

令和元年6月13日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21682

研究課題名（和文）史料・地質調査データの非線形逆解析による巨大歴史津波の発生機構の解明

研究課題名（英文）Source process of great historical tsunamis estimated by nonlinear inversion using historical and geological data

研究代表者

馬場 俊孝（BABA, Toshitaka）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・教授

研究者番号：90359191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、およそ4000パターンの断層すべりモデルによる津波データベースを構築し、その計算津波高と1854年安政南海地震、1707年宝永地震、1605年慶長地震で記録された津波高を比較することによって、震源断層モデルを推定した。また、過去の巨大歴史津波は海底地すべり起源などの非地震性津波である可能性もある。海底地すべりによる津波の予測の高度化を目的として、四国沖およそ25kmの海底の地すべり痕跡の地形調査とそれによって引き起こされる津波の計算を実施した。その結果、沿岸部には最大10m程度の津波が襲来することが想定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南海トラフ地震のような海溝型巨大地震は一定間隔を経て繰り返し発生する。繰り返す地震の破壊様式は似ているものの、全く同じ破壊というわけではないようである。このため、将来の南海トラフ地震の破壊様式を予測するためには、まずは過去の地震がどのような破壊様式であったのかを知る必要がある。本研究ではこれについて調査した。また、津波は地震によって発生することが多いが、海底地すべりでも発生する。海底地すべり津波は地震性津波と比べて地震動が弱いので、「揺れたら高台へ逃げろ」が通用しない。2018年にはインドネシアで海底地すべりと山体崩壊による津波が発生した。日本においても海底地すべり津波の研究が求められている。

研究成果の概要（英文）：The study estimated slip distributions of the historical interplate earthquakes along the Nankai trough using a grid-search algorithm. A pre-computed tsunami database including about 4000 scenarios was compared with observed tsunami heights to find appropriate slip distributions for the 1854 Ansei, 1707 Hoei and 1605 Keicho earthquakes. Non-earthquake-generated tsunami caused by a submarine land slide was also investigated by multi-narrow echo sounder survey and numerical tsunami simulations. The results predicted the maximum tsunami height of about 10 m from the submarine landslide near Shikoku.

研究分野：防災工学

キーワード：津波 海溝型地震 海底地すべり 南海トラフ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震による津波は東北地方の太平洋側に甚大に被害を与えた。西南日本南海トラフにおいても同様な海溝型地震の発生が指摘され、津波による甚大な被害が想定されている。東北地方太平洋地震や南海トラフ地震のような海溝型巨大地震は一定間隔を経て繰り返し発生する。繰り返す地震の破壊様式は似ているものの、全く同じ破壊というわけではない。このため、将来の南海トラフ地震の破壊様式を予測するためには、まずは過去の地震がどのような破壊様式であったのかを知る必要がある。

(2) また、津波は地震によって発生することが多いが、海底の地すべりでも発生する。海底地すべり津波は地震性津波と比べて揺れが小さく避難などの対応が難しい。2018年にはインドネシアで海底地すべりと山体崩壊による津波が発生し、大きな被害が出た。日本においても過去に海底地すべり津波が発生したことが知られているものの、現在の南海トラフの津波想定では海底地すべりによる津波のリスクは含まれていない。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では南海トラフで発生する多様な地震による津波データベースを構築し、この津波DBを利用して歴史地震の津波高を再現できる震源モデルを推定する。

(2) また、海底地すべり由来の津波の発生機構の解明に向けて、四国沖大陸棚斜面の海底地すべり痕の地形調査を行うとともに、それによって発生する津波を予測する。

### 3. 研究の方法

(1) 地震調査研究推進本部の「波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)」<sup>1)</sup>に基づいて構築された南海トラフで発生しうる波源断層モデル群<sup>2)</sup>を利用して、4000通りの津波浸水データベースを構築した。津波シミュレーションでは非線形長波式を差分法で解いた。ネステイング手法を用いて研究対象地域の空間分解能を向上させた。地形データには徳島県の津波想定で用いられたものを利用した。ただし、歴史時代において存在しない海岸構造物は取り除いた。津波浸水データベースの津波高と1854年安政南海地震、1707年宝永地震、1605年慶長地震において四国沿岸部で記録された津波高をグリッドサーチアルゴリズムで比較することによって、残差二乗和が最小のものを最適な震源断層モデルとして抽出した。

(2) さらに、高橋ら(1999)<sup>3)</sup>によって開発された土砂移動モデル(STM)による津波解析も実施した。このモデルは、大きな乱れが生じる非定常性の強い津波を扱うため流砂現象を二層に分離しており、砂の巻き上げと沈降が非平衡な状態においても適用可能なモデルである。STMにより内閣府が想定する南海トラフ巨大地震と1707年宝永地震の断層モデルを波源として土砂移動を計算した。比較対象地域は岡村・松岡(2012)<sup>4)</sup>によって津波堆積物が調査された四国最東端の岬にある蒲生田大池である。蒲生田大池では宝永地震に対応する津波堆積物は発見されず、今から約2000年前の津波堆積物が確認されている。

(3) 海底地すべり研究については、西南日本の四国の南東沖およそ25kmの海底の大陸棚斜面に明瞭な海底地すべり痕跡が存在する。この海底地すべり痕跡を詳細に調査すべく、マルチナロービーム音響測深を「平成29年度深江丸夏季研究航海」と「平成30年度深江丸春季研究航海」にて行った。これらの調査で得られた海底地形図を図1に示す。海底地

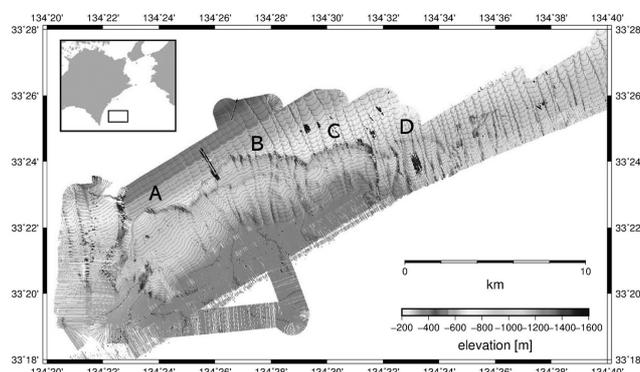


図1 徳島県沖海底地すべり痕のマルチナロービーム音響測深結果

形データの空間格子間隔は 20m で、過去に得られたデータより高分解能である。

#### 4. 研究成果

(1) 土砂移動解析の結果、九州の龍神池と高知の蟹ヶ池では宝永地震と内閣想定 of 11 ケースの断層モデルを用いたシミュレーションにおいて土砂移動による地形変化がおきた。この 2 地点では岡村らの調査でも津波堆積物が確認されている。徳島の蒲生田大池では約 2000 年前の津波堆積物の存在が確認されているものの、すべてのシミュレーションで地形変化しなかった。同様に約 2000 年前の津波堆積物の存在が確認されている三重の須賀利大池では内閣府想定 of 11 ケースのうち 7 ケースで地形変化がおきた。

(2) 本研究で得られた海底地形データ (図 1) から、A ~ D の 4 つの馬蹄形の崩壊跡が見られる。4 つの地すべりの頂部の水深、幅、長さ、厚さと底部の傾斜を読み取った (表 1)。さらに、崩壊土砂体積を見積ったところ、最大 (B) で 4.8km<sup>3</sup> となった。A の地すべりには少し見られるものの、陸上の地すべりで見られるような斜面下方での崩壊土砂の堆積は、これらの海底地すべりではあまり明瞭でない。本海域では弱い未固結堆積物が海底を覆っていると考えられ、崩壊土砂はタービダイトとなって流れ出てしまった可能性がある。また、この海域ではガリ (溝状の地形) が特徴的な地形を作り出している。ガリの深さは最大で 40m 程度、ガリとガリの間隔は狭いところで 300m 程度である。B ~ D の海底地すべりではガリが滑落崖を深く侵食していることが確認できる。

(3) 最大およそ 15m の津波が襲来した 1998 年パプアニューギニア地震の崩壊土砂体積は 6.4km<sup>3</sup> と推定<sup>5)</sup>されているから、四国沖の A ~ D の海底地すべりが津波を励起するポテンシャルは十分であると解釈できる。しかし、ポイントは崩壊の時期である。B ~ D の海底地すべりにはガリが滑落崖を深く切り込んでおり、崩壊時期は古いと考えられる。また、複数回の崩壊跡が見られ、一度の地すべりイベントによる結果とは考えにくい。一方、比較的新しい地すべり活動と思われるのは A の海底地すべりである。

(4) そこで A の海底地すべりを津波源と仮定して、二層流モデルで土砂層を滑らせて津波を励起し、海水層は非線形分散波理論により津波の伝播を計算した。その結果、局所的ながらも四国の沿岸での最大津波高は約 10m となった。この海底地すべりに対応する歴史津波の存在は確認されていないが、海底地すべりはすでに発生している崩壊の隣接地域で発生しやすいとの報告<sup>6)</sup>もあり、今後より詳細な調査研究が望まれる。

表 1. 海底地すべりの諸元

	A	B	C	D
水深(m)	660	640	760	850
幅(km)	4.2	6.9	3.7	3.2
長さ(km)	4.2	4.2	2.7	2.9
厚さ(m)	210	280	280	90
傾斜(°)	7	5	4	6
体積(km <sup>3</sup> )	1.9	4.8	1.3	0.4

#### < 引用文献 >

- 1) 地震調査研究推進本部, 2017, 波源断層を特性化した津波の予測手法 (津波レシピ), [https://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan\\_tsunami-recipe.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan_tsunami-recipe.pdf) (最終アクセス日, 2019年6月3日)
- 2) Hirata, K., H. Fujiwara, H. Nakamura, M. Osada, T. Ohsumi, N. 99 Morikawa, S. Kawai, T. Maeda, H. Matsuyama, N. Toyama, T. 100 Kito, Y. Murashima, Y. Murata, T. Inouse, R. Saito, S. Akiyama, 101 M. Korenaga, Y. Abe, N. Hashimoto and T. Hakamata, 2017, Integrated 102 Probabilistic Tsunami Hazard Assessment against possible 103 tsunamis along Nankai Trough, Sagami Trough, and Japan Trench, 104 IASPEI Symposia, S23-P-11.
- 3) 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大介, 1999, 掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.606-610.
- 4) 岡村真・松岡裕美, 2012, 津波堆積物からわかる南海地震の繰り返し, 科学, 82, 182-194.
- 5) Tappin, D.R., P. Watts, S.T. Grilli, 2008, The Papua New Guinea tsunami of 17 July 1998: anatomy of a catastrophic event, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 243-266.
- 6) Yamada, Y., Y. Yamashita, and Y. Yamamoto, 2010, Submarine landslides at subduction margins: Insights from physical models, Tectonophysics, 484, 156-167.

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計6件)

- Taniguchi, J., K. Tagawa, M. Yoshikawa, Y. Igarashi, T. Ohsumi, H. Fujiwara, T. Hori, M. Okada, **T. Baba**, Selection of Tsunami Observation Points Suitable for Database-Driven Prediction, Journal of Disaster Research, 13, 245-253, doi:10.20965/jdr.2018.p0245, 2018. 【査読有】
- Baba, T.**, S. Allgeyer, J. Hossen, P.R. Cummins, H. Tsushima, K. Imai, K. Yamashita, and T. Kato, 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 Modelling, 111, 46-54, doi:10.1016/j.ocemod.2017.01.002, 2017. 【査読有】
- Igarashi, Y., T. Hori, S. Murata, **T. Baba** and M. Okada, Maximum tsunami height prediction using pressure gauge data by a Gaussian process at Owase in the Kii Peninsula, Japan, Mar. Geophys. Res, 37, 361-370, doi:10.1007/s11001-016-9286-z, 2016. 【査読有】
- Ando, K., M. Hyodo, **T. Baba**, T. Hori, T. Kato, M. Watanabe, S. Ichikawa, H. Kitahara, H. Uehara, H. Inoue, Parallel-algorithm Extension for Tsunami and Earthquake-cycle Simulators for Massively Parallel Execution on the K Computer, Inter. Jour. of High Per. Comp. App., 30, 454-468, doi: 10.1177/1094342016636670, 2016. 【査読有】
- Baba, T.**, K. Ando, D. Matsuoka, M. Hyodo, T. Hori, N. Takahashi, R. Obayashi, Y. Imato, D. Kitamura, H. Uehara, T. Kato, R. Saka, Large-scale, high-speed tsunami prediction for the great Nankai trough earthquake on the K computer, Inter. Jour. of High Per. Comp. App., 30, 71-84, doi:10.1177/1094342015584090, 2016. 【査読有】
- Baba, T.**, N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, and T. Kato, Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, Pure appl. Geophys., 172, 3455-3472, doi:10.1007/s00024-015-1049-2, 2015. 【査読有】

### 〔学会発表〕(計12件)

- 権容大, **馬場俊孝**, 松野哲男, 林美鶴, 市原寛, 四国沖大陸棚斜面の海底地すべりの地形調査, 日本地震学会 2018 年秋季大会, S16-P20, 2018.
- Baba, T.**, K. Imai, K. Yamashita, T. Matsuno, M. Hayashi, H. Ichihara, Numerical Modeling of Submarine Landslide Tsunami Assuming a Source on the Continental Slope in the Nankai Trough, Japan, 10th ACES International Workshop, 032-1, 2018.
- 馬場俊孝**, 権容大, 松野哲男, 林美鶴, 市原寛, 徳島県宍喰沖海底地すべり痕のマルチナロービーム測深, 第 35 回歴史地震研究会, 0-16, 2018.
- Baba, T.**, J. Ashi, T. Kanamatsu, K. Imai, K. Yamashita, Paleogeographical, bathymetric and numerical investigations for a tsunami possibly caused by submarine mass failure in the Nankai trough, Japan, AGU fall meeting 2017, NH23A-0206, 2017.
- 田川恭平, 谷口純一, 大角恒雄, 堀高峰, 岡田真人, **馬場俊孝**, 津波高予測に適した観測点配置のグループラッソによる検討, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S17-P06, 2017.
- 谷口純一, 田川恭平, 大角恒雄, 堀高峰, 岡田真人, **馬場俊孝**, 津波データベース検索による津波高予測に適した観測点の選定, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S17-08, 2017.
- 馬場俊孝**, 芦寿一郎, 金松敏也, 海底地すべりを波源とした 1512 年永正津波の数値計算, 第 34 回歴史地震研究会, 0-12, 2017.
- Baba, T.**, S. Allgeyer, J. Hossen, P.R. Cummins, T. Kato, Later phase modeling of the trans-pacific tsunami caused by the 2011 Tohoku earthquake, international tsunami symposium, 2017.
- Baba, T.**, T. Okada, J. Ashi, T. Kanamatsu, A possible tsunami caused by a submarine landslide in 1512 at the Nankai trough, Japan, IAG-IASPEI 2017, S04-1-02, 2017.
- Baba, T.**, T. Okada, J. Ashi, T. Kanamatsu, A possible source model of the 1512 Eisho tsunami described in an ancient document, 2017 JpGU-AGU annual meeting, HDS12-10, 2017.
- 馬場俊孝**, 平面二次元モデルによる津波の伝播・変形・遡上, 海洋工学シンポジウム, OES26-021, 2017.
- 馬場俊孝**, 坂東淳, 気象庁防災情報 XML を活用してデータベース検索型津波浸水予測システムの試作, 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会, HDS19-P10, 2016.

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

#### 出願状況(計0件)

取得状況（計0件）

〔その他〕  
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者  
なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。