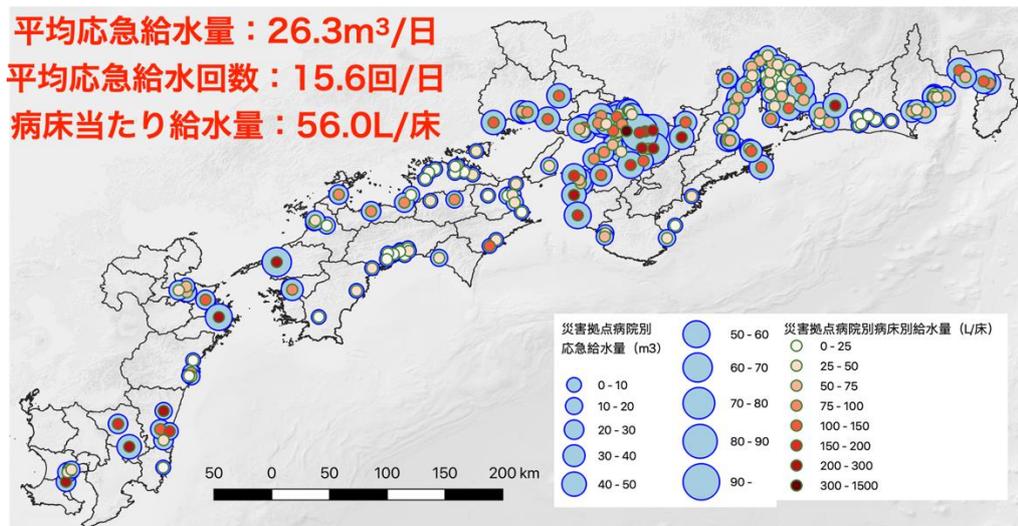


図 2-5-③-7 災害拠点病院別の応急給水量数値解析結果

図 2-5-③-8 に地域別応急給水量と病床当り給水量を示す。これより、応急給水量が多い地域が必ずしも病床当りの給水量が多くなるとはかぎらないといえる。したがって、今後、外部支援戦略、災害拠点病院への管路耐震化、災害拠点病院の事業継続について、応急給水量や病床当りの給水量確保など定量的な検討が重要である。以上のことから、南海トラフ地震臨時情報が発表された場合、多くの災害拠点病院において、応急給水のみならず、人やもの、情報の途絶が想定され、籠城するなどの手段を選択した場合においても、いかに病院機能維持を維持するのが重要となる。

- 4) 内閣府中央防災会議（2013）：南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）
- 5) 厚生労働省（2020）：地震対策マニュアル策定指針【事前対策・事後対策編】，pp. II-84.
- 6) 日本水道協会（2020）：地震等緊急時対応の手引き
- 7) 熊本市上下水道事業（2018）：熊本地震からの復興記録誌～地下水都市・熊本を守る～，pp. 85.
- 8) 内閣府（2014）：南海トラフ地震防災対策推進地域
- 9) 厚生労働省（2012）：災害時における医療体制の充実強化について，医政発 0321 第 2 号.
- 10) 厚生労働省（2018）：災害拠点病院一覧
- 11) J. V. Neumann (1966): Theory of Self-reproducing Automata, University of Illinois Press.
- 12) 国土交通省（2017）：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査集計表
- 13) 日本水道協会（2012）：水道施設設計指針 2012
- 14) 松原悠，伊藤秀行，秋月伸哉，畑山満則，吉澤源太郎，高岡誠子（2020）：断水時における災害拠点病院の事業継続に関する調査報告，京都大学防災研究所年報，63B，pp. 17-24.
- 15) 小坂信二（2018）：病院の水使用量分析と水負荷計算法による給水量計算，空気調和・衛生工学会論文集，253，pp. 79-861

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
「住まい」をテーマとした構成要素の構造化と災害による変化を表現する試み（口頭）	荒木裕子，鳥居朱里，福和伸夫	第48回地域安全学会研究発表会（春季）梗概集	2021. 5. 21	国内
南海トラフ地震時の災害拠点病院への応急給水数値解析モデル構築（口頭）	平山修久，市岡宗詢	環境衛生工学研究，第 35 巻 第 3 号，pp. 112-114	2021. 7. 31	国内
応急給水活動からみた災害拠点病院の災害時の水対策（口頭）	平山修久	第27回日本災害医学会総会・学術集会	2022. 3. 3	国内
災害拠点病院への応急給水からみた災害対策	平山修久，市岡宗詢	令和3年度全国会議（水道研究発表会）	2021. 12. 1	国内

(口頭)		講演集, p. 704-705		
------	--	-----------------	--	--

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

④臨時情報発表時における地域情報共有連携手法の構築

(a) 業務の要約

臨時情報発表時における地域情報共有連携手法を検討するにあたり、令和2年度に実施・検討を進めた遠隔型のワークショップについて、実践時の課題を踏まえて、中部圏の産官学民が参加する場及び、愛知県西三河地域の基礎自治体か参加する場に、遠隔型のワークショップを再度試験的に開催し、中部圏の関係機関においては、臨時情報発表時における現状の体制及び課題について共有、意見交換を実施した。また、西三河研究会の基礎自治体のワークショップにおいては、テーマは風水害ではあるもの、新たに東三河地域との関係を構築する上での遠隔型のワークショップを通じた連携の可能性について意見交換を行った。

中部圏でのワークショップ概要を表2-5-④-1、写真2-5-④-1、図2-5-④-1に示す。西三河地域でのワークショップ概要を表2-5-④-2、写真2-5-④-2、図2-5-④-2に各ワークショップ開催概要を示す。

表2-5-④-1 中部圏の関係機関を対象とした
遠隔型ワークショップの開催概要

実施日	令和3年2月25日
会場	愛知県体育館ドルフィンズアリーナ（メイン会場） 愛知県内に拠点を有する16機関は現地参集、1機関はオンライン参加 県外の4機関はZoomミーティングで参加 ※一般市民向けにYouTubeにてライブ配信
参加機関	21機関が参加 名古屋都市センター、名古屋大学、中部地方整備局、内閣府、気象庁、名古屋地方気象台、中部運輸局、中部地方環境事務所、愛知県、三重県、静岡県、名古屋市、豊橋市、田原市、中日本高速道路(株)名古屋支社、(一社)中部経済連合会、中部ブロックDMAT連絡協議会、(一社)愛知県建設業協会、名古屋テレビ放送(株)、(株)CBCテレビ、

	中部経済産業局
実施目的	巨大地図へのプロジェクションマッピングを用いて南海トラフ地震発生時の様々な「リスク」等を共有すると共に、南海トラフ地震臨時情報発表時の事態想定を学び、その際の取るべき行動や事前準備について考え、関係機関の現状や課題を共有することで、視聴者の南海トラフ地震臨時情報に対する理解を高めると共に関係機関の連携強化を図る。
当日の流れ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 主催者挨拶《堀田 中部地方整備局長》 ○ 『南海トラフ地震対策中部圏戦略会議』の紹介 ○ ワークショップ《進行：名古屋大学 福和教授》 ①学習パート <ul style="list-style-type: none"> ・ 福和教授による南海トラフ地震の講話 ・ プロジェクションマッピングで見る南海トラフ地震 ・ 内閣府、気象庁による「臨時情報」の説明 ②演習パート <ul style="list-style-type: none"> ・ 臨時情報発表の実演 <p style="margin-left: 20px;">【西側半割れ地震の発生から臨時情報（巨大地震警戒）発表まで】</p> ③討論パート <ul style="list-style-type: none"> ・ 福和教授と参加機関によるディスカッション ○ 総括コメント《名古屋都市センター 奥野センター長》
特徴と工夫	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「南海トラフ地震臨時情報」に着目・特化して、プロジェクションマッピングを使用した体感型のイベントは全国初の開催 ・ 巨大地図を用いたプロジェクションマッピングの活用、実際のアナウンサーによる速報ニュースや気象庁職員による本番を模した会見などにより、参加者が実際に体験しているような臨場感あふれる情報を発信 ・ COVID-19 感染防止対策のため、無観客開催として YouTube によるライブ配信を実施 ・ 会場参加者は必要最小限に限定（ワークショップ参加機関・報道機関・スタッフ）し、マスク着用、消毒、検温等を徹底

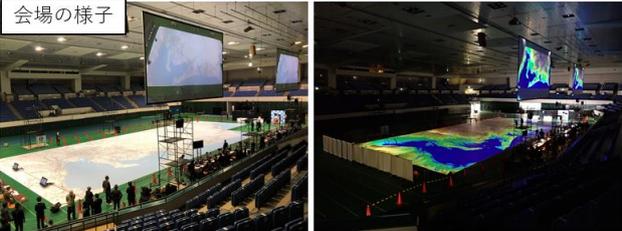


写真 2 - 5 - ④ - 1 中部圏の関係機関を対象としたワークショップの様子

防災ワークショップ2022中部 南海トラフ地震臨時情報、その時あなたは・・・

■日 時：令和4年2月25日（金）午前10時～午後13時頃
 ※【ワークショップ】学習パート（60分）実演パート（30分）討論パート（80分）
■場 所：愛知県体育館ドルフィンズアリーナ ※YouTubeにてライブ配信 一部関係機関はWEB（Zoom）で参加
■主 催：南海トラフ地震対策中部圏戦略会議 あいち・なごや強靱化共創センター
■参加者：参加機関21機関（一部WEB参加）当日のYouTube再生回数1,000以上（3/8現在、再生回数2,500回以上）
 ※名古屋都市センター、名古屋大学、中部地方整備局、内閣府、気象庁、名古屋地方気象台、中部運輸局、
 中部地方環境事務所、愛知県、三重県、静岡県、名古屋市、豊橋市、田原市、中日本高速道路（株）名古屋支社、
 （一社）中部経済連合会、中部ブロックDMAT連絡協議会、（一社）愛知県建設業協会、名古屋テレビ放送（株）、
 （株）CBCテレビ、中部経済産業局、外
■目 的：巨大地震へのプロジェクトマッピングを用いて南海トラフ地震発生時の様々な「リスク」等を共有すると共に、
 南海トラフ地震臨時情報発表時の事態想定を学び、その際の取るべき行動や事前準備について考え、関係機関の現状
 や課題を共有することで、視聴者の南海トラフ地震臨時情報に対する理解を高めると共に関係機関の連携強化を図る

■内容：○主催者挨拶《堀田 中部地方整備局長》
 ○『南海トラフ地震対策中部圏戦略会議』の紹介
 ○ワークショップ《進行：名古屋大学 福和教授》
 ①学習パート
 ・福和教授による南海トラフ地震の講話
 ・プロジェクトマッピングで見る南海トラフ地震
 ・内閣府、気象庁による「臨時情報」の説明
 ②演習パート
 ・臨時情報発表の実演【西側半割れ地震の発生から
 臨時情報（巨大地震警戒）発表まで】
 ③討論パート
 ・福和教授と参加機関によるディスカッション
 ○総括コメント《名古屋都市センター 奥野センター長》



学習パートの様子



実演パートの様子



討論パートの様子



中部地方整備局
堀田局長



中部圏戦略会議
奥野座長



名古屋大学
福和教授

図 2-5-④-1 中部圏を対象とした遠隔型ワークショップの実施概要

表 2-5-④-2 西三河地域を対象とした遠隔型ワークショップの開催概要

実施日	令和3年1月26日
会場	名古屋大学減災館減災ホール 参加者はZoom ミーティングで参加
参加機関	西三河9市1町、名古屋大学減災連携研究センター、中部電力(株)、 中部電力パワーグリッド(株)、中部地方整備局豊橋河川事務所、名古屋地方気象台、 愛知県、東三河5市2町1村など（約30機関、約100名）
実施目的	顕著な大雨による被害の事例、認識を共有するとともに、流域を超えた広域連携に向 けた見交換を行うことにより、関係機関・自治体等における連携の強化を図る。流域 を超えた広域連携を検討するにあたって、これまで連携を育んできた西三河地域に加 えて、東三河地域の基礎自治体関係者との新たな関係づくりの構築も目指して遠隔型 のワークショップを実施した。
当日の流れ	1. ご挨拶（知立市長、福和センター長） 2. 学習パート「顕著な大雨がもたらす被害について（過去の事例・教訓の共有）」 3. ブレイクアウトルームに分かれてグループディスカッション 4. 流域を超えた広域連携に向けた課題や関係づくりに関する意見交換
特徴と工夫	・流域を超えて相互に応援、受援が行えることを念頭に、これまで連携強化に取り組ん

	<p>できた西三河地域に加えて、東三河地域の基礎自治体も参加して、新たな関係づくりの機会として、ワークショップが企画された。(流域治水のその先を目指した視点)</p> <ul style="list-style-type: none"> 各基礎自治体の地域連携に向けた自主性や意向を重んじつつ、相対的によりリソースを持つ、中核市3市(岡崎市、豊田市、豊橋市)が議論のリーダーシップをとる形で、議論を展開。 COVID-19感染防止対策のため、令和2年度の実践を踏まえたZoomを招待とした遠隔型のワークショップの実施。 会場参加者は、幹事市、次年度幹事市、中核3市、事務局(大学)の必要最小限に限定し、マスク着用、消毒、検温等を徹底。
--	--



写真2-5-④-2 西三河地域を対象としたワークショップの様子

令和3年度 西三河防災減災連携研究会ワークショップを実施しました

【概要】

- 日時：令和4年1月26日(水) 14:00～17:30
- 場所等：名古屋大学減災館及びWEB会議システム
- 主催：西三河防災減災連携研究会
- 参加者：西三河9市1町、名古屋大学減災連携研究センター、中部電力(株)、中部電力パワーグリッド(株)、中部地方整備局豊橋河川事務所、名古屋地方気象台、愛知県、東三河5市2町1村など（約30機関、約100名）
- 目的：顕著な大雨による被害の事例、認識を共有するとともに、流域を超えた広域連携に向けた意見交換を行うことにより、関係機関・自治体等における連携の強化を図る。
- 内容：①顕著な大雨がもたらす被害について(過去の事例・教訓の共有)
②グループワーク・意見交換



図 2 - 5 - ④ - 2 西三河地域を対象とした遠隔型ワークショップの実施概要

(b) 業務の実施方法

1) 中部圏を対象としたワークショップの実施方法

a) 当日の会場設営などの事前準備

ワークショップ当日は、メイン会場である愛知県体育館ドルフィンズアリーナに三重県北東部（伊勢湾）から静岡県南部（伊豆半島西部）を網羅する住宅地図をベースとした巨大地図（縦17m、横40m）を敷設した。また、地図上に被害想定等の共有情報を投影する目的で、仮設檯を設営し、その上部に大型プロジェクターを設置。巨大地図全体をプロジェクションマッピングで網羅できるように合計6台を整備した。

また、当初は対面主体の開催を検討していたものの、COVID-19 感染防止対策のため、主要な登壇者と事務局を除き、オンライン開催を主とした為、配信及び一部の会場参加者向けに、会場にカメラを合計6台準備した。うち1台は天井付近に会場を一望できる形で設置し、Web (Zoom・YouTube) にてメイン会場の様子を参加者に配信、1台はファシリテーターを迫りかけるため、移動性の高いカメラを整備した。残りの4台の配置は実演パートでの会見などの撮影用1台、討論パートでの討論参加者撮影用3台とした。プロジェクションマッピングの映像制御、YouTube 配信のためのスイッチャー、Zoom 接続ホストなど各種機材を配置し、当日の運営ベース拠点とした。会場には巨大地図の東側に名古屋地方気象台及び中部地方整備局の講演ブースを設置した。このブースは演習パートにおいて会見会場として機能させた。また当日の演

習パートにおいて臨場感を演出することを目的とし、中部日本放送アナウンサーによる臨時ニュース放送ブースを設営した。後述の討論パートにおいて、会場からの参加機関の着席ブースを巨大地図西側に整備した。討論パート実施時には着席ブース全体を巨大地図上に設置し、ファシリテーターとの討論の場とした。

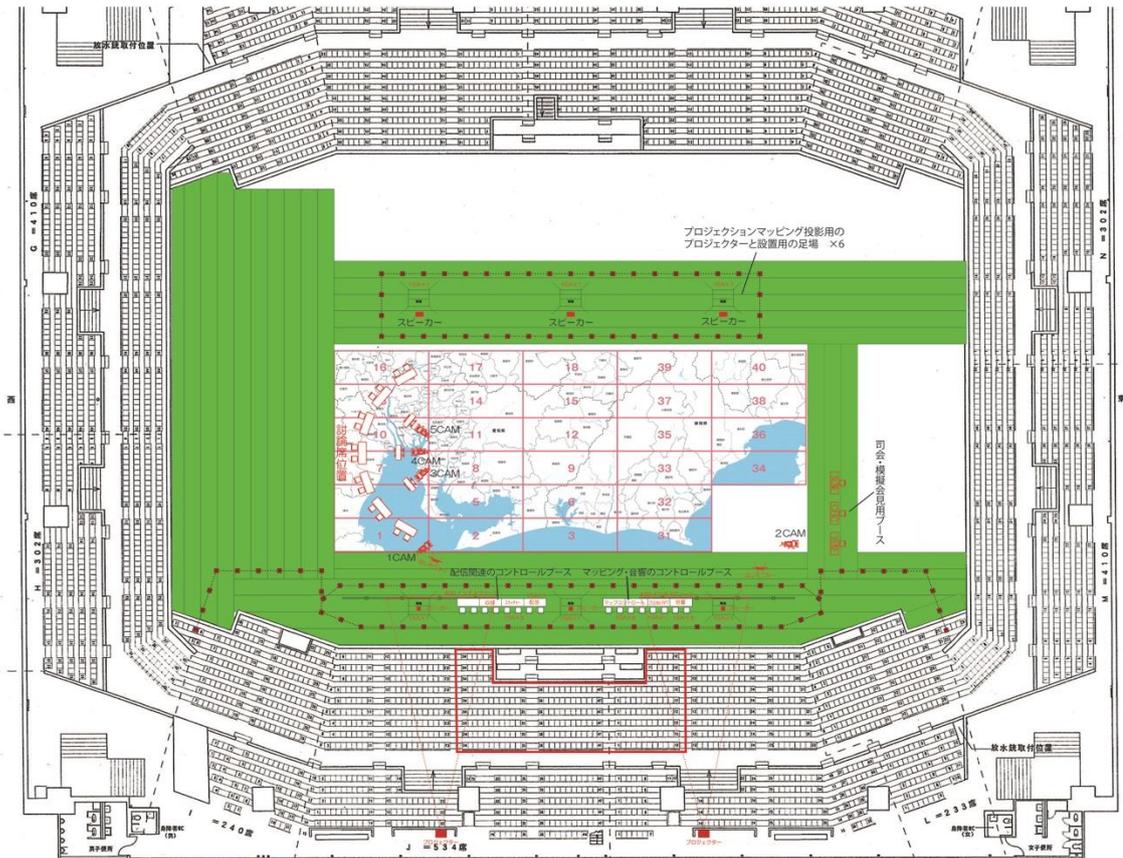


図 2-5-④-3 当日の資機材のレイアウト図

b) ワークショップの全体進行シナリオ

中部圏を対象としたワークショップの進行シナリオを表 2-5-④-3 に示す。ワークショップは 3 部構成とした。第 1 部は学習パートとして、福和教授がプロジェクションマッピングを用いて南海トラフ地震の被害想定等を解説し、名古屋地方気象台及び内閣府が南海トラフ地震臨時情報について、その概要及び対応について講話を行った。

第 2 部は実演パートとして、四国沖で地震が発生した想定で、発災直後から気象庁による臨時情報（調査中⇒巨大地震警戒）が発表されるまでの状況を実演した。

第 3 部は討論パートとして、南海トラフ地震対策中部圏戦略会議の構成員である 18 機関と共に臨時情報発表時の対応や課題について、ファシリテーターによる解説を交えて確認、意見交換を行った。



写真 2 - 5 - ④ - 3 西三河地域を対象としたワークショップ会場の配置（左）と
福和教授の進行の様子（右）

b) ワークショップの全体進行シナリオ

ワークショップの進行シナリオを表 2 - 5 - ④ - 4 に示す。

ワークショップは 2 部構成とし、前半は過去の事例として岡崎豪雨、東海豪雨を取り上げ、名古屋地方気象台及び豊橋河川事務所から災害の発生状況、メカニズムなどを講義した後、メイン会場に集まった中核 3 市、福和教授をはじめとする名古屋大学減災連携研究センターの各研究員から当時どのようなことがあったのか、自身と所属組織での状況について、フリーディスカッションを行った。

後半は、西三河 9 市 1 町と東三河 5 市 2 町 1 村がブレイクアウトルーム機能を用いて、グループディスカッションを行い、流域内外の連携について議論を行った。

表2-5-④-4 西三河地域を対象としたワークショップの進行シナリオ

時間	項目	事象	内容	対応機関	モニター	スマホ	
1. 参加市町村の施設等の位置情報について【10分】 参加市町村から集めたデータ等を地図で見る							
14:10	説明	—	<ul style="list-style-type: none"> 各市町村の避難所、避難場所、福祉施設、医療施設、救護所、備蓄保管場所等の場所を地図で見る（西三河と東三河） 災害時に不足することが予想される資源を表で見る Zoomの画面共有と同じ地図をスマホでも見ることができたら、参加者が自分の市町や気になる市町を各自ズームなどして知ることができる 	高浜市	パワポ ・西三河と東三河が見える地図 ・eコママップのスクショをスライドにして画面共有	eコママップ 主要施設を順番に表示していく ・避難所 ・避難場所 ・救護所 ・備蓄保管場所 ・主要道路 ・緊急輸送路etc	
2. 顕著な大雨がもたらす被害について【40分】 過去に水害をもたらした気象をスライド式に画面上で見せる							
14:20	説明	岡崎豪雨	平成20年8月に発生した岡崎豪雨の気象資料をスライド式に画面共有 ↓ 名古屋地方気象台さんに資料（気象図等）の見方について説明を求める	高浜市 福和教授 ※名古屋地方気象台 ※豊橋河川事務所 ※途中で質問を投げさせてもらい、説明や回答を求める	パワポ ・気象台提供資料	↓	
		東海豪雨	平成12年9月に発生した東海豪雨の気象資料をスライド式に画面共有 ↓ 東海豪雨のような前線の位置や雲の発生は、中部地方のどこでも起こり得ることを確認（気象台さんへ質問を投げる） ↓ 矢作川の上流部でも想定最大雨量の降雨が発生する可能性があることを確認		パワポ ・気象台提供資料		
		矢作川洪水	矢作川L2洪水ハザードを表示する ↓ 矢作川のどこが破堤しても、結果的には洪水ハザードのような浸水被害が起こることを説明（豊橋河川事務所さんへ質問を投げる） ↓ 洪水発生後は流域内で助け合うことが困難であるため、流域外からの支援が必要になる		パワポ ・各自治体の施設等が地図に落とし込んだ上から矢作川L2洪水ハザードを被せたもの		eコママップ ・矢作川洪水ハザード（想定最大規模）を被せる
		土砂災害発生危険	大雨がもたらす災害として土砂災害警戒区域を見せる ↓ 主要道路がふさがり可能性もあることを見せる		パワポ ・西三河と東三河の主要道路等の上に土砂災害警戒区域を被せたもの		eコママップ ・土砂災害警戒区域を被せる
		豊川洪水	豊川L2洪水ハザードを参考程度に表示する		パワポ ・各自治体の施設等の上に豊川L2洪水ハザードを被せたもの		eコママップ ・豊川洪水ハザード（想定最大規模）を被せる
		着地（案）	同一級河川の洪水ハザードを全体で見て、他市の避難所や備蓄倉庫など主要な施設がどれだけ被害を受けるか確認した後、グループワークへ				
3. グループワーク・意見交換【60分】 グループワークの想定災害は、矢作川洪水の計画規模を表示する。最大規模では影響を受けない市町が少なすぎて議論しにくい。							
15:00	GW	グループワーク	<ul style="list-style-type: none"> 防災部局、河川部局含めて矢作川の上、中、下流の3グループに分ける テーマについて話し合うのは基本的に西三河 東三河は研究会を参考にするために参加する 東三河は極力隣接しているかどうかでグループ分け 3グループの中にそれぞれ中核市を配置 A「上流グループ」：豊田市、刈谷市、みよし市 設楽町、東栄町、豊根村 B「中流グループ」：岡崎市、安城市、知立市、幸田町 豊川市、新城市 C「下流グループ」：碧南市、西尾市、高浜市 豊橋市、蒲郡市、田原町 テーマ：①部局間の連携について 【30分】 意見交換20分+まとめ10分 ②矢作川流域内外の連携について 【30分】 意見交換20分+まとめ10分 ※賛助会員や他の機関についてはメインルームで待機or各グループへ振り分け	参加市町村		eコママップ ・矢作川洪水ハザード（計画規模）を被せる	
4. グループ発表【20分】							
16:00	発表	グループ発表	各グループごとにテーマについて発表	グループ発表者 高浜市 福和教授	発表グループの書記が画面共有	↓	
		落としどころ	広域連携・広域避難の必要性や課題の認識を共有し、連携することを検討していく。 →平時から顔の見える関係性作りが必要 →次年度の幹事市（みよし市）にバトンタッチ				

(c) 業務の成果

1) 中部圏を対象としたワークショップの成果

a) ワークショップ第1部（学習パート）

第1部は学習パートとして、福和教授がプロジェクションマッピングを用いた南海トラフ地震の被害想定を示し、名古屋地方気象台及び内閣府が南海トラフ地震臨時情報について、その概要及び対応について講話を行った。



左：福和 名古屋大学減災連携研究センター教授
右：上田 名古屋地方気象台地震津波火山防災情報調査官

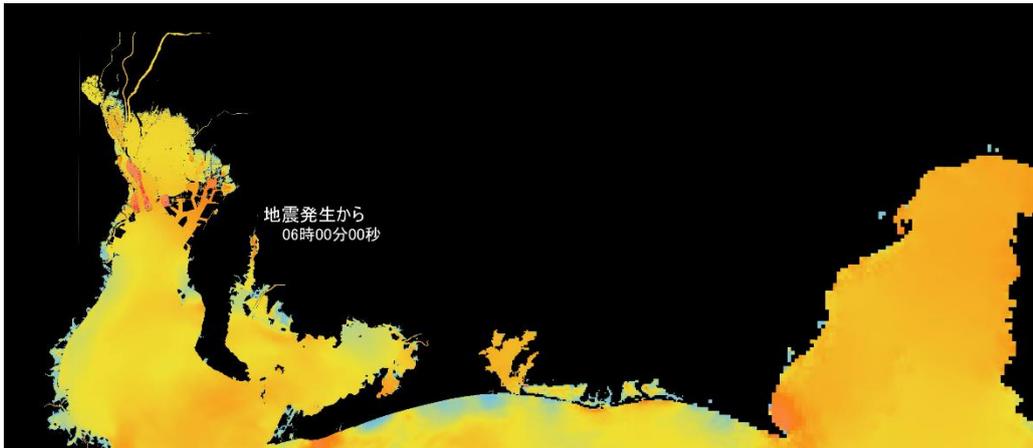


高畑 政策統括官(防災担当)付企画官（調査・企画担当）
写真2-5-④-4 学習パートの登壇者

i) 学習パート前半

「学習パート」前半では、プロジェクションマッピングを用いて、被害想定結果の地図への投影なども交え、南海トラフ地震に関する基本的な情報や被災範囲やその影響などについて解説を行った。大きな地図へのハザードの投影により、大規模地震災害時の課題に気づき、各機関として、事前の備えや地震発生時の対応を検討

する際の参考になることを考慮した。



上：中部圏の陰影図（標高）

下：中部圏の津波浸水の想定（動画）

写真 2 - 5 - ④ - 5 地図に投影した情報の例

ii) 学習パート後半（名古屋地方気象台の講話）

「学習パート」後半では、名古屋地方気象台から、臨時情報の発表手順や基準について解説が行われ、各機関が、発表の手順や基準を理解し、発表内容に応じた適切な対応について検討する際の参考となるよう情報を提示した。

南海トラフ地震臨時情報のキーワード	
キーワード	内容
調査中	・観測された異常な現象が大規模な地震と関連するかどうか調査を開始した場合 ・調査を継続している場合
巨大地震警戒	・巨大地震の発生に警戒が必要な場合 ※南海トラフ沿いの想定震源域内のプレート境界においてモーメントマグニチュード8.0以上の地震が発生した場合
巨大地震注意	・巨大地震の発生に注意が必要な場合 ※南海トラフ沿いの想定震源域及びその周辺においてモーメントマグニチュード7.0以上8.0未満の地震が発生した場合 ※想定震源域のプレート境界で通常と異なるゆっくりずべりが発生したと評価した場合
調査終了	・(巨大地震警戒)、(巨大地震注意)のいずれにも当てはまらない現象と評価した場合

評価の対象となる異常な現象	
<p>●モーメントマグニチュード8.0以上の地震</p> <p>7日以内に発生する頻度は10数回に1回程度</p> <p>→隣接する領域でも大規模地震発生？</p>	<p>●モーメントマグニチュード7.0以上の地震</p> <p>7日以内に発生する頻度は数百回に1回程度</p> <p>→さらなる大規模地震につながる？</p>
<p>※モーメントマグニチュードとは 断層のずれの規模（ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ）をもとにして計算したマグニチュードです。従来の地震波の最大振幅から求めるマグニチュードに比べて、巨大地震に対してはその規模を正しく表せる特徴を持っています。ただし、このマグニチュードを求めるには若干時間を要するため、気象庁が地震発生直後に発表する津波警報等や地震速報には、地震波の最大振幅から求められる気象庁マグニチュードを用いています。</p>	
<p>●通常とは異なるゆっくりずべり</p> <p>ゆっくりずべり</p> <p>→ずべりが急速に進行し大規模地震発生？</p>	

図 2 - 5 - ④ - 4 名古屋地方気象台の講話資料（一部抜粋）

iii) 学習パート後半（内閣府の講話）

同様に、「学習パート」後半で、内閣府から臨時情報の「調査中」「巨大地震注意」「巨大地震警戒」のそれぞれの発表後の防災対応や、発表後に想定される社会への影響について解説が行われ、各機関が、臨時情報発表後に想定される社会状況に応じた適切な対応について検討する際の参考となるよう情報を提示した。

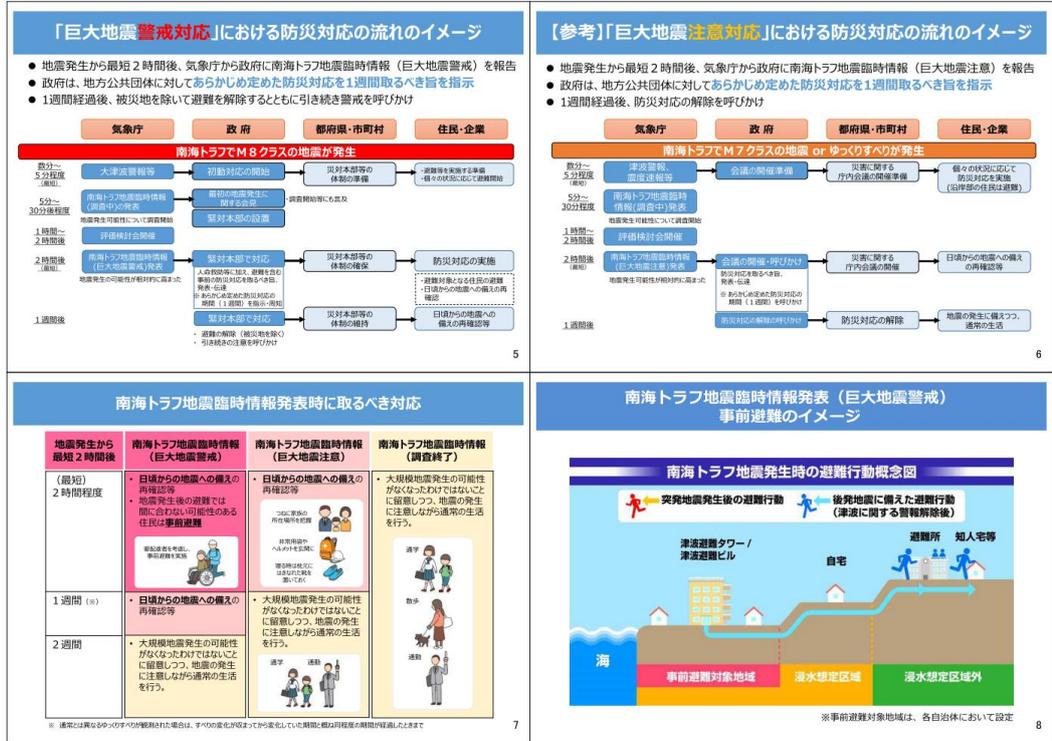


図 2-5-④-5 内閣府の講話資料（一部抜粋）

b) ワークショップ第2部（実演パート）

第2部は四国沖で地震が発生した想定（西側半割れ発生時）に基づき、地震発生直後から約2時間まで想定されるタイムラインに従って発表される各種情報及び想定される状況を実演することで、参加者及び視聴者と臨時情報発表までの流れを確認した。

i) 発災から南海トラフ地震臨時情報発表までの想定

以下に、発災後に想定される状況と、ワークショップで示した各資料を順に述べる。

●地震発生

【ワークショップ1の地震発生時の前提条件】

- ・時刻：令和3年2月25日の11時
- ・天候：晴れ
- ・気温：6度
- ・風力：1m/s 北西の風
- ・状況：各自の職場で勤務中

●緊急地震速報の発表

(四国沖で地震 強い揺れに警戒⇒九州全域、四国全域、中国全域、近畿一部の地域)

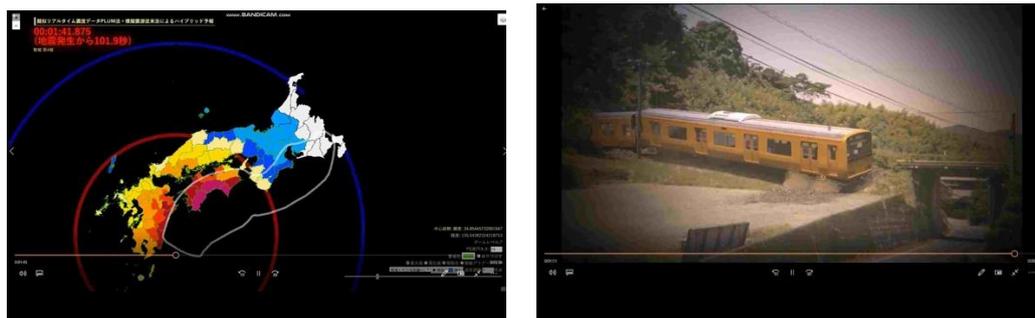


写真 2 - 5 - ④ - 6 四国沖震源による地震の想定動画
(左：揺れの伝播想定動画 右：内閣府作成による想定動画¹⁾)

●アナウンサー (CBC齋藤アナウンサー) による速報ニュース実況 その 1

『アナウンス 原稿』

《緊急地震速報》

- ・ 四国沖で地震が発生しました。強い揺れに警戒し、速やかに身の安全を確保してください。

《震度速報》

- ・ 速報です。先ほど、四国沖で地震が発生しました。念のため津波に注意してください。
- ・ 各地の震度は次の通りです。震度7が高知県、震度6強が香川県、震度6弱が徳島県、愛媛県、大分県、広島県、岡山県、震度4が愛知県です。

《大津波警報発表》

- ・ 大津波警報が発表されました。
- ・ 愛知県沿岸、三重県沿岸で大津波警報が発表されました。大津波警報が発表された沿岸では津波で被害が発生する恐れがあります。
- ・ 沿岸部や川沿いにいる人はただちに高台や「津波避難ビル」に指定された建物など、安全な場所に避難してください。
- ・ 海から「より遠い場所」よりも、「より高い場所」を目指して逃げてください。東日本大震災を思い出してください。
- ・ 近くに高台や「津波避難ビル」がない場合は、鉄筋コンクリートでできた、背が高く、大きくて頑丈そうな建物のできるだけ上の方の階に避難してください。



写真 2 - 5 - ④ - 7 CBC齋藤アナウンサーによる速報ニュース

●四国沖に津波の襲来

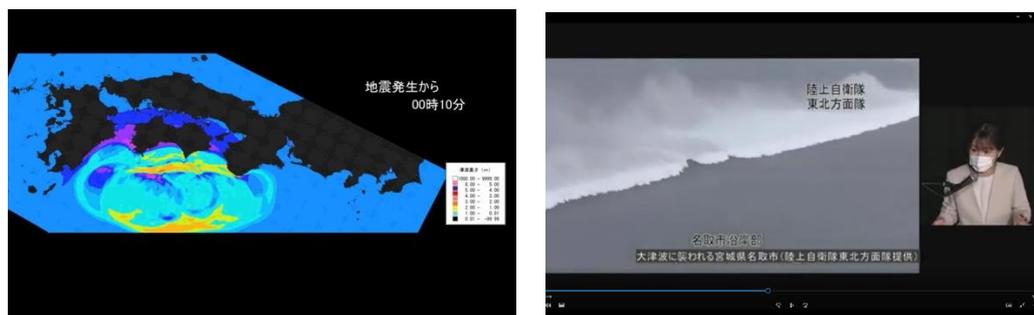


写真 2 - 5 - ④ - 8 四国沖震源による津波の想定動画
(左：津波の伝播想定動画 右：東日本大震災時における名取市沖の動画)

●アナウンサー（CBC齋藤アナウンサー）による速報ニュース実況 その2

『アナウンス原稿（上記映像を見ながら実況）』

《津波襲来》

四国沿岸部に津波が襲来したとの情報が入りました。現在の高知県沿岸部、上空からの映像です。白波が立っています。この後、津波は沿岸部に襲来すると思われます。今すぐ高台や津波避難ビルに指定された建物、背の高い頑丈そうな建物へ逃げてください。津波は今後、陸地に近づくにつれて高くなります。また予想されている時間よりも早く到達することがあります。今すぐ高いところに避難してください。

ii) 気象庁による南海トラフ地震臨時情報（調査中）の発表

スライドにより、臨時情報（調査中）の発表されたことを参加者に提示。

●アナウンサー（CBC齋藤アナウンサー）による速報ニュース実況 その3

『アナウンス原稿』

ここで気象庁より、南海トラフ地震臨時情報（調査中）が発表されました。先ほど午前11時ごろに発生した地震と、南海トラフ地震との関連性について気象庁が調査を開始しました。このあと12時から南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会を開催します。

南海トラフ地震で被害が想定される地域の方は個々の状況に応じて、身の安全を守る行動をとってください。

●気象庁による記者会見

『気象庁記者会見 原稿』

令和4年2月25日11時00分頃の四国沖の地震についてご説明いたします。

はじめに防災上の留意事項から申し上げます。

現在、関東から九州・沖縄の太平洋沿岸に、大津波警報を発表しているほか、北海道から沖縄までの沿岸に、津波警報・注意報のいずれかを発表中です。大きな津

波が襲い甚大な被害が発生する恐れがあります。沿岸部や川沿いにいる人はただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。津波は繰り返し襲ってきます。警報が解除されるまで安全な場所から離れないでください。

揺れの強かった地域では、家屋の倒壊や土砂災害などの危険性が高まっているおそれがありますので、今後の地震活動や降雨の状況に十分注意し、やむを得ない事情が無い限り危険な場所に立ち入らないなど身の安全を図るよう心がけてください。

また、気象庁では2月25日11時30分に南海トラフ地震臨時情報（調査中）を発表し、2月25日11時00分頃に発生した四国沖の地震と南海トラフ地震との関連性についての調査を開始しました。南海トラフ地震で被害が想定される地域の方は、個々の状況に応じて、身の安全を守る行動を取ってください。

次の発表は、調査結果がまとまり次第、「南海トラフ地震臨時情報」でお知らせします。



写真 2 - 5 - ④ - 9 気象庁による記者会見

左：気象庁による記者会見

（取材記者役（メーテレ柴田）・気象庁役（上田調整官））

右：解説する重野室長

（気象庁地震火山部地震火山技術・調査課大規模地震調査室）

iii) 臨時情報（巨大地震警戒）の発表

スライドにより、臨時情報（巨大地震警戒）の発表されたことを参加者に提示。

●アナウンサー（CBC齋藤アナウンサー）による速報ニュース実況

『アナウンス原稿』

ここで気象庁より、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）が発表されました。まもなく総理大臣による会見が開かれる模様です。

●内閣総理大臣（新井名古屋大学減災連携研究センター特任教授）による会見。



写真 2-5-④-10 総理大臣による会見

左：総理大臣による会見（新井名古屋大学減災連携研究センター特任教授）

右：解説する高畑企画官（内閣府政策統括官(防災担当)付企画官（調査・企画担当））

『会見要旨』

- ・先ほど四国高知沖を震源とするM8.3の巨大地震が発生した。まずこの地震の被害に遭われた方に対して、心よりお見舞い申し上げる。
- ・大きな被害が各地で発生しているとの報告を受けているが、被害の全貌は不明である。各機関、連携を密にし、速やかに被害の全体像を把握するよう指示したところである。政府としては人命を第一に、一丸となって対応にあたるものである。
- ・先ほど、気象庁より南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）が発表された。今回の地震は四国沖で発生したものだが、過去には東と西で連動して立て続けに地震が発生した事例があると聞いており、さらに続いて駿河湾から紀伊半島にかけての海域でも大きな地震が発生する恐れがある。
- ・東海地方及びその周辺にお住まいの方々には、日頃の備えを再確認いただくと共に発生した時の行動を確認し、津波の襲来に時間的猶予がない地域の方々には事前避難などの対応を検討して頂きたい。

c) ワークショップ第3部（討論パート）

討論パートでは、福和教授をファシリテーターとして、表 2-5-④-5 に示す18機関をパネリストとして、臨時情報発表時における各機関の対応の想定、現状の課題について、討論を行った。討論に先立ち福和教授から、視聴者及び参加者向けに図 2-5-④-6 に示す臨時情報（巨大地震警戒）発表時に想定される社会の状況について解説を行った。討論の様子を写真 2-5-④-10 に示す。

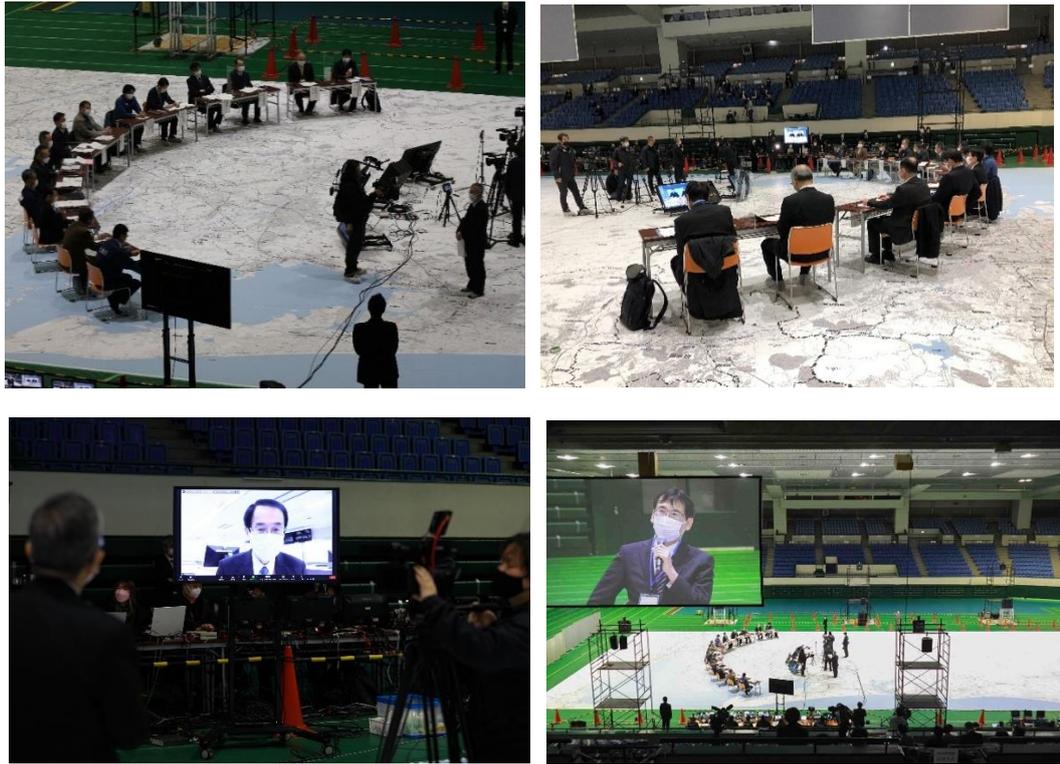


写真 2 - 5 - ④ - 11 討論パートの様子



図 2 - 5 - ④ - 6 臨時情報 (巨大地震警戒) 発表時に想定される事態²⁾

表 2 - 5 - ④ - 5 討論パート参加機関及び参加者

会場参加者			
機 関 名	所 属	役 職 名	出 席 者 氏 名
名古屋大学		教授	福和 伸夫
名古屋地方気象台		地震津波火山防災情報調整官	上田 義浩
中部地方整備局		総括防災調整官	竹内 宏
中部運輸局	総務部 安全防災・危機管理課	課長	小中 太
中部地方環境事務所	資源循環課	災害廃棄物対策専門官	山際 勝治
愛知県	防災部 防災危機管理課	課長補佐	石川 盛久
名古屋市	防災危機管理局 危機管理企画室	主幹	三品 優子
	防災危機管理局 危機対策室	室長	水野 角栄
豊橋市	防災危機管理課	課長	佐藤 実
田原市	防災局 防災対策課	局長兼課長	石原 恭次
中日本高速道路株式会社名古屋支社	保安・サービス事業部 企画統括課	担当課長	原 和正
一般社団法人中部経済連合会	社会基盤部	部部长	古橋 千里
中部ブロックDMAT連絡協議会	名古屋掖済会病院	副院長	北川 喜巳
一般社団法人愛知県建設業協会		上席	小島 敏夫
名古屋テレビ放送株式会社		災害担当プロデューサー	柴田 正登志
WEB参加者			
内閣府		政策統括官(防災担当)付企画官 (調査・企画担当)	高畑 栄治
		政策統括官(防災担当)付参事官 (緊急事態対処担当)	島田 勝則
気象庁	地震火山部地震火山技術・ 調査課大規模地震調査室	室長	重野 伸昭
中部経済産業局	総務企画部 総務課	災害対策専門官	安藤 憲一
三重県	防災対策部 災害対策課	課長	西岡 欣也
静岡県		危機管理監代理兼危機報道官	杉山 隆通

まず、事前避難対象地域の設定状況について、参加基礎自治体から共有された。その結果、国の手引き、ガイドラインなどが示されて統一感のある対応が市民の目線から期待されているが、各市その考え方は足並みがそろっていない現状が確認された。こうした現状の改善に向けた、例えば、まずは先進的に取り組んでいる地域での課題を整理しながら、住民など訴えられているニーズへの対応のあり方を検討していく必要のあることが共有された。これを受けて、内閣府から、事前避難対象地域の設定方法に関して、長期の湛水も含めて課題である指摘された。一方、先駆的に事前避難対象地域を定めた地域からは事前避難対象地域の設定に係る具体的な課題も示されているが、地域特性もあり一概に明確な回答を提示することは困難であるが、今後、国においても検討を進める意向が示された。以上のことから、本ワークショップが、基礎自治体と施策を検討する国（内閣府）が直接対話する有意義な場であることが示唆された。

また、西側半割れ地震が発生した場合の中央政府からの発信情報については、被災地を対象とした発信とならざるを得ず、それ以外の地域が求めている情報は、各地域

の報道機関からの発信が重要であることが確認された。また、対応についても、先行して発災した被災地の支援が必要となるが、被災地支援を行わず、戦力を温存し後発地震に備える地域、機関を定めている一方で、実際にこの計画通りに進めることが出来るか、関係機関と訓練等を通じた密な連携を継続することの重要性について確認された。また、臨時情報発表時の各機関の対応や連携のあり方について、起こり得る社会を明確にしなが、検討が必要であるとの今後の課題が示された。

企業側の意見から、企業は安全を確保しつつ可能な限り事業継続が望まれているが、事業継続に関わる、難しい問題が山積している現状があることが示された。関連して、一般企業に対して臨時情報の周知がまだ進んでいない現状がある可能性も確認され、関係機関が協力して、周知に関しても取り組みが必要であることも確認された。

2) 西三河地域を対象としたワークショップの成果

a) 名古屋地方気象台による講話「顕著な大雨をもたらす被害について」

名古屋地方気象台からの図2-5-④-7、図2-5-④-8に示す資料に基づいて、とくに東海地方で地域連携により相互応援が必要となるような、顕著な大雨となる可能性のある気象条件について、説明がなされた。

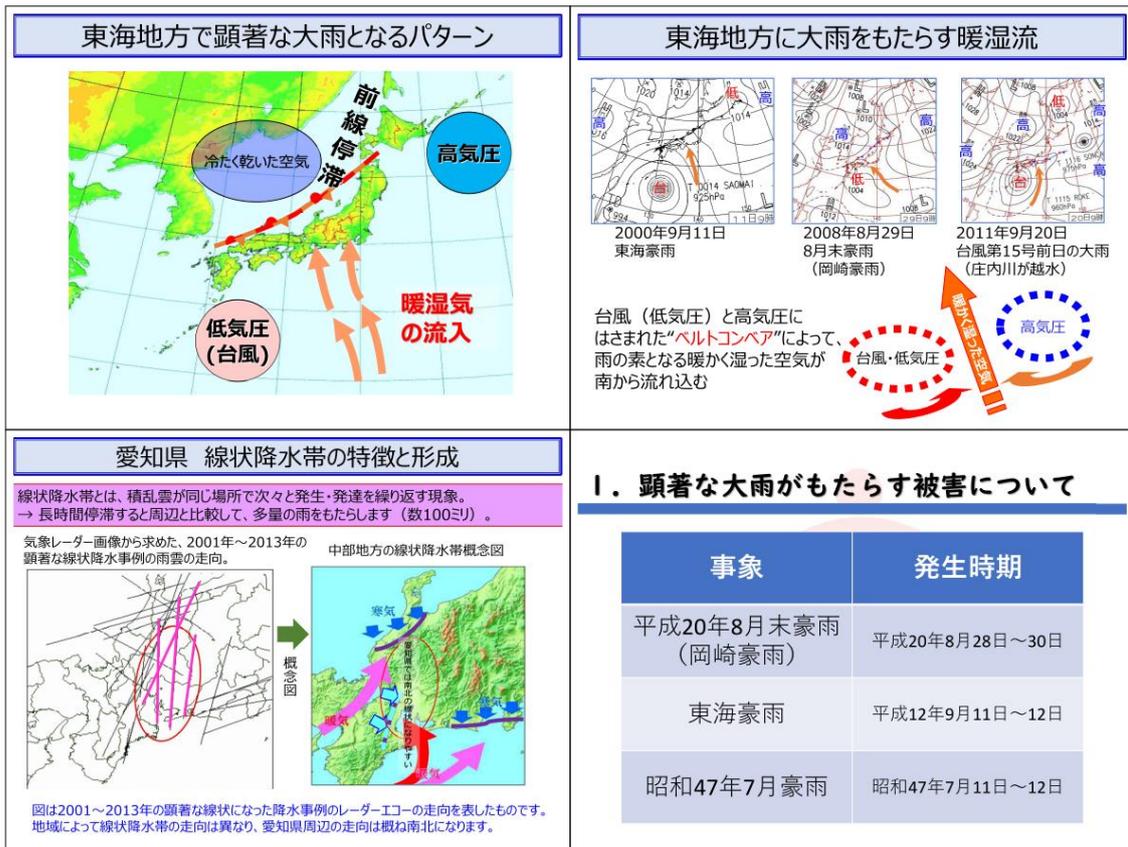


図2-5-④-7 名古屋地方気象台の情報共有資料（一部抜粋）³⁾

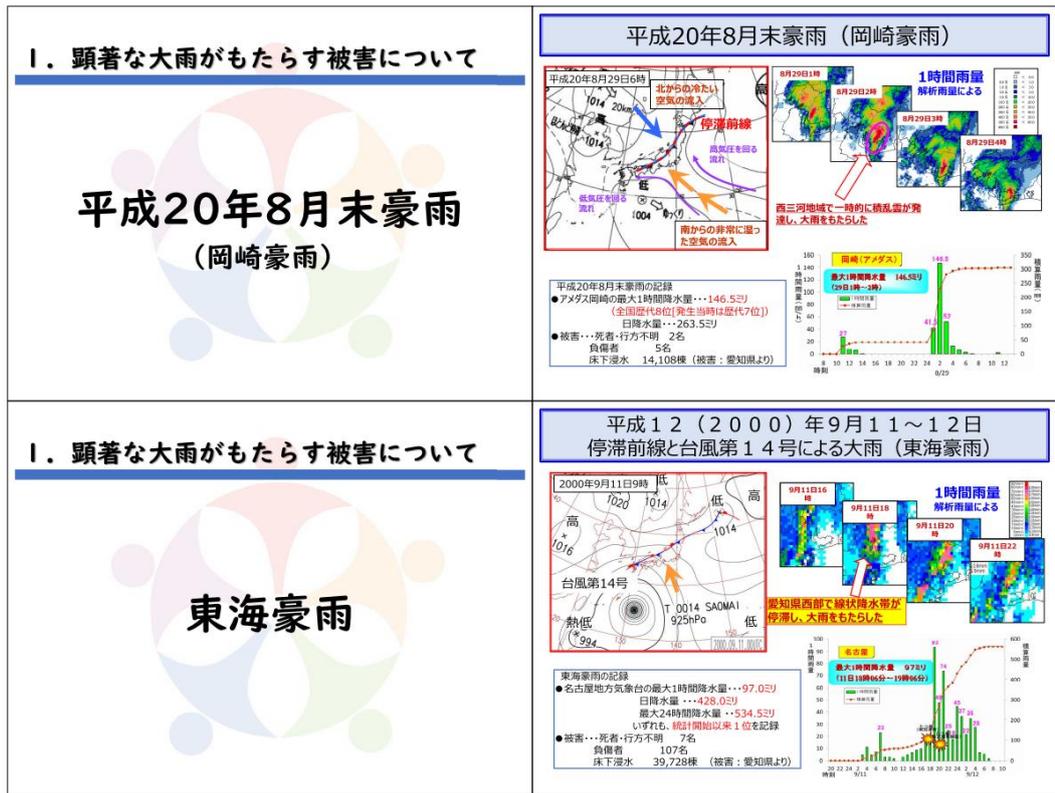


図 2 - 5 - ④ - 8 名古屋地方気象台による情報共有資料³⁾

b) グループワーク・意見交換

i) グループワーク

名古屋地方気象台からの参加者自治体に関わる風水害に関する情報共有の結果も踏まえて、流域を超えた広域連携の実現に向けて、防災部局と河川部局の各自治体の部局間連携の課題や、流域内外の災害時の連携の可能性について、流域内または、流域外も含めて、出来ることとできないことについて、3グループに分かれて議論を行った。図 2 - 5 - ④ - 9 に参加者に提示したグループワークのテーマを示す。

<p>グループワーク・意見交換</p> <p>本日、参加している市町村はブレイクアウトルームに分かれて議論していただきます。</p> <p>【話し合っていたきたい内容】</p> <p>広域連携に向けて</p>	<p>グループワーク・意見交換</p> <p>「広域連携に向けて」</p> <p>①部局間の連携について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防災部局と河川部局の間ですべてに連携していること <p>②流域内外の連携について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・流域内で連携できること、できないこと ・流域外で連携できること、できないこと
---	---

図 2 - 5 - ④ - 9 グループワークのテーマ

● グループワークの結果

防災と河川の部局間の連携については、自信をもって「できている」とした自治

体も含めて、概ね「できている」とした自治体が多くを占めた。一方で、防災と河川以外の防災・減災に関わる連携については、十分確認されておらず、点検が必要なことが確認された。

流域外の連携については、「それぞれのおかれた立場で連携を考えることはできそう」と意見や、「情報交換においては連携が行うことができる」といった意見が示された。また、流域内の連携については、「避難指示については、河川の両岸でそろえるなどはできそう」であることなど、具体的な連携に向けた意見も示された。

その他、流域内外問わず、「相互応援、人的、物資、避難施設の提供など具体的に連携をしていく可能性はあり」という意見や、実際に協定を結んでいる自治体もあることも示された。また、具体的な議論はこれからであるが、豊川・矢作川流域の2つの流域間の自治体の連携は必要であり、「その為にも、まずは今日のような顔の見える関係づくりが、連携を図るうえで大事」との意見も示され、連携の具体化や流域を超えた連携づくりに向けた継続的な議論の可能性も示された。

ii) 意見交換

グループワークの結果を参加者全員で共有した後、会場で参加した中核3市がグループワークで示されたトピックを踏まえて、議論をリードしながら、流域をを超えた広域連携の可能性について、遠隔で参加した各市町村も含めた総合的な意見交換を行った。写真2-5-④-11にグループワーク及び意見交換の様子を示す。



写真2-5-④-12 グループワーク及び意見交換の様子

●意見交換の結果

グループワークでの議論で、流域を超えた連携については確認された一方で、「東西の三河全体の連携を考えたときにイメージが十分にできていないように感じる」と意見が示された。また、今後の進め方として、「連携を深める上では、きっかけが必要であり、まずは中核3市で議論のポイントを整理することで地域として取り組みが進めやすくなるのではないか」という、意見が示された。防災部局以外での経験を踏まえて、他部局の視点で連携を考えると、連携を考えて行動し、対応力が増すことにつながる。こうしたことから、連携をする上では、人材育成の視点も必要であることも示され、ワークショップ全体を通じて、広域連携の重要性が確認されるとともに、具体的な連携につなげる為の、課題やそれを踏まえて、連携を具体化する考え方や方策についても意見がなされた。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 中部圏を対象としたワークショップの結論と今後の課題

本ワークショップは、南海トラフ地震臨時情報の認知度及び理解度の向上を目的の一つとして開催した。当日、会場である愛知県体育館には100名以上の参加者、YouTube視聴者数はライブ視聴者が1,000名を超えた。また、YouTube上の動画再生数は2,800回を超えている（3月20日現在、あいち・なごや強靱化共創センター公式チャンネルでの再生数）。参加人数に加え、YouTube上でのアンケート及び当日参加者からは、本ワークショップに対する好意的な意見が多く、臨時情報の認知度及び理解度の向上について成果があったものとする。

しかし、YouTube上でのアンケート結果及び当日参加者のコメントの中には、本イベントの対象者が不明確であったとの指摘があった。

学習パートから実演パートに関しては、一般市民からの視点を意識し、可能な限り判り易く、必要な説明を行うよう努めた。しかし討論パートでは、参加機関数と比較して討論の時間が限られていたため、自機関の取組を説明するにとどまった。ファシリテーターの技量を持って、可能な限り市民に向けた情報発信となるよう努めたが、視聴者側に何を示したかったのか、不明瞭となった点は否定できない。今後、臨時情報の周知及び認知度向上のためには、対象層を明確にし、各機関が伝えるべき情報を整理することが重要であるとする。

臨時情報の仕組みそのものが複雑であり、その情報の活用に関しても、構築側で十分に議論が至っていない面がある。このため一般市民への理解度をより高めるためには、これまで以上に噛み砕いた説明が不可欠であり、そのためには多くの関係者と継続的な議論が必要であるとする。

これまで、あいち・なごや強靱化共創センターは名古屋大学減災連携研究センターと連携し、巨大地図を用いたプロジェクトマップによる防災ワークショップを数多く実施してきたが、今回のワークショップはこれまでの実施規模を遥かに超えるワークショップとなった。プロジェクター6台、巨大地図設置枚数33枚、設営及び当日運営に従事した人数は延べ120人以上、いずれも最多規模である。

このような大規模な取組を大きなトラブルもなく実現できたことは、協力機関、業者の尽力によるところである。これまであいち・なごや強靱化共創センターで積み上げてきた技術、実績、関係機関との信頼関係にも寄るところが大きいとする。

2) 西三河地域を対象としたワークショップの結論と今後の課題

矢作川流域における大規模な風水害の想定を事例に、流域を超えた広域連携の考え方を整理するとともに、これまで取り組まれてきた西三河地域を中心とした連携から、東三河を加えた、三河地域全体における相互応援体制の関係づくりの場となることも踏まえて、地域の様々な主体が議論を行うワークショップを実施した。

COVID-19感染拡大防止の観点と、西三河地域全体の基礎自治体の参加を考慮し、遠隔型ワークショップを基本として行った。

グループで示された通り、「豊川・矢作川流域の2つの流域間の自治体の連携は必

要」との認識は、概ね三河地域全体の基礎自治体間で概ね共有された。一方で、具体的な連携に向けたイメージや取り組むべき方向性については、議論が不十分であり、顔の見える関係づくりを進めながら、連携の具体化や流域を超えた連携づくりに向けた検討・協議を今後も継続的に行う必要があると言える。

(e) 引用文献

- 1) 内閣府 (2017) : 南海トラフ地震どうなる? どうする? 時間差で起こりうる次の地震への備え, 南海トラフ巨大地震、首都直下地震の被害と対策に係る映像資料について, http://www.cao.go.jp/lib_012/Drama_J_T_HD.html
- 2) 内閣府 (2022) : マンガで解説! 南海トラフ地震 その日が来たら・・・, 南海トラフ地震対策 : 防災情報のページ -, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/comic.pdf>
- 3) 気象庁 : 災害をもたらした気象事例, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html
(Accessed on 2022.03.30)

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
市町村境界を越えた3次緊急輸送道路の接続に向けた取組み(口頭)	千葉啓広, 幸節静奈, 倉田和己, 新井伸夫, 野村一保, 福和伸夫	第48回地域安全学会研究発表会(春季)梗概集, pp.151-154	2021.5.21	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
広域大規模災害時の物資輸送の連携対応の確立に向けた検討過程の整理－市町村境界を越えた第3次緊急輸送道路の接続に向けた試み－	千葉啓広・ 新井伸夫・ 倉田和己・ 荒木裕子・ 幸節静奈・ 福和伸夫	地域安全学会論文集No.40（電子ジャーナル論文）	2022.3.25	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

2. 6 発災時の大都市機能の維持

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「発災時の大都市機能の維持」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学大学院	教授	廣井 悠
国立研究開発法人防災科学技術研究所	副部門長	中村洋光

(c) 業務の目的

南海トラフ巨大地震は国難ともいべき災害であり、このような状況下で東京・名古屋・大阪などの大都市機能を維持することはとりわけ重要である。特に長周期地震動の影響がある首都圏は、政治・経済・報道などを代表とする中枢管理機能が集中しており、例えば高層ビルなどの被害は首都機能維持や国全体としての災害対応そのものに少なくない影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、平時に極めて高度かつ複合的に設計されている大都市は、一たび突発的な災害が発生した際、どの程度・どういった形で都市機能が喪失するかは詳らかにされていない。他方で今後はあらゆるものにセンサが埋め込まれ、モニタリングが可能なスマートシティ時代を迎える緻な即時的予測は技術的に可能となりつつあり、これを災害対応に運用するための社会技術が求められる。具体的には、大規模災害時に都市機能の喪失に至らないための復旧オペレーションを、その災害の特徴を踏まえた形で発災直後に示すことも可能になるものと考えられる。

本研究では、このようなスマートシティ時代における新しい防災対応手法の確立もにらんで、「都市機能の維持」に必要な対策をリアルタイムで抽出するための研究を、首都圏を対象として行う。研究の手順としては、①大都市における災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、②これを基に都市機能を維持するための対応タイムライン作成手法を確立する。このうち災害シナリオの自動生成技術は、分担者責任者が開発している、定性的被害予測技術を用いる。この技術は、これまでの災害教訓から得られる膨大な災害事象の網羅的な因果データベースを機械学習を用いて構築し、それを利用して近い将来に起こりうる災害事象をリアルタイムで抽出するものであり（イベントツリー・タイムラインの形）、本研究プロジェクトではこれを援用して「大都市機能の維持」に焦点を絞った検討を行う。研究の後半では社会への実装を図るが、ここでは2 (g)で開発する地震防災基盤シミュレータによる長周期地震動対策を対象とし、長周期地震動が大きく影響を与える都市機能として、超高層ビル等の被害（エレベータ障害等）に着目して、モデル地域における復旧状況をシミュレーションする手法を開発し、都市機能を守るための大都市圏ならではの復旧オペレーションの検討を実施する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

『災害シナリオ自動生成』に関する事象因果データベースを拡充した。長周期地震動とエレベータ障害・復旧過程の事例を調べた。

2) 令和3年度：

災害シナリオのダイナミック自動生成技術の検討を行った。エレベータ障害、復旧過程を模擬する手法の検討を行った。

3) 令和4年度：

実災害を対象とした WS に基づく改良シナリオの検討を行う。モデル地域でのエレベータ障害、復旧の試算の検討を行う。

4) 令和5年度：

高層建築物エレベータの詳細復旧オペレーション手法の検討を行う。

5) 令和6年度：

高層建築物エレベータについて、大都市復旧マニュアルの検討を行う。

(e) 令和3年度業務目的

「都市機能の維持」について、災害復旧戦略を評価できるようにするため、災害シナリオと復旧過程を生成する手法の検討を行う。はじめに令和2年度に引き続き、災害復旧オペレーションの検討に考慮すべき要因を整理する。これらの検証を行いつつ、首都圏を対象として都市機能維持に関する災害シナリオのダイナミック自動生成技術を検討する。サブ課題2(g)と連携し地震動とエレベータ障害の有無を関係づけ、障害の復旧過程を模擬できるアルゴリズムを開発する。

(2) 令和3年度の成果

本報告書では、前半の「災害シナリオのダイナミック自動生成技術の検討」を①、後半の「地震動とエレベータ障害の有無を関係づけ」を②として成果を記述する。

① 災害事象因果データベースの拡充

(a) 業務の要約

本業務では、機械学習を用いた災害事象因果データベースについて、昨年度に行った阪神・淡路大震災及び東日本大震災に加えて、令和元年東日本台風について因果データベースを拡充し、災害連鎖ネットワークの可視化を試みた。また、これらをベースとしたWebベースの災害シナリオ自動生成技術を構築した。

(b) 業務の実施方法

本業務は、災害シナリオをバックキャストから作成する方法のひとつとして、自然言語処理を用いて新聞記事から災害事象とその因果関係を機械的に抽出し、災害連鎖図(cascading disaster network)の作成を試み、災害シナリオ自動生成技術の基盤とすることを目指している。今年度は、その具体的事例として、災害規模の違いを明確化する目的で、令和元年東日本台風東日本大震災について学習モデルを作り、発災から1年間の因果データベースを作成するとともに、災害間の比較を行った。

(c) 業務の成果

ここでは、令和元年東日本台風の発生当日から約1年間（2019年10月7日から2020年9月30日まで）の河北新報における新聞記事・3,159記事を災害因果抽出の対象とした。具体的な方法論については本プロジェクトの令和2年度成果報告書に記載の方法（及び今年度に公刊したジャーナル論文¹⁾に記載の方法）と同様であるが、精度判定には全体の約5%のテストデータを用い、その結果として、利用した新聞記事の文章数59,537センテンスのうち、因果関係がありそうな文章候補が12,802センテンス見つかった（うち、6,406文が手がかり表現による因果文候補、6,396文が継起因果表現による因果文候補）。これを用いて、因果関係を抽出したところ、抽出された因果関係は3,512となった。このなかで、類似度0.7以上のものを抽出した結果が下記の図2-6-①-1になる。昨年度の成果である東日本大震災の因果ツリー（図2-6-①-2）と比較しても、災害の規模が小さいと、因果ツリーの抜き出しが少ないさまが見て取れる。



図 2 - 6 - ① - 1 機械学習によって得られた令和元年東日本台風の災害関連図

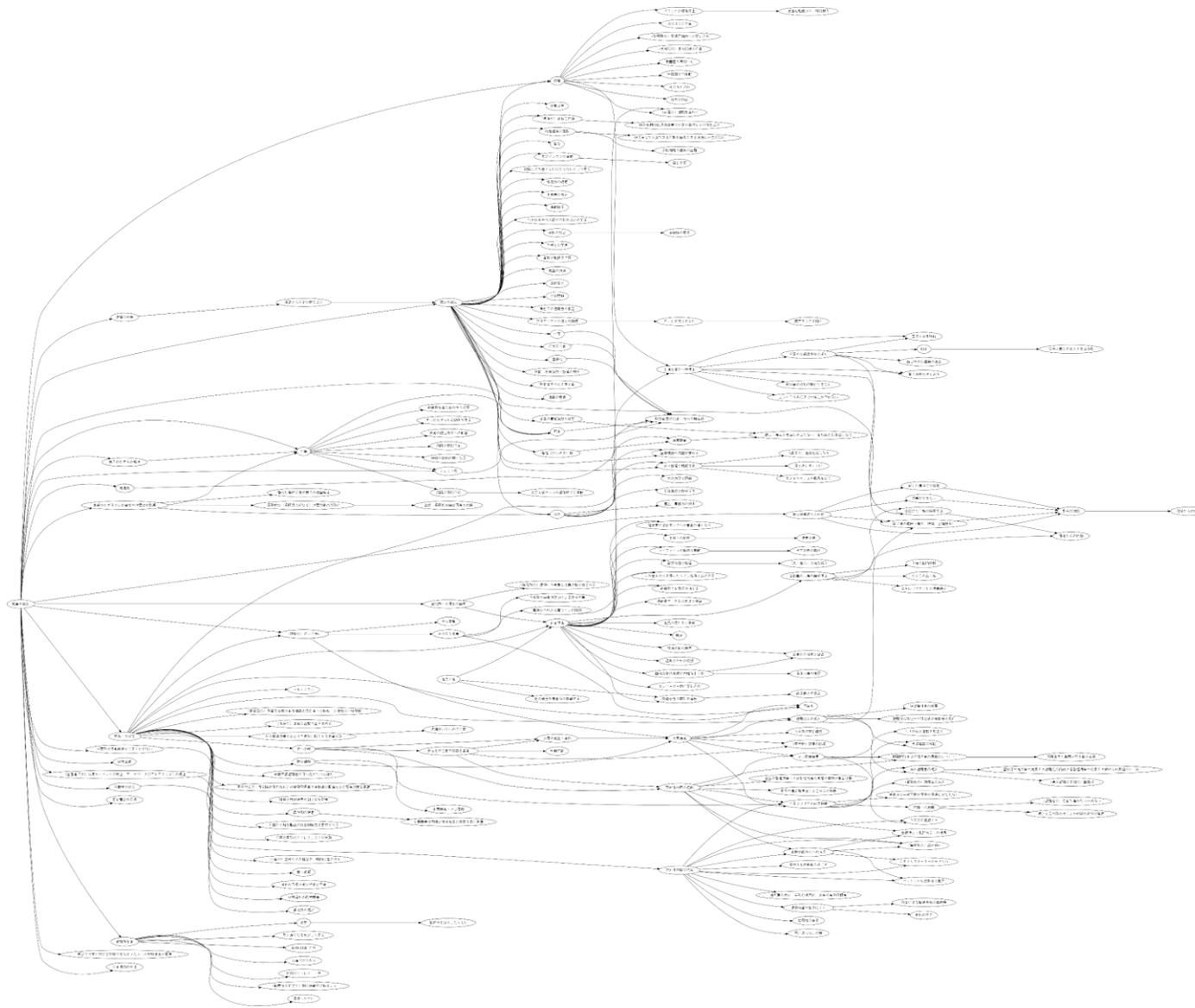


図 2-6-①-2 機械学習によって得られた東日本大震災時の災害連関図（昨年度の本プロジェクト報告書²⁾の再掲）

また、ここでは災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプを作成した。下図はその一例である。この Web システムの初期の画面は図 2-6-①-3 のようになる。ここで、「分散表現による類似度」をクリックすると図 2-6-①-4 の画面が出てくる。ここで図 2-6-①-5 のように、「地震」と入力すると、「地震」というキーワードに近い原因部分の結果部分が類似度の高い順に図 2-6-①-6 のように表示される。あとは、その中で「火災」という結果に注目してクリックすると、図 2-6-①-7 のように、「火災」部分をキーワードとする結果部分が表示される仕組みである。しかしながら、このシステムはその都度分散ベクトルを計算することで類似度を計算しているため、表示に計算時間がかかるものになっている。この点の改善も含め、次年度以降はこれを用いたワークショップを行うことで因果データベースの拡充を可能とするツールとして修正を行う予定である。

災害版因果チェーン検索

- 新聞記事より抽出した因果情報から災害因果チェーンを作成するWebアプリケーションです。
- 類似度検索の方法が異なるバージョンが2つあります。どちらかを選択して利用してください。
- 本アプリケーションに関連する研究は以下です。
- Fumihiro Sakahira, U Hiroi, Creating a Disaster Chain Diagram from Japanese Newspaper Articles Using Mechanical Methods, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.5, No.3, 2021 (in press) .
- 廣井悠, 坂平文雄, 機械学習を用いた災害連鎖図の自動作成手法の検討, 日本災害情報学会第22回大会, 東京, 2020年11月.
- Fumihiro Sakahira, U Hiroi, Disaster Relation Diagram Based on a Disaster Causation Database Extracted from Japanese Newspaper Articles, 13th China-Japan International Workshop on Information Technology and Control Applications, Enshi, Hubei, China, Sept, 2020.
- 坂平文雄, 廣井悠, リアルタイム災害連鎖図を作成する方法の検討-新聞記事を用いた因果データベースの拡充-, 日本災害情報学会第21回大会, 高松, 2020年10月.
- 本サイトは東京大学和泉・坂地研究室の「経済因果チェーン検索」を参考にして作成しました。 <https://sites.google.com/socsim.org/izumi-leb/tools/causal-chain-search?authuser=0>
- 詳しい使い方は以下をご覧ください (工事中)。

[分散表現による類似度](#)

[類義語辞書による類似度](#)

図 2-6-①-3 災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプ①

災害版因果チェーン（分散表現による類似度）

阪神淡路大震災を対象に

- 原因から結果を検索する
- 結果から原因を検索する

東日本大震災を対象に

- 原因から結果を検索する
- 結果から原因を検索する

使い方

画面左上のボックスのなかで、地震災害と「原因から結果」か「結果から原因か」を選択した後、入力欄から単語を入力し虫眼鏡のボタンをクリックしてください。

出力されたボックスの「>」をクリックすると、因果が連鎖します。因果がない場合は「×」が表示されます。

図 2-6-①-4 災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプ②

災害版因果チェーン（分散表現による類似度）

阪神淡路大震災を対象に

- 原因から結果を検索する
- 結果から原因を検索する

東日本大震災を対象に

- 原因から結果を検索する
- 結果から原因を検索する

使い方

画面左上のボックスのなかで、地震災害と「原因から結果」か「結果から原因か」を選択した後、入力欄から単語を入力し虫眼鏡のボタンをクリックしてください。

出力されたボックスの「>」をクリックすると、因果が連鎖します。因果がない場合は「×」が表示されます。

図 2-6-①-5 災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプ③

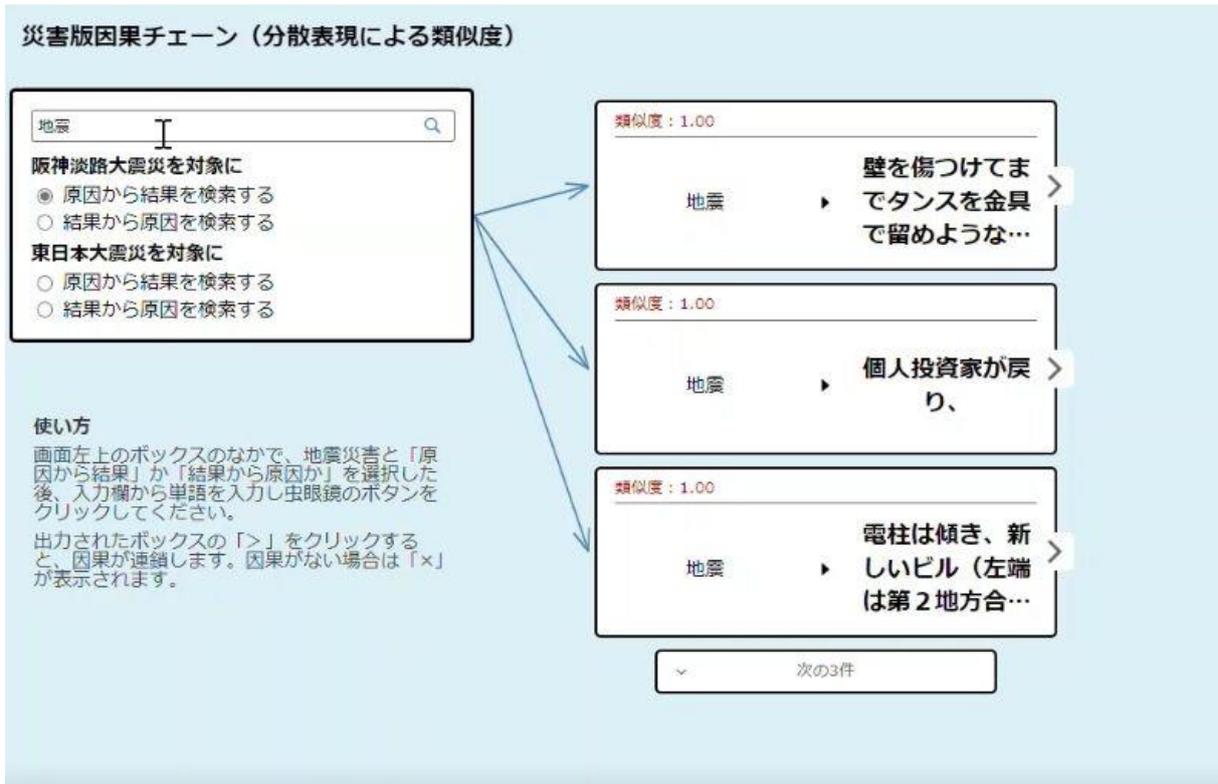


図 2-6-①-6 災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプ④

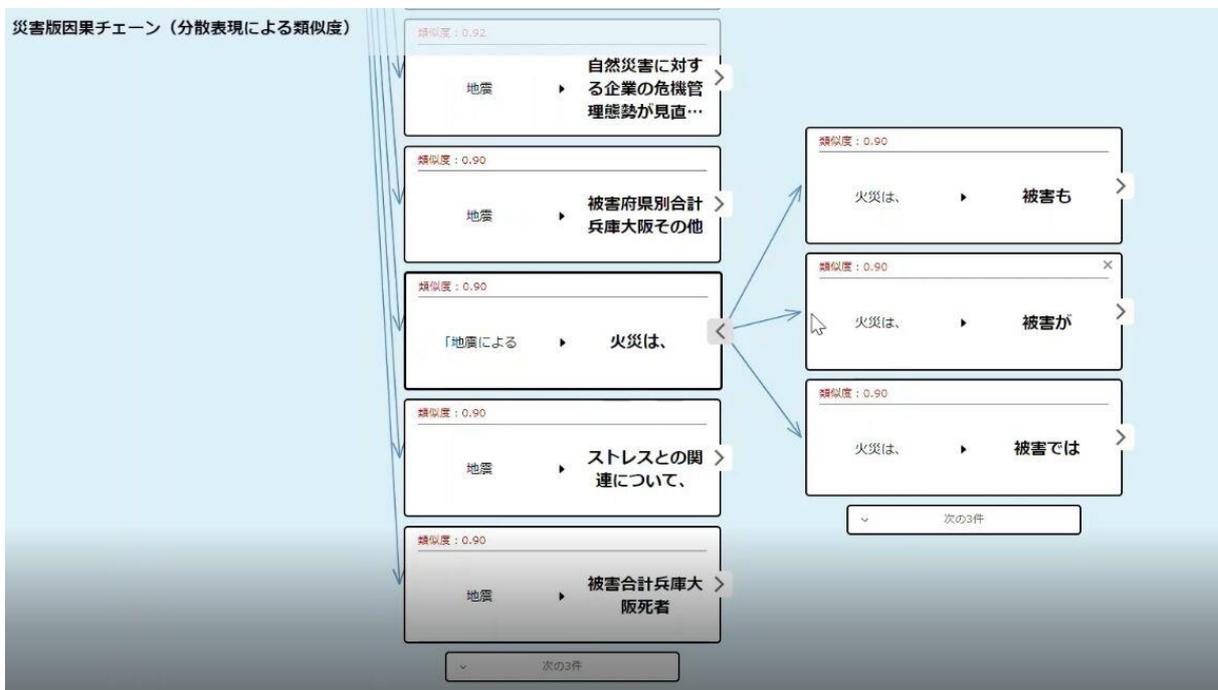


図 2-6-①-7 災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプ⑤

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、河北新報の1年分の新聞記事から、自然言語処理を用いて災害事象の因果関係を機械的に抽出し、東日本台風時の因果データベースを拡充した。これを図2-6-①-1のように図示した結果、昨年度に行った東日本大震災や阪神・淡路大震災よりも単純

な連鎖関係を示し、被害規模によって新聞報道された因果の連鎖は異なることが実証された。また、ここでは災害シナリオ自動生成技術のプロトタイプを作成したが、計算時間の問題など、この技術を実際のワークショップなどに使うにはまだ若干の改善点があることも判明した。

(e) 引用文献

- 1) Sakahira, F. and Hiroi, U. : Designing cascading disaster networks by means of natural language processing, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 66, 2021.12, Doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102623
- 2) 文部科学省委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」令和二年度成果報告書, pp.202, 2021.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表 題目）	発表者氏 名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表し た時期	国内・ 外の別
Designing cascading disaster networks by means of natural language processing	Fumihiko Sakahira, U Hiroi	International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 66 Doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102623	2021.12	国外

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

②高層建築物のエレベータ復旧オペレーション

(a) 業務の要約

本課題では、特に長周期地震動による被害を受けやすい超高層ビル等のエレベータ障害に着目し、都市機能を守るために望ましいエレベータ復旧オペレーション方針を検討することを最終目標としている。今年度は、前年度に実施したエレベータ障害・復旧過程の現状調査に基づいて、地震発生時からエレベータ障害の復旧に至るまでのシミュレーションに必要な各要素に対して理論モデルを構築し、被害規模や災害シナリオを任意

に設定したケーススタディによる事例解析を通して、復旧戦略の良否を判別する評価方法を検討した。また、上記の検討に必要な調査として、過去の震災時の超高層建物のエレベータ障害や建物全体の復旧過程の現状把握を目的としたヒアリング調査を実施した。実施項目・方法は以下の通りである。

(b) 業務の実施方法

1) 首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程をシミュレーションするための理論モデルの構築については、地震発生時からエレベータ障害の復旧に至るまでのシミュレーションに必要なモデル構成要素として下記の(1-a)から(1-d)を特定し、各要素と全体を通しての評価手法を整理した。

(1-a) 地理的領域・建物群のモデル化

(1-b) 入力地震動と建物被害・エレベータ障害関係のモデル化

(1-c) エレベータ復旧需要供給関係及び復旧コストのモデル化

(1-d) 専門技術者派遣のモデル化

2) 想定される都市機能被害に対して望ましいエレベータ復旧方針を判別するための評価手法の検討については、1) で構築したモデルを用いたシミュレーションで考慮する復旧戦略の諸条件を整理し、復旧が必要な建物間の優先順位を定める優先指標やエレベータの復旧効果・影響度を表現する評価指標を整理した(2-a)。また、プロトタイプ検証と提案評価手法に基づく復旧戦略の傾向分析を目的に、被害規模や災害シナリオを任意に設定した例題ケースを用いて事例解析を行った(2-b)。

3) 上記 1)、2) の検討にあたり、エレベータの管理や災害対応に携わる実務者にヒアリングを行い、過去の震災時の超高層建物のエレベータ障害や建物全体の復旧過程の現状を調査した。

(c) 業務の成果

1) 首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程をシミュレーションするための理論モデルの構築

広域災害時のエレベータ復旧は、保守点検を担当するエレベータ保守会社が独自の対応指針と基準に基づいて復旧対応を行っている。本課題では、前年度実施したメーカー系エレベータ保守会社へのヒアリング調査結果や収集した関連資料を基に、広域災害時の基本的なエレベータ復旧方針・条件を整理・抽出し、シミュレーションモデルの初期案を作成した。とりわけ、首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程を、広域災害時の復旧体制下での人的・物的資源及び情報の流れを含めてシミュレーションするため、モデルの構成要素として上記の(1-a)-(1-d)を特定し、各要素の理論モデルの構築方法を検討した。図2-6-②-1にモデル構成要素の復旧シミュレーション全体における位置付けを示し、その評価方法の概要をまとめる。

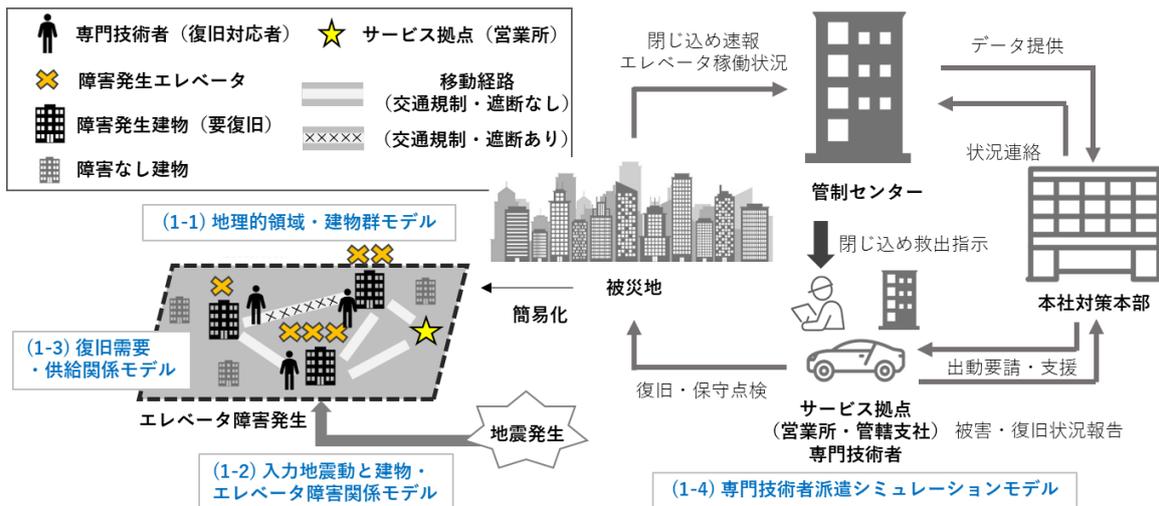


図 2-6-②-1 復旧シミュレーションモデルの構成

(1-a) 地理的領域・建物群のモデル化

構築したプロトタイプでは、専門技術者派遣の拠点となる営業所を復旧シミュレーションの単位とし、対象とする地理的領域内の拠点施設と建物群を、各種属性情報を持つポイントデータとして簡易的に表現する。図 2-6-②-1 左に示す通り、シミュレーションでは、管轄領域内に存在する建物群のうち、エレベータ障害が発生した建物所在地に拠点施設から専門技術者部隊が派遣され、拠点一建物間、建物 2 点間を結ぶ仮想的な移動経路を通るものとして巡回を行う過程を模擬する。各建物に対しては、位置情報に加え、建物用途や構造種別、竣工年代、建物の規模（高さ・延床面積等）等の、建物・エレベータの地震被害や復旧優先度に関係のある基本的な属性を変数として与えることで表現することとし、前年度の調査に基づいて決定した首都圏で長周期地震動被害を考慮すべき地域に対し、評価に必要なデータの収集方法や推定手法を整理した。

(1-b) 入力地震動と建物被害・エレベータ障害関係のモデル化

各建物の敷地に対して評価される地震動強さと(1-a)で設定した属性値に基づき、地震動・建物・エレベータの振動特性を反映して、建物被害とエレベータ障害の有無・モードを評価する手法を検討し、評価に必要なモデルを構築した。検討した評価フローを図 2-6-②-2 に示す。ここでは、エレベータの復旧需要は想定される地震動に対して建物の継続使用が可能であるか否かに依存すると考え、地震動評価→建物被害評価→エレベータ障害評価の順による 3 段階評価を行う。

地震動評価については、本研究事業のサブ課題 2 (g) で開発中の南海トラフ地震による長継続時間・広帯域強震動（長周期地震動を含む）シミュレーションでの研究成果利用を念頭におき、そこで評価される加速度指標（PGA または建物一次固有周期の加速度応答スペクトル $S_a(T)$ ）と長周期地震動に関する指標（速度応答スペクトル $S_v(T)$ ）から、指標と相関の高い建物被害とエレベータ障害をそれぞれ評価する。

建物被害については、過去の長周期地震動に関する研究事業¹⁾での成果を活用し、南海トラフ地震の震源多様性と建物の多様性を考慮した超高層建物の損傷フラジリテ

ィ曲線に基づいて、建物の機能維持性能の確保（中破以下）に関して性能判定する方法を整理した。

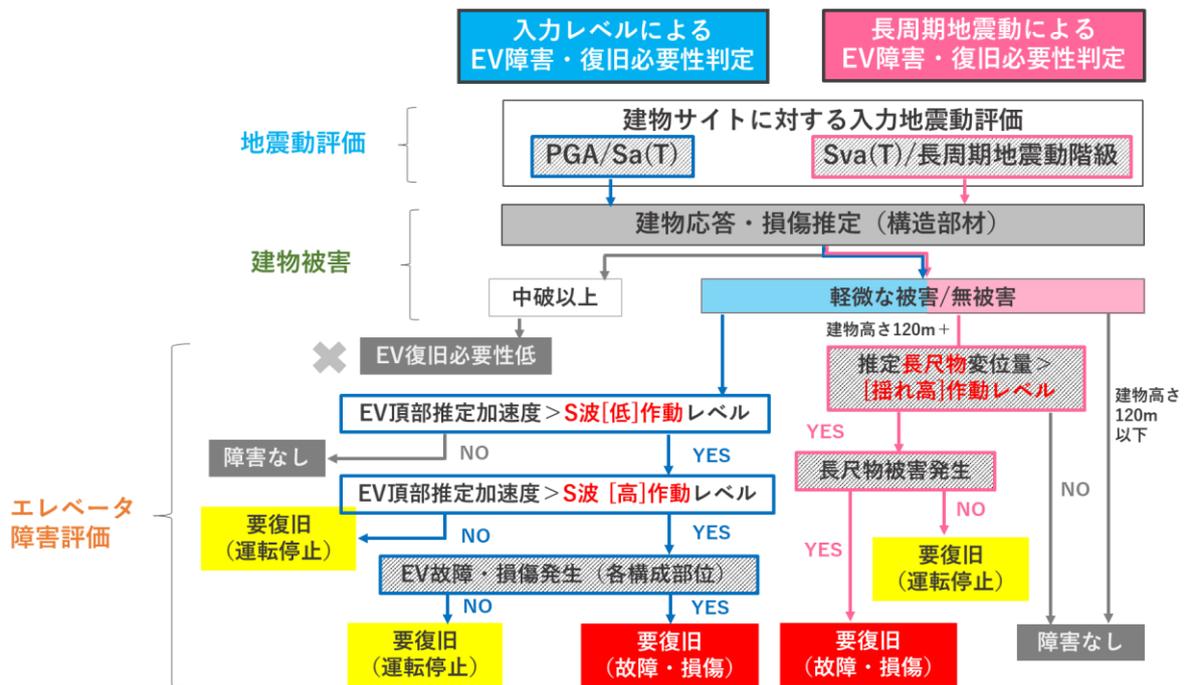
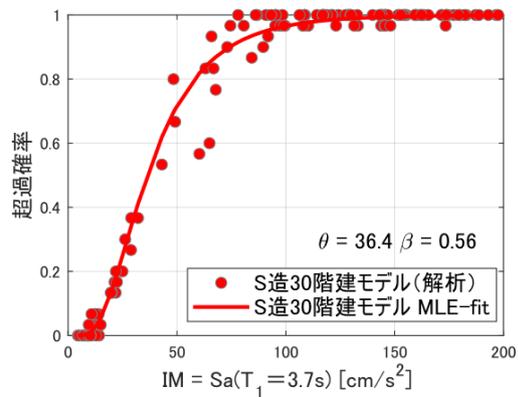
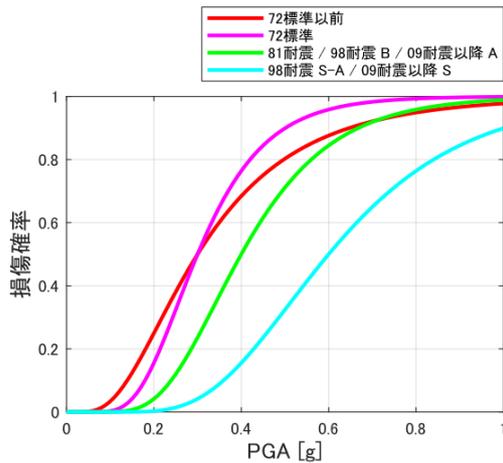


図 2-6-②-2 地震動と建物振動特性を考慮したエレベータ障害の評価フロー

エレベータ障害については、地震動と建物、エレベータの振動特性によって被害が発生しやすい部位や被害モードが異なるため、表 2-6-②-1 に挙げる 4 種類の異なるエレベータ障害をそれぞれの評価基準と指標に従って判定する。具体的には、大きな地震外力（加速度）が建物に作用することによって生じる（地震感知器の作動による）非常停止またはエレベータ機器の損傷と、超高層建物に特有の長尺物（ロープ類）の異常による非常停止または損傷を区別して評価する。大きな加速度が作用して生じる非常停止に関しては、昇降機耐震指針²⁾により定められている各地震感知器（加速度式 P 波・S 波）の設定値を基準に、建物敷地に対して評価された加速度指標をもとに判定が可能である。また、（長尺物を除く）エレベータ機器の損傷に関しては、耐震指針で安全限界耐力として定められている建物基礎部の地震時加速度レベルを基準にして新たに構築したフラジリティモデルを用い、耐震指針の年代・耐震クラス毎に判定する（図 2-6-②-3 (a)）。超高層建物に特有の長尺物（ロープ類）の異常による非常停止または損傷に関しては、超高層建物の地震応答を考慮したエレベータのロープ類の振動解析を階数の異なる建物平面骨組モデル（鉄骨 S 造 30 階建、45 階建、60 階建）を用いて実施し、判定のためのロープ損傷フラジリティモデルを新たに構築した（図 2-6-②-3 (b)）。フラジリティモデルは、損傷を生じさせる地震動強さの中央値 \square と対数標準偏差 \square で表される対数正規分布関数で与えられ、南海トラフ地震の多様性を考慮した複数の地震波形を用いた解析結果に基づいて導出した。

表 2-6-②-1 復旧シミュレーションで考慮するエレベータの障害モード

判定に用いる地震動指標	障害の種類	障害モード
加速度指標 (例: PGA または $Sa(T)$)	大きな地震外力の 作用によるエレベータ障害	運転停止 (要復旧)
		故障・損傷 (要復旧)
長周期地震動指標 (例: $Sv(T)$ または 長周期地震動階級)	長周期地震動による エレベータ障害 (建物高さ 120m 超)	運転停止 (要復旧)
		故障・損傷 (要復旧)



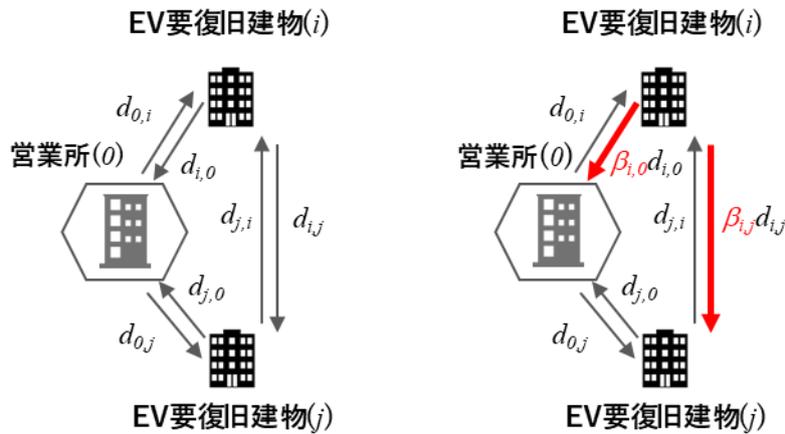
(a) エレベータ機器 (長尺物以外) の損傷フラジリティモデル

(b) エレベータ長尺物 (ロープ類) の損傷フラジリティモデル

図 2-6-②-3 エレベータ障害判定に用いるフラジリティモデル

(1-c) エレベータ復旧需要供給関係及び復旧コストのモデル化

エレベータの復旧が必要な建物群に対し、復旧過程のシミュレーションでの制約条件となる復旧需要量と供給量に関する評価手法を整理した。復旧需要量については、(1-b)での個々の建物・エレベータに対する判定結果に基づいて、対象領域内全体で復旧が必要な建物棟数やエレベータ台数の総数を評価する。復旧供給量については、震災時に想定される災害シナリオ下で拠点施設から派遣可能な人的資源 (復旧作業にあたる専門技術者数) に関する条件や制約を特徴づける。これに加え、ここでは個々のエレベータ障害モードに応じた復旧作業や建物間の移動に要する時間等の復旧コストとして評価する。とりわけ、建物間の移動に関しては、移動コスト (距離、時間) を考慮に入れた空間ネットワークとして簡易的に表現し (図 2-6-②-4)、震災時に想定される災害シナリオ (例えば被害による道路封鎖や鉄道の停止、混乱時における交通網の混雑等) を、建物 ij 間の距離 ($d_{i,j}$) や移動時間の変動率 ($\beta_{i,j}$) 等の適切なパラメータの設定により、専門技術者による巡回を想定災害シナリオに応じて表現できるようモデルを構築した。なお、派遣拠点となる営業所もネットワークモデルに含まれ、図中には添え字 0 で表現している。



(a) 交通規制・遮断の影響なし (b) 交通規制・遮断の影響あり

図 2-6-②-4 派遣拠点と要復旧建物間の空間モデル

(1-d) 専門技術者派遣のモデル化

広域災害時のエレベータ保守会社による復旧体制を参考に、派遣拠点から復旧を必要とする建物に専門技術者が派遣される過程をシミュレーションするモデルを検討した。図 2-6-②-1 右に示す通り、広域災害発生時には、発災直後に対策本部が設置され、専門技術者にサービス拠点（営業所・管轄支社）への出勤要請が発令されるなど、早期に初動体制が確立される。復旧作業は、管制センター（被害把握）、対策本部（復旧方針や作業指示）、サービス拠点から派遣される専門技術者（復旧対応）の役割分担と情報共有により、被害状況・規模を迅速に把握し、被災地における閉じ込め救出や停止したエレベータの復旧に取り掛かる。本課題では、このようなエレベータ保守会社による復旧体制を参考に、シミュレーションモデルの動作を下記の通り定めた。

STEP 0：要復旧建物・エレベータの特定（管制センター）

STEP 1：建物優先順位の決定と専門技術者部隊の割り当て（指令者—対策本部）

STEP 2：復旧建物の巡回（復旧対応者—専門技術者部隊）

→作業日ごとに STEP 1-2 を繰り返す。

エレベータの復旧を対象とする場合、地震感知器の設置が法令で義務付けられており、発災後の障害発生状況は管制センターからの遠隔監視によって把握が可能であるため、管制センターの役割である要復旧建物・エレベータの特定（STEP 0）はシミュレーションの条件として上記項目(1-a)-(1-c)で与えられ、被害把握のための巡回作業は考慮しないものとする。また、指令者である対策本部の役割である復旧方針や作業指示（STEP 1）は、シミュレーションで想定する戦略（項目 2 参照）により定められたルールに基づいて、要復旧建物の優先順位の決定と専門技術者の割り当てを作業日毎に行うことにより表現する。続いて、復旧対応を現場で行う専門技術者部隊は、(STEP 2) で割り当てられた順序に従って、復旧が必要なエレベータが設置されている建物に巡回する。各部隊は作業日ごとに営業所から出発し、割り当てられたエレベータの

復旧を終えてから、営業所に戻り一日の復旧作業を終了する。シミュレーションでは、対象地域内の全てのエレベータの復旧が完了するまでこの動作を繰り返す。

以上(1-a)から(1-d)の評価を行うことにより、地震発生からエレベータ障害の発生、さらには復旧対応までの一連の過程を簡易的に表現できるモデルを構築した。

2) 想定される都市機能被害に対して望ましいエレベータ復旧方針を判別するための評価手法の検討

(2-a) 復旧戦略評価手法の検討

実際の広域災害時の復旧対応での復旧戦略・優先順位に関する意思決定は、ある要因のみ単独で考慮されるとは限らず、複数の要因の組み合わせから決定されると考える。そこで、復旧過程をより現実に即した条件下でシミュレーションし、優先指標による戦略の違いの比較を容易にするため、本課題では(社)日本エレベーター協会により定められている大規模地震発生時のエレベータ復旧の優先事項³⁾を全戦略に共通の条件として考慮する。表2-6-②-2に示す通り、閉じ込めは最優先されるものとして、本年度のプロトタイプでは検討対象外とし、稼働停止したエレベータのみを考慮する。停止したエレベータは、建物機能・用途に応じた優先度クラス(①病院等の医療・福祉施設、②官庁施設や災害対策本部等に指定される公共施設、③高層建物、④一般の建物)の順で復旧が優先され、①～④の同じ優先度クラスの中の順位付けを、異なる復旧優先指標を考慮して戦略を評価する。また、同協会が推奨する「1ビル1台復旧」の原則(全体の早期復旧の観点から、大規模地震発生時には1棟につき1台を復旧させた後、他の建物の復旧に回るという考え³⁾)の適用の是非についても復旧シミュレーションにより検討が可能であるように、優先指標に決定される戦略と組み合わせで任意に選択できるよう、プロトタイプを設計した。

エレベータ復旧シミュレーションでは、これらの条件の組み合わせにより定義される戦略に基づいて、各部隊が対応する個別作業の進捗と所要時間を積み上げて復旧過程を模擬し、復旧進捗度(建物棟数、エレベータ台数)や復旧による影響・効果(アクセスできる建物面積や建物利用人数)、総復旧時間等の指標により定量的に評価する。

表2-6-②-2 大規模地震発生時のエレベータ復旧に関する優先順位
(文献³⁾をもとに作成)

優先順位	対応内容	建物種別	理由等
①	閉じ込め 救出	閉じ込めが発生している建物	閉じ込め救出を最優先
①	停止したエレベータ の復旧	病院等、弱者が利用する建物	けが人等の対応が急増する建物
②		公共性の高い建物	各行政から災害対策本部棟に指定される建物
③		高層住宅 (地上高さ概ね60m以上)	一般の建物と比較し、生活に大きな支障の起こる可能性が高い建物
④		一般の建物	

(2-b) 例題ケースを用いた事例解析

本年度は、次年度に予定されている長周期地震動評価に基づくエレベータ障害と復旧シミュレーションの試算に先立ち、プロトタイプ検証と上記の評価手法に基づく復旧戦略の傾向分析を目的に、被害規模や災害シナリオを任意に設定した例題ケースを用いて事例解析を行った。事例解析で考慮した(1-b)を除く(1-a)から(1-d)の項目に対し、検討ケースの概要を以下にまとめる。

(1-a)に対応する対象地域・建物群の設定を以下の通りとした。復旧シミュレーションの対象地域は、前年度に調査対象とした都心部で超高層建物棟数が多い行政区(港区、千代田区、中央区、新宿区)とした。対象地域の主なエレベータ保守会社の営業所分布を参考に、仮想の営業所拠点を設定し、各建物から最寄りの営業所が復旧に対応するとの仮定の下、営業所一単位規模に相当すると考えられる地理的領域を設定した。ここでは、復旧過程全体を模擬する目的で、エレベータの設置義務に関する条例や基準・指針を参考に、高層建物に加えて中低層も含む階数4階以上の建物を検討対象とし、建物ポイントデータ⁴⁾より地理情報・規模・用途に関する属性を与えた。各建物の設置エレベータ台数は用途に関わらず延床面積 A を基に設定し、エレベータに関する実態調査結果⁵⁾から、小規模建物($A \leq 2,000\text{m}^2$)には1台、中規模建物($A \leq 10,000\text{m}^2$)には2台、大規模建物($A > 10,000\text{m}^2$)には、 $4,000\text{m}^2$ につき1台増加すると仮定した。

(1-c)に対応するエレベータ復旧需要・供給関係の設定については以下の通りとした。エレベータ障害の発生確率は地震動分布によらず対象領域内で一様であるとの仮定のもと、建物数 N_{bdg} から確率 p_d で無作為に抽出された建物 $N_{bdg,d}$ のエレベータ全台に対し復旧が必要であるとし、復旧を必要とするエレベータの全台数 $N_{EV,d}$ を設定した。被害規模の影響を比較するため、被害規模が小、中、大の3ケース($p_d=0.1, 0.5, 1.0$)を設定した。拠点施設から派遣可能な最大専門技術者部隊数 M_{max} は、建築基準法第8条により月毎の保守点検が「努力義務」として定められている(ただし使用頻度による)ことを根拠に、対象領域内の全エレベータ台数 N_{EV} と1部隊あたりの月毎の保守点検台数の推定量から設定した。通常時の点検及び震災時の復旧歩掛に関しては今後さらなる検討を必要とするが、ここでは、通常時の日毎の点検作業台数 λ を4台/日・部隊、震災時の日毎の復旧作業台数 λ_E を6台/日・部隊と仮定し、作業員の能力や発災からの日数によらず一定、復旧完了日まで全部隊が出動するとした。1台の復旧時間 γ は、実際はエレベータ障害モードに依存するが、ここでは一律 $\gamma=2$ 時間/台と仮定した。各部隊の移動時間は建物間の地理座標から移動速度 $v=5\text{ km/h}$ と仮定して計算した。港区内の1営業所(汐留・品川駅周辺エリア)に対して考慮したケースを例に、復旧需要・供給に関する主な設定条件を表2-6-②-3にまとめる。

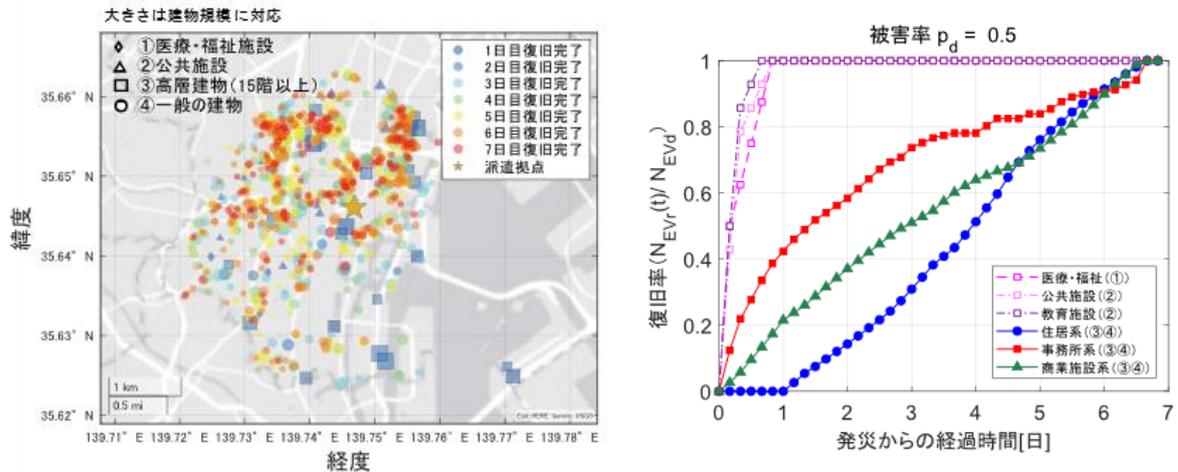
表 2-6-②-3 復旧需要・供給に関する設定

(例題対象地域：汐留・品川駅周辺エリア)

[x,y] 座標	N_{bdg} [棟]	N_{EV} [台]	p_d	$N_{bdg,d}$ [棟]	$N_{EV,d}$ [台]	M_{max} [部隊]	λ_E [台/日]	γ [時間/台]	v [km/h]
[35.65, 139.75]	1551	2964	0.1	90	135	37	6	2	5
			0.5	796	1484				
			1.0	1551	2964				

(1-d) に対応する復旧戦略・専門技術者派遣の設定については、表 2-6-②-2 に示す大規模地震発生時の基本優先順位①～④を考慮し、同じ優先度クラスの中の順位付けを変えた戦略を検討した。考える戦略として、ア) エレベータ障害により移動に支障をきたす大きな建物（階高・延床面積等）から復旧する戦略、イ) 利用人数の多い建物から復旧する戦略、ウ) 派遣拠点から近い建物から復旧する戦略を考慮し、優先順位が高い建物内のエレベータから順に、最も早く対応できる部隊を割り当てた。

上記の検討ケースと復旧戦略の組み合わせに対し、復旧シミュレーションを行った。ここでは、部隊数は対象領域の建物数に比例し、戦略によらず同一の投入部隊数と復旧作業台数を設定しているため、復旧完了日は被害規模にほぼ比例して増加し、被害小 ($p_d=0.1$) で 2 日目、中 ($p_d=0.5$) で 7 日目、大 ($p_d=1.0$) で 14 日目となった。例として、上記と同様の港区内の 1 営業所に対し被害率 $p_d=0.5$ を想定したケースに対し、延床面積の大きい建物から復旧する戦略下で実施したシミュレーション結果を図 2-6-②-5 に示す。図 2-6-②-5 (a) の各建物の復旧日数分布からも示唆されるように、例題ケースでは、建物優先度クラス①②に該当する重要施設 (◇, △) は 1 日以内に復旧し、続いて③の高層建物 (□) が 2 日以内に復旧完了する。その後、一般建物 (○) が延床面積の大きい順で徐々に復旧されていき、7 日以内に全エレベータの復旧が完了する。例題地域で優先指標を延床面積とした場合、図 2-6-②-5 (b) の建物用途ごとの復旧率 ($N_{EV,d}$ に対する t 日目の復旧済み EV 台数 $N_{EV,r}(t)$ の比率) を見ると、規模の大きい事務所や商業施設の復旧が早期に対応され、選択した優先指標と建物用途の関係性が顕著に表れる結果となった。他の戦略下でも、例えば派遣拠点からの距離を優先指標とした場合には、建物用途間の復旧率の偏りは小さく、被害率が中～大程度になると移動効率を最大化できる一方で、エレベータ障害により支障が大きい建物の復旧が遅れるなど、被害規模や建物用途・規模に関する地域性、復旧効果と復旧効率の関係から望ましい戦略を選択すべきことが検討ケースから示唆された。



(a) 復旧日数分布

(b) 建物用途ごとの EV 復旧率

図 2-6-②-5 シミュレーション結果

(対象地域：汐留・品川駅周辺エリア、被害規模：中、戦略：延床面積大→小)

3) 震災時の超高層建物のエレベータ障害と復旧過程に関する現状調査

震災時の建物被害・エレベータ障害の復旧に関して建物管理・不動産開発事業を営む業界団体へのヒアリング調査を1件実施し、(3-a)震災時の建物管理・復旧の基本方針・体制、(3-b)過去の震災によるエレベータ障害事例及び復旧過程、(3-c)巨大地震に備えた事業継続計画(BCP)対応について調査した。得られた知見を項目毎に以下に記す。

(3-a)震災時の建物管理・復旧の基本方針・体制：震災時の建物管理の現場では、地震が発生し震度5強以上を観測した場合、対策本部を設立し、行動指針を決定、建物の安全確認を実施している。安全確認、復旧の優先度としては、①人命安全の確保、②建物の被害・安全性の確認、③建物設備の稼働状況・安全性の確認、という順序で行うことが明らかになった。特に、③の建物設備に関しては、エレベータ障害や水損事故につながりうるスプリンクラー等の水回り設備は比較的優先度が高いことがわかった。

(3-b)過去の震災によるエレベータ障害事例及び復旧過程：2011年の東北地方太平洋沖地震では、管理建物(140棟程度；そのうち超高層建物クラスは100棟以下)では建物安全性に大きく関わる構造被害は見受けられなかった一方で、建物内のエレベータはほぼ停止したことが調査より明らかになった。超高層建物は当日中に復旧したが、中低層ビルでは復旧が翌日に及んだことが明らかになった。

(3-c)巨大地震に備えたBCP対応について：東日本大震災以降、BCPに対するテナント企業の関心の高まりから、非常時対応や平常時の防災対策を強化するための取り組みがなされている。エレベータに関しても、既設エレベータの耐震性能向上、「自動診断復旧システム」の導入、停電を含むライフラインの供給停止に備えて非常用電源の確保等を行っていることがわかった。

(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。

- 1) 首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程をシミュレーションするための理論モデルの要件と構成要素を検討し、震災時にエレベータ保守会社1営業所が復旧対応を行う規模に相当する地理的領域に対して、地震発生からエレベータ障害の発生、その復旧過程を模擬するシミュレータのプロトタイプを構築した。とりわけ、地震発生時のエレベータ障害の模擬については、地震動と建物、エレベータの振動特性を反映して、異なるエレベータ障害モードを評価する方法を整理し、損傷判定に用いる評価モデルを新たに構築した。
- 2) 1) でのシミュレーションモデルを用いて、異なる復旧戦略の比較基準となる評価体系を検討した。具体的には、実際の復旧対応で考慮されるべき建物機能・用途に応じた優先度クラスを考慮した上で、建物間の詳細な順位付けを、任意の復旧優先指標により決定して復旧戦略を定義する。与えられた戦略下で各部隊の復旧作業進捗と所要時間を積み上げることで復旧過程を模擬し、復旧進捗度（建物棟数、エレベータ台数）や復旧による影響・効果（アクセスできる建物面積や建物利用人数）、総復旧時間として定量的に評価する手法を検討した。
- 3) 震災時の建物被害・エレベータ障害の復旧に関して建物管理・不動産開発事業を営む業界団体へのヒアリング調査を1件実施した。震災時の建物管理の現場では、震度5強以上を観測した場合、建物の安全確認を実施しており、建物全体の確認・復旧の優先順位に対するエレベータ障害復旧の位置づけが調査より明らかになった。

今後の課題として、長周期地震動シミュレーションによる地震動評価に基づくエレベータ障害の模擬と、詳細な災害シナリオを初期条件とした復旧シミュレーション下での望ましい復旧戦略の検討が挙げられる。また、エレベータ保守会社や建物管理者など、関連業界や現場の実務者へのヒアリング・意見交換を通じて、被災時の現場対応により即したシミュレーションモデルの改良を行う。

(e) 引用文献

- 1) 神田克久，阿部雅史，鈴木芳隆，藤原広行，森川信之，前田宜浩，小鹿紀英，岡野創，加藤研一：「超高層建物応答と相関性のある長周期地震動の揺れの指標の検討」，日本建築学会構造系論文集，Vol. 79，No. 696，pp. 267-274，2014.
- 2) 日本建築設備・昇降機センター：建築基準法及び関連法令 昇降機技術基準の解説 2016年版，2016.
- 3) 日本エレベーター協会：大規模地震発生時のエレベーター早期復旧等に関するご協力のお願ひ，2015.
https://www.n-elekyo.or.jp/about/pdf/20150225_elesoukifukkyu.pdf (2022.3 現在).
- 4) ゼンリン：<https://www.zenrin.co.jp/> (2022.3 現在).

- 5) 一般社団法人日本ビルヂング協会:ビル実態調査(平成25年版)調査結果要旨,
2013. http://www.jboma.or.jp/h24_birujittai/ (2022.3現在).

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
長周期地震動による超高層建物のエレベータ障害と復旧評価手法の構築に向けた検討(口頭)	鈴木明子、日下彰宏、前田宜浩	2021年度 日本建築学会大会 学術講演梗概集	2021年9月7日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

2. 7 地震防災基盤シミュレータの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「地震防災基盤シミュレータの構築」

(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	藤原広行
	副部門長	中村洋光
	主任研究員	前田宜浩
	特別研究員	土肥裕史
	センター長	青井真
	主幹研究員	高橋郁夫
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	森川信之
	主任研究員	岩城麻子
	主幹研究員	先名重樹
	特別研究員	内藤昌平
	特別研究員	秋山伸一
	部門長	白田裕一郎
	副部門長	田口仁
	特別研究員	水井良暢
	特別研究員	崔青林

(c) 業務の目的

時空間的な地震発生の多様性を持つ南海トラフ地震を対象に、「地震防災情報創成研究」の各課題(d)～(f)の研究で活用可能とする将来を予測する基盤となる情報として、地震や津波のハザードやそれによって引き起こされるリスク情報を創出する。具体的には、「通常と異なる現象」を地震発生の多様性の一例としてとらえ、それが起こった後の時間推移を考慮した条件付きリスク評価手法の開発を行う。また、地震本部の知見を採り入れつつ、地震発生の多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組み合わせからなる断層モデル群に対して、長継続時間・広帯域強震動（長周期地震動を含む）や津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションできる手法を開発し、上記課題に関連して、事前避難、産業活動、大都市機能維持のそれぞれの地域性の観点から南海トラフの地震像を類型化する手法の開発を行い、類型化毎の代表的な広域災害シナリオを構築する。このように創出したハザード・リスク情報を格納する情報基盤を、防災科研の地震ハザードステーション（J-SHIS）、津波ハザードステーション（J-THIS）、リアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）と連携できる形で地震防災基盤シミュレータとして構築し、課題(d)～(f)のそれぞれの目的に適した形態で提供可能とするとともにサブ課題3.「創成情報発信研究」と連携して利活用を進めることで防災対策に活かす。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

地震防災基盤シミュレータの構築に着手した。そのために、長継続時間・広帯域強震動への強震動シミュレーション手法の対応検討を行った。津波到達時間が短い地域を対象とした津波遡上の試算を行った。建物被害・人的被害のリスク評価を行うとともに、地震像の類型化のための基礎的検討を行った。システム開発に向け、ハードウェアを導入し、既往ハザード・リスク情報を整理し、共有方法に関する設計を行った。

2) 令和3年度：

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプ開発を行った。そのために、地震本部の知見を活用した断層モデル群、地下構造モデルの構築に着手し、強震動の試算を行った。同様の断層モデル群で津波遡上シミュレーションを行った。南海トラフで複数回地震が発生した想定ハザード情報等を利用した類型化手法の基礎的検討を行った。それらの検討結果を地震防災基盤シミュレータに蓄積可能にした。

3) 令和4年度：

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプから情報提供可能にする。そのために、最大クラスの断層モデルを含む強震動及び津波遡上のシミュレーションを実施し、その結果を用いた事前避難、産業活動、大都市機能維持の各観点からの南海トラフの地震像の類型化手法の検討を行う。各類型の代表的な広域災害シナリオ作成手法の基礎的検討を行う。検討結果を地震防災基盤シミュレータに蓄積し、2次利用可能な形式で情報提供できるようにする。

4) 令和5年度：

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプを高度化する。そのために、シミュレーションデータに基づく観測データの空間補間手法の検討を行う。事前避難、産業活動、大都市機能維持の各観点からの南海トラフの地震像の類型化手法と類型毎の広域災害シナリオ作成手法を高度化する。地震防災基盤シミュレータによる情報の情報発信研究等を通じた自治体や企業等での利活用による課題抽出を行い、改良を図る。

5) 令和6年度：

地震防災基盤シミュレータを完成する。そのために、南海トラフの類型結果と各類型の代表的な災害シナリオの検証を行うとともに、情報発信研究等における議論や利活用を踏まえ、システムに搭載するリスク情報や災害情報の改良を図る。

(e) 令和3年度業務目的

地震防災基盤シミュレータの構築に着手する。そのために、長継続時間・広帯域強震動への強震動シミュレーション手法の対応検討を行う。津波到達時間が短い地域を対象とした津波遡上の試算を行う。建物被害・人的被害のリスク評価を行うとともに、地震像の類型化のための基礎的検討を行う。システム開発に向け、ハードウェアを導入し、既往ハザード・リスク情報を整理し、共有方法に関する設計を行う。

(2) 令和3年度の成果

①長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

(a) 業務の要約

本業務では、南海トラフ沿いで発生する海溝型地震による長継続時間・広帯域強震動の計算を実現するために、地震本部の知見を活用した断層モデル群、地下構造モデルの構築に着手し、広帯域強震動の試計算を行った。広帯域強震動シミュレーションでは、面的な地震動の計算に多くの実績のあるハイブリッド合成法を用いることとし、長周期地震動は、過年度業務において発散抑制機能を実装した3次元差分法による地震動シミュレータGMS¹⁾を用いて計算を行い、短周期地震動は統計的グリーン関数法により計算した。計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

(b) 業務の実施方法

断層モデル群の構築では、地震本部の津波ハザード評価²⁾で設定された南海トラフ地震の多様性モデルを踏まえた強震動計算用震源断層モデルを構築した。過年度業務において発散抑制機能を実装したGMSを用いて、長継続時間地震動計算のための計算パラメータに関する検証作業を行うとともに、構築した強震動計算用震源断層モデルに対して、3次元差分法により計算した長周期地震動と統計的グリーン関数法により計算した短周期地震動をハイブリッド合成して得られた長継続時間・広帯域強震動シミュレーションデータを地震防災基盤シミュレータに格納した。次年度の検討に向けて、関東地域の浅部・深部統合地盤モデルを取り込んだ全国1次地下構造モデルを基に差分法用地下構造モデルを作成した。

(c) 業務の成果

1) 断層モデル群の構築

地震本部の津波ハザード評価²⁾で設定された南海トラフ地震の多様性モデルを踏まえた強震動計算用震源断層モデルを構築した。地震本部の南海トラフ地震の長期評価³⁾では、南海トラフ沿いで想定される最大クラスの地震の震源域をトラフ軸方向に6区分、フィリピン海プレートの沈み込み方向に3区分した18個の区分領域を組み合わせた15通りの巨視的断層モデルが例示されている。本検討ではこれに加え、津波ハザード評価の知見をもとに昭和南海地震や昭和東南海地震といったいわゆる「半割れ」に対応する巨視的断層モデルに対して震源域の傾斜方向の広がりに関する多様性を考慮した巨視的断層モデル群を設定し、強震動予測手法「レシピ」⁴⁾を踏まえて以下に示すパラメータ設定の方針に基づき震源域・破壊開始点・アスペリティ位置が異なる83通りの特性化震源モデルを構築した。

○巨視的震源パラメータの設定方針

- ・ 地震の規模については、震源域全体の平均応力降下量を海溝型プレート間地震の平均的な値である 3MPa（例えば、Kanamori and Anderson, 1975⁵⁾；Allmann and Shearer, 2009⁶⁾）と仮定して、震源域の面積より算出する。

○微視的震源パラメータの設定方針

- ・ アスペリティは、各区分領域内に 2 個から 3 個配置し、面積と平均すべり量は、各領域の面積と平均すべり量のそれぞれ 20%と 2.2 倍（Murotani et al. 2008⁷⁾）とする。
- ・ 震源時間関数は、中村・宮武（2000）⁸⁾によるすべり速度時間関数とする。
- ・ f_{max} は、「レシピ」における 13.5Hz とする。
- ・ プレートの沈み込み方向に 3 区分したうち浅部領域を有する震源モデルでは、浅部領域の面積の 20%の大きさの 1 個のすべりの大きな領域を持つケースも設定する。

○その他の震源パラメータの設定方針

- ・ 破壊伝播速度は、「レシピ」に従い震源域の S 波速度の 72%(2.7km/s;Geller, 1976⁹⁾)とする。
- ・ 破壊伝播の様式は破壊開始点から同心円状とするが、各アスペリティ内部での破壊は破壊の到達点から同心円状とする（マルチハイポセンター）。

特性化震源モデルのように震源パラメータがアスペリティサイズより小さな空間スケールの不均質性を持たないモデルでは、アスペリティサイズと破壊伝播特性に規定される卓越周期よりも短周期の地震動が適切量生成されず、特に巨大地震の場合には工学的に重要な周期帯の地震動が過小評価される可能性が指摘されている（例えば、関口・吉見、2006¹⁰⁾）。そこで、地震本部の長周期地震動評価 2016 年試作版¹¹⁾で採用された Iwaki et al. (2016)¹²⁾の方法により、特性化震源モデルの破壊伝播速度、すべり角、すべり量に対してランダムな不均質性を付与した。ランダムな不均質性が付与された震源パラメータの一例を図 2-7-①-1 に示す。

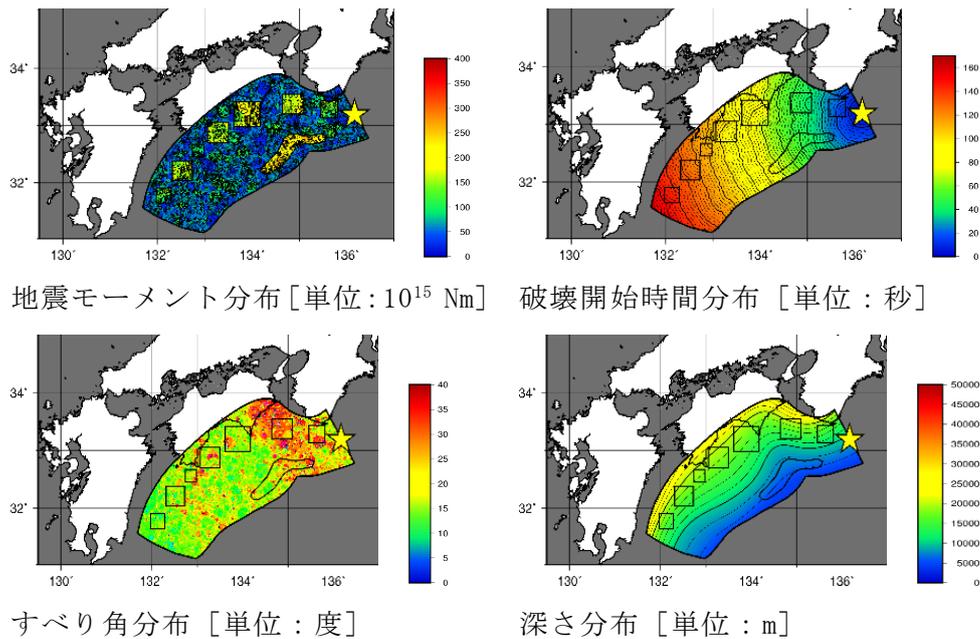


図 2-7-①-1 設定した震源モデルのパラメータの空間分布。

2) 発散抑制機能の検証

昨年度、発散抑制を目的として波動場平滑化スキーム (Imai et al., 2018)¹³⁾ を 3次元差分法による地震動シミュレータ GMS¹⁾ に実装し、大阪湾付近を対象とした計算モデルを用いて波動場平滑化スキームのパラメータ (b 値) の設定に関する検証作業を行った。昨年度の検討からは、波動場平滑化スキームの効果が期待される周期帯域は b 値に依存しており、目的に応じた適切な b 値の設定を試行錯誤的に行う必要があることがわかった。ここでは南海トラフ地震を対象とした計算モデルを対象とし、上記で設定した震源モデルの 1 つを用いて波動場平滑化スキームの有効性と適切な b 値の設定について検討した。図 2-7-①-2 に、b = 0、50、70、80、100、500 とした場合の、東京、大阪、高知の 3 つの都府県庁地点におけるフーリエスペクトルと波形を示す。ここで b = 0 は、波動場平滑化スキームを用いない従来の計算を意味する。これら 3 地点は南海トラフ地震の震源域からの距離や、地盤の条件を考慮して選定した。図 2-7-①-2 の右側に示した b = 0、50 とした場合の波形では、赤丸で囲んだ部分において発散により振幅が指数関数的に増大している様子が認められる。左側のフーリエスペクトルは周期 1 秒のローパスフィルタ (高周波成分を遮断するフィルタ) を施しているが、b = 70 (橙)、80 (青)、100 (灰) の差異は小さく、500 (黄) では他よりも振幅が小さい傾向が明らかである。また、b = 0 (水色) や 50 (緑) のスペクトルは他に比べ著しく大きく、発散により波形の終端付近の振幅値が過大となり、適切にフーリエスペクトルを計算できていないことが考えられる。通常、差分法計算の後処理としてローパスフィルタを適用することで発散の影響を除去できることが経験的にわかっている。本検討モデルの場合、b = 500 とした場合では波動場平滑化スキームにより発散が生じず、ローパスフィルタを施す必要はなかった。一方、b = 0 と b = 50 の場合は、後処理を施しても発散の影響を取り除くことは出来ていない。b = 70、80、100、500 のフーリエスペクトルを比較すると、b = 500 は周期 1 秒以上

の周期帯域でも減衰の影響が大きく、一方で、 $b = 70$ は発散の影響が取り切れていないと考えられることから、 b として $80 \sim 100$ を与えるのが妥当だと考えられる。ただし、 b 値は、地下構造モデルに依存すると考えられることから、事前に何通りかの b 値での計算を行い、目的に応じた適切な値を求める必要がある。

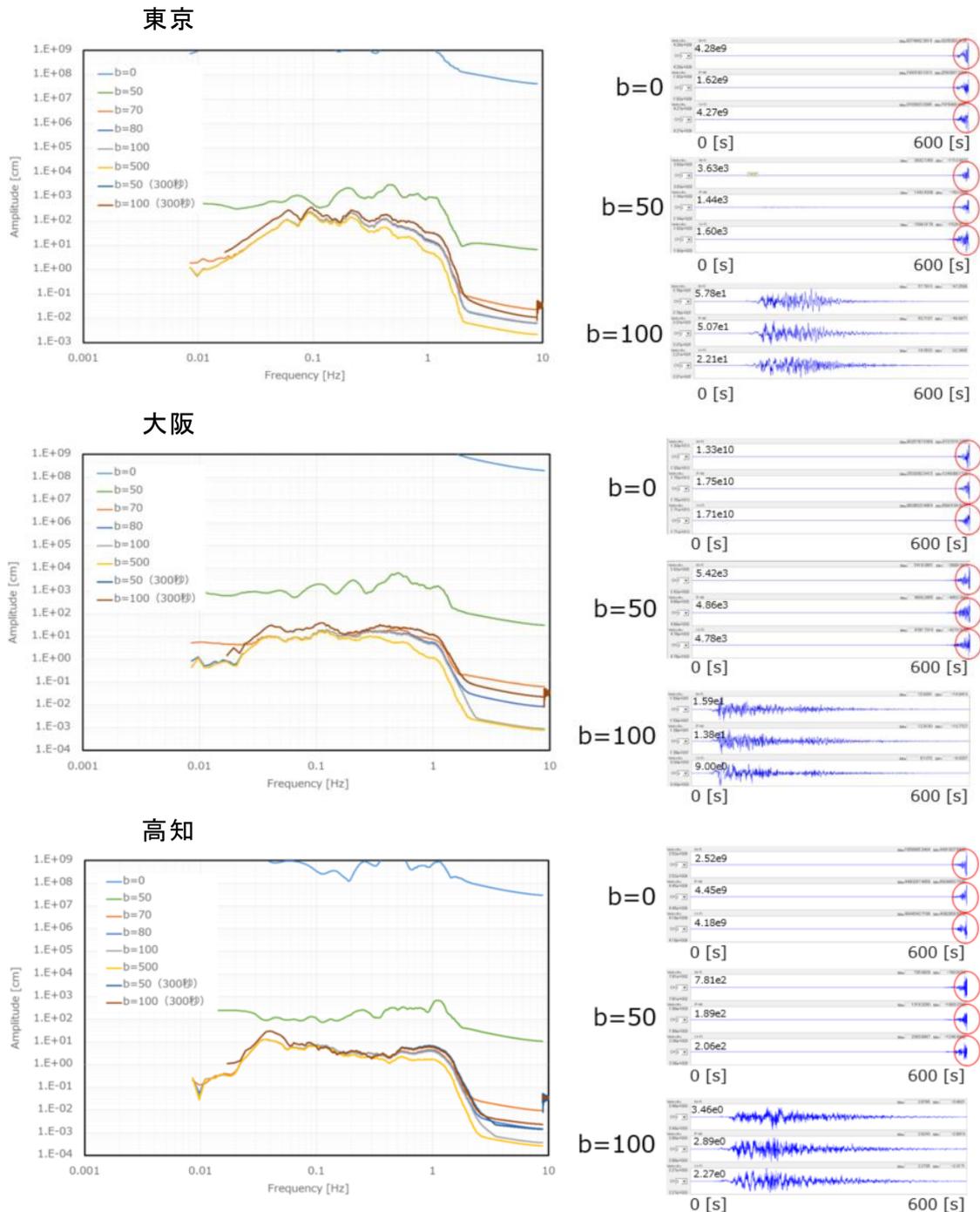


図 2-7-①-2 南海トラフ地震を対象とした地震動シミュレーションによる、東京都庁位置（上段）、大阪府庁位置（中段）、高知県庁位置（下段）でのフーリエスペクトル（左側）と速度波形（右側）。スペクトルには、 $b = 0, 50, 70, 80, 100, 500$ として 600 秒間の計算を行った場合の結果と、参考として $b = 50, 100$ として 300 秒間の計算による結果も示している。

3) ハイブリッド合成法による広帯域強震動シミュレーション

1) で設定した震源モデル群に対し、Maeda et al. (2016)¹⁴⁾ で用いられている南海トラフ地震の長周期地震動シミュレーション用の3次元地下構造モデルを用いた3次元差分法による計算を行った。ここでは波動場平滑化スキームのパラメタ (b 値) を 100 とした。また、同じ震源モデルに対して統計的グリーン関数法により短周期地震動の波形合成を行い、差分法と統計的グリーン関数法による結果を接続周期 1 秒でハイブリッド合成することで広帯域強震動を計算した。統計的グリーン関数法とハイブリッド合成法については、全国地震動予測地図¹⁵⁾ の「震源断層を特定した地震動予測地図」に準じた手法を用いた。結果の一例として、破壊開始点を変えた場合の工学的基盤上での計測震度分布を図 2-7-①-3 に示す。また、比較のために経験式¹⁶⁾ による結果も示す。経験式では震源域からの距離により振幅が単純に減衰しているが、ハイブリッド合成法による結果は破壊開始点の違いや、工学的基盤以深の地下構造の影響により複雑な計測震度分布となっており、巨視的断層モデルから算出される経験式に基づく予測では表現することができない地震動分布の多様性が表現されている。また、経験式に比べハイブリッド合成による結果は遠距離において振幅が小さい傾向がみられる。両者を周期毎に比較検討する必要はあるが、遠距離において統計的グリーン関数法による短周期帯の地震動が過小評価となることが経験的に知られており、震源域からやや離れた地域における短周期地震動の評価については経験式との整合性も考慮した評価手法を検討する必要がある。なお、マグニチュード 9 程度の巨大地震については経験式の基となる観測記録が十分ではないことにも留意が必要である。

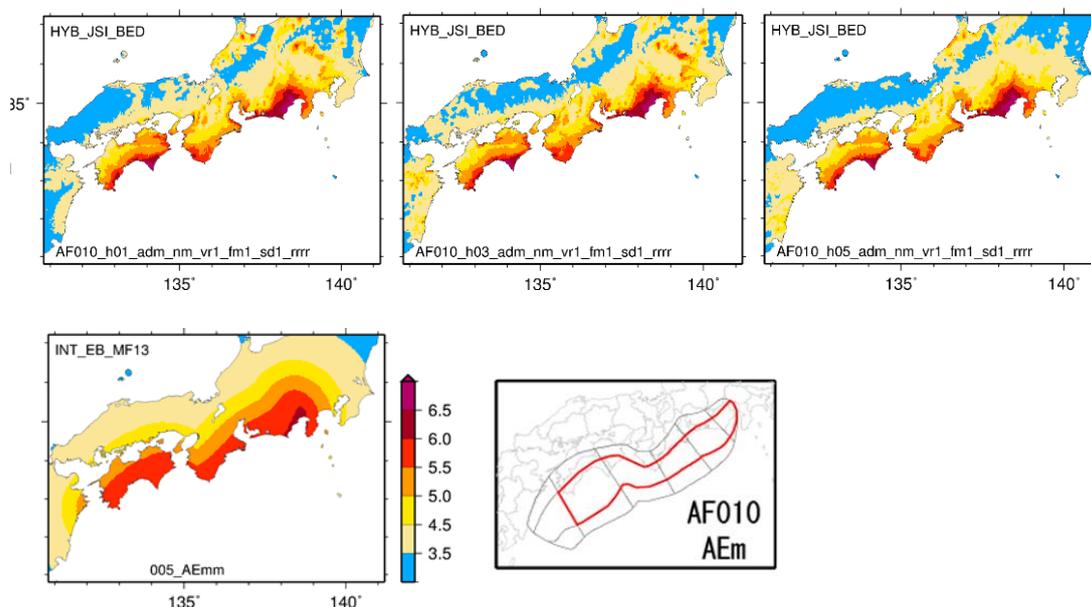


図 2-7-①-3 ハイブリッド合成法による計測震度分布。上段は破壊開始点の異なる 3 ケースの計算結果 (左、中央、右はそれぞれ破壊開始点が震源域の西側、中央、東側に位置する震源モデルに対応)。下段左は経験式による計測震度分布。下段右は計算対象とした震源モデルの巨視的断層モデル (赤線で囲んだ領域が震源域となるモデル)。

4) 長継続時間地震動計算用地下構造モデルの構築

次年度の長継続時間・広帯域強震動シミュレーションに用いる長継続時間計算に対応した差分法用の地下構造モデルを構築した。防災科学技術研究所において本業務とは別に作成された、全国1次地下構造モデル¹⁷⁾に関東地域の浅部・深部統合地盤モデル¹⁸⁾を取り込んだモデルの提供を受け、これを基にGMS用地下構造モデルを作成した。モデル化の対象とした範囲を図2-7-①-4に、格子サイズと格子数を表2-7-①-1に示す。モデルの作成にあたっては、周期1秒以上を対象周期とし600秒間以上の波形が発散せずに計算できることを確認した。

表2-7-①-1 GMS用地下構造モデルの格子サイズと格子数

	深さ 8km まで	8 km 以深
格子サイズ	水平 105m、鉛直 100m	水平 315m、鉛直 300m
格子数	7257×8496×81	2419×2832×307

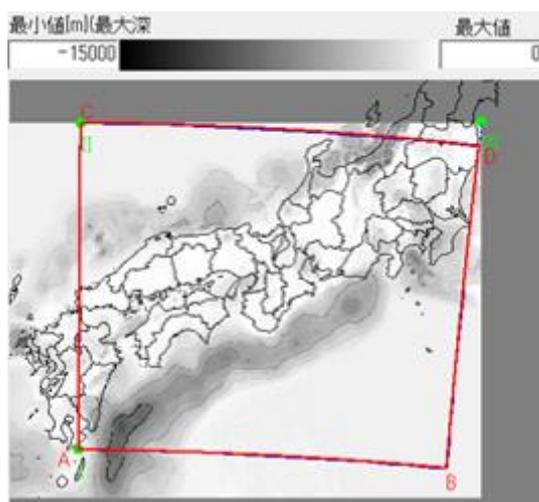


図2-7-①-4 GMS用地下構造モデルの作成対象範囲（赤線で囲んだ領域）。背景はS波速度が2100m/s層の上面深度を表している。

(d) 結論ならびに今後の課題

防災科学技術研究所でこれまで実施してきた長周期地震動ハザード評価を踏まえ、津波ハザード評価の知見を活用した震源断層モデル群を構築した。南海トラフ地震を対象とした計算モデルを用いて、波動場平滑化スキームによる発散抑制を機能させるためのパラメータ設定に関する検討を行った。波動場平滑化スキームを実装した3次元差分法により計算した長継続時間の長周期地震動と、統計的グリーン関数法により計算した短周期地震動をハイブリッド合成することにより面的に広帯域強震動を作成し、地震防災情報創成研究の他の課題へ提供した。一方で、経験式との比較から、関東地域など南海トラフ地震の震源域からやや離れた地域における短周期地震動がやや過小評価である

可能性が示唆された。リスク評価では同時に発生する面的な地震動分布が必要となることから、経験式と整合的な広帯域強震動シミュレーション結果が得られるように手法の改善を図ることが今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 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, pp. 651-666, 2004.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価, 2020, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf (最終閲覧日 2022年4月3日).
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版), 2013, https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t (最終閲覧日 2022年4月3日).
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 2020, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf (最終閲覧日 2022年4月3日).
- 5) Kanamori, H. and Anderson, D.: Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, pp.1073-1095, 1975.
- 6) Allmann, B. P. and Shearer, P. M.: Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 114, B01310, 2009, doi:10.1029/2008JB005821.
- 7) Murotani, S., Miyake, H. and Koketsu, K.: Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planet Space*, 60, pp.987-991, 2008, doi:10.1186/BF03352855.
- 8) 中村洋光, 宮武隆: 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, *地震* 2, 53, pp.1-9, 2000.
- 9) Geller, R. J.: Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, pp.1501-1523, 1976.
- 10) 関口春子, 吉見雅行: 広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモデルのマルチスケール不均質化, *月間地球*, 号外 55, pp.103-109, 2006.
- 11) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 長周期地震動評価 2016年試作版ー相模トラフ巨大地震の検討ー, 2016, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/16_choshuki/ (最終閲覧日 2022年4月3日).
- 12) Iwaki, A., Maeda, T., Morikawa, N., Aoi, S. and Fujiwara, H.: Kinematic source models for long-period ground motion simulations of megathrust earthquakes: validation against ground motion data for the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Earth Planets and Space*, pp.1-19, 2016, doi:10.1186/s40623-016-0473-6.

- 13) Imai, R., Takamuku, K. and Fujiwara, H.: A modified wave equation with diffusion effects and its application as a smoothing scheme for seismic wave propagation simulations, Int. J. Comp. Math., 96, pp.935-949, 2018, doi:10.1080/00207160.2018.1463440.
- 14) Maeda, T., Iwaki, A., Morikawa, N., Aoi, S. and Fujiwara, H.: Seismic - Hazard Analysis of Long - Period Ground Motion of Megathrust Earthquakes in the Nankai Trough Based on 3D Finite - Difference Simulation, Seismological Research Letters, pp.1265-1273, 2016, doi:10.1785/0220160093.
- 15) 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，2021，
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/（最終閲覧日 2022年4月3日）。
- 16) Morikawa, N., and Fujiwara, H.: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, J. Disaster Res., Vol.8, No.5, pp.878-888, 2013.
- 17) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「長周期地震動予測地図」2012年試作版 データダウンロード，
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki_data/（最終閲覧日 2022年4月3日）
- 18) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル（2021年版），2021，
https://www.jishin.go.jp/evaluation/strong_motion/underground_model/integration_model_kanto_2021/（最終閲覧日 2022年4月3日）

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震による長継続時間・広帯域強震動のシミュレーション（ポスター）	前田宜浩、岩城麻子、青井真、中村洋光、藤原広行、関航佑、今井隆太	日本地震学会2021年度秋季大会	2021年10月	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②津波遡上シミュレーション

(a) 業務の要約

本業務では、津波のハザード・リスク情報の創出を目的として、南海トラフ地震の多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組合せからなる断層モデル群を用いた津波伝播遡上計算を実施する。令和3年度は、南海トラフ沿いの太平洋沿岸地域を主な対象として、防災科学技術研究所が開発している津波シミュレータ（TNS:TsuNami Simulator）¹⁾を用いて津波伝播遡上計算を実施した。計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

(b) 業務の実施方法

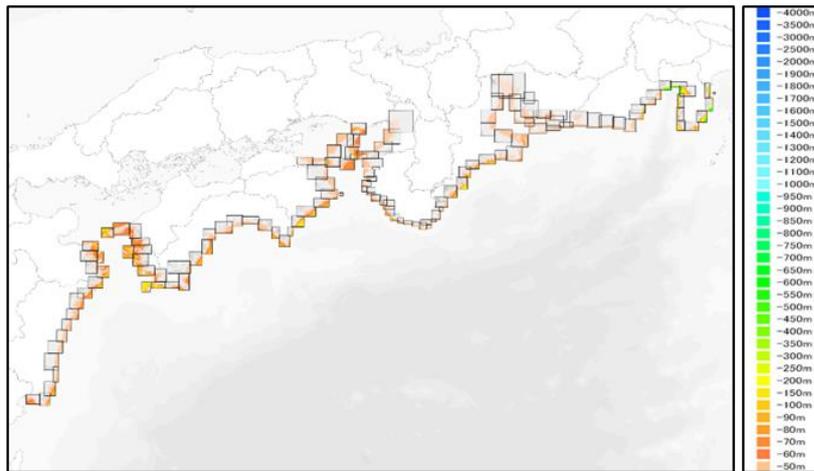
南海トラフ沿いの太平洋沿岸地域や大阪湾沿岸地域を対象に、最新のデータを反映した最小10m計算格子の詳細地形モデルを構築した。藤原・他（2020）²⁾、地震調査委員会（2020）³⁾による南海トラフ沿いの津波ハザード評価に用いた最大クラスを含む3480通りの波源断層モデルを計算対象とし、課題2(d)やリスク評価等における利活用を目的として、流速分布を出力できるように機能を拡張した津波シミュレータ（TNS）¹⁾を用いて津波伝播遡上計算を実施した。

(c) 業務の成果

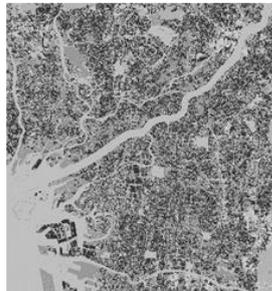
1) 詳細地形モデルの構築

南海トラフ沿いの太平洋沿岸地域や大阪湾沿岸地域を対象として、内閣府や地方自治体が作成した10mメッシュ分解能の地形データ、堤防データ等を基に、入手可能な最新の測量結果等の情報を反映した10mメッシュ分解能の地形データ、粗度データ、及び陸判定データを構築した。粗度データについては、航空写真等を確認したうえで、国土交通省（2019）⁴⁾の粗度係数の設定例と整合するように構築した。陸判定データについては、潮位条件として、T.P.+0.0mに対応したデータを構築した。最終的に11府県の計131個の10m格子領域に対して、地形標高データ・粗度係数データ・構造物ラインデータ（堤防データ）・海陸判定データ・汀線メッシュ評価点データを整備した（図2-7-②-1）。

地形標高データ



粗度係数データ



構造物ラインデータ



図 2-7-②-1 構築した 10m メッシュ分解能の計算モデル。上段：10m メッシュの地形標高データを作成した領域、下段左：粗度係数データの一例、下段右：構造物ラインデータの一例。

2) 波源断層モデル

藤原・他 (2020)²⁾、地震調査委員会 (2020)³⁾ が設定した南海トラフ沿いで発生すると想定される最大クラスの地震を含む 3480 個の波源断層モデル群を対象とした (図 2-7-②-2)。

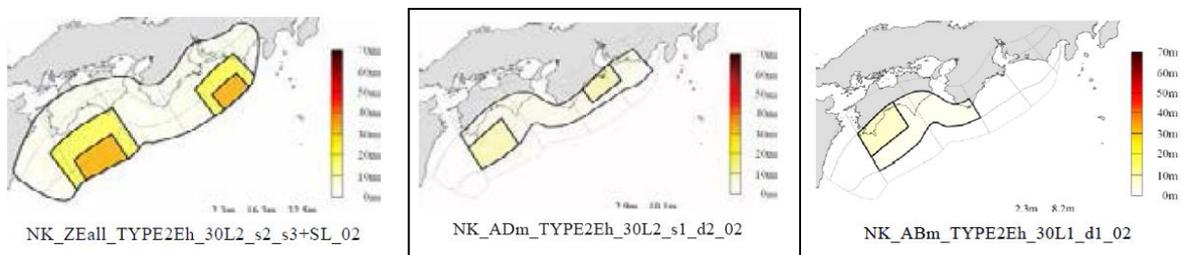


図 2-7-②-2 波源断層モデルの一例 (藤原・他 (2020)²⁾ より抜粋)。図中の凡例はすべり量を示す。左：最大クラス地震、中央：既往最大クラス地震、右：南海地震に対応する巨視的断層モデルを有する波源断層モデル。各波源断層モデルは背景領域と大すべり域、及び超大すべり域から構成される。

3) 津波シミュレータの改良

津波シミュレータ (TNS) ¹⁾を改良し、流速分布の出力機能を追加するとともに、大量の計算を効率的に実施するために初期波源計算、津波伝播遡上計算、ポスト処理を防災科学技術研究所が運用する防災情報イノベーションプラットフォームの GPU 環境で並列して短時間で実行するためのツールを整備した。

4) 津波伝播遡上計算

構築した詳細地形モデル、波源断層モデル群、改良した津波シミュレータ (TNS) を用いて津波伝播遡上計算を実施した。計算条件を表 2-7-②-1 にまとめる。計算結果の一例として、同一の波源断層モデルにより各地域で発生する最大浸水深分布を図 2-7-②-3 に示す。また、多数の波源断層モデルを用いたことにより多様な最大浸水深分布が得られていることを、御前崎市周辺を例として図 2-7-②-4 に示す。これらの計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

表 2-7-②-1 試計算の計算方法・条件

項目	計算方法・条件
方程式	非線形長波理論
計算時間間隔	C.F.L (Courant-Friedrichs-Lewy) 条件を満たすように設定
計算格子間隔	810m、270m、90m、30m、10m (海岸域はすべて 10m、各領域を 1 : 3 でネスティング)
計算時間	12 時間
境界条件	陸側：陸域へ遡上 海側：吸収境界
施設	各種施設 (堤防・水門など) を考慮 (地震動や津波の越流によって破堤・倒壊しないと仮定)
初期水位	Okada (1992) ⁵⁾ により計算される海底変動量に、水平方向成分の寄与 (Tanioka and Satake, 1996) ⁶⁾ を考慮し、梶原フィルター (Kajiura, 1963) ⁷⁾ を適用
動的破壊特性	ライズタイム：考慮しない 破壊伝播過程：考慮しない
潮位条件	T.P. ± 0 m
打ち切り水深	10 ⁻² m
粗度係数	30m 格子、10m 格子は土地利用条件に応じて設定 810m 格子、270m 格子、90m 格子は一律に 0.025 (m ^{-1/3} s)

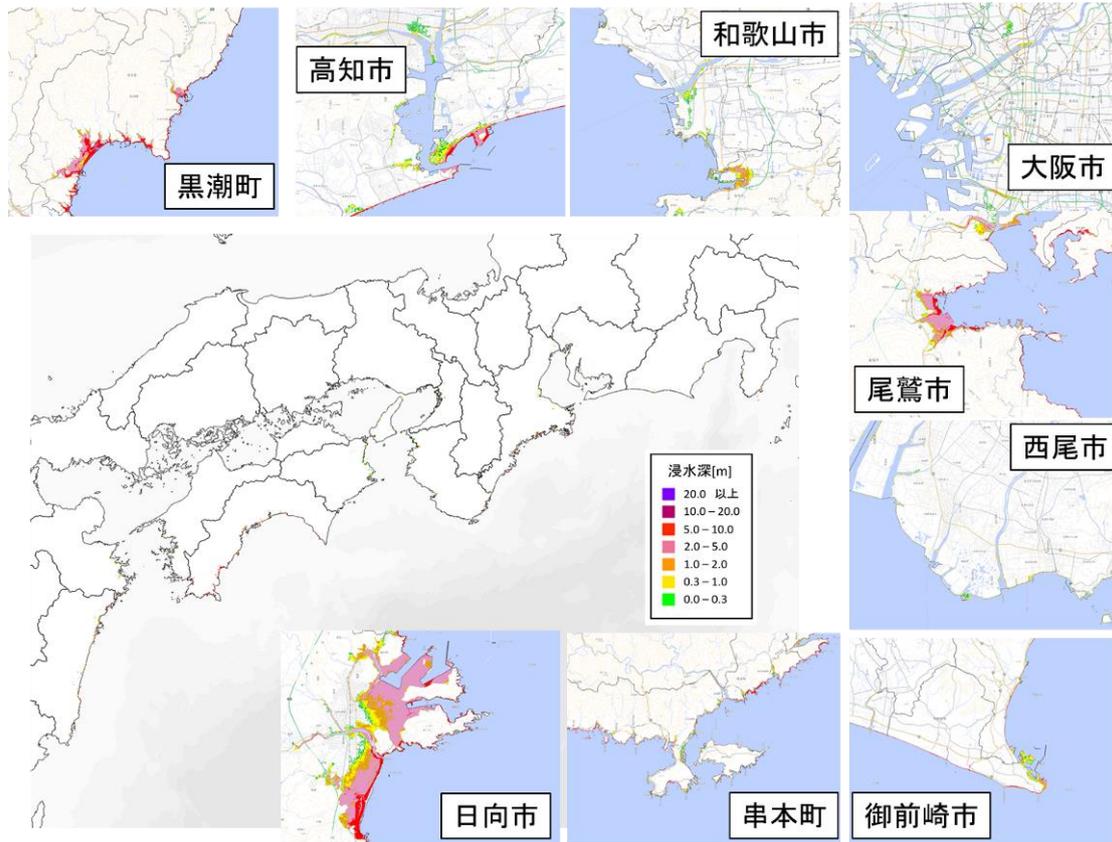


図 2-7-②-3 津波伝播遡上計算による最大浸水深分布の一例。日本列島スケールでの最大浸水深分布図と、各地域を拡大した最大浸水深分布図を示している。

(d) 結論ならびに今後の課題

令和3年度の業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 南海トラフ沿いの太平洋沿岸地域や大阪湾沿岸地域を対象として、内閣府や地方自治体のデータを収集し、11府県の131個の10m格子領域を対象として、地形標高データ等を整備し、藤原・他(2020)²⁾、地震調査委員会(2020)³⁾を基に設定した3480個の波源断層モデルに対する津波伝播遡上計算を実施した。多様な断層モデル群に対する計算を行ったことで、浸水深分布の多様性を示すことができた。
- 2) 今年度の検討対象地域は、藤原・他(2020)²⁾、地震調査委員会(2020)³⁾の津波ハザード評価の対象地域の一部であり、残りの地域の中で津波の影響を受けそうな地域を優先して検討を行う必要がある。また、沿岸施設の破壊の考慮や異なる潮位条件での浸水評価も課題である。

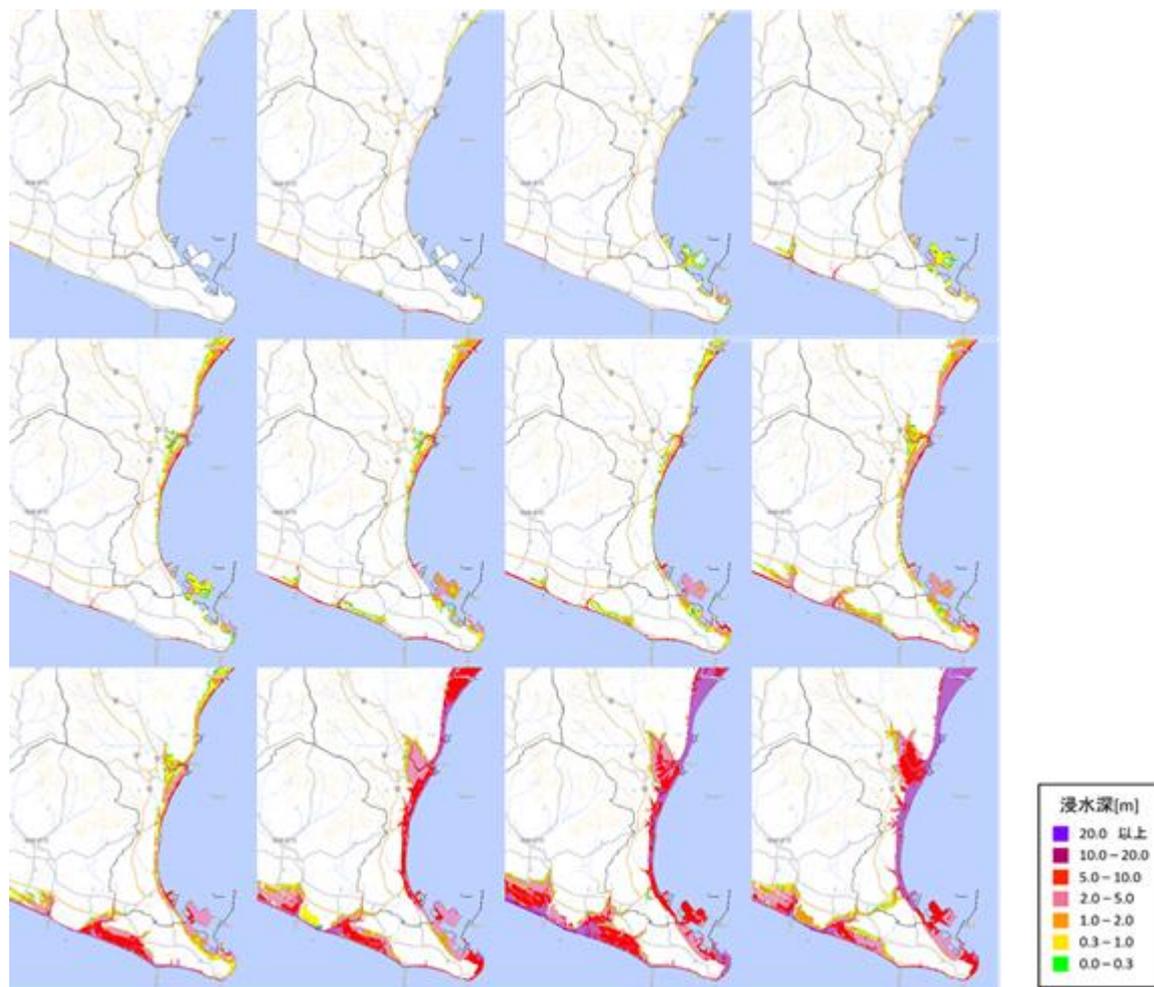


図 2-7-②-4 御前崎市周辺において多様な波源断層モデルにより異なる最大浸水深分布が得られている様子。

(e) 引用文献

- 1) 三好崇之, 鈴木亘, 近貞直孝, 青井真, 赤木翔, 早川俊彦: 津波シミュレータ TNS の開発, 防災科学技術研究所研究資料, 427, 2019.
- 2) 藤原広行, 平田賢治, 中村洋光, 森川信之, 河合伸一, 前田宜浩, 大角恒雄, 土肥裕史, 松山尚典, 遠山信彦, 鬼頭直, 大嶋健嗣, 村田泰洋, 齊藤龍, 澁木智之, 秋山伸一, 是永真理子, 阿部雄太, 橋本紀彦, 袴田智哉, 大野哲平: 南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 -第一部 本編-, 防災科学技術研究所研究資料, 439, 2020.
- 3) 地震調査委員会: 南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価, 2020, https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t (最終閲覧日 2021年3月30日) .
- 4) 国土交通省: 津波浸水想定の設定の手引き Ver2.10, 2019, https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manual1.pdf (最終閲覧日 2021年3月30日) .
- 5) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-

space, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, pp.1018-1040, 1992.

- 6) Tanioka, Y. and Satake, K.: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, 23, pp.861-864, 1996.
- 7) Kajiura K.: The Leading Waves of a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 41, pp.535-571, 1963.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震の発生の多様性を考慮した津波遡上計算とその利活用に向けて－概要と利活用事例の紹介－（ポスター）	土肥裕史、中村洋光、藤原広行、矢守克也、杉山高志	日本地震学会2021年度秋季大会	2021年10月	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③地震発生の多様性を考慮したリスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、複数回の地震が発生した場合の条件付きハザード評価を行うとともに、多様な南海トラフ地震のうち臨時情報及び防災対応ガイドラインが定められた半割れケースに着目した条件付きリスク評価を行った。条件付きリスク評価では臨時情報にもなう事前避難を考慮した。さらに、多様性のある南海トラフ地震の地震像の類型化手法を、避難困難者数を特徴量とした類型化の試行により検討した。また、本業務の目的を踏まえた特徴量を検討するとともに、ハザード評価結果を活用して特徴量を試算した。

(b) 業務の実施方法

複数回の地震が発生した場合の条件付きハザード評価及び地震発生後の曝露データの作成やリスク評価は、後述する「半割れケース」に着目して実施した。半割れケースとは南海トラフ沿いで発生するプレート境界型の巨大地震のうち、駿河湾から日向灘沖にかけての南海トラフのうち概ね半分程度が破壊する地震から構成される震源域パターンを示す。南海トラフ沿いで発生する地震は震源域の広がりや発生回数に多様性があると考えられている¹⁾が、半割れケースは過去に発生した事例が多く、気象庁により臨時情報²⁾が発表されるとともに、臨時情報発表時の防災対応のガイドライン³⁾が公表されている。このことから、多様な南海トラフ地震のうち半割れケースを対象としたハザード・リスク評価を行った。なお、南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表現する用語は表2-7-③-1のものを使用する。

表2-7-③-1 南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表現する用語の一覧

用語	定義
地震	南海トラフ沿いで発生する M8 クラス以上のプレート間地震等。
震源域	地震の震源となる断層の位置・大きさ・形状のみが指定されたもの。
震源断層モデル	震源域にすべり分布や破壊開始点等を指定したもの（地震動計算に用いる）。
波源断層モデル	震源域にすべり分布を指定したもの（津波伝播遡上計算に用いる）。
震源域セット	地震活動1サイクル中に出現する1つ以上の震源域の組み合わせ。 （地震の発生順序や発生間隔は考慮しない）
地震セット	地震活動1サイクル中に出現する1つ以上の波源断層モデルの組み合わせ、あるいは震源断層モデルの組み合わせ。（地震の発生順序や発生間隔は考慮しない）
震源域パターン	地震の発生順序や発生間隔を考慮した、地震活動1サイクル中に出現する1つ以上の震源域の組み合わせ。
地震パターン	地震の発生順序や発生間隔を考慮した、地震活動1サイクル中に出現する1つ以上の波源断層モデルの組み合わせ、あるいは震源断層モデルの組み合わせ。

半割れケース発生後の条件付きハザード評価は地震動及び沿岸における津波高を対象とした。評価に当たっては、まず半割れケース発生後の後発地震で発生しうる地震セットを地震調査委員会(2020)¹⁾による長期評価や、藤原ほか(2020)⁴⁾による確率論的津波ハザード評価を参考にしてツリーの形で表現するとともに、分岐に重みを付与した。次に、それぞれの分岐毎の条件付きハザードを評価したうえで、上記の重みに従って条件付きハザードを重ね合わせて半割れケース発生後の条件付きハザードとした。

半割れケース発生後の曝露データやリスク評価は、事前避難による影響を考慮するために曝露人口モデルの構築及び人的被害リスク評価を対象とした。まず、半割れケース発生後の曝露人口は新型コロナウイルス感染症に係る自粛要請にともなう行動変容を参考として事前避難率を設定したうえで、津波ハザード評価結果を活用して設定した事前避難が必要となる地域内の人口に上記の事前避難率を乗じて作成した。次に、半割れケースが二回発生する地震パターンを想定して、地震と津波による人的被害を、事前避難有り・無しそれぞれについて評価した。

地震像の類型化手法は、可視化技術を用いて多次元量である特徴量を事前削減したうえで教師なし分類のアルゴリズムを用いた類型化の試行を行って検討した。検討にあた

っては地震発生後の津波避難が困難となる避難者数を特徴量とした。

(c) 業務の成果

1) 半割れケースが発生した後の条件付きハザード評価

a) 半割れケース発生後の地震セットの構築

半割れケース発生後の条件付きハザード評価のために、半割れケースが発生した後に南海トラフ沿いで起こりうる地震セットを構築した。地震セットの構築にあたってはまず、先行する半割れ地震で破壊した領域を含まない、いわゆる割れ残り領域のみから構築される震源域セット(グループA)と、半割れで破壊した領域も含む南海トラフの全領域から構成される震源域セット(グループB)の2グループに大分した。グループAとグループBの重みは、全国地震動予測地図⁵⁾で過去に発生した事の無いような最大ケース等の重みが1/50となっていることを参考として、グループAの重みを49/50、グループBの重みを1/50とした(図2-7-③-1)。なお、地震セットの構築にあたっては最大ケースを含む確率論的津波ハザード評価(藤原ほか(2020)⁴⁾)による180震源域(3480波源断層モデル)に基づいた。

グループAの震源域セットは潮岬沖を境界として、西側と東側それぞれの半割れケース発生後を対象とした。潮岬沖を境界としたのは、過去に発生した複数回の地震からなる南海トラフ地震の震源域がいずれも潮岬沖を境界としているためである(地震調査委員会(2020)¹⁾)。また、グループAの震源域セットの構築にあたっては、藤原ほか(2020)⁴⁾を参考に、日向灘沖単独及び駿河湾の浅部単独それぞれの震源域を含む震源域セットを除外した。上記により構築した震源域セットを、震源域セットに含まれる波源断層モデル数とともに、西側半割れケース発生後のものを図2-7-③-2に、東側半割れケース発生後のものを図2-7-③-3にそれぞれ示した。一方で、グループBの震源域セットは藤原ほか(2020)⁴⁾の設定を用いた。

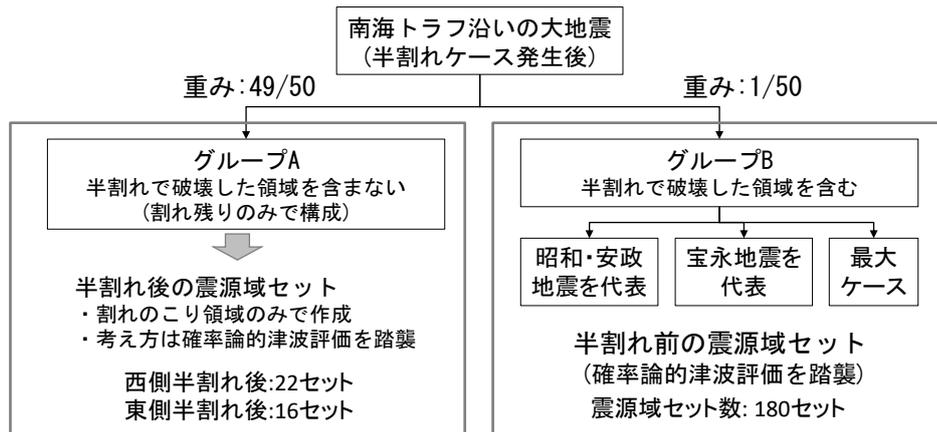


図2-7-③-1 半割れケース発生後の震源域セットの構築

	深さ	西側半割れ後						重み (震源域)	地震 セット数
		Z	A	B	C	D	E		
W1	浅部							0.320000	12
	中部								
	深部								
W2	浅部							0.040000	72
	中部								
	深部								
W3	浅部							0.040000	108
	中部								
	深部								
W4	浅部							0.040000	324
	中部								
	深部								
W5	浅部							0.026667	16
	中部								
	深部								
W6	浅部							0.004000	150
	中部								
	深部								
W7	浅部							0.004000	165
	中部								
	深部								
W8	浅部							0.004000	1,100
	中部								
	深部								
W9	浅部							0.026667	4
	中部								
	深部								
W10	浅部							0.004000	18
	中部								
	深部								
W11	浅部							0.004000	36
	中部								
	深部								
合計							1.000000	2,382	

	深さ	西側半割れ後						重み (震源域)	地震 セット数
		Z	A	B	C	D	E		
W12	浅部							0.004000	108
	中部								
	深部								
W13	浅部							0.026667	6
	中部								
	深部								
W14	浅部							0.004000	12
	中部								
	深部								
W15	浅部							0.320000	12
	中部								
	深部								
W16	浅部							0.040000	54
	中部								
	深部								
W17	浅部							0.026667	15
	中部								
	深部								
W18	浅部							0.004000	110
	中部								
	深部								
W19	浅部							0.026667	6
	中部								
	深部								
W20	浅部							0.004000	36
	中部								
	深部								
W21	浅部							0.026667	6
	中部								
	深部								
W22	浅部							0.004000	12
	中部								
	深部								
合計							1.000000	2,382	

青い着色部は半割れケース発生後の後発地震で活動しうる領域を、黒い太線は震源域の境界を示す。

図 2-7-③-2 西側半割れケース発生後の震源域セットと地震セット数

	深さ	東側半割れ後						重み (震源域)	地震 セット数
		Z	A	B	C	D	E		
E1	浅部							0.053333	12
	中部								
	深部								
E2	浅部							0.053333	108
	中部								
	深部								
E3	浅部							0.004444	16
	中部								
	深部								
E4	浅部							0.004444	150
	中部								
	深部								
E5	浅部							0.004444	4
	中部								
	深部								
E6	浅部							0.004444	54
	中部								
	深部								
E7	浅部							0.004444	6
	中部								
	深部								
E8	浅部							0.004444	24
	中部								
	深部								
合計							1.000000	622	

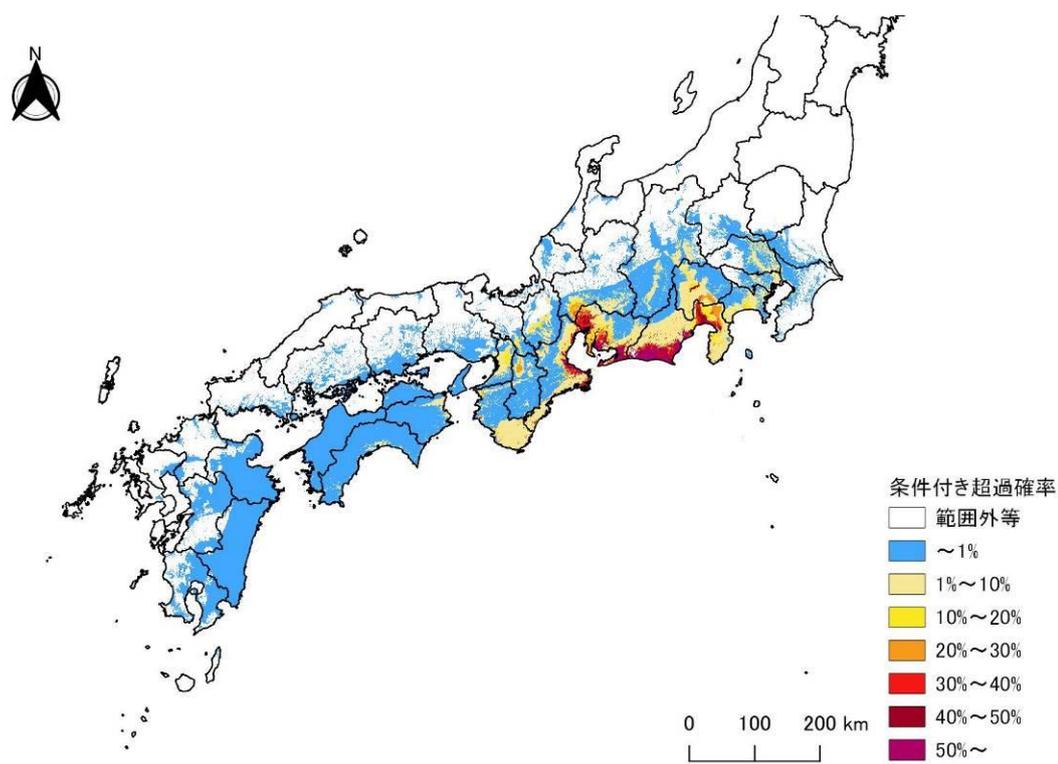
	深さ	東側半割れ後						重み (震源域)	地震 セット数
		Z	A	B	C	D	E		
E9	浅部							0.640000	12
	中部								
	深部								
E10	浅部							0.053333	54
	中部								
	深部								
E11	浅部							0.053333	15
	中部								
	深部								
E12	浅部							0.004444	100
	中部								
	深部								
E13	浅部							0.053333	9
	中部								
	深部								
E14	浅部							0.004444	36
	中部								
	深部								
E15	浅部							0.053333	6
	中部								
	深部								
E16	浅部							0.004444	16
	中部								
	深部								
合計							1.000000	622	

青い着色部は半割れケース発生後の後発地震で活動しうる領域を、黒い太線は震源域の境界を示す。

図 2-7-③-3 東側半割れケース発生後の震源域セットと地震セット数

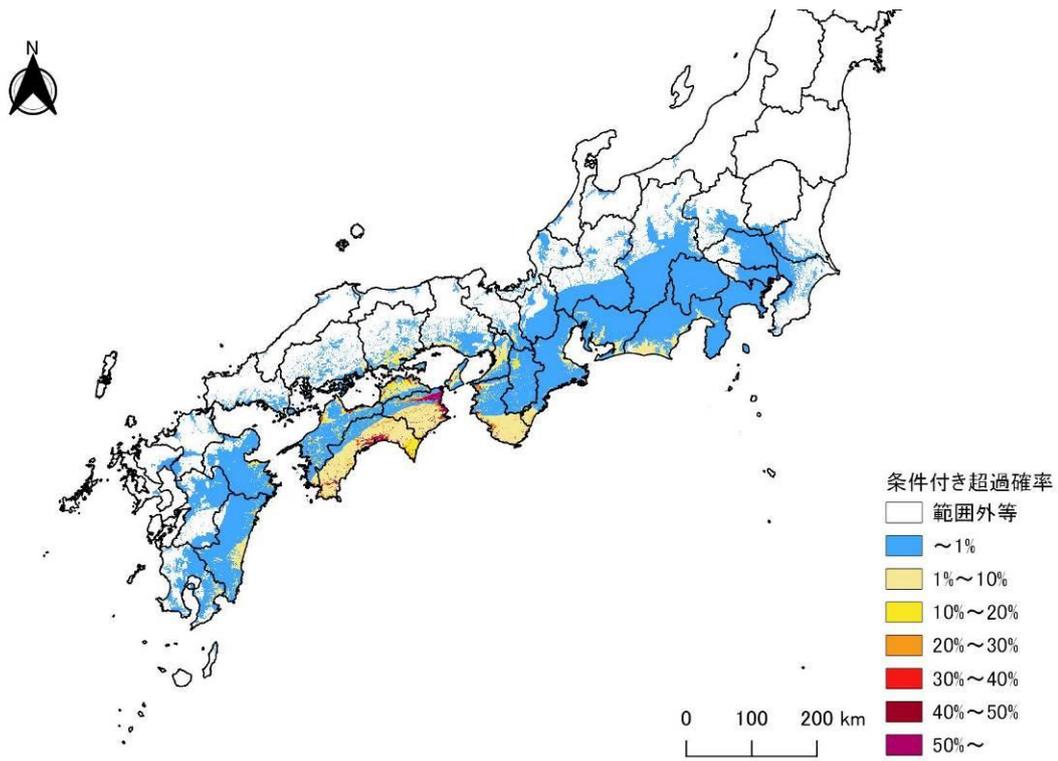
b) 地震ハザード評価結果

前項で構築した震源域セットに基づいた半割れケース発生後の地震ハザード評価結果として、西側半割れケース発生後の計測震度 6.0(震度 6 強以上)の条件付き超過確率を図 2-7-③-4 に、東側半割れケース発生後を図 2-7-③-5 にそれぞれ示した。地震ハザードは地震調査委員会(2009)⁶⁾による確率論的地震動予測地図の手法により評価した。西側半割れケース発生後の条件付き超過確率を、地震前の条件付き超過確率(図 2-7-③-6)と比較すると、先行した半割れケースの震源域の前面に位置する紀伊半島西部以西でハザードが低下している。これは、東側の割れ残り領域のみからなる地震セットに全体の 49/50 の重みが割り振られているためである。一方で、東側半割れケース発生後では先行する半割れケースの震源域に面した静岡県などの紀伊半島東部以東でハザードが低下している。代表地点におけるハザードカーブ(図 2-7-③-7)を見ても、南海トラフの東部に位置する静岡県庁では東側半割れケース発生後のハザードが低減している一方で、西部に位置する高知県庁では西側半割れケース発生後のハザードが低減している。



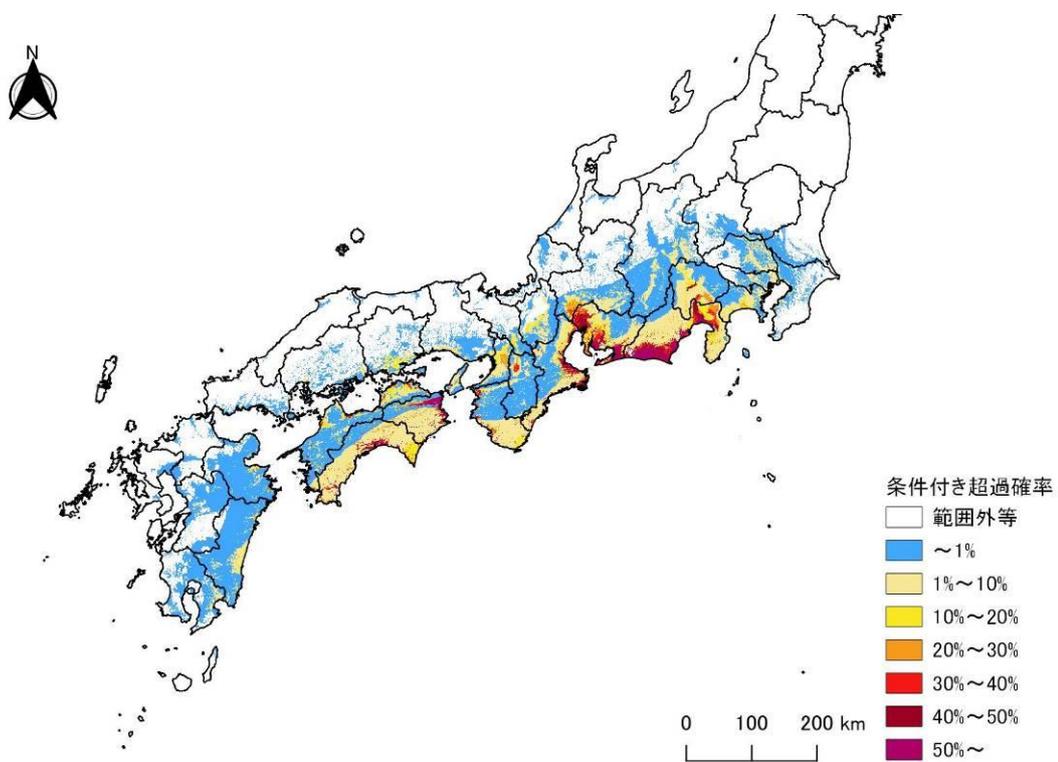
(計測震度 6.0 の条件付き超過確率)

図 2-7-③-4 西側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(計測震度 6.0 の条件付き超過確率)

図 2-7-③-5 東側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(計測震度 6.0 の条件付き超過確率)

図 2-7-③-6 南海トラフ地震全体の条件付きハザード

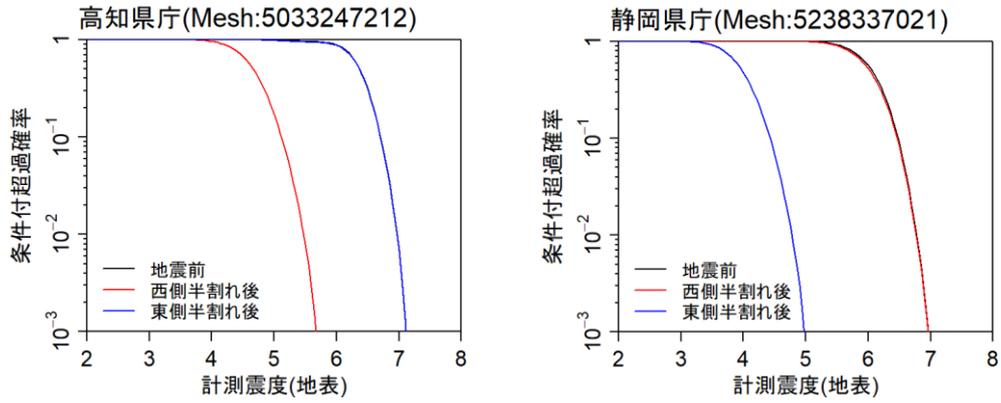


図 2-7-③-7 代表地点におけるハザードカーブの比較

c) 津波ハザード評価結果

南海トラフ沿いの海岸線に設定された約 35 万地点の条件付きハザード評価結果として、西側半割れケース発生後の最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率の分布図を図 2-7-③-9 に、東側半割れケース発生後を 図 2-7-③-10 にそれぞれ示した。全波源断層モデルを対象とした地震前のハザード(図 2-7-③-11)と比較すると、西側半割れケース発生後では四国など南海トラフの西部で、東側半割れケース発生後では東海地方など南海トラフの東部で、それぞれ条件付き超過確率が低下している。代表地点のハザードカーブ(図 2-7-③-8)をみても、南海トラフの西部に位置する高知市では西側半割れケース発生後のハザードが、東部に位置する焼津市では東側半割れケース発生後のハザードがそれぞれ大幅に低下している。

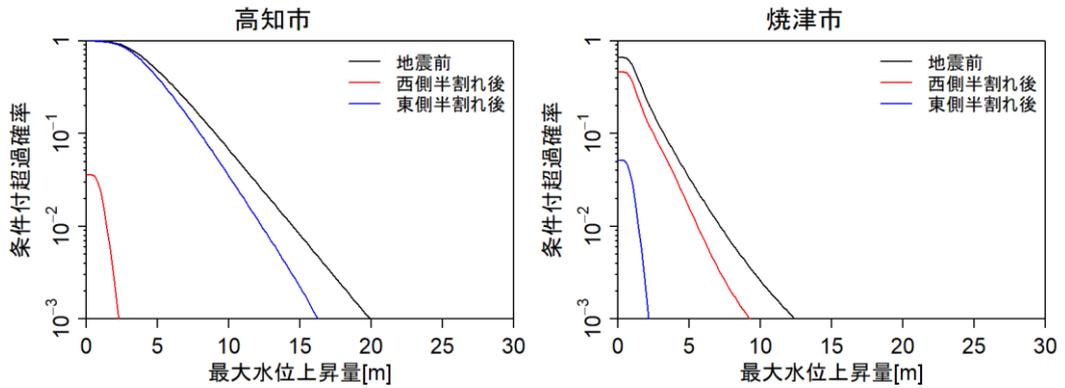
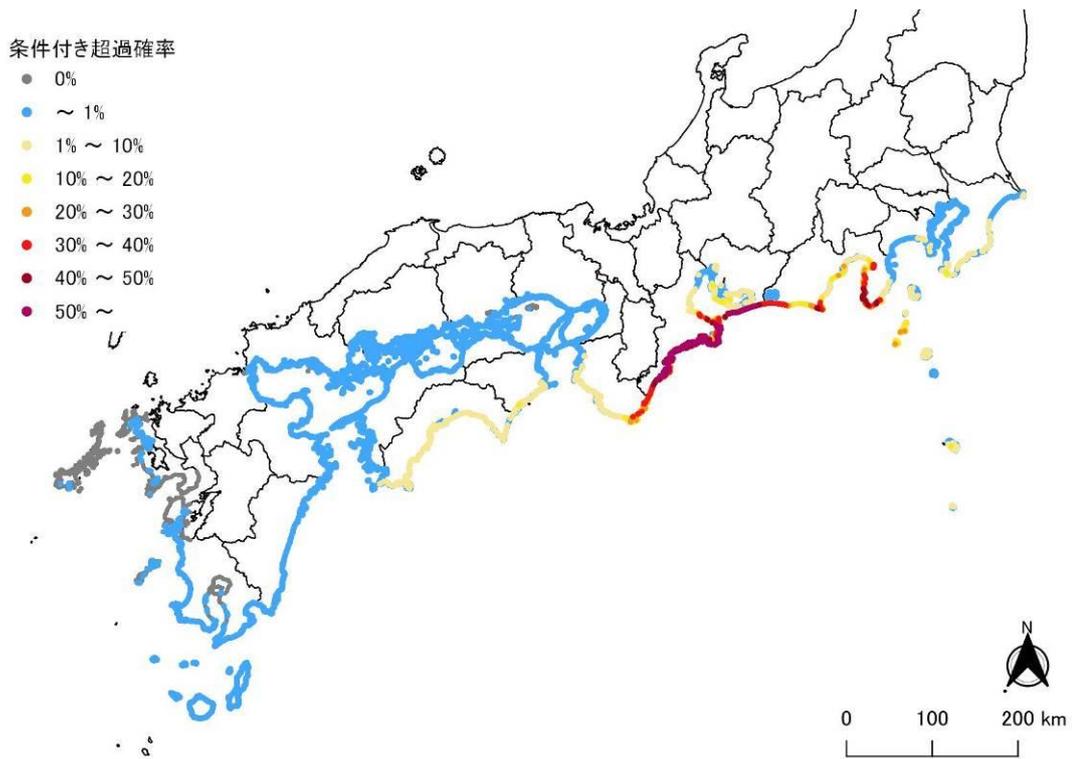
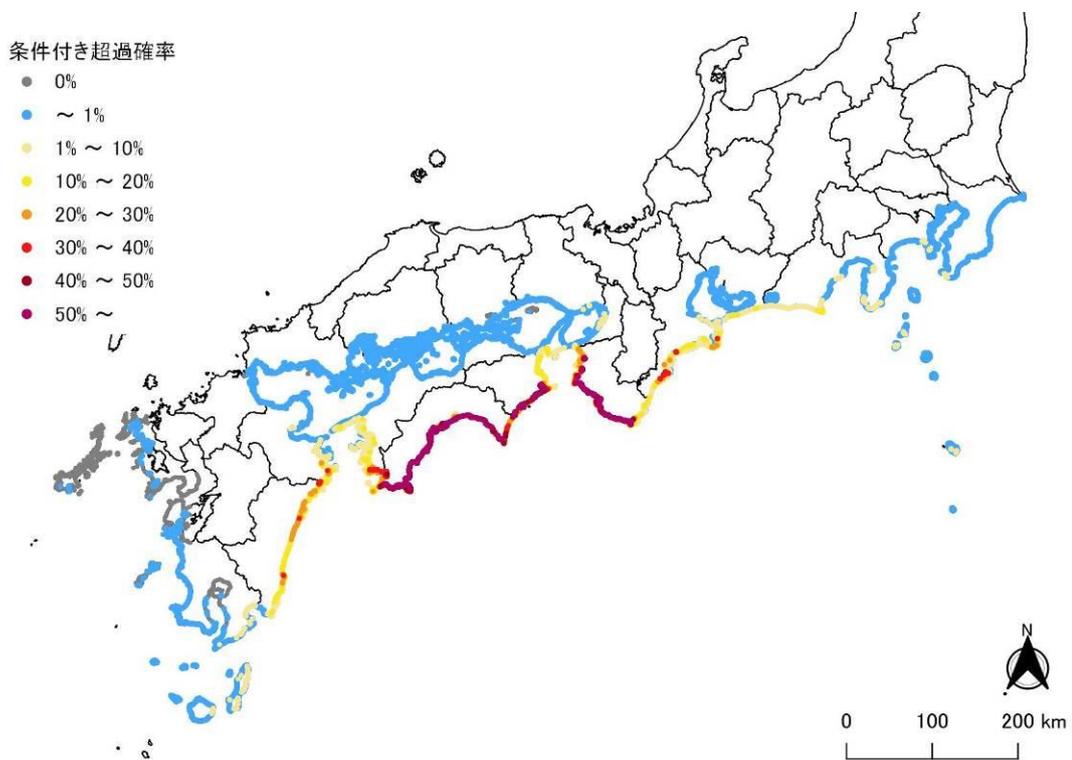


図 2-7-③-8 代表地点におけるハザードカーブの比較



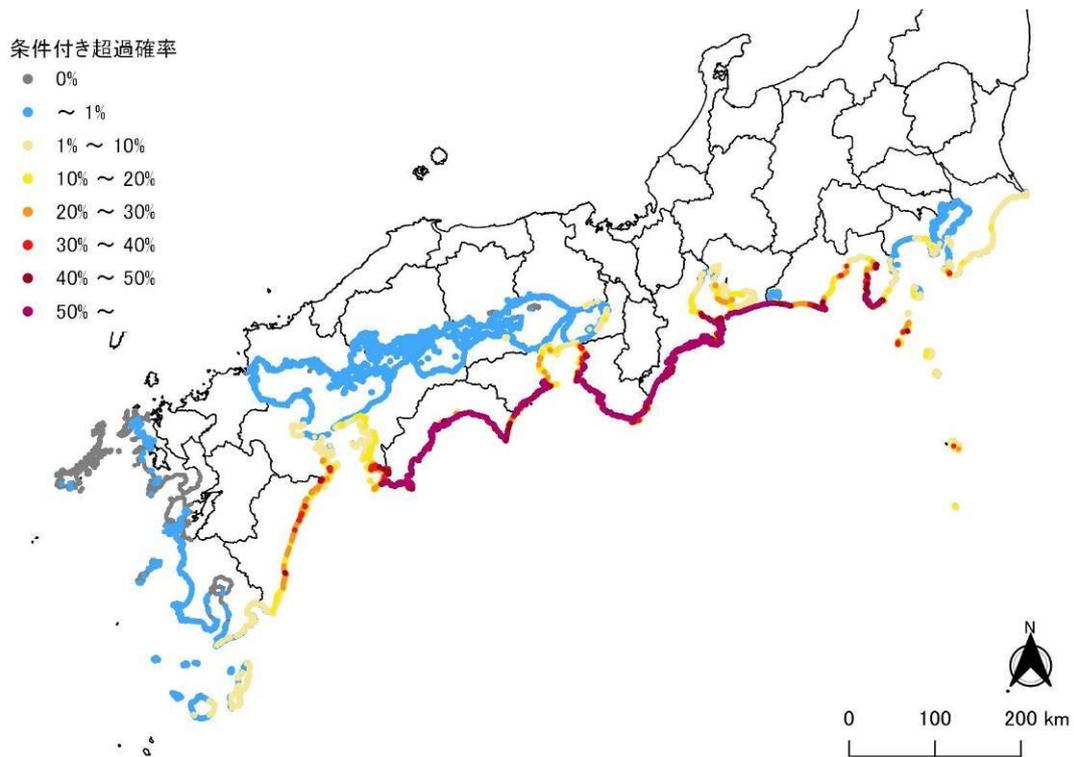
(最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率)

図 2-7-③-9 西側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率)

図 2-7-③-10 東側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率)

図 2-7-③-11 南海トラフ地震全体の条件付きハザード

2) 南海トラフ地震(半割れケース)発生後を想定したリスクの試算

a) 半割れケース発生後の事前避難を考慮した曝露人口モデルの構築

事前避難を考慮した曝露人口モデルの構築に先立って、半割れケースの地震が発生してから事前避難を呼びかける臨時情報までに発表される情報等について整理する。海域で巨大地震が発生した場合には概ね 2～3 分以内⁷⁾に津波警報が発表され、浸水の恐れがある市町村では避難指示が発令される。震源が南海トラフ沿いの場合には、地震から 30 分程度³⁾で発生した地震が南海トラフ沿いの大規模な地震と関連するかの調査開始を公表する臨時情報が発表され、地震発生から 2 時間後程度³⁾で大規模地震(後発地震)発生の可能性が相対的に高まっていることを公表する 2 回目の臨時情報が発表される。この 2 回目の臨時情報を受けて、事前避難の対象地域で事前避難が呼びかけられる。東北地方太平洋沖地震の際には津波警報が解除されるまでに 1 日以上を要していることを踏まえると、一回目の地震(津波)による避難者が帰宅等をする前に臨時情報を踏まえた事前避難が呼びかけられると考えられる。

次に、呼びかけに応じて事前避難を実施する割合である事前避難率の設定について記載する。事前避難率の設定にあたっては国が発表する情報に基づいて自治体等が呼びかけるという観点で共通点のある(表 2-7-③-1)新型コロナウイルス感染症による緊急事態宣言⁸⁾に伴う行動変容を参考にした。この行動変容の例としてとして、国土交通省が公表するデータ⁹⁾に基づいて、一回目の緊急事態宣言が発出された 2020 年 2 月から 6 月にかけての鉄道駅の利用状況を図 2-7-③-12 に示した。これによると、この期間の利用率は概ね 6～7 割程度減少している。

表 2-7-③-1 事前避難の呼びかけと新型コロナウイルス感染症の自粛要請の比較

項目	南海トラフ地震	新型コロナウイルス感染症
根拠法	災害対策基本法	特措法(2020年3月14日以降)
働きかけの種別	立ち退きの指示(避難指示:60条)	要請(従わない事業者へは命令)
罰則の有無	なし	あり(令和3年の改正以降)
期間	1週間(ガイドライン)	2年以下(特措法32条2項)

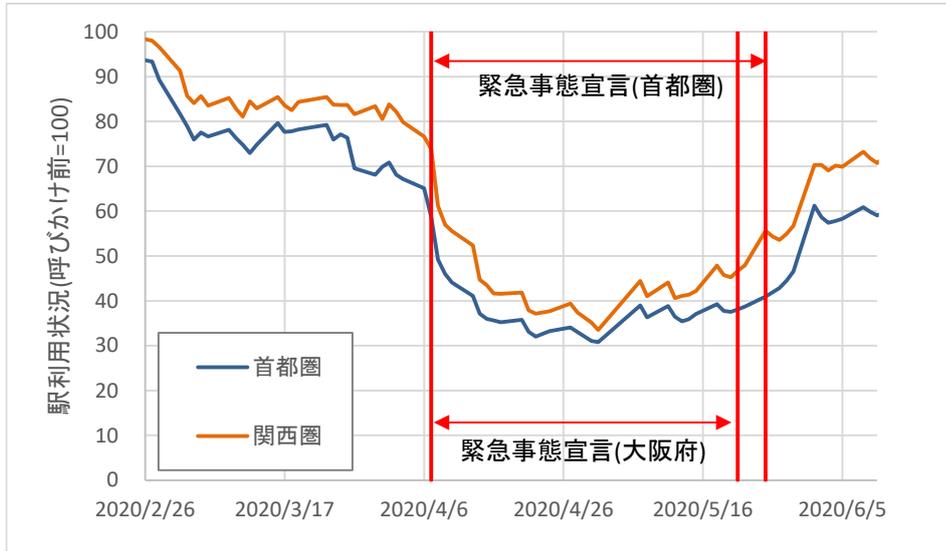


図 2-7-③-12 新型コロナウイルスに係る緊急事態宣言発令中の駅利用状況

上記のように新型コロナウイルス感染症の緊急事態宣言と自粛要請等を受けて概ね7割程度の人が行動を変容したと考えられることから、この割合を基本的な事前避難率として設定した。また、避難の不確実性を考慮して低避難ケースと高避難ケースの2ケースを設定し、それぞれ事前避難率50%及び90%と設定(表2-7-③-2)した。また、事前避難は最初の地震からの時間経過によって変わると考えられる。ここでは、事前避難が呼びかけられる1週間は事前避難を継続し、高齢者以外(64歳以下)は初回の地震から1ヶ月程度で全員が避難を終了し、高齢者では事前避難者の半分が初回の地震から2ヶ月程度で避難を終了すると設定した(図2-7-③-13)。

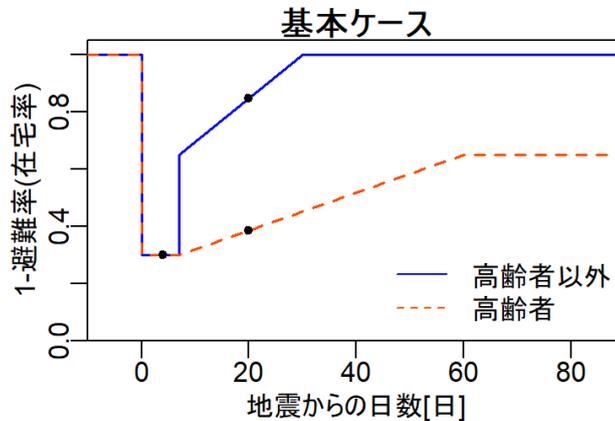


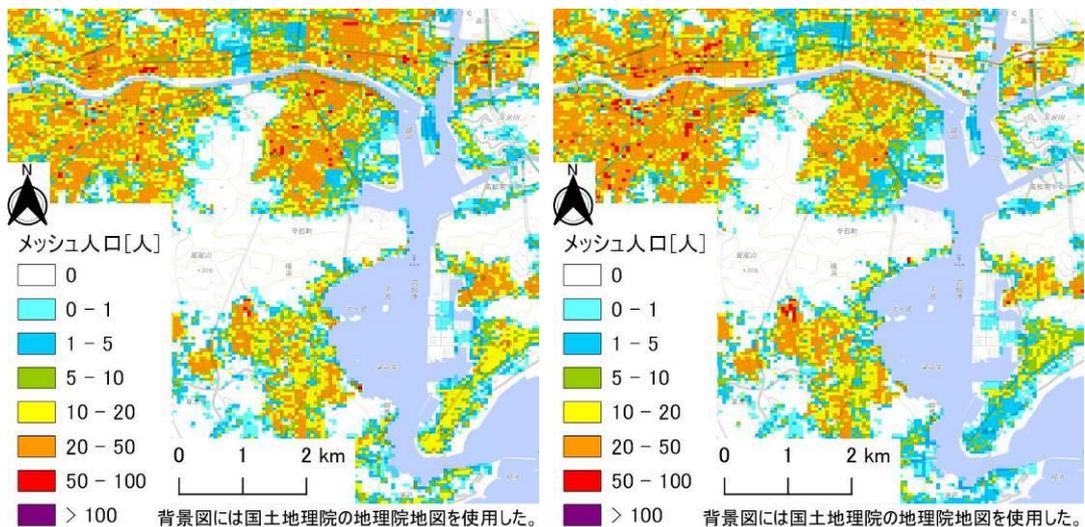
図 2-7-③-13 設定した事前避難率(避難率基本ケース)

表 2-7-③-2 ケース別の事前避難率

ケース	事前避難率
基本ケース	70%
低避難ケース	50%
高避難ケース	90%

最後に事前避難の対象となる地域を設定して、上記の地域内の人口に前述の事前避難率を乗じて事前避難を考慮した曝露人口モデルを構築した。事前避難の対象範囲は、市区町村等による事前避難対象地域の設定が途上であることや、南海トラフ沿いの全域を一律の基準でリスク評価する観点で、藤原ほか(2020)⁴⁾による津波ハザードを用いて設定した。具体的には、先発地震による津波の浸水域では全員が避難済みと仮定した後に、後発地震による津波浸水深が 30cm 以上に 30 分以内に到達する範囲では全人口が、30 分以上の範囲では 65 歳以上の人口がそれぞれ避難するものとした。なお、上記の避難者は同一市町村内の津波浸水しない地域に避難すると仮定して、浸水しない約 50m 四方のメッシュの人口に応じてランダムに配分した。また、西側半割れケース発生後と東側半割れケース発生後それぞれの曝露人口モデルを作成した。

上記による曝露人口モデルの例として、高知市南部の浦戸湾周辺の人口分布を事前避難なしの人口分布とともに示した(図 2-7-③-14)。東側半割れケース発生後の事前避難を想定した人口分布では、後発地震の津波による浸水が想定される浦戸湾口付近を中心とする地域で、事前避難により人口が減少している様子が確認できる。



左:事前避難無し、右:東側半割れケース発生後の事前避難有り(基本ケース)

図 2-7-③-14 曝露人口モデルの例(高知市浦戸湾沿岸)

b) 半割れケースにおける事前避難を考慮した人的被害リスクの試算

前項で作成した事前避難を考慮した曝露人口モデルを用いた半割れケースのリスクを試算した。過去に発生した半割れケースがいずれも東側が先行¹⁾している事を参考にして、先発地震では震源域 CEm が、後発地震では震源域 ABm がそれぞれ破壊する震源域パターン（表 2-7-③-3・図 2-7-③-15）を試算の対象とした。地震動による人的被害リスクは藤原ほか（2018）¹⁰⁾による手法により震源域 CEm を震源とする地震動による死者数の条件付き期待値により評価し、津波による人的被害は高橋ほか（2018）¹¹⁾により震源域を構成する波源断層モデルによる死者数の平均値により評価した。また、本試算は 2 回の地震それぞれの地震動と津波による人的被害リスクを評価するものであり、それぞれを単純に加算した場合には重複した死者数を計上することとなる。従って、2 回の地震による地震もしくは津波により少なくとも 1 回死亡する確率を死者率として評価し、曝露人口を乗ずることにより死者数を評価した（図 2-7-③-15）。

表 2-7-③-3 対象とする半割れケースと震源域を構成する波源断層モデル数

地震	震源域	波源断層モデル数
先発	CEm	12
後発	ABm	12

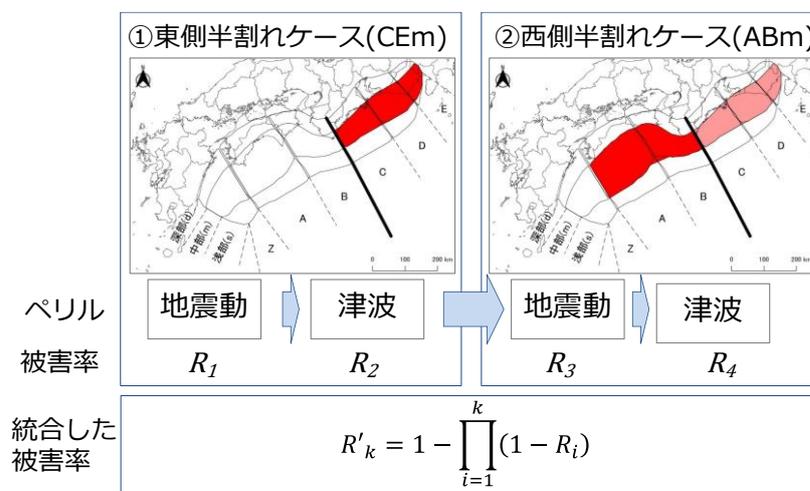


図 2-7-③-15 対象とした半割れケースとリスクの統合方法

上記による 2 地震のリスク評価結果と、事前避難による死者数の減少率を表 2-7-③-4 に示した。このうち、先発地震では事前避難が不可能であるため全てのケースで地震前(事前避難なし)の人口分布に基づいて人的被害リスクを評価した。地震前の人口分布による 2 地震それぞれの地震及び津波の死者数を比較すると、先発地震の地震動による死者数が最も多く、次いで後発地震の地震動による死者数が多い。一方で、津波による死者数は、2 地震合わせても全体の死者数の 2 割から 3 割に留まっている。次に、事前避難による全体の死者数の減少率をみると最大で 12.8% に留まっている。これは、事前避難を考慮できない先発地震の死者数が全体の死者数の多数を占めているためである。先発地震とした震源域 CEm は人口が比較的多い静

岡県の直下に震源域が広がっているため、半割れケースの中では地震動及び津波双方の被害が出やすい震源域である。従って、西側半割れケースを想定した場合には事前避難による死者数の減少効果は本試算よりも大きくなると考えられる。

表 2-7-③-4 半割れケースの人的被害リスクの試算結果

時刻	地震後人口分布		死者数[人]				減少率 (事前避難)		
	経過後日数	避難率	統合	統合前(重複補正前)					
				先発・地震	先発・津波	後発・地震		後発・津波	
5時	(地震前)	なし	14,517	9,344	1,801	2,156	1,222	0.0%	
	4日後	低避難	13,526	9,344	1,801	1,937	453	-6.8%	
		基本	13,322	9,344	1,801	1,867	316	-8.2%	
		高避難	13,117	9,344	1,801	1,798	180	-9.6%	
	20日後	低避難	13,725	9,344	1,801	1,974	615	-5.5%	
		基本	13,600	9,344	1,801	1,920	544	-6.3%	
		高避難	13,475	9,344	1,801	1,865	472	-7.2%	
	12時	(地震前)	なし	11,186	6,300	1,889	1,659	1,345	0.0%
		4日後	低避難	10,144	6,300	1,889	1,480	492	-9.3%
基本			9,949	6,300	1,889	1,426	349	-11.1%	
高避難			9,754	6,300	1,889	1,372	206	-12.8%	
20日後		低避難	10,343	6,300	1,889	1,510	663	-7.5%	
		基本	10,228	6,300	1,889	1,469	589	-8.6%	
		高避難	10,112	6,300	1,889	1,427	514	-9.6%	

※先発地震(CEm)発生時の人口分布はすべて地震前(事前避難無し)のため死者数は同一である

3) 地震像の類型化手法の検討

南海トラフ地震の地震発生の多様性を表現するため膨大な量の地震パターンから構成する必要がある一方で、防災対応を考える際には膨大な地震パターンの中から代表的なシナリオを抽出できることが望ましい。そこで、リスク評価の観点から地震後の被害の様相などを特徴量として、地震像を類型化した上で、類型から代表的なシナリオを抽出する方法を検討する。本項ではモデル地域として高知県を抽出した類型化の試行により類型化手法を検討すると共に、本業務の目的に応じた特徴量について検討する。

a) 避難困難者数を特徴量とした類型化の試行

高知県を対象に推定した避難困難者数を特徴量とした類型化を試行して、類型化手法を検討するとともに類型化の試行結果について考察した。ここでの避難困難者数とは、地震発生から5分以内に避難を開始しても津波が到達するまでに高台等の安全な場所までに避難できない人口を示すものである。避難困難者数は全波源断層モデル(3480 波源)を対象として、避難距離等の地域特性から簡便に避難時間を推定する高橋ほか(2018)¹¹⁾の手法を用いて、50mメッシュ分解能で推定した後に市町村単位で集計した(図2-7-③-16)。高知県内で避難困難者が発生すると推定されたのは19市町村である。上記により推定した避難困難者数を、波源断層モデル数(3480行)×市町村数(19列)の行列として整理した。

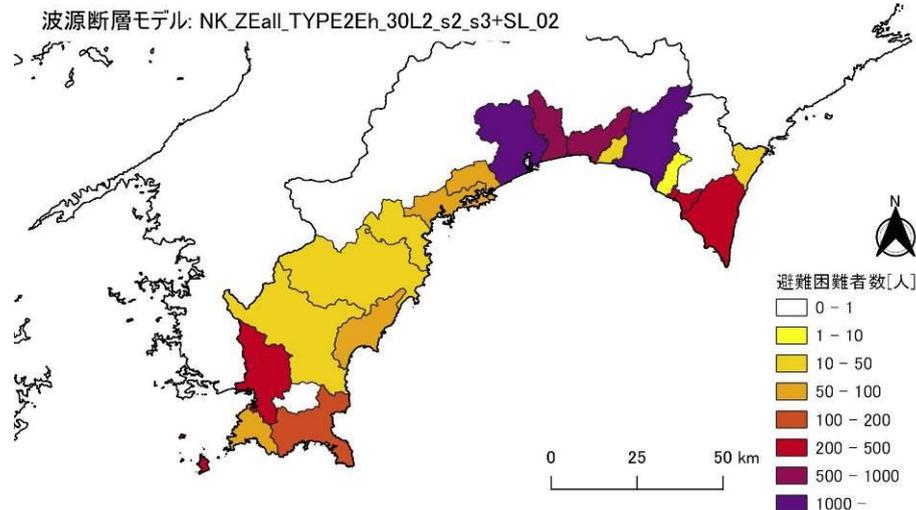


図 2 - 7 - ③ - 16 市区町村別の避難困難者数の例

類型化に用いるクラスタリングなど、距離の概念を用いる機械学習のアルゴリズムを用いる際の注意点として次元の呪いが挙げられる。これは、多次元空間での距離の組み合わせでは、表現できる組み合わせ数が飛躍的に多くなってしまいうため、十分な学習ができなくなってしまうものである。従って、多次元のデータをクラスタリング等の機械学習に用いる際には、データの次元数を削減することが望ましい。

従って、近年に開発された可視化のアルゴリズムである UMAP¹²⁾を用いて 19 次元のデータを 3 次元まで削減した後に、階層クラスタリングにより類型 1～類型 4 の 4 つの類型に分類した。階層クラスタリングによる類型数は、クラスタリングに用いた樹形図の形状を踏まえて決定した。上記による次元削減及びクラスタリングの結果を、地震規模及び高知県の前面に位置する震源域（土佐海盆）の破壊有無とともに図 2 - 7 - ③ - 17 に示した。クラスタリング結果を地震規模や土佐海盆の破壊有無を比較すると、類型 1 や類型 2 は規模が比較的小さく土佐海盆が破壊しない地震が多い一方で、類型 3 や類型 4 は規模が大きく土佐海盆が破壊する地震が多い。高知県東部の室戸市（図 2 - 7 - ③ - 18）及び西部の黒潮町（図 2 - 7 - ③ - 19）のヒストグラムを見ると、類型 1 及び類型 2 は両市ともに避難困難者数が少なく、津波避難の観点では影響が少ない類型といえる。類型 3 は室戸市及び黒潮町ともに避難困難者数が多く、高知県全域での影響が大きい類型と言える。類型 4 は室戸市の避難困難者数が多い一方で、黒潮町の避難困難者数は少ないため、高知県東部での影響が大きい類型といえる。

本項では市区町村別の避難困難者数を次元削減したうえで、教師なし分類のアルゴリズムを用いて地震像を類型化した。類型と震源域や地震規模には一定の関係があるとともに、影響の大小や対象地域内での影響の分布も踏まえた類型化を行うことができた。

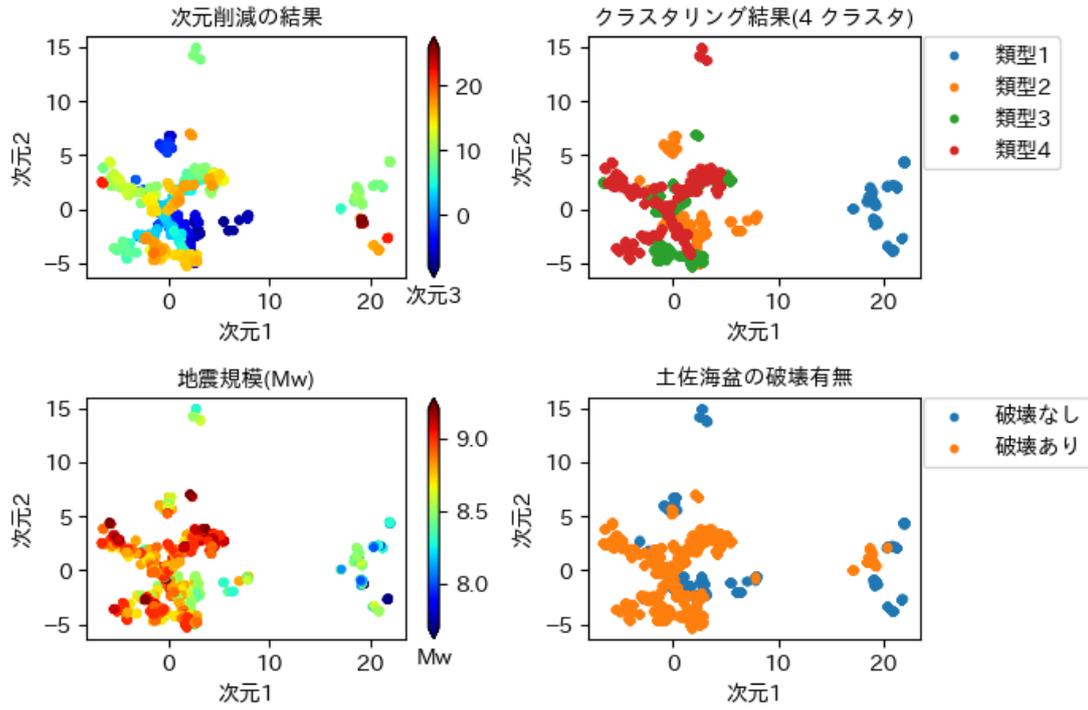
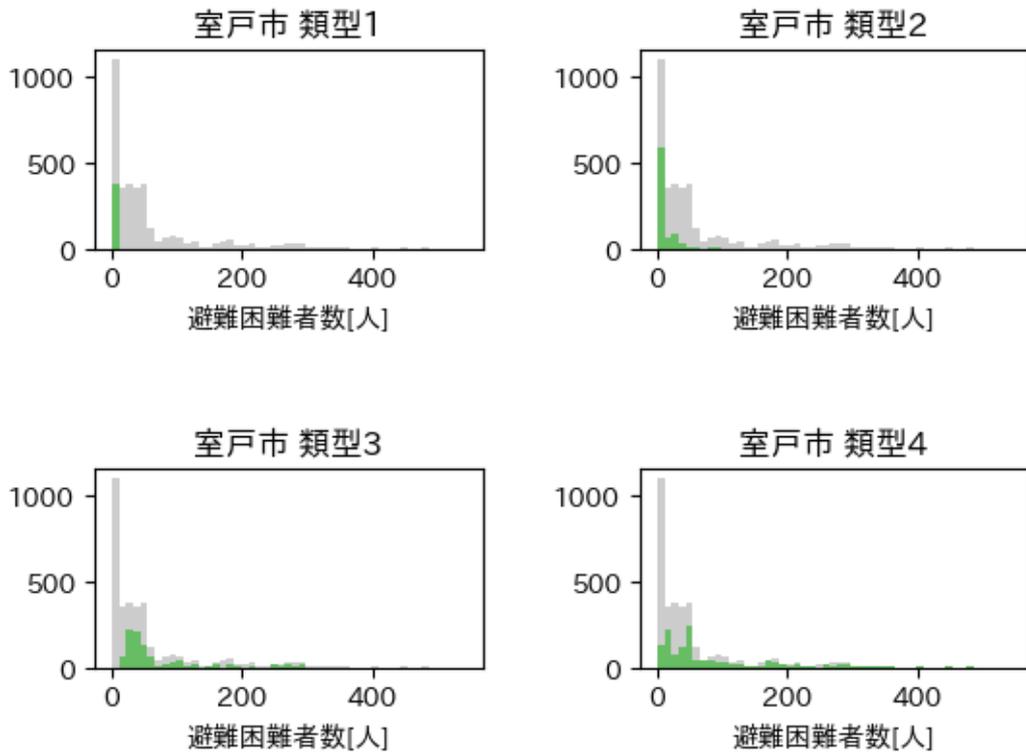
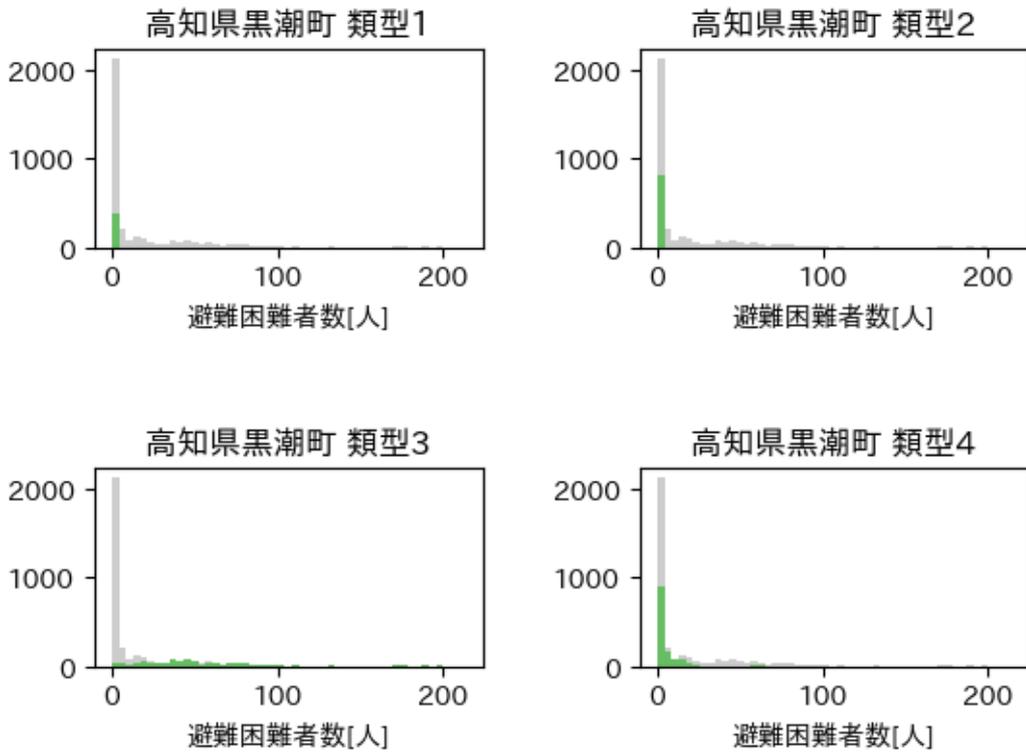


図 2-7-③-17 高知県の市区町村別避難困難者数の次元削減及びクラスタリング結果



(灰色:全 3,480 波源断層モデル、緑:クラスタに該当する波源断層モデル)

図 2-7-③-18 高知県室戸市の類型別ヒストグラム



(灰色:全 3,480 波源断層モデル、緑:クラスタに該当する波源断層モデル)

図 2-7-③-19 高知県黒潮町の類型別ヒストグラム

b) 類型化に用いる特徴量の検討

多様な南海トラフ地震の地震像の類型化を、命を守る、地域産業活動を守る、及び大都市機能を守る3つの目的¹³⁾に応じた特徴量に基づいて行う。ここでは類型化に用いる特徴量を、上記3つの目的それぞれについて検討した(表2-7-③-5)。命を守る観点では、地震発生から5分以内に避難を開始しても安全な場所に避難を完了しない被災者を避難困難者として、この人数を類型化の特徴量とする。また、住宅の被害やライフラインの途絶等の原因により地震発生以降に発生する避難者数についても類型化の特徴量とする。地域産業活動を守る観点での特徴量は、地震により生産施設等の資産の破損等による直接被害と、施設被害やライフラインの途絶による生産能力の低下により生ずるフローの被害を特徴量とする。大都市機能を守る観点では、大都市圏での移動手段に着目して鉄道運休率と帰宅困難者数を特徴量とする。

表2-7-③-5 類型化の目的と特徴量

目的	特徴量(指標)
命を守る	避難困難者数・避難者数
地域産業活動を守る	直接被害・フローの被害
大都市機能を守る	鉄道運休率・帰宅困難者数

c) 類型化に用いる特徴量の試算

i) 直接被害の試算

直接被害額の評価は半割れケースの ABm、CEm (図2-7-③-15) と、南海トラフの全体が破壊する ZEa11 の3つの震源域を対象とした。また、曝露データには佐藤ほか(2021)¹⁴⁾で作成された市区町村単位のストック量のデータを、崔ほか(2021)¹⁵⁾による建築物面積に基づく方法により250mメッシュ単位に按分したストック量データを用いた。地震動指標から直接被害額を算出する推計モデルは、豊田ほか(2021)¹⁶⁾の推定モデルを用いた。この推計モデルは、市区町村レベルの物的ストック残高「ストック量」と観測された震度情報「最大震度」から直接被害額を過去の被害地震のデータを用いて構築したものである。ただし、このモデルは、地震の連続発生を想定していない。今回の試算では、大規模地震の連続発生を想定した解析シナリオを新たに検討した。震度6弱を超えた地震が時間差の連続発生として、ABm ⇒ CEm、CEm ⇒ ABm の2つのシナリオを想定した。最初に発生する地震について、社会統計データであるストック量データを用いた地震による直接被害額(個別評価)を推計する。次に、250mメッシュのストック量データから1回目に発生した地震による直接被害額を引き算し、2回目に発生する地震で用いる残ストック量データを作成する。2回目の地震発生では、残ストック量データを用いて地震による直接被害額を推計する。上記の解析処理は、事前に想定した2つの連続発生シナリオに合わせて行う。その際に、1回目、2回目で別々に推計した直接被害額(個別評価)と、それぞれの推計結果を足し合わせた累積値(累積評価)を示す。

直接被害額の評価結果として、まず単独発生時の試算結果(250mメッシュ)を示す。

南海トラフの全体が破壊する ZEa11 の試算結果は図 2-7-③-20 のとおりで直接被害額の推計結果が、合計 167.8 兆円である。また、半割れケースの ABm の試算結果は合計 32.5 兆円（図 2-7-③-21）、CEm の試算結果は合計 125.5 兆円（図 2-7-③-22）である。

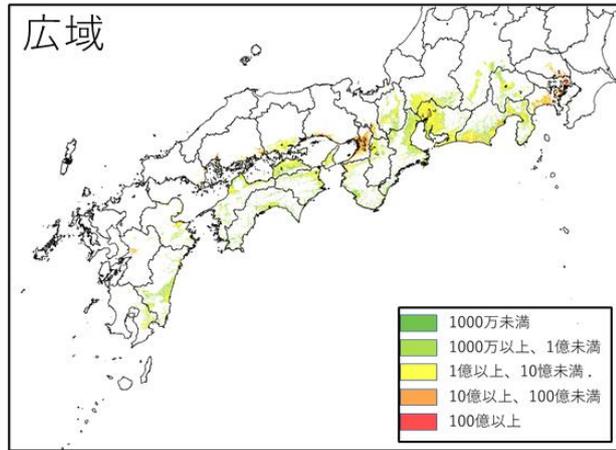


図 2-7-③-20 単独発生の試算結果 (ZEa11)

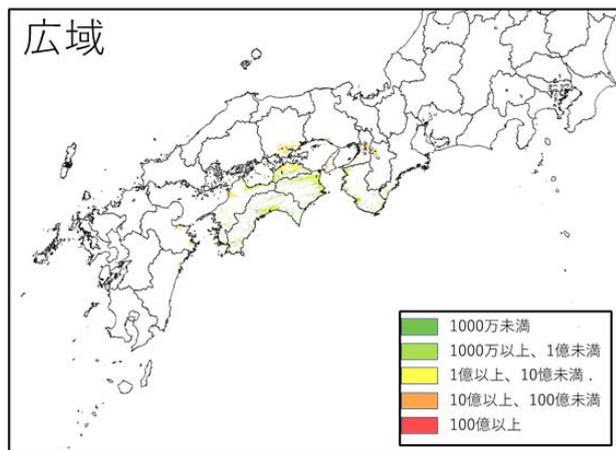


図 2-7-③-21 単独発生の試算結果 (ABm 単独)

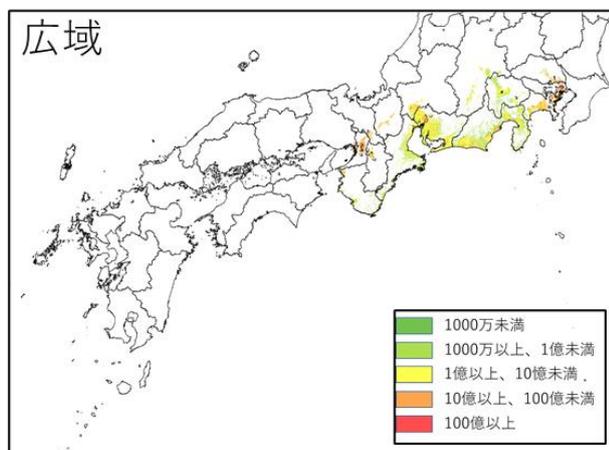


図 2-7-③-22 単独発生の試算結果 (CEm 単独)

連続発生シナリオを想定した場合、1回目の地震の試算結果は、それぞれ ABm、CEm の単独発生と同じなので、単独発生の結果を参照されたい。直接被害額の評価結果として、残ストック量の試算結果（250mメッシュ）を示すとともに、連続発生の累積評価（250mメッシュ）を示した。まず、ABm ⇒ CEm の連続発生シナリオの結果（ABm+CEm'）は図2-7-③-23のとおりで、被害額の合計は156.9兆円である。また、CEm ⇒ ABm の連続発生シナリオの結果（CEm +ABm'）は、図2-7-③-24に示したとおりで、推計結果の合計は156.6兆円である。

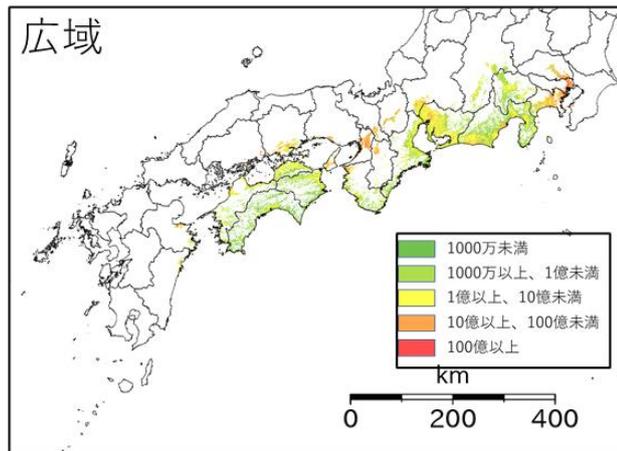


図2-7-③-23 連続発生の試算結果（ABm→CEm'）

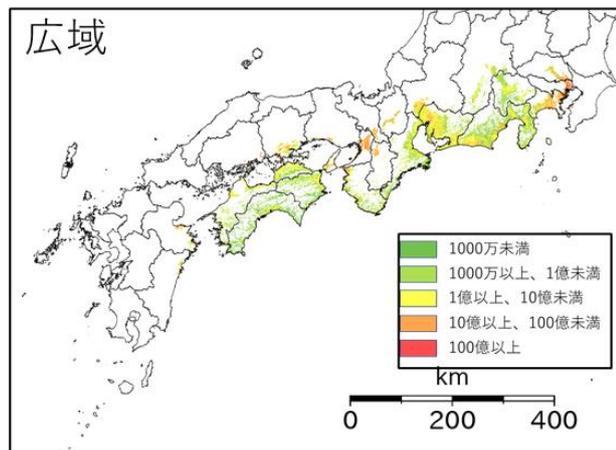


図2-7-③-24 連続発生の試算結果（CEm→ABm'）

ii) フローの被害の試算

前項での検討で地域産業活動を守る観点での特徴量としたフローの経済被害について、2つの半割れケースが20日の時間差をにおいて発生する地震パターン（表2-7-③-6）を想定して試算した。

表 2-7-③-6 対象とする半割れケース

地震	震源域	波源断層モデル	備考
先発	CEm(駿河湾)	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_d4_02	
後発	ABm(土佐海盆)	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_d1_02	20日後に発生

ここで算出するフローの経済被害は地震による生産能力の低下だけでなく、施設等の復旧による生産能力の回復の時系列変化を評価する必要がある。また、南海トラフ地震の多様性を考慮すると簡便な手法による推計が必要である。上記を踏まえて本項では梶谷ほか(2013)¹⁷⁾の手法を採用した。また、時間差をおいて発生する2地震の生産能力への影響を適切に考慮する必要がある。ここでは、2つの地震による非停止率(稼働率)を乗じる事により簡便に2地震による生産能力の低下を評価した。更に、事前避難者は生産活動に関与しないという仮定を設定して、事前避難の有無による生産能力の違いについても評価した。上記による生産能力の試算結果として、高知県須崎市における生産能力の変動を図2-7-③-25に示した。先行地震は須崎市から離れた地域を震源とするため生産能力への影響は比較的小さいものの、事前避難を考慮した場合には大幅に生産能力が低下している。その後、先行地震から20日後に須崎市に近接する土佐海盆を震源域に含む後発地震が発生して生産能力が大幅に低下した後に、再び回復に向かう様子が表現されている。

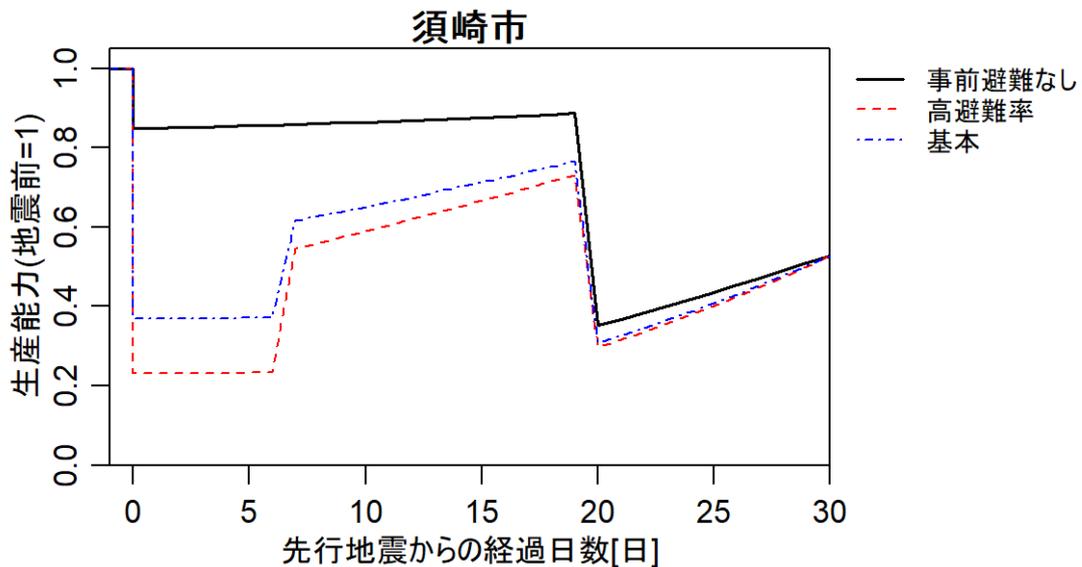


図 2-7-③-25 高知県須崎市の生産能力の時系列変化

(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。

- 1) 南海トラフ地震のうち半割れケースが発生した場合の条件付きハザードを評価した。ハザード評価にあたっては半割れケース発生後に起こりうる地震セットをツリーの形で表現するとともに、確率論的地震・津波ハザード評価の考え方に基づく重みを配分した。ハザード評価結果を地震前の条件付きハザードと比較する

と、西側半割れケース発生後では四国など南海トラフの西部で、東側半割れケース発生後では東海地方など東部でそれぞれハザードが低下している。今後の課題としては、構築した半割れケース発生後の地震セットが起こりうる地震の全体像を把握できているかの検証が挙げられる。今後の震源に関する理学的な知見の集積により上記の検証が可能になると期待される。

- 2) 半割れケース発生後の事前避難を考慮した曝露人口モデルを構築するとともに、構築した曝露人口モデルを用いた人的被害リスクを評価した。曝露人口モデルの構築に当たっては、政府や地方公共団体が行動変容を呼びかけたという観点で共通点のある新型コロナウイルス感染症の緊急事態宣言に伴う行動変容を調査して事前避難率を設定した。上記の事前避難率を、津波ハザード情報を活用して設定した事前避難対象者数を乗じる事により曝露人口モデルを構築した。今後の課題としては、避難先の設定方法が挙げられる。今回は市町村内での避難を想定したが、市町村の避難計画や実務者のヒアリング等により事前避難を考慮した曝露人口モデルの妥当性が向上できると考えられる。
- 3) 半割れケース発生後の曝露人口モデルを活用して、東側半割れケースが発生した後に時間差をおいて西側半割れケースが発生する地震パターンを対象とした人的被害を評価した。人的被害は二地震それぞれの地震動及び津波を対象とし、それぞれの人的被害の重複を除外した。上記によると先発地震である東側半割れケースの人的被害が多数を占めるため、事前避難による人的被害の低減分は概ね10%程度に留まると評価された。しかしながら、半割れケースの発生順が逆となった場合には事前避難の効果は大きくなると考えられる。
- 4) 高知県をモデル地域として抽出したうえで、避難困難者数を特徴量とした類型化の試行により、地震像の類型化手法を検討した。試行にあたっては19次元の特徴量を可視化技術であるUMAPにより3次元に削減したのちに、階層クラスタリングにより4類型に分類した。類型化の結果をみると被害の総量だけでなく、地域的な偏りも反映できていた。今後は、類型化に用いる特徴量の算出を進めるとともに、上記の手法と算出結果に基づいた類型化を進める必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価，
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf，
2020.1(2022.3.19 確認)
- 2) 気象庁：南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件，
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info_criterion.html
(2022.3.19 確認)
- 3) 内閣府(防災担当)：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】，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html>，2021.5(2022.3.19 確認)
- 4) 藤原広行，平田賢治，中村洋光，森川信之，河合伸一，前田宜浩，大角恒雄，土

- 肥裕史, 松山尚典, 遠山信彦, 鬼頭直, 大嶋健嗣, 村田泰洋, 齊藤龍, 澁木智之, 秋山伸一, 是永眞理子, 阿部雄太, 橋本紀彦, 袴田智哉, 大野哲平: 南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 - 第一部 本編 -, 防災科学技術研究所研究資料, 439, 2020.
- 5) 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 2020 年版作成条件・計算結果編,
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/yosokuchizu2020_jk.pdf, 2021.3(2022.3.29 確認)
 - 6) 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 技術報告書,
https://jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_hyoshi.pdf, 2009.12(2022.3.29 確認)
 - 7) 気象庁: 津波警報・注意報, 津波情報, 津波予報について,
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/joho/tsunamiinfo.html> (2022.3.29 確認)
 - 8) 内閣官房: 所管法令 (新型インフルエンザ等対策特別措置法等),
<https://www.cas.go.jp/jp/influenza/120511houritu.html> (2021.8.18 確認)
 - 9) 国土交通省: 鉄道利用者の皆様へ (新型コロナウイルス感染症対策の利用者向け情報), https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000062.html (2022.3.28 確認)
 - 10) 藤原広行, 佐伯琢磨, 中村洋光, 河合伸一, 森川信之, 前田宜浩, はお憲生, 内藤昌平, 東宏樹, 岩城麻子, 清水智, 小丸安史, 若浦雅嗣, 時実良典, 早川讓: 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討、防災科学技術研究所研究資料, Vol.415, 2018.
 - 11) 高橋郁夫, 中村洋光, 藤原広行, 時実良典, 小丸安史, 若浦雅嗣, 清水智: 地域特性を考慮した簡便な津波人的被害推定手法の開発, 第15回 日本地震工学シンポジウム, PS1-01-34, 2018.12
 - 12) McInnes, L., Healy, J. and Melville, J.: UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction ver.3,
<https://arxiv.org/abs/1802.03426>, 2020.2(2021.10.14 確認)
 - 13) 防災対策に資する南海トラフ地震調査プロジェクト パンフレット,
https://www.jamstec.go.jp/bosai-nankai/j/doc/JAMSTEC_BosainankaiPamphlet.pdf (2022.3.30 確認)
 - 14) 佐藤純恵, 豊田利久, 崔青林, 池田真幸, 堀江進也, 中村洋光, 藤原広行: 市区町村別ストック・データの推計方法-地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検討 その2-, 研究資料 No.460, pp.5-52, 2021.
 - 15) 崔青林, 池田真幸, 豊田利久, 中村洋光, 藤原広行: 解析データの250mメッシュ按分-地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検討 その4-, 研究資料 No.460, pp.69-78, 2021.
 - 16) 豊田利久, 崔青林, 池田真幸, 佐藤純恵, 堀江進也, 中村洋光, 藤原広行: 直接被害額推計モデルの提案-地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検討

その 3-, 研究資料 No. 460, pp. 53-68, 2021.

17) 梶谷義雄, 多々納裕一, 吉村勇祐: 大規模災害時における産業部門の生産能力の推計 - 東日本大震災を対象として, 自然災害科学, 31, pp. 283-304, 2013.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震の多様性を踏まえた条件付きハザード評価の試行（ポスター）	中村洋光、時実良典、藤原広行、清水智、麻生未季	日本地震学会2021年度秋季大会	2021年10月	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

④地震防災基盤シミュレータシステム

(a) 業務の要約

本業務では、地震防災基盤シミュレータシステムに、強震動シミュレーションや津波シミュレーションに必要な震源断層モデル及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを蓄積した断層・地下構造・地形モデルバンクの構築を行った。さらに、それらのシミュレーションの計算設定データ及び計算結果データ、リスク評価データを蓄積した地震像・シナリオバンクの構築を行った。

(b) 業務の実施方法

断層・地下構造・地形モデルバンクの構築については、設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、強震動シミュレーションや津波シミュレーションに必要な震源断層モデル群及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積した。

地震像・シナリオバンクの構築については、設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モ

デルを使用して計算された、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計算設定データ及び計算結果データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積した。

(c) 業務の成果

1) 地震防災基盤シミュレータシステムの概要とシステム的环境整備

地震防災基盤シミュレータシステムの概要を図2-7-④-1に示す。システムは、断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンク、地震像・シナリオ検索機能で主に構成されている。断層・地下構造・地形モデルバンクでは、強震動シミュレーションで用いる震源断層モデルと地下構造モデルを蓄積し、津波遡上シミュレーションで用いる波源断層モデルと地形標高モデルを蓄積する。地震像・シナリオバンクでは、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積のデータを用いた強震動シミュレーション結果、津波遡上シミュレーション結果を蓄積することに加え、それらに基づくリスク評価結果、リスク情報の類型化手法に基づく南海トラフ地震の地震像や広域での災害シナリオを蓄積する。地震像・シナリオ検索機能では、利用目的に応じてシミュレーション結果や災害シナリオ等を適切に検索、活用できるようにすることで他課題と連携を可能にする。地震防災基盤シミュレータシステムを稼働させるために必要なミドルウェアをインストールし、環境を整備した(図2-7-④-2)。

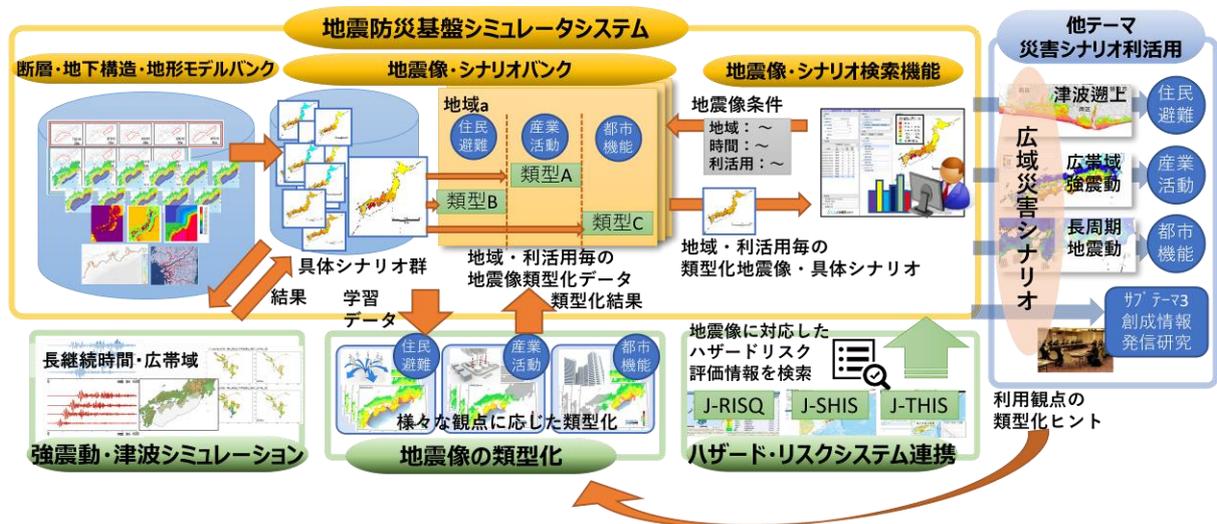


図2-7-④-1 地震防災基盤シミュレータシステムのシステム概要

地震防災基盤シミュレータシステムサーバ

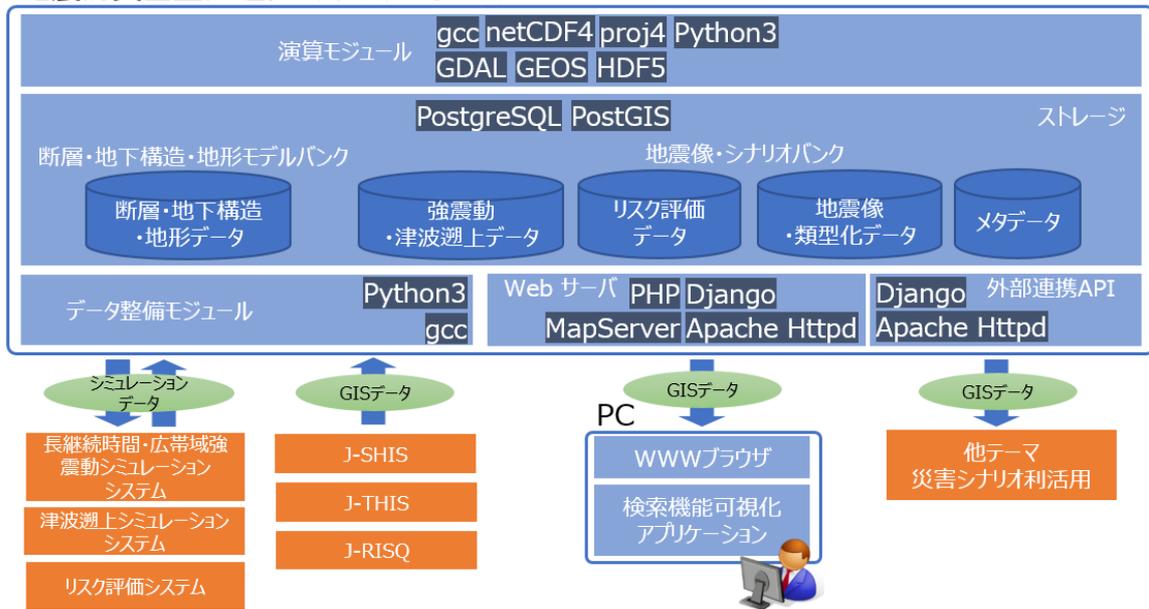


図 2-7-④-2 地震防災基盤シミュレータシステムのアーキテクチャ概要

2) 断層・地下構造・地形モデルバンクの構築

断層・地下構造・地形モデルバンクの構築では、設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、シミュレーションに必要な震源断層モデル群及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積した。蓄積したモデルのデータ一覧を表 2-7-④-1 に示す。また、設計したディレクトリ構成に従い、震源断層モデル、地下構造モデル、波源断層モデル、地形標高モデルデータを配置した（表 2-7-④-2）。

表 2-7-④-1 震源断層、波源断層・地下構造・地形標高モデルデータ一覧

データ	個数	内容
震源断層モデル	83	地震本部(2020)の津波ハザード評価で設定された南海トラフ地震の多様性モデルを踏まえて構築した強震動計算用震源断層モデル
地下構造モデル	1	関東地域の浅部・深部統合地盤モデルを取り込んだ広域の地下構造モデルを基に構築した差分法用の地下構造モデル
波源断層モデル	4172	地震本部(2020)の津波ハザード評価で設定された南海トラフ地震の多様性モデルの波源断層モデル
地形標高モデル	1	南海トラフ沿いの評価領域の11府県を対象に各府県が整備した最新のモデルを取得し、津波シミュレータ(TNS)に入力可能なデータ形式(計131個の10m格子領域)に変換した地形標高モデル

表 2-7-④-2 断層・地下構造・地形モデルバンクのディレクトリ構造

No.	ディレクトリ・ファイルパス	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析関連データディレクトリ
5	Boundary/	境界面定義ファイルディレクトリ
6	[バージョンコード]	バージョンコードディレクトリ
7	[バージョンコード]-[地下構造モデルコード]_[境界面番号]_boundary.	境界面定義ファイル（地下構造モデルデータ）
8	PhysicalProperty/	物性値定義ファイルディレクトリ
9	[バージョンコード]	バージョンコードディレクトリ
10	[バージョンコード]_[地下構造モデルコード]_phy.csv	物性値定義ファイル（地下構造モデルデータ）
11	[震源断層モデルコード]/	震源断層モデルコードディレクトリ
12	ExternalForce/	震源断層モデル外力データディレクトリ
13	FDM/	差分法計算入力ファイルディレクトリ
14	Material/	FDMake入力ファイルディレクトリ
15	Source/	震源定義ファイルディレクトリ
16	[震源断層モデルコード]_source_[座標系コード].csv	震源断層モデルファイル
17	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
18	Base/	基礎データディレクトリ
19	Fault/	断層データファイルディレクトリ
20	[波源断層モデルコード]/	波源断層モデルコードディレクトリ
21	Param/	断層パラメータファイルディレクトリ
22	[EPSGコード]/	EPSGコードディレクトリ
23	[波源断層モデルコード]-Param-[EPSGコード].dat	波源断層モデルデータファイル
24	Topo/	地形標高分布データファイルディレクトリ
25	[基礎データ系コード]/	基礎データ系コードディレクトリ
26	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
27	Topo-[基礎データ系コード]-M[格子間隔]-R[領域ID].bin	地形標高モデルデータファイル

3) 地震像・シナリオバンクの構築

地震像・シナリオバンクの構築では、設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モデルを使用して計算された、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計算設定データ及び計算結果データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータシステムのストレージへ蓄積した。蓄積したモデルのデータ一覧を表 2-7-④-3 に示す。また、設計したディレクトリ構成に従い、これらの強震動シミュレーション結果データ、津波遡上シミュレーション結果データ、リスク評価結果データを配置した（表 2-7-④-4、表 2-7-④-5、表 2-7-④-6）。

表 2-7-④-3 震源断層、波源断層・地下構造・地形標高モデルデータ一覧

データ	個数	内容
強震動シミュレーション	83	断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積した、震源断層モデルと地下構造モデルを用いて計算された強震動シミュレーション結果
津波遡上シミュレーション	3480	断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積した、波源断層モデルと地形標高モデルを用いて計算された津波遡上シミュレーション結果
地震動によるリスク評価	151	南海トラフ地震の多様性を構成する 151 の震源域に基づく地震動を対象とした条件付きリスク評価として建物被害、建物損失額、及び人的評価結果
津波によるリスク評価	4220	南海トラフ地震の多様性を構成する 4220 の波源断層モデルに基づく津波を対象とした条件付きリスク評価として建物被害、建物損失額、及び人的評価結果

表 2-7-④-4 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造
(強震動シミュレーション結果データ)

No	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	Detailed/	詳細法ディレクトリ
6	[震源断層モデル外カコード]/	震源断層モデル外カコードディレクトリ
7	ExternalForce/	震源断層モデル外カデータディレクトリ
8	HYB/	ハイブリッド合成速度波形(S波)ファイルディレクトリ
9	[震源断層モデル外カコード]_HYB_DUMP.dat	ハイブリッド合成速度波形水平動計算結果ファイル
10	HYB_ud/	ハイブリッド合成速度波形(P波)ファイルディレクトリ
11	[震源断層モデル外カコー	ハイブリッド合成速度波形上下動計算結果ファイル

表 2-7-④-5 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造
(津波遡上シミュレーション結果データ)

No.	ディレクトリ・ファイルパス	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレーションシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	[波源断層モデル外カコード]/	波源断層モデル外カコードディレクトリ
6	ExternalForce/	波源断層モデル外カデータディレクトリ
7	Offshore/	沖合データファイルディレクトリ
8	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-TotalDepth.dat	沖合全水深時系列ファイル
9	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-Height.dat	沖合水位時系列ファイル
10	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-ArrivalTimeHeight.csv	沖合水位到達時間データファイル
11	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-ArrivalTimeTsunami.csv	沖合相対水位到達時間データファイル
12	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-MaxAbsHeight.csv	沖合最大水位データファイル
13	[波源断層モデル外カコード]-Offshore-MaxRelativeHeight.csv	沖合最大相対水位データファイル
14	Coastal/	沿岸データファイルディレクトリ
15	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
16	[波源断層モデル外カコード]-Coastal-ArrivalTimeHeight-M[格子間隔]-R[領域ID].csv	沿岸水位抽出点水位到達時間データファイル
17	[波源断層モデル外カコード]-Coastal-ArrivalTimeTsunami-M[格子間隔]-R[領域ID].csv	沿岸水位抽出点相対水位到達時間データファイル
18	[波源断層モデル外カコード]-Coastal-MaxAbsHeight-M[格子間隔]-R[領域ID].csv	沿岸水位抽出点最大水位データファイル
19	[波源断層モデル外カコード]-Coastal-MaxRelativeHeight-M[格子間隔]-R[領域ID].csv	沿岸水位抽出点最大相対水位データファイル
20	WaterHeight/	水位分布データファイルディレクトリ
21	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
22	[波源断層モデル外カコード]-WaterHeight-M[格子間隔]-R[領域ID]_t[出力時間].nc	[出力時間]における水位分布データnetCDF形式ファイル
23	[波源断層モデル外カコード]-WaterHeight-M[格子間隔]-R[領域ID]_tMAX.nc	最大水位分布データnetCDF形式ファイル
24	Land/	浸水深分布データファイルディレクトリ
25	ArrivalTime/	浸水深到達時間分布データファイルディレクトリ
26	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
27	[波源断層モデル外カコード]-Land-ArrivalTime-M[格子間隔]-R[領域ID]_H[出力浸水深].nc	浸水深到達時間分布データnetCDF形式ファイル
28	InundationDepth/	浸水深分布データファイルディレクトリ
29	M[格子間隔]-R[領域ID]-[自由な文字列]/	格子間隔ディレクトリ
30	R[領域ID]	領域IDディレクトリ
31	[波源断層モデル外カコード]-Land-InundationDepth-M[格子間隔]-R[領域ID]_t[出力時間].nc	[出力時間]における浸水深分布データnetCDF形式ファイル
32	[波源断層モデル外カコード]-Land-InundationDepth-M[格子間隔]-R[領域ID]_tMAX.nc	最大浸水深分布データnetCDF形式ファイル
33	FlowVelocity/	流速分布データファイルディレクトリ
34	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
35	[波源断層モデル外カコード]-FlowVelocity-W-M[格子間隔]-R[領域ID]_tWMAX.nc	2成分合成値最大流速分布データnetCDF形式ファイル
36	[波源断層モデル外カコード]-FlowVelocity-[X/Y]-M[格子間隔]-R[領域ID]_tWMAX.nc	2成分合成値最大ステップ時[X/Y]方向流速分布データnetCDF形式ファイル
37	DragForce/	抗力分布データファイルディレクトリ
38	M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
39	[波源断層モデル外カコード]-DragForce-W-M[格子間隔]-R[領域ID]_tWMAX.nc	2成分合成値最大抗力分布データnetCDF形式ファイル
40	[波源断層モデル外カコード]-DragForce-[X/Y]-M[格子間隔]-R[領域ID]_tWMAX.nc	2成分合成値最大ステップ時[X/Y]方向抗力分布データnetCDF形式ファイル

表 2-7-④-6 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造
(リスク評価結果データ)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	Conventional/	簡便法ディレクトリ
6	[震源域コード]/	震源域コードディレクトリ
7	Risk/	リスク評価データディレクトリ
8	Building/	建物被害分布データディレクトリ
9	Houses/	棟数ベース被害分布データディレクトリ
10	[AL/HL]/	建物[全壊/全半壊]分布データファイルディレクトリ
11	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-[距離減衰式種類].csv	建物[全壊/全半壊][棟数/率]リスクデータファイル [距離減衰式種類]は、以下の2種類 ・ MF13：森川・藤原(2013) ・ SM99：司・翠川(1999)
12	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Hazard-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]分布データファイル
13	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Exposure-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]曝露量分布データファイル
14	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Avr-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]平均値対応全壊[棟数/率]分布データファイル
15	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Exp-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]条件付き期待値分布データファイル
16	[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-EP-[条件付き超過確率(x)]-[距離減衰式種類].nc	条件付き超過確率(x)対応建物[全壊/全半壊][棟数/率]条件付き超過確率分布データファイル
17	Money/	金額ベース被害分布データディレクトリ
18	[震源域コード]-BM[A/R]-[距離減衰式種類].csv	損失[額/率]分布データファイル(金額ベースの建物被害)
19	[震源域コード]-BM[A/R]-Hazard-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]分布データファイル
20	[震源域コード]-BM[A/R]-Exposure-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]曝露量分布データファイル
21	[震源域コード]-BM[A/R]-Avr-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]平均値対応損失[額/率]分布データファイル
22	[震源域コード]-BM[A/R]-Exp-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]条件付き期待値分布データファイル
23	[震源域コード]-BM[A/R]-EP-[条件付き超過確率(x)]-[距離減衰式種類].nc	条件付き超過確率(x)対応損失[額/率]条件付き超過確率分布データファイル
24	Population/	人的被害分布データディレクトリ
25	[DEAD/AINJ]/	[死者/重傷者]数分布データファイルディレクトリ
26	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-[距離減衰式種類].nc	時刻別[死者/重傷者][数/率]リスクデータファイル
27	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Hazard-[距離減衰式種類].nc	時刻別[死者/重傷者][数/率]分布データファイル
28	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Exposure-[距離減衰式種類].nc	時刻別[死者/重傷者][数/率]曝露量分布データファイル
29	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Avr-[距離減衰式種類].nc	時刻別[死者/重傷者][数/率]平均値対応時刻別[死者/重傷者][数/率]分布データファイル
30	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Exp-[距離減衰式種類].nc	時刻別[死者/重傷者][数/率]条件付き期待値分布データファイル
31	[震源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-EP-[条件付き超過確率(x)]-[距離減衰式種類].nc	条件付き超過確率(x)対応時刻別[死者/重傷者][数/率]条件付き超過確率分布データファイル

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめを以下に示す。

- 1) 地震防災基盤シミュレータシステムを稼働させるために必要なミドルウェアをインストールし、環境を整備した。
- 2) 設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、シミュレーションに必要な震源断層モデル群及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する断層・地下構造・地形モデルバンクの構築を行った。
- 3) 設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モデルを使用して計算された、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計算設定データ及び計算結果データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する地震像・シナリオバンクの構築を行った。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価,
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf,
2020.1(2022.3.19 確認)

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震の発生の多様性を考慮した地震防災基盤シミュレータの構想（ポスター）	中村洋光、藤原広行、前田宜浩、土肥裕史、時実良典、石丸晴海	日本地震学会2021年度秋季大会	2021年10月	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

2. 8 創成情報発信研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 創成情報発信研究

(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	副本部長 副部門長 主任研究員 特別研究員 特別研究員 主任研究員 特別研究員 特別研究員 特別研究員	高橋 成実 中村 洋光 近貞 直孝 水井 良暢 崔 青林 李 泰榮 池田 真典 松川 杏寧 大塚 理加
国立研究開発法人海洋研究開発機構	副主任研究員 技術スタッフ シニアスタッフ 事務副主幹	今井健太郎 大林 涼子 長田 啓志 小柳津昌久
国立大学法人香川大学四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構	特任教授 教授 特命教授 技術補佐員 研究協力課係員	金田 義行 野々村敦子 藤澤 一仁 高橋 真里 磯道 智也
国立大学法人徳島大学環境防災研究センター	教授 助教 助教	馬場 俊孝 湯浅 恭史 金井 純子
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	准教授 特任准教授 准教授 特任教授 特任准教授 研究員	中井健太郎 島崎 敢 平山 修久 新井 伸夫 都築 充雄 千葉 啓広
公立大学法人兵庫県立大学	教授	阪本真由美
人と未来防災センター	研究員	高原 耕平
静岡県公立大学法人静岡県立大学	特任准教授	楠城 一嘉
国立大学法人大分大学	教授	小林 祐司

(c) 業務の目的

地域防災力の向上のために、事前準備、災害時対応及び災害後対応の各ステージで各種情報を地域の防災に活用するための情報発信の在り方を探る。サブ課題1の理学的な成果とサブ課題2の工学・社会的な成果を、地殻変動や地震活動等、異常な現象が発生した時にどのように活かすか、これまでの南海トラフ巨大地震関連のプロジェクトの地域研究会での議論も参考に、情報発信検討会を共通の防災上の特性を有する複数の地域で開催して検討する。検討には、気象庁からの南海トラフ地震臨時情報・解説情報の発表のケースを念頭に、これまで地震調査研究推進本部から公表されているハザードマップや各種情報も入力情報として使用する。研究成果を直接的に防災に活かせるよう、地域毎に異なる防災上の課題を整理し、その解決手段を講じる。つまり、単に研究成果を防災情報としてアウトプットするだけでなく、正しくかつ効果的に防災情報を利用し適切な防災行動につなげてもらう必要がある。例えば、津波浸水を考えた場合、浅い浸水深が安心情報になってはいけない。それは、浸水評価の誤差の問題のみならず、浅い浸水深は瓦礫集積や津波火災の可能性を示唆するからである。個々人の知識と経験から、各地域が防災上のリーダーシップをとって行動に移すことができる体制の構築を目指し、災害対応評価システムを構築して、本プロジェクトの成果の地域への貢献度を評価する。この評価のために、地方自治体や地域の研究者の協力を仰ぎ、特定多数における情報リテラシーを計測する。また、これらの取り組みや分析結果について、情報発信検討会を通じて地域と共有して検証し、次の防災力向上の計画へとつなげる。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

各自治体や企業との関係において、情報発信検討会の協力体制を構築し、防災上の特性を踏まえ、津波、内陸地震・支援、産業、複合災害の4つをテーマに設定し、第1回を合同で開催した。地震津波複合被害調査手法を検討し、津波浸水計算、津波瓦礫計算、軟弱地盤による建造物の応答計算手法を検討し、対象地域を特定した。災害対応評価システムを設計し、試作し、試験的に調査を実施、分析した。

2) 令和3年度：

各自治体や企業との協力関係に基づき、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の4つのテーマで情報発信検討会を年2回実施した。地震津波複合被害調査手法を、津波浸水計算、津波瓦礫計算、軟弱地盤による建造物の応答計算の手法で特定し、地域防災に大きく影響する要素を計算、地域に提示した。災害対応評価システムによる調査と分析を進め、必要に応じてシステムの改良を行った。

3) 令和4年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害調査の計算を進め、地域におけるシステム化を検討する。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、防災特性共通地域ごとに情報リテラシー向上に向けて、定量化を進める。

4) 令和5年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害

調査の結果を地域に実装する検討を進める。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、防災特性共通地域ごとに情報リテラシー向上に向けて、定量化する。

5) 令和6年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害調査の結果を地域に実装する。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、情報リテラシー向上の成果を地域に還元し、必要に応じて地域に技術移転する。

(e) 令和3年度業務目的

各地域の防災上の特性を分類し、その特性に応じ、インターネットを活用して、情報発信検討会を開催する。気象庁から発表される臨時情報を念頭に、サブ課題1とサブ課題2から提供される研究成果を踏まえ、津波被害や地殻活動モニタリングの情報を共有する仕組みを検討する。また、一部の地域を対象に、津波被害が想定される地域での漂流物の評価や軟弱地盤の現状評価を進め、防災対策検討の一助とするよう、地域との連携を強める。これらの情報を適切に利活用されるように特定多数を対象とした情報リテラシー向上に向けた災害対応評価システムの設計・試作を行い、この取り組みへの地域との協力体制を構築する。

(2) 令和3年度の成果

①地域の防災上の課題評価

(a) 業務の要約

津波瓦礫予測手法について、建物倒壊を判定して、車両や船舶を含め、瓦礫の動きを計算、漂流の状況の評価する方法と、被害関数をもとに津波瓦礫の厚さ分布を計算する2つの手法を瓦礫計算手法として確立した。前者については、津波瓦礫の動きを計算し、現在既に尾鷲市に実装されているDONETを用いた津波即時予測システムと紐づけて、津波被害即時予測システムをして実装した。この手法を宮崎県延岡市にも適用すべく、大瀬川や五ヶ瀬川の流域で地形データを作成中である。後者については、津波瓦礫の厚さ分布を、宮崎県延岡市を対象に評価するため、津波氾濫解析に用いる標高に建物の起伏情報を考慮した合成地形モデルを作成、従来のハザードマップからは読み取れなかった津波ハザード情報について検討した。今後は津波瓦礫評価の検討に移行する予定である。

軟弱地盤解析については、徳島県那賀川下流域の河川堤防を対象に水～土連成弾塑性有限変形解析による耐震性再照査を実施、嵩上げと地盤改良による対策を実施すると健全性を確保できることを確認した。一方、地盤被害を拡大させる危険性も示した。従来法では、粘性土層が適切にモデル化されていないことに加えて、地震動の長周期成分が十分には考慮されていないため、被害を過小評価してしまう危険性を指摘した。今後は、地盤は土の種類や密度、地下水位面の位置など、多くの不確実性が地盤被害に及ぼす影響を把握するとともに、不確実性を定量化することが求められる。

(b) 業務の成果

i) 複合的なハザード評価について

昨年度、地震津波複合災害の評価手法として、軟弱地盤による河川や海岸の構造物への影響を評価し、津波災害について、特に津波瓦礫に着目して評価する方針を打ち立てた。津波瓦礫については、2種類の評価手法を検討、取り入れることとした¹⁾。

1つ目は、建物倒壊判定を通して、瓦礫の漂流を評価するものである²⁾(ii節)。津波は押し波と引き波が交互に襲来し、津波浸水や河川遡上と氾濫に応じて、瓦礫の発生量が増加する。発生した瓦礫の一部分は、海洋に流れ出し、特に湾内では、長くそこにとどまることになる。これらの評価は、河川流域や港湾部の状態把握につながる。2つ目は、東北地方太平洋沖地震時の津波の被害関数に基づき、瓦礫堆積物の厚さ分布を評価するものである³⁾(iii節)。この方法は、漂流の状態を追う1つ目の方法よりも簡便で、広域の評価に対応しやすい。この2種類の評価手法を併用することとした。これらの実施には、地域の建物情報他、様々な情報が必要であるが、三重県尾鷲市、宮崎県延岡市、高知県四万十市を念頭に検討を進めた。

軟弱地盤応答に基づく強震被害評価において、宮崎県延岡市、高知県四万十市に加え、徳島県那賀川流域での検討を進めた。河川堤防の地震時変状を水～土連成有限変形解析コード GEOASIA⁴⁾の適用を念頭に公開されているボーリング情報に基づいて、検討を進めた(第iv節)。

ii) 建物倒壊を考慮した津波瓦礫漂流評価

昨年度、小園他(2017)²⁾の手法をもとに三重県尾鷲市を例に評価手法を確立した。この方法は、浸水深に応じて、建物倒壊を判別し、津波の押し波と引き波による瓦礫の動きを計算するものである。評価対象には、建物倒壊による瓦礫のみならず、車両や船舶の動きも含まれている。この方法は、津波によって発生した瓦礫の漂流を評価するため、沿岸の緊急輸送道路を含む主要道路やインフラ、湾内の漂流物による港湾部利用の可否等の状況をイメージすることが可能になる。

今年度は、延岡市の大瀬川や五ヶ瀬川の河口周辺の建物情報のモデル化を進め、来年度以降の漂流評価に向けて、準備を進めた。また、昨年度計算した三重県尾鷲市の漂流の計算結果を用いて即時予測システム化を行った。

三重県尾鷲市には、これまで地震・津波観測監視システム^{5), 6)}(Dense Oceanfloor Network system for Earthquake and Tsunamis, DONET)を用いた津波即時予測システムを構築し、同市防災センターに実装していた⁷⁾。このシステムは、DONETで観測した地震データと水圧データをもとに、津波最早到達走時、津波最大高、津波浸水エリア、津波浸水深、計算された沿岸の津波波形を表示するもので、DONETでの観測値に応じて、予測情報が毎秒更新されるシステムである⁸⁾。このシステムは、南海トラフ沿岸に沿って、深度、傾斜、マグニチュード、位置を変えて1506ケースの断層モデルから構成されるデータベースを抱え、入力される各DONET観測点からの水圧値に応じて、予測情報を作成している。地震データと水圧データそれぞれにトリガーをかけ、そのトリガー情報から断層モデルを絞り込み、予測の精度向上を図っている。

そこで、ここで採用した津波瓦礫の漂流の評価を、津波即時予測システムで予測する

津波浸水評価をつなげ、DONET による津波瓦礫予測システムとして構築し、尾鷲市に実装した（図 2-8-①-1）。

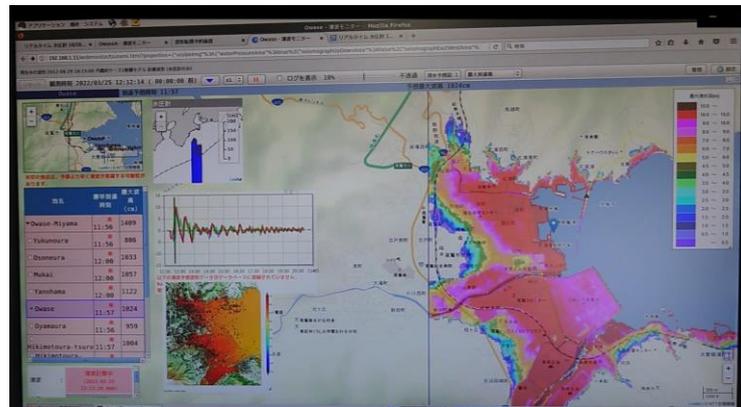


図 2-8-①-1 尾鷲市に実装した津波被害即時予測システムの画面例。

iii) 津波瓦礫の厚さ分布評価

南海トラフ巨大地震の影響を強く受ける地域からモデル地区を選定し、詳細なハザード評価とそれに対する対応策について、情報発信検討会を通じて検討していくことを目的として、モデル地区の自治体と連携し、詳細な諸情報のご提供とそれに基づいたハザード解析を進めている。当該年度では、ハザード評価を実施するモデル地区の一つである延岡市を対象として、延岡市から提供頂いた土地利用情報から、詳細な津波氾濫解析に用いる標高に建物の起伏情報を考慮した合成地形モデル⁹⁾を作成した。さらに市街地中心部を流れる河川の護岸データを実地踏査も踏まえて作成した。これらを空間分解能 10/3m の高分解能な合成地形モデルに組み込んだ。この合成地形モデルを用いて内閣府¹⁰⁾の波源断層モデルによる津波氾濫解析を実施し、従来のハザードマップからは読み取れなかった津波ハザード情報について検討した。

a) 合成地形モデルの構築

津波氾濫解析において陸上地盤高のデータは極めて重要であり、構造物の有無を含めてその氾濫過程や浸水深分布に影響を及ぼし得る。また、津波瓦礫評価においても瓦礫発生量の算出や瓦礫堆積を評価するための津波外力は最大浸水深であるため、極めて重要であるため、地形の詳細なモデル化は重要である。本業務では、モデル地区のひとつである延岡市中心市街地を対象とし、当該自治体との要望を踏まえて、中心市街地南部の浜川流域の詳細な地形モデルの構築に取り組んだ。

当該地域の地盤標高データのうち、波源から沿岸域までは内閣府¹⁰⁾から公開されている地形データを使用した。詳細な津波氾濫解析を実施する領域の空間分解能としては 10/3 m とした。この領域のうち、陸上部では国土地理院による 5 m-DEM を利用し、河川や湖沼などの水域は内閣府による 10 m-DEM を利用し、内挿補間処理を行って、10/3 m のメッシュデータを作成した。なお、全ての高さ基準面は東京湾平均海面（T.P.）である。

図 2-8-①-2 に浜川周辺における 10/3m メッシュの地盤標高モデルを示す。当該地域の特徴として、沿岸部には長浜海岸林が造成されており、当該地域の標高は 10 m

を越えている。延岡市中心市街地を流れる浜川の周辺での標高は崖岸林域と比べて低く、3 m 程度であることがわかる。浜川の河口部は長浜海岸林の南端に位置しているため、10 m かそれ以下の津波の場合、海岸は浜川河口から侵入し、浜川沿いに伝播・氾濫していくことが懸念される。また、延岡市市街地を流れる浜川の堤防天端高は内閣府のデータに存在しない。

以上を踏まえ、浜川の護岸状況について現地踏査を行い、堤防天馬高データ整備を行った。図 2-8-①-3 に浜川流域の護岸状況を示す。浜川は河口から 3 km 上流まで緩やかな勾配をもった掘り込み河川である。一部、パラペットによって左右岸の天端高を合わせた区間があるが、それ以外は兩岸の護岸は地盤高にすり合わせられていることがわかる。本業務において、浜川の堤防天端高は国土地理院基盤地図情報標高 5 m-DEM、延岡市国土基本図 2500 分の 1（測量日付：不明）の端点標高及び現地踏査を総合的に判断して設定した。河口から 1.7 km 付近（中橋、図 2-8-①-3 その 2 を参照のこと）まで一律 T.P. 2.4 m に設定した。1.7 km 付近から上流 3 km までは一律 T.P. 3.0 m に設定した。流下能力確保のため堤防天端が高くなる橋梁の前後は通常の堤防天端高と滑らかに擦り付けた（図 2-8-①-4）。

津波数値解析における底面粗度の設定としては、陸上氾濫解析を実施する 30 m メッシュから 10 m メッシュまでの粗度データは内閣府¹⁰⁾を利用した。10/3m メッシュにおいては、この 10 m メッシュを最近隣法で補間して作成した。ただし、内閣府 10 m メッシュ粗度データは 100 m メッシュ程度の粗さであるため、10/3m メッシュにそのまま補間すると川幅 20 m 程度の浜川の河道部分は住宅密集地のマニング粗度と同じ 0.040 になってしまう。このため、浜川の河道部分のマニング粗度を 0.025 に置き換えた。なお、合成地形モデルによって解析を行う場合には建物の影響を起伏地形と合成粗度係数で表現するため、市街地の建物占有率が 0 のメッシュでは 0.025 としている。浜川周辺の 10/3 m メッシュ粗度を図 2-8-①-5 に示す。

10/3m メッシュの合成地形モデルは今井・他（2013）⁹⁾を準拠して作成した。合成地形モデルは、及びメッシュ占有建物面積率を 0～1（0～100%）と盤標高に建物高さを反映した起伏地形標高データの 2 種類で構成される。また、合成地形モデルにおける粗度市街地以外では従来の粗度分類¹¹⁾、市街地では建物占有率を考慮した合成等価粗度⁹⁾で評価する。また、建物高さは建物 1 階当たり 3 m とし建物階数を掛けて求めた。建物高さを図 2-8-①-6、合成地形モデルを図 2-8-①-7 に示す。

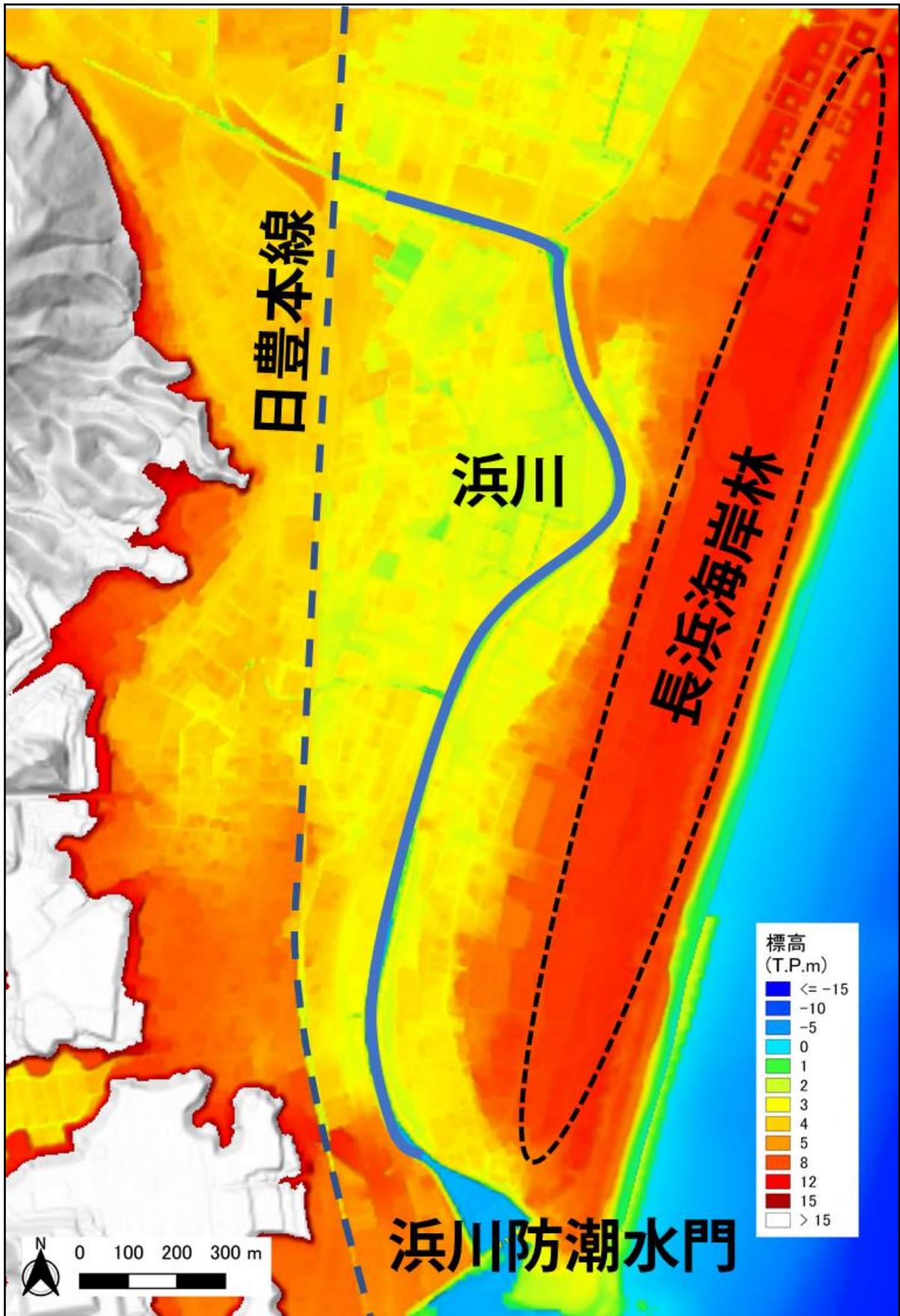


図 2-8-①-2 浜川周辺における 10/3m メッシュの地盤標高モデル。

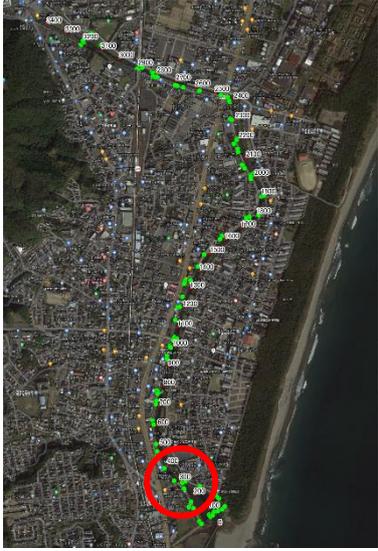
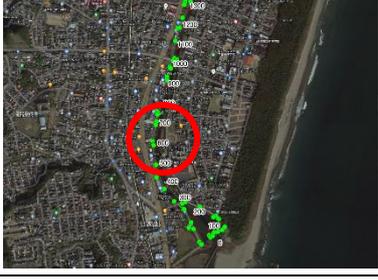
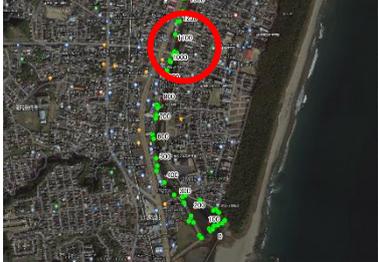
		<ul style="list-style-type: none"> ・汐止橋より下流の浜川防潮水門を望む。 ・水門はスルースゲート3門。 ・右岸にパラペット確認。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より下流の浜川防潮水門を望む。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より上流を望む。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より左岸を望む。 ・右岸より上流に向かって比高約 60 cm のパラペット確認。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・平和橋より下流を望む。 ・右岸に逆流防止弁付き樋門確認。 ・右岸より下流に向かってパラペット確認。 ・右岸にパラペット確認。 ・左右岸天端高は約 2.4 m (未舗装道路)。
		<ul style="list-style-type: none"> ・平和橋より上流を望む。 ・水門左岸側奥に宮崎放送の電波塔確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m (未舗装道路)。

図 2 - 8 - ① - 3 浜川護岸状況に関する現地踏査 (その 1)

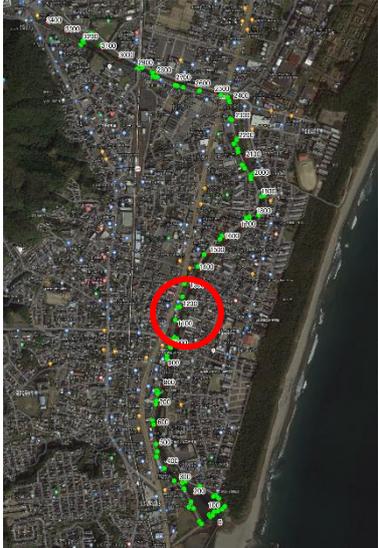
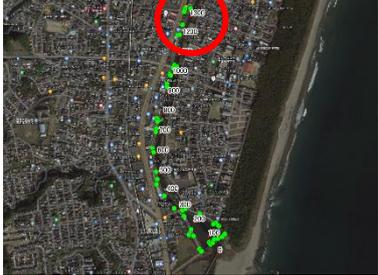
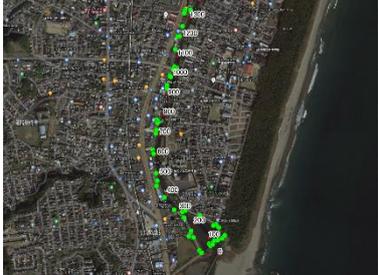
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より上流を望む。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・汐止右岸より左岸を望む。 ・左岸にテニスコート、その先に電波塔確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・支川側から見た右岸合流点。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より下流を望む。 ・右岸に支川合流点確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸の中橋より上流を望む。 ・右岸より上流に向かってパラペット確認。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より下流（左岸寄り）を望む。 ・浜橋より下流に向かってパラペット確認。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。

図 2 - 8 - ① - 3 浜川護岸状況に関する現地踏査（その 2）

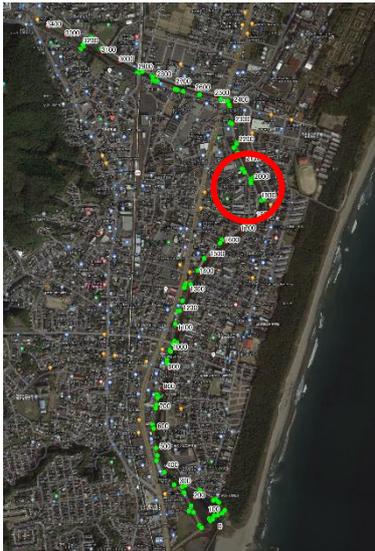
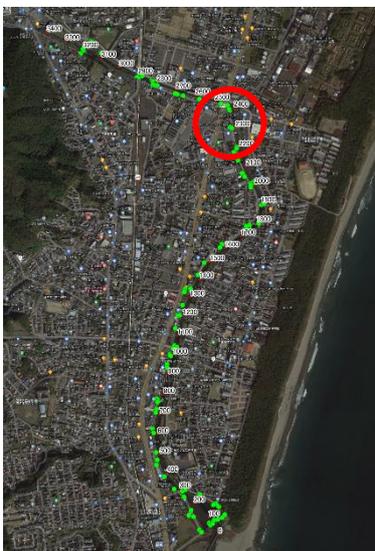
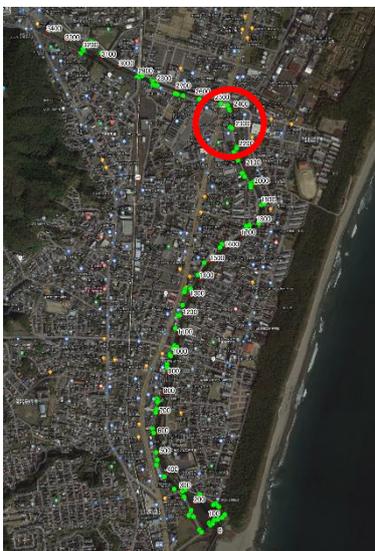
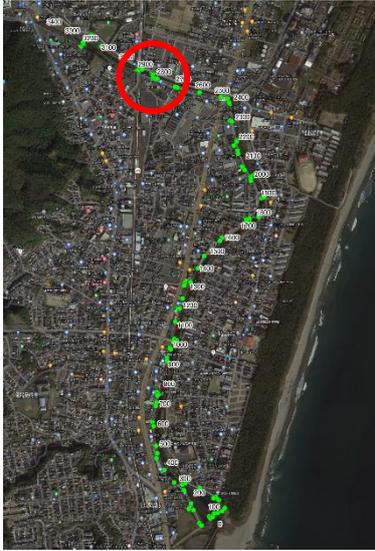
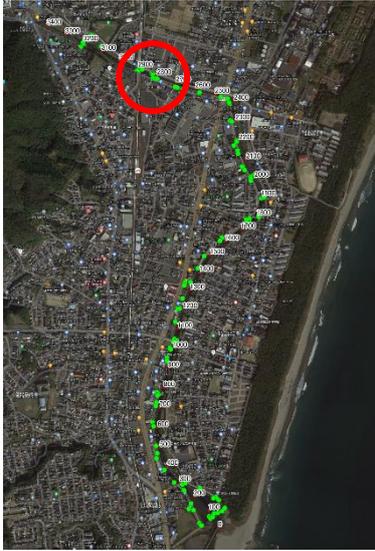
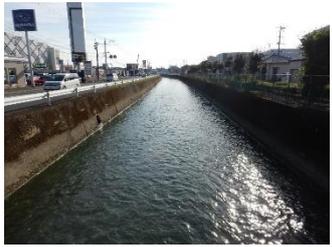
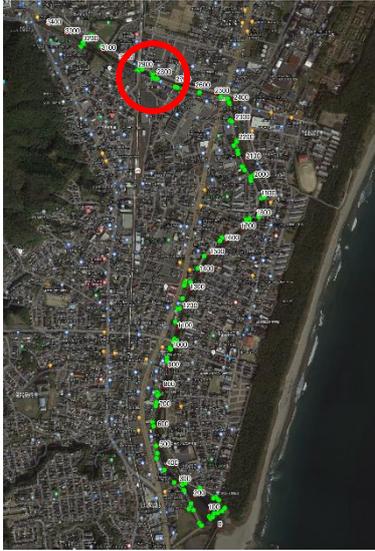
		<ul style="list-style-type: none"> ・浜橋より上流を望む。 ・右岸に浜川 8 号樋門（逆流防止弁付き）確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 2.4 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸の堤内地水路より下流を望む。 ・右岸に浜川 8 号樋門（逆流防止弁付き）確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・右岸側宅地地盤は堤防天端より 1m 程度低い。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・右岸より上流を望む。 ・向こう側に旭化成の工場敷地確認。 ・100m 上流に浜川 6 号樋門（2 連スルースゲート）確認。 ・100m 上流右岸に浜川 7 号樋門（スルースゲート）確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は第一浜橋に向かって約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・第一浜橋より上流を望む。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・竹下橋より下流を望む。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・竹下橋より上流を望む。 ・上流に日豊本線鉄道橋確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。

図 2 - 8 - ① - 3 浜川護岸状況に関する現地踏査（その 3）

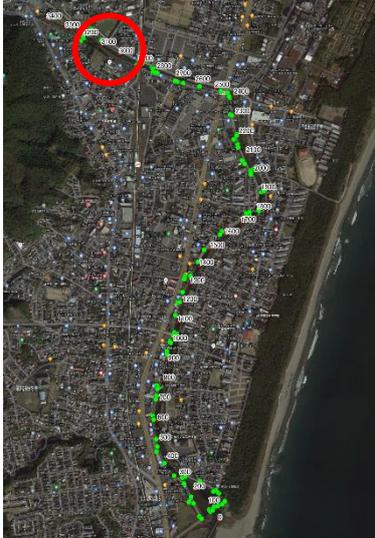
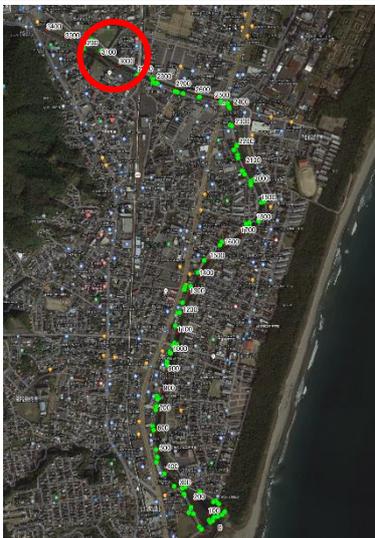
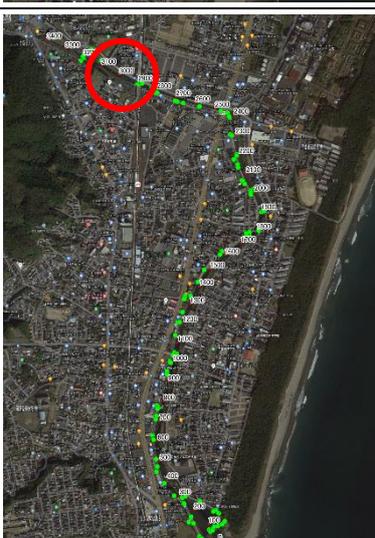
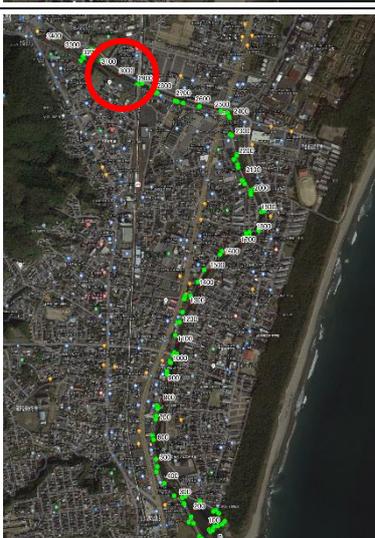
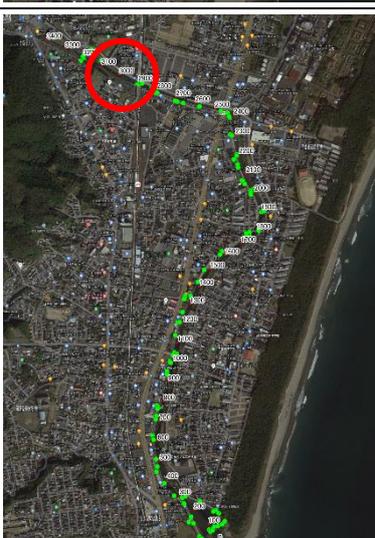
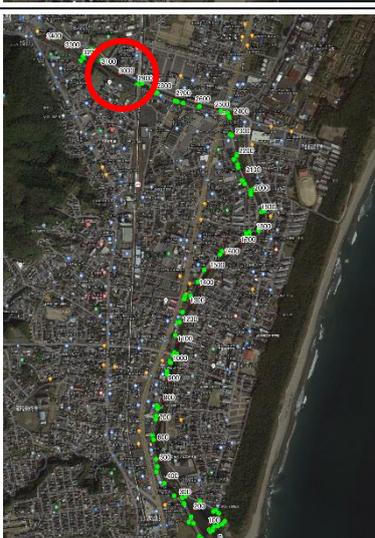
		<ul style="list-style-type: none"> ・左岸より右岸を望む。 ・50 cm 程度のせき確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・旭化成専用線 2 号踏切より上流を望む。 ・左右岸合流水路のせき（スルースゲート）確認。 ・左右岸にパラペットなし。 ・左右岸天端高は約 3.0 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・旭化成専用線 4 号踏切工場敷地を望む。 ・に合流する水路が専用線に沿って工場敷地に入る。
		<ul style="list-style-type: none"> ・共栄橋より上流を望む。 ・浜川 0～右岸側に舗装盛土確認。 ・右岸にパラペット確認。 ・盛土高は約 4.8 m。
		<ul style="list-style-type: none"> ・旭化成専用線 4 号踏切より約 400m 南東の左岸側。 ・浜川 2k900～3k100 左岸側に舗装盛土確認。 ・右岸にパラペット確認。 ・盛土高は約 4.8 m。
		

図 2 - 8 - ① - 3 浜川護岸状況に関する現地踏査（その 4）

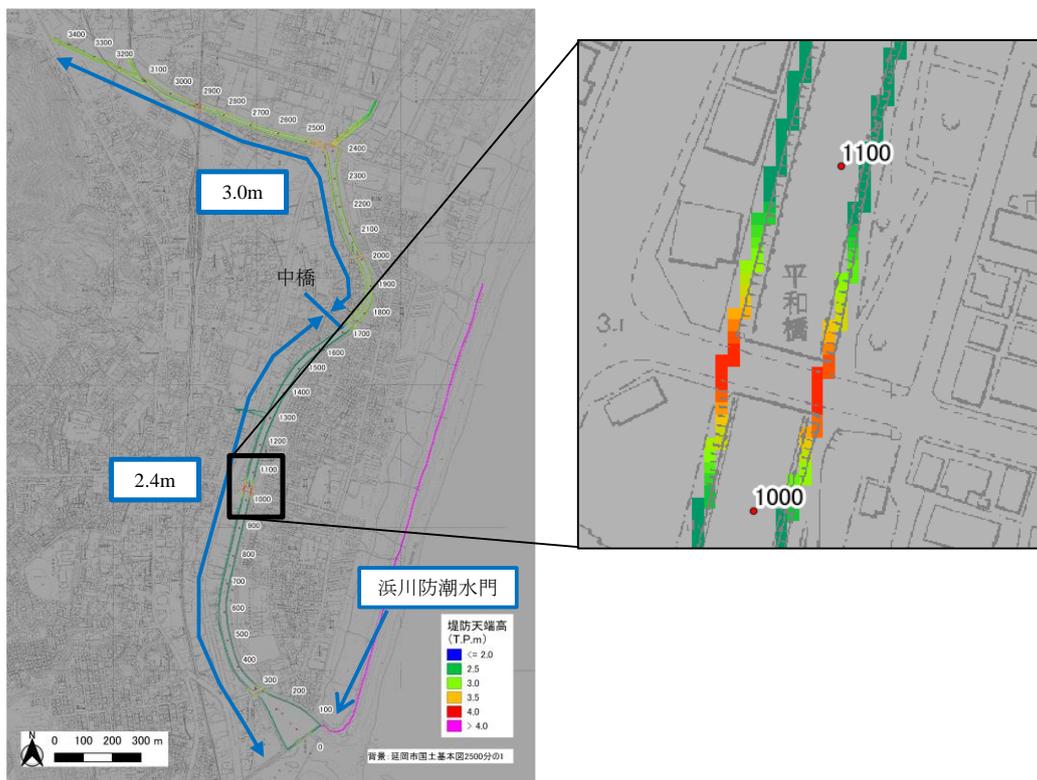


図 2 - 8 - ① - 4 浜川における堤防天端高の設定例

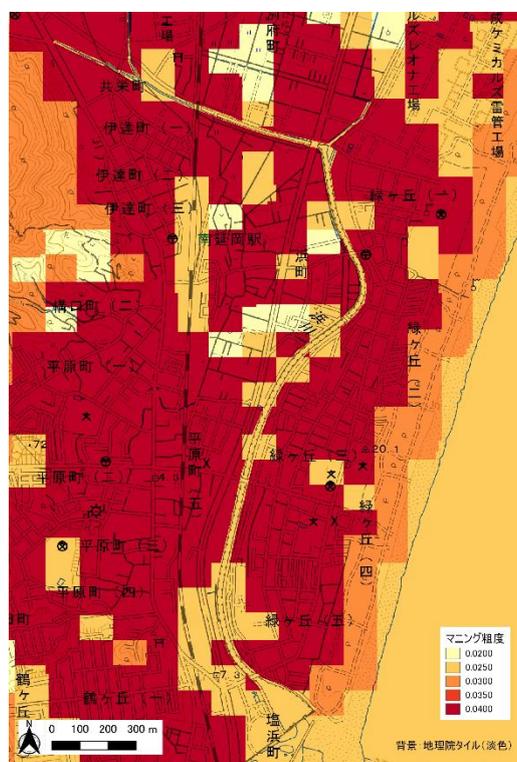


図 2 - 8 - ① - 5 浜川周辺の 10/3m メッシュの粗度係数分布

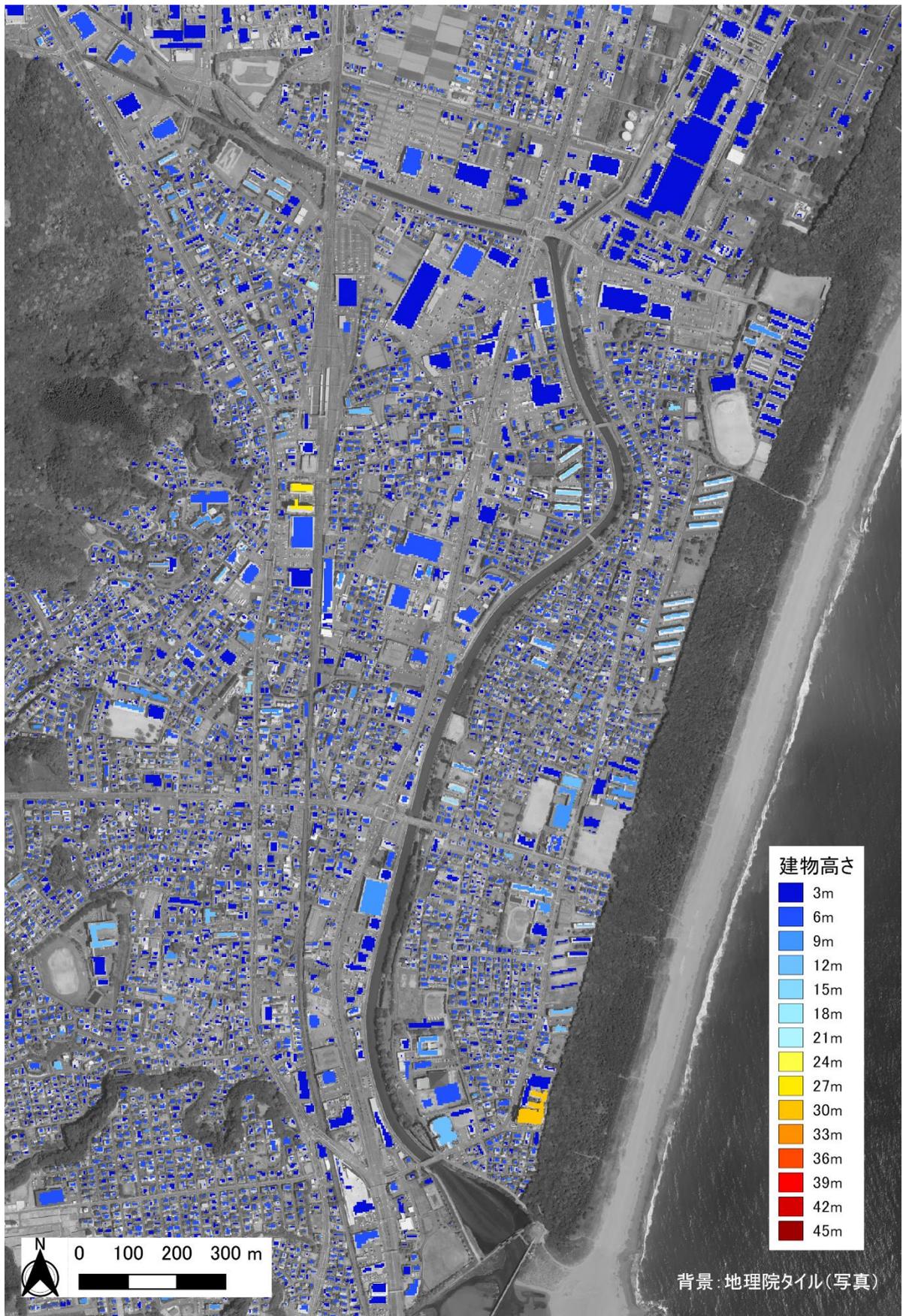
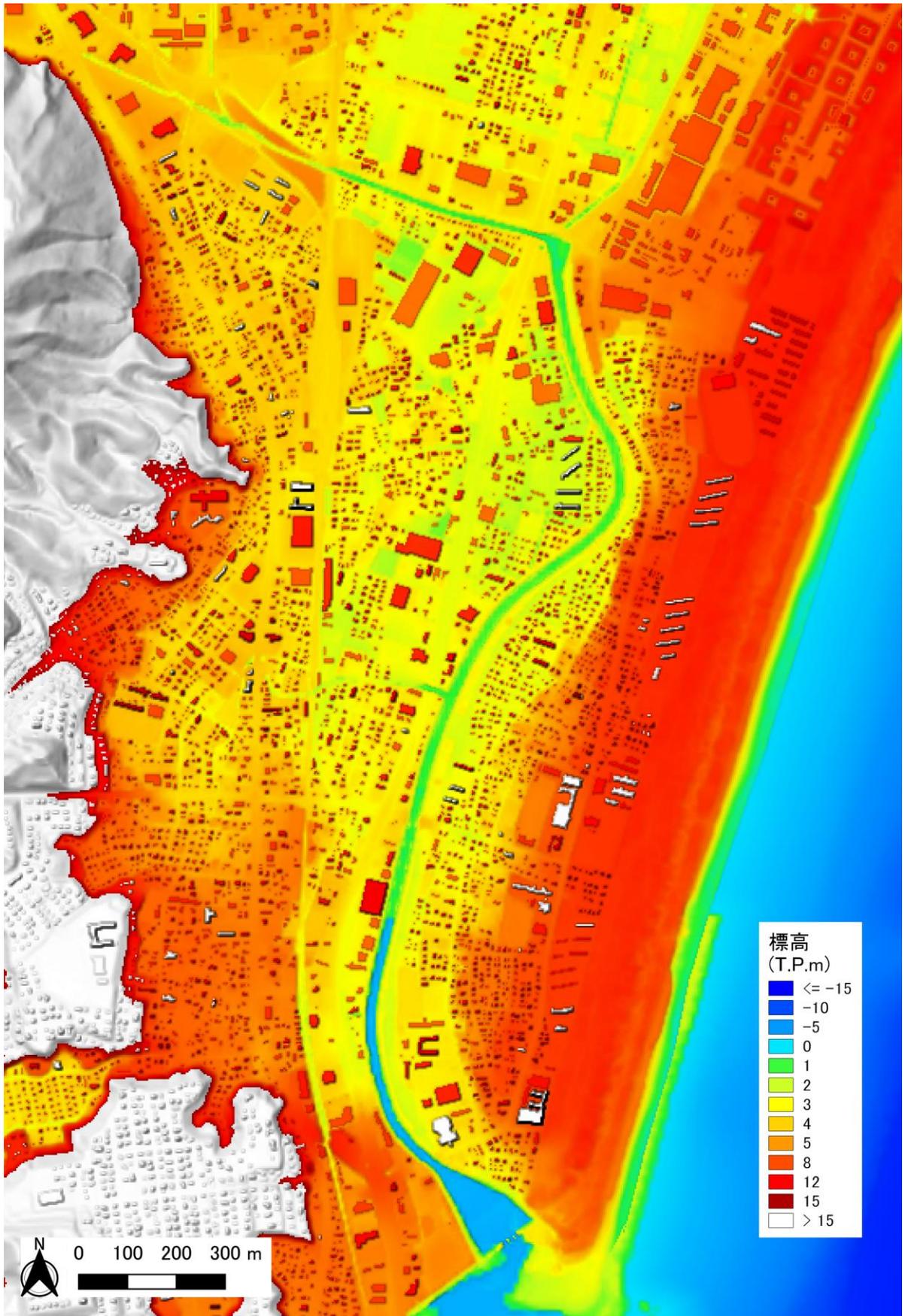


図 2 - 8 - ① - 6 浜川周辺の 10/3m メッシュ



(a) 浜川周辺の 10/3m メッシュ 建物占有率
 図 2-8-①-7 合成地形モデル



(b) 浜川周辺の 10/3m メッシュ起伏地形標高
 図 2-8-①-7 合成地形モデル

b) 合成地形モデルによる津波氾濫解析

土地利用情報を利用して構築した合成地形モデルを用いて延岡市における津波氾濫解析を行った。解析に用いた計算領域を図 2-8-①-8 に示す。計算領域の詳細については表 2-8-①-1 に示すとおりであり、千葉県から九州の太平洋沿岸を含む空間分解能 810 m の大領域から延岡市周辺の 10/3 m まで、段階的にネスティング処理を行っている。

波源断層モデルを図 2-8-①-9 に示す。本業務では内閣府モデルの Case 4 と Case 11 を用いた。いずれの波源断層モデルも四国以西に大すべり域および超大すべり域が存在するモデルであり、Case 4 は四国沖に大すべり域と超大すべり域が存在するモデル、Case 11 は、室戸岬沖と日向灘沖に大すべり域と超大すべり域が存在するモデルである。

津波氾濫解析は、非線形長波理論に基づく平面二次元計算モデル¹²⁾を用い、波源域を含む沖合から沿岸遡上域までの計算を本モデルで実施した。地形データの格子形状は正方格子、座標系は世界測地系の平面直角座標第 2 系とした。津波数値計算諸元については表 2-8-①-1 を参照されたい。

10/3m メッシュの詳細領域では、粗度係数による摩擦抵抗のほかに、合成地形モデル⁹⁾による氾濫流評価を行った。合成地形モデルの場合、運動方程式の摩擦項をマンシングの粗度係数から式(1)の合成等価粗度係数 (n_{syn}) に置き換えて計算を行った。

$$n_{syn} = \sqrt{\frac{100-\theta}{100} n_0^2 + \frac{\theta}{100} \frac{C_D}{2gk} D^{4/3}} \dots \dots \dots (1)$$

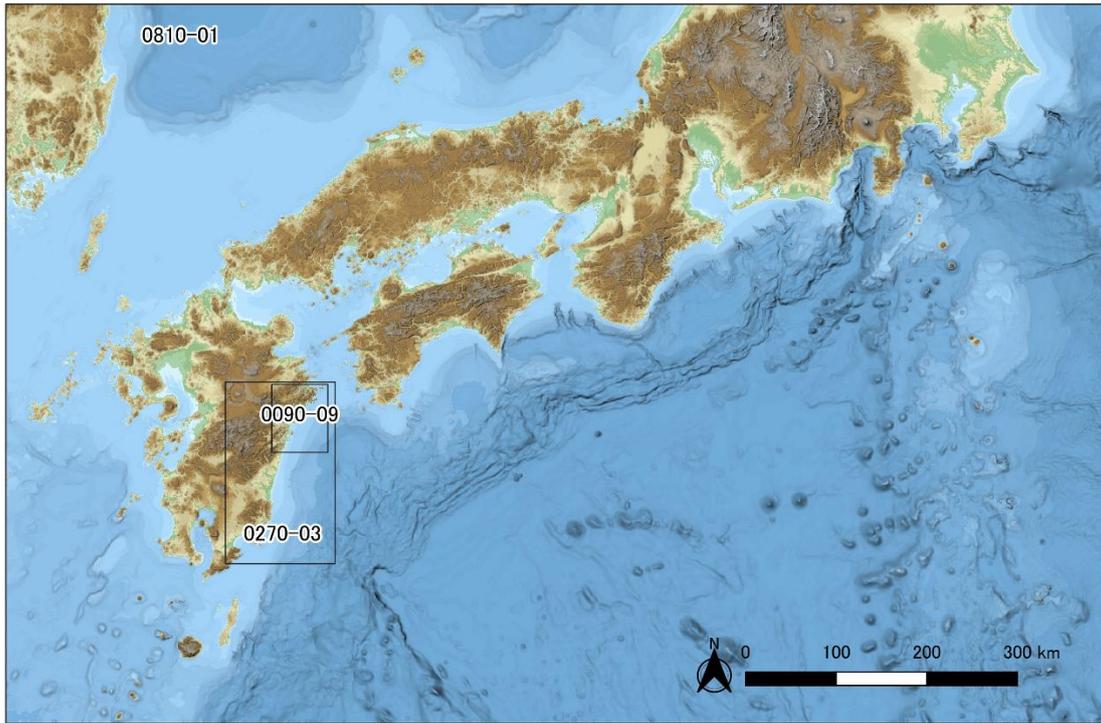
ここで、 θ : 単位計算格子における建物占有率、 n_0 : マンシングの粗度係数 (=0.025)、 k : 建物幅は建物占有率の平方根、 C_D : 式(3)で換算される建物抗力係数 (=0.3)、 D : 全水深、 g : 重力加速度である。

図 2-8-①-10 に、各モデルによる最大浸水深分布を示す。(a)は Case 4 の波源断層モデル、(b)は Case 11 の波源断層モデルによる計算結果である。Case 4 の場合、沿岸津波高は 10 m を越えることがないため、長浜海岸林域を越流せず、海岸林域北部の大瀬川河口、南部の浜川河口を含む低平地からの流入により市街地氾濫が生じていることがわかる。最大浸水深分布は一般的な津波ハザードマップとして採用されることが多い。両モデルともに最大浸水深分布の傾向はほぼ同様であることがわかる。このことから最大浸水深分布については実用的に利用されている粗度モデルでも十分な解析結果が得られることを示している。一方、より現実的な地形情報を考慮している合成地形モデルでは街路に沿って浸水深が増加する傾向にあることや、浸水境界に若干の差異があり、合成地形モデルは建物を含めた地形起伏に沿った浸水境界となるために浸水域が若干縮小していることがわかる。このことから、安全側の津波ハザード情報としては、粗度モデルによる解析結果の方が適していることがわかる。

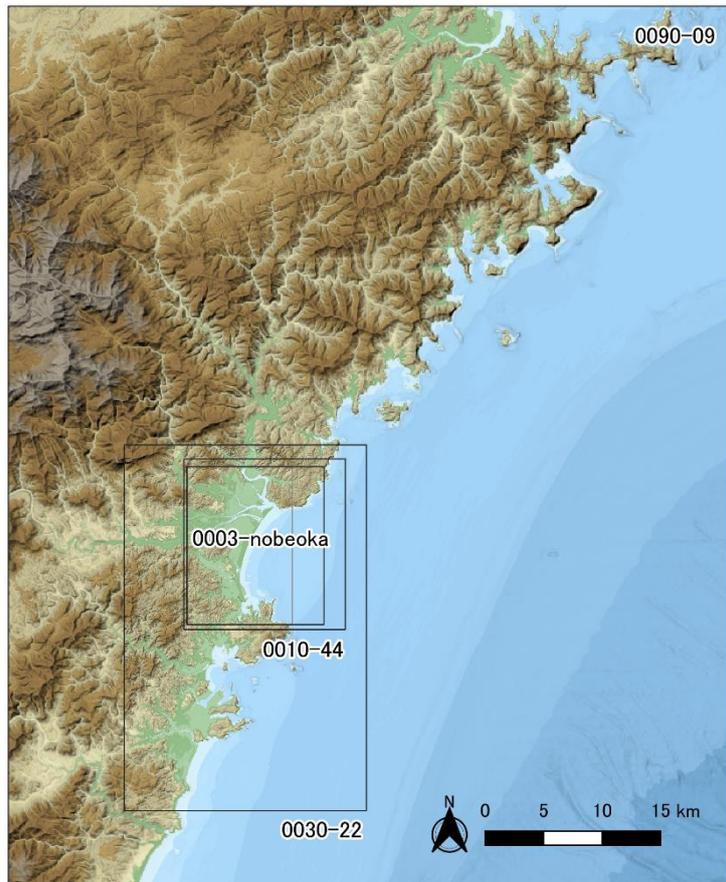
図 2-8-①-11 に粗度モデルと合成地形モデルによる津波氾濫過程の比較を示す。この比較の波源断層モデルは Case 11 である。両モデルともに地震発生から 30 分後に大瀬川河口部や浜川河口部の低平地から津波氾濫が開始していることがわかる。35 分後には、南北の河口部低平地から流入した津波が市街地に氾濫している様子が見られる。また、粗度モデルでは浜川河口から流入した津波の流速ベクトルは南から北にほぼ一様な方向となっているが、合成地形モデルでは、建物起伏の影響で流速ベクトルに若干の

乱れが生じていることがわかる。38分後には、粗度モデルでは南北の河口低平地から流入した津波が市街地で衝突しているが合成地形モデルではまだ衝突していないことがわかる。50分後を見ると津波浸水域は粗度モデルの方がより広がっていることが確認できる。また、津波はより通水能の高い幅員の広い道路に沿って氾濫していることも確認できる。このことから、合成地形モデルによる氾濫解析では建物による浸水過程の遅延効果や浸水の遮蔽効果を確認することができる。このような効果は1時間30分後や2時間30分後の浸水状況からも確認できる。このような結果から、合成地形モデルの氾濫解析は詳細な浸水過程を表現できるが、浸水過程の遅延など、ハザード情報としてはやや危険側の評価となる傾向にある。一方で、建物による浸水の遮蔽効果は、津波漂流物の拡散傾向に大きな影響を与え得る。例えば、流束強度に対応して漂流物拡散程度が変化するため、漂流物集積箇所を絞り込める可能性がある。

津波瓦礫評価を行う際、津波浸水深分布と建物情報が必要であるが、延岡市中心市街地については、すでに収集整理した土地利用情報を利活用することで検討が可能となる。次年度以降に津波火災の燃え草となる木造建物の津波瓦礫堆積評価を行うとともに、津波火災の火種となり得る自動車や船舶の漂流解析に合成地形モデルによる氾濫解析結果を利用することで、より現実的な津波ハザード評価を行うことができる。

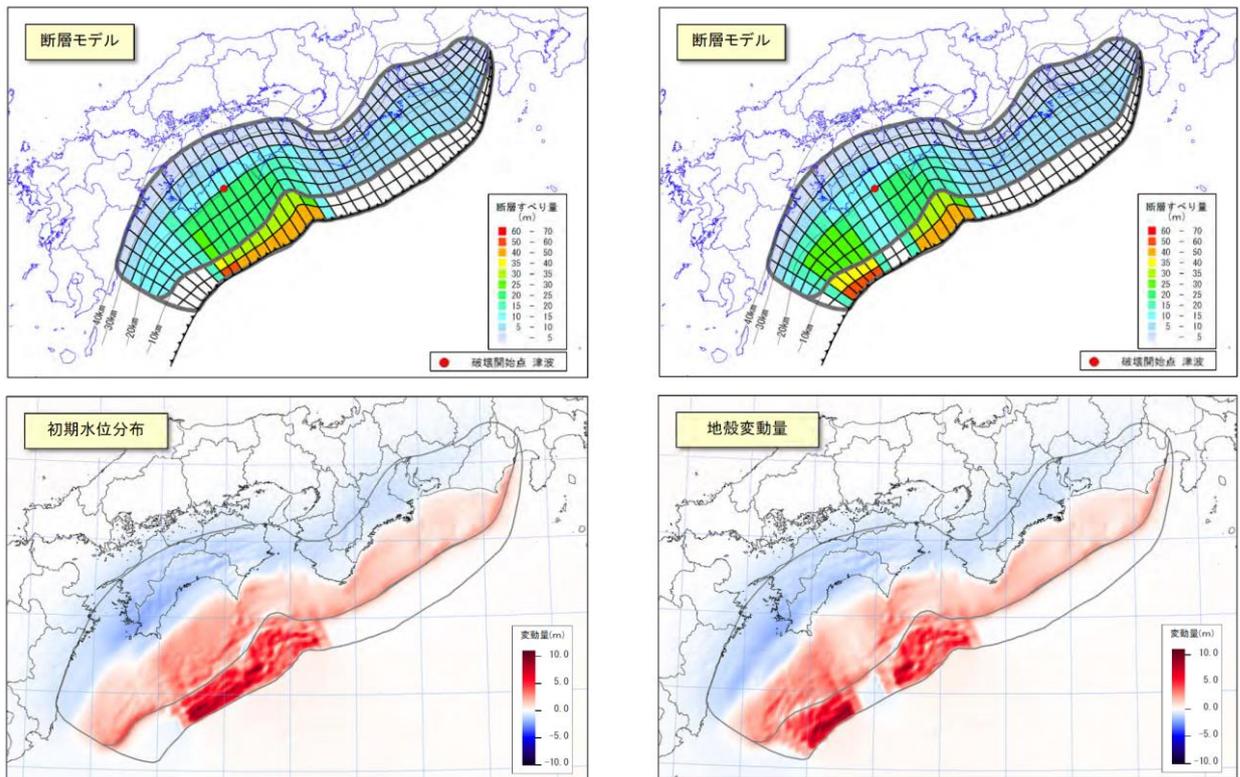


(a) 810 m～90 m メッシュ領域



(b) 90 m～10/3 mメッシュ領域

図 2 - 8 - ① - 8 沿岸域ネスティンググリッド接続図



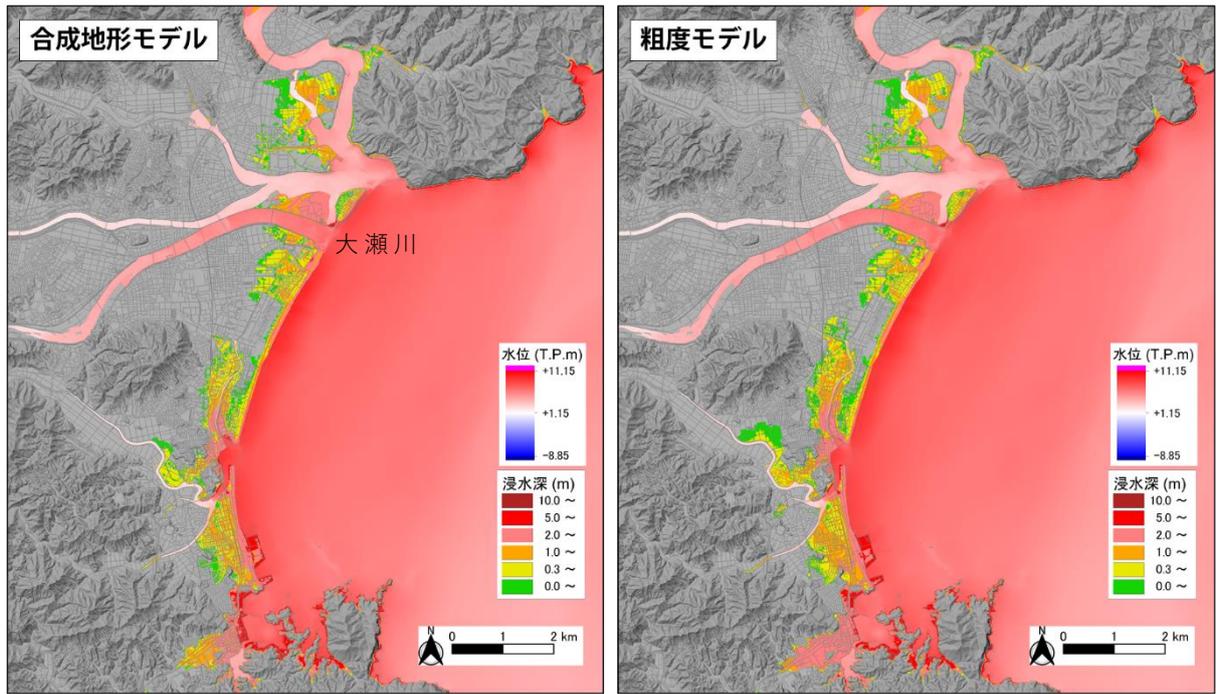
(a) 内閣府モデル Case 4

(b) 内閣府モデル Case 11

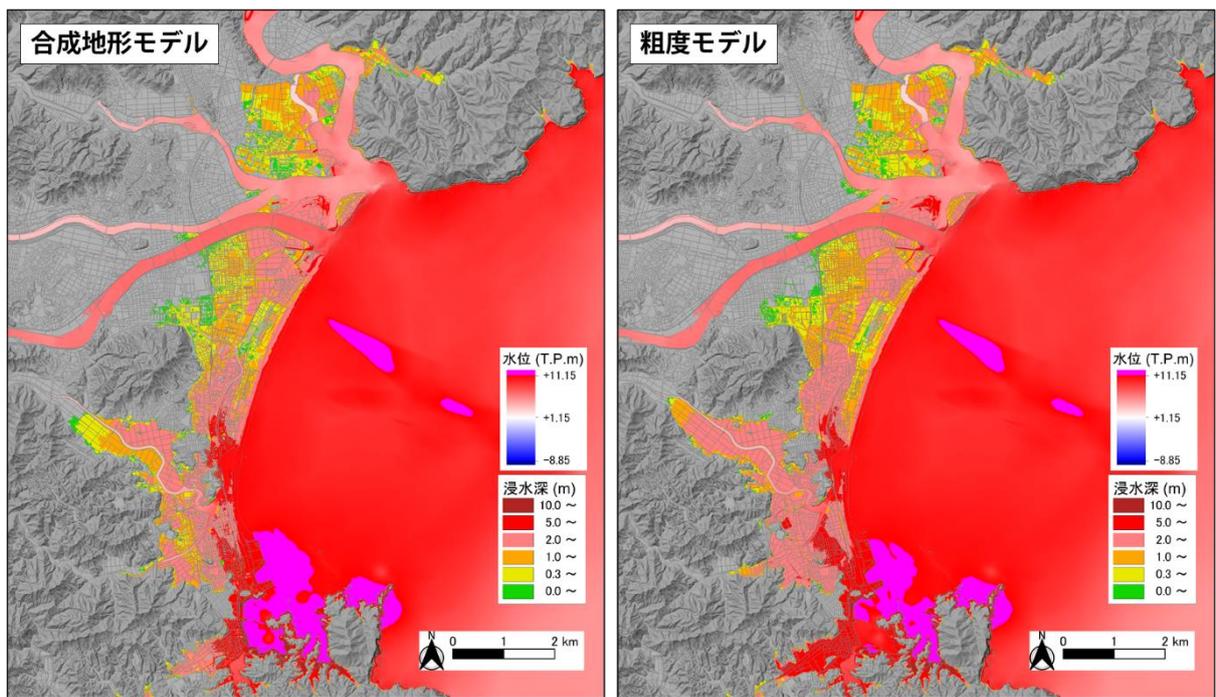
図 2-8-①-9 波源断層モデルの例

表 2-8-①-1 津波数値計算条件

項目	内容
津波氾濫解析モデル	非線形長波理論に基づく平面二次元計算モデル ¹²⁾
津波断層モデル	<ul style="list-style-type: none"> 内閣府モデル Case 4：四国沖に大すべり域＋超大すべり域 内閣府モデル Case 11：室戸岬沖と日向灘沖に大すべり域＋超大すべり域
地形モデル	延岡市を 10/3m メッシュ詳細領域としたネスティング地形 空間格子サイズ (m)：810→270→90→30→10→10/3
粗度モデル	<ul style="list-style-type: none"> 合成地形モデル（抗力係数 Cd=0.3、建物占有率 99%以上は起伏地形） マニング粗度モデル（内閣府粗度データを使用）
構造物モデル	メッシュ境界辺に与えた幅の無い堤防天端高モデル （越流時は本間越流公式を適用）
初期潮位	T.P.+1.15 m（宮崎沿岸の朔望平均満潮位）
計算時間間隔	最小格子で 0.05 秒
再現計算時間	地震発生から 3 時間
境界条件	沖側最外領域では自由透過
水門等	浜川防潮水門：開放状態

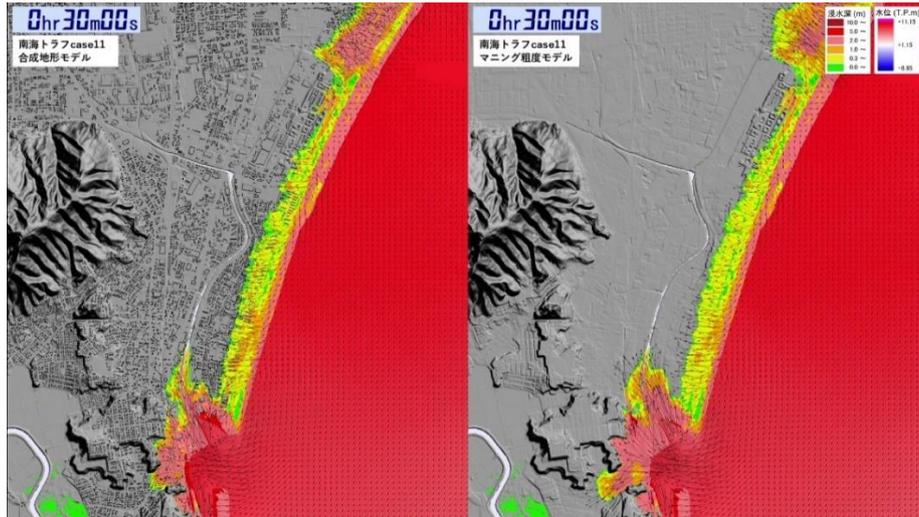


(a) Case 4

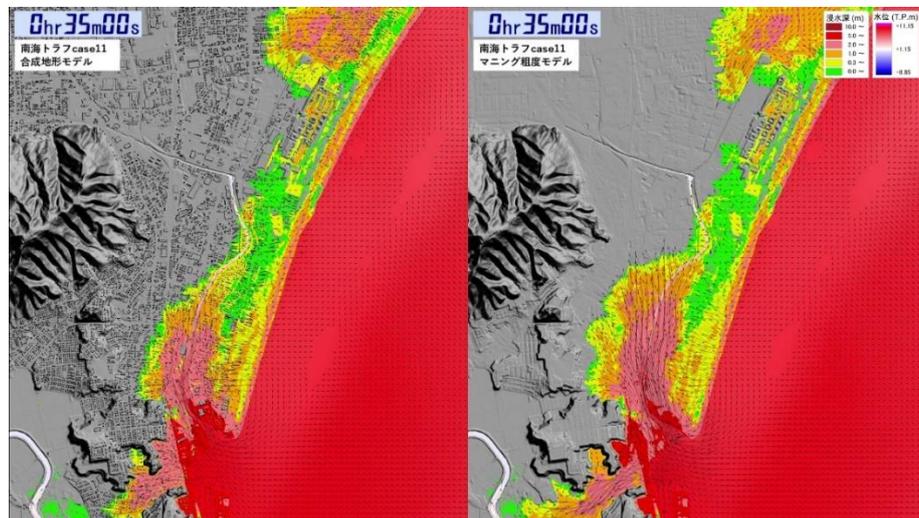


(b) Case 11

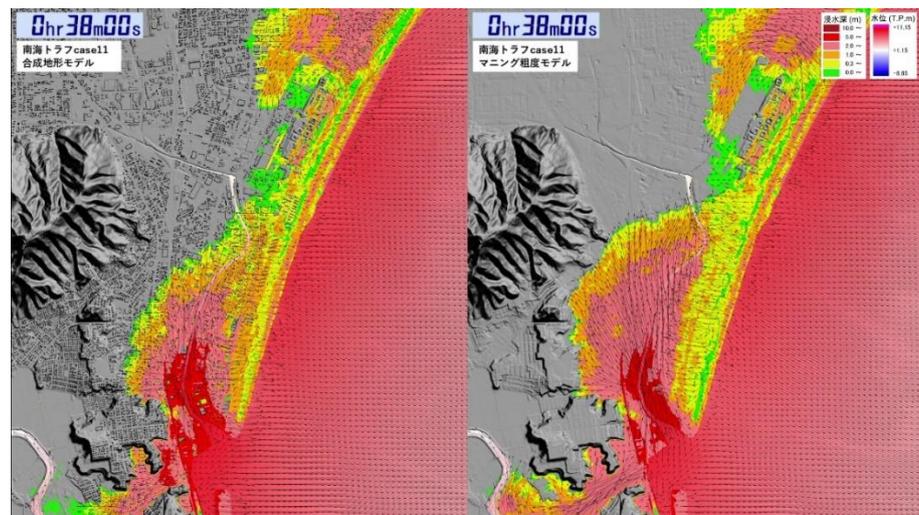
図 2 - 8 - ① - 10 延岡市における最大浸水深分布の比較。左図は合成地形モデル、右図は粗度モデルによる計算結果を示している。



(a) 地震発生から 30 分後

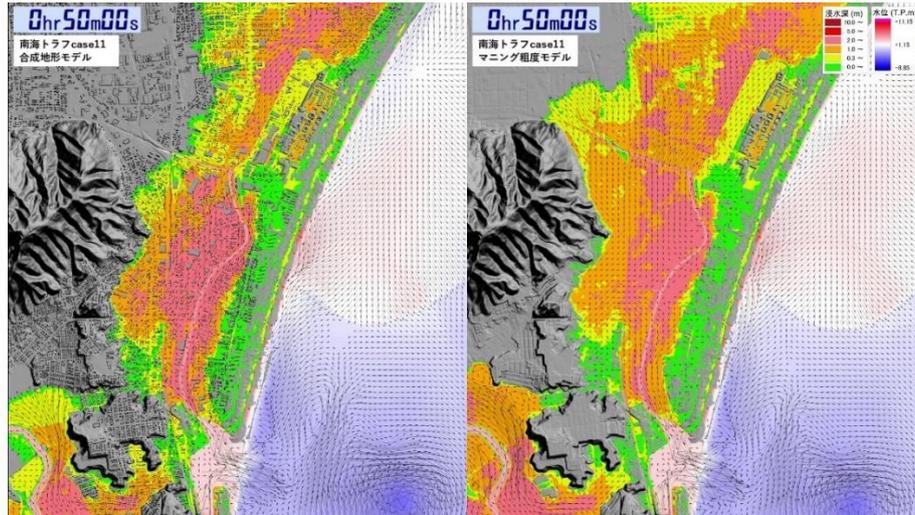


(b) 地震発生から 35 分後

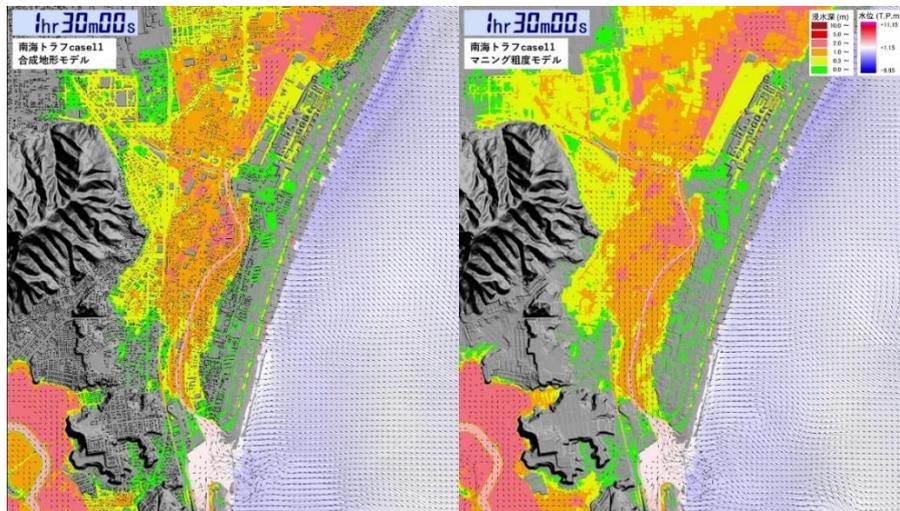


(c) 地震発生から 38 分後

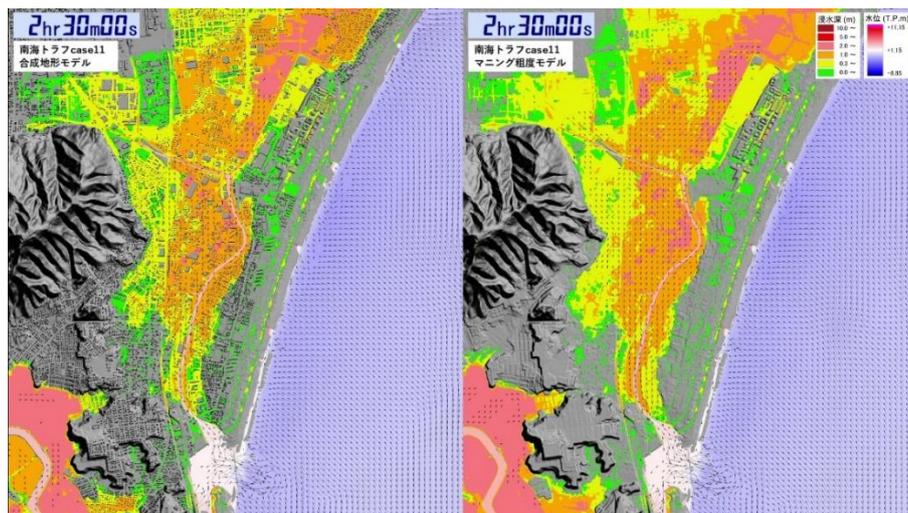
図 2-8-①-11 津波氾濫過程の比較。左図は合成地形モデル、右図は粗度モデルを示している。



(d) 地震発生から 50 分後



(e) 地震発生から 1 時間 30 分後



(f) 地震発生から 2 時間 30 分後

図 2-8-①-11 津波氾濫過程の比較。左図は合成地形モデル、右図は粗度モデルを示している。

iv) 軟弱地盤上に立地する河川堤防の耐震性再評価

本業務では、高知県四万十市を流れる渡川水系の一級河川である後川と徳島県を横断するように流れる一級河川である那賀川を対象として、これらの河川護岸周辺のボーリングデータの収集を行い、地震応答解析において十分なデータが入手できた那賀川において検討を行った。那賀川下流域の河川堤防を対象に地震応答解析を実施し、河川堤防の耐震性再評価を行った。那賀川下流域は典型的な三角州地形であり、広域の軟弱地盤地帯である。南海トラフ地震の震源域とも近く、地震発生時には甚大な被害が危惧される。実際、図2-8-①-12 および図2-8-①-13 で示すハザードマップを見ると、南海トラフ地震に対して、河川下流域全体で予想される震度が6強以上と大きく、液状化危険度も極めて高い。なお、同地域では既に耐震性評価が実施され、その結果に基づいた耐震対策工事が実施されている。しかし、現行の河川堤防の耐震性照査においては、粘性土地盤の地震被害は考慮されていない／生じないと考えられていること、入力地震動の卓越周波数の違いによる地盤との共振の影響が十分には考えられていないといった課題も存在する。そこで、那賀川地盤に堆積する軟弱粘性土地盤も含めて弾塑性モデル化したうえで、卓越周波数の異なる想定南海トラフ地震を入力し、被害の見逃しや過小評価がなかったかを確認した。用いた解析コードは、砂から粘土、両者の混在した中間土から特殊土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式である SYS カムクレイモデル¹³⁾を搭載した水～土連成有限変形解析コード⁴⁾である。

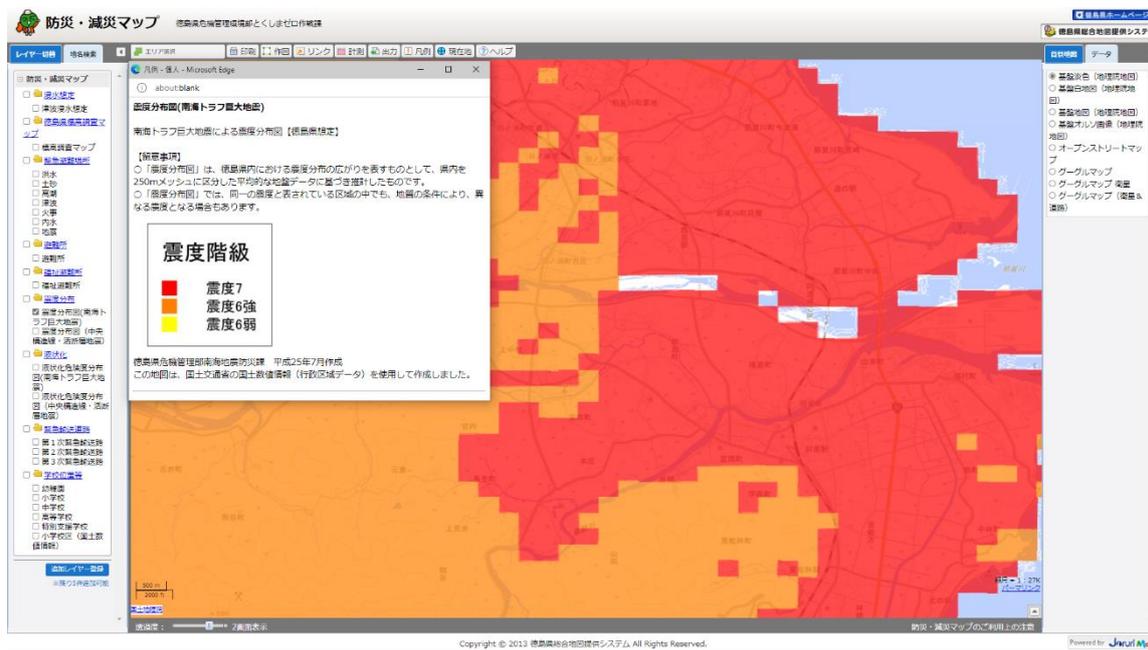


図2-8-①-12 震度分布図(南海トラフ巨大地震)¹⁴⁾

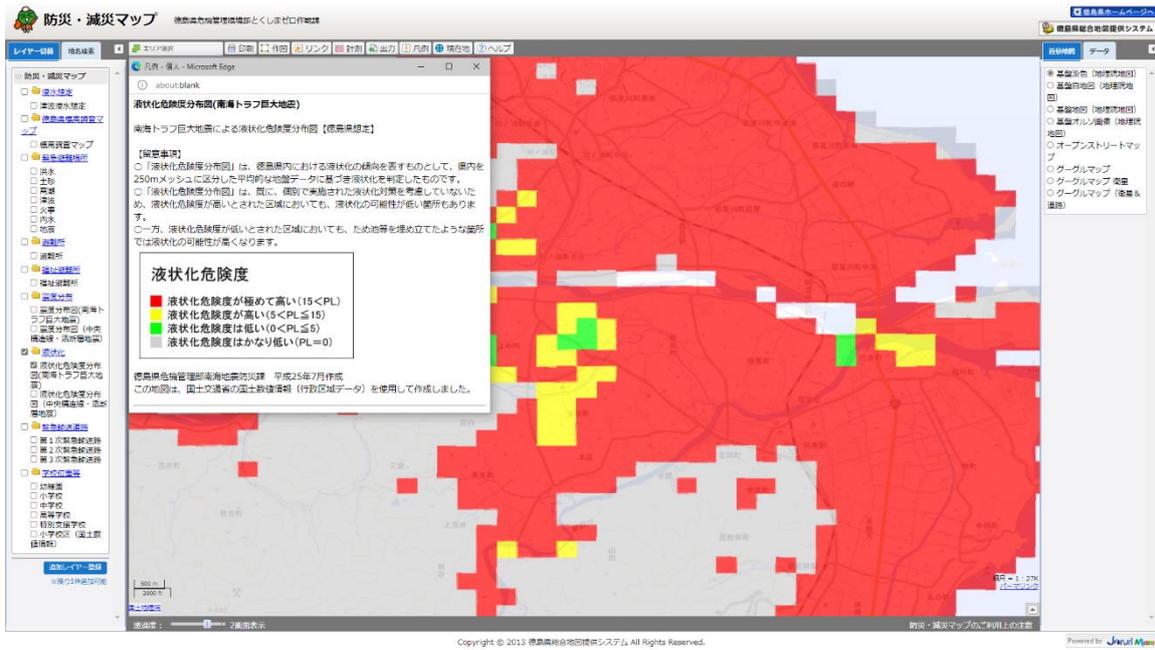


図 2-8-①-13 液状化危険度分布図（南海トラフ巨大地震）¹⁴⁾

・弾塑性モデル化

図 2-8-①-14 に那賀川の地層縦断面図を示す。縦断面図作成に用いたボーリングデータは、国土交通省那賀川河川事務所から提供いただいた。表層から埋め土層（B 層）、沖積砂層（As 層）、沖積粘土層（Ac 層）、沖積砂礫層（Ag 層）が堆積し、その下は硬質な洪積層（D 層）となっている。As 層と Ac 層は N 値の違いから 2 層に分けている。上流から下流に向かうにつれて Ac 層が厚く、逆に As 層が薄くなる。また、N 値の分布は各層ともに上流から下流に向かうほど小さくなる傾向にあり、下流域ほど軟弱であることがわかっている。実際、事前の耐震性照査では下流域において要対策区間と判定され、耐震工事が実施されている。本検討でも、Ac 層が厚く、要対策区間に認定された下流域地盤を対象とした。原位置調査の結果、B 層はせん断強度の小さい砂質土で構成されて液状化危険度が高いこと、As1 層は中密な砂質土、As2 層は比較的密な状態にある砂質土、Ac1 層は比較的硬質な粘性土、Ac2 層は圧縮性が大きく Ac1 よりも軟弱な状態にあるシルト質土であることがわかった。

これら情報をもとに作成した有限要素メッシュ図を図 2-8-①-15 に示す。地震応答解析にあたっては、盛土部を含めて土材料は飽和状態にあると仮定した。これは豪雨直後のように、地盤内の間隙が水で満たされている状態に相当する。境界条件として、両側面に単純せん断境界を設け、底面には $V_s=580$ m/s に相当する粘性境界を設けた。地震入力時は底面の全節点の水平方向に等しく地震動を入力した。また、地震中から地震後 10 年間の圧密までを一貫して解析している。

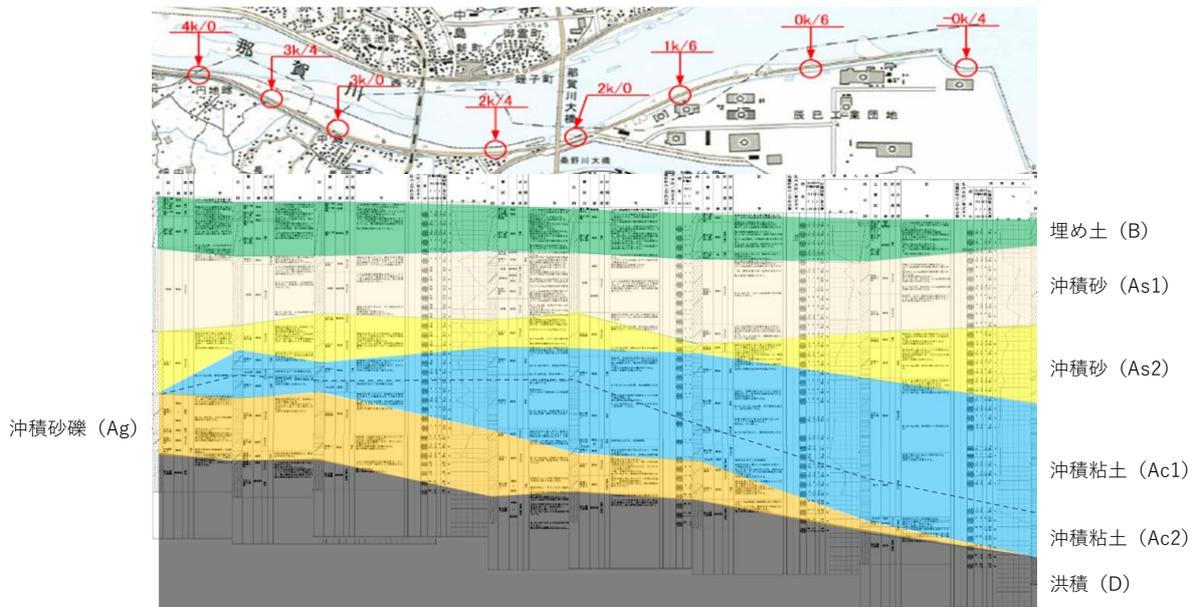


図 2 - 8 - ① - 14 地層縦断面図

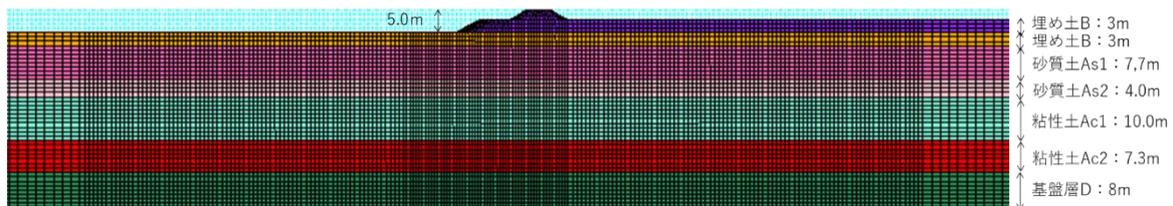


図 2 - 8 - ① - 15 解析モデル (対策前)

・入力地震動

続いて、解析に用いた 4 つの入力地震動を図 2 - 8 - ① - 16 から図 2 - 8 - ① - 19 に示す。

地震動—1 は、国土交通省国土技術政策総合研究所が公開のレベル 1 地震動（地方港湾）のうち、対象地点に近い中島港・富岡港のデータ¹⁵⁾を用いた。地震再現確率は 30 年である。他の地震動と比べて最大加速度は小さく、2 秒以下の短周期成分が卓越している。継続時間はやや長い。

地震動—2 は、内閣府の南海トラフ巨大地震モデル検討会が 2011 年に公開したデータであり、対象地点付近における想定南海トラフ地震動¹⁶⁾である。最大加速度は大きく継続時間も長い。地震動—1 と同様、2 秒以下の短周期成分が卓越している。

地震動—3 は、内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会及び首都直下地震モデル検討会が 2015 年に公開してデータであり、対象地点付近における想定地震動¹⁷⁾を用いた。この長周期地震動は高層ビルの共振被害や石油タンクのスロッシングなど、地震動の長周期成分による共振被害を対象とした耐震性照査に用いられることが多い。図を見ても、最大加速度は最も小さいが、短周期成分を含まず、2 秒以上の長周期成分が卓越している。

地震動—2 は短周期が、地震動—3 は長周期が卓越しているが、地盤の固有周期は地層厚さや堆積している土の種類・剛性によって異なり、どちらの地震動と共振しやすい

かは地盤条件に応じて異なる。そこで、地震動—4として、地震動—2と地震動—3を2～3秒の周期帯でハイブリッド合成¹⁸⁾した地震動—4を作成した。図から明らかなように、最大加速度が大きく、継続時間が長い。また、短周期から長周期まで幅広い周期帯の波を有する広帯域地震動である。

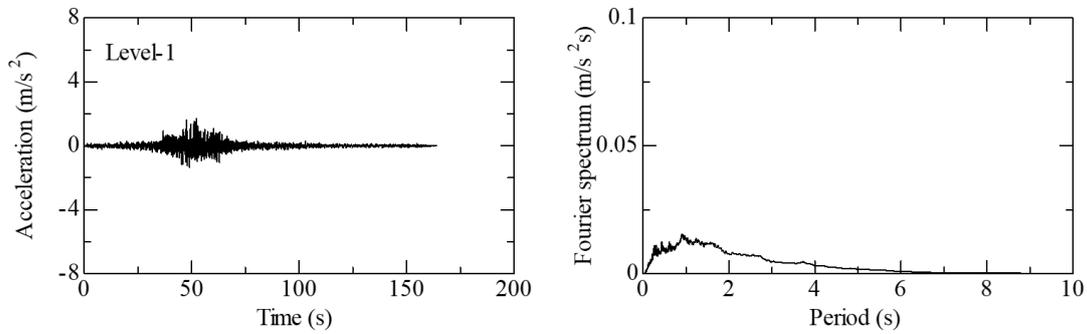


図 2 - 8 - ① - 16 入力地震動—1 (L1地震動)

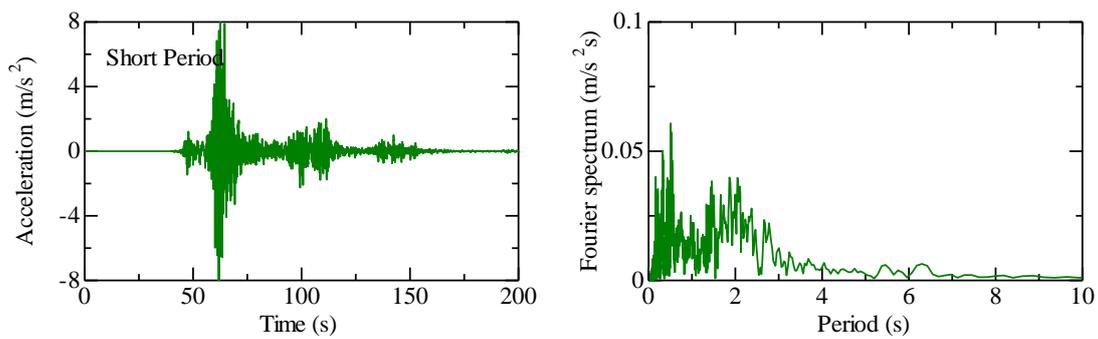


図 2 - 8 - ① - 17 入力地震動—2 (南海トラフ短周期)

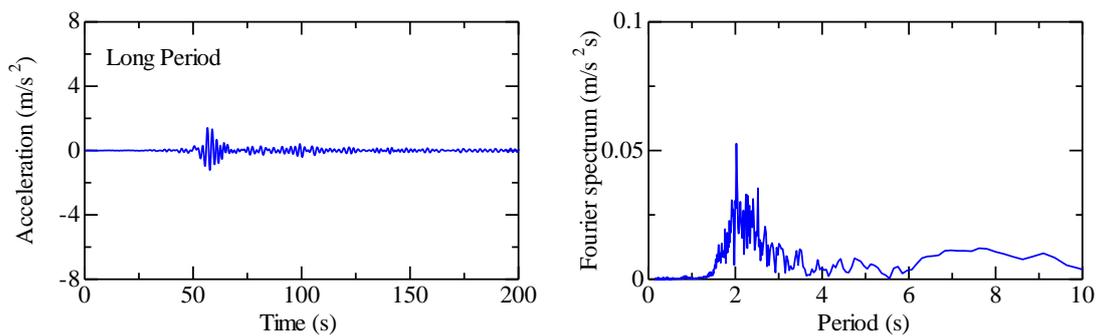


図 2 - 8 - ① - 18 入力地震動—3 (南海トラフ長周期)

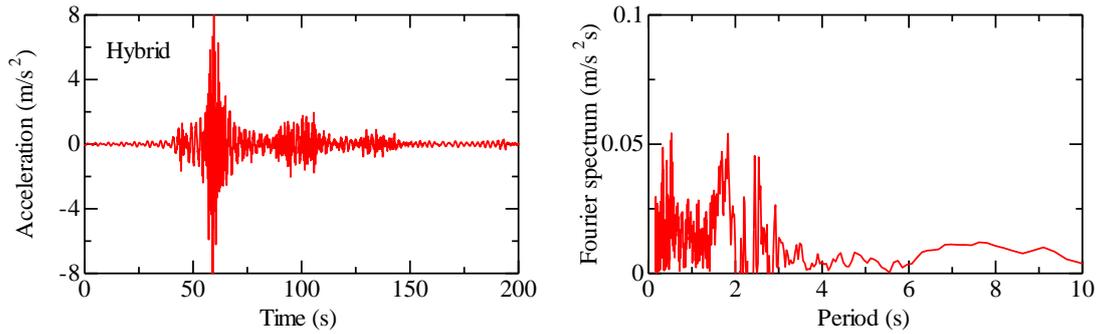


図 2 - 8 - ① - 19 入力地震動—4 (南海トラフハイブリッド)

・地震応答解析 (対策前)

図 2 - 8 - ① - 20 と図 2 - 8 - ① - 21 に地震動—1 を入力した時の地震直後 (地震動入力から 200 秒後) における平均有効応力分布と地震発生から 10 年後 (圧密終了後) のせん断ひずみ分布をそれぞれ示す。平均有効応力を見ると、表層の B 層と As1 層でほぼゼロとなっており、液状化している。図 2 - 8 - ① - 13 でも示したが、当該地域は液状化危険度が非常に高い。せん断ひずみを見ても、地震被害は液状化した B 層・As1 層の表層砂質土に集中しており、円弧すべりのような変形モードを示す。これは、入力地震動は短周期成分が支配的であるため、被害が砂質土層に集中したためである。また、詳細は後述するが、地震後の堤防高さとの照査外水位を比較したところ、レベル 1 地震動である地震動—1 に対しては、河川堤防は性能維持することを確認した。

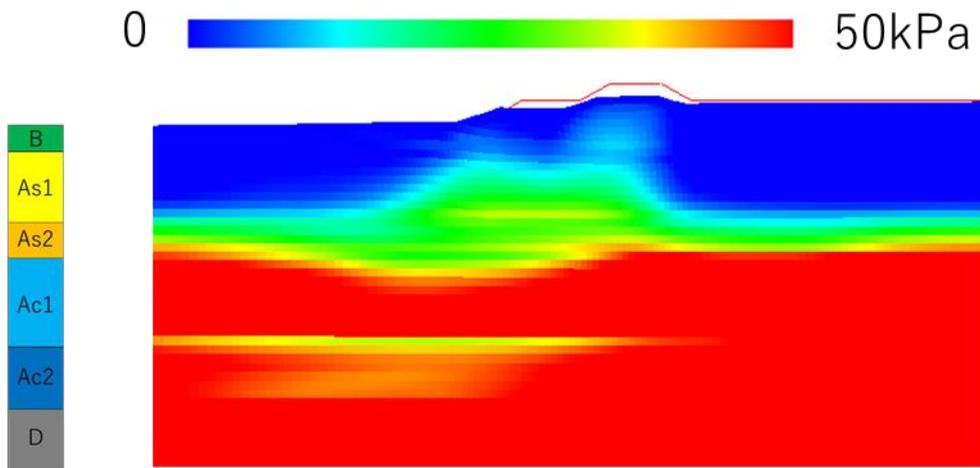


図 2 - 8 - ① - 20 平均有効応力分布 (地震動—1)

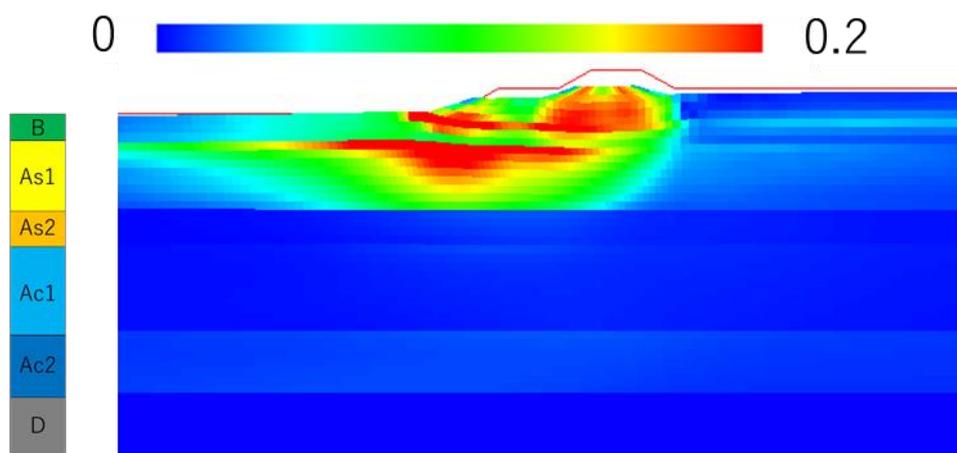


図 2 - 8 - ① - 21 せん断ひずみ分布 (地震動-1)

続いて、図 2 - 8 - ① - 22 に地震動-2 を入力した時の地震発生から 10 年後 (圧密終了後) のせん断ひずみ分布を示す。最大加速度が大きいので、地震動-1 と比べると液状化が甚大化し、被害程度 (せん断ひずみの発生) も大きい。しかし、地震動-1 と同じく短周期成分が支配的であるため、地盤被害は堤体および As1 層の表層砂質土に集中している。

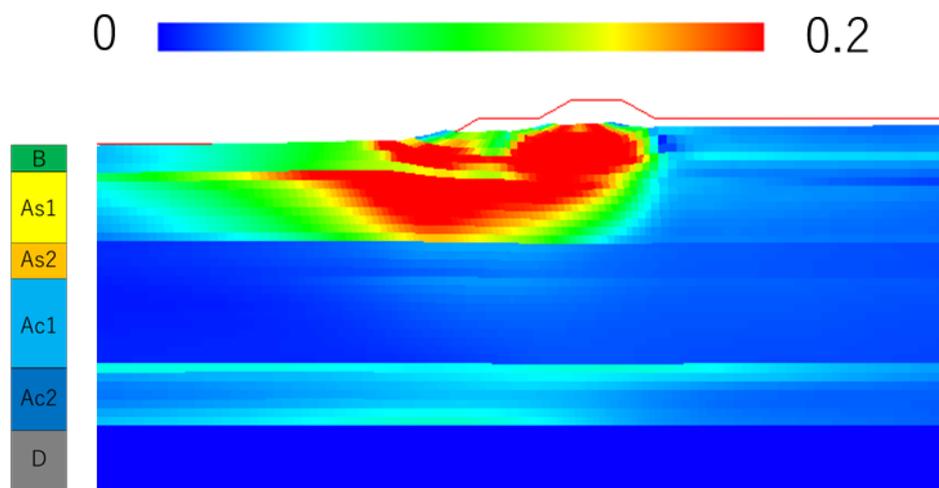


図 2 - 8 - ① - 22 せん断ひずみ分布 (地震動-2)

図 2 - 8 - ① - 23 に地震動-3 を入力した時の地震発生から 10 年後 (圧密終了後) のせん断ひずみ分布を示す。表層でのせん断ひずみ発生は小さくなっているが、深部 Ac2 層でひずみが大きくなっており、地盤の沈降や不整地化につながる恐れがある。地震動-3 は最大加速度こそ小さいものの、長周期成分が支配的である。一般的に、砂質土に比べて粘性土は剛性が小さくて固有周期が大きい。地震動-3 の長周期成分と Ac2 層が共振することで、粘性土被害に繋がったと考えられる。従来、粘性土は地震被害が

発生しない／考えなくてよいとされることが多いが、Ac2層のように軟弱な状態にある粘性土の場合、地震動—3のように長周期成分が支配的であると地震被害が発生する危険性があることを指摘している。また、透水性の小さい粘性土は、変形が長期にわたって継続する点も注意が必要である。

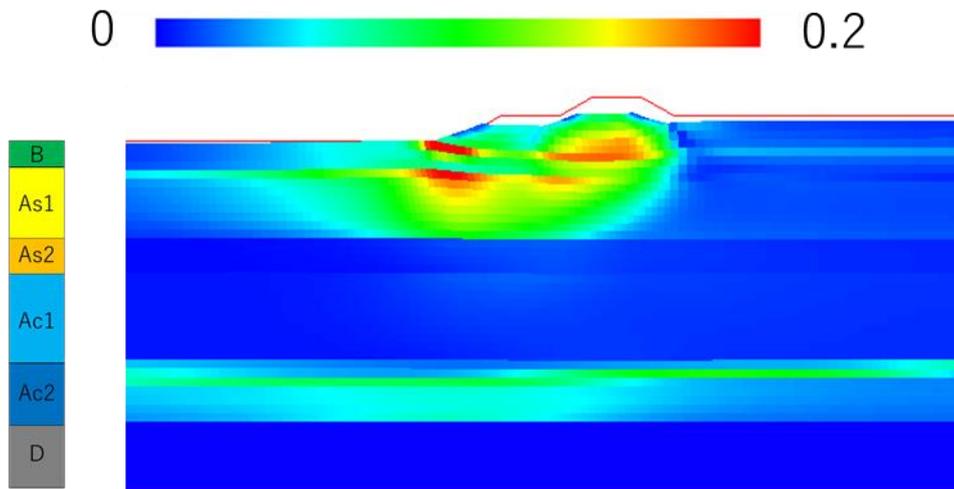


図 2-8-①-23 せん断ひずみ分布（地震動—3）

図 2-8-①-24 に地震動—4を入力した時の地震発生から 10 年後（圧密終了後）のせん断ひずみ分布を示す。表層砂質土の被害に加えて、深部粘性土でも大きな被害が発生している。入力地震動でも説明したが、地震動—4は短周期から長周期成分までを含む広帯域地震動である。そのため、地盤被害も広範囲に広がってしまった。高層ビルや石油タンクなどの固有周期の大きい構造物の耐震性照査以外の場合、一般的には地震動—2を用いた耐震性照査が考えられる。しかし本解析結果は、複雑な地層を構成する地盤において特に軟弱粘性土が堆積している場合には、従来の耐震性照査では地震被害を過小評価している危険性を示唆している。

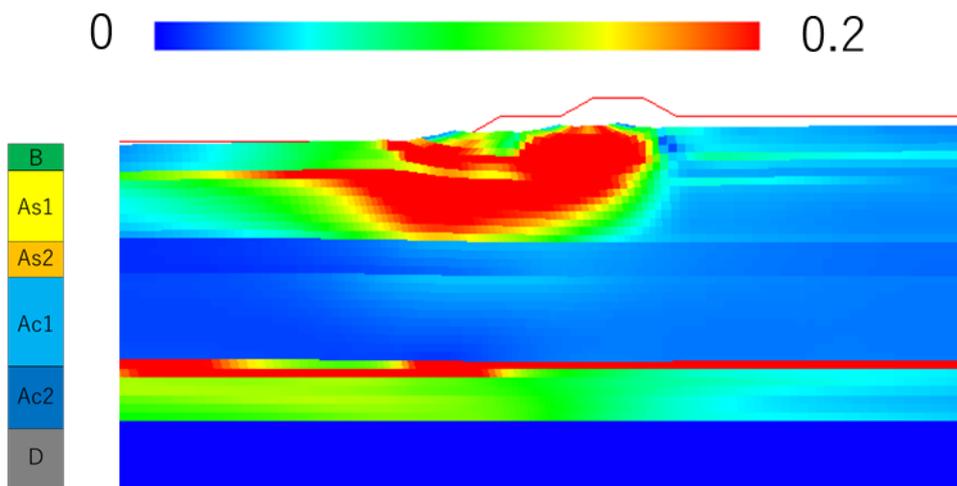


図 2-8-①-24 せん断ひずみ分布（地震動—4）

表 2-8-①-2 に天端沈下量の比較と耐震性照査をまとめて示す。最大加速度の小さい地震動-1 や地震動-3 では地震後も天端高さは照査外水位より大きく、河川堤防は健全性を保つ。しかしながら、最大加速度の大きい地震動-2 や地震動-4 では、天端高さが照査外水位よりも小さくなり、要対策と判定された。なお、解析対象地点はレベル 2 地震動に対する事前の耐震性照査でも要対策と判定されており、本解析結果と一致する。ただし、事前の耐震性照査では本解析のように粘性土がモデル化されていないことに加えて、地震動-4 のように長周期成分の影響が考慮されていない点に注意が必要である。また、表を見ると、短周期成分が支配的な地震動-1 と地震動-2 に比べて、長周期成分を有する地震動-3 や地震動-4 は地震後の沈下量が大きい。これは長周期の揺れによって軟弱粘性土が乱された影響であり、粘性土は透水性が小さいため変形が長時間継続することに起因する。このように粘性土に被害が発生する場合、長期的な経過観察が求められる点も注意しなくてはならない。

表 2-8-①-2 天端沈下量の比較と耐震性照査

	地震動-1	地震動-2	地震動-3	地震動-4
天端沈下量 (地震直後)	1.38m	2.00m	1.06m	2.22m
天端沈下量 (地震後 10 年間)	0.33m	0.50m	0.64m	0.71m
天端沈下量 (合計)	1.71m	2.50m	1.70m	2.93m
耐震性照査(※)	○	×	○	×

※ 耐震性照査は、天端高さと照査外水位の関係で判断

・地震応答解析（対策後）

現地では要対策区間に対して、図 2-8-①-25 に示すように、堤防の嵩上げに加えて、堤体法尻への静的砂杭圧入による地盤改良を行っている。地盤改良深度は 20 m (Ac1 層中央付近) までである。本解析においても、現地と同じように対策を実施し、先に要対策と判定された地震動-2 と地震動-4 を入力した。

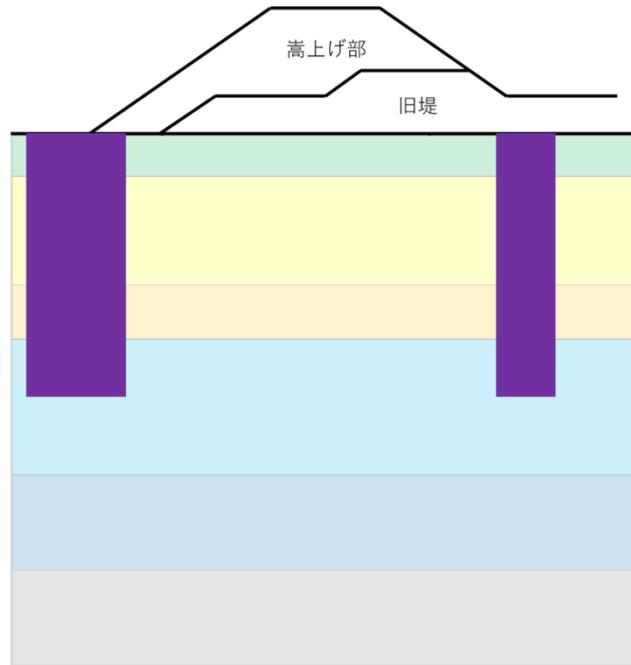


図 2 - 8 - ① - 25 セン断ひずみ分布 (地震動-4)

図 2 - 8 - ① - 26 と図 2 - 8 - ① - 27 に地震動-2 と地震動-4 を入力した時の地震発生から 10 年後 (圧密終了後) のせん断ひずみ分布を示す。地震動-2 は表層砂質土に、地震動-4 は表層に加えて深部 Ac2 層でもせん断ひずみが大きくなる点是对策前と同じである。しかし、対策前は円弧上の滑りが発生したのに対し、改良体が滑りを抑制し、堤体およびその直下以外での変形が大きく抑制されている。表 2 - 8 - ① - 3 に天端沈下量の比較と耐震性照査を示す。対策によって、地震動-2 は地震後も天端高さは照査外水位より大きく、河川堤防は健全性を保つようになった。地震動-4 は、天端高さと照査外水位がほぼ等しい結果となった。両者の差は地震動の長周期成分による粘性土の乱れの影響であり、従来の耐震性照査では十分に考慮されていない事項である。

なお、せん断ひずみを見ても分かるように、堤体本体の被害がかなり大きい。冒頭でも述べたが、本解析においては豪雨直後のように堤体も飽和土として扱っている。水位がもっと低く、堤体が不飽和状態にある場合は、沈下量はもっと小さくなると考えられる。また一般的には、土堤原則から堤体自身への対策は行われることが稀であるが、解析結果の変形図を見ると、鋼矢板の打設など、堤体の耐震性向上は地震被害軽減には有効となることが示唆される。

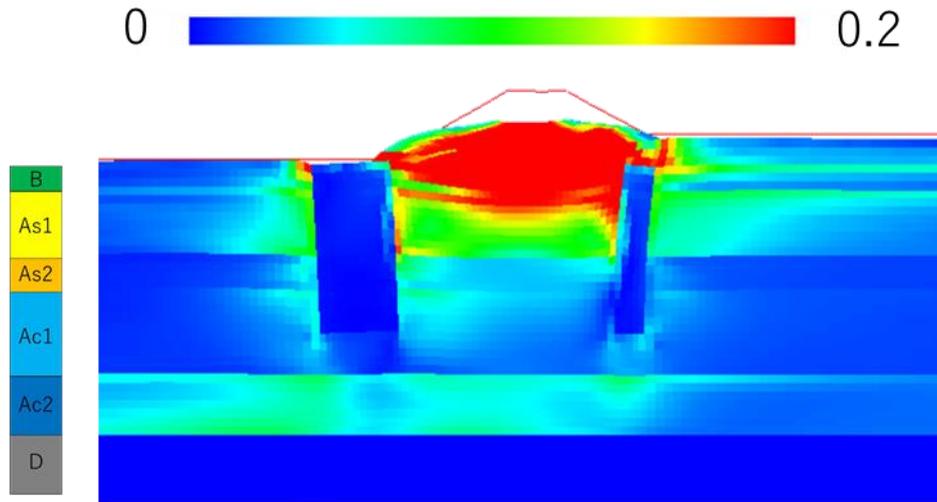


図 2 - 8 - ① - 26 せん断ひずみ分布 (地震動-2)

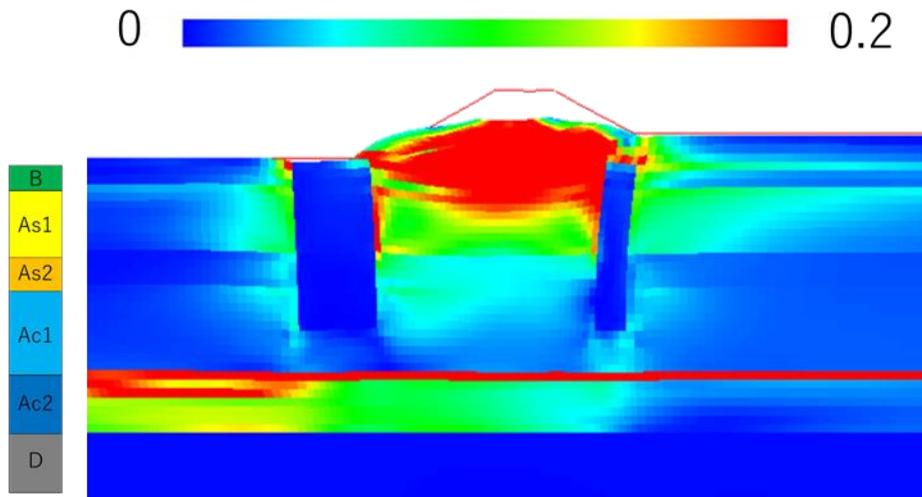


図 2 - 8 - ① - 27 せん断ひずみ分布 (地震動-4)

表 2 - 8 - ① - 3 天端沈下量の比較と耐震性照査

	地震動-2	地震動-4
天端沈下量 (地震直後)	2.96m	3.27m
天端沈下量 (地震後 10 年間)	0.44m	0.69m
天端沈下量 (合計)	3.40m	3.96m
耐震性照査(※)	○	△

※ 耐震性照査は、天端高さと照査外水位の関係で判断

(c) 結論ならびに今後の課題

津波瓦礫予測手法について、建物倒壊を判定して、車両や船舶を含め、瓦礫の動きを計算、漂流の状況の評価する方法と、被害関数をもとに津波瓦礫の厚さ分布を計算する2つの手法を瓦礫計算手法として確立した。

前者については、現在既に実装されている DONET を用いた津波即時予測システムのデータベースに含まれる断層モデルの中から、津波瓦礫が発生する浸水面積 2 km^2 以上の断層モデルを用いて津波瓦礫の漂流を計算した。これらの計算結果を5分ごとの動画に加工し、津波即時予測システムが抽出する断層モデルに紐づかせて動画を表示するシステムを構築した。この手法を宮崎県延岡市にも適用すべく、大瀬川や五ヶ瀬川の流域で地形データを作成中である。

後者については、ハザード評価を実施するモデル地区の一つである延岡市を対象として、延岡市から提供頂いた土地利用情報から、詳細な津波氾濫解析に用いる標高に建物の起伏情報を考慮した合成地形モデル⁹⁾を作成した。この合成地形モデルを用いて内閣府(2012)¹⁰⁾の波源断層モデルによる津波氾濫解析を実施し、従来のハザードマップからは読み取れなかった津波ハザード情報について検討した。今後は津波瓦礫評価について検討を進めていく。津波瓦礫評価を行う際、津波浸水深分布と建物情報が必要であるが、延岡市中心市街地については、本業務で収集整理した土地利用情報を利活用することで検討することができる。これらの情報を最大限利用して津波火災の燃え草となる木造建物の津波瓦礫堆積評価を行うとともに、合成地形モデルによる氾濫解析を利用して津波火災の火種となり得る自動車や船舶の漂流解析を行い、より現実的な津波ハザード評価を行う。

徳島県那賀川下流域の河川堤防を対象に水～土連成弾塑性有限変形解析による耐震性再照査を実施した。当該地層構成は、表層に緩い砂質土が卓越し、深部に軟弱なシルト質土が堆積している。その結果、従来の耐震診断と同様に対策前の河川堤防は要対策と判定されたが、嵩上げと地盤改良による対策を実施すると健全性を確保できることを確認した。ただし、本解析では地震動に長周期成分を含む場合、軟弱粘性土が共振によって乱され、地盤被害を拡大させる危険性を示した。従来法では、粘性土層が適切にモデル化されていないことに加えて、地震動の長周期成分が十分には考慮されていない。そのため、従来法に依る耐震性照査の場合、被害を過小評価してしまう危険性を指摘した。地盤は土の種類や密度、地下水位面の位置など、多くの不確実性を有する。今後は、これら不確実性が地盤被害に及ぼす影響を把握するとともに、不確実性を定量化することが求められる。後川については、データの入手に時間を要し、十分な精査を行うことができなかった。データ精査結果を踏まえ、次年度以降での実施を検討したい。

(d) 引用文献

- 1) Takahashi, N. and Imai, K.: Direct tsunami damage prediction using oceanfloor network system, Oceans, IEEE, 978-1-6654-1821-8/22/\$31.00, 2022.
- 2) 小園裕司, 高橋智幸, 桜庭雅明, 野島和也: 南海トラフ地震津波を対象とした建物倒壊および災害がれきを考慮した津波被害予測モデルの適用と被害軽減効果の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 巻, 2 号, 2017.

- 3) Imai, K., Hashimoto, T., Mitobe, Y. Takahashi, N. and Obayashi, R. :
Development of a practical evolution method for tsunami debris and its
accumulation, Appl. Sci., Vol.12, No.2, 858, 2022.
- 4) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. : Soil-water coupled finite deformation
analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-
clay model, S&F, Vol.48, No.6, 771-790, 2008.
- 5) Kaneda, Y., Kawaguchi, K., Araki, E., Matsumoto, H., Nakamura, T., Kamiya,
S., Ariyoshi, K., Hori, T., Baba, T. and Takahashi, N. : Development and
application of an advanced ocean floor network system for megathrust
earthquakes and tsunamis, Seafloor observatories, In: Favali, P. et al.
(eds.), Springer Praxis Books, pp. 643-663, 2015.
- 6) Kawaguchi, K., Kaneko S., Nishida T. and Komine T. : Construction of the
DONET real-time seafloor observatory for earthquakes and tsunami
monitoring, In Seafloor Observatories, A new vision of the Earth from the
Abyss, ed. Favali P., Beranzoli L., De Santis A., eds. Springer Praxis
Books, Springer, Berlin, Heidelberg, 211-228, 2015.
- 7) Takahashi, N., Imai, K., Ishibashi, M., Sueki, K., Obayashi, R., Tanabe,
T., Tamazawa, F., Baba, T. and Kaneda, Y. : Real-time tsunami prediction
system using DONET, J. Disaster Research, 12, 4, 766-774, 2017.
- 8) Takahashi, N. and Imai, K. : Realtime Tsunami Prediction System Using Ocean
Floor Network for Local Regions, Appl. Sci., Vol.12, No.3, 1627, 2022.
- 9) 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, No.2, 331-315, 2013.
- 10) 内閣府, 南海トラフ巨大地震モデル検討会 :
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>
- 11) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫 : GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 海
岸工学論文集, Vol.45, 356-360, 1998.
- 12) 後藤智明, 小川由信 : Leap-Frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土
木工学科, 52p., 1982.
- 13) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. : An elasto-
plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils,
Soils and Foundations, Vol 42, No.5, pp.47-57, 2002.
- 14) 徳島県, 防災・減災マップ : <https://maps.pref.tokushima.lg.jp/bousai>
- 15) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 港湾施設研究室 :
<https://www.yks.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>
- 16) 内閣府, 南海トラフ巨大地震モデル検討会 :
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>
- 17) 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会及び首都直下地震モデル検討会 :
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_report.html
- 18) 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(構造Ⅱ) pp. 407-408, 2017.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
Development of evaluation method for tsunami debris thickness and its distribution by several static parameters (口頭)	Kentaro IMAI, Yuta MITOBE, Takashi HASHIMOTO, Tatsuo MASUTA	30th International Tsunami Symposium	2021年 7月	国際
Development of realtime tsunami damage prediction system using DONET data (ポスター)	Narumi TAKAHASHI, Kentaro IMAI	American Geophysical Union	2021年 12月	国際
Direct tsunami damage prediction using oceanfloor network system (ポスター)	Narumi TAKAHASHI, Kentaro IMAI	Oceans Chennai	2022年 2月	国際

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所(学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Development of a Practical Evaluation Method for Tsunami Debris and Its Accumulation	Kentaro IMAI, Takashi HASHIMOTO, Yuta MITOBE, Tatsuo MASUTA, Narumi TAKAHASHI, Ryoko OBAYASHI	Appl. Sci., 12, 858, 2022. doi: https://doi.org/10.3390/app12020858	2022年 1月	国際
Realtime Tsunami Prediction System Using Ocean Floor	Narumi TAKAHASHI, Kentaro IMAI	Appl. Sci., 12, 1627, 2022. doi: https://doi.org/10.3390/app12020858	2022年 1月	国際

Network for Local Regions		3390/app12031627		
Direct tsunami damage prediction using oceanfloor network system	Narumi TAKAHASHI, Kentaro IMAI	Oceans, IEEE, 978-1-6654-1821-8/22/\$31.00, 2022.	2022年2月	国際

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②情報発信検討会

(a) 業務の要約

サブ課題1とサブ課題2から提供される研究成果を踏まえ、情報発信の在り方を探る議論の一つとして情報発信検討会を実施した。同じ防災上の特性を持つ地域間で情報共有できるように、特にアンケート上で比較的コメントが多かった項目を参考に、研究者間でテーマを再構築し、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の4つをテーマとした。各自治体やインフラ企業、地方支分部局、地域の大学などとのこれまでの関係も活用して、情報発信検討会の協力体制を構築しながら、各テーマについて2回ずつ開催した。但し、コロナ禍により、地域での開催はできず、オンライン開催のみとした。情報発信検討会をそれぞれテーマごとに開催した。ハザード評価は9月24日と1月28日に39機関（プロジェクト側は除く）、複合災害対応は8月23日と2月8日に51機関、事業継続は10月8日と2月17日に41機関、人材育成は9月27日と2月21日に8機関が参加した。

また、サブ課題1とサブ課題2からの情報を地域と共有できるクラウドシステムを構築した。サブ課題1から提供される地殻活動の逐次変化と推移予測、サブ課題2から提供されるハザード情報やリスク情報を重ね合わせ、ユーザーが自由に地域や方向を変えて三次元で確認できるものを想定して構築した。防災科学技術研究所が管理するクラウドにシステムを配置し、IDをパスワードでセキュリティを管理することとしている。サブ課題1で導入している地殻構造のデータベース並びにサブ課題2で使用している地震防災基盤シミュレーターのデータベースから適切な情報を取り込む形となる。

加えて、研究成果の情報の可視化の適正化にも取り組みつつある。例えば、津波ハザードマップとして最大浸水域が示されているが、計算上の精度の問題や津波浸水の確率等、地域防災に取り入れるために課題となる事項についての検討も開始した。今年度は、津波計算時の分散項に対する評価を行った。

(b) 業務の成果

昨年度構築した連携関係に基づき、今年度からは情報発信検討会を定常的に開催した。今年度に入って議論するテーマを再編成し、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の4つとした。昨年に引き続き、各テーマの幹事は、ハザード評価が海洋研究開発機構の今井健太郎氏、複合災害対応が香川大学の金田義行氏、事業継続が防災科学技術研究所の中村洋光氏、人材育成が徳島大学の馬場俊孝氏が務めた。

ハザード評価（表2-8-②-1）では、1回目では、このテーマで議論する方向性を今井健太郎氏が示した後、続いて2011年東北地方太平洋沖地震からの教訓について紹介した。ここでは、軟弱地盤による河川堤防や港湾構造物への強震動の影響、それに基づく津波浸水、津波浸水後の災害瓦礫発生や津波火災、長期湛水といった具体的な災害の形が提示された。また、気象庁から発出される臨時情報の背景となる地殻活動モニタリングの内容が紹介された。参加者アンケートからは、津波浸水マップは見慣れているものの、そこから発生する様々な具体的な事象をイメージの重要性や、より地域に特化した形での提案への期待が示された。この地域への特化については、コロナ禍で活動が制限されてしまったが、来年度以降進めることを検討している。2回目は、東北大学災害科学国際研究所の佐々木宏之氏から「災害時の医療体制とその対応について」、高知県西部地域の防災の拠点である四万十市の有光浩氏から「四万十市の防災対策」をテーマに紹介頂いた（図2-8-②-1）。どちらも、どのような情報に基づいて、どう行動するか、具体的な事例をもって説明頂いた。参加者アンケートから、異なる業種の具体的な動きの紹介は好評をもって受け止められ、情報共有の重要性を再認識されたことが確認できた。医療現場でのトリアージの話題も提供され、事前対策や事前避難の重要性が示された。

表2-8-②-1 ハザード評価をテーマにした情報発信検討会議事次第

開催日時 形式	2021年9月24日（金） 9：30～12：00 オンライン	開催日時 形式	2022年1月28日（金） 13：00～15：30 オンライン
議事	<p>「プロジェクトの現状成果」 防災科学技術研究所 南海トラフ海底地震津波観測網整備推進本部 副本部長 高橋 成実</p> <p>「情報発信検討会『ハザード評価』テーマで行いたいこと」 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 地震津波モニタリング研究グループ 副主任研究員 今井 健太郎</p> <p>「2011年東北地方太平洋沖地震からの教訓」 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 地震津波モニタリング研究グループ 副主任研究員 今井 健太郎</p> <p>総合討論</p>	<p>「災害時の医療体制とその対応について」 東北大学 災害科学国際研究所 准教授 佐々木 宏之</p> <p>「四万十市の防災対策」 四万十市 地震防災課 地震防災係 係長 有光 浩</p> <p>総合討論</p>	

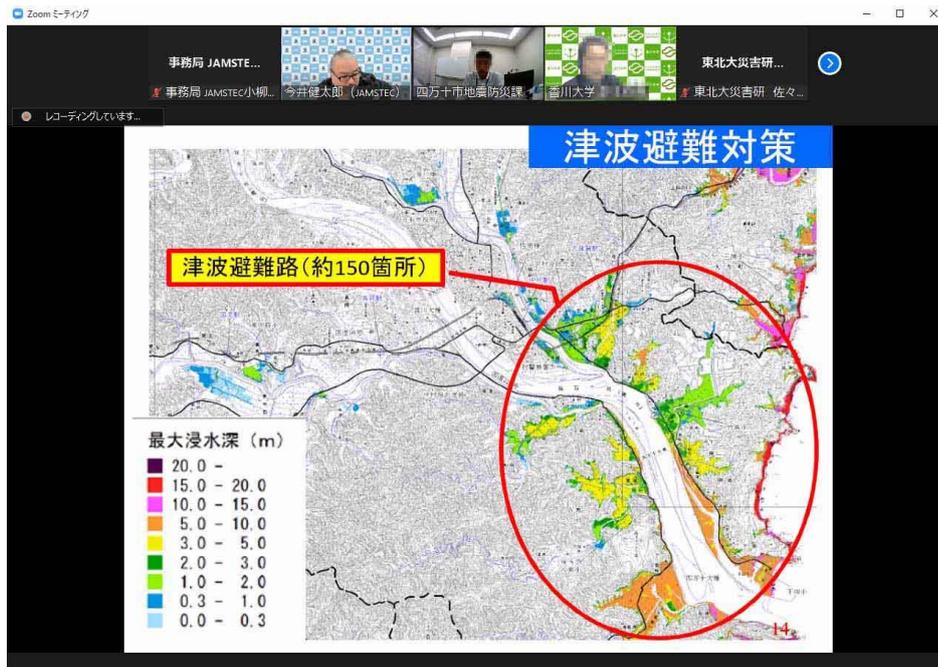


図 2-8-②-1 ハザード評価をテーマにした情報発信検討会風景

複合災害対応（表 2-8-②-2）では、1回目では、このテーマで議論する方向性を金田義行氏が示した後、兵庫県立大学大学院の阪本真由美氏から「南海トラフ地震における広域避難をめぐる課題について」、香川大学の磯打千雅子氏から「熊本地震における地域と企業の対応と必要な支援」について紹介された。それぞれ複合的な災害をイメージした広域避難や地区防災対策の在り方について示されたが、様々な時空間スケールの動きを俯瞰的にとらえる重要性が、参加者アンケートからうかがえた。基礎自治体からの参加者では、地震、津波、土砂災害だけでも課題が多いところもあり、地域に落とし込むところの難しさも共有された。2回目では、金田義行氏から「複合災害考」として、地震・津波災害に気象災害が重なるケースでの被災イメージを描く重要性が示され、続いて香川大学の石塚正秀氏から「内水氾濫・外水氾濫の同時発生による複合水害時の氾濫水の特徴」、鳴門教育大学の谷村千絵氏から「災害時の複雑な状況における当事者意識の育成 —協働的な思考のレッスンとしての「ジレンマほぐし」—」について紹介頂いた（図 2-8-②-2）。参加者アンケートから、内水氾濫・外水氾濫の同時発生時の単なる足し算ではない災害の深刻化の可能性やその即時評価の難しさが共有されたことがうかがえた。様々な事象が同時期に発生し、また、発災と復興・復旧が重なりうることを共有した上で、「ジレンマほぐし」の考え方は人材育成の面からも効果的であると認識された。

表 2-8-②-2 複合災害対応をテーマにした情報発信検討会議事次第

開催日時形式	2021年8月23日(月) 13:30～16:30 オンライン	開催日時形式	2022年2月7日(月) 13:30～16:30 オンライン
議事	<p>「複合災害対応」について 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 センター長・特任教授 金田 義行</p> <p>「南海トラフ地震における広域避難をめぐる課題について」 兵庫県立大学大学院 減災復興政策研究所 教授 阪本 真由美</p> <p>「熊本地震における地域と企業の対応と必要な支援」 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 特命准教授 磯打 千雅子</p> <p>総合討論</p>	<p>「複合災害考」 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 センター長・特任教授 金田 義行</p> <p>「内水氾濫・外水氾濫の同時発生による複合水害時の氾濫水の特徴」 香川大学 創造工学部 創造工学科 教授 石塚 正秀</p> <p>「災害時の複雑な状況における当事者意識の育成 — 協働的な思考のレッスンとしての「ジレンマほぐし」—」 鳴門教育大学 人間教育専攻 准教授 谷村 千絵</p> <p>総合討論</p>	



図 2-8-②-2 複合災害対応をテーマにした情報発信検討会議風景

事業継続(表 2-8-②-3)では、地域防災に取り組んでいるサブ課題 2 から名古屋大学の平山修久氏、新井伸夫氏、都築充雄氏、千葉啓広氏がコアメンバーとして参加している。1 回目では、防災科学技術研究所や名古屋大学が実施している研究が紹介され、研究成果を企業や自治体等の事業継続を含む防災対策において最大限に活用するための情報発信や利活用のあり方を検討する方針を中村洋光氏から示された。続いて都築充雄氏から「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおけるこれまでの取組」、千葉啓広氏から「西三河防災減災連携研究会における地域連携に向けた事例紹介」、平山修久氏から「発災時の企業の事業活動停止を防ぐために」について話題提供があった。参加者から、自治体の被害想定改訂の検証に利用できる材料の提供、「巨大地震」しか対象としていない地震対策とハザード情報に対する別の地震発生のパターンの蓋然性やハザード・被害情報への期待、ハザード・被害の様々なシナリオに対する不確実性の

認識不十分、複合災害シナリオの膨大な情報の可視化、インフラ被害の情報不足、地震発生前からの災害時タイムラインの把握、災害後の人間活動の不確実性への考慮、研究開発と事業継続検討の現場との間のギャップがコメントとして示された。2回目では、中村洋光氏から「前回振り返りと研究の進捗について」、平山修久氏から「臨時情報と災害拠点病院への応急給水確保について」、イオン株式会社の早川雅朗氏から「相次ぐ自然災害と船江田イオンの事業継続マネジメントについて」の紹介があった（図2-8-②-3）。いずれも具体的なケースについて話題提供され、参会者アンケートからはそれぞれ課題が明確になり、BCPの議論に有効だったとの好評を得た。

表2-8-②-3 事業継続をテーマにした情報発信検討会議事次第

開催日時 形式	2021年10月8日(金) 9:30～12:00 オンライン	開催日時 形式	2022年2月17日(木) 13:00～15:30 オンライン
議事	<p>情報発信検討会「事業継続」テーマで行いたいこと 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門 副部門長 中村 洋光</p> <p>南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおけるこれまでの取組 名古屋大学 減災連携研究センター 寄附研究部門 特任准教授 都築 充雄</p> <p>西三河防災減災連携研究会における地域連携に向けた事例紹介 名古屋大学 減災連携研究センター 研究員 千葉 啓広</p> <p>発災時の企業の事業活動停止を防ぐために 名古屋大学 減災連携研究センター 社会連携部門 准教授 平山 修久</p> <p>総合討論</p>	<p>「前回振り返りと研究の進捗について」 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門 副部門長 中村 洋光</p> <p>「臨時情報と災害拠点病院への応急給水確保について」 名古屋大学 減災連携研究センター 社会連携部門 准教授 平山 修久</p> <p>「相次ぐ自然災害と船江田イオンの事業継続マネジメントについて」 イオン株式会社 総務部 BCMグループ マネージャー 早川 雅朗</p> <p>総合討論</p>	



図 2-8-②-3 事業継続をテーマにした情報発信検討会風景

人材育成（表 2-8-②-4）は、他の 3 つのテーマと位置づけが異なり、各地域の実情や過去の災害に鑑み、地域の防災を支える人材の育成を目的として、生涯学習のレベルの教育コンテンツ開発や動画製作に取り組むこととしている。その内容は、地震・津波の基礎から、阪神淡路大震災や東日本大震災、臨時情報、古地震、複合災害の予測、地域防災、災害弱者の防災対策、人材育成を検討している。これらを念頭に参加者はコンテンツを作成し、評価を得て改良し、最終的に公開することを考えている。プロジェクト参加機関の研究者とジオパークや、介護老人保健施設、メディア、県教育委員会との連携で意見を出し合い、改良を繰り返す。1 回目は、各参加者からの作成方針案を提示して、教育コンテンツの全体像のイメージを共有した。2 回目は、静岡県の松村昌広氏から「静岡県の地震・津波対策」について話題提供頂き、静岡県の取り組みとして各自の避難計画を作る方針も紹介された（図 2-8-②-4）。適切な避難計画を構築するには様々な知識と状況把握、その後の被災イメージの共有が必要であることが共有された。

表 2-8-②-4 人材育成をテーマにした情報発信検討会議事次第

開催日時形式	2021年9月27日（月） 10：00～12：30 オンライン	開催日時形式	2022年2月21日（月） 13：30～16：00 オンライン
議事	自己紹介と日頃の防災減災に関する活動紹介 全出席者 「人材育成」テーマの活動方針について全体 討論	議事	「静岡県の地震・津波対策」 静岡県 危機管理部 危機政策課 政策班 松村 昌広 教育コンテンツの作成状況の説明 各担当者 意見交換

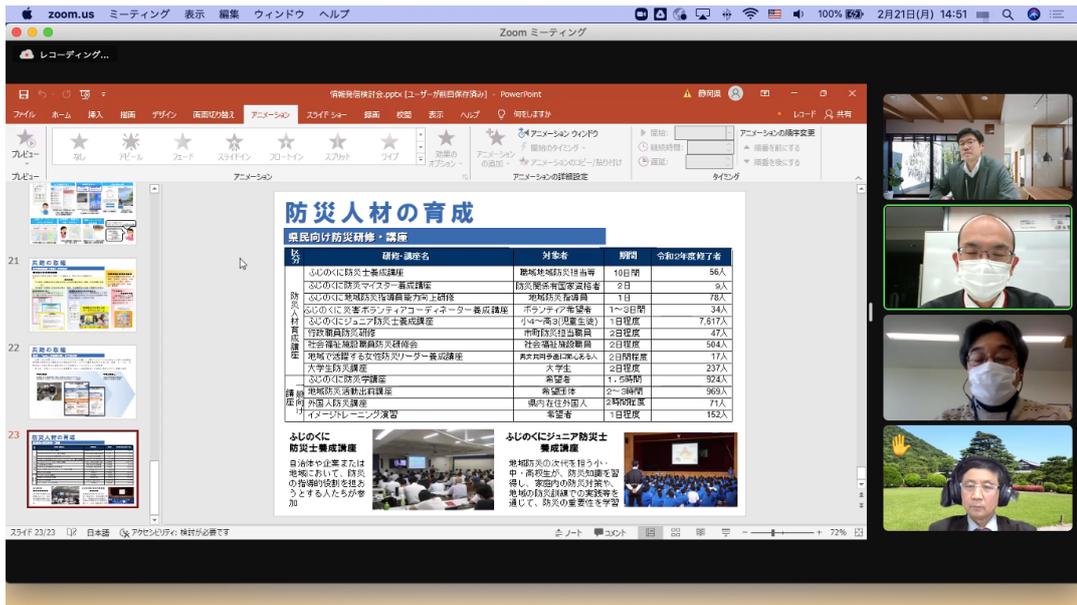


図 2-8-②-4 人材育成をテーマにした情報発信検討会風景

サブ課題 3 ではサブ課題 1 とサブ課題 2 からの情報を受け取り、地方自治体や基礎自治体等の地域防災を担う組織や、インフラ事業者等の民間企業にも情報を展開することを念頭に置いている。サブ課題 1 やサブ課題 2 からの情報が更新されれば、ここで共有する情報の更新も必要になる。このような観点から、サブ課題 1 とサブ課題 2 から提供される情報を創出するシステムとの整合性が必要になる。サブ課題 1 では、海陸三次元速度構造モデルを用いた震源分布とその背景となるプレート境界面や海陸の断層分布をはじめとする構造情報、プレート境界上に分布するゆっくりすべりや地殻変動情報、これらの情報から推定される推移予測の情報を、自由に選択し、重ねて表示できる機能が必要になる。加えて、臨時情報が発表された際にも使用されることを念頭にすると、地殻活動の変遷が時系列で把握できた方がよい。サブ課題 2 からは、ハザードマップやリスク評価をはじめとする様々なポテンシャル情報が提供されることを念頭に置くが、多種多様なハザード情報が創出されることが想定される。例えば、発生した南海トラフ地震が半割れであったと評価されると、半割れを想定した各種ハザードマップに置きかわる、といった状況を想定した。情報更新のインターフェイスはサブ課題 2 の進捗に合わせて検討する必要があるが、各種地図情報を選択して重ね合わせる機能とサブ課題 1 からの情報と組み合わせることができる機能が必要となる。これらのことから、サブ課題 1 で使用しているデータベースを念頭に、サブ課題 2 の情報を取り込めるクラウドシステムを構築した。

以下にいくつかの表示例を示す。図 2-8-②-5 は気象庁一元化震源を三次元、図 2-8-②-6 はハザード情報、図 2-8-②-7 は地震活動と構造情報の比較を表示した例である。この図ではメカニズム解が示され、この結果が示す地殻内応力分布を確認することができる。また、検索したい位置と深さ、マグニチュード、期間を入れると、その条件に適合した地震イベントの時空間分布の変遷を確認することができる。加えて選択したイベント群から b 値を簡易的に計算することができるようにした。

このように震源分布や断層情報を含めた構造の三次元情報を可視化することができ

る体制を構築した。サブ課題2からの情報提供の形をこれから調整することが必要であるが、必要な画像フォーマットデータを読み込む機能は準備できている。今後、サブ課題1から提供される内容とタイミング、サブ課題2から提供される情報の取捨選択の進め方とタイミングを調整し、研究成果の即時的な地域との共有を図ることができるよう検討する。



図2-8-②-5 クラウドシステムで表示した気象庁一元化震源の例。

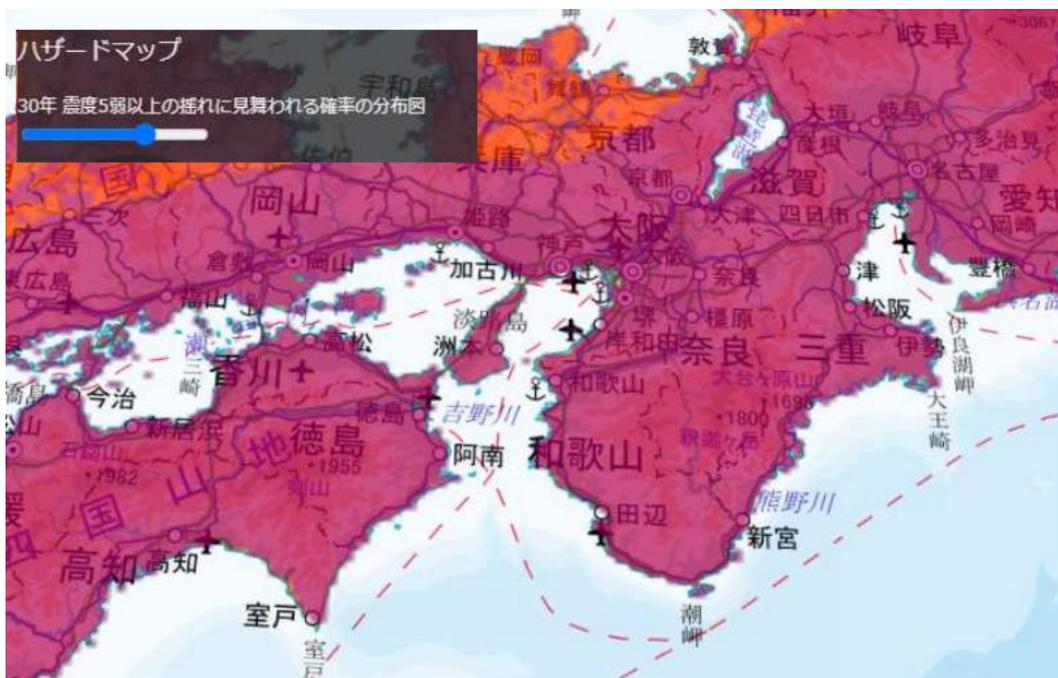


図2-8-②-6 クラウドシステムで表示したハザードマップの例。

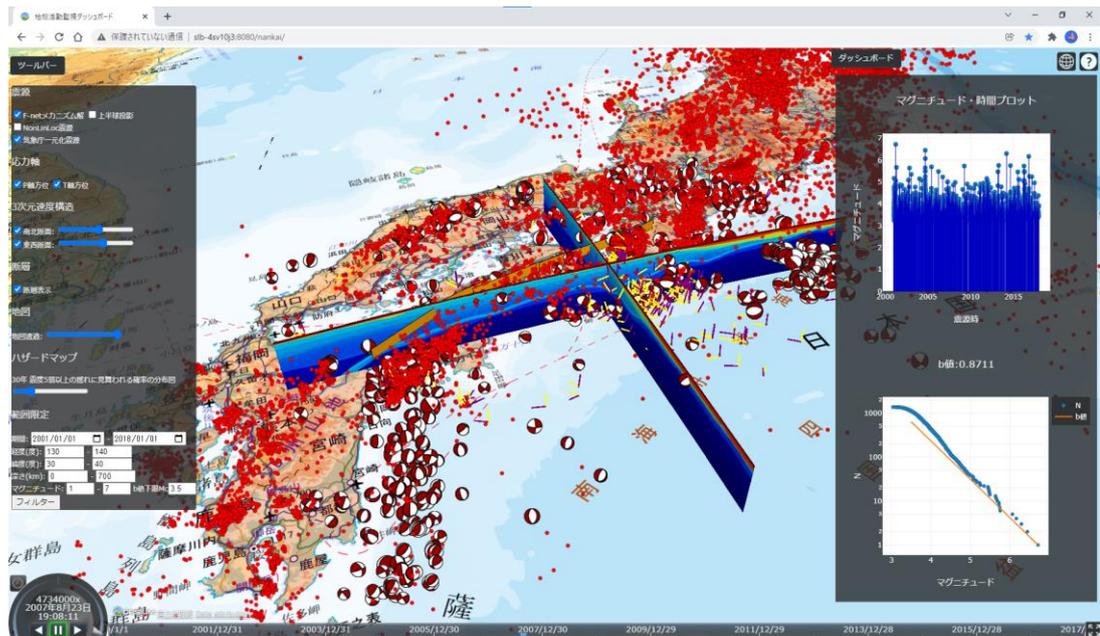


図 2-8-②-7 クラウドシステムで表示した震源メカニズムと三次元構造を比較表示した例。右側には地震の頻度分布と b 値分布がダッシュボードの中に記載されている。

次に地域に展開する情報の検討である。南海トラフ巨大地震の想定震源モデルに基づいて、津波ハザードマップが作成、公開されている。津波は水の波の一種で分散性があるが、一般に津波ハザードマップの構築には分散性が含まれない非線形長波理論が利用されている。これは、波長の長い津波においては、分散性を考慮しても考慮しなくても予測結果がほぼ変わらないとされていることや、分散性を考慮することで計算コストが増大するためである。しかし、Baba et al. (2021)¹⁾は、東北沖のアウトラーライズ地震において分散性を考慮した場合、分散性を考慮しない場合に比べて津波高が上昇する結果を示した。そこで、ここでは内閣府の南海トラフ巨大地震の津波において分散性を含めた津波計算を実施し、その津波高に与える影響を定量的に確認した。

非線形長波理論と非線形分散波理論を用いて、スタックカード格子・リープフロッグ法による津波差分計算を行った。津波波源として、内閣府 11 ケースのうち基本的な検討ケースからケース 1、ケース 2、派生的なケースからケース 7、ケース 10 の計 4 ケースを用いた。海岸近くの波形の精度を高めるため地形データにネスティングを施した。ネスティング領域は図 2-8-②-8 のとおりで、地形分解能は全体が 30 秒角、赤枠内が 10 秒角である。観測点は検潮所を高知、室戸、小松島、白浜、串本、浦神の 6 地点と沖合に 1 点を置いた。計算条件については計算終了時間を計算開始から 2 時間とし、時間ステップ幅を 0.025 秒、ライズタイムを 60 秒とした。さらに、分散性あり、なしの徳島県北部と和歌山県の海岸での最大津波高を抽出し、Aida (1978)²⁾の K 、 κ を算出した。図 2-8-②-9 に内閣府ケース 2 の高知の検潮所の計算波形を示す。本ケースでは分散性による津波高の上昇が見られなかった。また、検討した 4 ケースの K は 1.00 ~ 1.01 で、 κ は十分に小さかった。よって、津波ハザードマップの構築において、津波の分散性の効果は無視できる範囲である。

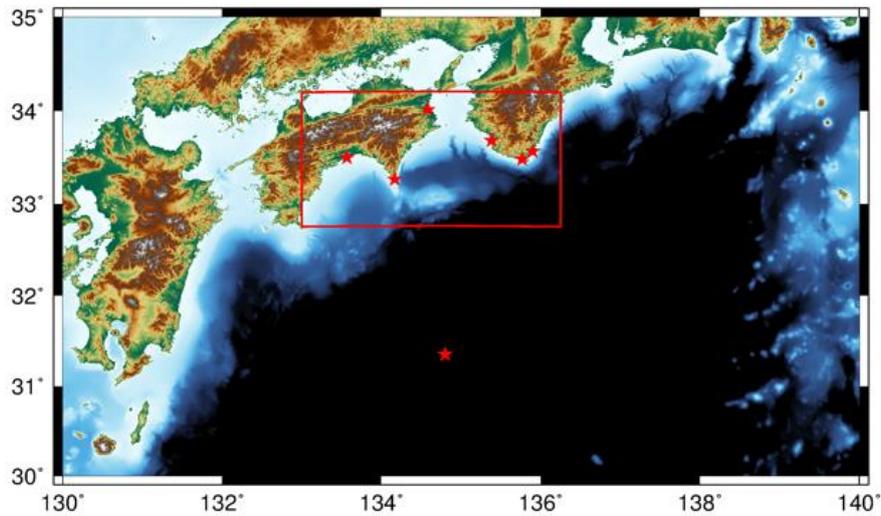


図 2-8-②-8 津波計算領域。赤四角はネスティング領域、赤星は波形を出力する観測点の位置を示す。

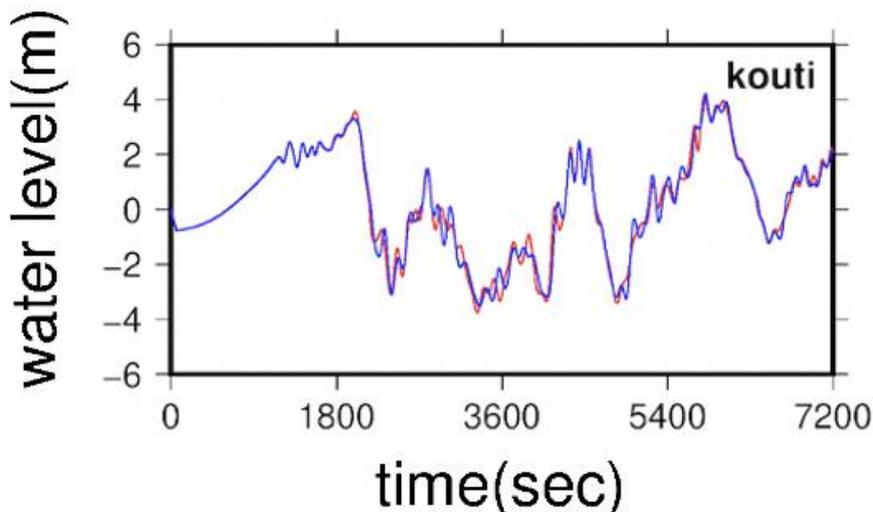


図 2-8-②-9 内閣府ケース 2 における高知の計算結果。赤線が非線形長波理論、青線が非線形分散波理論による計算。

(c) 結論ならびに今後の課題

サブ課題 1 とサブ課題 2 から提供される研究成果を踏まえ、今年度から情報発信検討会の定常的な開催を開始することができた。アンケート上で比較的コメントが多かった項目を参考に、研究者間で昨年度のテーマを再構築し、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の 4 つをテーマとし、各 2 回ずつ、計 8 回開催した。但し、コロナ禍により、地域での開催はできず、オンライン開催のみとした。ハザード評価は 9 月 24 日と 1 月 28 日に 39 機関（プロジェクト側は除く）、複合災害対応は 8 月 23 日と 2 月 8 日に 51 機関、事業継続は 10 月 8 日と 2 月 17 日に 41 機関、人材育成は 9 月 27 日と 2 月 21 日に 8 機関が参加した。様々なハザードマップが提供され、各県や市町での防

災対策の検討は進んでいるが、広域連携や複合災害など、実際に被災イメージの共有が進んでおらず具体的な対応策に至っていないことが多いことが参加者アンケートからわかる。一方、基礎自治体では、対応すべきことが多すぎてどこから手を付けてよいかわからないケースもあるように見受けられた。このように多様で複雑な状況が出現した時に、状況を適切に把握し、情報をさばける人材の育成の必要性も参加者からのコメントとして寄せられた。臨時情報の議論を機に、事前の備えとして何をすべきなのか、各地域の特性の応じた議論に今後つなげていきたい。

また、サブ課題1とサブ課題2からの情報を地域と共有できるクラウドシステムを構築した。サブ課題1から提供される情報は、地震活動や地殻活動といった情報から、地殻活動の現況と過去からの変遷を把握し、その情報をもとに今後の南海トラフ地震の推移を予測するものである。本システムは、地域の防災を支える組織に利用して頂くことを念頭に置いており、臨時情報発表につながった地殻活動の現状と履歴を可視化することで、臨時情報への理解と行動を促す狙いがある。例えば、プレート境界の破壊が進んだエリア、内陸活断層が活発な範囲の特定は、地域への防災に関する意識を高めることになると考えている。サブ課題2から提供されるハザード情報やリスク情報を重ね合わせることで、改めて各地域がそのリスクの状況を把握することも、防災への意識を高めることに貢献すると考えている。ユーザーが自由に地域や方向を変えて三次元で確認できる機能を有し、何か通常と異なる地殻活動が発生した時に、各地域の防災への興味に応じて必要な情報を即時的に共有できるものを目指した。なお、本システムは、防災科学技術研究所が管理するクラウドにシステムを配置し、IDをパスワードでセキュリティを管理することとしている。

地域に展開する地震や津波の情報の適正化に関する取り組みも開始した。津波浸水図がホームページで各所確認できる現在、そのリスクが伝わり切れていない現状がある。これは、ハザード評価のアンケート調査からも確認することができるが、地域に展開される情報を精査し、可視化手法を変えることで防災への意識を刺激できる可能性もある。今年度は津波計算時の分散の影響を評価し、ハザード評価の観点では無視できる程度であることを確認した。但し、東日本大震災時の仙台湾のように波長の短い津波が繰り返し襲来するような現象は、津波避難の観点からは知っておくべき現象である。

(d) 引用文献

- 1) Baba, T., Chikasada, N., Imai, K., Tanioka, Y. and Kodaira, S.: Frequency dispersion amplifies tsunamis caused by outer-rise normal faults, Sci. Rep., Vol.11, 20064, 2021.
- 2) Aida, I.: Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, J. Phys. Earth, Vol. 26, 57-73, 1978.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③情報リテラシー向上

(a) 業務の要約

サブ課題3では、本プロジェクトによる研究成果が地域や企業の防災対策や施策に利用され災害情報に関しての発信側、受信側の相互の立場から、情報を正しく理解する情報リテラシーの向上を図り、災害前、災害時ならびに災害後のそれぞれの状況下で正しい行動を促すことを目的とする。公開されている各県の県民意識調査の結果を見ると、南海トラフ地震について知識はあっても行動力につながっていないことがわかった。このことから、知識、経験、判断力、行動力、未来志向をキーワードとして、災害対応評価システムとして設計し、昨年度から引き続きアンケート形式の調査を行った。対象は、香川県と高知県、宮崎県の小中学校、大学において調査を実施、その結果を分析した。

並行して分析と設問の見直しも行った。一般向けの設問は、小中学生向けの設問よりも設問数を多く設定し、居住地域や職種、職場地域、年代、環境を共通で問う事項として、知識（地震、津波、リスク、災害史、ハザードマップ）、備え（避難準備、事前準備、備えの意識）、行動（積極性、人に頼る力、グローバル指向）、未来志向（地域愛、楽観性、地元志向）、経験（被災経験、訓練、コミュニケーション、社会性、統率）、情報リテラシー（情報収集、情報への信頼性の意識）、臨時情報（臨時情報への理解、自らの行動への意識）、判断力（地震・津波規模の把握、被害の即時イメージ、避難行動への即時性）を問うものとして地域の防災部局の方のご協力のもと、試験的な調査を試行した。

これらの設問の見直しに応じてオンラインアンケート・評価システムの改良を実施、適宜、小学生向け、中学生向け、大学生以上の一般向け、防災意識尺度（尾関・島崎，2017）¹⁾の各設問群をオンライン上で選択できるように改良した。防災意識尺度は既に全国モデルを有しているため、相対的な比較が可能である。

(b) 業務の成果

1) 定点観測

定点観測では、香川県高松市の2小学校、高知県では高知市1小学校、土佐市の1小学校と2大学、宮崎県では、延岡市の2小学校、1中学校ならびに2大学において授業

を前後のアンケート調査を行った。また、地域コミュニティーを対象とした調査は香川県高松市において実施した。この調査は、授業の前後を一組として原則として年2回実施している。小学生向けアンケート内容を表2-8-③-1に示す。

表2-8-③-1 小学生向けアンケート例

未来志向	自分の将来(しょうらい)の夢(ゆめ)を持っていますか。
未来志向	夢(ゆめ)を実現(じつげん)するためにいろいろ勉強(べんきょう)や練習(れんしゅう)をしていますか。
未来志向	インターネットやロボットの利用(りよう)が進む一方で地球温暖化(ちきゅうおんだんか)も進む中、これから世の中がどうなるか考えたことがありますか。
未来志向	自分たちがこれからの日本や世界をつかっていくと考えていますか。そのために必要なことは何だと思えますか? 〈 〉の中に書いてください。
未来志向	10年後の自分たちの町をどのようにしたいですか? 〈 〉の中に書いてください。
未来志向	大地震(だいじしん)が発生した後、あなたの町を元気にするために何をしたらよいか考えたことがありますか。
知識	「震度(しんど)」という言葉を知っていますか。
知識	「マグニチュード」という言葉を知っていますか。
知識	「震度(しんど)」と「マグニチュード」は同じ意味だと思いますか。
知識	「津波(つなみ)」という言葉を知っていますか。
知識	「津波(つなみ)」が発生した時に起きる波に「引き波(ひきなみ)」というものがありますが、この言葉を知っていますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」という言葉を知っていますか。
知識	建物が地震(じしん)に耐(た)えられるように「耐震(たいしん)基準(きじゅん)」というものがあると聞いたことがありますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」が起きたとき、津波(つなみ)が来ることを知っていますか。
知識	「津波(つなみ)」の回数(かいすう)について知っていますか。
知識	「津波(つなみ)」がどのようにして発生するか、知っていますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」が起きたとき、津波(つなみ)がどこまで来るか知っていますか。その場所を〈 〉の中に書いてください。
知識	「津波(つなみ)」が沖から海岸に近づいてくる時、その高さがだんだん高くなることを知っていますか。
知識	津波(つなみ)は少しの浸水(しんすい)でも危(あぶ)ないことを知っていますか?
知識	建物(たてもの)の間のようなせまい場所を進む時、津波(つなみ)の流れが速くなることを知っていますか。
知識	津波(つなみ)は狭(せま)いところを流れると流れが速(はや)くなることを知っていますか?
知識	「津波」の流れは、深さがどのあたりまで来たら人が立っていられなくなると思えますか。(ひざ、腰、胸)
知識	昔、「津波(つなみ)」が来たことがあると、家族や近所の人から聞いたことがありますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」はどのようにして起きるか、知っていますか。
知識	南海トラフ地震でまわりに壊(こわ)れたりするものが出ると思えますか?
知識	「南海トラフ地震(じしん)」が起きたとき、自宅の周(まわり)の最大震度(最も大きなゆれ)はどれくらいと予想されているか、知っていますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」で予想される最大震度(最も大きなゆれ)の数値を〈 〉の中に答えてください。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」はくり返し起きることがあるのを知っていますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」が起きると、続いて陸でも大きな地震(じしん)が起こることがあるのを知っていますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」が起こると、続いて火山が噴火(ふんか)することがあるのを知っていますか。
知識	大地震(じしん)が発生したとき、家族(かぞく)でにげる場所(ばしょ)を決めていますか。「はい」と答えた人へ。その場所はどこですか。
知識	大きい地震(じしん)が起きると、がけ崩(くず)れが発生(はっせい)するかもしれないことを知っていますか。
知識	学校で地震(じしん)が発生(はっせい)したら、最初(さいしょ)に何をしなければいけないか、知っていますか。「はい」と答えた人へ。最初にしなければならないことを〈 〉の中に説明(せつめい)してください。
知識	学校でたくさんの人とにげるときには、どんなことに注意(ちゅうい)しなければならないと思いますか。〈 〉の中に説明(せつめい)してください。
知識	1995年に兵庫県(ひょうごけん)を中心に大きな被害(ひがい)が発生(はっせい)した阪神・淡路大震災(はんしん・あわじだいしんさい)を知っていますか。
知識	2011年に東北(とうほく)や関東(かんとう)で大きな被害(ひがい)が発生(はっせい)した東日本大震災(ひがしにほんだいしんさい)を知っていますか。
知識	2016年に熊本(くまもと)で大きな被害(ひがい)が発生(はっせい)した熊本(くまもと)地震(じしん)を知っていますか?
備え	友だちや近所の人と地震(じしん)が起こったら、どうするか話したことがありますか。
備え	家にいる時に地震(じしん)が発生したら、最初(さいしょ)に何をしなければいけないか知っていますか。「はい」と答えた人へ。最初にしなければならないことを〈 〉の中に説明(せつめい)してください。
備え	大地震(じしん)が発生したとき、家族でにげる場所を決めていますか。「はい」と答えた人へ。その場所はどこですか。
備え	家の家具(かぐ)は壁(かべ)や天井(てんじょう)に固定(こてい)されていますか?

備え	避難（ひなん）するときに持ち出すものをそろえていますか？
経験	大地震（じしん）が発生してにげる時、何を持っていけばよいか知っていますか。持っていけばよいと思うものを（ ）の中に書いてください。いくつでもかまいません。
経験	ボランティアのお手伝いをしたことがありますか？
経験	防災訓練（ぼうさいくんれん）の時に周（まわり）の人に声がけができますか。
経験	困っている人を見たら声をかけたり手伝（てつだ）うことができますか。
経験	南海（なんかい）トラフ地震（じしん）が起（お）きた時、近所（きんじょ）のお年寄（としよ）りににげるよう声をかけることができますか。
経験	学校で何かのリーダーをやったことがありますか？
経験	地震（じしん）や津波（つなみ）で壊（こわ）されたり流（なが）されたりすることを考えたことがありますか？
経験	震度（しんど）と津波（つなみ）の想定（そうてい）の図を見たことがありますか？
経験	地震（じしん）で停電（ていでん）した時は何をしますか？
行動	ふだん、積極的（せっきよくてき）に発言したり、行動したりしますか。
行動	防災訓練（ぼうさいくんれん）に参加したことがありますか？
行動	消火器（しょうかき）を使ったことがありますか？
行動	避難（ひなん）する場所（ばしょ）までの道路（どうろ）に危（あぶ）ないところがありますか？
行動	防災（ぼうさい）についてのニュースや新聞記事（しんぶんきじ）をよく見ますか？
行動	友だちと相談（そうだん）やいろいろな話をしていますか？
行動	防災（ぼうさい）のための「まち歩き」をしたことがありますか。
判断力	海（うみ）の近（ちか）くにいて強（つよ）い揺（ゆ）れが5分以上（いじょう）続（つづ）きました。津波（つなみ）が来（く）ると思（おも）いますか。
判断力	テレビを見ていたら津波（つなみ）警報（けいほう）が出ました。すぐ高台（たかだい）に逃（に）げますか。<すぐ高台（たかだい）に逃（に）げる ・ 揺（ゆ）れがおさまってから逃（に）げる ・ 逃（に）げる心配（しんぱい）はない ・ わかりません> 「逃（に）げる心配（しんぱい）はない」または「わかりません」と答えた人へ。どういことがあれば逃（に）げようと思（おも）いますか？
判断力	テレビを見ていたら津波（つなみ）注意報（ちゅういほう）が出ました。逃（に）げる心配（しんぱい）はないと思（おも）いますか？
判断力	自分（じぶん）が住（す）んでいるところはこれからも地震（じしん）について安心（あんしん）だと思（おも）いますか。

アンケート調査は、協力頂く組織の環境に合わせて実施する方針とした。調査の利便性と効率性を考えて、オンラインでの調査が可能になるようにeコミュニケーション・システムを利用することとした。アンケートソフト LimeSurvey にてアンケートを構築した。またこの結果を、防災科学技術研究所が開発した情報共有 Web ツールである e コミュニケーション・システムを利用し、情報発信と閲覧が関係者間で可能となるようにデータベース相互利用ができるように設計した。

アンケート調査は、授業前後で回答の傾向を分析して授業の効果を測るため、昨年度実施したものと同様の設問で実施した（図2-8-③-1）。授業は、地震に関する基礎知識、地震発生メカニズム、津波に関する基礎知識、津波発生メカニズムに関する内容をスライドや動画を使って説明した。授業後には、家屋構造と耐震性に関する実験（デモンストレーション）を行った（図2-8-③-2）。ここでは、香川県内の小学校一校での結果を示して、授業の効果について報告する。

南海トラフという言葉聞いたことがあるか、という問いに対しては、授業前は聞いたことがあると回答した生徒が54%と6割に届かなかったが、授業後には8割の生徒は聞いたことがあると回答していた（図2-8-③-3）。回答の割合が上がっていることから授業の効果が認められる。だが、授業の中で、南海トラフについては説明したことをから、100%の生徒が「聞いたことがある」と回答することを今後目指す必要がある。マグニチュードという言葉聞いたことがあるかという問いに対しては、「聞いたことがある」との回答が、授業の前は半数に届かない49%であったが、授業後には聞いたことがあるとの回答が85%まで上昇していた（図2-8-③-4）。一方で、震度とマグニチュードの違いが分かるか、という問いに対しては、講義後でも違いが分かることと回答している生徒は57%と6割に届かないことから、「聞いたことがある」から「ど

のようなものか分かる」という段階まで理解を深めるには、更なる取り組みが必要であるということも分かった（図2-8-③-5）。

同様の取り組みを、大学1年生を対象にオンライン授業を通して実施し、大学生と小学生との防災教育の効果について比較することで、小学生、大学生、それぞれに必要な防災教育について検討した。ここでは高知県で実施した結果について示す。「津波がどのようにして発生するか知っているか」という問いに対しては、授業前・授業後ともに大学生と小学生の回答割合に大きな違いはみられない（図2-8-③-6）。授業後には「知っている」との回答が大学生では96%と高まった。小学生でも80%に上昇したが、大学生に比べてその割合が低かった。一方、南海トラフ地震が起きて発生した大量のごみをどうすればよいか考えたことがあるかという問いに対しては、講義前では「考えたことがある」と回答する割合は、大学生が11%で小学生の30%に比べて低くなっている（図2-8-③-7）。講義後は、考えたことがあると回答している割合が大学生でも高まったが、その割合は小学生と同様の3割程度に留まる。小学生の割合は講義前後でほとんど変化が無かった（図2-8-③-8）。瓦礫の処理の問題は、南海トラフ地震からの復旧・復興を考える上で重量な課題であり、唯一の正解が導き出せる間ではないので、このような講義を通して、若い世代にその重要性を伝えて彼らとともに考えていくことが今後必要である。大地震が発生した後、あなたの町を元気にするためには何をしたらよいか考えたことがありますかという問いに対しては、「考えたことがある」という割合が、講義前では大学生が23%、小学生が41%で大学生の方が低い傾向にある。講義後には、大学生52%と半数強に増加し、小学生ではほとんど変化がない47%であった。復興について今から考える事前復興の取り組みが行政レベルで四国内でも行われているが、事前復興は将来の地域の未来を決めることであることから、教育を通して若年層も巻き込んだ対策が必要である。

また、一般向けの設問の改訂も進めた。大学生以上の年代の一般向けの設問は、小中学生向けの設問よりも設問数を多く設定し、居住地域や職種、職場地域、年代、環境を共通で問う事項として、知識（地震、津波、リスク、災害史、ハザードマップ）、備え（避難準備、事前準備、備えの意識）、行動（積極性、人に頼る力、グローバル指向）、未来志向（地域愛、楽観性、地元志向）、経験（被災経験、訓練、コミュニケーション、社会性、統率）、情報リテラシー（情報収集、情報への信頼性の意識）、臨時情報（臨時情報への理解、自らの行動への意識）、判断力（地震・津波規模の把握、被害の即時イメージ、避難行動への即時性）を問うものとして設定した。これらは、居住地域によって地震・津波に対する危機感の違いや、生活環境による違いなどの相関を確認するとともに、広域の地域性を把握することが目的である。地域の防災部局の方のご協力のもと、試験的な調査を試行した。今後、その分析結果から、改めて設問としての有効性を確認し、設問の改訂を進める予定である。



図 2 - 8 - ③ - 1 講義風景



図 2 - 8 - ③ - 2 実験（デモンストレーション）風景

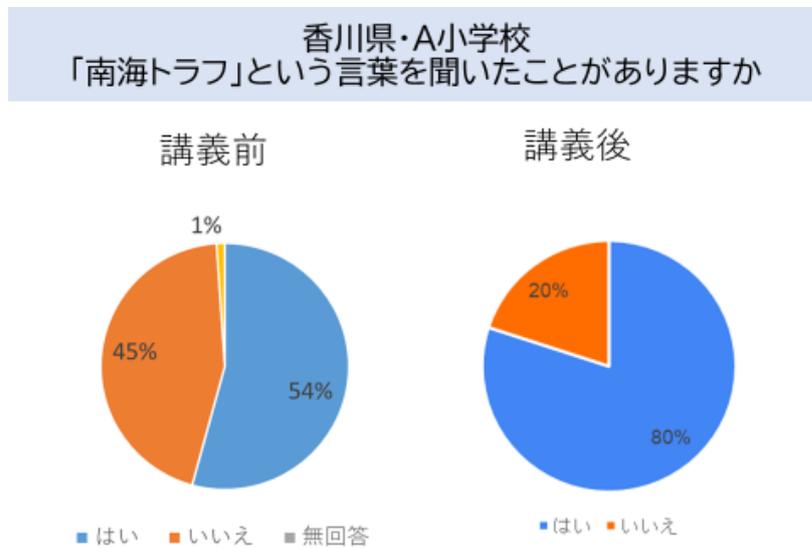


図 2 - 8 - ③ - 3 香川県 A 小学校 講義の効果（知識：南海トラフ）

香川県・A小学校
「マグニチュード」という言葉を聞いたことがありますか

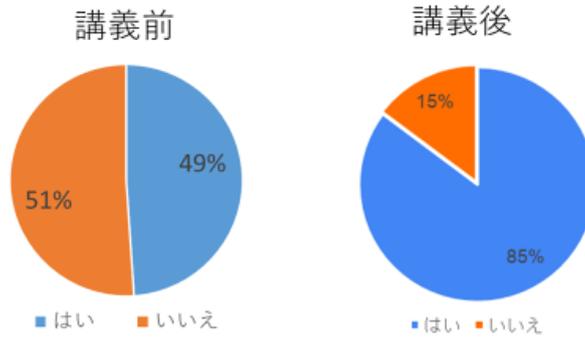


図 2-8-③-4 香川県 A 小学校 講義の効果 (知識: マグニチュード)

香川県・A小学校
「震度」と「マグニチュード」の違いが分かりますか

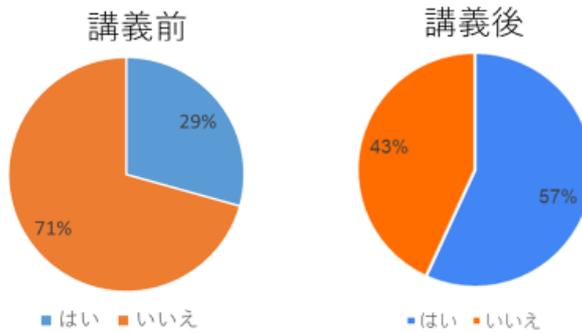


図 2-8-③-5 香川県 A 小学校 講義の効果 (知識: 震度とマグニチュード)

「津波」がどのようにして発生するか
知っているか

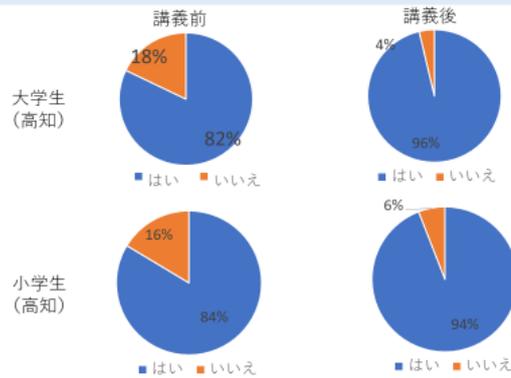


図 2-8-③-6 高知県 大学生と小学生の講義効果の比較 (知識: 津波発生メカニズム)

南海トラフ地震が起きて発生した大量のごみをどうすればよいか考えたことがありますか

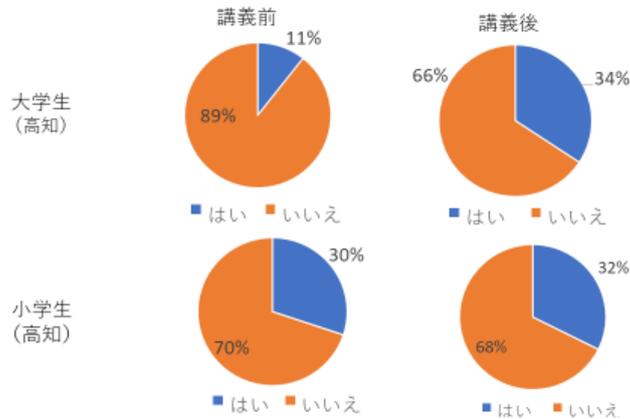


図 2-8-③-7 高知県の大学生と小学生の講義効果の比較 (考え・判断：瓦礫)

大地震が発生した後、あなたの町を元気にするためには何をしたらよいか考えたことがありますか

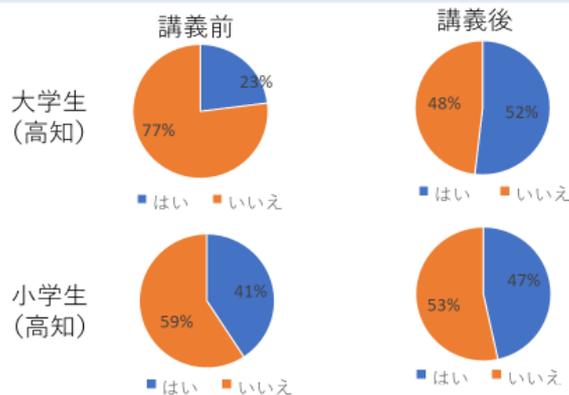


図 2-8-③-8 高知県の大学生と小学生の講義効果の比較 (未来志向：復興)

次に坂出市で実施された臨時情報に関するワークショップでのアンケート調査の結果を示す。南海トラフ臨時情報は 2017 年 11 月に運用が開始され、2019 年の 3 月にガイドラインが発表されたが、認知度が低く社会的な対応についての議論が十分ではない。そこで、南海トラフ臨時情報の有効的な活用に向けて、まずは地域住民に臨時情報を理解し、その上で個々に発表時の対応を考えるワークショップを 11 月 6 日から 2 日間実施した。実施地域は、香川県坂出市中央地区である。この地域は、瀬戸内海沿岸部に位置し、塩田跡が埋め立てられた平野部に都市機能が集中している。そのため、揺れおよび液状化の危険性がある。事前避難対象地域には指定されていないが、南海トラフ地震が発生すると、広い範囲で甚大な被害になると危惧される。

ワークショップは 4 つのステップで実施した。STEP1 では時間軸に沿って、臨時情報発表時の自分の状況や行動について書き出した。この際より災害時を想像しやすいように、細かなシナリオを設定していく。今回のシナリオでは 2021 年 11 月 24 日、7 時 15

分に紀伊半島南東沖で M8.4 の地震が発生したが、当該地域では震度 4 で被害が出ていないことを想定した。STEP1 では想定される課題を書き出した(20分)。STEP2 では出てきた課題をカテゴリーに分けた(10分)。STEP3 では課題に対する解決策を考えた(20分)。STEP4 はその解決策を、実施する主体と時間で表にまとめた(10分)。ワークショップでは、香川では震度 4 で被害が出ていないが、今後、こちらでも大きな揺れに見舞われる南海トラフ地震が発生することを想定することを伝えたが、建物が倒壊する、ライフラインが止まる、など日常生活が送れない状態になっていることを想定した発言もあった。できる範囲で軌道修正したが、臨時情報が発表されている状況を想定して考える、ということが浸透しないままでの議論も多々あった。

ワークショップを通しての臨時情報への理解度を調査した。結果を図 2-8-③-9 に示す。ワークショップ前は臨時情報について知らない参加者の方が多かったが、理解できたという方が 100%であり、その中でもよく理解できた方が 20%という結果になった。あまり理解できなかつた、全く理解できなかつたと答えた方が 0%であったことから、講義を行うことで臨時情報の認知度を上げることにつながったと考える。

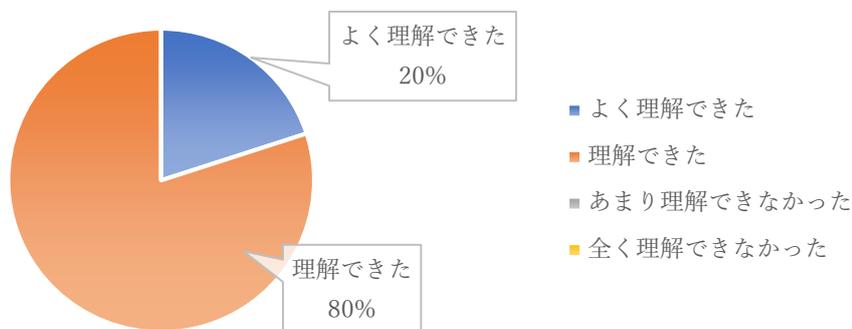


図 2-8-③-9 臨時情報への理解度

臨時情報が発表された際のご自身の周囲の状況についてイメージができたかどうかを調査した。結果を図 2-8-③-10 に示す。今回のワークショップでは話し合いで臨時情報発表時の不安ごとや、課題を考えることで、災害時の身の周りの状況をイメージしてもらい、より具体的な災害への備えに繋げるという狙いがあったためこの設問を用意した。イメージができたという方は全体の 9 割であり、災害時の状況を想像しながら参加できるワーク内容であったことが分かる。しかし臨時情報への理解度では全員が理解できたと回答しているのに対し、当設問ではあまりできなかつたと答えた方が 1 割であった。このことから臨時情報への理解があるだけでは必ずしも災害時の状況を思い浮かべることができているとは限らないことが分かる。臨時情報発表時に落ち着いて対応するためには、認知度や理解力の向上だけではなく、実際に発表された時の状況を考えるおくことは必要不可欠であると考えられる。

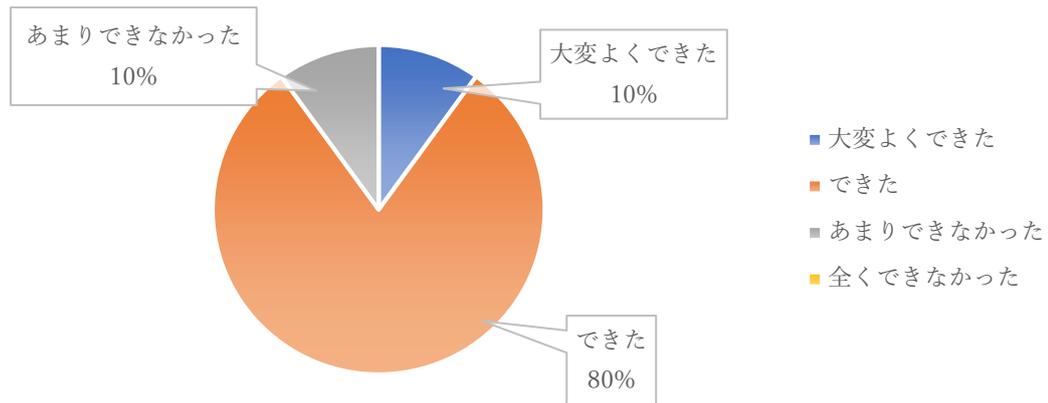


図 2-8-③-10 臨時情報発表時のイメージができたか

さらに地震や臨時情報発表に備え、自らが事前にできる対策を見つけることができたかどうかについて調査した。結果を図 2-8-③-11 に示す。この設問は、臨時情報発表時に個人個人で対応が必要になることから事前にできる対策を見つけてもらうという今回の研究目的の一つに対してワークショップの効果を図るものである。全体の 9 割が見つかったと回答していたことから各自がすぐにとりくめるような対策を持ち帰ることができたという結果になった。また今回のワークショップは自治会ごとの開催であり、参加者の方々の地域の特徴や弱みを踏まえたうえでの課題出しや対策について話し合えたことから個人だけでなく、自治会の防災力の向上につなげることができたと考える。またあまり見つからなかったと答えた約 1 割については防災意識の有無が関係しているのではないかと考察する。ワークショップの話し合いの際、参加者の方から「この地域はきっと地震が起きても被害が少ない、これまでもそうだった」といった声が聞こえてきた。このように被害を想定していないと対策をしておこうという気持ちになりにくいと考える。このような防災意識の温度差を自治会や地域全体で埋めていくことが必要である。

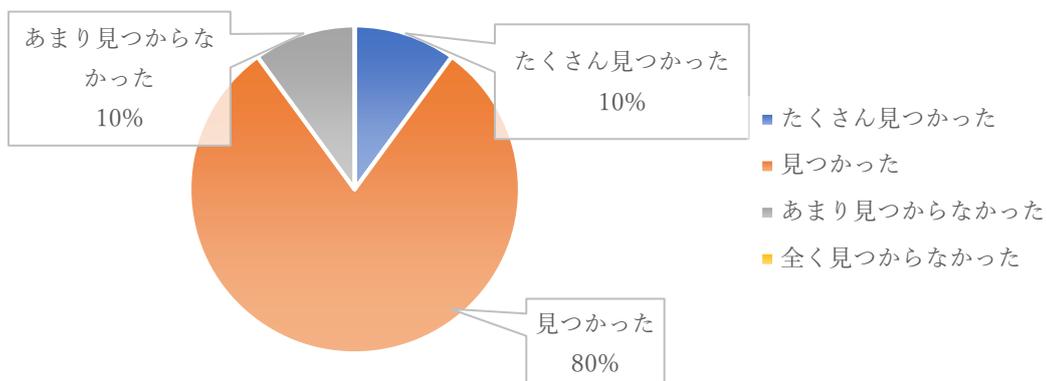


図 2-8-③-11 事前にできる対策が見つかったか

今回のワークショップの満足度について調査を行った。全体の 97%が満足と答えるという結果になった（図 2-8-③-12）。話がなかなか円滑に進まない班や、講義の際

に質問があるなど厳しい意見もいただいたが、講義と話し合いのすべてのステップを通していくことでどの班も最終的には、自治ごとの特徴を踏まえた災害発生時に想定される問題について積極的に話し合い、対策を導き出すことができた。

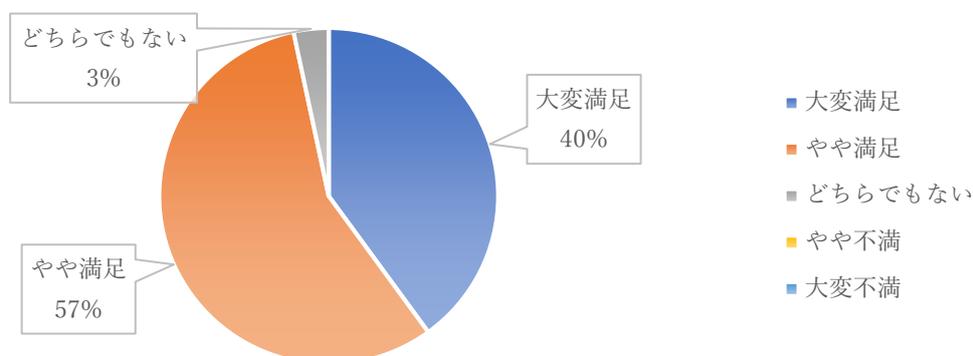


図 2-8-③-12 ワークショップの満足度

2) オンラインシステム改良

「南海トラフ巨大地震」に対し、甚大な被害が想定される地域の防災担当者および地域活動者に対して、最新研究の知見を理解することにより、各人の防災への意識変化を可視化するための基礎情報となるアンケートを実施し、結果を集計・分析するためのシステムを改良し、そのシステムを利用した新規アンケートを実施した。改良作業としては、以下を行った。

a) アンケート設問項目の追加と修正

アンケートの設問文言の変更や新規設問追加のある部分を確認し、今回のアンケートに反映した。以下が修正をおこなったアンケート一覧である(表 2-8-③-2)。

- ・ 一般向け_南海トラフ PJ 防災意識変化アンケート (全 197 問)
- ・ 小学生向け_南海トラフ PJ 防災意識変化アンケート (全 99 問)
- ・ 中学生向け_南海トラフ PJ 防災意識変化アンケート (全 164 問)
- ・ 社協向け_南海トラフ PJ 防災意識変化アンケート (全 58 問)

改良後に、作成したアンケートのアンケートプレビュー機能を使い動作確認を実施した。

表 2-8-③-2 アンケート管理画面例

アンケート名	アンケートID	URL
学生向け南海トラフPJ防災意識変化アンケート	613614	https://.../view/iSurveyID/613614
一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート	385468	https://.../view/iSurveyID/385468
社協向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート	187628	https://.../view?surveyid=187628
小学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート	863495	https://.../view?surveyid=863495
中学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート	531579	https://.../view?surveyid=531579
臨時情報_南海トラフPJ防災意識変化アンケート		(一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケートに結合)
南海トラフ判定_南海トラフPJ防災意識変化アンケート		(一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケートに結合)

b) アンケート実施と回収データの取りまとめグラフ化

アンケートを実施し、回収されたデータを用いて結果比較のためのグラフによる可視化の試みを行った。今後、自動化の可能性を検証する予定である。ここでは、防災意識尺度の分析の結果を示す。実施されたアンケート回収データを用いて、南海トラフ地震の影響を受ける地域の特定の属性の人の防災意識を、全国平均や同地域の平均と比べた。

i) 方法と対象

2021年10～11月に、南海トラフ地震の影響を受ける特定の人から、防災意識尺度（島崎・尾関 2017）¹⁾の質問に対する回答を得た。また、防災意識尺度作成時（2016年10月）に取得した618名分のデータとの比較を行った。このデータは調査会社マクロミルのモニターより全国からランダムサンプリングされた対象者から取得した同じ質問に対する回答であり、データ取得時期の違いを考慮する必要があるものの、全国の国民の標準的な値であると考えられる。そこでこの値と比較することにより、対象属性の人々の防災意識が標準的な人と比べて異なるかを検討した。また、全国だけでなく、九州保健福祉大学は同データの九州に住む人の平均値と、高知大学、坂出市民については同データの四国に住む人の平均値と比較を行った。

- 今回収集したデータは以下の3属性である。

- 九州保健福祉大学の学生 53名
- 高知大学の学生 32名
- 坂出市の市民 25名

- 比較対象としたデータ（2016年10月に取得）

- 全国 618名
- 九州全体 50名
- 四国全体 18名

なお、比較対象データは都道府県を考慮せずにランダムに取得したため、人口の都道府県のデータ数が多く、少ない都道府県のデータ数は少ない。この影響で、同じ都道府県に住む人との比較を行うと比較対象が少なくなりすぎる問題が考えられた。そこで今回は九州・四国といった地域ブロックのデータを用いることとした。

防災意識尺度は表2-8-③-3に示す20問からなる尺度であり、「とてもよくあてはまる」から「まったくあてはまらない」までの6件法で回答を行う。開発者によって、第1因子は「被災状況に対する想像力」（以下「被災想像力」）、第2因子は「災害に対する危機感」（以下「危機感」）、第3因子は「他者指向性」、第4因子は「不安」、第5因子は「防災に対する無関心」（以下「防災無関心」）と命名されている。また、第5因子は逆転項目（得点が低いほど防災意識が高い）で構成されているため、第1因子から第4因子までの合計点と、第5因子を逆転させた得点を足したものを「総合得点」として扱っている。なお、本研究では因子構造の再確認、因子得点の算出等を行わず、回答素点を単純に合計し、開発時のデータと比較した。

ii) 結果

図 2-8-③-13 は全国と 3 属性の比較分布を防災意識尺度の 5 つの因子と総合得点について示したものである。防災意識尺度の各因子の回答合計点、総合得点を従属変数、群を独立変数とした分散分析の結果、いずれも 0.1%水準で群の主効果が有意であった（順に $F(3,724)=20.69, p<.001$; $F(3,724)=8.78, p<.001$; $F(3,724)=30.33, p<.001$; $F(3,724)=10.18, p<.001$; $F(3,724)=6.28, p<.001$; $F(3,724)=15.42, p<.001$)¹。

表 2-8-③-3 防災意識尺度の質問項目と因子分析表

項目	F1	F2	F3	F4	F5
災害発生時に人々がどのような行動を取るか具体的なイメージがある	0.843	0.069	-0.107	-0.063	0.009
災害発生時に必要となる物資の具体的なイメージが	0.815	0.117	-0.103	-0.073	-0.059
災害発生時に自分がどのような対応をすればよいか具体的なイメージがある	0.793	0.040	-0.021	-0.134	0.010
災害発生時に町がどうなるかの具体的なイメージがある	0.783	-0.023	-0.037	0.020	0.015
災害は明日来てもおかしくない	0.052	0.753	-0.102	-0.009	-0.042
ひとたび災害が起きれば大変なことになると思う	-0.110	0.743	0.001	0.099	-0.035
個人の努力だけで災害の被害を減らすことは難しいと思う	-0.020	0.669	-0.077	-0.043	0.163
防災は自分の地域だけで完結するのではなく他の地域との連携も必要だと思う	0.004	0.655	0.146	0.046	0.007
人とコミュニケーションを取るのが好きだ	-0.097	-0.046	0.828	0.015	0.075
人が集まる場所が好きだ	-0.048	-0.165	0.779	0.035	0.136
色々な友達をたくさんつくりたい	-0.118	-0.117	0.770	0.059	0.064
他の人のために何かしたいと思う	0.051	0.114	0.634	-0.009	-0.178
不安を感じることが多い	-0.029	0.097	0.018	0.764	0.032
自分は心配性だと思う	-0.226	0.141	0.078	0.745	0.016
災害のことを考え始めると、様々なパターンの被害を妄想してしまう	0.263	0.130	0.007	0.465	0.022
身の周りの危険をいつも気にしている	0.393	0.089	-0.090	0.410	-0.053
自分の利益にならないことはやりたくない	0.062	0.200	-0.267	0.134	0.593
普段は災害のことは考えない	-0.303	0.239	0.164	-0.198	0.536
自分の身近なところで起きそうなことだけ考える	0.061	0.170	0.034	0.104	0.519
災害対策は耐震補強や防波堤の整備など物理的なものだけで十分だと思う	0.389	-0.324	0.053	0.095	0.450
因子間相関	0.150				
	0.557	0.260			
	0.289	0.435	0.137		
	-0.006	-0.137	-0.105	-0.135	
累積説明率(%)	23.148	35.052	40.518	44.805	47.436

¹ 括弧内は分散分析を実施した時の一般的な統計量の表記。F値は（群間の分散）/（群内の分散）を示す。次の F に続く括弧内の 2 つの数値は群間の自由度と群内の自由度を示しており、p 値算出に用いる F 分布の形状はこの 2 つの自由度によって決定される。決定された F 分布において実測された F 値が偶然である確率を示す値が p 値である。分散分析等の統計分析の多くは、手元の実測値は偶然得られたという帰無仮説を立て、それを否定する形で「有意である」ことを主張する。p 値は 0~1 までの値を取り、一般的には .05 を下回った場合に実測値は偶然の結果ではなく有意であると解釈される。

多重比較の結果「被災想像力」は全国平均と九州保健福祉大学、全国平均と高知大学の間で有意差が見られ（いずれも $p<.001$ ）、それ以外の組み合わせには有意差は見られなかった。「危機感」も全国平均と九州保健福祉大学（ $p<.001$ ）、全国平均と高知大学の間（ $p=.005$ ）で有意差が見られ、それ以外の組み合わせには有意差は見られなかった。「他者指向性」は全国平均と九州保健福祉大学、全国平均と高知大学の間で有意差が見られ（いずれも $p<.001$ ）、全国平均と坂出市民の間でも有意差が見られた（ $p=.002$ ）が、それ以外の組み合わせには有意差は見られなかった。「不安」は全国平均と九州保健福祉大学（ $p<.001$ ）、全国平均と高知大学（ $p=.008$ ）、坂出市民と九州保健福祉大学（ $p=.001$ ）、坂出市民と高知大学（ $p=.008$ ）の間で有意差が見られ、学生が総じて高い結果となった。「防災無関心」は全国平均と坂出市民との間だけに有意差が見られ（ $p=.006$ ）、それ以外の組み合わせには有意差は見られなかった。「総合得点」は全国平均と九州保健福祉大学、全国平均と高知大学の間で有意差が見られ（いずれも $p<.001$ ）、それ以外の組み合わせには有意差は見られなかった。

九州平均と九州保健福祉大学を比較するために、図 2-8-③-14 に防災意識尺度の 5 つの因子と総合得点について示した。 t 検定の結果、「被災想像力」と「他者指向性」には 0.1% 水準で有意差が見られた。また、「危機感」や「不安」、「総合得点」でも 1% 水準の有意差（それぞれ $p=.002$, $p=.006$, $p=.002$ ）が見られたが、「防災無関心」には有意差は見られなかった。

四国平均と高知大、坂出市民を比較するために、図 2-8-③-15 は四国平均と高知大、坂出市民の分布を、防災意識尺度の 5 つの因子と総合得点について示したものである。防災意識尺度の各因子の回答合計点、総合得点を従属変数、群を独立変数とした分散分析の結果、「被災想像力」（ $F=4.26$, $df=2$, $p=.018$ ）、「危機感」（ $F=3.13$, $df=2$, $p=.049$ ）、「他者指向性」（ $F=6.98$, $df=2$, $p=.002$ ）、「不安」（ $F=5.45$, $df=2$, $p=.006$ ）、「総合得点」（ $F=4.12$, $df=2$, $p=.020$ ）には有意な主効果が見られたが、「防災無関心」の主効果は有意ではなかった（ $F=2.09$, $df=2$, $p=.132$ ）。多重比較の結果、「被災想像力」では四国平均と高知大学に有意差が見られた（ $p=.013$ ）。「危機感」では有意差が見られた組み合わせはなかった（四国平均と高知大学の差が有意傾向であった）。「他者指向性」では、四国平均と高知大学（ $p=.001$ ）、四国平均と坂出市民（ $p=.026$ ）に有意差が見られた。「不安」では高知大学と坂出市民に有意差が見られた（ $p=.006$ ）。「総合得点」では四国平均と高知大学に有意差が見られた（ $p=.024$ ）。

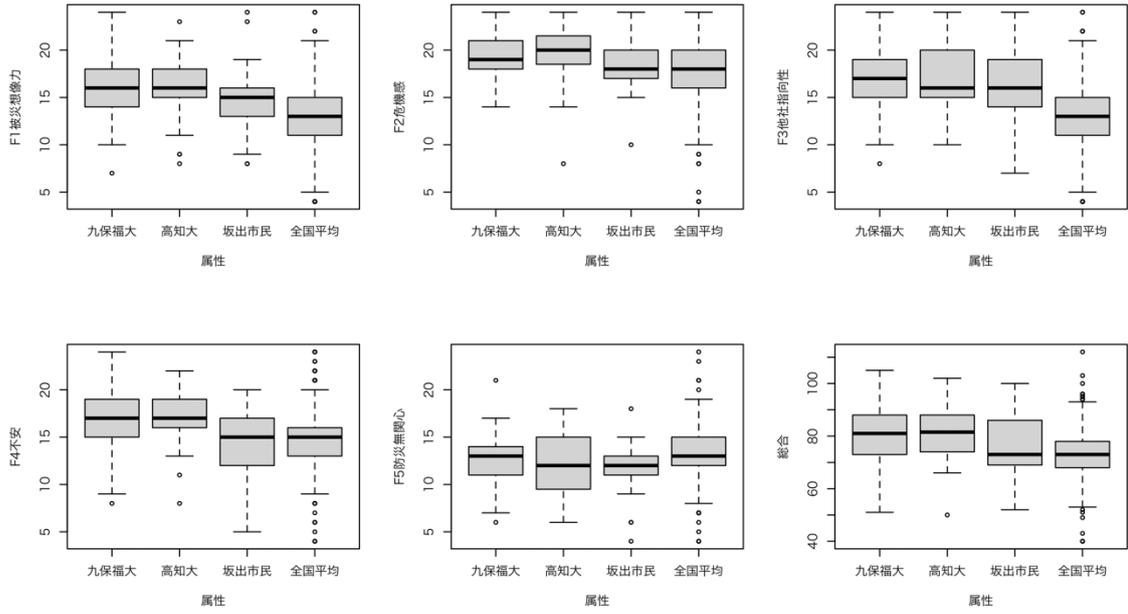


図 2 - 8 - ③ - 13 全国平均と 3 属性の比較

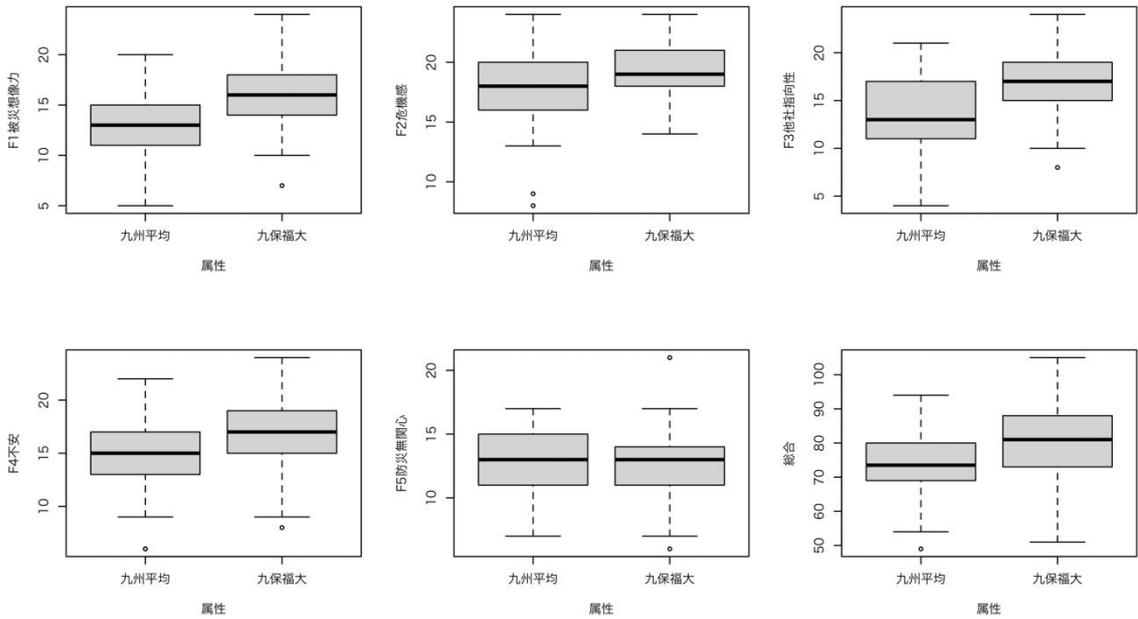


図 2 - 8 - ③ - 14 九州平均と九州保健福祉大学の比較

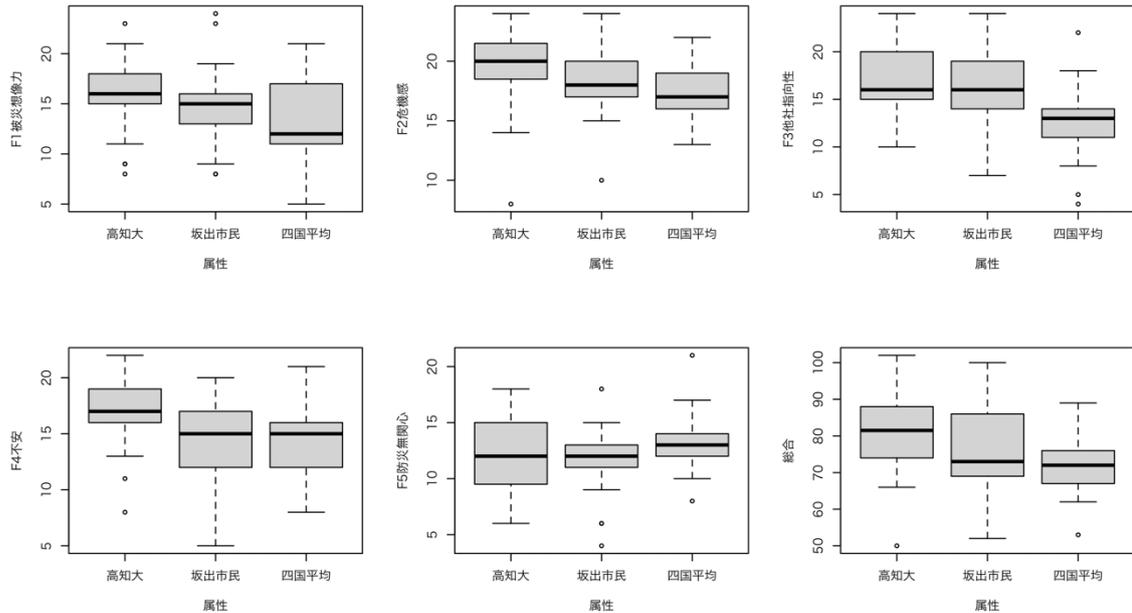


図 2 - 8 - ③ - 15 四国平均と高知大、坂出市民の比較

c) システム安定化のためのサーバ環境改良

他の研究業務やプロジェクトと共同で運用を行っている仮運用環境から、安定運用を実現するために、本プロジェクト専用の公関係クラウド環境に構築を移行、再構築し、その動作確認を実施した。表 2 - 8 - ③ - 4 には、これまでの改訂をしてきたアンケート調査の種別を示す。仮運用環境と公関係クラウド環境の表示内容の比較を行い、差異が無いことを確認し、クラウド環境で必要な動作確認を行い（表 2 - 8 - ③ - 5、表 2 - 8 - ③ - 6）、エラー等が表示されず挙動に問題が無いことを確認し、オンラインアンケートシステムの再構築が完了した（図 2 - 8 - ③ - 16～図 2 - 8 - ③ - 18）。

表 2 - 8 - ③ - 4 対象としたアンケート種別

アンケートID	題名
736886	南海トラフPJ 防災意識変化アンケート
541617	南海トラフPJ 防災意識変化アンケート
951994	学生向け南海トラフPJ 防災意識変化アンケート
613614	学生向け南海トラフPJ 防災意識変化アンケート (2021.6)
385468	一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
187628	社協向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
243563	臨時情報_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
776957	南海トラフ判定_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
863495	小学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
531579	中学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)
866772	一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年12月版)
177891	小学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和4年1月版)
441275	中学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年12月版)

表 2-8-③-5 表示内容の比較項目

画面	項目
アンケート一覧画面	アンケートID 状態 題名 グループ 作成日 オーナー 匿名回答 回答件数 クローズドアンケート
アンケート概要画面	アンケートURL等（※URLは新旧で異なる） テキスト要素 公開とアクセス設定 アンケート一般設定 その他設定情報 データベースの使用

表 2-8-③-6 動作確認の項目

アンケート状態	画面	確認項目
停止中	アンケートプレビュー画面	チェックボックスの挙動 ドロップダウンの挙動 ラジオボタンの挙動 テキスト入力 性別のボタン色（※個別テンプレートの設定確認） 前へボタン、次へボタンの挙動
実行中	統計画面	グラフの表示 グラフの切り替え 出力形式（HTML・PDF・Excel） 設問のPDF出力 全般フィルターでフィルタリング後の統計表示 回答フィルターでフィルタリング後の統計表示 シンプルモードでグラフの表示

アンケート一覧 アンケートグループ

新規アンケート作成

アンケート一覧

検索: ステータス: (すべて) グループ: (全てのグループ) 検索 リセット

アンケートID	状態	題名	グループ	作成日	オーナー	匿名回答	不完全	フル	全体	クローズドアンケート	
441275	■	中学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年12月版)	Default	01.12.2021		はい	0	0	0	いいえ	⚙️ 📄
177891	■	小学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和4年1月版)	Default	01.12.2021		はい	38	58	96	いいえ	⚙️ 📄
866772	■	一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年12月版)	Default	01.12.2021		はい	0	0	0	いいえ	⚙️ 📄
531579	■	中学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	13.10.2021		はい	158	14	172	いいえ	⚙️ 📄
863495	■	小学生向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	11.10.2021		はい	377	156	533	いいえ	⚙️ 📄
776957	■	南海トラフ特定_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	05.10.2021		はい	0	0	0	いいえ	⚙️ 📄
243563	■	臨時情報_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	01.10.2021		はい	0	0	0	いいえ	⚙️ 📄
187628	■	社協向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	29.09.2021		はい	7	2	9	いいえ	⚙️ 📄
385468	■	一般向け_南海トラフPJ防災意識変化アンケート (令和3年10月版)	Default	27.09.2021		はい	99	99	198	いいえ	⚙️ 📄
813614	▶	学生向け南海トラフPJ防災意識変化アンケート (2021.6)	Default	24.06.2021		いいえ	7	3	10	いいえ	⚙️ 📄

選択されたアンケート...

1-10 of 13結果表示 1ページあたり 10 行

◀ 1 2 ▶



図 2 - 8 - ③ - 16 アンケート Top 管理画面

設定
構成

新規質問追加
質問インポート

+ グループ追加

- 共通 8問
- 未来志向 31問
- 知識 41問
- そなえ 25問
- 第3変因 21問
- 行動 26問
- 災害情報リアリシー 11問
- 臨時情報 17問
- 南海トラフ判定 17問

このアンケートの質問

検索:

グループ: (全てのグループ) 検索 リセット

質問 ID	グループ / 質問順序	コード	質問	質問タイプ	グループ	その他
<input type="checkbox"/>	4436 2 / 23	Q00123	何かに取りかかる時は、失敗するだろうと考える	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4437 2 / 24	Q00124	自分が住んでいる地区を守るためには人材育成が重要だ	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4438 2 / 25	Q00125	子供たちに良い環境を残そうと思う	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4439 2 / 26	Q00126	自分が住んでいる地域の20年後を具体的に想像できている	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4551 2 / 27	Q00127	自分が住んでいる地域が長く存続していくために、何が必要か考えている。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4440 2 / 28	Q00128	もし災害が起こったら、今住んでいる地域を復興させたいと思う。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4441 2 / 29	Q00129	もし災害が起こったら、地域を復興させるための活動に、積極的に関わりたいと思う。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4442 2 / 30	Q00130	被災して仮設住宅に住む場合、今の近所の人たちと近くに住みたいと思う。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4443 2 / 31	Q00131	自分が住んでいる市町村は、防災上の懸点が明らかだ。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	未来志向 31問	👁 ✎ 🗑
<input type="checkbox"/>	4444 3 / 1	Q00009	耐震基準は、家を守るためではなく、命を守るためにある。	リスト (ラジオボタン) : 単一回答	知識 41問	👁 ✎ 🗑

« < 2 3 4 5 6 > »

選択された質問...
31/40 of 198結果表示 1ページあたり 10 行

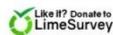


図 2 - 8 - ③ - 17 アンケート設問管理画面

未来志向 31問

9 地域の歴史・伝統・特徴を住民に知ってもらう機会を作っている

あてはまる どちらかといえばあてはまらない 回答なし
 どちらかといえばあてはまる あてはまらない

10 地域の魅力（自慢できるヒト・モノ・コト）を住民に知ってもらう機会を作っている

あてはまる どちらかといえばあてはまらない 回答なし
 どちらかといえばあてはまる あてはまらない

11 地域の魅力やワリを、広報誌やホームページなどで地域の内外に発信している

あてはまる どちらかといえばあてはまらない 回答なし
 どちらかといえばあてはまる あてはまらない

12 自分の将来は、良いことが起こると思う

よくあてはまる あてはまらない 回答なし
 あてはまる 全くあてはまらない

13 私の将来は、暗いと思う

図 2 - 8 - ③ - 18 アンケート実施画面一部抜粋（未来志向）

(c) 結論ならびに今後の課題

本プロジェクトによる研究成果が地域や企業の防災対策や施策に利用され災害情報に関しての発信側、受信側の相互の立場から、情報を正しく理解する情報リテラシーの向上を図り、災害前、災害時ならびに災害後のそれぞれの状況下で正しい行動を促すことを目的としている。知識、経験、判断力、行動力、未来志向をキーワードとして、災害対応評価システムとして設計し、昨年度から引き続きアンケート形式の調査を行った。対象は、香川県と高知県、宮崎県の小中学校、大学において調査を実施、その結果を分析した。授業の介入の効果は一定程度確認できるが、全体的に理解が進むかどうか、これから継続的に実施して確認する。臨時情報のワークショップを開催し、情報の周知を図った結果、こちらもある程度の効果がみられたが、さらに改善の余地があると考えられる。

並行して分析と設問の見直しも行った。一般向けの設問は、小中学生向けの設問よりも設問数を多く設定し、居住地域や職種、職場地域、年代、環境を共通で問う事項として、知識（地震、津波、リスク、災害史、ハザードマップ）、備え（避難準備、事前準

備、備えの意識)、行動(積極性、人に頼る力、グローバル指向)、未来志向(地域愛、楽観性、地元志向)、経験(被災経験、訓練、コミュニケーション、社会性、統率)、情報リテラシー(情報収集、情報への信頼性の意識)、臨時情報(臨時情報への理解、自らの行動への意識)、判断力(地震・津波規模の把握、被害の即時イメージ、避難行動への即時性)を問うものとして地域の防災部局の方のご協力のもと、試験的な調査を試行した。こちらは、被験者にとって設問が多すぎるコメントを頂いているため、現状のデータで設問の内容が似通っている、あるいは、効果が薄い、と判断したものを今後削除して適切な設問数に設定する。

これらの設問の見直しに応じてオンラインアンケート・評価システムの改良を実施、適宜、小学生向け、中学生向け、大学生以上の一般向け、防災意識尺度(尾関・島崎, 2017)¹⁾の各設問群をオンライン上で選択できるように改良した。防災意識尺度は既に全国モデルを有しているため、相対的な比較が可能である。このオンラインシステム上で簡単な集計が可能であり、今後データ数が増えてきても対応が可能になる体制を構築した。今年度、防災意識尺度のデータの解析を実施、各地域の傾向をつかむことに成功した。本プロジェクトのアンケート調査と併用することで、各地域の災害リテラシーの現状把握と対応策を検討する。

(d) 引用文献

- 1) 島崎敢, 尾関美喜: 防災意識尺度の作成(1), 日本心理学会第81回大会発表論文集, Vol.69, 2017.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし
- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

3. まとめ

令和3年度はプロジェクト2年目であり、各サブ課題間の連携も意識し着実に研究を進めた。以下に各サブ課題の成果の概要を示す。

サブ課題1「地殻活動情報創成研究」

南海トラフの地震・地殻変動の現状を即時的に把握し情報を発信するためのシステム構築をすすめるとともに、プレート固着状態の推移予測の確立を目的とする。サブ課題2「地震防災情報創成研究」、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、得られた成果の最大活用を進める。本サブ課題は「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」、「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」、「3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」の各テーマがある。

以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

サブ課題1a「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」

- ① これまで未活用だった熊野灘周辺の構造探査成果等を既存の三次元P波速度構造モデルに取り込み、また、令和2年度に取りまとめたマルチパラメータ化手法を適用することで、熊野灘周辺のマルチパラメータ3D構造モデルの高精細化を進めた。他のサブ課題等の関係者と3D構造モデルの共有やモデル統合に向けた検討を開始した。前年度に引き続きDONETの観測点直下の堆積層の詳細S波速度構造推定のための解析を進めた。
- ② 昨年度構築した自動震源決定システムの仮運用を行うとともに、過去の震源カタログ構築に必要なツール類を整備した。2022年1月に発生した日向灘の地震及びその余震活動を対象として、震源決定システムの動作状況ならびに計算結果の確認を行った。高精細なマルチパラメータ3D構造モデルに対応することを念頭に、最短経路法を震源決定システムに反映するための検討を開始した。

サブ課題1b「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」

- ① プレート境界におけるすべり遅れの蓄積や、地震時のすべり、スロースリップなどの時空間分布を迅速かつ精度よく把握するシステムの構築を実現するため、全国一次地下構造モデルを基盤とした既存の3D有限要素法モデルでは簡略化されていた地下浅部に関して、全国一次地下構造モデルにできうる限り忠実に従った有限要素法モデルを構築するとともに、プレート境界でのすべり・固着による陸域及び海底に設置されている地殻変動観測点における変位応答グリーン関数の計算を実施した。
- ② 推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を活用した推定手法の開発を継続するとともに、得られた断層すべりの推定不確実性をリスク情報へと変換するための試みとして津波浸水リスクマップとして可視化するための手法開発を行った。また、得られた断層すべりの推定不確実性を可視化するためのWebアプリの改良を実施した。
- ③ 浅部スロー地震活動が活発な南海トラフ中西部において広帯域海底地震観測によりプレート境界浅部におけるスロー地震活動の詳細な時空間把握を行うために、南海トラフ西部に位置する日向灘に昨年度設置した海底地震計10台の回収を行った。また、新規

の固有周期 120 秒の広帯域地震計を搭載した海底地震計用レベリング装置 3 台の整備を行い、長期観測可能な海底地震計を 10 台設置して観測を継続した。これらのうち、6 台は小型広帯域海底地震計である。回収した海底地震計にはデータが取得されており、複数のスロー地震活動とスロー地震活動に同期発生したと考えられる地震活動を含む良好なデータが取得されていることを確認した。これらに加え、本年度は過去に実施された観測データの再解析も行い、日向灘における浅部低周波微動活動の新たな活動特性を明らかにした。

サブ課題 1 c 「3 D モデル・履歴情報を用いた推移予測」

- ① 3 D 不均質粘弾性構造モデルを考慮した推移予測手法の開発では、3 D 弾性不均質構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算を行うとともに、地殻変動データとの比較と断層面での応力評価を行うための 3 D 粘弾性不均質構造大規模有限要素モデルを構築した。
- ② 海域における地震・津波履歴調査では、令和 3 年度に採取した海底堆積物コアの分析を行いタービダイトの平均堆積間隔やタービダイト中の底生有孔虫群集の分析からタービダイトを構成する粒子の給源について考察した。
- ③ 陸域における地震・津波履歴調査では、南海トラフ沿い陸域沿岸の 4 地域において掘削調査等の実施し、1 地域での既存の堆積物試料の分析を行い、さらに活断層のトレンチ掘削調査現場で露出したイベント砂層の試料採取を行った。
- ④ 史料に基づく調査研究では、静岡県南伊豆町入間における津波痕跡高の数値再現と体験談に基づいた現地測量から昭和東南海地震の津波痕跡調査、安政南海地震津波による家屋流失率の推定を行った。さらに、推移予測からみた南海トラフの地震履歴の統一モデル (ver1.0) のイメージを検討、整理した。

サブ課題 2 「地震防災情報創成研究」

サブ課題 2 では、地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例としてとらえることにより、地震や津波のハザード・リスクの防災情報基盤を創生し、「命を守る」「地域産業活動を守る」「大都市機能を守る」の 3 つの目標を立て研究を開始した。「命を守る」を目標とするサブ課題 2 d 「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」では、「事前避難要不要判断ツール」の開発および「逃げ地図」プロジェクトに着手した。「地域産業活動を守る」を目標とするサブ課題 2 e 「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」では、産業タイムライン構築、リアルタイムでの社会様相把握手法の開発、事態想定シミュレーション手法の構築に向けた研究が開始され、愛知県西三河地域を対象としたワークショップが開催された。「大都市機能を守る」を目標とするサブ課題 2 f 「発災時の大都市機能の維持」では、自然言語処理を用いた災害事象の因果関係を機械的に抽出する研究に着手するとともに、高層建築物のエレベータ復旧オペレーションにおける現状の把握と課題の抽出を実施した。これら 3 つの研究の基盤情報の創出を目標とするサブ課題 2 g 「地震防災基盤シミュレータの構築」では、シミュレータの基本設計を実施するとともに、各サブ課題で必要とされる情報の創出に向けた研究に着手した。サブ課題 2 g を要として調整を行った結果、サブ課題 2 の中の課題間の連携体制が構築できた。また、サブ

課題1およびサブ課題3との具体的な連携構築に着手した。

以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

サブ課題2d「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」

① 『事前避難要不要判断ツール』の開発と社会実装に関する検討

- ・『事前避難要不要判断ツール』について、事前避難の要不要の分析アルゴリズムについて検討し、「集合的避難行動の解析・表示システム」（「逃げトレView」）の分析結果の可視化手法を開発した。
- ・避難訓練支援アプリ「逃げトレ」に、臨時情報発表時に想定される「半割れ」ケースにおける津波浸水想定（サブ課題2（g）と連携）を含めて、複数の津波シミュレーションを新たに実装するための準備作業を完了した。
- ・『事前避難要不要判断ツール』で活用する個人属性情報（避難時の支援の必要性など）を同定するための仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定し「逃げトレ」を拡充した。
- ・実際のフィールド（高知県内の自治体）で『事前避難要不要判断ツール』の実証実験を実施するための準備作業を行った。

② 避難困難区域での「避難を可能にする」まちづくり方策の検討

- ・津波防災まちづくりのツールとして開発された「逃げ地図」を元に、その課題の検証・改善方法の抽出を行い、避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策を検討するための仕組みの構築を行った。
- ・テストフィールド（和歌山県串本町）において避難困難区域における事前避難のあり方について検討を行うとともに、「逃げ地図」ワークショップの本格実施に向けた知見を得るため、先行して実施している地域（静岡県下田市）において先進事例調査、ワークショップ支援システムの改良・評価を行った。

サブ課題2e「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」

① 産業復旧タイムライン構築に向けた都市インフラデータ整備

リアルタイム観測データを用いた産業活動の「萎縮」状態の想定において、産業の活性度を映しだす鏡として、産業に欠かせない電力の需要量（消費量）をモニタリングすることを考案し、その妥当性について時系列データ分析等の統計学的手法を用いて検証した。結果、電力需要量の増大・低下をリアルタイムに観測することで、産業の活性度に変調があるかどうかを判断できる可能性があることが示唆された。

産業タイムライン構築のための都市インフラ被害と機会損失評価において、水道、電力や企業の建築物の被害も考慮した経経済機会損失を算出する機会損失評価モデルを構築した。その結果、本稿における解析対象地域では、南海トラフ地震が発生した際、発災直後給水人口の約6割の断水や、最長1ヶ月以上の断水が予測される地域が示され、産業構造を明らかにし、臨時情報発表時の産業活動の極度の停滞を回避する必要があるといえた。

COVID-19による産業への影響調査において、状態空間モデルと時系列データを用いて、いくつかの産業におけるCOVID-19の影響を定量的に把握した。COVID-19の

影響は産業によって大きく異なり、COVID-19により生産水準が大きく落ち込み続けている産業もあれば、ほとんど影響がみられないあるいは生産水準が増えた産業も確認された。

② リアルタイム社会様相把握システム構築に関する検討

ライフラインの稼働状況や需要量の推移、交通状況やさらには地震計によってとらえられた雑微動のデータなどにより社会の活性度合やその変化を推定しうる可能性のあることを明らかにした。

地盤条件や社会状況から見て既存の震度観測の密度が相対的に低い地域があること、このような地域に、無線ネットワーク接続された小型地震計を階層的かつ戦略的に配置する振動モニタリングで、多大なコストを要せずに、事前の対策や発災後の対応に有用な情報が得られる可能性があることを示した。

実験を通じ、CASI-KAシステムを用いた災害情報の収集・共有について、明確なメリットがある事が確認できた。今後、組織内の部署間など比較的近いところから情報共有を試み、そのためのシステム最適化を図っていく。

③ 事態想定シミュレーション手法の構築に関する検討

名古屋大学減災連携研究センター自治体研究会、あいち・なごや強靱化共創センターと連携し、ワークショップを地域研究会活動として実施し、南海トラフ地震臨時情報に対する被災シナリオについて検討した。その結果、南海トラフ地震臨時情報発表時においては、社会、心理、サプライチェーン、対象地域に関する事象が多く、これらに関連する産業、避難、インフラ、経済活動など、特徴的な時間断面での社会様相を示しえた。

南海トラフ地震臨時情報発表時における事態想定検討では、想定被災地域の給水車による応急給水の限界を示すとともに、南海トラフ地震臨時情報が発表された場合、いかに病院機能維持を維持するのかが重要となることを指摘した。

④ 臨時情報発表時における地域情報共有連携手法の構築

本研究における臨時情報発表時における地域情報共有連携手法に係るワークショップは、南海トラフ地震臨時情報の認知度及び理解度の向上を目的のひとつとして実施した。その結果、臨時情報の認知度及び理解度の向上について成果がみられた。今後、臨時情報の周知及び認知度向上のためには、対象層を明確にし、各機関が伝えるべき情報を整理し、多くの関係者との継続的な地域情報共有連携手法の検討することが重要であるといえた。

サブ課題2f「発災時の大都市機能の維持」

① 令和元年東日本台風における新聞記事データを対象として因果データベースを作成し、発災後1年間における災害連鎖ネットワークの可視化を試みた。また、これらをベースとしたWebベースの災害シナリオ自動生成技術を構築した。

② 前年度に実施したエレベータ障害・復旧過程の現状調査に基づいて、地震発生時からエレベータ障害の復旧に至るまでのシミュレーションに必要な各要素に対して理論モデルを構築し、被害規模や災害シナリオを任意に設定したケーススタディによる事例解析を通して、復旧戦略の良否を判別する評価方法を検討した。

サブ課題 2 g 「地震防災基盤シミュレータの構築」

- ① 課題 2 f の検討に必要な広帯域強震動シミュレーションのための断層や地下構造のモデル化とシミュレーションの実施
- ② 課題 2 d やリスク評価の検討に必要な最大クラスの地震を含む波源断層モデルによる津波遡上シミュレーションの実施
- ③ 複数回の地震が発生した場合の条件付きハザード評価と半割れケースに着目した条件付きリスク評価
- ④ 地震防災基盤シミュレータのプロトタイプ開発

サブ課題 3 「創成情報発信研究」

サブ課題 3 では、サブ課題 1 とサブ課題 2 からの研究成果の地域や企業での利活用を推進している。そのために、①地域の防災上の課題評価、②情報発信検討会、③情報リテラシー向上の 3 つの取り組みを進めている。地域の防災上の課題評価は、地域との防災連携を進める上で、地域にとって不可欠な情報を洗い出し、地域に情報を展開するためのものである。情報発信検討会は、サブ課題 3 の取り組みや各地域での取り組みを、他地域との情報共有を通じて加速させるためのものである。情報リテラシー向上は、本プロジェクトからの成果情報を受け取り手が適切に防災行動に使って頂くためのものである。

以下に本サブ課題の成果概要を示す。

① 地域の防災上の課題評価

津波浸水のあとの被災地の状況を把握したい、という地域側からの意見を受け、津波瓦礫の漂流と堆積厚分布の評価を併用する形で手法を確立した。昨年度の成果を踏まえ、尾鷲市には、車両や船舶を含む津波瓦礫の動きを評価できる津波被害即時予測システムとして実装した。この評価手法を用いて、延岡市の建物情報を取得して地形データを作成し津波浸水評価をまず進め、同時に車両や船舶の初期位置の設定を行った。軟弱地盤による強震時の地盤変動評価としては徳島県那賀川下流域の河川堤防を対象に水～土連成弾塑性有限変形解析による耐震性再照査を実施、嵩上げと地盤改良による対策を実施すると健全性を確保できることを確認した。従来法では、粘性土層が適切にモデル化されていないことに加えて、地震動の長周期成分が十分には考慮されていないため、被害を過小評価してしまう危険性を指摘した。

② 情報発信検討会

今年度は、各地域や企業との信頼関係を構築して連携を開始した。各地域の防災上の特性を分類し、改めてハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の 4 つの具体的なテーマを設定し、それぞれ年 2 回ずつオンライン開催した。南海トラフ地震で起こりえる被災イメージの共有を進め、臨時情報をどう活用するか、という議論に今後進めたい。同時に、サブ課題 1 による地殻活動モニタリングや推移予測、サブ課題 2 からのハザード評価やリスク評価といった研究成果を地域側と即時的に共有できるクラウドシステムを構築した。

③ 情報リテラシー向上

香川県、高知県、宮崎県の小中学校や大学において、定点観測を開始した。毎年の授業による介入が個々の防災力の向上につながるか、数年間にわたる調査を進める。一方で、アンケート調査の設問の見直しも進め、知識、備え、行動、未来志向、経験、情報リテラシー、臨時情報、判断力の項目に整理した。臨時情報のワークショップを開催し、認知度調査を行ったところ、一定の効果は認められた。オンラインで被験者が答えられる環境を整備するとともに、防災意識尺度調査との併用も開始した。

以上が令和3年度の成果の概要である。コロナ禍で移動の制限があったものの、オンラインでの議論等を最大活用し、上述のように多くの研究成果が得られた。

4. 活動報告

(1) 外部評価委員会

① 令和3年度第1回外部評価委員会

日時：令和3年10月13日（水） 13時30分～16時30分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 文部科学省、外部評価委員長、研究代表より一言
2. 各課題について、プロジェクトの計画とこれまでの成果報告
 - (1) サブ課題1 地殻活動情報創成研究 海洋研究開発機構 小平秀一
サブ課題1サブ(a) 防災科学技術研究所 汐見勝彦
サブ課題1サブ(b) 東北大学 太田雄策
サブ課題1サブ(c) 海洋研究開発機構 堀 高峰
 - (2) サブ課題2 地震防災情報創成研究 防災科学技術研究所 藤原広行
サブ課題2サブ(g) 防災科学技術研究所 中村洋光
サブ課題2サブ(d) 京都大学 矢守克也
サブ課題2サブ(e) 名古屋大学 平山修久
サブ課題2サブ(f) 東京大学 廣井 悠
(代理発表 防災科学技術研究所 中村洋光)
 - (3) サブ課題3 創成情報発信研究 防災科学技術研究所 高橋成実
3. 総合討論、総評
4. 事務連絡・今後の予定等

② 令和2年度第2回外部評価委員会

日時：令和4年3月18日（金） 13時30分～17時30分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 文部科学省、外部評価委員長、研究代表より一言
2. 各課題について、プロジェクトの計画とこれまでの成果報告
 - (1) サブ課題1 地殻活動情報創成研究 海洋研究開発機構 小平秀一
サブ課題1サブ(a) 防災科学技術研究所 汐見勝彦
サブ課題1サブ(b) 東北大学 太田雄策
サブ課題1サブ(c) 海洋研究開発機構 堀 高峰
 - (2) サブ課題2 地震防災情報創成研究 防災科学技術研究所 藤原広行
サブ課題2サブ(g) 防災科学技術研究所 中村洋光
サブ課題2サブ(d) 京都大学 矢守克也
サブ課題2サブ(e) 名古屋大学 平山修久
サブ課題2サブ(f) 東京大学 廣井 悠
 - (3) サブ課題3 創成情報発信研究 防災科学技術研究所 高橋成実
3. 総合討論、総評
4. 事務連絡・今後の予定等

③ 外部評価委員名簿

委員長	土井 恵治	土佐清水市国立公園＊ジオパーク推進課 ジオパーク専門員
委員	谷岡 勇市郎	北海道大学大学院 理学研究院地震火山研究観測センター 教授
委員	吉岡 祥一	神戸大学 都市安全研究センター 教授
委員	加藤 孝志	気象庁 地震火山部管理課 課長
委員	能島 暢呂	岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授
委員	久田 嘉章	工学院大学 建築学部まちづくり学科 教授
委員	香川 敬生	鳥取大学大学院 工学研究科 教授
委員	坂東 淳	徳島県 危機管理環境部 危機事象統括監兼副部長
委員	山崎 登	国土舘大学 防災・救急救助総合研究所 教授

(2) 全体会議

① 令和3年度 第1回全体会議

日時：令和3年9月30日（木） 13時30分～16時45分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 研究代表の挨拶
2. 実施計画のおさらいとプロジェクト開始時からの進捗報告
サブ課題1
サブ課題2
サブ課題3
3. 総合討論・まとめ

② 令和3年度 第2回全体会議

日時：令和4年3月4日（金） 13時30分～16時45分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 研究代表の挨拶
2. 実施計画のおさらいとプロジェクト開始時からの進捗報告
サブ課題1
サブ課題2
サブ課題3

(3) シンポジウム

① ぼうさいこくたい2021

開催期間：令和3年11月6日～11月7日

開催場所：釜石市民ホールおよびオンライン出展

主催：防災推進国民大会 2021 実行委員会

(内閣府、防災推進協議会、防災推進国民会議)

出展概要：釜石市民ホールで本プロジェクトを紹介する展示を開催期間中に行った。また、「ぼうさいこくたい」HPでは、課題担当研究者による本プロジェクトの説明動画を公開した。

会場の本プロジェクト展示来場者：105名

開催期間中の動画アクセス件数：116件



展示会場の様子



ぼうさいこくたい 2021 ホームページ： <https://bosai-kokutai.jp/>



出展ページ： <https://bosai-kokutai.jp/P73/>



動画（埋め込み動画 ※JAMSTEC の YouTube ページにリンク）

5. むすび

令和2年度から5年計画で開始された本プロジェクト2年目の取り組みとして、地殻活動情報創成研究、地震防災情報創成研究、創成情報発信研究の各課題においてオンライン等による議論・検討も活用し研究計画に沿った研究を着実に進めた。また、プロジェクト全体会議や個別の検討会を通して、3課題の連携の在り方を議論して具体的な取り組みを明確化し、プロジェクトの統合的推進を図った。更に、外部有識者からなる外部評価委員会を2度開催し、本プロジェクトのこれまでの進捗や今後の計画に対する評価・コメントをいただき、プロジェクト推進を図った。