

噴火活動中の西之島火山の 2015 年の海洋調査[†]

森下泰成^{*1}, 小野智三^{*2}, 濱崎翔五^{*3}, 高橋日登美^{*4}

Survey cruise in 2015 of Nishinoshima volcano under eruption[†]

Taisei MORISHITA^{*1}, Tomozou ONO^{*2}, Shogo HAMASAKI^{*3},
and Hitomi TAKAHASHI^{*4}

Abstract

In June and July 2015, the Japan Coast Guard conducted a comprehensive survey cruise by the S/V *Shoyo* of Nishinoshima volcano under active eruption. This cruise was highlighted by work on the seafloor mapping within the caution zone for volcanic hazards using the autonomous survey boat *Manbo II*. In addition, TV news media was allowed to board the S/V *Shoyo*.

The MBES (multi-beam echo sounder) mapping by the *Manbo II* revealed that significant bathymetric change due to the sedimentation of volcanic products was limited to the eastern-to-southern shelf edge and it reached up to 80 meters. The total volume of erupted lava was estimated as $\sim 0.16 \text{ km}^3$, which is 9 times as large as that of the 1973–1974 eruption of Nishinoshima volcano.

1 はじめに

2013 年 11 月 20 日, 小笠原諸島の西之島の南東海上で海底噴火と新島の形成が確認された(小野・他, 2015). その後, 活発な噴火活動は 2015 年 11 月まで約 2 年間継続し, 流出した溶岩によって新たに形成された陸地は元の西之島をほぼ覆い尽くし, 西之島の面積は噴火前の約 12 倍の大きさとなった. 今回の西之島の噴火に対しては, 専ら航空機により噴火最初期を除き月 1 回の

頻度で観測を実施してきた. 一方, 活発な噴火活動が長期にわたって継続し海底が大きく変化している可能性が高くなったことから, 2015 年 6–7 月に当庁としては噴火開始後初めての測量船による西之島周辺海域の海洋調査を実施した. また, この調査には多数の報道関係者が乗船し, 洋上から見た西之島の噴火や当庁の海洋調査の様子がテレビで大々的に報道された. 本報では, この西之島噴火中の測量船による海洋調査と結果について

[†] Received July 3, 2017; Accepted August 31, 2017

* 1 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 第三管区海上保安本部 海洋情報部 Now at Hydrographic and Oceanographic Department, 3rd R.C.G. Hqs.)

* 2 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 海上保安学校 Now at Japan Coast Guard School)

* 3 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division (現職 海上保安大学校 Now at Japan Coast Guard Academy)

* 4 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division
(現職 技術・国際課 Now at Technology Planning and International Affairs Division)

て、事前準備も含めて概要を報告する。

2 海洋調査の背景と調査の概要

西之島周辺海域の調査は、2015年6月22日から7月9日までの日程で、測量船「昭洋」と特殊搭載艇「マンボウⅡ」を用いて実施した。この頃の西之島の噴火活動は、2015年春先からやや停滞気味となっていた溶岩の流出が再び活発化し、主に島の南東方面で溶岩流による島の拡大が進行していた。調査直前の同年6月18日の航空機による観測結果では、西之島の陸地面積は約2.71 km²であり、島の面積が過去最大となっていた（噴火終了の2015年11月時点の面積は約2.64 km²）（小野・他, 2018）。

噴火開始以来、観測手段は専ら航空機による上空からの短時間の観察や人工衛星データだけであった。比高3000 mを超える山体をもつ西之島火山の場合（Fig. 1）、その大部分が海面下にあるため、上空からの観測のみでは活動を十分に理解することができない。また、溶岩が海を埋め立てて島が拡大したのであるから、島の周囲の海底にも大きな地形（水深）の変化が生じているはずである。海底噴火の可能性や山体崩壊・津波発生の可能性（例えば、東京大学地震研究所, 2014）も指摘される一方で、海面下に関する情報が全く得られていなかった。噴火が長期化する中、火山活動の評価や今後の推移の予測のためにも海洋観測の必要性が高まっていった。2014年6月20日に

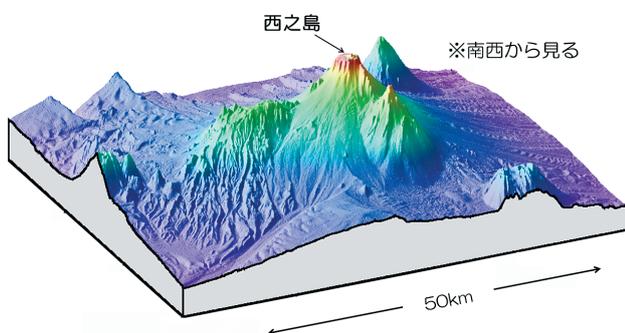


Fig. 1. Three-dimensional bathymetric view of Nishinoshima volcano, looking from SW. Vertical exaggeration is 6.

図1. 西之島火山の3次元海底地形（南西からみる。水平・垂直比は1:6）。

火山噴火予知連絡会の下に「西之島総合観測班」が組織され（気象庁, 2014）、西之島の火山活動評価のための各種観測計画等の検討及び総合的な調整、並びに観測の実施と情報共有を行うこととなった。当庁も海洋調査課長が構成員として総合観測班に参画した。海洋調査の実施にあたっては、当時は、気象庁が海底噴火の可能性やベースサージの可能性があるとする火山噴火予知連絡会の検討を踏まえ、噴火警報（火口周辺危険）を発出し、「島を中心とする半径4 km以内」を噴火に警戒が必要な範囲（以下、「噴火警戒範囲」として指定しており、これに合わせて、当庁も航行警報によって半径4 kmまでを対象に噴火への警戒を呼びかけていた。このような事情から、噴火警戒範囲内の調査を如何にして行うかが各機関共通の大きな課題であった。このため、当庁は無人で自律的に海底調査が可能な特殊搭載艇「マンボウⅡ」を用いて、噴火中の西之島の周辺の海洋調査を行うこととなった。

海上保安庁の調査に先立って、2015年2月に海洋研究開発機構（JAMSTEC）の調査船が、噴火警戒範囲（当時島の中心から半径6 km）の外側で海底地震計の設置、火山灰の採取、海底地形調査などを実施した（海洋研究開発機構・他, 2015a）。その後5-6月に、気象庁やJAMSTECの調査船が、海底地震計の設置、海底試料の採取、火山灰の採取などを実施した（海洋研究開発機構・他, 2015b）。しかし、いずれの調査も噴火警戒範囲の外側での調査であり、島近傍の海底は全く調べられていなかった。このため、当庁の「マンボウⅡ」による調査が噴火警戒範囲内における初めての調査となった。

当庁による西之島周辺海域の調査日程をTable 1に示す。噴火警戒範囲内では、「マンボウⅡ」による海底地形調査及び採水を実施した。噴火警戒範囲の外側では、「昭洋」を用いて海底地震計による自然地震観測及びエアガンを音源とする人工地震波探査（屈折法探査、反射法探査）を実施した。また日々の噴火活動の変化を捉えるために、船上から目視観測及び熱計測を行った。前述

Table 1. Schedule of the survey.

表1. 調査スケジュール.

月 日	作 業 内 容
6月22日	基地出港
6月23日	回航
6月24日	西之島着, 本船による地形調査
6月25日	海底地震計設置, 海底地震計位置測定
6月26日	マンボウIIによる地形調査, 採水
6月27日	マンボウII保守, 海底地震計位置測定
6月28日	マンボウII保守
6月29日	マンボウII保守・航行試験
6月30日	マンボウIIによる地形調査・採水
7月1日	マンボウIIによる地形調査・採水 西之島発, 船内記者ブリーフィング
7月2日	父島二見港着, 報道関係者下船・乗船 二見検潮所(気象庁所管)水準測量 父島二見港発, 西之島着
7月3日	マンボウIIによる地形調査・採水
7月4日	地殻構造探査
7月5日	地殻構造探査
7月6日	海底地震計回収
7月7日	西之島発
7月8日	回航, 船内記者ブリーフィング
7月9日	基地入港

のとおり, 当庁は西之島総合観測班の構成員であったことから, 事前に火山噴火予知連絡会の関係機関に対して共同調査や同乗調査の希望を募った。その結果, 海底地震計を用いた観測は東大地震研究所と気象研究所との共同観測とし, 人工地震波探査では, 当庁が設置する5台の海底地震計だけでなく, これら2機関による長期観測中の海底地震計の直上をも通るようにエアガン発震を実施し, より詳細な火山体地下構造の解明のためにデータを3機関間で共有した(岡田・他, 2016)。「マンボウII」による島周りの海水の採取は, 東京工業大学の野上教授と共同で行った。また, 産業技術総合研究所からの依頼により, 調査船に降下した火山灰の採取及び海底からの溶岩試料の採取を行うこととなった(ただし, 海底からの試料採取は天候都合により実施できず)。調査の中日

には, 西之島の東方約130 kmにある父島二見港に入港し, 父島検潮所(気象庁管轄)の点検を実施した。

3 調査の事前準備

3.1 報道関係者の乗船

長期にわたる西之島の活発な噴火と島の拡大に対する世の中の関心が高い一方で, 航行警報により島に接近できない状況が続いていたことから, 当庁に対するマスコミの取材要望が強かった。そのため, 海洋調査には希望する報道関係者の乗船取材を受け付けることとなった。政策評価広報室が希望社を募った結果, テレビ局5社計9名の記者やカメラマンが乗船することとなった。乗船する報道関係者を前半組(5社6名)と後半組(1社3名)に分け, 父島検潮所の点検を目的として7月2日に「昭洋」が父島に入港する際, 前半組と後半組が交代することとなった。前半組が約10日, 若干期間が短い後半組でさえも8日間の乗船となった。

報道関係者の乗船受入れにあたっては, 政策評価広報室及び「昭洋」と連携して, 報道関係者に対して4月から事前説明会を複数回実施し, 調査の目的や内容, 期待される成果, さらに船内生活規則などを説明した。報道関係者は, 東京から1000 kmも離れた洋上の測量船内に10日間近く拘束されることになるため, それだけの価値のある映像や情報が得られるのか真剣に検討を行っていた。また, 当庁の測量船に長期間乗る機会は珍しいことから, 我々が当初想定していた「島の噴火活動」や「調査観測の船上作業」の取材ネタ以外に, 測量船で仕事をする海上保安官への様々な密着取材の要望が各社から出された。これらの取材要望に対して, 当庁も業務に支障がない範囲でできる限り対応することとし, 政策評価広報室, 測量船乗組員, 上乗り観測班, 各社の4者が, 調査前及び調査中に打合せを重ね, 取材内容と取材の時間割調整を行った。詳細は割愛するが, この乗船取材の結果, 期間中の西之島の噴火活動のほか, 一般にはあまり知られていない当庁測量船の



Photo 1. TV media interviewing prior to departure (upper) and on-board filming work of JCG survey crews (lower).

写真1. TV各社による出航前インタビュー（上）及び船上での調査作業の撮影（下）。

調査やそこで活動する職員の様子がテレビを通じて広く報道されることとなった（Photo 1）。

3.2 「マンボウⅡ」のテスト及び安全対策

本調査の中での最優先項目は、「マンボウⅡ」による噴火警戒範囲内の海底地形調査である。「マンボウⅡ」は1998（平成10）年の就役以来、船底に装備されたシングルビーム音響測深機で、明神礁（西澤・他，2000）や福岡ノ場（大谷・他，2006；伊藤・他，2011）などの活動的な海底火山の地形を明らかにしてきた。その後，2013（平成25）年に浅海用マルチビーム音響測深機が後付けで船首部に装備された（Photo 2）。それ以降，測量船乗組員の慣熟訓練や洋上での機器テストは実施されていたものの，様々な事情も重なって実海域での調査に用いられていなかった。このため本調査が「マンボウⅡ」によるマルチビーム音響測深機を使った初めての調査であった。

調査に先立ち，「マンボウⅡ」の海上試験を2015年の年明け以降3回実施した。予め設定し



Photo 2. Autonomous survey boat *Manbo II* (left), her mother vessel, S/V *Shoyo* (upper right), and an MBES (R2sonic2022) mounted on the *Manbo II* (lower right).

写真2. 自律型特殊搭載艇「マンボウⅡ」（左）とその母船・測量船「昭洋」（右上）並びに「マンボウⅡ」に装備されたマルチビーム音響測深機（R2sonic2022）（右下）。

た測線上を自律航行させると大きく蛇行して測線上を直線的に走れない，XBTが正常に投下されない，等々多くの課題が見つかったが，1つ1つ対処していった。その中で浮上した根本的な問題が測深機のノイズであった。「マンボウⅡ」は滑走型のため，船速を上げると船首部が持ち上がりマルチビーム測深機の喫水が減少する。その結果，船首部船底で泡が発生して測深データにノイズが大量に入り，特に水深が深くなると海底を検出できなくなってしまう。この問題への対処策として，測深時は対水約2 knot（3.7 km/時）以下の非常に低速で航行することとした。「マンボウⅡ」のエンジンスロットルは微速・半速・全速の三段階固定式であり，半速時の通常の航行速度は約5 knot（9.3 km/時）と高速であったため，エンジン回転数設定を調整して2 knot以下の低速航行を可能にした。

本調査では活発な噴火活動中の火山に接近すること，また多数の民間人が同乗することから，通常の水路測量以上に安全対策・緊急時対策を事前に検討した。火山対策としては，警備救難部の協力を得て，調査前及び期間中に適宜，航空機で上空から火山活動の状況を監視し，その結果を現場の測量船と情報共有した。測量船では水平方向か

らしか火山を観ることができないため、変色水の分布のほか、海上での特異現象やその兆候などの早期認知は難しい。そのため、航空機による上空からの写真や観察情報は現場にとっても有益であった。有毒な火山ガスに対しては、新たに購入した携帯型ガス検知器（5台）を用いて母船（船橋、後部甲板等）や搭載艇の火山ガス濃度（ SO_2 及び H_2S ）をモニターした。母船において一定濃度以上の火山ガスを検知した場合には、濃度に応じて、乗船者は予め配布された防毒マスクを装着する、更には風向きを考慮して安全な海域に測量船は退避することとした。暗くなる夜間に海域で噴火等の異変が発生した場合は対応の遅れが想定されるため、地震波探査実施時を除いて夜間の調査は実施せず、西之島から10海里程度離れたより安全な海域で漂泊することとした。

船に影響の及ぶような噴火等の異変、事故、「マンボウII」の航行不能などの不測の事態における意志決定プロセスをあらためて規定し、そのような事態に備えて、調査期間中、本庁海洋情報部では当直体制を敷き、関係部局間の連絡体制を確保することとした。

4 「マンボウII」による噴火警戒範囲内の海底地形調査

4.1 調査計画

「マンボウII」による噴火警戒範囲内の調査測線を Fig. 2 に示す。地形が大きく変化している可能性が高い海岸付近では座礁の危険があるため、海岸線からの距離が約200mとなる多角形を避険線として、概ね水深350m程度までをカバーするよう、距岸225m、250m、275m、…と25m刻みで避険線に平行な測線を設定した。噴火や島の様子をより近くで観察するため、「マンボウII」の操舵室内にビデオカメラを2台、船外の前方向フレーム及び屋根の上に報道関係者のビデオカメラ2台を設置した。また、屋根の上には、降下した火山灰を採取するための回収容器と火山ガス濃度をモニターするための携帯型ガス検知器を取り付けた (Photo 3)。

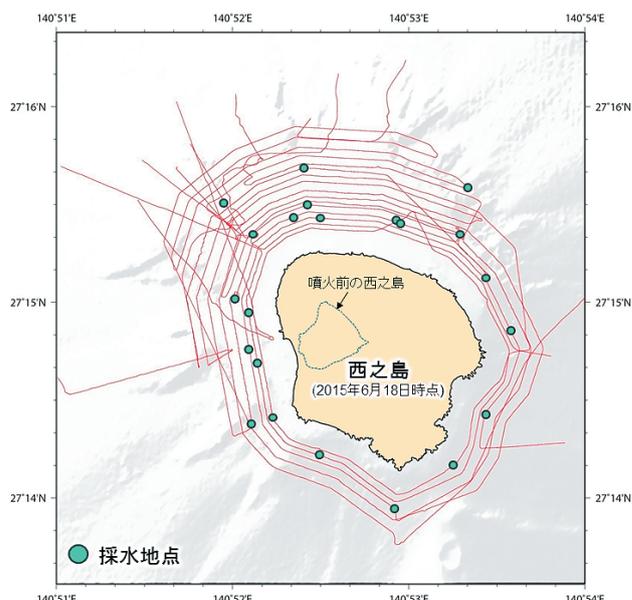


Fig. 2. Survey track lines of the *Manbo II* with locations of seawater sampling (pale-blue circles).

図2. マンボウIIによる水深調査測線。水色の丸印は海水採取地点を示す。

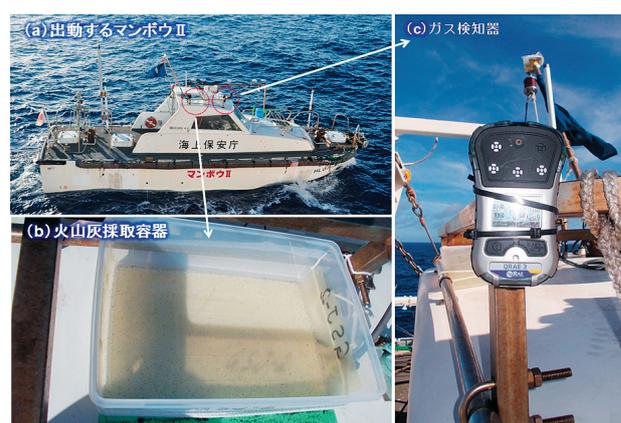


Photo 3. A container for collecting volcanic ash and a gas detector, mounted on the *Manbo II*.

写真3. 出航するマンボウIIとそれに装着された火山灰回収容器及びガス検知器。

「マンボウII」は運用にあたっての気象・海象条件の制約が大きく、風速10m/s以上の風が吹き続けると母船からの離脱や母船への揚収の作業が困難になるほか、航行自体も不安定になる。このため、調査海域に到着して海底地震計を設置した後は、「マンボウII」による調査を優先的に連日実施し、それが不可能な荒天の場合に母船を用いた調査を実施することにした。通常、梅雨明け直後の6月の小笠原海域は太平洋高気圧に広く覆

われ海況も静穏なことが多い。幸いにも調査期間中は、荒天のために「マンボウⅡ」の調査を延期することはなかったものの、太平洋高気圧が東に偏って停滞していたため、西之島海域は高気圧の西縁に位置することになり、連日6-7 m/sの南西風が常に吹き、波もやや高い状態が続いた。

4.2 調査とトラブル

6月26日から「マンボウⅡ」による海底地形調査を開始した。初日は海底の変化状況が全く不明であるため、座礁の危険のない距岸300 mを皮切りに距岸700 mまでの測線に沿って測深を実施した。不便なことに、母船では、「マンボウⅡ」のマルチビーム測深機が海底を適切に検出できているかをリアルタイムで知るができず、「マンボウⅡ」が母船に帰船するのを待たねばならなかった。「マンボウⅡ」は、順調に決められた測線に沿って島周りをほぼ2周半航走し、全4回の採水も実施した。そうして、島の西側で初日の調査を終え母船に戻り始めた直後(15時40分)、「マンボウⅡ」の主機が突然停止した。母船から遠隔操作で主機再起動を繰り返し行ったがすぐに再停止し、最終的には主機のバッテリーが上がってしまった。こうなると打つ手はなく、「マンボウⅡ」は漂流状態となった。最悪は海岸に漂流し座礁してしまうことだったが、南西風に流された「マンボウⅡ」は、幸いにも島の北西沖をかすめ、約3時間後に警戒範囲の北方外に出域した。一方、「昭洋」はその見通しの下、漂流予定地点に先回りし「マンボウⅡ」を待ち受けた。船内では報道関係者に対して逐次状況説明を実施するとともに、乗組員・観測班によるミーティングを開き揚収作戦を協議した。通常ならばリモコンで「マンボウⅡ」の動きを制御しながら母船に揚収するのだが、電源を失った「マンボウⅡ」ではそれができないため、母船の船位と向きを漂流する「マンボウⅡ」の動きに合わせて揚収作業を行った。悪戦苦闘すること約40分、「マンボウⅡ」が揚収された。乗組員・報道関係者一同から安堵と喜びの声が上がった。幸いにも肝心の測深

データと採水試料はともに取得できていることが判明した。

翌27日から「マンボウⅡ」の主機復旧作業が「昭洋」機関科職員によって開始された。試運転と夜を徹しての復旧作業は丸2日に及んだ。狭い「マンボウⅡ」の機関室内はサウナ状態であり、過酷な作業となった。それでも機関科乗組員の献身的な復旧作業のお陰で主機トラブルは解消され、3日後の29日に調査を再開することができた。主機停止の直接的原因は、燃料タンクのスラッジ(劣化して溜まった油分やサビなどの沈殿物)が細い燃料給油管を塞ぎ、燃料が主機に供給されなくなったためと判明した。冬から春にかけて実施された機器テストは気温も低く海象条件も良かった一方、本調査では真夏の高温と風浪による時化のために、機器テスト時には発生しなかった現象に見舞われたものと推定された。この遠因として、それまでの数年間「マンボウⅡ」を実海域で使用してこなかったという運用上の問題及び、それがために適切な保守を怠っていたこと、並びに「マンボウⅡ」自体の構造的な欠陥が考えられる。

これ以降、「マンボウⅡ」は、観測機器トラブル

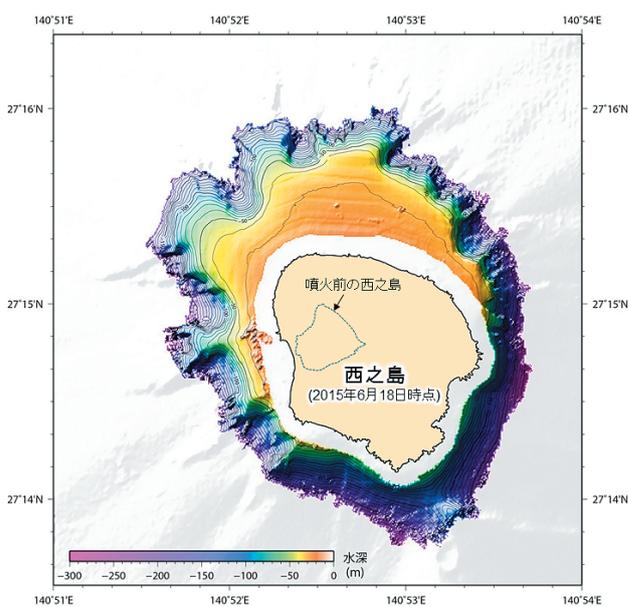


Fig. 3. Bathymetric map revealed by the *Manbo II* survey.

図3. マンボウⅡの調査によって明らかになった海底地形。

ルで調査を一時中断することが度々あったものの、連日調査を実施することができた。のべ5日間の調査で約110 kmを航走し、現状の測深システムで測深可能な水深約200 mまでの海底の調査を完了した (Fig. 3)。採水については、測深作業と同時に、方位と島からの距離を変えながら合計21カ所を実施した (Fig. 2)。

4.3 海底地形データの取得状況

今回得られた海底地形データは、通常のマルチビーム測深機の記録に比べノイズが圧倒的に多かった。その理由としては、前述のとおり測深機の喫水が小さいこと、調査中は「マンボウII」の測深機の設定を水深に合わせて臨機応変に変更することが不可能であること、調査時の風浪の影響などが考えられる。このため、水深が深くなるほどノイズの影響が大きくなり、真の海底を示すデータがノイズの中に埋もれてしまう状況であり (Fig. 4)、データのクリーニングには時間を要し

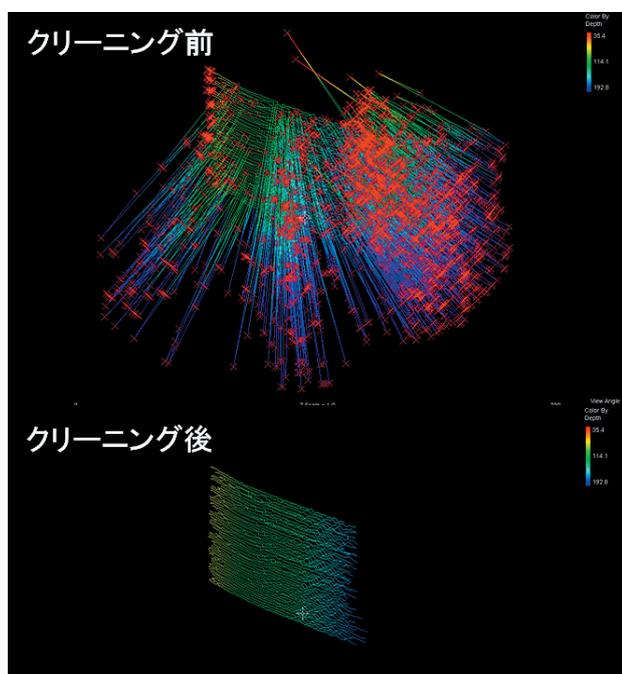


Fig. 4. Three-dimensional views of MBES (multi-beam echo sounder) pings. Upper: before data cleaning; Lower: after data cleaning.

図4. マルチビーム測深機による複数のピングデータの3次元表示。上図：ノイズデータ除去前。下図：ノイズデータ除去後。

た。

一方で、本調査に同乗していた報道関係者からの要望で、彼らが下船するまでに何らかの調査成果を示す必要があった。上乘り観測班は、日中の調査作業と夕食を終えた後から深夜までの時間をデータ処理に費やした。後述するように、毎日早朝4時から噴火活動の観察を実施するため、睡眠時間を削っての作業となった。それでも前半戦終了時と後半戦終了時の2回、船内で実施した報道関係者に対する調査結果の説明会において、「マンボウII」の調査で明らかになった海底地形の変化 (後述) の暫定結果を示すことができた。

5 洋上からの噴火活動観察

現場海域に滞在中は、日々の噴火活動の変化を捉えるためのルーティン作業として、毎朝西之島の火山活動状況の定点観測を行った。日の出1時間前の4時15分から約70–80分間、「昭洋」で西之島の周囲を一周しながら、目視観察のほか、スティルカメラ、ビデオカメラ、熱画像カメラで撮影を行った。六分儀を用いた火砕丘などの高度計測も行った。また、早朝のみだけでなく他の調査・観測の合間にも適宜観察を実施した。

その中で、活発な状態が継続する西之島の噴火活動において2つの特異現象が確認された。

1つ目の現象は、溶岩流の流下経路の変化である。本調査直前の6月18日実施の航空機による熱画像計測結果 (小野・他, 2018) にも示されるように、陸上の高温域は島の拡大が進む南東海岸付近のみに認められた。これは、新たに地下から供給されたマグマが地表に出ることなく既存の溶岩トンネルを経由して側方に流れ下り、海岸付近で地表に現れていることを示している。ところが、観測を始めて5日目の6月28日早朝、前日朝までは存在しなかった高温の領域が火砕丘の麓から海の方に向かって細長く伸びているのが確認された (Fig. 5)。これは、新しいマグマが地表に噴き出して斜面を流れ出したことを示している。この日溶岩流が新たに地表を流れ始めたのは、溶岩トンネルでは処理しきれない大量のマグマが地

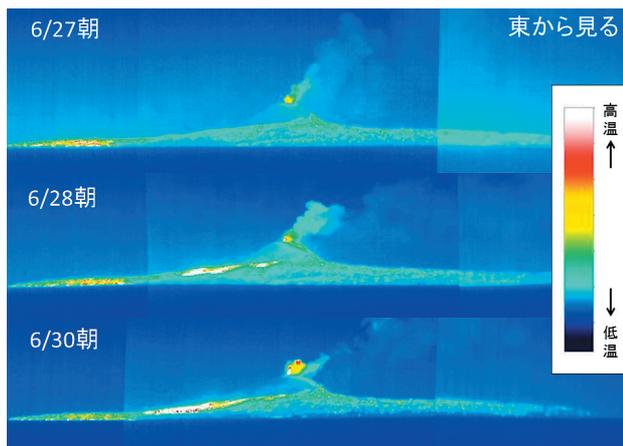


Fig. 5. New lava flows depicted by thermal images obtained on June 27, 28 and 30, 2015.

図5. 熱画像イメージで捉えられた新しい溶岩流。2015年6月27日、28日、30日撮影。

下から供給されたためと推定される。地表を流れ出した溶岩流はその後3日をかけて海岸へ到達した。

もう一つの現象は、山頂噴火の停止と側噴火の発生である。7月6日の早朝6時30分頃、火砕丘の山頂火口からのストロンボリ式噴火が突然停止した。その後、午前10時50分頃、大量の白煙（水蒸気を含んだ火山ガス）が湧き上がっている火砕丘北東斜面から突如、灰色の噴煙が爆発とともに噴き出した（Photo 4）。この異変については、乗船していた報道関係者と先を争うようにして、写真とビデオ映像とともに東京に速報した。本庁では緊急で広報を実施し、即日側噴火の映像がニュースで流れることとなった。翌7月7日早朝は、依然として山頂からの噴火は停止したままで、山腹での側噴火（爆発現象）は前日午後からは認められなくなっていたものの、大量の白煙は継続して噴出していた。観測を始めて約30分が経過した4時40分頃、灰色の噴煙が山頂から湧き出し始め、次第に周期的に爆発を伴って噴煙が出るようになり山頂噴火が再開された。なお、「昭洋」は、大型の台風の接近のため、この山頂噴火を確認後、予定を1日早めて現場海域を離脱し東京へ向け回航となった。そして測量船が現場を離れて数日後の7月13日、テレビ局の航空機が撮影した西之島の上空からの映像では、山頂火



Photo 4. Flank eruption occurred on July 6, 2015 (upper), and summit eruption restarted on July 7, 2015 (lower).

写真4. 2015年7月6日に発生した側噴火（上）及び翌7月7日の山頂噴火の再開（下）。

口の北東側にもう1つ凹地が形成され火口が拡大していた。この火口の変化は7月31日の当庁の航空機による観測でも確認され、これ以降、西之島の噴火活動は、溶岩流出が衰え、ストロンボリ式噴火からブルカノ式噴火へ移行しながら衰退していった（小野・他、2018）。先に述べた山頂噴火停止・側噴火発生の一連の現象は、推測の域を出ないが、それまで地下から火口付近まで上昇してきたマグマの頂部が何らかの要因で低下したことを示している可能性がある。

いずれにしても、洋上で観察されたこれらの現象は、毎月1回1時間の航空機による観測では捉えることは非常に困難であり、観測の時間分解能を上げることで捉えられる現象は格段に多くなることを示す例である。

6. 海洋調査の成果

今回の海洋調査では多岐にわたる調査・観測を計画していたが、ドレッジによる海底の岩石試料採取を除いて全てを実施することができた。「マ

ンボウⅡ」による海底地形調査は、調査スペックで測深可能な範囲を全て調査することができた。「マンボウⅡ」が採取した海水試料についても、西之島周辺の海水は火山性成分との反応によって、通常の海水（弱アルカリ性）よりも酸性寄りにシフトしていること等が明らかになった（佐藤・他、2016）。海底地震計を用いた自然地震及び人工地震の観測については、設置した全5台の海底地震計を無事揚収することができた。他機関の海底地震計よりもいち早く回収された当庁の海底地震計のデータは、今回の噴火活動中の西之島火山に関する初めての自然地震データとして貴重な情報となるとともに、人工地震観測データの解析からは、西之島火山体下に地震波を減衰させる領域が存在することが示唆された（岡田・他、2016）。ここでは本調査の最優先項目であった「マンボウⅡ」による海底地形調査の結果について詳しく述べる。

前述のとおり、最大の関心事は2年近くに及ぶ活発な噴火活動によって海底がどう変化したかであり、これを明らかにするために、噴火前の既存の海底地形データと今回の「マンボウⅡ」で得ら

れた海底地形データとを比較した。Fig. 6に示すように、海底地形データのみならず、国土地理院の測量による陸上地形データ（国土地理院、2013；2015）も合わせて、噴火前及び2015年7月時点での地形モデル（DEM）を作成した。なお、噴火前の海底地形データは、1992年及び2010年から2012年の海上保安庁の調査で得られたものであり、特に沿岸部は1992年のシングルビーム測深機による。これら2つのDEMの比較により、2013年11月から2015年7月時点までの地形変化及び火山噴出物の量を見積もった。最大の地形変化は、溶岩流により海底が陸化し火砕丘が形成された地点で150 mを超える。海域における水深の変化としては、島の東-南東側では噴火前と比べて最大で80 m程度浅くなった一方で、西-北側ではほとんど変化がないことが判明した（Fig. 6 and 7）。また、海底及び陸上の地形変化量から推定される2015年7月までの火山噴出物量は、溶岩換算で総体積約1.6億 m^3 、重量にして約4億トン（溶岩の密度を 2.5 g/cm^3 と仮定）と見積もられた。これは約40年前の1973-1974年の噴火の噴出物の量、約0.17億DRE

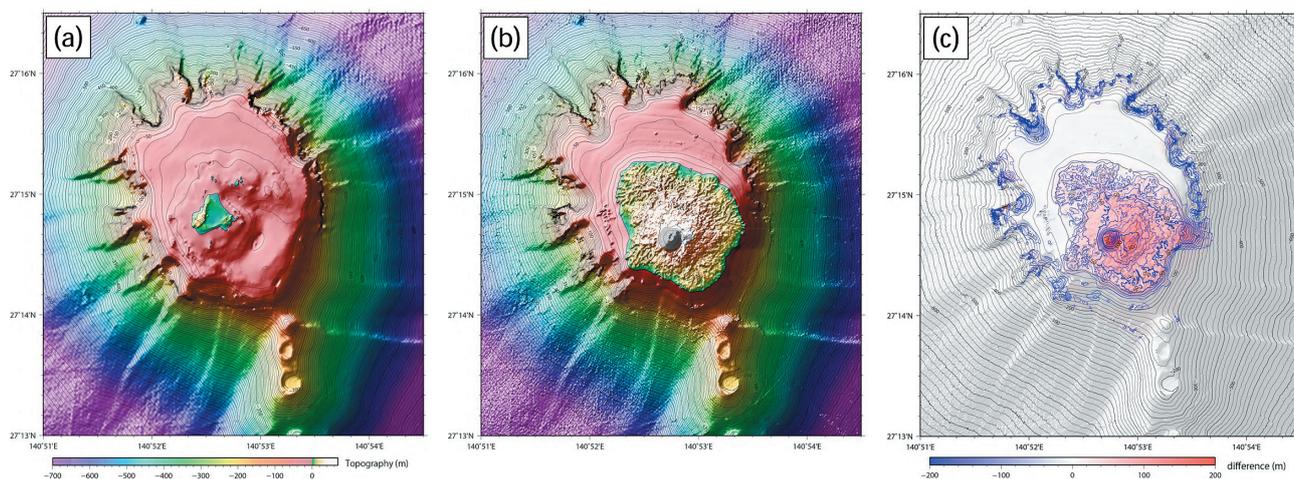


Fig. 6. DEMs constructed by combination of bathymetric data with land topography data from GSI (2013, 2015)*: (a) before this eruption, (b) as of July 2015, and (c) difference between (a) and (b) indicated by blue contour lines with an interval of 10 m. The grid size of the DEMs is 10 m. Black contour lines on the maps show topography. Bathymetric data used for the pre-eruption DEM (a) were collected in 1992 and 2010-2012 by JCG. *GSI: Geospatial Information Authority of Japan.

図6. 海陸地形標高モデル（DEM: digital elevation model）. (a): 噴火前. (b): 2015年7月時点. (c): (a)と(b)の差分（青線コンター）. DEMのグリッドサイズはいずれも10m. 噴火前の海底地形データは海上保安庁の1992年及び2010-2012年の測量による. 陸上地形データは国土地理院（2013, 2015）による.

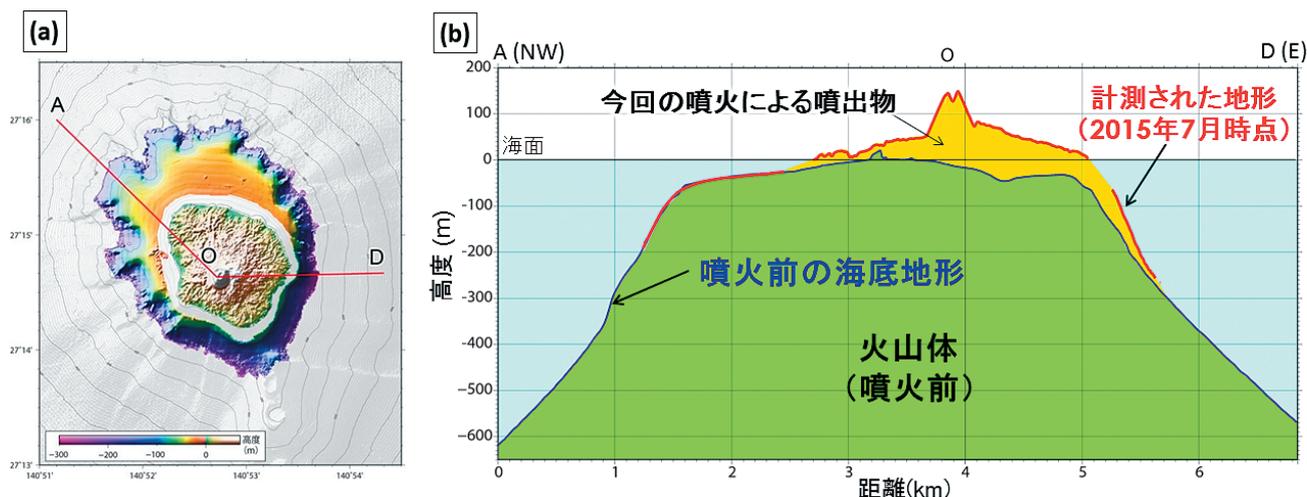


Fig. 7. Comparison between topography before this eruption and as of July 2015. (a) Topographic contour map indicating the location of the topographic profile. (b) A representative topographic profile along the line A-O-D shown in the figure (a).

図7. 噴火前と2015年7月時点の地形の比較。(a): 地形断面位置図。(b): 代表的な地形プロファイル。

(Dense Rock Equivalent) m^3 (海上保安庁水路部・文部省総合研究班, 1976) の約9倍である。また、日本における近年の噴火事象の中では、1990–1995年の雲仙普賢岳の噴火(約2.4億 DREm^3 ; 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2017) に次ぐ規模であることが判明した。

7 まとめ

2015年6–7月、測量船「昭洋」により噴火活動中の西之島周辺海域の海洋調査を実施した。当庁としては、2013年11月の噴火開始以降初めての海洋調査であり、それまでの航空機による短時間の上空からの観測では確認できない知見が得られた。有人船舶の入域ができない噴火警戒区域内(島の中心から半径4 km 以内)は、特殊搭載艇「マンボウII」による海底地形調査の結果、噴火による地形変化や火山噴出物の量が明らかになった。調査期間中に確認された側噴火などの噴火活動の変化は貴重な記録となった。また、科学的知見のみならず、報道関係者の乗船取材の結果、西之島の噴火映像とともに海洋情報部の測量船とそこで地道な観測・調査業務にチームとして取り組む職員がテレビ各社の番組を通して大々的に放映されたことは、当部にとっても大きな成果であった。

謝 辞

本調査は、「マンボウII」の技術的課題への対応、調査中に発生した数々のトラブルへの対処、また、同乗する多数の報道関係者の取材対応の必要など、通常の海洋調査ミッションに比べ格段に難易度の高い調査ミッションであったが、成功裏に終わることができた。これは、現場で一丸となって頑張った測量船乗組員、そして御多忙中にも関わらず火山専門家としてご助言・指導を頂いた東京工業大学の野上先生、さらに本庁で技術支援、連絡調整、広報対応など現場を支援してくれた関係者、全ての方々のお蔭である。深く御礼申し上げます。

文 献

- 伊藤弘志・加藤正治・高橋昌紀・斉藤昭則 (2011) 伊豆–小笠原弧、福徳岡ノ場火山における2010年噴火後の火山地形、海洋情報部研究報告, 47, 9–13.
- 海上保安庁水路部・文部省総合研究班 (1976) 西之島火山の最近の状況、火山噴火予知連絡会会報, 5, 10–23.
- 海洋研究開発機構・東京大学地震研究所・京都大学大学院理学研究科 (2015a) 2013年11月噴火後初めてとなる海洋調査船による西之島

火山の学術調査研究について～火山活動，地震，津波の観測体制を整備し，西之島周辺の地形調査，空振観測映像撮影等を実施～，http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20150327/.

海洋研究開発機構・産業技術総合研究所・東京大学地震研究所（2015b）海洋調査船による西之島および周辺海域の学術調査研究～海底面の撮影や地形調査，資料の採取，西之島火山の観察などを実施～，http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20150715.

気象庁（2014）西之島総合観測班の設置について，<http://www.jma.go.jp/jma/press/1406/20a/nishinoshima140620.html>.

国土地理院（2013）技術資料 C1-No.425.

国土地理院（2015）技術資料 C1-No.453.

森下泰成・小野智三・濱崎翔五・高橋日登美・野上健治（2015）西之島火山の調査航海結果（速報），日本火山学会講演予稿集 2015 年，P85.

西澤あずさ・小野智三・大谷康夫・古川博泰（2000）明神礁における海底地震観測，水路部研究報告 36，37-56.

岡田千明・小野智三・濱崎翔五・高橋日登美・森下泰成・糸井洋人・田代俊治・西澤あずさ（2016）西之島における海底地震観測速報，海洋情報部研究報告 53，29-44.

小野智三・濱崎翔五・矢島広樹・伊藤弘志・野上健治（2015）西之島火山の 2013-2015 年噴火活動，海洋情報部研究報告 52，56-78.

小野智三・佐藤泉・森下泰成・濱崎翔五・野上健治（2018）2013 年-2015 年の西之島火山の火山活動，海洋情報部研究報告 55，20-54.

大谷康夫・笹原昇・矢吹哲一郎・服部敏一・宮寄進・及川光弘・野上健治（2006）2005 年「福德岡ノ場」の海底噴火，海洋情報部研究報告 42，31-37.

産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2017）1 万年噴火イベントデータ集(ver.2.3). 産業技術総合研究センター，<https://gbank>.

gsj.jp/volcano/eruption/index.html.

佐藤泉・小野智三・森下泰成・濱崎翔五・高橋日登美・野上健治（2016）西之島周辺海域で採取された海水組成変化，日本火山学会講演予稿集 2016 年，P128.

東京大学地震研究所（2014）西之島の噴火に伴い発生する可能性のある津波について，http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/nishonoshima/nishinoshima_tsunami/.

要 旨

2015 年 6-7 月，活発な噴火活動中の西之島火山の総合的な海洋調査を測量船「昭洋」により実施した。本調査は，無人調査艇「マンボウ II」による噴火開始後初めてとなる西之島の噴火警戒区域内の海底地形調査や，TV 局の報道関係者の乗船取材で注目を集めた。

マルチビーム音響測深機による「マンボウ II」の海底地形調査により，火山噴出物の堆積による顕著な水深の変化は（陸化した部分を除いて）東-南の島棚縁に限られており，最大で約 80 m に達することが判明した。噴出した溶岩の体積は 0.16 km^3 と見積もられ，これは前回 1973-1974 年の噴火の噴出量の約 9 倍に相当する。