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」

(h)	抇	当	耂
(0)	15		<u> – – – – – – – – – – – – – – – – – – –</u>

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原広行
	副部門長	中村洋光
	主任研究員	前田宜浩
	特別研究員	土肥裕史
	センター長	青井真
	主幹研究員	髙橋郁夫
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	森川信之
	主任研究員	岩城麻子
	主幹研究員	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行う。また、地震本部 の知見を採り入れつつ、地震発生の多様性を表現するために構築された時空間的に膨 大な組み合わせからなる断層モデル群に対して、長継続時間・広帯域強震動(長周期 地震動を含む)や津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションできる手法を開発 し、上記課題に関連して、事前避難、産業活動、大都市機能維持のそれぞれの地域性 の観点から南海トラフの地震像を類型化する手法の開発を行い、類型化毎の代表的な 広域災害シナリオを構築する。このように創出したハザード・リスク情報を格納する 情報基盤を、防災科研の地震ハザードステーション(J-SHIS)、津波ハザードステー ション (J-THIS) 、リアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ) と連携できる形で 地震防災基盤シミュレータとして構築し、課題(d)~(f)のそれぞれの目的に適した形 態で提供可能とするとともにサブ課題3.「創成情報発信研究」と連携して利活用を進 めることで防災対策に活かす。

- (d) 5か年の年次実施計画
- 1) 令和2年度:

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

2) 令和3年度:

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

3) 令和4年度:

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

4) 令和5年度:

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

5) 令和6年度:

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

(e) 令和3年度業務目的

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

(2) 令和3年度の成果

①長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

(a) 業務の要約

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

(b) 業務の実施方法

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

- (c) 業務の成果
- 1) 断層モデル群の構築

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

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

○微視的震源パラメータの設定方針

- アスペリティは、各区分領域内に2個から3個配置し、面積と平均すべり量は、 各領域の面積と平均すべり量のそれぞれ20%と2.2倍(Murotani et al. 2008⁷⁾) とする。
- ・ 震源時間関数は、中村・宮武(2000)⁸⁾によるすべり速度時間関数とする。
- ・ fmax は、「レシピ」における 13.5Hz とする。
- プレートの沈み込み方向に3区分したうち浅部領域を有する震源モデルでは、浅
 部領域の面積の20%の大きさの1個のすべりの大きな領域を持つケースも設定する。
- ○その他の震源パラメータの設定方針
- 破壊伝播速度は、「レシピ」に従い震源域のS 波速度の 72%(2.7km/s;Geller, 1976⁹⁾)
 とする。
- ・ 破壊伝播の様式は破壊開始点から同心円状とするが、各アスペリティ内部での破壊は破壊の到達点から同心円状とする(マルチハイポセンター)。

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



図2-7-①-1 設定した震源モデルのパラメータの空間分布。

2) 発散抑制機能の検証

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



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

3) ハイブリッド合成法による広帯域強震動シミュレーション

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



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

4) 長継続時間地震動計算用地下構造モデルの構築

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

表2-7-①-1 GMS 用地下構造モデルの格子サイズと格子数

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



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

(d) 結論ならびに今後の課題

防災科学技術研究所でこれまで実施してきた長周期地震動ハザード評価を踏まえ、津 波ハザード評価の知見を活用した震源断層モデル群を構築した。南海トラフ地震を対象 とした計算モデルを用いて、波動場平滑化スキームによる発散抑制を機能させるための パラメータ設定に関する検討を行った。波動場平滑化スキームを実装した3次元差分法 により計算した長継続時間の長周期地震動と、統計的グリーン関数法により計算した短 周期地震動をハイブリッド合成することにより面的に広帯域強震動を作成し、地震防災 情報創成研究の他の課題へ提供した。一方で、経験式との比較から、関東地域など南海 トラフ地震の震源域からやや離れた地域における短周期地震動がやや過小評価である 可能性が示唆された。リスク評価では同時に発生する面的な地震動分布が必要となることから、経験式と整合的な広帯域強震動シミュレーション結果が得られるように手法の 改善を図ることが今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 青井真, 早川俊彦, 藤原広行: 地震動シミュレータ: GMS, 物理探査, Vol. 57, pp. 651-666, 2004.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論 的津波評価,2020、https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_ tsunami.pdf 最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日).
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:南海トラフの地震活動の長期評価(第二版), 2013, https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t (最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日).
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」), 2020, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf 最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日).
- 5) Kanamori, H. and Anderson, D.: Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bull. Seism. Soc. Am., 65, pp.1073-1095, 1975.
- 6) Allmann, B. P. and Shearer, P. M.: Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, Journal of Geophysical Research, 114, B01310, 2009, doi:10.1029/2008JB005821.
- Murotani, S., Miyake, H. and Koketsu, K.: Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, Earth Planet Space, 60, pp. 987-991, 2008, doi:10.1186/BF03352855.
- 8) 中村洋光, 宮武隆: 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の 近似式, 地震 2, 53, pp. 1-9, 2000.
- Geller, R. J. :Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 66, pp. 1501-1523, 1976.
- 10) 関ロ春子,吉見雅行:広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモ デルのマルチスケール不均質化,月間地球,号外 55, pp. 103-109, 2006.
- 11) 地震調查研究推進本部地震調查委員会:長周期地震動評価 2016年試作版
- ー相模トラフ巨大地震の検討ー, 2016,
 https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/16_choshuki/
 (最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日).
- 12) Iwaki, A., Maeda, T., Morikawa, N., Aoi, S. and Fujiwara, H.: Kinematic source models for long-period ground motion simulations of megathrust earthquakes: validation against ground motion data for the 2003 Tokachi-oki earthquake, Earth Planets and Space, pp. 1-19, 2016, doi:10.1186/s40623-016-0473-6.

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

https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki_da t/ (最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日)

18) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル(2021 年版), 2021,

https://www.jishin.go.jp/evaluation/strong_motion/underground_model/integra tion_model_kanto_2021/ (最終閲覧日 2022 年 4 月 3 日)

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学	会等にお	ける口頭	・ポス	ター発表
------	------	------	-----	------

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

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

- (g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願
 - なし
- 2) ソフトウエア開発

3) 仕様・標準等の策定

なし

②津波遡上シミュレーション

(a) 業務の要約

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

(b) 業務の実施方法

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

- (c) 業務の成果
- 詳細地形モデルの構築

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

なし



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

2) 波源断層モデル

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



図2-7-②-2 波源断層モデルの一例(藤原・他(2020)²⁾より抜粋)。図中の 凡例はすべり量を示す。左:最大クラス地震、中央:既往最大クラス地震、右:南海 地震に対応する巨視的断層モデルを有する波源断層モデル。各波源断層モデルは背景 領域と大すべり域、及び超大すべり域から構成される。 3) 津波シミュレータの改良

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

4) 津波伝播遡上計算

構築した詳細地形モデル、波源断層モデル群、改良した津波シミュレータ(TNS)を用 いて津波伝播遡上計算を実施した。計算条件を表2-7-20-1にまとめる。計算結果 の一例として、同一の波源断層モデルにより各地域で発生する最大浸水深分布を図2-7-20-3に示す。また、多数の波源断層モデルを用いたことにより多様な最大浸水深 分布が得られていることを、御前崎市周辺を例として図2-7-20-4に示す。これら の計算結果は地震防災基盤シミュレータに格納するとともに、地震防災情報創成研究の 他の課題へ情報共有した。

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						
11 白 切 フ 明 同	810m、270m、90m、30m、10m						
訂 昇恰于 间	(海岸域はすべて 10m、各領域を1:3でネスティング)						
計算時間	12 時間						
应用及供	陸側:陸域へ遡上						
児 芥余件	海側:吸収境界						
+/ ,. ⇒л	各種施設(堤防・水門など)を考慮						
旭戓	(地震動や津波の越流によって破堤・倒壊しないと仮定)						
	Okada (1992) ⁵⁾ により計算される海底変動量に、水平方向成分の						
初期水位	寄与(Tanioka and Satake, 1996) ⁶⁾ を考慮し、梶原フィルター						
	(Kajiura, 1963) ⁷⁾ を適用						
新的矿墙性州	ライズタイム:考慮しない						
期的破壕村住	破壊伝播過程:考慮しない						
潮位条件	T. P. \pm O m						
打ち切り水深	10^{-2} m						
如中区粉	30m 格子、10m 格子は土地利用条件に応じて設定						
旭皮怵剱	810m 格子、270m 格子、90m 格子は一律に 0.025(m ^{-1/3} s)						

表2-7-2-1 試計算の計算方法・条件



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

(d) 結論ならびに今後の課題

令和3年度の業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

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



図2-7-②-4 御前崎市周辺において多様な波源断層モデルにより異なる最大浸 水深分布が得られている様子。

- (e) 引用文献
- 1) 三好崇之,鈴木亘,近貞直孝,青井真,赤木翔,早川俊彦:津波シミュレータ TNS の 開発,防災科学技術研究所研究資料,427,2019.
- 2)藤原広行,平田賢治,中村洋光,森川信之,河合伸一,前田宜浩,大角恒雄,土肥裕 史,松山尚典,遠山信彦,鬼頭直,大嶋健嗣,村田泰洋,齊藤龍,澁木智之,秋山伸 一,是永眞理子,阿部雄太,橋本紀彦,袴田智哉,大野哲平:南海トラフ沿いの地 震に対する確率論的津波ハザード評価 -第一部 本編-,防災科学技術研究所研究 資料,439,2020.
- 3) 地震調査委員会:南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価,2020, https://www.jishin.go.jp/evaluation/tsunami_evaluation/#nankai_t(最終閲覧 日 2021年3月30日).
- 4) 国 土 交 通 省 : 津 波 浸 水 想 定 の 設 定 の 手 引 き Ver2.10, 2019, https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manua l.pdf (最終閲覧日 2021 年 3 月 30 日).
- 5) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-

space, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, pp.1018-1040, 1992.

- 6) Tanioka, Y. and Satake, K.: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, 23, pp. 861-864, 1996.
- 7) Kajiura K.: The Leading Waves of a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 41, pp. 535-571, 1963.
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題	発表者氏名	発表した場所	発表した	国内・外
目、口頭・ポスター発表		(学会等名)	時期	の別
の別)				
南海トラフ巨大地震の	土肥裕史、中	日本地震学会2021年	2021 年 10	国内
発生の多様性を考慮し	村洋光、藤原	度秋季大会	月	
た津波遡上計算とその	広行、矢守克			
利活用に向けて-概要	也、杉山高志			
と利活用事例の紹介-				
(ポスター)				

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 なし
- (g)特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願
 - なし
- 2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

③地震発生の多様性を考慮したリスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、複数回の地震が発生した場合の条件付きハザード評価を行うとともに、 多様な南海トラフ地震のうち臨時情報及び防災対応ガイドラインが定められた半割れ ケースに着目した条件付きリスク評価を行った。条件付きリスク評価では臨時情報にと もなう事前避難を考慮した。さらに、多様性のある南海トラフ地震の地震像の類型化手 法を、避難困難者数を特徴量とした類型化の試行により検討した。また、本業務の目的 を踏まえた特徴量を検討するとともに、ハザード評価結果を活用して特徴量を試算した。

なし

(b) 業務の実施方法

複数回の地震が発生した場合の条件付きハザード評価及び地震発生後の曝露データの作成やリスク評価は、後述する「半割れケース」に着目して実施した。半割れケースとは南海トラフ沿いで発生するプレート境界型の巨大地震のうち、駿河湾から日向灘沖にかけての南海トラフのうち概ね半分程度が破壊する地震から構成される震源域パターンを示す。南海トラフ沿いで発生する地震は震源域の広がりや発生回数に多様性があると考えられている¹⁾が、半割れケースは過去に発生した事例が多く、気象庁により臨時情報²⁾が発表されるとともに、臨時情報発表時の防災対応のガイドライン³⁾が公表されている。このことから、多様な南海トラフ地震のうち半割れケースを対象としたハザード・リスク評価を行った。なお、南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表現する用語は表2-7-3-1のものを使用する。

田迺	定盖
地震	南海トラフ沿いで発生する M8 クラス以上のブレート間地震等。
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。

表2-7-③-1 南海トラフ沿いで発生する地震の多様性を表現する用語の一覧

半割れケース発生後の条件付きハザード評価は地震動及び沿岸における津波高を対象とした。評価に当たっては、まず半割れケース発生後の後発地震で発生しうる地震セットを地震調査委員会(2020)¹⁾による長期評価や、藤原ほか(2020)⁴⁾による確率論的津 波ハザード評価を参考にしてツリーの形で表現するとともに、分岐に重みを付与した。 次に、それぞれの分岐毎の条件付きハザードを評価したうえで、上記の重みに従って条 件付きハザードを重ね合わせて半割れケース発生後の条件付きハザードとした。

半割れケース発生後の曝露データやリスク評価は、事前避難による影響を考慮するた めに曝露人ロモデルの構築及び人的被害リスク評価を対象とした。まず、半割れケース 発生後の曝露人口は新型コロナウイルス感染症に係る自粛要請にともなう行動変容を 参考として事前避難率を設定したうえで、津波ハザード評価結果を活用して設定した事 前避難が必要となる地域内の人口に上記の事前避難率を乗じて作成した。次に、半割れ ケースが二回発生する地震パターンを想定して、地震と津波による人的被害を、事前避 難有り・無しそれぞれについて評価した。

地震像の類型化手法は、可視化技術を用いて多次元量である特徴量を事前削減したう えで教師なし分類のアルゴリズムを用いた類型化の試行を行って検討した。検討にあた っては地震発生後の津波避難が困難となる避難者数を特徴量とした。

- (c) 業務の成果
- 1) 半割れケースが発生した後の条件付きハザード評価
- a)半割れケース発生後の地震セットの構築

半割れケース発生後の条件付きハザード評価のために、半割れケースが発生した 後に南海トラフ沿いで起こりうる地震セットを構築した。地震セットの構築にあた ってはまず、先行する半割れ地震で破壊した領域を含まない、いわゆる割れ残り領 域のみから構築される震源域セット(グループA)と、半割れで破壊した領域も含む 南海トラフの全領域から構成される震源域セット(グループB)の2グループに大分 した。グループAとグループBの重みは、全国地震動予測地図⁵⁾で過去に発生した 事の無いような最大ケース等の重みが1/50となっていることを参考として、グルー プAの重みを49/50、グループBの重みを1/50とした(図2-7-③-1)。なお、 地震セットの構築にあたっては最大ケースを含む確率論的津波ハザード評価(藤原ほ か(2020)⁴⁾)による180 震源域(3480 波源断層モデル)に基づいた。

グループAの震源域セットは潮岬沖を境界として、西側と東側それぞれの半割れ ケース発生後を対象とした。潮岬沖を境界としたのは、過去に発生した複数回の地 震からなる南海トラフ地震の震源域がいずれも潮岬沖を境界としているためである (地震調査委員会(2020)¹⁾)。また、グループAの震源域セットの構築にあたって は、藤原ほか(2020)⁴⁾を参考に、日向灘沖単独及び駿河湾の浅部単独それぞれの震 源域を含む震源域セットを除外した。上記により構築した震源域セットを、震源域 セットに含まれる波源断層モデル数とともに、西側半割れケース発生後のものを図 2-7-③-2に、東側半割れケース発生後のものを図2-7-③-3にそれぞれ 示した。一方で、グループBの震源域セットは藤原ほか(2020)⁴⁾の設定を用いた。



図2-7-③-1 半割れケース発生後の震源域セットの構築

		西側半割れ後							地震	1		西側半割れ後						重み	地震	
	(米2)	Ζ	А	В	С	D) E	(震源域)	セット数			ら彩	Ζ	Α	В	С	D	Е	(震源域)	セット数
W1	浅部 中部 深部							0.320000	12		W12	<u></u> 浅部 中部 深部							0.004000	108
W2	浅部 中部 深部							0.040000	72		W13	浅部 中部 深部							0.026667	6
W3	<u>浅</u> 部 中部 深部							0.040000	108		W14	<u></u> 浅部 中部 深部							0.004000	12
W4	<u>浅</u> 部 中部 深部							0.040000	324		W15	<u></u> 浅部 中部 深部							0.320000	12
W5	<u>浅</u> 部 中部 深部							0.026667	16		W16	<u></u> 浅部 中部 深部							0.040000	54
W6	浅部 中部 深部							0.004000	150		W17	浅部 中部 深部							0.026667	15
W7	浅部 中部 深部							0.004000	165		W18	<u>浅</u> 部 中部 深部							0.004000	110
W8	浅部 中部 深部							0.004000	1,100		W19	浅部 中部 深部							0.026667	6
W9	浅部 中部 深部							0.026667	4		W20	<u>浅</u> 部 中部 深部							0.004000	36
W10	浅部 中部 深部							0.004000	18		W21	浅部 中部 深部							0.026667	6
W11	浅部 中部 深部							0.004000	36		W22	浅部 中部 深部							0.004000	12
	-								-	-			/	수計					1.000000	2,382

$\boxtimes 2 - 7 - 3 - 2$	西側半割れケース発生後の震源域セットと地震セット数
---------------------------	---------------------------

	東側半割れ後				重み	地震) 1 1 1 1	東側半割れ後						重み	地震			
	(米)	Ζ	А	В	С	D	Е	(震源域)	セット数			(米)	Ζ	А	В	С	D	Е	(震源域)	セット数
F 1	浅部 中部							0.050000	10		ГО	<u>浅部</u> 中部							0.640000	10
	深部							0.0000000	12		Eð	深部							0.040000	12
F 0	浅部 中部							0.050000	100		F10	浅部 中部							0.050000	- 4
EZ	深部							0.053333	108		EIU	深部							0.053333	54
	浅部 由 部										- 4 4	浅部 由部								
E3	深部							0.004444	16		EII	深部							0.053333	15
	浅部											浅部								
E4	深部							0.004444	150		E12	深部							0.004444	100
	浅部											浅部								
E5	深部							0.004444	4		E13	平部							0.053333	9
	浅部											浅部								
E6	中部 深部							0.004444	54		E14	平部深部							0.004444	36
	浅部											浅部								
E7	中部深部							0.004444	6		E15	<u>中部</u> 深部							0.053333	6
	浅部											浅部								
E8	中部深部				-			0.004444	24		E16	中部深部							0.004444	16
														\ = !					4 000005	
													Ē	合計					1.000000	622

青い着色部は半割れケース発生後の後発地震で活動しうる領域を、黒い太線は震源域の境界を示す。

図2-7-③-3 東側半割れケース発生後の震源域セットと地震セット数

b) 地震ハザード評価結果

前項で構築した震源域セットに基づいた半割れケース発生後の地震ハザード評価 結果として、西側半割れケース発生後の計測震度 6.0(震度 6 強以上)の条件付き超 過確率を図 2 - 7 - ③ - 4に、東側半割れケース発生後を図 2 - 7 - ③ - 5 にそれ ぞれ示した。地震ハザードは地震調査委員会(2009)⁶⁾による確率論的地震動予測地 図の手法により評価した。西側半割れケース発生後の条件付き超過確率を、地震前 の条件付き超過確率(図 2 - 7 - ③ - 6)と比較すると、先行した半割れケースの震 源域の前面に位置する紀伊半島西部以西でハザードが低下している。これは、東側 の割れ残り領域のみからなる地震セットに全体の 49/50 の重みが割り振られている ためである。一方で、東側半割れケース発生後では先行する半割れケースの震源域 に面した静岡県などの紀伊半島東部以東でハザードが低下している。代表地点にお けるハザードカーブ(図 2 - 7 - ③ - 7)を見ても、南海トラフの東部に位置する静 岡県庁では東側半割れケース発生後のハザードが低減している一方で、西部に位置 する高知県庁では西側半割れケース発生後のハザードが低減している。



(計測震度 6.0 の条件付き超過確率)





(計測震度 6.0 の条件付き超過確率) 図2-7-③-6 南海トラフ地震全体の条件付きハザード

1



c) 津波ハザード評価結果

南海トラフ沿いの海岸線に設定された約 35 万地点の条件付きハザード評価結果と して、西側半割れケース発生後の最大水位上昇量 3.0mの条件付き超過確率の分布図 を図2-7-③-9に、東側半割れケース発生後を図2-7-③-10 にそれぞれ示 した。全波源断層モデルを対象とした地震前のハザード(図2-7-③-11)と比較 すると、西側半割れケース発生後では四国など南海トラフの西部で、東側半割れケー ス発生後では東海地方など南海トラフの東部で、それぞれ条件付き超過確率が低下 している。代表地点のハザードカーブ(図2-7-③-8)をみても、南海トラフの西 部に位置する高知市では西側半割れケース発生後のハザードが、東部に位置する焼 津市では東側半割れケース発生後のハザードがそれぞれ大幅に低下している。





(最大水位上昇量 3.0mの条件付き超過確率)

図2-7-③-9 西側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率)

図2-7-③-10 東側半割れケース発生後を想定した条件付きハザード



(最大水位上昇量 3.0m の条件付き超過確率) 図 2 - 7 - ③ - 11 南海トラフ地震全体の条件付きハザード

- 2) 南海トラフ地震(半割れケース)発生後を想定したリスクの試算
- a)半割れケース発生後の事前避難を考慮した曝露人口モデルの構築

事前避難を考慮した曝露人ロモデルの構築に先立って、半割れケースの地震が発 生してから事前避難を呼びかける臨時情報までに発表される情報等について整理す る。海域で巨大地震が発生した場合には概ね2~3分以内⁷⁾に津波警報が発表され、 浸水の恐れがある市町村では避難指示が発令される。震源が南海トラフ沿いの場合 には、地震から30分程度³⁾で発生した地震が南海トラフ沿いの大規模な地震と関連 するかの調査開始を公表する臨時情報が発表され、地震発生から2時間後程度³⁾で大 規模地震(後発地震)発生の可能性が相対的に高まっていることを公表する2回目の 臨時情報が発表される。この2回目の臨時情報を受けて、事前避難の対象地域で事前 避難が呼びかけられる。東北地方太平洋沖地震の際には津波警報が解除されるまで に1日以上を要していることを踏まえると、一回目の地震(津波)による避難者が帰 宅等をする前に臨時情報を踏まえた事前避難が呼びかけられると考えられる。

次に、呼びかけに応じて事前避難を実施する割合である事前避難率の設定につい て記載する。事前避難率の設定にあたっては国が発表する情報に基づいて自治体等 が呼びかけるという観点で共通点のある(表2-7-③-1)新型コロナウイルス感 染症による緊急事態宣言⁸⁾に伴う行動変容を参考にした。この行動変容の例としてと して、国土交通省が公表するデータ⁹⁾に基づいて、一回目の緊急事態宣言が発出され た 2020 年 2 月から 6 月にかけての鉄道駅の利用状況を図 2 - 7 - ③ - 12 に示した。 これによると、この期間の利用率は概ね 6 ~ 7 割程度減少している。

項目	南海トラフ地震	新型コロナウイルス感染症
根拠法	災害対策基本法	特措法(2020年3月14日以降)
働きかけの種別	立ち退きの指示(避難指示:60条)	要請(従わない事業者へは命令)
罰則の有無	なし	あり(令和3年の改正以降)
期間	1週間(ガイドライン)	2年以下(特措法 32条2項)

表2-7-③-1 事前避難の呼びかけと新型コロナ感染症の自粛要請の比較



図2-7-③-12 新型コロナ感染症に係る緊急事態宣言発令中の駅利用状況

上記のように新型コロナウイルス感染症の緊急事態宣言と自粛要請等を受けて概 ね7割程度の人が行動を変容したと考えられることから、この割合を基本的な事前 避難率として設定した。また、避難の不確実性を考慮して低避難ケースと高避難ケー スの2ケースを設定し、それぞれ事前避難率50%及び90%と設定(表2-7-③-2) した。また、事前避難は最初の地震からの時間経過によって変わると考えられる。こ こでは、事前避難が呼びかけられる1週間は事前避難を継続し、高齢者以外(64 歳 以下)は初回の地震から1ヶ月程度で全員が避難を終了し、高齢者では事前避難者の 半分が初回の地震から2ヶ月程度で避難を終了すると設定した(図2-7-③-13)。



図2-7-③-13 設定した事前避難率(避難率基本ケース)

表2-7-③-2 ケース別の事前避難率

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

最後に事前避難の対象となる地域を設定して、上記の地域内の人口に前述の事前 避難率を乗じて事前避難を考慮した曝露人ロモデルを構築した。事前避難の対象範 囲は、市区町村等による事前避難対象地域の設定が途上であることや、南海トラフ 沿いの全域を一律の基準でリスク評価する観点で、藤原ほか(2020)⁴⁾による津波ハ ザードを用いて設定した。具体的には、先発地震による津波の浸水域では全員が避 難済みと仮定した後に、後発地震による津波浸水深が 30cm 以上に 30 分以内に到達 する範囲では全人口が、30 分以上の範囲では 65 歳以上の人口がそれぞれ避難する ものとした。なお、上記の避難者は同一市町村内の津波浸水しない地域に避難する と仮定して、浸水しない約 50m 四方のメッシュの人口に応じてランダムに配分し た。また、西側半割れケース発生後と東側半割れケース発生後それぞれの曝露人口 モデルを作成した。

上記による曝露人ロモデルの例として、高知市南部の浦戸湾周辺の人口分布を事 前避難なしの人口分布とともに示した(図2-7-③-14)。東側半割れケース発生 後の事前避難を想定した人口分布では、後発地震の津波による浸水が想定される浦 戸湾口付近を中心とする地域で、事前避難により人口が減少している様子が確認で きる。



左:事前避難無し、右:東側半割れケース発生後の事前避難有り(基本ケース) 図2-7-③-14 曝露人ロモデルの例(高知市浦戸湾沿岸)

b)半割れケースにおける事前避難を考慮した人的被害リスクの試算

前項で作成した事前避難を考慮した曝露人口モデルを用いた半割れケースのリス クを試算した。過去に発生した半割れケースがいずれも東側が先行¹⁾している事を参 考にして、先発地震では震源域 CEm が、後発地震では震源域 ABm がそれぞれ破壊する 震源域パターン(表2−7−3−3・図2−7−3−15)を試算の対象とした。地震 動による人的被害リスクは藤原ほか (2018)¹⁰⁾による手法により震源域 CEm を震源と する地震動による死者数の条件付き期待値により評価し、津波による人的被害は高 橋ほか(2018)¹¹⁾により震源域を構成する波源断層モデルによる死者数の平均値によ り評価した。また、本試算は2回の地震それぞれの地震動と津波による人的被害リス クを評価するものであり、それぞれを単純に加算した場合には重複した死者数を計 上することとなる。従って、2回の地震による地震もしくは津波により少なくとも1 回死亡する確率を死者率として評価し、曝露人口を乗ずることにより死者数を評価 した (図 2 - 7 - 3 - 15)。

表2-7-③-3 対象とする半割れケースと震源域を構成する波源断層モデル数 震源域

CEm

地震 先発

波源断層モデル数

12

		後発	ABm	12	
	①東側半	≚割れケーフ	र(CEm)	②西側半割れ	ケース(ABm)
		A B			
ペリル	地震	動 🎽 🎽	聿波	地震動	津波
被害率	R_1		R_2	R_3	R_4
統合した 被害率		R	$R'_k = 1 - \prod_{i=1}^{k}$	$\prod_{i=1}^{k} (1-R_i)$	

図2-7-③-15 対象とした半割れケースとリスクの統合方法

上記による2地震のリスク評価結果と、事前避難による死者数の減少率を表2-7-③-4に示した。このうち、先発地震では事前避難が不可能であるため全てのケ ースで地震前(事前避難なし)の人口分布に基づいて人的被害リスクを評価した。地 書前の人口分布による2地震それぞれの地震及び津波の死者数を比較すると、先発 地震の地震動による死者数が最も多く、次いで後発地震の地震動による死者数が多 い。一方で、津波による死者数は、2地震合わせても全体の死者数の2割から3割に 留まっている。次に、事前避難による全体の死者数の減少率をみると最大で 12.8% に留まっている。これは、事前避難を考慮できない先発地震の死者数が全体の死者数 の多数を占めているためである。先発地震とした震源域 CEm は人口が比較的多い静

岡県の直下に震源域が広がっているため、半割れケースの中では地震動及び津波双 方の被害が出やすい震源域である。従って、西側半割れケースを想定した場合には事 前避難による死者数の減少効果は本試算よりも大きくなると考えられる。

	地震後人口	コ分布			死者数[人]			浦小玄
時刻	级温丝口粉	波莱茨	纮厶		統合前(重	複補正前)		(東前波舞)
	秬迴饭口奴	世地平	利日	先発・地震	先発・津波	後発・地震	後発・津波	(尹刖姓昶)
	(地震前)	なし	14, 517	9, 344	1, 801	2, 156	1, 222	0.0%
		低避難	13, 526	9, 344	1, 801	1, 937	453	-6.8%
	4日後	基本	13, 322	9, 344	1, 801	1,867	316	-8.2%
5時		高避難	13, 117	9, 344	1, 801	1, 798	180	-9.6%
		低避難	13, 725	9, 344	1, 801	1, 974	615	-5.5%
	20日後	基本	13, 600	9, 344	1, 801	1, 920	544	-6.3%
		高避難	13, 475	9, 344	1, 801	1,865	472	-7.2%
	(地震前)	なし	11, 186	6, 300	1,889	1,659	1, 345	0.0%
		低避難	10, 144	6, 300	1,889	1, 480	492	-9.3%
	4日後	基本	9, 949	6, 300	1,889	1, 426	349	-11.1%
12時		高避難	9, 754	6, 300	1,889	1, 372	206	-12.8%
		低避難	10, 343	6, 300	1,889	1, 510	663	-7.5%
	20日後	基本	10, 228	6, 300	1,889	1, 469	589	-8.6%
		高避難	10, 112	6, 300	1, 889	1, 427	514	-9.6%

表2-7-③-4 半割れケースの人的被害リスクの試算結果

※先発地震(CEm)発生時の人口分布はすべて地震前(事前避難無し)のため死者数は同一である

3) 地震像の類型化手法の検討

南海トラフ地震の地震発生の多様性を表現するため膨大な量の地震パターンから 構成する必要がある一方で、防災対応を考える際には膨大な地震パターンの中から 代表的なシナリオを抽出できることが望ましい。そこで、リスク評価の観点から地震 後の被害の様相などを特徴量として、地震像を類型化した上で、類型から代表的なシ ナリオを抽出する方法を検討する。本項ではモデル地域として高知県を抽出した類 型化の試行により類型化手法を検討すると共に、本業務の目的に応じた特徴量につ いて検討する。

a) 避難困難者数を特徴量とした類型化の試行

高知県を対象に推定した避難困難者数を特徴量とした類型化を試行して、類型化 手法を検討するとともに類型化の試行結果について考察した。ここでの避難困難者 数とは、地震発生から5分以内に避難を開始しても津波が到達するまでに高台等の 安全な場所までに避難できない人口を示すものである。避難困難者数は全波源断層 モデル(3480 波源)を対象として、避難距離等の地域特性から簡便に避難時間を推 定する高橋ほか(2018)¹¹⁾の手法を用いて、50mメッシュ分解能で推定した後に市町 村単位で集計した(図2-7-③-16)。高知県内で避難困難者が発生すると推定さ れたのは19市町村である。上記により推定した避難困難者数を、波源断層モデル数 (3480行)×市町村数(19列)の行列として整理した。



図2-7-③-16 市区町村別の避難困難者数の例

類型化に用いるクラスタリングなど、距離の概念を用いる機械学習のアルゴリズ ムを用いる際の注意点として次元の呪いが挙げられる。これは、多次元空間での距離 の組み合わせでは、表現できる組み合わせ数が飛躍的に多くなってしまうため、十分 な学習ができなくなってしまうものである。従って、多次元のデータをクラスタリン グ等の機械学習に用いる際には、データの次元数を削減することが望ましい。

従って、近年に開発された可視化のアルゴリズムである UMAP¹²⁾を用いて 19 次元の データを 3 次元まで削減した後に、階層クラスタリングにより類型 1 ~類型 4 の 4 つの類型に分類した。階層クラスタリングによる類型数は、クラスタリングの結果 を、地震規模及び高知県の前面に位置する震源域(土佐海盆)の破壊有無とともに図 2-7-③-17 に示した。クラスタリング結果を地震規模や土佐海盆の破壊有無を 比較すると、類型 1 や類型 2 は規模が比較的小さく土佐海盆が破壊しない地震が多 い一方で、類型 3 や類型 4 は規模が大きく土佐海盆が破壊する地震が多い。高知県東 部の室戸市(図 2-7-③-18)及び西部の黒潮町(図 2-7-③-19)のヒストグ ラムを見ると、類型 1 及び類型 2 は両市ともに避難困難者数が少なく、津波避難の観 点では影響が少ない類型といえる。類型 3 は室戸市及び黒潮町ともに避難困難者数 が多く、高知県全域での影響が大きい類型と言える。類型 4 は室戸市の避難困難者数 が多い一方で、黒潮町の避難困難者数は少ないため、高知県東部での影響が大きい類 型といえる。

本項では市区町村別の避難困難者数を次元削減したうえで、教師なし分類のアル ゴリズムを用いて地震像を類型化した。類型と震源域や地震規模には一定の関係が あるとともに、影響の大小や対象地域内での影響の分布も踏まえた類型化を行うこ とができた。





(灰色:全3,480 波源断層モデル、緑:クラスタに該当する波源断層モデル)
 図2-7-③-18 高知県室戸市の類型別ヒストグラム



(灰色:全3,480 波源断層モデル、緑:クラスタに該当する波源断層モデル)
 図2-7-③-19 高知県黒潮町の類型別ヒストグラム

b)類型化に用いる特徴量の検討

多様な南海トラフ地震の地震像の類型化を、命を守る、地域産業活動を守る、及び 大都市機能を守る3つの目的¹³⁾に応じた特徴量に基づいて行う。ここでは類型化に 用いる特徴量を、上記3つの目的それぞれについて検討した(表2-7-③-5)。 命を守る観点では、地震発生から5分以内に避難を開始しても安全な場所に避難を 完了しない被災者を避難困難者として、この人数を類型化の特徴量とする。また、住 宅の被害やライフラインの途絶等の原因により地震発生以降に発生する避難者数に ついても類型化の特徴量とする。地域産業活動を守る観点での特徴量は、地震により 生産施設等の資産の破損等による直接被害と、施設被害やライフラインの途絶によ る生産能力の低下により生ずるフローの被害を特徴量とする。大都市機能を守る観 点では、大都市圏での移動手段に着目して鉄道運休率と帰宅困難者数を特徴量とす る。

表2-7-③-5 類型化の目的と特徴量

目的	特徴量(指標)
命を守る	避難困難者数・避難者数
地域産業活動を守る	直接被害・フローの被害
大都市機能を守る	鉄道運休率・帰宅困難者数

- c)類型化に用いる特徴量の試算
- i) 直接被害の試算

直接被害額の評価は半割れケースの ABm、CEm (図2-7-③-15)と、南海トラ フの全体が破壊する ZEall の3つの震源域を対象とした。また、曝露データには佐藤 ほか(2021)¹⁴⁾で作成された市区町村単位のストック量のデータを、崔ほか(2021) ¹⁵⁾による建築物面積に基づく方法により 250m メッシュ単位に按分したストック量デ ータを用いた。地震動指標から直接被害額を算出する推計モデルは、豊田ほか(2021) ¹⁶⁾の推定モデルを用いた。この推計モデルは、市区町村レベルの物的ストック残高 「ストック量」と観測された震度情報「最大震度」から直接被害額を過去の被害地震 のデータを用いて構築したものである。ただし、このモデルは、地震の連続発生を想 定していない。今回の試算では、大規模地震の連続発生を想定した解析シナリオを新 たに検討した。震度6弱を超えた地震が時間差の連続発生として、ABm ⇒ CEm、CEm ⇒ ABmの2つのシナリオを想定した。最初に発生する地震について、社会統計デー タであるストック量データを用いた地震による直接被害額(個別評価)を推計する。 次に、250m メッシュのストック量データから1回目に発生した地震による直接被害 額を引き算し、2回目に発生する地震で用いる残ストック量データを作成する。2回 目の地震発生では、残ストック量データを用いて地震による直接被害額を推計する。 上記の解析処理は、事前に想定した2つの連続発生のシナリオに合わせて行う。その 際に、1回目、2回目で別々に推計した直接被害額(個別評価)と、それぞれの推計 結果を足し合わせた累積値(累積評価)を示す。

直接被害額の評価結果として、まず単独発生の試算結果(250mメッシュ)示す。

南海トラフの全体が破壊する ZEall の試算結果は図 2 - 7 - ③ - 20 のとおりで直接 被害額の推計結果が、合計 167.8 兆円である。また、半割れケースの ABm の試算結果 は合計 32.5 兆円(図 2 - 7 - ③ - 21)、CEm の試算結果は合計 125.5 兆円(図 2 - 7- ③ - 22)である。



図 2-7-③-20 単独発生の試算結果(ZEall)



図 2-7-3-21 単独発生の試算結果 (ABm 単独)



図 2-7-③-22 単独発生の試算結果 (CEm 単独)

連続発生シナリオを想定した場合、1回目の地震の試算結果は、それぞれ ABm、CEm の単独発生と同じなので、単独発生の結果を参照されたい。直接被害額の評価結果と して、残ストック量の試算結果(250mメッシュ)を示すとともに、連続発生の累積 評価(250mメッシュ)を示した。まず、ABm \Rightarrow CEm の連続発生シナリオの結果 (ABm+CEm')は図2-7-③-23のとおりで、被害額の合計は156.9兆円である。 また、CEm \Rightarrow ABmの連続発生シナリオの結果(CEm +ABm')は、図2-7-③-24 に示したとおりで、推計結果の合計は156.6兆円である。



図 2 - 7 - ③ - 23 連続発生の試算結果 (ABm→CEm')



図 2 - 7 - ③ - 24 連続発生の試算結果 (CEm→ABm')

ii)フローの被害の試算

前項での検討で地域産業活動を守る観点での特徴量としたフローの経済被害について、2つの半割れケースが20日の時間差をおいて発生する地震パターン(表2-7-③-6)を想定して試算した。

	X2 1 6	り の 対象とり 3 千時40,	
地震	震源域	波源断層モデル	備考
先発	CEm(駿河湾)	NK_CEm_TYPE2Eh_30L1_d4_02	
後発	ABm(土佐海盆)	NK_ABm_TYPE2Eh_30L1_d1_02	20 日後に発生

表2-7-3-6 対象とする半割れケース

ここで算出するフローの経済被害は地震による生産能力の低下だけでなく、施設 等の復旧による生産能力の回復の時系列変化を評価する必要がある。また、南海ト ラフ地震の多様性を考慮すると簡便な手法による推計が必要である。上記を踏まえ て本項では梶谷ほか(2013)¹⁷⁾の手法を採用した。また、時間差をおいて発生する 2 地震の生産能力への影響を適切に考慮する必要がある。ここでは、2 つの地震に よる非停止率(稼働率)を乗じる事により簡便に2 地震による生産能力の低下を評 価した。更に、事前避難者は生産活動に関与しないという仮定を設定して、事前避 難の有無による生産能力の違いについても評価した。上記による生産能力の試算結 果として、高知県須崎市における生産能力の変動を図2-7-③-25 に示した。先 行地震は須崎市から離れた地域を震源とするため生産能力への影響は比較的小さい ものの、事前避難を考慮した場合には大幅に生産能力が低下している。その後、先 行地震から 20 日後に須崎市に近接する土佐海盆を震源域に含む後発地震が発生して 生産能力が大幅に低下した後に、再び回復に向かう様子が表現されている。



図2-7-③-25 高知県須崎市の生産能力の時系列変化

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

 南海トラフ地震のうち半割れケースが発生した場合の条件付きハザードを評価 した。ハザード評価にあたっては半割れケース発生後に起こりうる地震セットを ツリーの形で表現するとともに、確率論的地震・津波ハザード評価の考え方に基 づく重みを配分した。ハザード評価結果を地震前の条件付きハザードと比較する と、西側半割れケース発生後では四国など南海トラフの西部で、東側半割れケー ス発生後では東海地方など東部でそれぞれハザードが低下している。今後の課題 としては、構築した半割れケース発生後の地震セットが起こりうる地震の全体像 を把握できているかの検証が挙げられる。今後の震源に関する理学的な知見の集 積により上記の検証が可能になると期待される。

- 2) 半割れケース発生後の事前避難を考慮した曝露人ロモデルを構築するとともに、 構築した曝露人ロモデルを用いた人的被害リスクを評価した。曝露人ロモデルの 構築に当たっては、政府や地方公共団体が行動変容を呼びかけたという観点で共 通点のある新型コロナウイルス感染症の緊急事態宣言に伴う行動変容を調査し て事前避難率を設定した。上記の事前避難率を、津波ハザード情報を活用して設 定した事前避難対象者数を乗じる事により曝露人ロモデルを構築した。今後の課 題としては、避難先の設定方法が挙げられる。今回は市町村内での避難を想定し たが、市町村の避難計画や実務者のヒアリング等により事前避難を考慮した曝露 人ロモデルの妥当性が向上できると考えられる。
- 3) 半割れケース発生後の曝露人ロモデルを活用して、東側半割れケースが発生した後に時間差をおいて西側半割れケースが発生する地震パターンを対象とした人的被害を評価した。人的被害は二地震それぞれの地震動及び津波を対象とし、それぞれの人的被害の重複を除外した。上記によると先発地震である東側半割れケースの人的被害が多数を占めるため、事前避難による人的被害の低減分は概ね10%程度に留まると評価された。しかしながら、半割れケースの発生順が逆となった場合には事前避難の効果は大きくなると考えられる。
- 4) 高知県をモデル地域として抽出したうえで、避難困難者数を特徴量とした類型化の試行により、地震像の類型化手法を検討した。試行にあたっては 19 次元の特徴量を可視化技術である UMAP により3次元に削減したのちに、階層クラスタリングにより4類型に分類した。類型化の結果をみると被害の総量だけでなく、地域的な偏りも反映できていた。今後は、類型化に用いる特徴量の算出を進めるとともに、上記の手法と算出結果に基づいた類型化を進める必要がある。
- (e) 引用文献
 - 地震調査研究推進本部地震調査委員会:南海トラフ沿いで発生する大地震の確率 論的津波評価, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20jan_tsunami/nankai_tsunami.pdf, 2020.1(2022.3.19 確認)
 - 2) 気象庁:南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info_criterion.html (2022.3.19 確認)
 - 内閣府(防災担当) :南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガ イドライン【第1版】, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html,2021.5(2022.3.19 確認)
 - 4) 藤原広行,平田賢治,中村洋光,森川信之,河合伸一,前田宜浩,大角恒雄,土

肥裕史,松山尚典,遠山信彦,鬼頭直,大嶋健嗣,村田泰洋,齊藤龍,澁木智之, 秋山伸一,是永眞理子,阿部雄太,橋本紀彦,袴田智哉,大野哲平:南海トラフ 沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 -第一部 本編-,防災科学技術 研究所研究資料,439,2020.

- 5) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会:全国地震動予測地図 2020 年版作成条件・ 計算結果編, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/yosokuchizu2020_jk. pdf, 2021.3(2022.3.29 確認)
- 6) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会:全国地震動予測地図 技術報告書, https://jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_hyoshi.pdf, 2009.12(2022.3.29 確認)
- 7)気象庁:津波警報・注意報,津波情報,津波予報について, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/joho/tsunamiinfo.html (2022.3.29 確認)
- 内閣官房:所管法令(新型インフルエンザ等対策特別措置法等), https://www.cas.go.jp/jp/influenza/120511houritu.html (2021.8.18 確認)
- 9) 国土交通省:鉄道利用者の皆様へ(新型コロナウイルス感染症対策の利用者向け 情報), https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000062.html (2022.3.28 確
 認)
- 10)藤原広行,佐伯琢磨,中村洋光,河合伸一,森川信之,前田宜浩,はお憲生,内 藤昌平,東宏樹,岩城麻子,清水智,小丸安史,若浦雅嗣,時実良典,早川譲: 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討、防災科学技術研究所研究資料, Vol.415, 2018.
- 11) 髙橋郁夫,中村洋光,藤原広行,時実良典,小丸安史,若浦雅嗣,清水智:地域 特性を考慮した簡便な津波人的被害推定手法の開発,第15回 日本地震工学シン ポジウム, PS1-01-34、2018.12
- 12) McInnes, L., Healy, J. and Melville, J.: UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction ver. 3, https://arxiv.org/abs/1802.03426, 2020.2(2021.10.14 確認)
- 13) 防災対策に資する南海トラフ地震調査プロジェクト パンフレット, https://www.jamstec.go.jp/bosai
 - nankai/j/doc/JAMSTEC_BosainankaiPamphlet.pdf(2022.3.30 確認)
- 14) 佐藤純恵,豊田利久,崔青林,池田真幸,堀江進也,中村洋光,藤原広行:市区 町村別ストック・データの推計方法-地震による直接被害額のリアルタイム推計 方法の検討 その 2-,研究資料 No. 460, pp. 5-52, 2021.
- 15) 崔青林,池田真幸,豊田利久,中村洋光,藤原広行:解析データの 250mメッシュ按分-地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検討 その 4-,研究資料 No. 460, pp. 69-78, 2021.
- 16) 豊田利久, 崔青林, 池田真幸, 佐藤純恵, 堀江進也, 中村洋光, 藤原広行: 直接 被害額推計モデルの提案-地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検討

その 3-, 研究資料 No. 460, pp. 53-68, 2021.

- 17) 梶谷義雄, 多々納裕一, 吉村勇祐:大規模災害時における産業部門の生産能力の 推計-東日本大震災を対象として,自然災害科学, 31, pp. 283-304, 2013.
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題	発表者氏名	発表した場所	発表した	国内·外
目、口頭・ポスター発表		(学会等名)	時期	の別
の別)				
南海トラフ巨大地震の	中村洋光、時	日本地震学会2021年	2021 年 10	国内
多様性を踏まえた条件	実良典、藤原	度秋季大会	月	
付きハザード評価の試	広行、清水			
行 (ポスター)	智、麻生未季			

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 なし
- (g)特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願
 - なし
- 2) ソフトウエア開発
 - なし
- 3) 仕様・標準等の策定
 - なし

④地震防災基盤シミュレータシステム

(a) 業務の要約

本業務では、地震防災基盤シミュレータシステムに、強震動シミュレーションや津波 シミュレーションに必要な震源断層モデル及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地 形標高モデルの構築結果データを蓄積した断層・地下構造・地形モデルバンクの構築を 行った。さらに、それらのシミュレーションの計算設定データ及び計算結果データ、リ スク評価データを蓄積した地震像・シナリオバンクの構築を行った。

(b) 業務の実施方法

断層・地下構造・地形モデルバンクの構築については、設計したディレクトリ構成や ファイル命名規則に則して、強震動シミュレーションや津波シミュレーションに必要な 震源断層モデル群及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果 データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積した。

地震像・シナリオバンクの構築については、設計したディレクトリ構成やファイル命 名規則に則して、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モ デルを使用して計算された、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計 算設定データ及び計算結果データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータシ ステムへ蓄積した。

(c) 業務の成果

1) 地震防災基盤シミュレータシステムの概要とシステムの環境整備

地震防災基盤シミュレータシステムの概要を図2-7-④-1に示す。システムは、 断層・地下構造・地形モデルバンク、地震像・シナリオバンク、地震像・シナリオ検 索機能で主に構成されている。断層・地下構造・地形モデルバンクでは、強震動シミ ュレーションで用いる震源断層モデルと地下構造モデルを蓄積し、津波遡上シミュレ ーションで用いる波源断層モデルと地形標高モデルを蓄積する。地震像・シナリオバ ンクでは、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積のデータを用いた強震動シミュ レーション結果、津波遡上シミュレーション結果を蓄積することに加え、それらに基 づくリスク評価結果、リスク情報の類型化手法に基づく南海トラフ地震の地震像や広 域での災害シナリオを蓄積する。地震像・シナリオ検索機能では、利用目的に応じて シミュレーション結果や災害シナリオ等を適切に検索、活用できるようにすることで 他課題と連携を可能にする。地震防災基盤シミュレータシステムを稼働させるために 必要なミドルウェアをインストールし、環境を整備した(図2-7-④-2)。



図2-7-④-1 地震防災基盤シミュレータシステムのシステム概要



地震防災基盤シミュレータシステムサーバ

図2-7-④-2 地震防災基盤シミュレータシステムのアーキテクチャ概要

2) 断層・地下構造・地形モデルバンクの構築

断層・地下構造・地形モデルバンクの構築では、設計したディレクトリ構成やファ イル命名規則に則して、シミュレーションに必要な震源断層モデル群及び波源断層モ デル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを、地震防災基盤シミュ レータシステムへ蓄積した。蓄積したモデルのデータ一覧を表2-7-④-1に示 す。また、設計したディレクトリ構成に従い、震源断層モデル、地下構造モデル、波 源断層モデル、地形標高モデルデータを配置した(表2-7-④-2)。

	表 2 - 7	-(4)-1	震源断層、	波源断層·	地下構造・	地形標高モデ	ルデー	-ター	覧
--	---------	--------	-------	-------	-------	--------	-----	-----	---

データ	個数	内容
震源断層モデル	83	地震本部(2020)の津波ハザード評価で設定された南海トラフ 地震の多様性モデルを踏まえて構築した強震動計算用震源断
地下構造モデル	1	層モデル 関東地域の浅部・深部統合地盤モデルを取り込んだ広域の地 下構造モデルを基に構築した差分法用の地下構造モデル
波源断層モデル	4172	地震本部(2020)の津波ハザード評価で設定された南海トラフ 地震の多様性モデルの波源断層モデル
地形標高モデル	1	南海トラフ沿いの評価領域の11府県を対象に各府県が整備した最新のモデルを取得し、津波シミュレータ(TNS)に入力可能なデータ形式(計131個の10m格子領域)に変換した地形標高 モデル

No.	ディレク	\J.;	ファイノ	パス			内容
1	/NT/						地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2	Da	ta/					データディレクトリ
3		Gro	ound	Moti	on/		強震動シミュレーションルートディレクトリ
4			Ana	alysis	5/		解析関連データディレクトリ
5				Bou	ndar	//	境界面定義ファイルディレクトリ
6				[[バーミ	海ンコード]	バージョンコードディレクトリ
7					[/	ヾージョンコード]-[地下構造モデルコード]_[境界面番号]_boundary.	境界面定義ファイル(地下構造モデルデータ)
8				Phys	sicalF	roperty/	物性値定義ファイルディレクトリ
9				[[バーミ	海ンコード]	バージョンコードディレクトリ
10					[/	、ージョンコード]_[地下構造モデルコード]_phy.csv	物性値定義ファイル(地下構造モデルデータ)
11				[震源	原断層	モデルコード]/	震源断層モデルコードディレクトリ
12				E	Exter	nalForce/	震源断層モデル外力データディレクトリ
13					F	DM/	差分法計算入力ファイルディレクトリ
14						Material/	FDMake入力ファイルディレクトリ
15						Source/	震源定義ファイルディレクトリ
16						[震源断層モデルコード]_source_[座標系コード].csv	震源断層モデルファイル
17		Τsι	unan	ni/			津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
18			Bas	se/			基礎データディレクトリ
19				Faul	lt/		断層データファイルディレクトリ
20]	[波源	断層モデルコード]/	波源断層モデルコードディレクトリ
21					P	aram/	断層パラメータファイルディレクトリ
22						[EPSGコード]/	EPSGコードディレクトリ
23						[波源断層モデルコード]-Param-[EPSGコード].dat	波源断層モデルデータファイル
24				Тор	0/		地形標高分布データファイルディレクトリ
25				[[基礎	データ系コード]/	基礎データ系コードディレクトリ
26					Μ	[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
27						Topo-[基礎データ系コード]-M[格子間隔]-R[領域ID].bin	地形標高モデルデータファイル

表2-7-④-2 断層・地下構造・地形モデルバンクのディレクトリ構造

3) 地震像・シナリオバンクの構築

地震像・シナリオバンクの構築では、設計したディレクトリ構成やファイル命名規 則に則して、断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モデ ルを使用して計算された、強震動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計 算設定データ及び計算結果データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータ システムのストレージへ蓄積した。蓄積したモデルのデータ一覧を表2-7-④-3 に示す。また、設計したディレクトリ構成に従い、これらの強震動シミュレーション 結果データ、津波遡上シミュレーション結果データ、リスク評価結果データを配置し た(表2-7-④-4、表2-7-④-5、表2-7-④-6)。 表2-7-④-3 震源断層、波源断層・地下構造・地形標高モデルデーター覧

データ	個数	内容
強震動シミュ レーション	83	断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積した、震源断層モ デルと地下構造モデルを用いて計算された強震動シミュレー ション結果
津波遡上シミュ レーション	3480	断層・地下構造・地形モデルバンクに蓄積した、波源断層モ デルと地形標高モデルを用いて計算された津波遡上シミュ レーション結果
地震動によるリ スク評価	151	南海トラフ地震の多様性を構成する 151 の震源域に基づく地震 動を対象とした条件付きリスク評価として建物被害、建物損 失額、及び人的評価結果
津波によるリス ク評価	4220	南海トラフ地震の多様性を構成する 4220 の波源断層モデルに 基づく津波を対象とした条件付きリスク評価として建物被 害、建物損失額、及び人的評価結果

表2-7-④-4 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造

No	No.ディレクトリ・ファイル名						名		内容
1	/N	IT/							地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2		Da	ata,	/					データディレクトリ
3			Gr	our	۱dΜ	1ot	ion	/	強震動シミュレーションルートディレクトリ
4				An	aly	sis	/		解析結果データディレクトリ
5	5				Def	tai	led,	1	詳細法ディレクトリ
6					[[震	源困	所層モデル外力コード]/	震源断層モデル外力コードディレクトリ
7	'						Exte	ernalForce/	震源断層モデル外力データディレクトリ
8	:						H	IYB/	ハイブリッド合成速度波形(S波)ファイルディレクトリ
9								[震源断層モデル外力コード]_HYB_DUMP.dat	ハイブリッド合成速度波形水平動計算結果ファイル
10							H	IYB_ud/	ハイブリッド合成速度波形(P波)ファイルディレクトリ
11								[震源断層モデル外力コー	ハイブリッド合成速度波形上下動計算結果ファイル

(強震動シミュレーション結果データ)

表2-7-④-5 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造

No.	ディ	レクトリ	いファイ	ルパフ	え		内容
1	/N	Т/					地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ
2		Data,	/				データディレクトリ
3		Ts	sunam	ni/			津波遡上シミュレーションルートディレクトリ
4			Anal	ysis/	r		解析結果データディレクトリ
5	1		[]	波源	新層モ	デル外力コード1/	波源断層モデル外力コードディレクトリ
6	1			Ex	terna	IForce/	波源断層モデル外力データディレクトリ
7					Offel	nore/	油合データファイルディックトリ
					CH3		
8					[<i>il</i>	文原町暦モナルタトフリート]-OIISNOFE-TOLAIDEpth.dat	冲音主水沫時米州ノバイル
9					[<i>)</i> /	文源研唐モナルタトリコート」-Offshore-Height.dat	沖合水位時糸列ノアイル
10					Lit	安源断層モテル外力コード]-Offshore-Arrival ImeHeight.csv	沖合水位到達時間テータノアイル
11					Lit	皮源断層モテル外力コード」-Offshore-ArrivalTimeTsunami.csv	沖合相対水位到達時間テータファイル
12					[況	皮源断層モデル外力コード]-Offshore-MaxAbsHeight.csv	沖合最大水位データファイル
13					[況	支源断層モデル外力コード]-Offshore-MaxRelativeHeight.csv	沖合最大相対水位データファイル
14					Coas	stal/	沿岸データファイルディレクトリ
15					M	[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
16						[波源断層モデル外力コード]-Coastal-ArrivalTimeHeight-	沿岸水位抽出点水位到達時間データファイル
						M[格子間隔]-R[領域ID].csv	
17						「波源断層エデルがカコード」 Coactal ArrivalTimeTeunami	公告水位抽出占相対水位到速時間デ_のマイ!!
1/							加件水位抽山点相对水位到建时间了 [—] 970年10
						M[格丁间附]-K[限域ID].CSV	
18						[波源断層モデル外力コード]-Coastal-MaxAbsHeight-M[格子	沿岸水位抽出点最大水位データファイル
						間隔]-R[領域ID].csv	
19						[波源断層モデル外力コード]-Coastal-MaxRelativeHeight-	沿岸水位抽出点最大相対水位データファイル
						M[格子間隔]-R[領域ID].csv	
20					Wate	erHeight/	水位分布データファイルディレクトリ
21					м	[枚之問隔]/	な子問隔ディックトリ
21					141	[1日」18月76]/ 「波頂斯層エデルがカコード】 WaterHeight M「枚乙問院」 D「須	
22							
22							
25						[次际时借てデルタトノリート]-Water neight-M[格丁间网]-K[頂	取入小12011月ナータロビビロトカシェ、ファイル
						域IDJ_IMAX.nc	
24					Land	/	浸水深分布データファイルディレクトリ
25					Ar	rivalTime/	浸水深到達時間分布データファイルディレクトリ
26						M[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
27						[波源断層モデル外力コード]-Land-ArrivalTime-M[格子間	浸水深到達時間分布データnetCDF形式ファイル
						隔]-R[領域ID]_H[出力浸水深].nc	
28	1				In	undationDepth/	浸水深分布データファイルディレクトリ
20					_	M[格子問隔]_P[領域ID]_[白由か文字列]/	格子問隔ディックトロ
29							
30						R[視或ID]	領域IDテイレクトリ
31						波線断層セテル外力コード]-Land-InundationDepth-	[出刀時間]における浸水深分布テータnetCDF形式ファイル
						M[格子間隔]-R[領域ID]_t[出力時間].nc	
32						[波源断層モデル外力コード]-Land-InundationDepth-	最大浸水深分布データnetCDF形式ファイル
						M[格子間隔]-R[領域ID]_tMAX.nc	
33					Flow	Velocity/	流速分布データファイルディレクトリ
34	1				M	[格子間隔]/	格子間隔ディレクトリ
35	1					「波源断層モデル外力コード]-FlowVelocity-W-M「格子間隔]-	2成分合成値最大流速分布データnetCDF形式ファイル
						R[領域ID] tWMAX.nc	
36	1					「波源断層モデル外力コード]-FlowVelocity-「X/Y1-M「柊子問	2成分合成値最大ステップ時「X/V1方向流速分布データ
						區1-R[領域ID] tWMAX.nc	netCDF形式ファイル
37	1				Drac	iForce/	抗力分布データファイルディレクトリ
30					ыау	[技之問[[]/	なて思慮ディックについていていていていていていた。
20					IM	[1日」18月8日 [11日] 18月8日 [11日] 18月8日 [11日] 18月81] [11日] 18月81] [11日] 18月81] [11日] 18月88]	
39						LIXIが町間でナルタトノリコート」-レIdGFOFCE-W-ML恰丁间隔]-KL识	ZIJ&JJ ロルTIE取入力しフリカロテータTIELCUFガシンアイル
40						[波源断層モデル外力コード]-DragForce-[X/Y]-M[格子間隔]-	2成分合成値最大ステップ時[X/Y]方向抗力分布データ
						R[領域ID]_tWMAX.nc	netCDF形式ファイル

(津波遡上シミュレーション結果データ)

表2-7-④-6 地震像・シナリオバンクのディレクトリ構造

(リスク評価結果データ)

No.5	No.ディレクトリ・ファイル名								内容		
1 /	/NT/								地震防災基盤シミュレータシステムルートディレクトリ		
2	Data/								データディレクトリ		
3	GroundMotion/								強震動シミュレーションルートディレクトリ		
4	Analysis/								解析結果データディレクトリ		
5	Conventional/								簡便法ディレクトリ		
6					[震	源域	コード]		震源域コードディレクトリ		
7	Risk/								リスク評価データディレクトリ		
8	Building/								建物被害分布データディレクトリ		
9		Houses/							棟数ベース被害分布データディレクトリ		
10		[[[AL/HL]/					[/	AL/HL]/	建物[全壊/全半壊]分布データファイルディレクトリ		
11								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-[距離減衰式種類].csv	建物[全壊/全半壊][棟数/率]リスクデータファイル		
									[距離減衰式種類]は、以下の2種類		
									・MF13 : 森川・藤原(2013)		
									・SM99 : 司·翠川(1999)		
12								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Hazard-[距離減衰式種	建物[全壊/全半壊][棟数/率]分布データファイル		
								類].nc			
13								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Exposure-[距離減衰式種	建物[全壊/全半壊][棟数/率]曝露量分布データファイル		
								類].nc			
14								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Avr-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]平均值対応全壊[棟数/率]分布		
									データファイル		
15								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-Exp-[距離減衰式種類].nc	建物[全壊/全半壊][棟数/率]条件付き期待値分布データファイル		
16								[震源域コード]-[AL/HL][B/R]-EP-[条件付き超過確率(x)]-	条件付き超過確率(x)対応建物[全壊/全半壊][棟数/率]条件		
								[距離減衰式種類].nc	付き超過確率分布データファイル		
17							Mon	ey/	金額ベース被害分布データディレクトリ		
18							[]	雲源域コード]-BM[A/R]-[距離減衰式種類].csv	損失[額/率]分布データファイル(金額ベースの建物被害)		
19							[]	雲源域コード]-BM[A/R]-Hazard-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]分布データファイル		
20							[]	雲源域コード]-BM[A/R]-Exposure-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]曝露量分布データファイル		
21							[)	雲源域コード]-BM[A/R]-Avr-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]平均値対応損失[額/率]分布データファイル		
22							[)	雲源域コード]-BM[A/R]-Exp-[距離減衰式種類].nc	損失[額/率]条件付き期待値分布データファイル		
23							[)	雲源域コ−ド]-BM[A/R]-EP-[条件付き超過確率(x)]-[距離減	条件付き超過確率(x)対応損失[額/率]条件付き超過確率分布		
							耟	衰式種類].nc	データファイル		
24						Pc	opula	tion/	人的被害分布データディレクトリ		
25							[DE/	AD/AINJ]/	[死者/重傷者]数分布データファイルディレクトリ		
26							[)	雲源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-[距離減衰式	時刻別[死者/重傷者][数/率]リスクデータファイル		
27							[)	雲源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Hazard-[距	時刻別[死者/重傷者][数/率]分布データファイル		
							离	諏衰式種類].nc			
28							[)	雲源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Exposure-	時刻別[死者/重傷者][数/率]曝露量分布データファイル		
							[]	距離減衰式種類].nc			
29							[)	雲源域コード]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Avr-[距離	時刻別[死者/重傷者][数/率]平均値対応時刻別[死者/重傷		
							洉	\$衰式種類].nc	者][数/率]分布データファイル		
30						1	[)	雲源域コ−ド]-[D/A][A/R]-OCL[人口分布時刻]-Exp-[距離	時刻別[死者/重傷者][数/率]条件付き期待値分布データファイル		
							洞	载式種類].nc			
31							Ľ	雲源域コード]-「D/A]「A/R]-OCL「人口分布時刻1-EP-「条件付	条件付き超過確率(x)対応時刻別「死者/重傷者]「数/率]条件		
							ŧ	招调確率(x)]-[距離減衰式種類] nc	付きお過確率分布データファイル		

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめを以下に示す。

- 地震防災基盤シミュレータシステムを稼働させるために必要なミドルウェアを インストールし、環境を整備した。
- 2) 設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、シミュレーションに必要な震源断層モデル群及び波源断層モデル群、地下構造モデル、地形標高モデルの構築結果データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する断層・地下構造・地形モデルバンクの構築を行った。
- 3) 設計したディレクトリ構成やファイル命名規則に則して、断層・地下構造・地形 モデルバンクに蓄積の断層・地下構造・地形モデルを使用して計算された、強震 動シミュレーション、津波遡上シミュレーションの計算設定データ及び計算結果 データやリスク評価データを、地震防災基盤シミュレータシステムへ蓄積する地 震像・シナリオバンクの構築を行った。

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

2020.1(2022.3.19 確認)

- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
 - 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題	発表者氏名	発表した場所	発表した	国内·外
目、口頭・ポスター発表		(学会等名)	時期	の別
の別)				
南海トラフ巨大地震の	中村洋光、藤	日本地震学会2021年	2021 年 10	国内
発生の多様性を考慮し	原広行、前田	度秋季大会	月	
た地震防災基盤シミュ	宜浩、土肥裕			
レータの構想(ポスタ	史、時実良			
—)	典、石丸晴海			

- 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 なし
- (g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願
 - なし
- 2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし