

2. 3 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」

(b) 担当者

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

(c) 業務の目的

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

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

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

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

2) 令和3年度：

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

3) 令和4年度：

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

4) 令和5年度：

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

5) 令和6年度：

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

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

(e) 令和2年度業務目的

前回の南海トラフ地震からの応力蓄積過程計算準備と過去の地震履歴の拡充に着手する。このため、応力蓄積過程の計算に必要な前回の南海トラフ地震からの地殻変動データの整備を行うとともに、南海トラフを対象として、3D粘弾性不均質構造を考慮した地殻変動計算と断層面での応力評価を行うための大規模有限要素モデル構築に着手する。また履歴については、陸域では紀伊～九州沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では東海～九州沖海域の試料の分析等から地震・津波の発生履歴、史料調査では、1498年明応東海地震から1946年昭和南海地震までの津波痕跡高・地殻変動の史料収集とその精査を実施する。

(2) 令和2年度の成果

① 3D不均質粘弾性構造モデルを考慮した推移予測手法の開発

(a) 業務の要約

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

(b) 業務の実施方法

Hori et al. (2021a¹⁾, 2021b²⁾)において使用されたJIVSM (Japan Integrated Velocity Structure Model, ver.1)をベースとした南海トラフ域の地殻構造データを用いる。地殻構造データは、東経135度、北緯33.5度地点における地球楕円体モデルGRS80の高さゼロメートル地点を基準点とし、東西方向 $-1248 \text{ km} \leq x \leq 1248 \text{ km}$ 、南北方向 $-1248 \leq y \leq 1248 \text{ km}$ 、鉛直方向 $-1100 \text{ km} \leq z \leq 0 \text{ km}$ を対象範囲とする。また、大陸マントルを粘弾性構造としており、粘性率を $1.0 \times 10^{19} \text{ Pas}$ としている。地殻構造の複雑な幾何形状を精度よくモデル化し、地表の応力フリーの境界条件を精度よく考慮するため、非構造要素による有限要素法を用いることとし、その有限要素モデルを構築する。図2-3-①-1は最小の要素サイズ $ds=2 \text{ km}$ となるように離散化して生成された有限要素モデルを示している。ただし、高さ方向については要素の高さが $ds=5 \text{ km}$ となるように設定しており、均質な構造部分においては鉛直方向長さが水平方向に対して2.5倍である直方体をベースとして要素を生成している。また、最大の要素サイズは $ds=8 \text{ km}$ としてい

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

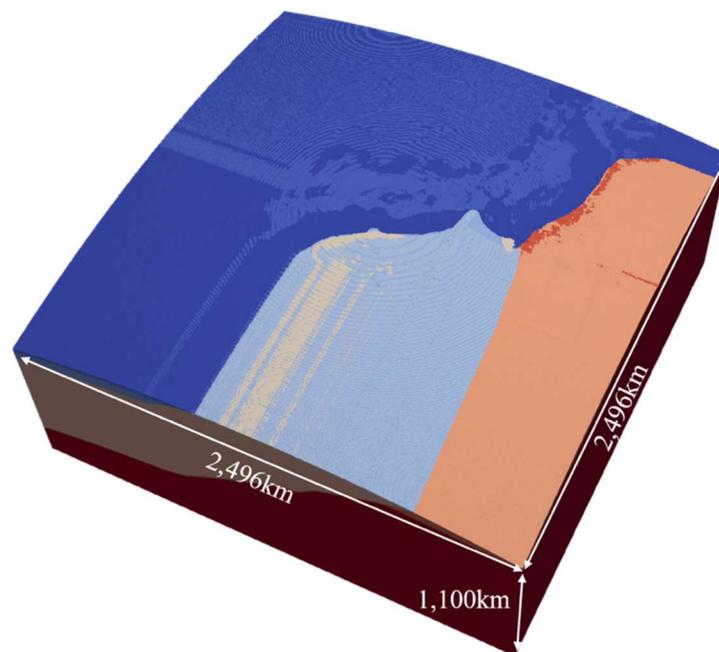


図 2-3-①-1 生成された南海トラフ域での 3D 不均質粘弾性有限要素モデルの概観。色は物性の値に応じて異なっており、青は陸側のプレート、水色・ベージュ色はフィリピン海プレート、オレンジは太平洋プレートに対応している。

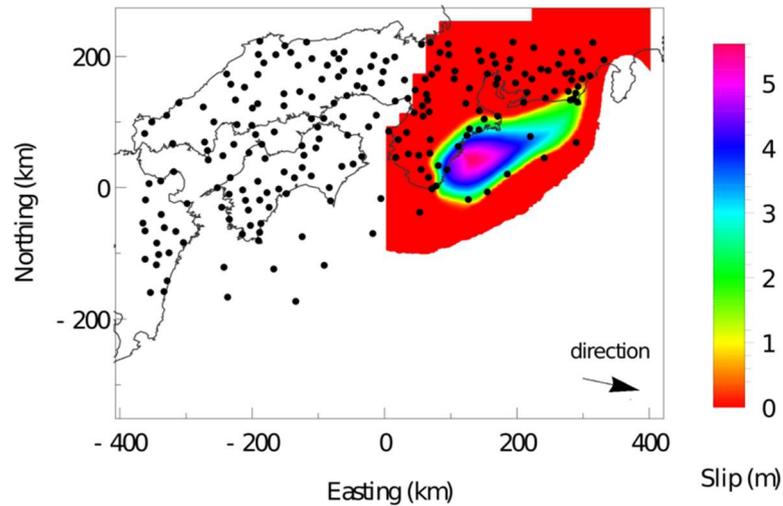


図 2-3-①-2 南海トラフにおける参照解とする地震時すべり分布。すべりの向きは N111.5 度方向で一様とした。用いる観測点を・で示している。

(c) 業務の成果

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

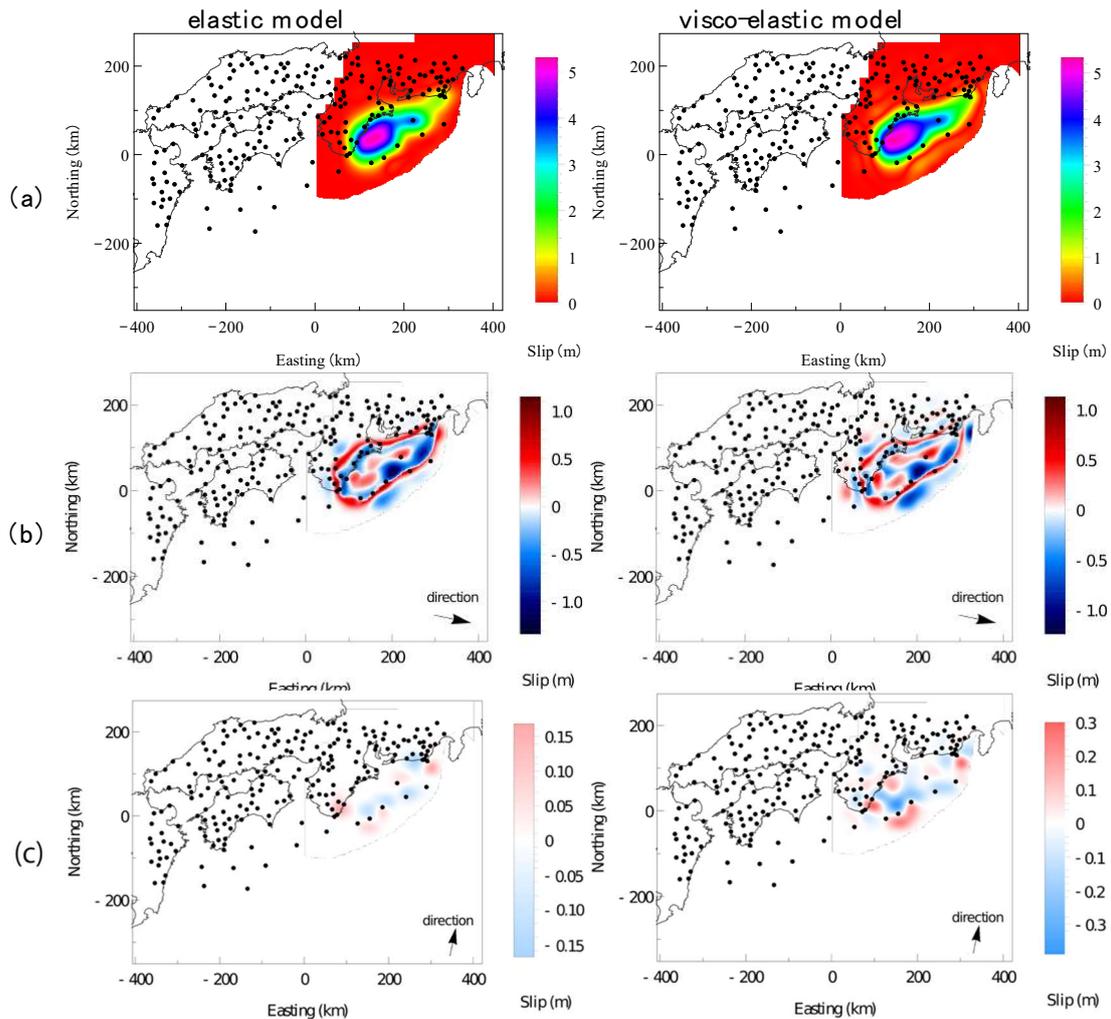


図 2-3-①-3 弾性モデルと粘弾性モデルにおける最適化による地震時すべりの予測値および、参照解からの残差。(a)すべり量の予測値。(b)参照解との残差のうち南海トラフにおけるプレート収束方向と逆向き成分に関する予測値に関する成分。(c)参照解との残差のうちプレート収束方向とは直交する成分。

(d) 結論ならびに今後の課題

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

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

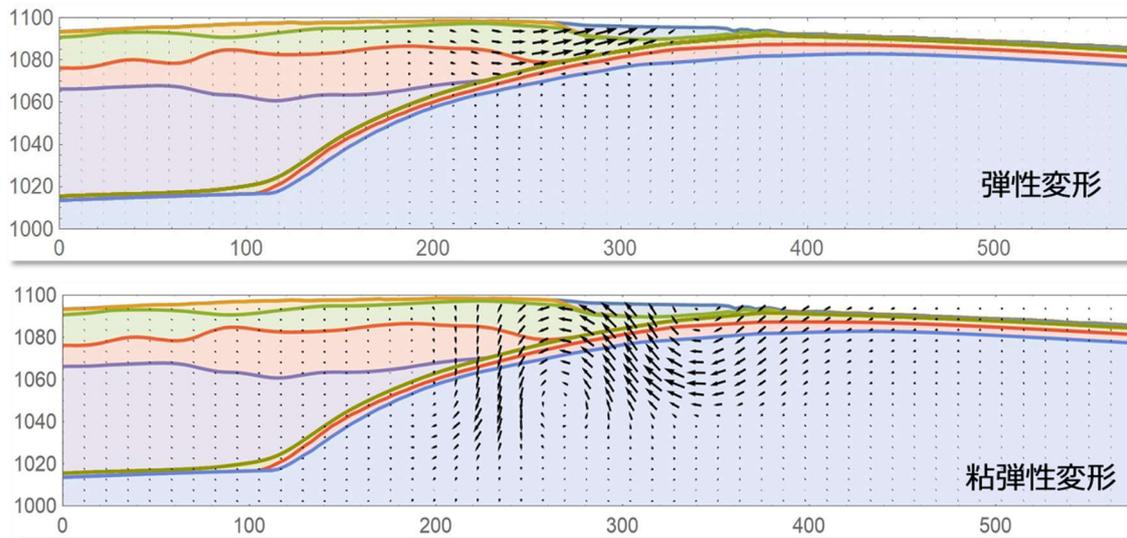


図 2 - 3 - ① - 4 テスト計算での弾性・粘弾性変形の断面図。

(e) 引用文献

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

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

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

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

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

② 海域における地震・津波履歴調査

(a) 業務の要約

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

(b) 業務の実施方法

海底堆積物中の地震・津波イベント堆積物の認定とこれに基づく南海トラフ沿いの地震・津波履歴の情報整備のため、令和2年度は海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」の Expedition 912 により御前崎沖で採取された掘削コアの分析と解析を実施した。「ちきゅう」により採取された掘削コア C9035 Hole A と C9035 Hole B については、堆積年代とイベント堆積物の堆積プロセスの推定のため、バルク有機物ならびに浮遊性有孔虫遺骸を用いた放射性炭素年代測定と高感度パススルー型超電導磁力計による残留磁化測定を実施した。また、海底表層付近のイベント堆積物と南海トラフ沿いの歴史地震との対応を検討するため、放射性セシウムと過剰鉛-210の測定を行った。

(c) 業務の成果

海溝型巨大地震の震源の多くは海底下にある。このため、もっとも大きな地震動とそれに伴う変動は震源近傍の海底で起こると考えられる。海底での大きな地震動は海底堆積物粒子の再配列を引き起こし、粒子間の間隙を埋める水（間隙水）の圧力を上昇させ、粒子を間隙水中に浮かせることで海底堆積物の強度を弱体化させ、海底地すべりを発生しやすくする。また、地震の大きな地震動や浅海に侵入した津波は未固結の海底表層堆積物を巻き上げ、再移動させる^{10)、11)}。このような地震や津波に伴う海底での土砂の移動／再堆積は堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重力の効果により海底斜面を流れ下る堆積物重力流によると考えられ、斜面やその基部では水中土石流堆積物やタービダイトを堆積させる。これらの地震・津波起源で形成された堆積物（イベント堆積物と呼ばれる）は平常時に海底に堆積する泥とは異なる粒度組成や堆積構造

を持つことが知られている^{5)、16)}ので、海底堆積物中からイベント堆積物を認定し、その堆積年代を決めることで過去の地震や津波の発生時期を特定できる可能性がある^{2)、6)、8)}。本課題では、南海トラフ沿いの海域を対象に、海底堆積物中の地震・津波起源のイベント堆積物からこの海域の地震・津波の発生履歴情報を得ることが目的となる。

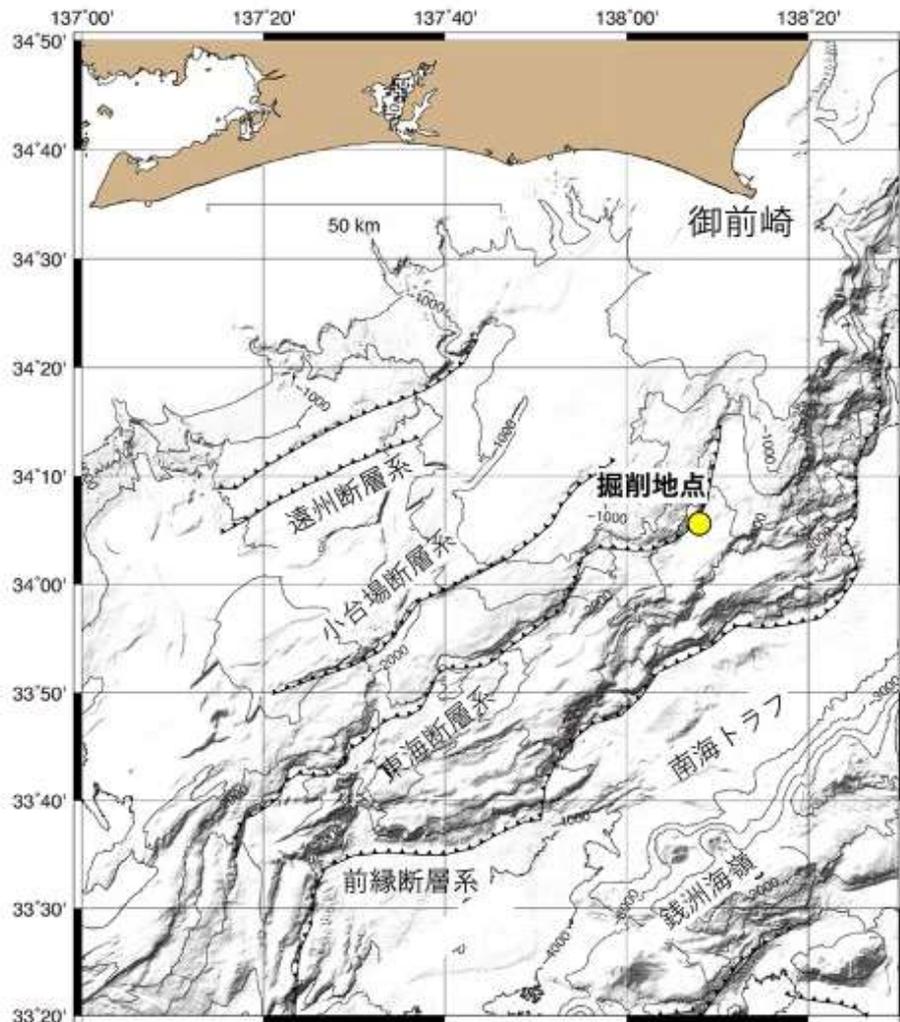


図 2-3-②-1 「ちきゅう」による御前崎沖試料採取地点

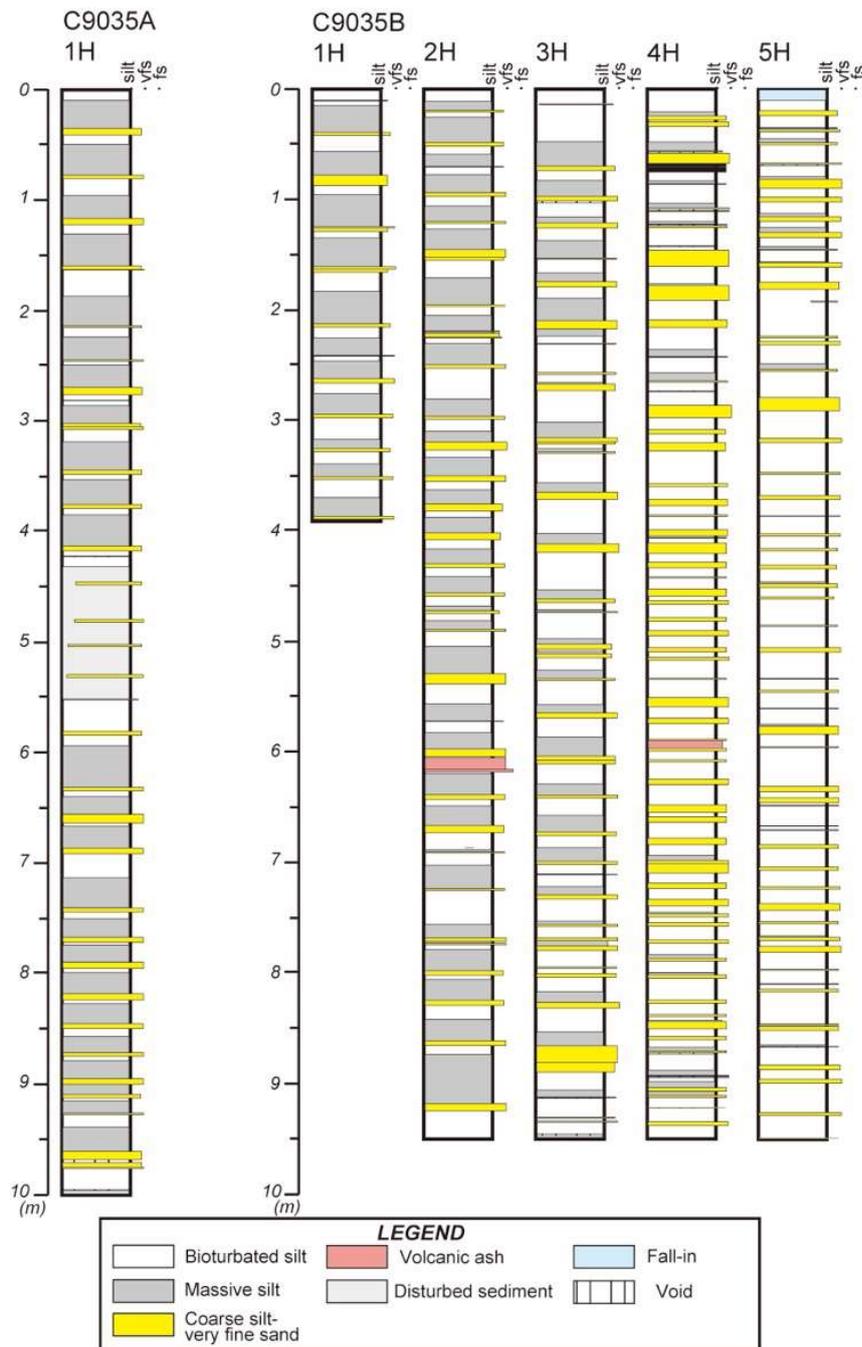


図 2-3-②-2 御前崎沖から採取された C9035 Hole A および C9035 Hole B コア上部の柱状図。黄色がタービダイト砂、灰色がタービダイト泥、ピンクは火山灰層。

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

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

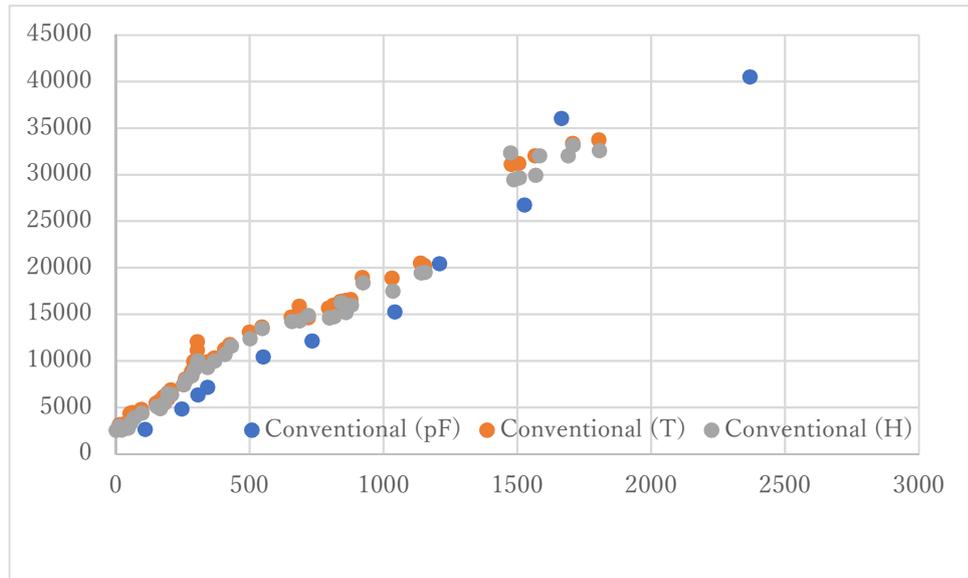


図 2-3-②-3 御前崎沖から採取された C9035 Hole B コアの半遠洋性泥中の浮遊性有孔虫（青色）、有機物（灰色）およびタービダイト泥中の有機物（オレンジ色）の年代測定結果。縦軸が放射性炭素年代（年）、横軸がタービダイト部分を除いた半遠洋性泥の深度（cm）。

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

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

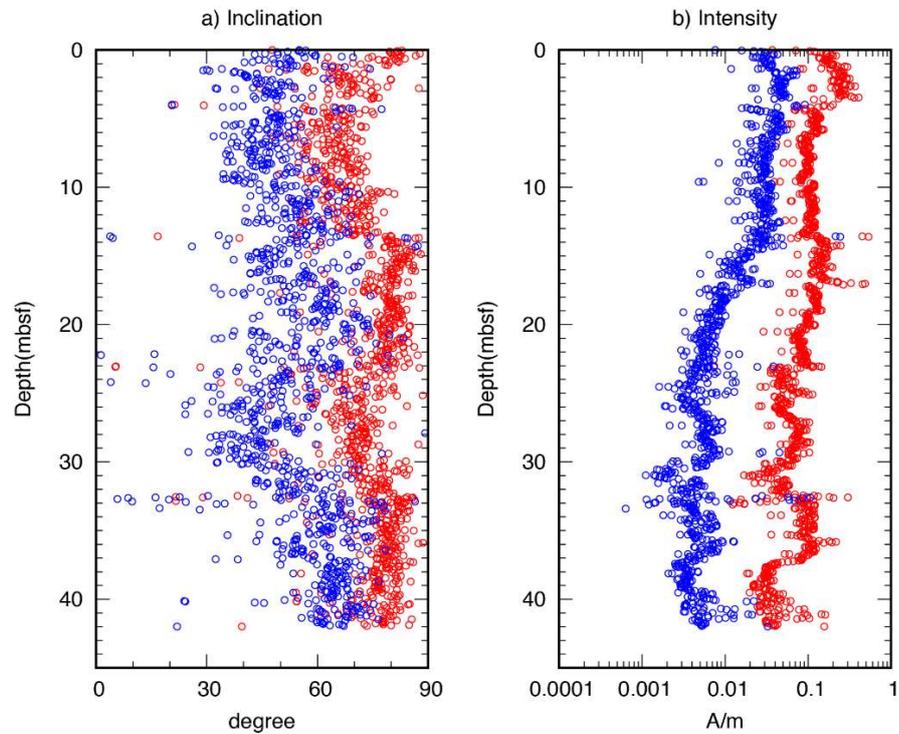


図 2 - 3 - ② - 4 C9035 Hole B コアにおける交流消磁前 (赤) と 20mT での交流消磁後 (青) の伏角 (a) と磁化強度 (b) の比較。縦軸は深度 (m)。

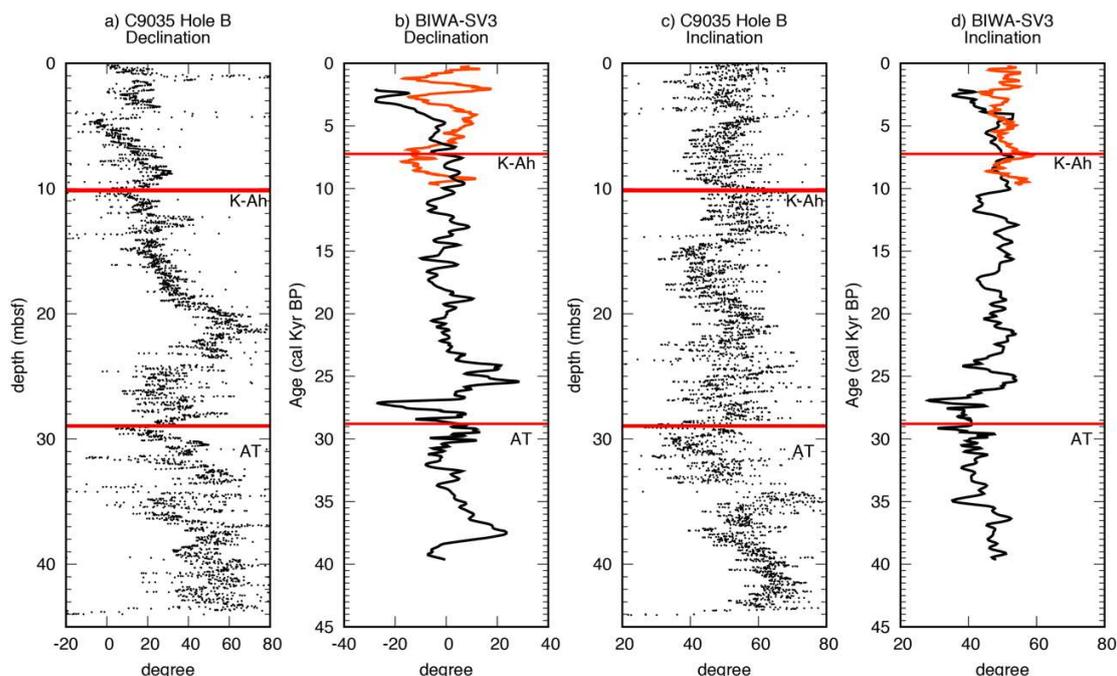


図 2-3-②-5 C9035 Hole B コアにおける交流消磁後の偏角 (a) と伏角 (c) および琵琶湖の古地磁気永年変化記録の偏角 (b) と伏角 (d)。琵琶湖の赤線は Ali et al. (1999)¹⁵⁾、黒線は Hayashida et al. (2007)¹⁶⁾ による古地磁気永年変化曲線。C9035 Hole B コアの火山灰は予察的な対比に基づく。a、c の縦軸は深度 (m)。

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

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

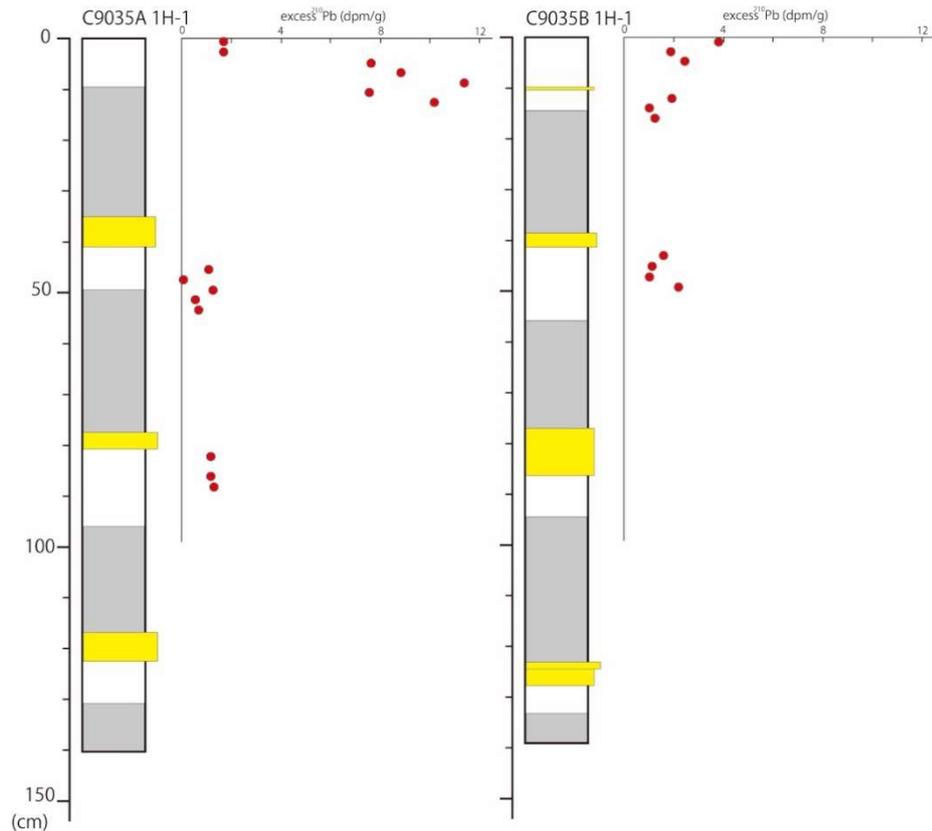


図 2-3-②-6 御前崎沖から採取された C9035 Hole A および C9035 Hole B コア最上部の過剰鉛-210 の測定結果

(d) 結論ならびに今後の課題

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

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

(e) 引用文献

- 1) Acton, G.D., Okada, M., Clement, B.M., Lund, S.P. and Williams, T.: Paleomagnetic overprints in ocean sediment cores and their relationship to shear deformation caused by piston coring, *J. Geophys. Res.*, Vol.107 (B4), 2067, doi:10.1029/2001JB000518, 2002.
- 2) Adams, J.: Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, *Tectonics*, Vol.9, pp.569-583, 1990.
- 3) Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K. and Torii, M.: Holocene paleomagnetic secular variation from Lake Biwa, *Geophys. J. Int.*, Vol.136, pp.218-228, 1999.
- 4) Ando, M.: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, *Tectonophys.*, Vol. 27, pp.119-140, 1975.
- 5) Bouma, A.H.: *Sedimentology of some flysch deposits*, Elsevier, Amsterdam, 168p, 1962.
- 6) Goldfinger, C., Nelson, C.H., Johnson, J.E. and the Shipboard Scientific Party: Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol.46, pp.555-577, 2003.
- 7) Hayashida, A., Ali, M., Kuniko, Y., Kitagawa, H., Torii, M. and Takemura, K.: Environmental magnetic record and paleosecular variation data for the last 40 kyrs from the Lake Biwa sediments, Central Japan, *Earth Planets Space*, Vol.59, pp.807-814, 2007.
- 8) 池原研: 深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定, *地学雑*. Vol. 110, pp.471-478, 2001.
- 9) Ikehara, K., Danhara, T., Yamashita, T., Tanahashi, M., Morita, S. and Ohkushi, K.: Paleooceanographic control on a large marine reservoir effect offshore of Tokai, south of Japan, NW Pacific, during the last glacial maximum-deglaciation, *Quat. Int.*, Vol.246, pp.213-221, 2011.
- 10) 池原研, 宇佐見和子: 海底の地震・津波堆積物ー巨大地震・津波による海底の擾乱と擾乱記録を用いた巨大地震・津波履歴の解明ー, *シンセシオロジー*, Vol. 11, pp.12-22, 2018.
- 11) 池原研: 海底地すべりと混濁流の発生, *地盤工学会誌*, Vol. 68, No. 7, pp.52-57, 2020.

- 12) Ikehara, K., Usami, K. and Kanamatsu, T.: Repeated occurrence of surface sediment remobilization along the landward slope of the Japan Trench by great earthquakes, *Earth Planets Space*, Vol.72, 114, doi:10.1186/s40623-020-01241-y, 2020.
- 13) Kanamatsu, T., Usami, K., McHugh, C. and Ikehara, K.: High-resolution chronology of sediment below CCD based on Holocene paleomagnetic secular variations in the Tohoku-oki earthquake rupture zone, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol.18, pp.2990-3002, 2017.
- 14) Molenaar, A., Moernaut, J., Wiemer, G., Dubois, N. and Strasser, M.: Earthquake impact on active margins: tracing surficial remobilization and seismic strengthening in a slope sedimentary sequence, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.46, pp.6015-6023, 2019.
- 15) Omura, A., Ikehara, K., Sugai, T., Shirai, M. and Ashi, J.: Determination of the origin and processes of deposition of deep-sea sediments from the composition of contained organic matter: an example from two forearc basins on the landward flank of the Nankai Trough, Japan, *Sed. Geol.*, Vol.249-250, pp.10-25, 2012.
- 16) Stow, S.A.V. and Shanmugam, G.: Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments, *Sed. Geol.*, Vol.25, pp.23-42, 1980.
- 17) Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T. and McHugh, C.: Supercycle in great earthquake recurrence along the Japan Trench over the last 4000 years, *Geosci. Lett.*, Vol.5, 11, doi: 10.1186/s40562-018-0110, 2018.
- 18) Yamamoto, Y., Yamazaki, T. and Kanamatsu, T.: An initial case study to deconvolve natural remanent magnetization of a continuous paleomagnetic sample using the software UDECON, *Earth Planets Space*, Vol.70, 160, doi:10.1186/s40623-018-0931-4, 2018.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
御前崎沖金洲ノ瀬トラフのタービダイト：「ちきゅう」 Expedition 912 Leg.1（ポスター）	池原 研、 金松敏也、 Hsiung, K.- H.、奥津なつ み、三浦伊織	2020年日本堆積学会オンライン大会	2020年11月14日	国内

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

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

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

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

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

③ 陸域における地震・津波履歴調査

(a) 業務の要約

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

(b) 業務の成果

1) 静岡県富士市・浮島ヶ原

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

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



図 2-3-③-1 2010 年度～2012 年度にボーリング調査が行われた場所(藤原・澤井, 2014²⁾ を改変) (静岡県富士市。国土地理院発行 1:25000 地形図「吉原」「沼津」を使用)。

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

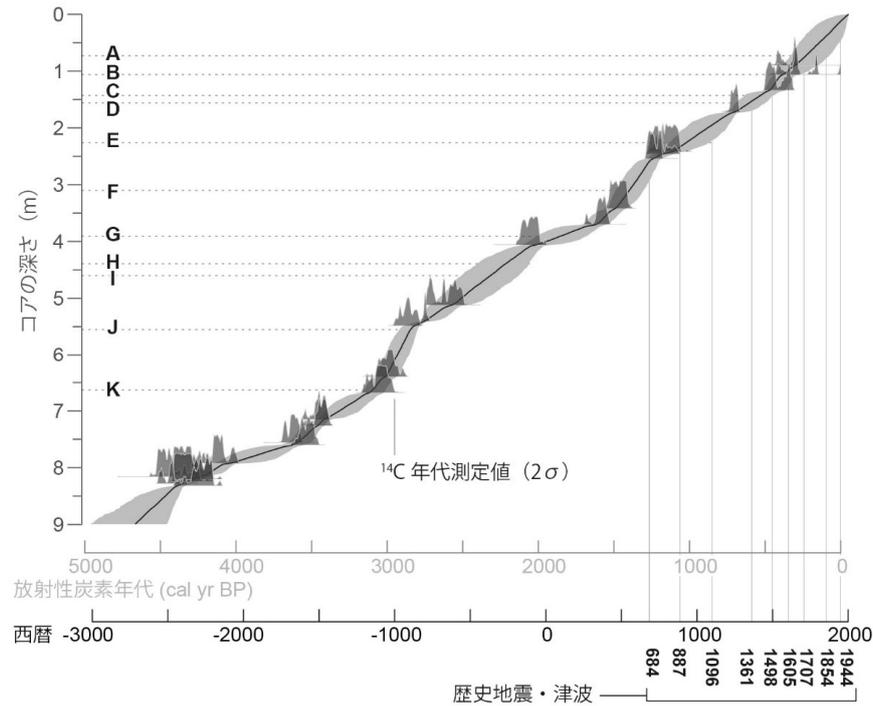


図 2-3-③-2 浮島が原で採取されたボーリング試料の堆積年代曲線。薄い灰色の領域は事後確率分布を表している。

2) 三重県南伊勢町・こがれ池

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



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

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

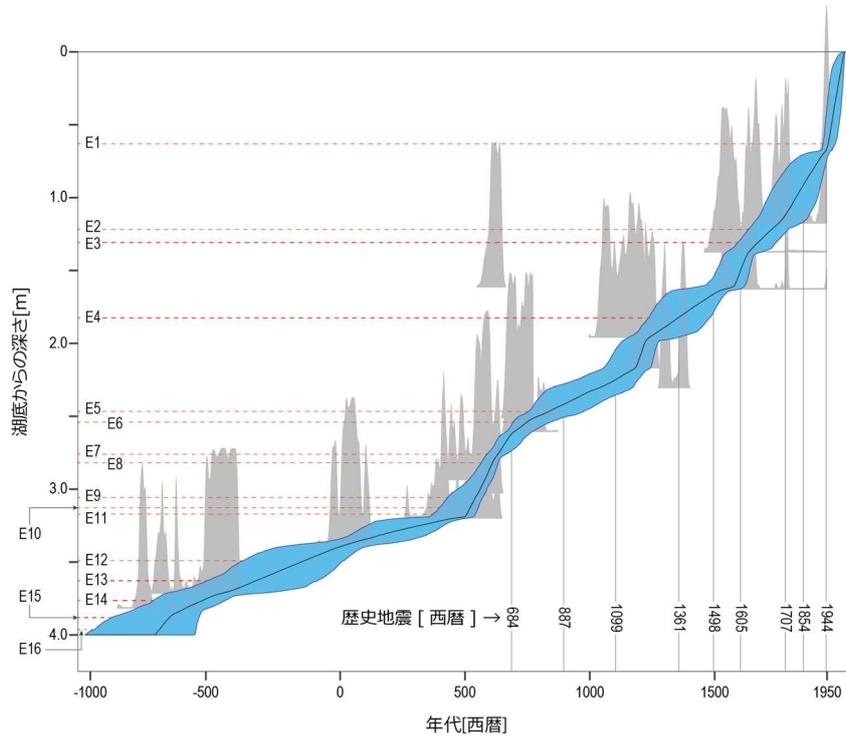


図 2-3-③-4 こがれ池の湖底堆積物の堆積曲線 (Age-Depth モデル)。灰色で年代測定の結果、水色で年代の事後確率分布を示している。

3) 和歌山県那智勝浦町八尺鏡野地区

和歌山県那智勝浦町八尺鏡野地区には、太田川河口から約 1.2km 遡った右岸側に幅 100m 以下、奥行き約 400m の溺れ谷状の湿地が分布する (図 2-3-③-5)。この湿地の海側から陸側に向けて設定した約 100 m の測線上の 4 箇所 (海側から YT-01、YT-01-2、YT-02、YT-03) で、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」(文部科学省研究開発局・海洋研究開発機構, 2020)⁵⁾において産業技術総合研究所が令和元年に採取した堆積物コア試料 (コア径約 5 cm) について、層相観察を行った。また層相観察の結果で過去の浸水イベントを示す痕跡が見つかった層準については、そのイベント層準の直上と直下のそれぞれ層厚 1 ~ 3 cm 程度の堆積物を年代測定用試料とした。年代測定用試料は、実体顕微鏡による観察で堆積物からおもに植物化石 (葉や果実) を拾い出し、放射性炭素同位体年代測定を実施した。

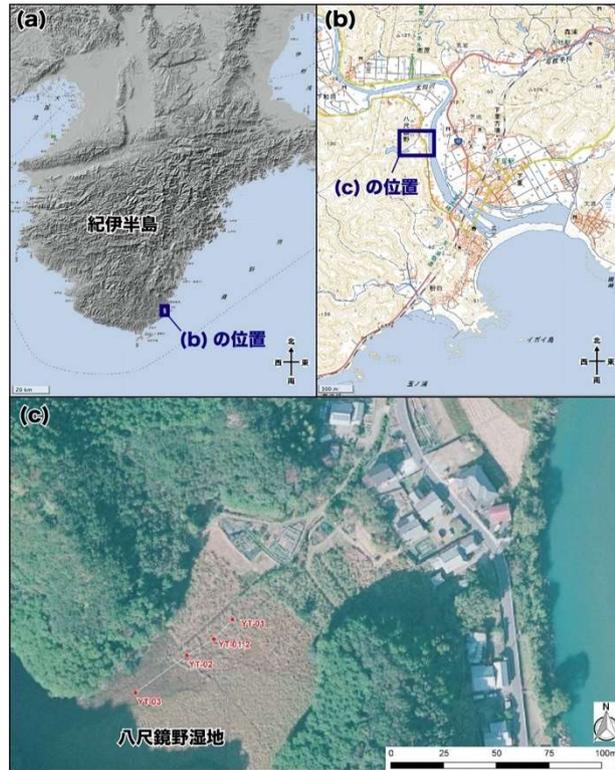


図 2 - 3 - ③ - 5 八尺鏡野湿地における掘削調査地点の位置。地理院タイル使用。

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

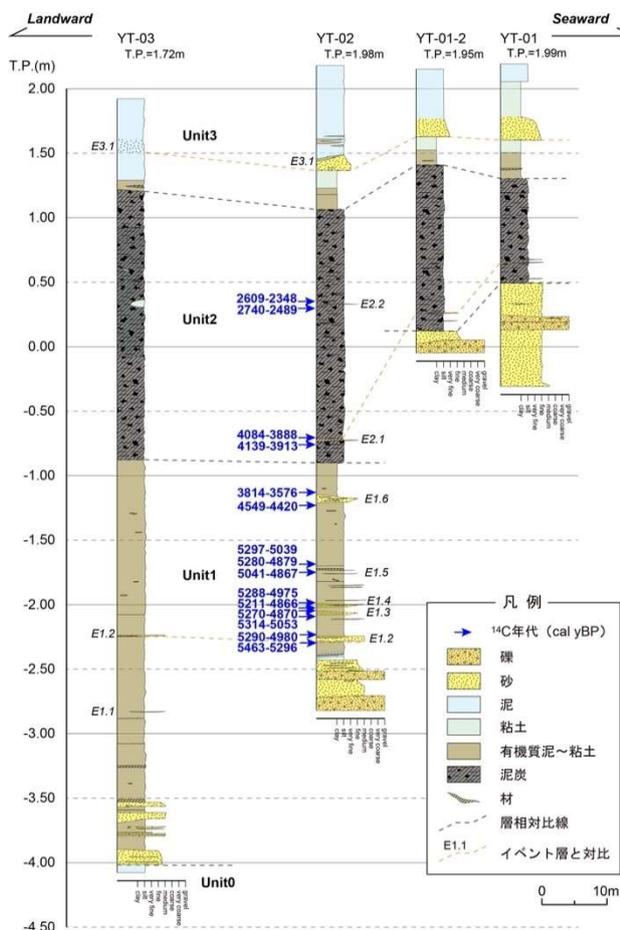


図 2 - 3 - ③ - 6 八尺鏡野湿地での掘削で得られたコアの地質柱状図。

4) 高知県高知市春野町仁ノ地区

高知県高知市春野町仁ノ地区の沿岸低地の 2 地点において、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」(文部科学省研究開発局・海洋研究開発機構, 2020)⁵⁾において産業技術総合研究所が平成 30 年度にハンディージオスライサーを用いて採取した堆積物試料の観察を行った。(図 2 - 3 - ③ - 7、8)。観察には剥ぎ取り標本及び軟 X 線写真を用いた。剥ぎ取り標本は親水性樹脂を使用して作成される。砂礫などの間隙の大きい粗粒堆積物は、泥質の細粒堆積物に比べ樹脂が染み込みやすいため、剥ぎ取り標本は堆積物の粒度を反映して粗粒堆積物で厚くなる。よって、剥ぎ取り標本は粒度の違いや堆積構造を読み取るのに有用である。また、実体顕微鏡下で堆積物中から拾い出した植物化石(果実)の放射性炭素年代測定も行った。これらの植物化石は堆積物そのものや木片、炭化物に比べ真の堆積年代を示す可能性が高く、イベント年代の推定に適した測定試料である。



図 2 - 3 - ③ - 7 高知市春野町の調査地域。地理院地図を使用。

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

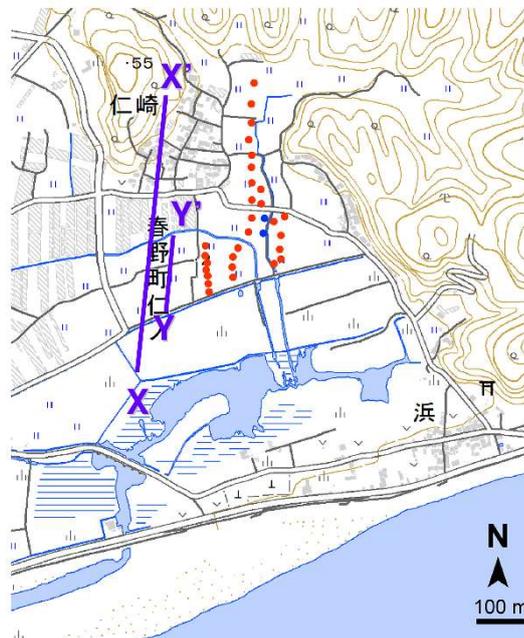


図 2 - 3 - ③ - 8 春野町仁ノの掘削地点。位置は図 1 を参照。赤丸の地点ではハンドコアラー、青丸の地点ではハンドコアラーおよびハンディージオスライサーを用いて掘削を行った。地理院地図を使用。

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

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

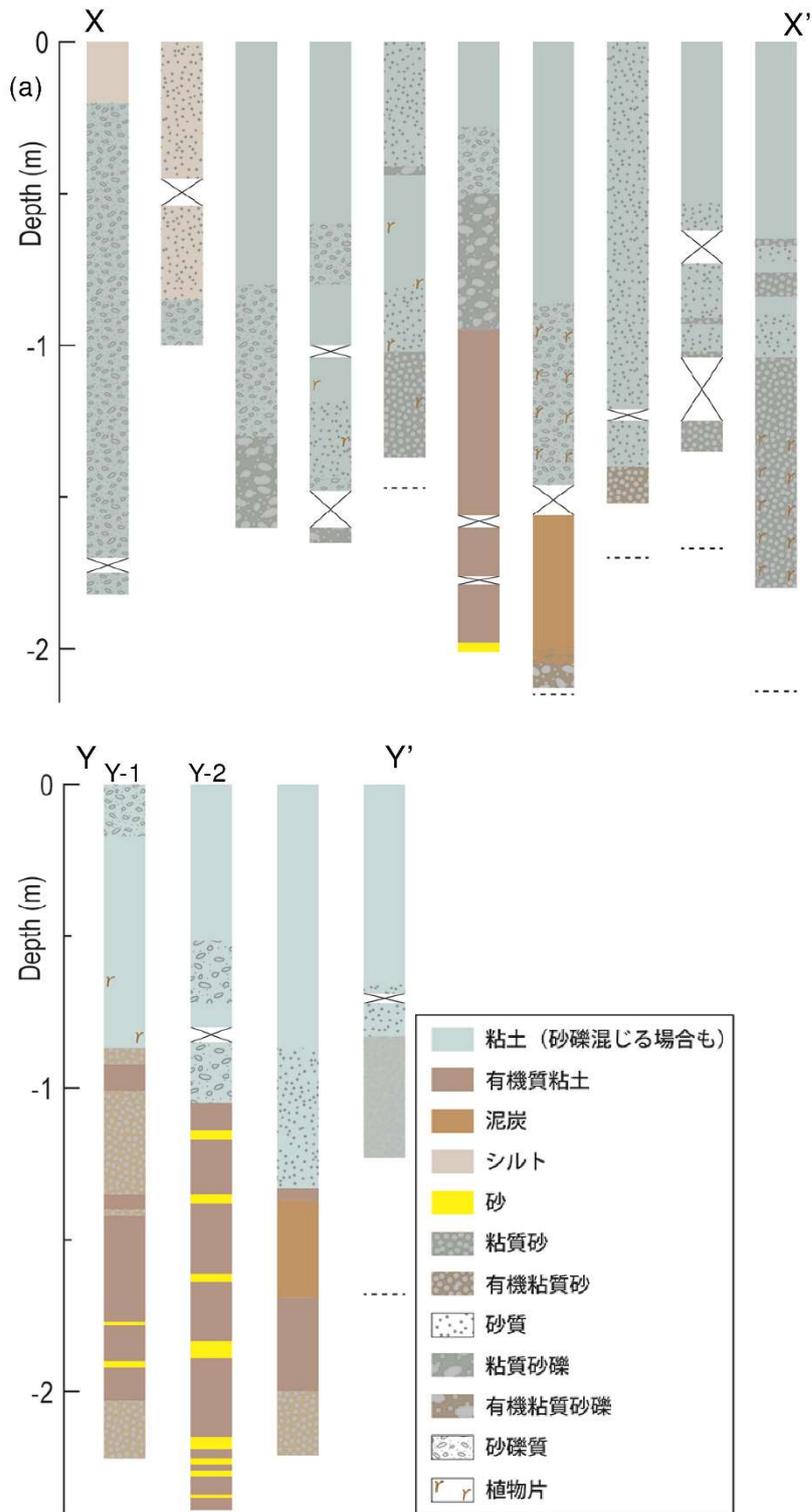


図 2-3-3-9 X-X' 測線及び Y-Y' 測線で採取されたハンドコアラの柱状図

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

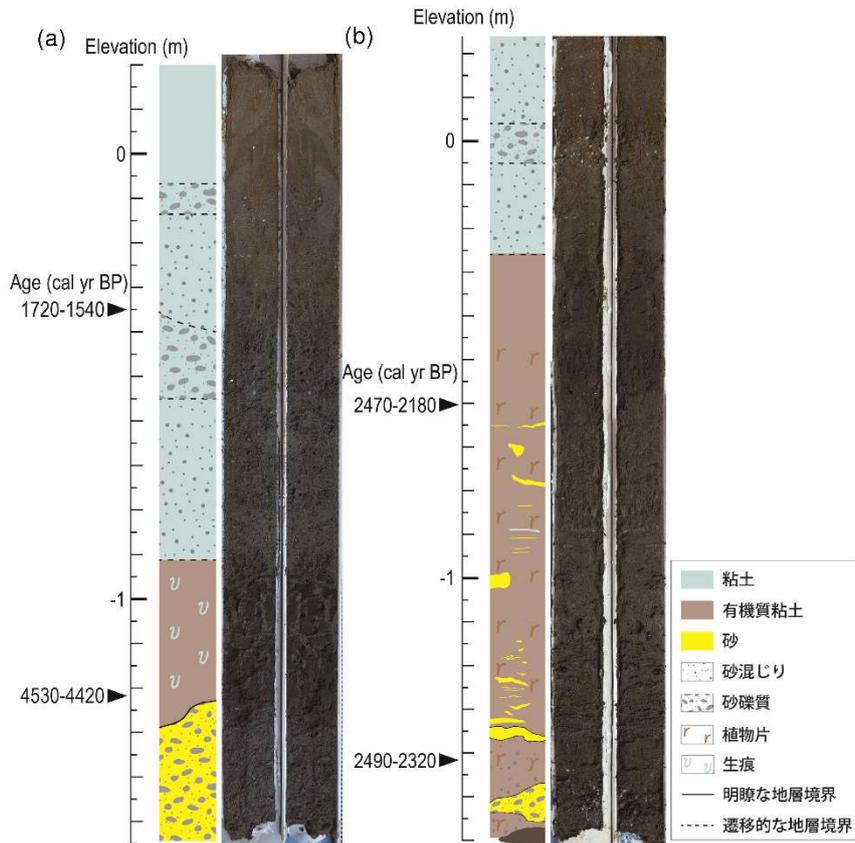


図2-3-③-10 ジオスライサー試料の柱状図(左)とその剥取り標本(右)。(a)地点 Y-1 で採取されたジオスライサーHN-G1、(b)地点 Y-2 で採取されたジオスライサーHN-G2。

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

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

5) 宮崎県串間市一里崎

日向灘周辺で発生する巨大津波による浸水の履歴を明らかにするために、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」(文部科学省研究開発局・海洋研究開発機構, 2020)⁵⁾において産業技術総合研究所では令和元年度に日向灘に続く志布志湾に面した宮崎県南部の串間市一里崎付近(図2-3-③-11)において人力による掘削機器(ハンディコアラー)を用いた地質試料採取調査を実施した。本プロジェクトではこれまでに得られた試料中に見られた津波堆積物の可能性がある砂層の形成年代を推定するために、年代測定試料を抽出し、5件の依頼分析を実施した。さらに、この砂層の面的な広がりを確認するために、近接する2地点において人力による掘削機器(ハンディコアラー)を用いた地質試料採取調査を実施した。



図2-3-③-11 調査範囲の位置。国土地理院図(電子国土Web)を加工。

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

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

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

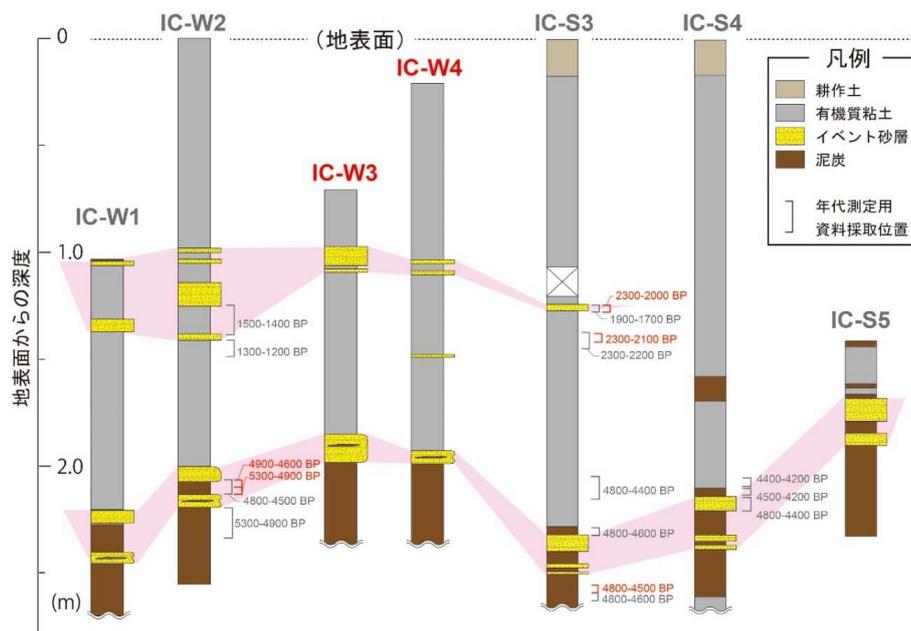


図2-3-③-12 宮崎県串間市一里崎周付近で採取した試料の柱状図と 14C 年代測定試料採取層準。赤字で地点名を記した IC-W3 および IC-W4 の柱状図は今年度の掘削調査で得られた成果。年代値の中で、赤字で示したものが今年度実施した測定結果。

(c) 結論ならびに今後の課題

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

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

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

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

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

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

(d) 引用文献

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

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

- 2) 藤原治, 澤井祐紀: 静岡県沿岸の古地震・津波堆積物調査, 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告(地質分野研究企画室編) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター, pp.39-48, 2014.
 - 3) Haslett, J. and Parnell, A.: A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, Vol. 57, No. 4, pp.399-418, 2008.
 - 4) Parnell, A. C., Haslett, J., Allen, J. R. M., Buck, C. E. and Huntley, B.: A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 27(19-20), pp.1872-1885, 2008.
 - 5) 文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」令和元年度成果報告書, pp.1-655, 2020.
 - 6) Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Goto, K. and Goff, J.: Redeposition of volcanoclastic sediments by a tsunami 4600 years ago at Kushima City, south-eastern Kyushu, Japan. *Sedimentology*, 2019, doi: 10.1111/sed.12547.
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- 1) 学会等における口頭・ポスター発表
なし
 - 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載
なし
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
- 1) 特許出願
なし
 - 2) ソフトウェア開発
なし
 - 3) 仕様・標準等の策定
なし

④ 史料に基づく南海トラフ巨大地震の履歴

(a) 業務の要約

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

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

(b) 業務の成果

1) 静岡県遠州灘における史資料調査

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

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

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

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

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

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

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

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

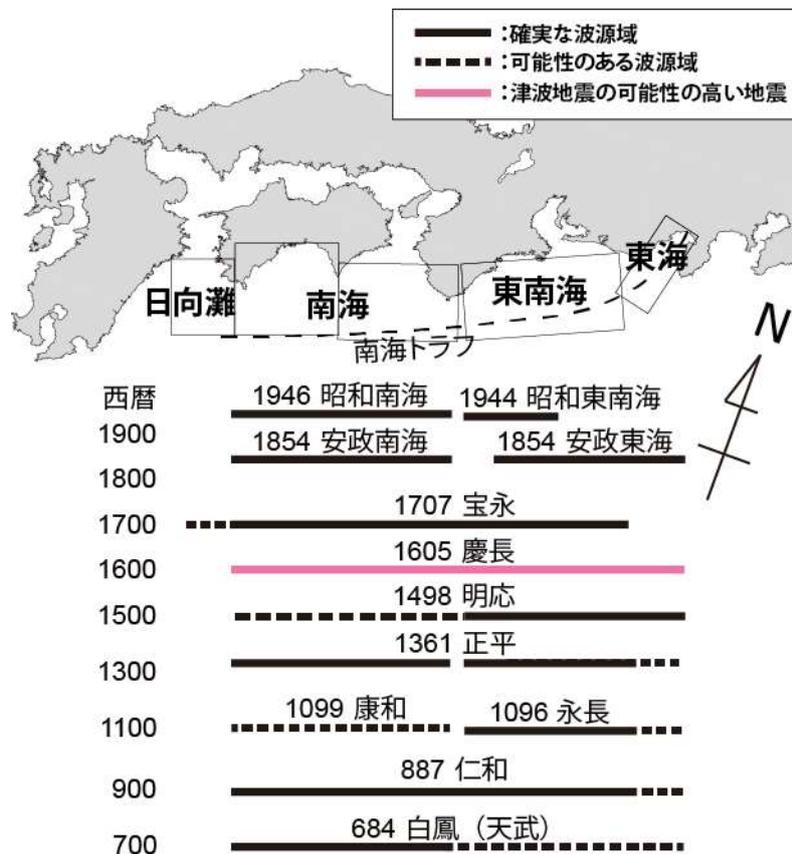


図 2 - 3 - ④ - 1 史料に基づく南海トラフ巨大地震の再来間隔。Ishibashi (2004)⁹⁾を改変。

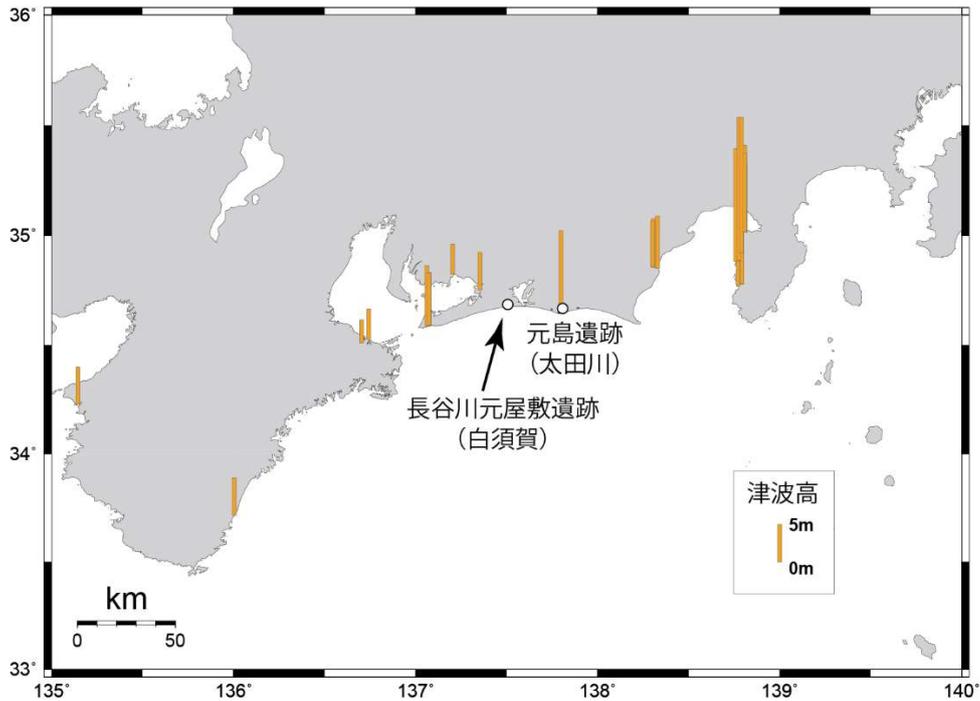


図 2 - 3 - ④ - 2 明応東海地震の津波痕跡高分布。

2) 1854 年安政東海・南海地震の津波励起時刻と発生時間差

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

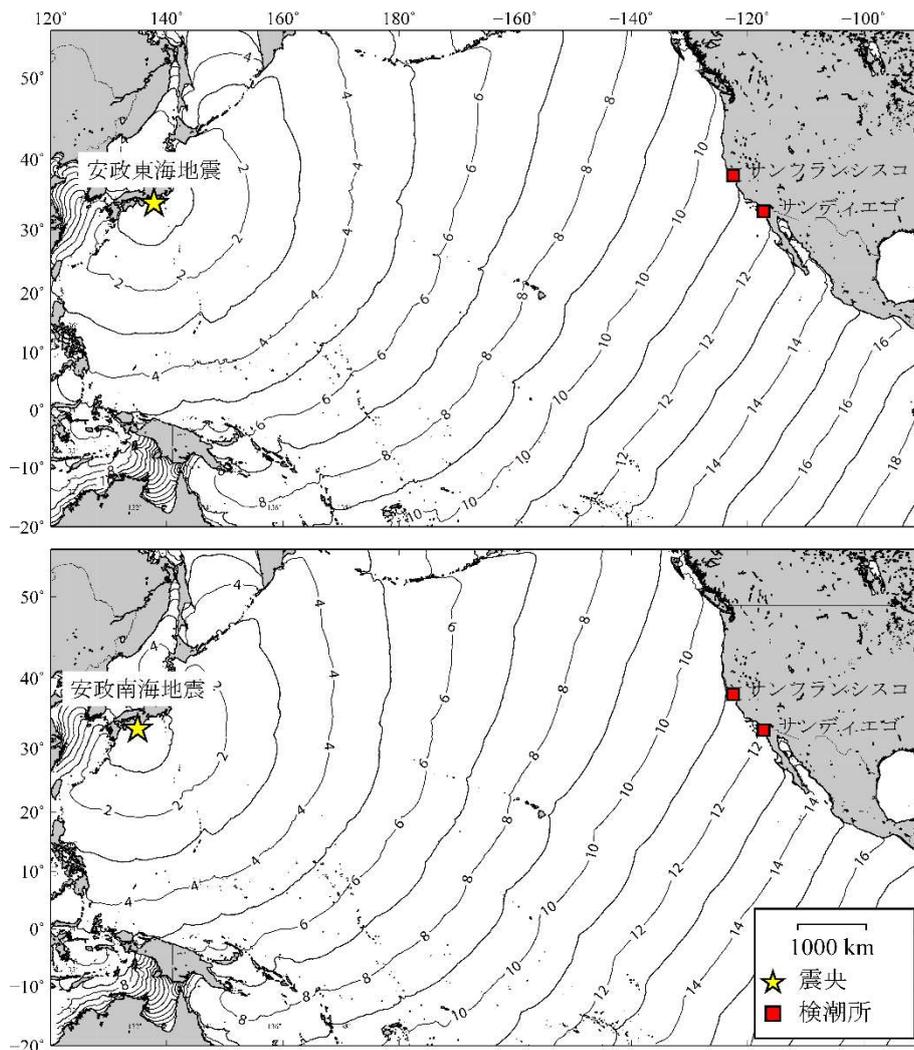


図 2-3-④-3 安政東海・南海地震津波の震央と検潮所の位置。コンターは地震発生からの津波初動到達時刻（単位は時間）を示す。

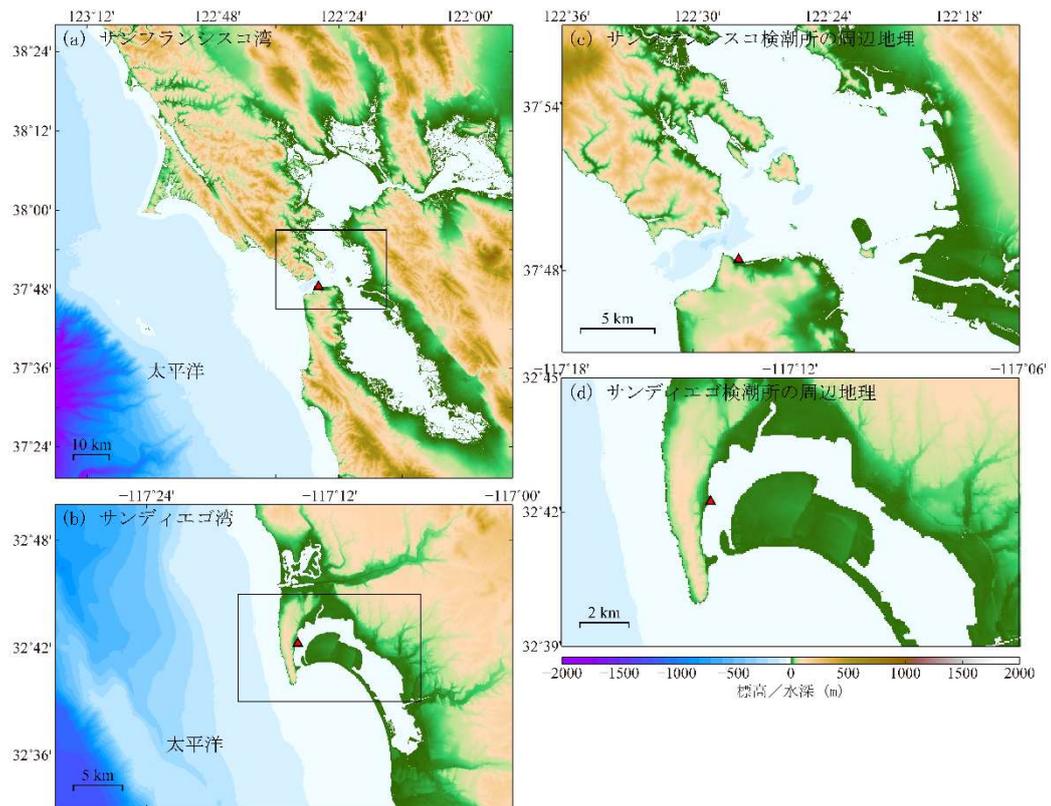


図 2-3-④-4 北米西岸における検潮所の周辺地形。(a)・(c)はサンフランシスコ湾、(b)・(d)はサンディエゴ湾の詳細地形をそれぞれ示す。

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

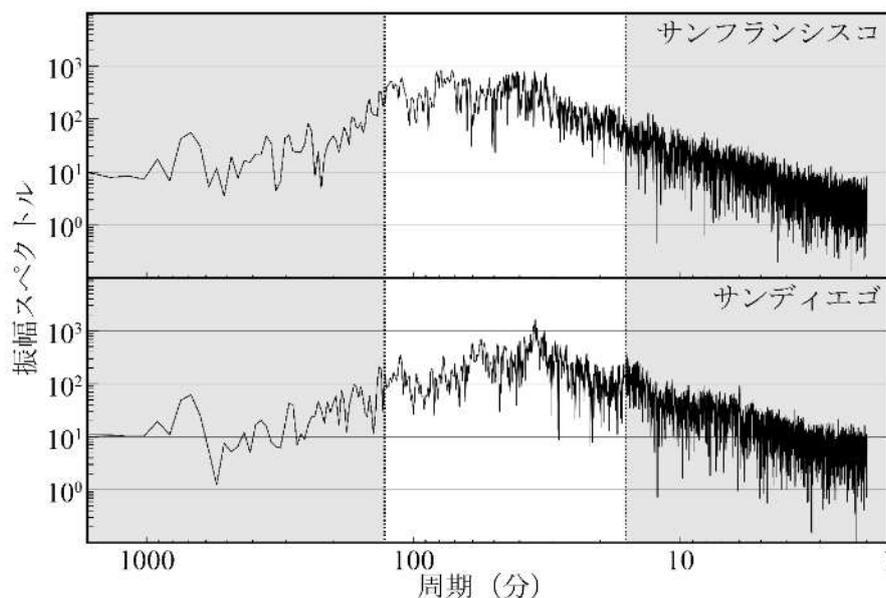


図 2-3-④-5 観測津波波形の振幅スペクトル。灰色の領域はバンドパスフィルターで除去された領域を示す。

次に、津波伝播数値シミュレーションには高性能津波計算コード JAGURS³⁾ を使用して、長時間の津波伝播で発生する位相遅れは Allgeyer and Cummins (2014)¹⁾ によって提案された手法を用いて補正した。波源モデルは安中ほか(2003)²⁾ の矩形断層モデルを採用し、津波励起時刻は歴史資料調査の結果を基に安政東海地震は 12 月 23 日午前 0 時 (GMT)、安政南海地震は 12 月 24 日午前 7 時 (GMT) として計算を実行した。安政南海地震の初動走時を判別するため、ウェーブレット解析を実行した。ウェーブレット解析には Torrence and Compo (1998)¹⁸⁾ によって開発されたソフトウェアを使用し、マザー関数はスケールリングパラメータで記述したモレット関数を使用した。観測波形と計算波形の整合性を調べるにあたって、正規化二乗平均平方根 (Normalized Root-Mean Square: NRMS) とその誤差を使用した。NRMS とその誤差は値が 0 に近いほど観測波形と計算波形が整合していることを示す。

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

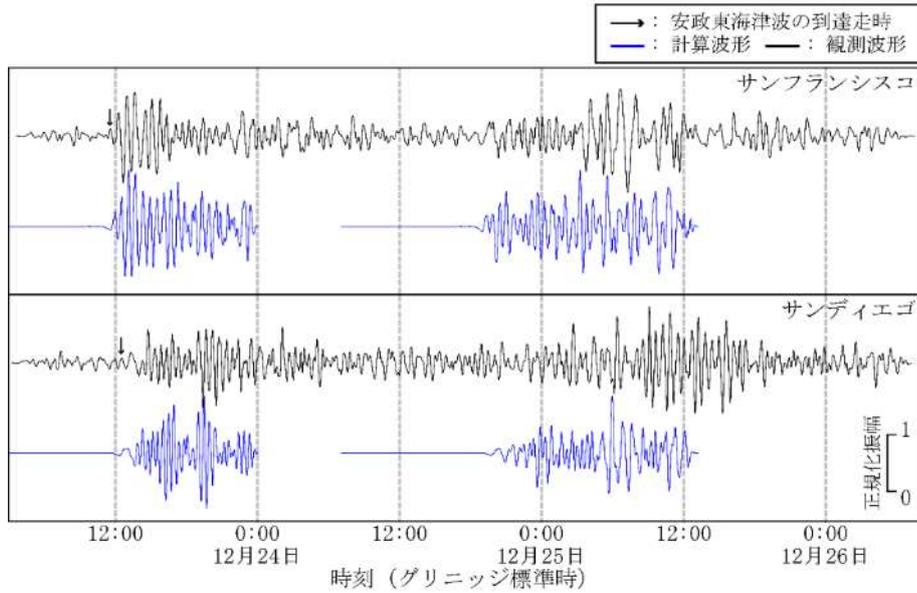


図 2-3-④-6 観測波形（黒線）と計算波形（青線）の比較。振幅は最大値で規格化している。

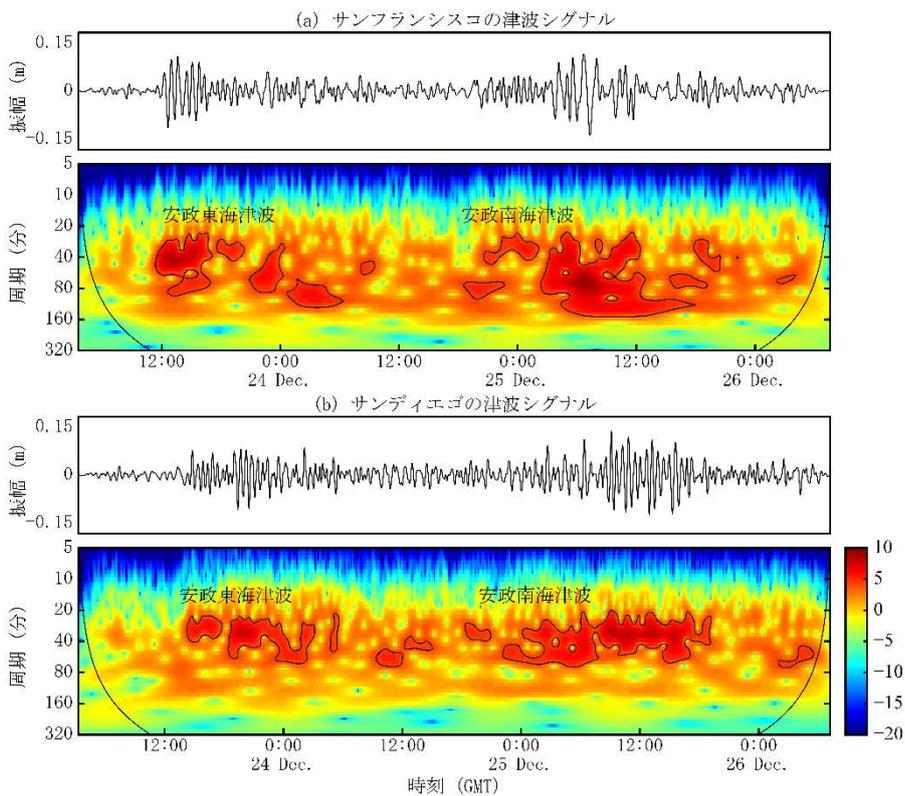


図 2-3-④-7 サンフランシスコ及びサンディエゴの検潮所で観測された安政東海・南海地震津波のウェーブレット解析結果。コンターは 95%信頼区間を示す。

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

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

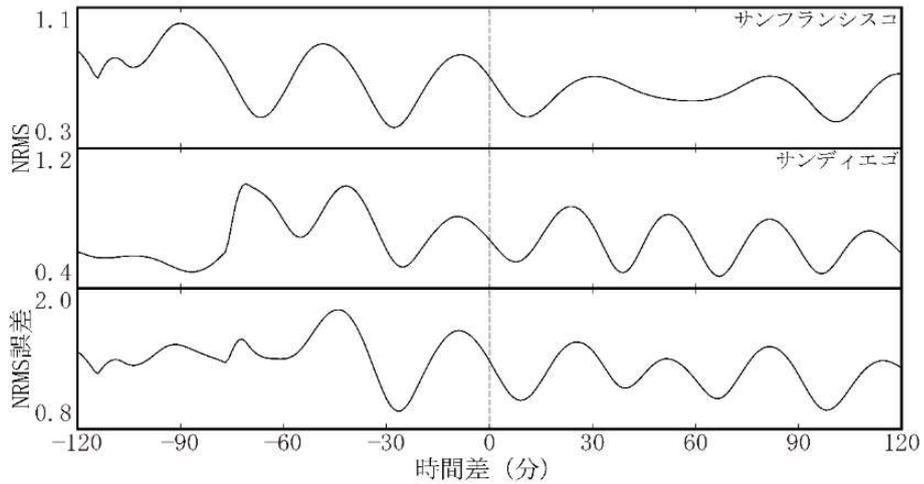


図 2-3-④-8 安政東海地震津波の観測波形・計算波形の NRMS と NRMS 誤差。

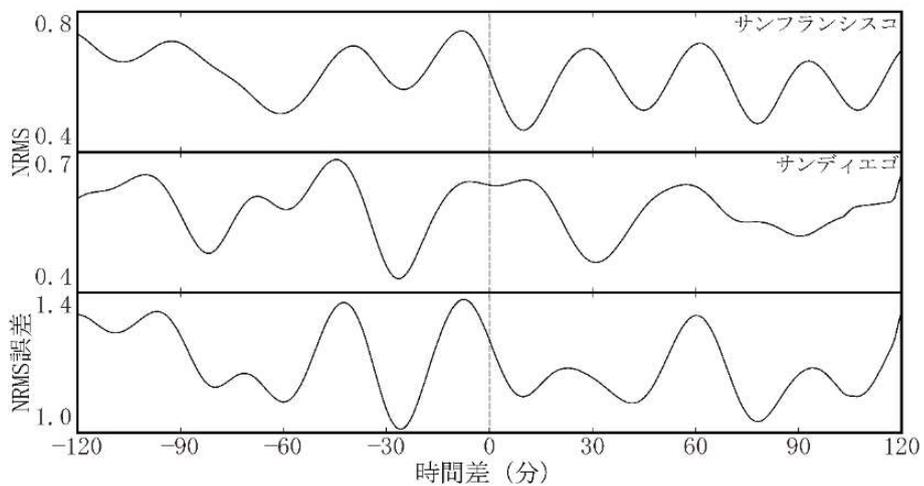


図 2-3-④-9 安政南海地震津波の観測波形・計算波形の NRMS と NRMS 誤差。

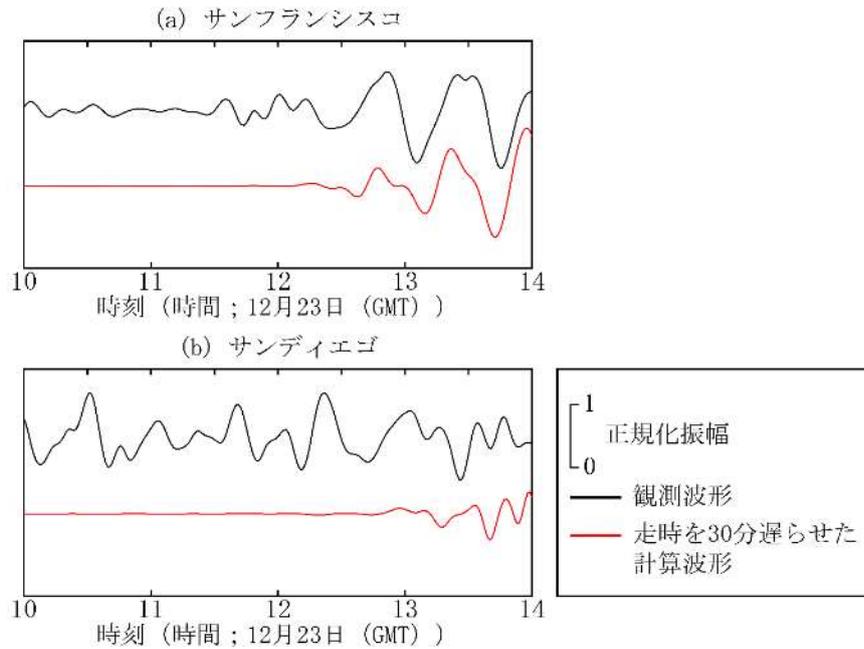


図 2-3-④-10 安政東海地震津波の観測波形（黒線）と走時を 30 分遅らせた計算波形（赤線）。

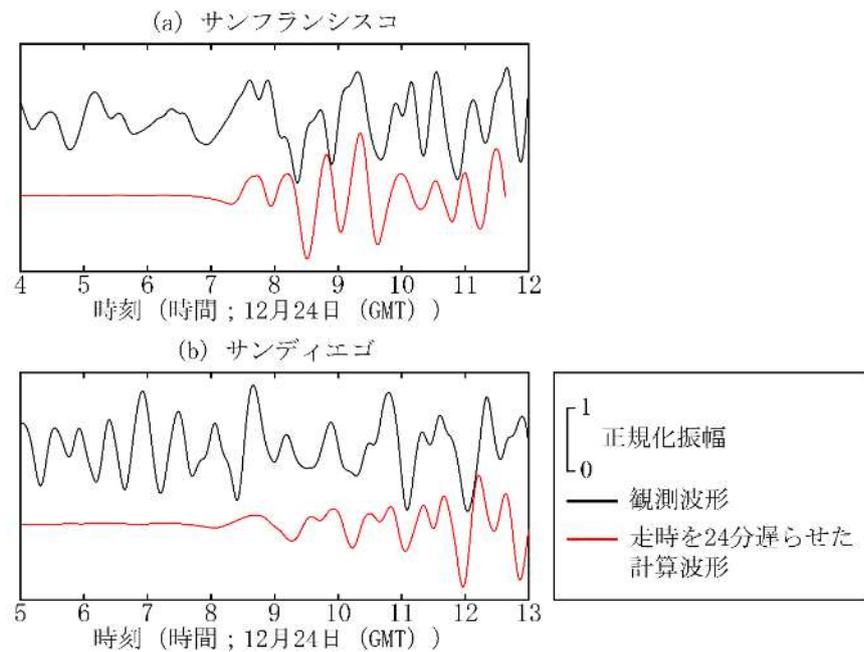


図 2-3-④-11 安政南海地震津波の観測波形（黒線）と走時を 24 分遅らせた計算波形（赤線）。

3) 和歌山県における東南海・南海地震体験談に基づく津波痕跡調査

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

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

i). 和歌山市

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



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

ii). 由良町

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

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



図 2-3-④-1 3 由良町網代地区における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

iii). 田辺市

図 2-3-④-1 4 は田辺市芳養町の調査結果を示す図である。調査地点で昭和南海地震体験者の体験談を残してくれている体験者は複数おり、その中の一人の体験談では、当時山へ避難していたが、明るくなって戻ってみると住んでいた家の天井下 20 cm の位置に津波浸水の線がくっきり付いており、二階は無事であったという。また同集落の別の体験者も周囲の被害状況について、鉄道線路の前の家、基礎石残して全流出、近所の作業場・借家も基礎石残して流出、後は、ほとんど天井下 20~30cm 浸水し、天井までの家もあったと語っている。また、当時の集落の地図も残っており、位置が特定できたため計測を行うこととした。測定の結果、高さ 2.9m であることがわかった。



図 2-3-④-1 4 田辺市芳養町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

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



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

iv). すさみ町

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



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

v). 串本町

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

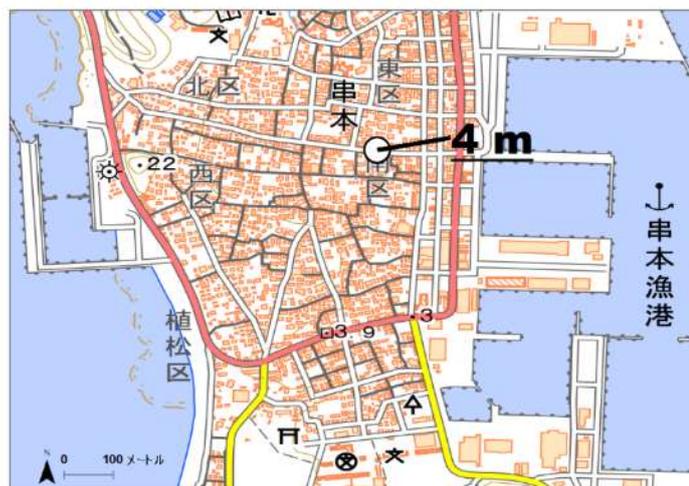


図 2-3-④-17 串本町における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

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

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



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

vi). 那智勝浦町

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



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

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



図 2 - 3 - ④ - 2 0 那智勝浦町下里における昭和東南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2 - 3 - ④ - 2 1 は那智勝浦町天満の調査結果を示す図である。昭和東南海地震体験者の体験談によると津波襲来時の状況について、那智湾から入った津波が現在の国道 42 号線沿いの那智中学校付近まで乗り上げ、返す波が海拔の低い勝浦方向に進路を取ったため、多大の被害をもたらしたと語っている。また天満の桜道の踏み切り近くにあった 4～5 軒の家や青果市場が流され、同時に近くの線路も、もぎとられ、鉄道は不通になったと語っている。このことから那智中学校については現存しており、また那智中学校横にある円心寺の方に当時の状況についてヒアリングを行ったところ、中学校と寺の間にある道について津波が到達した位置を特定することができたため計測を行うこととした。測定した結果、4 m であることがわかった。



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

4) 昭和南海・東南海地震に関する津波碑の調査

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

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

vii). 海南市

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



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

viii). 由良町

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



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

ix). 田辺市

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



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

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



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

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



図 2-3-④-26 田辺市新庄町跡之浦における昭和南海地震の津波痕跡高。
 国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-27 は田辺市新庄町内之浦地区にある山祇神社の階段脇(2.2m)、
 および内之浦公民館敷地内(3.7m)に設置されてある津波到達記録の碑石について再
 調査を行った結果を示す図である。

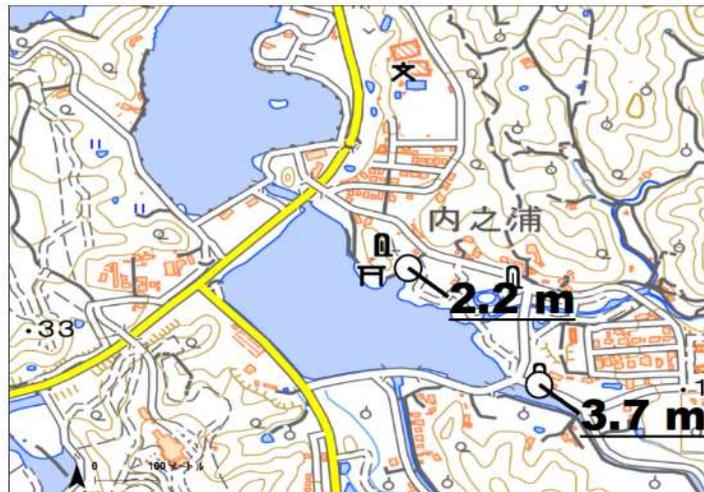


図 2-3-④-27 田辺市新庄町内之浦における昭和南海地震の津波痕跡高。
 国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

x). 白浜町

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



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

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



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

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



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

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



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

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

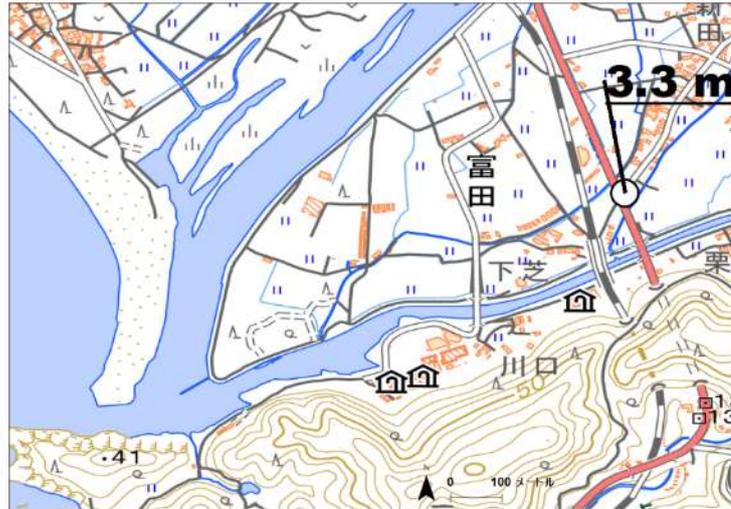


図 2-3-④-32 白浜町富田における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

xi). 串本町

図 2-3-④-33 は串本町和深の和深公民館前に設置されてある津波到達記録の碑石(6.8m)について再調査を行った結果を示す図である。



図 2-3-④-33 串本町和深における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

図 2-3-④-34 は串本町安指の安指区民館前に設置されてある津波到達記録の碑石(5.4m)について再調査を行った結果を示す図である。



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

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



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

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



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

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



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

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



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

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

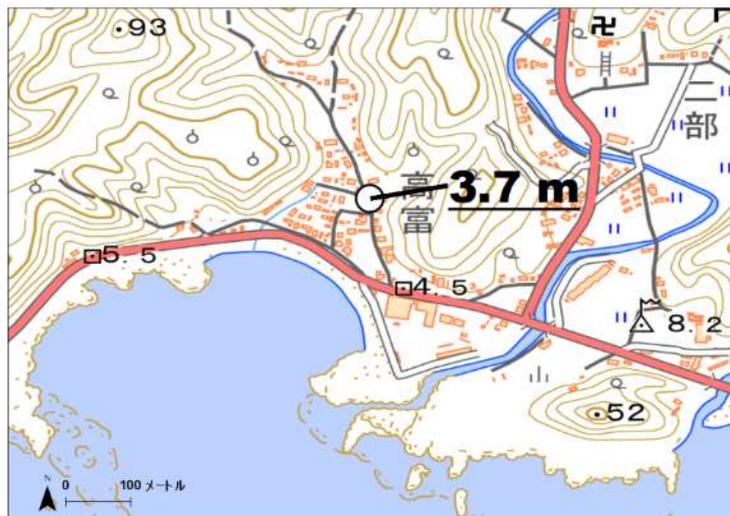


図 2-3-④-39 串本町高富における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

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

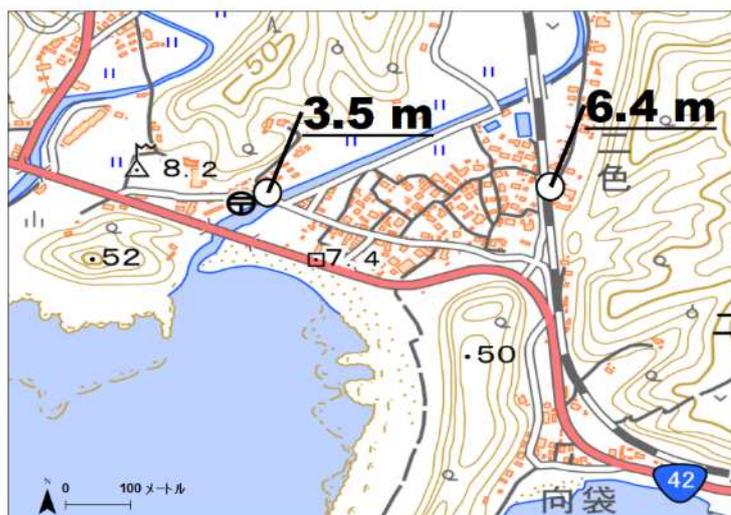


図 2-3-④-40 串本町二色における昭和南海地震の津波痕跡高。国土地理院図（電子国土 Web）を加工。

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



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

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



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

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



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

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



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

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



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

(c) 結論ならびに今後の課題

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

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

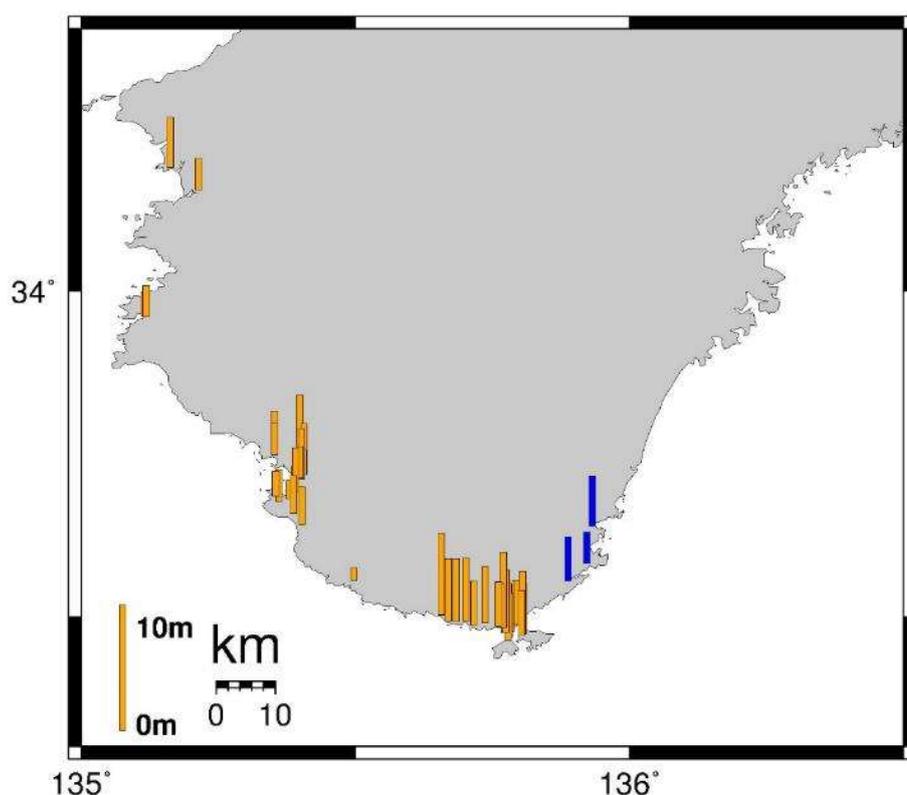


図2-3-④-46 昭和東南海・南海地震津波の痕跡調査全体図。昭和南海地震津波に関する高さはオレンジ色で示し、昭和東南海地震津波に関する高さは青色で示す。

(d) 引用文献

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

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

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

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果 (発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時期	国内・外の別
1854年安政南海地震による高知県沿岸における津波痕跡高の再評価 (口頭)	今井健太郎, 都司嘉宣, 蝦名裕一, 柄本邦明, 大林涼子, 岩瀬浩之	歴史地震研究会	2020年9月27日	国内
遠地津波波形から推定される1854年安政東海・南海地震の津波励起時刻 (口頭)	楠本聡, 今井健太郎, 大林涼子, 高橋成実, 堀高峰	歴史地震研究会	2020年9月27日	国内
北米西岸で観測された1854年安政東海・南海地震津波 (口頭)	楠本聡	第10回巨大津波災害に関する合同研究集会	2020年12月18日	国内
北米西岸で観測された安政東海・南海地震津波の特徴 (ポスター)	楠本聡, 今井健太郎, 大林涼子, 高橋成実, 堀高峰	日本地震学会秋季大会	2020年10月31日	国内
Time Difference Between the 1854 Ansei-Tokai and Ansei-Nankai Earthquakes Estimated from Distant Tsunami Waveforms on West Coast of North America (ポスター)	Kusumoto, S., Imai, K., Obayashi, R., Takahashi, N., Hori, T.	AGU Fall Meeting 2020	2020年12月9日	国外

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌 等名)	発表した 時期	国内・ 外の別
古絵図に基づく安政東海 地震の浜名湖周辺におけ る津波浸水域の分析	蝦名裕一, 今井 健太郎, 大林涼 子, 柄本邦明, 都司嘉宣	歴史地震, 35	2020年9月	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし