

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14577

研究課題名（和文）鬼界アカホヤ噴火による津波現象の統合的解明：地質記録と数値計算によるアプローチ

研究課題名（英文）Understanding of a tsunami generated by the 7.3 ka eruption of the Kikai caldera: geological record and numerical approach

研究代表者

山田 昌樹（Yamada, Masaki）

信州大学・学術研究院理学系・助教

研究者番号：40806402

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、カルデラから遠く離れた沿岸低地で採取した堆積物コアの火山ガラス含有率分析および津波の数値計算から、7300年前の鬼界カルデラ形成噴火に伴って発生した巨大津波の発生要因を推察した。堆積物コアに見られる砂質津波堆積物の下にこの噴火による火山ガラスが含まれていたことから、カルデラから離れた地域では津波の到達前に火山灰の降灰が始まっていたことが明らかになった。この層序関係を説明するためには、鬼界カルデラにおいて津波の発生前に火山灰が噴出する必要があることから、噴火の終盤に発生するカルデラの崩壊が津波の発生要因である可能性が高いと結論づけられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カルデラを形成するような破局噴火は極めて低頻度で発生するイベントであるため、実際に観測することは難しい。本研究では、7300年前の鬼界カルデラ噴火に伴って発生した巨大津波の発生要因を、堆積物コアに含まれる津波堆積物と火山灰の層序関係および津波数値計算から明らかにした。海底火山は世界中に多く存在しており、本研究の成果は浅海域で発生する破局噴火に伴う巨大津波のリスク評価に貢献すると言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we inferred the tsunami factor associated with the 7.3 ka eruption of the Kikai caldera from stratigraphic relationship between the co-ignimbrite ash-fall deposit (K-Ah ash) and Akahoya tsunami deposit preserved in sediment cores at coastal lowlands far from the caldera. The presence of K-Ah volcanic glass beneath the sandy tsunami deposit in the sediment cores ensures that the K-Ah ash fell before the arrival of the tsunami. Considering that the ash, which takes longer to move than tsunami, reached these areas before or at the same time as the tsunami, it is inferred that the tsunami occurred at the end of the eruption process. Since caldera collapse occurred at the end of the eruption process, we suggest that the tsunami generated by this eruption was more likely to be mainly caused by caldera collapse.

研究分野：堆積学，自然災害科学

キーワード：津波堆積物 鬼界アカホヤ噴火 火山性津波 大規模カルデラ 津波シミュレーション 火山ガラス含有率

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、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

約 7300 年前、東シナ海において完新世（約 1 万年前以降）の地球上で最大規模の鬼界アカホヤ噴火が発生した。この噴火では、浅海域に大規模なカルデラが形成された。そして、カルデラの形成や火砕流の海域への流入、噴火と同時に発生した巨大地震により、巨大津波が発生したと考えられている（例えば、Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007 ; Geshi et al., 2017 ; Nanayama et al., 2021）。しかしながら、噴火の過程で、いつ、どのようなプロセスで、どれくらいの規模の津波が発生したのかについては議論が続いている。

### 2. 研究の目的

本研究では、鬼界アカホヤ噴火に伴う巨大津波発生のプロセスとタイミング、津波の規模を明らかにすることを目的とした。先行研究では、津波堆積物研究（例えば、Geshi et al., 2017 ; Nanayama et al., 2021）と津波数値計算（Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007）は独立して行われてきた。本研究では、津波遡上の物証である津波堆積物をこれまでより広範囲で発見している。そして、その分布を制約条件とすることにより、津波の発生プロセスと規模を数値計算から解明することが可能となると考えている。さらに、津波の数値計算に加えて火山灰の降灰と火砕流堆積物の形成についても数値計算を行うことで、噴火過程の中での津波発生タイミングを明らかにすることを目指している。

### 3. 研究の方法

本研究では、K-Ah 火山灰と津波の到達の前後関係を明らかにするため、堆積物コアに含まれる K-Ah 火山ガラスの鉛直方向への変化を調べた。本研究課題の開始前に採取していた大圓寺湿地（大分県 ; Yamada et al., 2021）と田井の浜（徳島県 ; Fujino et al., 2014）に加えて、新たに阿尾湿地（和歌山県）において採取した堆積物コアに対して分析を行った。K-Ah 火山灰および津波堆積物が見られる層準とその上下の泥層から、深度 0.5~5.0 cm ごとにサンプルを採取し、泥質堆積物を除去した後、メッシュクロスを用いて粒子を直径 62~120  $\mu\text{m}$  と直径 120  $\mu\text{m}$  以上に分けた。その後、62~120  $\mu\text{m}$  の粒子を用いてプレパラートを作成し、各サンプルにつき 200 粒子の火山ガラス、岩片、鉱物をカウントして、火山ガラスの含有率を算出した。また、火山ガラスの屈折率も測定した。

津波の数値計算では、各調査地への到達時間と沿岸での波高を出力した。アカホヤ津波の発生要因と考えられている①カルデラ崩壊モデル（Maeno et al., 2006）、②火砕流流入モデル（Maeno and Imamura, 2007）、③巨大地震（南海トラフ想定巨大地震）モデル（Mulia et al., 2017）について津波計算コード JAGURS（Baba et al., 2015）を用いて計算を実行した。研究開始当初は、火山灰の降灰と火砕流堆積物の形成についても数値計算を実施する予定であったが、火砕流堆積物は、カルデラの近傍のみに形成されており、本研究ではカルデラから離れた地域の層序関係に着目したため、火砕流のシミュレーションは実施しなかった。また、火山灰の降灰シミュレーションについては、専門家の方に計算コードを教えてもらって実行したが、本研究で必要となる火山灰の降灰に要する時間を出力することはできなかった。現在、研究協力者に計算を実行してもらっている段階である。

#### 4. 研究成果

##### (1) 火山ガラスの含有率変化に基づく津波堆積物とアカホヤ火山灰の層序関係

全ての地域の堆積物コアにおいて、泥層の直上に存在する砂質の津波堆積物層は、K-Ah 火山灰から構成される砂質シルト層に覆われている。全ての調査地域において、津波堆積物中にも火山ガラスが最大で 67%含まれており、このことは少なくとも津波の到達中には K-Ah 火山灰の降灰が始まっていたことを示唆している。また、阿尾湿地（和歌山県）で採取された堆積物コアでは、津波堆積物層（深度 212.5～215.5 cm）の直下に層厚 0.5 cm 程度の K-Ah 火山灰層（深度 215.5～216.0 cm）が肉眼で認められ、K-Ah 火山ガラスの含有率が 64.5%であった（図 1）。このことから、阿尾湿地では、津波の到達前に K-Ah 火山灰が堆積していたことが明らかになった。火山灰の移動速度は津波の伝播速度よりも遅いと考えられるため、K-Ah 火山灰が津波よりも前あるいは同時に到達していたことから、津波が噴火プロセスの終盤に発生したと推察することができる。鬼界アカホヤ噴火のプロセスは、大規模な幸屋火砕流の co-ignimbrite ash（K-Ah 火山灰）が発生した後に、カルデラが崩壊したと推定されているため（Maeno and Taniguchi, 2007）、火砕流流入によって主要な津波が発生した場合、遠方地域には津波が先に到達することになる。そのため、この噴火で発生した津波は、カルデラの崩壊が要因である可能性が高いと考えられる。

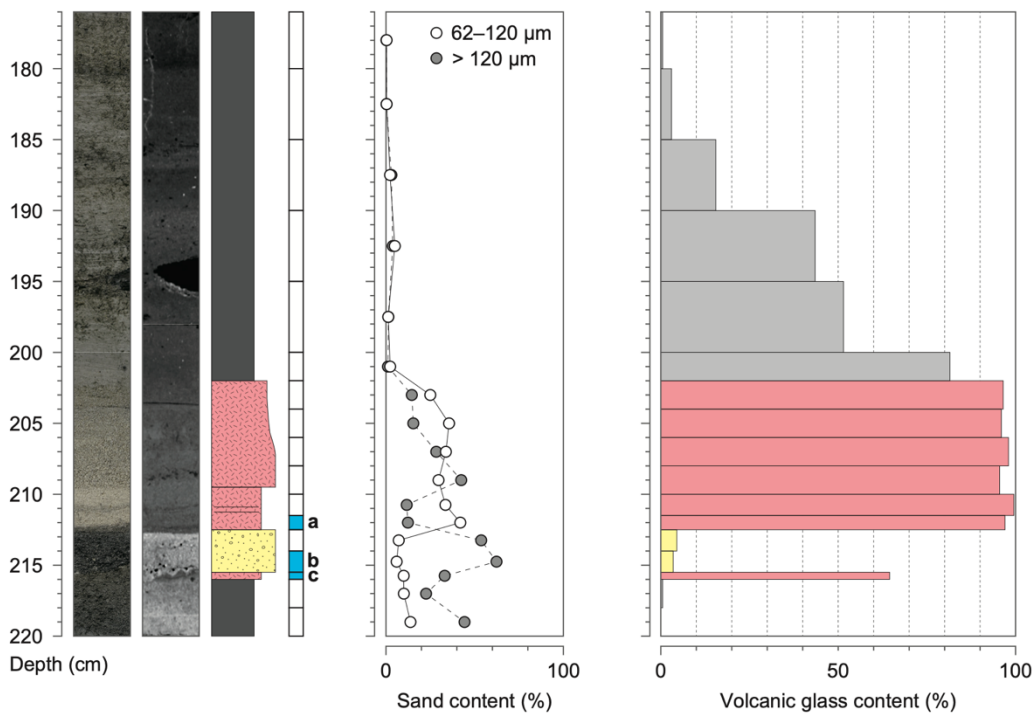


図 1. 阿尾湿地（和歌山県）における K-Ah 火山ガラスの含有率変化。左から堆積物コア写真，CT 画像，柱状図（赤：K-Ah 火山灰から構成される砂質シルト層，黄：津波堆積物層），サンプル深度（青の深度 a-c：火山ガラスの屈折率を測定），直径 62～120  $\mu\text{m}$  と直径 120  $\mu\text{m}$  以上の粒子の含有率，火山ガラスの含有率（赤と黄の深度は柱状図と対応）。

##### (2) 津波数値計算

津波の数値計算では、各調査地への到達時間と波高を出力した。①カルデラ崩壊モデルでは、30 分かけてカルデラが崩壊するパターンが最大規模であり、カルデラ崩壊開始から 150～165 分後に各調査地に 2.0～4.3 m の波高の津波が到達した（図 2A）。②火砕流流入モデルでは、火砕流

の発生から 105~130 分後に 0.6~1.2 m と比較的規模の小さい津波が到達した (図 2B)。③南海トラフ想定巨大地震モデルでは、波高 4.2~10.2 m という比較的規模の大きい津波が到達する結果となった (図 2C)。噴火と同時に発生したとされている巨大地震の規模や破壊域は不明であるため、巨大地震説の可能性を検証するのは困難であるが、海溝軸から離れた長崎県の橘湾でもアカホヤ津波堆積物が認められていることを考慮すると (岡村ほか, 2005)、広範囲に分布するアカホヤ津波堆積物を巨大地震のみで説明することは難しいと考えられる。一方で、カルデラ崩壊の場合、九州地方西部にも津波は伝播し、橘湾では 8.8 m の波高が認められた。本研究の数値計算には、現在の地形および海水準を用いているため、津波の波高自体は参考程度に取り扱うべきであるが、カルデラの遠方地域に残されたアカホヤ津波堆積物の分布を説明するためには、カルデラ崩壊による津波の発生が必要不可欠であると結論づけられ、この結果は堆積物コアの層序関係に基づく推察を支持するものとなった。

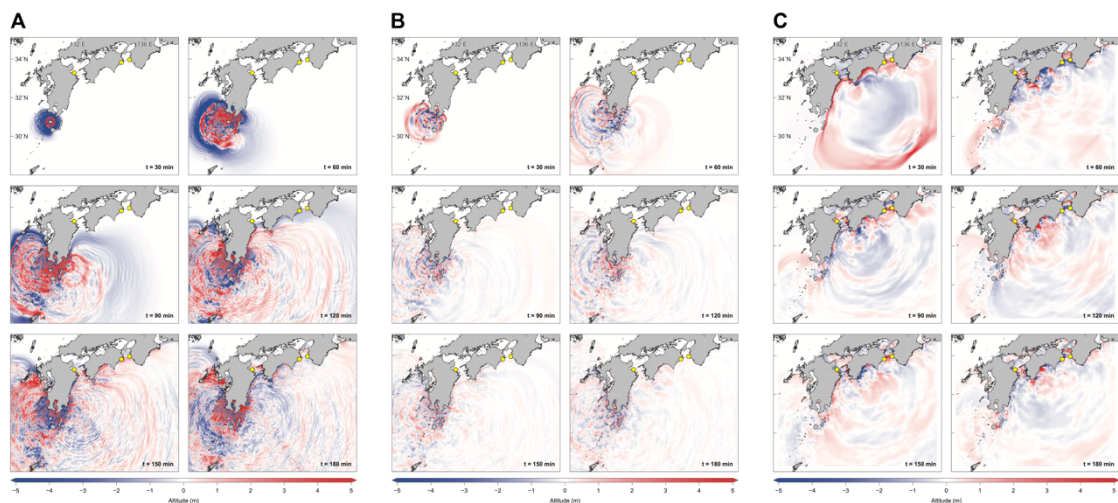


図 2. (A) カルデラ崩壊モデル (崩壊時間  $t_s = 30$  min), (B) 火砕流流入モデル, (C) 南海トラフ装丁巨大地震モデルによる 30, 60, 90, 120, 150, 180 分後の津波伝播の様子. 黄地点は、津波堆積物コアの掘削地点を表している。

#### <引用文献>

- Baba, T., Takahashi, N., Kaneda, Y., Ando, K., Matsuoka, D., Kato, T., 2015. Parallel Implementation of Dispersive Tsunami Wave Modeling with a Nesting Algorithm for the 2011 Tohoku Tsunami. *Pure and Applied Geophysics* 172, 3455–3472.
- Fujino, S., Kobori, E., Chiba, T., Yamada, M., Shinozaki, T., 2014. Stratigraphic records of tsunamis in the past 5,600 years in Tokushima, western Japan. *AOGS 11th Annual Meeting*.
- Geshi, N., Maeno, F., Nakagawa, S., Naruo, H., Kobayashi, T., 2017. Tsunami deposits associated with the 7.3 ka caldera-forming eruption of the Kikai Caldera, insights for tsunami generation during submarine caldera-forming eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 347, 221–233.
- Maeno, F., Imamura, F., 2007. Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan. *Geophysical Research Letters* 34, L23303.
- Maeno, F., Imamura, F., Taniguchi, H., 2006. Numerical simulation of tsunamis generated by caldera collapse during the 7.3 ka Kikai eruption, Kyushu, Japan. *Earth Planets Space* 58, 1013–1024.
- Maeno, F., Taniguchi, H., 2007. Spatiotemporal evolution of a marine caldera-forming eruption,

- generating a low-aspect ratio pyroclastic flow, 7.3 ka, Kikai caldera, Japan: Implication from near-vent eruptive deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 167, 212–238.
- Mulia, I.E., Gusman, A.R., Satake, K., 2017. Optimal design for placements of tsunami observing system to accurately characterize the inducing earthquake. *Geophysical Research Letters* 44, 12106–12115.
- Nanayama, F., Tsuji, T., Yamaguchi, T., Kondo, Y., Ikeda, M., Nakanishi, T., Miwa, M., Hongo, C., Furusawa, A., Kuwahata, M., 2021. Great earthquake at 7.3 ka inferred from tsunami deposits in the Sukumo Bay area, Southwestern Japan. *Island Arc* 30(1), e12422.
- 岡村 眞, 松岡裕美, 長崎県雲仙活断層群調査委員会, 2005. 海底コア試料に記録されたアホヤ巨大津波の痕跡. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, J027-P025.
- Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Chagué, C., Takeda, D., 2021. Recurrence of tsunamigenic intraplate earthquakes inferred from tsunami deposits during the past 7300 years in Beppu Bay, southwest Japan. *Quaternary Science Reviews* 259, 106901.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

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
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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

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 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 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Masaki Yamada  
<https://sites.google.com/site/masakiyamada1231/>

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
研究協力者	石村 大輔  (Ishimura Daisuke)	東京都立大学  (22604)	
研究協力者	藤野 滋弘  (Fujino Shigehiro)	筑波大学  (12102)	
研究協力者	山口 佳歩  (Yamaguchi Kaho)	信州大学  (13601)	
研究協力者	金子 稜  (Kaneko Ryo)	信州大学  (13601)	

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
---------	---------