

伊豆鳥島近海で近年発生した津波の特徴 と 2023 年 10 月 9 日津波の発生原因の推察

令和 6 年 1 月 2 5 日
地震・津波研究部門

1. 経緯

2023 年 10 月 9 日東京都八丈島八重根^{やえね}において、津波（以下「今回の津波」という。）が観測されたことから、気象庁は同日 6 時 40 分に伊豆諸島及び小笠原諸島に津波注意報を発表し、その後、津波注意報の範囲を拡大する続報を順次発表した（同日 12 時 00 分に解除）^[1]。今回の津波では、八丈島八重根において最大で津波高さ 0.7m など、伊豆諸島、小笠原諸島及び千葉県から沖縄県にかけての太平洋沿岸で津波が観測された^[1]。八丈島の八重根港では係留していた小型の船が 2 隻転覆した等の被害が報告されている^[2]。今回の津波は、同日の 4 時頃から 6 時台の間に伊豆鳥島近海で多発した地震との関連性が指摘されているが^[1]、それらの地震及び今回の津波の発生原因については未だ不明である（2024 年 1 月 15 日時点）。

第 42 回原子力規制委員会（2023 年 11 月 8 日）において、石渡委員より伊豆鳥島近海で発生した今回の津波に関して調査し、その結果を報告するよう指示があった。地震・津波研究部門では、今回の津波に関して現時点で公表されている知見を調査した。また、伊豆鳥島近海では、過去にも火山活動や地震活動に伴う津波が発生していることが知られており、その発生メカニズムの研究も行われているため、調査範囲を拡張し、近年伊豆鳥島近海で発生した津波に関する知見についての調査も行った。本調査の結果、今回の津波の発生原因は現時点では確定されていないが、地震・津波研究部門では、火山活動に関連する現象の可能性を考えている。本報告は、その調査結果と推察について説明するものである。

2. 報告内容

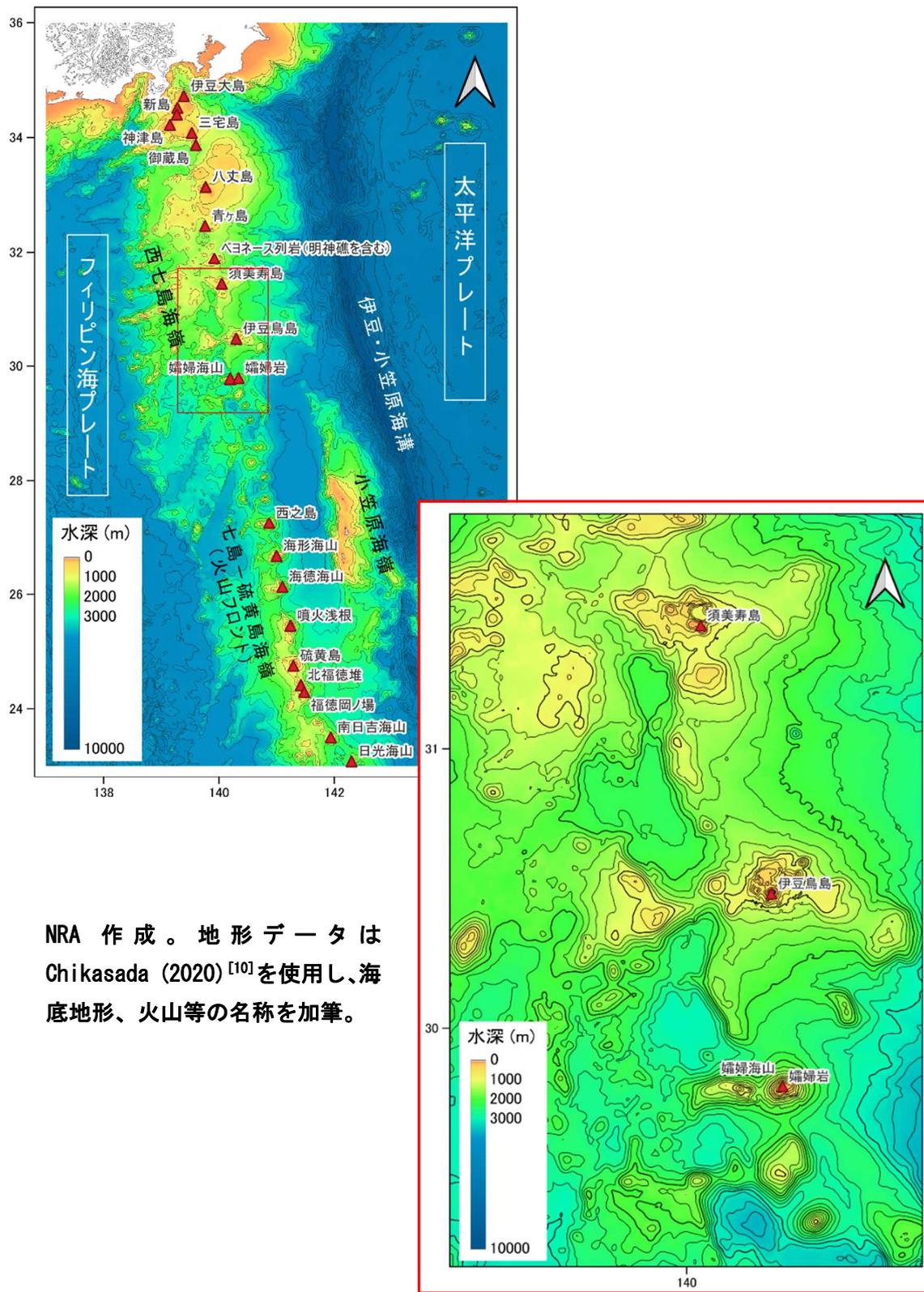
2. 1 伊豆鳥島近海のテクトニクスについて

伊豆鳥島は、東京都心部から約 600km 南に位置する伊豆・小笠原弧上の火山島の一つである（図 1）。伊豆・小笠原弧は、フィリピン海プレート北東縁部に位置し、伊豆・小笠原海溝において太平洋プレートがフィリピン海プレートの下に

沈み込んでいることに関連して形成・発達した海洋性島弧¹である^{[3][4]}。伊豆・小笠原海溝ではプレートが高角に沈み込むため背弧が発達し、また、プレート間の結合力が弱いこと等から、南海トラフと比較しても地殻変動は活発とはいえない^{[5][6]}。伊豆・小笠原海溝付近では、太平洋プレート内の深い領域で発生した地震（2015年5月30日 M8.1）が知られているものの、浅い領域において M8 程度の巨大地震の発生は知られていない^[7]。

伊豆・小笠原弧の地形の特徴は、プレートの沈み込みによってできる海溝軸に平行な南北の構造と、その構造を斜めに横切る北東—南西方向の構造の二つに分けて考えることが出来る。南北の構造は、三列の海嶺からなり、東から、小笠原海嶺、七島—硫黄島海嶺、西七島海嶺と呼ばれている。七島—硫黄島海嶺は現在の火山フロントに当たり、伊豆大島から南硫黄島にいたる第四紀の火山列で火山活動が活発な地域である。また、七島—硫黄島海嶺と西七島海嶺の間には背弧凹地（背弧リフト）を形成した南北性の配列を示す正断層系の存在が知られている^[8]。

¹ 海洋プレートの下に別の海洋プレートが沈み込んだ場合に上盤プレートの縁に形成される島弧^[4]。島弧とは、海溝の陸側に存在する弧状の島列である。火山帯や深発地震帯などの特徴ある地形・地質現象を伴って島弧-海溝系をなし、プレートの収束境界と位置づけられる^[9]。海洋性島弧は、地殻が薄いために、海上に露出するのは列をなす火山島程度である^[4]。



NRA 作成。地形データは Chikasada (2020) ^[10] を使用し、海底地形、火山等の名称を加筆。

図 1 伊豆・小笠原弧及び伊豆島近海の海底地形図

2. 2 近年伊豆鳥島近海で発生した津波について

伊豆鳥島近海において、近年発生した津波を年代順に表1に示す。以後では、これらの津波の発生原因別に記載する。

表1 近年伊豆鳥島近海で発生した津波

発生日月	場所	規模	発生原因	津波高さ
①1984年6月13日	須美寿島西側、水深1000m ^[11]	Mw5.6 ^[1]2] (GCMT)	マグマの貫入 ^[13]	伊豆諸島、房総から四国に至る沿岸各地の検潮所で全振幅0.1~0.57m、周期5~9分の津波 ^[11] 八丈島の八重根漁港では全振幅1.3~1.5m ^[11]
②1996年9月5日	須美寿島付近の伊豆・小笠原海嶺 ^[14]	Mw5.7 ^[1]2] (GCMT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 波形の類似性から1984年の地震と同じタイプの地震^[14] ▪ トラップドア断層破壊^[12] 	最大波の全振幅値 ^[14] ・伊豆大島岡田 0.32m ・八丈島八重根 0.31m ・三宅島坪田 0.27m ・それぞれ5分の短周期波
③2006年1月1日	須美寿島付近の伊豆・小笠原海嶺 ^[14]	Mw5.6 ^[1]2] (GCMT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 波形の類似性から1984年の地震と同じタイプの地震^[14] ▪ トラップドア断層破壊^[12] 	最大波の全振幅値 ^[14] ・伊豆大島岡田 0.25m ・三宅島坪田・阿古 0.18-0.2m ・それぞれ5分の短周期波
④2006年10月24日	鳥島近海 ^[15]	M6.8 ^[1]	東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型 ^[15]	三宅島坪田で0.16m ^[16]
⑤2015年5月3日	津波源を海底スミスカルデラ内に特定 ^[17]	Mw5.7 ^[1]2] (GCMT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ カルデラ底の隆起と周辺部の小さな陥没^[17] ▪ トラップドア断層破壊^[12] 	・八丈島八重根で0.6m ^[18] ・神津島神津島港で0.21m ^[18] ・千葉県から沖縄県にかけての太平洋沿岸で微弱な津波 ^[18]
⑥2018年5月6日	鳥島近海（スミスカルデラ付近） ^[19]	Mw5.4 ^[1]2] (GCMT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ トラップドア断層破壊^[12] 	・八丈島八重根で0.3m※1 ・伊豆諸島と静岡県で微弱な津波 ※1：巨大津波観測計により観測（観測単位は0.1m） ^[19]
⑦2023年10月5日	鳥島近海 ^[1]	M6.5 ^[1]	北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した地震 ^[1]	・八丈島八重根で0.2m ^[1] （巨大津波観測計）
⑧2023年10月6日	鳥島近海 ^[1]	M6.0 ^[1]		・八丈島八重根で0.2m ^[1] （巨大津波観測計） ・八丈島神湊と鹿児島県で微弱な津波 ^[1] （所属機関の観測波形データをもとに気象庁が検出した値）

※地震調査研究推進本部資料^[1]の「過去の地震活動」を参考に期間及び範囲を設定

2. 2. 1 火山活動に伴う地震及び津波

スミスカルデラ付近(図 2)において、火山活動に伴い、中程度の地震(Mw5.4-5.7)^[12]及び津波が発生したと考えられている(表 1 の①②③⑤及び⑥)。Sandarbata et al. (2022)^[12]によると 2015 年の津波(表 1 の⑤)については、八丈島で地盤の揺れは感じられなかったものの、最大波高は 1m 程度あり、地震規模から推定される津波より大きな津波が観測された。他の 4 つの津波に関しても 2015 年の津波(表 1 の⑤)と同様の波形を示しており、地震規模から推定される津波より大きかった。これら 5 つの津波を発生させた地震の発震機構は互いに類似し、通常地震発震メカニズムとは異なることを示している。これらの津波の発生メカニズムモデルとして、従前より火山活動に伴う津波の発生モデルが複数の研究者から提案されてきたが、最近では、Sandarbata et al. (2022)^[12]によって、2015 年の津波(表 1 の⑤)に対して、「トラップドア断層破壊²」というカルデラ火山特有の地震現象が発生し、津波を引き起こしたというモデルが提唱された(図 3^[20])。なお、1996 年、2006 年及び 2018 年(表 1 の②③及び⑥)の津波についても発震機構等の類似性から「トラップドア断層破壊」と推察されている^[12]。

² カルデラ壁に沿って地中に伸びる円形の断層構造(環状断層)の破壊と、その直下でマグマを溜め込んだ水平な板状の割れ目(マグマだまり)の開口が同時に発生する連動現象であり、マグマだまり内の高圧マグマから受ける上向きの力を駆動力にして発生^{[12][20]}。これまで南米・ガラパゴス諸島の陸上火山(シエラネグラ火山)のみで測地記録が観測されていた^{[12][20]}。海域では、スミスカルデラ以外にニュージーランドのケルマデック弧の火山島、カーチス島及びチーズマン島付近で発生した地震(2009 年、2017 年)においてトラップドア断層破壊の可能性が示されている^[21]。

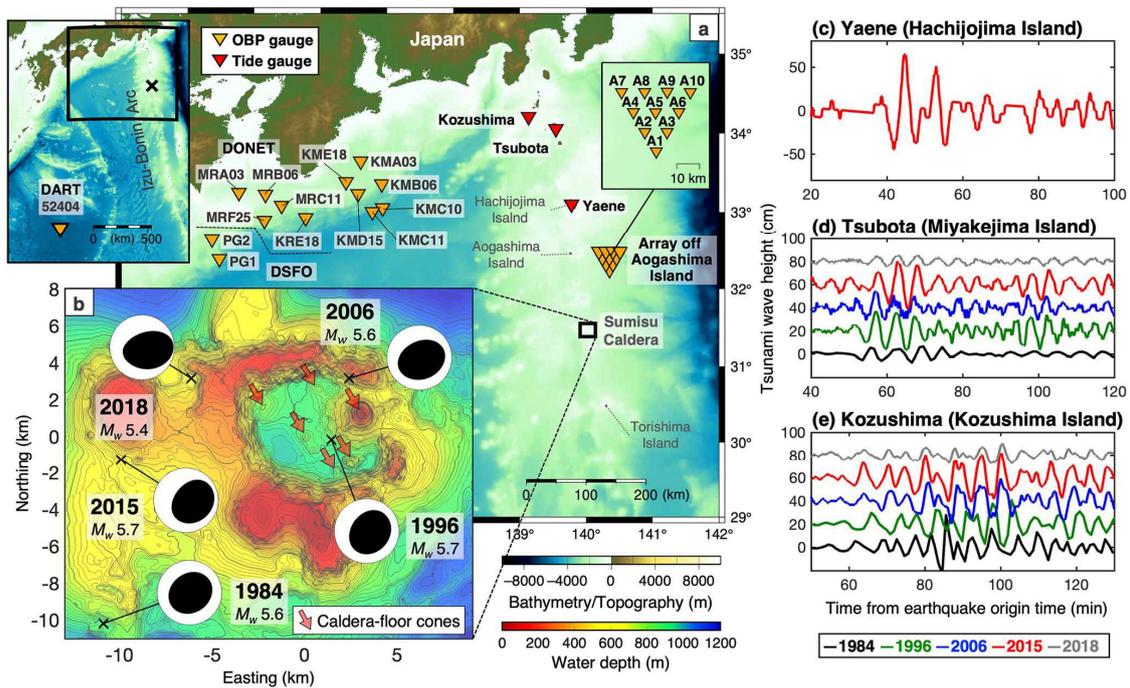


図 2 火山活動に伴う津波（スミスカルデラ）
(Sandanbata et al., 2022^[12])

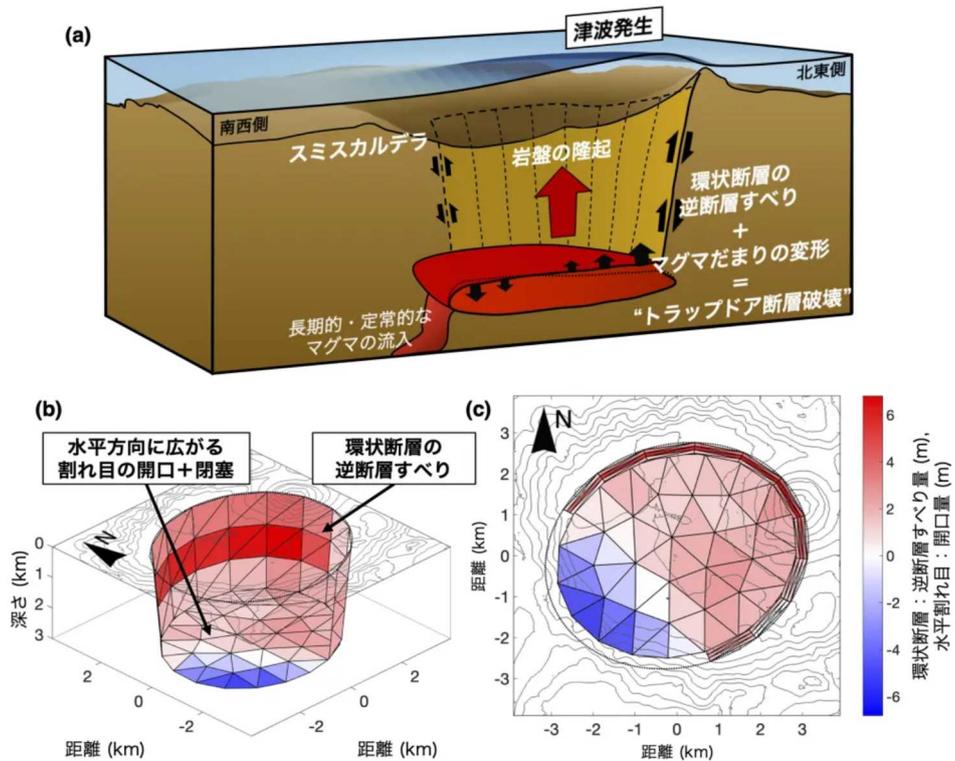


図 3 トラップドア断層破壊概念図（東京大学地震研究所、2022^[20]）

2. 2. 2 地震活動に伴う津波

2006年10月24日の津波（表1の④）は、伊豆鳥島近海の浅いところで発生したM6.8の地震が起因とされている（図4）。発震機構は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型^[15]であることから、2.2.1で前述したスミスカルデラ付近で発生した火山活動に伴う地震の発震機構とは異なり、通常地震発震メカニズムであった^[1]。

また、伊豆鳥島近海では、今回の津波発生前の10月2~8日の間にM6.0以上の地震が4回発生した。そのうち最大の地震は、10月5日に発生した震源深さ約10kmのM6.5の地震であり、津波を発生させた（表1の⑦）。その発震機構は、東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した地震である。また、10月6日にもM6.0の東北東-西南西に張力軸を持つ正断層型地震が津波を発生させた（表1の⑧）^[1]。

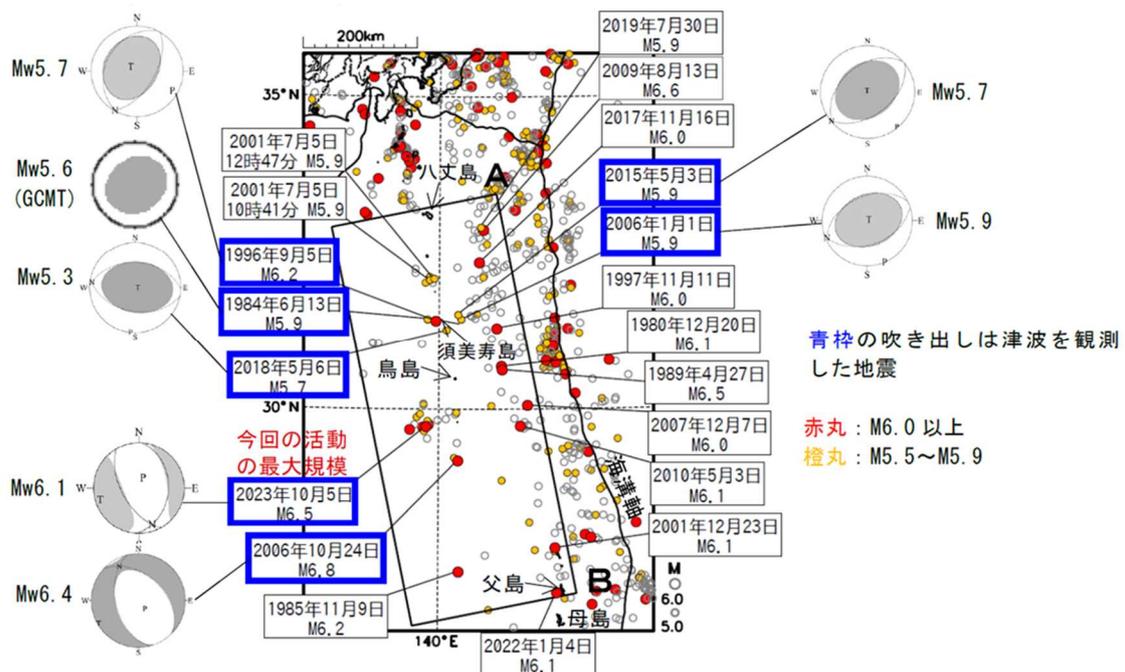


図4 地震活動に伴う津波（2006年10月24日、2023年10月5日）
（地震調査研究推進本部、2023^[1]）

2. 3 今回の津波について

2. 3. 1 10月9日の地震の特徴（発生源及び規模）について

2. 2. 2で前述した10月5日及び6日の地震の震源付近では、10月9日の4時頃から6時台にかけて地震が多発していたが、規模が小さく、震源の位置や規模を推定するのに用いられる地震波のP波及びS波が不明瞭であったため、震源が直ちに決定されなかった。その後の調査で、T波³と考えられる波を伴う地震が少なくとも14回発生していたことが分かり、T波の解析からこれらの地震の発生源がそうふかいざん婿婦海山に推定された（図1及び図5）^[1]。婿婦海山は、伊豆鳥島から南方約76kmの背弧リフト内にある。地震の発生源は、震源深さが非常に浅い地殻内又は海底にある可能性があることが示唆されている^[22]。

また、これらの地震活動の規模は、最大でM4.8^[1]と推定された。一方、最大波高分布に基づく津波マグニチュード⁴はMt8.0^[22]である。地震に伴う津波の場合にはMとMtは概ね同じ値になる傾向があり、津波地震のような場合はMt > Mになる傾向がある。これらは地震性津波か非地震性津波であるかを判断する1つの指標になると考えられ、今回の津波は一般的な地震に伴う津波の発生機構とは異なることを示している。なお、防災科学技術研究所が示した発震機構においても通常の地震発震メカニズムとは異なることを示している（**図6**）^[23]。

³ 通常、地震波のうちP波及びS波は固体地球内を伝播するが、水中を伝わることもあり、そのような波を「T波」という。T波は地震波が海底面を強く揺る際に音波（縦波）に変換することで生じるため、海底直下で発生する浅い地震や海底火山噴火に伴う振動によって生成されることが多い^[24]。

⁴ 地震の規模を表すマグニチュードには複数の種類があり、同じ地震でも種別により値が異なる。代表的なものに、気象庁が国内の地震計で観測した地震波の最大振幅を使って算出するマグニチュード（M）、地震計で観測した地震波全体を用いて求める震源の物理的な規模を表す地震モーメントという量を使って算出するモーメントマグニチュード（Mw）、津波の高さの空間分布を使って算出する津波マグニチュード（Mt）がある^[25]。

2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源）

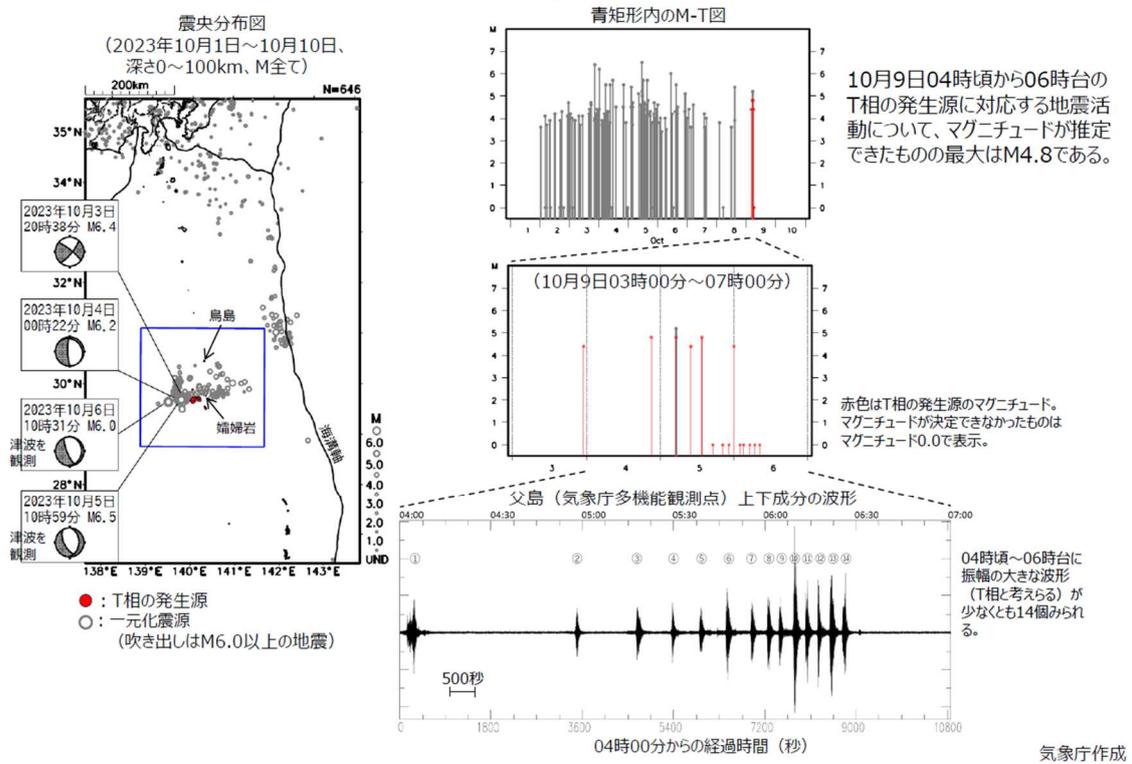


図 5 今回の津波による T 波の発生概要（地震調査研究推進本部、2023^[1]）

2023/10/09 06:00 (Mw 4.9) (暫定解)

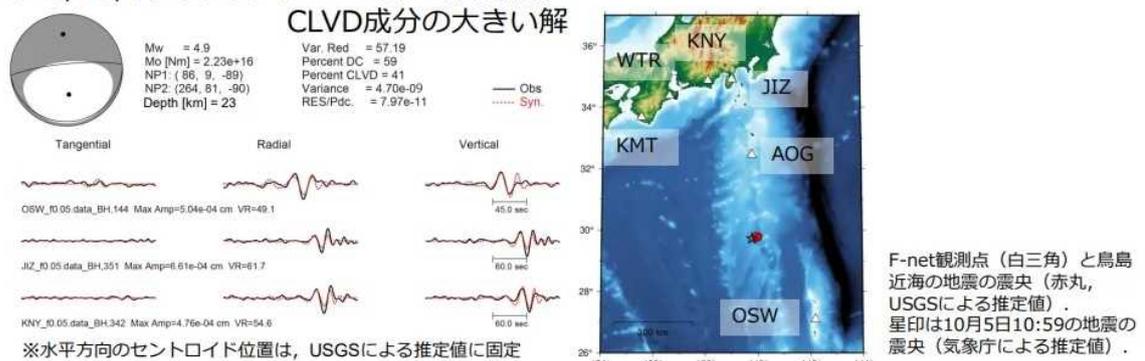


図 6 防災科学技術研究所による 2023 年 10 月 9 日 6 : 00 に発生した鳥島近海の地震の発震機構（防災科学技術研究所、2023^[23]）

2. 3. 2 発生源付近の海底地形調査について

今回の津波の発生後、海洋研究開発機構は発生源として推定された孀婦海山において海底地形調査を実施し、速報的な結果として、東西に延びる孀婦海山の中央付近にカルデラ状の海底地形があることを確認したとのことである（図 6 7）^[26]。そのカルデラ状地形の外輪の直径は約 6km、カルデラ状地形の北側に見られる中央火口丘の直径は約 2km、中央火口丘の最浅部の水深は約 900m とのことである^[26]。

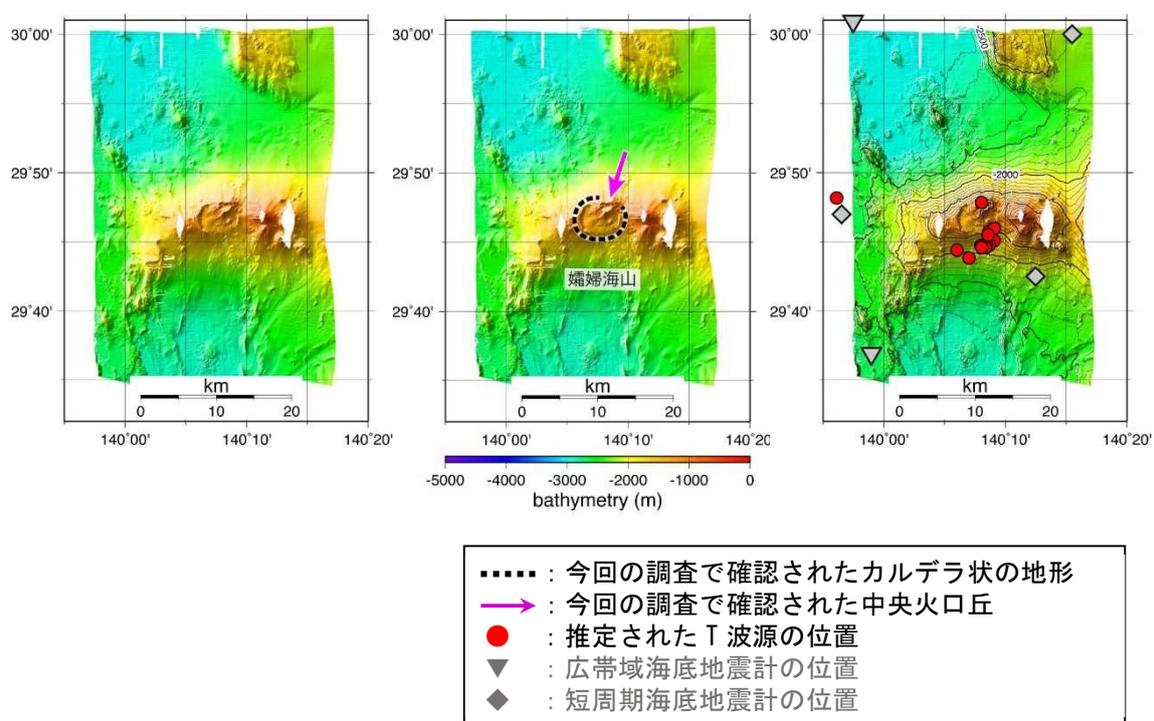


図 6 7 海洋研究開発機構による孀婦海山の海底地形調査結果^[26]

(提供 海洋研究開発機構)

2. 3. 3 鳥島沖の漂流軽石について

10月20日、海上保安庁の航空機からの観測で、鳥島西方約50kmの海域に軽石とみられる浮遊物が南北約80kmにわたり点在していることが確認され^[27]、その後、気象庁によって海面上を漂流している軽石が採取された。採取された軽石は、産業技術総合研究所及び東京大学地震研究所において分析が行われ、肉眼的特徴から灰色軽石と白色軽石に分けられた。そのうち白色軽石については、ほと

んど生物遺骸の付着が認められず、角張っているものが多く見られるとのことである。化学組成分析の結果、白色軽石は流紋岩の組成を示し、伊豆・小笠原弧火山フロント西方に連なる背弧リフト内に分布する海底火山由来と考えられる流紋岩の特徴と類似している。一方で、最近噴火活動が確認されている福德岡ノ場及び硫黄島、2022年に変色水が認められた海德海山並びに伊豆鳥島を含む伊豆・小笠原弧の火山フロント上の火山の噴出物とは明確に異なる。このため採取された白色軽石は、採取地点近傍を含む、背弧リフト内の海底火山の噴出物である可能性が高いと考えられる^[28]。

2. 3. 4 今回の津波発生のメカニズム

今回の津波は、地震規模から推定される津波に対して大きな津波を観測した。Sandanbata et al. (2024)^[22]によると、今回の津波の発生時刻歴がT波の発生時刻に対応していることから、津波の発生源とT波の発生源が共通し、孀婦海山と推定され、津波の発生源は、震源深さが非常に浅い地殻内又は海底にある可能性が示されている。発生原因の候補としては、海底噴火、山体崩壊、カルデラ内断層運動、カルデラ崩壊等の火山活動のほか、先行して多発していた地震によって不安定化した地盤の海底地すべりが挙げられている^[22]。

また、津波が大きくなった原因として、津波の発生源を孀婦海山と仮定して日本の南西沖の津波観測網で記録された波を分析した結果、津波は約1.5時間の間に同じ場所で同じようなメカニズムで断続的に繰り返し発生しており、特に振幅の大きな後半の主要イベントの発生間隔が、津波の周期(200~300秒)と同等であったために、波の増幅が生じたとの報告がある^[22]。

2. 3. 5 今回の津波の推察

本調査の結果より、伊豆鳥島近海では地震活動に伴う津波も発生するが、火山活動が比較的活発で、それに伴う火山性地震の規模が比較的小さいにもかかわらず、大きな津波が発生する特徴的な地域であることがわかった。孀婦海山で発見されたカルデラ地形及び周辺で採取された軽石の分析結果は状況証拠ではあるものの、伊豆鳥島近海地域の過去の津波発生履歴や今回の津波が地震規模に比べて大きな津波であること、さらに、断続的に発生したT波の発生源と津波の発生源が共通する可能性があることを踏まえると、今回の津波の原因は、火山活動に関連する現象が有力な候補の1つと考える。

3. まとめ

本調査の結果、今回の津波の発生原因は現時点では確定されていないが、火山活動に関連した可能性がある。伊豆鳥島近海では、これまでも火山活動による地震及び津波が発生しており、類似の活動によるものと考えられる。規制基準⁵では、津波を発生させる要因として火山活動についても考慮されていることから、現時点では、規制基準、ガイド⁶等へ反映する知見は無いと考えるが、今後引き続き情報収集活動を行い、十分な情報が得られてから再度判断する。

また、火山活動による地震及び津波の発生に関しては、新たな発生メカニズムも提案されつつあるが、火山活動に伴う津波に影響を与える因子等については不明な点も多く、事例の蓄積と共に、津波発生モデルも含めた更なる調査・分析が必要である。そのため、引き続き関連情報を収集する。

なお、伊豆鳥島近海での津波に関する個別の論文において、今後、最新知見等が得られた際には、技術基盤グループ最新知見等の反映プログラムに沿って情報共有を図ることとする。

参考文献

- [1] 地震調査研究推進本部、鳥島近海の地震活動の評価、令和5年11月10日
<https://www.jishin.go.jp/>（令和6年1月15日参照）
- [2] NHK、津波注意報 すべて解除も半日程度は潮位変化続く可能性 注意を
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20231009/k10014219591000.html>
（令和5年12月14日参照）
- [3] 渡辺一樹、伊豆小笠原弧の七島硫黄島海嶺における熱水鉱化作用、水路部
研究報告、Vol. 32、1996.
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/kenkyu/report/rhr32/rhr32-01.pdf>
- [4] 高橋雅紀、東西日本の地質学的境界【第七話】火山フロントのずれ、GIS
地質ニュース、Vol. 6、No. 5、pp. 149-157、2017.
- [5] 海宝由佳、伊豆・小笠原弧の地震活動、地学雑誌、Vol. 100、No. 4、pp. 503-
513、1991.

⁵ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈

⁶ 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

- [6] 狩野謙一・村田明広、構造地質学 第12刷、朝倉書店、2017.
- [7] 地震調査研究推進本部、伊豆諸島及び小笠原諸島の地震活動の特徴
https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kanto/p13_2_izu-ogasawara/
- [8] 藤岡他編、伊豆・小笠原弧の衝突-海から生まれた神奈川-、有隣新書、2004
- [9] 地学団体研究会編、新版 地学事典 初版第10刷、平凡社、2012.
- [10] Chikasada N, Global tsunami terrain model, 2020.
Accessed Jun 22, 2022. <https://doi.org/10.17598/NIED.0021>
- [11] 羽鳥徳太郎、1984年6月13日鳥島近海地震による特異な津波、東京大学地震研究所彙報、Vol.60、pp.87-95、1985.
- [12] Sandanbata, O. et al., Sub-Decadal volcanic tsunamis due to submarine trapdoor faulting at sumisu caldera in the Izu-Bonin Arc, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 127, e2022JB024213, 2022.
<https://doi.org/10.1029/2022JB024213>
- [13] Kanamori, H. et al., Seismic radiation by magma injection: An anomalous seismic event near Tori Shima, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 98, No. B4, pp.6511-6522, 1993.
- [14] 羽鳥徳太郎、1996年、2006年鳥島近海地震津波の規模と波源、津波工学研究報告、Vol.29、pp.71-73、2012.
- [15] 地震調査研究推進本部、10月24日 鳥島近海の地震
<https://www.jishin.go.jp/main/chousa/06nov/p09.htm> (令和5年12月14日参照)
- [16] 地震調査研究推進本部、10月24日 鳥島近海の地震 (2)
<https://www.jishin.go.jp/main/chousa/06nov/p10.htm> (令和5年12月14日参照)
- [17] Fukao, Y. et al., Mechanism of the 2015 volcanic tsunami earthquake near Torishima, Japan, *SCIENCE ADVANCES*, 2018.
- [18] 気象庁、5月3日 鳥島近海の地震 (1)
<https://www.jishin.go.jp/main/chousa/15jun/p16.htm> (令和5年12月14日参照)

- [19] 気象庁、平成 30 年 5 月 地震・火山月報（防災編）5 月 6 日 鳥島近海の地震
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/gaikyo/monthly/201805/201805sonota_kobetsu_1.pdf（令和 5 年 12 月 14 日参照）
- [20] 東京大学地震研究所、プレスリリース「地震規模に比べて大きな津波を繰り返し引き起こす火山性地震の発生メカニズム：海底火山・須美寿カルデラにおける「トラップドア断層破壊」
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/research/17626/>（令和 5 年 12 月 14 日参照）
- [21] Sandanbata, O. et al., Two volcanic tsunami events caused by trapdoor faulting at a submerged caldera near Curtis and Cheeseman Islands in the Kermadec Arc, *Geophysical Research Letters*, Vol. 50, e2022GL101086, 2023. <https://doi.org/10.1029/2022GL101086>
- [22] Sandanbata, O. et al., Enigmatic tsunami waves amplified by repetitive source events near Sofugan volcano, Japan, *Geophysical Research Letters*, 2024. doi: 10.1029/2023GL106949 (in print)
- [23] 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、2023 年 10 月 9 日鳥島近海の地震（F-net によるメカニズム解）
<https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/torishima231009/?LANG=ja>（令和 6 年 1 月 15 日参照）
- [24] 日本地震学会、日本地震学会広報紙「なみふる」、No. 75、2009.
- [25] 地震調査研究推進本部、日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価（第二版）、令和 4 年 3 月 25 日
https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/subduction_fault/
- [26] 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、海底広域研究船「かいめい」による鳥島周辺海域の緊急調査航海の実施について（速報）
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20231121/（令和 6 年 1 月 15 日参照）
<https://www.zisin.jp/publications/pdf/nf-vol75.pdf>
- [27] 海上保安庁、鳥島近海の浮遊物について（10 月 20 日観測）
https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/r5/k231020_1/k231020_1.p

df （令和 6 年 1 月 15 日参照）

[28] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、2023 年 10 月に採取された鳥島近海の漂流軽石の特徴（第 2 報）

<https://www.gsj.jp/hazards/volcano/kazan->

[bukai/yochiren/torishimakinkai_231115_1.pdf](https://www.gsj.jp/hazards/volcano/kazan-bukai/yochiren/torishimakinkai_231115_1.pdf) （令和 6 年 1 月 15 日参照）