

令和元年5月29日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06606

研究課題名(和文)大規模カルデラ形成時の津波リスク評価

研究課題名(英文)Tsunami risk assessment for a caldera-forming eruption

研究代表者

山田 昌樹(YAMADA, Masaki)

東京大学・地震研究所・特任研究員

研究者番号：40806402

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模カルデラ形成噴火が発生した際の津波リスクを評価するため、7300年前に東シナ海の浅海域で発生した鬼界カルデラ噴火を例に、津波の規模と発生要因の解明を試みた。大分県、徳島県、和歌山県の沿岸低地において採取した堆積物コア試料から、この噴火による鬼界アカホヤ火山灰の直下に存在するアカホヤ津波堆積物を発見した。カルデラ崩壊と火砕流の流入を仮定して津波シミュレーションをした結果、アカホヤ津波堆積物が見つまっている沿岸低地に津波を遡上させるためには、火砕流の流入のみでは不十分であり、30～90分程度の比較的速いスピードでカルデラ崩壊が発生した可能性が高いことが明らかになった。

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大規模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、火山噴出物などに関する先行研究によって噴火の規模や様子が概ね分かっている鬼界カルデラ噴火を研究対象にし、また地質記録と数値計算を組み合わせることで、7300年前の鬼界カルデラ噴火に伴って同時に発生したと考えられている巨大津波の規模と発生要因をある程度明らかにすることができた。世界中の浅海域に火山は多く存在しており、本研究成果は大規模噴火を起こした際に発生し得る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)：This study aimed to unravel the tsunami size and triggering volcanic phenomena by numerical simulations of both caldera collapse and pyroclastic flow tsunamis, based on the widely-distributed tsunami deposit associated with the eruption. The tsunami deposit was identified at coastal lowlands in Oita, Tokushima, and Wakayama prefectures. The simulation results indicate that the tsunami generated by caldera collapse can arrive and inundate at the distant locations while the tsunami generated by pyroclastic flow is probably not powerful enough to form a tsunami deposit there.

研究分野：堆積学，自然災害科学

キーワード：鬼界カルデラ噴火 火砕流 火山性津波 津波堆積物

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-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。噴火時には、浅海域に大規模な陥没地形であるカルデラが形成され、現在でも薩摩硫黄島と竹島を除く大部分が海面下に沈んでいる。この噴火による火砕流とアカホヤ火山灰は、西日本の縄文文化と自然環境を壊滅させたと考えられている。鬼界アカホヤ噴火では、カルデラ崩壊時や火砕流流入時の海面変動によって巨大津波が発生したと考えられており（Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007）、実際に噴火に伴う津波堆積物が大分県大分市と屋久島において報告されている（藤原ほか, 2010 ; Geshi et al., 2017 ; Nanayama and Maeno, 2018）。しかしながら、噴火プロセスの中でいつ、何が原因で、どれくらいの規模の津波が発生したのかなど、具体的なことはほとんど解明されていない。また、海外の事例を含めても火山性津波堆積物に関わる研究は発展途上であるため、大規模カルデラ形成時に発生し得る津波のリスク評価は進んでいない。

2. 研究の目的

本研究では、大規模カルデラ形成時の津波リスク評価に向けたモデルケースを確立することを目的として、7300 年前の鬼界アカホヤ噴火に伴って発生した巨大津波を例に、広範囲に分布するアカホヤ津波堆積物の分布と数値シミュレーション結果を比較することで、津波の規模と発生様式を解明することを試みる。この噴火のプロセスや噴出物の総量はこれまでの研究である程度明らかになっており（例えば、Maeno and Taniguchi, 2007）、津波の規模を現実に近い形で解明できる数少ない事例である。過去に発生した大規模カルデラ崩壊による津波の定量化に基づく将来の発生予測および災害リスク評価は、防災上重要であると言える。

3. 研究の方法

本研究では、地質調査と津波数値計算を組み合わせ、鬼界アカホヤ噴火の津波規模の推定を試みた。申請時まで、大分県と徳島県、和歌山県において、この噴火で噴出した鬼界アカホヤ火山灰の直下に存在するアカホヤ津波堆積物を発見していたため、本研究課題では主に津波数値シミュレーションを行った。追加野外調査は、長崎県五島列島で実施した。まず、アカホヤ津波堆積物の広域的な分布域と非分布域をまとめた。津波シミュレーションには、JAGURS という津波数値計算モデル（Baba et al., 2015）を使用した。アカホヤ津波の数値計算を行っている先行研究（Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007）に基づいて、最大クラスのカルデラ崩壊（標高 800 m から -500 m まで崩壊）と火砕流の流入を仮定し、津波伝搬計算とアカホヤ津波堆積物が認められている地域での浸水計算を実施した。カルデラ崩壊津波については、崩壊にかかる時間 (t_b) を 4 パターン（30 分、60 分、90 分、120 分）、火砕流流入津波については最大規模のものを 1 つ仮定した。

4. 研究成果

4. 1. アカホヤ津波堆積物

大分県大分市の^{おおえんじ}大園寺湿地で採取された長さ 880 cm の堆積物コア（海岸線から約 170 m、標高約 2 m の地点で採取 ; Yamada et al., 2017）には、アカホヤ火山灰層の直下に級化構造を示す層厚 4 cm の砂礫層が認められた。また、徳島県海部郡の田井ノ浜（海岸線から約 200 m、標高約 1 m の地点で採取 ; Fujino et al., 2014）と和歌山県日高町の阿尾湿地（海岸線から約 240 m、標高約 1 m の地点で採取 ; 竹田ほか, 2016）においても、アカホヤ火山灰層の直下に層厚

3-6 cm 程度の砂層が確認された。砂層とその上位の火山灰層、下位の泥層との地層境界は、いずれの地域でも非常に明瞭である。また、大圓寺湿地と田井ノ浜においては、火山灰層の内部にも複数枚の薄い砂層と平行葉理が認められた。長崎県五島列島では、深度 6.5 m までの堆積物試料を採取したが、アカホヤ火山灰層まで到達しなかった。

大分県から和歌山県までの広範囲においてアカホヤ火山灰層の直下に確認された砂層は、下位の泥層と明瞭な地層境界で区切られていることから、突発的に形成されたイベント層であると言える。そして、イベント砂層が広範囲の同一層準に認められることを考慮すると、砂層の形成は、局所的な高潮やストームではなく、広域に伝播する巨大津波を想定することで最もよく説明できる。さらに、イベント砂層と火山灰層が互いに接しており、それらの堆積に時間間隙がないことを考えると、イベント砂層は、鬼界アカホヤ噴火と同時に発生した津波によって形成された「アカホヤ津波堆積物」であると考えられる。

4. 2. 津波数値シミュレーションから推定される津波規模と発生様式

カルデラ崩壊津波では、最大で 7.3 m (田井ノ浜; $t_s=30$ min) の津波が襲来する計算結果が得られ (図 1), 大分県と和歌山県の沿岸低地においても 4.0~4.3 m の最大波高が得られた。一方, 3 地域における火砕流流入津波の最大波高は, 0.7~3.5 m であった (図 1)。津波浸水計算からは, 大圓寺湿地の堆積物コア掘削地点は 30 分と 60 分のカルデラ崩壊津波で, 田井ノ浜の堆積物コア掘削地点は 30 分のカルデラ崩壊津波でのみ (図 2), 阿尾湿地の堆積物コア掘削地点は 60 分と 90 分のカルデラ崩壊津波で浸水することが明らかになった。火砕流流入津波ではどの沿岸低地においてもコア掘削地点までは浸水しないという結果が得られた。

本研究では, 現在の地形と海水準を使用して津波浸水計算を行っているため, 7300 年前のイベントを正確に表しているとは言えない。今後, 当時の環境をきちんと考慮する必要はあるが, 少なくともアカホヤ津波堆積物が見ついている沿岸低地に津波を遡上させるためには, 火砕流の流入のみでは不十分であり, 30~90 分程度の比較的速いスピードでカルデラ崩壊が起きる必要があることは明らかになった。先行研究でも, カルデラ形成による津波の方が火砕流の流入よりも規模の大きな津波を発生させることが示されており (Maeno et al., 2006; Maeno and Imamura, 2007), 本研究の計算結果と矛盾していない。一方, 屋久島の海岸露頭では, アカホヤ津波堆積物が幸屋火砕流堆積物に覆われていることから, 火砕流の到達前に津波が遡上した可能性が報告されている。そして, 山体崩壊のタイミングは, 噴火プロセスの中では火砕流の発生後であるため, 巨大津波の発生は, カルデラ形成による山体崩壊ではなく, 火砕流の流入が主な要因である可能性が提案されている (Geshi et al., 2017; Nanayama and Maeno, 2018)。しかしながら, 本研究では, カルデラから遠く離れた沿岸地域における津波堆積物を火砕流流入津波のみで説明することは難しいという結論が得られた。これらの知見を統合すると, 7300 年前の噴火時には火砕流の流入とカルデラ崩壊の両方によって津波が発生しており, それらの時間差はほとんどなく同時に発生したことが推定される。なぜならば, 仮にそれらの発生に時間差があるとすると, 屋久島などの海岸露頭において, 火砕流堆積物の上位にカルデラ崩壊による津波堆積物が見つかるはずだからである。

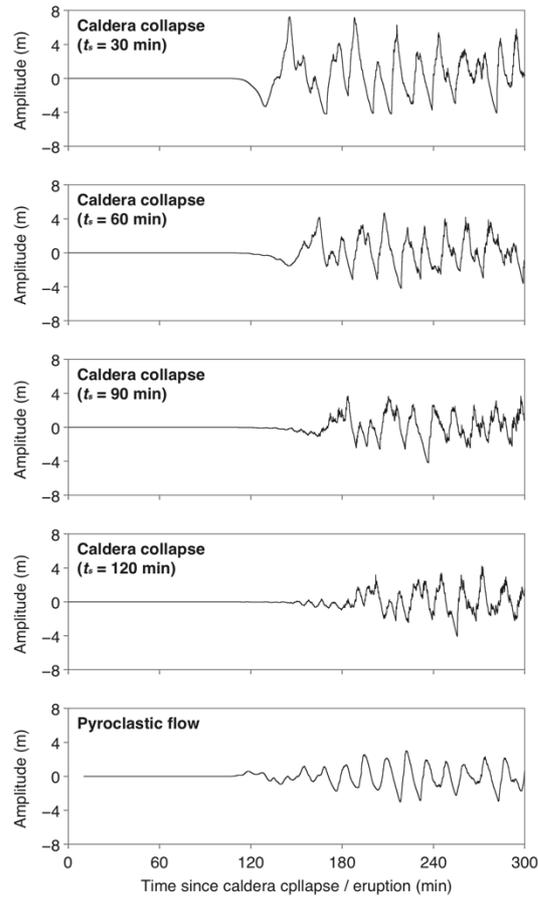


図 1. 徳島県田井ノ浜の沿岸低地におけるシミュレーション津波の波形.

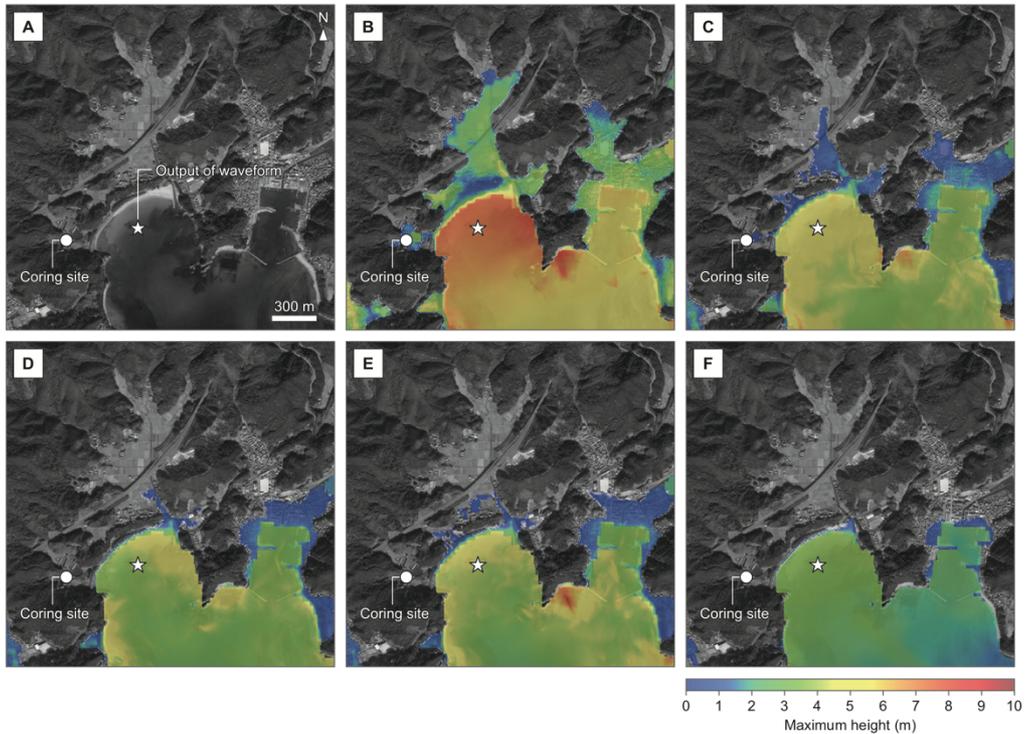


図 2. 徳島県田井ノ浜の沿岸低地におけるシミュレーション津波の浸水範囲。(A) 空中写真とアカホヤ津波堆積物の掘削地点、津波波形(図 1)の出力地点。(B) カルデラ崩壊モデル($t_s = 30 \text{ min}$)の浸水範囲。(C) カルデラ崩壊モデル($t_s = 60 \text{ min}$)の浸水範囲。(D) カルデラ崩壊モデル($t_s = 90 \text{ min}$)の浸水範囲。(E) カルデラ崩壊モデル($t_s = 120 \text{ min}$)の浸水範囲。(F) 火砕流流入モデルの浸水範囲。

<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*.
- 藤原 治, 町田 洋, 塩地潤一, 2010. 大分市横尾貝塚に見られるアカホヤ噴火に伴う津波堆積物. *第四紀研究* 49(1), 23–33.
- 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.
- Nanayama, F., Maeno, F., 2018. Evidence on the Kosedo coast of Yakushima Island of a tsunami during the 7.3 ka Kikai caldera eruption. *Island Arc*, e12291.
- 竹田大輔, 藤野滋弘, 千葉 崇, 篠崎鉄哉, 山田昌樹, 2016. 和歌山県日高町における津波浸水履歴の復元. *日本堆積学会 2016 年福岡大会*.
- Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Chagué, C., 2017. Geological Evidence for Tsunamis and Crustal Movements associated with Intraplate Earthquakes in Beppu Bay, Japan. *The 5th International Tsunami Field Symposium*.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① **Yamada, M.**, Fujino, S., Chiba, T., Goto, K., Goff, J., 2019. Redeposition of volcanoclastic sediments by a tsunami 4600 years ago at Kushima City, southeastern Kyushu, Japan. *Sedimentology*. doi: 10.1111/sed.12547.
- ② Shimada, Y., Fujino, S., Sawai, Y., Tanigawa, K., Matsumoto, D., Momohara, A., Saito-Kato, M., **Yamada, M.**, Hirayama, E., Suzuki, T., Chagué, C., 2019. Geological record of prehistoric tsunamis in Mugi Town, facing the Nankai Trough, western Japan. *Progress in Earth and Planetary Science* 6:33. doi: 10.1186/s40645-019-0279-9.

[学会発表] (計 6 件)

- ① **山田昌樹**, 千葉 崇, Catherine Chagué, 篠崎鉄哉, 藤野滋弘, 別府湾沿岸地域で発見された古津波堆積物. *第35回歴史地震研究会* (2018年9月24日, 大分, 口頭).
- ② **Yamada, M.**, Wang, Y., Maeno, F., Fujino, S., Satake, K., Numerical Simulation of a Tsunami Generated by the 7.3 Ka Caldera-forming Eruption of the Kikai Volcano, Japan. *AOGS 15th Annual*

Meeting (June 4, 2018, Honolulu, poster).

- ③ **山田昌樹**, 藤野滋弘, 佐竹健治, 鬼界カルデラ噴火に伴う津波堆積物と火山噴出物の層序関係. *日本堆積学会 2018 年秋田大会* (2018 年 3 月 27 日, 秋田, ポスター).
- ④ **Yamada, M.**, Fujino, S., Satake, K., Geological Evidences for a Large Tsunami Generated by the 7.3 ka Kikai Caldera Eruption, Southern Japan. *2017 AGU Fall Meeting* (December 11, 2017, New Orleans, oral).
- ⑤ **山田昌樹**, 藤野滋弘, 佐竹健治, 広域に分布するアカホヤ津波堆積物の識別. *日本地質学会第124 年学術大会* (2017 年 9 月 17 日, 愛媛, 口頭). *台風のため中止
- ⑥ **Yamada, M.**, Fujino, S., Chiba, T., Chagué, C., Geological Evidence for Tsunamis and Crustal Movements associated with Intraplate Earthquakes in Beppu Bay, Japan. *The 5th International Tsunami Field Symposium* (September 3, 2017, Lisbon, oral).

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし.

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 佐竹 健治

ローマ字氏名: SATAKE, Kenji

研究協力者氏名: 前野 深

ローマ字氏名: MAENO, Fukashi

研究協力者氏名: 藤野 滋弘

ローマ字氏名: FUJINO, Shigehiro

研究協力者氏名: 楠本 聡

ローマ字氏名: KUSUMOTO, Satoshi

研究協力者氏名: 王 宇晨

ローマ字氏名: WANG, Yuchen

※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。