

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01980

研究課題名（和文）南海トラフの長期地震津波履歴：地質痕跡の確実な識別と高精度・高確度年代決定

研究課題名（英文）Long-term earthquake and tsunami history of the Nankai Trough: Reliable identification of geological traces and high-precision and high-accuracy dating

研究代表者

藤野 滋弘 (Fujino, Shigehiro)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80466234

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：南海トラフ沿岸の3地域（三重県鳥羽市，和歌山県日高町，大分県佐伯市）において古津波堆積物調査を行った。三重県鳥羽市における調査では，南海トラフ沿岸で最長となる約6000年間の連続した地質記録を得ることに成功し，複数の歴史地震津波の堆積物を含む18枚の津波堆積物を発見した。さらに多層準で年代測定を行ったことにより，南海トラフ沿岸では初めて津波再来間隔を算出することができた。和歌山県日高町における調査では，上記の鳥羽市で見つかった津波堆積物や先行研究によって徳島県で発見された津波堆積物と年代の重なる津波堆積物が見つかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各地域における地震・津波の痕跡を正確に識別し，年代を詳細に明らかにできれば，歴史時代・先史時代における地震・津波の地域的広がりや発生時期を知ることができる。それはすなわち，過去数千年間の地震・津波の規模や発生間隔の規則性・多様性を明らかにすることであり，将来の地震の規模や発生時期を論じるための基盤情報になる。現在知られている地震発生確率は17世紀以降のわずか数回の地震発生間隔を基にしている。本研究で対象としたのは約6千年間の地震・津波であり，文字記録のある期間よりずっと長い。本研究の結果は将来的な地震の発生確率の計算に直接影響を与えるだろう。

研究成果の概要（英文）：We conducted tsunami deposit surveys in three regions (Mie, Wakayama and Oita prefectures) to reveal long-term history of earthquakes and tsunamis in the Nankai Trough. In Toba City, Mie Prefecture, we succeeded in obtaining a continuous geological record of 6,000 years and found 18 tsunami deposits, including deposits of historical tsunamis. The detailed dating allowed us to calculate the tsunami recurrence interval at the region. In the survey in Hidaka Town, Wakayama Prefecture, we found a tsunami deposit correlated with tsunami deposits found by our survey in Toba City and Tokushima Prefecture.

研究分野：古地震学

キーワード：南海トラフ 津波堆積物 古地震 古津波 再来間隔

1. 研究開始当初の背景

南海トラフにおけるプレート境界型地震は 90-150 年程度の間隔で発生すると一般的に信じられている。これは豊富な記録が残っている 17 世紀以降の地震に基づいており、発生時期や規模の長期予測も 17 世紀以降の文字記録に強く依存している。一方で、文字記録の乏しさのため 17 世紀より前の地震の破壊域（断層がずれた範囲）と破壊域から推定される地震の規模、そして再来間隔（地震・津波が再び発生するまでの時間間隔）についてはよく分かっていない。津波堆積物や隆起痕跡などの古地震学的な研究を適切に行えば文字記録の乏しい時代から先史時代までさかのぼって地震・津波の破壊域や再来間隔を明らかにできる。

2. 研究の目的

「数千年の時間スケールでみたとき南海トラフ地震の破壊域と再来間隔はどのように変化するのか？」という学術的問いに対する答えを導くため、本研究では南海トラフにおける正確かつ長時間スケールの地震・津波発生履歴を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、微化石分析や非破壊分析を行うことで古地震痕跡を確実に識別し、多点年代測定によって津波発生時期を高精度・高確度で明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

南海トラフ沿岸の 3 地域（三重県鳥羽市、和歌山県日高町、大分県佐伯市）において古津波堆積物調査を行った。津波堆積物を識別するため、X 線 CT 画像撮影による堆積構造の観察、珪藻分析、ITRAX を用いた元素分析を行った。また、津波堆積物の形成年代やその地域における津波再来間隔を調べるために放射性炭素年代測定と火山灰の同定を行った。

4. 研究成果

【三重県鳥羽市】

三重県鳥羽市の沿岸湿地でハンドコアラー（4 地点）・ボーリングコア（3 地点／海側から B1, B2, B3 コア）による掘削調査を行った。その結果、最大 18 枚の砂質のイベント層が見つかった。イベント層は（1）有孔虫や二枚貝、海生珪藻などの海生生物化石を含む、（2）基底が明瞭な侵食面になっている、（3）級化構造や逆級化構造がみられる、（4）平行葉理や偽礫がみられる、といった特徴を有していた。（1）-（4）は現世の津波堆積物の特徴と共通しており、特に（1）は堆積物が海浜または海底から供給されたことを示しているため、津波堆積物の識別において有力な根拠の一つである。さらに、これらのイベント層の特徴に加え、東海地方において大規模な高潮を発生させた 1959 年伊勢湾台風でも本調査地では顕著な浸水被害がなかった。海水の侵入を示す証拠があり、津波堆積物に共通する堆積学的特徴を持つ、これらのイベント層は津波の侵入によってできた津波堆積物であると解釈した。

砂層の上下の泥層から採取した種、葉、シャジクモの胞子を用いて ^{14}C 年代測定を行い、砂層の年代値を年代較正プログラム OxCal 4.4 の Phase モデルで ^{14}C 年代較正した。さらに、OxCal 4.4 の Difference 関数で砂層をもたらしたイベントの再来間隔を算出した。コア試料の最上部の年代は 658-552 cal yr BP (2σ 暦年代範囲、以下同様) で、最下部の年代は 6664-6498 cal yr BP であった。本研究で得られた堆積物コア試料は約 6,000 年間の連続地質記録であり、これは現時点で南海トラフ沿岸地域における最長の古津波記録である。

B2 コアの最上位のイベント層の年代は 497-331 cal yr BP (1453-1619 cal CE)、B3 コアの最上位のイベント層の年代は 880-695 cal yr BP (1070-1255 cal CE)、B3 コアの 2 番目に新しいイベント層の年代は 1760-1093 cal yr BP (190-857 cal CE) であり、それぞれ明応地震津波 (1498 年)、永長地震津波 (1096 年)、白鳳地震津波 (684 年) に年代が重なった。明応地震津波 (1498 年) と永長地震津波 (1096 年) は東海地域で大きな被害を発生させたことが歴史記録に残されており、本研究の結果は歴史記録を裏付ける。白鳳地震津波 (684 年) は四国で地震と津波の歴史記録があるが、東海・東南海地域にはない。本研究の結果は 684 年またはそれに近い時代に東南海地域でも津波があったことを示唆している。Fujino et al. (2018) が三重県志摩市から報告した古津波堆積物のうちの 1 つは年代が白鳳地震と一致している。また、東海地方の考古遺跡からも白鳳地震に年代が重なる地震動痕跡が複数報告されている (e.g. 寒川, 2007)。これらの先行研究の結果も、白鳳地震またはそれにごく近い年代に別の津波が東南海地域で発生していたという本研究の結論を支持する。

上記の歴史地震に加え、仁和地震 (887 年) や正平地震 (1361 年) など南海トラフで発生したと考えられている。これらの地震による東海・東南海地域の直接的な被害記録はないものの、歴史記録の解釈に基づいてどちらの地震も三重県を含む東南海地域まで破壊域が及んでいたか、これらの地震にごく近い年代にそれぞれ地震が東南海地域で発生していたと考えられている (e.g. Ishibashi, 2004)。しかしながら本研究では仁和地震 (887 年) や正平地震 (1361 年) に年代の重なる津波堆積物は見つからなかった。同じ三重県の志摩半島で行われた先行研究 (Fujino et al., 2018) でもこれらの地震津波に年代の重なる津波堆積物は見つからない。

歴史記録に記された他の歴史津波（1498年明応地震津波と1096年永長地震津波）の堆積物が複数見ついている2つの調査地域において、仁和地震（887年）や正平地震（1361年）が見つからないという事実はこれらの地震に伴う津波が東南海地域に及んでいなかったことを強く示唆する。

Difference 関数でイベントの再来間隔を算出した結果、東南海地域では津波の再来間隔が100-900年の幅で変化していることが分かった。この本研究の結果は南海トラフ沿岸における長期連続記録に基づいて津波再来間隔を明らかにした最初の事例である。主に17世紀以降の歴史記録に基づいて、南海トラフでは約100-150年の一定の間隔で地震津波が発生していると広く信じられているが、本研究によって得られた結果はそれを支持しない。他の沈み込み帯と同様に、南海トラフでも地震津波の再来間隔は一定ではなく長期的に見れば変化している可能性が高い。

【和歌山県日高町】

和歌山県日高町の阿尾湿地における掘削調査で得られた堆積物コア試料に対して堆積相の記載、珪藻分析、ITRAXを用いた元素分析、火山灰分析を行い、各砂層の成因について考察した。掘削調査の結果、阿尾湿地から3枚のイベント層（上位から順にS0, S1, S2）が見つかった。

最も下位の砂層S2は、海生珪藻が産出すること、海水の影響を示す元素であるCa, Srが増加すること、下位の地層との境界が明瞭な侵食面あること、上部に軽い火山灰層が堆積していること、湿地の海側のみ連続的に分布することから、海水の侵入に伴ってできたイベント層であると考えられる。S2の下位約6cmの層準には鬼界アカホヤ火山灰層（K-Ah）があり、含有率は低いものの鬼界アカホヤ火山灰層から連続して火山ガラスが含まれる層準の中にS2がある。また、砂層S2の堆積年代は約6900-7300 cal yr BPであり、鬼界アカホヤ火山灰の降灰年代に近い。したがって、S2は鬼界アカホヤ噴火に伴って発生した津波でできた可能性がある。

砂層S1は、堆積前後での沈降を示す珪藻群集組成変化があること、砂層S1内部で海水の影響を示す元素であるCa, Srが増加すること、湿地の海側で面的に分布することから、沈降を伴う地震の際に発生した津波の堆積物であると結論付けた。砂層S1の堆積年代は約4600-4900 cal yr BPであった。紀伊水道を挟んで本調査地の対岸に位置する徳島県牟岐町で沈降を伴った津波の堆積物が見つかり、その津波堆積物の年代はS1の形成年代と重なっている（Shimada et al., 2019）。本研究で見つかったS1と牟岐町で見つかった津波堆積物、さらにそれらの堆積前後の沈降の痕跡は、4600-4900年前に紀伊半島西部から四国東部に至る範囲で南海トラフの断層破壊が発生したことを示唆する。さらに、上記の本研究課題による三重県鳥羽市の調査や宮崎県串間市でもS1と年代が重なる津波堆積物が見つかり（Yamada et al., 2019）、これらの津波堆積物とS1が対比できる場合には、断層破壊の範囲はより東西に広がった可能性がある。

最も上位の砂層S0は、現時点では津波堆積物と識別するためのデータを欠いている。しかしながら砂層S0は最も海側の地点でのみで見ついていることから、何らかの要因によって海岸から土砂供給が起きた結果、堆積した可能性がある。砂層S0を形成したのが津波なのか他の現象なのかについては、さらにデータを追加して検討する必要がある。

【大分県佐伯市】

大分県佐伯市にある沿岸湿地の計12地点で人力掘削による堆積物柱状試料の採取を行った。その結果、湿地で堆積した有機質シルト層の中に津波堆積物の可能性があるイベント層を最大5枚（上位から順にsand 1-5）発見した。これら5枚のイベント層は深度370-420cmの層準に集中しており、それより上位にイベント層は見られず有機質シルト層が連続している。得られた堆積物柱状試料の最上位からは2777-2938 cal yr BPの年代値が得られ、最下位からは後述のように約7300年前の鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）が見つかった。したがって本調査地の堆積物柱状試料は、約4500年間の連続的な地質記録であるといえる。

イベント層の上下で放射性炭素年代測定を行ったのち、年代較正プログラムOxCal4.4を用いて年代較正を実施した。sand 1では6344-6492 cal yr BP, sand 2, 3では6428-6568 cal yr BP, sand 4では6501-6630 cal yr BP, sand 5では6585-6920 cal yr BPという年代値が得られた。複数の地点においてイベント層の下位に火山灰が発見されたため、火山ガラス屈折率分析を行った。その結果、火山ガラスは約7300年前の鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）のものであることが分かった。珪藻化石群集分析を行った結果、イベント層の下位は汽水～海水生珪藻が優占していた。イベント層内では淡水～海水で生息する種が混在していたが、浮遊性海生種である*Chaetoceros resting spore*が多産していた。イベント層の上位からは淡水生珪藻が多産した。

6585-6920 cal yr BPから6344-6492 cal yr BPに堆積した深度370-420cmの層準からのみイベント層が見つかったこと、その層準前後で環境が変化していたことから考えると、本調査地では汽水環境から淡水環境へ変化する400-500年程度の期間にだけイベント層が保存されたと考えられる。また、イベント層から海生珪藻が多産したことはこれらのイベント層が津波などの海水の流入によってできたことを示唆する。

これら佐伯市で見つかったイベント層が津波堆積物であった場合でも、現時点でその波源は不明である。しかしながら上記の本研究課題で実施した三重県鳥羽市における調査ではそれぞれ6140-6416 cal yr BP, 6346-6628 cal yr BPの年代値を持つ2枚の津波堆積物が見つかり、これらの津波堆積物の年代は佐伯市で見つかったイベント層の年代と重なる。

引用文献

- Fujino S., Kimura H., Komatsubara J., Matsumoto D., Namegaya Y., Sawai Y. and Shishikura M. (2018) Stratigraphic evidence of historical and prehistoric tsunamis on the Pacific coast of central Japan: Implications for the variable recurrence of tsunamis in the Nankai Trough. *Quaternary Science Reviews*, 201, 147-161.
- Ishibashi K. (2004) Status of historical seismology in Japan. *Annals of Geophysics*, 47, 2/3, 339-368.
- 寒川 旭 (2007) 地震の日本史. 中央公論新社, 268p.
- Shimada, Y., Fujino, S., Sawai, Y., Tanigawa, K., Matsumoto, D., Momohara, A., Saito-Kato, M., Yamada, M., Hirayama, E., Suzuki, T., Chagué, G., 2019. Geological record of prehistoric tsunamis in Mugi town, facing the Nankai Trough, western Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, **6**(1), 2-15.
- Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Goto, K., Goff, J., 2019. Redeposition of volcaniclastic sediments by a tsunami 4600 years ago at Kushima City, south-eastern Kyushu, Japan. *Sedimentology*, **67**(3), 1-17.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shimada Yumi, Sawai Yuki, Matsumoto Dan, Tanigawa Koichiro, Ito Kazumi, Tamura Toru, Namegaya Yuichi, Shishikura Masanobu, Fujino Shigehiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Marine inundation history during the last 3000 years at Lake Kogare-ike, a coastal lake on the Pacific coast of central Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-023-00577-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takeda Daisuke, Fujino Shigehiro, Sawai Yuki, Matsumoto Dan, Takada Keita	4. 巻 81
2. 論文標題 統計学的仮説検定を用いた古津波堆積物の粒子インプリケーション解析：津波の遡上流と戻り流れの識別	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Sedimentological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 3～17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4096/jssj.81.3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitra Rimali, Naruse Hajime, Fujino Shigehiro	4. 巻 21
2. 論文標題 Reconstruction of flow conditions from 2004 Indian Ocean tsunami deposits at the Phra Thong island using a deep neural network inverse model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Natural Hazards and Earth System Sciences	6. 最初と最後の頁 1667～1683
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/nhess-21-1667-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamada Masaki, Fujino Shigehiro, Chiba Takashi, Chague Catherine, Takeda Daisuke	4. 巻 259
2. 論文標題 Recurrence of intraplate earthquakes inferred from tsunami deposits during the past 7300 years in Beppu Bay, southwest Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 106901～106901
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.quascirev.2021.106901	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤野 滋弘
2. 発表標題 1361年正平地震の破壊域は静岡県沖まで及んでいたか？
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤野 滋弘, 松浦 律子
2. 発表標題 887年仁和地震の震源は本当に南海トラフなのか？
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤野 滋弘, 諏訪 有彩, 松本 弾, 篠崎 鉄哉
2. 発表標題 南海トラフ東南海地域における地層に記録された津波の再来間隔は一定ではない
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 昌樹, 山口 佳歩, 金子 稜, 石村 大輔, 藤野 滋弘
2. 発表標題 津波堆積物とK-Ah火山灰の層序関係から推察される7.3 ka鬼界カルデラ形成噴火による巨大津波の発生要因
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 昌樹, 金子 稜, 杉原 和, 石井 咲妃, 藤野 滋弘, 篠崎 鉄哉, 佐竹 健治
2. 発表標題 九州地方太平洋沿岸地域における古津波堆積物
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 篠崎鉄哉, 井口亮, 西島美由紀, 後藤和久, 藤野滋弘
2. 発表標題 環境DNAで見る現世と過去の巨大津波の痕跡
3. 学会等名 日本地質学会学術大会 第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古明地海杜, 篠崎鉄哉, 菅原大助, 石澤堯史, 池原実, 藤野滋弘
2. 発表標題 有機・無機地球化学分析による869年貞観津波の浸水域復元
3. 学会等名 日本地質学会学術大会 第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yumi Shimada, Yuki Sawai, Dan Matsumoto, Koichiro Tanigawa, Kazumi Ito, Toru Tamura, Yuichi Namegaya, Masanobu Shishikura, Shigehiro Fujino
2. 発表標題 Marine Inundation History During the Last 3000 Years at a Coastal Lake on the Pacific Coast of Central Japan
3. 学会等名 Asia Oceania Geoscience Society 20th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 諏訪 有彩, 藤野 滋弘, 松本 弾, 篠崎 鉄哉
2. 発表標題 三重県鳥羽市の津波堆積物調査：南海トラフ沿岸地域における津波浸水履歴の復元
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口佳歩, 山田昌樹, 藤野滋弘, 石村大輔
2. 発表標題 7300年前の鬼界アカホヤ噴火による降下火山灰と津波堆積物の堆積時間関係
3. 学会等名 2022年度津波堆積物研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 篠崎鉄哉, 井口亮, 西島美由紀, 後藤和久, 藤野滋弘
2. 発表標題 環境DNAを用いた津波堆積物研究に関する予察的検討
3. 学会等名 日本堆積学会2022年オンライン大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井咲妃, 藤野滋弘, 山田昌樹, 諏訪有彩, Chanakan Ketthong
2. 発表標題 大分県佐伯市における津波浸水履歴
3. 学会等名 2021年度津波堆積物研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rimali Mitra, 成瀬 元, 阿部朋弥, 藤野滋弘
2. 発表標題 Inverse modeling of tsunami deposits and its application to different regions
3. 学会等名 2020年度津波堆積物研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 諏訪有彩, 藤野滋弘
2. 発表標題 南海トラフ沿岸地域における地震痕跡の年代精査と地域間対比
3. 学会等名 2020年度津波堆積物研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田侑真, 澤井祐紀, 藤野滋弘, 中島礼, 松本弾, 岡田里奈
2. 発表標題 珪藻化石群集から明らかになった高知県土佐清水市の沿岸低地における古環境変動と津波堆積物
3. 学会等名 珪藻学会第40回研究集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	穴倉 正展 (Shishikura Masanobu) (00357188)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長 (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	谷川 晃一郎 (Tanigawa Koichiro) (30613541)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	松本 弾 (Matsumoto Dan) (80709551)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関