

防災対策に資する南海トラフ地震  
調査研究プロジェクト

令和2年度  
成果報告書

令和3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2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

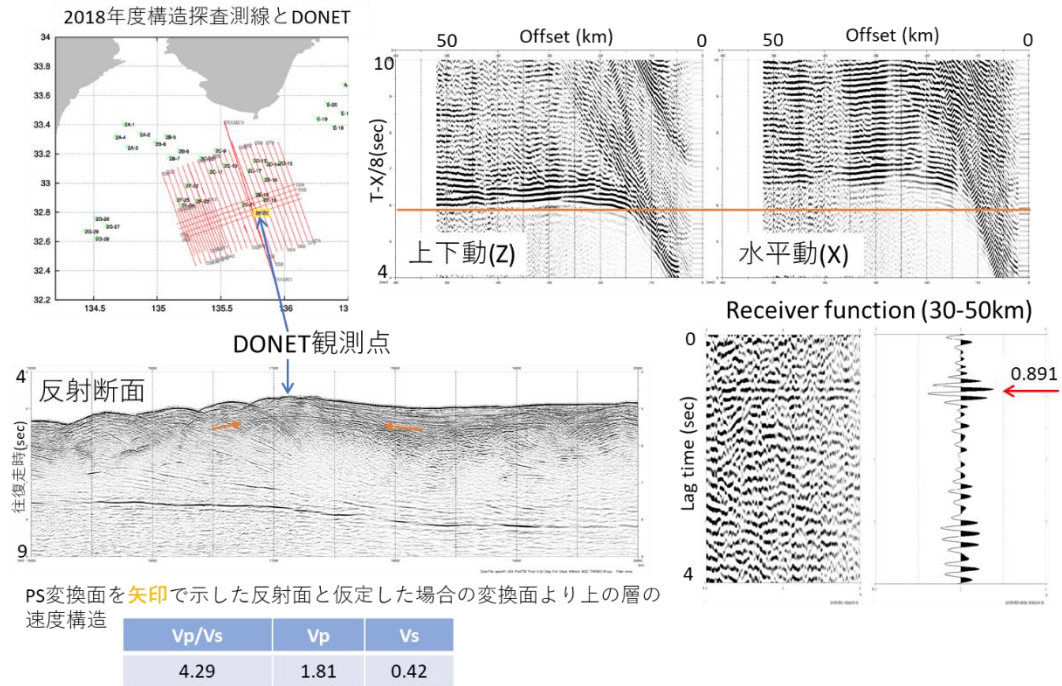


図1 DONET観測点直下の地震波速度構造の推定の試み。左上) 記録を使用したDONET観測点と構造探査測線の配置。左下) 反射法地震探査記録断面の例。右上) DONET観測点で得られた構造探査測線上のエアガンショット記録例。オレンジ線は上下動成分で確認できる初動の周辺に引いた補助線であり、水平動の主な振幅が有意に遅れて到着していることが分かる。右下) DONET観測点の上下、水平成分に基づくレシーバー関数。これらの情報から各観測点における観測点補正值を求め、3D構造モデルに反映する。

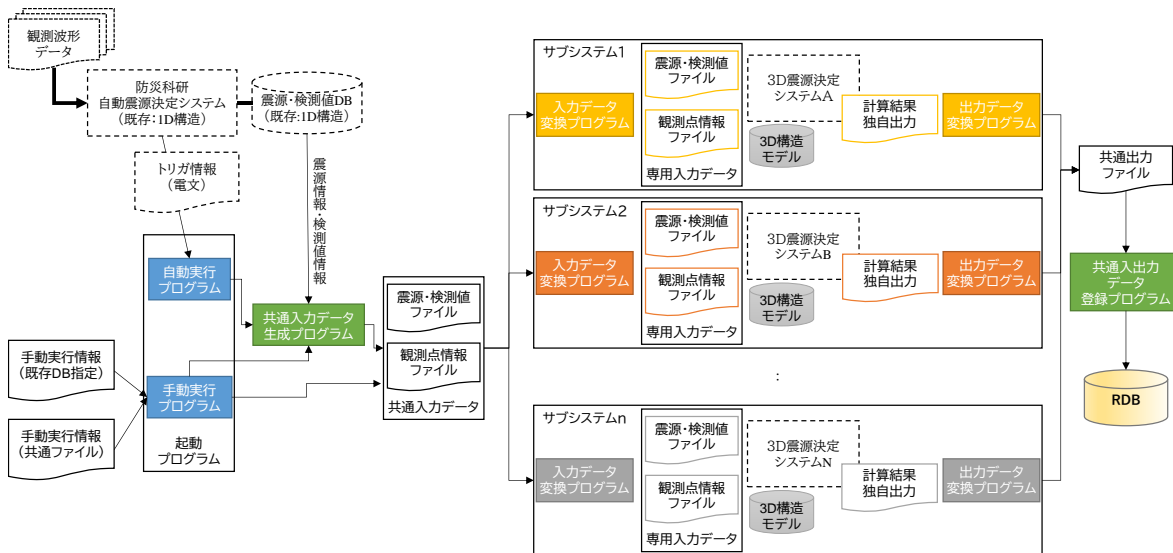


図2 3D構造モデルを用いた自動震源決定システムの概略構成図。本研究で新たに構築した部分を実線枠で、本システムと連携する既存のシステムなどを破線枠で示す。1D構造モデルに基づく震源決定結果をトリガとした自動起動あるいは手動起動により、様々な計算アルゴリズム、計算パラメータに基づいた震源計算を実施する。処理結果は、リレーショナルデータベース (RDB) に保存される。

## 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

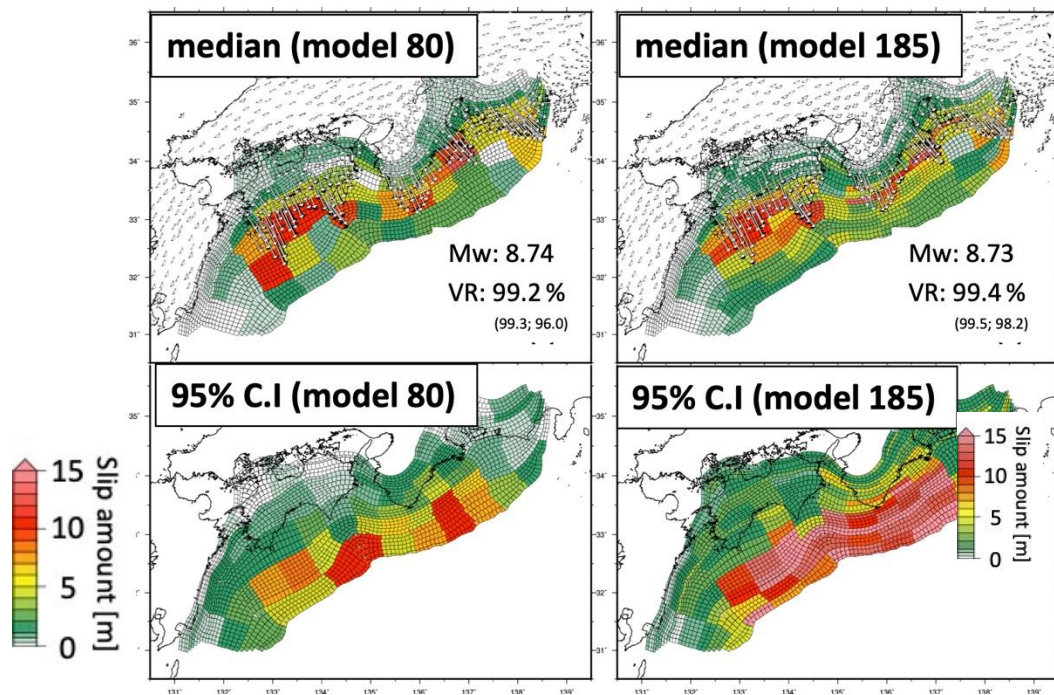


図3 1707年宝永地震を模したイベントの数値シミュレーション結果に対して開発に着手したリアルタイムMCMC法を適用したときのすべり量分布。左側が断層枚数80枚の場合の推定結果(中央値)とその95%信頼区間、右側が断層枚数185枚の場合の推定結果(中央値)とその95%信頼区間をそれぞれ示す。いずれの場合も海溝軸付近においてその推定誤差が大きく、陸域GNSSデータからのみではそれら領域のすべりの正確な把握が難しいことが定量化されている。

### 3. 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

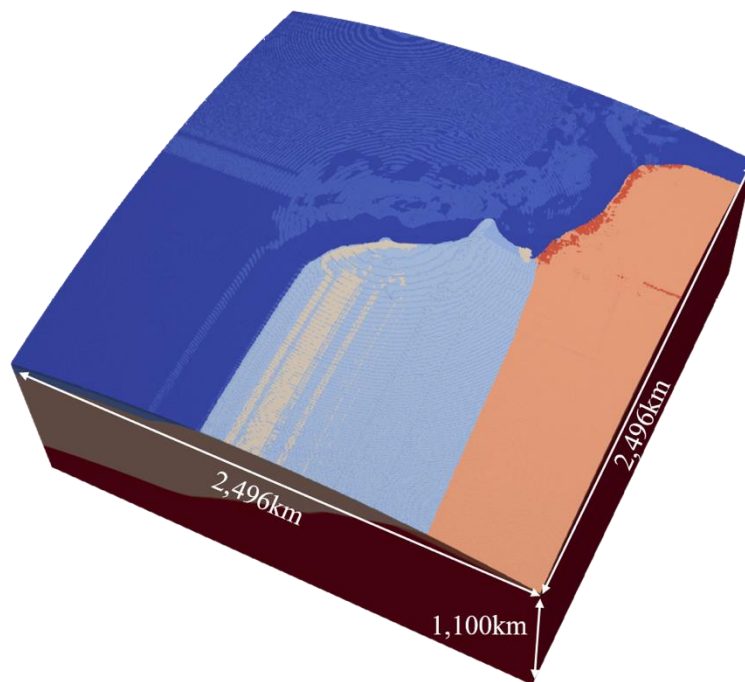


図4 生成された南海トラフ域での3D不均質粘弾性有限要素モデルの概観色は物性の値に応じて異なっており、青は陸側のプレート、水色・ベージュ色はフィリピン海プレート、オレンジは太平洋プレートに対応している。

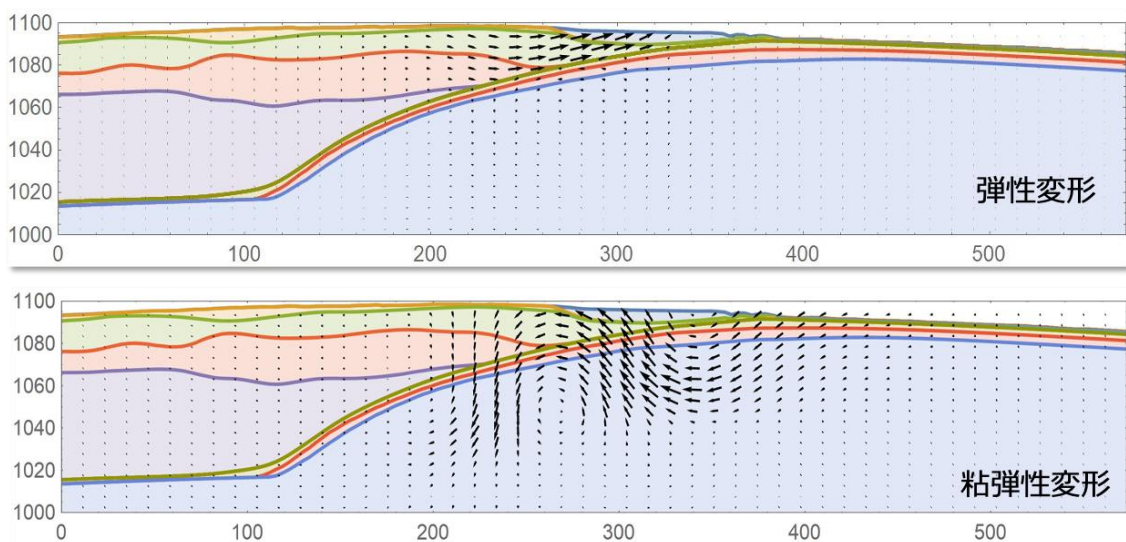


図5 地震時すべりに対する弾性・粘弾性応答の収束性を確認した計算結果の例。

#### 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

[成果1] 「臨時情報」発表時の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』の開発と社会実装

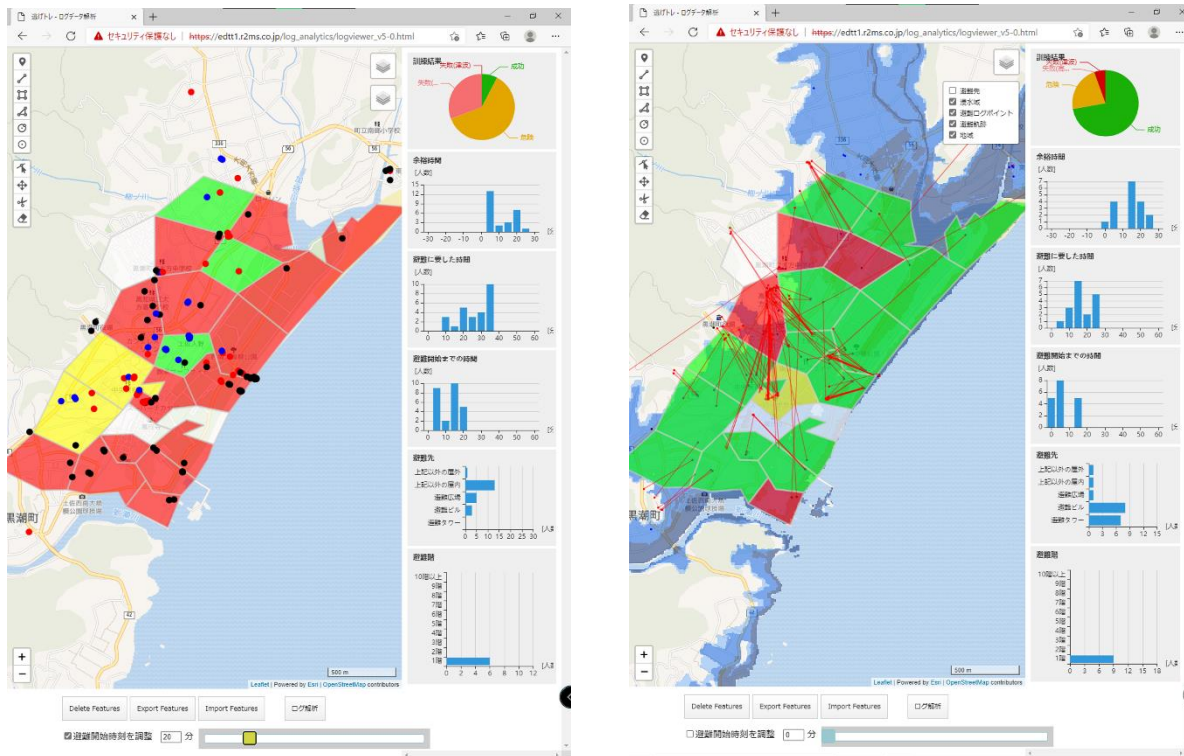


図6 (上左) 避難訓練支援アプリ「逃げトレ」(福岡工業大学・特許第5737683号を使用)で取得した移動データ(始点・終点)をもとにした初期分析の結果表示画面(「事前避難要不要判断ツール」のプロトタイプから)

図7 (上右) 初期分析の結果をもとに、地域ごとに(ユーザーがカスタマイズ可能)、避難の成功・失敗のデータをもとに事前避難の必要性を3段階で色分けして示した図(同上)



[成果2] ケースフィールドにおいて「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

図8 和歌山県串本町において作成された「逃げ地図」

5. 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

2020年の気温変化に対する電力需要の増加率は、2018年、2019年と比べて1.05~1.14倍

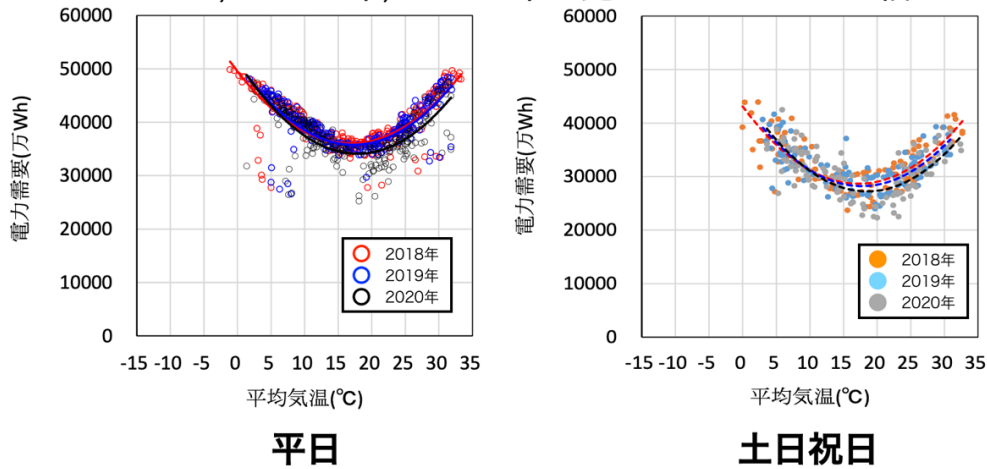


図9 中部電力管内の電力需要と平均気温の関係

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）での社会経済活動の停滞と臨時情報発表時の社会の委縮に伴う地域経済活動停止との類似性の観点から、電力需要と平均気温との関連性を明らかにした。

図10 緊急事態宣言前後の水供給量の変化（10分平均配水量比）

COVID-19による社会活動の萎縮が、水配水量に出現していることを明らかにした。これにより、水供給量のモニタリングにより、社会経済活動の萎縮や人々の生活様式変化を地域別に把握することが可能であると指摘した。

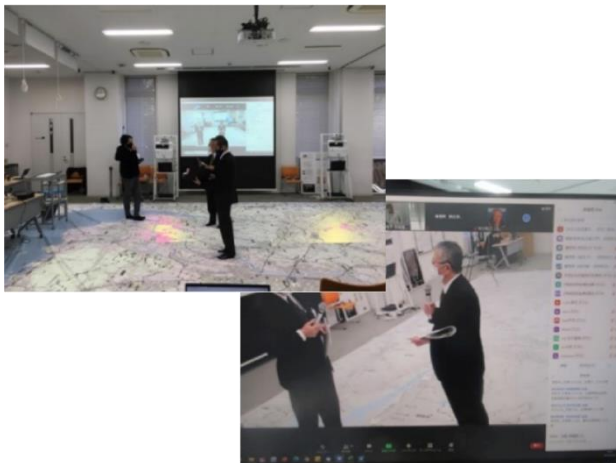
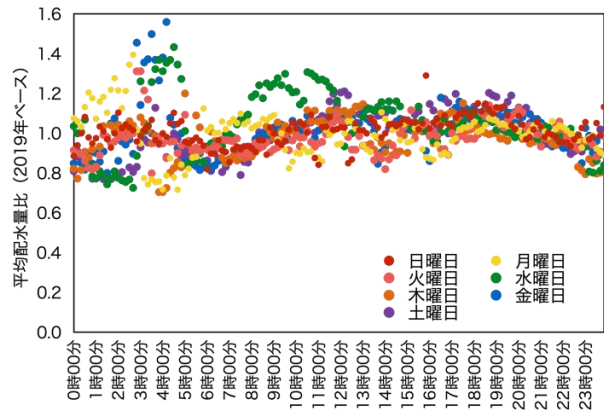


図11 遠隔ワークショップ実施の様子

新型コロナウイルス感染症対策下においても関係機関がオンラインで参加可能な南海トラフ地震臨時発表時の課題に関するワークショップを実施した。その結果、南海トラフ地震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検討の場づくりができた。

## 6. 発災時の大都市機能の維持

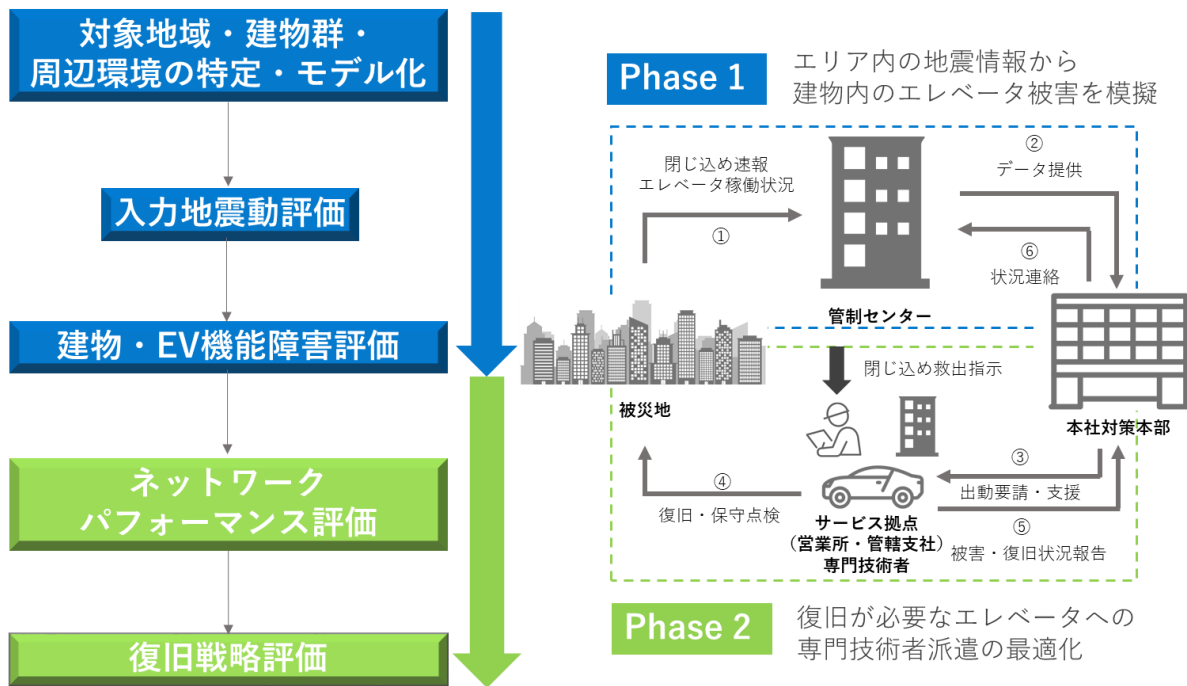


図 12 震災時のエレベータ復旧戦略の評価シミュレーションモデルの概要



## 7. 地震防災基盤シミュレータの構築

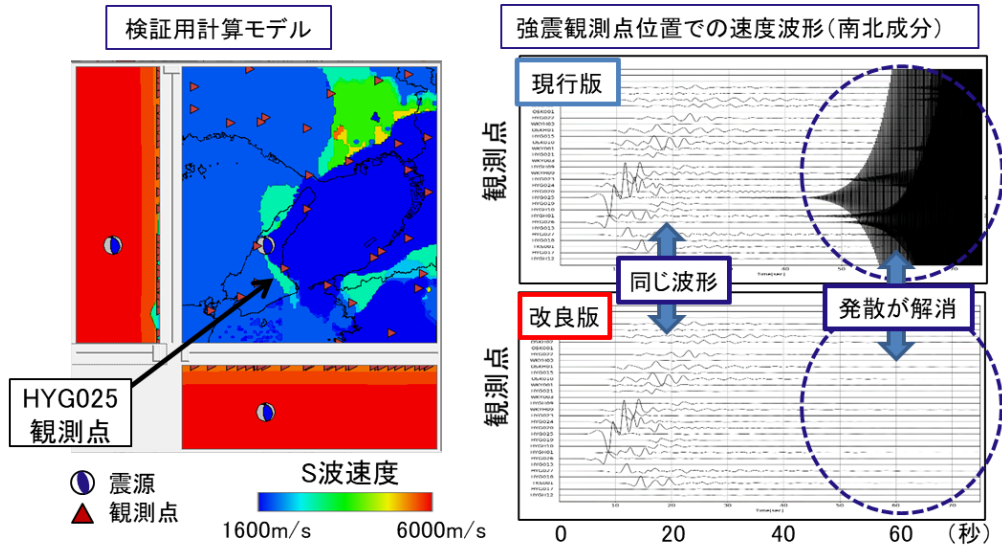


図 13 長継続時間地震動計算について、長周期地震動計算に用いる 3 次元差分法による地震動シミュレータ GMS に波動場平滑化スキームを実装し、検証用計算モデルを用いた計算により、短周期成分が減衰され発散を抑制する効果があることを確認した。

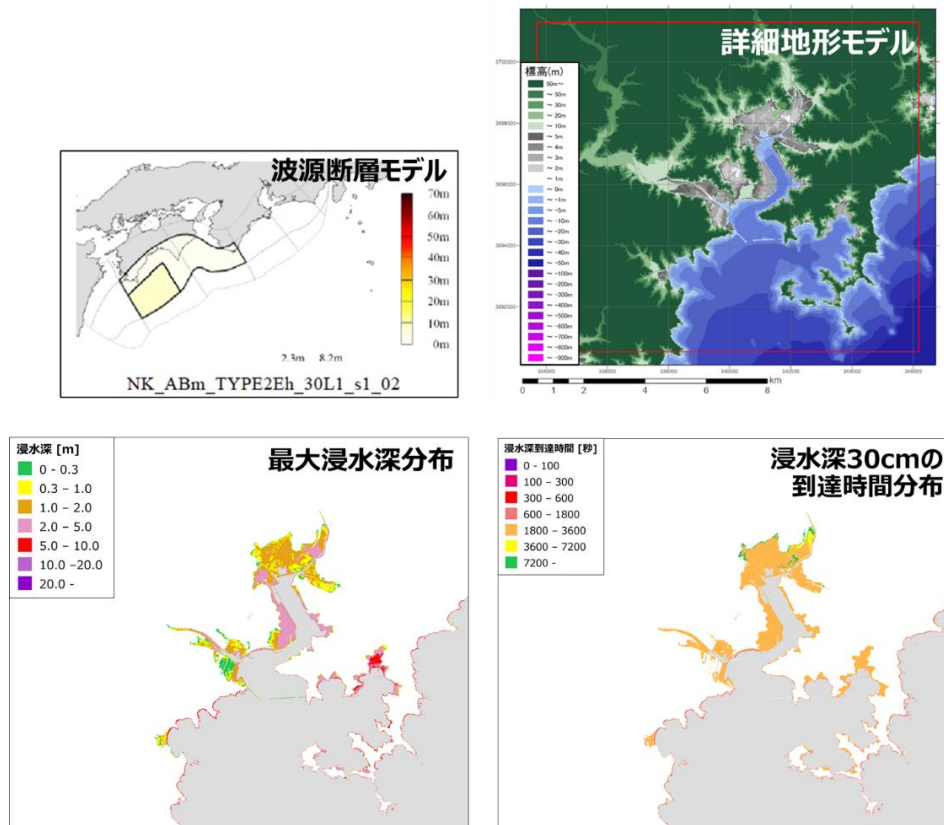


図 14 津波遡上シミュレーションについて、詳細地形モデル、多様性を考慮した波源断層モデル群、改良した津波シミュレータ TNS を用いて、サブ課題 2 (d) の実証実験対象地域での試計算を実施した。

## 8. 創成情報発信研究

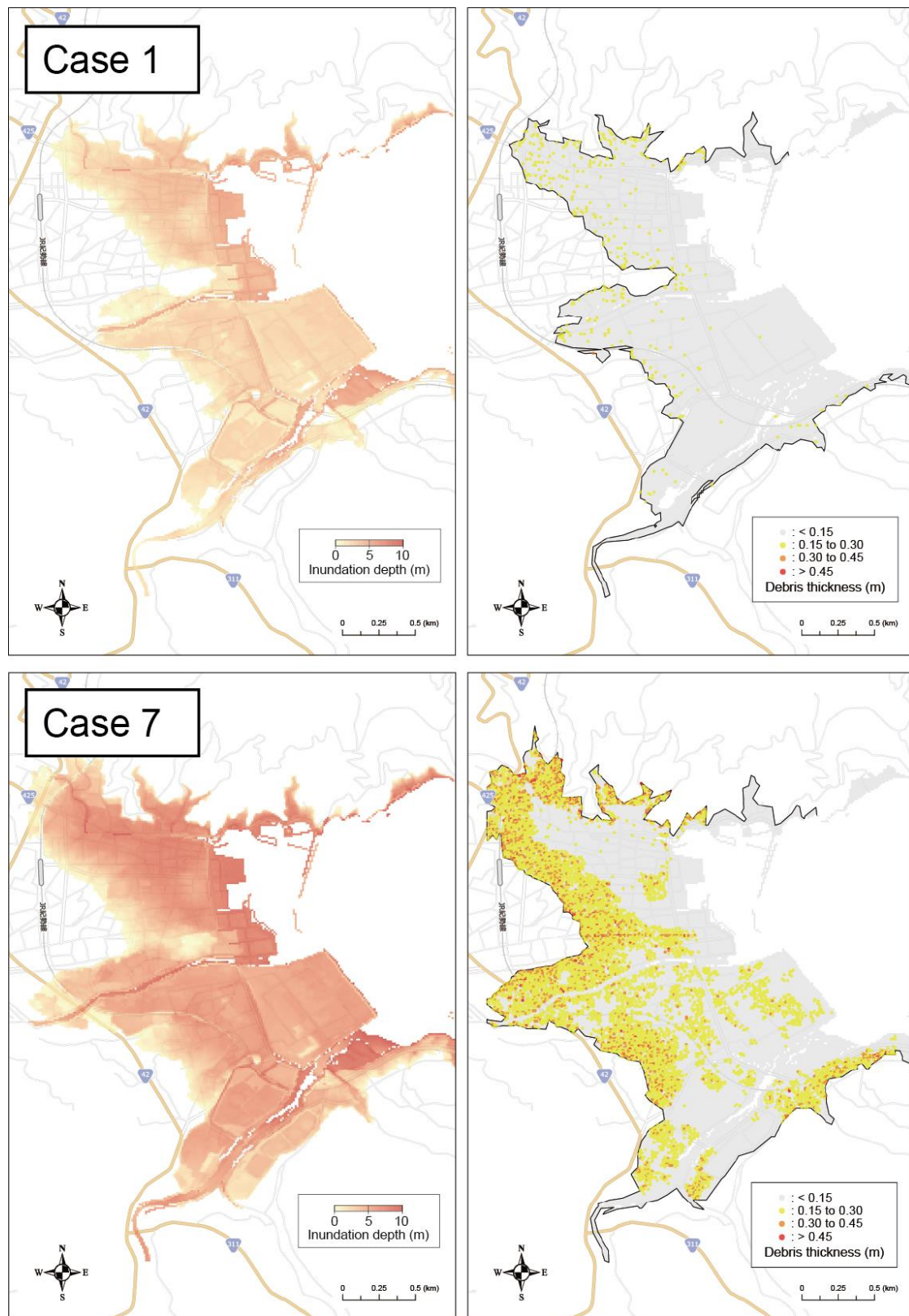


図 15 津波浸水深分布と瓦礫堆積分布の評価例 (Case 1 と Case 7)。左図は最大浸水深分布、右図は瓦礫堆積分布を示している。浸水域が同程度であっても浸水深分布の違いにより瓦礫の堆積分布は異なることがわかる。

## はじめに

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

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

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

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

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

## 目次

1. プロジェクト概要	1
(1) サブ課題1：地殻活動情報創成研究	1
(2) サブ課題2：地震防災情報創成研究	3
(3) サブ課題3：創成情報発信研究	5
1. 1 研究概要の説明	6
(1) 研究者別の概要	6
(2) 研究実施日程	9
2. 研究成果	
地殻活動情報創成研究	
2. 1 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発	10
(1) 業務の内容	10
(2) 令和2年度の成果	12
2. 2 プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築	29
(1) 業務の内容	29
(2) 令和2年度の成果	31
2. 3 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測	49
(1) 業務の内容	49
(2) 令和2年度の成果	51
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	115
(1) 業務の内容	115
(2) 令和2年度の成果	118
2. 5 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ	137
(1) 業務の内容	137
(2) 令和2年度の成果	139
2. 6 発災時の大都市機能の維持	197
(1) 業務の内容	197
(2) 令和2年度の成果	198
2. 7 地震防災基盤シミュレータの構築	213
(1) 業務の内容	213
(2) 令和2年度の成果	215
創成情報発信研究	
2. 8 創成情報発信研究	257
(1) 業務の内容	257
(2) 令和2年度の成果	259

3. まとめ	.....	312
4. 活動報告	.....	317
5. むすび	.....	320

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

#### (c) 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

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

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

## (2) サブ課題 2：地震防災情報創成研究

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

### (d) 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

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

### (e) 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

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



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

#### (f) 発災時の大都市機能の維持

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

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

#### (g) 地震防災基盤シミュレータの構築

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

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

### (3) サブ課題3：創成情報発信研究

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

## 1. 1 研究概要の説明

### (1) 研究者別の概要

所属機関・部署・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費(円)	間接経費(円)
国立研究開発法人海洋研究開発機構	小平秀一	プロジェクト研究代表・サブ課題1責任者。プロジェクト全体については、サブ課題1・2・3の連携を意識した議論・検討を行った。サブ課題1については、3課題の連携を構築し地震・地殻活動モニタリングシステム構築を進めた。	令和2年7月22日 ～ 令和3年3月31日	85,016,153	25,504,845
	堀 高峰	サブ課題1c責任者。粘弾性構造テストモデルを構築して、精度評価まで実施した。			
	仲西理子	サブ課題1a分担者。既存・新規調査研究成果の収集とともに、それらを取り入れた速度構造モデル更新の仕組みの構築、及びモデルのマルチパラメータ化の方針や手法の検討を進めた。			
	飯沼卓史	サブ課題1b分担者。プレート境界でのすべり・固着に対する長期孔内観測システムでの歪・傾斜応答について、既存の有限要素モデルを局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いての計算を実施し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数を得た。			
	今井健太郎	サブ課題1cおよび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、中世のイベントでは史料と津波堆積物を組み合わせて検討する重要性を示した。サブ課題3では、津波浸水だけでなく、津波瓦礫堆積分布の情報が事後復旧には重要であることを示した。			

国立研究 開発法人 防災科学 技術研究 所	藤原広行	サブ課題2責任者。 サブ課題2について、4 つのテーマ間での調整 を行い、連携体制が構築 できた。	令和2年 7月22日 ～ 令和3年 3月31日	75,347,693	22,604,307
	汐見勝彦	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 について基本設計を 実施し、システムの主要 部分を構築した。			
	中村洋光	サブ課題2g責任者。 地震防災基盤シミュレ ータについてシステム のハードウェアの導入 及び設計ができた。			
	高橋成実	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 を構築することができた。			
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 ゴリズムの開発について 着手し、数値実験によ ってその性能評価を行 ない、一定の精度で推 定が可能であるという 結果が得られた。	令和2年 7月22日 ～ 令和3年 3月31日	5,165,385	1,549,615
国立大学 法人京都 大学防災 研究所	矢守克也	サブ課題2d責任者。 事前避難要否判断ツ ールの開発について、シ ステムの基本構成につ いて検討し、プロトタイ プを作成した。	令和2年 7月22日 ～ 令和3年 3月31日	30,045,385	9,013,615

国立大学 法人東海 国立大学 機構名古屋 大学	平山修久	サブ課題 2 e 責任者。 産業タイムライン構築、 リアルタイム社会様相 把握について、都市イン フラデータモデル、産業 構造モデルを構築して、 南海トラフ臨時情報発 表時の社会活動の萎縮 状況に関する結果が得 られた。	令和 2 年 7 月 22 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日	39, 589, 231	11, 876, 769
	中井健太郎	サブ課題 3 分担者。 ボーリング柱状図を分 析し、解析対象河川の二 次元的な地層構成を把 握した。			
国立大学 法人東京 大学	廣井 悠	サブ課題 2 f 責任者。 ・災害因果データベース の拡充について朝日新 聞記事を機械学習する ことで、6 ヶ月間の災害 連関図の結果が得られ た。 エレベータ復旧オペレ ーション方針の検討に ついて文献調査やヒア リング調査を実施して、 復旧過程をシミュレー ションするために考慮 すべき項目が得られた。	令和 2 年 7 月 22 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日	15, 119, 231	4, 535, 769
国立大学 法人東京 大学地震 研究所	篠原雅尚	サブ課題 1 b 分担者。 プレート境界付近の地 震活動把握について海 底観測網整備を行い、長 期海底観測を開始した。	令和 2 年 7 月 22 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日	43, 593, 847	13, 078, 154
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 1 c 分担者。 海域および陸域の地震・ 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 2 年 7 月 22 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日	24, 700, 000	7, 410, 000
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 究として複数小学校で 地震津波アンケート調 査を実施し、知識等で 地域性が存在する結果 が得られた。	令和 2 年 7 月 22 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日	3, 000, 000	900, 000

国立大学 法人徳島 大学	馬場俊孝	サブ課題3分担者。 情報リテラシー向上に ついて、各県の県民意 識調査を調査し、住民 への防災知識の伝達状 況を明らかにした。	令和2年 7月22日 ～ 令和3年 3月31日	1,500,000	450,000
--------------------	------	--	-------------------------------------	-----------	---------

(2) 研究実施日程

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

## 2. 研究成果

### 2.1 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発

#### (1) 業務の内容

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

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー	藤江 剛
	副主任研究員	仲西 理子
	特任研究員	Xin Liu
	臨時研究補助員	田中 恵介
	グループリーダー	尾鼻 浩一郎
	副主任研究員	中村 恭之
	副主任研究員	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
	研究員	山本 揚二郎
	ポスドク研究員	Yanfang Qin
	招聘主任研究員	山下 幹也
国立研究開発法人防災科学技術研究所	副部門長	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
	主幹研究員	三好 崇之
	特別研究員	関口 渉次

(c) 業務の目的

三次元地震波速度構造（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P波速度3D地下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值推定方法の検討を進めた。3D構造モデルを用いた自動震源決定システム構築に向け、既存モデルを用いた震源計算システムを整備した。

2) 令和3年度：

熊野灘周辺の海陸統合3D構造モデルを構築するとともに、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する。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について議論を開始する。自動震源決定システムの動作評価を進めるとともに、同システムを用いて過去に発生した地震の震源再決定を行う。

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度：

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

5) 令和6年度：

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

(e) 令和2年度業務目的

DONET が設置されている熊野灘周辺の3D構造モデルを高精細化するため、最新の地下構造研究成果の収集とともに、構造モデル更新の仕組みの構築とマルチパラメータ化の手法・方針の検討を行う。観測点補正值を求めるとともに、構造探査データを用いた DONET 観測点直下の堆積層構造推定方法の検討を進める。3D構造モデルを用いた震源計算の効果を検査するため、既存3D構造モデルを用いた準リアルタイム自動震源決定システムを構築し、震源計算結果及び計算時間等の評価を行う。



## (2) 令和 2 年度の成果

### ①過去の探査や基盤観測データに基づく 3 D 構造モデルの構築と検証

#### (a) 業務の要約

南海トラフ域 3 D 構造モデルの高精細化のため、熊野灘海域を中心に、既存及び新たに発表された成果に基づく速度構造情報を収集した。加えて、新たに反映させる成果を取り入れると的確に 3 D 構造モデルが更新される仕組みの構築を進めた。モデルのマルチパラメータ化のため、既存の研究成果や経験的關係式について情報収集・整理し、モデル構築の手法・方針について検討を進めた。新たなマルチパラメータ構造推定手法の検討としては、震源決定の高精度化に重要な観測点補正値を求めるため、潮岬付近の DONET 観測点をモデルケースとして、構造探査データを用いた観測点直下の堆積層構造推定を試みた。

#### (b) 業務の成果

##### 1) 既存・新規観測研究成果の収集

南海トラフにおける既存の 3 D 構造モデルとしては、先行の「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」<sup>1)</sup>で実施された主に屈折法地震探査の成果に基づき、「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」<sup>2)</sup>で取りまとめられたプレート形状を含む P 波速度構造モデル<sup>3)</sup>や「海域における断層情報総合評価プロジェクト」<sup>4)</sup>で実施された反射法地震探査の成果も考慮した P 波速度構造モデルが報告されている。まず、これらの個別に進められた各プロジェクトの成果と使用された構造情報を整理し、統合するための準備を進めた。さらに、これらのモデルにまだ取り入れられていない既存の調査観測研究の成果や今年度新たに発表された研究成果について、熊野灘海域を中心に収集した。具体的には、図 2-1-①-1 に示す反射法地震探査に基づくプレート形状<sup>5),6)</sup>や屈折法地震探査による最新の P 波速度構造<sup>7)</sup>、地震観測データに基づく紀伊半島沖の深部構造トモグラフィによる P 波・S 波速度構造<sup>8)</sup>、DONET 観測点直下の 1 次元 S 波速度構造<sup>9)</sup>である。

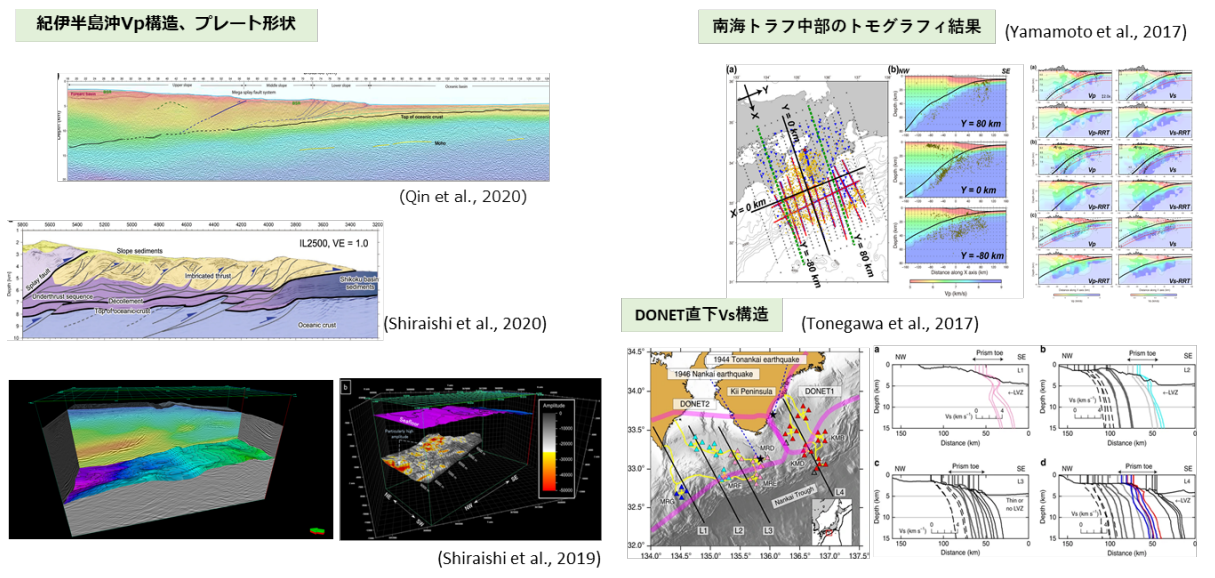
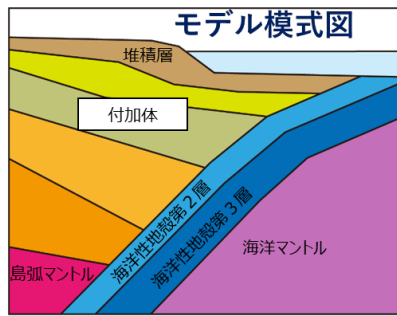


図 2-1-①-1 3D構造モデルに取り入れるために収集した調査観測研究に基づく成果

2) 構造モデル作成・更新の仕組みの構築とマルチパラメータ化の手法・方針の検討

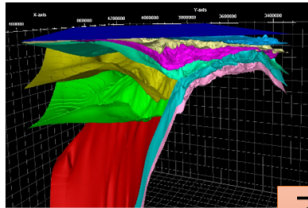
南海トラフにおける既存の3D構造モデルは、上述の通り、それぞれ異なる入力データ、方針で構築されてきた。本プロジェクトでは、それらを統合し、さらにこれらのモデルにはまだ反映されていない成果を取り入れて、一つの3D構造モデルとして取りまとめる計画である。そこで、今年度は、既存情報の収集に加え、新たな成果を取り入れると的確にモデルが更新される仕組みの構築を進めた。具体的には、3D構造を図2-1-①-2に示すような構造区分（堆積層、付加体、陸側地殻、沈み込む海洋地殻等）で取り扱う。それぞれの構造区分の境界となる境界面は、調査研究の成果に基づき作成する。多くの2次元断面上の情報から成る調査研究の成果に基づき、構造区分ごとに適切な条件を設定して補間する方針で、モデル構築とモデル更新を可能とする仕組みを、Schlumberger社製の地震探査データ等解析・可視化ソフトウェアであるPetrelなどを用いて整備した。

さらに、モデルのマルチパラメータ化のためには、S波速度、密度などの情報も必要である。しかし、海域の調査観測研究から現時点で得られている推定結果は非常に限られている。本プロジェクトでは、まず、P波速度とその他の物理パラメータとの経験的關係式を用いて、P波速度構造モデルをマルチパラメータモデルに変換し、その上で、調査観測研究の成果が存在する地点のパラメータ値と比較し、調整してマルチパラメータ化を進めていく方針で検討した。今年度は、P波速度からS波速度及び密度を導出する経験的關係式について既存の研究成果<sup>10)~17)</sup>を中心に情報収集し、図2-1-①-3のように整理した。これらの關係式をモデル構築に導入できるようPetrelを用いた作業環境の整備を進めた。



- ・付加体
  - ・陸側地殻
  - ・沈み込む海洋地殻等
- 構造区別に適切な関係式の導入を可能に

構造境界モデル構築例



新しい成果を取り入れると的確にモデル更新される仕組み (ハード・ソフト環境) を構築

その時点の最新の3Dマルチパラメータ構造モデルへ更新

図 2 - 1 - ① - 2 モデル構築の方針を示す構造区分の模式図および実際に構築した地層境界面

$$V_s = \begin{cases} 0 & V_p = 1.5 \text{ km/s} \\ \text{Hamilton 1979} & 500\text{m below seafloor?} \\ \frac{V_p - 1.36}{1.16} & 1.5 < V_p < 4.0 \text{ km/s} \\ \text{Brocher empirical fit} & 4.0 \leq V_p \end{cases}$$

$$\text{density} = \begin{cases} 1000 & V_p = 1.5 \text{ km/s} \\ \text{Hamilton 1978} & 500\text{m below seafloor? } V_p < 2 \text{ km/s} \\ \text{Nafe - Drake} & 2 \text{ km/s} \leq V_p \end{cases}$$

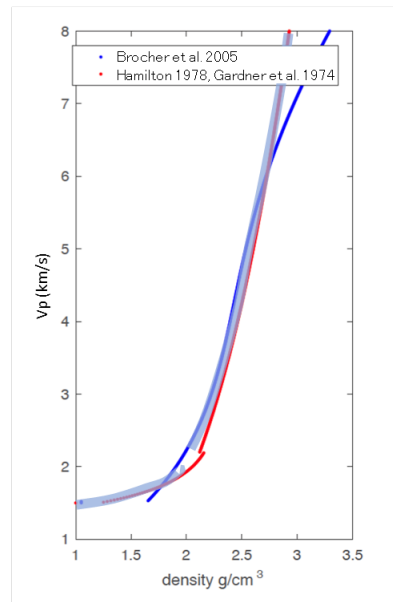
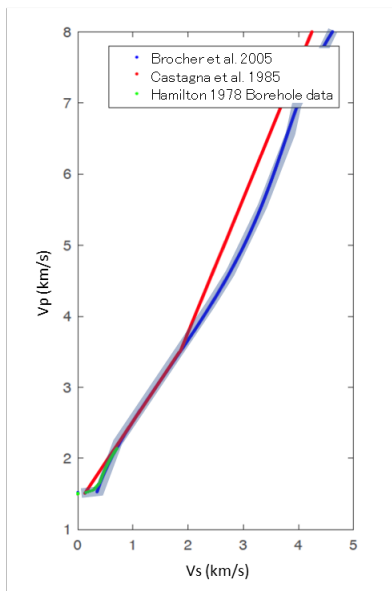


図 2 - 1 - ① - 3 既存の成果に基づき整理した P 波速度と S 波速度及び密度との経験的な関係

### 3) 浅部堆積層構造の推定方法の検討

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

採用した S 波速度の推定方法は、人工振源から出た P 波が観測点直下付近で S 波に変換したフェーズを用いて PS 変換面をイメージングした上で、反射法地震探査のイメージング結果である P 波地震波反射断面に基づき変換面深度及びその付近の P 波速度を同定することで、変換面より浅い部分の S 波速度を見積もるというものである。この方法の適用には、DONET 観測点周辺で反射法地震探査を実施する必要がある。潮岬沖では、2018 年、海洋研究開発機構の調査船「かいめい」が大容量エアガン・アレー（総容量 10,600 inch<sup>3</sup>）と 6 km のストリーマーケーブルを用いて集中的な反射法地震構造探査を実施しており、本手法の検討の場として理想的な条件にある。そこで、令和 2 年度は潮岬沖の DONET 観測点をモデルケースとして、本解析手法の最適化や限界などを評価した。

エアガン信号を用いて抽出した PS 変換面の時間深度イメージ（レシーバー関数解析結果）の一例を図 2-1-①-4 に示す。ここでは約 0.89 秒にコヒーレントな PS 変換面が確認できる。近傍の反射断面ではいくつかの P 波反射面が識別できるが、その振幅を基準に観測点下の深さ 490m（往復走時 0.27 秒）に位置する反射面が PS 変換面だと想定すると、海底面と変換面との間の堆積層の平均 P 波速度は反射法解析結果から 1.81 km/s、S 波速度は 0.42 km/s と見積られる。この見積もりは、レシーバー関数の品質と PS 変換面に対応する P 波反射面の同定結果によって大きく変化し得る。

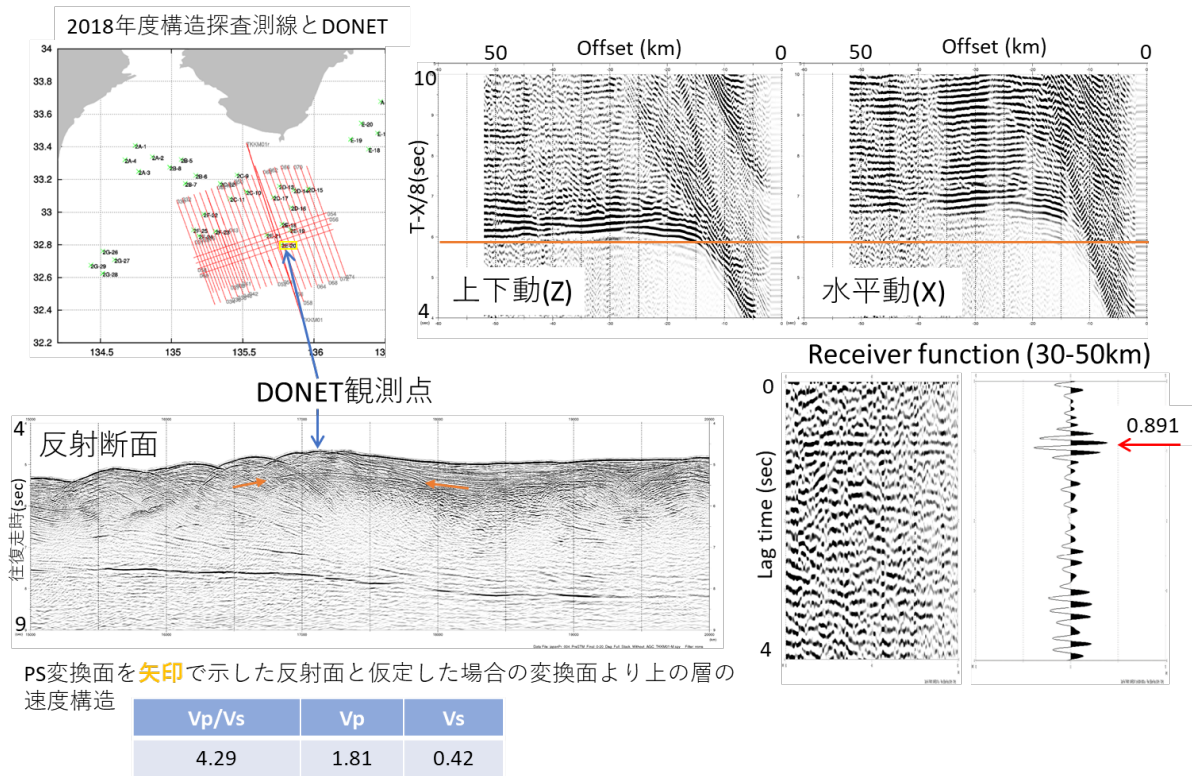


図 2 - 1 - ① - 4 DONET 観測点直下の地震波速度構造の推定の試み。(左上) 記録を使用した DONET 観測点と構造探査測線の配置。(左下) 反射法地震探査記録断面。(右上) DONET 観測点で得られた構造探査測線上のエアガンショット記録。オレンジ線は上下動成分で確認できる初動の周辺に引いた補助線であり、水平動の主な振幅が有意に遅れて到着していることが分かる。(右下) DONET 観測点の上下、水平成分に基づくレシーバー関数。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ域 3D 構造モデルの高精細化のため、熊野灘海域を中心に、既存及び新たに発表された成果に基づく速度構造情報を収集した。収集した速度構造情報は、それぞれ異なる調査目的、観測仕様で得られた成果で、扱うスケールや領域に違いがある。異なる分解能を持つ入力データが分散して存在する問題の取り扱いは、信頼性や誤差の評価とも関係する課題である。また、新たに反映させる成果を取り入れると的確に 3D 構造モデルが更新される仕組みの構築を進めたが、実際にモデル構築を進めながら、必要に応じて手法や方針を修正していく必要があると考えられる。特に、モデルのマルチパラメータ化のため、様々な海域における既存研究成果に基づき P 波速度から他のパラメータに変換する経験的關係式を整理したが、現時点での P 波速度を基準とした単純な整理であっても、複数の關係式を滑らかに統合することは困難である上、關係式によって導出された S 波速度や密度と調査観測研究に基づく成果との比較も単純に整合しないことが予想される。さらに、他海域や実験研究に基づく經驗式が南海トラフの実データにどこまで適用可能かについても検証が必要である。今後は、關係式からの推定値と調査研究成果の比較を進めつつ、P 波速度構造モデルの構築時と同様に、構造区分ごとに適切な条件を調整、設定しながら進めることで、変換式の高精度化とモデル構築の実現を目指す。新たなマルチパラメータ構造推定手法の検討としては、DONET 観測点で収録さ

れた構造探査データを用いた観測点直下の堆積層構造推定を試みたが、DONET 観測点の水平成分の方位の補正など基本的なデータ処理を施す必要がある。さらに、観測点の南北によって波形データの見え方が異なるなど、複雑な構造が想像されるケースについての対応方法も検討する必要がある。変換面が複数観測される場合などは特に、反射断面で見られる構造境界と変換面の紐づけ作業（同定作業）はレシーバー関数解析と反射法データのみでは難しいため、近傍の屈折法データ解析結果などと合わせた解釈（同定）を進めていかねばならないだろう。

(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：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.
- 2) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構：南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト 令和元年度 成果報告書 令和 2 年 5 月，1-655，2020.
- 3) 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.
- 4) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構：海域における断層情報総合評価プロジェクト 平成 31 年度（令和元年度）成果報告書 令和 2 年 5 月，1-385，2020.
- 5) Shiraishi K., G. F. Moore, Y. Yamada, M. Kinoshita, Y. Sanada, and G. Kimura: Seismogenic zone structures revealed by improved 3-D seismic images in the Nankai Trough off Kumano, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 2252-2271, doi: 10.1029/2018GC008173, 2019.
- 6) Shiraishi K., Y. Yamada, M. Nakano, M. Kinoshita, and G. Kimura: Three-dimensional topographic relief of the oceanic crust may control the occurrence of shallow very-low-frequency earthquakes in the Nankai Trough off Kumano, *Earth Planets Space*, 72:72, doi: 10.1186/s40623-020-01204-3, 2020.
- 7) Qin Y., G. Fujie, S. Kodaira, Y. Nakamura, Y. Kaiho, T. No, K. Obana, S. Miura: High-density seismic refraction imaging of plate-boundary structures in the slow earthquake gap zone off western Kii Peninsula, Nankai Trough, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL089132, doi: 10.1029/2020GL089132, 2020.
- 8) Yamamoto, Y., T. Takahashi, Y. Kaiho, K. Obana, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda: Seismic structure off the Kii Peninsula, Japan, deduced from passive- and active-source seismographic data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 461, 163-175, doi: 10.1016/j.epsl.2017.01.003, 2017.
- 9) Tonegawa T., E. Araki, T. Kimura, T. Nakamura, M. Nakano, and K. Suzuki: 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.

- 10) Hamilton, E. L.: Sound velocity-density relations in sea-floor sediments and rocks, J. Acoust. Soc. Am., 63, 366, doi: 10.1121/1.381747, 1978.
- 11) Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gergory: Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps, Geophysics, 39, 770-780, doi: 10.1190/1.1440465, 1974.
- 12) Brocher, T.M.: Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust, Bull. Seism. Soc. Am., 95, 2081-2092, doi: 10.1785/0120050077, 2005.
- 13) Castagna, J. P., M. L. Batzel, and L. E. Raymond: Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks, Geophysics, 50, 571, doi: 10.1190/1.1441933, 1985.
- 14) Wilkens, R. H., G. Simmons, and L. Caruso: The ratio  $V_p/V_s$  as a discrimination of composition for siliceous limestones, Explor. Geophys., 15, 263, doi: 10.1071/EG984263b, 1984.
- 15) Christensen, N. I. and W. D. Mooney: Seismic velocity structure composition of the continental crust: A Global view, J. Geophys. Res. Solid Earth, 100, 9761-9788, doi: 10.1029/95JB00259, 1995.
- 16) Carlson, R. L., C. N. Herrick: Densities and porosities in the oceanic crust and their variations with depth and age, J. Geophys. Res., 95, 9153-9170, doi: 10.1029/JB095iB06p09153, 1990.
- 17) JAMSTEC Seismic Survey Database: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <<https://doi.org/10.17596/0002069>>, (参照 2021-4-14), 2004.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

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

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

## ② 3D構造モデルを用いた自動震源決定システムの構築

### (a) 業務の要約

南海トラフ及びその周辺域で発生する地震の活動状況を逐次的かつ適確に把握することを目的として、3D構造モデルならびに海陸の地震観測データを用いた自動震源決定システムの構築に着手した。今年度は、防災科学技術研究所（防災科研）が運用する高感度地震観測網（防災科研 Hi-net）にて自動的に求められた震源情報を初期震源として受信し、アルゴリズムや計算パラメータの異なる複数のサブシステムで震源位置を推定する仕組みを構築した。解析により求められた震源情報はリレーショナルデータベース（RDB）に保存する仕組みとした。この RDB には、1D構造モデルによって求められた震源カタログ等も参照用として保存することにより、本研究で構築するシステムの震源計算結果の評価やカタログ活用の利便性向上を図った。

### (b) 業務の成果

西南日本下には南海トラフからフィリピン海プレートが沈み込んでおり、フィリピン海プレートと陸側プレートとの境界部を震源とする巨大地震の発生が危惧されている<sup>1)</sup>。この地震の想定震源域はほぼ海域に位置する。海域ではフィリピン海プレートが比較的浅部に位置するだけでなく、陸域に向かって次第に深くなる傾向にあること、当該海域下において複雑に湾曲していることが知られている<sup>2), 3)</sup>。このような複雑な地下構造が想定される場合、従来のような1D構造モデルを用いた震源位置の推定では大きな誤差が生じうる。例えば、2016年4月1日に三重県南東沖で発生したマグニチュード(M)6.5の地震の場合、気象庁によって1D構造モデルを用いて決められた震源の深さは28.7 kmであった<sup>4)</sup>。これまでに提唱されているフィリピン海プレートモデルでは、この地震の震央付近のフィリピン海プレート上面深さは10 km付近である<sup>2), 3)</sup>。したがって、求められた震源深さからは、この地震はフィリピン海プレート内で発生した地震である可能性を示唆する。しかし、より詳細な地下構造を用いて震源決定を行った結果、フィリピン海プレート上面付近の深さに震源が決まる<sup>5), 6)</sup>。前述の通り、南海トラフ周辺の海域ではフィリピン海プレートが地下浅部に位置する。このため、陸域を対象とした震源決定で用いられている1D構造モデルでの想定よりも有意に浅い場所に高速度なマントル物質が存在している。海域の海洋モホ面以浅で地震が発生すると、海洋モホ面に沿うヘッドウェーブとして速い見かけ速度で地震波が伝わる。1D構造モデルを用いた震源決定でこのような地震波伝播の特徴を説明するためには、陸域でより深くに設定されているモホ面近く、すなわち実際よりも震源を深く決め易くなる傾向がある<sup>7)</sup>。

近年、地震活動状況を把握するための指標として、グーテンベルグ・リヒター則のb値の時空間変化が着目されている。ただし、b値には震源深さ依存性<sup>8)</sup>やメカニズム解依存性<sup>9)</sup>がある。b値の変化として地震活動の特徴を適切に捉えるためには、地震の発生層、すなわち陸側プレート内、プレート境界付近、スラブ内のどこで発生した地震かを的確に把握し、地震活動を正しく分類した上で評価することが重要となる。

今年度は、より現実に即した3D構造モデルを用いた震源決定を実施するためのシステムの根幹部の整備とデータ利用環境の構築を行った。高精細かつ高分解能なモデルを震源決定に用いる場合、計算機上に膨大な記憶領域を確保しなくてはならないだけでな



く、相応の計算コストが必要となる可能性がある。また、複雑な地下構造を導入すると、理論的な波線計算が収束せず、震源決定が不安定になることが危惧される。システム構築にあたっては、既存の3D構造モデルを用いた震源決定アルゴリズムの調査と収集を実施するとともに、自動処理実現に向けた計算速度、計算の安定性の評価を実施する。評価に当たっては、一定の期間のデータを様々なアルゴリズムや計算パラメータで計算し、比較検討をする。大量のデータを効率的に管理するため、計算結果は全てRDBに保存し、必要な情報の検索や抽出を高速に実現できるようにした。

#### 1) 3D構造モデルを用いた震源決定アルゴリズムの収集と実装

南海トラフ及びその周辺域を対象とした自動震源決定を実現するため、既に稼働実績を有する3D構造モデルを用いた震源決定方法の調査を行うとともに、そのプログラムを収集、実装した。

防災科研では、防災科研Hi-netをはじめとする日本全国の高感度地震計による観測波形データと1D構造モデルを用いた震源カタログ構築を行うため、P波及びS波の到着時刻を自動あるいは手動で検出している。この検出値データを用いた地震波走時トモグラフィ解析により、日本周辺海域を含めた3D構造モデルが構築・提案されている<sup>10)</sup>。詳細な震源分布を利用する際には、都度、この3D構造モデルを用いて震源位置の再決定を実施しており、その成果は活断層地域評価のための基礎資料等として活用されている<sup>11)~14)</sup>。地震の震源位置は、与えた構造モデルに対し、震源-観測点間を接続する波線経路とその間を地震波が伝播するために要する理論的な時間(走時)を計算するための波線追跡(Ray Tracing)を行い、この理論走時と観測走時との差が最小となる場所を探索することで推定される。防災科研では、3D構造モデルに対して、pseudo-bending法<sup>15)</sup>により波線経路ならびに走時の計算を逐次行っている。この方法は、波線追跡を逐次実施する方法であることから、RT法と呼ぶこととする。なお、最終的な震源位置を得るためには、多くの波線を計算する必要がある。震源位置の推定に要する計算時間を短縮するために、RT法では、波線経路の計算を並列化して実行している。RT法とは別に、pseudo-bending法によりあらかじめ仮想震源と観測点間の走時を計算した走時表(Travel-time Table)を整備しておき、震源位置を探索する際にはその情報を活用することで計算時間の短縮を行う方法もある。この方法では走時表を用いることから、TT法と呼ぶこととする。また、NonLinLocと呼ばれる震源決定のためのソフトウェアパッケージが公開され、世界中で広く使われている<sup>16)</sup>。この方法は、3D構造モデルから有限差分近似を用いてあらかじめ震源と観測点間の走時を求めておき、この走時情報を用いた非線形探索法により震源位置を求めるものである。この方法を以下ではNL法と呼ぶこととする。今年度構築する自動震源決定処理システムには、これら3種類の方法を実装することとした。

前述の通り、3D構造モデルが複雑になるにつれ、波線経路を求めるための計算量が膨大になったり、計算が不安定に陥ったりすることが危惧される。このような課題に対処するため、pseudo-bending法等の近似的な解法が提案されてきた。一方、複雑な構造モデルに対しても適用可能な地震波波線計算法として最短経路法が知られている。この方法は、得られた波線経路が局所解に陥らないこと、異方性媒質に簡単に適

用できることなどの特徴があるが、膨大な計算時間を要するという欠点があった。最近、最短経路法をもとにした効率的な地震波波線計算方法が開発され、計算時間の大幅短縮が実現した<sup>17)</sup>。本研究では、研究の進展に伴って更新される3D構造モデルにあわせて波線・走時計算結果の更新を行う必要があり、効率的かつ安定的に走時を計算する環境の整備は必須である。自動処理震源決定システムの構築にあたっては、3D構造モデル、あるいは構造モデルに基づく走時情報の更新が容易であり、モデルや走時表を更新してもシステムの安定性が阻害されないことを念頭に設計としている。次年度以降、最短経路法によって求めた走時表をTT法に実装することで、複雑な地下構造が震源決定に与える影響を検討することも重要となる。

## 2) 自動震源決定処理システムの構築

今年度構築した自動震源決定処理システムでは、前節で調査した既存3手法に基づくプログラムを稼働させる仕組みを根幹とし、震源計算に用いる3D構造モデルや計算パラメータ等は容易に入れ替えられる構成とした。各アルゴリズムや計算パラメータ等の性能比較を容易にするため、計算方法や設定したパラメータごとに仮想サーバ（サブシステム）を立て、それぞれの計算が独立に動作する環境を構築した。構築したシステム（以下、本システム）の概略構成を図2-1-②-1に示す。

防災科研Hi-netでは、日本全国から収集した観測波計データを逐次処理し、イベントの自動検出、P波、S波到着時刻の検出、1D構造モデルを用いた震源決定処理を行い、その結果をデータベース（DB）に保存している。また、震源位置に関する情報等がDBに登録された際に、そのイベント情報に1:1で紐づくインデックス（ID）情報を含んだ電文を発報している。本システムは、この電文を受信すると、IDに紐づく震源情報をHi-netのDBから自動取得する。当該イベントが、南海トラフ及びその周辺で発生した地震である場合、Hi-net DBから検出値情報を取得するとともに、Hi-net震源情報や検出値情報、観測点情報を記した共通入力データを作成し、各サブシステムに引き渡す。各サブシステムから得られた処理結果は、後述するRDBシステムに保存される。

システム全体を効率的に管理するためには、通常、複数のサブシステムの操作性や入出力データの形式は統一しておくことが望ましい。一方、今回採用した震源決定システムは、様々な環境下で豊富な動作実績を有している。データ入出力部分であってもプログラムの改変を行うことは、相応の作業量が生じるだけでなく、不具合の混入とそれに伴うシステム全体の不安定化に繋がる可能性が否定出来ないため、各震源決定プログラム本体は既存のものをそのまま活用することを原則とした。各サブシステムで必要な情報を1ファイルにまとめた形式を定め、そのファイルを各サブシステムで採用している震源決定プログラムへの入力ファイルに即した形式となるように変換するプログラムを新に作成した。出力ファイルについても同様の考えのもと、共通ファイルに変換した後にRDBに登録する形式とした。

各サブシステムは、過去のデータを手動で解析する目的でも使用出来る。その場合の入力方法のひとつとして、Hi-netの既存DBに登録されているイベントのIDを指定する方法を用意した。この場合は、自動起動時と同様、IDに紐づくイベント情報を

Hi-net の DB から取得し、共通入力データを作成、各サブシステムに転送する。この他、初期震源や検測値情報を入力データとして直接作成し、使用することも可能とした。この機能を導入したことにより、Hi-net システムで検知されなかったイベントがある場合でも 3 D 構造モデルを用いた震源計算が実施可能となる。

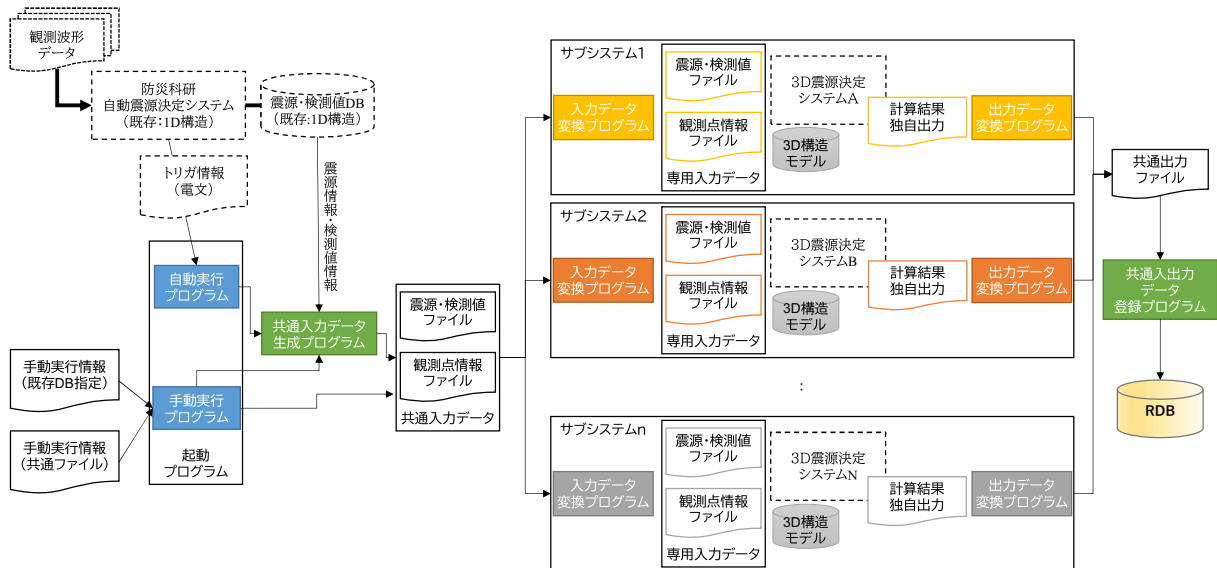


図 2-1-②-1 3D構造モデルを用いた自動震源決定システムの概略構成図。本研究で新たに構築した部分を実線枠で、本システムと連携する既存システムなどは破線枠で示した。

### 3) RDB の構築

各サブシステムで求められた震源計算結果（以下、3D震源カタログ）は、今後、その決定位置や震源計算に要する時間などの評価ならびに地震活動そのものの評価に用いる。最終的には数十年にわたる3D震源カタログを構築するとともに、その情報を対象とした様々な解析や評価に資するため、震源カタログの検索や抽出が効率的に実施できることは極めて重要である。また、各サブシステムで得られた3D震源カタログの性能評価、あるいは地震活動状況の評価を行う場合、他のシステムで決められた震源情報やスロー地震等、関連する他の事象との時空間的な比較検討が必須となる。そこで、各サブシステムの出力結果ならびに関連する各種情報を、全てRDB上のテーブルに保存することとした。RDBとして、オープンソースのRDB管理システムであるPostgreSQLを採用した。

まず、各サブシステムで得られた震源情報や計算に用いた検測値情報等を保存するRDB（以下、3D-DB）を構築した。本DBに対して、ユーザーから高負荷な検索を受けることで、新たな3D震源カタログの登録に支障が出ることは避ける必要がある。そこで、この3D-DBは計算結果の保存を主要な目的とし、ユーザーが検索等に用いる参照用のDB（以下、RefDB）を別途構築した。RefDBは、様々な震源カタログを比較検討することを目的とし、震源要素のみを登録することで軽量化を行った。表 2-1-②-1

1、表2-1-②-2に、3D-DBに登録したデータの例及びRefDBに登録したデータを、それぞれ示す。

表2-1-②-1 3D-DBに登録したデータの例

登録データ種別	主な登録情報
震源要素	ID 震源時／震源時誤差 震央緯度／南北誤差 震央経度／東西誤差 震源深さ／深さ誤差 O-C 標準誤差 観測点数 P位相使用数 S位相使用数 振幅マグニチュード 更新日付
位相情報	ID 観測点コード 位相区分（P/S） O-C 値 P初動極性 最大振幅 到着時／読み取り誤差幅

表2-1-②-2 RefDBに登録したデータ

データ種別	データ内容	備考
3D震源カタログ	3D構造モデルによる震源要素（本研究）	逐次更新
Hi-net 震源カタログ	1D構造モデルによる震源要素と初動解	自動更新（1時間1回）
F-net MT解カタログ	1D構造モデルによるMT解	自動更新（1時間1回）
気象庁一元化震源カタログ	1D構造モデルによる震源要素と初動解	自動更新（1日1回）
日本全国高分解能再決定震源カタログ <sup>18)</sup>	Double-Difference法 <sup>19)</sup> による震源要素	2001年～2012年 M≤6.5 深さ40 km以浅
深部低周波微動カタログ <sup>20)</sup>	ハイブリッド法による震央位置カタログ <sup>21), 22)</sup>	手動更新

#### 4) 自動震源決定システム試験運用結果

図 2-1-②-2 は、今年度導入した 3 つのサブシステムにより自動的に求められた 3 D 震源カタログと、同期間の防災科研 Hi-net による自動処理震源カタログの比較結果を表す。両カタログ間において、同一の地震による情報を実線で結ぶとともに、3 D 震源カタログについては、震源位置を表す丸印を黒線で縁取って示した。初期震源として用いた 1 D 構造モデルによる震源位置と 3 D 震源カタログを比較すると、特に NL 法のトラフ軸周辺の地震でやや差違が目立つ傾向がある。ただし、各図は、各サブシステムが動作確認期間中に取得した限られた期間のデータであり、計算に用いている 3 D 構造モデルは、それぞれのサブシステムで稼働実績がある仮のモデルであることに注意が必要である。

図 2-1-②-2 に示す通り、今年度、各サブシステムが問題無く稼働することを確認することが出来た。次年度以降、既存 3 D 構造モデルを各サブシステムに反映させる仕組みを構築し、自動処理やオフライン処理を実施することで、各サブシステムの評価を進めていく予定である。

#### (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逐次的かつ適確に把握するためには、より現実に即した地震波速度構造を用い、自動的に震源位置の推定を行う必要がある。本年度は、自動あるいは手動による検測値情報と 1 D 構造モデルを用いて求められた防災科研 Hi-net の震源情報を初期震源として、3 D 構造モデルを用いた震源決定を実施するシステムの構築を行った。この際、震源決定アルゴリズムとして、既に提案されている複数の方法を適用することで、その計算速度や安定性を評価出来る仕組みを導入した。また、全ての震源計算結果は、1 D 構造モデルを用いて求められた複数の震源カタログと併せて RDB に登録し、震源計算結果の評価やカタログ活用の利便性向上を図った。

本年度構築した震源決定システムでは、各サブシステムで稼働実績のある 3 D 構造モデル、あるいは走時情報を仮に用いた。今後は本業務で構築するマルチパラメータ化した高精度な 3 D 構造モデルを容易に各サブシステムに反映するための仕組みを構築する必要がある。高精度かつ高分解能な 3 D 構造モデルが得られた場合に備え、より高速かつ安定した波線経路計算を行うことも重要になるため、新たな方法として提案された最短経路法に基づくアルゴリズムの導入も進める。さらに、構築した震源決定システムや 3 D 構造モデルの評価を行うためにはたくさんの地震の震源決定処理を行う必要がある。当面は既存 3 D 構造モデルを用いて震源決定システムの評価を進めつつ、過去に発生した地震の震源再決定を効率的に行うための方法を検討する。

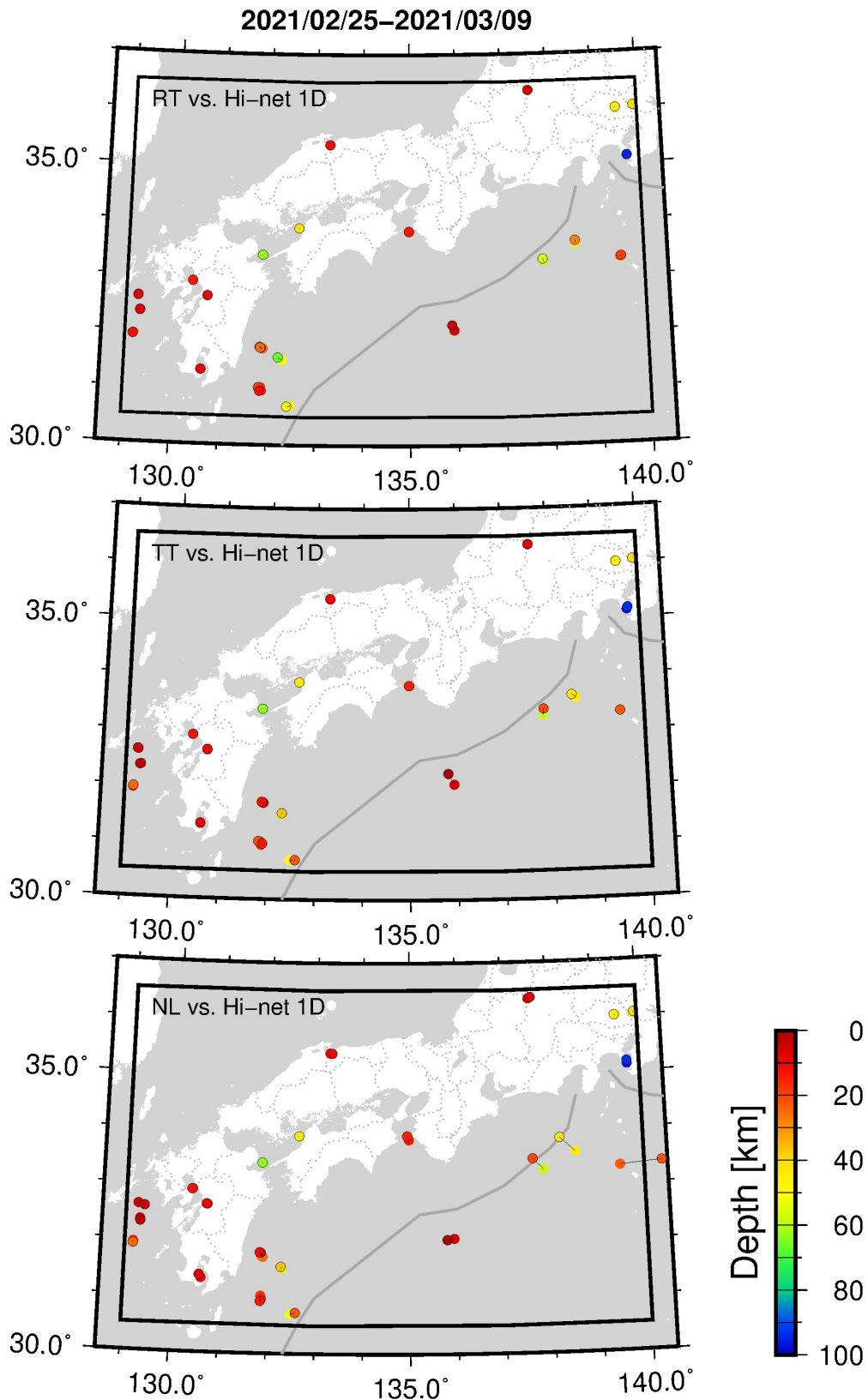


図 2-1-②-2 3D構造モデルに基づく震源計算システムの試験稼働結果。3D震源カタログと初期震源として用いた1D構造モデルによるHi-net震源との間を線で結んでいる。また、3D震源カタログについては、シンボルを黒線で縁取って示している。図中の太枠は、各サブシステムで、試験的に処理対象とした領域を表す。

(d) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版），  
<[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou\\_pdf/nankai\\_2.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf)>，（参照  
2021-4-8），2013.
- 2) Baba, T., Y. Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira: The slip distribution of the  
1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model,  
*Phys. Earth Planet. Inter.*, 132, 59-73, 2002.
- 3) 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.
- 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  
2021-4-7），2020.
- 5) Wallace, L. M. et al.: Near - field observations of an offshore Mw 6.0 earthquake  
from an integrated seafloor and subseafloor monitoring network at the Nankai  
Trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 8338- 8351, doi:  
10.1002/2016JB013417, 2016.
- 6) Takemura, S., T. Kimura, T. Saito, H. Kubo, and K. Shiomi: Moment tensor  
inversion of the 2016 southeast offshore Mie earthquake in the Tonankai region  
using a three-dimensional velocity structure model: effects of the accretionary  
prism and subducting oceanic plate, *Earth Planets Space*, 70:50, doi:  
10.1186/s40623-018-0819-3, 2018.
- 7) Takemura, S., K. Shiomi, T. Kimura, and T. Saito: Systematic difference between  
first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes  
due to a low-angle dipping slab, *Earth Planets Space*, 68:149, doi:  
10.1186/s40623-016-0527-9, 2016.
- 8) Mori, J. and R. E. Abercrombie: Depth dependence of earthquake frequency -  
magnitude distributions in California: Implications for rupture initiation, *J.*  
*Geophys. Res. Solid Earth*, 102, 15081-15090, doi: 10.1029/97JB01356, 1997.
- 9) Schorlemmer, D., S. Wiemer, and M. Wyss: Variations in earthquake-size  
distribution across different stress regimes, *Nature*, 437, 539-542, doi:  
10.1038/nature04094, 2005.
- 10) Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi,  
K. Suzuki, and S. Kamiya: Seismic velocity structure in and around the Japanese  
Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net  
data, *Seismic Waves - Probing Earth System*, IntechOpen, 1-19, doi:  
10.5772/intechopen.86936, 2019.

- 11) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：九州地域の活断層の長期評価(第一版)， < [https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13feb\\_chi\\_kyushu/k\\_honbun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_honbun.pdf) >， (参照 2021-4-8)， 2013.
- 12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：関東地域の活断層の長期評価(第一版)， < [https://www.jishin.go.jp/main/chousa/15apr\\_chi\\_kanto/ka\\_honbun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/15apr_chi_kanto/ka_honbun.pdf) >， (参照 2021-4-8)， 2015.
- 13) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：中国地域の活断層の長期評価(第一版)， < [https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul\\_chi\\_chugoku/chu\\_honbun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chu_honbun.pdf) >， (参照 2021-4-8)， 2016.
- 14) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：四国地域の活断層の長期評価(第一版)， < [https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17dec\\_chi\\_shikoku/shikoku\\_honbun.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17dec_chi_shikoku/shikoku_honbun.pdf) >， (参照 2021-4-8)， 2017.
- 15) Koketsu, K. and S. Sekine: Pseudo-bending method for three-dimensional seismic ray tracing in a spherical earth with discontinuities, *Geophys. J. Int.*, 132, 339-346, doi: 10.1046/j.1365-246x.1998.00427.x, 1998.
- 16) Lomax, A., J. Virieux, P. Volant, and C. Berge: Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in “Advances in Seismic Event Location”, ed. by C. H. Thurber, N. Rabinowitz, Kluwer, Amsterdam, 101-134, 2000.
- 17) Sekiguchi, S.: Efficient seismic ray tracing based on the shortest path method, *Geophys. J. Int.*, 225, 729-743, doi: 10.1093/gji/ggab001, 2021.
- 18) Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara, and K. Shiomi: Japan Unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands, *Tectonophys.*, 702, 19-28, doi: 10.1016/j.tecto.2017.02.017, 2017.
- 19) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth: A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353-1368, doi: 10.1785/0120000006, 2000.
- 20) 松澤孝紀・田中佐千子・小原一成：西南日本における深部低周波微動活動（2019年11月～2020年4月），地震予知連絡会会報，104，388-392，2020.
- 21) Maeda, T. and K. Obara: Spatio-temporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 114, B00A09, doi: 10.1029/2008JB006043, 2009.
- 22) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa: Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13306, doi: 10.1029/2010GL043679, 2010.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表  
なし



2) 学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## 2. 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	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	技術補佐員	佐藤真樹子
東北大学大学院理学研究科	技術補佐員	平岡恵美子
東北大学大学院理学研究科	技術補佐員	小鳥谷久美子
東北大学災害科学国際研究所	教授	木戸元之
海洋研究開発機構	主任研究員	飯沼卓史
海洋研究開発機構	研究員	縣 亮一郎
東京大学地震研究所	教授	篠原雅尚
東京大学地震研究所	教授	小原一成
東京大学地震研究所	教授	塩原肇
東京大学地震研究所	准教授	望月公廣
東京大学地震研究所	助教	悪原岳
東京大学地震研究所	技術専門職員	阿部英二
東京大学地震研究所	技術専門職員	田中伸一
東京大学地震研究所	技術専門職員	増田正孝
東京大学地震研究所	技術職員	橋本匡
京都大学防災研究所	准教授	伊藤喜宏
京都大学防災研究所	助教	山下裕亮

(c) 業務の目的

南海トラフにおける巨大地震震源域の様々な時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現し、情報発信するために、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの不確実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発を行う。同システムにはプレート境界以外の断層も含む3D構造モデルに基づいた、地下の断層におけるすべりと地表及び海底での地殻変動を結びつけるグリーン関数を組み込む。さらに3D構造モデルに不均質粘弾性構造を追加したグリーン関数を導入する。これによっ

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

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

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

2) 令和3年度：

より正確な地殻変動の再現を目指し、最新の3D構造モデルを用いたグリーン関数の改訂を行う。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を得る。開発した手法を用いて実データに基づいて、南海トラフにおけるプレート間固着強度分布をその不確実性とともを得る。粘弾性構造を考慮した地殻変動場の再現を目指し、3D粘弾性構造モデルを得る。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。

3) 令和4年度：

プレート境界以外の断層面が地震間や地震時の地殻変動に与える影響を評価することを目指し、分岐断層等を含めた海域構造を考慮した全国地下構造モデルでのグリーン関数を得る。構築した3D構造モデルの不確実性が固着・すべり分布推定に与える影響について予察的知見を得る。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。

#### 4) 令和5年度：

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

#### 5) 令和6年度：

内陸断層およびプレート境界における固着・すべりの履歴を同時推定した結果を得る。開発を進めた誤差の定量評価付きプレート間固着・すべり分布即時推定手法を、REGARDへ技術移転するために必要な情報を得る。南海トラフ中西部における長期観測型海底地震観測データの取りまとめと、それを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2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日本周辺域における弾性グリーン関数の構築を行うとともに、プレート境界でのすべり・固着による、熊野灘周辺に設置された長期孔内観測システムにおける歪・傾斜応答グリーン関数を精度よく計算するため、既存の有限要素モデルでは空間解像度が不足している領域を局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いてのグリーン関数の計算を実施する。推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を活用した推定手法の開発に着手する。さらに、南海トラフプレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を目指した広帯域地震観測データを得ることを目的に、固有周期120秒の広帯域地震計を搭載したレベリング装置付き小型広帯域海底地震計5台の整備を行う。さらに南海トラフ西部の日向灘において、これまで浅部低周波微動や超低周波地震活動の発生が確認されている領域に今年度に整備を行った小型広帯域海底地震計5台を含め、10台の長期観測可能な海底地震計を設置し、観測を開始する。

### (2) 令和2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(図2-2-①-1)に基づいて計算する。

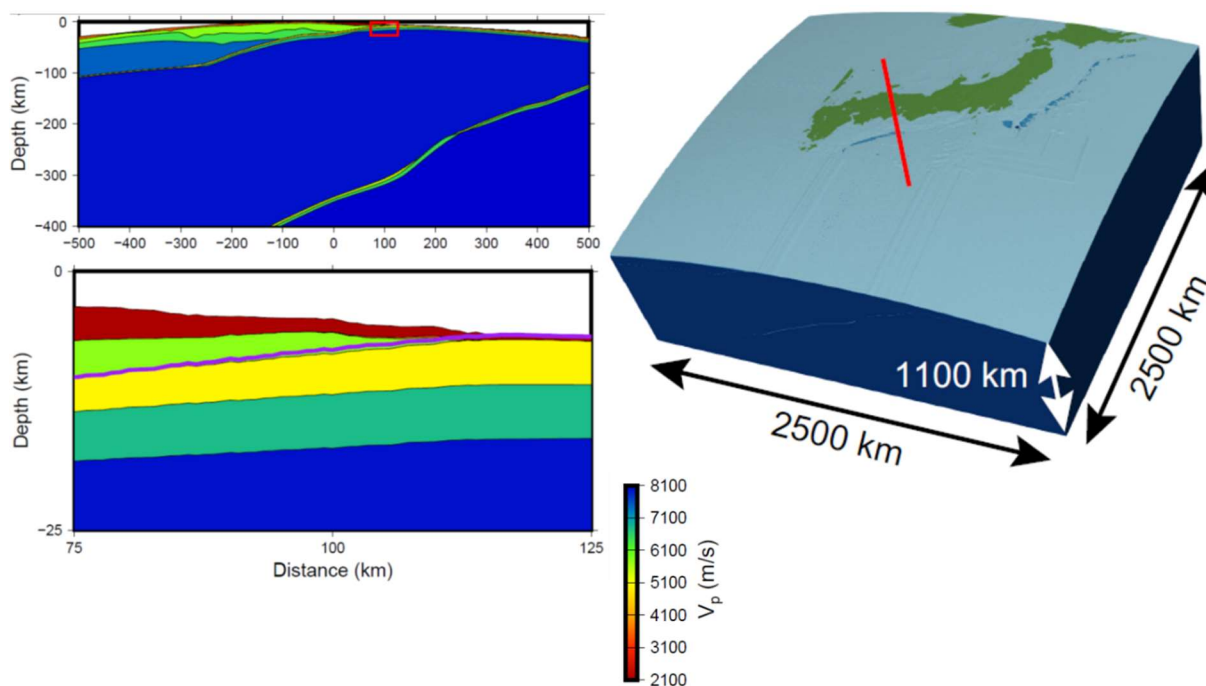


図 2-2-①-1 グリーン関数の計算に用いた 3D 地震波速度構造モデル<sup>5)</sup>。左側下段は、上段の赤枠内を拡大したもの。有限要素法モデルが右図の範囲に構築されており、メッシュサイズは細かいところで 1km 程度となっている。

本年度は、上記目的達成のため、プレート境界でのすべり・固着による、熊野灘周辺に設置された長期孔内観測システムにおける歪・傾斜応答グリーン関数を精度よく計算するため、既存の有限要素モデルでは空間解像度が不足している領域を局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いてのグリーン関数の計算を実施した。

#### (b) 業務の実施方法

南海トラフ中部域においては長期孔内観測システムに設置された間隙水圧計によって体積歪変化が計測されており、地震・津波観測監視システム (DONET) の基幹ケーブルを介してのリアルタイムモニタリングが実施されている (図 2-2-①-2)。

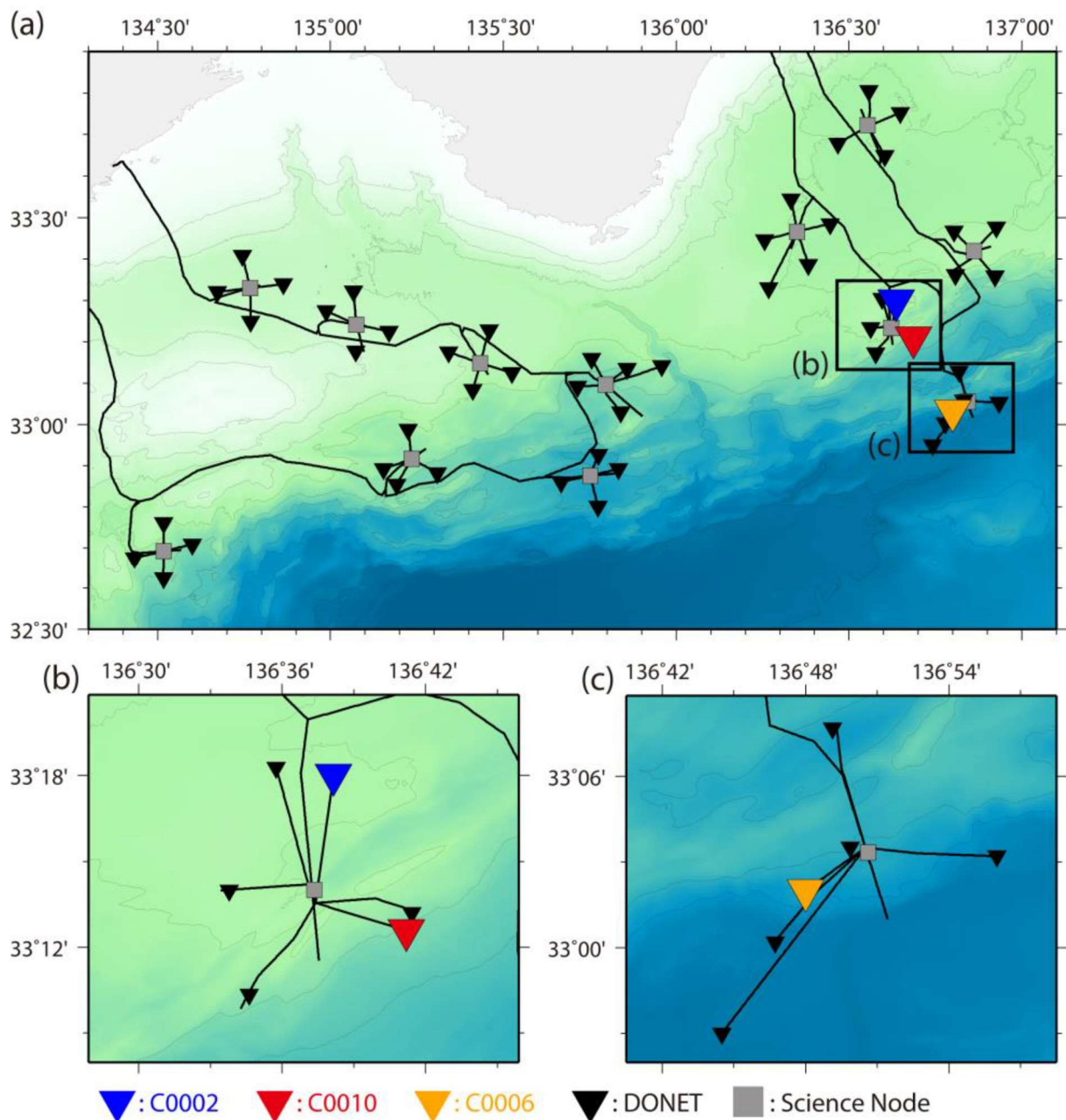


図 2-2-①-2 南海トラフ東南海地震震源域沖合に設置された 3 点の長期孔内観測点 (C0002、C0010、C0006) と DONET の観測点配置図 (海洋研究開発機構 (2021, 第 355 回地震調査委員会資料)<sup>5)</sup>より)。(a) DONET 全域。(b) 孔内観測点 (C0002、C0010) 周辺。(c) 孔内観測点 (C0006) 周辺。

これまでに、近傍のプレート境界における長期的スロースリップイベントによると考えられる変動が複数回検出されているものの<sup>1,2)</sup>、プレート境界のどこがどの程度すべったのかを精確に推定するためには、海底の地形や地下の構造が正しく反映された 3D 構造モデルに基づいて計算されたグリーン関数を用いて解析を行う必要がある。南海トラフ域全域に対して、全国一次地下構造モデル<sup>3,4)</sup>に基づいて計算されたグリーン関数ライブラリがすでに整備されている<sup>5)</sup>が、そこで用いられている有限要素法モデルのメッシ

ユサイズは 1km 程度であるため、海底面から 1km 未満の深度に設置されている長期孔内観測システムのセンサーによって計測された間隙水圧変化（≒体積歪）に基づいてプレート境界におけるすべりを推定するには、空間解像度が不足している（図 2-2-①-3 参照）。

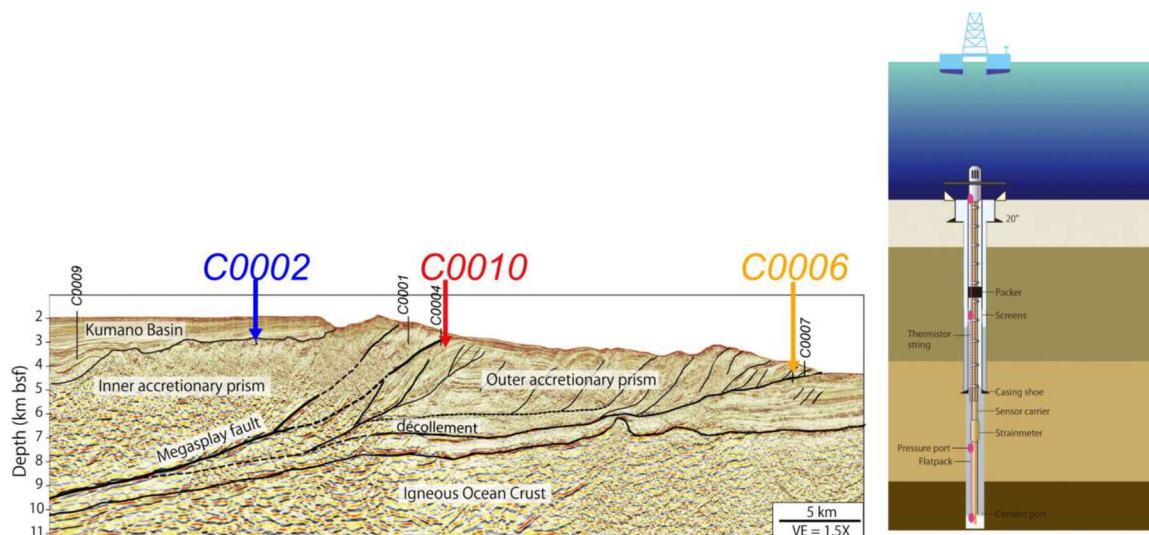


図 2-2-①-3 南海トラフ東南海地震震源域沖合に設置された 3 点の長期孔内観測点（C0002、C0010、C0006）の設置位置（地震断面図に投影したもの）（海洋研究開発機構（2021，第 355 回地震調査委員会資料）<sup>5)</sup>より）。海底下 980m (C0002)、650m (C0010)、495m (C0006) まで掘削した孔内における地殻内の間隙水圧・体積歪（C0010、C0006）などの連続リアルタイム観測が実施されている。

また、長期孔内観測システムには傾斜計も設置されているが、そのデータを活用するためには、センサーの位置における変位場の空間微分値に関するグリーン関数も必要である。このため、局所的に有限要素法モデルのメッシュを細分化する手法と変位場の空間微分値の出力値を得るためのサブルーチンの実装、並びに、それらを用いた有限要素法モデルの局所高精細化及びグリーン関数の計算を実施することとした。

### (c) 業務の成果

南海トラフ沿い沈み込み帯全体の大規模有限要素法モデルのうち、間隙水圧計の位置、並びに、観測孔の孔口（海底面上）周辺を局所的に高精細化するサブルーチンを実装した。また、高精細化したモデルの各要素のうち、間隙水圧計の位置ならびに観測孔の孔口（海底面上）が含まれる要素を抽出する（いずれの要素にも含まれない場合は、最近傍の要素を抽出する）サブルーチンを実装した。これらを用いて、長期孔内観測システムの間隙水圧計の位置および同システムの孔口（海底面）の位置それぞれの変位及び歪応答の計算を行った。今回は、長期孔内観測システム付近のメッシュを三段階で再分割することにより、初期の八分の一、すなわち約 125m にメッシュサイズを細分化しての計算を実施した。プレート境界面におけるすべりを表現するスプライン関数を配置する位置を変えていき、走向方向およ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。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務により、既存の3D構造モデルに基づいた有限要素法モデルを用いてプレート境界面における固着・すべり分布の把握するために必要なグリーン関数を整備することができた。長期孔内観測システムの間隙水圧計及び傾斜計においては、2020年12月から1月にかけて、これまでに観測されてきたものよりも規模の大きなスロースリップイベントの発生に伴うとみられる変動が検出されている<sup>6)</sup>。次年度、今回計算したグリーン関数を用いた解析を実施してプレート境界でのすべり分布の詳細を把握するとともに、過去のイベントに伴う地殻変動データの再解析を行って、プレート境界でのすべり分布の比較を行うことを計画している。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) Ariyoshi, K., Iinuma, T., Nakano, M., Kimura, T., Araki, E., Machida, Y., Sueki, K., Yada, S., Nishiyama, T., Suzuki, K., Hori, T., Takahashi, N., and Kodaira, S.: Characteristics of Slow Slip Event in March 2020 Revealed From Borehole and DONET Observatories. *Front. Earth Sci.*, 8, 679, doi:10.3389/feart.2020.600793, 2021.
- 3) Koketsu, K., Miyake, H., and Tanaka, Y.: A proposal for a standard procedure of modeling 3-D velocity structures and its application to the Tokyo metropolitan area, Japan. *Tectonophysics*, 472(1-4), 290-300, doi:10.1016/j.tecto.2008.05.037, 2009.
- 4) Koketsu, K., Miyake, H., and Suzuki, H.: Japan integrated velocity structure model version 1, in *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 1773, Lisbon, 2012
- 5) Hori, T., Agata, R., Ichimura, T., Fujita, K., Yamaguchi, T., and Iinuma, T.: High-fidelity elastic Green's functions for subduction zone models consistent with the global standard geodetic reference system. *Earth Planets Space*, 73, 41, doi:10.1186/s40623-021-01370-y, 2021.
- 6) 海洋研究開発機構：南海トラフ孔内（間隙水圧）観測による浅部ゆっくりすべりモニタリング，第355回地震調査委員会，2021年3月9日，2021.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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



(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

② 固着・すべり分布の即時推定

(a) 業務の要約

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うとともに、プレート境界でのすべり・固着による、熊野灘周辺に設置された長期孔内観測システムにおける歪・傾斜応答グリーン関数を精度よく計算するため、既存の有限要素モデルでは空間解像度が不足している領域を局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いてのグリーン関数の計算を実施した。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、試行的に1707年宝永地震を模したシミュレーションデータに同手法を適用し、その性能評価を行った。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。

(b) 業務の実施方法

プレート間の固着、すべりを限られた測地観測データから推定するとき、得られた断層すべりには大きな推定不確実性が内在する。これを定量評価することを目的に、本年度はマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC法)を用いた断層すべり分布の即時推定アルゴリズムの開発に着手した。MCMC法は多数のフォワード計算を行うために計算コストが非常に大きく、リアルタイム用途には不適であると従来考えられてきた。一方、近年MCMCをリアルタイム用途に活用するための研究が進展しつつある<sup>1)</sup>。こうした背景を受けて、本研究ではリアルタイムで実行が可能にすることを念頭に置いたMCMCを活用した推定アルゴリズムの開発に着手した。具体的には、データを説明する多様なパラメータの組み合わせを効率的に探索するために、プレート境界面の断層を逐次細分化する「段階的全分割アルゴリズム」の開発を行った。同アルゴリズムでは、全小断層を段階的に4ステージに分割して細分化する。このとき、各ステージの前ステージにおける各小断層の95%信頼区間を次のステージにおけるMCMC法の各パラメータの摂動幅として用いることでマルコフ連鎖の収束における効率化を図った。同アルゴリズムの性能評価を目的として、南海トラフで過去に発生した1707年宝永地震を模したすべり分布(Mw 8.75)<sup>2)</sup>のシミュレーションデータへ適用した。ここで観測データとしては陸域のGNSSデータ

を仮定し、リアルタイムで想定されるノイズを付加したものを観測値として使用した。今年度の試行では、グリーン関数には均質半無限媒質の解析解<sup>3)</sup>を用いた。

MCMC 法を活用した上記手法では、観測データを同程度に説明する多数の異なる断層すべりモデルが得られる。これら得られた結果から、断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的として、多数断層モデル可視化ツールを開発した。同ツールは、得られた多数モデルの結果を GUI ベースで簡単に表示することが可能である。

本研究課題で実施する内容の内、地震時すべり分布の即時推定については、国土地理院で運用している REGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）への技術移転を念頭に置いている。そのため、2020 年 11 月 19 日に国土地理院測地観測センターおよび地理地殻活動研究センターと打ち合わせを行ない、本研究課題の進捗状況についての報告および議論を行った。

### (c) 業務の成果

開発した「段階的全分割アルゴリズム」を、1707 年宝永地震を模したすべり分布 (Mw 8.75) のシミュレーションデータに適用したところ、仮定したすべりを大局的に推定することができた一方で、陸域に近いプレート境界では断層すべりの不確実性が明瞭に小さいのに対し、海溝軸付近に位置する断層ではその不確実性がきわめて大きいという結果を定量化することに成功した (図 2-2-②-1)。

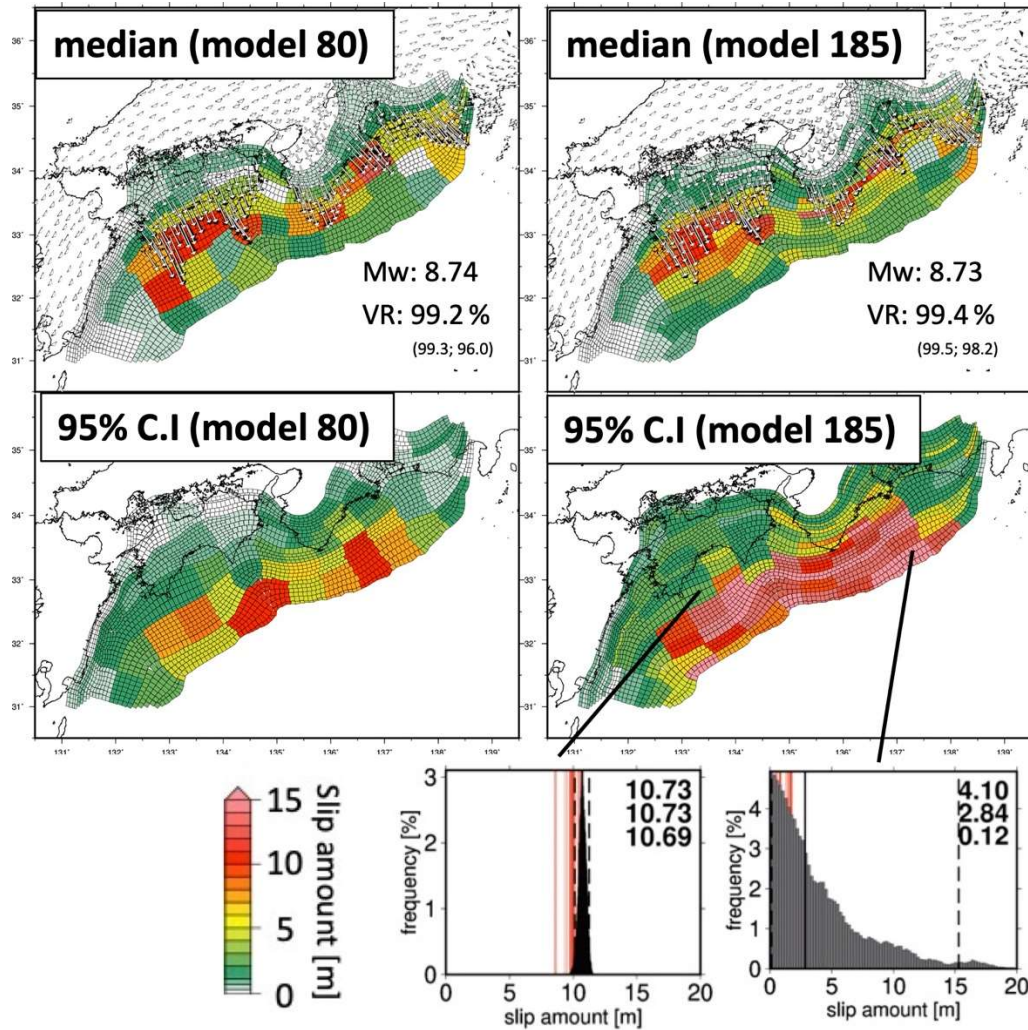


図 2-2-②-1 1707 年宝永地震を模したイベントの数値シミュレーション結果に対して「段階的全分割アルゴリズム」を適用したときのすべり量分布。左側が断層枚数 80 枚の場合の推定結果(中央値)とその 95%信頼区間、右側が断層枚数 185 枚の場合の推定結果(中央値)とその 95%信頼区間をそれぞれ示す。右下図は各小断層における事後確立分布。黒実線は中央値を、黒点線は 95%信頼区間を示す。赤実線は、最小単位の断層パッチにおいて仮定したすべり量を示す。挿入値は、上から平均値・中央値・最頻値を示す。

さらに、南海トラフの東半分(東南海)のみが破壊したと仮定したときに、陸域 GNSS 観測データからその走向方向の破壊をどの程度拘束できるかを、同手法を活用して評価した。その結果、やはり海溝軸付近では断層すべりが生じた領域の同定において、走向方向に 30~40km 程度の不確実性があることが明らかになった(図 2-2-②-2)。

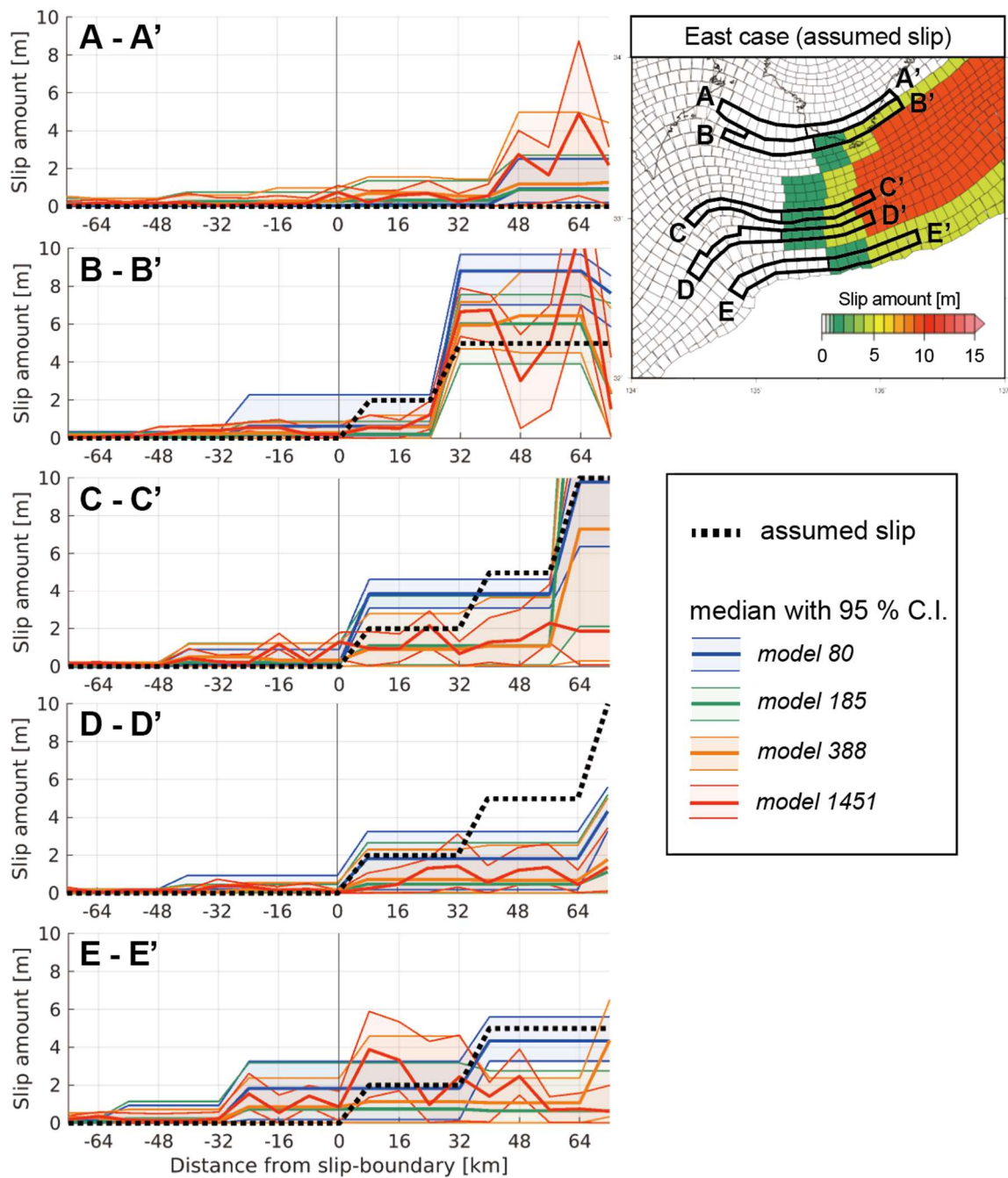


図 2-2-②-2 紀伊半島よりも東側のみが破壊する半割れケースの西側すべり境界地域の推定されたすべり量のプロファイル。横軸は、挿入地図内のすべり境界（黒細線）を 0 とし、その東方向を正とした。バックグラウンド小断層の断層走向方向の断層長さは全て 8 km で統一されており、プロファイルの横軸はその長さである（単位は [km]）。想定すべり分布（黒点線）に対する、4 段階各々の推定結果の中央値と 95%信頼区間を示す（青：断層枚数 80 枚、緑：断層枚数 185 枚、オレンジ：断層枚数 388 枚、赤：断層枚数 1451 枚）。

断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的とした、多数断層モデル可視化ツールを開発することによって、GUI ベースで迅速に各小断層が持つ推定不確実性を把握することが可能になった（図 2-2-②-3）。また、2020 年 11 月 19 日

に国土地理院と行った打ち合わせにより、国土地理院で現在機能改善を進めている REGARD の現状等についての情報共有を実現した。

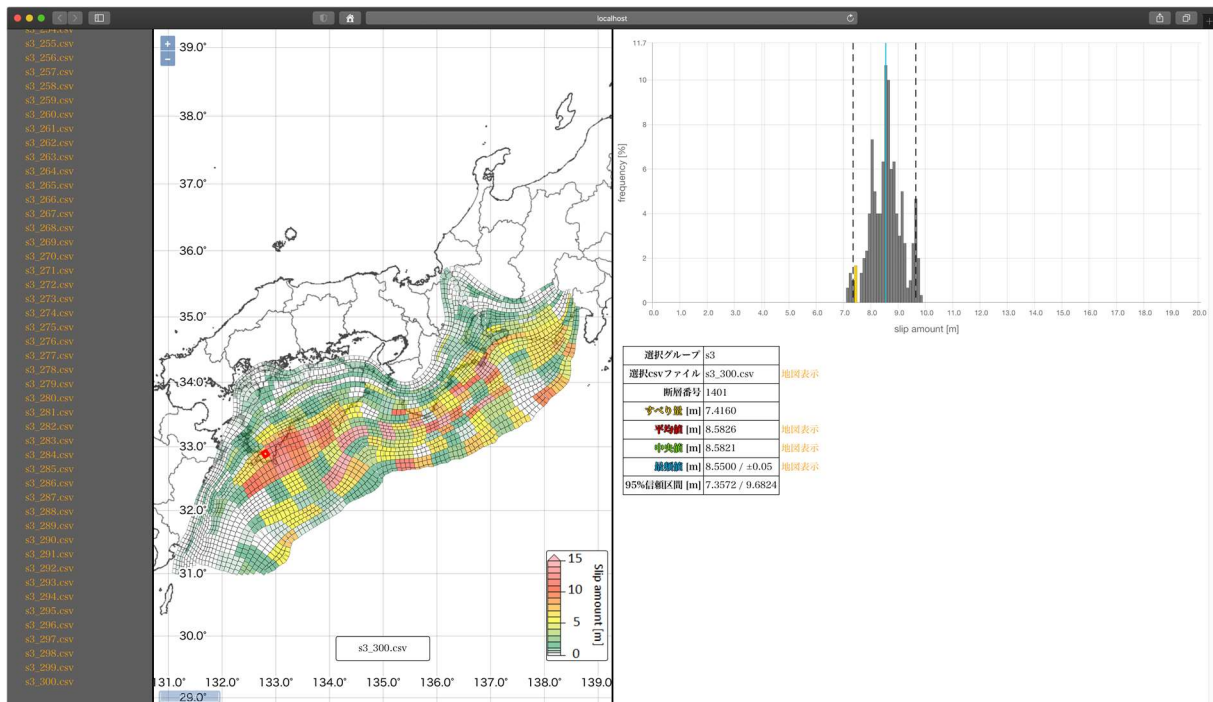


図 2-2-②-3 断層すべりモデルの不確実性を迅速に定量化することを目的とした、多数断層モデル可視化ツール。各小断層がどのようなすべりの多様性を持ちうるかを事後確率分布の形で迅速に GUI を用いて表示させることができる。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

断層すべりモデルの不確実性を迅速に推定するためのアルゴリズム開発を行うことで、推定の枠組みを得た。さらに試行的に南海トラフ巨大地震を模したイベントに対して同手法を適用した。同試行では均質半無限媒質を仮定した。さらに断層すべりモデルの不確実性を可視化するための多数断層モデル可視化ツールの開発を行った。また、本課題で開発した技術の REGARD への技術移転のための国土地理院との打ち合わせを 2020 年 11 月に実施した。今年度は、不確実性を含めて推定するためのアルゴリズムの枠組みを得た。来年度は同手法を高度化するとともに、3D 構造モデルによる推定の試行や海底地殻変動観測データの利活用等の検討等を進める。

#### (e) 引用文献

- 1) 大野圭太郎, 太田雄策: CMC を用いたリアルタイム GNSS データによる単一矩形断層推定の不確実性定量評価の試み -2011 年東北地方太平洋沖地震への適用例-. 測地学会誌, 64, 39-50, 2018.
- 2) Furumura, T., Imai, K., and Maeda, T.: A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 116 (2), 1-17. doi:10.1029/2010JB007918, 2011.

- 3) Okada, Y.: Internal Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 2, pp.1018-1040, 1992.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

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、まず、固有周期120秒の広帯域地震計を搭載したレベリング装置付き小型広帯域海底地震計5台の整備を行った。その後、南海トラフ西部の日向灘において、これまで浅部低周波微動や超低周波地震活動の発生が確認されている領域に今年度に整備を行った小型広帯域海底地震計5台を含め、10台の長期観測可能な海底地震計を設置し、観測を開始した。

(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<sup>1,2,3)</sup>。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<sup>3)</sup>。これから短期的なスロースリップの発生が示唆されており<sup>3)</sup>、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<sup>2)</sup>。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<sup>1)</sup>、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<sup>3)</sup>。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<sup>4)</sup>、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、まず固有周期120秒の広帯域地震計を搭載したレベリング装置付き小型広帯域海底地震計5台の整備を行った。固有周波数1Hzの地震計を搭載する長期観測型海底地震計のセンサー部を、固有周期120秒の小型広帯域地震計を搭載するレベリング装置と交換することにより、小型広帯域海底地震計とした<sup>5)</sup>。広帯域地震計には、Nanometrics社 Trillium Compact を用いた。その後、日向灘に今回整備した5台のレベリング装置付き小型広帯域海底地震計と長期観測型海底地震計5台の計10台の海底地震計を設置して、観測を開始した(図2-2-③-1、写真2-2-③-1～5、表2-2-③-1)。

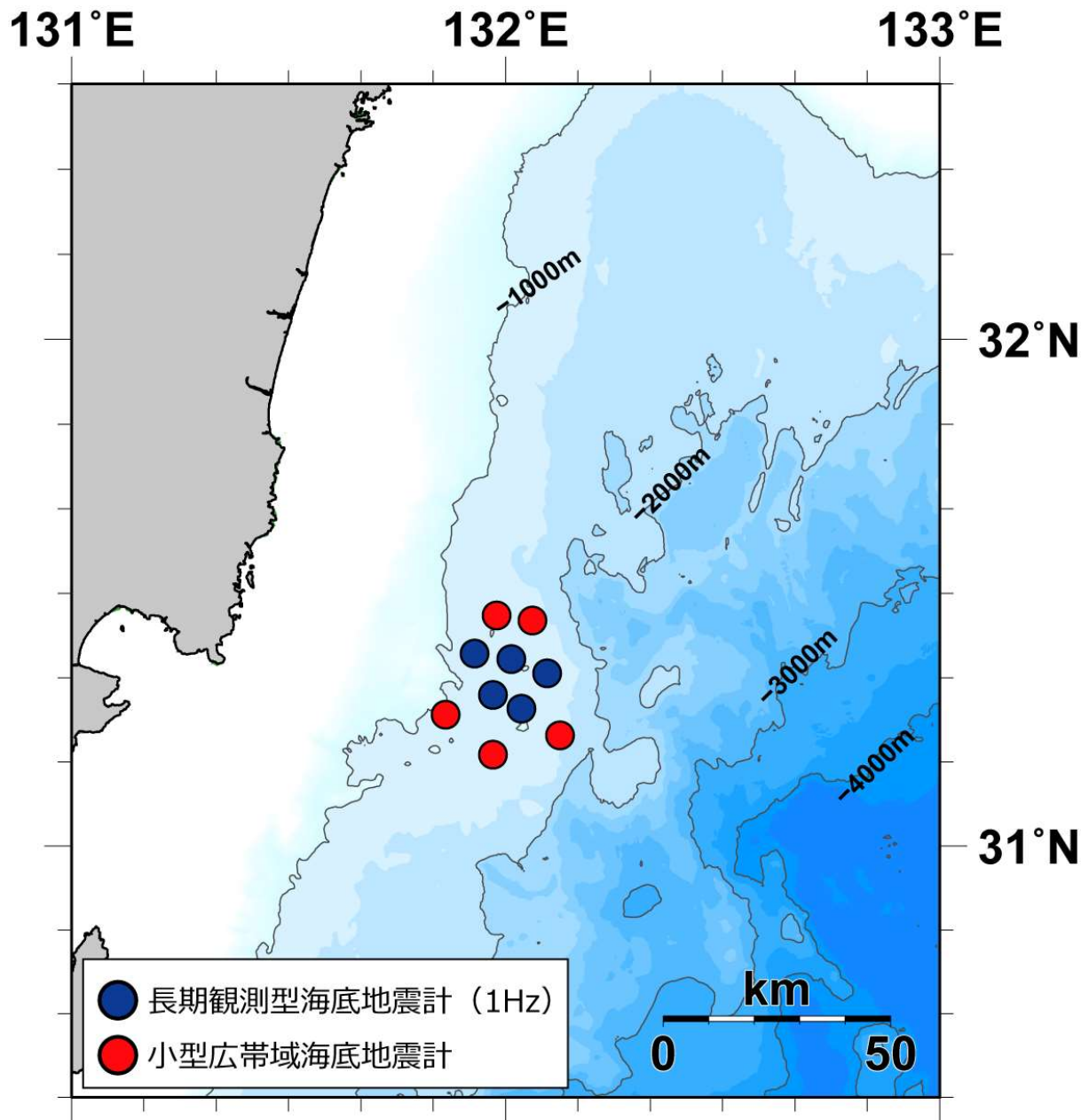


図 2 - 2 - ③ - 1 設置した海底地震計位置

2020 年度に観測を開始した長期観測型および小型広帯域海底地震計 10 台の設置位置。図中の青丸の 5 点に長期観測型海底地震計、赤丸の 5 点に小型広帯域海底地震計を設置して、観測を開始した。これらの海底地震計は、次年度以降まで観測を継続し、その後回収を予定している。なお、図中のコンターは 1000m 間隔の等水深線である。





写真 2 - 2 - ③ - 1 観測に使用した研究船「第三開洋丸」

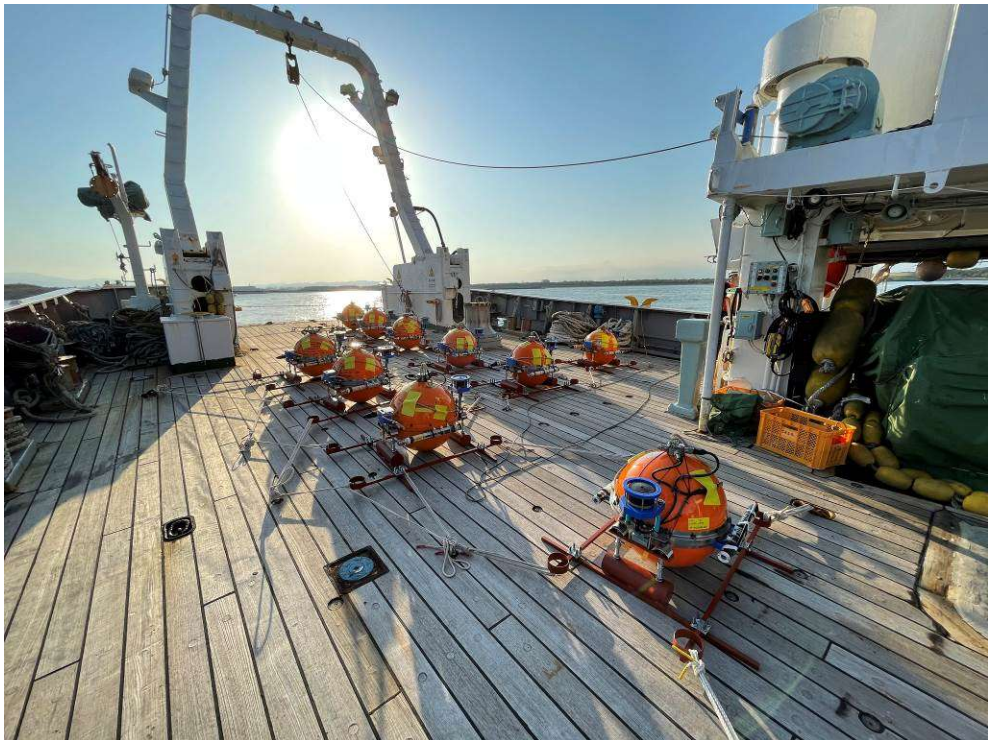


写真 2 - 2 - ③ - 2 観測船に搭載された海底地震計

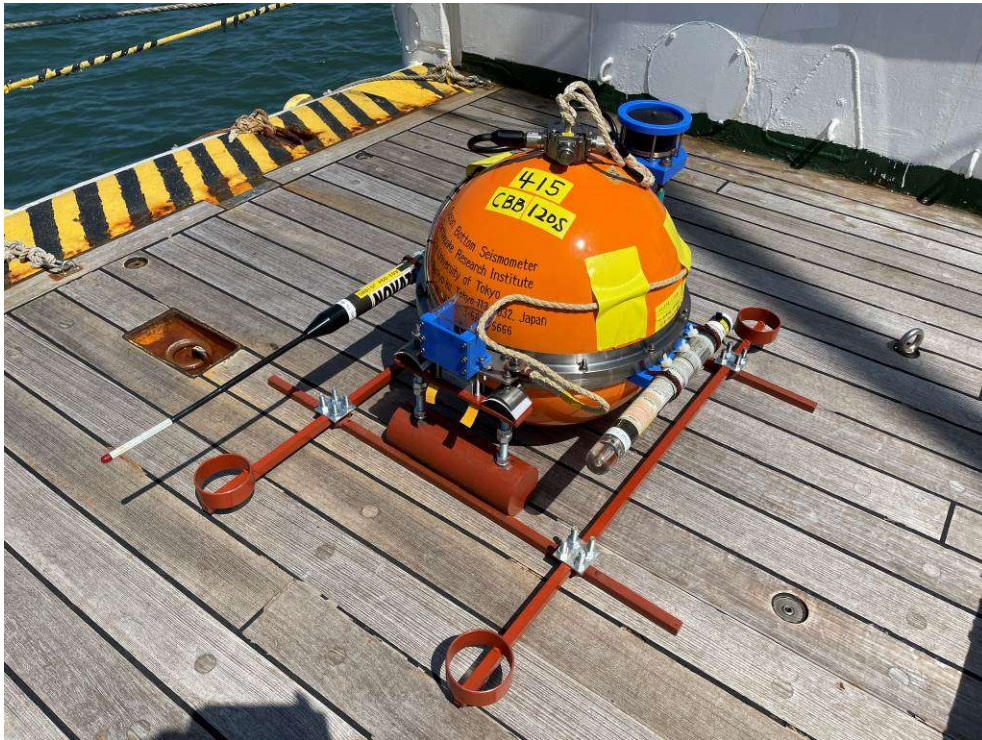


写真 2-2-③-3 小型広帯域海底地震計  
外見は従来の長期観測型海底地震計と全く同じである

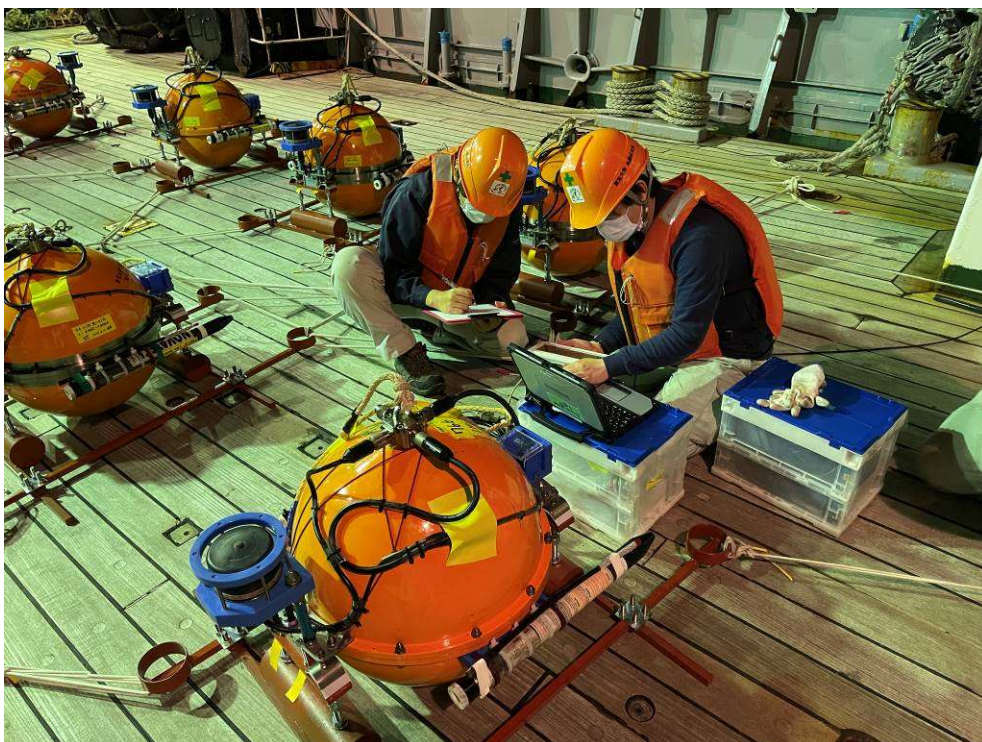


写真 2-2-③-4 海底地震計設置前準備作業



写真 2 - 2 - ③ - 5 海底地震計投入

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	
NK20A6	31	22.22	132	00.70	1159	LOBS
NK20S1	31	27.44	131	58.65	1225	CBBOBS
NK20S2	31	26.80	132	03.65	1153	CBBOBS
NK20S3	31	22.89	131	55.64	1189	LOBS
NK20S4	31	20.60	132	05.64	1145	LOBS
NK20S5	31	18.00	131	58.12	1380	LOBS
NK20S6	31	16.37	132	02.12	1194	LOBS
NK20S7	31	15.65	131	51.76	1187	CBBOBS
NK20S8	31	10.88	131	58.17	1302	CBBOBS
NK20S9	31	13.20	132	07.42	1434	CBBOBS

備考欄の LOBS は長期観測型海底地震計、CBBOBS は固有周期 120 秒の地震計を搭載した小型広帯域海底地震計を示す。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。

本設置作業には、海洋エンジニアリング株式会社所属の第三開洋丸（2021年3月25日宮崎港出港、同年同月27日宮崎港帰港）を使用した。プレート間固着状況の把握に着眼し、これまでの観測で浅部低周波微動・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と通常の地震発生域の境界付近を観測対象域とした。海底地震計の設置間隔は10~20 kmとし、稠密観測網を構築した。また、同領域には別プロジェクト（文部科学省 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次) 課題番号DPRI01<sup>6)</sup>）により海底地震計短スパンアレイが設置されており、この短スパンアレイと連携可能となるように観測点を配置した。設置後に、海底地震計が着底した位置を海底地震計の音響通信システムを用いた音響測量により求めた。

(d) 結論ならびに今後の課題

新たに小型広帯域海底地震計5台の整備を行った。日向灘において、整備した小型広帯域海底地震計を含めた計10台の長期観測可能な海底地震計の設置を行い、観測を開始した。今回の観測は海底地震計耐圧容器内の記録媒体にデータ収録されるため、データ取得には次年度以降の海底地震計回収作業が必須である。回収し得られたデータをもとに、プレート境界およびその周辺で発生していると考えられるスロー地震を含めた地震活動を把握し、浅部プレート境界域における解析を実施する。地震活動の詳細な時空間把握のためには、継続的な観測ならびにスロー地震の帯域まで記録可能な機材による観測が重要である。次年度以降においても、広帯域海底地震計を含めた海底観測網を構築し、観測を実施する予定である。そのため、新たにレベリング装置付き小型広帯域海底地震計の整備を行うことも計画している。

(e) 引用文献

- 1) Sugioka, H., Okamoto, T., Nakamura, T., Ishihara, Y., Ito, A., Obana, K., Kinoshita, M., Nakahigashi, K., Shinohara, M., and Fukao, Y.: Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, 5 (6), 414-418, doi: 10.1038/NGE01466, 2012.
- 2) Yamashita, Y., Yakiwara, H., Asano, Y., Shimizu, H., Uchida, K., Hirao, S., Umakoshi, K., Miyamachi, H., Nakamoto, M., Fukui, M., Kamizono, M., Kanehara, H., Yamada, T., Shinohara, M., and Obara, K.: Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, *Science*, 348 (6235), 676-679, doi:10.1126/science.aaa4242, 2015.
- 3) Araki, E., Saffer, D. M., Kopf, A. J., Wallace, L. M., Kimura, T., Machida, Y., et al.: Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust. *Science*, 356(6343), 1157-1160, doi:10.1126/science.aan3120, 2017.
- 4) Park, J.-O., Tsuru, T., Kodaira, S., Cummins P.R. and Kaneda, Y.: Splay fault branching along the Nankai subduction zone, *Science*, 297, 1157-1160, 2020.

- 5) Shinohara, M., Yamada, T., Shiobara, H., and Yamashita, Y.: Development of Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer for Monitoring of Slow Earthquakes, submitted to Seism. Res. Lett.
- 6) 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」令和元年度成果報告書,  
[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/OpenReport/R1/r1\\_kikanbetsu.pdf](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/OpenReport/R1/r1_kikanbetsu.pdf)

f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

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

(c) 業務の目的

過去の地震履歴についての知見を拡充するとともに、地殻変動データと整合する3D粘弾性構造モデルを構築し、過去の地震履歴や固着・すべりの現状把握の結果が与えられたもとの、現在の応力蓄積状態を推定するとともに、擾乱（半割れ等）が与えられた際の推移を予測する手法を開発する。そのために、断層すべりによる地殻変動計算と断層面での応力評価を、3D不均質粘弾性構造を考慮して行うための大規模有限要素モデルを、南海トラフを対象として構築するとともに、前回の南海トラフ地震以降の地殻変動

データと整合する物性パラメータを推定した上で、グリーン関数を計算する。また、断層構成則と組み合わせることで、与えられた固着・すべりの後の推移の計算を実現する。履歴については、海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出するとともに歴史地震について史料調査を実施する。陸域では掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底堆積物調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。また、史料解析に基づいて歴史地震における諸現象をより正確に復元する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

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

2) 令和3年度：

推移予測では、応力蓄積過程の計算に必要となる前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を引き続き行うとともに、南海トラフを対象として、3D粘弾性不均質構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデルを構築する。陸域では令和2年度で採取した既存の掘削試料の解析を行う。海域では日向灘～南九州沖海底堆積物試料の分析から日向灘～南九州における地震・津波履歴を推定する。史料調査ではこれまで得られた史料調査の結果を基に昭和東南海・南海地震の津波波源モデルの再評価を行う。

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度：

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

5) 令和6年度：

推移予測では、履歴研究と1(b)の成果にもとづいて更新したプレート間の固着及びすべり状態を与えたその後の推移予測の試行計算結果をまとめる。陸域では東海～九

州沿岸陸域において補完的な掘削調査を実施し、海域ではこれまで採取した海底堆積物の分析及び評価を実施する。さらに陸域と海域の成果をまとめて地質試料による統合地震履歴情報を得る。史料調査では令和5年度までに得られた史料調査の結果を基に明応東海地震の津波波源モデルの検討を行う。

(e) 令和2年度業務目的

前回の南海トラフ地震からの応力蓄積過程計算準備と過去の地震履歴の拡充に着手する。このため、応力蓄積過程の計算に必要な前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を行うとともに、南海トラフを対象として、3D粘弾性不均質構造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に着手する。また履歴については、陸域では紀伊～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、史料調査では、1498年明応東海地震から1946年昭和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実施する。

(2) 令和2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、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。具体的には、南海トラフを対象として3D不均質粘弾性構造を用いて大規模有限要素モデルを構築し、この大規模有限要素モデル構築の有効性を確かめるために、このモデルを用いてグリーン関数を計算し、粘弾性を考慮した逆解析を行った。南海トラフという広域に対しても大規模有限要素モデル構築が可能であること、また、このようなモデルを用いた逆解析等の解析の有効性が示されたことから、今後の検討のための基礎的な知見が得られたと考えられる。

(b) 業務の実施方法

Hori et al. (2021a<sup>1)</sup>, 2021b<sup>2)</sup>)において使用されたJIVSM (Japan Integrated Velocity Structure Model, ver.1)をベースとした南海トラフ域の地殻構造データを用いる。地殻構造データは、東経135度、北緯33.5度地点における地球楕円体モデルGRS80の高さゼロメートル地点を基準点とし、東西方向 $-1248 \text{ km} \leq x \leq 1248 \text{ km}$ 、南北方向 $-1248 \leq y \leq 1248 \text{ km}$ 、鉛直方向 $-1100 \text{ km} \leq z \leq 0 \text{ km}$ を対象範囲とする。また、大陸マントルを粘弾性構造としており、粘性率を $1.0 \times 10^{19} \text{ Pas}$ としている。地殻構造の複雑な幾何形状を精度よくモデル化し、地表の応力フリーの境界条件を精度よく考慮するため、非構造要素による有限要素法を用いることとし、その有限要素モデルを構築する。図2-3-①-1は最小の要素サイズ $ds=2 \text{ km}$ となるように離散化して生成された有限要素モデルを示している。ただし、高さ方向については要素の高さが $ds=5 \text{ km}$ となるように設定しており、均質な構造部分においては鉛直方向長さが水平方向に対して2.5倍である直方体をベースとして要素を生成している。また、最大の要素サイズは $ds=8 \text{ km}$ としてい



る。有限要素モデルは  $2.1 \times 10^8$  要素の四面体二次要素で構成され、自由度は  $8.7 \times 10^8$  となっている。

構築した南海トラフ域での 3D 不均質粘弾性有限要素モデルの有効性を確認するため、本モデルを用いた地殻変動解析によりグリーン関数を計算し、断層すべりの逆解析を行う。基礎検討であるため、地震時すべりのみを考え、地震発生後に発生する余効すべりは生じないとしている。参照解となる地震すべりを図 2-3-①-2 に示す。地震時すべりはおおそ海洋プレートが沈み込む方向とは反対の方向に発生することから、沈み込み方向に近い方位 111.5 度の方向としている。単位断層すべりによる地殻の変動を線形粘弾性変形とみなし、支配方程式として、

$$\begin{aligned}\sigma_{ij,j} + f_i &= 0 \\ \sigma_{ij} &= \lambda \epsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \epsilon_{ij} - \frac{\mu}{\eta} \left( \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{kk} \delta_{ij} \right), \\ \epsilon_{ij} &= \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})\end{aligned}$$

を考え、粘弾性を考慮したグリーン関数を計算する。ここで、 $\sigma$ 、 $f$  はそれぞれ応力、外力、 $\epsilon$ 、 $\lambda$ 、 $\mu$ 、 $\delta$ 、 $\eta$  はそれぞれ、ひずみ、第一ラメ定数、剛性率、クロネッカーのデルタ、粘性係数である。参照解とグリーン関数を組み合わせることで、疑似観測データを生成し、この疑似観測データにそぐう断層すべり分布を逆解析により推定する。基底関数としてグリッドの双三次 B-spline 曲線を用いて 186 点で単位断層すべりを設定し断層すべり分布を表現することとしている。断層面における x 方向と y 方向の滑り分布を考えるので、 $2 \times 186 = 372$  のグリーン関数を計算した。なお、372 本のグリーン関数を計算する有限要素解析には、IBM Power System AC922 (2 16-core IBM POWER9 2.60 GHz CPU & 4 NVIDIA Tesla V100 GPU) を 2 台使い、8 枚の GPU を 8 本の MPI 並列にて用いて解析している。解析アルゴリズムの工夫・GPU への実装を行ったことにより解析時間が大幅に短縮されており、グリーン関数一本当たりにかかる計算時間 200 秒以下に抑えられており、8 億自由度の三次元有限要素モデルを用いた 372 本のグリーン関数という大きな解析コストが必要とされる問題であっても簡単に計算することが出来ている。計算したグリーン関数を用いた逆解析により断層すべり分布を推定する。まず、地表面の観測地点から得た N 個の地殻の変位データから断層すべりの空間分布を求める手法を一般的な形式で示す。求める断層すべりの空間分布  $\mathbf{s}(x)$  を M 個の基底関数  $X_m(x)$  によって基底関数展開する。

$$\mathbf{s}(x) = \sum_{m=1}^M a_m \mathbf{X}_m(x)$$

$a_m$  は地震時すべりを表すパラメータであり、 $\mathbf{a}$  と基底となる断層すべり分布  $X_m(x)$  に対する地表面の応答であるグリーン関数  $\mathbf{g}_m$  を用いて、観測方程式は

$$\mathbf{d} = \mathbf{G}\mathbf{a} + \mathbf{e}$$

と表せる。ただし、 $\mathbf{d}$  は観測点における地表面変位ベクトルである。 $\mathbf{G}$  は観測行列であり、グリーン関数  $\mathbf{g}_i$  で構成される。 $\mathbf{d}$  は平均  $\mathbf{0}$ 、分散共分散  $\Sigma$  の正規分布に従う誤差であるとす

る。逆解析の ill-posed さを低減するために、地震すべり分布の非現実的な荒さに対して罰則を与える roughness として

$$r = \int \nabla^2 \mathbf{s}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}$$

を用いる。roughness は有限差分近似を行うことによって、半正定値行列  $\mathbf{L}$  を用いて  $\mathbf{r} = \mathbf{a}^T \mathbf{L} \mathbf{a}$  と表すことができる。また、スパースな解（0 が相当数ある解）を期待し、L1 正則化も加える。結果的に、

$$\Phi(\mathbf{a}) = (\mathbf{d} - \mathbf{G}\mathbf{a})^T \Sigma^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{G}\mathbf{a}) + \lambda |\mathbf{L}\mathbf{a}|_2^2 + \mu |\mathbf{a}|_1$$

なる目的関数を設定して Alternating Direction Method of Multipliers により最小化することで、すべりパラメータを決定することとなる。

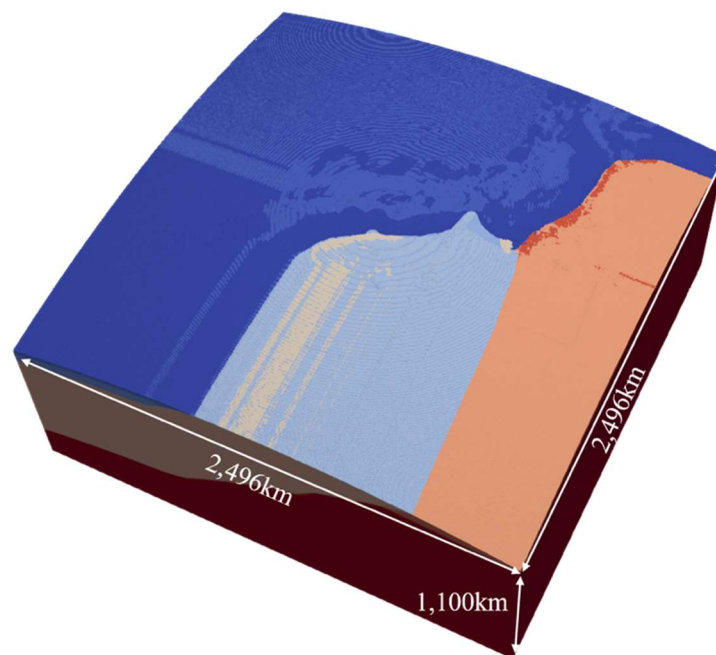


図 2-3-①-1 生成された南海トラフ域での 3D 不均質粘弾性有限要素モデルの概観。色は物性の値に応じて異なっており、青は陸側のプレート、水色・ベージュ色はフィリピン海プレート、オレンジは太平洋プレートに対応している。

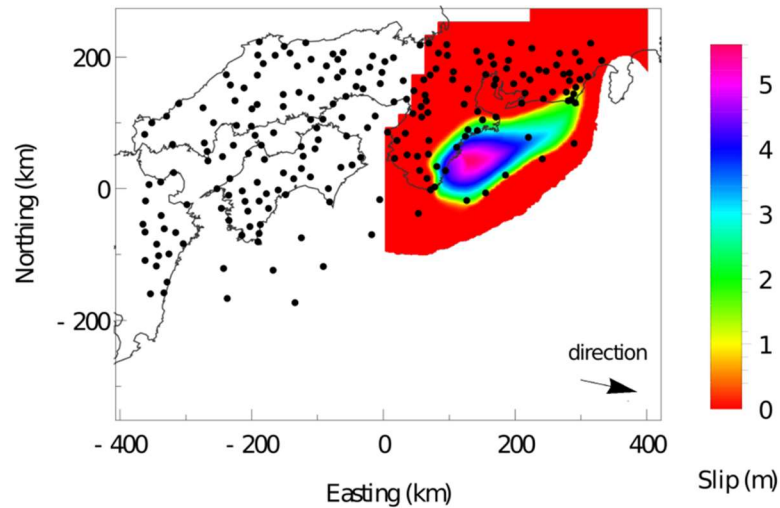


図 2-3-①-2 南海トラフにおける参照解とする地震時すべり分布。すべりの向きは N111.5 度方向で一様とした。用いる観測点を・で示している。

(c) 業務の成果

最適化による推定結果を図 2-3-①-3 に示す。弾性変位のみで推定を行った場合、すべり分布の相対誤差は 0.15、モーメントマグニチュードは 8.11 となっている。粘弾性変位を考慮した時刻歴応答まで利用して推定を行った場合についても、推定誤差は 0.14 であり、モーメントマグニチュード 8.13 となっている。今回設定した参照解すべりにおいては、基底滑りによって再現ができない高周波成分が含まれており、すべり分布の相対誤差は最もよい推定を行えた場合においても 0.063 生じることを考えると十分な結果と言える。また、参照解すべりのモーメントマグニチュードは 8.11 でありほとんど一致している。どちらのケースについても、すべり分布の概形、および地震の規模をほぼ正確に捉えることができている。参照解すべりでの観測変位に対する推定すべりによる観測変位の平均二乗誤差は 0.22 cm であり、最大で 1.3 cm 程度である。予想される観測ノイズに対して十分小さな値となっている。このことは基底関数の解像度によって十分に推定することが可能であり、高周波成分による影響が低いことを示している。観測値の再現性の観点や推定すべり分布の推定結果のどちらの結果からも、基底滑りで表せない高周波成分による影響は低く、分解能としては十分であるといえる。また、参照解すべりですべりが生じている範囲の周辺以外では、推定されたすべり量はゼロとなっており、スパースな解を得ることができている。

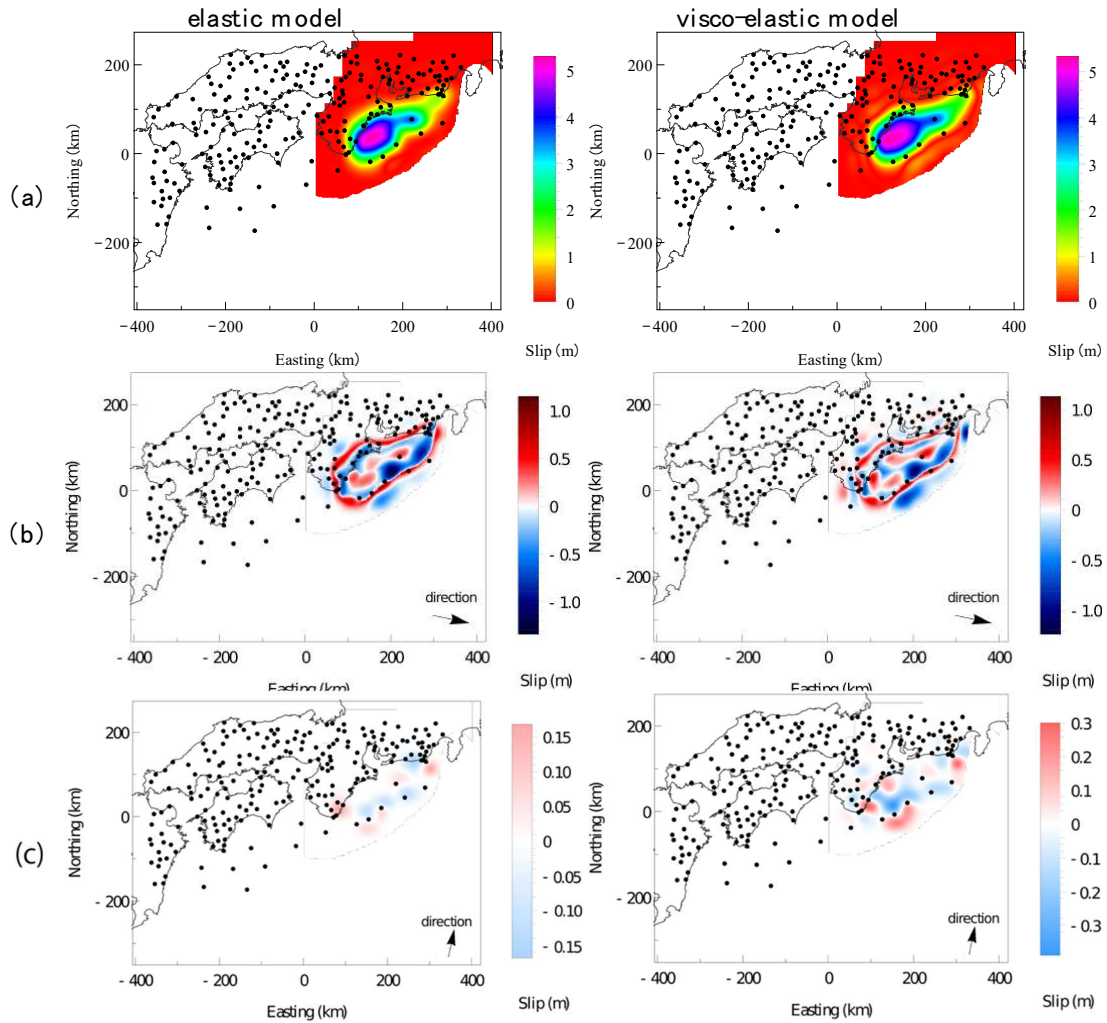


図 2-3-①-3 弾性モデルと粘弾性モデルにおける最適化による地震時すべりの予測値および、参照解からの残差。(a)すべり量の予測値。(b)参照解との残差のうち南海トラフにおけるプレート収束方向と逆向き成分に関する予測値に関する成分。(c)参照解との残差のうちプレート収束方向とは直交する成分。

(d) 結論ならびに今後の課題

高性能計算を活用することで、従来よりも詳細な地殻構造モデルを利用することによって、信頼性の高いと期待される数値実験が実現されることを示した。一方で、地殻構造モデルには誤差が本来存在し、その誤差の影響についてはまだ考慮していない。今後は、地殻構造データの不確実性を含めたモデル化によって、数値実験の信頼性をさらためていく必要があると考えられる。

また、粘弾性応答のテスト計算を並行して行っており、図 2-3-①-2 のすべりに対して、図 2-3-①-4 で示したような地震時ならびに粘弾性変形の結果を、計算の収束性を確認しており、今後の検討のための基礎的な知見が得られた。今後は、前回の南海トラフ地震時からの地殻変動データの整備をするとともに、南海トラフを対象として、3D粘弾性不均質構造の曖昧さを考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデルを構築する計画である。

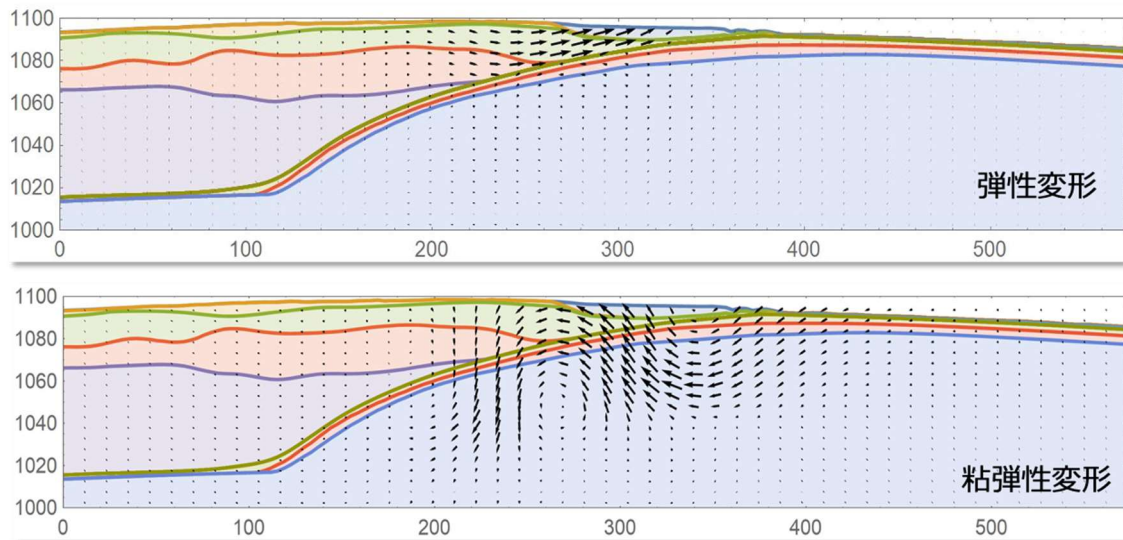


図 2 - 3 - ① - 4 テスト計算での弾性・粘弾性変形の断面図。

(e) 引用文献

- 1) Hori, T., Agata, R., Ichimura, T., Fujita, K., Yamaguchi, T. and Iinuma, T.: High-fidelity elastic Green's functions for subduction zone models consistent with the global standard geodetic reference system, Earth Planets Space, Vol. 73, No. 41, 2021a.
- 2) Hori, T., Agata, R., Ichimura, T., Fujita, K., Yamaguchi, T. and Iinuma, T.: Correction to: High-fidelity elastic Green's functions for subduction zone models consistent with the global standard geodetic reference system. Earth Planets Space, Vol. 73, No. 84, 2021b.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌 等名)	発表した 時期	国内・外の別
Sensitivity analysis for seafloor geodetic constraints on coseismic slip and interseismic slip-deficit distributions	Murakami, S., Ichimura, T., Fujita, K., Hori, T., Ohta, Y.	Frontiers in earth science	2021年2月 5日	国外

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

② 海域における地震・津波履歴調査

(a) 業務の要約

南海トラフ沿いで発生する巨大地震・津波に伴って形成されるイベント堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から地震発生履歴を推定するために御前崎沖から採取された海底堆積物コアの分析を行った。御前崎沖のコアでは放射性炭素年代測定と古地磁気記録から過去約4万年間に渡る堆積物記録が得られたことがわかった。そして、挟在するタービダイトの平均的な堆積間隔は200年程度と見積もられた。これは南海トラフの巨大地震の発生間隔に調和的である。また、古地磁気永年変化が堆積速度の速い海底堆積物の堆積年代推定に有効であることが確認され、この手法を適用することで地震性のイベント堆積物の対比の精度を向上できることが示唆された。

(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2年度は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 については、堆積年代とイベント堆積物の堆積プロセスの推定のため、バルク有機物ならびに浮遊性有孔虫遺骸を用いた放射性炭素年代測定と高感度パススルー型超電導磁力計による残留磁化測定を実施した。また、海底表層付近のイベント堆積物と南海トラフ沿いの歴史地震との対応を検討するため、放射性セシウムと過剰鉛-210の測定を行った。

(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。海底での大きな地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、地震の大きな地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<sup>10)、11)</sup>。このような地震や津波に伴う海底での土砂の移動／再堆積は堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重力の効果により海底斜面を流れ下る堆積物重力流によると考えられ、斜面やその基部では水中土石流堆積物やタービダイトを堆積させる。これらの地震・津波起源で形成された堆積物（イベント堆積物と呼ばれる）は平常時に海底に堆積する泥とは異なる粒度組成や堆積構造

を持つことが知られている<sup>5)、16)</sup>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<sup>2)、6)、8)</sup>。本課題では、南海トラフ沿いの海域を対象に、海底堆積物中の地震・津波起源のイベント堆積物からこの海域の地震・津波の発生履歴情報を得ることが目的となる。

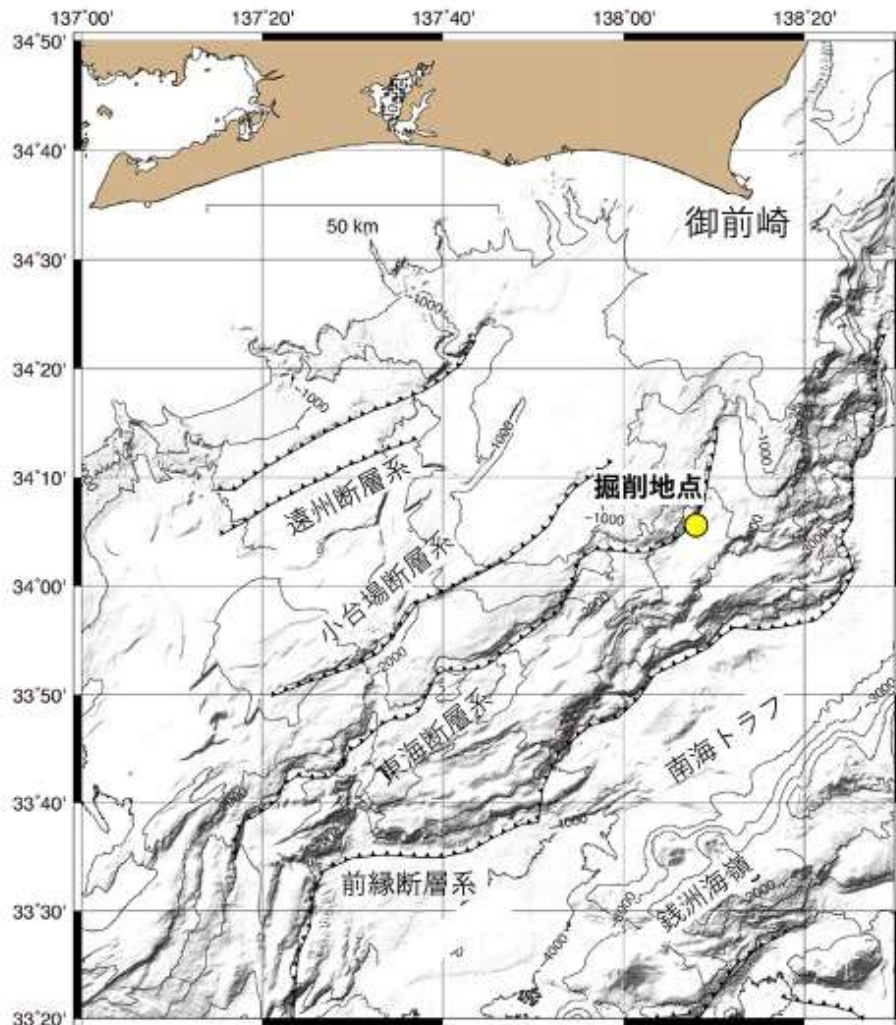


図 2-3-②-1 「ちきゅう」による御前崎沖試料採取地点

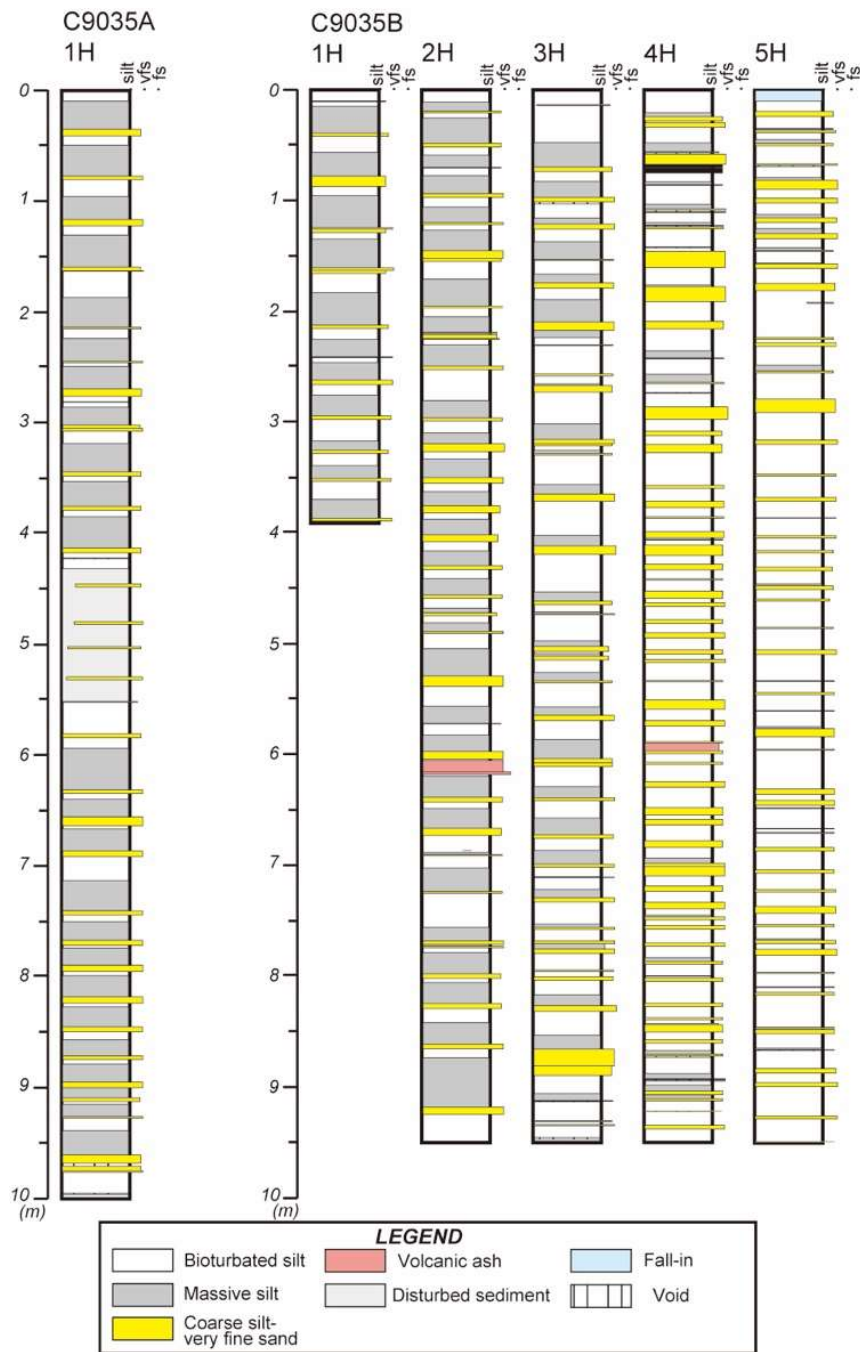


図 2-3-②-2 御前崎沖から採取された C9035 Hole A および C9035 Hole B コア上部の柱状図。黄色がタービダイト砂、灰色がタービダイト泥、ピンクは火山灰層。

掘削コア C9035 Hole A と C9035 Hole B は、御前崎沖の金洲ノ瀬トラフから「ちきゅう」により採取された試料である（図 2-3-②-1）。今回は C9035 Hole A コアの全体（長さ 10m）と C9035 Hole B コアの上部 42m を用いた。いずれのコアにも多数の砂質堆積物の挟在が確認され、下面が明瞭で侵食的で、上方へ細粒化する構造などから、堆積物重力流の一つである混濁流から形成されたタービダイトと解釈される。タービダイトの砂質部分の上位にはわずかに上方に細粒化する生物擾乱を持たない泥が存在し、タービダイト泥と判断される。C9035 Hole A コアには変形しているセクションを除いて 25 枚の、C9035 Hole B コアには 192 枚のタービダイトの挟在が船上の肉眼記載および X 線



CT 画像から識別されている（図 2-3-②-2）。タービダイトの堆積年代の推定のために、2 種類の材料を用いた放射性炭素年代測定を実施した。タービダイトに挟まれる平常時に堆積した泥（半遠洋性泥）に含まれる有機物を用いた年代測定では C9035 Hole B コアの表層付近で 2530 年前、深度約 35m（タービダイトを除いた半遠洋性泥だけの深度で約 18m）で 32560 年前の放射性炭素年代が得られた。タービダイトを抜いた半遠洋性泥の厚さ（深度）と年代をプロットすると（図 2-3-②-3 の灰色の丸）、多少のばらつきはあるものの年代はほぼ直線的に深度方向に古くなることがわかる。一方、浮遊性有孔虫を用いた年代測定結果（図 2-3-②-3 の青色の丸）も半遠洋性泥の厚さ（深度）の増加とともに年代が古くなる傾向を示し、コアの分析層準の基底付近の深度約 41.8m で約 40500 年前の年代を示す。有機物も浮遊性有孔虫も深度 6m 付近に変曲点があり、それ以浅と以深で傾きの異なる 2 つの直線に分かれる。この原因は不明であるが、異なる測定材料で似た傾向を示すことから、海洋循環や水塊構造の変化に伴う海洋レザバー効果の時間変化などの可能性が考えられる。実際この海域では最終氷期最盛期から後氷期にかけての時期の海洋レザバーが完新世のそれとは異なっていたことが報告されており<sup>9)</sup>、海洋環境変化との関係の検討が必要である。一方、C9035 Hole B コアに挟在する 3 枚の明瞭な火山灰層（図 2-3-②-2）のうち、最上位のものと最下位のものは近傍から得られた放射性炭素年代と近接する海域から報告されている火山灰層序<sup>9)</sup>から、鬼界-アカホヤ（K-Ah）火山灰と始良 Tn（AT）火山灰にそれぞれ対比できる可能性が高い。これらの対比を今後確定することで、より正確な堆積年代モデルの構築が可能となる。コア基底部の年代とコアに挟在するタービダイトの枚数から、タービダイトの平均堆積間隔として 200 年程度の値が得られる。この値は、金洲ノ瀬トラフの表層部分のコアから報告されている間隔<sup>8), 15)</sup>にほぼ等しく、ここでは過去約 4 万年間にわたって同じ程度の間隔でタービダイトが繰り返し堆積してきたことを示す。またこの値は南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔とされる 150~200 年<sup>4)</sup>と調和的である。ただし、タービダイト間の半遠洋性泥の厚さは均一ではないので、堆積間隔にはばらつきがあると考えられる。今後、浮遊性有孔虫の年代測定の数を増やし、ばらつきを評価することが重要である。

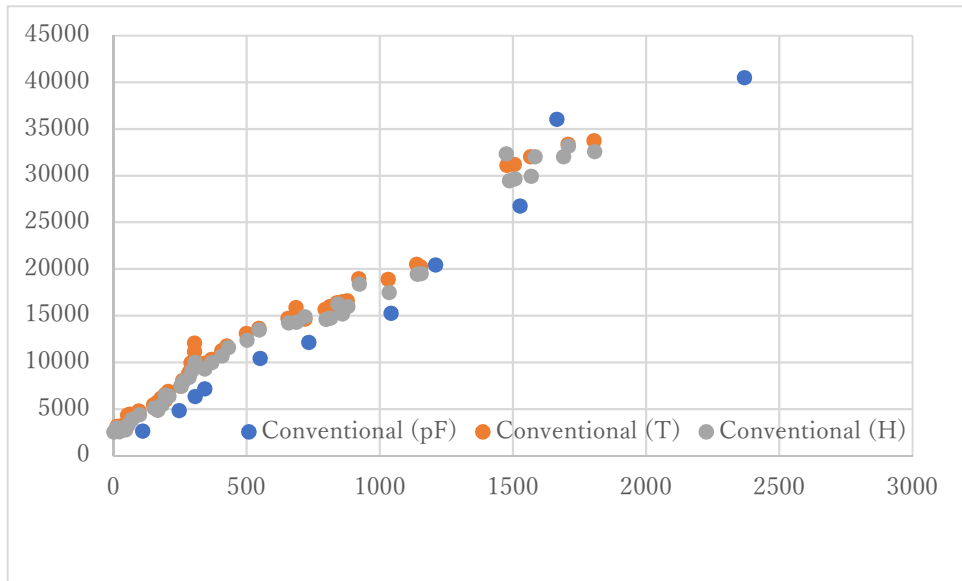


図 2-3-②-3 御前崎沖から採取された C9035 Hole B コアの半遠洋性泥中の浮遊性有孔虫（青色）、有機物（灰色）およびタービダイト泥中の有機物（オレンジ色）の年代測定結果。縦軸が放射性炭素年代（年）、横軸がタービダイト部分を除いた半遠洋性泥の深度（cm）。

C9035 Hole B コアについては古地磁気測定に基づく堆積年代推定も試みた。これは今後実施される浮遊性有孔虫による年代測定とのクロスチェックとともに、既存あるいは今後採取されるコアとの対比のポイントの情報を得るためである。海底堆積物には地磁気変動が記録されていることが知られており、50cm/千年程度以上の堆積速度を持つ堆積物では地磁気の詳細な永年変化が記録され、その記録を基準曲線と対比することで海底堆積物の高解像度年代モデルの構築やそれを基にした地震・津波イベントの対比が可能である<sup>13)、17)</sup>。先行研究により金洲ノ瀬トラフの堆積速度は速いことが知られている<sup>8)</sup>ので、高品質な古地磁気記録が得られることが期待された。今回、C9035 Hole B コアから 40 本の 2×2 cm 断面の u-channel 試料を分取し、高知大学の高感度パススルー型超電導磁力計により測定を行った。本年度は全体の概要把握のための予察的測定としたが、u-channel 試料の測定結果にはセンサー特性が含まれるため、これを取り除くデコンボリューション処理<sup>18)</sup>を今後実施する予定である。科学掘削で用いられる水圧式ピストンコアリングでは採取試料に掘削残留磁化と呼ばれる垂直方向の大きな人工的磁化が付着することが知られている<sup>1)</sup>が、これは 20mT 程度の交流消磁で除けるとされている。「ちきゅう」船上で実施した交流消磁前と今回の交流消磁後の磁化の方向を比較すると伏角が 10~30° 程度浅くなり、磁化強度も 1 オーダー程度小さくなっている（図 2-3-②-4）ことから垂直方向の大きな掘削残留磁化は消去できていると考えられ、すなわち自然残留磁化の方位変化である永年変化が得られたと考えられる。さらに、掘削時に生ずるコア深度 10m 毎のズレを補正して得られたのが図 2-3-②-5 である。琵琶湖から報告されている永年変化曲線<sup>3)、7)</sup>と予察的に対比してみると C9035 Hole B コアに挟在する 2 枚の火山灰層の層準は琵琶湖での K-Ah と AT 火山灰の層準とよく一致していることがわかる。これは前述の放射性炭素年代測定の結果と矛盾しない。さらにこの

二つの層準を鍵に二つの曲線を比較すると、偏角や伏角の変化は互いに類似し、C9035 Hole B コアで得られた結果は古地磁気永年変化曲線を示していると考えられる。今回は予察的な測定であったが、今後はさらに段階的な交流消磁により磁化の安定性を確認し、対比の精度をあげていく予定である。

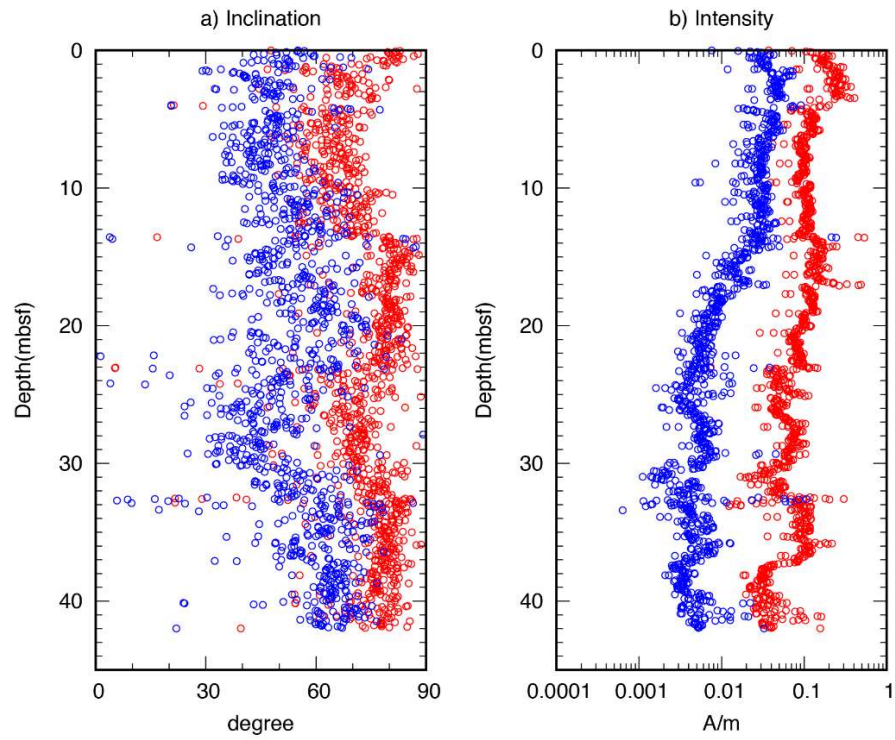


図 2 - 3 - ② - 4 C9035 Hole B コアにおける交流消磁前 (赤) と 20mT での交流消磁後 (青) の伏角 (a) と磁化強度 (b) の比較。縦軸は深度 (m)。

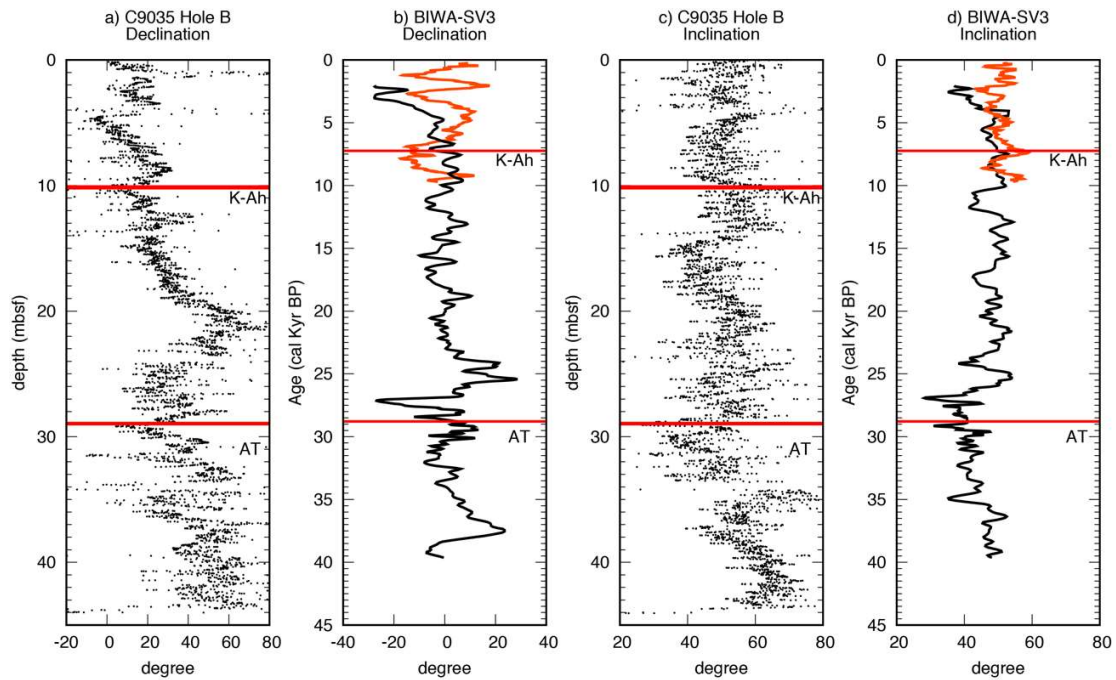


図 2-3-②-5 C9035 Hole B コアにおける交流消磁後の偏角 (a) と伏角 (c) および琵琶湖の古地磁気永年変化記録の偏角 (b) と伏角 (d)。琵琶湖の赤線は Ali et al. (1999)<sup>15)</sup>、黒線は Hayashida et al. (2007)<sup>16)</sup> による古地磁気永年変化曲線。C9035 Hole B コアの火山灰は予察的な対比に基づく。a、c の縦軸は深度 (m)。

次に、このタービダイトの堆積プロセスをタービダイト泥と半遠洋性泥に含まれる有機物の放射性炭素年代測定結果から考察する。タービダイト泥の放射性炭素年代値は近傍の半遠洋性泥のそれと大きな違いはなく (図 2-3-②-3)、日本海溝の陸側斜面で報告された<sup>12)</sup> のと同様な地震動による表層堆積物の再懸濁・再移動起源のタービダイトである可能性が高い。地震動により再移動した表層堆積物の厚さは日本海溝陸側斜面では数~10 数 cm 程度と考えられており<sup>14)</sup>、堆積速度の速い斜面域ではタービダイトを用いた巨大地震履歴の解読に適した堆積プロセスと考えられている<sup>12)</sup>。一方、御前崎沖ではタービダイト泥と半遠洋性泥の年代差はほぼ 0 年~2000 年程度で、500~1000 年程度が多く、日本海溝陸側斜面のそれ (数百年以下<sup>12)</sup>) よりもやや大きい。これは、御前崎沖の斜面域の方が平常時の堆積速度が遅く、地震によりほぼ同じ厚さの表層堆積物が再移動してもより古い堆積物まで移動することが可能であるからと考えられる。

地層記録からの地震・津波履歴の解読においては、その場に残されたイベント堆積物がどの程度の規模の地震・津波の記録であるかの理解が重要である。これを理解するため、C9035 Hole A および C9035 Hole B コアの表層部分の堆積物について放射性セシウムと過剰鉛-210 の測定を行い、コア中のイベント堆積物と歴史地震との対比を試みた。結果は、測定試料から放射性セシウムは検出できず、過剰鉛-210 のアクティビティも C9035 Hole A の最上部のタービダイト泥の層準を除くと低く (図 2-3-②-6)、年代の特定に至らなかった。今後、C9035 Hole B コア最上部の過剰鉛-210 の鉛直分布からの年代推定を試みる予定である。

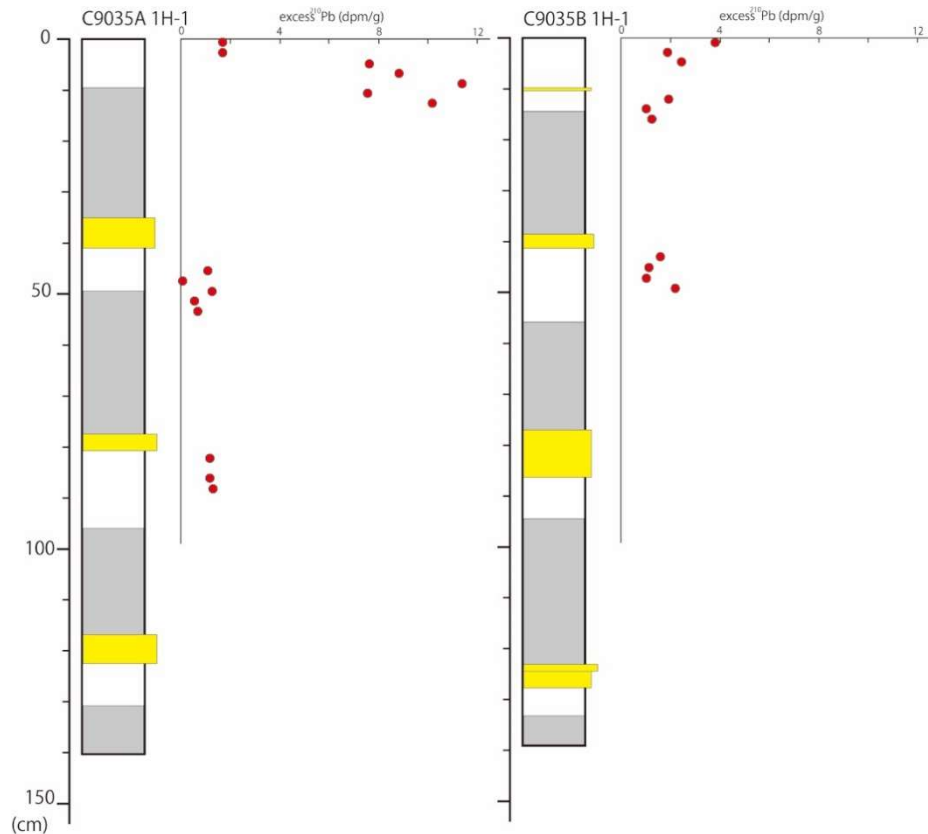


図 2-3-②-6 御前崎沖から採取された C9035 Hole A および C9035 Hole B コア最上部の過剰鉛-210 の測定結果

(d) 結論ならびに今後の課題

以上のように、令和 2 年度の海底堆積物コアの分析結果から以下のことがわかった。御前崎沖では「ちきゅう」による掘削コアの分析から、挟在する多数のタービダイトの平均堆積間隔が南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔にほぼ等しい 200 年程度であることがわかった。また、タービダイト間の半遠洋性泥とタービダイト泥中の有機物の放射性炭素年代の差が小さいことから、これらのタービダイトの多くは地震時の震動により海底表層堆積物が再懸濁・再移動して形成されたと考えられた。このような表層堆積物再懸濁の堆積プロセスから形成されたタービダイトが海底堆積物を用いた地震履歴の検討に有効であることがわかった。一方で、タービダイト間の半遠洋性泥の厚さは均一でないので、タービダイトの堆積間隔にはばらつきがあると推定され、このばらつきの評価は今後の大きな課題である。また、コアの表層部に挟在するタービダイトの堆積年代と歴史地震との関係の解明はこの場所のタービダイトがどのような地震で形成されたもののかの理解に重要である。表層付近のタービダイトの堆積年代を過剰鉛-210 の深度プロファイルから検討することが必要である。さらに、タービダイトの堆積年代を古地磁気測定から推定できる可能性が示された。これは特に浮遊性有孔虫の含有量が少ない堆積速度の速い堆積物コアや高緯度海域の珪藻質堆積物からなるコア、大水深からの堆積物コアの解析で有効である。御前崎沖の掘削コアから得られたさまざまな年代データを統合し、より信頼性の高い年代モデルの構築とそれに基づく地震履歴の解読を進める必要がある。

古地磁気測定は高知大学海洋コア総合研究センターの全国共同利用(課題番号:20B06)として行った。関係者に感謝する。

(e) 引用文献

- 1) Acton, G.D., Okada, M., Clement, B.M., Lund, S.P. and Williams, T.: Paleomagnetic overprints in ocean sediment cores and their relationship to shear deformation caused by piston coring, *J. Geophys. Res.*, Vol.107 (B4), 2067, doi:10.1029/2001JB000518, 2002.
- 2) Adams, J.: Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, *Tectonics*, Vol.9, pp.569-583, 1990.
- 3) Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K. and Torii, M.: Holocene paleomagnetic secular variation from Lake Biwa, *Geophys. J. Int.*, Vol.136, pp.218-228, 1999.
- 4) Ando, M.: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, *Tectonophys.*, Vol. 27, pp.119-140, 1975.
- 5) Bouma, A.H.: *Sedimentology of some flysch deposits*, Elsevier, Amsterdam, 168p, 1962.
- 6) 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.
- 7) Hayashida, A., Ali, M., Kuniko, Y., Kitagawa, H., Torii, M. and Takemura, K.: Environmental magnetic record and paleosecular variation data for the last 40 kyrs from the Lake Biwa sediments, Central Japan, *Earth Planets Space*, Vol.59, pp.807-814, 2007.
- 8) 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.
- 9) Ikehara, K., Danhara, T., Yamashita, T., Tanahashi, M., Morita, S. and Ohkushi, K.: Paleooceanographic control on a large marine reservoir effect offshore of Tokai, south of Japan, NW Pacific, during the last glacial maximum-deglaciation, *Quat. Int.*, Vol.246, pp.213-221, 2011.
- 10) 池原研, 宇佐見和子: 海底の地震・津波堆積物ー巨大地震・津波による海底の擾乱と擾乱記録を用いた巨大地震・津波履歴の解明ー, *シンセシオロジー*, Vol. 11, pp.12-22, 2018.
- 11) 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.

- 12) Ikehara, K., Usami, K. and Kanamatsu, T.: Repeated occurrence of surface sediment remobilization along the landward slope of the Japan Trench by great earthquakes, *Earth Planets Space*, Vol.72, 114, doi:10.1186/s40623-020-01241-y, 2020.
- 13) Kanamatsu, T., Usami, K., McHugh, C. and Ikehara, K.: High-resolution chronology of sediment below CCD based on Holocene paleomagnetic secular variations in the Tohoku-oki earthquake rupture zone, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol.18, pp.2990-3002, 2017.
- 14) Molenaar, A., Moernaut, J., Wiemer, G., Dubois, N. and Strasser, M.: Earthquake impact on active margins: tracing surficial remobilization and seismic strengthening in a slope sedimentary sequence, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.46, pp.6015-6023, 2019.
- 15) Omura, A., Ikehara, K., Sugai, T., Shirai, M. and Ashi, J.: Determination of the origin and processes of deposition of deep-sea sediments from the composition of contained organic matter: an example from two forearc basins on the landward flank of the Nankai Trough, Japan, *Sed. Geol.*, Vol.249-250, pp.10-25, 2012.
- 16) 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.
- 17) Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T. and McHugh, C.: Supercycle in great earthquake recurrence along the Japan Trench over the last 4000 years, *Geosci. Lett.*, Vol.5, 11, doi: 10.1186/s40562-018-0110, 2018.
- 18) Yamamoto, Y., Yamazaki, T. and Kanamatsu, T.: An initial case study to deconvolve natural remanent magnetization of a continuous paleomagnetic sample using the software UDECON, *Earth Planets Space*, Vol.70, 160, doi:10.1186/s40623-018-0931-4, 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
御前崎沖金洲ノ瀬トラフのタービダイト：「ちきゅう」Expedition 912 Leg.1（ポスター）	池原 研、 金松敏也、 Hsiung, K.- H.、奥津なつ み、三浦伊織	2020年日本堆積学会オンライン大会	2020年11月14日	国内

遠州灘の長期間連続地震記録の取得。Exp. 912「ちきゅう」掘削航海（口頭）	金松敏也、池原 研、Hsiung, K.-H.、三浦伊織、奥津なつみ、青池 寛	海と地球のシンポジウム2020	2020年12月18日	国内
御前崎沖「ちきゅう」SCORE掘削コアC9035Bのタービダイト（口頭）	池原 研、金松敏也、Hsiung, K.-H.、奥津なつみ、三浦伊織	日本第四紀学会2020年オンライン大会	2020年12月26日	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Repeated occurrence of surface-sediment remobilization along the landward slope of the Japan Trench by great earthquakes	Ikehara, K., Usami, K. and Kanamatsu, T.	Earth, Planets and Space	2020年8月	国外
X-ray fluorescence core scanning, magnetic signatures, and organic geochemistry analyses of Ryukyu Trench sediments: Turbidites and hemipelagites	Hsiung, K.-H., Kanamatsu, T., Ikehara, K., Usami, K., Horng, C.-S., Ohkouchi, N., Ogawa, N., Saito, S. and Murayama, M.	Progress in Earth and Planetary Science	2021年1月	国外
The link between upper-slope submarine landslides and mass transport deposits in the hadal trenches	Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T., Kioka, A., Schwestermann, T. and Strasser, M.	Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, Volume 1 Sendai Landslide Partnerships	2021年1月	国外



		and Kyoto Landslide Commitment, Springer		
--	--	---	--	--

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### ③ 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、南海トラフ沿い東縁の駿河湾奥から西縁の九州東部沿岸にかけての5地域において、おもに既存の堆積物コア試料の分析（おもに放射性炭素同位体年代測定）を行い、一部で新たに掘削調査を行った。その結果、南海トラフ東縁にあたる静岡県富士市の浮島ヶ原では、1707年宝永地震、1605年慶長地震、1498年明応地震、1361年正平地震、887年仁和地震にそれぞれ対応する可能性のある沈水イベントを確認した。南海トラフ中部に面する紀伊半島では、三重県南伊勢町のこがれ池で1959年の伊勢湾台風によるストーム堆積物および1707年宝永地震、1361年正平地震、887年仁和地震による津波堆積物の可能性のあるイベント層、和歌山県那智勝浦町八尺鏡野地区で5400年前ころから2400年前ころまでの約3000年間に7回の浸水イベントをそれぞれ確認した。南海トラフ西部に面する四国中部の高知県高知市春野町仁ノ地区では約2200～2500年前に堆積したイベント砂層と沈水を示唆する堆積物の変化を確認した。南海トラフ西縁に面する九州東部の宮崎県串間市一里崎付近では約2300年前以降に形成された津波堆積物の可能性のあるイベント層をそれぞれ確認した。

(b) 業務の成果

1) 静岡県富士市・浮島ヶ原

静岡県富士川市の浮島ヶ原の湿原堆積物の従来に記載した Fujiwara et al. (2016)<sup>1)</sup>によれば、南海トラフ東端（駿河トラフ）に面した同地域の堆積物には、過去の東海地震に関連した地殻変動の繰り返しが沈水イベントというかたちで記録されている。このイベントは主に層相の変化から読み取られているが、歴史地震との対比は必ずしもうまくいっていない。この問題を解決するため、産業技術総合研究所では、浮島ヶ原で採取された既存のボーリングコア試料（図2-3-③-1）の解析を行ってきた。これまでの研究から、最も新しい沈水イベントは1707年宝永地震か1498年明応地震、2番目に新しいイベントは1498年明応地震か1361年正平（康安）地震、3番目に新しい沈水イベントは1096年永長地震か887年仁和地震に対応する値を示

すことが明らかになった。本プロジェクトでは、従来のコア試料解析にベイズ統計を用いた Age-depth モデルを導入することにより、イベント発生時期の特定を試みた。

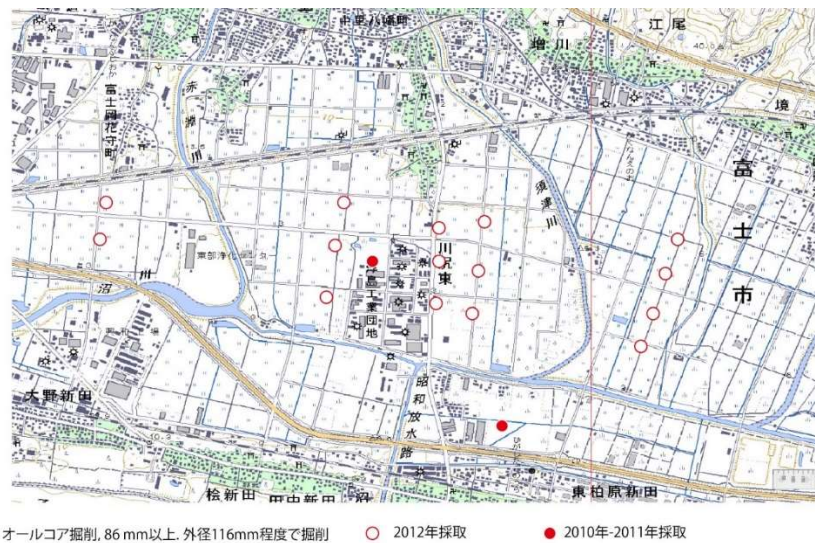


図 2-3-③-1 2010 年度～2012 年度にボーリング調査が行われた場所(藤原・澤井, 2014<sup>2)</sup> を改変)(静岡県富士市。国土地理院発行 1:25000 地形図「吉原」「沼津」を使用)。

放射性炭素年代測定結果を、Haslett and Parnell (2008)<sup>3)</sup>で示されたアルゴリズムによる Age-depth モデル<sup>4)</sup>に当てはめた。この際、暦年校正曲線は、Intcal13を用いた。その結果、これまでに大型植物化石および珪藻化石から明らかになっている沈水イベント(上位より A~K)のうち、歴史時代に相当するイベント A~F は以下の年代を示した。イベント A: 西暦 1690-1780、イベント B: 西暦 1550-1630、イベント C: 西暦 1400-1460、イベント D: 西暦 1320-1390、イベント E: 西暦 900-990、イベント F: 西暦 530-600。なお、これらの年代は計算過程による乱数のばらつきを考慮し、下 1 桁を四捨五入した値になっている。また、年代幅は四分位範囲の値である。この結果から、イベント A は 1707 年宝永地震、イベント B は 1605 年慶長地震、イベント C は 1498 年明応地震、イベント D は 1361 年正平地震、イベント E は 887 年仁和地震に対応する可能性がある。

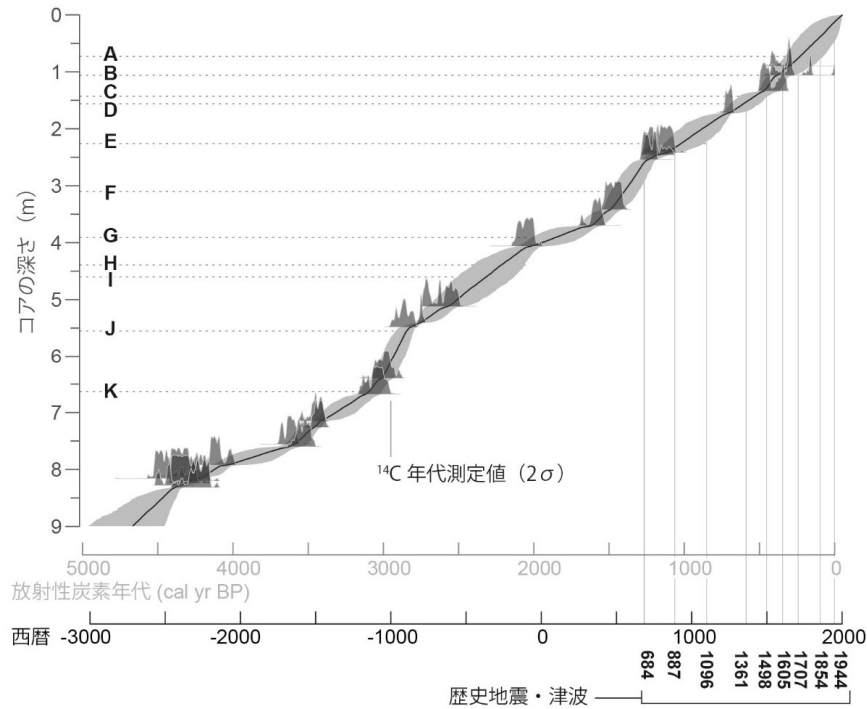


図 2-3-③-2 浮島が原で採取されたボーリング試料の堆積年代曲線。薄い灰色の領域は事後確率分布を表している。

## 2) 三重県南伊勢町・こがれ池

放射性炭素同位体年代測定の測定物には、植物の種子・果実等の小型の植物化石と花粉を使用した。植物化石については、大型植物化石は、バルク試料をふるい (250  $\mu\text{m}$  メッシュ) にかけて、実体顕微鏡下で拾い出した。測定は、加速器質量分析法を用いた。花粉については、層厚にして 4 cm に分割した堆積物から花粉を抽出し、測定物とした。また、1 ~ 3 cm の厚さの堆積物を乾燥させメノウ乳鉢にてすりつぶしたものを測定試料として、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線放出核種の測定を行った。放射性炭素年代測定とガンマ線の測定によって得られた年代値を基に、堆積曲線 (Age-Depth モデル) の推定を行った。堆積曲線の作成には、ベイズ統計を用いた年代統計学のパッケージである Bchron<sup>3), 4)</sup> を利用した。



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

放射性炭素同位体年代測定とガンマ線放出核種の測定結果を基に Age-Depth モデルの作成と、見つかったイベント堆積物 16 枚（湖底からの深度が浅い順に E1-E16 と命名）の堆積年代の推定を行った。そのうち、E2 の堆積年代は 278-201 cal yr BP（西暦 1672-1749 年）、E4 の堆積年代は 629-551 cal yr BP（西暦 1321-1400 年）、E5 の堆積年代は 1147-1054 cal yr BP（西暦 803-896 年）であった（年代幅は全て四分位範囲）。従って、E2 は 1707 年宝永地震、E4 は 1361 年正平地震、E5 は 887 年仁和地震による津波堆積物の可能性がある。また、E1 については、放射性セシウムの検出限界よりも上位に確認されたことから、1959 年の伊勢湾台風によるストーム堆積物の可能性がある。

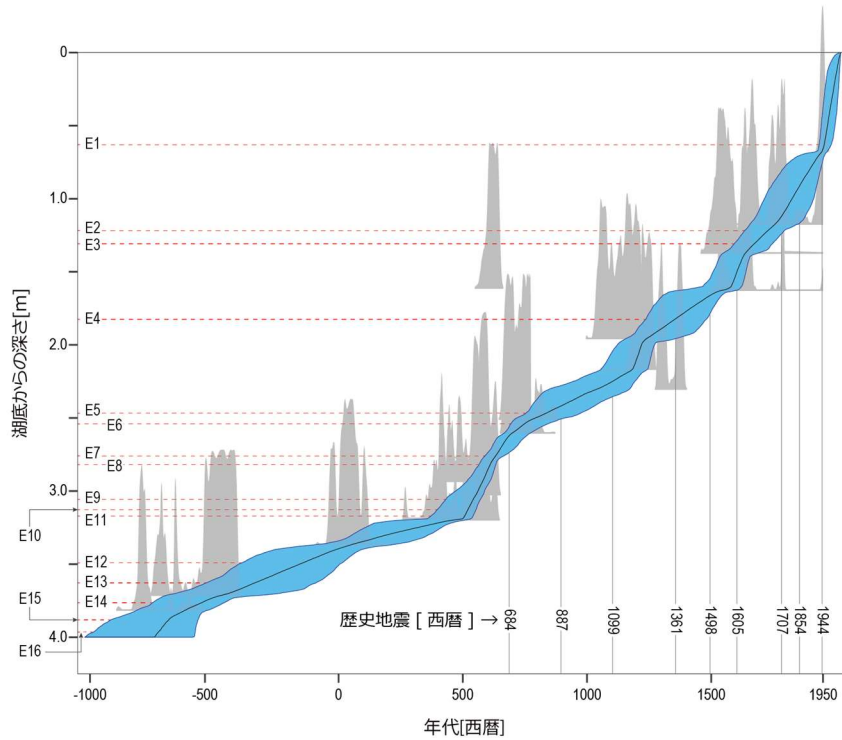


図 2-3-③-4 こがれ池の湖底堆積物の堆積曲線 (Age-Depth モデル)。灰色で年代測定の結果、水色で年代の事後確率分布を示している。

### 3) 和歌山県那智勝浦町八尺鏡野地区

和歌山県那智勝浦町八尺鏡野地区には、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 2-3-③-5)。この湿地の海側から陸側に向けて設定した約 100 m 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)<sup>5)</sup>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 5 cm) について、層相観察を行った。また層相観察の結果で過去の浸水イベントを示す痕跡が見つかった層準については、そのイベント層準の直上と直下のそれぞれ層厚 1~3 cm 程度の堆積物を年代測定用試料とした。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。

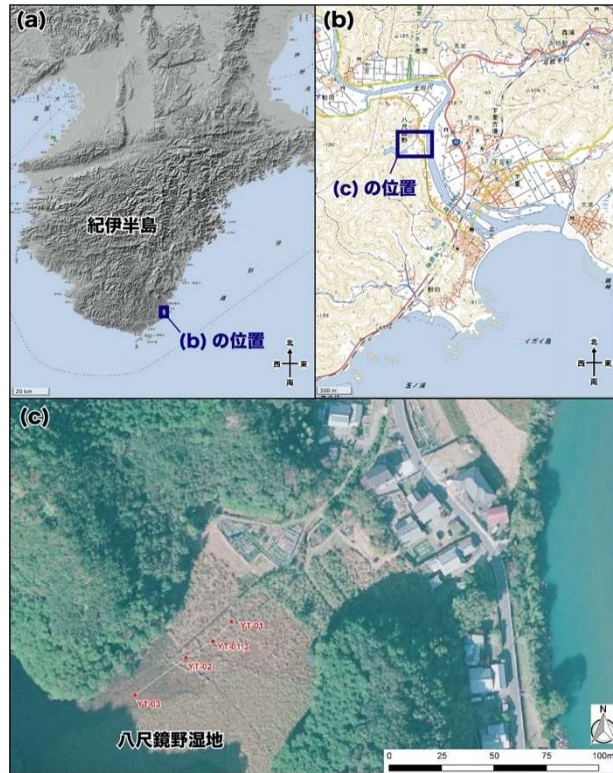


図 2 - 3 - ③ - 5 八尺鏡野湿地における掘削調査地点の位置。地理院タイル使用。

堆積物コア試料は、YT-01 で深度 2.5 m、YT-01-2 で深度 2.2 m、YT-02 で深度 5 m、YT-03 で深度 6 m までそれぞれ観察され、層相からみておおまかに 4 つのユニット (Unit 0~3) に区分できる (図 2 - 3 - ③ - 6)。Unit 0 は YT-03 の最下位にのみ見られ、基盤の熊野層群の可能性がある。その上位には暗褐色有機質シルト (Unit 1)、黒~暗褐色泥炭 (Unit 2)、黒~暗褐色有機質シルトおよび黄灰色シルト~粘土 (Unit 3) が分布する。YT-01、YT-01-2 では Unit 1 の下、YT-02 では Unit 2 の下にそれぞれ厚い砂礫が分布するが、これは海側ほど分布高度が高まっていることから、浜堤を構成する砂礫層の可能性がある。浸水イベントを示すとみられる砂層については、YT-02 のコアを重点的に観察し、少なくとも 8 層が確認できた。このうち最上位のものを除く 7 層について放射性炭素同位体測定を行った。その結果、最下位の層 (E1.2) でおおよそ 5400~5000 年前の年代を示し、それより上位の 5 層 (E1.3~1.6、E2.1) はおおよそ 5300~3900 年前の間、さらに上位の層 (E2.2) はおおよそ 2700~2400 年前の年代を示した。

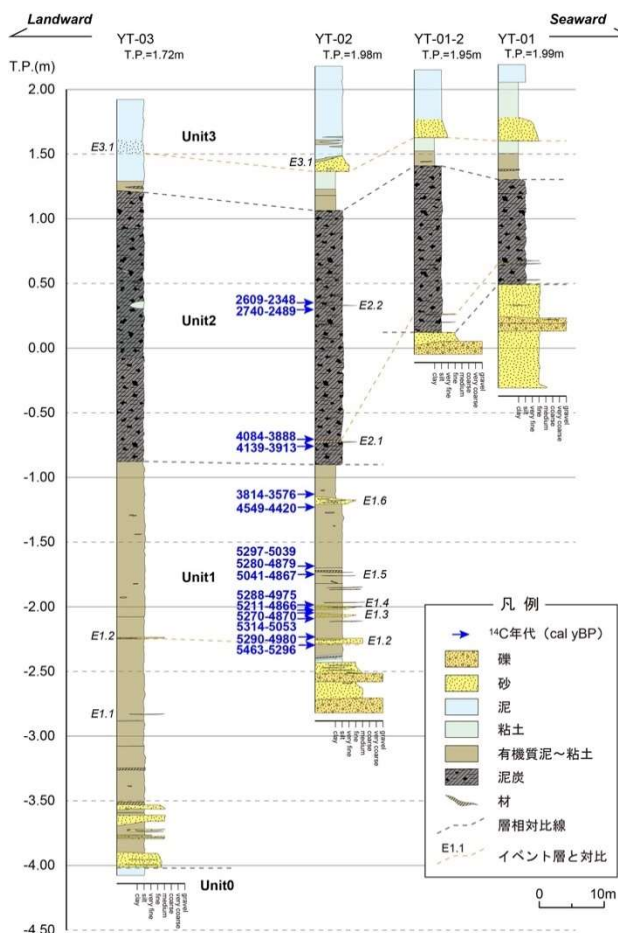


図 2 - 3 - ③ - 6 八尺鏡野湿地での掘削で得られたコアの地質柱状図。

#### 4) 高知県高知市春野町仁ノ地区

高知県高知市春野町仁ノ地区の沿岸低地の 2 地点において、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)<sup>5)</sup>において産業技術総合研究所が平成 30 年度にハンディージオスライサーを用いて採取した堆積物試料の観察を行った。(図 2 - 3 - ③ - 7、8)。観察には剥ぎ取り標本及び軟 X 線写真を用いた。剥ぎ取り標本は親水性樹脂を使用して作成される。砂礫などの間隙の大きい粗粒堆積物は、泥質の細粒堆積物に比べ樹脂が染み込みやすいため、剥ぎ取り標本は堆積物の粒度を反映して粗粒堆積物で厚くなる。よって、剥ぎ取り標本は粒度の違いや堆積構造を読み取るのに有用である。また、実体顕微鏡下で堆積物中から拾い出した植物化石(果実)の放射性炭素年代測定も行った。これらの植物化石は堆積物そのものや木片、炭化物に比べ真の堆積年代を示す可能性が高く、イベント年代の推定に適した測定試料である。



図 2 - 3 - ③ - 7 高知市春野町の調査地域。地理院地図を使用。

春野町仁ノ地区の沿岸低地は仁淀川河口左岸に位置し、標高約 0～2 m と非常に低平である。海岸には現成の砂丘が分布し、その背後には海岸線と平行に小松の沼と呼ばれるラグーンが広がる(図 2)。小松の沼の北側の低地は水田として利用されており、分析に使用したジオスライサー試料は海岸から約 700m 内陸の水田で採取された。

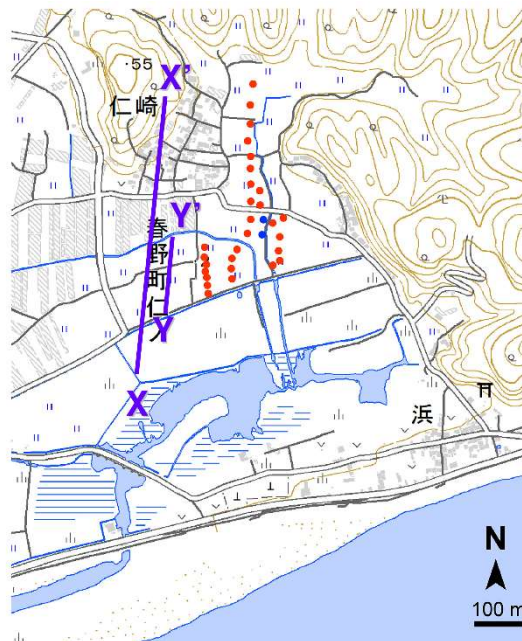


図 2 - 3 - ③ - 8 春野町仁ノの掘削地点。位置は図 1 を参照。赤丸の地点ではハンドコアラー、青丸の地点ではハンドコアラーおよびハンディージオスライサーを用いて掘削を行った。地理院地図を使用。

調査地域の地下約 2.5m までの表層地質は主に粘土および有機質粘土や泥炭からなる(図 2 - 3 - ③ - 9)。深さ約 0～1.5m までは非常に粘着質の青灰色粘土層で、地点によって細粒砂を多く含むが植物片など有機物がほとんどみられない。深さ約 1～



2.5m は主に植物片に富む有機質粘土層や泥炭層からなり、上位の青灰色粘土層との地層境界は多くの地点で不明瞭である。X-X' 測線中央部や Y-Y' 測線では、有機質粘土層中に細粒～中粒砂からなる砂層や砂質層が挟在する。これらの砂層はハンドコアラ一試料で多く観察されたが、確認された砂層の数は地点間で異なっており、特定の砂層の面的な広がり是不明である。

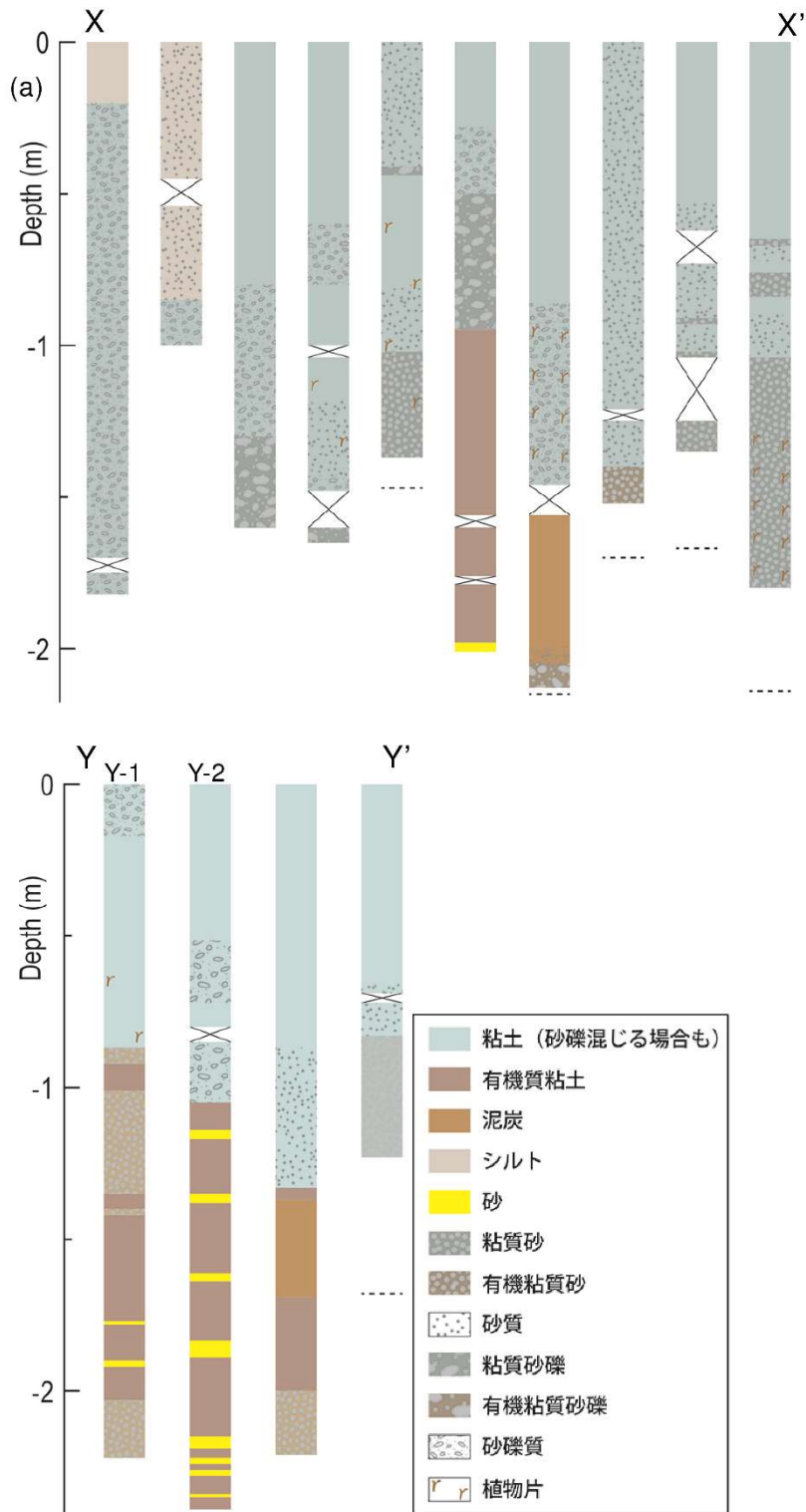


図 2-3-3-9 X-X' 測線及び Y-Y' 測線で採取されたハンドコアラの柱状図

Y-Y' 測線の南側の 2 地点 (Y-1、Y-2) では、表層地質をより詳細に観察し、年代測定用試料を採取するため、ハンディージェオスライサーを用いて掘削を行った (図 2-3-③-8、9、10)。

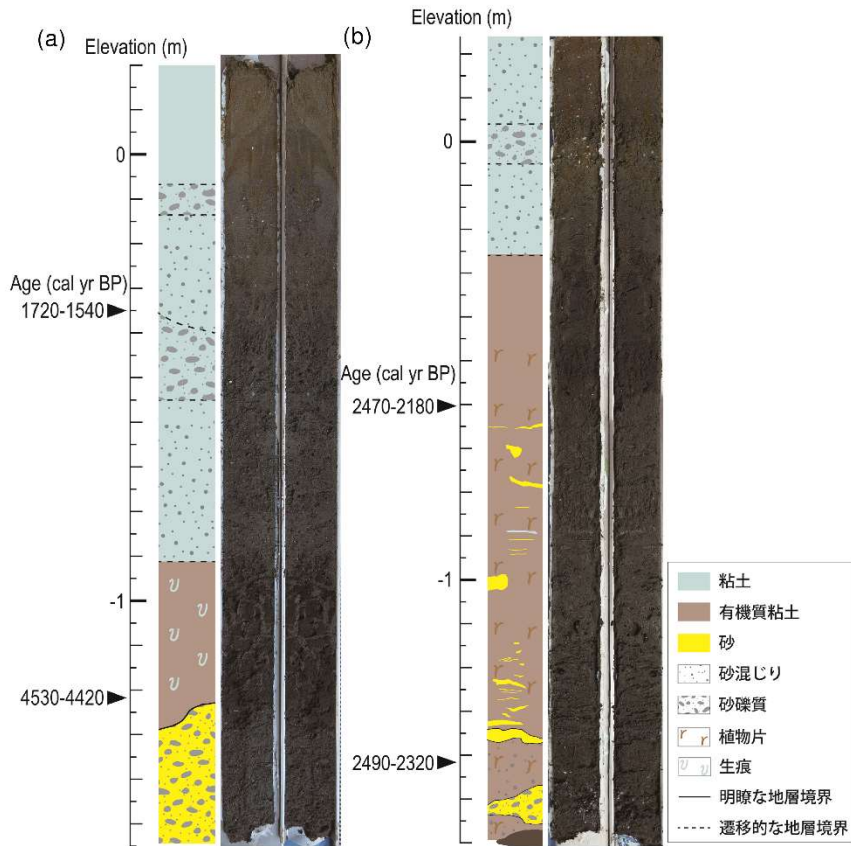


図 2-3-③-10 ジオスライサー試料の柱状図(左)とその剥取り標本(右)。(a)地点 Y-1 で採取されたジオスライサーHN-G1、(b)地点 Y-2 で採取されたジオスライサーHN-G2。

地点 Y-1 及び Y-2 で採取されたジオスライサーHN-G1 及び HN-G2 においても、上位には砂礫を含む粘土層、下位に有機質粘土層が見られた。HN-G1 の標高約-90~-120cm には有機質粘土層が分布し、管状の堆積構造が観察された。一方、HN-G2 の有機質粘土層中には同様の堆積構造は確認されず、全体的に植物片が多く含まれる。HN-G1 の最下部には砂礫層が分布する。HN-G2 においても標高約-150cm に砂礫層が存在するが、層厚は HN-G1 に比べ薄い。また、HN-G2 の標高約-60~-140cm の有機質粘土層中には、パッチ状あるいはシート状の砂層が多く挟在する。これらの砂層は粗粒砂を主体とするものが多い。これらの砂層と周囲の粘土層の境界は比較的明瞭である。上下で得られた年代値からは、これらの砂層は約 2200~2500 年前に堆積したと考えられる。しかし、HN-G2 の下部で得られた年代は、近接する HN-G1 の下部で得られた年代よりも約 2000 年も若く、どちらかの年代値が真の堆積年代を示していない可能性もある。

HN-G1 で観察された管状の堆積構造は上位の砂礫の混じる粘土層と同一のものと考えられる粘土で充填されており、巣穴などの生痕化石であると考えられる。以上の観察結果から、砂礫の混じる粘土層の下部は海水の影響下で堆積した可能性がある。一方、有機質粘土層は淡水成と考えられ、これら一連の地層は淡水から海水への堆積環境の変化を捉えている可能性がある。有機質粘土層の下限付近からは 4530-4420 cal BP の放射性炭素年代が得られており、約 4500 年前に有機質粘土層が堆積し始めたと思われる。

#### 5) 宮崎県串間市一里崎

日向灘周辺で発生する巨大津波による浸水の履歴を明らかにするために、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)<sup>5)</sup>において産業技術総合研究所では令和元年度に日向灘に続く志布志湾に面した宮崎県南部の串間市一里崎付近(図2-3-③-11)において人力による掘削機器(ハンディコアラー)を用いた地質試料採取調査を実施した。本プロジェクトではこれまでに得られた試料中に見られた津波堆積物の可能性がある砂層の形成年代を推定するために、年代測定試料を抽出し、5件の依頼分析を実施した。さらに、この砂層の面的な広がりを確認するために、近接する2地点において人力による掘削機器(ハンディコアラー)を用いた地質試料採取調査を実施した。



図2-3-③-11 調査範囲の位置。国土地理院図(電子国土Web)を加工。

宮崎県串間市一里崎周付近においてこれまでに実施された調査では、深さ 0.2m 程度までの表層付近は耕作土、深さ 0.2m から 2 m 程度までは有機質粘土層、深さ 2 m よりも深いところでは泥炭からなり、有機質粘土層や泥炭層の中には、津波堆積物の

可能性がある複数の砂層が存在することがわかっていた。このうち、深さ2～2.5m程度に位置するイベント層 B は、層厚1 cm～数 cm 程度の層が2～3枚断続的に累重する。各層には粒径数 mm 程度の白色多孔質軽石（パミス）が濃集しており、石英や長石といった鉱物や有孔虫などの微化石はほとんど含まれない。一方、深さ1～1.5 m程度に位置するイベント層 A は、層厚1 cm～数 cm 程度の層が1～4枚断続的に累重し、各層は石英や長石を主体とした細粒～中粒砂からなり、パミスや微化石はほとんど含まれない。従来の堆積相解析や年代測定からは、本調査地のイベント層 B が本調査地から南東に約3 km 離れた場所で Yamada et al. (2019)<sup>6)</sup> が報告した約4600年前に津波で形成された軽石質津波堆積物に対比されうる可能性が示唆されている。

本業務では2つのイベント層の形成年代をより確実に推定するために、5件の放射性炭素年代測定を行うとともに、2つのイベント層の面的な広がりを確認するために新たに2地点で掘削調査を実施した（図2-3-③-12）。その結果、イベント層 B が Yamada et al. (2019)<sup>6)</sup> による約4600年前の軽石質津波堆積物である可能性が極めて高いことが明らかとなった。一方、イベント層 A は放射性炭素年代測定から約2300年前以降に形成されたと考えられるが、現時点では形成年代を精度よく推定することができていない。また、新たな2地点での掘削調査の結果、2つのイベント層がこれまでの地点とほぼ同じ深度でみられた。2つのイベント層が面的に広がりを持つことが明らかとなったことから、イベント層 B だけではなくイベント層 A も津波堆積物である可能性が高いと考えられる。

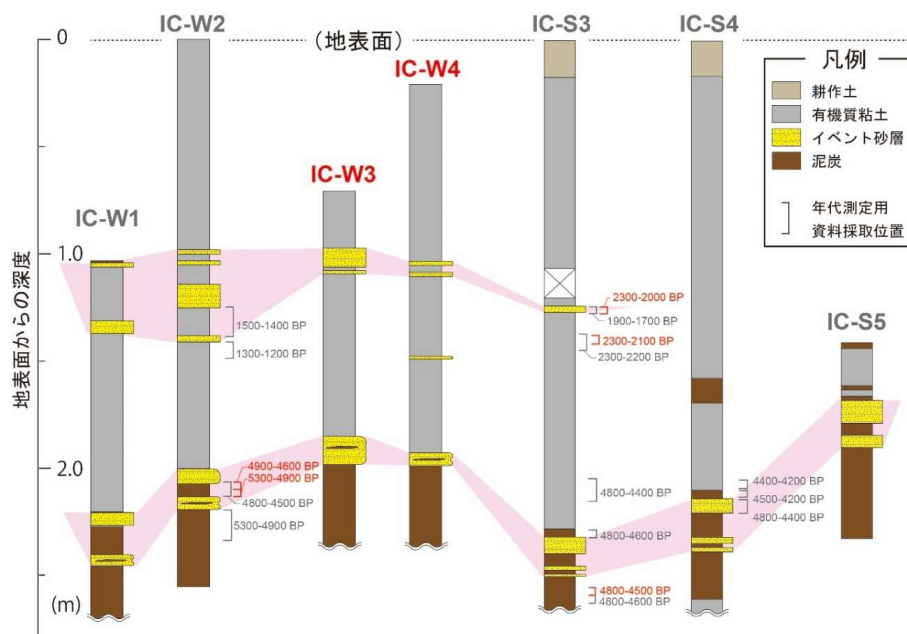


図2-3-③-12 宮崎県串間市一里崎周付近で採取した試料の柱状図と14C年代測定試料採取層準。赤字で地点名を記したIC-W3およびIC-W4の柱状図は今年度の掘削調査で得られた成果。年代値の中で、赤字で示したものが今年度実施した測定結果。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ沿い陸域沿岸の5地域で得られている堆積物試料について分析し、明らかになったことと、今後の課題はそれぞれ以下の通りまとめられる。

静岡県富士市において採取された既存のボーリングコア試料について、放射性炭素年代測定に基づいたAge-depthモデルの検討を行った結果、これまでに明らかにされた沈水イベントのうち、イベントAは1707年宝永地震、イベントBは1605年慶長地震、イベントCは1498年明応地震、イベントDは1361年正平地震、イベントEは887年仁和地震に対応する可能性があることが明らかになった。

三重県南伊勢町のこがれ池から採取された既存のコア試料の湖底堆積物中には、1707年宝永地震、1361年正平地震、887年仁和地震による津波堆積物と、1959年伊勢湾台風のストーム堆積物が保存されている可能性がある。今後は、Age-Depthモデルについて、Bchron以外のプログラムでも作成することで、各イベント層の堆積年代についてさらに詳細に検討を行う予定である。

和歌山県那智勝浦町八尺鏡野湿地では既存のコア試料について観察し、過去に少なくとも8回の浸水イベントを示す砂層が確認された。それらのうち最上位の砂層を除く7層は5400～2400年前の放射性炭素同位体年代を示した。平均再来間隔は400～600年程度である。これらの結果は、和歌山県串本町など周辺地域で行われた既存の津波堆積物調査の結果と対比可能と考えられ、今後それらの年代と慎重に比較検討していく必要がある。

高知県高知市春野町の海岸低地ではハンディージオスライサーを用いて採取された堆積物試料の観察および放射性炭素同位体年代測定を実施し、有機質粘土層に挟在する砂層を複数確認した。これらの砂層は約2200～2500年前に堆積した可能性がある。また、当地域では有機質粘土層から有機物に乏しい粘土層への層相変化が確認され、堆積環境も淡水から海水の影響下に変化した可能性が示唆された。この層相変化は地震性沈降によって生じた可能性があるが、仁淀川河口でのラグーンの形成・拡大などの環境変化でも説明可能であり、今後は微化石分析などから成因の検討を行う必要がある。

宮崎県串間市一里崎付近では、既存の堆積物コア試料に年代分析を5件行うとともに、追加の掘削調査を2地点で実施した。既存試料からは2つのイベント層が見出されていたが、追加掘削調査の結果、これらが面的な広がりを持つことが確認でき、津波堆積物である可能性が高いことが明らかとなった。放射性炭素年代測定の結果、イベント層Bが約4600年前に発生した津波によって形成されたものであると考えられる。また約2300年前以降に形成されたイベント層Aは、今後形成年代をより精度よく推定するために追加の年代測定が必要である。さらに、堆積物コア試料には地殻変動の可能性を示唆する堆積相の変化がみられるが、今後珪藻化石分析など各種分析を実施することで、古地震との関連性を検証する必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Fujiwara, O., Fujino, S., Komatsubara, J., Morita, Y. and Namegaya, Y.: Paleocological evidence for coastal subsidence during five great

earthquakes in the past 1500 years along the northern onshore continuation of the Nankai subduction zone, *Quaternary International*, Vol. 397, pp.532-540, 2016.

- 2) 藤原治, 澤井祐紀: 静岡県沿岸の古地震・津波堆積物調査, 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告(地質分野研究企画室編) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター, pp.39-48, 2014.
  - 3) Haslett, J. and Parnell, A.: A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, Vol. 57, No. 4, pp.399-418, 2008.
  - 4) Parnell, A. C., Haslett, J., Allen, J. R. M., Buck, C. E. and Huntley, B.: A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 27(19-20), pp.1872-1885, 2008.
  - 5) 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.
  - 6) Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Goto, K. and Goff, J.: Redeposition of volcanoclastic sediments by a tsunami 4600 years ago at Kushima City, south-eastern Kyushu, Japan. *Sedimentology*, 2019, doi: 10.1111/sed.12547.
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- 1) 学会等における口頭・ポスター発表  
なし
  - 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願  
なし
  - 2) ソフトウェア開発  
なし
  - 3) 仕様・標準等の策定  
なし

#### ④ 史料に基づく南海トラフ巨大地震の履歴

##### (a) 業務の要約

歴史時代の史料に基づく南海トラフ巨大地震の履歴は 684 年白鳳地震まで遡ることができ、昭和東南海・南海地震を含めて 9 回発生していることがわかっている。昭和から安政、宝永、明応と一連の南海トラフ巨大地震の事例を見てもその地震発生域には多様性を含んでいるため、これらの波源評価に関連する情報を可能な限り入手し、詳細な波源の検討を行うとともに、地震発生が多様性を定量的に示すとともに、地震

発生推移予測の重要な拘束条件を示すことができる。そこで本業務では、静岡県西部において明応東海地震の津波痕跡評価に資する史料調査と北米西岸で観測された潮位波形から安政東海・南海地震の発生時間差の推定、体験談に基づいた現地測量から昭和東南海・南海地震の津波痕跡調査を実施した。その結果、まず静岡県遠州沿岸において現在閲覧可能な史資料が、現存している明応東海地震の全てであることが分かった。一方、元島遺跡の膨大な発掘資料や元島遺跡近郊の太田川河岸のトレンチから大規模な津波堆積物が見つかることから、今後はこのような遺跡資料も積極的に利用して、地震津波履歴情報の拡充を図っていく必要がある。また北米西岸で観測された潮位波形から推定される安政東海・南海地震の発生時間差は30時間54分であり、歴史資料調査の結果と概ね整合することが分かった。さらに昭和東南海・南海地震の津波痕跡高は1.3～6.8mで、県南ほど高くなる傾向にあることが分かった。令和二年度は津波到達地点が特定できる記述のみを抽出したが、地震動の有感記録のみを記述した史料もあるため今後さらなる調査が必要になる可能性がある。

## (b) 業務の成果

### 1) 静岡県遠州灘における史資料調査

歴史時代の史料に基づくと、南海トラフ巨大地震の履歴は684年白鳳地震まで遡ることができ、その再来間隔については大まかな被害の様相に関する記述から推定すると、昭和東南海・南海地震を含めて9回発生していることがわかっている（図2-3-④-1）。ただし、被害地域やその程度を詳細に特定することができるのは、具体的な被害状況を記した史資料が残されるようになった明応東海地震の事例からである。江戸期に入ると識字率の上昇に伴って、宝永地震の被害事象に関する史料数は爆発的に増え、安政東海・南海地震では2000点に及ぶ史料が確認されている。それ以前の地震についての史料は極端に少なくなり、地震や津波の発生に起因して形成される海域（2-3-②節参照）や陸域（2-3-③節参照）に残された堆積物を利用することになる。

昭和から、安政、宝永、明応と一連の南海トラフ巨大地震の事例（図2-3-④-1）を見ても、その地震発生域には多様性を含んでいるため、これらの波源評価に関連する情報を可能な限り入手し、詳細な波源の検討を行うとともに、地震発生の多様性を定量的に示すとともに、地震発生推移予測の重要な拘束条件を示すことができると考えられる。そのような状況を鑑み、令和2年度では静岡県西部において明応東海地震の津波痕跡評価に資する史料調査を行った。明応東海地震を対象とした理由としては、史料に基づいて津波や地殻変動の痕跡分布を評価し得る最古の事例であることや一連の南海トラフ巨大地震のうち、東海セグメントが全域にわたって滑りが生じたと考えられているのは1854年安政東海地震と1498年明応東海地震であるからである。

明応東海地震の諸相については、中世に遡るために史料が十分残されているとはいえないが、津波の被害が甚大で、静岡県西部の天竜川、太田川、菊川流域や富士川流域で山崩れ、菊川下流域の軟弱地盤地帯での噴泥が著しかったことがわかっている。また、焼津や伊豆西岸の仁科で津波被害が大きかったことに加え、浜名湖の今切がこの地震によって切れて、海に通じたことが知られている<sup>15)</sup>。

明応東海地震に関する各地の津波高について、津波痕跡データベース（東北大学災害科学国際研究所、オンライン）から、津波痕跡の信頼度がC以上を抽出した（図2-3-④-2）。ここで、痕跡信頼度は岩渕・他（2012）<sup>10)</sup>によって定められた津波痕跡信頼性階級であり、A：古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認でき、しかも近年になって測量されて高さの確定されたもの、B：古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認できるが、近年の再測量のなされていないもの、C：古文書等に記載、或いは言い伝えられてはいるが、字名、集落名などにとどまり、到達地点を確かめることのできないもの、D：文書等の関連現象・被害の記述から推測されたもの、と定義される。図中の痕跡値の多くは都司・他（2013）<sup>19)</sup>による値である。図から、伊豆半島西部や磐田市で極めて高い津波となっていることがわかる。ただし、中世の地震津波に関する史料は、江戸時代と比べて記載内容をその時代背景を踏まえて解釈していく必要があり、また、史料のみではなく、地質記録と合わせて検討する必要がある。また、2011年東北地方太平洋沖地震以降、日本全国の地震津波防災意識の高まりから、各地域における郷土誌などには、新たに見出された史料の紹介や未翻刻史料の解釈が掲載されることが多くなっている。そこで、本業務では、静岡県西部における郷土誌も含めた史料の再調査と、これまでの研究成果を踏まえて、明応東海地震の津波痕跡評価の指針について検討を行った。

史料調査は、静岡県遠州沿岸の主要蔵書施設（静岡県立中央図書館、静岡県歴史文化情報センター、掛川市立中央図書館、同市大東図書館、磐田市立中央図書館、同市立福田町図書館、浜松市図書館）で実施した。この史料調査で、明応東海地震に関する新出史料を見出すことはできなかった。すなわち、静岡県遠州沿岸においては、現在閲覧可能な史資料が現存しているすべてといえる。なお、明応東海地震以外の地殻変動や津波痕跡に関する史資料は、宝永地震で8点、安政東海地震で17点見出すことができた。これらは次年度以降に検討を進める予定である。

前述のとおり、中世の史料に記述されている内容は、自然や政治的影響を含む人工的な地勢改変により、現況の地勢とは大きく異なる場合が多く、史料だけに頼って津波痕跡の解釈を行うことは早計の場合が多い。一方で、遠州灘では中世の遺跡が数カ所発掘されており、発掘過程で津波堆積物と考えられる地層が見出されている<sup>15)</sup>。以下に、史料と地質情報を組み合わせた明応東海地震の津波痕跡地の解釈の一例を示す。

この地震の津波被害の実態を知り得るものとして『円通松堂禅師語録』<sup>20)</sup>が著名であり、この史料には「…群者近隣之賈客、八宗之仏民架寺院僧坊。并歌舞伎楽遊燕之輩、一朝不涉乎時刻、洪濤滔天来。而一彈指頃、掃地総巻去。」とある。瞬く間に、津波によって集落が掃き去られ跡形もなくなったと記されている。都司・他（2013）<sup>19)</sup>は、近隣の商人で賑わっていたことや八つの宗派毎の寺院があることなどから、この記述に該当する集落は掛塚と断定している。一方、木村（2014）<sup>12)</sup>は、本史料の失われた集落として、元島遺跡の可能性を指摘している。元島遺跡は15世紀まで栄えた湊街の跡が発掘され、16世紀に入ると急に衰退したとされている<sup>11)</sup>。また、当該遺跡には津波堆積物と思われる地層が見出されていること、元島遺跡近郊の太田川河岸のトレンチから場所によっては層厚が70 cmに及ぶ大規模な津波堆積物が発見されている<sup>6)</sup>。元島遺跡については膨大な発掘資料<sup>11)</sup>が残されている。16世紀頃の海岸線や太田



川の河道状況の復元も必要になるが、これらの史資料や遺跡資料を津波堆積物分布の読み取りという視点で再分析することによって、津波による土砂堆積分布を明らかにできる可能性がある。さらに土砂堆積分布の観測値と数値計算による解析値<sup>8)</sup>を組み合わせることによって、明応東海地震の波源規模を推定できる可能性がある。前述の元島遺跡と同様に、湖西市の長谷川元屋敷遺跡でも明応東海地震によると考えられている津波堆積物が同定されている<sup>13)、17)</sup>。今後はこのような遺跡資料も積極的に利用して、地震津波履歴情報の拡充を図っていく必要がある。

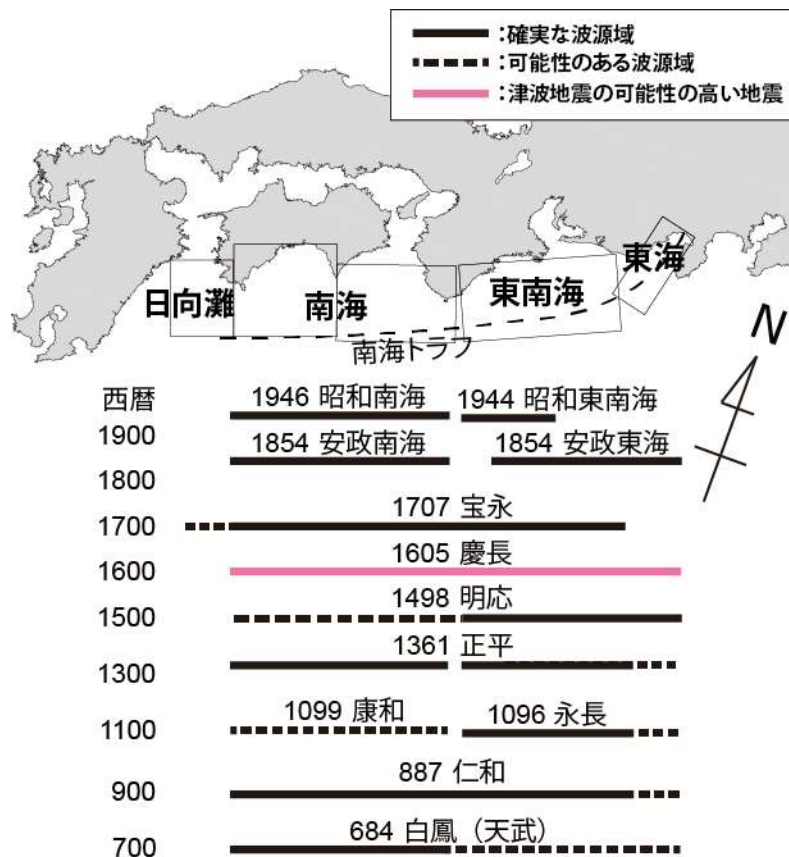


図 2 - 3 - ④ - 1 史料に基づく南海トラフ巨大地震の再来間隔。Ishibashi (2004)<sup>9)</sup>を改変。

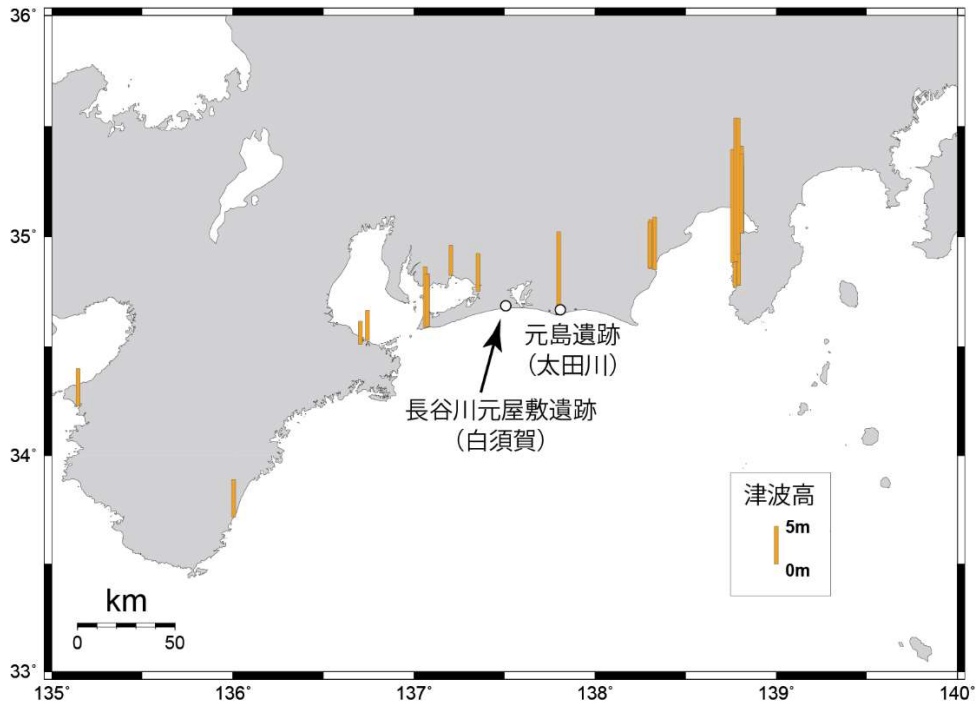


図 2 - 3 - ④ - 2 明応東海地震の津波痕跡高分布。

2) 1854 年安政東海・南海地震の津波励起時刻と発生時間差

本業務では、1854 年 12 月 23～24 日にかけて発生した安政東海・南海地震津波が北米西岸のサンフランシスコ及びサンディエゴの検潮所で観測されている<sup>4)、16)</sup>ことに着目して、それらの津波波形の特徴を調べて津波伝播数値シミュレーションで求めた計算波形と比較することで安政東海・南海地震の津波励起時刻とその時間差を推定した<sup>15)</sup>(図 2 - 3 - ④ - 3、図 2 - 3 - ④ - 4)。

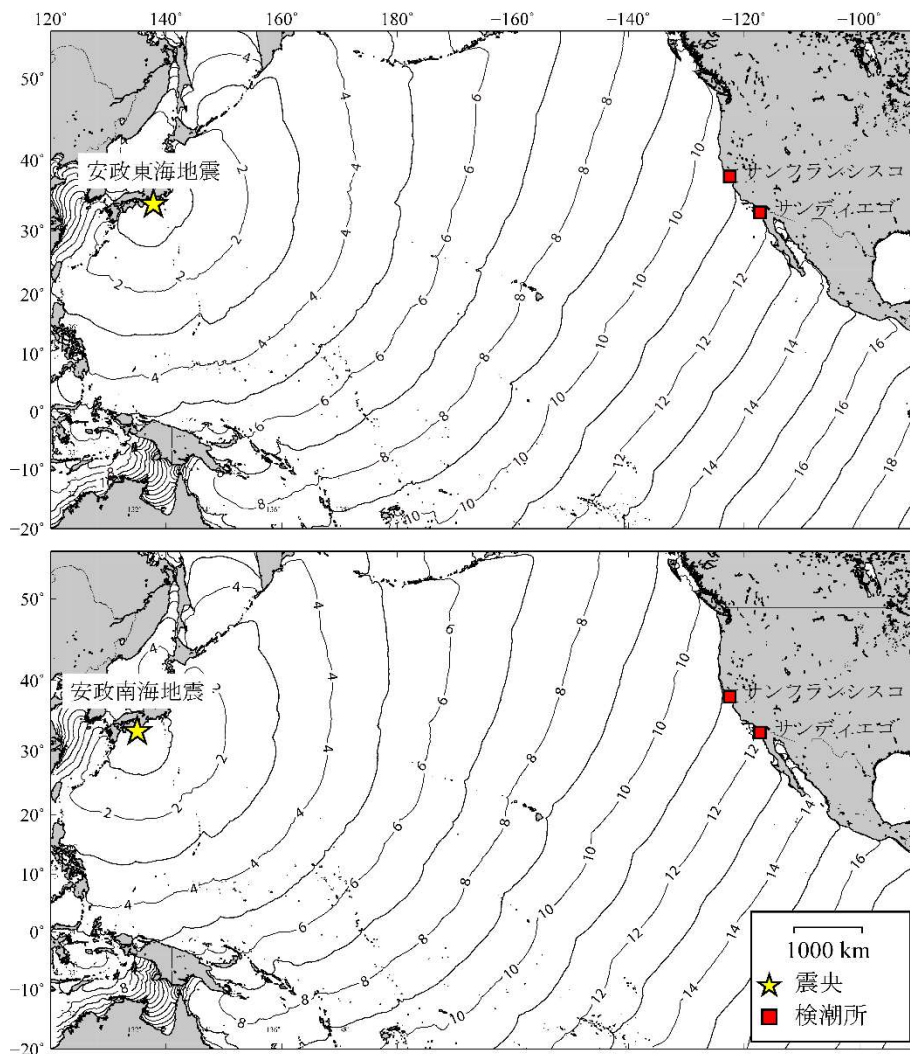


図 2-3-④-3 安政東海・南海地震津波の震央と検潮所の位置。コンターは地震発生からの津波初動到達時刻（単位は時間）を示す。

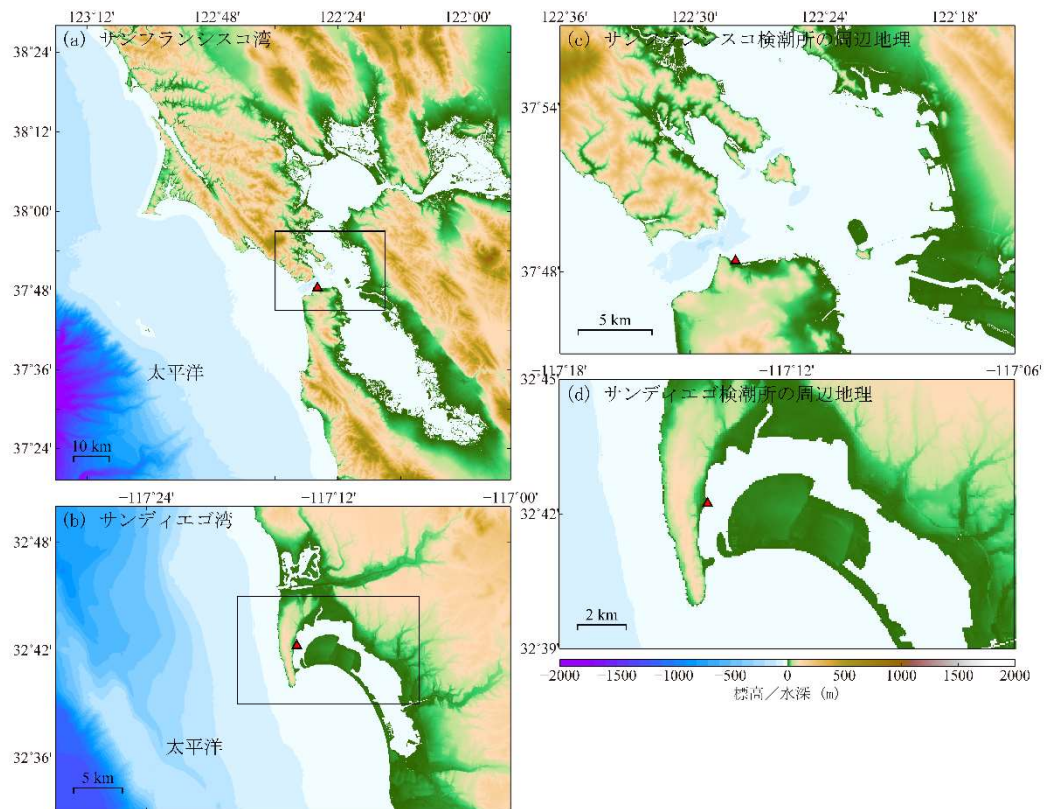


図 2-3-④-4 北米西岸における検潮所の周辺地形。(a)・(c)はサンフランシスコ湾、(b)・(d)はサンディエゴ湾の詳細地形をそれぞれ示す。

まず、大森 (1913)<sup>16)</sup> に掲載されている潮位波形は紙媒体であるため、Golden Software 製 Didger 4 を使って 1 分間隔でデジタル化した。デジタル化した波形に対して、まず理論潮汐曲線の山谷に基づいて記録紙の歪みを修正した。次に、潮汐成分と短周期のノイズを除去するため振幅スペクトルを基に 16~128 分のバンドパスフィルターをかけた (図 2-3-④-5)。ここで紙媒体の時単位は 1 時間であるため、時間分解能はその 1/10 である 6 分とした。津波来襲時の潮位計は現在のものと比較して振幅の記録精度が悪いため、振幅は最大値で規格化した。ここで地方時からグリニッジ標準時 (GMT) に変換するため、経度を基にサンフランシスコは 8 時間 10 分、サンディエゴは 7 時間 48 分だけ時刻を補正した。

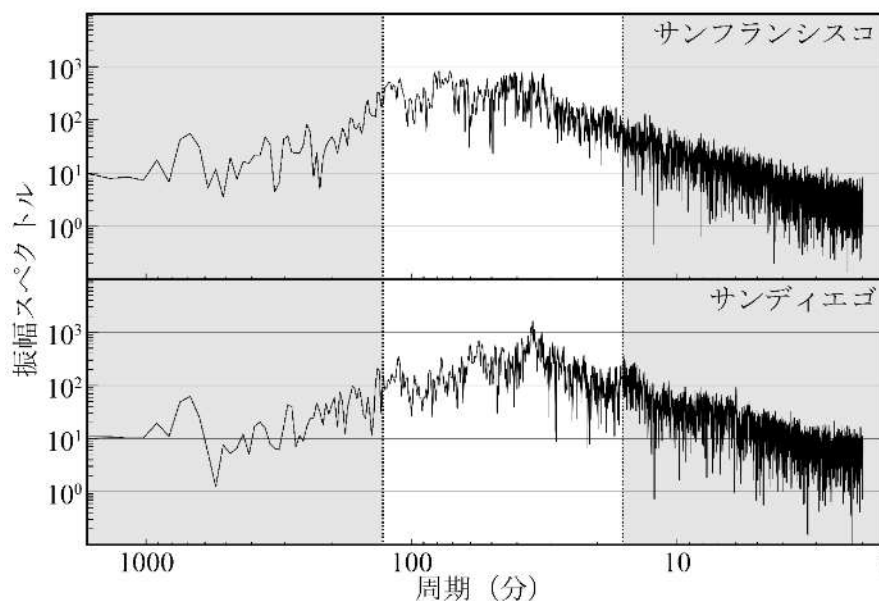


図 2-3-④-5 観測津波波形の振幅スペクトル。灰色の領域はバンドパスフィルターで除去された領域を示す。

次に、津波伝播数値シミュレーションには高性能津波計算コード JAGURS<sup>3)</sup> を使用して、長時間の津波伝播で発生する位相遅れは Allgeyer and Cummins (2014)<sup>1)</sup> によって提案された手法を用いて補正した。波源モデルは安中ほか(2003)<sup>2)</sup> の矩形断層モデルを採用し、津波励起時刻は歴史資料調査の結果を基に安政東海地震は 12 月 23 日午前 0 時 (GMT)、安政南海地震は 12 月 24 日午前 7 時 (GMT) として計算を実行した。安政南海地震の初動走時を判別するため、ウェーブレット解析を実行した。ウェーブレット解析には Torrence and Compo (1998)<sup>18)</sup> によって開発されたソフトウェアを使用し、マザー関数はスケーリングパラメータで記述したモレット関数を使用した。観測波形と計算波形の整合性を調べるにあたって、正規化二乗平均平方根 (Normalized Root-Mean Square: NRMS) とその誤差を使用した。NRMS とその誤差は値が 0 に近いほど観測波形と計算波形が整合していることを示す。

図 2-3-④-6 に観測波形と計算波形の比較を示す。計算波形と観測波形の形状は概ね一致しているものの、初動到達時刻は計算波形が観測波形より数十分早かった。安政東海津波の到達時刻の読み取りは容易である一方、安政南海津波は安政東海地震の後続波によって乱されているため初動走時の読み取りは困難であった。ウェーブレット解析結果を見ると、安政東海地震津波が到達してからおよそ 30 時間後に安政南海地震津波が到来し、その後高エネルギー・高振幅の後続波が続くことが分かった (図 2-3-④-7)。

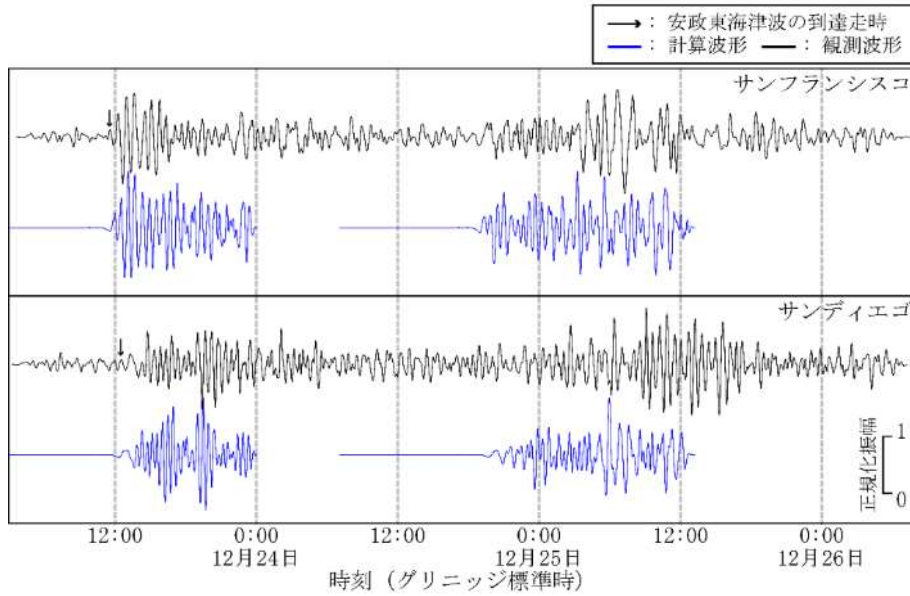


図 2-3-④-6 観測波形（黒線）と計算波形（青線）の比較。振幅は最大値で規格化している。

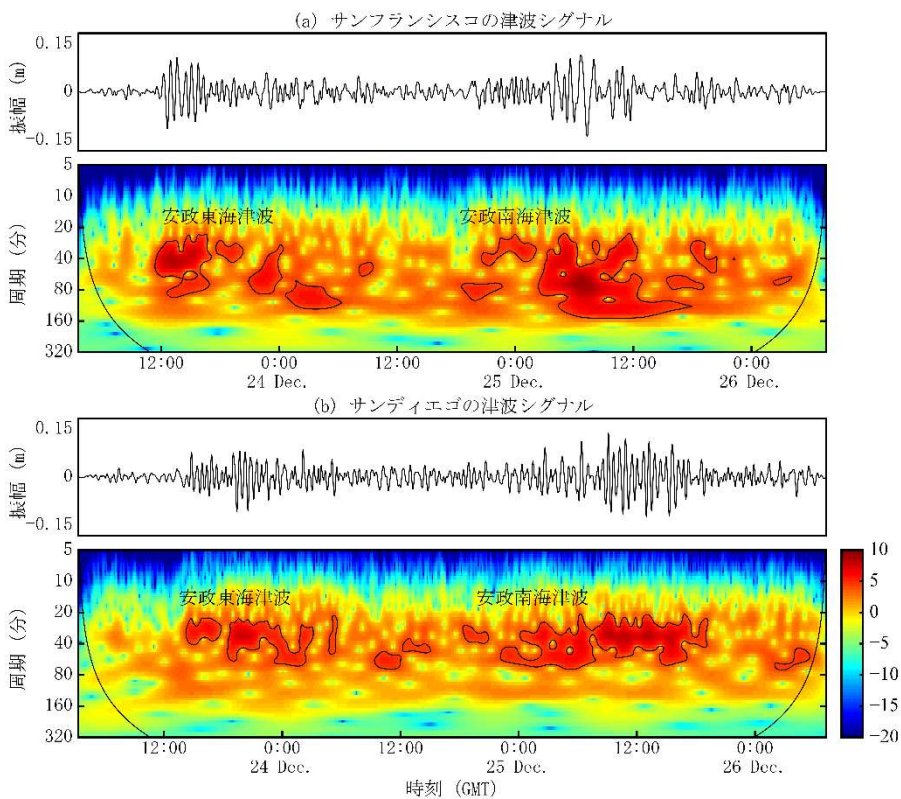


図 2-3-④-7 サンフランシスコ及びサンディエゴの検潮所で観測された安政東海・南海地震津波のウェーブレット解析結果。コンターは 95%信頼区間を示す。

図 2-3-④-8 と図 2-3-④-9 に安政東海・南海地震津波の観測波形と計算波形の NRMS と NRMS 誤差をそれぞれ示す。安政東海地震の場合、計算波形を 30 分遅ら

せた場合、サンフランシスコ及びサンディエゴの計算波形は観測波形と概ね一致する（図2-3-④-10）。安政南海地震も同様に、計算波形は24分遅らせると、サンフランシスコ及びサンディエゴの計算波形は観測波形と概ね一致する（図2-3-④-11）。数値シミュレーションを実行するにあたって、安政東海・南海地震の津波励起時刻はそれぞれ12月23日0時（GMT）と12月24日7時（GMT）を仮定していたため、上述の結果を踏まえると安政東海・南海地震の津波励起時刻はそれぞれ12月23日0時30分頃（GMT）と12月24日7時24分頃（GMT）と推定される。以上の成果から、安政東海地震と安政南海地震の発生時間差は30時間54分であった。

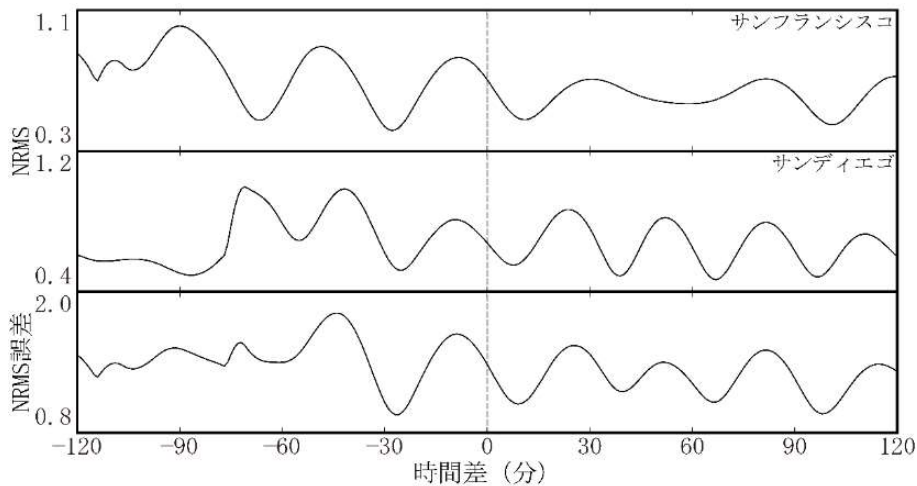


図2-3-④-8 安政東海地震津波の観測波形・計算波形のNRMSとNRMS誤差。

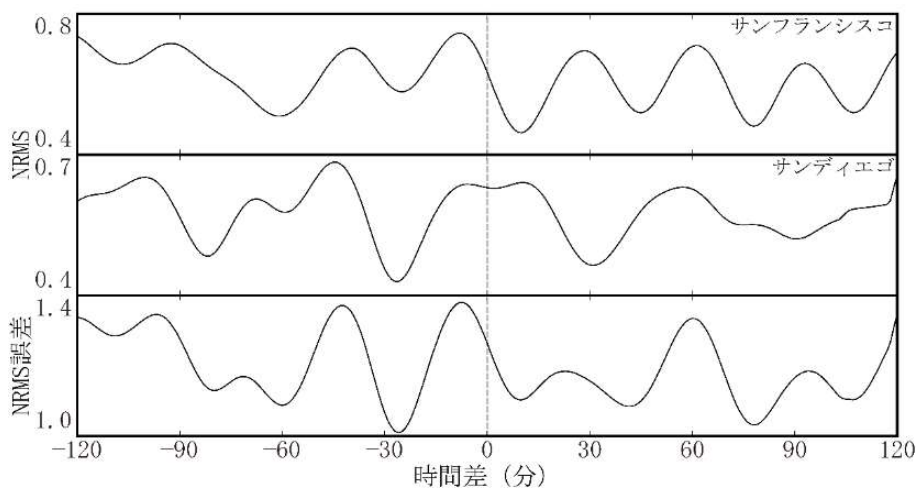


図2-3-④-9 安政南海地震津波の観測波形・計算波形のNRMSとNRMS誤差。

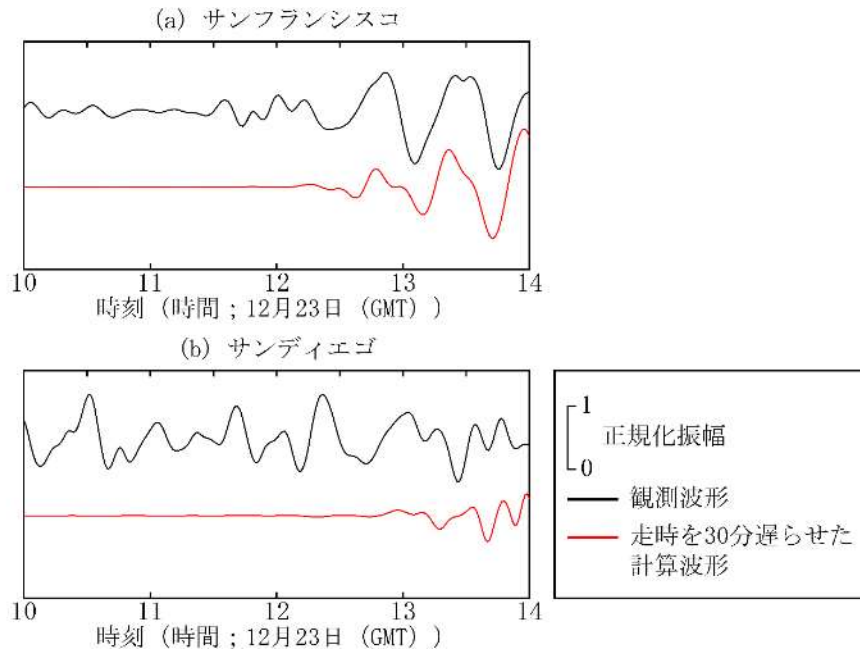


図 2-3-④-10 安政東海地震津波の観測波形（黒線）と走時を 30 分遅らせた計算波形（赤線）。

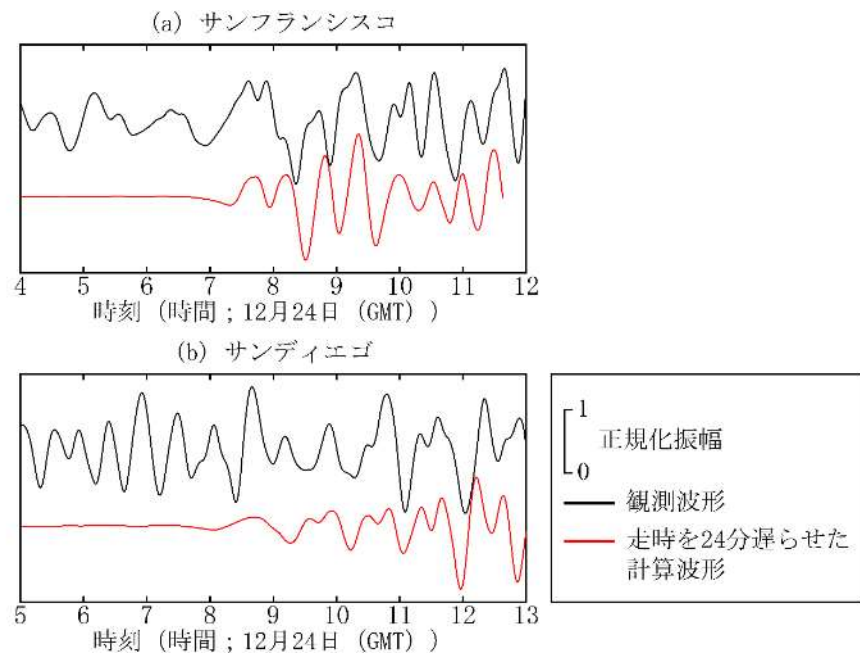


図 2-3-④-11 安政南海地震津波の観測波形（黒線）と走時を 24 分遅らせた計算波形（赤線）。

### 3) 和歌山県における東南海・南海地震体験談に基づく津波痕跡調査

和歌山県は有史以来、約 90 年から 150 年周期で繰り返し発生している東南海・南海地震により大きな被害を受けており、近年では 1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震により甚大な被害が発生した。昭和東南海・南海地震の体験者が高齢となる中、繰り返し発生する地震・津波の被害を軽減するために、先人の経験や教訓を広く県民に伝承し、防災意識を高めていくことが重要と考えており、体験者から体験談の



聞き取り調査を実施し、その内容を県のホームページに公開している（和歌山県，オンライン）<sup>21)</sup>。本業務では、各体験談の内容から津波到達地点が特定できる全10地点を抽出し、実際にその場所へ赴いて測量することで昭和東南海・南海地震の津波痕跡調査を行った。以下、和歌山県西岸から反時計回りに実施した津波痕跡調査の成果を示す。

i). 和歌山市

図2-3-④-12は和歌山市和歌浦の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者の体験談によると、体験者は地震の揺れが収まった後、自宅寝室で布団に入っていたが、「津波やぞー」と叫んでいるのが聞こえたので、すぐに浜へ行くと第1波が引いたところだった。第2波が来た時は小舟が浜へ乗り上げた。津波の回数を7回まで数えた後、流された船を探すために沖に出て、明るくなるまで海上で待機した。明るくなった際に確認すると、冷水から塩津の海岸線は、流れて来たもので一杯で、漆器の材料や瓦が乗ったままの小屋まであった。また、後から聞いた話によると新和歌浦のバス停の下1、2軒が浸水したとあった。この体験談から特定できる場所として、新和歌浦のバス停があり、実際にバス停周辺の住民から当時の状況についての聞き取りを行った結果、図2-3-④-12の地点まで津波が到達したことが判明し、測量した結果4.2mであった。



図2-3-④-12 和歌山市和歌浦における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土Web）を加工。

ii). 由良町

図2-3-④-13は由良町網代地区の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者の体験談によると地震の揺れが収まった後、地震＝津波という認識があったので自宅下の海を見に行き、20～25分ほど様子を見ていたが潮が引かなかったので大丈夫だと感じ自宅に戻って布団に入った。しかし15分も経たないうちに「津波やー」という叫び声が聞こえ、すぐに山に避難し明るくなるまで待機した。明るくなって海の様子が見えるようになると水位が上がったり下がったりするのが見えた。その後、網代地区だけで19人が亡くなり、由良川の近くの民家が1、2件流されたこ

とが分かった。このことから、実際に流された民家の位置まではわからなかったが、由良川に面している住宅がある地点で計測を行うことにし測定した結果 2.2m であった。



図 2-3-④-13 由良町網代地区における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

iii). 田辺市

図 2-3-④-14 は田辺市芳養町の調査結果を示す図である。調査地点で昭和南海地震体験者の体験談を残してくれている体験者は複数おり、その中の一人の体験談では、当時山へ避難していたが、明るくなって戻ってみると住んでいた家の天井 20 cm の位置に津波浸水の線がくっきり付いており、二階は無事であったという。また同集落の別の体験者も周囲の被害状況について、鉄道線路の前の家、基礎石残して全流出、近所の作業場・借家も基礎石残して流出、後は、ほとんど天井 20~30cm 浸水し、天井までの家もあったと語っている。また、当時の集落の地図も残っており、位置が特定できたため計測を行うこととした。測定の結果、高さ 2.9m であることがわかった。



図 2-3-④-14 田辺市芳養町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図2-3-④-15は田辺市新庄町の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者の体験談によると当時の家は大きな岩の上に建つ宗教施設であり、安政地震でもここまで津波が来なかったと聞いたので家の窓から海を見ていたという。夜が明けて、窓から被害がよく見えるようになると流出した船や家や家財道具があちこちに見えた。また、家に上がる坂の上に、溺死体があり、斜め前の田んぼに流出してきた家があったと語っている。この体験談で出てくる宗教施設は現在もあり、溺死体が流れ着いた教会に上がる坂についても特定できたため計測を行うこととした。測定した結果、坂の上の教会前の高さが6.2mであり、坂の下にあたる地点では2.2mであることが分かった。



図2-3-④-15 田辺市新庄町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土Web）を加工。

iv). すさみ町

図2-3-④-16はすさみ町の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者がその地震を経て、その後、当時の史料を集めた際に聞いた話によると、浜のそばに家がある漁師は、恐る恐る家に帰ってみると全く被害がなく驚いたとあり、これは川のある方向に津波が入ったためと語っている。橋の被害は2本ある川の両方を、数キロ遡上して橋梁破壊していき、国保すさみ病院より、まだ上の河原にイカ釣り漁船が打ち上げられたと語っており、そこまで津波が来たということである。このことから、実際にイカ釣り漁船がどこまで遡上してきたのかはわからなかったが、少なくとも国保すさみ病院までは来ていたことがわかるので、その地点の河原にて測定を行うこととした。測定した結果、計測地点の高さは1.3mであることが分かった。



図 2-3-④-16 すさみ町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

v). 串本町

図 2-3-④-17 は串本町の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者の体験談によると津波襲来時の状況について語っており、地震後津波に備えてすぐに串本小学校裏の西の丘の山に避難したという。避難時の周囲の状況について、自宅から棧橋までは若干下り坂になっているため、津波は自宅から棧橋方向に 200m ほど離れた薬局までちょろちょろと上がってきた程度だったと語っている。体験談で出てくる薬局は現存しており、実際に現地に赴いて薬局及び周辺で当時の状況のヒアリングを行い、津波到達場所を特定することができたので測定を行うこととした。計測の結果、4 m であることがわかった。

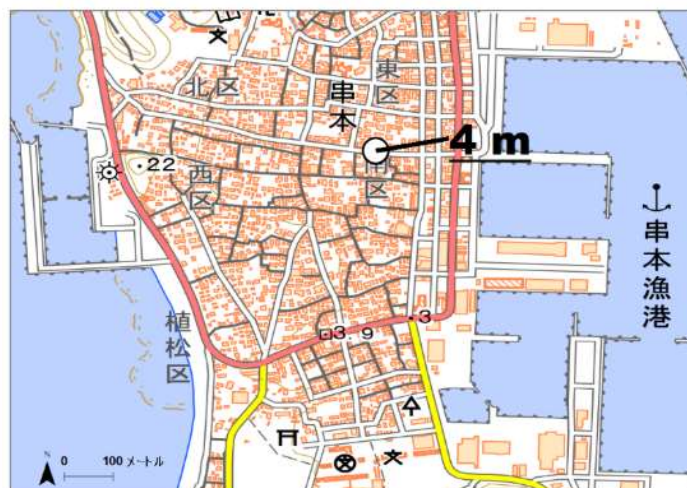


図 2-3-④-17 串本町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-18 は串本町の調査結果を示す図である。昭和南海地震体験者の体験談では津波襲来時の状況を語っており、付近の住人と一緒に県道の奥の高いところまで避難した際に、ゴーッという物凄い音で、波が田代港に向かって、捲くし立

てて来る様子を感じることが出来たという。また、津波を実際見たわけではないが、波は5m程の高さで、県道と海岸に挟まれた通称小学校へ行く道（北は現在民間企業があり、南は田代停留所あたりまで）に当たって、海拔より5m低いところにあった民家や倉庫が浸水や流されるなどの被害に遭ったと聞いたそうである。また逆に大島港の場合は、津波は来るときはひたひたひたと上がってきており、大島港から蓮生寺までは緩やかな上り坂になっているため、波を見ながら逃げる事が出来たが、その代わりに、引いていくときはサーッと引き方は速かったという。波は大きなものではなかったが、2～3mの高さだったと思われ、3～4波ほど来たと思われるが、1波より2波のほうが酷かったと語っている。この体験談の内容のうち、田代停留所については特定できたため測定を行うこととした。田代停留所付近で測定した結果、5mであることがわかった。



図 2 - 3 - ④ - 1 8 串本町大島における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

vi). 那智勝浦町

図 2 - 3 - ④ - 1 9 は那智勝浦町浦神の調査結果を示す図である。昭和東南海地震体験者の体験談によると当時の周囲の被害状況について、津波が引くときに浦神駅近くの二軒の家と神社（海蔵寺の向かい）のそばの駄菓子屋が流されており、流されたといっても家が全部流されたわけではなく、母屋がそのまま移動して置かれたみたいだったと語っている。また現在の国道 42 号線 浦神南信号から田原方面に直線で 300m ほど若干上り坂になって右にカーブしたところに JR の鉄橋があり、そこにゴミが引っかかっていたので、波はそこまで上がったことになると語っている。この体験談から、JR の鉄橋については場所が特定できたため計測を行うこととした。実際に現地で測定した結果、3.9m であることがわかった。



図 2 - 3 - ④ - 1 9 那智勝浦町浦神における昭和東南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2 - 3 - ④ - 2 0 は那智勝浦町下里の調査結果を示す図である。昭和東南海地震体験者の体験談によると津波襲来時の状況について、地震が収まった後、しばらくすると路地から小父さんや小母さんが「津波が来るぞー、山へ逃げろ」と叫びながらやって来たので、浜へ出てみたら潮がグリーンと引いていったので津波が来るとすぐに判断できたと語っている。当時一クラス 40～50 人くらいで、全校生徒約 300 人が裏山に避難し、山の上から津波の様子を見ていて、夏になると大浜で高さが 2～3 m くらいの土用波が起き、その高さの波は体験していたし、台風の波も経験していたが、そんなものではなく、それよりも倍以上の大きな波がワーッと押し寄せて、その波は高芝沖の立石を呑み込みながら、太田川から下里地区に入り込み、行きは波がまくし立てて入り込んで行く感じだったと語っている。3 時間ほど山にいと繰り返し、繰り返し余震があり余震のたびに、津波が押し寄せてきたが、第 1 波ほどの大きさは、そのあとはなく、下里の江川を乗り越えて街中まで入ったそうで、波は大浜を超え、国鉄下里駅近くまで入っては引く、を繰り返したと語っている。このことから国鉄下里駅（現 JR 下里駅）については特定できたため、この地点を計測することとした。下里駅付近を測定した結果、2.5m であることがわかった。



図 2-3-④-20 那智勝浦町下里における昭和東南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-21 は那智勝浦町天満の調査結果を示す図である。昭和東南海地震体験者の体験談によると津波襲来時の状況について、那智湾から入った津波が現在の国道 42 号線沿いの那智中学校付近まで乗り上げ、返す波が海拔の低い勝浦方向に進路を取ったため、多大の被害をもたらしたと語っている。また天満の桜道の踏み切り近くにあった 4～5 軒の家や青果市場が流され、同時に近くの線路も、もぎとられ、鉄道は不通になったと語っている。このことから那智中学校については現存しており、また那智中学校横にある円心寺の方に当時の状況についてヒアリングを行ったところ、中学校と寺の間にある道について津波が到達した位置を特定することができたため計測を行うこととした。測定した結果、4 m であることがわかった。



図 2-3-④-21 那智勝浦町天満における昭和東南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

#### 4) 昭和南海・東南海地震に関する津波碑の調査

和歌山県の沿岸部には、過去に発生した津波に関する津波碑が多く存在しており、その中には津波到達記録を示す津波碑がある。過去には和歌山県に現存する津波碑に

ついでに位置情報の調査は行ったものがあるが、津波到達記録の碑石が示す高さについては未計測であった。したがって今回、昭和南海・東南海地震の津波到達記録を示している津波碑、全33箇所について再調査を行うこととした。以下、和歌山県西岸から反時計回りに実施した津波痕跡調査の成果を示す。

vii). 海南市

図2-3-④-22は海南市の海南駅前設置されている津波到達記録の碑石(2.8m)について再調査を行った結果を示す図である。



図2-3-④-22 海南市における昭和東南海地震の津波痕跡高。国土地理院図(電子国土Web)を加工。

viii). 由良町

図2-3-④-23は由良町の由良中央公民館前に設置されている津波到達記録の碑石(2.9m)について再調査を行った結果を示す図である。



図2-3-④-23 由良町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図(電子国土Web)を加工。



ix). 田辺市

図2-3-④-24は田辺市芳養を通る国道42号の芳養交差点に設置されてある津波到達記録の碑石(3.8m)について再調査を行った結果を示す図である。



図2-3-④-24 田辺市芳養町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図(電子国土Web)を加工。

図2-3-④-25は田辺市新庄町にある紀伊新庄駅前(2.3m)、北長町内会館前(4.2m)、および新庄町に設置されてある津波到達記録の碑石(2.2m)について再調査を行った結果を示す図である。



図2-3-④-25 田辺市新庄町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図(電子国土Web)を加工。

図2-3-④-26は田辺市新庄町跡之浦地区にある跡之浦児童公園の敷地内(2.8m)、および跡之浦会館前(4.4m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再調査を行った結果を示す図である。



図 2 - 3 - ④ - 2 6 田辺市新庄町跡之浦における昭和南海地震の津波痕跡高。  
 国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2 - 3 - ④ - 2 7 は田辺市新庄町内之浦地区にある山祇神社の階段脇(2.2m)、  
 および内之浦公民館敷地内(3.7m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再  
 調査を行った結果を示す図である。



図 2 - 3 - ④ - 2 7 田辺市新庄町内之浦における昭和南海地震の津波痕跡高。  
 国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

x). 白浜町

図 2-3-④-28 は白浜町の立ヶ谷会館前に設置されてある津波到達記録の碑石(2.5m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-28 白浜町立ヶ谷における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-29 は白浜町の綱不知地蔵堂境内前(2.2m)および綱不知公園内(2.4m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-29 白浜町綱不知における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-30 は白浜町才野にある才野会館に設置されてある津波到達記録の碑石(3.4m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-30 白浜町才野における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-31 は白浜町堅田にある細野会館に設置されてある津波到達記録の碑石(1.9m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-31 白浜町堅田における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-32 は白浜町富田を通る国道 42 号沿いの消防倉庫の横に設置されてある津波到達記録の碑石(3.3m)について再調査を行った結果を示す図である。

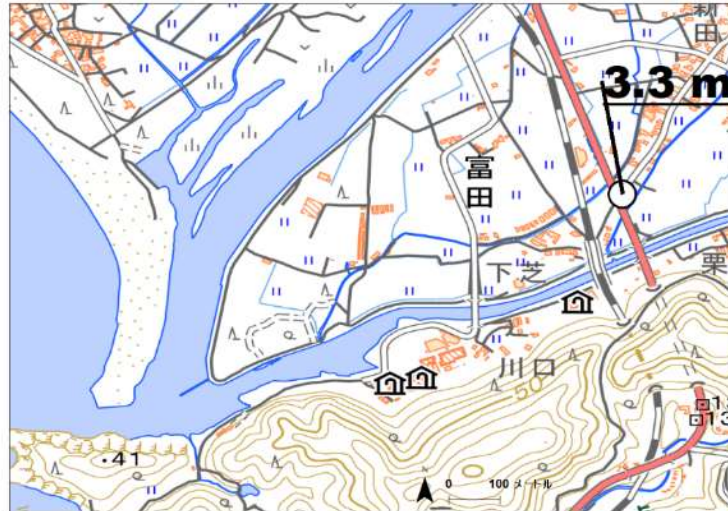


図 2-3-④-3 2 白浜町富田における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

xi). 串本町

図 2-3-④-3 3 は串本町和深の和深公民館前に設置されてある津波到達記録の碑石(6.8m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-3 3 串本町和深における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-3 4 は串本町安指の安指区民館前に設置されてある津波到達記録の碑石(5.4m)について再調査を行った結果を示す図である。

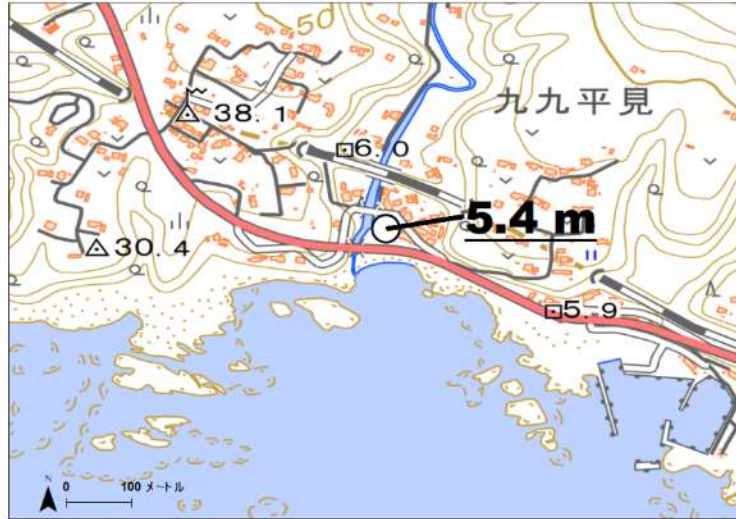


図 2-3-④-34 串本町安指における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-35 は串本町田子の田子区民会館敷地内に設置されてある津波到達記録の碑石(5.1m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-35 串本町田子における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-36 は串本町江田地区の告示板横に設置されてある津波到達記録の碑石(5.1m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-36 串本町江田における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-37 は串本町田並の円光寺石垣付近に設置されてある津波到達記録の碑石(3.5m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-37 串本町田並における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-38 は串本町有田の JR きのくに線紀伊有田駅付近に設置されてある津波到達記録の碑石(4.6m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-38 串本町有田における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-39 は串本町高富の釜郷原防火水槽付近に設置されてある津波到達記録の碑石(3.7m)について再調査を行った結果を示す図である。

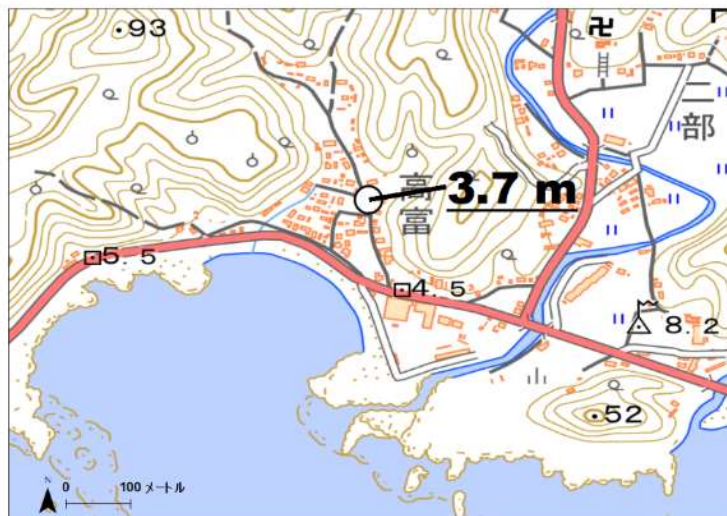


図 2-3-④-39 串本町高富における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-40 は串本町二色のにしき園踏切入口付近(6.4m)および二色町営住宅入口付近(3.5m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再調査を行った結果を示す図である。



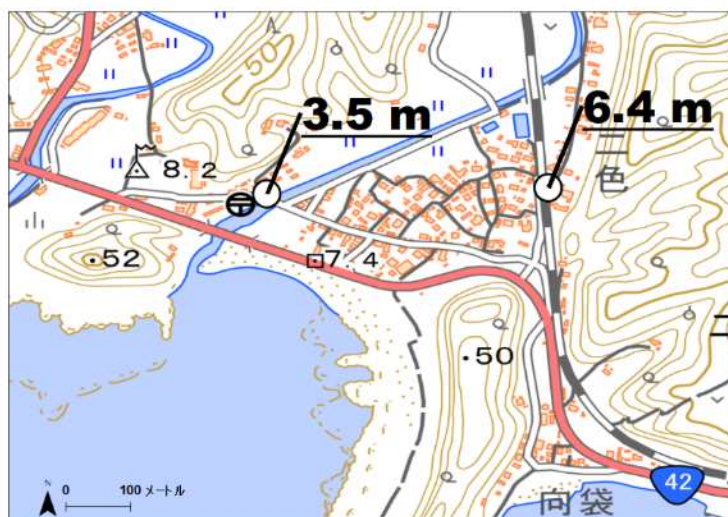


図 2-3-④-40 串本町二色における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-41 は串本町袋の袋バス停前に設置されてある津波到達記録の碑石(5.2m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-41 串本町袋における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-42 は串本町南の町道の電柱横(3.6m)および串本町堀の元警察官舎(4.5m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再調査を行った結果を示す図である。

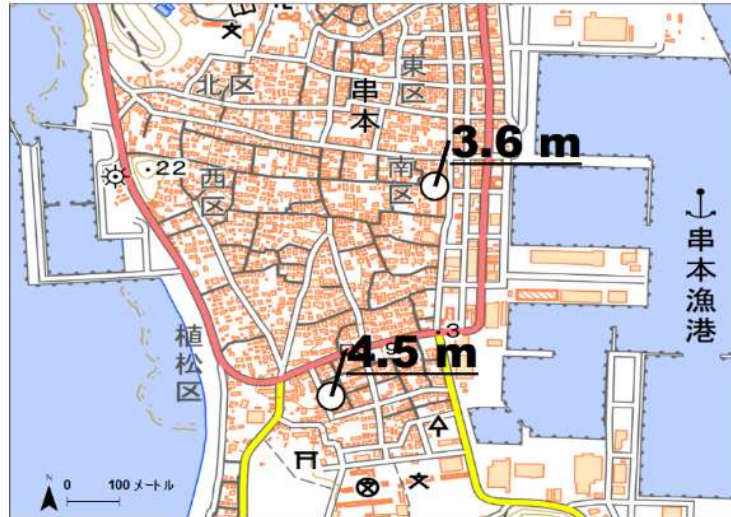


図 2-3-④-4 2 串本町南における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-4 3 は串本町大水崎の串本町総合運動公園大水崎踏切前の町道（4.4m）および串本町矢の熊に設置されてある津波到達記録の碑石（4.1m）について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-4 3 串本町大水崎における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-4 4 は串本町大島の個人所有の駐車場（3.9m）および大島漁協上にある町道（4.3m）に設置されてある津波到達記録の碑石について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-44 串本町大島における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-45 は串本町橋杭の JR きのくに線のガード下に設置されてある津波到達記録の碑石(3.6m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-45 串本町橋杭における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、静岡県西部において明応東海地震の津波痕跡評価に資する史料調査と北米西岸で観測された潮位波形から安政東海・南海地震の発生時間差の推定、体験談と津波碑に基づいた現地測量から昭和東南海・南海地震の津波痕跡調査を実施した。静岡県遠州沿岸においては、現在閲覧可能な史資料が現存している明応東海地震の全てであることが分かった。なお、明応東海地震以外の地殻変動や津波痕跡に関する史資料は、宝永地震で 8 点、安政東海地震で 17 点見出すことができた。これらは次年度以降に検討を進める予定である。その一方で、元島遺跡の膨大な発掘資料や元島遺跡近郊の太田川河岸

のトレンチから大規模な津波堆積物が見つかったことから今後はこのような遺跡資料も積極的に利用して、地震津波履歴情報の拡充を図っていく必要がある。北米西岸で観測された潮位波形から推定した安政東海・南海地震の津波励起時刻はそれぞれ12月23日0時30分頃、12月24日7時24分頃で、その発生時間差は30時間54分であった。これは歴史資料調査によるおよそ30時間とする結果と概ね整合することが分かった。昭和東南海・南海地震の津波痕跡高は1.3～6.8mで、県南ほど高くなる傾向にあることが分かった(図2-3-④-46)。また体験談から、津波は複数回にわたって押し寄せ、第2波が最も大きかったことが分かった。令和二年度は津波到達地点が特定できる記述のみを抽出したが、地震動の有感記録のみを記述した史料もあるため今後さらなる調査が必要になる可能性がある。

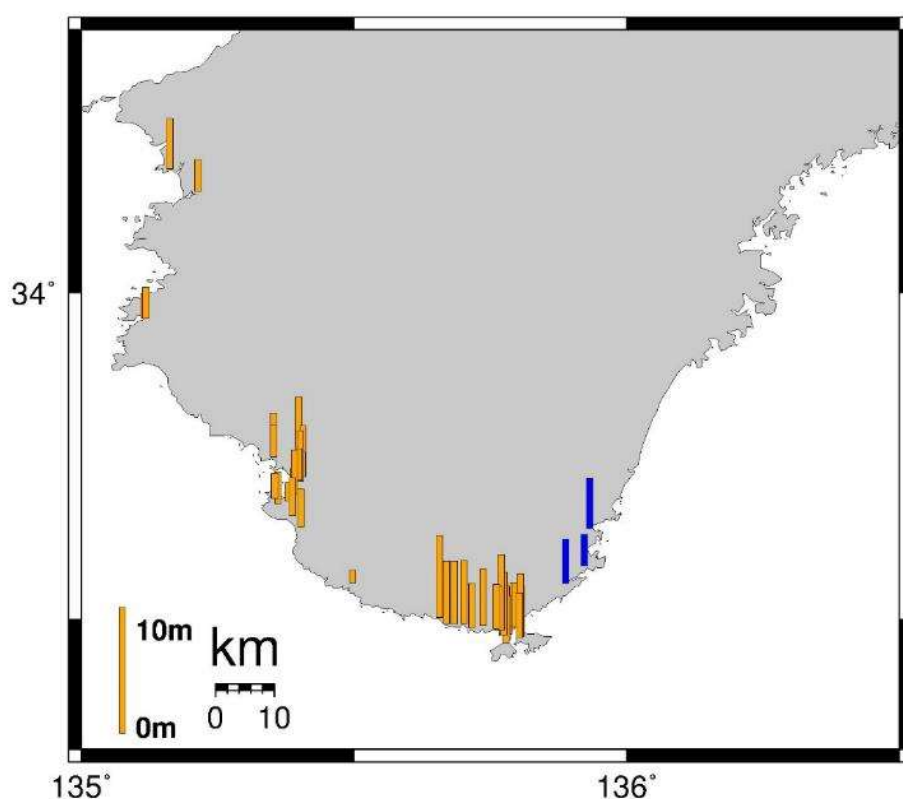


図2-3-④-46 昭和東南海・南海地震津波の痕跡調査全体図。昭和南海地震津波に関する高さはオレンジ色で示し、昭和東南海地震津波に関する高さは青色で示す。

(d) 引用文献

- 1) Allgeyer, S. and Cummins, P.: Numerical tsunami simulation including elastic loading and seawater density stratification, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 41, pp.2368-2375, 2014.
- 2) 安中正, 稲垣和男, 田中寛好, 柳沢賢: 津波数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴、土木学会地震工学論文集 (CD-ROM) .
- 3) Baba, T., Allgeyer, S., Hossen, J., Cummins, P. R., Tsushima, H., Imai, K., Ymashita, K. and Kato, T.: Accurate numerical simulation of the far-field

- tsunami caused by the 2011 Tohoku earthquake, including the effects of Boussinesq dispersion, seawater density stratification, elastic loading, and gravitational potential change, *Ocean Model*, Vol. 111, pp.46-54, 2017.
- 4) Bache, A. D.: Notice of earthquake waves on the western coast of the United States, on the 23rd and 25rd of December, 1854, *Am. J. Sci. Arts*, Vol. 21, pp.37-43, 1856.
  - 5) 中央防災会議: 1854 安政東海地震・安政南海地震報告書, 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会, pp.1-133, 2005
  - 6) Fujiwara, O., Aoshima, A., Irizuki, T., Ono, E., Obrochta, S. P., Sampei, Y., Sato, Y. and Takahashi, A.: Tsunami deposits refine great earthquake rupture extent and recurrence over the past 1300 years along the Nankai and Tokai fault segments of the Nankai Trough, Japan, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 227, 105999, 2020.
  - 7) Imai, K., Satake, K. and Furumura, T.: Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough, *Earth Planets Science*, Vol. 62, pp.427-432, 2010.
  - 8) 今井健太郎, 菅原大助, 高橋智幸, 岩間俊二, 田中仁: 2011 年東北津波における北上川河口部の大規模洗掘・堆積に関する数値的検討, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 71, No. 2, pp.247-252, 2015.
  - 9) Ishibashi, K.: Status of historical seismology in Japan, *Ann. Geophys.*, Vol. 47, pp.339-368, 2004.
  - 10) 岩渕洋子, 杉野英治, 今村文彦, 都司嘉宣, 松岡祐也, 今井健太郎, 首藤伸夫: 信頼度を考慮した津波追跡データベースの構築, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 68, pp.1326-1330, 2012.
  - 11) 加藤理文, 永井久美男, 桃崎祐輔, 安間拓巳: 元島遺跡 I (遺稿編本文), *静岡県埋蔵文化調査研究所報*, Vol. 109, pp.346, 1998.
  - 12) 木村弘之: 明応地震と元島遺跡, *郷土誌磐南文化*, Vol. 40, pp.19-27, 2014.
  - 13) 熊谷博之: 浜名湖周辺での東海沖の大地震に伴う津波堆積物の調査, *地学雑誌*, Vol. 108, No. 4, pp.424-432, 1999.
  - 14) Kusumoto, S., Imai K., Obayashi R., Hori, T., Ho T-C., Uno, K., Tanioka, Y. and Satake, K.: Origin time of the 1854 Ansei-Tokai tsunami estimated from tide gauge records on the west coast of North America, *Seis. Res. Letts.*, Vol. 91, No.5, pp.2624-2630, 2020.
  - 15) 静岡県: 静岡県史別編 2, *自然災害誌*, pp.309-324, 1996.
  - 16) 大森房吉: 本邦大地震概説, *震災予防調査会報告*, No.68, pp.1-180, 1913.
  - 17) 高田圭太, 佐竹健治, 寒川旭, 下川浩一, 熊谷博之, 後藤健一, 原口強: 静岡県西部湖西市における遠州灘沿岸低地の津波堆積物調査 (速報), *活断層・古地震研究報告*, Vol. 2, pp.235-243, 2002.
  - 18) Torrence, C., and Compo, G.P.: A practical guide to wavelet analysis. *B. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, No. 1, pp.61-78, 1998.

- 19) 都司嘉宣, 矢沼隆, 細川和弘, 岡部隆宏, 堀池泰三, 小網汪世: 明応東海地震 (1498) による静岡県沿岸の津波被害、および浸水標高について, 津波工学研究報告, Vol. 30, pp.123-141, 2013.
- 20) 東京大学地震研究所: 新収日本地震史料, Vol. 1、pp.118, 1981.
- 21) 和歌山県: 災害文化の伝承 (東南海・南海地震体験談), <https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/bousai/taikendan/index.html>, 参照 2021 年 3 月 31 日.

(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
1854年安政南海地震による高知県沿岸における津波痕跡高の再評価 (口頭)	今井健太郎, 都司嘉宣, 蝦名裕一, 柄本邦明, 大林涼子, 岩瀬浩之	歴史地震研究会	2020年9月27日	国内
遠地津波波形から推定される1854年安政東海・南海地震の津波励起時刻 (口頭)	楠本聡, 今井健太郎, 大林涼子, 高橋成実, 堀高峰	歴史地震研究会	2020年9月27日	国内
北米西岸で観測された1854年安政東海・南海地震津波 (口頭)	楠本聡	第10回巨大津波災害に関する合同研究集会	2020年12月18日	国内
北米西岸で観測された安政東海・南海地震津波の特徴 (ポスター)	楠本聡, 今井健太郎, 大林涼子, 高橋成実, 堀高峰	日本地震学会秋季大会	2020年10月31日	国内
Time Difference Between the 1854 Ansei-Tokai and Ansei-Nankai Earthquakes Estimated from Distant Tsunami Waveforms on West Coast of North America (ポスター)	Kusumoto, S., Imai, K., Obayashi, R., Takahashi, N., Hori, T.	AGU Fall Meeting 2020	2020年12月9日	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
古絵図に基づく安政東海 地震の浜名湖周辺におけ る津波浸水域の分析	蝦名裕一, 今井 健太郎, 大林涼 子, 柄本邦明, 都司嘉宣	歴史地震, 35	2020年9月	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## 2.4 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

### (1) 業務の内容

(a) 業務題目「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
京都大学防災研究所	教授	矢守克也
京都大学防災研究所	教授	牧 紀男
京都大学防災研究所	教授	畑山満則
京都大学防災研究所	准教授	大西正光
京都大学防災研究所	助教	中野元太
京都大学防災研究所	特定研究員	杉山高志
京都大学防災研究所	特定研究員	岡田（静間）夏美
京都大学防災研究所	研究員	朴 慧晶
京都大学防災研究所	教授	飯尾能久
京都大学防災研究所	技術補佐員	阪口光
京都大学防災研究所	技術補佐員	山岡孝子
京都大学防災研究所	教務補佐員	曾我部哲人
東北大学災害科学国際研究所	准教授	佐藤翔輔
関西大学社会安全学部	准教授	城下秀行
日本ミクニヤ株式会社	社員	金玖淑
明治大学理工学部	教授	山本俊哉
明治大学大学院理工学研究科建築	博士課程1年	酒井泰斉
明治大学理工学部	建築学科4年生	坪井稚津子
明治大学理工学部	建築学科4年生	生島知紗
明治大学理工学部	建築学科4年生	山崎なつみ
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
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程2年	縄田 諒
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程2年	池内天子
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程1年	熊谷東吾
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程1年	古賀涼花
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程1年	佐藤孝志
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程1年	島本智也
和歌山大学大学院システム工学研究科	博士課程1年	松葉理紗

(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し実装する。さらに、津波到達時間が短い地域で「逃げ地図」を基幹ルールとしたワークショップを実施し、両システムの実装と効果検証作業を行う。以上が本研究の主目的である。

具体的には、第1に、先行プロジェクト(戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第1期)(科学技術振興機構,2019)で津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」(逃げトレ開発チーム,2014)を、訓練のたびに住民の空間移動データを標準化された形式でビッグデータとして蓄積可能なシステムの形式で再編し、『事前避難要不要判断ツール』として社会に実装する。第2に、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および実装先として、高知県、和歌山県内を想定する。

#### (d) 5か年の年次実施計画

##### 1) 令和2年度:

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

第2に、「逃げ地図」については、テストフィールドとして和歌山県串本町を選択するとともに、同地域において「逃げ地図」ワークショップを試行し、避難困難区域に

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：

『事前避難要不要判断ツール』については、年度前半に、そのプロトタイプを完成させ、年度後半には、高知県内のテストフィールド（高知県黒潮町、四万十町、須崎市を想定）において、最初の実証実験を実施し、自治体関係者、自主防災組織関係者からフィードバックを得て、事前避難の要不要の判断に必要なとされる情報の精査を行い、それをもとにシステムの改良作業を行う。

「逃げ地図」については、改良されたワークショップをテストフィールド（和歌山県串本市）で継続的に実施し、避難困難区域にける事前避難のあり方について検討する。

3) 令和4年度：

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

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

4) 令和5年度：

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

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

5) 令和6年度：

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

(e) 令和2年度業務目的

業務目的は大きく2つに分かれる。第1が『事前避難要不要判断ツール』の開発、第2が、「逃げ地図」の開発と運用である（『広域人口動態予測システム』関係は令和5年度以降に着手予定）。

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することを主目的とした。

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方略について検討し、適切なリスクコミュニケーション・ツールを開発・整備することを目的とした。

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、データの形式を固めること、特に、従来の津波想定（内閣府想定 of L1、L2 想定、および、各自治体が発表している独自想定など）と差別化した上で、臨時情報が発表された場合に、もっとも確からしい想定としてどのような想定を選定するのが適当かについて検討することを目的とした。

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することを業務目的とした。具体的には、事前避難の要不要の判断において自治体が求める情報はどのようなものかについて、自治体関係者に聴き取り調査を実施し、あわせて、そうした情報を可視化してビジュアルに表現するための手法について検討することを研究目的とした。

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検討することを業務目的とした。具体的には、事前避難の判断に必要な個人情報（避難時の支援の必要性など）について、どのような形式で取得することが望ましいかについて検討することを研究目的とした。

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することを業務目的とした。また「逃げ地図」ワークショップを支援するために現システムを改良することを研究目的とした。

## (2) 令和2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』については、先行プロジェクト（SIP第1期）<sup>1)</sup>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方略について検討した。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)との連携のもと、想定の内容、データの形式などに関する事前協議を実施し、『事前避難要不要判断ツール』の基本構成を確定させた。さらに、現行の「逃げトレ」を『事前避難要不要判断ツール』とスムーズに接続するために必要な改修内容について検討し、避難時の支援の有無など必要な情報を入力する形のユーザ・インタフェースの改修案が確定した。

(b) 業務の成果

まず、①『事前避難要不要判断ツール』に関する検討について、研究全体を概観した図を提示する。

### ①事前避難要不要判断ツール



図2-4-①-1 研究①『事前避難要不要判断ツール』の概要

#### 1) 臨時情報に関する意識啓発と臨時情報発表時の津波想定と浸水シミュレーション

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

しかし、これらの内容は、本研究のテストフィールドとなる地域の住民を含め国民に十分理解されていないのが現状である。そのため、本情報に関する理解・認知度を正しく把握すること、および、それを向上させるための手法を探るための研究として、テストフィールドに簡易な防災ミュージアムを開設し、ワークショップや展示などの手法を用いたリスク・コミュニケーションの効果を検証する研究を実施した。

また、本研究のベースとして使用する津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」(図2-4-①-2)は、基本的に、こうした既存想定に対応してアプリが構築されているため、『事前避難要不要判断ツール』と「逃げトレ」を有効に接続するために、新たに、臨時情報発表時に想定される津波に関するシミュレーションを実施し、その結果を「逃げトレ」に組み込むことが必要とされる。

## 津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム  
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

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

最新の津波想定と自分の避難行動を同時にライブで可視化！

使用中のスマホ画面



敵を知り

己を知る

結果集約画面に避難の成否、所要時間、移動距離など表示



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

「津波到達まであと5分！」=カラーで切迫度表示



GOOD DESIGN AWARD 2018  
2018年グッドデザイン賞「金賞」受賞!

集団での避難訓練の場面もCGで再現!

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

開発: 京大・防災研 矢守研究室

福岡工業大学・特許第5737683号を使用

図2-4-①-2 津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の概要

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

R2年度は、この目的のため、臨時情報発表時に想定される津波シナリオのうち、どのシナリオに基づく津波浸水想定を「逃げトレ」に実装するのが望ましいのかに関して検討した。あわせて、「逃げトレ」システムとサブ課題2(g)で開発中の津波シミュレーションとを連携させるためのデータ形式の統一化といったテクニカルな課題についても詳細に検討した。

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

- ・ 津波到達時間が短い地域を対象とした津波遡上の試算を実施
- ・ 対象地域：高知県黒潮町、四万十町、須崎市など  
(サブサブテーマ「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」との連携を意識して、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」がすでに活用され、住民の移動データが得られている地域)

- ・ 内容：
  - 上記地域を対象とした最小10m計算格子の詳細地形データを構築



図：今年度の対象地域のイメージ  
黄色塗りつぶし部は707年宝永地震と同規模の震源域(ADm)を、色の濃淡は同地震を再現するために設定した大すべり域および背景領域を示す。

- 南海トラフ地震の時空間的な多様性を表現するため、地震本部の知見も活用した膨大な数の断層モデル群を用いて津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションし、津波のハザード情報を創出する。
- 津波遡上計算を行うことで、海岸に襲来する津波を対象とした地震本部の知見のみでは得られない、津波による浸水域の拡がり、浸水深を、南海トラフ地震の多様性モデルごとに示すことが可能となる。
- 得られた計算結果は、サブサブテーマ「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」における事前避難の要不要の診断ツールの開発・実装における利活用を想定している。

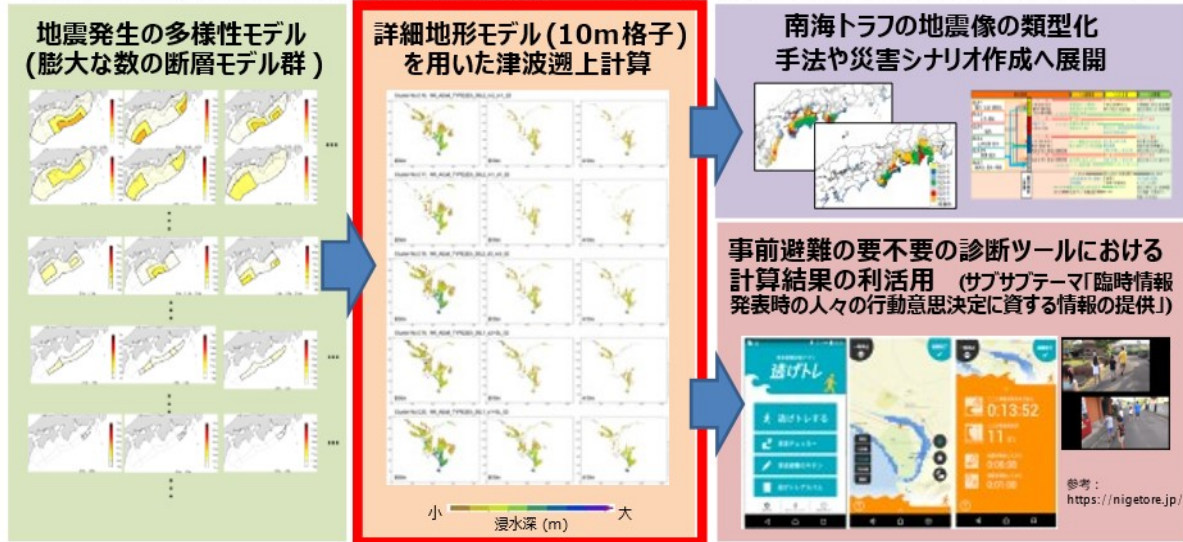


図 2-4-①-4 臨時情報発表時に想定される津波のシミュレーション  
(開発と実装イメージ)

2) 『事前避難要不要判断ツール』の構築 (基本構成の確定)

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

表 2-4-①-1 R2 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2年8月24日	7人	今年度の業務内容についての協議と防災科学技術研究所との打ち合わせ内容の共有
令和2年9月15日	7人	事前避難要不要システムそのものの構成・デザイン、事前避難要不要システムを前提にした時に必要となる「逃

		げトレ」本体の改修についての協議
令和2年9月29日	7人	追加取得すべき情報や事前避難要不要ツールに必要な情報についての協議
令和2年10月26日	7人	逃げトレの「判断ツール」の方向性や逃げトレのUIの改善方針についての協議
令和2年11月26日	7人	アプリの画面遷移、マップの可視化方法、ワークショップ方法についての協議
令和2年12月22日	7人	アプリの画面遷移、マップの可視化方法、プロジェクトの全体像についての協議
令和3年1月22日	7人	アプリの画面遷移、マップの可視化方法、プロジェクトの全体像についての協議
令和3年2月25日	7人	アプリの画面遷移、マップの可視化方法、プロジェクトの全体像、カスタマーリサーチの計画についての協議

表2-4-①-2 自治体関係者への聴き取りの概要

日時	参加人数	聞き取り対象自治体	聞き取りアジェンダ
令和2年11月27日	2人	高知県・黒潮町	臨時情報対応として行政側が知りたい情報や逃げトレを通じて取得したい情報についての聞き取り
令和2年12月3日	3人	高知県・四万十町	臨時情報対応についての行政側の課題を確認し、事前避難分析ツールに対する要望についての聞き取り
令和2年12月7日	4人	大阪府・堺市	臨時情報対応についての行政側の課題を確認し、事前避難分析ツールに対する要望についての聞き取り
令和2年12月15日	2人	高知県・東洋町	臨時情報の対応策を検討する上で課題に感じていることや臨時情報についての計画を策定する上で行政として知りたい情報、事前避難分析ツールに対する要望についての聞き取り

まず、第1の成果の概要は、図2-4-①-5から図2-4-①-7に示した通りである。具体的には、主に個人ユーザによる個人使用を原則としていた「逃げトレ」アプリを発展させ、アプリ使用によって収集される大量の避難行動データを集合データ（ビッグデ



ータ)として再構成するデータベースシステムをシステムの中核として設定した。そこから派生したコンテンツとして、一つには、専門家や自治体関係者など限定されたユーザのみが参照できる分析・可視化ツールとして「逃げトレダッシュボード」を構築した。さらに、もう一つのコンテンツとして、一般住民等も自由に参照できるツール「逃げトレWEB」を構築するという全体構想を固めた。

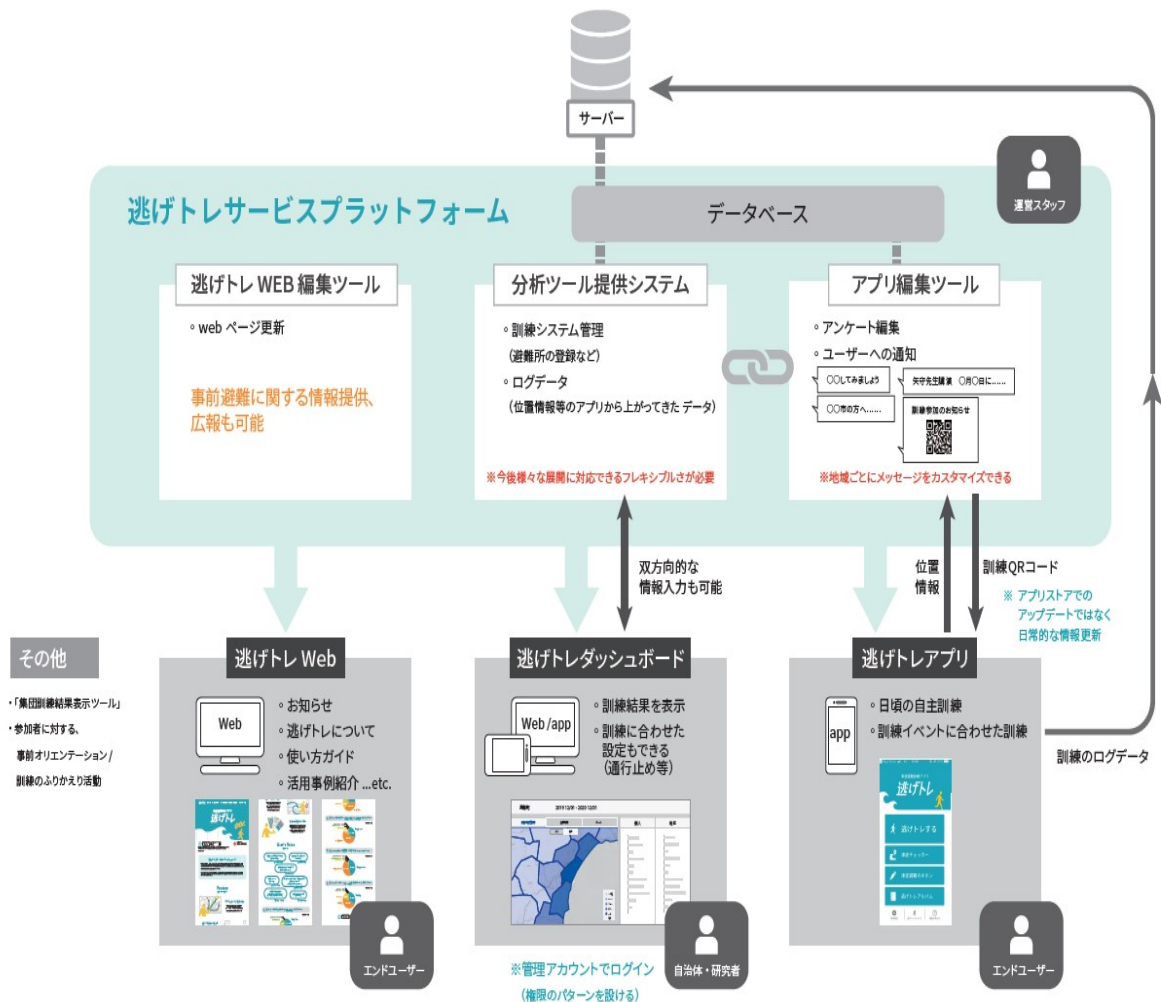


図 2 - 4 - ① - 5 『事前避難要不要判断ツール』の全体像①

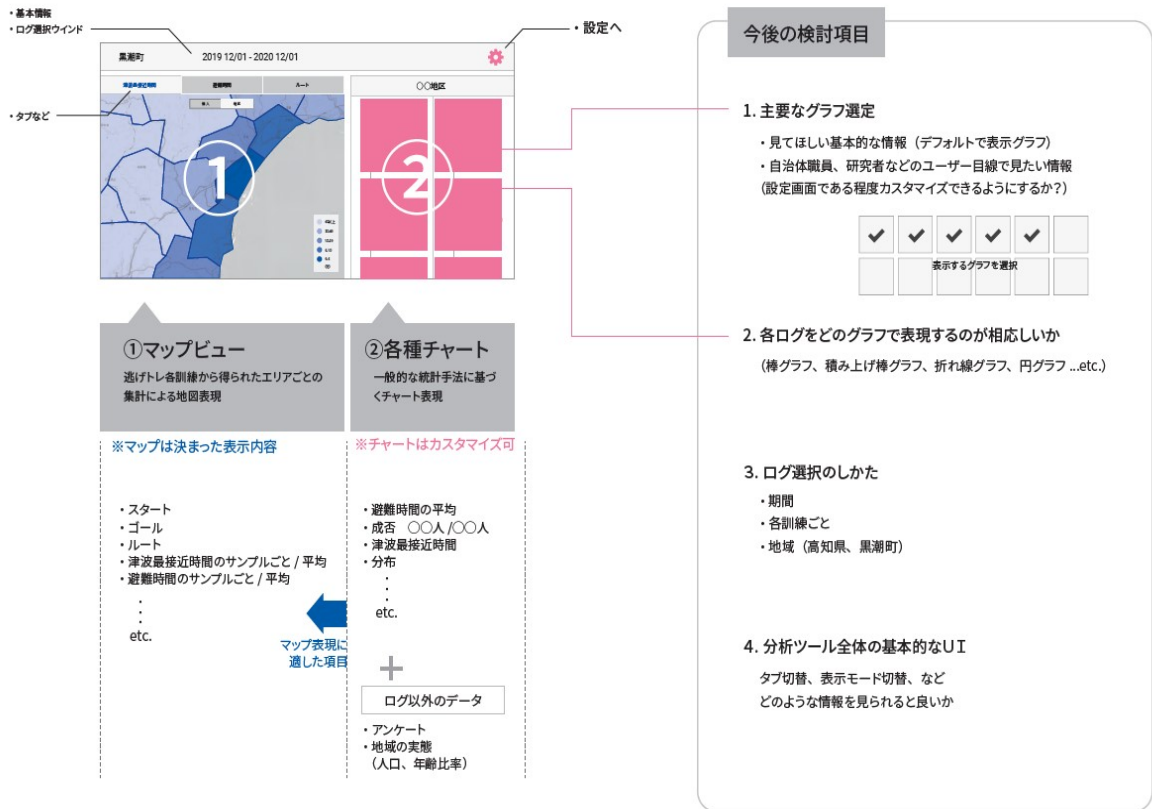


図 2-4-①-6 『事前避難要不要判断ツール』の全体像②

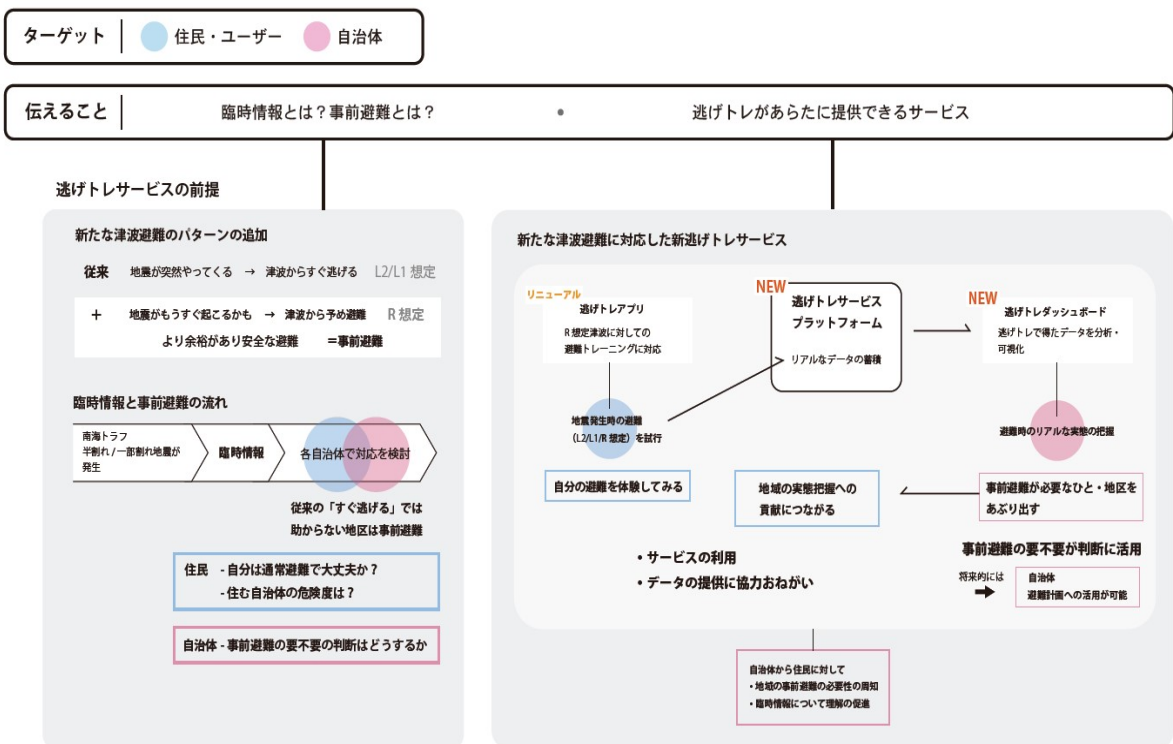


図 2-4-①-7 『事前避難要不要判断ツール』の全体像③

次に、第2の成果の概要は、図2-4-①-8に示した通りである。具体的には、高知県黒潮町入野地区をテストフィールド（事例）とした本図に示した通り、「逃げトレ」による避難訓練結果に基づいて（各個人の結果はポイントで示されている）、地区ごとに、その地区から避難した人について、一定の基準に従って（たとえば、80%以上が避難成功、50%以上が成功、それ以下など）、地区ごとの避難困難度を診断（本事例の場合、3段階（赤、黄、緑評価））するためのシステムを、一次プロトタイプとして構築した。あわせて、例示図の右コラムに示されている通り、より詳しい情報（避難成功率、避難所要時間、平均移動距離等）を地区ごとに可視化して表示するシステムもプロトタイプに組み込んだ。

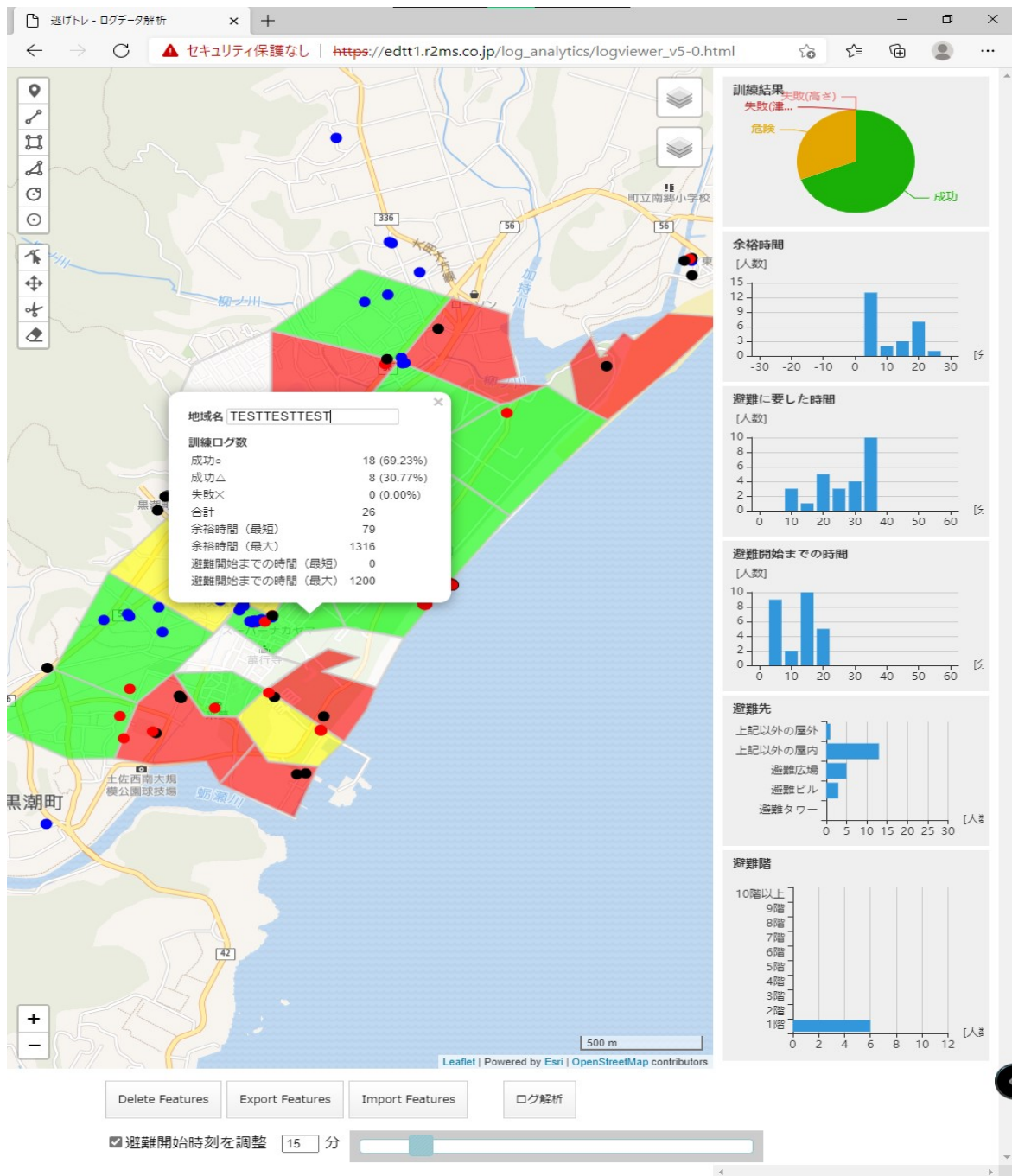


図2-4-①-8 『事前避難要不要判断ツール』のメイン結果表示図（プロトタイプ）

### 3) 「逃げトレ」の改修

本項目は、上述の成果1と成果2に続く、R2年度における第3の成果と位置づけられる。「逃げトレ」は、もともと、個人ユーザを対象に、個人として自らの津波避難上の課題を自ら主体的にかつ個人的に検証するためのツールとして開発したものである。そのため、現行システムにおいては、事前避難の必要性の有無について集合的に（地域単位で）検証するための情報を収集することは考慮されていない。

しかし、『事前避難の要不要診断ツール』の構築にあたっては、いくつかの個人属性情報を把握しておくことが必要不可欠となる。たとえば、年齢や性別といったデモグラフィック要因に加えて、重要でありつつ慎重な取り扱いが求められる情報として、近隣住民や家族による避難支援の必要性の有無に関する情報がある。この情報について、アプリ上で取得するのか、またその場合、どのような画面遷移での取得が望ましいのか、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・可否について検討し、現時点でもっとも望ましいと思われる方法を数件同定した。来年度以降、これらの手法について実証実験を通して比較検討し、どの手法がシステム構築上も、また個人情報の取得上および管理上望ましいのかについて、さらに検討を進める。

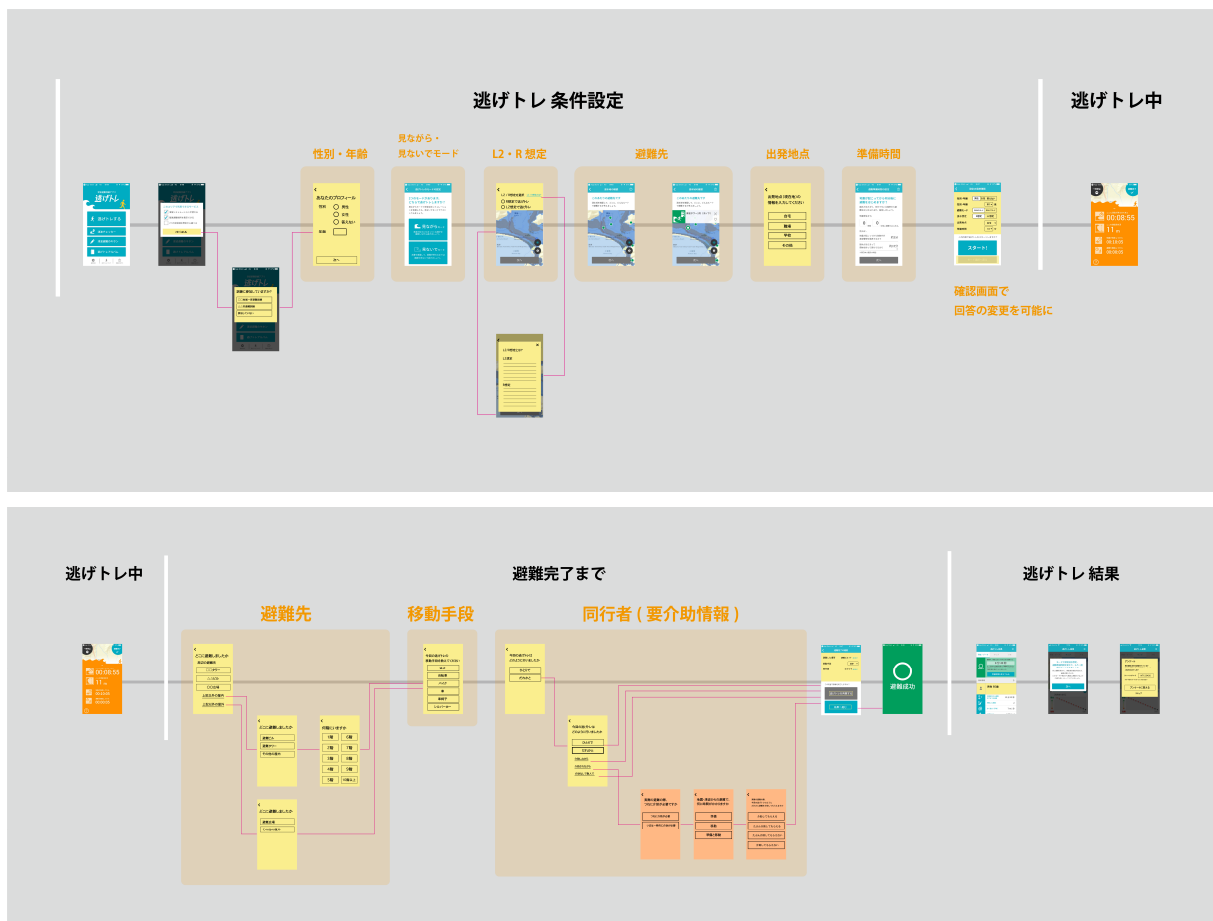


図2-4-①-9 新「逃げトレ」システムにおける画面遷移案

#### 4) 「臨時情報」に関する理解と認知度の向上のためのアクションリサーチ

以上に述べてきた本研究課題における基幹ツール『事前避難の要不要診断ツール』の開発、および、その効率的な運用にとって、その前提となる「臨時情報」に関する社会的な認知や理解が依然低水準にとどまっている現状は、非常に大きな障害となる。そのため、本研究のメインフィールドとなる地域（高知県四万十町や黒潮町）において、地域住民や自治体職員に「臨時情報」に対する認知度・理解度を向上させることは、本研究にとって喫緊の課題となっている。

以上を踏まえて、第1に、テストフィールドの一つとなる四万十町興津地区（中学校校舎の一角）に、新たに簡易な防災ミュージアムを開設し、「臨時情報」を含む地震リスク情報に対する認知や知識を高めるためのアウトリーチ活動拠点とした（図2-4-①-10を参照）。その上で、この拠点を中心に、「臨時情報」に関する認知度・理解度を把握するための研究、および、それを向上させるための手法を探るための研究を実施した。その結果、ワークショップ、展示などのさまざまなアウトリーチ手法の効果について確認することができた。

第2に、一つには、「臨時情報」と関連する地震情報（たとえば、余震情報、日常の観測情報など）を効果的に活用するための防災教育について検討するため、もう一つには、広域避難戦略を検討するための基礎資料として、広域避難者の受入側になる可能性のある地域等、すなわち、「臨時情報」が直接発表されない地域に居住する人々の同情報に対する認知や理解についても、京都府および鳥取県で小規模ながら基礎調査を実施した。



図2-4-①-10 「臨時情報」の普及啓発拠点として開設した「興津ぼうさいミュージアム」（高知県四万十町）  
（左：展示ワークショップの様子、右：展示物の一例）

#### (c) 結論ならびに今後の課題

『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）<sup>1)</sup>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完了させた。このことをもって、本年度の達成目標は100%達成できたと自己評価している。

具体的には、まず、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)との連携のもと、想定の内容、データの形式などについて検討し、従来の津波想定（内閣

府想定 of L1、L2 想定、および、各自治体が発表している独自想定など)と差別化した上で、臨時情報が発表された場合に、もっとも確からしい想定としてどのような想定を選定するかについて当面の結論を得た。あわせて臨時情報の普及・啓発手法に関する研究も実施した。その上で、同想定を「逃げトレ」に実装する実務は、来年度 (R3 年度) 以降の課題となる。

次に、『事前避難要不要判断ツール』の基本構成、UI の概要についても検討を完了した。『事前避難の要不要診断ツール』を中心とした開発プロジェクト全体構想を確定し、さらに、事前避難の要不要の診断ツールのプロトタイプを作成できた。よって、この側面についても、本年度の目標は 100%達成されたと評価している。その上で、プロトタイプを実際のテストフィールドでテスト運用して改善を図る作業は、来年度 (R3 年度) 以降の課題となる。

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についても、事前避難の判断に必要な個人情報 (避難時の支援の必要性など) を適切に取得するための手法 (複数案) について検討した。その上で、それら複数案を実際のテストフィールドでテスト運用して改善を図る作業は、来年度 (R3 年度) 以降の課題となる。

#### (d) 引用文献

- 1) 科学技術振興機構：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 1 期「レジリエントな防災・減災機能の強化」(課題⑦：地域連携)

公式ホームページ [https://www.jst.go.jp/sip/k08\\_team7.html](https://www.jst.go.jp/sip/k08_team7.html)

#### (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
南トラ臨時情報：事前避難要不要診断システムの開発 (口頭発表)	矢守克也、杉山高志、卜部兼慎、西野隆博	日本災害情報学会・第 22 回学会大会 (オンライン)	令和 2 年 11 月 28 日	国内

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
津波避難訓練支援アプリで当事者本位の訓練を	矢守克也	水環境学会誌、43 (A) 11、393-396	令和 2 年 11 月	国内

Development and Social Implementation of Smartphone App Nige-Tore for Improving Tsunami Evacuation Drills: Synergistic Effects Between Commitment and Contingency	Yamori K., Sugiyama, T.	International Journal of Disaster Risk Science, 11(6), 751-761	令和2年12月	国外
Disasters without borders: The coronavirus pandemic, global climate change and the ascendancy of gradual onset disasters.	Yamori, K. & Goltz, J.	International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(6). [DOI:https://doi.org/10.3390/ijerph18063299]	令和3年1月	国外
「クロスロード」を用いた〈二者択一〉の克服—新型コロナウイルス感染症と南海トラフ地震の臨時情報対応をめぐる—	矢守克也・杉山高志	地区防災計画学会誌, 21	印刷中(令和3年8月刊行予定)	国内
学校閉校後も持続する学校—地域協働型防災活動フレームワーク—防災ミュージアムの設立と期待される効果—	岡田夏美・中野元太・原夕紀子・舟橋宗毅・矢守克也	地区防災計画学会誌, 21	印刷中(令和3年8月刊行予定)	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②避難困難区域での「避難を可能にする」まちづくり方策の検討

(a) 業務の要約

津波防災まちづくりのツールとして開発された「逃げ地図」を元に、その課題の検証・改善方法の抽出を行い、避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策を検討するための仕組みの構築を行う。本年度は、ケース・スタディー地域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」ワークショップの試行を行い、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について検討する余地があることを確認した。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。

(b) 業務の成果

震源域に近い地域においては津波到達までに安全な場所に避難することが困難な地域が存在する（「避難困難区域」）。確実に避難するためには道路整備・高台移転といったまちづくり事業が不可欠となる。現在、L1クラスの津波を対象に困難区域の解消が進められているが、L2クラスについては解消が困難な状況にある。避難できないと「あきらめてしまう」のではなく、不確実性もふまえた避難可能なまちづくりを進めていく必要がある。本研究では、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」を用い、その課題の検証・改善方法の抽出を行い、その成果をもとに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ことを目的としている。

上記の目的を達成するために本研究では、1) 津波到達時間が短く避難困難区域が存在する地区を対象に「逃げ地図」ワークショップを実施、「逃げ地図」の課題・改善方法の抽出、2) 「逃げ地図」の成果をもとに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の検討、3) 避難可能なまちづくりの検討支援ツールの開発、という3つの項目について検討を行う。本年度は1)、3) について検討を行い以下のような成果を得た。

1) ケース・スタディー地域の選定ならびに「逃げ地図」ワークショップの試行

ケース・スタディーを実施する地域の検討を行い、南海トラフ地震の震源域に近く地震発生から数分で津波が到達（津波高1 m）（図2-4-②-1）することが予想されている串本町串本地区を対象とすることとした。検討の実施にあたっては行政機関の協力が不可欠であることから串本町役場に依頼し快諾を得ている。



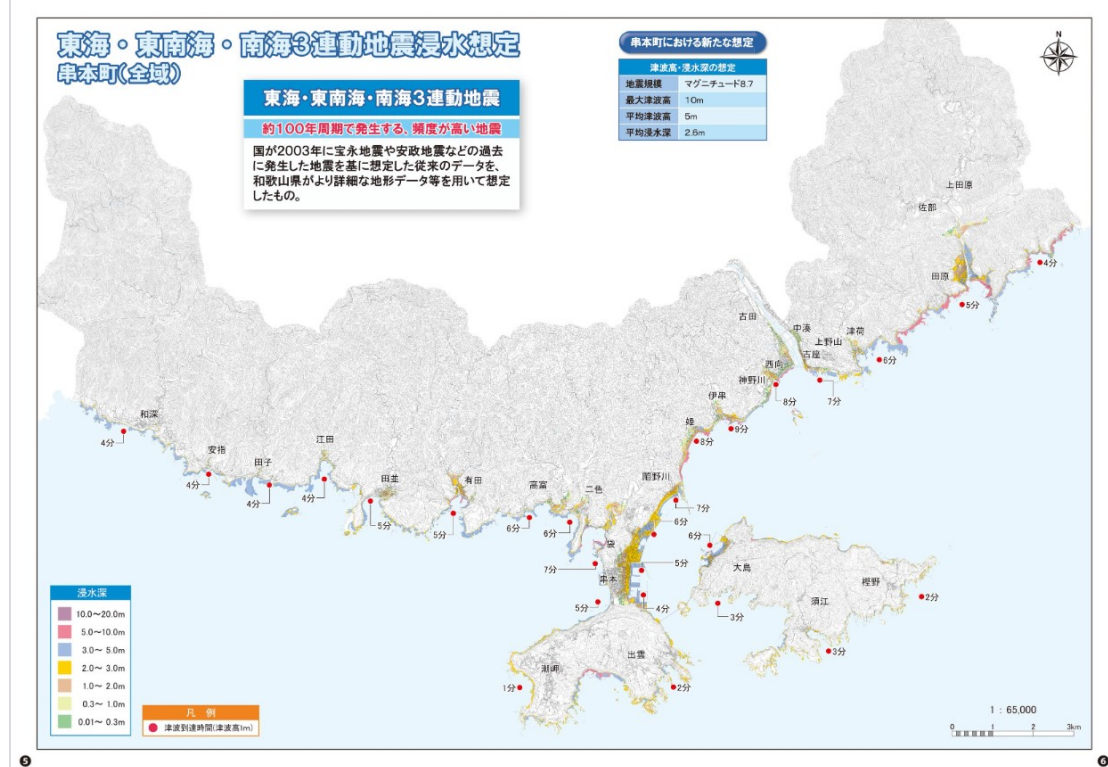


図 2-4-②-1 串本町の津波到達時間 (出展：串本町<sup>1)</sup>)

また、来年度以降の住民とのワークショップの試行として、役場職員を対象に「逃げ地区」ワークショップ<sup>2)</sup>を下記のように実施し、「逃げ地図」の避難可能なまちづくり方策の検討ツールとしての利用可能性、さらには串本町でのケース・スタディー実施可能性についての検討を行った。

日時：2020年11月24日(火)

場所：串本町役場

2時30分—2時35分 文部科学省「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」の概要

牧紀男(京都大学防災研究所)

2時35分—2時55分 「逃げ地図」づくりの趣旨と方法

山本俊哉(明治大学)

3時—4時15分 「逃げ地図」作成

コーディネーター：山本俊哉(明治大学) 1時間半

グループ1 揺れを感じたら避難を開始する。

グループ2 3分後に避難を開始する。

4時15分—4時30分 振り返り

参加者：10名(内訳：プロジェクト側5名、業務委託先1名、串本町役場4名)



図 2-4-②-2 「逃げ地図」ワークショップの実施風景



グループ 1



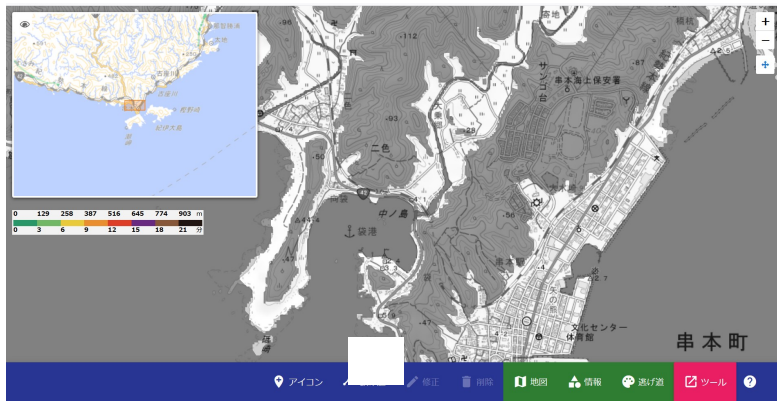
グループ 2

図 2-4-②-3 「逃げ地図」ワークショップの成果物

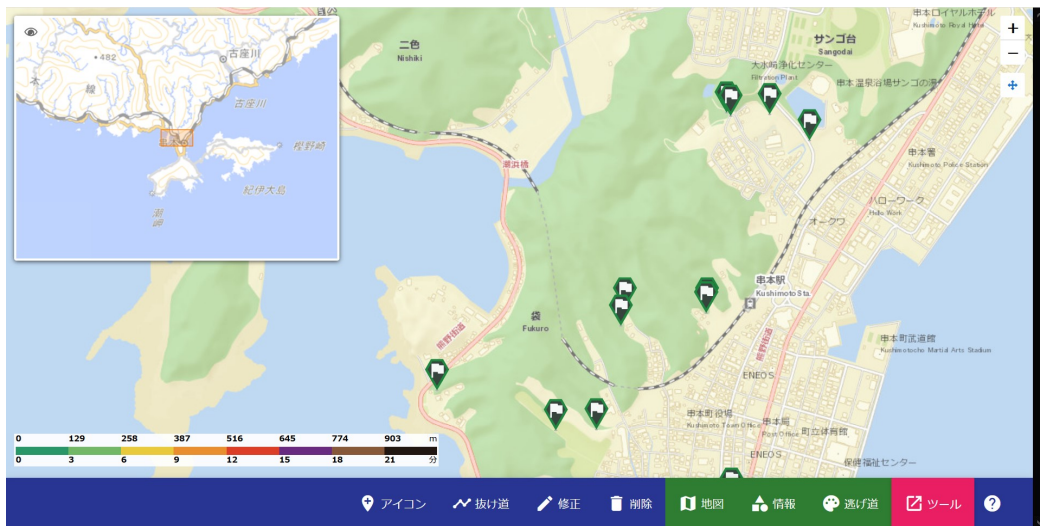
「逃げ地図」ワークショップを実施した結果、串本町は震源域に近く津波到達時間が非常に短い地域であるが、成果物から明らかなように緑の地域（3分以内に避難場所まで避難可能）が多く存在することが明らかになった。また串本駅に隣接するスーパーマーケットは現在、津波避難ビルとして指定されていないが、ワークショップの1チームは避難可能な場所として検討を行っており、津波避難ビルを追加することで避難ができる地域が大きく広がった。避難困難区域において避難を可能にするまちづくり方策について検討する余地が十分に残されていることが明らかになった。

### 3) 「逃げ地図」ワークショップを支援するシステムの改良

「逃げ地図」の成果を利用したシステム（「逃げシルベ」）<sup>3)</sup>の開発が和歌山大学で行われていた。しかしながら、ワークショップ実施支援を行う目的で作成されていない、避難開始時間・避難速度の変更ができない、といった課題があったため、本年度、ワークショップ支援が実施できるように以下の改良を実施した。また基礎データ作成のためにドローンの利用についての準備を行った。図 2-4-②-4 から図 2-4-②-5 に改良点を示す。



(浸水域あり白地図印刷ツール)



(避難到達点自動抽出)

図 2-4-②-4 ワークショップ開催支援



> 避難目標地点 i

周辺の津波浸水区域と道路の交差点を判定し、避難目標地点を設置します。実行に負担と時間がかかります。

図 2 - 4 - ② - 5 避難開始時間・避難速度変更ツール

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、ケース・スタディー地域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」ワークショップの試行を行い、「逃げ地図」の避難可能なまちづくりの検討を行うツールとしての妥当性の検討を行うとともに、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する余地があることを確認した。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い、どこの地域でも容易にワークショップの開催準備を行うことが可能となった。

本年度、住民ワークショップを実施する予定であったがコロナ禍のため実施できておらず、来年度以降、対面でのワークショップが可能な状況になれば、住民ワークショップを行い、具体的に避難可能なまちづくりの方向性についての検討を行っていく。

(d) 引用文献

- 1) 串本町：串本町津波ハザードマップ、pp. 5-6、2019
- 2) 逃げ地図づくりプロジェクトチーム：災害から命を守る 「逃げ地図」づくり、ぎょうせい、2019
- 3) 谷岡遼太、吉野孝、江種伸之：逃シルベ、逃げ地図制作 Web システムの開発、和歌山大学災害科学教育研究センター研究報告、Vol. 2、pp. 7-4、2018

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

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

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

## 2. 5 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」

(b) 担当者

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

(c) 業務の目的

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

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

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

2) 令和3年度：

産業タイムライン構築を目指し、製造業の特定業種における産業タイムラインを構築する。リアルタイム社会様相把握手法の開発を目指してスマートメーターなどのビッグデータ解析手法を開発する。事態想定シミュレーション手法の開発のため、特徴的な時間断面における事態想定シナリオを導出する。そのために、具体的な地域を想定し、停電情報、都市インフラのスマートメーターのビッグデータのデータ解析手法の開発に加え、地域産業活動の継続という観点からモニタリングデータ共有を試行する。イベントツリーを活用した臨時情報発表時の特徴的な時間断面における事態想定シナリオを試作する。地域研究で社会萎縮回避、早期回復のための安全情報を検討する。

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度：

事態想定シミュレーションの開発を目指し、産業タイムラインモデルとリアルタイム社会様相把握のためのビッグデータ活用による事前防災対策と事後対応の地域リス

ク低減効果を定量的に評価する。そのため情報発信研究でのフィードバックに基づき、リアルタイムでのモニタリングデータの社会への情報提供手法を検討し、事態想定シミュレーションによる地域の回復力評価を実施し、臨時情報発表時の産業活動の萎縮回避のための具体的な事前防災投資による対策技術を検討する。

5) 令和6年度：

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

(e) 令和2年度業務目的

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する。リアルタイムでの社会様相把握手法の開発を目指し、人流、物流のリアルタイム把握システムの調査を実施する。事態想定シミュレーション手法の構築のため、動的な被害予測手法を導出する。

そのために産業タイムラインの構成要素を定義し、構成要素データの収集、整備を行う。新型コロナウイルス COVID-19 による社会の活動委縮等を踏まえ、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する。ETA (Event Tree Analysis) などリスク評価による被害予測手法を開発する。地域におけるモニタリング情報共有の協働企画手法を探究する。

(2) 令和2年度の成果

①産業復旧タイムライン構築に向けた都市インフラデータ整備

(a) 業務の要約

産業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、産業関連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、産業関連構造のモデル構築のためのデータを整備した。

(b) 業務の実施方法

新型コロナウイルス COVID-19 による社会の活動委縮等が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、COVID-19 による社会萎縮に関する都市インフラデータの整備を行った。また、新型コロナウイルスによる産業への影響調査を実施した。



(c) 業務の成果

1) リアルタイム観測データを用いた産業活動の「萎縮」状態の想定

a) はじめに

臨時情報の対象地域における企業の対応については、現在もなお議論・検討が続けられているが、工場の操業停止や交通機関の運休等の措置が講じられることも考えられる。こうした産業活動の「萎縮」による影響が、サプライチェーンや人流の停滞を通じて、社会全体の萎縮に繋がることも容易に想像できる。

こうした萎縮による影響はGDPなど、経済活動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。しかしながら、社会の萎縮を予防、あるいは早期の解消を図る場合、リアルタイムで萎縮状態を把握しながら速やかに打ち手を講じることは重要である。本テーマでは産業や市民生活に関わりが深く、リアルタイムに観測されるデータに焦点を当て、これを通じて産業活動の萎縮状態をモニタリングすることを検討する。

今年度業務では①産業の状態を示すデータ、および②リアルタイムに観測されるデータについて整理する。また、②のデータを用いて①のデータをモニタリングするための、適切な分析手法についても探索する。

b) 産業の状態を示すデータの整理

産業の状態を示すデータとしては生産数(生産指数)、生産額(出荷指数)、販売額、利用者数等の産業活動や最終需要の動向を示すデータが挙げられる。あいちの統計(愛知県県民文化局県民生活部統計課)<sup>1)</sup>では、主要指標(人口、鉱工業、電気・ガス、建設、運輸、商業・貿易、労働・賃金、物価、家計、金融、経済、福祉、環境、警察・消防)の月別データが公表されている。

一例として、表2-5-①-1に2020年1月から11月までの鉱工業指数を抜粋する。2020年はどの業種でも、4月から8月の期間で大きく生産量が減少していたことが伺えるが、この時期は新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、様々な活動の「自粛」が生じていた時期と重なる(とりわけ生産指数の低い5月は、「新型コロナウイルス対策の特別措置法に基づく緊急事態宣言」が発せられていた時期にあたる)。こうした“コロナ禍”での事例は臨時情報とは異なるが、産業の萎縮をもたらす要因の一つと考えることができよう。

表 2-5-①-1 愛知県の鉱工業指数（生産指数）の一部抜粋

年月	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
2020年11月	105.3	105.4	105.5	106.6	98.7	103.1
10月	107.9	107.9	103.2	103.2	103.2	112.1
9月	105.0	105.0	99.6	99.8	98.7	100.8
8月	78.5	78.5	81.7	83.0	73.1	77.2
7月	91.8	91.8	79.3	78.1	87.3	94.0
6月	71.1	71.1	61.2	61.4	59.9	81.8
5月	59.6	59.6	61.2	62.3	54.8	65.2
4月	79.9	79.9	75.2	74.8	77.5	77.9
3月	108.1	108.1	101.1	101.6	98.1	96.1
2月	101.3	101.3	97.6	97.9	95.9	94.0
1月	100.7	100.8	94.4	94.6	92.8	96.0

一方、前項で述べた通り、こうした統計指標は事後的に観測されるものであり、社会の萎縮を即座に感知する目的では活用が難しい。

加えて、これらは月単位で集計されたデータである。同一月に産業の萎縮期間とそうでない期間が混在する場合、2つの期間が複合した値が観測されることになる（例えば2週間の萎縮期間における生産指数が「0.5」、その後2週間での同値が「1.0」だった場合、月単位の生産指数は「0.75」と算出される）。内閣府のガイドライン<sup>2)</sup>によると、南海トラフ地震臨時情報の発表後に当該地震が発生しなかった場合、およそ2週間程度で「通常的生活」に戻るシナリオが例示されている。月単位のデータではこのような事象における萎縮度が十分に表現されないことも懸念される。

次項では産業萎縮状態をモニタリングするためのデータについて検討するが、上記を踏まえて「リアルタイムに観測されるデータ」、「日単位等の、細かい期間のデータ」を可能な限り志向する。

#### c) 産業萎縮状態をモニタリングするためのデータの整理

産業に関連が深いデータとして代表的なものに、各種都市インフラのデータ（電力、都市ガス、水道等の消費量）が挙げられる（ただし、これらのデータの中には事業者が公開していないデータも含まれる。本項は全てのデータの入手可能性について、保証するものではない。）。これらのデータは、各インフラを運用する事業者毎に、リアルタイムで観測されていると考えられる。例えば、中部電力のホームページ<sup>3)</sup>では管内における当日の電力消費状況を、時間帯毎の変動の様子を含め閲覧することができる。

各種インフラと産業のつながりについては、愛知県の「年産業連関表」<sup>4)</sup>から確認できる。2015年に「都市ガス」から他の産業へ投入された財・サービスの合計額は

209,773百万円であったが、「自動車部品・同付属品(36,045百万円)」、「小売(19,586百万円)」、「飲食サービス(22,993百万円)」といった産業に対し、特に多くの投入がなされていたことがわかる。

統合小分類(186部門)		3421	3511	3521	3531
		電子計算機・同附属装置	乗用車	その他の自動車	自動車部品・同附属品
4621	都市ガス	46	7,818	1,648	36,045

統合小分類(186部門)		5111	5112	5311
		卸売	小売	金融
4621	都市ガス	3,127	19,586	229

統合小分類(186部門)		6632	6699	6711	6721
		機械修理	その他の対事業所サービス	宿泊業	飲食サービス
4621	都市ガス	2,223	4,118	2,701	22,993

図 2-5-①-1 都市ガス産業からの産出量が投入される主な産業

d) 想定する因果構造と分析手法の探索

冒頭でも述べた通り、本業務（次年度以降の検討も含む）では、リアルタイムに観測されている各インフラのデータを用いて、産業状態の指標について予測を試みる。

ここでは、図 2-5-①-2 のような因果構造を想定する。エネルギー消費量等のリアルタイム観測データは時々刻々と変動するが、その要因は様々である。気象条件や曜日、休日と平日の違いといった、産業の萎縮に直接関係しない要素が変動要因となりうる一方、臨時情報や「新型コロナウイルス対策の特別措置法に基づく緊急事態宣言」の発表といった、産業の萎縮に関係する要素によって変動することも考えられる（図 2-5-①-2 における、③と④）。

リアルタイム観測データは産業に投入される財やサービスの量を表すことから、その低下は生産指数等の、産業の状態を表す指標の低下を予期させる。ここでリアルタイム観測データの低下幅の内、産業の萎縮による部分（図 2-5-①-2 における、「④の影響力」）の大きさについて知ることができれば、それに伴う実際の産業萎縮の度合いについても大まかに把握できるものと想定できる。

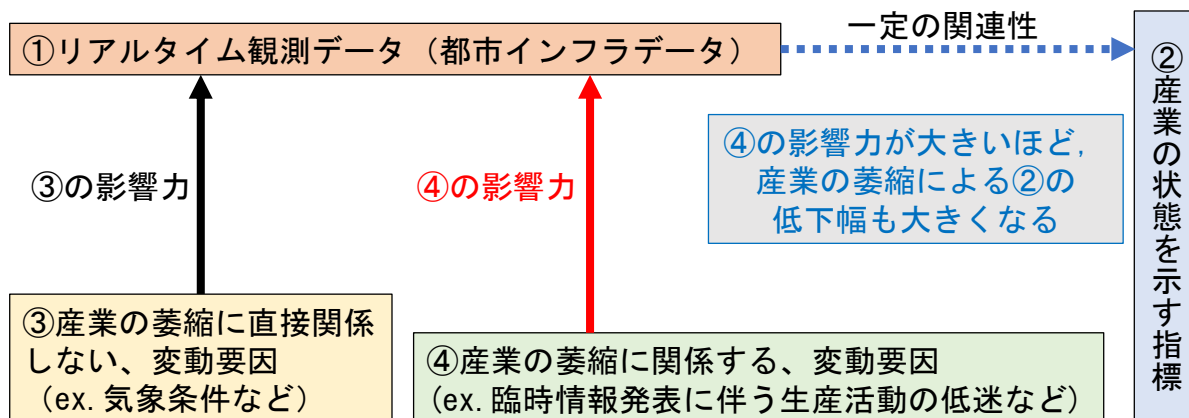


図 2-5-①-2 想定する因果構造

電力消費量をはじめとするリアルタイム観測データは、時間の流れとともに記録される「時系列データ」である。このようなデータの影響要因を分析する手法として、時系列データ分析が挙げられる。

時系列データ分析のイメージを図 2-5-①-3 に示す。例えば手元に、日単位の電力消費量データが十分な年数分、存在すると仮定する。電力消費量はその日の気象条件や曜日等に応じて変動していくが、ある時点で特異な変動要因（例えば、大規模な産業の萎縮）があった場合には、それまでの変動要因では説明できないような大きな幅の変動が表れる。時系列データ分析では、こうした変動量を評価することで、特異な要因の影響力について推計する。

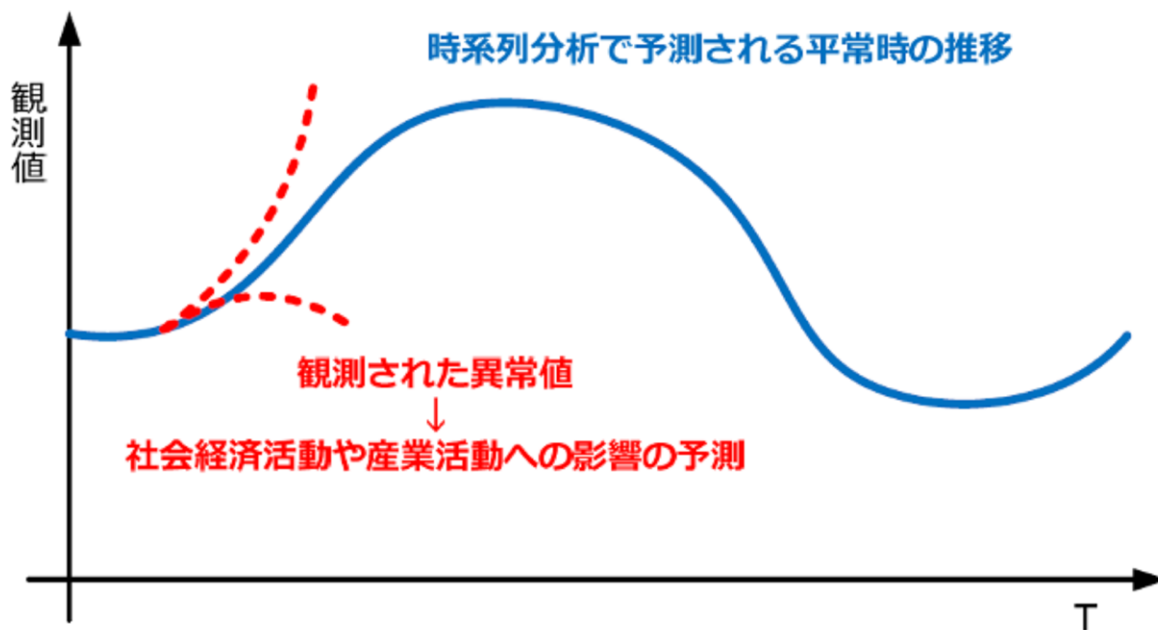


図 2-5-①-3 時系列データ分析イメージ

## 2) リアルタイム社会様相把握のための電力需要データ収集に関する調査・分析

### a) 概要

本検討は、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の開発を目的として、コロナ禍の電力需要データを収集・分析したものである。電力需要データについては、電力会社のホームページ「でんき予報」<sup>5)</sup>~<sup>14)</sup>で公開されるエリア需給実績データを用い、各電力会社の管轄エリアごとに収集・分析した。また、電力需要の変動は気象の影響を受けやすいため、気象変量として、気象庁のホームページ<sup>15)</sup>で公開されている各エリアの主要都市の気温を収集・分析に用いた。なお、期間は2018年~2020年の3年間を対象とした。

### b) データ収集・分析の結果

#### i) 日電力需要と気温の関係

日電力需要と気温の関係を図2-5-①-4に示す。北海道電力エリアでは、2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震による停電の影響が表れており、中部電力エリア他では、5月の大型連休や、8月の夏季休暇の電力需要の減少が表れている。また、冬季は気温が低いと、夏季は気温が高いと電力需要が増加する傾向が表れている。

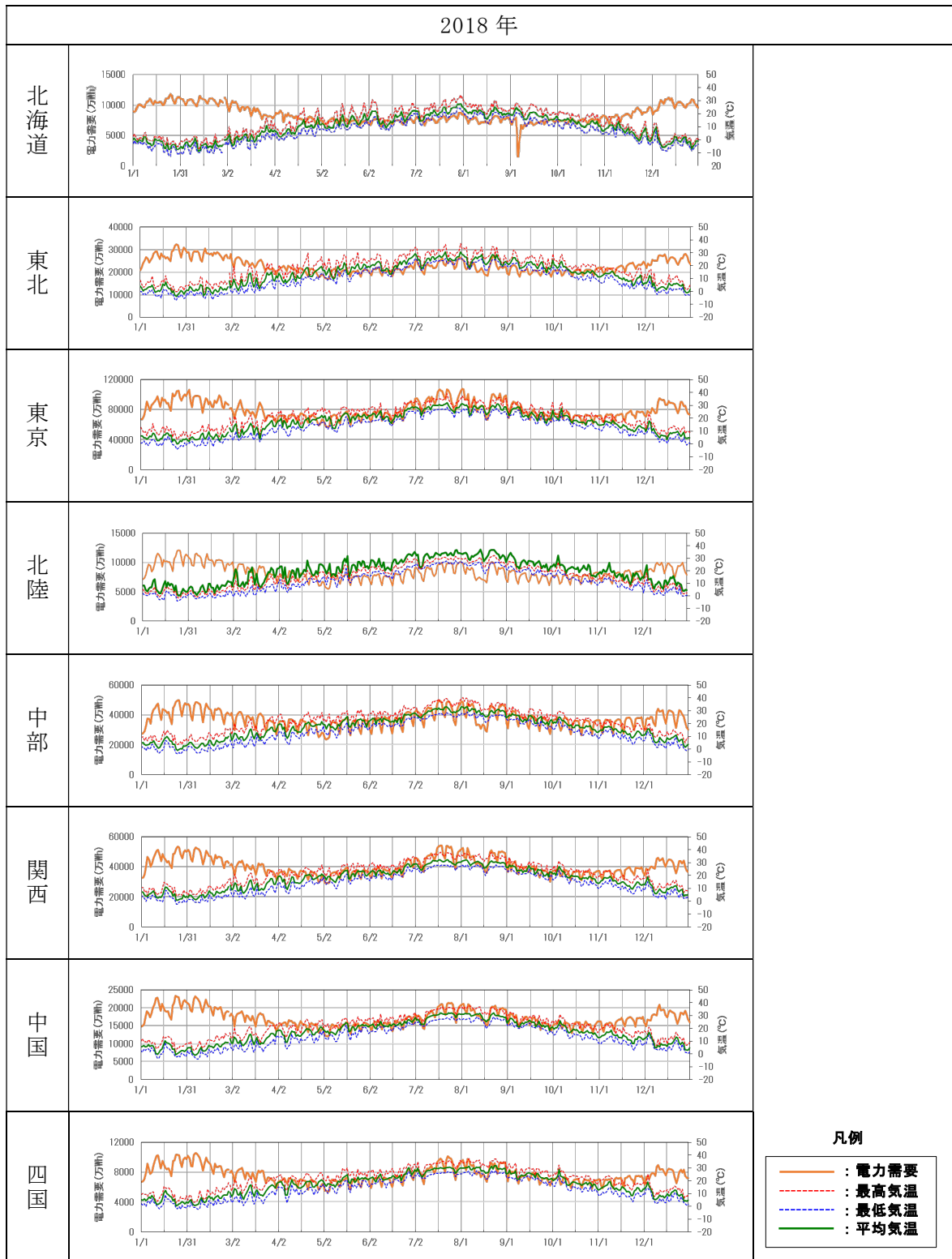


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (1) - 1

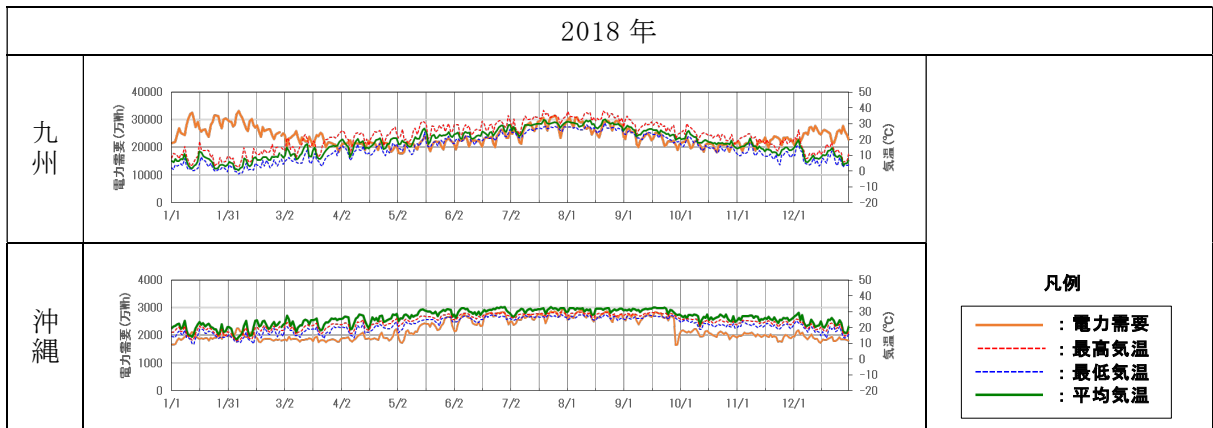


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (1) - 2

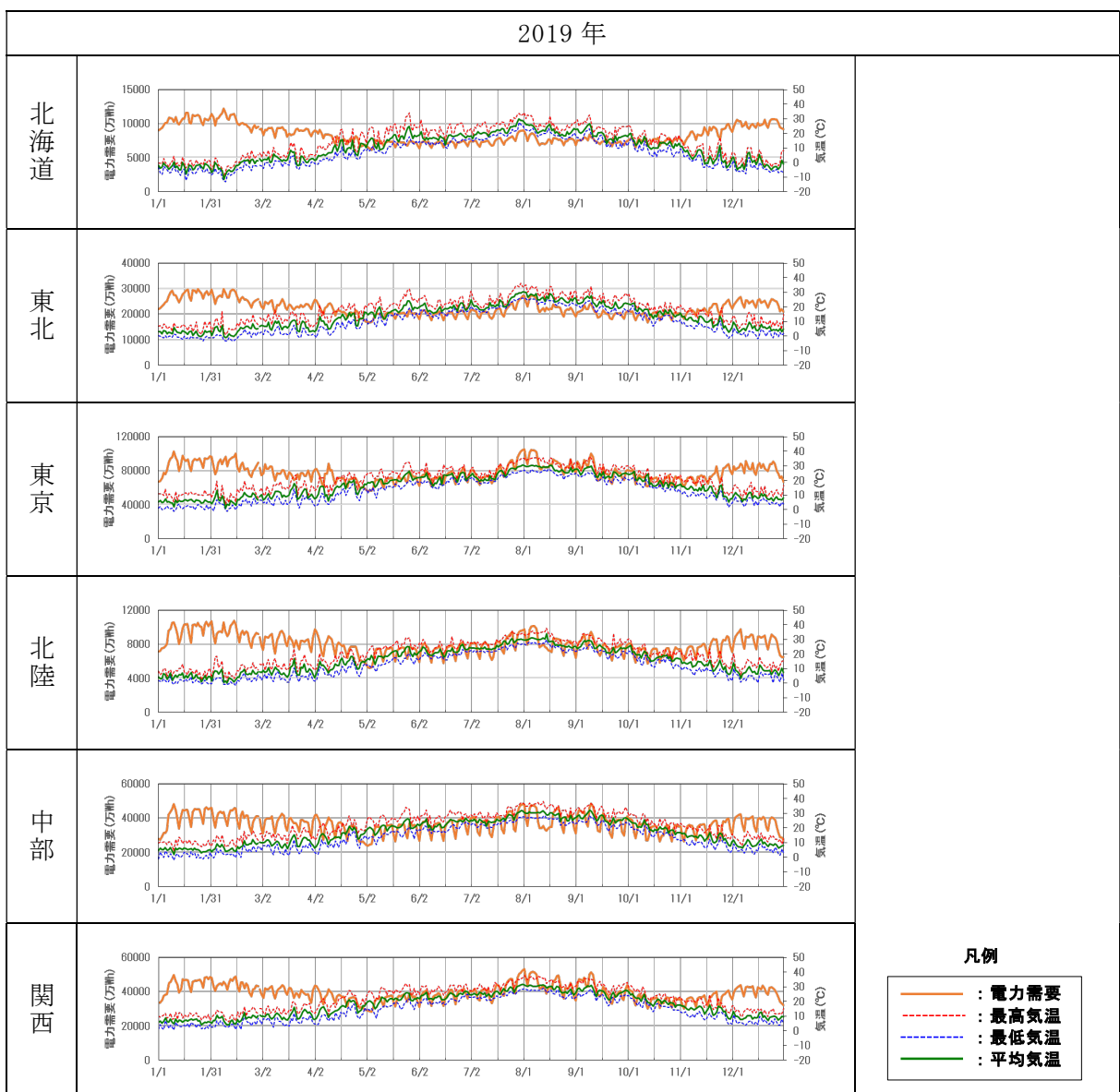


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (2) - 1

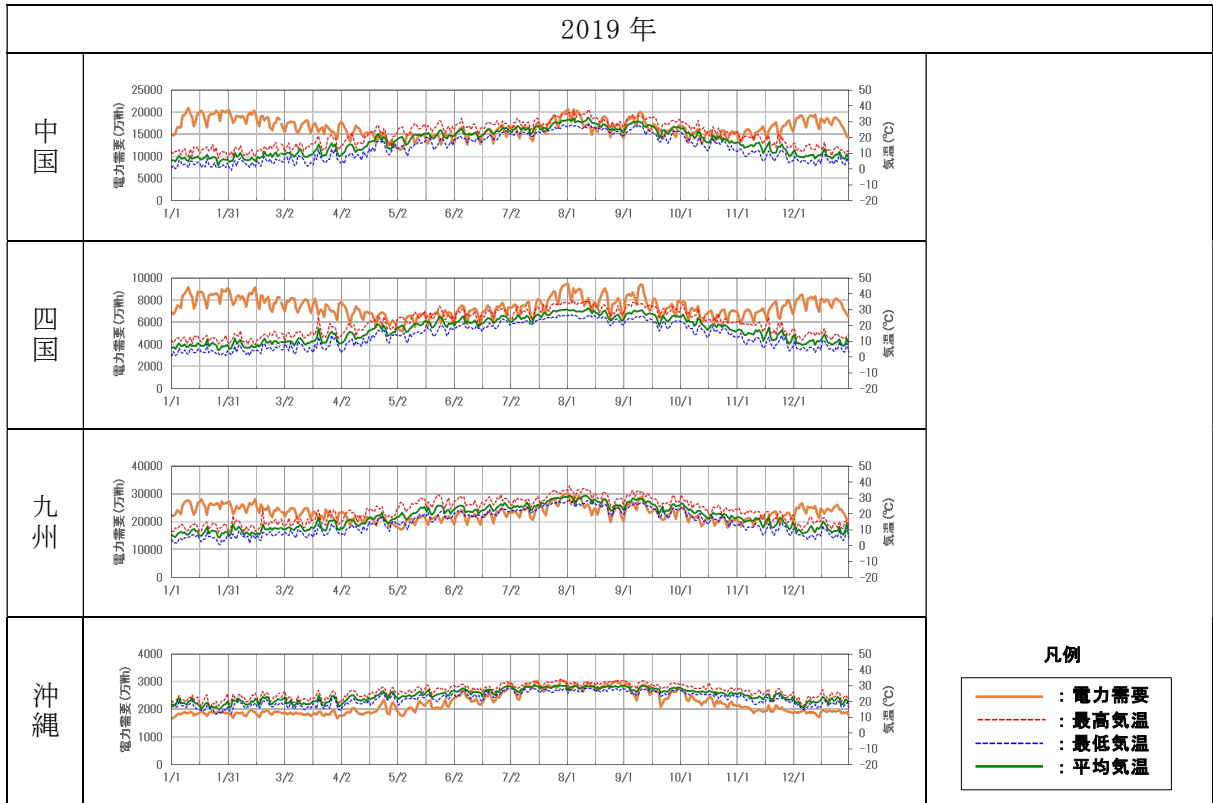


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (2) - 2

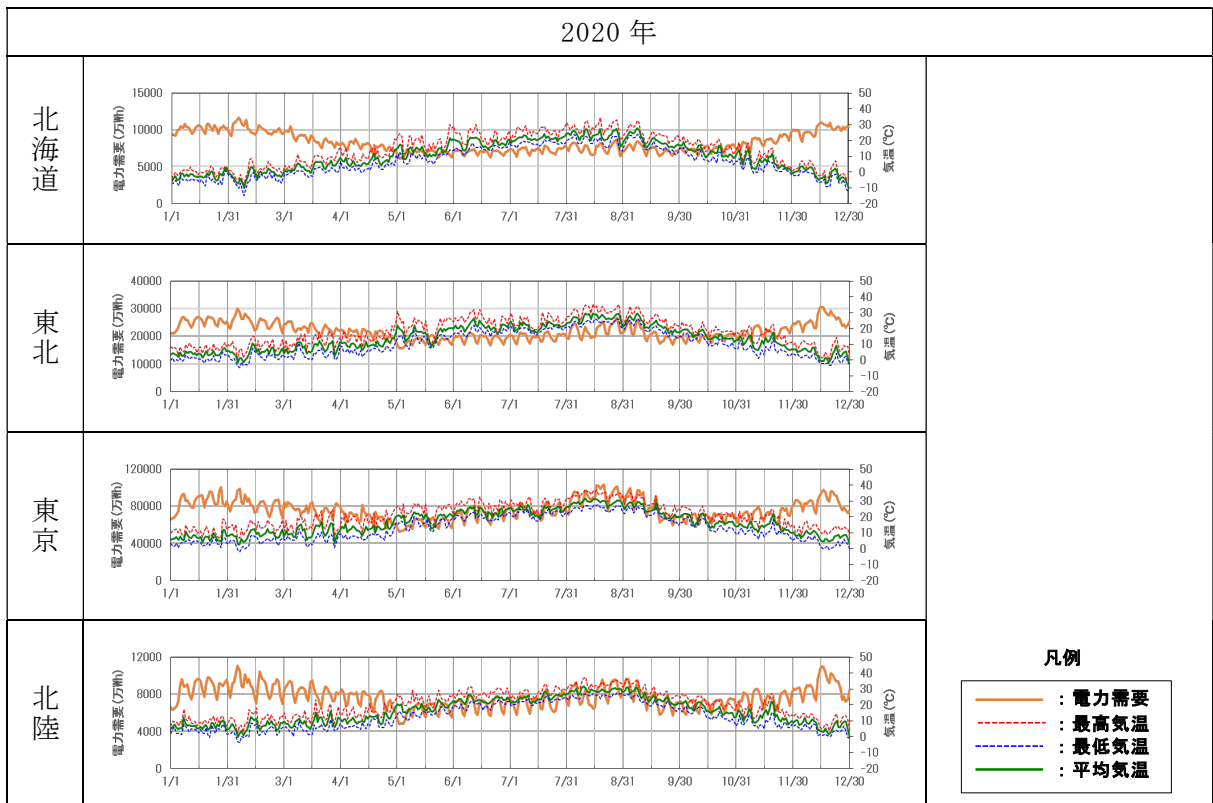


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (3) - 1



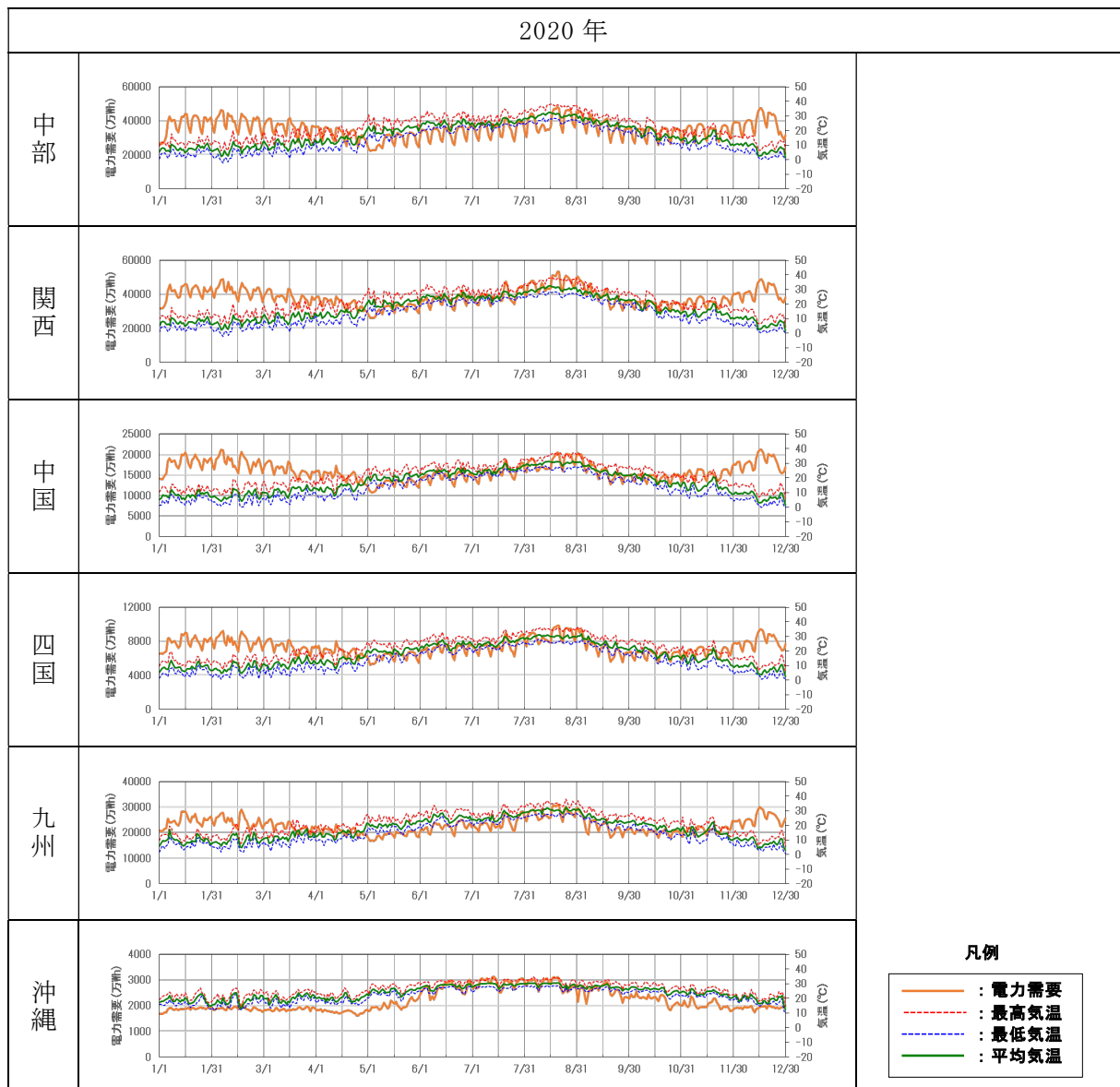


図 2-5-①-4 日電力需要と気温の関係 (3) - 2

ii) 2020年(コロナ禍)の電力需要と2018年～2019年の電力需要

コロナ禍の影響を受けたと考えられる2020年の電力需要について、2018年～2019年の電力需要と比較した。比較は、月ごとの日平均電力需要とし、2020年と、2018年～2019年の平均値を比較した。なお、気温についても合わせて比較した。

比較した結果を図2-5-①-5に示す。さらに、平日と、土日祝日に分別して比較した結果を図2-5-①-6～図2-5-①-7に示す。

比較の結果、中部電力エリアにおける2020年5月～6月の平日の電力需要が、2018年～2019年の平均値に対して顕著に小さくなっていることがわかる。

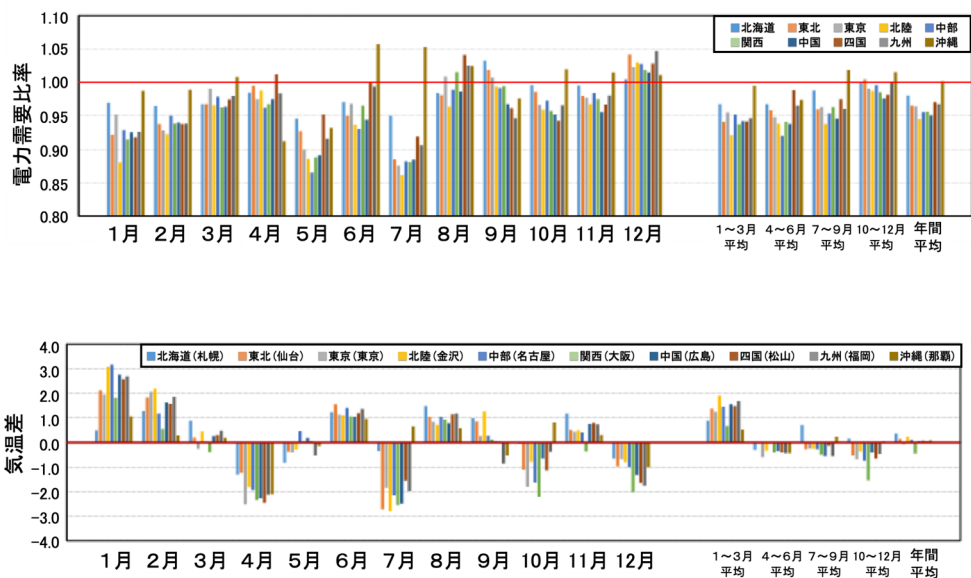


図 2-5-①-5 2020 年の電力需要と 2018 年、2019 年の電力需要および平均気温の比較

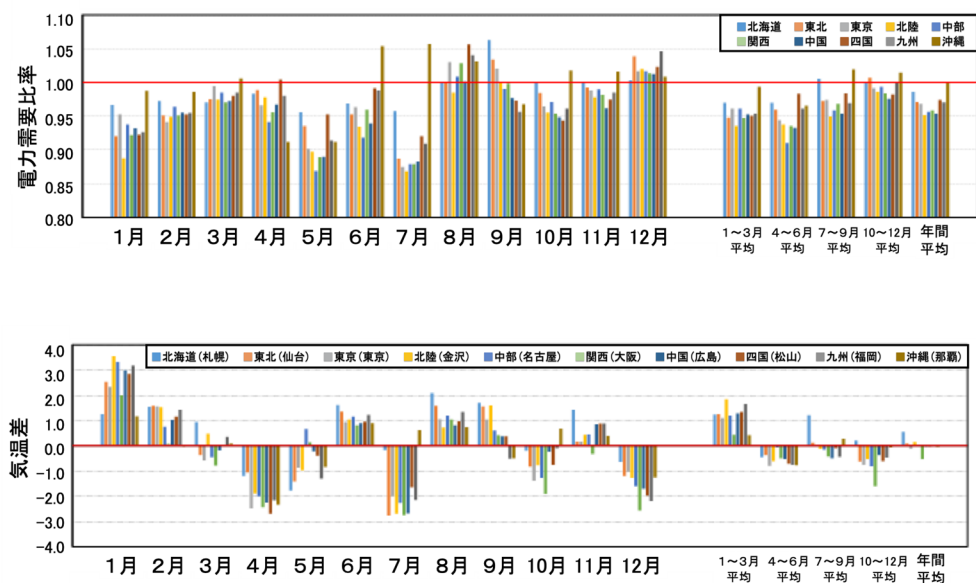


図 2-5-①-6 2020 年の電力需要と 2018 年、2019 年の電力需要および平均気温の比較 (平日)

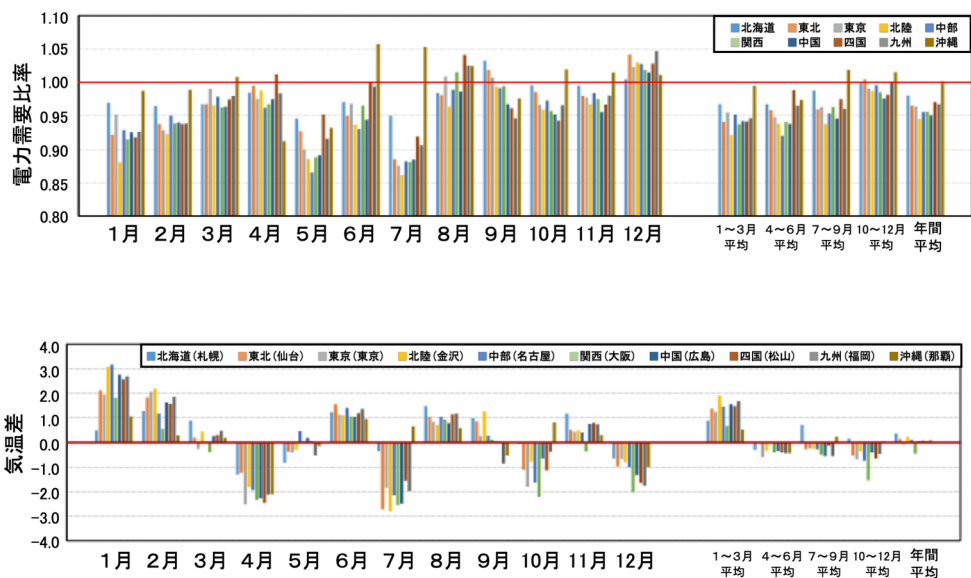


図 2-5-①-7 2020 年の電力需要と 2018 年、2019 年の電力需要および平均気温の比較（土日祝日）

c) 中部電力エリアの電力需要

i) 電力需要と気温の関係

前項では、電力需要と平均気温の関係を示した。本節では、平日と土日祝日を分別し、年毎に整理し、電力需要と平均気温の関係の近似式を図 2-5-①-8 に示す二次関数の標準形で整理した。整理した結果を表 2-5-①-2 に示す。電力需要と平均気温の関係の近似式を二次関数の標準形で表した時、各係数の示す意味は図 2-5-①-8 のとおりである。各電力エリアについてこの係数を整理・比較した結果、中部電力エリアは、土日祝日の電力需要は平日の 8 割程度となっており、他エリアに比べて顕著に小さいことがわかる。

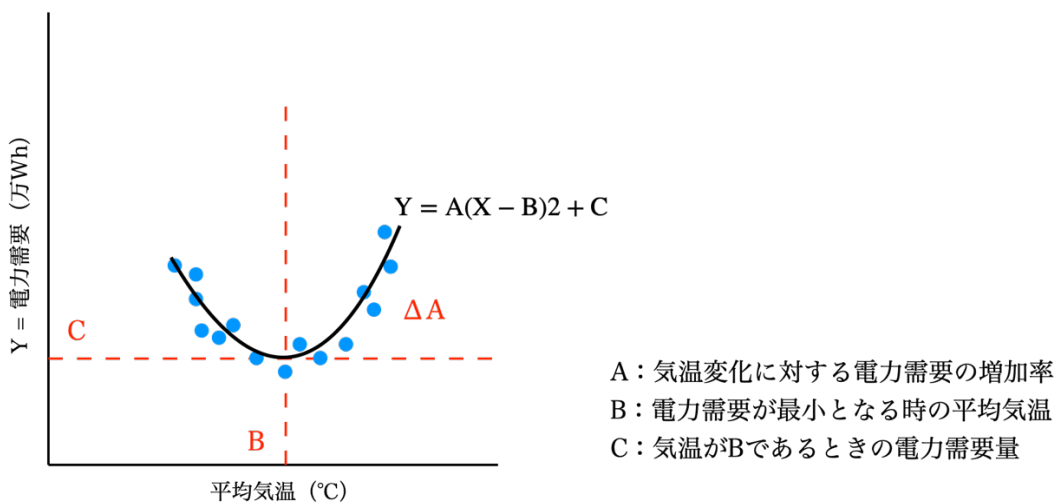
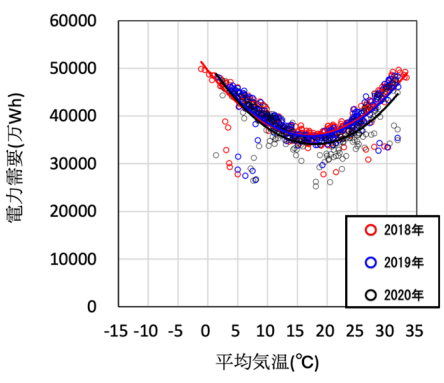
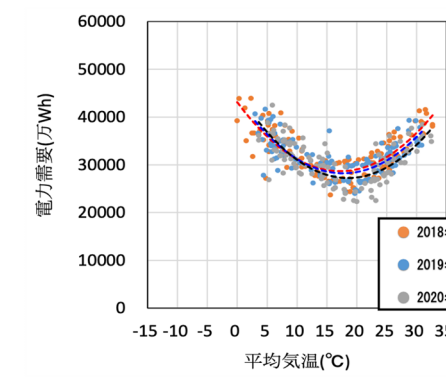


図 2-5-①-8 二次関数による電力需要と気温との近似式の意味

表 2-5-①-2 中部電力管内の電力需要と平均気温の関係

年ごとの比較	
平日	土日祝日
	
<p>[A]2020年の気温変化に対する電力需要の増加率 2018年比:1.14, 2019年比:1.05</p> <p>[B]2020年の電力需要が最小となる平均気温 2018年比:1.07, 2019年比:0.61</p> <p>[C]最小電力需要量 2018年比:0.95, 2019年比:0.95</p>	<p>[A]2020年の気温変化に対する電力需要の増加率 2018年比:1.08, 2019年比:1.05</p> <p>[B]2020年の電力需要が最小となる平均気温 2018年比:1.32, 2019年比:0.79</p> <p>[C]最小電力需要量 2018年比:0.95, 2019年比:0.97</p>
<p>[A] 2020年の気温変化に対する電力需要の増加率: 平日、土日祝日問わず、2020年は、2018年、2019年と比べて1.05~1.14倍である。</p> <p>[B] 2020年の電力需要が最小となる平均気温: 土日祝日は、平日に比べて0.38~0.63高い。</p> <p>[C] 最小電力需要量: 平日、土日祝日問わず、2020年は、2018年、2019年と比べて0.95倍程度である。土日祝日は、平日に比べて0.8倍程度である。</p>	

ii) 一日における電力需要の変化

前項では、中部電力エリアの平日と土日祝日の電力需要の差が比較的大きい結果が得られた。本項では次に、一日における電力需要の変化について整理した。

整理した結果（5月）を図2-5-①-9に示す。深夜の電力需要が最も小さくなっている時間帯においても、2020年の電力需要は2018年、および2019年に比べて小さくなっている。これは、引用文献(3)にも示されているとおり、24時間体制で生産をしている工場が休業したためと推測される。この傾向はどのエリアも同じであるが、中部電力エリアについては、この深夜の電力需要について平日と土日祝日の差が比較的大きい。これは、中部電力エリアの電力需要に占める工場の割合が大きいためと推測される。また、6時から10時にかけての電力需要が急増する時間帯を確認すると、大きさ自体は明らかに小さくなっているが、増分が小さくなったり、増加開始時刻が遅くなったりといった、時差出勤や在宅勤務の影響と考えられる電力需要の変化は確認できなかった。

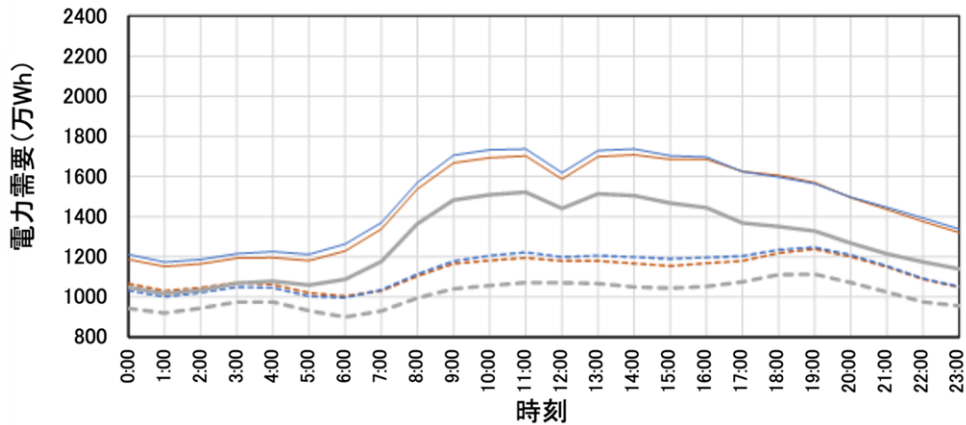


図 2-5-①-9 中部電力エリアの一日における電力需要の変化（5月）

### 3) 産業タイムライン構築のための都市インフラデータ整備

#### a) はじめに

南海トラフ地震における臨時情報発表時の産業タイムライン構築においては、産業構造を把握し、社会様相シミュレーションでのシナリオ構築に資するモデルを構築することが必要である。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）での社会経済活動の停滞と臨時情報発表時の社会の委縮に伴う地域経済活動停止との類似性の観点から、COVID-19 感染症拡大防止対策における配水量分析、需要量解析ならびに配水量と地域経済活動の関連性分析が求められる。まずは、COVID-19 感染症拡大防止策のひとつである緊急事態宣言時における上水道の配水量への影響について明らかにする。

#### b) 配水量データ収集について

札幌市、仙台市、川崎市、横浜市、横須賀市、名古屋市、京都市、神戸市、愛知県企業庁、広島市、福岡市を対象として、浄水場、配水池、配水管網における流量データ（分単位、時間単位、日単位）、データ期間として 2019 年 1 月から 4 月、2020 年 1 月～4 月についてデータ提供依頼を行い、データ収集を行った。

#### c) 名古屋市、京都市における分析

ここでは、分析の一例として名古屋市、京都市における分析について述べる。図 2-5-①-10 に名古屋市における供給エリアならびに名古屋市全市に対する水供給量について緊急事態宣言下の 2020 年 4 月と 2019 年 4 月の曜日別の平均時間変動を示す。これより、水供給量の時間変動は、基本的には午前と午後とに 2 つのピークがある変動となる。午前 7 時から午前 9 時にあるピークが、緊急事態宣言下の 2020 年は 2019 年よりもゆるやかになっていること、12 時過ぎにかけての水供給量のピークからの下がり方が、2019 年は傾きが大きく、2020 年はなだらかになっている。図 2-5-①-11 に 2019 年 4 月をベースとした曜日別の 2020 年 4 月の配水量比の時間データを、図 2-5-①-12 に配水量比が 1.0 以上となる時間区分数と時間割合を示す。緊急事態宣言下である 2020 年 4 月の配水量が 2019 年 4 月より多くなる場合には配水量比が 1.0 以上となる。火曜日以外は 2019 年よりも配水量が多くなった時間区分数割合が 0.5 以上となり、平日の月曜日、水曜日、金曜日は昼間時間を中心に 78～91 の時間区分で配水量が増加している。土曜日、日曜日についても、2019 年より配水量が増大し

ていることがわかる。これらのことは、2020年4月は緊急事態宣言下において、人々が休校やテレワークや土日の外出自粛により、昼間も自宅で過ごすこととなり、昼間時間帯における自宅での使用量が増大したことによるものといえる。

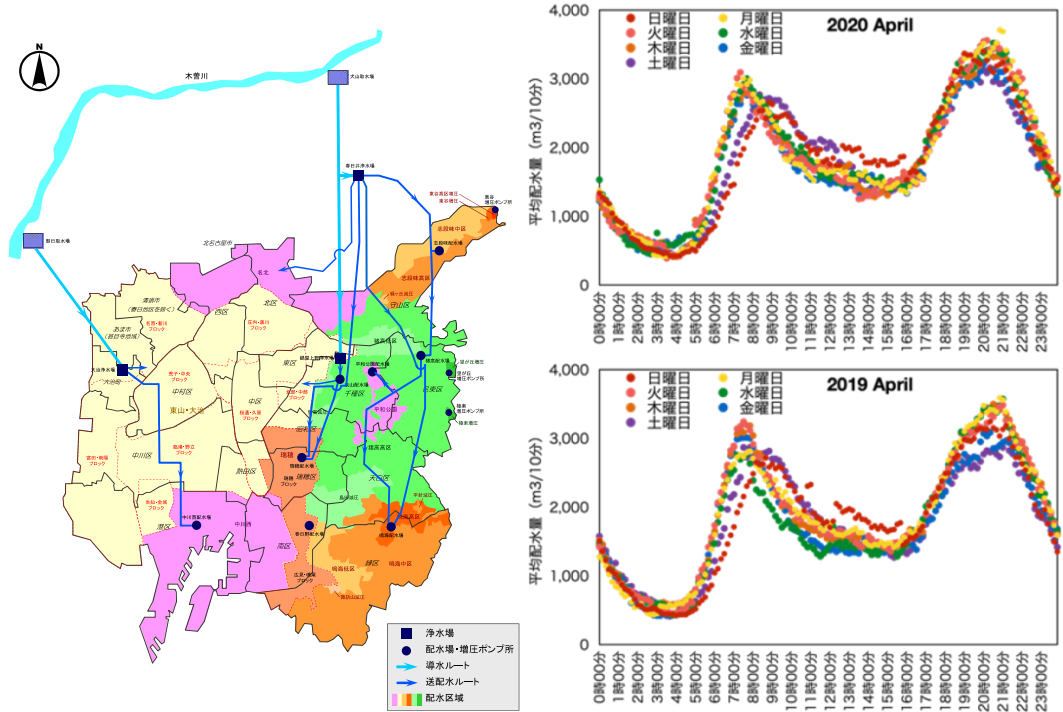


図 2-5-①-10 名古屋市上下水道局水供給エリアならびに名古屋市水供給量における緊急事態宣言下の 2020 年 4 月と 2019 年 4 月の曜日別の平均時間変動

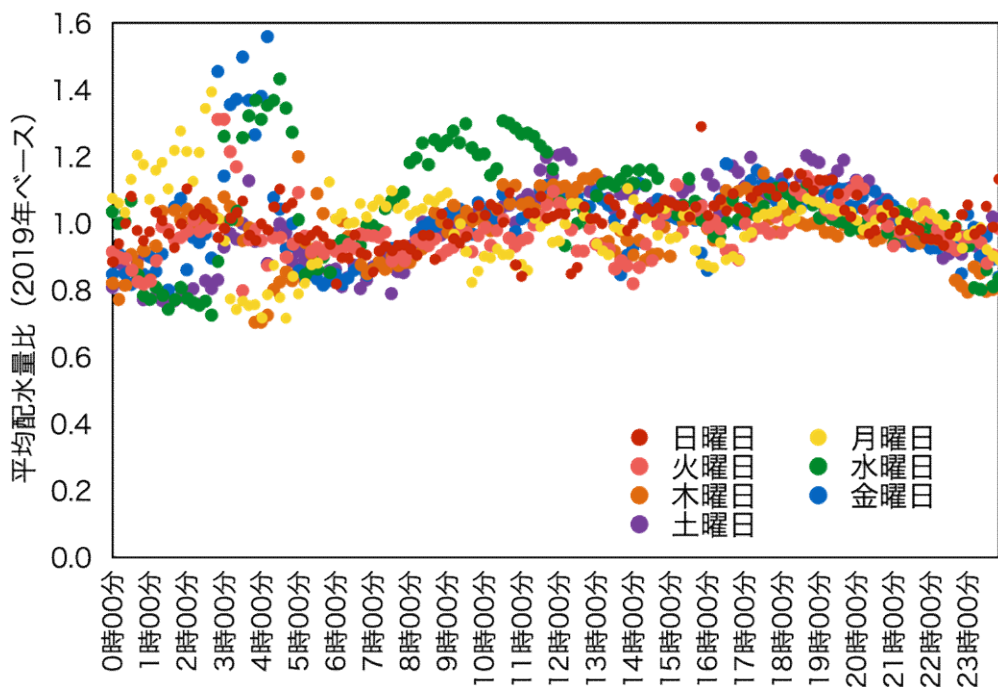


図 2-5-①-11 名古屋市 2020 年 4 月における水供給量比 (2019 年 4 月ベース)

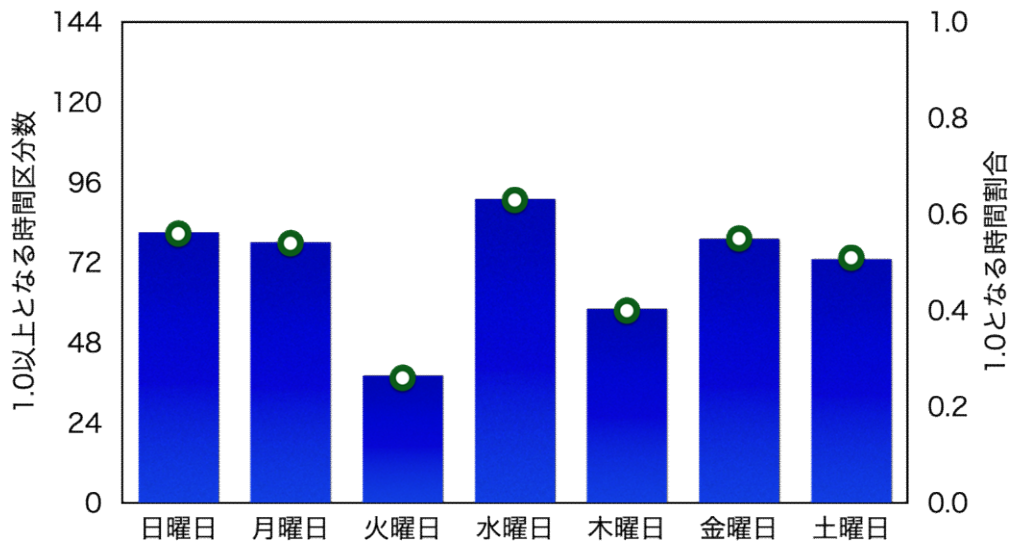
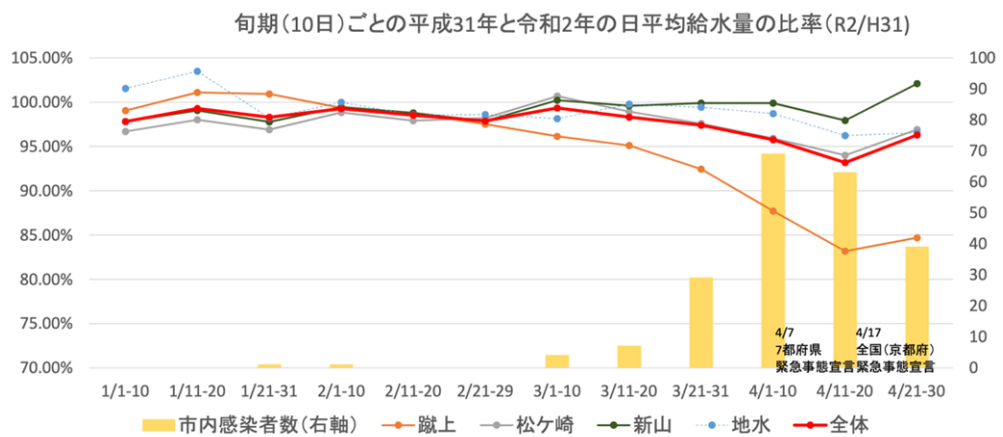


図 2-5-①-12 曜日別の水供給量が 1.0 以上となる時間帯

図 2-5-①-13 に示す京都市における 2020 年 4 月の緊急事態宣言前後の日平均給水量推移を示す。ここでは配水区別の日平均給水量（10 日間）を示す。松ヶ崎、新山は住宅地が多く存在する一方、蹴上は祇園、四条烏丸などのオフィス街や繁華街が配水区に存在している。図 2-5-①-13 より、2020 年 3 月から蹴上配水区の日平均給水量は減少しており、京都市における緊急事態宣言後には、15%減となっている。一方、住宅地区への供給が多くを占める新山配水区では、緊急事態宣言後には配水量が増大していることがわかる。以上のことから、COVID-19 による社会活動の萎縮やテレワークによる人々の生活様式の変化が、水配水量に出現していることがわかる。すなわち、水供給量のモニタリングにより、社会経済活動の萎縮や人々の生活様式変化を地域別に把握することが可能であり、これらをモデル化することで、産業活動の萎縮や停滞を表現することが可能となる産業構造モデルを検討することができるであろう。



4/10 京都市：緊急事態宣言の要請

図 2-5-①-13 京都市における 2020 年 4 月緊急事態宣言前後の日平均給水量（10 日平均）の推移

d) 水道からみた産業活動評価モデルの構築

水道管路被害による地域経済産業活動への影響を評価する経済機会損失評価モデルを構築する。

i) 経済機会損失モデルの構築

経済活動主体への給水状況を把握するため、地震による被害個所を特定することが必要である。ここでは、水道管路被害を離散的に推定する手法<sup>16)</sup>を用いる。具体的には、水道管網を構成する個々の製品である水道管に着目し、既往の地震被害による管路データベースに基づく管路の標準被害曲線を用いて、モンテカルロ法による確率論的手法を用いて管路の被害を離散的に推定する。

被害管路を応急復旧班による応急復旧作業により応急復旧する数値解析モデルを構築する。ここでは、技術職員数から応急復旧班数を算定し、応急復旧班による1日の仕事量に基づき応急復旧速度を推定する。

応急復旧期間において、水道管路の被害に伴い経済活動主体が受水できずに経済活動が停滞し、その活動低減割合の積分値を経済機会損失(%・日)とする。本稿では、工業統計<sup>17)</sup>における製造品出荷額を用いて活動低減割合を算出することとした。

ii) 南海トラフ地震での評価結果と考察

愛知県N地域の経済活動主体を解析対象とした。まず、愛知県N地域の経済活動主体に水供給している管路に対して、内閣府による南海トラフ地震の被害想定結果から、離散的管路被害推定手法を用いてモンテカルロ法(N=1,000)により水道管路の被害を推定した。その結果、平均管路被害件数は114.5件と推定された。

応急復旧班数は、平成29年度水道統計における技術職員数<sup>18)</sup>を用いて、N地域への給水量の全休水量に対する割合を考慮し、かつ、南海トラフ地震が巨大広域災害であることから、応援はないものとして設定した。

経済機会損失については、平成29年工業統計調査<sup>17)</sup>を用いて、産業中分類24項目別、市町別に年間製造品出荷額を算出した。解析対象の管路が枝状管網であることから、本稿では被害管路より末端の経済活動主体は、受水できずに経済活動が停滞するものとした。応急復旧期間における産業分類別、市町別の製造品出荷額の減少額を推定し、日毎に活動低減割合を算出した。そのうえで、南海トラフ地震におけるN地域の経済機会損失を推定した。

応急復旧の優先順位について、浄水場からの距離、製造品出荷額、活動主体数、配水システムの4つのシナリオで検討した。図2-5-①-14に南海トラフ地震でのN地域の経済機会損失の推定結果を示す。これより、製造品出荷額の大きな被害管路を優先するシナリオが、N地域全域では経済機会損失が小さくなっている。しかしながら、市町によっては、応急復旧戦略シナリオにより経済機会損失が大きく異なる。したがって、地域の早期の経済産業活動の回復のためには、応急復旧戦略シナリオの検討とともに、事前の経済機会損失低減に効果的な耐震化が必要であるといえる。



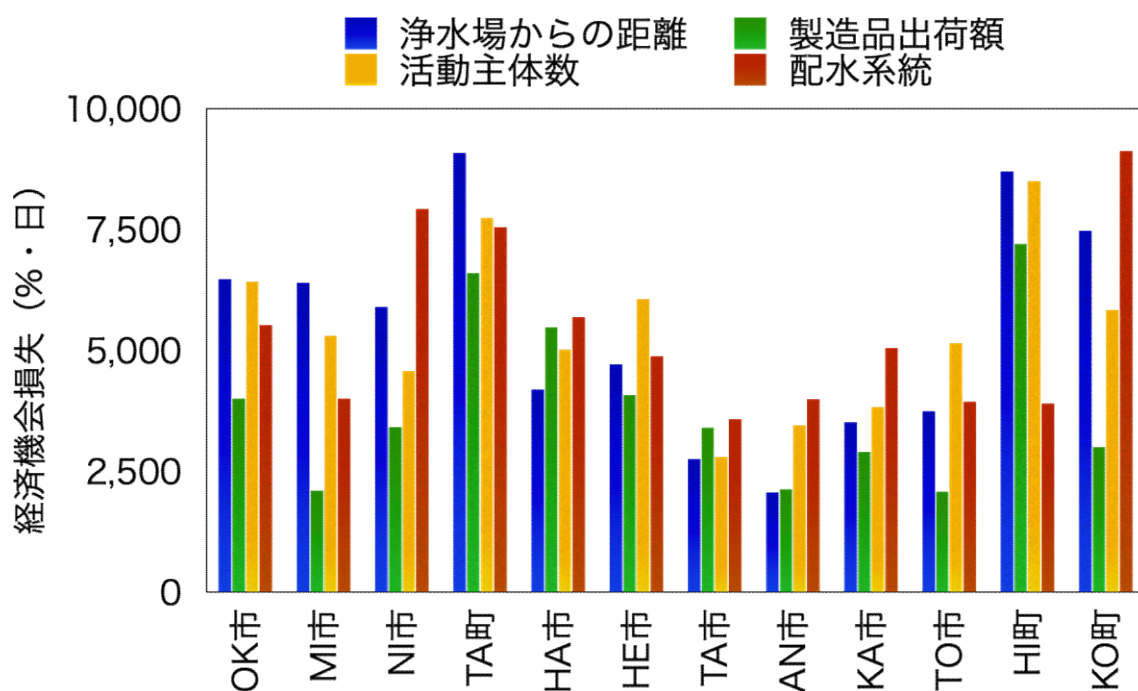


図 2-5-①-14 応急復旧シナリオ別の南海トラフ地震での N 地域の経済機会損失推定結果

#### 4) 新型コロナウイルスによる産業への影響調査

南海トラフ地震臨時情報が発表された場合における産業への影響を検討するための基礎資料として、新型コロナウイルスの発生・感染拡大が産業へ及ぼす影響に関する既存の調査資料や時系列的な各種統計データを収集・整理した。また、南海トラフ臨時情報が発表された場合における人・物の動きの変化が経済活動へ与える影響を推計するモデル構築のための基礎データとして、人・物の地域間移動に関する時系列データを収集・整理した。

##### a) 新型コロナウイルスによる産業への影響に関する情報収集・整理

###### i) 信用調査会社の調査レポートの収集と時系列整理

信用調査会社が 2020 年 2 月から 2020 年 12 月末まで WEB 上で公開した新型コロナウイルス関連の調査レポートを収集し時系列で整理した。対象とした信用調査会社は東京商工リサーチと帝国データバンクの 2 社である。東京商工リサーチ（以下、TSR）、帝国データバンク（以下、TDB）の両調査会社は、全国の企業を対象に企業意識に関するアンケートを実施し、その結果をまとめている。アンケート結果の第一報は、TSR は 2020 年 2 月 20 日<sup>19)</sup>、TDB は 2020 年 4 月 3 日<sup>20)</sup>に発表した。その後、両調査会社は約 1 ヶ月に一報の頻度でアンケートの結果を発表している。TDB では、企業の意識調査「地方版」として、各県の企業に対して同様のアンケート調査を実施している。このうち、静岡県と愛知県の企業意識調査の結果を収集・整理した。また、上場企業の業績修正動向調査結果も併せて収集・整理した。収集した資料は、以下の 4 つの期間に分けて整理した。

- (1) 緊急事態宣言発表前（2020年2月ごろ）
- (2) 緊急事態宣言期間中（2020年3月～5月ごろ）
- (3) 緊急事態宣言解除後（2020年6月～7月上旬）
- (4) GoTo事業開始以降（2020年7月下旬以降）

国からの緊急事態宣言は、当初2020年4月7日～5月7日までとされていたが、感染拡大の状況を考慮し5月25日まで延長された。緊急事態宣言期間中に3月を含めたのは、地方自治体独自に緊急事態宣言を発出したことを考慮したためである。

#### 【1. 緊急事態宣言発表前（2020年2月ごろ）】

2020年2月以降、中国の経済活動の停滞が国内企業に影響を及ぼし始めた。中国企業と取引のある企業やインバウンド関連の業種では、今後の業績に不安を抱えているとみられる。一方で、内需を中心に展開する企業は、新型コロナウイルス拡大の影響は、穏やか、もしくはプラスの影響があるととらえている。

- ・ 2月20日時点で業績に「影響がある」と回答した企業は全国で66.4%であった（TSR）。
- ・ 業績に「影響がある」と回答した企業のうち約4割（構成比35.9%）が「現地サプライヤーからの仕入れが困難となった」と回答した（TSR）。
- ・ 業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業を業種別にみると「家具類小売」ではすべての企業（100%）、「飲食店」では98.2%、「繊維・繊維製品・服飾小売」では97%が「マイナスの影響がある」と回答した（TDB）。
- ・ 業績に「プラスの影響がある」と回答した企業を業種別にみるとスーパーマーケットなどの「各種商品小売」の20.4%が「プラスの影響がある」と見込んでいる（TDB）。
- ・ 愛知県内の企業のうち業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業は66.7%で、1ヶ月後の2020年4月3日発表の結果では、80.3%に増加した（TDB）。
- ・ 中部国際空港では、中国便、韓国便を中心とした路線の運休で国際線が週200便を割り込んだ（TDB）。
- ・ 静岡県内の企業のうち業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業は63.9%であり、全国（63.4%）よりも高かった（TDB）。

#### 【2. 緊急事態宣言期間中（2020年3月～5月ごろ）】

感染拡大の影響を受け外出の制限が浸透した2020年3月以降、感染者の発生による業務停止やサプライチェーン、物流の滞りが企業活動に影響を及ぼし始めた。また、緊急事態宣言に伴う外出自粛や休業要請のほか移動制限により大型連休が事実上消滅したことが企業の業績に影響を及ぼしている。

- ・ 「売り上げが減少した」と回答した企業は、3月は75.0%、4月は83.7%、5月は87.4%と増加した（TSR）。
- ・ 「売り上げが減少した」と回答した企業を業種別にみると、「宿泊業」と「飲食業」の全ての企業が「すでに影響が出ている」と回答していた（TSR）。
- ・ 上場企業の業績に関しては、3月3日時点で業績を下方修正した上場企業は50社であったが、5月27日時点では累計701社まで増加した（TDB）。

- ・ 業績を下方修正した業種別にみると「製造業」が構成比 44.2%で最も高かった (TDB)。
- ・ 全国での新型コロナウイルス関連倒産は 192 件に上った (TDB)。
- ・ 静岡県内の企業のうち業績に「マイナスの影響がある」と見込む企業を業種別にみると「農・林・水産」「金融」「小売」のすべての企業 (100%)、「運輸・倉庫」の 94.7%の企業が「マイナスの影響がある」と回答した (TDB)。
- ・ 愛知県内の企業のうち「マイナスの影響がある」とした企業が 3 月 14 日時点 82.3%であったが 5 月 21 日時点では 91.6%に増加した (TDB)。
- ・ 愛知県内の企業のうち「マイナスの影響がある」とした企業を従業員別にみると「5 人以下」が 94.5%で最多、次いで「6～20 人」が 93.2%と続き中小企業で影響を大きく受けている (TDB)。
- ・ 売り上げに占める家賃負担(売上家賃率)は大企業の多くが「3 割以下」(92.2%)もしくは「2 割以下」(90.1%)であるのに対し、中小企業は「3 割以下」が 88.9%、「2 割以下」が 84.5%と企業規模が小さいほど家賃負担が重い構図が浮き彫りとなった (TSR)。
- ・ 政府の支援策「新型コロナウイルス感染症特別貸付」や「セーフティネット貸付・保証」の利用は、大企業の 5.5%、中小企業の 25.7%が利用し、利用割合が最も高いのは「織物・衣服・身の回り小売業」であった (構成比 66.6%)。「道路旅客運送業」は 59.5%が利用している (TDB)。
- ・ 業績に「プラスの影響がある」と回答した企業を業種別にみると、スーパーマーケットなどの「各種商品小売」の 33.3%、「飲食料品小売」の 18.4%が「プラスの影響がある」と回答した (TDB)。

### 【3. 緊急事態宣言解除後 (2020 年 6 月～7 月上旬)】

5 月 25 日に「緊急事態宣言」が解除、6 月 19 日に都道府県をまたぐ移動自粛が緩和され、経済活動が再開したことを受け、減収企業の減少がみられたが依然 8 割以上の企業が業績に「影響がある」と回答している。一方で「新しい生活様式」に対応する商品やサービスを開発、提供を始める企業が増えている。

- ・ 6 月の減収企業は、3 月以降最悪だった 5 月の 87.4%から回復し 81.6%となった (TSR)。
- ・ 7 月 9 日時点で「マイナスの影響がある」と回答した企業は 84.5%となり 5 月時点の調査よりも回復した (TDB)。
- ・ 業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業の業種別にみると、「家具類小売」は 4 か月 (3 月～6 月)、「旅館・ホテル」は 3 か月 (4 月～6 月) 連続ですべての企業が「マイナスの影響がある」と回答した (TDB)。
- ・ 新型コロナウイルスに関連した国や自治体、金融機関の各種支援策を「利用した」と回答した企業は 44.7%、「今後利用する可能性がある」と回答した企業は 23.9%で合計 68.6%の企業が利用について言及している (TDB)。
- ・ 国や自治体、金融機関の各種支援策を「利用した」と回答した企業のうち大企業は 22.2%、中小企業が 49.1%であった。(TDB)
- ・ 国や自治体、金融機関の各種支援策を「利用した」と回答した企業を業種別に

みると「道路旅客運送業」が97.5%で最も多かった（TDB）。

- ・業績に「プラスの影響がある」と回答した企業にインターネット接続業などの「電気通信」が20.0%みられた（TDB）。
- ・愛知県や静岡県内の企業のうち業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業は両県ともに前回の回答から減少した。
- ・愛知、静岡両県で業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業を業種別にみると「運輸・倉庫」、「卸売」、「製造」、「不動産」が両県ともに高い数値であった。

#### 【4. GoTo 事業の開始以降（2020年7月下旬以降）】

7月22日からGoToトラベル事業が始まり、10月1日から地域共通クーポンが開始、GoToイートのオンライン予約適用が開始された。5月以降、減収や業績にマイナスの影響があると回答する企業は減少したものの、新型コロナウイルスの影響が長引いているため、国や自治体からの金融支援を活用する企業が増加していた。

- ・業績の下方修正を発表する企業は累計1099社に上り、修正額の合計は10兆979億6100万円となり、10兆円を超えた（TDB）。
- ・「娯楽サービス」、「飲食店」の2業種は4月、5月の売上げが50%を下回るとする企業が「娯楽サービス」、「飲食業」では半数を超えていたが、7月では2割程度に減少した（TDB）。
- ・業績に「プラスの影響がある」と見込む企業は、飲食料品を取り扱う業種に加え、スーパーマーケットを含む「各種商品小売」が30%以上の数値を維持している（TDB）。
- ・愛知県内企業のうち業績に「マイナスの影響がある」と回答した企業は、8月は83.1%、9月は82.2%、10月は81.8%と4月の回答（91.6%）以降減少傾向となった（TDB）。
- ・新型コロナウイルスの終息が長引いた場合、廃業（すべての事業の閉鎖）を検討する可能性のある中小企業は、8月は8.51%、9月は8.82%、10月は8.62%、11月は7.69%で推移した（TSR）。
- ・新型コロナウイルスに関連した国や自治体、金融機関の各種支援を「利用した」と回答した企業を企業規模別にみると中小企業は、8月は49.9%、9月は55.3%、10月は57.9%、11月は61.1%で最も高く、12月は60.0%で推移した（TSR）。
- ・11月25日発表時点の新型コロナウイルスに関連した国や自治体、金融機関の各種支援を「利用した」と回答した企業が利用した支援等の内容は、「雇用調整助成金」が50.1%、「持続化給付金」が49.2%、「民間金融機関の実質無利子・無担保融資（信用保証付き）」が48.2%であった（TSR）。

ii) 国・自治体が公表した統計データ

2010年4月以降2020年12月末日までに国・自治体が公表した統計データのうちWEB上で公表されているものを収集し、時系列で整理を行った。

表2-5-①-3 収集対象とした統計データと収集期間<sup>21)~35)</sup>

No.	統計データ	期間	備考
1	GDP 統計	2010年4月～2020年9月	四半期
2	全産業活動指数	2010年4月～2020年7月	月次
3	鉱工業指数	2010年4月～2020年11月	月次
4	貿易統計	2010年4月～2020年12月	月次
5	消費動向調査	2010年4月～2020年12月	月次
6	全国企業短期経済観測調査	2010年4月～2020年12月	四半期
7	法人企業統計調査	2010年4月～2020年9月 2010年4月～2020年3月	四半期 一部年度
8	家計調査	2010年4月～2020年10月	月次
9	商業動態統計	2010年4月～2020年11月	月次
10	新車販売台数	2016年1月～2020年12月	月次
11	旅行業者取扱額	2010年4月～2020年11月	月次
12	住宅着工戸数	2010年4月～2020年12月	月次
13	毎月勤労統計調査	2010年4月～2020年11月	月次
14	労働力調査	2010年4月～2020年11月	月次
15	Trade Statics	2016年1月～2020年11月	月次

GDP 統計<sup>21)</sup>については、東日本大震災が発生した2011年3月以降、国内総生産は上昇傾向であったが、国内で新型コロナウイルスの感染が拡大した2020年2月以降、国内総生産は急激に落ち込んだ。2020年5月に緊急事態宣言が解除されて以降は回復傾向にある。

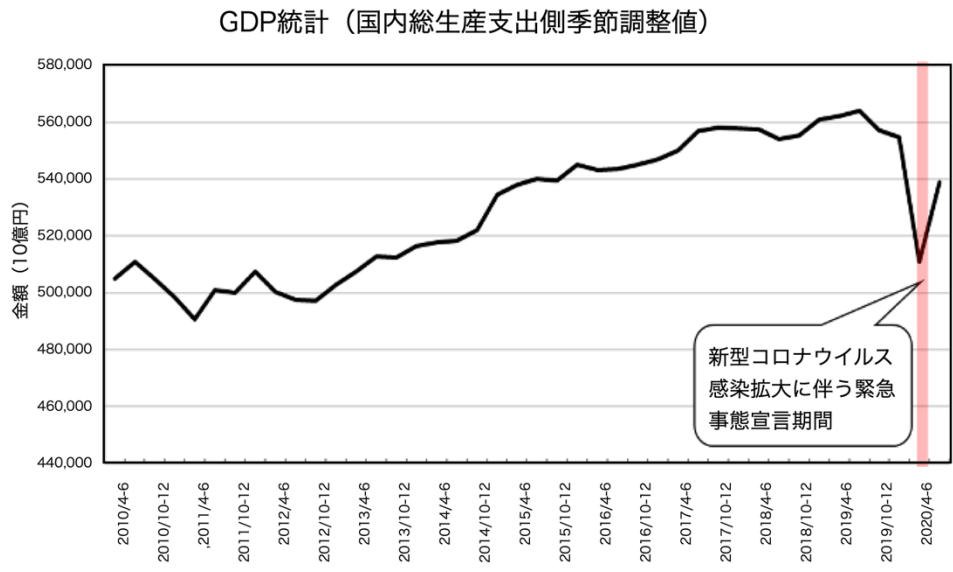


図 2-5-①-15 GDP 統計国内総生産 (支出側)

全産業活動指数<sup>22)</sup>は、東日本大震災が発生した 2011 年 3 月以降にわずかに低下し、2020 年 4 月以降の緊急事態宣言期間は、調査対象期間中で最も数値が低くなった。

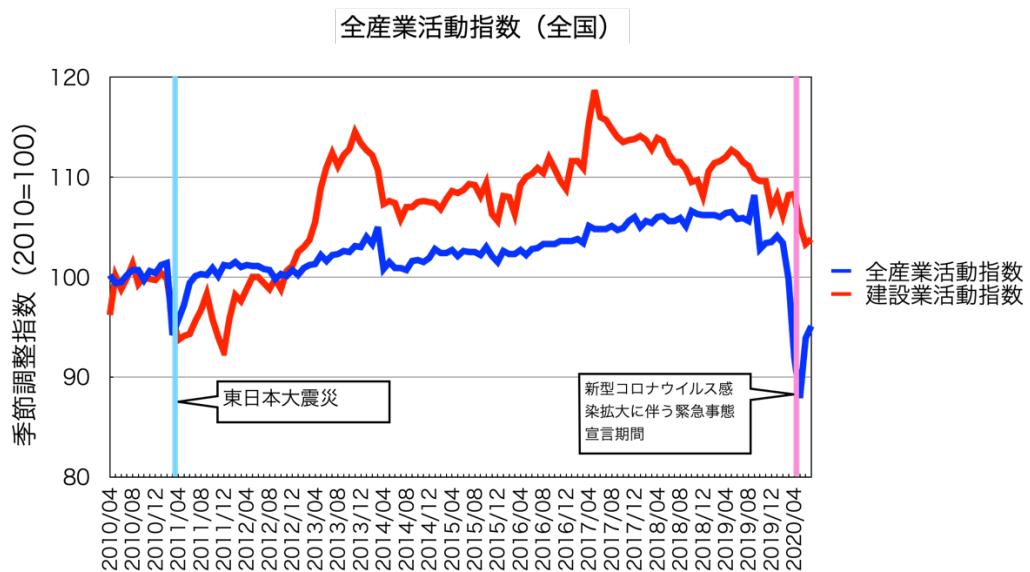


図 2-5-①-16 全産業活動指数の推移

鉱工業生産指数<sup>23)</sup>では、乗用車は、2020 年 2 月ころからの国内の感染拡大の影響を受けて急激に数値が下落している一方、電子計算機は、在宅勤務推奨の影響を受けて、緊急事態宣言期間中及び宣言解除後も生産指数は上昇傾向にある。

貿易統計<sup>24)</sup>においては、乗用車その他自動車の 2020 年 5 月は、東日本大震災時に大きく輸出額が低下して以来の大きな輸出額低下であった。自動車部品も同時期の落込みが激しい。

消費動向調査<sup>25)</sup>では、2020年2月以降、消費者態度指数・消費者意識のうち「雇用環境」の指数が最も低く、営業時間の短縮要請や休業要請の影響が消費者意識へ影響を及ぼしたと考えられる。

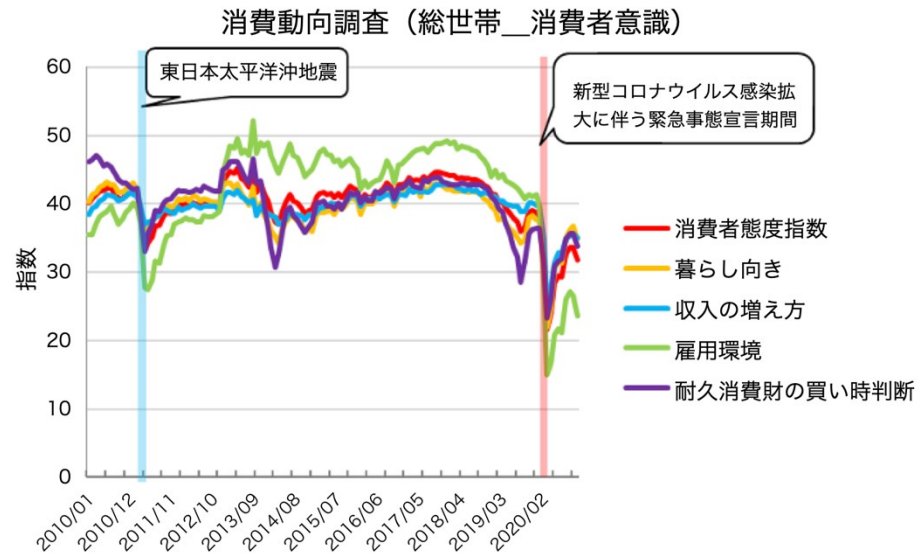


図 2-5-①-17 消費動向（消費者意識）の推移

全国企業短期経済観測調査<sup>26)</sup>では、大企業と中小企業の収益を中心とした業況の全般的な判断を整理した。短観の調査指標は、調査対象企業からの回答を DI (Diffusion Index) で示した。「業況」場合、回答選択肢は「1. 良い」、「2. さほど良くない」、「3. 悪い」であり、DI がマイナスである場合は、「3. 悪い」を回答した企業が多かったことを示す。2020年4月以降の緊急事態宣言期間中は、大企業と中小企業ともに DI が調査対象期間中で最も低く、中小企業は大企業に比べ DI が回復傾向に至るまでに時間を要している。

法人企業統計調査<sup>27)</sup>では、製造業に比べ、非製造業の方が緊急事態宣言以降売上高の減少が大きくなっており、新型コロナウイルスの影響を受けていることが分かる。

家計調査<sup>28)</sup>においては、消費支出が大きく減少したのは、2011年の東日本大震災、2014年の消費税増税、2020年の新型コロナウイルスの影響を受けた3回であるが、中でも2020年の新型コロナウイルスの影響が減少の割合が最も大きかった。

商業動態統計<sup>29)</sup>では、国内での感染が拡大した2020年2月以降、自動車小売業は、急激に値が減少し、緊急事態宣言期間中に最も低い値となり、「新車販売台数」と同様の推移であった。一方で医薬品・化粧品小売業は、マスクや消毒液等の需要を受けて大幅に販売額が増加している

新車販売台数<sup>30)</sup>において、新車販売台数は、緊急事態宣言期間中～緊急事態宣言解除後の5月が最も低くなった。6月以降は、徐々に回復傾向にあり2020年10月には、前年同月比を超える結果となった。

旅行業者取扱額<sup>31)</sup>より、2020年2月以降、国内旅行と海外旅行ともに前年同月

比の1桁台まで急激に低下したのち、国内旅行はGoToトラベル事業の影響もあり2020年11月には前年同月比の70%まで回復したが、海外旅行は現在も出入国に制限があるため、前年同月比1桁台から回復していない。

住宅着工戸数<sup>32)</sup>において、緊急事態宣言期間は大きな落ち込みがみられるが、それ以外の期間は7万戸程度の水準で推移しており、緊急事態宣言の一時的な影響はあったもののその後の回復は早かった。

毎月勤労統計調査<sup>33)</sup>においては、緊急事態宣言以降、対象期間中最も低い数値となったが、緊急事態宣言解除後は回復傾向にある。

労働力調査<sup>34)</sup>では、2010年4月以降、完全失業率は減少傾向であったが、2020年2月以降の国内で感染が拡大して以降、徐々に完全失業率が上昇し、緊急事態宣言後も上昇傾向が継続している。

Trade Statics<sup>35)</sup>からは、乗用車、鉄又は非合金鋼フラットロール製品、光ダイオード及び圧電結晶素子、集積回路、自動車部品のすべてにおいて2020年1月から減少が始まり、同年4～5月に輸入額が底を打った。6月以降は増加傾向となったが、11月に再び大きく減少した。

b) 地域間移動に関連するデータの収集・整理

人・物の地域間移動に関連するデータの収集・整理を行った。

表2-5-①-4 収集データ一覧

No.	公表機関	収集データ	対象期間
1	国土交通省	鉄道輸送統計調査	2011年4月以降 2021年1月末
2	国土交通省	自動車輸送統計調査	2011年4月以降 2021年1月末
3	国土交通省	内航船舶輸送統計調査	2011年4月以降 2021年1月末
4	国土交通省	航空輸送統計調査	2011年4月以降 2021年1月末

鉄道輸送統計調査から、旅客輸送に関するデータでは、2020年2月以降旅客輸送人数が減少傾向となり同年4月に最小値となった。鉄道貨物輸送に関するデータでは、2020年4月以降に前年よりも貨物輸送量の減少傾向がみられるものの、旅客輸送に比べると減少傾向はわずかであった。



### 鉄・軌道旅客輸送

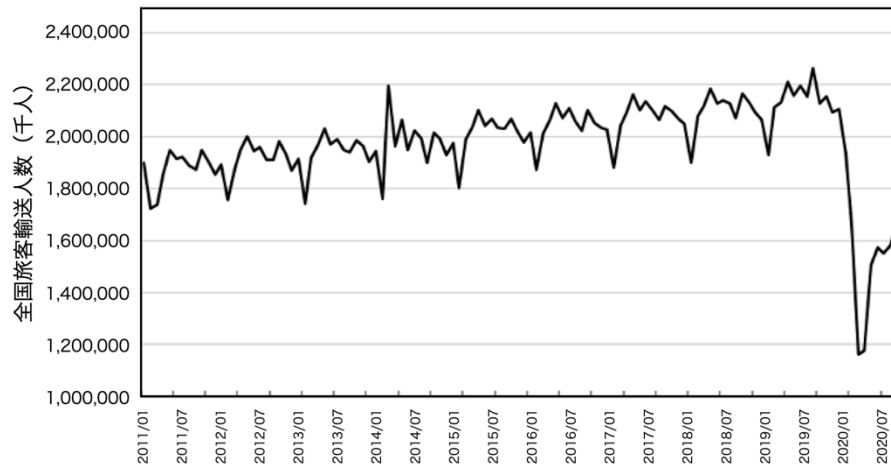


図 2-5-①-18 鉄道旅客輸送量の変化

### 鉄道貨物輸送

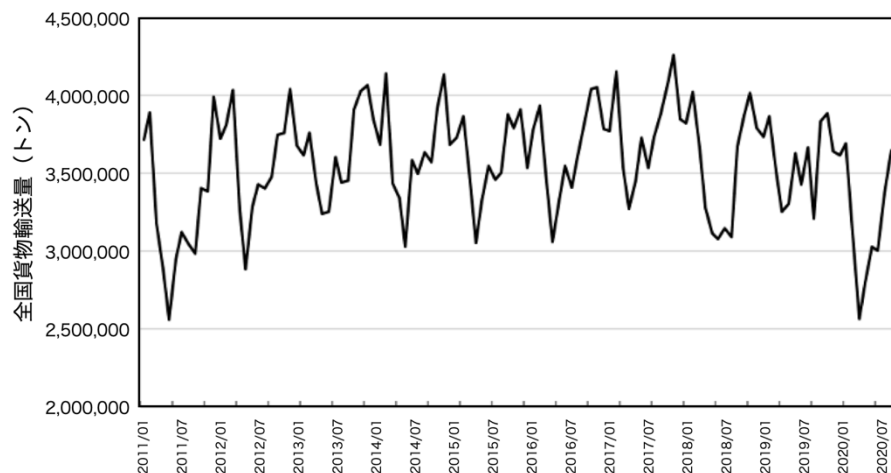


図 2-5-①-19 鉄道貨物輸送量の推移

自動車輸送統計調査より、輸送人員に関するデータでは、2020年3月以降に輸送人員の減少傾向がみられる。貨物輸送量は、減少もしくは上昇傾向はみられなかった。

自動車輸送統計調査\_輸送人員

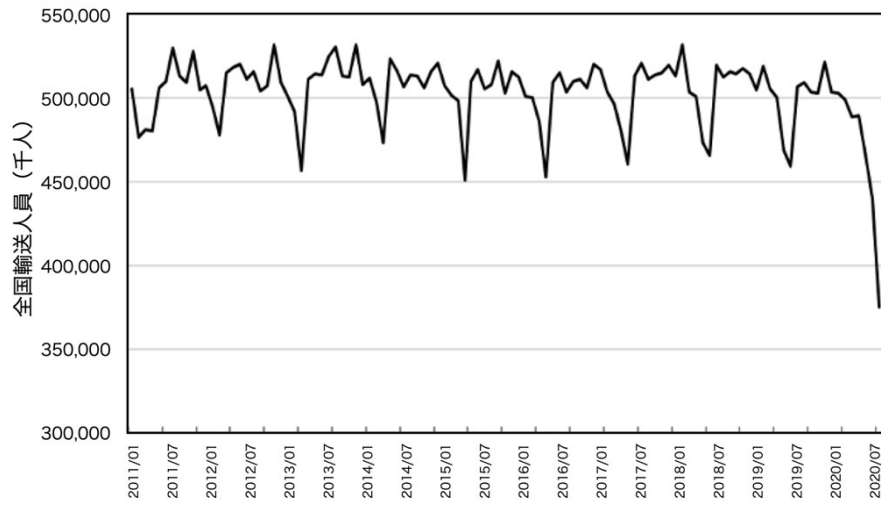


図 2-5-①-20 自動車輸送人員の推移

自動車輸送統計調査\_輸送トン

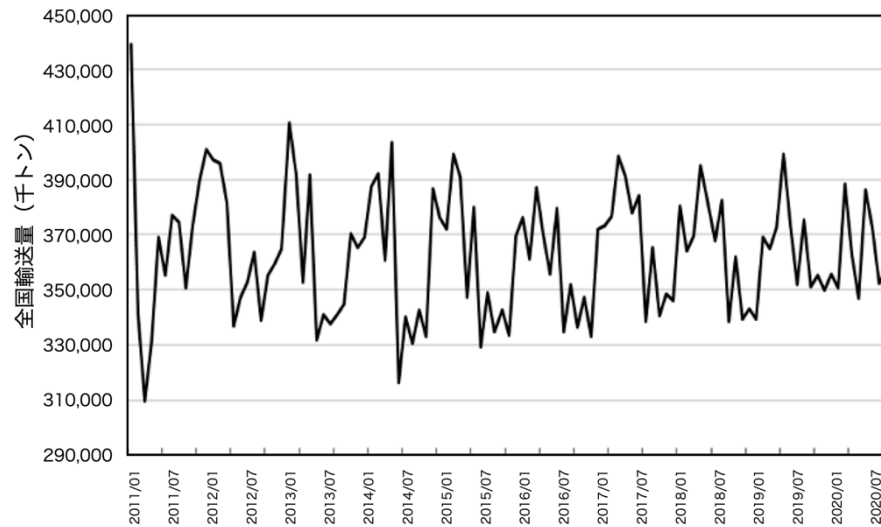


図 2-5-①-21 自動車貨物輸送の推移

内航船舶輸送統計調査より、品目別貨物輸送量に関するデータでは、鉄鋼、輸送用機械で2020年1月以降から減少傾向がみられ、同年5月または6月に最小値となった。

### 内航船舶輸送統計

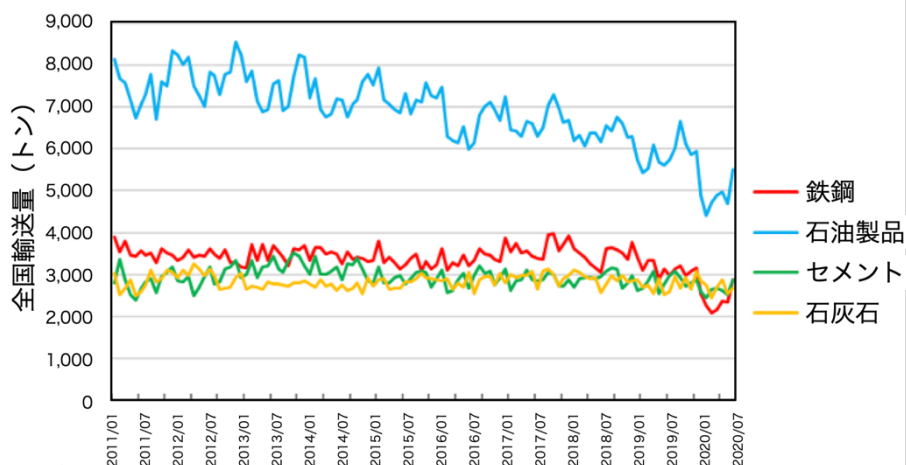


図 2-5-①-22 内航船舶主要 4 品目の輸送量推移

航空輸送統計調査において、国内定期航路の旅客輸送数に関するデータでは、2020年2月以降に減少傾向がみられ、同年5月に最小値となった。国内定期航路の貨物輸送量に関するデータでは、2020年1月から減少傾向がみられ、同年5月に最小値となった。国際貨物に関するデータでは、対中国の貨物量が2020年2月に落ち込んだものの、同年3月以降には回復傾向がみられ、対ヨーロッパの貨物量は同年4月に底値となり5月以降の回復傾向は対中国と比較すると緩やかであった。

### 航空輸送統計\_旅客輸送（国内定期航路）

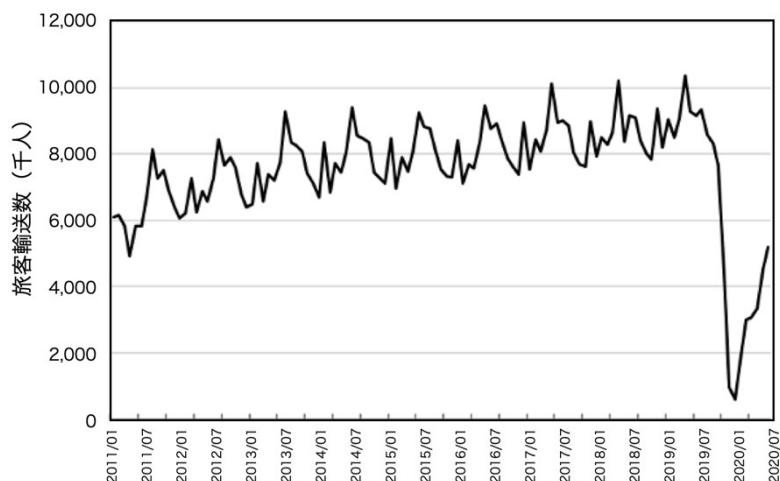


図 2-5-①-23 航空輸送-国内定期航路旅客輸送の推移

航空輸送統計\_貨物輸送（国内定期航路）

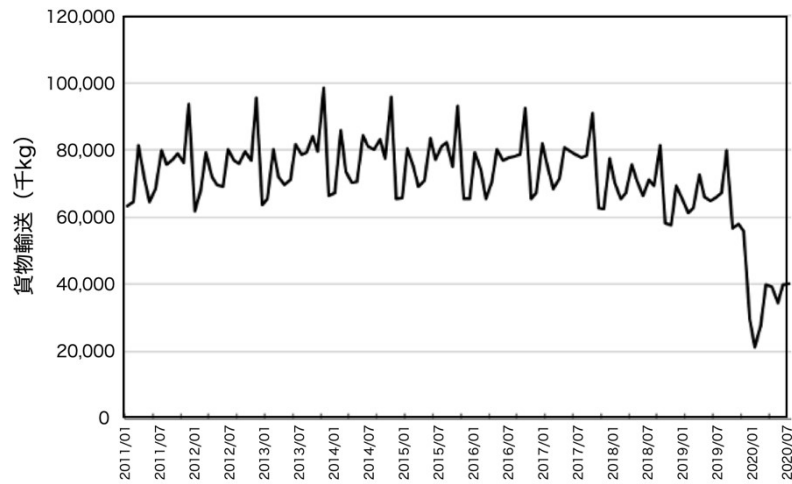


図 2-5-①-24 航空輸送-国内定期航路貨物輸送の推移

航空輸送統計\_国際貨物

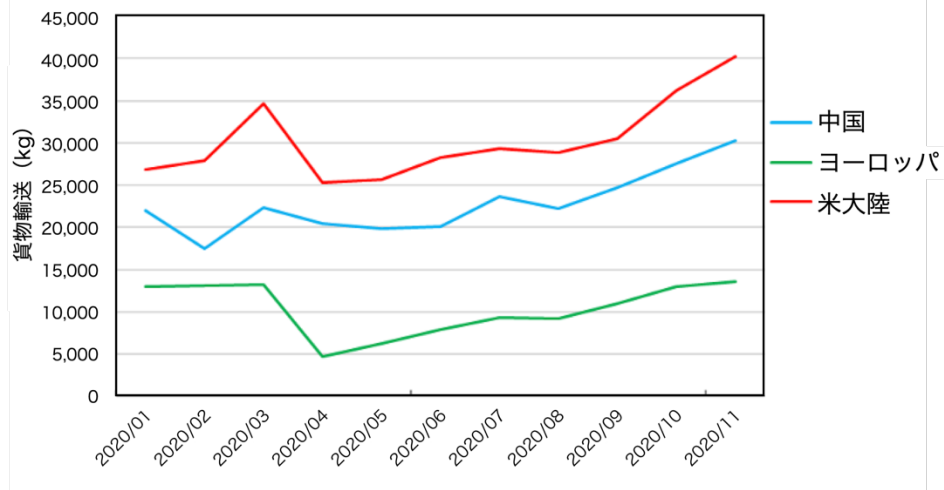


図 2-5-①-25 航空輸送-国際線貨物輸送量の推移

(d) 結論ならびに今後の課題

1) リアルタイム観測データを用いた“産業活動萎縮”状態の想定

今年度業務では産業の状態を示す指標や産業の萎縮をモニタリングするためのデータについて整理するとともに、臨時情報発表等の特異な変動要因による産業へのインパクトを推計する手法として時系列データ分析を参照した。今後は「新型コロナウイルス対策の特別措置法に基づく緊急事態宣言」の発表時における時系列データを用いたケーススタディを行い、同事例における産業萎縮効果について試算を試みる。

2) リアルタイム社会様相把握のための電力需要データ収集に関する調査・分析

今後は、コロナ禍が電力需要に及ぼす影響を、詳細かつ定量的に明らかにするため、気温の影響を取り除いた電力需要データを作成して分析を進める必要がある。

① 2018年～2019年の電力需要について気象・暦を説明変数とした重回帰分析をおこ

- ない、気象と電力需要の相関係数を数値化する。
- ② ①の相関関係にもとづき、2020年の電力需要について、平均気象からの日々の気象の乖離分による電力需要への影響量を推定する。
  - ③ 2020年の電力需要の実測データから②を取り除き、気象調整済みの電力需要を作成する。
  - ④ ③と実測値の差分の分析、気温以外の説明変数の調査を行う。

### 3) 産業タイムライン構築のための都市インフラデータ整備

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）での社会経済活動の停滞と臨時情報発表時の社会の委縮に伴う地域経済活動停止との類似性の観点から、COVID-19感染症拡大防止策のひとつである緊急事態宣言時における上水道の配水量への影響について明らかにした。その結果、COVID-19による社会活動の萎縮やテレワークによる人々の生活様式の変化が、水配水量に出現していることを指摘した。すなわち、水供給量のモニタリングにより、社会経済活動の萎縮や人々の生活様式変化を地域別に把握することが可能であり、これらをモデル化することで、産業活動の萎縮や停滞を表現することが可能となる産業構造モデルを検討することができるといえた。南海トラフ地震を対象として、水道管路被害による地域経済産業活動への影響を評価する経済機会損失評価モデルを構築した。

以上のことから、今後、COVID-19による社会活動の萎縮やテレワークによる人々の生活様式の変化と水配水量に関する分析を行うとともに、都市インフラ供給による経済活動評価モデルをサブモデルとし、産業タイムライン構築のための産業構造のモデル化を行うことが課題である。

### 4) 新型コロナウイルスによる産業への影響調査

南海トラフ地震臨時情報が発表された場合における産業への影響を検討するための基礎資料として、新型コロナウイルスの発生・感染拡大が産業へ及ぼす影響に関する既存の調査資料や時系列的な各種統計データ及び人・物の地域間移動に関する時系列データを収集・整理した。今回収集・整理した資料は、第1回目の緊急事態宣言発表前の2020年2月ごろから、その解除後の2020年10月～12月頃までのデータである。その後、新型コロナ感染は2020年末～2021年1～2月に第3波、更に2021年4月に第4波と繰り返している。今後の課題として、コロナ終息に至るまでの情報を更に収集・整理し、コロナ感染開始から終息までの間のコロナ禍が産業活動に及ぼす影響をみていく必要がある。更に、並行して、南海トラフ地震臨時情報が出された場合の心理的な側面と、今回のコロナ禍による心理的な側面の共通点を抽出し、その課題と対応策を検討していく必要がある。

### (e) 引用文献

- 1) 愛知県ホームページ：あいちの統計バックナンバー，  
<https://www.pref.aichi.jp/toukei/jyoho/history/history.html>（令和3年4月12日閲覧）
- 2) 内閣府：南海トラフ地震の多様な発災形態に備えた防災対応検討ガイドライン，2019.

- 3) 中部電力パワーグリッド株式会社ホームページ：中部エリアの電力需給（送電端）のお知らせ，<https://powergrid.chuden.co.jp/denkiyoho/>（令和3年4月12日閲覧）
- 4) 愛知県ホームページ：2015（平成27）年愛知県産業連関表，<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/io2015.html>（令和3年4月12日閲覧）
- 5) 北海道電力ネットワーク株式会社. 北海道エリアのでんき予報.，  
[http://denkiyoho.hepco.co.jp/area\\_forecast.html](http://denkiyoho.hepco.co.jp/area_forecast.html)（令和3年1月7日閲覧）
- 6) 東北電力ネットワーク株式会社. 東北6県・新潟エリアでんき予報.，  
<https://setsuden.nw.tohoku-epco.co.jp/graph.html>（令和3年1月7日閲覧）
- 7) 東京電力パワーグリッド株式会社. でんき予報.，  
<https://www.tepco.co.jp/forecast/>（令和3年1月7日閲覧）
- 8) 北陸電力送配電株式会社. エリア需給実績について.，  
[http://www.rikuden.co.jp/nw\\_jyukyudata/area\\_jisseki.html](http://www.rikuden.co.jp/nw_jyukyudata/area_jisseki.html)（令和3年1月7日閲覧）
- 9) 中部電力パワーグリッド株式会社. 中部エリアの電力需給（送電端）のお知らせ.，  
<https://powergrid.chuden.co.jp/denkiyoho/>（令和3年1月7日閲覧）
- 10) 関西電力送配電株式会社. 関西エリアの需給実績の公表.，  
<https://www.kansai-td.co.jp/denkiyoho/area-performance.html>（令和3年1月7日閲覧）
- 11) 中国電力ネットワーク株式会社. でんき予報.，  
<https://www.energia.co.jp/nw/jukyuu/>（令和3年1月7日閲覧）
- 12) 四国電力送配電株式会社. でんき予報（四国エリアの電力使用状況），  
<https://www.yonden.co.jp/nw/denkiyoho/index.html>（令和3年1月7日閲覧）
- 13) 九州電力送配電株式会社. でんき予報.，  
[https://www.kyuden.co.jp/td\\_power\\_usages/pc.html](https://www.kyuden.co.jp/td_power_usages/pc.html)（令和3年1月7日閲覧）
- 14) 沖縄電力株式会社. 需給関連情報（需給実績）の公表.，  
<http://www.okiden.co.jp/business-support/service/supply-and-demand/index.html>（令和3年1月7日閲覧）
- 15) 国土交通省気象庁. 過去の気象データ検索.，  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>（令和3年1月7日閲覧）
- 16) 岡野泰己，平山修久，林光夫，確率論的アプローチによる水道管の離散的被害推定手法の構築，土木学会論文集 G（環境），74(6)，pp.II.111-II.119，DOI.  
[https://doi.org/10.2208/jscej.74.II\\_111](https://doi.org/10.2208/jscej.74.II_111)，2018.
- 17) 経済産業省，平成29年工業統計調査，2019.
- 18) 日本水道協会，平成29年度水道統計，2019.
- 19) 東京商工リサーチ，新型コロナウイルスに関するアンケート調査，2020.02.20，  
[https://www.tsr-net.co.jp/news/analysis/20200220\\_04.html](https://www.tsr-net.co.jp/news/analysis/20200220_04.html)（令和3年1月閲覧）

- 20) 帝国データバンク, 新型コロナウイルス感染症に対する企業の意識調査 (2020年3月), 2020.4.3, <https://www.tdb.co.jp/report/watching/press/p200402.html>  
(令和3年1月閲覧)
- 21) 内閣府経済社会総合研究所, 国民経済計算 (GDP 統計),  
<https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>
- 22) 経済産業省, 全産業活動指数,  
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/zenkatu/index.html>
- 23) 経済産業省, 鉱工業指数 (生産・出荷・在庫、生産能力・稼働率)、製造工業生産予測指数, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/iip/>
- 24) 財務省, 貿易統計, <https://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>
- 25) 内閣府経済社会総合研究所, 消費動向調査,  
[https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/menu\\_shouhi.html](https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/menu_shouhi.html),
- 26) 日本銀行, 全国企業短期経済観測調査,  
<https://www.boj.or.jp/statistics/tk/index.htm/>
- 27) 財務省財務総合政策研究所, 法人企業統計調査,  
<https://www.mof.go.jp/pri/reference/ssc/index.htm>
- 28) 財務省統計局, 家計調査, <https://www.stat.go.jp/data/kakei/index.html>
- 29) 経済産業省, 商業動態統計,  
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syoudou/index.html>
- 30) 日本自動車販売協会連合会, 車種別販売台数,  
<http://www.jada.or.jp/data/month/m-r-hanbai/m-r-type/>
- 31) 国土交通省, 旅行業者取扱額, 統計情報,  
<https://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/toriatsukai.html>
- 32) 国土交通省, 建築・住宅関係統計データ, 統計情報,  
[https://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku\\_list.html](https://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html)
- 33) 厚生労働省, 毎月勤労統計調査 (全国調査・地方調査), 統計情報・白書,  
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/30-1.html>
- 34) 総務省統計局, 労働力調査, <https://www.stat.go.jp/data/roudou/index.html>
- 35) Ministry of Finance Japan, Trade Statistics of Japan,  
[https://www.customs.go.jp/toukei/info/index\\_e.htm](https://www.customs.go.jp/toukei/info/index_e.htm)
- 36) 国土交通省, 鉄道輸送統計調査, 交通関係統計資料,  
<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/tetudouyusou.html>
- 37) 国土交通省, 自動車輸送統計調査, 交通関係統計資料,  
<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/jidousya.html>
- 38) 国土交通省, 内航船舶輸送統計調査, 交通関係統計資料,  
<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/naikouyusoutoukei.html>
- 39) 国土交通省, 航空輸送統計調査, 交通関係統計資料,  
<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/koukuuyusoutoukei.html>

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した 時期	国内・外 の別
Emergency Restoration Strategy for Water Distribution System from the Viewpoint of Disaster Resilience Curves (査読有)	Nagahisa Hirayama, Taiki Okano, Jotaro Tamai	ASCE Lifelines 2021-22 (査読通過)	2021年2月	国外
水道管路被害による地域産業の経済機会損失評価モデルの構築 (査読無)	玉井 丈太郎, 岡野泰己, 平山修久	令和2年度水道研究発表会講演集, 680-681	2020年11月	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

②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

ここで対象とする「社会様相」とは、南海トラフ地震発生時、ならびに臨時情報発表時のヒト・コト・モノの状況全般を指す。例えばそれは、リアルタイムの人口分布であり、ライフライン等社会基盤の稼働・供給状況であり、地域社会の様々な活動の状況である。災害発生時においては、災害対応のためのリソースの分布状況といったこともこれに含まれる。臨時情報発表時の社会の極端な萎縮を回避するため、また、災害発生後の応急復旧から地域経済の再立ち上げにいたるまでのさまざまな局面において必要となる種々の対応を的確に実施するためには、その時々々の社会様相を適切に把握し、その状況に応じた対策を選択することが重要となる。さらに、社会様相は、時間の経過とともに姿を変えるものでもあることから、ある時間断面における状況把握にとどまらず、時間の経過に応じた推移の把握も重要である。このように、社会様相は極めて多様な面を持っており、その全てを単一の視点から同時に、かつ完全に把握することは極めて困難と言える。言い換えれば、社会様相を把握するアプローチには、複数の視点と複数の手法が求められるということである。



本研究では、社会様相をモニタリングする仕組みの構築を目指しており、本年度は以下の3点を進めた。まず、物流やライフラインの供給状況の把握など、すでに世の中に存在し平時の活動の円滑化、効率化を目的として展開されている各種モニタリングシステムを対象に、社会状況の観測可能性、およびその目的に照らし現行で活用できると思われる手段の整理を実施した。

- (1) リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤)。また、震災後の迅速・的確な対応を支援するための基礎情報として重要となる地震動特性を、効率よく、かつ十分な空間分解能をもって把握するための階層的なネットワーク構築の第一歩として、MEMS センサーの稼働試験や運用環境整備を実施した。
- (2) リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発)。さらに災害対応に関わる人をセンサーとして活用し社会様相を把握する仕組みの構築を目指し、システム開発を共同で試行する機関との調整・協議を実施した。
- (3) リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システムを構築した。

#### (b) 業務の実施方法

「リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤」研究においては、社会状況の観測可能性、およびその目的に照らして、現行で活用できると思われる手段や将来像について、文献調査を実施する。

「リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発」については、社会状況をモニタリングする際の一つの柱として、地震災害時の詳細な震度分布や重要施設の多点モニタリングのための振動計測について、役割やレベルの異なる複数の観測システムを併用する階層的観測体制を導入し、具体的な機器としてローコストな MEMS センサーの活用可能性を検討する。またプロトタイプ観測システムの運用テストを行うべく、複数の基礎自治体やライフライン企業と連携した体制の準備を進める。

「リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築」においては、社会様相把握に必要となる多様なデータを収集するための一つの切り口として、災害対応に関わる人そのものをセンサーとした枠組みを提案することを目指す。具体的には、インフラの維持管理に関わるステークホルダーによる情報収集システムの構築を目指すこととし、愛知県内にて水道事業を展開している愛知県企業庁と連携し、リアルタイムでの情報収集を図るための情報基盤整備に向けて、協議・調整を実施した。ヒューマンセンシングという用語は、ウェアラブルデバイスや人感センサー等を用いて「人の行動や身体状況」を計測し、ビッグデータとして活用する概念であるが、ここでは災害時、人そのものが優秀なセンサーとなりうると解釈し、彼らの位置情報、彼らの見たもの、感じたことを広域、かつ詳細に集約することで、社会様相把握のための重要な手がかりとする基盤技術を開発することを目指している。

#### (c) 業務の成果

##### 1) リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤

- 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」においてもコロナ禍での社会様相の変化をライフラインの供給量の変化等から推定しうる可能性を示

したが、それら以外にも、例えば三菱総合研究所<sup>1)</sup>は、休業や外出自粛といった対策が電力需要に与える影響を分析し地域比較を行っている。電力需要の減少は、外出自粛等による家庭部門の需要増加より、工場閉鎖等による産業部門の需要減が大きいことから生じたと分析し、この傾向は日本よりも米国やイタリアで顕著であること、その理由として企業の休業要請に係る強制力の差があげられることを示している。また、電力広域的運営推進機構<sup>2)</sup>は、コロナ禍における電力量と他の複数年の平均電力量を比較し、家庭用電力量が増加している反面、産業用電力量は減少の傾向にあり、特に飲食業、宿泊業、生活娯楽関連サービスでの減少が大きいことを示している。また、輸送機械工業（自動車産業）の生産の落ち込みも一時的ではあるが産業用電力量に大きく影響していることを指摘している。これらの既往の分析からも、社会活動の活性化度をライフラインの供給量などから推定しようと考えられる。

また、災害後の被害状況の把握においても、ライフラインの供給量の変化をもとに推定する方法が検討されている。災害直後の電力供給量は、被災による供給支障と需要の落ち込みの2つの影響を受けるが、電力復旧は比較的短期間で達成されることから、災害直後を除けば電力供給量をモニタリングすることで被災の程度を測ることができると考えられる。例えば、秦<sup>3)</sup>では、以下の項目が成果として取りまとめられている。

- ・地震後1週間以降の電力供給量の変動が建物被害と高い相関がある。
- ・深夜電力を採用することにより高い推定精度が得られる。
- ・水害にも適用可能である。

図2-5-②-1には、兵庫県南部地震における低層戸建住宅の全壊・火災率と、電力供給量の低下の程度を建物被害率と見做した場合の比較を示す。図2-5-②-2は電力供給比を地域の冠水エリア比として、浸水実績と浸水評価エリアを比較したものである。いずれの場合においても、電力供給量に基づき推定される被害状況は、実被害とよく一致していることが伺える。

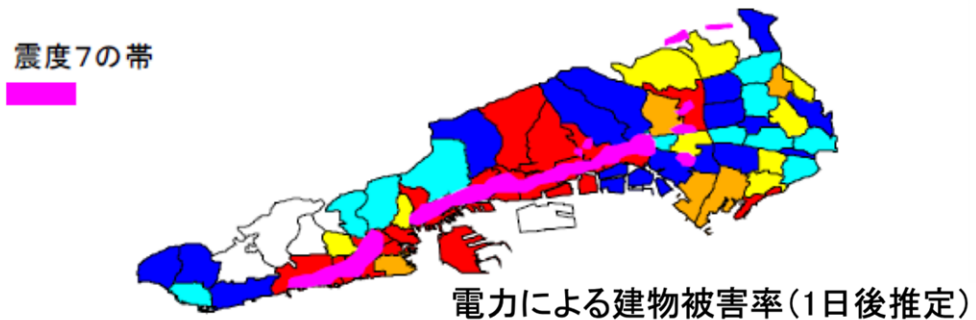
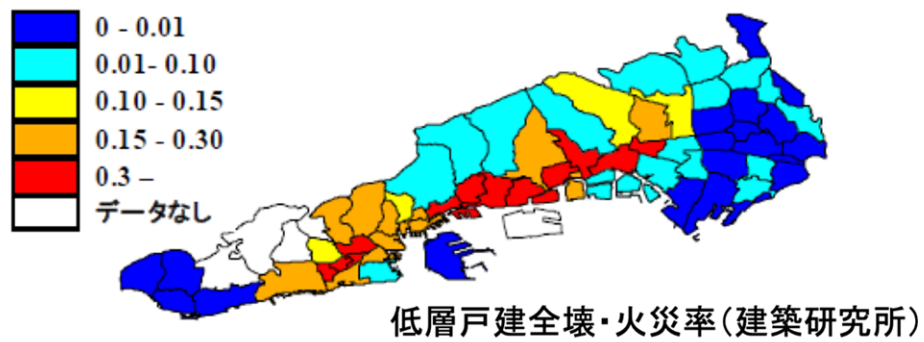


図 2-5-②-1 夜間電力量に基づく被害率<sup>3)</sup>

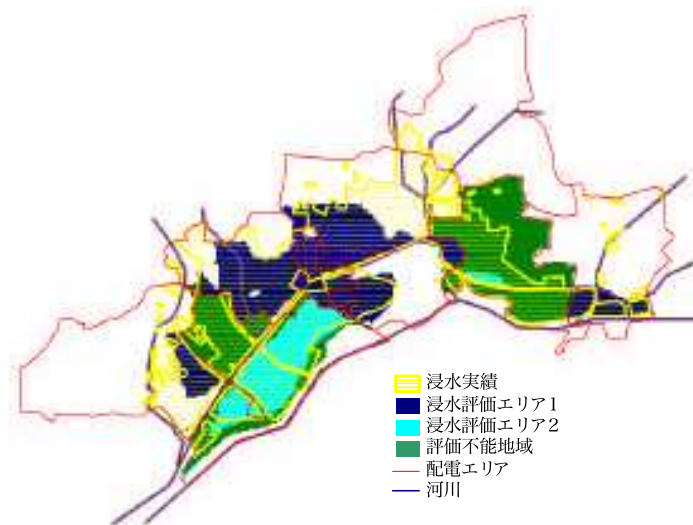


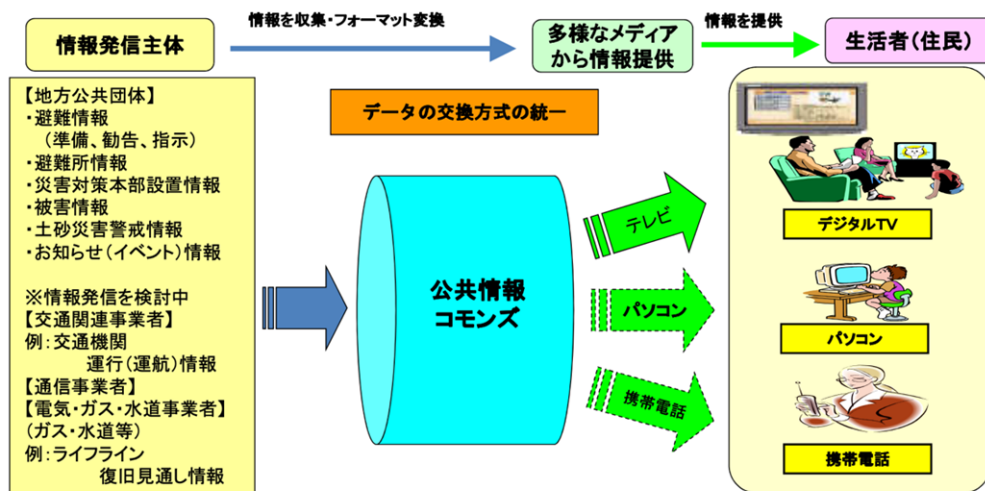
図 2-5-②-2 浸水実績と浸水評価エリア<sup>3)</sup>

これらのことから、電力供給量をモニタリングすることで、発災前から発災後にかけての一連の社会状況の推定が、電力供給量の把握により叶う可能性があることがわかる。

このように、ライフラインの供給状況から社会状況の把握を行い得る可能性を示したが、それらのモニタリングやその他補足的な状況把握に活用しうる可能性のあるデータ（群）として、公共コモンズ、あるいはベース・レジストリがある。

我が国では、2007年新潟県中越沖地震の際の経験を発端として公共情報コモンズ<sup>4)</sup>を整備してきた。その概要を図 2-5-②-3 に示す。この仕組みを利用すれば、被

害に関する地方公共団体の直接的な情報の他、ライフライン事業者の活動についてもモニタリング可能であることがわかる。また近年では、デジタル社会におけるデータ管理としてベース・レジストリ<sup>5)</sup>が整備されつつあり、このデータベースも活用が可能と考えられる。



総務省情報流通行政局地域通信進行課, 2013

図 2-5-②-3 公共情報コモンズの概要<sup>4)</sup>

そのほか、JR 東日本では、SIP4D (Shared Information Platform for Disaster management) との連携によるデータ (地表震度、建物被害道路通行規制、病院、避難) と自社が保有するデータを地理情報システム上で統合し活用している。図 2-5-②-4 に SIP4D との連携による災害情報の地図表示例を示す。

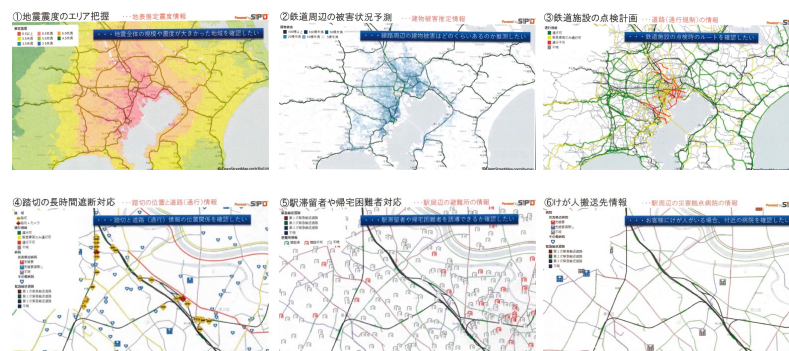


図 2-5-②-4 SIP4D との連携による災害情報の地図表示<sup>6)</sup>

また、走行する車両から得られる位置情報や運転挙動等の情報 (プローブカー情報) をサーバーで収集処理し配信するシステムはプローブカーシステム (図 2-5-②-5) と呼ばれ、自動車会社やカーナビメーカーで実用化されている。現在ではプローブカー情報の減災利用についても検討が行われており、最近の災害において「通れた道マップ」の提供が行われている。

電力会社では、家庭に設置された次世代型電力計「スマートメーター」のデータを

災害時に自治体や自衛隊に提供することとなった<sup>7)</sup>。なお、スマートメーターの普及率は2020年3月の時点において全国で6割程度であり、2024年度末に大手電力10社全てで導入完了の予定である。

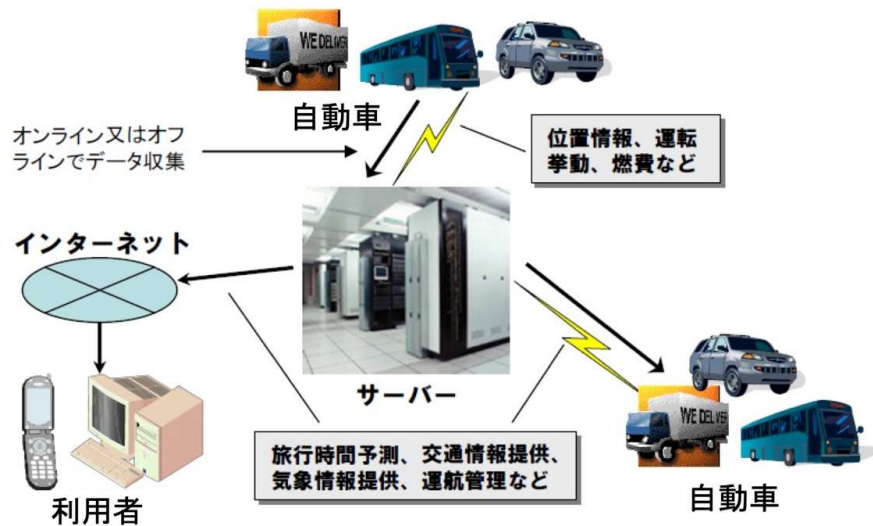


図 2-5-②-5 プローブカーシステム<sup>8)</sup>

その他、警備会社の通報情報や顧客監視情報、エレベータ監視会社の管制運転情報等も、災害時のモニタリング情報として活用することが期待される。

災害後の比較的早い時期から長期に亘って活用できる情報として電力供給量があり、また、プローブカー情報なども活用可能性が高いと考えられる。今後は、発災から復興に至るタイムラインの中で、より効果的に災害を定量化できる社会状況指数の抽出とそのモニタリング方法を検討していく予定である。

## 2) リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発

地震災害の発生を想定すれば、初期の状況把握と災害対応、二次災害の抑止などを効率的に実施するために、高密度地震観測網による震度分布の把握が有用である。また、重要施設の被災状況を一次的に把握するためにも、各敷地や建物内での観測記録が利用できる。ここでは、災害を想定した社会様相把握の一環として、物理的な観測の中でも基本的な地震動特性の把握について考察するとともに、実際的な機材の確認やデータ回収・運用システムへの展開を想定して基盤技術の開発に着手した。

現在、全国を覆う震度観測網は、1995年阪神・淡路大震災以降に急速に整備されたものと言える。この背景には、1980年代にはじまる計測震度の検討と計測震度計の開発があり、気象庁の計測震度観測地点は1994年に約300点、1996年には約600点に急増した。また自治体の災害対応のため、消防庁による震度観測ネットワークが1996年ころから各市町村に順次整備され、現在は全国で約3000点ある。さらに防災科学技術研究所の強震観測網K-NETが約1000点に設置された(震度発表は2004年からで約800点)。これらはいずれも高精度の観測機器からネットワークでデータが回収され、震度は一元化されて地震発生後の早期に情報が公開される。合計で約4370点、全国の

面積を単純に地点数で除せば約 86km<sup>2</sup>、約 10km 間隔となる。

全国の震度計測点の配置を図 2-5-②-6 に示す<sup>9)</sup>。特に人口の多い都市域で密度が高く、数 km 程度の間隔である。このような観測点密度の相違が観測震度に影響したと考えられる例を図 2-5-②-7 に示す<sup>9)</sup>。大阪府北部の地震（2018 年 6 月 18 日）と島根県西部の地震（2018 年 4 月 9 日）はいずれも M6.1、震源深さ 12~13km であるが、観測された最大震度は 6 弱と 5 強で 1 段階の差がある。この図から明らかに大阪の観測点密度が高く、震源近くに多数の観測点がある。さらに地盤条件の差異等により震源距離が同様でも震度が異なる地点も読み取れる。最大震度は速報値として被害状況の判断にかかわり、自治体等の災害対応の基準ともなることから、最大値を取りこぼすことなく捉える高密度化は重要である。

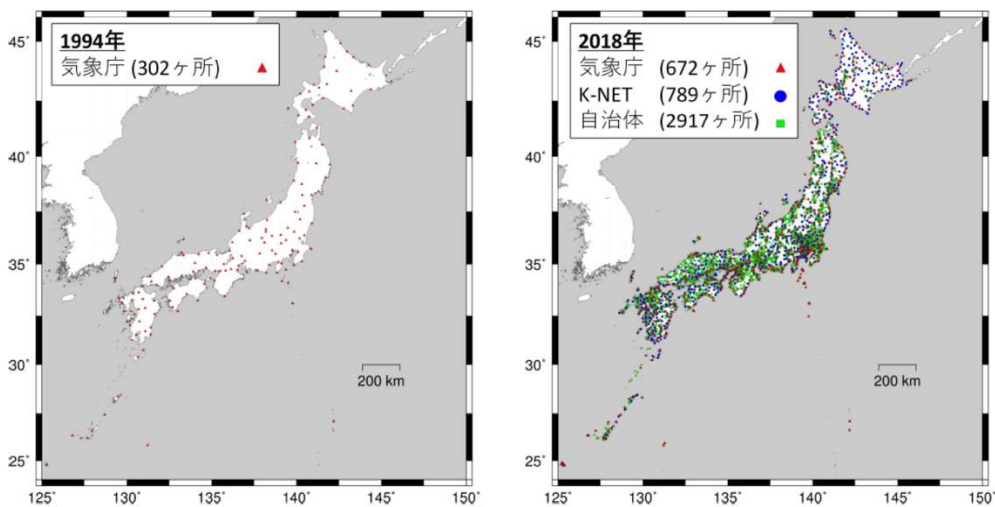


図 2-5-②-6 全国の震度観測点分布とその変化<sup>9)</sup>

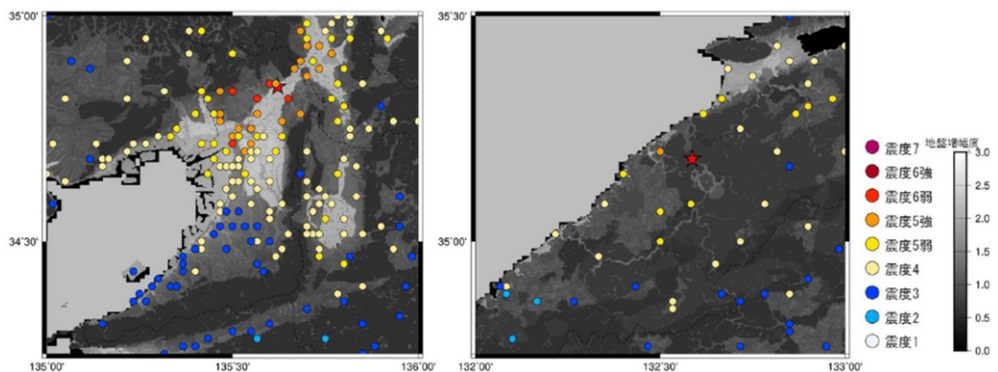


図 2-5-②-7 震度観測点密度の相違と観測地の分布<sup>9)</sup>

一方で、高精度観測網は設置・維持経費や運用負荷が大きく、さらなる高密度化は容易ではない。必ずしも高精度の機器でなくても、目的によっては十分な情報として扱うる場合もある。特に設置数を大幅に増加できれば、個々の記録だけでなくビッグデータとしての意味もあるため、波形記録の精度は必ずしもさほど重大ではない。また、災害時の通信環境も想定すれば、データ転送は最小限が望ましく、センサー側で代表値に処理したうえで、少ないデータ量で役に立つ情報を提示できればメリット

が大きい。

さらに観測網の設置・維持主体として、地域に密着した設備ネットワークを運用する電気、ガス等のライフライン事業者による観測もすでに実施されている。スマートメーターなど、本来業務のセンサー+ネットワークを活用した観測の展開により、当該事業者の災害対応と地域災害情報の両面での活用も現実的である。通信事業者の基地局網の活用なども考えられる。また店舗等の広範なネットワークを持つ事業者（流通、小売り等）や、多数のユーザーを抱える住宅事業なども、観測結果がそれぞれの業務に関する災害対応に活用できる面もある。

観測主体をさらに個別分散で想定すれば、個人レベルでの情報を集約することが想定される。個人で所有する携帯端末により人口分布とその変化をモニタリングする手法はすでに実用化され、感染症に対応した社会状況モニタリングなどに応用されている。個人レベルで使用する乗用車についてはコネクテッドカーの普及が進んでおり、必要なセンシング技術を開発することによりビッグデータとしての活用が期待できる。将来的な自律分散社会におけるモビリティの位置づけと合わせて、災害対応に活用できる可能性は高い。これらで使用されるセンサーはローコストが第一目的であり、限定された性能をビッグデータの密度でカバーする位置づけとなる。

以上のように、将来的な高密度災害情報（例えば震度情報）を考えると、複数の階層を想定し、それらの役割分担と統合利用を考慮することが必要となる。またその結果として、単一のネットワークに依存しないレジリエンスも向上できると考えられる。本検討では、中間的な位置づけの観測システムの例として、簡易・安価である程度の精度を有する MEMS 加速度センサ（震度情報も出力可）を活用し、設置状況に応じて携帯電話ネットワークなども活用した多様な接続を検討する。さらにネットワーク経由で集約したデータを活用するシステムとして、本研究で実施する社会状況モニタリングの多様な情報と一元化して利用する方策を検討する。

なお、ここまでの議論は主に地盤の地震動分布を想定したものであるが、別な面として建物の地震時被災モニタリングも重要である。この分野は、特定の建物に関して、詳細な地震応答等の計測等に基づく構造損傷（あるいは健全度）モニタリングの実用化が進んでいるが、コスト面からも、超高層建物など大都市圏の少数の大規模・重要建物に限定されている。また構造損傷だけでなく、建物の機能障害のモニタリングも重要となる。たとえばエレベータ停止状況などは、高層建物の災害対応やその後の機能維持に直結する。企業や自治体であれば、関連する重要施設（主要な営業拠点や工場、ライフライン拠点、役所支所、病院、消防、避難所など）の被災状況把握は初動対応に必須である。この際に、個々の建物の詳細なモニタリングは困難としても、該当する施設の敷地内での地震動特性や、建物の代表点の応答特性だけでも基礎的な情報として有用である。また簡易なセンサーの観測情報も、建物・地盤等の設計時検討や事前調査等と合わせれば十分な可能性がある。

今年度に主な検討を行ったセンサーは MEMS (Micro Electro Mechanical System) である。このタイプの加速度センサーは小型で安価であり、携帯端末の姿勢把握やエアバッグの衝撃検出など工業製品に多数が使用されている。一方で、地震観測分野では比較的low振動数成分が主であり、加速度時刻歴の精度が求められるため、ごく小型

のセンサーモジュールでは制約が多いと考えられている。携帯端末の内蔵センサーの地震観測への利用はかなり以前から検討されており<sup>10)</sup>、アプリとしても入手可能である。また制度の比較的高いセンサーを使用して地震計として開発された製品もいくつか出ており、MEMS の中でもコストや性能のバランスで選択できる状況となっている。今回主に使用したセンサーは、震度計として開発され、気象庁検定も受けた製品である。

図2-5-②-8に稼働テストの状況を示す。ネットワーク接続と電源供給をPoEハブで行っており、この状態では複数の同時稼働を実施しているが、実際には1か所に1台ずつ設置を想定している。精度の高い加速度計とともに加振することで、震度計としての機能は震度0～1相当から上限まで十分な性能を持つことを確認したが、小振幅の加速度波形にはある程度のノイズが避けられない(図2-5-②-9)。また、他のセンサーとの性能比較も行っている。実際に使用するうえでの重要な点は、性能もさることながら、稼働安定性と耐久性である。今年度の数か月程度の連続稼働テストでは問題なかったが、将来的に現場の悪条件下での長期テストで確認する必要がある。

ネットワーク接続については、有線ネットワークが使える場所では問題ないが、情報セキュリティ方針の制約から、建物内LANへの接続や建物外への通信は制限されている場合がほとんどである。その際は、4G携帯電話回線でデータ通信を利用することが一般的である。図2-5-②-10に稼働テスト例を示す。電波状況などにより差はあるが、都市域であれば、この目的には十分なデータ転送性能が得られている。災害時を想定すればMEMSセンサーと通信機器のいずれも電力消費は比較的小さいため、電源はUPS等で賄える。回線の安定性は被災状況次第であるが、震度情報のみを送信するのであればデータ量はごく小さく、悪条件に強いと考えられる。



図2-5-②-8 MEMSセンサーの有線ネット接続による稼働テスト



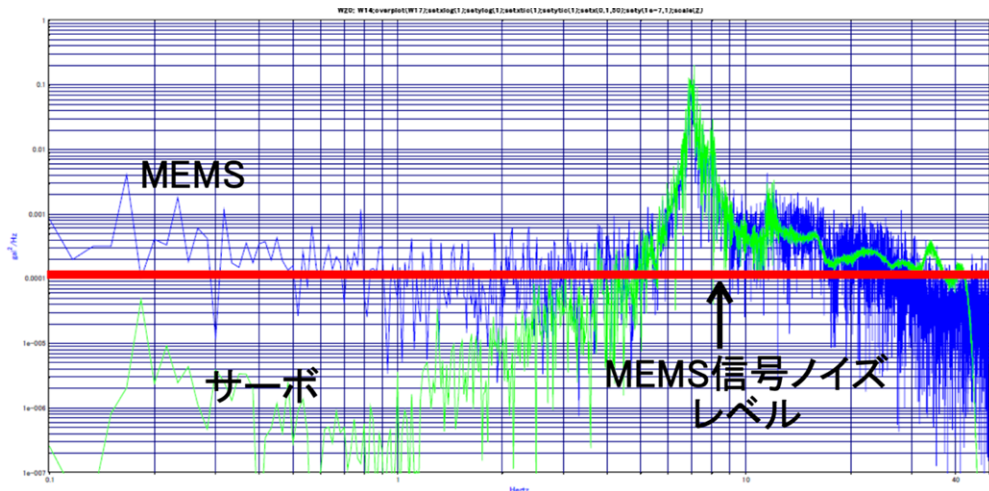


図 2-5-②-9 MEMS とサーボのパワースペクトルの比較



図 2-5-②-10 MEMS センサーの LTE 無線ネット接続による稼働テスト例

接続先のシステムについては、実際にサーバーシステム（仮想を含む）がある場合と、すべてクラウドに依存することも考えられる。クラウドであれば災害も機能する可能性がある。今年度はデータを実際のサーバーに送ってデータベース化するシステムまでを試験的に開発したが、今後は多様な接続を想定したシステムのプロトタイプを検討する。

このようなシステムの運用テストに向けて、これまでも連携活動を実施してきた愛知県西三河地域の市町およびライフライン事業者との連携体制を準備した。これらの自治体は、ほとんど市街地のみの小規模自治体、津波避難を必要とする沿岸域を持つ自治体、合併により広大な市域や山間部を持つ自治体、製造業の大規模拠点を持つ自治体など多様である。またライフライン事業者は、ネットワークの稼働のための情報網を運用しているが、変電所等の主要施設の建物を考慮する点が重要である。このような連携体制から、震度計による詳細震度分布把握や重要建物被災把握のニーズ確認を進めている。それぞれで精度の高い観測を別途保有する中で、精度とコストのバランスの異なる観測体制の活用についての議論を行っている。

### 3) リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築

大規模災害時、各種インフラの被害状況並びに復旧状況を子細に把握することを目指し、インフラの維持管理に関わるステークホルダーによる情報収集を目指す。今年度は愛知県企業庁（以下、企業庁）と連携し、同県内の水道インフラを例に、状況をリアルタイム把握するためのプラットフォーム開発を試行した。

本研究で用いるシステムは名古屋大学が独自に開発してきた災害情報収集基盤「CASI-KA」<sup>11)</sup>をベースとしており、同システムは汎用的なスマートフォン端末にインストールするアプリケーションと、サーバサイドで動作する管理アプリケーションの組み合わせで成り立っている。基本的な動作は、センサーとなる一人ひとりの人間（調査員）が現場で写真や動画による情報収集を行い、それらをリアルタイムでサーバーに集約することで、管理者（本部）が状況判断や調査員への指示を行うものとなっている。この基本的な概念を図2-5-②-11に示す。



図2-5-②-11 CASI-KAの基本概念

CASI-KAは本来災害発生直後の被害調査ツールとして開発してきた経緯があり、様々な組織や災害種別に応じて汎用的に利用できるような設計になっている。本研究ではこれを活用し、平常時のインフラ管理においてメンテナンス情報共有ツールとして利用するとともに、南海トラフ地震発生時に水道インフラの被害状況と復旧状況、ならびに現場の対応リソース等について把握するためのツールとして用いる。

より具体的には、企業庁の各事務所における水道管路管理担当者がスマートフォンの地図画面で管路網を確認しながら、管路の被害状況や復旧状況に関する情報登録を行い、企業庁本庁においてリアルタイムな状況把握と指示を可能とすることを目指している。なお同システムを用いてこれまでに同種の実証実験を各地で行ってきており、

災害時と平常時で同一のシステムをシームレスに活用することが肝要であることが分かっている<sup>12)</sup>。実証実験の様子を図2-5-②-12に示す。そのため本研究では、平常時の管路メンテナンス作業への活用を先行して試行している。



図2-5-②-12 CASI-KAを用いた地域情報収集実験の様子<sup>13)</sup>

今年度（令和2年度）は、次年度以降の本格的な運用を見据えた環境整備を行った。具体的には、以下に示す通り愛知県企業庁をフィールドとした、各関係者への説明および事業の承認と、そのためのシステムの整備である。

まず、本システムの主たる導入先は愛知県企業庁本庁である。本庁の技術監および水道部長に計画の了承を得た後、水道事業課と水道計画課の各担当にシステムの説明を行った。また、本庁と連携する水道事務所として、愛知用水水道事務所（尾張旭出張所を含む）、尾張水道事務所の2事務所の担当者にも同様の説明を行った。これらの担当者は、普段から管路網の維持管理に携わり、漏水などのトラブルを発見・報告することを担っている。さらに、実際の復旧工事にあたっては各地域の事業者がおり、必要に応じてこの事業者とも情報共有を行っている。

前述のとおり平常時の管路メンテナンス、例として管路設備点検や漏水事故を対象として情報共有を行うことで合意した。運用を通じて対象とする事案や利用者（事務所や事業者）を拡大していくこととした。また、企業庁では管路情報システムを運用しており、過去の管路メンテナンスの電子データベースを有している。将来的にはこちらのシステムとの接続を視野に入れている。またシステムの利用が増えるにつれ、管理者および利用者の階層的な管理が必要になることも議論の中で明らかになった。具体的には、本庁、各事務所で管理できる情報や利用者をグルーピングし、情報の共有範囲を柔軟に制御する等である。このようなシステムの改修は次年度以降の課題である。管理者の利用画面イメージを図2-5-②-13に示す。



図 2-5-②-13 CASI-KA 本部画面による情報集約のイメージ

システムの運用開始にあたり、企業庁から管路網 GIS データを提供され、これをシステムに登録した。これにより、スマートフォン画面においては管路網を地図上で確認しながら、正確な位置情報を伴った動画や写真を収集することが可能となった（図 2-5-②-14）。次年度は平時の管路メンテナンスにおいて運用を開始するとともに、2021年9月の企業庁防災訓練において南海トラフ地震発生を模したシステムの稼働訓練を行うことを予定している。



図 2-5-②-14 スマートフォン画面による水道管網表示（調査員）画面

(d) 結論ならびに今後の課題

1) リアルタイム社会様相把握システム構築を支えるデータ基盤

ライフラインの稼働状況や供給量の推移などにより社会の活性度合やその変化（災害時には被災状況）を推定しうる可能性のあることを明らかにした。今後、ライフライン事業者においてスマートメーターなど個別、かつ詳細なデータの取得を可能とする仕組みの導入が進み、さらに公共情報コモンズやベース・レジストリといった社会活動に関連するデータの活用基盤の整備が進むことで、社会様相を多様な視点からモニタリングすることが可能となることが期待される。臨時情報発表時、あるいは災害発生時に生じる可能性のある社会経済活動の変化を想定し、その変化の有無や程度は、どのようにすれば確認できるのかを検討すること、具体的なモニタリングの手法を明らかにしていくことが、今後検討すべき課題である。

2) リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発

社会モニタリングの基盤技術の一つとして、高密度震度観測網の効果を検討するとともに、そのための方針として階層的震度観測体制を議論した。このなかで、中間の階層の例として、比較的性能の高いMEMSセンサーによる震度計製品について性能確認と運用体制の検討を行った。結果として想定する目的のためには十分な性能と運用可能性を確認した。実際的な稼働テストに向けて、複数の基礎自治体やライフライン事業者と連携できる体制を構築し、一方でネットワーク接続技術やサーバシステムの開発に着手した。今後は実際的な設置状況での性能把握、長期の安定運用の確認、他の情報と一元利用するためのシステム構築、実際的なユーザーのニーズ把握などが課題となる。

3) リアルタイムでの社会様相（対応リソース、状況、人）把握システム構築

汎用的なリアルタイム情報収集・集約ツールを応用することで、災害対応に関わる人員そのものをセンサーとした社会様相把握のための枠組みについて検討した。今後、平常時のインフラ管理においてシステムの試用を進めるとともに、人員の習熟やシステムの改善、ならびに南海トラフ地震発生のような有事を模した訓練などを行い、リアルタイムの社会様相把握のためのデータ収集の可能性について検証を行っていく。本項では水道管路網をテストケースとしているが、その他の社会インフラへの応用展開やその際の課題を整理し、本研究課題全体で開発する高度なモニタリングシステムのモジュールとして完成させていく必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 三菱総研：新型コロナによる電力需要への影響（2021.4.15 アクセス）  
<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/202006-1.html>
- 2) 電力広域的運営推進機関：電力需給検証\_新型コロナウイルスによる電力需要への影響評価（2021.4.15 アクセス）  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/denryoku\\_gas/pdf/028\\_s02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/028_s02_00.pdf)
- 3) 秦康範：電力供給量情報を利用した災害モニタリングシステム，第5回（社）土木学会地震災害マネジメントセミナー，2004
- 4) 総務省：「公共情報コモンズ」とは（2021.3.15 アクセス）

<https://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/sbt/bousai/bousai-kanren-4.htm>

- 5) 例えば、データ戦略タスクフォース、ベース・レジストリ・ロードマップ（案）、2020.12.8、デジタル・ガバメント閣僚会議、データ戦略タスクフォース 第一次とりまとめ、2020.12.21
- 6) 防災科学技術研究所：<https://xview.bosai.go.jp>（2021.3.20 アクセス）
- 7) 西日本新聞記事：電力データ災害時活用 家庭用，自治体へ提供可能に 国会に法改正案，2021.2.17
- 8) 秦康範，鈴木猛康，下羅弘樹，目黒公郎，小玉乃理子：新潟県中越沖地震における通れた道路マップの提供とプローブカー情報の減災利用実現に向けた課題と展望，日本地震工学会論文集，第9巻第2号，pp.148-159，2009.2
- 9) 杉山充樹，吉岡優樹，平井敬，福和伸夫：震度観測体制の年代差・地域差の定量評価と震度情報の解釈，日本地震工学会論文集，第20巻第7号，pp.101-119，2020
- 10) 平山義治，飛田潤，福和伸夫：携帯情報端末の内蔵センサを用いた簡易地震計の性能と建物モニタリングへの展開，日本建築学会学術講演梗概集，発表番号 21314，2012.9
- 11) 平常時と災害時の両面で活用できる地域災害情報収集・共有システムの開発と適用：倉田和己，新井伸夫，千葉啓広，上園智美，福和伸夫，災害情報 No.15-2，pp.187-196，2017.7
- 12) Various Issues in Regional Implementation of Real-time Information Sharing System Using Smartphone: Kurata Kazumi, Arai Nobuo, Chiba Yoshihiro, 2018 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR DISASTER MANAGEMENT (ICT-DM), 2018.12
- 13) ケーブルテレビ四日市：ケーブル NEWS2018年9月18日放送より

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した 時期	国内・外 の別
南海トラフ地震に対する杭基礎中層庁舎建物の応答評価とその防災対策への活用	護雅史、 飛田潤、 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、 269-270	2020年9 月	国内
モバイル空間統計に基づく南海トラフ地震臨時情報発表時の津波防災対応計画に向けた浸水域の人口特性の把握	松原健太郎、 飛田潤、 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、 261-262	2020年9 月	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### ③事態想定シミュレーション手法の構築に関する検討

(a) 業務の要約

事態想定シミュレーション手法の構築のため、動的な被害予測手法導出のため、リアルタイム社会様相把握のための都市インフラデータの収集を行うとともに、人・物の地域間移動に関する時系列データ収集を行う。

また、事態想定シナリオ構築のため、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）での社会経済活動の停滞と臨時情報発表時の社会の委縮に伴う地域経済活動停止との類似性の視点から、新型コロナウイルス感染症対策での対策本部のあり方に関する検討を行うとともに、産業タイムラインや産業構造を組み込んだ事態想定を表現するための手法について検討する。

(b) 業務の実施方法

都市インフラに係る産業構造モデルを構築し、南海トラフ地震での臨時情報発表時の事態想定シミュレーション手法を検討するためには、都市インフラ（水道、電気、ガス等）と社会における人流、物流との関連について検討することが必要である。そこで、南海トラフ地震での臨時情報発表時の社会活動の萎縮が、新型コロナウイルス感染症 COVID-19 での緊急事態宣言発表時の事態と相似であるとの仮定に基づき、都市インフラのセンシング情報と人流データ、産業活動との関連を分析するための、人流データの集計手法の検討とデータ整備を行う。愛知県西三河地区を対象とし、COVID-19 の緊急事態宣言発表前後の 2020 年 1 月、2 月、4 月、5 月における 4 分の 1 地域メッシュ（250m）で人流データを収集した。

COVID-19（新型コロナウイルス感染症）への対策は危機管理上重大な課題である。厚生労働省は新型コロナウイルス感染症対策の基本的対処方針<sup>1)</sup>を示し、「3 つの密（密閉・密集・密接）」を徹底的に避ける等の感染拡大防止対策が求められている。また、緊急事態宣言解除後においても、基本的な感染対策の継続など感染拡大を予防する「新しい生活様式」やニューノーマル（新常态）を社会に定着させていくことが必要である。現在、感染症と自然災害の複合災害については、災害時の避難所における新型コロナウイルス感染症対策等の検討がなされてきている<sup>2), 3)</sup>。本稿では、被災水道事業体に設置される水道給水対策本部において 3 つの密を回避するために求められることを検討し、ポスト新型コロナウイルス感染症のニューノーマルにおける水道事業体における対策本部のあり方について考察した。

(c) 業務の成果

ユーザーの利用許諾を得たスマートフォンアプリからフリーWi-Fi への接続情報を取得し、アプリユーザーの属性偏りや毎月増加するユーザー数を考慮し、拡大補正した。そのうえで、月ごと、曜日ごと、1時間ごとに、あるメッシュにいるユーザーを集計し、曜日平均人数と、その居住地の内訳を集計した。さらに、推定居住地ごとに合計し、曜日平均を計算した。表 2-5-③-1 にレコードレイアウトを、表 2-5-③-2 に作成したサンプルデータの一例を示す。

表 2-5-③-1 収集したレコードレイアウト

カラム名	形式	説明
week_code	I	曜日 (Sun=1, Mon=2, Tue=3, Wed=4, Thu=5, Fri=6, Sat=7)
timezone	A	時間帯(t00~t23) ※本業務ではt09~t17のみ
mesh250m	I	当該時間帯に滞在したメッシュ ※愛知県西三河地区のみ
sum_users	I	上記メッシュに当該時間帯に滞在したユーザーの1ヶ月間の曜日別平均ユーザー数
lp_gun	K	上記メッシュに滞在したユーザーの推定居住地の郡名 ※愛知県のみ
lp_city	K	上記メッシュに滞在したユーザーの推定居住地の市町名 ※愛知県のみ
lp_tokubetsuku	K	上記メッシュに滞在したユーザーの推定居住地の特別区名 ※愛知県のみ
lp_mesh10km	I	上記メッシュに滞在したユーザーの推定居住地を10kmメッシュコードにしたもの
cnt_lp_users	F	上記メッシュに滞在したユーザーの推定居住地毎の曜日平均ユーザー数

形式凡例  
 I: 整数 (半角)  
 F: 小数点付き半角数字 (半角)  
 A: 半角英数字記号  
 K: 全角文字

表 2-5-③-2 サンプルデータの一例

week_code	timezone	mesh250m	sum_users	lp_gun	lp_city	lp_tokubetsuku	lp_mesh10km	cnt_lp_users
1	t10	5236670221	30		名古屋市	西区	523667	10
1	t10	5236670221	30		名古屋市	守山区	523667	10
1	t10	5236670221	30		瀬戸市		523760	10
1	t10	5236670222	45		名古屋市	西区	523667	5
1	t10	5236670222	45		春日井市		523770	10
1	t10	5236670222	45		長久手市		523760	20
1	t10	5236670222	45		日進市		523750	10
1	t10	5236670223	8		名古屋市	緑区	523647	7
1	t10	5236670223	8	知多郡	東浦町		523637	1
1	t10	5236670224	26		名古屋市	昭和区	523657	5
1	t10	5236670224	26		瀬戸市		523770	6
1	t10	5236670224	26		瀬戸市		523760	7
1	t10	5236670224	26		名古屋市	中川区	523656	8

当該曜日、当該時間帯にいたユーザーがそれぞれどの推定居住地から平均何人来ているかを示しています。

ポスト COVID-19 のニューノーマルにおける水道給水対策本部のあり方について考察した。今後、オフラインで災害対応を実施することの意義を理解しつつ、ICT 技術による災害対応業務を変革するという視点から、オフかオンではなく、一定の密を許容しつつ、感染リスクを減らすために新常态での水道給水対策本部をどうすべきか検討することが必要不可欠であることを示した。

(d) 結論ならびに今後の課題

事態想定シミュレーション手法の構築のため、動的な被害予測手法導出のため、リアルタイム社会様相把握のための都市インフラデータの収集を行うとともに、人・物の地域間移動に関する時系列データ収集を行った。今後は、事態想定シミュレーションのためのデータ整備や、事態想定シナリオの作成に向けたデータ分析を行うことが必要であ



る。

新型コロナウイルス感染症対策での対策本部のあり方に関する検討を行うとともに、産業タイムラインや産業構造を組み込んだ事態想定を表現するための手法について検討した。その結果、対策本部における意思決定や情報発信などのさまざまな階層における対応や行動を事態想定シナリオに組み込むとともに、統一モデリング言語（UML, Unified Modeling Language）を用いて、南海トラフ地震臨時情報発表時の社会様相や事態想定を記述する手法の検討が今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 厚生労働省：新型コロナウイルス感染症対策の基本的対処方針，令和2年3月28日（令和2年5月25日変更），新型コロナウイルス感染症対策本部，2020.
- 2) 防災学術連携体：[https://janet-dr.com/070\\_seimei/071\\_seimei200501.html](https://janet-dr.com/070_seimei/071_seimei200501.html)，2020.（accessed on 令和3年1月15日）
- 3) JVOAD：新型コロナウイルス避難生活お役立ちサポートブック0529版，2020.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した 時期	国内・外 の別
ポスト新型コロナウイルス感染症のニューノーマルにおける水道給水対策本部のあり方に関する一考察（査読無）	平山修久	令和2年度水道研究発表会講演集， 718-719	2020年11 月	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

④臨時情報発表時における地域情報共有連携手法の構築

(a) 業務の要約

臨時情報発表時における地域情報共有連携手法を検討するにあたり、遠隔型のワークショップ及び訓練ツールを開発し、遠隔型のワークショップを試験的に開催し、関係機関の臨時情報発表時における現状の体制及び課題について共有、意見交換を実施した。

表 2-5-④-1 にワークショップ開催概要を示す。

表 2-5-④-1 遠隔型ワークショップの開催概要

実施日	令和3年2月5日
会場	名古屋大学減災館減災ホール 参加者は Zoom ミーティングで参加
参加機関	約 70 機関がリモート主体で参加 ※西三河防災減災連携研究会会員市町（9市1町）、愛知県、名古屋大学減災連携研究センター、トヨタ自動車（株）、中部電力（株）、東邦ガス（株）、内閣府、名古屋地方気象台、中部地方整備局、国立研究開発法人防災科学技術研究所、（一社）中部経済連合会 他
参加者数	約 200 名
実施目的	巨大地図プロジェクションマッピングの手法を用いて南海トラフ地震発生時の津波浸水被害等の様々な「リスク」等を共有すると共に、情報収集及び情報共有内容や方法等を確認し、関係機関の連携強化を図る。
ワークショップの流れ	『前半：ワークショップ』 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 南海トラフ地震臨時情報発表時の想定について（四国沖で地震発生）</li> <li>・ 南海トラフ地震発生時の想定について（三重県南東沖で突発地震発生）</li> </ul> 『後半：意見交換』 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 南海トラフ臨時情報発表時の各機関が抱える課題について</li> <li>・ 南海トラフ地震発生時に各機関が共有すべき情報について</li> </ul>



写真 2-5-④-1 遠隔型ワークショップの様子

## 西三河防災減災連携研究会ワークショップを開催しました

<b>【概要】</b>	
■日 時:	令和3年2月5日(金) 午後2時～午後4時頃 ※【前半】WS(60分)【後半】意見交換(60分)
■場 所:	名古屋大学減災館 ※WEB(Zoom) 混合開催
■主 催:	西三河防災減災連携研究会
■参加者:	約70機関(約200名)がリモート主体で参加 ※西三河防災減災連携研究会会員市町(9市1町)、愛知県、名古屋大学減災連携研究センター、トヨタ自動車(株)、中部電力(株)、東邦ガス(株)、内務府、名古屋地方気象台、中部地方整備局、国立研究開発法人防災科学技術研究所、(一社)中部経済連合会 外
■目 的:	巨大地震「プロジェクトンマッピング」の手法を用いて南海トラフ地震発生時の津波風水被害等の様々な「リスク」等を共有すると共に、情報収集及び情報共有内容や方法を確認し、関係機関の連携強化を図る
■内 容:	【前半: WS】 ①南海トラフ地震発生時情報発表時の想定について(四国沖で地震発生) ②南海トラフ地震発生時の想定について(三重県南東沖で突発地震発生) 【後半: 意見交換】 ①南海トラフ臨時情報発表時の各機関が抱える課題について ②南海トラフ地震発生時に各機関が共有すべき情報について
	※西三河防災減災連携研究会会員市町 岡崎市、碧南市、刈谷市、豊田市、安城市、西尾市、高浜市、みよし市、幸田町、知立市



図 2-5-④-1 ワークショップ実施概要<sup>1)</sup>

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 当日の会場設営など事前準備

ワークショップ当日は、メイン会場である名古屋大学減災館 1F減災ホールに西三河地域の巨大地図を設置し、プロジェクションマッピングのシステムを準備した。また、メイン会場を一望できる形でカメラを設置し、Web (Zoom)にてメイン会場の様子を参加者に配信、メイン会場の正面スクリーンには配信映像を投影し、メイン会場のファシリテーターとWeb (Zoom)参加者がリアルタイムでコミュニケーションをとれるように設定した。

ワークショップ参加者は、全てWeb (Zoom)での参加とし、参加者は当日にWeb (Zoom)と連動して情報共有に活用する特設Webサイトへのスマートフォン・PCでの接続を依頼した。また、参加者が閲覧する特設サイトの映像をメイン会場のスクリーンに投影し、参加者が閲覧しているZoom映像と特設サイト映像をワークショップのファシリテーターがリアルタイムで確認できるように配慮した。

また、今回は更なる臨場感を演出することを目的とし、中部日本放送アナウンサーによる臨時ニュース放送ブースをメイン会場に設営した。



写真 2-5-④-2 ワークショップ会場設営

## 2) ワークショップの全体進行シナリオ

ワークショップは2部構成とした。第1部は南海トラフ地震臨時情報発表時の想定についてのワークショップとして、四国沖で地震が発生した想定で、発災直後から気象庁による臨時情報（調査中⇒巨大地震警戒）が発表されるまでの各機関の対応について議論を行った。

第2部は南海トラフ地震が発生（突発地震を想定）した想定で、発災直後から各機関が発災直後に実施すべき事象（災害対策本部の設置、被害情報の収集）についてファシリテーターによる解説を交えて、確認、意見交換を行った。

ここでは臨時情報に関して議論を行った第1部における実施方法及び成果について述べる。

表 2-5-④-2 ワークショップの進行シナリオ（臨時情報発表時）<sup>1)</sup>

時間	事象	項目	内容	対応機関	モニター(Zoom)	巨大地震	スマホ
1. 南海トラフ地震臨時情報の発表（四国沖で地震発生）【0分】							
14:10	(1) 四国沖で地震発生（西日本各地で震度7を観測） ※愛知県では震度4を観測	①	地震発生	【WS開始】	事務局	会場	
		②	速報ニュース	緊急地震速報	CBCアナウンサー	速報ニュース	
			地震映像（西側） 地震の揺れ（東側）	事務局	内閣府動画 （ビル街減等）		地震動伝播の様子
			（震度速報により予測されない）と推測	震度速報、大津波警報	CBCアナウンサー	速報ニュース	
		③	避難指示	沿岸地域の避難/緊急避難場所への避難 （避難指示発令区域を西三河で共有）	福和教授→ 西尾市、（碧南市）	発言者	
	(2) 南海トラフ地震臨時情報の発表（調査中⇒巨大地震警戒）	④	速報ニュース	津波の到来（西側） 臨時情報（調査中）の発表	CBCアナウンサー	速報ニュース 津波の動画	津波伝播の様子
		⑤	気象庁会見	地震・津波について 臨時情報の発表について	名古屋地方気象台 事務局	事前録画映像	
			（補足）	臨時情報の説明等 （種類、流れ、発表文等）	福和教授→ 名古屋地方気象台	発言者	
		⑥	臨時情報発表時の事態想定 （各機関の対応）	【社会の事態想定】 ・沿岸部は大津波警報に伴い宴会等へ避難中だが、 震度4のため、揺れに伴って大規模な倒壊は無い様子 ・そんな中臨時情報が発表され、住民は混乱 ・道交に避難しようとする人で主要道路が渋滞 ・揺れ、大津波警報等により路上・減速中の教員は、 臨時情報発表に伴い、再開の目途が立たない ・主要駅では帰宅困難者等であふれている 等	福和教授	会場	
			※臨時情報発表時の対応が決まって いない状況で発令された場合を想定	【政府の対応について】 ※緊急災害対策本部、大臣会見予定等 ※臨時情報発表時の臨時への呼びかけ （日頃の備えを再確認するとともに、津波の危険性が 高い地域では一週間避難を継続する等）	福和教授→内閣府	会場、発言者 発言内容	
				【行政・住民の対応】 ※災害の体制、事前避難対象地域、学校、津波浸水 区域、急傾斜地、耐震性の低い家屋等の対策（よび かけ等）	福和教授→ 愛知県、岐阜市、豊田 市 （他はチャット報告）	会場、発言者 発言内容	
				【中部地域の対応】 ※災害の体制、西側への応援、道路の対応等	福和教授→中部地区	会場、発言者 発言内容	
				【企業の対応】 ※計画策定の検討段階について （行政・ライフライン対応に左右される）	福和教授→中電、東邦 ガス、中経連等	会場、発言者 発言内容	
				【国（内閣府）の対応】 ※中部連絡会等の取り組み紹介	福和教授→内閣府	会場、発言者 発言内容	
			※地（案）	⇒まだまだ課題は山積み、後半の意見交換で各機関が抱える課題を整理しましょう。			

(c) 業務の成果

ワークショップは、四国沖で地震が発生した想定に基づき、地発生直後から約2時間まで想定されるタイムラインに従って発表される各種情報及び想定される状況を参加者全員で共有した後、参加各機関が臨時情報発表時にどのような体制・対応を行うのか、情報交換を行った。

1) 発災から南海トラフ地震臨時情報発表までの想定

発災後に想定される状況と、ワークショップで示した各資料を順に述べる。

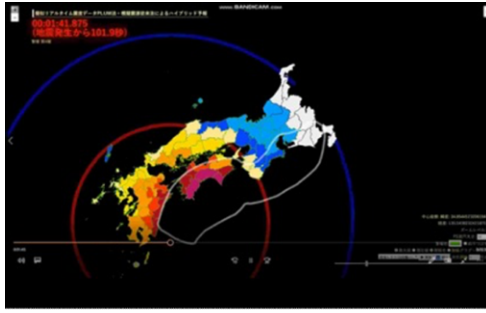
a) 地震発生

【ワークショップ1の地震発生時の前提条件】

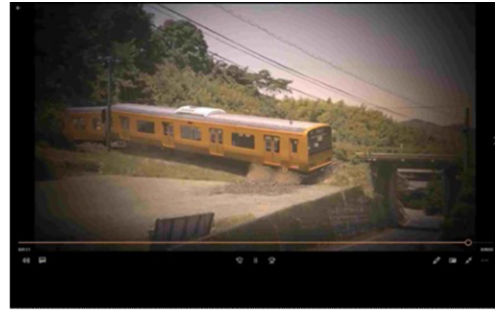
- ・時刻：令和3年2月5日の14時
- ・天候：晴れ
- ・気温：6度
- ・風力：1 m/s 北西の風
- ・状況：各自の職場で勤務中

b) 緊急地震速報の発表

四国沖で地震 強い揺れに警戒から九州全域、四国全域、中国全域、近畿一部の地域とし、図2-5-④-2に示す揺れの伝播想定<sup>2)</sup>を提示するとともに、アナウンサーによる速報ニュース実況を行った（写真2-5-④-3）。図2-5-④-3に想定地震の震度分布と津波警報発表状況<sup>3)</sup>を示す。



揺れの伝播想定



想定動画

図 2-5-④-2 四国沖震源による地震の想定動画<sup>2)</sup>



写真 2-5-④-3 アナウンサーによる速報ニュース実況

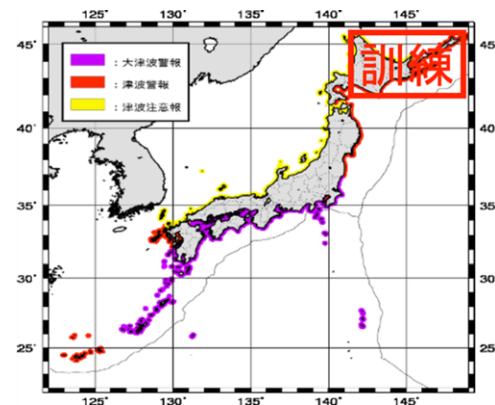
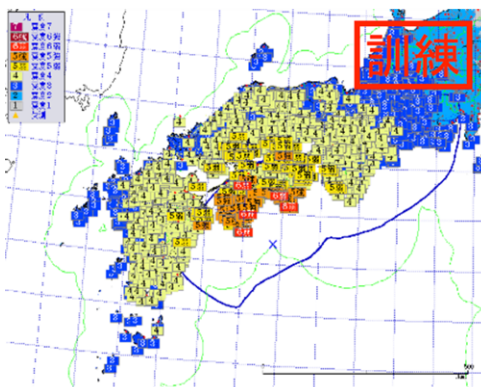


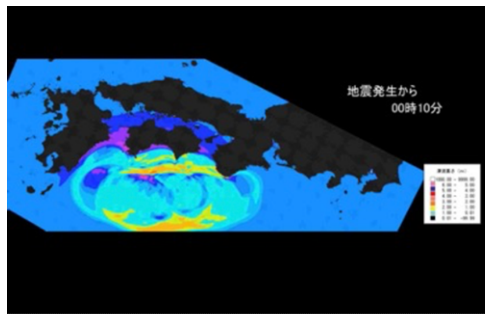
図 2-5-④-3 想定地震における震度分布、津波警報発表状況（名古屋地方気象台作成）<sup>3)</sup>

c) 避難指示

沿岸地域の避難/緊急避難場所への避難（避難指示発令区域を西三河で共有）⇒避難指示発令によって、西三河の各市町はどのような対応を行うのか？

d) 南海トラフ地震臨時情報（調査中）発表

アナウンサーによる速報ニュース実況とともに、四国沖地震による津波の想定動画を提示した。



津波の伝播想定動画



東日本大震災時の名取市沖の津波動画

図 2-5-④-4 四国沖震源による津波の想定動画<sup>2)</sup>

e) 気象庁による記者会見

名古屋地方気象台による動画により、気象庁による記者会見を提示した。



写真 2-5-④-4 気象庁による記者会見の動画

f) 臨時情報（巨大地震警戒）発表

臨時情報（巨大地震警戒）が発表されたことを共有した。

2) 臨時情報発表時の対応に関する共有

発災直後から臨時情報（巨大地震警戒）発表までの流れを参加者全員で確認した後、参加機関から現時点で想定している臨時情報発表時の体制等について、情報共有を行った。

3) ワークショップによるグループディスカッション

ワークショップ参加者はZoomのブレイクアウトルーム機能を用いて、(1)臨時情報に関して各機関が抱える課題、(2)南海トラフ巨大地震発生時に各機関が共有すべき情報、についてグループディスカッションを行った。

なお、グループは西三河の各市町を等分に分け、オブザーバー参加の愛知県、中部地整、中部電力、東邦ガス及び名古屋大学減災連携研究センター教職員をランダムに分配した。各グループのファシリテーターは、西三河各市町の担当者が担い、各グループ発表した。

その結果、以下のような課題、共有すべき情報が抽出された。

a) 臨時情報に関する各機関の課題

臨時情報の周知、社会側の理解不足、臨時情報発表初期の情報収集、臨時情報に対する自治体間の温度差、学校に対する対応及び要請、広域的な視点での判断基準

b) 南海トラフ巨大地震発生時の共有すべき情報

各市町村の被災情報、ライフライン（緊急輸送道路、電気、ガス、水道、広域下水道、通信）に関する被災情報や復旧見込み

(d) 結論ならびに今後の課題

関係機関の臨時情報発表時における現状の体制及び課題に関する意見交換の場として前述のワークショップを開催した。その結果、各機関で臨時情報発表時の体制について検討状況にばらつきがあり、必要な議論、検討が不十分であることが示された。これは、臨時情報が発表された際、社会がどのように変化するのかを関係機関で共有、検討、議論されておらず、想定している社会情勢が各機関によって異なることによるものと考えられる。また、臨時情報に対する地域社会の認知度が低く、臨時情報発表時の社会情勢を十分に考察できる状況に至っていない点を指摘した。

臨時情報発表時における地域情報共有連携手法を構築するためには、臨時情報発表によって生じる地域社会全体の変化、課題について関係機関が議論、共有し、それに対する具体的な対応内容を相互で理解することが必要不可欠であると考えられる。

このような課題を解決する手段として、関係機関が一堂に会するワークショップの実施は有益であると考えられる。今回実施した遠隔型のワークショップは物理的な移動の必要性がないため、従来の参集型ワークショップと比較して、非常に多くの関係機関が参加可能な取り組みであり、臨場感を演出する各種ツールなどを導入することでより実効性、有効性の高い取り組みとなることが確認できた。今後コロナ禍が終息したとしても、遠隔型のワークショップの需要は絶えることはないといえよう。

今後もこのような手法を用いて、臨時情報発表時における地域情報共有連携手法を関係機関と協力の上での検討が求められる。また、ここで検討したワークショップ手法は、①産業タイムラインや産業構造、②リアルタイム社会様相、③UMLなどによる社会様相シナリオを、ワークショップや図上演習における提示シナリオとして構築するとともに、参加者の対応や判断を社会様相シナリオとして構築することが可能となると考える。

(e) 引用文献

- 1) 名古屋大学減災連携研究センター：令和2年度南海トラフ地震による総合啓開における社会経済活動の早期復旧に関する研究報告書，2021
- 2) 内閣府，南海トラフ巨大地震、首都直下地震の被害と対策に係る映像資料，[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankai\\_syuto.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankai_syuto.html)



3) 名古屋地方気象台：南海トラフ巨大地震想定地震における震度分布、津波警報発表状況に係る資料，2021

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

なし

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

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

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

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

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

2) 令和3年度：

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

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度

高層建築物エレベータの詳細復旧オペレーション手法の検討を行う。

5) 令和6年度

高層建築物エレベータについて、大都市復旧マニュアルの検討を行う。

(e) 令和2年度業務目的

都市機能の維持について、災害復旧オペレーションの検討に考慮すべき要因を整理する。そのため具体的には、これまでの研究で構築した災害事象因果データベースを拡充する。また、長周期地震動とエレベータ障害の関係およびその復旧過程について事例を調査する。

## (2) 令和2年度の成果

本報告書では、前半の「災害事象因果データベース」を①、後半の「長周期地震動とエレベータ障害の関係およびその復旧過程について事例を調査」を②として成果を記述する。

### ①災害事象因果データベースの拡充

#### (a) 業務の要約

本業務では、機械学習を用いた災害事象因果データベースの拡充について、朝日新聞データをもとに、東日本大震災と阪神・淡路大震災について学習モデルを作り、それぞれ発災から6か月の因果データベースを作成、ネットワークとして可視化した。

#### (b) 業務の実施方法

本業務は、災害シナリオをバックキャストから作成する方法のひとつとして、自然言語処理を用いて新聞記事から災害事象とその因果関係を機械的に抽出し、災害連関図(cascading disaster network)の作成を試みるものである。今年度は、その具体的事例として、過去の大きな地震災害である阪神淡路大震災と東日本大震災のそれぞれ発災後6か月間の災害事象を対象として学習モデルをつくり、発災から6か月の因果データベースを作成するとともに、災害間の比較を行った。

#### (c) 業務の成果

ここでは、阪神・淡路大震災、東日本大震災の発災当日から半年後の新聞記事を災害因果抽出の対象とした。つまり、阪神淡路大震災については1995年1月17日から7月16日まで、東日本大震災については2011年3月11日から9月10日までである。これらの期間に関して「朝日新聞記事データ(学術・研究用)」1995年版及び2011年版のデータフ

フォーマットにおいて、「本誌・地域誌：本誌，面名：1面から4面（スポーツ面以外）及び特設ニュース，記事分類：災害または原子力事故」のすべてに該当する記事のなかから、記事本文に阪神淡路大震災の場合は「兵庫県南部地震」または「大震災」、東日本大震災の場合は「東北地方太平洋沖地震」または「大震災」が含まれるものを対象とした。なお、これらの条件を満たしていても、被害情報の数値の羅列のような明らかに因果関係文を含まない記事は除外している。

一方で方法は、筆者が過去に構築した技術を用いる。ここでは Sakahira and Hiroi (2021)<sup>1)</sup>に準拠し、手がかり表現と継起因果表現の2種類の表現方法を用いて抽出された因果関係文の候補に対して、機械学習による判別モデルを作成する。そのうえで、判別された因果関係文に対して、それら文の原因部分と結果文をノードとリンクとして災害因果ネットワークを作成する。

手がかり表現とは、例えば、「を背景に」「のために」のような直接的に因果関係を表す表現のことである。はじめに日本語の新聞記事から、坂地ら(2011)<sup>2)</sup>を参考として、35種類の手がかり表現を用いて因果文の候補を抽出した。しかしながら、日本語の新聞記事は複雑であるため、この段階で抽出された文の中には因果知識が含まれていないものがある可能性がある。そこで、上記の既存研究を参考に、構文的特徴と意味的特徴を説明変数とする機械学習モデルを作成した。各地震災害に関して、それぞれ発生後1カ月間の記事で抽出された因果文の候補のうち約3分の1にあたる量の文に対して因果関係の有無についてアノテーションを付けた。このうち70%を学習用、残り30%をテスト用とした。これら因果関係の有無を目的変数として、サポートベクターマシン(SVM)を用いた機械学習モデルを構築した。説明変数としては、1)主節と基底節にぶら下がっている助詞の対、2)主節と基底節にぶら下がっている節の名詞の上位概念、3)手がかり文節の前の形態素解析における品詞、4)35種類の手がかり文節、5)形態素ユニグラム、6)形態素ビッググラムを採用した。

継起因果表現とは、時間的な前後関係を表す継起関係に因果関係も含まれるものである。例えば、「高速道路やビルが倒壊して、道路をふさぎ消防車も入れなかった」という記事の文章のなかには、前述の手がかり表現は見られないが、「高速道路やビルが倒壊して」が原因、「道路をふさぎ消防車も入れなかった」が結果という関係が含まれている。ここでは廣井ら(2019)<sup>3)</sup>にあるように、日本語の新聞記事から8種類の継起因果表現を用いて因果文の候補を抽出した。こちらも、この段階で抽出された文の中には因果知識が含まれていないものがある可能性がある。そこで、各地震災害に関して、それぞれ発生後1カ月間の記事で抽出された因果文の候補のうち約3分の1にあたる量の文に対して因果関係の有無についてアノテーションを付けた。このうち70%を学習用、残り30%をテスト用とした。これら因果関係の有無を目的変数として、SVMを用いた機械学習モデルを構築した。

災害連関図の作成については、各判別モデルで抽出された因果関係文について原因部と効果部に分けられた因果データベースを用いて因果ネットワークを作成した。因果ネットワークは、開始ノードを原因、終了ノードを結果とした有向グラフから構成されている。そして、この終点ノードを原因として因果データベースから結果を検索して、終点ノードに新しい終点ノードを追加することで因果ネットワークを更新した。具体的には、終点ノードの文と類似性が高い(コサイン類似度0.7以上)原因部を持つ因果関係文を因果デー

データベースから検索した。そして、それら因果関係文の結果部を終点ノードの候補とした。終点ノード候補の中から内容を踏まえ人手で選択して、終点ノードを決定した。そして、今度はこの終点ノードを起点とし、その先の終点ノード候補を探索した。この処理を何度でも繰り返すことで因果ネットワークを構築した。なお、類似度の算出には、文に含まれる名詞と動詞の分散ベクトルの平均値を用いてコサイン類似度を算出した。分散ベクトルとコサイン類似度の算出は日本語の自然言語処理ライブラリである Ginza を用いた。

本業務ではこれら因果ネットワークから、新聞記事に含まれる個人的な被災体験などに関わる部を除外し、重要インフラや社会的事象を中心に再構成して災害連関図とした。以降では、各地震災害について1カ月間の記事の30%を用いた各判別をモデルのテスト結果と、これら各モデルを用いて6カ月間の記事に適用して作成した災害連関図を示す。

結果として作成された災害連関図は図2-6-①-1、図2-6-①-2のようになる(ただし図が煩雑になるため、4階層まで表示)。

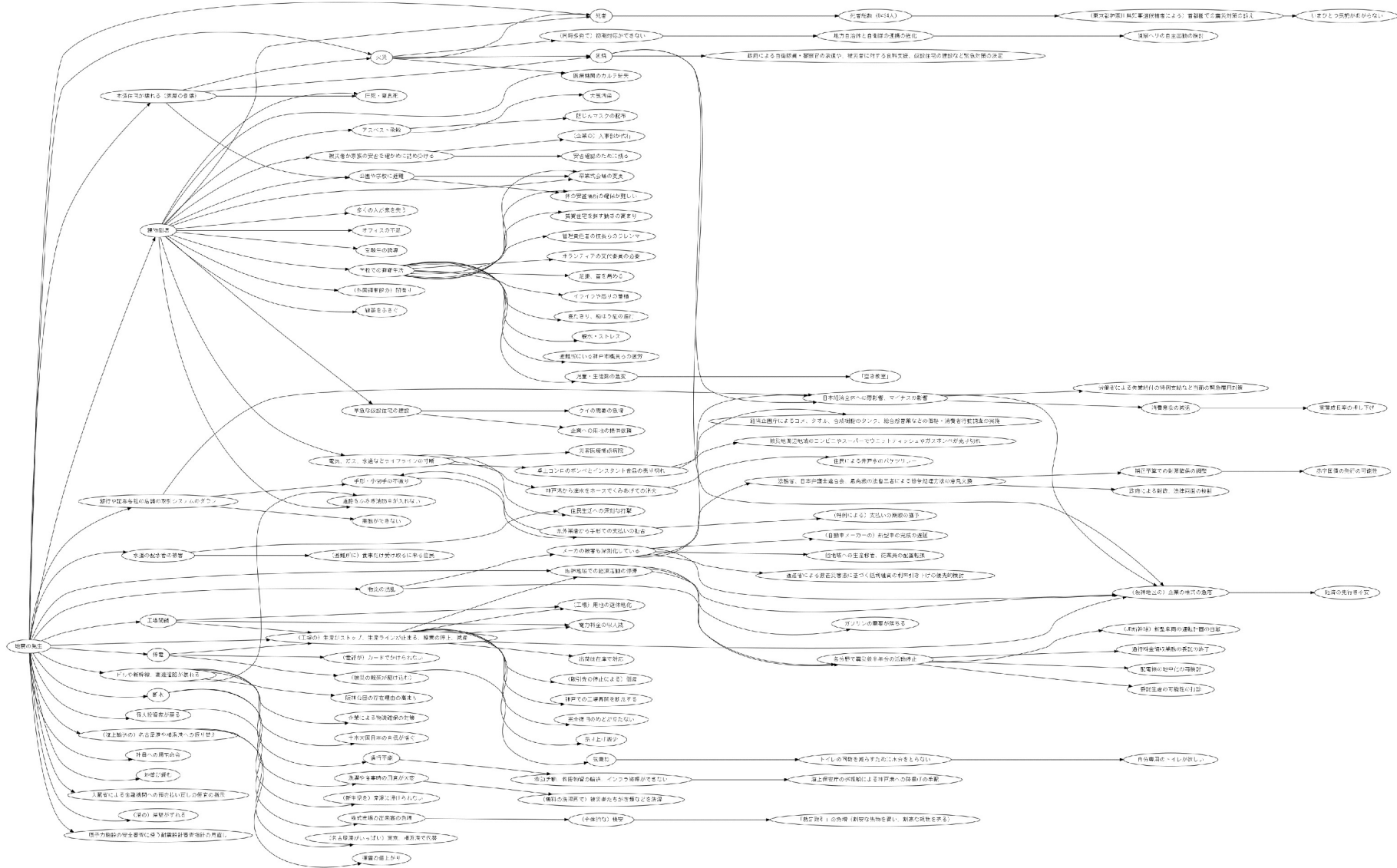


図 2 - 6 - ① - 1 機械学習によって得られた阪神・淡路大震災時の災害連関図

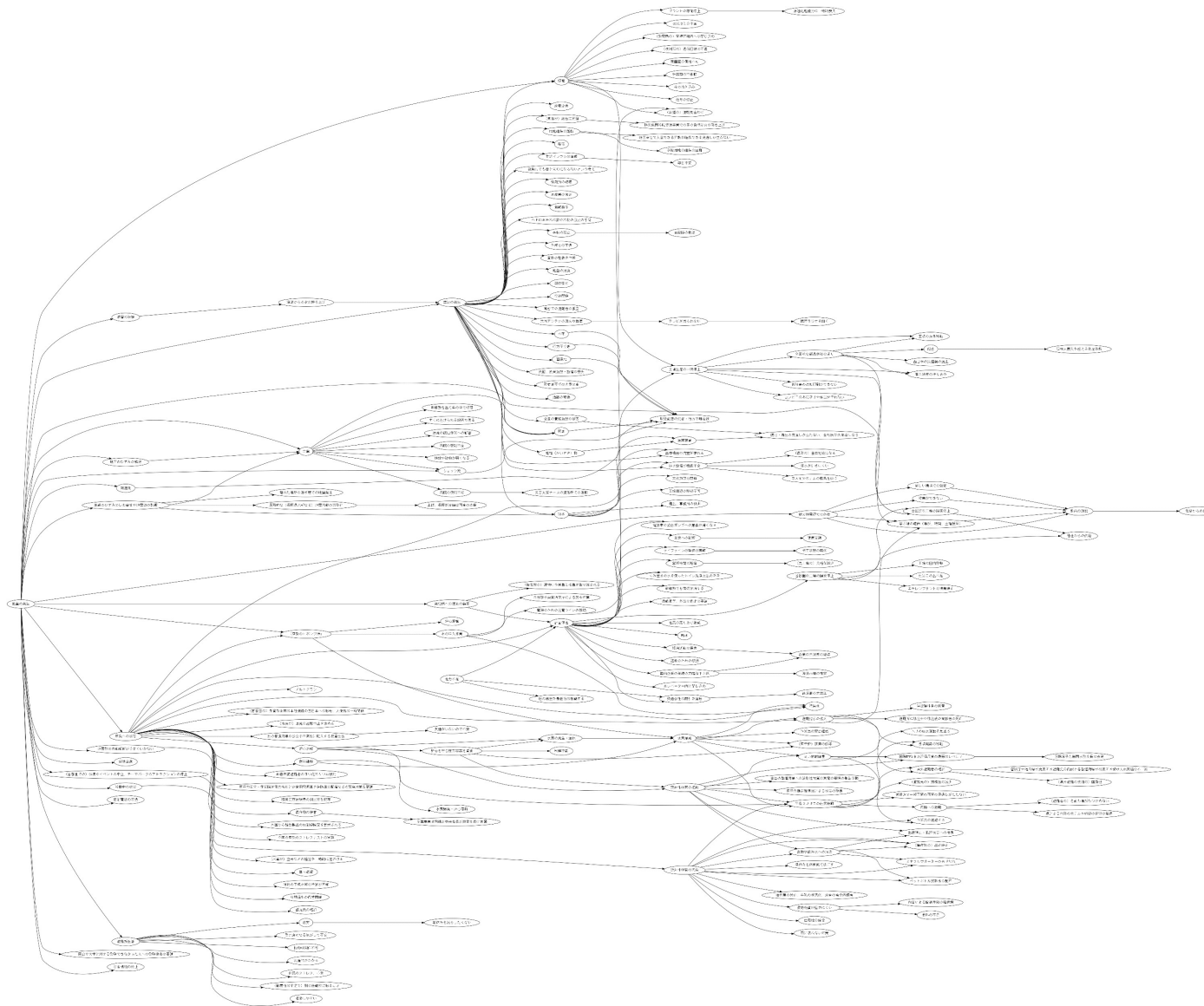


図 2-6-①-2 機械学習によって得られた東日本大震災時の災害関連図

(d) 結論ならびに今後の課題

ここでは、阪神淡路大震災と東日本大震災の日本語新聞記事から、自然言語処理を用いて災害事象の因果関係を機械的に抽出し、因果データベースを拡充した。これを図2-6-①-1, 図2-6-①-2のように図示した結果、両災害とも複雑な連鎖関係を示し、阪神淡路大震災では「被災地の工場生産の停止」、東日本大震災では「被災地外での計画停電」というエスカレーションポイントを抽出した。

一方で、長期的・グローバルな影響に関する事象は抽出されたが、その数は少なかった。この原因として、本論文では、便宜上、分析の対象としたデータは発生後6カ月の日本国内向けの新聞記事に限定していたからであると考えられる。今後、分析データの期間や地域を拡大することでより長期的、よりグローバルな影響を抽出することができると考える。

(e) 引用文献

- 1) F. Sakahira, U. Hiroi, Creating Disaster Chain Diagram from Japanese Newspaper Articles Using Mechanical Methods, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics (2021) .(impress)
- 2) 坂地 泰紀, 増山 繁:新聞記事からの因果関係を含む文の抽出手法(自然言語処理), 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム 94(8) 1496 - 1506 2011年8月.
- 3) 廣井悠, 坂平文博:機械学習を用いた災害連関図の自動作成手法の検討, 日本災害情報学会第22回大会予稿集, 2020.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表

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
機械学習を用いた災害連関図の自動作成手法の検討（口頭）	廣井悠、坂平文博	日本災害情報学会第22回大会	2020年11月	国内

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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



## ②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

本業務では、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、文献調査やヒアリング調査を実施して、過去の地震災害におけるエレベータ障害の状況や復旧過程、エレベータの耐震性能、首都圏の超高層建物やエレベータのおおよその数量を把握した。また、これらの調査結果を踏まえ、地震が発災した後に生ずるさまざまな物的被害やサービスの停止などを反映して、エレベータ障害の発生から復旧過程をシミュレーションするためのモデルで考慮すべき項目を整理した。

### (b) 業務の実施方法

震災時におけるエレベータの復旧過程の現状等に関する調査については、長周期地震動の発生が報告された地震を中心に、ア) 関連する学協会が実施した災害調査の報告書などの文献を収集して、エレベータ障害事例や、エレベータ障害と都市機能障害の関係に関する記述内容を調査した。また、イ) エレベータに関連するセンサ設置状況やエレベータの障害復旧過程の現状と課題を把握するために、エレベータの設計、設置にかかる基・規準類を確認したほか、エレベータの管理や災害対応に携わる実務者にヒアリングを行った。あわせて、ウ) 建築統計などの資料を収集し、首都圏における長周期地震動を考慮すべき超高層建物の数やエレベータの設置状況、利用者数等、次年度以後に構築するシミュレーションモデルの規模を検討するために必要な数量を整理した。

ア)～ウ)の調査結果に基づき、地震発災後に都市で生ずる各種のイベントを時系列で記述した災害シナリオを境界条件として考慮して、エレベータ障害の発生から復旧過程を模擬できるシミュレーションモデルに含まれるべき要素を整理し、5つの項目として定義した。また、各項目を評価できる数値モデルを構築するために、検討すべき課題を抽出、整理するとともに、必要なデータとその収集方法を検討した。

### (c) 業務の成果

#### 1) 震災時におけるエレベータ障害の復旧過程の現状等に関する調査

国内で最初に広範囲にわたる建物にエレベータ障害が生じたことが報告されたのは1978年宮城県沖地震である。そこで、(b)項ア)のエレベータ障害事例調査として、日本エレベーター協会の機関誌や日本建築学会による災害調査報告等から、この地震以後、2018年大阪府北部の地震までの、表2-6-②-1に示す20の地震についてエレベータ障害に関する記述を収集した。

エレベータ障害、すなわちエレベータを運行できない状態は、エレベータや建物になんらかの物的被害が生じた場合のほか、停電により運行が停止している場合、およびセンサが揺れを感知して管制停止後、専門技術者による安全確認が終わらずに再稼働していない場合に分けられる。また、被災地に甚大な被害を及ぼした1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震ではエレベータにも多くの損傷・故障が見ら

れた一方で、マグニチュード6程度の2005年千葉県北西部の地震、2018年大阪府北部の地震では、エレベータの損傷・故障件数は少ないながらも6万台以上の運転が休止した。シミュレーションモデルには、揺れや地域の特性に応じて異なるエレベータ障害の様相を反映できるようにすべきと考える。

この調査では、表2-6-②-1で\*を付した12の地震で長周期地震動による超高層建物への影響が報告されていることを確認したが、2004年新潟県中越地震と2011年東北地方太平洋沖地震を除き、地震時の建物の揺れや被害状況、復旧に至る記録は非常に限られたものであった。2011年東北地方太平洋沖地震では、日本建築学会(2013)<sup>1)</sup>が、揺れを受けた超高層建物や設備機器の挙動や被害の状況、図2-6-②-1に示す事務所・商業ビルのエレベータ復旧タイムラインを報告している。また、医療施設<sup>2)</sup>、集合住宅<sup>3)</sup>における災害状況に関する文献も収集し、エレベータ障害がこれらの用途の建物の機能に与える影響や、復旧状況を整理した。

表2-6-②-1 エレベータ障害に関する記述を収集した地震の一覧

発生年月日	地震名 (マグニチュード)	発生年月日	地震名 (マグニチュード)
1978/6/12	1978年宮城県沖地震(M7.4)	2004/9/5	2004年東海道沖の地震(M7.4)*
1983/5/26	1983年日本海中部地震(M7.7)*	2004/10/23	2004年新潟県中越地震(M6.8)*
1984/9/14	1984年長野県西部地震(M6.8)*	2005/3/20	2005年福岡県西方沖地震(M7.0)
1992/2/2	1992年東京湾南部の地震(M5.7)*	2005/7/23	2005年千葉県北西部の地震(M6.0)
1993/1/15	1993年釧路沖地震(M7.5)	2007/7/23	2007年新潟県中越沖地震(M6.8)*
1995/1/15	1995年兵庫県南部地震(M7.3)	2011/3/11	2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)*
2000/10/6	2000年鳥取県西部地震(M7.3)*	2016/4/1	2016年紀伊半島沖の地震(M6.5)*
2001/3/24	2001年芸予地震(M6.7)	2016/4/14	2016年熊本地震(M7.3 <sup>註</sup> )
2003/5/26	2003年宮城県沖の地震(M7.1)*	2016/10/21	2016年鳥取県中部の地震(M6.6)*
2003/9/26	2003年十勝沖地震(M8.0)*	2018/6/18	2018年大阪府北部の地震(M6.1)

注：マグニチュードが最大のもの(4/16に発生)

\*：長周期地震動による超高層建物への影響が報告されたことを確認した地震

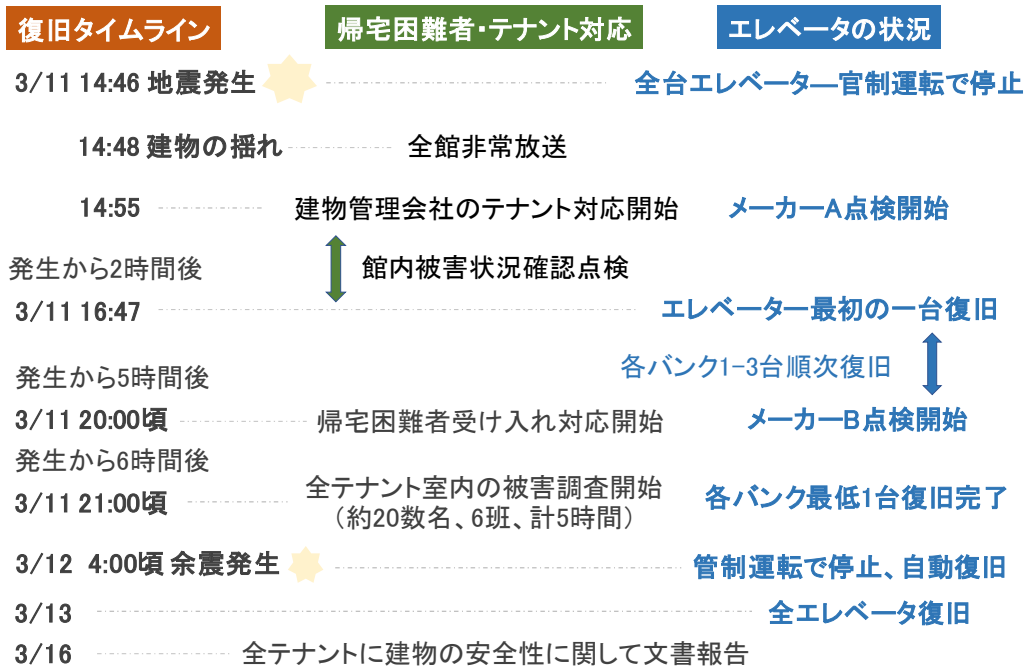


図2-6-②-1 2011年東北地方太平洋沖地震発生時の東京都内超高層ビル内のエレベータ復旧タイムライン <sup>1)</sup>の記載内容をもとに作成

(b)項イ)の調査では、エレベータの耐震性能の現状を把握するため、建築基準法をはじめとした関連法令や技術指針などを調査した。日本建築設備・昇降機センター(2016)<sup>4)</sup>よれば、これらの基・規準類は、地震によるエレベータ障害などを契機に改正が重ねられており、制定・改正の年を用いて、古い年代のものから、81耐震指針前、81耐震指針(1981年)、98耐震指針(1998年)、09耐震指針(2009年)、14耐震指針(2014年、現行)と呼ばれている。エレベータは、基本的には設置された当時の指針に基づいて設計・施工されていることから、シミュレーションモデルには、各建物の竣工年代を反映させる必要がある。本業務では、これらの指針に記載されたエレベータの耐震設計の基本的な考え方や各種の基準値、また、地震感知器の設定値や地震時の管制運転の考え方を整理した。エレベータには建物の高さや性能目的に応じて各種地震感知器が設置されており、表2-6-②-2に示す閾値を超える地震動を検知した場合、それぞれ運転措置と復旧方法が異なる。自動診断仮復旧装置が備わっている場合を除き、S波感知器の[低]以上、建物高さ120mを超える場合は加えて長尺物揺れ感知器[高]以上を検知した場合、専門技術者による点検が必要であることが調査により明らかになった。

また、エレベータの地震災害対策・復旧活動の現状を把握するため、復旧・点検作業にあたるメーカー系エレベータ保守会社の技術者にヒアリングを行った。このヒアリング調査で得られた知見は以下のとおりである。現状のエレベータ復旧は、各エレベータ保守会社が、日本エレベーター協会(2015)<sup>5)</sup>に示される大規模地震発生時の復旧に関する優先順位に基づき実施している。この優先順位では、まずは閉じ込めが発生している建物における人命救出、続いて表2-6-②-3に示す優先順位の高い建築物から、停止したエレベータを復旧する。また、巨大地震時においては全体の早

期復旧の観点から、一般建物では複数台のエレベータが設置されていても1棟につき1台を復旧させた後、他の建物の復旧に回る「1ビル1台復旧」の原則に基づき対応がなされる。基本的な考え方は、容量よりも導線をできるだけ多く繋げることを第一に、非常用（一部建物では乗用と兼用）エレベータの復旧が最優先され、続いて乗用、人荷用、荷物用の順に作業に取り掛かるのが一般的である。復旧にかかる時間や作業に必要な労力は被害項目に依存する。地震管制運転により最寄階停止したエレベータは、保守点検者が昇降路内の安全を確認してから再稼働させるが、エレベータ自体の物的被害はなく点検のみで運転可能となる場合が、復旧活動全体においてに多くの割合を占める。このような状況で止まったエレベータを早期復旧するために地震時自動診断・仮復旧システムが導入されているエレベータも存在するが、仮復旧した場合でも、後日実際に保守点検員が確認している。また、部品の取り換えが必要な場合や技術的に高度な修理を要する場合には、後日別チームが修理にあたっている。

表 2-6-②-2 地震時管制運転に関する各感知器の設定値<sup>4)</sup>をもとに作成

\*1: 建物の地盤、構造に応じて適切な値に設定可能

地震感知器		P波 [gal]	S波（頂部設置/底部設置）[gal]			長尺物揺れ	
			[特低]	[低]	[高]	[低]	[高]
目的		閉じ 込め 低減	長周期 被害 低減	機能維持	人命 保護	長周期被害低減	
建物 高さ	-60m	2.5・10 <sup>*1</sup>	-/-	200/80	300/120	-	-
	60+・90m		40/-	(100, 120) <sup>*2</sup> /-	(120, 150) <sup>*2</sup> /-	-	-
	90+・120m		20/-			-	-
	120+m		-/-	(40, 60, 80, 100) <sup>*2</sup> /-	(60, 80, 100, 120) <sup>*2</sup> /-	<sup>*3</sup>	<sup>*4</sup>
検知後 運転措置		最寄階運転 一時停止	最寄階停止後 運転停止/非常停止	非常停止	最寄階停止後、運転停止		
復旧方法		地震後運行再開	点検/自動診断仮復旧運転後 平常運転			一定時間 経過後 平常運転	点検/自動 診断仮復 旧運転後、 平常運転

\*2: 昇降路頂部の応答の応答倍率に応じて設定

\*3: 長尺物揺れ[高]の 50-70%程度の揺れ

\*4: 長尺物が昇降路内機器と強く接触し昇降路内機器が変形する危険のある揺れ状態

表 2-6-②-3 大規模地震発生時のエレベータ復旧に関する優先順位

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

(b)項ウ)の調査では、首都圏において長周期地震動による超高層建物被害およびエレベータ障害が起こりうる地域や建物属性を推定するため、特に超高層建物が集中している東京都内を対象に、高さ 60m を超える超高層建物の、名称や位置、規模、構造種別、用途、竣工時期などの基本的な属性情報を東京都 (2019) <sup>6)</sup>などの統計資料から収集し、延床面積と用途からおおよそのエレベータ設置台数を推定して整理した。また、シミュレーションモデル構築計画において考慮すべき要件を特定するため、選択した都内の超高層密集地域における建物周辺環境 (主たる検討対象である超高層建物以外の建物、復旧ルート道路・鉄道網等) や利用人口等に関する統計 GIS データを収集・整理した。とくに超高層建物の棟数が多い上位 4 区 (多い順から港区、千代田区、中央区、新宿区) については、各建物の構造種別、竣工年代、建物高さの分布を、図 2-6-②-2 に示すように国土数値情報 <sup>7)</sup> のデータとあわせて地図上に図化して各区の特徴を確認した。

これら 4 区の特徴を以下にまとめる。まず竣工年代について、千代田区と新宿区では、1960 年代後半から我が国初期の超高層建物が集中的に竣工されたため 1990 年以前に竣工された比較的古い超高層建物の割合が、それぞれ 23%、27% と 2 割以上を占め、同じく 14% の他区と比べて大きい。逆に、港区や中央区では臨海地域における再開発事業が増加した 2000 年以降に竣工した超高層建物が全体の約 70% を占めている。

構造種別は建物用途とも密接に関係があり、例えば、図 2-6-②-2 (a) に示す港区は、都心界限 (六本木・赤坂、品川駅周辺) に S 造に多い事務所ビルが集中し、湾岸エリアには RC 造に多い超高層集合住宅が分布しているものの、顕著な空間的偏りはなく、新旧がバランスよく混合している。同図 (b) に示す千代田区は、鉄骨造 (以下、S 造) が 77%、鉄筋コンクリート造 (同、RC 造) が 8%、鉄骨鉄筋コンクリート造 (同、SRC 造) が 15% と、事務所ビルに多い S 造が集中し、他の 3 区に比べてその地域性が顕著に表れている。また、中心で大きな面積を占める皇居を取り囲むように建物が分布し、東京駅周辺には事務所ビルが群集している。同図 (c) 中央区では、東京駅南東側には S 造の事務所ビルが多く、湾岸よりの地域では、埋立地を中心に河川や街区に沿って RC 造の超高層住宅がほぼ平行に分布する傾向が見られた。同図 (d) 新宿区では、新宿駅に一極集中していることが特徴的である。また、上述の通り、竣工年代の古い建物が比較的多く、高い建物が多い。

このような地域性による建物用途や属性分布の偏りや地理的条件による拘束は、エレベータの復旧戦略にも影響を及ぼすと考えられ、シミュレーションモデルに反映する必要がある。

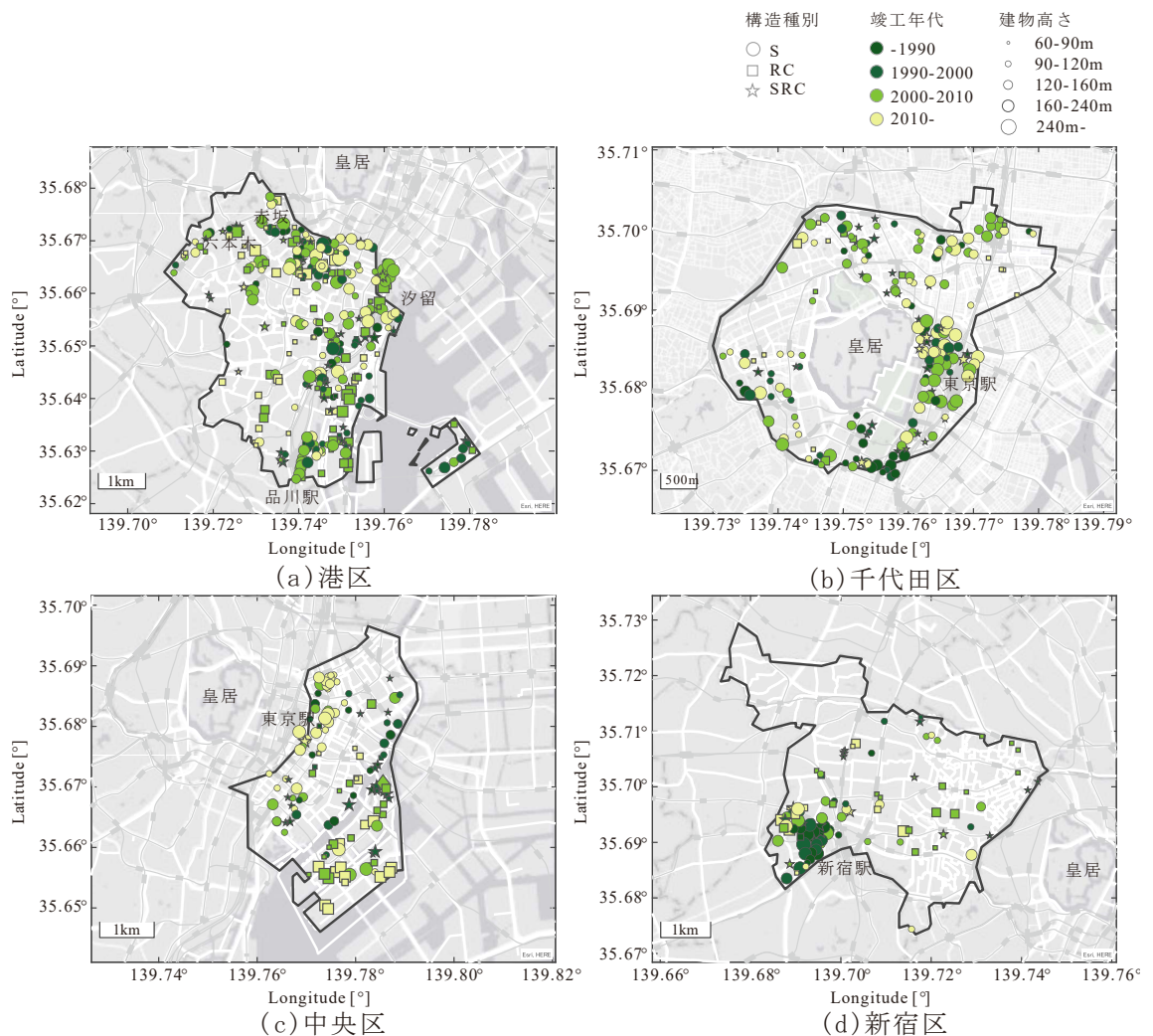


図 2-6-②-2 超高層建物棟数上位 4 区の超高層建物の分布

## 2) 首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程を模擬する評価モデルの検討

1) に述べた文献調査・ヒアリング調査の内容を踏まえ、首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程を模擬し復旧戦略を評価できるシミュレーションモデルの構成を検討した。評価モデルに含まれるべき要素とフローを図 2-6-②-3 に示す。

シミュレーションモデルに含まれるべき要素については、大半のエレベータ復旧は専門技術者を擁するエレベータ保守会社によって行われることから、ヒアリングや文献調査に基づき、図 2-6-②-3 右側に示すように整理したエレベータ保守会社の復旧体制を参考に検討した。つまり、大きく「運転・被害状況の把握」と「専門技術者による復旧活動」の段階に分かれていること、また社内情報ネットワークを通じた

管制センター、対策本部、サービス拠点（営業所）、専門技術者間の情報共有により、被害状況・規模を迅速に把握し、被災地における閉じ込め救出や停止したエレベータの復旧がなされることである。そこで、構築すべきシミュレーションモデルの要素を、これらの情報および人的・物的資源の流れを再現できるように、エレベータの状況を模擬するためのア）対象地域・建物群・周辺環境の特定・モデル化、イ）想定シナリオ地震下での入力地震動評価、ウ）建物被害および設置エレベータ障害評価と、普及活動を評価するためのエ）エレベータ復旧ネットワークパフォーマンス評価、オ）エレベータ復旧戦略評価の大きく2段階、5つに分けて整理した。

その内容は、ア）では、エレベータ復旧評価の対象とする地域を選択し、対象地域内の超高層建物のほかに被害が想定される中低層建物等の構造物、エレベータ復旧に影響のある道路網、鉄道網等の周辺環境を特定し、モデル化を行う。イ）では特定した各建物サイトに対し、想定するシナリオ地震下での入力地震動を、ウ）は推定される建物応答から建物被害およびエレベータ障害発生の有無を、それぞれ評価する。ここまでが、評価対象とする地域内で復旧すべきエレベータと当該建物の諸条件を模擬する Phase 1 である。

次に、復旧活動を模擬・評価する段階の Phase 2 として、エ）では、例えば道路封鎖や鉄道運行停止、混雑等、震災時に想定される条件を考慮して、建物間を車・自転車等の手段により移動するときの所要時間を表現できる復旧ネットワークモデルを構築する。最後に、オ）の復旧戦略評価では、2-6-①の災害シナリオとして設定された条件を、利用可能な人的資源（復旧作業にあたる専門技術者数）および物的資源（車・自転車等の移動手段や携帯電話等の連絡通信手段等）に関する拘束条件としてエ）で構築したモデルに与えて各建物のエレベータが復旧するまでの時間を計算し、目的に応じて最適復旧戦略の良否を評価する。目的として想定される項目としては、人命保護、地域全体の社会機能の早期復旧といったものがあげられ、復旧戦略の例としては、復旧所要時間の最短化（efficiency の最大化）、現行の「1ビル1台復旧」の原則に共通する地域全体の平等的早期復旧（connectivity の最大化）、エレベータ利用可能人数の確保（accessibility の最大化）などが考えられる。

また、これらのモデルの実装には、ア）に関連して、指定した行政区や街区毎に収集データを整理したデータベース、イ）およびウ）に関連して、地震動強さと建物被害やエレベータ障害の関係を整備する必要がある。

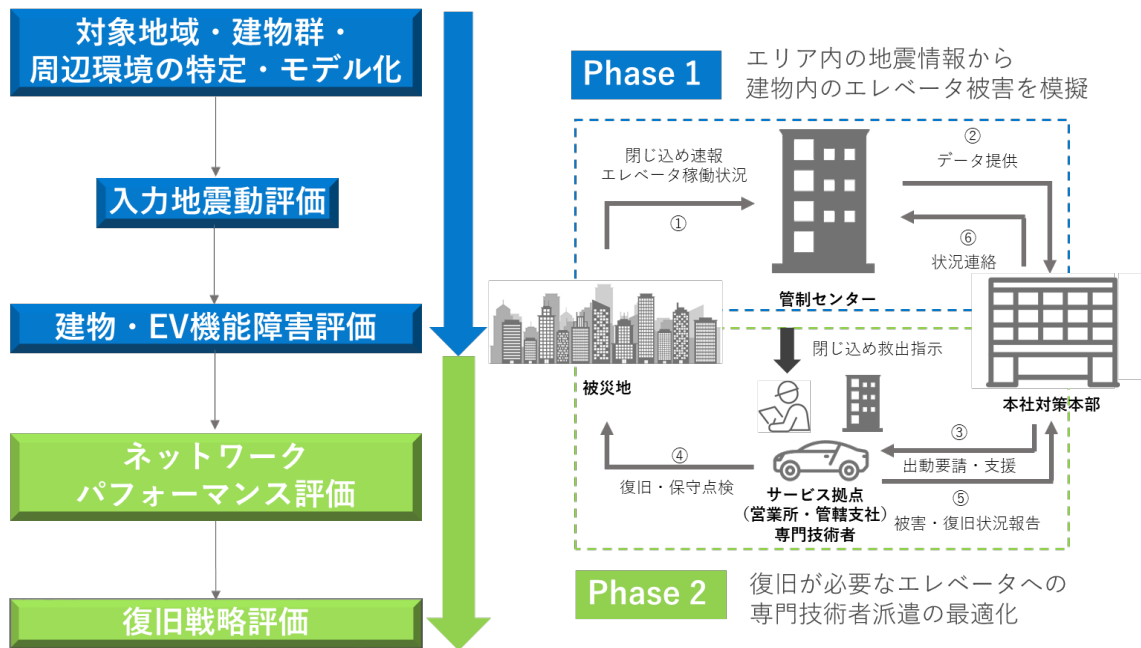


図 2-6-②-3 震災時のエレベータ復旧戦略の評価シミュレーションモデルの概要

(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) 震災時におけるエレベータの復旧過程の現状等に関する調査

エレベータ障害が報告された過去の地震災害について、文献調査を実施し、地震によるエレベータの被害形態および程度、地震動および建物の振動特性、エレベータの耐震性能や管制機能の有無等、現時点で考えうる要因を抽出・整理した。2011年東北地方太平洋沖地震では、医療福祉・事務所・住宅の建物機能にエレベータ障害を与えた記録が残されており、今後の検討に有用であることがわかった。また、現状調査として、エレベータの技術資料を調査し、設置年代別の耐震性能に関する基準を整理したほか、エレベータ保守会社の技術者等にヒアリングを行い、実際の復旧過程や課題を抽出・整理した。さらに、超高層建物が集中する東京都内における超高層建物やエレベータの統計情報を収集・整理し、長周期地震動による超高層建物被害およびエレベータ障害が起こりうる地域や数量を推定した。また、都内の超高層密集地域における建物周辺環境（中低層建物、復旧ルート道路・鉄道網等）や利用人口等に関する統計 GIS データを収集・整理した。

2) エレベータ障害とその復旧過程を模擬する評価モデルの検討では、1)の調査結果から明らかになったエレベータ保守会社の復旧体制と復旧下における情報および人的・物的資源の流れを再現するための、対象地域・建物群・周辺環境、入力地震動、建物被害およびエレベータ障害、復旧ネットワークパフォーマンスの4つに加え、復旧戦略の良否の判断を加えた5つを、今後構築する首都圏を対象にエレベータ復旧過程のシミュレーションモデルに含まれるべき要素として特定



した。あわせてモデル構築に必要なデータ整備計画を立案した。今後はこれら  
を評価できる理論的な枠組みを検討し、着実にデータを整備する。

(e) 引用文献

- 1) 日本建築学会：長周期地震動と超高層建物の対応策—専門家として知っておきたいこと—，日本建築学会，2013.
- 2) 中川敦寛，古川宗，工藤大介，阿部喜子，松村隆志，丹野寛大，富永悌二：災害拠点病院の事業継続の見地からみたエレベーターの現状と課題—東日本大震災宮城県災害拠点病院調査，日本集団災害医学会誌，18，pp.9-17，2013.
- 3) 江川紀美子，定行まり子，浅沼由紀，小池孝子，曾根里子：東日本大震災時の高層住宅居住者の行動からみた防災対策について，都市住宅学，83，pp.138-143，2013.
- 4) 日本建築設備・昇降機センター：建築基準法及び関連法令 昇降機技術基準の解説 2016年版，2016.
- 5) 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/about/pdf/20150225\\_elesoukifukkyu.pdf](https://www.n-elekyo.or.jp/about/pdf/20150225_elesoukifukkyu.pdf)，2015.
- 6) 東京都：平成30年「建築統計年報 2019年版」，2019.
- 7) 国土交通省：GIS ホームページ，<https://nlftp.mlit.go.jp>，2021.3 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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

## 2. 7 地震防災基盤シミュレータの構築

### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「地震防災基盤シミュレータの構築」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原広行
	副部門長	中村洋光
	主任研究員	前田宜浩
	特別研究員	土肥裕史
	センター長	青井真
	主幹研究員	高橋郁夫
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	森川信之
	特別研究員	岩城麻子
	主幹研究員	先名重樹
	特別研究員	内藤昌平
	特別研究員	秋山伸一
	部門長	臼田裕一郎
	副部門長	田口仁
	特別研究員	水井良暢
特別研究員	崔青林	

(c) 業務の目的

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

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

地震防災基盤シミュレータの構築に着手した。そのために、長継続時間・広帯域強震動への強震動シミュレーション手法の対応検討を行った。津波到達時間が短い地域を対象とした津波遡上の試計算を行った。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する。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う。同様の断層モデル群で津波遡上シミュレーションを行う。南海トラフで複数回地震が発生した想定ハザード情報等を利用した類型化手法の基礎的検討を行う。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する。

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度：

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

5) 令和6年度：

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

(e) 令和2年度業務目的

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

## (2) 令和2年度の成果

### ①長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

#### (a) 業務の要約

本業務では、南海トラフ沿いで発生する海溝型地震による長継続時間・広帯域強震動の計算を実現するために計算手法の整備および整理を行った。広帯域強震動シミュレーションで多くの実績のあるハイブリッド合成法の考え方を踏襲し、長周期地震動を決定論的手法、短周期地震動を半経験的手法等により計算することとし、長周期地震動計算については、防災科研で開発・公開している3次元差分法による地震動シミュレータGMS<sup>1)</sup>に発散抑制機能を実装することで長継続時間の地震動計算を可能とした。短周期地震動計算については、既往の計算手法の特徴を踏まえ、地震防災情報創成研究の他の課題での利用目的に適した手法を整理した。

#### (b) 業務の実施方法

長周期地震動計算に用いる3次元差分法による地震波伝播シミュレーションでは振幅が指数関数的に増大する発散と呼ばれる現象がしばしば発生し長継続時間の地震動計算の障害となっていることから、発散対策としてGMSに波動場平滑化スキーム(Imai et al., 2018)<sup>2)</sup>を実装し、検証用計算モデルにより対策効果を確認した。

広帯域地震動計算に必要な短周期地震動の計算手法として、短周期地震動の統計的性質を利用する手法、地震動の周波数帯域間の関係性を利用する手法、観測記録に基づく経験則を利用する手法を取り上げ、地震防災情報創成研究の他の課題での利用目的に適した短周期地震動計算手法を整理した。

#### (c) 業務の成果

##### 1) 長継続時間地震動計算への対応

長継続時間の地震動計算において生じる発散現象への対策として、波動場平滑化スキーム<sup>2)</sup>をGMSに実装した。具体的には、波動場平滑化スキームで用いる修正弾性波動方程式を3次元スタガードグリッド上の格子インデックスを用いた離散式で書き下し、GMSの差分計算ソルバに組み込んだ。

修正弾性波動方程式<sup>2)</sup>は次式で表され、通常弾性体方程式に右辺第2項で表す修正項が追加されたものとなっている。

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + 2b \left( \frac{\partial r_i}{\partial t} - \frac{b}{2} \Delta r_i \right) \quad (i, j = x, y, z) \quad (1)$$

ここで、 $u_i$ は変位、 $\sigma_{ij}$ は応力であり、修正項の係数 $b$ は拡散係数に相当する。この修正項は、短周期成分を選択的に減衰させる性質を有しており、減衰の影響が及ぶ周期帯域は $b$ 値に依存していることがわかっている。経験的に、発散現象は地震波伝播シミュレーションの有効周期帯よりも短周期側で発生するため、 $b$ 値を適切に設定することでシミュレーションとして興味のある周期帯域の地震動に影響を及ぼすことなく発散現象のみを抑えることが期待される。補正項に含まれる $r_i$ は $r_i = \Delta u_i$ と表すことができるので、修正弾性波動方程式は以下となる。

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} +$$

$$2b \left[ \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) v_i - \frac{b}{2} \left\{ \left( \frac{\partial^4}{\partial x^4} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} + \frac{\partial^4}{\partial z^4} \right) u_i + 2 \left( \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4}{\partial z^2 \partial x^2} \right) u_i \right\} \right] \quad (2)$$

ここで、 $v_i = \partial u_i / \partial t$  は速度である。修正弾性波動方程式に基づく地震波伝播シミュレーションを行うために、修正項をGMSで使用している3次元スタガードグリッド上の格子番号を用いた離散式で書き下した。全ての項を離散化した結果は膨大となるため、ここでは、右辺第2項のうち $v_x$ の2階微分を離散化した例を示す。

通常、GMSでは空間4次精度の有限差分近似を用いており、右辺第2項に含まれる2階微分は次式で定義される4次精度の離散化オペレータ $D^{2,4}$ を作用させることで離散化することができる。

$$D^{2,4}\bar{u}(i) \equiv \frac{-\bar{u}(i+2) + 16\bar{u}(i+1) - 30\bar{u}(i) + 16\bar{u}(i-1) - \bar{u}(i-2)}{12h^2} \quad (3)$$

ただし、計算領域境界に近い場合には次式で定義される2次精度の離散化オペレータ $D^{2,2}$ を用いる。

$$D^{2,2}\bar{u}(i) \equiv \frac{\bar{u}(i+1) - 2\bar{u}(i) + \bar{u}(i-1)}{h^2} \quad (4)$$

これらの離散化オペレータを用いて求めた4次精度の離散式は

$$\begin{aligned} & (D_x^{2,4} + D_y^{2,4} + D_z^{2,4}) v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{(\Delta x)^2} \left\{ -c_0^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{3}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i-\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) - c_2^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{5}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i-\frac{3}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \\ &+ \frac{1}{(\Delta y)^2} \left\{ -c_0^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j+1,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j-1,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) - c_2^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j+2,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j-2,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \\ &+ \frac{1}{(\Delta z)^2} \left\{ -c_0^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k+1}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k-1}}^{n-\frac{1}{2}} \right) - c_2^{2,4} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k+2}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k-2}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

表 2-7-①-1 離散式に用いる係数

$n$ 次精度	$m$ 階微分	$c_0^{m,n}$	$c_1^{m,n}$	$c_2^{m,n}$	$c_3^{m,n}$
4	1	9/8	-24		
4	2	-5/2	4/3	-1/12	
2	2	-2	1		
4	4	28/3	-13/2	2	-1/6
2	4	6	-4	1	

となり、2次精度の離散式は

$$\begin{aligned}
 (D_x^{2,2} + D_y^{2,2} + D_z^{2,2})v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} &= \frac{1}{(\Delta x)^2} \left\{ -c_0^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{3}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i-\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \\
 &+ \frac{1}{(\Delta y)^2} \left\{ -c_0^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j+1,k}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j-1,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \\
 &+ \frac{1}{(\Delta z)^2} \left\{ -c_0^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k}}^{n-\frac{1}{2}} \right) + c_1^{2,2} \left( v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k+1}}^{n-\frac{1}{2}} + v_{x_{i+\frac{1}{2},j,k-1}}^{n-\frac{1}{2}} \right) \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

となる。なお、 $v_x$ の上付き文字 ( $n$ ) は時間、下付き文字 ( $i, j, k$ ) は空間に関するインデックスである。また、式中の係数 ( $c$ ) は、修正項の他の項の離散化で用いられるものも含めて表 2-7-①-1 に示した。このような離散化を修正項の全ての項に対して行い GMS の差分計算ソルバに組み込んだ。以下では発散抑制機能を組み込んだ GMS を改良版、現在の公開版の GMS (バージョン 1. 8. 0) を現行版と呼ぶこととする。なお、改良版の GMS は、現行版の GMS に発散抑制効果が見込まれる計算安定化スキーム<sup>3)</sup>を組み込んだものを基に機能追加が行われており、改良版には波動場平滑化スキームと計算安定化スキームの2つの発散抑制機能が組み込まれていることとなる。

改良版の GMS を用いて発散抑制効果を検証した。ここでは、大阪湾付近を対象とした検証用計算モデルを設定し、現行版と改良版の GMS による計算結果を比較した (図 2-7-①-1)。図 2-7-①-1 の右側は計算領域内に設定した観測点における時刻歴波形を並べたものであり、上段に示した現行版での計算では 40 秒付近から振幅の急激な増大が見られ発散が生じていることが見て取れる。一方、下段に示した改良版での計算では発散は見られない。図 2-7-①-2 は地震動の面的分布の時間変化を示しており、上段の現行版での計算では 35 秒 (7000 タイムステップ) で大阪湾付近において発散の兆候がみられ、50 秒、80 秒とタイムステップ数の増加とともに発散が広がっていく様子が見て取れる。一方、下段の改良版の計算では 80 秒 (16000 タイムステップ) でも発散は生じていないことがわかる。図 2-7-①-3 では HYG025 観測点 (図 2-7-①-1 に位置を示している) における現行版と改良版による速度波形とそのフーリエスペクトルを比較している。波形およびフーリエスペクトルは同じ振幅スケールで描画しており振幅値を直接比較することができ、現行版の速度波形は振幅が指数関数的に増大しており発散が生じていることがわかる。また、現行版のフ

ーリエスペクトルには5 Hz 付近に明瞭なピークが現れており、この検証用計算モデルでは約5 Hz の波が増大するような発散が生じていると考えられる。改良版と現行版のフーリエスペクトルを比較すると、0.1~1 Hz ではほぼ同じ振幅レベルとなっているのに対し、高周波数帯域（短周期帯）では改良版の振幅レベルが低減し、現行版の5 Hz 付近に見られたピークは解消している。長周期地震動の計算では概ね周期1秒（周波数では1 Hz）より長周期帯域の計算が重要であるが、改良版では重要な周期帯域の計算に影響を及ぼすことなく発散を抑制することができていると考えられる。また、同検証用計算モデルを用いた計算では、240000 タイムステップ（20 分間）経過後でも発散していないことを確認している。

波動場平滑化スキームを導入したことで現行版よりも1タイムステップ当たりの演算量が増加したため、改良版では現行版よりも計算時間を要することとなる。そこで、改良版のGMSをMPI 並列計算に対応させ計算の効率化を図った。改良版による逐次計算と並列計算の計算速度について比較するとともに、現行版と改良版の計算時間の比較も行った（表2-7-①-2）。計算には検証用計算モデルを用いた。並列計算は4並列での計算を行っており、並列化効率は0.96 となり、十分な並列性能が得られていると考えられる。また、改良版の計算実行時間は現行版の3倍強となっていることが確認できた。

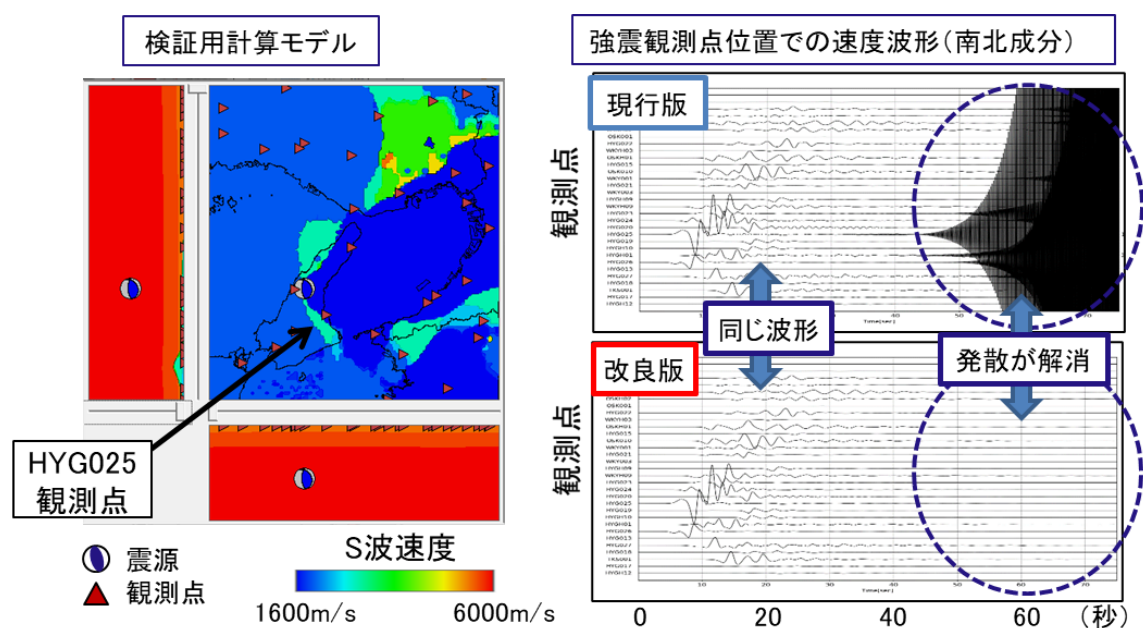


図2-7-①-1 左：発散対策の検証用計算モデル。右：現行版と改良版のGMSによる速度波形の比較。左図の赤三角の観測点における波形を同じ振幅スケールで描画している。

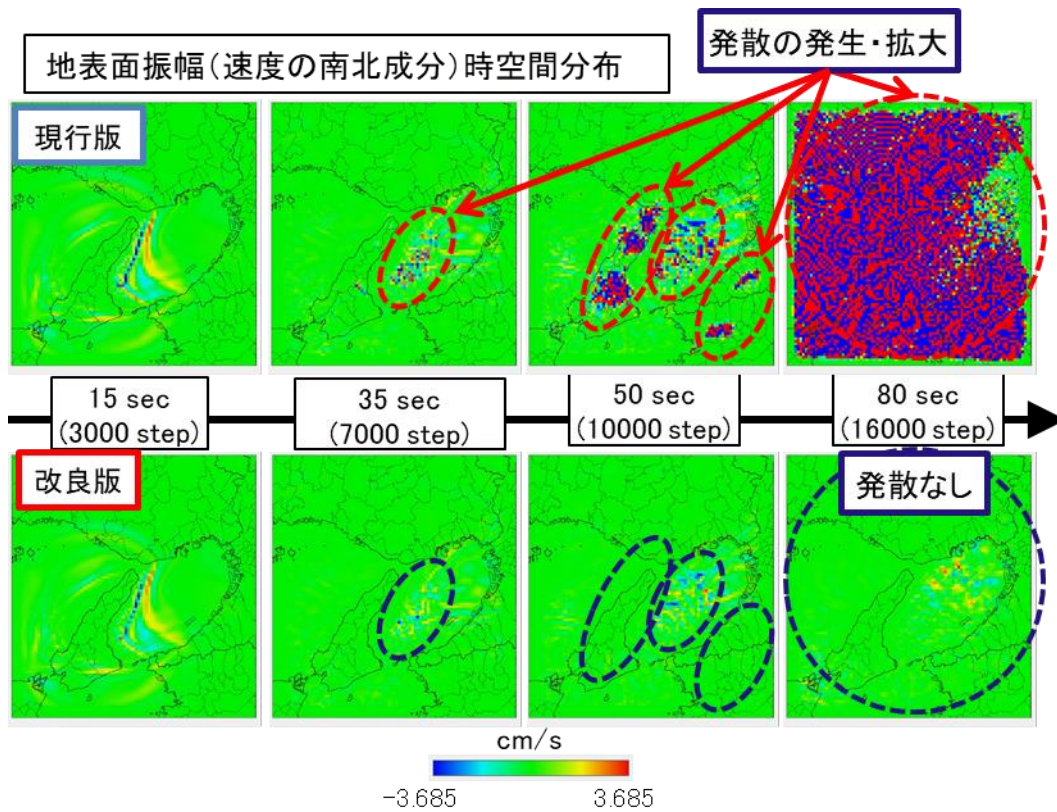


図 2-7-①-2 現行版と改良版の GMS による地震動の面的分布の時間変化の比較。上段において赤破線で囲んだ領域では発散が生じているが、下段において黒破線で囲んだ領域では発散は生じていない。

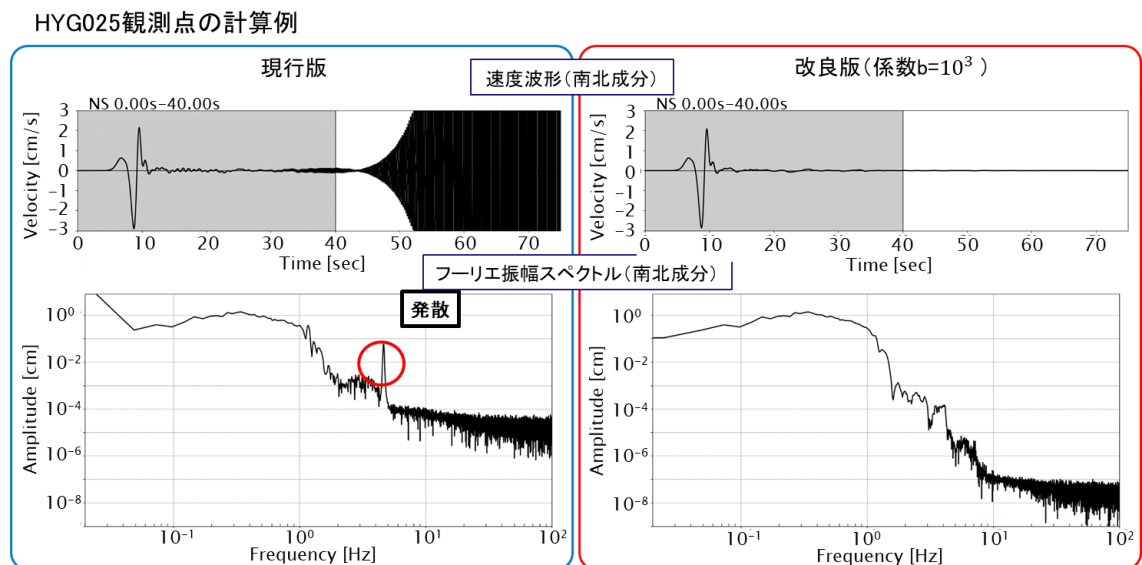


図 2-7-①-3 HYG025 観測点(位置は図 2-7-①-1 を参照)における現行版と改良版の速度波形とフーリエスペクトルの比較。



表 2-7-①-2 並列性能の評価結果

	逐次計算	MPI 並列計算
タイムステップ数	20000	
並列数	-	4
計算実行時間(T) [sec]	約 78500	約 20500
高速化率 ( $T_{\text{逐次}}/T_{\text{並列}}$ )	-	3.8
並列化効率 (高速化率/分割数)	-	0.96
(参考) 現行版での 計算実行時間[sec]		約 6150

## 2) 広帯域強震動計算手法の整理

広帯域強震動の計算では、1)項で高度化したGMSにより計算した長周期地震動に、別途求めた短周期地震動を付加する手法を想定している。地震防災情報創成研究の他の課題での広帯域強震動の活用方法をヒアリングし、それぞれの目的に適した短周期地震動の計算手法について整理した。

まず、短周期地震動の計算手法として、ア)短周期地震動の統計的性質を利用する手法、イ)地震動の周波数帯域間の関係性を利用する手法、ウ)観測記録に基づく経験則を利用する手法、の3種類を候補として各手法の長所や留意点について整理した(表2-7-①-3)。ア)の具体例としては統計的グリーン関数法が挙げられ、面的な評価に適用可能であるものの、震源から離れた地域や巨大海溝型地震への適用性に留意する必要がある。イ)については強震観測記録の存在する地点での評価に適用可能であり地点毎の地震動の特徴の再現が期待できるが面的評価には向いていない。ウ)は簡便であり面的評価が可能であるが波形の評価は困難である。ここで取り上げた3つの手法は、面的評価が可能な手法と、地点毎の地震動特性の再現が可能な手法に大きく分けることができた。

次に、他の課題での広帯域強震動の利用目的について調査した(表2-7-①-4)。課題2(f)「発災時の大都市機能の維持」におけるエレベータ復旧評価モデルでは、超高層建物の長周期地震動による被害評価のために絶対速度応答スペクトル(周期1~10秒)、非常停止の有無、中低層建物の被害評価のために最大地表加速度、加速度応答スペクトル(周期0.1~10秒)が必要とのことであった。エレベータが設置された建物位置における地震動指標値が必要であることから、任意地点の地震動評価が可能で、ア)短周期地震動の統計的性質を利用する手法、あるいは、ウ)観測記録に基づく経験則を利用する手法が適用できると考えられる。また、強震動観測を実施している建物であれば、イ)地震動の周波数帯域間の関係性を利用する手法を適用することで、地盤特性を考慮した地震動評価も可能である。

また、本課題2(g)「地震発生の多様性を考慮したリスク評価」では、計測震度、建物の周期特性を考慮したリスク評価を可能とするために加速度応答スペクトル（周期0.1～2秒）が必要となる。さらに空間的に面的な情報が必要となることから、ア）短周期地震動の統計的性質を利用する手法、あるいは、ウ）観測記録に基づく経験則を利用する手法が適当だと考えられる。

表2-7-①-3 短周期地震動計算手法

		具体例	長所	留意点
ア)	短周期地震動の統計的性質を利用する手法	統計的グリーン関数法	面的評価が可能。	震源から離れた地点、巨大地震への適用性に留意
イ)	地震動の周波数帯域間の関係性を利用する手法	包絡形状の周波数帯域間の関係性を利用（岩城・藤原、2013） <sup>4)</sup> カップリング学習によるアップサンプリング技術を利用（前田ほか、2019） <sup>5)</sup>	地点毎の地震動特性を再現可能。	観測記録が必要。面的評価は困難。
ウ)	観測記録に基づく経験則を利用する手法	地震動予測式（例えば、司・翠川（1999） <sup>6)</sup> 、Morikawa and Fujiwara（2013） <sup>7)</sup> ）	面的評価が可能。	時刻歴の評価は困難。

表2-7-①-4 課題での広帯域強震動の利用目的

課題	地震動指標	利活用対象	短周期地震動計算手法（番号は表2-7-①-3を参照）	
2(f)	「発災時の大都市機能の維持」におけるエレベータ復旧評価モデル	絶対速度応答スペクトル （周期：1～10秒）	超高層建物の長周期地震動による被害評価	任意地点の評価が必要⇒①、③ 強震観測記録が利用可能な地点では②も可能
		最大地表加速度、加速度応答スペクトル （周期：0.1～10秒）	非常停止の有無、中低層建物の被害評価	
2(g)	本課題における地震発生の多様性を考慮したリスク評価	計測震度	地域概観版リスク評価	面的評価が必要⇒①、③
		加速度応答スペクトル （周期：0.1～2秒）	周期特性を考慮した評価	

(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) 長継続時間地震動計算については、長周期地震動計算に用いる 3 次元差分法による地震動シミュレータ GMS に波動場平滑化スキーム<sup>2)</sup>を実装し、検証用計算モデルを用いた計算により、短周期成分が減衰され発散を抑制する効果があることを確認した。発散抑制機能を追加した改良版の GMS は現行版に比べ計算実行時間は 3 倍強であった。ここでは、波動場平滑化スキームのパラメータ (b 値) を何通りか決め打ちで設定し、その中で発散抑制効果が認められる結果が得られた。改良版の GMS には波動場平滑化スキームと計算安定化スキームが実装されているが、今回見られた発散抑制効果には主として波動場平滑化スキームが寄与していると考えられる。また、発散抑制機能の影響を受ける周期帯域は b 値に依存しており、b 値の設定を適切に行うための検討が必要である。また、改良版の GMS を用いた地震動計算を行うために、南海トラフ沿いの地震を対象とした計算用地下構造モデル、震源断層モデルを構築する必要がある。
- 2) 広帯域強震動の計算に関しては、地震防災情報創成研究の他の課題での広帯域強震動の活用方法をヒアリングし、それぞれの目的に適した短周期地震動の計算手法について整理した。短周期地震動の計算手法は面的評価が可能な手法と、地点毎の地震動特性の再現が可能な手法に大きく分けることができ、主としてこの分類に基づいて地震防災情報創成研究の他の課題に適した手法が整理できた。今後は、それぞれの手法に基づいて広帯域強震動を試算し、結果を比較検討する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 青井真、早川俊彦、藤原広行：地震動シミュレータ：GMS，物理探査，Vol. 57，651-666，2004.
- 2) 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.
- 3) Nie, S., Y. Wang, K. B. Olsen, and S. M. Day: Fourth-order staggered-grid finite-difference seismic wavefield estimation using a discontinuous mesh interface (WEDMI), *Bull. Seism. Soc. Am.*, 107, 2183-2193, 2017, doi: 10.1785/0120170077.
- 4) 岩城麻子、藤原広行：低周波数地震動の情報をを用いた高周波数地震動合成の試みー関東地域における検討ー、日本地震工学会論文集、第 13 巻、第 4 号、1-18、2013.
- 5) 前田宜浩、岩城麻子、藤原広行、松崎和敏、友澤弘充、森悠史、土屋美恵、宮田尚史：日本地球惑星科学連合 2019 年大会、SCG62-03、2019.
- 6) 司宏俊、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 64 巻、第 523 号、63-70、1999.

- 7) Morikawa, N., and H. Fujiwara: A new ground motion prediction equation for Japan applicable up to M9 mega-earthquake, J. Disaster Res., Vol.8, No.5, 878-888, 2013, doi:10.20965/jdr.2013.p0878.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

②津波遡上シミュレーション

(a) 業務の要約

本業務では、津波のハザード・リスク情報の創出を目的として、南海トラフ地震の多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組合せからなる断層モデル群を用いた、津波伝播遡上計算を実施する。令和2年度は、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実施した。具体的には、課題2(d)「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」における利活用を目的として課題2(d)の実証実験対象地域であり、かつ津波到達時間が短い地域である高知県黒潮町、四万十町、須崎市を対象に、防災科研が開発している津波シミュレータ (TNS:TsuNami Simulator)<sup>1)</sup>を用いて津波遡上の試計算を実施した。

(b) 業務の実施方法

詳細地形モデルの構築、試計算に使用する波源断層モデルの選定、津波シミュレータの改良、津波遡上の試計算、の手順で実施した。具体的な実施方法は以下のとおりである。

1) 詳細地形モデルの構築

課題2(d)の実証実験対象地域である高知県黒潮町、四万十町、須崎市、および大阪府堺市(図2-7-②-1)を対象に、最新のデータを反映した最小10m計算格子の詳細地形モデルを構築した。具体的には、内閣府や地方自治体が作成した10mメッシュ分解能の地形データ、堤防データ等を基に、入手可能な最新の測量結果等の情報を反映した地形モデルを構築した。入手した内閣府や地方自治体のデータに反映されていない新

設の海岸堤防等については、現地踏査を実施し、最新の堤防データを反映させた地形モデルを構築した。

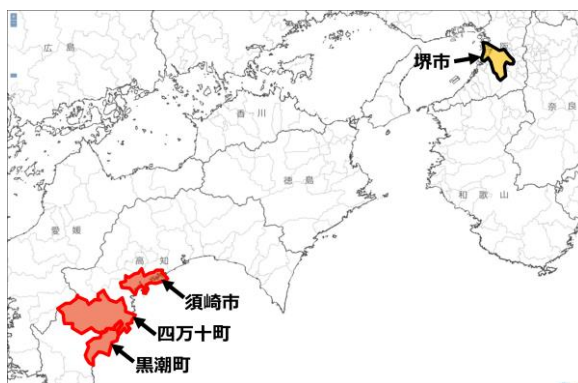


図 2-7-②-1 対象地域（黄色部は詳細地形モデルを構築した地域。赤色部は詳細地形モデルを構築し、かつ津波遡上の試算を実施した地域。）

## 2) 試算に使用する波源断層モデルの選定

地震調査委員会（2020）<sup>2)</sup>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、かつ対象地域に大きな津波をもたらすと推定される波源断層モデルを選定した。選定方法を図 2-7-②-2 にまとめる。まず、地震調査委員会（2020）<sup>2)</sup>が設定した 176 通りの震源域の組合せのうち、重みが最も大きい組合せを選定した（手順 1）。次に、選定した震源域の組合せを構成する震源域のうち、対象地域により大きな津波をもたらすと推定される震源域を選定した（手順 2）。最後に、選定した震源域に設定された波源断層モデル群のうち、大すべり域の位置を踏まえ、対象地域により大きな津波をもたらすと推定される波源断層モデルを選定した（手順 3）。

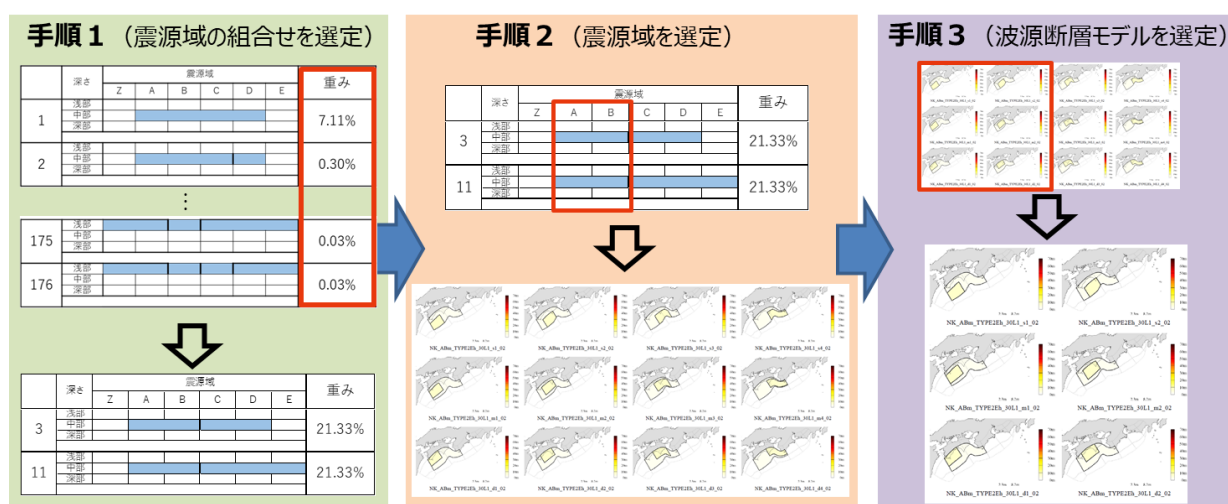


図 2-7-②-2 試算に使用する波源断層モデルの選定方法

### 3) 試計算に使用する津波シミュレータの改良

課題2 (d) やリスク評価等における利活用を目的として、流速分布を出力できるように、津波シミュレータ (TNS) <sup>1)</sup> の機能を拡張した。

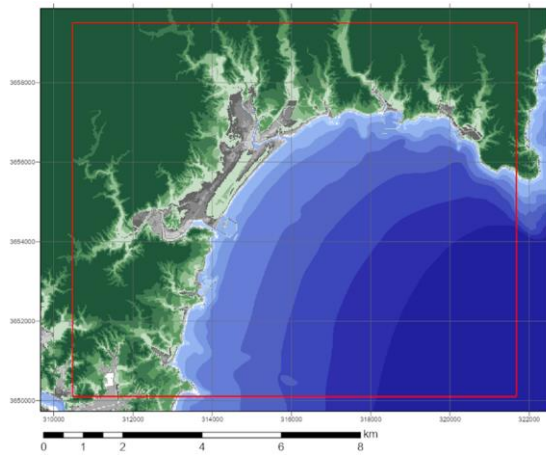
### 4) 津波遡上の試計算

上記の成果物を用いて、課題2 (d) の実証実験対象地域であり、かつ津波到達時間が短い地域である高知県黒潮町、四万十町、須崎市を対象に、津波遡上の試計算を実施した。

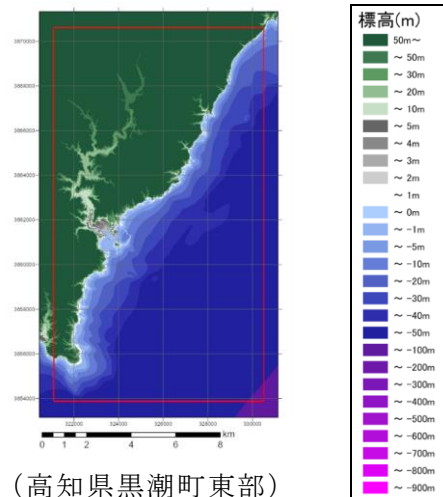
## (c) 業務の成果

### 1) 詳細地形モデルの構築

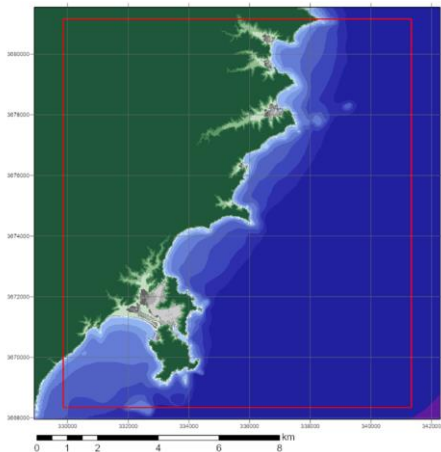
高知県黒潮町、四万十町、須崎市、および大阪府堺市を対象に、10m メッシュ分解能地形データ、10m メッシュ分解能粗度データ、および10m メッシュ分解能陸判定データを構築した。地形データについては、地震動による堤防等の構造物の破壊を考慮して、構造物0%沈下(破壊なし)、25%沈下、50%沈下、75%沈下、100%沈下、の計5種類を構築した。粗度データについては、航空写真等を確認したうえで、国土交通省(2019) <sup>3)</sup> の粗度係数の設定例と整合するように構築した。陸判定データについては、潮位条件として、T.P. +0.0m および朔望平均満潮位それぞれに対応したデータを構築した。構築した詳細地形モデルの一例として、構造物0%沈下時の10m メッシュ分解能地形データを図2-7-②-3に示す。



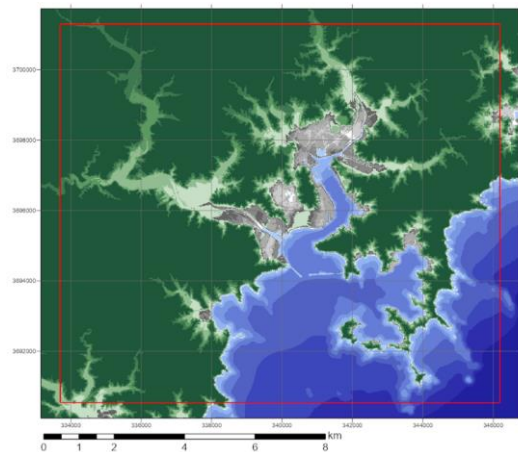
(高知県黒潮町西部)



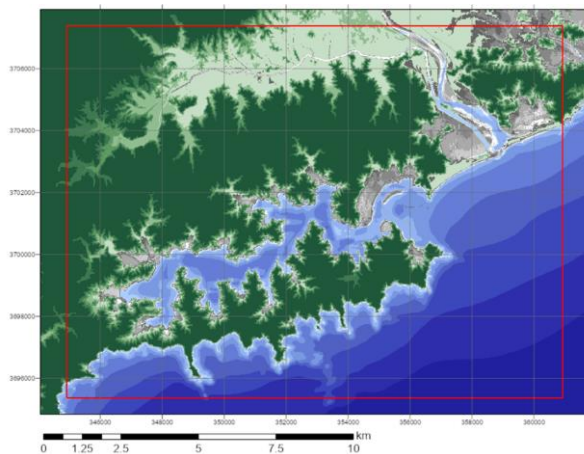
(高知県黒潮町東部)



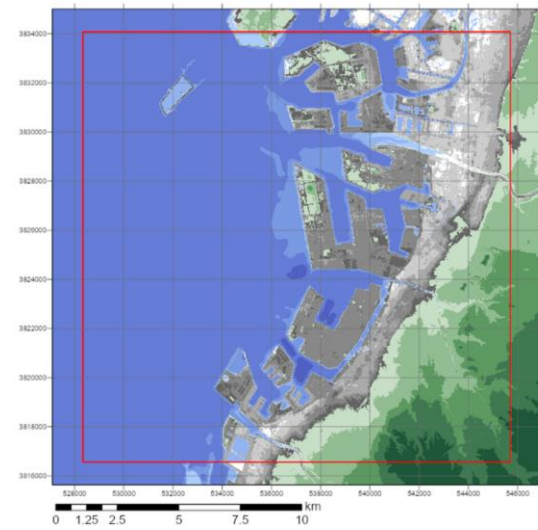
(高知県四万十町)



(高知県須崎市西部)



(高知県須崎市東部)



(大阪府堺市)

図 2-7-②-3 構築した詳細地形モデル  
(構造物 0%沈下時の 10m メッシュ分解能地形データ)

## 2) 試計算に使用する波源断層モデルの選定

地震調査委員会（2020）<sup>2)</sup>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、かつ対象地域に大きな津波をもたらすと推定される波源断層モデル6個を選定した（図2-7-②-4）。

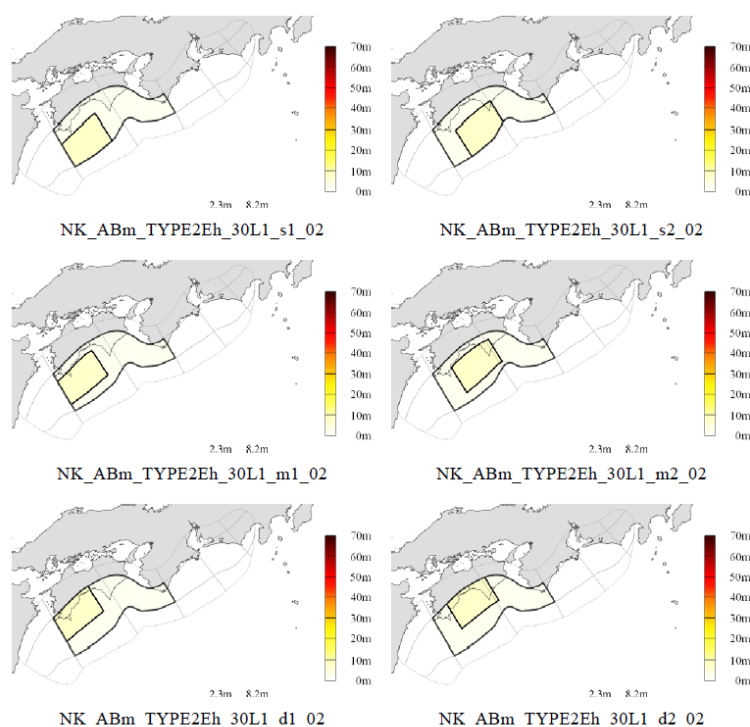


図2-7-②-4 選定した波源断層モデル（凡例はすべり量を示す）

## 3) 試計算に使用する津波シミュレータの改良

津波シミュレータ（TNS）<sup>1)</sup>を改良し、流速分布の出力機能を追加した（図2-7-②-5の最大流速分布図を参照）。

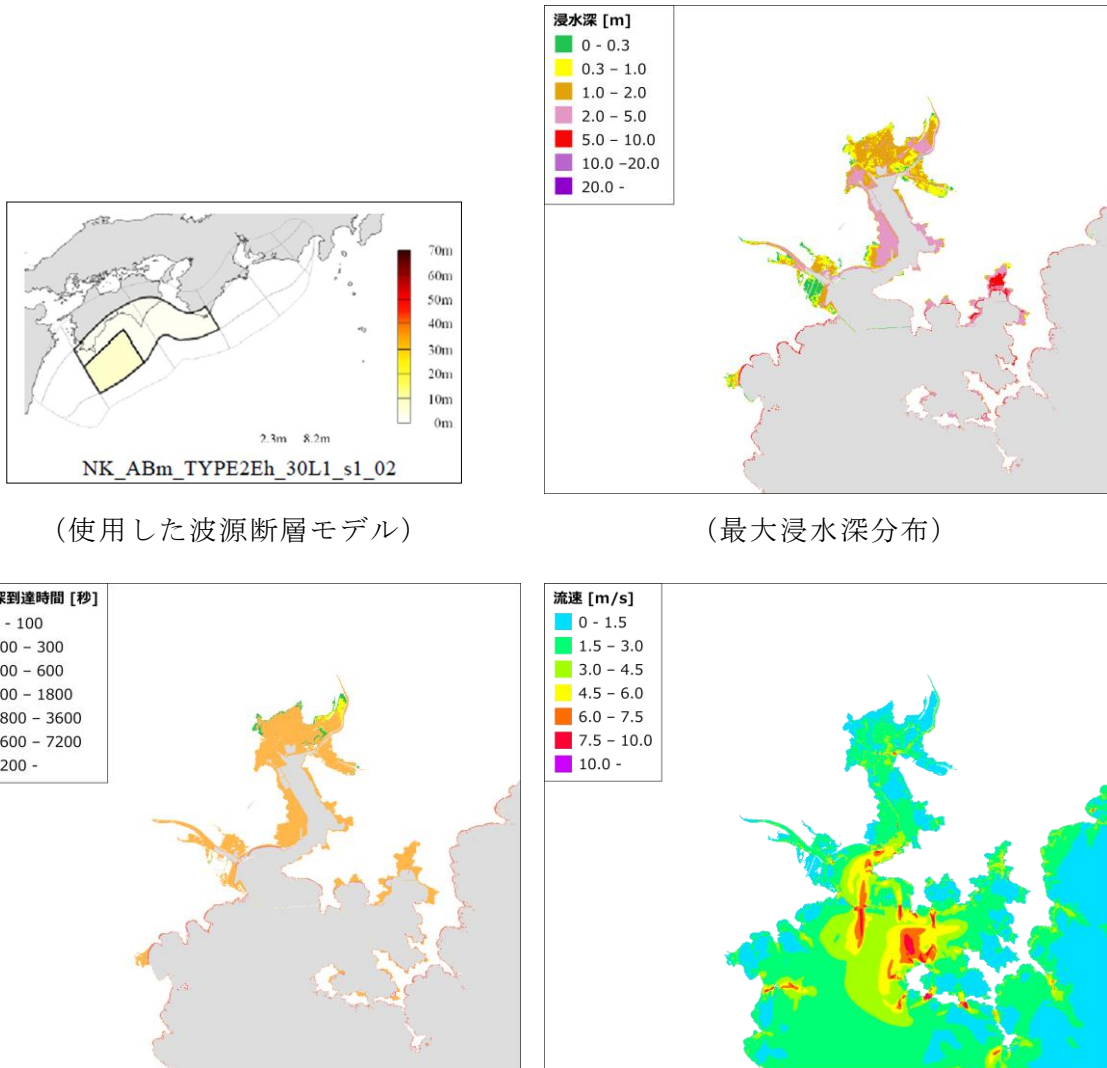
## 4) 津波遡上の試計算

構築した詳細地形モデル、選定した波源断層モデル群、改良した津波シミュレータ（TNS）を用いて、課題2（d）の実証実験対象地域であり、かつ津波到達時間が短い地域である高知県黒潮町、四万十町、須崎市を対象に、津波遡上の試計算を実施した。詳細地形モデルについては、構造物0%沈下の10mメッシュ分解能地形データ、潮位条件をT.P.+0.0mとした場合の10mメッシュ分解能陸判定データを使用した。試計算の計算条件を表2-7-②-1にまとめる。また、選定した波源断層モデル6個のうち、大すべり域が南西側に位置する波源断層モデルを用いた場合の試計算の結果として、高知県須崎市西部における最大浸水深分布、浸水深30cmの到達時間分布、最大流速分布、および地震発生10分後から60分後までの浸水深分布（10分間隔）を図2-7-②-5に示す。最大浸水深分布から、須崎市西部では5m以上の浸水深が想定される地域を確認できる。また、地震発生10分後から60分後までの浸水深分布から、地震発生30分後～50分後において、浸水域が急速に拡大することを確認できる。



表 2-7-②-1 試計算の計算方法・条件

項目	計算方法・条件
方程式	非線形長波理論
計算時間間隔	C.F.L (Courant-Friedrichs-Lewy) 条件を満たすように設定
計算格子間隔	810m、270m、90m、30m、10m (海岸域はすべて10m、各領域を1:3でネスティング)
計算時間	12時間
境界条件	陸側：陸域へ遡上 海側：吸収境界
施設	各種施設（堤防・水門など）を考慮 (地震動や津波の越流によって破壊・倒壊しないと仮定)
初期水位	Okada (1992) <sup>4)</sup> 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) <sup>5)</sup> を考慮し、梶浦フィルター (Kajiura, 1963) <sup>6)</sup> を適用
動的破壊特性	ライズタイム：考慮しない 破壊伝播過程：考慮しない
潮位条件	T.P.±0 m
打ち切り水深	10 <sup>-2</sup> m
粗度係数	30m格子、10m格子は土地利用条件に応じて設定 810m格子、270m格子、90m格子は一律に0.025(m <sup>-1/3</sup> s)



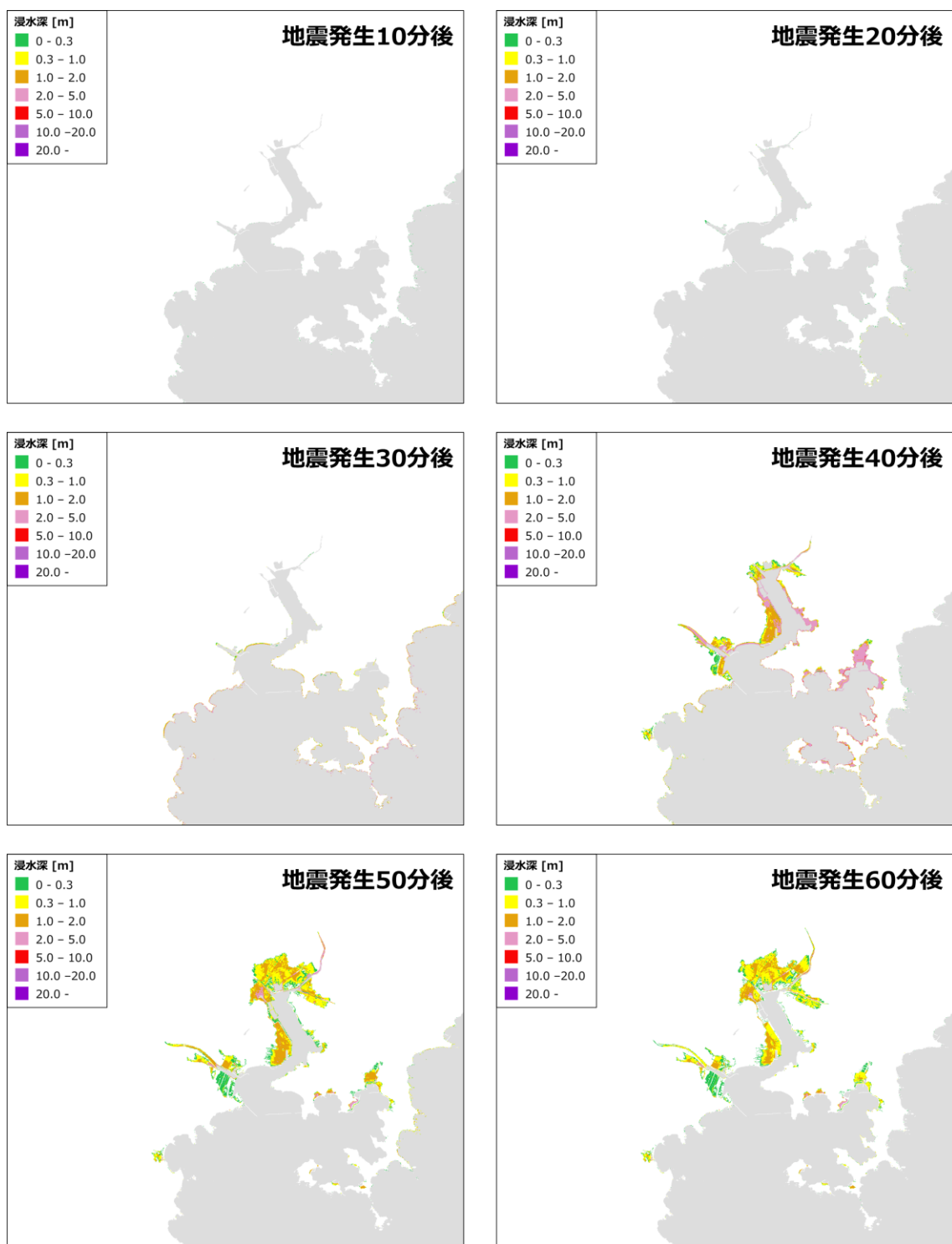
(使用した波源断層モデル)

(最大浸水深分布)

(浸水深 30cm の到達時間分布)

(最大流速分布)

図 2-7-②-5 津波遡上の試計算の結果 (高知県須崎市西部) (次頁に続く)



(浸水深分布)

図 2 - 7 - ② - 5 津波遡上の試算の結果 (高知県須崎市西部) (前頁から続く)

(d) 結論ならびに今後の課題

令和 2 年度の業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 課題 2 (d) の実証実験対象地域であり、かつ津波到達時間が短い地域である高知県黒潮町、四万十町、須崎市を対象に、津波遡上の試算を実施した。具体的には、

詳細地形モデルの構築、試計算に使用する波源断層モデルの選定、試計算に使用する津波シミュレータの改良を実施したうえで、津波遡上の試計算を実施した。

- 2) 試計算結果の一例として、高知県須崎市西部における最大浸水深分布、浸水深 30cm の到達時間分布、最大流速分布、および地震発生 10 分後から 60 分後までの浸水深分布（10 分間隔）を示した（図 2-7-②-5）。今後、南海トラフ地震の多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組合せからなる断層モデル群を用いた津波遡上計算を実施することで、津波による浸水域の拡がり、浸水深等を、南海トラフ地震の多様性モデルごとに示す予定である。
- 3) 次年度以降の課題として、膨大な数の断層モデル群を用いて津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションすることが挙げられる。安定的かつ効率的に津波のハザード情報を創出し、南海トラフの地震像の多様性を考慮したリスク評価や、課題 2 (d)における事前避難の要不要の診断ツールの開発・実装における利活用を予定している。

(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、第 427 号、2019.
- 2) 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](https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t)（最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日）。
- 3) 国土交通省：津波浸水想定の設定の手引き Ver2.10、2019、[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kaigan/tsunamishinsui\\_manual1.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manual1.pdf)（最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日）。
- 4) 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.
- 5) Tanioka, Y. and K. Satake: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, 23, 861-864, 1996.
- 6) 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  
なし
- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願  
なし

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

### ③地震発生の多様性を考慮したリスク評価

#### (a) 業務の要約

本業務では、南海トラフ沿いで発生する地震・津波による建物被害、人的被害のリスク評価を実施した。具体的には、南海トラフの地震の多様性を考慮した 151 の震源断層モデル及び 4220 の波源断層モデルを元に、南海トラフの地震・津波が発生した場合の条件付きリスク評価を行った。また、地震像の類型化に向けた基礎検討として、上記のリスク評価結果を特徴量とした地震のクラスタリングを試行して、地震像の類型化に向けた課題を抽出した。

#### (b) 業務の実施方法

南海トラフ沿いで発生する地震・津波による条件付きリスク評価は、地震・津波のハザード情報、建物や人口といった曝露データ、ハザードに対する脆弱性評価に基づき、被害率や被害量と条件付き超過確率の関係を示したリスクカーブや条件付き期待値を算出した（図 2-7-③-1）。

地震動によるリスク評価に用いるハザード情報は、2種類の距離減衰式（司・翠川（1999）<sup>1)</sup> および Morikawa & Fujiwara（2013）<sup>2)</sup>）に基づく南海トラフの地震が発生した場合の条件付きハザードカーブとした。

津波によるリスク評価には藤原ほか（2020）<sup>3)</sup>の計算条件に準拠した、4220 波源の津波伝播遡上計算結果に基づく条件付きハザードカーブを使用した。なお、津波による人的被害は浸水深と津波到達時刻の2種類の外力が被害に影響を及ぼす。このように2種類の外力が被害に影響を及ぼす場合のリスク評価手法は確立されていないことから、リスクカーブではなく被害推定結果をリスク評価結果とした。

地震像の類型化手法の基礎検討では、地域として名古屋市港区を対象とした類型化の試行を実施した。類型化にあたっては、地震の被害の指標として用いられる事が多く、上記で算出した地震動および津波による建物被害を特徴量として、教師なし機械学習の手法である階層クラスタリングにより地震像を類型化した。

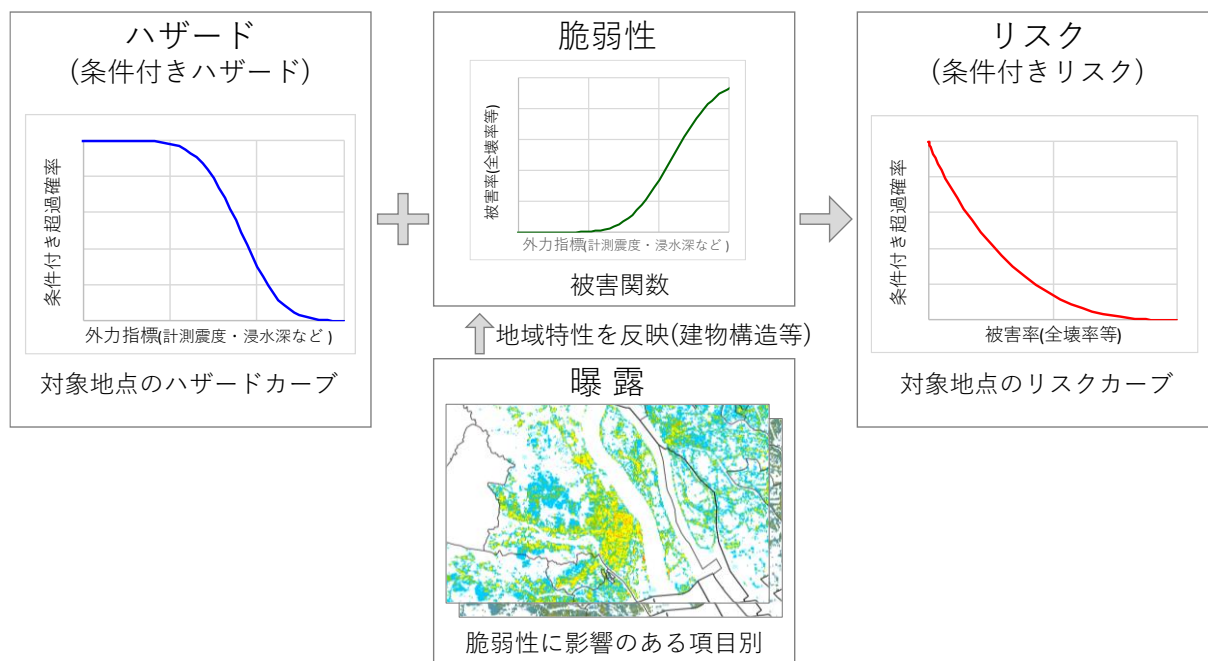


図 2-7-③-1 リスク評価の概念図

(c) 業務の成果

1) 南海トラフ沿いで発生する地震の多様性の表現形式の概要

南海トラフ沿いで発生する地震は複数回にわたって発生したり、複数の領域が同時に破壊したりするなどの多様性があると評価されている(地震調査委員会(2020)<sup>4)</sup>)。本業務では、南海トラフで発生する地震の多様性の表現形式の基本的な部分は藤原ほか(2020)<sup>3)</sup>を踏襲するものの、リスク評価の観点から南海トラフ沿いの大地震活動1サイクルを構成する地震の順序や発生間隔を考慮した用語を定義して表現形式を拡張した。これは、地震活動1サイクル中に複数回にわたって地震が発生する場合には、前に発生した地震からの復旧や臨時情報等に伴う事前避難が考えられ、地震の順序や発生間隔が地震活動1サイクル全体の被害量に大きく影響するためである。

具体的には南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表2-7-③-1により表現した。南海トラフ沿いで発生する地震活動1サイクルを構成するM8クラス以上のプレート間地震等を地震と定義する。この地震の震源となる領域を震源域と定義する。震源域は南海トラフのトラフ軸に沿う断層面の走向方向に6つ、トラフ軸に直交する断層面の傾斜方向に3つの、合計18(6×3)領域に分割されている(図2-7-③-2)。震源域に対してすべり量や破壊開始点等を指定したもののうち、地震動計算にかかるものを震源断層モデル、津波伝播遡上計算にかかるものを波源断層モデルとそれぞれ定義する。地震活動1サイクル中に出現する震源域の組み合わせのうち、地震の発生順序や発生間隔を考慮しないものを震源域セット、考慮するものを震源域パターンと定義する。一方で、地震活動1サイクル中に出現する波源断層モデルあるいは震源断層モデルの組み合わせのうち、地震の発生順序や発生間隔を考慮しないものを地震セット、考慮するものを地震パターンと定義する。

表 2-7-③-1 南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表現する用語の一覧

用語	定義
地震	南海トラフ沿いで発生する M8 クラス以上のプレート間地震等。
震源域	地震の震源となる断層の位置・大きさ・形状のみが指定されたもの。
震源断層モデル	震源域にすべり分布や破壊開始点等を指定したもの（地震動計算に用いる）。
波源断層モデル	震源域にすべり分布を指定したもの（津波伝播遡上計算に用いる）。
震源域セット	地震活動 1 サイクル中に出現する 1 つ以上の震源域の組み合わせ。 （地震の発生順序や発生間隔は考慮しない）
地震セット	地震活動 1 サイクル中に出現する 1 つ以上の波源断層モデルの組み合わせ、あるいは震源断層モデルの組み合わせ。（地震の発生順序や発生間隔は考慮しない）
震源域パターン	地震の発生順序や発生間隔を考慮した、地震活動 1 サイクル中に出現する 1 つ以上の震源域の組み合わせ。
地震パターン	地震の発生順序や発生間隔を考慮した、地震活動 1 サイクル中に出現する 1 つ以上の波源断層モデルの組み合わせ、あるいは震源断層モデルの組み合わせ。

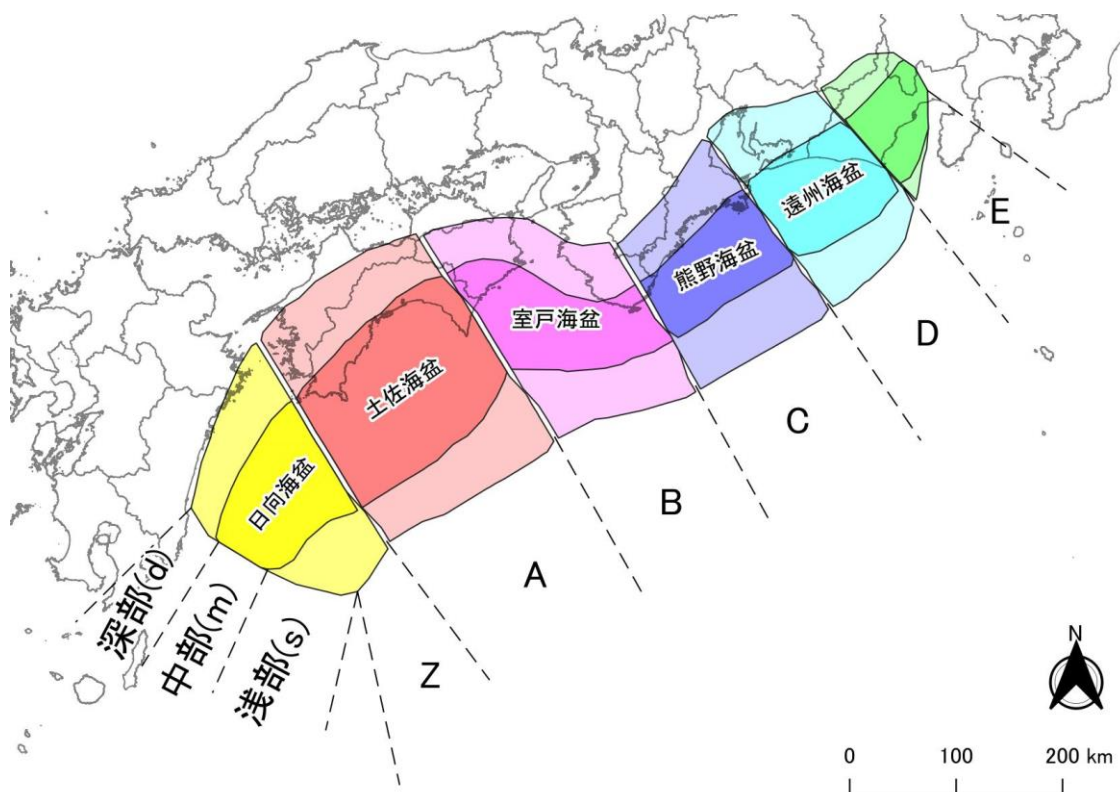


図 2-7-③-2 南海トラフ沿いで発生する M8 クラス以上のプレート間地震の震源域

## 2) 地震リスク評価

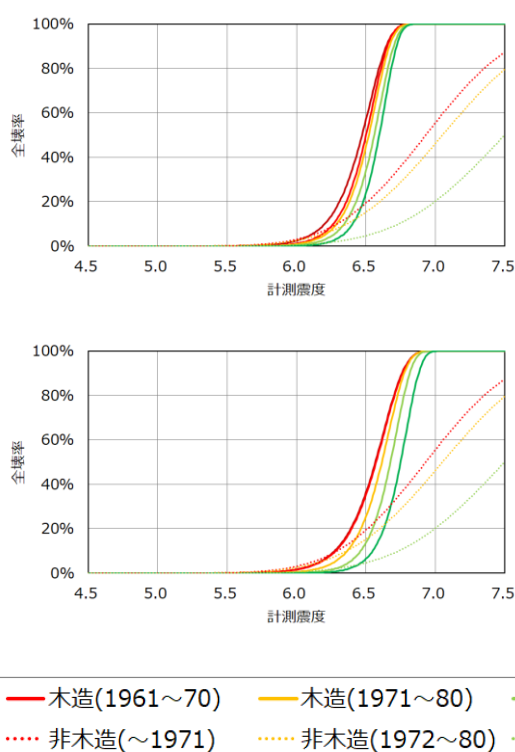
南海トラフ沿いで発生する地震によるリスク評価を実施した。対象とする評価項目は建物被害（棟数ベース、損失額ベース）と人的被害である。以下に、リスク評価手法と結果について述べる。なお、本業務でのリスク評価は個別の震源断層モデルを対象にしたもので、前述の地震セットや地震パターンを対象としていない。

a) 地震リスク評価手法

地震リスク評価に用いる地震動は距離減衰式により推定した。具体的には、全国地震動予測地図で使用されている司・翠川（1999）<sup>1)</sup> およびM9クラスの巨大地震に対応した Morikawa & Fujiwara（2013）<sup>2)</sup>の2種類の距離減衰式を用いて、各250mメッシュ中心点における断層最短距離と地震の規模（モーメントマグニチュード）から地震動の平均値を算出した。そのうえで、全国地震動予測地図<sup>5)</sup>のばらつきに基づいて、地震動指標と条件付き超過確率（地震が発生した場合における超過確率）の関係を示す条件付きハザードカーブを算出した。

また、曝露データには藤原ほか（2019）<sup>6)</sup>で作成された250mメッシュ分解能の建物モデルを使用した。この建物モデルは住宅地図のGISデータを元に作成されたもので、建物構造（3区分）、建築年代（7区分）ごとの建物棟数が掲載されている。

地震動指標から建物被害（棟数）を算出する被害関数には、木造建物については建築年代に加えて屋根重量区分を考慮する清水ほか（2019）<sup>7)</sup>を、非木造建物については中央防災会議（2012）<sup>8)</sup>および東京都防災会議（2013）<sup>9)</sup>の被害関数を使用した。これらの被害関数は計測震度と棟数ベースでの被害率を示したものである。計測震度と全壊率の関係を図2-7-③-3に例示した。



(左:非常に重い屋根、右:軽い屋根)

図2-7-③-3 建物被害（全壊棟数）の評価に用いた被害関数の例

建物損失額の評価は、上記の被害関数で求めた建物被害率と被害尺度別の損失率（表2-7-③-2）を乗じて損失率を求めた上で、建物の再調達価格を乗じることにより損失額を算出した。上記により推定される屋根重量が非常に重い木造建物の計

測震度と損失率の関係を図 2-7-③-4 に示した。

表 2-7-③-2 被害尺度と損失率の関係

Damage Grade	D1	D2	D3		D4	D5	D6
Damage Index 損傷度 (DI)	$0.1 \leq DI < 0.2$	$0.2 \leq DI < 0.4$	$0.4 \leq DI < 0.5$	$0.5 \leq DI < 0.6$	$0.6 \leq DI < 0.8$	$0.8 \leq DI < 0.9$	$0.9 \leq DI < 1.0$
被害尺度 (参考: 被害認定基準)	一部損壊	準半壊	半壊	大規模半壊	全壊	倒壊	
損失率	5%	15%	30%	45%	75%	100%	

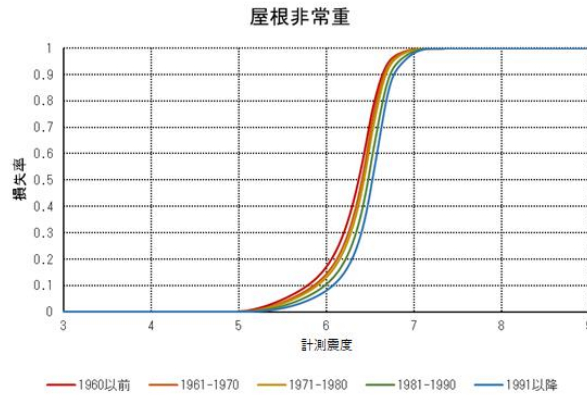
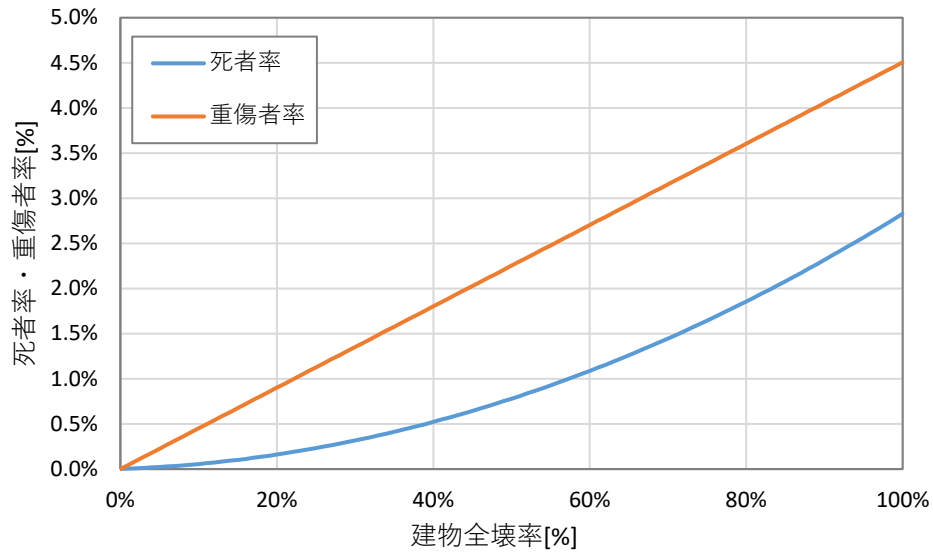


図 2-7-③-4 建物損失額の評価に用いた被害関数の例

人的被害の予測手法は、建物被害の空間分布を反映させるためメッシュ単位の全壊率の値から、揺れによる建物被害に伴う死者数を予測する手法を用いた。具体的には、死者の予測にあたっては福島ほか (1997)<sup>10)</sup> を補正した手法、重傷者の推定には中央防災会議 (2004)<sup>11)</sup> による建物全壊率と死者率・重傷者率の関係式を使用した。福島ほか (1997)<sup>10)</sup> の補正は、目視調査に基づく構造的な被害を罹災証明に基づく被害に換算するための係数 (藤原ほか (2018)<sup>12)</sup>) を用いるとともに、建物全壊率がゼロの時に死者率もゼロとするために建物全壊率が 3% 以下の場合には原点とを直線で結ぶようにしたものである。また、地震による死者には高齢者が多いことがよく知られていることから年齢区分別の補正係数を適用した。具体的には死者の推定には 65 歳以上の年齢割合を考慮する藤原ほか (2018)<sup>12)</sup>、重傷者の推定には 65 歳以上に加えて 75 歳以上の年齢割合を考慮する小久保ほか (2017)<sup>13)</sup> を簡略化した手法を使用した。上記による年齢区分別人口割合が、65 歳～74 歳が 10%、75 歳以上が 20% の場合における建物全壊率と死者率・重傷者率の関係を図 2-7-③-5 に例示した。





(年齢構成比が 65-74 歳:10%・75 歳以上:20%の場合)

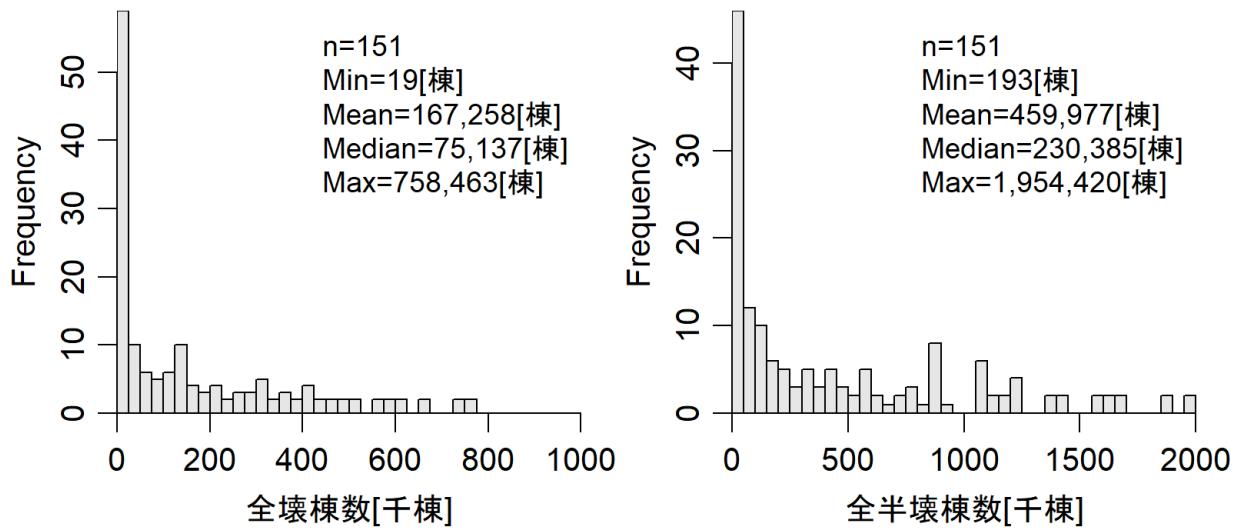
図 2-7-③-5 人的被害の評価に用いた被害関数の例

b) 地震リスク評価結果

地震リスク評価結果として、条件付き期待値の全国集計値のヒストグラムを図 2-7-③-6～図 2-7-③-10 に示した。

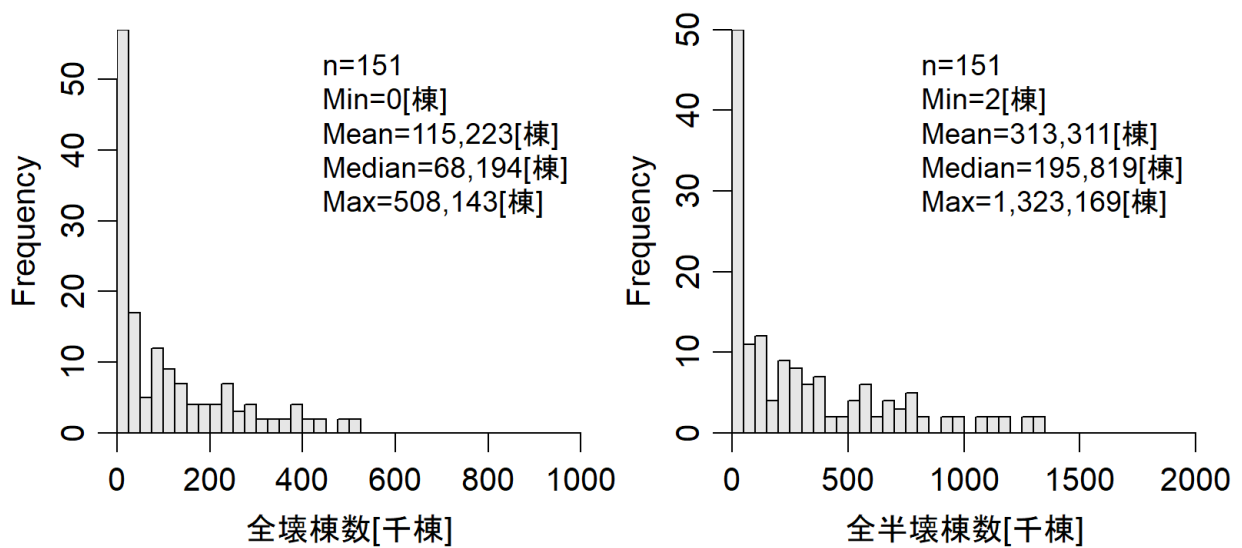
棟数ベースの建物被害(図 2-7-③-6・図 2-7-③-7)を見ると、全壊棟数で 0～758463 棟と大きくばらつく結果となった。南海トラフ沿いで発生する地震の震源域は都市が立地する陸地の地下から、都市から離れた海溝軸付近に至るまでの広がりを持っている。このうち、陸地から離れた部分のみが破壊する地震で建物被害が少なくなっている一方で、複数の都市の地下に震源域が達している地震で被害が大きくなっている。また、ヒストグラムの形状をみると建物被害の最頻値は小さい一方で、一部の地震では全壊棟数が大きくなっており、いわゆる裾が厚い分布形状となっている。次に、距離減衰式の違いによる建物棟数への影響を見ると、司・翠川(1999)<sup>1)</sup>に基づく推定結果(図 2-7-③-6)の方が Morikawa & Fujiwara(2013)<sup>2)</sup>に基づく推定結果(図 2-7-③-7)よりも大きくなる傾向が見られる。これは、司・翠川(1999)<sup>1)</sup>に基づく地震動の方が Morikawa & Fujiwara(2013)<sup>2)</sup>に基づく地震動よりも広い範囲で強い地震動が推定される傾向があるためと考えられる。

損失額ベースの建物被害(図 2-7-③-8)は 0～46.9 兆円と求められ、前述の棟数ベースの建物被害と同様に多様な被害の様相を示す結果となっている。ヒストグラムの分布形状は棟数ベースの建物被害の場合と同様に最頻値が小さい分布となっている。また、距離減衰式による損失額の推定結果への影響についてみると、司・翠川(1999)<sup>1)</sup>に基づく推定結果の方が Morikawa & Fujiwara(2013)<sup>2)</sup>に基づく推定結果よりも大きい傾向があり、こちらも棟数ベースの建物被害と同様の結果となった。



(地震動は司・翠川 (1999) <sup>1)</sup>による)

図 2-7-③-6 建物被害 (全壊・全半壊棟数) の条件付き期待値のヒストグラム



(地震動は Morikawa & Fujiwara (2013) <sup>2)</sup>による)

図 2-7-③-7 建物被害 (全壊・全半壊棟数) の条件付き期待値のヒストグラム

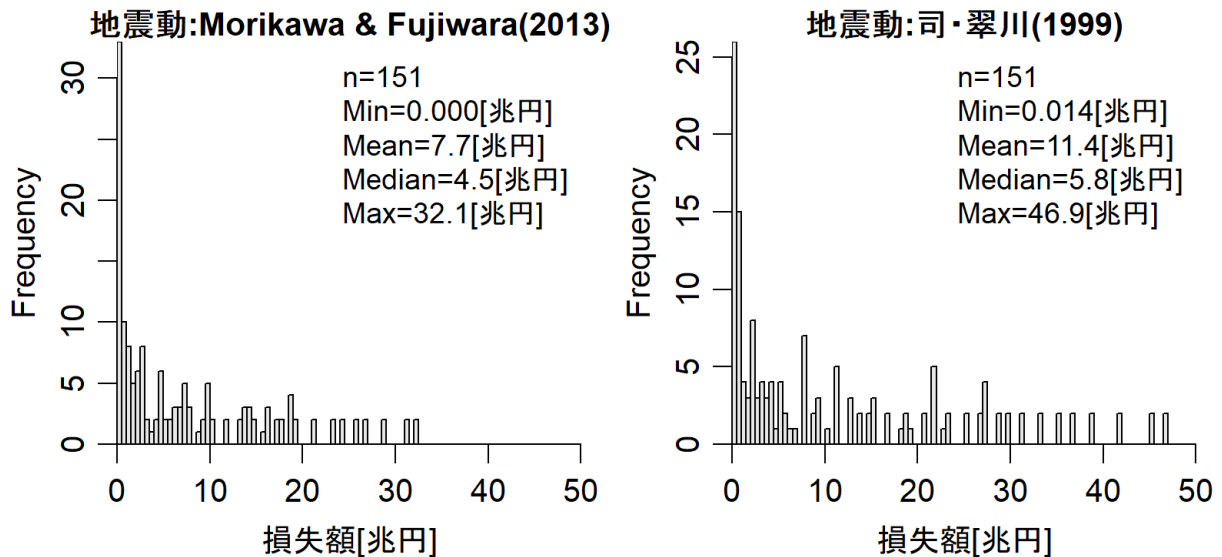


図 2-7-③-8 建物被害（損失額）の条件付き期待値のヒストグラム

人的被害の推定結果を 5 時（早朝）における人口分布に基づいた推定結果を図 2-7-③-9 に、12 時（正午）における人口分布に基づいた推定結果を図 2-7-③-10 にそれぞれ示した。建物被害と同様に死者数は 5 時で 0～約 1.9 万人、12 時で 0～約 1.3 万人と南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を受けて人的被害も多様な様相が想定されるとともに、ヒストグラムの全体的な形状は前述の建物被害と同様で、最頻値は小さいものの被害の大きい地震もあるといった裾の厚い分布となっている。また、距離減衰式の違いによる人的被害への影響も、建物被害の場合と同様に、司・翠川（1999）<sup>1)</sup>の方が Morikawa & Fujiwara（2013）<sup>2)</sup>よりも強い地震動が想定される範囲が広いことから、死者数が多く想定される傾向がある。5 時と 12 時の死者数を比較すると、5 時の死者数が多い傾向が見られる。これは、5 時は地震で相対的に壊れやすい木造建物の滞留人口が多い一方で、12 時は非木造建物の滞留人口が多いためと考えられる。

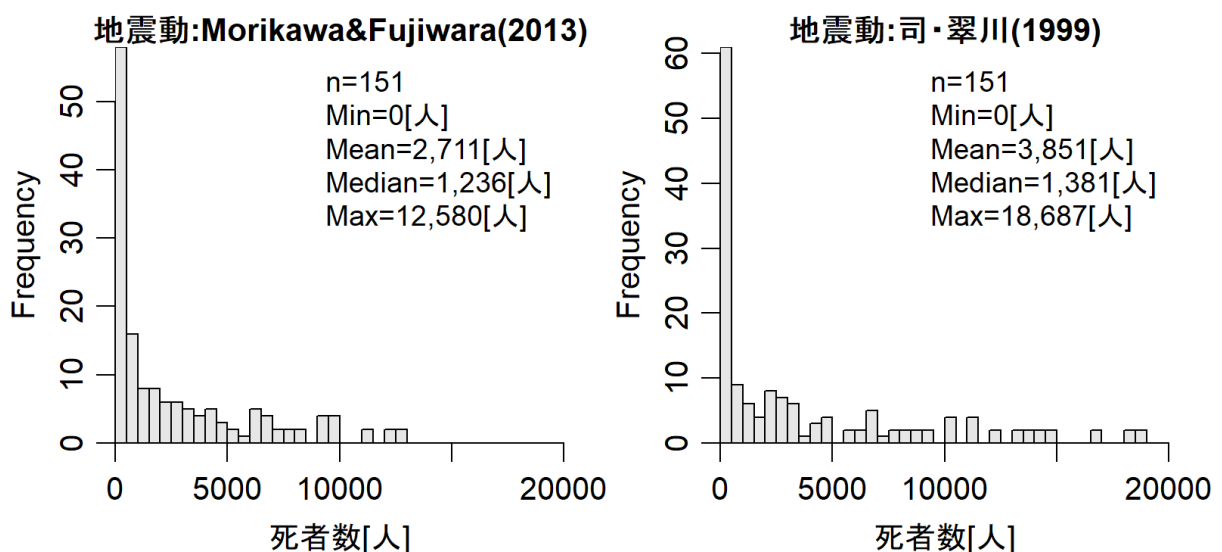


図 2-7-③-9 死者数の条件付き期待値のヒストグラム（5 時）

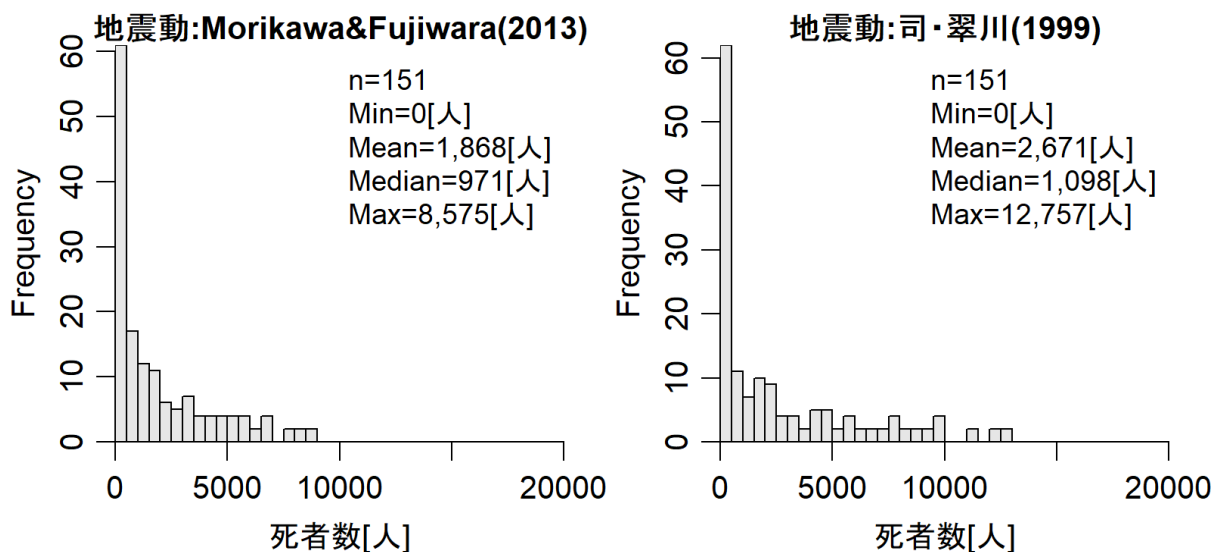


図 2-7-③-10 死者数の条件付き期待値のヒストグラム (12 時)

3) 津波リスク評価

南海トラフ沿いで発生する津波によるリスク評価を実施した。対象とする評価項目は津波による建物被害(棟数ベース、損失額ベース)および人的被害である。以下に、リスク評価手法と結果について述べる。なお、本業務でのリスク評価は個別の波源断層モデルを対象にしたもので、前述の地震セットや地震パターンを対象としていない。

a) 津波リスク評価手法

津波による建物被害は中央防災会議(2012)<sup>8)</sup>を補正した被害関数を使用した。中央防災会議(2012)<sup>8)</sup>の被害関数は建物構造2分類(木造・非木造)および地域(人口集中地区内外)別に作成されており、津波による抵抗力等の違いを反映した被害関数となっている。前述の被害関数の補正は、被害が発生する下限の浸水深(表2-7-③-3)以下では被害率を0とするものである。上記の補正を適用した全壊の被害関数による浸水深と全壊率の関係を(図2-7-③-11)に示した。

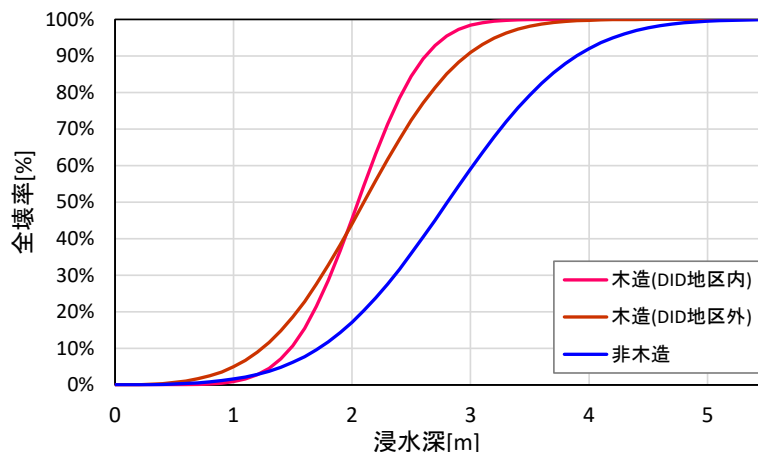


図 2-7-③-11 津波リスク評価に用いる被害関数の例(全壊)

表 2-7-③-3 被害が発生する下限の浸水深の設定結果

被害	下限値[m]
流失	0.50
全壊	0.20
半壊	0.01

建物損失額は地震リスク評価と同様に、前述の被害関数で求めた棟数ベースの被害率に被災度別の損失率（表 2-7-③-4）を乗じて全体の損失率を求めた上で、再調達価格を乗じて損失額を算出した。ここで、被災度別の損失率は、細目別の損失率を内閣府の被害認定基準運用指針<sup>14)</sup>に基づいて設定したうえで、東日本大震災での被害悉皆調査による細目別棟数<sup>15)</sup>で荷重平均して設定した。なお、中央防災会議（2012）<sup>8)</sup>には流失率を評価する被害関数は作成されていないため、高橋ほか（2017）<sup>16)</sup>による流失率の被害関数を使用した。

表 2-7-③-4 津波による被災度別の損失率

区分	細目	主な建物状況	棟数	細目別損失率	被災度別損失率
全壊 (流失)	流失	基礎だけ残して、建物が完全に流されている	94,000	100%	100.00%
全壊	全壊1	主要構造が損壊しており補修により元通り再使用することが困難	35,000	100%	94.89%
	全壊2	1階天井以上浸水しており、大規模修繕等による再使用も可能	9,000	75%	
半壊	大規模半壊	床から概ね1m以上天井未満浸水している	40,000	45%	39.71%
	半壊	床から概ね1m未満の床上浸水（一部補修により再利用可能）	45,000	35%	
一部損壊	一部損壊	床下の泥を取り除けば再利用可能	26,000	10%	10.00%

津波による人的被害は藤原ほか（2020）<sup>3)</sup>に準拠した条件で計算された4220波源の津波伝播遡上計算による最大浸水深および津波到達時刻に基づいて推定した。津波による人的被害の評価には浸水深と津波到達時刻の2つの外力指標が必要であり、1つの外力指標のみで評価される地震による被害や津波による建物被害とは異なり、現状ではリスクカーブの算出方法が確立されていない。そのため、津波による人的被害は条件付き期待値ではなく津波伝播遡上計算結果に基づいた被害推定値をもってリスク評価結果とした。

津波による人的被害推定は即時的かつ避難距離等の地域特性を考慮できる被害推定手法である高橋ほか（2018）<sup>17)</sup>に基づいた。被害推定の流れは図 2-7-③-12のとおりで、まず津波到達時刻と避難未完了率予測式に基づいて避難未完了者数を推定した後に、避難未完了者に対して浸水深等に基づいた津波被害関数による死者率を乗じて死者数を推定するものである。

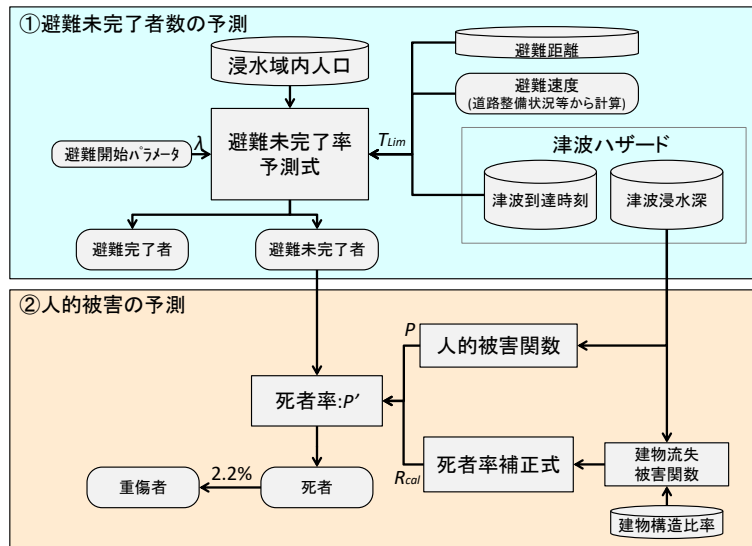


図 2 - 7 - ③ - 12 津波人的被害推定の流れ

避難未完了率予測式の内容は図 2 - 7 - ③ - 13 に示したとおりで、避難の開始を対数正規分布でモデル化したうえで、津波到達時刻から避難に要する時間を減じた時刻までに避難を開始しなかった者を避難未完了者として評価するものである。避難の開始が早いか遅いかは上記の対数正規分布のパラメータで設定可能であるが、今回のリスク評価では東北地方太平洋沖地震の際の千葉県～青森県での平均的な値を設定した。避難に要する時間は、標高 20m 以上の地点や海岸線から 5 km 以上離れた地点までの距離を避難手段や年齢別の避難速度で除して推定する。

死者数は上記で推定した避難未完了者数に津波人的被害関数による死者率を乗じて推定する。高橋ほか (2018)<sup>17)</sup> の津波人的被害関数は、浸水深に加えて建物流失率も用いて死者率を推定している。これは、津波避難が行われなかった場合でも、滞留する建物が津波に流されるか否かで生死に影響するとの考えに基づくものである。上記による人的被害関数による浸水深と死者率の関係を、人口集中地区外における木造建物比率が 20% および 60% の場合を例に図 2 - 7 - ③ - 14 に示した。なお、重傷者は死者数の 2.2% とした (藤原ほか (2020)<sup>18)</sup>)。

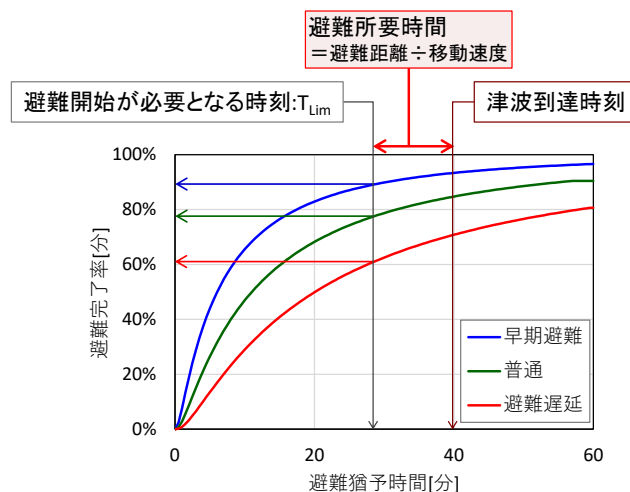


図 2 - 7 - ③ - 13 避難未完了者率の推定方法の考え方

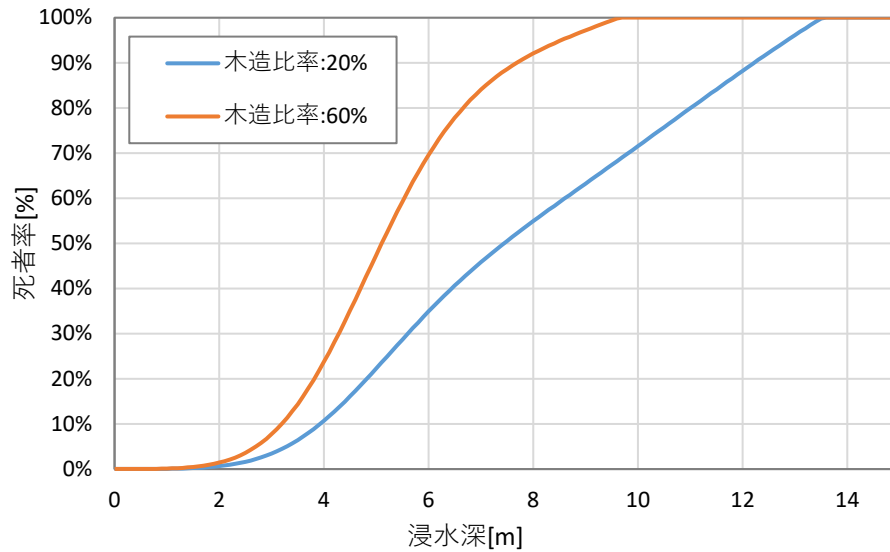


図 2 - 7 - ③ - 14 津波人的被害関数の例 (人口集中地区外)

b) 津波リスク評価結果

前項の手法により建物被害および人的被害を対象とした津波リスク評価を実施した。全国集計値のヒストグラムを図 2 - 7 - ③ - 15 ~ 図 2 - 7 - ③ - 17 に示した。ヒストグラムの形状は地震リスク評価結果と同様に、最頻値が小さいものの被害が大きくなる地震もある裾の長い分布となっている。しかしながらリスク評価項目によって、細かい部分ではヒストグラムの形状は変化している。最大値と中央値の比で比較すると、全壊棟数で 8.0、全半壊棟数で 4.5、損失額で 5.1、人的被害のうち 5 時の人口分布で 37.8、12 時の人口分布で 34.8 となり、人的被害の方がより裾の長い分布となっている。この違いはリスク評価項目毎の被害が発生する浸水深の違いに起因していると考えられる。建物被害は浸水深 1 m 程度から被害が発生する (図 2 - 7 - ③ - 11) のに対して人的被害が発生し始める浸水深は概ね 2 m 以上である (図 2 - 7 - ③ - 14)。曝露量の大きい都市部に 2 m 以上の浸水深をもたらすような波源の数が限られるため、裾が長い分布となったと考えられる。

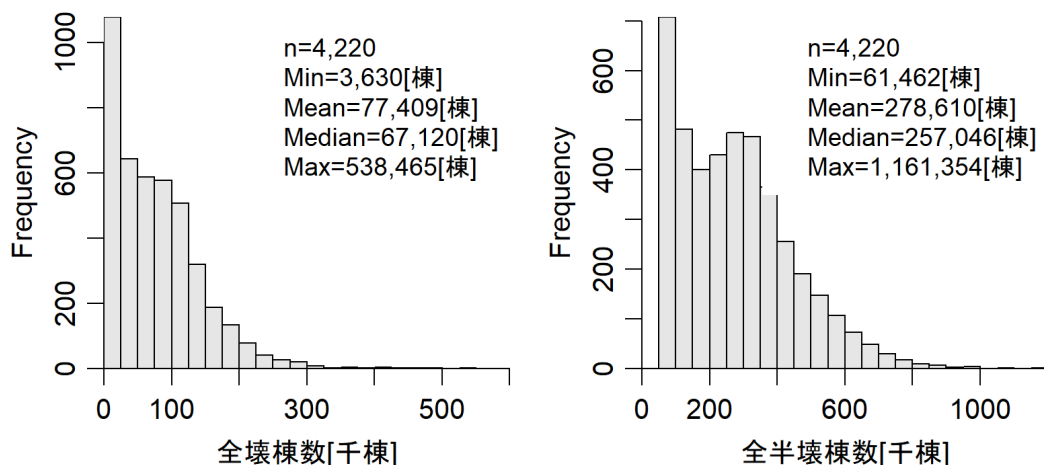


図 2 - 7 - ③ - 15 建物被害 (全壊・全半壊棟数) の条件付き期待値のヒストグラム

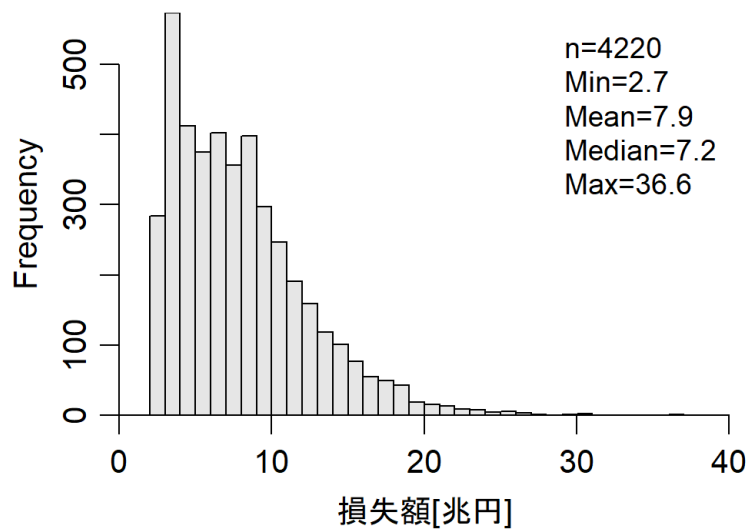


図 2 - 7 - ③ - 16 建物被害（損失額）の条件付き期待値のヒストグラム

次に、人的被害について地震発生時刻による影響について、5時と12時の死者数を比較する。5時と12時の死者数には大きな違いはなく（図2-7-③-17）、地震動での人的被害が5時と比較して12時の人的被害よりも多くなる傾向とは異なっている。これは、地震動の人的被害は人が滞留する建物の地震動への脆弱性の影響を強く受けるのに対して、津波の場合は地震動ほど強く影響を受けないためと考えられる。また、昼間の方が海岸線に近い平野部の人口が夜間と比べると相対的に多くなり、曝露人口が多くなりやすいことも影響していると考えられる。

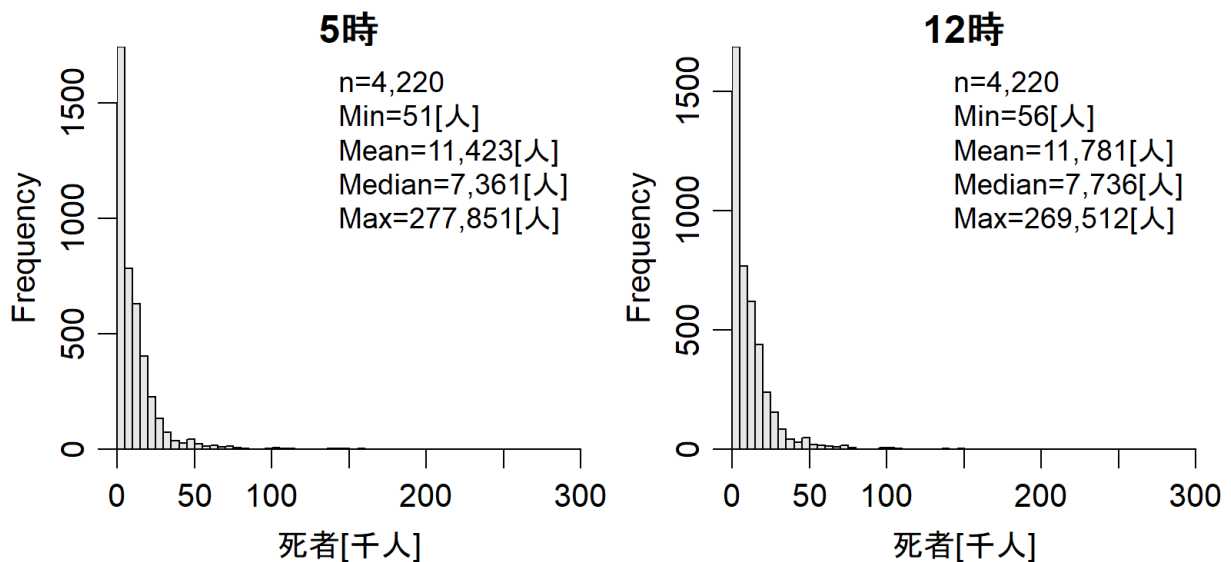


図 2 - 7 - ③ - 17 死者数の推定結果



#### 4) リスク評価に基づく地震像の類型化の基礎検討

リスク評価に基づく地震像の類型化の基礎検討として、名古屋市港区（図2-7-③-18）を対象としたケーススタディを実施して、地震像の類型化に向けた課題を抽出した。ここでの地震像の類型化は、プレート境界型などの地震のタイプや、震源域や震源断層モデルのような理学的な側面での類型化ではなく、地震の影響を特徴量として類型化を試みた。

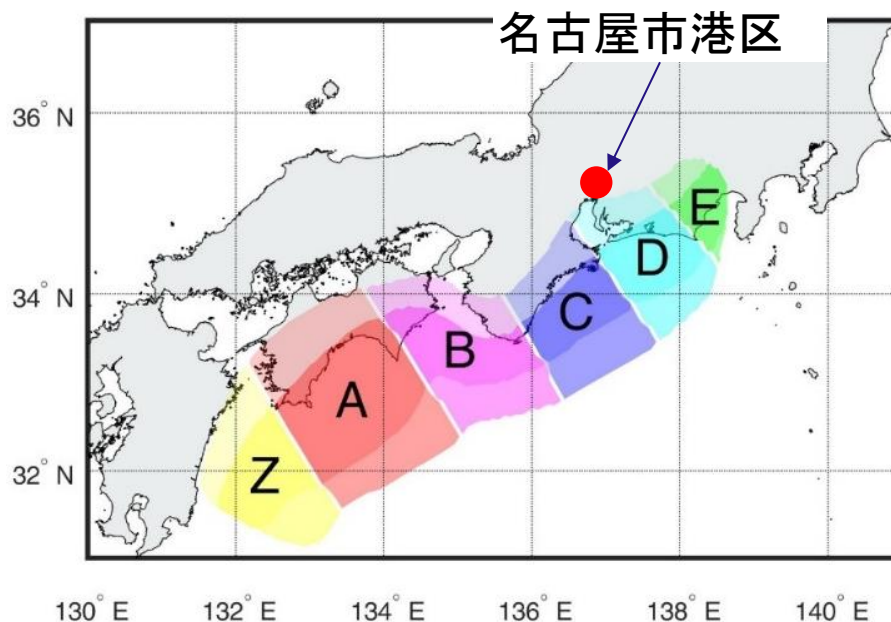


図2-7-③-18 名古屋市港区と震源域の位置図

類型化の試行に用いる特徴量は、前項までのリスク評価結果のうち名古屋市港区の建物全壊棟数とした。建物全壊棟数は自然災害の被害量として最も多く用いられる指標であるとともに、人的被害や経済的な被害とも関連すると考えられるため、類型化の基礎検討に用いる特徴量として最も適していると判断した。地震像の類型化に先立って、名古屋市港区内のメッシュの地震動と津波の建物全壊棟数をそれぞれ集計して、波源断層モデルと震源域の対応に基づいて波源断層モデルの数である4220個の地震動と津波の全壊棟数のペアを作成した。

上記で整理した地震動および津波それぞれの全壊棟数を、平均値が0、標準偏差が1となるように規格化したうえで、機械学習の手法により分類した。分類は教師なし機械学習の手法である階層クラスタリングを使用し、分類に用いる類似度にはマハラノビス距離を使用した。階層クラスタリングにはクラスタの重心とそれぞれのデータまでの平方距離が最小となるように分類する手法であるワード法を用いた。

類型化の結果として、樹形図および散布図を図2-7-③-19に示した。樹形図から、名古屋市港区の建物全壊棟数は大きく3つに分類されることから、階層クラスタリングの結果を3つに類型化した上で被害量の散布図を作成した。上記により3類型に分類した結果のうち散布図の位置関係から、C1は地震動および津波ともに被害

が小さいクラスタ、C 2 は地震動の被害が大きいクラスタ、C 3 は津波の被害が大きいクラスタといえる。

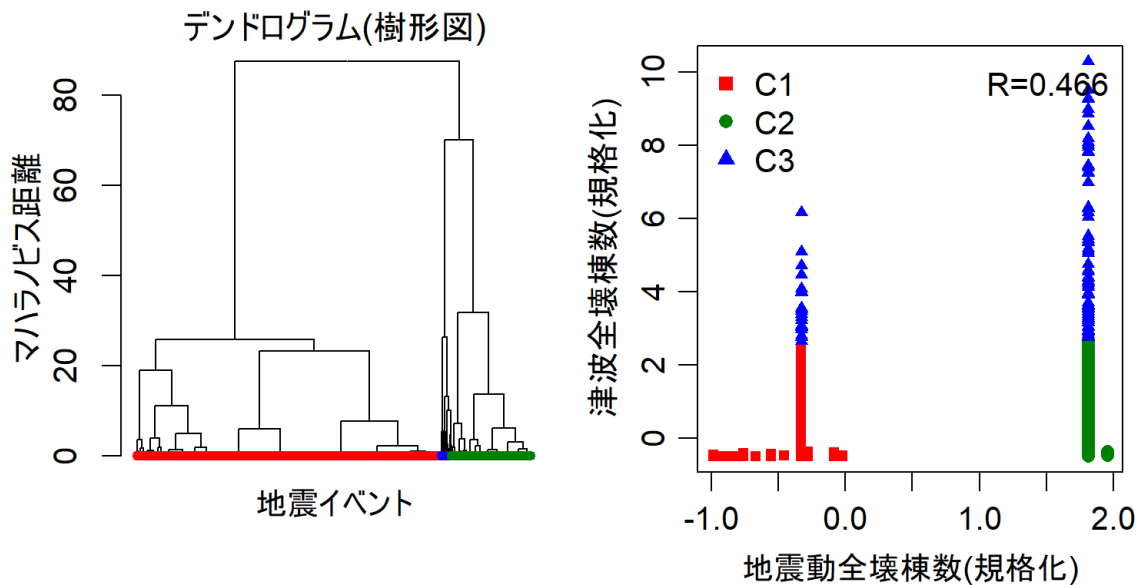


図 2-7-3-19 類型化の試行結果

上記の類型化の試行結果を、名古屋市港区が面する震源域「D」が破壊するか否かに着目して集計した結果が表 2-7-3-5 である。4220 地震のうち震源域「D」が破壊しない 1374 地震は全て被害が小さいクラスタである C 1 に分類されている。言い換えれば地震もしくは津波の被害が大きいクラスタは全て名古屋市港区が面する震源域「D」が破壊する地震となっている。被害の様相を特徴量としたクラスタリングの結果が、対象地域と震源域の位置関係と整合しているといえる。今後は、住民避難、産業活動および都市機能維持といった目的に応じた被害量等の特徴量として、これらの目的に応じた地震像の類型化手法の検討を進める。

表 2-7-3-5 類型化の試行結果と震源域Dの破壊有無の関係

クラスタ	震源域Dの破壊		計	備考
	あり	なし		
C1	1,893	1,374	3,267	被害の小さいクラスタ
C2	846	0	846	地震動の被害が大きいクラスタ
C3	107	0	107	津波の被害が大きいクラスタ
計	2,846	1,374	4,220	

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 南海トラフ沿いで発生する多様性の表現形式をリスク評価の観点から拡張した。

ハザード評価の観点での表現形式をもとに、地震の発生順序や発生間隔の考慮の有無を考慮した表現形式とした。具体的には、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のうち、発生順序や間隔を考慮しないものを地震セット、考慮するものを地震パターンとそれぞれ定義した。

- 2) 地震および津波を対象として多様性モデルを構成するリスク評価を実施した。対象としたリスク評価項目は建物被害（棟数および損失額）と人的被害である。それぞれの地震および津波の被害の総量をみると地震の多様性を反映して被害量のばらつきが大きくなった。ヒストグラムの形状をみると、被害の最頻値は小さい一方で、少数ながら大きな被害をもたらす地震もあるような裾の厚い分布となった。
- 3) 時空間の多様性を取り入れた地震パターンも考慮したリスク評価手法の検討が必要である。本業務のリスク評価結果は、地震と津波の被害はそれぞれ独立して算出したものであるため、両者を単純に合算した場合には被害の重複が生じうる。更に、複数回の地震の被害を合算した場合にも被害の重複が生じうる。このため、これらの重複を排除した被害の重ね合わせ方法の検討が必要である。
- 4) 地震像の類型化の基礎検討として、名古屋市港区を対象としたケーススタディを実施した。ケーススタディでは地震動と津波の建物全壊棟数を特徴量として、4220地震を階層クラスタリングにより3つに類型化した。類型化の結果と名古屋市港区の前面にある震源領域の破壊の有無の関係をみると、被害が比較的大きなクラスタに分類された地震は全て名古屋市の前面にある震源領域が破壊する地震であった。今回の結果を踏まえて、住民避難、産業活動および都市機能維持といった目的に応じた特徴量を検討するとともに、これらの目的に応じた地震像の類型化手法の検討を行う必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 司宏俊、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、No. 523、63-70、1999.
- 2) N. Morikawa, and H. Fujiwara: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, Journal of Disaster Research, Vol. 8, No. 5, 2013.
- 3) 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 付録編 -、防災科学技術研究所研究資料、439、2020.
- 4) 地震調査推進研究本部 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、2020.1.24.
- 5) 地震調査推進研究本部 地震調査委員会：全国地震動予測地図 技術報告書、2009.12.

- 6) 藤原広行、中村洋光、高橋郁夫、先名重樹、若井淳、内藤昌平、森川信之、前田宜浩、東宏樹、岩城麻子、切刀卓、鈴木亘、青井真、佐伯琢磨、青柳京一、門馬直一、日下彰宏、時実良典、岩波良典：全国を概観するリアルタイム地震被害推定・状況把握システムの開発、防災科学技術研究所研究資料、No. 432、2019. 3.
  - 7) 清水智、小丸安史、若浦雅嗣、時実良典、中村洋光、藤原広行：屋根形式を考慮した木造建物被害関数、地域安全学会論文集、Vol. 34、No. 8、pp. 1-11、2019. 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、2012. 8.
  - 9) 東京都防災会議：南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定、2013. 5.
  - 10) 福島誠志、林春男、河田恵昭、田中聡、西村明儒：EDA 手法を用いた人的被害の推定法の開発、地域安全学会論文報告集、Vol. 7、pp. 52-55、1997.
  - 11) 中央防災会議：首都直下地震に関わる被害想定手法について、首都直下地震専門調査会、第 13 回、資料 2-3、2004
  - 12) 藤原広行、佐伯琢磨、中村洋光、河合伸一、森川信之、前田宜浩、はお憲生、内藤昌平、東宏樹、岩城麻子、清水智、小丸安史、若浦雅嗣、時実良典、早川譲：全国を対象とした地震リスク評価手法の検討、防災科学技術研究所研究資料、Vol. 415、2018.
  - 13) 小久保彰、石川孝重、平田京子：大規模地震災害における人口の年齢構成に基づく人的被害評価法の提案—首都直下地震を想定した東京都への適用事例—、日本建築学会構造系論文集、No. 732、pp. 163-170、2017.
  - 14) 内閣府（防災担当）：災害に係る住家の被害認定基準運用指針、2013. 6.
  - 15) 国土交通省都市局：津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）、2012. 4.
  - 16) 高橋郁夫、中村洋光、藤原広行、時実良典、小丸安史、若浦雅嗣、清水智：地域特性を考慮した簡便な津波人的被害の予測手法の検討、2017 年度日本地震工学会年次大会、P1-37、2017. 11.
  - 17) 高橋郁夫、中村洋光、藤原広行、時実良典、小丸安史、若浦雅嗣、清水智：地域特性を考慮した簡便な津波人的被害の予測手法の開発、第 15 回日本地震工学シンポジウム、PS1-01-34、2018. 12.
  - 18) 藤原広行、中村洋光、河合伸一、森川信之、前田宜浩、内藤昌平、岩城麻子、土肥裕史、先名重樹、はお憲生、東宏樹、内山庄一郎、大角恒雄、平田賢治、佐伯琢磨、清水智、小丸安史、若浦雅嗣、時実良典、菊地ひめか、麻生未季、早川譲、山崎雅人：南海トラフで発生する地震・津波を対象とした広域リスク評価手法の検討、防災科学技術研究所研究資料、No. 444、2020. 3.
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- 1) 学会等における口頭・ポスター発表  
なし
  - 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

④地震防災基盤シミュレータシステム

(a) 業務の要約

本業務では、地震防災基盤シミュレータシステムのハードウェアの導入及びシステムの設計を行った。また、地震防災基盤シミュレータシステムで管理・蓄積する、長継続時間・広帯域強震動シミュレーション（以下、強震動シミュレーション）、津波遡上シミュレーション、及びこれらの結果から計算されるリスク評価の情報整理を行った。さらにこれらの結果を他サブ課題との共有方法の設計を行った。

(b) 業務の実施方法

地震防災基盤シミュレータシステム構築のためのハードウェアの導入及び設計については、まず、約1万ケースの強震動シミュレーションデータ、津波遡上シミュレーションデータ、リスク評価データを管理・蓄積可能なハードウェアを選定し、調達を行った。システムの設計では、システムアーキテクチャの設計を行った。強震動シミュレーションの情報整理、津波遡上シミュレーションの情報整理、およびリスク評価の情報整理については、各シミュレーションで入出力するデータのファイル属性・形式等の調査を行い、地震防災基盤シミュレータシステム内で管理する際のディレクトリ構成やファイル命名規則について設計した。共有方法の設計については、これらのデータを他課題へ共有する際の共有方法の設計を行った。

(c) 業務の成果

1) システム概要とハードウェアの導入及び設計

地震防災基盤シミュレータシステムの概要を図2-7-④-1に示す。システムは、断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンク、地震像・シナリオ検索機能で主に構成されている。断層・地下構造・地形モデルバンク（以下、モデルバンク）では、強震動シミュレーションや津波遡上シミュレーションで用いる断層モデルや地下構造、地形モデルを格納する。地震像・シナリオバンクでは、モデルバンクを用いたシミュレーション結果を格納することに加え、それらに基づくハザード・リスク評価結果、リスク情報の類型化手法に基づく南海トラフ地震の地震像や広域での災害シナリオを蓄積する。地震像・シナリオ検索機能では、利用目的に応じてシミュレーション結果や災害シナリオ等を適切に検索、活用できるようにすることで他課題と連携を可能にする。

まず、システムを搭載するハードウェアの導入を行った。導入したサーバの主な諸元を表2-7-④-1に示す。システムでは、複数ユーザがデータを参照するなどの利用場が想定されるため、並行処理能力を高めるために、コア数・スレッド数の多いものを選定し、データベースおよびWebサーバを並行して動作させることを考慮した。1万ケース程度のシミュレーションデータを格納可能なものとした。

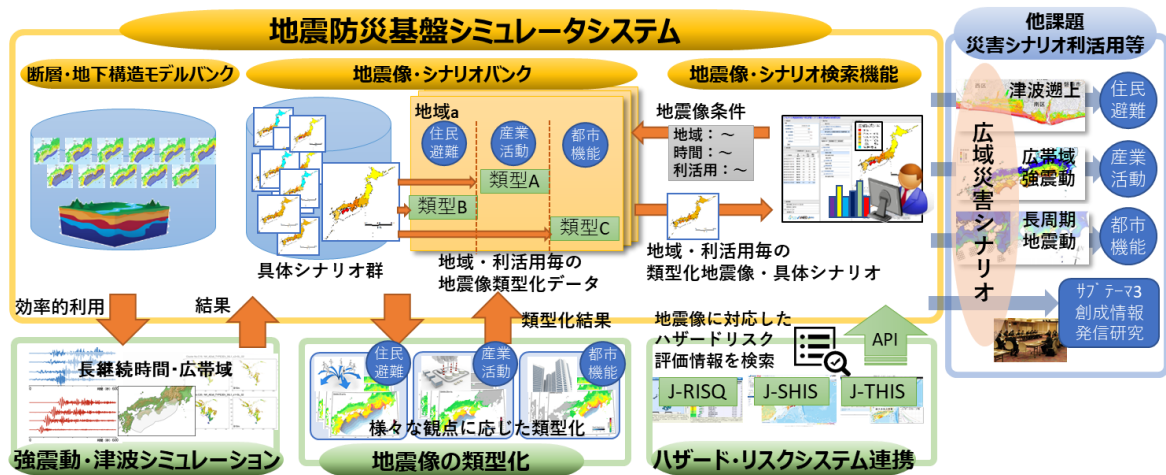


図2-7-④-1 地震防災基盤シミュレータシステムのシステム概要

表2-7-④-1 地震防災基盤シミュレータシステムサーバの諸元

項目	説明
サーバ形状	1Uラックマウント型
CPU	8コアかつ2.1GHz
メモリ	64GB
内蔵ストレージ	論理容量10TB

次に、システム設計において、各シミュレーションで使用されるデータの調査を行った。強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションを実施するための、断層モデルデータ、地下構造モデルデータ、および地形モデルデータに加え、各シミュレーションの計算設定データ、計算後に出力される結果データを調査した。また、各シミュレーションのデータ等を入力にした、リスク評価データの調査を行った。これらのデータを蓄積・管理するための断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンクの要件を整理した。システムの断層・地下構造・地形モデルバンクで断層モデル、地下構造モデル、地形モデルデータを蓄積・管理し、地震像・シナリオバンクで、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーション、およびリスク評価の入出力データを蓄積・管理する。このとき、各ディレクトリに格納するファイルのファイル名はディレクトリパスを含めシステムで一貫となるように構成した。また、これらのデータを他課題が利活用可能とするための、地震像・シナリオバンク検索機能を整理した。また、アーキテクチャ設計を行った（図2-7-④-2）。システム設計

で定義したバンク、機能を実現するためのミドルウェア、地震防災基盤シミュレータシステムと各シミュレーション間のデータ形式やインターフェースを定義した。

### 地震防災基盤シミュレータシステムサーバ

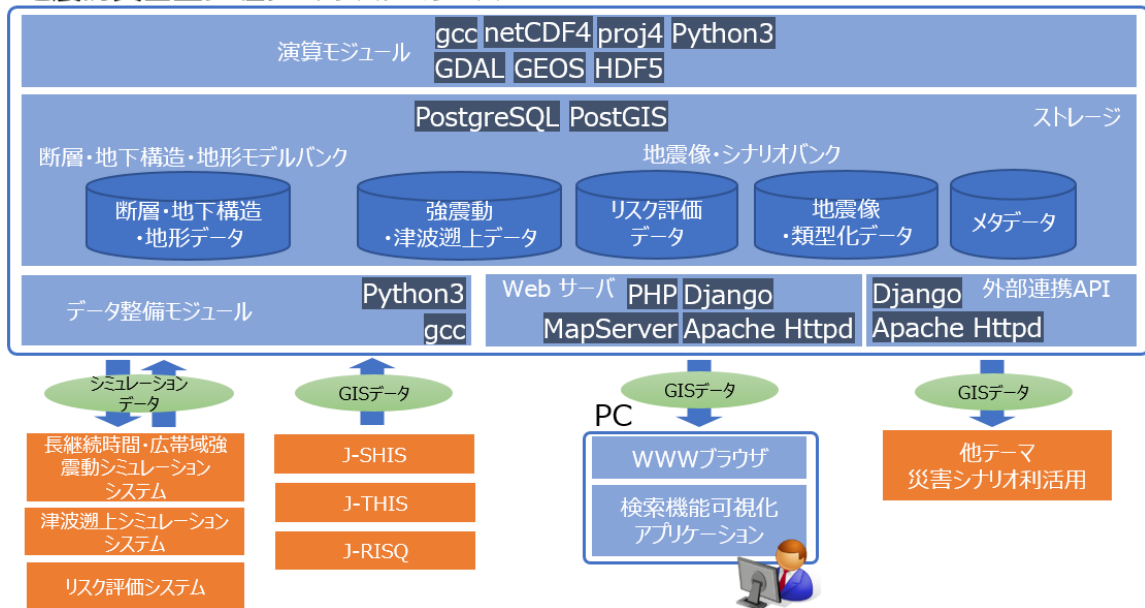


図 2-7-④-2 地震防災基盤シミュレータシステムのアーキテクチャ概要

#### 2) 強震動シミュレーションの情報整理

強震動シミュレーションの情報整理では、強震動シミュレーションで入出力するデータのファイル属性・形式等の調査を行い、地震防災基盤シミュレータシステム内で管理する際のディレクトリ構成やファイル命名規則について設計した。強震動シミュレーションは、地震動シミュレータ GMS<sup>1)</sup>、統計的グリーン関数法計算ツール、ハイブリッド合成法計算ツールを用いて行われる。バンクのディレクトリ構成は各ツールの入出力ファイルを漏れなく整理できる設計とした。断層・地下構造・地形モデルバンクで蓄積・管理するデータ、ディレクトリ構成を表 2-7-④-2 に示す。また、地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する入力データ、ディレクトリ構成を表 2-7-④-3 に示した。最後に、地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する出力データ、ディレクトリ構成を表 2-7-④-4 に示す。

表 2-7-④-2 断層・地下構造・地形モデルバンク 蓄積・管理データ ディレクトリ構成 (強震動シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Base/	基礎データディレクトリ
5	StructDeep/	地下構造モデルデータディレクトリ
6	[バージョンコード]/	バージョンディレクトリ
7	Lyrd/	深度ファイルディレクトリ
8	StructDeep-Lyrd-[バージョンコード].csv	深度ファイル
9	Lyre/	標高ファイルディレクトリ
10	StructDeep-Lyre-[バージョンコード].csv	標高ファイル
11	Station/	観測点ファイルディレクトリ
12	[バージョンコード]/	バージョンディレクトリ
13	Station-[バージョンコード].csv	観測点ファイル
14	Fault/	断層形状ファイルディレクトリ
15	[バージョンコード]/	バージョンディレクトリ
16	[震源断層モデルコード]/	震源断層モデルコードディレクトリ
17	Fault-[バージョンコード]-[震源断層モデルコード].[ケースコード].csv	震源断層モデルファイル

表 2-7-④-3 地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する入力データ、ディレクトリ構成 (強震動シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	[震源断層モデルコード]/	震源断層モデルコードディレクトリ [震源断層モデルコード]は、震源断層モデルを識別する文字列
6	ExternalForce/	震源断層モデル外力データディレクトリ
7	FDM/	差分法計算入力ファイルディレクトリ
8	SGM/	統計的グリーン関数の種地震作成入力ファイルディレクトリ
9	GRNS/	統計的グリーン関数の重ね合わせ入力ファイルディレクトリ
10	HYB/	ハイブリッド合成計算入力ファイルディレクトリ

表 2-7-④-4 地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する出力データ、ディレクトリ構成 (強震動シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	Detailed/	詳細法ディレクトリ
6	[震源断層モデルコード]/	震源断層モデルコードディレクトリ
7	ExternalForce/	震源断層モデル外力データディレクトリ
8	FDM/	差分法計算結果ディレクトリ
9	KnetAscii/	K-NETアスキー形式差分波形ファイルディレクトリ
10	[震源断層モデルコード]_ST[観測点番号]_[%4d].[成分]	差分波形ファイル [観測点番号]は、観測点を識別する番号 [成分]は、EW:EW成分、NS:NS成分、UD:UD成分の3成分
11	SGM/	統計的グリーン関数の種地震波形(S波)ファイルディレクトリ
12	SGM_ud/	統計的グリーン関数の種地震波形(P波)ファイルディレクトリ
13	GRNS/	統計的グリーン関数波形(S波)ファイルディレクトリ
14	GRNS_ud/	統計的グリーン関数波形(P波)ファイルディレクトリ
15	HYB/	ハイブリッド合成速度波形(S波)ファイルディレクトリ
16	[震源断層モデルコード]_HYB_SEISMIC_MOTION.csv	地震動指標ファイル
17	HYB_ud/	ハイブリッド合成速度波形(P波)ファイルディレクトリ



3) 津波遡上シミュレーションの情報整理

津波遡上シミュレーションは、津波シミュレータ TNS<sup>2)</sup>を用いて行われる。バンクのディレクトリ構造は各ツールの入出力ファイルを漏れなく整理できる設計とした。断層・地下構造・地形モデルバンクで蓄積・管理するデータ、ディレクトリ構成を表2-7-④-5に示した。また、地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する入力データ、ディレクトリ構成を表2-7-④-6に示した。最後に、地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する出力データ、ディレクトリ構成を表2-7-④-7に示した。

表2-7-④-5 断層・地下構造・地形モデルバンク 蓄積・管理データ ディレクトリ構成 (津波遡上シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4	Base/	基礎データディレクトリ
5	Fault/	断層データファイルディレクトリ
6	Topo/	地形標高分布データファイルディレクトリ
7	ConstLine/	構造物ラインデータファイルディレクトリ
8	Roughness/	粗度係数分布データファイルディレクトリ
9	LandMap/	陸判定マップデータファイルディレクトリ

表2-7-④-6 地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する入力データ、ディレクトリ構成 (津波遡上シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4	Base/	基礎データディレクトリ
5	ObsStation/	観測点定義データファイルディレクトリ
6	ExtractCoastalPoint/	沿岸水位抽出点定義データファイルディレクトリ
7	Fault/	断層データファイルディレクトリ
8	VrtDeform/	鉛直地殻変動量分布データファイルディレクトリ
9	HeightByHrzDeform/	水平地殻変動水位変動量分布データファイルディレクトリ
10	InitialTsunamiHeight/	初期津波高分布データファイルディレクトリ
11	Analysis/	解析結果データディレクトリ
12	[波源断層モデルコード]/	
13	CalcParameter/	津波伝播・遡上計算設定ASCIIファイルディレクトリ
14	[波源断層モデルコード]-CalcParameter-[基礎データ系コード]-M[格子間隔]-R[領域ID].txt	津波伝播・遡上計算設定ASCIIファイル

表2-7-④-7 地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する出力データ、ディレクトリ構成 (津波遡上シミュレーション)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	[波源断層モデルコード]/	波源断層モデルコードディレクトリ
6	ExternalForce/	波源断層モデル外力データディレクトリ
7	Offshore/	沖合データファイルディレクトリ
8	Coastal/	沿岸データファイルディレクトリ
9	WaterHeight/	水位分布データファイルディレクトリ
10	Land/	浸水深分布データファイルディレクトリ
11	FlowVelocity/	流速分布データファイルディレクトリ

4) リスク評価の情報整理

リスク評価の情報整理では、評価結果データのファイル属性・形式等の調査を行い、地震防災基盤シミュレータシステム内で管理する際のディレクトリ構成やファイル命名規則について設計した。バンクのディレクトリ構成は、地震毎の単位とした。地震像・シナリオバンクで蓄積・管理する地震ハザード評価データのディレクトリ構成を表2-7-④-8、地震リスク評価データのディレクトリ構成を表2-7-④-9に示す。津波リスク評価に関する地震像・シナリオバンクで蓄積・管理するリスク評価データのディレクトリ構成を表2-7-④-10に示した。

表2-7-④-8 地震像・シナリオバンク 蓄積・管理データ ディレクトリ構成 (地震ハザード評価)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	Conventional/	簡便法ディレクトリ
6	[震源域コード]/	震源域コードディレクトリ
7	ExternalForce/	震源域外力データディレクトリ
8	[ハザードカーブ]/	ハザードカーブディレクトリ ・ HazardCurveMF13 : Morikawa and Fujiwara(2013)の距離減衰式 ・ HazardCurveSM99 : 司・翠川(1999)の距離減衰式
9	[強震動指標]/	強震動指標ディレクトリ
10	[1次メッシュコード].txt	ハザードカーブファイル
11	[地震動推定値]/	地震動推定値ディレクトリ ・ SeismicMotionMF13 : Morikawa and Fujiwara(2013)の距離減衰式による地震動推定値 ・ SeismicMotionSM99 : 司・翠川(1999)の距離減衰式による地震動推定値
12	[1次メッシュコード].txt	地震動推定値ファイル

表2-7-④-9 地震像・シナリオバンク 蓄積・管理データ ディレクトリ構成 (地震リスク評価)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	GroundMotion/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	Conventional/	簡便法ディレクトリ
6	[震源域コード]/	震源域コードディレクトリ
7	Risk/	リスク評価データディレクトリ
8	Building/	建物被害分布データディレクトリ
9	Houses/	棟数ベース被害分布データディレクトリ
10	Money/	金額ベース被害分布データディレクトリ
11	Population/	人的被害分布データディレクトリ

表 2-7-④-10 地震像・シナリオバンク 蓄積・管理データ ディレクトリ構成 (津波リスク評価)

No.	ディレクトリ・ファイル名	内容
1	/NT/	地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Data/	データディレクトリ
3	Tsunami/	津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4	Analysis/	解析結果データディレクトリ
5	[波源断層モデルコード]/	波源断層モデルコードディレクトリ
6	Risk/	リスクデータディレクトリ
7	Building/	建物被害分布データディレクトリ
8	Houses/	棟数ベース被害分布データディレクトリ
9	Money/	金額ベース被害分布データディレクトリ
10	Population/	人的被害分布データディレクトリ

5) 共有方法の設計

2)、3)、4)のデータを他課題へ共有する共有方法の設計を行った。まず、地震像・シナリオバンクで蓄積・管理しているデータのうち、都市機能、産業活動への影響、住民避難などの利活用目的に応じて、他課題へ共有する情報の選定を行った。

共有機能として、地震像・検索機能を定義し、インターフェースとして可視化 Web アプリケーションのワイヤーフレームを設計した。ワイヤーフレーム案を図 2-7-④-3 に示す。

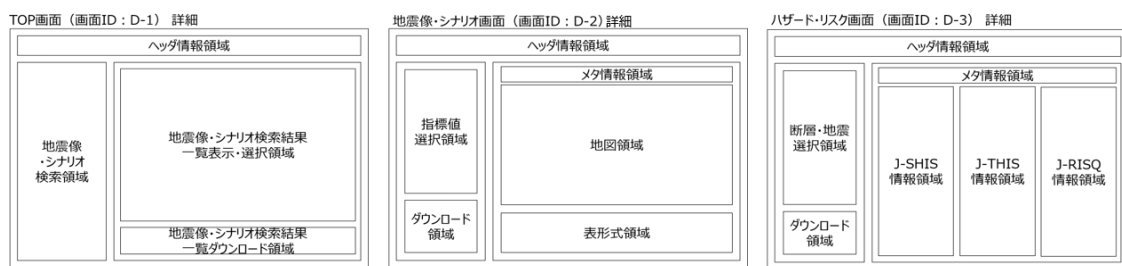


図 2-7-④-3 ワイヤーフレーム案

次に、地震ハザードステーション (J-SHIS)<sup>3)</sup>、津波ハザードステーション (J-THIS)<sup>4)</sup>、リアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ)<sup>5)</sup>などの防災科研が公開しているハザード・リスク評価に関わるシステムとも連携するため、それぞれのシステムで公開されているダウンロードインターフェース、WebAPI、WMSを調査し、それらを用いた可視化アプリケーションのアーキテクチャ設計を行った。アーキテクチャ設計を図 2-7-④-4 に示す。

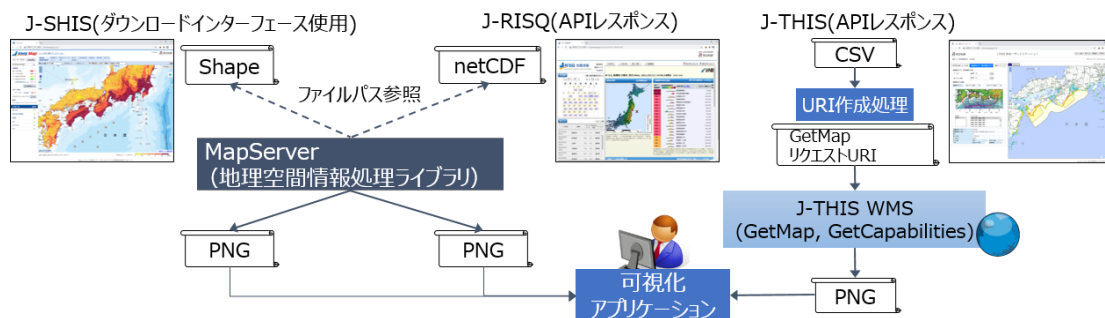


図 2 - 7 - ④ - 4 J-SHIS、J-THIS、J-RISQ との連携 アーキテクチャ設計

(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) 地震防災基盤シミュレータシステムのハードウェアの導入を行い、OS やミドルウェアのインストール作業を行った。また、システムの要件から機能を定義し、システムのアーキテクチャ設計を行った。
- 2) アーキテクチャ設計で設計したバンクにおいて、本システムで管理・蓄積する、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーション、リスク評価に関する入出力データを調査し、ディレクトリ構成やファイル命名規則を設計した。より多くの種類のリスク評価データを格納し、さらにそれらの計算根拠となるシミュレーション出力データを格納する場合、ディスクの増設や管理に適したファイル形式への変換が必要である。
- 3) 他課題へこれらのデータを共有する共有方法の設計を行った。可視化 Web アプリケーションインターフェースでのワイヤフレーム設計を行った。また、J-SHIS、J-THIS、J-RISQ などの防災科研が公開しているハザード・リスク評価に関わるシステムとの連携案としてアーキテクチャ設計を行った。

(e) 引用文献

- 1) 青井真、早川俊彦、藤原広行：地震動シミュレータ：GMS，物理探査，Vol. 57，651-666，2004.
- 2) 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，第 427 号，2019.
- 3) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション <https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日) .
- 4) 防災科学技術研究所：津波ハザードステーション <http://www.j-this.bosai.go.jp/> (最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日) .
- 5) 防災科学技術研究所：リアルタイム地震被害推定システム <https://www.j-risq.bosai.go.jp/> (最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日) .

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

## 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 主任研究員 特別研究員 特別研究員 主任研究員 特別研究員	高橋 成実 近貞 直孝 水井 良暢 崔 青林 李 泰榮 池田 真典
国立研究開発法人海洋研究開発機構	副主任研究員 技術スタッフ シニアスタッフ 事務副主幹	今井健太郎 大林 涼子 長田 啓志 小柳津昌久
国立大学法人香川大学四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構	特任教授 准教授	金田 義行 野々村敦子
国立大学法人徳島大学環境防災研究センター	教授 助教 助教	馬場 俊孝 湯浅 恭史 金井 純子
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	准教授 特任准教授	中井健太郎 島崎 敢
公立大学法人兵庫県立大学	教授	阪本真由美
人と未来防災センター	研究員	高原 耕平
静岡県公立大学法人静岡県立大学	特任准教授	楠城 一嘉

(c) 業務の目的

地域防災力の向上のために、事前準備、災害時対応及び災害後対応の各ステージで各種情報を地域の防災に活用するための情報発信の在り方を探る。サブ課題1の理学的な成果とサブ課題2の工学・社会的な成果を、地殻変動や地震活動等、異常な現象が発生した時にどのように活かすか、これまでの南海トラフ巨大地震関連のプロジェクトの地域研究会での議論も参考に、情報発信検討会を共通の防災上の特性を有する複数の地域で開催して検討する。検討には、気象庁からの南海トラフ地震臨時情報・解説情報の発表のケースを念頭に、これまで地震調査研究推進本部から公表されているハザードマップや各種情報も入力情報として使用する。研究成果を直接的に防災に活かせるよう、地域毎に異なる防災上の課題を整理し、その解決手段を講じる。つまり、単に研究成果を防災情報としてアウトプットするだけでなく、正しくかつ効果的に防災情報を利用し適切な防災行動につなげてもらう必要がある。例えば、津波浸水を考えた場合、浅い浸水深が安心情報になって

はいけない。それは、浸水評価の誤差の問題のみならず、浅い浸水深は瓦礫集積や津波火災の可能性を示唆するからである。個々人の知識と経験から、各地域が防災上のリーダーシップをとって行動に移すことができる体制の構築を目指し、災害対応評価システムを構築して、本プロジェクトの成果の地域への貢献度を評価する。この評価のために、地方自治体や地域の研究者の協力を仰ぎ、特定多数における情報リテラシーを計測する。また、これらの取り組みや分析結果について、情報発信検討会を通じて地域と共有して検証し、次の防災力向上の計画へとつなげる。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

各自治体や企業との関係において、情報発信検討会の協力体制を構築し、防災上の特性を踏まえ、津波、内陸地震・支援、産業、複合災害の4つをテーマに設定し、第1回を合同で開催した。地震津波複合被害調査手法を検討し、津波浸水計算、津波瓦礫計算、軟弱地盤による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回実施する。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、地域に提示する。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う。

3) 令和4年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害調査の計算を進め、地域におけるシステム化を検討する。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、防災特性共通地域ごとに情報リテラシー向上に向けて、定量化を進める。

4) 令和5年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害調査の結果を地域に実装する検討を進める。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、防災特性共通地域ごとに情報リテラシー向上に向けて、定量化する。

5) 令和6年度：

前年度に引き続き情報発信検討会を各テーマで年2回実施する。地震津波複合被害調査の結果を地域に実装する。前年度に引き続き災害対応評価システムによる調査と分析を進め、情報リテラシー向上の成果を地域に還元し、必要に応じて地域に技術移転する。

(e) 令和2年度業務目的

昨年度までの南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの成果も踏まえ、各地域の防災上の特性を分類し、その特性に応じて情報発信検討会の開催を計画し、地域との連携を開

始する。気象庁から発表される臨時情報を念頭に、サブ課題1とサブ課題2から提供される研究成果を踏まえ、情報発信の在り方を探る議論を開始する。これらの情報を適切に活用されるように特定多数を対象とした情報リテラシー向上に向けた災害対応評価システムの設計・試作を行い、この取り組みへの地域との協力体制を構築する。情報発信検討会は、宮崎県から静岡県に至る太平洋沿岸の複数の地域を対象とし、インターネットを活用して開催する。また、一部の地域では、防災上の課題を解決する形も試みる。津波被害が想定される地域での漂流物の評価に着手し、津波避難の条件検討の一助とする。

## (2) 令和2年度の成果

### ①地域の防災上の課題評価

#### (a) 業務の要約

巨大地震には、地震や津波による複合被害が生じ得る。本業務では、津波浸水、軟弱地盤による構造物被害や津波瓦礫堆積によるハザードについて、それらの評価手法の検討とともに、それぞれの被害予測を実施するモデル地区の選定を行った。津波浸水は非線形長波方程式に基づく従来手法、軟弱地盤による構造物の地震応答計算は、水～土連成有限変形解析コードを用いることにした。津波瓦礫堆積評価は、津波による波力と構造物にかかる剪断力や摩擦力等により瓦礫の発生量と集積を計算する方法と2011年東北地方太平洋沖地震（以下2011年東北沖地震とする。）の瓦礫発生・堆積の実績情報に基づく簡易評価手法を併用し、用途により使い分けることとした。モデル地区としては、津波浸水計算は香川県坂出市、津波による瓦礫堆積評価は三重県尾鷲市、強震動による構造物脆弱化評価、津波氾濫計算は宮崎県延岡市と高知県四万十市を候補とすることに決定した。

#### (b) 業務の成果

##### i) 複合的なハザード評価を実施するモデル地区について

南海トラフ巨大地震を含め、30年間での震度6弱以上の地震の発生確率や沿岸津波高や浸水域に関する基礎的なハザード情報が政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会から提供されている。しかし、2011年東北沖地震の事例を見ると、巨大地震時は、強震被害や津波浸水および津波流体力による構造物破壊だけでなく、海岸・河岸構造物の強震被害に伴った津波浸水の拡大、浸水境界での瓦礫堆積とそれに起因した延焼被害などのいわば複合的なハザード評価は実施されていないのが現状である。地域によっては、緊急輸送道路やインフラが遮断される可能性もある。地震津波防災上、特に改めて評価すべき事項として、詳細な津波浸水および津波河川遡上評価、津波瓦礫評価、軟弱地盤応答に基づく強震被害評価について検討を行うこととした。

津波浸水および津波河川遡上に関わる詳細な検討は、香川県坂出市で実施することとした。南海トラフ巨大地震による津波は瀬戸内地域では、外海となる徳島や高知沿岸と比べて来襲する津波高さは相対的に低くなるが、強震動の影響による海岸・河岸構造物の脆弱化が河川遡上やそれに伴う浸水に影響を与える可能性がある。また、坂出市は造船業が盛んで地域経済にもたらす影響が大きい。当該モデル地区では、沿岸からではなく、河川からの津波の浸水を論点として、検討を行うこととした。



津波瓦礫評価については、三重県尾鷲市で実施することにした。尾鷲市は三重県南部にある比較的古くから発達している中核的な都市であり、過去の南海トラフ巨大地震によって深刻な津波被害が発生しており、内閣府による南海トラフ巨大地震の想定モデル<sup>9)</sup>では10 m以上の津波と震度6以上の揺れが想定されている。中心市街地と郊外のいくつかの集落から構成され、漁業、林業、観光業を中心とするが高齢化が進んでいる。速やかな応急復旧や発災時の被害軽減のためには、津波による複合被害を踏まえた道路啓開に係る情報創出、地域のまとまりと事前の備えが特に重要で、地域での自立が必須になると思われる。そのため、当該モデル地区での論点としては、津波浸水だけではなく、津波瓦礫の発生量と集積地を事前に評価し、現在の津波避難場所の分布から、適切な避難のあり方についての検討とした。津波瓦礫の計算手法としては、下記の2つの手法を採用する。一つは小園・他(2016)<sup>4)</sup>による、津波浸水による波力と構造物にかかる剪断力や摩擦力等により瓦礫の発生量と集積を計算する方法(第ii節)、もう一つは、今井・他(2019)<sup>6)</sup>による2011年東北沖地震津波の瓦礫実績情報に基づく簡易的な評価手法である。これらのモデルを用い、内閣府の南海トラフ巨大地震の波源断層モデル<sup>9)</sup>に対して、三重県尾鷲市における瓦礫堆積分布予測の試解析を実施した(第iii節)。

軟弱地盤応答に基づく強震被害評価において、宮崎県延岡市、高知県四万十市の中心市街地には複数の河川が流れ込んでおり、強震時による河岸堤防機能の脆弱化は津波浸水範囲を冗長させる可能性がある。そこで、宮崎県延岡市を流れる大瀬川・五ヶ瀬川と高知県四万十市を流れる後川を対象に、河川堤防の地震時変状を水～土連成有限変形解析コードGEOASIA(Noda et al., 2008)<sup>1)</sup>の適用を念頭に公開されているボーリング情報に基づいて予察を行った(第iv節)。

## ii) 建物倒壊を考慮した津波瓦礫評価手法

近年は、県や市町村からも津波のハザードマップが周知され、それに基づいて防災計画が立案されるようになった。浸水深マップも広く行政のホームページで公開され、発災時の住民の避難を詳細に検討できるようになった。しかしながら、浸水深が浅いから避難の心配は少ない、というメッセージになり得る。

そこで、建物の倒壊と、漂流を含めたその後の移動を表現できる津波瓦礫の評価を小園・他(2017)<sup>2)</sup>の方法を用いて尾鷲市を例に計算することにした。流水中の瓦礫には様々な力が働く。図2-8-①-1にその概念図を示すが、津波による流体力や浮力、底面からの摩擦力、斜面中であれば斜面方向の重力、物体同士の斥力などが考えられる。これらの力をモデル化している。下記、瓦礫の挙動予測モデルの運動方程式を示す。

$$\rho_{deb} V_{deb} \frac{d\mathbf{u}_{deb}}{dt} = \rho V_{deb} \frac{d\mathbf{u}_f}{dt} + \rho(C_M - 1) V_{deb} \left( \frac{d\mathbf{u}_f}{dt} - \frac{d\mathbf{u}_{deb}}{dt} \right) + \frac{1}{2} \rho C_D A_{deb} (\mathbf{u}_f - \mathbf{u}_{deb}) |\mathbf{u}_f - \mathbf{u}_{deb}| - \mathbf{f}_{deb} - \mathbf{f}_{deg} - \mathbf{f}_{dek}$$

ここで $\mathbf{u}_{deb}$ 、 $\mathbf{u}_f$ は瓦礫の速度、水の流速、 $\rho_{deb}$ 、 $\rho$ は、瓦礫の見かけの密度、水の密度、 $V_{deb}$ は没水部分の瓦礫の体積、 $A_{deb}$ は流水方向に対する没水部分の瓦礫の投影面積、 $C_M, C_D$ は付加質量係数および抗力係数を示す。また $\mathbf{f}_{deb}, \mathbf{f}_{deg}, \mathbf{f}_{dek}$ は瓦礫が受け

る底面摩擦、重力成分、瓦礫同士の斥力である。底面摩擦力と重力成分は以下となる。

$$f_{deb} = \mu_{deb} (\rho_{deb} - \rho) V_{deb} g \cos \theta_b \frac{u_{deb}}{|u_{deb}|}$$

$$f_{deg} = (\rho_{deb} - \rho) V_{deb} g \sin \theta_b$$

ここで、 $\mu_{deb}$  は瓦礫に作用する摩擦係数、 $g$  は重力加速度、 $\theta_b$  は地形勾配を示す。付加質量係数と抗力係数は、大窪ら（2004）の既往成果を参考にし、以下の通り設定した。

$$\log C_D = \begin{cases} 0.25 - 1.6 \log F_r & \text{for } h_{inun}/H < 1.2 \\ 0.55 - 0.25 h_{inun}/H - 1.6 \log F_r & \text{for } 1.2 < h_{inun}/H < 2.0 \\ 0.05 - 1.6 \log F_r & \text{for } 2.0 < h_{inun}/H \end{cases}$$

$$C_M = 1.15 + 1.15 \tan h_{inun} \{(-2.0 + 2.5 h_{inun}/H) \pi\}$$

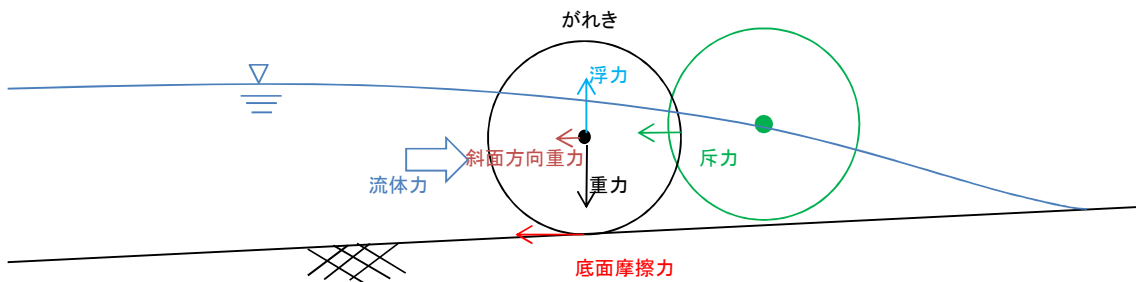


図 2-8-①-1 流水中の物体に働く力の概念。

瓦礫計算は浸水深と流速を考慮し、建物の破壊条件として倒壊、滑動、転倒について建物の種別ごとに破壊判定式をそれぞれ流体力やモーメントによって設定した。倒壊は流体力が建物の剪断耐力を上回ると発生、滑動は流体力が摩擦力を上回ると発生、転倒は流体力による転倒モーメントが自重による抵抗モーメントを上回ると発生する、と定義した。流速  $U$  と浸水深の関係について、木造 2 階建てを図 2-8-①-2、RC 造 3 階建てを図 2-8-①-3、RC 造（S 造、LGS 造、SRC 造含む）2 階建てを図 2-8-①-4、その他の構造物（CB 造）を図 2-8-①-5 に示す。これらを用いた各構造物の破壊判定式を図 2-8-①-6 に示す。次に地形データと市街地データのモデル化であるが、2430m、810m、270m、90m、30m、10m のメッシュを作成し（図 2-8-①-7）、平面 2 次元非線形長波モデルに基づき津波浸水を計算した。陸域の建物については市街地での街路に沿った遡上を考慮できるよう 2m メッシュで市内をモデル化した（図 2-8-①-8）。本研究では、瓦礫の対象として車両、船舶および建物倒壊によって発生した建物瓦礫とした。これらの初期位置は航空写真により設定した（図 2-8-①-9）。なお、建物倒壊瓦礫は、津波浸水予測計算における建物倒壊判定を行った後、倒壊した建物を順次瓦礫移動計算の対象とした。災害瓦礫の移動予測モデルには、対象物の面積・体積・密度および喫水深が必要となる。車両・船舶における面積・体積等の諸元を整理

し、密度については、総重量を体積で除して求めた。喫水深については、浮力=重力となる水深を求めた。

尾鷲市では、地震・津波観測監視システム（DONET）を用いた津波即時予測システムを導入している。このシステムで導入されている 1506 ケースの断層モデルから、津波瓦礫を発生させる断層モデルを検討した。その結果、 $2\text{km}^2$  以下の浸水面積のケースでは、ほぼ瓦礫が発生せず、瓦礫が発生するのは 310 ケースであることが判明した。図 2-8-①-10 は、各ケースの浸水面積を示す。

尾鷲市での市街地の計算結果のうち、ケース 1174（マグニチュード 8.5）の例を図 2-8-①-11 に示す。ここでは 20 分おきにその瓦礫の移動結果を示した。地震発生 20 分ごろに最初の津波が到達し、瓦礫の発生が始まる。60 分ごろには第 2 波が押し寄せ、最も市街地の奥まで津波が入り込む。瓦礫は押し波と引き波で移動することになるが、引き波では、発生した瓦礫が河川に沿って列状に連なり、湾内に流れ込み、湾内を封鎖してしまうことが示唆されている。

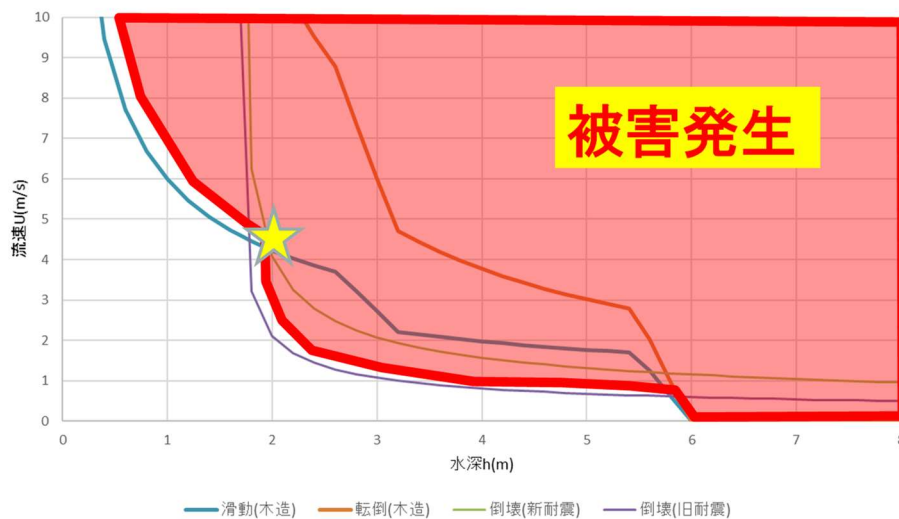


図 2-8-①-2 木造 2 階建ての家屋被害と流体力の関係。赤い部分は被害が発生するエリアを示す。

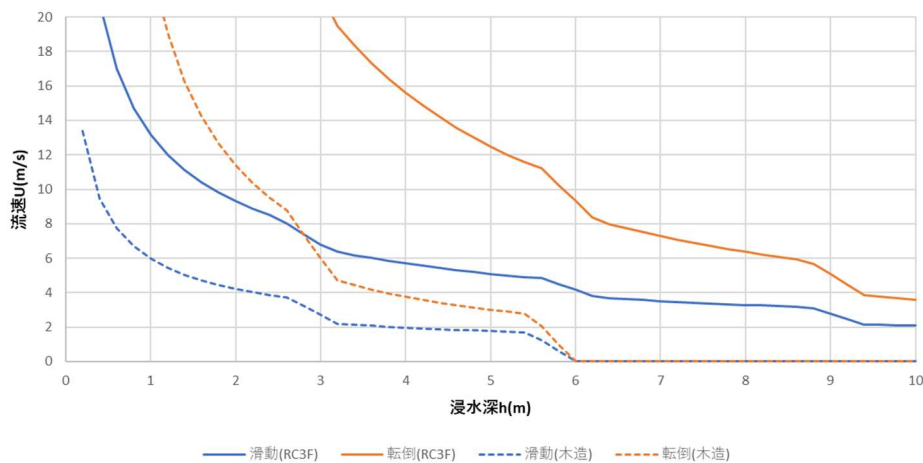


図 2-8-①-3 RC 造 3 階建ての家屋被害と流体力の関係。

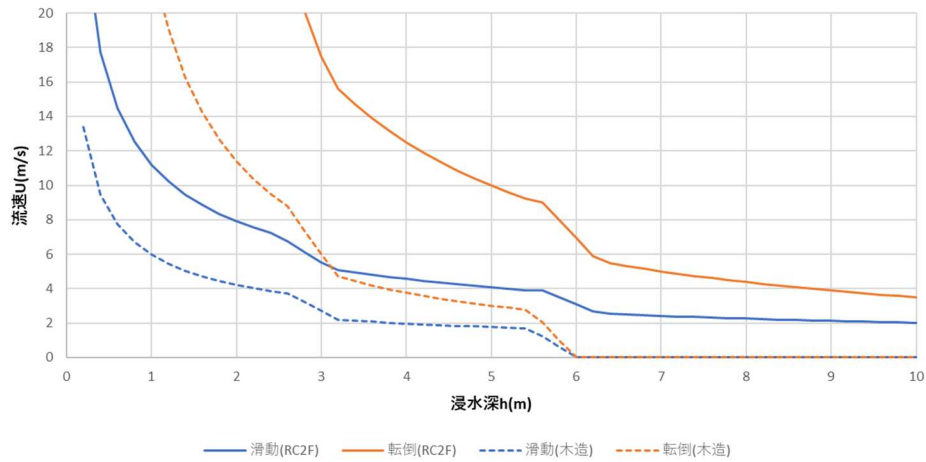


図 2-8-①-4 RC 造 2 階建ての家屋被害と流体力の関係。

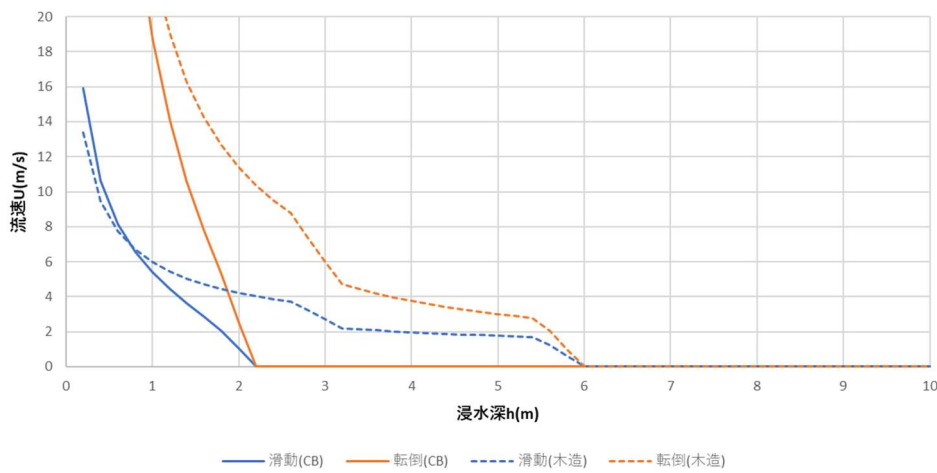


図 2-8-①-5 その他の構造物の家屋被害と流体力の関係。

木造(木プレハブ)	RC(S造,LGS,鉄プレハブ,SRC)	CB
① $0 \leq h < 1.725$ $U = \sqrt{\frac{35.76}{h}}$	① $0 \leq h < 2.5$ $U = \sqrt{\frac{125.37}{h}}$	① $0 \leq h < 2.08$ $U = \sqrt{\frac{56.18 - 27h}{h}}$
② $1.725 \leq h < 5.800$ $U = \sqrt{\frac{1.56}{h - 1.65}}$	② $2.5 \leq h < 3.125$ $U = \sqrt{\frac{294.12 - 67.5h}{h}}$	② $2.08 \leq h$ $U = 0$
③ $5.800 \leq h < 5.866$ $U = \sqrt{\frac{196.85 - 33.56h}{h}}$	③ $3.125 \leq h < 5.625$ $U = \sqrt{\frac{83.18}{h}}$	
④ $5.866 \leq h$ $U = 0$	④ $5.625 \leq h < 6.25$ $U = \sqrt{\frac{462.87 - 67.5h}{h}}$	
	⑤ $6.25 \leq h$ $U = \sqrt{\frac{40.99}{h}}$	

図 2-8-①-6 各構造種別の破壊判定式。

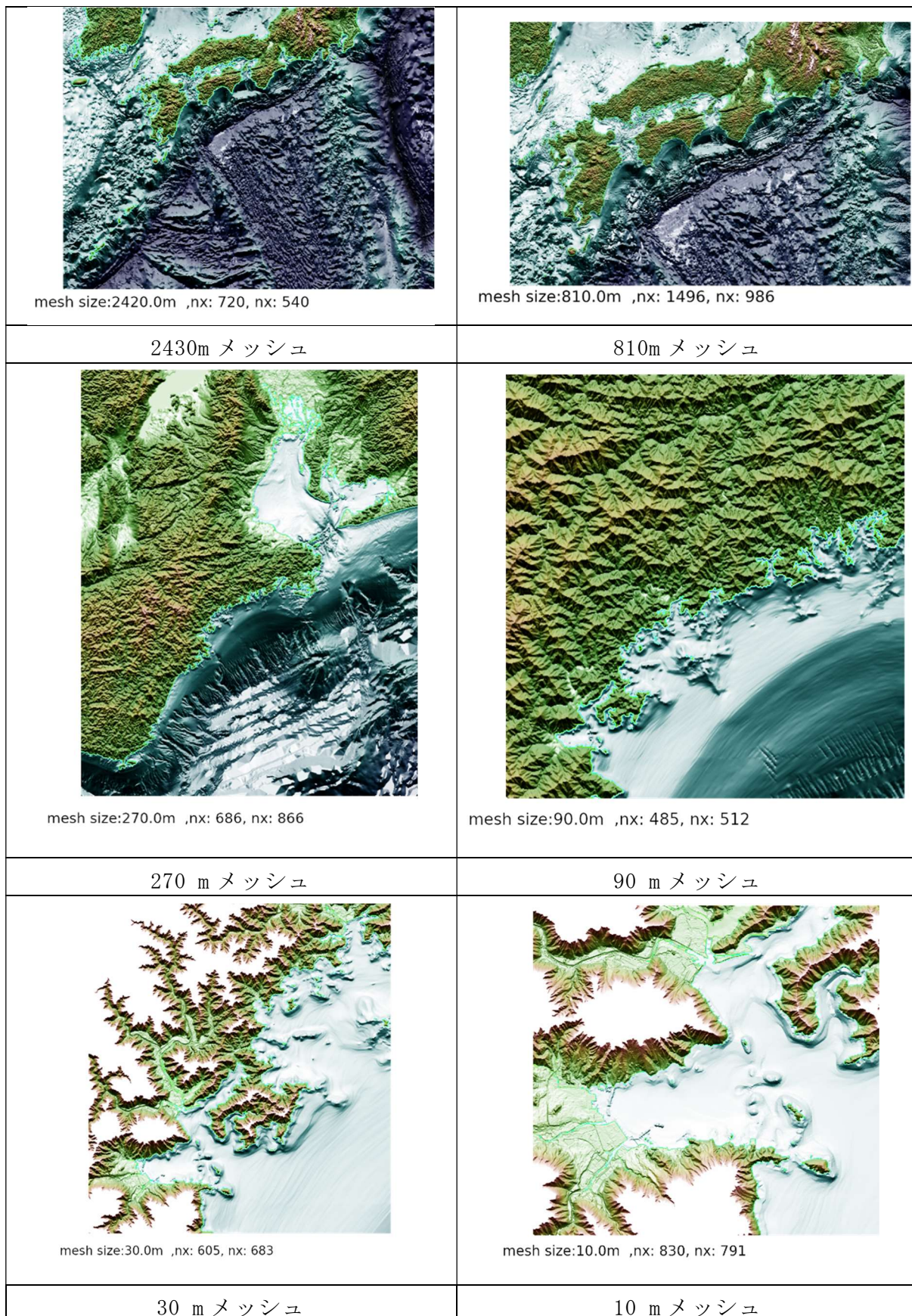


図 2-8-①-7 津波計算に用いた領域図。

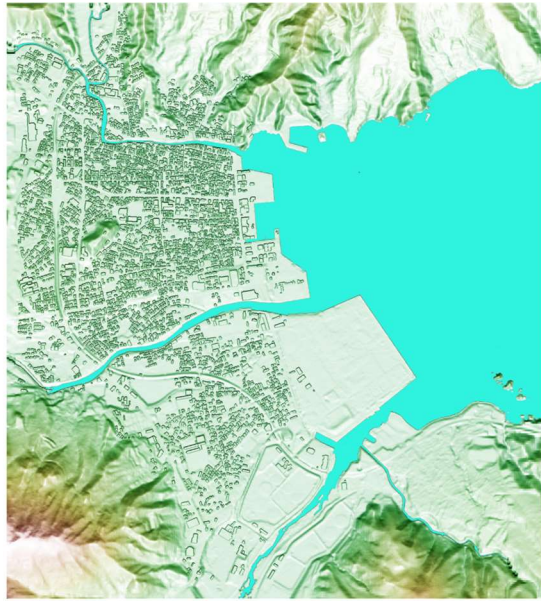


図 2-8-①-8 モデル化した2mメッシュの市街地。

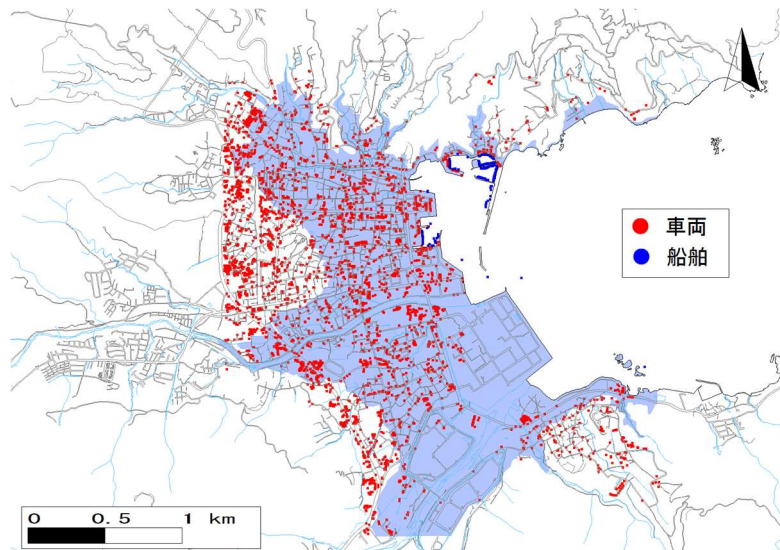


図 2-8-①-9 車両と船舶の初期位置。

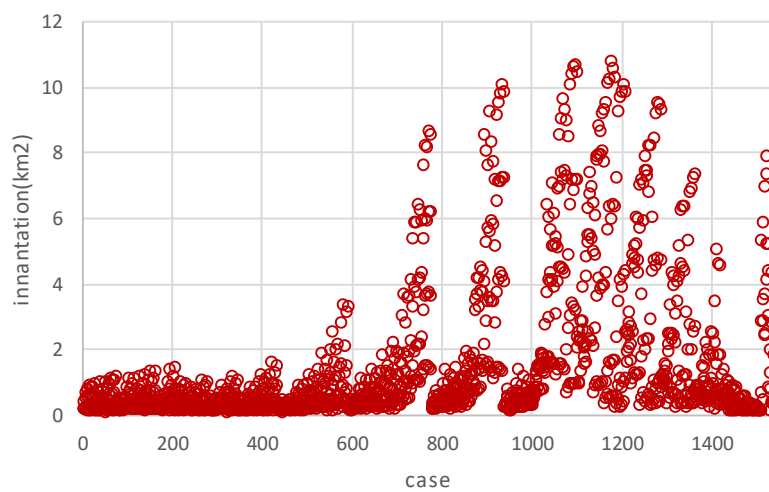


図 2-8-①-10 各ケースの浸水面積。横軸は1506ケースの断層モデル番号、縦軸は浸水面積を示す。

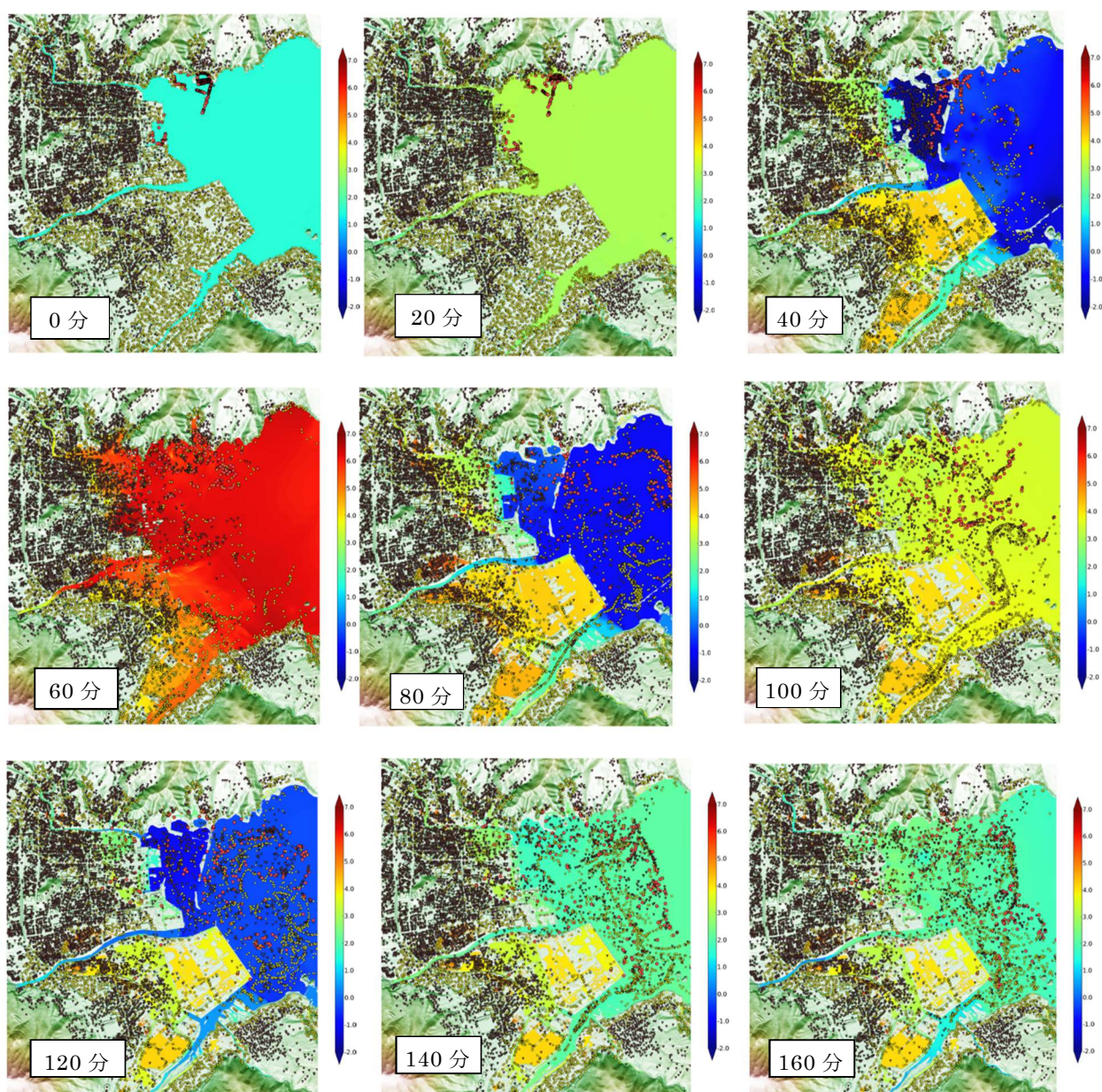


図 2-8-①-11 市街地におけるがれきの挙動（断層ケース 1174）。地震発生直後から 20 分間隔で瓦礫のふるまいを示した。茶色は構造物、赤色は船舶、黄色は車両を示す。右のカラーズケールは浸水深を示す。

### iii) 津波瓦礫の簡易評価手法

東北地方太平洋沖地震では津波の直接被害の他に、火災による被害が生じた。海水の中で火災が発生し燃焼が維持することは本来考えにくいことではあるが、1933 年昭和 三陸津波での釜石市、1993 年北海道南西沖地震での奥尻島などでも、津波来襲にともな った火災の発生が確認されている。塩水は真水より電気を通しやすいため、電線が海水 に接触してショートし、それに伴った火花が可燃性物質に引火する、あるいは、漁船の 衝突などによって火災が発生し、燃焼を維持できるような可燃性ガス、瓦礫や重油によ

って延焼が引き起こされる。

東北地方太平洋沖地震による火災被害は、津波による激甚被害の陰に隠れているが、阪神淡路大震災のそれを上回る規模であり、14都道県で330件発生した（総務省消防庁東日本大震災記録集，<https://www.fdma.go.jp/disaster/higashinihon/post.html>）<sup>3)</sup>。阪神淡路大震災などの直下型地震における火災被害と異なる点としては、強震動による家屋倒壊に起因したものだけでなく、その多くが津波によって出火と延焼が発生していることにある。

廣井・他（2012）<sup>4)</sup>は“海域を含む津波被災エリアにおいて、出火もしくは延焼した火災”を津波火災と定義した。出火～延焼の過程は極めて複雑であり、決定論的に言及することは難しい。出火～延焼過程の一例として、石巻市門脇小学校周辺の事例を挙げると、自動車が津波によって校舎に押し流され、その衝撃によって自動車の燃料タンクが破損し、海水の塩分によって電気系統が漏電し火花がガソリンに引火して火災が発生し、津波によって破壊され、校舎周辺に集積した建物瓦礫へ延焼したと考えられている（図2-8-①-12）。津波火災における出火原因としては、津波により流失・破壊された建物瓦礫に起因したもの、プロパンガスボンベによるもの、自動車や船舶によるもの以下が考えられている。津波が延焼を助長した事例も多く、延焼に関する一因としては、ガスボンベ等の住宅から流出物、LPガス等の可燃性物質、備蓄タンクから流出した可燃性オイル、そして建物瓦礫が考えられている。

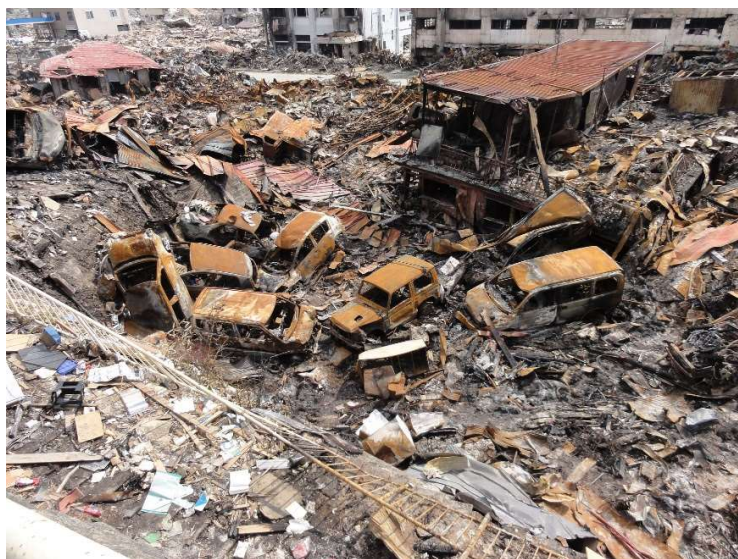


図2-8-①-12 石巻市門脇周辺における津波瓦礫と延焼の事例。

このように、出火と延焼に関わる影響因子のひとつに建物瓦礫が挙げられ、津波火災リスク評価には津波による建物瓦礫の集積分布がひとつの指標となり得る。前節のとおり、津波による建物瓦礫の発生と集積予測モデルは、小園・他（2016）<sup>5)</sup>の手法がある。このモデルでは津波による建物破壊や瓦礫漂流・集積の物理過程をモデル化しており精緻な解析を可能としているが、その解析には瓦礫の生成や瓦礫移動などに関する多くのパラメータを必要とするため、膨大な津波シナリオに基づく瓦礫堆積を含めた津波被害予測（即時津波浸水予測システムとしては、例えばTakahashi et al., 2018<sup>6)</sup>など）



に実装する場合には、計算効率の面で実用上敷居が高いと言わざるを得ない。解析結果を有効利用できる簡易的な瓦礫堆積評価手法を構築することができれば、効率的な津波瓦礫堆積評価、ひいては津波火災リスク評価を行うことが可能となる。

本節では、津波火災の出火と延焼の引き金となる津波瓦礫に焦点を定め、津波瓦礫の堆積に関わる影響因子に関する検討を行い、津波瓦礫の堆積量に関する簡易的な評価手法（今井・他，2019<sup>7)</sup>）の概要と、本手法を尾鷲市に適用し、そこから得られる津波瓦礫を含めたハザード予測とそこから読み取ることができる課題について言及する。

まず、今井・他（2019）<sup>7)</sup>の手法について説明する。この手法は瓦礫堆積確率や堆積厚さに寄与する4つの因子を統計的に抽出し、これらの因子に基づき簡易的に評価が可能なモデルである。ここで、津波瓦礫堆積に関わる影響因子は2011年東北沖地震津波直後の岩手県大槌町と釜石市における実績に基づいて統計的に決定した。浸水境界から汀線に向かって10 m幅となるように測線帯を設け、遡上境界から測線帯までの距離を $L_R$ とした（図2-8-①-13）。その測線帯に沿って10 m間隔における最大地形勾配 $i_M$ 、浸水深 $D$  (m)、単位メッシュあたり瓦礫堆積厚さ $DT$  (m/単位メッシュ)、対象メッシュにおける流失・全壊被害を含めた建物の存在有無指標 $SI$  (有り:1, 無し:0)に関するパラメータとした。各パラメータにおいては、以下のように規格化を行った。遡上距離は $L_*$  ( $=1-L_R/L_{max}$ ,  $L_{max}$ は最大遡上距離)、浸水深は $D_*$  ( $=D/L_R$ )、単位メッシュあたりの無次元瓦礫堆積厚さは $NDT$  ( $=DT/\sum DT$ ,  $\sum DT$ は各領域における総残存瓦礫量)として定義した。

瓦礫堆積量に関する簡易評価モデルについては、瓦礫漂着確率 $P_{db}$ と $NDT$ について各評価モデルを構築し、これらを乗じることで表現されると仮定する。

まず、 $P_{db}$ については、ロジスティック回帰による確率モデルとして構築を試みた。候補となるパラメータは偏相関係数から $AS$ 、 $L_*$ と $SI$ を説明変数として選択し、ロジスティック回帰によって式(1)を構築した。

$$P_{db} = \frac{1}{[1+\exp(-\phi)]} \quad (1)$$

$$\phi = 0.43AS - 0.11L_* + 0.87SI - 1.61 \quad (2)$$

式(1)および(2)を用いることにより、 $P_{db} > 0.5$ を瓦礫漂着とした場合に、その予測的中率は70%となった。

$NDT$ については $AS$ 、 $D_*$ 、 $i_M$ と $SI$ の冪関数の積で表現されると仮定し、各係数は観測データに基づき決定することで式(3)を得た。

$$NDT = 0.0009AS^{-0.014} D_*^{0.12} i_M^{0.38} SI^{0.29} \pm 0.00048 \quad (3)$$

本評価式により、ややバラツキは大きいながらも $NDT$ を0.5~3.0倍の範囲内で予測することができる（図2-8-①-14）。これらの適用範囲は、 $0.49 < AS < 2.13$ 、 $0 < L_* < 1$ 、 $D < 7$  mかつ $0 < D_* < 10$ 、 $0 < i_M < 200$ 、 $0 < SI < 2.25$ である。

式(1)から(3)の評価モデルを用いて津波瓦礫堆積予測を行う際には、津波による木造建物被害にともなった瓦礫発生量を推定する必要がある。まず、建物被害については、2011年東北沖地震の建物被害実績に基づく設計被害関数（今井・他，2016<sup>8)</sup>）を用いることとする。津波による建物被害関数の定式化は、地震動による被害関数型に倣い、

正規分布による式(4)を用いる(例えば、越村・他, 2009<sup>9)</sup>)。

$$P_D(x) = \Phi\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right] = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (4)$$

ここで、 $P_D$ は被害確率、 $x$ は外力指標であり、津波浸水深や流体力が選ばれる。 $\mu$ 、 $\sigma$ は $x$ の平均値と標準偏差を示す。式(4)中の $\mu$ と $\sigma$ について、各地域における平均地形勾配 $i$ と堅牢建物混成率 $M_r$ の関係を調べた。ここで、木造建物よりも堅牢となるRC造や鉄骨造を堅牢建物と定義し、浸水域内の全建物中の堅牢建物の割合を $M_r$ と定義した。図2-8-①-15に $i$ と各係数の関係を示す。図中の1点鎖線は全壊被害、2点鎖線は流出被害に関するおおよその傾向を示している。 $\mu$ と $i$ の間には相関は認められないが、 $\sigma$ については地形勾配が大きくなるにつれて増加する傾向にある。これらの傾向は全壊・流出被害に関わらず同様である。図2-8-①-16に堅牢建物混成率 $M_r$ と各係数の関係を示す。 $\mu$ については地形勾配と同様に相関は認められないが、 $\sigma$ については $M_r$ が大きくなるにつれて減少する傾向にある。また、これらの傾向については、全壊・流出被害に関わらず同様である。

上述から、設計被害関数における $\mu$ については地形勾配や $M_r$ の依存性は確認できなかったことから、被害形態毎に一定値を与えることにする。全壊被害の場合には $\mu=2.26\pm 0.51$ とし、安全側での設計を行う場合には、 $\mu=2.26-0.51$ を採用すれば良いであろう。流出被害の場合には、 $\mu=3.57\pm 0.52$ とし、安全側での設計を行う場合には、 $\mu=3.57-0.52$ を採用すれば良いであろう。 $\sigma$ については、 $i$ や $M_r$ への依存性が認められたことから、本研究の範囲内において、以下の式型で与える。全壊被害の場合、

$$\sigma = 11.96 i^{0.42} M_r^{-0.05} \pm 0.2 \quad (5)$$

流失被害の場合、

$$\sigma = 2.45 i^{0.14} M_r^{-0.09} \pm 0.2 \quad (6)$$

で表現される。

図2-8-①-17に $\sigma$ の観測値と計算値の整合性を示す。多少のばらつきはあるものの、おおむね整合していることがわかる。なお、決定係数は全壊被害の場合に0.78、流出被害の場合に0.71である。

図2-8-①-18に建物流失に関する被害関数と設計被害関数の比較の一例(仙台市)を示す。ここで、図中の1点鎖線は $\mu=3.57$ 、 $\sigma = 2.45 i^{0.14} M_r^{-0.09}$ を用いた場合であり、平均的な流出被害に関する設計被害関数を示す。2点鎖線は $\mu=3.02$ 、 $\sigma = 2.45 i^{0.14} M_r^{-0.09} + 0.2$ を用いた場合であり、より安全側で流出被害に関する設計被害関数である。いずれにせよ、観測に基づいた被害関数に比べて安全側の設計曲線となることがわかる。

尾鷲市における瓦礫堆積予測を行う際には、建物被害関数による瓦礫発生量の推定が必要になる。本業務では、津波ハザードとしては、内閣府による南海トラフ巨大地震の波源断層モデル(内閣府, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>)<sup>10)</sup>のCase 1から11までの11ケースを用いた。木質瓦礫発生量の推定は、従来の津波氾濫解析による最大浸水深と式(4)から(6)による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。木造家屋を構成する部材を固定可燃物、各階の建具や家具など家

屋の主要部材以外を積載可燃物として、国土交通省 (<http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/soupuro/0.pdf>)<sup>11)</sup>の方法により可燃物量を算出した。また、木質の可燃物が津波により瓦礫化した状態を解体工法研究会編(2017)<sup>12)</sup>の方法を用いて算出した。なお、強震動による瓦礫算出は考慮していない。また、各ケースにおいて、 $L_R$  (図2-8-①-19)、 $SI$  (図2-8-①-20)を算出した。 $AS$ については浸水域の広がりによって異なるが0.3から0.5の範囲とした。瓦礫漂着確率とその堆積量については一様乱数と式(1)、(2)および(3)から計算し、100回試行の平均を代表値とした。

図2-8-①-21に各津波シナリオに応じた尾鷲市の津波浸水域と瓦礫堆積分布を示す。内閣府の波源断層11ケース<sup>9)</sup>のうち、特徴的な瓦礫堆積分布となったCase1とCase7が示されている。Case1の津波浸水深分布(左図)から、沿岸部において浸水深は5m程度、遡上距離はおおよそ1km程度であることがわかる。このことから、浸水域は尾鷲市街地に広がるものの、浸水深は5m程度に留まっているために建物被害も少なく、瓦礫堆積(右図)も遡上端で若干ではあるが堆積が見られる程度であることがわかる。

一方、Case7の場合、浸水深は市街地沿岸部では10m程度に達するため(左図)、甚大な木造建物被害が生じることになり、結果的に多くの木質瓦礫が発生することになる。発生した瓦礫はその多くは遡上境界に堆積することになる(右図)。

津波ハザードマップとして広く周知されている津波浸水深分布のみで津波被害を考える場合、浸水境界の近傍では浸水深は浅くなるために、沿岸に比較して安全と思われがちであるが、瓦礫堆積分布を見るとむしろ浸水境界に広く堆積する傾向にある。例えば、中南勢地域と東紀州地域をつなぐ大動脈である国道42号線はCase7では浸水境界を横切ることになり、ここに瓦礫堆積が発生すると、緊急復旧対応の妨げになることが懸念される。また、浸水境界の市街地においては、瓦礫堆積とそれによる津波関連火災による延焼の危険性も懸念されることになる。なお、参考までに、Case1と7以外の津波浸水域と瓦礫堆積分布を図2-8-①-22に示す。内閣府の波源断層モデル<sup>9)</sup>でも瓦礫堆積分布は大きくことなることがわかる。

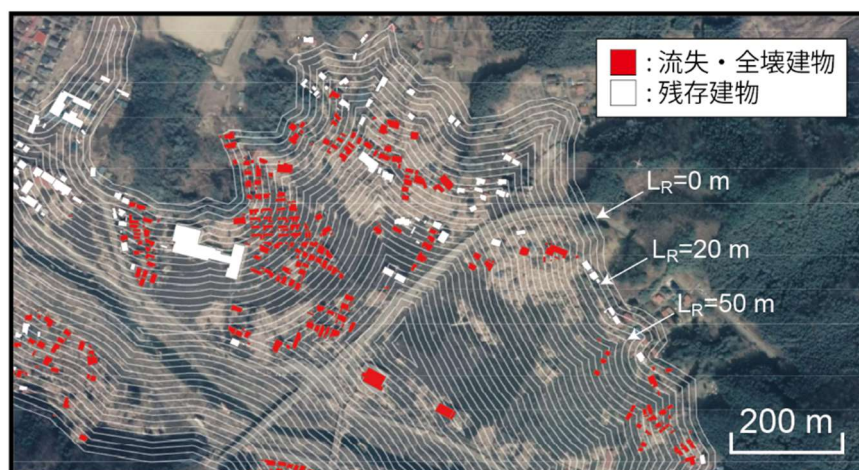


図2-8-①-13 2011年東北沖地震津波の大槌市街地における測線帯の例。

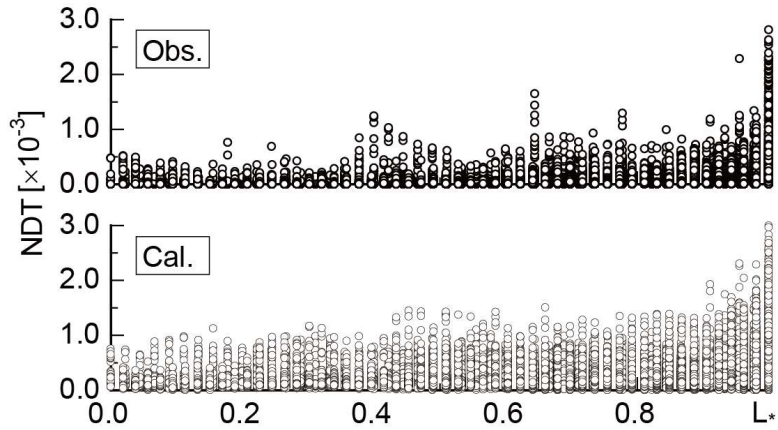
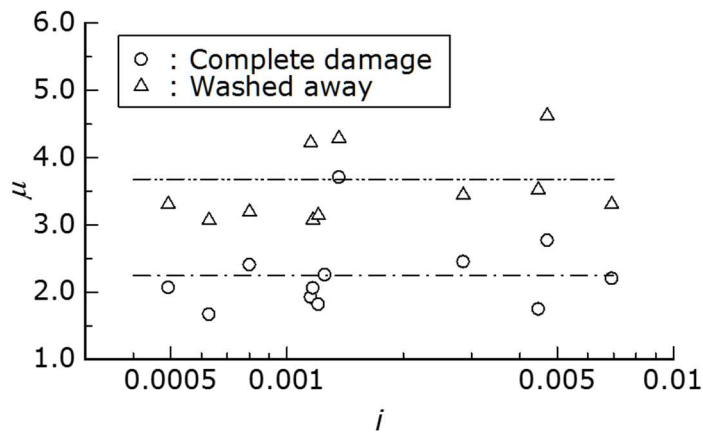
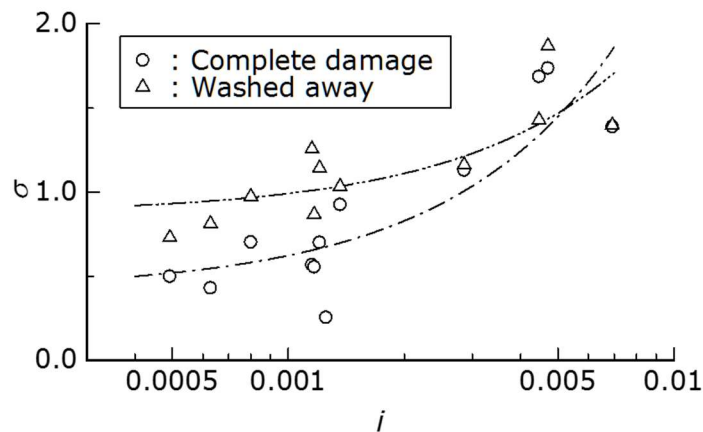


図 2-8-①-14 瓦礫堆積評価式の観測値と計算値の比較。浸水境界 ( $L^* \doteq 1$ ) に近づくと、瓦礫堆積厚 (NDT) も上昇する傾向を再現出来ていることがわかる。

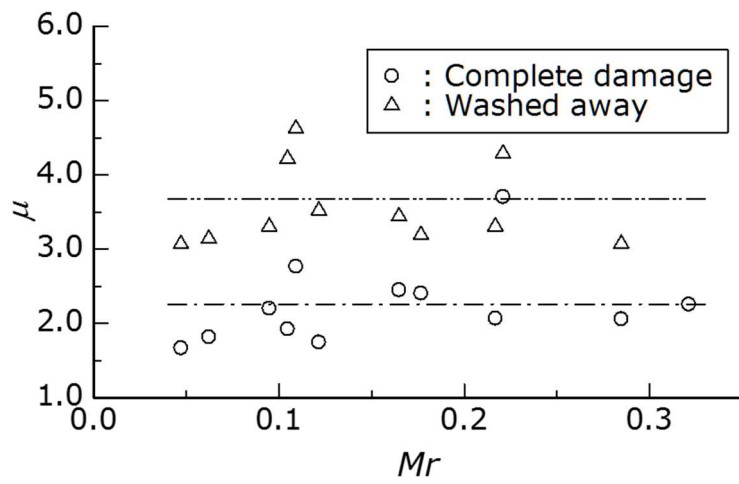


(a)  $\mu$

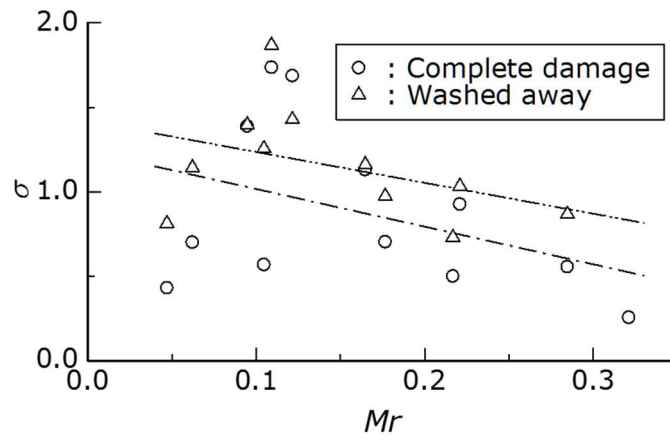


(b)  $\sigma$

図 2-8-①-15 地形勾配  $i$  と建物被害関数における平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  の関係。  $\mu$  は  $i$  に依存せずほぼ一定値となっているが、  $\sigma$  は  $i$  に依存し、  $i$  が大きくなるにつれて、  $\sigma$  も増加する傾向にあることがわかる。



(a)  $\mu$



(b)  $\sigma$

図 2-8-①-16 堅牢建物混成率  $Mr$  と建物被害関数における平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  各係数の関係。 $\mu$  は  $Mr$  に依存せずにはほぼ一定値となっているが、 $\sigma$  は  $Mr$  に依存し、 $Mr$  が増加するにつれて、 $\sigma$  は減少する傾向にあることがわかる。

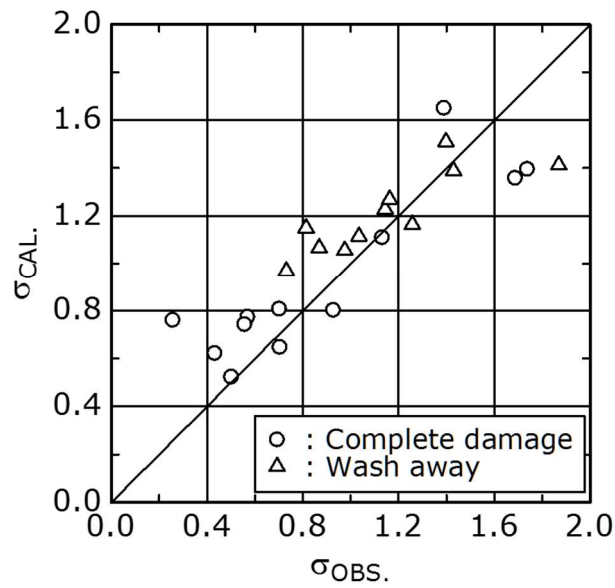


図 2-8-①-17  $\sigma$  の観測値と式(5)および(6)による計算値の整合性。

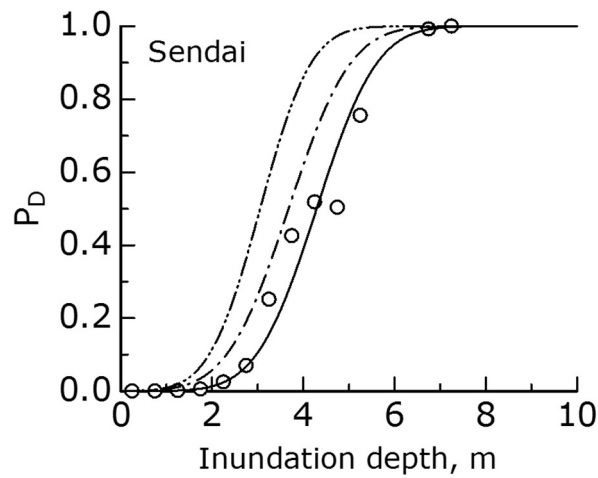


図 2-8-①-18 建物流出に関する設計被害関数の一例。○は観測値、実線は観測値に基づく被害関数を示しており、一点鎖線および二点鎖線は  $\mu$  の平均値と式(6)に基づく設計被害関数を示す。

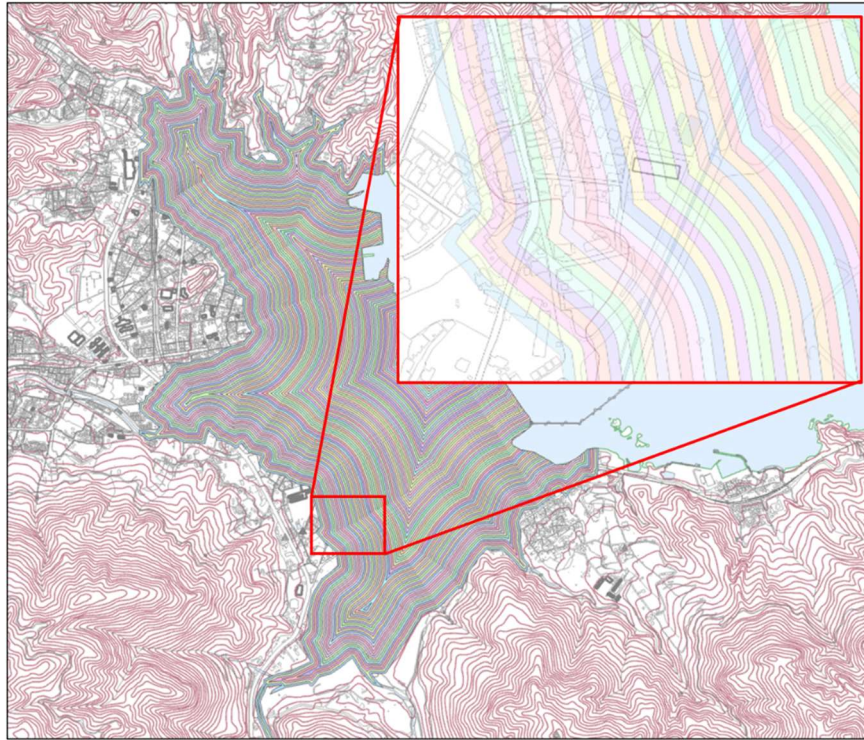


図 2 - 8 - ① - 19 尾鷲市における遡上端から汀線に向かって 10m 幅の測線帯の一例。

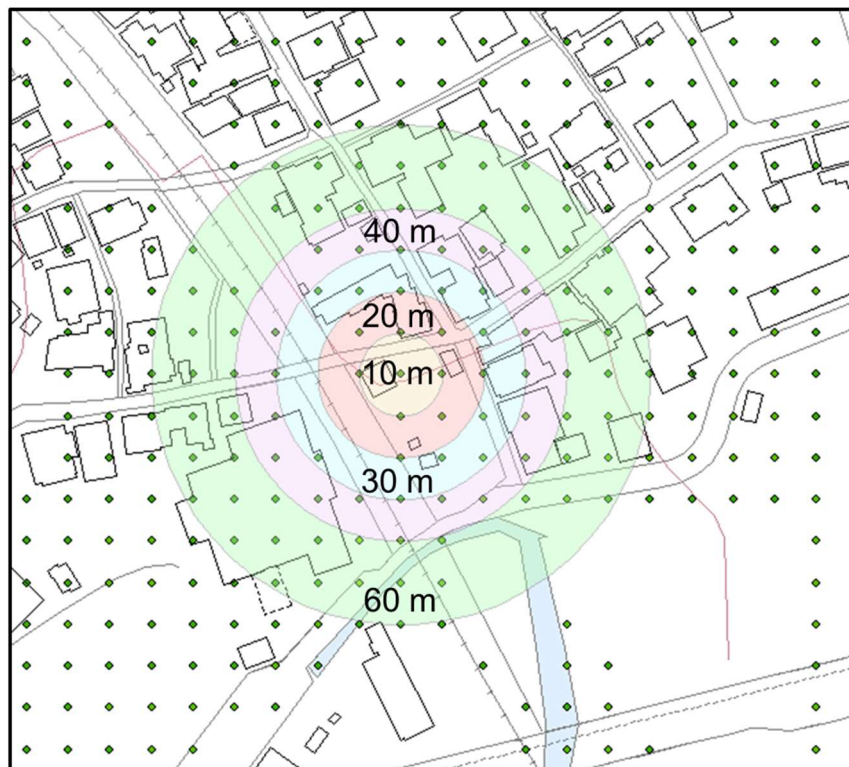


図 2 - 8 - ① - 20 尾鷲市における SI の評価例。任意地点を中心として、半径 10m～60m 内における建物存在の有無を  $0 < SI < 2.25$  の範囲内で指標化する。

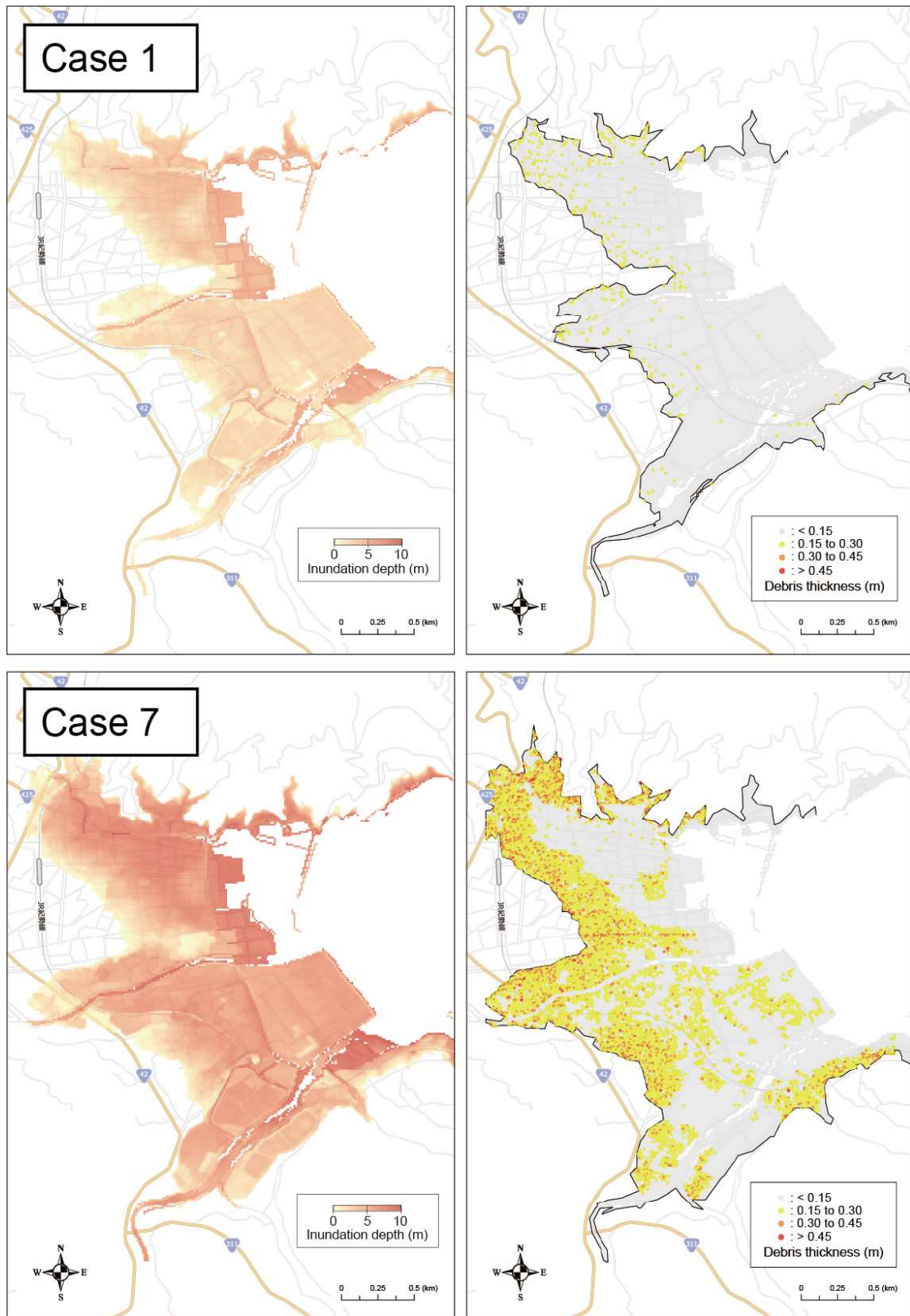


図 2-8-①-21 津波浸水深分布と瓦礫堆積分布の評価例 (Case 1 と Case 7)。左図は最大浸水深分布、右図は瓦礫堆積分布を示している。



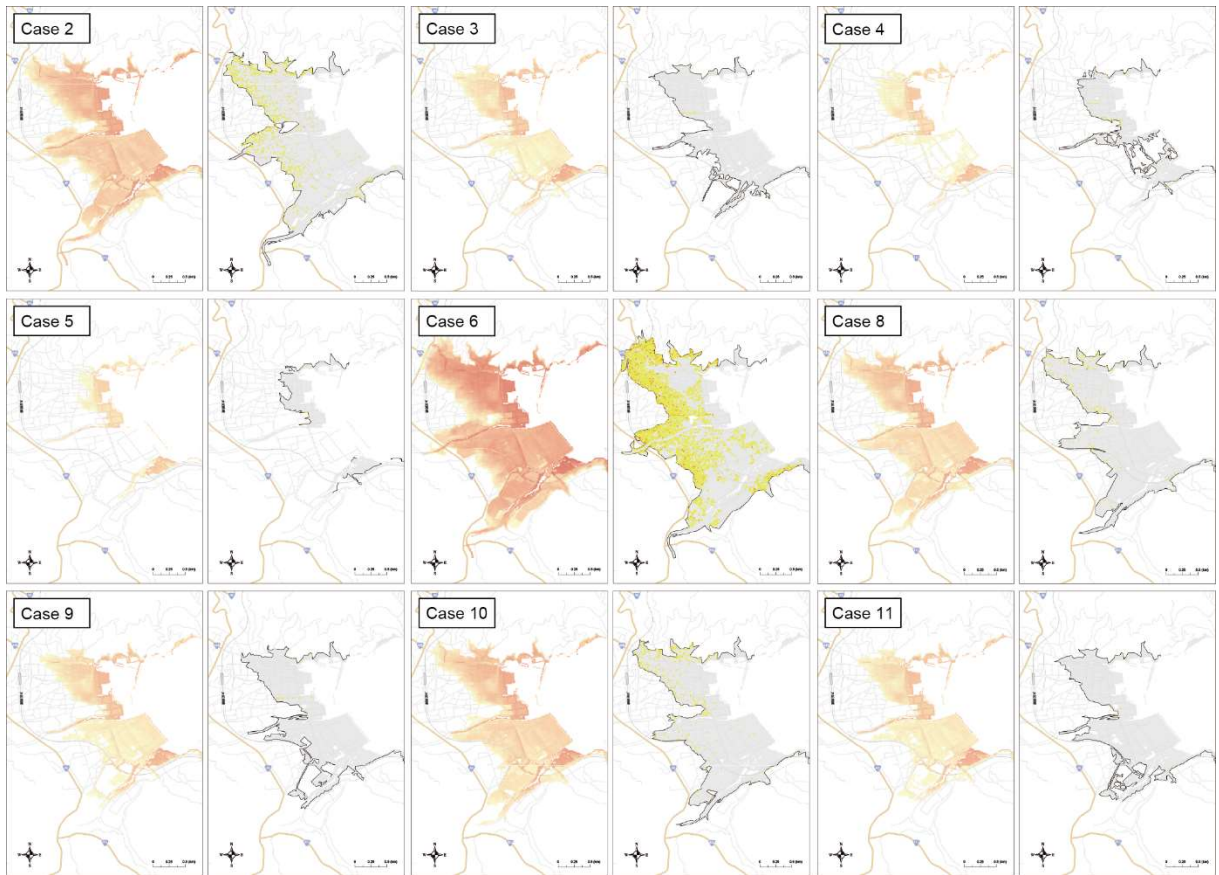


図 2 - 8 - ① - 22 津波浸水深分布と瓦礫堆積分布の評価例 (Case 1 と Case 7 以外)。左図は最大浸水深分布、右図は瓦礫堆積分布を示している。方位とスケールは、図 2 - 8 - ① - 21 と同様である。

iv) 海岸・河岸構造物の地震動脆弱化可能性についての予察

延岡市はいくつかの河川が合流するところであり、宮崎平野の北端に位置する。旭化成の創業の地であり、活発な経済活動が行われているところである。被災後の早期復旧のためには、地域経済を活性化させる必要があり、市街地や港湾施設の詳細な被災イメージを持つことが重要である。四万十市は、高知県西部の山間の地であるが、四万十川をはじめ、いくつかの架線が合流し、河川遡上による浸水被害が想定される。このような場所では河川からの堆積物により軟弱な地盤が想定される場所である。最初にジオステーション（防災科学研究所）<sup>13)</sup> および National Geo-Information Center（国土地盤情報センター）<sup>14)</sup> を利用して、検討対象地域の地層構成を把握することを試みた。

図 2-8-①-23 は大瀬川・五ヶ瀬川周辺の航空写真である。河口付近から山間を分岐して東西方向に流れ、やがて合流している。図から明らかなように、両河川の周辺には市街地が広がっており、河川堤防の健全性確保は津波浸水被害から守るために重要であることがわかる。下流から上流に向かう A1-B1 測線、A2-B2 測線、A3-B3 測線における横断地層横断図を図 2-8-①-24～図 2-8-①-26 に示す。A1-A2 測線および A2-B2 測線においては、標高 0m～-10m 付近までは砂質土が卓越しているが、その N 値は 20 以下であり、液状化判定対象となる。部分的には N 値が 10 以下の地点も存在しており、液状化が危惧される。一方、-10m 以深になると、N 値が 0～10 程度のシルトが主体の粘性土が堆積している。A3-B3 測線に達すると、地盤標高が高くなるとともに、N 値が大きい砂礫が主体となる。標高-10m 付近では、N 値が 10 以下のデータも多くなっているため、液状化の危険性を検討する必要がある。図 2-8-①-27 には、大瀬川沿いの地層縦断図を示す。表層付近は砂礫が主体だが、測線中央部では先に説明した N 値が 0～10 程度の粘性土が厚く堆積する。

一般的に粘性土は地震被害がない／考えなくてもよいとされるが、東北地方太平洋沖地震では、強く長い揺れによって、本来液状化判定の対象外であるシルト分を多く含む土が液状化したという報告もされている（国土交通省、2011<sup>15)</sup>）。また、高含水比で鋭敏な粘性土地盤上に立地するメキシコシティでは、地震による粘性土地盤の支持力低下に起因する構造物の転倒や沈下被害も観測されている（Zeevaert, 1972.<sup>16)</sup>、Mendoza, 1987<sup>17)</sup>）。今後、当該地域における地盤調査結果や土質試験結果を収集し、詳細な動的特性の把握に努め、巨大地震発生時の粘性土層の動的特性を考慮した地震被害予測を実施していく。

図 2-8-①-28 は後川周辺の航空写真である。四万十川と後川に囲まれた中州地域には市街地が集中している。一級河川である四万十川の耐震診断・耐震対策に比して、二級河川である後川はその進捗が遅れていることが危惧されるため、適切な耐震性評価が求められる。図 2-8-①-29 には、後川沿いの地層縦断図を示す。標高-10m 以深には N 値が 10 以下のシルトが主体の粘性土が厚く堆積している。物理特性を確認すると、自然含水比が液性限界と等しく高含水比状態で堆積している地点も存在しており、層厚が厚いことから、地震動によって乱されると大きな沈下の原因となる危険性がある。こちらも今後、詳細な動的特性の把握に努めていく。

なお、地層縦断図を見ると、上流から下流に向かって基盤が深く沈み込む不整形な地層を形成している。地震被害予測の多くは、その簡便さから鉛直一次元的な検討や多次

元であっても水平成層モデルを用いることが多い。しかし、不整形な地層の場合、実体波の屈折によるレンズ効果、傾斜基端部における表面波の励起や実体波と表面波が特定箇所を示す増幅的干渉（エッジ効果）など、波動伝播が非常に複雑となり、表層地盤の地震被害が局所的に甚大化することが危惧される（Nakai et al., 2017<sup>18)</sup> など）。また、河川堤防の特徴として、延長の非常に長い線状構造物であることが挙げられる。そのため、地震によって堤防の一部でも破堤・越水してしまうと、そこを起点とした広範囲の浸水被害に繋がってしまう。本来、堤防の延長方向に対して最も危険な場所を抽出したうえで、優先的に耐震対策を施していくことが望まれるが、堤防縦断方向に対する耐震性評価は、手つかずのまま放置されているのが現状である。そのため、今後は任意断面の横断面解析に加えて縦断面解析も実施し、地震被害予測に地層不整形性の影響を考慮していくことを試みる。



図 2 - 8 - ① - 23 宮崎県延岡市を流れる大瀬川・五ヶ瀬川。

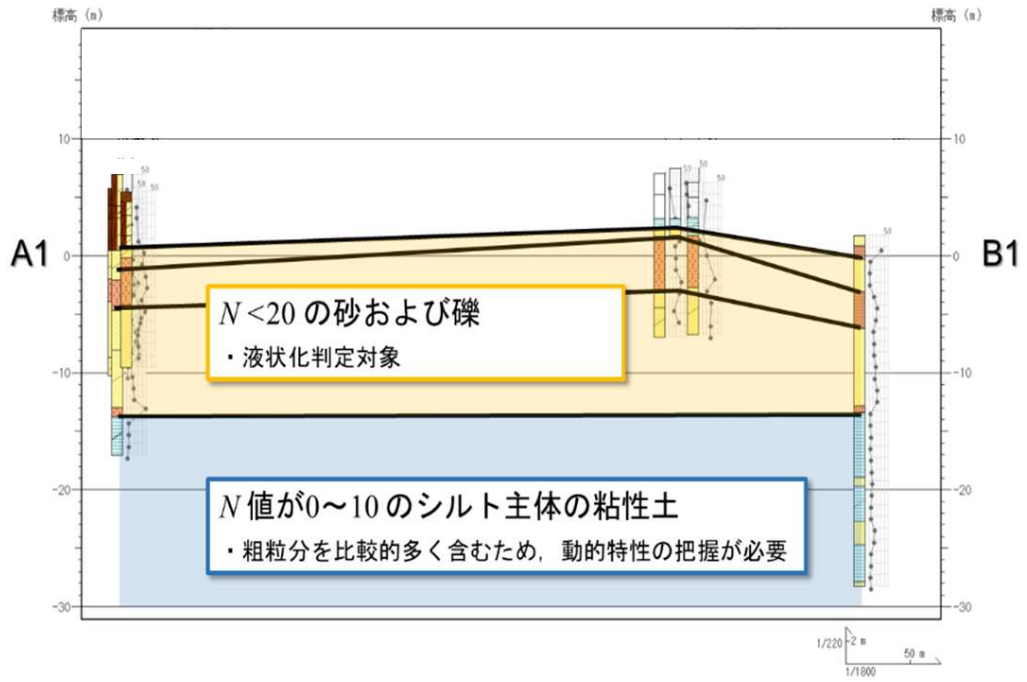


図 2 - 8 - ① - 24 A1-B1 測線における地層横断面図。

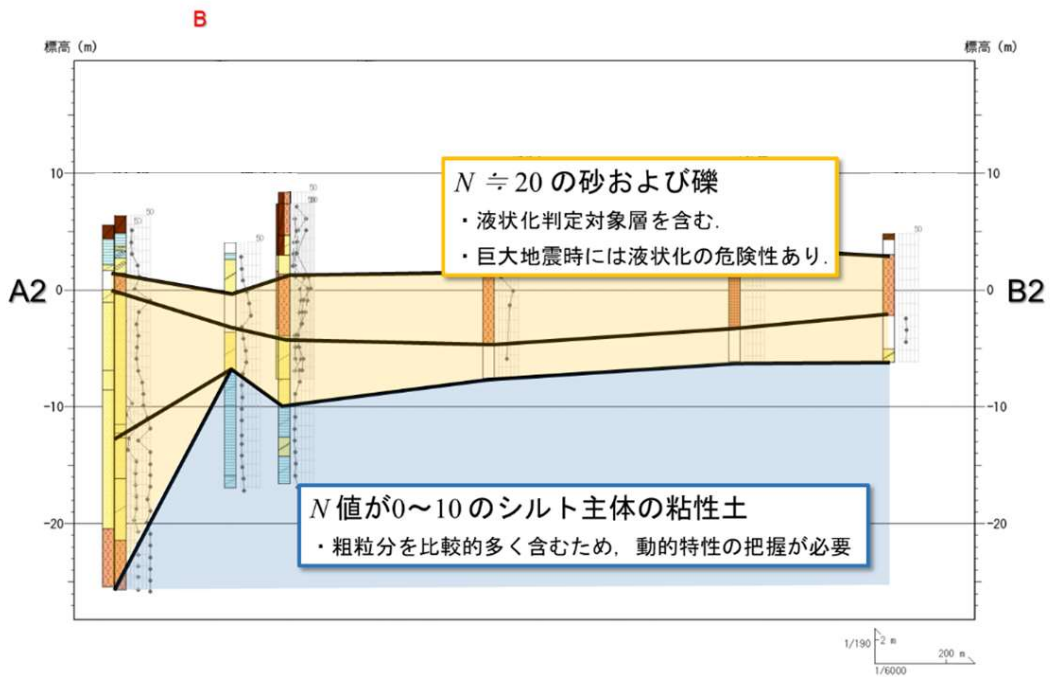


図 2 - 8 - ① - 25 A2-B2 測線における地層横断面図。

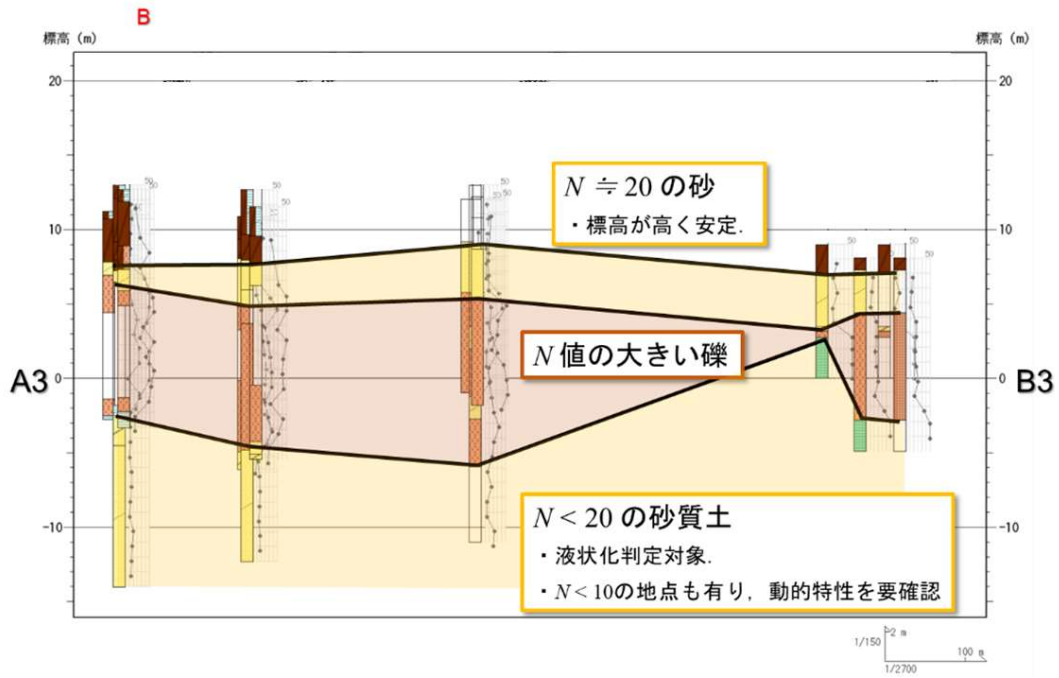


図 2 - 8 - ① - 26 A3-B3 測線における地層横断面図。

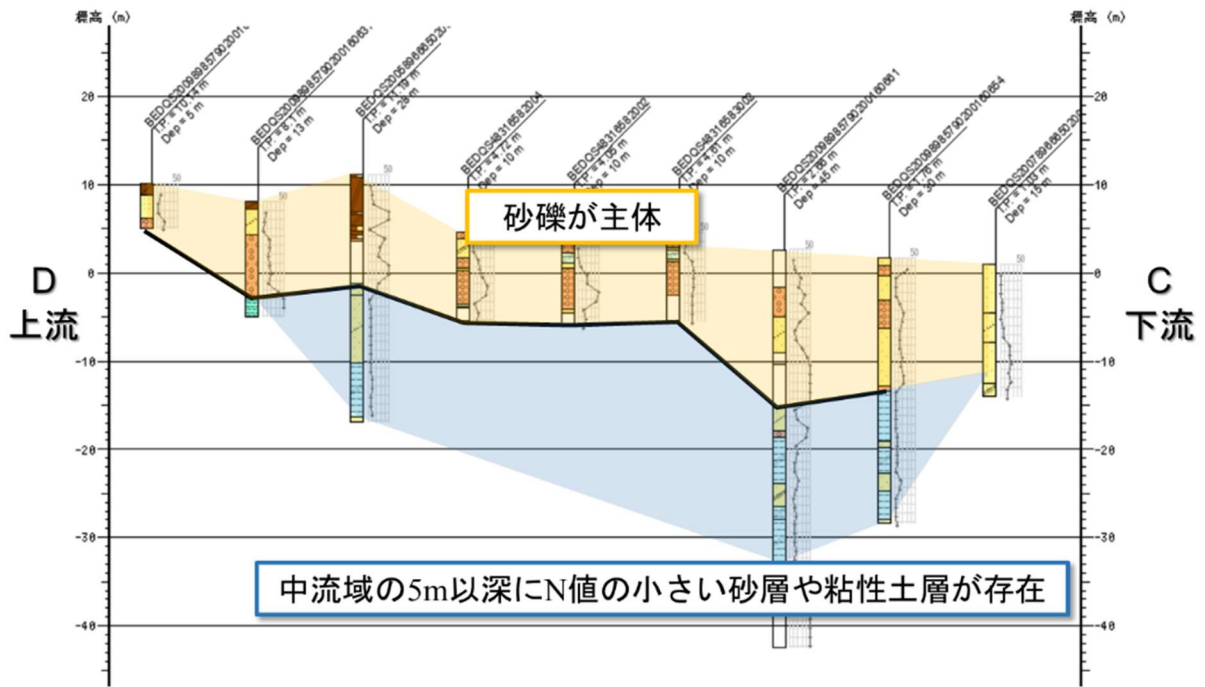


図 2 - 8 - ① - 27 大瀬川の地層縦断面図。



図 2 - 8 - ① - 28 高知県四万十市を流れる後川。

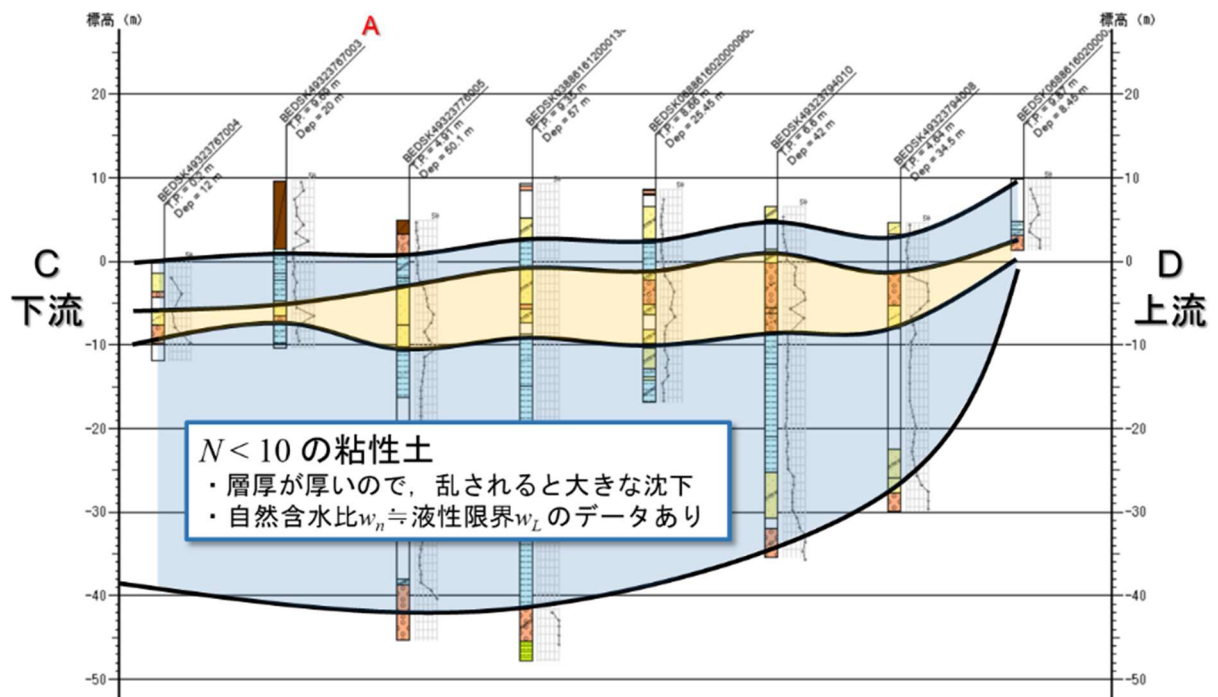


図 2 - 8 - ① - 29 後川の地層縦断面図。

### (c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、津波浸水、軟弱地盤による構造物被害や津波瓦礫堆積によるハザードについて、それらの評価手法の検討とともに、それぞれの被害予測を実施するモデル地区の選定を行った。津波浸水は非線形長波方程式に基づく従来手法、軟弱地盤による構造物の地震応答計算は、水～土連成有限変形解析コードを用いることにした。津波瓦礫堆積評価は、津波による波力と構造物にかかる剪断力や摩擦力等により瓦礫の発生量と集積を計算する方法と 2011 年東北沖地震時の瓦礫発生・堆積の実績情報に基づく簡易評価手法を併用し、用途により使い分けることとした。モデル地区としては、津波浸水計算は香川県坂出市、津波による瓦礫堆積評価は三重県尾鷲市、強震動による構造物脆弱化評価、津波氾濫計算は宮崎県延岡市と高知県四万十市を候補とすることに決定した。

津波による瓦礫発生予測について、建物の倒壊を考慮した方法では尾鷲市に導入している津波即時予測システムの 1506 ケースをもとに、瓦礫を発生させるのは、そのうち 310 ケースであることを示し、2 分間隔で瓦礫の挙動を可視化した。津波瓦礫は、浸水深の浅い場所に集積し、引き波によって尾鷲湾内に瓦礫が流れ込み、河川に沿って流下した瓦礫が湾内の交通を困難させるように封鎖してしまうことを示唆した。

津波瓦礫堆積に関する簡易評価手法についても、尾鷲市において適用した。津波ハザードマップとして広く周知・利用されている津波浸水深分布のみで津波被害を考える場合、浸水境界の近傍では浸水深は浅くなるために、沿岸に比較して安全と思われがちであるが、瓦礫堆積分布を見るとむしろ浸水境界に広く堆積する傾向にあることを定量的に示すことができた。このことは、緊急復旧対応の妨げになることが懸念され、道路啓開上の問題となる。また、浸水境界の市街地においては瓦礫堆積とそれによる津波関連火災による延焼の危険性を定量的に示すことができた。

地震被害予測の多くは、その簡便さから鉛直一次元的な検討や多次元であっても水平成層モデルを用いることが多い。しかし、不整形な地層の場合、実体波の屈折によるレンズ効果、傾斜基端部における表面波の励起や実体波と表面波が特定箇所を示す増幅的干渉（エッジ効果）など、波動伝播が非常に複雑となり、表層地盤の地震被害が局所的に甚大化することが危惧される（Nakai et al., 2017<sup>18)</sup> など）。また、河川堤防の特徴として、延長の非常に長い線状構造物であることが挙げられる。そのため、地震によって堤防の一部でも破堤・越水してしまうと、そこを起点とした広範囲の浸水被害に繋がってしまう。本来、堤防の延長方向に対して最も危険な場所を抽出したうえで、優先的に耐震対策を施していくことが望まれるが、堤防縦断方向に対する耐震性評価は、手つかずのまま放置されているのが現状である。そのため、今後は任意断面の横断面解析に加えて縦断面解析も実施し、地震被害予測に地層不整形性の影響を考慮していくことを試みる。

今後は各モデル地区における諸種のハザード予測を行い、基礎自治体、インフラ業者や地区を代表する民間企業と情報発信検討会を通じて対話を行いながら、地域のニーズに沿ったハザード情報の提供とその対応策を検討していく必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Noda, T, Asaoka, A. and Nakano, M., Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, 48(6), 771-790, 2008.
- 2) 小園 裕司, 高橋 智幸, 桜庭 雅明, 野島 和也, 南海トラフ地震津波を対象とした建物倒壊および災害がれきを考慮した津波被害予測モデルの適用と被害軽減効果の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 巻 (2017) 2 号, 2017.
- 3) 総務省消防庁, 東日本大震災記録集,  
<https://www.fdma.go.jp/disaster/higashinohon/post.html>.  
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/147.pdf>.
- 4) 廣井悠, 山田常圭, 坂本憲昭, 東日本大震災における津波火災の調査概要, 地域安全学会論文集, 18, 161-168, 2012.
- 5) 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.
- 6) Takahashi, N., K. Imai, K. Sueki, R. Obayashi, M. Ishibashi, T. Tanabe, T. Baba, and Y. Kaneda, Real-Time Tsunami Prediction System Based on Seafloor Observatory Data Applied to the Inland Sea, Japan, Marine Technology Society Journal, 52, 3, 120-127, 2018.
- 7) 今井健太郎, 橋本隆司, 澁江枢哲, 増田達男, 津波瓦礫の堆積量とその分布の簡易評価手法に関する検討, 土木学会論文集 B 2 (海岸工学) , 75(2), I\_427-I\_432 , 2019.
- 8) 今井健太郎, 大林涼子, 甲斐芳郎, 行谷佑一, 高橋成実, 直線海岸を有する沿岸地域における木造家建物の津波被害関数の特徴, 日本地震工学会・大会—2016 梗概集, P2-2, CD-ROM, 2016.
- 9) 越村俊一, 行谷佑一, 柳澤英明, 津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, 65, 4, 320-331, 2009.
- 10) 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会,  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>.
- 11) 国土交通省, 国土交通省総合技術開発プロジェクト 循環型社会およ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 報告書, 160-161, <http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/soupuro/0.pdf>.
- 12) 解体工法研究会編, 新・解体工法と積算, 310, 2017.
- 13) ジオステーション, 防災科学研究所, <https://www.geo-stn.bosai.go.jp/index.html>
- 14) National Geo-Information Center, 国土地盤情報センター, <https://ngic.or.jp/>
- 15) 「液状化対策技術検討会議」検討成果、国土交通省、  
<https://www.mlit.go.jp/common/000169750.pdf>, 2011.
- 16) Leonardo Zeevaert, Foundation engineering for difficult subsoil conditions, Van Nostrand Reinhold Company, 521, 1972.
- 17) Mendoza, M. J., Foundation engineering in Mexico City; Behavior of foundations, Proc. of intn'l symp. on geotechnical eng. of soft clay, 2, 351-367, 1987.



- 18) Nakai, K. and Asaoka, A., Numerical extraction of Rayleigh waves and assessment of their influence on liquefaction damage, Proc. of 19th ICSMGE, 1557-1560, 2017.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
堤体基礎の強震動脆弱性が津波漂流物挙動に与える影響（口頭）	今井健太郎, 大林涼子, 柄本邦明, 岩瀬浩之, 中井健太郎	2020年度地震学会秋季大会	2020/10/31	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②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することとした。「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」で実施してきた東海、関西、四国、九州の4つの地域における地域研究会のアンケート結果や研究会席上での議論などを参考に、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津波、内陸地震・支援、産業BCP、複合災害を防災上の特性とし、この4つをテーマとした。各自治体やインフラ企業、地方支分部局、地域の大学などとのこれまでの関係も活用して、情報発信検討会の協力体制を構築しながら、初年度となる令和2年度はその第一回を4テーマ合同で開催した。コロナ禍により、緊急事態宣言が発令され、拠点となる地域で一堂に会した検討会を開催することが困難であったためのものである。

合同の検討会は、4つのテーマの意味と、本プロジェクトの内容と今後の検討会の方針を共有することを目的として、3月12日にオンラインで実施した。サブ課題3の取り組みと4つのテーマの特徴や位置づけ、さらにサブ課題1やサブ課題2との連携に関

して理解が深まった。さらに令和3年度以降の検討会の体制整備が進み、その方向性や今後の具体的な展開が共有される機会となった。

## (b) 業務の成果

サブ課題3では、サブ課題1とサブ課題2からの研究成果を地域や企業に還元することを目的の一つとしている。サブ課題1では、気象庁から発表される南海トラフ地震臨時情報を念頭に、微小地震やゆっくりすべりによる地震活動や地殻変動等、観測データを基にした地殻活動情報や、これらの情報に基づく推移予測情報、過去の津波履歴情報等が提供される。サブ課題2からは、現実的な社会活動を前提とした津波から命を守る施策、愛知県の西三河地域を例とした産業を守る施策、首都機能を守る施策、広域の災害ポテンシャル情報が提供される。これらの情報を各地域や企業などの防災施策に反映させることが情報発信検討会の目的である。これらの情報の提供にあたり、地域の防災上の懸念事項を共有し、また、これらの情報を地域用に加工することが必要となる。この情報の共有を図るプラットフォームとして、サブ課題1でも使用しているクラウドシステムを採用した。

こうした背景から、情報発信検討会の制度設計を確立した。具体的には、サブ課題1、2、3それぞれからの研究成果を、防災上の特性として分類した「津波」、「内陸地震・支援」、「産業BCP」、「複合災害」の4つをテーマに関連付けて、情報提供のあり方を検討する方針とした。今後は分類した特性について次の観点を中心に検討会を実施、議論を深めていく。「津波」については、到達時刻と津波高の情報が防災対策の基本であることが見受けられるが、現実にはさらに複雑な様相を呈することになる。津波の波力が建物を倒壊させ、車両や船舶は漂流し、瓦礫を大量に発生させる。瓦礫は浸水深の浅いところに集積し、時には火災を発生させることになる。この瓦礫の処理は復興の速度に大きく影響する。また、地殻変動で沈降するエリアでは、津波が長期間にわたって滞留し、なかなか排水が進まない長期湛水が発生する。この様なシナリオは発生する地震の規模と場所によって決まる。こういった状況は地域によって大きく異なるが、地域ごとに被災イメージを共有し、サブ課題1と2の成果を使って被害を低減する方法を議論する。「内陸地震・支援」のテーマでは、南海トラフ地震などプレート境界地震発生前後に活発化する内陸の活断層沿いに発生する地震を念頭に、支援の在り方を探る。内陸では津波の被害を受けないため、沿岸部の浸水直後は支援側に回ることになる。一方で、プレート境界地震直後に大きく地殻が変動し、活断層沿いの地震が活発化し、強震動による被害の発生リスクが上がる。支援の立場から被災側に状況が変わることがあり得え、課題のあぶり出しと備えに関する議論を行う。これら議論には、臨時情報が出た際の支援など広域支援、あるいは地域に根ざす支援の意識醸成も重要であることから人材育成の視点も取り入れていく。「産業BCP」では、発災時の産業活動の持続性と早期再開を検討する。地域の早期復興を考えた場合、地域の経済を回すこと、つまり、地域経済を支える企業の活動停止期間を短くすることが重要な課題である。これら課題について、サブ課題2(e)「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」の研究成果を参考に、地域の経済規模に合わせた議論を自治体も交えて行い、情報の水平展開を行う。「複合災害」は、強振動と津波など、前述の「①地域の防災上の課題評価」対象地域を主として防災上の課

題評価につながる検討を行う。さらに対象地域と同様の防災上の課題を持つ他地域なども交えた議論を行い、他地域における課題評価に資する情報共有を行う。

情報発信検討会の対象地域は、静岡県以西の南海トラフ沿いの県と、支援の中心となる府県を中心に、初年度は静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、大阪府、兵庫県、愛媛県、香川県、徳島県、高知県、宮崎県、大分県とした。開催方法は、オンライン参加と会場参加との同時開催とし、開催会場が遠地の場合や移動に時間をかけられない場合でも気軽に参加しやすくすること、併せて対面による濃く深い議論や意見交換が行えるようにした。会場参加は、その時の会場の周辺の組織、あるいは会場参加が可能な組織に集まっただき、プロジェクト側も可能な範囲で会場に伺うことにした。プロジェクト側が各地に出向くことは、見て聞いて感じることにより、それぞれの地域の特色や雰囲気などの理解が進み、研究の推進に大きな力になる。開催地域は、地域側の希望、プロジェクト成果紹介や議論にタイムリーな地域などから総合的に判断することとした。さらに情報発信検討会の会則案を作成した。検討会の内容は原則非公開であること、参加・退会は自由意志であること、会費は徴収しないこと、等が会則のポイントである（図2-8-②-1）。

<p style="text-align: center;">情報発信検討会 会則 (案)</p> <p style="text-align: right;">令和3年〇月〇日制定</p> <p><b>第1章 総則</b></p> <p><b>第1条 (名称)</b> 会の名称を、情報発信検討会（以下「検討会」という。）と称する。</p> <p><b>第2条 (設立経緯)</b> 検討会は、文部科学省科学技術試験研究委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」（全体統括：国立研究開発法人海洋研究開発機構（研究代表者：小平秀一）、研究期間：令和2年度から令和6年度までの5ヵ年）（以下「プロジェクト」という。）のサブ課題3「創成情報発信研究」（研究代表機関：国立研究開発法人防災科学技術研究所（研究代表者：高橋成実））の一環として行われるものである。</p> <p><b>第3条 (目的、テーマ)</b> 検討会では、プロジェクトの学術的な研究、ならびに工学的・社会的な研究と、地震・津波に関する防災・危機管理業務との連携を図り、防災に活用するための情報発信の在り方を探るため、プロジェクト実施者と地域からの参加者との間で意見交換を行い、相互協力を進めるものとする。地域が抱える防災上の課題をテーマに分け、そのテーマごとに検討会を行う。</p> <p><b>第4条 (取り組み)</b> 検討会では、主として以下の取り組みを行う。 (1) プロジェクトの研究成果を共有すること (2) プロジェクトに地域のニーズを反映し、その研究成果の利活用を図ること (3) 想定されている地震・津波被害と事前事後の対策に関する相互理解を深めること (4) 地域の特性や防災対応力に関して実情を共有すること (5) 復旧・復興に際して優先的に取り組むべき事業の検討を進めること</p> <p><b>第5条 (期間)</b> 検討会の活動期間は、プロジェクトの実施期間とする。</p> <p><b>第6条 (代表幹事、テーマ幹事)</b> 検討会には、検討会を代表し取りまとめを行う代表幹事を置く。代表幹事は、防災科学技術研究所・高橋成実が務める。代表幹事は、代表幹事を補佐するテーマ幹事を指名することができる。</p> <p><b>第7条 (事務局)</b> 検討会の事務局は、プロジェクト企画機関が務める。事務局は、以下の役割を担う。</p>	<p>(1) 参加者への連絡・案内等、検討会の活動に関する各種調整 (2) 参加者の意見・要望等の取りまとめ等、検討会の運営に関すること</p> <p><b>第2章 参加</b></p> <p><b>第8条 (参加者)</b> 検討会への参加者は、地震・津波災害発生時に重要な役割を果たし、かつこの検討会の趣旨に賛同する者とする。</p> <p><b>第9条 (オブザーバー参加者)</b> 検討会の趣旨に賛同する者のオブザーバー参加も可とする。オブザーバー参加者も検討会において発言することが出来るものとする。</p> <p><b>第10条 (会費)</b> 検討会の会費は徴収しない。</p> <p><b>第11条 (退会)</b> 参加者は、自由意思に基づき、検討会を退会することができる。退会の際には、事務局にその旨を連絡するものとする。</p> <p><b>第12条 (情報の取り扱い)</b> 検討会の資料、取り交わされた意見・見解等は、原則非公開とする。ただし、当事者の了解を得たものについては、この限りではない。</p> <p><b>第3章 開催</b></p> <p><b>第13条 (開催頻度)</b> 検討会は各テーマとも、年間2回開催することを原則とする。</p> <p><b>第14条 (開催地)</b> 検討会は、各テーマの拠点となる地域よりオンライン開催する。遠地の場合など、開催地域への移動が難しい場合はオンライン参加を可とする。具体的な開催地域は、地域の状況や意向等も踏まえて決定する。</p> <p><b>第15条 (分科会)</b> 個別事案について幅広い意見・要望等を集約する目的で、必要に応じて分科会を開催することができる。</p> <p><b>第4章 改定</b></p> <p><b>第16条 (改定)</b> この会則は、参加者の意見等を踏まえて検討会において改定することができる。</p>
--	---

図2-8-②-1 情報発信検討会 会則案

令和2年度の情報発信検討会は、結果的にコロナ禍の状況を睨みながらの開催とせざるを得なくなった。前述の制度設計や「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」地域研究会に参画いただいていた自治体の危機管理部門等との意見交換をパイロット的に行った上で、新しく発足した本プロジェクトの紹介と4つのテーマの方向性をお知

らせすることを目的に4つのテーマ合同の情報発信検討会をオンラインのみで3月12日(金)に開催した(表2-8-②-1)。開催案内は対象地域である府県の自治体とインフラ企業、管轄する地方整備局や气象台、地域の拠点大学、関心を持つ企業などに送り、当日はプロジェクト側研究者も含め59名/組織に出席いただいた。地域側からは、府県や基礎自治体の危機管理部門、インフラ企業、地方支分部局、地域の防災研究の拠点大学が主な参加組織であった。

今回の情報発信検討会の4つのテーマに関するプロジェクト側からの話題提供は表2-8-②-1のとおりである。プロジェクトの全体概要とサブ課題3概要、ならびに「津波」に関して防災科学技術研究所の高橋成実副本部長が紹介した。プロジェクト全体については、地震・地殻活動を即時的に把握するシステムを構築する理学的な研究のサブ課題1、命と社会を守る総合的な研究を行うサブ課題2、情報発信の在り方を検証するサブ課題3の3つの課題があり、この情報発信検討会はサブ課題3に含まれることが紹介された。さらにサブ課題3は情報発信検討会も含め主に3つの取り組みで構成され、地域の防災上の課題を評価すること、情報リテラシー向上を行うこと、そしてこの情報発信検討会を行うことが紹介された。「津波」をテーマにした検討会では今後議論することとして、サブ課題3で実施する取り組みである地域の津波特性に応じた情報の共有と課題の抽出、発災前のハザード情報の高度化や精緻化とそれらの更新、発災後の被災状況、瓦礫や津波延焼評価が紹介された。参加者からは航路啓開に関して水面下を漂う瓦礫評価に関する質問が出るなど、本プロジェクトで目指す最新の研究へ期待が示された。また、瓦礫発生と漂着先の評価は、土地利用にもつながることで、地域の復興を早める手段となる可能性が示された。

「内陸地震・支援」に関しては香川大学の金田義行副機構長/センター長が紹介した。東日本大震災からちょうど10年となるタイミングであり、その教訓を生かすことがすべての取り組みの前提条件であると冒頭で触れた。続いて、日本の最近の地震活動について、広域で震度4程度以上の揺れを伴う内陸の地震も多いこと、過去の南海トラフ地震でもその前後に内陸の地震があったこと、さらに、日向灘の過去の地震と震源も紹介した。内陸地震のリスクがあり、しかし南海トラフ地震が起きた際はその支援の中心となる地域に存在する懸案の提起も行った。支援する地域同士、あるいは応援受援の地域連携の重要性を、根幹となる人材育成と絡めて紹介した。人材育成の例としてこのサブ課題3で取り組んでいる情報リテラシー向上のアンケート調査の分析結果にも触れた。DONET(地震・津波観測監視システム)や構築中のN-net(南海トラフ海底地震津波観測網)の活用、南海トラフ地震臨時情報が出た際の対応なども支援の視点で紹介した。アンケート調査について、教育現場に籍を置く方からその内容の分析と今後の考え方への助言があった。地域の支援には人材育成や教育も含めて取り組むとよい旨のコメントもあった。

「産業BCP」は名古屋大学の平山修久准教授から紹介された。「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」において愛知県の西三河地方で構築した地域リスク評価システムの要素や思考を踏まえ、南海トラフ地震臨時情報が発令されたときに地震への備えをしつつも産業を維持させ仕組みや考え方、あるいは発災した後にいかに迅速に復旧復興させるか等、サブ課題2で実施する内容が紹介の中心であった。さらに、この情報発信検

討会でそれを地域にどの様に広めていくかも紹介された。また、COVID-19 がライフラインや人流、経済活動にどのように影響を及ぼしているか、その分析結果も参考として取り入れ南海トラフ地震の産業 BCP の普及や進化を進める取り組みも紹介された。企業側から本音を言い合える機会の構築と、それを俗人的でないスタイルで継続する重要性についてコメントがあった。さらに南海トラフ地震の行動計画を作っていく過程のローリングでこうした機会が非常に参考になるというコメントもあった。また、このプロジェクトで実施している災害が起きる前の情報を企業に展開し、他のプロジェクトと共有することへの期待が示された。

「複合災害」について海洋研究開発機構の今井健太郎副主任研究員が紹介した。このテーマにおいて実施する検討内容として「堤体基礎の地震動脆弱性が津波氾濫解析に与える影響に関する検討」と「津波瓦礫の堆積量とその分布の簡易推定手法に関する検討」を挙げた。前者は堤体基礎部の脆弱性が津波ハザードにあたえる影響をモデル地区で定量的に評価したもので、プレジャーボート等の漂流物の評価も含まれている。後者は津波火災の出火と延焼の引き金となる津波瓦礫に焦点を当て、津波瓦礫の堆積に関わる影響因子の検討をおこない、津波瓦礫の堆積量の簡易的な評価手法構築を試みるものである。複合災害として堤体の耐力を定量評価して、それらを考慮した津波浸水予測、瓦礫やプレジャーボートなどの漂流物の評価、さらに瓦礫などの漂流物に焦点を当てて津波火災の簡易評価手法の検討を始めている。今後、このテーマの検討会では、これらの要素も含めた複合災害について議論をしていくことを紹介した。

その後の総合討論とまとめの枠では、このサブ課題 3 のアンケート結果だけでなく、他の機会でのアンケートでも南海トラフ地震臨時情報の認知度があまり上がっていないとコメントがあった。さらに、認知度向上とプロジェクトへのかかわりを検討したいというコメントや臨時情報の認知度が上がることで推移予測への考え方も良い方向への変化が期待できるといったコメントがあった。さらに、認知度向上のための手法に関する議論もこの検討会に期待したいといったコメントもあった。検討会後にいくつかの自治体と個別に意見交換をしたところ、どの自治体も好意的かつプロジェクト成果や情報発信検討会への期待の声が聞かれた。今回のキックオフの検討会で紹介した 4 つのテーマについて、資料や今後の事務局等との意見交換から参画テーマを検討するという自治体もあった。

今後の展開としては、コロナの状況を睨みながらとなるものの、各テーマとも年二回、会場参加とオンライン参加の併用でこの情報発信検討会を開催したい。前述のとおり、地域に出向いて直接話すこと、直接現地の様子を感じることは、情報発信検討会だけでなくプロジェクトの研究を推進する上で、地域に使っていただける成果を出し、地域に寄り添った連携のために極めて有益である。初年度は結果的に 4 テーマ合同となったが、他の地域の参画予定組織や各テーマの内容をテーマ間の繋がりも含めて知ることができ、出席者にとってメリットも多かったようだ。「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の地域研究会は、地域で区切っていたので、地域内の地理的な特性や抱える防災上の課題などから、場合によっては若干ギャップを感じてしまう部分もあったようだが、本プロジェクトの情報発信検討会は、地域の括りではなく、抱える共通の課題がテーマとなっているので、そうしたギャップを感じることもあまりなく、より活発な議論

が期待される。もちろん、共通の課題がテーマではあるもののプロジェクト側が地域の視点を希薄にせず、また、最新の研究成果の押し付けにならないようにしなければならない。さらに研究の進捗やニーズに合わせたテーマの再編や見直しも念頭に入れながら丁寧に対応していくことは言うまでもない。丁寧な対応としては、例えば常に地域側との対話や意見交換を継続していくことは重要だ。検討会以外にも必要に応じて分科会的な少し特定の地域に特化した会の開催も有効であろう。かしこまらずにプロジェクト側から積極的に現地に出向き、出向くことが難しければオンライン会議を積極的に活用したい。

表 2-8-②-1 令和 2 年度情報発信検討会 次第

令和 2 年度情報発信検討会	
日時	令和 3 年 3 月 12 日 (金) 13 : 00 ~ 16 : 00
形式	オンライン開催 (Zoom)
議題など	
<p>プロジェクト概要とサブ課題 3 「創成情報発信研究」の紹介            国立研究開発法人防災科学技術研究所            南海トラフ海底地震津波観測網推進本部            副本部長 高橋成実            スライドタイトル：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            サブテーマ 3 創成情報発信研究</p>	
<p>「津波」に関する取り組みの紹介            同上 高橋成実            スライドタイトル：津波</p>	
<p>「内陸地震・支援」に関する取り組みの紹介            国立大学法人香川大学            四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構            地域強靱化研究センター            副機構長／センター長 金田義行            スライドタイトル：内陸地震と支援 — 南海トラフ巨大地震と地域連携—</p>	
<p>「産業 BCP」に関する取り組み紹介            国立大学法人東海国立大学機構            名古屋大学減災連携研究センター            准教授 平山修久            スライドタイトル：発災時の企業の事業活動停止を防ぐ、企業 BCP</p>	
<p>「複合災害」に関する取り組み紹介            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            副主任研究員 今井健太郎            スライドタイトル：「複合災害」に関する取り組み</p>	
総合討論、まとめ など	



図 2-8-②-2 オンライン開催中の情報発信検討会の様子  
 左上：高橋成実、右上：金田義行、左中：平山修久、右中：今井健太郎、  
 下：オンライン上で画面共有されたスライド一覧。

(c) 結論ならびに今後の課題

防災上の特性を踏まえて分類した4つのテーマ、「津波」、「内陸地震・支援」、「産業BCP」、「複合災害」について合同でキックオフ的な情報発信検討会をオンライン開催した。コロナの影響を睨みながら制度設計や地域側との調整を行い、検討会では4つのテーマについて当面の方向性を紹介し、地域側関係者の関心や期待する部分に応えることができた。プロジェクト側としても地域側関係者へ南海トラフ地震臨時情報を意識した情報発信検討会であることを紹介でき、地域側関係者が情報発信検討会はもちろんのこと、サブ課題3の他の取り組みである地域の防災上の課題評価や情報リテラシー向上、さらにはサブ課題2、サブ課題1との連携を意識していただけたことは評価できる。

今後の課題としては、その内容が専門的になり過ぎないこと、説明などの際は分かりやすい内容とすることを意識的に心掛けなければならない。また、共通の課題をテーマとしながらも地域性の意識も忘れてはならない。そして、地域側の要望やその時々の研究進捗と社会の動向を敏感に察知して検討会の実施内容等を柔軟かつタイムリーに修正することを怠らないようにしなければならない。もちろん、情報発信検討会以外の機

会でも丁寧な対応によって地域防災に最も大切な良好な関係の構築を継続・深化させていく。

(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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③情報リテラシー向上

(a) 業務の要約

サブ課題3では、本プロジェクトによる研究成果が地域や企業の防災対策や施策に利用され災害情報に関する発信側、受信側の相互の立場から、情報を正しく理解する情報リテラシーの向上を図り、災害前、災害時ならびに災害後のそれぞれの状況下で正しい行動を促すことを目的とする。公開されている各県の県民意識調査の結果を見ると、南海トラフ地震について知識はあっても行動力につながっていないことがわかった。このことから、知識、経験、判断力、行動力、未来志向をキーワードとして、災害対応評価システムとして設計し、アンケート形式の調査を行うこととした。対象は、特定多数とし、現在の地域防災を担う子育て世代から年配世代と将来の地域防災を担う小中高校生とした。上記5つの項目に、浸水域や震度階、高齢化などの居住地域の社会情勢を背景として整理する設計とした。設問として、各項目10問を試作し、試験的に香川県と高知県の小学校において調査を実施、その結果を分析した。

(b) 業務の成果

まず、事前の準備として、アンケート調査の定点観測の対象を検討した。現在の防災を支える自主防災組織を念頭においた30-40代以降、様々な情報を蓄積しつつある20代、次世代の地域防災を担う10代を念頭に、それぞれ各種自治体や福祉協議会、消防、商工会議所、大学、高等学校、中学校、小学校などに協力をお願いし、賛同が得られた



ところで実施することとした。防災講演などの取り組みは、一時的には防災力の向上につながるが、しばらくたつと、その効果が薄れてくることが考えられるため、プロジェクト終了まで定点調査を行う。研究対象者が属する組織の長の求めに応じ講義とセットで行い、講義の効果と、効果の継続性を検証する。

定点観測は、教育委員会や学校の先生方の協力が不可欠であるが、まず、香川県高松市、高知県高知市、宮崎県延岡市との協議を開始した。高松市と高知市との協議が進み、今年度は、この2つの市の小学校中学年を対象に行ってみることとした。大学や行政、企業、地域コミュニティは令和3年度から実施することを目指す。この調査は、セミナー前後を一組として原則として年2回実施する方針とした。

アンケート調査の内容として、中村・川村(2004)<sup>1)</sup>や元吉(2019)<sup>2)</sup>による、防災行動につなげるための因子分析解析の結果を参考に、知識、経験、判断力、行動力、未来志向の5つの要素を念頭に、アンケート調査を行うこととした(表2-8-③-1)。上記5つの項目は、南海トラフ全域に共通な質問、地域特性を有する質問、一定の業種に向けた質問から構成される。例えば、社会福祉協議会向けの調査項目としては、看護師による患者への対応と同質であると考え、看護師の問題解決行動自己評価尺度の因子<sup>3)</sup>を参考にし、項目案を検討した(表2-8-③-2)。同時に島崎・尾関(2017)<sup>4)</sup>による防災意識尺度(図2-8-③-1、図2-8-③-2)も行うことで、既存の調査との相関を確認し、調査の有効性を検証する。この尺度は簡単に自己採点できるように設計されており、オンラインで公開されている。設問の量は、5つの要素それぞれ10問程度とする。この調査は不確定多数ではなく、特定多数を念頭に置いているが、南海トラフ沿岸周辺において、いくつかの世代、いくつかの業種に絞って調査する。なお、このアンケート調査は、想定されている想定震度、津波浸水深との相関、男女差を含めた仕事内容との相関を確認するため、研究対象者の居住地域名や性別の記載を求めるが、無記名であり、個人を特定するには至らない。

アンケート調査は、協力頂く組織の環境に合わせて実施する方針とした。調査の利便性と効率性を考えて、オンラインでの調査が可能になるようにeコミュニケーション・システムを利用することとした。アンケートソフト LimeSurvey にてアンケートを構築した(図2-8-③-3)。アンケート調査項目、社会福祉協議会職員向け項目、防災意識尺度、および前述している既存の県民意識調査の設問項目をそれぞれ独立したアンケートとして入力し、各設問を相互乗り入れできるように設定を行った。動作実験として実際に関係者にてアンケートを実施し、動作を確認した(図2-8-③-4)。動作実験によるデモデータを利用して統計結果をグラフ化し、設問ごとに分析しやすいグラフの種類検討を行った(図2-8-③-5)。またこの結果を、防災科学技術研究所が開発した情報共有 Web ツールである e コミュニケーション・システムを利用し、情報発信と閲覧が関係者間で可能となるようにデータベース相互利用ができるように設計検討を開始した。

表 2-8-③-1 アンケート調査項目一例

知識	経験	判断力	行動力	未来志向
震度とマグニチュードの違いを知っている	自分たちも地震や津波の被害を受ける可能性を考えたことがある。	自分の住んでいる地域はこれまで地震や津波の被害がないので安心だ	学校や職場で委員やリーダーの経験がある。	将来の夢を持っている
津波を知っている	学校での防災授業を受けたことがある。	あなたの市町の沿岸部にいたところ、5 分間以上強い揺れを感じたので津波が心配だ	普段の生活で積極的に発言や行動している	夢を実現するためいろいろな勉強や練習をしている
南海トラフ地震を知っている	家族や友人と地震や津波について話しあったことがある	あなたの市町の沿岸部にいたところ、5 分間以上強い揺れを感じたので液状化が心配だ	先生や友人と相談やいろいろな話をするができる	南海トラフ地震の後に住んでいる地域を復興させたい
南海トラフ地震が発生したら津波が襲来することを知っている	地震や津波、台風、豪雨、土砂災害などの被災の経験がある。	津波警報が発表されたので、とにかく高台に逃げる	防災訓練の時に周りの人に声掛けをすることができる	地域を復興させるためにどのようなことをするか考えたことがある。
南海トラフ地震により自分の地域に被害が出るかどうか知っている	ハザードマップを見たことがある	津波警報が発表されたので、揺れが収まるのを待って高台に逃げる	防災のための「まちあるき」をしたことがある。	これからの社会（デジタル化、温暖化など）を考えたことがある
自宅周辺の南海トラフ地震の最大震度知っている	地域の防災訓練に参加している	津波注意報が発表されたが 1メートル以下だから安心だ	困っている人を見たら声をかけるか手伝うことができる	自分たちが日本や世界の未来を創ると思っている
...	...	...	...	...

表 2-8-③-2 社会福祉協議会向けアンケート調査項目一例

問題解決のための情報収集と査定を繰り返す
[Q56] 問 56 観察した情報と住民・被災者の訴えを照らし合わせている
[Q57] 問 57 援助しながら住民・被災者の表情や全身状態を観察している
[Q58] 問 58 記録や申し送りにより把握した情報と観察した情報を照らし合わせている
[Q59] 問 59 収集した情報から住民・被災者に必要な援助を選択している
[Q60] 問 60 住民・被災者の訴えに耳を傾け問題を見極めている
円滑に問題を解決するために他部署(土木部や保健福祉部など)のチームメンバーと協働する
[Q61] 問 61 援助を決定するためにメンバーと意見交換している
[Q62] 問 62 メンバーの意見を取り入れて援助を検討している
[Q63] 問 63 住民・被災者の問題に関する情報をメンバーと共有している
[Q64] 問 64 メンバーと声をかけあって連携を図っている
[Q65] 問 65 住民・被災者の苦痛を最小限にとどめるためにメンバーに支援を要請している
住民・被災者が拒絶する援助を受け入れられるよう説得する
[Q66] 問 66 拒絶された援助の効果を住民・被災者にわかりやすく説明している
[Q67] 問 67 科学的根拠を示しながら拒絶された援助の必要性を説明している
[Q68] 問 68 援助を拒絶する住民・被災者の心情に配慮しながら必要な情報を提供している
[Q69] 問 69 身振り、手振りなども用いて拒絶された援助の必要性を伝えている
[Q70] 問 70 住民・被災者が援助を拒絶する理由を確認している
個別状況に応じて援助を工夫する
[Q71] 問 71 援助しながら住民・被災者の個別状況を見極めている
[Q72] 問 72 援助しながら住民・被災者の個別状況に応じて援助方法を変更している
[Q73] 問 73 援助の原則と応用を意識して使い分けている
[Q74] 問 74 使用目的が異なる物品やルールでも住民・被災者の個別状況に合わせて使用している
[Q75] 問 75 所属する専門領域以外の知識も活用して援助を提案している
援助の効果を判定して支援する
[Q76] 問 76 予測していた援助の効果と実際の効果を比較している
[Q77] 問 77 援助の効果を判定するために住民・被災者の訴えと観察した情報を照らし合わせている
[Q78] 問 78 援助の効果を住民・被災者に確認している
[Q79] 問 79 他の援助が必要かどうかを検討しながら援助している
[Q80] 問 80 援助の効果が得られない原因を検討している
問題解決に向け住民・被災者の意向を確認する
[Q81] 問 81 住民・被災者の意向を確認して援助を決定している
[Q82] 問 82 家族・親族の意向もふまえて援助を決定している
[Q83] 問 83 住民・被災者や家族・親族の意向を尊重した援助を提案している
[Q84] 問 84 住民・被災者が選択できるように複数の援助を提案している
[Q85] 問 85 住民・被災者が応急対応や援助の必要性を理解しているかどうか確認している
問題の優先順位を見極め住民・被災者の要望に柔軟に応じる
[Q86] 問 86 情報収集を継続して問題の優先順位を変更している
[Q87] 問 87 問題の優先順位を考慮して住民・被災者の要望を満たせる方法を提案している
[Q88] 問 88 問題の優先順位を考慮して住民・被災者の要望にできる限り応じている
[Q89] 問 89 住民・被災者の要望を満たすことによる心身への影響を検討している
[Q90] 問 90 収集した情報を統合して問題の優先順位を決定している
住民・被災者自身が問題を解決できるよう支援する
[Q91] 問 91 住民・被災者の意欲を高められるように励ましている
[Q92] 問 92 住民・被災者にあった解決方法を一緒に検討している
[Q93] 問 93 住民・被災者が問題に取り組む姿勢に関心を示している
[Q94] 問 94 住民・被災者のペースを乱さないようタイミングを見計らって助言している
[Q95] 問 95 住民・被災者ができたことを認めている
応急対応や援助によって生じやすい問題の発生を未然に防ぐ
[Q96] 問 96 援助の間に住民・被災者が安心できるよう言葉をかけている
[Q97] 問 97 援助後も住民・被災者に異変が生じていないかどうか観察している
[Q98] 問 98 援助の前に住民・被災者の全身状態を正確に把握している
[Q99] 問 99 援助によって問題が発生しないよう手技を工夫している
[Q100] 問 100 応急対応や援助が住民・被災者に及ぼす影響を予測している

# 防災意識尺度

ver20180115D

以下の文章はあなた自身の考えにどのくらい当てはまりますか？  
右の選択肢から最も近いものを選んで数字に○をつけてください

あてはまらない	まったく	あてはまらない	ほとんど	どちらかというと	あてはまる	かなり	あてはまる	とてもよく
---------	------	---------	------	----------	-------	-----	-------	-------

○をつけた数字を□に記入して下さい  
記入したら縦方向に合計して下さい  
Dスコア・総合点を式に従って計算し、  
計算が終わったら裏返して下さい

1	災害発生時に人々がどのような行動を取るか具体的なイメージがある	1	2	3	4	5	6	→	□
2	自分の利益にならないことはやりたくない	1	2	3	4	5	6	→	□
3	災害発生時に必要となる物資の具体的なイメージがある	1	2	3	4	5	6	→	□
4	色々な友達をたくさんつくりたい	1	2	3	4	5	6	→	□
5	災害発生時に町がどうなるか具体的なイメージがある	1	2	3	4	5	6	→	□
6	ひとたび災害が起きれば大変なことになると思う	1	2	3	4	5	6	→	□
7	自分は心配性だと思う	1	2	3	4	5	6	→	□
8	不安を感じる事が多い	1	2	3	4	5	6	→	□
9	自分の身近なところで起きそうなことだけ考える	1	2	3	4	5	6	→	□
10	災害のことを考え始めると、様々なパターンの被害を妄想してしまう	1	2	3	4	5	6	→	□
11	普段は災害のことは考えない	1	2	3	4	5	6	→	□
12	災害は明日来てもおかしくない	1	2	3	4	5	6	→	□
13	個人の努力だけで災害の被害を減らすことは難しいと思う	1	2	3	4	5	6	→	□
14	身の周りの危険をいつも気にしている	1	2	3	4	5	6	→	□
15	災害対策は耐震補強や防波堤の整備など物理的なものだけで十分だと思う	1	2	3	4	5	6	→	□
16	人とコミュニケーションを取るのが好きだ	1	2	3	4	5	6	→	□
17	防災は自分の地域だけでなく他の地域との連携も必要だと思う	1	2	3	4	5	6	→	□
18	人が集まる場所が好きだ	1	2	3	4	5	6	→	□
19	災害発生時に自分がどのような対応をすればよいか具体的なイメージがある	1	2	3	4	5	6	→	□
20	他の人のために何かしたいと思う	1	2	3	4	5	6	→	□

Aスコア □ Bスコア □ Cスコア □ Dスコア □ Eスコア □  
 28 - □ = □  
 A + B + C + D + E = □

➤ 「防災意識尺度」は、皆さまの防災意識が平均的な人に比べてどの程度かを定量的に測る「モノサシ」として、防災科研の島崎敦と東京国際大学の尾関美喜が共同開発したものです  
 ➤ どなたでも自由にご利用いただけますが、利用実績把握のためにご一報いただけますと幸いです  
 問い合わせ・感想などは(国研)防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門 risk\_office@マークbosai.go.jpまで  
 関連文献： Ozeki, M., Shimazaki, K. & Yli, T. 2017, Exploring elements of Anti-disaster Consciousness: Based on Interviews with Anti-disaster Professionals, Journal of Disaster Research, 12(3), 631-638.  
 島崎敦・尾関美喜 2017/9 防災意識尺度の作成(1), 日本心理学会第81回大会発表論文集, 69.

図 2-8-③-1 防災意識尺度印刷用シート① (出典：防災科学技術研究所)。

測ってみよう あなたの「防災意識」

記入が終わったら開いて下さい

表面のスコアを見て○をつけてみよう

期間をおいて変化を見てみよう

名前 \_\_\_\_\_ 記入日 年 月 日

低い 偏差値 高い

A 被災状況の想像力	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
B 災害の危機感	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
C 他者指向性	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D 災害に対する関心	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
E 不安	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
総合点	.....																				

行：行政職員平均値 主：主婦平均値 学：学生平均値 研：防災リーダー平均値 熊：熊本地震被災者平均値(2017/2時点)  
 下から0.1% 下から2.3% 下から15.9% 平均値 上から15.9% 上から2.3% 上から0.1%  
 MARCH級 早慶上智級 東大理3級

**A:被災状況に対する想像力**  
災害が起きたらどんなことが起きるか、何が必要か、何をすることを想像する力です。これが低い人は、災害のことを調べる、被災者の話を聞くなどして災害を知り、想像力を養いましょう

**B:災害に対する危機感**  
災害をどのくらい深刻に捉えているか、現状ではまずいと思っているかを表しています。これが低い人は、災害は明日来てもおかしくないことを再認識し危機感を持ちましょう

**C:他者指向性**  
社会や人のために何かをしようと思う心です。災害は地域の人がみんなで協力しなければ乗り切れません。これが低い人は共助の大切さを再認識し、他人のことも考えるようにしましょう

**D:災害に対する関心**  
災害に興味を持ち、災害を自分のこととして捉えている程度です。これが低い人は災害に無関心です。まずは災害を自分の問題として捉え、防災のために自分は何をするかを考えましょう

**E:不安**  
災害のことを心配している度合いです。不安は災害に対する備えの原動力にもなりますが、A～Dと違って、高すぎてもよくないことに注意が必要です。適度な心配を心がけましょう

**総合点**  
あなたの「防災意識」の全体的な水準を表しています。自分の防災意識が他の人と比べて高いか低いかを知り、低かった人は今よりも災害や防災のことを考えてみる機会を増やしましょう

この用紙はダウンロードもできます

QRコード

防災意識尺度 検索

偏差値とは、平均値を50、標準偏差を10に変換した値です。例えば、偏差値60とは平均よりも標準偏差1つ高い値であることを示しています。この尺度の偏差値は全国から無作為に抽出した618名分の回答値の平均値と標準偏差から算出されています

図 2-8-③-2 防災意識尺度印刷用シート② (出典：防災科学技術研究所)。

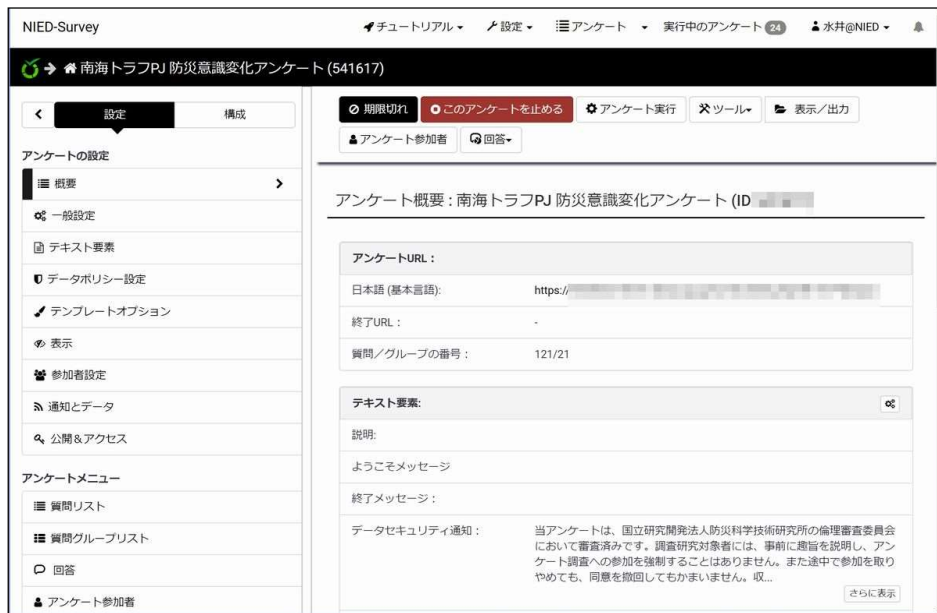


図 2 - 8 - ③ - 3 LimeSurvey 管理画面。

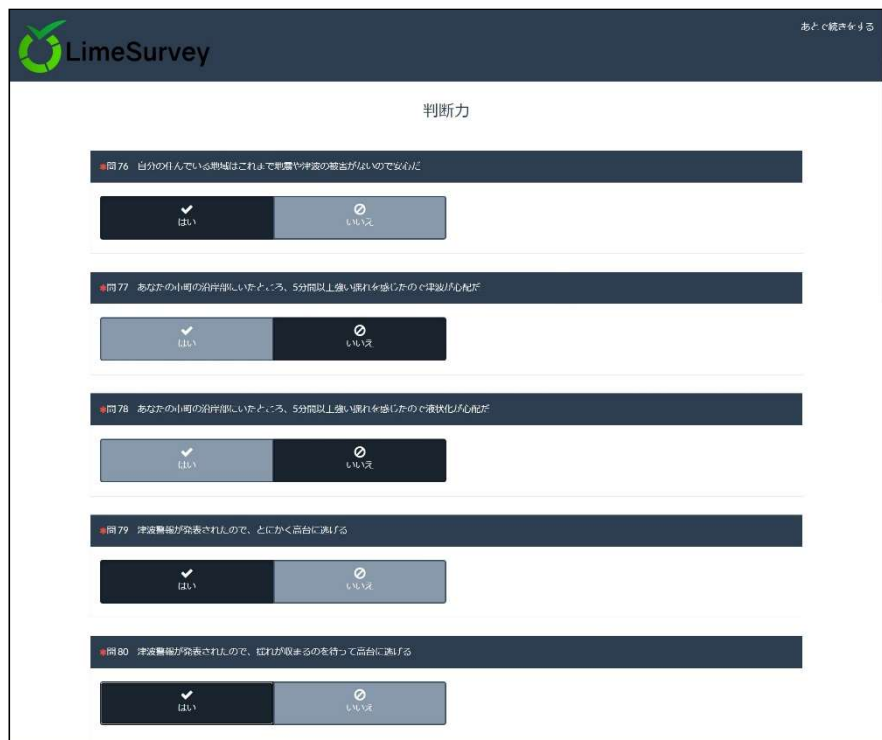


図 2 - 8 - ③ - 4 アンケート調査画面例。

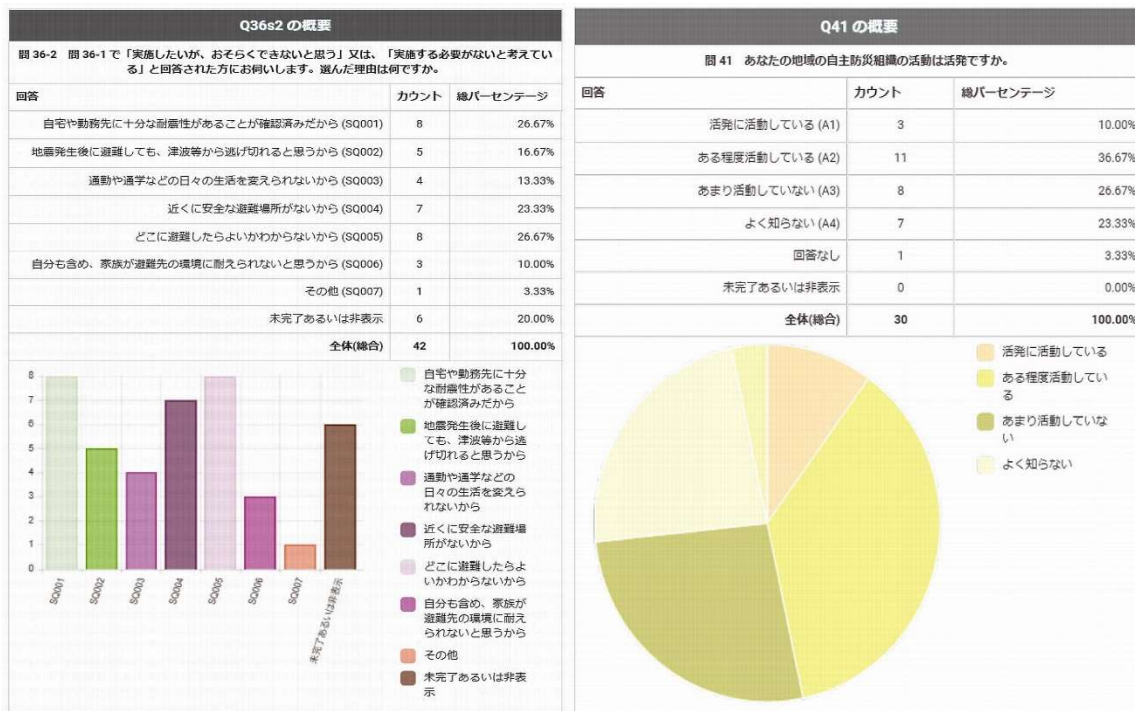


図 2-8-③-5 可視化のためのグラフ種別検討 (PDF で出力)。

また、アンケートに先立ち、各県の防災に対する意識の傾向を把握するため、各県から公開されている県民意識調査の結果を分析した。南海トラフ巨大地震で被害を受ける可能性が高い静岡県<sup>5)</sup>、愛知県<sup>6)</sup>、三重県<sup>7)</sup>、和歌山県<sup>8)</sup>、兵庫県<sup>9)</sup>、徳島県<sup>10)</sup>、高知県<sup>11)</sup>、宮崎県<sup>12)</sup>、鹿児島県の9県を調査の対象とした。鹿児島県のホームページには対応する資料が見つけれなかったが、その他の自治体ではホームページで一般公開されている最新関連資料を収集できた(表2-8-③-3)。これらのアンケートの設問を内容別に分類するとともに、複数の自治体で共通に見られる設問についてはアンケートの回答結果を比較した。さらに、徳島県と和歌山県については、津波襲来の危険性の高い沿岸部とそうでない内陸部の回答結果も比較した。また、自治体の住民に対するアンケートは、アンケートへの回答を通じて住民に気づきを与える役割もある(たとえば、耐震診断に関する設問が住民に耐震診断の必要性を気づかせる)。そこで、自治体を実施すべき住民に対する防災知識の普及項目をまとめた「地域の災害レジリエンス評価に関する研究最終報告書<sup>13)</sup>」の「(3) 広報コミュニケーション評価項目[4]住民等に対する防災知識の普及内容」で示された各項目に対して、自治体アンケートの設問がそれらのどれにあたるか分類し、県ごとに設問の網羅性の確認を行った。

表 2 - 8 - ③ - 3 調査資料一覧

県名	資料名 (Nはアンケート有効回答数)	担当部署	URL
静岡県	令和元年度 南海トラフ地震についての県民意識調査 (N=1073)	危機管理部 危機情報課	<a href="http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/toukei_kenmin/index.html">http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/toukei_kenmin/index.html</a>
愛知県	令和元年度 防災（地震）に関する意識調査結果のあらまし (N=1516)	防災安全局 防災危機管理課 啓発グループ	<a href="https://www.pref.aichi.jp/soshiki/bosai/r1kekka.html">https://www.pref.aichi.jp/soshiki/bosai/r1kekka.html</a>
三重県	令和元年度 防災に関する県民意識調査報告書 (N=2535)	防災対策部 防災企画・地域支援課	<a href="https://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/88730000001.htm">https://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/88730000001.htm</a>
和歌山県	令和元年度 防災・減災に関する県民意識調査 調査報告書 (N=2073)	総務部 危機管理局 防災企画課	<a href="https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/g00202760.html">https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/g00202760.html</a>
兵庫県	令和元年度 第4回県民モニターアンケート調査結果 (N=1826)	企画県民部知事公室広聴課	<a href="https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk04/r1monitor_4_ekka.html">https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk04/r1monitor_4_ekka.html</a>
徳島県	平成30年度徳島県地震・津波県民意識調査（全県調査） (N=2200)	危機管理部 とくしまゼロ作戦課	<a href="https://anshin.pref.tokushima.jp/zokusei/tokei/">https://anshin.pref.tokushima.jp/zokusei/tokei/</a>
高知県	平成30年度地震・津波県民意識調査 報告書 (N=1898)	危機管理部南海トラフ地震対策課	<a href="https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/h30kenminishikichosa.html">https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/h30kenminishikichosa.html</a>
宮崎県	平成30年度 津波避難等に関する県民意識調査結果 報告書 (N=2569)	総務部危機管理局危機管理課南海トラフ・大規模災害対策担当	<a href="https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikanri/kurashi/bosai/20190123112018.html">https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikanri/kurashi/bosai/20190123112018.html</a>
鹿児島県	なし		

アンケートの内容から、設問を次の8つの項目で分類した。それらは①属性（個人・家族構成等）、②住宅の耐震性・保険等の防災・対策への関心、③地域の防災ネットワークへの関心、④地震・津波そのものへの関心、⑤具体的な避難行動・判断等、⑥県の活動の宣伝・お知らせ、⑦地域別の特徴的な設問、⑧その他、自由記述等である。分類後の設問数を図2-8-③-6のグラフに示す。アンケートでよく問われている設問は、①属性を除いて、②住宅の耐震性・保険等の防災・対策への関心が多く、その次に⑤具体的な避難行動・判断等について、③地域の防災ネットワークについての関心と続いていく。このように、被害軽減に直結すると思われる設問が比較的多かった。

今回調査したアンケート調査では、各県で家具の固定や、耐震診断の実施、防災訓練への参加の有無など共通して問われている設問がいくつかある。これらの共通の設問において、多くの設問では住民の回答の傾向に自治体間で違いはなかった。しかし、数は少ないものの、いくつかの設問の回答に違いがみられた（図2-8-③-7～10）。図2-8-③-7～10は、家具・家電の固定、食料備蓄、簡易トイレの備蓄、地震保険の加入についての設問の回答割合である。これらの設問では共通して、静岡県の有りの回答率がやや高い。静岡県では、長年にわたり東海地震対策が実施されてきており、その効果が出ているのかもしれない。家具の固定と、簡易トイレの備蓄では、兵庫県の有りの回答率が他県に比べて高いが、これは阪神淡路大震災の経験によるものだろうと推察される。

南海トラフ巨大地震の発生が差し迫ったと判断される場合に気象庁から発せられる「南海トラフ地震臨時情報」に関する設問（図2-8-③-11）では、「知っている」の割合は15～30%であり、まだ多くの方に周知が行き届いてない状況を示している。（ただし、アンケート調査は2019年度（令和元年度）実施のものであり、現在は改善している可能性がある。）家具の固定や備蓄とは逆に静岡県での南海トラフ地震臨時情報の認知率が他県より低い。この結果は興味深い。静岡県では大規模地震対策特別措置法に基づいて地震予知を前提とした対策が講じられており、その延長で臨時情報を簡単に理解できること、新たに対象地域に入った他の県では報道を含めて社会的な関心が

高くなっていると解釈できる。「南海トラフ地震臨時情報が国から発せられた場合、地震への備えの再確認として、あなたが実施することをすべて選んでください」の設問（図2-8-③-12）では、静岡県の回答は食料等の備蓄、家族との連絡手段、非常持ち出し品、避難場所・経路の確認、家具の固定の率が高くなっている。空振りもありうる南海トラフ地震臨時情報に対する反応としては、適切な行動であると思われる。

徳島県と和歌山県では津波の襲来の危険性がある沿岸部とそうでない内陸部を分けて集計しており、アンケート調査結果に津波リスクにおける地域性があるかどうかについて調査した。結果は、簡単に言うと、本調査からは沿岸部と内陸部の違いはほとんど見られなかった。強いてあげれば、和歌山県の沿岸部と内陸部の比較で、沿岸部の方が揺れの後に直ぐに避難すると答えている人がやや多い（沿岸部：78%、内陸部：55%）ことと、徳島県の沿岸部と内陸部の比較で、沿岸部の方がハザードマップで自宅周辺を確認している人がやや多いこと（沿岸部：48%、内陸部：35%）が違いとして認められた。

日本地震工学会の地域レジリエンス研究委員会は地域の災害レジリエンス評価指標を提案した。評価項目は被害想定の有無から、耐震化実施率、意識啓発、連携体制、救助・救急、医療と多岐にわたる。自治体職員が答えることを想定して作られており、設問に答えていけば、地域の災害レジリエンス力が定量評価できるようになっている。この場合、定量化したポイントの優劣は重要ではなく、定量化することによりどの項目の対策が不十分なのかが明確にできることが重要である。この評価指標の広報コミュニケーション評価のカテゴリの中に、「住民等に対する防災知識の普及内容」に関する評価項目がある。これは自治体が住民に向けて伝えるべき防災知識の内容をまとめたものであるが、本研究で調査している自治体の住民に対するアンケートは、アンケートへの回答を通じて住民に気づきを与える役割もある（たとえば、耐震診断に関する設問が住民に耐震診断の必要性を気づかせる）。そこで、本研究で調査した自治体アンケートの設問が「住民等に対する防災知識の普及内容」の各項目のどれにあたるかを分類し、アンケートの設問の網羅性の確認を行った（表2-8-③-4）。「住民等に対する防災知識の普及内容」に関する評価項目のうち、ここで調べた自治体の住民に対するアンケートの設問でどの県も扱っていないのは、「道路啓開に伴う避難の方法」、「風評やデマ等への対応」、「避難の流れ」、「指定緊急避難場所の災害種別の標識の見方」、「女性の視点に立った備え」、「防犯（空き巣、暴力等への対策）」であった。全体として、住民に対するアンケートでは、耐震化や備蓄など発災前の平時にできることについての設問は多く、避難した後に関する設問が少ない傾向が見られた。地震津波災害の軽減には、平常時～発災～緊急対応・救命～復旧～復興・再生～平常時という災害サイクル全体で最適化を行う必要がある。地方自治体の住民への防災意識調査という限られた調査のみだが、この調査によって、地方自治体から住民へのメッセージにおいて、耐震化などの被害の軽減に直結するものが多く、被災後の生活をイメージさせ準備させるものがやや欠けている可能性がある。具体的には、避難所生活で必要になる知識や技能の伝達、罹災証明手続きの方法に関することも住民アンケートで質問するとよいと考えられる。



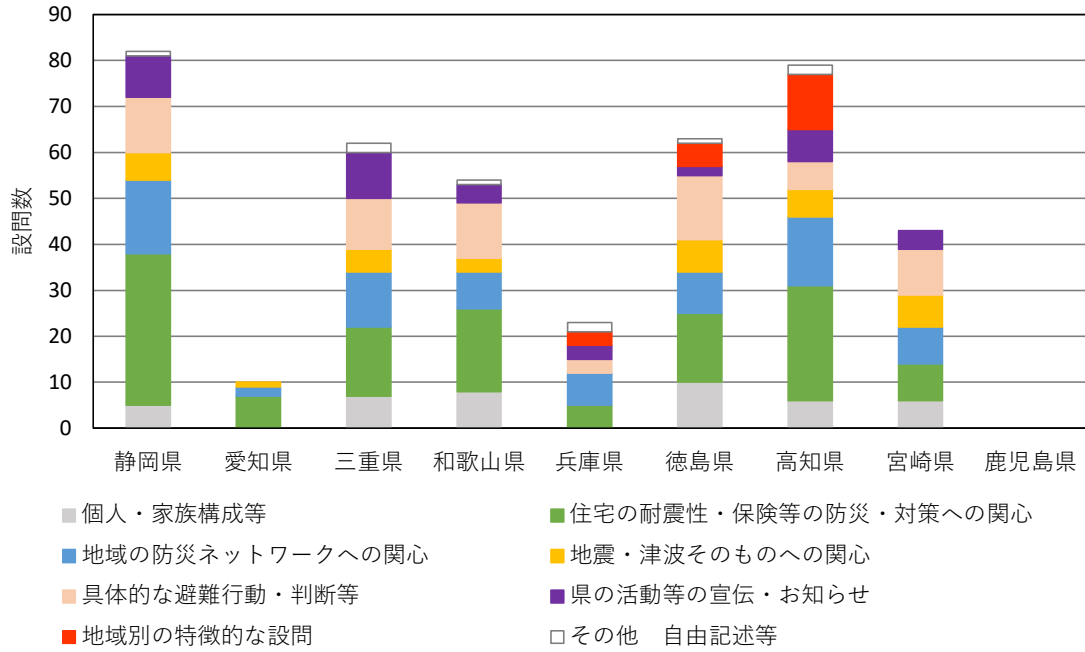


図 2-8-③-6 内容分類別設問数。なお、鹿児島県は WEB 上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

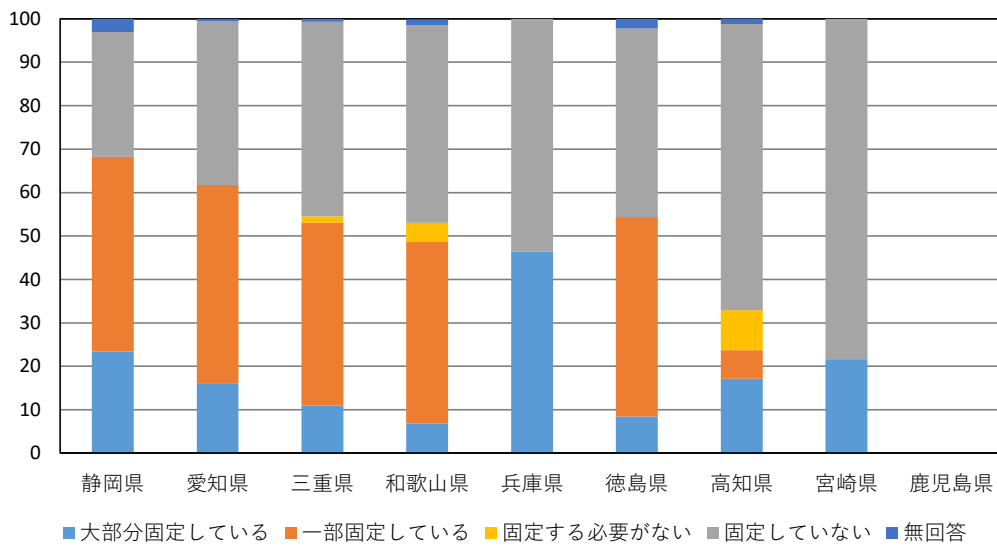


図 2-8-③-7 「家具・家電をどの程度固定していますか」に対する回答割合。ただし、鹿児島県は WEB 上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

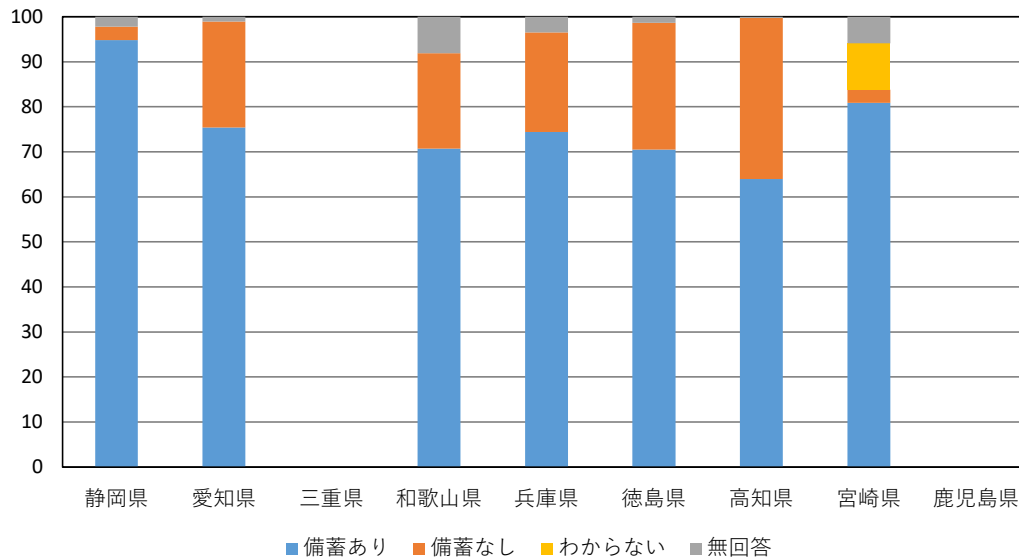


図 2-8-③-8 「あなたのお宅では、家族の食料の備蓄はありますか」に対する回答割合。ただし、三重県に関しては3日以上の備蓄があるかどうかという設問だったため比較から除いた。鹿児島県はWEB上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

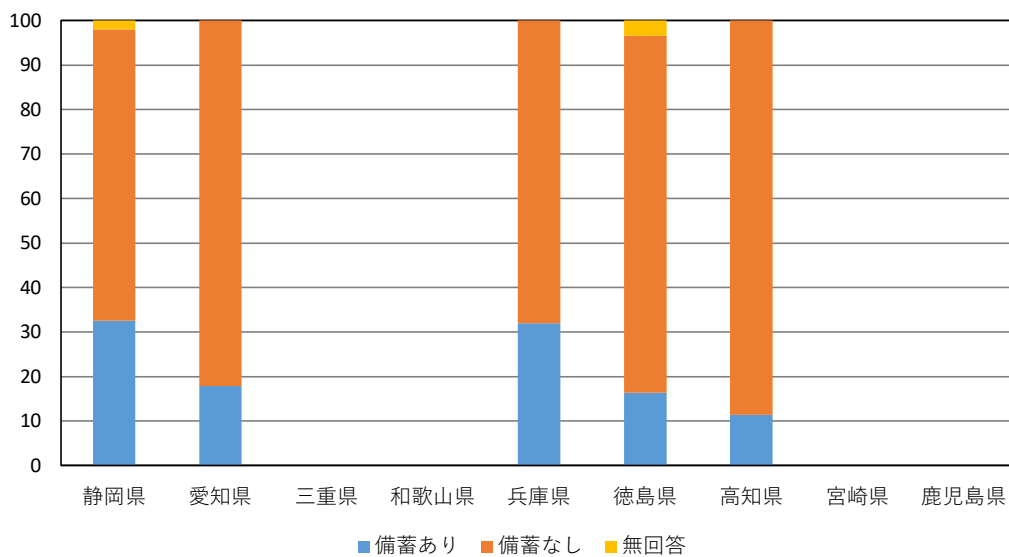


図 2-8-③-9 「あなたのお宅では、何日分の携帯トイレ・簡易トイレを備蓄していますか」に対する回答割合。三重県、和歌山県、宮崎県では該当する設問がなかった。鹿児島県はWEB上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

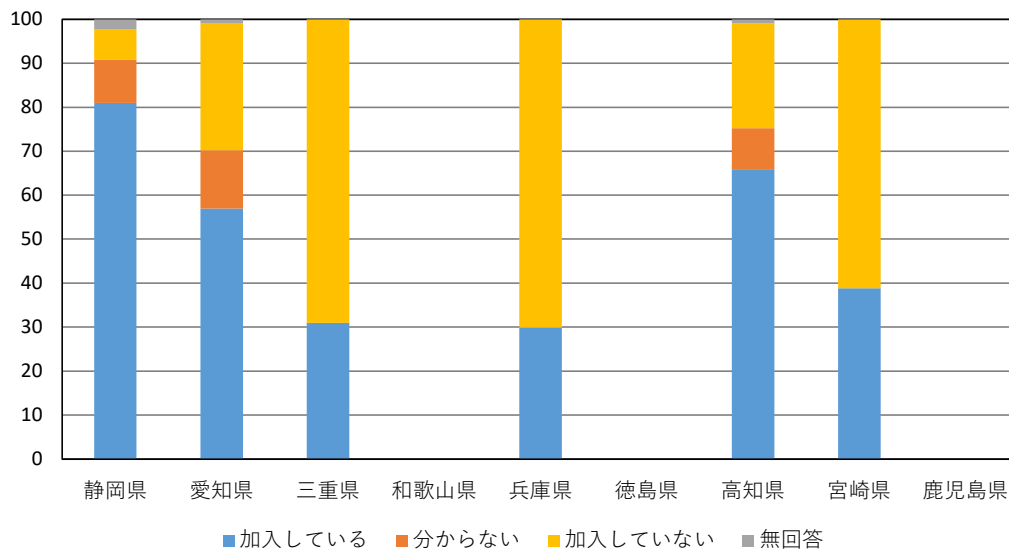


図 2-8-③-10 「地震保険に加入していますか」に対する回答割合。和歌山県、徳島県では該当する設問がなかった。鹿児島県は WEB 上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

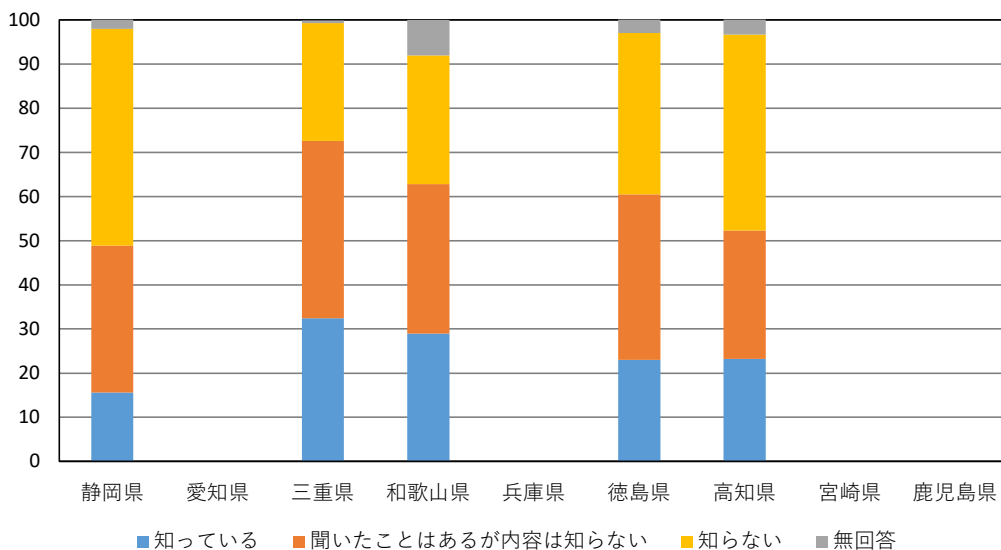


図 2-8-③-11 「南海トラフ地震臨時情報を知っていますか」に対する回答割合。愛知県、兵庫県、宮崎県では該当する設問がなかった。鹿児島県は WEB 上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

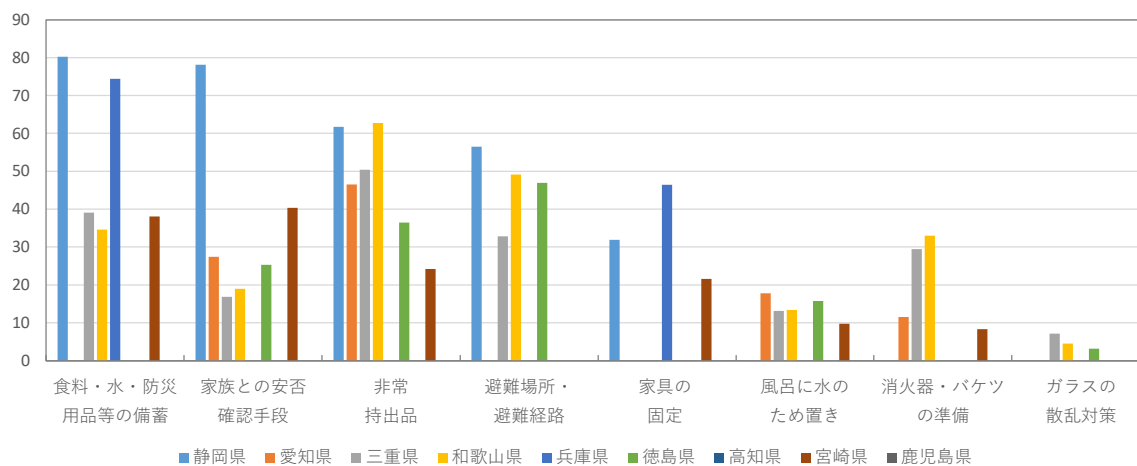


図 2-8-③-12 「南海トラフ地震臨時情報が国から発せられた場合、地震への備えの再確認として、あなたが実施することをすべて選んでください」に対する回答割合。複数回答につき選択肢が 2 県以下の項目は省略した。鹿児島県は WEB 上で利用できる調査結果自体を見つけられなかった。

表2-8-③-4 広報コミュニケーション評価項目と自治体アンケート設問の対応表。表内の数字は住民対象のアンケートの各  
 県の設問番号。

項目	01静岡	02愛知	03三重	04和歌山	05兵庫	06徳島	07高知	08宮崎	09鹿児島	×他アンケート
43 対象となる地域災害、連帯災害に関する知識	1,2,3,5	1	4,7	1	×	1,2,3,4,5	2,3,9,10	1,2,3,4	×	×
44 備蓄の重要性の方法及び支援制度	F5,23,26,27	2,3	38,29,30,31,32,33,34,35,31	12,13,14,15,16	11,15	13,14,15,39,40	29,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53	7,18	×	1
45 家具の固定及び交換制度	20	4,5	11	17	12	16	32,33,34,35,36	7	×	1
46 プロップの取付け防止	21	×	×	18	×	×	37,38,39,40,41,42,43	×	×	6
47 感震センサーの設置	22	6	10	19	×	21	55,56,57	7,19,20	×	2
48 震災時の身を守る行動	4,7,8,9	×	2,8,9	2	5	7,27,28	4,11,12	10	×	2
49 震災時の出火防止と初期消火の方法	22	6,8	10,23	19,21,22	×	7,21	25,54,55,56,57	7,19,20	×	2
50 震災時の自衛行動	×	×	×	×	×	7	×	×	×	8
51 様々な条件下での贈るべき行動	4,7,8,9,12,13,14	×	2,8,9	2	5	7,27,28	4,11,12	10	×	2
52 避難行動の原則（最終判断は自分自身）	29	×	×	×	7	×	57	×	×	6
53 道路啓閉に伴う避難の方法	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
54 災害時の車両利用の自衛	9,20	×	×	10	27	×	58	×	×	5
55 近隣の避難・救助サポート	F7,28,29	10	18,19,20,21,22,23,24	11,21,F6	14,16	12,22,23,24	18,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71	6,7,17	×	1
56 帰宅困難時の行動	30	×	×	10	×	12	58,59	3	×	4
57 応急手当と負傷者へのサポート	11	×	×	×	×	23	69	×	×	6
58 家族内の連絡体制、連絡方法	10	8	10	9,19	8	8,12,21	25	6	×	1
59 風理や子等への対応	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
60 正確な情報入手の方法と機器及び支援制度	6,12,24,32	×	3,5,6,12,13,14,15,16,26	3,4,6,7,8,23	2,3,4,6,7,10	6,9,10,11,29,30,45	5,6,7,8,72	5,8,9,14,15	×	2
61 避難の取れ（一時避難地→緊急避難場所→指定避難所等）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
62 指定緊急避難場所と指定避難所の役割	×	×	×	×	×	25,26	16	×	×	7
63 指定緊急避難場所の災害種別の標識の取付	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
64 各地区の避難場所及び避難経路	22,25	×	10,17	×	8	12,25,26	12,13,14,15	6,10,12	×	3
65 要配慮者避難サポート	F6,11	9	19,25	11,21,22	16,17,18	12,44	1,17,18	F2	×	1
66 避難時の注意	19,22	8	10	19	8,12	7,19,20,21	23,24,25	6	×	1
67 非常時出口の準備	19,22	8	10	19	8,12	19,20,21,27	23,24,25	6,7	×	1
68 お菓子の備蓄	22	×	×	×	×	×	27,28	×	×	7
69 常備薬の形態	22	×	×	19	×	19	26	×	×	5
70 ベットの避難への備え	31	×	10	10	×	×	60	10	×	4
71 食糧・水の日数分等、具体的な備蓄量の提示	1,5,16,17,18	7	10	19,20	8,12,13	12,17,18	19,20,21,22	6,7,13	×	1
72 マンション等の共同備蓄	33	×	×	×	×	×	71	10	×	6
73 指定避難所での協力、活動の奨励	11	×	19	11,21,22	×	12	61	16	×	3
74 女性の視点に立った備え	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
75 避難所での要配慮者への配慮	31	×	×	×	×	×	60	10	×	6
76 避難生活における食品衛生	31	×	×	×	×	×	60	11	×	6
77 避難生活における衛生管理	19,31	×	×	×	×	19,20	60	11	×	5
78 災害関連死予防	22	8	10	19	×	21	25,30,31	7	×	2
79 防犯（空き巣、暴力等への対策）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	9
×項目数合計	8	25	19	16	24	13	7	14	37	

県民意識調査では、上述のように、平時での対策に関する記述が多くみられていた。しかし、被災するタイミングは、必ずしも自宅にいるとは限らず、いろいろな場面で遭遇する可能性がある。この点を考えると、地震や津波の知識に基づき、各自がその時点での場面を適切に判断し、行動に移す必要がある。判断力と行動力を身につけるためには、地域の事情を十分考慮に入れる必要があるだろう。防災の知識の習得には、まず学校で学び、図書館等の地域の社会教育施設から学び、さらに広い地域を視野に入れて学ぶことになる。つまり、学校での防災教育と地域の防災教育施設との連携が大切、ということになる。地域の知が、地域の文化や歴史、それを踏まえたこれまでの街づくりがあり、それに基づく行動にあると考えると、地域の防災力向上のためには、サブ課題1と2から提供される研究成果を各地域に合うように情報を作り替える必要がある、ということになる。過去の地震や津波の災害史のみならず、地域のこれまでの取り組みを意識した上で、科学の知を地域に入り込んで、トランスサイエンス型の対話形式の取り組みが必要、ということになる。令和2年度は、コロナ禍もあり、この取り組みは十分ではなかったが、状況を見ながら地域に入り込んで地域の防災力向上のために、地域の自主防災組織等と連携することが有効であると考えている。

その中で、アンケート調査を、高松市内の小学校2校、高知市内の小学校1校で行った。高松市内の小学校では3年生に調査を実施した。まず、震度、マグニチュード、南海トラフという言葉を知っているか尋ねた。震度は聞きなれているものの、マグニチュードと南海トラフという単語には、まだまだ浸透していない現状が見て取れる(図2-8-③-13、図2-8-③-14)。3年生は、これから様々な知識を得、社会性を身につける段階であるので、これから急速に知識を身につけていくものと思われる。高知市内の小学校では4年生を対象として実施したが、いずれもほぼ100%聞いたことがあると回答した(図2-8-③-15)。これは、小学校の指導要領を参考にしても知識の習熟が早く進んでいることを示している。高知市内は、1946年昭和南海地震発生直後に津波が襲来し、長期にわたって湛水する写真や記録が多く残っている。こういった地域性もあるかもしれない。津波に関して、津波の映像を見たことがあるか、津波は沖合から沿岸に近づくと大きくなることを知っているか、立ってられない高さといった問いに対しても同じような傾向を示した(図2-8-③-16、図2-8-③-17、図2-8-③-18)。更なる知識の向上が期待できる結果と考えている。さらに、大地震が発生したらしなければいけないことは何かを確認したところ、「机の下に隠れる」という意見が多数で、学校での避難訓練の結果が良く出ている。机がないところではどうするか、といった問いを入れることで、この行動の根本的な意味を考えることができるようになると思われる。また、学校でたくさんの人と逃げる時に注意することは何か、の問いには、おさない、走らない、しゃべらない、戻らない、が多数で、こちらも学校の避難訓練の効果が出ている。但し、学校でない場合は、避難の声をかけることが必要になるケースもある。様々な状況の想定を入れて、自ら考える機会を与えることが重要であろう。未来志向については、将来の夢を持っている生徒が7-8割で、夢実現に向けた取り組みは、高松市でも高知市でも大きな違いはなかった(図2-8-③-19、図2-8-③-20、図2-8-③-21)。将来の夢を考える前向きな思考に、大地震後の復興も含めることは難しいが、南海トラフ地震

の発生を覚悟して、それでも夢に向かって前向きに進む教育ができればよいと考える。

## 聞いたことがあるかどうか(香川・A小)

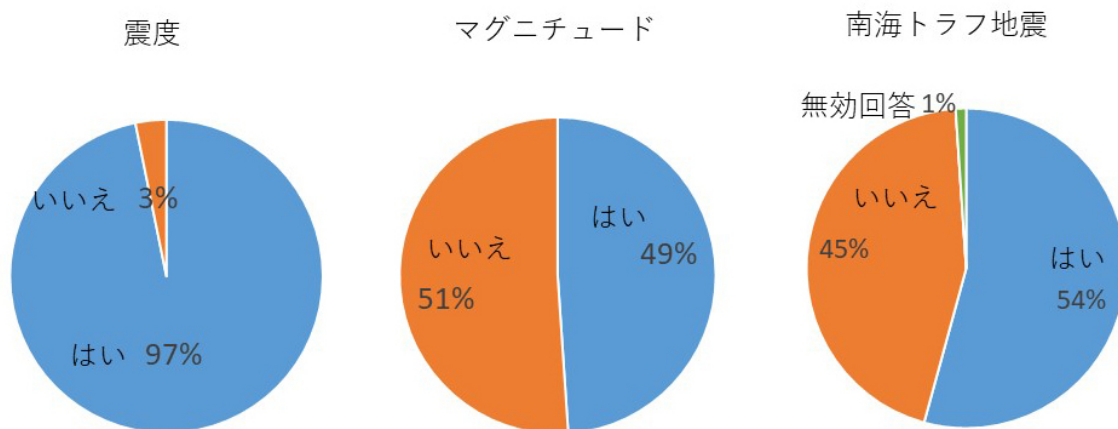


図 2-8-③-13 高松市 A 小学校のアンケート調査 (知識)。

## 聞いたことがあるかどうか(香川・B小)

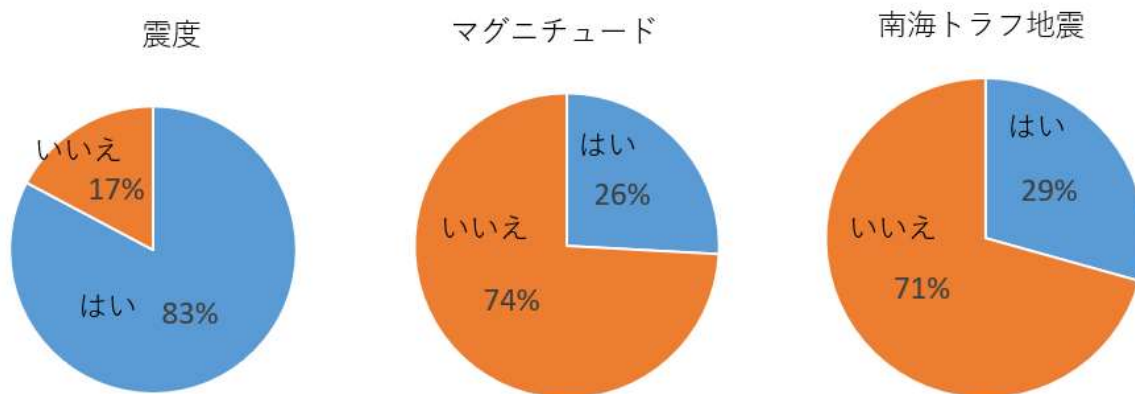


図 2-8-③-14 高松市 B 小学校のアンケート調査 (知識)。

## 聞いたことがあるかどうか(高知・C小)

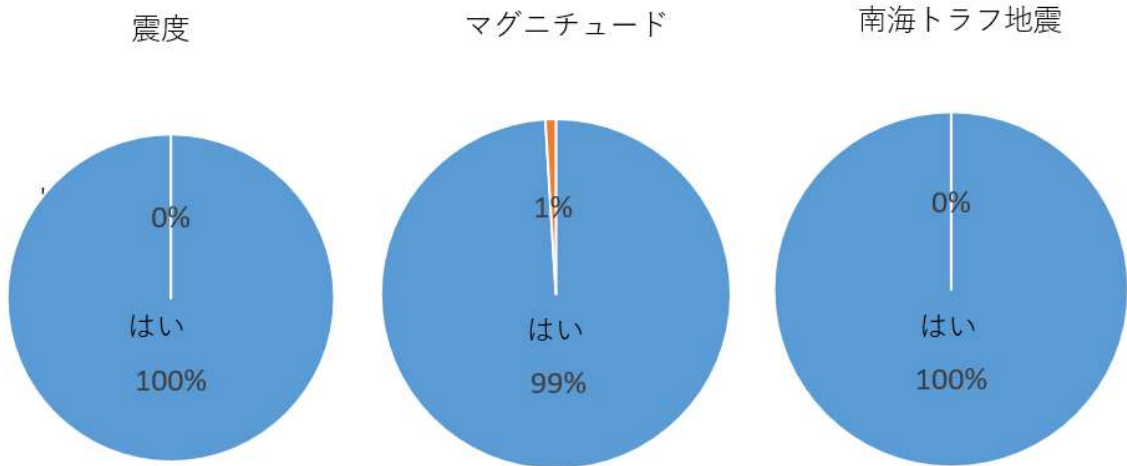


図 2-8-③-15 高知市 C 小学校のアンケート調査 (知識)。

## 見たことがあるか・知っているか(香川・A小)

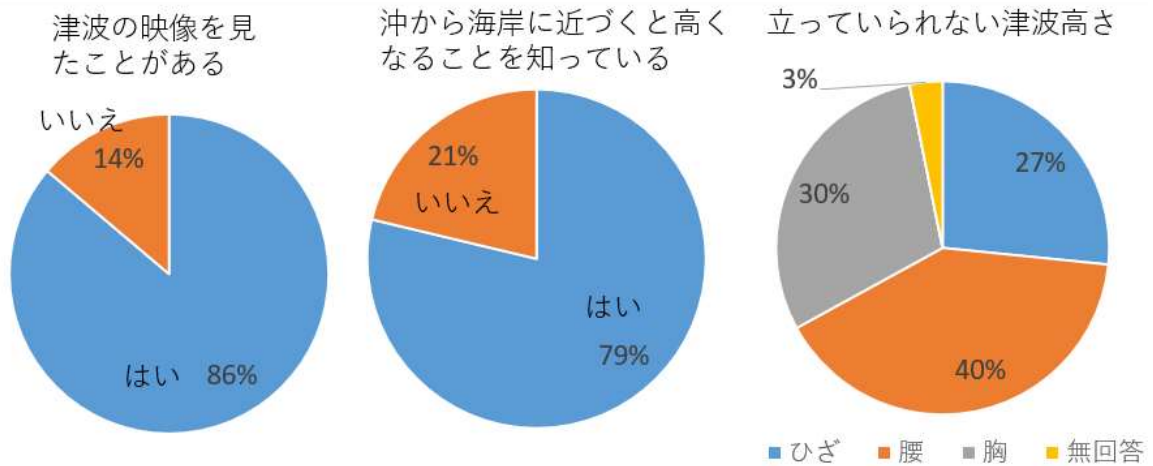


図 2-8-③-16 高松市 A 小学校のアンケート調査 (津波知識)。



## 見たことがあるか・知っているか(香川・B小)

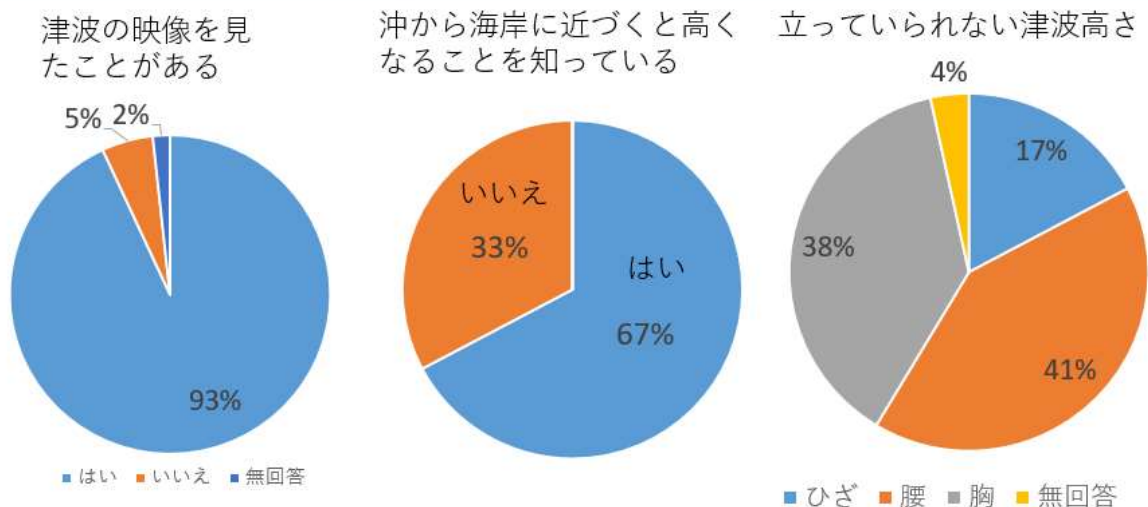


図 2 - 8 - ③ - 17 高松市 B 小学校のアンケート調査 (津波知識)。

## 見たことがあるか・知っているか(高知・C小)

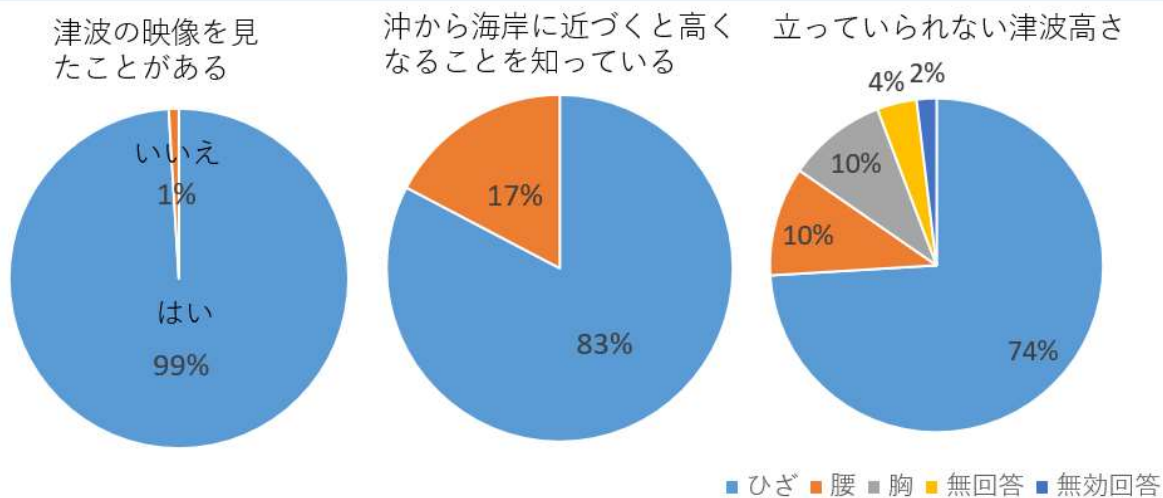
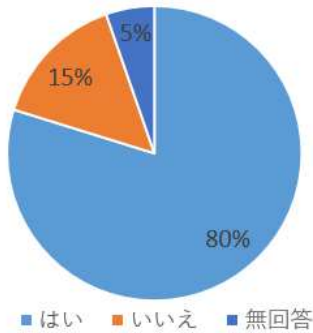


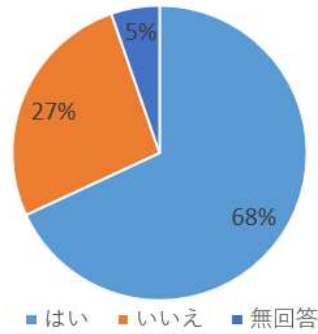
図 2 - 8 - ③ - 18 高知市 C 小学校のアンケート調査 (津波知識)。

## 将来の夢・事前復興(香川・A小)

将来の夢を持つ  
ているか



夢実現に向けた勉強・練習  
をしているか



大地震後の町の元気のため  
にすることを考えているか

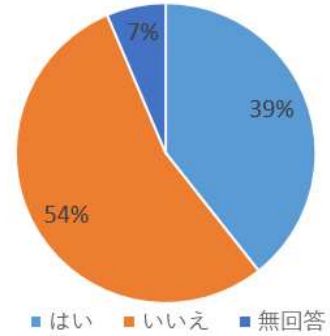
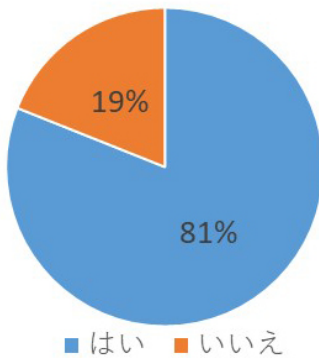


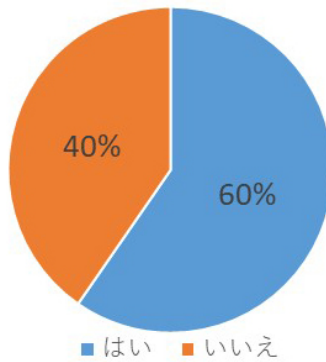
図 2-8-③-19 高松市 A 小学校のアンケート調査 (未来志向)。

## 将来の夢・事前復興(香川・B小)

将来の夢を持つ  
ているか



夢実現に向けた勉強・練習  
をしているか



大地震後の町の元気のため  
にすることを考えているか

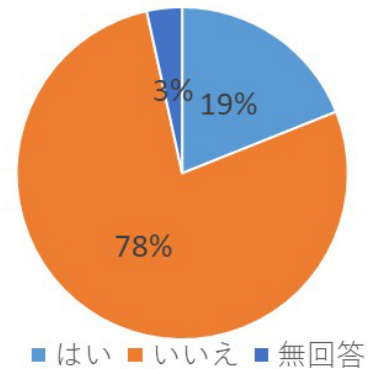


図 2-8-③-20 高松市 B 小学校のアンケート調査 (未来志向)。

## 将来の夢・事前復興(高知・C小)

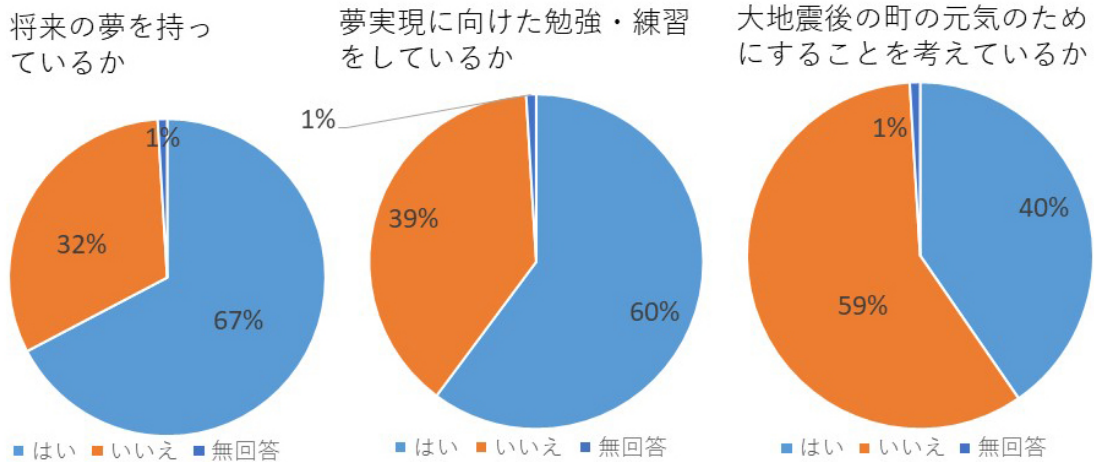


図 2-8-③-21 高知市 C 小学校のアンケート調査 (未来志向)。

### (c) 結論ならびに今後の課題

令和 2 年度は全国的にコロナ禍にあり、地域に出向いてのプロジェクトの事前説明や定点観測実施に向けた事前調整など、計画通り実施できない点が多々あったが、オンラインでの打ち合わせや遠隔授業などで年度計画目標の達成に注力した。アンケート内容の検討や作成に関しては、アンケート内容を試作し、これを定点観測に活用することが出来た。今後の調査を見込み、オンラインでも調査が実施できる体制を構築した。また、アンケート調査結果については、香川県高松市内の小学校 2 校、高知県高知市内の小学校 1 件で定点観測を行った。まだ速報値の段階ではあるが、南海トラフ地震の知識、意識の違いなど香川県と高知県で地域性の差異や見られる一方、未来志向などについては地域性があまり顕著ではない点など興味深い結果が得られた。

今後はさらに詳細な分析評価を進めるとともに、高知市内の中学校、延岡市内の小学校 2 校と中学校 1 校、九州保健福祉大学での調査を予定している。また、社会福祉協議会での調査の調整も進めている。より多くの定点観測地域を増やし、情報リテラシー向上のための分析評価の推進を図る。

### (d) 引用文献

- 1) 中村織江・川村協平 問題解決力を測定する尺度の作成 -自然体験に置いて育まれる問題解決力を図る-, 野外教育研究, 8, 1, 77-86, 2004.
- 2) 元吉忠寛, 災害自己効力感尺度の開発, 社会安全学研究, 9, 109-117, 2019.
- 3) 服部美香・舟島なをみ, 看護師の問題解決行動自己評価尺度の開発-クライアントの抱える問題を解決するために必要な看護師行動の質向上に向けて-, 千葉看会誌, 16, 1, 2010.
- 4) 島崎敢・尾関美喜, 防災意識尺度の作成(1), 日本心理学会第 81 回大会発表論文集, 69, 2017.

- 5) 静岡県, 令和元年度 南海トラフ地震についての県民意識調査,  
[http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/toukei\\_kenmin/index.html](http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/toukei_kenmin/index.html)
- 6) 愛知県, 令和元年度 防災(地震)に関する意識調査結果のあらまし,  
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/bosai/r1kekka.html>.
- 7) 三重県, 令和元年度 防災に関する県民意識調査報告書,  
<https://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/88730000001.htm>.
- 8) 和歌山県, 令和元年度 防災・減災に関する県民意識調査 調査報告書,  
<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/d00202760.html>.
- 9) 兵庫県, 令和元年度 第4 回県民モニターアンケート調査結果,  
[https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk04/r1monitor\\_4\\_kekka.html](https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk04/r1monitor_4_kekka.html).
- 10) 徳島県, 平成30 年度徳島県地震・津波県民意識調査(全県調査),  
<https://anshin.pref.tokushima.jp/zokusei/tokei/>
- 11) 高知県, 平成30 年度地震・津波県民意識調査 報告書,  
<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/h30kenminishikichosa.html>.
- 12) 宮崎県, 平成30年度 津波避難等に関する県民意識調査結果 報告書,  
<https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/20190123112018.html>.
- 13) 公益社団法人日本地震工学会 地域の災害レジリエンスの評価指標開発と政策シミュレーション研究委員会, 地域の災害レジリエンス評価に関する研究, 73pp., 2018.  
<https://www.jaee.gr.jp/jp/wp-content/uploads/2017/10/2.JAEE地域レジリエンス研究委員会成果報告書.pdf>

(d) 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

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

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

### 3. まとめ

令和2年度はプロジェクト初年度であり、各サブ課題間の連携も意識し着実に研究を開始した。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」

南海トラフの地震・地殻変動の現状を即時的に把握し情報を発信するためのシステム構築をすすめるとともに、プレート固着状態の推移予測の確立を目的とする。サブ課題2「地震防災情報創成研究」、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、得られた成果の最大活用を進める。本サブ課題は「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」、「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」、「3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」の各テーマがある。

以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

#### サブ課題1a「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」

- ①熊野灘海域を中心とした既存・最新の地下構造研究成果の収集とともに、3D構造モデル更新の仕組みの構築とマルチパラメータ化の手法・方針の検討を行なった。観測点補正值を求めるため、構造探査データを用いたDONET観測点直下の堆積層構造推定方法の検討を進めた。
- ②3D構造モデルを用いた震源決定を実施するシステムの構築に着手するとともに、計算に用いたパラメータや震源計算結果等をリレーショナルデータベースに保存する仕組みを整備した。

#### サブ課題1b「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」

- ①プレート境界でのすべり・固着の推定を現実的な3D構造に基づいて行うために、有限要素法モデルを用いてグリーン関数の計算を行った。熊野灘周辺に設置された長期孔内観測システムにおける、歪・傾斜応答グリーン関数を精度よく計算するため、既存の有限要素モデルでは空間解像度が不足している領域を局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いてのグリーン関数の計算を実施した。
- ②推定された断層すべりが持つ誤差を定量評価するため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、試行的に1707年宝永地震を模したシミュレーションデータに同手法を適用し、その性能評価を行った。
- ③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。

#### 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、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実施し、南海トラフ全域を含む広域に対しても大規模有限要素モデル構築が可能であること、また、このようなモデルを用いた弾性変形・粘弾性変形計算の収束性が確認できたことから、今後の検討

のための基礎的な知見が得られた。

- 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採取された海底堆積物コアの分析を実施した。
- ③ 陸域における地震・津波の履歴調査は、南海トラフ沿い東縁の駿河湾奥から西縁の九州東部沿岸にかけての5地域において、おもに既存の堆積物コア試料の分析（おもに放射性炭素同位体年代測定）を行い、一部で新たに掘削調査を実施した。
- ④ 史料に基づく調査研究では、静岡県西部において明応東海地震の津波痕跡評価に資する史料調査と北米西岸で観測された潮位波形から安政東海・南海地震の発生時間差の推定、体験談に基づいた現地測量から昭和東南海・南海地震の津波痕跡調査を実施した。

## サブ課題2「地震防災情報創成研究」

サブ課題2では、地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例としてとらえることにより、地震や津波のハザード・リスクの防災情報基盤を創生し、「命を守る」「地域産業活動を守る」「大都市機能を守る」の3つの目標を立て研究を開始した。「命を守る」を目標とするサブ課題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」プロジェクトに着手した。「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が開始され、愛知県西三河地域を対象としたワークショップが開催された。「大都市機能を守る」を目標とするサブ課題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に着手するとともに、高層建築物のエレベータ復旧オペレーションにおける現状の把握と課題の抽出を実施した。これら3つの研究の基盤情報の創出を目標とするサブ課題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に着手した。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が構築できた。また、サブ課題1およびサブ課題3との具体的な連携構築に着手した。

以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

### サブ課題2d「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」

#### ①『事前避難要不要判断ツール』の開発と社会実装に関する検討

- ・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として再編するための基礎作業を実施した。
- ・具体的には、第1に、臨時情報の普及啓発手法に関する基礎研究を実施した上で、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検討した。
- ・第2に、『事前避難要不要判断ツール』の基本構成、UIの概要を確定させた。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プランを確定した。

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

- ・「逃げ地図」プロジェクトを、ケース・スタディー地域として和歌山県串本町を選択して実施した。同地域において「逃げ地図」ワークショップの試行を行い、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について検討した。
- ・「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い、「逃げシルベ」の改良版として開発した。

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、産業関連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、産業関連構造のモデル構築のためのデータを整備した。リアルタイム社会様相把握のための都市インフラデータの収集に関して、電力需要データに着目し、リアルタイム社会様相把握のための電力需要データの収集調査、分析を行った。新型コロナウイルス COVID-19による社会の活動委縮等が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、COVID-19による社会萎縮に関する都市インフラデータの整備、さらには人・物の地域間移動に関する時系列データ収集を行うとともに、新型コロナウイルスによる産業への影響調査を行った。
- ② リアルタイムでの社会様相把握手法の開発を目指し、人流、物流のリアルタイム把握システムの調査を実施した。具体的には、リアルタイム振動モニタリングに関する基盤技術開発として、リアルタイム震動モニタリング基盤システムを開発するとともに、リアルタイムでの社会様相把握のための加速度センサー計測ソフトウェアの開発に従事した。リアルタイムセンシング技術を活用した社会様相把握・可視化手法の開発に向けて、都市インフラに関する文献調査および分析手法の探索、センシング技術に関する調査を実施した。また、社会様相把握のため、災害時のインフラ復旧動態把握に関する実証実験を行った。社会様相把握・可視化のため、リソースに着目し、インフラ復旧情報のリアルタイム収集システムの更新改修を行った。
- ③ 事態想定シミュレーション手法の構築のため、動的な被害予測手法導出のため、リアルタイム社会様相把握のための都市インフラデータの収集を行うとともに、人・物の地域間移動に関する時系列データ収集を行った。
- ④ 愛知県西三河地域を対象として、西三河防災減災連携研究会、あいち・なごや強靱化共創センター、国土交通省中部地方整備局と連携し、南海トラフ地震での臨時情報発表時の特徴的な時間断面での災害対応の図上演習シナリオを検討するための場づくりとして、ワークショップを実施し、地域におけるモニタリング情報共有の協働参画手法を探求した。ワークショップ手法は、①産業タイムラインや産業構造、②リアルタイム社会様相、③UMLなどによる社会様相シナリオを、ワークショップや図上演習における提示シナリオとして構築するとともに、参加者の対応や判断を社会様相シナリオとして構築することが可能となることを示した。

### サブ課題 2 f 「発災時の大都市機能の維持」

- ① 阪神淡路大震災と東日本大震災の日本語新聞記事から、自然言語処理を用いて災害事象の因果関係を機械的に抽出し、因果データベースの拡充を行った。
- ② 高層建築物のエレベータ復旧オペレーションについて、エレベータ障害が報告された過去の地震災害について、文献調査を実施し、地震によるエレベータの被害形態および程度、地震動および建物の振動特性、エレベータの耐震性能や管制機能の有無等、現時点で考えうる要因を抽出・整理した。この調査より、対象地域・建物群・周辺環境、入力地震動、建物被害およびエレベータ障害、復旧ネットワークパフォーマンスの4つに加え、復旧戦略の良否の判断を加えた5つを、今後構築する首都圏を対象にエレベータ復旧過程のシミュレーションモデルに含まれるべき要素として特定した。

### サブ課題 2 g 「地震防災基盤シミュレータの構築」

- ① サブ課題 2 f 「発災時の大都市機能の維持」の検討に必要な長周期地震動シミュレーションのための長継続時間地震動計算ツールの開発を行った。
- ② サブ課題 2 d 「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」の実証実験対象地域における津波遡上の試算を実施した。
- ③ 地震発生のもろ様性モデルを構成する断層モデルを対象としたリスク評価を行った。
- ④ 地震防災基盤シミュレータの設計を行った。

### 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、地域にとって不可欠な情報を洗い出し、地域に情報を展開するためのものである。情報発信検討会は、サブ課題 3 の取り組みや各地域での取り組みを、他地域との情報共有を通じて加速させるためのものである。情報リテラシー向上は、本プロジェクトからの成果情報を受け取り手が適切に防災行動に使うためのものである。

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

尾鷲市、延岡市、四万十市、坂出市を対象地域として特定した。延岡市と四万十市は強震時の地盤応答による構造物の変形を踏まえた津波瓦礫評価を実施する。尾鷲市では津波瓦礫評価、坂出市では津波浸水評価を実施することとした。尾鷲市を念頭に建物倒壊を考慮した瓦礫評価と簡易評価式による瓦礫評価の2つの方法を採用し、それぞれ瓦礫の評価を実施した。

#### ② 情報発信検討会

今年度は、各地域や企業との信頼関係を構築して連携を開始した。各地域の防災上の特性を分類し、津波、内陸地震・支援、産業 BCP、複合災害を4つのテーマとした。3



月12日に第1回情報発信検討会を4テーマ合同で開催し、59名/組織の参加があった。この検討会で、防災上の課題の関係者間の共有や今後進める議論の方向性の示唆を得た。

③ 情報リテラシー向上

現在の地域を担う子育て世代から年配世代、今後の地域を担う生徒と学生を念頭に、情報リテラシーの向上を目的に実施するアンケート調査を検討した。各県で実施している県民意識調査の概要を確認し、既存の因子分析の結果を参考に、知識、経験、判断力、行動力、未来志向の5つを問うこととし、オンラインで実施できるシステムを試作した。香川県と高知県の小学校で実施し、質問項目によっては地域ごとに特徴があるが、未来志向には有意な差はないことが確認できた。

以上が令和2年度の成果の概要である。コロナ禍でのプロジェクトスタートとなったがオンラインでの議論等を最大活用し、上述のように多くの研究成果が得られた。

#### 4. 活動報告

##### (1) 外部評価委員会

###### ① 令和2年度第1回外部評価委員会

日時：令和2年9月30日（水） 13時00分～16時30分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 文部科学省・外部評価委員長・研究代表の挨拶と

研究代表によるプロジェクト全体目的説明

2. 各課題の構成・目的・5か年の計画・今年度の予定など紹介と質疑応答

(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(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

サブ課題2サブ(g) 防災科学技術研究所 中村洋光

(3) サブ課題3 創成情報発信研究 防災科学技術研究所 高橋成実

3. 総合討論

4. 事務連絡・今後の予定等

###### ② 令和2年度第2回外部評価委員会

日時：令和3年3月18日（木） 16時00分～17時30分

会議形式：オンライン開催

議事：

1. 文部科学省・外部評価委員長・研究代表の挨拶

2. 課題ごとに質疑応答、評価委員からのコメント・評価

サブ課題1

サブ課題2

サブ課題3

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 気象庁 気象研究所 所長

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 青木 元 気象庁 地震火山部管理課 課長

委員	能島 暢呂	岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授
委員	久田 嘉章	工学院大学 建築学部まちづくり学科 教授
委員	香川 敬生	鳥取大学大学院 工学研究科 教授
委員	坂東 淳	徳島県 危機管理環境部 副部長
委員	山崎 登	国土館大学 防災・救急救助総合研究所 教授

## (2) 全体会議

### ① 令和2年度全体会議

日時：令和3年3月5日（金） 13時30分～16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. 各課題の今年度成果と来年度計画
  - サブ課題1
  - サブ課題2
  - サブ課題3
3. 総合討論・まとめ

## (3) シンポジウム

### ① 南海トラフ地震に備える「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」シンポジウム

日時：令和3年3月5日（金） 13時00分～15時40分

会議形式：オンライン開催

主催：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

プログラム：

13時00分 - 13時10分 開催挨拶

文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課長 鎌田 俊彦

研究代表 海洋研究開発機構 小平 秀一

13時10分 - 13時55分 全体概要および「地殻活動情報創成研究」紹介

紹介者 課題代表 海洋研究開発機構 小平 秀一

コメンテーター 名古屋大学 山岡 耕春 教授

13時55分 - 14時35分 「地震防災情報創成研究」紹介

紹介者 課題代表 防災科学技術研究所 藤原 広行

コメンテーター 東北大学 今村 文彦 所長／教授

14時35分 - 15時15分 「創成情報発信研究」紹介

紹介者 課題代表 防災科学技術研究所/海洋研究開発機構 高橋 成実

コメンテーター 三重県防災対策部 日沖 正人 部長

高知県教育委員会学校安全対策課 吉門 直子 企画監

15時15分 - 15時35分 コメンテーターによる総合討論

進行 時事通信社 中川解説委員

15時35分～15時40分 終了挨拶

外部評価委員会委員長／気象研究所長 土井 恵治

情報・発信  
社会を守る  
把握・予測

創成情報発信研究  
地震防災情報創成研究  
地震活動情報創成研究

文部科学省科学技術試験研究委託事業

## 南海トラフ地震に備える

# 「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」シンポジウム

近い将来甚大な被害をもたらす南海トラフ巨大地震の発生が危惧されるなか、科学的データに基づき南海トラフの地震・地殻活動を精度よく迅速に評価し、得られた情報を地域社会の地震・津波被害軽減のために最大活用する方策の確立が急務となっています。そこで、本プロジェクトは、令和2年度から令和6年度までの5年の間に、南海トラフ地震の活動を把握・予測する「地震活動情報創成研究」、社会を守る仕組みを作る「地震防災情報創成研究」、地域への情報発信の在り方を探る「創成情報発信研究」の3つの課題から減災への貢献を目指しています。

今回のシンポジウムは初年度にあたり本プロジェクトの具体的な目的と計画、期待される成果などを紹介し、南海トラフ地震研究について議論します。

**開催方法**

オンライン開催  
(途中参加・退出可)

事前申込制  
お申し込みはこちら  
<http://www.jamstec.go.jp/bosai-nankai/j/event/20210318/>

・視聴 URL はシンポジウム参加お申し込み後にお知らせいたします。

**プログラム**

13:00～13:10	開催挨拶 文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課長 鎌田 俊彦 研究代表 海洋研究開発機構 小平 秀一
13:10～13:55	全体概要および「地震活動情報創成研究」紹介 課題代表 海洋研究開発機構 小平 秀一
13:55～14:35	「地震防災情報創成研究」紹介 課題代表 防災科学技術研究所 藤原 広行
14:35～15:15	「創成情報発信研究」紹介 課題代表 防災科学技術研究所 / 海洋研究開発機構 高橋 成実
15:15～15:35	コメンテーターによる総合討論
15:35～15:40	終了挨拶 外部評価委員会委員長 / 気象研究所長 土井 恵治

※プログラムは予告なく変更する場合がございます。予めご了承ください。

**2021年**  
**3月18日(木)**  
**13:00～15:40**  
12:45 オンライン開場

参加無料

**コメンテーター**  
名古屋大学大学院 環境学研究科 地震火山研究センター 教授・山岡 耕春  
東北大学 災害科学国際研究所 所長 / 教授 ..... 今村 文彦  
高知県教育委員会事務局 学校安全対策課 企画監 ..... 吉門 直子  
三重県 防災対策部長 ..... 日沖 正人  
時事通信社 解説委員 ..... 中川 和之

主催：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  
(文部科学省科学技術試験研究委託事業)

お問合せ先：国立研究開発法人海洋研究開発機構 研究推進部研究推進第2課  
プロジェクト事務局 E-mail: [nankai@jamstec.go.jp](mailto:nankai@jamstec.go.jp)

### シンポジウム案内プログラム

視聴数：390

最大同時視聴者数：283

## 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初年度の取り組みとして、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、本プロジェクトの目標、計画、今年度成果を地震防災関係機関、自治体、企業、地域住民の方々に広く周知するために、オンラインによりシンポジウムを開催した。その際は地震防災関係有識者とプロジェクト関係者の討論会を実施し、その議論を通してプロジェクトの意義をわかりやすく伝える試みを行った。さらに、プロジェクト全体会議を通して、三課題の連携の在り方の議論を進め、プロジェクトの統合的推進を図った。