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５年度

成 果 報 告 書

令和６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５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

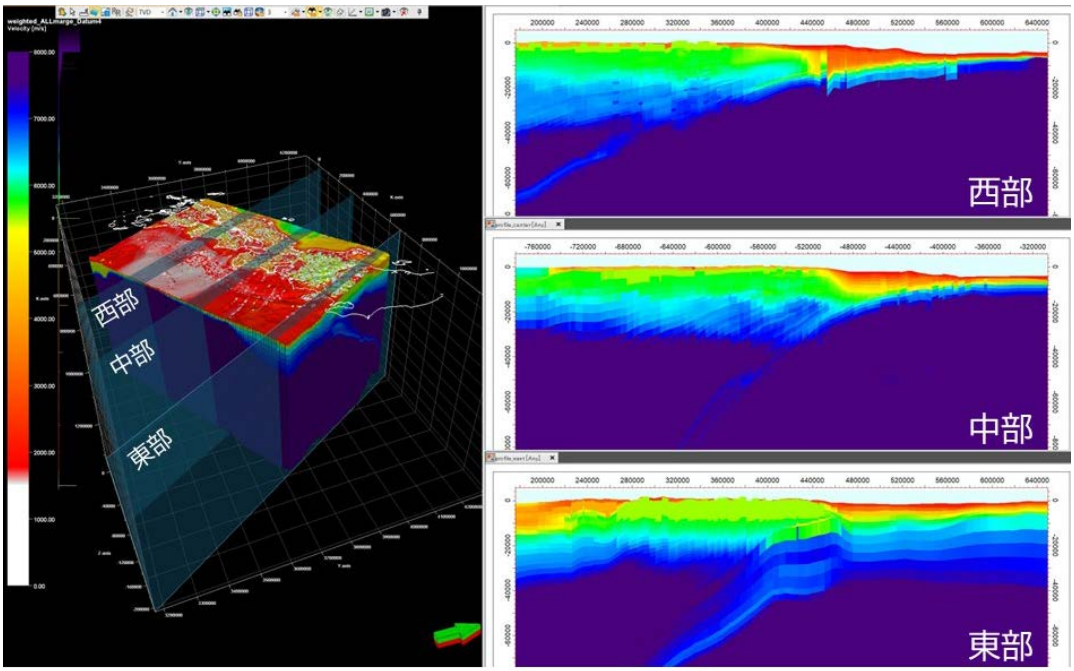


図１　令和５年度に構築したマルチパラメータ３Ｄ構造モデル（左）について、南海トラフ域の西部、中部、東部の３箇所を北東―南西方向に切った断面のＰ波速度構造（右）。入力した構造情報に基づく沈み込みの東西変化が反映されているが、西部断面（右上）では、各種モデルの統合による不連続が認められる。

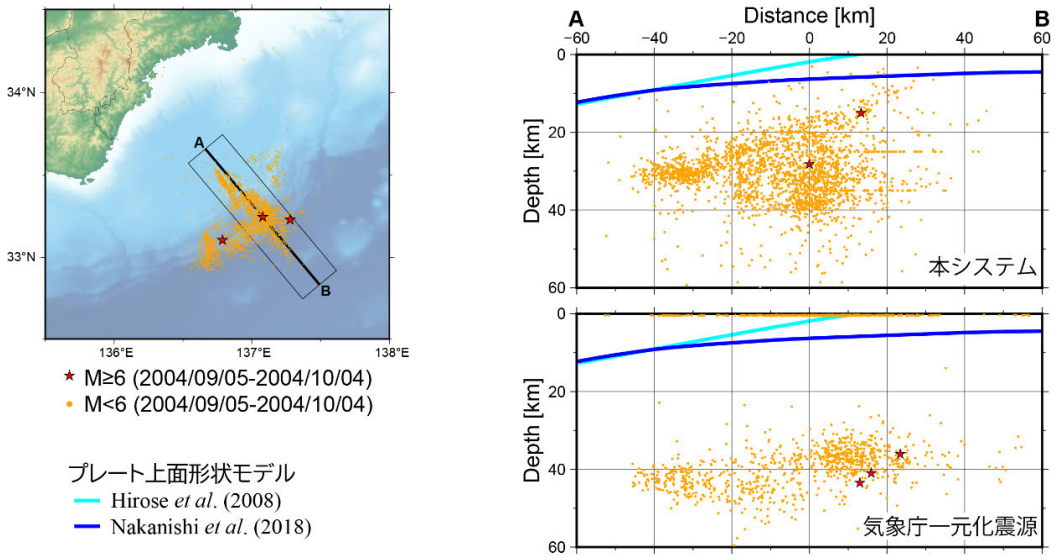


図２　紀伊半島南東沖の震源分布。2004年９月５日から30日間に発生したマグニチュード６以上の地震を赤星印で、それ以外の地震を橙点で示した。右上に３Ｄ構造モデルを用いて再決定した震源カタログ、右下に気象庁一元化震源情報の鉛直断面図を示す。断面線の位置は左地図に示す。３Ｄ構造モデルを用いることにより、震源の深さが有意に浅くなったことが分かる。

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

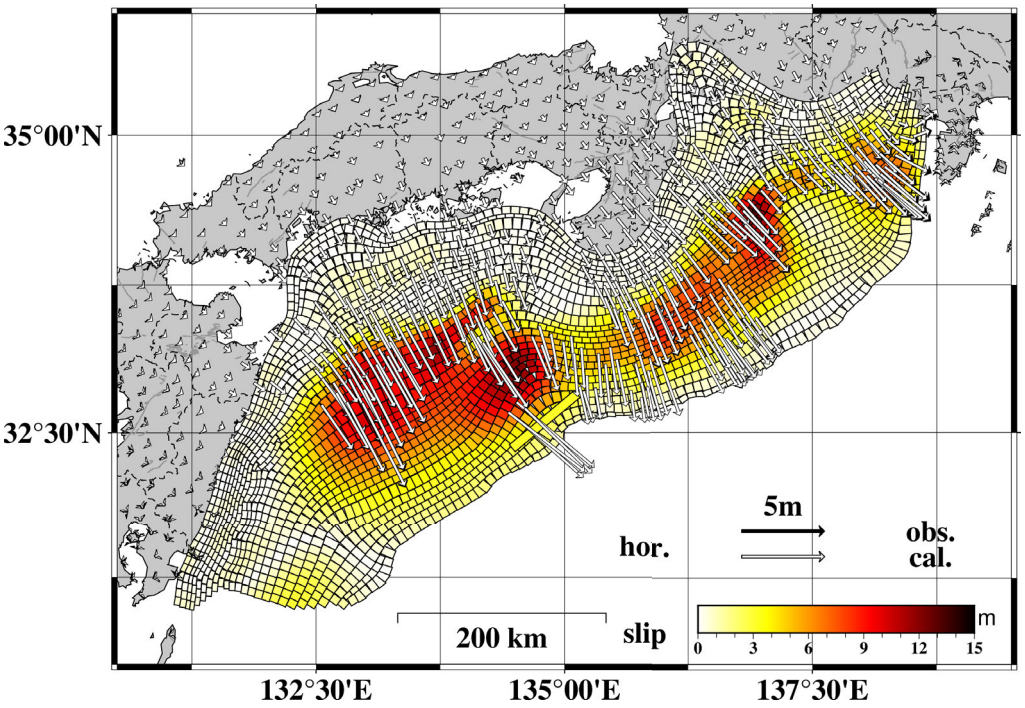


図３　プレート境界におけるすべり分布および同時推定された分岐断層のすべり量。矢印は各観測点における水平変位場を示す。推定には用いていないが、DONET において期待される水平変位場も参考のために併記した。



図４　回収された海底地震計

３．３Ｄモデル・履歴情報を用いた推移予測

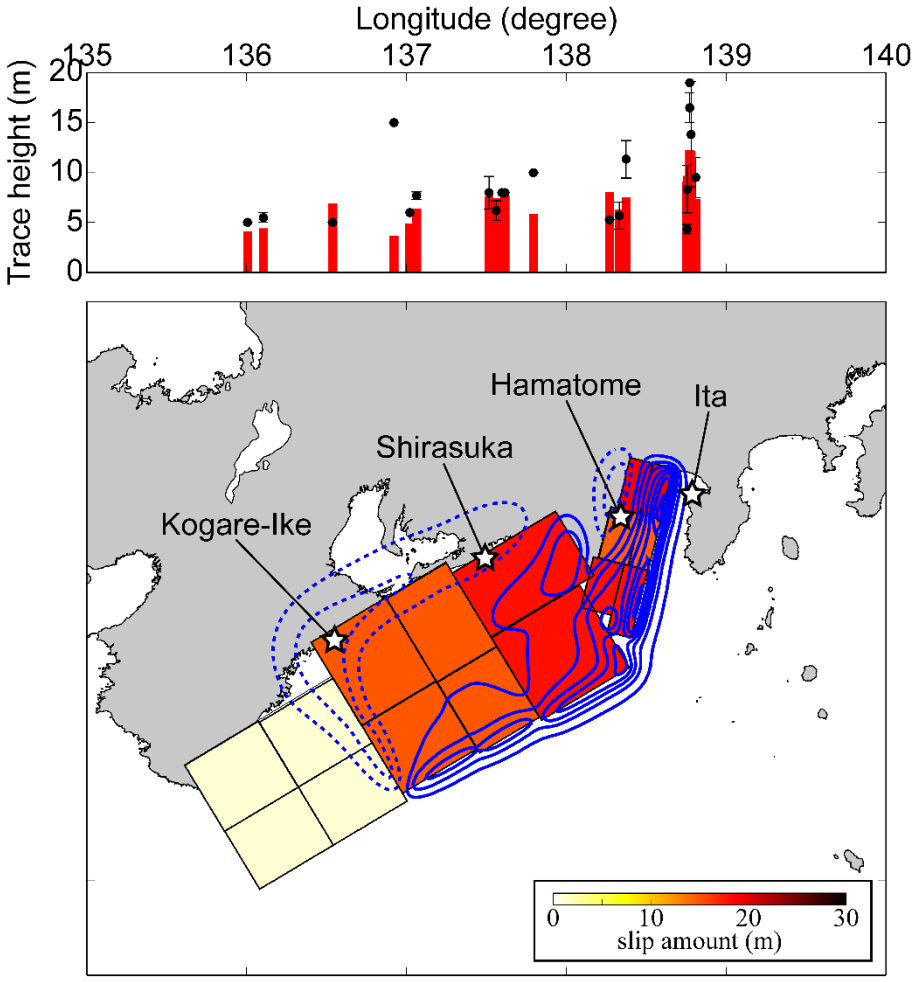


図５　津波痕跡高と津波堆積物調査地の浜提高さに基づいた 1498 年明応東海地震の津波波源モデル。星印は津波堆積物調査を実施した調査地（三重県南伊勢町こがれ池・静岡県湖西市白須賀・静岡県焼津市浜当目・静岡県沼津市井田）の位置を示す。

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

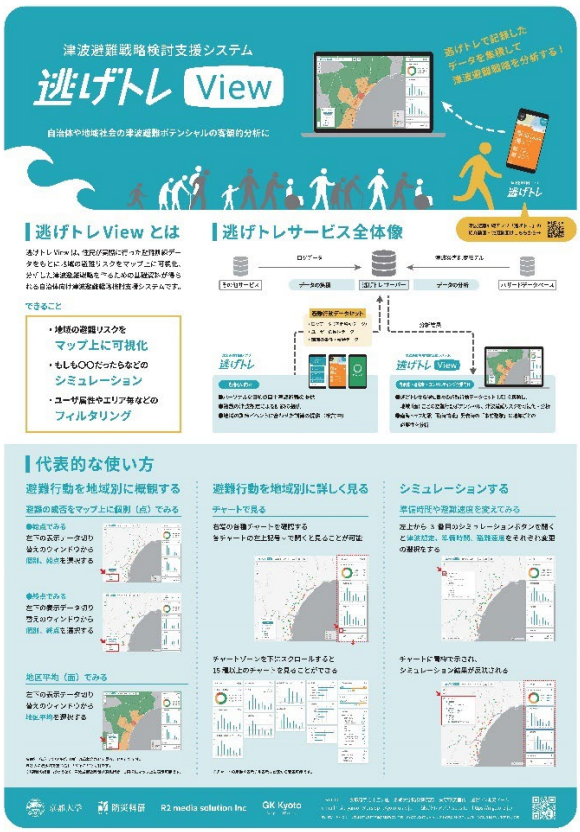


図６　避難訓練支援アプリ「逃げトレ」によって収集された行動データもとに、市町村やコミュニティの津波避難戦略について検討するためのシステム「逃げトレView」を新たに開発。「逃げトレ」と合わせて「逃げトレサービス」を構築。

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

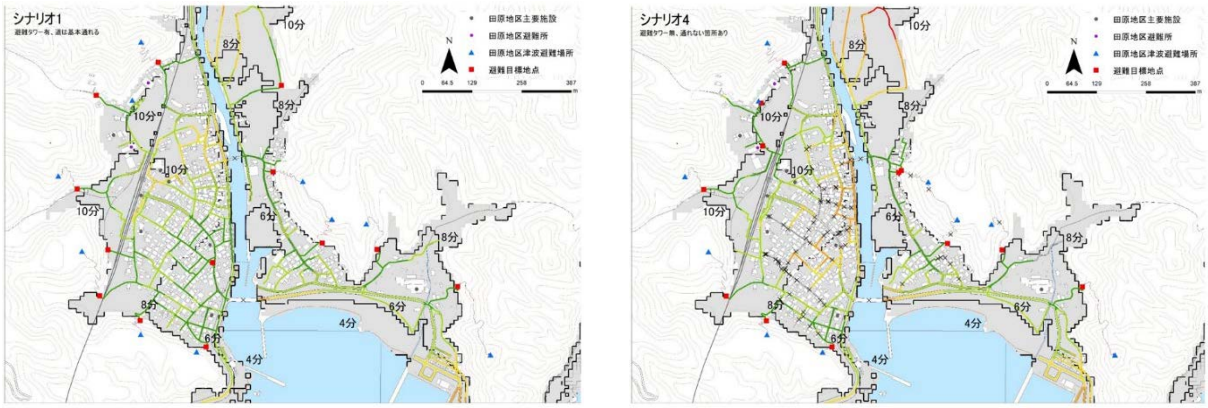


図７　「逃げ地図」ワークショップを開催。通れない道がない場合の津波到達時間と避難可能時間（左図）、通れない道が多い場合の津波到達時間と避難可能時間（右図）などを作成し、避難を可能にするまちづくりについて検討。

５．発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

産業構造の把握と産業タイムライン

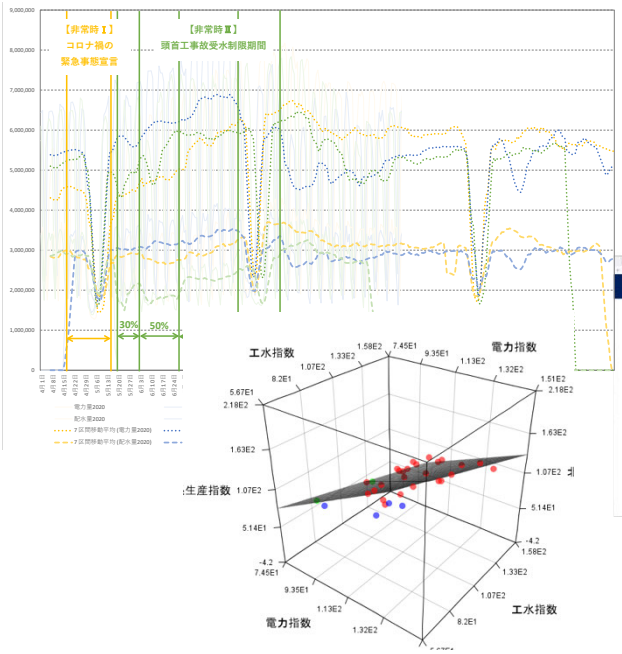


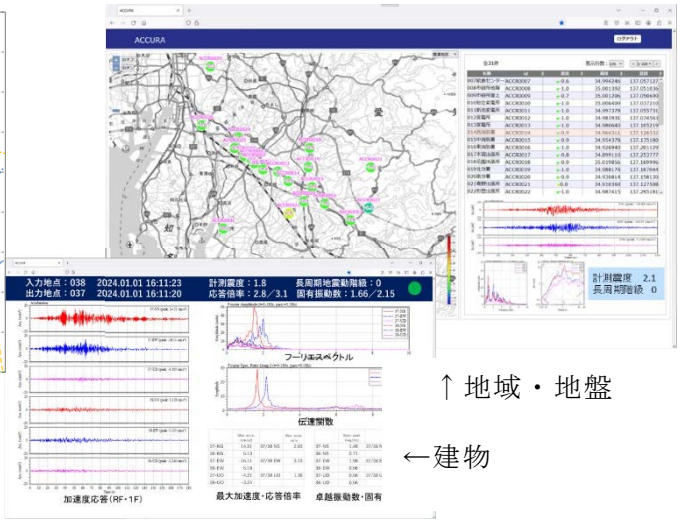
図８　COVID-19 緊急事態宣言化と明治用水頭首工大規模漏水事故時のライフライン分析



図 10　南海トラフ地震臨時情報勉強会ツールの開発と実践

事態想定シミュレーションのツール検討

リアルタイム社会様相把握



↑地域・地盤

←建物

図９　地盤・建物群高密度地震観測情報の企業・自治体活用インターフェイス

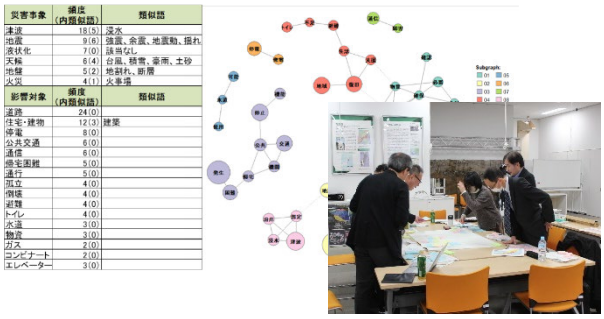


図 11　臨時情報発表時社会様相構造モデル

事態想定シミュレーション検討

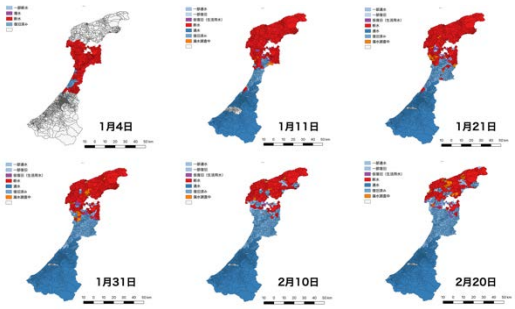


図 12　令和６年能登半島地震での水道の復旧状況マップ

令和６年能登半島地震の経験を臨時情報発表時の事態想定に活かすためのライフライン情報収集

６．発災時の大都市機能の維持

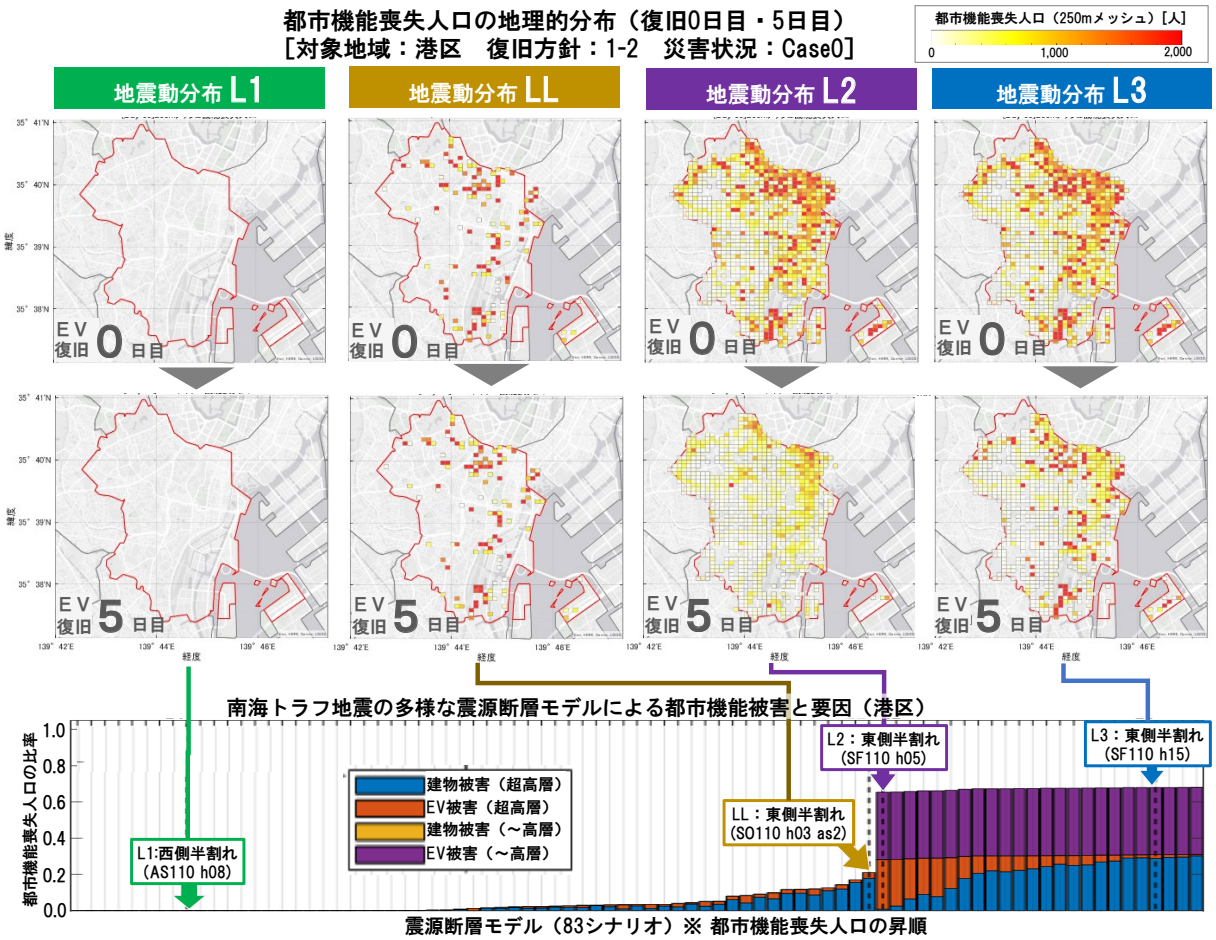


図 13　代表シナリオによる都市機能の復旧仮定と南海トラフ地震の多様な震源断層モデルによる都市機能喪失被害

７．地震防災基盤シミュレータの構築

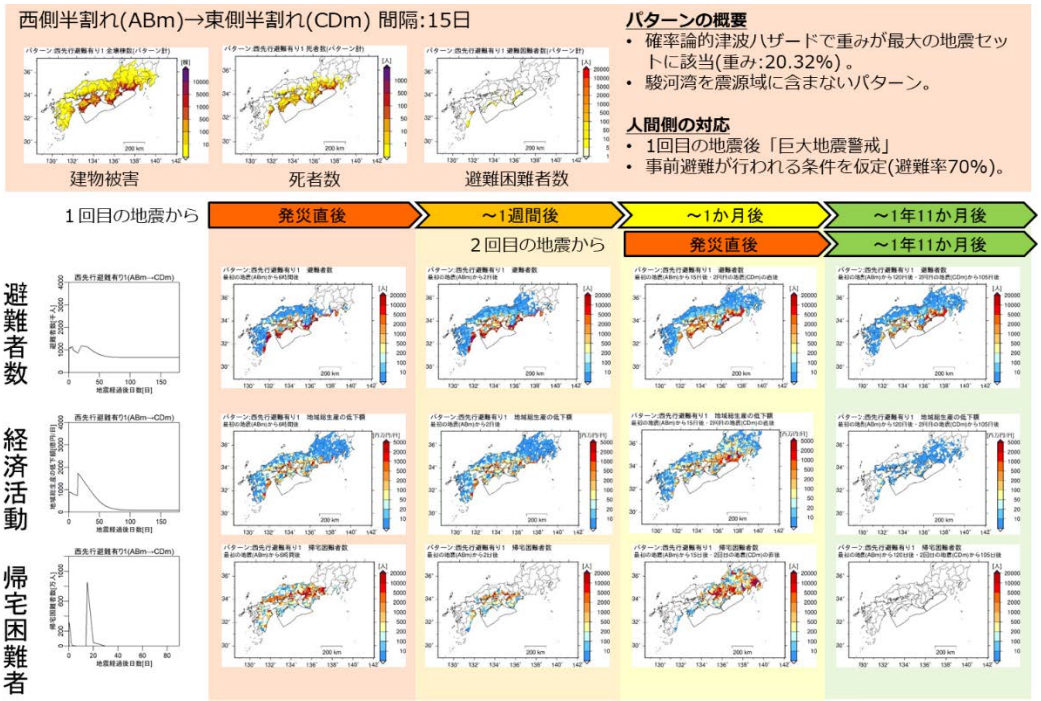
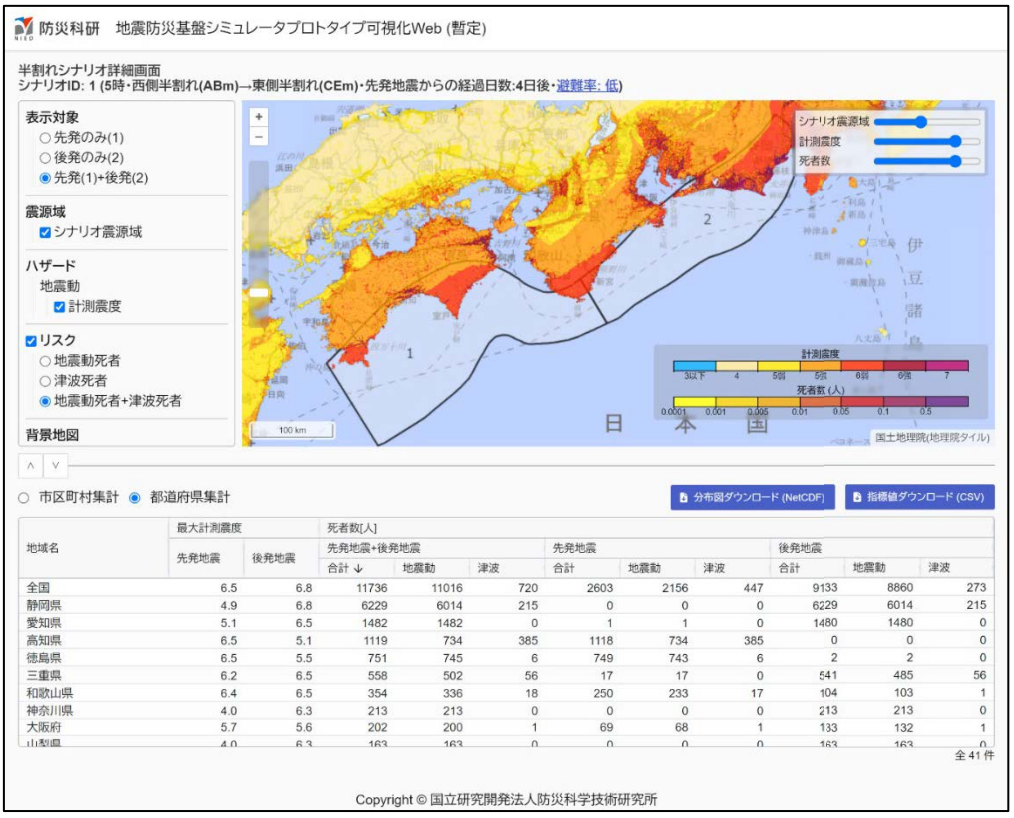


図 14　広域災害シナリオの例（四国沖(西側半割れケース、震源域 ABm)で地震が発生した 15 日後に熊野灘から遠州灘(東側半割れケース、震源域:CDm)で地震が発生する場合で事前避難が行われる場合）



地域名	最大計測震度		死者数[人]								
	先発地震	後発地震	先発地震+後発地震			先発地震			後発地震		
			合計 ↓	地震動	津波	合計	地震動	津波	合計	地震動	津波
全国	6.5	6.8	11736	11016	720	2603	2156	447	9133	8860	273
静岡県	4.9	6.8	6229	6014	215	0	0	0	6229	6014	215
愛知県	5.1	6.5	1482	1482	0	1	1	0	1480	1480	0
高知県	6.5	5.1	1119	734	385	1118	734	385	0	0	0
徳島県	6.5	5.5	751	745	6	749	743	6	2	2	0
三重県	6.2	6.5	558	502	56	17	17	0	541	485	56
和歌山県	6.4	6.5	354	336	18	250	233	17	104	103	1
神奈川県	4.0	6.3	213	213	0	0	0	0	213	213	0
大阪府	5.7	5.6	202	200	1	69	68	1	133	132	1
山梨県	4.0	6.3	163	163	0	0	0	0	163	163	0

図 15　地震防災基盤シミュレータプロトタイプシステムの表示例（半割れシナリオの例）

８．創成情報発信研究

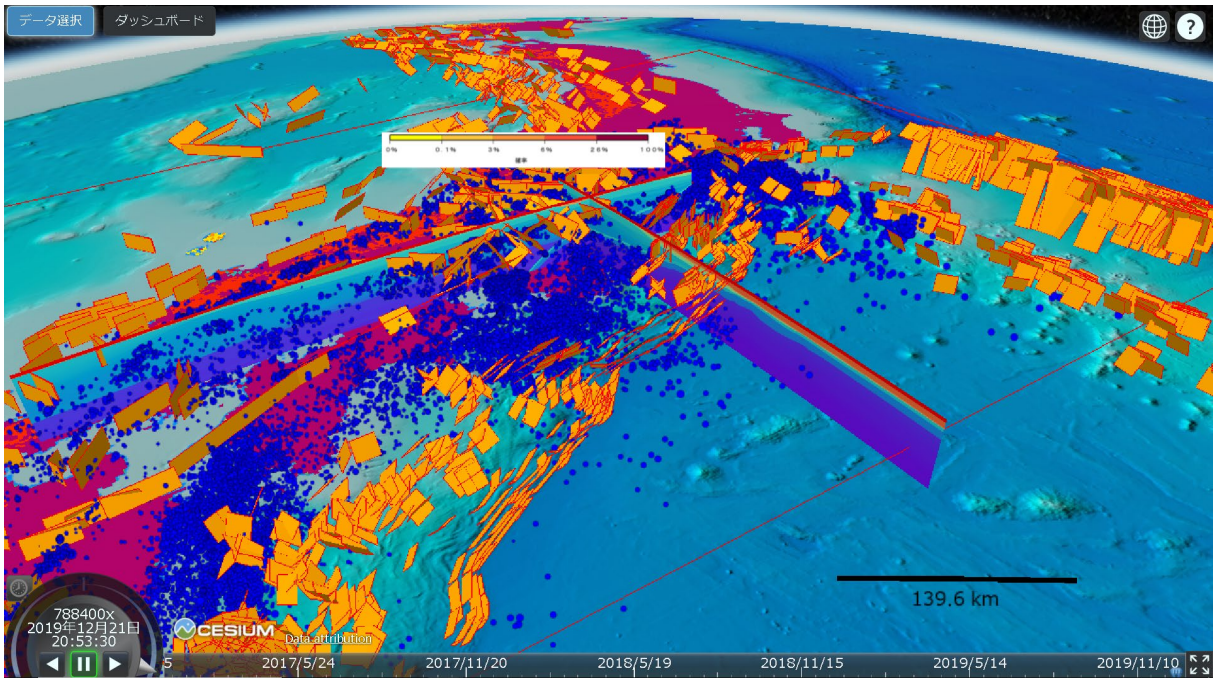


図 16　地殻活動監視ダッシュボードの表示例。サブ課題 1 から提供された震源分布、サブ課題 2 から提供された今後 30 年間に震度 5 弱以上の揺れに見舞われる確率、既存の海陸活断層分布、地殻構造を比較して表示した。

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 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10

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 ・・・・・ 11
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
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 ・・・・・・・ 40
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
２．３ ３Ｄモデル・履歴情報を用いた推移予測 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 70
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 70
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72

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 ・・・・・・・ 111
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 114
２．５ 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 138
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 138
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 141
２．６ 発災時の大都市機能の維持 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 246
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 246
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 247
２．７ 地震防災基盤シミュレータの構築 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 263
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 263
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 265

創成情報発信研究
２．８ 創成情報発信研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 307
（１）業務の内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 307
（２）令和５年度の成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 309

３．まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 376

４．活動報告 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 384

５．むすび ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 389

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、それに追随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うべき災害であり、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・社会学的な成果を、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・部局・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の連携とプロジェクト取りまとめを意識した議論・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、成果の出口を検討した。	令和５年４月１日～令和６年３月 31 日	82,445,385	24,733,615
	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。粘弾性応答計算を進めた。			
	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、今後のモデル更新や評価に繰り返し活用できる環境を整備した。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つつ、今後のモデル構築や利活用を想定した枠組みの試作を開始した。			
	飯沼卓史	サブ課題１ｂ分担者。構造探査データに基づいてプレート境界分岐断層の形状モデルを構築し、また、プレート境界断層の形状モデルを修正した。これらの断層面でのすべり・固着に対する地表・海底面での変位応答計算を実施し、グリーン関数を得た。			

	今井健太郎	サブ課題１c 及びサブ課題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、昭和東南海地震の波源推定を実施し、1707 年宝永地震の痕跡情報整備を行った。 サブ課題３では、地域側の要望を受け、延岡市大瀬川流域の河口部水門開閉が津波浸水に与える影響について、津波氾濫解析から検討を行った。			
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、サブ課題１及びサブ課題３との連携体制のもと、４つの研究テーマ間での連携を進めた。 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を用いて長期震源カタログを整備するとともに、そのカタログに基づく地震活動評価手法の検討を進めた。 サブ課２g 責任者。 地震防災基盤シミュレータのプロトタイプから地震動や津波のハザード・リスク評価情報の２次利用可能な形式で情報提供を可能にし、利活用を試行した。 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５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	63,832,308	19,149,692
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実性を含めた推定アルゴリズムの高度化に関する開発を継続し、分岐断層を含めた海域断層とプレート境界面のすべりの同時推定等の成果を得た。	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	5,256,154	1,576,846

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。 事前避難要不要判断ツールの開発について、「逃げトレ View」という名称でプロトタイプを完成させ、社会実装に向けた準備作業を行った。また、避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の拡充版を作成し、「逃げ地図」の活用法についても検討した。	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	26,810,000	8,043,000
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	平山修久 中井健太郎	サブ課題２ｅ責任者。 産業タイムライン構築把握について、データ分析手法を確立し、ライフラインデータの変動に対する影響を明らかにした。 リアルタイム社会様相把握について、モニタリングデータの高度化と地域での共有促進のための協働参画手法を構築した。 南海トラフ地震臨時情報対応ワークシートを開発し、関係機関とのワークショップを実施した。 サブ課題３分担者。 従来の地震被害予測では十分に考慮されてこなかった地層不整形性と土の弾塑性特性に着目した地震応答解析を実施し、局所的に地震被害が甚大化する危険性を指摘した。	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	35,499,231	10,649,769
国立大学法人東京大学	廣井　悠	サブ課題２ｆ責任者。 作成した災害シナリオのダイナミック自動生成技術のプロトタイプにオンラインワークショップ等で得られた因果を追加するシステム構築を行った。 災害シナリオのダイナミック自動生成技術を高度化し、いくつかのハザードをもとにして被災様相を予測した。 都市機能の復旧に影響を与える各種要因を整理し、建物およびエレベータの被害に起因する都市機能被害とその復旧過程をシミュレーションする手法を開発し、60 の代表的ケースでの試算結果を	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	13,376,923	4,013,076

		用いて、地震動分布、地域性、復旧方針、災害状況が都市機能被害と復旧過程に与える影響の程度を評価した。			
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５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	38,076,924	11,423,077
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５年 ４月１日 ～ 令和６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震津波アンケート調査を実施し、授業前後で回答の傾向を分析し授業の効果を得点化した。	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	2,315,385	694,615
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、コンテンツ動画を作成、公開した。	令和５年 ４月１日 ～ 令和６年 ３月 31 日	1,119,231	335,769

（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	センター長	藤江　剛
	主任研究員	仲西 理子
	グループリーダー（センター長代理）	尾鼻 浩一郎
	グループリーダー	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 揚二朗
	研究員	Yanfang Qin
	客員研究員	山下 幹也
	主任研究員	富士原敏也
	研究生/臨時研究補助員	Flores, Paul Caesar M
University of Hong Kong	Assistant Professor	Xin Liu
国立研究開発法人防災科学技術研究所	副部門長	汐見 勝彦
	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
	契約研究員	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。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値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：

熊野灘周辺を中心に既存の陸域構造情報も反映した３Ｄ構造モデルの更新を実施した。モデル構築、検証、改善の対象を紀伊水道域へも拡張するとともに、観測点補正値を３Ｄ構造モデルに反映する方法の検討を進めた。新たな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場所の評価手法の検討に着手した。他の研究課題と共有した３Ｄ構造モデルについて、モデルの更新方針等について検討を行った。

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た。過去データの再解析による長期震源カタログを整備するとともに、そのカタログを用いて地震発生場所の評価や地震活動解析手法の検討を実施した。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った。

5) 令和６年度：

前年度までに構築した３Ｄ構造モデルの見直しや検証を実施しつつ、東海沖及び日向灘沖への対象領域の拡張を行う。堆積層構造解析結果について、震源決定精度向上のための情報として整理する。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。地震活動を可視化して表現するシステムのプロトタイプを構築する。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５年度業務目的

海陸を統合した高精細マルチパラメータ３Ｄ構造モデルの更新・改善を進めるとともに、３Ｄ構造モデルを用いた震源カタログに基づく地震活動評価方法の検討を行う。令和４年度までに構築した海陸統合高精細マルチパラメータ３Ｄ構造モデルについて、対象領域を四国沖へ拡張する。また、観測データを用いたモデルの検証や改善、更新を行う。DONET 観測点周辺の堆積層構造解析を引き続いて実施するとともに、３Ｄ構造モデルへの反映方法を検討する。自動震源決定システムの運用継続と並行し、過去の地震について新たな３Ｄ構造モデルを用いた震源再決定を進める。「異常な現象」把握に向けて、地震発生場所や地震活動指標評価のためのシステム構築を進める。

（２）令和５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、対象領域を四国沖へと拡張するとともに、新たな観測や解析に基づく速度構造情報を構築中のモデルに取り込む方法の検討を進め、それらを反映した海陸統合３Ｄ構造モデルを構築した。海陸統合三次元Ｓ波速度構造および密度構造については、調査観測データやそれらに基づいて直接推定された構造情報との比較による検証を実施した。令和３年度から継続している他のサブ課題担当者等とのモデル共有に関する議論に基づき、今後のモデル構築や利活用を想定した枠組みの試作を開始した。震源決定の信頼性向上に不可欠な堆積層補正値の推定に向けて、令和４年度までに開発を進めてきた構造探査データのレシーバー関数解析手法の改良ならびに表面波解析によるＳ波速度構造推定方法の汎用化を進め、両手法による堆積層内の詳細Ｓ波速度構造モデルを多くのデータに適用するための準備を整えた。並行して、DONET 観測点直下におけるＳ波速度構造推定のための処理を実施した。

(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

令和４年度までに構築した南海トラフ域におけるマルチパラメータ３Ｄ構造モデル[1)]の高精細化及び広域化のため、令和５年度は最新の反射法解析や屈折法解析結果に基づく速度構造情報及び地層境界面情報[2),3)]等を取り入れた。これら複数の速度構造や地層境界面情報を用いたモデル統合に際して、作業方針の整理と必要な見直しを行い、新たな統合方針に従ったモデル更新と修正を実施した。

Ｐ波速度構造情報としては、

i) 構造探査に基づく結果をまとめたもの

ii) 自然地震トモグラフィに基づく結果[4),5),6)]をまとめたもの

iii) 海陸統合トモグラフィ結果[7)]

iv) 全国１次地下構造モデル（JIVSM）[8)]

を使用することとした。J-SHIS 地盤情報[9)]については、次節 2)で述べる意見交換の場において、近い将来バージョンアップの動きがあり、その中で JIVSM との統合が計画され

ているとの情報を得た。これを踏まえ、新しいバージョン公表後に統合対象とすることが適切と判断し、現時点での採用を見送った。

図２－１－①－１に、Ｐ波速度構造モデル統合方針の概要を示す。まず、上記 ii)自然地震トモグラフィ結果をまとめた情報を優先して採用し、iii)海陸統合トモグラフィ結果を参照情報として活用することで、対象領域全体を補間した統合モデルＡを作成した。このモデルの陸域についてのみ、iv)JIVSM の Layer15 までをそのまま採用することとして差し替え、Layer15 付近（＋5000ms）を遷移帯として、陸域深部で徐々に統合モデルＡへ接合するよう線形的に補間した。このようにして求めたモデルを統合モデルＢとする。次に、統合モデルＢの陸域を維持しつつ、海抜０ｍから幅 26km を遷移帯とし、海域の地殻部は i)構造探査に基づく結果をまとめたものへ接合するよう線形的に補間した。この際、海域モホ面付近（±1000ms）を遷移帯として、深部には徐々に統合モデルＢへ接合するよう線形的に補間した。このような手順で得られたモデルを、現時点での最終的な統合モデルとした。なお、陸域の地形として国土数値情報の標高・傾斜度５次メッシュデータ（2011 年度版）[10]、海域は GEBCO[11]を一部修正したものを参照し、500ｍ間隔のグリッドとして設定した。地層境界面として、地震探査で推定されている堆積層内の境界である音響基盤相当面、堆積層底面、海洋地殻上面（プレート境界面）、海洋モホ面を設定し、各層内の速度は入力構造情報に基づき補間した。なお、今年度のモデル構築において、水平方向のグリッド間隔は５km とした。また、鉛直方向のグリッド間隔は層ごとに設定が異なるが、概ね 1000ms 程度とした。これらのグリッド間隔は計算時間を節約するために設定したものであり、今後、より詳細なスケールでの計算が必要である。得られた三次元Ｐ波速度構造モデルに対して、令和２年度に取りまとめたＰ波速度からＳ波速度や密度に変換するマルチパラメータ化手法を適用することで、マルチパラメータ３Ｄ構造モデルを作成した。図２－１－①－２に、今年度構築したマルチパラメータ３Ｄ構造モデルを示す。上述の統合手順で入力した構造情報に基づく沈み込みの東西変化が反映されているが、特に西部断面では、各種モデルの統合による不連続が認められ、今後の検証が必要である。

令和４年度までに整備したマルチパラメータ３Ｄ構造モデルの検証のための環境を用いて、既存の三次元Ｐ波速度構造モデル[12]を前述のマルチパラメータ化手法により変換することで求めたＳ波速度構造(以下、三次元Ｓ波速度構造)と密度構造（以下、三次元密度構造）モデルの検証を試行した。Ｓ波速度構造については、自然地震トモグラフィ解析結果[4),5),6)]及び表面波解析に基づくモデル[13]を比較対象とした。結果を図２－１－①－３に示す。解析解像度が十分にある浅部堆積層において両者は概ね整合するが、室戸岬沖の MRA01 や MRG28 など、観測点によっては両者の結果が異なる地点もある。プレート境界より深部では、ほとんどの観測点において、三次元Ｓ波速度構造モデルが自然地震トモグラフィ結果[4),5),6)]に対して高速度となった。これらの差違については、今後の原因調査が必要である。密度構造については、三次元密度構造モデルから計算したブーゲー重力異常と実観測の重力データ[14]を比較した（図２－１－①－４　右上及び左上)。紀伊半島沖における構造探査測線下の２Ｄ密度構造についても、計算したブーゲー異常と実観測の重力データ[14]を対比した（図２－１－①－４　下)。両者の面的あるいは測線沿いの正負の変化傾向は概ね整合的であるが、変動幅の違いや地域的な特徴につ

いては今後さらに詳細に検証する必要がある。なお、以上の通り、評価結果をもとに構築したマルチパラメータ３Ｄ構造モデルと調査観測に基づく構造モデルとの比較結果は、海域や深さごとに異なる可能性がある。Ｐ波速度とＳ波速度や密度との関係は、元来、これらの複数の要素が複雑に関わっている可能性が高い。したがって、モデル構築に用いた経験式に基づく物性変換式の修正方法を容易に示すことは困難と判断されることから、本プロジェクト終了後も引き続き検討すべき課題とした。

令和４年度に引き続き、Ｐ波の３Ｄ構造モデルの確度（不確定性）や誤差などを適切に評価し、可視化することを念頭に、構造解析結果について示されている信頼性の情報を可能な範囲で収集した。自然地震トモグラフィの結果[4),5),6)]については、信頼できる波線密度を有する部分のみを構造情報として採用した。しかし、各構造情報によって信頼性の考え方や提示方法が異なるため、信頼性に関する情報を画一的に取り扱うことは困難であり、今後の課題とした。

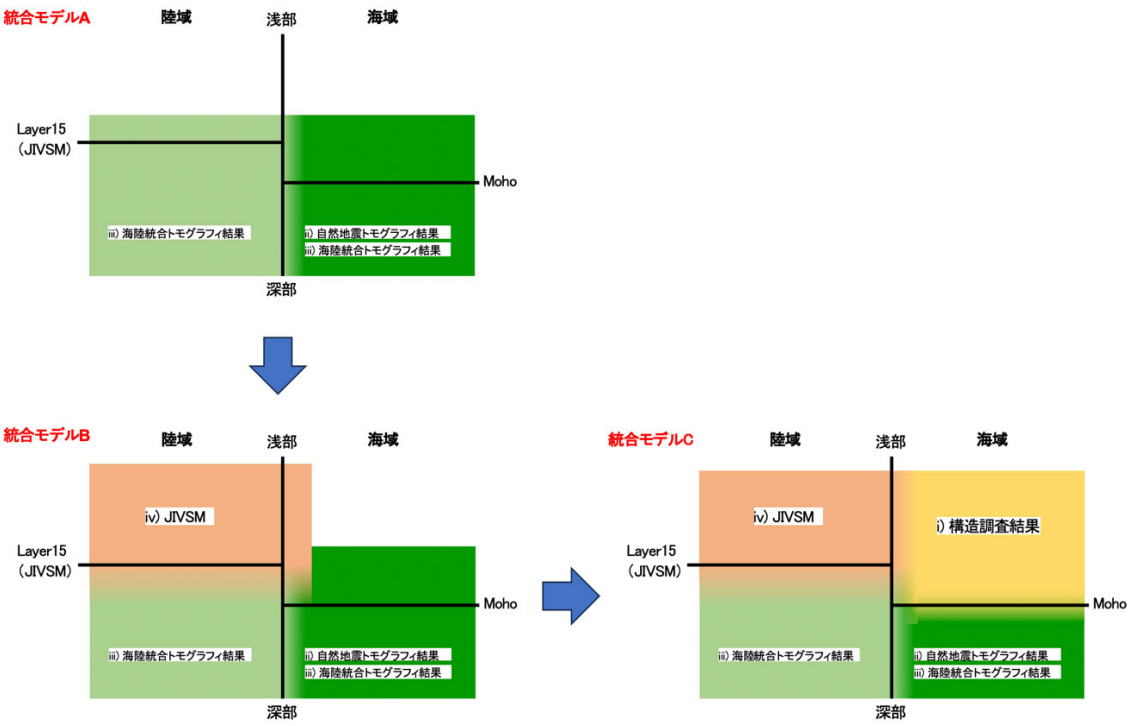
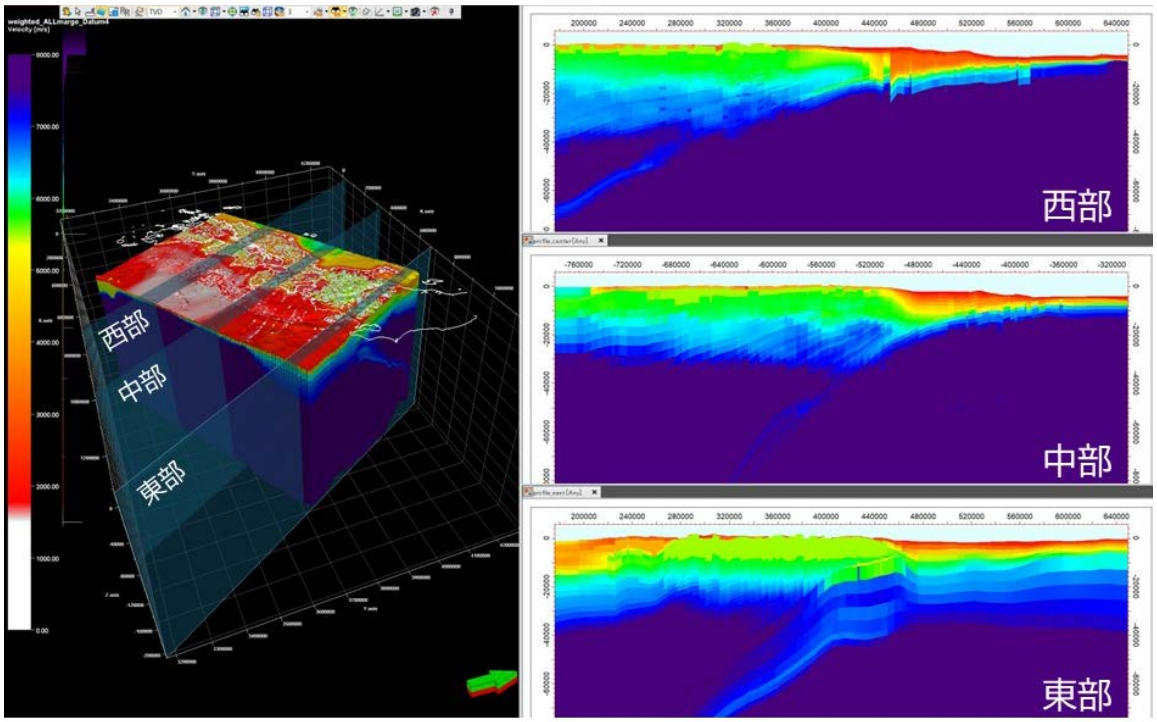


図２－１－①－１　モデル統合方針の模式図。



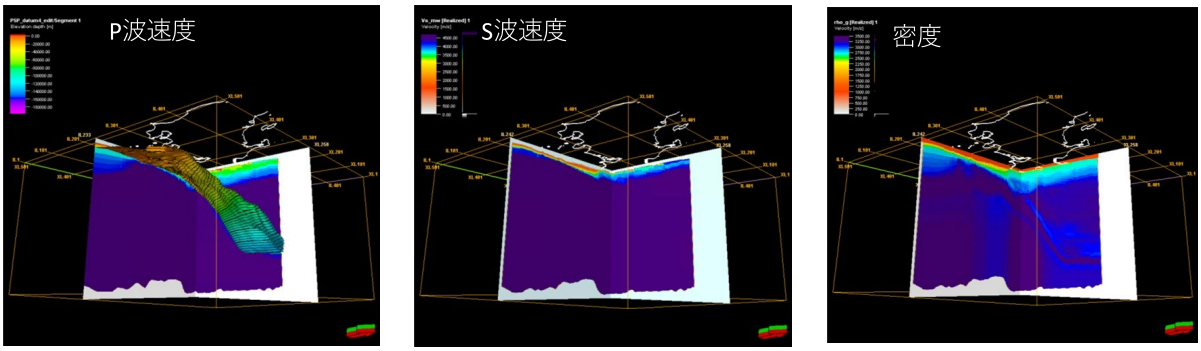


図２－１－①－２　令和５年度に構築したマルチパラメータ３Ｄ構造モデル（左上）について、南海トラフ域の西部、中部、東部の３箇所を北東―南西方向に切った断面のＰ波速度構造（右上）。上述の３Ｄ構造モデルについて、左から順に三次元Ｐ波速度、Ｓ波速度、密度構造の断面（下）を表す。

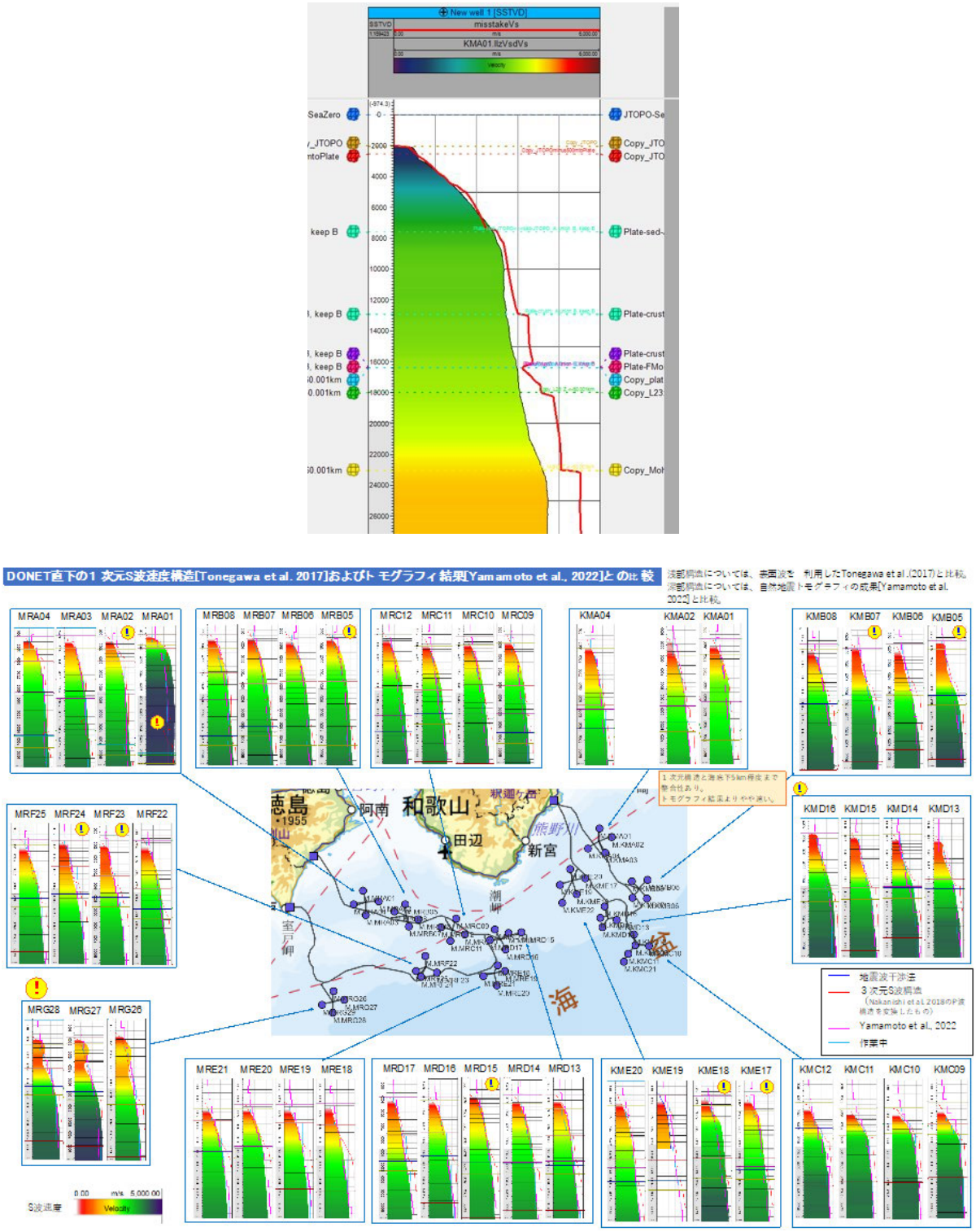


図２－１－①－３　３Ｄ構造モデルとして推定したＳ波速度構造と調査観測に基づいて直接推定されたＳ波速度構造との比較結果。上）DONET１の KMA01 観測点直下におけるＳ波速度構造比較結果。カラースケールで示した速度構造は Tonegawa et al. (2017) [13]による推定結果。赤線が Nakanishi et al. (2018)[12]の三次元Ｐ波速度構造モデルを本プロジェクトで整備したマルチパラメータ化手法でＳ波速度構造に変換した速度構造を示す。下）ほぼすべての DONET 観測点について（上）と同様に比較した結果。DONET 観測点分布図の背景には、国土地理院「地理院地図」を用いた。

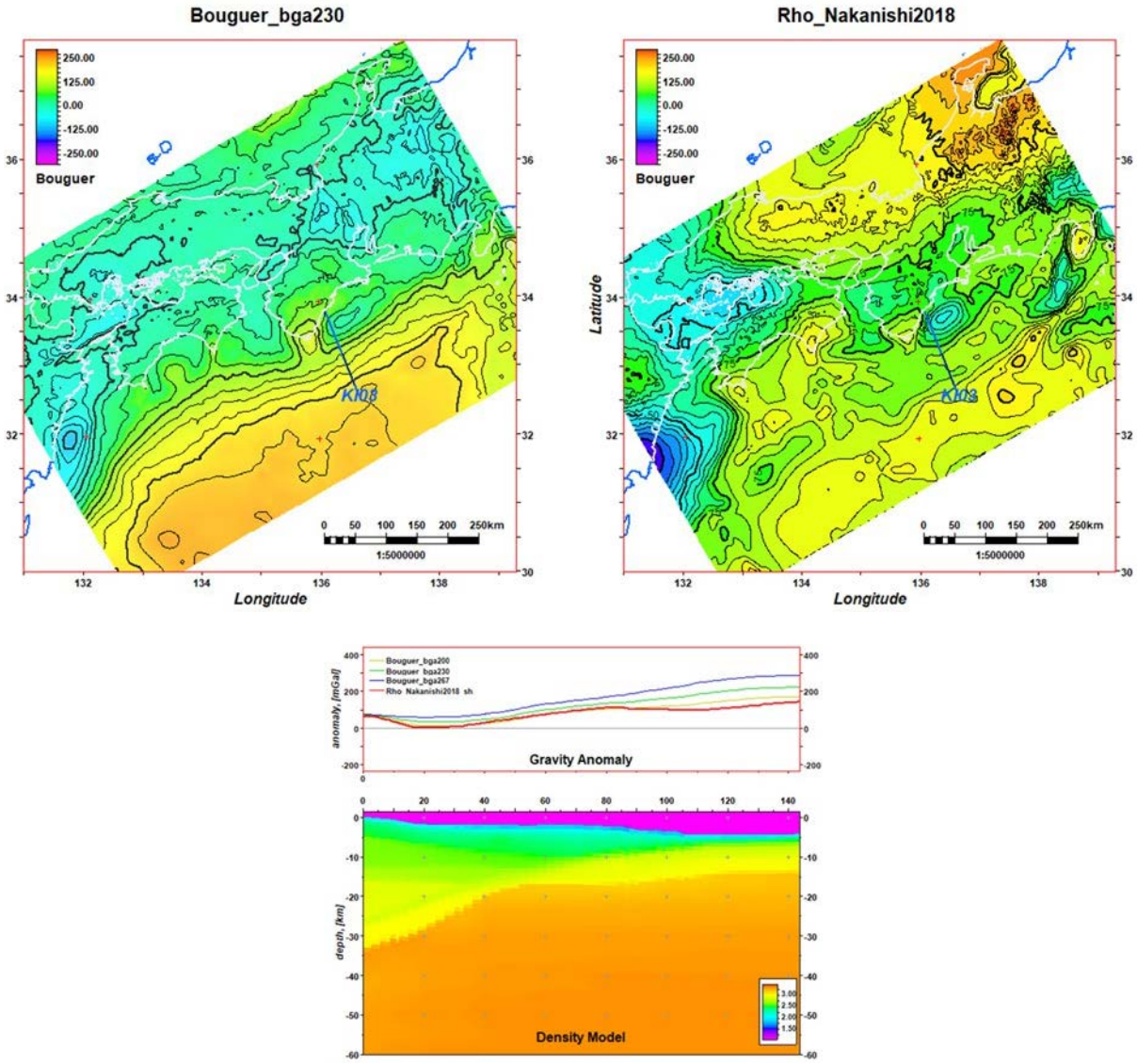


図２－１－①－４　左上）実観測によるブーゲー異常[14]（仮定密度 2.3g/cm^3）。右上）三次元密度構造モデルに基づく重力異常。下）紀伊半島の構造探査測線（上図中の青線。KI03）の２Ｄ密度構造モデルに基づく重力異常（赤線）と実観測によるブーゲー異常[14]との比較結果。

2）３Ｄ構造モデル統合方針の検討

令和３年度から開始した３Ｄ構造モデル情報のデータ仕様や精度、共有方法等の課題を確認する意見交換、勉強会を月１回程度の頻度で引き続き実施した。これまでに各コミュニティとの間で進めてきた情報共有や意見交換の結果、

・ 様々な用途向けに範囲及び分解能の異なる構造モデルが多数存在すること
・ いずれのモデルも一長一短の特徴を有するが、利用者にはその点が伝わりにくいこと
・ 使用するモデルに解析結果が依存することが多く、各々の結果を直接比較する際には十分な注意が必要であること
・ 現時点でいくつかの統合モデルが提案されているものの、具体的なモデル構築方法や

統合に使用されたデータ、モデル等の成果情報まで辿れない場合が多いこと
・ それ故に何らかの共通モデルを構築し、コミュニティ間で共有することが必要であること
を確認した。これらの点を踏まえ、まず、誤差や信頼性に関する情報が付された構造情報を用意することが望ましいという認識を共有した。誤差や信頼性の情報を整理するためには、モデル構築に用いられた既存の調査観測成果、情報、データ等を活用する必要があるが、それらの多くは、現状、適切に集約されているとは言い難い。そこで、「３Ｄマルチスケール構造情報共通基盤」と題する情報基盤を整備し、統合モデルとその根拠となった構造モデル等の関連情報を全て収集・整理した上で一括管理するとともに、利用者が希望する情報に容易にアクセスできる仕組み（図２－１－①－５）を構築することが第一に取り組むべき課題である、という結論に至った。図２－１－①－６は、これらの議論を踏まえ、他のコミュニティ等と現況や課題に関する認識を共有するためのイメージ図として作成したものである。

本プロジェクトにおいては、今年度はこの課題の端緒として、本サブ課題で構築するマルチパラメータ３Ｄ構造モデルとそれに関わる構造情報を取り扱った「３Ｄマルチスケール構造情報共通基盤」のコア部分の試作として、ポータルサイト的な枠組みを構築した（図２－１－①－７）。このシステムでは、利用者が地域または海域、文献名、調査名などのキーワードによって構造情報や成果情報、データを検索することで希望の情報にアクセスできるほか、詳細なメタ情報からも関連情報やその入手方法に関する情報を得ることが可能な仕組みを想定している。利用者が使いやすいデータの抽出や形式変換ツールの作成、メタデータの整備方法について、引き続き検討を進める必要がある。

以上の経過について、2024 年２月及び３月に地震本部の委員会で話題提供を行った。

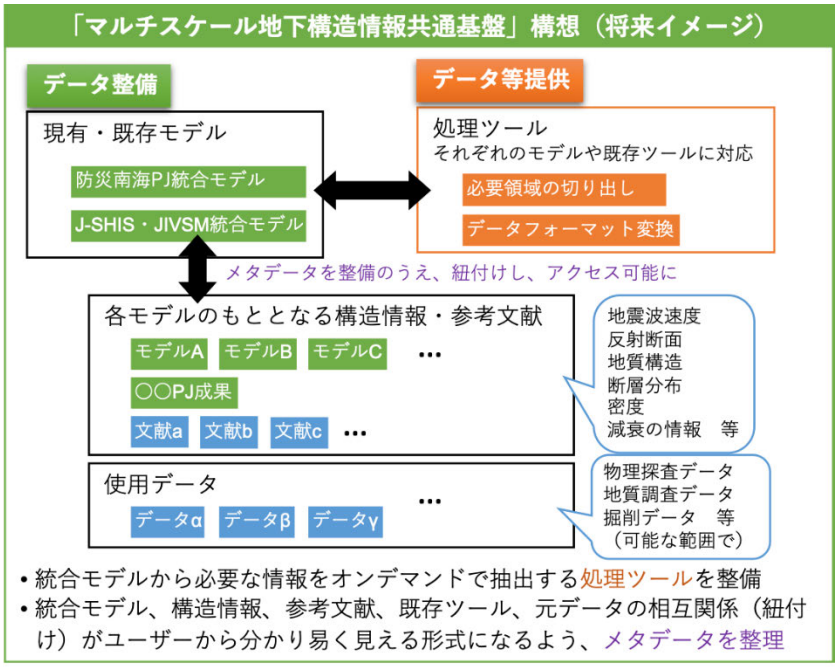


図２－１－①－５　３次元マルチスケール構造情報共通基盤の構成図



図２－１－①－６　３次元マルチスケール構造情報共通基盤整備の目的や課題を整理したイメージ図

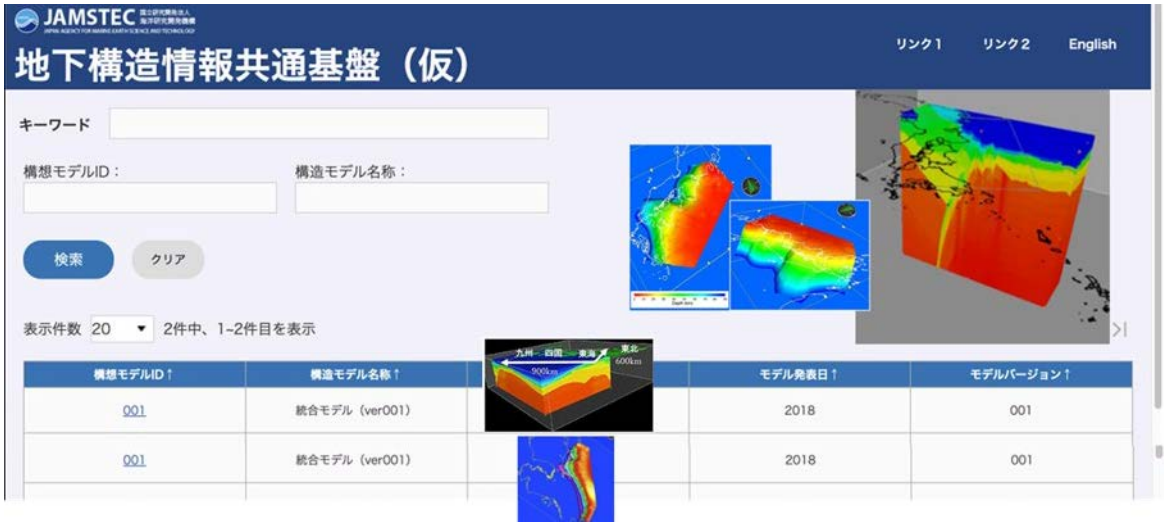


図２－１－①－７　マルチスケール構造情報共通基盤プロトタイプのコア部分のトップページイメージ。JAMSTEC で現在公開中の南海トラフ三次元Ｐ波構造モデルとフィリピン海プレート形状モデルを例にした画面。

3）浅部堆積層構造の推定方法の検討

震源決定の信頼性向上に不可欠な堆積層補正値（浅層のＳ波速度構造）の推定に向け、PS 変換面をより安定的に抽出できるよう、令和４年度までに開発を進めてきた構造探査

データのレシーバー関数解析手法[15]を改良した。また、稠密リニアアレイ観測データを用いた表面波解析によるＳ波速度構造推定方法[16]のソフトウェア・コードの汎用化を進め、多くのデータに適用するための準備も整えた。その上で、両手法を適用可能な紀伊半島沖の構造探査測線（図２－１－①－８）を対象としたデータ処理に着手した。今後、両手法によるＳ波構造モデルと反射法断面や PS 変換面分布を合わせて議論できる見込みであり、その結果として、トラフ軸付近、付加体、前弧海盆などそれぞれの場所における堆積層浅部の典型的なＳ波速度構造をより高い信頼性で見積もることができると期待される。測線に沿った観測点のレシーバー関数と反射法断面図の対応について、図２－１－①－９に示す。

上記と並行して、DONET 観測点直下におけるＳ波速度推定のための処理も進めた。具体的には、DONET 海域で海洋研究開発機構が実施した過去の構造探査時のエアガン発震記録を各 DONET 観測点において切り出し、上下動および水平動２成分のレシーバーギャザーを作成した。データ品質は良好で、さまざまな屈折波や反射波が確認できた。また、DONET 観測点直下で変換したと解釈される PS 変換波も複数確認でき、開発を進めてきた構造探査データのレシーバー関数解析手法[15]によって PS 変換面の抽出ができると期待される。速報的な結果を図２－１－①－10 に示す。なお、これまで手法開発に使用してきたデータは OBS 向けに約 80 秒ごとにエアガン発震を行ったデータであったが、DONET 近傍の構造探査は約 20 秒ごとにエアガン発震を行う反射法探査が主であるため、前のエアガン信号の残響によるノイズの汚染が目立つ問題がある。そのため、PS 変換面の解釈においては、ノイズの残響を丁寧に除去しながら進める必要がある。

以上の結果を踏まえ、来年度は各 DONET 近傍の反射断面と DONET 直下のレシーバー関数解析結果をもとに DONET 直下の浅層Ｓ波速度を見積もり、震源決定に重要な DONET 観測点直下の堆積層補正値として整理していく。

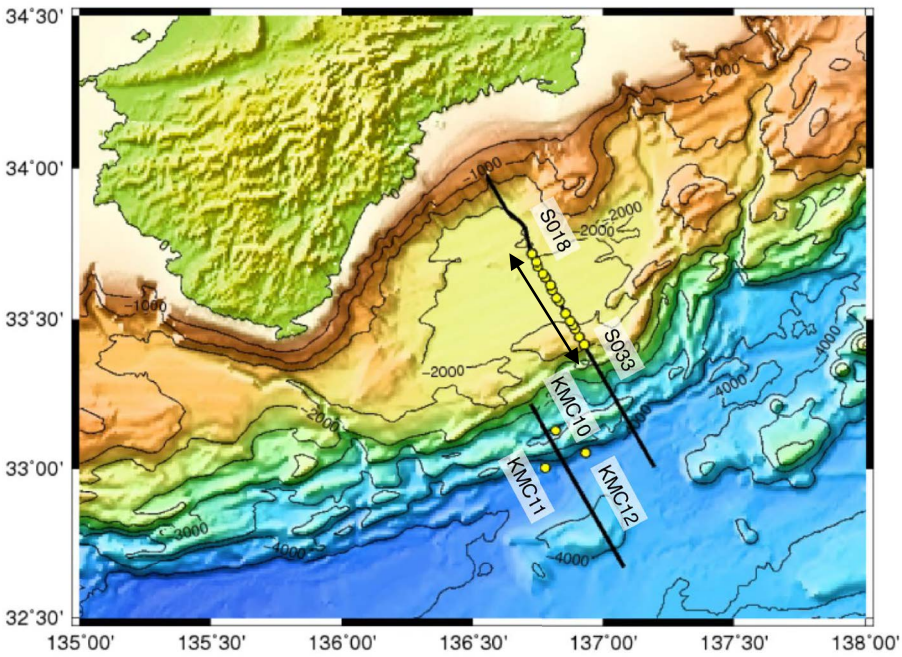


図２－１－①－８　解析に使用した地震探査測線（黒線）。地形には海洋情報研究センター刊行 JTOPO30v2 を利用した。

南東　　北西

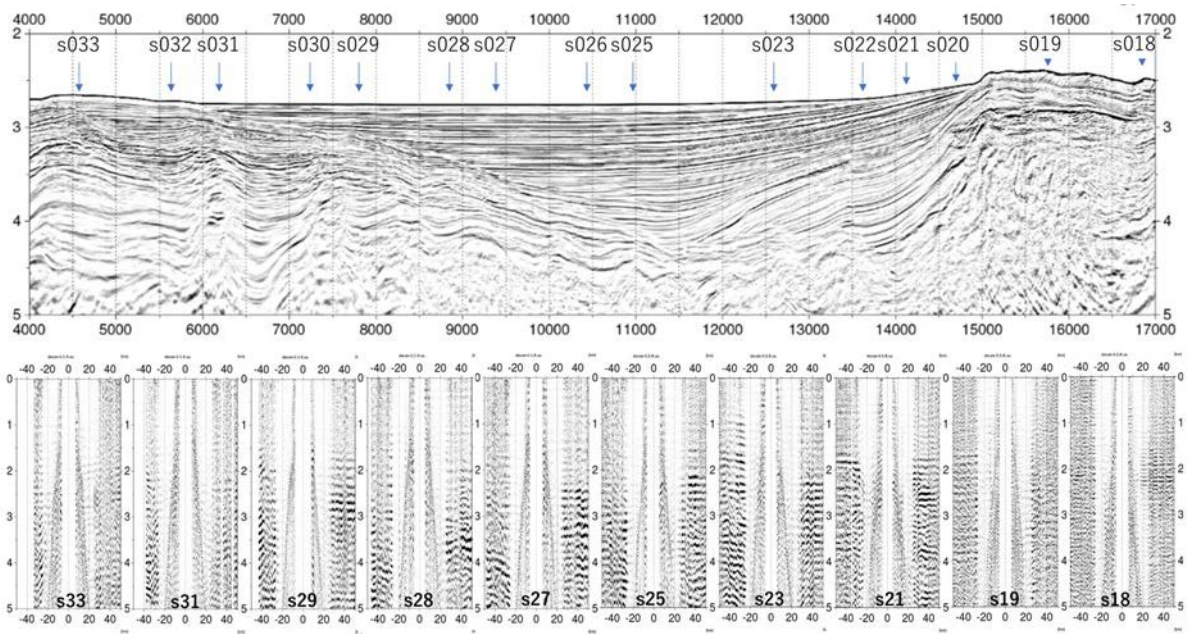


図２－１－①－９　上）紀伊半島沖の地震探査測線における反射法断面図。図②－１－①－８の矢印の範囲を表示。下）同測線に沿った主な観測点のレシーバー関数（PS 変換面分布）。

南東　　北西

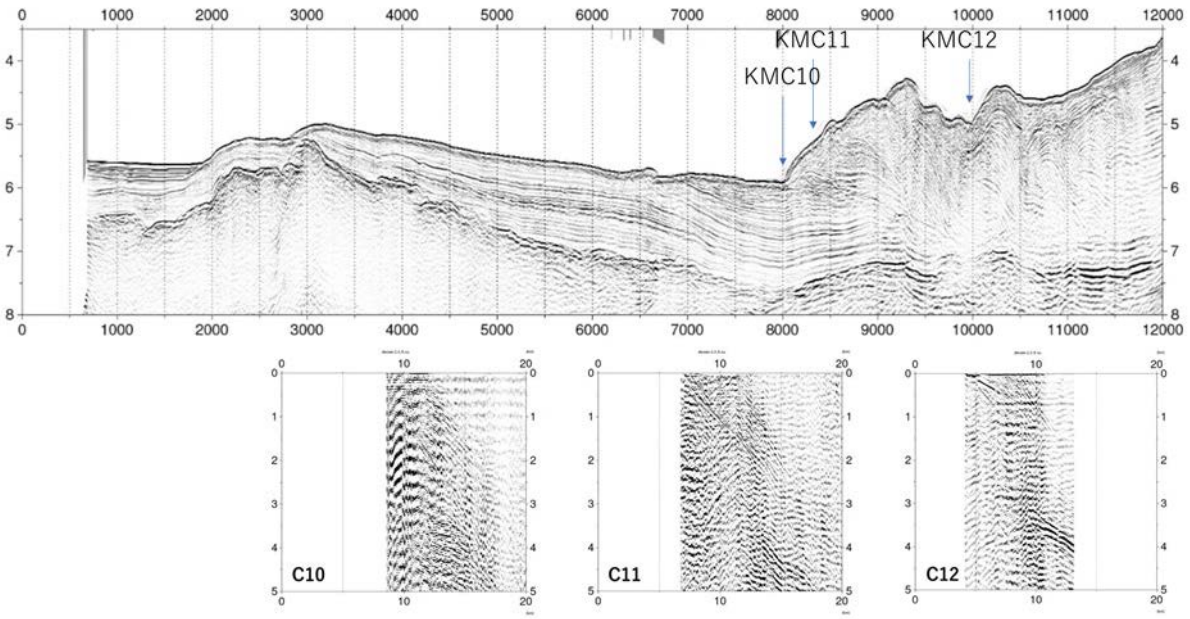


図２－１－①－10　上）DONET 観測点近傍の地震探査測線における反射法断面図。下）測線沿いに位置する DONET 観測点のレシーバー関数（PS 変換面分布）。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ域におけるマルチパラメータ３Ｄ構造モデルの高精細化として、新たな観測や解析に基づく速度構造情報を構築中のモデルに取り込む方法の検討を進めた。令和４年度のモデルの対象領域を四国沖へと拡張する際、それらを反映した海陸統合３Ｄ構造モデルとして新たに構築した。ただし、モデルの構築に活用した地層境界面の選定、多様な構造情報の統合方針、パラメータ設定、具体的な補間方法については、今後も検討や改良の必要がある。海陸統合三次元Ｓ波速度構造及び密度構造については、調査観測データやそれらに基づき直接推定された構造情報との比較による検証を実施した。解析解像度が十分にある浅部堆積層のＳ波速度構造について、両者は概ね整合することを確認した。しかし、プレート境界より深部では、ほとんどの観測点で三次元Ｓ波速度構造モデルの方が調査観測データから直接推定された結果に対して高速度となっている特徴が認められた。この点については、今後の検証が必要である。Ｐ波速度構造モデルの確度や誤差を評価するため、構造解析結果について示されている信頼性の情報を可能な範囲で収集し、一部の情報を三次元Ｐ波速度構造モデル構築に活用した。しかし、各構造情報によって信頼性の考え方や提示方法が異なるため、画一的な取り扱いについては今後の課題とした。マルチパラメータ３Ｄ構造モデルの検証・評価の具体的な方法についても、検討が必要である。さらに、構築したマルチパラメータ３Ｄ構造モデルや経験式に基づく物性の変換式の修正は、複数の問題が関わっているため容易に解決できるものではないため、本プロジェクト終了後にも引き続き検討すべき課題とする。

令和３年度から他のサブ課題等と開始したモデル共有に関する議論に基づき、今後のモデル構築や利活用を想定した枠組みのプロトタイプのコア部分作成に向けて、その枠組みの開発に着手した。利用者が使いやすいようなデータの抽出や形式変換ツールの作成、メタデータの整備については、来年度引き続き検討を進める必要がある。

マルチパラメータ化に向けたＳ波速度構造の直接推定ならびに震源決定の信頼性向上に不可欠な堆積層補正値推定に向けて、令和４年度までに開発を進めてきた構造探査データのレシーバー関数解析手法と表面波解析によるＳ波速度構造推定方法を併用して適用できる紀伊半島沖の構造探査測線について、レシーバー関数解析による PS 変換面分布の空間的マッピングに着手した。来年度、表面波解析によるＳ波速度構造の推定結果との比較から、信頼性の高いＳ波速度構造の推定を進める。さらに、これまでの調査観測データから直接推定されたＳ波速度構造等を参照しつつ、震源決定に資する DONET 観測点直下の堆積層補正値として整理していく必要がある。

(d) 引用文献

1) 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: 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４年度 成果報告書 令和５年５月, 1-20, 2023.
2) 海洋研究開発機構: 「浜岡原子力発電所耐震バックチェック評価のうち敷地周辺海域の地盤構造解析検討業務」に関する報告書 平成 23 年３月, 1-21, 2011.
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: 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.

4) Yamamoto, Y., Obana, K., Takahashi, T., Nakanishi, A., Kodaira, S., and Kaneda, Y.: Imaging of the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone, Tectonophysics, 589, 90-102, doi: 10.1016/j.tecto.2012.12.028, 2013.
5) Yamamoto, Y., Obana, K., Takahashi, T., Nakanishi, A., Kodaira, S., and Kaneda, Y.: Seismicity and structural heterogeneities around the western Nankai Trough subduction zone, southwestern Japan, Earth and Planetary Science Letters, 396, 36-45, doi: 10.1016/j.epsl.2014.04.006, 2014.
6) Yamamoto, Y., Yada, S., Ariyoshi, K., Hori, T., and Takahashi, N.: Seismicity distribution in the Tonankai and Nankai seismogenic zones and its spatiotemporal relationship with interpolate coupling and slow earthquakes, Progress in Earth and Planetary Science, 9,32, doi: 10.1186/s40645-022-00493-4, 2022.
7) Arnulf, A. F., Bassett, D., Harding, A. J., Kodaira, S., Nakanishi, A., and Moore, G.: Upper-plate controls on subduction zone geometry, hydration and earthquake behavior, Nature Geoscience, 15, 143-148, doi: 10.1038/s41561-021-00879-x, 2022.
8) Koketsu, K., Miyake, H., and Suzuki, H.: Japan integrated velocity structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake 28 Engineering, Vol. 1-4, <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1773.pdf>, (参照 2024-3-25), 2012.
9) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS 地盤情報, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/download>, (参照 2024-3-25).
10) 標高・傾斜度５次メッシュデータ, 国土数値情報ダウンロードサイト, < https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-d.html>, (参照 2024-3-25), 2011.
11) General Bathymetric Chart of the Oceans, Gridded Bathymetry Data (GEBCO_2022_Grid), <https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/>, (参照 2024-3-25), 2022.
12) 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.
13) Tonegawa, T., Araki, E., Kimura, T. Nakamura, T., Nakano M., and Suzuki, K.: Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low frequency earthquake clusters, Nat. Commun., 8, 2048, doi: 10.1038/s41467-017-02276-8, 2017.

14) 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 日本重力データベース DVD 版、2013.
15) 仲西 理子・Xin Liu・Yanfang Qin・藤江 剛・汐見 勝彦・小平 秀一・高橋 成実・中村 武史: 南海トラフ域の海底地震計データを用いたＳ波構造推定の試み, 日本地震学会 2022 年秋季大会, 2022.
16) Liu, X., Nakanishi, A., Fujie, G., T., Nakamura, Y., Obana, K., and Kodaira, S.: Shear velocity tomography using seismic noise interferometry from a linear OBS array off Kumano crossing Nankai Trough, SEG/AGU Geophysics of Convergent Margins Workshop, 2022.

(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
Nankai Trough Reyleigh wave phase tomography using different time measurements for seismic noise interferometry from the DONET array（ポスター）	Xin Liu 仲西 理子 藤江 剛 利根川 貴志 中村 武史	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023.6	国内
Correlation between plate boundary structure and distribution of shallow slow earthquakes in the Nankai Trough（口頭）	新井 隆太 白石 和也 三浦 誠一 高橋 努 中村 恭之 藤江 剛 小平 秀一 海宝 由佳 濱田 洋平 Ma Yanxue	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023.5	国内
Seismic refraction imaging of plate boundary structures in the slow earthquake gap zone off western Kii Peninsula, Nankai Trough（口頭）	Qin, Y. Fujie, G. Kodaira, S. Nakamura, Y. Kimura, G. Kaiho, Y. No, T. Obana, K. Miura, S.	Mediterranean Geoscience Union Annual Meeting 2023	2023.11	国外

南海トラフ域の海陸統合３次元地震波速度構造の構築と検証（ポスター）	仲西 理子 Yanfang Qin Xin Liu 藤江 剛 汐見 勝彦 小平 秀一 高橋 成実 中村 武史 富士原 敏也	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内
上盤プレート内の破砕帯と弱いプレート間固着を生み出す九州パラオ海嶺の沈み込み構（口頭）	新井 隆太 白石 和也 中村 恭之 藤江 剛 三浦 誠一 小平 秀一 Bassette Dan 高橋 努 海宝 由佳 濱田 洋平 望月 公廣 仲田 理映 木下 正高 Ma Yanxue 橋本 善孝 沖野 郷子	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内
南海トラフ熊野灘の付加体詳細構造～OBS構造探査データの再解析～（口頭）	藤江 剛 白石 和也 佐藤 壮 中村 恭之 木村 学 小平 秀一	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内
南海トラフにおける海上反射法探査と海底地震計広角反射法探査の統合的データ解析（口頭）	白石 和也 藤江 剛 新井 隆太 中村 恭之	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内
三重県南東沖における地下構造と震源のPhysics-informed neural networkにおけるアンサンブル推定（口頭）	縣 亮一郎 白石 和也 藤江 剛	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内

Weak plate coupling and upper plate fluid conduits caused by the ridge subduction in the westernmost Nankai subduction zone (ポスター)	Arai, R. Shiraishi, K. Nakamura, Y. Fujie G. Miura, S. Kodaira, S. Bassett, D. Takahashi, T. Kaiho, Y. Hamada, Y. Mochizuki, K. Nakata, R. Kinoshita, M. Ma, Y. Hashimoto, Y. Okino, K.	AGU Annual Meeting 2023	2023.12	国外
High-resolution seismic imaging of plate boundary structures in the Nankai Trough by graph-space optimal transport based full waveform inversion using wide angle seismic refraction data (ポスター)	Qin, Y. Kimura, G. Fujie, G. Kodaira, S. Nakamura, Y. Miura, S.	AGU Annual Meeting 2023	2023.12	国外
Connection between geometrical and physical property changes with slow earthquake activity in the Nankai Trough revealed by dense seismic reflection data (ポスター)	Flores, Paul Caesar M. Kodaira, S. Kimura, G. Shiraishi, K. Nakamura, Y. Fujie, G. No, T. Kaiho, Y.	AGU Annual Meeting 2023	2023.12	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 conduits linked to plate boundary that hosts slow earthquakes	Arai, R. Shiraishi, K. Nakamura, Y. Fujie G. Miura, S. Kodaira, S. Bassett, D. Takahashi, T. Kaiho, Y. Hamada, Y. Mochizuki, K. Nakata, R. Kinoshita, M. Ma, Y. Hashimoto, Y. Okino, K.	Nature Communication	2023.9	国外

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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

昨年度までに構築した３Ｄ構造モデルを用いた自動震源決定処理システム（以下、本システム）の仮運用を継続した。仮運用においては、異なる２種類の３Ｄ構造モデルを用いていることから、過去の顕著な地震活動である 2004 年９月の紀伊半島南東沖の地震活動を対象として、構造モデルに依存した震源カタログの特徴の差違について検討した。この結果を踏まえ、地震波走時トモグラフィ解析に基づく３Ｄ構造モデルを用いて、地震発生場所ならびに地震活動推移の評価に用いる長期震源カタログを整備した。長期震源カタログの整備対象期間は、2003 年１月から 2024 年２月とした。仮運用中の本システムにより得られる自動震源と長期地震カタログ及び他システムによる発震機構解情報を用いて地震活動評価に資する情報を作成することを念頭に、自動的に生成すべき情報の検討とその試作を進めた。

(b) 業務の成果

1) ３Ｄ構造モデルを用いた長期震源カタログ整備のための環境構築

本課題では、３Ｄ構造モデル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かつ高精度に把握出来るようにすることを目的としている。求めた最新の地震情報を過去の地震活動と対比する場合、参照する地震カタログも同じ速度構造モデル、同じ震源計算方法に基づいて計算されたものである必要がある。さらに、最終的に地震活動推移を可視化して表示するためには、長期にわたる過去の地震カタログは必須となる。そこで、今年度は本システムを用いて長期震源カタログの整備を進めることとし、まず、カタログ整備を効率的に実施するための環境構築を行った。

本システムはサーバ上に仮想マシン（Virtual Machine, VM）を設定し、各 VM 上では異なる計算パラメータや構造モデルを用いて、完全に独立した震源計算を実施出来る構成となっている。また、地震ごとにひとつの ID、VM ごとに独自のサブ ID を指定した上で、全ての VM の処理結果をひとつのリレーショナルデータベース（RDB）に保存する。これにより、異なる VM での結果を互いに比較、検討することが容易な構成となっている。試験稼働中の本システムの自動処理では、異なる VM 上で、地震波走時トモグラフィ解析に基づく構造（以下、トモグラフィモデル）[1)]ならびに全国１次地下構造モデル（以下、JIVSM）[2)]を用いた震源計算を実施している。トモグラフィモデルは震源決定での利用実績が豊富なモデルだが、沖合の構造の解像度は十分ではない。また、構造の平滑化がされているため、沈み込むプレートとその周辺での地震波速度の差がそれほど明瞭ではないという特徴を有する。一方、JIVSM は長周期地震動計算のために整備されたモデルであり、グリッド（格子点）ごとの層境界の深さと各層における地震波速度等のパラメータを与えるフォーマットとなっており、層境界での地震波速度差が明瞭である。本システムで震源計算を行うためには、各グリッドにおける地震波速度情報が必要となるため、JIVSM については必要なフォーマット変換を実施したうえで、トモグラフィモデルと同じ計算アルゴリズムを用いて震源位置の推定に用いている。いずれの３Ｄ構造モデルに対しても、防災科学技術研究所（以下、防災科研）が運用する高感度地震観測網

Hi-net において南海トラフ及びその周辺域でマグニチュード（M）1.5 以上の地震を検知した場合に自動震源計算を開始する設定としている。なお、トモグラフィモデルに対しては 2021 年２月、JIVSM に対しては 2022 年１月から自動処理を開始した。

長期地震カタログ整備にあたっては、それら以前に発生した地震ならびに自動処理開始以降に発生したM1.5 未満の地震を対象に震源再計算を行う。これらの再計算を行うにあたって、自動処理に遅延等の悪影響が発生することのないようにしなくてはならない。そこで、本年度は、震源計算を行うサーバ上のメモリを 64GB から 128GB に増強したのち、震源再計算用に新たな VM を容易に立ち上げる手順を構築、適用することで震源再計算に活用した。

2) 長期震源カタログの整備

３Ｄ構造モデルを用いた震源計算結果の特徴を評価するため、紀伊半島南東沖で発生した地震活動を対象とした震源再計算を行った。この地域では、2004 年９月５日 19 時７分頃、沈み込むフィリピン海プレート内で Mw7.2（防災科研 F-net による）の地震が発生して以降、地震活動が活発化した[3)]。図２－１－②－１に Mw7.2 の地震発生から 30 日間を対象として、様々な地震カタログに基づく震源分布を比較して示す。本システムでは、防災科研 Hi-net システムにより、１Ｄ速度構造を用いて求められた震源情報（以下、Hi-net 震源）を初期震源として用いている。Hi-net 震源の分布を図２－１－②－１の３段目に示す。一部浅く決まった地震もあるが、深さ 30km 付近及びそれ以深に地震活動が集中している様子が分かる。同じく１Ｄ速度構造に基づく気象庁一元化震源情報[4)]では、主な地震活動が深さ 30～50km に分布するほか、深さ不明の地震が０km に多数表示されている（図２－１－②－１の最下段）。2004 年当時、この海域に地震・津波観測監視システム DONET は敷設されておらず、陸域に設置された観測点のデータのみで震源決定を行う必要があった。上記の１Ｄ構造モデルに基づく震源分布の特徴は、震源直上にあたる沖合に地震観測点がないこと、速度構造モデルが適切ではないことといった理由のため、震源深さが精度良く決まらないことを反映している。

トモグラフィモデルに基づく震源計算結果は、図２－１－②－１の最上段に示すとおり、深さ 10～40km と全体的にやや浅い範囲に分布した。図中、２種類のプレート上面モデル[5), 6)]を実線で示した。トラフ軸に直交するＡ－Ｂ断面を見ると、トラフ軸が考慮された水色線のプレートモデル[5)]に対し、その約 10km 深部にプレート上面と平行な地震分布が見えること、この活動の中に③で示した９月７日の Mw6.5 の地震が含まれることが特徴的である。また、トラフ軸に平行なＣ－Ｄ断面を見ると、１Ｄ速度構造モデルを用いた震源分布においても最初の地震①よりも南西側（Ｃ側）で地震活動が活発であり、①の北東側がやや低調である傾向は見える。しかし、その深さが Hi-net 震源と気象庁震源で有意に異なっており、震源計算が不安定な様子が分かる。トモグラフィモデルでは、地震①の深さは Hi-net 震源と同等であるが、Mw7.5 の本震②を含む地震活動が浅くなった。一方、JIVSM を用いた震源計算を行ったところ、深さ 30km 付近及びそれ以深に集中していた地震活動が 30km 以浅に移動した様子は分かるが、トモグラフィモデルのように震源の集中は見られない（図２－１－②－１の２段目）。JIVSM は明瞭な速度変化を与えたモデルであるため、昨年度に検討を行った初動解のように波線の大きな曲がりを評

価する必要がある場合には有効に働くこともある。しかし、速度変化が明瞭であるがために、わずかな初期震源位置の違いであっても、その場所によって計算される波線経路が大きく変化しうる。このことは、震源位置推定の不確定性・不安定性を増大させ、震源分布の集中を阻害する要因のひとつとなっている可能性が高い。

本課題で整備する長期の地震カタログは、それ自体を統計解析に適用し、活動の特徴及びその変化を抽出するために使用するほか、自動処理により得られる現在の活動と過去の活動とを対比するために用いる。大地震後の余震活動は、通常、限られた領域で集中的に起こることを考慮すると、図２－１－②－１の結果からは、トモグラフィモデルに基づく震源カタログの方が長期カタログに適していると判断出来ること。以上から、今年度はトモグラフィモデルを用いた長期カタログの整備を実施することとした。

カタログの整備対象期間は、西南日本で防災科研 Hi-net の観測点分布が現在とほぼ同等となった 2003 年１月１日から 2024 年２月 29 日までとした[7)]。また、対象地震は防災科研 Hi-net による震源カタログのうち、震央位置が北緯 30.5 度～36.5 度、東経 129 度～140 度の範囲に含まれ、震源深さが 100km よりも浅いものとした。Hi-net システムにおいて手動再検測が行われた地震はその検測情報を、実施されていない比較的小さな地震については自動検測のデータを用いた。最終的に、震源カタログには、約 93,000 個の地震情報が登録された。図２－１－②－２に、本システムで構築した長期地震カタログに基づく震源分布を、震源の深さごとに示す。深さ 20km 以深（c～f）において、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震活動を明瞭に確認することが出来る。図２－１－②－３には、長期地震カタログに登録された月別地震数を示す。フィリピン海プレート沈み込みに伴う顕著な地震活動について注釈を入れた。なお、2016 年４月頃及び 2020 年４月頃の顕著な活動は、それぞれ平成 28 年熊本地震並びに長野・岐阜県境付近で発生した陸側プレート内の浅い地震活動に対応する。構築した震源カタログは、サブ課題３と共有した。

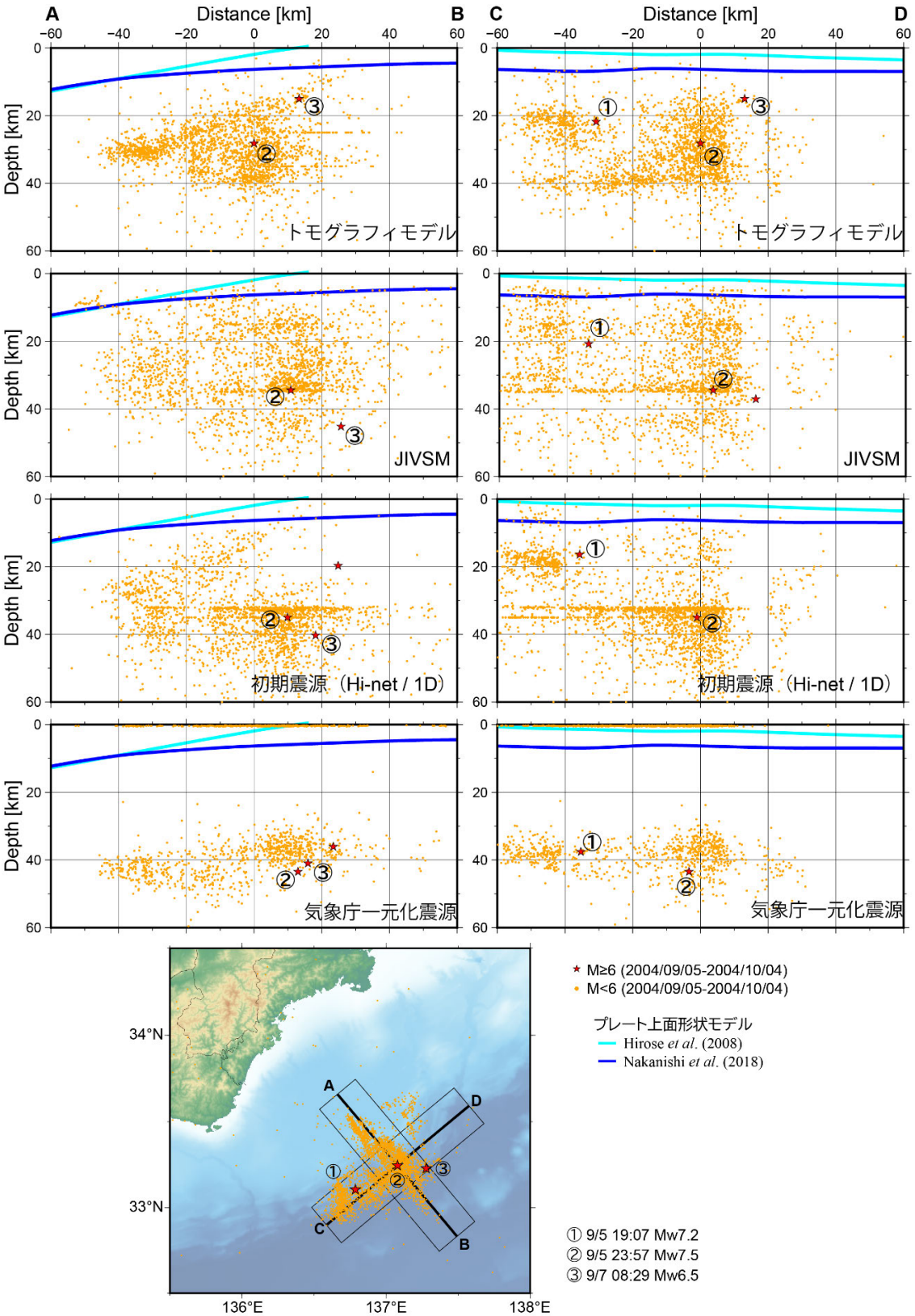


図２－１－②－１　2004 年９月５日から 10 月４日に紀伊半島南東沖で発生した地震の震源分布。上段から順に、トモグラフィモデル及び JIVSM を用いて本システムで求めた震源分布、初期震源として用いた Hi-net 震源、気象庁一元化震源。赤星印は各カタログでＭ６以上となった地震を表す。断面線の位置を地図中に示す。

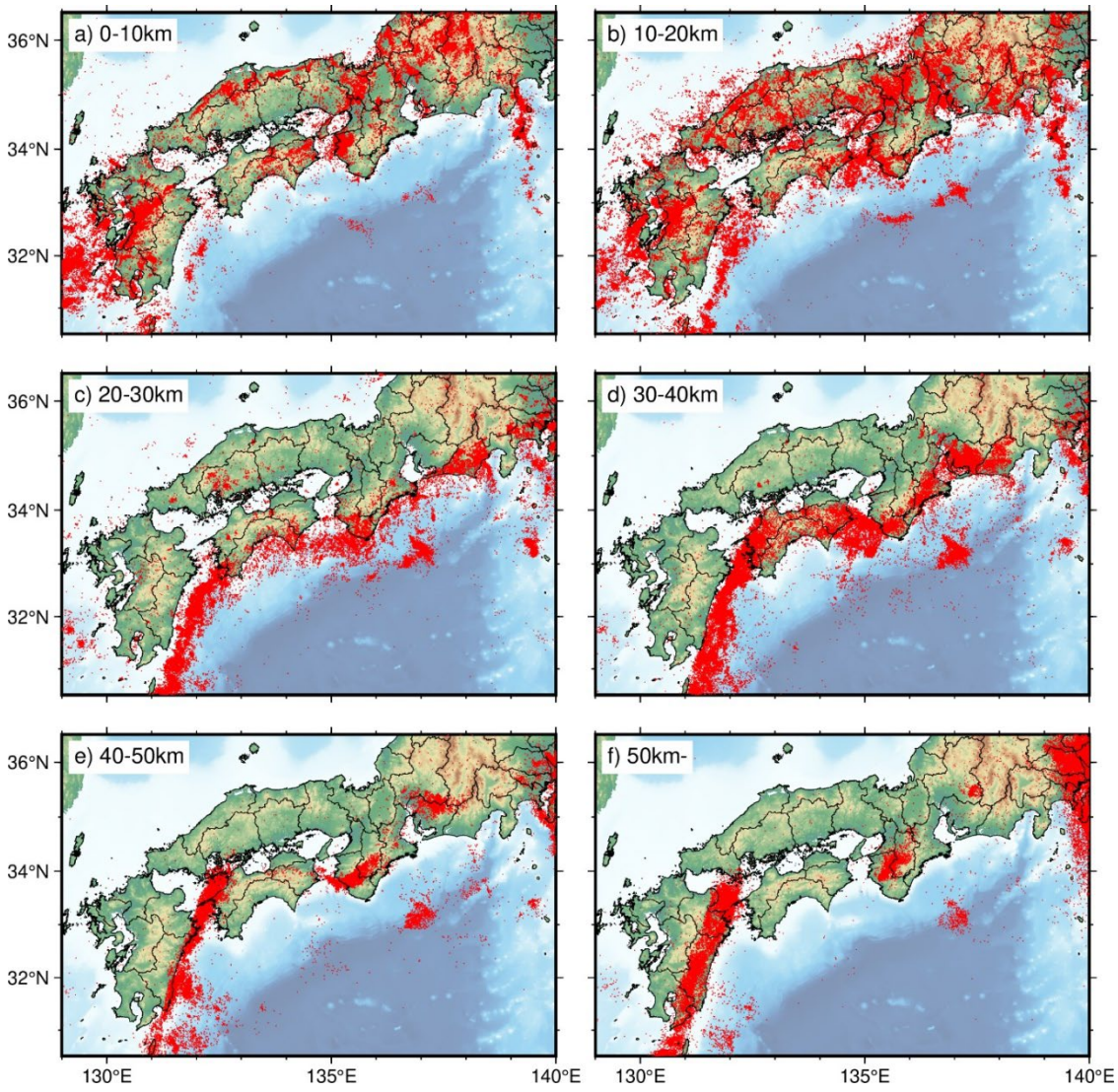


図２－１－②－２　本システムにより再決定した深さ別の震源分布(2003 年１月～2024 年２月。M≥1.0)。

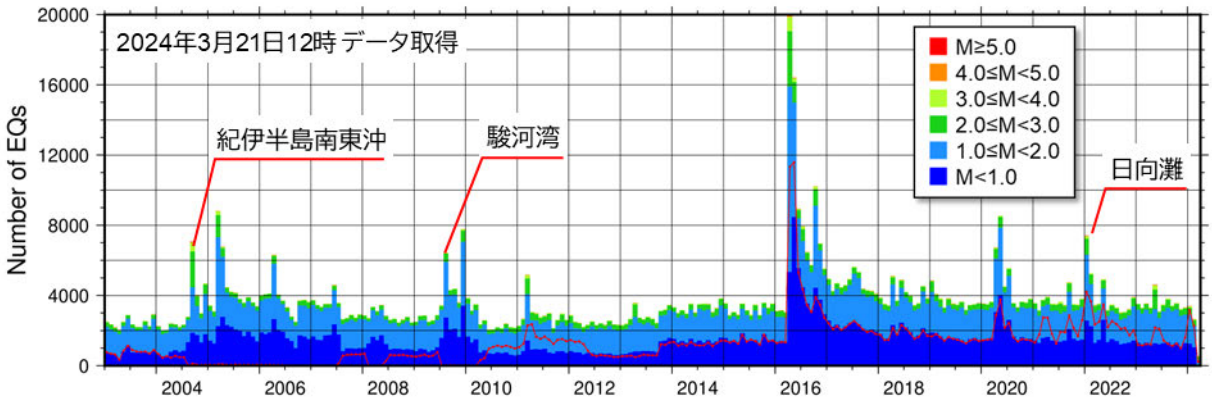


図２－１－②－３　本システムにより構築した長期地震カタログの月別地震数。色は地震のマグニチュード（M）範囲に対応する。赤線は防災科研 Hi-net システムにおける自動処理震源の数。フィリピン海プレートに関連する主な地震活動について、注釈を付与した。

3) 地震活動可視化に向けた検討

本課題では、３Ｄ構造モデルを用いた震源位置を自動的かつ逐次的に推定するだけではなく、長期の震源カタログを整備することで地震活動の変化を評価できるようにすることを目指している。また、一定規模以上の地震を検知した場合、気象庁が開催する「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」等への情報提供を念頭に、本システムや関連するシステムの処理結果を自動的に集約し、一覧表示する機能の構築を検討している。本年度は、後者の機能構築に向けて必要な情報の種類や表示方法の検討を行うとともに、プロトタイプシステムの構築に着手した。

まず、一定規模、例えばＭ５以上の地震（以下、本震）が発生した場合に、集約して表示すべき情報として、地震調査委員会臨時会資料等を参考に以下の項目を抽出した。

・ 本システムによる震源分布図及び鉛直断面図。陸側プレートと沈み込むフィリピン海プレートの間で発生する地震を念頭に、本震の発震機構解で推定される走向に直交する方位の断面を自動設定する。
・ 地震活動のＭ－Ｔ図及び時空間分布図。時間軸は本震発生前から参照時点（あるいは、１カ月等あらかじめ設定した最長期間）までを対象とする。
・ 以上の表示に使用した地震情報に基づくｂ値[8]及びＺ値[9]の時空間分布図。
・ 防災科研 F-net によるモーメント・テンソル（MT）解及び３Ｄ構造モデルを用いたセントロイド・モーメント・テンソル解（3D-CMT 解）[10]に関する情報。いずれも別システムで提供されており、あらかじめ設定した条件に基づき、本システムで求めた地震情報から抽出する。

本機能の構築に着手した 2023 年６月 19 日１時 58 分頃、大隅半島東方沖においてＭ4.7（気象庁による）の地震が発生した。Ｍ５に満たない地震であったが、これまでに構築した機能で取得可能な情報をサンプル的に集約し、2023 年７月に開催された「第 69 回南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」に資料提出した。図２－１－②－４は震源分布の鉛直断面図であり、提出した資料にも同様の図面を添付した。断面図の方向は、3D-CMT 解の走向と直交する方向に設定した。この地震は、１Ｄ構造モデルによる初動解が低角逆断層型であったものの、震源深さが約 30km とモデルから推定されるプレート上面深さ（約 18 km）[5),6)]よりも有意に深いこと（図２－１－②－４　右上）、Ｍ４級の余震の発震機構解（初動解）はやや正断層的であったことから、スラブ内地震の可能性を否定出来なかった。一方、トモグラフィモデルを用いて本システムにより再決定した本震の震源深さは 23km となった。依然としてプレート上面深さよりも深いものの、本システムによる余震分布（図２－１－②－４　右下の赤丸及び橙丸）はプレート上面形状とほぼ平行に分布した。さらに、その深部延長には、2005 年５月 31 日（気象庁M5.8）ならびに 2022 年 10 月２日（気象庁M5.9）の再決定震源が位置していた（図２－１－②－４　右下の緑丸）。地震調査委員会において、これらの地震はいずれもフィリピン海プレートと陸のプレートの間で発生した地震と評価されている[11),12)]。加えて、初動解では正断層的に求まっていた最大余震の 3D-CMT 解は低角逆断層型に求まったことから、今回の地震についても、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した可能性が高いと判断出来る資料となった。

構築中の情報集約機能画面例を図２－１－②－５に示す。現状、各情報を個別に作成

しているため、使用したデータ範囲や地図表記等が十分に統一されていないほか、データベース等のラベルがそのまま表示されているといった課題がある。来年度以降、これらの課題に対応したうえで、各情報の取捨選択、レイアウトの検討等を実施し、より見やすい画面構成となるようにする予定である。

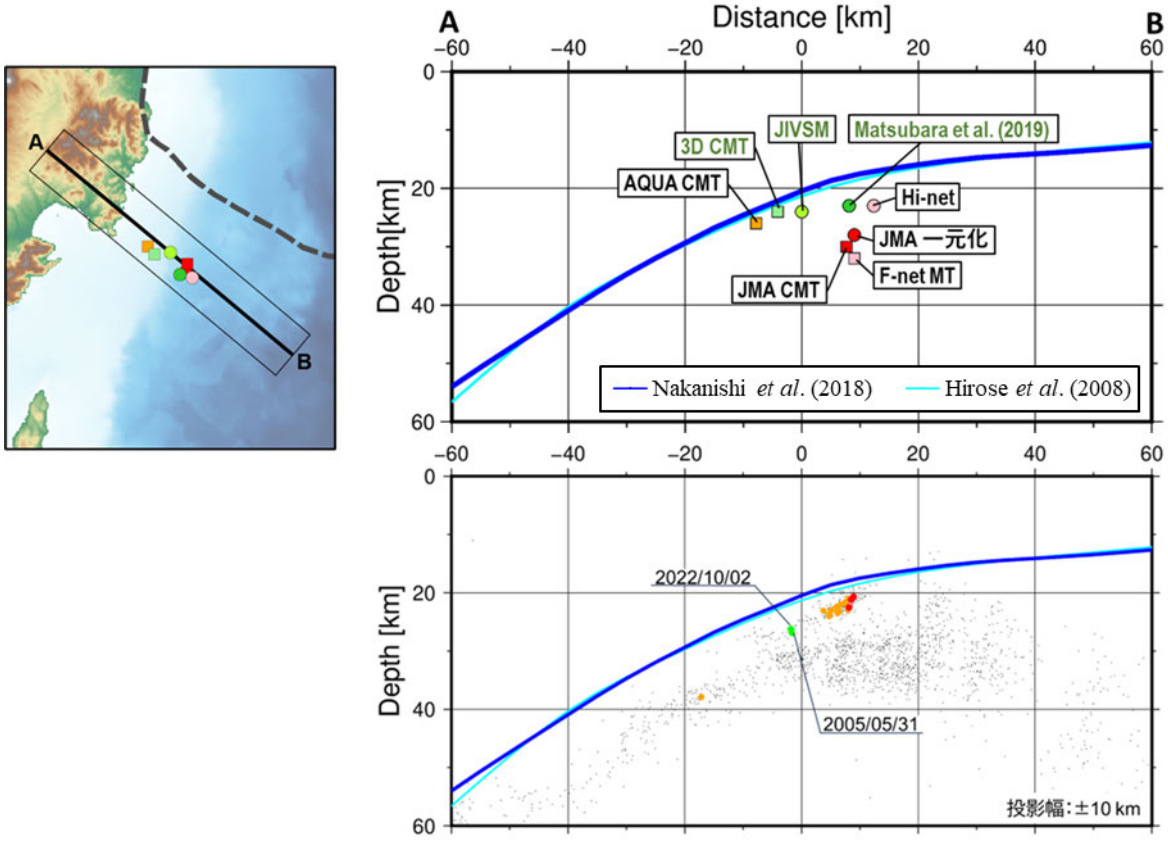


図２－１－②－４　大隅半島東方沖における震源分布の比較。右上）2023 年６月 19 日に発生したM4.7 の地震に対し、様々なカタログに登録された震源あるいはセントロイドの位置。黒字は１Ｄ構造モデル、緑字は３Ｄ構造モデルを用いた結果であることを表す。水色線 [5]及び青線 [6]は、フィリピン海プレート上面の位置を表す。右下）トモグラフィモデルを用いて、本システムにより再決定した震源の分布。2023 年６月 19 日及び 20 日に発生した地震のうちＭ４以上の地震を赤丸、M1.5 以上の地震を橙丸で示す。緑丸は過去に発生し、フィリピン海プレートと陸のプレートの間で発生したと評価されたＭ５以上の２地震の震源位置を表す。灰色の点は長期カタログに登録されたM1.5 以上の地震を表す。各図の断面線の位置は、左上地図中に示す。

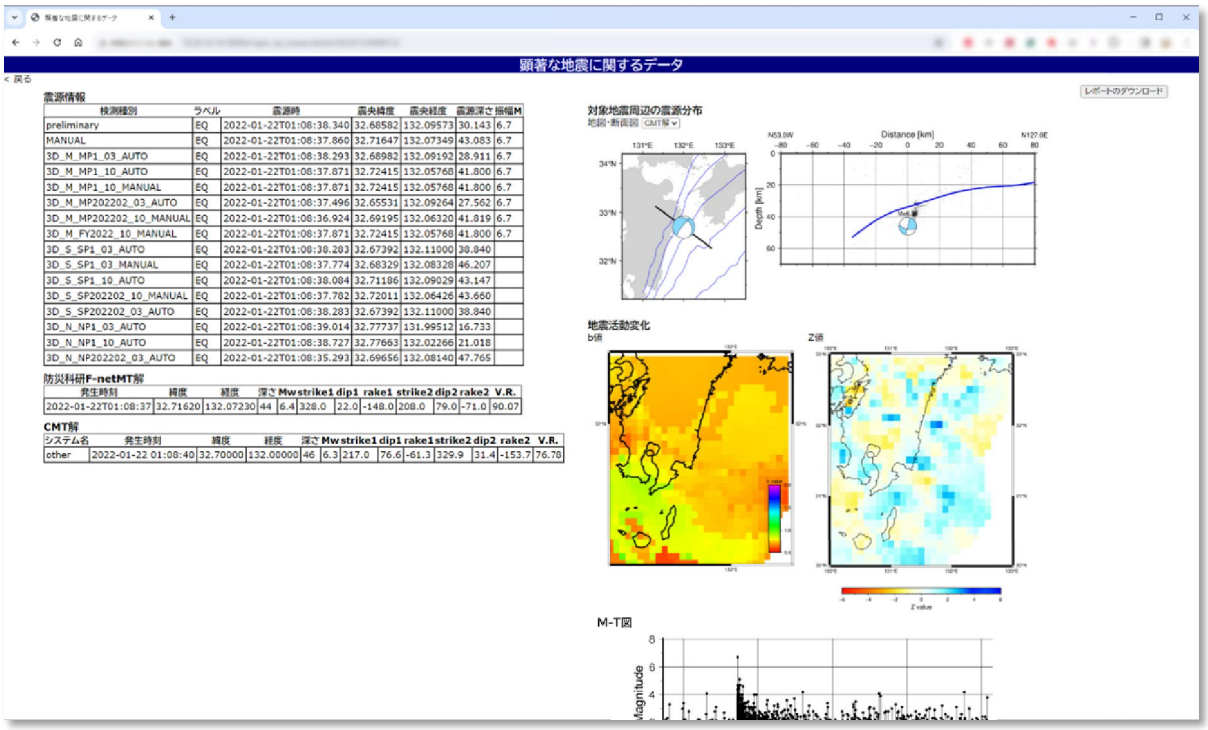


図２－１－②－５　構築中の情報集約機能画面例。左に様々な条件での震源計算結果、右側上部から順に、本システムによる長期カタログを背景とする鉛直断面図及び 3D-CMT 解析による発震機構解、ｂ値及びＺ値の空間分布、ｂ値表示範囲のＭ－Ｔ図が表示されている。

（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適確に評価するためには、より現実に即した三次元地震波速度構造を用いて自動的に震源位置の推定を行うとともに、同じ計算条件で整備した過去の地震のカタログと対比・検討する必要がある。今年度は、昨年度までに構築した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継続するとともに、長期震源カタログ構築のための環境整備を進めた。次に、２種類の３Ｄ構造モデルを用いて紀伊半島南東沖の地震活動の震源分布を再計算し、両モデルならびに１Ｄ構造モデルによる震源分布との特徴の違いの確認及び検討を行った。この結果を踏まえ、地震波走時トモグラフィ解析に基づく３Ｄ構造モデルを用いて、2003 年１月以降の南海トラフ及びその周辺の震源再決定を行うことにより、長期地震カタログを構築した。さらに、仮運用中のシステムにより得られる自動震源とこの長期地震カタログを用いて地震活動評価に資する情報を作成することを念頭に、自動的に生成すべき情報の検討とその試作を進めた。その過程において 2023 年６月に大隅半島東方沖で発生した地震を対象としていくつかのサンプル図面を作成し、気象庁の「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」に資料として提出した。この地震は、従来の１Ｄ構造モデルによる解析ではスラブ内地震と評価される可能性があったが、過去データを含め、３Ｄ構造モデルを用いた解析を行うことにより、陸側プレートと沈み込むフィリピン海プレートの境界部で発生した地震である可能性が高いことを示した。

本システムでは、現在、Hi-net システムにおいてM1.5 以上の地震が登録された場合に自動的に震源再計算を行うこととしている。地震活動把握を進める上では、より小規模の地震もカタログ化すべきであり、今年度はM1.5 未満の地震について手動で再計算を行った。今後、自動震源計算の滞留が起きない程度に自動計算対象とするMの下限を下げる、微小地震は別の VM で処理するなどの仕組みを検討し、可能な限り自動でカタログが拡充される仕組みを構築しておくことが望ましい。地震活動の可視化については、システム化の端緒として試験的な作図を進めているところである。顕著な地震が発生した場合に地震活動情報を効果的に発信、活用するためには、特定のユーザの操作を必要としないことが望ましい。今後は、自動生成すべき情報とその見せ方について、より詳細な検討を進める必要がある。

2024 年１月１日に石川県能登地方で発生したM7.6 の地震に関して、この地震後に地震活動が極めて活発化したことにより、Hi-net システムにおける地震検知力が著しく低下する事態が発生した。これは、本震を含めて規模の大きい地震が多発したことで、長期にわたる平均的な振動レベル（Long-time-average; LTA）が上昇したことにより、短時間の振動レベル（Short-time-average; STA）との比（STA/LTA）で地震の発生を検知しづらくなったことが主因である。さらに、地震を検知したとしても、広い震源域で地震活動が活発化したことにより、読み取った位相に紐付く地震の判別が適切に行われない、すなわち異なる地震による位相をひとつの地震として震源決定を試み、失敗するという事例も多発した。本システムは、現状、Hi-net システムによる震源情報を初期震源として稼働させているため、南海トラフ沿いの大地震発生時にも同様の問題が発生する可能性がある。ただ、本システムは初期震源及び検測値の入力部には柔軟性を持たせている。現在、機械学習を用いた位相の読み取りや新たなアプローチによる地震判別に関する様々な技術[13),14),15)]が開発されている。近い将来、旧来の STA/LTA 法に替わる初期震源提供システムへの換装を検討する必要がある。

(d) 引用文献

1) Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K., and Kamiya, S.: 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.

2) Koketsu, K., Miyake, H., and Suzuki, H.: Japan integrated velocity structure model version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake 28 Engineering, Vol. 1-4, <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1773.pdf>, （参照 2024-3-25）, 2012.

3) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 紀伊半島南東沖の地震活動の評価 （平成１６年９月６日）, <https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2004/kii_1.pdf>, （参照 2024-03-25）.

4) 気象庁: 地震月報(カタログ編),
〈https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html〉, (参照 2024-03-21).
5) 弘瀬 冬樹・中島 淳一・長谷川 昭: Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, 地震２, 60, 1-20, doi: 10.4294/zisin.60.1, 2007.
6) 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.
7) 汐見 勝彦・小原 一成・ 針生 義勝・松村 稔: 防災科研 Hi-net の構築とその成果, 地震２, 61, S1-S7, doi: 10.4294/zisin.61.1, 2009.
8) Gutenberg, B. and Richter, C. E.: Frequency of earthquakes in California, Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188, 1944.
9) Wiemer, S. and Wyss, M.: Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 859-869, doi: 10.1785/0119990114, 2000.
10) Takemura, S., Okuwaki, R., Kubota, T., Shiomi, K., Kimura, T., and Noda, A.: Centroid moment tensor inversions of offshore earthquakes using a three-dimensional velocity structure model: slip distributions on the plate boundary along the Nankai Trough, Geophys. J. Int., 222, 1109-1125, doi: 10.1093/gji/ggaa238, 2020.
11) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 2005 年５月の地震活動の評価,
〈https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2005/2005_05.pdf〉, (参照 2024-03-21).
12) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 2022 年 10 月の地震活動の評価,
〈https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2022/2022_10.pdf〉, (参照 2024-03-21).
13) Zhu, W. and Beroza, G. C.: PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method, Geophys. J. Int., 216, 261-273, doi: 10.1093/gji/ggy423, 2019.
14) McBrearty, I. W. and Beroza, G. C.: Earthquake phase association with Graph Neural Networks, Bull. Seismol. Soc. Am., 113, 524-547, doi: 10.1785/0120220182, 2023.
15) 関口 渉次: 観測点から逆伝播する波面の重複点検出による簡易震源決定法, 地震２, 76, 219-232, doi: 10.4294/zisin.2023-12, 2023.

(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
南海トラフ周辺を対象とした三次元地震波速度構造に基づく初動発震機構解の推定（口頭）	汐見 勝彦 松原 誠 関口 渉次	日本地震学会2023年度秋季大会	2023.11	国内
Automatic Hypocenter Relocation System Using 3D Seismic Velocity Models for the Nankai Trough Area, Japan（ポスター）	Shiomi, K. Matsubara, M. Sekiguchi, S.	AGU Annual Meeting 2023	2023.12	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
観測点から逆伝播する波面の重複点検出による簡易震源決定法	関口 渉次	地震第２輯	2023.11	国内

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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	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
東北大学災害科学国際研究所	助教	富田史章
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
海洋研究開発機構	ﾎﾟｽﾄﾄﾞｸﾄﾗﾙ研究員	ﾗｲﾑﾝﾄﾞ ﾌﾟﾗﾀｰﾏﾙﾃｨﾈｽ
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、それに追随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、分岐断層でのすべりによる地表・海底における変位グリーン関数を得た。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。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した。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た。

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、熊野灘周辺まで延長した分岐断層でのすべりによる地表・海底での変位グリーン関数を得るとともに、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定した予察的結果を得た。また、令和３年度に行った、現実的な３Ｄ構造モデルを用いたグリーン関数の改良を行った。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予察的な知見を得た。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た。

5）令和６年度：

海域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するための手法を構築する。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５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および改良を行う。具体的には熊野灘周辺から四国沖に至る南海トラフ全域の分岐断層におけるグリーン関数をこれまでの知見に基づいて構築するとともに、プレート境界面の形状を修正し、これについてもグリーン関数を得る。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、海域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、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定するための手法を構築し、予察的結果を得る。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・モデル化について予察的な知見を得る。

(2) 令和５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、プレート境界以外の断層におけるすべりが地表にもたらす変形を定量的に評価できるようにするために、昨年度構築した紀伊水道沖から四国沖にかけての分岐断層を東方に延長し、熊野灘周辺における分岐断層面を設定するとともに、一昨年度に構築した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の中に設定されたプレート境界面断層の形状を修正し、それぞれの面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

トラフ軸に近い浅部プレート境界周辺には、プレート境界から分岐してトラフ軸よりも陸側の海底に至る断層がいくつも存在している。海洋研究開発機構がこれまでに実施してきた地震波構造探査の結果[1,3など]から、このような分岐断層のうち空間的な連続性が強く見られるとともに海底地形に大きく影響しているとみられる面を、地震時にすべりを起こす可能性がある「分岐断層」として選択した。構造探査測線それぞれにおいて、プレート境界から分岐断層が枝分かれする位置または枝分かれした後に高角に傾斜角が急変する位置と、分岐断層が海底面に達する位置を目視で読み取り、分岐断層の下端および上端を決定した。これらをつないで分岐断層面モデルを構築し（図２－２－①―１）、この面でのすべりに対する変位応答グリーン関数の計算を実施することとした。また、一昨年度に計算した現実的な３Ｄ構造モデルに基づくプレート境界での固着・すべりに対するグリーン関数に関して、トラフ軸近傍でプレート境界として定義した面が海洋性地殻内にはみ出してしまっていた領域があったため、これを修正し（図２－２－①―２）、修正した面に対する変位応答グリーン関数の計算を実施した。

(c) 業務の成果

一昨年度作成した全国一次地下構造モデルに基づく有限要素法計算のためのメッシュの中に分岐断層をすべり面として設定したうえで、スプライン関数を基底として表現された分岐断層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（図２－２－①―３）。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（図２－２－①―４）。また、修正したプレート境界面についても同様に計算を行い、グリーン関数を得た。さらに、昨年度と同様、作成したDEMデータをそのまま用いた場合、複数の層の物性値を一つにまとめた場合、及び、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。

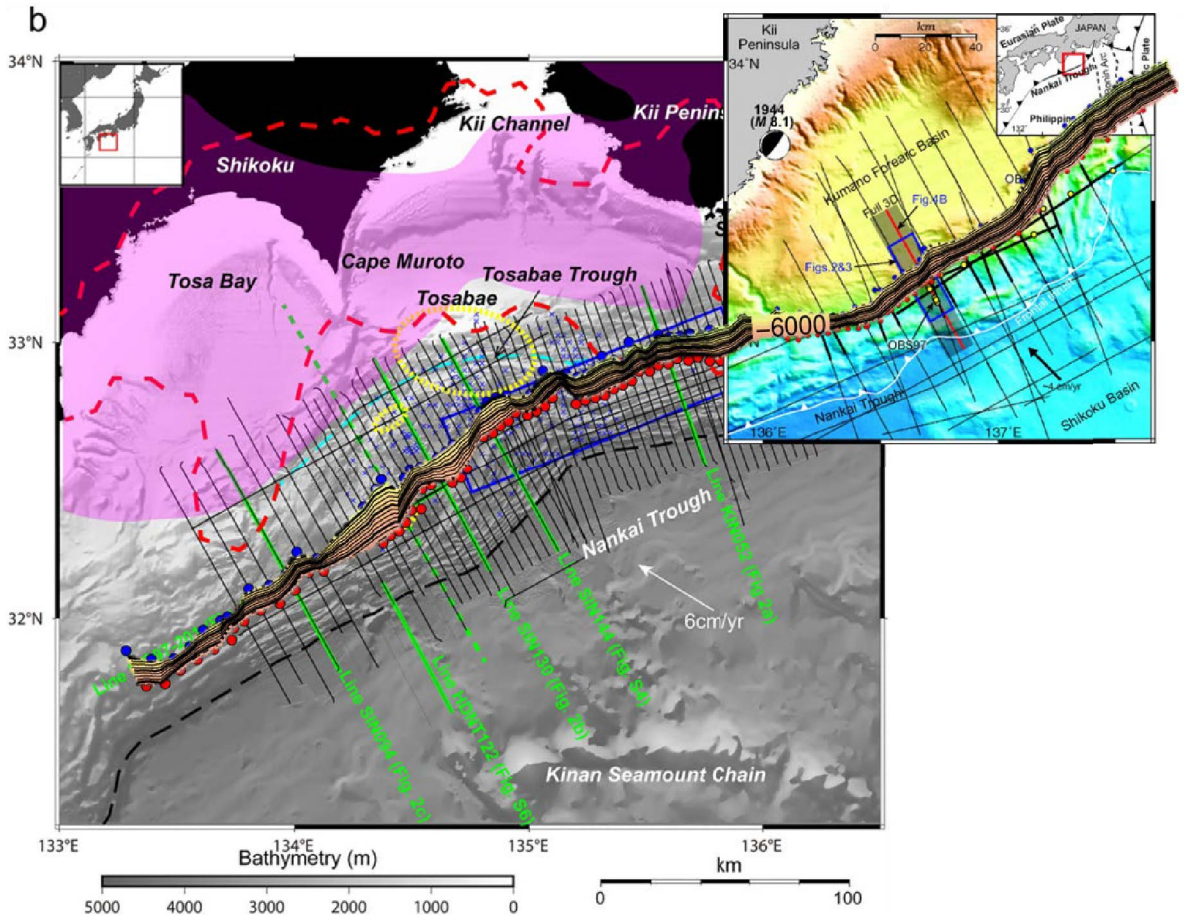


図２－２－①－１　南海トラフ沿いの構造探査測線（黒実線・緑実線）に沿って取得された構造断面から構築した分岐断層面。等深線は 300m 間隔。各測線において読み取った分岐断層の上端（海底面と分岐断層面の交点）及び下端（プレート境界面と分岐断層面の交点）の位置を赤丸及び青丸で示した。測線の位置を含め背景の地図は Nakamura et al.［2022］[3] 及び Park et al.［2010］[2] からの抜粋。

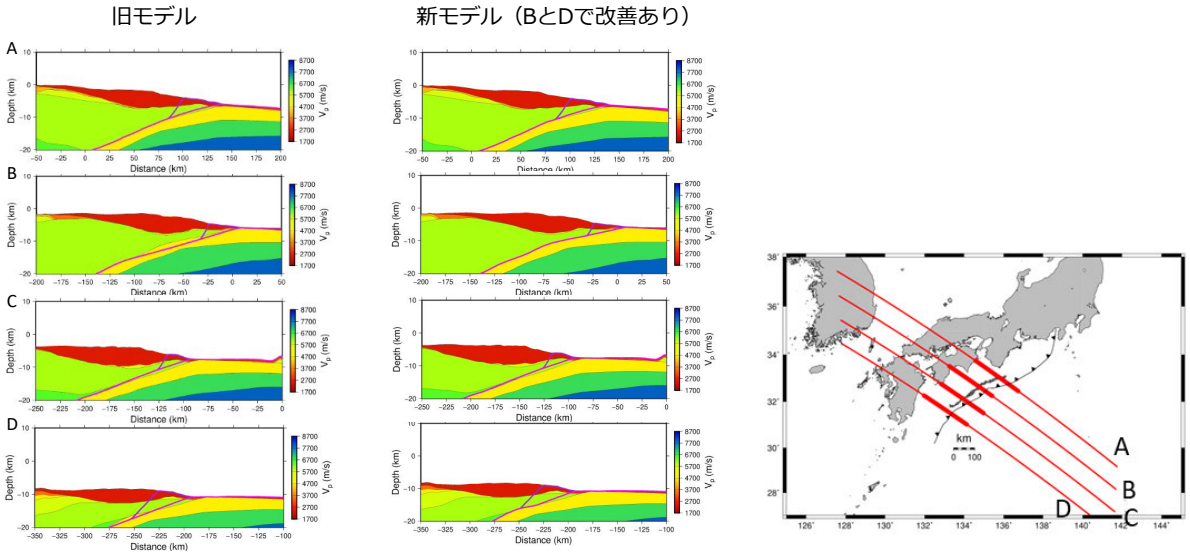


図２－２－①－２　（左）測線 ABCD に沿って取った断面のトラフ軸付近の拡大図（太線部分）。紫・マゼンタ線はそれぞれ、分岐断層・プレート境界位置を表す。（右）断面測線の位置。

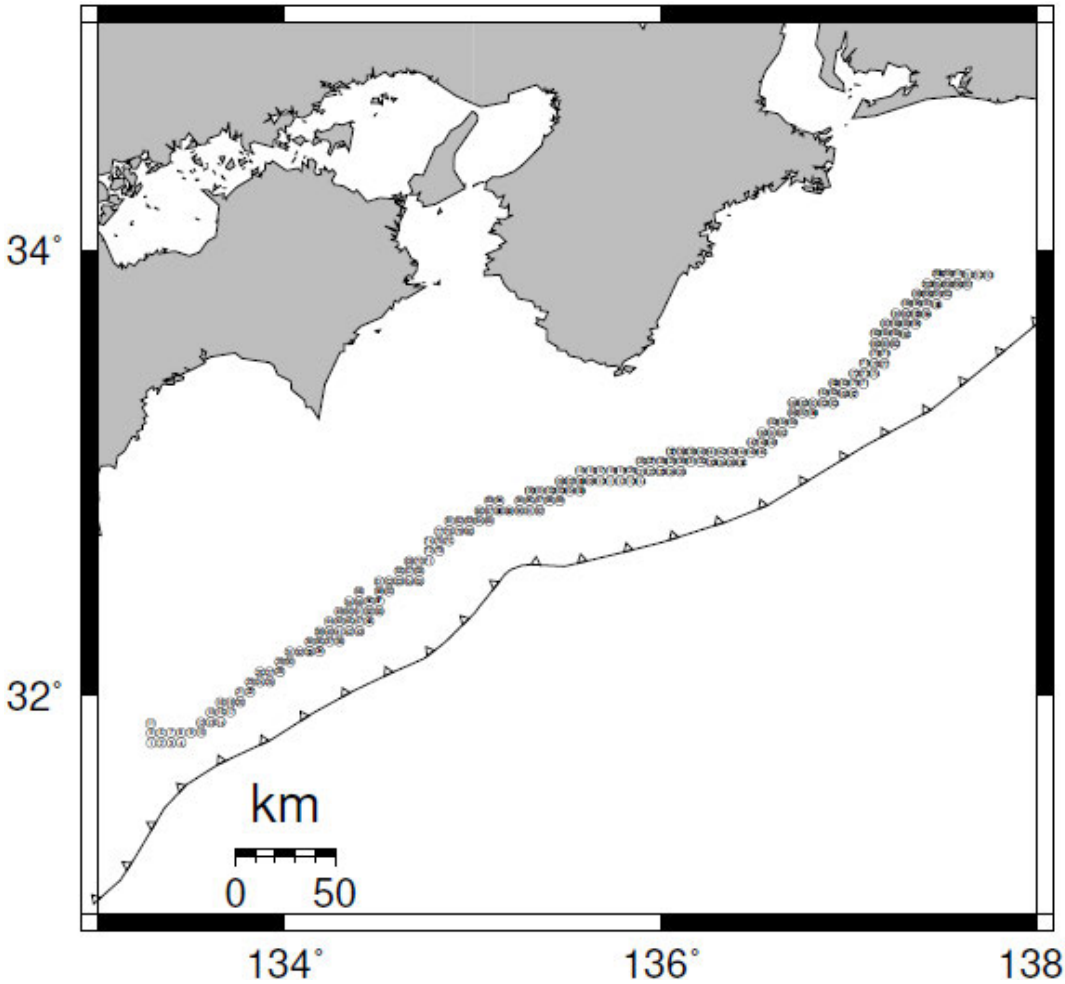


図２－２－①－３　構築した分岐断層面上に配置したスプライン関数のノード配置（計 213 点）。それぞれの位置に頂点を持つスプライン関数で走向・傾斜方向のすべり分布を与えて地表・海底での変位を計算し、グリーン関数を得た。

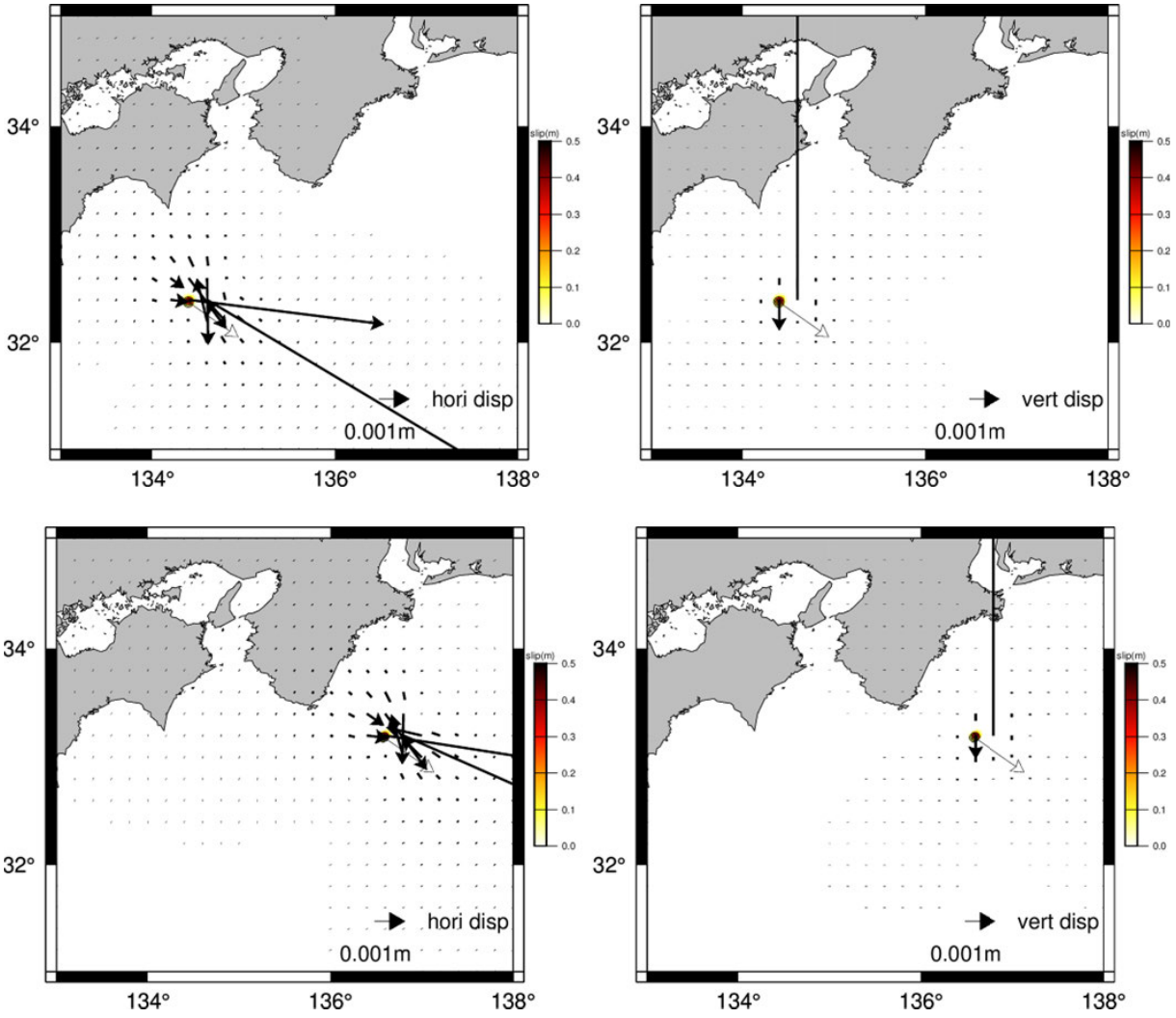


図２－２－①－４　図２－２－①－３の 51（上段）と 151（下段）のノードに傾斜方向のすべりを与えた場合の地表・海底での変位。左は水平成分、右は上下成分を示す。

(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、プレート境界面並びに南海トラフ近傍の分岐断層面における固着・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。次年度は、今回計算したグリーン関数を用いた解析を実施して、現状の海陸の観測網で取得されうる地殻変動データによる、プレート境界と分岐断層におけるすべりの識別可能性を検討するとともに、熊野灘や四国沖に設置されている長期孔内観測点での歪及び傾斜応答グリーン関数を計算する。

(e) 引用文献

1) Park, J0., and S. Kodaira (2012). Seismic reflection and bathymetric evidences for the Nankai earthquake rupture across a stable segment-boundary. Earth Planets Space, 64, 299-303, doi:10.5047/eps.2011.10.006.

2) Park, JO., G. Fujie, L. Wijerathne, T. Hori, S. Kodaira, Y. Fukao, G. F. Moore, N. L. Bangs, S. Kuramoto, and A. Taira (2010). A low-velocity zone with weak reflectivity along the Nankai subduction zone. Geology, 38, 283-286, https://doi.org/10.1130/G30205.1.
3) Nakamura, Y., K. Shiraishi, G. Fujie, S. Kodaira, G. Kimura, Y. Kaiho, T. No, and S. Miura (2022). Structural anomaly at the boundary between strong and weak plate coupling in the central-western Nankai Trough. Geophys. Res. Lett., 49, e2022GL098180, doi:10.1029/2022GL098180.

(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
Slip deficit rate, slow and fast earthquake at the Nankai subduction zone（口頭）	R. O. Plata-Martínez T. Iinuma F. Tomita T. Nishimura T. Hori	EGU General Assembly 2023	2023.04	国外
New slip deficit rate model and slow earthquakes at the Nankai subduction zone(口頭)	R. O. Plata-Martínez T. Iinuma F. Tomita T. Nishimura Y. Nakamura T. Hori	日本地球惑星科学連合 2023 年大会	2023.05	国内

２）学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

１）特許出願

なし

２）ソフトウエア開発

なし

３）仕様・標準等の策定

なし

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、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定するための手法を構築するとともに、その推定誤差を定量評価するための技術開発を実施した。さらに、本プロジェクトで構築を進めてきた三次元のグリーン関数(３Ｄグリーン関数)を用いた、正確な地殻変動場の再現を実現するための数値実験による評価を継続するとともに、REGARD への技術移転のための知見整理を実施した。また令和５年８月７-８日および令和６年３月 27 日に REGARD の開発・運用を行っている国土地理院測地観測センター電子基準点課と打ち合わせを実施し、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

プレート境界で超巨大地震が発生する際に、付随して近傍の非プレート境界断層（例えば付加体内部に発達する分岐断層）がすべりうることは、これまでのさまざまな研究で指摘されている。それに対して、プレート境界面のみが破壊すると仮定して断層すべり分布推定を行うと、その推定結果を過小/過大評価する可能性があるだけでなく、津波の即時予測等の観点からもその影響は大きい。一方、陸域のデータのみでは分岐断層等の海域断層でのすべりを正しく推定することはきわめて難しい。そのため、DONET に設置された海底水圧計等、海域測地観測のデータを活用することがきわめて重要になるが、それら DONET の観測網間隔は陸域と比べた場合に空間的に疎であり、分岐断層におけるすべりの感度は必ずしも明らかではない。

こうした背景のもと本年度は、南海トラフにおけるプレート境界型地震と同時に不可体内部に発達する分岐断層がすべったと仮定し、そこから期待される変位を入力として、それらを昨年度までに開発を進めてきたベイジアン逆解析手法を用いてそれらすべりの同時推定を試みた。分岐断層は室戸沖の海溝軸近傍に高角(30 度)の傾斜角を持つ矩形断層を一枚仮定し、すべり量としては５ｍを仮定した（図２-２-②-１）。グリーン関数には昨年度構築までに構築した現実的な３Ｄ構造モデルに基づくグリーン関数を同推定に活用するための試行を行うとともに、解析解[1)]のグリーン関数を用いた計算を、手法開発の先行を念頭に実施した。

観測データとしては GEONET 観測点における変位三成分および、南海トラフに敷設されている DONET の海底水圧計データによる上下成分を用いた。

パラメータ数が多いことから収束性の悪化を克服するために、サンプリング手法として Hamiltonian Monte Carlo 法 (HMC 法)[2)]を採用した。尤度関数の標準偏差は GEONET の水平成分が２cm, 上下成分が５cm, DONET の上下成分が 10cm をそれぞれ仮定した。プレート境界のすべり分布の正則化拘束には、von Karman の自己相関関数を用いた。計算は 1000 連鎖分計算し、50 連鎖を Burn-in として除外し、最終的な事後確率分布を得た。

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予察的な知見を得るために、構築した３Ｄ構造モデルを用いてプレート境界型巨大地震を模したすべり分布から地殻変動場を計算し、それらデータを構築した３Ｄ構造モデルとこれまでによく用いられている解析解によるグリーン関数のそれぞれでインバージョン解析を行った。同解析は、技術移転を念頭に国土地理院と共同で実施した。

また令和５年８月７～８日および令和６年３月 27 日に REGARD の開発・運用を行っている国土地理院測地観測センター電子基準点課と打ち合わせを実施し、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。

(c) 業務の成果

得られた事後確率分布の平均値にもとづいて描画したすべり分布および同時推定された分岐断層のすべり量(以下、平均値モデルと呼ぶ)を図２－２-②-２（水平成分）および図２－２-②-３(上下成分)に示す。推定されたすべり分布および分岐断層におけるすべり量は観測値をよく説明し、観測値全体に対する VR (Variance Reduction)は 99.86%、GEONET の変位三成分に対しては 99.87%、DONET の上下変動成分に対しては 99.67%となり、いずれの値もきわめて高い。推定されたすべり量（平均値モデル）から仮定したすべり量を差し引いた残差を図２－２-②-４に示す。まずプレート境界面でのすべりに注目すると、推定された断層すべりはおおむね仮定したすべりを再現できている。一方、プレート境界浅部、特に DONET が展開されていない四国よりも西部側において、残差の値が大きいことがわかる。また、同時推定した分岐断層に着目すると、負の残差、すなわち仮定したすべり量よりもその値を過小評価していることが確認できる。図２－２-②-４中に分岐断層のすべり量の事後確率分布を示す。同図中の縦破線が仮定したすべり量の５m を示すが、得られた事後確率分布はそれよりも小さなすべり量をピークとして､正規分布的な事後確率を示す。また、分岐断層の深部延長側のプレート境界面の断層パッチも同時にすべり量の過小評価をしていることがわかる。これらの結果は、現状の DONET を含めた観測網において、プレート境界面でのすべりと分岐断層のすべりを完全には分離できないことを示唆する。図２－２-②-５に得られた事後確率分布の 60%信用区間の空間分布を示す。同図は推定における不確実性の一つの指標であるが、同図からも分岐断層における不確実性が周囲のプレート境界すべりと比較して大きいことが確認できる。一方、分岐断層のすべりの推定不確実性をこのように可視化できることは、推定結果の妥当性の検討のみならず、それらに起因するハザード予測の観点、例えば津波の即時予測等における最悪シナリオの抽出等の観点から、非常に重要と考える。

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予察的な知見を得るために、構築した３Ｄ構造モデルを用いてプレート境界型巨大地震を模したすべり分布から地殻変動場を計算し、それらデータを構築した３Ｄ構造モデルとこれまでによく用いられている解析解によるグリーン関数のそれぞれでインバージョン解析を行ったところ、より現実的な構造モデルにもとづくグリーン関数を用いない場合、すべりの虚像が現れ、すべり分布推定の正確性に影響が生じることを再確認した（図２－２-②-６）。

令和５年８月７～８日および令和６年３月 27 日に REGARD の開発・運用を行っている国土地理院測地観測センター電子基準点課と打ち合わせを実施し、本研究課題の進捗状況に

ついての報告及び議論を行うとともに、本 PJ で構築した３Ｄ構造モデルにもとづくグリーン関数を提供し、その精度評価を共同で行うことで、技術移転に向けた知見の整理ができた。

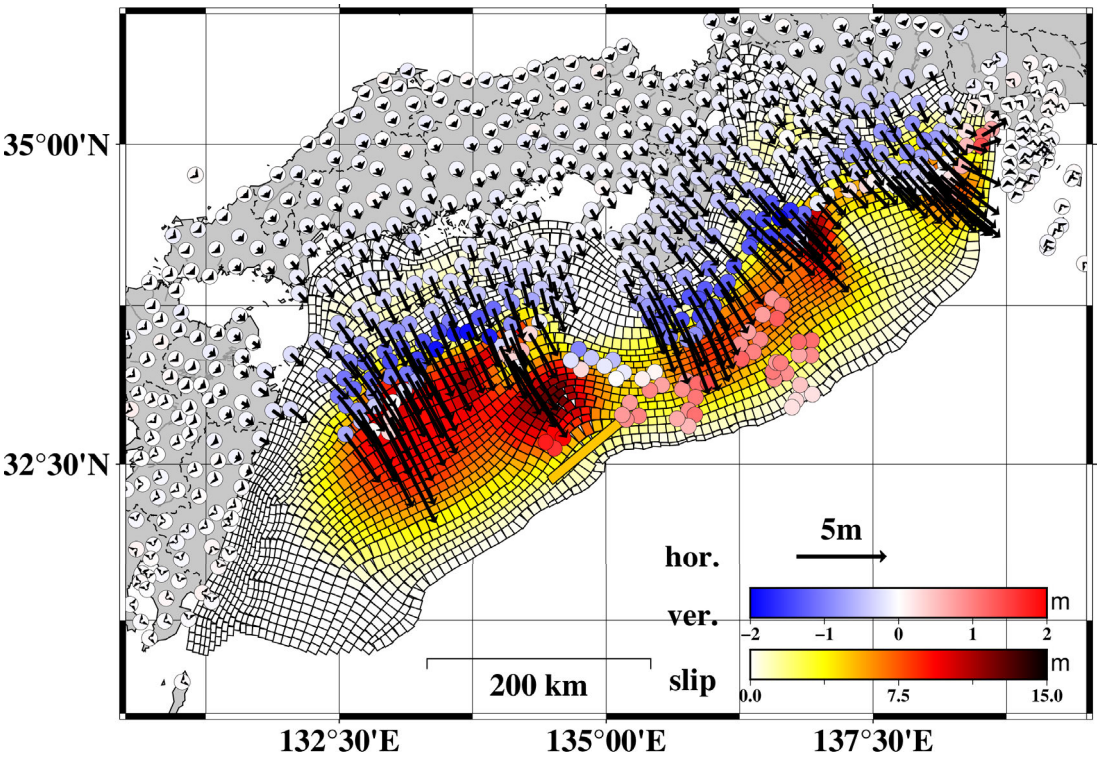


図２－２－②－１　仮定したプレート境界面におけるすべり分布と分岐断層のすべり量。矢印は各観測点における水平変位場を示す。色付き丸印は各観測点における上下変位場を示す。

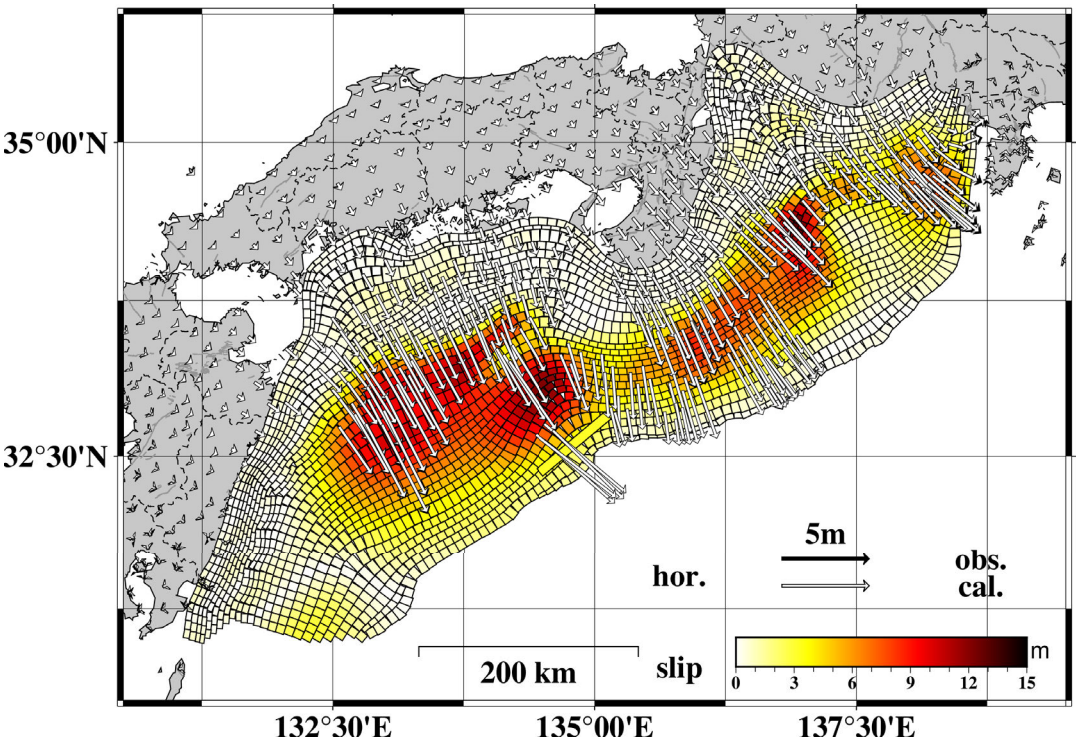


図２－２－②－２　得られた事後確率分布の平均値にもとづいて描画したすべり分布および同時推定された分岐断層のすべり量。矢印は各観測点における水平変位場を示す。推定には用いていないが、DONET において期待される水平変位場も参考のために併記した。

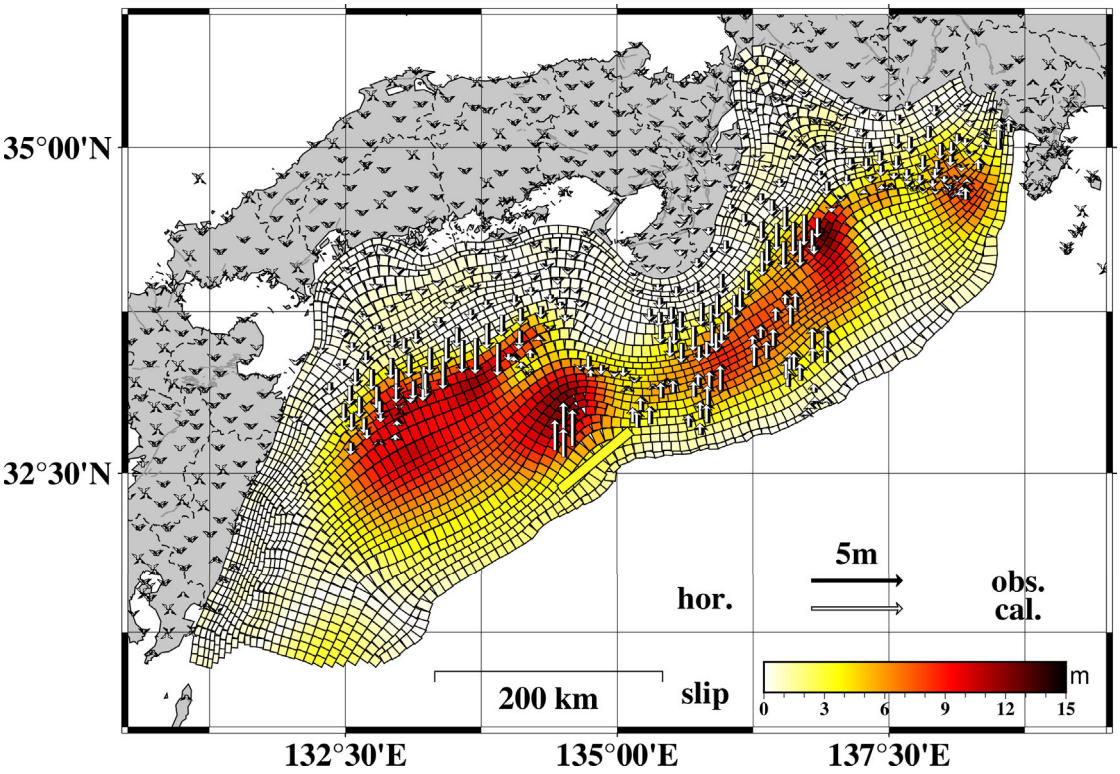


図２－２－②－３　得られた事後確率分布の平均値にもとづいて描画したすべり分布および同時推定された分岐断層のすべり量。矢印は各観測点における上下変位場を示す。

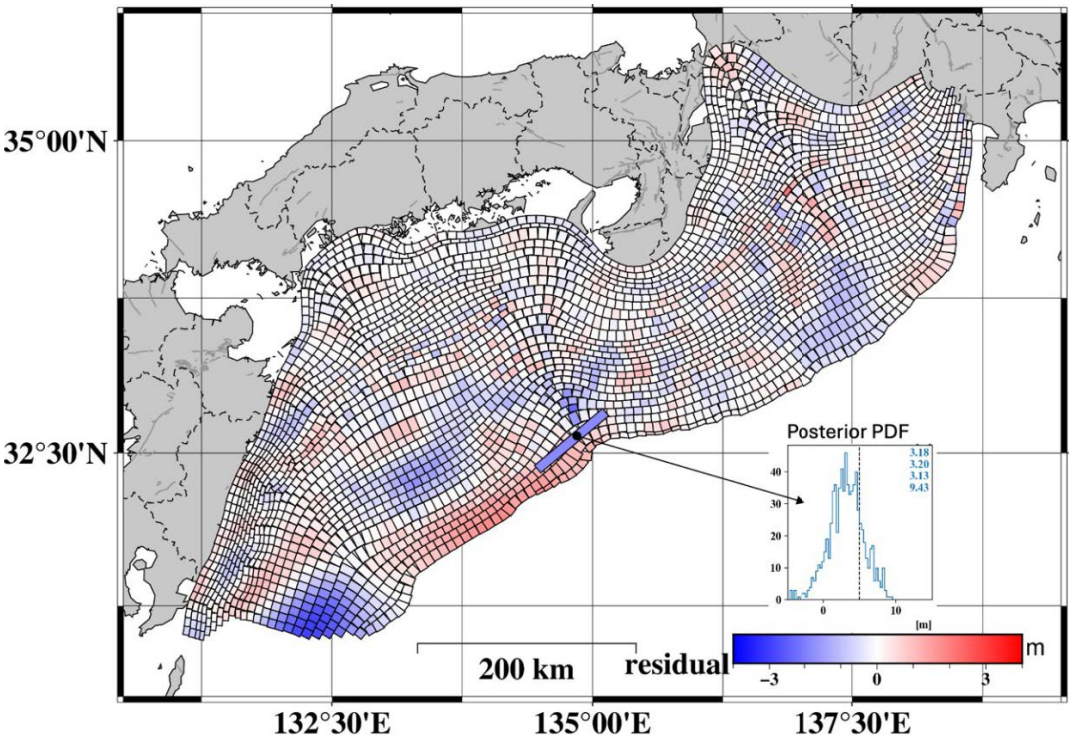


図２－２－②－４　推定されたすべり量（平均値モデル）から仮定したすべり量を差し引いた残差。中に分岐断層のすべり量の事後確率分布を示す。

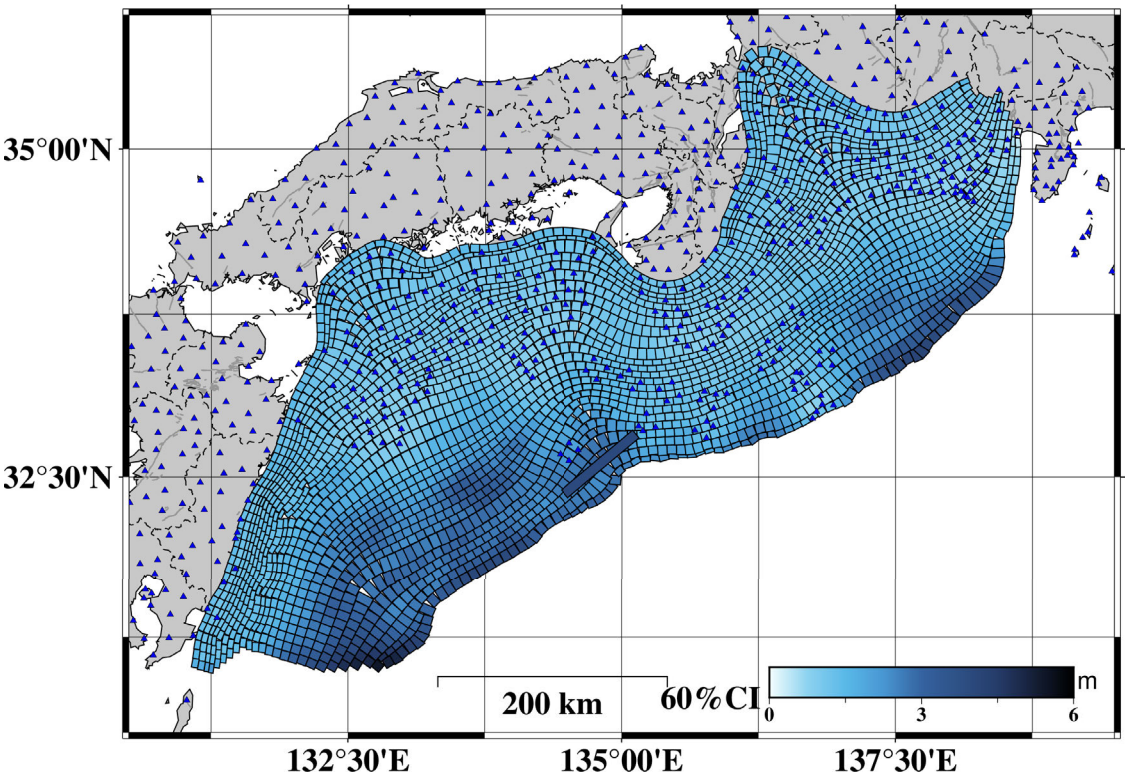


図２－２－②－５　得られた事後確率分布の 60%信用区間の空間分布。

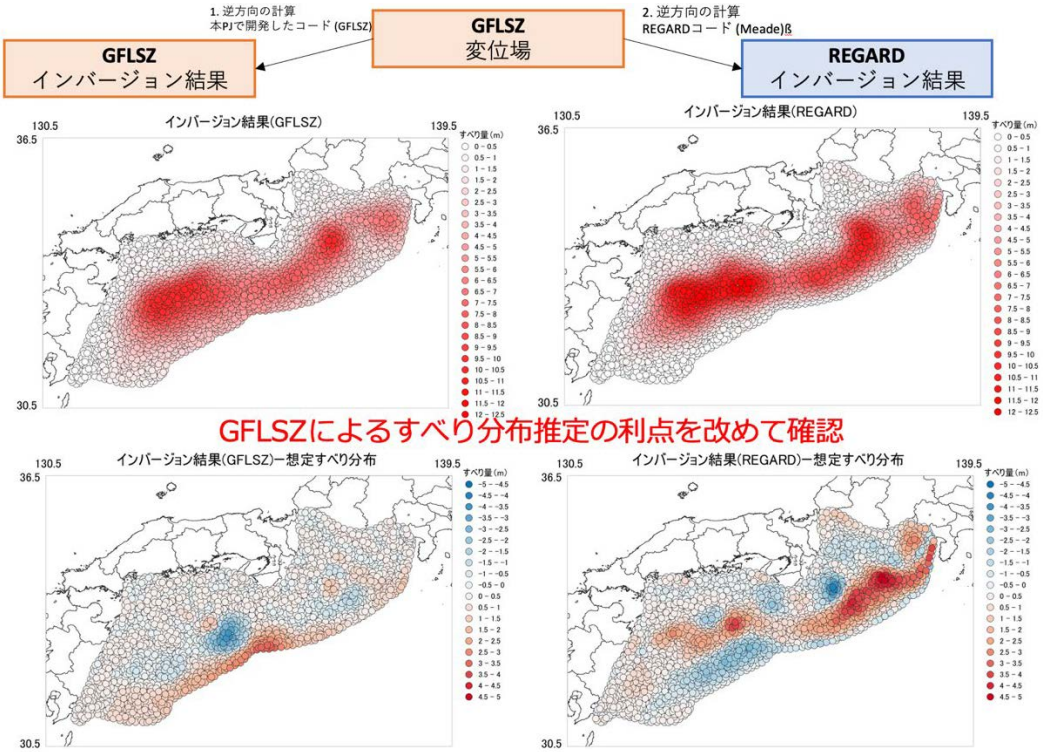


図２－２－②－６　構築した３Ｄ構造モデルを用いてプレート境界型巨大地震を模したすべり分布から地殻変動場を計算し、それらデータを構築した３Ｄ構造モデルとこれまでによく用いられている解析解によるグリーン関数のそれぞれでインバージョン解析を行った結果。左列上：本 PJ で構築した３Ｄ構造モデルを用いてインバージョン解析を行い、得ら

れた結果。左列下：仮定したすべり分布との残差。右列上：解析解を用いてインバージョン解析を行い、得られた結果。右列下：仮定したすべり分布との残差。同解析は国土地理院と共同で実施した。

(d) 結論ならびに今後の課題

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った。具体的には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、海域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、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定するための手法を構築し、予察的結果を得た。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予察的な知見を得た。今後は、今年度拡張した分岐断層の３Ｄ構造モデルによるグリーン関数をさらに活用し、より現実的な地震シナリオ等によってプレート間のすべり・固着状況を把握するための試みを進める必要がある。

(e) 引用文献

1) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America Seismological Society of America*, *82*(2), 1018-1040, 1992.

2) Yamada, T., K. Ohno, and Y. Ohta, Comparison between the Hamiltonian Monte Carlo method and the Metropolis-Hastings method for coseismic fault model estimation, *Earth, Planets Space*, doi:10.1186/s40623-022-01645-y, 2022.

(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
Evaluation of the ability to extract crustal deformation signal from ocean bottom pressure time series using principal component analysis（口頭）	Hideto Otsuka Yusaku Ohta Ryota Hino Tatsuya Kubota Daisuke Inazu Tomohiro Inoue Narumi Takahashi	28th IUGG General Assembly 2023	2023.07	国外

Development of the simultaneous estimation method of slip distribution and its correlation length based on the assumption of self-similarity（口頭）	Taisuke Yamada Yusaku Ohta	28th IUGG General Assembly 2023	2023.07	国外
すべり分布推定における相関距離の同時評価とその適用（ポスター発表）	山田太介 太田雄策	日本測地学会第 140 回講演会	2023.10	国内
Evaluation of self-similarity of a coseismic slip by estimating a correlation length in von Karman autocorrelation（ポスター発表）	Taisuke Yamada Yusaku Ohta	AGU Fall Meeting 2023	2023.12	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
Non-tidal oceanographic fluctuation characteristics recorded in DONET ocean-bottom pressure time series using principal component analysis（査読あり）	Hideto Otsuka Yusaku Ohta Ryota Hino Tasuya Kubota Daisuke Inazu Tomohiro Inoue Narumi Takahashi	Earth Planets Space	2023.10	国外

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

１）特許出願

なし

２）ソフトウエア開発

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、プレート境界およ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９台の回収を行った。回収した海底地震計には良好なデータが取得されていた。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２台の整備を行い、長期観測可能な海底地震計を９台設置して観測を継続した。９台はすべて小型広帯域海底地震計である。今回の観測期間中には、2023 年４月から６月にかけて浅部スロー地震活動が発生し、観測網の直下において多数の浅部低周波微動ならびに超低周波地震を観測することに成功したほか、群発的な地震活動についてもデータが取得されていることを確認した。

(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 [1,2,3,4]。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 [2,3]。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 [2,3]、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 [4]。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 [2,3]。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、海底における地震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 [5]、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の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およ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[6)]２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９台の回収を行うとともに、長期観測可能な小型広帯域海底地震計を９台設置し観測を継続した。（図２－２－③－１～２、写真２－２－③－１～６、表２－２－③－１）。

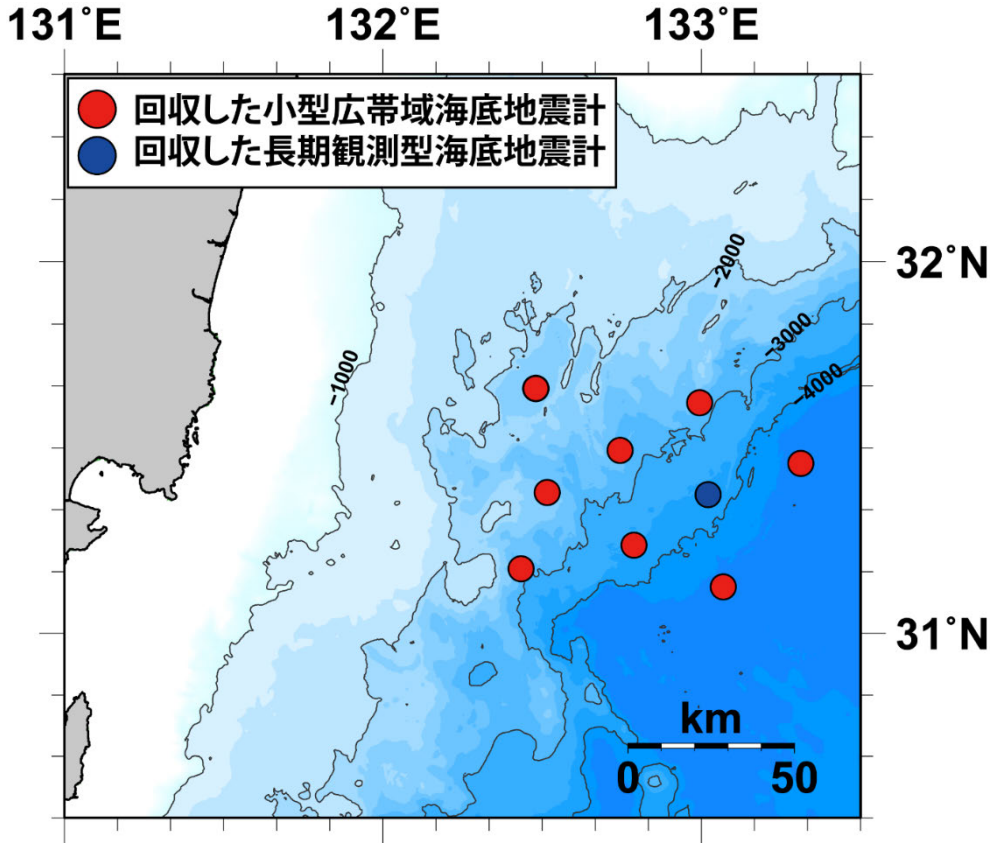


図２－２－③－１　回収した海底地震計位置

令和４年度に設置され、令和５年度に回収した長期観測型および小型広帯域海底地震計９台の位置。青丸は長期観測型海底地震計、赤丸は小型広帯域海底地震計を示す。なお、図中のコンターは 1000m 間隔の等水深線である。

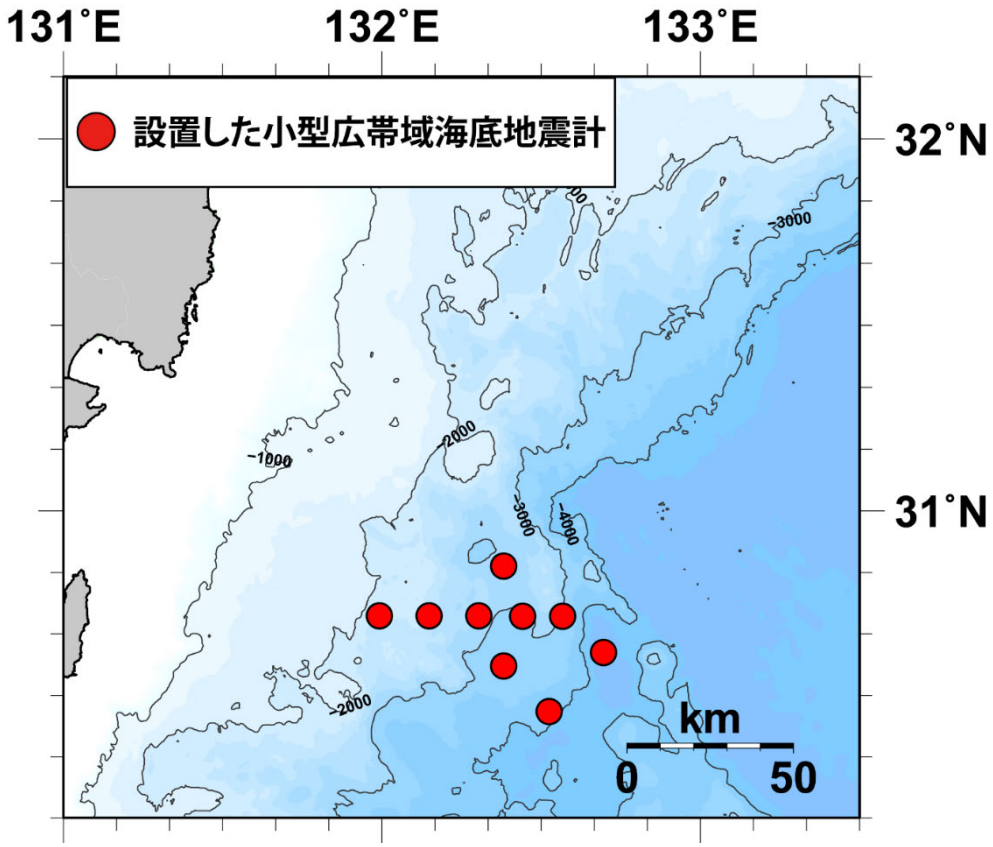


図２－２－③－２　設置した海底地震計位置

令和５年度に設置された小型広帯域海底地震計９台の位置。赤丸は小型広帯域海底地震計を示す。これらの海底地震計は、令和６年度に回収予定である。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と海底地震計設置前準備作業



写真２－２－③－４　海底地震計投入

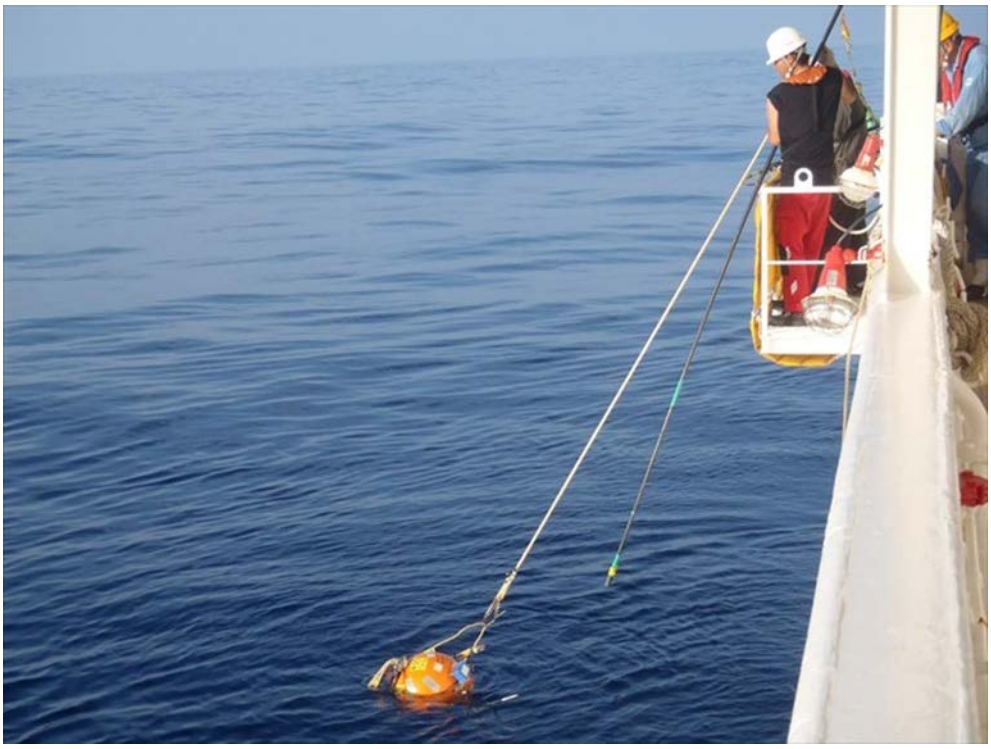


写真２－２－③－５　海底地震計回収



写真２－２－③－６　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	備考
	度	分	度	分	m	
NK2303	30	51.07	132	22.95	2830	CBBOBS(120)
NK2305	30	43.15	132	59.45	2297	CBBOBS(120)
NK2306	30	43.23	132	08.86	2391	CBBOBS(120)
NK2307	30	43.22	132	18.22	2794	CBBOBS(120)
NK2308	30	43.27	132	26.44	3076	CBBOBS(120)
NK2309	30	43.16	132	33.91	3065	CBBOBS(120)
NK2312	30	35.23	132	22.88	3244	CBBOBS(120)
NK2314	30	38.00	132	41.13	4672	CBBOBS(120)
NK2315	30	27.78	132	31.46	3641	CBBOBS(120)

備考欄の CBBOBS は小型広帯域海底地震計で、120 は固有周期 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、NK2303 は時間の都合上、音響測量が実施できなかったため投入位置の座標を示している。

設置および回収作業には、海洋エンジニアリング株式会社所属の第三開洋丸（2023 年８月 18 日宮崎港出港、同年同月 21 日宮崎港帰港）を使用した。第２期観測より 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スロー地震活動域付近[3)]を観測対象域とした観測網を維持していたが、2023 年４月～６月にかけて同領域でスロー地震活動が確認されたため、今年度は種子島東方沖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、海底地震計観測網を新たに構築した。海底地震計の設置間隔は該当領域のプレート境界の深さに近い 15 km 程度とし、特にトラフ軸周辺における地震・スロー地震活動の有無を確認し、深さ方向の精度向上が期待できるような観測網を構築している。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 DPRI01[7)]）により展開されている海底地震観測網と連携可能となるように観測点を配置した。

今回の回収を実施した海底地震観測網での観測期間中には、2023 年４月から６月にかけて浅部スロー地震活動が発生し、観測網の直下において発生した多数の浅部低周波微動ならびに超低周波地震を観測することに成功した（図２－２－③－３）。また、2022 年９月以降に発生した群発的な地震活動についても良好なデータが取得されていることを確認した（図２－２－③－４）。

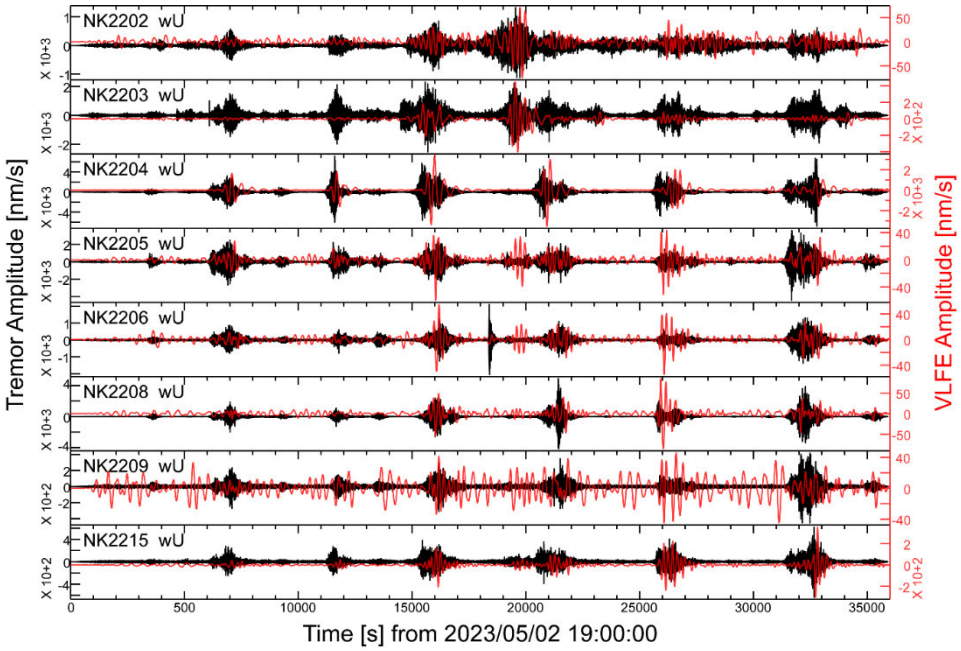


図２－２－③－３　海底地震計の地震記録例（浅部低周波微動と超低周波地震）

観測網直下で発生した浅部低周波微動と超低周波地震の海底地震計記録。小型広帯域海底地震計８点分の上下動記録を示している。黒は浅部低周波微動帯域（２-４Hz)、赤は超低周波地震帯域（20-50ｓ）のフィルターをかけている。

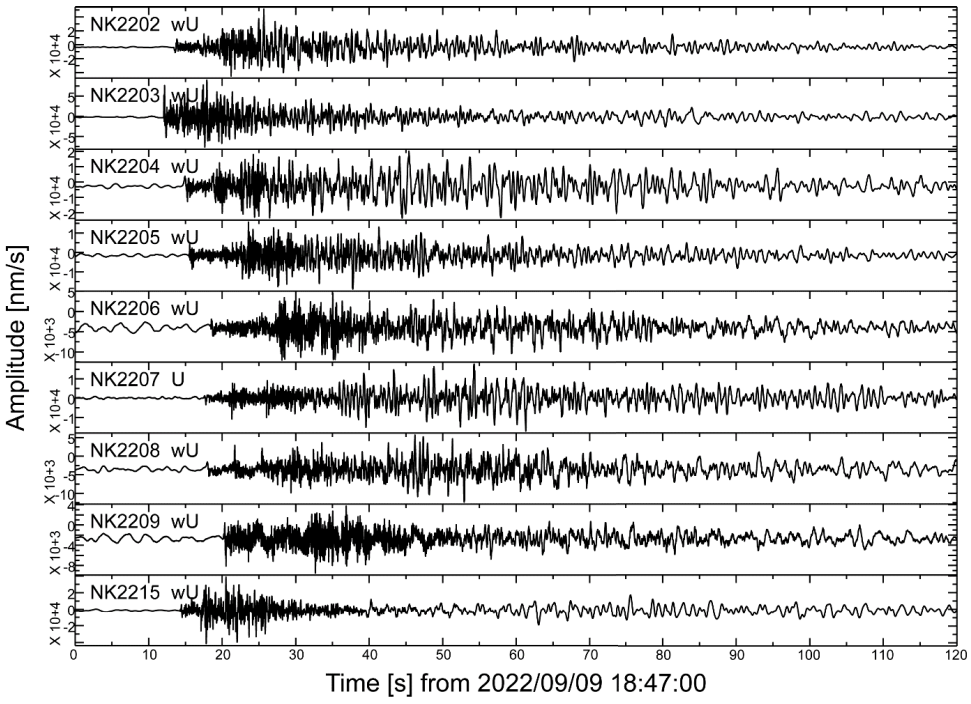


図２－２－③－４　海底地震計の地震記録例

観測網直下で発生した地震の海底地震計記録。９点分の上下動記録を示している。周波数フィルターは施していない。気象庁による震源決定では、震源時は 2022/09/09　18:47:06（日本時間)、震央は東経 132.4865 度、北緯 31.3663 度、震源の深さは 46.0km、マグニチ

ュードは 2.7 である。第１期観測にあたる 2021 年３月～2022 年１月の観測データについて、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 DPRI01[7])の観測点との併合処理を行い、気象庁一元化カタログに掲載されている地震 83 個について震源再決定と初動発震機構解の解析を行った。各観測点における P 波および S 波の到達時、P 波初動の極性、上下動成分の最大振幅を手動で検測し、PS 変換波の走時から、堆積層補正値を求めた。これらを元に、hypoMH[8]を用いて震源計算を行った。一次元速度構造は地震波構造探査の結果[9]から作成し、震源計算で用いる Vp/Vs 値は、検測値から和達ダイアグラムを作成して得られた 1.9 を使用した。最終的に残差の RMS 値は、P 波は 0.31 s から 0.09 s、S 波は 1.06 s から 0.34 s まで減少し、多くの震源は水平誤差 0.5 km、深さ誤差 0.4 km 程度となり、陸上からの解析に比べ精度の高い震源分布が得られた（図２－２－③－５）。気象庁による一元化震源と比較すると、震源は水平方向で北西に約 10 km 移動し、深さは全体的に浅くなり、多くの震源が 15 km 付近に集中した。HASH[10]を用いて得られた 15 個の信頼性の高い発震機構解は正断層型の解が求まった。今回震源再決定を行った地震は、スロー地震活動と同期して発生した地震活動であったため、これまでプレート境界で発生していたと考えられていたが、解析結果はフィリピン海プレート内部で発生していることを示唆している。しかしながら、再決定後の震源が観測網の外にでてしまっており、射出角の計算次第では押し引き分布が低角逆断層型の分布にもなり得ることから、震源位置の確かさを含め今後精査が必要である。

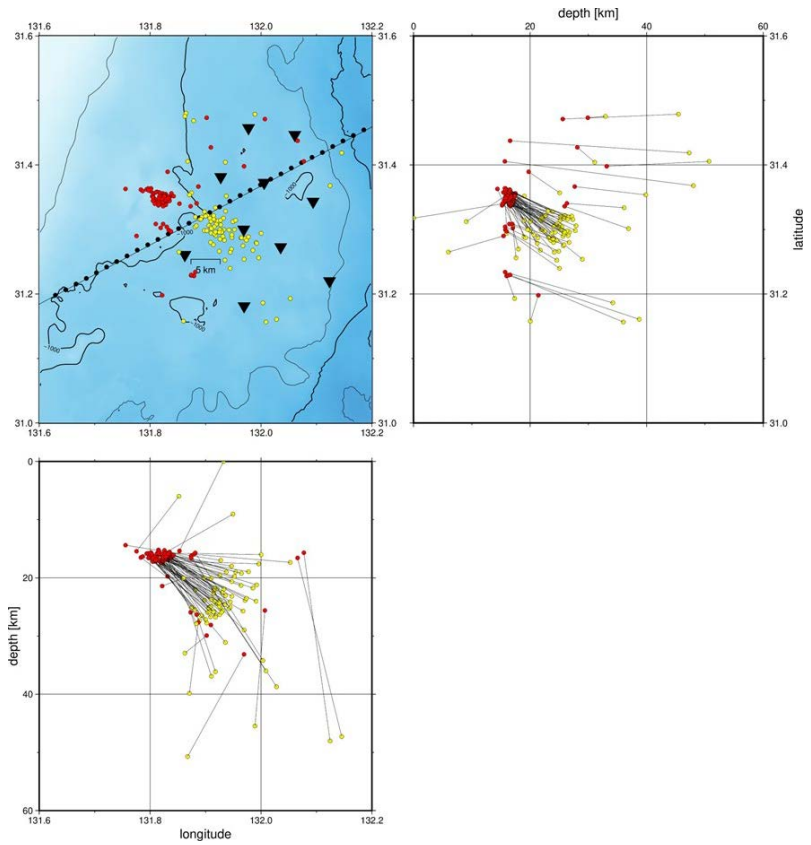


図２－２－③－５　2021 年～2022 年観測期間中に発生した通常の地震の震源再決定結果（赤：本研究結果、黄：気象庁一元化カタログ)。図中の逆三角は海底地震観測点、実線と黒丸は速度構造の作成に用いた構造探査実験測線と海底地震計の位置[8]を示す。

第２期観測にあたる 2022 年１月～2022 年８月の観測データについて、 気象庁一元化カタログに掲載されている地震 13 個について震源再決定を行った。第２期観測中は、活発なスロー地震活動の発生は確認されておらず、観測網内での通常の地震活動は極めて低調であった。また、第３期観測である 2022 年８月から 2023 年８月の観測データについても、P 波および S 波の到達時、P 波初動の極性、最大振幅を手動で検測し、hypoMH[8)]を用いて震源計算を行った。第３期観測では、気象庁一元化カタログに掲載されている地震 70 個を解析対象とした。これらの震源決定では、PS 変換波の走時を基に堆積層補正値の初期値を求め、走時残差を補正として取り入れる繰り返し震源決定により、各観測点の観測点補正値を求めた。一次元速度構造は対象地域および周辺域の地震波トモグラフィー及び地震波構造探査の結果[11,12)]を元とした。さらに、hypoMH の結果を初期値として、３次元速度構造を用いる double difference tomography[13,14)] (tomoDD-SE)により、震源決定を行った。速度構造には、Nakanishi et al., 2018[15)]を簡略化した単純３次元構造を用いた。なお、tomoDD-SE は、inversion により、速度構造を求めることも可能であるが、今回は地震数が少ないので、速度構造を固定とした。さらに、観測領域がほぼ同じであり、第３期観測である 2022 年８月から 2023 年８月の観測データについても、同様な方法で震源決定を行った、なお、第３期観測については、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 DPRI01[6)])の観測点との併合処理とした。この期間は、2022 年９月に群発活動があったことが、気象庁カタログから推定される。震源再決定の結果、気象庁による一元化震源と比較すると、震央位置は大きく変化しないが、震源の深さは全体的に浅くなり、多くの震源の深さが 10 km から 20 km となった。現在求められているプレート境界モデル[15)]と比較すると、ほとんどの地震がフィリピン海プレート内部で発生していることが推定される。また、2022 年９月に群発活動についても、沈み込むフィリピン海プレート内部で発生した可能性がある。

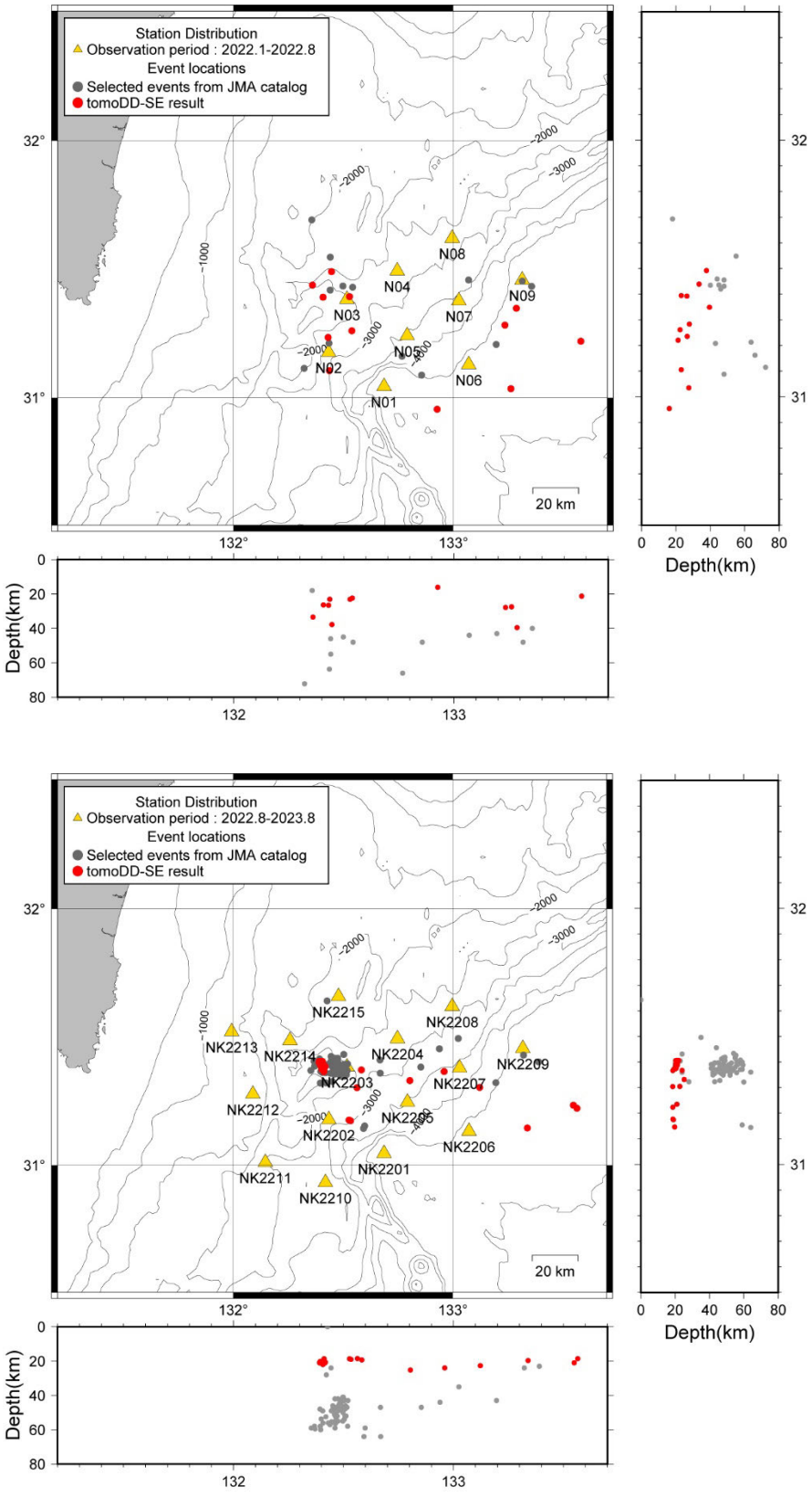


図２－２－③－６　第２期観測である 2021 年１月から 2022 年８月まで（上）および第３期観測である 2022 年８月から 2023 年８月まで（下）の観測期間中に、気象庁が決定した通常の地震の震源再決定結果（赤：本研究結果、灰色：気象庁決定）。図中の三角は海底地震観測点、実線は等水深線である。

(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２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９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９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。回収した海底地震計には良好なデータが取得されており、特に2023年４月～６月にかけて発生した2015年以来の大規模なスロー地震活動を記録することに成功した。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。

今年度は昨年度までに取得したデータの解析を進め、気象庁一元化カタログに掲載されている通常の地震の震源を精度良く求めた。その結果、多くの震源は深さが気象庁一元化震源よりも浅くなり、浅部スロー地震震源域内で発生する地震は深さ 20 km 程度で発生している地震が多かった。一方、浅部スロー地震震源域とプレート境界地震発生域の境界部分で発生する地震は、深さはプレート境界付近の深さ 15 km 付近に決まった. 今年度回収した海底地震計よって得られたデータも同様に、プレート境界およびその周辺で発生していると考えられる通常の地震を主として、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。

次年度は本プロジェクト最終年度に当たるため、今年設置した広帯域海底地震計を含めた海底地震計をすべて回収し、これまでに取得したデータの解析を進め、プレート境界浅部域における様々な地震活動を明らかにすることを目指す。

(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/NGEO1466, 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) Yamashita, Y., M. Shinohara and T. Yamada, 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.

4) 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.

5) 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.
6) 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, https://doi.org/10.1785/0220210100, 2021.
7) 「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４年度成果報告書, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/OpenReport/R4/R4SeikaGaiyo.pdf
8) Arai, R., S. Miura, Y. Nakamura, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Kaiho, K. Mochizuki, R. Nakata, M. Kinoshita, Y. Hashimoto, Y. Hamada, and K. Okino, Upper-plate conduits linked to plate boundary that hosts slow earthquakes, Nat. Commun., 14, 5101, doi:10.1038/s41467-023-40762-4, 2023.
9) Hirata, N., and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Inter., 47, 50-61, doi:10.1016/0031-9201(87)90066-5, 1987.
10) Hardebeck, J. L., and P. M. Shearer, A new method for determin-ing first-motion focal mechanisms, Bull. Seism. Soc. Am., 92, 2264-2276, doi:10.1785/0120010200, 2002.
11) 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, p. 163-175, doi: 10.1016/j.epsl.2017.01.003, 2017
12) Yamamoto, Y., T. Takahashi, Y. Ishihara, K. Obana, S. Miura, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Plate geometry model and seismicity in the northern Ryukyu subduction zone, Japan, deduced from amphibious seismic observations. Earth Planet. Sci. Lett., 536, doi: 10.1016/j.epsl.2020.116143, 2020
13) Zhang, H. and C. H. Thurber, Double-Difference Tomography: The application to the Hayward Fault California, Bull. Seism. Soc. A., 93, 1875-1889, 2003
14) Zhang, H., and C. H. Thurber, Development and Applications of Double-difference Seismic Tomography. Pure appl. geophys. 163, 373-403, https://doi.org/10.1007/s00024-005-0021-y, 2006.
15) Nakanishi, A., N. Takahashi, Y. Yamamoto, T. Takahashi, S. O. Citak, T. Nakamura, K. Obana, S. Kodaira and Y Kaneda, Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan: Implications for seismogenesis. Geological Society of America Special Paper, 534, 1-18, doi: 10.1130/2018.2534(04), 2018

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
Towards Adjoint Tomography of the Nankai and Kyushu Subduction Zones（ポスター発表）	Samriddhi Prakash Mishra Yoshihiro Kaneko Bryant Chow Shun Adachi Yusuke Yamashita Masanao Shinohara	AGU Fall Meeting 2023	2023.12	国外
Seismic activity around plate boundary near westernmost Nankai trough revealed by ocean bottom seismometer observation（ポスター発表）	ChingYu Hu Masanao Shinohara Yusuke Yamashita Tomoaki Yamada Takeshi Akuhara Kimihiro Mochizuki	AGU Fall Meeting 2023	2023.12	国内
Seismic activity around plate boundary near westernmost Nankai trough revealed by ocean bottom seismometer observation（口頭発表）	胡靚妤 篠原雅尚 山下裕亮 山田知朗 悪原岳 望月公廣	日本地震学会2023年秋季大会	2023.10	国内
Towards adjoint tomography of Nankai and Kyushu subduction zones（ポスター発表）	Samriddhi Mishra Yoshihiro Kaneko Bryant Chow Yusuke Yamashita Masanao Shinohara	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023.5	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
Spatial variation in shallow slow earthquake activity in Hyuga-nada, southwest Japan（査読有）	S. Baba S. Takemura K. Obara A.Takeo Y. Yamashita M. Shinohara	Geophys. J. Int.	2024.1	国外
Shallow Low‐Velocity Layer in the Hyuga‐Nada Accretionary Prism and Its Hydrological Implications: Insights From a Passive Seismic Array(査読有)	T. Akuhara Y. Yamashita S. Ohyanagi Y. Sawaki T. Yamada M. Shinohara	Journal of Geophysical Research	2023.4	国外

g）特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

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 主任研究員 技術スタッフ 事務主事 ポストドクトラル研究員	堀　高峰 今井　健太郎 大林　涼子 村上　雅亮 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 准教授	市村　強 藤田　航平
国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門	主任研究員	齊藤　竜彦
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 主任研究員	金松　敏也 高橋　努
国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 連携推進室国内連携グループ	グループ長	宍倉　正展
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（首席研究員） 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 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究部門長	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	前杢　英明
国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤　亮輔

(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。

(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た。陸域では紀伊～四国沿岸陸域において掘削調査等から地震・津波の発生履歴を得た。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った。

4) 令和５年度：

推移予測では、南海トラフを対象として、本プロジェクトで構築した３Ｄ粘弾性不均質構造の大規模有限要素モデルにおいて粘弾性応答までを含んだ地殻変動のグリーン関数を計算した。履歴については、陸域では東海～九州沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では東海～九州沖海域の試料の分析等から地震・津波の発生履歴について検討を行った。史料調査では、1498 年明応東海地震から 1946 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、史料や津波堆積物などに基づいた波源断層モデルの検討、昭和東南海地震および南海地震、1854 年安政東海および南海地震の波源モデルの比較から、津波生成域の違いについて検討を行った。さらに、過去の履歴等を考慮した地震シナリオの検討を行った。

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るとともに、半割れ後の推移予測の試行計算結果をまとめる。陸域では東海～九州沿岸陸域ですでに得られた試料の解析と結果の取りまとめを実施し、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５年度業務目的

推移予測では、南海トラフを対象として、本プロジェクトで構築した３Ｄ粘弾性不均質構造の大規模有限要素モデルにおいて粘弾性応答までを含んだ地殻変動のグリーン関数を計算する。履歴については、陸域では東海～九州沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では東海～九州沖海域の試料の分析等から地震・津波の発生履歴について検討を行う。史料調査では、1498 年明応東海地震から 1946 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、史料や津波堆積物などに基づいた波源断層モデルの検討、昭和東南海地震および南海地震、1854 年安政東海および南海地震の波源モデルの比較から、津波生成域の違いについて検討を行う。さらに、過去の履歴等を考慮した地震シナリオの検討を行う。

(2) 令和５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

南海トラフを対象として、前年度までに構築した３Ｄ粘弾性不均質構造の大規模有限要素モデルを用いて長期間の粘弾性応答が計算できるように高速化を実施するとともに、粘弾性応答を含んだ地殻変動のグリーン関数を計算した。また、履歴研究にもとづく過去の履歴等を考慮した地震シナリオの検討を行った。

(b) 業務の成果

前年度までに構築した粘弾性モデル[1)]について、数百年オーダーの長期間にわたる粘弾性応答のグリーン関数を計算するため、有限要素法を用いた粘弾性応答計算の高速化を進め、粘弾性応答に関するグリーン関数を計算した。以下では、高速化と妥当性確認の説明とともに、プレート境界面上での単位すべりに対する 350 年間のグリーン関数応答計算を行った結果を報告する。

粘弾性応答の計算に用いるモデルの外観や断面図を図２－３－①－１、与えた物性を表２－３－①－１に示す。ここで、図では層を単純化して描いているが、表に示したように各層には複数の異なる物性の層が含まれている場合があり、これらは全国一次地下構造モデルの層に対応している（表２－３－①－１の ID）。これは前年度に構築した３次元不均質粘弾性モデルであり、そのうち沈み込むプレートを弾性とした場合を扱う。

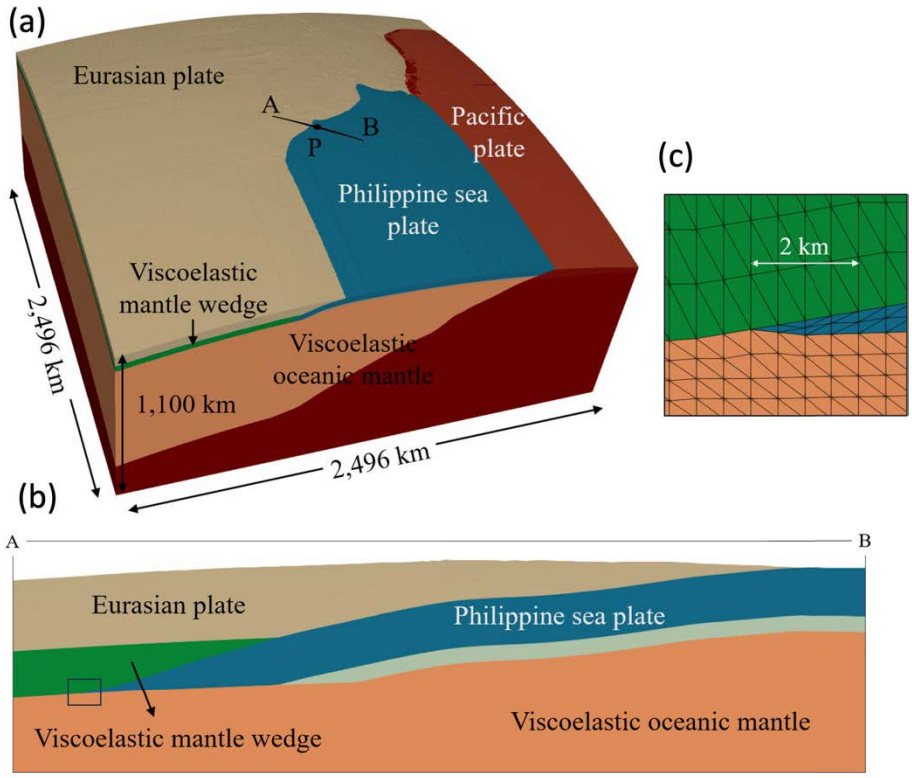


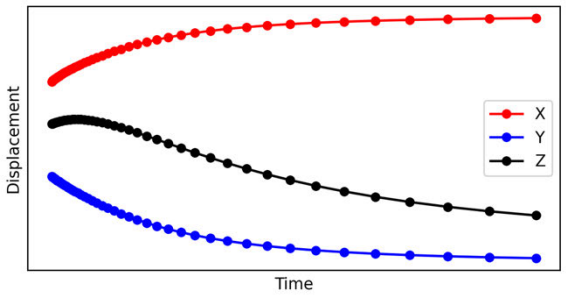
図２－３－①－１　(a)有限要素モデルの全体図。A-B は(b)の断面図の位置。　(b)(a)の A-B の位置の断面図。Eurasian plate と Philippine sea plate は弾性、mantle wedge と oceanic mantle は粘弾性。左の四角は(c)の拡大図の位置。　(c)(b)で示した位置での離散化メッシュの拡大図。

表２－３－①－１　各層での物性値。ID は各層の中に含まれる物性一定の層の番号であり、全国一次地下構造モデルの層番号に相当している。

Layer name	**ID**	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (kg/m^3)	η (Pa·s)
Eurasian plate	1-16	2100 – 6400	700 – 3800	2050 – 2800	—
Mantle wedge (elastic)	17	7500	4500	3200	—
Mantle wedge (viscoelastic)	17	7500	4500	3200	2×10^{18}
Philippine sea plate	18-19	5000 – 6800	2900 – 4000	2400 – 2900	—
Oceanic mantle (elastic)	20	8000	4700	3200	—
Oceanic mantle (viscoelastic)	20	8000	4700	3200	10×10^{18}
Pacific plate (PAC)	21-22	5400 – 6500	2800 – 3500	2600 – 2800	—
Oceanic mantle (PAC)	23	8100	4600	3400	—

粘弾性応答の計算には、大規模有限要素法を用いるが、最新の研究[1、2)]では、データ駆動予測（DDP）と組み合わせた反復ソルバーが開発され、従来の効率的なソルバーと比較して約３倍のスピードアップがもたらされた。しかし、長期間の応答に関する数値シミュレーションは依然として膨大な計算が必要である。そこで、近年性能改善が進む GPU 計算機を活用できるよう手法を開発する[3)]とともに、適応的時間ステップ法(ATS)により、

シミュレーションを効率的に実行することで高速化を実現した。図２－３－①－２に、ATS を適用したことによる時間ステップの変化の模式図と時間ステップの変化を与えるための式を示す。



$$dt = dt_0 e^{c \times i}, \qquad c = \frac{dt_f - dt_0}{t_{total}}$$

図２－３－①－２　時間ステップ dt の変化する様子の模式図。右の式は dt の変化のさせ方を示す。ここで、i は i 番目の時間ステップ、c は初期時間ステップ dt_0 とシミュレーション終了時の最終時間ステップ dt_f、最終時間 t_{total} で定義される成長率である。

計算性能を測定するために、100 年間の粘弾性応答シミュレーションを行った。従来手法や DDP による高速化をした固定時間ステップを用いたシミュレーションでは 4,800 ステップを要したのに対し、ATS を用いたシミュレーションでは $dt_f=32dt_0$ で、全体として 537 ステップの計算に減らすことができた。これによって従来手法と比較して約 19 倍、最新の研究と比較しても約６倍の高速化を達成した（表２－３－①－２）。

表２－３－①－２　100 年間の粘弾性応答計算の性能評価。

求解手法	**総計算時間[分]**	高速化率
従来手法	1140.5	1.000
従来手法+ DDP	371.08	3.07（1.00）
従来手法+DDP+ATS	61.60	**18.51(6.02)**

また、長時間の粘弾性応答計算をした場合の ATS の誤差を評価するため、１回の大地震による 350 年間の粘弾性応答シミュレーションを、dt 固定の場合と $dt_f=32dt_0$ での ATS 適用の場合とで比較した。図２－３－①－３に示したように、最大変位に対する誤差は１mm 未満であり、相対的誤差としても 0.005%未満である。ここで観測誤差が陸上・海域ともに年間数 mm 程度であることから、誤差の最大値は十分小さいといえる。

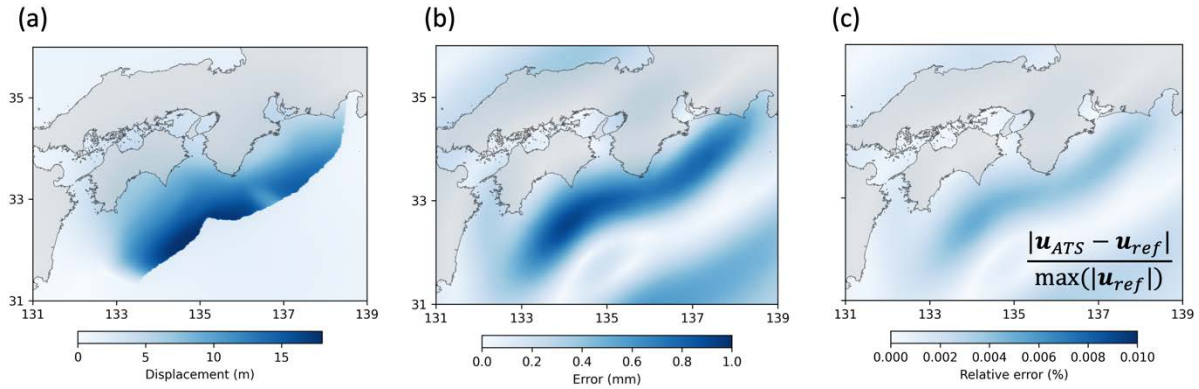


図２－３－①－３　(a)350 年間の水平変位の分布。(b)ATS を適用した場合と dt 固定の場合との差。(c)右下の式で与えられる最大水平変位量に対する相対誤差の分布。U_{ATS} は ATS を適用した場合、u_{ref} は dt 固定の場合の水平変位。

高速化した粘弾性応答計算手法を用いて、グリーン関数を計算した。プレート境界面上に図２－３－①－４(a)で示したような単位すべりの分布を 80 点で与え、それによる弾性応答ならびに 350 年間の粘弾性応答を、図２－３－①－４(b)で示した地表の観測点での変位について計算した。なお、この計算は A100　GPU　56 台のクラスタを用いて３日間で実施した。

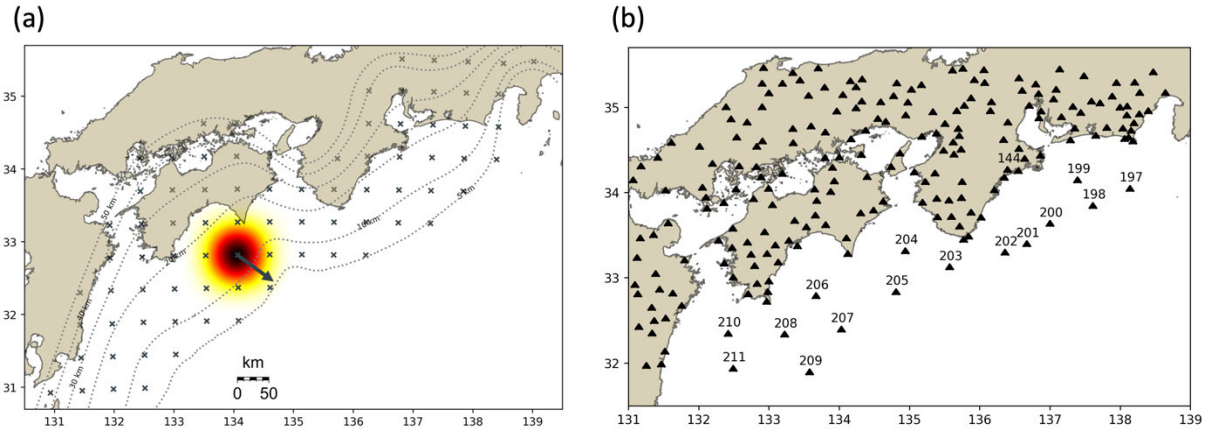


図２－３－①－４　(a)グリーン関数を計算したプレート境界面上の 80 の単位すべりの中心位置と単位すべり分布の一例。すべりの向き（沈み込み方向の逆）を矢印で示す。(b)変位の応答を計算した観測点の分布。

得られたグリーン関数に対して、地震時のすべりとその後のすべり遅れを与えた場合の海陸２点での鉛直変位の応答の例を図２－３－①－５に示した。地震時の変位は海の方が大きいのに対して、その後の粘弾性応答は陸の観測点での変化の方が大きいことがわかる。

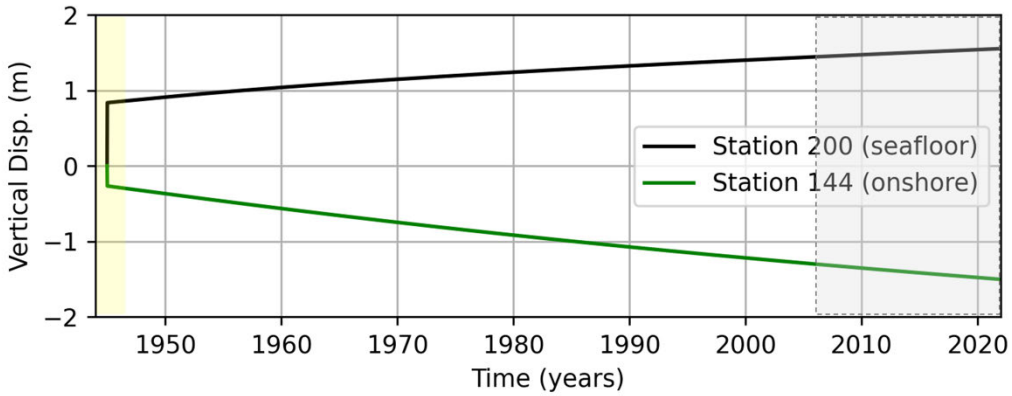


図２－３－①－５　計算したグリーン関数を用いて地震時・地震後の変位応答（鉛直成分）を計算した例。緑と黒はそれぞれ陸と海の観測点（観測点番号は図２－３－①－５(b)を参照）。

履歴情報を活用した地震シナリオの検討としては、Noda et al.(2021) [4]の手法を用いて、どの領域がどのタイミングでどの程度すべったかを地震履歴の統一モデルの知見に合わせて設定することで、次に起こりうる複数の地震シナリオを検討することとした。ここでのポイントは、地震履歴の知見として、何回かに一度、ある領域が他の時期より大きくすべるといった知見（地質学的な痕跡にもとづく長期的振る舞い）の入れ方によって、次に起こりうるシナリオがどのように変わるかを調べることにある。具体的には、東海沖では、安政・明応・永長・白鳳の際により大きかった可能性があり、紀伊半島付近では、宝永・正平で、足摺付近では宝永でそのような可能性がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

以上のことから、数百年にわたる長期間の粘弾性応答を、多数の単位すべりに対して、十分短期間で計算が高い精度で計算可能になったことがわかる。今後の課題は、得られた粘弾性応答グリーン関数やその計算手法を活用して、半割れ後の推移予測[5]に粘弾性を考慮した試行を行うとともに、整理した履歴情報をとともに、次に起こりうる地震シナリオの検討を行うことである。

(d) 引用文献

1) Ichimura, T., Fujita, K., Koyama, K., Kusakabe, R., Kikuchi, Y., Hori, T., Hori, M., Maddegedara, L., Ohi, N., Nishiki, T., Inoue, H., Minami, K., Nishizawa, S., Tsuji, M., and Ueda, N., 2022. 152K-computer-node parallel scalable implicit solver for dynamic nonlinear earthquake simulation. In International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 18-29. https://doi.org/10.1145/3492805.3492814

2) Fujita, K., Murakami, S., Ichimura, T., Hori, T., Hori, M., Lalith, M., Ueda, N., 2022. Scalable finite-element viscoelastic crustal deformation analysis accelerated with data-driven method, in: 2022 IEEE/ACM Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems (ScalAH), pp. 18-25. doi:10.1109/ScalAH56622.2022.00008.
3) Murakami, S., Fujita, K., Ichimura, T., Hori, T., Hori, M., Lalith, M., Ueda, N. (2023). Development of 3D Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Solver with Data-Driven Method on GPU. Computational Science – ICCS 2023, 423-437.
4) Noda, A., Saito, T., Fukuyama, E., & Urata, Y. (2021). 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, 126, e2020JB020417. https://doi.org/10.1029/2020jb020417.
5) Hori, T., Hyodo, M., Miyazaki, S., Kaneda, Y. (2014). Numerical forecasting of the time interval between successive M8 earthquakes along the Nankai Trough, southwest Japan, using ocean bottom cable network data. Mar. Geophys. Res., 35, 285-294, DOI 10.1007/s11001-014-9226-8.

(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
3次元高詳細構造モデルを用いた1944年東南海・1946年南海地震によるプレート内応力変化計算（ポスター）	橋間 昭徳 堀 高峰 飯沼 卓史 村上 颯太 藤田 航平 市村 強	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023.5	国内
GPU におけるデータ駆動型手法を用いた粘弾性地殻変動解析手法の開発（口頭発表）	村上 颯太 藤田 航平 市村 強 堀 高峰 堀 宗朗 Maddegedara Lalith 上田 修功	第26回応用力学シンポジウム	2023.5	国内
GPU-accelerated viscoelastic crustal deformation analysis with data-driven method（口頭発表）	Sota Murakami Kohei Fujita Tsuyoshi Ichimura Takane Hori Muneo Hori Maddegedara Lalith Naonori Ueda	ICIAM 2023 (10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics)	2023.8	国外

2004年紀伊半島沖地震による余効変動解析：3次元粘弾性構造の影響（ポスター）	橋間 昭徳 堀 高峰 飯沼 卓史 藤田 航平 村上 颯太 市村 強	2023年日本地震学会秋季大会	2023.10	国内
GPUとデータ駆動型手法により高速化した高詳細粘弾性地殻変動解析（口頭発表）	村上 颯太 藤田 航平 市村 強 堀 高峰 堀 宗朗 Maddegedara Lalith 上田 修功	第16回日本地震工学シンポジウム	2023.11	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
Development of 3D Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Solver with Data-Driven Method on GPU	Sota Murakami Kohei Fujita Tsuyoshi Ichimura Takane Hori Muneo Hori Maddegedara Lalith, Naonori Ueda	Computational Science	2023.06	国外

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1） 特許出願

なし

2） ソフトウエア開発

なし

3） 仕様・標準等の策定

なし

② 海底堆積物を用いた地震・津波履歴情報の整備

(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掘削された海底堆積物コア C9035 Hole B の分析を行った。このコアでは、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定結果と挟在する３枚の火山灰層の年代から構築した深度－年代モデルに基づいてタービダイトの堆積年代を推定した結果、最終氷期最盛期以降の19000年前まではタービダイトの平均堆積間隔は200年程度であるが、それ以前では平均間隔は300年程度以上と長くなることが分かった。タービダイトのタイプやタービダイトに含まれる底生有孔虫の群集組成も最終退氷期の間で変化することから、タービダイトの給源である斜面

域の氷期－間氷期スケールの環境変化を検討する必要がある可能性が示唆された。古地磁気永年変化曲線を用いた深度－年代モデルの改善のために行った磁性鉱物の安定性の評価では、深度37.2m付近で磁性鉱物の変化が認められ、これ以深では古地磁気方位以外に副次的な成分ができている可能性があることが分かった。

(b) 業務の実施方法

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５年度は令和２年度・３年度・４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、詳細な深度－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。深度－年代モデルについては、C9035 Hole Bコアについて、令和４年度までに得られた40個の浮遊性有孔虫の放射性炭素年代値と３枚の火山灰の年代値を用いて構築を行った。さらに、タービダイトの特徴や給源の変化の有無を検討するため、タービダイトのタイプ分けやタービダイト中の底生有孔虫群集の分析を行った。また、古地磁気永年変動曲線を用いた年代モデルの高度化に向けて、磁性鉱物の分析を行った。

(c) 業務の成果

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）は通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。

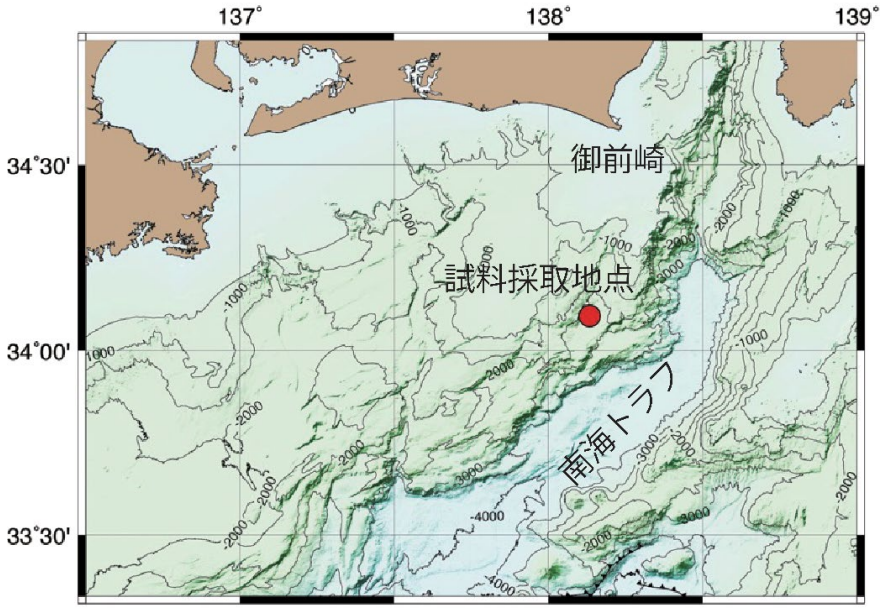


図２－３－②－１　「ちきゅう」による御前崎沖掘削コア C9035 Hole B 採取地点

掘削コア C9035 Hole B は、静岡県御前崎沖の金洲ノ瀬トラフの水深 2414m 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 B コアの上部約 42m を用いた（図２－３－②－２）。このコアには多数の砂質堆積物の挟在が確認され、下面が明瞭かつ侵食的で、上方へ細粒化する構造などから、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。この海盆は陸棚域につながる海底谷を欠き、浅海域での気象学的イベントによるイベント堆積物の供給がないあるいは少ないと考えられる場である上、海盆の陸側斜面には巨大地震の震源断層として動きうる活断層とされる東海スラスト[8)]が存在し、巨大地震発生時には地形変化や激しい地震動が期待できる場とされる[6)]。令和４年度の研究結果では、C9035 Hole B コアと同じ地点で採取された不擾乱表層堆積物コアの堆積構造及び過剰鉛 210 と放射性セシウムのプロファイルの比較から、C9035 Hole B コアでは海底堆積物の最表層が欠如していること、表層堆積物コアには 1944 年昭和東南海地震の記録は明瞭な砂層として残されていないことが明らかにされている。そして、この地点のタービダイトが示す地震は、御前崎沖より東方の東海セグメントまで破壊が及んだ地震により形成されたと考えられた。このような東海セグメントまで破壊が及んだ地震の長期間に渡る発生間隔を明らかにするため、C9035B Hole B コアについて深度－年代モデルの構築を行った。

深度－年代モデルは、令和４年度までに C9035B Hole B コアの通常時の堆積物である半遠洋性泥に含まれる浮遊性有孔虫遺骸を用いて 40 層準から得られた放射性炭素年代値とこのコアに挟在する３枚の年代既知の火山灰（鬼界－アカホヤ（K-Ah）、鬱陵－隠岐火山灰に対比される琵琶湖高島沖掘削コアの BT4、姶良丹沢（AT）火山灰）の年代を用いて行った。３つの火山灰の年代は、水月湖での年代値[9)]を用いた。挟在する三瓶池田軽石（SI）についても水月湖で年代が報告されている[10)]が、今回のモデル構築には反映できていない。コア深度 37m 付近以深の５つの放射性炭素年代値には測定限界（43500 年）

より古い値が含まれており、年代値の信頼度が低いと考えられるので、コア深度 37m 以深については、直上の堆積速度を外挿して堆積年代を求めた。年代モデルの構築ではまず、肉眼記載と X 線 CT 画像に基づくタービダイトと半遠洋性泥の識別を行い、年代値を得た層準のタービダイトを除いた深度を計算し、タービダイトを除いた深度に対する年代モデルを作成した。そして、この年代モデルに基づいて、各タービダイトの堆積年代を求めた（図２－３－②－３）。この年代モデルに基づくと、検討した深度約 42m までの部分の最下部の年代は約 57000 年前となる。また、タービダイトの数が約 200 枚あるのに対して、年代を与えられているのは 38 層準であるので、各タービダイトの堆積年代を精度良く決められているとは言い難いが、ここでは得られた堆積年代を用いて、検討を進める。

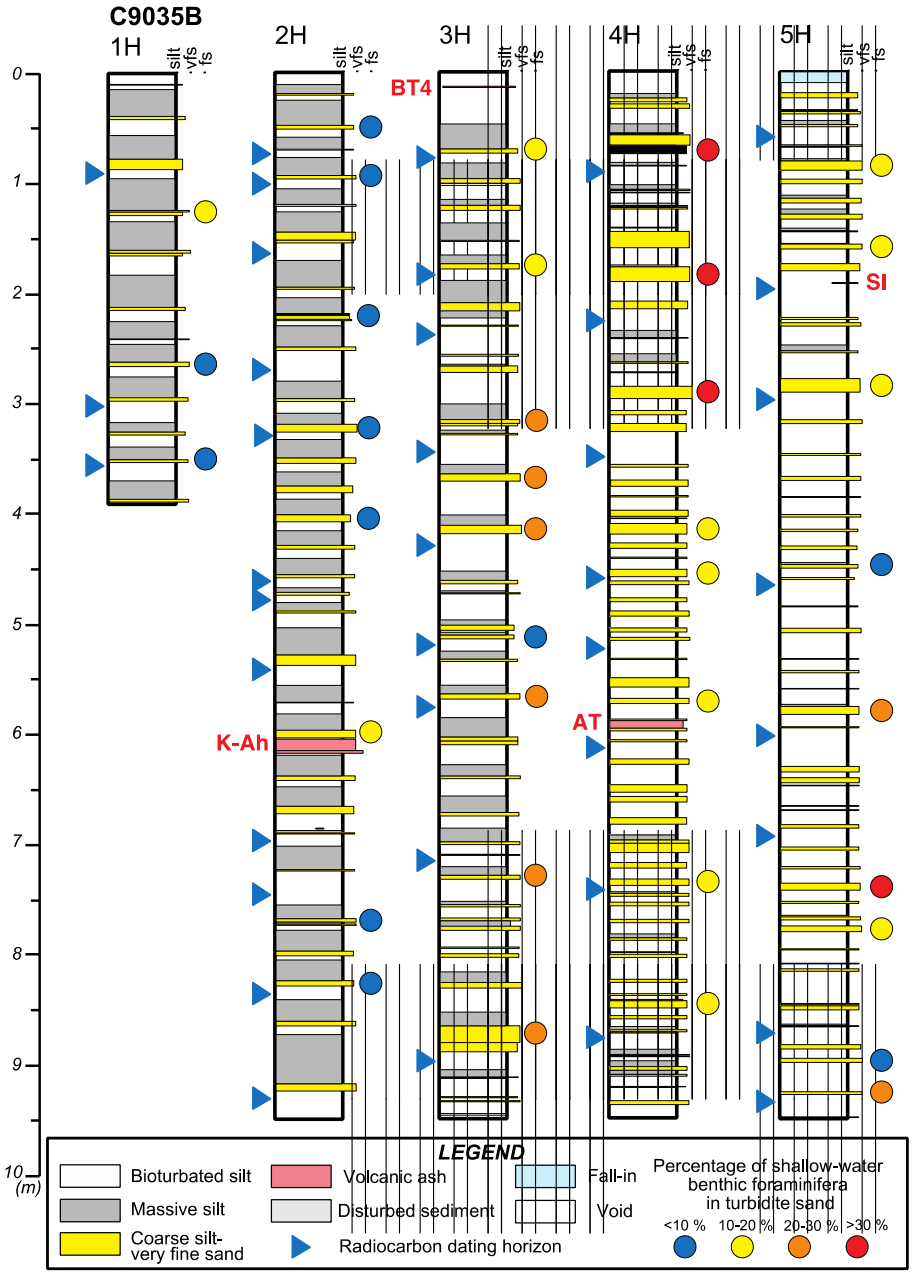


図２－３－②－２ 御前崎沖掘削コア C9035 Hole B の柱状図と浮遊性有孔虫による年代測定層準（柱状図左の青三角）、同定された火山灰の挟在層準と対比結果（柱状図のピンクの層準）とタービダイト中の底生有孔虫群集における浅海棲種の割合（柱状図右の丸）

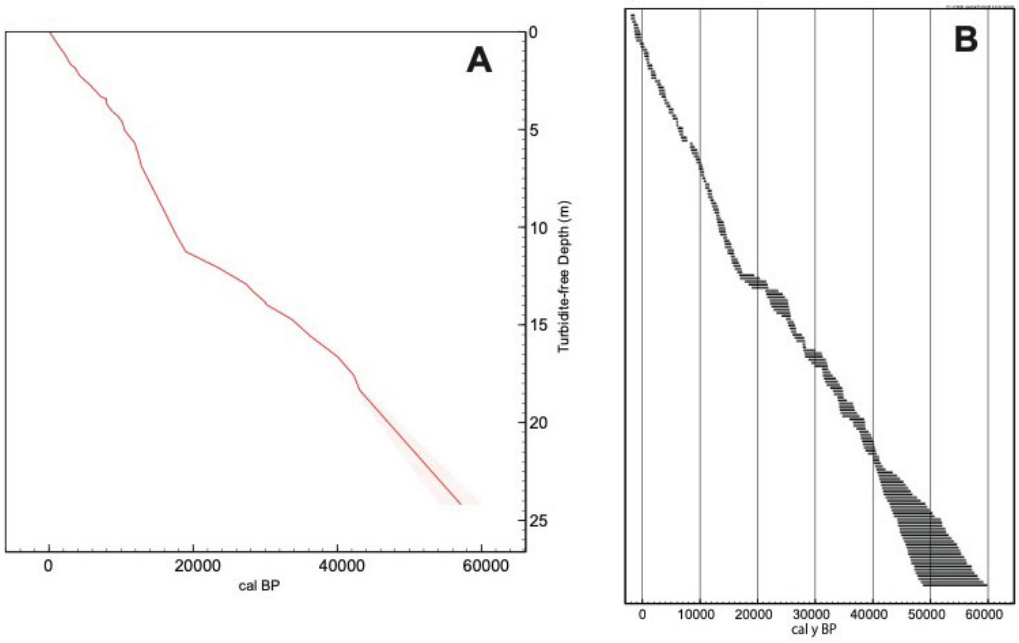


図２－３－②－３　御前崎沖掘削コア C9035 Hole B の浮遊性有孔虫の放射性炭素年代値と火山灰の年代値から構築されたタービダイトを除いた深度－年代モデル（A）とそれから求められたタービダイトの堆積年代（B）。タービダイトの堆積年代は、2σ の範囲で表示。

御前崎沖掘削コア C9035 Hole B について得られたタービダイトの堆積年代の中央値を用いて、タービダイトの堆積間隔を求め、50 年毎の頻度分布を作成した（図２－３－②－４－A）。全期間に渡る堆積間隔は 50 年以下から 800 年を超えるものまで幅広く分布するが、100～150 年と 250～300 年にピークを持ち、平均間隔は約 300 年を示す。短い間隔の存在は、タービダイト堆積時に下位の半遠洋性泥を侵食することで、計算上の堆積間隔が短くなっている可能性を示唆する。一方でタービダイトの堆積間隔は、後期第四紀の環境変動に応じた変化をしているようにも見える。19000 年前以降の最終退氷期から完新世の高海水準期にかけて（図２－３－②－４－A の後期寒冷期（LG）から完新世（Holocene）の期間）は、タービダイトの堆積間隔は 100～300 年の間にピークと期間毎の平均間隔を持つ。一方、19000 年前以前の最終氷期最盛期より前では、堆積間隔は全体に大きくなり、期間毎の平均間隔は約 350 年以上の値を示す。最終退氷期以降における堆積間隔からは、東海セグメントまで破壊が及んだ地震の平均的な発生間隔が 200 年程度であったことが分かる。

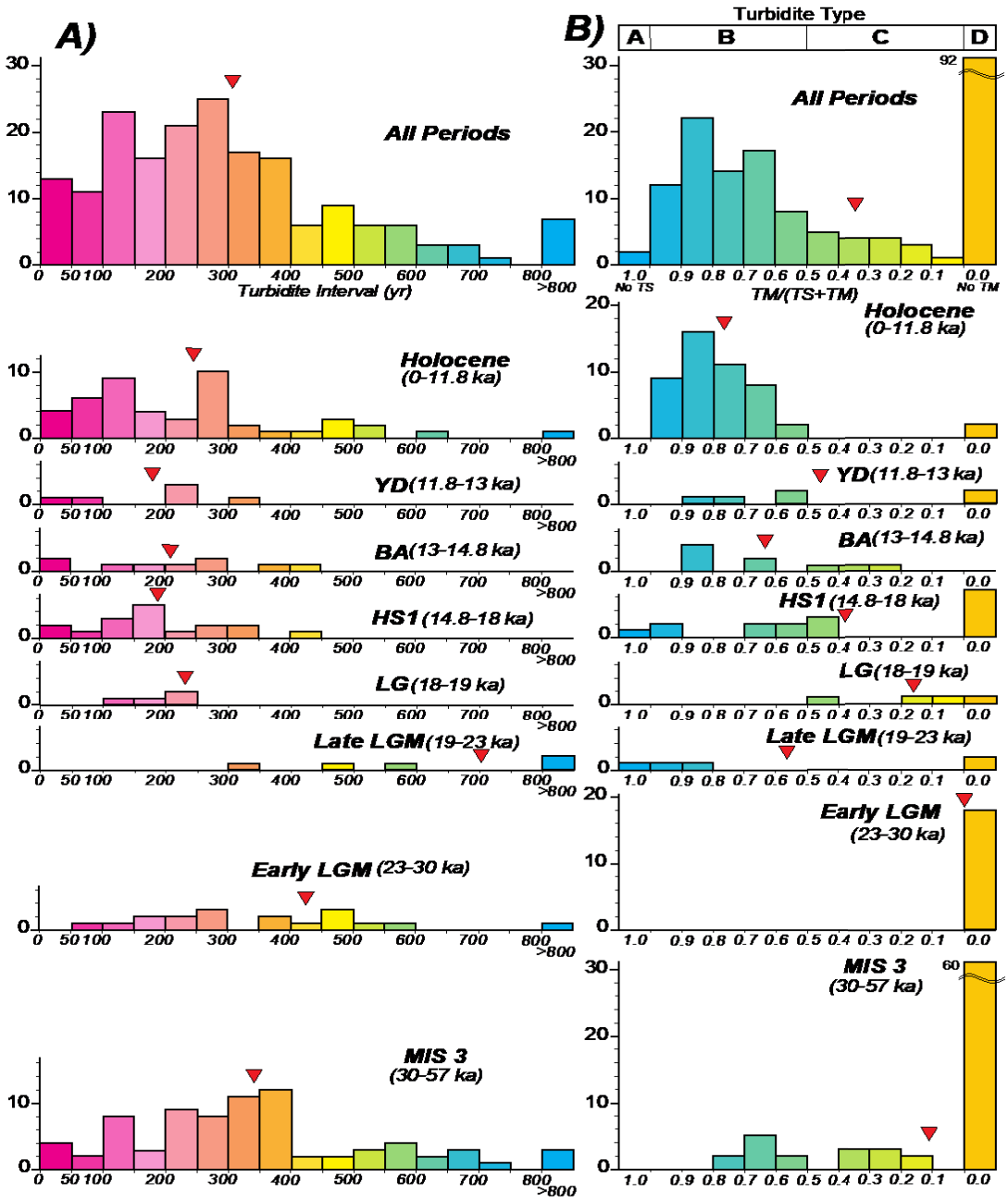


図２－３－②－４　御前崎沖掘削コア C9035 Hole B に挟在するタービダイトの堆積間隔（A）とタービダイトのタイプ（B）の層序変化。YD：新ドレアス期（Younger Dryas）、BA：ボーリングーアレレード期（Bolling-Are）、HS1：ハインリッヒ寒冷期１（Heinrich Stadial 1）、LG：後期寒冷期（Late Glacial）、LGM：最終氷期最盛期（Last Glacial Maximum）、MIS 3：酸素同位体ステージ３（Marine Isotope Stage 3）

表２－３－②－１　御前崎沖掘削コア C9035 Hole B のタービダイトの特徴の時間変化のまとめ

	Holocene	Last deglaciation			LGM			MIS 3
		YD	BA	HS1	Late glacial	Late LGM	Early LGM	
Turbidite Thickness	10-30 cm	<20 cm	<20 cm	<10 cm	<20 cm	<10 cm	<10 cm	<10 cm
Turbidite Type	Type B (TM-dominant)	Type B	Type B & C	Type D (Type B & C)	Type C & D	Type D & B	Type D (No TM)	Type D (Type C & B)
Turbidite Interval	100-150 & 250-300	250-350	(250-300)	150-200 & 250-300	200-250	(>300)	(250-300 & 450-500)	300-400 (&100-150)
Benthic Foram in Turbidite sand (% of shallow-water species)	<10	10-20	20-30	>30	>30	>30	10-20	10-20
Benthic Foram Type of Hemipelagic mud	Deep & Intermediate-Deep Water	Intermediate-Deep & Deep Water	Intermediate-Deep & Deep Water	Intermediate-Deep & Shallow-Intermediate Water	Intermediate-Deep & Shallow-Intermediate, Intermediate Water	–	Intermediate-Deep & Shallow-Intermediate, Deep Water	Intermediate-Deep & Shallow-Intermediate Water
14Corg Age Offset between Turbidite and Hemipelagic Muds	<500	500-1500	~1100	500-1500	–	~900	–	~1000

御前崎沖掘削コア C9035 Hole B のタービダイトは、堆積間隔のみならず他の特徴も環境変動に応じた変化を示しているように見える。タービダイト全体（TS+TM）に占めるタービダイト泥（TM）の割合で区分されるタービダイトのタイプ（図２－３－②－４－B 及び表２－３－②－１）は、高海水準期の完新世のタービダイトはほぼすべてがタービダイト砂（TS）よりもタービダイト泥が卓越するタイプ B からなるが、最終退氷期になるとタービダイト砂が卓越するタイプ C が増え始め、最終退氷期の前期から最終氷期最盛期ではタービダイト泥を伴わないタイプ D が普遍的に認められるようになり、最終氷期最盛期の前期ではすべてのタービダイトがタイプ D となる。それ以前の酸素同位体ステージ３では、タービダイト泥を伴うタイプ B や C もあるが、多くはタイプ D である。このようなタービダイト泥の厚さの変化を反映して、タービダイト自体の厚さも完新世から最終退氷期に厚く、最終氷期最盛期以前で薄い傾向にある（表２－３－②－１）。これらの変化はタービダイトの起源となる混濁流の発生域の底質環境が時間と共に変化した可能性を示唆する。

環境変動に応じた変化はタービダイト砂中の底生有孔虫の群集にも認められる（図２－３－②－２）。完新世のタービダイト砂中の底生有孔虫群集は、上下の半遠洋性泥中のそれと類似し、主に中～深海棲種から成り、浅海棲種の割合は 10%に満たない（図２－３－②－２及び表２－３－②－１）。浅海棲種の割合は最終退氷期に入ると徐々に増加し、13000～14800 年前では 20～30%、14800 年前以前では 30%を超え、この高い割合は最終氷期最盛期まで維持される。酸素同位体ステージ３に入ると浅海棲種の割合は 10～20%に減少するが、まれに 20%以上の割合を示すものも見られる。これらの変化は混濁流発生域の水深が最終退氷期後半以降は近傍の斜面であったのに対して、それ以前ではより浅い水深であった可能性を示唆する。

タービダイト泥とその直上あるいは直下の半遠洋性泥に含まれるバルク有機物の放射性炭素年代値の差は混濁流の発生プロセスを検討するのに有効であり、年代差が小さい場合には斜面の表層堆積物の再懸濁・再移動が混濁流の発生プロセスとして示唆される[11)、12)]。令和２年度と３年度に C9035 Hole B コアについて測定されたタービダイト泥と半遠洋性泥のバルク有機物の放射性炭素年代値の差は、完新世では 500 年以下のものが多いが、最終退氷期に入ると差の大きなものが増え始め、500～1500 年となる（表２－３－②－１）。最終氷期最盛期前半の差は得られていないものの、最終氷期最盛期後半と酸素同位体ステージ３における差は 900～1000 年程度であり、完新世に比べると大きい値を示す。年代差が大きいと言うことは、給源となる斜面の堆積速度が同じ場合、より大き

い深度までの堆積物が再移動したことを示すが、この場合、再移動する堆積物の量が増えるので、タービダイトの厚さは厚くなると考えられる。しかし、最終退氷期以前のタービダイトの厚さは完新世に比べてむしろ薄い（図２－３－②－２及び表２－３－②－１）。給源となる斜面の堆積速度が完新世に比べて最終退氷期以前では遅い場合、再移動する堆積物の厚さが同じでも、より古い年代の堆積物まで再移動することになる。斜面の堆積速度が極端に遅くなれば、再移動する堆積物の厚さが小さくなっても、古い年代の堆積物が再移動できることになる。最終退氷期以前のタービダイトの厚さが完新世のタービダイトよりも薄いこと、最終氷期最盛期に向かってタービダイト泥の割合が減ること、浅海棲の底生有孔虫が増えることも考えると、最終氷期最盛期の低海水準期には、タービダイトの給源はより浅い、砂質な斜面域になり、再移動する堆積物の厚さは減少した可能性が高い。今回の結果は、陸棚域につながる海底谷を持たない水深約2400mの海盆でも、タービダイトの堆積において第四紀の 100m 規模の氷河性海水準変動の影響を受ける可能性を示唆し、氷期－間氷期スケールの長期間に渡る地震性タービダイトの堆積間隔の検討において斜面域の堆積環境の変化の影響を考慮すべきことを示している。

C9035 Hole B コアのように堆積速度の速い試料では、古地磁気永年変化曲線でコア間対比や堆積年代の推定が期待される[13)]が、古地磁気永年変化を記録している磁性鉱物の安定性を評価する必要がある。令和４年度の古地磁気測定結果の解析のうち、相対地球磁場強度記録を使った堆積年代決定のための磁性鉱物の粒径や形状といったパラメータが一定であることの検討では、非履歴性残留磁化（ARM）と等温残留磁化（IRM）の比から深度 16m 付近と 39m 付近で ARM/IRM の比の振幅に変化が見られた。さらに本年度は、古地磁気永年変化を記録している磁性鉱物の安定性の評価を行った。磁性鉱物の量や種類を反映する帯磁率に急激な変化が 37.2m で観察されたため（図２－３－②－５－C）、それより上位の試料５点と、下位の試料２点の低温における磁気特性を測定した。各試料とも３つの方法で温度を変化させながら測定を行ったところ、37.2m より上位の試料では 120 ケルビンの温度で磁化強度にはっきりした変化が観察された（図２－３－②－５－A）。これはフェルベー相変態と呼ばれる磁鉄鉱に特徴的な現象であり[14)、15)]、磁鉄鉱が含まれるということは、古地磁気復元に良い試料であると言える。一方、下位の試料にはフェルベー相変態が明瞭でないので（図２－３－②－５－B）、磁鉄鉱が一部酸化している事が考えられる。したがって、本来の古地磁気方位以外に副次的な成分ができている可能性があるので注意して主成分解析を進める必要がある事が分かった。一方、37.2m で起こる磁気特性の違いがどのように起こったかは、別途検証する必要がある。このような磁性鉱物の変化は、給源や堆積環境の変化のほか、堆積物の埋没による初期続成過程によっても生ずる[15)、16)]。本年度、別途検討してきた環境変化に対応したタービダイトの給源や斜面環境の変化との対応も含めて、統合的に検討する必要がある。

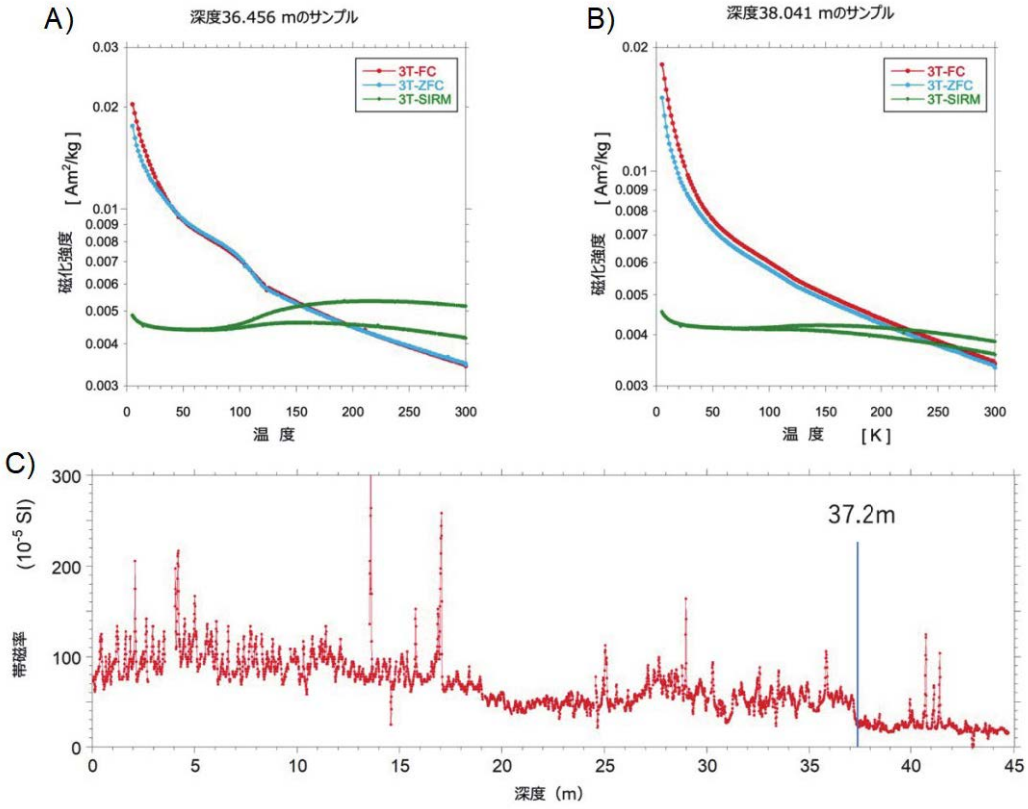


図２－３－②－５　温度（K）に対する磁化強度（Am2/kg）の変化（A：深度 36.456m 、120K で変化が見られる例、B：深度 38.041m 、120K で変化が明瞭でない例）と深度（m）に対する帯磁率の変化（C）。A、B：3T-FC：磁化させた試料を 3T の強磁場中で温度を上げながら測定、3T-ZFC：磁化させた試料を無磁場中で温度を上げながら測定、3T-SIRM:室温で SIRM を着磁させた後 10K まで下げながら測定し引き続き室温に上げながら測定、120K 付近の磁化強度の開きが異なる。

(d) 結論ならびに今後の課題

以上のように、令和５年度の海底堆積物コアの分析結果から以下のことが分かった。

今年度、御前崎沖の「ちきゅう」による掘削コア C9035 Hole B で構築した深度－年代モデルから、深度約 42m における年代は約 57000 年前であることが分かった。19000 年前以降の最終退氷期から完新世にかけてのタービダイトの堆積間隔は 100～300 年にピークを持ち、おおよそ 200 年の間隔であったと言える。令和４年度の研究結果から、この地点のタービダイト記録は東海セグメントまで破壊が及んだ地震の記録と考えられることから、このような地震の平均的発生間隔は約 200 年と推定される。一方で、タービダイトの堆積間隔は最終氷期最盛期や酸素同位体ステージ３で約 350 年より長くなる。一枚のタービダイト中のタービダイト泥の割合やタービダイトの厚さ、タービダイト砂に含まれる底生有孔虫群集、タービダイト泥と半遠洋性泥の年代差も最終氷期最盛期に向けて変化することも踏まえると、陸棚域につながる海底谷を持たない水深約 2400m の海盆でも、タービダイトの堆積において第四紀の 100m 規模の氷河性海水準変動の影響を受ける可能性を示唆し、氷期－間氷期スケールの長期間に渡る地震性タービダイトの堆積間隔の検討におい

て斜面域の堆積環境の変化の影響を考慮すべきことを示した。さらに、磁性鉱物の粒径や形状や磁性鉱物の安定性にも変化を示すシグナルが見つかっている。これらの統合的な解釈により、給源や斜面域の環境変化とタービダイトの特徴の変化の関係を考察することが今後必要である。また、現在の深度－年代モデルの構築に用いている年代値は 35 個の浮遊性有孔虫の放射性炭素年代と３つの火山灰の年代であるが、約200枚のタービダイトの堆積年代を精度良く拘束するには至っていない。より多数の年代値を用いたより確からしい深度－年代モデルの構築が必要である。

(e) 引用文献

1) 池原　研, 宇佐見和子：海底の地震・津波堆積物－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－, 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, 168p, 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) 徳山英一・平　朝彦・倉本真一・山本富士夫：東海沖海底の変動地形, 科学, Vol.68, pp.56-57, 1998.
9) Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members: Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka, Quat. Sci. Rev., Vol.67, pp.121-137, 2013.

10) Albert, P.G., Smith, V.C., Suzuki, T., Tomlinson, E.L., Nakagawa, T., McLean, D., Yamada, M., Staff, R.A., Schlolaut, G., Takemura, K., Nagahashi, Y., Kimura, J.-I. and Suigetsu 2006 Project Members: Constraints on the frequency and dispersal of explosive eruptions at Sambe and Daisen volcanoes (South-West Japan Arc) from the distal Lake Suigetsu record (SG06 core), Earth-Sci. Rev., Vol.185, pp.1004-1028, 2018.
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 Planet Space, Vol.72, 114, doi:10.1186/s40623-020-01241-y, 2020.
12) 池原　研：地震動による海底表層堆積物の再懸濁・再移動とそれを起源としたイベント堆積物を用いた地震履歴研究，第四紀研究，Vol.62，pp.73-87，2023.
13) Kanamatsu, T., Ikehara, K. and Hsiung, K.-H.: Stratigraphy of deep-sea marine sediment using paleomagnetic secular variation: Refined dating of turbidite relating to giant earthquake in Japan Trench, Mar. Geol., Vol.443, 106669, doi:10.1016/j.margeo.2021.106669, 2021.
14) Verwey, E.J.W.: Electronic conduction of magnetite (Fe3O4) and its transition point at low temperature. Nature, Vol.144, pp.327-328, 1939.
15) Yamazaki, T., Abdeldayem, A.L. and Ikehara, K.: Rock-magnetic changes with reduction diagenesis in Japan Sea sediments and preservation of geomagnetic secular variation in inclination during the last 30,000 years. Earth Planets Space, Vol.55, pp.327-340, 2003.
16) Kalin, R.: Magnetite diagenesis in marine sediments from the Oregon continental margin. J. Geophys. Res., Vol.95, pp.4405-4419, 1990.

(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
Multiproxy-derived temperature evolution offshore southern Japan over the past 30 kys: Implications for Kuroshio Current variability, poster	Ang, Z.Y. Sagawa, T. Ikehara, K. Ikehara, M. Hefter, J. Ho, S.L.	2023 Ocean Sciences Conference, Taiwan	2023.5	国外
Regional sediment transport of southwestern Ryukyu Trench: Morphological and lithological characteristics, oral	Hsiung, K.-H. Kanamatsu, T. Ikehara, K. Murayama, M. Yamamoto, Y.	2023 JpGU meeting	2023.5	国内

Middle - late Holocene turbidite record on earthquake-induced surface sediment remobilization along the upper slope of Hyuga-nada, westernmost Nankai Trough, Japan, oral	Ikehara, K. Kanamatsu, T.	XXI INQUA Congress	2023.7	国外
A ~50 ky continuous turbidite paleoearthquake record in a slope basin off Omaezaki, eastern Nankai Trough, poster	Ikehara, K. Ishizawa, T. Satoguchi, Y. Nagahashi, Y. Hsiung, K.-H. Kanamatsu, T.	2023 American Geophysical Union Fall Meeting	2023.12	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
地震動による海底表層堆積物の再懸濁・再移動とそれを起源としたイベント堆積物を用いた地震履歴研究（査読あり）	池原　研	第四紀研究	2023.8	国内
Active sediment transport along trench axis: Insights from X-ray fluorescence core scanning and magnetic analysis of marine sediments in the southern Ryukyu Trench（査読あり）	Hsiung, K.-H., Kanamatsu, T., Ikehara, K., Murayama, M. Yamamoto, Y.	Geoscience Letters	2023.10	国外

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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の３地域において、掘削調査及び既存の堆積物コア試料の分析を実施した。

三重県南伊勢町では、過去の巨大津波による浸水履歴の復元を行った。調査地である「こがれ池」（図２－３－③－１）の湖底堆積物の採取、年代測定，珪藻分析を実施し、国際誌 Progress in Earth and Planetary Science (PEPS)に論文を投稿していた。今年度は、査読の対応として、追加の年代測定と火山灰分析を実施した。こがれ池には、過去約 3000 年間に形成された 19 枚のイベント堆積物が保存されており、各種分析の結果、19 枚のうち 13 枚が津波または低頻度の非常に大きなストームによって堆積したと考えられた。今年度行った Age-Depth モデルの構築に基づき、13 枚のうち５枚または 6 枚が南海トラフで発生した歴史地震による津波堆積物の可能性があると結論付けられた。上述の PEPS に投稿した論文は、2023 年８月に出版された [1)]。

和歌山県東牟婁郡那智勝浦町の太田川低地では、下里地区において令和４年度に６地点で採取したジオスライサー試料（６地点 13 孔，最大掘削深度 1.9m）について、詳細な層相観察を行うとともに、１地点で得られた試料について粒度分析の前処理を、２地点で得られた試料について９件の放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、全ての地点において３つの堆積相が累重していることを確認した。このうち少なくとも１つの堆積相は津波などのイベントにより形成された可能性が考えられる。また八尺鏡野（やたがの）地区において、既存の４地点のオールコア試料（YT-01，01-2，02，03）に加えて、ハンドコアラーによる掘削を３地点（YT-02-1，02-2，04）で実施し、詳細な層相観察を行うとともに、放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、10 層のイベント砂層が確認され、年代測定結果は 5400～2300 cal BP を示した。

高知県東洋町の海岸低地では、ハンドコアラーを用いて掘削調査を行い津波堆積物の検出を試みた。掘削調査の結果、低地の大部分は浜堤の一部と考えられる砂層に覆われていることが明らかになった。低地の最奥部ではシルト～粘土層中に挟在する砂層もみられたが、これらがイベント堆積物であるかは、今後より広い範囲で掘削調査を行って判断する必要がある。

(b) 業務の成果

1)　三重県南伊勢町・こがれ池

本地域の研究については、令和４年度までに大部分の分析が終了しており、令和４年度に国際誌 Progress in Earth and Planetary Science (PEPS)に論文を投稿していた。本年度は、イベント層の起源の推定や堆積曲線の見直しを目的として、追加の年代測定・火山灰分析を行った。

こがれ池で採取した堆積物からは、19 枚のイベント堆積物（上位から順に、E1-E19 と定義）が見つかっている。令和４年度までに行った肉眼および CT 画像による堆積構造の観察、火山灰分析、珪藻分析、年代測定等の各種分析と、本年度実施した追加の火山灰分析・年代測定の結果、19 枚のイベント層のうち 13 枚のイベント層

（E1-E10、E12-E14）が、「津波」または「低頻度の非常に大きなストーム」により形成されたことが示唆された。

こうした海水の侵入がいつ発生したのかを推定するために、ベイズ統計を用いた年代統計学のパッケージである Bchron[2),3)] を用いた堆積曲線（Age-Depth モデル）の推定を行ってきた。本年度は、追加の放射性炭素同位体年代測定を行ったため、その結果を利用して Age-Depth モデルの再構築を行った形である。

構築された Age-Depth モデルと各イベント層の堆積年代は、それぞれ図２－３－③－２と表２－３－③－１の通りである。モデル構築においては、イベント堆積物は瞬時に堆積したとみなしているため、各イベント堆積物の層厚はコアログから差し引いている。図２－３－③－２及び表２－３－③－１における各イベント堆積物の深さ（Depth）は、この補正を行った後の値である。これまでに同様のプログラムを用いて Age-Depth モデルの構築を行っている研究でも、この補正は取り入れられている[4),5)]。また、モデルの構築は３回行っており、堆積年代は３回の結果の平均値により算出した。本研究で見つかったイベント層の堆積年代と、歴史地震および周辺地域で報告のある津波堆積物との年代の対比の結果を以下に示す。

「津波」または「低頻度の非常に大きなストーム」で形成されたと考えられた 13 枚のイベント堆積物（E1-E10、E12-E14）のうち、E1 から E9 は、南海トラフにおいて発生したとされる地震・津波の歴史記録が残存している期間（歴史時代）に形成されたイベント堆積物であった。このうち、E2 の堆積年代（1620-1786 CE）が 1707 年宝永地震と重複していた。また、E3 の堆積年代（1556-1673 CE）および E4 の堆積年代（1520-1612 CE）が 1606 年慶長地震を含んでいた。同様に、E5 の堆積年代（1415-1538 CE）、E7 の堆積年代（1079-1246 CE）、E9 の堆積年代（677-796 CE）が、それぞれ 1498 年明応地震、1096 年永長地震、684 年白鳳地震と重複していた。また、もっとも若いイベント堆積物 E1（1757-1988 CE）については、1944 年昭和東南海津波、1854 年安政東海津波、1959 年伊勢湾台風の高潮のどれか、もしくはそれらのコンビネーションによって形成された可能性が示唆された。

先史時代に形成されたイベント堆積物 E10-E14 については、先行研究によって明らかにされている地震・津波の地質痕跡と対比を行った。E10（1354-1279 cal BP)、E12（1503-1367 cal BP)は、三重県の志島低地で見つかった津波堆積物と年代が重なっていた[6)]。また、E12、E13（1558-1399 cal BP)、E14（1569-1404 cal BP)は三重県の相差で見つかった津波堆積物と同時期に形成されたと考えられた[7)]。



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。基図は国土地理院発行 1:25000 地形図「贄浦」を使用。

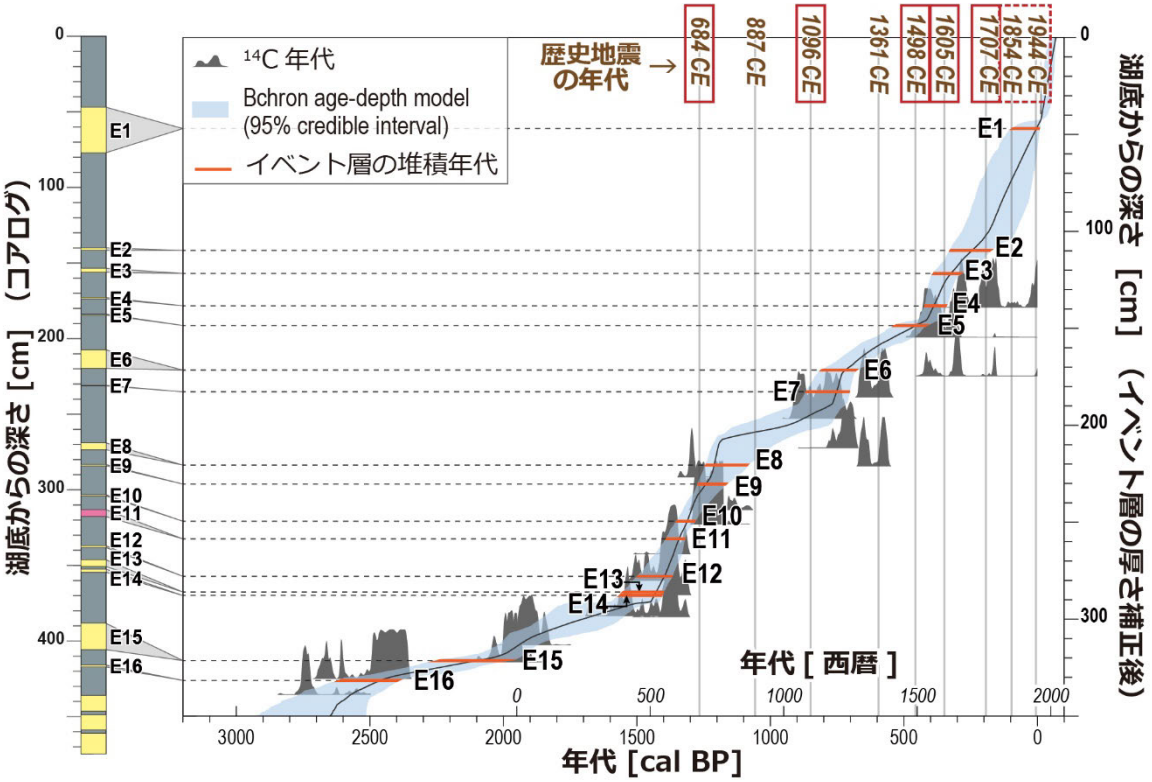


図２－３－③－２　Bchron によるこがれ池の湖底堆積物についての Age-Depth モデル。（Shimada et al., 2024[1)] を編集）。

表２－３－③－１　Age-Depth モデルによって推定された E1-E16 の堆積年代（E17-E19 については、limiting maximum age が得られていないため、堆積年代の推定を行っていない）。

Core location	Name of event deposits	Corrected depth below the lake bottom [cm]	Calibrated depositional age (95 % credible interval, cal yr BP)	Calibrated depositional age (95 % credible interval, cal yr CE / BCE)
K-4	E1	46.9	193–-38	1757–1988 CE
K-4	E2	109.8	334–157	1616–1793 CE
K-4	E3	121.7	383–249	1567–1701 CE
K-4	E4	138.4	427–334	1523–1616 CE
K-4	E5	148.5	489–386	1461–1564 CE
K-4	E6	171.5	775–636	1175–1314 CE
K-4	E7	182.7	862–701	1088–1249 CE
K-4	E8	220.5	1240–1052	710–898 CE
K-4	E9	230.3	1268–1141	682–809 CE
K-4	E10	249.5	1345–1275	605–675 CE
K-4	E11	258.6	1387–1317	563–633 CE
K-4	E12	277.9	1493–1364	457–586 CE
K-4	E13	286.0	1545–1395	405–555 CE
K-4	E14	287.7	1557–1400	393–550 CE
K-4	E15	321.4	2243–1948	293 BCE – 2 CE
K-4	E16	331.6	2604–2363	654–413 BCE

2）和歌山県那智勝浦町・太田川低地

a）下里地区

下里地区の沿岸低地（図２－３－③－３）では、令和４年度に６地点（図２－３－③－４）においてジオスライサーによる地質試料（掘削長 1.40～1.93ｍ）を計 13 点採取した。令和５年度は、本地質試料について、主に肉眼観察に基づいた堆積相解析を行うとともに、地点１で得られた試料（SS-02）について粒度分析の前処理を実施した。また、地点４と地点６で得られた試料（SS-08、SS-13）について計９件の放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。

地点１～６において昨年度採取したジオスライサー試料について、粒度や堆積構造に加え、生物擾乱の有無や微化石などの含有物などに着目して肉眼観察を行ったほか、軟Ｘ線撮影画像による観察も行った。これらの観察結果に基づき堆積相を区分した結果、全ての地点において下から順に F3、F2、F1 の堆積相が累重していることが明らかとなった（図２－３－③－５）。ジオスライサー試料で観察された F3 相は層厚 60～100 ㎝程度で、主に淘汰の良く白色の細粒砂からなる

が、層厚数 cm 以下の薄い植物片濃集層を挟む。主に石英や長石などの白色鉱物からなるが、二枚貝の破片や有孔虫、巻貝などが含まれるほか、合弁の二枚貝もわずかに含まれる。場所によっては平行葉理や緩い角度の斜交葉理が発達するほか、生痕が発達している様子もみられる。F2 相は層厚 20～50 cm程度で、F3 相との境界は明瞭であり浸食的である。F2 相は主に泥質な極細粒砂からなり、数 cm 程度の泥炭層やパッチ状の泥炭を頻繁に挟む。貝殻片や有孔虫などはほとんど含まれず、堆積構造や生痕もほとんどみられない。F1 相は層厚 50～80 cm程度で、F2 相との境界は不明瞭である。F3 相の下部は主に淘汰の悪い砂質泥からなり、数 cm 程度の大きさの角礫が含まれるほか、植物の材や根も多く含まれる。F3 相上部の数 10cm は現在の耕作土や湿地性の泥炭である。これらの観察結果から、F3 相は浅海環境で形成された堆積物、F2 相は津波などのイベントによる堆積物、F1 相は近傍の斜面崩壊や人為的な土壌改良に伴う堆積物と考えられる。しかしながら、後述する堆積年代からは F3 相が比較的短期間に形成されていることから、F3 相自体も津波などのイベント堆積物である可能性もあると考えられる。

次に、堆積物の形成年代を推定するために地点４と地点６のジオスライサー試料から葉や枝などの植物片を抽出し、９件の放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した（図２－３－③－５）。その結果、今回観察された F3 相は最長でも約 300 年という比較的短い期間に形成されていること、F3 相と F2 相の間には約 4000 年の年代ギャップがある可能性が高いこと、F2 相は約 900～670 年前に形成された津波などのイベント堆積物である可能性があることが示された。

F3 相の形成過程や形成年代を確かめるため、令和６年２月に深さ約３m までのジオスライサー試料を追加で採取した。その結果、F3 相の下位に粘土層があることが明らかとなった。この試料については今後詳細な観察や分析を進める予定である。



図２－３－③－３　調査地の位置図。基図は国土地理院の地理院地図を使用。

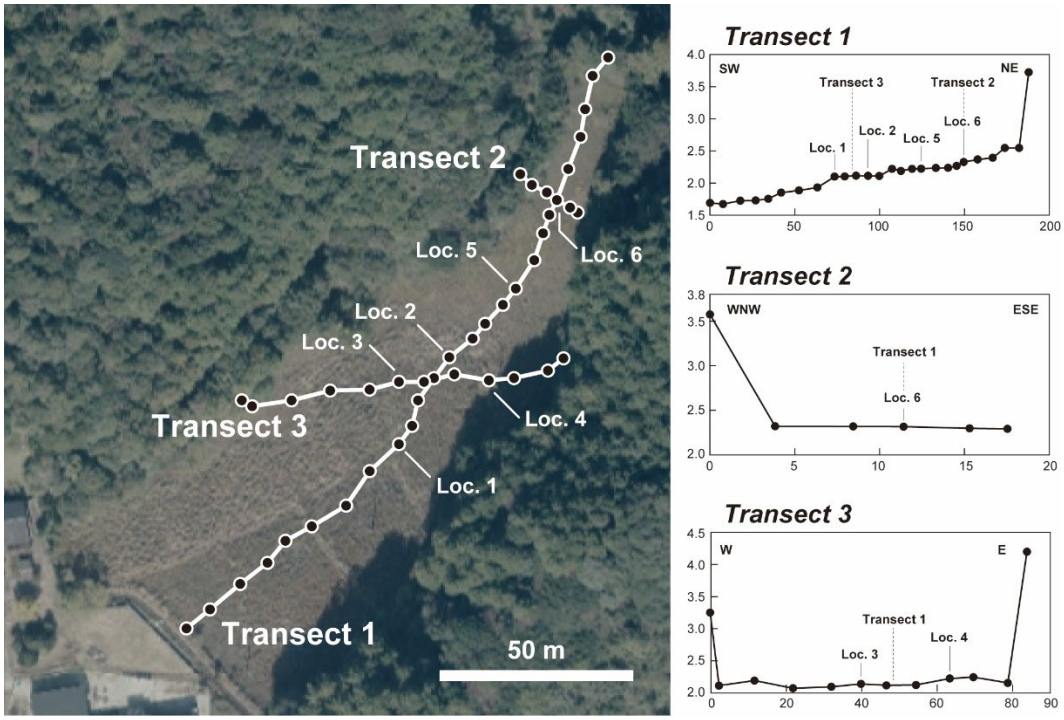


図２－３－③－４　下里地区の沿岸低地における掘削地点と測量結果。基図は国土地理院の地理院地図を使用。

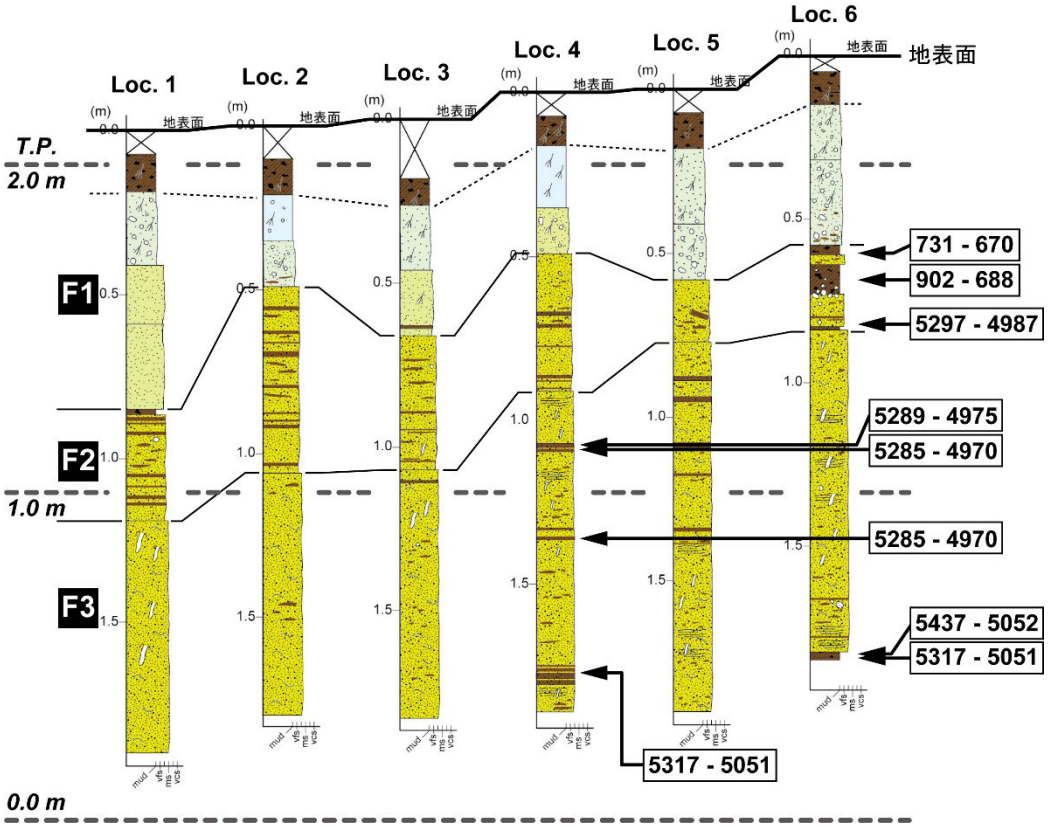


図２－３－③－５　ジオスライサー試料の柱状図と堆積相区分。矢印は放射性炭素年代測定用試料の採取位置、四角内の数値は年代測定値（cal BP）を示す。

b） 八尺鏡野地区

八尺鏡野地区には、太田川河口から約 1.2km 遡った右岸側に幅 100m 以下、奥行き約 400m の溺れ谷状の湿地が分布する（図２－３－③－３、図２－３－③－６）。この湿地の海側から陸側に向けて設定した約 100m の測線上の４箇所（海側から YT-01、YT-01-2、YT-02、YT-03）で、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」（文部科学省研究開発局・海洋研究開発機構、2020）[8)]において産業技術総合研究所が令和元年に採取した堆積物コア試料（コア径約５cm）がある。これらに追加して、同一測線上で YT-02 と YT-03 の間で 2 個所（YT-02-1 および YT-02-2）、YT-03 のさらに陸側で 1 箇所（YT-04）において、ハンドコアラー（コア径約３cm）を用いた掘削調査を実施した（図２－３－③－６）。YT-02-1 は深度 5.3m、YT-02-2 は深度 6.0m、YT-04 は深度 6.0mm までそれぞれ掘削し、層相観察を行うとともに年代測定試料を採取した。また既存のコア試料についても追加で年代測定試料を採取した。年代測定用試料は、実体顕微鏡による観察で堆積物からおもに植物化石（葉や果実）を拾い出し、放射性炭素同位体年代測定を実施した。

層相は既存のコア試料と同様に、下位から暗褐色有機質シルト、黒～暗褐色泥炭、黒～暗褐色有機質シルトおよび黄灰色シルト～粘土が分布する（図２－３－③－７）。それらの間に浸水イベントを示す砂層が複数枚挟まっている。既存のコアと合わせて検討した結果、イベント砂層は 10 層が識別できる。年代測定結果はおおよそ 5400～2300 cal BP を示し、これまでの報告と調和的である。特に下位のイベント砂層は下里地区のイベントと対比できる可能性がある。

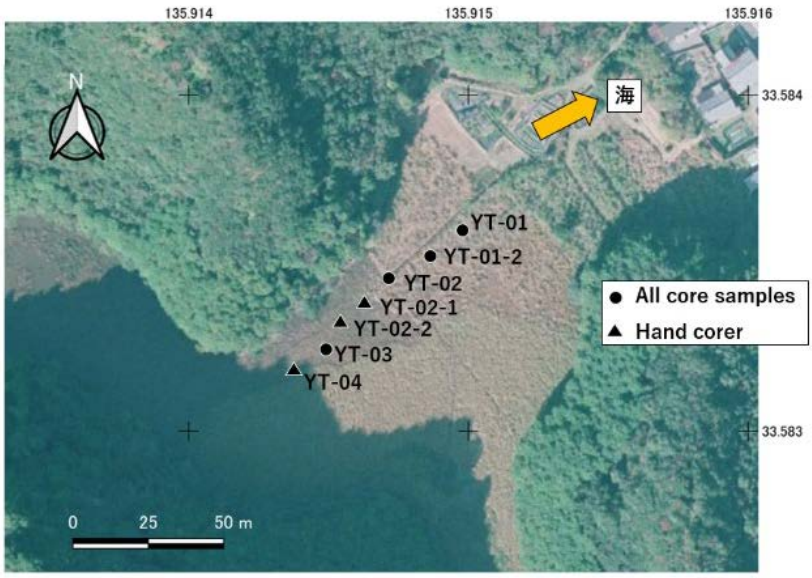


図２－３－③－６　八尺鏡野地区の沿岸低地における掘削地点。基図は国土地理院の空中写真を使用。

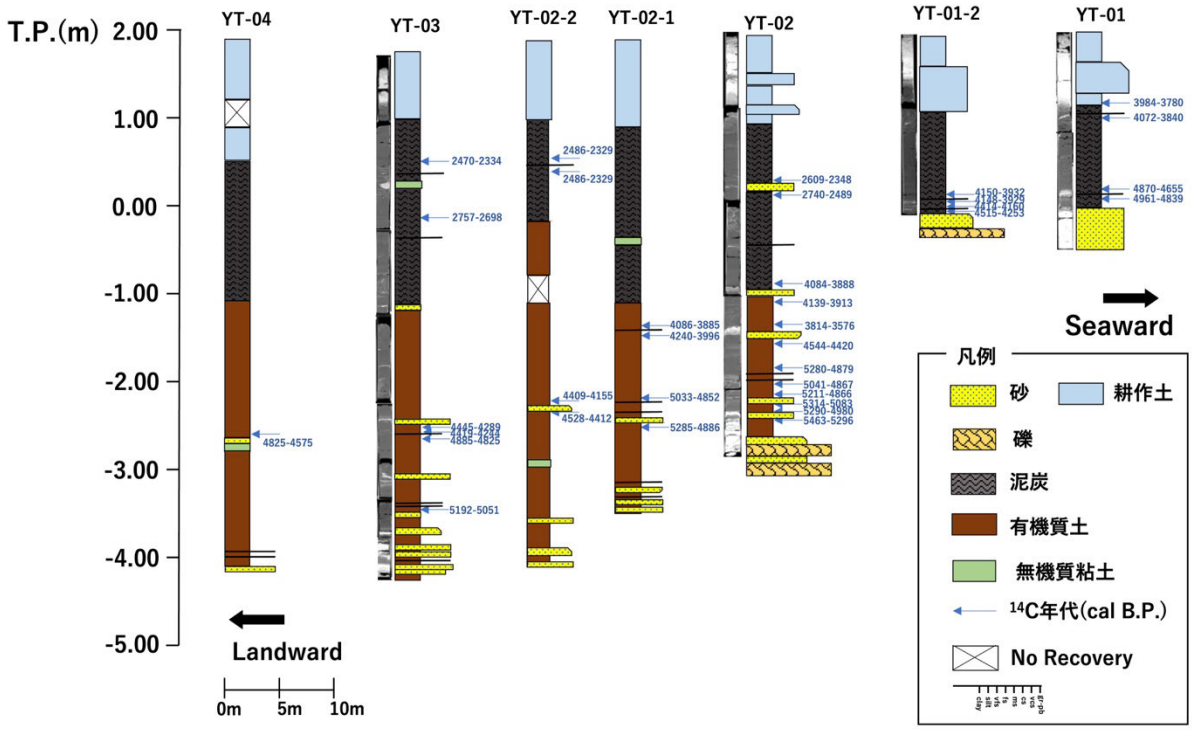


図２－３－③－７　コア試料の柱状図と CT スキャンイメージ。

3)　高知県東洋町

調査地域は高知県東洋町河内地区の海岸低地である（図２－３－③－８）。この低地は海岸から約 800m 内陸に位置し、海側には集落の立地する浜堤が分布する。海岸線沿いの浜堤背後の低地は、かつて湿地や沼などであった可能性が高く、そのような静穏な環境ではシルト～粘土層や泥炭層などが堆積しやすい。そのため、砂質のイベント堆積物を検出するのに適している。また、当地域では、1605 年慶長地震、1707 年宝永地震、1854 年安政地震で津波による浸水被害があったことが知られている。以上の背景から、東洋町河内地区の海岸低地を調査地域に選定した。掘削調査はハンドコアラーを用いて人力で行い、16 地点で掘削を行った。

掘削地点の拡大図を図２－３－③－９に、南北方向（X－X’）及び東西方向（Y－Y’）の断面図を図２－３－③－10 及び 11 に示す。本低地の標高は最奥部を除き約 1.6～1.8m で、かつては水田として利用されていたが、現在はその多くが休耕田となっている。低地から海への出口を塞ぐように分布する浜堤の標高は約２～3.5m で海側ほど高くなる傾向を示す。

掘削は最大約２m まで行った。X－X’沿いの表層地質は、最上部の 50cm 程度が耕作土や盛土、それより下位では砂質シルト層、シルト質砂層、砂層から構成される（図２－３－③－10）。砂層は淘汰のよい細粒～中粒砂からなり、内陸側の２地点では標高約 50cm 以下で貝殻片を多く含む。貝殻片は 1mm 程度の非常に細かいものが多く、２mm を超えるようなものはほとんど見られなかった。地下水位が高いため標高-10cm 以深は掘削できなかったが、標高約０～1.2m は基本的に砂層で構成されることから、浜堤が当初の推定より内陸まで分布していたと考えられる。X’に近い最奥部

のコアでは、盛土直下に灰褐色の砂礫層が確認された。この砂礫層は下部に貝殻片を含み、礫は概ね５cm 以下の亜円礫である。盛土も砂礫から構成されるが、層相が大きく異なるため盛土とは明瞭に区別される。砂礫層直下には植物片を含む砂質シルト層が分布し、その層相変化からは砂礫層がイベント堆積物である可能性も考えられる。砂礫層直下の砂質シルト層は海側のコアでも連続して確認されるが、砂礫層は他の地点では確認されない。最奥部の一角のみ標高が 60cm 程度高くなっており、その高くなった部分に砂礫層が存在することから、一方で、この砂礫層も人工改変層である可能性も考慮する必要がある。

Y－Y’沿いの表層地質は、最上部の 60cm 程度が耕作土や盛土、それより下位では砂質シルト層～有機質粘土層、砂層などから成る（図２－３－③－11）。X－X’沿いに比べＹ側の２地点では、盛土直下のシルト～粘土層が厚く堆積しており層厚は約 50～60cm で、やや有機質である。地下水位が高いため Y－Y’沿いでも標高０m 以深は掘削できなかったが、最下部はシルト～粘土層中に砂層が挟在、あるいはシルト層と砂層の互層であるとみられ、これらの砂層がイベント堆積物である可能性がある。しかし、その分布は局所的であり、標高０m 以深の地層も確認できていないため、現時点での判断は難しい。

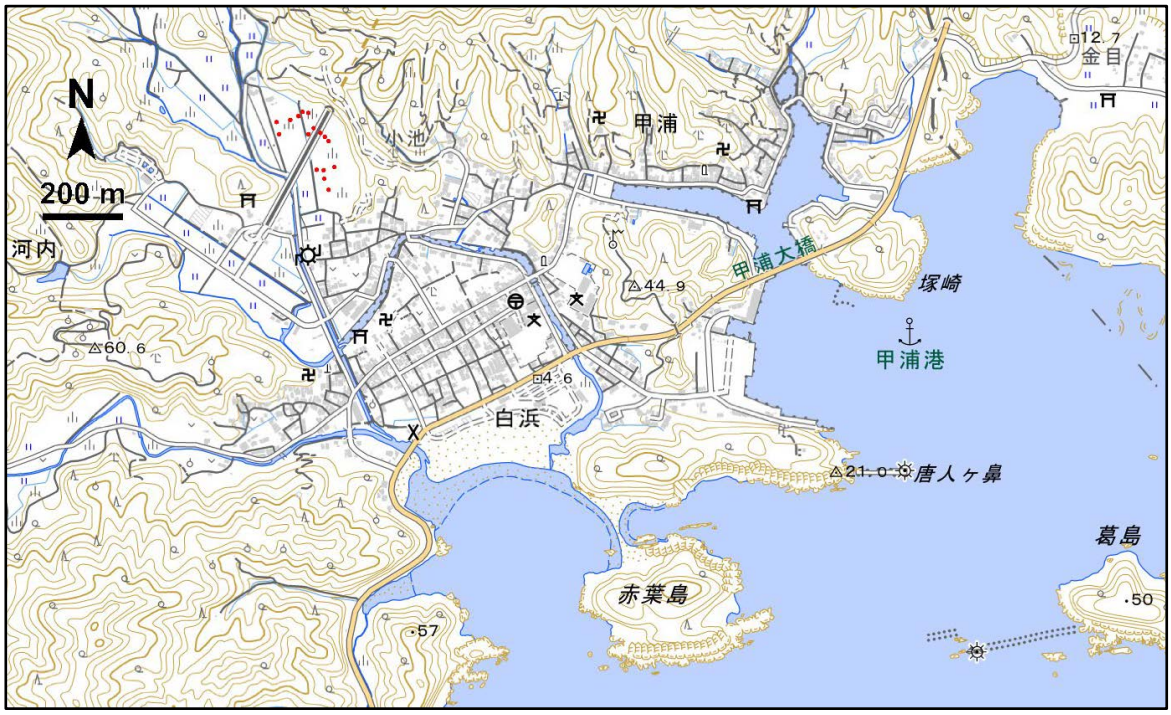


図２－３－③－８　高知市東洋町の調査地域。赤丸は掘削地点を示す。基図には地理院地図を使用。

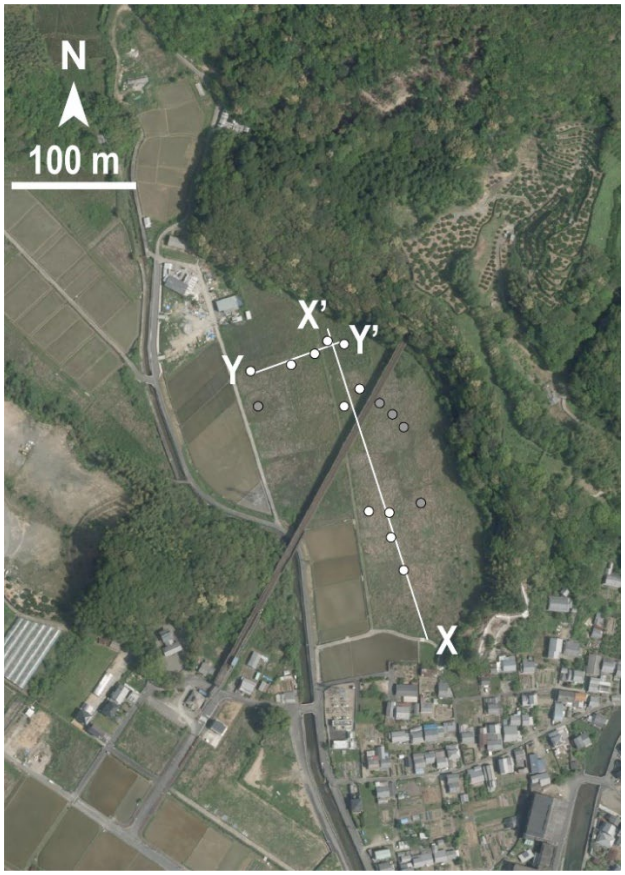


図２－３－③－９　掘削地点拡大図。白丸は断面図（X－X’、Y－Y’）に使用した地点を示す。基図には地理院地図を使用。

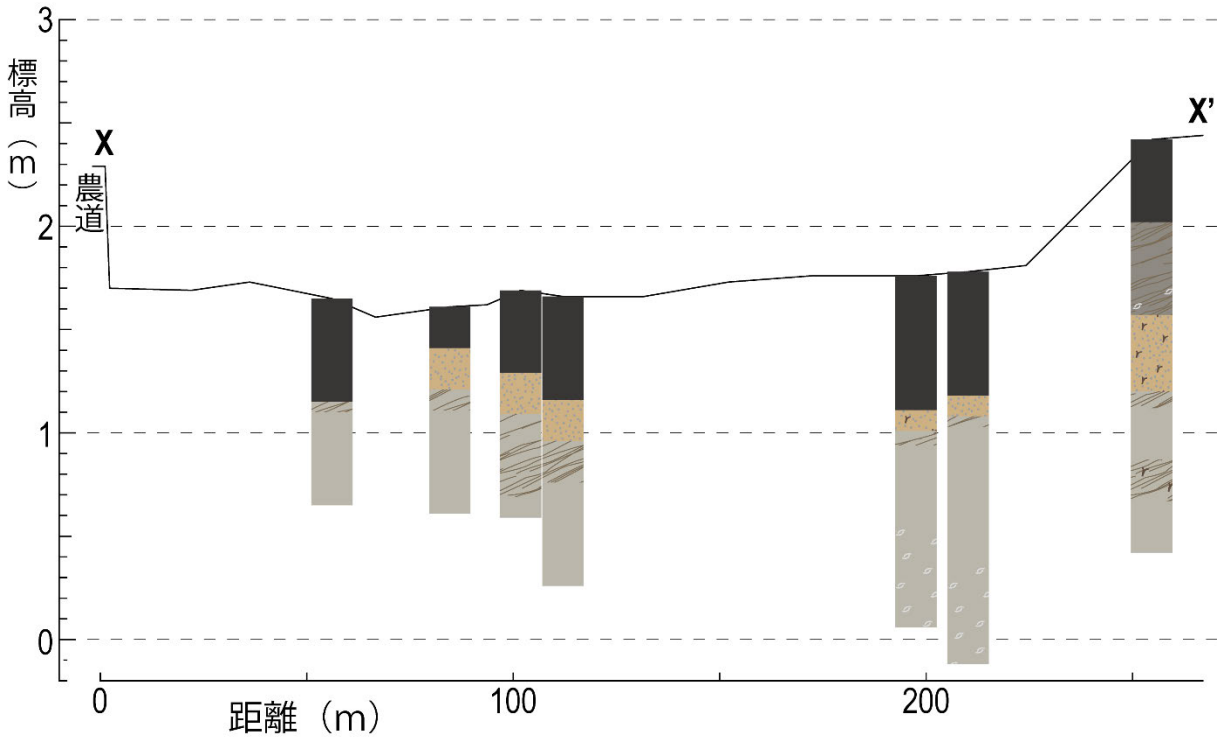


図２－３－③－10　X－X’測線の断面図。測線位置は図２－３－③－７を参照。

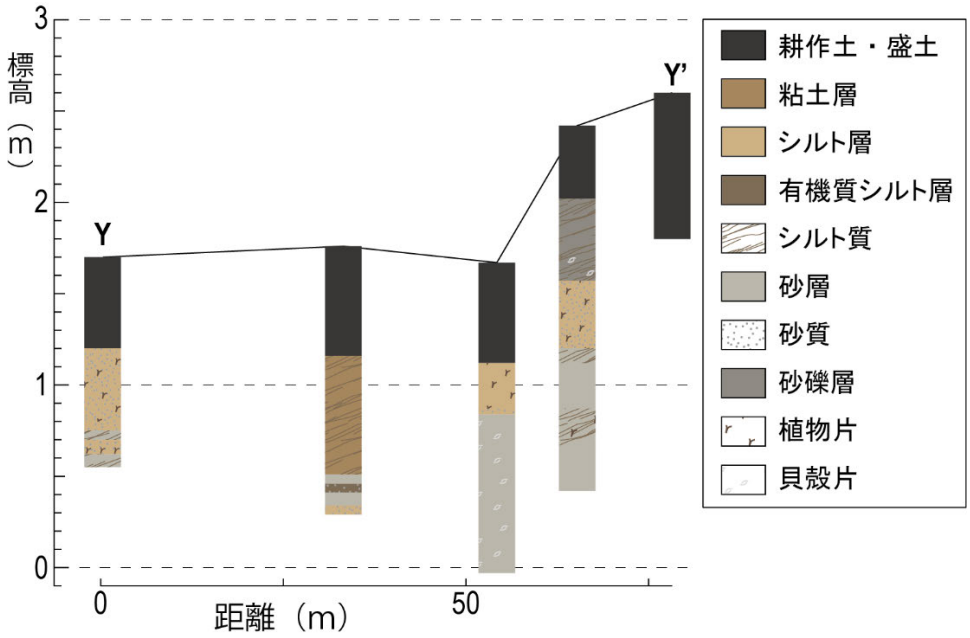


図２－３－③－11　Y－Y’測線の断面図。測線位置は図２－３－③－７を参照。

(c) 結論ならびに今後の課題

三重県南伊勢町「こがれ池」の湖底堆積物から、過去 3000 年間における「津波」または「低頻度の非常に大きなストーム」による海水侵入が少なくとも 13 回あったことを明らかにした。５回または６回の南海トラフの歴史地震と対応する可能性があるイベント堆積物が含まれていた。今後も、南海トラフ沿岸地域における地質調査・分析を行い、過去数千年間の津波浸水履歴を復元するとともに、その結果を地域間で対比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町の太田川低地では、下里地区のジオスライサー試料の解析を行った結果、F1～F3 の３つの堆積相からなる累重を確認することができた。このうち、F2 相は津波などのイベントによって約 900～670 年前に形成された堆積物であることが明らかとなった。F3 相は約 5300 年前から約 5000 年前にかけて浅海環境で形成されたと考えられるが、この頃に津波などのイベントによって形成された堆積物である可能性もある。F3 相の形成過程や形成年代を確かめるため、令和６年２月に深さ約３ｍまでのジオスライサー試料を追加で採取した。今後は、現在実施中の粒度分析を進めるとともに、今年度の追加試料を含めて採取した試料について微化石などの分析を行い、F2 相や F3 相が津波由来であるかどうかの検証を行うとともに、年代測定を追加で行うことでより精度の高い堆積年代を推定することが必要である。八尺鏡野地区では既存のコア試料４箇所に加えて３箇所でハンドコアラーによる掘削を行い、5400～2300 cal BP の年代を示す 10 層のイベント砂層を確認した。今後は下里地区と八尺鏡野地区との間でのイベントの対比と、太田川低地全体の過去の地形と浸水域との関係解明が必要である。

高知県東洋町河内地区では、ハンドコアラーを用いた津波堆積物調査を実施した。調査地域の海岸低地表層には盛土直下に広く砂層が分布しており、想定より内陸まで浜堤が分布していたと考えられる。低地の最奥部の西側ではシルト～粘土層が比較的厚く堆積しており、標高 50cm 付近にはイベント堆積物の可能性のある砂層がシルト層中に挟在して

いた。今後はこれらの砂層の分布を確認するため、最奥部での掘削範囲を広げて掘削調査を行う必要がある。

(d) 引用文献

1) Shimada, Y., Sawai, Y., Matsumoto, D. Tanigawa, K., Ito, K., Tamura, T., Namegaya, Y., Shishikura, M. and Fujino, S.: Marine inundation history during the last 3000 years at Lake Kogare-ike, a coastal lake on the Pacific coast of central Japan. Prog Earth Planet Sci 10, 49. https://doi.org/10.1186/s40645-023-00577-9, 2023.
2) 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), 57, 399-418, 2008.
3) Parnell AC, Haslett J, Allen JRM, Buck CE, and Huntley B: A flexible approach to assessing synchroneity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. Quaternary Science Reviews, 27, 1872-1885, 2008.
4) Sabatier S, Wilhelm B, Ficetola GF, Moiroux F, Poulenard J, Develle A, Bichet A, Chen W, Pignol C, Reyss J, Gielly L, Bajard M, Perrette Y, Malet E, Taberlet P and Arnaud F: 6-kyr record of flood frequency and intensity in the western Mediterranean Alps - Interplay of solar and temperature forcing. Quaternary Science Reviews 170:121-135, 2017.
5) Kempf P, Moernaut J, Van Daele M, Pino M, Urrutia R and De Batist M Paleotsunami record of the past 4300 years in the complex coastal lake system of Lake Cucao, Chiloé Island, south central Chile. Sedimentary Geology, 401, 105644, 2020.
6) Fujino S, Kimura H, Komatsubara J, Matsumoto D, Namegaya Y, Sawai Y, and Shishikura M: Stratigraphic evidence of historical and prehistoric tsunamis on the Pacific coast of Central Japan: implications for the variable recurrence of tsunamis in the Nankai trough. Quaternary Science Reviews, 201:147-161, 2018.
7) Okahashi, H., Yasuhara, M., Mitamura, M., Hirose, K. and Yoshikawa, S.: Event deposits associated with tsunamis and their sedimentary structure in Holocene marsh deposits on the east coast of the Shima Peninsula, central Japan. Journal of geosciences Osaka City University, 48:143-158, 2005.
8) 文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」令和元年度成果報告書, pp.1-655, 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
高知県南国市における完新世後期の海岸砂丘発達と津波浸水への影響（ポスター）	谷川晃一朗 田村　亨 小森康太郎 根来湧輝	日本第四紀学会2023年大会	2023.9	国内
Marine inundation history during the last 3000 years at a coastal lake on the Pacific coast of central Japan (poster)	Yumi Shimada Yuki Sawai Dan Matsumoto Koichiro Tanigawa Kazumi Ito Toru Tamura Yuichi Namegaya Masanobu Shishikura Shigehiro Fujino	AOGS2023 20th Annual Meeting 開催場所：シンガポール（Suntec Singapore）	2023.8	国外
紀伊半島那智勝浦町八尺鏡野湿地における津波堆積物調査（ポスター）	隅　拓渡 宍倉正展 前杢英明 田原敬治	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023.5	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
Marine inundation history during the last 3000 years at Lake Kogare-ike, a coastal lake on the Pacific coast of central Japan（査読あり）	Yumi Shimada Yuki Sawai Dan Matsumoto Koichiro Tanigawa Kazumi Ito Toru Tamura Yuichi Namegaya Masanobu Shishikura Shigehiro Fujino	Progress in Earth and Planetary Science	2023.8	国外（国際誌）

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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

1498 年明応東海地震の津波痕跡高分布と津波堆積物調査の研究成果を基に津波波源モデルを推定した。本業務では、文献記録から読み取られる津波痕跡高だけでなく、津波堆積物調査地の浜提高さを津波痕跡の上限高さとして波源推定[1、2)]の制約条件に加えることで、断層破壊領域の東端と西端のすべり量を制約した。東海セグメント領域の東端で19.2m と最もすべり量が大きく、西に向かうにつれてすべり量は減少した。本業務で推定した断層モデルから求まる計算津波高と津波痕跡高の幾何平均および幾何標準偏差は1.15 と 1.71 で、鳥羽市国崎の 15　m など一部の津波痕跡高を再現できないものの，断層すべりに伴う津波でおおむね説明できた。地震規模を示すモーメントマグニチュードは8.6 で、地震で発生したエネルギーは安中ほか(2003)[3)]の 1.8 倍だった。津波波源モデルと津波土砂移動数値計算[4、5)]で、静岡県湖西市白須賀や焼津市浜当目の津波堆積物は観測結果を再現できた。一方で、こがれ池や井田の計算結果は過大評価だった。これは明応東海地震時の汀線位置や浜提高さに不確実な要素が含まれることや津波堆積物を構成する砂の粒径と数値計算で使用する中央粒径が合致しないためだと推測される。すべり量分布を推定する上でこがれ池と井田は重要な調査地であるため、今後中央粒径を観測事実に合わせた計算シナリオを追加してさらなる検討を進める。

(b) 業務の成果

南海トラフ沈み込み帯で発生した明応東海地震に伴う津波は和歌山県から千葉県の太平洋沿岸部の広範囲にわたって被害を及ぼした（津波痕跡データベース；東北大学・原子力規制庁[6)]）。これまで安中ほか(2003)[3)]や阿部(2017)[7)]による津波波源モデルの推定や Kitamura et al. (2020)[8)]により海底地すべりが津波を励起した可能性が示唆されているが、昭和東南海・南海地震や安政東海・南海地震、宝永地震に比べて津波痕跡が少なく波源推定にはさらなる検証の余地がある。本業務では，津波痕跡高分布と津波堆積物が報告されている調査地の浜堤高さに着目して、津波土砂移動解析モデル（TUNAMI-STM）[4、5)]を用いて、三重県南伊勢町こがれ池[9)]・静岡県湖西市白須賀[10)]・静岡県焼津市浜当目[8)]・静岡県沼津市井田[11)]における津波堆積物の数値再現およびで津波堆積物調査に基づいた観測事実との比較による明応東海地震津波波源モデルの検証を行った。

こがれ池は外海との間におよそ４m の浜堤を持つ沿岸湖沼である。こがれ池の周囲に大規模な砕屑物供給を伴う河川は存在しない。浜提と外海の間に漁業関連施設が建造されており、300m 程度の埋め立てが行われている。白須賀は浜名湖が遠州灘に注ぐ今切口から西へ９km 弱離れた海岸沿いの低地である。低地内には段丘崖の谷の出口から発達した小さな扇状地以外に陸側からの砕屑物供給経路はない。浜提の高さは５m ほどで、現在は国道 1 号バイパスが走っている。浜当目は焼津平野の北東に位置する標高２～４m の低地で、西を瀬戸川に囲まれて北と東は低い丘陵に囲まれている。瀬戸川の南にある焼津漁港周辺は大規模な人工改変を加えられていて防潮堤も設置されており、浜当目周辺でも海岸線の一部に人工改変の影響が見受けられる。井田は伊豆半島西側の付け根、駿河湾の東岸に位置する沿岸低地で、集落の北側に小規模な河川があることを除いて巨礫で構成される

標高５ｍ の浜提で外海と切り離されている。低地の大部分は米田として利用されており、集落の南側には小さな溜め池が存在する。

いずれの調査地も沿岸の地形を地震当時のものに近付けるため国土地理院が公開している数値標高モデルから埋立地や海岸構造物を除去し、デジタル伊能図 [12]の旧汀線を参考に海岸線を後退させた。その後、海底地形デジタルデータ（M7000 シリーズ）と合成して数値計算に使用する地形データを作成した。地震発生当時の浜提の高さを推定することは困難であるため現在の高さと同じであると仮定して数値計算を実行した。津波波源モデルとして安中ほか(2003)の二枚矩形断層モデル [3]と楠本ほか(2023)の五枚小断層モデル [13]を採用した。津波堆積物を構成する砂の粒径は一部のみしか公表されていないため、本解析では細～中粒砂に相当する粒径 0.267 mm に設定した。

1)　痕跡高と浜提高さから推定されるすべり量分布

図２－３－④－１に本業務で推定した明応東海地震のすべり量分布を示す。安中モデルは平均すべり量 5.3m と 7.0m の二枚矩形断層であったのに対して、本業務で推定した津波波源モデルでは東海セグメントの東端で最大19.2mのすべりがあり、西に向かってすべり量が減少する傾向が見受けられた。本業務で推定した断層モデルから求まる計算津波高と津波痕跡高の幾何平均および幾何標準偏差（相田、1978）[14]は 1.15 と 1.71 で、計算津波高と痕跡高は整合性にややばらつきがあるものの概ね合致していることを示している。一方で、三重県鳥羽市国崎で報告されている15mの痕跡高は断層すべりでは説明できない。これはリアス式海岸の影響で局所的に津波が大きくなった、局所的な大滑りがあった、もしくは海底地すべりに伴って局所的に高い津波が発生した可能性がある。地震規模を示すモーメントマグニチュードは8.6と推定され、地震で発生したエネルギーは安中ほか(2003)[2]の 1.8 倍だった。

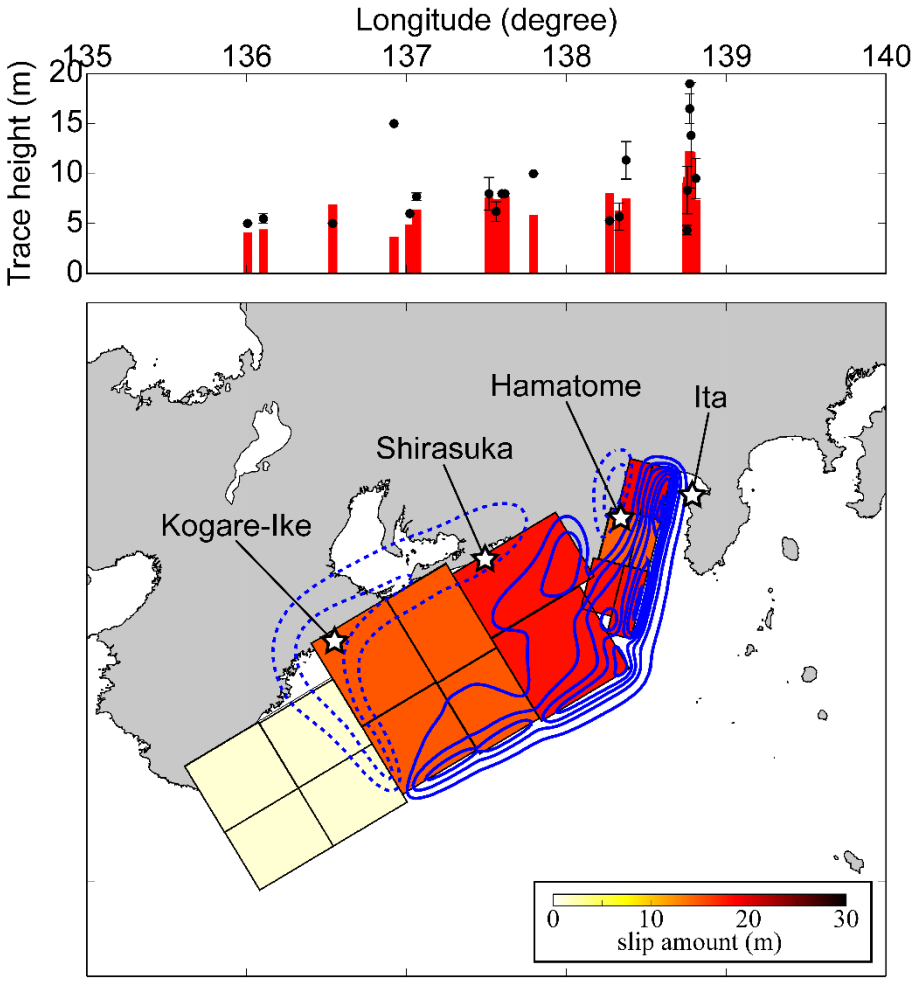


図２－３－④－１　明応東海地震の五枚小断層モデルと痕跡高分布。

2)　三重県南伊勢町こがれ池

地震発生から３時間後までに最大 3.5 m の津波が来襲し、少なくとも三度浜堤を乗り越えてこがれ池内部に侵入した。土砂の堆積量は地震発生からおよそ 20 分後に到達する第一波による寄与が最も大きい。地震発生から３時間後にはおよそ 40 cm の土砂が池内部に堆積した（図２－３－④－２）。一方、堆積物コアの明応東海地震に相当する津波堆積物の堆積層厚は１cm 未満であったと報告されており、計算結果と大きな差異があった [9]。これは地震当時の浜提高さが不確かであるため、数値計算では地震発生当時の津波より大きな津波が侵入したため過剰な土砂の堆積が生じたと推測される。

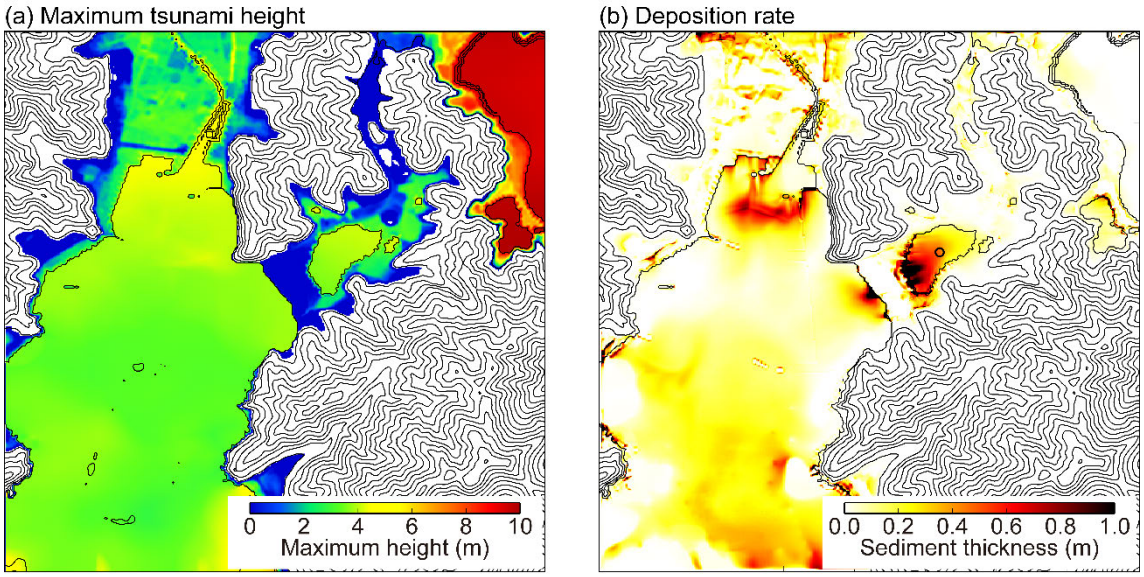


図２－３－④－２　三重県南伊勢町こがれ池における最大津波高分布と土砂の堆積量分布。

3)　静岡県湖西市白須賀

地震発生から３時間後までに最大 6.8 m の津波が来襲し、少なくとも６度浜堤を乗り越えて白須賀低地に侵入した。土砂の堆積量は地震発生からおよそ 120 分後に到達する第一波による寄与が最も大きい。地震発生から３時間後には 50 cm を超える土砂が低地に堆積した（図２－３－④－３）。Komatsubara et al. (2008)[10]の調査報告によると白須賀低地における明応東海地震に相当する津波堆積物の堆積層厚は最大 50 cm で、計算結果と概ね整合的であった。

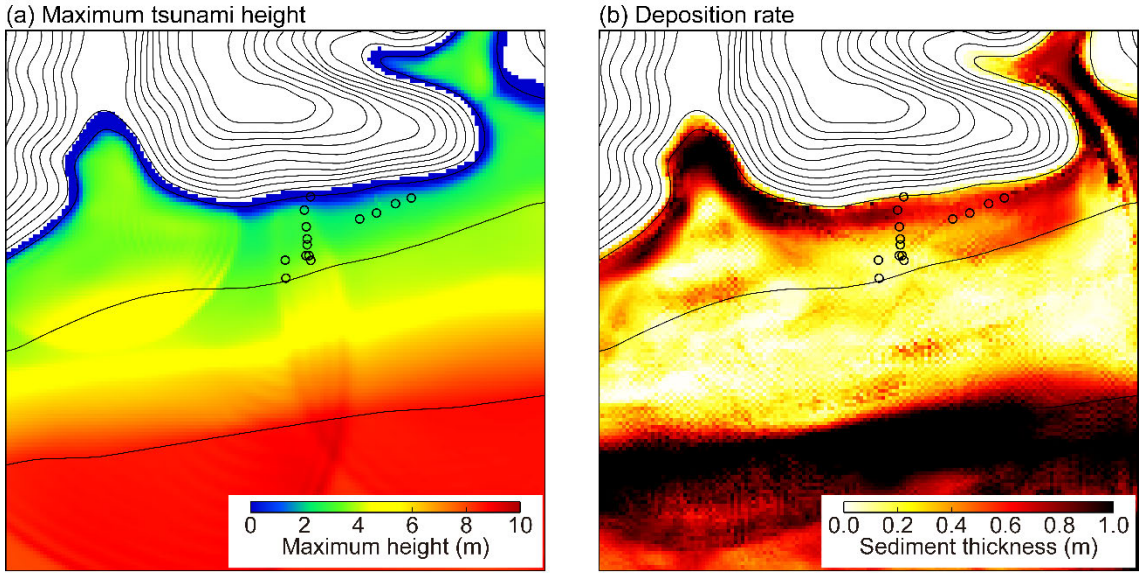


図２－３－④－３　静岡県湖西市白須賀における最大津波高分布と土砂の堆積量分布。

4)　静岡県焼津市浜当目

地震発生から３時間後までに最大 6.5 m の津波が来襲し、少なくとも三度浜堤を乗り越えて浜当目低地に侵入した。土砂の堆積量は地震発生からおよそ 10 分後に到達する第一波による寄与が最も大きい。地震発生から 3 時間後にはおよそ 40 cm の土砂が池内部に堆積した（図２－３－④－４）。一方、堆積物コアの明応東海地震に相当する津波堆積物の堆積層厚は最大 35 cm で[8]、計算結果と概ね調和的であった。

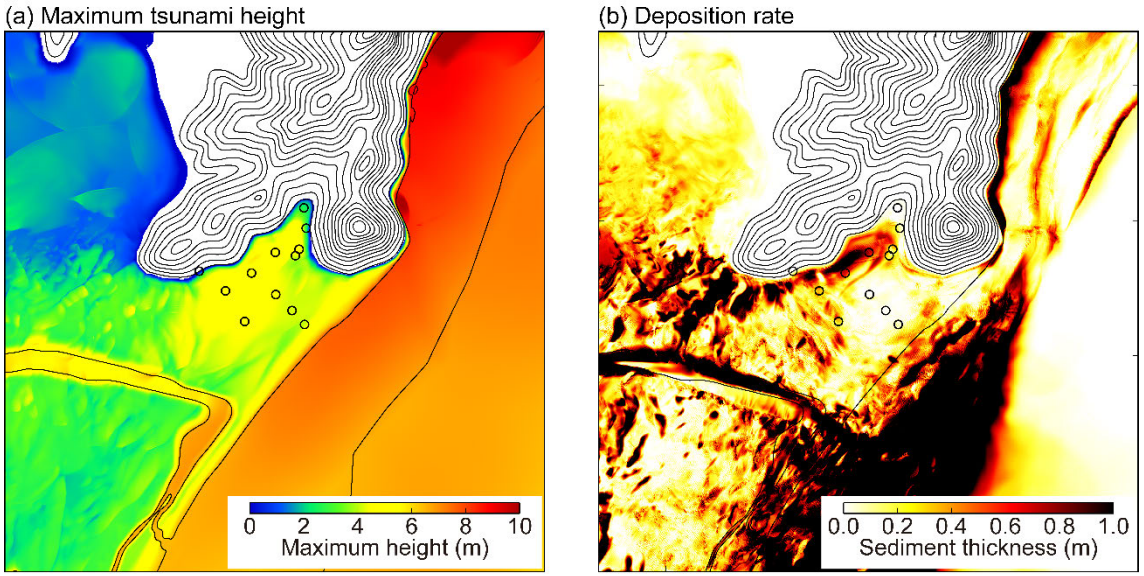


図２－３－④－４　静岡県焼津市浜当目における最大津波高分布と土砂の堆積量分布。

5)　静岡県沼津市井田

地震発生から３時間後までに最大 8.7 m の津波が来襲し、繰り返し浜堤を乗り越えて井田低地に侵入した。土砂の堆積量は地震発生からおよそ 60 分後に到達する後続波による寄与が大きい。堆積と浸食を繰り返して、地震発生から３時間後にはおよそ４cm の土砂が低地内に堆積した（図２－３－④－５）。Sawai et al (2016)[11]の津波堆積物調査の結果によると、井田低地では明応東海地震に相当する津波堆積物は見つかっていない。しかしながら、井田低地の周辺では 10 m を超える津波痕跡が多数確認されており浜堤を乗り越えないほど津波が小さかったとは考えにくい。津波堆積物が地層に保存されていない原因として以下の二つの可能性が挙げられる。一つは数 cm オーダーの砂質な津波堆積物が生物擾乱や人工改変で失われた可能性、もう一つは地震発生当時の浜堤が現在と同じ巨礫から構成されていて土砂輸送そのものが発生しなかった可能性である。前者は明応東海地震に相当する層準を詳細に分析することで、後者は津波堆積物そのものが残っていないため検証が困難である。

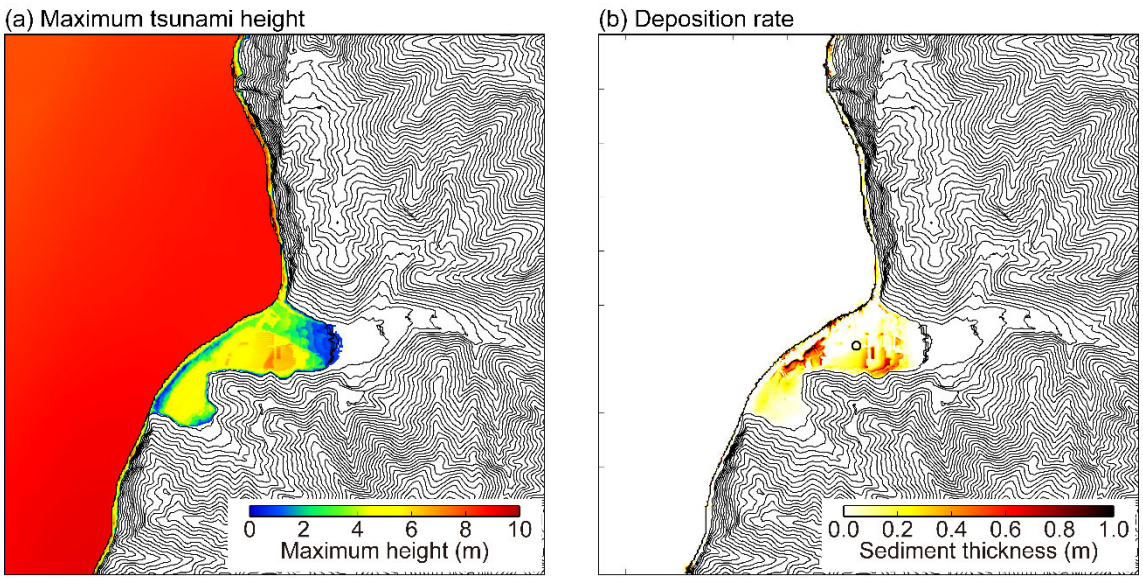


図２－３－④－５　静岡県沼津市井田における最大津波高分布と土砂の堆積量分布。

(c) 結論ならびに今後の課題

以上の検証から、明応東海地震は東海セグメント領域に大きな滑りを持つ Mw 8.6 の巨大地震だったと推定される。整合性にややばらつきがあるものの、痕跡高は断層すべりによる計算津波高でおおむね説明できる。しかしながら、周りと比較して突出している三重県鳥羽市国崎（15 m；痕跡信頼度 D）に関しては過小評価となる。これはリアス式海岸の影響で局所的に津波が大きくなった、もしくは海底地すべりに伴って局所的に高い津波が発生した可能性がある。

三重県南伊勢町こがれ池・静岡県湖西市白須賀・静岡県焼津市浜当目・静岡県沼津市井田における津波堆積物の数値再現およびで津波堆積物調査に基づいた観測事実との比較による明応東海地震津波波源モデルの検証を行った。白須賀や浜当目の津波堆積物の最大層厚はおおむね再現できるものの、こがれ池や井田に関しては計算堆積層厚が観測より大幅に過大評価となった。これは地震発生当時の浜提の高さが不確実さを伴うこと、津波土砂移動数値計算で使用している砂の中央粒径が現実に即していないことに起因すると考えられる。今後計算シナリオを増やして現実に即した形で検討を進める。

(d) 引用文献

1) Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P. (1983) Optimization by simulated annealing, Science 220, 671-680.

2) Imai, K., Okada, S., Takahashi, N., Ebina, Y., Tsuji, Y. (2020) Fault Model of the 1804 Kisakata Earthquake (Akita, Japan). Seismological Research Letters, 91, 5, 2674-2684. https://doi.org/10.1785/0220200074

3) 安中正・稲垣和男・田中寛好・柳沢賢(2003)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，第 27 回地震工学研究発表会梗概集.

4) 高橋智幸，首藤伸夫，今村文彦，浅井大輔（1999）掃流砂層・浮遊砂層の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，46，606-610.
5) Sugawara, D., Yu, N. T., Yen, J. Y. (2019) Estimating a Tsunami Source by Sediment Transport Modeling: A Primary Attempt on a Historical/1867 Normal‐Faulting Tsunami in Northern Taiwan, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 124, 1675-1700. https://doi.org/10.1029/2018JF004831
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) 阿部郁男(2017) 駿河湾内の津波痕跡に着目した 1498 年の明応東海地震の津波波源の検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），73(2)，I_301―I_306，2017. https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_301
8) Kitamura, A., Yamada, K., Sugawara, D., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Hamatome team (2020) Tsunamis and submarine landslides in Suruga Bay, central Japan, caused by Nankai-Suruga Trough megathrust earthquakes during the last 5000 years, Quaternary Science Reviews, 245, 106527. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106527
9) Shimada, Y., Sawai, Y., Matsumoto, D., Tanigawa, K., Ito, K., Tamura, T., Namegaya, Y., Shishikura, M., Fujino S. (2023) Marine inundation history during the last 3000 years at Lake Kogare-ike, a coastal lake on the Pacific coast of central Japan, Progress in Earth and Planetary Science, 10:49, https://doi.org/10.1186/s40645-023-00577-9
10) Komatsubara, J., Fujiwara, O., Takada, K., Sawai, Y., Aung, T. T., Kamataki, T. (2008) Historical tsunamis and storms recorded in a coastal lowland, Shizuoka Prefecture, along the Pacific Coast of Japan, Sedimentology, 55, 1703-1716. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00964.x
11) Sawai, Y., Tanigawa, K., Tamura, T., Namegaya, Y. (2016) Medieval coastal inundation revealed by a sand layer on the Ita lowland adjacent to the Suruga Trough, central Japan. Natural Hazards 80, 505-519.
12) 村山祐司監修(2015)『デジタル伊能図プロフェッショナル版』，河出書房新社
13) 楠本聡・今井健太郎・堀高峰(2023)明応東海地震の初期津波波源モデルの再検討，日本地震学会 2023 年秋季大会，S17P-05.
14) 相田勇(1978)1978 年宮城県沖地震に伴った津波の数値実験，地震研究所彙報，53，1167-1175.

(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
2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水高・津波堆積物の堆積層厚分布から推定される初期津波波源モデル（口頭）	楠本 聡 今井 健太郎 堀 高峰 菅原 大助	日本地球惑星科学連合 2023 年大会	2023.5	国内
宝永地震による地殻変動と津波痕跡の再整理（口頭）	今井健太郎 都司嘉宣 楠本聡 堀高峰	第 40 回歴史地震研究会	2023.9	国内
津波痕跡高から推定される1498年明応東海地震の初期津波波源モデル（口頭）	楠本聡 今井健太郎 堀高峰	第40回歴史地震研究会	2023.9	国内
明応東海地震の初期津波波源モデルの再検討（口頭）	楠本聡 今井健太郎 堀高峰	2023年度津波堆積物研究会	2023.10	国内
明応東海地震の初期津波波源モデルの再検討（ポスター）	楠本聡 今井健太郎 堀高峰	日本地震学会秋季大会	2023.10	国内
津波痕跡から推定される1498年明応東海地震の初期津波波源モデル（口頭）	楠本聡 今井健太郎 堀高峰	巨大津波災害に関する合同研究集会	2023.12	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 of slip distribution on tsunami trace heights and geological evidences: a case study of the 2011 Tohoku-Oki earthquake（査読有り）	Satoshi Kusumoto Kentaro Imai Takane Hori Daisuke Sugawara Kenji Satake	Progress in Earth and Planetary Science	2023.8	国外（国際誌）

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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
京都大学大学院工学研究科	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	助教	山下裕亮
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	技術補佐員	山岡孝子
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、および、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。なお、「逃げ地図」とは、一定時間に避難可能な距離に対応する長さの紐を使って、避難可能な範囲を白地図の上に参加者が色鉛筆

で彩色し、津波から安全な場所（津波浸水区域外・津波避難タワー等）や、そこへの移動に要する時間を地図上に可視化する手法である。以上が本研究の目的である。

上記の目的を達成するために、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、上記のツールおよびシステムの実証実験のフィールドと実装先として、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）のデザイニング作業を継続した。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（これを「逃げトレ View」と命名）について、その基本機能や基本動作について検討した。あわせて、「逃げトレ View」（パイロット版）の運用に必要な情報を取得するために、アプリ「逃げトレ」についても必要な改修を実施した。次いで、それら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、四万十町など）において実施し、「逃げトレ View」（パイロット版）を完成させた。

「逃げ地図」については、逃げ地図ワークショップ実施のための支援システムの改良を行うとともに、避難困難区域において逃げ地図ワークショップを実施した。

4）令和５年度：

『事前避難要不要判断ツール』については、「逃げトレ View」（パイロット版）の社会実装に向けた調整作業をテストフィールドで実施するとともに、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した。またこの「逃げトレ View」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システム開発のための基礎作業を行った。

「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、「逃げトレ View」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った。

5）令和６年度：

「逃げトレ View」、「逃げ地図」、両プロジェクトの成果を統合し、また、「逃げトレ View」（パイロット版）の水平展開作業の結果をベースに完成させた「逃げトレ View」（最終版）に、蓄積された避難訓練データによる避難動態予測の要素も反映させて、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。

「逃げ地図」については、避難困難区域において避難可能なまちづくりの検討を行う。

(e) 令和５年度業務目的

『事前避難要不要判断ツール』として開発を進めている「逃げトレ View」について、引き続き開発を継続する。

令和４年度までに開発した「逃げトレ View」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」（津波想定の変更、準備時間の変更、移動速度の変更に伴うシミュレーションも含む）の分析結果の可視化方法（結果表示画面）のプログラミングおよびデザイニング作業を継続する。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。また、「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、および、臨時情報に関する解説動画を「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、実際のフィールドで「逃げトレ View」の実証実験やそのための準備作業も行う。加えて、避難困難区域において避難可能なまちづくりを検討するワークショップも実施する。

(2) 令和５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

『事前避難要不要判断ツール』として開発を進めている「逃げトレ View」について、引き続き開発を継続した。

具体的には、令和４年度までに開発した「逃げトレ View」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」（津波浸水想定の変更、避難開始までの準備時間の変更、移動速度の変更に伴うシミュレーションを含む）の分析結果の可視化方法（結果表示画面）のデザイニング作業を実施した。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仕組みを整備した。また、「逃げトレ View」で活用する個人属性情報（性別、年齢、避難時の支援の必要性など）を収集するための仕組み、および、臨時情報に関する解説動画を「逃げトレ」に実装し、「逃げトレ View」を完成させるために必要なアプリ「逃げトレ」の改修作業を行った。以上の開発研究とともに、実際のフィールドで「集合的避難行動の解析・表示システム」を中核とした「逃げトレ View」の実証実験を実施した。さらに、主なユーザーとして想定される自治体職員を対象としたインタビュー調査を行い、「逃げトレ View」を自治体の津波避難戦略策定業務に利用する際の課題や必要な準備作業を進めた。また、自治体職員を対象とした「逃げトレ View」の「ガイドマニュアル」の素案を作成し、今後の出口戦略策定に向けた足がかりとした。

(b) 業務の成果

1) 「逃げトレサービス」の全体像の構想

「逃げトレ View」の構築にあたって、まず、臨時情報発表時の事前避難の要不要について検討するための基礎的な情報(判断材料)を分析･提供するWEBシステム「逃げトレView」と既存の津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の両者を２大基幹ツールとする全体構想(「逃げトレサービス」）を固めた。なお、アプリとしての「逃げトレ」の概要は、図２－４－①－1 に示した通りである。これは、本プロジェクトに先行して実施された研究プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第１期）において開発されたスマホアプリである。すでに、アンドロイド系、および、iPhone 系両方の仕様で一般公開され、無料でダウンロード可能であり、南海トラフ地震による津波が想定される太平洋沿岸地域で活用できる。ただし、後述するように、今回、「逃げトレ View」の開発にあたって、一部、機能拡充のための研究開発を実施した。



図２－４－①－１　津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の概要

図２－４－①－２に、新たに構築した「逃げトレ View」を中心とした本研究の全体構想（「逃げトレサービス」の全体像）の概要を、加えて、図２－４－①－３に、その詳細を示した。Web システム「逃げトレ View」は、アプリ「逃げトレ」とともに、全体として、「逃げトレサービス」のプラットフォーム」を構成し、事前避難の要不要について検討可能なシステムとなっている。具体的には、アプリ「逃げトレ」からは、このアプリを用いた避難訓練が行われるたびに訓練参加者の避難行動の軌跡が避難行動データセット（空間移動ログデータ）としてインプットされ、サーバーに集積されたそれらのデータは避難訓練行動を記録したビッグデータを構成する。ここに蓄積されたデータは、「逃げトレ View」で避難行動の分析および避難戦略の検討に関する基礎データとして利用される。また、場合によっては、自治体等から提供される要支援者情報などの個別データ（個人属性データ、図では「その他サービス」と表示）も分析に投入できる。さらに、ハザード側のデータとして、別途提供される津波ハザードデータ（たとえば、サブ課題２（ｇ）から提供される「半割れ」シナリオにおける津波浸水データ）を利用する。

以上を総合したものが、「逃げトレサービス」である。アプリ「逃げトレ」がユーザーとして主に一般個人を想定し、主として個人単位で避難行動（「点」）の改善を図ることを念頭に置いているのに対して、本研究で開発中の Web システム「逃げトレ View」はユーザーとして主に自治体職員や研究者などを想定し、主として地域（面）ごとに津波避難の困難度をとらえ、その改善を図ることが念頭に置かれている。「臨時情報」が発表されたときに、

どのような地域で事前避難がより強く求められるのか、それを判断するための基準（基礎情報）が、このシステムから得られることになる。



図２－４－①－２　「逃げトレサービス」の全体像（概要）

逃げトレ サービス全体像

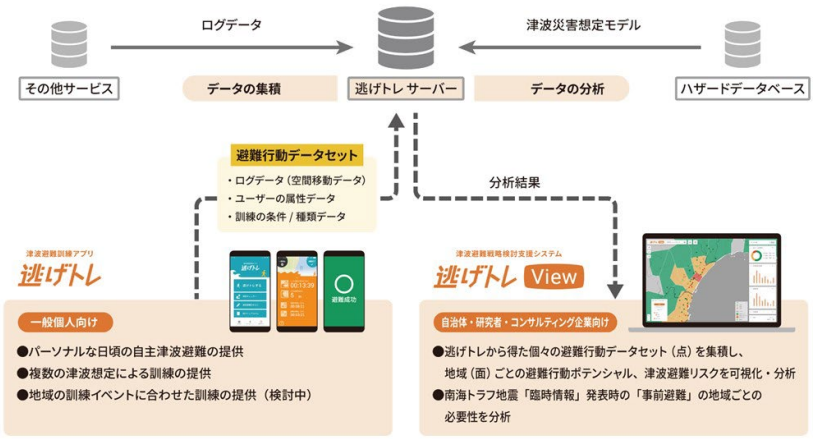


図２－４－①－３　「逃げトレサービス」の全体像（詳細）

2)「逃げトレ View」（パイロット版）の開発

図２－４－①－４、図２－４－①－５、図２－４－①－６に、「逃げトレ View」の枢要部を実際のシステム画面から抽出して示した。

図２－４－①－４は、「逃げトレ」によって収集・蓄積された個別の避難訓練データを個人ごとに「点」として可視化できること（左図はスタート地点、中図はゴール地点を基準として集約している）、また、ユーザーが任意に設定できるエリアごと（たとえば、自治体職員が町内会の区域割などをフリーに描画可能）に、各エリアの避難困難度（逆に言えば、事前避難が要請される程度）に応じて、その程度を「面」（色別）として集約して可視化できることを示している（右図）。また、図２－４－①－５は、上記の「点」もしくは「面」ごとの結果を、各種の属性レベル（性別、年齢、居住地（スタート地点）など）単位で集計したデータ（複数のチャート）を示す機能が「逃げトレ View」に搭載されたことを示している。さらに、図２－４－①－６は、「逃げトレ View」には、実際の避難訓練を通して得られた実際の空間移動ログデータをそのまま可視化する機能だけでなく、避難時の状況が多様に変化する可能性を念頭に、「もし、道路の液状化等で移動速度が低下したら」といった仮想の事態についても検討可能なシミュレーション機能が実装されていることを示している。



図２－４－①－４　「逃げトレ View」のデモ画面（１）

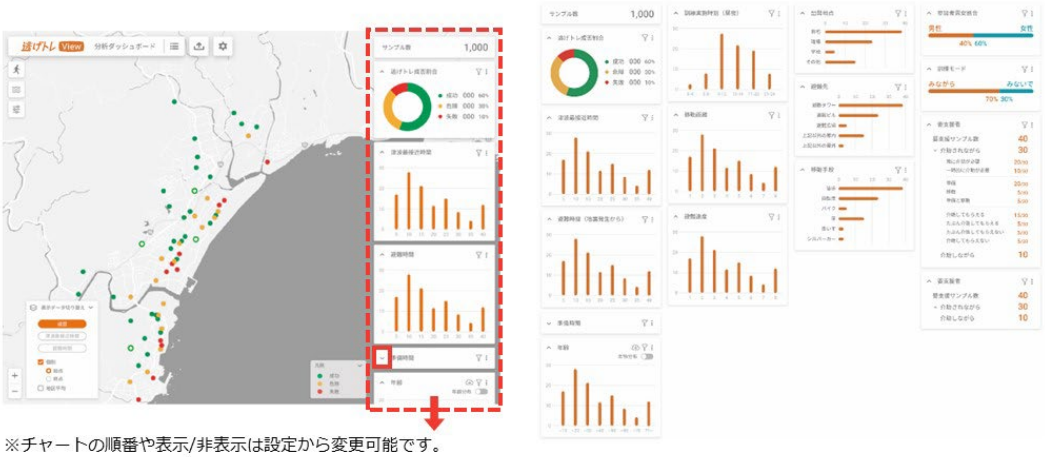
逃げトレView 代表的な使い方

避難行動を地域別に詳しく見る

チャートで見る

右端の各種チャートを確認する
各チャートの左上記号 ∨ で開くと見ることが可能

チャートゾーンを下にスクロールすると15種以上のチャートを見ることができる



※チャートの順番や表示/非表示は設定から変更可能です。

図２－４－①－５　「逃げ View」のデモ画面（２）

逃げトレView 代表的な使い方

シミュレーションする

準備時間や避難速度を変えてみる

左上から3番目のシミュレーションボタンを開くと**津波想定**、**準備時間**、**避難速度**をそれぞれ変更の選択をする

チャートに青枠で示され、シミュレーションが反映される

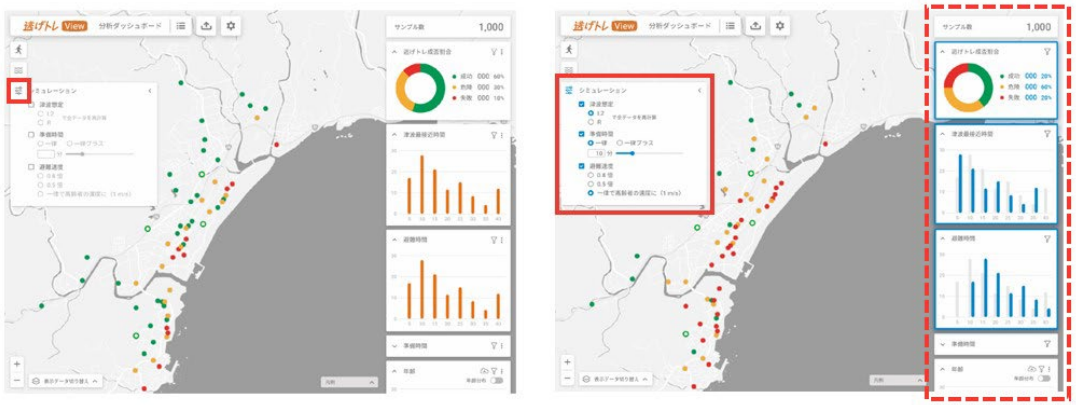


図２－４－①－６　「逃げトレ View」のデモ画面（３）

「想定外」の事態に即応する能力養成の観点に立ったとき、上述のシミュレーション機能は特に重要である。現時点では、行動サイドについては、まず、避難の準備時間（地震発生から避難開始までの準備時間、東日本大震災では平均して 15 分から 20 分程度だとされる）が、実際の訓練時よりも遅かった場合や早かった場合に予想される結果を分単位で表示できる。また、移動速度を実際の訓練時の 0.8 倍、0.5 倍に一律に引き下げるシミュレーション機能も実装されている。これらは、加齢（地域社会の高齢化）、道路状況の悪化などのために移動速度が低下した状況などを想定したものである。

さらに、ハザードサイドについても、アプリ「逃げトレ」に当初から搭載されている「最大クラス想定」（南海トラフ地震津波に関する政府想定に依拠）に加えて、サブ課題２（ｇ）との連携によって、南海トラフ地震の「臨時情報」発表時のシナリオとして想定されている、いわゆる「半割れ」シナリオ下で発生しうる地震による津波想定を「半割れ西先行・東後続パターン」と「半割れ東先行・西後続パターン」として実装し、それら複数の津波浸水想定の間のちがいを体験できるようになっている。

本年度は、以上の基幹部分の補正作業に加えて、以下の開発研究を追加実施した。第１に、「逃げトレ View」の取り組みが、避難訓練に参加した住民たちが自分たちの訓練データを自ら分析する「シチズンサイエンス（市民参加型科学）」の要素を色濃くもっていることを踏まえて、その側面を強化し住民の訓練参加を加速するべく「参加モニター」と呼ぶ仕組みを開発した。「参加モニター」は、アプリ「逃げトレ」を活用して津波避難訓練に参加した人の人数を都道府県、市町村単位で集計し、「逃げトレ View」で見ることができるシステムである（図２－４－①－７）。

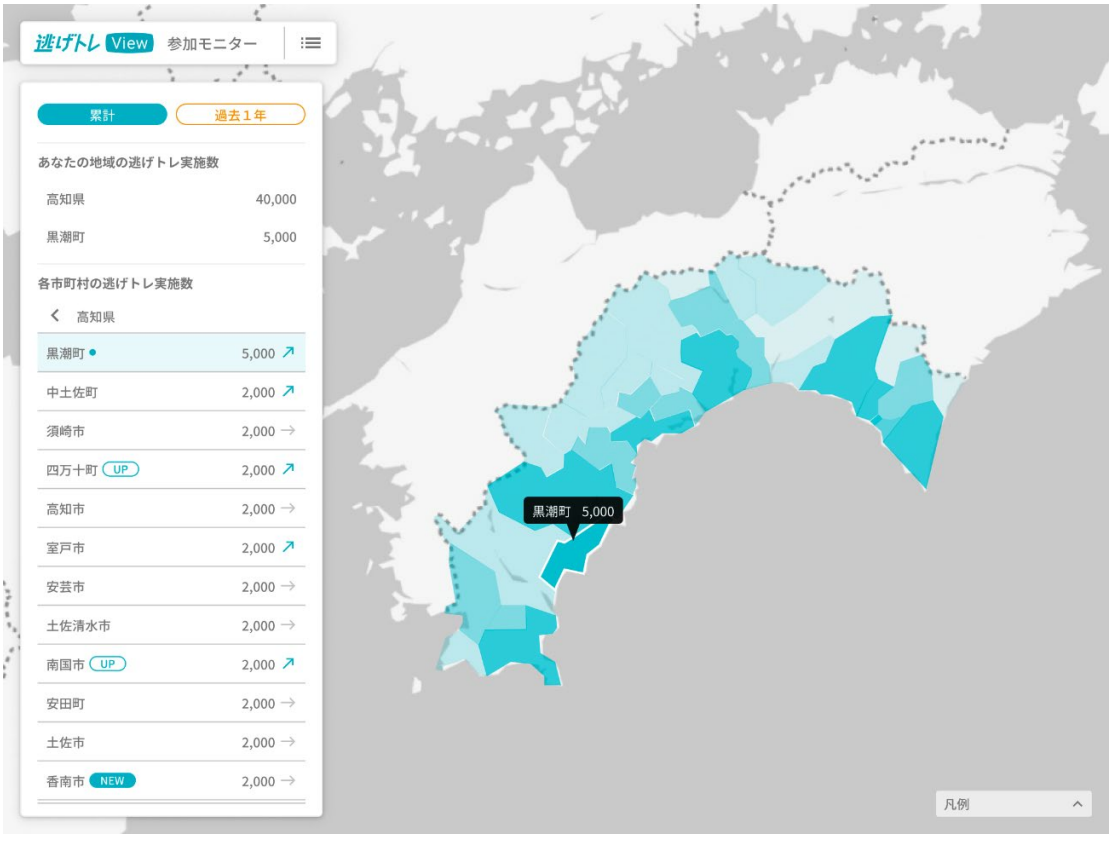


図２－４－①－７　避難訓練の「参加モニター」画面（サンプル）

第２に、「逃げトレ」および「逃げトレ View」を本格的に社会実装する（現在推進中のモデル自治体での実装成果を他の自治体へと水平展開する）際に必要となる自治体ごとの基礎情報をスムーズに両システムにインプットし、画面等に反映するための入力システムを整備した。ここで言う基礎情報とは、市町村が管理している避難所や避難場所の情報（避難所データ）であり、この情報（避難所の名称、緯度経度情報など）をもとに「逃げトレ」ではアプリ画面上に、また、「逃げトレ View」では Web 画面上に避難所情報が表示されることになる（図２－４－①－８）。

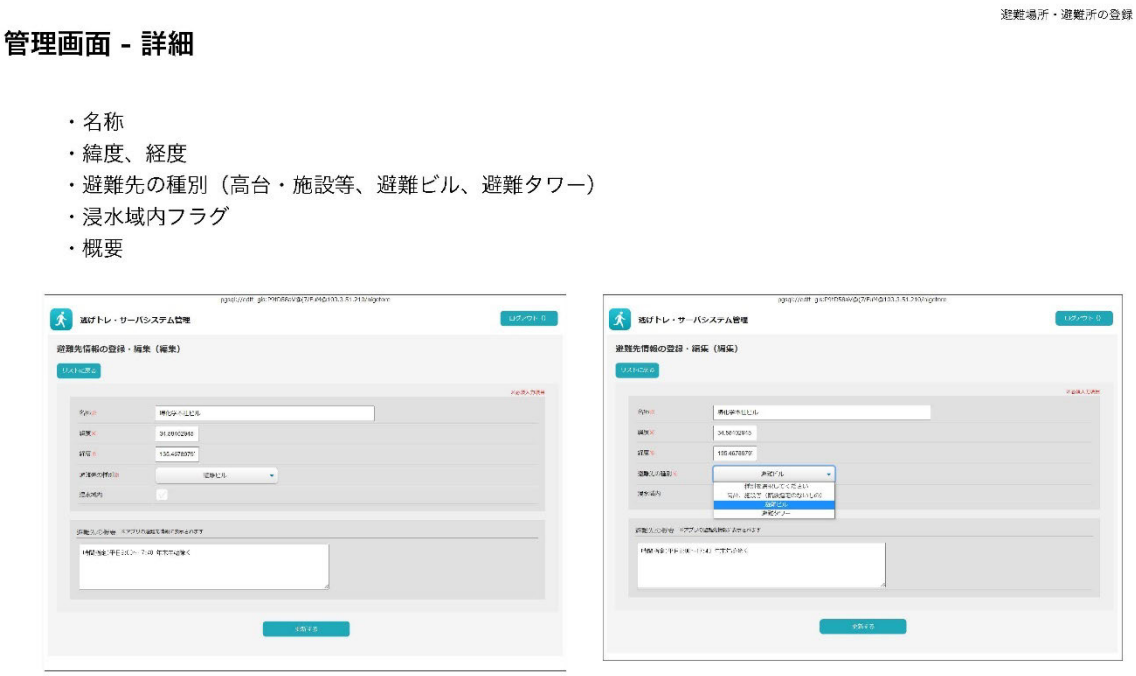


図２－４－①－８　避難所データの入力画面（見本）

第３に、主として地域（面）ごとに津波避難の困難度をとらえ、その改善を図ることが念頭に置かれている「逃げトレ View」について、地域（面）ごとの分析だけでなく、避難経路（線）にフォーカスを当てた活用法についてもその可能性について検討した。具体的には、「逃げトレ View」に集積された避難者個人（点）のデータを、トレース表示（避難開始地点から避難終了地点まで追跡してその経路を「線」として表示）することで、どの経路（道路等）がより多くの避難者（訓練参加者）によって利用されているかを可視化するシステムの開発を試みた。図２－４－①－９は、宮崎市青島地区における実証実験から得られたデータを用いて、このシステムを試行的に活用し結果を表示した成果の一部である。これによって、たとえば、津波浸水が相対的に早く始まると予想されている経路をより多くの人が避難に活用していたり、通行許容量を超えると想定される規模の人数が特定の経路に集中していたりといった避難対策上の課題を見いだすことが期待される。

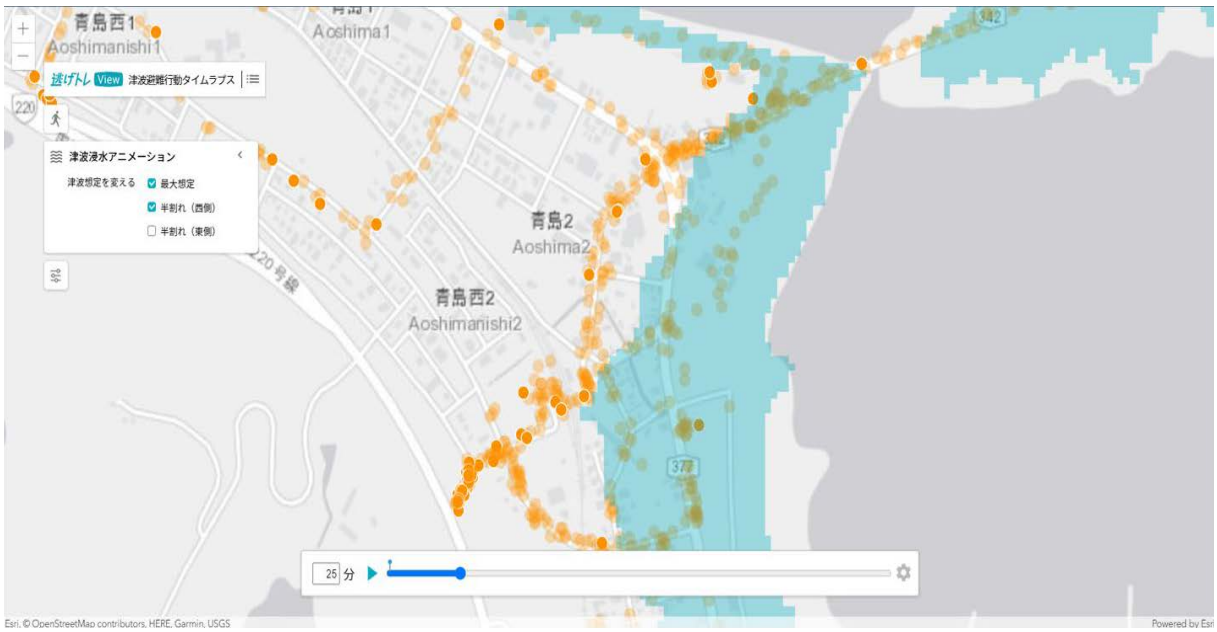


図２－４－①－９　避難経路分析画面（試作版）

最後に、当初独立して開発することを予定していた「広域人口動態予測システム」の機能を「逃げトレ View」の機能の一部として実装するべく、災害発生時に、自治体が指定する避難所や避難場所以外の場所も含めて、地域住民が避難すると想定される場所を推定する機能（避難動態予測機能）を「逃げトレ View」に実装するための準備作業を行った。指定避難所（指定避難場所）以外の場所、たとえば、自然地形の高台にある空地、農地（ビニールハウスなどを含めて）、倉庫などの簡易的な構造物などが、津波避難のための避難所（避難場所）として利用される事例は、東日本大震災（2011 年）でも能登半島地震（2024 年）でも観察された。しかし、こうした場所に避難した住民の把握（だれが、何人程度が、どこに）は遅延しがちで、そのことが、救急救命活動の遅れをも招き、最悪の場合、たとえば、低体温症や投薬・治療の遅れに由来する災害関連死にもつながっている。

以上の意味で、地域住民が、現実的にどこに避難するのかを訓練を通して見定めておくことは重要である。今回開発の準備作業を行った避難動態予測機能はそのためのものである。図２－４－①－10 は、「逃げトレ View」の機能として、避難訓練において避難終了地点ごとに、各種集計・分析（どのような属性の人びとがどの地域から避難してきたのか）して、その結果を表示したものである。図２－４－①－10 では、避難タワー、高台などの避難所（避難場所）に避難した人びとが、避難所マーク（緑白抜き丸印）の周囲に、避難成否の状況（成功、失敗）ごとに塗り分けられたドットで表示されている。今後、これらのデーを場所ごとに、また避難者の属性別に集計する機能をより充実させる計画である。これにより、市町村は、地区ごとの避難動態をある程度事前予測することが可能となり、新たな避難所（避難場所）の設定を考慮したり、避難戦略や初期緊急対応の見直しを行ったりすることができる。

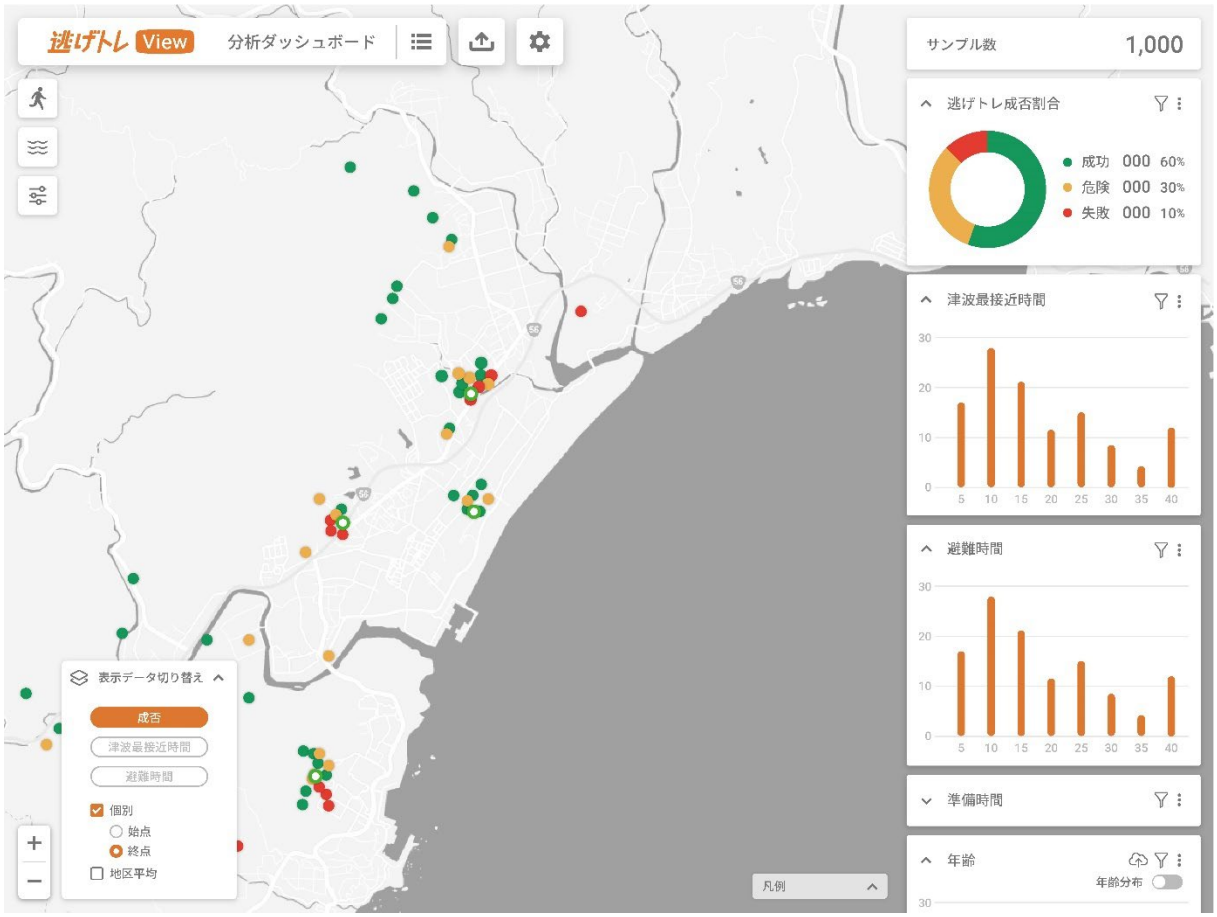


図２－４－①－10　避難動態予測機能の結果表示画面（試作版）

3）アプリ「逃げトレ」の拡充

「逃げトレ」は、もともと、個人ユーザーを対象に、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アプリである。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となる基礎情報（訓練参加者の年齢などの属性情報）を収集することは考慮されていない。

しかし、「逃げトレ View」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など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、アプリ上でユーザーの許諾を得た上で取得する方法を基本とすることになり、まず、アプリ「逃げトレ」の動作フローの全体を再構成し、その中に、ユーザー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。本年度実施した数回の実証実験を経て確定した個別情報の入力システム

によって収集された情報が、訓練参加者（アプリユーザー）に確認のためフィードバックされる確認画面を図２－４－①－11 として例示しておく。



図２－４－①－11　参加者が入力した属性情報を「逃げトレ」上で確認する画面

4）具体的な業務手順

最後に、以上の開発および実装業務の具体的手順について記しておく。以上の業務は、第１に、研究チーム（主に「逃げトレ View」のシステム制作とデザイニングを担う研究分担者）によるリサーチ・ミーティング、第２に、テストフィールドにおける実証実験（アプリ「逃げトレ」の改修版、WEB システム「逃げトレ View」の開発、稼働状況確認、ユーザーからのフィードバックを得るためのインタビューなどを含む）などを中心とした。その概要は、表２－４－①－１、および、表２－４－①－２の通りである。なお、後者（表２－４－①－２）については、本研究に直接関連する用務以外にも、関連事業として実施した案件についてもリストアップしてある。

表２－４－①－１ 令和５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５年４月 12 日	７人	今年度の業務内容と分析プラッフォーム（逃げトレ View を指す、以下同様）のデザインに関する協議
令和５年５月 19 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料の取りまとめに関する協議
令和５年６月 20 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料（ぼうさいこくたいを含む）の取りまとめに関する協議
令和５年７月 28 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料（ぼうさいこくたいを含む）の取りまとめに関する協議
令和５年８月 25 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料（ぼうさいこくたいを含む）の取りまとめに関する協議
令和５年９月 13 日	３人	逃げトレのテストランについての協議
令和５年 10 月２日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料（ぼうさいこくたいを含む）の取りまとめに関する協議、テストラン（高知県）の報告
令和５年 11 月 24 日	６人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料の取りまとめに関する協議、黒潮町役場に対する聞き取り結果の共有
令和５年 12 月 22 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料の取りまとめに関する協議、テストラン（宮崎県）の報告
令和６年１月 26 日	８人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料の取りまとめに関する協議
令和６年２月 29 日	７人	分析プラッフォームのデザインと逃げトレの広報資料の取りまとめに関する協議、テストラン（宮崎県）の報告
令和６年３月 28 日	７人	分析プラッフォームの開発とデザインに関する本年度事業の総括と来年度の計画策定

表２－４－①－２ 自治体関係者等への聞き取り等の概要

日時	参加人数	聞き取り対象（自治体等）	調査項目・聞き取りアジェンダ
令和５年４月 20 日	20 人	黒潮町浜町地区	臨時情報の認知状況と「逃げトレ」を用いた訓練のニーズに関する聞き取り
令和５年６月 16 日	30 人	新富町役場	臨時情報に関する職員対応訓練の実施
令和５年７月６日	４人	宮崎空港ビル株式会社	逃げトレ View の利用ニーズに関する聞き取り
令和５年８月 30 日	20 人	宮崎県庁・宮崎県の沿岸自治体	臨時情報に関するトレーニングセミナーの実施
令和５年９月 12 日	８人	黒潮町入野地区・大方児童館	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年９月 22 日	15 人	黒潮町芝地区	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年 10 月 13 日	９人	黒潮町入野地区・大方児童館	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年 10 月 16 日	15 人	黒潮町役場・情報防災課・住民課・黒潮町社協・大方高等学校	「逃げトレ View」の利用ニーズに関する聞き取り
令和５年 11 月４日	４人	黒潮町万行地区	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年 11 月 16 日	７人	黒潮町下田の口地区	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年 12 月６日	40 人	宮崎市立青島小学校	「逃げトレ」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和５年 12 月 27 日	４人	高知県教育委員会	「逃げトレ View」の利用ニーズに関する聞き取り
令和６年１月 30 日	30 人	黒潮町役場	臨時情報に関する職員対応訓練の実施
令和６年２月９日	４人	高知県立大方高等学校	「逃げトレ View」の利用ニーズに関する聞き取り
令和６年２月 15 日	３人	宮崎県庁・危機管理局 危機管理課	「逃げトレ View」の利用ニーズに関する聞き取り
令和６年２月 23 日-２月 24 日	20 人	五ヶ瀬中等教育学校、日南高等学校、青島地区	「逃げトレ」と「逃げトレ View」を用いた訓練の UX についての聞き取り
令和６年３月 22 日	３人	宮崎県庁・危機管理局 危機管理課	「逃げトレ View」の利用ニーズに関する聞き取り

（c）結論ならびに今後の課題

まず、本プロジェクトの基幹ツールである Web ツール「逃げトレ View」と、そのベースとなるアプリ「逃げトレ」の２つの基幹ツールを包括した全体システム「逃げトレサービス」の全体構想を固めた。

その上で、次に、「逃げトレ View」については、昨年度までに完成させたプロトタイプをもとに、事前避難の要不要について検討するため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拡充して、「逃げトレ View」という形で構築した。さらに、「逃げトレ View」におけるシミュレーション機能、訓練参加者を地域別に集計し結果を表示する「参加者モニター」、避難場所の基本情報を自治体が入力するための機能、避難ルートの活用状況や津波浸水リスクとの関係を分析するための「避難経路分析機能」、自治体指定以外の場所も含めてどこにどの程度の人が避難するかと予測する「避難動態予測機能」についても実装および検討を行った。

この開発研究と並行して、「逃げトレ View」に臨時情報発表時に想定される津波浸水想定など、複数の津波シミュレーションを新たに実装するため、サブ課題２（g）との連携により、いわゆる「半割れ」ケースで発生が予想される津波浸水シミュレーションも「逃げトレ View」への実装を完了した。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「逃げトレ View」に実装した。

さらに、「逃げトレ View」の開発に伴って必要となるアプリ「逃げトレ」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（性別、年齢や、避難時の支援の必要性など）を、ユーザーの了解のもとで収集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た。さらに情報をユーザーが確認する画面も新設し、「逃げトレ」の機能を拡充した。

以上の開発研究とともに、テストフィールド（高知県内の自治体、および、他のプロジェクトとも連携した宮崎県内の自治体）で、「逃げトレ」の拡充版、および、「逃げトレ View」に関して、テストフィールドにおける実証実験（アプリ「逃げトレ」の拡充版の動作テストや「逃げトレ View」の稼働状況確認）、および、ユーザーからのフィードバックを得るためのインタビュー調査などを実施した。あわせて、これらの成果を踏まえて、最終年度の出口戦略を念頭に「逃げトレ View」の「ガイドマニュアル」も作成した。

今後の課題は、第１に、「逃げトレ」の拡充版、および、「逃げトレ View」の実証実験をテストフィールドで、より大規模かつ継続的に実施することである。特に、「逃げトレ View」については、本年度から本格的に開発を開始した「避難経路分析機能」および「避難動態予測機能」を中心に、さらなるユーザビリティテストが不可欠で、潜在的なユーザーである自治体職員や自主防災組織のリーダーなどの協力を得て、現場に密着した開発作業をさらに継続する必要がある。また、「逃げトレ」についても、スマートフォンの OS のバージョンアップや機種更新などに合わせて常にアップデートが求められる事情もあり、上述した機能拡充のための作業と並行して、こうした維持管理業務も継続して実施する必要がある。

第２に、「逃げトレ」や「逃げトレ View」を活用して事前避難の要不要について検討することについては、その必要性をさらに啓発することが不可欠の状況である。この啓発活動は、「臨時情報」本体の認知度向上の作業と並行して進める必要があり、本年度完成させ

た「ガイドマニュアル」を実際に利用した活動をさらに展開することが今後の課題となる。
来年度は、以上の課題を中心に研究開発を進める予定である。

(d) 引用文献

なし

(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
Bridging a gap between disaster information and actions（口頭）	Katsuya Yamori	The 14th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management	2023.9	国外
訓練行動データを用いた津波避難戦略ツールの開発と検証（口頭）	杉山高志 矢守克也 卜部兼慎 西野隆博 中村洋光 土肥裕史 前田宜浩	日本災害情報学会第27回学会大会	2023.10	国内
「津波てんでんこ」のための認識共有における親子間の会話に関する研究（口頭）	岡田夏美 矢守克也	日本災害情報学会第27回学会大会	2023.10	国内
中・長期的な防災教育効果の持続のための教育カリキュラム構築に関する考察（口頭）	岡田夏美 中野元太 大西祐輔 藤本温子 矢守克也	災害情報学会第28回大会	2024.3	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
学校防災教育における対話的評価手法の開発に関する研究―「主体的・対話的で深い学び」をめざして―	岡田夏美 矢守克也	防災教育学研究	2023.9	国内

Operational earthquake forecasting in Japan: A study of municipal government planning for an earthquake advisory or warning in the Nankai Region.	Goltz.J.,Yamori,K., Nakayachi,K., Shiroshita,H., Sugiyama,T., Matsubara, Y.	Seismological Research Letters	2024.1	国外

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

津波避難戦略検討支援システム、津波避難戦略検討支援方法、およびコンピュータプログラム（届出時名称：逃げトレ View）、出願番号：特願 2022-168310、出願日：令和４年 10 月 20 日、現在審査中

2) ソフトウエア開発

名称	機能
「逃げトレ View」	「臨時情報」発表時の事前避難の要不要の程度について検討するための情報を、アプリ「逃げトレ」によって収集された避難訓練の行動ログデータの分析とシミュレーション機能によって提供する。

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っている。本年度は、「避難を可能にする」まちづくりの検討のために必要となる津波遡上時間の検討、「逃げ地図」ワークショップ成果への遡上時間の重ね合わせ、「避難を可能にする」ワークショップの実施ならびに避難可能なまちづくりの方向性について検討を行った。

(b)業務の成果

1) 津波遡上時間の検討

昨年度実施した「逃げ地図」ワークショップの結果、集落内の各場所における津波から安全な場所まで移動するのに必要な時間が明らかになった。津波から避難可能なまちを考える際には、各場所における津波浸水開始時間が必要であり、津波遡上時間の検討を行った。

津波遡上計算については、和歌山県の津波シミュレーションデータから「南海トラフ」の津波計算で使用されている波源データや対象津波の選定結果を確認し、串本町田原地区に対して「最悪のシナリオとなる津波波源」と「最も助かりそうな津波波源」の選定を行った。最悪のシナリオとなる津波波源としては、串本町で浸水想定の波源として検討されている内閣府津波想定のケース 10（最悪のシナリオとなる津波波源）と、串本町田原地区への影響が小さくなる波源として内閣府津波想定ケース 3（最も助かりそうな津波波源）を選定した。

選定した「最悪のシナリオとなる津波波源」を用いて、津波の浸水深が 0.1m、0.3m、0.5m に到達する時間を整理した。串本町田原地区における陸域の計算メッシュにおいて、浸水深が 0.1m に到達した時間、浸水深が 0.3m に到達した時間、浸水深が 0.5m に到達した時間を図２－４－②－１に示す。

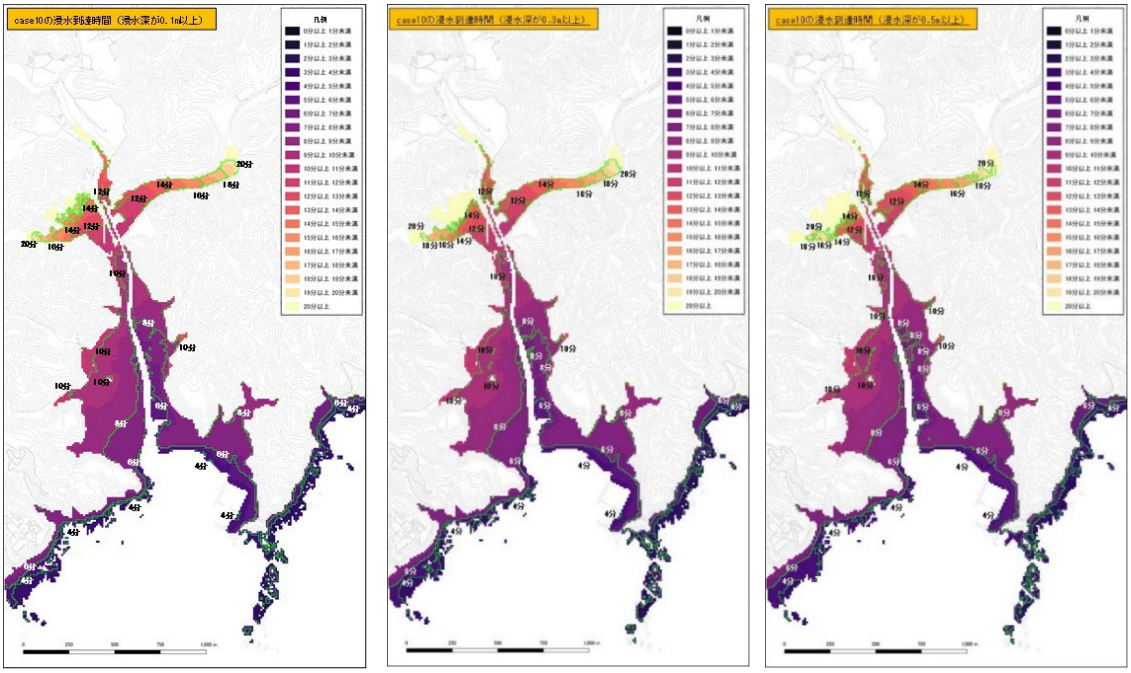


図２－４－②－１　京都大学防災研究所で再現した最悪のシナリオとなる津波波源での津波到達時間（0.1m、0.3m、0.5m）

選定した「最も助かりそうな津波波源」を用いて、津波の浸水深が 0.1m、0.3m、0.5m に到達する時間を整理した。串本町田原地区における陸域の計算メッシュにおいて、浸水深が 0.1m に到達した時間、浸水深が 0.3m に到達した時間、浸水深が 0.5m に到達した時間を図２－４－②－２に示す。

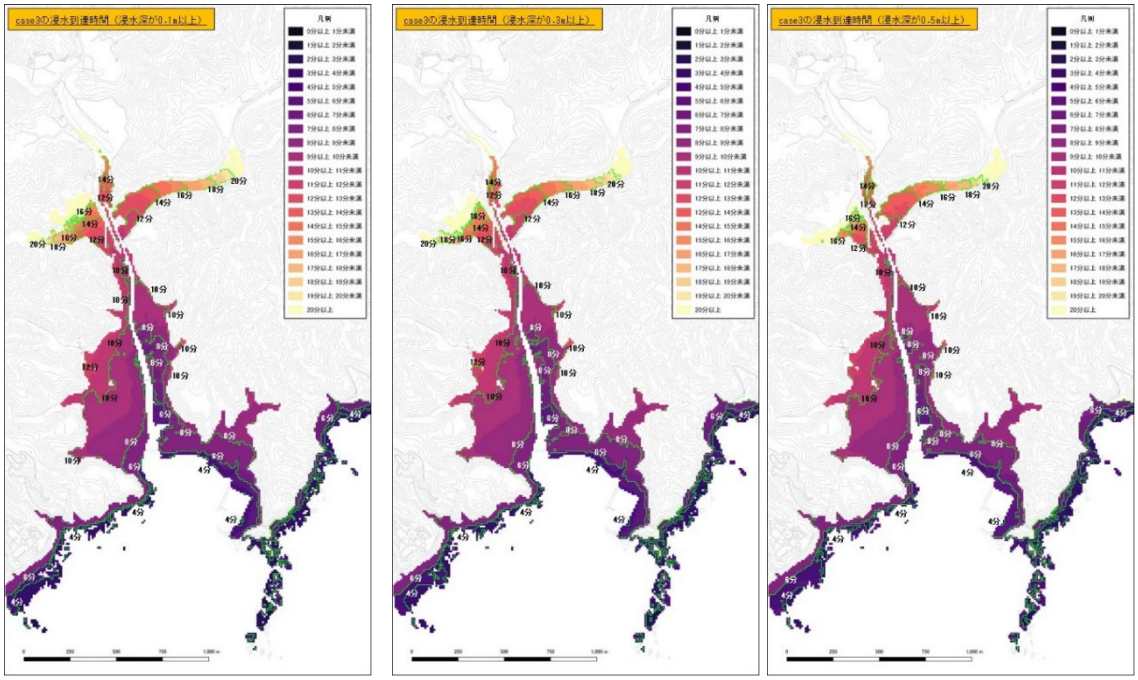


図２－４－②－２　京都大学防災研究所で再現した最も助かりそうな津波波源での津波到達時間（0.1m、0.3m、0.5m）

2）津波遡上時間の「逃げ地図」ワークショップ成果への重ね合わせ

令和４年度に実施した「田原地区における『逃げ地図』づくりワークショップ」から得られた手書きの４つのシナリオの逃げ地図を ArcGIS にて正確にデータ化した。各シナリオの避難目標地点を基準に３分間の移動距離である 129m（逃げ地図の基本設定通りで、後期高齢者が傾斜度 10 度の坂道を歩く時の速さを 43m/分と仮定）ずつ、緑と黄緑、黄、橙、赤の順に示した。

次いで上記のデータの上に、「最悪のシナリオとなる津波波源」を前提とした浸水深 0.3m に津波が到達する時間を重ね合わせた。その結果を図２－４－②－３から図２－４－②－６までに示す。避難目標地点に関するシナリオごとの考えが異なっていたため単純比較することは難しいが、すべてのシナリオにおいて共通的な避難困難エリアが 2 箇所みられた。楽観的なシナリオ（シナリオ１）を除き、シナリオ２～４においては避難困難なエリアが他にも部分的にあった。特に危険箇所（図面上の「×」印）がある道を通れないことによる避難時間の遅延が課題であるとみられる。

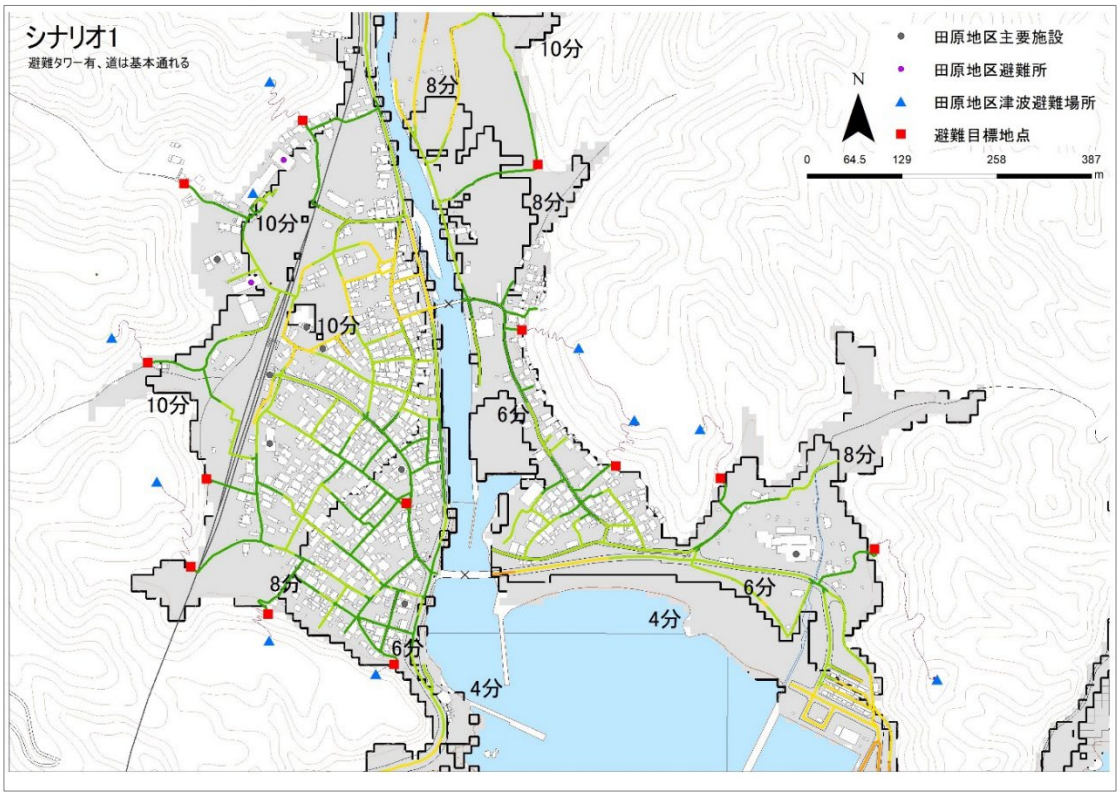


図２－４－②－３　シナリオ１と津波遡上時間の重ね合わせ結果（津波遡上時間は京都大学防災研究所がシミュレーションで再現したデータを利用）

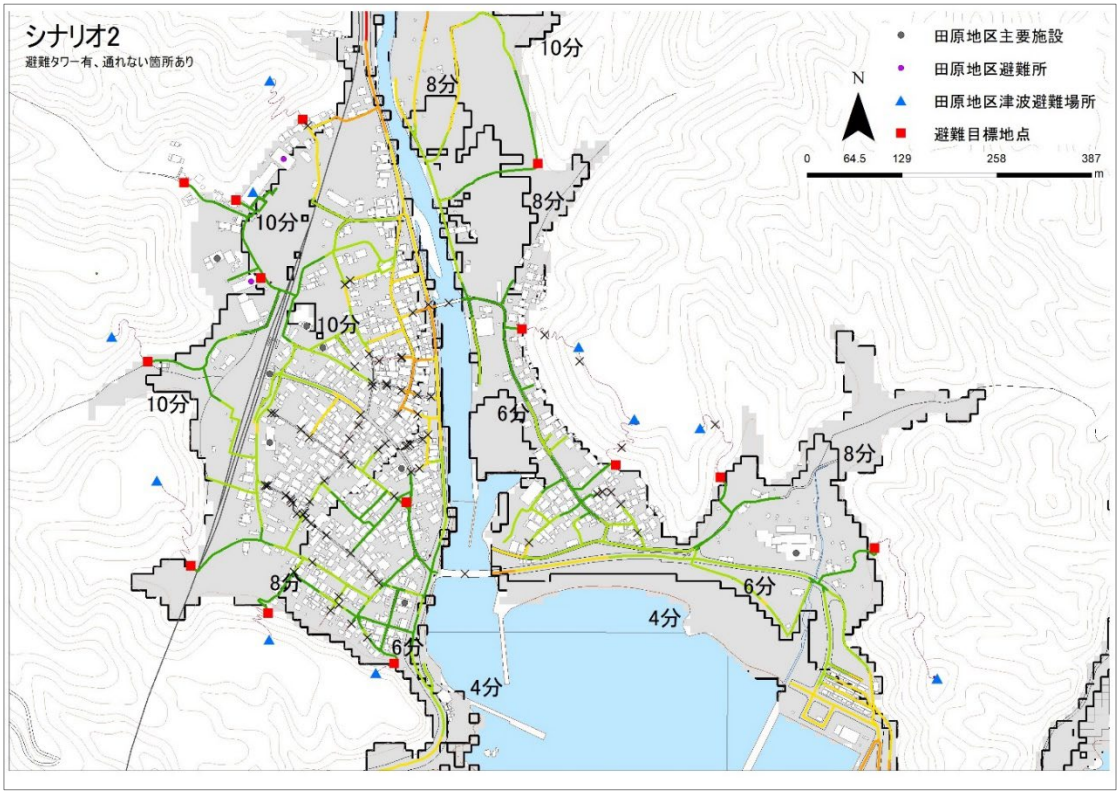


図２－４－②－４　シナリオ２と津波遡上時間の重ね合わせ結果（津波遡上時間は京都大学防災研究所がシミュレーションで再現したデータを利用）

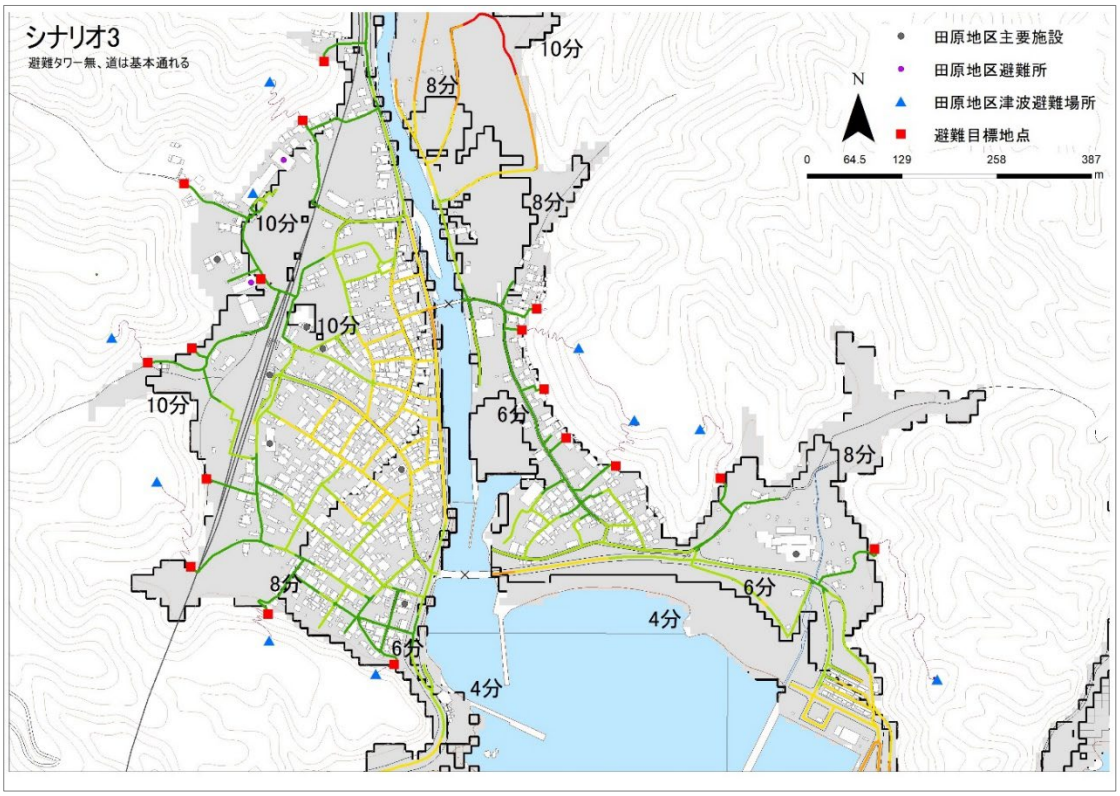


図２－４－②－５　シナリオ３と津波遡上時間の重ね合わせ結果（津波遡上時間は京都大学防災研究所がシミュレーションで再現したデータを利用）

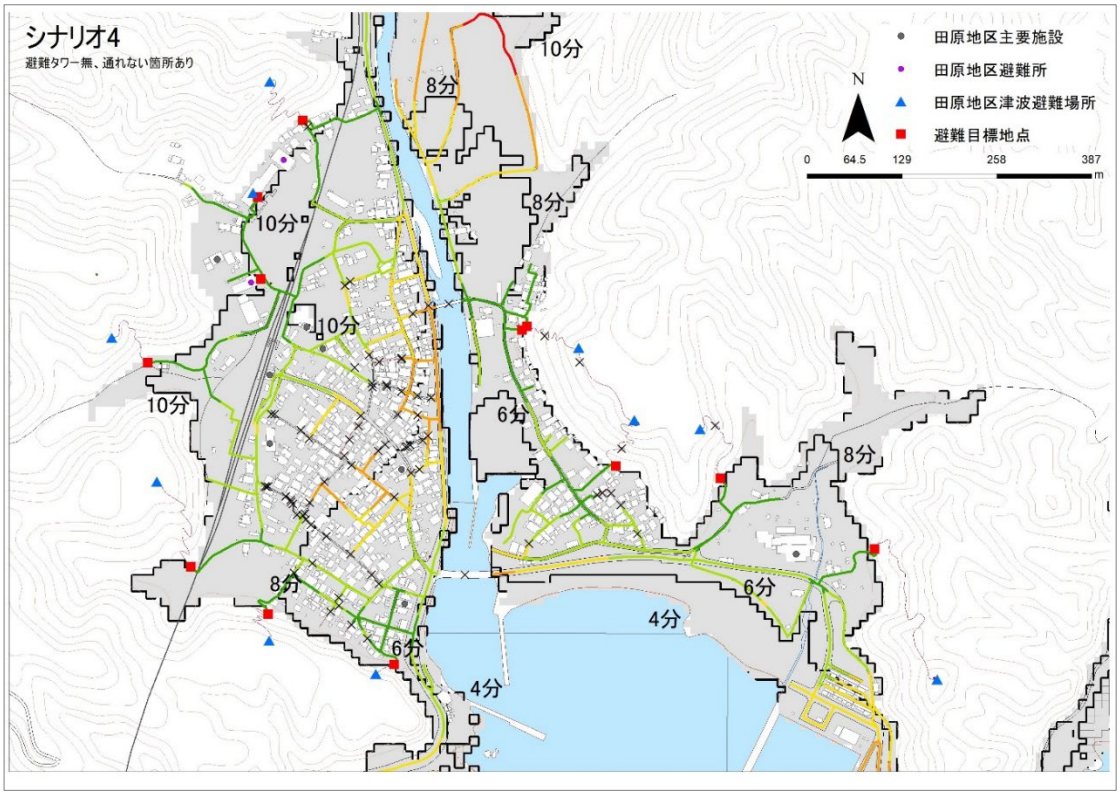


図２－４－②－６　シナリオ４と津波遡上時間の重ね合わせ結果（津波遡上時間は京都大学防災研究所がシミュレーションで再現したデータを利用）

3)「避難を可能にする」ワークショップの実施ならびに避難可能なまちづくりの方向性についての検討

令和６年２月 26 日に和歌山県串本町田原地区の山村交流センターで「田原地区の避難について考えるワークショップ」（以下、「WS」と略す）を開催した。参加者は計 11 人（男性８人、女性３人）で３つの班に分かれて作業を行った。今回の WS は「田原地区における『逃げ地図』づくりワークショップ」の成果[1)]をもとにより避難についての検討をより深化させていくものであった。そのため、図２－４－②－７のように南海トラフ巨大地震の被害想定、昭和南海地震による被害、昭和東南海地震による被害をもとにリスクと避難の課題抽出を行った上で、気づきや今後取り組むべきことについて話し合った。

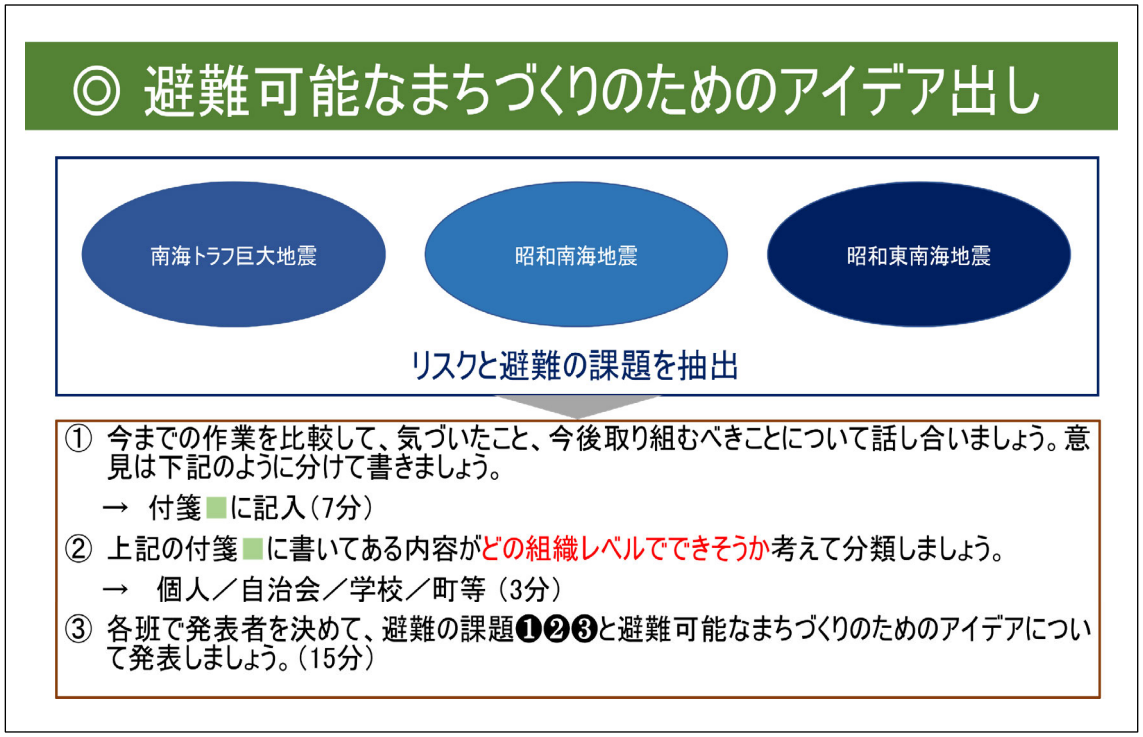


図２－４－②－７　避難可能なまちづくりのための検討内容

まず、南海トラフ巨大地震の被害想定における４シナリオの逃げ地図（図２－４－②－３～図２－４－②－６）について班ごとの気づきを付箋に書き込んだ（図２－４－②－８）。その結果を表２－４－②－１に示す。

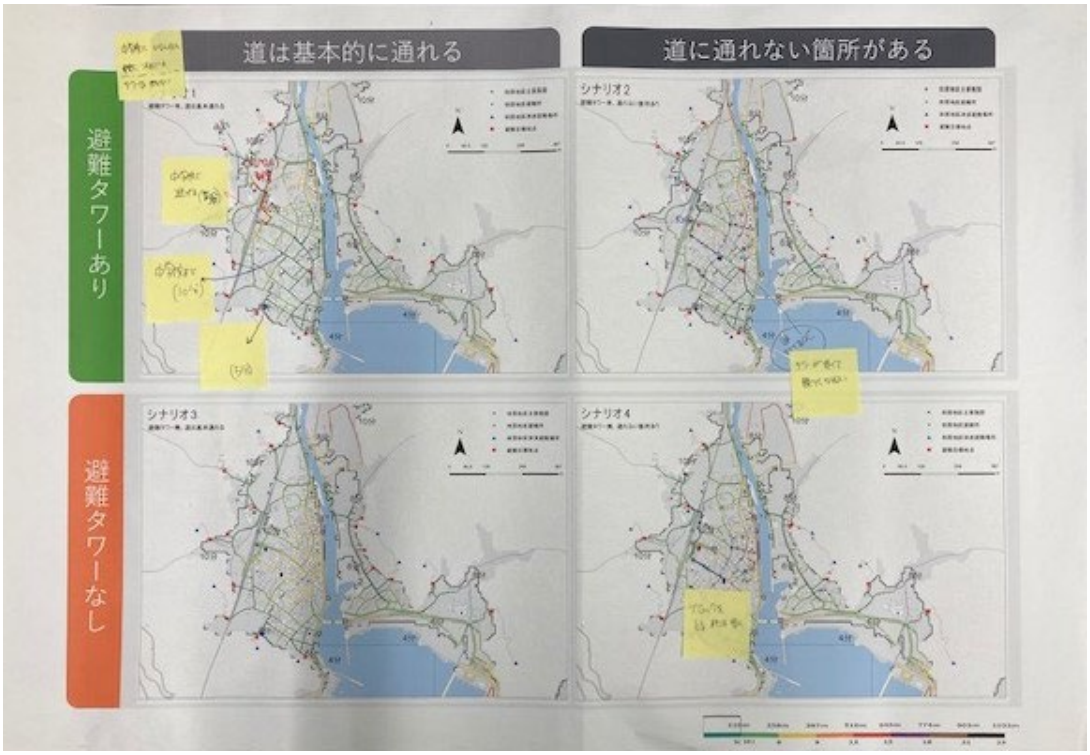


図２－４－②－８　避難可能なまちづくりのための検討内容　（例）

表２－４－②－１　南海トラフ巨大地震の被害想定における逃げ地図からの気づき

区分	１版	２班	３班
シナリオ１（避難タワー有、道は基本通れる）	・避難タワーは近いが、避難に不安がある ・避難場所までの最短ルートが確認できた	・自宅が無事であれば、６分以内に避難できるのは安心 ・自宅で地震が発生した際、外に出られるのかが課題	・避難タワーが最も違いが、中学校に逃げると決めている ・決めている避難場所まで（中学校まで）５分、10分、（山上まで）５分かかることを確認している ・家と家の隙間を利用すると、より最短で移動でき、ブロック塀がないことも確認している
シナリオ２（避難タワー有、通れない箇所あり）	・１つだけでなく、複数の避難経路の確認が必要 ・視覚的資料より、津波到達時間以内に逃げ切れるとあらかじめ確認できた ・道以外にも、家と家の隙間を通るとより最短で避難できると思う ・通る予定だった道が通れなくなると避難が困難	・最も逃げたい五平山に行けない場合は困る ・ブロック塀を避けるため、通道の整備が必要	・タワーは 20 年前に造られたが、津波予想高さより低いため、頼りにならない
シナリオ３（避難タワー無、道は基本通れる）	・タワーがなくても避難経路に問題なければ、逃げ切れる	・避難タワー付近住民の避難時間がかかってしまう	・避難タワーは使わないと決めているため、シナリオ１の状況と変わらない

シナリオ４（避難タワー無、通れない箇所あり）	・避難困難の世帯が増える	・液状化現状が起こる ・通れない道が多くなることを想定しておく必要がある	・ブロック塀を取る又は低くして、避難経路を確保する必要がある

次に、昭和南海地震の被害をもとに気づきと避難の課題について話し合った。昭和南海地震の被害については、経験者の方から事前にヒアリング調査を行い、それをもとに被害範囲の推定図を作った上で、WS で被害に関する追記を行った。その後、地形の変化に関する理解の上で、現在の避難の課題をまとめた（図２－４－②－９、表２－４－②－２）。



図２－４－②－９　昭和南海地震の被害で考えた場合の避難課題と気づきの成果物

表２－４－②－２　昭和南海地震の被害をもとに考えた場合の避難課題と気づきのまとめ

区分	
個別避難・各地点の課題	・トンネルから来る波に注意が必要 ・線路を超える津波が来たら避難が難しい ・トンネルから来る水を考慮して、早く線路の外に逃げる ・せーべの平見への避難経路は危険だと思われる（津波が来る前の避難が必要） ・五平山までは、初めての人が逃げるには困難があると思う ・たん谷までの避難経路は、途中から歩きにくいため、少し不安がある ・現在の避難場所では山崩れの可能性がある箇所がある

地区全体としての課題	・路地が多いことから、家屋倒壊で避難路がわからなくなる ・昭和南海の際は若者が多かったが、現在は高齢者が多いため、被害が大きくなると思う ・昭和南海の際に比べ現在は障害物が多いため、津波被害が大きくなると思う
気づき・提案	・旧田原中学校は山崩れの危険性が低く、昼も夜も逃げやすことから最も適していると思う ・水道が切れることを考え、共用の井戸の利用を考慮してほしい（個人井戸も 2 件程あると聞いている）

昭和東南海地震については詳細な被害情報を得ることが難しく、避難の課題についての話し合いまでは至らなかった。

最後に WS 全体の作業を通して避難可能なまちづくりのための気づきとアイデアを班ごとに整理したものを表２－４－②－３に示す。

表２－４－②－３　避難可能なまちづくりのための気づきとアイデア

区分		1 班	2 班	3 班
個人	災害前	・各家庭で避難場所の確認をしておく ・住宅内の避難経路を確保しておく ・避難用品（ライト等）を準備する	・避難場所を決めているが、そこまでの経路が安全であるのかを確認する ・避難経路の整備	・中学校に避難すると決めている（行きやすい、歩きやすい、道幅が広い、備えがしっかりしている） ・家の外で災害が発生した時にどこに逃げるかを考えておくべき
	発災時	―	―	・避難前に電気ブレーカーを落とす ・トンネルから来る水を考慮して、早く線路の外に行くべき
地区		・高齢者を助けられるのか ・巨大地震の想定が大きいため、諦めている人の話を聞く	・高齢者が多いため、避難場所まで行くのが難しい ・区レベルで一斉清掃を行い、山裾の逃げ道を確保する	・山崩れも意識して避難場所を考える
町	災害前	・空家倒壊による路地の閉鎖が考えられるので町での取り組みが必要	・避難経路の点検が必要（避難経路での倒壊が危ない、蔓が邪魔になっている） ・夜間地震の街灯整備が必要 ・空家が多い場所が点在している ・一時避難場所の整備 ・避難所（旧田原中学校）の整備を充実させる ・避難タワーが必要	・想定外（自宅外）の場所からの避難訓練が必要 ・避難タワー（9m）が低いため、避難するには不安がある ・避難経路確保のために、ブロック塀を取る又は低くする必要がある
	発災時	・災害が発生した時に行政はいつ来るのか確認が必要 ・最終避難所の食料で足りるのか（約 2000 食）	・避難所（旧田原中学校）での避難生活が心配 ・避難所におけるトイレ問題	・水道が止まることも想定して備えて欲しい（井戸を積極的に利用するのはどうか、地区には共用の井戸が 1 件あり、個人で持っている家があると聞いている）

(d) 結論ならびに今後の課題

串本町田原地区を対象に津波遡上シミュレーションを行い、地点ごとでの津波遡上までの時間を得た。

次いで、逃げ地図と津波遡上時間を重ね合わせることによって、避難経路と津波遡上時間の関係性が視覚化できた。これにより、避難困難のエリアが明確になったことから、改善が必要なエリアが明らかになったと言える。

「田原地区の避難について考えるワークショップ」では南海トラフ巨大地震による津波到達時間と逃げ地図の重ね合わせでは避難経路に関する具体的なアイデアが出た。また、昭和南海地震による被害をベースに考えた際には、南海トラフ巨大地震時の浸水想定シミュレーションのみでは気づきにくい地形の変化、建物の増加、高齢化の課題を踏まえた上で今後の避難の課題を考える必要があることが判明した。ワークショップ全体を通しては個人・地区・町レベルで取り組むべき内容について具体的なアイデアを集めることができた。

(e) 引用文献

1) 金玟淑、山本俊哉、牧紀男、森脇環帆、李惠智、早川瑞記：津波から逃げられるまちにするための試みー和歌山県串本町田原地区における逃げ地図づくりを事例としてー、地域安全学会梗概集 No.53、pp.81-84、2023 年 11 月

(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
津波から逃げられるまちにするための試みー和歌山県串本町田原地区における逃げ地図づくりを事例としてー（ポスター発表）	金玟淑 山本俊哉 牧紀男 森脇環帆 李惠智 早川瑞記	第 53 回（2023 年度）地域安全学会研究発表会(秋季)	2023.11	国内

2）学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

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 寄附研究部門特任准教授 寄附研究部門特任助教 産学協同研究部門特任准教授 産学協同研究部門特任助教 センター長・教授 教授 特任准教授 名誉教授 特任助教 研究員 研究員 研究員	平山修久 都築充雄 幸山寛和 小沢裕治 羽田野拓己 飛田潤 富田孝史 木作尚子 福和伸夫 千葉啓広 山崎暢 野村一保 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

(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エ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・なごや強靭化共創センター、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の検討を行った。名古屋大学減災連携研究センター、自治体研究会、あいち・なごや強靭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について開発することを目的として、令和３年度に続

いてインフラおよび個別産業種のデータの整備、分析を実施した。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した。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に向けた、対応ワークシート及び、臨時情報発表時の災害事象の要因分析手法の開発を行った。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のため、社会様相把握のため、水供給の視点から数値解析評価を実施した。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、共有促進のためのワークショップを実施した。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のための事態要素について構造化を行った。

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した。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するとともに、地域と建物群のモニタリングについて地域・観測情報の蓄積とリアルタイム社会様相把握のためのインターフェイス開発を行った。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するとともに、臨時情報発表時の産業活動の萎縮回避のための事前における検討手法についてワークショップの実践を通じて進めるとともに、具体的な事前防災投資による対策技術を検討した。

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５年度業務目的

本研究業務が目指すべき到達目標は、地域や産業界と連携し、南海トラフ地震臨時情報発表時の机上演習に活用するための事態想定シミュレーション手法を構築するものである。したがって、机上演習において、地域や産業界の机上演習参画者に対して、産業構造把握に基づく産業タイムライン、社会様相モニタリング、事態想定に基づいた状況付与を行うことが必要となる。すなわち、南海トラフ地震臨時情報発表という具体的かつ科学的成果に基づく状況付与に対して、参画者がどのように対応するのかを問いかけ、それらの対応に対して、産業タイムラインに基づく地域産業の活動状況、リアルタイムモニタリングで把握されうる地域社会の様相、事態想定シミュレーションで想定さ

れうる状況、あるいは、サブサブ課題２(g)での多様な時間断面でのリスク情報を、状況を付与し、臨時情報対応について検討、検証するものである。これらのことから、今年度においては、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。これまでに整備した地域の高密度地震災害モニタリングシステムについて、試験運用に基づくデータ分析により有効性を検証するとともに、戦略的な観測点設置や効率的な建物被災度把握手法の検討を行う。また地域の基盤情報と観測データを集約し、企業や自治体の災害対応と平常時の訓練・WS への利用を想定したインターフェイスを構築する。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 や 2022 年明治用水頭首工大規模漏水事故時の都市インフラリアルタイムデータからみた事態想定の検討とともに、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。本調査では産業復旧タイムライン、リアルタイムでの社会様相把握、机上演習シナリオに活用可能な事態想定に関する検討を行っており、令和６年１月１日に発生した能登半島地震でのライフライン供給状況と社会様相、事態想定について把握することで、昨年度までの検討結果の検証ならびに臨時情報発表時の社会様相把握に資するものとなることから、能登半島地震におけるライフライン供給状況についての調査研究を実施する。

(2) 令和５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

地震や風水害などの大規模な自然災害では、ライフライン、社会経済活動や産業活動に必要な施設や設備、ロジスティクス（物流）などが被害を受け、サプライチェーンが寸断されることによって、社会経済活動や産業活動が停止し、社会の萎縮が生じることは、これまでの事例からも明らかである。また、緊急事態宣言の発出などの「臨時情報」発表時においても、工場の操業停止、交通機関の運休などが起こりうる。すなわち、社会経済・産業や市民活動の不活性化を通じて、社会の萎縮が生じることになる。こうした萎縮状態は、GDP 等の「結果を示す指標」を用いて、事後的に観測されるのが一般的である。一方で、社会の萎縮を予防、あるいは早期の解消を図る場合、リアルタイムで社会経済活動や産業活動の萎縮状態を予測・把握し、速やかに打ち手を講じることが重要である。

以上を踏まえ、南海トラフ巨大地震に関する「臨時情報」が発表された場合に懸念される産業活動の停滞状況を効果的に予測する手法の確立を目標として本研究に取り組んだ。

(b) 業務の実施方法

本プロジェクトにおける研究の一環として、南海トラフ巨大地震に関する「臨時情報」が発表された場合に懸念される産業活動の停滞状況について予測手法等の確立が最終目標となる。そこで、産業や市民生活に関わりの深い複数の都市インフラに焦点をあて、萎縮状態のモニタリングの可能性について検討した。

今年度は、地域産業への input（投入されるもの）と地域産業からの output（生み出されるもの）に着目し、地域産業の状況を表す簡易構造モデルを構築することを目指すこととし、この簡易構造モデルにより、input をモニタリングすることで地域産業の萎縮状況（萎縮の有無、萎縮程度等）が把握の可否を検証した。

具体的には、西三河地区（西三河工業用水道の供給先）の input データと output データを整理・分析するとともに、簡易構造モデルの重回帰式を作成し、input データの変化により output データが影響を受けることを確認し、簡易構造モデルの妥当性を検証した。

(c) 業務の成果

1) 地域産業の簡易構造モデル

地域産業の構造モデルを簡略化したものを以下に示す。

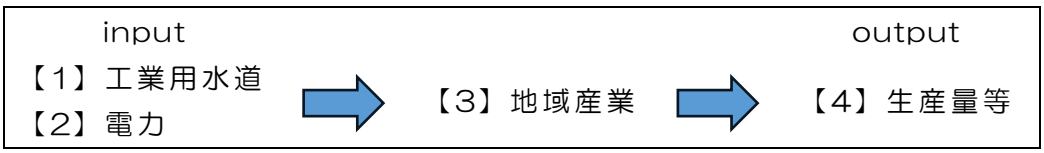


図２－５－①－１ 地域産業の簡易構造モデル

この簡易構造モデルに基づいて input データと output データの相関関係を分析することで、以下に整理する平常時及び非常時Ⅰ～Ⅲの検証が可能となる。本業務ではコロナ禍の緊急事態宣言[1)]と明治用水頭首工事故[2)]に着目して、input データ及び output データの推移の変化や相関関係の分析を行う。よって、検証の対象は以下の項目のうち、平常時及び非常時Ⅰ～Ⅱとする。

【平常時】

・発生している現象：【1】、【2】が投入されて、【3】が活動して、活動の結果が【4】になる。
・分析等：【1】、【2】、【4】の時系列データの相関関係

【非常時Ⅰ 産業が誘因（ex コロナ禍の緊急事態宣言）】

・発生している現象：【3】が止まる（萎縮する）と、【1】、【2】の投入量が減少し、【4】も減少する。
・構造の解釈：input 側が誘因ではないので、【1】、【2】と【4】を観測すれば、産業の萎縮は把握できる。
※【1】、【2】はリアルタイムデータであるため、産業の萎縮がリニアに観測できる。
※【4】は統計データを使うとすれば、タイムラグが生じる。
・分析等：【1】、【2】、【4】の時系列データの相関関係

【非常時Ⅱ インプットが誘因（ex 明治用水頭首工事故）】

・発生している現象：【1】が止まる（減少する）と、【3】が委縮し、【2】の投入量が減少し、【4】も減少する。

・構造の解釈：【2】と【4】を観測すれば、産業の萎縮は把握できる。
※【2】はリアルタイムデータであるため、産業の萎縮がリニアに観測できる。
※【4】は統計データを使うとすれば、タイムラグが生じる。
・分析等：【1】、【2】、【4】の時系列データの相関関係

ただし、明治用水頭首工事故の場合は、【1】、【2】の時系列データは相関関係が確認できないはず。つまり、【2】を観測してもそれほど減少していないという結果になれば、【1】の input が【3】の活動に影響が小さいと推測でき、実際、代替手段として上水道からの供給、自家用井戸などからの input が想定される。即ち、上水道の供給水量や用途別（例えば工場用）の供給水量を確認できれば、【1】が減って上水道の供給量が増えるなどの関係性が見えると考えられる。

※広域長期間停電の場合は、自家用発電機があっても全量は賄えないと考えられ、【1】に影響が出る（【1】で観測できる）と推測される。産業連関表から、自動車産業などは input に占める電力の割合が大きいので、影響が出やすい。

【非常時Ⅲ 需要が誘因（ex 遠隔の需要地が被災など)】※検証対象外
・発生している現象：【4】が減少して、【3】が委縮し、【1】、【2】の投入量が減少する。
・構造の解釈：【1】、【2】を観測すれば、産業の萎縮は把握できる。
※【1】、【2】はリアルタイムデータであるため、産業の萎縮がリニアに観測できる。
・分析等：【1】、【2】、【4】の時系列データの相関関係

2）西三河地域の input データ

a）工業用水道データ

i）工業水道データの概要

愛知県企業庁から提供された西三河工業用水道事業の供給先企業の情報[3]に基づいて、独自に企業の所在地、業種等を整理した。なお、業種は「日本標準産業分類－中分類」[4]に基づいて設定した。以下に、西三河工業用水道事業のおおよその配水系統分類[5]を示す。

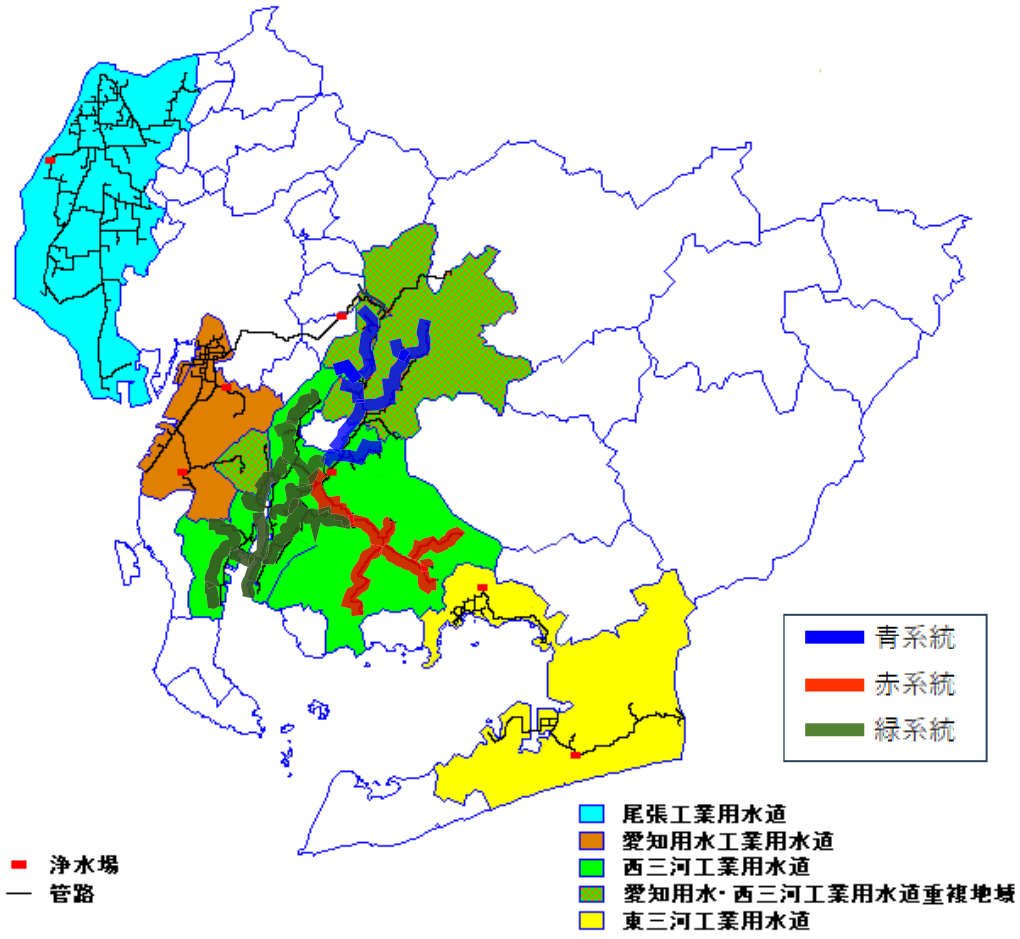


図２－５－①－２　西三河地域主力浄水場からの系統別の工業用水供給先のイメージ

なお、企業の所在地と業種から、配水系統（図２－５－①－２に基づき、以降、青系統、赤系統、緑系統と称す）毎の特徴なども確認した。西三河工業用水道全体の業種別契約水量比率（独自で推定）を、図２－５－①－４と比較すると、その割合は概ね整合していることが確認でき、業種の想定に妥当性があるといえる。

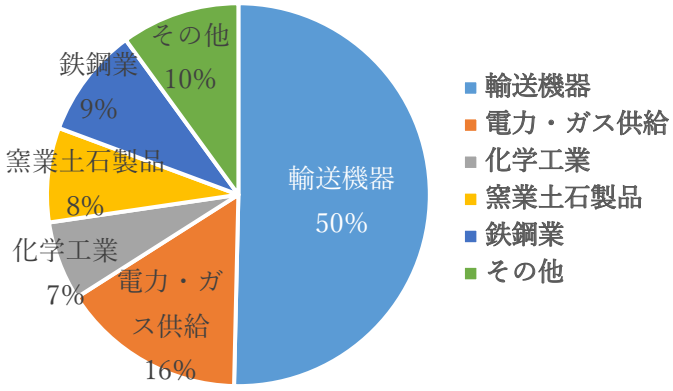
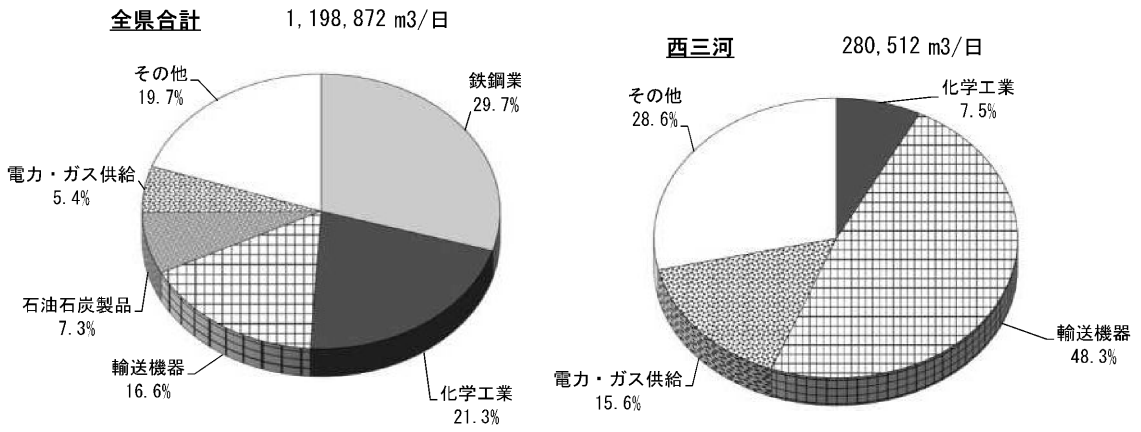


図２－５－①－３　西三河工業用水道の業種別契約水量比率



※業種は「日本標準産業分類－中分類」の 24 製造業に「雑用水利用」、「電力・ガス供給事業」を加えた 26 業種で分類

図２－５－①－４　業種別契約水量比率（令和２年度末　公表データ）

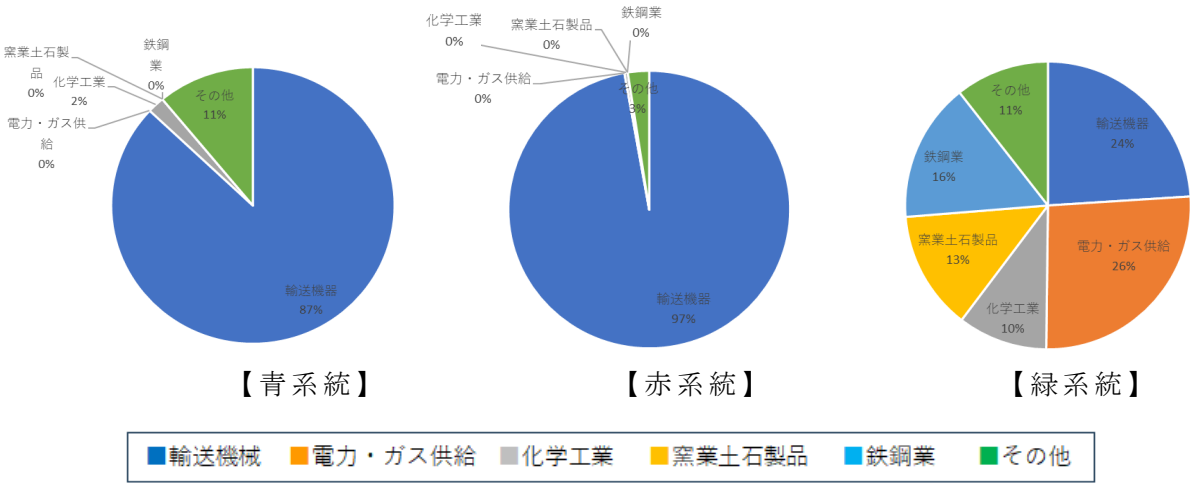
この結果を踏まえて、企業の所在調査結果に基づいて、配水系統別に分類した結果、配水系統ごとに以下の特徴があることが確認できた。

・青系統、赤系統

輸送機器に占める割合が高い。

・緑系統

輸送機器だけでなく、様々な業種が供給先となっており、電力・ガス供給の割合が最も高い。



【青系統】　【赤系統】　【緑系統】

図２－５－①－５　業種別契約水量割合

ⅱ）工業用水道データの推移

水道事業者より提供を受けた西三河地域主力浄水場の水量データ（取水量、全配水量、青系統配水量、赤系統配水量、緑系統配水量 2017 年４月１日～2022 年 10 月 26 日時間別水量データ）について、水需要等の推移を整理する。なお、０時～24 時までのデータを１日として、集計等を行った。

図２－５－①－６～図２－５－①－10 は縦軸に７日間移動平均の１日水量（グラフ毎の水量を考慮してレンジを最適化）とした推移を示す。また、着目するべき外的要因のイベントは以下に示すとおりである。

表２－５－①－１ イベント発生時の経緯

【非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言など（愛知県）】

緊急事態宣言①	2020/4/16	～ 2020/5/14	（最長：2020/4/7～2020/5/25）
緊急事態宣言②	2021/1/14	～ 2021/2/28	（最長：2021/1/8～2021/3/21）
まん延防止等重点措置①	2021/4/20	～ 2021/5/11	
緊急事態宣言③	2021/5/12	～ 2021/6/20	（最長：2021/4/25～2021/6/20）
まん延防止等重点措置②	2021/6/21	～ 2021/7/11	
まん延防止等重点措置③	2021/8/8	～ 2021/8/26	
緊急事態宣言④	2021/8/27	～ 2021/9/30	（最長：2021/7/12～2021/9/30）
まん延防止等重点措置④	2022/1/21	～ 2022/3/21	

【非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故】

取水停止	2022/5/17 ～
受水停止	2022/5/18 ～
通常の30%受水	2022/5/19 ～
通常の50%受水	2022/6/1 ～
通常の75%受水	2022/6/27 ～
通常の85%受水	2022/8/3 ～
通常	2022/8/29 ～

2020 年と 2022 年にコロナ禍による緊急事態宣言と明治用水頭首工事故の影響が確認できる。

- コロナ禍による緊急事態宣言は５月中旬までであるが、その影響が８月下旬（お盆休み明け）まで継続していることも確認できる。
- 明治用水頭首工事故による受水制限の影響から段階的に回復していることが確認できる。しかし、受水制限が解除されても過年度の取水量や配水量まで回復していないことが確認できる。
- 配水系統（青系統、赤系統、緑系統）でも傾向は異なっていることが確認できる。例えば、コロナ禍による緊急事態宣言による影響として、図２－５－②－８（青系統）と図２－５－①－10（緑系統）では配水量の減少が確認できるが、図２－５－②－９（赤系統）では配水量の減少は確認できなかった。

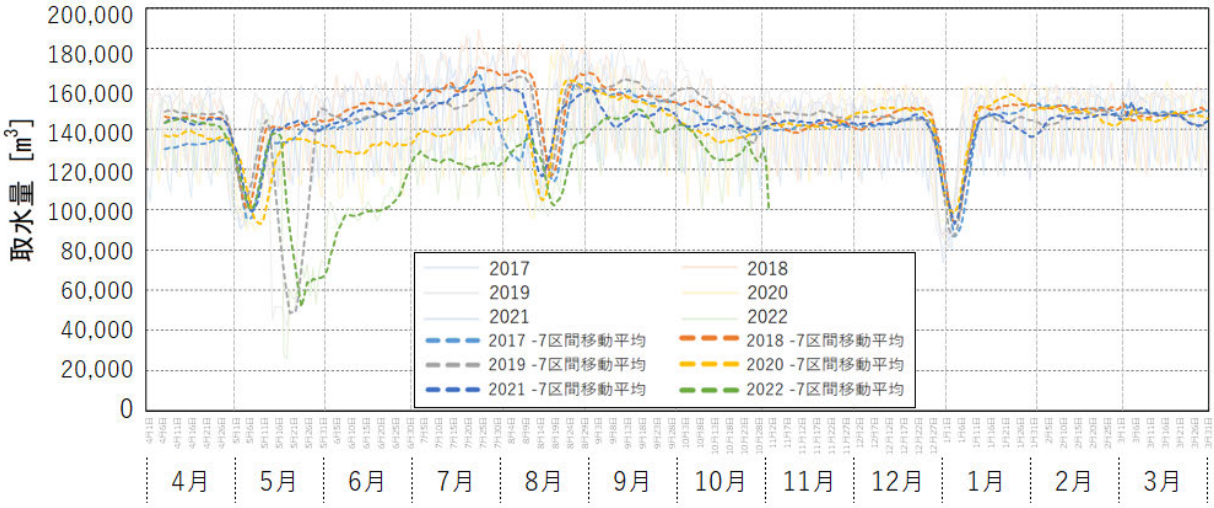


図２－５－①－６　西三河地域主力浄水場の取水量の推移（７日間移動平均）

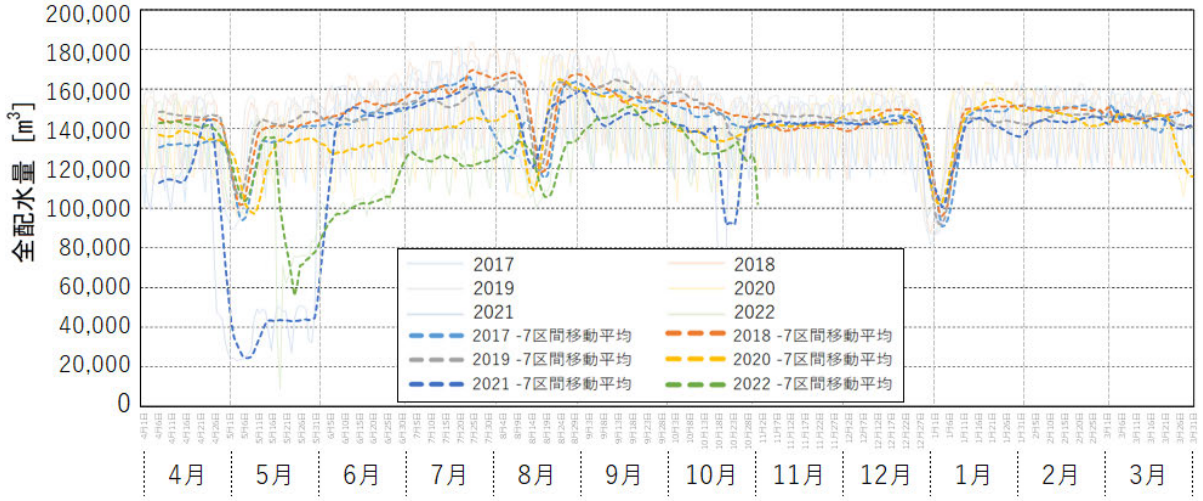


図２－５－①－７　西三河地域主力浄水場の全配水量の推移（７日間移動平均）

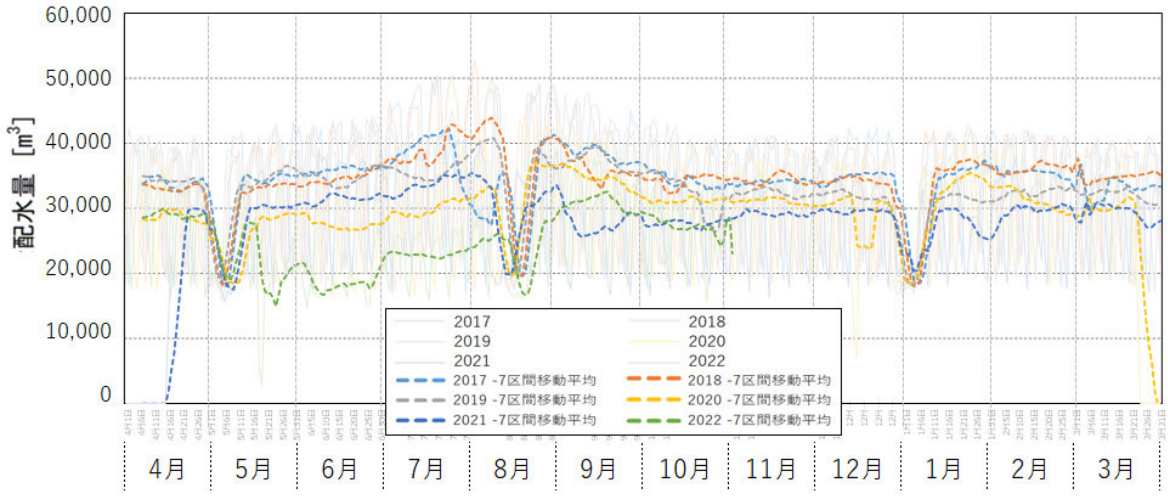


図２－５－①－８　西三河地域主力浄水場の青系統配水量の推移（７日間移動平均）

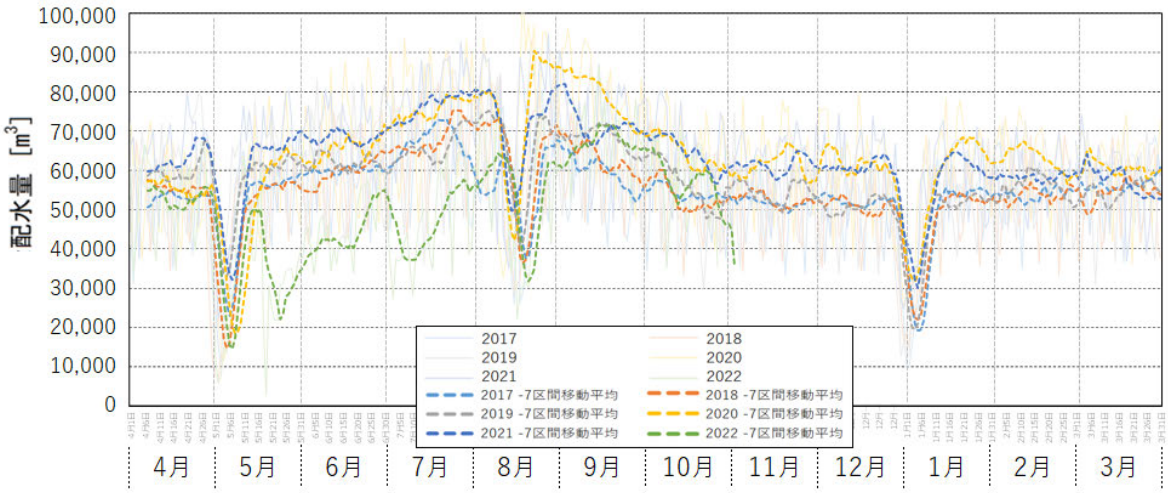


図２－５－①－９　西三河地域主力浄水場の赤系統配水量の推移（７日間移動平均）

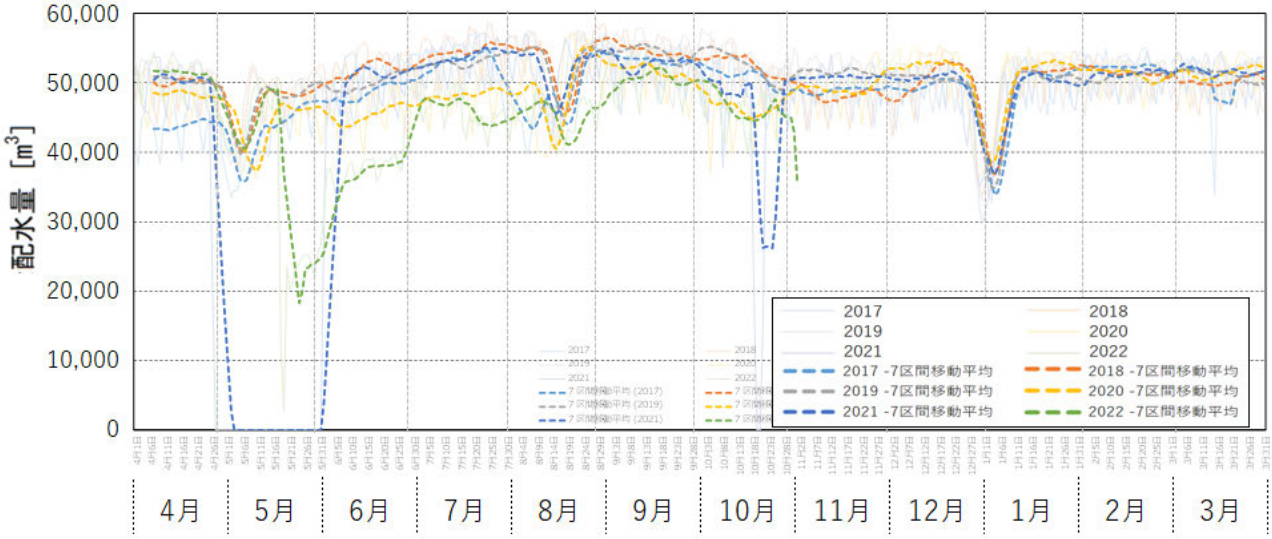


図２－５－①－10　西三河地域主力浄水場の緑系統配水量の推移（７日間移動平均）

b）電力データ

i）電力データの概要

工業用水道データと整合を図るため、工業用水道の供給先企業が位置する 250m メッシュ内の電力需要データを株式会社 GDBL から購入した。なお、工業用水道の供給先企業は主に大規模な電力が必要となる施設や工場であることから、購入する電力データは高圧電力と特別高圧電力のみを対象とした。

ii）電力データの推移

株式会社 GDBL から購入した系統別の電力需要データ（青系統電力需要量、赤系統電力需要量、緑系統電力需要量 2020 年４月１日～2023 年２月 28 日　時間別電力データ）について、電力需要等の推移を整理する。なお、0 時～24 時までのデータを１日として、集計等を行った。

図２－５－①－11～図２－５－①－13 は縦軸に７日間移動平均の１日電力量（グラフ毎の電力量を考慮してレンジを最適化）とした推移を示す。

また、着目するべき外的要因のイベントは「非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言」と「非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故」とする。

2020 年の緊急事態宣言の影響は確認できるが、2022 年の明治用水頭首工事故の影響は大きくない。

- コロナ禍による緊急事態宣言期間において、各系統で 2020 年度は他年度よりも落ち込んでいることが確認できる。
- 明治用水頭首工事故期間において、各系統で 2022 年度は 2021 年度より落ち込んでいるが、コロナ禍の影響が大きいと想定される 2020 年度よりは落ち込んでいないことが確認できる。
- 配水系統（青系統、赤系統、緑系統）の傾向は概ね同じであることが確認できる。

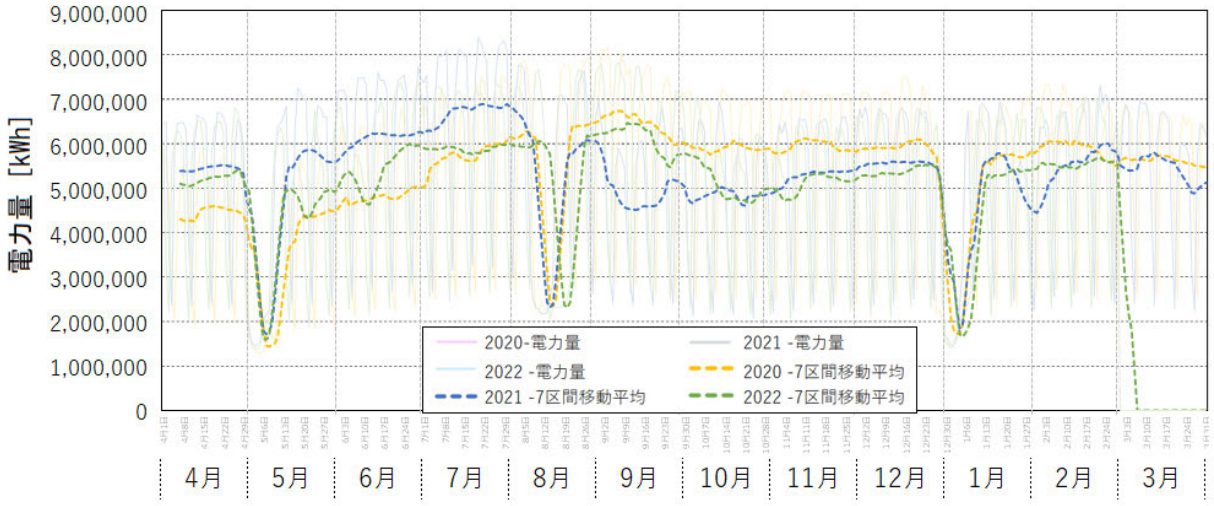


図２－５－①－11 青系統電力量の推移（７日間移動平均）

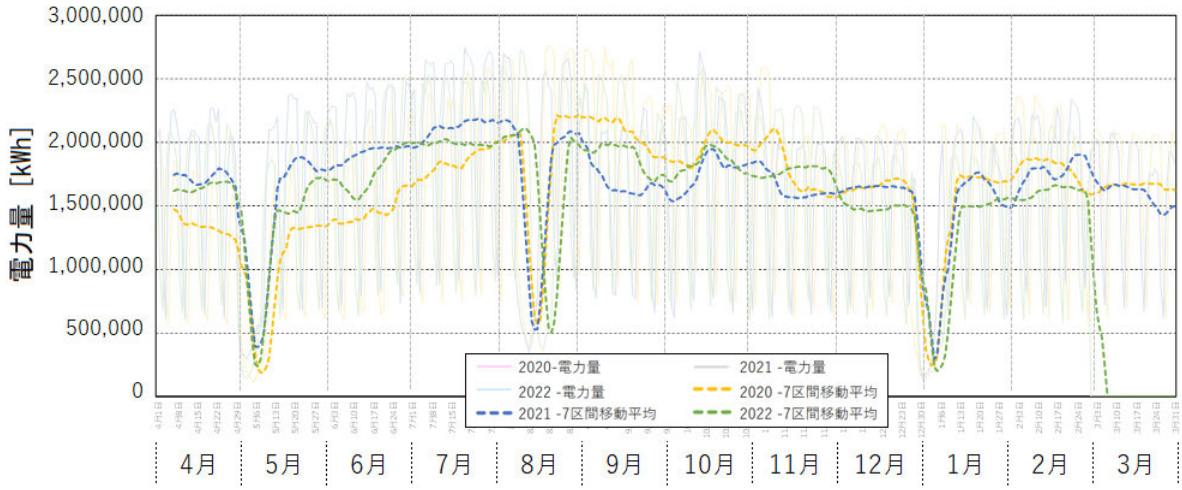


図２－５－①－12 赤系統電力量の推移（７日間移動平均）

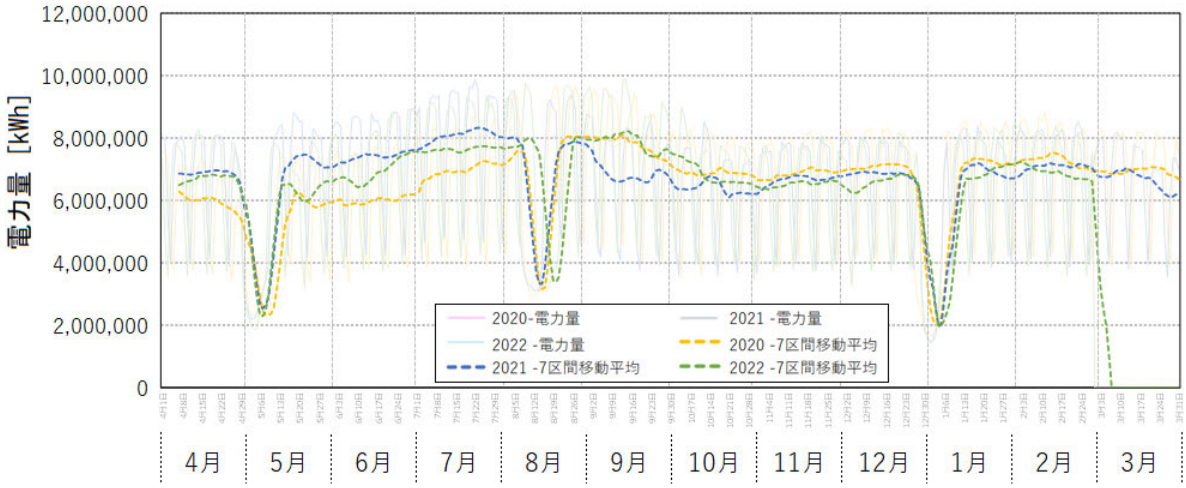


図２－５－①－13 緑系統電力量の推移（７日間移動平均）

ⅲ）工業用水道と電力の関係性

ここでは、「非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言」と「非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故」の期間に着目して、工業用水道と電力の関係性（工業用水道データと電力データの推移の違い）について考察する。

図２－５－①－14～図２－５－①－16 は縦軸に７日間移動平均の１日水量・電力量（グラフ毎の水量・電力量を考慮してレンジを最適化）とした推移を示す。

【非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言】

- 2020 年度の工業用水道は緑系統のみ他年度より落ち込むが、青系統と赤系統は他年度と同程度の値で推移している。
- 2020 年度の電力は各系統で他年度よりも落ち込む。

【非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故】

- 2022 年度の工業用水道は各系統で他年度よりも落ち込む。
- 2022 年度の電力は 2021 年度より落ち込んでいるが、コロナ禍の影響が大きいと想定される 2020 年度よりは落ち込んでいない。

非常時Ⅰ（生産活動自体が縮小や停止）、非常時Ⅱ（input が減少や停止）それぞれで、工業用水道と電力の推移に違いがあることが確認された。

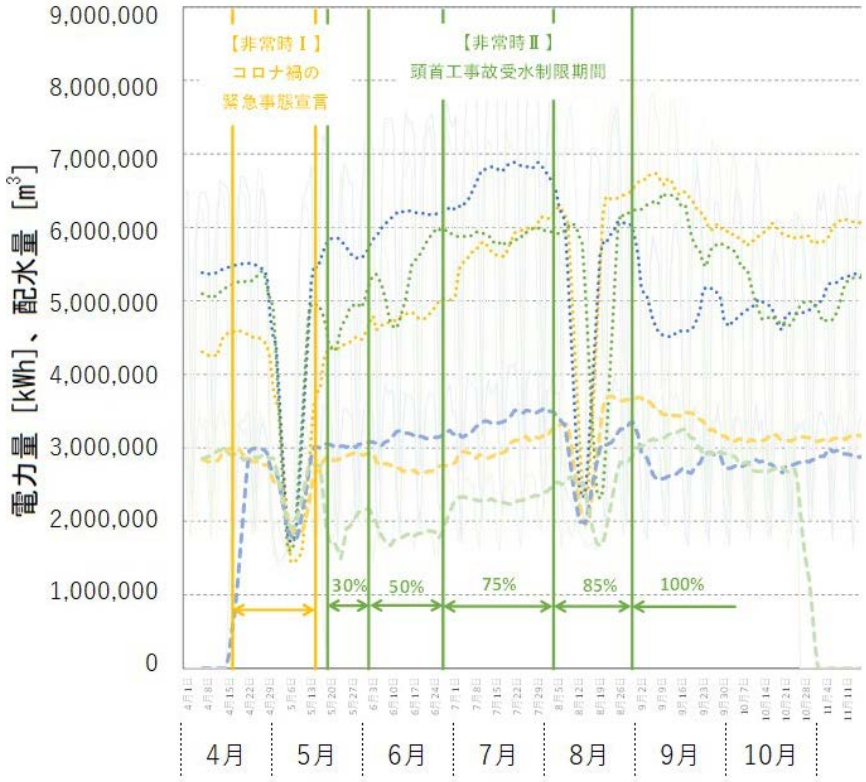


図２－５－①－14 青系統電力量の推移（７日間移動平均）

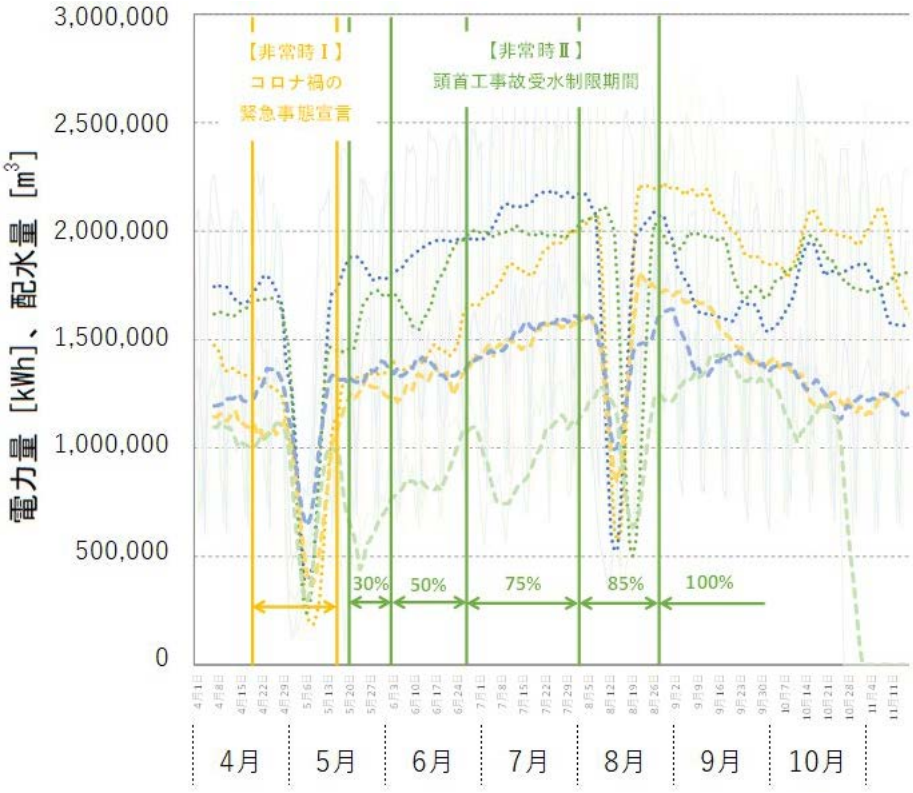


図２－５－①－15 赤系統電力量の推移（７日間移動平均）

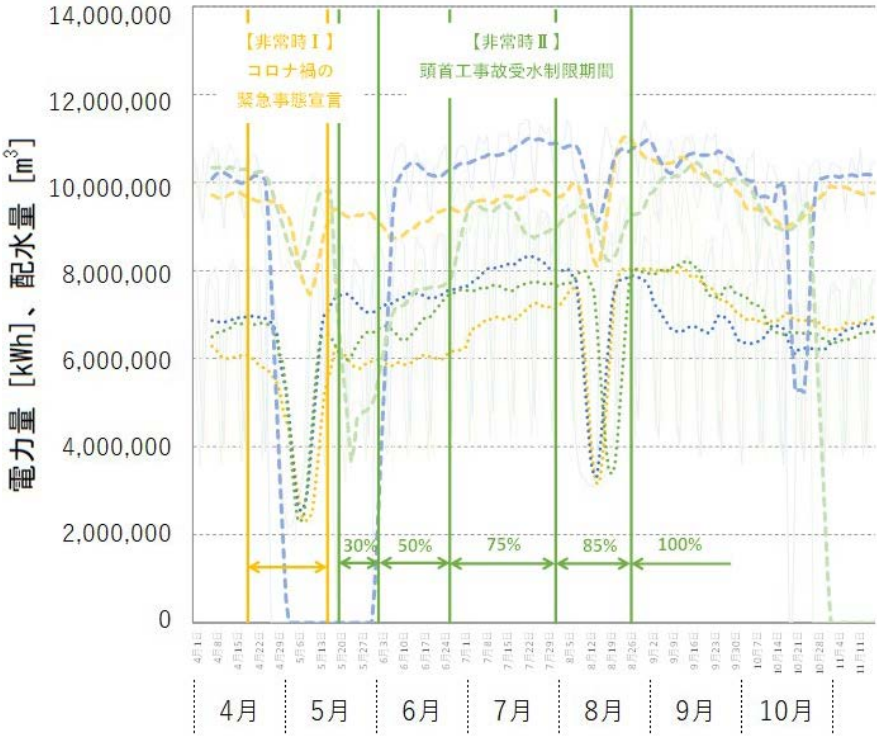


図２－５－①－16 緑系統工業水道と電力量の推移（７日間移動平均）

3）愛知県の地域産業における生産量（output）データ

a）生産量データの概要

愛知県では、県内の鉱工業の活動状況を明らかにすることを目的に、生産指数、生産者出荷指数、生産者製品在庫指数及び生産者製品在庫率指数の４つの指数を作成しており、これらを総称して「愛知県鉱工業指数」としている。そのうち、生産指数は、鉱工業生産活動の全体的な水準の推移を示す指標で、鉱工業指数の中心となる。

国内外の景気が良くなれば国内需要や海外需要が増加し、これらの需要に対応するため国内の生産活動が活発になる。逆に不景気になれば沈滞する。生産指数は国内における毎月の生産活動の状況（大きさ）を的確に表していることから、愛知県の生産指数を観察することにより県内の生産活動の状況把握が可能となる重要な経済指標の一つである。

よって、本検討では、愛知県の生産指数[6)]を地域産業の簡易構造モデルにおける生産量データとして扱う。下表の分類における業種ごとの生産指数が整理されている。

表２－５－①－２ 愛知県の統計における鉱工業分類

分類1	分類2	分類3	分類4
鉱工業	製造工業	鉄鋼・非鉄金属工業	鉄鋼業
			非鉄金属工業
		金属製品工業	-
		生産用機械工業	-
		汎用・業務用機械工業	汎用機械工業
			業務用機械工業
		電子部品・デバイス工業	-
		電気・情報通信機械工業	電気機械工業
			情報通信機械工業
		輸送機械工業	自動車工業
			輸送機械工業(除、自動車工業)
		窯業・土石製品工業	-
		化学工業	無機・有機化学工業
			化学工業(除、無機・有機化学工業)
		石油・石炭製品工業	-
		プラスチック製品工業	-
		パルプ・紙・紙加工品工業	-
		繊維工業	-
		食料品工業	-
		その他工業	ゴム製品工業
			家具工業
			印刷業
			木材・木製品工業
			その他製品工業
	鉱業	-	-

b) 生産量データの推移

Web統計あいちから収集した愛知県の生産指数データ(2018年４月～2023年３月、月別生産指数データ）[6)]について、その推移を整理する。

図２－５－①－17～図２－５－①－22 に、分類１で鉱工業に該当する各業種の月ごとの生産指数の推移を示す。なお，推移は分類１から４の各段階の業種毎に整理した。

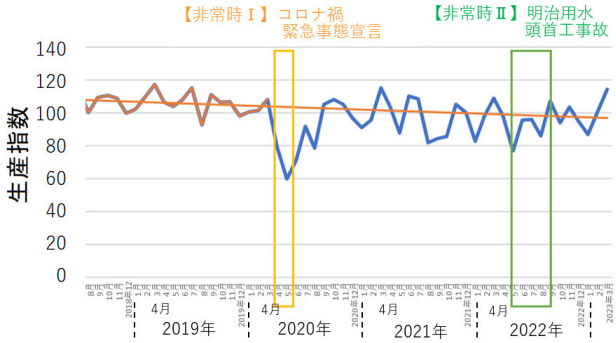
また、着目するべき外的要因のイベントは「非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言」と「非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故」とした。

大部分の業種で 2020 年コロナ禍による緊急事態宣言の影響が確認できるが、明治用水頭首工事故については業種によって影響の出方が異なった。なお、影響の有無の判断は、以下の手順により、前年度の同じ月の生産指数と比較して10%以上減少している場合は「影響あり」、10%未満もしくは現状程度～増加の場合は「影響なし」とする。

・コロナ禍前の 2019 年の 1 年間を外部要因の影響がない平常時と想定し、生産指数の推移について全業種で近似直線を作成した。近似直線は、図２－５－①－17～図２－５－①－22 中に赤色の直線で示した。

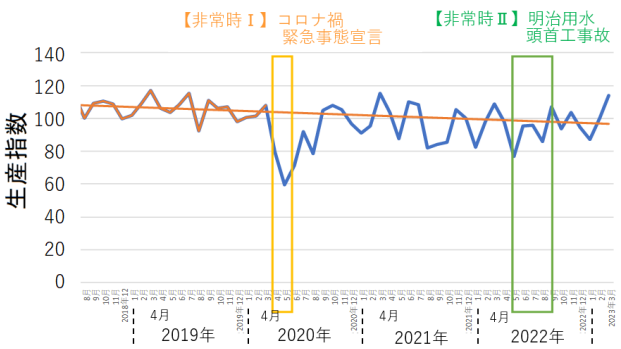
・近似直線による減少幅を確認した結果、全業種のうちの 73%（33 業種中 24 業種）が 10%以内であったことから、平常時の自然減少と特異な減少（産業の萎縮）の閾値を 10%と設定した。

各業種の影響有無の評価結果を表２－５－①－３に示す。なお、業種によって外的要因のイベントの影響度は異なる。

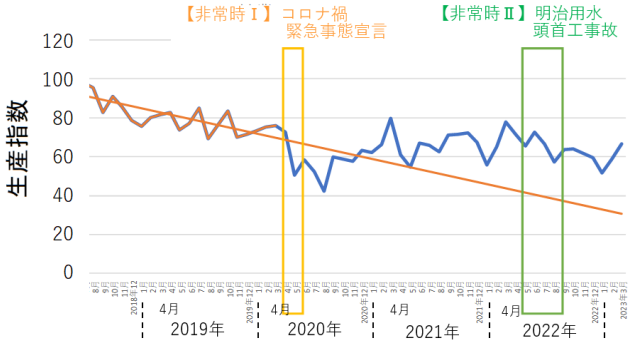


【鉱工業】

図２－５－①－17 各産業の生産指数の推移（分類１）

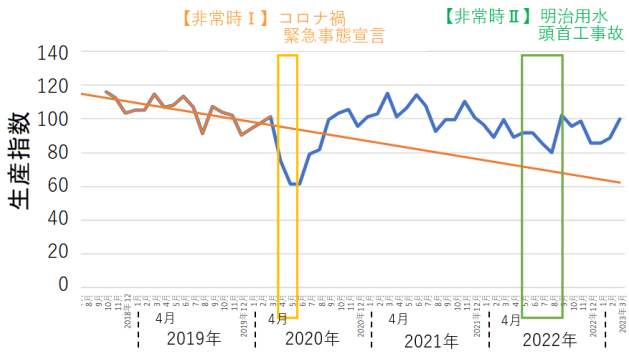


【製造工業】

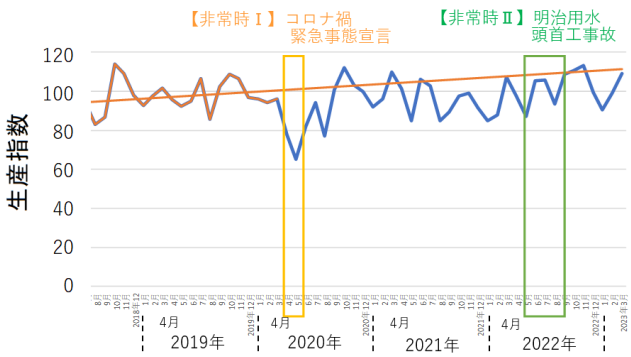


【鉱業】

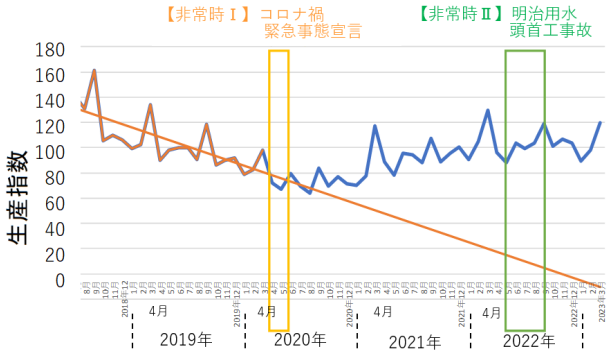
図２－５－①－18 各産業の生産指数の推移（分類２）



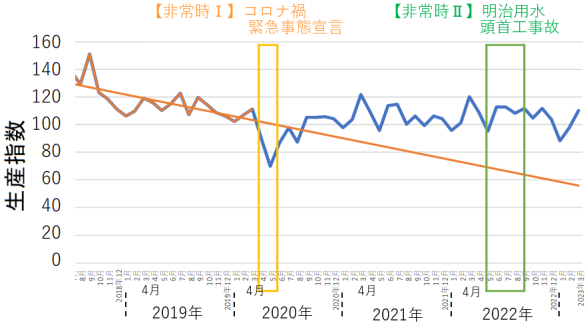
【鉄鋼・非鉄工業】



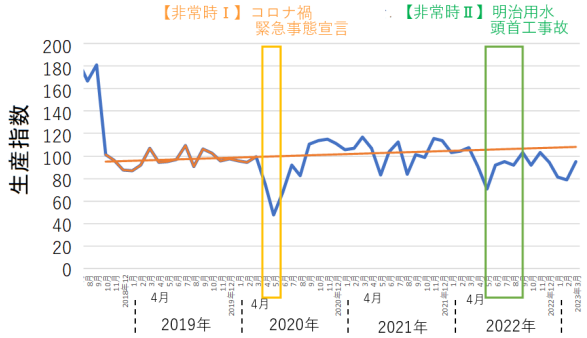
【金属製品工業】



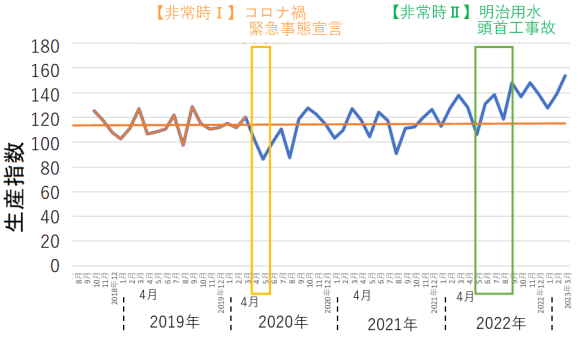
【生産用機械工業】



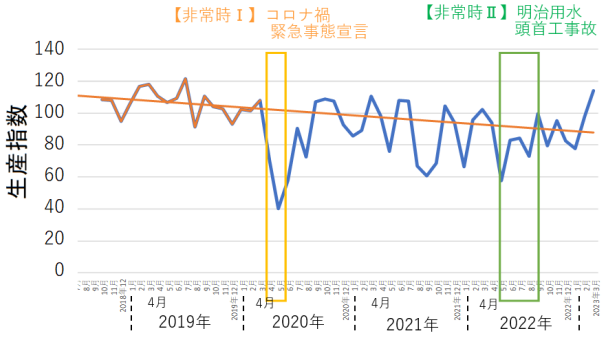
【汎用・業務用機械工業】



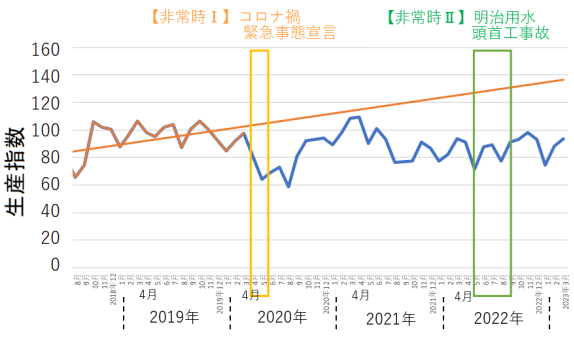
【電子部品・デバイス工業】



【電気・情報通信機械工業】

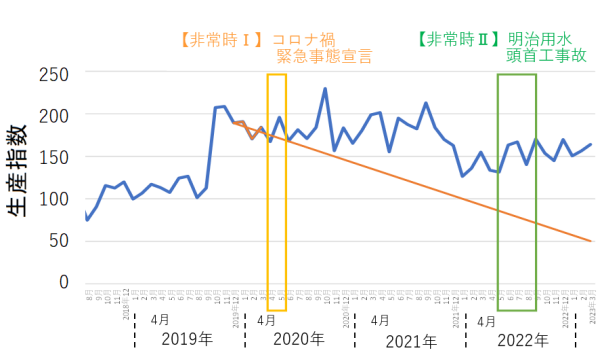


【輸送機械工業】

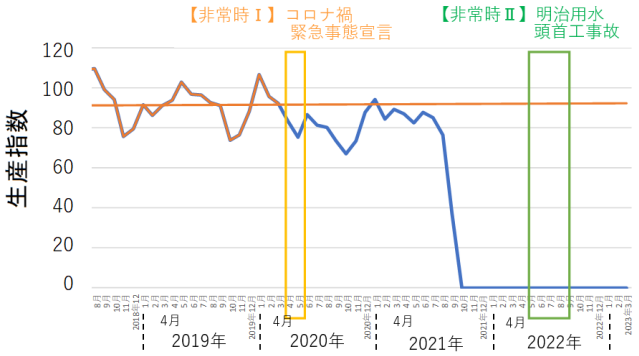


【窯業・土石製品工業】

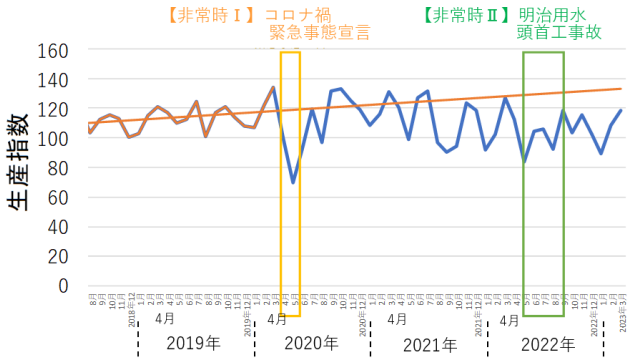
図２－５－①－19 各産業の生産指数の推移（分類３；その１）



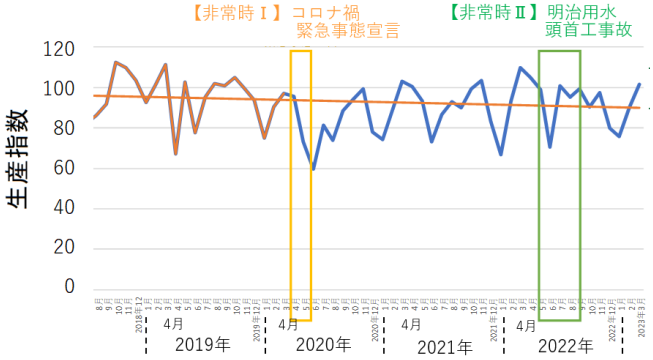
【化学工業】



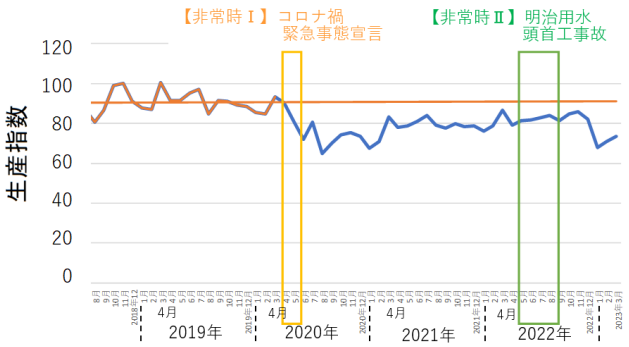
【石油・石炭製品工業】



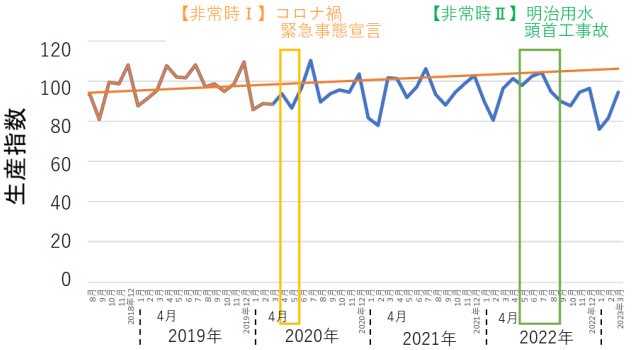
【プラスチック製品工業】



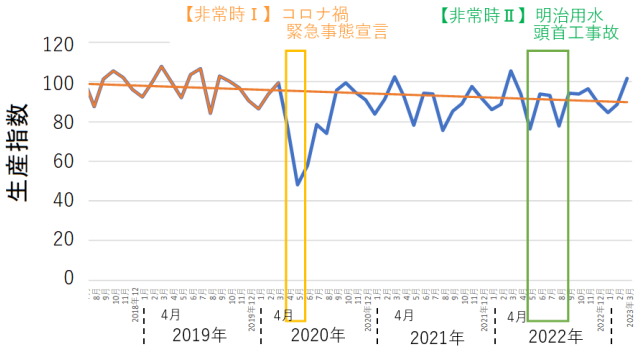
【パルプ・紙・紙加工品工業】



【繊維工業】

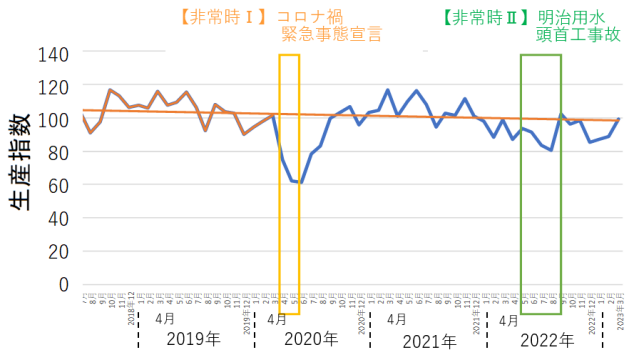


【食料品工業】

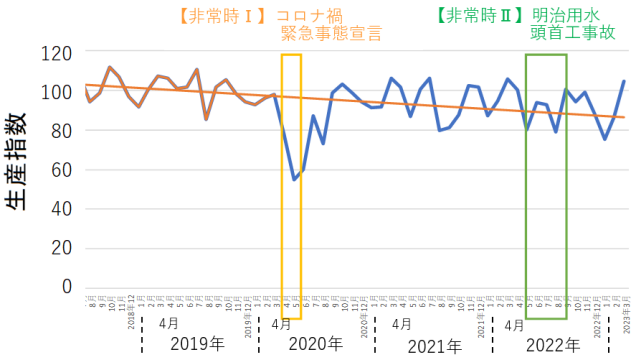


【その他工業】

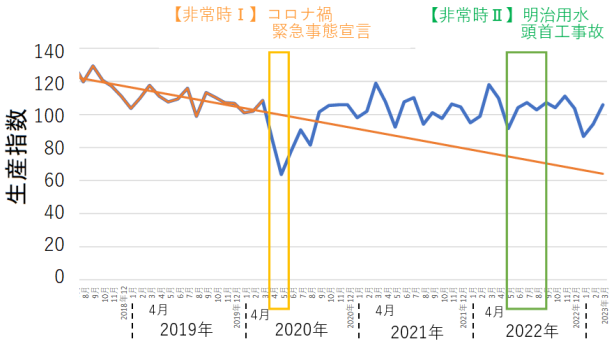
図２－５－①－20 各産業の生産指数の推移（分類３；その２）



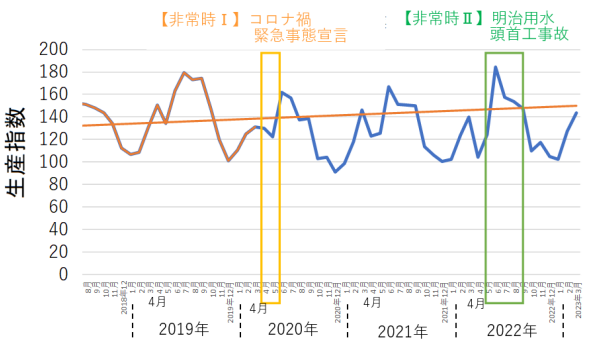
【鉄鋼業】



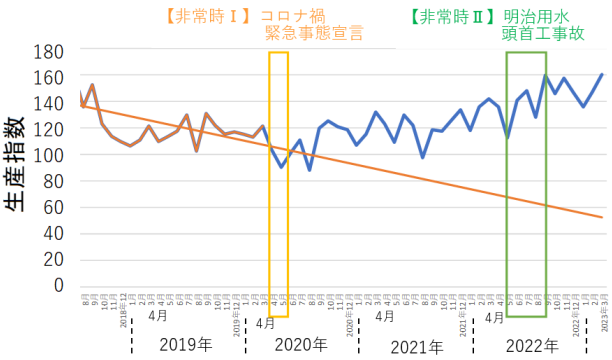
【非鉄金属工業】



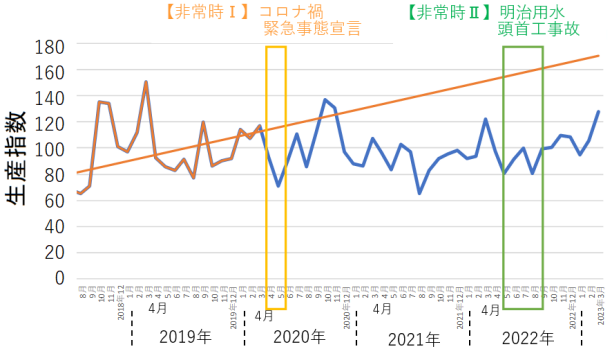
【汎用機械工業】



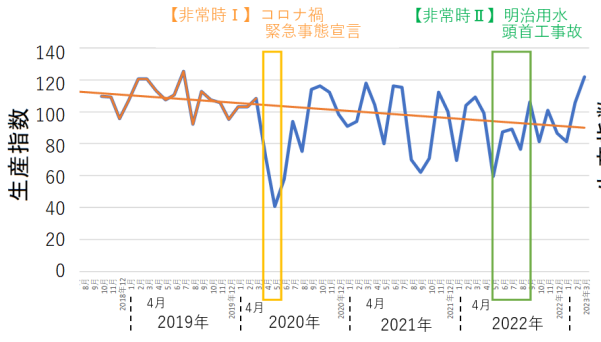
【業務用機械工業】



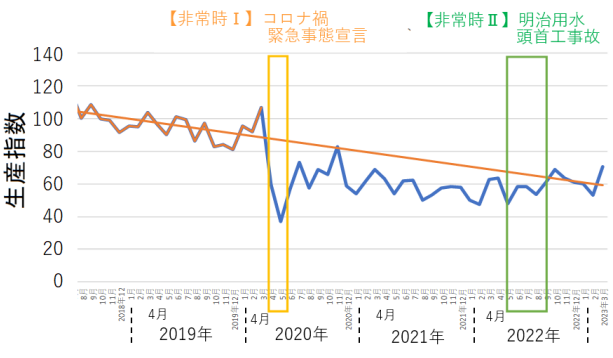
【電気機械工業】



【情報通信機械工業】

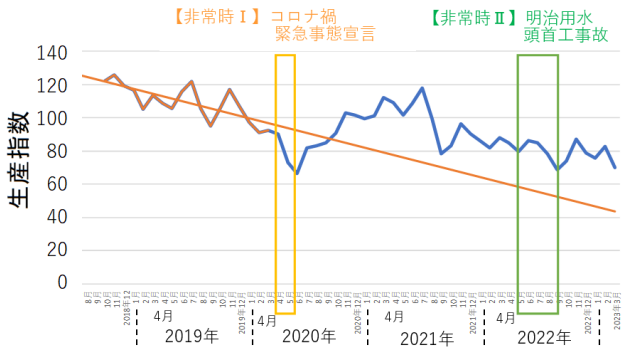


【自動車工業】

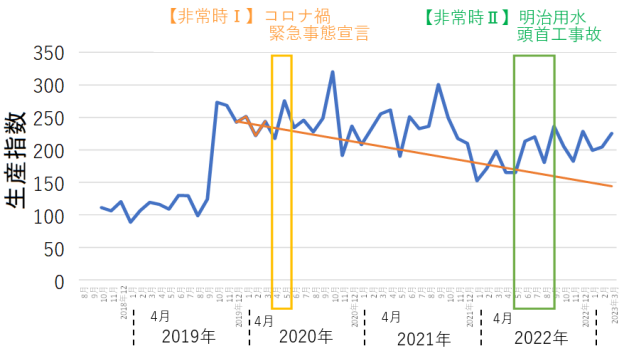


【輸送機械工業(除、自動車工業)】

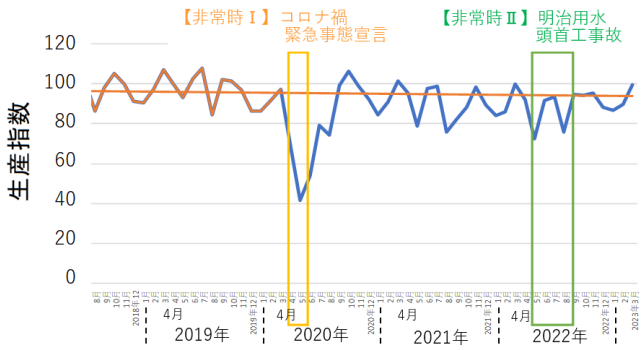
図２－５－①－21 各産業の生産指数の推移（分類４;その１）



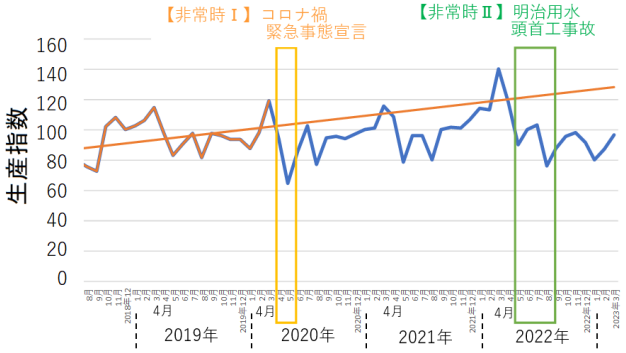
【無機・有機化学工業】



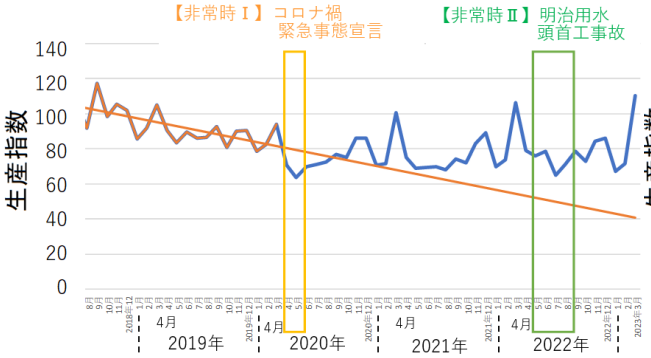
【化学工業(除、無機・有機化学工業)】



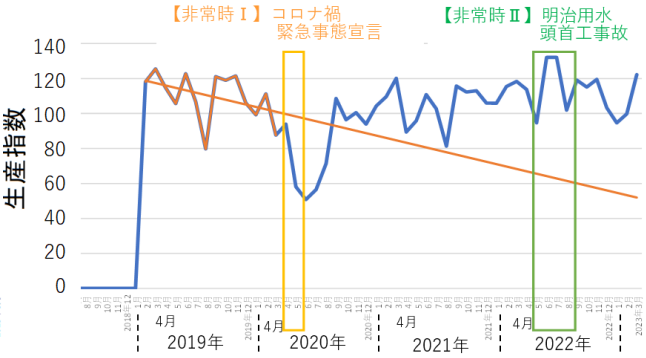
【ゴム製品工業】



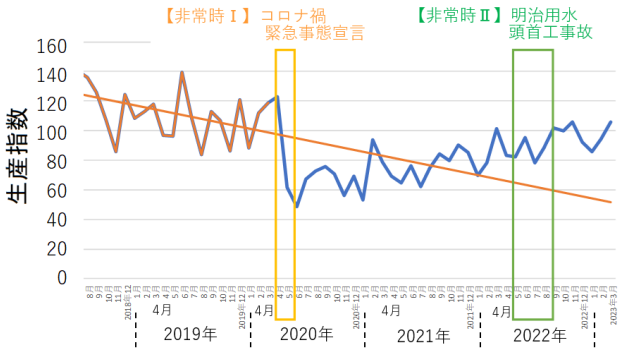
【家具工業】



【印刷業】



【木材・木製品工業】



【その他製品工業】

図２－５－①－22 各産業の生産指数の推移（分類４；その２）

表２－５－①－３ 各業種の生産指数への影響

分類	業種	非常時Ⅰ コロナ禍緊急事態宣言	非常時Ⅱ 明治用水頭首工事故
分類１	鉱工業	影響あり	影響あり
分類２	製造工業	影響あり	影響あり
	鉱業	影響あり	影響なし
分類３	鉄鋼・非鉄金属工業	影響あり	影響あり
	金属製品工業	影響あり	影響なし
	生産用機械工業	影響あり	影響なし
	汎用・業務用機械工業	影響あり	影響なし
	電子部品・デバイス工業	影響あり	影響あり
	電気・情報通信機械工業	影響あり	影響なし
	輸送機械工業	影響あり	影響あり
	窯業・土石製品工業	影響あり	影響あり
	化学工業	影響あり	影響あり
	石油・石炭製品工業	影響あり	（データなし）
	プラスチック製品工業	影響あり	影響あり
	パルプ・紙・紙加工品工業	影響あり	影響なし
	繊維工業	影響あり	影響なし
	食料品工業	影響あり	影響なし
	その他工業	影響あり	影響なし
分類４	鉄鋼業	影響あり	影響あり
	非鉄金属工業	影響あり	影響なし
	汎用機械工業	影響あり	影響なし
	業務用機械工業	影響なし	影響なし
	電気機械工業	影響あり	影響なし
	情報通信機械工業	影響あり	影響なし
	自動車工業	影響あり	影響あり
	輸送機械工業 （除、自動車工業）	影響あり	影響あり
	無機・有機化学工業	影響あり	影響あり
	化学工業 （除、無機・有機化学工業）	影響なし	影響あり
	ゴム製品工業	影響あり	影響なし
	家具工業	影響あり	影響なし
	印刷業	影響あり	影響なし
	木材・木製品工業	影響あり	影響なし
	その他製品工業	影響あり	影響なし

4）input データと output データの相関分析

前章までで整理した工業用水道、電力（input）データと生産量（output）データの相関関係の分析により、地域産業における簡易構造モデルで示した非常時Ⅰ、Ⅱの検証を行う。

a）分析データの概要

input データは西三河地域の系統別に整理した月ごとの工業用水道、電力の需要量、output データは愛知県全体の月ごとの生産指数を用いる。

※工業用水道、電力（input）データは西三河地域の系統別（青系統、赤系統、緑系統）の値としたことに対し、生産量（output）データは愛知県全体での値を使用した。

なお、西三河地域と愛知県の生産指数には差異があるが、本研究で対象とした業種に占める製造業の割合が高い。製造業における愛知県内での西三河地区のシェアは、56.8%（2019 年度調査）[7] であるため、愛知県の数値で代替することとした。

各系統における生産量（output）データは、西三河工業用水道の配水系統ごとの業種別契約水量割合に基づき、以下の産業の生産指数とする。

・青系統：全体の 87%を占める輸送機器工業の生産指数
・赤系統：全体の 97%を占める輸送機器工業の生産指数
・緑系統：各産業の比率に応じた生産指数

緑系統：各産業の比率に応じた生産指数の作成方法
例）輸送機器の指標値が 90・化学工業の指標値が 95、鉄鋼業の指標値が 80 として、
輸送機器の割合が 60%・化学工業の割合が 20%、鉄鋼業の割合が 20%の場合
90×0.6＋95×0.2＋80×0.2＝89.5

分析期間は工業用水道、電力（input）データと生産量（output）データの３つのデータが揃う 2020 年４月～2022 年 10 月とし、「非常時Ⅰ：コロナ禍による緊急事態宣言（2020 年４月～2020 年５月）」と「非常時Ⅱ：明治用水頭首工事故（2022.５～2022.８）」に着目して、相関分析を行う。

b）分析ケースの設定

地域産業における簡易構造モデルで示した平常時及び非常時Ⅰ、Ⅱの検証を行うための分析ケースを以下のとおり設定する。

・ケース１：平常時（コロナ禍の緊急事態宣言と明治用水頭首工事故を除く期間）
⇒2020 年６月～2022 年４月、2022 年９月～2022 年 10 月
・ケース２：非常時Ⅰ（平常時＋コロナ禍の緊急事態宣言期間）
⇒2020 年４月～2022 年４月、2022 年９月～2022 年 10 月
・ケース３：非常時Ⅱ（平常時＋明治用水頭首工事故期間）
⇒2020 年６月～2022 年 10 月

c）分析方法

目的変数を output データ（生産指数)、説明変数を input データ（電力指数と工水指数）とした重回帰分析を行い、分析結果から input データと output データの関係性（工業用水道データや電力データが地域産業の萎縮状態などをリニアに観測するための指標として活用できるか）を考察する。

具体的な分析方法を以下に整理する。

（分析方法１）

・ 各ケースの重回帰分析結果の比較

→補正 R^2（自由度調整済み決定係数）や有意 F などの評価指標に着目し、各ケースの変化量を分析する。

（分析方法２）

・ 非常時期間における実績値と作成した重回帰式による予測値の比較

→非常時期間における実績値と平常時の重回帰式から得られる予測値の乖離状況を分析する。

（参考）重回帰分析に関する指標

・重決定 R^2

重決定 R^2 は、回帰分析における決定係数のことである。
「寄与率」とも呼ばれ、回帰分析から得られた回帰式が目的変数の値の変動をどの程度説明できているかを表す指標である。1 に近ければ近いほど回帰式の精度が高いことを意味する。

・補正 R^2

補正 R^2 は、自由度調整済み決定係数である。
重決定 R^2 は説明変数の個数が多いほど 1 に近づく性質がある。これに対し、補正 R^2 は普通の決定係数がデータ数の増加とともに無条件に上昇することを補正した決定係数である。

・有意 F

回帰分析で使用した説明変数だけでは目的変数を説明できない確率を示すものである。この数値が小さいほど目的変数をよく説明できる回帰式といえる。目安としては、有意 F が 0.05 未満（モデルの妥当性を特に厳しく評価する場合は 0.01 未満）であれば、有用な回帰式を得られた可能性が高いと判断できる。

・P 値

各説明変数が目的変数に対して関係があるかを示す指標である。
一般的に、P 値が 0.05 未満であれば、その説明変数が目的変数に対して「関係性がありそう」と判断することができる。

・t 値

各説明変数が目的変数に与える影響の大きさを示す指標である。
目安としては、t 値の絶対値が大きければ大きいほど説明変数は目的変数を説明できていることを示す。絶対値が 2 よりも小さい場合は、統計的に判断して、その説明変数は目的変数に影響していないと判断することができる。

d）分析結果

i）青系統

青系統の平常時の重回帰分析結果を以下に示す。補正 R^2 値は 0.570 のため、生産指数に対する電力指数と工水指数の説明力は中程度といえる。説明変数の影響度としては、ｔ値が大きい電力指数の影響が大きく、工水指数の影響は小さい。

表２－５－①－４　青系統　重回帰分析結果（ケース１）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.778
重決定 R2	0.606
補正 R2	0.570
標準誤差	15.460
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	8088	4044	16.92	0.000
残差	22	5258	239		
合計	24	13346			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-7.799	50.282	-0.155	0.878	-112.076	96.479	-112.076	96.479
電力指数	1.815	0.554	3.273	0.003	0.665	2.965	0.665	2.965
工水指数	-0.833	0.986	-0.845	0.407	-2.877	1.211	-2.877	1.211

得られた回帰式に緊急事態宣言時(非常時Ⅰ)と明治用水頭首工事故時(非常時Ⅱ)の電力指数と工水指数を入力した結果、非常時Ⅰには生産指数の実績値は予測値を下回り、非常時Ⅱには実績値は予測値を上回った。

表２－５－①－５　青系統　予測値と実績値の比較

緊急事態宣言

	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2020/04	100	100	90	100	▲11%
2020/05	75	87	55	57	▲4%
2020/06	110	96	111	82	▼27%

非常時Ⅰ

明治頭首工事故

	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2022/04	114	100	116	133	▲15%
2022/05	90	74	94	82	▼13%
2022/06	124	65	163	118	▼28%
2022/07	128	79	159	120	▼25%
2022/08	118	86	135	104	▼23%
2022/09	137	107	151	141	▼6%

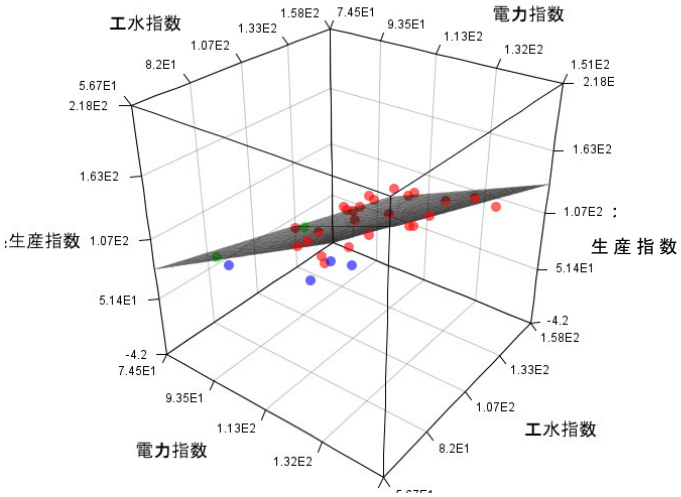
非常時Ⅱ

平常時の重回帰式を面で表現し、平常時・非常時Ⅰ・非常時Ⅱ３色の３次元プロットで表現した。

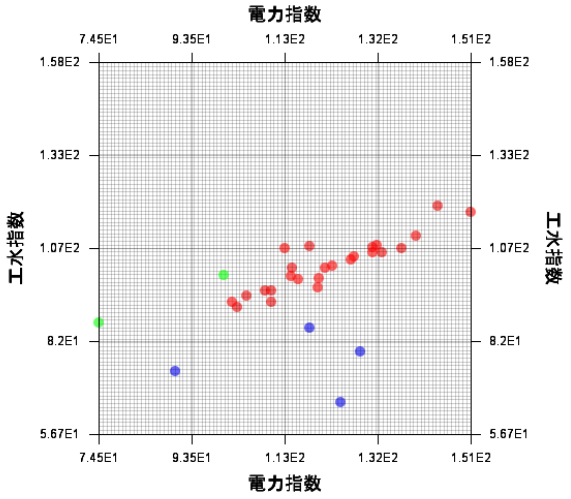
３次元プロットから、非常時Ⅰは重回帰式の面より上、非常時Ⅱは重回帰式の面より下にプロットがされている。

工水指数-生産指数のプロットから、平常時において、工水指数の増減が小さく、生産指数のプロットのばらつきも小さいが、非常時Ⅰには工水指数の減少に伴い生産指数に減少傾向がみられる。非常時Ⅱには、工水指数が減少しても、生産指数は大きくは変わらない。

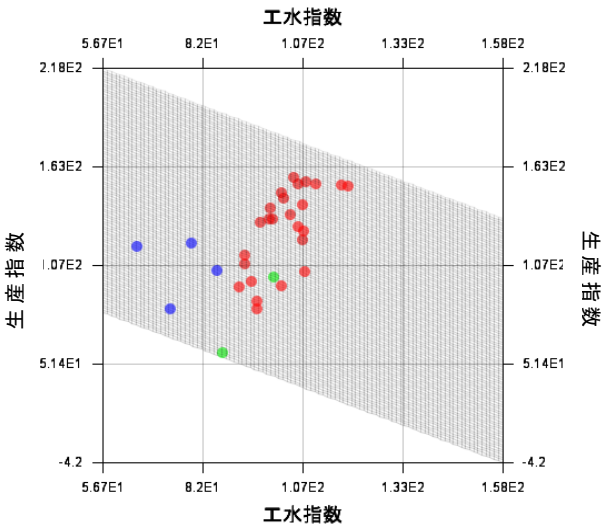
電力指数-生産指数のプロットから、平常時において電力指数の増加に伴い生産指数が増加する傾向がみられ、非常時Ⅰや非常時Ⅱにも同様の傾向がみられる。

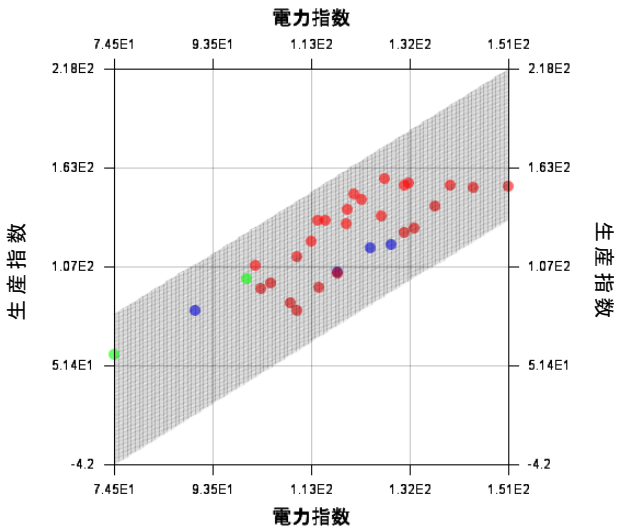


【３次元図】



【平面図】





【平面図】

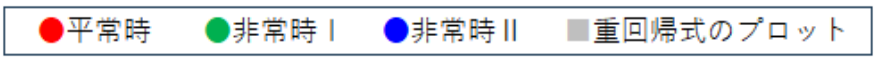


図２－５－①－23 青系統 重回帰分析結果

平常時に非常時Ⅰを加えて重回帰分析をした結果（ケース２）、ケース１と比較して有意水準ｆ値は小さくなり、補正 R^2 値は大きくなった。

表２－５－①－６ 青系統 重回帰分析結果（ケース２）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.845
重決定 R2	0.715
補正 R2	0.691
標準誤差	14.895
観測数	27

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	13343	6671	30.07	0.000
残差	24	5324	222		
合計	26	18667			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-12.746	47.490	-0.268	0.791	-110.760	85.268	-110.760	85.268
電力指数	1.685	0.398	4.233	0.000	0.863	2.506	0.863	2.506
工水指数	-0.628	0.824	-0.762	0.453	-2.329	1.072	-2.329	1.072

平常時に非常時Ⅱを加えて重回帰分析をした結果（ケース３）、ケース１と比較して有意水準ｆ値は小さくなり、補正 R^2 値は大きくなった。

表２－５－①－７ 青系統 重回帰分析結果（ケース３）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.796
重決定 R2	0.633
補正 R2	0.605
標準誤差	14.961
観測数	29

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	10034	5017	22.41	0.000
残差	26	5820	224		
合計	28	15854			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-54.002	27.431	-1.969	0.060	-110.388	2.384	-110.388	2.384
電力指数	1.200	0.261	4.591	0.000	0.663	1.738	0.663	1.738
工水指数	0.338	0.296	1.143	0.264	-0.270	0.946	-0.270	0.946

ⅱ）赤系統

赤系統の平常時の重回帰分析結果を下表に示す。補正 R^2 値は 0.376 のため、生産指数に対する電力指数と工水指数の説明力は高くはない。説明変数の影響度としては、ｔ値が大きい電力指数の影響が大きく、工水指数の影響は小さい。

表２－５－①－８　赤系統　重回帰分析結果（ケース１）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.654
重決定 R2	0.428
補正 R2	0.376
標準誤差	18.622
観測数	25

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	5717	2858	8.24	0.002
残差	22	7629	347		
合計	24	13346			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	69.397	36.628	1.895	0.071	-6.565	145.360	-6.565	145.360
電力指数	1.383	0.341	4.060	0.001	0.677	2.090	0.677	2.090
工水指数	-1.031	0.391	-2.635	0.015	-1.843	-0.220	-1.843	-0.220

得られた回帰式に非常時Ⅰと非常時Ⅱの電力指数と工水指数を入力した結果、非常時Ⅰと非常時Ⅱのどちらにおいても生産指数の実績値は予測値を下回った。

表２－５－①－９　赤系統　予測値と実績値の比較

緊急事態宣言

	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2020/04	100	100	105	100	▼4%
2020/05	70	86	78	57	▼26%
2020/06	111	118	101	82	▼19%

非常時Ⅰ

明治頭首工事故

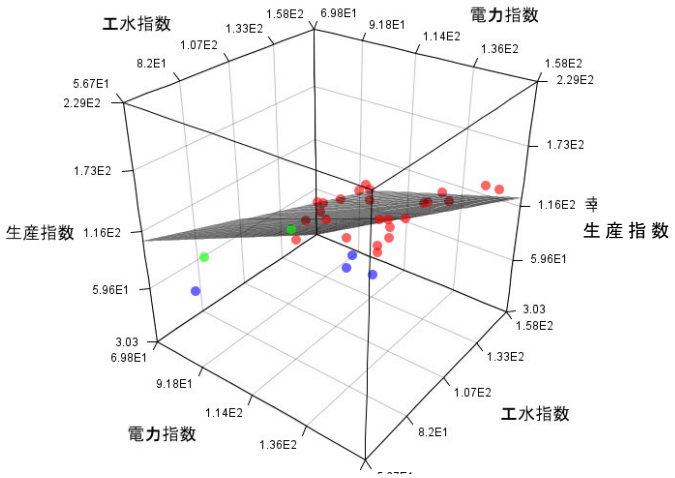
	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2022/04	119	94	137	133	▼2%
2022/05	93	57	139	82	▼41%
2022/06	135	82	171	118	▼31%
2022/07	144	83	182	120	▼34%
2022/08	127	98	144	104	▼28%
2022/09	140	121	138	141	▲2%

非常時Ⅱ

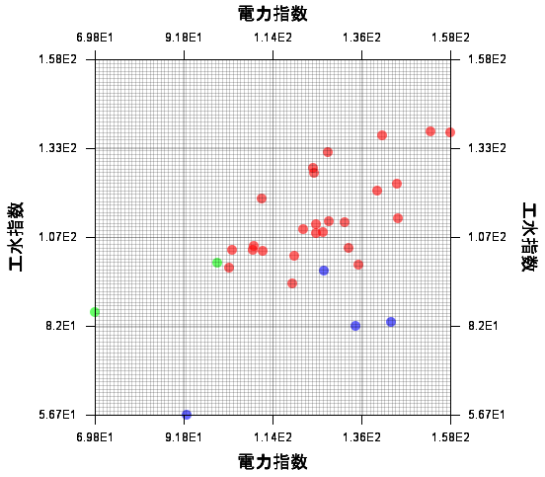
平常時の重回帰式を面で表現し、平常時・非常時Ⅰ・非常時Ⅱを３色の３次元プロットで表現した。３次元プロットから、非常時Ⅰと非常時Ⅱは、重回帰式の面より下にプロットがされている。

工水指数-生産指数のプロットから、平常時において、工水指数の増減に関わらず、生産指数のプロットは分散しているが、非常時Ⅰと非常時Ⅱには工水指数の減少に伴い生産指数も減少傾向がみられる。

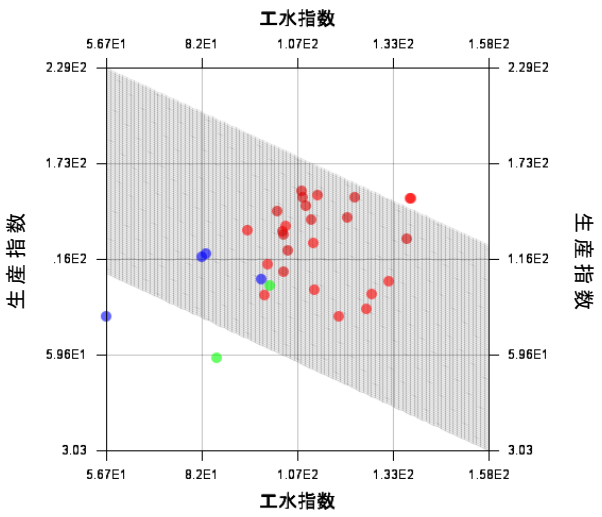
電力指数-生産指数のプロットから、平常時において電力指数の増加に伴い生産指数が増加する傾向がみられ、非常時Ⅰや非常時Ⅱにも同様の傾向がみられる。

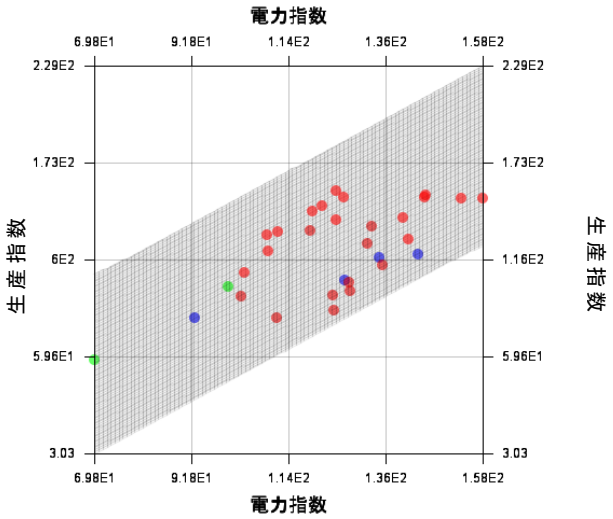


【３次元図】



【平面図】





【平面図】

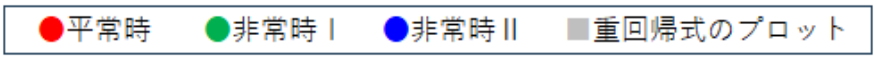


図２－５－①－24 赤系統 重回帰分析結果

平常時に非常時Ⅰを加えて重回帰分析をした結果（ケース２）、ケース１と比較して有意水準ｆ値は小さくなり、補正 R^2 値は大きくなった。

表２－５－①－10 赤系統 重回帰分析結果（ケース２）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.760
重決定 R2	0.578
補正 R2	0.543
標準誤差	18.117
観測数	27

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	10790	5395	16.44	0.000
残差	24	7877	328		
合計	26	18667			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	52.904	29.520	1.792	0.086	-8.022	113.831	-8.022	113.831
電力指数	1.530	0.281	5.453	0.000	0.951	2.110	0.951	2.110
工水指数	-1.055	0.380	-2.778	0.010	-1.839	-0.271	-1.839	-0.271

平常時に非常時Ｉを加えて重回帰分析をした結果（ケース２）、ケース１と比較して有意水準ｆ値は小さくなり、補正 R^2 値は大きくなった。

表２－５－①－11 赤系統 重回帰分析結果（ケース３）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.531
重決定 R2	0.282
補正 R2	0.227
標準誤差	20.920
観測数	29

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	4476	2238	5.11	0.013
残差	26	11378	438		
合計	28	15854			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	22.666	33.483	0.677	0.504	-46.160	91.491	-46.160	91.491
電力指数	0.835	0.301	2.770	0.010	0.215	1.454	0.215	1.454
工水指数	-0.035	0.264	-0.133	0.895	-0.577	0.507	-0.577	0.507

ⅲ）緑系統

緑系統の平常時の重回帰分析結果を下表に示す。補正 R^2 値は小さいため、生産指数に対する電力指数と工水指数の影響は小さい。説明変数の影響度としては、t 値が大きい工水指数の影響が大きく、電力指数の影響は小さい。

表２－５－①－12 緑系統 重回帰分析結果（ケース１）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.686
重決定 R2	0.471
補正 R2	0.420
標準誤差	9.934
観測数	24

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	1844	922	9.34	0.001
残差	21	2072	99		
合計	23	3916			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-88.523	51.439	-1.721	0.100	-195.496	18.450	-195.496	18.450
電力指数	0.039	0.270	0.145	0.886	-0.522	0.600	-0.522	0.600
工水指数	2.088	0.598	3.492	0.002	0.844	3.331	0.844	3.331

得られた回帰式に非常時Ⅰと非常時Ⅱの電力指数と工水指数を入力した結果、非常時Ⅰには生産指数の実績値は予測値を下回り、非常時Ⅱには実績値は予測値を上回った。どちらの非常時においても、予測値は実測値と乖離した。

表２－５－①－13 緑系統 予測値と実績値の比較

緊急事態宣言

	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2020/04	100	100	124	100	▼19%
2020/05	80	91	104	96	▼7%
2020/06	102	94	112	101	▼10%

非常時Ⅰ

明治頭首工事故

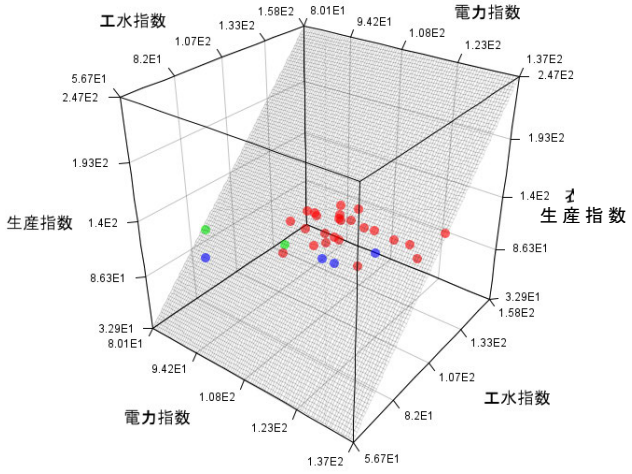
	電力指数	工水指数	生産指数		
			予測値(A)	実績値(B)	B/A
2022/04	110	104	133	122	▼8%
2022/05	91	72	65	105	▲61%
2022/06	119	80	83	139	▲67%
2022/07	126	95	114	138	▲21%
2022/08	117	94	113	114	▲1%
2022/09	133	105	136	130	▼4%

非常時Ⅱ

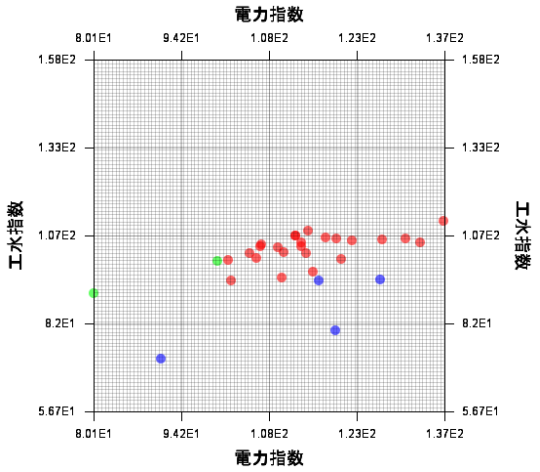
平常時の重回帰式を面で表現し、平常時・非常時Ⅰ・非常時Ⅱを３色の３次元プロットで表現した。３次元プロットから、非常時Ⅰは重回帰式の面より下、非常時Ⅱは重回帰式の面より上にプロットがされている。

工水指数-生産指数のプロットから、平常時において電力指数の増加に伴い生産指数が増加する傾向がみられ、非常時Ⅰと非常時Ⅱには工水指数の減少に伴い生産指数も減少傾向がみられる。

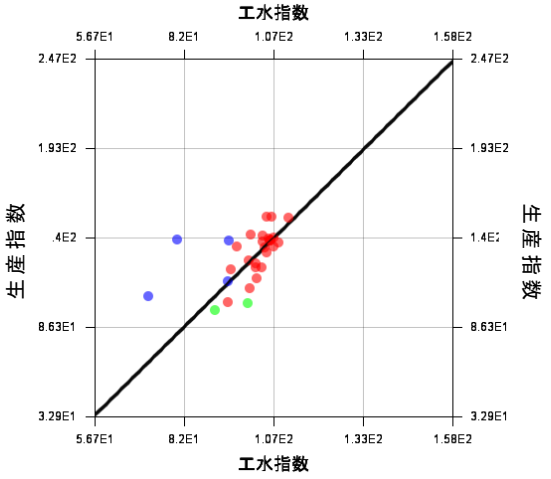
電力指数-生産指数のプロットから、工水指数の増減に関わらず、生産指数のプロットは分散しており、非常時Ⅰや非常時Ⅱにも同様の傾向がみられる。

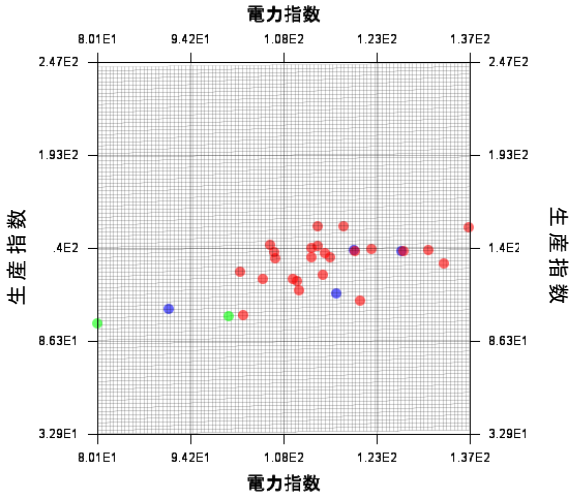


【３次元図】



【平面図】





【平面図】

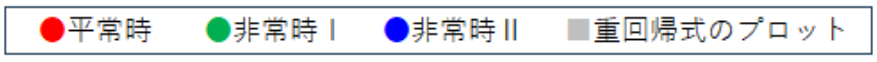


図２－５－①－25 緑系統 重回帰分析結果

平常時に非常時Ⅰを加えて重回帰分析をした結果（ケース２）、ケース１と比較して有意水準ｆ値は小さくなり、補正 R^2 値は大きくなった。

表２－５－①－14 緑系統 重回帰分析結果（ケース２）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.599
重決定 R2	0.359
補正 R2	0.307
標準誤差	11.409
観測数	28

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	1820	910	6.99	0.004
残差	25	3254	130		
合計	27	5074			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	18.855	30.104	0.626	0.537	-43.144	80.855	-43.144	80.855
電力指数	0.454	0.246	1.847	0.077	-0.052	0.961	-0.052	0.961
工水指数	0.595	0.289	2.059	0.050	0.000	1.190	0.000	1.190

平常時に非常時Ⅱを加えて重回帰分析をした結果（ケース３）、ケース１と比較して有意水準 f 値は大きくなり、補正 R^2 値は小さくなった。

表２－５－①－15 緑系統 重回帰分析結果（ケース３）

概要

回帰統計	
重相関 R	0.599
重決定 R2	0.359
補正 R2	0.307
標準誤差	11.409
観測数	28

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	2	1820	910	6.99	0.004
残差	25	3254	130		
合計	27	5074			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	18.855	30.104	0.626	0.537	-43.144	80.855	-43.144	80.855
電力指数	0.454	0.246	1.847	0.077	-0.052	0.961	-0.052	0.961
工水指数	0.595	0.289	2.059	0.050	0.000	1.190	0.000	1.190

ⅳ）考察

本検討では、地域産業の活動状況を表現する簡易構造モデルを構築し、その妥当性を検証した。３つの系統の分析結果をまとめると、以下のとおりである。

ケース１とケース２の結果より、非常時Ⅰのような状況を想定する場合には、input データの観測により産業の活性度合いを把握することが可能であると言えるものの、非常時Ⅱのような状況を想定する場合には、観測対象の input データの見直し等が必要となる。

・ 工業用水道の使用水量と電力の使用量のいずれか、または双方の増減に伴って生産指数も増減する傾向はみられる

平常時の生産指数を工業用水道と電力量の２つの説明変数を用いた簡易構造モデルで表すことで、工業用水道の使用水量と電力の使用量の増減に伴って生産指数も増減するという関係性を確認することができた。産業の活性度を把握するために、リアルタイムデータである工水や電力需要を観察することは有用である。

・ 非常時Ⅰでは、簡易構造モデルの妥当性を示すことができる

非常時Ⅰのように、産業活動の委縮に伴い、電力や工水の投入量が減少する場合は、平常時の回帰式の延長上にプロットが乗るため、結果的に回帰式の精度が高くなった。これより、Input（工水と電力）が増減すれば、それに連動して output（生産）も増減するという傾向が確認でき、簡易構造モデルの妥当性を示すことができる。

・ 非常時Ⅱでは、簡易構造モデルの妥当性を示すことができない

非常時Ⅱのように、工水のみが減少し、電力や生産が減少しない場合、平常時の回帰式の延長上にプロットが乗らないため、結果的に回帰式の精度が低くなった。これでは、Input（工水と電力）が増減すれば、それに連動して output（生産）も増減するというという傾向が確認できず、簡易構造モデルの妥当性を示すことができない。

要因として、工水が生産に大きな影響を及ぼさないことが挙げられる。特に、青系統と赤系統では工水が回帰式に与える影響が小さかった。

青系統と赤系統の主たる産業は輸送機械工業である。産業中分類別に水源別用水量を見ると、輸送機械工業は 94%が回収水であり、工業用水道の供給量はわずか 3%である（トヨタにおいては 99%の水を再利用している）。輸送機器が主たる産業である青系統と赤系統では、非常時Ⅱにおいて、工水の再利用や緊急時井戸を活用することで、工水の投入量低下が生産活動に大きな影響を及ぼさなかったことが考えられる。

・ 生産指数に対して、青系統と赤系統では電力指数の影響が大きく、緑系統では工水指数の影響が大きい

生産指数に対する工水需要と電力需要の関係をみる重回帰式の相関（R^2値）は高くはないため、説明変数２つの簡易構造モデルで複雑な産業構造をすべて説明しようとすることは難しいといえる。例えば、生産指数に対する影響は、緑系統では電力需要よりも工水需要のほうが大きく、青系統と赤系統では工水需要よりも電力需要の影響が大きいという点からも、産業構造によって指数の影響度が異なることが伺える。

参考検討として、工水指数と電力指数を分けて生産指数との関係を再整理したものを後述する。

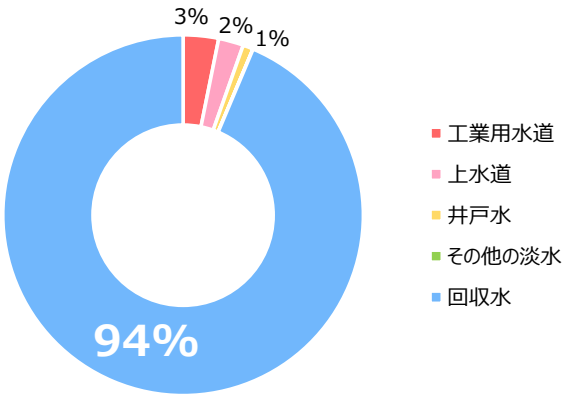


図２－５－①－26 輸送機械工業 一日当たり水源別用水量（愛知県）[8)]

表２－５－①－16 重回帰分析結果の比較まとめ

			衣浦系	北部系	幸田系
ケース① 平常時 緊急事態宣言と明治頭首工事故を除く 2020.6～2022.4、2022.9～2022.10	補正 R2		0.42	0.57	0.38
	有意 F		0.001	0.000	0.002
	t	電力	0.15	3.27	4.06
		工水	3.49	-0.85	-2.63
	P-値	電力	0.89	0.00	0.00
		工水	0.00	0.41	0.02
ケース② 非常時Ⅰ 平常時＋緊急事態宣言期間 2020.4～2022.4、2022.9～2022.10	補正 R2		0.54	0.69	0.54
	有意 F		0.000	0.000	0.000
	t	電力	0.82	4.23	5.45
		工水	3.34	-0.76	-2.78
	P-値	電力	0.42	0.00	0.00
		工水	0.00	0.45	0.01
ケース③ 非常時Ⅱ 平常時+明治頭首工事故 2020.6～2022.10	補正 R2		0.31	0.60	0.23
	有意 F		0.004	0.000	0.013
	t	電力	1.85	4.59	2.77
		工水	2.06	1.14	-0.13
	P-値	電力	0.08	0.00	0.01
		工水	0.05	0.26	0.90

＜参考検討＞

横軸に工水指数及び電力指数を、縦軸に生産指数をとって散布図を作成した。

近似式は、平常時のプロットを基に算出した式である。

産業活動が停滞する非常時Ⅰにおいては、どの散布図においても平常時よりも左下に位置しており、生産指数の低下に伴い、工水及び電力指数が低下することが分かる。

また、産業構造が似ている地域の生産指数と工水指数の関係に着目すると、青系統では正の相関があり、赤系統では無相関である。これは工場の分類や工場での水使用状況など、より詳細な要因が影響していると考えられる。

○青系統

工水指数は、平常時の傾向（工水指数の減少に伴いと生産指数も減少する）が非常時Ⅰでは確認できるものの、非常時Ⅱでは工水指数が減少しても生産指数に影響を与えていない。

一方、電力指数は、平常時の傾向（電力指数の減少に伴い、生産指数も減少する）が非常時Ⅰと非常時Ⅱでも確認することができる。

簡易構造モデルとしては、工水指数と電力指数を用いた重回帰式ではなく、電力指数による単回帰式によるモデルが望ましい可能性がある。

○赤系統

工水指数は、平常時においても工水指数と生産指数に相関がないことが分かる。これは、重回帰式による検証でも同様の結果が得られている。

一方、電力指数は、平常時の傾向（電力指数の減少に伴い、生産指数も減少する）が非常時Ⅰと非常時Ⅱでも確認することができる。

簡易構造モデルとしては、工水指数と電力指数を用いた重回帰式ではなく、電力指数による単回帰式によるモデルが望ましい可能性がある。

○緑系統

工水指数は、平常時の傾向（工水指数の減少に伴いと生産指数も減少する）が非常時Ⅰでは確認できるものの、非常時Ⅱでは工水指数が減少しても生産指数に影響を与えていない。ここで、愛知県内全体の工業における淡水使用量を見ると、回収水の割合が多い（75%）ことや、工業用水道などの補給水に対するバックアップが用意されていることなどの理由から、前述と同様に、工水の減少は生産活動に影響しなかったためと考えられる。

一方、電力指数は生産指数と相関がないことが分かる。これは、重回帰式による検証でも同様の結果が得られている。

簡易構造モデルとしては、工水指数と電力指数を用いた重回帰式ではなく、工水指数による単回帰式によるモデルが望ましい可能性がある。ただし、緑系統は青系統や赤系統とは産業構造が異なり、複数の業種が混在していることから、非常時の考え方や対応は業種ごとに異なることも想定され、青系統や赤系統との統一的なモデルや統一的な指標から判断できるものではないことは、留意が必要であるといえる。

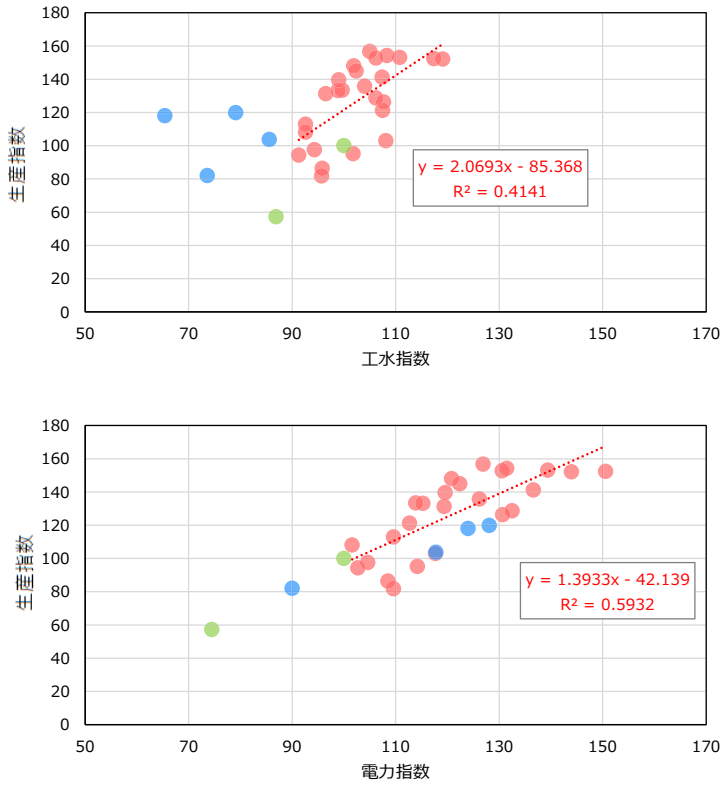


図２－５－①－27 青系統生産指数 - 工水指数、電力指数 散布図

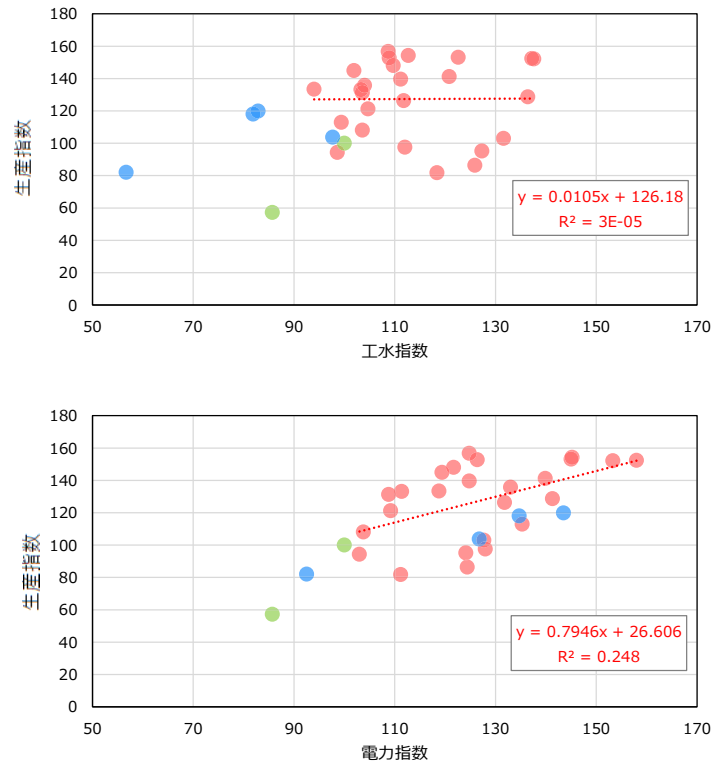


図２－５－①－28 赤系統生産指数 - 工水指数、電力指数 散布図

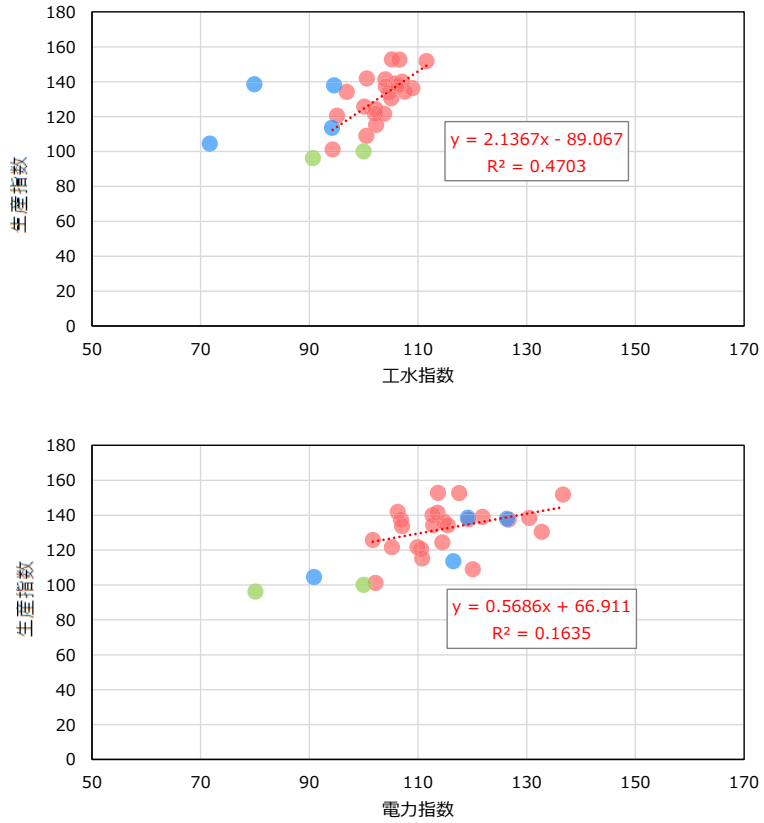


図２－５－①－29 緑系統生産指数 - 工水指数、電力指数 散布図

(d) 結論ならびに今後の課題

西三河地区の工業を対象として、簡易構造モデルを構築し、input 情報をモニタリングすることで、工業の活動状況（生産指数）が把握できるか否かについて、簡易構造モデルを重回帰式で表現して検証を行った。

産業活動が要因となる場合（生産活動自体が縮小や停止：非常時Ⅰ）では、簡易構造モデルの input（電力や工業用水）をモニタリングすることで、産業活動を output から把握できることがわかり、簡易構造モデルの妥当性が確認できた。

一方で、input が要因となる場合（input が減少や停止：非常時Ⅱ）では、地域ごとの検証結果が異なっていた。これは地域特性、たとえば、地域の業種構成、input に対するバックアップを保有しており、input の減少や停止が産業活動に対してはさほど影響を及ぼさないなどによることが確認できた。このような場合は、簡易構造モデルで把握することは難しく、地域特性等に合わせた調整が必要であると言える。

今後は、今回検証対象外とした非常時Ⅲ（需要が誘因たとえば遠隔の需要地が被災など）の検証に取り組むとともに、地域特性に合わせた簡易構造モデルの構築（モニタリング指標の選定など）も検討する必要があると考えている。

(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 資料
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/taisaku_honbu.html
（令和６年３月 21 日閲覧）

2) 東海農政局 報道発表資料 明治用水頭首工の漏水事故への対策について
https://www.maff.go.jp/tokai/press/nochi_seibi/220803.html
（令和６年３月 21 日閲覧）
3) 愛知県企業庁：令和 3 年度決算付属書
4)総務省ホームページ：(平成 25 年 10 月改定)（平成 26 年 4 月 1 日施行）－分類項目名－中分類
https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/index/seido/sangyo/02toukatsu01_03000044.html
（令和６年３月 21 日閲覧）
5) 愛知県ホームページ：事業概要（工業用水道事業）
https://www.pref.aichi.jp/soshiki/kigyo-suiji/0000007047.html
（令和６年３月 21 日閲覧）
6) 愛知県ホームページ：統計データー愛知県鉱工業指数（2023 年 12 月分）
https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/iip.html
（令和６年３月 21 日閲覧）
7) 愛知県企画課：あいちビジョン 2030 第 2 部第 2 章 県内各地域の現状と本件の主な取り組み（西三河地区）p257
https://www.pref.aichi.jp/kikaku/aichivision2030report2022/2- 2_nishimikawa.pdf
（令和６年３月 21 日閲覧）
8) 愛知県ホームページ:統計データー令和 3 年経済センサス - 活動調査 産業別集 製造業・詳細版） 第 1 表 5
https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/seizou-3.html
（令和６年３月 21 日閲覧）

(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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と判断が重要である。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、その状況を把握することも重要である。

このような社会様相の変化の全般については、最終的には災害後の調査により正確に把握されるものであるが、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、対応が後手に回ることがしばしばあるとされる。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であり、本研究においては、これらを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ためのシステム構築を目的としている。

南海トラフ地震のような大規模な自然災害では、ライフライン、社会経済活動や産業活動に必要な施設や設備、ロジスティクス（物流）などが被害を受け、サプライチェーンが寸断されることによって、社会経済活動や産業活動が停止し、社会の萎縮が生じることは、これまでの事例からも明らかである。また、緊急事態宣言の発出などの「臨時情報」発表時においても、工場の操業停止・交通機関の運休など社会の萎縮が生じることになる。昨年度までに、これらの社会様相をリアルタイムに把握することを目的に文献調査を行い、電力をはじめとする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（災害時においては被災状況）を推定しうる可能性のあることを明らかにしてきた。

しかしながら、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うものの、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。そこで、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に着目して、昨年度の検討では、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電力需要量の変動から把握し得るかという点について検討を行った。その結果、電力需要量のリアルタイムモニタリングは、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であることがわかった。

今年度は、電力需要のモニタリングを社会状況把握に活用するための基礎検討事例として、明治用水頭首工漏水事故の影響を加味した電力需要を用いた時系列データ分析を行い、電力需要の予測式を構築する。

時系列データ分析は、西三河工業用水の管路を３系統に分割し、各系統別に検討を実施する。既往検討の時系列データ分析では、新型コロナウイルス感染症拡大に伴い発出した第１次緊急事態宣言期間に着目していた。一方で、本業務では明治用水頭首工漏水事故に着目するため下記の項目に対して検討し、電力需給の予測式を構築する。

【1】独立変数について

【2】同定期間について

【3】季節性周期について

【4】予測期間について

(b) 業務の実施方法

愛知県西三河工業用水を対象に、2020 年４月から開始された COVID-19 感染症対策としての行政措置と 2022 年５月から８月にかけて発生した明治用水頭首工事故に伴う取水制限を外乱イベントとして、地域産業における工業用水の供給量と電力需要の推移を分析した。工業用水データについては、愛知県企業庁から提供された西三河工業用水の水量データを、電力需要データについては、株式会社ＧＤＢＬより提供を受けた高圧及び特別高圧のスマートメーターデータを用いた。

(c) 業務の成果

1) 使用電力量データの概要

本検討では、西三河工業用水の管路を独自に青系統、赤系統、緑系統の３系統に分割し、各系統における使用電力量データに対して時系列データ分析を実施する。西三河工業用水の管路図を図２－５－②－１に、例として緑系統の 2020 年４月１日～2023 年２月 28 日までの需要家が使用した電力量として使用電力量データ、および需要家発電設備による電力会社が受電した電力量として受電電力量データを図２－５－②－２、図２－５－②－３に示す。

使用電力量データの推移としては、系統別によらずに以下の特徴がみられる。

【1】１週間の周期で増減を繰り返す。

【2】４月から９月にかけて増加傾向にあり、９月頃がピークとなる。その後は、11 月頃まで減少し、１、２月頃に再び増加傾向になる。

【3】2021 年９月以降は、前年同時期と比較して減少傾向にある。

【3】の考えられる要因としては、新型コロナウイルス感染症の影響による世界的な半導体不足の影響があると考えられる。特に、自動車関連産業が多い青系統で顕著である。

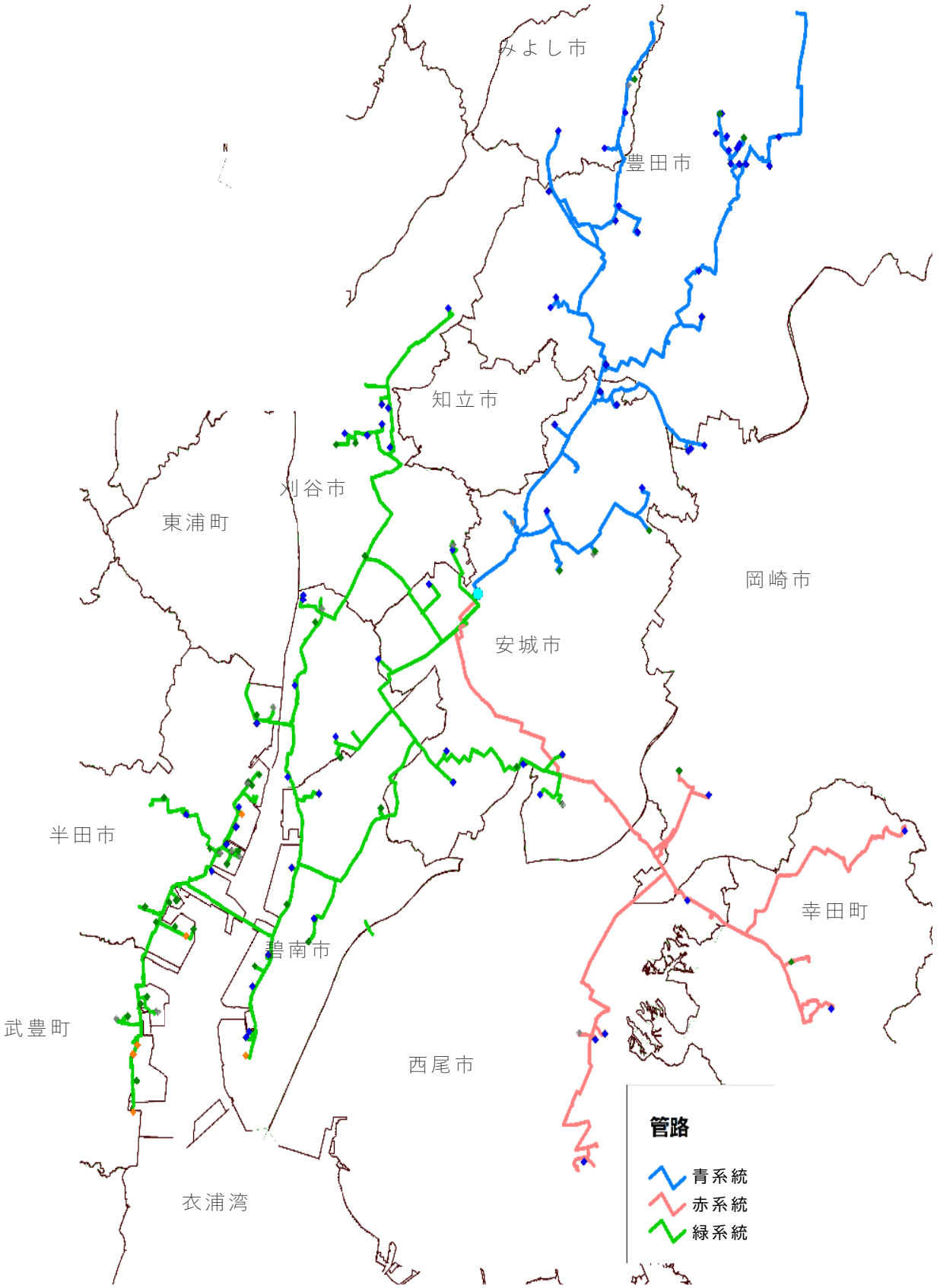


図２－５－②－１　愛知県営工業用水道事業の給水区域 [1)]

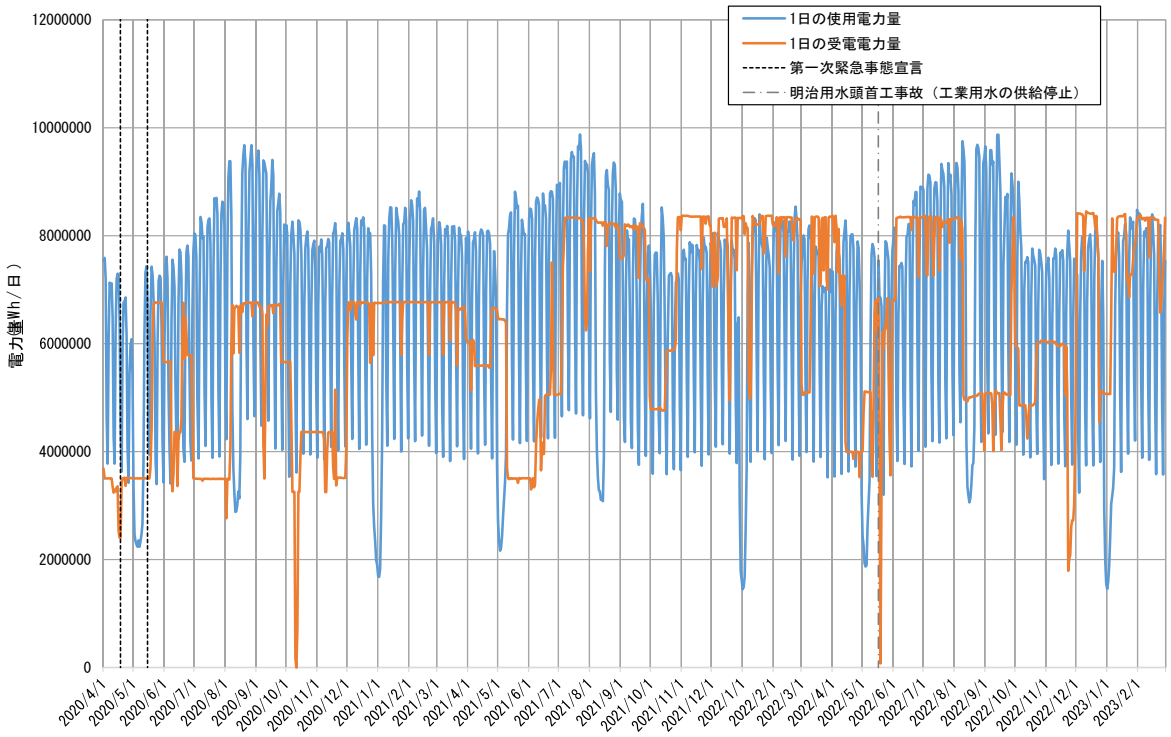


図２－５－②－２　緑系統の１日ごとの使用電力量と受電電力量
（2020 年 4 月～2023 年 2 月）

赤字：工業用水の供給状況

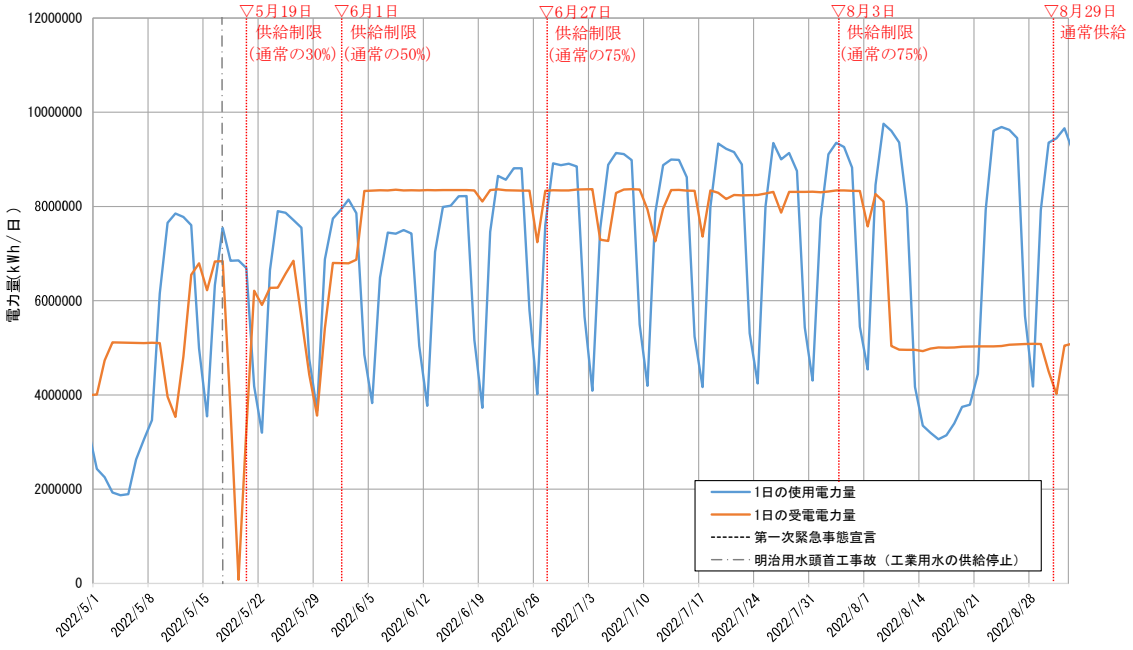


図２－５－②－３　緑系統の１日ごとの使用電力量と受電電力量
（2022 年　5 月～2022 年　8　月）

2) 分析用変数

時系列分析では、使用電力量を従属変数とし、独立変数には電力量に影響を及ぼすと考えられる項目を設定する。系統別の使用電力量データの推移から、１週間の周期で増減を繰り返すこと、気温の上昇に伴い電力量も増加傾向にあることから、既往検討１と同様に a)気温、b)平日／休日を基本とした。詳細については、3.各種パラメータ検討、4)電力需要の予測検討に記載する。

3) 時系列モデルの同定

時系列分析には、統計分析ソフト IBM SPSS Forecasting を用いる。時系列分析では、時系列データの季節性の判定、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、同ソフトウエ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。本検討においては後述のとおり、エキスパートモデラーによる時系列モデルの同定の結果、いずれの系統について ARIMA モデルが提案される。

時系列モデルの同定にあたり、下記項目に着目する。

・モデル適合度定常 R^2 乗

独立変数(説明変数)が従属変数(目的変数)のどれくらいを説明できるかを示す値である。例えば、電力需給量を従属変数とし、独立変数に a)平均気温 b)平日／休日とした場合の ARIMA モデルが定常 R2 乗＝0.800 となった場合、電力需要の変動の８割を時系列データの周期性と気温および休日によって説明可能であることを示していることになる。

・残差に関する Ljung-Box 検定

残差に関する自己相関の有無を確かめる検定である。

仮説 H0：$\rho(1)=\rho(2)=\cdots=\rho(m)=0$（１次、２次、…、m 次の自己相関係数が 0）の有意確率が有意水準 0.05 より大きい場合、仮説 H0 は棄却されない。

したがって、残差に自己相関がない（ホワイトノイズ）と判断できる。

・残差 ACF コレログラム

残差の自己相関係数（ACF）のコレログラムとその信頼限界(95%)において、すべての m 次の自己相関係数(m=1,2,3,…)が信頼限界に入っているかを確認する。

信頼限界に入っている場合は「残差に自己相関はない」と言える。

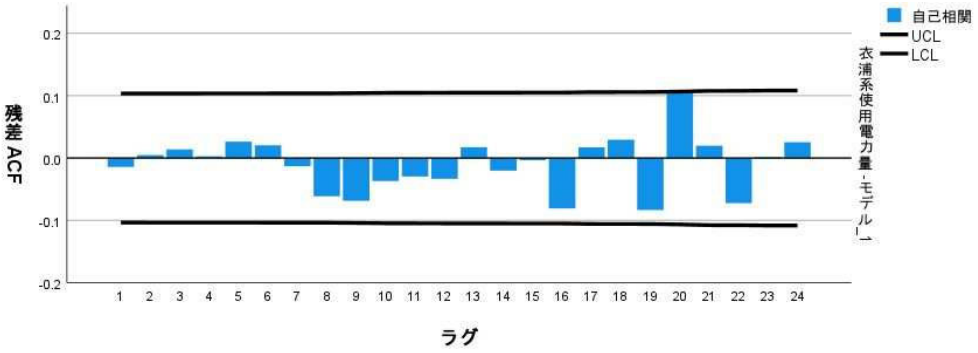


図２－５－②－４ 残差の自己相関係数のコレログラムとその信頼限界（例）

【ARIMA モデルについて】

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 モデルを一般化した形、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)は季節による要素である。また、s は周期であるが、本検討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。

・自己回帰

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。t 時点での配水量を yt とすると、自己回帰モデル AR(p)は以下のように定式化できる。

$$y_t = c + a_1 y_{t-1} + \cdots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

ここで、c は定数項、a は t-p 期の係数、ε はホワイトノイズである。電力需要量は P 日前と Q 日前の値に影響を受けていることを前提としたモデルであることを示す。

・差分

差分の次数(d, D)は、t 時点での配水量と、q 期前の配水量の差、y－y がモデルの説明項となっていることを示す。D は周期単位であるため、t と D 周期前(7 日前)との差分が説明項となる。

・移動平均

移動平均モデルである MA モデルは、t 時点での配水量が当該時点およ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り、次のように定式化される。

$$y_t = \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \cdots - b_q \varepsilon_{t-q}$$

ここで、b は t-q 期の係数、ε はホワイトノイズである。q 日前および Q 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る。

4) 電力需要の予測検討

a) 検討概要

明治用水頭首工漏水事故は、令和 4 年 5 月 17 日に工業用水の供給を停止し、その後、段階的に供給制限を解除し 8 月 29 日に通常供給となった。

本検討では、各種パラメータ検討で構築した予測式に対して、工業用水の供給制限解除に伴う使用電力量の増加過程を予測可能か検証する。

b) 使用電力量データと予測期間

１日ごとの使用電力量を、過去１年間の使用電力量データを用いて同定した SARIMA モデルで予測する。

SARIMA モデルによる予測期間に対する SARIMA モデルの同定期間を表２－５－②－１に示す。なお、同定した SARIMA モデルのモデル診断において、残差はホワイトノイズであると判断できる緑系統の電力量データについて分析および予測を行う。

表２－５－②－１ SARIMA モデルによる予測期間に対する SARIMA モデルの同定期間

	予測期間	ARIMAモデルの同定期間		
(1)	2022/5/10	2021/5/10	～	2022/5/9
(2)	2022/5/11	2021/5/11	～	2022/5/10
(3)	2022/5/12	2021/5/12	～	2022/5/11
(4)	2022/5/13	2021/5/13	～	2022/5/12
(5)	2022/5/14	2021/5/14	～	2022/5/13
		∫		
(110)	2022/8/27	2021/8/27	～	2022/8/26
(111)	2022/8/28	2021/8/28	～	2022/8/27
(112)	2022/8/29	2021/8/29	～	2022/8/28
(113)	2022/8/30	2021/8/30	～	2022/8/29
(114)	2022/8/31	2021/8/31	～	2022/8/30

c）従属変数と独立変数

分析や予測で用いる時系列分析 SARIMA モデルでの変数の設定を表２－５－②－２に示す。従属変数は使用電力量、独立変数は使用電力量に影響を及ぼすと考えられる気温（平均気温とした）、休日（トヨタカレンダー）の２点に着目した。

i）気温

気温は、冷暖房の消費電力等、使用電力量に影響を及ぼすと考えられる。分析や予測では、気象庁の公開する緑系統の主要都市である大府市の平均気温を独立変数として用いる。

ii）平日/休日

企業活動が停止することなどから、平日に比べ休日は使用電力量が少なくなる。分析や予測では、「平日」「休日」に区分する独立変数として用いる。

表２－５－②－２SARIMA モデルにおける変数設定の考え方

	変数名	設定内容
従属変数	使用電力量	SARIMA モデルの同定：期間は表２－５－②－１通り 日ごとの使用電力量データ
独立変数	平均気温	SARIMA モデルの同定：期間は表２－５－②－１に通り 日ごとの大府市の平均気温データ SARIMA モデルによる予測：期間は表２－５－②－１に通り 日ごとの大府市の平均気温データ
	休日	SARIMA モデルの同定：表２－５－②－１に通り 休日の場合 1、平日の場合 0 SARIMA モデルによる予測：表２－５－②－１に通り 休日の場合 1、平日の場合 0

d）季節性の考慮

年月日を横軸、使用電力量データを縦軸にした時系列分布を見ると、電力量は概ね水曜日に山、日曜日に谷を繰り返す周期的な変動をしている。このことから、本分析では７日間（１週間）を季節周期として設定した。

e）時系列モデルの同定および予測結果

・同定結果

予測期間の 2022 年５月 10 日から 2022 年８月 31 日までの ARIMA モデルの同定結果を以降に示す。全 114 ケースのモデル適合統計量定常 R^2 乗および残差に関する Ljunh-Box 検定で用いる有意確率を図２－５－②－５に示す。全ケースで残差はホワイトノイズであると判断できる結果である。

なお、本報告書では代表ケースの同定結果のみ記載する。

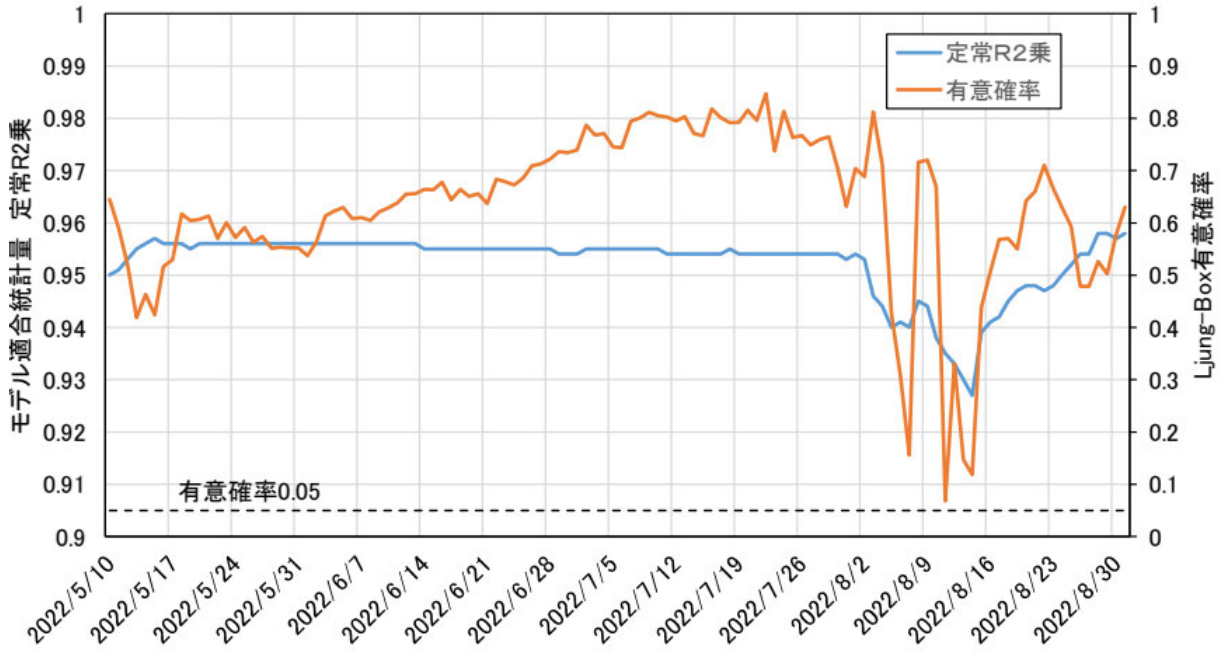


図２－５－②－５：モデル適合統計量定常 R^2 乗および Ljung-Box 有意確率

・時系列分析 SARIMA モデルによる使用電力量の予測結果

明治用水頭首工事故周辺期間（2022 年５月～2022 年８月）の１日ごとの予測値をつなぎ合わせた結果を図２－５－②－６に示す。

事故翌日の５月 18 日については、実測値と予測値に乖離がみられる。一方で、工業用水の供給制限の段階的に解除し始めた５月 19 日以降については、実測値と概ね予測できている。

このことから、緑系統については、下記の設定であれば予測可能であると考える。

＜条件設定＞

独立変数：平均気温（大府市）、平日／休日（トヨタカレンダー）

時系列モデル：ＡＲＩＭＡ

同定期間：１年間

季節周期：１週間

予測期間：１日ごと

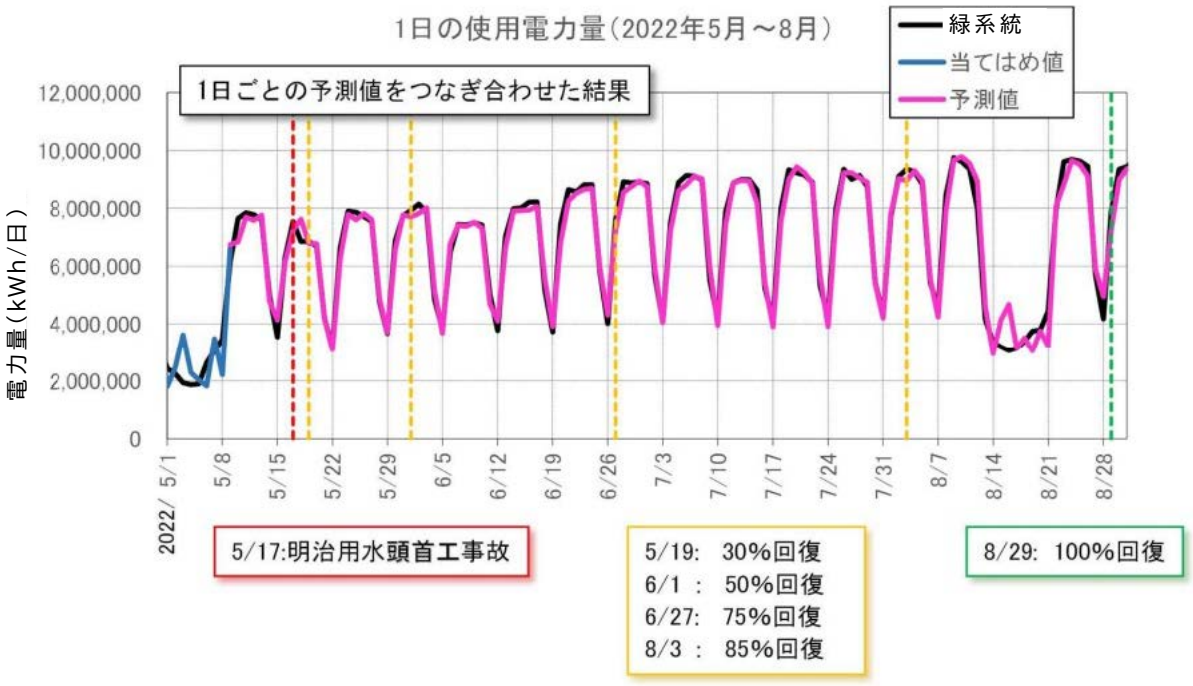


図２－５－②－６：使用電力量データの実測値と
ARIMA モデルによる１日ごとの予測値の比較（緑系統）

5)災害時電力需給における異常値検出の閾値検討

a) 検討概要

平常時における実測値と予測値の比較検討結果を２.平常時における電力需要の予測検討に示した。結果としては、長期休暇期間を除けば概ね一致する結果が得られた。実測値と予測値の比較検討結果を図２－５－②－７に示す。

本検討では、明治用水頭首工漏水事故を対象に、平常時における予測誤差から設定した閾値に対し、事故翌日等の電力需給を異常値として検出可能かを検証する。

検討手順としては、以下のとおりである。

$$誤差=\left|\frac{予測値-実測値}{実測値}\right|\times 100 \quad （単位：\%）$$

【1】平常時の予測誤差

平常時を a)平日、b)休日、c)長期休暇に分けて予測誤差を算定する。予測誤差を下式より算定する。

【2】災害時の予測誤差

【1】で算定した予測誤差を明治用水頭首工漏水事故区間の予測誤差に適用する。事故翌日等の電力需給挙動を異常値として検出可能かを検証する。

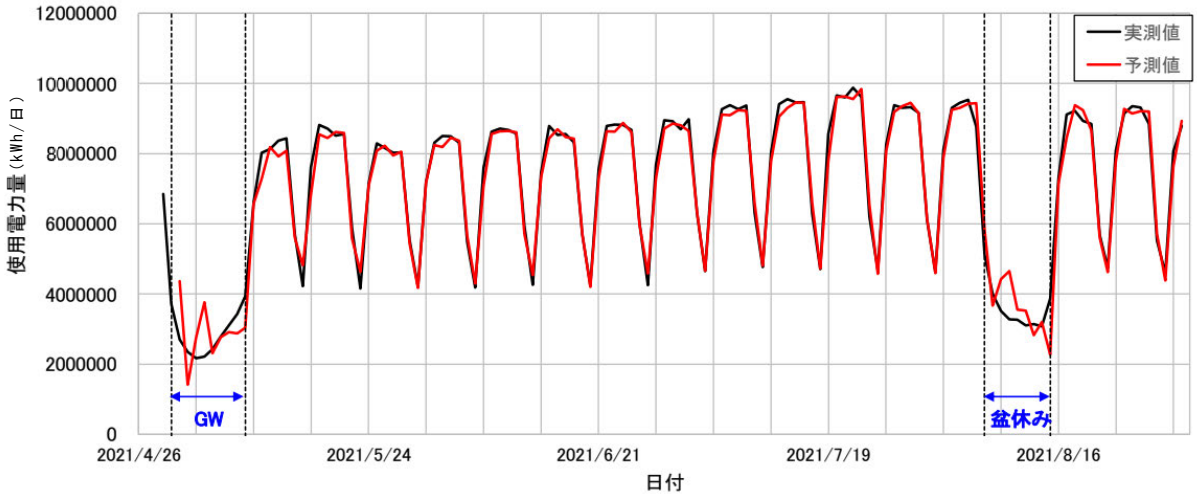


図２－５－②－７：使用電力量データの実測値と
ARIMA モデルによる１日ごとの予測値の比較(緑系統)

b) 平常時の予測誤差

平日、休日および長期休暇の予測誤差一覧を表２－５－②－３に、予測誤差に許容予測誤差を重ね書きした図を図２－５－②－８に示す。また、平日、土日および長期休暇の ARIMA モデルによる１日ごとの予測誤差を求め、下記結果を得た。

平均誤差は、平日 2.4%、土日 3.3%、長期休暇 23.1%となった。

本検討では、平均値±3σ を平常時の許容予測誤差をした。したがって、平常時の許容予測誤差は、平日 9.0%、土日 13.3%、長期休暇 82.1%となる。

表２－５－②－３：予測誤差および標準偏差

		平日	土日	長期休暇
平時 2021年5月1日 ～ 2021年8月31日	最大誤差	10.3	14.2	69.7
	最小誤差	0.1	0.2	0.8
	誤差（平均値）μ	2.4	3.3	23.1
	誤差（中央値）	1.7	2.2	14.9
	標準偏差σ	2.2	3.3	19.6
	μ＋1σ	4.6	6.6	42.8
	μ＋2σ	6.8	10.0	62.4
	μ＋3σ	9.0	13.3	82.1

平均値±1σ：68.27%

平均値±2σ：95.45%

平均値±3σ：99.73%

単位：%

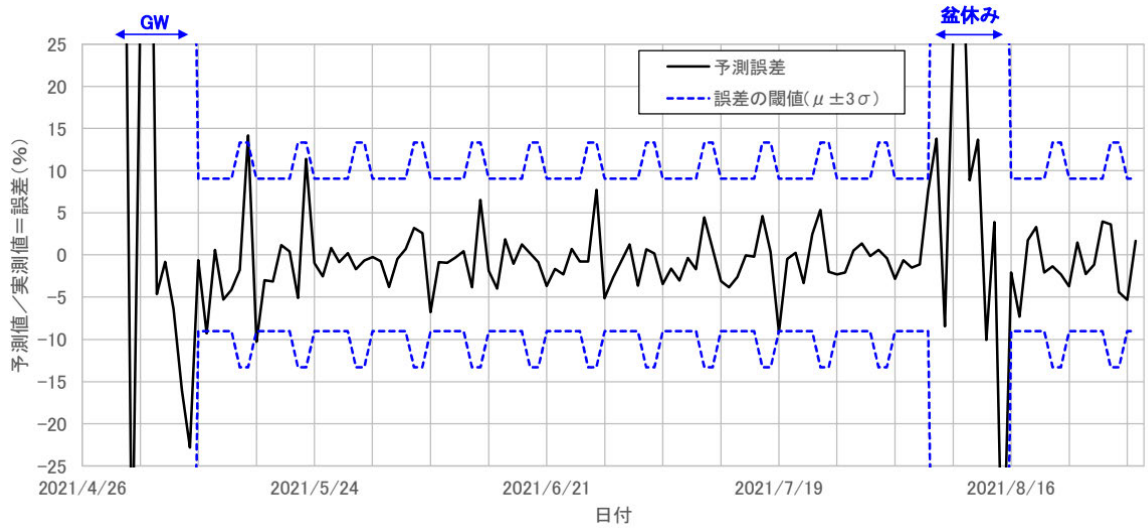


図２－５－②－８：ARIMAモデルによる１日ごとの予測誤差

c）災害時における異常値検出

明治用水頭首工漏水事故を対象に事故周辺期間（2022 年５月９日～2022 年８月 31 日）の予測値と実測値の比較結果を図２－５－②－９（図２－５－②－６の再掲）に、予測誤差を図２－５－②－９に示す。予測誤差には、前項３．２平常時の予測誤差で設定した許容予測誤差値を併記する。

異常値判定結果を表２－５－②－４に示すが、事故翌日の５月 18 日の他、長期休暇前後もしくは長期休暇明けの日曜日など社会様相が変化する期間を異常値として検出する結果となった。

表２－５－②－４：異常値判定結果

異常値検出日	異常値判定 誤差		許容誤差	備考
2022/5/10　火	10.6	＞	9.0	長期休み明け2日目
2022/5/15　日	16.7	＞	13.3	長期休み明けの日曜日
2022/5/18　水	11.3	＞	9.0	事故翌日
2022/8/12　金	11.8	＞	9.0	長期休み前日
2022/8/28　日	18.5	＞	13.3	長期休み明けの日曜日

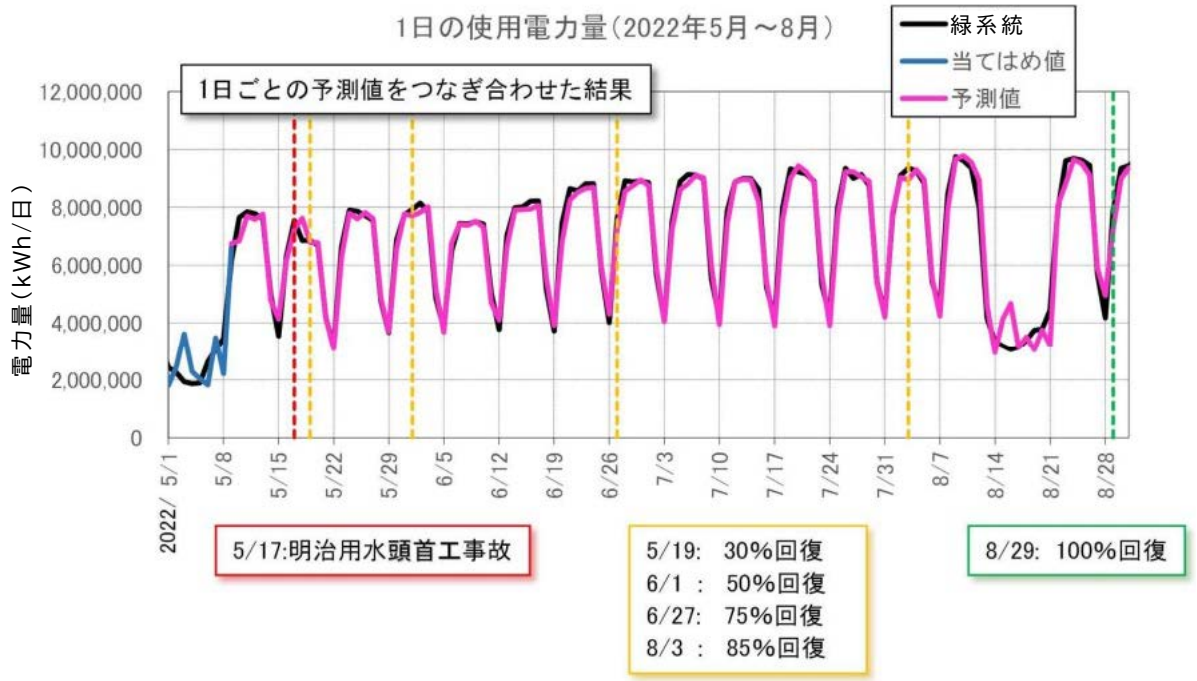


図２－５－②－６：使用電力量データの実測値と
ARIMA モデルによる１日ごとの予測値の比較（緑系統）

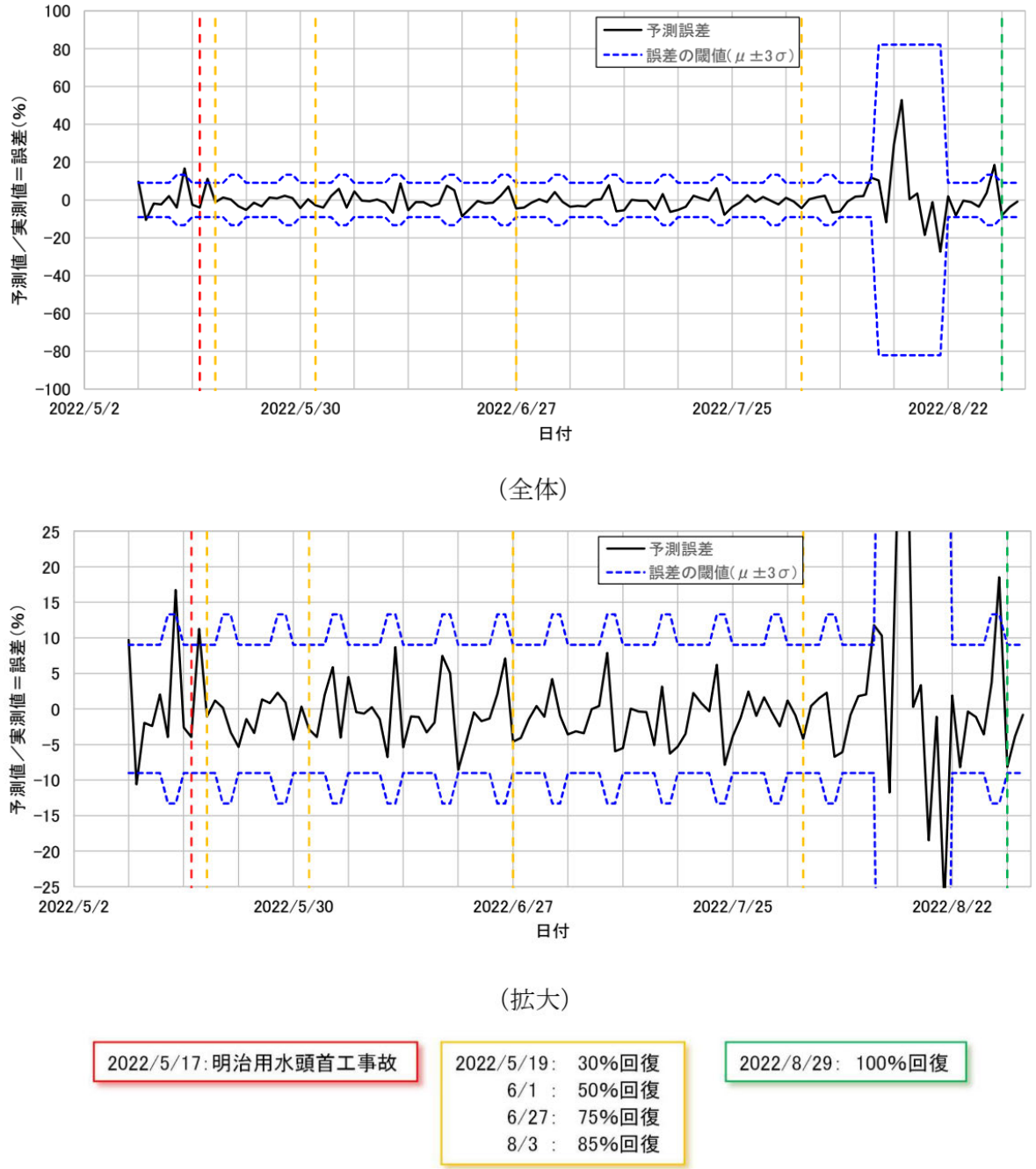


図２－５－②－９ ARIMA モデルによる１日ごとの予測誤差

(d)結論ならびに今後の課題

本検討では、明治用水頭首工漏水事故を対象に、平常時における予測誤差から設定した閾値に対し、事故翌日等の電力需給を異常値として検出可能かを検証した。よって、発災前後の使用電力量の動的変動における異常値により、社会へ影響を与える外因発生を検出できることから地域社会の状態把握へ活用できることがわかった。

1) 平常時の予測誤差

・2021 年５月１日～2021 年８月 31 日を平常時と仮定し、
実測値と予測値の誤差から許容予測誤差を設定した。

・許容予測誤差は、平日 9.0%、土日 13.3%、長期休暇 82.1%とした。（平均値±3σ）

2）災害時における異常値検出

・異常値として検出した日は、以下の通りである。

事故翌日や長期休暇前後などの社会様相が変化する期間を異常値として検出した。

異常値検出日

5月10日：長期休暇明け2日目

5月15日：長期休暇明けの日曜日

5月18日：事故翌日

8月12日：長期休暇の前日

8月28日：長期休暇明けの日曜日

(e) 引用文献

なし

(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

③地域地盤・建物群の地震被災状況モニタリング検討

(a) 業務の要約

南海トラフ地震で広域が被災する際の企業等の対応を想定し、臨時情報発表時（特に半割れ)、発災時、発災後の地域のリアルタイム社会様相把握システムの検討を進めている。これまでに、都市・社会に関する基盤情報の検討と整備、地盤の高密度地震動分布と建物群の地震応答・被災モニタリング、さらには社会様相把握の試行を行っている。本項では特に、被災・社会状況把握の基礎情報となる地域の地盤・建物群の地震動・地震応答モニタリングについて、試行観測の成果と改良、観測点配置戦略の検討、企業や自治体等の事態想定の訓練への応用にむけたプロトタイプシステムの構築を行う。

(b) 業務の実施方法

「リアルタイム地域被災モニタリングの基盤技術構築」では、地域の地震動・建物応答モニタリングについて、プロトタイプシステムの運用に基づく新たな地震観測記録や観測に関する知見を整理するとともに、戦略的な観測点配置の選定基準を検討する。

「建物群の地震時被災モニタリングの基礎的検討」では、建物群の観測の展開、新たな観測記録の特性の検討、および地震時の建物状況の簡易な判定を目指して１点観測の可能性を検討する。

「地域高密度モニタリングの災害対応と訓練への活用」においては、多様なモニタリングと地域基盤データを合わせて表示するプロトタイプシステムを構築し、企業や行政の災害時の対応や、その訓練への利用を検討する。

(c) 業務の成果

1) リアルタイム地域被災モニタリングの基盤技術構築

地盤・建物の多点に MEMS 地震計を設置し、4G 回線でデータサーバと接続する高密度地震観測の試行を継続しており、産業集積地域である愛知県西三河地域を中心として地震観測記録が蓄積されている。今年度は令和６年１月１日能登半島地震が観測されている[1)]。また、新たな観測点の設置や戦略的な配置計画の検討も実施している。

図２－５－③－１に対象地域の表層地盤増幅率[2)]と観測点配置、表２－５－③－１に現状（令和６年３月１日）の観測点・建物の状況を示す。表層地盤増幅率の分布からわかるように、当該地域は河川に沿って地盤特性の変化が大きい傾向があり、狭い範囲で地震動特性の相違が大きい可能性がある。観測点は設置と維持管理の容易さから基本的に建物１階にあり、相互作用の影響には配慮して当該地点の地震動として扱っている。また、いくつかの建物では上階に２点目が設置され、建物の応答と被災状況把握の可能性の検討を行っている。

表２－５－③－２に多数の地点で記録が得られた地震を示す。これらの地震は規模や震源距離が異なっており、各観測地点固有の特性を比較抽出するためにも有用と考えられる。今年度に新たに観測された令和６年能登半島地震の加速度記録と擬似速度応答スペクトルを図２－５－③－２～５に示す。南北に流れる河川（矢作川）に対して東側は地震基盤がごく浅く、西側は濃尾平野に向けて深くなっている。記録の特性は、西側の地点では震度が大きめで、応答スペクトルでは地震基盤以浅の卓越周期が

長周期側で明確である。一方東側では、地震基盤が急に浅くなっていることから、主に表層地盤の影響と思われる短周期成分が卓越し、地点間のばらつきが大きい。以上の傾向は、遠方の大地震である EQ2（福島沖）でも同様である（昨年度の本プロジェクト報告書図２－５－③－６など）。

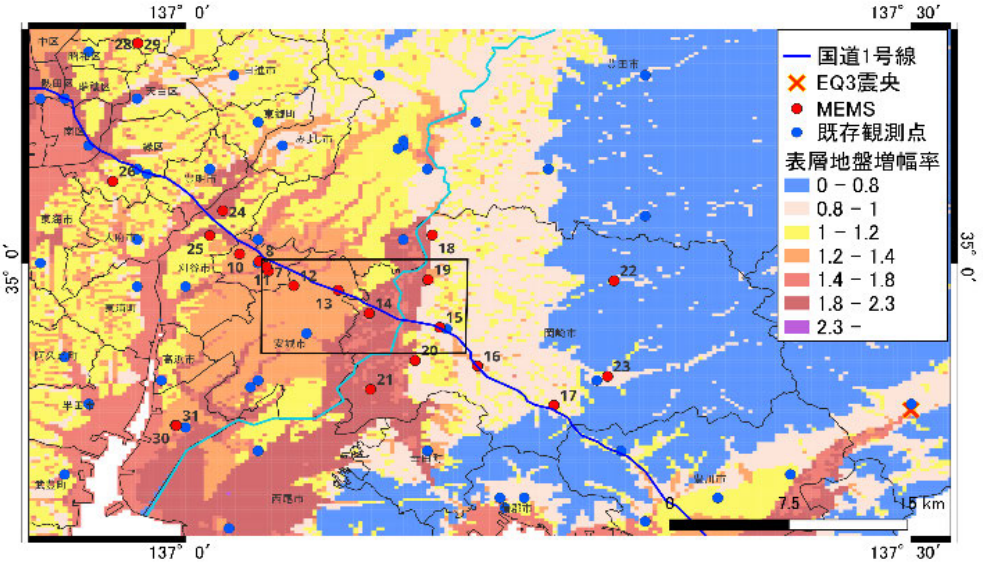


図２－５－③－１　西三河地域の地震計の配置（赤丸が本研究の MEMS 設置点）

表２－５－③－１　MEMS 地震計の設置点と主要な観測記録の震度

地点	対象・位置（特記以外１階）	表層地盤増幅率	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7	EQ8	建物状況
07	自治体施設１	1.69	0.6	1.9	2.4	0.4	0.5	1.3	記録無	記録無	S 造平屋
08	自治体施設 2(BF)	1.31	0.4	2.0	2.2	0.1	0.0	1.5	記録無	記録無	RC 造５階
09	自治体施設 2(RF)		1.1	2.1	3.4	1.3	1.1	1.7	記録無	記録無	同上
10	電力施設３	1.21	0.7	1.9	2.8	0.8	記録無	1.5	1.7	3.3	RC 造平屋
11	電力施設４	1.25	0.6	2.0	2.5	0.5	0.4	1.4	1.2	3.4	RC 造２階
12	電力施設５	1.33	未設置	未設置	未設置	記録無	0.9	1.5	1.0	3.4	RC 造平屋
13	電力施設６	1.28	未設置	未設置	未設置	記録無	記録無	記録無	1.1	3.3	RC 造平屋
14	自治体施設３	1.94	0.9	1.9	2.5	0.3	0.8	記録無	0.8	3.1	RC 造２階
15	自治体施設４	0.95	0.4	0.8	3.0	0.2	1.0	0.7	0.7	2.7	RC 造３階
16	自治体施設５	1.23	未設置	0.7	3.4	0.8	1.2	0.7	1.4	記録無	RC 造２階
17	自治体施設６	1.03	未設置	0.5	3.2	0.5	1.3	0.4	1.0	2.4	RC 造２階
18	自治体施設７	0.90	未設置	0.7	3.4	0.4	1.4	0.5	0.6	2.3	RC 造２階
19	自治体施設８	1.30	未設置	1.2	2.4	0.9	1.4	1.2	記録無	3.3	RC 造平屋
20	自治体施設９	2.06	未設置	1.0	3.7	0.6	1.1	1.3	記録無	記録無	RC 造平屋
21	自治体施設 10	2.13	未設置	1.9	2.7	記録無	記録無	記録無	記録無	記録無	RC 造２階
22	自治体施設 11	0.98	未設置	未設置	3.2	記録無	記録無	記録無	0.7	記録無	RC 造２階
23	自治体施設 12	0.86	未設置	未設置	2.2	0.0	0.2	0.1	0.0	2.1	RC 造２階
24	電力施設１	2.18	未設置	未設置	未設置	0.6	0.4	1.6	1.6	3.4	RC 造平屋
25	電力施設２	1.15	未設置	未設置	未設置	記録無	記録無	記録無	記録無	3.5	RC 造平屋
26	研究施設１	1.34	未設置	未設置	未設置	1.8	1.3	1.8	1.8	記録無	RC 造５階
30	自治体施設 13(1F)	1.31	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	1.4	0.1	3.2	SRC 造９階
31	自治体施設 13(RF)		未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	3.0	1.6	4.9	同上
32	自治体施設 14(1F)	2.09	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	記録無	3.5	RC 造５階
33	自治体施設 14(5F)		未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	記録無	3.7	同上

34	自治体施設 15(B1)	**2.16**	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	記録無	3.3	RC 造 4 階免震
35	自治体施設 15(1F)		未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	記録無	3.6	
36	自治体施設 15(4F)		未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	未設置	0.8	3.7	

震度 1　震度 2　震度 3　震度 4　震度 5 弱

表２－５－③－２　観測された主な地震

番号	発生日時	M	位置	深さ	最大震度（全国）	最大震度（愛知）
EQ1	2021/12/3 9:28	5.4	紀伊水道	18km	5弱（和歌山）	2
EQ2	2022/3/16 23:36	7.4	福島県沖	60km	6強（福島，宮城）	3
EQ3	2022/4/7 9:30	4.6	愛知県東部	10km	4（愛知）	4
EQ4	2023/4/5 6:24	3.7	愛知県西部	39km	2（愛知）	2
EQ5	2023/4/9 11:51	3.7	愛知県西部	40km	2（愛知）	2
EQ6	2023/5/5 14:42	6.5	石川県能登地方	12km	6強（石川）	2
EQ7	2023/8/12 3:09	3.9	愛知県西部	39km	2（愛知）	2
EQ8	2024/1/1 16:10	7.6	石川県能登地方	16km	7（石川）	4

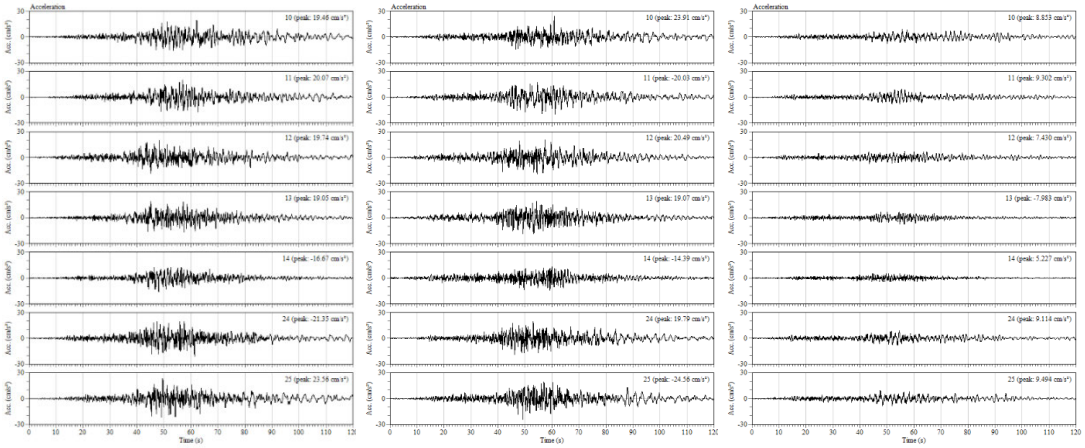


図２－５－③－２　EQ8 の西側各地点の加速度波形

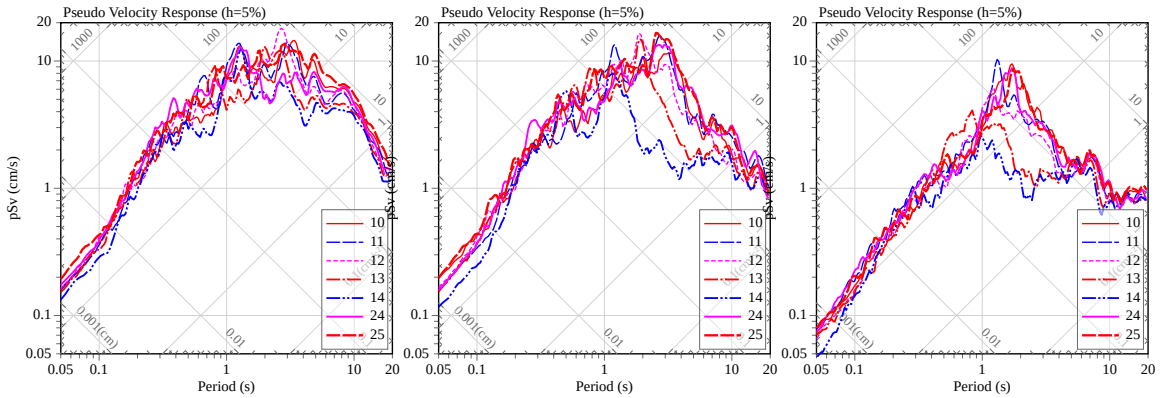


図２－５－③－３　EQ8 の西側各地点の擬似速度応答スペクトル

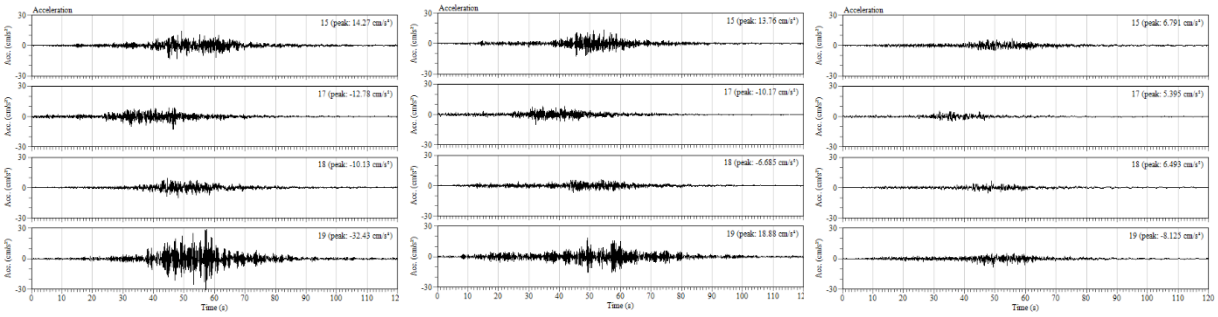


図２－５－③－４　EQ8 の東側各地点の加速度波形

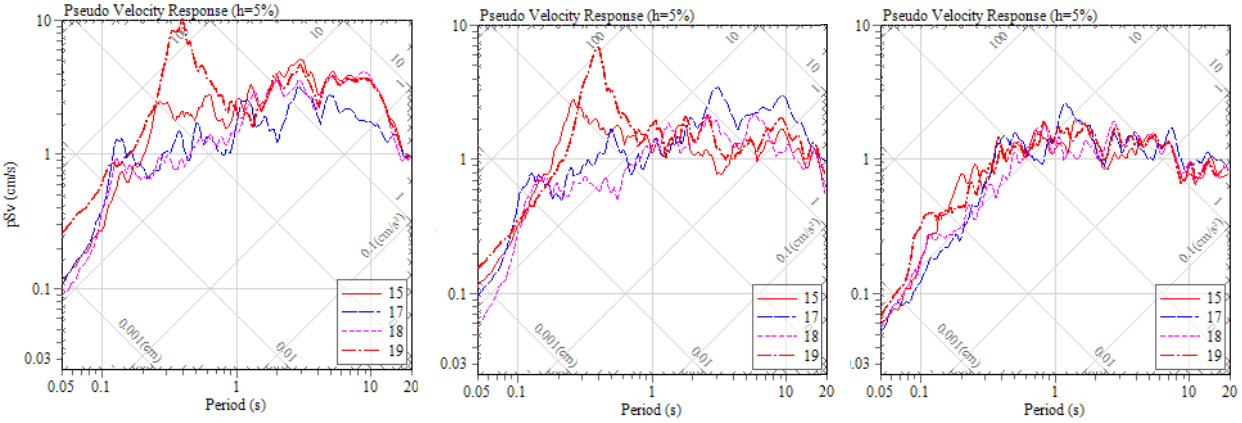


図２－５－③－５　EQ8 の東側各地点の擬似速度応答スペクトル

隣接する２点の観測記録を比較する。地点 14 と 15 は矢作川の両側に当たり、約５kmの間隔であるが、図２－５－③－６に示すように表層地盤増幅率と深部地盤構造（地震基盤深さ）のいずれも大きく異なっている。両地点の EQ1～7 の擬似速度応答スペクトル（南北方向）の比較を図２－５－③－７に示す。それぞれの地点では、遠地の大規模地震（EQ2：福島県沖、EQ8:能登半島など）では深部の影響が明確に表れ、近地の地震（EQ3：愛知県東部など）では震央距離と表層地盤の特性が影響する傾向がみられる。

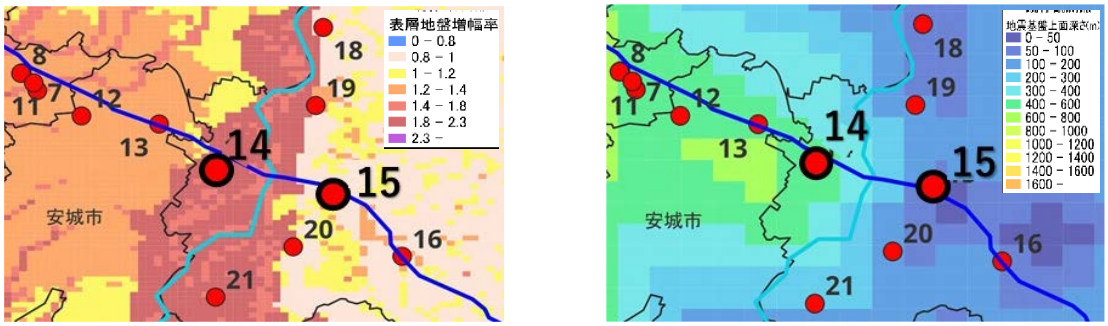


図２－５－③－６　隣接する２地点の比較（左：表層地盤増幅率、右：地震基盤深度）

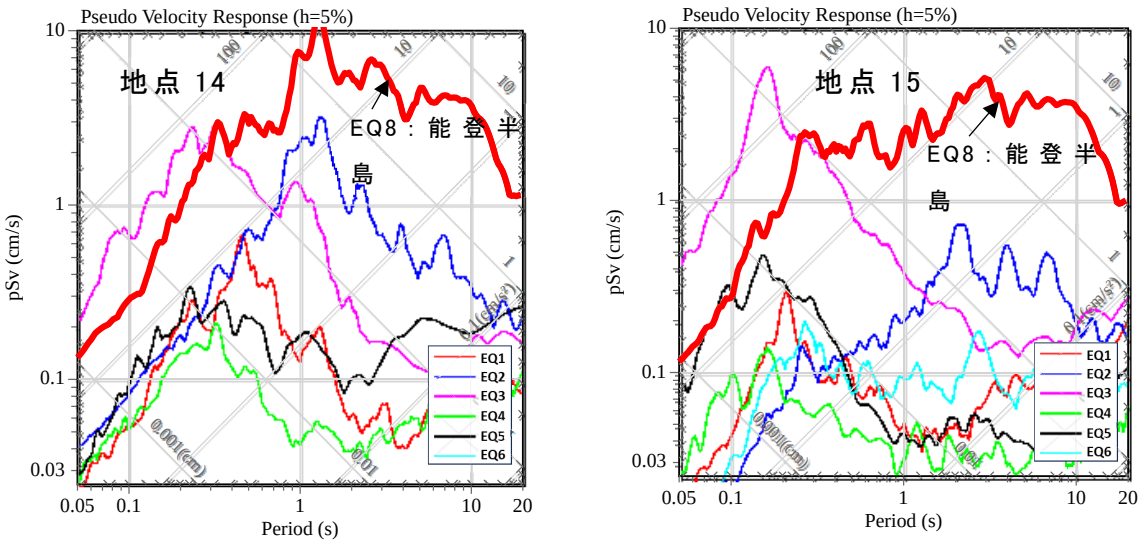


図２－５－③－７　隣接する２地点の比較（複数地震の周期特性）

測線上の計測震度の変化について図２－５－③－８に示す。地点 14 と 15 の間で地震により変化傾向が異なっており、近接する地点であっても計測震度で１以上の差を生じることから、数 km の範囲でも高密度観測を行う意義が認められる。

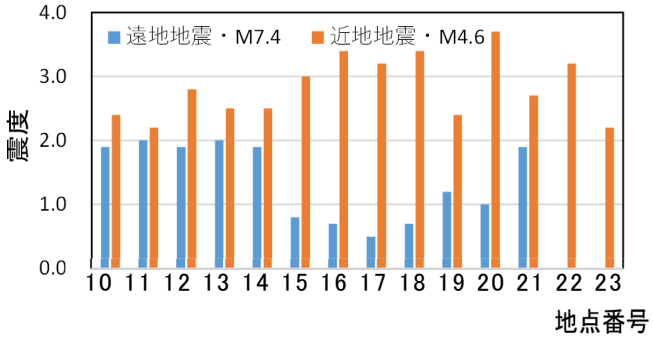


図２－５－③－８　測線上の計測震度の差

以上の結果から、既存の観測網がある地域に新たな観測点を設置する際に、その効果を客観的に検討する必要がある。そのためには、地盤や都市の状況も含めた判断を要するため、ここではまず空間的な領域分割法であるボロノイ分割を用いて基本的な検討を行った。

図２－５－③－９は、既存の観測点（K-NET、気象庁、自治体など）がある場合に、今回展開した MEMS 地震計観測点の有無により、各地震計がカバーする領域の変化を示している。上図は各地震計がカバーする領域の表層地盤増幅率の平均値と、観測点位置の表層地盤増幅率を色で示している。これより、領域の平均に対して観測点の増幅率が大きく異なる場合は、周辺地域の代表点として必ずしも良好ではないといえる。下図は領域内での表層地盤増幅率の分散を示したもので、領域が細分化されれば分散も小さくなる傾向がある。ここでは地盤条件だけを考慮しているが、社会条件（例えば人口分布や建物分布）を考慮した検討が必要となる。

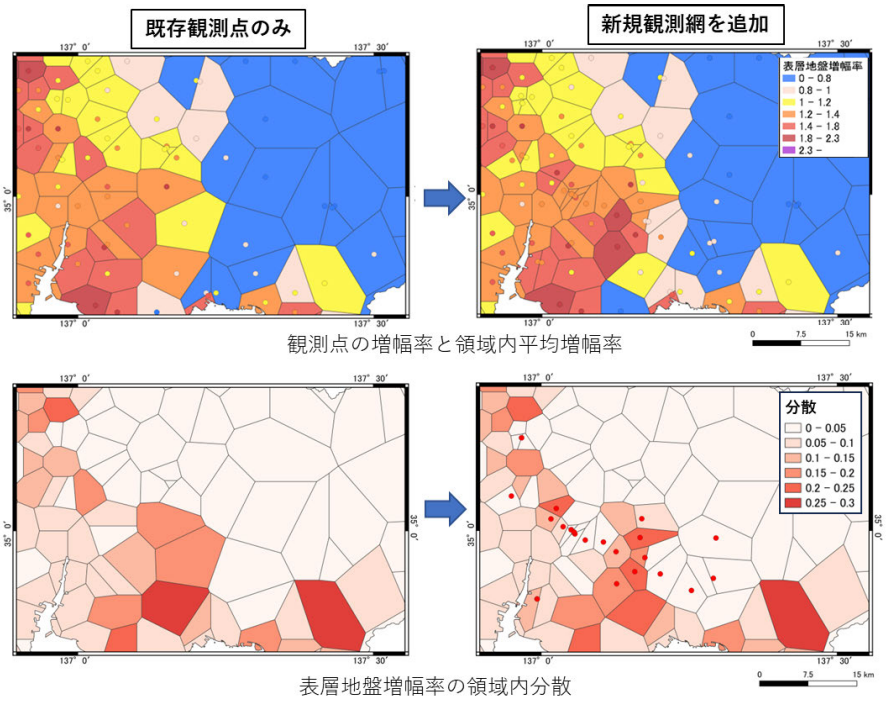


図２－５－③－９　ボロノイ分割による地震観測地点配置の検討

以上のモニタリングの試行を開始して２年が経過し、多数の機器類の長期稼働の安定性や、通信の状況などの知見も蓄積されている。地震計の動作が継続しない状況もあり、その場合の対処法などの検討も行った。１台当たりのコストが比較的低いことから、１地点分をパッケージにして、現場では修理作業は最低限とする方針が適切と考えられる。また大規模地震災害時の携帯電話ネットワークの途絶が懸念されるが、通信設備等の被災が大きくなければ、まず初期の輻輳が発生する以前の段階で、データ量の少ない情報をいち早く送信する戦略が考えられる。また携帯電話ネットワークは、災害時の復旧を早める状況にあることも勘案して、必要なバックアップ装置類を準備する必要があろう。

2）建物群の地震時被災モニタリングの基礎的検討

多数の重要施設を管理する企業や自治体を想定して、できるだけ簡易な方法で建物の地震時挙動を計測し、被災状況の概略を判断することを目的として、複数の建物でモニタリングを試行している。また現状のプロトタイプシステムによらず、これまでに継続的に観測がなされてきた建物の記録も使用して、モニタリング手法の検討を行った。建物の下層と上層の２点観測による応答特性と建物振動特性の把握を主としているが、今年度はさらに簡易な１点観測の検討も行っている。

モニタリング対象として、西三河地域以外の濃尾平野で RC 造５階の庁舎建物と RC 造４階の免震庁舎建物を加えた（表２－５－③－１の自治体施設 14、15）。いずれも令和６年能登半島地震で記録が得られており、基本的な分析を行っている。また従来から観測を実施していた SRC 造 10 階建物（表２－５－③－１の自治体施設 13）では、屋上階で震度５相当の応答となり、２点の観測点から推定された固有周期は従来の観測結果の振幅依存傾向と整合しているが、減衰はやや大きくなっている（図２－５－③－10）。

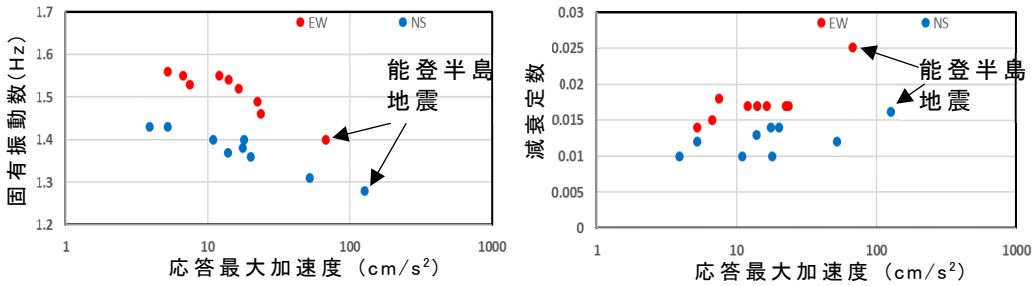


図２－５－③－10 SRC 造 10 階建物の２点の伝達関数より求めた
固有振動数・減衰定数と応答最大加速度の関係

多数の建物について、可能な限り簡易な観測により被災状況を判断するために、建物内１点観測による方法が複数提案されている。これらは大別して、応答レベルと応答周期特性の変化（長周期化）を判断基準としている。前者は計測震度などから構造体の損傷や室内被災を推定するものが多い。後者は非定常フィルタにより振動特性の長周期化を捉える手法がある。ここではウェーブレット解析の利用により特性変化の検出を試みる。これは次式に示すようにマザーウェーブレット$\psi_{a,b}(t)$と、ある信号$x(t)$との内積により信号の時間周波数特性を評価する手法である。

$$X(a,b)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty}x(t)\cdot\psi^{*}\left(\frac{t-b}{a}\right)dt\ ,\quad \text{ここに}\quad \psi_{a,b}(t)=\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

ウェーブレットの幅 a と位置 b を変化させることで、時間と周波数の両領域による信号の解析が可能である点がフーリエ変換とは異なる。

図２－５－③－11 に、中層 SRC 造建物の上階で観測された EQ8 の NS 方向の記録について、ウェーブレット解析結果とウェーブレット変換係数から求めた卓越振動数の変化を示す。これより、地震の前半では振幅の増大に対応して卓越振動数が低下する傾向がみられ、地震の後半では徐々に回復していることが分かる。地震応答により建物の損傷が生じた場合には、その程度に応じて卓越振動数が低下し、地震後も初期の値までは回復しないことが知られており、構造損傷モニタリングに利用できる可能性がある。

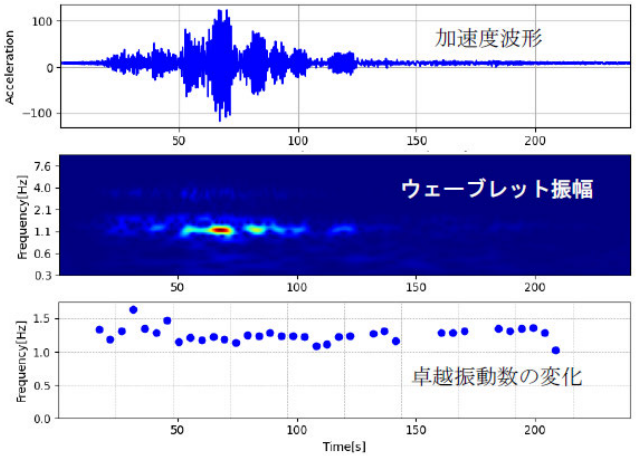


図２－５－③－11 SRC 造 10 階建物の上層階加速度波形、ウェーブレット振幅、
卓越振動数の時刻変化

3）地域高密度モニタリングの災害対応と訓練への活用

これまで述べた地震時モニタリングの結果は、多様な特性をまとめて表示することで、災害対応に有効に活用できるよう運用する必要がある。また平常時から、災害時の被災状況を設定した企業の災害対応訓練やワークショップへの活用が望まれる。そのために地震観測 DB と Web-GIS の連携に基づくインターフェイスの開発を進めている。

図２－５－③－12、13 に開発中の画面例を示す。地域全体の地震観測状況をウェブ GIS 上に表示するとともに、その基本的な特性を分析し、また地域の地盤や施設等と合わせて被災状況を検討できる機能を有する。また各建物のモニタリングは、２点計測を基本として、１点計測にも対応でき、建物データベース（耐震性などの事前情報）と合わせて表示できる。このシステム上に仮の地震動特性や建物応答状況を設定することにより、地域と建物の被災状況の概略を読み取り、その後の対応に活かす訓練やワークショップが可能である。

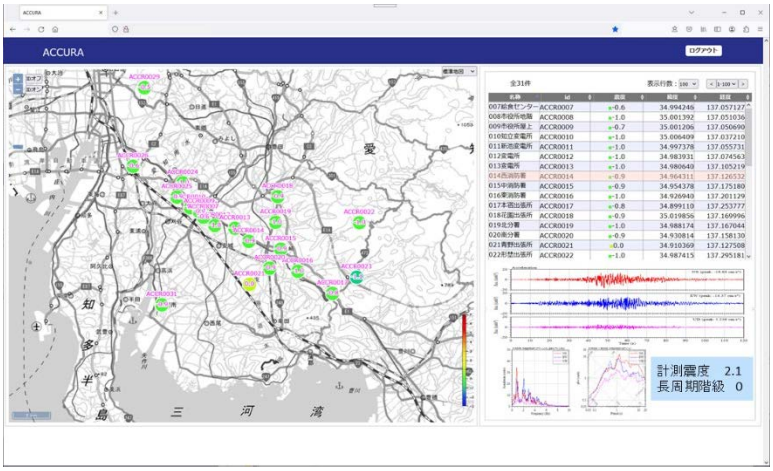


図２－５－③－12 地震観測データベースと WebGIS の統合画面

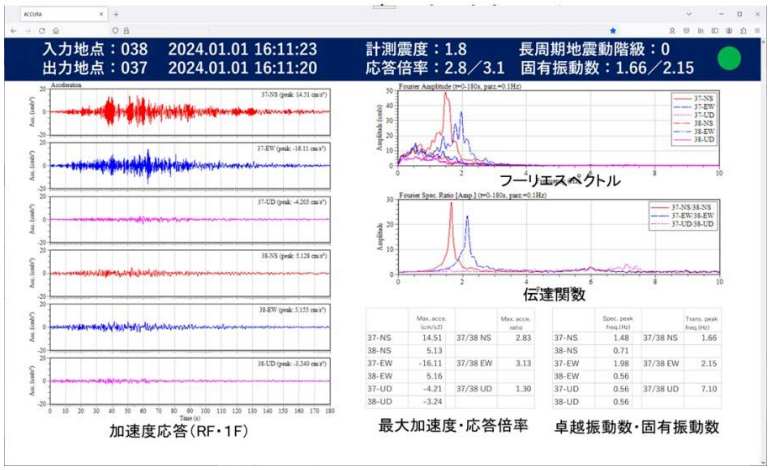


図２－５－③－13 建物の構造・室内被害モニタリング

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 既存の地震観測を補間する高密度観測網を目的として、MEMS 地震計と 4G-LTE 接続による観測体制を構築し、愛知県西三河地域における試行観測を継続している。今年度は令和６年能登半島地震が観測され、その分析も含めて地域の高密度観測網の必要性を示した。それらに基づき、新規観測点を設置する際の効果をボロノイ分割により評価した。また長期の観測に基づく機器や運用に関する知見を整理した。

2) 多数の建物の早期の被災状況把握にむけて、観測対象建物の分析を継続している。能登半島地震では建物上部で震度５弱相当の応答が得られている。またより簡易な評価法に向けて、従来の２点観測に加えて、建物上部の１点観測について検討し、ウェーブレット解析に基づく手法の有効性を確認した。

3) モニタリング結果を企業や自治体の災害対応に活用するためのインターフェイスのプロトタイプを構築した。今後はこれらを実際に災害対応訓練やワークショップで利用することで、その可能性や有効性を検証する必要がある。

(e) 引用文献

1) 気象庁ホームページ：震度データベース検索（参照 2024/3/1）
https://www.data.jma.go.jp/eqdb/data/shindo/index.html

2) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS Map（参照 2024/3/1）
https://www.j-shis.bosai.go.jp/

(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
大規模地震災害時の地域モニタリングに向けた地域・建物観測網　その１～３　口頭	幸山寛和 都築充雄 飛田潤 斎藤侑賢 山下現生	日本建築学会大会（京都）	2023.9	国内
大規模地震災害時の地域モニタリングに向けたMEMS地震計観測網　口頭	都築充雄 幸山寛和 飛田潤 斎藤侑賢 山下現生	日本地震工学シンポジウム（横浜）	2023.11	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

④ 南海トラフ地震臨時情報発表時の事態想定シミュレーションの開発

(a) 業務の要約

南海トラフ地震臨時情報はこれまで発表されたことがなく、発表された際の対応を考えるためには起こりえる事の想定が必要となる。一方で南海トラフ地震臨時情報が出されるまでの仕組みについて、市民や企業人だけでなく、行政職員も理解できているとは言い難い。このため本研究では昨年度に引き続き、南海トラフ地震臨時情報発表時の事態想定を検討するため、南海トラフ地震の発災並びに南海トラフ地震臨時情報が発表された際の、自身や組織の想定や課題を検討するための勉強会ツールの開発を行政職員と共に行った。また、これまでの開発段階では、主として市民・住民向けのツールであったものを事業継続計画（BCP）の策定や改定を行う企業等を対象とした「企業版」の勉強会ツールにするための検討を進めた。

(b) 業務の実施方法

1) 勉強会ツールの実践と企業版の検討

a) 開発の方向性検討

名古屋大学減災連携研究センターでは企業や自治体から受託研究員を受け入れている。本研究は昨年度から引き継いだ７つの基礎自治体からの受託研究員と名古屋大学の研究者で構成される自治体研究会南海トラフ地震臨時情報グループ（以下、臨時情報グループ）において勉強会ツールの改良と実践を行った。未だ発表された事例のない臨時情報の扱い方や考え方について自治体をはじめとする多くの機関が苦慮しているところであるが、現状のままでは、臨時情報が発表された場合、「臨時情報とは何なのか」、「臨時情報をどのように受け止め、どのような行動をすればよいのか」といった問合わせの対応に忙殺され、本来の災害対応業務が滞ってしまうことが懸念される。臨時情報グループでは、こうした事態を未然に防ぐため、自治体が「住民・企業等が臨時情報を知り、考える」ことを支援し、「臨時情報発表時に住民・企業等が困ること・必要なものを把握」するきっかけとなるツールの開発に名古屋大減災連携研究センターと協働で取り組んできている。令和５年度は、令和４年度に開発した住民向けのワークショップ（以下、住民版 WS）の改良と実践及び、企業向けのワークショップ（以下、企業版 WS）の設計に着手することとした。

b) 東三河防災カレッジにおける住民版 WS の実施

令和６年１月 18 日（木）に豊橋技術科学大学安全安心地域共創リサーチセンター主催で開催された東三河防災カレッジにてワークショップを実施した（写真２－５－④－１）。ワークショップの内容は、昨年度開発した住民版 WS（図２－５－④－１）を採用し、受講者は、会社経営者、行政職員、会社員など 30 名ほどが参加した。



写真２－５－④－１　東三河防災カレッジにおける実践の様子



図２－５－④－１　南海トラフ地震・臨時情報対応想定ワーク

2）企業版ＷＳの検討

国は、「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】（以下、ガイドライン）」において、企業等における防災対応に関し、確定的な地震予測は困難であるとした上で「日頃からの地震への備えを再確認する等警戒レベルを上げることを基本に、個々の状況に応じて適切な防災対応を実施したうえで、できる限り事業を継続することが望ましい」とする方針を示している。臨時情報で発表されるのは、あくまで「相対的な」地震発生の高まりであり、従来の東海地震予知情報のように「高い確率で地震が発生する」ことを伝えるものではない。企業等においては、こうした臨時情報の曖昧さを理解したうえで「適切な防災対策」と「可能な限りの事業継続」という絶妙なバランス感覚が求められている。したがって、企業版 WS の設計にあたっては、以下の目的を達成できるよう検討した。

a.参加者に「臨時情報とは何か」について正しく理解してもらう、b.臨時情報を南海トラフ地震の付加情報として捉え、防災対応を検討する際の想定時間軸に落とし込む、c.臨時情報発表に伴う社会の変化が自社の事業継続にどのような影響を及ぼすのか洗い出す、d.洗い出されたリスクを低減又は回避するための事前措置について検討する、e.ＢＣＰ（事業継続計画）を作成している企業等においては、臨時情報を考慮した事前対策について記載することで内容の充実を図る

資料の作成については住民版 WS の資料をベースに検討を行い加筆・修正を加えた。住民版 WS の資料では、南海トラフ地震の概要を説明した後に、南海トラフ地震に伴う付加情報として臨時情報があることを伝える構成にしている。企業版 WS の資料でもその流れは変わらないが、企業等を対象とした場合、その企業が抱える利害関係者を考慮すると、南海トラフ地震及び臨時情報が与える影響を住民版 WS よりも広い視野で捉える必要がある。つまり、企業等においては、自社が置かれている地域やそこで働く従業員だけでなく、グループ会社や取引先を含めたあらゆる関係者が受ける影響についても考慮しなければならない。

そこで、企業版 WS の資料では「企業等に求められる対応とは？」という項目を新たに設け、「臨時情報発表時でも、企業等は可能な限りの事業継続が求められていること」、「後発地震の発生を見据えた事前の防災対策が企業等における操業度の低下抑制に繋がること」に関する内容を追加することで企業防災の重要性について意識付けができるよう工夫した。

また、企業版 WS では、臨時情報について理解を深めるだけでなく、後述するワークの実施により、自らが所属する企業等のＢＣＰの内容充実に繋げてほしいという狙いもある。そのため、ワーク後の参考資料として国のガイドラインで示されている企業等の防災対応の検討手順について要約した内容を追加した（図２－５－④－２）。



図２－５－④－２　南海トラフ地震・臨時情報勉強会・ワークショップ

（c）業務の成果

1）勉強会・ワークショップ実施（住民版 WS）と企業版 WS の検討成果

a）勉強会・ワークショップ(住民版)の実践結果

昨年度開発した住民版WSを用いて、会社経営者、行政職員、会社員など30名ほどが参加した東三河防災減災カレッジの場で実践を行った。その結果、多様な背景を持つ参加者を対象とした実践であったが、ワークシートには多くの記述が見られツールの開発目標の１つである、事前の知識によらず、臨時情報を含めた南海トラフ地震の多様性を踏まえた社会事象への対応を考えることのできるツールであることが実践の観察から確認された。

企業版WSの検討と開発については、企業版における勉強会資料の検討と作成を通じて、伝えるべき内容とワークを通じて考えるべき内容を整理し、住民版WSのワークシートをベースに、企業版WSのワークシートの試案を作成した(図２－５－④－３)。

ワークシートでは、災害対応の時間軸を、以下に挙げる２つのケースに分けて示している。

- 【ケース①】：南海トラフ震源域の西側（四国地方）で震度７クラスの地震が発生し、東海地方に臨時情報が発表された場合
- 【ケース②】：ケース①から１週間以上が経過し、東海地方で震度７クラスの地震が発生した場合

参加者はケースごとに「（企業等が置かれている）地域社会」、「従業員」、「顧客・取引先」の３つの視点に立って「何に困りそうか」を考えてもらう。その後に、「困らないために何ができるのか」をシートに書き込むという流れでワークを進めていく。このワークの効果として、災害時の状況を時間軸に沿って想像しながら、起こり得るリスクを洗い出し、企業等におけるリスク回避措置の検討に役立ててもらうことを期待している。

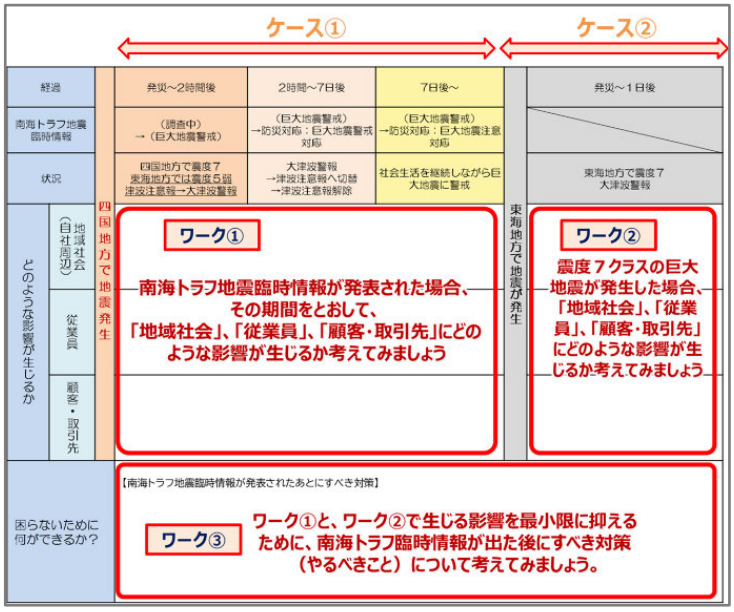


図２－５－④－３　災害想定ワーク（企業版）

(d) 結論ならびに今後の課題

1)勉強会・ワークショップ（住民版 WS）の実践

本研究では南海トラフ地震の発災並びに南海トラフ地震臨時情報が発表された際の、自身や組織の想定や課題を検討するための勉強会ツールの改良と実践を行政職員と協働で行った。その結果、市民、企業人、行政職員に対し、勉強会・ワークショップを実施し、多様な背景を持つ参加者向けに、参加者の知識によらず考える事のできるツールであることが確認された。昨年度の課題であった、南海トラフ地震並びに臨時情報について認知度を高める役割を担う人材の育成についてはまだ課題が残っているが、勉強会資料の改良により、講師役が特定のスキルによらず実践のしやすい形態となり、引きつづき実践の中でそうした人材が増えるよう検討していく。

2) 勉強会・ワークショップ（企業版 WS）の検討

勉強会・ワークショップ（住民版WS）の勉強会ツールをひな形として、企業版WSの勉強会ツールの検討を行い、勉強会に用いる資料とワークシートの試作を行った。ただし、企業版のWSについては、まだ完成したわけではなく、実用化にあたっては以下に挙げる課題を解決した上で、実践を行い必要な修正を加える必要があると考える。

(ア) 取り組みやすい企業版WSの設計について

企業版WSを設計するにあたり、住民版WSよりも資料内容を増やしている。これにより、臨時情報発表時における企業等を取り巻く社会の変化について、より理解を深めることができるようになったが、いまだ臨時情報自体の認知度が低いことを鑑みると、単発のワークショップの内容としては詰め込み過ぎてしまったきらいがある。

ワークショップを目的ごとに細分化し、複数回に分けて実施することもアプローチの１つとして挙げられるが、参加者の負担が増してしまうことで「気軽に取り組めるワークショップ」からは離れてしまうことが懸念される。

(イ) 企業版WSに適した内容の精査

本稿で提示した災害行動想定ワークシートでは、想定されるリスク（困ること）を「地

域社会」「従業員」「顧客・取引先」の３つに大別したが、本グループにおける検討の過程において、上記以外に「設備」や「財務」、「人事・労務管理」など他にも考慮すべき項目があるのではないかという意見も挙げられた。項目を細分化することで、より企業等の抱える問題に迫ることができる一方で、参会者自身が、所属する企業等の業務内容について、一定以上の広い知識と理解を有していることが求められる。

また、「企業等」と一括りにしているが、企業規模や業種・業態などによって、洗い出すリスク項目や対処するリスクの優先度は異なると考えられる。

企業版ワークシートの内容・構成を検討する上では、あらゆる企業等が参加することを考慮しなければならず、自治体職員だけでは最適解を出すことは難しい。そのため、本稿の企業版WSをたたき台とし、企業人を交えた実践を重ね、広く意見を聴取しながら内容を精査する必要がある。

（ウ）ＢＣＰ未策定の企業等へのアプローチ

臨時情報発表時であっても、企業等においては可能な限りの事業継続が求められていることから、企業版WSでは、洗い出されたリスクに対し、「後発地震に備えてどのような対応が取れるのか」を考え、南海トラフ地震に関するＢＣＰの見直しに繋げることを期待している。しかしながら、企業におけるＢＣＰの策定率は、東京商工会議所が実施した令和４年度調査において、大企業では71.4%、中堅企業では27.6%となっており、企業規模によって差が生じていることがうかがえる。

ＢＣＰはその作成の過程で自社のビジネスに関する理解と、抱えるリスクに対する脆弱性の評価がなされるため、ＢＣＰの作成の有無により、ワーク開始時点で参加者間の知識にばらつきが生じていることが考えられる。あらゆる企業等の参加を想定している企業版WSにおいては、このような事情を踏まえて資料内容を精査する必要がある。

住民版WSでは「臨時情報が発表された場合にどうするか」を考える際、その範囲は自分と家族など近しい範囲に限られていたため比較的行動を想定しやすかった。一方、企業版WSでは自社を含む利害関係者全体まで視野が広がる。そのため、想定されるリスクの洗い出しや必要な対策を検討するには、臨時情報発表時における社会全体の変化や企業等に求められる防災対応について説明する必要があり、ワークに臨む前の勉強資料の追加やワークシートの見直しを行った。企業版WSの本年度の検討と開発は、たたき台の位置づけであり、次年度は企業等を対象に実践を重ね、多くの意見を取り入れながら改善をしてくことが必要であり、次年度の取組みにおいて手法の確立を目指す。

(e) 引用文献

1) 岡田恵実，高橋拓也，荒木裕子，新井伸夫，平山修久：南海トラフ地震臨時情報を住民と一緒に考える勉強会の実践，地域安全学会第 50 回研究発表会（春季）梗概集， pp.237-241，2022 年５月

2) 倉田和己，穴井英之，荒木裕子，新井伸夫：南海トラフ地震臨時情報に関する住民意識の現状と防災対応検討ガイドラインとのギャップに関する考察，災害情報，No.20-1，pp.63-73，2022 年 1 月

(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
南海トラフ地震と臨時情報について理解を深めるための災害行動想定ワークの開発と実施（口頭）	岡田恵実 柴田智隼 町屋弦一郎 人見幸希 千葉啓広 荒木裕子 平山修久	地域安全学会第 52 回研究発表会（春季）梗概集, pp.185-188	2023.5	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
南海トラフ地震が時間差で発生した場合の行動を考える勉強会ツールの開発と実践（査読あり）	岡田恵実 町屋弦郎 西尾吏啓 千葉啓広 荒木裕子 平山修久	地域安全学会論文集、No.43,pp.137-146	2023.11	国内

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

⑤ 南海トラフ地震臨時情報発表時の社会事象と要因推定手法の開発

(a) 業務の要約

南海トラフ地震は、南海トラフ地震臨時情報（以下、臨時情報）が発表され得る状況も含めて、その発生形態の多様性が知られている。東北地方太平洋沖地震の教訓を踏まえ、起こり得る最大の外力による被害を念頭に各地域・各階層で防災減災対策が進められている。一方で、孫ら（2014）[1)]は、大きな被害想定を突き付けられたことにより住

民や行政の中に諦めのムードが生まれ、事前検討を進めることの難しさを報告している。一方で平松・平山[2)]は、最大クラス（M9）の想定に基づく事前検討の難しさの一方で、中規模（M8想定）クラスの想定に対する検討では、災害対応における検討手順の整理が行える可能性を示している。事業継続も含め、個々の状況に応じた防災及び、減災対応を進める上では、臨時情報が発表される状況も踏まえたあらゆる状況を想定した備え・準備が必要であるが、現状では最大想定に対する検討が主流となっている。

本研究では、昨年度と同様にサブ課題３の取組みである、情報発信検討会「事業継続」テーマの議論の場を活用し、産官学民の参加に基づくワークショップを実施した。研究の方法は、まず、南海トラフ地震の半割れシナリオに対する地域社会の耐災性を考えるワークショップを実施した。ワークショップは、南海トラフ地震の多様性を踏まえて、自機関の所在地にM8クラスの先発地震が発生した条件における、直接被害と間接被害を考え共有した上で、現状で直ぐできる対策について議論を行うワークショップ形式の議論の場を企画・実践した。実践結果に基づいて、参加者の当日の総合討論における意見やグループワークのファシリテーター及び記録者を担当したスタッフへの意見聴取に基づいて、中規模クラスへの事前検討の課題や利点の整理を行い、こうした議論を行う上での改善点について考察を行った。これらを踏まえて、中規模クラスの想定に基づく検討手法のあり方について、整理し明らかにした。

(b) 業務の実施方法

まず、サブ課題２の各研究機関と連携し、地域社会の耐災性を考えるワークショップ①及び、ワークショップ②を設計し、サブ課題３の創成情報発信の取組みである、情報発信検討会「事業継続」テーマの場を実践の場とした。①と②のワークショップは、２回に分けて実施し、いずれも名古屋大学を主会場とし、オンライン併用で行った。実施概要としては、まずワークショップ①で得られた臨時情報発表時に起こり得る社会様相結果について構造化し、想定される「災害事象」として整理する。さらに、その整理した災害事象に基づいて、ワークショップ②で、その要因分析を試行し、その結果について整理を行い、その考察に基づいて、事前対策の検討に資する災害事象の要因分析手法のあり方について検討する。

(c) 業務の成果

1) 南海トラフ地震臨時情報発表時の社会事象と要因推定手法の開発

a) はじめに

東北地方太平洋沖地震以降、国が平成24年８月29日に公表した「最大クラスの地震・津波モデル」に基づき、都道府県レベル及び基礎自治体レベルにおいても、特に「命を守る」という観点で想定外をなくすことを念頭にあらゆる可能性を考慮した最大クラスの被害想定を示している（例えば、愛知県：2014）[3)]。こうした想定により、起こり得る最大の外力による被害を念頭に各地域で対策が進められる。一方で、孫ら（2014）や平松・平山（2023）は、大きな被害想定を突き付けられたことにより住民や行政の中に諦めのムードが生まれ、事前検討を進めることの難しさを報告している。内閣府は、2019年３月に「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（以下、ガイドライン)」[4)]を公表するとともに、同年５月の「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」[5)]の変更に伴い、時間差により発生する可能性も含め、多様な発生形態をとる可能性があることに十留意する必要性を示している。そうした多様な発生形態を踏まえた対応の 1 つとして、同月より気象庁は、「南海トラフ地震臨時情報」（以下、臨時情報）の運用を開始した。上述のガイドラインでは、突発的な地震発生に備えて対策を進めていくことが基本としつつ、防災対応を取るべきケースとして、半割れ（大規模地震 M8.0 以上)、一部割れ（前震可能性地震 M7.0 以上 M8.0 未満)、ゆっくりすべり（プレート境界の固着状態の変化）の３つの状況を示している。臨時情報は、このような状況を前兆現象として、その後に発生する可能性のある南海トラフ地震への備えを促す情報として活用することを意図して発表されるものである。これまでの既往研究の多くは、例えば金ら[3)]や倉田ら[4)]のように、南海トラフ地震の多様性のある発生形態の内、「臨時情報」の発表条件である前兆現象を受けて、今後の発災に備えた対応や起こり得る社会状況を整理し課題を示す研究が中心である。上述の平松・平山の研究では、最大クラスの想定に基づく事前検討の難しさと合わせて、中規模クラス（M8 クラスの想定）の検討を行うことで、災害対応における検討手順の整理が行える可能性も示されているが、このような南海トラフ地震の多様性を踏まえた、中規模クラスへの事前検討の課題や利点の整理を行う研究はまだ少ない。

そこで本研究では、南海トラフ地震の多様性を踏まえて、自機関の所在地に M8 クラスの先発地震が発生した条件における、直接被害と間接被害を考え共有した上で、現状で直ぐできる対策について議論を行うワークショップ形式の議論の場を２回、企画・実践した。実践結果に基づいて、参加者の当日の総合討論における意見やグループワークのファシリテーター及び記録者を担当したスタッフへの意見聴取に基づいて、中規模クラスへの事前検討の課題や利点の整理を行い、こうした議論を行う上での改善点について考察を行う。これらを踏まえて、臨時情報発信時の状況の想像も含め、南海トラフ地震の発生形態の多様性を踏まえた想定される災害事象に対する検討手法について検討を行った。

表２－５－⑤－１　ワークショップの概要

ワーク	ワークショップ①	ワークショップ②
実施日	2023年9月4日（月）	2024年1月31日（月）
会場	名古屋大学環境総合館（Zoom併用）	名古屋大学減災館（Zoom併用）
イベント名	情報発信検討会「事業継続」テーマ	情報発信検討会「事業継続」テーマ
参加者数	67名（内WS参加者28名）	52名（内WS参加者17名）
内容	①南海トラフ地震の多様な発生形態に関する話題提供	①南海トラフ地震の多様な発生形態に関する話題提供
	②ワークショップ形式の議論（GW）	②ワークショップ形式の議論（GW）
	③GWの振り返り（全体共有）と総合討論	③GWの振り返り（全体共有）と総合討論

b）南海トラフ地震の多様性を踏まえた社会の耐震性を考えるワークショップの企画

ワークショップは、2023 年９月４日及び、2023 年１月 31 日に開催された、サブ課題３が行う、情報発信検討会「事業継続」テーマの中で、名古屋大学減災連携研究センターも含む、サブ課題２の研究機関の連携により、企画運営を行い実施した。本ワークショップには、行政職員及び、指定公共機関も含む民間企業と研究機関に所属する研究者が参加し、社会の耐災性を考えるワークを行った。参加者数は、９月４日のワーク①は 27 名、１月 31 日のワーク②は、17 名が参加した（表２－５－⑤－２）。

表２－５－⑤－２ ワークショップの参加者構成

班	参加方法	ワークショップ① GWの参加者数(人)				ワークショップ② GWの参加者数(人)			
		行政	企業	研究機関	合計	行政	企業	研究機関	合計
A	対面	1	3	1	5	1	3	1	5
B	オンライン	4	0	3	7	2	0	4	6
C	オンライン	5	1	1	7	2	1	1	4
D	オンライン	8	0	0	8	0	1	1	2
合計		18	4	5	27	5	5	7	17

c）ワークショップ手法

本研究では、臨時情報の発表が行われる状況も含めた M8 クラスの南海トラフ地震の発生時をシナリオの条件とした社会の耐震性を考えるワークショップの手法について、ワークショップ①とワークショップ②の２回の実践を通じて検討と改良を行うものである。災害シナリオとしては共通する条件とし、最大クラスではない「M8 クラスの南海トラフ地震」の発生状況について、筆者らワークショップ主催者が提示した震度分布から参加者の所属機関が最も被害の大きい図面を選び考えることを前提とした。また、参加者構成は、産官学からの主体からの参加であることも共通している。以下に、それぞれのワークショップ手法の概要を示す。

i）ワークショップ①：社会の耐震性を考えるワークショップの検討と実践

ワークショップ①は、2023 年９月４日に、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事業の中で、行政や民間企業と研究者との情報交換の場でもある、『情報発信検討会「事業継続」テーマ』の取組みの一環として実施された。当日は、第１部で南海トラフ地震の発生形態の多様性に関する話題提供を行った後、第２部として社会の耐震性を考えるワークショップを実施した。参加形態は、対面での参加者も募るハイブリッド開催とした。オンラインでの参加者は web 会議システムである Zoom Meetings（以下、Zoom）を介して参加した。グループワーク（以下、GW）時には、本システムのブレイクアウトルーム機能（以下、BR）を活用し、参加者 24 名を、５～８名の４班に分けて行った。この内、A 班の５名が会場参加であり、対面によるワークショップを行った。

ⅱ)ワークショップ②：社会の耐震性を考えるワークショップの改良と実践

ワークショップ②は、2024 年１月 31 日に、ワークショップ①と同様に『情報発信検討会「事業継続」テーマ』の取組みの一環として実施された。第１部で南海トラフ地震の発生形態の多様性に関する話題提供を行った後、第２部として社会の耐震性を考えるワークショップを行った実施形態も同様である。参加形態も同様に、Zoom を用いたハイブリッド開催とした。参加者 17 名の内、を、２～６名の４班に分けて行った。この内、A 班の５名が会場参加であり、対面によるワークショップを行った。

d) ワークショップの設計

i)ワークショップの設計：社会の耐震性を考えるワークショップ

ワークショップ①は、まず南海トラフ地震の発生形態の多様性に関する話題提供を行った後、BR を用いて４グループに分かれ、最大クラスではない M8 クラスの想定に基づいた、参加者の所属機関における直接被害・間接被害を考えた上で、それらの課題に対する今すぐにできる対策について考えることとした。参加者は、オンライン上の付箋に見立てたシートに記録者が入力して BR 内の参加者全員に共有する。次に、オンライン上の模造紙を模したワークシートを用いて、付箋のアイデアを時系列で構造化を行うこととした。このとき、Zoom のホワイトボード機能を用いて、参加者のアイデアを表出し集約した。その後、各グループがワークシートを共有した上で発表を行い、相互に質疑応答を行った。

ワークショップの概要と実施手順は、表２－５－⑤－１の下段の内容の欄に示した通りである。①ワークショップでイメージする発生シナリオとして、「東割れ」「紀伊半島周辺」「西割れ」３つの図面の中から（図２－５－⑤－１）、自社がより甚大に被災するものを参加者に選択させ、本ワークショップにて提示する３つのテーマについて考え課題や意見を出すワーク内容であることを説明した。この際、サブ課題２サブ（ｇ）の研究グループが検討を進める「地震防災基盤シミュレータ」より、上記３つの発生イメージの参考となるような M8 クラスの地震動及び、津波浸水深のマップをそれぞれ提示し、参加者の所属機関の被災イメージの手掛かりとなるよう配慮した（対面参加者には紙面、オンライン参加者には画像データを配布）。②GW で議論するテーマとして、発生シナリオの内、最も自機関に影響が大きい先発地震として M8 クラスの地震が発生した条件における、自機関への１)直接被害、２)間接被害、３)すぐできる事前対策の３つのテーマごとに、付箋と模造紙を使用して参加者からの意見集約を行った。③最後に、グループワークの結果についてそれぞれ参加者全員に共有を行い、また、各 GW での意見を踏まえて、M8 クラスの災害対応の課題について総合討論を行った。なお、オンラインの GW では、Zoom のホワイトボード機能を用いて、対面と同様にオンラインの付箋に書き込み意見表出する方法により、対面での意見表出と近い環境となるよう配慮した。

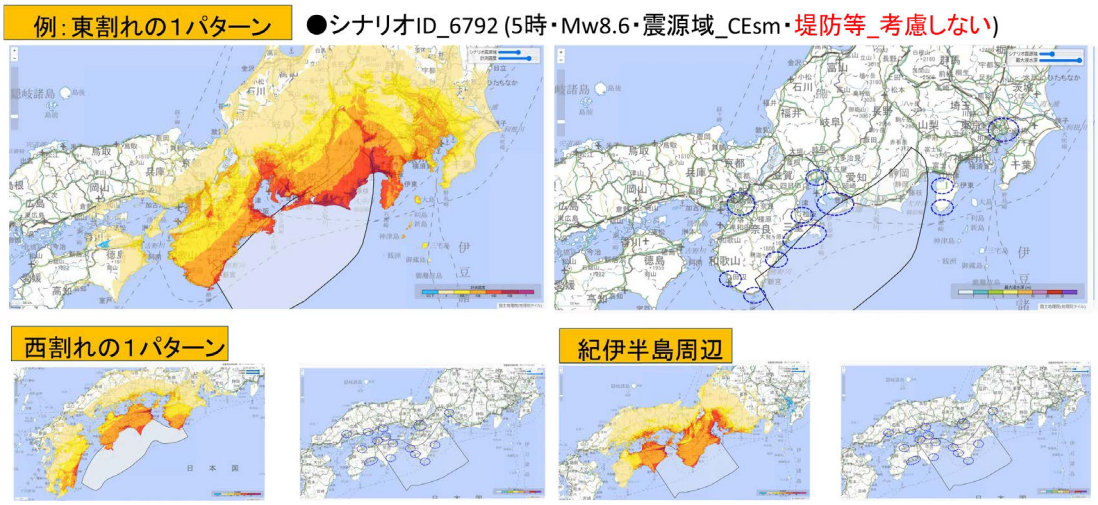


図２－５－⑤－１　提示した半割れ（一部割れ）パターンの図面
※サブ 2g 地震防災基盤シミュレータの構築の研究成果から提供された図面に基づく

ii)ワークショップ②の改良：社会の耐震性を考えるワークショップ（改良版）

ワークショップ②は、ワークショップ①と同様に臨時情報に関する概要について話題提供を行った後、オンライン参加者を３グループ、会場（対面）参加者を１グループとする４グループに分かれて行った。ワークショップ①で示された被災状況がイメージすることが難しいといった意見も踏まえて、「道路」「電力（停電）」「建物被害（令和６年能登半島地震の状況等）」に関して提示する情報を補強した上で（図２－５－⑤－２、図２－５－⑤－３）、グループワークを行った。ワーク内容はワークショップ①に準ずるが、M8 クラスの想定に基づいて自機関への影響と被害を考えた上で、それらに対する対策や備えを考え、対策の優先順位を検討することとし、提示情報と合わせて検討手順も一部改良を行った。アイデアカードの集約については、ワークショップ①同様に、対面のグループは模造紙と付箋にアイデアを表出し構造化を行った。また、オンラインのグループについても、模造紙と付箋を模したオンライン上のワークシートに集約する方法は共通するが、事前のテストで Zoom の機能であるホワイトボードへのアクセス管理の仕様変更により外部参加者が記入できないことが確認され、参加者のアイデアの表出をチャットに入力することとし、記録係が Microsoft の PowerPoint 内でアイデアカードの集約や構造化に関わる整理を行い、その作業を画面共有することで参加者に共有し意見交換を行う手順とした。グループワーク後は、各グループがワークシートを共有した上で発表を行い、相互に質疑応答を行った。

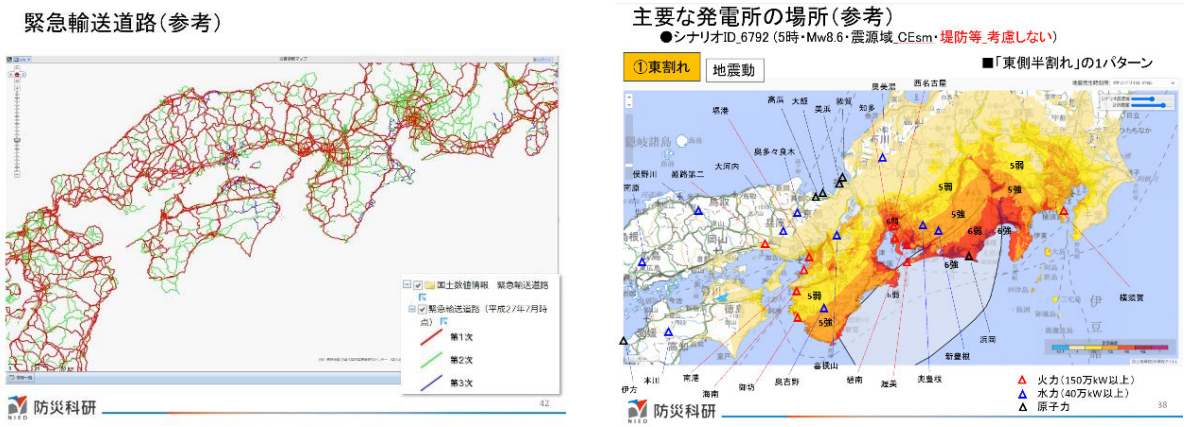


図２－５－⑤－２　提示したインフラに関する図面



図２－５－⑤－３　提示した建物被害のイメージに関する図面

e）ワークショップの結果

i）ワークショップ①の結果：臨時情報発表時の社会様相を考える

ワークショップ①の実践の結果、表出された各班のアイデアカードを表２－５－⑤－３に示す。各班にて表出された項目毎のアイデアカードの数を整理した。本稿では３つのテーマの内、直接被害に関するアイデアカードの整理を行う。表出されたアイデアは、全４班で 71 件のアイデアカードである。尚、１枚の付箋に複数の項目を記載することを認めたため、アイデアカードと項目数は必ずしも一致しない。

対象とした GW においては、「災害対応」「建物」「浸水」「ライフライン」に関わる影響に関する４つの項目に分類された。被災シナリオが M8 クラスであったこともあり、「災害対応」に関する参集困難等のソフト的な影響に関するものが 24 件、ライフラインの内、情報通信に関わるものが 23 件の２つの項目に比較的意見が集まった。被災が軽微であることや災害対応が可能であることをイメージしているアイデアの項目も見られ、今回の WS によって、M8 クラスの被害像を一定程度参加者が想像することを可能とした事が推測された。

表２－５－⑤－４は、GW 後の全体での総合討論での意見交換の結果を整理したも

のである。A 班の GW 結果に対する意見交換では、最大クラスとは異なり、所属機関の建物や人員不足などが起きない状況での災害対応を想像できた一方で、参集条件は決まっているが、M8 クラスの地震時にどう行動するは、明確に決まっていないことが明らかになった。

B 班では、とくに行政の場合の間接被害のイメージがしにくい状況が確認された。また、自分の所が被害を受けた半割れでは、ある程度外部支援も期待できるとの意見のあった一方で、臨時情報が出ると外部支援は期待できないという相反する意見が示され、半割れシナリオでの検討の難しさも明らかになった。

C 班では、事前対策として、M8 クラスへの対応や備えについての啓発が重要であることが確認された一方で、後発地震の可能性もあり、臨時情報が出る条件であることは認識するものの、啓発の中身に関する突っ込んだ議論はなかった。また、シナリオを先発地震の地域として考えるとき、臨時情報への議論にはなりにくいことも推測された。

D 班では、最大ではない地震への訓練も大事だが、それを実践する為のシナリオの準備が困難であるとの実践上の課題が示された。一方、「M8」クラスでは、対象が絞られ対策の優先順位づけがしやすく事業継続の事を考える上でも良いとの意見も示され。特に最大クラスの被害想定により大きな被災が示される地域が諦めのムードから脱却し、異なる被害想定を対象とした現実的な対策を考える機会を生み出す可能性が示された。

また、表２－５－⑤－５に、GW の総合討論時に各テーマの議論のし易さや難しさに関する各グループの代表者から述べられた感想及び、事後に GW のファシリテーター及び記録者の担当者にスタッフとして関わった中で感じたグループワークの進行やテーマ設定などの課題や良かった点について意見聴取を行った結果を整理した。

GW 時の各テーマの議論のし易さ（活発に議論できたか）や難しさについては、参加者とスタッフ側では必ずしも一致していない。スタッフ側の所感としては、比較的直接被害が活発議論でき、間接被害の議論が進まない様子であったことが示されているが、A 班では、間接被害の方が活発とのスタッフ側の所感となっている。また、スタッフ側から見た改善点として、これまでの最大クラスの被害想定に引きずられ M8 クラスを上手く想像できない状況があり、参加者により被害イメージの共有ができるような工夫が必要であることが示されている。その他、発災からの経過時間を区切り場面を限定して議論することや、建物被害状況や住民の避難率、鉄道の運行状況等の条件設定の情報があるとよいといった意見も見られた。

ワークショップ①では、M8 クラスの「半割れ」の状況を条件として、各機関の対応状況やその課題を整理・抽出するワークショップ手法を検討し、実践を行った。その結果、M8 クラスの震度想定を示したことで、自機関の被災状況を踏まえた対応状況を考える事を可能としたが、「最大想定ではない状況」への対応を考える事に慣れていない様子も見られた。今回のワークショップにおける GW は、行政機関に所属する参加者が多くを占め、企業からの参加者が少ない等、限られた条件に基づく実践であるが、M8 クラスの被災シナリオの特徴を捉えた、災害対応やライフラインへ影響を及ぼすような条件提示を具体的に示すことで、被災イメージが明確になり、事前準

備や事前対策に向けた検討や訓練を行うことに寄与する可能性が示された。また、優先順位が明確になるなど、最大クラスとは異なるM8クラスの被災シナリオに基づいた検討を行うことの意義も参加者から示されている。

これら手法の課題に向けては、参加者が発災時の被災様相をより想像しやすい情報の工夫の必要性が示されており、次に示すワークショップ②の実践では、こうした点を改良した上で実践を行うこととした。

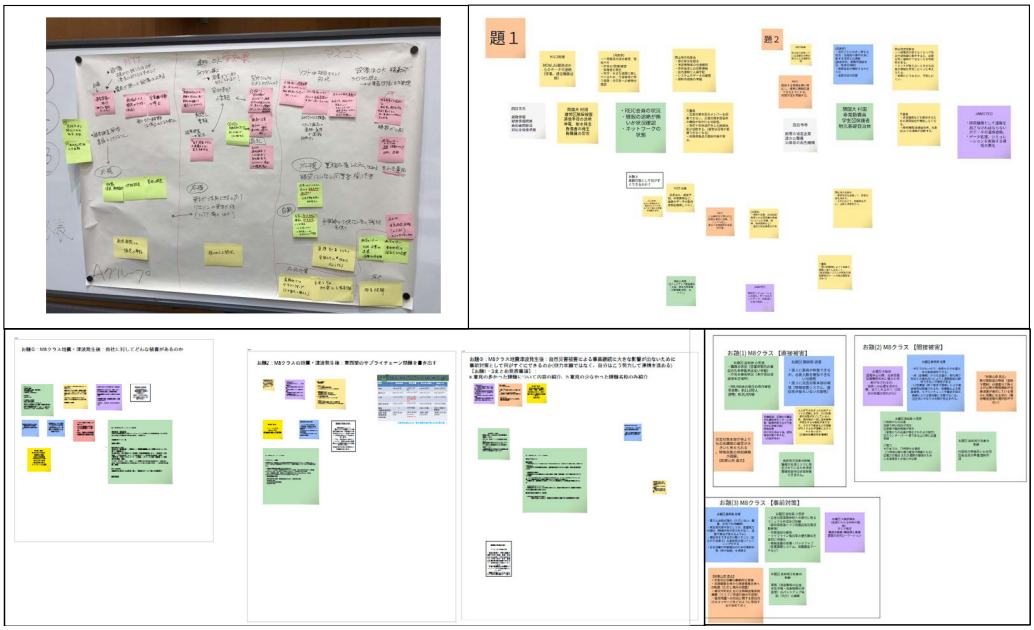


図２－５－⑤－４　ワークショップ①で表出された各班のアイデアカード

表２－５－⑤－３　付箋の表出数と被災状況に関する項目の整理

班	災害対応		建物				浸水		ライフライン					総計
	業務継続可能	業務継続困難	建物被害	建物内の被害	関連施設の被災	エレベーター	被害あり	被害軽微	ライフ全般	電気	水道	道路	情報通信	
A	―	5	―	1	―	―	―	―	3	―	―	―	5	**14**
B	―	9	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	12	**21**
C	1	7	1	―	2	1	2	―	1	2	1	1	4	**23**
D	5	3	1	―	―	―	―	2	―	―	―	―	2	**13**
合計	6	24	2	1	2	1	2	2	4	2	1	1	23	**71**

表２－５－⑤－４ 各班の議論の結果を踏まえた総合討論時の意見交換の内容

班	総合討論時の意見交換の内容
A	・最大クラスとは異なり，所属機関の建物や人員不足などが起きない状況での災害対応を想像した ・参集条件は決まっているが，M8クラスの地震時にどう行動するかは明確に決まっていない
B	・直接被害に比べると間接被害はイメージがし難くい ・自分の所が被害が受けた半割れでは，ある程度外部支援も期待できるとの意見と臨時情報が出ると期待ができないといった，相反する意見のでて興味深い議論となった
C	・M8クラスへの対応や備えについての啓発が重要である ・後発地震の可能性もあり，臨時情報が出る条件であるが，啓発の中身に関する突っ込んだ議論はなかった ・先発地震の地域として考え，臨時情報についての議論にはならなかった
D	・最大ではない地震への訓練も大事だがシナリオの準備が困難 ・一方，最大クラスではあれもこれもとなり，課題が多すぎて絶望感を感じる．M8クラスでは，対象が絞られ対策の優先順位づけがしやすく事業継続上も良い

表２－５－⑤－５ 各テーマに対する議論のし易さに関する事後評価

班	テーマ	各テーマに対する議論のし易さに関する意見				スタッフ側から見た改善点等
		活発		難しい		
		グループ代表	スタッフ	グループ代表	スタッフ	
A	①	－	－	－	○	・これまでの被害想定に引きずられてしまい「M8クラス」の被害状況を上手く想像できない
	②	－	○	－	－	・参加者の被害イメージの共有が重要
	③	－	－	－	－	
B	①	○	○	－	－	・行政の立場から，間接被害のイメージがしにくい状況があった
	②	－	－	－	○	・後発地震の発生時期・場所・規模が不確実で検討が難しい
	③	－	－	－	－	・燃料や外部支援者の宿泊先等の確保可能な時期の情報が必要
C	①	－	○	－	－	・インフラ，道路啓開範囲などが表になっているといいと感じた
	②	－	－	－	○	・先発地震の地域として考えると臨時情報は議論になりにくい
	③	－	－	－	－	
D	①	○	○	－	－	・検討範囲が膨大で議論が発散してどうまとめるか苦労した
	②	○	－	○	○	・発災から何時間後，何日後などと場面を限定するほうが考えやすい
	③	○	－	－	○	・建物被害状況や住民の避難率，鉄道の運行状況の情報があるとよい

ⅱ)ワークショップ②の結果：社会の耐震性を考えるワークショップ（改良版）

上述の通り、ワークショップ①では、自機関の所在地にM8クラスの南海トラフ地震先発地震が発生した場合に、直接被害と間接被害、およびその対策についてのワークショップを企画・実践を行った。実践の結果、優先順位をつけて対策を考えることが可能であることが明らかになった。しかし、参加者がM8クラスの被害様相を想像する上では課題もみられた。そこで、ワークショップ②では、能登半島地震の被害状況を提示するなどのワークショップにおける付与シナリオを具体化し、南海トラフ地震の半割れ条件での改良版のワークショップを企画・実践した。また、ワークショップの成果物について、KH Coderを用いたテキストマイニングにより、付与シナリオの条件設定と結果との関連性の検討を行った。ワークショップ②の結果、表出された各班のアイデアカードに対してテキストマイニングを行った。ワークショップ②の会場の様子を図２－５－⑤－５に示す。また、各班のグループワークで示されたお

題①の頻出用語と想起ネットワーク図を図２－５－⑤－６に示す。また、同様にお題②の頻出用語と想起ネットワーク図を図２－５－⑤－７に示す。



図２－５－⑤－５　ワークショップ②の実践の様子
左：対面の班のグループワーク　中央：オンライン上のグループワーク
右：総合討論の様子

災害事象	頻度（内類似語）	類似語
津波	18(5)	浸水
地震	9(6)	強震、余震、地震動、揺れ
液状化	7(0)	該当なし
天候	6(4)	台風、積雪、豪雨、土砂
地盤	5(2)	地割れ、断層
火災	4(1)	火事場
影響対象	**頻度（内類似語）**	**類似語**
道路	24(0)	
住宅・建物	12(3)	建築
停電	8(0)	
公共交通	6(0)	
通信	6(0)	
帰宅困難	5(0)	
通行	5(0)	
孤立	4(0)	
倒壊	4(0)	
避難	4(0)	
トイレ	4(0)	
水道	3(0)	
物資	3(0)	
ガス	2(0)	
コンビナート	2(0)	
エレベーター	3(0)	

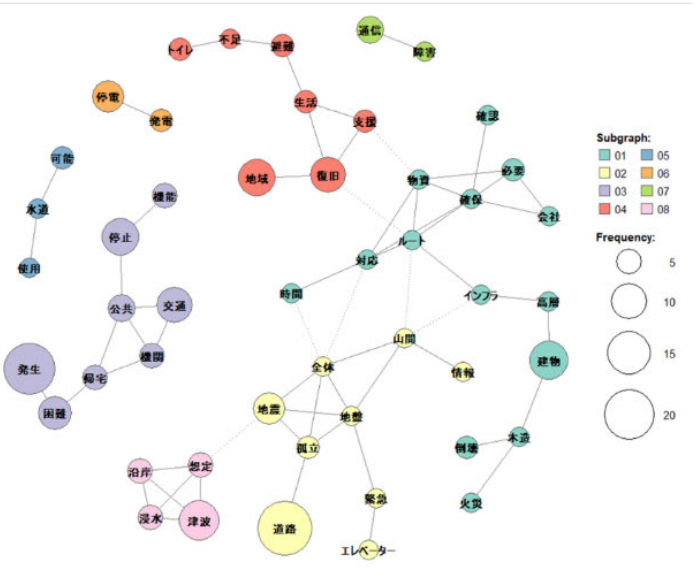
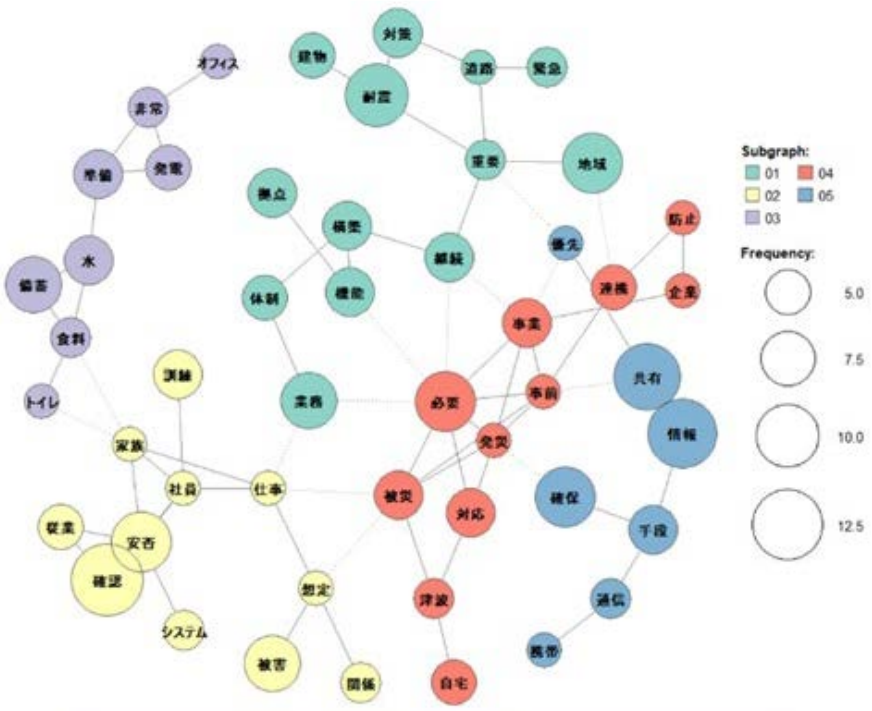


図２－５－⑤－６　ワークショップ②の頻出語と想起ネットワーク図（お題①）



対策項目	頻度	対策の対象
情報共有	12	体制構築、通信手段の確保
耐震	10	建物(道路)、事業の継続
安否確認	9	従業員(家族)、システムの構築
備蓄	8	食料、水(トイレ)
津波	4	津波被災地域の対応、拠点機能維持

図２－５－⑤－７　ワークショップ②の頻出語と想起ネットワーク図（お題②）

各班の GW で表出されたアイデアカードを整理した結果の内、お題①については図２－５－⑤－６に、お題②について、図２－５－⑤－７に示す。参加者が付箋に示した記述を用いてテキストマイニングを実施した。実行前には、誤字脱字などの最低限の加工を行い、できる限り参加者の記述に忠実に実施した。また、「住宅」と「建物」など、前後の文脈の実施した。また、「住宅」と「建物」など、前後の文脈の確認も踏まえて、同義語と見なせる言葉は統一を行った。まず、お題①では、374 語が抽出された。その内、図２－５－⑤－６の左に示した通り、災害事象として、津波・地震・液状化の順に上位となっている。また、影響対象として、道路・住宅・建物・公共交通・停電等が上位に抽出されている。抽出語に対して、上位 60 の共起関係に基づく、共起ネットワーク図を作成した。道路に関しては、地震や地盤の影響により、「孤立」「山間部」「エレベーター」への影響を参加者が考えたことが示されている。建物は、木造建築に対する「倒壊」や「火災」への懸念や高層建物の「インフラ」への影響を考えたことが読み取れる。さらに、「インフラ」からは、「物資」の確保やその「ルート」に対する記述との関連が示されている。お題②では、350 語が抽出され、図２－５－⑤－７の下段に示した通り、対応に関わる項目として「情報共有」「耐震」「安否確認」「備蓄」「津波」の５つの抽出語が示された。同共起ネットワーク図からは、例えば、「耐震」については、対象として建物と道路が示されるとともに、業務継続の体制の構築へも考えが及んでいることが認められる。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、M8 クラスの南海トラフ地震「半割れ」の状況を条件として、各機関の対応状況やその課題を整理・抽出するワークショップ手法について、これまでの研究開発で課題となっていた「議論の具体性」につながる情報提示の工夫に基づく条件設定の改善を試み実践を行った。その結果、M8 クラスの震度想定に加えて、道路や電力、建物への影響を考える手掛かりとなる資料を示したことで、それらの項目に対する具体的な被害の様相や取り得る対策について考えることを可能とすることが示された。一方で、より詳細に提供した情報に依拠する傾向も感じられたことから、例えば「ライフライン」や「道路と物流」など、WS ごとに議論するテーマを絞り、より詳細な議論を行い、複数テーマの議論を積み重ねることで、被害様相の全体をカバーして地域社会の耐災性を高めることにつながるのではないかと考えており、次年度は産官学の連携に基づいて実践を行いながら手法の確立を目指す。

(e) 引用文献

1) 孫英英・近藤誠司・宮本匠・矢守克也（2014)、新しい津波減災対策の提案一「個別訓練」の実践と「避難動画カルテ」の開発を通して、災害情報、No.12、pp76-87.
2) 平松佳采・平山修久（2023)、豊川市防災センター巨大床面地図の豊川市職員防災研修への展開の取り組み、地域安全学会梗概集 No.52、pp.147-151.
3) 愛知県（2014）愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果
4) 内閣府 (2019)、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
5) 中央防災会議（2019)、南海トラフ地震防災対策推進基本計画

(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
臨時情報発表時の社会事象とその要因の推定に関する一考察～なぜなぜ分析を応用した災害事象の要因分析手法の検討～（口頭）	千葉啓広 野村一保 水井良暢 廣井悠 中村洋光 平山修久	地域安全学会第 52 回研究発表会（春季）梗概集, pp.79-82	2023.5	国内
南海トラフ地震の半割れシナリオに対する地域社会の耐災性を考えるワークショップの検討と実践（ポスター）	千葉啓広 水井良暢 野村一保 高橋成実 中村洋光 平山修久	地域安全学会第 53 回研究発表会（秋季）梗概集、pp.113-116	2023.11	国内

南海トラフ地震の半割れシナリオに対する地域社会の耐災性を考えるワークショップに関する一考察（口頭）	千葉啓広 水井良暢 野村一保 高橋成実 中村洋光 平山修久	日本災害情報学会第28回大会予稿集、pp.95-96	2024.3	国内

2）学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

⑥南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相構築に資する令和６年能登半島地震のライフライン供給に関する情報収集

(a) 業務の要約

令和６年１月１日に発生した「令和６年能登半島地震」に伴う被害規模や復旧状況等の情報を収集、整理し、大規模な自然災害発生時や復旧過程でのライフライン系施設の状況、ならびに関係機関の動向を把握することにより、南海トラフ巨大地震臨時情報発表時の産業活動や社会経済活動への影響を検証し、社会様相を構築するとともに、机上演習等に活用するため、令和６年能登半島地震でのライフライン供給に関する情報収集し、南海トラフ地震臨時情報の観点から考察する。

(b) 業務の実施方法

平山・臼田[1)]は、2022年９月台風15号での静岡市清水区における大規模断水でのGoogleマップを活用した応急給水拠点の情報共有の取り組みについて報告がなされている。吹元・平山[2)]は、応急給水拠点の情報共有事例を取り纏めている。ここでは、令和６年能登半島地震でのGoogleマップを活用した応急給水、復旧状況の情報共有2024年１月３日より石川県内ならびに富山県内の市町のWebから応急給水に関する情報を収集するとともに、2024年１月４日より石川県内ならびに富山県内の市町のWebから取得した復旧状況について地図化を行う。

令和６年能登半島地震およびその復旧過程における各種ライフラインのうち、都市ガス、上下水道、その他LPガス、石油製品について、省庁、自治体および関係機関による公表資料を調査、収集した。さらに、これらの情報を整理、分析することで、大

規模自然災害による各種ライフラインの復旧過程を把握した。

電力会社等のサイトで発表されている公表資料を基に、停電戸数や電力設備の被害のデータ整理を行う。さらに、停電状況についてGIS化を行う。

(c) 業務の成果

1) Googleマップ等を活用した復旧状況マップ、応急給水拠点マップ

災害時の組織間での情報共有の仕組みとして、SIP4D(Shared Information Platform for Disaster Management：基盤的防災情報流通ネットワーク)(防災科学技術研究所2021)が構築されており、内閣府・防災科研のISUT(災害情報集約支援チーム)による現地支援や防災クロスビュー(防災科学技術研究所　2021)でのWeb公開など、災害時の活用が進められてきている。シェープファイルは、地理情報システム(GIS)間でのデータの相互運用におけるオープン標準として用いられるファイル形式である。地理情報システムアプリケーションには商用アプリやオープンソースアプリなど様々なアプリケーションがあるが、国、水道事業者等の実務者によるシェープファイルによる情報共有には限界がある。

そこで、シェープファイルによる共有とともに、独自の地図を作成、共有できるGoogleマイマップを用いることで、支援水道事業体における情報共有を行うものとした。

応急給水拠点については、各市町のWebにより情報発信された応急給水一覧について、2024年1月4日以降、毎日情報収集を行うものとした。エクセル上で、フィールド値として、ID、都道府県、区分、名称、住所、開設状況、開設日、閉鎖日、設置時間、備考、データ出典、を設定した。次に、住所に対して、ジオコーディングにより、緯度経度を付与した。なお、ジオコーディングにはCSVマッチングサービスを用い、精度が十分でないものについてはGoogleマップ上で緯度経度を求めた。1月5日以降については、更新されたもののみジオコーディングを行う。そのうえで、Googleマイマップで読み込みを行い、URLにより共有するものとした。

水道の復旧状況マップは、各市町のWebにより情報発信された復旧状況に関する情報を日々収集するものとした。各市町における復旧状況の情報発信においては、地区単位、給水区域単位、町丁目単位などさまざまであった。そのため、人口、世帯数も把握することが容易であることを考慮し、統計地理情報システムの境界データのひとつである2020年国勢調査の小地域(町丁・字等)(JDG2011)を用いて集計するものとした。各市町のWeb上での復旧状況の区域と小地域との同定し関連付けを行った。復旧状況の区分についても、各市町でばらばらであったが、「断水」「漏水調査中」「一部通水」「仮復旧(生活用水)」「復旧済み」「通水」の6区分を用いるものとした。なお、Web上での情報発信がなされていない場合については、「N/R(記録なし)」とした。

応急給水拠点については、Googleマイマップとシェープフィアル、復旧状況については、シェープファイルと画像データにより、厚生労働省、国土交通省、日本水道協会、保健医療科学院、名古屋市上下水道局等の支援水道事業体、防災科学研究所、人と防災未来センター等と日々共有するものとした。ここでは、地理情報を地図化し、情報を共有し、状況認識の統一を図り、支援活動に活かす枠組みを「地図化情報作戦」とする。図２－５－⑥－１に令和６年能登半島地震での地図化情報作戦の概要を示す。

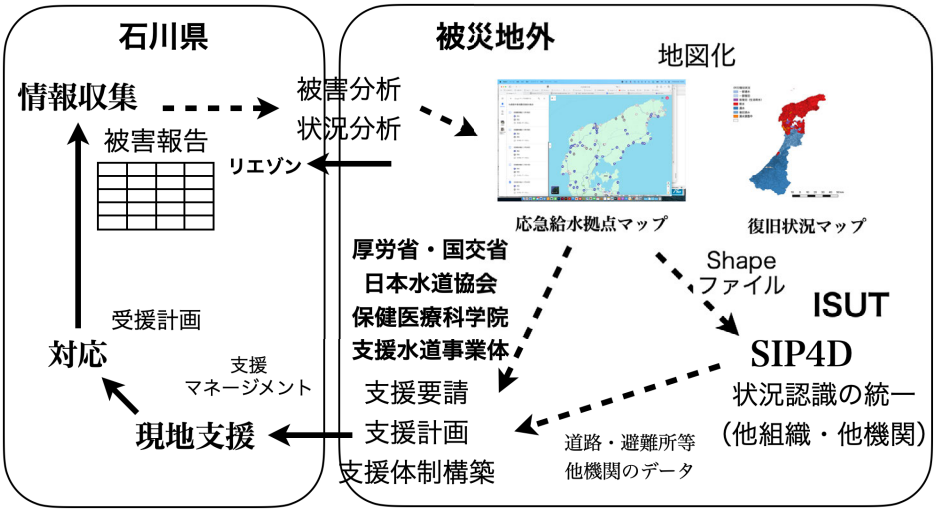


図２－５－⑥－１　令和６年能登半島地震での地図化情報作戦概略

a）能登半島地震における応急給水拠点マップ

2024 年１月３日より石川県内ならびに富山県内の市町の Web から応急給水に関する情報を収集し、エクセル上で応急給水拠点一覧データを作成した。なお、被害が甚大であった能登地方６市町では、地域防災計画に応急給水拠点一覧の記載があった珠洲市、輪島市、志賀町については、応急給水の情報が発信されるまでは指定避難所等の計画上の応急給水拠点情報を、開設状況を「N/R」として登録した。図２－５－⑥－２に Google マップでの応急給水拠点マップを示す。



図２－５－⑥－２　令和６年能登半島地震での地図化情報作戦概略

b）能登半島地震における復旧状況マップ

2024 年１月４日より石川県内ならびに富山県内の市町の Web から取得した復旧状況について地図化を行った。図２－５－⑥－３に１月４日、１月 11 日、１月 21 日、１月 31 日、２月 10 日、２月 21 日の復旧状況マップを示す。珠洲市等では、浄水場、導水管、送水管の復旧状況についての情報発信はなされていたものの、奥能登４市町では、１月 20 日までは区域別の復旧状況について、Web では「全域断水」となっていた。これより、水道システムの上流部分が被災した場合には管路の漏水調査もままならず、復旧の進捗が困難となることがわかる。

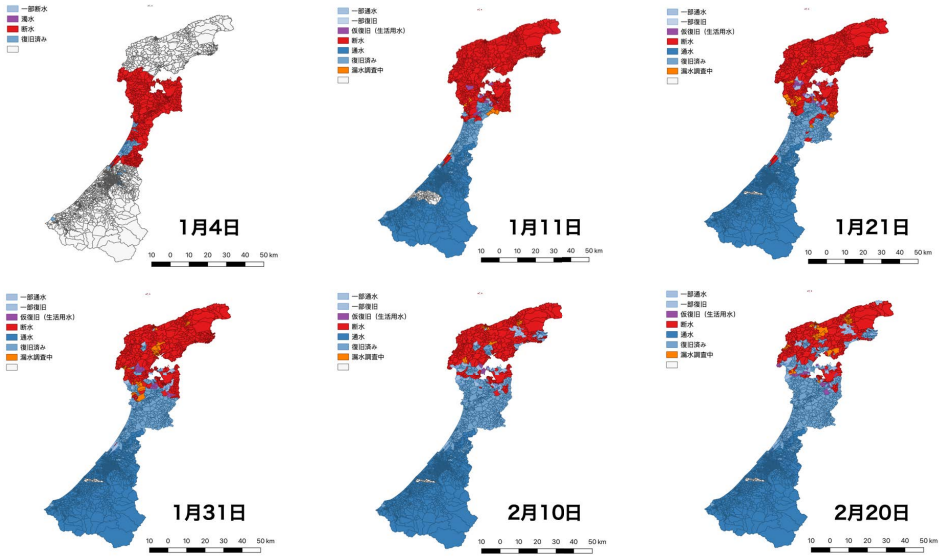


図２－５－⑥－３　令和６年能登半島地震での地図化情報作戦概略

2) 上水道

a) 基本諸元

収集、分析した上水道に関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－１に示す。

表２－５－⑥－１　収集した情報の諸元等（上水道）

名称	内容	備考
断水戸数	・市町村別断水戸数　1/2～2/29（一部欠損） ・七尾市行政区別通水世帯数　1/24～2/29（一部欠損）	断水率を算出
【出典】 厚生労働省：令和６年石川県能登地方を震源とする地震による被害状況等について https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_37198.html 石川県：令和６年（2024年）能登半島地震に関する情報（対策本部・被災状況） https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/202401jishin-taisakuhonbu.html#higai 富山県：令和６年能登半島地震に係る県内被害状況（人的被害・住家被害等） https://www.pref.toyama.jp/1900/bousaianzen/bousai/jishin/jishnn0101.html 新潟県：令和６年能登半島地震に関する情報（被害状況・お問合せ先） https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/kikitaisaku/240101jishin.html 福井県：福井県内の状況 https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/kikitaisaku/ishikawanotojisin.html 七尾市：水道の断水および復旧の状況 https://www.city.nanao.lg.jp/jougesuidou/kurashi/sumai/suido/ryokin/dansui.html		
給水車台数	・市町村別派遣元別給水車台数　1/2～2/29（一部欠損）	
【出典】 厚生労働省（上記と同じ） 日本水道協会：令和６年能登半島地震への対応について http://www.jwwa.or.jp/topics/topics_20240125001.html		

作業班数と人数	・市町村別派遣元別作業班数と人数　1/11～2/29（一部欠損）	
【出典】 日本水道協会（上と同じ）		
被害状況	・市町村別被害状況　1/2～2/29（一部欠損）	定性データ
【出典】 日本水道協会（上と同じ） 石川県（上と同じ）		

b）時系列推移

i）断水状況

市町村別データは断水戸数、七尾市データは通水世帯数であったため、断水率に変換して、断水状況の推移を整理した。なお、断水率は以下の算出式で算出した。

・市町村別断水率＝断水戸数÷給水契約件数（令和３年水道統計）

・七尾市断水率＝（世帯数－通水世帯数）÷世帯数

石川県内の市町村の断水率の推移を図２－５－⑥－４に示す。

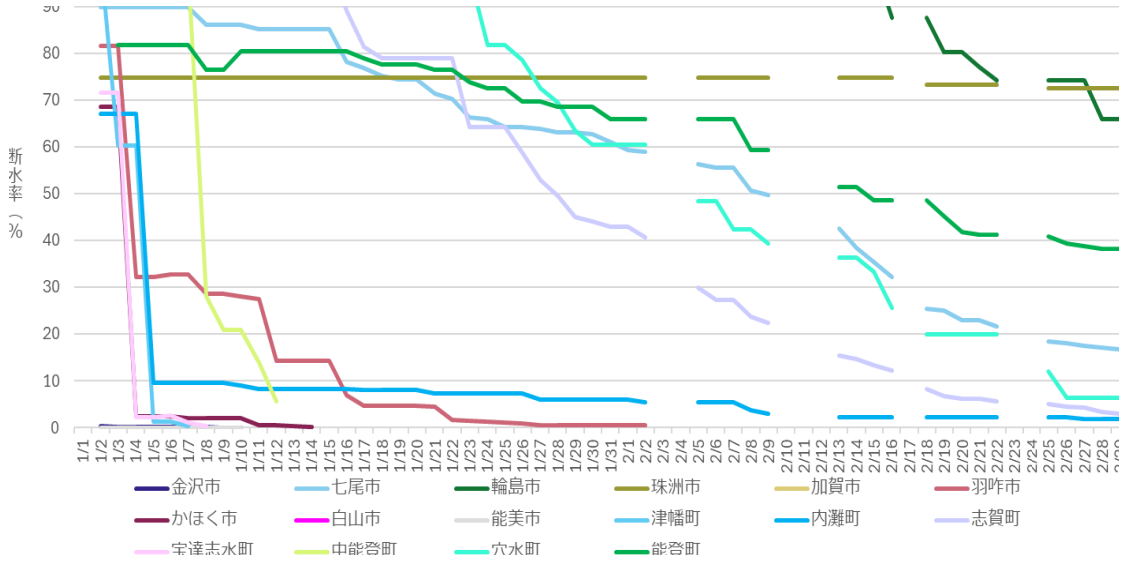
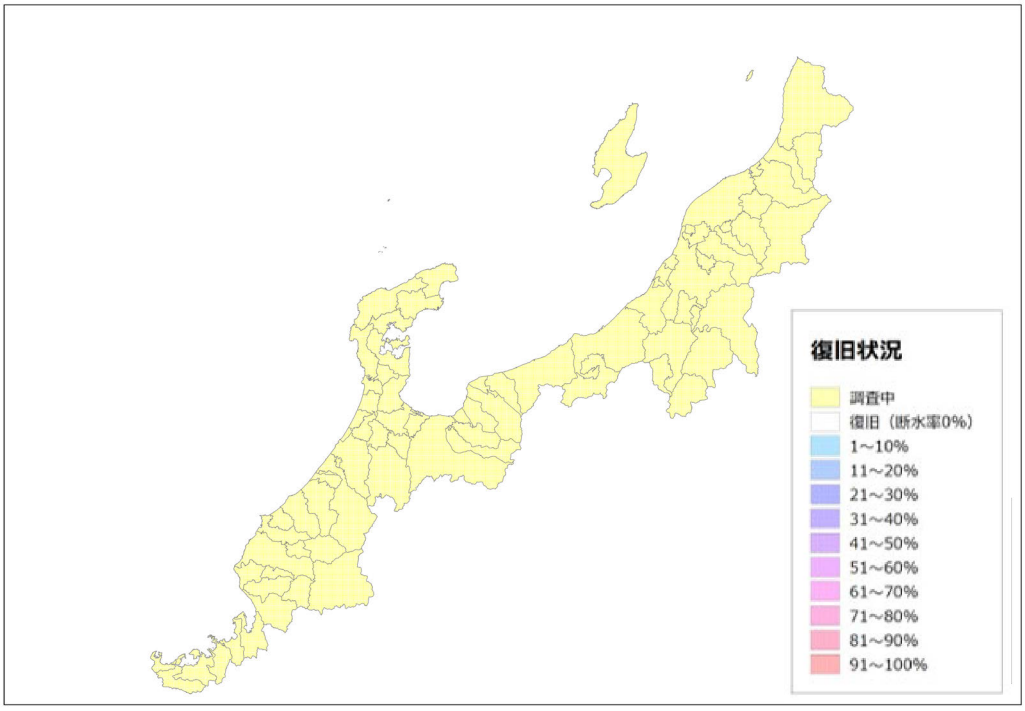
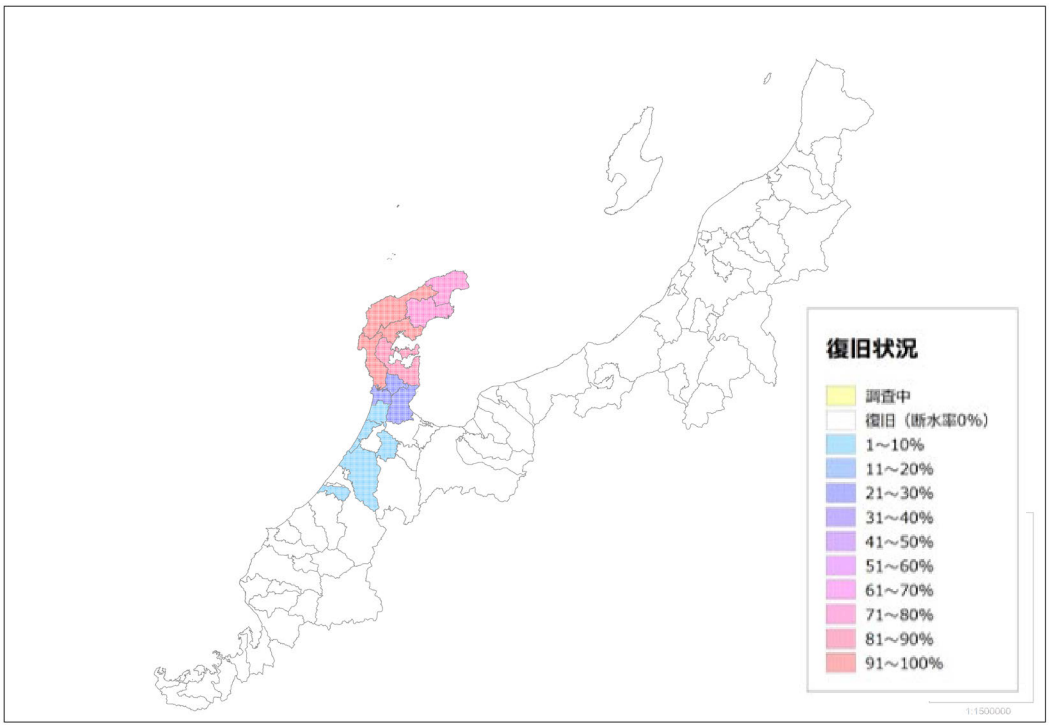


図２－５－⑥－４　断水率の推移（石川県内市町村）

また、市町村別の断水率の推移について、事業体の位置的な特性による傾向を把握するために、shape 形式のデータを作成し、GIS により地図上でその推移を整理した。その結果を一部抜粋して図２－５－⑥－５に示す。

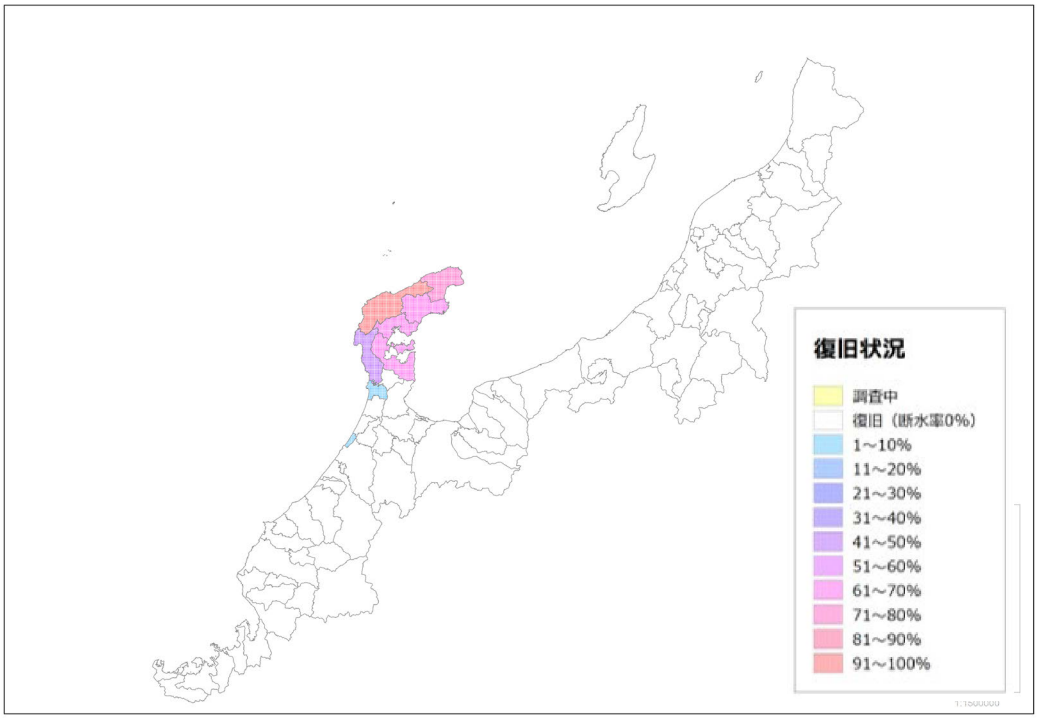


１月１日（発災当日）

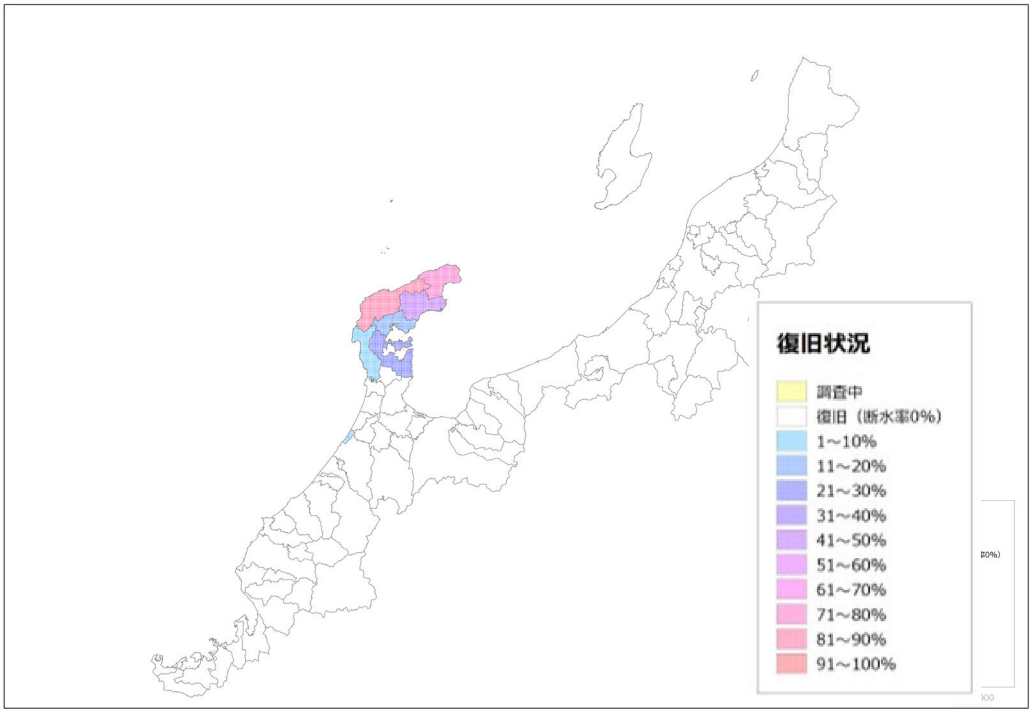


１月８日（７日目）

図２－５－⑥－５（その１）　断水率の推移（市町村別）



1 月 29 日 （28 日目）



2 月 19 日 （42 日目）

図２－５－⑥－５（その 2）　　断水率の推移（市町村別）

ⅱ)応急給水状況

応急給水用の給水車台数について、日本水道協会のデータと厚生労働省のデータにおける日本水道協会データに違いがあったため、それぞれで整理することとした。

日本水道協会のデータでは、市町村別の給水車台数の推移について、石川県と富山県で図を作成した。

厚生労働省のデータでも、同様に市町村別の給水車台数の推移を、派遣元（日本水道協会、自衛隊、国土交通省）がわかるようにして図を作成した。なお、1/8～1/19の自衛隊の給水車台数は県単位での合計値であったため、1/20の市町村別割合にもとづいて推計した値を配分している。

石川県内市町村の給水車台数の推移グラフを図２－５－⑥－６に示す。

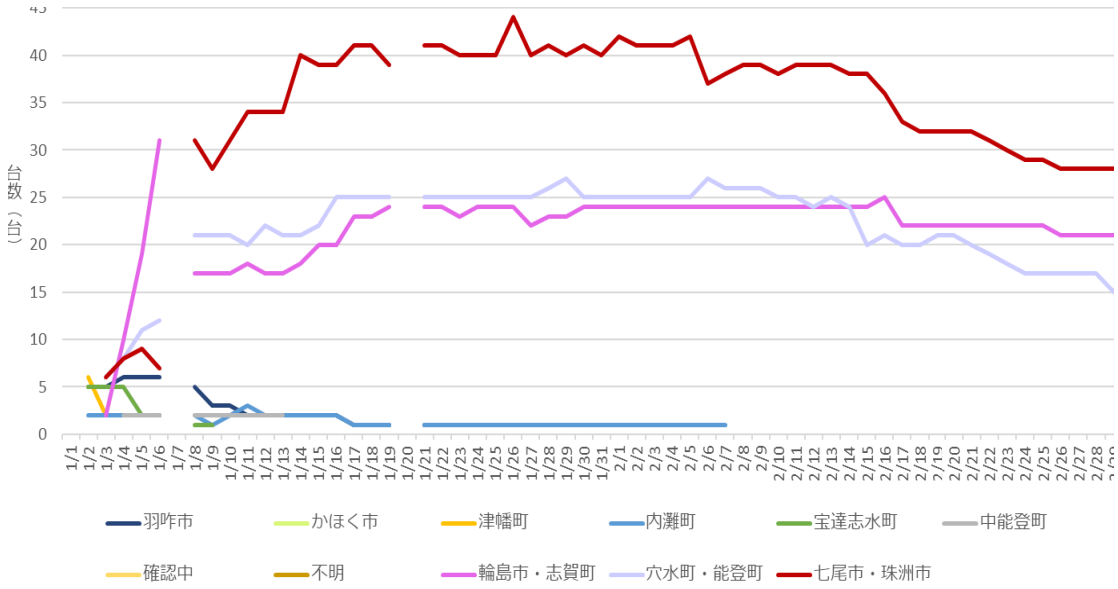
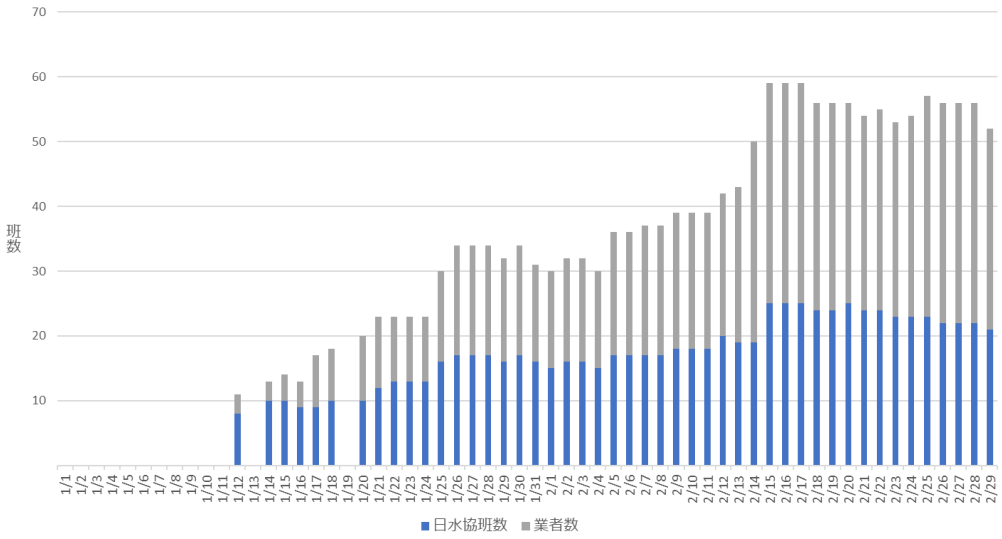


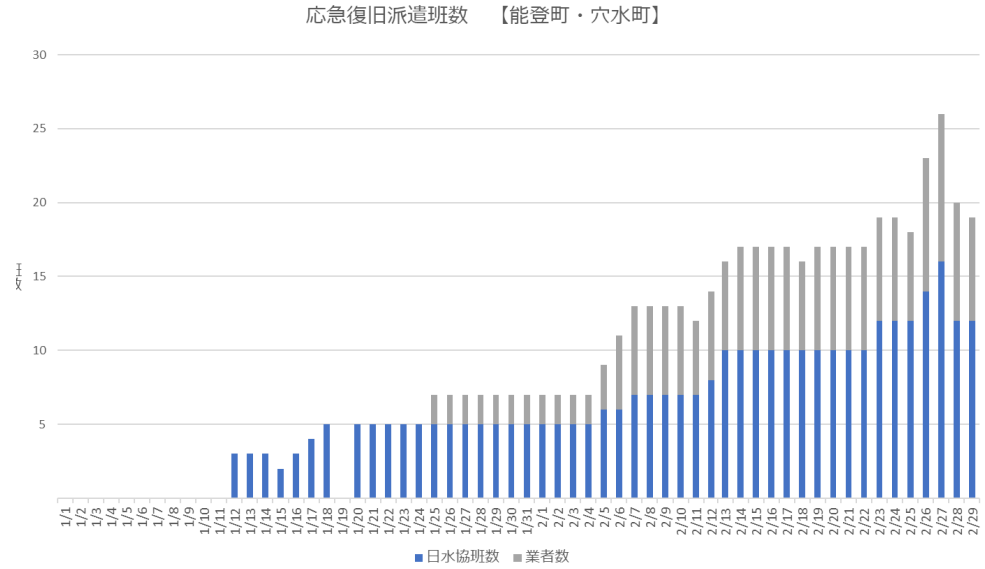
図２－５－⑥－６　給水車台数の推移　日本水道協会データ（石川県内市町村）

ⅲ)応急給水状況

応急復旧に従事している作業班数と作業人数について、地域別に派遣元（日本水道協会、民間事業者）について調査を実施した。輪島市・志賀町および能登町・穴水町の作業班数及び作業人員の推移を図２－５－⑥－７、図２－５－⑥－８に示す。

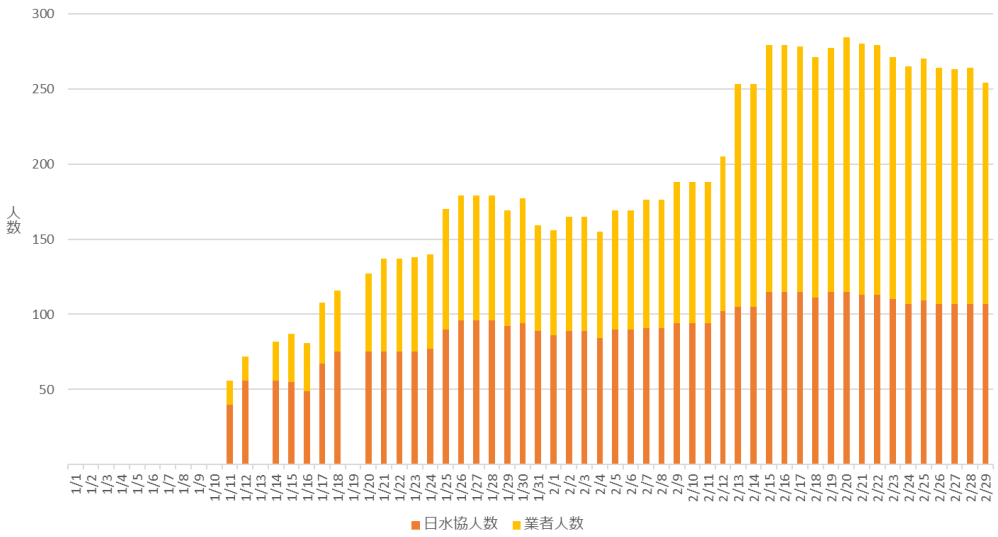


（輪島市・志賀町）

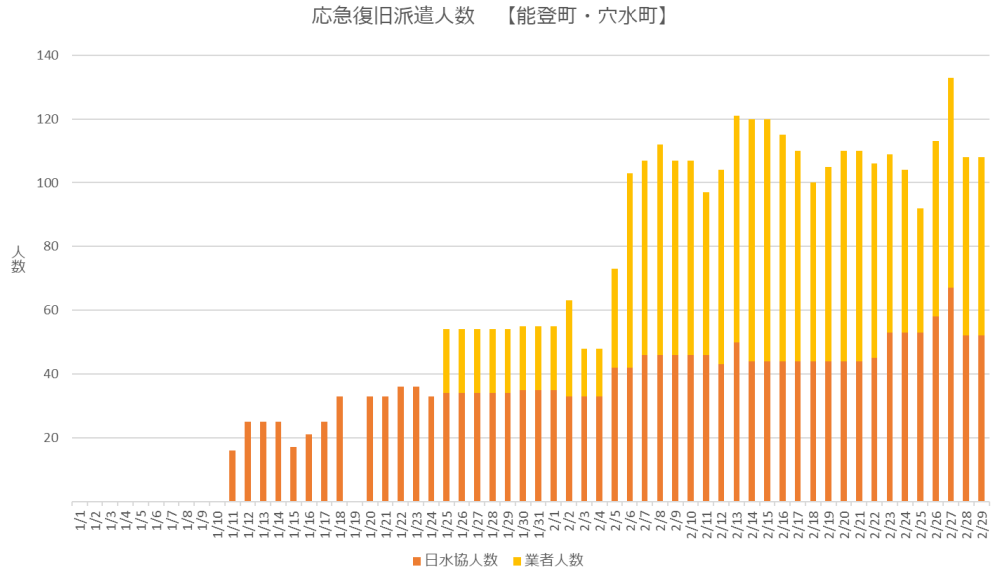


（能登町・穴水町）

図２－５－⑥－７　作業班数の推移



（輪島市・志賀町）



（能登町・穴水町）

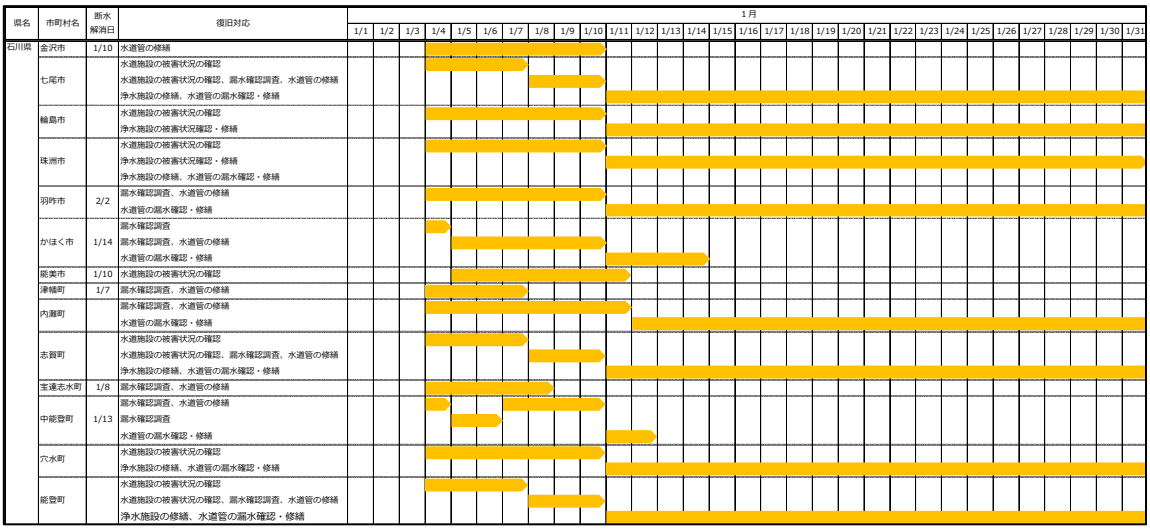
図２－５－⑥－８　作業人員の推移

ⅳ）施設の被害・復旧状況

水道施設の被害状況と復旧作業状況について、石川県のデータと厚生労働省のデータにおける石川県のデータに違いがあったため、それぞれで整理することとした。

本データは定性的な情報であることから、被害状況、復旧作業状況の期間に着目した。

石川県市町村別の被害・復旧状況の推移を図２－５－⑥－９に示す。



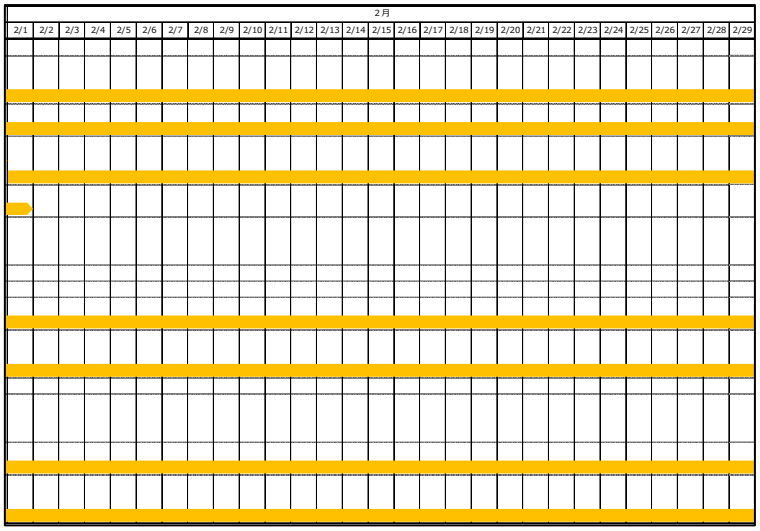


図２－５－⑥－９　水道施設の被害･復旧状況の推移 石川県データ（石川県内市町村）

c）考察

上水道の情報の整理結果にもとづいて、復旧過程の状況を考察する。

断水状況について、甚大な被害を受けた輪島市、珠洲市、七尾市、穴水町、能登町、志賀町（奥能登、中能登と言われる地域）の断水の解消が遅れていることがわかる。特に、輪島市、珠洲市では、２月末の時点でも断水率は高く、復旧作業が進んでいないことが明らかである。また、七尾市内の状況も同様で地区ごとに断水状況に大きな違いがあることがわかる。

応急給水状況について、断水率とリンクしており、断水が解消されていない市町村における給水車台数が減少していないことがわかる。また、交通が寸断され陸路での移動が困難な市町村（珠洲市、輪島市、志賀町など）では、自衛隊による応急給水の割合が高いことがわかる。

応急復旧作業状況について、甚大な被害を受けた地域の情報となるが、２月中旬以降に作業班数と作業人数が増加していることがわかる。応急給水状況と比較すると、

２月中旬以降に給水車台数が減少傾向に転じていることから、管路の復旧作業が本格化していると推測できる。

施設の被害・復旧状況について、応急復旧作業状況と比較すると、現地の作業班がどのような復旧作業を行っているのか推測できる。

2)工業用水道

ここでは、工業用水道に関する情報の収集・整理・分析を行った。

a) 基本諸元

収集、分析した工業用水道に関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－２に示す。

表２－５－⑥－２　収集した情報の諸元等（工業用水道）

名称	内容	備考
工業用水道	・工業用水支障箇所　1/1～2/21（一部欠損）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		

b) 時系列推移

工業用水道供給支障箇所の復旧作業状況について、経済産業省のデータを基に整理した。本データは定性的な情報であることから、被害状況、復旧作業状況の期間に着目した。

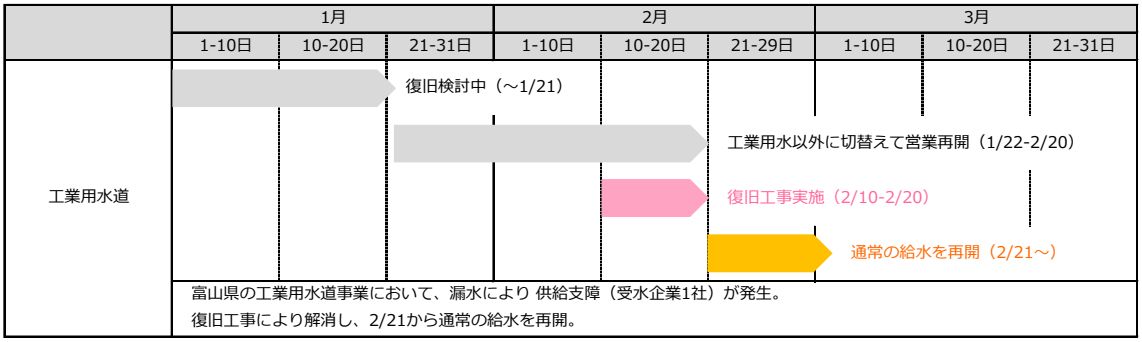


図２－５－⑥－10　工業用水の被害状況と復旧状況（経済産業省データ）

c) 考察

富山県の工業用水道事業において、受水企業１社に漏水による供給支障が発生した。復旧工事の実施は２月中旬であり、上水道事業において管路の復旧作業が２月中旬以降に本格化しているという推測と同時期であることが分かる。

3)下水道

ここでは、下水道に関する情報の収集・整理・分析を行う。

a) 基本諸元

収集、分析した下水道に関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－３に示す。

表２－５－⑥－３　収集した情報の諸元等（下水道）

名称	内容	備考
被害状況	・県別施設別被害状況　1/4～2/29（一部欠損）	被害率を算出
【出典】 国土交通省：令和６年能登半島地震における被害と対応について https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_240101_2.html		
応援派遣人数	・石川県庁への派遣人数　1/3～2/29（一部欠損） ・市町村への調査対派遣人数　1/6～2/29（一部欠損）	
【出典】 国土交通省（上記と同じ） 日本下水道事業団：令和６年能登半島地震への対応について https://www.jswa.go.jp/saigai/report/saigai_report.html		

b) 時系列推移

収集した情報の時系列推移が把握できるように整理を行った。

ｉ）施設の被害・復旧状況

下水道施設として、処理場（機場数)、ポンプ場（機場数)、管路施設（市町村数）の被害・復旧状況（被害なし、機能確保済み、機能停止、点検中など）がわかるようにして図を作成した。

また、「被害なし」と「機能確保済み」以外は被害を受けている状況と判断して被害率を算出し、事業体の位置的な特性による傾向を把握するために、shape 形式のデータを作成し、GIS により地図上でその推移を整理した。

石川県の処理場の被害状況の推移グラフを以下に示す。

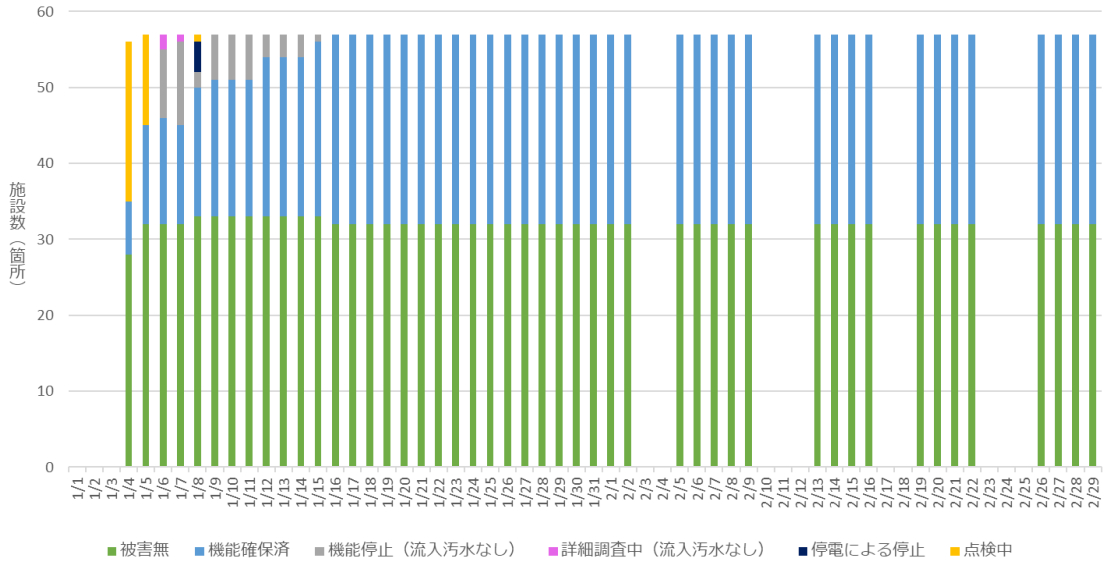


図２－５－⑥－11　下水道の被害状況の推移（石川県　処理場）

ii）職員の派遣状況

国土交通省（下水道専門職員：国総研）や日本下水道事業団（JS 調査隊）に基づき、被災地域への派遣人数の全容を把握するため、派遣元、地域別の推移としてまとめた。その結果を図２－５－⑥－12 に示す。

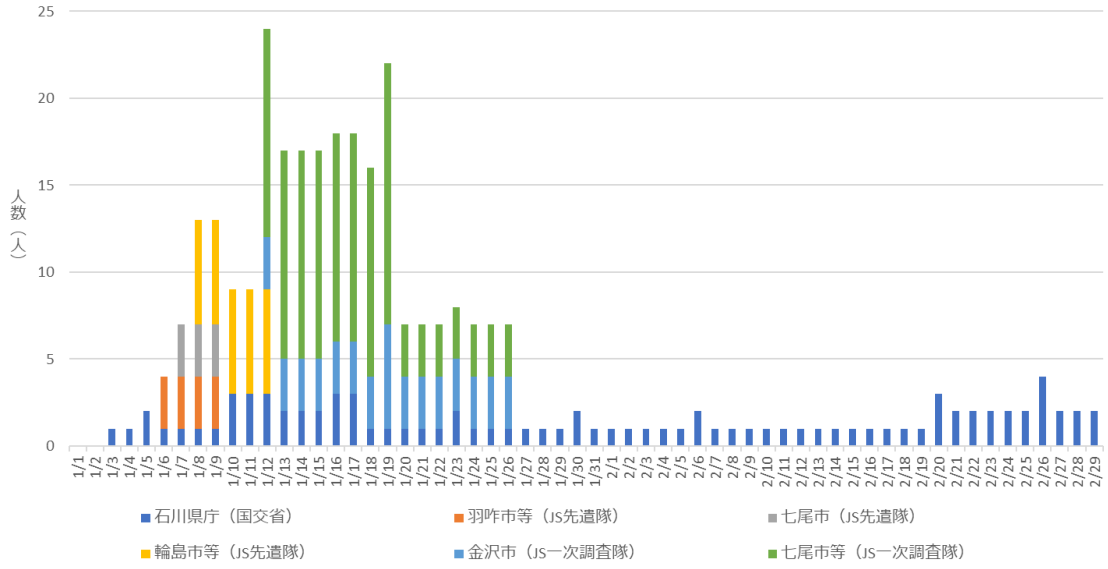


図２－５－⑥－12　下水道対応に関わる派遣人数の推移

c）考察

下水道の情報の整理結果にもとづいて、考察する。

施設の被害について、処理場やポンプ場の復旧（被害なし、機能確保済み）は比較的早い段階で達成されているが、石川県と富山県の管路施設は２月末の段階でも点検中の割合が高い。特に石川県では、３分の２の事業体（18 自治体中の 12）が点検

中となっている。液状化による被害（マンホールの浮き上がりなど）が報道などでも確認でき、さらに奥能登や中能登では上水道がまだ復旧していないことの影響もあると推測できる。

国土交通省や日本下水道事業団からの職員派遣について、国土交通省からの派遣は石川県庁への派遣でありハード的な対応ではなく、マネジメントに関する支援と考えられ、日本下水道事業団からの派遣は調査隊という位置付けであり、被害状況の調査が主であると考えられ、前述の被害状況と併せて考えると、処理場やポンプ場の状況が概ね把握できたと思われる１月下旬には減少していることがわかる。

4）ガス

a）基本諸元

収集、分析したガスに関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－４に示す。

表２－５－⑥－４　収集した情報の諸元等（ガス）

名称	内容	備考
都市ガス	・INPEX 直江津 LNG 基地　安全確認後送ガス再開（1/2） ・日本海ガス 液状化による導管被害等の復旧作業後に供給再開（1/3） ・金沢エナジー　水抜き作業等復旧作業後に供給再開（1/5）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		
ガス小売事業	・復旧作業後供給再開　（1/11）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		
都市ガス	・供給支障はなく、被害情報もなし。	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		
都市ガス	・埋設供給配管の損傷によるガスの漏洩の処置（1/2） ・輸入基地の七尾基地において受入設備に支障（1/1～3/30） 応急的復旧は完了（3/31）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		

b）時系列推移

都市ガス、その他、ガス小売事業、熱供給事業、LP ガスの供給支障箇所の復旧作業状況について、経済産業省のデータを基に調査した。

本データは定性的な情報であることから、被害状況、復旧作業状況の期間に着目した。

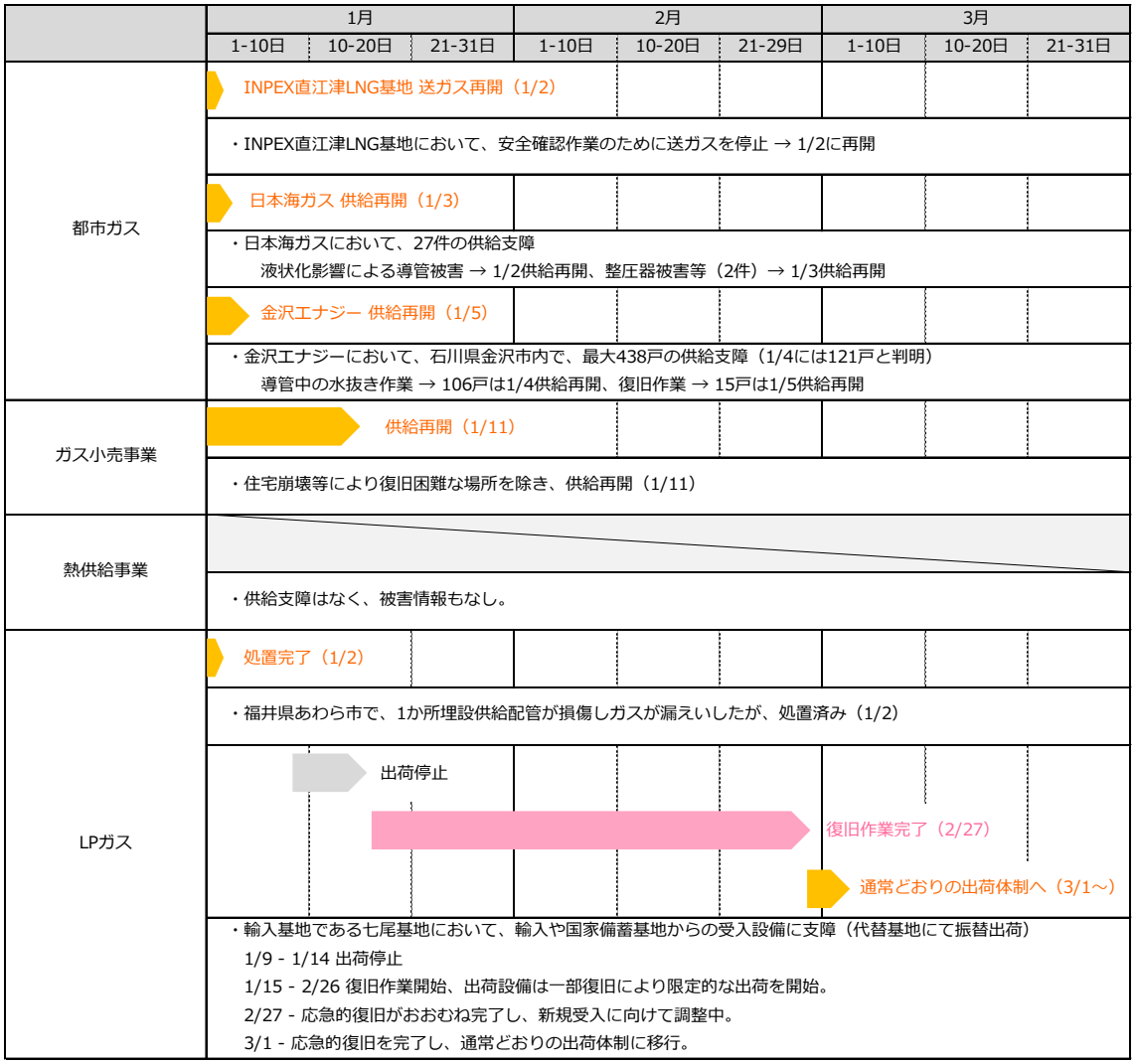


図２－５－⑥－13　ガスの被害状況と復旧状況（経済産業省データ）

c）考察

都市ガスは、住宅崩壊等の復旧困難な場所を除き、１月上旬には供給を再開している。

LP ガスについては、輸入基地である七尾基地において輸入や国家備蓄基地からの受入設備に支障が確認されたが、代替基地による振替出荷で対応しており、非常時のバックアップ体制が整っていることが示唆された。

5）高圧ガス

a）基本諸元

収集した情報のうち、以降の整理や分析に活用する情報の諸元等を、下表に整理する。

表２－５－⑥－５　収集した情報の諸元等（高圧ガス）

名称	内容	備考
高圧法及び石災法に係る設備	・高圧ガスの漏洩　対処済み（１/2） ・原油の漏洩　対処済み（１/2） ・コンビナート火災　対処済み（１/2）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		
鉱山及び火薬関係	・被害情報なし	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		

b）時系列推移

高圧ガスの供給支障箇所の復旧作業状況について、経済産業省のデータを基に整理した。

本データは定性的な情報であることから、被害状況、復旧作業状況の期間に着目した。

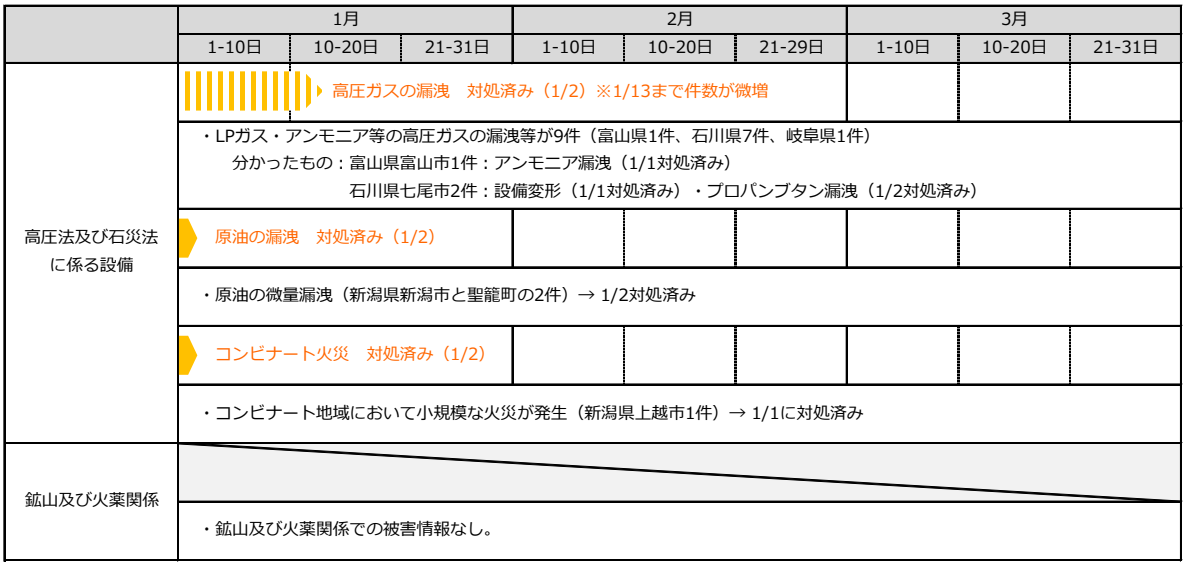


図２－５－⑥－14　高圧ガスの被害状況と復旧状況（経済産業省データ）

c）考察

高圧ガス保安法及び石油コンビナート等災害防止法に係る設備は、１月２日までに対処済みである。

6）油槽所

a）基本諸元

収集、分析した油槽所に関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－６に示す。

表２－５－⑥－６　収集した情報の諸元等（油槽所、SS）

名称	内容	備考
油槽所	・陸上出荷を再開（１/3）	定性データ
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		
サービスステーション（SS）	・新潟県、富山県、石川県、福井県の４県（震度５強以上の地域）の SS 稼働状況　１/１～１/6 ・3 市 3 町（七尾市、志賀町、穴水町、輪島市、珠洲市、能登町）の SS 稼働状況　１/7～	
【出典】 経済産業省：令和６年能登半島地震に伴う被害について https://www.meti.go.jp/2024_noto/index.html		

b）時系列推移

ｉ）施設の被害・復旧状況

油槽所の供給支障箇所の復旧作業状況について、経済産業省のデータを基に整理した。

本データは定性的な情報であることから、被害状況、復旧作業状況の期間に着目した。

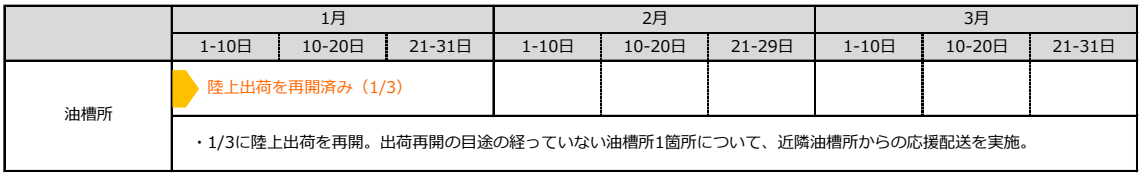


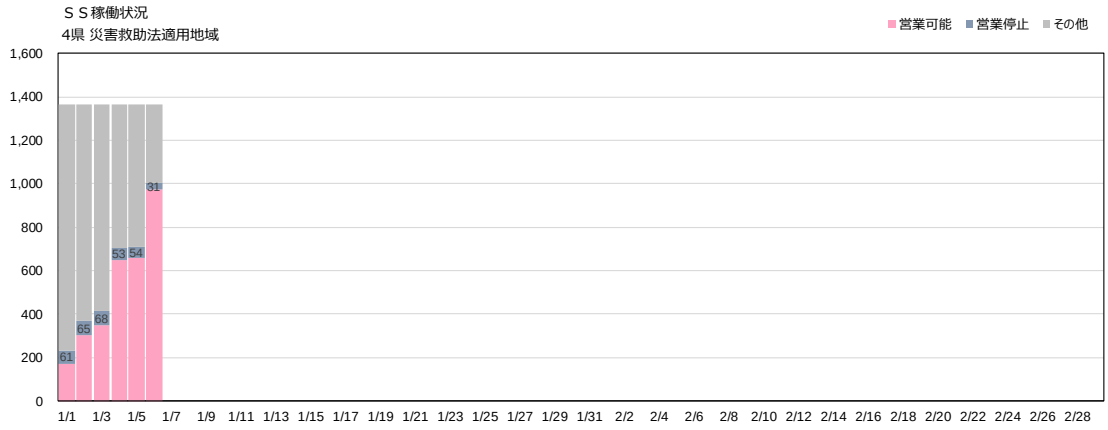
図２－５－⑥－15　油槽所の被害状況と復旧状況（経済産業省データ）

ⅱ）サービスステーション（SS）

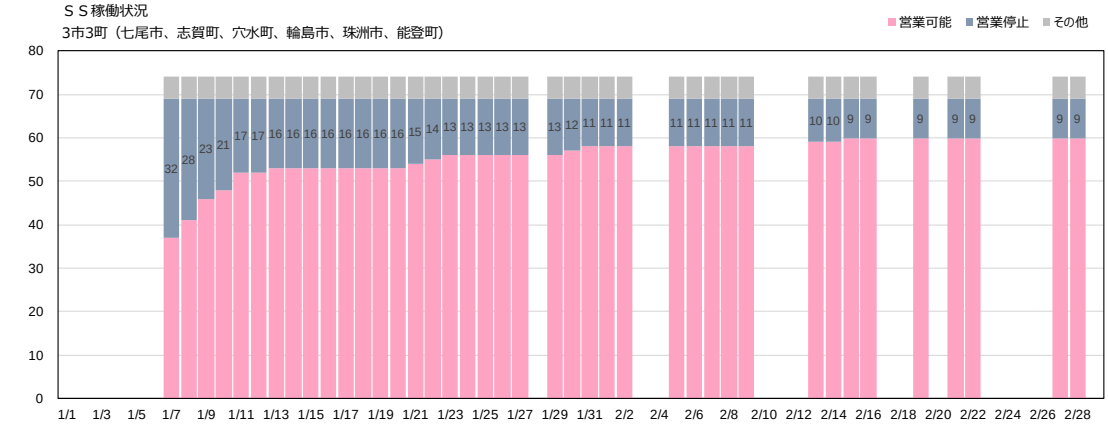
サービスステーション（以下、SS と称す）の供給支障箇所の復旧作業状況について、経済産業省のデータを基に調査した。

SS に関する経済産業省のデータは、１月１日～１月６日は新潟県、富山県、石川県、福井県の４県（震度５強以上の地域）、１月７日以降は被害が大きかった３市３町（七尾市、志賀町、穴水町、輪島市、珠洲市、能登町）が集計対象であった。

また、国土基盤情報ダウンロードサイトより各県及び各市の SS の総数を集計し、経済産業省のデータにおいて供給可能、供給停止以外の箇所数をその他として振り分けた。結果を図２－５－⑥－16 に示す。



営業可能：給油・配送可能
営業停止：給油・配送不可（定休日・避難指示によるものを含む）
その他：GISデータ（H28.1ベース）の総箇所数から営業可能/営業停止以外を算出



営業可能：給油・配送可能
営業停止：給油・配送不可（定休日・避難指示によるものを含む）
その他：GISデータ（H28.1ベース）の総箇所数から営業可能/営業停止以外を算出

図２－５－⑥－16　SS の被害状況と復旧状況（経済産業省データ）

c）考察

１月３日からの油槽所の陸上出荷再開に伴い、営業可能 SS 数も増加したものと考えられ、その後、営業可能 SS 数は段階的に増加していることがわかる。

１月日以降は、３市３町の集計であり、その他の５軒の推移は、すでに閉鎖、廃業している等の箇所と推測される。

7）災害廃棄物

a）基本諸元

収集、分析した災害廃棄物に関わる情報の諸元等を、表２－５－⑥－７に示す。

表２－５－⑥－７　収集した情報の諸元等（災害廃棄物）

名称	内容	備考
仮置き場	・市町村別災害廃棄物仮置き場の設置状況　１/4～2/29	
【出典】 内閣府：令和６年能登半島地震による被害状況等について https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/index.html		

応援派遣人数	・市町村別派遣元別派遣人数　1/2～2/29（一部欠損）	
【出典】 内閣府（上記と同じ）		

b）時系列推移

ⅰ）仮置き場の設置状況

災害廃棄物の仮置き場の設置状況を、市町村別に整理、確認した。その結果を図２－５－⑥－17 に示す。

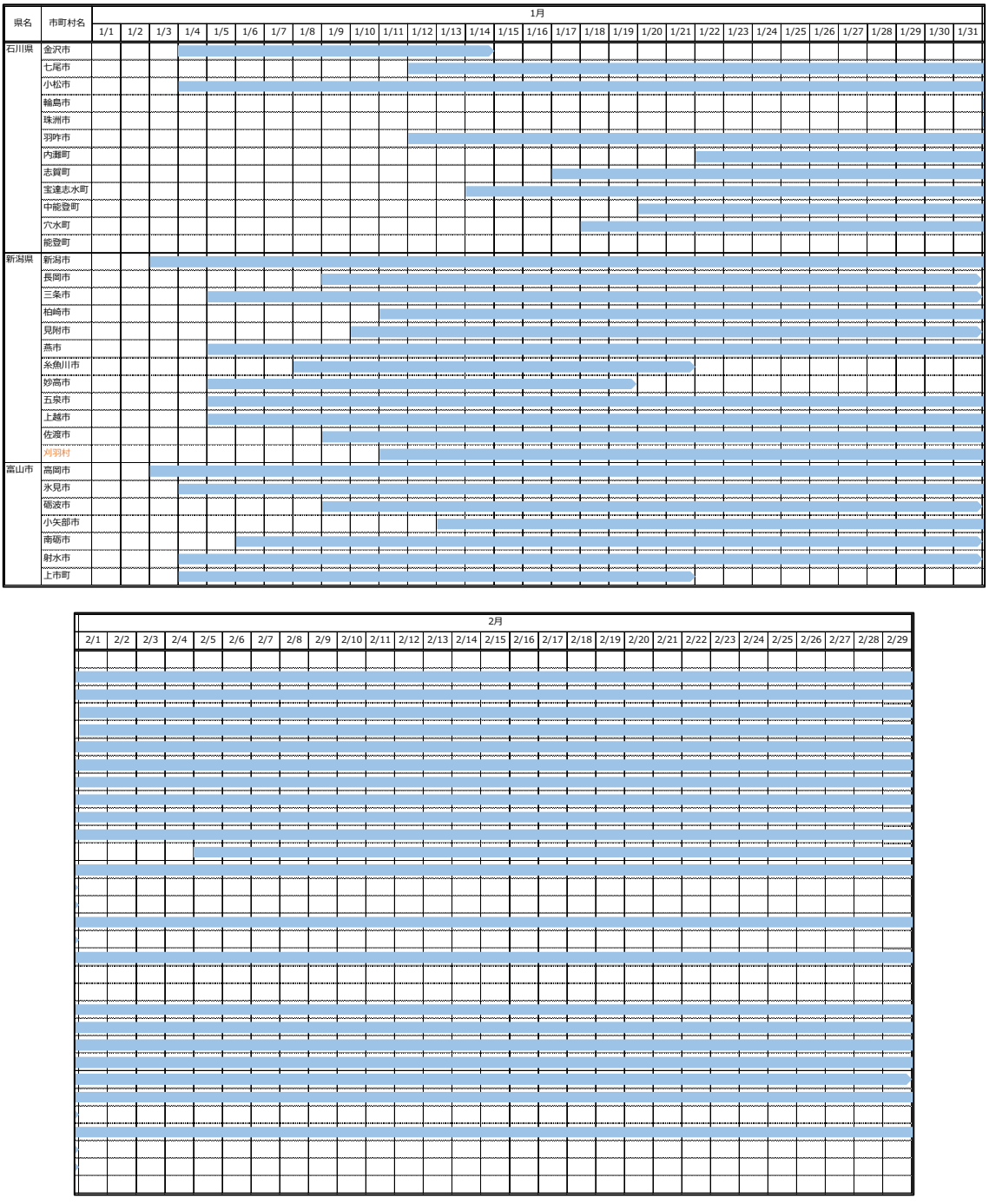


図２－５－⑥－17　仮置き場の設置状況の推移（市町村）

ⅱ）職員等の派遣状況

県への環境事務所職員の派遣、現地対策本部への環境省職員の派遣、災害廃棄物処理支援員登録制度（人材バンク）からの派遣について把握するため、派遣人数の推移を調査した。また、D.Waste-Net（災害廃棄物処理支援ネットワーク）による専門家と収集運搬車両の派遣状況の推移についても調査した。その結果を、図２－５－⑥－18 に示す。

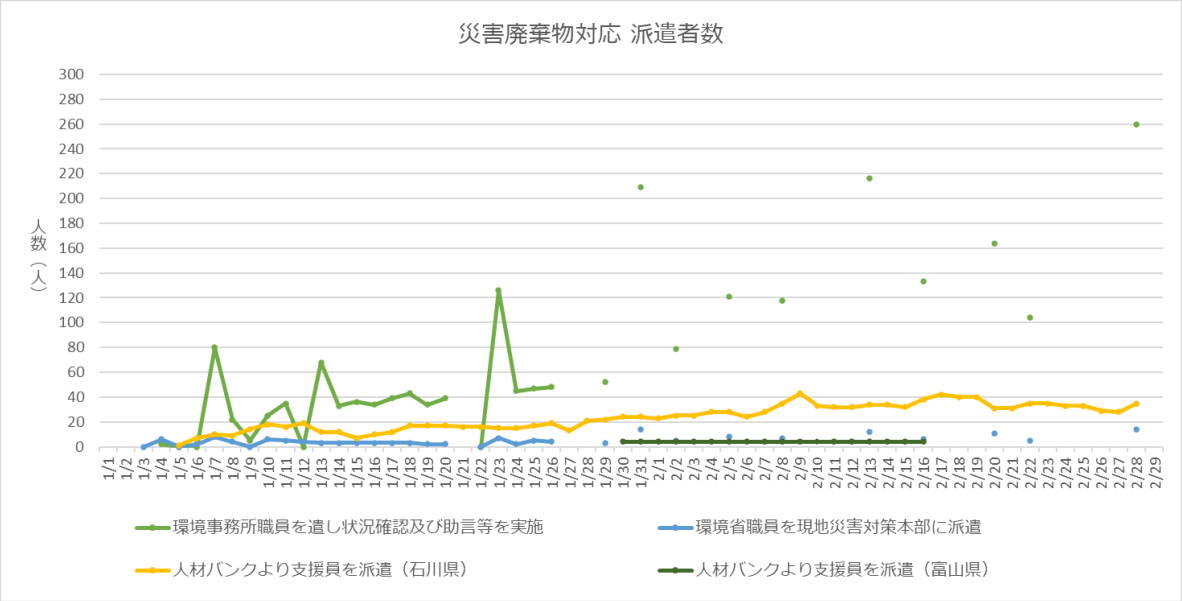


図２－５－⑥－18　災害廃棄物対応に関わる派遣人数の推移

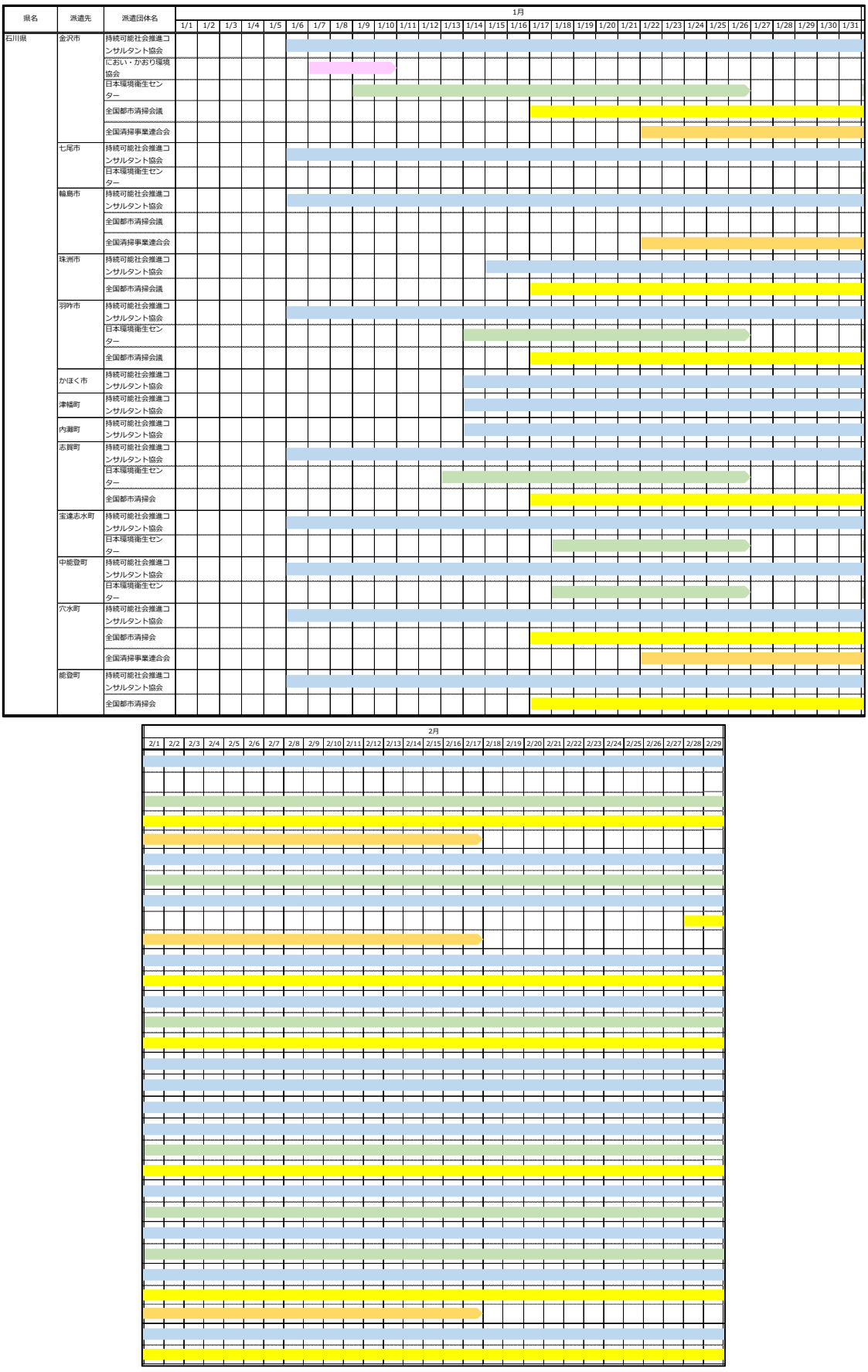


図２－５－⑥－19　災害廃棄物に関わる専門家や収集運搬車両の推移
（市町村別派遣元別）

c）考察

災害廃棄物の仮置き場の設置状況について、被害が比較的小さい市町村では早い段階で仮置き場が設置されている（１月末で終了しているところが多い）が、被害が甚大であった奥能登（輪島市、珠洲市、能登町）では２月以降に設置されていることがわかる。これによって、復旧や復興の開始時期が推測できると考えられる。

災害廃棄物に関するリソース（人、収集運搬車両等）の派遣状況について、環境省や事業体からの職員の派遣は、マネジメントに関する支援と考えられる。一方で、D.Waste-Net（災害廃棄物処理支援ネットワーク）からの派遣は、派遣団体名から考えるとマネジメントに関する支援に加えて、収集運搬車両の派遣による現地での支援も行われていたと考えられる。

8）電力

a）調査対象

電力設備等の調査対象は、水道やガスの調査範囲と揃えて石川県、富山県、新潟県、福井県の４県とした。また調査期間は、地震の発生した令和６年１月１日から令和６年１月 31 日の１ヶ月間とした。電力設備や停電情報等について、表２－５－⑥－８に示す公表資料と各 HP より収集した。本業務での停電情報は、北陸電力と東北電力のデータを採用した。

表２－５－⑥－８　調査対象のサイト一覧（抜粋）※１

発表元	タイトル	サイト URL
北陸電力株式会社 北陸電力送配電	停電情報	北陸電力送配電　停電情報（rikuden.co.jp）
北陸電力株式会社 北陸電力送配電	プレスリリース	プレスリリース 非常災害・停電　北陸電力送配電（rikuden.co.jp）
東北電力株式会社 東北電力ネットワーク	停電状況	令和６年能登半島地震に関する情報について　｜　東北電力　（tohoku-epco.co.jp）
国土交通省	令和６年能登半島地震　緊急復旧（道路啓開）の状況	道路：令和６年能登半島地震　緊急復旧（道路啓開）の状況 - 国土交通省（mlit.go.jp）
国土数値情報ダウンロードサイト	緊急輸送道路	国土数値情報　｜　緊急輸送道路（mlit.go.jp）

※１　HP 確認日：令和６年２月９日

なお、停電戸数の時間的・空間的変化を表現するために、GIS を用い停電戸数を地図上に区分けして表現した。特に石川県は各市町単位の発表だけではなく、大字または町目単位で発表があった。発生した停電被害をより詳細に分析するため、被害の大きい石川県は、大字または町目単位で停電戸数を表現した。

b）電力設備の状況

プレスリリースの情報から停電情報は、発電施設とその他に大別できる。結果発電設備の被害などは停電復旧しない原因として結論づけることはできなかった。また、配電設備については、損害が増える報告となっており、停電戸数との相関関係がある情報として抽出することができなかった。

c）停電状況について

北陸送配電と東北電力ネットワークから発表された停電戸数を整理した。１月１日 17:30 の総停電戸数は、39,615 戸であり、１月９日 23:45 の発表で約半分の 15,056 戸となり、１月 29 日 12:40 の発表で 3,660 戸となった。

新潟県と富山県の停電状況は、震災後２日後には全て解消された。

一方で、石川県の停電戸数は３日まで横ばい状態で、９日を過ぎたところから約２万戸停電が復旧したものの、令和６年３月 19 日現在も停電は続いている。そこで、石川県について、市町別に停電戸数を図２－５－⑥－20 に示す。市町村別に停電戸数を見ると、令和６年１月３日 18:00 の停電戸数が、穴水町と輪島市、及び能登町で増加した。

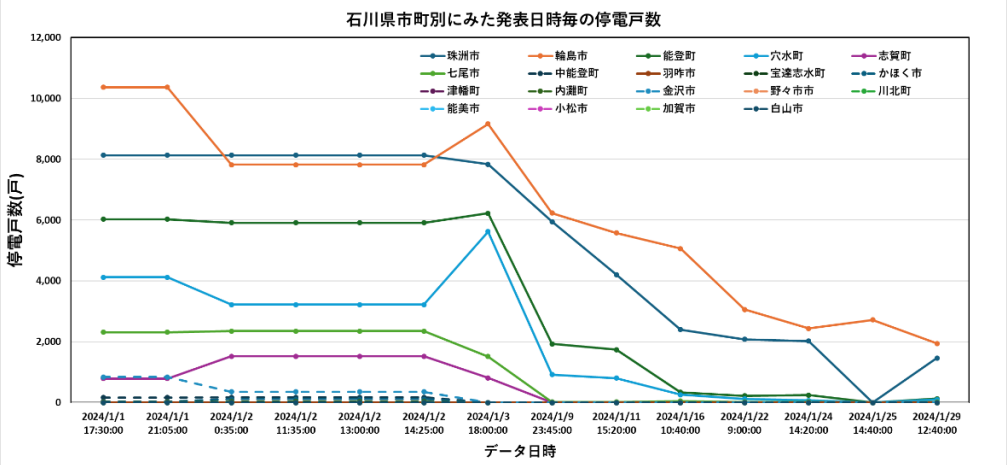


図２－５－⑥－20 石川県の市町別にみた発表日時毎の停電戸数

d）道路啓開の情報について

次に停電の復旧状況と、道路の復旧状況の関係性を検討するために、道路啓開情報を整理し、図示した(図２－５－⑥－21)。「令和６年能登半島地震緊急復旧（道路啓開)」は、羽咋市以北（以下の画像の範囲）を示していたため、啓開道路の復旧次第はこの範囲に限定して作成した。

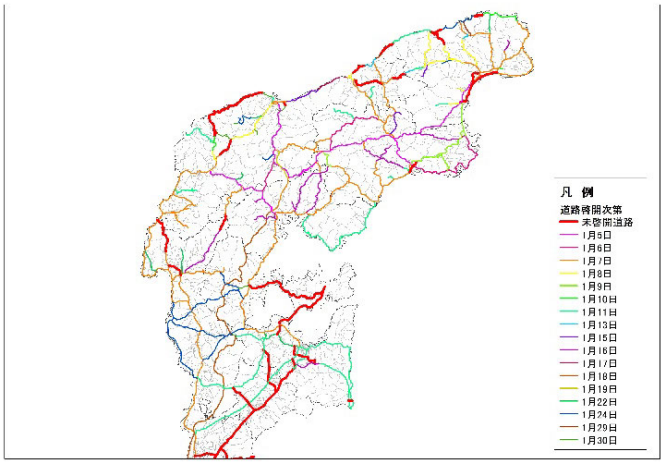


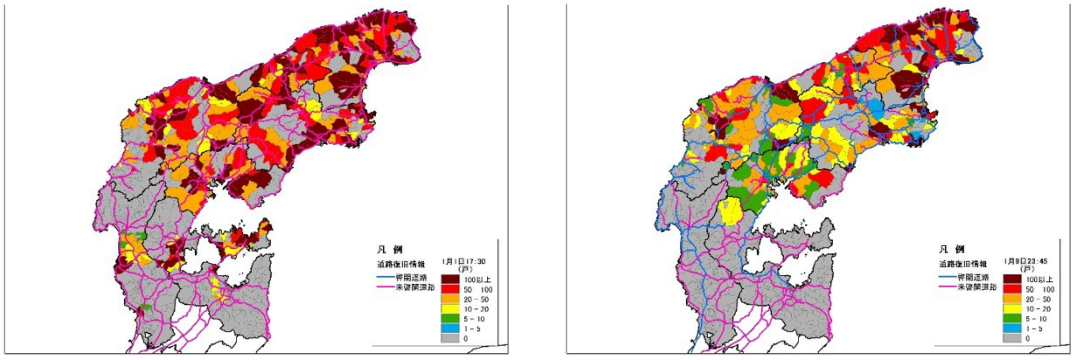
図２－５－⑥－21 道路啓開の状況

e）停電戸数と啓開道路拡大の関係

ここまでで整理した停電状況と道路の啓開状況について、地図上に反映し、関係性を検討した。

調査範囲の４県の停電総数と瞬間的な停電を示した。この結果停電は、七尾市以北と新潟県に分布していることが分かった。また、瞬間的な停電は富山湾周辺と、穴水町、七尾市に集中していることが分かった。

そこで、七尾市以北の停電戸数と緊急復旧道路の関係に注目して検討した(図２－５－⑥－22)。 まず、能登半島北部、輪島市から珠洲市の沿岸部で停電戸数の減少が少ないことが分かった。51 戸を超える停電は沿岸部に集中しているが、50 戸以下の停電は広範囲に独立して停電していることが分かった。次に、緊急輸送道路に注目すると、内陸部から次第に復旧し、次第に沿岸部の一部地域でも啓開道路が増えることが分かった。さらに詳細な分析を行うため七尾市以北の市町はそれぞれ図面を作図した。珠洲市・輪島市能登町・穴水町・志賀町は道路啓開作業が進むと停電戸数が減少する関係があることが分かった。反対に、七尾市は、道路啓開作業と停電復旧に関係がないことが分かった。



１月１日 17：30　　１月９日 23：45

図 ２－５－⑥－22 七尾市以北の停電戸数の時間的・空間的変化

f) まとめ

道路啓開と配電設備の関係について分析した。その結果、被害の把握と復旧には、啓開道路の拡大によりその地域にトラックなどの重機が到達する必要があり、道路啓開の進行状況と停電復旧の進行状況には相関関係があると推察できた。

瞬間的な停電については、その原因は地震の他に、「電力会社設備の故障、原因不明、樹木の接触・倒木、強風・雨風、山崩れ等」がある。地震の次に多い原因は電力会社設備の故障が挙げられており、復旧作業等人為的な原因があると推察された。

高電圧配線の復旧では、七尾市の啓開道路の復旧前に一部停電が復旧していたことは送電線の供給範囲と関与があると推測できる。一方、送電線の範囲外である七尾市より北に位置する４市町は緊急輸送道路の啓開状況と停電戸数の減少の関係が強くなる傾向があった。

(d) 結論ならびに今後の課題

令和６年１月１日に発生した「令和６年能登半島地震」に伴う被害規模や復旧状況等の情報を収集、整理し、大規模な自然災害発生時や復旧過程でのライフライン系施設の状況、ならびに関係機関の動向を把握することにより、南海トラフ巨大地震臨時情報発表時の産業活動や社会経済活動への影響を検証し、社会様相を構築するとともに、机上演習等に活用するため、令和６年能登半島地震でのライフライン等の情報収集を行った。

令和６年能登半島地震での Google マップ等を活用した応急給水拠点マップ、復旧状況マップを作成した。その結果、我が国の地震災害で、国勢調査の小地域（町丁・字等）で水道等のライフラインの復旧状況をはじめて記録することができた。これにより、構築した産業タイムラインの産業構造モデルの検証に活用可能といえる。

本調査では、令和６年能登半島地震によるライフライン系の被害状況やその復旧過程に関して、公表されている情報を収集するとともに、その整理、分析を行った。ライフライン系の被害状況は大きく異なっており、上水道や下水道では令和６年３月初旬時点において、まだ復旧途上の状況である。特に被害が甚大であった上水道では、奥能登地域では断水が解消されていない状況であった。

今後の対応として、まだ復旧が完了していない上水道や下水道等の情報は継続的に収集する必要がある。また、ライフライン間の関係性、たとえば、上水道と下水道の関係性、道路復旧との関係性について分析することで、今後の復旧や復興を検討する際の資料になりえると考えられる。また、今回の調査結果に基づき、南海トラフ巨大地震等の巨大災害への恒久的な対策、さらには「臨時情報」発令時等の直前における対策に関わる計画策定に活用することが可能である。

(e) 引用文献

1) 平山修久・臼田裕一郎（2023）Google マップを活用した災害時の応急給水拠点情報共有，環境衛生工学研究，37(3)，16-18.
2) 吹元雅崇・平山修久（2023）地図アプリケーションを活用した災害時の情報共有方策，令和５年度全国会議（水道研究発表会）講演集，832-833.
3) 防災科学技術研究所(参照年月日:2024.2.19)SIP4D 情報共有サイト,https://sip4d.jp

4) 防災科学技術研究所（参照年月日：2024.2.10）防災クロスビュー：bosaiXview, https://xview.bosai.go.jp

(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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うべき災害であり、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ことから、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った。モデル地域でのエレベータ障害、復旧の試算の検討を行った。

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った。

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５年度業務目的

令和４年度に開発した定性的将来予測システムを用いて、いくつかの想定されたハザードをもとにして被災様相を予測した。また、都市機能の復旧に影響を与える各種要因を整理し、エレベータ障害復旧過程の試算を利用して建物およびエレベータの被害に起因する都市機能被害とその復旧過程をシミュレーションする手法を開発し、60の代表的ケースでの試算結果を用いて、地震動分布、地域性、復旧方針、災害状況が都市機能被害と復旧過程に与えるその影響の程度を評価した。

(2) 令和５年度の成果

① 災害シナリオ自動生成技術の確立とこれによる災害因果の具体的導出

（a）業務の要約

本業務では、令和４年度に開発した、定性的に災害現象を将来予測できる予測システムのプラットフォームの因果データベースを拡充する目的で、災害シナリオのダイナミック自動生成技術を高度化し、これに基づいていくつかの想定されたハザードをもとにした被災様相予測を行った。具体的には、新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、過去 12 災害を対象にデータベースとして整理した。

（b）業務の実施方法

本業務は、複数のハザードをもとにした災害シナリオ構築は多くの労力がかかることから、はじめに新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、システムの高度化をはかった。具体的には、下記の項目を実施した。

1. 自然言語処理・人工知能技術を活用した新聞記事からの因果判定・因果抽出の実装
2. 場所・時間などの副次的な情報抽出の実装
3. 上記手法の精度検証・分析
4. 因果ネットワーク作成を含めた二次利用に向けたデータベースの整備
5. データベース作成の再現が可能なプログラムの整備

(c) 業務の成果

今回、高度化をはかったプログラムの全体像は下図のように示される。黄土色のボックスが手作業を必要とする部分であり、これまでのプログラムに比べて大幅な自動化が可能となった。

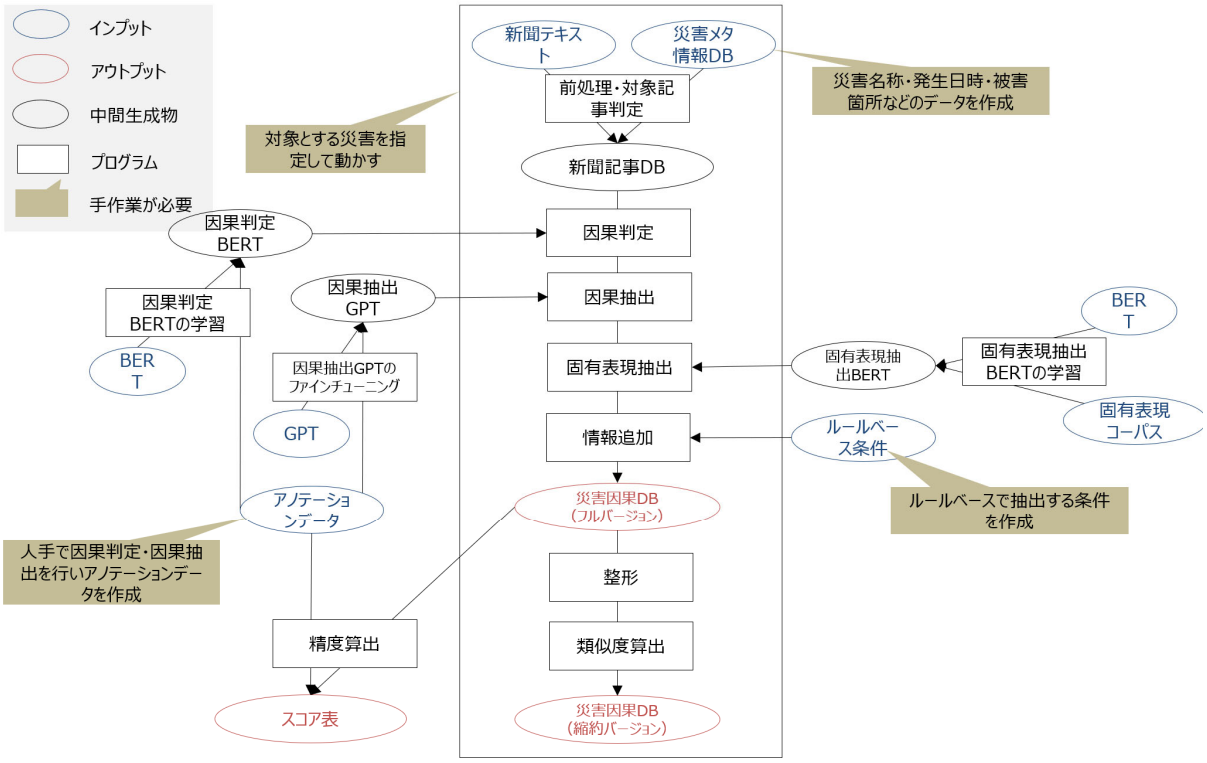


図２－６－①－１　改善したプログラムの全体像

ここで対象としたハザードの新聞記事は、阪神・淡路大震災および東日本大震災が発災から 2 年後までの新聞記事、熊本地震ほか 9 災害が発災から 1 年後までである。なお、阪神・淡路大震災および東日本大震災は地方記事も参考にしている。また、因果判定はこれまで SVM を用いていたが、学習データ数、パラメータ数、計算速度のバランスが優れている東北大学グループの BERT を利用した。ここでは、アノテーションデータをもとに文書分類タスクとして BERT を学習し、学習パターンごとに BERT を作成しており、学習パターンはアノテーションデータ、ベースモデル、因果なし文の除外割合の３つを変更し、計 24 パターンとしている。他方で、一文の中に複数の因果が含まれている場合でも一つしか抽出できない点もこれまでの手法の問題点であった。このため、GPT を用いてプロンプトにより原因・結果を抽出することとした。ベースモデルは、GPT4 に比べると精度が劣るが、コストパフォーマンスが高い GPT-3.5-turbo-0125 を選択し、下図のように複数の因果抽出が可能となった。

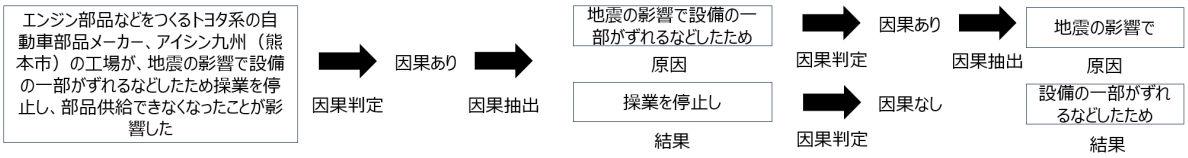


図２－６－①－２　ひとつの文章から複数の因果抽出を可能とする一例

さらに本研究をリアルタイム予測に生かすには、全ての文章から文内容が記している事象の日時・場所を抽出する必要がある。これについても、これまでのプログラムでは課題となっており、また、本プロジェクトの外部評価委員会時にも指摘された点であった。本年度は、この点においても下記の方針で、下図のような時間・場所のタグ付けを行った。

① ルールベース手法（正規表現）により日付表現・時間表現を抽出し、リストとして属性付与
② 固有表現コーパスをもとに固有表現抽出 BERT を学習
③ ②の固有表現抽出 BERT により場所表現・施設表現を抽出し、リストとして属性付与
④ ルールベースにより不適切な抽出は削除した上で、前文からの情報継承を行い、最終的に用いる属性を付与
（ア） 「地震 10 時間後」など、発災をキーとして経過表現は、発災時刻をもとに時間を算出
（イ） 「同市～町」などは前の文から「同市」にあたる部分を補完するなど、前文の情報も活用
（ウ） 災害以前や記事翌々日以降の日付は削除

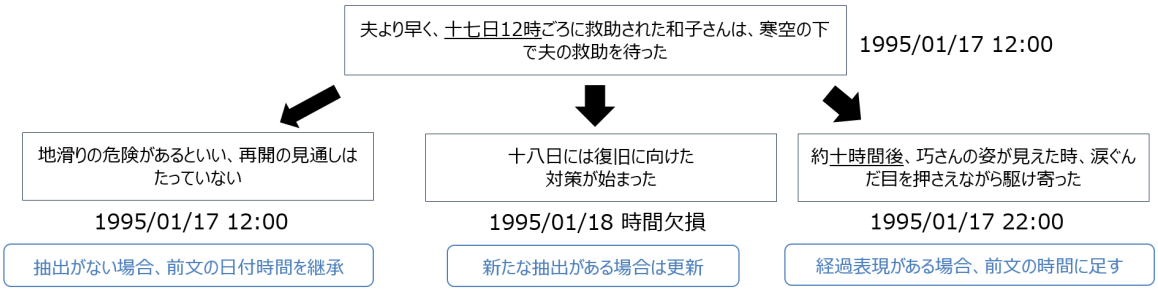


図２－６－①－３　日時・場所を抽出する方法

結果として、これらの改良を加えたことにより、これまでと比べて大幅な精度の向上が可能となった。下図は熊本地震時（2016/04/14-20）の記事で自動作成した因果ネットワークである。今後の課題として、座標算出の精度改善への住所補完、類似度算出方法の精度改善、因果ネットワークの自動作成などが挙げられる。

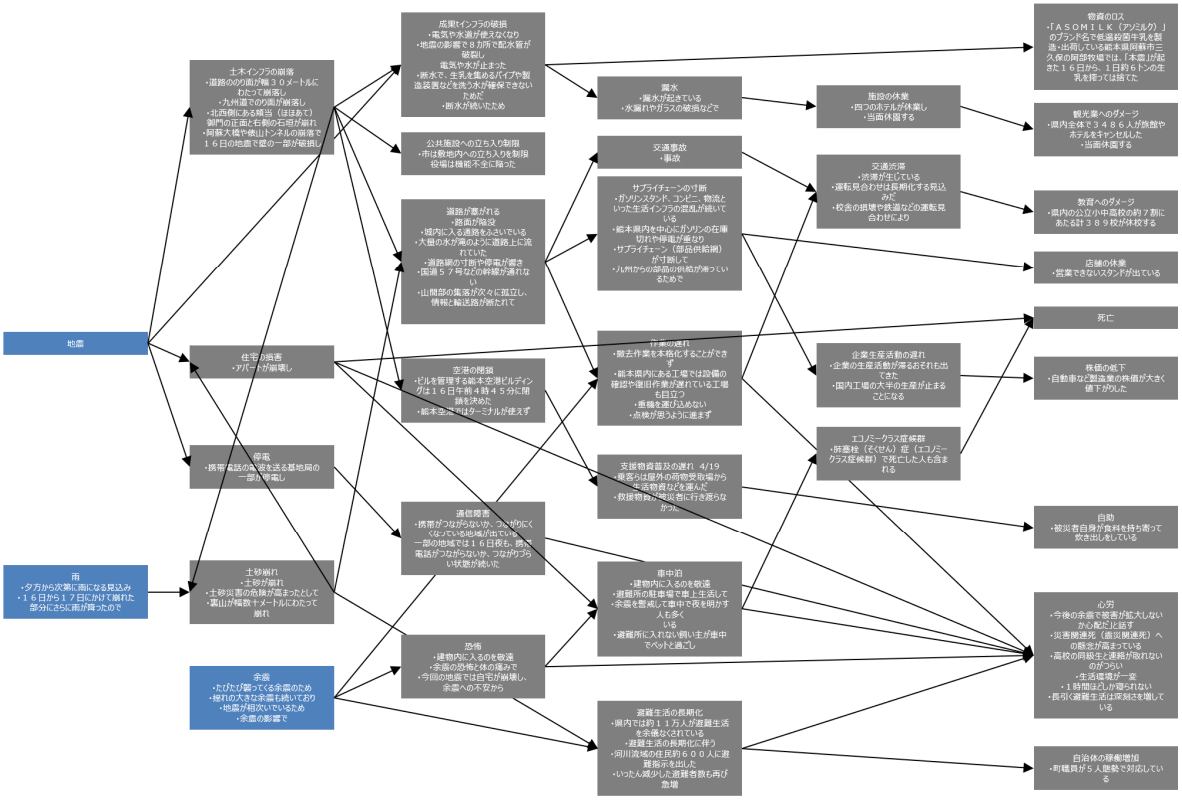


図２－６－①－４　熊本地震時の因果ネットワーク

（d）結論ならびに今後の課題

上記のように、本年度はこれまで因果ネットワーク作成時に労力がかかっていた因果連鎖を抽出する作業の大部分の改善を行い、また場所や時間を紐づける技術の確立を行った。この改善を施すことで、令和４年度に作成したワークショップなどを用いて因果連鎖に新たな因果を加えるシステムの円滑な実施が可能となる。

（e）引用文献

なし

（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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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、災害状況が都市機能に与える要因を整理した上で、建物およびエレベータの被害により建物利用が困難になる人口である都市機能喪失人口を用いて、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発し、前年度までに構築したシミュレーションモデルに都市機能の被害量とエレベータ復旧に伴う復旧過程（以下、都市機能復旧過程）を評価する機能を組み込んだ。また、サブ課題２(g)と連携して、南海トラフ地震の多様な震源断層モデルから代表的な４つの地震動分布を選択し、４つの地域、４つの復旧方針と３つの災害状況を組み合わせた 192 ケースの中から代表的な 60 のケースを選定してエレベータ障害の復旧に伴う都市機能の復旧過程を評価した。併せて、震源断層モデルの異なる 83 の地震動分布による、４つの地域の都市機能の被害量を評価した。実施項目・方法は以下の通りである。

(b) 業務の実施方法

1) 災害状況を反映するためにエレベータ障害と復旧過程のシミュレーション分析に考慮すべき要因の整理として、都市機能復旧過程を評価する上で考慮すべき要因である災害状況について整理し、その代表例としてテレワーク等の代替的手段による影響をモデルに組み込んだ（1-a）。また、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した（1-b）。併せて、これらのモデル化の根拠資料として、2011 年東北地方太平洋沖地震以降の論文集や被害調査報告などの文献調査を行い、知見を整理した(1-c)。

2) 災害状況を反映したエレベータ復旧シミュレーションの実施については、今年度に開発した都市機能復旧過程の評価手法を用い、試験的例題として代表的な 60 ケースにおける都市機能復旧過程の評価を行い、地域性や地震動分布との関係について考察した(2-a)。また、災害状況とエレベータ復旧方針が都市機能復旧過程に与える影響について考察するとともに、都市機能被害の多様性を確認する観点から、４つの地域における 83 の震源断層モデルによる都市機能被害量の試算を行った(2-b)。

(c) 業務の成果

1) 災害状況を反映するためにエレベータ障害と復旧過程のシミュレーション分析に考慮すべき要因の整理

前年度までに、東京都 23 区から選択した特定の区において、南海トラフ地震の広帯域強震動シミュレーション手法により得られた地震動を用いて、エレベータ障害と建物被害の発生を評価し、選択したエレベータ復旧方針に基づいてエレベータ保守会社によるエレベータ復旧過程を模擬するシミュレーションモデルを構築した。本年度は、同シミュレーションモデルに災害状況を反映した都市機能復旧過程の評価機能を組み込むため、そのモデル化方法の開発と根拠となる文献の収集・整理を行った。以下にそれぞれの成果の概要を示す。

(1-a) 災害状況に応じて変更すべき復旧条件の抽出

(1-c)で実施した文献調査で整理した、2011 年東北地方太平洋沖地震による首都圏の被害状況や関連する先行研究を参照し、エレベータ復旧の供給側、需要側それぞれの観点から前年度開発したシミュレーションモデルで変更すべき復旧条件について抽出した。エレベータ復旧の供給側であるエレベータ保守会社に関する条件設定は、南海トラフ地震による首都圏の地震動レベルを考慮すると、前年度の設定を踏襲することが妥当と判断した。本年度は新たに、エレベータ復旧の需要側である利用者側の条件設定を検討した。

利用者側の需要が変動する要因の一例として、本課題ではテレワーク等の代替的手段の普及による社会活動の継続可能性を取り上げ、災害時の社会的機能の維持と復旧にもたらす影響を考察する方針とした。ここでは、代替的手段の利用率を文献 [1)]、文献 [2)]に基づいてモデル化し、図２－６－②－１に示す Case0～Case2 の３通りの災害状況を設定した。Case0 は基準となるケースであり、代替的手段を考慮せず建物被害とエレベータ障害の影響を受けた全人口が都市機能を喪失すると仮定する。Case1 は 2023 年３月ごろのテレワーク利用率を、Case2 はテレワーク利用率が最大であった第１回緊急事態宣言中の状況を想定し、事務所系、商業系の用途で建物被害やエレベータ障害が発生しても一定割合で都市機能が維持されるものとした。また、Case1、Case2 では、住宅にエレベータ障害があっても多くの住人は避難せず、機能を維持すると仮定した。

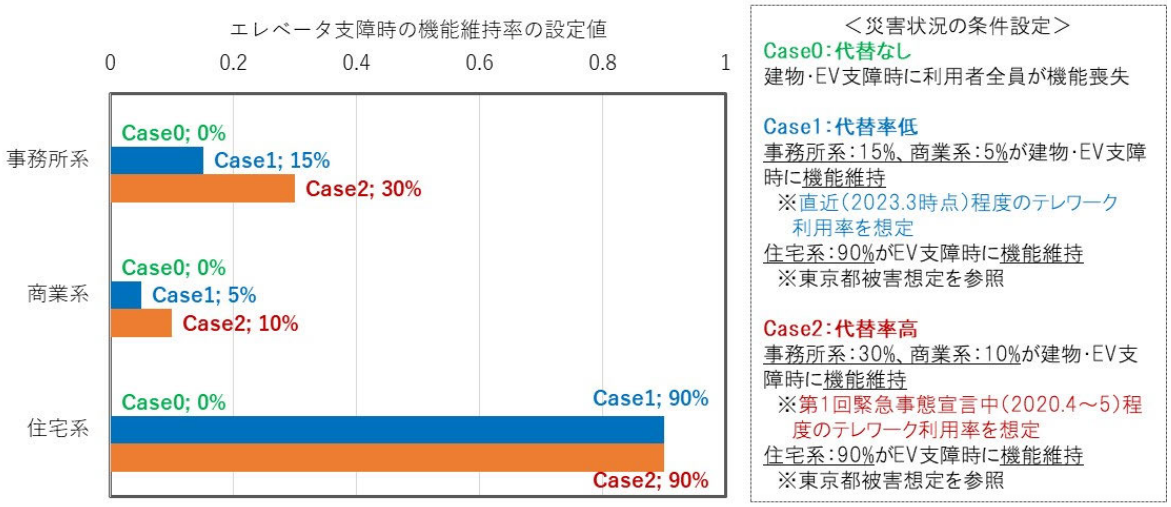


図２－６－②－１　災害状況（代替的手段の利用率）の設定（文献 1）2)を参考に作成）

(1-b) 建物用途や災害状況を踏まえた「都市機能被害」の計量方法の検討

本課題では、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した。都市機能喪失人口の評価フローを図２－６－②－２に示す。まず、前年度までに開発したエレベータ復旧シミュレーションモデルにより、評価対象地域内における各建物の建物被害およびエレベータ障害・復旧過程を求める（図中①）。併せて、復旧の各時点におけるエレベータの復旧台数と建物の階・用途ごとの機能支障の関係、建物の機能支障と機能喪失の関係をそれぞれモデル化する（図中②）①と②の結果を用いることで、エレベータ復旧の各時点における建物ごとの機能喪失人口を評価する（図中③）。最後に、評価対象地域内の全建物の機能喪失人口の総和として、地域内の都市機能喪失人口を推計する（図中④）。なお、エレベータ障害による建物利用者の機能支障率は、文献 [3)]を参考に建物内の過半のエレベータが停止している場合に、住宅系用途では６階以上、非住宅（事務所系用途、商業系用途）では３階以上の利用者が機能に支障をきたすとモデル化した。

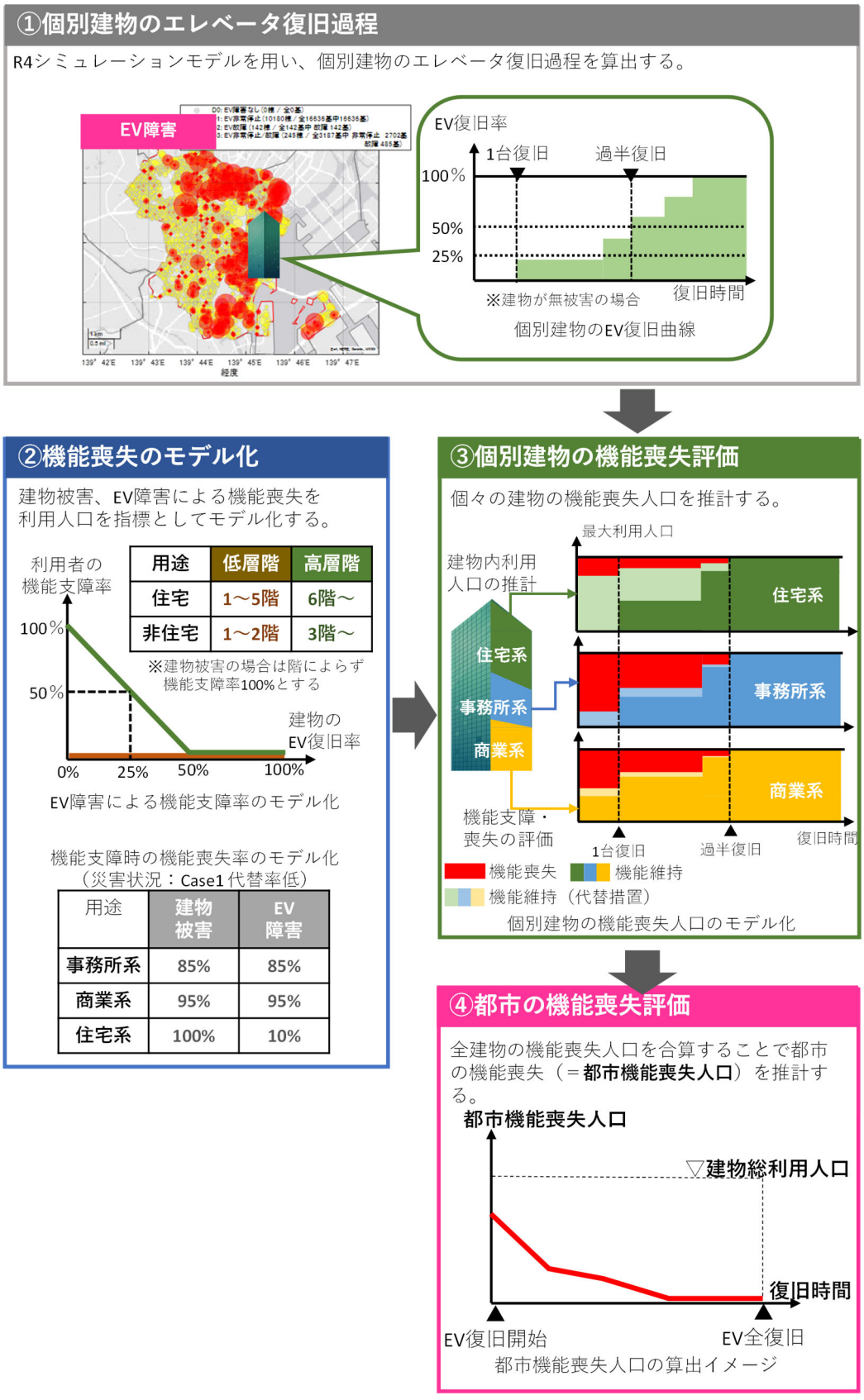


図２－６－②－２　都市機能喪失人口の評価フロー

(1-c) 復旧条件、都市機能被害のモデル化に係る資料の収集と整理

南海トラフ地震時の災害状況を考慮した復旧条件の設定および都市機能被害のモデル化に資する資料の収集と整理を行った。南海トラフ地震における首都圏の被害を想定する上で、2011 年東北地方太平洋沖地震における首都圏の被害状況や、当時顕在化した課題に関する研究報告等が参考になると考え、表２－６－②－１の範囲の文献を網羅的に調査した。併せて、(1-a)、(1-b)の検討を進めるうえで、関連すると考えられる資料を追加的に収集した。

表２－６－②－１　復旧条件、都市機能被害のモデル化に係る文献調査範囲

書籍名・学会誌名		巻号
東日本大震災合同調査報告編集委員会：東日本大震災合同調査報告		建築編 6 非構造部材、建築編 8 建築設備・建築環境、建築編 9 社会システム、機械編
日本建築学会論文集	計画系論文集	第 76 巻、第 661 号（2011/3） ～第 88 巻、第 807 号（2023/5）
	構造系論文集	第 76 巻、第 661 号（2011/3） ～第 88 巻、第 807 号（2023/5）
	環境系論文集	第 76 巻、第 661 号（2011/3） ～第 88 巻、第 807 号（2023/5）
日本建築学会技術報告集		第 17 巻、第 36 号（2011/6） ～第 29 巻、第 71 号（2023/2）
地域安全学会論文集		第 14 巻（2011/3）～第 41 巻（2022/11）
地震工学会論文集		第 11 巻、第 2 号 (2011/5) ～第 23 巻、第 2 号 (2023/5)

2) 災害状況を反映したエレベータ復旧シミュレーションの実施

1)で抽出した要因を考慮し、エレベータ復旧シミュレーションを実施することで、様々な災害シナリオの設定条件と都市機能復旧過程の関係を評価した。成果の概要を図２－６－②－３に示す。(2-a)災害状況に応じたパラメータ設定と復旧シミュレーションでは、都市機能復旧過程の評価条件を設定し、代表的に選択した 60 ケースで都市機能復旧過程を評価した。図中の上段・中段に例示するように、各検討ケースで発生する都市機能喪失人口が、エレベータ復旧に伴って減少していく様子をシミュレーションモデルにより評価し、地域性や地震動分布との関係について考察した。(2-b)災害状況に応じたエレベータ復旧方針による都市機能復旧への影響の考察では、エレベータ復旧方針や災害状況が都市機能復旧過程に及ぼす影響の観点から整理、考察するとともに、図中の下段で示すように 83 ケースの多様な震源断層モデルによる都市機能被害を評価することで、南海トラフ地震の多様性と都市機能被害の関係について検討した。以下に、それぞれの成果の概要を示す。

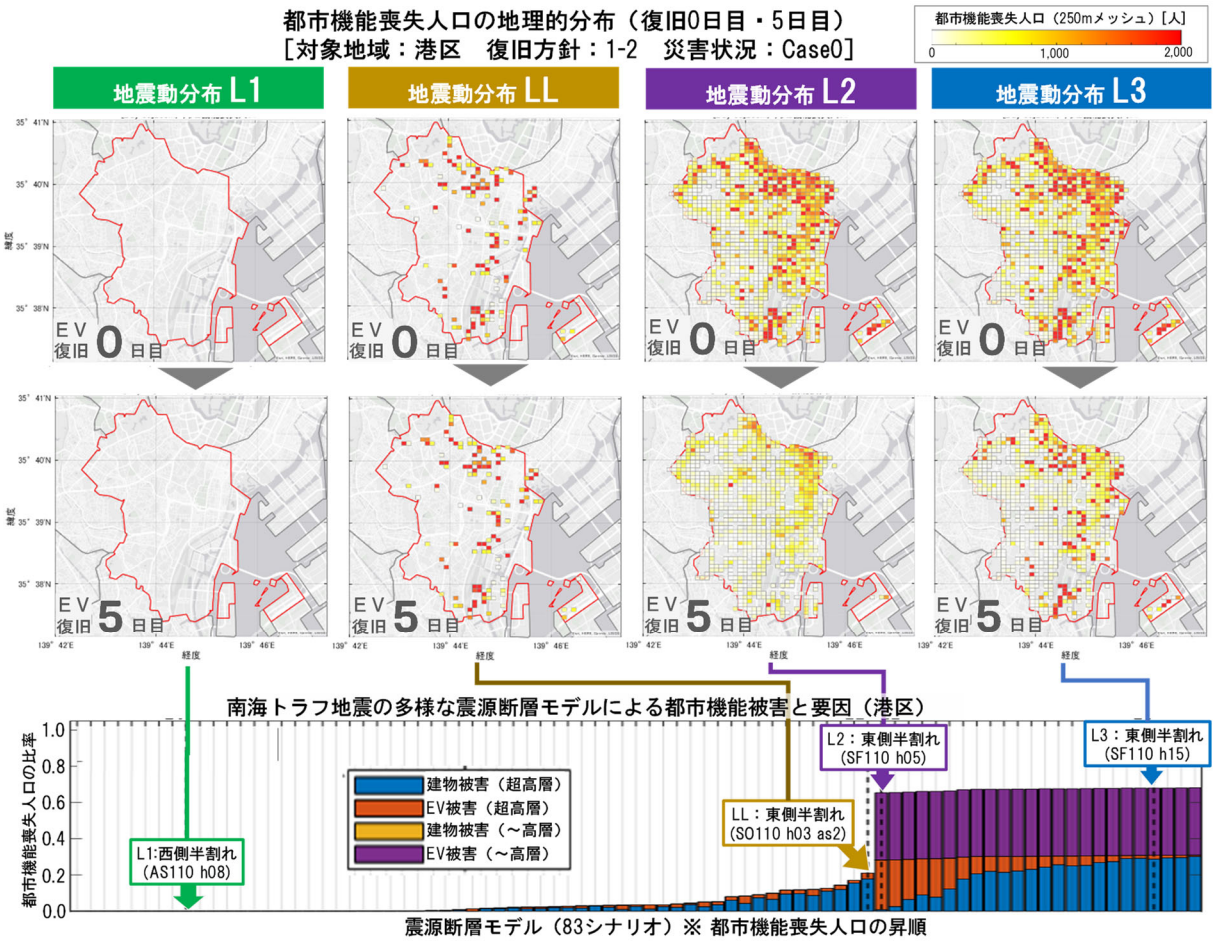


図２－６－②－３　代表シナリオによる都市機能の復旧過程と多様な震源断層モデルによる都市機能喪失被害

(2-a) 災害状況に応じたパラメータ設定と復旧シミュレーション

都市機能復旧過程を評価する上で、評価条件（対象地域、地震動分布、エレベータ復旧方針、災害状況）の設定を行った。図２－６－②－４に設定した各評価条件と、検討ケースとして選択した評価条件の組み合わせを示す。

建物被害およびエレベータ障害の評価にかかわる条件としては、対象地域と地震動分布を設定する。対象地域としては、東京都 23 区内のうち超高層建物棟数が多い行政区４区（港区、千代田区、中央区、新宿区）を選択した。地震動分布としては、南海トラフ地震の多様性を踏まえた震源断層モデルによる地震動評価結果から、建物被害とエレベータ障害の様相が特徴的な４ケース（L1、L2、L3、LL と称する）を選択した。L1 は全震源断層モデルの中でも都心部の影響が小さい西側半割れのケース、L2 は短周期・長周期成分ともに 2011 年東北地方太平洋沖地震時の都心部の揺れと同程度である東側半割れのケース、L3 は全震源断層モデルの中でもっとも都心部の影響が大きい東側半割れのケース、LL は短周期成分が小さく主として長周期成分の影響を都心部が受ける東側半割れのケースである。以上の対象地域と地震動分布の組み合わせにより、計 16 パターンの建物被害・エレベータ障害のデータを作成した。対象地域内のエ

レベータ設置建物として、前年度と同様の手法で、ゼンリン建物ポイントデータ（2020年版）[4]と、超高層建物については2019年度版東京都建築統計年報[5]を参照し、階数4以上の建物を個別にモデル化した。今年度は新たに、階数3以下のエレベータ非設置建物について、対象地域内の総利用人口と建物被害率をマクロに評価することで、都市機能被害の評価に反映させた。復旧方針としては、（一社）日本エレベーター協会が提唱する[6]、１ビルにつき１台のエレベータを復旧させたら次のビルの復旧に移るという復旧方法（以下、１ビル１台ルール）の有無と、建物の優先順位を示す２つの指標（建物延床面積（広い建物ほど優先度高）、営業所からの距離（営業所から近い建物ほど優先度高））の組み合わせによる４ケースを設定した。災害状況としては、(1-a)で設定したテレワーク等の代替的手段の普及率の異なる３ケースを設定した。以上の評価条件の組み合わせから定まる192ケースの検討ケースのうち、本年度は図２－６－②－４に示す60ケース（対象地域４ケースごとに15ケース）の評価条件で都市機能復旧過程を評価した。

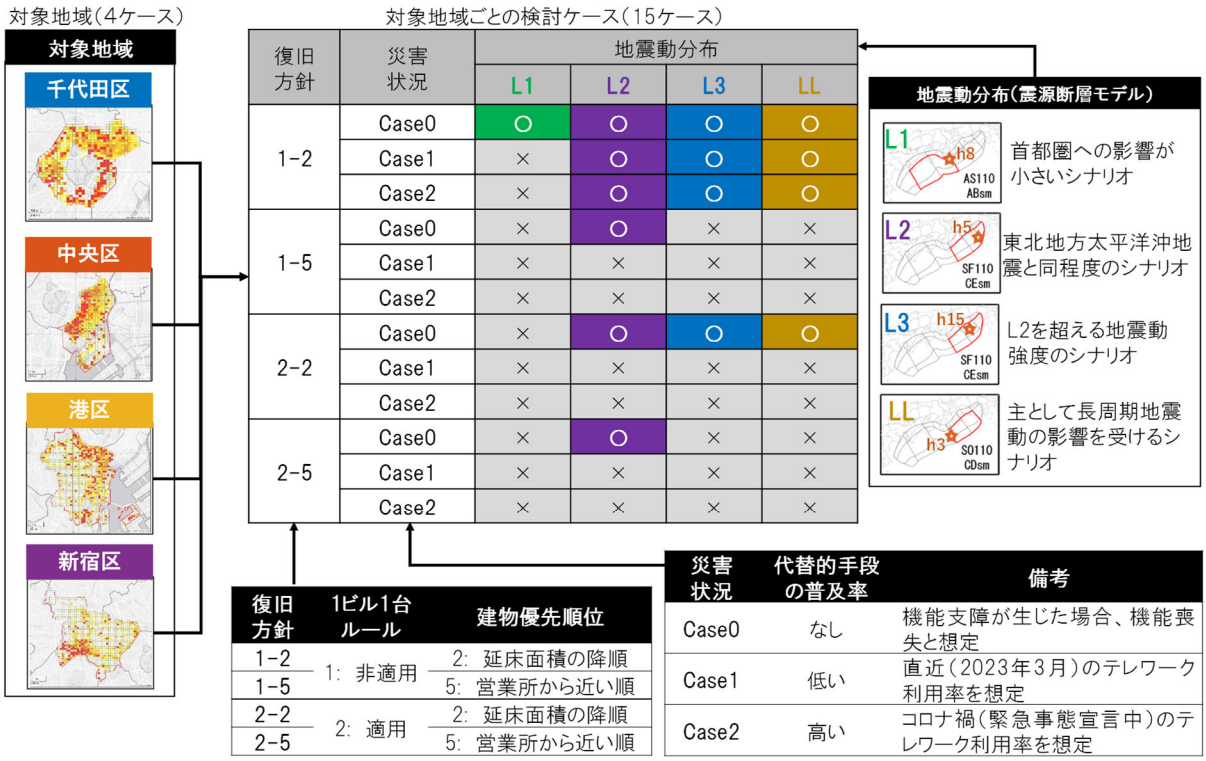
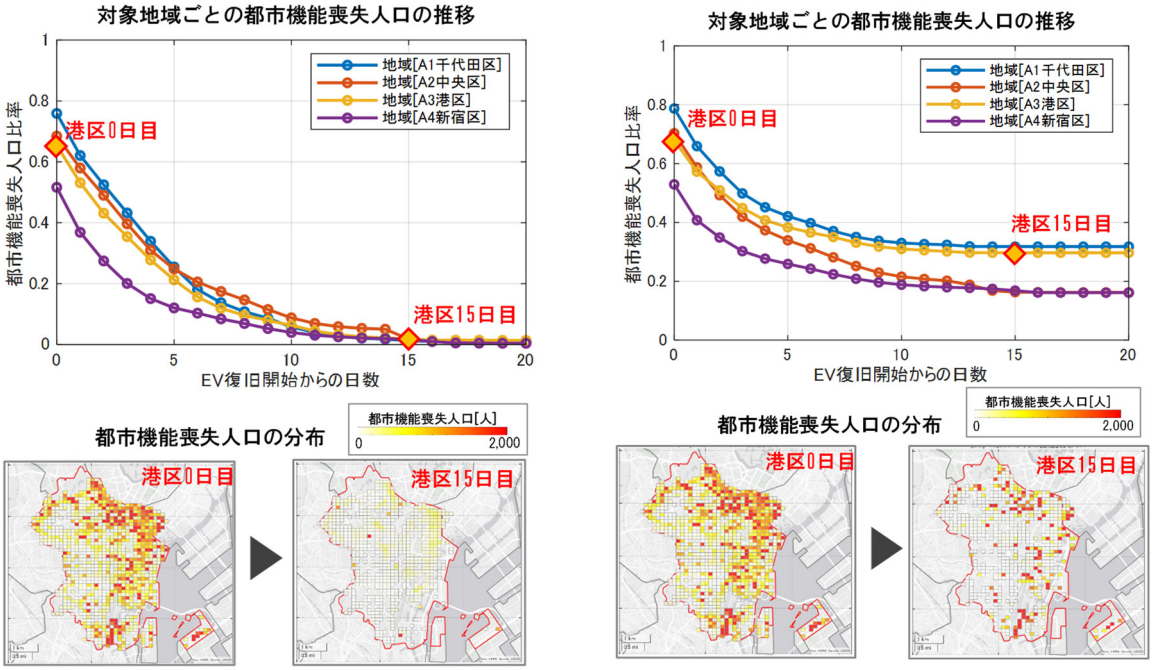


図２－６－②－４　都市機能被害評価の検討ケースの概要

都市機能復旧過程と、地域性および地震動分布の関係を評価した例として、図２－６－②－５に、復旧方針を1-2（1ビル1台ルールなし、延床面積順）、災害状況をCase0（代替的手段なし）とした場合の、対象地域４ケースの都市機能復旧過程を示す。地震動分布はL2およびL3とし、対象地域４区の結果をグラフ上に並べて示した。グラフの横軸はエレベータ復旧開始からの日数、縦軸は対象地域内の総利用人口に占める都市機能喪失人口の比率である。また、港区における０日目、15日目時点の都市機能喪失人口の地理的分布を同図下段に示した。



(a) 地震動分布 L2　　(b) 地震動分布 L3

図２－６－②－５　都市機能復旧過程と地震動分布および地域性の関係
（復旧方針：1-2、災害状況：Case0）

地震動分布の影響について比較すると、L2 と L3 は共に全てのエレベータが緊急停止するため、同等の都市機能喪失人口が発生する。一方、その後の復旧過程は地震動分布によって異なる。L2 では都市機能被害のほとんどがエレベータ障害に起因しており、エレベータ復旧により被害の大半が復旧される。一方 L3 の場合は、超高層建物の建物被害が多く発生しているため、エレベータ復旧が進んでも利用人口の２～３割程度が復旧されず、都市機能を喪失したままとなる。15 日目の都市機能喪失人口分布から、L3 の場合には超高層建物の多い地域で都市機能喪失人口が残存していることが確認できる。地域性の影響としては、エレベータ非設置建物の利用人口が多い新宿区で都市機能被害が少ないこと、超高層建物の比率が相対的に高い千代田区と港区で、L3 の場合にエレベータ復旧後も残存する都市機能被害が多いことが確認できる。

(2-b) 災害状況に応じたエレベータ復旧方針による都市機能復旧への影響の考察

(2-a)の結果を用い、都市機能復旧過程にエレベータ復旧方針や災害状況が及ぼす影響を考察した。エレベータ復旧方針による影響の例として、対象地域を港区、地震動分布を L2、災害状況を Case0 とした場合の評価結果を図２－６－②－６に示す。図中には復旧方針ごとの都市機能復旧過程のグラフと、復旧開始５日目時点の都市機能喪失人口の地理的分布をそれぞれ示した。1 ビル 1 台ルールを適用する場合、超高層建物などの利用人口の多い建物で機能復旧が遅れるため、都市機能の復旧は遅くなる。これは、1 ビル 1 台ルールが建物内の縦動線を最低限確保することを優先する方針であり、平時の都市機能を早期に復旧するためには最適化されていないためである。建

物の優先順位としては、都心部は建物が高密に立地するためエレベータ復旧に占める移動時間の比率は小さい。そのため、延床面積順に復旧する方が、利用人口の多い建物の都市機能が早期に復旧するため、効率的な方針となった。

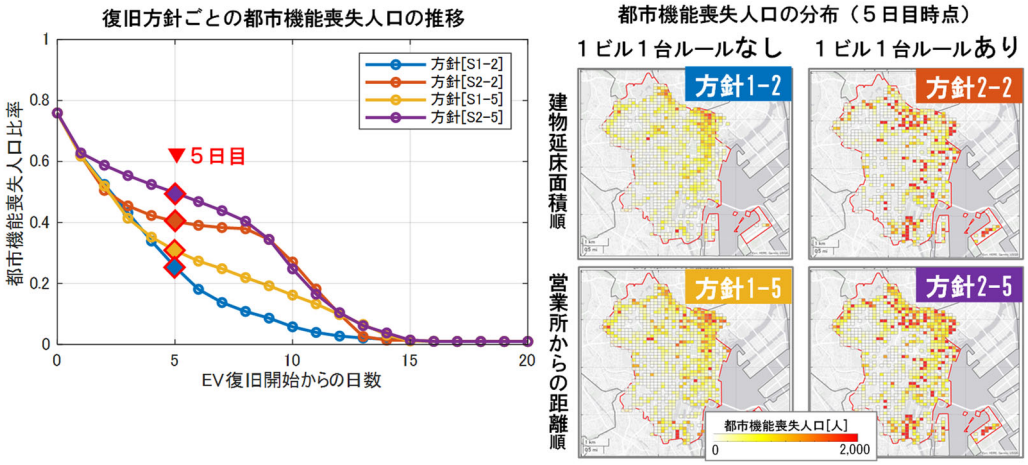
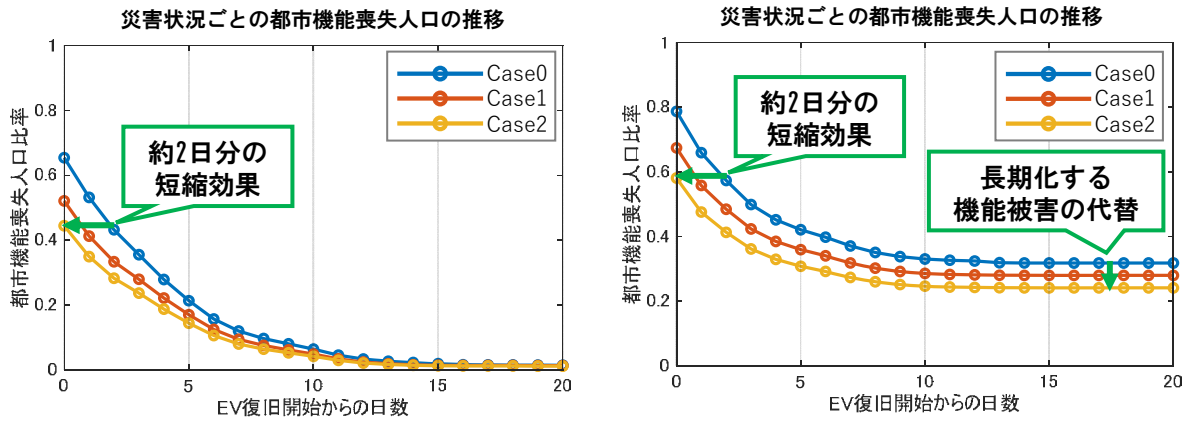


図２－６－②－６　都市機能復旧とエレベータ復旧方針の関係
（対象地域：港区、地震動分布：L2、災害状況：Case0）

災害状況による影響の例として、対象地域を港区、復旧方針を 1-2 とした場合の評価結果を図２－６－②－７に示す。テレワーク等の代替的手段の普及率が高い Case2 では、代替的手段を考慮しない Case0 と比べ、同等の都市機能に復旧されるまで 2 日分程度の短縮効果が得られることが確認された。また復旧が長期化する建物被害に対して都市機能を維持するためにも、代替的手段が有効であることが確認できた。



(a) 地震動分布 L2　　(b) 地震動分布 L3

図２－６－②－７　都市機能復旧と災害状況の関係（対象地域：港区、復旧方針：1-2）

南海トラフ地震の多様性を踏まえた 83 の震源断層モデルによる地震動評価結果を用い、都市機能被害を評価し、その類型や要因の分析を行った。港区の検討結果を図２－６－②－８に示す。震源域が東側に広く首都圏の短周期レベルが強い、右側の 24

シナリオでは、エレベータの緊急停止による都市機能被害が多く発生する。この中には、L2 と L3 として選択したシナリオが含まれ、長周期地震動による建物被害の多寡でその後の復旧過程が影響されることが確認されている。左側の 59 シナリオでは、主として超高層建物の建物被害に起因して都市機能被害が発生する。超高層建物特有のエレベータ障害は、各建物で数台程度の障害を発生させる場合はあるが、過半のエレベータを同時に停止させることは稀であり、建物被害に比べて都市機能に与える影響が相対的に少ないことが確認された。

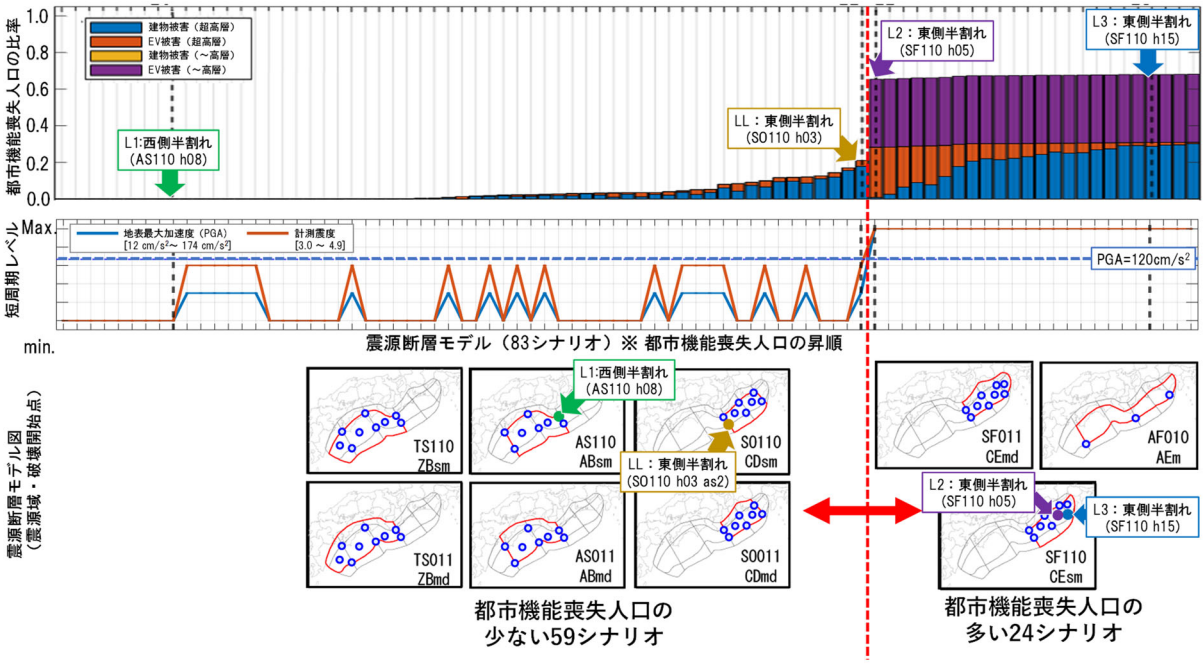


図２－６－②－８　多様な南海トラフ地震シナリオによる都市機能被害
（対象地域：港区、災害状況：Case0）

(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) 文献調査の結果を踏まえ、シミュレーションに考慮すべき災害状況の代表例としてテレワーク等の代替的手段による影響をモデル化した。また、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した。これらのモデルを前年度までに構築したエレベータ復旧シミュレーションモデルに組み込むことで、都市機能被害と復旧過程のシミュレーションを可能とした。

2) 1) のシミュレーションモデルを用いて、サブ課題２(g)から提供された南海トラフの多様性を考慮した 83 の震源断層モデルに対する都市機能被害の評価と、代表的な４つの震源断層モデルに対する 60 ケースの都市機能復旧過程の評価を行い、以下の知見を得た。

・都市機能復旧過程は、地震動分布や地域性の影響を受ける。特にエレベータ設置建物の多い地域では、強い短周期レベルの揺れを受けると、エレベータが全面的に緊急停止し、一時的に都市機能の大半が影響を受ける。また、超高層建物が多い地域では、長周期地震動による建物被害の影響で長期的に都市機能被害が継続することになる。
・都市機能復旧の観点からは、利用人口の集中する大規模建物を優先してエレベータを復旧させることが有効であった。最低限の縦動線の確保を目的とする「１ビル１台ルール」を機械的に順守すると、大規模建物の機能回復が遅れるため、都市機能の復旧の観点では最適な戦略とは言えないと考えられる。
・テレワーク等の代替的手段を使える状況を維持することは、発災後の都市機能の維持の観点でも有効な対策と考えられる。

今年度は、南海トラフ地震の多様性を考慮した上で都市機能被害と復旧過程の評価を行い、都市機能被害の様相もまた多様性を持つことが確認された。しかし、本成果を具体的な防災対策につなげるには、首都圏で起こりうる都市機能被害を評価した上で、南海トラフ地震の位置づけや特徴を把握する必要がある。今後、首都直下地震に代表される他の地震シナリオによる都市機能被害を比較対象として、改めて南海トラフ地震による都市機能被害の特徴を明らかにしていくための検討を進める。

(e) 引用文献

1) 大久保敏弘・NIRA 総合研究開発機構：第 9 回テレワークに関する就業者実態調査(速報)、2023, https://nira.or.jp/paper/research-report/2023/032304.html (2024.3 現在)
2) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定（令和 4 年 5 月 25 日公表）、https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html (2024.3 現在)
3) Applied technology Council：Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 8 - Methodology for Assessment of Functional Recovery Time, Preliminary Report、ATC-138-3、2021、https://femap58.atcouncil.org/fr-methodology (2024.3 現在)
4) ゼンリン：https://www.zenrin.co.jp/(2024.3 現在).
5) 東京都：平成 30 年「建築統計年報 2019 年版」, 2019.12.
6) 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い、 https://www.n-elekyo.or.jp/docs/20150408_elesoukifukkyu_hp.pdf (2024.3 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
南海トラフ地震の多様性を考慮したエレベータ障害復旧シミュレーション（口頭）	日下彰宏 鈴木明子 前田宜浩 中村洋光 秋山伸一 時実良典 廣井悠	第16回 日本地震工学シンポジウム	2023.11	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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
	特別研究員	佐藤昌人
	センター長	青井真
	特別研究員	髙橋郁夫
	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
	主任専門研究員	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	臼田裕一郎
	副部門長	田口仁

(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および、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計算を行った。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、強震動の試計算を行った。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の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の試験提供を可能にした。 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、その結果を用いたリスク評価に基づく事前避難、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を表す指標を算出するとともに、指標に基づいた類型化手法を検討した。各類型の代表的な広域災害シナリオ作成手法の基礎検討を行った。検討結果を地震防災基盤シミュレータに蓄積し、情報の試験提供をできるようにした。

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した。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った。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と類型毎の広域災害シナリオ作成手法を高度化した。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した自治体や企業等での利活用による課題抽出を行い、改良を図った。

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５年度業務目的

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプから２次利用可能な形式で情報の本格的な提供を可能にする。そのために、短周期地震動計算手法の高度化方策や長周期地震動の空間補間手法についての検討や海岸構造物の破壊条件を変えた津波遡上シミュレーションを実施する。瀬戸内海における津波伝搬遡上計算結果をリスク評価や地震像を表す指標に取り込んだ上で、南海トラフの多様な地震モデルの類型化と代表パターンの抽出を行う。そのうえで、代表パターンを対象として広域災害シナリオを試作する。地震防災基盤シミュレータに検討結果を蓄積し、２次利用可能な形式で外部に提供できるようにし、サブ課題３と連携のもと情報の利活用の検討を行う。

(2) 令和５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を対象にこれまで計算を行った広帯域強震動シミュレーションデータに対して、短周期地震動の過小評価を補正する手法を開発した。過年度に長継続時間地震動シミュレーションに実装した発散抑制のための波動場平滑化スキーム[1)]の効率的な利用方法について検討した。これまでに計算した多数のシミュレーションデータに基づき、地震動予測を行うガウス過程回帰モデルについて検討した。また、これまでの計算結果を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

短周期地震動計算手法の高度化では、応答スペクトル適合法を参考に短周期地震動の振幅補正手法を開発した。長継続時間地震動計算機能の高度化では、波動場平滑化スキームの適用方法を複数実装し、手法毎の計算効率性について検討した。長周期地震動の空間補間手法の検討では、既存のシミュレーションデータを基に作成した複数の学習データを用いてガウス過程回帰モデルを構築し、地震動予測の性能について検討した。

(c) 業務の成果

1) 短周期地震動計算手法の高度化

本業務の広帯域強震動評価では、統計的グリーン関数法による短周期成分と差分法等により算出された長周期成分を組み合わせるハイブリッド合成法を用いている。地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」[2)]に準じたハイブリッド合成法による広帯域地震動評価を震源距離 70 ㎞以上の遠方まで適用すると、観測地震動に基づき構築された地震動予測式と比較して周期１秒以下の振幅が過小となることが指摘されている[3)]。これは、震源距離が「レシピ」の適用範囲を超えていることが要因と考えられる。適用範囲を拡張する方法として、統計的グリーン関数法の距離減衰特性を修正するという抜本的な対応策も考えられるが、ここでは過年度の計算結果を有効活用する観点から、ハイブリッド合成法による計算波形に対して短周期成分を補正する手法について検討した。

短周期成分の補正では、ハイブリッド合成法の短周期成分を観測地震動に基づき構築された地震動予測式に整合させる方法を採った。本業務では地点毎に地震動計算波形と地震動予測式を整合させるのではなく、面的に計算された多数の時刻歴波形を対象として、断層距離範囲毎に観測点をグルーピングし、グループ内の計算記録の平均値を地震動予測式による予測値と整合させることとした。これにより、計算記録の方位特性や地域性等の面的な特徴が補正後にも保持されることが期待される。また、地震動予測式との整合性の評価を地震動の周期特性を表す指標に拠ることとし、地震動予測式[4)、5)]による工学的基盤での加速度応答スペクトルとの適合を図ることとした。具体的な手順としては、①ある断層距離範囲内の計算波形に対して、地震動予測式による加速度応答スペクトルとの比の対数平均を求める。②①で得られたスペクトル比を個々の計算波形のフーリエスペクトルに乗じ、それらをフーリエ逆変換することで

補正波形を求める。③②で得られた補正波形の加速度応答スペクトルの平均が地震動予測式による加速度応答スペクトルに適合しているかを判断する。④適合していない場合は①から③を繰り返す。適合条件は目標とする応答スペクトルに適合する模擬地震動の作成に用いられる応答スペクトル適合法[6)]を参考に設定した。①と②の手順は次式で表される。

$$\tilde{S}_{sim}(x,\omega) = S_{sim}(x,\omega) * 10\text{^}\left\{\frac{1}{N}\Sigma_N \log_{10}\left(\frac{Sa_{pre}(x_i,\omega)}{Sa_{sim}(x_i,\omega)}\right)\right\}$$

ここで、S_{sim} は補正前のハイブリッド合成波形のフーリエスペクトル、$\tilde{S}_{sim}$は補正後のフーリエスペクトル、Sa_{sim}はハイブリッド合成波形の加速度応答スペクトル、Sa_{pre}は地震動予測式による加速度応答スペクトル、x は観測点、x_i は x を含む観測点グループの観測点、ω は周期、N は観測点グループに含まれる観測点数を示す。③の手順での適合条件として以下の４つを設定した。１つ目の条件は「最小応答スペクトル比」に関するもので条件式は以下である。

$$\epsilon_{\min} = \min\left(\frac{Sa_{sim}(\omega)}{Sa_{pre}(\omega)}\right) \geq 0.85$$

２つ目の条件は「スペクトル強度比」に関するもので条件式は以下である。

$$SI_{ratio} = \frac{\sum_k pSv_{siim}(\omega_k)}{\sum_k pSv_{pre}(\omega_k)} \geq 1.0$$

ここで、pSv_{sim}はハイブリッド合成波形から計算した疑似速度応答スペクトル、pSv_{pre}は地震動予測式による疑似速度応答スペクトルである。疑似速度応答スペクトル pSv は、加速度応答スペクトルを Sa とすると$pSv = Sa * \omega/2\pi$で求められる。３つ目の条件は「スペクトル比の変動係数」に関するもので条件式は以下である。

$$\epsilon_{CV} = \sqrt{\frac{1}{K}\sum_k (1/r_k - 1)^2} \leq 0.05$$

ここで、K は加速度応答スペクトルを計算する周期の数、r_k は k 番目の周期帯の補正係数である。４つ目の条件は「スペクトル比の平均値誤差」に関するもので条件式は以下である。

$$\epsilon_{ave} = \frac{\sum_k \frac{1}{r_k}}{K} \geq 0.98$$

水平２成分と上下成分のすべてが、これら４つの適合条件を満たすことで補正処理を終了することとした。なお、条件を満たさない場合に①から③の手順を繰り返す回数は 10 回を上限とした。

令和３、４年度の計算結果の中から、震源域の異なる３ケースによるハイブリッド合成波形に対して補正処理を適用した。補正前後の加速度応答スペクトル（周期 0.25 秒）、地震動予測式による予測値、観測点グループの空間分布を図２－７－①－１に示す。ここで、ハイブリッド合成法の周期 0.25 秒の結果は統計的グリーン関数法により計算されたもの

に対応する。いずれのケースにおいても、震源から離れた地点ではハイブリッド合成法の振幅値は地震動予測式よりも小さく、補正処理を施すことにより遠距離における振幅値の過小評価が解消されていることがわかる。また、観測点グループ毎の補正としたことで、地震動予測式のような単調な地震動分布ではないことも見て取れる。

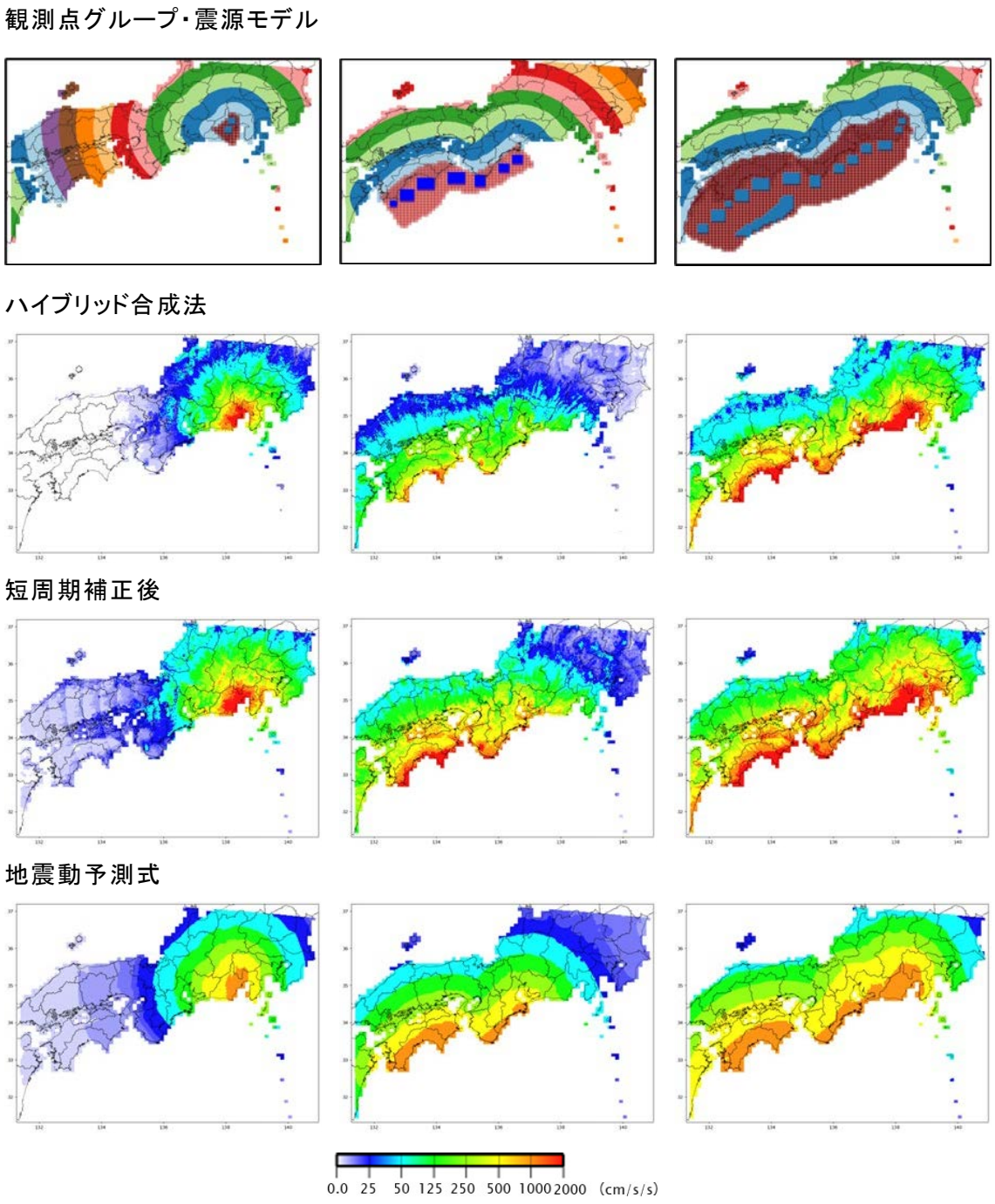


図２－７－①－１　３種類の震源モデルのハイブリッド合成波形に対する短周期地震動補正の適用例（いずれも、減衰５％、周期 0.25 秒の加速度応答スペクトルを示す）。上段：観測点グループ（距離幅を 50ｋｍとした場合）と震源断層面。２段目：ハイブリッド合成法の結果。３段目：補正結果。４段目：地震動予測式による結果。

2） 長継続時間地震動計算機能の高度化

３次元差分法による長周期地震動シミュレーションにおいて計算タイムステップの増加とともに振幅が指数関数的に増大する発散現象により長継続時間の地震動計算が妨げられることを回避するために、令和２年度および令和３年度に３次元差分法による地震動シミュレータ GMS[7)] に波動場平滑化スキーム（SDWawe）を実装し、発散抑制に効果があることを確認した。一方で、１タイムステップ当たりの演算量が増加したために、計算時間が３倍程度増加したことから、本業務では SDWawe を用いた地震動計算の効率化について検討した。

計算時間を短縮する手段として SDWawe を適用するタイムステップ数を減らす方法を採用し、３種類の手法（図２－７－①－２）を GMS に実装し各手法の効果を調べた。手法①と②は、計算の序盤には発散現象が発生する可能性が低いことを考慮した設定である。手法③は SDWawe を適用するタイムステップを間引くものであり、特に計算タイムステップ数の大きい場合に高い効果を得ることを考慮した設定である。

これら３通りの効率化手法を、南海トラフ地震を対象とした地震動計算に適用した結果、SDWawe の適用を遅らせる（手法①、②）ことで発散抑制効果を保持しつつ計算時間の短縮を図ることができた。一方、適用ステップを間引く方法（手法③）では計算時間の短縮効果はあるものの、適用タイムステップを間引いたことに伴う二次的な発散現象が生じることがわかった。手法①、②を用いる場合には、地震動計算波形が最大振幅値を取る時間を目安に SDWawe の適用を開始するのが良いと考えられる。

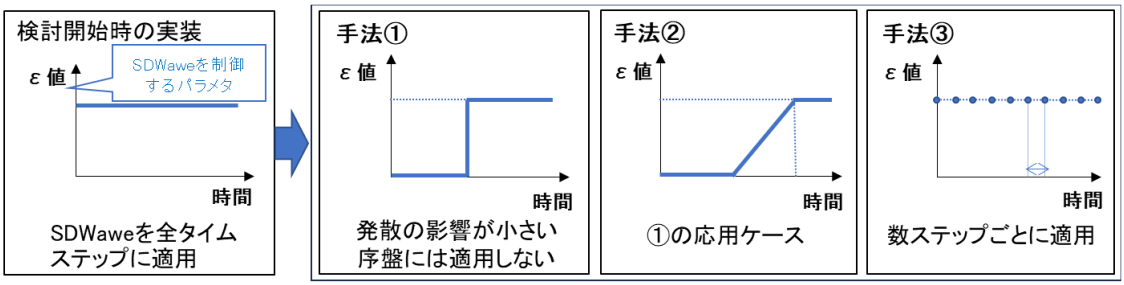


図２－７－①－２　SDWawe を用いた地震動計算の効率化のために設定した３種類の手法の概略図。

3） 長周期地震動の空間補間手法の検討

南海トラフ地震の多様性を考慮した震源モデル群に対して面的に計算された多数のシミュレーションデータを用いて、任意の仮想観測点における地震動強さを予測する機械学習に基づく地震動予測モデルについて検討した。予測値に対する不確かさを確率的にモデル化することが可能なガウス過程（GP）回帰モデルを採用し、観測点位置（緯度・経度）、破壊開始点位置（緯度・経度）、地震モーメントを入力、観測点における PGV（最大速度値）を出力とするモデルを検討の対象とした。まず、地理空間上での補間を想定し、ひとつの震源モデルに対する長周期地震動シミュレーションデータ（約 5.6 万個）から学習用に１万個、検証用に 100 個を抽出しモデルを構築した（ケ

ースＡと呼ぶ）。対象とした震源モデルは日向灘から四国沖の範囲を震源域とするものである（図２－７－①－３）。また、震源モデル間の補間も考慮する検討ケースとして、トラフ軸方向の震源域の広がり方についてはケースＡと同様で、深さ方向の広がり方と破壊開始点に多様性を考慮した震源モデル群に対する長周期地震動シミュレーションデータ（約 190 万個）から学習用（1 万個）と検証用（100 個）のデータを抽出しモデルを構築した（ケースＢと呼ぶ）。これら２ケースのモデルに対して、入力パラメータである破壊開始点位置と地震モーメントをケースＡの震源モデルの値とし、図中の赤線上に設定した観測点位置における PGV の平均値と分散を予測した。ケースＡでは震源域に近い四国（東経 135 度付近）や断層破壊の進行方向に位置する濃尾平野（東経 137 度付近）において大きな PGV が予測されており、対象とした震源モデルによる地震動分布を反映した平均値と標準偏差が得られ、不確かさを考慮した地震動の空間補間が行われていることを確認した。一方で、ケースＢではケースＡと同じような地域において PGV がピークを持つような予測がなされているが、ケースＡに比べ滑らかな分布となっている。ケースＢでは、地理空間上の補間だけでなく、破壊開始点や震源域が異なる震源モデル間での補間の影響を受けたことによるものと考えられる。地理空間上での補間と震源モデル間での補間のバランスを適切に設定することができれば、シミュレーションを実施していない震源モデルに対する地震動予測に活用できる可能性が示された。

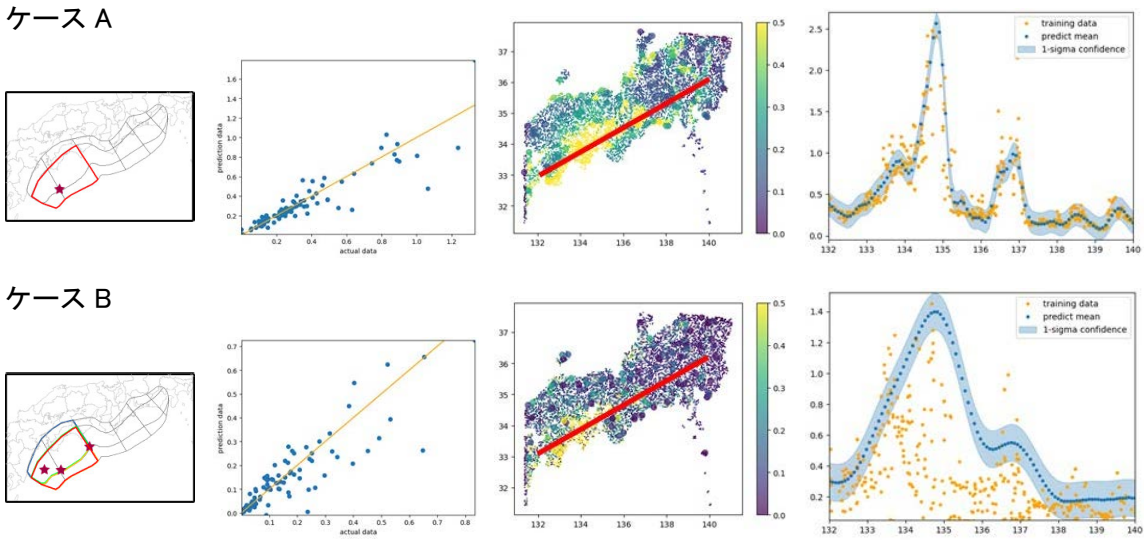


図２－７－①－３　それぞれ、最左列：GP 回帰モデル構築に用いたシミュレーションデータに対応する震源モデル（断層面と破壊開始点）。２列目：検証データに対する真値（横軸）と予測値（縦軸）の比較。橙色線は真値＝予測値。３列目：学習データ（小さい○）と検証データに対する予測値（大きい○）の分布。最右列：３列目の図の赤線上での予測の平均値（青点）と標準偏差（水色の範囲）。橙丸は赤線近傍の学習データ。横軸は経度。

(d) 結論ならびに今後の課題

短周期地震動のシミュレーション結果の補正手法を開発し、過年度の計算結果に適用した。地震動予測式との適合条件を満たす部分に計算コストを要していることが判明しており、補正の精度を保持しつつ計算を効率化する方策について検討する必要がある。長周期地震動シミュレーションに実装した波動場平滑化スキームを用いた計算を効率的に行うために、発散の影響が表れ始めるまで本スキームの適用を遅らせることが有効であることがわかった。これまでに蓄積した多くのシミュレーションデータをもとに地震動予測を行うガウス過程回帰モデルを構築し、特定の震源モデルに対するシミュレーションデータを地理空間上で補間する機能を有することを確認した。未計算の震源モデルに対する地震動予測を行う予測モデル構築に向けて、より多くのデータを学習データに用い、地理空間上の補間と震源モデル間の補間を適切に行うための検討が必要である。

(e) 引用文献

1) Imai, R., K. Takamuku, and H. Fujiwara: A modified wave equation with diffusion effects and its application as a smoothing scheme for seismic wave propagation simulations, Int. J. Comp. Math., 96, 935-949, 2018, doi:10.1080/00207160.2018.1463440.

2) 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 2023年4月4日).

3) Iwaki, A., T. Maeda, N. Morikawa, H. Miyake, and H. Fujiwara: Validation of the recipe for broadband ground-motion simulations of Japanese crustal earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 106(5), 2214-2232, 2016.

4) N. Morikawa and H. Fujiwara, “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.

5) 森川信之，藤原広行: Morikawa and Fujiwara (2013)に基づく地震動予測式,2023, https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/mf2013 （最終閲覧日 2024年3月1日）.

6) 日本建築学会：免震構造設計指針，496ページ，2013.

7) 青井真、早川俊彦、藤原広行：地震動シミュレータ：GMS，物理探査， Vol. 57, 651-666, 2004.

(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
統計的グリーン関数法と地震動予測式の融合による遠距離補正（ポスター）	前田宜浩 中村洋光 藤原広行 赤木翔 関航佑	日本地震学会秋季大会	2023.10	国内

南海トラフ巨大地震の多様性を考慮した長継続時間・広帯域地震動シミュレーション（ポスター）	前田宜浩 岩城麻子 青井真 中村洋光 藤原広行	第16回日本地震工学シンポジウム	2023.11	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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５年度は、津波遡上シミュレーションデータの拡充のため、高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町を対象として、堤防等が津波の越流により破壊する状況を想定した津波伝播遡上計算を実施した。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、計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納可能な形式で整理するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。また、過年度および今年度に創出した計算結果データの統合・圧縮作業を実施した。

(b) 業務の実施方法

高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町を対象に、堤防等の破壊を考慮した津波伝播遡上計算が可能となるようにデータを整備した。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。また、過年度および今年度に創出した計算結果データの統合・圧縮作業を実施した。

(c) 業務の成果

1) 堤防等の破壊を考慮した津波伝播遡上計算

課題２(d)における利活用を目的として、高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町（図２－７－②－１）を対象に、堤防等の破壊を考慮した津波伝播遡上計算を実施した。堤防等の破壊条件は、「津波浸水想定の設定の手引き　Ver.2.11」[4)]を踏まえ、津波が越流し始めた時点で破壊するものとし、破壊後の形状は「無し」と考え設定した。津波伝播遡上計算のための 10m メッシュ分解能地形標高データ、10m メッシュ分解能粗度係数データ、10m メッシュ分解能構造物ラインデータ、10m メッシュ分解能陸判定データを使用し、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 個の特性化波源断層モデル群について、表２－７－②－１に示す計算方法・条件で津波シミュレータ（TNS）[1)]による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可能な形式で整理するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。創出した計算結果データは以下の通りである。

・　沖合観測点における水位時系列
・　沖合観測点における全水深時系列
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における最大水位
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における最大相対水位
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における水位到達時間
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における相対水位到達時間
・　一定時間ごとの水位分布
・　最大水位分布
・　10m 計算格子の陸域における一定時間ごとの浸水深分布
・　10m 計算格子の陸域における最大浸水深分布
・　10m 計算格子の陸域における浸水深到達時間分布
・　10m 計算格子における最大流速分布
・　10m 計算格子における最大抗力分布

なお、沿岸水位抽出点は 10m 計算格子における汀線メッシュ（陸域と海域の境界に接する海側の 10m 計算格子）の中心点であり、相対水位は水位（T.P.）から地殻変動の鉛直成分を差し引いた値である。

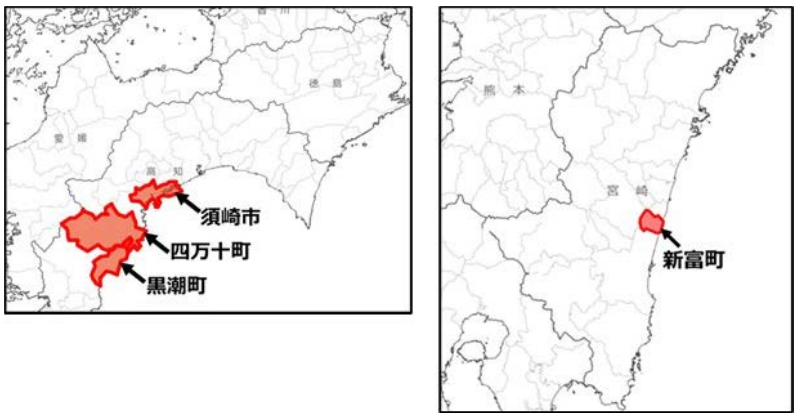


図２－７－②－１　堤防等の破壊を考慮した津波遡上計算の対象地域。左：高知県須崎市、四万十町、黒潮町、右：宮崎県新富町。

表２－７－②－１　津波伝播遡上計算の計算方法・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	2430m、810m、270m、90m、30m、10m （海岸域はすべて 10m、格子幅の比が１：３となるネスティング手法により各領域を接続）
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 （津波が越流し始めた時点で破壊し、破壊後の形状は「無し」と考え設定）
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、梶浦フィルター（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.±０m
打ち切り水深	10^{-5}m
粗度係数	30m 格子、10m 格子は土地利用条件に応じて設定 2430m 格子、810m 格子、270m 格子、90m 格子は一律に 0.025($m^{-1/3}s$)

得られた計算結果データの一例として、堤防等の破壊の有無による浸水状況の比較を図２－７－②－２に示す。高知県四万十町興津地区を対象に、藤原・他（2020）[2]および地震調査委員会（2020）[3]が設定した波源断層モデル群のうち、「半割れ」となる地震で、かつ同地区に大きな津波をもたらすと想定される波源断層モデルによる津波遡上計算結果を示している。第一波による浸水分布、第二波による浸水分布、最大浸水深分布それぞれについて、堤防等の破壊の有無による浸水状況を比較すると、堤防等の破壊によって浸水域が拡大し、かつ浸水深が深くなる傾向が確認できる。この結果を用いて、堤防等の破壊条件に応じた浸水状況を事前に把握することで、津波避難計画の策定や津波リスクの把握に資することが期待される。

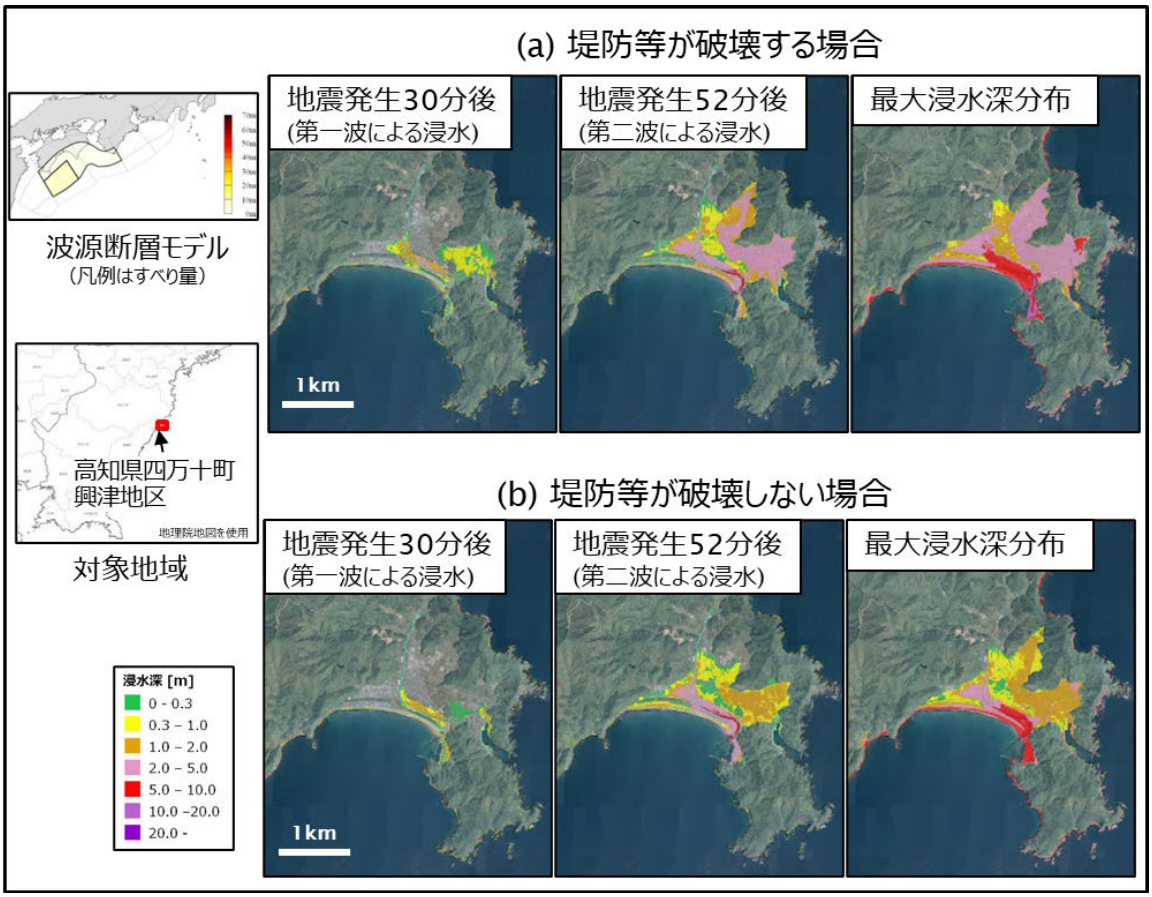


図２－７－②－２　堤防等の破壊の有無による浸水状況の比較

2)　計算結果データの統合・圧縮

過年度および今年度に創出した膨大な量の計算結果データを効率よく利活用するため、計算結果データの統合・圧縮作業を実施した。計算結果データの統合作業は、沖合観測点および沿岸水位抽出点について出力した下記データを対象とした。

・　沖合観測点における水位時系列
・　沖合観測点における全水深時系列
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における最大水位
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における最大相対水位
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における水位到達時間
・　沖合観測点および沿岸水位抽出点における相対水位到達時間

沖合観測点あるいは沿岸水位抽出点における計算結果データは、同じ波源断層モデルを対象とした津波伝播遡上計算のうち、10m 計算格子それぞれの領域を対象とした計算ごとに、対象地点を含む最も解像度が高い計算格子で出力される。例えば、或る沖合観測点が 10m 計算格子に含まれる場合は 10m の解像度で、10m 計算格子に含まれず 30m 計算格子に含まる場合は 30m の解像度で出力される。より高精度なデータを保存するため、同じ波源断層モデルを対象とした津波伝播遡上計算から得られる、同じ沖合観測点あるいは沿岸水位抽出点について出力した上記データについて、最も解像度が高い計算格子で出力されたデータのみを保存するよう整理した。

また、過年度および今年度に創出した計算結果データのうち、下記２種類のデータがデータ容量全体の大半を占めていたことから、これらの計算結果データを対象に、圧縮方法を検討し、ファイル容量の削減を実施した。

・　一定時間ごとの水位分布
・　10m 計算格子の陸域における一定時間ごとの浸水深分布

具体的には、一定時間ごとに出力したファイル群を一つのファイルに集約することでファイル容量を圧縮した。例えば、一定時間ごとの浸水深分布の場合、計算時間は 12 時間、出力時間間隔は１分であるため、或る波源断層モデル、或る 10m 計算格子に対して 720 個のファイルが出力される。720 個のファイルを一つのファイルに集約することでファイル容量を圧縮した。この結果、一定時間ごとの水位分布データ容量を２割程度、一定時間ごとの浸水深分布データ容量を８割程度削減した。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町を対象として、堤防等が津波の越流により破壊する状況を想定した津波伝播遡上計算を実施した。高知県四万十町興津地区を対象に、「半割れ」となる地震で、かつ同地区に大きな津波をもたらすと想定される波源断層モデルによる津波遡上計算結果の場合、堤防等の破壊によって浸水域が拡大し、かつ浸水深が深くなる傾向が確認された。堤防等の破壊条件に応じた浸水状況を事前に把握することで、津波避難計画の策定や津波リスクの把握に資することが期待される。
2) 過年度および今年度に創出した膨大な量の計算結果データを効率よく利活用するため、計算結果データの統合・圧縮作業を実施した。計算結果データのうち、データ容量の大半を占めている一定時間ごとの水位分布および浸水深分布について、一定時間ごとに出力したファイル群を一つのファイルに集約することでファイル容量を圧縮した。この結果、一定時間ごとの水位分布データ容量を２割程度、一定時間ごとの浸水深分布データ容量を８割程度削減した。
3) 次年度の課題として、これまでに蓄積した計算結果データを分析し、利活用について検討することが挙げられる。

(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.
3) 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/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t（最終閲覧日 2024 年３月 13 日）.

4) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定の設定の手引き Ver.2.11、2023、https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manual.pdf（最終閲覧日 2024 年３月 11 日）.
5) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1018-1040, 1992.
6) Tanioka, Y. and K. Satake: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, 23, 861-864, 1996.
7) Kajiura K.: The Leading Waves of a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 41, 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多様性を考慮した津波リスク評価のための津波伝播遡上計算（口頭）	赤木翔 前田宜浩 土肥裕史 中村洋光 関航佑 藤原広行	第16回日本地震工学シンポジウム	2023.11	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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

業務に当たってはまず令和４年度に実施された瀬戸内海および東京湾周辺を対象とした空間分解能 10m の津波ハザード評価結果に基づいて建物及び人的被害リスク評価を更新するとともに、住民避難・経済活動維持・大都市機能維持を目的とした地震像の類型化に用いる特徴量を算出して基盤データを整備した。

上記で整備した基盤データに基づいて、南海トラフ沿いで発生するプレート境界型地

震(以下、南海トラフ地震と称する)の多様性を構成する 3480 地震を対象とした地震像を類型化するとともに、類型毎の代表地震を抽出した。上記の類型化や代表地震の妥当性を検証するために、全地震や類型を構成する地震群による特徴量の平均値や標準偏差と、代表地震の特徴量に基づいて指標を算出した。複数回の地震から構成される地震パターンの類型化は、上記の類型化に基づく地震のスクリーニングを行い、スクリーニングされた地震から地震パターンを生成することにより実施した。

地震像の類型化結果に基づいて生成した地震パターンを対象として広域災害シナリオを構築した。広域災害シナリオの構築に当たっては、南海トラフ地震臨時情報による事前避難を簡便に評価する手法を適用するとともに、地震動と津波や複数回の地震による被害の重複を控除する手法を適用した。臨時情報の有無によるシナリオの違いを比較したところ、人的被害と経済的な被害との間でのトレードオフの関係を明らかにした。

また、南海トラフ地震による被害の全容を把握するために、主に山間部で発生する地すべりによる曝露建物棟数、曝露人口および曝露道路延長を試算した。試算した結果、これまでの被害想定等で考慮されていなかった大規模な地すべりによる被害の影響を顕在化させた。

(b) 業務の実施方法

本業務は南海トラフ沿いで発生する地震の多様性[1)、2)]を踏まえたうえで、起こりうる全てのシナリオへの対策や対応の同時最適化を最終的な目的とするものである。この南海トラフの多様性の表現形式には、令和４年度以前と同様に表２－７－③－１の定義を用いた。

表２－７－③－１　南海トラフ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。

地震像の類型化は地震による被害の様相を特徴量として震源を類型化するものである。類型化は本業務で対象とする住民避難・経済活動維持・大都市機能維持の三つの目的をそれぞれ表す、最大で数千次元からなる市区町村単位および地震発生からの経過時間別の特徴量を可視化技術により２次元もしくは３次元まで削減したのちに、教師なし分類のアルゴリズムにより分類することにより実施した。教師なし分類で問題となる分

類の数は、分類器やデータの次元数を変化させても安定した結果を得られる分類数を採用する事とした。

複数地震から構成される地震パターンを、地震像の類型化結果に基づいてスクリーニングされた地震からパターンを構成することにより類型化した。地震発生順序や間隔を考慮した地震パターンの総数は膨大な数となることから、被害の様相を特徴量とした類型化を直接は適用できないため、予め地震をスクリーニングすることが必要となる。従って、地震像の類型化結果に基づいて抽出された代表地震のみから地震パターンを生成することで地震パターンの類型化を実現した。

広域災害シナリオは上記で生成した地震パターンを対象として、住民避難・経済活動維持・大都市機能維持の３つの目的に応じた被害それぞれの様相を表す特徴量と、建物被害および人的被害リスク評価結果を表す事で作成した。複数回の地震から構成される地震パターンのシナリオは、パターンを構成する地震による被害の特徴量を地震発生間隔だけずらして重ね合わせるとともに、重ね合わせにおいては少なくとも１回の地震により被害が発生する被害率を求めることにより被害の重複を除外して構築した。さらに、臨時情報による事前避難を考慮する場合には、事前避難による特徴量の増減を市区町村単位で簡便に補正する手法を適用した。

地すべりを対象としたリスク試算に当たっては、南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を構成する 83 震源域を対象とした地震動予測式[3),4)]による地震動ハザード評価結果に基づいて、防災科学技術研究所による地すべり地形分布図[5)]を活用したうえで、森脇（2011）[6)]の手法を平成 16 年新潟県中越地震の被害実態[7)]に合うように調整したうえで、南海トラフ地震が発生した場合の地すべりによる曝露建物棟数、曝露人口及び曝露道路延長を算出した。

(c) 業務の成果

1) 高度化された津波ハザード情報の取り込み

地震発生の多様性を考慮したリスク評価の基盤データを整備するために、高度化された津波ハザード情報をリスク評価に取り込んだ。対象とした地域は令和４年度に津波ハザード評価が実施された瀬戸内海および東京湾周辺に設定された 38 の計算領域である（図２－７－③－１）。リスク評価の対象とした項目は建物被害および人的被害（表２－７－③－２）と類型化に用いる特徴量（表２－７－③－３）で、いずれもメッシュ単位で提供される地震動・津波ハザード情報をもとに簡便に評価できる手法（表２－７－③－４）により算出した。

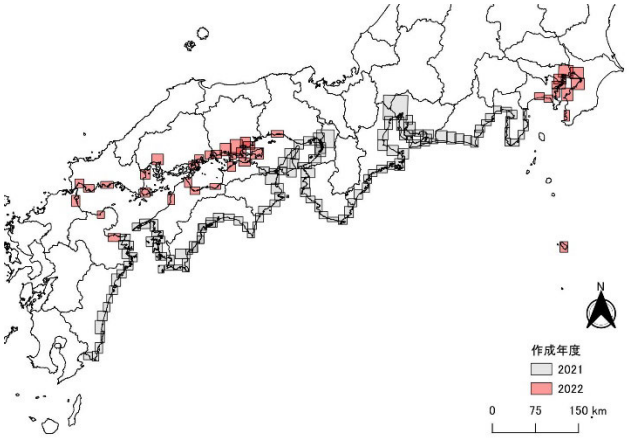


図２－７－③－１　高度化された津波ハザード情報の計算領域

表２－７－③－２　リスク評価の項目

項目	内容
建物被害	棟数ベース：全壊棟数・率、全半壊棟数・率 金額ベース：建物損失額・率
人的被害	死者数・率、重傷者数・率
類型化に用いる特徴量	表２－７－③－３参照

表２－７－③－３　地震像の類型化の目的と特徴量の一覧

目的	特徴量	備考
住民避難	避難困難者数	地震発生から 5 分以内に避難を開始しても避難を完了出来ない人数（生存避難）。
	避難者数	建物被害やライフラインの途絶に起因する避難者数（生活避難）。
産業活動維持	総生産低下額（フローの被害）	地震前の地域総生産（市区町村単位）からの低下額。
大都市機能維持	帰宅困難者数	市区町村外から鉄道を利用する通勤･通学者数に鉄道の運行停止率を乗じたもの。

表２－７－③－４　リスク評価に用いた被害関数等

項目	算出手法の出典
建物被害	中央防災会議（2012）[8]
人的被害	髙橋ほか（2018）[9]
避難困難者数	髙橋ほか（2018）[9]
避難者数	中央防災会議（2013）[10]
総生産低下額	梶谷ほか（2013）[11]
帰宅困難者数	国勢調査による通勤・通学者数に、高浜・翠川（2011）[12]により求めた鉄道の運行停止率を乗じた

類型化の特徴量のうち避難者数、地域総生産の低下額（以下「総生産低下額」）および帰宅困難者数は被害からの復旧等により時々刻々と変化する値である。そのため、災害過程[13]を踏まえて設定した代表的な４時点（表２－７－③－５）の被害量を算出した。

表２－７－③－５　特徴量を算出した時点

時点	災害過程	災害シナリオ
6 時間後	Ⅰ（失見当）	被災直後
2 日後	Ⅱ（被災地社会の成立）	～1 週間後
15 日後	Ⅲ（災害ユートピア）	～1 ヶ月後
150 日後	Ⅳ（現実への帰還）	～2 年後

上記により瀬戸内海および東京湾の津波ハザード情報を取り込んだ結果として、棟数ベースの建物被害棟数の全国集計値を例として、ハザード情報を取り込む前の令和４年度の算出結果と比較して図２－７－③－２に示した。追加された計算領域の津波ハザード情報を取り込んだ結果として全壊、全半壊ともに被害量が増加しているものの、増加量はわずかに留まっている。これは、追加された領域の津波ハザードが震源域から比較的離れているために津波ハザードが小さいためと考えられる。

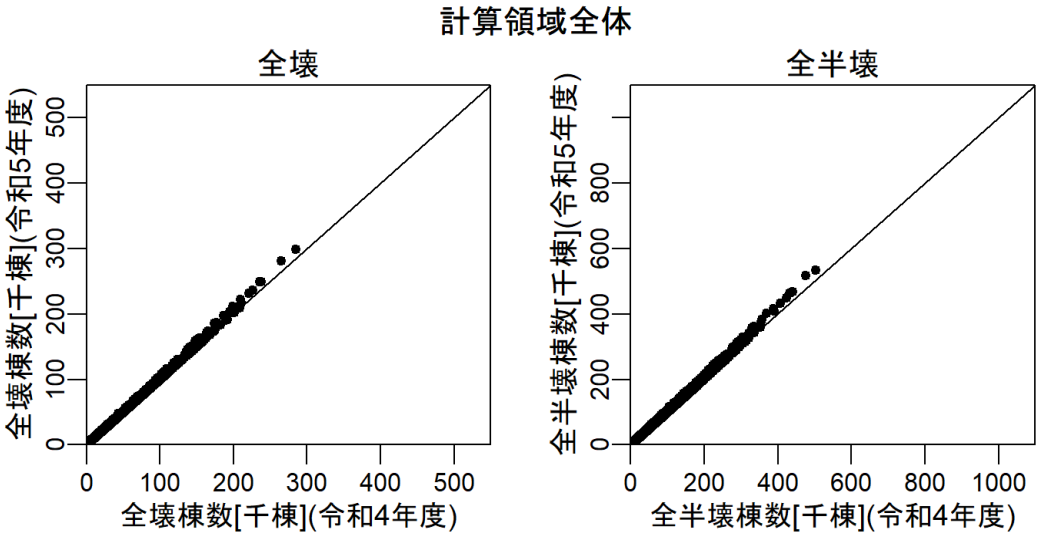


図２－７－③－２　建物全壊棟数の比較

2)　地震像の類型化手法の高度化

a）単一の地震を対象とした地震像の類型化

南海トラフ沿いで発生する多様な巨大地震を対象に、被害の様相を特徴量として地震を類型化した。本項では多様性を構成する 3480 地震の類型化について、その方法と類型化結果について記載する。

ｉ）類型化の方法

地震像の類型化手法は地震動と津波を統合した市区町村単位の時刻別被害量を特徴量としたうえで、可視化技術により次元削減した後に教師なし分類のアルゴリズムにより地震を類型化するものである（図２－７－③－３）。

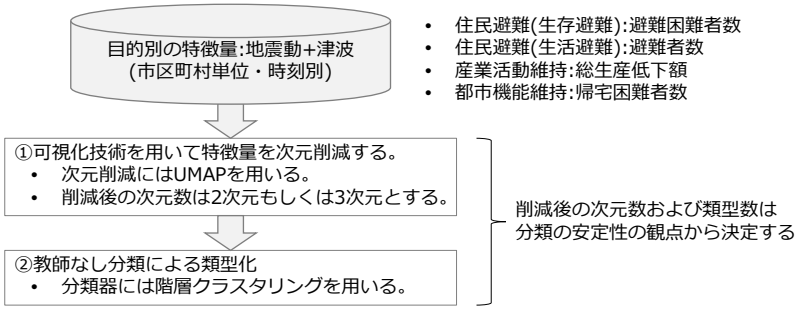


図２－７－③－３　地震像の類型化の流れ

被害の様相に係る特徴量は数百～数千次元（表２－７－③－６）からなる多次元のデータセットである。このように多次元なデータセットを直接分類しようとした場合には、データが空間の外側に集中するいわゆる「次元の呪い」により適切な分類をすることが困難になる。そのため、基のデータの特徴を維持したまま次元を削減する必要がある。本業務では非線形の高次元データを低次元化して可視化する技術である UMAP により２～３次元まで低次元化した。

表２－７－③－６　特徴量の次元数

目的	特徴量	次元数	
住民避難	避難困難者数	176	避難困難者が発生する市区町村
	避難者数	5404	市区町村数(1351)×時点数(4)
産業活動維持	総生産低下額	5428	市区町村数(1357)×時点数(4)
大都市機能維持	帰宅困難者数	1554	市区町村数(583)×時点数(3)

上記で特徴量を低次元化したデータを教師なし分類のアルゴリズムである階層クラスタリングをもちいて分類した。教師なし分類のアルゴリズムを用いる場合には適切な分類数を設定する必要がある。樹形図（デンドログラム）から距離のギャップが大きい分類数を抽出することが一般的であるものの、本業務では距離のギャップが不明瞭であった。そのため、データや分類手法を変えた２つの分類結果（表２－７－③－７）を、相互に比較（表２－７－③－８）することにより分類数を決定した。分類数の決定の例として、産業活動維持を目的とした総生産低下額を特徴量とした分類の試行による評価指標の推移（図２－７－③－４）をみると、分類数が増えるに従って増加し、分類数 20 で二つの評価指標がともにほぼ１となっている。従って、産業活動維持を目的とした類型化では類型の数を 20 類型とした。

表２－７－③－７　比較対象とした分類の条件

	データの次元数	分類手法
①	２次元	階層クラスタリング
②	３次元	k-means

表２－７－③－８　分類の試行結果の比較に用いた評価指標

略称	名称	概要
ARI	調整ランド指数	２つの分類結果が同一の場合１となる。
NMI	正規化相互情報量	２つの分類結果が同一の場合１となる。

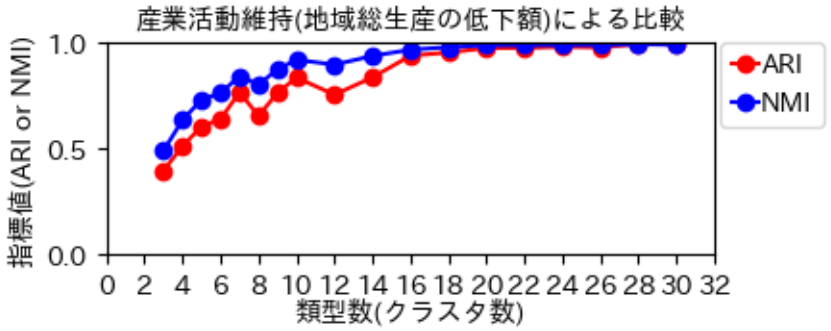


図２－７－③－４　評価指標の例(産業活動維持:総生産低下額)

なお、類型の番号が特徴量（被害）の大きさと関連付けら得るように、特徴量の全国集計値（類型平均）の順位となるように設定した。具体的には下記により求めた特徴量の全国平均値を降順でソートし、被害が最大の類型の番号が１となるようにした。

$$V = \frac{\sum_d \sum_c \sum_{i=1}^{N} D_{d,c,i}}{N}$$

ここで、V:特徴量の全国集計値(平均)、D:特徴量(被害、地域・時刻・地震別)、d:地震発生からの経過時間(番号)、c:地域番号、i:類型内での地震番号、N:類型を構成する地震数とする。

ii）類型化の結果

前項に記載した手法に基づいて、被害の様相を特徴量として南海トラフ沿いで発生する巨大地震の多様性を表現する 3480 種類の波源断層モデルを 10～20 類型（表２－７－③－９）に類型化した。

表２－７－③－９　類型化結果

目的	特徴量	類型数
住民避難	避難困難者数	10
	避難者数	12
産業活動維持	総生産低下額	20
大都市機能維持	帰宅困難者数	16

類型化の結果として、大都市機能維持にかかる帰宅困難者数を特徴量とした類型化結果を例示する。特徴量の全国集計値の平均値と類型を構成する地震の重みからなる散布図を図２－７－③－５に示した。類型を構成する地震の重みとは、藤原ほか（2020）[1]による震源域セットの重みをもとに類型ごとに積算した値で、類型内の地震が地震サイクルの一回目の地震に出現する重みに相当する。

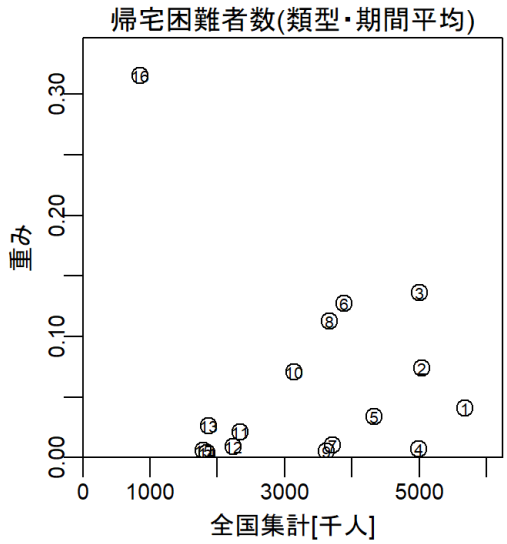


図２－７－③－５　大都市機能維持に係る類型化結果による被害量と類型の重み

大都市機能維持に係る類型化結果から、被害量や類型の重み等を参考に類型１、３、５、16 の４類型について、類型を構成する地震の震源域の広がり、地震規模および被害量を図２－７－③－６、図２－７－③－７および図２－７－③－８にそれぞれ示した。類型１は前述の通り被害量が最大となる地震で、その震源域の多くは日向灘から駿河湾にかけての広い範囲が破壊するＭ９クラスの地震である。類型３は類型１を構成する地震の震源域から深部を除いた部分からなる震源域から主に構成されている。類型５は被害が最大となる類型１の震源域から駿河湾を除いた地震から構成されている。類型 16 は、被害量が最小の類型であるが重みが最も大きい類型である。類型１と類型５の被害量（図２－７－③－８）を比較すると、類型５では鉄道利用者の多い関東地方に近い駿河湾を震源域に含まない（図２－７－③－６）事から、東京 23 区や横浜市での帰宅困難者数が大幅に減少している。その結果として、類型５を構成する地震の規模は、類型３を構成する地震よりも大きい(図２－７－③－７)ものの、全体としてみると類型３よりも被害の総量が小さくなっている。

このように、被害の様相を特徴量とした震源の類型化により、被害に影響を及ぼす震源の位置や範囲が明らかになった。関東地方への影響の観点では駿河湾を震源域に含むか否かの影響が大きかった。また、京阪神地区や名古屋市周辺といった南海トラフの海溝軸から離れた市区町村への被害へは、震源域に深部を含むか否かが強く影響することが明らかとなった。その一方で、日向灘や土佐海盆にかけては、海溝軸が陸地から離れていることや、曝露量の大きい地域が震源から離れていることから、被害の総量への影響は相対的に小さい結果となった。

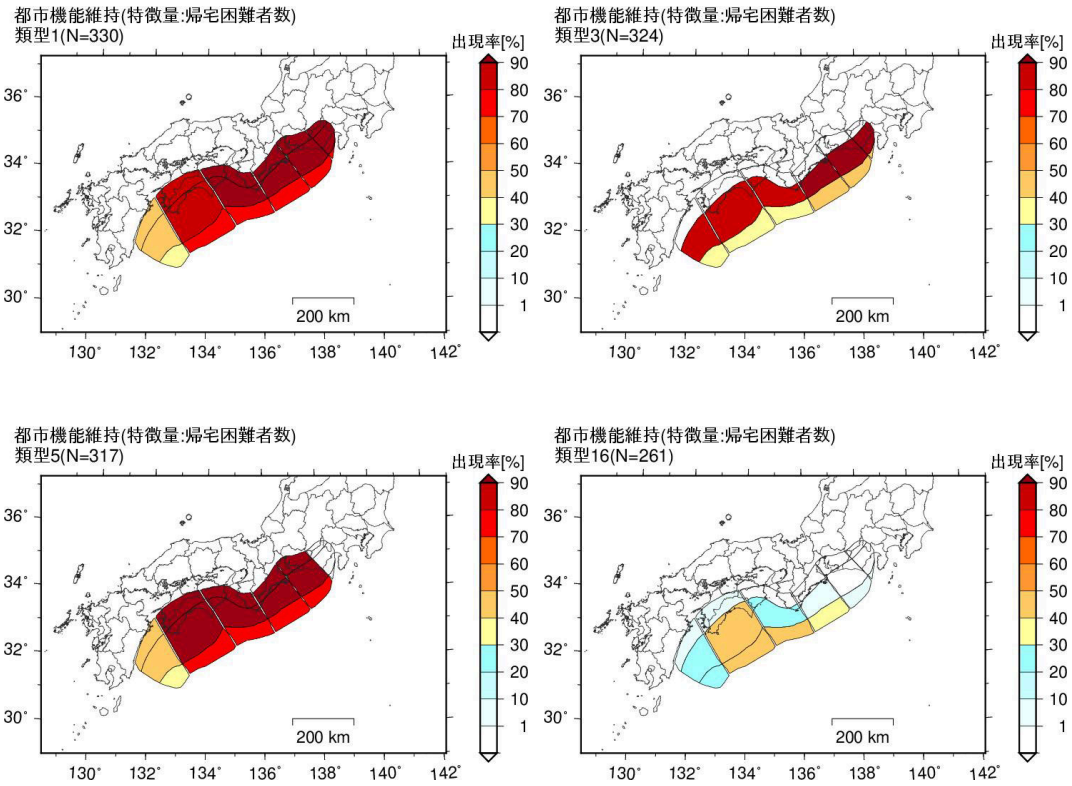


図２－７－③－６　震源域の出現率（類型１・３・５・16）

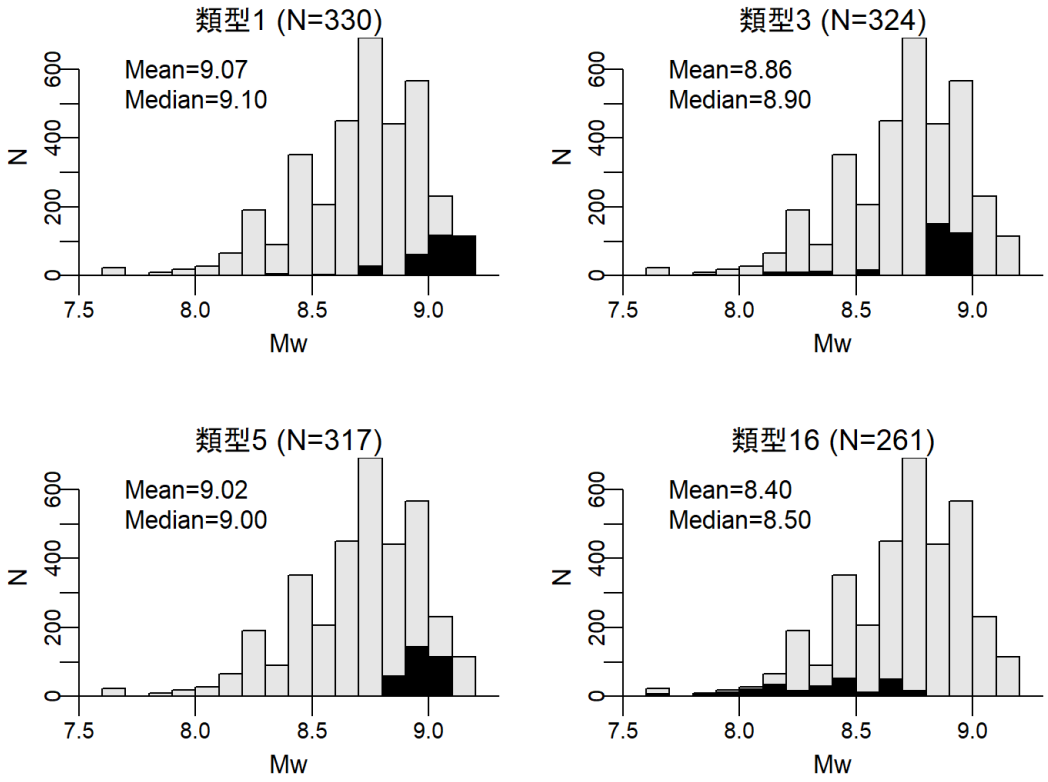


図２－７－③－７　地震規模のヒストグラム（類型１・３・５・16）

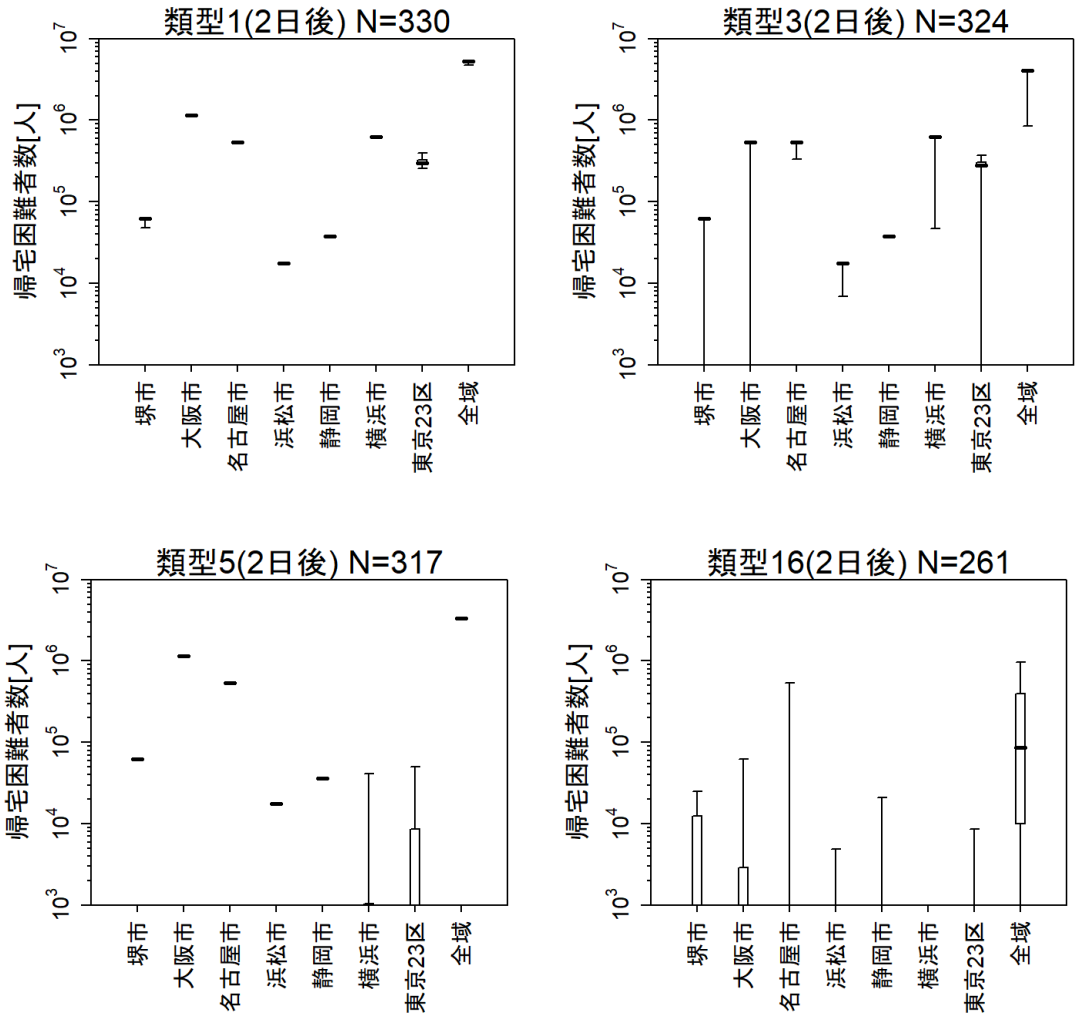


図２－７－③－８　主要都市の帰宅困難者数（類型１・３・５・16）

iii）代表地震の抽出

代表地震を抽出する際に着目する観点として、影響の大きさと発生しやすさの２つの観点が考えられる。例えば最悪のケースを想定するための被害想定を目的とした代表地震は、影響の大きさに着目して被害が大きくなりやすい地震を抽出すると考えられる。その一方で、影響の大きさのみに着目した場合には、極端に発生する可能性が低く現実性の乏しい地震を抽出する事となる。以上を踏まえて、影響の大きさと発生の可能性の両面を客観的に評価した指標値を下記のように定義した。そのうえで、それぞれの類型の中で指標値が最大の地震を代表地震として抽出する。

$$V_i = \left(\sum_d \sum_c D_{d,c,i} \right)^{\alpha} \times W_i^{(1-\alpha)}$$

ここで、V:代表性を表す指標（以下、代表指標値と称する）、i:地震番号、d:地震発生からの経過時間（番号）、c:地域（市区町村）番号、D:特徴量、W:地震（波源断層モデル）の重み、α:パラメータ（0≦α≦1）とする。なお、地震の重みは藤原ほか（2020）[1)]による地震セットの重みを基に算出した。

上記の代表指標値を用いた代表地震の抽出結果の例として、総生産低下額を特徴量とした場合のパラメータ α=0.5（被害の大きさと重みの中間）における代表地震の抽出結果を表２－７－③－10 に示した。

表２－７－③－10　代表地震の抽出結果例（総生産低下額、α=0.5）

類型	波源断層モデルコード	震源域			
		コード	走向方向	傾斜方向	Mw
1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
2	NK_AEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	AEall	ABCDE	all	9.1
3	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZDall	ZABCD	all	9.1
4	NK_ADall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ADall	ABCD	all	9.0
5	NK_BDmd_TYPE2Eh_30L1_a3_02	BDmd	BCD	md	8.7
6	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	ZEm	ZABCDE	m	8.9
7	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	AEm	ABCDE	m	8.8
8	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	CEm	CDE	m	8.4
9	NK_ZCmd_TYPE2Eh_30L1_a4d1_02	ZCmd	ZABC	md	8.9
10	NK_CDmd_TYPE2Eh_30L1_d1_02	CDmd	CD	md	8.5
11	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	ADm	ABCD	m	8.7
12	NK_BCmd_TYPE2Eh_30L1_s2d1_02	BCmd	BC	md	8.5
13	NK_BDm_TYPE2Eh_30L2_d3_d2_02	BDm	BCD	m	8.5
14	NK_ZCm_TYPE2Eh_30L1_m3_02	ZCm	ZABC	m	8.8
15	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	CDm	CD	m	8.3
16	NK_ACm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ACm	ABC	m	8.7
17	NK_BCm_TYPE2Eh_30L1_d3d1_02	BCm	BC	m	8.3
18	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ABm	AB	m	8.6
19	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	Em	E	m	7.7
20	NK_Cm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	Cm	C	m	8.0

ⅳ）類型化結果および代表地震の位置づけの検証

前項までの類型化結果や代表地震について、南海トラフ沿いで発生する巨大地震の多様性の中での位置づけを検証した。この位置づけ、代表地震の被害量と多様性を構成する全地震、類型を構成する地震および代表地震群の特徴量の平均値や標準偏差を比較することで検証した。具体的には全体の中での代表地震群の位置づけ、類型の中での代表地震の位置づけ、および類型のまとまり具合の３項目を、表２－７－③－11 に示した４つの比較項目により検証する。

表２－７－③－11　代表性の検証項目と比較する指標

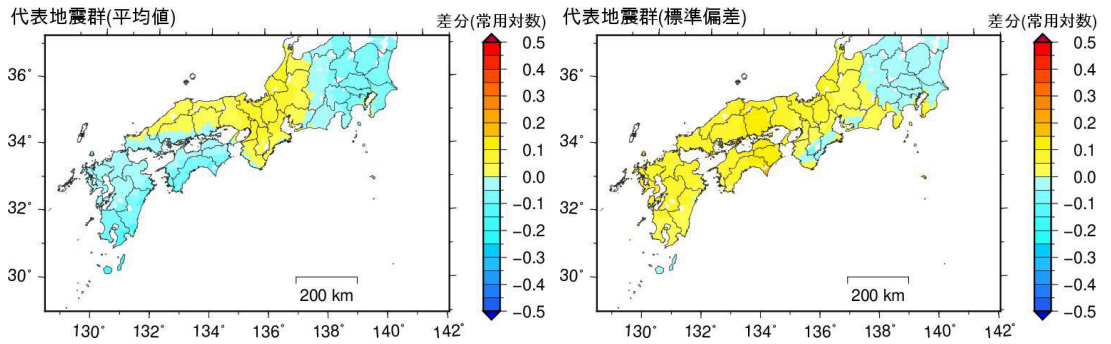
検証項目	指標①(V_1)	指標②(V_2)
全体の中での代表地震群の位置づけ	代表地震群(全類型)の平均	全地震の平均
〃	代表地震群(全類型)の標準偏差	全地震の標準偏差
類型の中での代表地震の位置づけ	代表地震の特徴量	類型の平均
類型のまとまり具合	類型の標準偏差	全地震の標準偏差

指標の具体的な比較方法は、数量の大きさによる影響を避けるために特徴量およびそれらの平均値や標準偏差の常用対数の差分によることとする。

$$D = log_{10}V_1 - log_{10}V_2$$

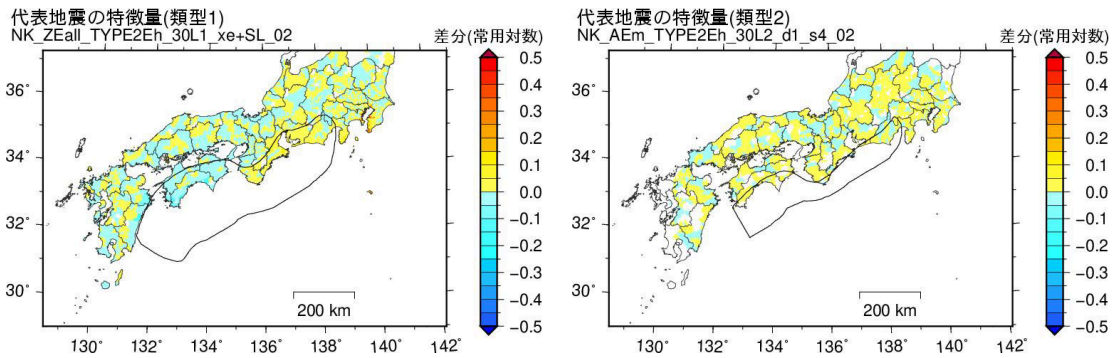
ここで、D:常用対数の差分（比較指標）、V1・V2:比較対象とする特徴量およびその平均値または標準偏差（表２－７－③－11）とする。

上記の比較指標を用いた類型化や代表地震群の検証結果について、産業活動維持を目的とした総生産低下額の場合について例示する。全体の中での代表地震群の位置づけの比較結果は図２－７－③－９に示したとおりであり、全地震（3480 地震）と代表地震群（20 地震）それぞれによる特徴量の平均値および標準偏差の差分はほぼゼロであり、類型から抽出した代表地震群で全体の平均とばらつき（標準偏差）を再現できていることが確認できた。また、被害が最も大きい類型１および類型２を対象に、類型を構成する地震群による被害量の平均値と代表地震の被害量の比較結果（図２－７－③－10）をみると、類型１の房総半島南端付近でやや代表地震の特徴量が大きいものの、全体としては類型の被害量と一致している。また、全地震と類型それぞれによる特徴量の標準偏差を比較（図２－７－③－11）すると、類型１の長崎県付近を除いて類型の標準偏差の方が十分に小さい結果となっており、類型化により全体の中で特徴量が類似するまとまりを適切に分類できていることが確認できた。



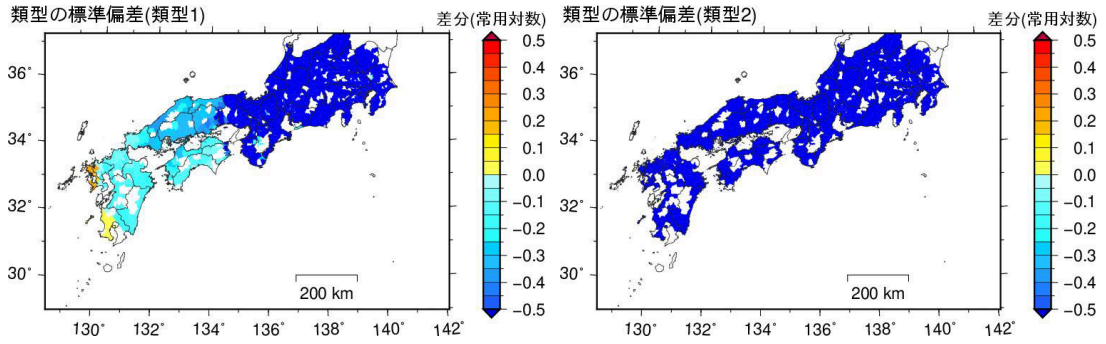
（特徴量:総生産低下額）

図２－７－③－９　全体の中での代表地震群の位置づけの検証結果の例



（総生産低下額、類型１・２）

図２－７－③－10　類型の中での代表地震の位置づけの検証結果の例



（総生産低下額、類型１・２）

図２－７－③－11　類型のまとまり具合の検証結果の例

d）複数回の地震から構成される地震パターンの類型化

ｉ）地震パターンの数量

複数回の地震から構成される地震パターンの類型化に先立って、地震パターンの数量について記載する。ここで、地震パターンの構成要素の一つで連続量である地震発生間隔を考慮した場合には無限大となってしまうため、地震発生順序のみを考慮した数量である。南海トラフ沿いで発生する巨大地震の多様性を構成する 3840 波源断層モデルから構成される地震セット 916669 セット（藤原ほか（2020）[1)]）に、地震発生回数ごとの順列を乗ずると 5000 万パターンを超える値となる。上記により算出した地震パターンの数量と藤原ほか（2020）[1)]による重みは表２－７－③－12 のとおりである。

表２－７－③－12　地震パターンの数量と地震パターンの重み

地震回数	地震セット数	重み	順列	パターン数
1	1,854	23.7%	1	1,854
2	24,585	65.1%	2	49,170
3	155,890	7.0%	6	935,340
4	397,132	3.6%	24	9,531,168
5	337,208	0.7%	120	40,464,960
計	916,669	100.0%	-	50,982,492

ⅱ）地震パターンの類型化

地震セットを対象とした令和４年度の類型化基礎検討において、916669 セットを直接類型化することが困難であったことから、これを超える地震パターンの類型化は不可能であると考えられる。従って、予め地震をスクリーニングしたうえで、スクリーニングにより抽出された地震から地震パターンを構築することが必要である。

地震のスクリーニングにあたっては、前述した地震像の類型化結果に基づいて抽出した代表地震を用いることとする。ここで、代表的なスクリーニングを検討するために、分類数を 20 とした場合の類型化結果の比較結果を表２－７－③－13 に示した。評価指標には正規化相互情報量（略称:NMI、表２－７－③－８参照）を用いてお

り、この結果をみると生存避難を目的とした類型化結果は他の類型化結果と異なるものの、それ以外の生活避難、産業活動維持および大都市機能維持を目的とした類型化結果はそれぞれが類似した結果となった。これは、生存避難を目的とした特徴量は津波の到達時刻により決定される特徴量である一方で、それ以外の特徴量は地震動の強さや津波の高さにより決定される特徴量であるためである。

以上の検討を踏まえて、生活避難、産業活動維持および大都市機能維持については産業活動維持を目的とした類型化結果に基づく代表地震を用いる事とした。

表２－７－③－13　類型化結果の比較

類型化		評価指標(NMI)			
目的	特徴量	避難困難	生活避難	地域総生産	帰宅困難者
生存避難	避難困難者数	1.000	0.385	0.388	0.375
生活避難	避難者数	0.385	1.000	0.876	0.878
産業活動維持	地域総生産の低下額	0.388	0.876	1.000	0.909
大都市機能維持	帰宅困難者数	0.375	0.878	0.909	1.000

地震パターンの類型化を目的として地震をスクリーニングした。具体的には、類型化結果からパラメータ α=0.5(特徴量の大きさと重みの中間)により抽出した、生存避難については表２－７－③－14 に示した 12 地震を、生存避難以外については表２－７－③－15 に示した 20 地震をそれぞれスクリーニング結果として抽出した。

表２－７－③－14　生存避難に係る地震パターン生成のための代表地震

類型	波源断層モデルコード	震源域			
		コード	走向方向	傾斜方向	Mw
1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
2	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L2_d1_s3_02	ZDall	ZABCD	all	9.1
3	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	CEm	CDE	m	8.4
4	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	ADm	ABCD	m	8.7
5	NK_CEsm_TYPE2Eh_30L1_s5+SL_02	CEsm	CDE	sm	8.6
6	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02	ADm	ABCD	m	8.7
7	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	Em	E	m	7.7
8	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02	ADm	ABCD	m	8.7
9	NK_ADall_TYPE2Eh_30L2_xw_xw+SL_02	ADall	ABCD	all	9.0
10	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	ABm	AB	m	8.6

表２－７－③－15　生存避難以外に係る地震パターン生成のための代表地震

類型	波源断層モデルコード	震源域			
		コード	走向方向	傾斜方向	Mw
1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
2	NK_AEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	AEall	ABCDE	all	9.1
3	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZDall	ZABCD	all	9.1
4	NK_ADall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ADall	ABCD	all	9.0
5	NK_BDmd_TYPE2Eh_30L1_a3_02	BDmd	BCD	md	8.7
6	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	ZEm	ZABCDE	m	8.9
7	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	AEm	ABCDE	m	8.8
8	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	CEm	CDE	m	8.4
9	NK_ZCmd_TYPE2Eh_30L1_a4d1_02	ZCmd	ZABC	md	8.9
10	NK_CDmd_TYPE2Eh_30L1_d1_02	CDmd	CD	md	8.5
11	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	ADm	ABCD	m	8.7
12	NK_BCmd_TYPE2Eh_30L1_s2d1_02	BCmd	BC	md	8.5
13	NK_BDm_TYPE2Eh_30L2_d3_d2_02	BDm	BCD	m	8.5
14	NK_ZCm_TYPE2Eh_30L1_m3_02	ZCm	ZABC	m	8.8
15	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	CDm	CD	m	8.3
16	NK_ACm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ACm	ABC	m	8.7
17	NK_BCm_TYPE2Eh_30L1_d3d1_02	BCm	BC	m	8.3
18	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ABm	AB	m	8.6
19	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	Em	E	m	7.7
20	NK_Cm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	Cm	C	m	8.0

前項でスクリーニングされた地震を用いて地震パターンを生成した。地震パターンの生成に当たっては、藤原ほか（2020）[1)]による地震セット（916669セット）のうちスクリーニングされた地震のみから構成される地震セットを抽出したうえで、複数回から構成される地震セットの地震順序を入れ替えることにより生成した。生成された地震パターンは、生存避難に関しては表２－７－③－16に示した14パターン、生存避難以外に関しては表２－７－③－17に示した19パターンである。これらの地震パターンをみると、潮岬を境に東西二つの地震から構成されるいわゆる半割れケース、既往最大とされる宝永地震に相当する震源域を含むパターン、および想定される震源域全てが一度に破壊する想定最大ケースをいずれも含んでいる。また、生存避難以外に係る地震パターンでは３地震から構成される地震パターンも含まれ、地震パターン全体の中から重要と考えられる地震パターンを生成することが出来た。

なお、生成された地震パターンは最大で14パターンであることから、これ以上の類型化や代表パターンの抽出は不要と判断した。ただし、３地震から構成される地震パターンには四国沖→駿河湾→遠州灘および熊野灘のように中央部分を震源域とせず、地震が発生するパターンも含まれており、このようなパターンの想定が必要かを理学的な側面から検証する必要があると考えられる。

表２－７－③－16　生存避難に係る地震パターン

No.		地震	波源断層モデル	
連番	パターン	数	地震1	地震2
1	1	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02	
2	2	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02	
3	3	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	
4	4-1	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02
5	4-2	2	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02
6	5-1	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
7	5-2	2	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02
8	6-1	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
9	6-2	2	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02
10	7-1	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
11	7-2	2	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02
12	8	1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	
13	9	1	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L2_d1_s3_02	
14	10	1	NK_ADall_TYPE2Eh_30L2_xw_xw+SL_02	

表２－７－③－17　生存避難以外に係る地震パターン

No.		地震	波源断層モデル		
連番	パターン	数	地震1	地震2	地震3
1	1	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02		
2	2-1	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	
3	2-2	2	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	
4	3	1	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02		
5	4-1	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	
6	4-2	2	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	
7	5-1	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
8	5-2	2	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	
9	6-1	3	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
10	6-2	3	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02
11	6-3	3	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
12	6-4	3	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02
13	6-5	3	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02
14	6-6	3	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02
15	7	1	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02		
16	8	1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
17	9	1	NK_AEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
18	10	1	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
19	11	1	NK_ADall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		

3) 広域災害シナリオの作成

ここでは災害シナリオとは「地震による被害と、その様相の時系列的な変遷を定量的もしくは定性的に記述したもの」と定義する。上記の定義には四面会議システム[14)]などを活用した定性的な様相を含めた災害シナリオも含まれるが、本課題では四面会議システムのようなワークショップを行う際の出発点となるような定量的な指標及びその変遷をとりまとめた簡易的な災害シナリオを作成した。

災害シナリオの作成にあたって対象とした地震パターンは表２－７－③－18 に示した 11 パターンで、時々刻々と変化する特徴量を対象とした生存避難以外に係る地震パターン（表２－７－③－17）から抽出するとともに、社会側の多様性として南海トラフ地震の臨時情報による前避難の有無を含むケースを設定した。災害シナリオに盛り込む定量的な指標は住民避難、産業活動維持および大都市機能維持に係る４つの特徴量（表２－７－③－３）とした。地震像の類型化では災害過程等を踏まえた４時点（表２－７－③－５）の値を用いているが、災害シナリオには時間分解能が低いことから、発災直後から 360 日後までの 35 時点（表２－７－③－19）の特徴量を対象とする地震パターンを構成する地震を対象に算出した。

表２－７－③－18　災害シナリオの作成対象とした地震パターン

No.	パターン	略称	発生順序および間隔	時刻	事前避難
1	2-1	西先行避難無し 1	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02 （発生間隔:15 日間） NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	5 時	なし
2	2-1	西先行避難有り 1	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02 （発生間隔:15 日間） NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	5 時	あり （巨大地震警戒）
3	4-1	西先行避難無し 2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02 （発生間隔:15 日間） NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	5 時	なし
4	4-1	西先行避難有り 2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02 （発生間隔:15 日間） NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	5 時	あり （巨大地震警戒）
5	2-2	東先行避難無し 1	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02 （発生間隔 15 日間） NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	5 時	なし
6	2-2	東先行避難あり 1	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02 （発生間隔 15 日間） NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	5 時	あり （巨大地震警戒）
7	4-2	東先行避難無し 2	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02 （発生間隔 15 日間） NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	5 時	なし
8	4-2	東先行避難あり 2	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02 （発生間隔 15 日間） NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	5 時	あり （巨大地震警戒）
9	4-2	東先行 2 間隔 60 日	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02 （発生間隔 60 日間） NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	5 時	あり （巨大地震警戒）
10	5-1	一部→既往最大	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02 （7 日間） NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	5 時	あり （巨大地震注意）
11	8	最大	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	5 時	-

表２－７－③－19　特徴量を算出した時点

機関	時刻・間隔	時刻数
発災直後	6 時間後	1
1 日後～15 日後	1 日間隔	15
20 日後～120 日後	10 日間隔	11
150 日後～360 日後	30 日間隔	8
	計	35

上記により作成した広域災害シナリオの例として、四国沖(西側半割れケース、震源域 ABm)で地震が発生した 15 日後に熊野灘から遠州灘(東側半割れケース､震源域:CDm)で地震が発生する場合で事前避難が行われる場合の広域災害シナリオを図２－７－③－12 に、駿河湾（一部割れケース、震源域 Em）で地震が発生した７日後に四国沖から遠州灘（既往最大相当、震源域 ADm）が発生する場合で事前避難が行われる場合の広域災害シナリオを図２－７－③－13 にそれぞれ示した。なお、事前避難率は新型コロナウイルス感染症の行動変容率に基づく令和４年度までの成果に基づいて図２－７－③－14 のとおり設定した。また、事前避難による人的被害や総生産低下額への影響を令和４年度に検討した市区町村単位での簡便な評価手法により考慮した。

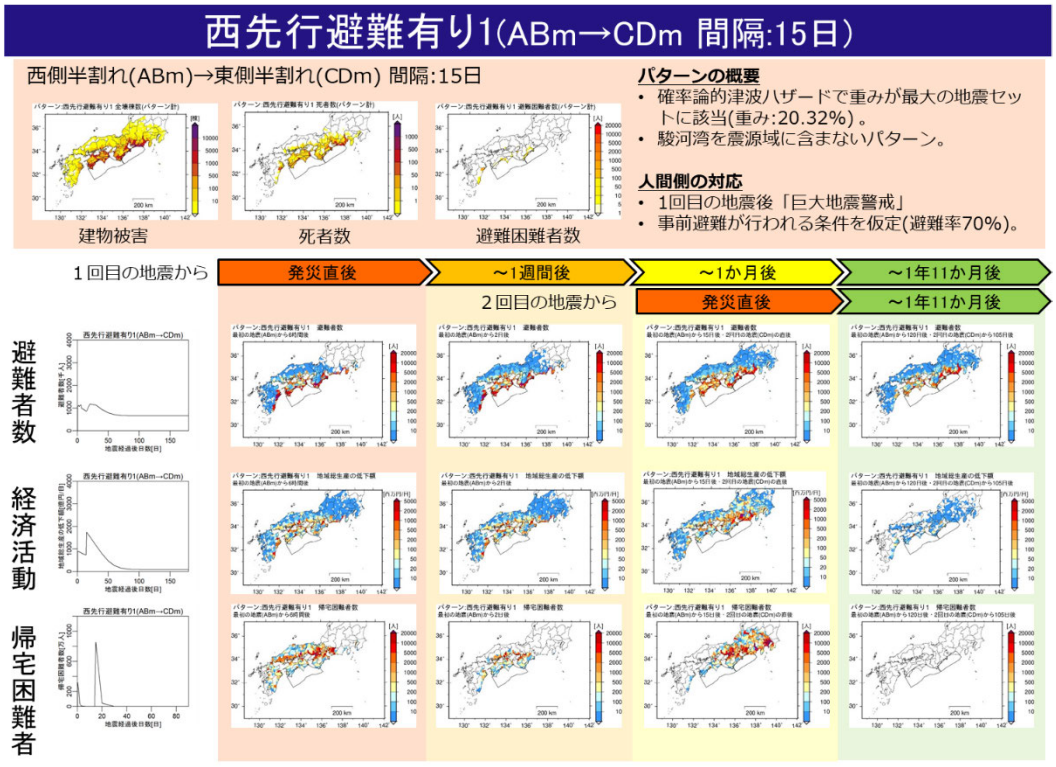


図２－７－③－12　作成した広域災害シナリオの例（その１）

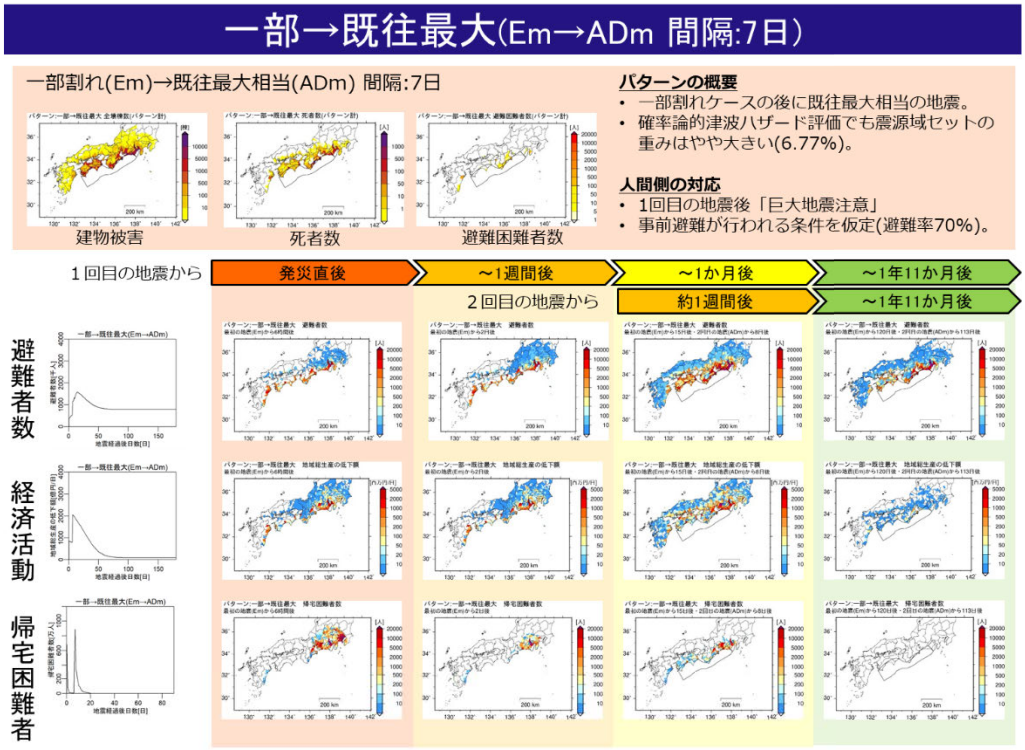


図２－７－③－13　作成した広域災害シナリオの例（その２）

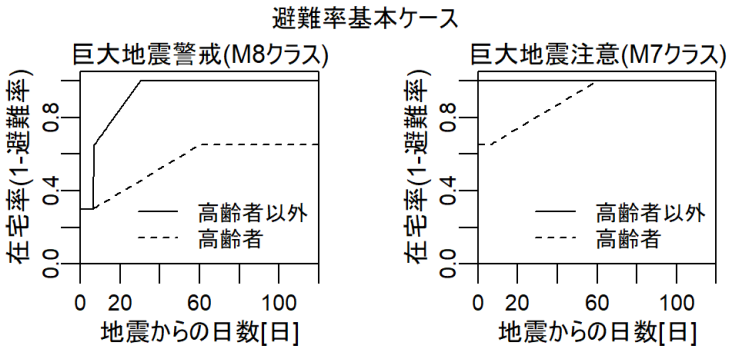


図２－７－③－14　事前避難率の設定

また、上記で作成した広域災害シナリオのうち地震パターンが同一の組み合わせを対象に事前避難による人的被害や総生産低下額への影響を比較した（表２－７－③－20）。比較結果をみると事前避難により死者数は減少するものの、総生産低下額は増加する結果なった。ここでの試算結果は簡便な評価手法に基づく値であるため絶対的な値の利用には注意が必要であるが、人的被害と経済的な被害のトレードオフの関係が示された。

表２－７－③－20　事前避難の有無による人的被害および経済的な被害への影響

パターン			死者数[人]			総生産低下額[億円]		
No	震源域	間隔	避難なし	避難あり	差分	避難なし	避難あり	差分
1と2	ABm→CDm	15日	7,900	7,561	-339	77,740	81,502	3,762
3と4	ABm→CEm	15日	14,878	13,864	-1,014	103,568	107,330	3,762
5と6	CDm→ABm	15日	7,903	7,525	-378	76,807	80,195	3,388
7と8	CEm→ABm	15日	14,883	14,505	-378	102,303	105,409	3,106

差分：事前避難あり－事前避難無し
総生産低下額：地震発生直後から360日後までの積算(積分)

4)　複合災害としての地すべりリスクの試算

南海トラフ地震による被害の全容を把握する目的で、主に被害が山間部において発生する地すべりリスクを試算した。これは、地震動や津波による建物被害及び人的被害が曝露量の集中する平野部で発生するために、国土面積の多くを占める山間部の被害の様相を建物被害及び人的被害のみでは十分に把握出来ない可能性が考えられるためである。試算に当たっては南海トラフ沿いで発生する巨大地震の多様性を構成する 83 震源域すべてを対象に、地震動予測式[3)、4)]による最大加速度のハザード評価に基づいた。

a) 地すべりリスクの試算手法

地すべりリスクは令和４年度と同様の手法により推定した。

地すべりの発生有無は、森脇（2011）[6)]による限界加速度を新潟県中越地震での被害実績と整合するように調整した方法により算出した。限界加速度とは地すべり土塊が移動する加速度を示し、具体的には下記により算出した。

$$a_c = R_a \times 318 \times F.S - 294$$

$$F.S = 17.3 \times \theta^{-0.843}$$

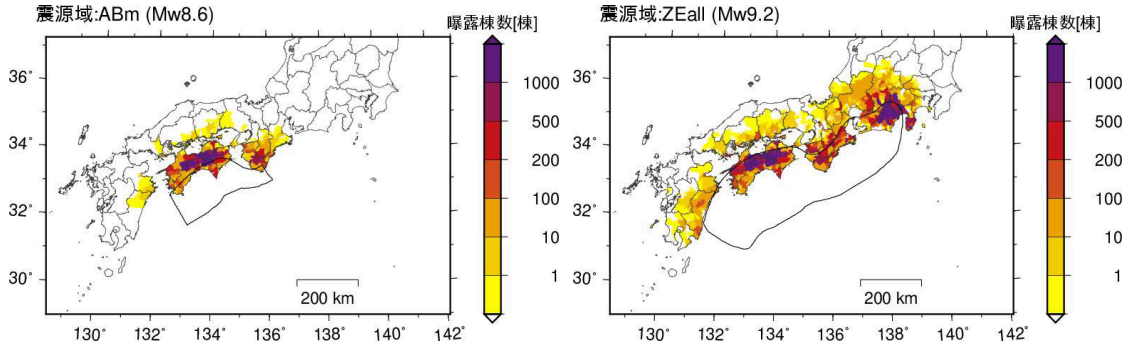
ここで、a_c:限界加速度[gal]、R_a:限界加速度の調整率、F.S.:斜面の安全率、θ:斜面勾配[degree]とする。なお、限界加速度の調整率は新潟県中越地震の被害実績[7)]に基づいて 2.66 とした。

次に、曝露量の推定手法について記載する。曝露量は地すべり地形分布図の GIS データ[5)]により特定した地すべり土塊の範囲と、森脇（1987）[15)]の式を用いて推定した地すべり土塊の移動距離の範囲内にある 250m メッシュのうち土塊の重心よりも標高が低い 250m メッシュの範囲を影響範囲とした。なお、メッシュの一部のみが影響範囲に含まれる場合には、250m メッシュの曝露量を面積で按分して影響範囲内の曝露量と算出した。

最後に、曝露量の算出にあたっては地震動のばらつきを考慮して地震動予測式[3)、4)]により算出した限界加速度の超過確率に、上記で取得した曝露量を乗じて求めた条件付き期待値を曝露量として集計した。

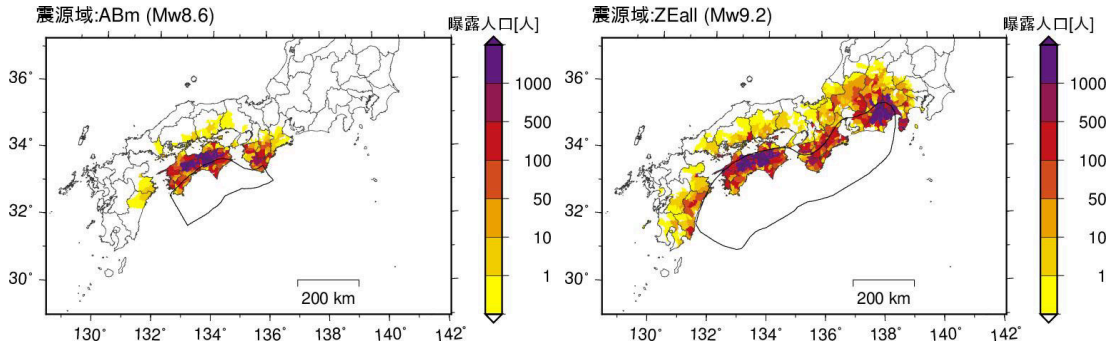
c）地すべりリスクの試算結果

前項までの手法に基づいて地すべりリスクとして地すべりの影響範囲内の曝露量を算出した。上記による市区町村単位の曝露量の分布図を想定項目それぞれ図２－７－③－15～図２－７－③－17 に示した。これらの被害分布を見ると地すべり地形が分布する山間部に集中しており、地震動や津波による被害分布とは対照的な分布となっている。また、最大ケースに相当する震源域 ZEall の建物曝露棟数は約 10 万棟で、国土面積の大部分を占める山間部での復旧・復興活動を考える上で重要な要素であることが示唆される。



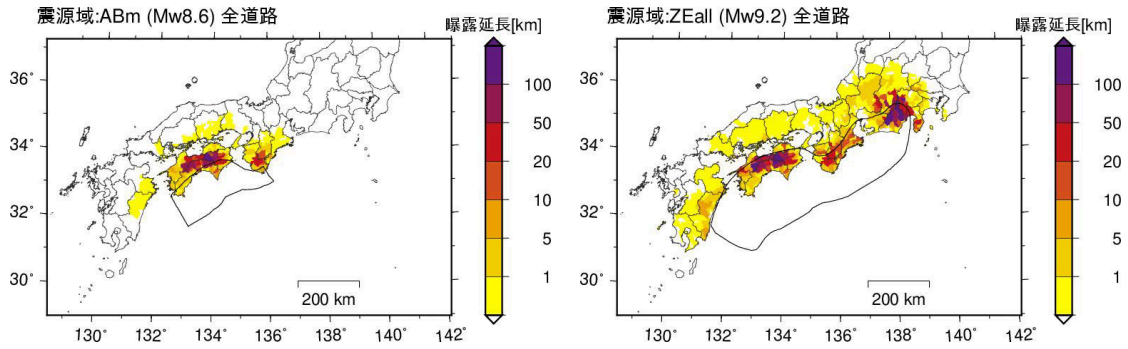
左:震源域 ZEall(想定最大規模)、右:震源域 ABm(西側半割れケース)

図２－７－③－15　地すべりリスクの試算結果（曝露建物棟数）



左:震源域 ZEall(想定最大規模)、右:震源域 ABm(西側半割れケース)

図２－７－③－16　地すべりリスクの試算結果（曝露人口）



左:震源域 ZEall(想定最大規模)、右:震源域 ABm(西側半割れケース)

図２－７－③－17　地すべりリスクの試算結果（曝露道路延長）

(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) 令和４年度に高度化された津波ハザード情報を用いて建物被害及び人的被害リスクを評価するとともに、地震像の類型化に用いる特徴量をリスク評価に取り込んだ。
2) 住民避難、産業活動維持及び大都市機能維持を目的とした特徴量に基づいて多様性を表現する 3480 地震を 10～20 類型に分類した。また、これらの類型から影響の大きさと発生しやすさの２つの観点に基づく代表指標値に基づいて代表地震を抽出した。
3) 上記による類型や抽出した代表地震について、多様性の全体や類型の位置付けを検証した。全地震や類型を構成する地震群の特徴量の平均値や標準偏差と、代表地震の特徴量を比較することにより検証し、概ね妥当な結果であることを確認した。
4) 複数回の地震から構成される地震パターンを、類型化および抽出した代表地震によりスクリーニングされた地震からパターンを生成することにより類型化した。生成された地震パターンは 14～19 パターンであり手動での検討が可能な量であるとともに、半割れケースや最大ケースのような代表的な地震パターンを包含していることを確認した。
5) 地すべり地形分布図の GIS データを活用して南海トラフ地震が発生した場合の曝露建物棟数、曝露人口及び曝露道路延長を推定した。
6) 今後の課題として地震パターンの拘束条件の付与が考えられる。類型化により生成した地震パターンの中には３地震から構成される地震パターンが含まれている。機械的に地震パターンを生成した場合には、西側→東側→中央のように中央を飛ばして地震が発生するパターンも生成されるが、このようなパターンがありうるのかを理学的な観点から検討することが今後の課題として挙げられる。
7) 地すべりリスクの評価手法の高度化が今後と課題として挙げられる。本業務の手法を 2024 年能登半島地震に適用したところ能登半島北部の広い部分で地すべりが活動すると推定されたが、国土地理院による判読結果と比較すると過大推定の傾向が示唆された。地すべりの評価に当たっては地質条件や地すべりの一部のみが活動する場合の評価が必要であると考えられる。

(e) 引用文献

1) 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.
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、
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf, 2020.1(2023.3.29 確認)
3) 藤原広行、森川信之、河合伸一、青井真、先名重樹、前田宜浩、東宏樹、はお憲生、岩城麻子、若松加寿江、井元政二郎、長谷川信介、奥村俊彦、早川俊彦、高橋真理：東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良、防災科学技術研究所研究資料、399、2015.12.

4) 森川 信之、 藤原 広行、 岩城 麻子、 前田 宜浩: 強震動データベース試作版と地震動予測式に基づくサイト係数導出、 日本地震工学会・大会－2021、 T2021-045、 2021.
5) 防災科学技術研究所:地すべり地形分布図デジタルアーカイブ, https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/index.html (2023.3.29 確認)
6) 森脇寛：地すべり地形斜面の地震時危険度評価と崩壊予測システムの構築，地すべり，Vol.48，pp.305-317，2011
7) 大八木規夫、内山庄一郎、井口隆:2004 年新潟県中越地震による斜面変動分布図、防災科学技術研究所研究資料、317、1-37、2008.3
8) 中央防災会議：南海トラフの巨大地震　建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html、2012.8(2024.3.11 確認)
9) 髙橋郁夫、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
10) 中央防災会議：南海トラフの巨大地震　ライフライン被害、交通施設被害、被害額など、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html、2013.3(2024.3.11 確認)
11) 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.
12) 高浜勉、翠川三郎:地震時の鉄道運休時間の推定方法、日本地震工学会論文集、11、42-54、2011.
13) 内閣府: 防災に関する標準テキスト, https://www.bousai.go.jp/taisaku/jinzai/pdf/hyojyun_text_zentai.pdf, 2007.3(2024.3.12 確認)
14) 羅貞一、岡田 憲夫:四面会議システムで行う知識の行動過形成家庭の構造か検証に関する基礎的な研究、京都大学防災研究所年報、第 52 号 B、2009
15) 森脇寛：崩土の到達距離予測、地すべり、24、10-16、1987.

(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リスク評価に基づく多様性の類型化と災害シナリオの試作（口頭）	中村洋光 時実良典 小丸安史 藤原広行	第16回日本地震工学シンポジウム	2023.11	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
Estimation of Direct Damage Caused by the Nankai Trough Earthquake Considering Hazard and Social Characteristics	Qinglin Cui, Hiromitsu Nakamura, Yoshinobu Mizui, Hiroyuki Fujiwara	Journal of Disaster Research	2024.2	国内

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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

半割れ（地震活動１サイクル中に２回震源域が動く地震）ケースに着目した条件付きリスク評価を地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システム（以下、Web システム）で情報提供可能とした。また、令和３年度までに地震防災基盤シミュレータへ蓄積した、震源断層モデルデータ、波源断層モデルデータ、強震動シミュレーションデータ、津波シミュレーションデータ、それぞれのシミュレーションに基づくリスク評価結果を情報提供する、地震防災基盤シミュレータ WebAPI システム（以下、WebAPI システム）を新たに構築した。また、地震像の類型化データの管理設計と Web システムの要求分析を行った。地震防災基盤シミュレータの提供する情報の利活用として、大阪府の社会福祉協議会での防災訓練における活用を試行した。

(b) 業務の実施方法

半割れケースに着目した条件付きリスク評価結果を情報提供する Web ページを構築した（以下、半割れ Web）。フロントエンド側のユーザインタフェースの設計（画面設計、画面遷移設計、操作設計など）とバックエンド側の API 設計（データベースからの数値データ取得方法や地図表示のための画像取得のための設計）を行った。その後、設計に則して実装し、半割れ Web を構築した。合わせて、令和４年度に実施したヒアリングで挙がったインターフェースの改善点を元に Web システムの高度化を行った。

令和３年度までに地震防災基盤シミュレータへ蓄積した、震源断層モデルデータ、波源断層モデルデータ、強震動シミュレーションデータ、津波シミュレーションデータ、それぞれのシミュレーションに基づくリスク評価結果を情報提供する、WebAPI システムを新たに構築した。令和４年度に実施したヒアリング内容をもとに要求分析を行い、提供するデータを選定し、フロントエンド側の URL 設計とバックエンド側の API 設計（データベースからの数値データ取得方法等）を行った。その後、設計に則して実装を行い、WebAPI システムを構築した。また、地震像の類型化データの管理設計と Web システムの要求分析を行った。地震防災基盤シミュレータの利活用として、大阪府の社会福祉協議会を対象とした防災訓練において、地震発生シナリオの地震動震度階、津波浸水深、建物被害棟数、人的被害人数の時間別データを、WebGIS ツールにて多数者で同時閲覧し、被害の程度を数値情報にて共有する試み実施した。

(c) 業務の成果

1) 半割れケースの Web サイトの構築

半割れケースに着目した条件付きリスク評価結果を情報提供する Web サイトを構築した。フロントエンド側のユーザインタフェースの設計（画面設計、画面遷移設計、操作設計など）とバックエンド側の API 設計（データベースからの数値データ取得方法や地図表示のための画像取得のための設計）を行った。フロントエンド側の画面遷移設計を図２－７－④－１に示す。半割れ Web の画面遷移は、図中の半割れシナリオ選択画面、半割れシナリオ詳細画面に該当する。これらの設計に則して、Web システムを構築した。半割れ Web の画面構成について解説する。

a) 半割れシナリオ選択画面

半割れシナリオ選択画面（図２－７－④－２）は、半割れシナリオの一覧から１つのシナリオを選択する画面である。１つのシナリオを選択すると半割れシナリオ詳細画面（後述の b)）へ遷移する。

半割れシナリオ選択画面で選択可能な半割れシナリオは、地震防災基盤シミュレータの地震像・シナリオバンクに蓄積中の 72 の半割れシナリオである。

b) 半割れシナリオ詳細画面

半割れシナリオ詳細画面（図２－７－④－３）は、半割れシナリオ選択画面で選んだ１つのシナリオに関する、強震動シミュレーションデータ、強震動および津波シミュレーションに基づくリスク評価結果を閲覧できる画面である。指標値ごとに、分布図の地図表示と、表形式での都道府県、市区町村別の指標集計値の閲覧が可能である。また、表示している分布データや集計値データのダウンロードが可能である。

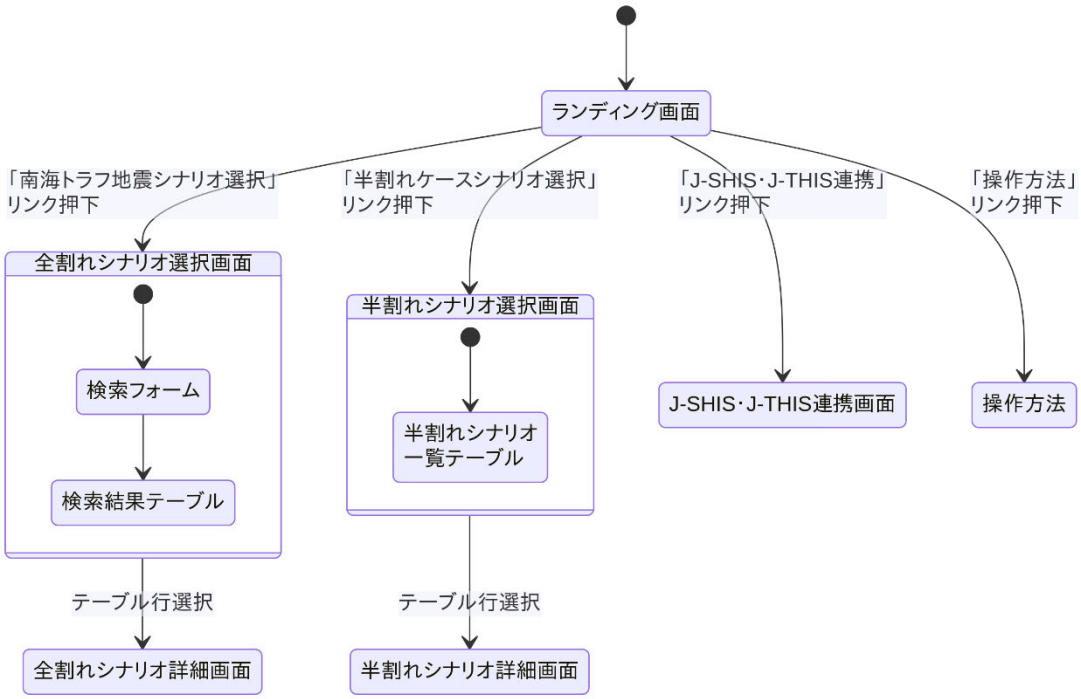
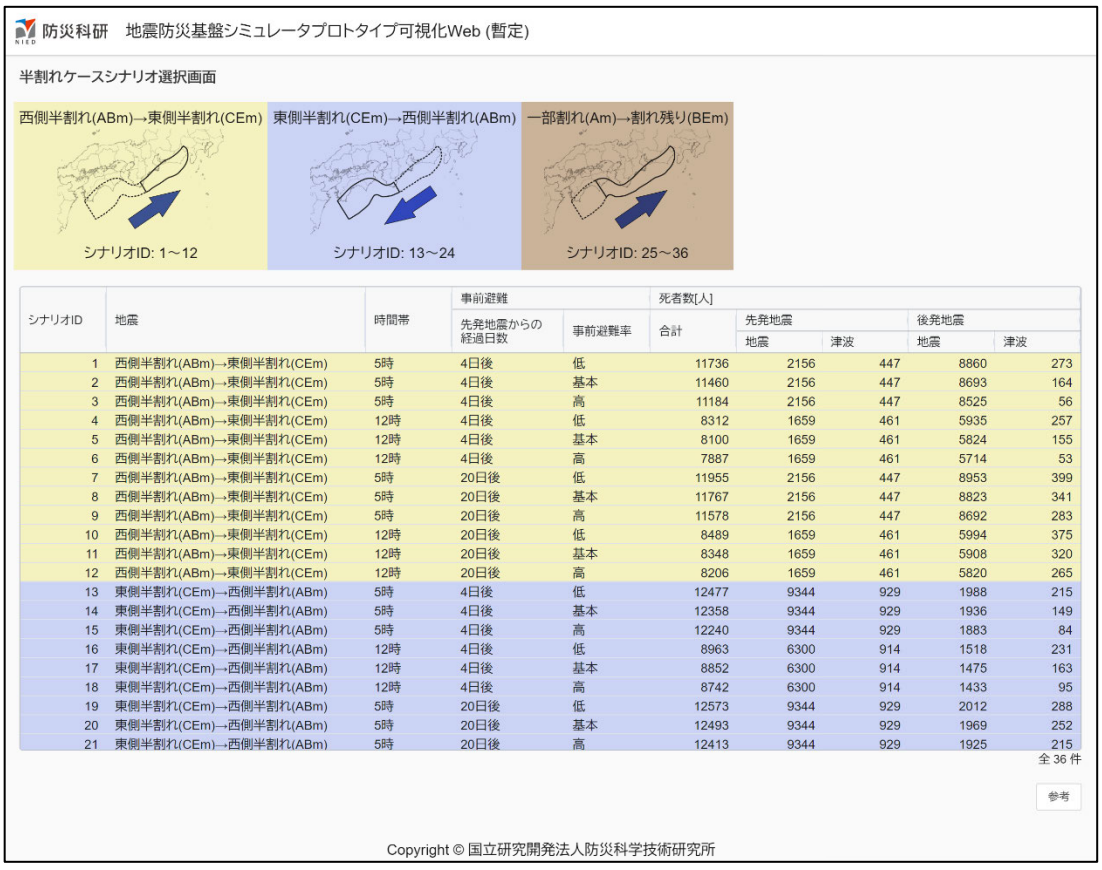
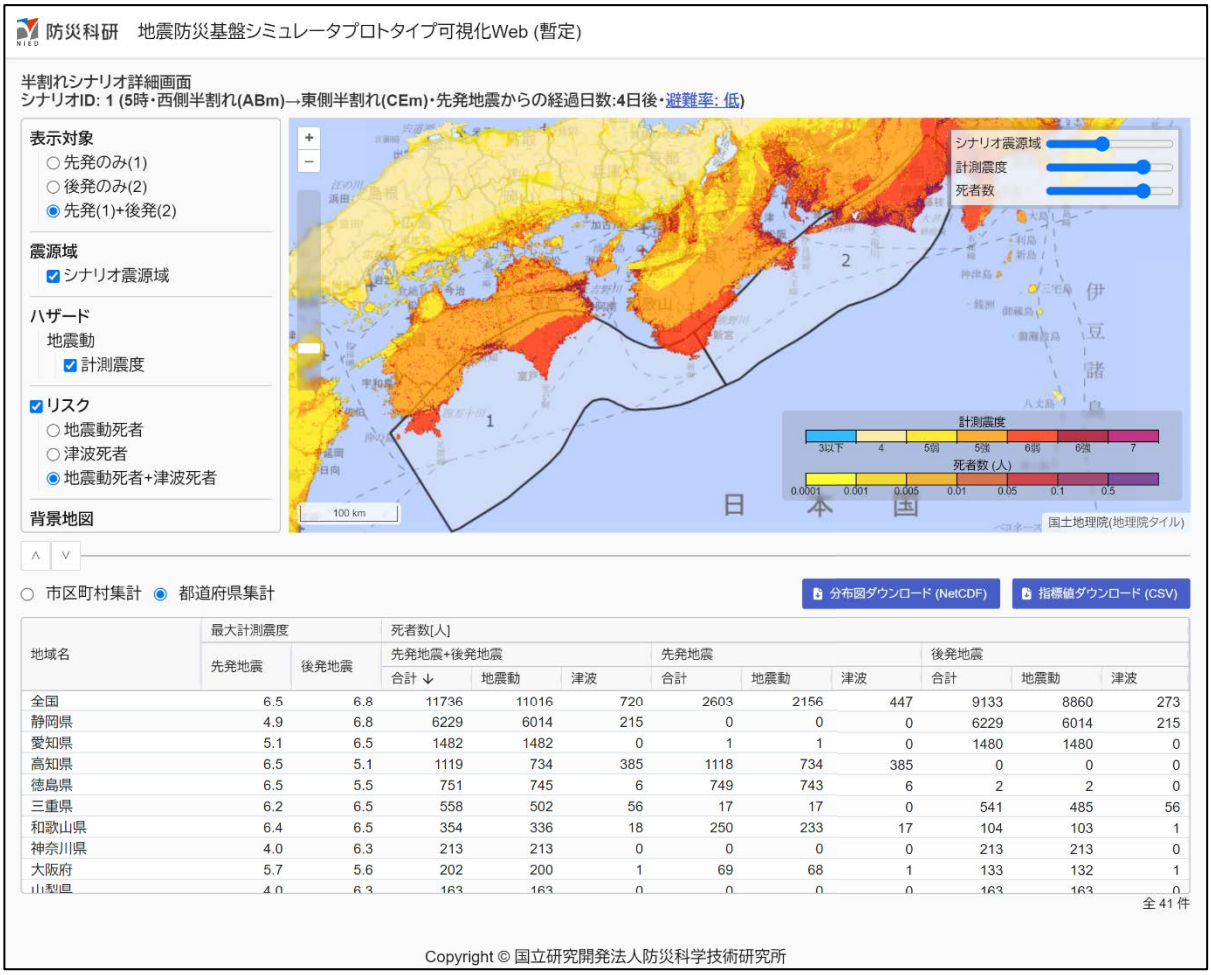


図２－７－④－１　Web システムの画面遷移図



シナリオID	地震	時間帯	事前避難		死者数[人]				
			先発地震からの経過日数	事前避難率	合計	先発地震		後発地震	
						地震	津波	地震	津波
1	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	4日後	低	11736	2156	447	8860	273
2	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	4日後	基本	11460	2156	447	8693	164
3	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	4日後	高	11184	2156	447	8525	56
4	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	4日後	低	8312	1659	461	5935	257
5	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	4日後	基本	8100	1659	461	5824	155
6	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	4日後	高	7887	1659	461	5714	53
7	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	20日後	低	11955	2156	447	8953	399
8	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	20日後	基本	11767	2156	447	8823	341
9	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	5時	20日後	高	11578	2156	447	8692	283
10	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	20日後	低	8489	1659	461	5994	375
11	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	20日後	基本	8348	1659	461	5908	320
12	西側半割れ(ABm)→東側半割れ(CEm)	12時	20日後	高	8206	1659	461	5820	265
13	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	4日後	低	12477	9344	929	1988	215
14	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	4日後	基本	12358	9344	929	1936	149
15	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	4日後	高	12240	9344	929	1883	84
16	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	12時	4日後	低	8963	6300	914	1518	231
17	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	12時	4日後	基本	8852	6300	914	1475	163
18	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	12時	4日後	高	8742	6300	914	1433	95
19	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	20日後	低	12573	9344	929	2012	288
20	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	20日後	基本	12493	9344	929	1969	252
21	東側半割れ(CEm)→西側半割れ(ABm)	5時	20日後	高	12413	9344	929	1925	215

図２－７－④－２　半割れシナリオ選択画面



地域名	最大計測震度		死者数[人]								
	先発地震	後発地震	先発地震+後発地震			先発地震			後発地震		
			合計 ↓	地震動	津波	合計	地震動	津波	合計	地震動	津波
全国	6.5	6.8	11736	11016	720	2603	2156	447	9133	8860	273
静岡県	4.9	6.8	6229	6014	215	0	0	0	6229	6014	215
愛知県	5.1	6.5	1482	1482	0	1	1	0	1480	1480	0
高知県	6.5	5.1	1119	734	385	1118	734	385	0	0	0
徳島県	6.5	5.5	751	745	6	749	743	6	2	2	0
三重県	6.2	6.5	558	502	56	17	17	0	541	485	56
和歌山県	6.4	6.5	354	336	18	250	233	17	104	103	1
神奈川県	4.0	6.3	213	213	0	0	0	0	213	213	0
大阪府	5.7	5.6	202	200	1	69	68	1	133	132	1
山梨県	4.0	6.3	163	163	0	0	0	0	163	163	0

図２－７－④－３　半割れシナリオ詳細画面

半割れシナリオ詳細画面で地図表示が可能な指標値は下記の通りである。

- 強震動シミュレーションデータ
  - 計測震度分布（250m メッシュ）
- 強震動および津波シミュレーションに基づくリスク評価結果データ
  - 地震動による死者数分布（250m メッシュ）
  - 津波遡上による死者数分布（250m メッシュ）
  - 地震動と津波遡上による死者数合計値の分布（250m メッシュ）

2)　津波遡上データの市区町村・都道府県表示

令和４年度に実施した Web システムのヒアリングで、最大浸水深分布、津波遡上によるリスク評価結果データの地図表示では、浸水するメッシュが海岸に沿って線状に分布するため、南海トラフの被害全体を概観できる縮尺で表示すると、被害を視認しにくい、という意見が挙がっていた。そこで、被害地域を広域で把握できるように、市区町村単位で最大値・合計値等の集約値を面的に表示可能とすることで、視認性を改良した。市区町村での地図表示例を図２－７－④－４に示す。

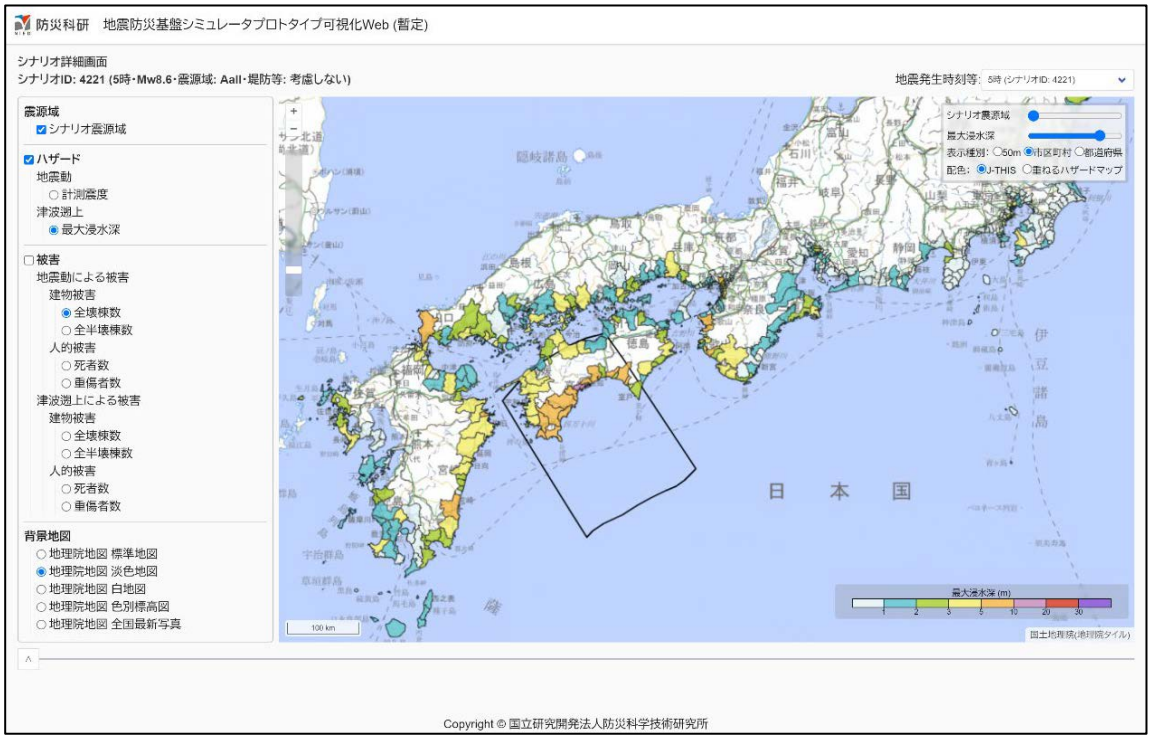


図２－７－④－４　津波遡上（最大浸水深分布）データの市区町村表示

3)　単発シナリオの地域検索機能

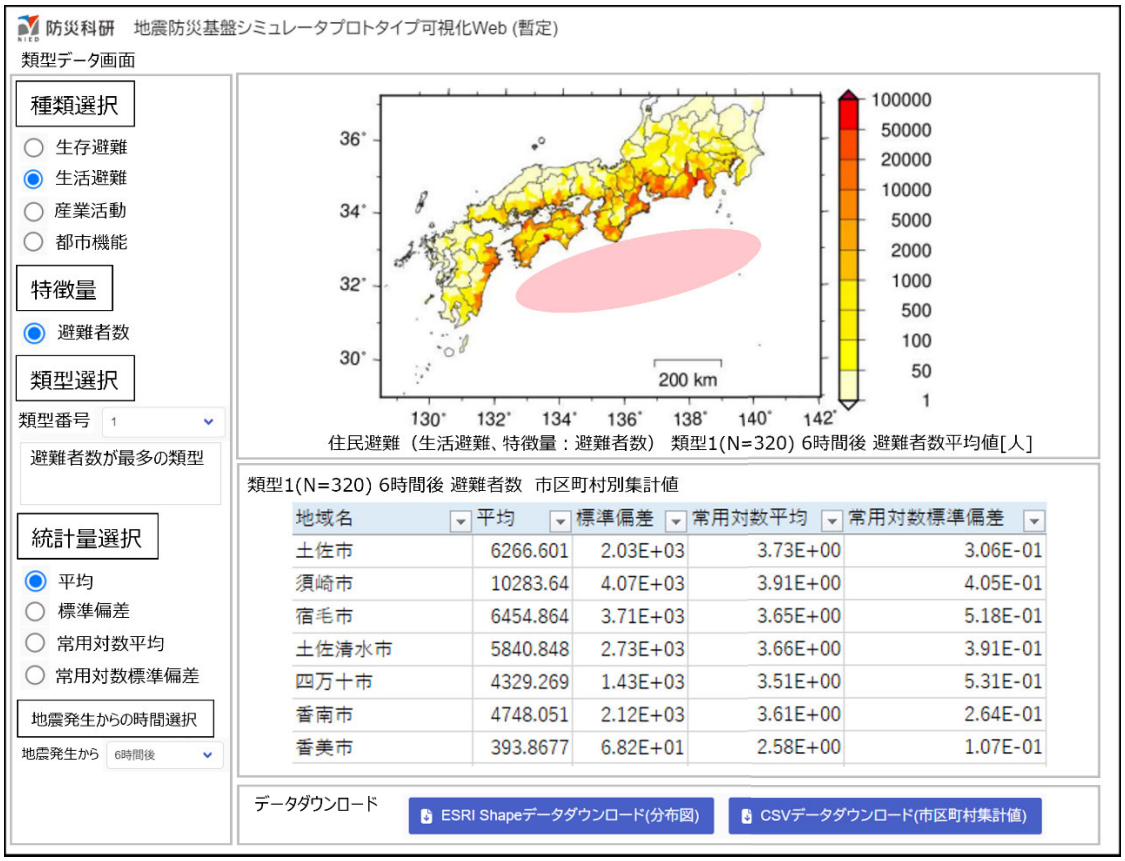
令和４年度に実施した Web システムのヒアリングで、単発シナリオのシナリオ選択画面の検索インターフェースにおいて、特定の地域における被害量などを、地域を指定して検索できると良いという意見が挙がっていた。そこで、この課題に対して地域検索機能を実装し操作性を改良した。地域検索機能を図２－７－④－５に示す。



図２－７－④－５　地域検索機能

4)　地震像の類型化データ表示検討

地震像の類型化データの、地震防災基盤シミュレータでの管理設計と Web システムの要求分析を行った。要求分析結果の Web 画面設計図を図２－７－④－６に示す。



地域名	平均	標準偏差	常用対数平均	常用対数標準偏差
土佐市	6266.601	2.03E+03	3.73E+00	3.06E-01
須崎市	10283.64	4.07E+03	3.91E+00	4.05E-01
宿毛市	6454.864	3.71E+03	3.65E+00	5.18E-01
土佐清水市	5840.848	2.73E+03	3.66E+00	3.91E-01
四万十市	4329.269	1.43E+03	3.51E+00	5.31E-01
香南市	4748.051	2.12E+03	3.61E+00	2.64E-01
香美市	393.8677	6.82E+01	2.58E+00	1.07E-01

図２－７－④－６　地震像の類型化データ　Web 画面設計図

5)　多様性のある地震発生シナリオの利活用（大阪府の社会福祉協議会での事例）

災害発生時に災害ボランティアセンターの運営や被災者に対して福祉活動を実施する大阪府の社会福祉協議会（以下、社協）の実施する行政（大阪府）や府内災害支援団体との連携強化を図るための防災訓練に、南海トラフ地震発生の多様性のあるシナリオを適用した。

具体的には、令和６年１月に大阪府内にて実施された防災訓練である災害ボランティアセンター運営シミュレーションにて多様性のある地震発生シナリオを利用した。大阪府内にて災害発生後の生活支援活動を実施する災害ボランティアセンター（以下、災害 VC）および福祉施設の管理を行う社協を中心とした行政としての大阪府と大阪府内災害時支援ネットワーク組織の３者が参加し、災害発生時の災害 VC 運営での対処課題と福祉施設の被害把握作業について検討した。

地震発生のシナリオとしては、大阪府が甚大被害であることや周辺の広域な地域にも甚大被害が発生することを考慮した。前述の③地震発生の多様性を考慮したリスク評価の 2)地震像の類型化手法の高度化にて記述している代表地震抽出のための指標値パラメータ（α）は、１とした場合には影響が最も大きな地震を抽出する事となり、０とした場合には発生する可能性が最も高い地震を抽出することとなる。

大阪府では、図２－７－④－７に示すとおり地震動と津波浸水の被害を主な対象被害として「①重み重視： α=0.01、類型の中で最も発生する可能性が高い地震を抽出」「②影響重視：α=1.0、類型の中で最も被害が大きくなる地震を抽出」「③その中間：α=0.5、類型の中から影響と可能性の両方に基づいて地震を抽出」の３つの発生パターンを抽出し、訓練の運営委員会が今回の防災訓練に見合うシナリオとして「③その中間」を選択した。訓練は、行政である大阪府災対本部の本部会場と、北摂、河北、河南、泉州の４ブロックに区分けした各ブロック会場をオンラインでつなぎ実施した。図２－７－④－８で示すように、各市町村での災害 VC 開設時に把握しておくべき街の被害状況（地震動震度階、津波浸水、建物被害、人的被害の情報）と関連福祉施設の被害状況を WebGIS ツールと数値情報リストにて府内全域の運営関係者にて共有した。この訓練により、各市町村の備えの不足や、災害発生後の人的と資機材不足を検証することができた。想定される複数の地震発生のシナリオに対する備えの検討は今後の課題とした。

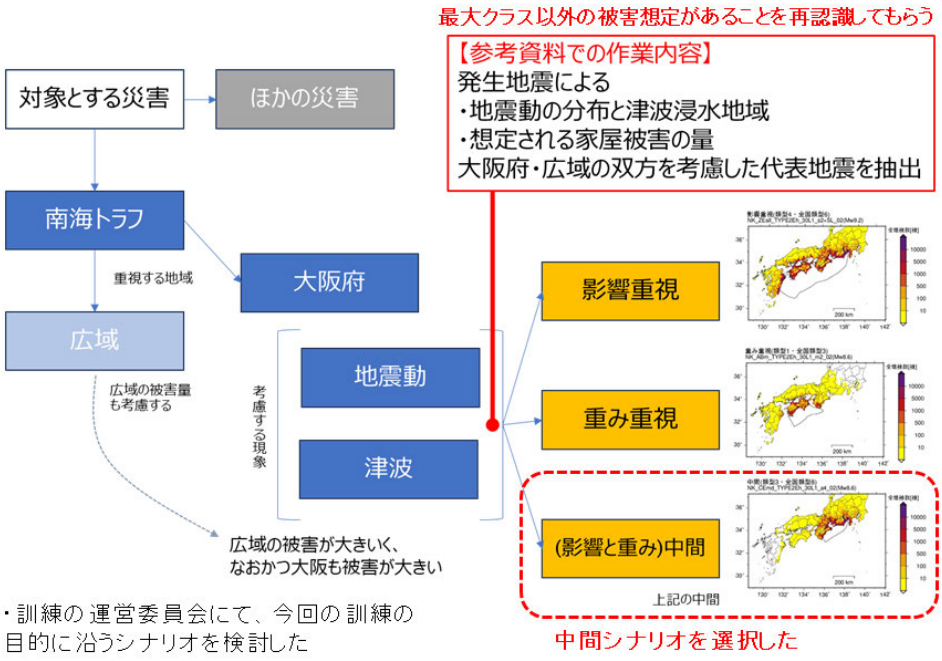


図２－７－④－７　大阪府でのシナリオ選定の流れ

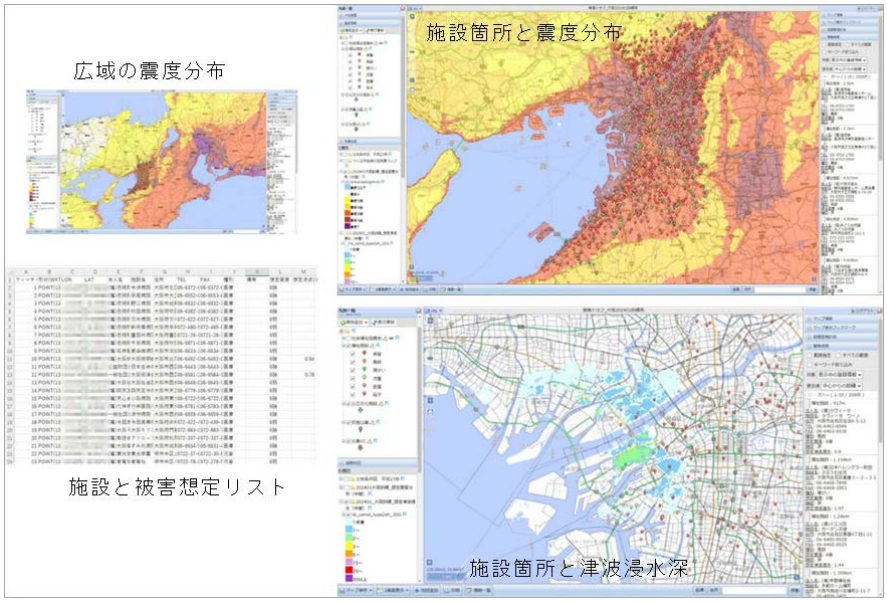


図２－７－④－８　大阪府の社協への情報提供（GIS ツールによる表示とデータ）

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめ、今後の課題を以下に示す。

1) 半割れケースに着目した条件付きリスク評価を情報提供とする半割れ Web サイトを構築した。
2) Web システムに、津波遡上データの市区町村・都道府県表示機能、地域検索機能を構築した。
3) 地震像の類型化データの、管理設計と Web システムの要求分析を行った。
4) 多様性のある地震発生シナリオを大阪府の社会福祉協議会が実施する防災訓練に適用した。

(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（2024.3.19 確認）
2) 防災科学技術研究所，e コミュニティ・プラットフォーム，
https://ecom-plat.jp/index.php?gid=10443（2024.3.19 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

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
南海トラフ巨大地震を対象とした地震防災基盤シミュレータのプロトタイプ開発（ポスター）	中村洋光 前田宜浩 土肥裕史 内藤昌平 石丸晴海 時実良典 藤原広行	地球惑星科学連合大会2023	2023.5	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

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	高橋　成実
	副部門長	中村　洋光
	主任研究員	近貞　直孝
	特別研究員	水井　良暢
	特別研究員	崔　青林
	主任研究員	李　泰榮
	特別研究員	池田　真幸
	特別研究員	大塚　理加
国立研究開発法人海洋研究開発機構	主任研究員	今井健太郎
	アドバイザー	長田　啓志
	技術スタッフ	大林　涼子
	事務主事	村上　雅亮
	事務副主幹	小柳津昌久
国立大学法人香川大学	特任教授	金田　義行
	教授	野々村敦子
	技術補佐員	高橋　真里
	係員	園田　恒亮
国立大学法人徳島大学	教授	馬場　俊孝
	講師	湯浅　恭史
	講師	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	中井健太郎
	准教授	平山　修久
	客員教授	新井　伸夫
	特任准教授	都築　充雄
	特任助教	千葉　啓広
公立大学法人兵庫県立大学	教授	阪本真由美
	准教授	松川　杏寧
人と未来防災センター	主任研究員	高原　耕平
静岡県公立大学法人静岡県立大学	特任教授	楠城　一嘉
国立大学法人大分大学	教授	小林　祐司
近畿大学 生物理工学部	准教授	島崎　敢

(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・社会学的な成果を、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、軟弱地盤による構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、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、軟弱地盤による構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回実施した。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した。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、定量化を進めた。

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回実施した。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た。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、定量化を進めた。

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する。

(e) 令和５年度業務目的

ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の４つに分類した防災上の特性を踏まえた情報発信検討会を開催する。サブ課題１とサブ課題２、また、サブ課題３の中での検討結果を情報発信検討会で報告し、地域や企業側からの意見を取りまとめ、情報発信の在り方を探る。サブ課題３では、地域防災計画を鑑み、津波瓦礫、軟弱地盤による液状化など、災害軽減の観点から、シミュレーション研究などの研究結果を地域に還元する。さらに、サブ課題３で発信する情報が適切な防災行動につなげることができているのか、つながっていないとすればどのような情報が不足しているのか、特定多数を対象とした情報リテラシー向上に向けたアンケート調査を行うとともに、地域防災を担う人材の育成にも貢献する。

(2) 令和５年度の成果

①地域の防災上の課題評価

(a) 業務の要約

延岡市市街地を例に、津波瓦礫の漂流、集積・堆積、氾濫、軟弱地盤の評価を実施した。これまで、津波瓦礫の漂流では、尾鷲市を例に津波瓦礫即時予測を構築してきたが、これを延岡市で適用する場合は、より広域の評価が求められるため、計算のパラメータを絞ることができるか、いくつかのパラメータの感度解析を実施した。底面摩擦係数、付加質量係数、瓦礫同士の斥力は考慮すべきパラメータであることを確認した。

津波瓦礫の集積・堆積については、極端に集積する場所がある状況よりも薄く広く堆積する傾向が示された。また、津波氾濫について、水門の開閉により違いも評価したが、いくつかの水門ではわずかながら閉めた方が浸水深が浅くなる傾向が示された。

軟弱地盤の評価では、延岡市の深部地盤にはＮ値の小さいシルト層があり、低周波成分を含む地震動が励起された場合には特に揺れが大きくなり、平均有効応力低下がみられせん断ひずみも大きくなることが示された。また、二次元計算を通じて、盆地状の地盤構造も実体波や表面波のエッジ効果やレンズ効果で局所的に揺れが大きくなるところがあることが示された。

(b) 業務の成果

1）延岡市市街地における津波瓦礫の漂流に関する検討

これまで尾鷲市で実施してきた津波瓦礫の漂流に関する検討を宮崎県延岡市で行った。延岡市は、五ヶ瀬川と大瀬川、祝子川、北川の４河川に、南方から浜川という中小河川が流れ込む地域である。そのため、尾鷲市よりもより規模の大きい都市の例として、

延岡市を選択していた。これまで津波対策を講じる上で、どのような津波が発生し、どのような被害が想定されるのかを予め数値計算によって見積もることは非常に重要であるが、その被害想定には浸水深のみが用いられることほとんどである。2011 年東北地方太平洋沖においては、建物の倒壊やそれに伴う瓦礫の発生、車両や船舶を含めた漂流被害が発生し、集積した災害瓦礫による火災によって被害が拡大したのは周知のとおりである。そこで津波波力に基づく建物倒壊による災害瓦礫の発生と災害瓦礫の漂流を考慮した津波ハザード評価手法の検討を行ってきた。

近い将来発生が想定されている南海トラフ地震により生じる津波について、内閣府南海トラフ巨大地震津波モデル検討会[1)]から公表されている津波初期波源 11 ケースを用いて、津波被害が想定される宮崎県延岡市を対象例として、災害瓦礫を考慮した津波ハザード評価手法の検討を行っている。本検討では、小園ら[2)]の津波波力に基づく建物倒壊を考慮した津波浸水計算手法を用いた。この手法では、建物を地形として取り扱い、津波の伝播は二次元の浅水方程式に基づいており、波力に応じて建物の倒壊判定を行う。個々の建物を十分な解像度で地形として扱うためには高分解能な地形モデルが必要であり今回は２ｍ分解能で地形モデルを作成した。一方、初期波源全域をカバーするには格子数が膨大になるため解像度を落とす必要があり、２ｍ、10ｍ、30ｍ、90ｍ、270ｍ、そして 810ｍの分解能で高分解能の接続のみ１：５とし、他は１：３で接続するネスティングとした。なお、浸水想定域として２ｍ分解能で延岡市の浸水想定域の全域をカバーするため、約 4,000 x 約 2,000 メッシュとなっている。続く災害瓦礫の漂流計算については、先の津波浸水計算において倒壊判定された建物による瓦礫と車両及び船舶を漂流物として計算する。漂流計算には、小園ら[3)]による複数の移動形態を考慮した計算手法を用いている。

倒壊しなかった建物等に対する津波とその瓦礫が衝突する際の影響を考慮するためには、津波瓦礫が堆積している状況や瓦礫同士を考慮する必要がある。特に、地震津波に対して防御すべき重要施設に対して適切な対策を施すためには、このような評価が重要となる。津波瓦礫については、流速や浮力の条件が満たされた際に漂流もしくは堆積する。数値計算上では、底面摩擦係数と付加質量係数[3)]によって表現され、さらに、津波瓦礫同士の衝突による斥力の扱いによって、特に遡上先端での堆積の様子が異なることが想定される。そこで、改めて計算パラメータの影響を検討するため、田島ら[3)]の水路実験によって得られた木片の挙動を再現するための計算パラメータの影響を検討した。昨年度検討した津波波源による挙動の違いに加えて、漂流条件の違いについても適切に考慮する必要がある。検討結果の一例を図２－８－①－１に示す。図２－８－①－１上図は、底面摩擦係数μの違い（μ=0.7、 0.1、 5.0）を表しており、底面摩擦係数が小さい場合に、漂流物が遡上先端に集中することが確認でき、更に衝突による斥力により遡上先端よりも先に漂流物が放出される様子が確認できた。図２－８－①－１下図は、付加質量係数 Cm の違い（Cm=2.5、 10）を表しており、付加質量係数が小さい場合に、喫水深内に漂流物が入り、底面摩擦の影響が出始め引き波によって漂流物が離散的に滞留する様子が確認された。更に極端な影響評価として、斥力を考慮しない場合の違いについて図２－８－①－２に計算結果を示す。斥力を考慮しない場合は、それぞれの津波瓦礫が独立に漂流し喫水深内での堆積判定により極端に遡上端に堆積する様子が

確認された。防災上、過大な計算結果にも備える対策を行うことは一部適切である場合もあるが、極端な課題な対策は現実的ではなくなるため、津波災害防災に向けた適切な計算パラメータ適切な検討が重要であることが示された。

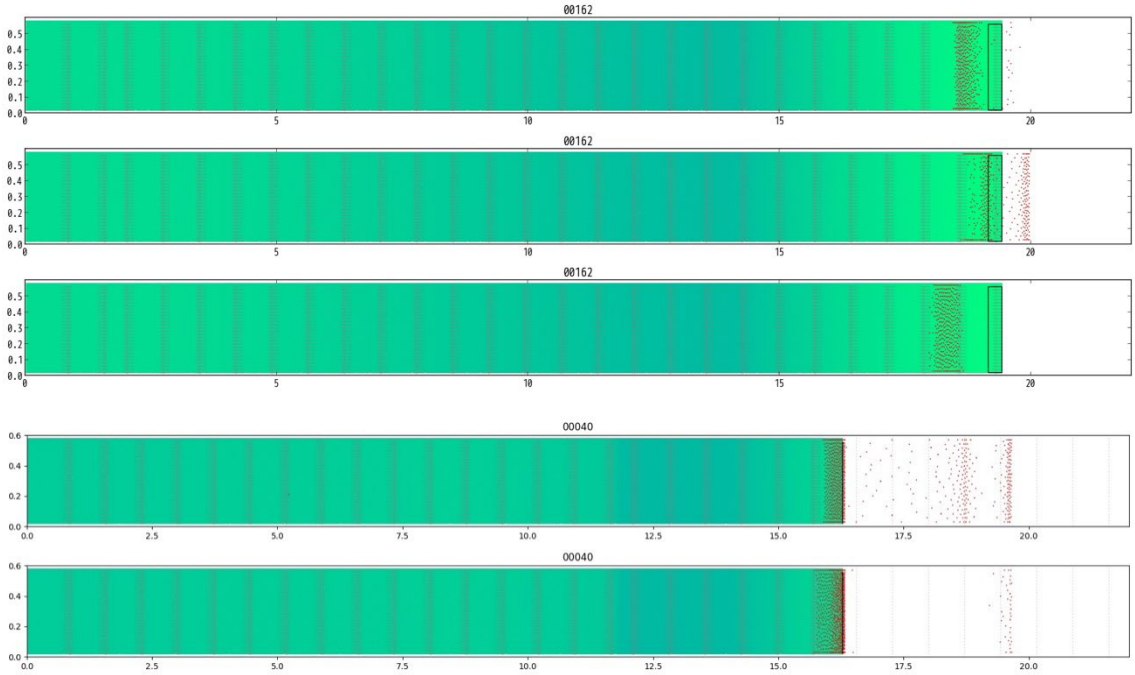


図２－８－①－１　計算パラメータの違いによる漂流及び堆積の違い。上図は、底面摩擦係数μの違い（μ=0.7、 0.1、 5.0）、下図は、付加質量係数 Cm の違い（Cm=2.5、 10）を表す。

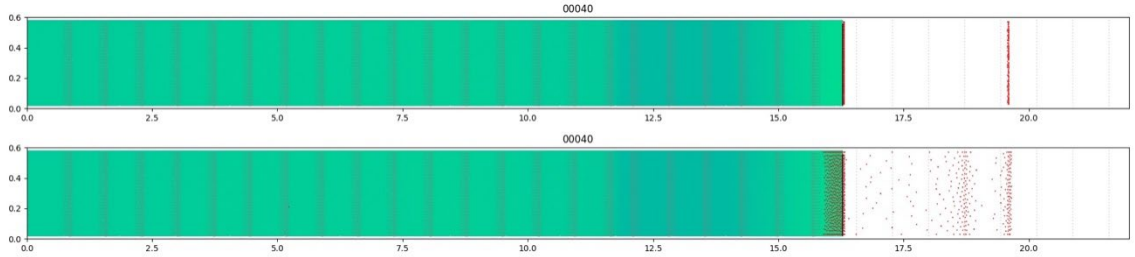


図２－８－①－２　斥力を考慮しない場合の計算比較。

2）延岡市市街地における津波瓦礫の集積・体積と水門開閉による津波氾濫に関する検討

a）南部市街地における津波による木質瓦礫の集積・堆積に関する検討

延岡市南部中心市街地を流れる運河である浜川は、上流に立地している旭化成の化学製品向けの工業用水として利活用されている。当該運河には直立堤が設置されている箇所はあるが両岸の天端高さを揃えるために設置されており、計画高水位を越える河川水位となる場合には、護岸高さを越え、直接市街地を氾濫することになる。この氾濫流により、市街地における木造建物の被害が懸念される。本業務では、波源断層モデルに内閣府 M9 クラスのモデルを用い、延岡市の南部地域中心市街地を対象として津波による木質がれきの集積・堆積についての検討を実施した。

i) 津波瓦礫の集積解析に資する諸データ整備

津波による木質瓦礫発生予測を行うために、内閣府の波源断層モデルによる浸水深分布、浸水域および浸水境界を基準とした遡上距離に対応する測線帯、建物属性判別とその推定瓦礫量、地形勾配のデータ整備を実施した（図２－８－①－３）。建物形状と属性情報の整理については、国土地理院の基盤地図情報[1)]の建物形状に都市計画基礎調査の建物属性情報を空間結合により追加して補正を行った。

本業務に用いた木造建物の津波被害関数を図２－８－①－４に示す。確率密度関数における平均と標準偏差は Imai et al.(2022)[2)]の方法で算出した。本図によると、おおよそ浸水深が３m 程度で流失被害率が 50%に達することがわかる。本業務では流失被害率が 50%を越える場合に木造建物を流失と判定した。

木質瓦礫の発生量については、各波源断層モデルによる浸水深から木造家屋の被害率を算出し、各建物から排出される瓦礫量を推計した。建物瓦礫に含まれる可燃物量は、以下に設定した[2)]。

・固定可燃物量　最上階：150 kg/m^2、途中階：60 kg/m^2

・積載可燃物量　住宅系：27.5 kg/m^2、業務施設：22.3 kg/m^2

全ての普通建物は木造家屋とし、積載可燃物量は建物用途を住宅類として算出した。

津波浸水深分布は津波数値解析により評価した。内閣府（2012）の波源断層モデルとし、計算領域は千葉県から九州の太平洋沿岸を含む空間分解能 810m の大領域から延岡市周辺の 10m まで、段階的にネスティング処理を行った。陸上地形モデルには相当粗度モデルを用いた。図２－８－①－５に津波最大浸水深分布の一例に示す。本解析では図２－８－①－５で示す浸水深と設計被害関数により流失となる建物を特定し、流失建物の形状や階数から木質瓦礫体積を推定した。内閣府モデルのうち、最大の浸水域となる Case 11 では最大浸水深は３m 程度、生じ得る木質瓦礫量は 100,193m^3 となった。2011 年東北沖地震における津波瓦礫の陸上打ち上げ量は家屋流失量のおおよそ 3～7 割程度になっていたため[2)]、本業務では 7 割が陸上に集積すると仮定した。なお、延岡市当該地域の瓦礫量は 1 平米当たり 0.015m^3 となり、2011 年東北沖地震における大槌町（0.54m^3）のおおよそ 1/36 程度の瓦礫算出量である。

ii)南部中心市街地における津波瓦礫の集積解析結果

図２－８－①－６は内閣府の波源断層モデル Case 11 における浸水境界に沿った 10m 間隔の測線帯の例を示す。浸水境界から汀線に向かって 10m 幅となるように測線帯を設け（図２－８－①－６左）、遡上境界から測線帯までの距離を定義した。図２－８－①－６右に任意位置における距離別建物の存在有無判別指標の例を示す。距離によって重み付けを行い、建物判別指標を評価している。瓦礫堆積量とその分布に関する簡易モデルの詳細については、既報[3)]を参照されたい。

図２－８－①－７に当該地域における内閣府モデル Case 11 における津波瓦礫堆積分布を示す。前述のとおり、市街地における津波浸水深分布は３m 程度であり、木造建物流失量も比較的軽微であるため、10m メッシュ平均では数十センチの瓦礫厚程度で、目立った集積は生じないことがわかった。ただし、本業務では木造建物に焦点を絞った解析結果であり、自動車やコンテナなどの漂流による被害も十分考えられる。

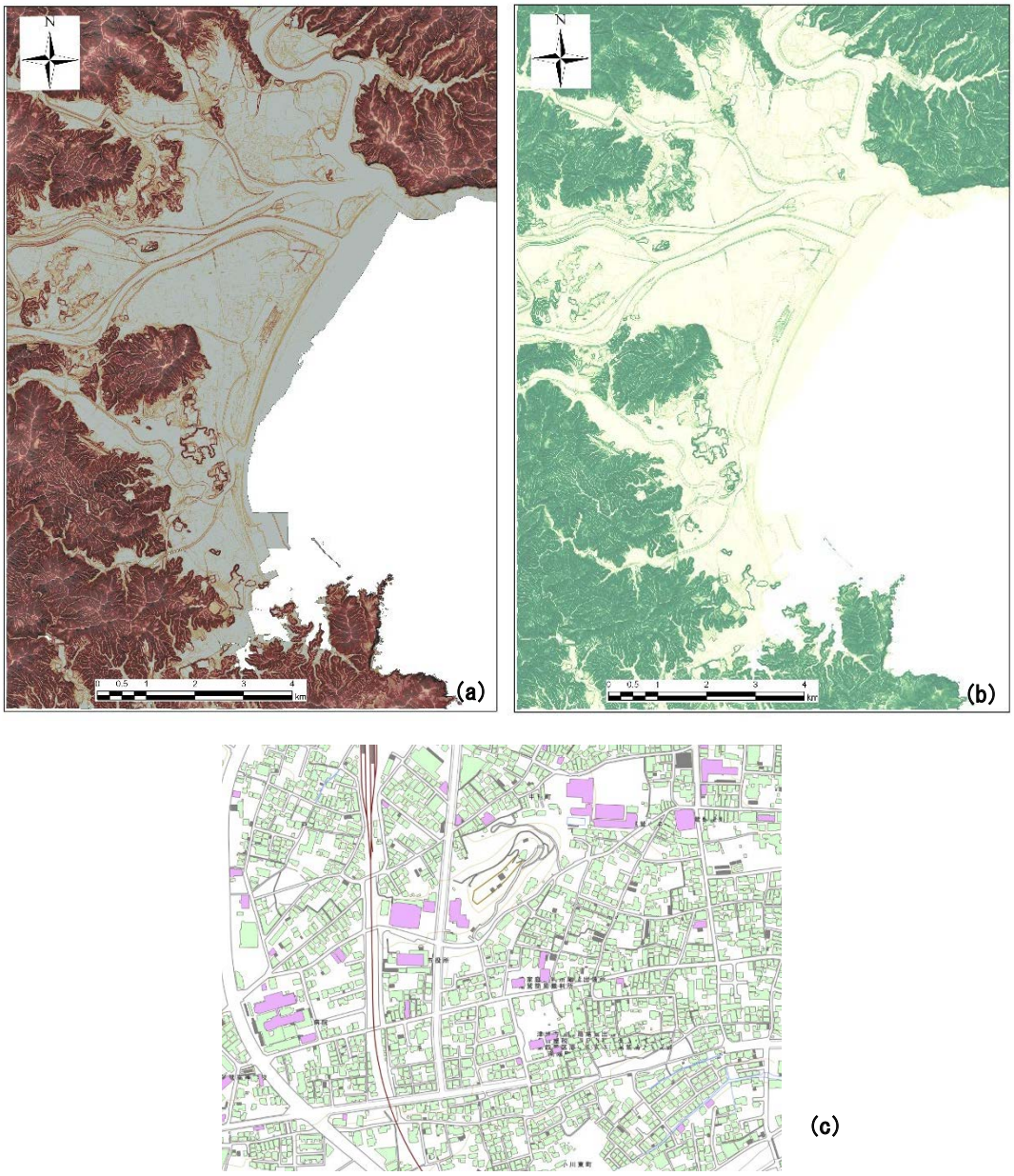


図２－８－①－３　津波瓦礫予測に利用した土地情報関連データ。(a) 10m メッシュ標高図（CS 立体図）。（b）傾斜勾配図。（c）木造建物と堅牢建物の分類例。普通建物（緑）、堅牢建物（紫）、無壁（その他）。

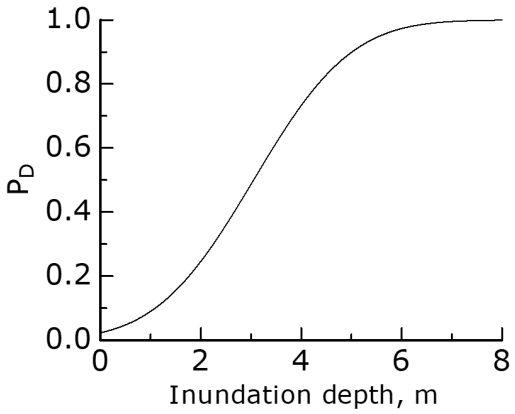


図２－８－①－４　本業務で用いた津波による建物流失に関する設計被害関数 [2)]

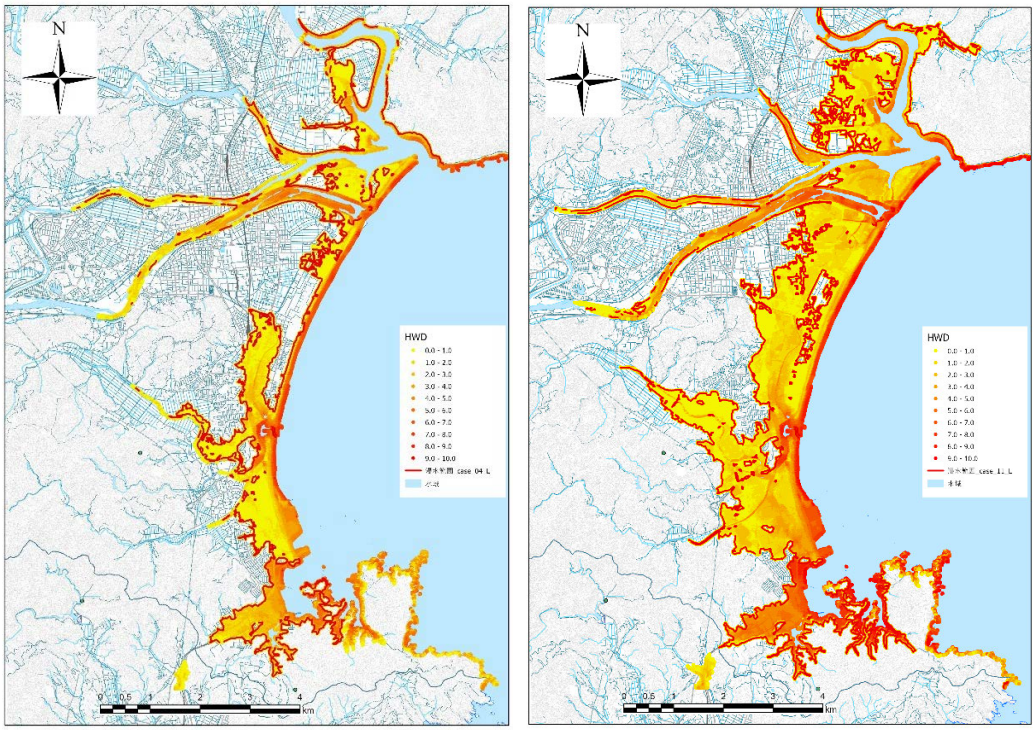


図２－８－①－５　内閣府(2012)の波源断層モデルによる津波最大浸水深分布の一例。（左）Case ４、（右）Case 11

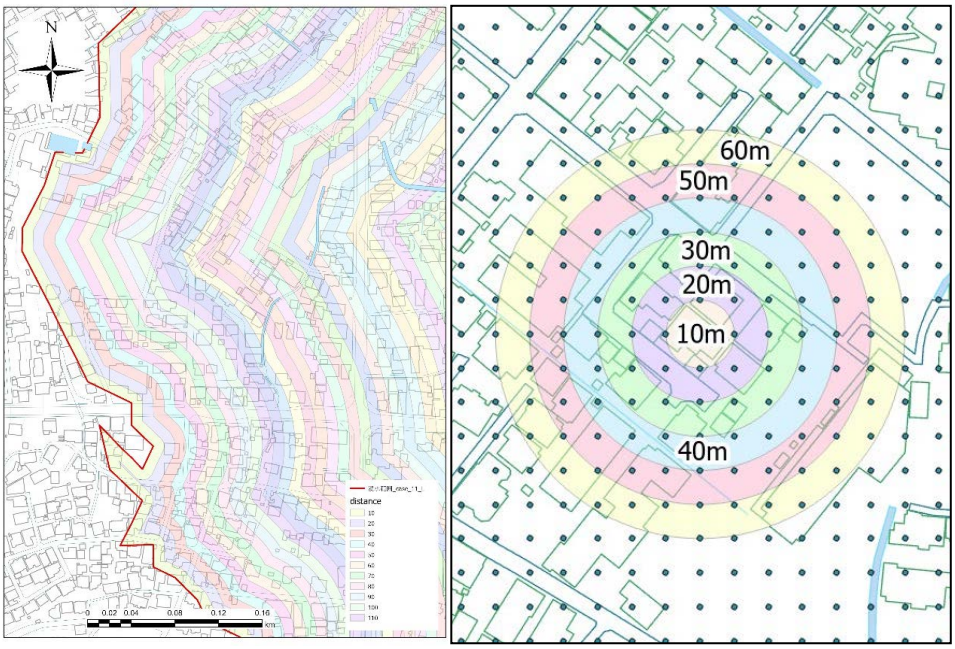


図２－８－①－６　津波瓦礫の集積解析。（左）浸水境界に沿った 10m 間隔の測線帯。（右）距離別建物の存在有無判別

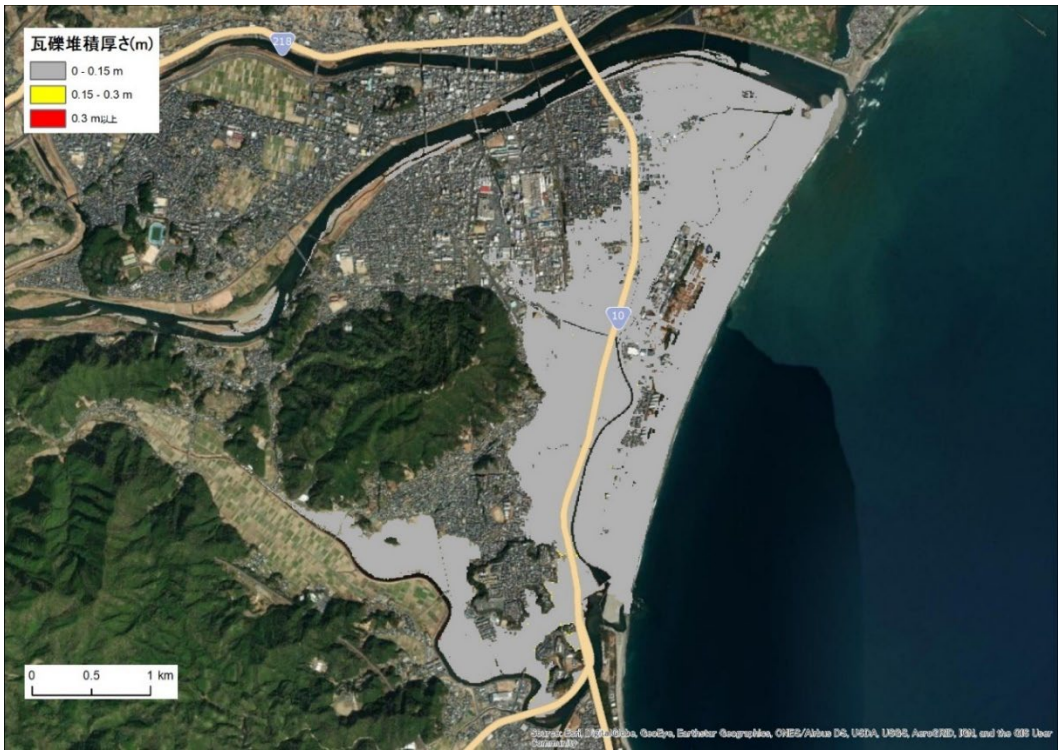


図２－８－①－７　内閣府モデル Case 11 における津波瓦礫堆積分布

b）北部市街地における水門・樋門の浸水抑制機能に関する検討

北部中心市街地は、五ヶ瀬川流域を中心に発展してきた。延岡市では、津波対策として、五ヶ瀬川流域のうち、大瀬川、五ヶ瀬川、祝子川、北川の河口には遠隔で開閉可能な水門・樋門が設置されている。本業務では M9 クラスの津波（内閣府モデル）に対する水門・樋門の浸水抑制機能について検討を行った。

i) 合成地形モデルの作成

本業務で利用した地形モデルは、内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会データ（地形データ）と国土地理院 基盤地図情報（航空レーザー測量５ｍメッシュ標高）を利用して作成した。合成地形モデルの建物占有率及び建物高さには平成 30 年度宮崎県都市計画基礎調査 GIS データを使用した。計算領域は空間分解能 810 m から 10m においては、内閣府データからの提供データを使用した。延岡市北部市街地においては、空間分解能を 10/３ｍとし、水域は内閣府データ 10m と陸域は国土地理院による基盤地図情報５m メッシュ標高を用いて線形内挿補間で構築した（図２－８－①－８）。合成地形モデルに用いられる 10/３ｍメッシュの起伏地形標高は、地盤標高に建物ポリゴンの高さを加えて作成した（図２－８－①－９）。建物高さは平成 30 年度宮崎県都市計画基礎調査 GIS データ の建物階数に３ｍを乗じたものである、合成地形モデルデータの基礎となる建物情報は、延岡市の平成 30 年度宮崎県都市計画基礎調査 GIS データをポリゴン形式から 10/３ｍメッシュのラスター形式に変換したものである。作成した建物情報は建物用途、建物階数、建物構造である。合成地形モデルは建物占有率と起伏地形標高の組み合わせで構成される。建物占有率は、１メッシュを占有する建物面積割合を０～１（０～100%）で表現したパラメータであり、この該当メッシュでは建物の影響を低面摩擦で擬似的に表現するために必要となる。

ⅱ) 海岸・河岸構造物および水門・樋門の諸元

海岸・河岸構造物情報データは線堤防として定義した。270m メッシュから 10m メッシュまでの天端高は内閣府提供データ [4]を使用した。10/３ｍ メッシュでは、国土地理院の５ｍメッシュ [5]、天端高は延岡市国土基本図 2500 分の 1 の堤防位置を参照して内閣府の値を按分して割り当てた。図２－８－①－10 は五ヶ瀬川流域の海岸・河岸構造物および水門・樋門の分布図である。本業務では追内川水門、無鹿樋門、友内川水門、大武川水門と妙田樋門の開閉の影響を検討した。図２－８－①－11 は各水門及び樋門周辺の地形図である。各水門の幅は 3.5～13.4m であるため、空間メッシュサイズは 3.5m 以下が必要になることがわかる。

ⅲ）津波氾濫解析条件

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。計算領域は波源を含む千葉県から九州の太平洋沿岸を含む空間分解能 810m の大領域から延岡市周辺の 10/３ｍまで、段階的にネスティング処理を行った。ここでの津波氾濫解析は内閣府モデルのうち、九州東岸に大きな影響を及ぼす Case 11 を対象とした。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。

iv) 水門・樋門の開閉を考慮した津波氾濫解析

図２－８－①－12 に水門・樋門の開閉を考慮した最大浸水深分布を示す。(a)は本業務で開閉を考慮した水門をすべて開けた場合、(b)は追内川水門のみ閉門、(c)は無鹿樋門のみ閉門、(d)は友内川水門のみ閉門、(e)は大武川水門のみ閉門、(f)は妙田樋門のみ閉門した場合である。図(a)と(b)の比較から、追内川水門を閉門したとしても、水門両岸から浸水が生じることから堤内地の浸水は免れることはできない。ただし、浸水域内の最大浸水深を若干であるが低減させる効果を確認することができる。図(a)と(c)の比較から、最大浸水深分布の変化を確認することができない。友内川北部に位置する無鹿樋門からの浸水はそもそも少ないためと考えられる。図(a)と(d)の比較から、追内川水門と同様に、友内川水門を閉門したとしても、水門両岸から浸水が生じることから堤内地の浸水は免れることはできないが、堤内地の浸水深分布の低減を確認することができる。大武川水門については、図(a)と(e)の比較から、浸水域内の最大浸水深を若干であるが低減させる効果を確認することができる。妙田樋門（図(f)）にいついては、水門開閉に関わらず最大浸水深分布の変化を確認することができない。妙田樋門を閉門したとしても、水門両岸から浸水が生じることから堤内地の浸水は免れることはできないことがわかる。

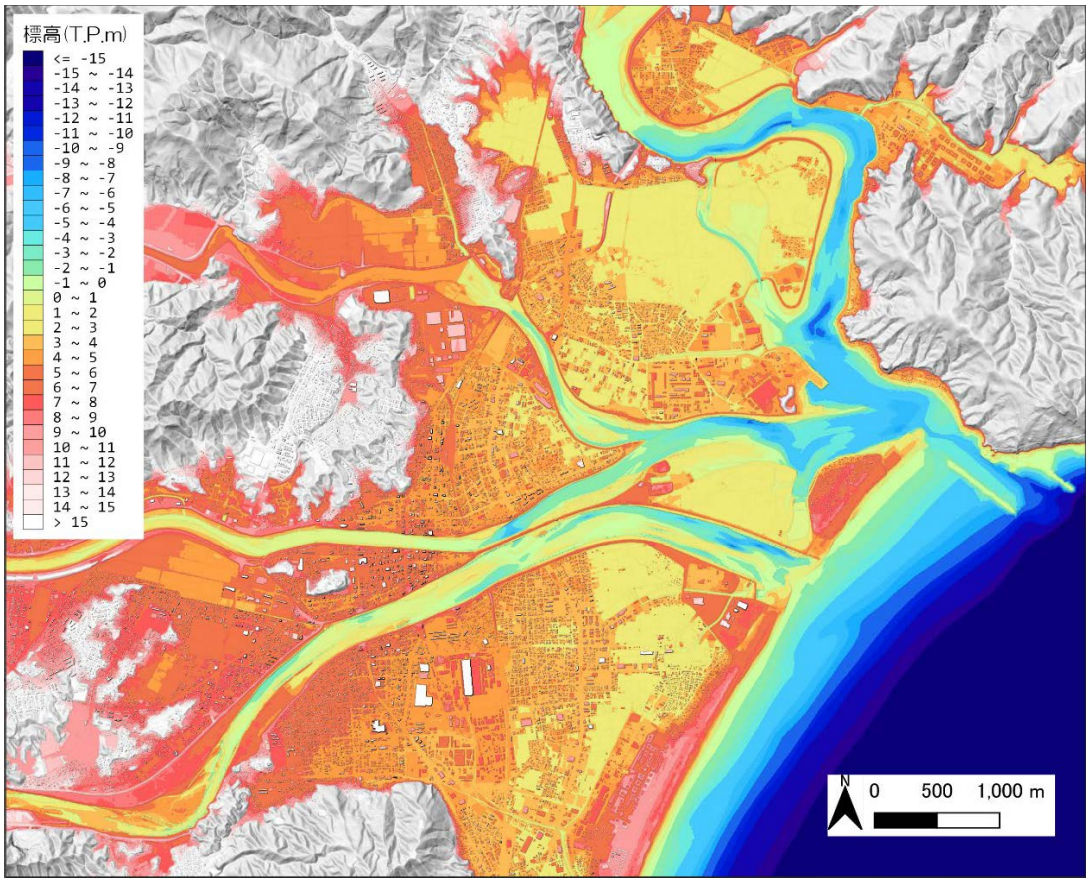


図２－８－①－８　地形モデル（10/３ｍメッシュ）

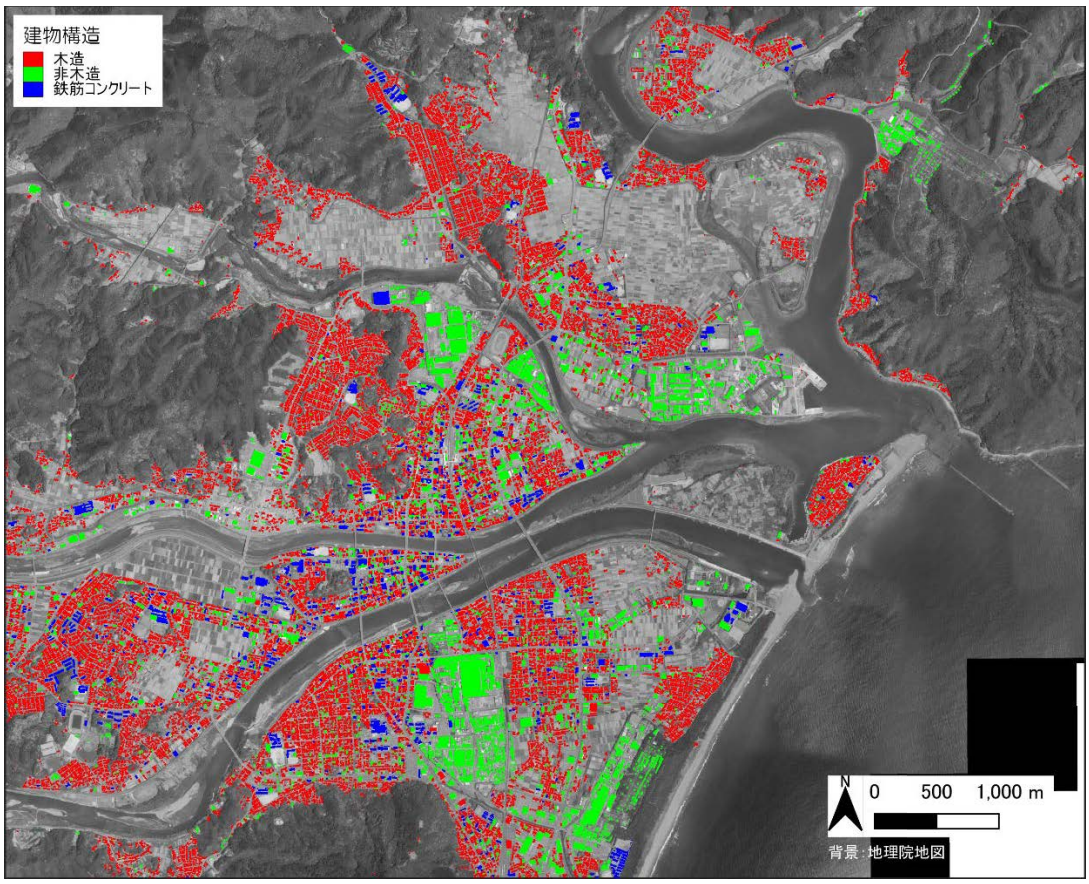


図２－８－①－９　合成地形モデルに用いた起伏地形（10/３ｍメッシュ）

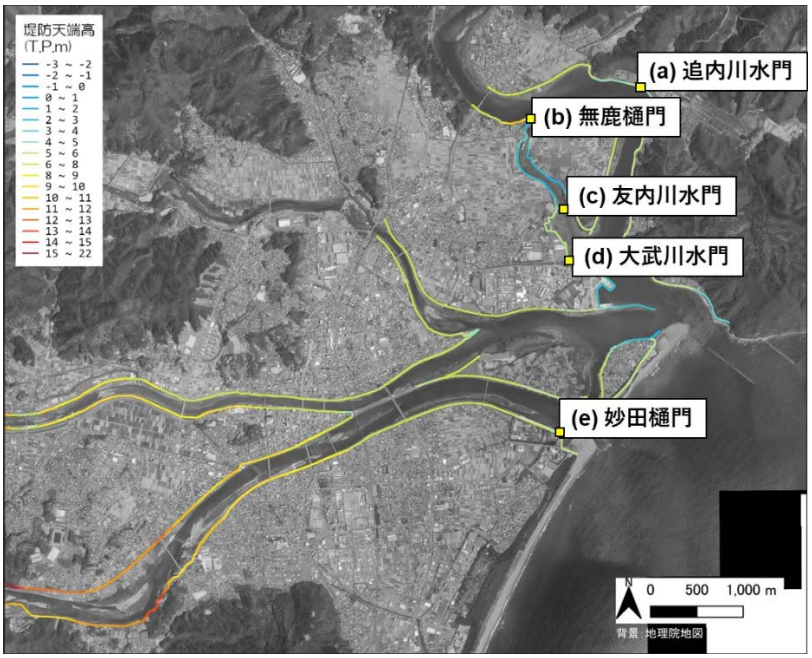
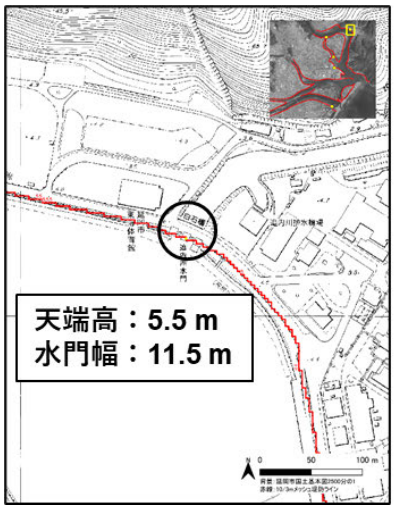
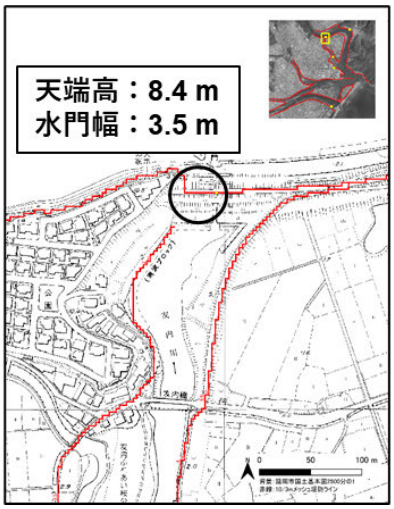


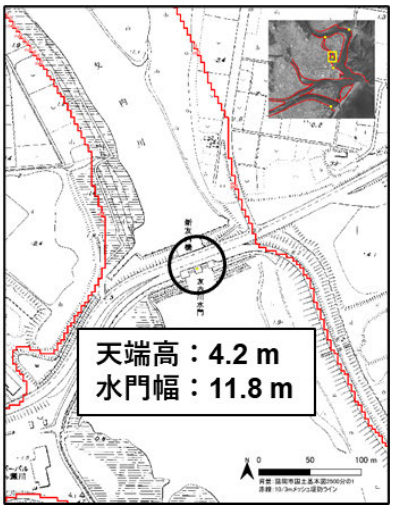
図２－８－①－10　海岸・河岸構造物および水門・樋門



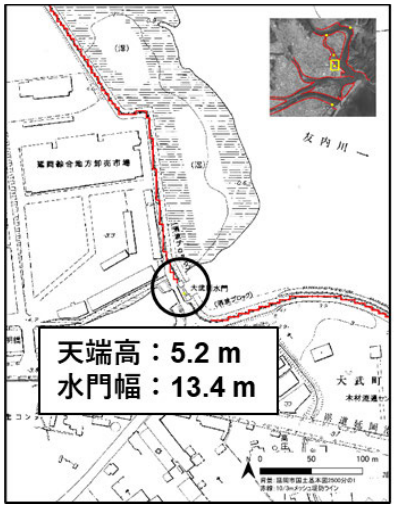
（a） 追内川水門



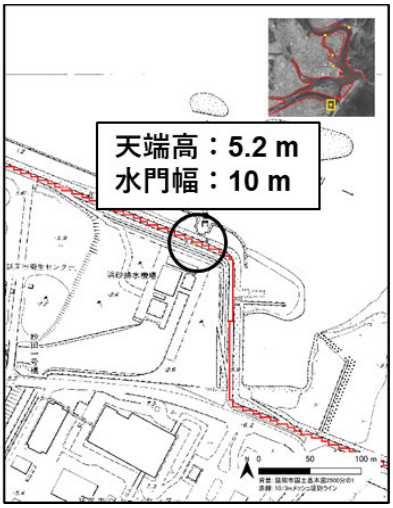
（b） 無鹿樋門



（c） 友内川水門

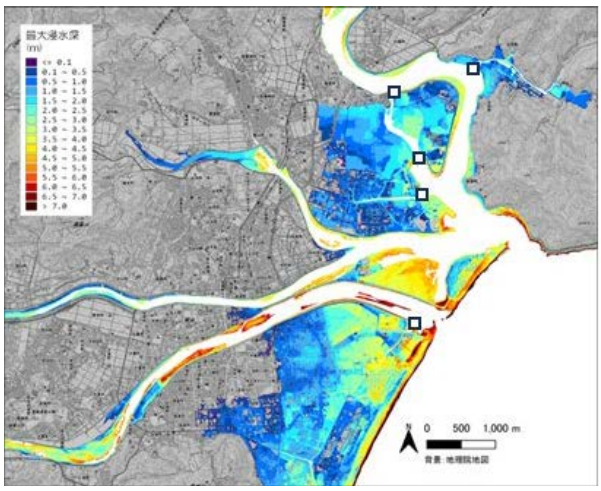


（d） 大武川水門

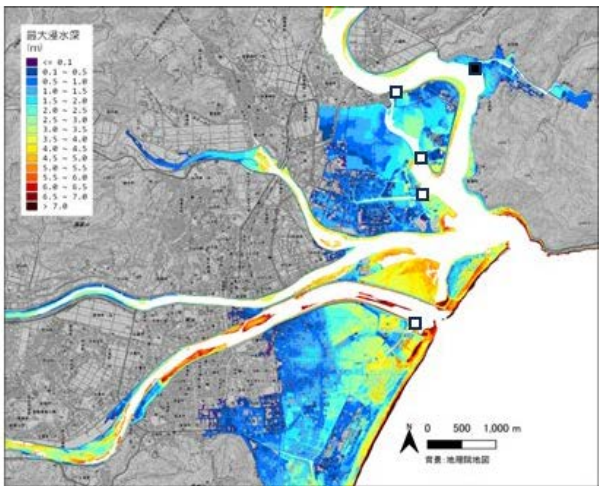


（e） 妙田樋門

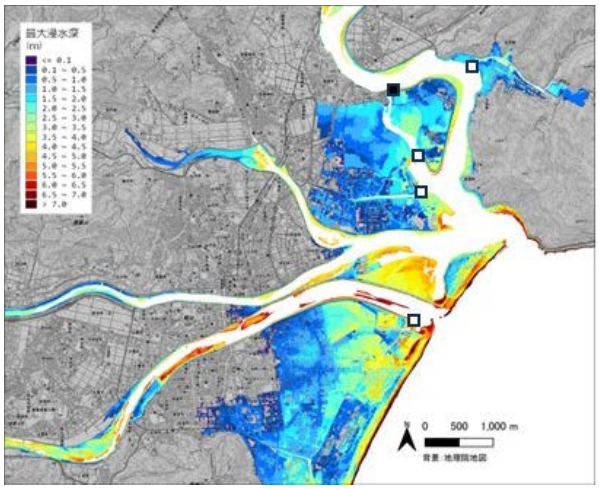
図２－８－①－11　各水門・樋門周辺の地形



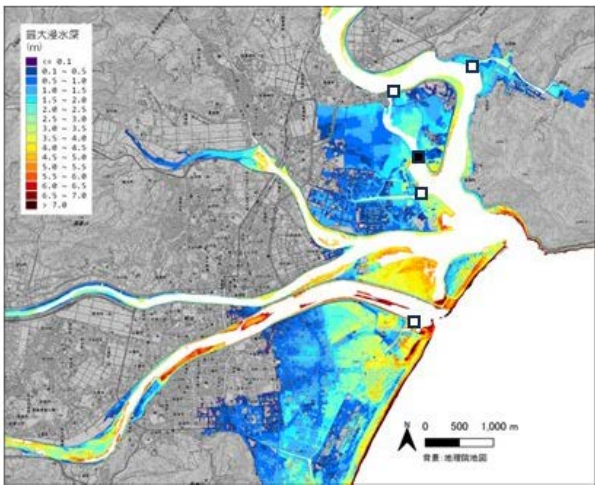
(a) 水門・樋門全開



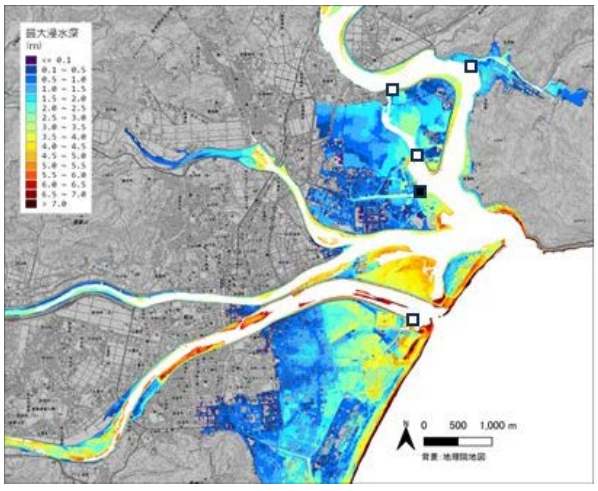
(b) 追内川水門閉



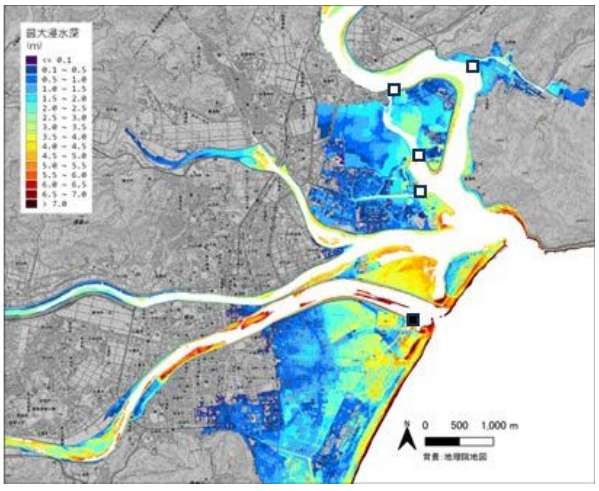
(c) 無鹿樋門閉



(d) 友内川水門閉



(e) 大武川水門閉



(f) 妙田樋門閉

図２－８－①－12　水門樋門開閉による最大浸水深分布の変化

3）浅部地盤情報（軟弱土の弾塑性性状と地層不整形性）を考慮した地震被害予測

東京・大阪・名古屋などの大都市をはじめ、我が国の都市部のほとんどは堆積盆地上の軟弱な沖積平野に立地している。沖積平野には人口の 50%、資産の 75%が集中しており、南海トラフ巨大地震など、広帯域成分を有する長時間継続地震動が切迫する中、これら地域における精緻な地震被害予測とそれに基づく適切な対策は喫緊の重要課題である。堆積盆地（図２－８－①－13）では、震源断層から発生する地震波が厚い堆積層で増幅されるとともに、地層不整形性に起因して盆地境界で表面波が生成・転換されて実体波と干渉するため、地表付近では長周期かつ長時間継続する揺れが生じる（ここで「長周期」は２～20 秒程度の周期を指す）。内閣府はこれに対し、「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」の中で、高層建築物の長時間続く揺れや石油タンクのスロッシングなど、長周期の揺れと構造物の共振被害について公表している。しかし、この報告では長周期地震動が表層地盤被害に及ぼす影響が未検討な上、重要な見落としがある。つまり、堆積盆地内に存在する、沖積層と洪積層で構成される「小規模不整形性」の影響についてである。 この小規模不整形性は、堆積盆地の不整形性と比べて幾何的規模がごく小さく、速度構造のコントラストが小さいため、固有周期が短いものの、堆積盆地と同様に、実体波の増幅、表面波の生成、表面波と実体波の増幅的干渉（エッジ効果[1)]）が生じ、規模や形状に応じて複雑な波動伝播特性を示す。加えて、やや長周期で長時間継続する揺れが顕著となるため、表層地盤の地震被害を拡大させる（「やや長周期」は 1～数秒程度の周期を指す）。しかし、現行の地震被害予測では、この小規模盆地内の地層不整形性に起因する揺れ増幅の影響が全く考慮されていない。

地層不整形性に起因する長周期地震動の一例として、能登半島沖地震（2024）では、東京・大阪・名古屋といった沖積平野上の大都市圏で特徴的な長周期の揺れが見られた。図２－８－①－14 に示すように、地表面の最大加速度 PGA は、震源である能登半島沖から離れるほど距離減衰によって小さくなる。一方で、長周期地震動階級の分布については異なる傾向が見られる。本来であれば加速度と同様に、震源からの距離に応じて階級も下がっていくと考えられるが、先に述べた東京・大阪・名古屋の沖積平野においては、震源からの距離に反して、局所的に階級２の地震動を観測している。これらの地域で長周期地震動を観測した原因は、堆積盆地内での地震動増幅に加えて、端部の地層不整形性に起因して発生した表面波が影響していると考えられる。

さらに、強震動に対する表層地盤被害を精緻に予測するためには、浅部地盤に堆積する軟弱土が示す強非線形性を適切に考慮することが重要となる。しかし、地震学で発展してきた従前の強震動研究においては、サイト特性（地盤構造）の評価は、工学的基盤より上の表層地盤内での地震動の減衰・増幅特性のみに着目して弾性波動論に基づいて実施されており、浅部地盤の（塑性）変形や弾塑性地盤の複雑な強非線形応答までは考慮されていない。また、内閣府や各自治体が公表しているハザードマップでは、等価線形解析や非線形解析（全応力解析）が一通り実施されているものの、経験的な N 値とせん断波速度 Vs の関係式に基づく鉛直一次元計算から地表震度や液状化危険度を求めており、家屋被害率や液状化後沈下量も経験式から算出するに留まっている。しかし、浅部に堆積する地盤材料は、地震波動を伝達する地殻や岩盤のような弾性材料ではなく、自ら地震に伴う繰返し荷重によって力学特性を複雑に変える弾塑性材料なのである。新

潟地震（1964）やアラスカ地震（1964）で砂質地盤の液状化被害が注目されて以降、地震被害と言うと砂質地盤の不安定現象が注目されてきたが、過去の地震被害を精査すると、メチオカン地震（1985）、トルコ地震（1999）、ネパール地震（2015）等において、支持力低下による構造物の倒壊や地震後の沈下加速化など、粘性土地盤被害も報告されている。共通するのは、堆積盆地内で被害が発生し、粘性土が高含水比で軟弱な状態にあった点である。一般に沖積地盤の固有周期は、濃尾平野で３～４秒、大阪平野で４～６秒、関東平野で７～10 秒と言われており、長周期地震動と共振することが危惧される。不整形地盤で生じる長周期・長時間継続の揺れは、地盤の変位を大きく、繰返し回数も多くする。古くは地震に対して「鈍感」と言われていた粘性土であっても、特に偏荷重を受ける場所（構造物直下や斜面など）では、大きな繰返しせん断によって地盤が乱され（地盤の固有周期が長くなり）、変位を一層大きくして、側方流動や滑り破壊、地震後の長期沈下被害をもたらす。しかしながら、従来の耐震診断では、N 値ゼロやシルト分が主体である場合でさえ、「粘性土」と分類された途端、地震被害は発生しないと判定され、事実上、弾性体としてモデル化されることが多い。しかし、先述の通り、特に高含水比で軟弱な粘性土の場合、その弾塑性応答を地震被害予測に適切に組み込まないと、地震被害を過小評価してしまうことが危惧される。

そこで、来るべき南海トラフ巨大地震で甚大な被害が危惧される宮崎県延岡市を対象に、従来の地震被害予測で十分に考慮されてこなかった浅部地盤情報（「軟弱土の弾塑性性状」および「小規模地層不整形性」）を考慮した地震応答解析を実施し、地震被害の見過ごしや過小評価の有無など、既存の地震被害予測の問題点・課題を抽出することである。用いた解析コードは、粘土から砂、さらにはその中間土までの広範な土の力学挙動を統一的な枠組みで記述できる弾塑性構成式 SYS カムクレイモデル [2] を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード GEOASIA[3] である。

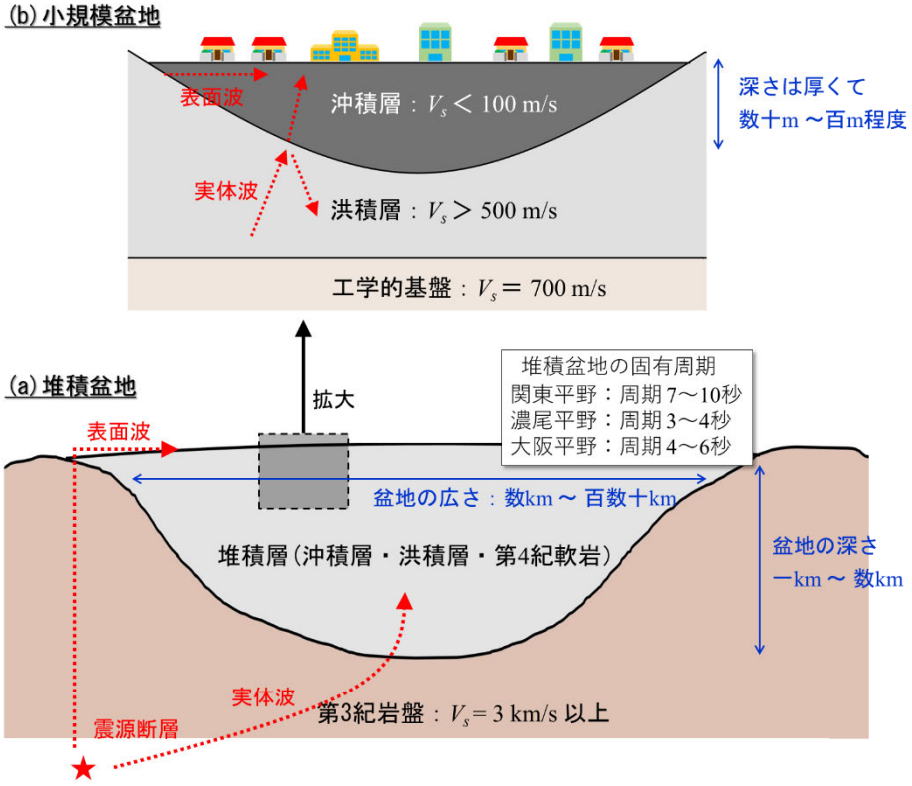
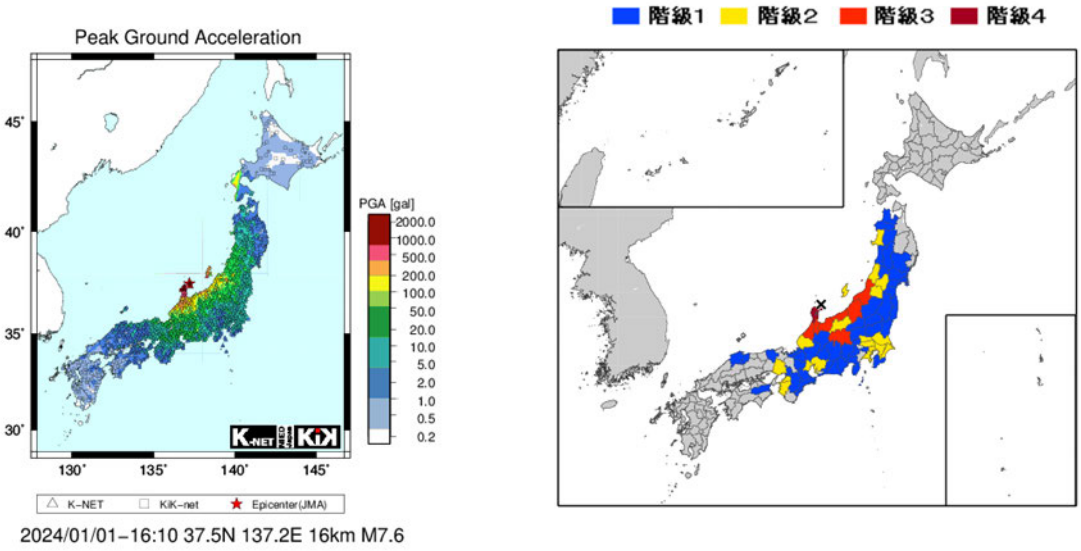


図２－８－①－13　堆積盆地と小規模不整形のイメージ図



(a) PGA 分布 [4]　　(b) 長周期地震動階級分布 [5]

図２－８－①－14　能登半島沖地震における最大加速度分布・長周期地震動階級分布

a）延岡市の地理的特徴と地質断面図

宮崎県延岡市は九州北西部の沿岸部に位置し、ちょうど海と山地に挟まれるような形になっている（図２－８－①－15）。西の山地から東に向かって流れる五ヶ瀬川・大瀬川によって形成された典型的な三角州地帯に位置し、河口付近では複数の河川が合流する。図２－８－①－16 は延岡市周辺の液状化ハザードマップである。当該地域におい

ては、南海トラフ地震によって震度６弱から６強が想定されているが、沿岸部と五ヶ瀬川・北川沿岸を中心として、山地を除く平野部のほぼ全域にわたって液状化危険度が非常に高い。三角州地帯は河川からの流入土砂が堆積してできた地形であるため、高含水比で軟弱な状態にあることが想像される。

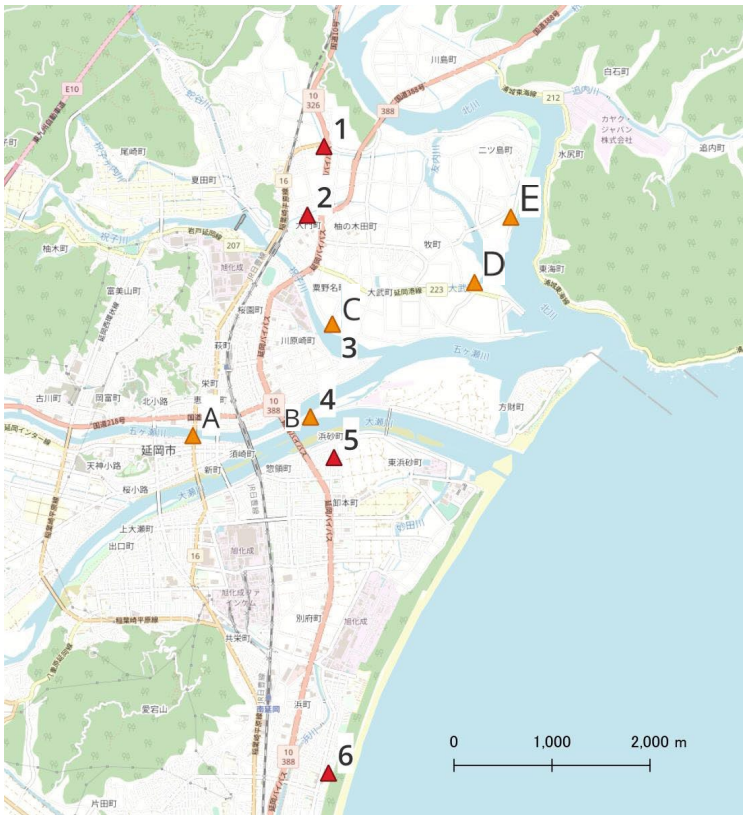


図２－８－①－15　延岡市の地図と地層構成把握に用いたボーリング地点

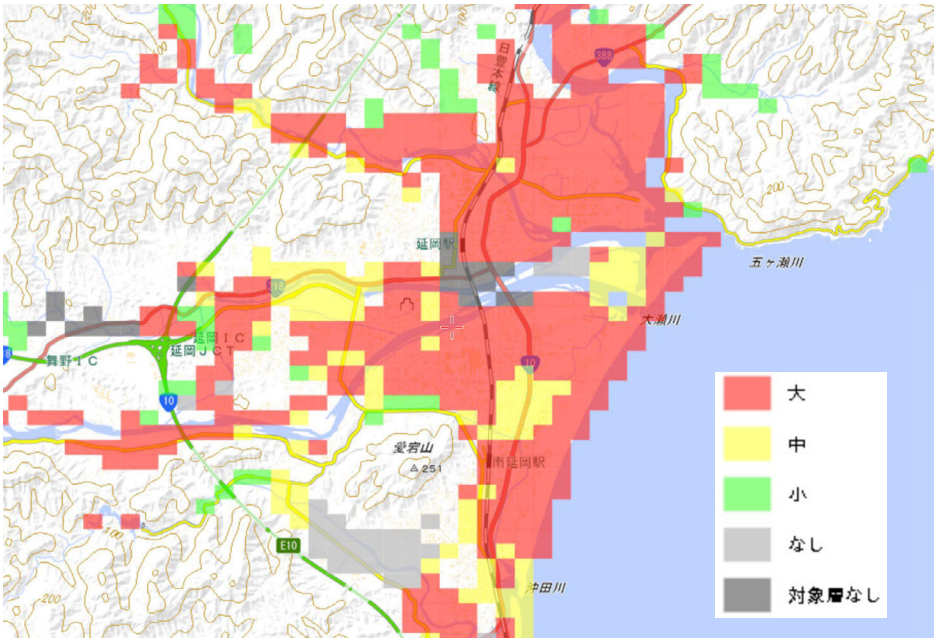


図２－８－①－16　延岡市の液状化ハザードマップ[6)]

延岡地盤の地層構成を把握するために、延岡市内で実施されたボーリングデータを収集した。図２－８－①－15 内の地点１～６の情報をもとに南北断面（図２－８－①－17）を、地点 A～E の情報をもとに東西断面（図２－８－①－18）を作成した。地層断面図は複数のボーリングデータの情報をもとに、物性や N 値分布から同一だと想定される層を特定し、現地の地盤工学的特徴を残しつつもできるだけ単純化することを心がけて作成した。延岡地盤は、（場所によっては連続していないが）基本的には浅部から、沖積砂 As1、沖積礫 Ag1、沖積砂 As2、沖積粘土 Am1、沖積砂 As3、沖積粘土 Am2 が堆積しており、その下には N 値が 50 を超える硬質な洪積基盤層が存在する。図２－８－①－17 の南北断面を見ると、凹形状の洪積基盤の上部に沖積土が堆積する「盆地不整形性」を形成している。五ヶ瀬川・大瀬川で形成される中州地帯で沖積層が厚くなっている。表層付近は砂と礫の互層が支配的だが、この盆地内には沖積粘土層が厚く堆積している。一方、図２－８－①－18 の東西断面を見ると、洪積基盤層は西から東に沈み込む「傾斜不整形性」を形成している。市中央部の中州地帯を横切るように断面を選定しているため、沖積粘土層が深部に介在している。基盤こそ傾斜しているものの、各層は水平成層に近い状態で堆積している。

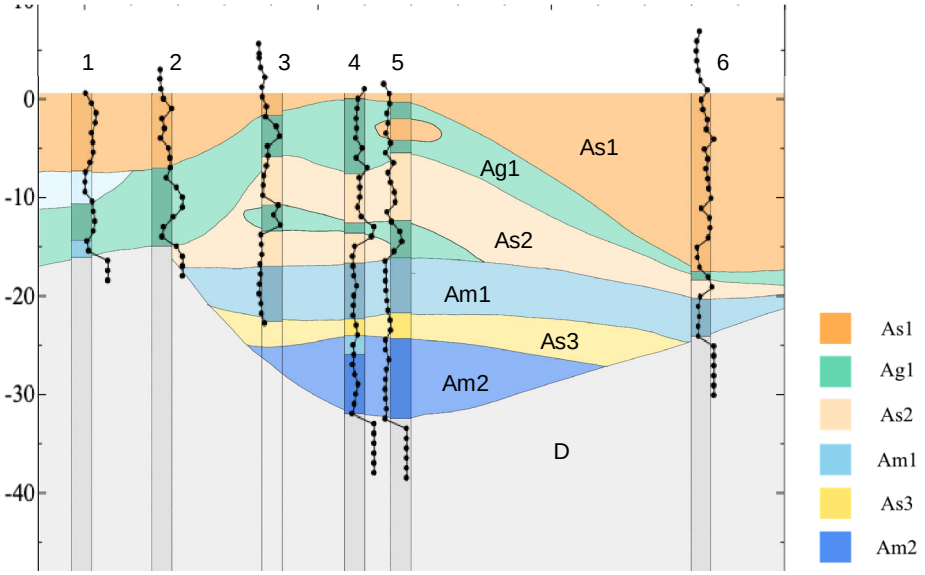


図２－８－①－17　延岡地盤における南北方向の地層断面図

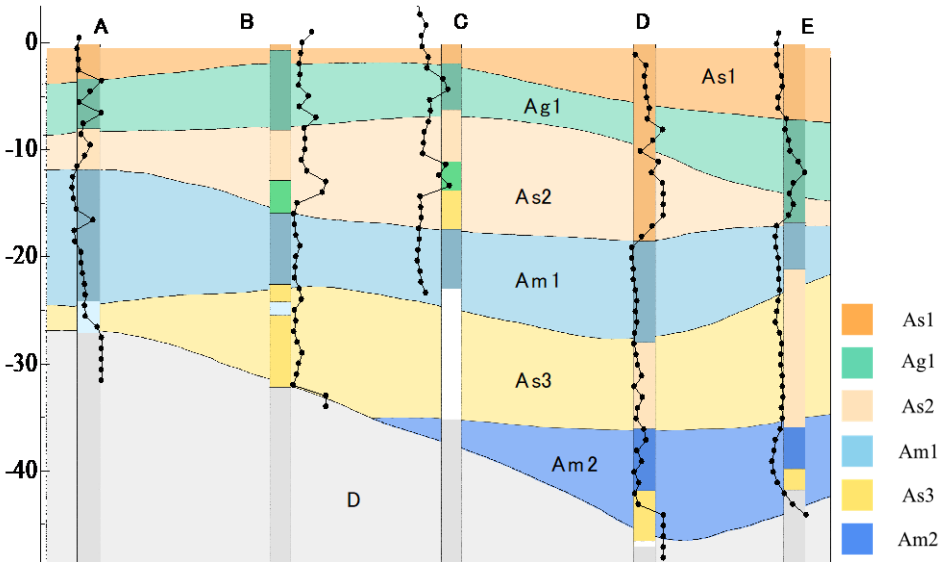


図２－８－①－18　延岡地盤における東西方向の地層断面図

b）延岡市の物理特性と地盤の弾塑性性状の推定

続いて、各土質の状態を把握するために層ごとのＮ値分布を調べた。複数のボーリングデータをもとに作成した土層ごとのヒストグラムを図２－８－①－19 に、その情報をもとに作成したＮ値の代表値・ばらつき評価を表２－８－①－１に示す。ヒストグラムの階級については、スタージェスの公式を用いて Ｎ 値のデータ数から決定している。これは、階級の幅が最頻値の値を左右するためである。表２－８－①－１内の水色領域に示すＮ値の代表値については、異常値を除外した上で算出した。なお、平均値－標準偏差×0.5 という指標は、設計 Ｎ 値を算出する際に変動係数＞0.2 とばらつきが大きい場合にしばしば用いられる方法である。本研究では、安全側評価という意図で代表値としては「最頻値」を用いることとした。

スタージェスの公式　階級数の数 ＝ 1 ＋ $\log 2^{n}$　（n はデータの個数）

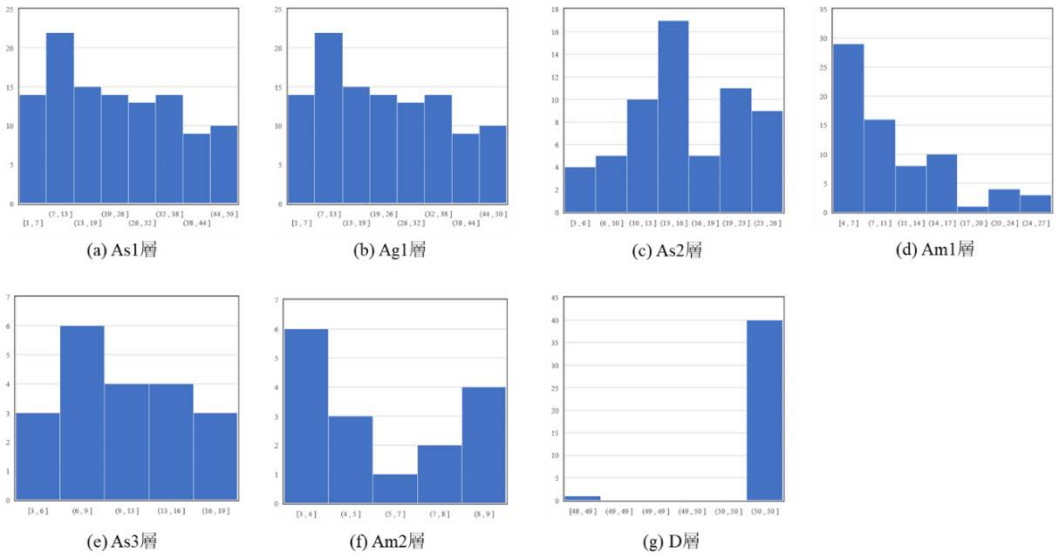


図２－８－①－19　各土層のＮ値のヒストグラム

表２－８－①－１　各土層のＮ値の代表値とばらつき

	As1	Ag1	As2	Am1	As3	Am2	D
データ数	111	65	61	71	20	16	41
平均値	23.12	27.08	15.56	10.49	10.85	5.69	50.05
中央値	23.00	23.00	15.00	9.00	10.50	5.00	50.05
Ave－0.5σ	16.26	20.78	12.75	7.77	8.87	4.64	49.49
最頻値	10.18	13.90	14.41	5.69	8.33	3.67	50.10
標準偏差	13.72	12.60	5.61	5.44	3.96	2.10	1.13
変動係数	0.59	0.47	0.36	0.52	0.37	0.37	0.02

続いて、各土層の物理試験結果を表２－８－①－２に示す。物理試験結果は限られた地点でしか行われていなかったため、すべての土層の試験結果が得られた地点Ｅを代表値として用いた。延岡地盤で特徴的な物理特性としては、Am1、Am2 層は細粒分含有率が90%程度と細粒分を多く含んでいるが、粘土分に比べてシルト分が多く、粒径の比較的大きいシルト質粘性土であること、As2、As3 は沖積砂に分類されるが、ともに細粒分含有率が 30%程度と細粒分も多く含んでいることが分かる。

表２－８－①－２　各土層の物理特性（地点 E）

	As1	Ag1	As2	Am1	As3	Am2	D
土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	2.678	2.684	2.613	2.554	2.655	2.563	2.697
自然含水比 w_n (%)	20.5	5.1	43.1	42.7	26	34.2	3.7
平均粒径 D_{50} (mm)	0.532	5.008	0.250	0.012	0.202	0.016	9.384
20%粒径 D_{20} (mm)	0.274	0.663	0.060	0.002		0.002	0.829
10%粒径 D_{10} (mm)	0.114						0.199
礫分含有率 (%)	9.8	68.8	0.8	0.2	0.5	0.0	74.1
砂分含有率 (%)	81.9	22.0	62.2	4.8	71.9	14.0	19.1
シルト分含有率 (%)			37.0	58.1		55.1	
粘土分含有率 F_{clay} (%)				36.9		30.9	
細粒分含有率 F_c (%)	8.3	9.3	37.0	95.0	27.6	86.0	6.8
均等係数	5.4						55.5
液性限界 w_L (%)	NP	NP	NP	39.3	NP	30.3	NP
塑性限界 w_p (%)	NP	NP	NP	26.7	NP	21.3	NP
塑性指数 I_p	NP	NP	NP	12.3	NP	9	NP

最後に、延岡地盤の各土層の特徴は以下の表２－８－①－３のとおりである。

表２－８－①－３　延岡地盤における各土層の特徴

土質区分	代表 N	特徴
As1	10.18	砂分が支配的な典型的な砂質土。N 値も小さく液状化危険度は高い。
Ag1	13.90	礫分に若干の砂が混入した砂礫土。礫質土にしては N 値が小さい。
As2	14.41	シルト分が 40%を占めるシルト質砂。表層 As1 に比べると細粒分も多く N 値も大きいので、液状化抵抗は比較的大きい。
Am1	5.69	細粒分含有率の大きいシルト。N 値は下層 Am2 に比べると大きい。
As3	8.33	細粒分の混入した細粒分質砂。細粒分は多めだが、N 値は比較的小さい。
Am2	3.67	Am1 と似たシルト。Am1 と比べると砂分が多いにもかかわらず N 値が小さいため、軟弱な状態だと推定される。
D	50.10	礫分が主体。N 値は大きく強固。

地震応答解析を行うにあたって、解析に必要な入力パラメータ（弾塑性パラメータ、発展則パラメータ、初期値）が必要となる。これらパラメータを精緻に決定するためには、現地で採取した不攪乱試料の力学試験結果が必要となるが、力学試験が実施されて

いることは稀であり、今回の対象地域でも入手することができなかった。そこで本研究では、原位置で実施したボーリングデータおよび物理試験結果から必要となる入力パラメータを推定する手法を用いた[7)]。

i) 材料定数の決定方法

（ア）材料定数（カムクレイパラメータ、発展則パラメータ）は物理試験結果から推定する。

（イ）層ごとに収集した物理試験結果から異常値を除外して算術平均を計算する。

（ウ）今回は複数地点での物理試験結果が得られなかったので基本的には１地点で計算。推定式を用いて推定する。

ii)初期値の決定方法

（ア）初期値は層ごとのＮ値の代表値から推定する。

（イ）代表値としては、①平均値、②異常値を除外した平均値、③平均値－標準偏差×0.5（変動係数＞0.2 とばらつきが大きい場合）、④中央値、⑤最頻値などが挙げられるが、本研究では⑤を用いる。

（ウ）異常値を除外したうえで、Ｎ値のヒストグラムを描く。最頻値をＮ値の代表値とする。

（エ）推定式を用いて推定する。

推定モデルを用いて決定した延岡地盤の弾塑性性状の一覧を表２－８－①－４に示す。なお、Ｄ層では推定モデルは用いておらず、典型的な洪積基盤のパラメータを利用した。

表２－８－①－４　延岡地盤の弾塑性性状一覧

	As1	Ag	As2	Am1	As3	Am2
Elasto-plastic parameter						
Critical state index M	1.13	1.14	1.25	1.48	1.21	1.4
Intercept of NCL at p'=98kPa N	1.68	1.69	2.01	2.06	1.90	1.96
Compression index $\tilde{\lambda}$	5.10×10^{-2}	5.40×10^{-2}	1.23×10^{-1}	1.35×10^{-1}	9.90×10^{-2}	$1.13\times$
Swelling index $\tilde{\kappa}$	5.10×10^{-3}	5.40×10^{-3}	1.23×10^{-2}	1.35×10^{-2}	9.90×10^{-3}	$1.13\times$
Poisson's ratio ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Evolution parameter						
Degradation index of structure a	7.18	6.89	1.83	0.224	3.32	7.18
Ratio between $-D_v^p$ & $\|D_s^p\|$ c_s	0.993	0.991	0.835	0.406	0.927	0.993
Degradation index of OC m	0.151	0.159	0.833	0.116	0.397	0.151
Rotational hardening index br	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Limit of rotational hardening m_b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Initial condition						
Stress ratio η_0	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
Degree of structure $1/R^*_0$	2.170	2.273	3.257	3.905	3.552	4.576
Degree of OC $1/R_0$	23.301	22.507	29.580	1.739	21.575	2.086
Degree of anisotropy ς_0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Soil particle density ρ_s (g/cm3)	2.68	2.68	2.61	2.55	2.66	2.56
Mass permeability index k (cm/s)	1.67×10^{-3}	1.37×10^{-3}	4.49×10^{-5}	5.41×10^{-7}	1.51×10^{-4}	$5.41\times$

c）延岡地盤で想定される入力地震動

延岡市で想定される４種類の入力地震動を用いて地震応答解析を実施する。なお、設計用地震動や公開想定地震波は、一般的に工学的基盤面（せん断波速度 Vs = 700 m/s）での入力地震動となっている。一方、本研究モデルの最下端はせん断波速度 Vs = 600 m/s となっているため、公開されている入力地震動の振幅を補正する必要がある。本研究では、以下の補正式[8) 9)]を用いて、加速度振幅を調整した。下式を用いると、Vs =700 m/s と Vs = 600 m/s 間での増幅度比率は 1.1 となるので、解析には公開されている加速度データを 1.1 倍にして入力した。以下に示す加速度データはこの補正を行った数値である。

$A_v = 170 \times V_s^{-0.6}$　（ V_s ＜ 1100 m/s ）

$A_v = 2.5$　（ V_s ≧ 1100 m/s ）

本研究で用いる入力地震動の一覧を表２－８－①－５に示す。各地震動の詳細は以下で説明する。

表２－８－①－５　入力地震動の一覧

名称	想定する地震	特徴
L1	港湾を対象とした地震動	L1 地震動
L2-S	想定南海トラフ地震動（2012）	短周期卓越（長周期を含まない）
L2-L	想定南海トラフ地震動（2015）	長周期卓越（短周期を含まない）
L2-W	想定南海トラフ地震動（合成波）	L2-S と L2-L を合成（広帯域）

i）L1 地震動[10)]

L1 地震動は比較的頻繁に起こる地震であり、L1 地震動に対しては、建設物がその性能を保持するような耐震性を持つよう設計することが求められている。本研究で使用する L1 地震動は、国土交通省国土技術政策総合研究所が公開している「レベル 1 地震動（地方港湾）」のうち、解析対象地域に近い延岡港のデータを用いた。図２－８－①－20 に加速度の時刻歴とフーリエ振幅スペクトルを示す。最大加速度は 1m/s2 程度と小さく、卓越周期も２秒以下と短周期成分が卓越している。以降、この地震動を L1 と称する。

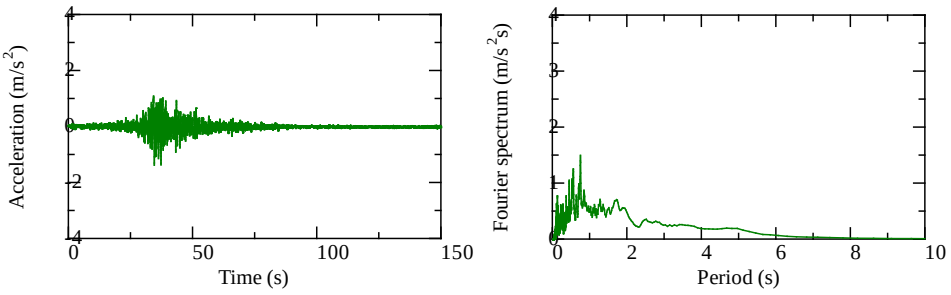


図２－８－①－20　L1 地震動

ii）想定南海トラフ地震動（2012）[11)]

内閣府の南海トラフ巨大地震モデル検討会は、2012 年に南海トラフ地震の想定地震動として各地の工学的基盤での地震波形を公開した。そこで、本研究では解析対象地域におけるこの想定南海トラフ地震動を L2 地震動の 1 つとして用いることとした。図２－８－①－21 に加速度の時刻歴とフーリエ振幅スペクトルを示す。EW 方向、NS 方向ともに最大加速度は 4.0m/s2 と大きく、継続時間も長い。一方、フーリエ振幅スペクトルを見ると、高層建築物や軟弱堆積土への影響が懸念されている長周期成分をほとんど含まないことがわかる。以降、この地震動を L2-S と称する（S は短周期卓越を意味した Short の頭文字）。

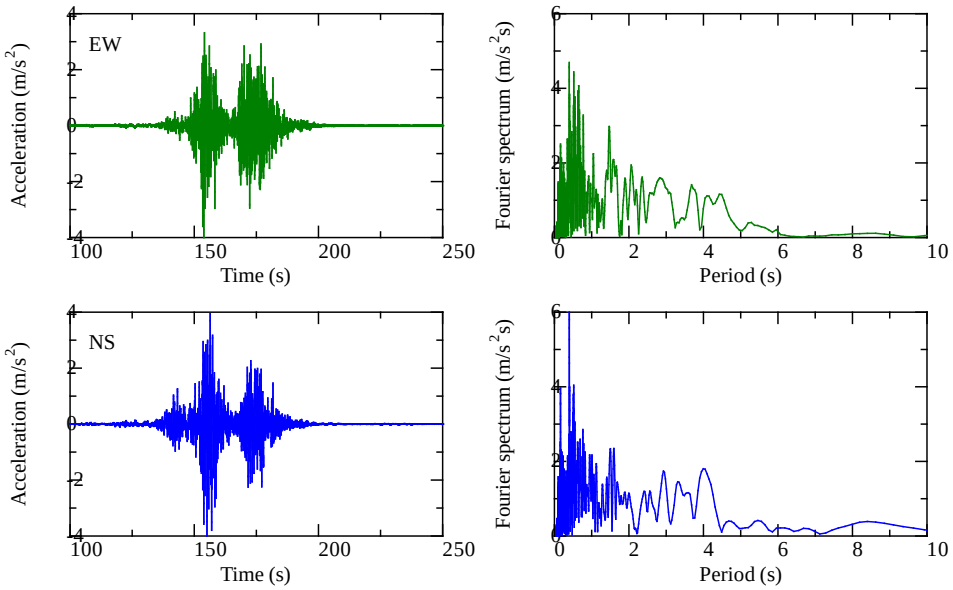


図２－８－①－21　L2-S 地震動

iii）想定南海トラフ地震動（2015）[12)]

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は、2015 年に長周期地震動データを公開した。これは序論でも述べたように、固有周期の大きい高層ビルや石油タンクの共振被害を検討することを目的に、3.2 とは異なる震源断層モデルを用いて推定した。延岡市周辺における想定地震動の加速度時刻歴とフーリエ振幅スペクトルを図２－８－①－22 に示す。なお、公開データには、地震種別６種（宝永地震、安政東海地震、安政南海地震、昭和南海地震、昭和東南海地震、最大クラスの地震）と大きさ３種（max（最大）、mid（中間）、min（最小））が公開されているが、本研究では最も地震動が大きいと想定される最大クラスの地震動・max（最大）のデータを利用した。なお、この想定地震動では、2～10 秒のバンドパスフィルタ処理を施した波形が公開されており、短周期成分を含まない。図から明らかなように、２秒以上の長周期成分を多く含む一方で、最大加速度は 1.0 m/s2 程度と非常に小さい。EW 方向と NS 方向で比較すると、４秒以上の周期帯についてよく似ているが、EW 方向は２秒付近の成分が卓越しているのに対して、NS 方向はその程度が非常に小さいことがわかる。以降、この地震動を L2-L と称する（L は長周期卓越を意味した Long の頭文字）。

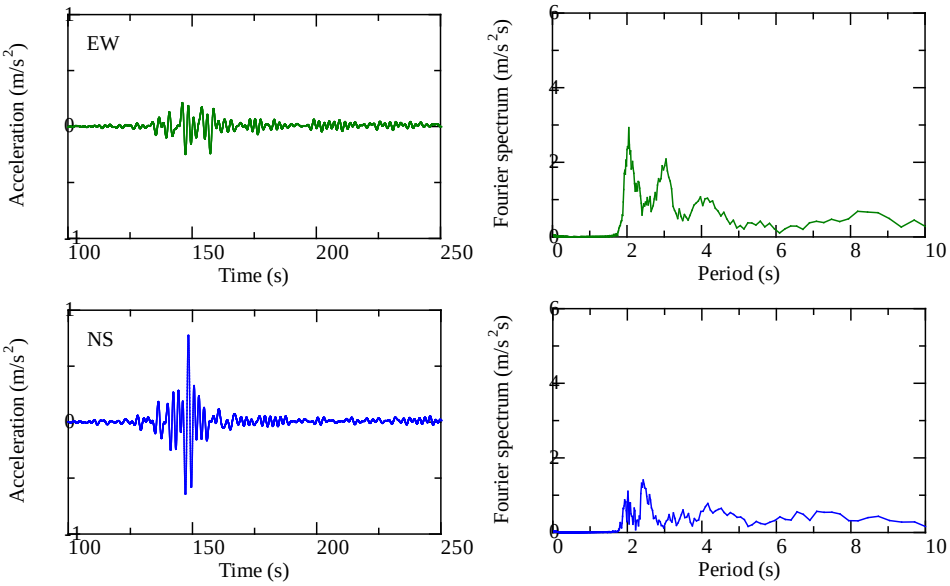


図２－８－①－22　L2-L 地震動

iv）想定南海トラフ地震動（合成波）

L2-S は長周期成分を含んでおらず、L2-L は短周期成分を含んでいないことが分かった。そこでもっとも危険な地震動を想定して、両地震層をハイブリッド合成 [13] した広帯域の想定南海トラフ地震動を作成した。この地震動は２つの地震動をフーリエ変換し、周波数領域で合成した後で、逆フーリエ変換した波形である。周期２秒未満については L2-S を、３秒以上については L2-L の加速度振幅とし、２～３秒については線形的に割合を変えながら足し合わせた。図２－８－①－23 に加速度の時刻歴とフーリエ振幅スペクトルを示す。加速度履歴を見ると、図２－８－①－21 で示す L2-S 地震動と大差ないように見えるが、フーリエ振幅スペクトルを見ると、短周期から長周期成まで広帯域にわたる成分を有する地震動であることが分かる。以降、この地震動を L2-W と称する（W は広帯域を意味した Wide の頭文字）。

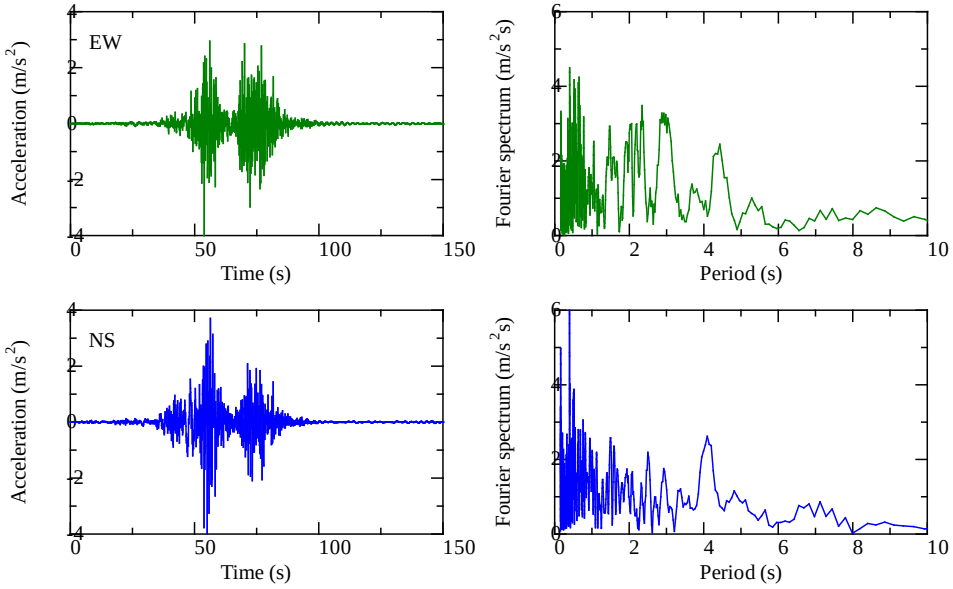


図２－８－①－23　L2-W 地震動

d) 軟弱土の弾塑性性状の影響評価（一次元解析）

浅部地盤情報のうち特に「軟弱土の弾塑性性状」に着目し、異なる地震動が入力されたときの地震被害の違いを検討する。沖積層が厚く堆積する地点４（図２－８－①－15参照）を代表地点に選定した。地層不整形性の影響を排除するため、ここでは特徴的な地点に対して GEOASIA による一次元解析を実施する。縦 50 要素、一辺１メートルの正方形メッシュを用いた。側面に周期境界を設けているため、水平方向に水平成層地盤が続いている状態を模擬している。入力地震動は前章の４種類の地震動（L1、L2-S、L2-L、L2-W）で、底面に Vs=600 m/s の粘性境界[5)]を設け、水平方向に入力した。

i）FL 判定

図２－８－①－24 には現在一般的に用いられる FL 法による液状化判定結果を示す（図中左の結果が L1 地震動、右が L2 海溝型地震動）。液状化安全率 FL が１以下の場合（図中の赤色）は液状化することを意味する。なお、FL 判定は表層から 20 m 以深は液状化判定の対象外（液状化しない）であるため、表層から 20m までの結果が示されている。L1 地震動の場合、表層の As1 および Ag1 層で液状化すると判定される。延岡地盤は表層砂質土が軟弱な状態にあるため、L1 地震動であっても軽微な液状化を生じる危険性がある。一方、L2 地震動の場合、地盤全域にわたって FL 値が１以下となり、広域的な液状化被害が発生すると判定される。

ii）L1 地震

同地点を対象に L1 地震動を入力した場合の地震応答解析結果をまとめて図２－８－①－25 に示す。(a)は地表面変状を表しており、左から加速度応答（赤色が入力、緑色が地表観測）、水平変位、鉛直変位である。(b)は平均有効応力低下率の時刻歴変化である。平均有効応力低下率とは、地盤内拘束力の低下の程度を表す指標であり、0 から増加するほど拘束力が低下して地盤剛性が減少したことを意味する。1.0 に達すると拘束力がゼロとなって液状化したことを意味する。(c)はせん断ひずみの時刻歴変化である。有効応力低下率を見ると、表層付近の As1 および Ag1 層で低下するが、深部地盤では変化がない。FL 判定においても、表層の As1 および Ag1 層で液状化すると判定されており、地震応答解析結果と FL 判定結果は整合的である。地盤被害に目を向けると、地盤内のせん断ひずみはほとんど発生しておらず、地表面の揺れ（水平変位）も小さい。表層で軽微な液状化は発生するかもしれないが、L1 地震動の場合、地震被害ほとんど発生しないことが分かる。

iii）L2-S（EW）地震

L2-S 地震動の EW 成分を入力した場合の地震応答解析結果を図２－８－①－26 に示す。出力内容は図２－８－①－25 と同じである。平均有効応力低下率を見ると、最初の主要動付近で表層の As1 と Ag1 層で低下した後、遅れて深部の As2～Am2 層でも有効応力が低下する（剛性が低下する）。図２－８－①－24 の FL 判定結果を見ても、L2 地震動の場合は液状化対象層全域で液状化すると判定されており、地震応答解析結果と FL

判定結果は類似の傾向にある。ただし、地震応答解析結果では、FL 法における液状化判定の対象外である深部の Am2 や As3 層でも有効応力が低下しており、従来法では考慮できない現象が観測されている。地震被害に目を向けると、せん断ひずみは地表の As1 でやや大きく、地震後も残留する。また、地表面での最大加速度は 10.0 m/s^{2}程度と非常に大きく、地表の揺れも最大で 0.4m 程度となる。ただし、地震後に水平変位はほとんど残留しない。

iv) L2-L (EW) 地震

L2-L 地震動の EW 成分を入力した場合の地震応答解析結果を図２－８－①－27 に示す。入力加速度は最大で 1.0m/s^{2}程度と非常に小さいにもかかわらず、地震中に地盤内の平均有効応力がかなり低下する。表層の As1 層と Ag1 層に加えて、深部のシルト層である Am1 と Am2 で低下するのが特徴的である。地表面の揺れ（水平変位）を見ると、最大で 0.5m 程度と先の L2-S 地震動以上に大きい。せん断ひずみ分布を見ると、深部の Am2 層を起点に広域でせん断変形が発生し、大きく揺れていることが分かる。この原因を探るために、同モデルに微小なスイープ波を入力して各層での増幅特性を調べ、層ごとの一次固有周期を調べた結果を表２－８－①－６に示す。L2-L 地震動は２秒付近の周期帯が支配的である。そのため、この長周期の揺れが地盤深部、特に Am2 層の固有周期と一致して共振し、大きな揺れに繋がったと考えられる。L2-L 地震動は加速度こそ小さいものの、当該地点では深部粘土層の固有周期と一致して共振し、地震の揺れが著しく大きくなる危険性を指摘した。

v) L2-W (EW) 地震

最後に L2-W 地震動の EW 成分を入力した場合の地震応答解析結果を図２－８－①－28 に示す。短周期成分も長周期成分も含むため、地盤全域で平均有効応力が低下し、その程度は L2-S 地震動と比べても大きい。特に深部粘性土である Am1 層で有効応力が低下し（剛性が低下し）、地盤が乱されている様子が分かる。せん断ひずみも全域で大きくなり、地表面付近の Ag1 層では大きな残留変形が生じる。地表面の最大加速度は 10.0 m/s^{2}程度と非常に大きいことに加えて、地表の揺れも最大で 0.8m 程度と大きく、地震後も 0.15m ほどの変位が残留する。このように、広帯域地震動である L2-W 地震動の場合、今回対象とした沖積層が厚く軟弱粘土層が介在する地点４においては、地震被害が著しく甚大化する。

深度 (m)	土質	N値	道示 0.153khg1,レベル1 液状化安全率 FL値	道示 0.153khg1,レベル1 液状化判定（赤）	道示 0.48khg1,レベル2_Type Ⅰ 液状化安全率 FL値	道示 0.48khg1,レベル2_Type Ⅰ 液状化判定（赤）	道示 0.51khg1,レベル2_Type Ⅱ 液状化安全率 FL値	道示 0.51khg1,レベル2_Type Ⅱ 液状化判定（赤）
0.5	砂質土	10	0.91	×	0.29	×	0.46	×
1.0	砂質土	10	0.90	×	0.29	×	0.44	×
1.5	礫質土	13	0.96	×	0.30	×	0.48	×
2.0	礫質土	13	0.95	×	0.30	×	0.47	×
2.5	礫質土	13	0.94	×	0.30	×	0.46	×
3.0	礫質土	13	0.93	×	0.30	×	0.44	×
3.5	礫質土	13	0.92	×	0.29	×	0.43	×
4.0	礫質土	13	0.91	×	0.29	×	0.42	×
4.5	礫質土	13	0.90	×	0.29	×	0.41	×
5.0	礫質土	13	0.89	×	0.28	×	0.40	×
5.5	砂質土	14	1.26		0.40	×	0.70	×
6.0	砂質土	14	1.24		0.39	×	0.68	×
6.5	砂質土	14	1.21		0.39	×	0.66	×
7.0	砂質土	14	1.20		0.38	×	0.64	×
7.5	砂質土	14	1.18		0.38	×	0.63	×
8.0	砂質土	14	1.17		0.37	×	0.62	×
8.5	砂質土	14	1.15		0.37	×	0.61	×
9.0	砂質土	14	1.15		0.36	×	0.60	×
9.5	砂質土	14	1.14		0.36	×	0.59	×
10.0	砂質土	14	1.13		0.36	×	0.58	×
10.5	砂質土	14	1.12		0.36	×	0.57	×
11.0	砂質土	14	1.12		0.36	×	0.57	×
11.5	砂質土	14	1.11		0.35	×	0.56	×
12.0	砂質土	14	1.11		0.35	×	0.55	×
12.5	砂質土	14	1.10		0.35	×	0.55	×
13.0	砂質土	14	1.10		0.35	×	0.54	×
13.5	砂質土	14	1.09		0.35	×	0.54	×
14.0	砂質土	14	1.09		0.35	×	0.53	×
14.5	砂質土	14	1.09		0.35	×	0.53	×
15.0	砂質土	14	1.09		0.35	×	0.53	×
15.5	砂質土	14	1.08		0.35	×	0.52	×
16.0	砂質土	14	1.08		0.35	×	0.52	×
16.5	粘性土	6	1.17		0.37	×	0.58	×
17.0	粘性土	6	1.17		0.37	×	0.58	×
17.5	粘性土	6	1.17		0.37	×	0.58	×
18.0	粘性土	6	1.17		0.37	×	0.58	×
18.5	粘性土	6	1.18		0.37	×	0.58	×
19.0	粘性土	6	1.18		0.37	×	0.58	×
19.5	粘性土	6	1.18		0.38	×	0.58	×
20.0	粘性土	6	1.18		0.38	×	0.58	×

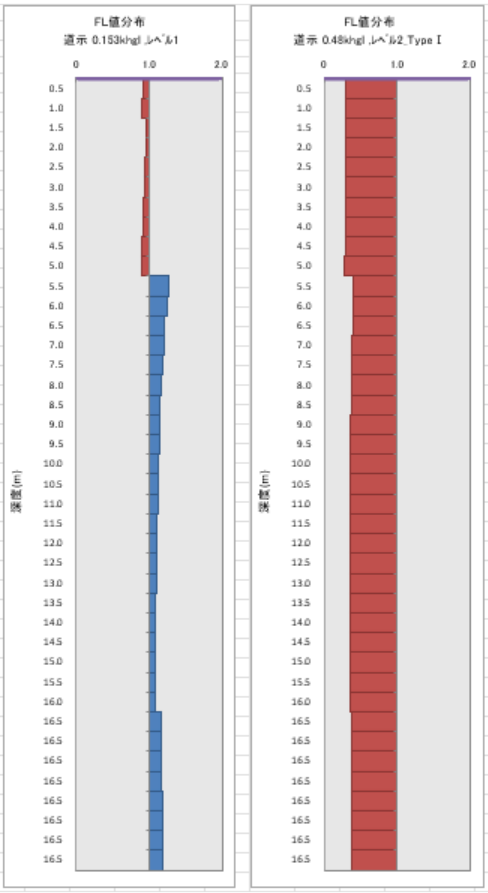
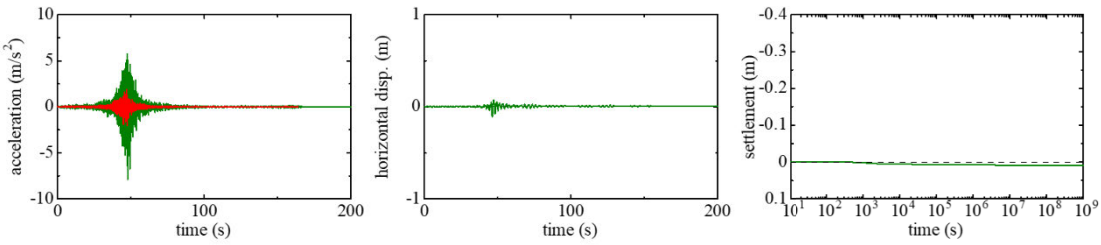
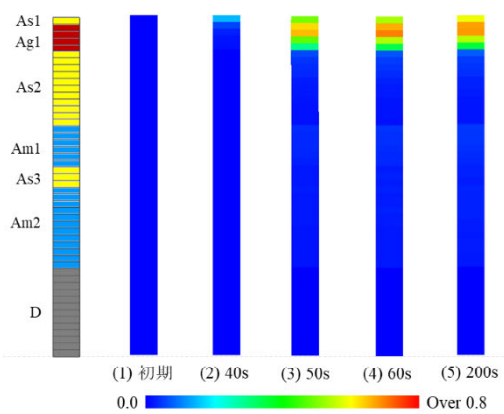


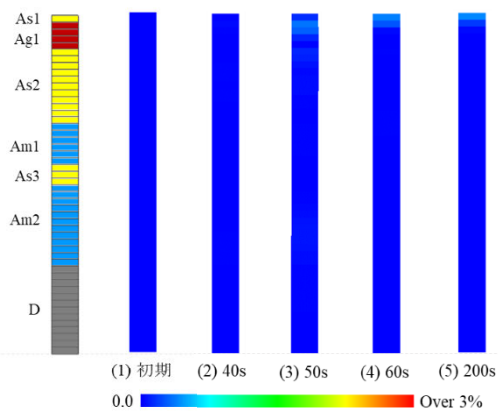
図２－８－①－24　地点４における FL 判定結果



(a) 地表面変状



(b) 平均有効応力低下率



(c) せん断ひずみ

図２－８－①－25　地点４における地震応答解析結果（L1 地震）

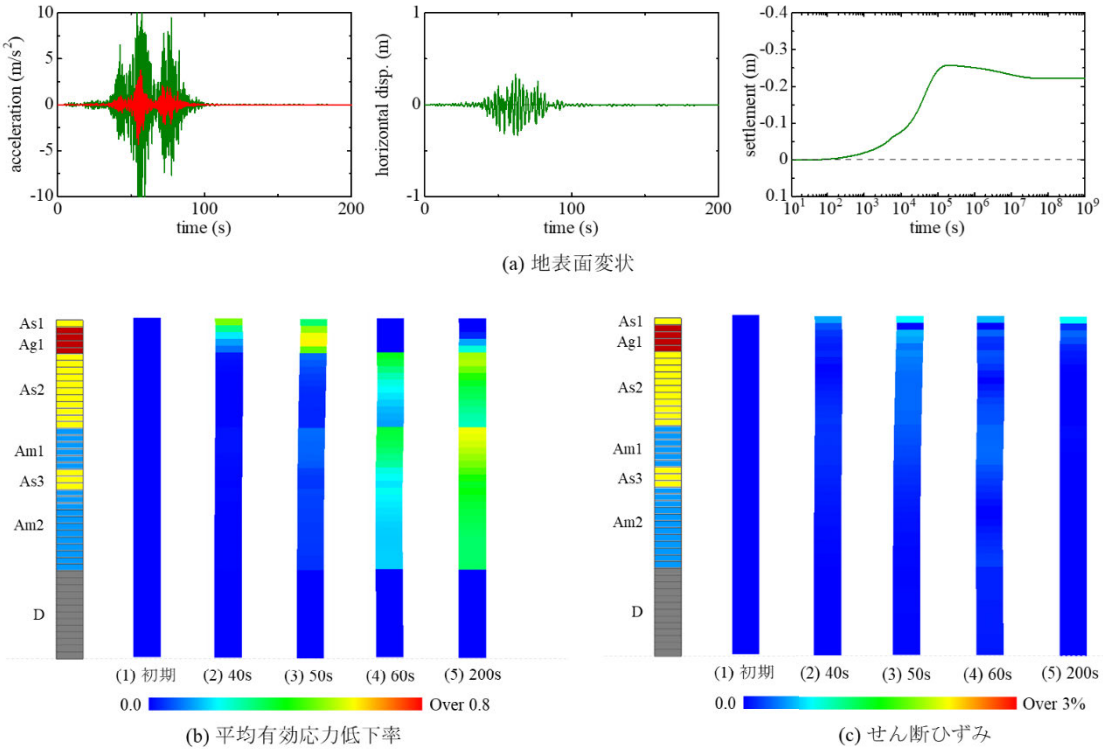


図２－８－①－26　地点４における地震応答解析結果（L2-S 地震）

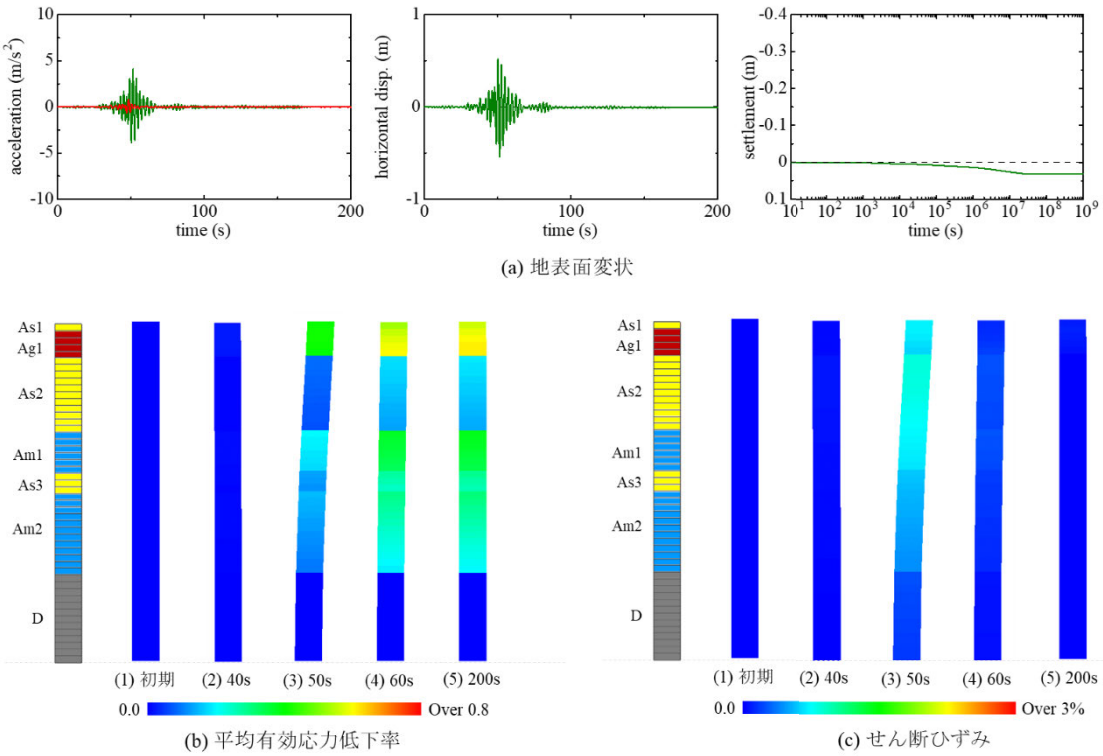


図２－８－①－27　地点４における地震応答解析結果（L2-L 地震）

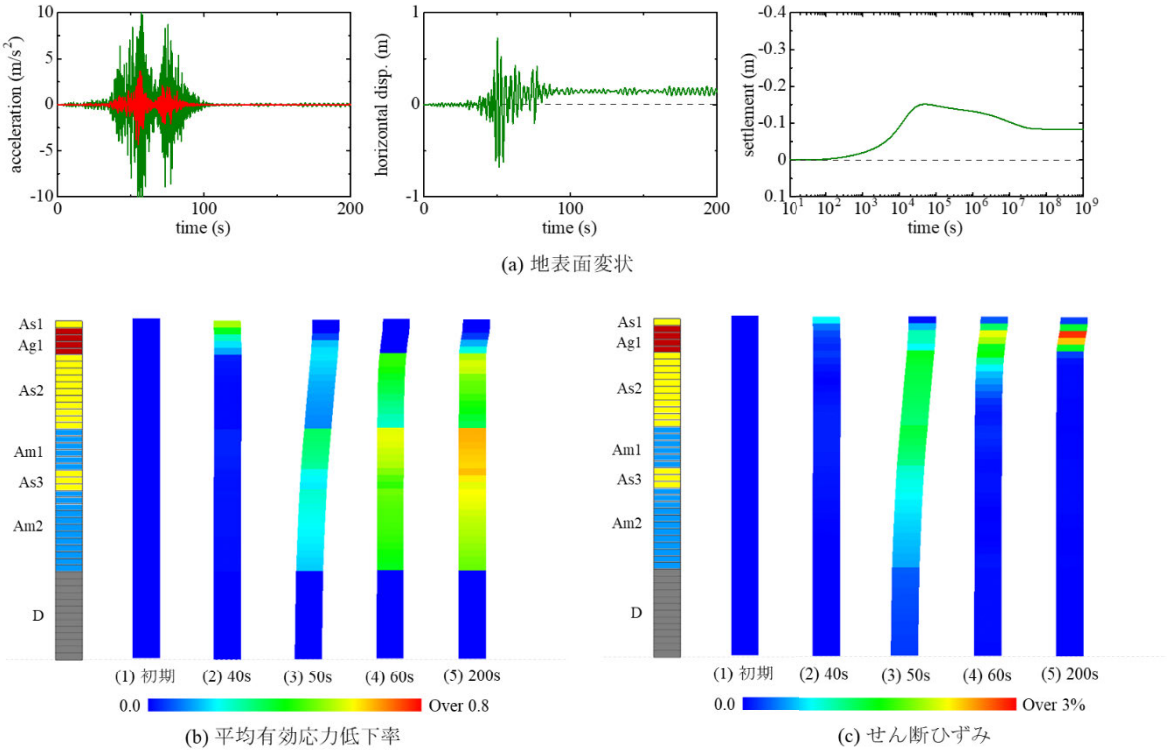


図２－８－①－28　地点４における地震応答解析結果（L2-W 地震）

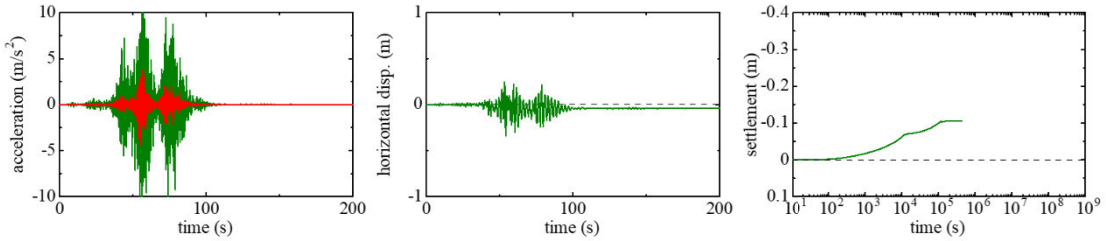
表２－８－①－６　各層の固有周期

	As1	Ag1	As2	Am1	As3	Am2
固有周期（s）	0.20	0.55	1.35	1.75	1.55	2.0

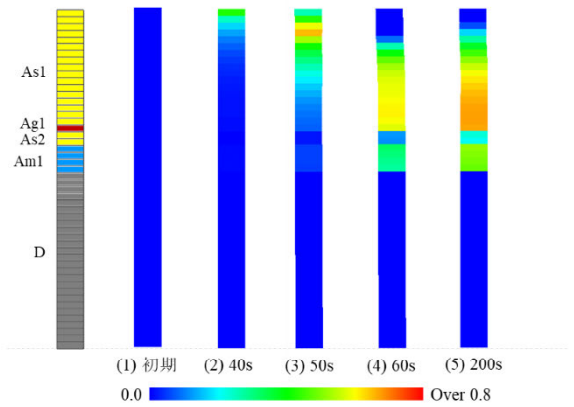
vi）沖積層が薄く軟弱粘土層がほとんど存在しない場合（地点１）

沖積層が薄く軟弱粘性土がほとんど存在しない地点１（図２－８－①－15 参照）を代表地点に選定し、軟弱粘性土層の存在が地震被害に及ぼす影響について検討した。

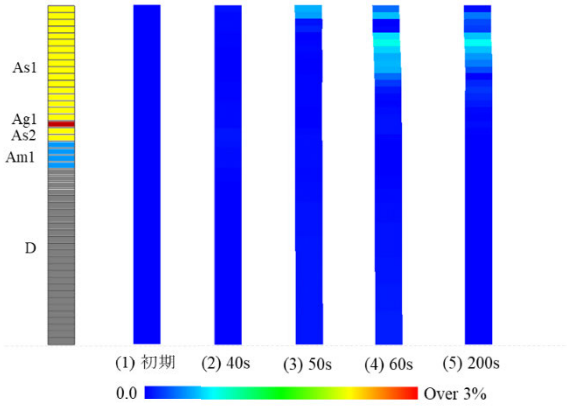
L2-S(EW)地震動を入力した場合の地震応答解析結果を図２－８－①－29 に、L2-W(EW)地震動を入力した場合の地震応答解析結果を図２－８－①－30 に示す。地点１の場合、固有周期が大きいと考えられる軟弱粘土層がほとんど存在しない。そのため、長周期成分による共振が生じず、短周期卓越の L2-S 地震動と広帯域地震動である L2-L 地震動で地震応答・地震被害に違いが生じなかった。



(a) 地表面変状

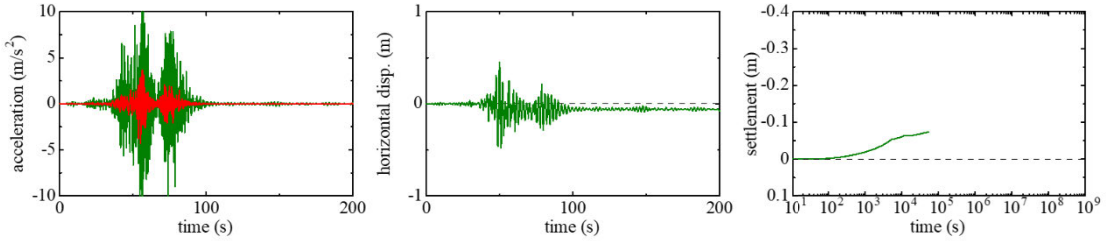


(b) 平均有効応力低下率

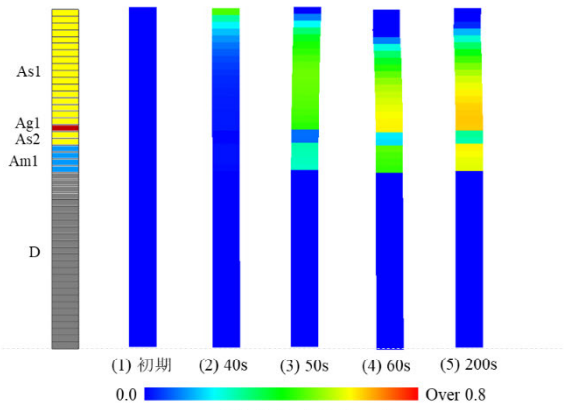


(c) せん断ひずみ

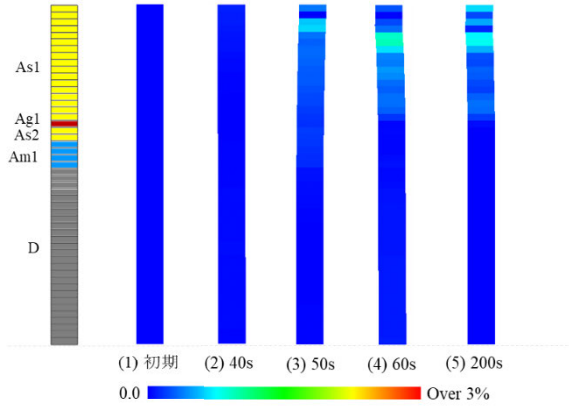
図２－８－①－29　地点１における地震応答解析結果（L2-S 地震）



(a) 地表面変状



(b) 平均有効応力低下率



(c) せん断ひずみ

図２－８－①－30　地点１における地震応答解析結果（L2-W 地震）

以上、軟弱土の弾塑性応答を考慮した一次元地震応答解析結果から、FL 法の判定対象外である 20 m 以深であっても、L2 地震動のような大きな地震では、軟弱土の平均有効応力が減少（剛性が低下）して地震被害が生じうることを示した。また、厚く堆積した軟弱粘性土の固有周期は大きいことから、長周期地震動と共振が生じ、地震被害（揺れ）が甚大化し、地震被害が発生しにくい粘性土であっても地盤被害が生じうることを示した。このように、地盤の精緻な地震被害を検討する際には、地盤の固有周期を含めた土の弾塑性応答を考慮した被害予測が求められる。

e）小規模地層不整形性の影響評価（二次元解析）

浅部地盤情報のうち特に「小規模地層不整形性」に着目し、延岡地盤の EW 断面および NS 断面を対象とした二次元地震応答解析を実施した。EW 断面は基盤面において「傾斜不整形性」を、NS 断面は基盤面において「盆地不整形性」を有する。ここでは、地層不整形性のより大きい NS 断面を対象に、地層不整形性を考慮した二次元地震応答解析を実施した。解析に用いた入力パラメータは一次元解析と同一のものと同一である。図２－８－①－31 に有限要素メッシュおよび地層分類図を示す。なお、わかりやすさのために図は鉛直方向に８倍拡大している。モデル底面は Vs = 600 m/s の粘性境界、側方は両側端要素に単純せん断変形境界を設定した。水理条件についてはモデルの上面のみ排水条件で、それ以外の面については非排水条件としている。入力地震動は L2-S 地震動とし、L2-S(NS)地震動を解析領域下端の全節点の水平方向に等しく入力した。

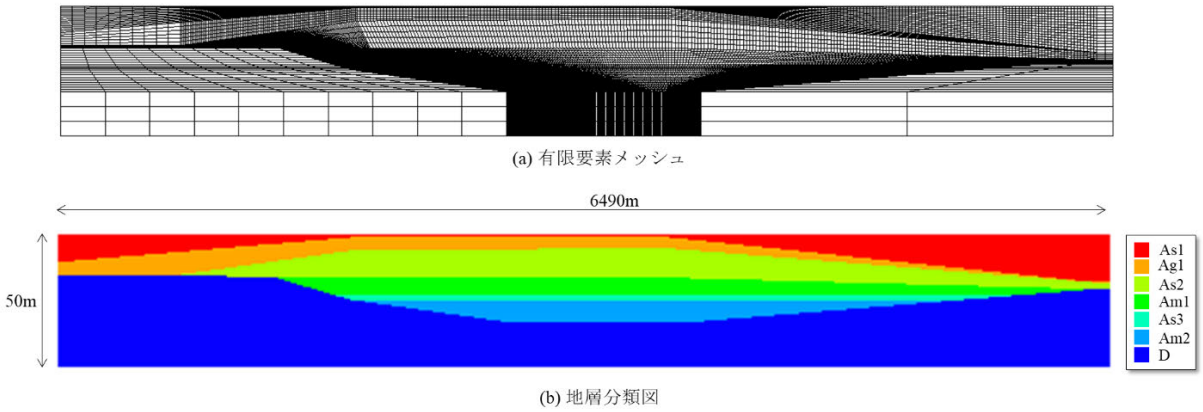


図２－８－①－31　NS 断面の有限要素メッシュと地層分類図

i）有効応力減少比およびせん断ひずみの経時変化

有効応力減少比分布とせん断ひずみ分布の経時変化を図２－８－①－32 および図２－８－①－33 に示す。主要動以前（～50 秒）から浅部の砂層（As1）や砂礫層（Ag1）において広域で有効応力が低下し、液状化に向かっている様子が見られる。主要動以降では、浅部の砂質土層に加えて、深部のシルト層でも有効応力が著しく減少し、特に盆地中央部の堆積層が厚い位置で顕著である。せん断ひずみは地表付近で大きいが、その様相は不均一・非一様である。また、地盤深部の軟弱シルト層でもせん断ひずみ

が発生していることがわかる。図２－８－①－34 には最大値のレンジを変えた図面を示すが、せん断ひずみは盆地の直上部で局所的に大きくなっている。

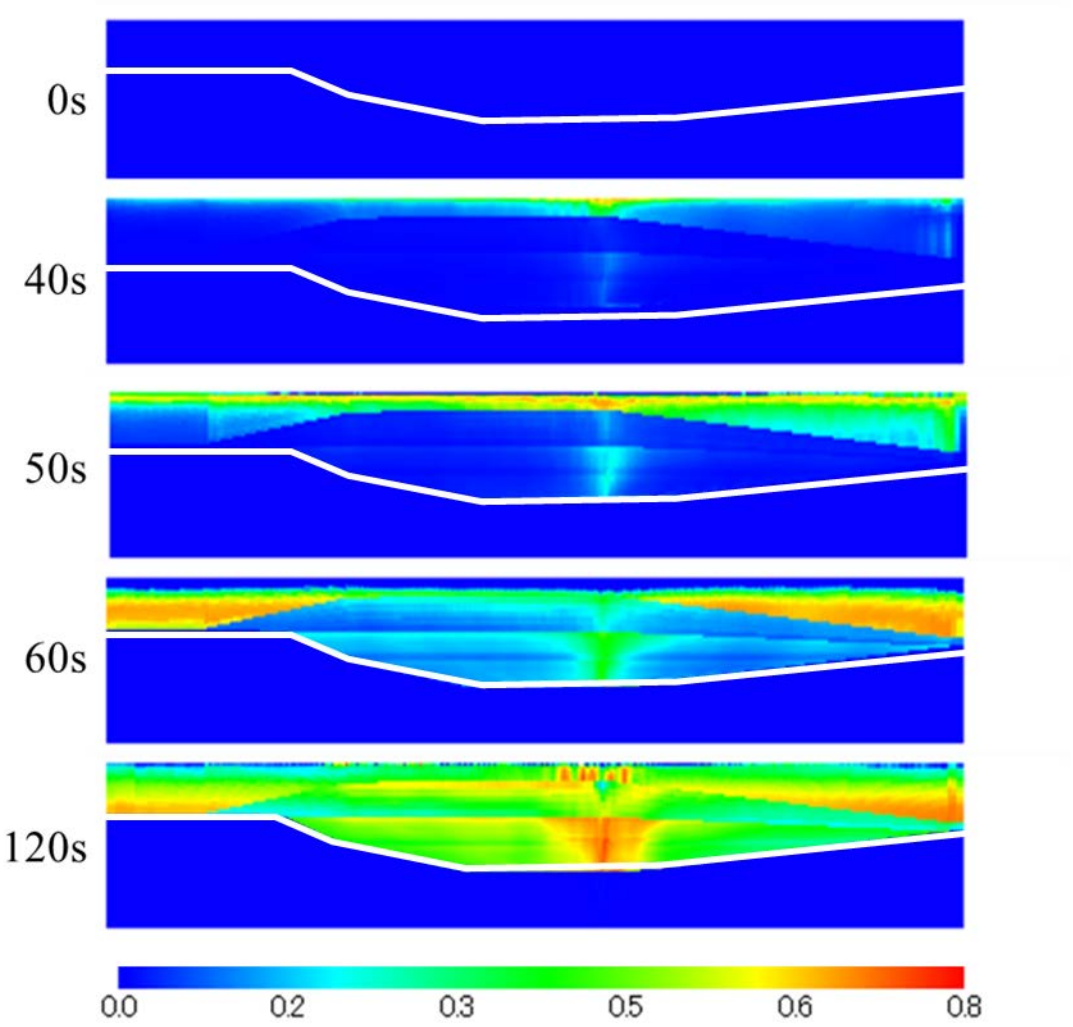


図２－８－①－32　有効応力減少比の経時変化（NS 断面、L2-S(NS)入力）

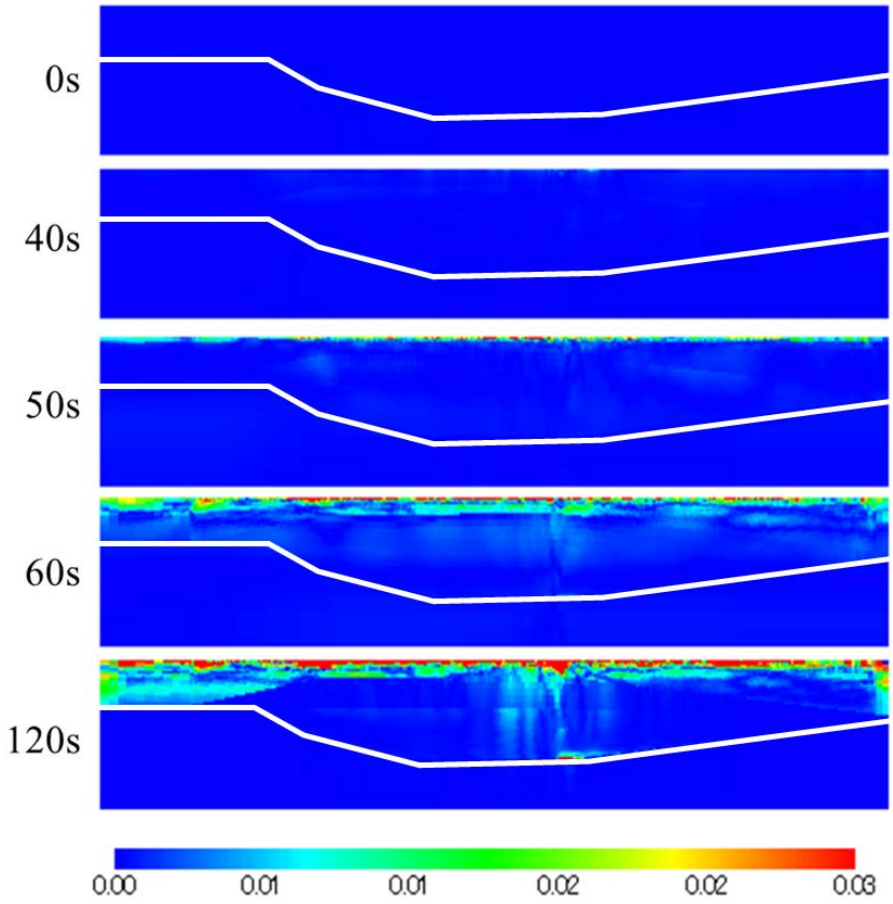


図２－８－①－33　せん断ひずみの経時変化（NS 断面、L2-S(NS)入力）

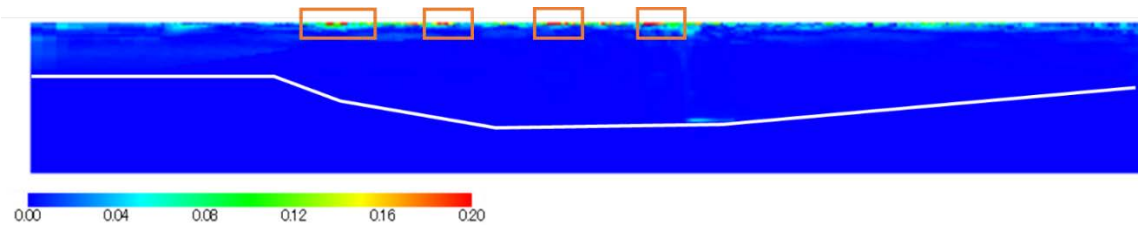


図２－８－①－34　120 秒時点のせん断ひずみ分布（最大値のレンジを調整）

ii) 地層不整形性が波動伝播に及ぼす影響

地層不整形性が表層の揺れに及ぼす影響を把握し、(1)で示したような不均一・非一様な地盤被害の発生メカニズムを確認するために、図２－８－①－35 には地表面における距離別の速度応答を示す。地震入力は水平方向のみにもかかわらず盆地中央部では鉛直動が生成されている。これは盆地境界における実体波の屈折および盆地端部において励起された表面波（Rayleigh 波）の影響である。また、地震動入力終了後も水平・鉛直動ともに大きな揺れが継続している。これらは表面波が水平伝播しているためである。鉛直動を見ると、特に盆地中央部の直上で揺れが大きい。これは実体波の焦点効果に加えて、実体波と表面波によるエッジ効果（増幅的干渉）のためである。揺れが大きい地点はせん断ひずみが局所的に大きい地点とも合致しており、地層不整形性に起因する複雑な波動伝播が地盤被害を局所的に甚大化させたことが分かる。

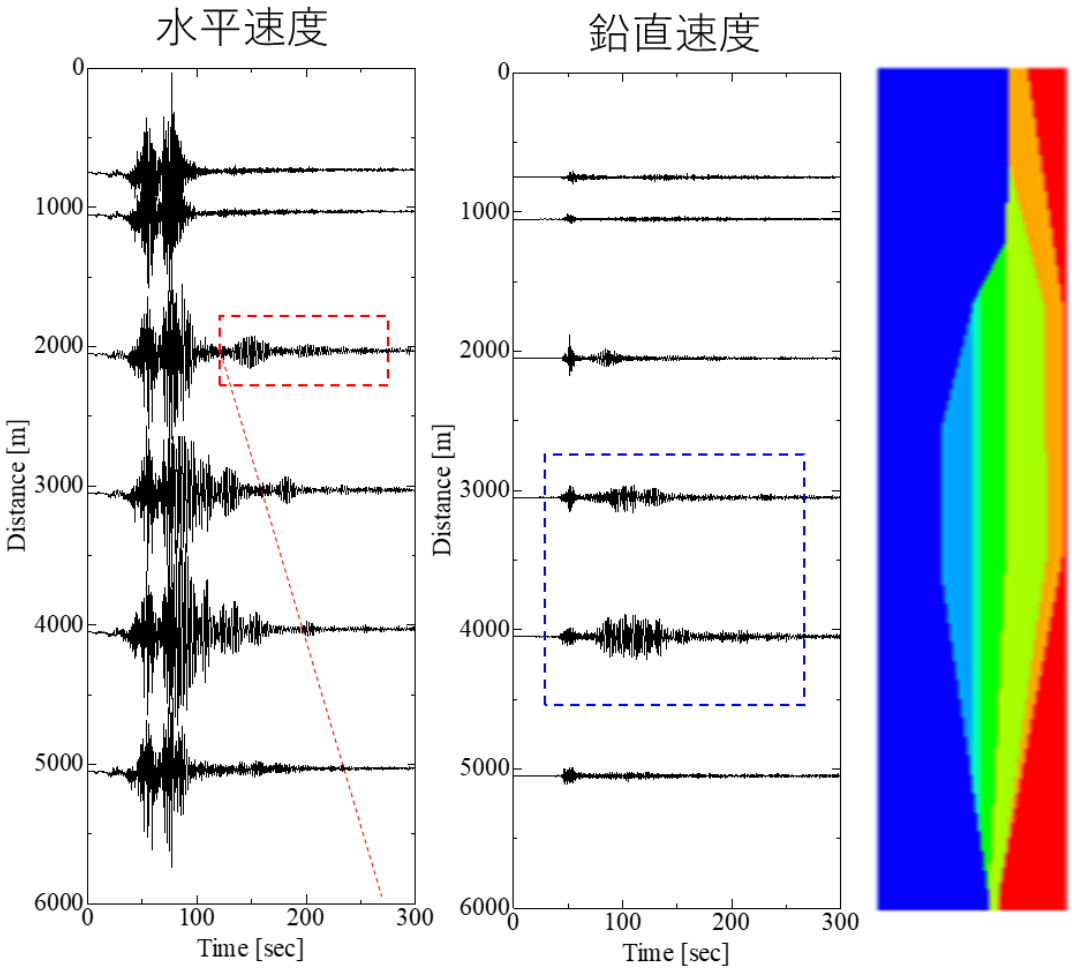


図２－８－①－35　距離別速度応答

iii）地層不整形性に起因する多次元効果の検証

二次元解析における地層不整形性の影響を詳細に把握するために、一次元解析（水平成層地盤）と二次元解析（地層不整形性考慮）の比較を行った。図２－８－①－36に示す地点における地震発生から 120 秒後の平均有効応力低下率およびせん断ひずみ分布の比較を図２－８－①－37 に示す。有効応力減少比を比較すると、二次元解析の方が地表面で有効応力が大きく減少しているだけでなく、深部でも有効応力が減少して、地盤剛性が低下していることがわかる。また、せん断ひずみを見てみると、表層被害が甚大化することに加えて、深部で局所的なひずみが発生している。これらは先述の通り、地層不整形性に起因する複雑な波動伝播が原因である。なお、ここでは省略するが、二次元解析の方が常に被害が大きくなるわけではなく、地層不整形性の影響によっては、逆に被害が二次元解析の方が小さくなることもある。

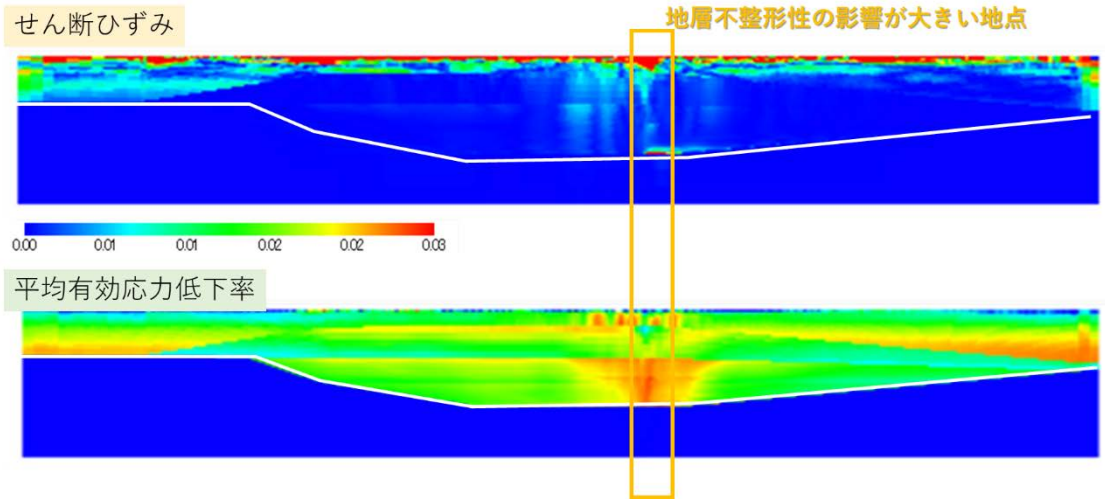
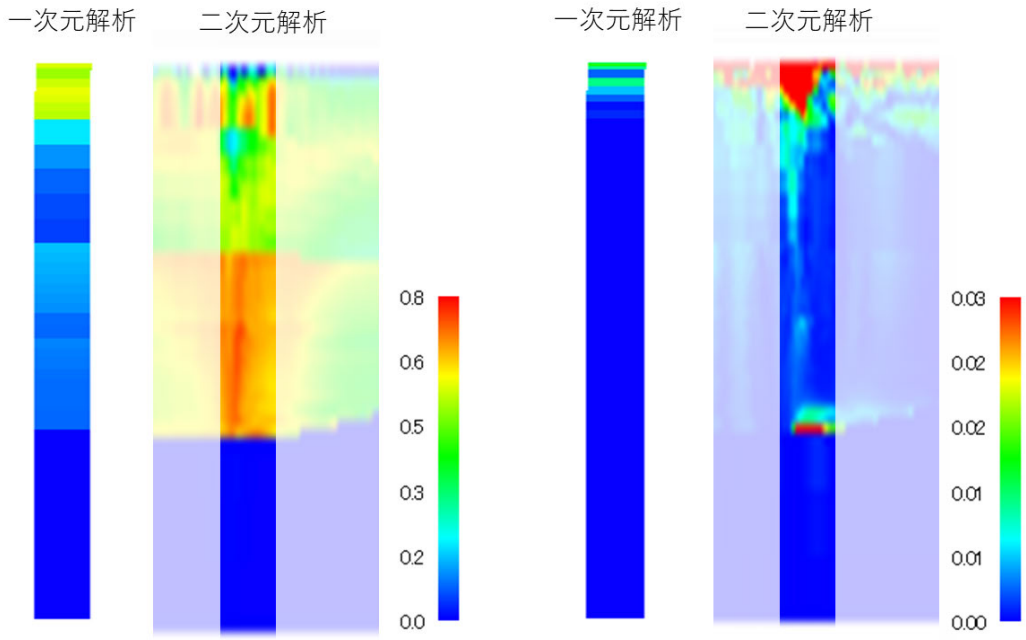


図２－８－①－36　抽出箇所



(a) 有効応力減少比分布　　(b) せん断ひずみ分布

図２－８－①－37　同地点における一次元解析と二次元解析の比較

地層不整形性を考慮した二次元地震応答解析から、実体波の屈折および表面波の生成に伴って、実体波のレンズ効果や表面波と実体波の増幅的干渉（エッジ効果）など、波動伝播が複雑となることを示した。また、複雑な波動伝播は地震被害を不均質・非一様にし、局所的に地震被害を甚大化させることを数値解析的に示した。このことは、従来の一次元的評価だと地震被害を過小評価する危険性があることを示唆している。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 延岡市市街地における津波瓦礫の漂流に関する検討

本プロジェクトでは三重県尾鷲市内で瓦礫の漂流計算を実施し、津波瓦礫漂流の即時予測まで実施した。しかし、延岡市のようなもう少し規模が大きい基礎自治体に適用するには、計算が膨大になる。そこで、試用する計算パラメータのうち、瓦礫の漂流と堆積を制御する底面摩擦係数と付加質量係数、さらに、津波瓦礫同士の衝突による斥力の扱いによって、特に遡上先端での堆積の様子の違いについて検討した。その結果、瓦礫同士の斥力を考慮しないケースでは、瓦礫がより漂流が進むことが確認できた。瓦礫の漂流については、緊急輸送道路などのインフラや重要構造物への影響、海域に流入する瓦礫量の推定に使用することを念頭に置いているが、この過大評価は、必要以上の負荷を基礎自治体に与えることになり得る。これらのパラメータを適切に考慮し、最終的な評価につなげる必要がある。

2) 延岡市市街地における津波瓦礫の集積・堆積と水門の開閉による津波氾濫に関する検討

地域の要望を受け、延岡市南部市街地における津波による木質瓦礫の集積・堆積に関する検討を実施した。 M9 クラスの津波（内閣府モデル）において、延岡市の南部地域中心市街地を対象として津波による木質がれきの集積・堆積についての検討を実施した。M9 クラスの波源断層モデルでも延岡市南部市街地における津波浸水深分布３m 程度であり、木造建物流失量も比較的軽微であるため、10m メッシュ平均では数十センチの瓦礫厚程度で、目立った集積は生じないことがわかった。ただし、本業務では木造建物に焦点を絞った解析結果であるため、自動車やコンテナなどの漂流による被害についても解析を行い、より現実的な被害像を明らかにした上で、地域特性に応じた津波防災対策を検討することが重要であろう。

延岡市北部中心市街地に注ぐ五ヶ瀬川流域のうち、大瀬川、五ヶ瀬川、祝子川、北川の河口には遠隔で開閉可能な水門・樋門が設置されている。本業務では M9 クラスの津波（内閣府モデル）に対する水門・樋門の浸水抑制機能について検討を行った。水門を閉門したとしても、水門位置よりも低い護岸からの浸水によりほとんど抑制効果がない箇所や水門両岸から浸水が生じることから堤内地の浸水は免れることはできないが、浸水域内の最大浸水深を若干であるが低減させる効果を確認することができた。

3) 浅部地盤情報（軟弱土の弾塑性性状と地層不整形性）を考慮した地震被害予測

延岡市の地盤モデルをボーリングデータからモデル化し、各土質の性状を把握して N 値分布を付与した。これらの情報に基づき、各層の弾塑性性状を推定し、４種類の入力地震動を用いて地震応答解析を実施した。その結果、長周期成分を含む L2-L 地震動では、入力加速度は最大で 1.0m/s^2 程度と非常に小さいにもかかわらず、地震中に地盤内の平均有効応力がかなり低下することがわかった。短周期成分も長周期成分も含む L2-W 地震動では、地盤全域で平均有効応力が低下し、その程度は L2-S 地震動と比べても大きい．特に深部粘性土である Am1 層で有効応力が低下し（剛性が低下し）、せん断ひずみも全域で大きくなることがわかった。

(d) 引用文献

i) 延岡市市街地における津波瓦礫の漂流に関する検討

1) 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

2) 小園裕司，桜庭雅明,野島和也，建物形状と倒壊・流出を考慮した津波浸水解析手法の検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），70，2，161-165，2014.

3) 小園裕司,高橋智幸,桜庭雅明,野島和也，複数の移動形態を考慮した災害がれきの発生・移動予測モデルの開発，土木学会論文集 B2（海岸工学），72，2，439-444，2016.

4) 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），73，2，403-408，2017.

5) 田島芳満,桐ケ谷直也,櫻澤 崇史，漂流物群と氾濫流の相互作用に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），72，2，205-210，2016

ii) 延岡市市街地における津波瓦礫の集積・堆積と水門開閉による津波氾濫に関する検討

1) 国土交通省（2003）、総合施術開発プロジェクト 循環型社会及び安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発。防災まちづくり総プロ報告書、pp.160-161.
https://www.nilim.go.jp/lab/jdg/soupuro/0.pdf

2) Imai, K., T. Hashimoto, Y. Mitobe, T. Masuta, N. Takahashi, R. Obayashi, Development of a Practical Evaluation Method for Tsunami Debris and Its Accumulation, *Applied Sciences*, 12, 858, 2022. doi: 10.3390/app12020858

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

4) G 空間情報センター：内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会津波断層モデル(5)地形データ，https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1205

5) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，
https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php

iii)浅部地盤情報（軟弱土の弾塑性性状と地層不整形性）を考慮した地震被害予測

1) Kawase H, Matsushima S, Graves RW, Somerville PG., Three-dimensional wave propagation analysis of simple two-dimensional basin structures with special reference to the basin-edge effect: The Cause of the Damage Belt during the Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Zisin 50, 431-49, 1998.

2) 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.

3) 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, Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790, 2008.

4) 防災科学研究所：強震観測網，https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/
5) 気象庁：長周期地震動階級の観測結果，
https://www.data.jma.go.jp/eew/data/ltpgm_explain/event.php?eventId=20240101161010&dir1=data/past&past=1
6) 宮崎県，https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/6786/6786_20220617182201-1.pdf
7) Imai K, Nakai K, Hirai T, Noda, T., Arai, N., Iwama, S., Iwase, H. and Baba, T., Tsunami hazard evaluation of river embankment structures incorporating their vulnerability to seismic strong motion, Earthquake Spectra, in printing, 2024.
8) Midorikawa, S. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake, Journal of structural engineering. B (33), pp. 43-48, 1987.
9) Sugito, M., Furumoto, Y., Sugiyama, T. Strong motion prediction on rock surface by superposed evolutionary spectra, Proc. of the 12th WCEE, CD-ROM, 2000.
10) 国土技術政策総合研究所：レベル 1 地震動（地方港湾），
https://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html
11) G 空間情報センター：南海トラフの巨大地震モデル検討会　強震断層モデル(4)工学的基盤における強震動波形，https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1204
12) G 空間情報センター：「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」の両検討会　（３）工学的基盤（Vs=700m/s 相当層）における長周期地震動波形_45_宮崎県，https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1243
13) 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

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
(a) 南海トラフ地殻活動情報とハザード・リスク情報の社会実装に向けて（口頭発表）	高橋 成実 今井 健太郎 中井 健太郎 近貞 直孝 馬場 俊孝 野々村 敦子 中村 洋光 金田 義行 小平 秀一	第 16 回日本地震工学シンポジウム	2023.11	国内
地震動の継続時間および周波数特性が河川堤防の地震被害に及ぼす影響（口頭発表）	中井健太郎 野田利弘	第 16 回日本地震工学シンポジウム	2023.11	国内

砂ー粘土互層軟弱地盤上に築造された河川堤防の地震時被害に及ぼす地震動継続時間の影響（口頭発表）	中井健太郎 花田優 野田利弘 馬場俊孝 蒋景彩	第 58 回地盤工学研究発表会	2023.7	国内
応答スペクトルが等しく継続時間が異なる入力地震動による河川堤防の耐震性照査（口頭発表）	中井健太郎 花田優 羽田野純也 野田利弘	第 28 回計算工学講演会	2023.5	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
Tsunami hazard evaluation of river embankment structures incorporating their vulnerability to seismic strong motion	Kentaro Imai Kentaro Nakai Takashi Hirai Toshihiro Noda Nobuo Arai Shunji Iwama Hiroyuki Iwase Toshitaka Baba	EARTHQUAKE SPECTRA	2024.3	国外

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

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、昨年度と同じテーマである、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。各自治体やライフライン企業、地方支分局、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、各テーマについて年間２回ずつ開催した。形式は「With コロナ」を意識した昨年度のハイブリッド形式、ある

いは対面形式の検討会を踏襲した。

ハザード評価は９月 29 日に人材育成と合同で高松市の香川県社会福祉総合センターを会場としてハイブリッド形式で、１月 11 日に複合災害対応と合同で和歌山県 JA ビルを会場としハイブリッド形式で実施した。複合災害対応は、７月 31 日に香川大学を会場としてハイブリッド形式で、また、１月 11 日にはハザード評価と合同で実施した。事業継続はハイブリッド形式で９月４日と１月 31 日に名古屋大学を会場として実施した。人材育成は９月 29 日にハザード評価と合同で実施し、２月５日は兵庫県立大学を会場としてハイブリッド形式で実施した。

なお、９月 29 日のハザード評価と人材育成の合同会の前日である９月 29 日には、坂出市が実施した図上防災訓練の見学会を実施した。

(b) 業務の成果

これまで構築してきた連携関係に基づき、昨年度同様、情報発信検討会を定常的に開催した。テーマは昨年度同様、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の４つで、各テーマの幹事も昨年度と同様、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。また、各テーマを総括・取り纏め、サブ課題３内、そしてサブ課題１とサブ課題２との連携を図る立場である代表幹事を防災科学技術研究所の高橋成実氏が務めた。

i) ハザード評価

ハザード評価テーマを２回開催した（表２－８－②－１）。１回目は 2023 年９月 29 日(金)に高松市の香川県社会福祉総合センターを対面参加の会場として、２回目は 2024 年１月 11 日（木）に和歌山市の和歌山県 JA ビルを対面の会場として、それぞれオンライン参加も受け付けるハイブリッド形式で開催した。前者は人材育成テーマと合同で、後者は複合災害対応テーマと合同で行った。参加者（以降、順不同）は１回目が会場に和歌山県、徳島県、坂出市、四国地方整備局、香川大学、徳島大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、オンラインで兵庫県、高知県、大阪府、三重県、和歌山県、愛知県、岡崎市、高松市、気象庁地震火山部、大阪管区気象台、福岡管区気象台、鹿児島地方気象台、奈良地方気象台、高松地方気象台、岡山地方気象台、高知地方気象台、広島地方気象台、九州地方整備局、NTT 西日本四国支店、NTT 西日本関西支店、関西電力、四国電力、カズケミカル物流西日本倉庫部、関西国際大学、徳島大学、香川大学、文部科学省、海洋研究開発機構、あわせて 36 機関の参加があった。２回目は会場に和歌山県、由良町、大阪管区気象台、和歌山地方気象台、香川大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、オンラインで静岡県、高知県、宮崎県、香川県、兵庫県、和歌山県、名古屋市、有田市、田辺市、碧南市、由良町、大阪管区気象台、福岡管区気象台、高知地方気象台、鹿児島地方気象台、奈良地方気象台、和歌山地方気象台、高松地方気象台、岡山地方気象台、徳島地方気象台、彦根地方気象台、広島地方気象台、四国地方整備局、近畿地方整備局、九州地方整備局、NTT 西日本東海支店、NTT 西日本関西支店、関西電力、四国電力、名古屋大学、香川大学、明石工業高等専門学校、文部科学省、防災科学

技術研究所、海洋研究開発機構、あわせて 42 機関の参加があった。

１回目の検討会では、最初に坂出市の笠井氏から「DONET による津波予測システムの活用について－坂出市における消防訓練の事例－」と題して、続いてテーマ幹事の海洋研究開発機構の今井氏から「ハザードマップにはない被害を予測する」と題した話題提供があり、最後に合同で行った人材育成テーマより、同テーマ幹事の徳島大学の馬場氏から「防災人材育成のためのコンテンツ作成と活用」の話題提供があった。質疑応答や、その後の総合討論では地震・津波観測監視システム（DONET）の利活用の先進事例の１つである DONET の津波浸水予測を用いた消防隊の活動訓練について多くの質問やコメントが寄せられた。ピンポイントの訓練だけでなく、継続できるよう人材育成にも力を入れている坂出市の取り組みは、今回の検討会のもう１つのテーマである人材育成の視点からも、参加者にとって参考となる内容であった。ハザードマップにない被害については、ハザードマップの限界や、最大規模の想定を提示することによる避難率の低下の課題があらためて浮き彫りとなる議論が交わされた。ハザードマップは地震の時間差発生や複合災害を考慮したものではなく、また、本プロジェクトで取り組んでいる津波漂流物や河川等の堰堤の耐性も考慮されていない実情があらためて共通認識され、本プロジェクトへの期待が高まった。このテーマの目的でもある想定外を無くすためには、個人の知識や考え方も大きく依存することから、次の地域防災を担う若い世代の人材育成がとても重要である。避難行動や地域防災に貢献する内容を取り入れている人材育成テーマのコンテンツについて大きな関心が寄せられた。人材育成だけでなく、広く一般向けの啓発という観点に立っても、この情報発信検討会はさまざまな組織や立場で多くの取り組みが行われており、有機的にそれらを繋ぐ機会となるよう期待する声が聞かれた。

また、この検討会の前日の 2023 年９月 28 日（木）は、香川県の坂出市が地震津波対策として地震・津波観測監視システム（DONET）の情報を活用した図上シミュレーション訓練が行われた。坂出市のご厚意により、刻々と変化する訓練の津波浸水情報を基にした消防隊の救助や避難誘導などの活動と津波到来に備えた撤収の図上訓練、ならびに香川県の防災ヘリを使った津波浸水孤立地域からの救助訓練を図上訓練会場で見学させていただいた。本プロジェクト関係者だけでなく、他の行政機関からも高い関心が寄せられ、参加者の調整を行ったほどだった。前述の９月 29 日の情報発信検討会でも議論になったとおり、見学者は熱い視線で様子を注視していた。本プロジェクトとしても、他地域でも同様の訓練を展開してきたいと考えている。

２回目の検討会では、最初に１月１日の能登半島地震に関して複合災害対応テーマのテーマ幹事の香川大学の金田氏とハザード評価テーマのテーマ幹事の海洋研究開発機構の今井氏から情報提供があった。その後、予定の議事に入った。海洋研究開発機構の堀氏から「南海トラフ震源域の現状把握と推移予測に向けた取り組みとその活用」と題して、次に和歌山県の坂本氏から「和歌山県の取り組みについて」と題して、最後に香川大学の野々村氏から「大雨と地震の複合災害を考える」と題して話題提供があった。能登半島地震の科学的な知見などの情報提供については、本検討会参加者との情報共有や、南海トラフ地震の防災減災対策にもつながることから急遽実施した。質疑応答も含めて、現地に入った研究者の研究的な視点からの話、あるいは、現地に職員を送っている自治体の話など、公になりにくいものの重要なポイントがタイムリーに共有された。

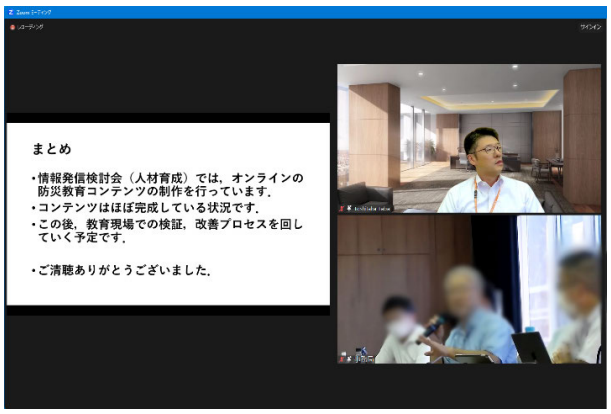
南海トラフ震源域の現状把握と推移予測の話題は、本プロジェクト内の連携と最終的な成果とそのまとめ方、発信の仕方を意識したものであるが、以前より情報発信検討会の参画メンバーからも理学的な知見の共有を求める声があった。参加者からは、先行地震と後発地震についての課題や懸案が出され、南海トラフ地震臨時情報が出された際の対応も含めて、推移予測の現状を理解して、それを住民や関係者にどのように伝えていくか、組織としてどのように対応していくか、結論が見えない難しい議論が行われた。和歌山県の取り組みの紹介については、南海トラフ地震を始めとして同県は先進的な取り組みをしている自治体のひとつであり、参加者の関心も高まった。能登半島地震の現地の様子と比較する質問も多く、能登と和歌山の地形的な違いに加え、降雪や気温の違いの指摘もあった。大雨と地震だけでなく、時間差の地震も含めた複合災害は、その複雑さや煩雑さ、想定の難しさなどから、深い議論がされにいくテーマであり、自治体や企業にとっては、その議論まで手が回らなかったことは否めない。今回は、大雨による土砂災害に焦点をあてた話題と議論であったが、対策の優先順位をつけるうえでも、地質データの整備や、降雨予測の難しさなど、課題が共有された形となった。臨時情報が出された際、中山間部のリスクもきちんと評価した上で、避難や備えを行う重要性も強調された議論となった。

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

日・実施形態など	議事（話題提供）	話題提供者
第1回ハザード評価 （人材育成と共同開催）	DONETによる津波予測システムの活用について ー坂出市における消防訓練の事例ー	坂出市 危機管理課 笠井 武志
2023年9月29日(金) 13：30 ～ 16：30	ハザードマップにはない被害を予測する	海洋研究開発機構 今井健太郎
ハイブリッド 会場：香川県社会福祉総合センター	防災人材育成のためのコンテンツ作成と活用	徳島大学 馬場 俊孝
第2回ハザード評価（複合災害対応と共同開催）	南海トラフ震源域の現状把握と推移予測に向けた取り組みとその活用	海洋研究開発機構 堀　高峰
2024年1月11日(木) 13：30 ～ 16：30	和歌山県の取り組みについて	和歌山県 総務部 危機管理局 坂本 行広
ハイブリッド 会場：和歌山県JAビル	大雨と地震の複合災害を考える	香川大学 野々村 敦子



現地会場



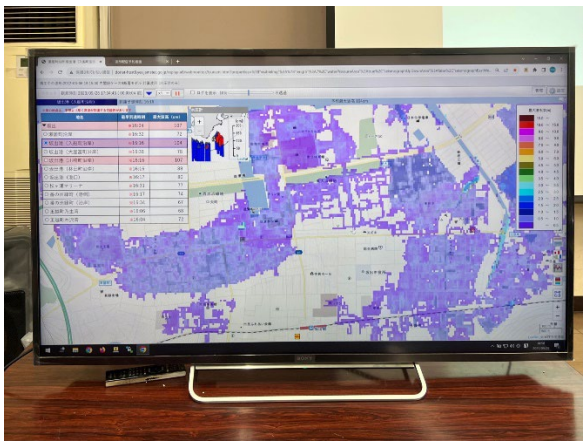
オンライン画像

写真２－８－②－１　第一回ハザード評価・人材育成テーマ　（合同）の様子





写真２－８－②－２　坂出市消防の図上訓練および防災ヘリ実働合同訓練　見学会



津波浸水を示す画面



津波浸水で孤立した地域に飛来した防災ヘリ

写真２－８－②－３　坂出市消防の図上訓練および防災ヘリ実働合同訓練





現地会場　　オンライン画像

写真２－８－②－４　第二回ハザード評価・複合災害対応テーマ　（合同）の様子

ii）複合災害対応

複合災害対応テーマを２回開催した（表２－８－②－２）。１回目は 2023 年７月 31 日（月）に香川大学を対面参加の会場として、２回目は 2024 年１月 31 日（木）にハザード評価と合同で和歌山市の和歌山県 JA ビルを対面の会場として、それぞれオンライン参加も受け付けるハイブリッド形式で開催した。参加者は１回目が会場に香川県、徳島県、坂出市、三豊市、高松地方気象台、四国地方整備局、四国ガス株式会社、四国経済連合会、香川大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、オンラインは高知県、大阪府、徳島県、愛媛県、宮崎県、香川県、三重県、和歌山県、静岡県、兵庫県、高松市、丸亀市、大洲市、四日市市、室戸市、直島町、上板町、海陽町、多度津町、小豆島町、三観広域行政組合消防本部、大川広域消防本部、気象庁地震火山部、大阪管区気象台、福岡管区気象台、鹿児島地方気象台、熊本地方気象台、高松地方気象台、宮崎地方気象台、岡山地方気象台、徳島地方気象台、高知地方気象台、松江地方気象台、高知地方気象台、松山地方気象台、奈良地方気象台、神戸地方気象台、九州地方整備局、近畿地方整備局、四国地方整備局、NTT 西日本設備本部、NTT 西日本関西支店、NTT 西日本社東海支店、NTT 西日本四国支店、NTT フィールドテクノ、中部電力、関西電力、四国電力、日鉄テクノロジー、四国ガス、応用地質、土佐清水ジオパーク、関西国際大学、香川大学、名古屋大学、明石高専、文部科学省、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、あわせて 70 機関の参加があった。

１回目の検討会では、最初に複合災害対応テーマ幹事である香川大学の金田氏から「南海トラフ地震におけるマルチ強震動の被害軽減について」と題して、続いて高松地方気象台の築山氏から「風水害に関連した複合災害」と題して話題提供を行った。質疑応答や、その後の総合討論では、複合災害のパターンや事例が「つかめない」「複雑すぎる」「災害の激甚化の傾向で個々の災害ですら対応が難しい」「ハードの対応ではなく、ソフトで対応せざるをえない」「臨時情報が出たあとの対応が難しい」「複合的に起きる災害の被害を理解するのが難しい」といったさまざまな意見や質問が出された。このテーマの難しさや課題、そしてそれらが膨大に、かつ複雑に絡み合って存在することが改めて浮き彫りとなった。課題に対する答えを出すことは難しく、１つではないの

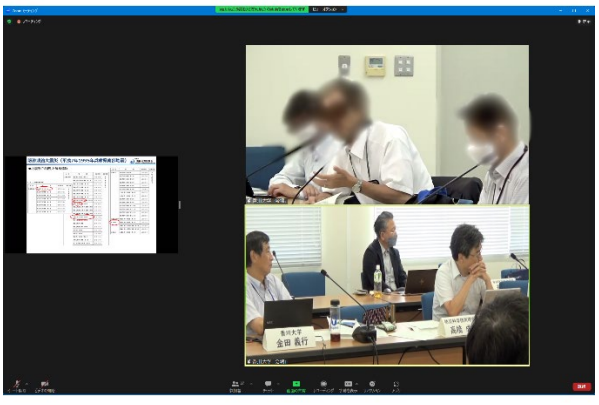
で、それぞれがこのテーマについて考えを深め、こうした機会で議論を重ねることの重要性が共有された。地震の連動については、熊本地震の事例を中心に議論された。南海トラフ地震臨時情報が出されたあとは、津波だけでなく連動地震や中山間部も含めた地盤の脆弱性の評価の重要性の指摘があった。また、高松でのハイブリッド開催であったため、香川県内に多数存在するため池のリスクについても議論された。風水害に関連した複合災害は、地震による地盤沈下や堤防の被害があった後の風水害のリスク評価について議論された。気象台の対応、自治体の対応、そしてデマ情報や正しい情報の共有について活発な意見が出された。

※２回目は、ハザード評価テーマと合同で実施したので、そちらを参照のこと。

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

日・実施形態など	議事（話題提供）	話題提供者
第１回複合災害対応 2023 年 7 月 31 日(月) 13：30 ～ 16：30 ハイブリッド 会場：香川大学又信記念館	南海トラフ地震におけるマルチ強震動の被害軽減について	香川大学 金田 義行
	風水害に関連した複合災害	高松地方気象台 築山　秀治
第２回複合災害対応 （ハザード評価と共同開催） 2024 年 1 月 11 日(木) 13：30 ～ 16：30 ハイブリッド 会場：和歌山県 JA ビル	南海トラフ震源域の現状把握と推移予測に向けた取り組みとその活用	海洋研究開発機構 堀　高峰
	和歌山県の取り組みについて	和歌山県 総務部 危機管理局 坂本 行広
	大雨と地震の複合災害を考える	香川大学 野々村 敦子





現地会場　　オンライン画像

写真２－８－②－５　第一回複合災害対応テーマの様子

iii)事業継続

事業継続テーマを２回開催した(表２－８－②－３)。１回目は 2023 年９月４日(月)に、２回目は 2024 年１月 31 日（水）に名古屋大学を対面参加の会場としてオンライン参加も受け付けるハイブリッド形式で開催した。１回目の参加者は、会場が愛知県、名古屋大学、NTT 西日本東海支社、防災科学技術研究所、応用地質、海洋研究開発機構、オンラインが応用地質、土佐清水ジオパーク推進協議会、四日市市、兵庫県、大阪府、高知県、延岡市、幸田町、東京海上ディーアール、徳島県、香川大学、防災科学技術研究所、九州地方整備局、静岡県立大学、高松地方気象台、高知地方気象台、イオン、岡山地方気象台、四国電力、NTT 西日本、鹿児島地方気象台、NTT フィールドテクノ、関西国際大学、名古屋大学、和歌山県、近畿地方整備局、文部科学省、大阪管区気象台、リアルタイム地震・情報利用協議会、静岡県、京都大学、あわせて 37 機関の参加があった。２回目の参加者は、会場が応用地質、NTT 西日本東海支店、名古屋地方気象台、愛知県、カインズ、名古屋大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、オンラインがガスケミカル物流西日本、NTT 西日本関西支店、ＵＢＥ、イオン、応用地質、岡山地方気象台、ダイフク、関西国際大学、関西電力、気象庁、宮崎県、近畿地方整備局、香川大学、高松地方気象台、高知地方気象台、三井化学、鹿児島大学、静岡県、大阪管区気象台、大阪府、土佐清水ジオパーク推進協議会、東京海上ディーアール、東京管区気象台、福岡管区気象台、奈良地方気象台、日清オイリオグループ、日本酢ビ・ポバール、兵庫県、防災科学技術研究所、和歌山県、あわせて 38 機関の参加があった。

１回目の検討会では、第一部では４題の話題提供と質疑応答、第二部ではミニワークショップを行った。話題提供は最初がテーマ幹事の防災科学技術研究所の中村氏から「地震防災基盤シミュレータの試験公開」について、２番目に京都大学の矢守氏から「津波避難戦略支援ツール「逃げトレ View」の開発と活用」、３番目に応用地質の鬼頭氏から「南海トラフ地震の津波ハザード情報を用いた確率論的浸水リスク評価とその利活用」、最後に名古屋大学の小沢氏と羽田野氏から「ガス事業者における地震対策の事例」と題して行った。第二部は「「半割れで社会がどこまで耐えられるのか？」を考えるミニ WS」としてミニワークショップを行った。地震防災基盤シミュレータについては、多数のパターンが整備されることから、関係者の期待が高かった。逃げトレ View は、自治体の活用を目指したシステムであることもあり、特に自治体の関心を集めた。システムの利用できる地域が南海トラフ地震で大きな被害が想定されている特定の地域のみである現状について、広範囲に広げて欲しいといった希望が出された。その他の話題提供についても、現在の BCP が完成したものと考えず普段のチェックの必要性、南海トラフ地震臨時情報が出た後はどうするのか、ライフラインの健全性や被災後の復旧体制に関する懸案などの意見が出された。ミニワークショップでは、M8 クラスの半割れ地震が起きたとき、どのような影響が出るか、自社はどうなのか？事業継続のための事前対策は？といったテーマで議論した。議論以外にも、想定外を無くす難しさや人の考えることで意識違いや濃淡による合意の難しさ、自治体の防災計画の現状は単一のシミュレーション結果に基づいており多様性を理解することの難しさの指摘があった。

２回目の検討会は、前回と同様に二部構成として第一部が話題提供と質疑応答、第二部はミニワークショップを行った。第一部の話題提供は、最初に名古屋大学の平山氏か

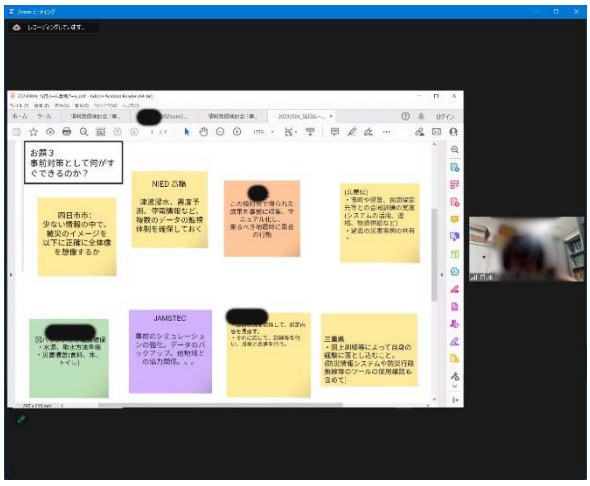
ら「南海トラフ地震理論上最大シナリオの限界／R6 能登半島地震」と題して、１月１日に起きた能登半島地震のライフラインや災害廃棄物の状況の紹介も含めた話題提供があった。次に防災科学技術研究所の齊藤氏から「物理モデルによる南海トラフ巨大地震の破壊シナリオの作成」、最後に防災科学技術研究所の水井氏から「地震防災基盤シミュレータを活用した災害対策の事例紹介　およびワークショップの説明」と題した話題提供と説明があった。第二部は「M8 クラスの被害において現実的に実施できる対策 WS」としてミニワークショップを行った。第一部の最初の話題提供で、１月１日に発生した能登半島地震の現状について、水道と災害廃棄物の視点から話題提供があった。水道は重要施設に被害が多く出ていることが過去の大きな地震との違いで、復旧作業についての話もあった。南海トラフ巨大地震の破壊シナリオについては、シナリオ作成の際のマグニチュードの想定や日向灘の扱いについて議論された。ミニワークショップでは、M8 クラスの地震よって社会がどうなるか？さらに、その地震で事業継続に大きな影響を出さないための対策について議論した。前者については交通網やライフラインの被害、火災を中心に多くの混乱要素が示された。後者は、組織間・地域間・同業種間の協力体制や連携、備蓄や情報の活用などが重要なポイントとして示された。また、質疑応答では通信の冗長性確保の手立てや能登半島地震の通信途絶の経験からの議論が行われた。

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

日・実施形態など	議事（話題提供）	話題提供者
第1回事業継続 2023年9月4日(月) 13：30 ～ 17：00 ハイブリッド 会場：名古屋大学 環境総合館	地震防災基盤シミュレータの試験公開	防災科学技術研究所 中村 洋光
	津波避難戦略支援ツール「逃げトレView」の開発と活用	京都大学 矢守 克也
	南海トラフ地震の津波ハザード情報を用いた確率論的浸水リスク評価とその利活用	応用地質株式会社 鬼頭 直
	ガス事業者における耐震対策の事例	名古屋大学 小沢 裕治、羽田野 拓己
	ミニワークショップ　「半割れで社会がどこまで耐えられるのか？を考えるWS」	
第2回事業継続 2024年1月31日(水) 13：30 ～ 17：00 ハイブリッド 会場：名古屋大学 減災館	南海トラフ地震理論上最大シナリオの限界／R6能登半島地震	名古屋大学 平山　修久
	物理モデルによる南海トラフ巨大地震の破壊シナリオの作成	防災科学技術研究所 齊藤 竜彦
	地震防災基盤シミュレータを活用した災害対策の事例紹介　およびワークショップの説明	防災科学技術研究所 水井 良暢
	ミニワークショップ　「M８クラスの被害において現実的に実施できる対策WS」	



現地会場の議論



オンラインによる議論

写真２－８－②－６　第１回事業継続テーマの第二部ミニワークショップの様子



第一部の話題提供（現地会場）



ミニワークショップ（現地会場の議論）

写真２－８－②－７　第２回事業継続テーマの様子

ⅳ）人材育成

人材育成テーマを２回開催した（表２－８－②－４）。１回目は 2023 年９月 29 日（金）にハザード評価テーマと合同で高松市の香川県社会福祉総合センターで、２回目は 2024 年２月５日（月）に神戸市の兵庫県立大学神戸防災キャンパスにおいて、どちらもハイブリッドで開催した。２回目の参加者は現地会場に防災科学技術研究所、兵庫県立大学、3.11 メモリアルネットワーク、徳島大学、徳島市立国府中学校、室戸ジオパーク推進協議会、一般社団法人りぐる、静岡県立大学、海洋研究開発機構、オンラインで NHK 報道局社会部、NHK 徳島、海洋研究開発機構の 12 機関の参加があった。

２回目の検討会は４題の話題提供があった。最初に「徳島県における南海トラフ臨時情報に備えた取り組み」と題して徳島大学の金井氏から、次に「北海道・三陸沖後発地震注意情報のアンケート調査について」と題して NHK の宮原氏から、三番目に「災害情報リテラシー尺度の開発をめざして」と題して兵庫県立大学の松川氏から、最後に「東

日本大震災被災地の現状報告」と題して 3.11 みらいサポートの中川氏から話題提供があった。徳島県における取り組みは、南海トラフ地震臨時情報についての高齢者施設や沿岸市町へのアンケート、小学校向けの防災体験活動の結果が紹介され、詳細な結果から活発な質疑応答がなされた。後発地震注意情報のアンケート調査は、情報の出し方とそれが伝わらないジレンマなどが質疑応答での話題となった。また、M8 クラスの地震が起きたあと、大津波警報が出ている最中に臨時情報（巨大地震警戒）が出された際の情報発信の在り方について議論された。災害情報リテラシー尺度の開発は、現在進めている作りこみの紹介が行われ幅広い年齢層に対応するアンケート設問に関して議論が交わされた。東日本大震災被災地の現状報告は伝承を中心とした話題で、伝承団体の高齢化や後継者不足の問題が紹介され、伝承を職業に位置付けた取り組みの必要性が共有された。

※１回目は、ハザード評価テーマと合同で実施したので、そちらを参照のこと。

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

日・実施形態など	議事（話題提供）	話題提供者
第１回人材育成（ハザード評価と共同開催） 2023 年 9 月 29 日(金) 13：30 ～ 16：30 ハイブリッド 会場：香川県社会福祉総合センター	DONET による津波予測システムの活用について ー坂出市における消防訓練の事例ー	坂出市 危機管理課 笠井 武志
	ハザードマップにはない被害を予測する	海洋研究開発機構 今井健太郎
	防災人材育成のためのコンテンツ作成と活用	徳島大学 馬場俊孝
第２回人材育成 2024 年 2 月 5 日(月) 13：30 ～ 16：00 ハイブリッド 会場：兵庫県立大学 神戸防災キャンパス大教室	徳島県における南海トラフ臨時情報に備えた取り組み	徳島大学 金井 純子
	北海道・三陸沖後発地震注意情報のアンケート調査について	NHK 報道局社会部 宮原 豪一
	災害情報リテラシー尺度の開発をめざして	兵庫県立大学 松川 杏寧
	東日本大震災被災地の現状報告	3.11 みらいサポート 中川 政治
	防災教育コンテンツの作業報告	各担当者



話題提供（現地会場）



話題提供（オンライン画像）

写真２－８－②－８　第二回人材育成テーマの様子

情報発信検討会（人材育成）では防災人材の育成を目的として、オンラインで視聴可能なビデオ教育コンテンツを作成している（写真２－８－②－９、https://www.toshitaka-baba.com/jinzai よりアクセス可能）。予定している講義内容を表２－８－②－５にまとめる。視聴対象は一般、大学教養レベルを想定し、各回 20 分程度の説明ビデオ２～３本で構成されている。 現時点で第１回、第２回、第３回、第４回、第５回、第６回、第７回は公開済みである。第４回や第６回は人材育成の情報発信検討会のみならず、他の情報発信検討会（ハザード、複合災害対応、事業継続）の議論も参考にしながら作成した。第８回は準備中で来年度（令和５年度）に公開する予定である。



写真２－８－②－９　防災教育コンテンツのメインページ

表２－８－②－５ ビデオ教育コンテンツの構成と準備状況

	内容	担当者	作業状況
第１回	地震と津波の基礎	徳島大学　馬場俊孝	公開済み
第２回	東日本大震災の教訓	3.11 みらいサポート 中川政治	公開済み
第３回	南海トラフって何だ	徳島大学　馬場俊孝	公開済み
第４回	ハザードマップのいろは	香川大学　野々村敦子	公開済み
第５回	どーなってんの、DONET（どぅーねっと）	防災科学技術研究所 高橋成実	公開済み
第６回	臨時情報、活かせる	静岡県立大学 楠城一嘉	公開済み
第７回	要配慮者の防災対策	徳島大学　金井純子	公開済み
第８回	防災人材育成	兵庫県立大学 阪本真由美	準備中

v）地殻活動情報共有のためのダッシュボード開発

開発を開始した地殻活動情報共有のためのダッシュボードの仕様をサブ課題１とサブ課題２の状況を見ながら改定した。サブ課題１からは、震源時空間分布が提供され、気象庁一元化震源とともに表示できるように改定した（図２－８－②－１）。B値等、地震活動の時間遷移が把握できるように考慮した（図２－８－②－２）。1940年代には、日向灘地震、鳥取地震、東南海地震、三河地震、南海地震、福井地震と多くの被害地震が発生しているが、これらの地震とその余震の空間分布遷移が把握することができる。これらの分布から 1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の前後には、西日本全体での地震活動が活発化していた様子を確認することができる。ゆっくりすべり活動については、他機関から外部公表されている情報を重ねることとしている。また、地震・津波観測監視システム（DONET）の海底水圧計データにより地殻変動成分が提供されることになっているが、現段階では来年度の課題としている。サブ課題２から提供されるデータとして、内閣府提供のＭ９モデル 11 ケースの震度階、建物被害と人的被害の図を重ねられるように改定した（図２－８－②－３）。今後、サブ課題１とサブ課題２から提供される情報を付与する予定である。

来年度は、このシステムを防災科学技術研究所のクラウド上に展開し、自治体や基礎自治体、国土交通省地方整備局や地方気象台にアカウントを発行して試用を進め、表示の最適化を図る予定である。

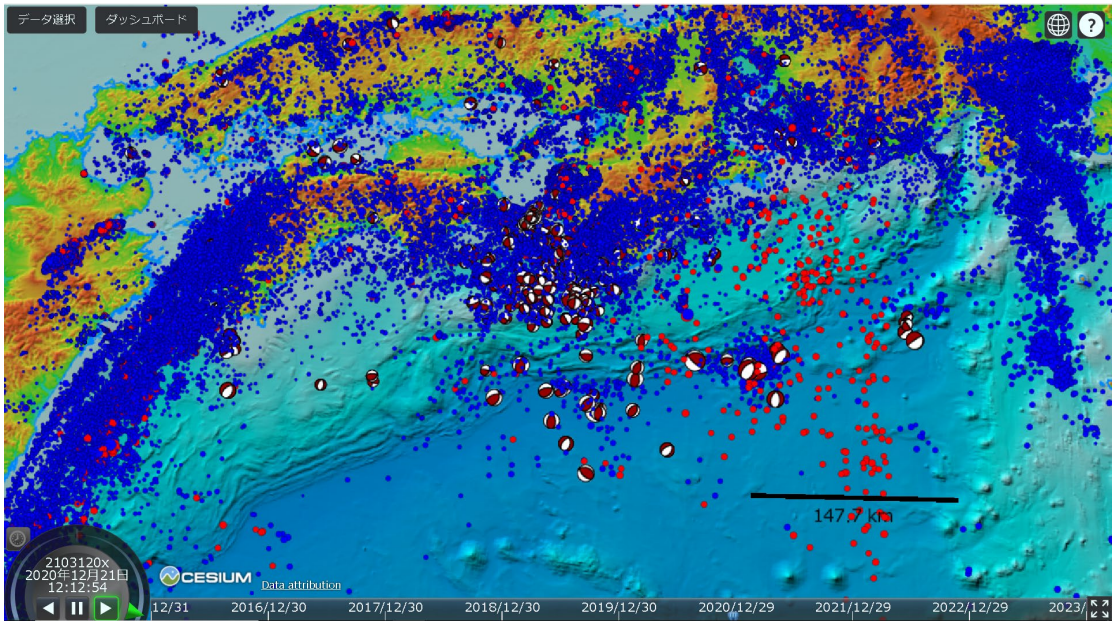


図２－８－②－１　サブ課題１から提供された震源分布（青点）。赤丸は気象庁一元化震源を示す。気象庁一元化震源よりも多くの震源情報が提供されている。

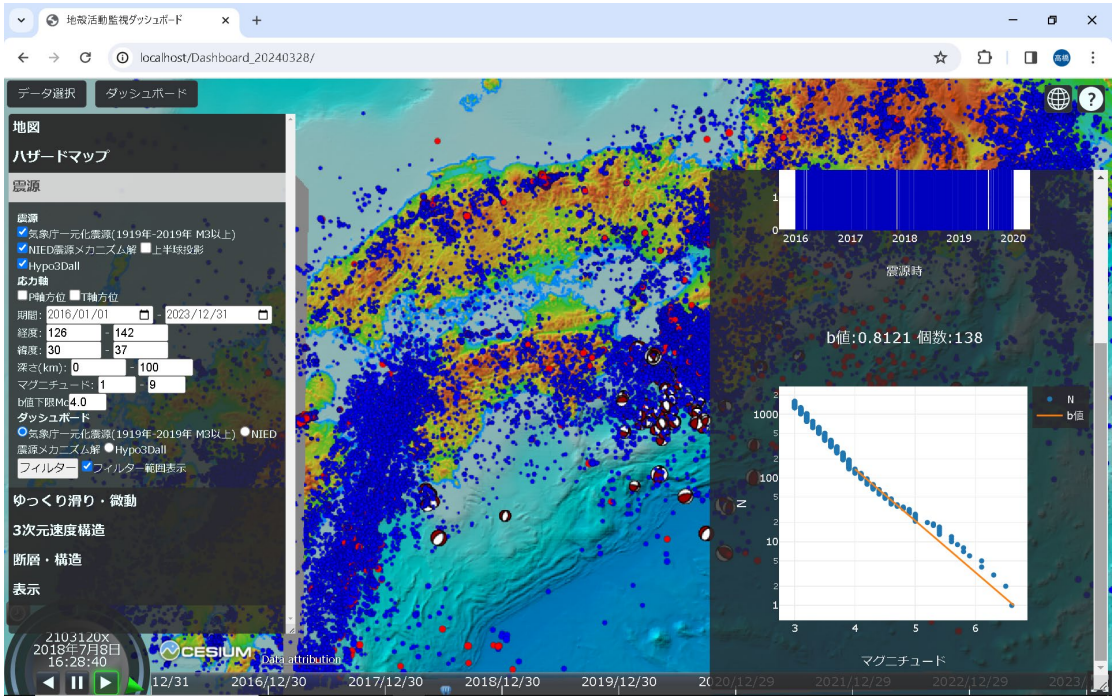


図２－８－②－２　選択した時空間分布内のｂ値を示す。

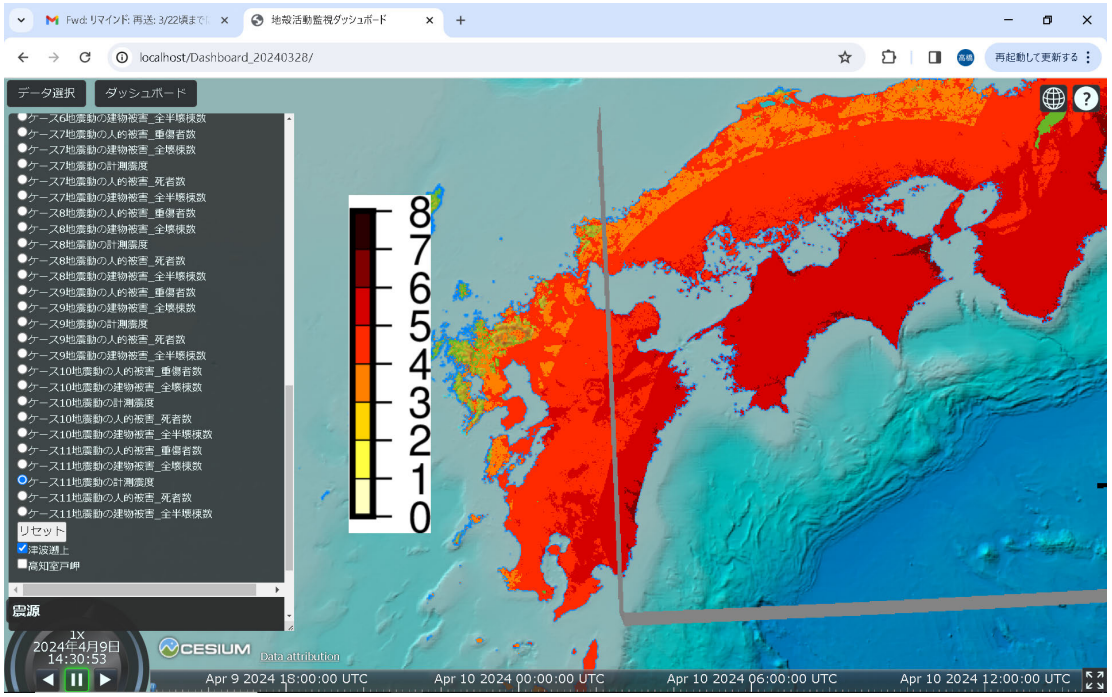


図２－８－②－３　サブ課題２から提供されたハザード情報。ここでは M9 モデルのケース 11 の震度階を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

これまで同様、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の４つをテーマに、年２回（一部、合同開催あり）の情報発信検討会を、対面とオンラインのハイブリッドで開催した。

ハザード評価テーマは、想定外をなくすことを念頭に被災イメージを提示して対応の最適解を探る議論を深めた。複合災害対応テーマは、さまざまな複合災害があり、その多種多様で変化にとんだ被災がイメージできることを共有した。また広域支援や広域避難も意識した議論を深めた。事業継続テーマは、ワークショップを中心に南海トラフ地震臨時情報の社会の動きを検証、課題の洗い出しを行った。それら課題への対応をどうするか議論を深めていった。人材育成テーマは教育コンテンツの作成とその効果の検証を大学生中心に行っている。コンテンツを作る側、それを使って教育する側の意識の深化も強く意識した取り組みを行っている。

防災上の重要な課題として本プロジェクトではこの４つのテーマで検討会を行っているが、参加者からの声などから共通して言えることは、４つのテーマの有機的な結ぶつきが必須なことだ。令和５年度からは、これまでのサブ課題２の社会学的な分野との連携に加え、サブ課題１の理学分野の成果を検討会でも取り入れ、その理学分野の不確定な要素をどう分かりやすく情報発信するか、一般の方々のリテラシーを向上させるためにはどうしたらよいか？ということも意識した。推移予測などの理学分野の内容も聞きたいという声も多く、本プロジェクト内の他の課題との連携や情報共有の重要性と関心の高さを再認識させられた。限られた機会で、取っ付き難い理学の話題を分かりやすく伝え議論をどの様に深めるか模索中と言える。令和２年度からの５か年事業の出だしはコロナによるオンライン中心の検討会であったために難しかった“顔が見える関係”、“忌憚のない意見が言える関係”も、令和４年度から令和５年度にかけて対面を重視した検討会の実施によって徐々に出来上がっている。令和６年度は最終年度であり、事業終了後も成果の活用やここで構築された繋がりが有機的に活かされ、継続されるための“出口”を意識して取り組みを進めていく。

人材育成のコンテンツ作成準備は着々と進み、防災人材育成のテーマを残すのみとなった。大学生の教養課程もしくは一般の生涯学習のレベルを想定して準備している。シミュレーション結果を含む様々な研究成果や現地での作業風景などもふんだんに取り込まれ、おおむね好評を頂いている。今後、小学生から中学生、高校生向けの人材育成の検討に入る予定である。

地殻活動ダッシュボードでは、サブ課題１とサブ課題２からの成果の実装を開始した。これまでは、気象庁一元化震源など、既存の情報の可視化に限られていたが、それぞれからの研究成果の可視化が進んでいる。来年度に向けて、これらのコンテンツの実装を進め、実際にユーザーのアカウントを発行して、各種データの可視化への意見を募り、最終化を進める予定である。

(d) 引用文献

なし

(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

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してきた。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から、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、グローカル指向）、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。これまで設問数が多く、なかなか回答数が伸びなかった状況があったが、これらを大分類と小分類を設問ごとに整理し、５つの設問群に分けたことで回答数が大幅に伸びた。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。

防災意識尺度からは、地域の防災意識や職業ごとの特性が把握できつつある。高校生や大学生にも協力頂いていることから、これらの解析を進めて、今後の教育方針や人材育成に活かすことを考えている。アンケート調査の定点観測からは、それぞれ授業の介入による効果は確認できたが、もう少し長期的な取り組みが必要である。

(b) 業務の成果

サブ課題３では、ハザードマップやリスク評価など様々な防災関連情報をどう伝わっているのかを確認するためにアンケート調査を実施し、災害情報リテラシーを向上させるための知見を取得しようとしている。これまで、150 問程度の設問を用意してきたが、アンケート回答者にとって、大量の設問数は十分な回答を得られずに終わってしまうことが多かった。そのため、５つの設問群に分けて、回答者には好きな設問群を選んでもらうように変更した。これにより、設問数は 20-30 程度になり、回答者数を伸ばすことにつなげることができた。設問群に分けるにあたっては、各設問に大分類と小分類のキーワードを付与し、５つの設問群で同じ分類の設問が重ならないように分散させ、偏りなく調査できるように配慮した（図２－８－③－１）。

また、アンケートの設問をクラウド上に展開し、アンケート実施にあたり、紙媒体での配布など、アンケート調査の協力者に負担がかからない体制を維持した。さらに、アンケート全体をまとめて閲覧可能な集約ページを作成し、回答者が各アンケートにアクセスしやすいようにユーザインターフェースを改良した。防災意識尺度の回答は必須とした。選択となる一般向けアンケート５つは回答数にむらが出ないようにするため、毎月表示順序を変更する対策を行った。（図２－８－③－２）

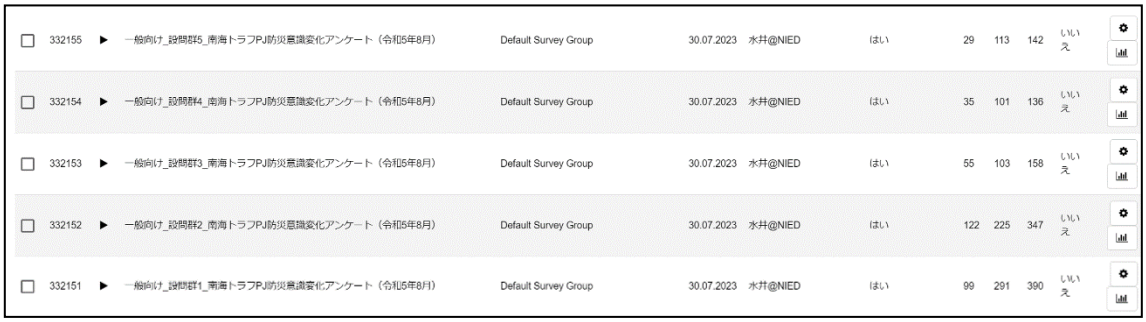


図２－８－③－１　５分割されたアンケート（クラウドシステム管理画面）



図２－８－③－２　アンケート集約ページ

アンケート調査を実施するにあたり、防災意識尺度との併用も行っている。防災意識尺度[1) 2)]から示される傾向とアンケート調査から示唆される傾向との整合性を確認するためである。図２－８－③－３にアンケート調査に協力して頂いた方の地域分布と職業分布を示す。サブ課題３では、南海トラフ沿岸地域の地域防災を支える方々との共創を考えてきた。また、未来の地域防災を支える人材として学生への関与を強めてきたところである。このアンケート調査は、必ずしもサンプリングが均質ではないが、それぞれの地域の特徴を今後整理する必要がある。

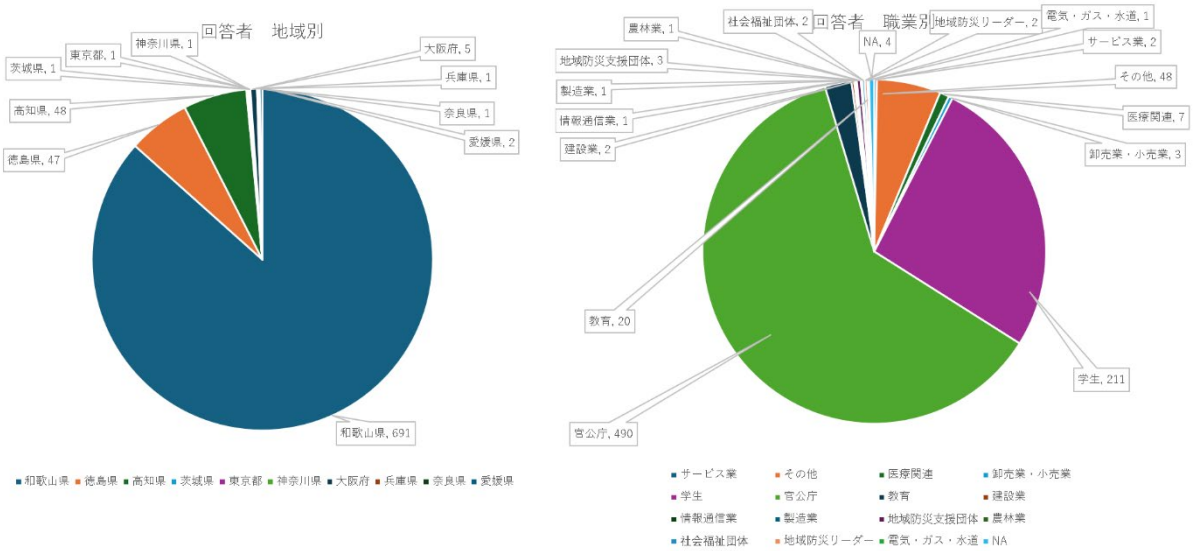


図２－８－③－３　アンケート回答者の地域別（左）、職業別分布（右）。

ここで防災意識尺度から示された各地域の傾向について述べる。ここでは５つの因子「被災状況に対する想像力」、「災害に対する危機感」、「他者指向性」、「災害に対する関心」、「不安」について、各地域の傾向を示した。図２－８－③－４は市区町村別の防災意識尺度のｚスコアの分布を示しており、各因子に関して地域間での差異やばらつきの度合いを視覚的に表現している。なお、データがランダムサンプリングではないため、代表性の問題があることに留意する必要があるが、これ以降は手元のデータについて検討を進めた内容を記載する。

因子１「被災状況に対する想像力」の分析結果によると、岩出市、和歌山市、白浜町は、他の市区町村と比較して、平均値が高く、被災状況に対する想像力が全国平均よりも高いことが示された。また、高知市、田辺市、土佐清水市では、被災状況に対する想像力に関する回答に大きなばらつきが見られた。特に高知市では標準偏差が大きく、回答者間での評価の差が顕著であった。因子２「災害に対する危機感」の分析結果に基づくと、田辺市、白浜町、那智勝浦町は他の市区町村と比較して平均値が高く、災害に対する危機感が高いことが示された因子３「他者指向性」の分析では、岩出市、和歌山市、すさみ町の平均値が高く、他者指向性が高いことが示された。これらの地域では、社会や人のために何かをしようとする心が強く存在していることが伺える。反対に、平均値が低い地域は那智勝浦町、高知市、土佐清水市であり、これらの地域では他者指向性低

いことが示唆された。また、他者指向性の評価に大きなばらつきが見られた地域は高知市、田辺市、岩出市である。特に高知市では標準偏差が非常に大きく、地域内での意識の差が顕著であった。因子４「災害に対する関心」の分析によれば、高知市、和歌山市、岩出市は他の市区町村に比べて平均値が高いことが示された。これらの地域では、災害への興味や関心が特に強く、防災に関連する情報や活動に対する意識が高いことが伺える。さらに、関心の程度におけるばらつきが大きい地域としては、和歌山市、すさみ町、上富田町が挙げられる。特に和歌山市では標準偏差が非常に大きく、地域住民間での災害に対する関心の度合いに大きな差があることが明らかになった。因子５「不安」に関する分析では、岩出市、白浜町、上富田町の平均値が高く、災害に対する不安が高いことが示された。これらの地域では、災害に対する心配や懸念が強く、住民が災害への備えに積極的である可能性が考えられる。一方、平均値が低い地域はすさみ町、土佐清水市、那智勝浦町であり、これらの地域では災害に対する不安が低いことがわかった。また、不安の程度において大きなばらつきが見られた地域は和歌山市、高知市、上富田町である。特に和歌山市と高知市では標準偏差が非常に大きく、地域住民間での災害に対する不安の度合いに顕著な差があることが明らかになった。総合得点はいずれの市町村でも、全国平均を上回っていた。特に岩出市、和歌山市、白浜町は、他の市区町村と比較して平均値が高く、防災意識が特に高い水準にあることが示された。これは、これらの地域で防災に関する意識や取り組みが積極的に行われていることを反映している可能性が高い。一方で、平均値が相対的に低い地域として那智勝浦町、徳島市、土佐清水市が挙げられるが、これらの地域も全国平均よりは高い水準にある。ただし、他の市区町村と比較して相対的に低いため、防災意識のさらなる向上が望まれる。また、総合得点におけるばらつきが大きい地域としては、高知市、岩出市、すさみ町が挙げられる。これらの地域では防災意識の水準に大きな差があり、地域住民の防災意識に関するアプローチやプログラムを多様化する必要があると考えられる。因子ごとに市区町村間で顕著な差異が見られた。特に被災状況に対する想像力（因子１）、災害に対する危機感（因子２）、他者指向性（因子３）、災害に対する関心（因子４）、不安（因子 5）の領域で、高いスコアを示す地域と低いスコアを示す地域がることがわかった。全体的には、分析対象の市区町村の多くで防災意識の総合得点が全国平均を上回る結果となった。これは、これらの地域が一定程度の防災意識を有していることを示唆している。各因子のスコアにおいて、地域内での意識のばらつきが顕著な地域が存在した。この多様性は、地域ごとに異なる防災教育や啓発活動が必要であることを示しており、個別のニーズに対応したアプローチの重要性を示している。一部の地域では、特定の因子において全国平均に比べて低いスコアを示しており、防災意識のさらなる向上が必要である。これらの地域では、特に防災教育や地域コミュニティの強化、心理的サポートの充実などが効果的であると考えられる。本分析により、市区町村別の防災意識の現状と特性が明らかになった。防災意識の全体的な水準は比較的高いものの、地域間の差異、特に各因子における意識の差が顕著であることが確認された。今後は、地域のニーズに応じた防災対策の強化と、住民の防災意識をさらに高めるための継続的な取り組みが求められる。

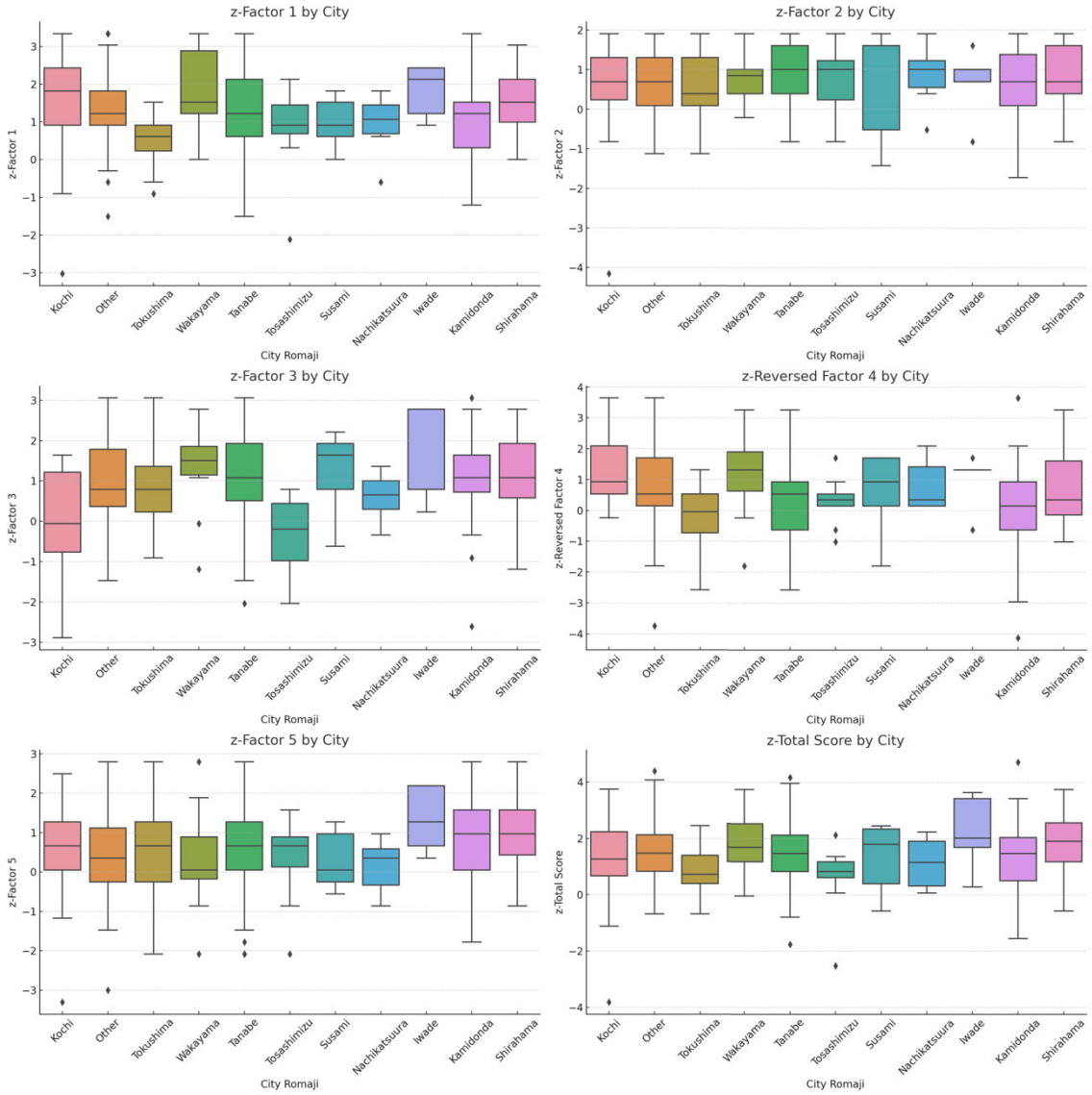


図２－８－③－４　市区町村別の防災意識尺度の z スコアの比較

図２－８－③－５は防災意識の各因子の 2023 と 2024 年のデータの分布を示している。回答者が異なるため単純な比較は難しいが、手元のデータで回答時期による防災意識の違いを分析した。防災意識尺度における因子１「被災状況に対する想像力」の 2023 年と 2024 年の比較分析により、2024 年の z スコアが 2023 年に比べて統計的に有意に高いことが明らかになった（$p = 0.0038$）。この結果は、被災状況に対する想像力が向上している事を示しており、防災教育や啓発活動が効果を上げていると考えられる。防災意識尺度の因子２「災害に対する危機感」について 2023 年と 2024 年を比較した統計分析では、2024 年の平均 z スコアが若干高くなったものの、この差は統計的に有意ではなかった（$p = 0.0577$）。これは、一年の間に災害に対する危機感に顕著な変化が見られたとは言えない。因子３「他者指向性」の年間比較では、2024 年の z スコアが 2023 年に比べて統計的に有意に高くなっており（$p < 0.0001$）、これは災害時に地域社会や他者への協力意識が顕著に向上したことを示唆している。一方、因子４「災害に対する

関心」においては、両年間の平均 z スコアに統計的に有意な差は見られず（p = 0.7734）、災害に対する関心の度合いはほぼ一定であった。因子５「不安」に関しても、2024 年のスコアが若干高くなったものの、この差は統計的に有意ではなかった（p = 0.1643）。これは、災害に対する不安感が一定期間にわたって比較的安定していることを示している。総合得点に関しては、2024 年が 2023 年に比べて統計的に有意に高く（p = 0.0006）、これは総じて防災に関する意識が向上していることを示している。これらの結果から、特に「被災状況に対する想像力」、「他者指向性」、総合得点においては意識の向上が顕著であり、防災意識全般に対する取り組みが効果を上げ始めている可能性がある。不安は高すぎても低すぎても良くないので、介入が必要かどうか議論の余地があるが、災害に対する関心に関しては、さらなる意識の向上を図る必要がある。

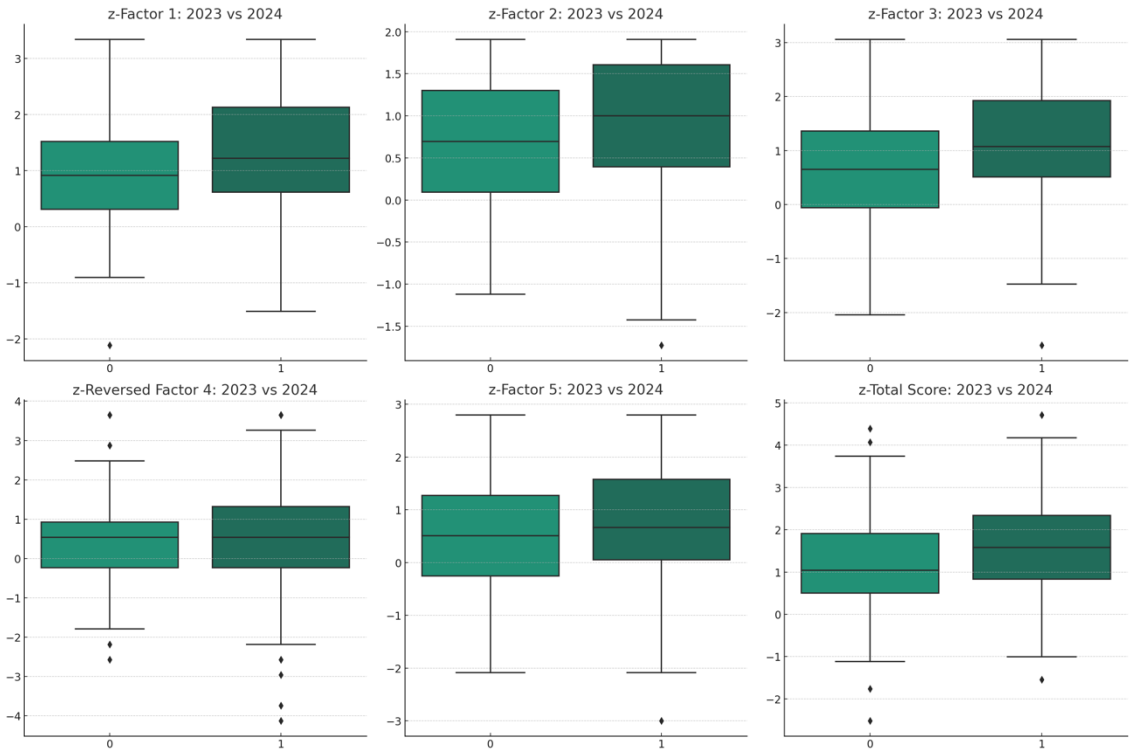


図２－８－③－５　回答年別の防災意識尺度の z スコアの比較

図２－８－③－６は属性別の防災意識尺度の z スコアの分布を示しており、各因子に関して属性間での差異やばらつきの度合いを視覚的に表現している。なお、データがランダムサンプリングではないため、代表性の問題があることに留意する必要があるが、これ以降は手元のデータについて検討を進めた内容を記載する。因子１「被災状況に対する想像力」の属性別分析によれば、公務員、その他、学生、教員の各属性において異なる傾向が確認された（F = 2.899、p = 0.035）。公務員とその他の属性は比較的高い平均 z スコアを示し、これらの属性が被災状況を想像する能力において高いスコアを得ていることが示された。学生も一定の想像力を示すが、教員は他の属性と比べて顕著に高いスコアを示した。教員の意識が高いことは防災教育や想像力の養成において重要な役割を果たすと考えられる。公務員やその他の属性においても、被災状況を想像する能

力が比較的高いことから、これらの属性に対する防災意識の向上や教育の充実が期待される。学生に関しては、想像力をさらに高めるための教育や訓練が有効であると考えられる。因子２「災害に対する危機感」の分析では、属性間での平均ｚスコアに統計的に有意な差異は確認されなかった。因子３「他者指向性」に関しては、属性間での平均ｚスコアに統計的に有意な差異が確認された。公務員はこの因子において低いスコアを示し、他者への協力や共感の意識が他の属性に比べて低いことが明らかとなった。一方、教員、その他、学生は他者指向性が比較的高く、災害時の共助の意識が強いことが伺える。因子４「災害に対する関心」の分析では、教員、公務員、その他、学生の各属性間で顕著な差が見られた（F = 15.30、p = 2.93e-09）。教員は平均ｚスコアが 1.51 と最も高く、災害に対する関心が強いことが示された。一方、学生は平均ｚスコアが 0.20 と最も低く、災害に対する関心が相対的に低いことが明らかになった。因子５「不安」に関しては、属性間で差異が見られた（F = 3.52、p = 0.015）。学生は平均ｚスコアが 0.74 と最も高く、災害に対する不安が強いことが示された。一方、その他の属性は平均ｚスコアが 0.24 と最も低く、不安が比較的少ないことが示された。災害に対する危機意識や準備の違いが、不安感に影響を与えている可能性がある。防災意識の全体的な水準を示す「総合得点」では、属性間での統計的に有意な差は確認されなかった。これらの結果から、特に教員における高い災害に対する関心と防災意識が注目される。教員が災害への意識高揚や防災教育において重要な役割を果たしていることが伺える。また、学生は災害に対する不安が高い一方で、災害に対する関心が低いことが示されたため、学生向けの防災教育や情報提供の充実が重要であると考えられる。公務員における比較的低い防災意識については、教育プログラム等の見直しが必要であるかもしれない。総じて、各属性における防災意識の違いを踏まえると、それぞれの特性に応じた教育プログラムや啓発活動が効果的であると考えられる。特に、災害に対する関心が高い教員が担う役割は、他の属性への防災意識の伝播においても重要である。また、学生に対する災害に関する情報提供や教育の強化は不安感を軽減し、より効果的な防災準備に繋がる可能性がある。

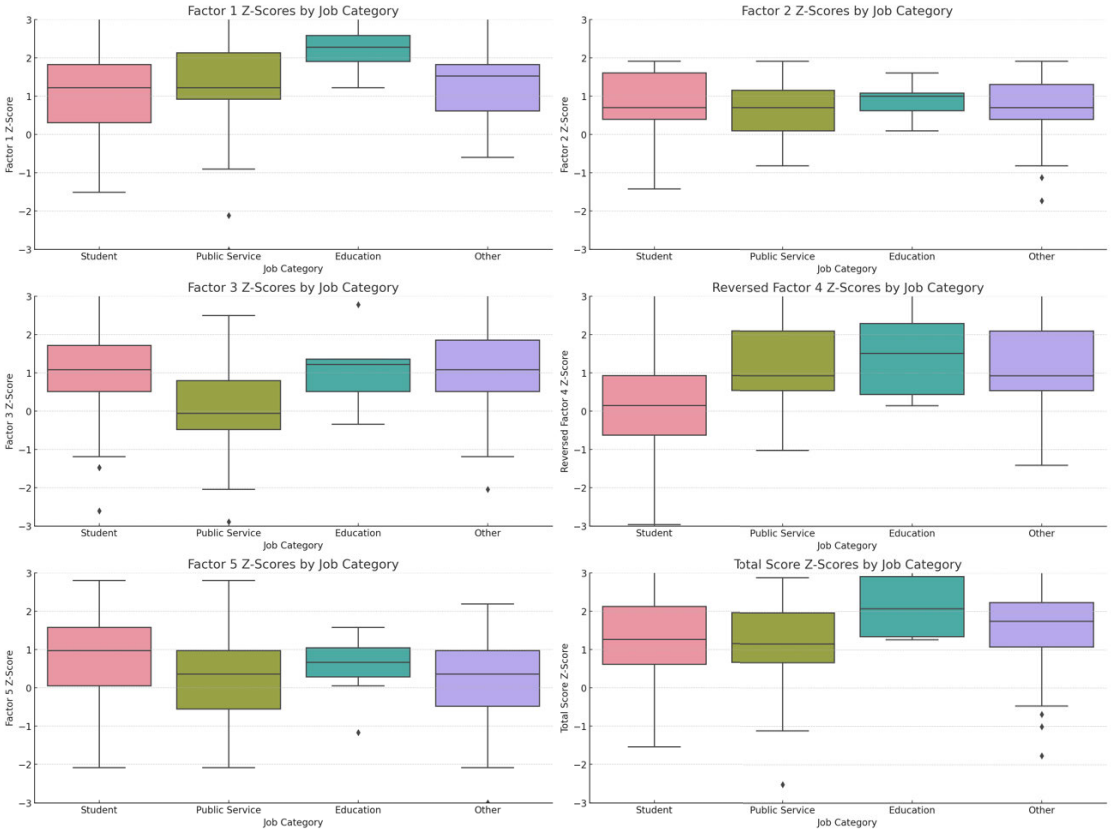


図２－８－③－６　属性別の防災意識尺度の z スコアの分布

次にアンケート調査による定点観測について述べる。定点観測では、香川県３小学校、高知県３小学校、２中学校、１大学、宮崎県１小学校、１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、地域コミュニティを対象とした調査は香川県さぬき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く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いますか？〈〉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は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)」という言葉を聞いたことがありますか。
知識	「マグニチュード」という言葉を聞いたことがありますか。
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)」という言葉を聞いたことがありますか。
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、この言葉を聞いたことがありますか。
知識	「南海トラフ地震(じしん)」という言葉を聞いたことがありますか。
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。 「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いますか。（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いますか？
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。 「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、どんなことに注意しなければならないと思いますか。〈〉の中に説明してください
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(せっきょくてき)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。どういうことがあれば逃(に)げようと思いますか？
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、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（表２－８－③－１）。授業は、地震に関する基礎知識、地震発生のメカニズム、津波に関する基礎知識、津波発生の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（写真２－８－③－１）。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（写真２－８－③－２）。これらの質問は、地震や津波に関連することばについて「聞いたことがあるか」、地震や津波に関する現象を「知っているか」、被害を抑えることに繋がる「対策」について知っているか、もしくは実施しているか、自ら行動を起こして事前防災対策を「経験」しているか、被災後の対応を含め、自分が住む町の将来を考えているか、について定量化することを考えて質問を「災害に関する用語を聞いたことがある」「災害を理解している」「南海トラフを理解している」に分類して４点を満点として得点化し、講義前後での変化を調べた。災害に関する用語については、講義前から多数の回答者が「聞いたことがある」と回答したものとそれ以外に分けた。データは、地域ごと、生徒の種別ごと（小学生・中学生・大学生）に集計した。「経験」「対策」「思考」についても同様の方法で、５点を満点として得点化した（図２－８－③－7～16）。難しい用語について聞いたことがあるかという問いに対しては、小学生では、高知県では講義前から「聞いたことがある」との回答が 40％程度であった（図２－８－③－⑨）。香川県では４点が１割程度であったが（図２－８－③－7）、講義後は２割～３割の生徒が満点へと移行した（図２－８－③－７～10）。中学生では講義前から聞いたことがあるという回答が４点満点だったのは３割程度であるのに対して（図２－８－③－11）、大学生では高知県、宮崎県ともに７割程度と類似した傾向が見られた（図２－８－③－13，15）。一方、経験、対策、思考に関する質問では、小学生では講義前後で変化は見られたものの、統計的に有意な差が出るまでには至らなかった。一方、高知県大学生では、とくに多くの項目に関して講義を通して統計的に有意な差が見られた。今後は、用語を聞いたことがあること、メカニズムを理解していることが、経験や対策にどのように影響をしているか分析する。



写真２－８－③－１　講義風景



写真２－８－③－２　実験（デモンストレーション）

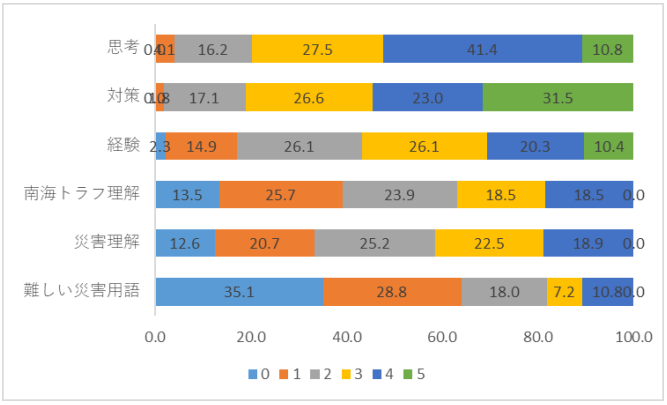


図２－８－③－7　香川県小学生講義前（第１回講義）

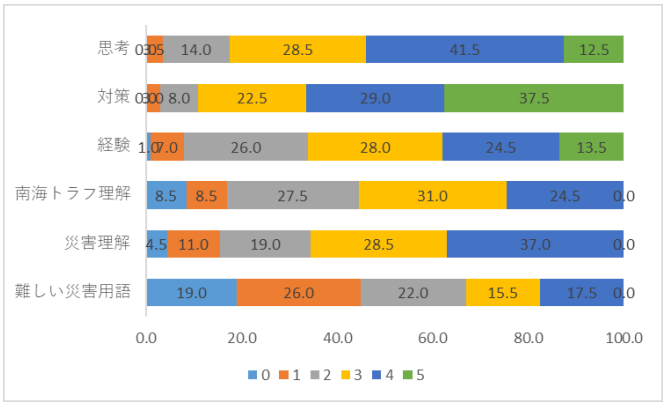


図２－８－③－８　香川県小学生講義後（第１回講義）

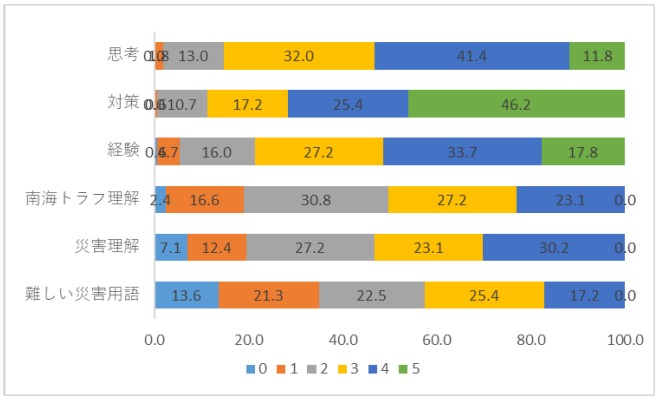


図２－８－③－９　高知県小学生講義前（第１回講義）

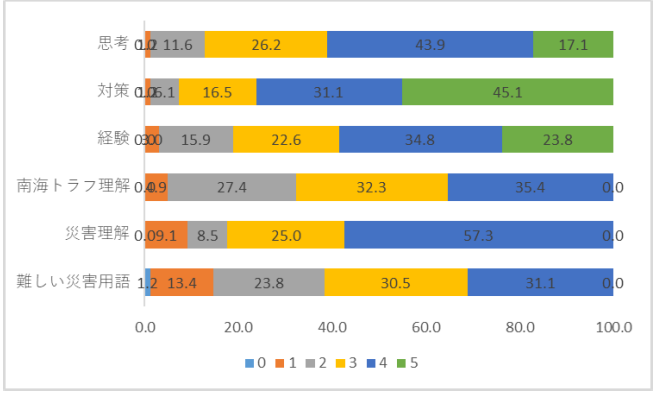


図２－８－③－10　高知県小学生講義後（第１回講義）

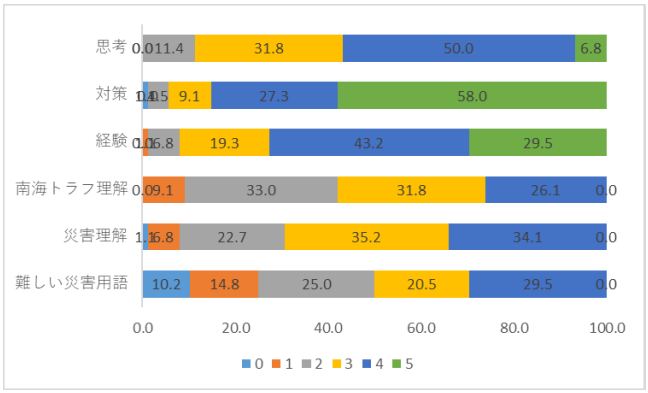


図２－８－③－11　高知県中学生講義前（第１回講義）

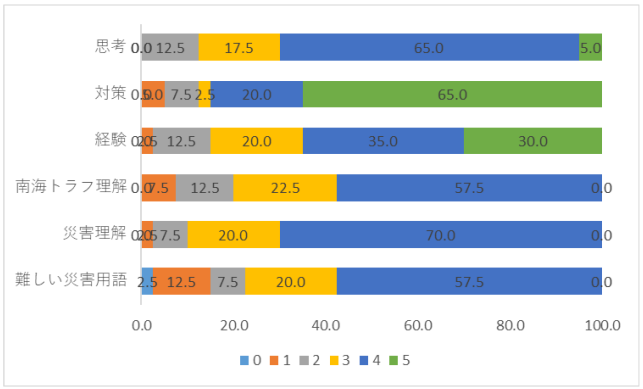


図２－８－③－12　高知県中学生講義後（第１回講義）

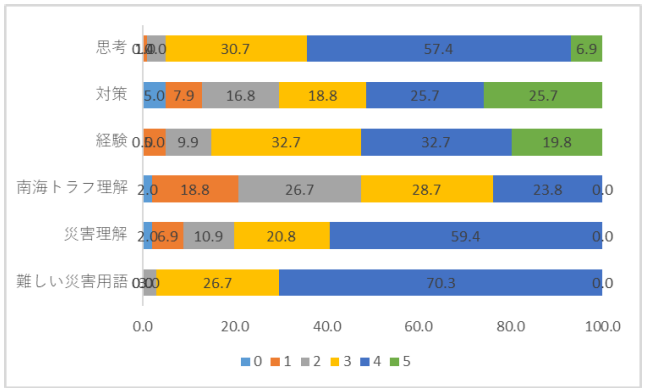


図２－８－③－13　高知県大学生講義前（第１回講義）

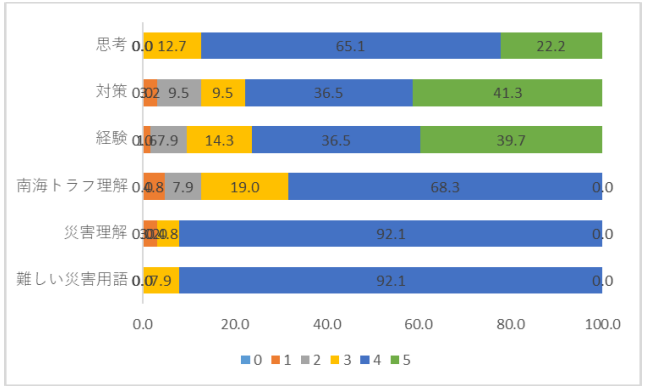


図２－８－③－14　高知県大学生講義後（第１回講義）

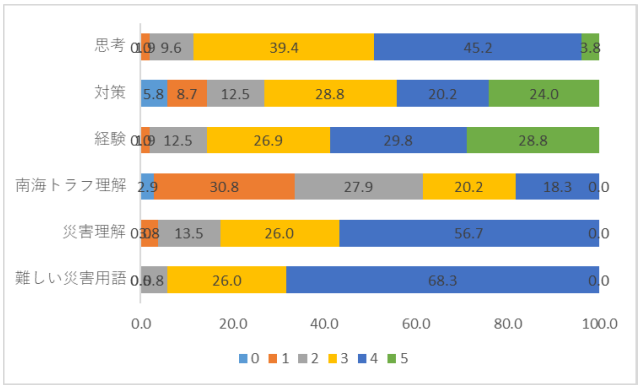


図２－８－③－15　宮崎県大学生講義前（第１回講義）

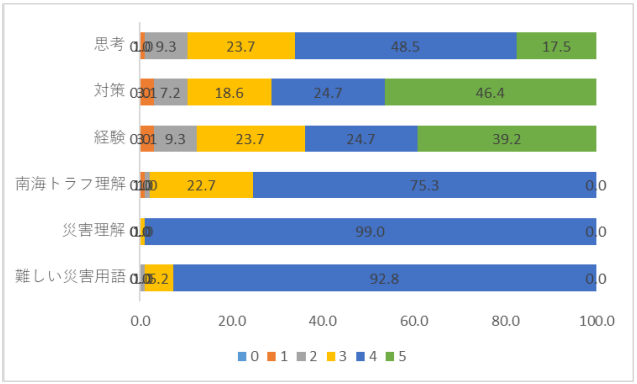


図２－８－③－16　宮崎県大学生講義後（第１回講義）

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ沿岸の自治体や基礎自治体、大学に協力して頂き、のべ 800 近い回答数を得ることができた。これまで回答数がなかなかのびなかったが、設問数が多く、最後まで回答に至らない被験者が続出していたことを考慮し、設問に属性を付け、大分類と小分類で整理した上で、５つの設問群に分けた。ある設問群に偏らないように、オンラインのシステムでは設問群の順序を入れ替えながら満遍なくアンケートの回答が得られるように工夫した。

防災意識尺度からは、地域ごとの防災意識の特徴が示されている。一部ばらつきが大きいところもあるが、地域を支える県や市の職員とともに学生も含まれている。職業ごとの特性も明確になり、今後学生へ防災意識を高めるための教育や人材育成に活かすことを考えていきたい。

アンケート調査による定点観測では、香川県、高知県、宮崎県を中心に小学校、中学校、大学で授業の介入による防災リテラシー向上の取り組みを進めてきた。定期的に実施してきた効果を測定するには長期間の取り組みが必要であり、来年度に評価を出したい。

(d) 引用文献

1) Ozeki, M., K. Shimazaki, and Yi, T., Exploring elements of Anti-disaster Consciousness: Based on Interviews with Anti-disaster Professionals, J. Disaster Res., 12, 3, 631-638, 2017.
2) Shimazaki, K., and M. Ozeki, Development of a Scale for Disaster-Prevention Consciousness - Structure of Disaster-Prevention Consciousness of Those Who Lack Expertise in Disaster Prevention, J. Disaster Res., 17, 6, 1022-1036, 2022.

(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

３．まとめ

令和５年度はプロジェクト４年目であり、各サブ課題間の連携を意識して着実に研究を実施した。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」

本サブ課題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。そのために、「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」のテーマを実施する。得られた成果はサブ課題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、最大活用を進める。

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 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、新たな観測や解析に基づく速度構造情報を構築中のモデルに取り込む方法の検討を進め、それらを反映した３Ｄ海陸統合構造モデルを構築した。３Ｄ海陸統合Ｓ波および密度構造については、調査観測データやそれらに基づいて直接推定された構造情報との比較による検証を実施した。令和３年度から継続している他のサブ課題担当者等とのモデル共有に関する議論に基づき、今後のモデル構築や利活用を想定した枠組みのコア部の試作を開始した。マルチパラメータ化に向けたＳ波速度構造の直接推定ならびに震源決定の信頼性向上に不可欠な堆積層補正値の推定に向けて、令和４年度までに開発を進めてきた構造探査データのレシーバー関数解析手法の改良ならびに表面波解析によるＳ波速度構造推定方法の汎用化を進め、両手法による堆積層内の詳細Ｓ波速度構造モデルを多くのデータに適用できるよう整備した。また、DONET 観測点直下におけるＳ波速度構造推定のための処理を実施した。

② 昨年度までに構築した自動震源決定処理システムの仮運用を継続した。地震発生場所ならびに地震活動推移の評価に資するため、３Ｄ構造モデルに基づく震源計算結果の評価を行うとともに、2003 年以降を対象とした長期震源カタログの整備を行った。また、仮運用中のシステムにより得られる自動震源と長期地震カタログ及び他システムによる発震機構解情報を用いて地震活動評価に資する情報を作成することを念頭に、自動的に生成すべき情報の検討とその試作を進めた。

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 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、プレート境界面並びに南海トラフ近傍の分岐断層面における固着・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した。

② 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った。具体的には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、海域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、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定するための手法を構築し、予察的結果を得た。また、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予察的な知見を得た。

③ 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２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９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９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。回収した海底地震計には良好なデータが取得されており，特に 2023 年４月～６月にかけて発生した 2015 年以来の大規模なスロー地震活動を記録することに成功した。昨年度までに取得したデータの解析を進め、気象庁一元化カタログに掲載されている通常の地震の震源を精度良く求めた。その結果、多くの震源は深さが気象庁一元化震源よりも浅くなり、浅部スロー地震震源域内で発生する地震は深さ 20km 程度で発生している地震が多かった。一方、浅部スロー地震震源域とプレート境界地震発生域の境界部分で発生する地震は、深さはプレート境界付近の深さ 15 km 付近に決まった。

サブ課題１c「３Ｄモデル・履歴情報を用いた推移予測」

① 南海トラフを対象として、前年度までに構築した３Ｄ粘弾性不均質構造の大規模有限要素モデルを用いて長期間の粘弾性応答が計算できるように、近年性能改善が進むGPU計算機を活用できるよう手法を開発した。また適応的時間ステップ法により、シミュレーションを効率的に実行することで高速化を実施するとともに、粘弾性応答を含んだ地殻変動のグリーン関数を計算した。さらに履歴情報を活用した地震シナリオの検討として、地震履歴の統一モデルの知見に合わせてどの領域がどのタイミングでどの程度すべったかを設定することで、次に起こりうる複数の地震シナリオを検討した。

② 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掘削された海底堆積物コア C9035 Hole B の分析を行った。このコアでは、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定結果と挟在する３枚の火山灰層の年代から構築した深度－年代モデルに基づいてタービダイトの堆積年代を推定した結果、最終氷期最盛期以降の 19000 年前まではタービダイトの平均堆積間隔は 200 年程度であるが、それ以前では平均間隔は 300 年程度以上と長くなることが分かった。タービダイトのタイプやタービダイトに含まれる底生有孔虫の群集組成も最終退氷期の間で変化することから、タービダイトの給源である斜面域の氷期－間氷期スケールの環境変化を検討する必要がある可能性が示唆された。古地磁気永年変化曲線を用いた深度－年代モデルの改善のために行った磁性鉱物の安定性の評価では、深度 37.2m 付近で磁性鉱物の変化が認められ、これ以深では古地磁気方位以外に副次的な成分ができている可能性があることが分かった。

③ 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の３地域において、掘削調査及び既存の堆積物コア試料の分析を実施した。三重県南伊勢町こがれ池では、追加の年代測定と火山灰分析を実施した。Age-Depth モデルの構築に基づき、13 枚のうち５枚または６枚が南海トラフで発生した歴史地震による津波堆積物の可能性があると結論付けられた。和歌山県東牟婁郡那智勝浦町太田川低地では、下里地区の６地点で採取したジオスライサー試料について、詳細な層相観察を行うとともに、１地点で得られた試料について粒度分析の前処理、２地点で得られた試料について９件の放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、全ての地点において３つの堆積相が累重していることを確認した。このうち少なくとも１つの堆積相は津波などのイベントにより形成された可能性が考えられる。また八尺鏡野地区において、既存の４地点のオールコア試料に加えて、ハンドコアラーによる掘削を３地点で実施し、詳細な層相観察を行うとともに、放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、10 層のイベント砂層が確認され、年代測定結果は 5400～2300 cal BP を示した。高知県東洋町の海岸低地では、ハンドコアラーを用いて掘削調査を行い津波堆積物の検出を試みた。掘削調査の結果、低地の大部分は浜堤の一部と考えられる砂層に覆われていることが明らかになった。

本業務では 1498 年明応東海地震の津波痕跡高分布と津波堆積物調査の研究成果を基に津波波源モデルを推定した。文献記録から読み取られる津波痕跡高だけでなく津波堆積物調査地の浜提高さを津波痕跡の上限高さとして波源推定の制約条件に加えた。平均すべり量は東海セグメント領域の東端で 19.2 m と最も大きく、西に向かうにつれて減少した。鳥羽市国崎の 15 m の痕跡高などの一部の地域を除いて、断層すべりで津波痕跡高はおおむね再現できた。地震規模を示すモーメントマグニチュードは 8.6 で、地震で発生したエネルギーは安中ほか(2003)の 1.8 倍だった。津波波源モデルによる津波土砂移動数値計算から、白須賀や浜当目の津波堆積物は観測結果を再現できた。一方で、こがれ池や井田の計算結果は過大評価だった。これは明応東海地震時の汀線位置や浜提高さに不確実な要素が含まれることや津波堆積物を構成する砂の粒径と数値計算で使用する中央粒径が合致しないためだと推測される。

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行っている。「命を守る」を目標とするサブ課題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」では、「事前避難要不要判断ツール」の開発および「逃げ地図」プロジェクトを進めている。「地域産業活動を守る」を目標とするサブ課題２ｅ「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を行っており、愛知県西三河地域を対象としたワークショップを開催している。「大都市機能を守る」を

目標とするサブ課題２ｆ「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行っている。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２ｇ「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を行っている。サブ課題２ｇ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に加え、サブ課題１およびサブ課題３との具体的な連携も構築している。

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』に関する検討

- まず、本プロジェクトの基幹ツールである Web ツール「逃げトレ View」と、そのベースとなるアプリ「逃げトレ」の２つの基幹ツールを包括した全体システム「逃げトレサービス」の全体構想を固めた。
- 「逃げトレ View」については、事前避難の要不要について検討するため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拡充して、「逃げトレ View」を構築した。
- 「逃げトレ View」におけるシミュレーション機能、訓練参加者を地域別に集計し結果を表示する「参加者モニター」、避難場所の基本情報を自治体が入力するための機能、避難ルートの活用状況や津波浸水リスクとの関係を分析するための「避難経路分析機能」、自治体指定以外の場所も含めてどこにどの程度の人が避難するかと予測する「避難動態予測機能」について実装および検討を行った。
- アプリ「逃げトレ」についても、「逃げトレ View」で活用する個人属性情報（性別、年齢や、避難時の支援の必要性など）を、ユーザーの了解のもとで収集する仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定、ユーザーによる確認画面も新設した。

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

- 南海トラフ巨大地震による津波到達時間と逃げ地図の重ね合わせでは避難経路に関して検討をおこない、共通的な避難困難エリアの抽出を行い、ブロック等の転倒による避難時間の遅延が課題であることが明らかになった。昭和南海地震による被害をベースに考えることで、南海トラフ巨大地震時の浸水想定シミュレーションのみでは気づきにくい地形の変化、建物の増加、高齢化の課題を踏まえた上で今後の避難の課題を考える必要があることが判明し、ワークショップ全体を通しては個人・地区・町レベルで取り組むべき内容について具体的なアイデアを集めることができた。

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のため、令和４年度までに構築した電力供給、工業用水供給に基づく地域産業構成要素データに基づき、地域産業の相互依存性関係を抽出し、地域産業構造の可視化モデルを構築した。また、新型コロナウイルス COVID-19 感染症や明治用水頭首工大規模漏水事故に伴う社会活動萎縮等への影響について検証した。

その結果、西三河地区の工業を対象として、簡易構造モデルを構築し、ライフライン供給情報をモニタリングすることで、工業の活動状況（生産指数）を把握することができた。また、地域特性、たとえば、地域の業種構成、ライフライン供給に対するバックアップを保有しているなど、ライフライン供給の減少や停止が産業活動に対してはさほど影響を及ぼさない事例について把握することができた。

② 昨年度の検討では、電力需要量のリアルタイムモニタリングが地域社会の状態把握に十分活用可能であることを示した。今年度は、明治用水頭首工大規模漏水事故時の電力需要に対する時系列データ分析により、臨時情報発表時に活用可能な電力需要予測式を構築した。

③ 令和４年度までに整備した地域地盤・建物地震モニタリングシステムの試行を継続するとともに、地域活動や企業対応を想定したデータ利用インターフェイスの高度化と地域のデータ共有促進のための協働参画手法を構築した。具体的には、地震観測 DB と Web-GIS による地域の被災状況の表示、地域拠点施設や企業建物群などの被災度判定のための簡易な観測体制による建物被災モニタリングを開発した。また以上のシステムの企業の災害対応訓練・WS への活用を検討した。

④ サブ課題２g 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するため、南海トラフ地震臨時情報対応ワークシートを開発し、関係機関とのワークショップを実施し、時間断面における市民や事業者の取り得る行動について整理・検討を行った。

⑤ 事態想定シナリオ構築に向けて、臨時情報発表時の各主体の事後対応について訓練を行う為の、図上演習シナリオ構築のための検討を実施した。また、多様な主体が参画可能な机上演習に活かすことができる事態想定シナリオについて、サブ課題 3 の情報発信検討会の場も活用したワークショップ形式の議論の実践を通じて、起こり得る事態をキーワードとして整理し、付与シナリオの作成等の演習技法について検討した。

⑥ 令和６年１月１日に発生した令和６年能登半島地震でのライフラインデータについてデータ収集を行った。また、同地震時に構築したシステムによる観測データについて分析した。その結果、我が国の地震災害で、国勢調査の小地域（町丁・字等）で水道等のライフラインの復旧状況をはじめて記録することができた。これにより、構築した産業タイムラインの産業構造モデルの検証に活用可能といえる。

サブ課題２f「発災時の大都市機能の維持」

① 本業務では、令和４年度に開発した、定性的に災害現象を将来予測できる予測システムのプラットフォームの因果データベースを拡充する目的で、災害シナリオのダイナミック自動生成技術を高度化し、これに基づいていくつかの想定されたハザードをもとにした被災様相予測を行った。具体的には、新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、過去 12 災害を対象にデータベースとして整理した。具体的には下記の項目についてシステムの高度化をはかった。

(ア) 自然言語処理・人工知能技術を活用した新聞記事からの因果判定・因果抽出の実装

(イ) 場所・時間などの副次的な情報抽出の実装

(ウ) 上記手法の精度検証・分析
(エ) 因果ネットワーク作成を含めた二次利用に向けたデータベースの整備
(オ) データベース作成の再現が可能なプログラムの整備

② 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、災害状況が都市機能に与える要因を整理した上で、建物およびエレベータの被害により建物利用が困難になる人口である都市機能喪失人口を用いて、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発し、前年度までに構築したシミュレーションモデルに都市機能の被害量とエレベータ復旧に伴う復旧過程（以下、都市機能復旧過程）を評価する機能を組み込んだ。また、サブ課題２(g)と連携して、南海トラフ地震の多様な震源断層モデルから代表的な４つの地震動分布を選択し、４つの地域、４つの復旧方針と３つの災害状況を組み合わせた 192 ケースの中から代表的な 60 のケースを選定してエレベータ障害の復旧に伴う都市機能の復旧過程を評価した。併せて、震源断層モデルの異なる 83 の地震動分布による、４つの地域の都市機能の被害量を評価した。

サブ課題２g「地震防災基盤シミュレータの構築」

① 長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

広帯域強震動シミュレーションによる短周期地震動の過小評価を補正する手法を開発し、南海トラフ沿いで発生する海溝型地震を対象にこれまで計算を行ったシミュレーションデータに適用した。過年度に長継続時間地震動シミュレーションに実装した発散抑制のための波動場平滑化スキームを用いた計算を効率的に行うための機能を追加した。これまでに計算した多数のシミュレーションデータに基づき、地震動予測を行うガウス過程回帰モデルを構築した。また、これまでの計算結果を地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

② 津波遡上シミュレーション

高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町を対象に、南海トラフ沿いに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を用いて、堤防等の破壊を考慮した空間分解能 10m の津波伝播遡上計算を実施し、堤防等の破壊条件に応じた浸水深分布の多様性を示すことができた。検討結果は地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。また、これまでに創出した計算結果データの統合・圧縮作業を実施し、データ容量を削減することができた。

③ 地震発生の多様性を考慮したリスク評価

住民避難、産業活動維持及び大都市機能維持を目的とした特徴量に基づいて多様性を表現する 3480 地震を 10～20 類型に分類するとともに、類型から抽出した代表地震の妥当性を検証した。また、代表地震をもとに複数の地震から構成される地震パターンを構築するとともに、地震パターンを対象とした広域災害シナリオを作成した。広域災害シナリオで人的被害や経済活動等の推移を表現することにより、南海トラフ地震臨時情報に伴う事前避難による人的被害の軽減と経済被害とのトレードオフの関係を示すことが出来た。

④ 地震防災基盤シミュレータシステム

半割れケースに着目した条件付きリスク評価を Web システムで情報提供可能とした。WebAPI システムを新たに構築し、試験的な公開をすることができた。地震像の類型化データの管理設計と Web システムの要求分析を行い、令和６年度構築予定の広域災害シナリオに関するシステム構築の際の足掛かりとなる要求分析を行うことができた。システムより提供する多様性のある地震発生シナリオの利活用の試みとして、大阪府社会福祉協議会の防災訓練に適用し、課題を抽出した。

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、地域に特有な防災上の課題を洗い出し、備えに見落としがないように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移すことができ、地域防災力の向上を目指すためのものである。

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

延岡市の津波瓦礫の漂流評価、瓦礫集積・堆積評価、津波氾濫評価、軟弱地盤の被害評価を実施した。漂流評価からは、計算領域が広くなることを踏まえ、改めて漂流評価に重要なパラメータの感度解析を実施した。瓦礫集積・堆積評価からは、特定の場所に集積するよりも薄く広く広がる傾向を示した。河川に設置しているいくつかの水門の開閉による津波氾濫の違いについては、いくつかの水門において、絞めた方が効果が認められることを確認した。軟弱地盤の被害評価については、地盤構造深部にＮ値が小さいシルト層が分布し、低周波成分を含むケースで平均有効応力の低下とせん断ひずみの増大が確認できた。二次元計算からは、盆地状の構造が、実体波と表面波のエッジ効果とレンズ効果により局所的に大きな揺れをもたらすことが確認された。これらの結果は、延岡市や宮崎県延岡国道事務所、九州地整延岡河川国道事務所、九州地整にも共有し、延岡市では地域防災施策に活かす検討を進めている。

② 情報発信検討会

これまで同様、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の４つのテーマを設定し、自治体や基礎自治体、インフラ事業者、大学や研究機関の方々に集まって頂き、年２回の情報発信検討会をそれぞれ開催した。現在のハザード評価では考慮されていない要素や津波即時予測情報を用いた避難訓練を共有した。複合災害対応では、まだまだシナリオが特定できず、対応できている組織はほとんどないことも判明した。臨時情報を用いたミニワークショップでは、それぞれの組織の取り得る手段や懸念について議論された。人材育成ではコンテンツも作成され、大学の教養レベルもし

くは一般の生涯学習レベルの動画が作成され、公開され始めた。地殻活動監視ダッシュボードもサブ課題１とサブ課題２の結果が反映され始め、今後地域防災を支える人たちにアカウントを発行し、改善を重ねる予定である。

③ 情報リテラシーの向上

昨年度に引き続きアンケート調査に取り組んだ。これまでは設問数が多く、回答数がのびなかったが、各設問に大分類と小分類の属性情報を付与して５つの設問群に分けることで回答数を増やすことが可能になった。現在もオンラインでのアンケート情報を自治体、基礎自治体、教育委員会、自主防災組織、大学・高校・中学校・小学校の皆さんの協力を得て実施中である。この調査は防災意識尺度も合わせて実施しており、既存の尺度との比較も可能になるように設計されている。防災意識尺度からは、各地域の防災意識の特徴がみられる。また職業別に防災意識の特性もおよそ把握されてきた。一部にばらつきが多いところもあるが、現在、知識を蓄積しつつある高校生や大学生が多く含まれていることも要因の一つである。これらの成果から、教育や人材育成の効果を測定することにも有効である可能性がある。アンケート調査からは香川県、高知県、宮崎県で、授業やグループディスカッションを通じた介入を進め、その効果を測定してきた。一定の効果は認められるが、長期的な取り組みが必要であると考えられる。最終年度にその効果を定量的にまとめたい。

４． 活動報告

(1) 外部評価委員会

① 令和５年度第１回外部評価委員会

日時：令和５年 10 月 13 日（金）13 時 00 分～17 時 00 分

会議形式：JAMSTEC 横浜研究所および Webex

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

（２）サブ課題１　地殻活動情報創成研究

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

（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

（１）サブ課題２　地震防災情報創成研究

サブ課題２サブ(f)　東京大学　廣井 悠

３．総合討論、総評

４．事務連絡・今後の予定等

② 令和５度第２回外部評価委員会

日時：令和６年３月 15 日（金）13 時 00 分～17 時 30 分

会議形式：JAMSTEC 横浜研究所および Webex

議事：

１．文部科学省、外部評価委員長、プロジェクト代表より一言

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　南部総合県民局 局長
委員	山﨑 登	国士舘大学　防災・救急救助総合研究所 教授

(2) 全体会議

① 令和５年度　第１回全体会議

日時：令和５年９月 26 日（火）13 時 30 分～17 時 00 分

会議形式：オンライン開催

議事：

１．研究代表の挨拶

２．各課題の中間報告

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５年度　第２回全体会議

日時：令和６年２月 26 日（月）13 時 30 分～17 時 00 分

会議形式：オンライン開催

議事：

１．研究代表の挨拶

２．各課題の中間報告

サブ課題２

サブ課題３

サブ課題１

３．総合討論・まとめ

(3) シンポジウムなど

① ぼうさいこくたい 2023

開催期間：令和５年９月 17 日～９月 18 日

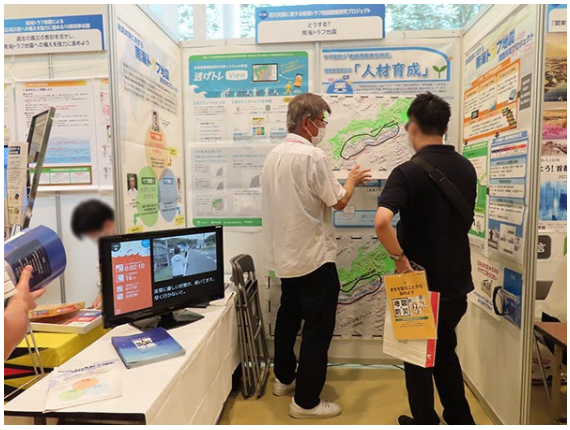
開催場所：YNU　横浜国立大学

主催：防災推進国民大会 2023 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：本プロジェクト全体の紹介と防災に関するプロジェクトの取組の一部として、サブ課題２より「逃げトレ View」の開発、サブ課題３より情報発信検討会「人材育成」テーマについて紹介するポスターと動画の展示を行った。



展示会場の様子



プロジェクト紹介のプレゼンブースの様子



ぼうさいこくたい HP 出展ページ：https://bosai-kokutai.jp/2023/p-78/

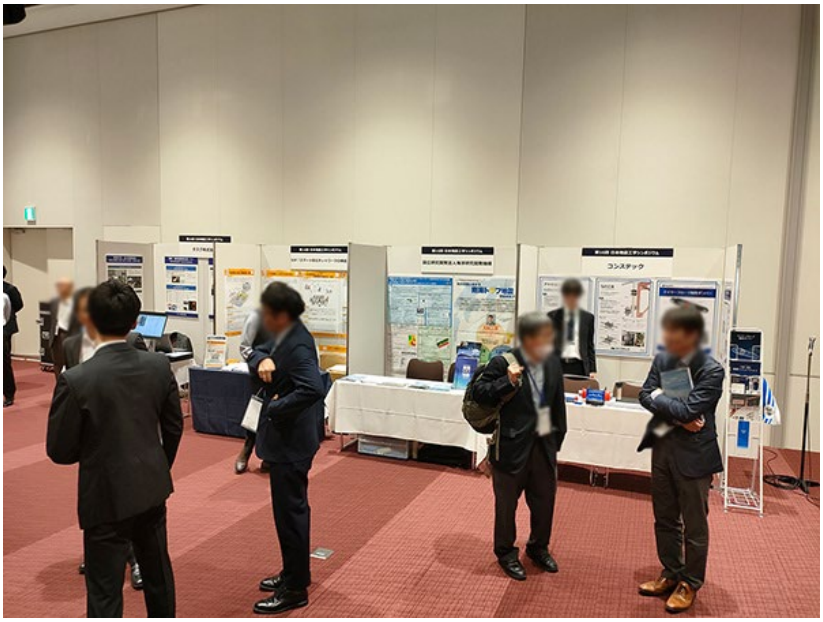
②第 16 回日本地震工学シンポジウム

開催期間：令和５年 11 月 23 日～11 月 25 日

開催場所：パシフィコ横浜ノース４階

主催：日本地震工学会、地域安全学会、地盤工学会、土木学会、日本活断層学会、日本機械学会、日本建築学会、日本災害情報学会、日本災害復興学会、日本地震学会、日本自然災害学会、日本都市計画学会

出展概要：プロジェクト紹介ポスターの展示およびパンフレットを配布した。



展示会場の様子



プレゼンブースの様子

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の４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、最終年度に向けてた課題等のコメントをいただき、プロジェクト推進を図った。これら取り組みに加え、プロジェクトのホームページやイベントを活用して、プロジェクトのこれまでの成果を広く公表・周知した。