

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	研究主監	藤原広行
	研究部門長	中村洋光
	主任研究員	前田宜浩
	主任研究員	土肥裕史
	特別研究員	佐藤昌人
	研究領域長	青井真
	主任研究員	河合伸一
	上席研究員	森川信之
	主任研究員	岩城麻子
	主任専門研究員	先名重樹
	主任専門研究員	内藤昌平
	特別研究員	秋山伸一
	研究領域長	臼田裕一郎
	副研究部門長	田口仁

(c) 業務の目的

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

(d) 5 か年の年次実施計画

1) 令和 2 年度：

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

2) 令和 3 年度：

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

3) 令和 4 年度：

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプから情報の試験提供を可能にした。そのために、最大クラスの断層モデルを含む強震動及び津波遡上のシミュレーションを実施し、その結果を用いたリスク評価に基づく事前避難、産業活動、大都市機能維持の各観点からの南海トラフの地震像を表す指標を算出するとともに、指標に基づいた類型化手法を検討した。各類型の代表的な広域災害シナリオ作成手法の基礎検討を行った。検討結果を地震防災基盤シミュレータに蓄積し、情報の試験提供をできるようにした。

4) 令和 5 年度：

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

5) 令和 6 年度：

地震防災基盤シミュレータを完成した。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った。

(e) 令和 6 年度業務目的

南海トラフ沿いにおける「通常と異なる現象」発生後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提供可能とする地震防災基盤シミュレータプロトタイプを完成する。そのために、短周期地震動計算手法の高度化方策や長周期地震動の空間補間手法や、津波遡上シミュレーションの結果をとりまとめる。南海トラフの多様な地震モデルの類型化と代表パターンを抽出して、自然現象の多様性に加えて事前避難等の社会活動側の多様性を踏まえた広域災害シナリオをとりまとめる。地震防災基盤シミュレータに広域災害シナリオ等を蓄積し、データバン

クを完成させる。また、それらのデータを2次利用可能な形式で外部に提供可能にし、サブ課題3との連携のもと情報活用の社会実験による評価を行い、結果をまとめる。

(2) 令和6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、広帯域強震動シミュレーションデータの短周期成分が遠方において過小評価となることを補正するために令和5年度に開発した手法の検証を行った。また、シミュレーションデータを網羅的に作成するための多様な震源モデル群構築を目指して、令和5年度に開発した南海トラフ地震を対象としたシミュレーションデータを活用したガウス過程回帰に基づく長周期地震動の空間補間手法を高度化した。また、これまでの計算結果を地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

(b) 業務の実施方法

短周期地震動補正手法の検証では、設定パラメータによる補正結果の違いを調査し、適切な設定値を選択するための評価基準を検討した。長周期地震動の空間補間手法の検討では、多様な震源シナリオを表現可能とするために震源域を表す multi-hot 表現を採用するとともに、逐次的・加法的なガウス過程回帰を適用した。

(c) 業務の成果

1) 短周期地震動補正手法の検証

本業務の広帯域強震動評価では、統計的グリーン関数法による短周期成分と差分法により算出された長周期成分を組み合わせるハイブリッド合成法を用いている。地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」¹⁾に準じたハイブリッド合成法による広帯域地震動評価を震源距離 70 km以上の遠方まで適用すると、観測地震動と比較して周期1秒以下の振幅が過小となることが指摘されている²⁾。この課題に対応するため、令和5年度において、ハイブリッド合成法による計算波形の短周期成分の振幅を補正する手法を開発した。

本補正手法では、面的に計算された多数の時刻歴波形を対象として、断層距離範囲ごとに観測点をグルーピングした上で、グループ内の計算波形の加速度応答スペクトルの平均値を地震動予測式³⁾、⁴⁾による予測値に適合させている。適合の判定には、「応答スペクトル適合法」⁵⁾に示されている4種類の適合条件を用いており、本補正手法を適用することでハイブリッド合成波形の遠方での短周期成分の過小評価が解消されることを目視で確認していた。また、観測点をグルーピングする際の「断層距離範囲」の設定には任意性があるため、上述した、遠方における短周期成分の過小評価の指摘において用いられたものと同じ指標により、本補正手法の有効性を検証するとともに、「断層距離範囲」の適切な設定値について検討した。

本検討では、手法の有効性を評価する指標として、広帯域強震動シミュレーションの妥当性評価に用いられている CGOF (Combined Goodness of Fit)⁶⁾を用いた。観測点 x_j 、周

期ポイント T_i における地震動予測式による加速度応答スペクトル Sa_{pre} とハイブリッド合成波形の加速度応答スペクトル Sa_{sim} の比の自然対数を $r_{j,k}(T_i)$ とする。

$$r_{j,k}(T_i) = \ln \frac{Sa_{pre}(x_j, T_i)}{Sa_{sim}(x_j, T_i)}$$

CGOF は l 番目の周期区間および m 番目の断層最短距離区間に含まれる全データに対して $r_{j,k}(T_i)$ の平均値の絶対値と、 $r_{j,k}(T_i)$ の絶対値の平均をそれぞれ 0.5 倍して足し合わせた指標である。

$$CGOF(l, m) = \frac{1}{2} \left| \frac{1}{N_C} \frac{1}{n_{S,m}} \frac{1}{n_{T,l}} \sum_{k=1}^{N_C} \sum_{j=1}^{n_{S,m}} \sum_{i=1}^{n_{T,l}} r_{j,k}(T_i) \right| + \frac{1}{2} \frac{1}{N_C} \frac{1}{n_{S,m}} \frac{1}{n_{T,l}} \sum_{k=1}^{N_C} \sum_{j=1}^{n_{S,m}} \sum_{i=1}^{n_{T,l}} |r_{j,k}(T_i)|$$

ここで、 $n_{T,l}$ は l 番目の周期区間に含まれる周期ポイントの数、 $n_{S,m}$ は m 番目の断層最短距離区間に含まれる観測点の数、 N_C は計算ケース数である。Dreger et al. (2015)⁶⁾ では、CGOF 値が 0.35 より小さい場合は合致度が高い (pass)、0.7 を超える場合は合致度が低い (fail) とされている。

本検討では、南海トラフの想定震源域全体を震源域とし、破壊開始点を震源域の西端付近、中央付近、東端付近の 3 か所に設定し、さらに断層浅部の大すべり域を震源域の西側と東側にそれぞれ配置した計 6 種類の震源モデル (図 2-7-①-1) を対象とした。これらの震源モデルに対するハイブリッド合成法によるシミュレーションデータ (水平 2 成分をベクトル合成したもの) を用い、観測点をグルーピングする「断層距離範囲」を 10 km、30 km、50 km とした 3 通りの短周期補正を適用したデータを加え、計 4 通りのデータについて CGOF による評価に用いた。CGOF は、3 つの周期区間 (0.1~0.3 秒、0.3 秒~1 秒、1 秒~3 秒) と 4 つの断層最短距離区間 (20 km 未満、20~70 km、70~200 km、200 km 以上；図 2-7-①-1) の 12 通りの組合せに対して算出した (表 2-7-①-1)。また、CGOF 値の判定には上記の基準⁶⁾ を参照した。

周期区間 0.1~0.3 秒および 0.3 秒~1 秒、断層最短距離区間 20~70 km および 70~200 km において、ハイブリッド合成波形に対する CGOF 値は 0.7 に近い、それを超える値となり、地震動予測式との合致度が低いことが確認された。これに対し、短周期補正後のデータでは CGOF 値が減少し、一部の区間では 0.3 以下となるなど、地震動予測式との合致度が改善していることが定量的に確認できた。一方で、断層最短距離区間が 20 km 未満の場合、短周期補正の適用によって CGOF 値がハイブリッド合成波形に対する値よりも大きくなる (合致度が低下する) 場合も見られた。本検討の目的である遠方での短周期成分の補正は、断層最短距離範囲の設定に依らず有効であることが確認されたことから、断層最短距離範囲の設定においては、震源に近い地域でハイブリッド合成法の結果と大きな違いを生じさせないよう留意することが重要であると考えられる。

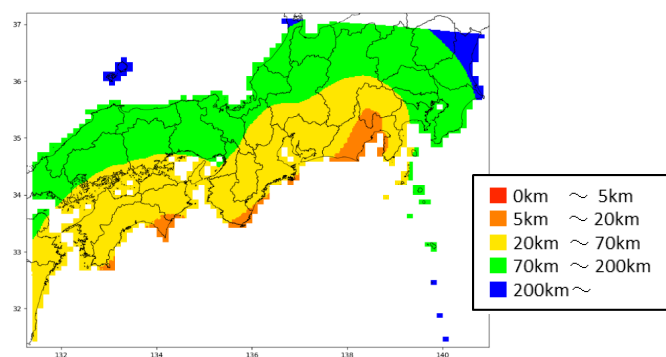
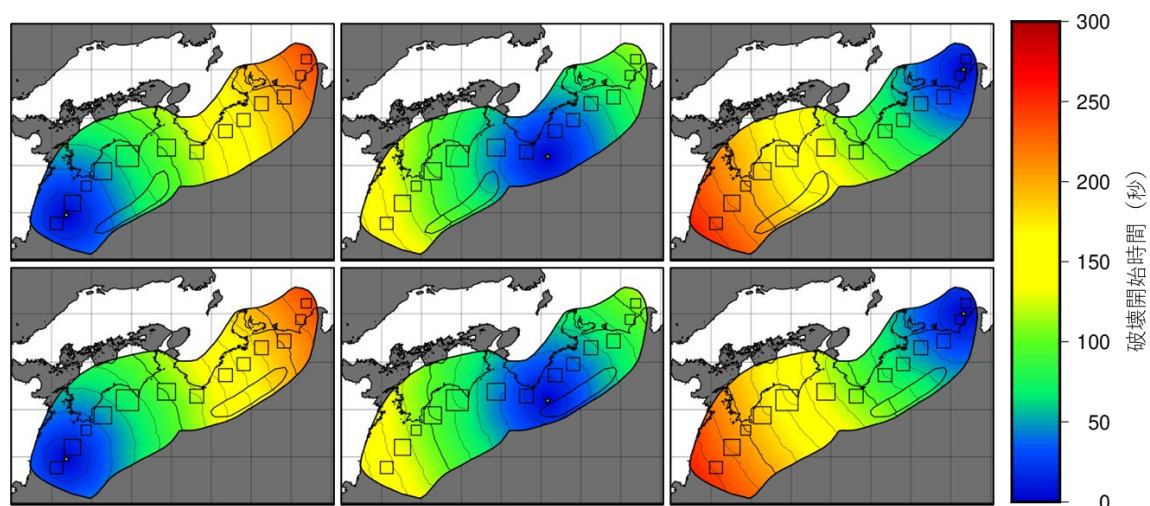


図 2-7-①-1 (上) 検討対象とした 6 種類の震源モデル。等高線は破壊開始時間の分布。震源域内の矩形、楕円状の領域はアスペリティおよび大すべり域。(下) 断層最短距離区間の分布。

表 2-7-①-1 GMPE との合致度 (CGOF 値)

CGOF	0.1~0.3s	0.3~1.0s	1.0~3.0s
~20km	0.54 0.28 0.56/0.46	0.23 0.47 0.72/0.44	0.25 0.31 0.38/0.28
20~70km	0.62 0.66 0.69/0.98	0.25 0.28 0.30/0.63	0.23 0.23 0.23/0.35
70~200km	0.60 0.61 0.62/1.3	0.25 0.26 0.27/0.76	0.43 0.43 0.43/0.48
200km~	0.35 0.34 0.35/0.43	0.23 0.23 0.24/0.30	0.66 0.66 0.66/0.78

※ [補正後 (グループ幅 10km|30km|50km) /ハイブリッド]

2) 長周期地震動の空間補間手法の検討

シミュレーションの網羅性を向上させながら、多様な震源モデル群を得るための枠組みの構築を目指し、南海トラフ地震を対象とした震源モデル群に対して面的に計算された多数のシミュレーション結果を活用し、仮想的な震源モデルに対する地震動指標を予測する手法を検討した。特に、震源モデルや観測点位置などの種々の要因間の相関を考慮しながら長周期地震動の空間的な特性を適切に評価することを重視し、決定論的な回帰式による予測にとどまらず、不確実さの要因間の相関を考慮した確率変数を予測する手法であるガウス過程回帰（GP 回帰）を適用した。また、多様な震源モデルを表現できるようにするために、入力変数（説明変数）として震源域を表す multi-hot 表現を採用した。更に、予測精度の向上とモデルの説明性の向上を目的として、逐次的に加法的な GP 回帰を適用した地震動シミュレーションの代理モデルについて検討した。

過年度までの研究により、南海トラフ地震の多様性を考慮した 259 ケースの震源モデル群に対する長継続時間地震動シミュレーション結果が蓄積されている。本取り組みでは、データセットとしてこれらの結果を利用した。震源域は、南海トラフ地震で想定される最大の震源域を東西方向に 6 分割、南北方向に 3 分割した合計 18 の部分領域の組み合わせで表現する。つまり、各成分がそれぞれの部分領域に対応する 18 次元ベクトルを考えて、ある部分領域を含む場合はその対応成分を 1 とし、含まなければその対応成分を 0 とする。これによって、一つの震源域は 18 次元の multi-hot ベクトルで表現される。259 ケースの中から 3 ケースを選んで検証用データセットとし、残りの 256 ケースを訓練用データセットとした。全データ数は 1,500 万を超えるため、代理モデルの対象範囲を大阪、愛知、東京のそれぞれ 40km 四方の 3 グループに限定した。観測点を 4 km 間隔に間引くことで各グループにおける GP 回帰で用いられる訓練データは約 25,000 程度とした。以下では大阪グループの結果を説明する。

周期 3 秒の速度応答 S_v のデータセットに対して逐次的に加法的な GP 回帰を適用することとした。逐次的に加法的な GP 回帰では、元のデータセットから 1 回目の GP 回帰で得られた事後分布の平均関数を差し引いた残差を 2 回目の GP 回帰のためのデータセットし、そのデータセットから 2 回目の GP 回帰で得られた事後分布の平均関数を差し引いた残差を 3 回目の GP 回帰のためのデータセットし、以降、再帰的にこの操作を繰り返す。目的に応じてそれぞれのステップの GP 回帰の入力変数を要因ごとに設定することで、元のデータセットから逐次的に要因ごとの関数の和の形で平均関数を抽出し、誤差の分散を徐々に小さくすることが期待される。

図 2-7-①-2 は逐次的に加法的な GP 回帰で予測した $\log_{10}(S_v)$ の真値と予測値の比較を示している。1 回目の GP 回帰の入力変数は観測点とアスペリティ重心の位置情報であり、震源-観測点間に依存する成分を抽出する。2 回目の GP 回帰の入力変数は観測点の地下構造情報であり、観測点依存成分を抽出する。3 回目の GP 回帰の入力変数は震源域の multi-hot 表現とマグニチュードと破壊開始点の位置情報であり、震源依存成分を抽出する。4 回目の GP 回帰の入力変数はこれまでの全ての入力変数であり、観測点と震源の相互作用の成分を抽出する。4 回目の GP 回帰の終了時点で、要因毎の関数の和の形で予測モデルと残差の共分散行列が得られる。図 2-7-①-2

から、徐々に $\log_{10}(S_v)$ の予測モデルの精度が向上していることが確認できた。図 2-7-①-3 は 4 回目の GP 回帰の終了時点での予測結果の空間分布を示しており、訓練データには存在しない震源モデルに対する予測ができていることが確認できた。

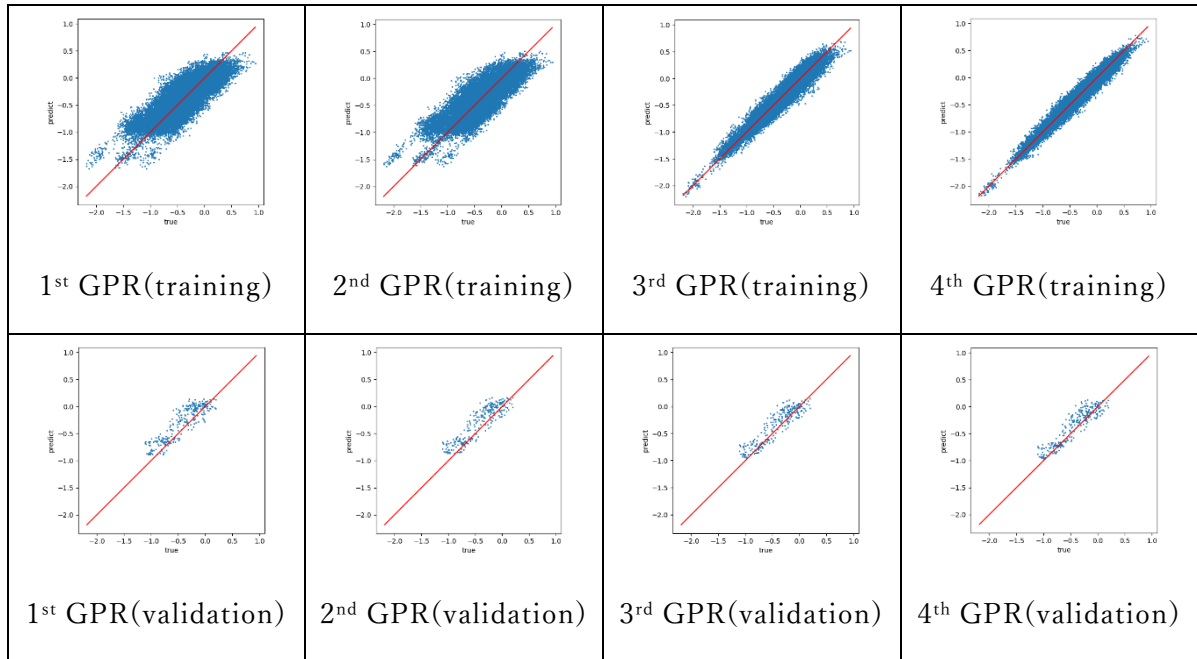


図 2-7-①-2 予測精度（上段は訓練データ、下段は検証データ、横軸は真値、縦軸は予測値）

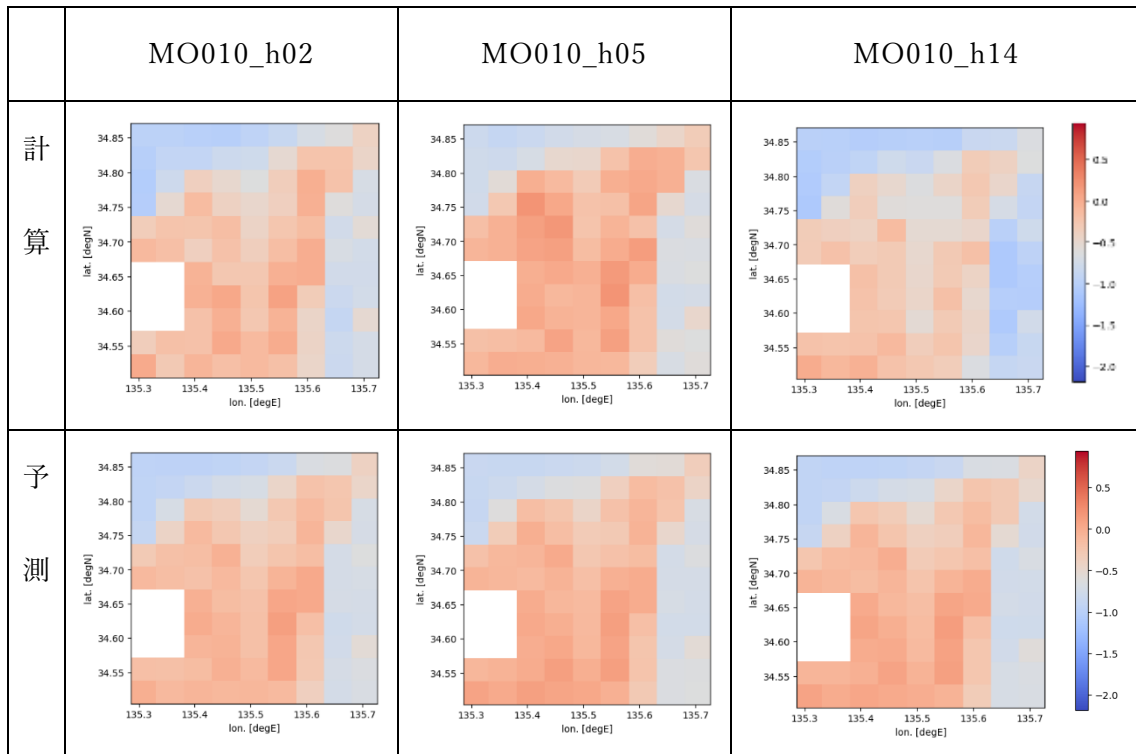


図 2-7-①-3 予測の空間分布（大阪府庁を中心とした 40km 四方の領域）

(d) 結論ならびに今後の課題

令和5年度に開発した短周期地震動の振幅補正手法の有効性を検証した。広帯域強震動シミュレーションの妥当性評価に用いられる指標 CGOF を用いて、補正手法を適用することでハイブリッド合成法による遠距離での短周期成分の過小評価が解消されていることを定量的に確認した。一方で、本手法のパラメータの設定では、補正により震源に近い地域においてハイブリッド合成法による結果と大きな違いが生じないことに留意する必要があることが示唆された。

また、これまでに蓄積された複数の震源モデルに対する地震波動伝播シミュレーション結果を用いて、任意に指定された仮想震源モデルに対する地震動を予測する代理モデルを構築した。特に、精度向上を目的として逐次的に加法的な GP 回帰の適用を検討した。GP 回帰は震源モデルや観測点位置などの種々の要因間の相関を考慮した予測モデルであり、特に、要因間の共分散行列の定めるガウス分布からサンプル生成が可能である。したがって、本検討による地震動シミュレーションの代理モデルを用いることによって、地震ハザード評価やリスク評価のための大量のサンプル生成を簡易に行う手法の開発につながると考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」），2020, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf（最終閲覧日 2024 年 3 月 18 日）。
- 2) Iwaki, A., T. Maeda, N. Morikawa, H. Miyake, and H. Fujiwara: Validation of the recipe for broadband ground-motion simulations of Japanese crustal earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 106(5), 2214-2232, 2016.
- 3) 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, pp. 878-888, 2013.
- 4) 森川信之, 藤原広行: Morikawa and Fujiwara (2013)に基づく地震動予測式, 2023, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/mf2013>（最終閲覧日 2024 年 3 月 1 日）。
- 5) 日本建築学会：免震構造設計指針，496 ページ，2013.
- 6) Dreger, D. S., G. C. Beroza, S. M. Day, C. A. Goulet, T. H. Jordan, P. A. Spudich, and J. P. Stewart: Validation of the SCEC broadband platform V14.3 simulation methods using pseudospectral acceleration data, Seismol. Res. Lett. 86, 39-47, 2015.

(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
ハイブリッド合成法と地震動予測式の融合による遠距離振幅補正（ポスター）	前田宜浩 中村洋光 藤原広行 赤木翔 関航佑	日本地震学会 秋季大会	2024. 10	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②津波遡上シミュレーション

(a) 業務の要約

本業務では、津波のハザード・リスク情報の創出を目的として、南海トラフ地震の多様性を表現するために構築された断層モデル群を用いた津波伝播遡上計算（以下、津波計算）を実施する。令和6年度は、過年度に得られた膨大な津波計算結果データを取りまとめ、データのより良い利活用を模索した。具体的には、津波計算のために創出した地殻変動量データを活用し隆起・沈降の特徴を分析した。また、堤防等の海岸構造物が破壊しない条件と、津波が越流する際に破壊する条件それぞれから得られた津波計算結果を比較し、構造物の破壊条件が浸水深分布に与える影響を分析した。

(b) 業務の実施方法

令和6年能登半島地震における地盤の隆起による被害を踏まえ、これまでに蓄積した最大クラスを含む3480個の波源断層モデル群に対する地殻変動量データを集計し、南海トラフ沿いの港湾・漁港における隆起の特徴、および沈降により新たに発生するゼロメートル地帯の特徴を分析した。さらに、課題2(d)の実証実験対象地域である四万十町志和地区・興津地区、黒潮町佐賀地区・入野地区を対象に、3480個の波源断層モデル群に対する浸水深分布データを集計し、海岸構造物の破壊の有無による浸水範囲の特徴を分析した。

本業務では、南海トラフ巨大地震の時空間的な地震発生の多様性を考慮し、3480個の波源断層モデル群から構成される、南海トラフ巨大地震の地震活動1サイクル中に出現する波源断層モデルの組合せ（以下、地震パターン）916669通りに注目した。具体的には、南海トラフ沿いで過去に発生した地震の発生履歴等に基づく、藤原ほか

(2020)¹⁾が916669通りの地震パターンそれぞれに設定した重み（相対発生確率）を用いて分析した。

(c) 業務の成果

1) 南海トラフ沿いの港湾・漁港における隆起の特徴

令和6年能登半島地震では、地震動や津波に起因する被害に加え、地盤の隆起による漁港の被害も明らかとなった（水産庁、2024）²⁾。過去の南海トラフ地震においても、多くの地点で地盤の隆起が報告されている（宇佐美ほか、2013）³⁾。隆起によって港湾・漁港が機能不全に陥った場合、物流・漁業への中長期的な影響のみならず、船舶を用いた緊急支援が困難になることも懸念される。そのため、南海トラフ地震によって港湾・漁港でどのような隆起が生じるのか、その特徴を事前に把握し、防災対策に役立てることが求められる。

こうした状況を踏まえ、これまでに蓄積した、3,480個の波源断層モデル群に対してOkada (1992)⁴⁾の方法で求めた鉛直地殻変動量データをもとに、916669通りの地震パターンに対する鉛直地殻変動量の特徴を分析した。具体的には、対象とする港湾・漁港において、或る閾値を超える鉛直地殻変動量が生じる地震パターンの重みの総和を算出し、隆起の特徴を分析した。

対象とする港湾・漁港は、南海トラフ沿いに位置する港湾・漁港のうち、以下の条件を考慮し、清水港、御前崎港、焼津漁港、串本漁港、室戸岬漁港を選定した（図2-7-②-1）。

- ・ 国内における特に重要な港湾・漁港であること（港湾の場合、国際戦略港湾／国際拠点港湾／重要港湾；漁港の場合、特定第3種漁港／第3種漁港）
- ・ 3,480個の波源断層モデル群から得られた鉛直地殻変動量の平均値（図2-7-②-2）から隆起の傾向が想定される港湾・漁港であること

このうち、清水港は選定した他の港湾・漁港と比較して面積が大きく、港内の地点によっては隆起量に有意な差が生じることが考えられる。そこで、清水港については新興津埠頭と日の出埠頭を対象とした（図2-7-②-1）。

分析の結果として、各港湾・漁港における鉛直地殻変動量のヒストグラムと重みの総和を図2-7-②-3に示す。以下、分析結果の活用例として、南海トラフ巨大地震発生後に港湾・漁港が支援拠点として機能するか、という観点から隆起の特徴を考える。具体的には、大型船舶が着岸する清水港について、916669通りの地震パターンに対する鉛直地殻変動量、清水港のバース水深、支援船の着岸に必要な水深を比較した。支援船の着岸に必要な水深は、大規模災害時の緊急物資等支援船に対応可能な港湾施設の諸元を整理した赤倉・小野（2017）⁵⁾を参考に、東日本大震災および平成28年熊本地震における緊急支援実績船がいずれも着岸できる9.0m以上と考えた。なお、海底面の隆起以外による港湾施設の機能喪失は考慮していない。

清水港の北部に位置し、港内の公共埠頭のうち最も水深が深いコンテナターミナルである新興津埠頭（水深15.0m）の場合、支援船の着岸に必要な水深を9.0m以上と仮定すると、6.0m以上の隆起が生じると着岸不可となる。新興津埠頭における鉛直地殻変動量を分析すると、6.0m以上の場合の重みの総和は1%であり、「全割れ」となる地震が該当した（Mw9.0～9.2）。すなわち、「全割れ」となる南海トラフ巨大地震が発生した場合、新興津埠頭を含む清水港内のすべての公共埠頭が支援拠点として十分に機能しない状況となる可能性を示唆している。

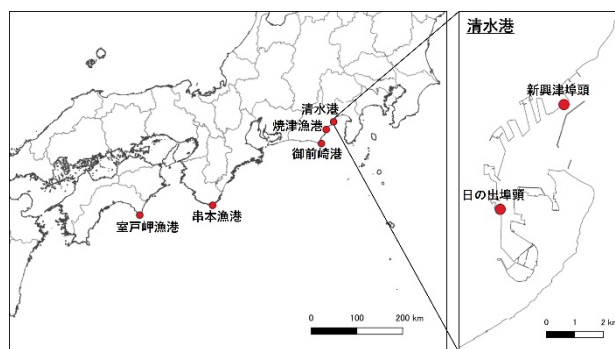


図 2 - 7 - ② - 1 選定した港湾・漁港

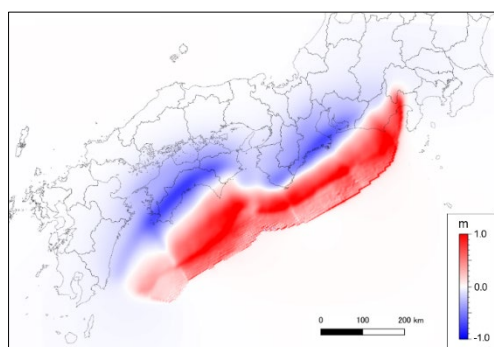
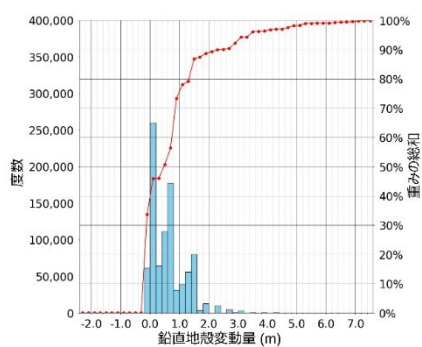
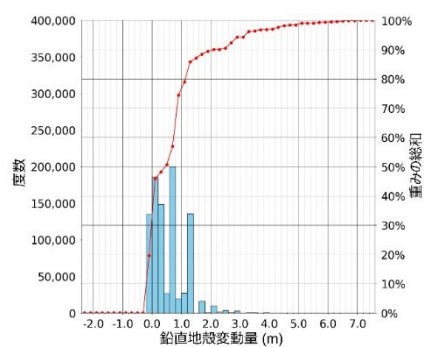


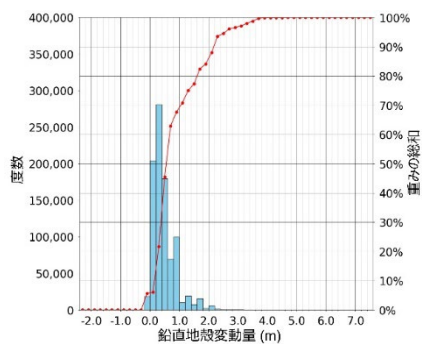
図 2 - 7 - ② - 2 3,480 個の波源断層モデル群による鉛直地殻変動量の平均値分布



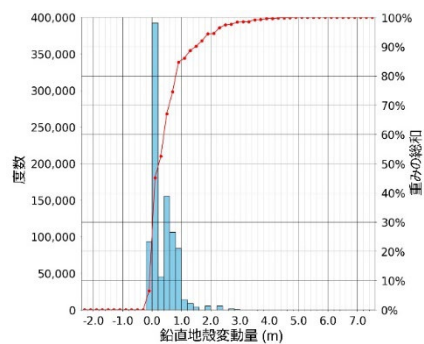
(a) 清水港新興津埠頭



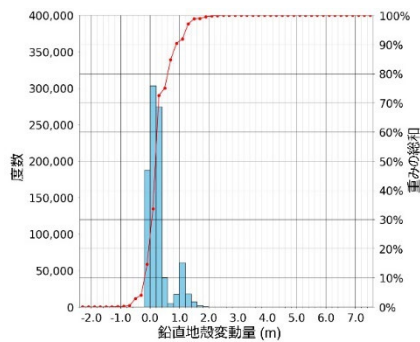
(b) 清水港日の出埠頭



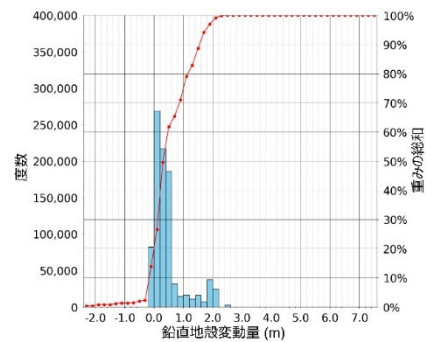
(c) 御前崎港



(d) 焼津漁港



(e) 串本漁港



(f) 室戸岬漁港

図 2-7-②-3 地震パターン 916,669 通りに対する隆起量のヒストグラムと重みの総和 (赤線)

清水港の中央付近に位置し、客船ターミナルである日の出埠頭 (水深 12.0m) の場合、支援船の着岸に必要な水深を 9.0m 以上と仮定すると、3.0m 以上の隆起が生じると着岸不可となる。日の出埠頭における鉛直地殻変動量を分析すると、3.0m 以上の場合の重みの総和は 6 % であり、「全割れ」および東側で「半割れ」となる地震が該当した (Mw8.4 ~ 9.2)。すなわち、「全割れ」のみならず、東側で「半割れ」となる南海トラフ巨大地震が発生した場合、日の出埠頭が支援拠点として十分に機能せず、また同規模の旅客船が着岸できない可能性を示唆している。

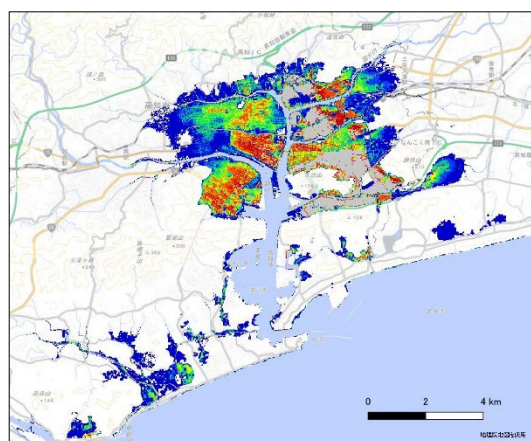
2) 沈降により新たに発生するゼロメートル地帯の特徴

地震パターン 916669 通りに対する鉛直地殻変動量を用いて、沈降により新たに発生するゼロメートル地帯の特徴を分析した。具体的には、対象とする地域における陸域の各 10m 計算格子について、標高が正から負となる鉛直地殻変動が生じる地震パターンの重みの総和を算出し、その特徴を分析した。地震パターンを構成する複数回の地震 (複数の波源断層モデル) による鉛直地殻変動量の累積ではなく、1 回の地震によって標高が正から負となるかという観点で分析した。

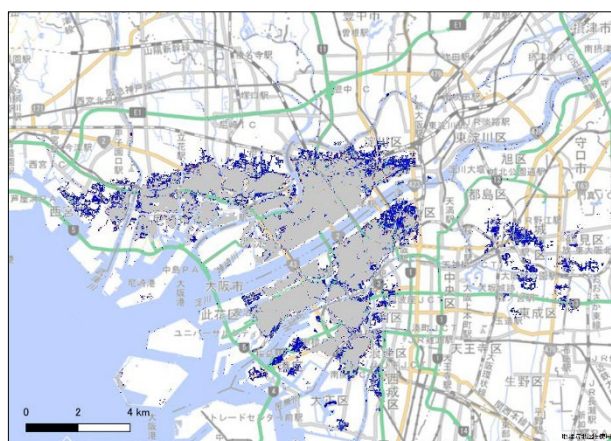
対象とする地域は、過年度に津波計算を実施した地域のうち、以下の条件を考慮し、高知市周辺、大阪市周辺、名古屋市周辺、西尾市周辺を選定した。

- ・ 図 2-7-②-2 から沈降の傾向が想定される、人口や資本ストックが集中している地域であること
- ・ 3480 個の波源断層モデル群から得られた鉛直地殻変動量分布において、標高が正から負となる 10m 計算格子の数が比較的多い地域であること

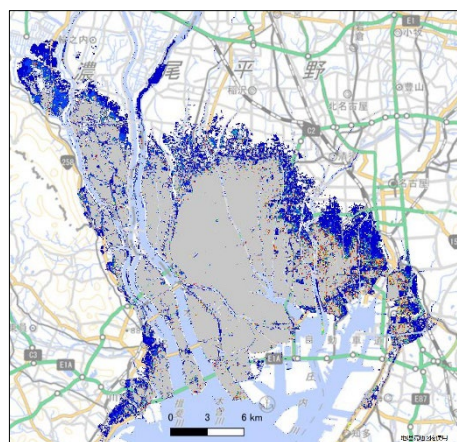
分析の結果として、標高が正から負となる鉛直地殻変動が生じる地震パターンの重みの総和の分布を図 2-7-②-4 に示す。重みの総和が大きいほど、次の南海トラフ巨大地震の地震活動 1 サイクル中において、新たにゼロメートル地帯となる可能性が高いことを示している。また、既に標高が 0 m 未満の 10m 計算格子を灰色で示している。



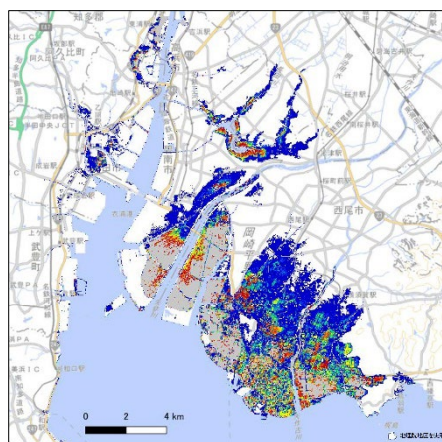
(a) 高知市周辺



(b) 大阪市周辺



(c) 名古屋市周辺



(d) 西尾市周辺

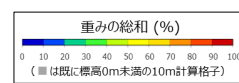


図 2-7-②-4 標高が正から負となる鉛直地殻変動が生じる地震パターンの重みの総和の分布

高知市周辺および西尾市周辺においては、現在のゼロメートル地帯の面積と同規模以上のゼロメートル地帯が生じる可能性を示唆している。さらに、赤色や橙色の分布が多く見られることから、その可能性が比較的高いことを示唆している。また、大阪市周辺や名古屋市周辺といった大都市部においても、ゼロメートル地帯が新たに発生する可能性のある地域が見られる。名古屋市の場合、市内南部においてゼロメートル地帯が広く生じる可能性を示唆している。

3) 海岸構造物の破壊の有無による浸水範囲の特徴

過年度に創出した、堤防等の海岸構造物が破壊しない条件、および津波が越流する際に破壊する条件それぞれにおける津波計算結果をもとに、916669 通りの地震パターンに対する浸水範囲の特徴を分析した。具体的には、海岸構造物が破壊しない条件／破壊する条件それぞれについて、対象とする地域における陸域の各 10m 計算格子が浸水する地震パターンの重みの総和を算出し、海岸構造物の破壊の有無による浸水範囲の特徴を分析した。

対象とする地域は、課題 2 (d) の実証実験対象地域である四万十町志和地区および興津地区、黒潮町佐賀地区および入野地区とした (図 2-7-②-5)。

分析の結果として、海岸構造物が破壊しない条件／破壊する条件それぞれについて、浸水範囲と地震パターンの重みの総和を図 2-7-②-6 に示す。重みの総和が大きいほど、次の南海トラフ巨大地震の地震活動 1 サイクル中において、浸水する可能性が高いことを示している。それぞれの地域に共通する特徴として、海岸構造物が破壊することで、浸水範囲が河川の上流側まで拡大し、また海岸近くの平野部で浸水の可能性が大きくなることが確認できる。

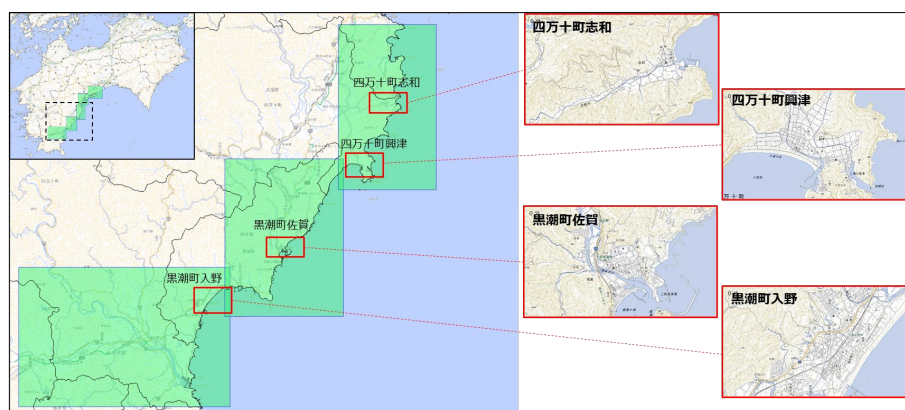
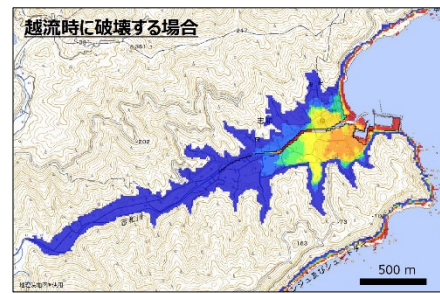
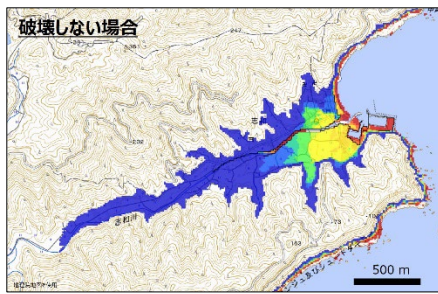
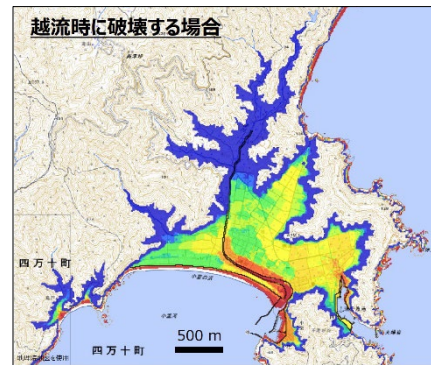
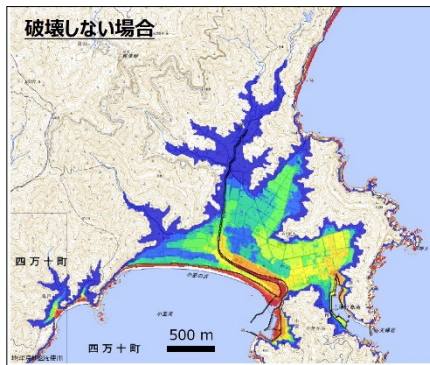


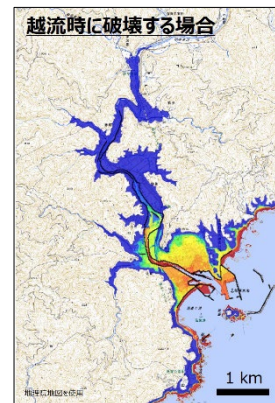
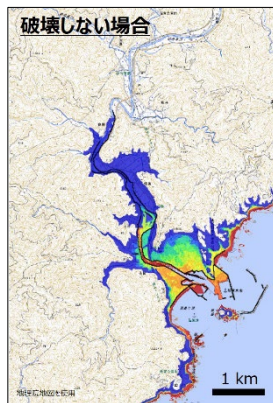
図 2-7-②-5 海岸構造物の破壊条件の違いによる浸水範囲の分析対象地域



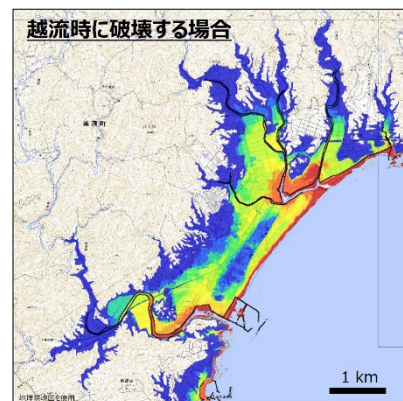
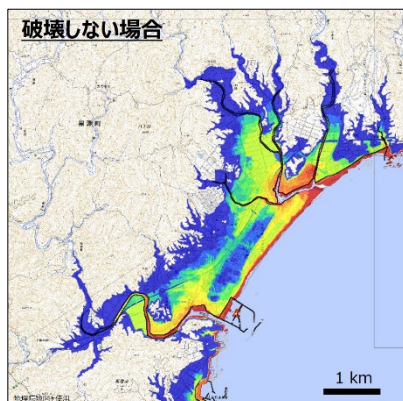
(a) 四万十町志和地区



(b) 四万十町興津地区



(c) 黒潮町佐賀地区



(d) 黒潮町入野地区

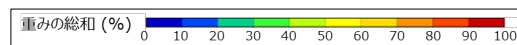


図 2-7-②-6 海岸構造物の破壊条件の違いによる浸水範囲と地震パターンの重みの総和の分布

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 令和 6 年能登半島地震における地盤の隆起による被害を踏まえ、南海トラフ巨大地震の時空間的な地震発生の多様性を考慮した 916669 通りの地震パターンを対象に、清水港、御前崎港、焼津漁港、串本漁港、室戸岬漁港における隆起の特徴を分析した。緊急支援実績船の着岸に必要な水深と得られた隆起の特徴を比較することで、港湾・漁港が支援拠点としてどの程度機能するかといった議論に資することが期待される。
- 2) 地震パターン 916669 通りに対して、高知市周辺、大阪市周辺、名古屋市周辺、西尾市周辺において沈降により新たに発生するゼロメートル地帯の特徴を分析した。高知市周辺や西尾市周辺の場合、現在のゼロメートル地帯の面積と同規模以上のゼロメートル地帯が生じる可能性が示唆された。新たに生じうるゼロメートル地帯を事前に把握することで、津波のみならず、洪水や高潮といった水害対策やリスクの把握に資することが期待される。
- 3) 海岸構造物が破壊しない条件／破壊する条件それぞれにおける津波計算結果をもとに、916669 通りの地震パターンに対する浸水範囲の特徴を分析した。課題 2 (d) の実証実験対象地域である四万十町志和地区および興津地区、黒潮町佐賀地区および入野地区に共通する特徴として、海岸構造物が破壊することで、浸水範囲が河川の上流側まで拡大し、また海岸近くの平野部で浸水の可能性が大きくなることが確認された。海岸構造物の破壊条件に応じた浸水状況を事前に把握することで、津波避難計画の策定や津波リスクの把握に資することが期待される。

これらの検討は、過年度に得られた津波計算結果データのより良い利活用に向けた試行的な取り組みであることに留意されたい。隆起・沈降については、今後、それらを含めた地震に伴う複合・連鎖災害のハザード・リスク評価、その評価のためのツールの開発が求められる。また、隆起・沈降のより詳細な検討においては、コサイスマミックな地殻変動のみならず、大地震活動 1 サイクルにおける地殻変動の考慮も重要であると考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 藤原広行、平田賢治、中村洋光、森川信之、河合伸一、前田宜浩、大角恒雄、土肥裕史、松山尚典、遠山信彦、鬼頭直、大嶋健嗣、村田泰洋、齊藤龍、澁木智之、秋山伸一、是永眞理子、阿部雄太、橋本紀彦、袴田智哉、大野哲平：南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 ―第一部 本編―、防災科学技術研究所研究資料、439、2020。
- 2) 水産庁：令和 6 年能登半島地震漁業地域復旧・復興技術検討会、2024。
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_zyoho_bako/gizyutu_kentokai/gizyutu_kentokai.html (2025 年 3 月 12 日閲覧)
- 3) 宇佐美龍夫、石井寿、今村隆正、武村雅之、松浦律子：日本被害地震総覧 599-2012、東京大学出版会、724pp、2013。
- 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) 赤倉康寛、小野憲司：大規模災害時の緊急支援船の船型・対応係留施設の分析―東北地方太平洋沖地震及び平成 28 年熊本地震の例―、国土技術政策総合研究所資料、942、2017。

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震の発生の多様性を考慮した隆起の特徴－漁港・港湾を対象とした事例解析－（ポスター）	土肥裕史 中村洋光 藤原広行 赤木翔	日本地震学会2024 年度秋季大会	2024.10	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③地震発生の多様性を考慮したリスク評価

(a) 業務の要約

本業務は、南海トラフ沿いで発生する地震の多様性¹⁾、²⁾を踏まえたうえで、起こりうる全てのシナリオへの対策や対応の同時最適化を最終的な目的として、多様性を反映した多数の地震像を被害の様相に基づいて類型化すると共に、代表的な地震パターンを対象とした広域災害シナリオを構築したものである。このうち、本年度は3地震からなる広域災害シナリオに重点を置いた。広域災害シナリオの構築に先立って、まずリスク評価の観点から海岸線付近等の津波ハザードを改良するとともに、リスク評価に取り込んだ。これは、海岸線や河川沿いの堤外地などで、地震発生直後に浸水する地点があり、僅かではあるものの人的被害への影響があったためである。次に、被害の様相を特徴量として地震像を類型化すると共に、類型から抽出した地震に基づいて代表的な地震パターンを構築した。代表的な地震パターンの中には、駿河湾単独を震源域とする地震を含んだ、3地震からなる地震パターンも含まれる。上記で構築した代表的な地震パターンを対象として、広域災害シナリオを構築した。広域災害シナリオの構築にあたっては、自然現象の多様性に加えて、社会活動の多様性として南海トラフ地震臨時情報に伴う複数ケースの事前避難を想定した広域災害シナリオを構築した。

構築した広域災害シナリオのうち、自然側の条件である地震パターンが同一でかつ、社会活動側の対応（事前避難率）の異なるシナリオを比較して、被害の様相が変化することを定量的に示した。また、事前避難率を高めた場合には、人的被害は減少する一方で、避難者数や経済的な被害（地域総生産の低下額）は増加するといったトレードオフの関係を示した。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ沿いで発生する地震には多様性が存在すると考えられている^{1)、2)}。この南海トラフの多様性の表現形式には、令和5年度以前と同様に表2-7-③-1の定義を用いた。また、震源域や波源断層モデルの表記は、藤原ほか(2020)¹⁾の表記法に準拠した。

表2-7-③-1 南海トラフ地震の多様性を表現する用語の一覧

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

海岸線付近等の津波ハザードの修正は、リスク評価の観点から理論的な津波到達時刻の最小値よりも早く津波が到達する計算格子を除外することにより実施した。具体的には、南海トラフの海溝軸付近のみの震源域を対象として、断層最短距離と、南海トラフの海溝軸の水深での津波伝播速度から求めた到達時刻よりも早く津波が到達する計算格子を除外した。

地震像の類型化は、被害の様相を特徴量とした機械学習により実施した。類型化に先立って、最大で数千次元からなる市区町村単位および地震発生からの経過時間別の特徴量を可視化技術により2次元もしくは3次元まで削減した。上記により次元削減した特徴量を、教師なし分類のアルゴリズムにより分類することで地震像を類型化した。教師なし分類で問題となる分類の数は、分類器やデータの次元数を変化させても安定した結果を得られる分類数を採用した。また、被害の大きさと地震の発生しやすさから地震の代表性を示す指標値に基づいて、類型の中から地震を抽出した。さらに、上記で抽出した地震からパターンを構築することにより、代表的な地震パターンを作成した。

広域災害シナリオは被害の様相の時系列的な変化や地域的な分布を示したものである。被害の様相は、住民避難・経済活動維持・大都市機能維持の3つの目的に応じた被害それぞれの様相を表す特徴量と、建物被害および人的被害リスク評価結果である。本年度は、昨年度までに作成していない3地震からなるパターンを中心に作成した。また、社会側の対応による被害の様相の変化を定量的に示すために、同一の地震パターンに対して複数の事前避難率に基づく広域災害シナリオを構築した。

(c) 業務の成果

1) 海岸線付近等の津波ハザードの修正

令和5年度以前のリスク評価に用いた津波ハザードデータを参照すると、津波到達時刻が極端に早い計算格子が存在する。海岸線や河川沿いの限られた地域のみではあるものの、これらの計算格子の影響によりリスクを過大に評価する可能性が懸念される。このため、より適正なリスク評価を行う目的で、これらの計算格子を浸水深等の算出対象から除外した。

具体的には、理論的な津波到達時刻の最小値よりも早く津波が到達する格子を、リスク評価の対象から除外した。津波到達時刻の理論的な最小値は、震源域 ZEs（藤原ほか(2020)¹⁾）からの断層最短距離と、南海トラフの最深部の水深に相当する 4,500m における津波の伝播速度(210m/s)算出した(表 2-7-③-2・図 2-7-③-1)。また、比較対象には、震源域 ZEs 構成する 42 波源断層モデルの津波伝播遡上計算による到達時刻の最大値を用いた。

表 2-7-③-2 リスク評価の対象外とする計算格子の抽出条件

項目	条件	備考
震源域	ZEs	42個の波源断層モデルが含まれる
伝播速度	210m/s	水深4,500mでの津波伝播速度
抽出対象	陸上の計算格子	水部の計算格子は既に除外済み

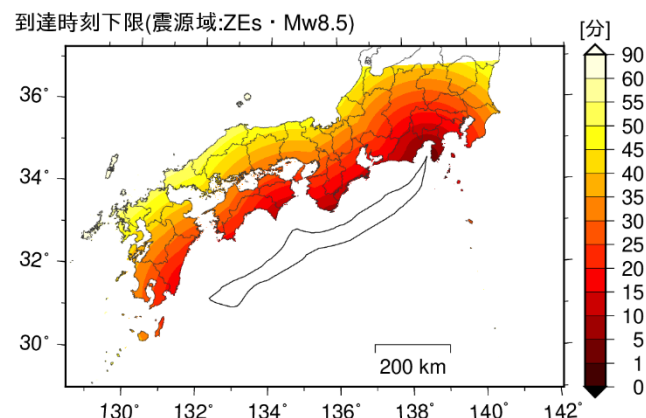


図 2-7-③-1 震源域 ZEs（図中黒枠）による津波到達時刻の下限値

上記により、18502 格子をリスク評価の対象外とした。対象外とした計算格子は、図 2-7-③-2 に例示したとおり海岸線や河川沿いの計算格子であった。



図 2-7-③-2 リスク評価の対象外とした計算格子の例

2) 地震像の類型化および代表的な地震パターンの抽出

令和 5 年度までに構築した手法に基づいて、被害の様相に基づく地震像の類型化および代表的な地震パターンの抽出をした。特徴量は、前述の改良を施した津波ハザード情報に基づいて評価した。類型化および代表的な地震パターンの抽出手法は令和 5 年度までの検討結果を踏まえたものであり、その一連の流れは図 2-7-③-3 に示したとおりである。まず、藤原ほか (2020) ¹⁾ 個別の波源断層モデル (3480 地震) を類型化した。そのうえで、それぞれの類型から代表的な地震を抽出した。そのうえで、抽出した地震から構築した地震パターンを、代表的な地震パターンとして全体の地震パターンから抽出した。

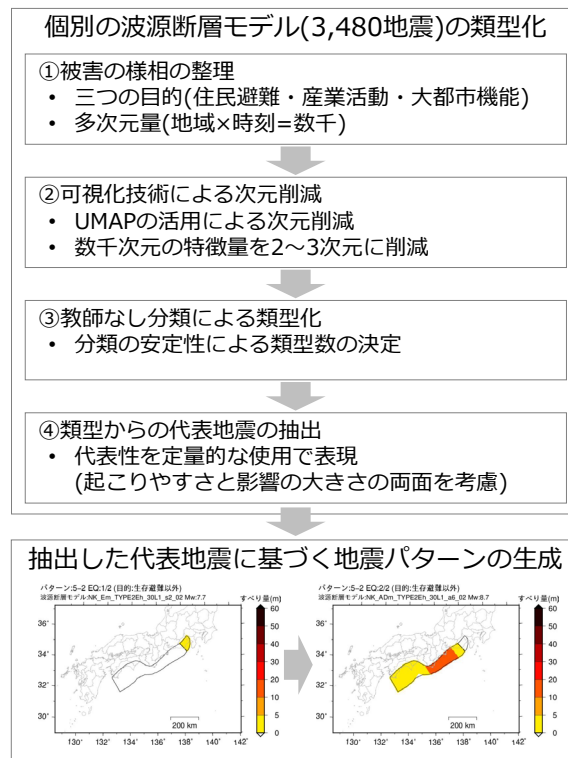


図 2-7-③-3 地震像の類型化の流れ

a) 単一の地震を対象とした地震像の類型化

藤原ほか（2020）¹⁾により設定された 3480 地震による被害の様相を対象として地震像を類型化した。類型化は表 2-7-③-3 に示した 4 つの特徴量それぞれについて実施した。また、地域のポテンシャルを表す避難困難者数以外の特徴量は時々刻々と様相が変化することから、災害家庭の 4 つのタイムフェーズ（内閣府（2007）³⁾）を参考にして、発災直後（6 時間後）、2 日後、15 日後および 120 日後の被害量を対象とした。

表 2-7-③-3 地震像の類型化の目的と特徴量の一覧

目的	特徴量	備考
住民避難	避難困難者数	地震発生から 5 分以内に避難を開始しても避難を完了出来ない人数(生存避難)。
	避難者数	建物被害やライフラインの途絶に起因する避難者数(生活避難)。
産業活動維持	総生産低下額 (フローの被害)	地震前の地域総生産(市区町村単位)からの低下額。
大都市機能維持	帰宅困難者数	市区町村外から鉄道を利用する通勤・通学者数に鉄道の運行停止率を乗じたもの。

被害の様相に係る特徴量は数百～数千次元（表 2-7-③-4）からなる多次元のデータセットである。このように多次元なデータセットを直接分類しようとした場合には、データが空間の外側に集中するいわゆる「次元の呪い」により適切な分類をすることが困難になる。そのため、基のデータの特徴を維持したまま次元を削減する必要がある。本業務では非線形の高次元データを低次元化して可視化する技術である UMAP により 2～3 次元まで低次元化した。

表 2-7-③-4 特徴量の次元数

目的	特徴量	次元数	
住民避難	避難困難者数	171	避難困難者が発生する市区町村
	避難者数	5404	市区町村数(1351)×時点数(4)
産業活動維持	総生産低下額	5404	市区町村数(1351)×時点数(4)
大都市機能維持	帰宅困難者数	1554	市区町村数(518)×時点数(3)

類型化は、上記で低次元化した特徴量を、教師なし分類により分類することで実施した。分類器には階層クラスタリングおよび k-means を用いた。教師なし分類のアルゴリズムを用いる場合には適切な分類数を設定する必要がある。樹形図（デンドログラム）から距離のギャップが大きい分類数を抽出することが一般的であるものの、本業務では距離のギャップが不明瞭であった。そのため、データや分類手法を変えた 2 つの分類結果（表 2-7-③-5）を、相互に比較（表 2-7-③-6）することにより分類数を決定した。分類数の決定の例として、産業活動維持を目的とした総生産低下額を特徴量とした分類の試行による評価指標の推移を図 2-7-③-4 に示した。この推移を見ると、分類数が増えるに従って増加し、分類数 22 で二つの評価指標がともにほぼ 1 となっている。従って、産業活動維持を目的とした類型化では類型の数を 22 類型とした。

表 2-7-③-5 比較対象とした分類の条件

	データの次元数	分類手法
①	2次元	階層クラスタリング
②	3次元	k-means

表 2-7-③-6 分類の試行結果の比較に用いた評価指標

略称	名称	概要
ARI	調整ランド指数	2つの分類結果が同一の場合1となる。
NMI	正規化相互情報量	2つの分類結果が同一の場合1となる。

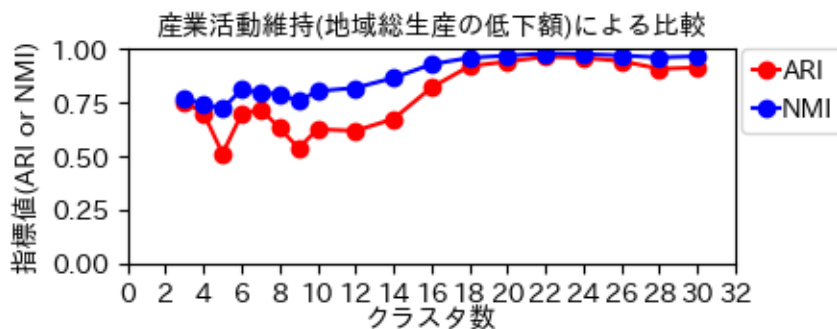


図 2-7-③-4 評価指標の例(産業活動維持:総生産低下額)

なお、類型の番号が特徴量(被害)の大きさと関連付けら得るように、特徴量の全国集計値(類型平均)の順位となるように設定した。具体的には下記により求めた特徴量の全国平均値を降順でソートし、被害が最大の類型の番号が1となるようにした。

$$V = \frac{\sum_d \sum_c \sum_{i=1}^N D_{d,c,i}}{N}$$

ここで、V:特徴量の全国集計値(平均)、D:特徴量(被害、地域・時刻・地震別)、d:地震発生からの経過時間(番号)、c:地域番号、i:類型内での地震番号、N:類型を構成する地震数とする。

上記による類型化の結果として、それぞれの特徴量毎の類型数を表 2-7-③-7 に示した。

表 2-7-③-7 類型化結果

目的	特徴量	類型数
住民避難	避難困難者数	16
	避難者数	12
産業活動維持	総生産低下額	22
大都市機能維持	帰宅困難者数	18

類型化の結果のうち、産業活動維持に係る地域総生産の低下額を特徴量とした類型化結果を例示する。被害の大きさと地震の起こりやすさを可視化する観点で、特徴量の全国集計値の平均値と類型を構成する地震の重みからなる散布図を作成し、図 2-7-③-5 に示した。類型を構成する地震の重みとは、藤原ほか（2020）¹⁾ による震源域セットの重みをもとに類型ごとに積算した値で、類型内の地震が地震サイクルの一回目の地震に出現する重みに相当する。図 2-7-③-5 を見ると、影響の大きさでは類型 1 が最大であるが、起こりやすさの観点では類型 20 が圧倒的に大きい。また、類型 8 は地域総生産の低下額が比較的多いのに加えて、重みも約 0.15 と比較的大きな値となっている。

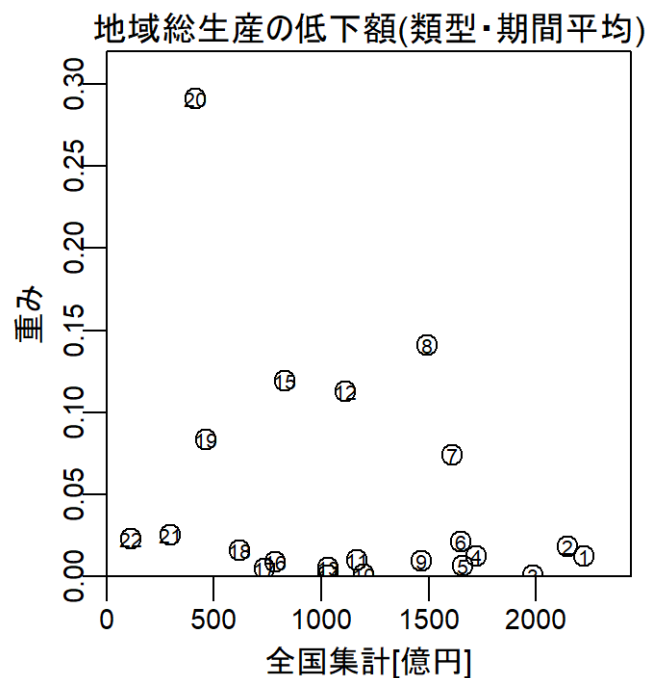


図 2-7-③-5 産業活動維持に係る類型化結果による被害量とタイプの重み

また、上記の類型化結果から、被害量やタイプの重み等を参考に類型 1、8、20 の 3 類型について、類型を構成する地震の震源域の広がりおよび地震規模を図 2-7-③-6 に示した。類型 1 は前述の通り被害量が最大となる地震で、その震源域の多くは日向灘から駿河湾にかけての広い範囲が破壊する M9 クラスの地震である。類型 8 を構成する地震の多くは駿河湾から熊野灘にかけての領域が破壊する地震である。類型 20 の多くは四国海盆から紀伊水道沖にかけての領域が破壊する地震から構成されている。

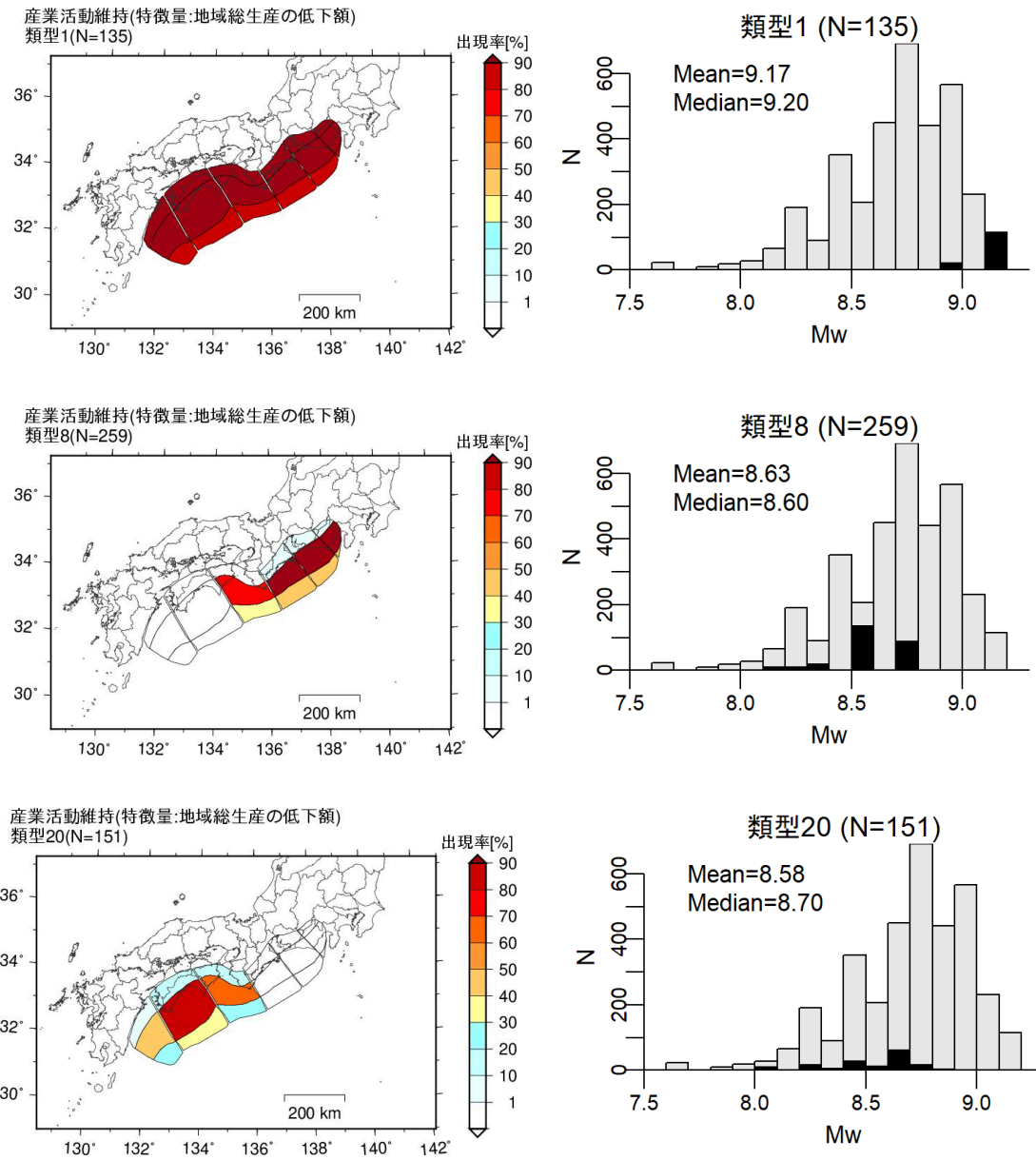


図 2-7-③-6 震源域の出現率および地震規模のヒストグラム
 (産業活動維持、類型 1・8・20)

iii) 代表地震の抽出

前項の類型を構成する地震群から、令和 5 年度までに検討した手法を用いて、それぞれ 1 地震を代表地震として抽出した。具体的には、類型を構成する地震群の中で、下記により求められる定量的な指標が最大の地震を抽出した。

$$V_i = \left(\sum_d \sum_c D_{d,c,i} \right)^\alpha \times W_i^{(1-\alpha)}$$

ここで、 V : 代表性を表す指標 (以下、代表指標値と称する)、 i : 地震番号、 d : 地震発生からの経過時間 (番号)、 c : 地域 (市区町村) 番号、 D : 特徴量、 W : 地震 (波源断層モデル) の重み、 α : パラメータ ($0 \leq \alpha \leq 1$) とする。なお、地震の重みは藤原ほか (2020)

1)による地震セットの重みを基に算出した。この指標は、被害の大きさと地震の起こりやすさの両方を、目的に応じて評価できるものである。上記の抽出結果の例として、パラメータ $\alpha=0.5$ (被害の大きさと重みの中間) における、避難困難者数および地域総生産の低下額を特徴量とした場合の代表地震を、表 2-7-③-8 および表 2-7-③-9 にそれぞれ示した。

表 2-7-③-8 代表地震の抽出結果例 (特徴量: 避難困難者数、 $\alpha=0.5$)

類型 番号	波源断層モデル コードは藤原ほか (2020) による	震源域			
		コード	走向方向	傾斜方向	Mw
1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
2	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_m4_s4_02	AEm	ABCDE	m	8.8
3	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L2_d1_s3_02	ZDall	ZABCD	all	9.1
4	NK_CEm TYPE2Eh_30L1_s5+SL_02	CEsm	CDE	sm	8.6
5	NK_AEm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	AEm	ABCDE	m	8.8
6	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L2_m1_d1_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
7	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	CEm	CDE	m	8.4
8	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d3_02	ADm	ABCD	m	8.7
9	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	ADm	ABCD	m	8.7
10	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02	ADm	ABCD	m	8.7
11	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	Em	E	m	7.7
12	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m2_s4_02	ADm	ABCD	m	8.7
13	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02	ADm	ABCD	m	8.7
14	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_s1_02	CDm	CD	m	8.3
15	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d3_02	CDm	CD	m	8.3
16	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	ABm	AB	m	8.6

表 2-7-③-9 代表地震の抽出結果例 (特徴量: 総生産の低下額、 $\alpha=0.5$)

類型	波源断層モデル コードは藤原ほか (2020) による	震源域			
		コード	走向方向	傾斜方向	Mw
1	NK_ZEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZEall	ZABCDE	all	9.2
2	NK_AEall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	AEall	ABCDE	all	9.1
3	NK_BEmd_TYPE2Eh_30L1_a4_02	BEmd	BCDE	md	8.8
4	NK_ZDall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ZDall	ZABCD	all	9.1
5	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	ZEm	ZABCDE	m	8.9
6	NK_ADall_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	ADall	ABCD	all	9.0
7	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02	AEm	ABCDE	m	8.8
8	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	CEm	CDE	m	8.4
9	NK_CDmd_TYPE2Eh_30L1_d1_02	CDmd	CD	md	8.5
10	NK_ZCm TYPE2Eh_30L1_a4d1_02	ZCm	ZABC	md	8.9
11	NK_ZDm_TYPE2Eh_30L2_m3_d3_02	ZDm	ZABCD	m	8.8
12	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	ADm	ABCD	m	8.7
13	NK_BDm_TYPE2Eh_30L2_d3_d2_02	BDm	BCD	m	8.5
14	NK_BCm TYPE2Eh_30L1_s2d1_02	BCmd	BC	md	8.5
15	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	CDm	CD	m	8.3
16	NK_ZCm_TYPE2Eh_30L1_m3_02	ZCm	ZABC	m	8.8
17	NK_ACm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ACm	ABC	m	8.7
18	NK_BCm_TYPE2Eh_30L1_d3d1_02	BCm	BC	m	8.3
19	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	Em	E	m	7.7
20	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	ABm	AB	m	8.6
21	NK_CEs_TYPE2Eh_30L1_a6_02	CEs	CDE	s	8.1
22	NK_ABs_TYPE2Eh_30L1_a4_02	ABs	AB	s	8.2

d) 複数回の地震から構成される地震パターンの抽出

南海トラフ地震の多様性全体を構成する膨大な量の地震パターンから、代表的な地震パターンを抽出した。抽出した地震パターンは、令和5年度までの検討結果を踏まえて、前項の代表地震から構築される地震パターンとした。なお、代表地震の抽出にあたっては、影響の大きさと地震の起こりやすさの両面を評価する観点で、両者の中間（ $\alpha=0.5$ ）により代表地震を抽出した。また、類型化の比較結果（表2-7-③-10）をみると、生存避難を目的とした類型化結果は他の類型化結果と異なるものの、それ以外の生活避難、産業活動維持および大都市機能維持を目的とした類型化結果は類似している。なお、上記の比較は、分類数が最大となった産業活動維持に係る22分類に揃えた場合の類型化結果を比較対象とした。

表2-7-③-10 類型化結果の比較

目的		調整ランド指数(ARI)				正規化相互情報量(NMI)			
		生存避難	生活避難	産業活動維持	大都市機能維持	生存避難	生活避難	産業活動維持	大都市機能維持
住民避難	生存避難	1.000	0.161	0.155	0.153	1.000	0.391	0.395	0.385
	生活避難	0.161	1.000	0.708	0.706	0.391	1.000	0.873	0.838
産業活動維持		0.155	0.708	1.000	0.789	0.395	0.873	1.000	0.891
大都市機能維持		0.153	0.706	0.789	1.000	0.385	0.838	0.891	1.000

以上を踏まえて、生存避難に係る地震パターンと、生存避難以外（生活避難、産業活動維持および大都市機能維持）に係る地震パターンの、2種類の地震パターンを抽出した。生存避難に係る地震パターンは表2-7-③-8に示した16地震、生存避難以外に係る地震パターンは前述（表2-7-③-9）の22地震から構築した。

地震パターンの構築は、まず、上記で抽出した地震のみから構成される地震セットを、藤原ほか（2020）¹⁾による地震セット（916669セット）から抽出した。次に、複数回から構成される地震セットの地震順序を入れ替えることにより地震パターンとした。

上記による地震パターンの抽出結果を、生存避難に関しては表2-7-③-11に示した20パターン、生存避難以外に関しては表2-7-③-12に示した14パターンである。これらの地震パターンの中には、潮岬を境に東西二つの地震から構成されるいわゆる半割れケース（震源域ABm、CDmおよびCEm）、既往最大とされる宝永地震に相当する震源域（ADmおよびAEm）を含むパターン、および想定される震源域全てが一度に破壊する想定最大ケース（ZEa11）の全てが含まれている。このことから、地震パターン全体の中から重要と考えられる地震パターンを生成することが出来た。また、駿河湾単独を含む3地震からなる地震パターンも抽出されている。

表 2-7-③-11 生存避難に係る地震パターン

No.	重み		地震数	波源断層モデル		
	地震セット	震源域セット		地震1	地震2	地震3
1	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m2_s4_02		
2	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02		
3	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d3_02		
4	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02		
5	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02		
6	0.14%	20.32%	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_s1_02	
7	0.14%	20.32%	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d3_02	
8	0.05%	6.77%	1	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_m4_s4_02		
9	0.05%	6.77%	1	NK_AEm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02		
10	0.14%	20.32%	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	
11	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m2_s4_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
12	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
13	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_d3_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
14	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m4_m2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
15	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_s4d1_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
16	0.00%	0.29%	3	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_s1_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
17	0.00%	0.29%	3	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m4_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d3_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
18	0.01%	1.19%	1	NK_ZEa11_TYPE2Eh_30L2_m1_d1_02		
19	0.01%	1.19%	1	NK_ZEa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
20	0.01%	1.19%	1	NK_ZDa11_TYPE2Eh_30L2_d1_s3_02		

表 2-7-③-12 生存避難以外に係る地震パターン

No.	重み		地震数	波源断層モデル		
	地震セット	震源域セット		地震1	地震2	地震3
1	0.04%	6.77%	1	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02		
2	0.14%	20.32%	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	
3	0.05%	6.77%	1	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02		
4	0.14%	20.32%	2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	
5	0.01%	6.77%	2	NK_ADm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
6	0.00%	0.29%	3	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02
7	0.00%	0.63%	1	NK_ZDm_TYPE2Eh_30L2_m3_d3_02		
8	0.00%	0.63%	1	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_s4_02		
9	0.00%	0.63%	2	NK_ZDm_TYPE2Eh_30L2_m3_d3_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	
10	0.05%	1.69%	2	NK_ABs_TYPE2Eh_30L1_a4_02	NK_CEs_TYPE2Eh_30L1_a6_02	
11	0.01%	1.19%	1	NK_ZEa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
12	0.01%	1.19%	1	NK_AEa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
13	0.01%	1.19%	1	NK_ZDa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		
14	0.01%	1.19%	1	NK_ADa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02		

3) 広域災害シナリオの作成

地震による被害と、その様相の時系列的な変遷を定量的もしくは定性的に記述した広域災害シナリオを作成した。本課題で作成した広域災害シナリオは、令和5年度での試作と同様に、詳細な災害シナリオを検討する四面会議⁴⁾のようなワークショップを行う際に、たたき台となるような簡易的な災害シナリオを作成することを目的とした。

作成した広域災害シナリオの地震パターンは、避難困難者数以外を対象とした代表的な地震パターンから抽出した。これは、災害シナリオの使用目的として、最適な防災対応の検討が挙げられるためである。例えば事前避難による人的被害の軽減と、産業活動の低下のトレードオフの関係を示すことにより、各セクタの利害関係などが明確になるため、より具体的かつ効果的な防災対策や災害対応を考える一助となることが期待される。

具体的な作成ケースは表2-7-③-13に示した23ケースであり、自然側の多様性だけでなく、社会側の多様性として複数ケースの事前避難率を考慮している。また、

これまでに作成していなかった3地震からなる災害シナリオ（ケース No. 12～No. 23）も作成した。なお、広域災害シナリオには発災直後から360日後までの35時点（表2-7-③-14）の被害の様相を収録した。また、事前避難の影響は令和4年度に検討した市区町村単位での簡便な評価手法により考慮した。

表2-7-③-13 広域災害シナリオの作成ケース

地震パターン					広域災害シナリオ作成ケース			
パター No.	1地震目	2地震目	3地震目	発生 間隔 [日]	ケース No.	略称	事前避難	
							1地震後	2地震後
1	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	-	15	1	西→東D・避難無し	無し	-
					2	西→東D・避難基本	基本	-
2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	-	15	3	西→東E・避難無し	無し	-
					4	西→東E・避難基本	基本	-
3	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	-	15	5	東D→西・避難無し	無し	-
					6	東D→西・避難基本	基本	-
4	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	-	15	7	東E→西・避難無し	無し	-
					8	東E→西・避難基本	基本	-
5	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	-	60	9	東E→西・間隔60日	基本	-
6	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_Adm_TYPE2Eh_30L1_a6_02	-	7	10	駿→既往最大相当	基本	-
7	NK_ZEa11_TYPE2Eh_30L1_xe+SL_02	-	-	-	11	最大	-	-
8	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	15	12	東D→西→駿・避難無し	無し	無し
					13	東D→西→駿・避難基本	基本	基本
					14	東D→西→駿・避難低	低避難	低避難
					15	東D→駿→西・避難無し	無し	無し
9	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	15	16	東D→駿→西・避難基本	基本	基本
					17	東D→駿→西・避難低	低避難	低避難
					18	西→東D→駿・避難無し	無し	無し
					19	西→東D→駿・避難基本	基本	基本
10	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	15	20	西→東D→駿・2後避難無し	基本	無し
					21	駿→東D→西・避難無し	無し	無し
					22	駿→東D→西・避難基本	基本	基本
					23	駿→東D→西・1後避難無し	無し	基本
11	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_d2_02	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m2_02	15				

パターンNo. 4と5は、構成地震および発生順序は同じであるが発生間隔が異なるため別パターンとした。

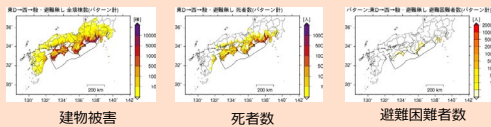
表2-7-③-14 特徴量を算出した時点

機関	時刻・間隔	時刻数
発災直後	6時間後	1
1日後～15日後	1日間隔	15
20日後～120日後	10日間隔	11
150日後～360日後	30日間隔	8
計		35

上記の23ケースのうち、3地震から構成される広域災害シナリオを例示した。具体的には、熊野灘から遠州灘（東側半割れケース、震源域CDm）で地震が発生した15日後に四国沖（西側半割れケース、震源域ABm）で地震が発生し、さらに15日後に駿河湾単独（震源域Em）で地震が発生する地震パターンである。この地震パターンに対して、全く事前避難が行われない場合（ケース No. 12）と、基本ケース（避難率70%）で事前避難が行われる場合（ケース No. 13）の広域災害シナリオを、図2-7-③-7と図2-7-③-8にそれぞれ示した。なお、事前避難率は新型コロナウイルス感染症の行動変容率に基づく令和5年度までの成果に基づいて設定した。また、事前避難による人的被害や総生産低下額への影響を令和4年度に検討した市区町村単位での簡便な評価手法により考慮した。

東D→西→駿・避難無し(CDm→ABm→Em 間隔:15日)

東側半割れ(CDm)→西側半割れ(ABm)→駿河湾(Em) 間隔:15日



パターンの概要

- 確率論的津波ハザードで重みが最大の地震セット(重み:20.32%)に駿河湾単独が加わる地震セット。
- 震源域セットの重みは0.29%
- 地震発生間隔は1~2地震目、2~3地震目ともに15日と仮定した。

人間側の対応

- 1回目・2回目の地震後にはともに「巨大地震警戒」が発表される。
- 1回目・2回目ともに事前避難は行われない条件を仮定。

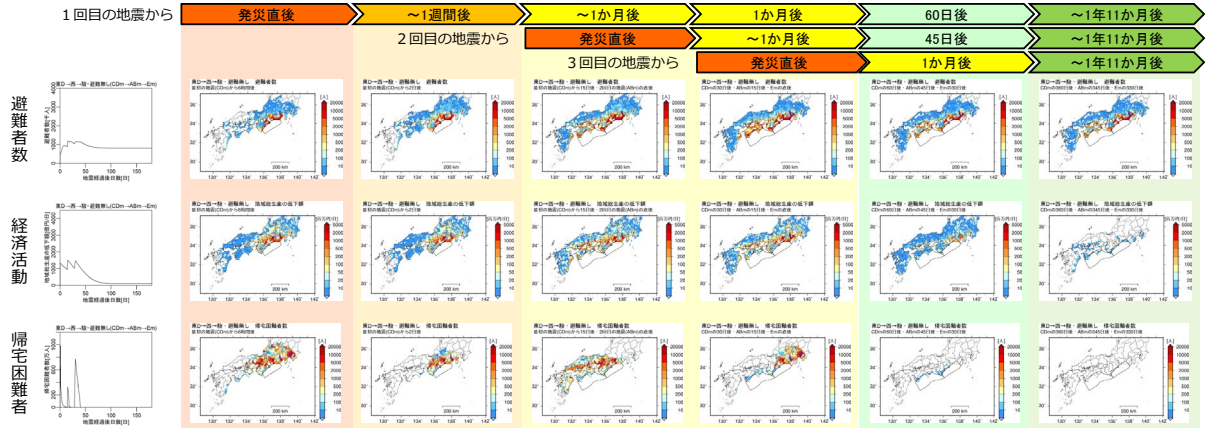
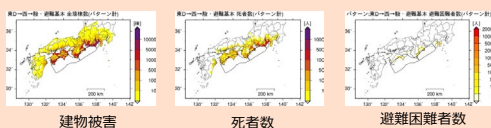


図 2-7-③-7 作成した広域災害シナリオの例 (その1)

東D→西→駿・避難基本(CDm→ABm→Em 間隔:15日)

東側半割れ(CDm)→西側半割れ(ABm)→駿河湾(Em) 間隔:15日



パターンの概要

- 確率論的津波ハザードで重みが最大の地震セット(重み:20.32%)に駿河湾単独が加わる地震セット。
- 震源域セットの重みは0.29%
- 地震発生間隔は1~2地震目、2~3地震目ともに15日と仮定した。

人間側の対応

- 1回目・2回目の地震後にはともに「巨大地震警戒」が発表される。
- 1回目・2回目ともに事前避難は基本ケース(70%)で行われる仮定。

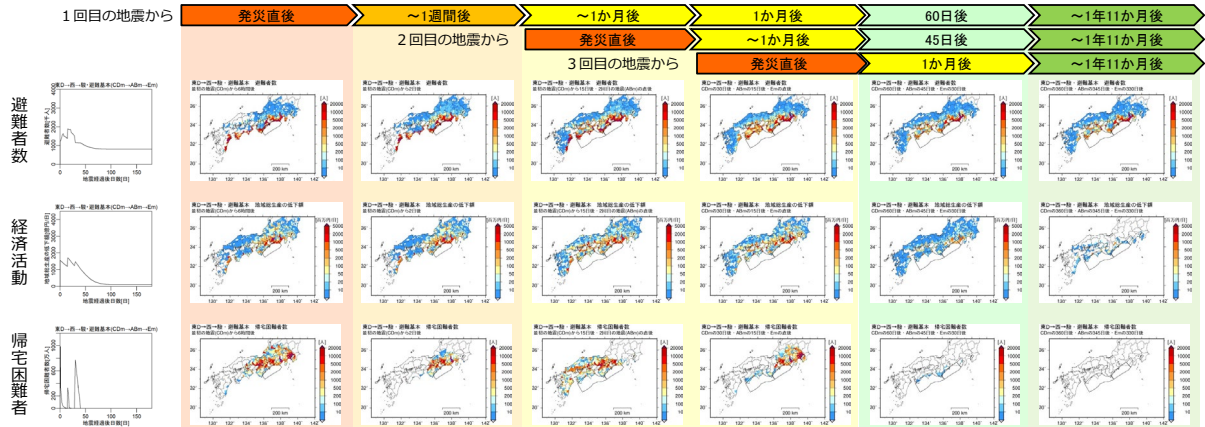


図 2-7-③-8 作成した広域災害シナリオの例 (その2)

作成した広域災害シナリオの活用事例として、事前避難による人的被害の減少と、経済的な被害（地域総生産の低下額）の増加のトレードオフ関係を示す。比較対象とした広域災害シナリオは、地震パターンが同一でかつ、事前避難の設定が「事前避難無し」と「基本ケース（事前避難率 70%）」シナリオ（表 2-7-③-15）である。

表 2-7-③-15 比較対象とした広域災害シナリオ

震源域 パターン	ケースNo.	
	事前避難 なし	基本 ケース
ABm→CDm	1	2
ABm→CEm	3	4
CDm→ABm	5	6
CEm→ABm	7	8
CDm→ABm→Em	12	13
CDm→Em→ABm	15	16
ABm→CDm→Em	18	19
Em→CDm→ABm	21	22

比較結果は表 2-7-③-16 に示した通りであり、事前避難によって最大で約 22% の人的被害が減少している。その一方で、全てのケースで経済的な被害が増加しており、その増加額は 2 地震の場合で約 3500 億円、2 地震の場合で約 7000 億円と推定された。このように、複数の広域災害シナリオを比較することにより事前避難による人的被害軽減と、経済被害の拡大といったトレードオフの関係を示すことが出来た。

表 2-7-③-16 事前避難の有無による人的被害および経済的な被害への影響

比較 ケース	震源域 パターン	死者数				経済的な被害(地域総生産の低下額)			
		避難困難者数[人]		事前避難の影響		積算被害[億円]		事前避難の影響	
		避難 無し	基本 ケース	人数 [人]	減少 率[%]	避難 無し	基本 ケース	増加額 [億円]	増加 率[%]
1と2	ABm→CDm	1,140	984	157	13.7%	77,371	81,135	3,765	4.9%
3と4	ABm→CEm	9,543	7,449	2,093	21.9%	103,203	106,967	3,765	3.6%
5と6	CDm→ABm	1,140	1,058	82	7.2%	76,438	79,831	3,393	4.4%
7と8	CEm→ABm	9,543	9,460	82	0.9%	101,938	105,048	3,110	3.1%
12と13	CDm→ABm→Em	2,376	2,064	313	13.2%	96,498	102,936	6,438	6.7%
15と16	CDm→Em→ABm	2,376	2,064	313	13.2%	95,517	102,252	6,735	7.1%
18と19	ABm→CDm→Em	2,376	1,989	387	16.3%	96,562	103,193	6,630	6.9%
21と22	Em→CDm→ABm	2,376	2,243	133	5.6%	95,578	102,664	7,086	7.4%

死者数 人数=避難無し-基本ケース、減少率=人数÷避難無し

経済被害 増加額=基本ケース-避難無し、増加率=増加額÷避難無し

(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) リスク評価の観点から津波ハザードを修正した。具体的には、海岸線や河川沿いにおいて極端に短い時間で津波が到達する計算格子をリスク評価に用いるハザードから除外した。そのうえで、上記の修正を地震像の類型化に用いる特徴量をリスク評価に取り込んだ。
- 2) 住民避難、産業活動維持及び大都市機能維持を目的とした特徴量に基づいて多様性を表現する 3480 地震を 10～20 程度の類型に分類するとともに、影響の大きさと発生しやすいさの 2 つの観点に基づく代表指標値に基づいて、これらの類型から代表地震を抽出した。
- 3) 上記により抽出した代表地震から構成される地震パターンを、代表的な地震パターンとして抽出した。抽出した地震パターンの数は 40 パターン以下であり、手動での検討が可能な量であるとともに、半割れケースや最大ケースのような代表的な地震パターンを包含していることから妥当なものと判断した。

- 4) 上記で抽出した地震パターンを対象とする広域災害シナリオを構築した。構築した広域災害シナリオは2地震からなる地震パターンだけでなく、3地震からなる地震パターンのシナリオも作成した。
- 5) 作成した広域災害シナリオを比較することにより、事前避難などの社会活動の影響を示した。具体的には、事前避難により人的被害が軽減できる一方で、経済的な被害が拡大する様子を示した。

(e) 引用文献

- 1) 藤原広行、平田賢治、中村洋光、森川信之、河合伸一、前田宜浩、大角恒雄、土肥裕史、松山尚典、遠山信彦、鬼頭直、大嶋健嗣、村田泰洋、齊藤龍、澁木智之、秋山伸一、是永眞理子、阿部雄太、橋本紀彦、袴田智哉、大野哲平：南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 ー第一部 本編ー、防災科学技術研究所研究資料、439、2020。
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価、
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf,
2020.1(2025.3.16 確認)
- 3) 内閣府：防災に関する標準テキスト、
https://www.bousai.go.jp/taisaku/jinzai/pdf/hyojyun_text_zentai.pdf,
2007.3(2024.3.12 確認)
- 4) 羅貞一、岡田 憲夫：四面会議システムで行う知識の行動過形成家庭の構造か検証に関する基礎的な研究、京都大学防災研究所年報、第52号B、2009

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震を対象とした地震防災基盤シミュレータの開発（ポスター）	中村洋光 前田宜浩 土肥裕史 内藤昌平 石丸晴海 時実良典 藤原広行	日本地震学会2024年度秋季大会	2024.10	国内
南海トラフ地震臨時情報を踏まえた条件付き人的リスク試算（ポスター）	中村洋光 時実良典 藤原広行	日本地震学会2024年度秋季大会	2024.10	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

④地震防災基盤シミュレータシステム

(a) 業務の要約

令和 5 年度に作成した広域災害シナリオデータを地震防災基盤シミュレータ可視化 Web システム（以下、Web システム）で情報提供可能とした。また、令和 5 年度に構築した地震防災基盤シミュレータ WebAPI システム（以下、WebAPI システム）に、広域災害シナリオのメッシュデータを提供できる機能を追加し、WebAPI システムを高度化した。地震防災基盤シミュレータの提供する情報の利活用として、イオングループの関連会社全社（事業所、店舗）を対象とした総合防災訓練における活用を試行した。

(b) 業務の実施方法

広域災害シナリオデータを提供する Web ページを構築した（以下、広域災害シナリオ Web）。フロントエンド側のユーザインタフェースの設計（画面設計、画面遷移設計、操作設計など）とバックエンド側の API 設計（データベースからの数値データ取得方法や地図表示のための画像取得のための設計）を行った。その後、設計に則して実装し、広域災害シナリオ Web を構築した。また WebAPI システムに、広域災害シナリオのメッシュデータを提供できる機能を追加し、WebAPI システムを高度化した。

地震防災基盤シミュレータの利活用として、イオングループの関連会社全社（事業所、店舗）を対象とした総合防災訓練において、地震発生シナリオの地震動震度階級、津波浸水深、建物被害棟数、人的被害人数の時間別データを、WebGIS ツールにて多数者で同時閲覧し、被害の程度と事前避難者数と帰宅困難者数の想定データを数値情報にて共有する試み実施した。

(c) 業務の成果

1) 広域災害シナリオ Web の構築

広域災害シナリオ Web を構築した。フロントエンド側のユーザインタフェースの設計（画面設計、画面遷移設計、操作設計など）とバックエンド側の API 設計（データベースからの数値データ取得方法や地図表示のための画像取得のための設計）を行った。フロントエンド側の画面遷移設計を図 2-7-④-1 に示す。広域災害シナリオ Web の画面遷移は、図中の広域災害シナリオ選択画面、広域災害シナリオ詳細画面に

該当する。これらの設計に則して Web システムを構築した。広域災害シナリオ Web の画面構成について解説する。

a) 広域災害シナリオ選択画面

広域災害シナリオ選択画面（図 2－7－④－3）は、ランディング画面（図 2－7－④－2）内のメニュー「広域災害シナリオ選択」のリンクを押下すると遷移する。広域災害シナリオ選択画面は、広域災害シナリオの一覧から 1 つのシナリオを選択する画面である。1 つのシナリオを選択すると広域災害シナリオ詳細画面（後述の b））へ遷移する。広域災害シナリオ選択画面で選択可能な広域災害シナリオは、地震防災基盤シミュレータの地震像・シナリオバンクに蓄積中の 11 の広域災害シナリオである。

b) 広域災害シナリオ詳細画面

広域災害シナリオ詳細画面（図 2－7－④－4）は、広域災害シナリオ選択画面で選んだ 1 つのシナリオに関する、2 つのリスク評価結果データ（全壊棟数、死者数）と、広域災害シナリオを特徴づける 4 つの特徴量データ（避難困難者数、避難者数、地域総生産低下額、帰宅困難者数）を閲覧できる画面である。これらのデータごとに、都道府県、市区町村別の地図表示と、表形式での都道府県、市区町村別の集計値の閲覧が可能である。また、表示している地図データや集計値データのダウンロードが可能である。

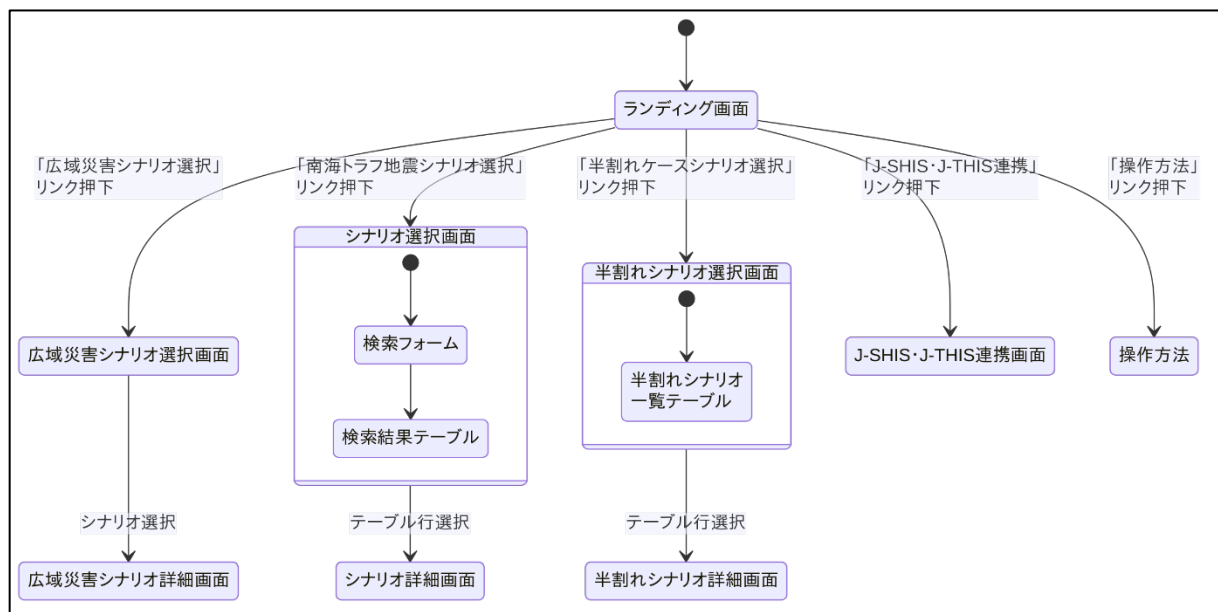


図 2－7－④－1 Web システムの画面遷移図

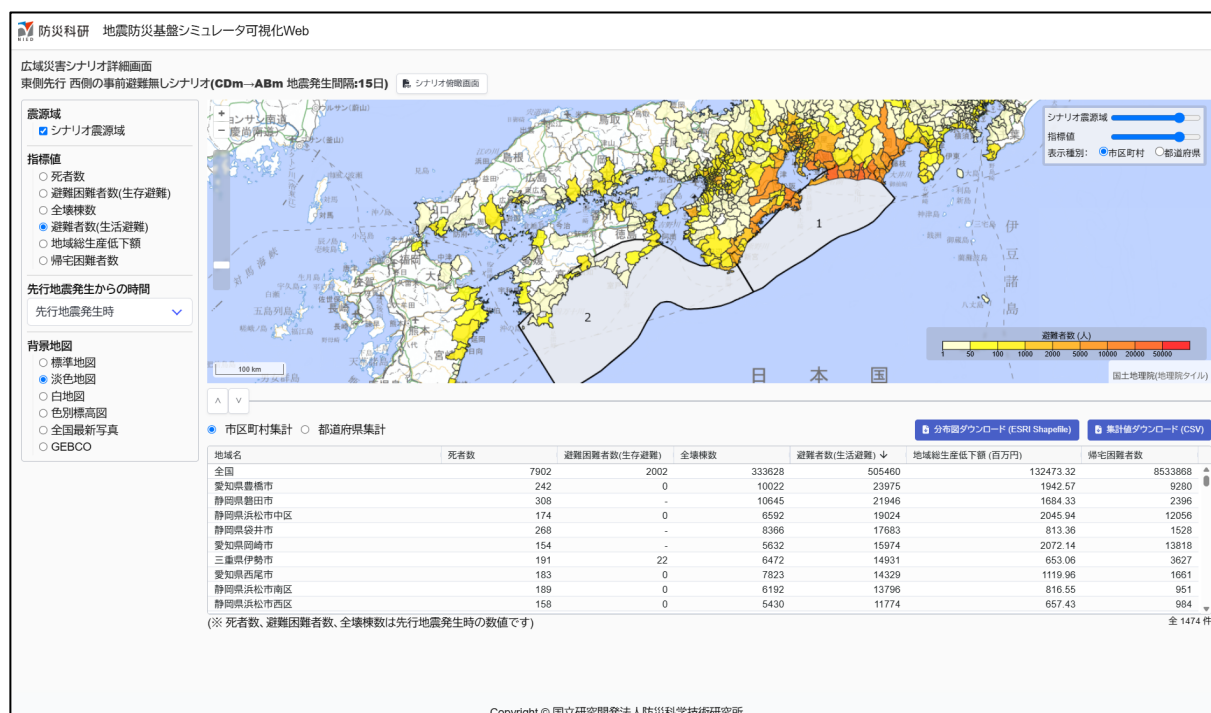


図 2-7-④-4 広域災害シナリオ詳細画面

広域災害シナリオ詳細画面で地図表示が可能な指標値は下記の通りである。

- 死者数
- 避難困難者数（生存避難）
- 全壊棟数
- 避難者数（生活避難）
- 地域総生産低下額
- 帰宅困難者数

このうち、避難者数、地域総生産低下額、帰宅困難者数は地震発生時（地震活動 1 サイクル中に 2 回震源域が動く地震の場合は先発地震発生時）から、1 週間後（図 2-7-④-5）、1 か月後（図 2-7-④-6）、1 年後（図 2-7-④-7）の時系列データであり、それぞれの時点のデータをユーザが選択し表示することが可能である。

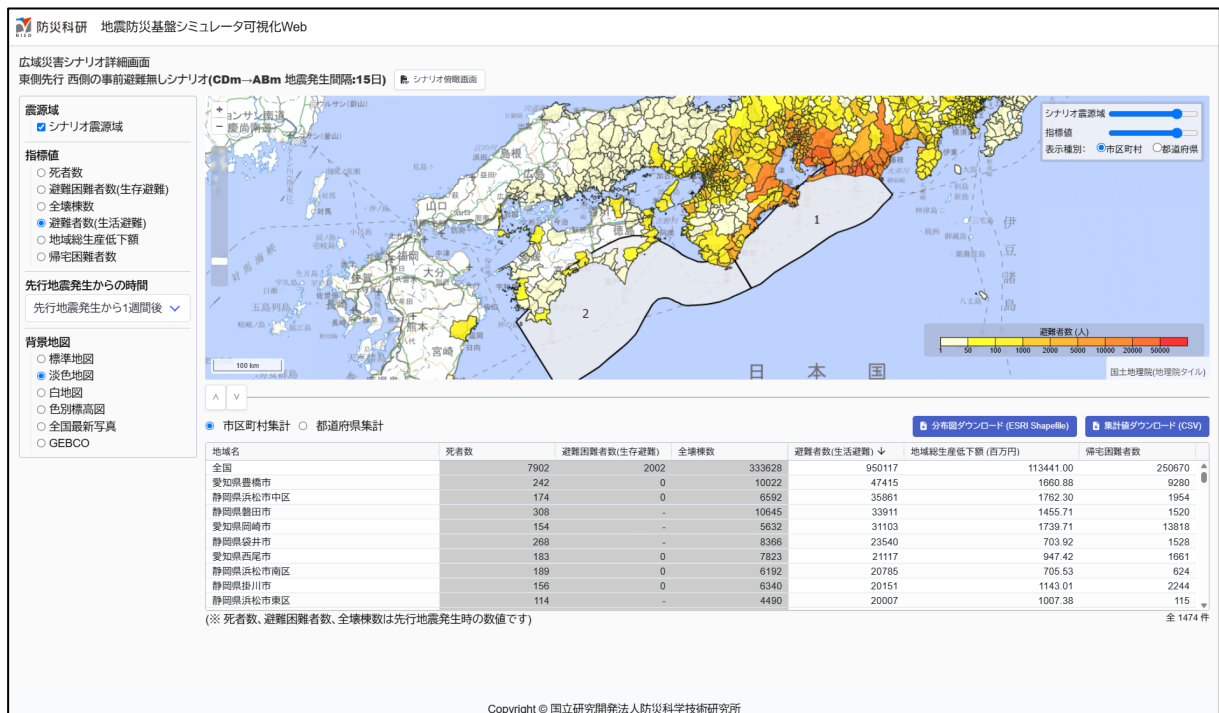


図 2-7-④-5 広域災害シナリオ詳細画面 先発地震発生から1週間後

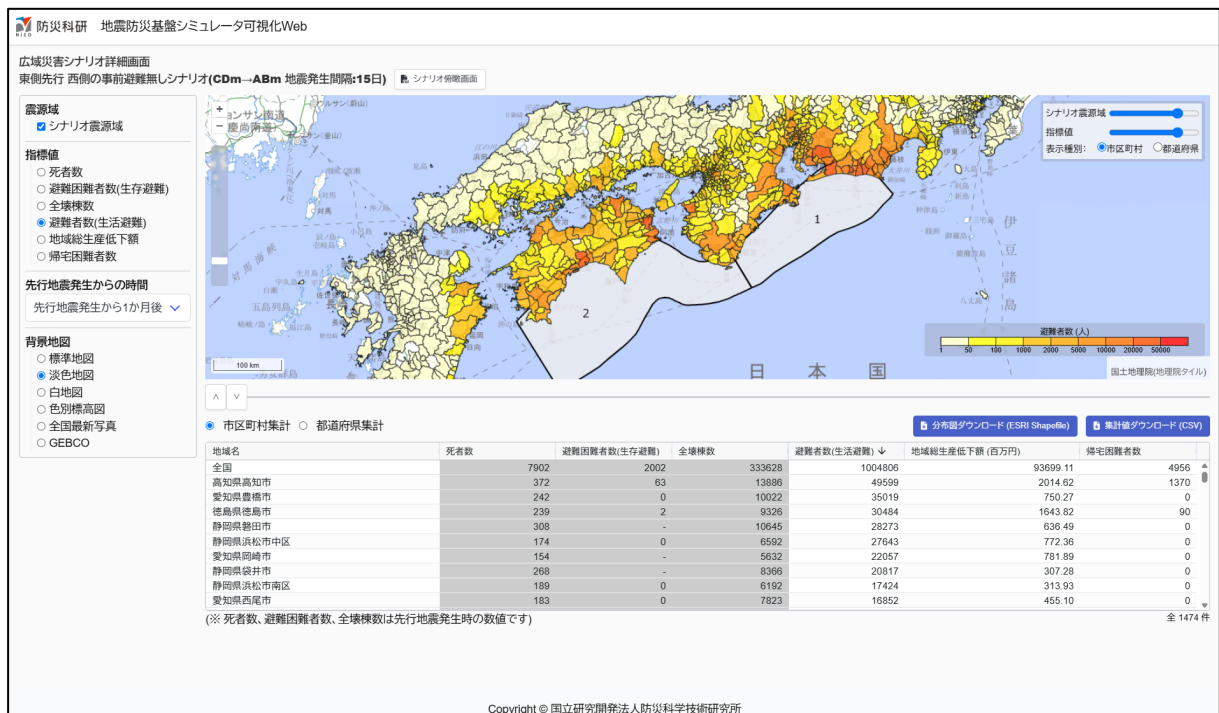


図 2-7-④-6 広域災害シナリオ詳細画面 先発地震発生から1か月後

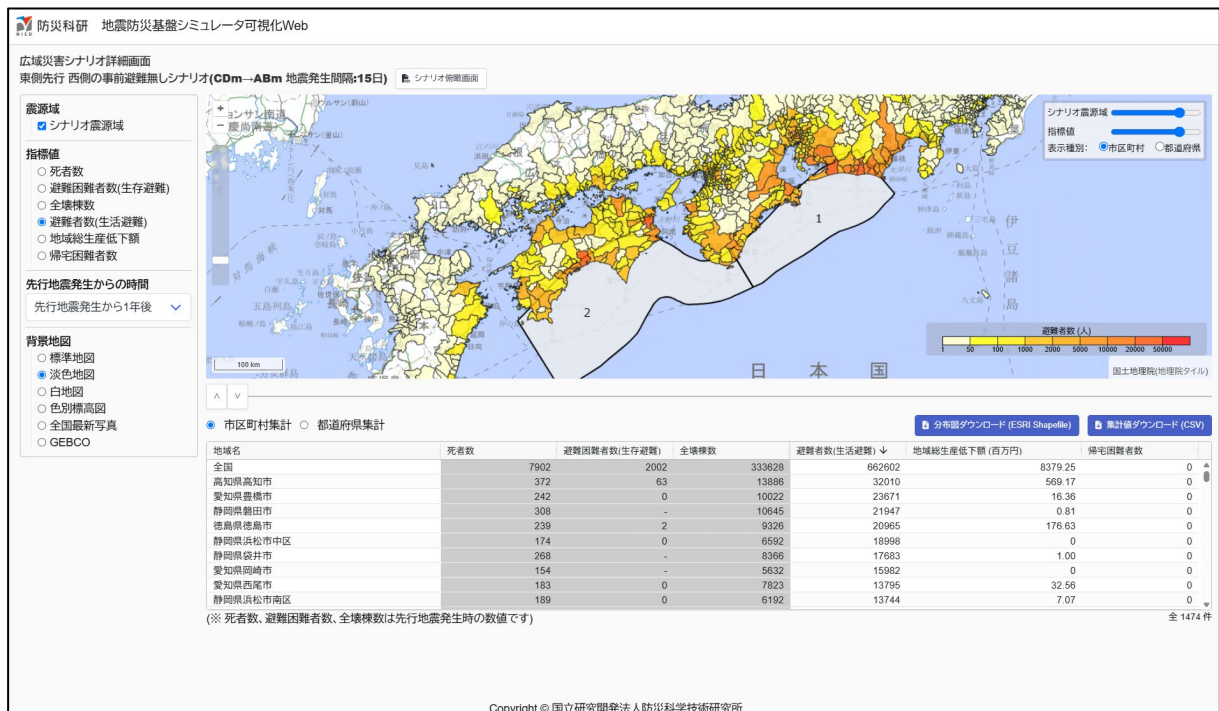


図 2-7-④-7 広域災害シナリオ詳細画面 先発地震発生から1年後

また、地図表示と表形式での集計値表示は、市区町村表示と都道府県表示（図 2-7-④-8）が可能である。

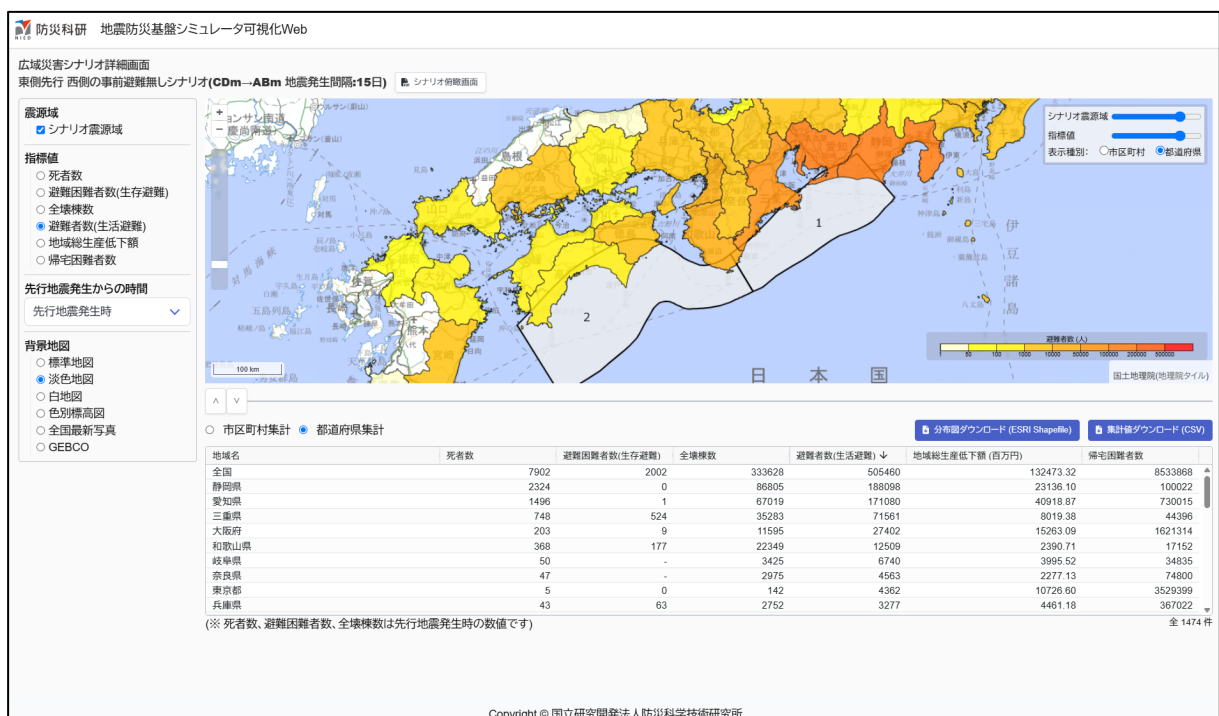


図 2-7-④-8 広域災害シナリオ詳細画面 都道府県表示

また、地図表示と集計値表示はそれぞれ全画面モード（図 2－7－④－9、図 2－7－④－10）の表示が可能である。

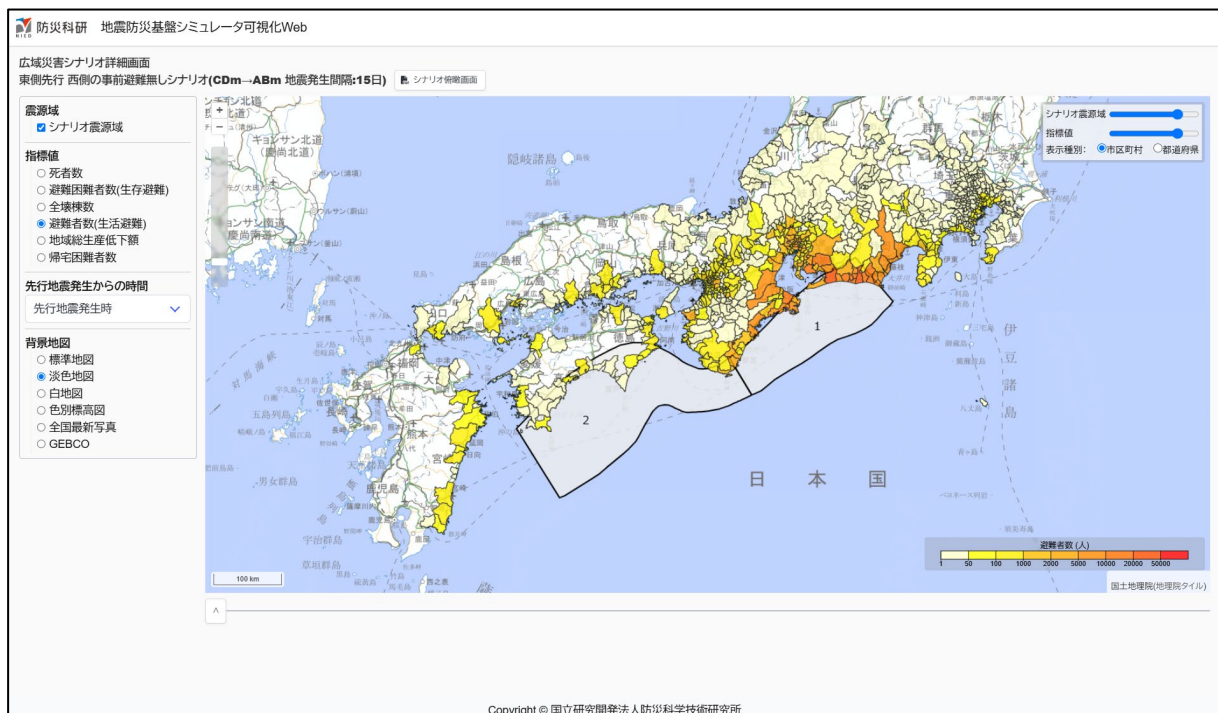


図 2－7－④－9 広域災害シナリオ詳細画面 地図表示全画面モード



図 2－7－④－10 広域災害シナリオ詳細画面 集計値表示全画面モード

2) 地震防災基盤シミュレータ WebAPI システムの高度化

令和 5 年度に構築した地震防災基盤シミュレータ WebAPI システムを高度化し、広域災害シナリオのメッシュデータを取得できる機能を追加した。

取得できるメッシュデータは下記である。

- 最大浸水深 50m メッシュデータ
- 最大計測震度 250m メッシュデータ
- 死者数 250m メッシュデータ
- 全壊棟数 250m メッシュデータ
- 避難困難者数 250m メッシュデータ
- 避難者数 250m メッシュデータ
- 地域総生産低下額 250m メッシュデータ
- 帰宅困難者数 250m メッシュデータ

ここで、250m メッシュは、JISX0410（地域メッシュコード）に準ずる 4 分の 1 地域メッシュである。また、50m メッシュは、250m メッシュを、東西方向に 5 分割、南北方向に 5 分割したメッシュである。

WebAPI のリクエストパラメータに、250m メッシュコードもしくは緯度・経度を指定すると、該当する 250m メッシュの広域災害シナリオのメッシュデータをダウンロードすることが可能である（最大浸水深データは、250m メッシュに含まれる 50m メッシュデータの最大浸水深データである）。

3) 多様性のある地震発生シナリオの利活用（イオングループ総合防災訓練での事例）

小売業界の大手企業であるイオングループに多様性のある地震発生シナリオを災害発生の基礎情報として提供し、令和 6 年 7 月にグループ全体が参加する総合防災訓練（図 2-7-④-11）において、利用された（参照：イオンの防災 Web ページ <https://www.aeon.info/bousai/>）¹⁾。選定された地震発生シナリオは、地震防災基盤シミュレータの機能を活用し利用者に対してデータ提供を行っている。

地震発生のシナリオはさまざまなケースが想定される。半割れケースを想定し、震源域セットの作成を行った。また、長期評価や確率論的津波ハザード評価の考え方を踏まえて、先発地震発生後に起こりうる地震の組み合わせを整理するとともに、組み合わせ毎の重みを評価した。先発地震発生後の事前避難を考慮したリスク評価としては、臨時情報および対応ガイドラインが制定された半割れケースを対象としたケーススタディを参考にし、事前避難を考慮した曝露人口モデルや、半割れケースでのリスク評価を実施している。

令和 6 年 7 月の訓練では東側半割れが発生したことによる被災現地での災害対応と事業継続について検証され、その後、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）が発表され西側半割れが起こる可能性がある中での西側地域の対応について検討が行われた（図 2-7-④-12～14）。想定情報として被害地域における地震動と津波浸水深を 250m メッシュで生成し、数値データと WebGIS（e コミマップ）²⁾にて提供を行った。実際の防災訓練では、災害対策本部の大型スクリーンや各オンラ

イン会議の画面にて地震動と津波浸水深の想定情報が表示されたWebGISを利用し、各参加者が被害状況に関して共通認識を持ちながら訓練が進められた。

津波浸水深データでは堤防に損害が無く最大の効果が発揮できた場合と損壊により無効化された場合の被害規模が異なる幅のあるデータを利用した。事例としてこのことにより静岡県沼津市では大きな被害が想定されるケースと、軽微な被害のケースを考慮した対応を考える試みが行われた。令和6年7月の訓練では、シナリオから想定された建物被害数と人的被害数、および避難者数と帰宅困難数の情報も利用を試み、各店舗での災害対応と営業再開についても検討された。緊急輸送道路や医療機関などの社会情報の提供も行った。

多様性のある地震発生シナリオを考慮し、最大規模とは異なる半割れケースでの防災訓練を科学的裏付けのあるデータを利用したことにより、現実的な計画立案と訓練の実施が可能となった。イオン側では基礎情報に基づき、インフラ被害（図2-7-④-15）や各地域での店舗の被害（図2-7-④-16）、人流による店舗再開への影響（図2-7-④-17）なども独自に想定された。検討すべきシナリオは最大規模だけではないという認識を持つ理解者も増えた。防災訓練による検証により、臨時情報が発表された後に後発地震が発生するまでに何をいつまでにすべきか、いつまで継続すべきなのかについての取り決めに役立てられる想定情報が不足していることが課題としてあげられた。



図2-7-④-11 イオングループ総合防災訓練（イオン株式会社提供）

訓練用シナリオとして下記の2シナリオを抽出

①NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_s4_02 + NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m1_02
→ 144シナリオで避難困難者最大、沼津(静岡東部)で影響が大きい

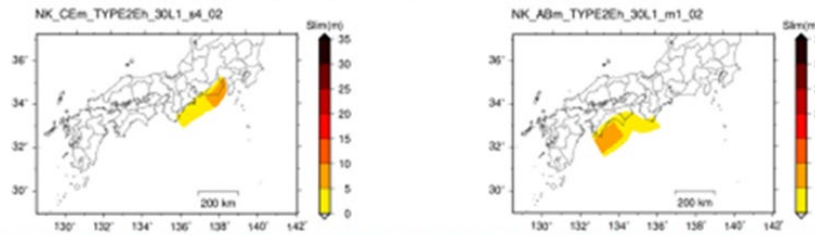


図 2 - 7 - ④ - 12 抽出された 2 つのシナリオ

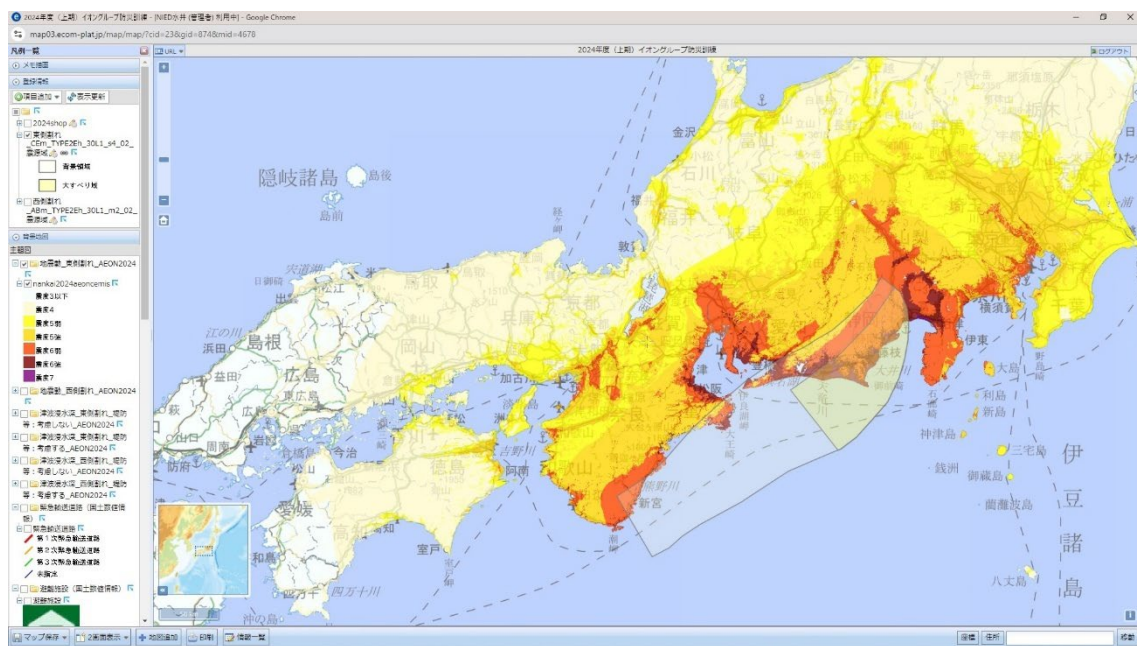


図 2 - 7 - ④ - 13 東割れシナリオ CEm 震源エリアと震度分布

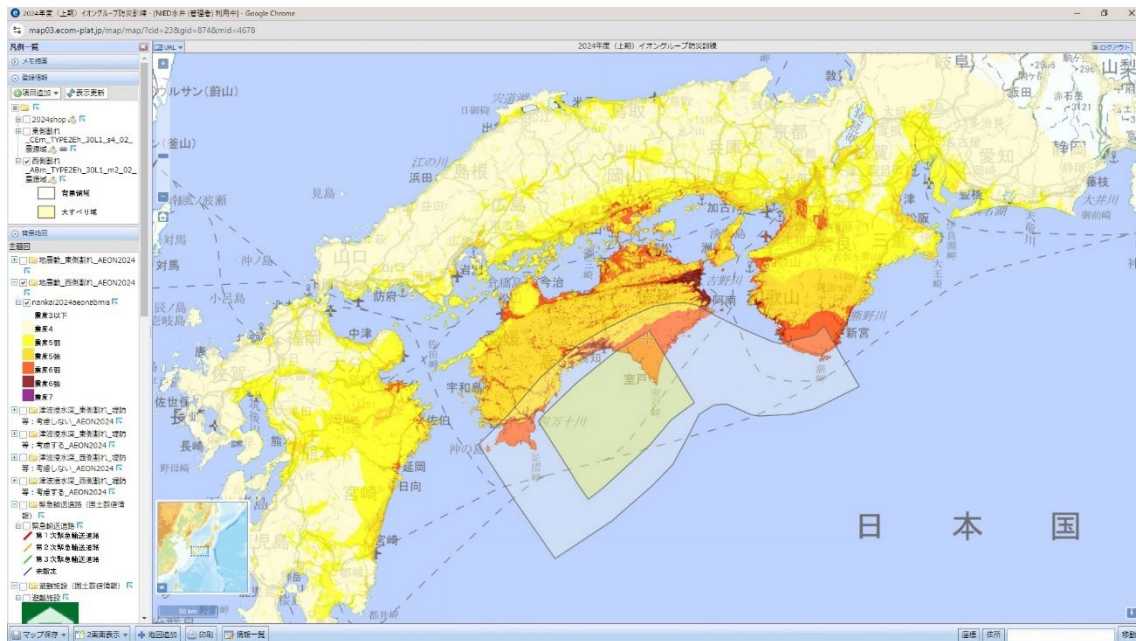


図 2-7-④-14 西割れシナリオ ABm 震源エリアと震度分布



図 2-7-④-15 令和 6 年度 7 月訓練想定資料（インフラ被害）
（イオン株式会社提供）

第2部 発災24時間後 第3回対策会議

訓練用

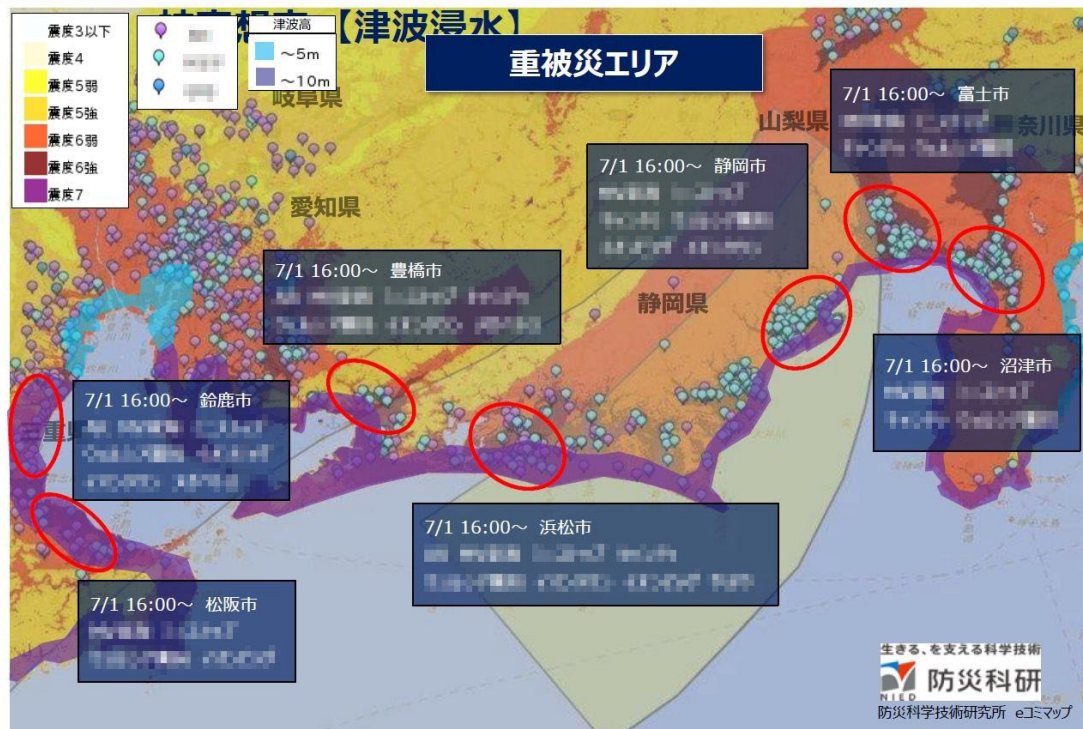


図 2 - 7 - ④ - 16 令和 6 年度 7 月 訓練の想定資料（店舗被害）
（イオン株式会社提供）

第2部 発災24時間後 第3回対策会議

訓練用

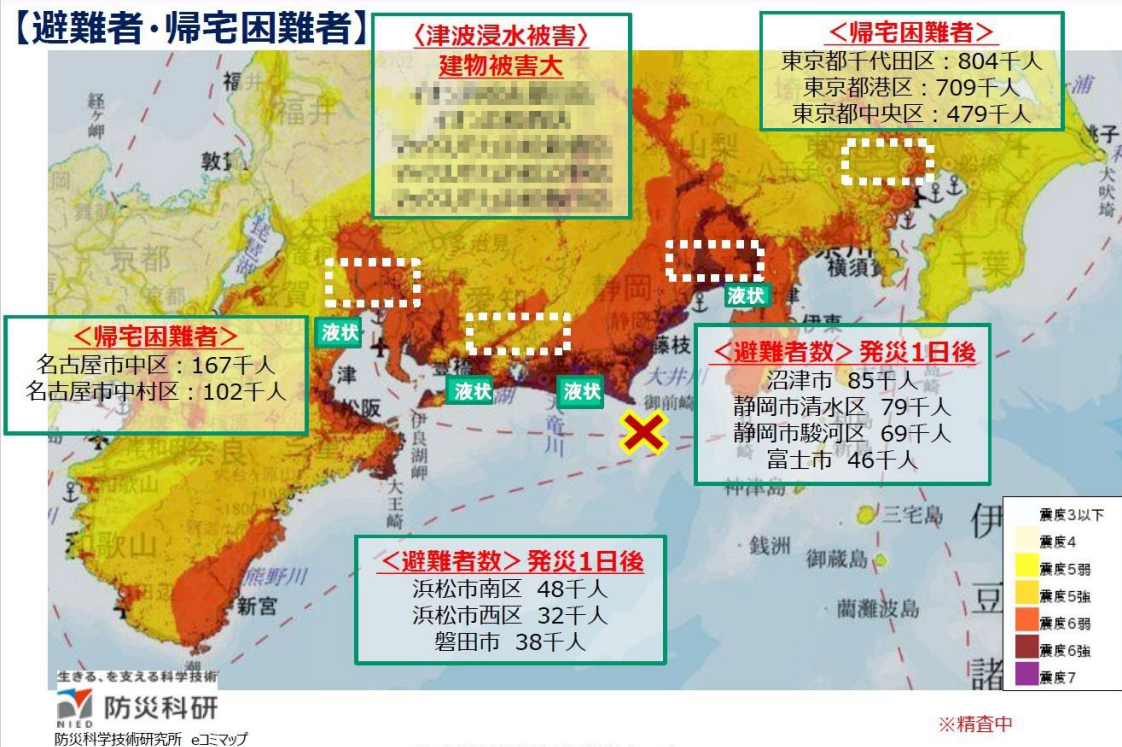


図 2 - 7 - ④ - 17 令和 6 年度 7 月 訓練の想定資料（人流）
（イオン株式会社提供）

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめ、今後の課題を以下に示す。

- 1) 広域災害シナリオデータを情報提供とする Web サイトを構築した。
- 2) 地震防災基盤シミュレータ WebAPI システムを高度化し、広域災害シナリオメッシュデータを提供する機能を追加した。
- 3) 多様性のある地震発生シナリオをイオングループが実施する総合防災訓練に適用した。

(e) 引用文献

- 1) 防災科学技術研究所, e コミュニティ・プラットフォーム,
<https://ecom-plat.jp/index.php?gid=10443> (2024. 3. 19 確認)
- 2) 防災科学技術研究所, e コミュニティ・プラットフォーム, <https://ecom-plat.jp/index.php?gid=10443> (2025. 3. 17 確認)

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

掲載した論文（発表 題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表し た時期	国内・ 外の別
南海トラフ地震の多様な地震発生シナリオの防災訓練における利活用と課題の抽出～大阪府社協での事例～（ポスター）	水井良暢 本田和也 時実良典 石丸晴海 中村洋光 磯野猛 池田真幸 藤原広行	JpGU日本地球惑星科学 連合2024年大会	2024. 5	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、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