

2. 7 地震防災基盤シミュレータの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「地震防災基盤シミュレータの構築」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原広行
	副部門長	中村洋光
	主任研究員	前田宜浩
	特別研究員	土肥裕史
	特別研究員	佐藤昌人
	センター長	青井真
	主幹研究員	高橋郁夫
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	森川信之
	主任研究員	岩城麻子
	主幹研究員	先名重樹
	特別研究員	内藤昌平
	特別研究員	秋山伸一
	部門長	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4年度業務目的

地震防災基盤シミュレータのプロトタイプから情報の試験提供を可能にする。そのために、最大クラスの断層モデルを含む強震動及び津波遡上のシミュレーションを実施し、その結果を用いた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する。更に、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う。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する。

(2) 令和4年度の成果

①長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

(a) 業務の要約

本業務では、南海トラフ沿いで発生する海溝型地震を対象に、地震本部の知見を活用して最大クラスの地震を含む断層モデル群を構築し長継続時間・広帯域強震動の計算を実施した。広帯域強震動シミュレーションでは、面的な地震動の計算に多くの実績のあるハイブリッド合成法を用い、長周期地震動は令和3年度において発散抑制機能¹⁾を実装した3次元差分法による地震動シミュレータGMS²⁾を用いて計算を行い、短周期地震動は統計的グリーン関数法により計算した。計算結果は地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

(b) 業務の実施方法

断層モデル群の構築では、地震本部の津波ハザード評価³⁾で設定された南海トラフ地震の多様性モデルを参考に、最大クラスの地震を含む強震動計算用震源断層モデル(特性化震源モデル)を構築した。構築した特性化震源モデルに対して、3次元差分法により計算した長周期地震動と統計的グリーン関数法により計算した短周期地震動をハイブリッド合成して長継続時間・広帯域強震動シミュレーションデータを作成した。

(c) 業務の成果

1) 震源断層モデル群の構築

地震本部の津波ハザード評価³⁾で設定された南海トラフ地震の多様性モデルを踏まえた強震動計算用震源断層モデル(特性化震源モデル)を構築した。地震本部の南海トラフ地震の長期評価⁴⁾では、南海トラフ沿いで想定される最大クラスの地震の震源域をトラフ軸方向に6区分、フィリピン海プレートの沈み込み方向に3区分した18個の区分領域を組み合わせた15通りの巨視的断層モデルが例示されている。本検討では、津波ハザード評価の知見をもとに1つの区分領域のみからなる巨視的断層モデルから、すべての区分領域からなる最大クラスの地震の巨視的断層モデルまでを対象に巨視的断層モデル群を設定し、強震動予測手法「レシピ」⁵⁾を踏まえて以下に示すパラメータ設定の方針に基づき震源域・破壊開始点・アスペリティ位置が異なる91通りの特性化震源モデルを構築した。

○巨視的震源パラメータの設定方針

- 地震の規模については、震源域全体の平均応力降下量を海溝型プレート間地震の平均的な値である3MPa(例えば、Kanamori and Anderson, 1975⁶⁾; Allmann and Shearer, 2009⁷⁾)と仮定して、震源域の面積より算出する。

○微視的震源パラメータの設定方針

- アスペリティは、フィリピン海プレートの沈み込み方向に3区分したうち中間の深さとなる区分領域内に2個から3個配置し、面積と平均すべり量は、各領域の面積と平均すべり量のそれぞれ20%と2.2倍(Murotani et al. 2008⁸⁾)とする。

- ・ 震源時間関数は、中村・宮武 (2000)⁹⁾ によるすべり速度時間関数とする。
- ・ f_{max} は、「レシピ」における 13.5Hz とする。
- ・ フィリピン海プレートの沈み込み方向に 3 区分したうち浅部の区分領域を有する震源モデルでは、浅部領域の面積の 20% の大きさの 1 個のすべりの大きな領域 (以下、大すべり域と呼ぶ) を持つケースを設定する。浅部の区分領域が 3 個以下の場合には大すべり域を浅部領域の中央に配置し、浅部の区分領域が 4 個以上の場合には大すべり域を浅部領域の西側に配置したケースと東側に配置したケースの 2 通り設定した。

○その他の震源パラメータの設定方針

- ・ 破壊伝播速度は、「レシピ」に従い震源域の S 波速度の 72% (2.7km/s ; Geller, 1976¹⁰⁾) とする。
- ・ 破壊伝播の様式は破壊開始点から同心円状とするが、各アスペリティ内部での破壊は破壊の到達点から同心円状とする (マルチハイポセンター)。
- ・ 破壊開始点は巨視的断層モデルの中央ないし両端に配置した。

特性化震源モデルのように震源パラメータがアスペリティサイズより小さな空間スケールの不均質性を持たないモデルでは、アスペリティサイズと破壊伝播特性に規定される卓越周期よりも短周期の地震動が適切量生成されず、特に巨大地震の場合には工学的に重要な周期帯の地震動が過小評価される可能性が指摘されている (例えば、関口・吉見、2006¹¹⁾)。そこで、地震本部の長周期地震動評価 2016 年試作版¹²⁾ で採用された Iwaki et al. (2016)¹³⁾ の方法により、特性化震源モデルの破壊伝播速度、すべり角、すべり量に対してランダムな不均質性を付与した。ランダムな不均質性が付与された震源パラメータの一例を図 2-7-①-1 に示す。

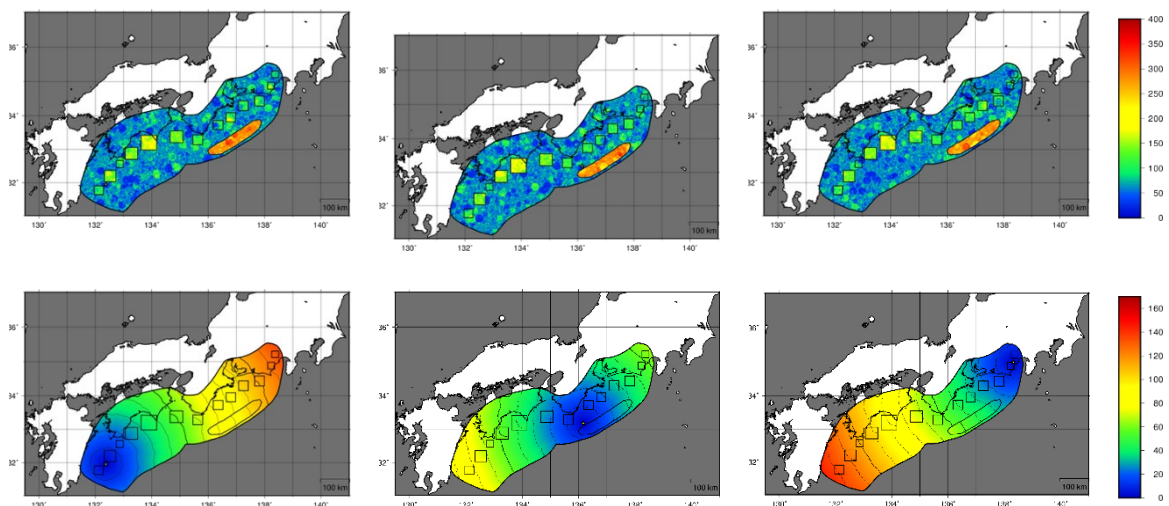


図 2-7-①-1 設定した震源モデルのパラメータの空間分布。最大クラスの地震に対して破壊開始点を変えた 3 種類の特性化震源モデルの例。上段：地震モーメント分布 [単位： 10^{15} Nm]、下段：破壊開始時間分布 [単位：秒]。

2) ハイブリッド合成法による広帯域強震動シミュレーション

1) で設定した震源モデル群に対し、令和3年度と同様に Maeda et al. (2016)¹⁴⁾ で用いられている南海トラフ地震の長周期地震動シミュレーション用の3次元地下構造モデルを用いた3次元差分法による計算を行った。波動場平滑化スキームのパラメータ (ϵ 値: 昨年度まで b 値と呼んでいたパラメータ) は 100 とした。また、同じ震源モデルに対して統計的グリーン関数法により短周期地震動の波形合成を行い、差分法と統計的グリーン関数法による結果を接続周期 1 秒でハイブリッド合成することで広帯域強震動を計算した。統計的グリーン関数法とハイブリッド合成法については、全国地震動予測地図¹⁵⁾ の「震源断層を特定した地震動予測地図」に準じた手法を用いており、工学的基盤上での時刻歴波形及び、工学的基盤上の振幅情報に浅部地盤の影響を乗じて算出した地表での振幅情報が得られている。計算結果の一例を図2-7-①-2に示す。九州から関東までの広域にわたって、3次元地下構造の影響を反映した複雑な地震動分布となっていることが見て取れる。

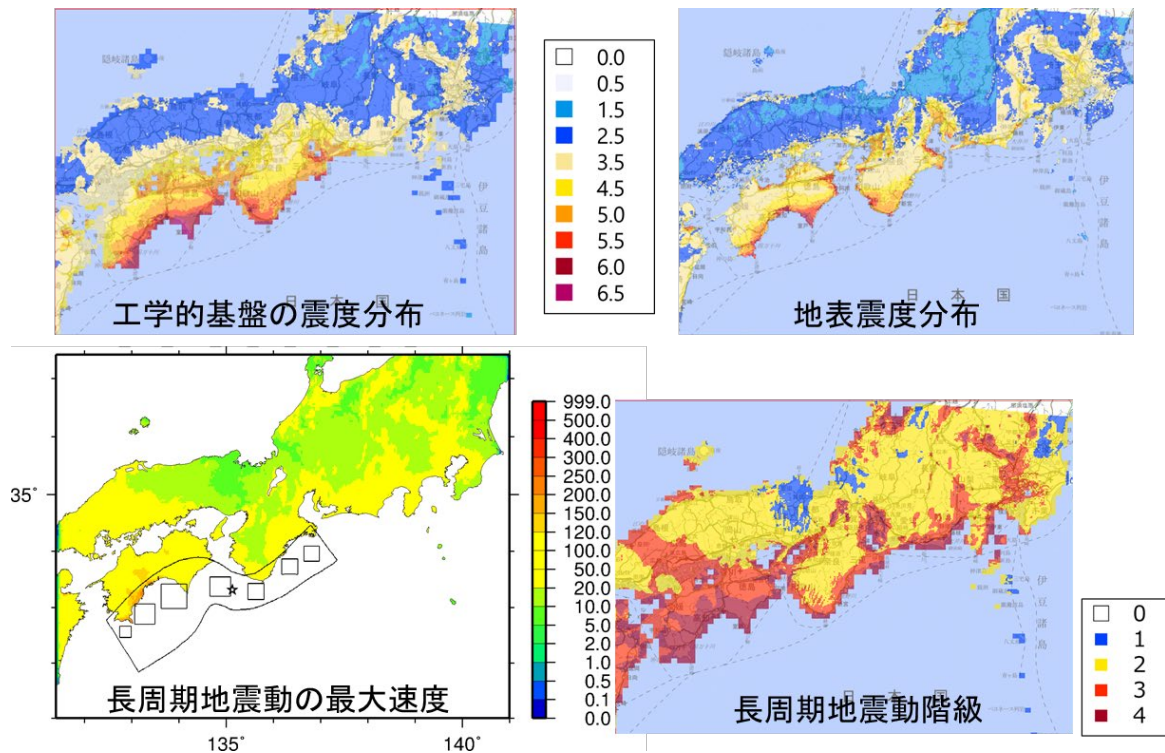


図2-7-①-2 ハイブリッド合成法による地震動シミュレーション結果。上段左：工学的基盤での計測震度分布、上段右：地表での計測震度分布、下段左：工学的基盤での長周期地震動の最大速度分布 [単位: cm/s]、下段右：地表での長周期地震動階級。対象とした震源モデルは下段左の地図内に示している。星印が破壊開始点、矩形がアスペリティを示す。

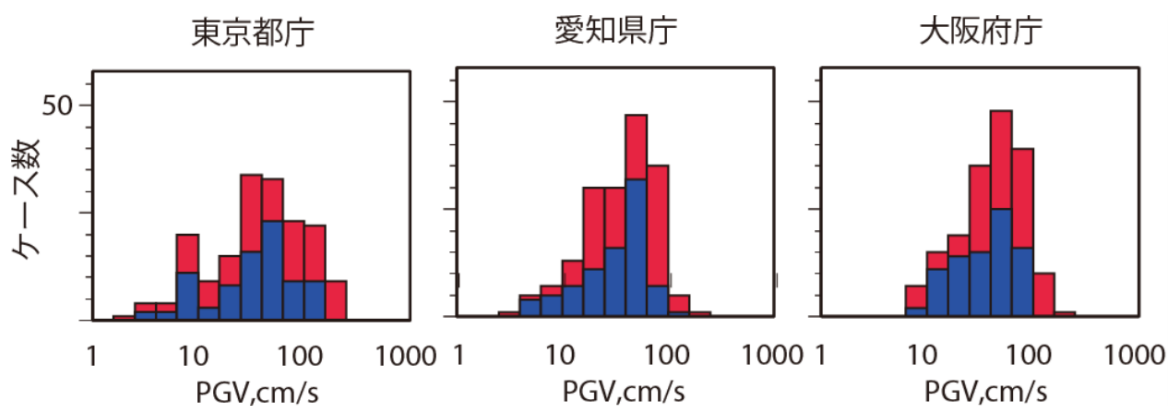


図 2-7-①-3 3 地点（東京都庁、愛知県庁、大阪府庁）での長周期地震動の最大速度（PGV）の頻度分布。年度毎の計算ケース数の内訳を青色（令和 3 年度の 83 ケース）と、赤色（令和 4 年度の 91 ケース）で示している。

図 2-7-①-3 には、東京都庁、愛知県庁、大阪府庁位置における、長周期地震動の最大速度のヒストグラムを示している。令和 3 年度と令和 4 年度の計算結果 174 ケースについて、それぞれを青色と赤色のヒストグラムで示している。令和 3 年度は南海トラフ地震の想定震源域を東西にふたつに分けたいわゆる半割れケースに着目したが、令和 4 年度は、最大クラスの地震から、想定震源域のごく一部が破壊するケースまで地震規模の多様性を考慮して計算対象ケースを設定したことから、令和 3 年度の結果に比べ最大速度の幅（上限、下限）の広い地震動シミュレーションデータを構築することができた。

(d) 結論ならびに今後の課題

防災科学技術研究所でこれまで実施してきた長周期地震動ハザード評価や、津波ハザード評価の知見を活用し、最大クラスの地震を含む強震動計算用震源断層モデルを作成し、南海トラフ地震を対象とした震源断層モデル群を拡充した。新たに構築した計算モデルを用いて、波動場平滑化スキームを実装した 3 次元差分法により計算した長継続時間の長周期地震動と、統計的グリーン関数法により計算した短周期地震動をハイブリッド合成することにより面的に広帯域強震動を作成した。令和 3 年度から継続した課題として震源から遠方での特に短周期地震動の過小評価の可能性が挙げられる。令和 4 年度は、長継続時間・広帯域強震動シミュレーションデータの拡充を優先して検討を進めたが、上記課題に関しては次年度以降対応を進める予定である。

(e) 引用文献

- 1) Imai, R., K. Takamuku, and H. Fujiwara: A modified wave equation with diffusion effects and its application as a smoothing scheme for seismic wave propagation simulations, *Int. J. Comp. Math.*, 96, 935-949, 2018, doi:10.1080/00207160.2018.1463440.

- 2) 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.
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価、2020、
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf 最終閲覧日 2023年4月4日).
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）、2013、https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf（最終閲覧日 2023年4月4日）.
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）、2020、
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf 最終閲覧日 2023年4月4日).
- 6) Kanamori, H., and D. Anderson: Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095, 1975.
- 7) Allmann, B. P., and P. M. Shearer : Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 114, B01310, 2009, doi:10.1029/2008JB005821.
- 8) Murotani, S., H. Miyake, and K. Koketsu: Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planet Space*, 60, 987-991, 2008, doi:10.1186/BF03352855.
- 9) 中村洋光、宮武隆：断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式、*地震* 2、53、1-9、2000.
- 10) Geller, R. J.: Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 1501-1523, 1976.
- 11) 関口春子、吉見雅行：広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモデルのマルチスケール不均質化、*月間地球*、号外 55、103-109、2006.
- 12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長周期地震動評価 2016年試作版－相模トラフ巨大地震の検討－、2016、
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/16_choshuki/（最終閲覧日 2023年4月4日）.
- 13) Iwaki, A., T. Maeda, N. Morikawa, S. Aoi, and H. Fujiwara: Kinematic source models for long-period ground motion simulations of megathrust earthquakes: validation against ground motion data for the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Earth Planets and Space*, 1-19, 2016, doi:10.1186/s40623-016-0473-6.
- 14) Maeda, T., A. Iwaki, N. Morikawa, S. Aoi, and H. Fujiwara: Seismic Hazard Analysis of Long-Period Ground Motion of Megathrust Earthquakes in the Nankai Trough Based on 3D Finite-Difference Simulation, *Seismological Research Letters*, 1265-1273, 2016, doi:10.1785/0220160093.

15) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震動予測地図、2021、
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/（最終閲覧日 2023年4月4日）。

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表 題目、口頭・ポスタ ー発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した 時期	国内・ 外の別
南海トラフ巨大地震 による長継続時間地 震動のシミュレーシ ョン（ポスター）	前田宜浩 岩城麻子 青井真 中村洋光 藤原広行 関航佑 今井隆太	地球惑星科学連 合大会2022	2022.6	国内
Long-duration Ground Motion Simulation Using a Smoothing Scheme with a Diffusionized Wave Equation（口頭）	Takahiro Maeda Asako Iwaki Shin Aoi Hiromitsu Nakamura Hiroyuki Fujiwara	2022 Taiwan- Japan-New Zealand Seismic Hazard Assessment Meeting	2022.10	国外 （オン ライ ン）
南海トラフ巨大地震 の多様性を考慮した 長継続時間・広帯域 地震動シミュレーシ ョン（口頭）	前田宜浩 岩城麻子 青井真 中村洋光 藤原広行	日本地震工学会 第17回年次大 会	2022.12	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を実施する。令和4年度は、津波伝播遡上シミュレーションデータの拡充のため、瀬戸内海及び東京湾周辺地域を主な対象として、防災科学技術研究所が開発している津波シミュレータ（TNS: TsuNami Simulator）¹⁾を用いて津波伝播遡上計算を実施した。計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納可能な形式で整理するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

(b) 業務の実施方法

瀬戸内海及び東京湾周辺地域を対象に、最新のデータを反映した最小10m計算格子の詳細地形モデルを構築した。藤原・他（2020）²⁾、地震調査委員会（2020）³⁾による南海トラフ沿いの津波ハザード評価に用いた最大クラスを含む3480通りの波源断層モデルを計算対象とし、課題2(d)やリスク評価等における利活用を目的として津波シミュレータ（TNS）¹⁾を用いて津波伝播遡上計算を実施した。

(c) 業務の成果

1) 詳細地形モデルの構築

津波伝播遡上計算のための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、10mメッシュ分解能構造物ラインデータ、及び10mメッシュ分解能陸判定データを構築した。対象地域は、藤原・他（2020）²⁾、地震調査委員会（2020）³⁾による南海トラフ沿いの津波ハザード評価の対象地域から令和3年度の検討で対象とした南海トラフ沿いの太平洋沿岸地域を除いた範囲のなかから、以下の条件をもとに選定した。

- ・ 人口集中地区などリスク評価への活用が見込まれる地域
- ・ 既往の最小50mメッシュでの津波伝播遡上計算で常に津波浸水が生じる地域
- ・ 自治体の津波浸水ハザードマップにおいて広域での浸水が想定されている地域

粗度データについては、航空写真等を確認したうえで、国土交通省（2019）⁴⁾の粗度係数の設定例と整合するように構築した。陸判定データについては、潮位条件として、T.P. +0.0mに対応したデータを構築した。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や航空写真等の情報を反映した地形モデルを構築した。最終的に11都県の計38個の10m格子領域に対して、地形標高データ・粗度係数データ・構造物ラインデータ（堤防データ）・海陸判定データ・汀線メッシュ評価点データを整備した。構築した各種データを図2-7-②-1に示す。

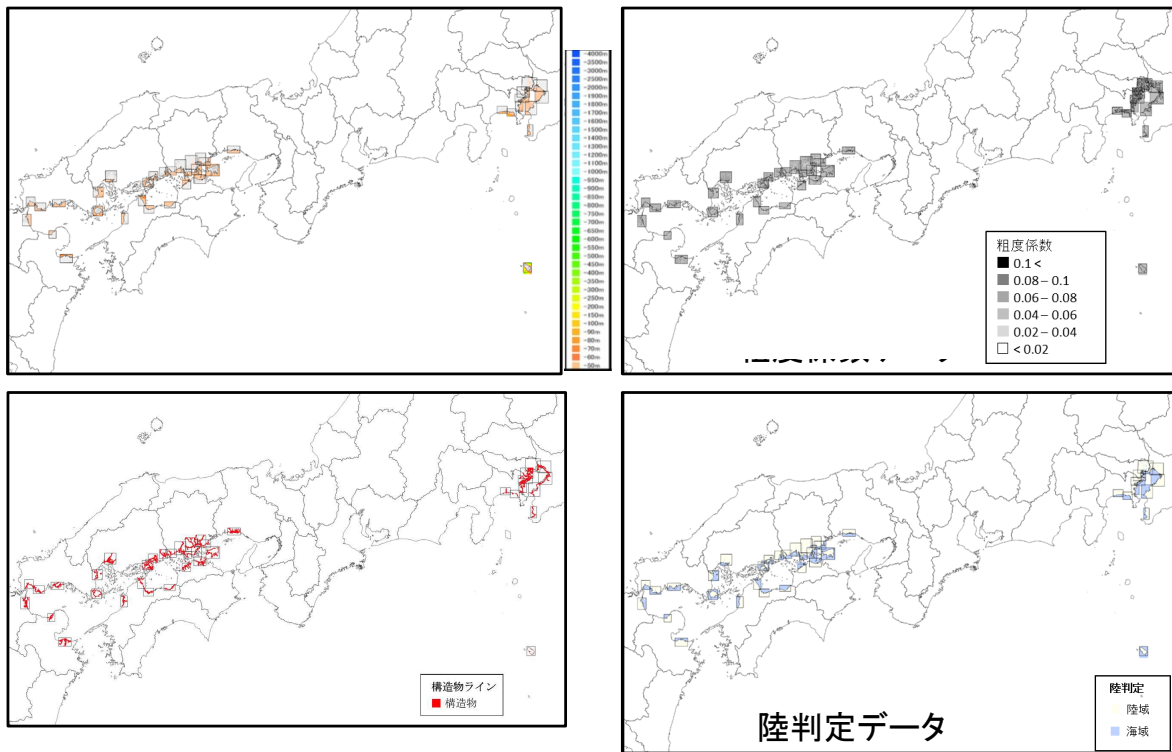


図 2-7-②-1 構築した 10m メッシュ分解能の計算モデル。上段左：地形標高データ、上段右：粗度係数データ、下段左：構造物ラインデータ、下段右：陸判定データ。

2) 波源断層モデル

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

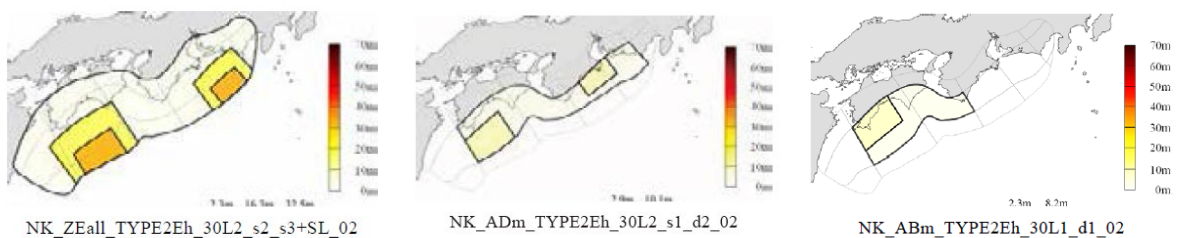


図 2-7-②-2 波源断層モデルの一例 (藤原・他 (2020)²⁾ より抜粋)。図中の凡例はすべり量を示す。左：最大クラス地震、中央：既往最大クラス地震、右：南海地震に対応する巨視的断層モデルを有する波源断層モデル。各波源断層モデルは背景領域と大すべり域、及び超大すべり域から構成される。

3) 津波伝播遡上計算

構築した詳細地形モデル、波源断層モデル群を用いて津波シミュレータ（TNS）による津波伝播遡上計算を実施した。計算条件を表2-7-②-1にまとめた。計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納可能なフォーマットに変換するとともに、地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

図2-7-②-3に令和3年度と令和4年度の計算対象領域を示す。これまでに、計155個の10m格子領域（格子点としては約4億個）に対する3480個の波源断層モデルの計算結果が蓄積された。また同図には、全波源断層モデルに対する各10m格子領域内の最大浸水深を示しており、太平洋に面した地域では10mを超える浸水深が広く分布しており、瀬戸内海や東京湾周辺でも5mを超える結果が得られている。さらに、高知県と静岡県の2地点に対して作成した、全波源断層モデルに対する最大浸水深のヒストグラムからは、これらの地点では10mを超える最大浸水深となるケースがある一方で、大半のケースでは浸水が生じないことが見て取れる。これは将来起こる津波には大きな不確実性があることを示しており、津波リスクの理解に資するデータが構築されたと考えられる。

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	2430m [*] 、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	岡山県の1領域のみ15時間、その他は12時間
境界条件	陸側：陸域へ遡上 海側：吸収境界
施設	各種施設（堤防・水門など）を考慮 (地震動や津波の越流によって破堤・倒壊しないと仮定)
初期水位	Okada (1992) ⁵⁾ により計算される海底変動量に、水平方向成分の寄与 (Tanioka and Satake, 1996) ⁶⁾ を考慮し、梶原フィルター (Kajiura, 1963) ⁷⁾ を適用
動的破壊特性	ライズタイム：考慮しない 破壊伝播過程：考慮しない
潮位条件	T.P. ± 0 m
打ち切り水深	10 ⁻⁵ m
粗度係数	30m格子、10m格子は土地利用条件に応じて設定 2430m格子、810m格子、270m格子、90m格子は一律に0.025 (m ^{-1/3} s)

※東京湾地域では2430m格子領域は設定していない

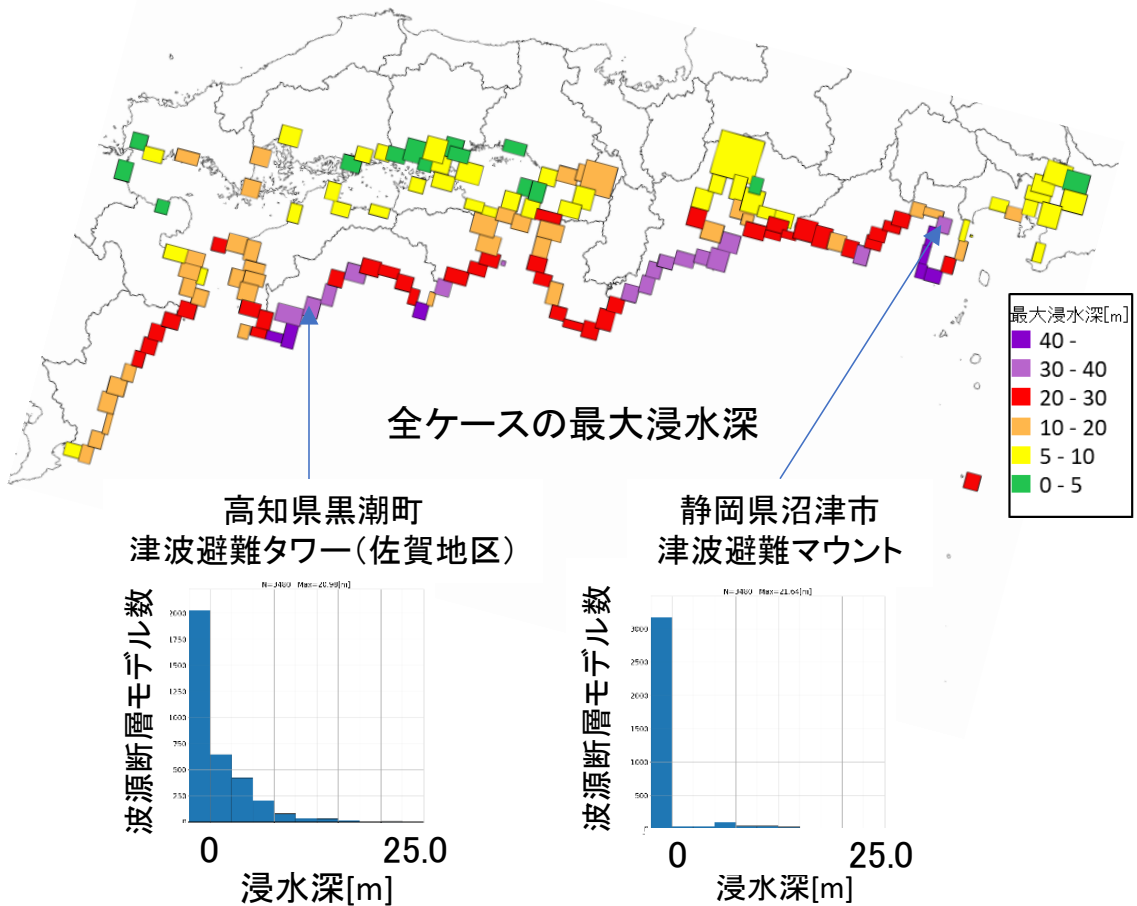
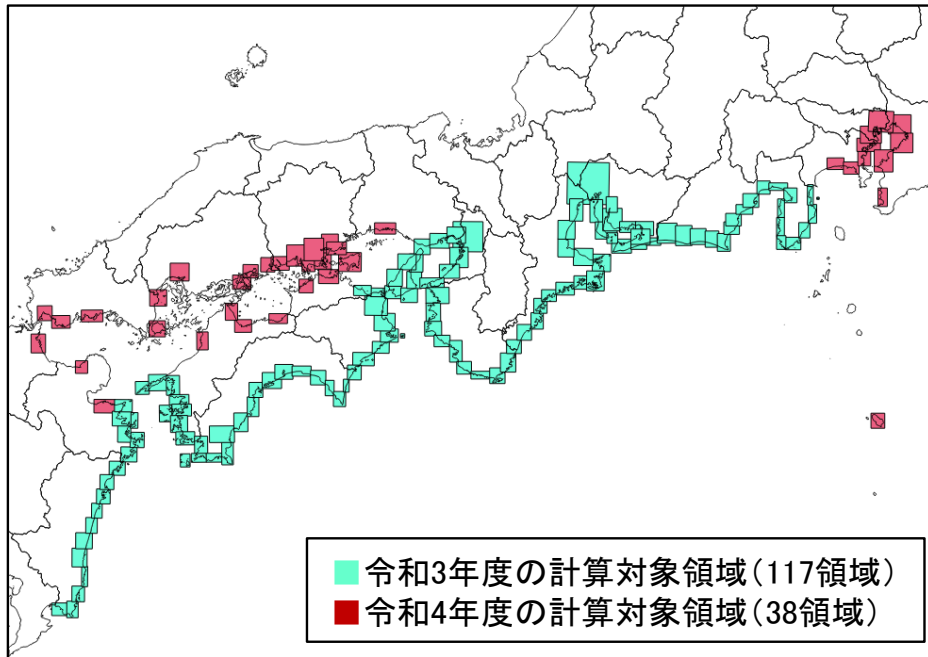


図2-7-②-3 上段：令和3年度、4年度における津波伝播遡上計算対象領域。
 中段：各10m格子領域における3480個の波源断層モデルに対する最大浸水深。
 下段：2地点における3480個の波源断層モデルに対する最大浸水深のヒストグラム。

(d) 結論ならびに今後の課題

瀬戸内海や東京湾周辺地域を対象として、内閣府や地方自治体のデータを収集し、11都県の38個の10m格子領域を対象として、地形標高データ等を整備し、藤原・他(2020)²⁾、地震調査委員会(2020)³⁾を基に設定された3480個の波源断層モデルに対する津波伝播遡上計算を実施した。多様な断層モデル群に対する計算を行ったことで、浸水深分布の多様性を示すことができた。

令和3年度、令和4年度の検討により蓄積された膨大なシミュレーションデータの活用策について検討するとともに、沿岸施設の破壊の考慮や異なる潮位条件での浸水評価を行うことが課題として挙げられる。

(e) 引用文献

- 1) 三好崇之、鈴木亘、近貞直孝、青井真、赤木翔、早川俊彦：津波シミュレータ TNS の開発、防災科学技術研究所研究資料、427、2019.
- 2) 藤原広行、平田賢治、中村洋光、森川信之、河合伸一、前田宜浩、大角恒雄、土肥裕史、松山尚典、遠山信彦、鬼頭直、大嶋健嗣、村田泰洋、齊藤龍、澁木智之、秋山伸一、是永真理子、阿部雄太、橋本紀彦、袴田智哉、大野哲平：南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価－第一部 本編－、防災科学技術研究所研究資料、439、2020.
- 3) 地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価、2020、https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t (最終閲覧日 2023年4月4日) .
- 4) 国土交通省：津波浸水想定の設定の手引き Ver2.10、2019、https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manual1.pdf (最終閲覧日 2023年4月4日) .
- 5) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1018-1040, 1992.
- 6) Tanioka, Y. and K. Satake: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, 23, 861-864, 1996.
- 7) Kajiura K.: The Leading Waves of a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 41, 535-571, 1963.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
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
南海トラフ巨大地震の発生の多様性を考慮した津波遡上計算とその利活用に向けて－概要と利活用事例の紹介－	土肥裕史 中村洋光 藤原広行 前田宜浩 矢守克也 杉山高志	月刊地球	2022. 5	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地震発生の多様性を考慮したリスク評価

(a) 業務の要約

令和3年度に実施された海岸構造物を考慮した空間分解能 10m の津波ハザード評価結果に基づいて建物及び人的被害リスク評価を更新するとともに、住民避難・経済活動維持・大都市機能維持を目的とした地震像の類型化に用いる特徴量を算出した。そのうえで、南海トラフ沿いで発生するプレート境界型地震（以下、南海トラフ地震と称する）の多様性を構成する 3480 地震を対象とした地震像の類型化を類型化するとともに、類型毎の代表地震を抽出した。更に、複数回の地震から構成される地震パターンの類型化手法を検討するとともに、代表地震を対象とした広域災害シナリオを試作した。また、南海トラフ地震による被害の全容を把握するために、主に山間部で発生する地すべりによる曝露建物棟数及び曝露人口と、資本ストック・データを用いた直接被害額を試算した。

(b) 業務の実施方法

半割れケース及び一部割れケース発生後の曝露データやリスク評価は、事前避難による影響を考慮するために曝露人口モデルの構築及び人的被害リスク評価を対象とした。まず、半割れケース発生後の曝露人口は新型コロナウイルス感染症に係る自粛要請に伴う行動変容を参考として事前避難率を設定したうえで、津波ハザード評価結果を活用して設定した事前避難が必要となる地域内の人口に上記の事前避難率を乗じて作成した。次に、半割れケース及び一部割れケース（以下、先発地震）が発生した後に、先発地震の「割れのこり」を震源域とする後発地震が発生する地震パターンを想定して、地震と

津波による人的被害を、事前避難有り・無しそれぞれについて試算した。なお、地震パターン等の南海トラフ沿いで発生する地震の多様性^{1),2)}を踏まえた表現形式については、令和4年度以前と同様に表2-7-③-1の定義を用いた。

表2-7-③-1 南海トラフ地震の多様性を表現する用語の一覧

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

住民避難・経済活動維持・大都市機能維持を目的とした地震像の類型化に用いる特徴量の算出にあたっては、メッシュ単位で提供されるハザード情報に基づくとともに、南海トラフ地震の多様性を構成する藤原ほか(2020)¹⁾による3480地震による全国の特徴量を算出することから比較的簡便な手法により算出した。そのうえで、上記の特徴量を可視化技術により事前削減したうえで教師なし分類のアルゴリズムを用いた類型化の試行を行って検討した。分類の数は複数の次元削減結果や分類アルゴリズムに基づいたそれぞれの分類結果に基づいて、安定した分類が行われる分類数を採用した。上記の類型化結果から類型を代表する地震（以下、代表地震）を抽出する方法として影響の大きさと発生しやすさの両方に基づいた代表指標値を定義し、上記の代表指標値に基づいて目的毎の代表地震を抽出するとともに、一部の代表地震を対象として類型化に用いた特徴量やリスク評価結果を整理した広域災害シナリオを作成した。

地すべりを対象としたリスク試算に当たっては、防災科学技術研究所による地すべり地形分布図³⁾を活用したうえで、森脇(2011)⁴⁾の手法を平成16年新潟県中越地震の被害実績⁵⁾に合うように調整したうえで、南海トラフ地震が発生した場合の地すべりによる曝露建物棟数及び曝露人口を算出した。

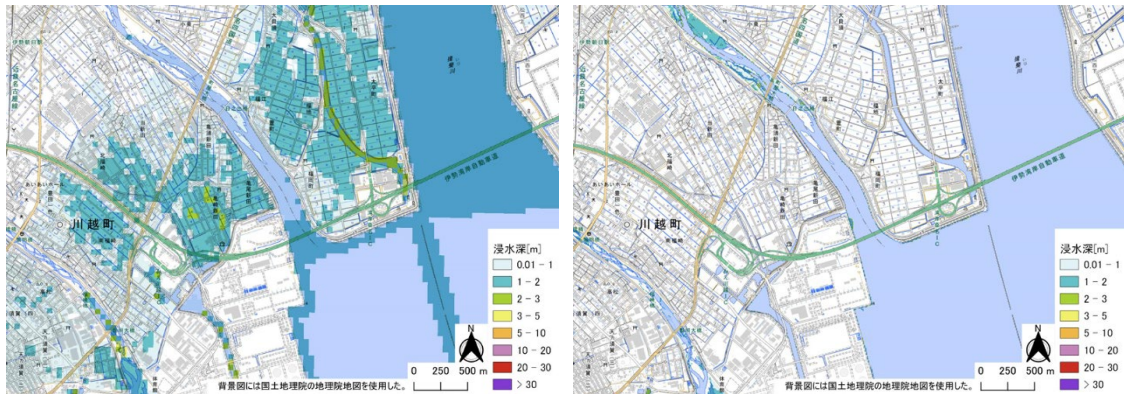
直接被害額は、昨年度に試算した3震源域に、既往最大に相当する震源域や昨年度の類型化の試行を踏まえて抽出した7震源域を加えた合計10震源域を対象に、資本ストック・データを用いて試算した。

(c) 業務の成果

1) 海岸構造物を考慮したハザードに基づく条件付きリスク評価

令和3年度に実施された堤防等の海岸構造物を考慮した空間分解能10mの津波伝

搬上計算結果に基づいた。これは、海岸構造物を考慮した場合には主に海拔ゼロメートル地帯において浸水範囲が大きく異なる（図2-7-③-1）ためである。津波伝搬搬上計算の主な計算条件を比較すると表2-7-③-2のようにまとめられる。



（左：更新前、右：更新後）

図2-7-③-1 津波浸水深の比較（例）

表2-7-③-2 津波伝搬搬上計算の計算条件の比較

項目	更新前	更新後
空間分解能	50m	10m
海岸構造物	なし	あり

なお、曝露データは4分の1地域メッシュを東西及び南北にそれぞれ5分割したメッシュ（以下、約50mメッシュ）単位で作成していることから、ハザードと曝露の空間分解能を統一させるためにリスク評価にあたっては約50mメッシュ内の津波ハザードの平均値を用いた。

a) 建物被害リスク評価結果

海岸構造物を考慮した津波ハザードに基づく建物被害リスク評価結果として、全3480波源断層モデルに基づく全国の全壊棟数のヒストグラムを図2-7-③-2に示した。このヒストグラムを見ると最大値は約29万棟であるものの、平均値や中央値は最大値よりも1桁小さな値であり、全壊棟数が10万棟を超える波源断層モデルは少ないことがわかる。また、更新前後の全壊棟数を比較した散布図（図2-7-③-3）をみると、海岸構造物を考慮した更新後の津波ハザードによる全壊棟数は更新前の概ね半分程度以下である。

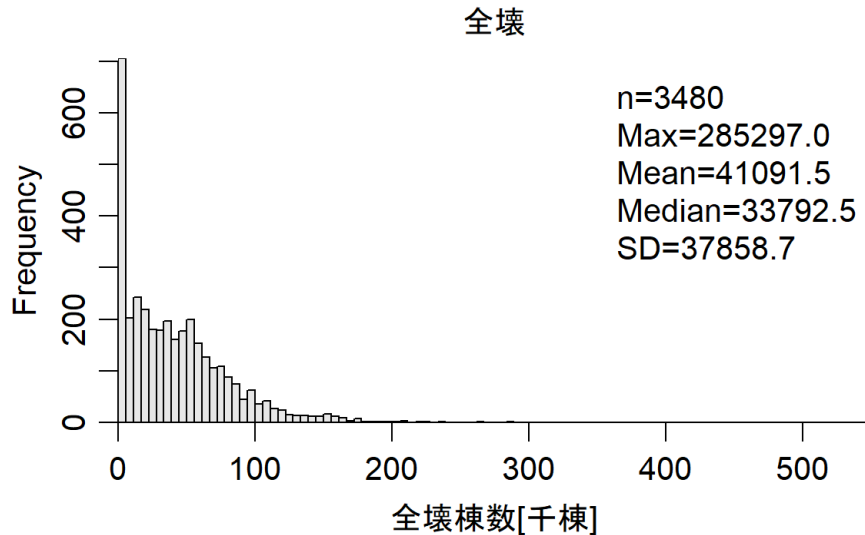


図 2-7-③-2 建物全壊棟数のヒストグラム

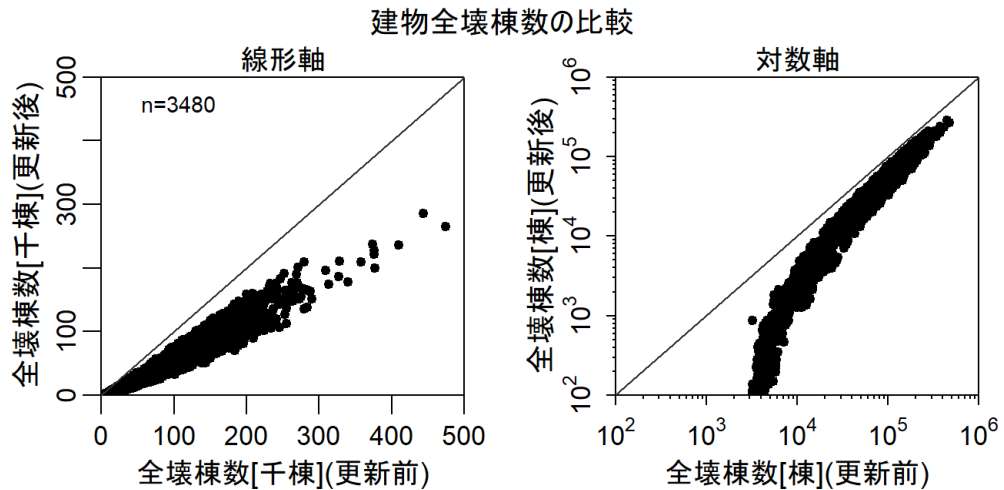
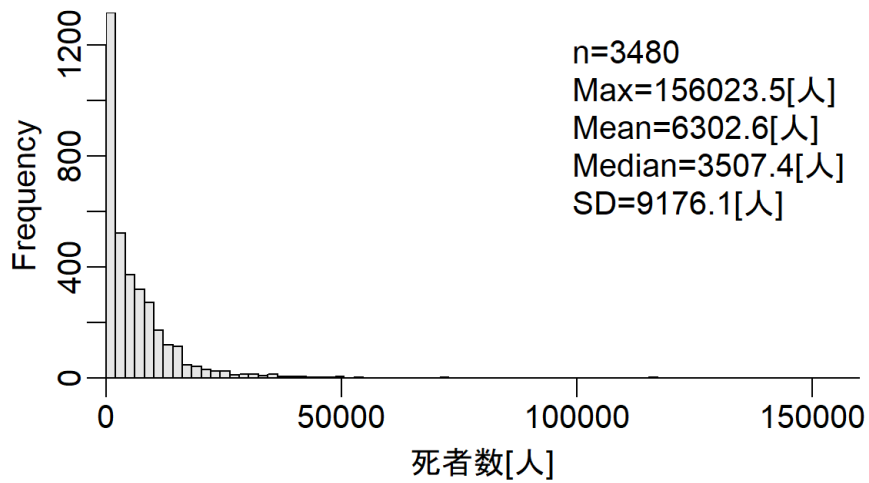


図 2-7-③-3 ハザードの更新前後での全壊棟数の比較

b) 人的被害リスク評価結果

海岸構造物を考慮した津波ハザードに基づく人的被害リスクを、夜間人口に相当する 5 時及び昼間人口に相当する 12 時の人口分布に基づいて評価し、その結果として全国の死者数のヒストグラムを図 2-7-③-4 に示した。このヒストグラムを見ると前述の建物全壊棟数と類似した分布となっており、最大値は 5 時で約 16 万人、12 時で約 14 万人であったものの、平均値や中央値は最大値よりも 1 桁小さな値であった。また、5 時の人口分布を対象に更新前後の死者数を比較した散布図 (図 2-7-③-5) をみると、海岸構造物を考慮した更新後の津波ハザードによる死者数は更新前の概ね半分程度以下である。

津波による死者数(5時)



津波による死者数(12時)

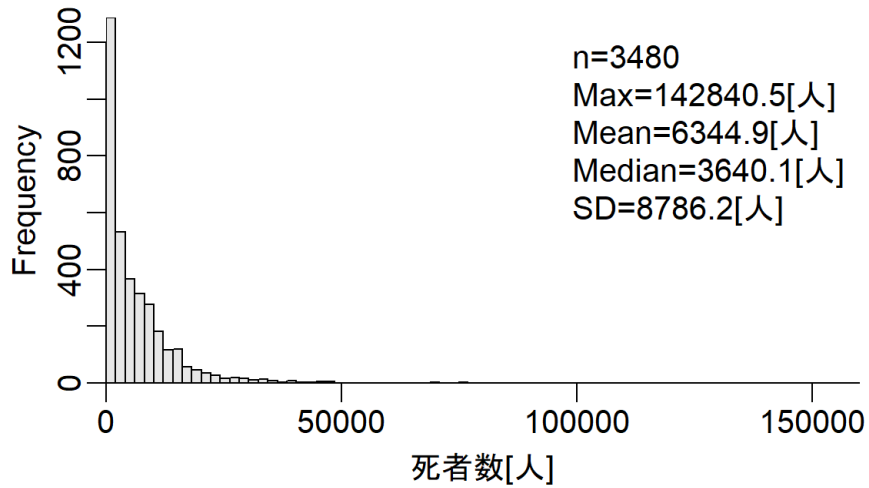


図 2-7-③-4 死者数のヒストグラム

死者数の比較(5時の人口分布)

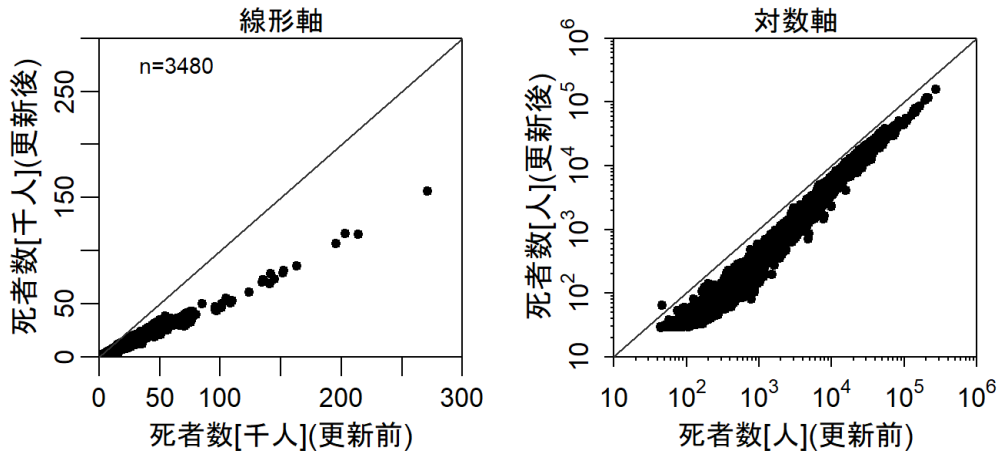


図 2-7-③-5 ハザードの更新前後での死者数の比較

c) 異常な現象が観測された場合における事前避難を考慮した人的被害リスクの試算

南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合における事前避難を考慮した人的被害リスクを試算した。リスク評価の対象とした地震パターンは表 2-7-③-3 の 3 パターンである。なお、いずれもの地震パターンでも先発地震の規模はM 8 以上であることから、先発地震発生後には巨大地震警戒の南海トラフ地震臨時情報⁶⁾が発表され、事前避難が呼びかけなどの防災対応⁷⁾がとられるものとした。

表 2-7-③-3 対象とした地震パターン

略称	1 回目の地震(先発地震)	2 回目の地震(後発地震)
西側先行半割れ	震源域:ABm、Mw:8.6	震源域:CEm、Mw:8.4
東側先行半割れ	震源域:CEm、Mw:8.4	震源域:ABm、Mw:8.6
一部割れ先行	震源域:Am、Mw:8.4	震源域:BEm、Mw:8.6

i) 事前避難を考慮した曝露人口モデルの構築

事前避難を考慮した曝露人口モデルは令和 3 年度の成果を踏まえて、海岸構造物を考慮した津波ハザード評価結果を活用して構築した。具体的には海岸構造物を考慮した津波ハザード情報に基づいて先発地震による津波の浸水域では全員が避難済みと仮定した後に、南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域のうち後発地震による津波浸水深が 30cm 以上に 30 分以内に到達する範囲では全人口が、30 分以上の範囲では 65 歳以上の人口がそれぞれ避難対象とした。そのうえで避難対象のうち 70% が先発地震から 1 週間は避難を継続し、その後は年齢や経過時間に応じて帰宅すると仮定した(図 2-7-③-6)。なお、事前避難については仮定が多いことから前述の設定を基本ケースとしたうえで、事前避難率が上下に変動した場合として高避難率ケース及び低避難率ケースも設定した(表 2-7-③-4)。また、地震の発生間隔は 4 日及び 20 日を仮定した。

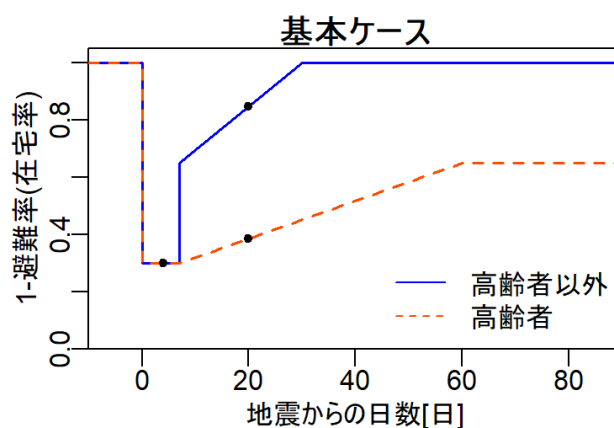


図 2-7-③-6 設定した事前避難率(避難率基本ケース)

表 2-7-③-4 ケース別の事前避難率

ケース	事前避難率
基本ケース	70%
低避難ケース	50%
高避難ケース	90%

ii) 事前避難を考慮した人的被害リスクの試算

前項で作成した事前避難を考慮した曝露人口モデルを用いて事前避難を考慮した地震パターン全体の人的被害リスクを試算した。本試算は2回の地震から構成される地震パターン全体の人的被害リスクを試算する。ここで、構成地震それぞれのペリル（地震動及び津波）を単純に加算すると死者数を多重集計することになるため、令和3年度と同様にそれぞれのペリルにおいて少なくとも1回死亡する確率を死者率として評価し、曝露人口を乗ずることにより死者数を評価した(図2-7-③-7)。

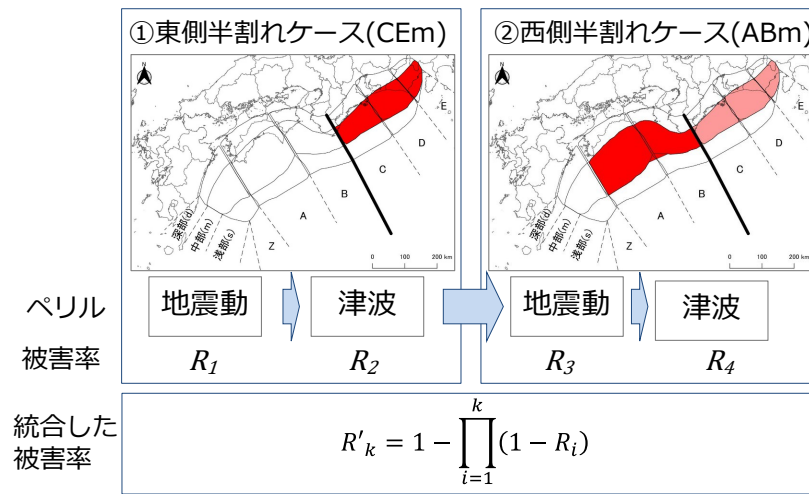


図 2-7-③-7 対象とした半割れケースとリスクの統合方法

上記による人的被害リスクの試算結果は表2-7-③-5に示したとおりである。地震動と津波の死者を比較すると地震動の死者の方が大きくなっている。これは、対象とした地震パターンを構成する地震がいずれもM8クラスであることから津波による被害が限定的となったと考えられる。また、事前避難による人的被害の軽減率をみると、一部割れ先行の地震パターンで最大約25%、西側先行半割れで最大約16%であったのに対して、東側先行半割れでは最大でも約6%に留まった。これは、東側先行半割れでの後発地震の震源域が四国沖（震源域ABm）であり曝露量が集中する地域からやや離れていることや、震源が海岸線からやや離れているために地震発生後での避難でも避難完了出来る人口が多いためと考えられる。なお、東側先行半割れと西側先行半割れの構成地震は同一であり相違は発生順序のみであるため、事前避難を考慮しない場合の死者数は同一である。一方で、事前避難を考慮した場合にはハザードと曝露量の関係により変化が生じている。このように、震源と曝露量の分布の位置関係により、地震の発生順序によって事前避難の効果は大きく異なることが明らかになった。

表 2-7-③-5 人的被害リスクの試算結果

時間帯	地震パターン	事前避難			人的被害 軽減率 [%]	合計	死者数[人]			
		想定 後発地震	経過日数	避難率			先発地震		後発地震	
							地震	津波	地震	津波
5時 (夜間)	西側先行半割れ (ABm→CEm)	全地震	-	事前避難無し	-	12,872	2,156	447	9,344	925
			4日後	低避難率	8.8%	11,736	2,156	447	8,860	273
				基本	11.0%	11,460	2,156	447	8,693	164
				高避難率	13.1%	11,184	2,156	447	8,525	56
			20日後	低避難率	7.1%	11,955	2,156	447	8,953	399
				基本	8.6%	11,767	2,156	447	8,823	341
	高避難率	10.1%		11,578	2,156	447	8,692	283		
	東側先行半割れ (CEm→ABm)	全地震	-	事前避難無し	-	12,872	9,344	929	2,156	443
			4日後	低避難率	3.1%	12,477	9,344	929	1,988	215
				基本	4.0%	12,358	9,344	929	1,936	149
				高避難率	4.9%	12,240	9,344	929	1,883	84
			20日後	低避難率	2.3%	12,573	9,344	929	2,012	288
				基本	2.9%	12,493	9,344	929	1,969	252
	高避難率	3.6%		12,413	9,344	929	1,925	215		
	一部割れ先行 (Am→BEm)	全地震	-	事前避難無し	-	13,898	1,127	175	10,544	2,051
4日後			低避難率	12.2%	12,200	1,127	175	10,007	891	
			基本	16.1%	11,661	1,127	175	9,819	540	
			高避難率	20.0%	11,121	1,127	175	9,630	189	
20日後			低避難率	8.7%	12,695	1,127	175	10,110	1,283	
			基本	11.1%	12,356	1,127	175	9,963	1,091	
	高避難率	13.6%	12,014	1,127	175	9,815	896			
12時 (昼間)	西側先行半割れ (ABm→CEm)	全地震	-	事前避難無し	-	9,332	1,659	461	6,300	912
			4日後	低避難率	10.9%	8,312	1,659	461	5,935	257
				基本	13.2%	8,100	1,659	461	5,824	155
				高避難率	15.5%	7,887	1,659	461	5,714	53
			20日後	低避難率	9.0%	8,489	1,659	461	5,994	375
				基本	10.5%	8,348	1,659	461	5,908	320
	高避難率	12.1%		8,206	1,659	461	5,820	265		
	東側先行半割れ (CEm→ABm)	全地震	-	事前避難無し	-	9,332	6,300	914	1,659	459
			4日後	低避難率	4.0%	8,963	6,300	914	1,518	231
				基本	5.1%	8,852	6,300	914	1,475	163
				高避難率	6.3%	8,742	6,300	914	1,433	95
			20日後	低避難率	3.0%	9,056	6,300	914	1,537	305
				基本	3.7%	8,983	6,300	914	1,502	267
	高避難率	4.5%		8,909	6,300	914	1,468	228		
	一部割れ先行 (Am→BEm)	全地震	-	事前避難無し	-	10,325	908	155	7,174	2,088
4日後			低避難率	15.5%	8,726	908	155	6,765	897	
			基本	20.1%	8,246	908	155	6,637	545	
			高避難率	24.8%	7,766	908	155	6,510	193	
20日後			低避難率	11.0%	9,186	908	155	6,832	1,290	
			基本	13.9%	8,891	908	155	6,732	1,095	
	高避難率	16.8%	8,594	908	155	6,631	899			

2) 地震像の類型化手法の高度化

a) 地震像の類型化に用いる特徴量の算出

海岸構造物を考慮した津波ハザード情報及び距離減衰式に基づく地震動ハザード情報に基づいて、住民避難、産業活動維持及び大都市機能維持に係る特徴量（表 2-7-③-6）を算出した。算出にあたっては、南海トラフ地震の多様性を構成する 3480 地震¹⁾を対象にメッシュ単位で提供されるハザードに基づいた特徴量の条件付き期待値を算出したうえで、市区町村単位で集計した。なお、避難困難者数以外の特徴量は地震発生からの経過時間により変動する値であることから、災害過程⁸⁾や過去に作成した災害シナリオ⁹⁾を踏まえて表 2-7-③-7 の 4 時点の特徴量を算出した。また、3480 地震による全国の特徴量を算出することから簡便な手法（表 2-7-③-8）により特徴量を算出した。

表 2-7-③-6 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	機能停止率 (フローの被害)	地震前の生産能力を 1 とした場合からの生産機能の低下率。
大都市機能維持	鉄道運行停止率	運休時間の推定値に基づく運休延長÷全延長により算出。
	帰宅困難者数	市区町村外から鉄道を利用する通勤・通学者数に鉄道の運行停止率を乗じたもの。

表 2-7-③-7 特徴量を算出した時点

時点	災害過程	災害シナリオ
6 時間後	I (失見当)	被災直後
2 日後	II (被災地社会の成立)	~1 週間後
15 日後	III (災害ユートピア)	~1 ヶ月後
150 日後	IV (現実への帰還)	~2 年後

表 2-7-③-8 特徴量の算出手法概要

目的	特徴量	算出手法の出典
住民避難	避難困難者数	高橋ほか (2018) ¹⁰⁾
	避難者数	中央防災会議 (2012) ¹¹⁾
産業活動維持	機能停止率	梶谷ほか (2013) ¹²⁾
大都市機能維持	鉄道運行停止率	高浜・翠川 (2011) ¹³⁾
	帰宅困難者数	国勢調査による通勤・通学者数に鉄道の運行停止率を乗じた

特徴量の算出結果として、避難困難者数の全国集計値のヒストグラムを図 2-7-③-8 に、地震から 6 時間後における市区町村別の帰宅困難者数の分布図を図 2-7-③-9 にそれぞれ例示した。

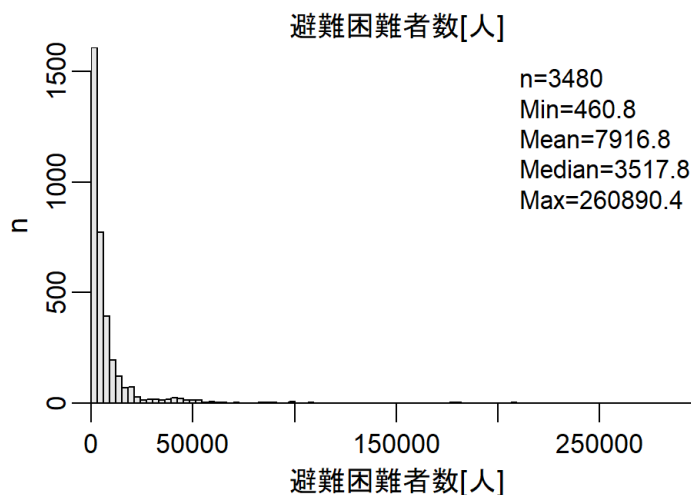


図 2-7-③-8 特徴量のヒストグラム (例：避難困難者数)

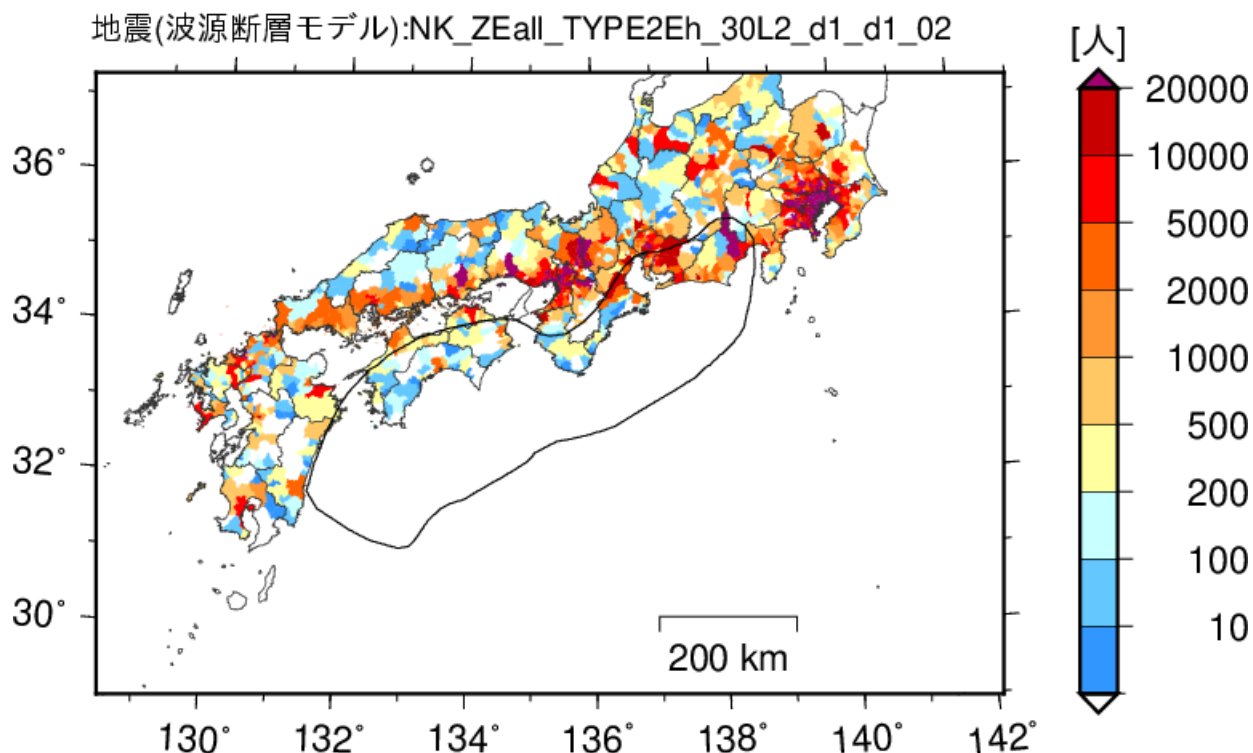


図 2-7-③-9 市区町村別の特徴量 (例: 帰宅困難者数・6 時間後)

b) 単一の地震を対象とした地震像の類型化

前項で算出した被害の様相を表す特徴量に基づいて、令和 3 年度に検討した手法に基づいて地震像を類型化した。類型化にあたっては、市区町村単位に集計した多次元の特徴量 (表 2-7-③-9) を可視化技術 (UMAP) により 2 次元及び 3 次元に削減した後に、階層クラスタリング及び K-means により分類した。ここで、特徴量は一定以上の影響が生ずる市区町村のみを対象とした。なお、特徴量は前述の 4 時点 (表 2-7-③-7) を対象としたが、地震から 120 日後の鉄道運休率はゼロとなったため、大都市機能維持に係る特徴量は 120 日を除いた 3 時点のみを対象とした。

表 2-7-③-9 特徴量の次元数

目的	特徴量	次元数	備考
住民避難	避難困難者数	132	避難困難者が 1 人以上の市区町村数
	避難者数	5,404	1,351 市区町村×4 時点
産業活動維持	機能停止率	5,424	1,356 市区町村×4 時点
大都市機能維持	鉄道運行停止率	3,348	1,116 市区町村×3 時点
	帰宅困難者数	3,309	1,103 市区町村×3 時点

分類の数は、次元削減結果や分類器 (表 2-7-③-10) が変化しても分類結果が安定する分類数を採用した。これは、階層クラスタリングによる樹形図からは明確な分類数を見いだすことが出来なかったためである。ここで、分類結果の比較には ARI 及び NMI の 2 つの指標 (表 2-7-③-11) を用いて、これらの指標が極大となる分類数を採用した。例えば産業活動維持を目的として機能停止率を特徴量とした類型化の場合には、指標 (図 2-7-③-10) が極大となる分類数 25 の類型化結果 (図

2-7-③-11) を採用した。このほかの目的及び特徴量の類型化結果として類型数を表 2-7-③-12 に示した。

表 2-7-③-10 比較対象とした類型化

項目	内容
次元数	2次元及び3次元(UMAPによる次元削減)
分類器	階層クラスタリング及びK-means

表 2-7-③-11 比較に用いた指標

指標	略称	備考
調整ランド指数	ARI	2つの分類結果が同一の場合1、ランダムな場合には0となる(負の値もあり得る)。
正規化相互情報量	NMI	2つの分類結果が同一の場合1、ランダムな場合には0となる(0以上1以下の値)。

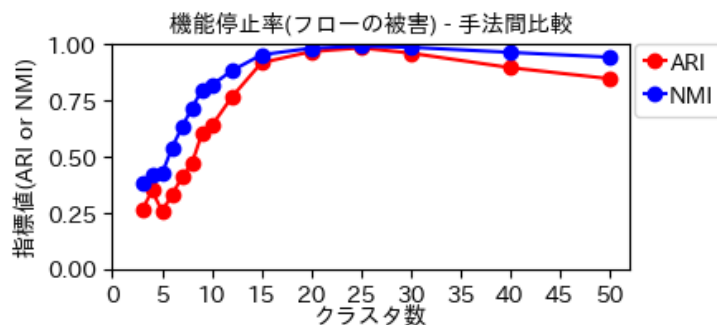


図 2-7-③-10 評価指標の例 (機能停止率)

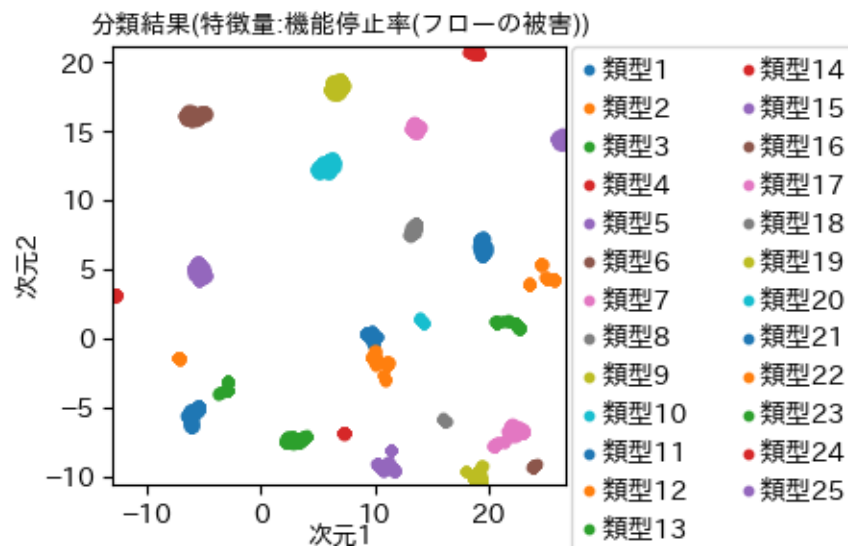


図 2-7-③-11 類型化の結果の例 (機能停止率)

表 2-7-③-12 目的及び特徴量の累計数

目的	特徴量	類型数
住民避難	避難困難者数	10
	避難者数	15
産業活動維持	機能停止率	25
大都市機能維持	鉄道運行停止率	30
	帰宅困難者数	30

c) 類型毎の代表地震の抽出

代表地震を抽出する際に着目する観点として、影響の大きさと発生しやすさの2つの観点が考えられる。例えば最悪のケースを想定するための被害想定を目的とした代表地震は、影響の大きさに着目して被害が大きくなりやすい地震を抽出すると考えられる。その一方で、影響の大きさのみに着目した場合には、極端に発生する可能性が低く現実性の乏しい地震を抽出する事となる。以上を踏まえて、影響の大きさと発生の可能性の両面を客観的に評価した指標値を下記のように定義した。そのうえで、それぞれの類型の中で指標値が最大の地震を代表地震として抽出する。

$$V_i = \sum_c [D_i^\alpha \times W_i^{(1-\alpha)}]$$

ここで、V:代表性を表す指標(以下、代表指標値と称する)、D:特徴量、W:地震(震源域・波源断層モデル)の重み、 α :パラメータ($0 \leq \alpha \leq 1$)、i:地震番号、c:地域(市区町村)番号とする。

上記の代表指標値を用いた代表地震の抽出結果の例として、機能停止率を特徴量とした場合の代表地震の抽出結果を表2-7-③-13に示した。

表 2-7-③-13 代表地震の抽出結果例(機能停止率、 $\alpha=0.5$)

類型番号	代表地震(全国)	代表指標値	特徴量	順位	
				指標値	特徴量
1	NK_ACm_TYPE2Eh_30L2_m1_m1_02	1.04E-01	6.40%	22	16
2	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_m1_02	1.86E+00	3.67%	1	21
3	NK_ABmd_TYPE2Eh_30L1_s3_02	7.48E-01	6.24%	6	17
4	NK_ZEa11_TYPE2Eh_30L2_s3_s4+SL_02	1.89E-01	19.75%	16	1
5	NK_ADmd_TYPE2Eh_30L2_s2_s1_02	2.42E-01	14.56%	14	6
6	NK_ZDm_TYPE2Eh_30L2_d1_m1_02	1.30E-01	10.19%	20	11
7	NK_AEmd_TYPE2Eh_30L2_s2_a1_02	2.26E-01	19.02%	15	2
8	NK_ZDa11_TYPE2Eh_30L2_xw_xe+SL_02	1.73E-01	15.27%	17	4
9	NK_ADm_TYPE2Eh_30L2_m1_m1_02	4.11E-01	9.81%	9	12
10	NK_ZEm_TYPE2Eh_30L2_d1_m1_02	1.04E-01	14.64%	23	5
11	NK_BEm_TYPE2Eh_30L1_s3m1_02	1.57E-01	13.64%	19	8
12	NK_BEmd_TYPE2Eh_30L2_s1_a1_02	1.09E-01	17.78%	21	3
13	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_m1_02	1.79E+00	12.35%	2	10
14	NK_BCmd_TYPE2Eh_30L2_s1_m1_02	8.53E-02	9.15%	24	13
15	NK_AEm_TYPE2Eh_30L2_s2_m1_02	3.32E-01	14.24%	11	7
16	NK_BDmd_TYPE2Eh_30L2_s1_s1_02	7.97E-02	13.33%	25	9
17	NK_CDm_TYPE2Eh_30L1_m1_02	1.54E+00	7.90%	3	14
18	NK_Cm_TYPE2Eh_30L1_m1_02	4.41E-01	2.68%	8	23
19	NK_Bmd_TYPE2Eh_30L1_s2_02	2.45E-01	5.04%	13	18
20	NK_Bm_TYPE2Eh_30L1_m3_02	4.75E-01	2.17%	7	24
21	NK_ABs_TYPE2Eh_30L1_a4_02	3.06E-01	0.51%	12	25
22	NK_Dm_TYPE2Eh_30L1_s2_02	7.68E-01	4.61%	5	19
23	NK_ZCm_TYPE2Eh_30L2_d1_m1_02	1.61E-01	6.78%	18	15
24	NK_ZBm_TYPE2Eh_30L1_d1_02	4.01E-01	4.03%	10	20
25	NK_Em_TYPE2Eh_30L1_s2_02	1.01E+00	3.62%	4	22

特徴量:地震から2日後の域内総生産の機能停止率[%]

d) 複数回の地震から構成される地震パターンの類型化手法の基礎検討

複数回の地震から構成される地震パターンの類型化手法の基礎検討として、地震セットの類型化手法を検討した。地震セットの類型化にあたっては、地震動及び津波による建物全壊棟数を特徴量としたうえで、全地震セット（916, 669セット¹⁾）を統合した市区町村単位の建物全壊棟数を特徴量として類型化した場合と、3480地震の建物全壊棟数に基づいた類型毎の代表地震のみで地震セットを構築する場合の2手法（表2-7-③-14）を試行した。上記の結果、前者の全地震セットの類型化を試みた場合に適切な次元削減が出来なかったこと一方で、後者では類型化により30の代表地震を抽出出来た。上記を踏まえて、後者により抽出した代表地震から30セットの地震セット（以下、代表地震セット）を構築した（表2-7-③-15）。以上の基礎検討の結果より、地震パターンの類型化にあたっては代表地震から代表地震セットを構築した後に、地震の順序や発生間隔を設定する事が望ましいと考えられる。

表2-7-③-14 複数回の地震から構成される地震セットの類型化の試行結果

試行	結果概要
全地震セットの類型化	適切な次元削減が行えなかった。
代表地震での地震セットの構築	30 類型に分けられ代表地震から 30 セットの地震セットが構築された。

表2-7-③-15 代表地震から構成した震源域セットの試作結果

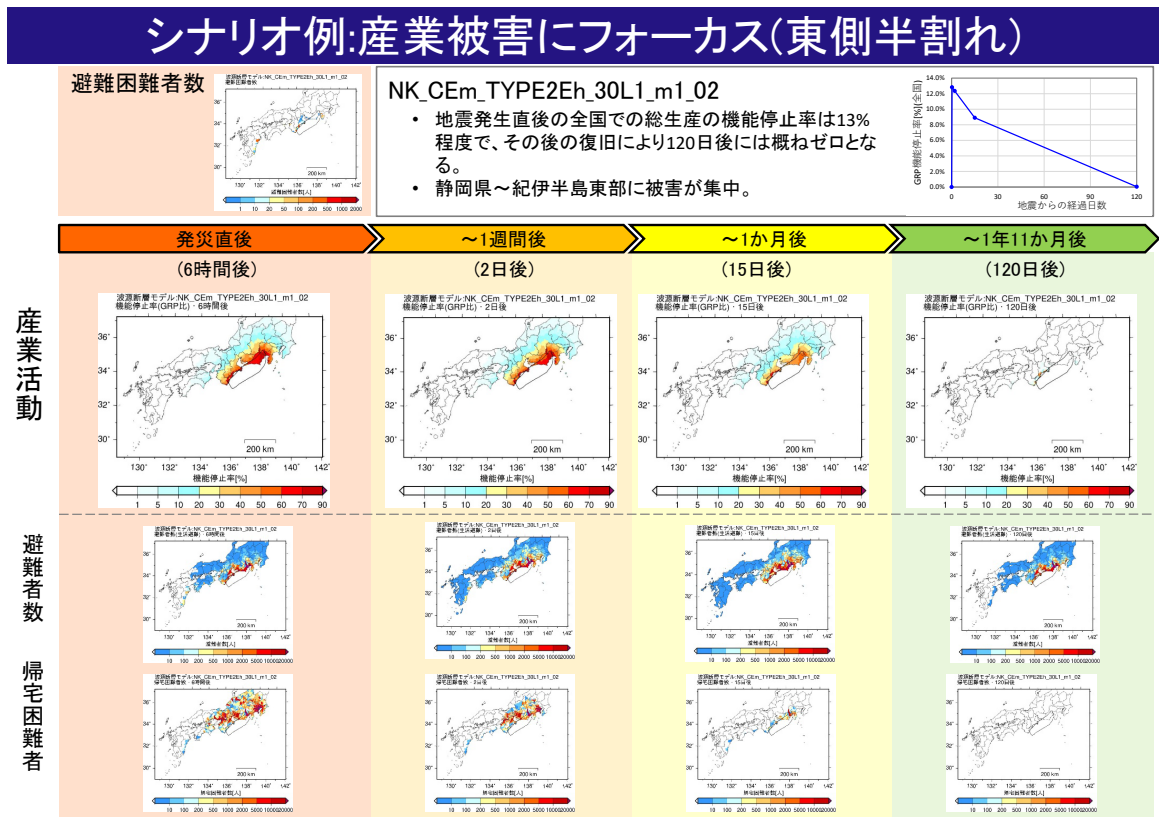
	深さ	推定破壊域						最大 Mw	重み (震源域セット)		深さ	推定破壊域						最大 Mw	重み (震源域セット)
		Z	A	B	C	D	E					Z	A	B	C	D	E		
1	浅部							8.7	6.77%	37	浅部							8.5	0.63%
	中部										中部								
	深部										深部								
3	浅部							8.5	20.32%	39	浅部							8.5	0.29%
	中部										中部								
	深部										深部								
4	浅部							8.5	0.29%	40	浅部							8.5	0.29%
	中部										中部								
	深部										深部								
9	浅部							8.7	6.77%	97	浅部							8.9	0.63%
	中部										中部								
	深部										深部								
11	浅部							8.5	20.32%	99	浅部							8.7	1.69%
	中部										中部								
	深部										深部								
12	浅部							8.5	0.29%	103	浅部							8.5	0.03%
	中部										中部								
	深部										深部								
25	浅部							8.8	0.63%	105	浅部							8.9	0.63%
	中部										中部								
	深部										深部								
27	浅部							8.6	0.29%	113	浅部							8.9	0.63%
	中部										中部								
	深部										深部								
28	浅部							8.6	0.29%	115	浅部							8.7	0.03%
	中部										中部								
	深部										深部								
29	浅部							8.5	0.29%	119	浅部							8.5	0.03%
	中部										中部								
	深部										深部								
31	浅部							8.5	0.29%	123	浅部							8.8	0.03%
	中部										中部								
	深部										深部								
32	浅部							8.5	0.29%	139	浅部							8.8	0.03%
	中部										中部								
	深部										深部								
33	浅部							8.8	0.63%	177	浅部							9.2	1.19%
	中部										中部								
	深部										深部								
35	浅部							8.6	0.29%	179	浅部							9.1	1.19%
	中部										中部								
	深部										深部								
36	浅部							8.6	0.29%										
	中部																		
	深部																		

3) 広域災害シナリオ作成手法に係る基礎検討

ここでは災害シナリオとは「地震による被害と、その様相の時系列的な変遷を定量的もしくは定性的に記述したもの」と定義する。上記の定義には四面会議システムを活用した定性的な様相を含めた災害シナリオ⁹⁾も含まれるが、本課題では四面会議システムのようなワークショップを行う際の出発点となるような定量的な指標及びその変遷をとりまとめた簡易的な災害シナリオの作成手法の基礎的な検討を行った。

災害シナリオに盛り込む定量的な指標として、地震像の類型化のために算出した特徴量を活用することとする。これらの特徴量は前述のとおり市区町村単位で集計した上で、災害過程等を踏まえた4時点の値を算出している。従って、これらの特徴量の時点毎の分布図やグラフ等を整理することにより、詳細な災害シナリオや災害対応を検討するワークショップ等で活用できる簡易的な災害シナリオとなると考えられる。

上記を踏まえて、経済活動維持を目的とした機能停止率の類型化による代表地震(表2-7-③-13)から抽出した東側先行半割れケースに該当する地震(NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_m2_02)の災害シナリオを試作して図2-7-③-12に示した。この災害シナリオでは産業活動(機能停止率)の推移のほか、避難者数や帰宅困難者数といった特徴量が分布図等により示されており、ワークショップ等での議論の出発点になると期待される。



影響の大きさと発生しやすさの両方の観点を示す代表指標値がシナリオ2に次いで大きいシナリオ。東側半割れケースに該当し、静岡県～紀伊半島東部にかけての地域の産業活動(域内総生産)が最大で75%程度低下すると推定されている。

図2-7-③-12 災害シナリオの作成結果例

4) 複合災害としての地すべりリスクの試算

南海トラフ地震による被害の全容を把握する目的で、主に被害が山間部において発生する地すべりリスクを試算した。これは、地震動や津波による建物被害及び人的被害が曝露量の集中する平野部で発生するために、国土面積の多くを占める山間部の被害の様相を建物被害及び人的被害のみでは十分に把握出来ない可能性が考えられるためである。

試算対象とした地震は令和3年度に実施した地震像の類型化の成果を活用して抽出した10地震（表2-7-③-16）とした。

表2-7-③-16 地すべりリスクの試算対象とした地震

震源域	Mw	備考	震源域	Mw	備考
ZEa11	9.2	最大規模	CDm	8.3	半割れ(東)
AEm	8.8	既往最大相当	ZDa11	9.1	類型内の最大
ADm	8.7	既往最大相当	ZCsm	8.9	類型内の最大
CEm	8.4	半割れ(東)	ADa11	9.0	類型内の最大
ABm	8.6	半割れ(西)	CEmd	8.6	類型内の最大

a) 地すべりリスクの試算手法

地すべりリスクは森脇（2011）⁴⁾による限界加速度を新潟県中越地震での被害実績と整合するように調整した方法により算出した。限界加速度とは地すべり土塊が移動する加速度を示し、具体的には下記により算出した。

$$a_c = R_a \times 318 \times F.S - 294$$

$$F.S = 17.3 \times \theta^{-0.843}$$

ここで、 a_c :限界加速度[gal]、 R_a :限界加速度の調整率、F.S.:斜面の安全率、 θ :斜面勾配[degree]とする。なお、限界加速度の調整率は新潟県中越地震の被害実績⁵⁾に基づいて2.66とした。

次に、曝露量の推定手法について記載する。曝露量は地すべり地形分布図のGISデータ³⁾により特定した地すべり土塊の範囲と、森脇（1987）¹⁴⁾の式を用いて推定した地すべり土塊の移動距離の範囲内にある250mメッシュのうち土塊の重心よりも標高が低い250mメッシュの範囲（図2-7-③-13）を影響範囲とした。なお、メッシュの一部のみが影響範囲に含まれる場合には、250mメッシュの曝露量を面積で按分して影響範囲内の曝露量と算出した。

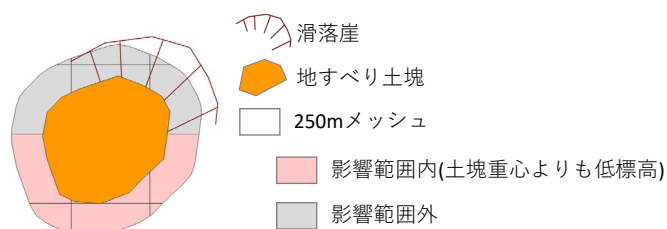


図2-7-③-13 地すべりの影響範囲の概念図

最後に、曝露量の算出にあたっては地震動のばらつきを考慮して限界加速度の超過確率に上記で取得した曝露量に乗じて求めた条件付き期待値を曝露量として集計した。なお、最大加速度及び条件付き期待値は藤原ほか(2015)¹⁵⁾及び森川ほか(2021)¹⁶⁾による距離減衰式を用いて評価した。

c) 地すべりリスクの試算結果

前項までの手法に基づいて地すべりリスクとして地すべりの影響範囲内の曝露量を算出して、その全国集計値を表2-7-③-17に示した。南海トラフ沿いの想定震源域全体が破壊する震源域 ZEa11 の建物曝露棟数は約10万棟であり、相当する震源を対象とした内閣府による被害想定¹¹⁾における急傾斜地崩壊による全壊棟数(約4,600~6,500棟)を大きく上回る結果となった。これは、内閣府による被害想定が比較的小規模な表層崩壊を対象としているのに対して、本試算は深層崩壊を含んだ大規模な地すべりを対象としており異なる現象の被害を算出している可能性が考えられる。

表2-7-③-17 地すべりリスクの試算結果

震源域	建物曝露棟数[棟]	曝露人口[人]	
		5時	12時
ABm	35,118	18,285	15,833
ADa11	69,302	45,974	40,397
ADm	49,841	28,999	25,431
AEm	79,551	63,086	54,427
CDm	16,607	11,669	10,513
CEm	46,317	45,757	39,509
CEmd	53,248	51,244	44,373
ZCsm	38,669	21,139	18,419
ZDa11	70,237	46,775	41,187
ZEa11	100,854	81,560	70,947

5) 直接被害額の試算

直接被害額の評価は、資本ストック・データを用いた類型化の特徴量として南海トラフ巨大地震の想定エリアにおける直接被害額の被害額について震源域を増やして試算を行った。対象とした震源域は前述の地すべりリスクの試算対象とした10地震(表2-7-③-16)で、令和3年度に試算した3震源域(ZEa11、ABm、CEm)を含む。また、そのために、令和3年度では実施した直接被害の試算を踏まえて、直接被害の評価フローを検討した。地震動指標から直接被害額を算出する推計モデルは、Toyoda et al. (2023)の推定モデル¹⁷⁾を用いる。この推計モデルは、市区町村レベルの物的ストック残高「ストック量」と観測された震度情報「最大震度」から直接被害額を過去の被害地震のデータを用いて構築したものである。南海トラフ沿いのハザード評価の結果と地震想定エリアのストック・データがあれば、都道府県単位の直接被害額(Y)の算出、さらに250mメッシュに按分できるようになる方法を用いた(図2-7-③-14)。なお、この方法には、昨年度の試算と同様に、地震の単独発生(図2-7-③-15)と地震の連続発生(図2-7-③-16)を考慮した。

10モデルを用いた試算

※南海トラフ巨大地震ハザード評価の成果を活用

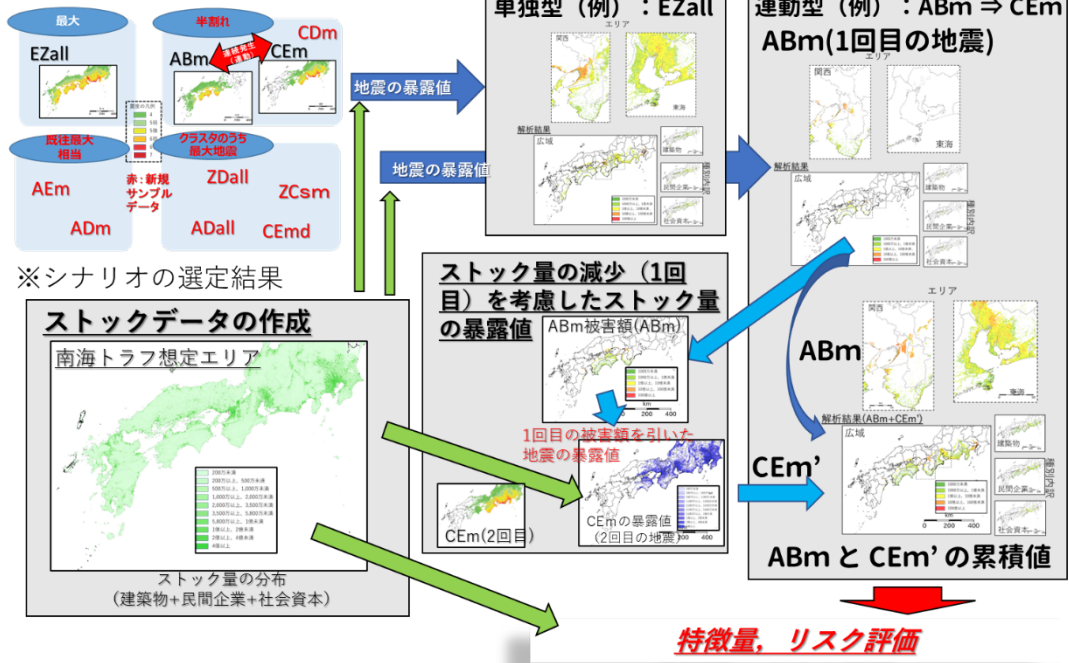


図 2 - 7 - ③ - 14 直接被害額の解析フロー

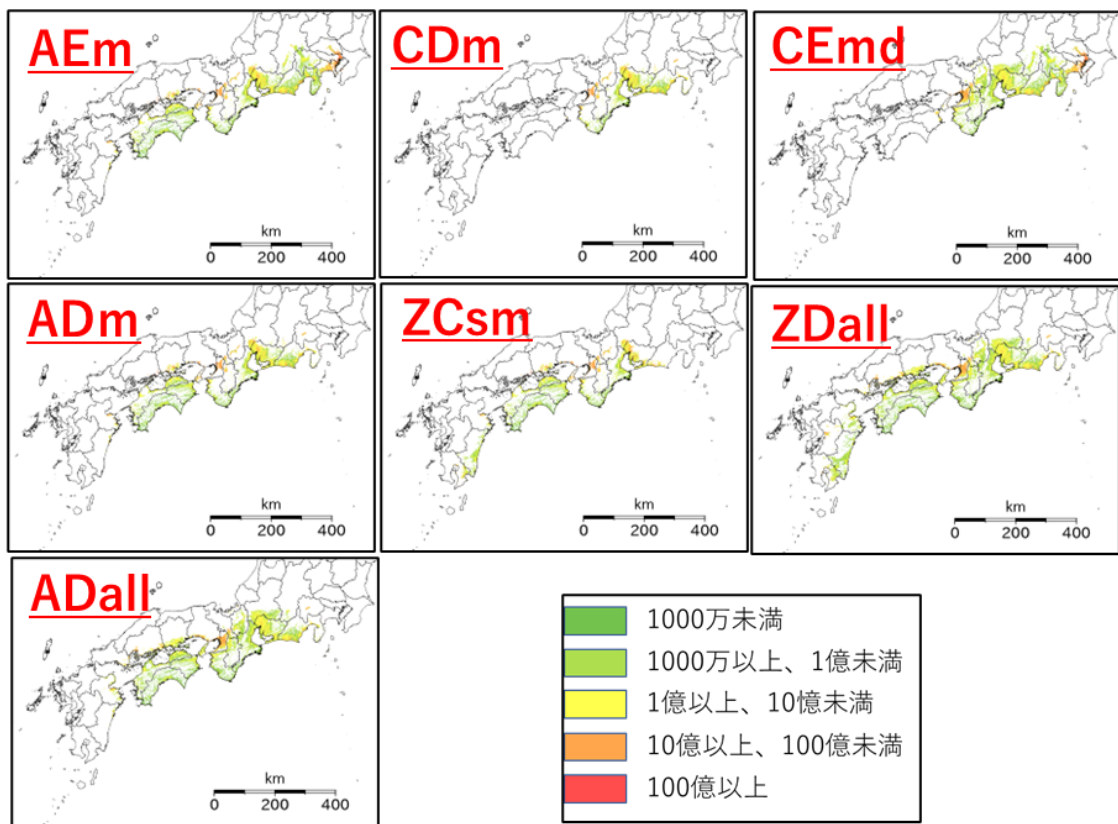


図 2 - 7 - ③ - 15 単独地震の直接被害額 (今年度新たに追加した震源域)

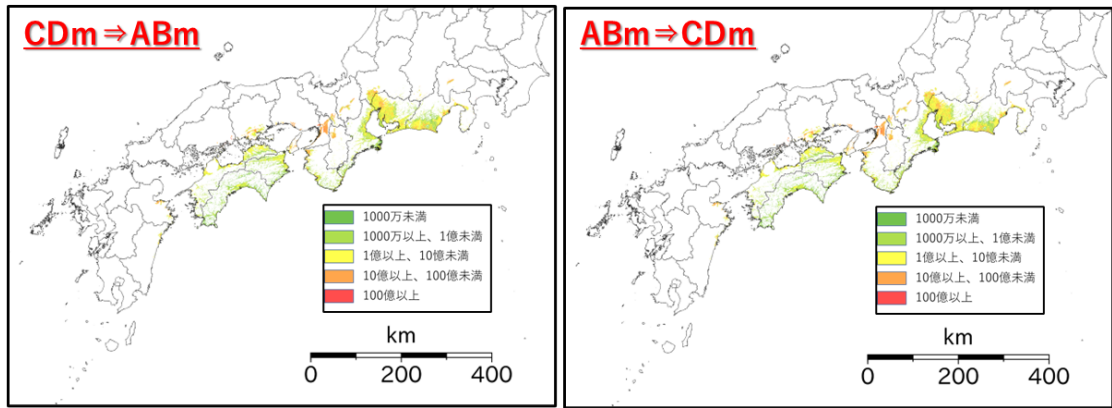


図 2 - 7 - ③ - 16 複数地震の直接被害額（今年度新たに追加した震源域パターン）

最後に、直接被害額の被害想定結果（ZEa11、ABm、CEm）を活用し、対策の重要度を都道府県単位で分析する試算を行った。解析結果を確認すると、3つのケースにおいていずれも被害想定（総額）の80%を超える被害額が、全47都道府県の14.9%～25.5%の都道府県に集中しており、パレートの法則(Pareto Principle)に近い傾向がみられた（図2-7-③-17）。本稿では、「上位から順で合計した都道府県別の直接被害額が被害想定（総額）の80%を超えること」を判定条件とし、その内訳に含まれる都道府県が「対策の重要度が高い」と判定した結果を表1に示した。具体的には、ZEa11から12都府県、ABmから7府県、CEmから7都府県が「対策の重要度が高い」と判定された。なお、3ケースの判定結果を見ると、3ケース（大阪府）、2ケース（東京都、愛知県、神奈川県、静岡県、兵庫県、埼玉県、広島県、岡山県、三重県）、1ケースのみ（岐阜県、滋賀県、和歌山県、愛媛県、香川県）と判定結果の多様性がみられた。「対策の重要度が高い」と判定されたのは、1ケース以上の都道府県が計15都府県で全都道府県の31.9%を占める。また、本稿の試算において、南海トラフ地震による直接被害額が見積もられた28都府県に絞れば、「対策の重要度が高い」と判定された割合が53.6%にのぼる。

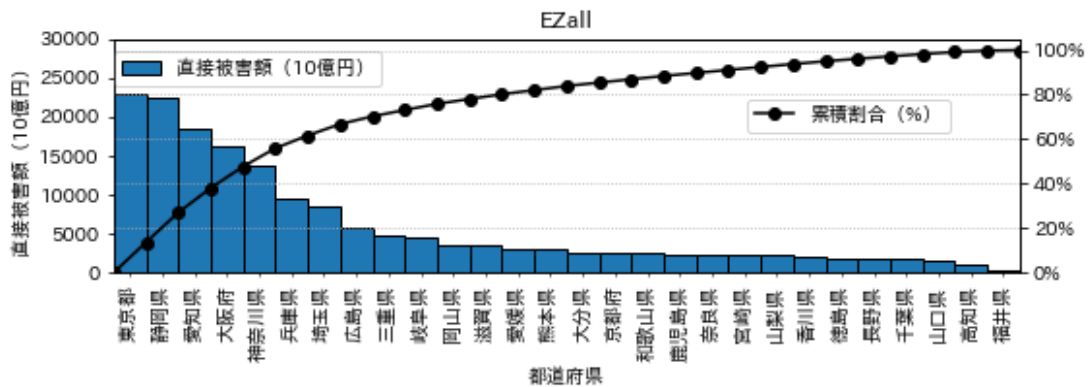


図 2 - 7 - ③ - 17 都道府県別直接被害額とその累積割合（震源域:ZEa11の例）

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 令和3年度に高度化された津波ハザード情報を用いて建物被害及び人的被害リスクを評価するとともに、地震像の類型化に用いる特徴量を算出した。高度化前後のリスク評価結果を比較すると、堤防等の海岸構造物を考慮したことによりリスクが半分程度となった。
- 2) 南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合の事前避難を考慮した人的被害リスクを試算した。試算対象とした地震パターンは半割れケース及び一部割れケースが先行する合計3パターンを対象とした。上記の結果、事前避難による被害の軽減効果は発生する地震や、地震の発生順序等により大きく異なることが明らかとなった。
- 3) 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地震像を類型化するとともに、影響の大きさと発生しやすさの2つの観点に基づく代表指標値に基づいて代表地震を抽出した。さらに、一部の代表地震を対象として地震像の類型化に用いた特徴量の変遷をとりまとめた災害シナリオを試作した。
- 4) 地すべり地形分布図のGISデータを活用して南海トラフ地震が発生した場合の曝露建物棟数及び曝露人口を推定した。曝露建物棟数は約10万棟と推定され、内閣府による急傾斜地崩壊による全壊棟数よりも大きな値であった。この原因として、内閣府による被害想定とは異なる現象のリスクを顕在化したものである可能性が指摘される。
- 5) 代表地震の抽出の妥当性を評価する方法の検討が今後の課題としてあげられる。まずは、特徴量の総量のヒストグラムを作成したうえで、代表地震の位置を確認して多様性を代表しているか否かを検討する必要がある。更に、多次元量からなる分布の中での代表性の評価手法の検討も今後の課題としてあげられる。

(e) 引用文献

- 1) 藤原広行、平田賢治、中村洋光、森川信之、河合伸一、前田宜浩、大角恒雄、土肥裕史、松山尚典、遠山信彦、鬼頭直、大嶋健嗣、村田泰洋、齊藤龍、澁木智之、秋山伸一、是永眞理子、阿部雄太、橋本紀彦、袴田智哉、大野哲平：南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価－第一部 本編－、防災科学技術研究所研究資料、439、2020。
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価、
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf,
2020.1(2023.3.29 確認)
- 3) 防災科学技術研究所：地すべり地形分布図デジタルアーカイブ、
https://dillopac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/index.html
(2023.3.29 確認)
- 4) 森脇寛：地すべり地形斜面の地震時危険度評価と崩壊予測システムの構築、地すべり、Vol.48, pp.305-317, 2011

- 5) 大八木規夫、内山庄一郎、井口隆：2004年新潟県中越地震による斜面変動分布図、防災科学技術研究所研究資料、317、1-37、2008.3
- 6) 気象庁：南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件、
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info_criterion.html
(2022.3.19 確認)
- 7) 内閣府(防災担当)：南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第1版】、
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html>, 2021.5(2022.3.19 確認)
- 8) 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(2023.3.29 確認)
- 9) 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、早川讓、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、444、2020.3
- 10) 高橋郁夫、中村洋光、藤原広行、時実良典、小丸安史、若浦雅嗣、清水智：地域特性を考慮した簡便な津波人的被害推定手法の開発、第15回日本地震工学シンポジウム、PS1-01-34、2018.12
- 11) 中央防災会議：南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html,
2012.8(2023.10.25 確認)
- 12) 梶谷義雄、多々納裕一、吉村勇祐：大規模災害時における産業部門の生産能力の推計 - 東日本大震災を対象として、自然災害科学、31、pp.283-304、2013.
- 13) 高浜勉、翠川三郎：地震時の鉄道運休時間の推定方法、日本地震工学会論文集、11、42-54、2011.
- 14) 森脇寛：崩土の到達距離予測、地すべり、24、10-16、1987.
- 15) 藤原広行、森川信之、河合伸一、青井真、先名重樹、前田宜浩、東宏樹、はお憲生、岩城麻子、若松加寿江、井元政二郎、長谷川信介、奥村俊彦、早川俊彦、高橋真理：東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良、防災科学技術研究所研究資料、399、2015.12.
- 16) 森川 信之、藤原 広行、岩城 麻子、前田 宜浩：強震動データベース試作版と地震動予測式に基づくサイト係数導出、日本地震工学会・大会-2021、T2021-045、2021.
- 17) Toshihisa Toyoda, Qinglin Cui, Masaki Ikeda, Hiromitsu Nakamura, and Hiroyuki Fujiwara: Rapid Estimation of Direct Economic Losses Caused by Significant Earthquakes: An Evidence-Based Model and Its Applications, Journal of Disaster Research, Vol. 18 No. 2, pp. 178-189, 2023

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
南海トラフ巨大地震の多様性を踏まえたリスク試算一半割れケースを例に一（口頭）	中村 洋光 時実 良典 藤原 広行 小丸 安史	日本地震工学会第17回年次大会	2022.12	国内
南海トラフ地震による直接被害額の被害想定-震度とストック量の分布を考慮した試算-（口頭）	崔 青林 中村 洋光 水井 良暢 藤原 広行	日本地震工学会第17回年次大会	2022.12	国内
地震による直接被害額の被害想定（口頭）	崔 青林 中村 洋光 藤原 広行	減災情報システム第12回合同研究会（地域安全学会・電子情報通信学会）	2023.3	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、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3年度に地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積した、震源断層モデル及び波源断層モデル、強震動シミュレーション、津波シミュレーション、それぞれのリスク評価結果を情報提供する、地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化Webシステムを構築した。構築後は第三者機関へヒアリングを実施した。また、半割れケースに着目した条件付きリスク評価を、地震防災基盤シミュレータシステムの地震像・シナリオバンクへ蓄積した。

(b) 業務の実施方法

地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムの構築では、Web システムの設計を行った。具体的には、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、設計に則して実装を行い、地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムを構築した。構築後は、第三者機関 3 組織に対して Web の操作感や使用感に関するヒアリングを実施した。

半割れケースに着目した条件付きリスク評価結果の、地震防災基盤シミュレータシステムの地震像・シナリオバンクへの蓄積では、評価結果データをファイルとして地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する際のディレクトリ構成を設計した。また、評価結果データをデータベースへ登録する際のデータベースを設計した。その後、設計に則して、ファイルの配置とデータベースへの登録を実施した。

(c) 業務の成果

1) 地震防災基盤シミュレータシステムの概要とシステム的环境整備

地震防災基盤シミュレータシステムの概要を図 2-7-④-1 に示す。システムは、断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンク、地震像・シナリオ検索機能で構成される。令和 3 年度までに、断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンクを構築した（断層・地下構造・地形モデルバンクでは、強震動シミュレーションで用いる震源断層モデルと地下構造モデルを蓄積し、津波遡上シミュレーションで用いる波源断層モデルと地形標高モデルを蓄積している。地震像・シナリオバンクでは、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積のデータを用いた強震動シミュレーション結果、津波遡上シミュレーション結果の蓄積、それらに基づくリスク評価結果、リスク情報の類型化手法に基づく南海トラフ地震の地震像や広域での災害シナリオを蓄積している）。令和 4 年度では、新たに、地震像・シナリオ検索機能を有する地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムを構築した。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とする、地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムが稼働している。

令和 3 年度までに構築した 2 つのデータバンクに蓄積のデータを、令和 4 年度に構築の Web システムで 2 次利用可能な形式で情報提供するために必要なセキュリティ設定等を Web システムに行った（図 2-7-④-2）。

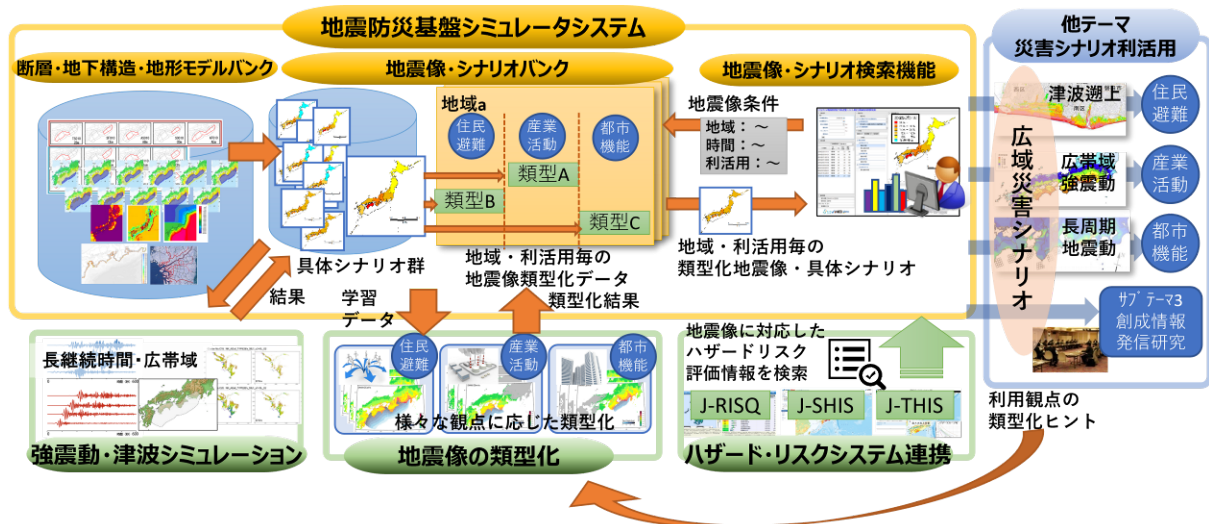


図 2-7-4-1 地震防災基盤シミュレータシステムのシステム概要

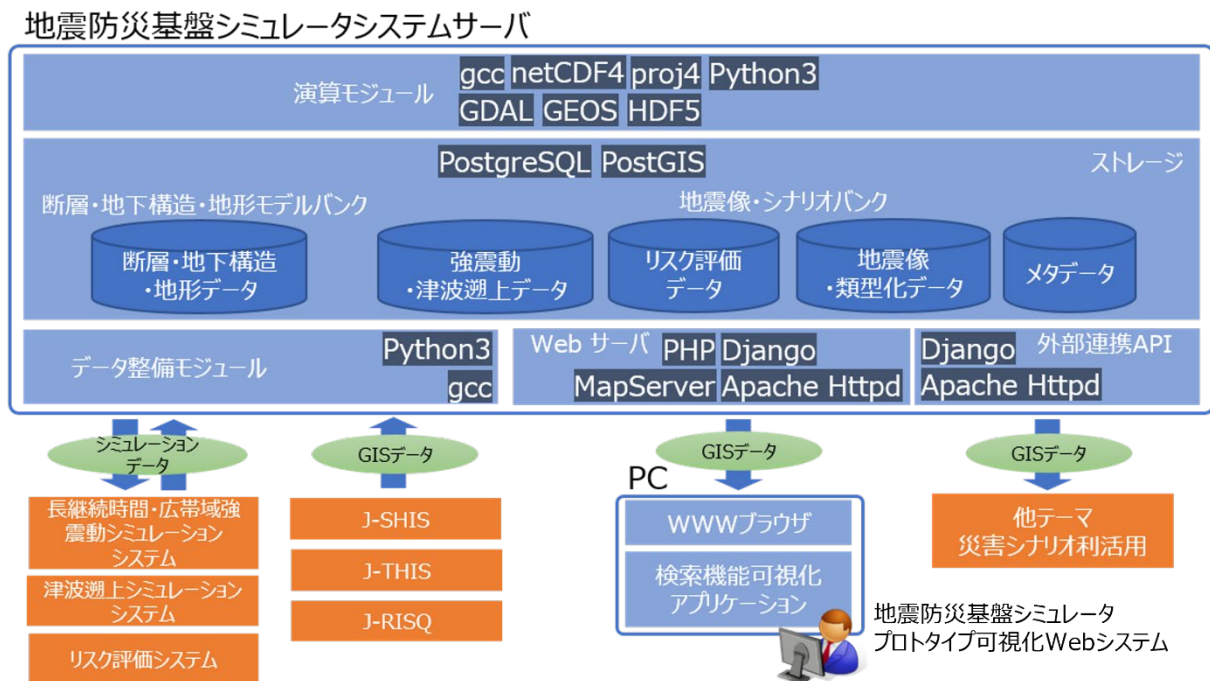


図 2-7-4-2 地震防災基盤シミュレータシステムのアーキテクチャ概要

2) 地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムの構築

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主に画面遷移設計を図 2-7-4-3 に示す。これらの設計に則して、Web システムを構築した。

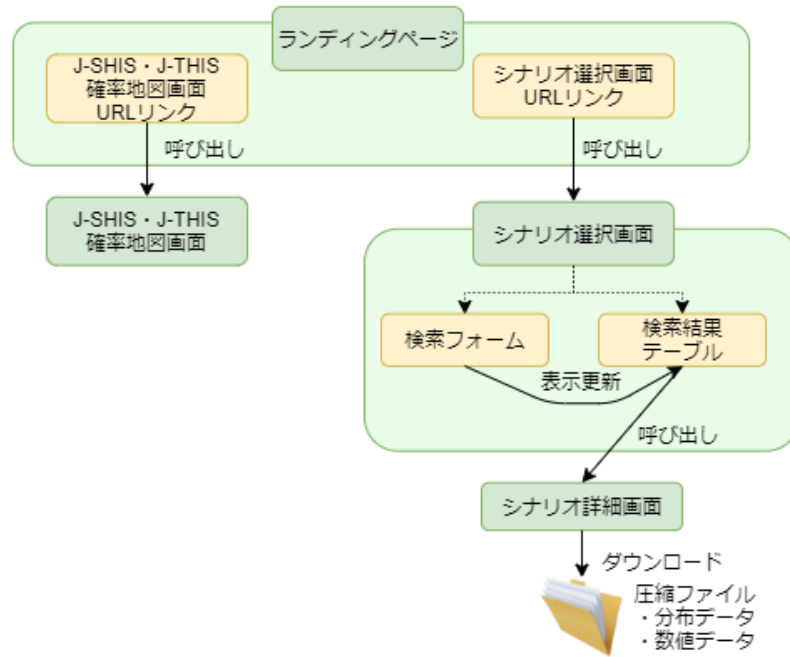


図 2-7-④-3 Web システムの画面遷移図

構築した Web システムの画面構成について解説する（図 2-7-④-3 の緑枠）。

a) ランディングページ

ランディングページ（図 2-7-④-4）は、地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムにアクセスしたユーザが最初に開く画面である。この画面では、システムの概要文や Web システムのメンテナンス情報を掲載する領域、及びシナリオ選択画面（後述の b））等への遷移が可能である。



図 2-7-④-4 ランディングページ

b) シナリオ選択画面

シナリオ選択画面（図 2-7-④-5）は、地震や被害の規模（マグニチュード、最大震度、最大浸水深、死者数等）、地震発生時の震源域をユーザが指定し、Web シス

テムで閲覧可能な約 4000 の地震シナリオからシナリオを絞り込み 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シナリオ詳細画面（後述の c）へ遷移する。

シナリオ選択画面で選択可能な地震シナリオは、地震防災基盤シミュレータシステムの地震像・シナリオバンクに蓄積中の約 4000 の単発地震（地震活動 1 サイクル中に 1 回震源域が動く地震）の地震シナリオである。

The screenshot shows a web interface for selecting earthquake scenarios. It includes search filters for magnitude, maximum seismicity, and maximum inundation depth. A map on the right shows the source area with color-coded zones. Below the filters is a search button and a table of results.

シナリオID	マグニチュード	最大計測震度	最大浸水深[m]	地震動による建物被害棟数[棟]		地震動による人的被害人数[人]		津波遡上による建物被害棟数[棟]		津波遡上による人的被害人数[人]	
				全棟数	全半壊数	死者数	重傷者数	全棟数	全半壊数	死者数	重傷者数
4238	8.8	6.5	20.78	134275	398024	2624	13421	64792	230361	7305	161
4245	8.8	6.5	29.19	134275	398024	2624	13421	65167	230388	7174	158
4289	8.7	6.5	21.02	68194	195819	1291	6163	40366	155561	4568	101
4303	9.0	6.5	24.99	228779	676847	4676	23804	119619	326339	18260	402
4305	9.0	6.5	23.69	228779	676847	4676	23804	102738	307371	13775	303
4314	9.0	6.5	28.71	228779	676847	4676	23804	114851	328174	14751	325
4350	9.0	6.5	23.86	228779	676847	4676	23804	110985	320305	13696	301
4352	9.0	6.5	23.89	228779	676847	4676	23804	112276	319741	13327	293
4358	9.0	6.5	20.14	228779	676847	4676	23804	120994	321491	17512	385
4360	9.0	6.5	20.14	228779	676847	4676	23804	122432	321098	17286	380
4363	9.0	6.5	22.03	228779	676847	4676	23804	105920	301505	15036	331
4365	9.0	6.5	22.03	228779	676847	4676	23804	108547	307448	14111	310
4368	9.0	6.5	32.76	228779	676847	4676	23804	109347	315270	12730	280
4369	9.0	6.5	32.74	228779	676847	4676	23804	112558	322831	14346	316
4585	8.8	6.5	23.74	100366	305354	1874	9432	70605	218630	8446	186
4599	8.8	6.5	25.45	100366	305354	1874	9432	68480	218973	7838	172
4636	8.8	6.5	21.97	100366	305354	1874	9432	18494	205087	7388	163
4638	8.8	6.5	21.95	100366	305354	1874	9432	19228	207201	7515	165
4639	8.8	6.5	21.98	100366	305354	1874	9432	19266	204095	7635	168
4651	8.8	6.5	20.60	100366	305354	1874	9432	13781	204524	7652	168
4653	8.8	6.5	20.61	100366	305354	1874	9432	14036	209609	7256	160
4654	8.8	6.5	20.63	100366	305354	1874	9432	13802	207413	7813	154
4658	8.8	6.5	23.88	100366	305354	1874	9432	16143	206623	7636	166

図 2-7-④-5 シナリオ選択画面

c) シナリオ詳細画面

シナリオ詳細画面（図 2-7-④-6）は、シナリオ選択画面で選んだ 1 つの地震シナリオに関する、強震動シミュレーション、津波シミュレーション、それぞれのリスク評価結果を閲覧できる画面である。指標値ごとに、分布図の地図表示と、表形式での都道府県、市区町村別の指標集計値の閲覧が可能である。また、表示している分布データや集計値データのダウンロードが可能である。

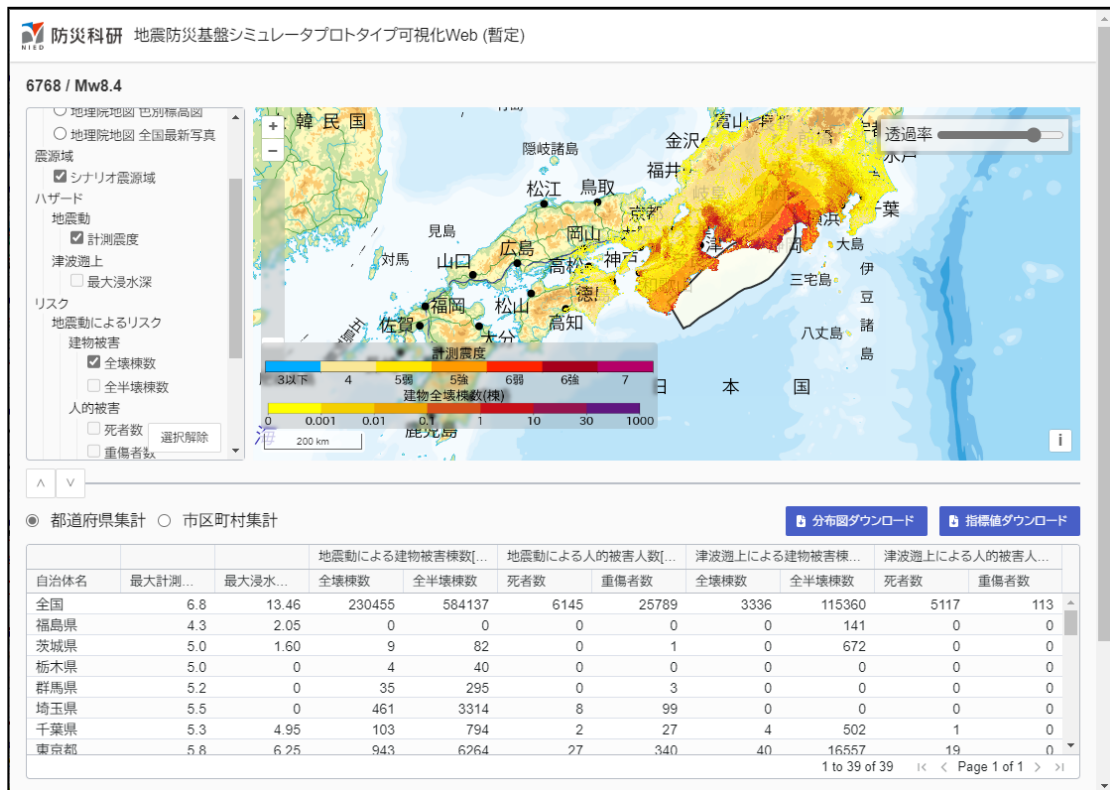


図 2-7-④-6 シナリオ詳細画面

シナリオ選択画面で地図表示可能な指標値は下記である。

- 強震動シミュレーション結果
 - 計測震度分布（空間分解能約 250m メッシュ）
- 津波シミュレーション結果
 - 最大浸水深分布（空間分解能約 50m メッシュ）
- リスク評価結果
 - 地震動リスク（空間分解能約 250m メッシュ）
 - ◇ 建物全壊棟数分布
 - ◇ 建物全半壊棟数分布
 - ◇ 死者数分布
 - ◇ 重傷者数分布
 - 津波遡上リスク（空間分解能約 50m メッシュ）
 - ◇ 建物全壊棟数分布
 - ◇ 建物全半壊棟数分布
 - ◇ 死者数分布
 - ◇ 重傷者数分布

表形式での集計値表示領域では、上記の指標値を都道府県別、市区町村別に集計したデータを表示している。地図表示（図 2-7-④-7）と表形式での集計値表示（図 2-7-④-8）は、それぞれ全画面表示が可能である。

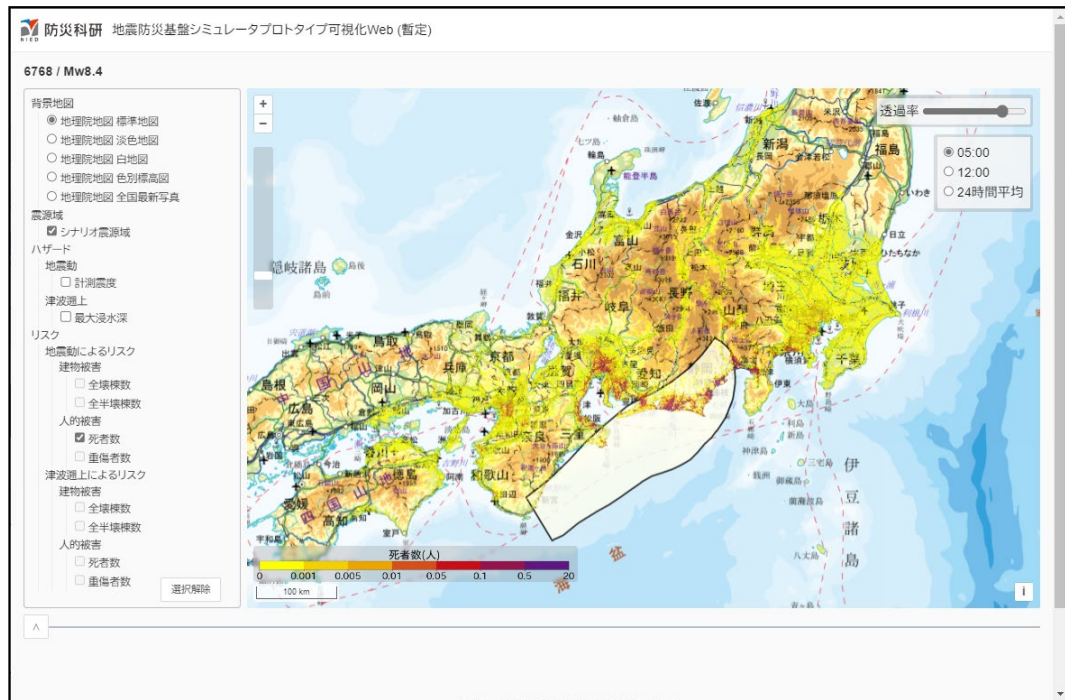


図 2-7-④-7 シナリオ詳細画面 地図表示の全画面表示モード

防災科 地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化Web (暫定)

6768 / Mw8.4

◎ 都道府県集計 ○ 市区町村集計

分布図ダウンロード 指標値ダウンロード

自治体名	最大計測震度	最大浸水深[m]	地震動による建物被害棟数[棟]		地震動による人的被害人数[人]		津波遡上による建物被害棟数[棟]		津波遡上による人的被害人数[人]	
			全壊棟数	全半壊棟数	死者数	重傷者数	全壊棟数	全半壊棟数	死者数	重傷者数
全国	6.8	13.46	230455	584137	6145	25789	3336	115360	5117	113
福島県	4.3	2.05	0	0	0	0	0	141	0	0
茨城県	5.0	1.60	9	82	0	1	0	672	0	0
栃木県	5.0	0	4	40	0	0	0	0	0	0
群馬県	5.2	0	35	295	0	3	0	0	0	0
埼玉県	5.5	0	461	3314	8	99	0	0	0	0
千葉県	5.3	4.95	103	794	2	27	4	502	1	0
東京都	5.8	6.25	943	6264	27	340	40	16557	19	0
神奈川県	6.2	5.25	4336	18675	96	834	2	659	2	0
新潟県	4.6	0	0	2	0	0	0	0	0	0
富山県	4.6	0	1	9	0	0	0	0	0	0
石川県	4.4	0	0	2	0	0	0	0	0	0
福井県	4.8	0	2	19	0	0	0	0	0	0
山梨県	6.3	0	6004	19880	104	553	0	0	0	0
長野県	6.0	0	650	3354	5	53	0	0	0	0
岐阜県	5.7	0	1232	5991	14	121	0	2	0	0
静岡県	6.8	13.46	146314	305715	4465	16322	3212	23098	5004	110
愛知県	6.4	3.66	41849	127798	904	4723	5	9840	1	0
三重県	6.5	5.43	19764	57486	380	1721	30	6105	12	0
滋賀県	5.4	0	142	943	1	14	0	0	0	0
京都府	5.4	0	158	1014	2	25	0	0	0	0
大阪府	5.5	5.36	2337	12538	37	423	28	34141	67	1
兵庫県	5.3	5.96	136	921	3	33	2	8359	4	0
奈良県	5.8	0	876	3998	12	96	0	0	0	0
和歌山県	6.5	4.74	5057	14691	83	397	2	674	1	0
鳥取県	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
岡山県	4.3	3.03	0	2	0	0	7	4735	4	0
広島県	3.8	2.66	0	0	0	0	1	3605	1	0

1 to 39 of 39 Page 1 of 1

図 2-7-④-8 シナリオ詳細画面 集計値の全画面表示モード

d) J-SHIS・J-THIS 確率地図画面
 J-SHIS・J-THIS 確率地図画面（図 2-7-④-9）は、地震ハザードステーション（J-SHIS）と津波ハザードステーション（J-THIS）で提供されている、南海トラフに関する計測震度と最大水位上昇量の超過確率分布を参考情報として表示する画面である。

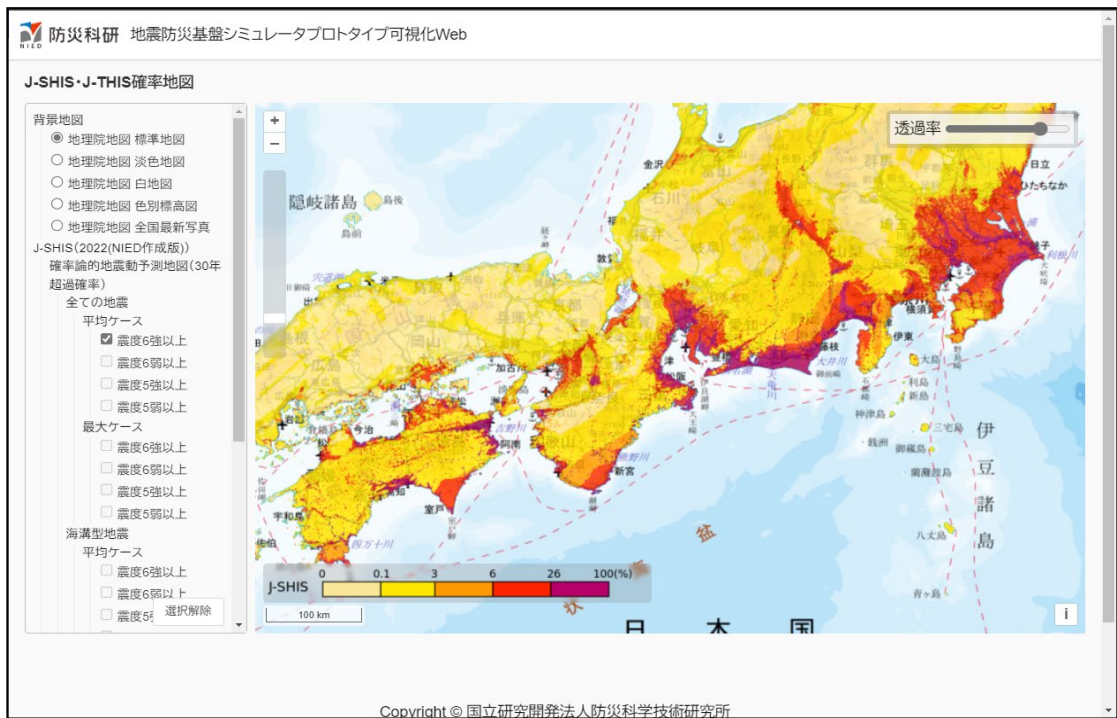


図 2 - 7 - ④ - 9 J-SHIS・J-THIS 確率地図画面

表示可能な地図は下記である。

- J-SHIS
 - 確率論的地震動予測地図(2022(NIED 作成版))
 - ◇ 30年 震度6強以上の揺れに見舞われる確率の分布図
 - ◇ 30年 震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図
 - ◇ 30年 震度5強以上の揺れに見舞われる確率の分布図
 - ◇ 30年 震度5弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図
- J-THIS
 - 確率論的津波ハザード評価(地震調査委員会 2020年版)¹⁾
 - ◇ 最大水位上昇量 3m 30年超過確率分布図
 - ◇ 最大水位上昇量 5m 30年超過確率分布図
 - ◇ 最大水位上昇量 10m 30年超過確率分布図

3) 半割れケースに着目した条件付きリスク評価データの蓄積

半割れケースに着目した条件付きリスク評価結果の地震防災基盤シミュレータシステムの地震像・シナリオバンクへの蓄積では、評価結果データをファイルとして地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する際のディレクトリ構成を設計した。また、評価結果データをデータベースへ登録する際のデータベースを設計した。その設計に則して、ファイルの配置とデータベースへの登録を実施した。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめを以下に示す。

- 1) 地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムを稼働させるために必要なサーバを整備した。
- 2) 地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムの設計を行い、設計に則して地震防災基盤シミュレータプロトタイプ可視化 Web システムを構築した。
- 3) 半割れケースに着目した条件付きリスク評価結果を地震像・シナリオバンクへ蓄積した。

今後の課題を以下に示す。

- 1) ヒアリング時に WebAPI システムのニーズも多く挙げられたため、WebAPI システムの構築が課題である。
- 2) ユーザによる情報の利用の検討がし易くなるよう、ユーザの利用目的に応じた代表的なユースケースを作成し、それぞれにインターフェースを設けるなど、Web システムの高度化が課題である。
- 3) 可視化 Web システムでは、津波シミュレーション、津波遡上によるリスク評価結果データの地図表示が沿岸部にメッシュ単位で局所的に表示されるため、被害地域を視認しにくい。日本全国など広域で地図表示した際には、被害地域が一目で視認できるような視認性の改良が課題である。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価，
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf，
2020.1(2022.3.19 確認)

(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