

3.2 海域火山の総合的な評価に資する基礎情報調査：嬬婦海山周辺域

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域火山の総合的な評価に資する基礎情報調査：嬬婦海山周辺域

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	部門長	小野重明
同	センター長	藤江 剛
同	グループリーダー	中村恭之
同	副主任研究員	伊藤亜妃
同	主任研究員	新井隆太

(c) 業務の目的

2023年10月、鳥島近海を震源とする地震と海中を音波として伝わる波動(T相)、同海域を波源とする津波が発生した(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2023a; Sandanbata et al., 2024; Takemura et al., 2024; Fujiwara et al., 2024)。地震後の海上保安庁及び気象庁の周辺海域での調査により浮遊軽石が採取され、これらの軽石は、伊豆弧火山フロントの西方に連なる背弧リフト帯に分布する岩石の特徴と類似しており、最近の火山活動で生成されたと考えられる軽石であると国立大学法人東京大学地震研究所及び国立研究開発法人産業技術総合研究所により分析されたが、今回の地震活動との関係は不明である、と評価された(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2023b)。

その後、国立研究開発法人海洋研究開発機構の緊急航海によって嬬婦海山の山体にカルデラ地形が確認され(海洋研究開発機構, 2023; Fujiwara et al., 2024)、さらに海上保安庁が嬬婦海山の海底地形解析を実施した結果、海底にあるカルデラ内の火口丘頂上に直径約1.6kmの窪地が形成され、消失した体積が約4.3億 m^3 であること、窪地の北側では長さ約4km、幅約1kmにわたって斜面が崩壊していること、窪地の周辺では水深が浅くなっていることが報告された(海上保安庁, 2024; Minami and Tani, 2024)。また、2023年10月に嬬婦海山から到来した水中音響信号の周波数成分には、既知の海底火山噴火によって発生した信号と同様、高周波成分も多く含まれている(Tanaka et al., 2025)。以上のことから、この海底地形の変化は嬬婦海山近傍の火山活動により生じた可能性が指摘されている。

このような大規模地形変化、特にカルデラ内部で水深が浅くなっているという現象は土砂の堆積によるものなのか、カルデラ底の盛り上がりによるものなのかを知ることは、津波の発生機構を議論するために重要な課題である。しかし、これまでの津波発生メカニズムの研究においては海底面上昇を仮定している場合が多い(Fujiwara et al., 2024; Kubota et al., 2024)。以上のような背景を踏まえ、2023年10月以降の津波・地震・火山活動の発生要因の検討や、当該海域火山の総合的な評価に必要な基礎情報を整備する必要性が高まっている。

さらに、嬬婦海山から北西方向に直線状に伸びる鳥島リフト沿いの地下で地震活動が観測されていることを受け(Obana et al., 2025)、この地震活動が断層などの構造に起因するものなのか、マグマ貫入に起因する火山性の活動によるものなのかを議論する手がかりを得るために、震源域の地下構造を明らかにする必要がある。

(d) 業務の要約

孀婦海山の中央火口丘やカルデラ並びに鳥島リフトを横切る測線を設定し、反射法探査とサブボトム・プロファイリングを実施した。反射断面からは、カルデラ底の平坦な部分に、2022年から2024年または1987年から2023年にかけての水深の変化分と調和的である海底直下に最大約70mもの厚さの音響的に透明な層が確認された。サブボトム・プロファイリングからは、カルデラ底の下に厚さ数mの音響的にやや透明な層を確認した。これらの結果は、海底地形調査で得られた地形変化は土砂の堆積によるものであることを示唆する。

(e) 業務の実施方法

1) 反射法探査

a) 調査内容

2025年2月27日、28日に反射法構造探査を実施した。

b) 調査場所

図1に示すように孀婦海山を横切る測線(R1、R2、R3)と鳥島リフト軸に並行(R3)、直行する測線(R4、R5、R6)に沿って反射法構造探査を実施した。R1は中央火口丘からカルデラ内部を通過、R2は孀婦海山を東西に横断、R3は鳥島リフトからカルデラ中央火口丘を通過、R4からR6は鳥島リフト軸に直行するように設定した。

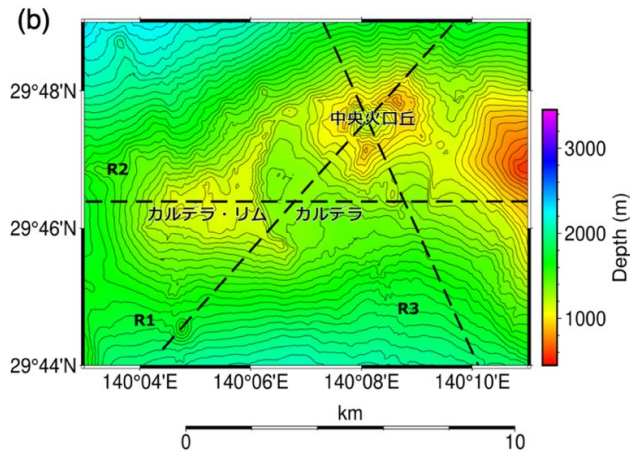
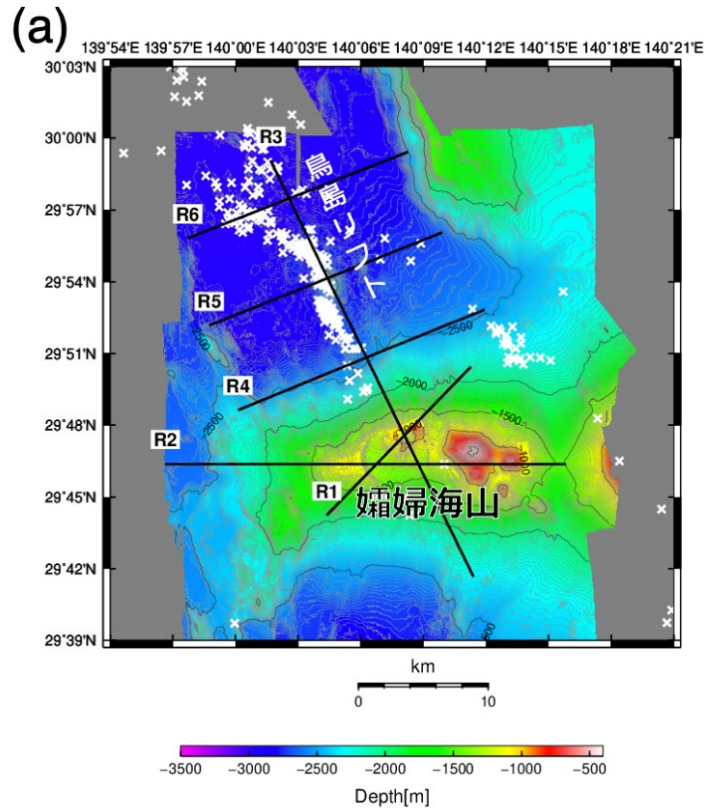


図1 (a)反射法探査の測線 (R1~R6:実線)。白いバツ印は2023年11月から12月にかけて実施された海底地震観測で求められた震央 (Obana et al., 2025)。(b)カルデラ部分の拡大図。カルデラ、カルデラ・リム、中央火口丘が確認できる。測線R1、R2、R3を破線で示す。地形データは、海底広域研究船「かいめい」で取得。

c) 使用機器(システム)

エアガン:Bolt社製 Long-Life Airgun 1500-LL & 1900-LLXT

2,650 立方インチ x 4条曳き (総計10,600 立方インチ:約174リットル)

データ収録システム:Sercel社製探鉱機 (SERCEL SEAL System)

ストリーマー構成:ハイドロフォン228チャンネル。チャンネル間隔12.5m(全2,850m)

エアガンと受信器(ハイドロフォンストリーマー)のレイアウトを図2に示す。

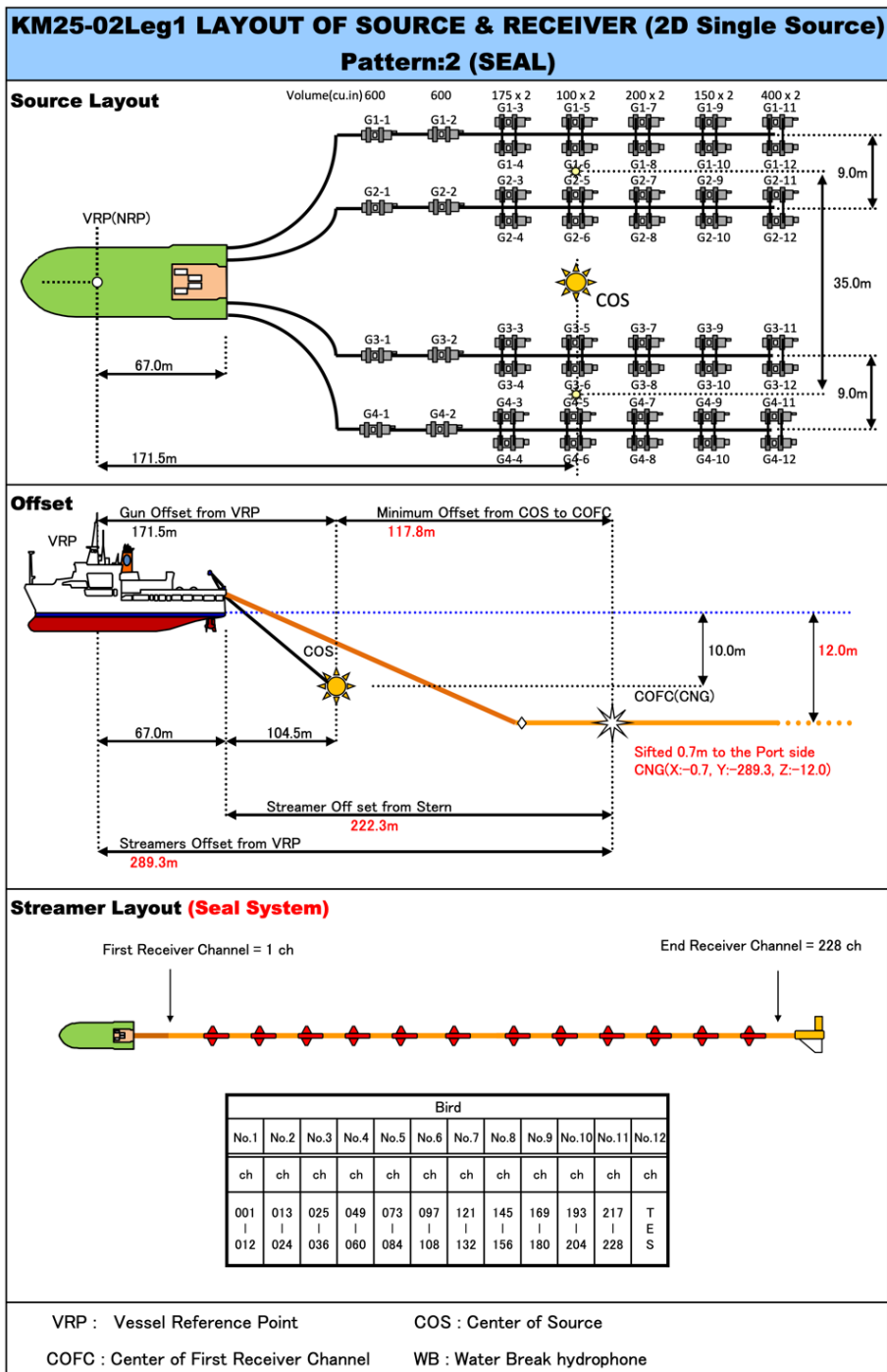


図2 エアガンと受信器(ハイドロフォンストリーマー)のレイアウト

d) 調査方法

反射法探査測線R1からR6において(図1)、ストリーマーケーブルとエアガンによる反射法探査を実施した。全調査測線上にて、エアガン(深度10m、最大10,600立方インチ、空気圧力2,000psi)を対水速度約3.5~5ノットで曳航し、50m毎に圧縮空気を海中に放出して発振させた。エアガン発振時には、海底広域研究船「かいめい」の船尾より深度12mで2,850m長のストリーマーケーブルを曳航し、地殻内からの反射波を記録した(図2)。サンプリングレート

は1ms、記録長は14sである。

取得したデータに対し、図3に示すように、バンドパスフィルター、静補正、ノイズ抑制、振幅回復、デコンボリューション、速度解析、NMO補正、多重反射抑制、などの処理を施して、CDP重合断面と時間マイグレーション断面の結果を得た。時間マイグレーション断面には、複雑な地形による回折波や散乱波の可能性のあるイメージがみられるので、地形データとの比較も行った。

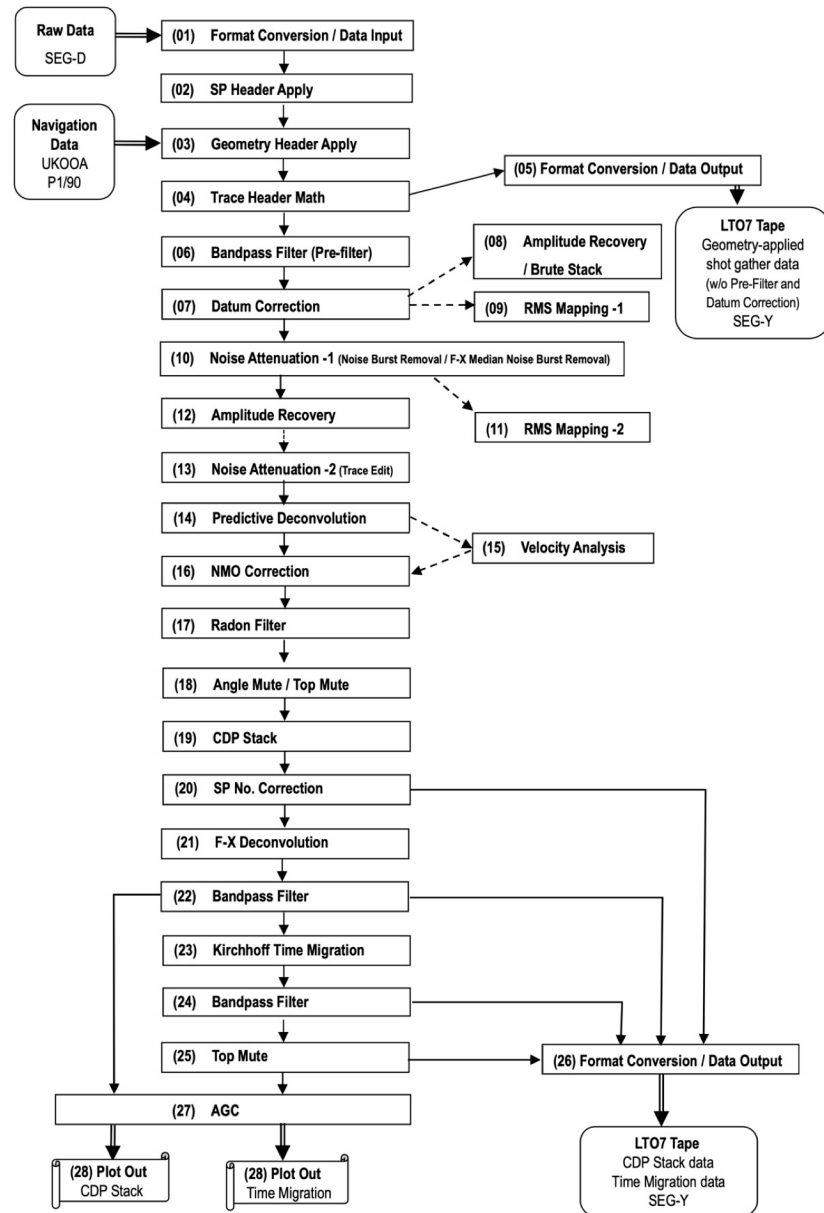


図3 データ処理の流れ。

2) サブボトム・プロファイル

a) 調査内容

反射法探査と並行して、2025年2月27日、28日にサブボトム・プロファイリングを実施した。

b) 調査場所

反射法探査と同様。

c) 調査方法

使用機器: 地層探査装置(サブボトム・プロファイラー、以下SBP)TOPAS PS18 (Kongsberg社製)
最大周波数 3.5kHz

海底広域研究船「かいめい」の船底のソーナードーム内に取り付けられているSBP(図4)を用い、海底浅部の地質状況を調査した。調査期間が限られており、反射法探査と並行して実施したために、機器パラメータの微調整は行わなかった。

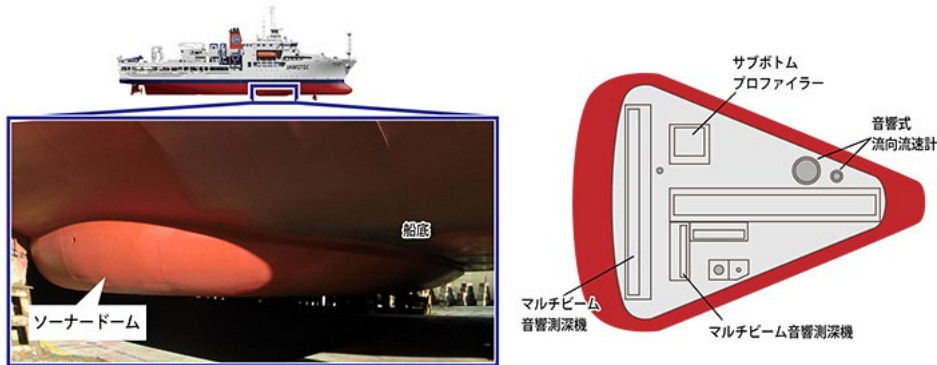


図4 (左)船底にあるソーナードーム。(右)ソーナードーム内の配置図。

(f) 業務の成果

1) 反射法探査

各測線で得られたCDP重合断面と時間マイグレーション断面の結果を以下に示す(図5～図10)。

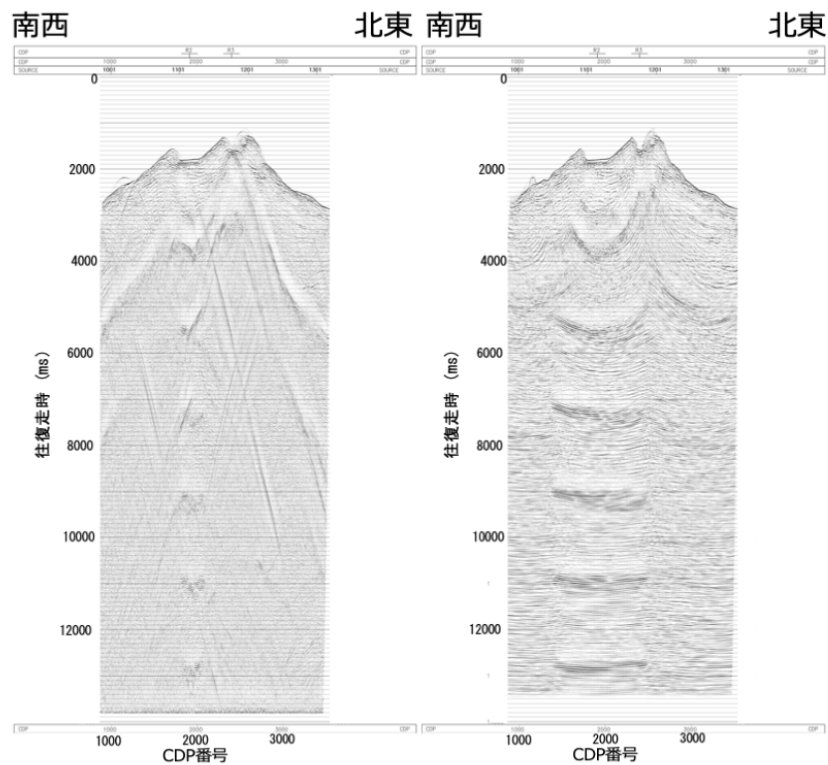


図5 測線R1における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

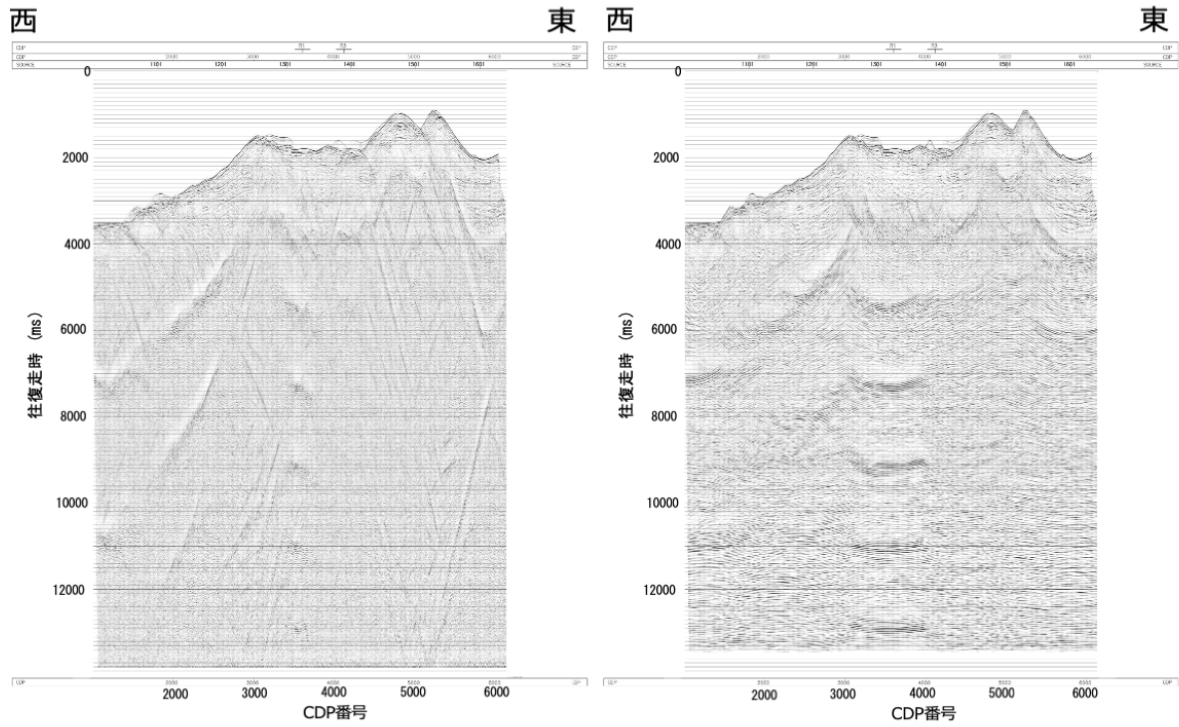


図6 測線R2における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

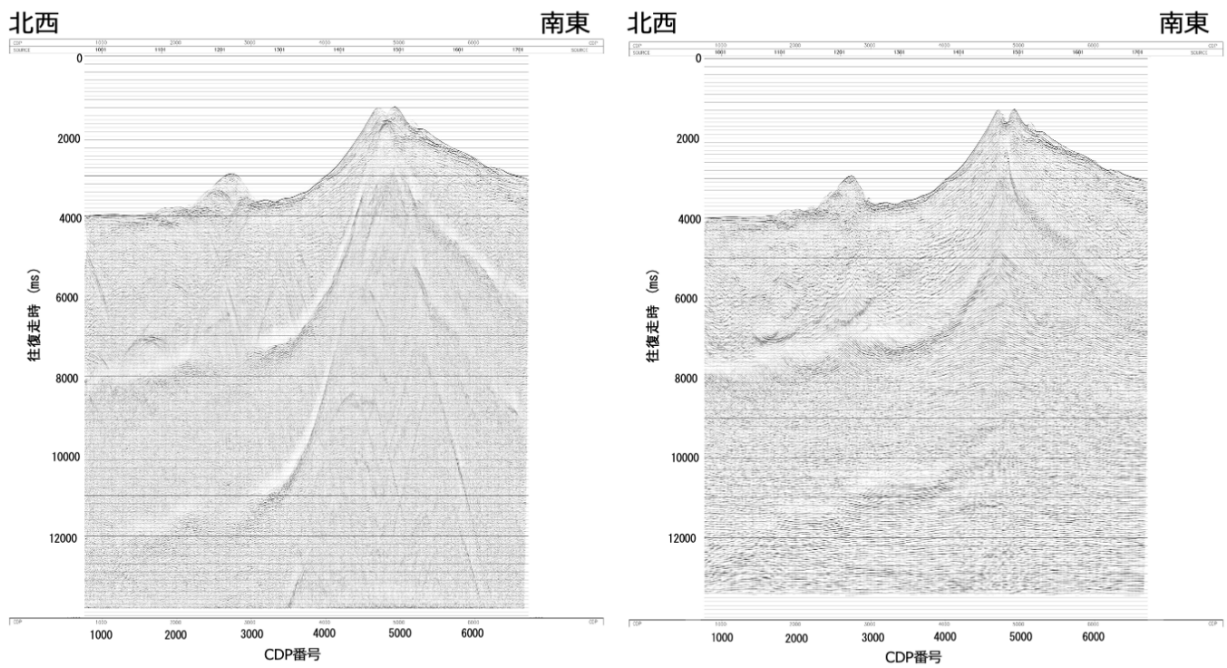


図7 測線R3における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

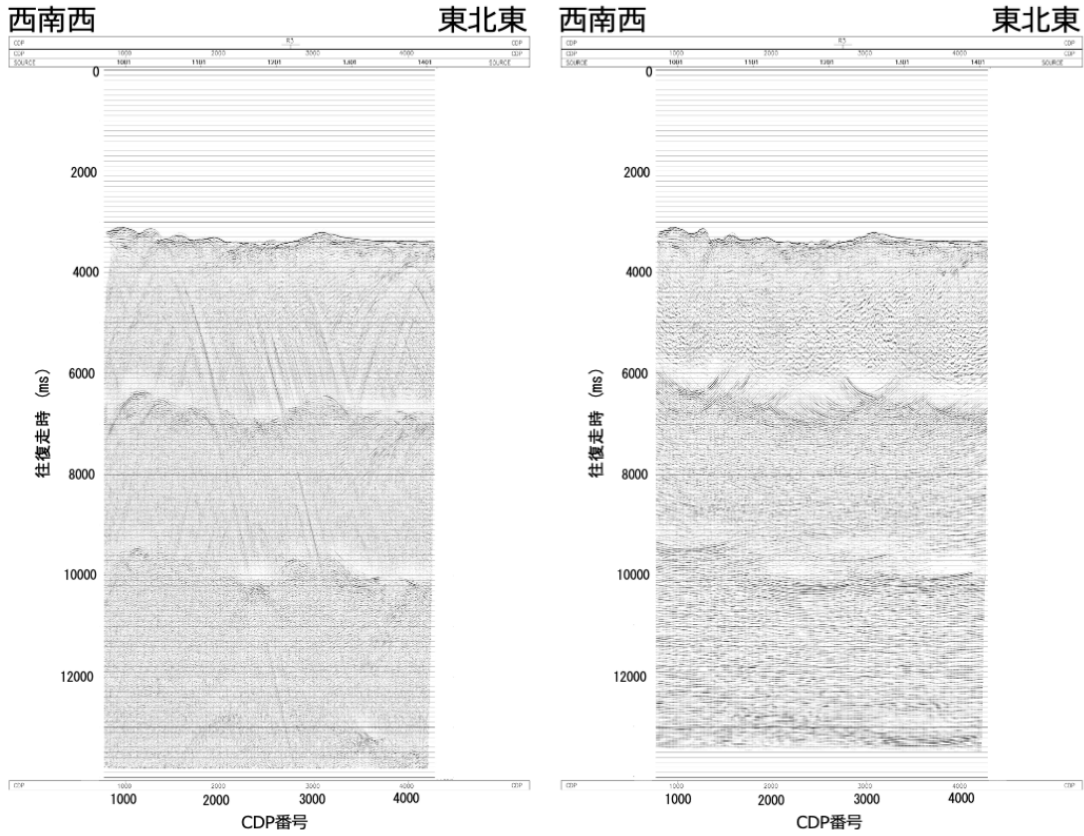


図8 測線R4における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

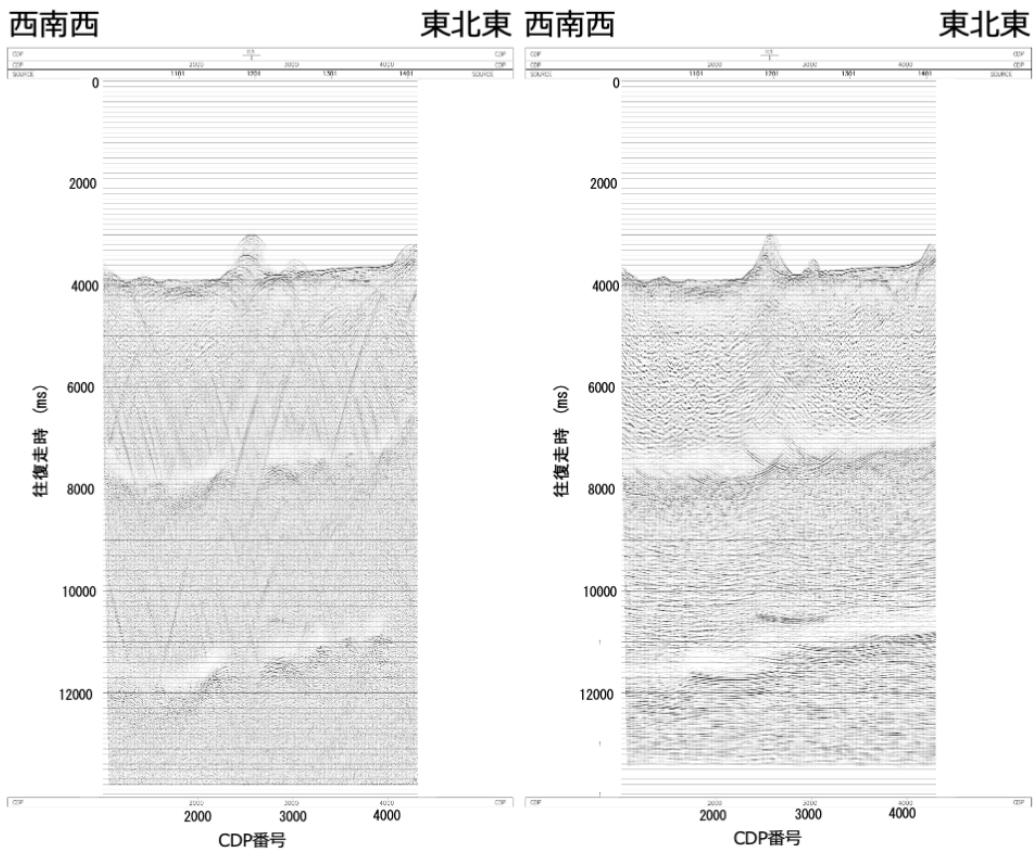


図9 測線R5における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

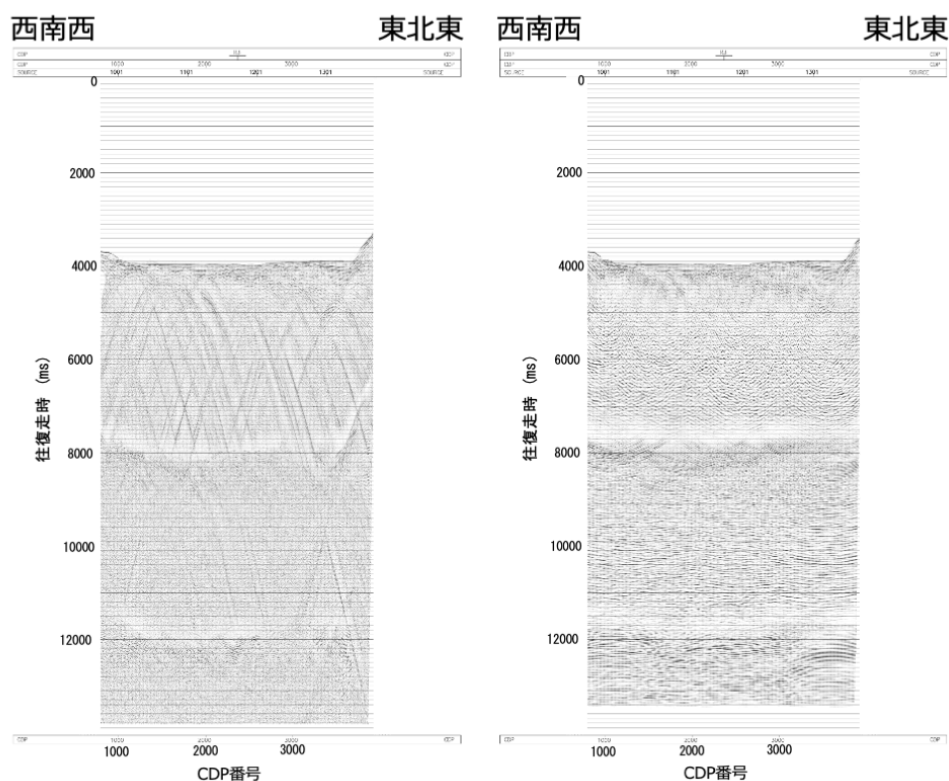


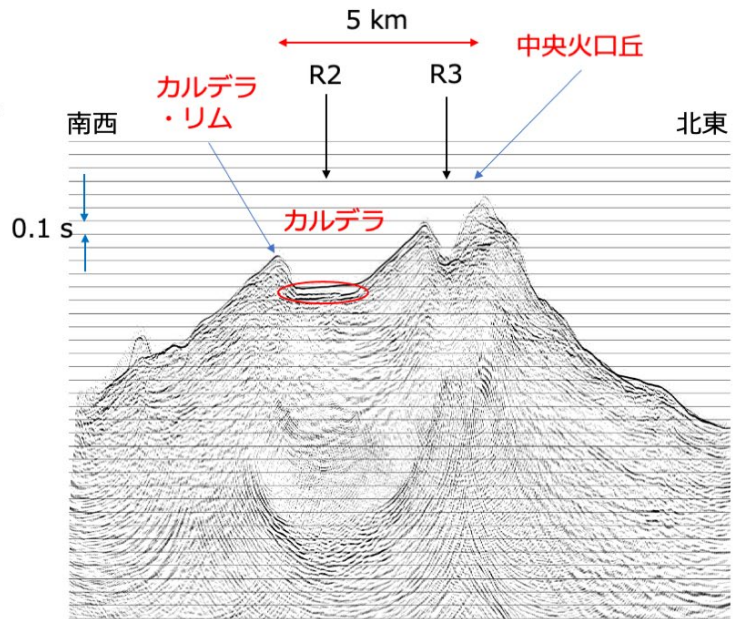
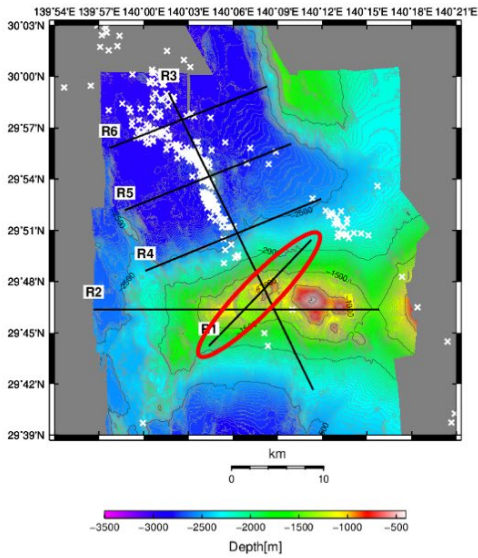
図10 測線R6における(左)CDP重合断面、(右)時間マイグレーション断面

海底面下からの往復走時が1,000msから2,000msを越えると海面と海底面の多重反射が目立つ。また、CDP重合断面では放物線状の虚像が目立つので、時間マイグレーション断面において海底面から1,000ms以内の記録断面を用いて解釈を行った。

中央火口丘を南西—北東に横断し、カルデラ内部を通過する測線R1の反射断面の拡大図を図11に示す。中央火口丘では複雑な地形を反映して、測線外からの回折波または散乱波による虚像と思われる信号が見える。また、カルデラの底部の水深はやや浅いので、カルデラ底部の下、往復走時3,600ms付近(図5参照)に多重反射による虚像が見える。

一方、カルデラの内部ではカルデラ底下約0.1sに明瞭な反射面をもつ層が確認できる(図11a、11b参照)。この層の厚さは水と同程度の音速を仮定すると70mとなり、カルデラ内部の中央火口丘南西部において確認された水深変化(最大60m)(Fujiwara et al.,2024; Minami and Tani, 2024)と調和的である。

(a) R1反射断面



(b)

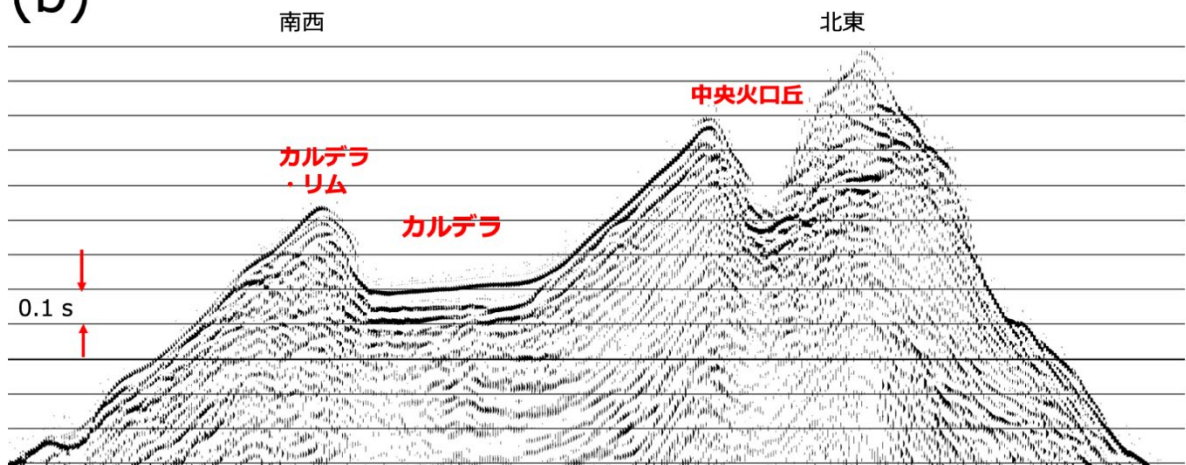
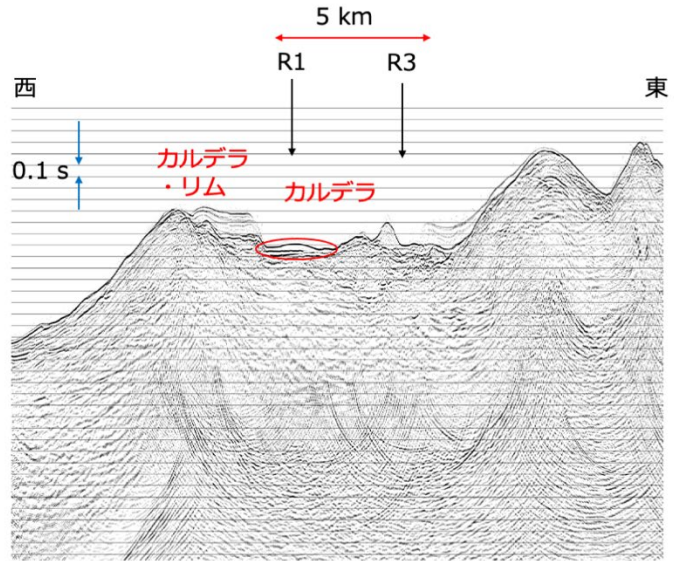
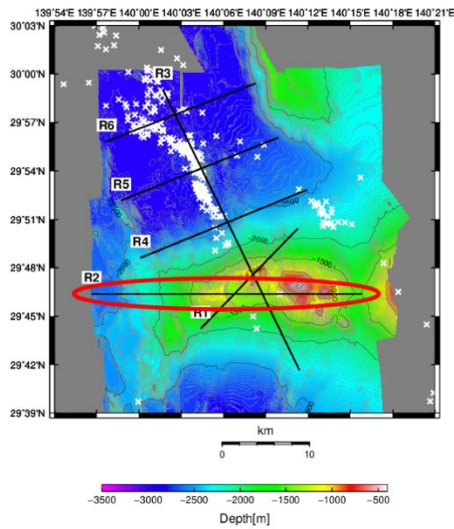


図11 (a)測線R1、時間マイグレーション断面の拡大図。カルデラ底部下に確認される層を赤丸で囲む。測線R2、R3と交差する地点を矢印で示す。(b)カルデラ付近の拡大図。

次にカルデラを東西に横断する測線R2の反射断面の拡大図を図12に示す。カルデラの西端やカルデラ東端の海底地形が明確ではないが、カルデラ西半分において、カルデラ底直下に厚さ約0.03sから0.1s(往復走時)の透明な層が確認できる(図12a、12b参照)。水と同程度の音速を仮定すると層厚は20~70m程度と推定される。また、R1と交差する地点での層厚は周囲よりやや厚くなっており、R1で確認される層厚と調和的である。

(a) R2反射断面



(b)

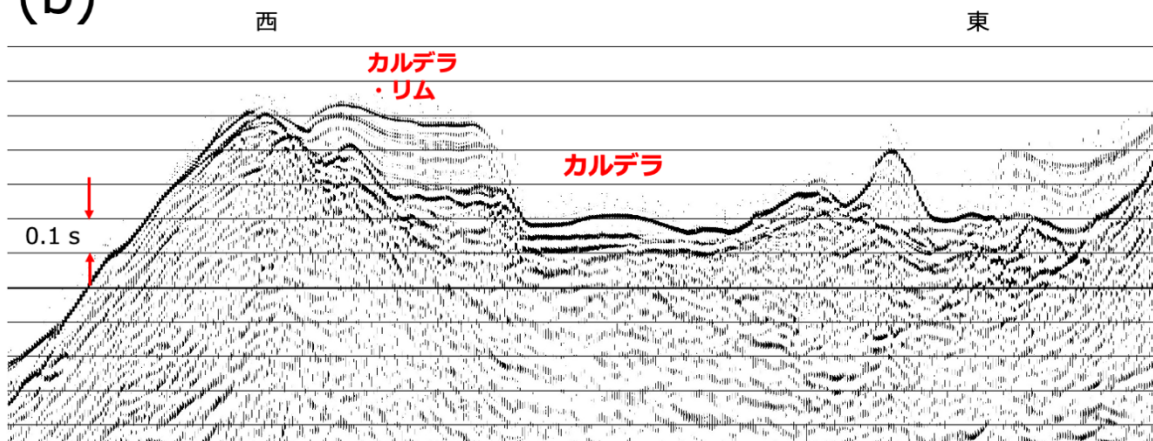


図12 (a)測線R2、時間マイグレーション断面の拡大図。カルデラ底部下に確認される層を赤丸で囲む。測線R1、R3と交差する地点を矢印で示す。(b)カルデラ付近の拡大図。

鳥島リフトから孀婦海山のカルデラ中央火口丘を通過して南東に抜ける測線R3の反射断面拡大図を図13に示す。この断面についての解釈は十分ではないが、中央火口丘の山頂から北西麓にかけて堆積層の厚さが徐々に薄くなり、南東麓のカルデラ内部においてやや透明な層が見える。

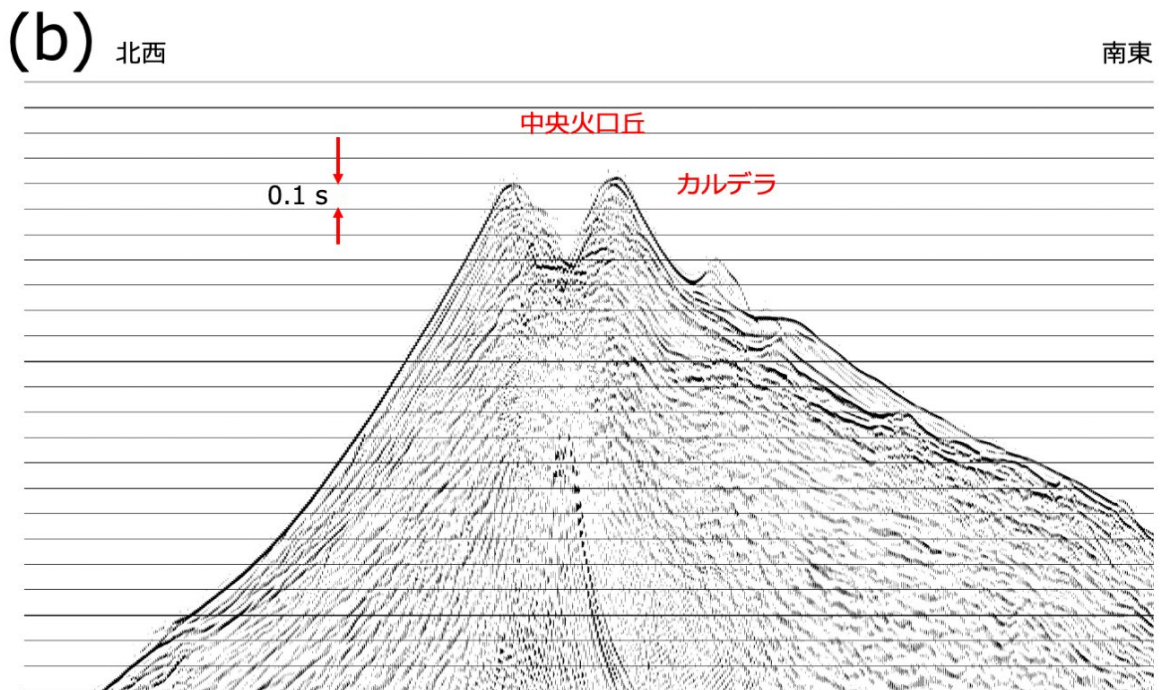
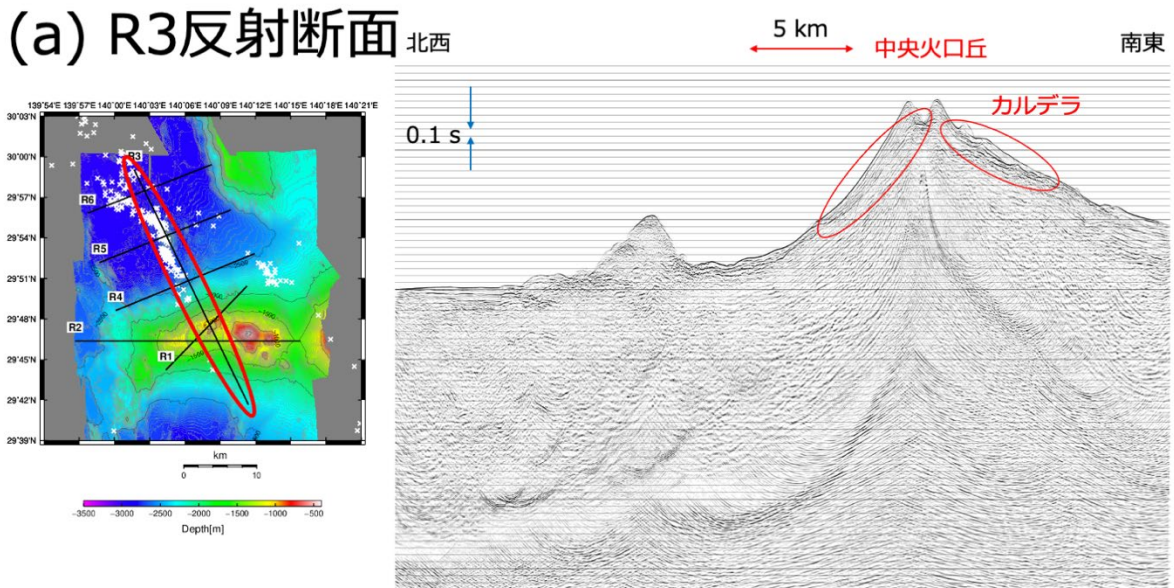


図13 測線R3、時間マイグレーション断面の拡大図。中央火口丘北西麓と南東麓に確認される層を赤丸で囲む。(b)中央火口丘付近の拡大図。

鳥島リフト軸に直行する測線R4、R5、R6の反射断面拡大図を図14、15、16に示す。Obana et al. (2025)によると、鳥島リフト軸に沿って嬬婦海山の北部から北緯30度以南に発生した地震の深さは15kmから20kmに分布しているため、この反射断面で示している範囲に震源は含まれない。ただし、解釈は十分ではないが、海底下のところどころに断層と思われる不連続が見られ、一部はObana et al. (2025)が推定した震央分布の近くに見られる。他には、測線R6の東北東端には堆積層が発達しているように見える。

R4反射断面

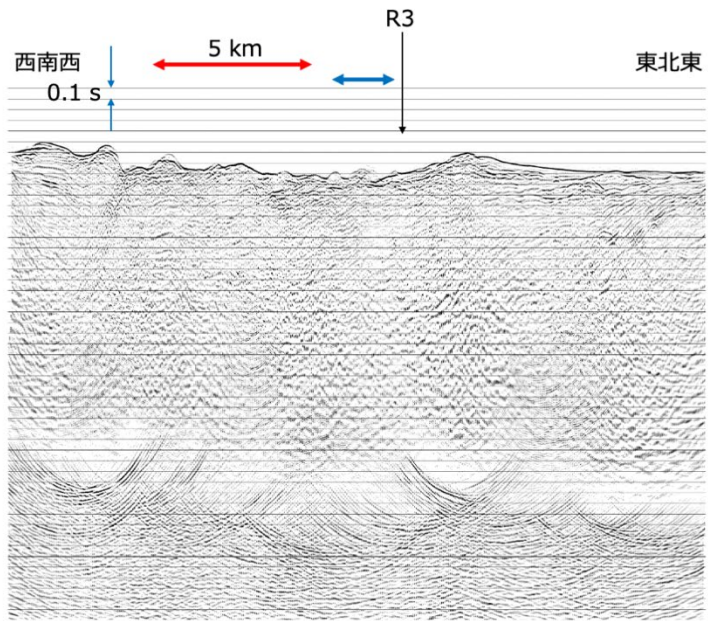
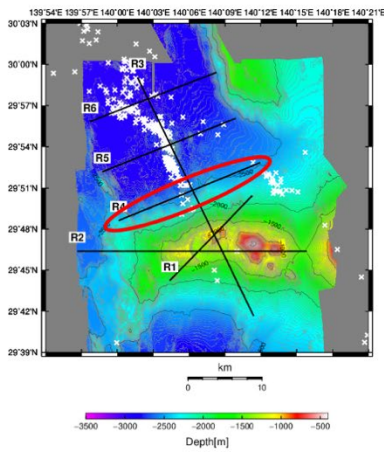


図14 測線R4、時間マイグレーション断面の拡大図。測線R3と交差する地点を矢印で示す。青矢印は、Obana et al. (2025)で求められた震源域の水平方向の範囲を示す。

R5反射断面

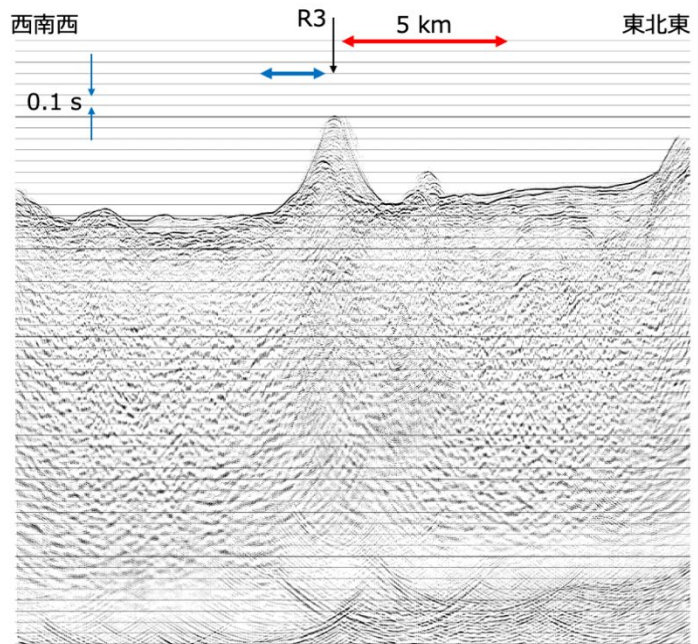
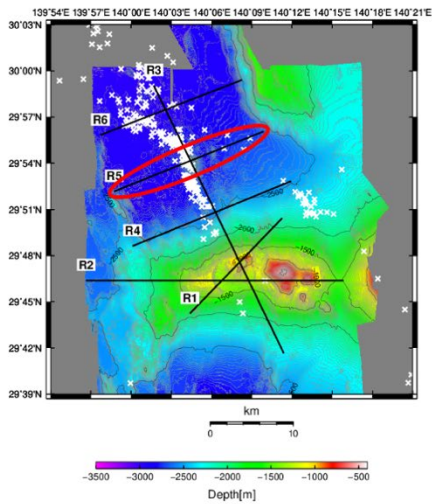


図15 測線R5、時間マイグレーション断面の拡大図。測線R3と交差する地点を矢印で示す。青矢印は、Obana et al. (2025)で求められた震源域の水平方向の範囲を示す。

R6反射断面

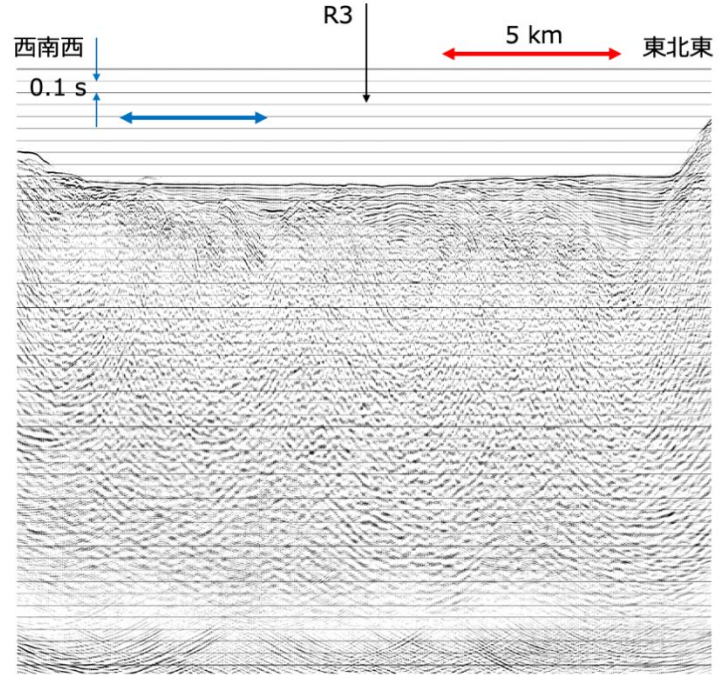
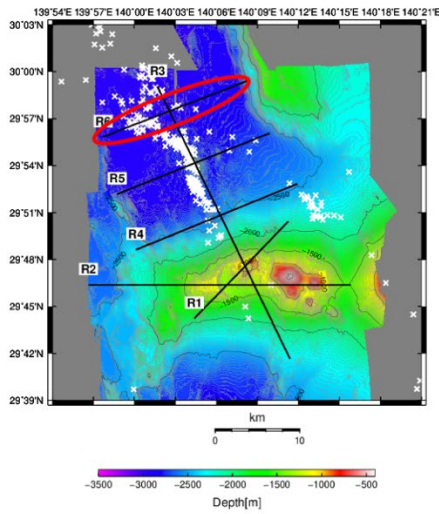
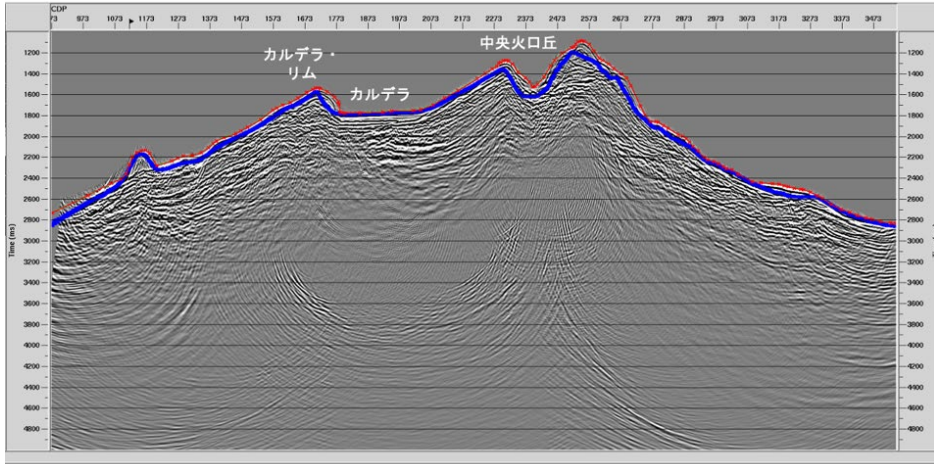


図16 測線R6、時間マイグレーション断面の拡大図。測線R3と交差する地点を矢印で示す。青矢印は、Obana et al. (2025)で求められた震源域の水平方向の範囲を示す。

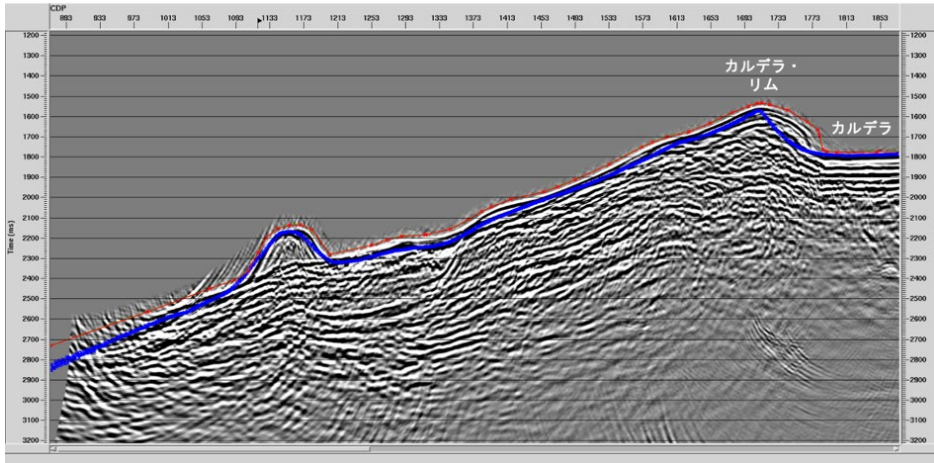
次に、火山地域に特有な複雑な海底地形による反射断面の影響を検討するため、マルチビーム音響測深機で得られた海底地形グリッドデータから測線に沿ったプロファイルを作成し、水中音速1,500m/sを仮定して往復走時に変換し、時間マイグレーション断面上に青線で描画した。赤線はミュート処理のため、海底面と判断された反射波の直前を読み取った走時 (Top Mute)を示す。

図 17 に、測線 R1 の時間マイグレーション断面に地形プロファイルと Top Mute を重ね合わせて示す。カルデラ底では地形プロファイルと Top Mute が良い一致を示しており、海底面下の層が正しく表現されていると解釈できる。一方、カルデラ・リムの切り立った崖 (図 17a、17b) や中央火口丘の中 (図 17a、17c)、山体の裾野の一部では地形プロファイルと Top Mute が一致しないことから、マイグレーションの処理が不十分、または、側方からの反射を反映している可能性が考えられる。

(a)



(b)



(c)

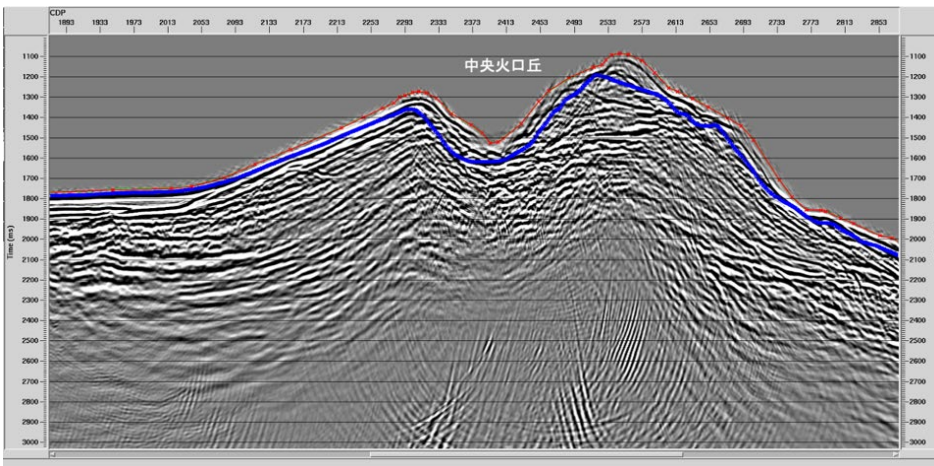
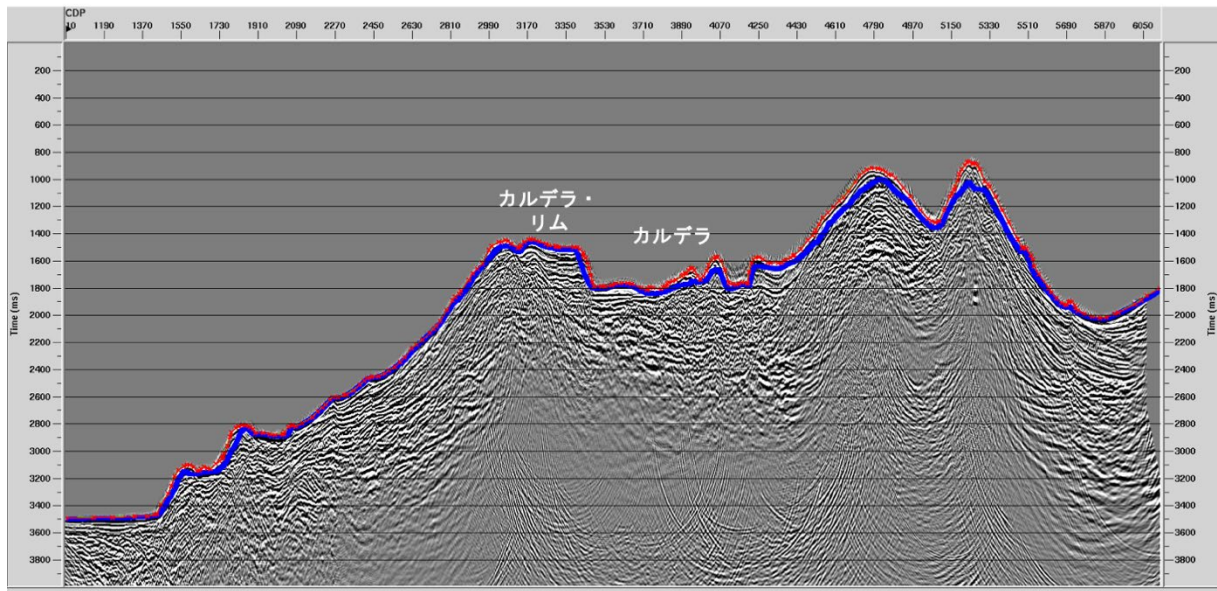


図17 (a) 測線R1の時間マイグレーション断面の拡大図。青線は海底地形、赤線はTop Mute。
(b)カルデラ・リム、(c)中央火口丘付近の拡大図。

図18で、測線R2の時間マイグレーション断面に地形プロフィールとTop Muteを重ね合わせた。ここも同様に、カルデラ底西部の地形が平坦な場所では地形プロフィールとTop Muteが良い一致を示しており、海底面下の層が正しく表現されている。一方、カルデラ・リムの切り立った崖では地形プロフィールとTop Muteが一致しない。

(a)



(b)

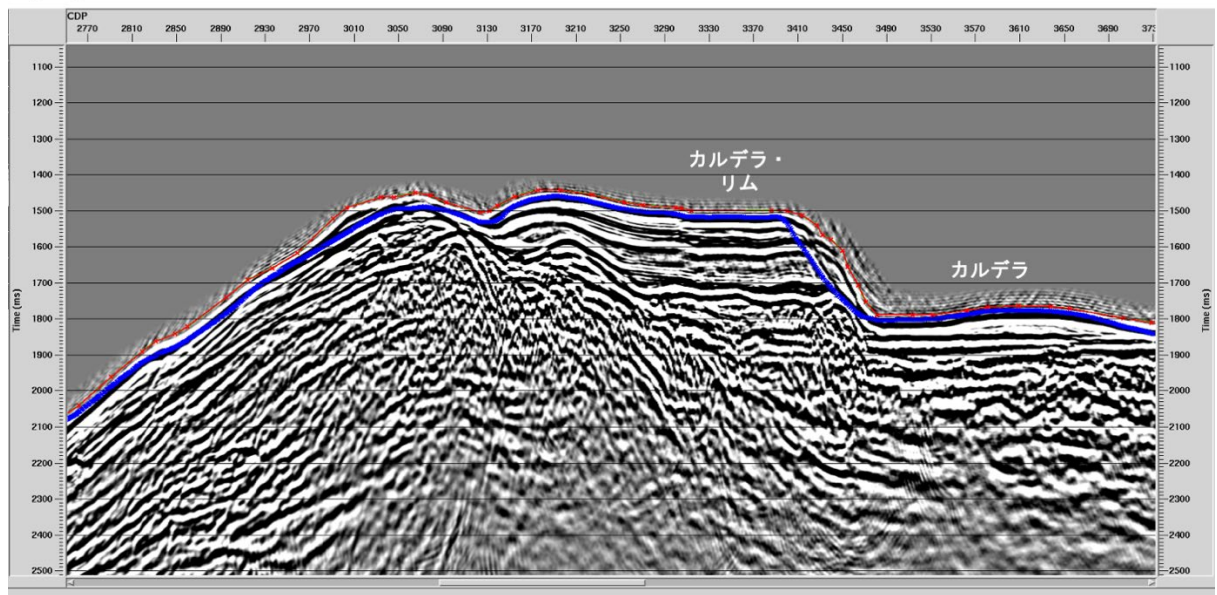
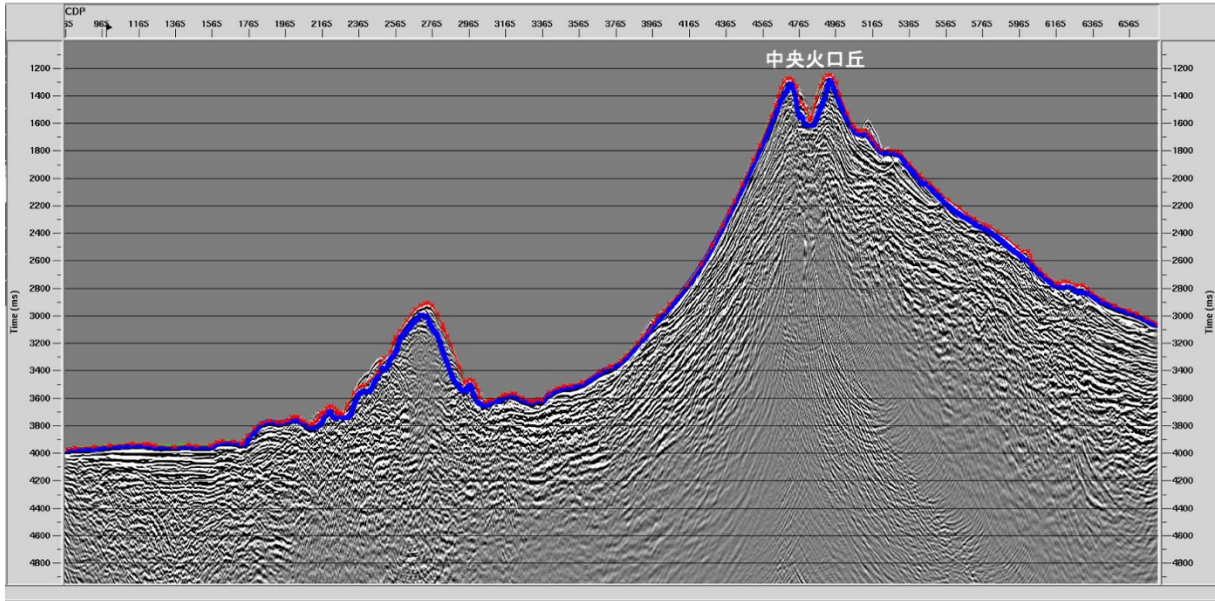


図18 測線R2の時間マイグレーション断面の拡大図。青線は海底地形、赤線はTop Mute。(a)全体図。(b)カルデラ・リムとカルデラ西側の拡大図。

図19で、測線R3の時間マイグレーション断面に地形プロフィールとTop Muteを重ね合わせた。中央火口丘では地形プロフィールとTop Muteが一致しない。

(a)



(b)

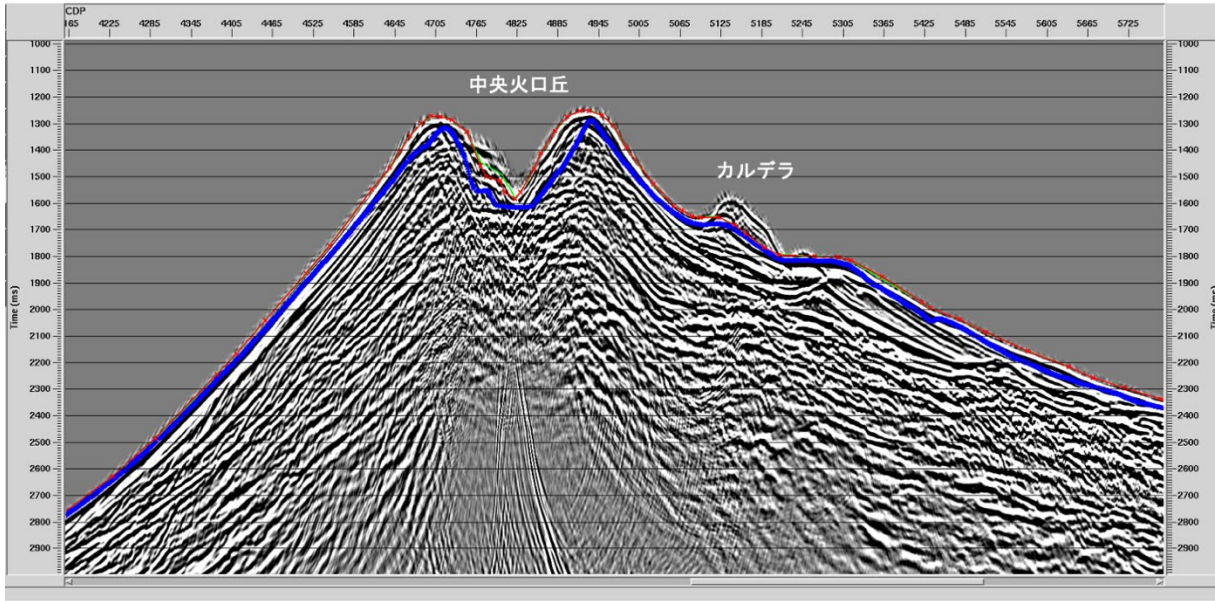


図19 測線R3の時間マイグレーション断面の拡大図。青線は海底地形、赤線はTop Mute。(a)全体図。(b)中央火口丘付近の拡大図。

最後に、図20に測線R1、R2、R3を接続して北西方向から立体的に表示する。カルデラ内の堆積層は測線間で概ね整合的であることが確認できる。

R1、R2、R3反射断面

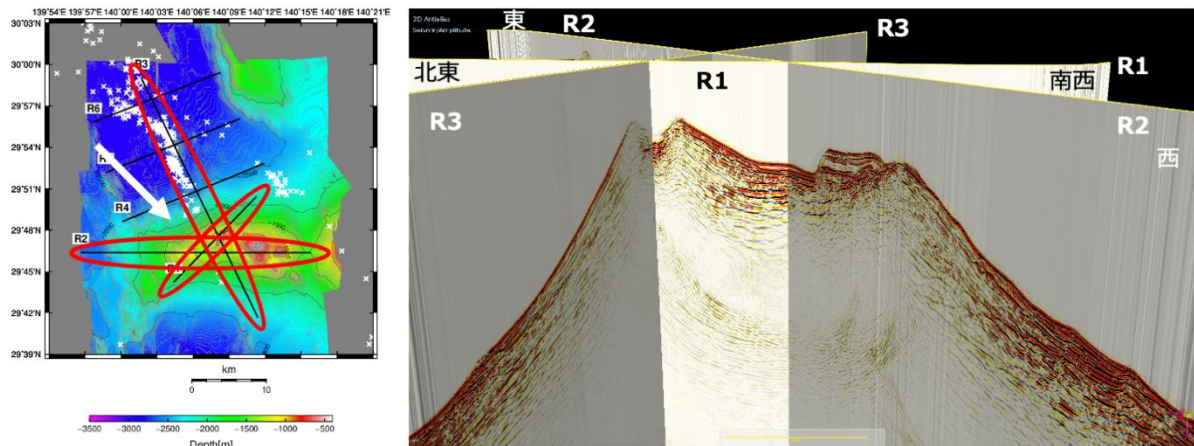


図20 測線R1、R2、R3を立体的に並べ、北西方向から見る。

2) サブボトム・プロフィール

得られた記録のうち、比較的品质の高い測線R1の記録を示す。図21は測線R1で得られた複数のSBP記録を合成した画像である。中央火口丘やカルデラ壁近傍のような傾斜が急な地域では明瞭な信号は得られなかった。一方、カルデラ底部の平坦な場所においては、反射法探査で検出された海底下約0.1s付近の反射面は確認できなかったものの、海底直下数mはほぼ水平に成層し、その下より音響的にやや透明な層が存在しているように見える。ただし、最終的な解釈は他の情報も収集の上、慎重に行う必要がある。

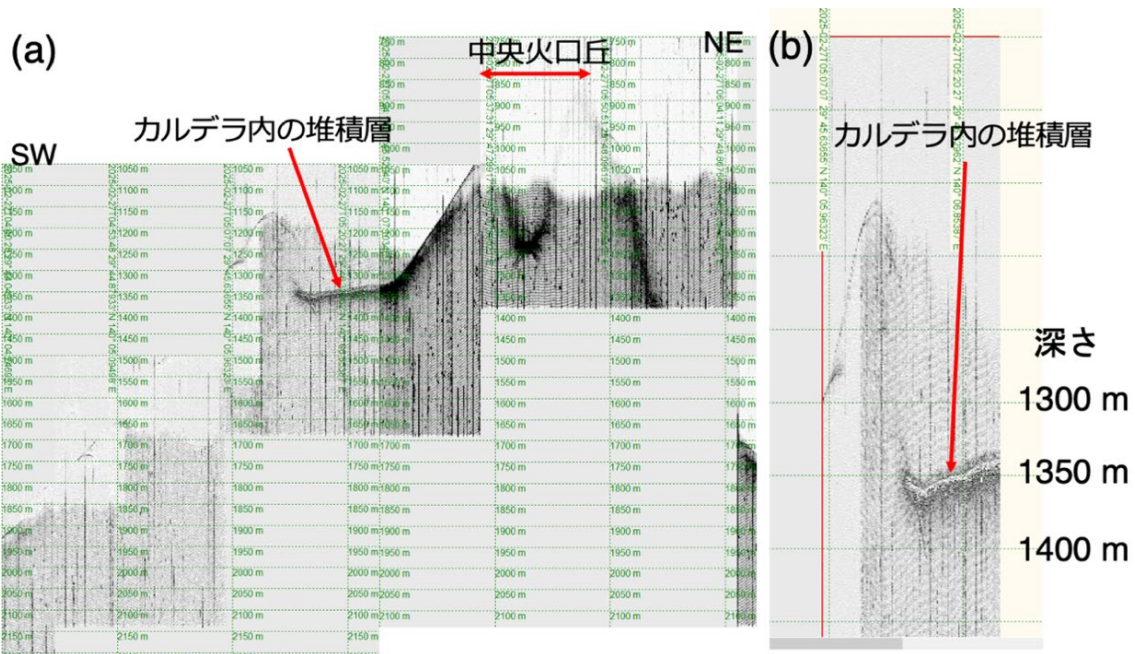


図21 (a) 測線R1におけるSBPの合成図。(b)カルデラ底部の拡大図。

(g) 結論並びに今後の課題

孀婦海山並びに鳥島リフトで反射法探査を実施した。孀婦海山のカルデラ底に噴火前後の地形変化

と整合的な地層が存在することを確認した。また、反射法探査と並行して実施したサブボトム・プロファイリングの結果も反射法探査と矛盾しない。以上のことから、海底地形調査で得られた地形変化は土砂の堆積によるものであることが示唆される。

今後の課題としては、堆積したと考えられる体積の推定、反射法探査と同じ航海(KM25-02 Leg1:2025年2月 22 日から3月8日)で実施した海底地震計とエアガンによる屈折法探査、別の航海(KM25-02 Leg2:2025年3月 13 日から3月 29 日)で実施されたドレッジやピストンコアで採取された試料の分析など、複数の結果と照合し、総合的に解釈を進めていく必要がある。また、Obana et al. (2025)が求めた 2023 年 11 月から 12 月の地震活動の震源域と、測線 R4、R5、R6における断層と思われる不連続構造との関係を明らかにしていくことが必要である。

(h) 引用文献

- Fujiwara, T., K. Imai, M. Obayashi, K. Yoshida, N. Tada, K. Obana, G. Fujie, S. Ono and S. Kodaira, The Sofu Seamount submarine volcano present in the source area of the October 2023 earthquakes and tsunamis in Japan. *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL109766. doi:10.1029/2024GL109766, 2024.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 鳥島近海の地震活動の評価(令和5年10月11日公表), https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2023/2023_torishima.pdf, 2023a.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 鳥島近海の地震活動の評価(令和5年11月10日公表), https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2023/2023_torishima_2.pdf, 2023b.
- 海上保安庁, 鳥島近海で海底噴火の痕跡を確認 ~令和5年10月の津波現象の原因究明の一助に~, <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/r6/k240329/k240329.pdf>, 2024.
- 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/, 2023.
- Kubota T., O. Sandanbata, T. Saito, and T. Matsuzawa, Accelerating seafloor uplift of submarine caldera near Sofugan Volcano, Japan, resolved by distant tsunami recordings. *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL108. doi:10.1029/2024GL108415, 2024.
- Minami, H. and K. Tani, Morphological evidence of an explosive eruption event in October 2023 at Sofu Seamount in the Izu-Bonin Arc. *Marine Geology*, 477, 107405. doi:10.1016/j.margeo.2024.107405, 2024.
- Obana, K., A. Ito, T. Fujiwara, M. Obayashi, K. Imai, Y. Nakamura, K. Yoshida, N. Tada, T. Nakajima, H. Matsumoto, G. Fujie, S. Tanaka, S. Ono, S. Kodaira, Earthquake activity in the Torishima Rift and Sofu Seamount, and its relationship to the October 2023 tsunamis in Japan, *Earth, Planets and Space*, 77:56. doi:10.1186/s40623-025-02185-x, 2025.
- Sandanbata, O., K. Satake, S. Takemura, S. Watada, T. Maeda, and T. Kubota, Enigmatic tsunami waves amplified by repetitive source events near Sofugan volcano, Japan. *Geophysical Research Letters*, 51, e2023GL106949. doi:10.1029/2023GL106949, 2024.
- Takemura, S., T. Kubota, and O. Sandanbata, Successive tsunamigenic events near Sofu Seamount inferred from high-frequency teleseismic *P* and regional *T* waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2024JB029746. doi:10.1029/2024JB029746, 2024.
- Tanaka, S., M. Nakano, T. Nakajima, J. Yoshimitsu, M. Obayashi, and D. Metz, Monitoring Submarine Volcanic Activities in the Izu-Bonin-Mariana Arc Using the International Monitoring System Hydrophone Array Signals. *Seismological Research Letters*, 96, 721-730. doi:10.1785/0220240341, 2025.