

「よこすか」「しんかい 6500」YK18-08, YK19-05S 研究航海の概要 -南鳥島海域プチスポット火山の「しんかい 6500」潜航研究速報-

石井輝秋¹・金子 誠²・町田嗣樹³・金子純二⁴・浅見慶志朗⁵・平野直人⁶・
秋澤紀克⁵・松本亜沙子³・田中えりか⁵・油谷 拓⁶・進士優朱輝⁶・小長谷智哉⁶・
長谷川貴章⁷・木野聡志⁵・大嶋ちひろ⁵・坂本衣里⁸・井和丸光⁸

¹静岡大学

²深田地質研究所

³千葉工業大学

⁴海洋研究開発機構

⁵東京大学

⁶東北大学

⁷北海道大学

⁸日本海洋事業株式会社

Quick report of the R/V Yokosuka and Shinkai 6500 YK16-01, YK19-05S Cruise
- Preliminary 6K dive report on “petit-spot” volcano around Minamitorishima Island -

ISHII Teruaki¹, KANEKO Makoto², MACHIDA Shiki³, KANEKO Junji⁴, AZAMI Keishiro⁵,
HIRANO Naoto⁶, AKIZAWA Norikatsu⁵, MATSUMOTO Asako³, TANAKA Erika⁵,
YUTANI Taku⁶, SHINJI Yuzuki⁶, OBASE Tomoya⁶, HASEGAWA Takaaki⁷,
KINO Satoshi⁵, OHSHIMA Chihiro⁵, SAKAMOTO Eri⁸, IWAMARU Hikaru⁸

¹Shizuoka University

²Fukada Geological Institute

³Chiba Institute of Technology

⁴The Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

⁵The University of Tokyo

⁶Tohoku University

⁷Hokkaido University

⁸Nippon Marine Enterprises, Ltd.

要旨：プチスポット火山は海洋プレート直下のアセノスフェアに起源を持つ、地球上で唯一無二の地質体と考えられる。本報告では南鳥島海域のプチスポット火山の「しんかい 6500」（＝6K）潜航研究の概要について述べる。南鳥島 EEZ 内では海底資源調査により蓄積された情報も本航海で活用された。そのため 6 回の潜航において、いずれもプチスポット岩石試料採取に成功し、この海域でのプチスポット火山活動範囲を特定することができた。6K#1544 潜航は研究者 2 名が同乗し、調査・研究に臨んだことにより、多大な成果を上げることができた。2018 年度から開始された 6K のワンマンパイロット潜航へ至る経緯、およびその優位性、関連事項についてやや詳細に紹介する。6K 初潜航研究者 3 名、および研究航海初参加の大学院生 5 名の生き生きとした体験記を掲載する。深海掘削・物質科学の対象としてのプチスポット火山の今後の研究課題・展望についても述べる。

キーワード：南鳥島海域のプチスポット火山，プチスポットパイプ，海洋プレート，アセノスフェア，「しんかい 6500」，ワンマンパイロット潜航，R/V「よこすか」，深海掘削

Abstract: Petit-spot volcano on the oceanic plate are unique volcanoes which can directly bring materials from asthenosphere. The Shinkai 6500 (=6K) Cruises were performed to investigate on the petit-spot volcanoes in the EEZ around Minamitorishima Island where many JAMSTEC's research vessels have investigated for the deep sea mineral resources. Based on these data, we could successfully recovered petit-spot rocks during all six 6K dives including two abyssal plane fields. The petit-spot lava field was estimated. The deep-sea MBES and SBP equipped on 6K shows detailed sub-bottom shape of intruded magma. The 6K#1544 dive operated by one pilot can get special scientific result, because two scientists (geologist and acoustic expert) can discuss and navigate during observation at near sea bottom. One man operation of 6K started from 2018, we would like to mention some history, predominance and related remarks on the operation. Three new 6K-divers and five new onboard graduate students report their vivid self-documents. Petit-spot volcanoes and petit-spot pipes may be assumed as the best target of material geosciences and of IODP scientific riser-less drilling in the near future.

Keywords: petit-spot volcano at Minamitorishima Island area, petit-spot pipe, oceanic plate, asthenosphere, Shinkai 6500, one pilot operation, R/V Yokosuka, ocean drilling

1. はじめに

本報告では南鳥島海域のプチスポット火山を研究対象とする YK18-08 航海（「よこすか」2018 年第 08 次航海）と YK19-05S 航海での「しんかい 6500」潜航調査研究について述べる。プチスポット火山に関する研究は平野グループ（Hirano et al., 2001, 2006; Sato et al., 2018 等）と町田グループ（Machida et al., 2009, 2015, 2017 等）による共

同研究として行われている。尚、最近までの研究は、昨年の深田研年報 No. 20（石井ほか, 2019）の第 2 章にまとめられているので参照されたい。

1.1 「よこすか」YK18-08 航海

国立研究開発法人 海洋研究開発機構（JAMSTEC）の有人潜水調査船「しんかい 6500」（略称 6K, 図 1）の支援母船「よこすか」YK18-08 航海は 2018 年 6 月 25 日（月）小笠原

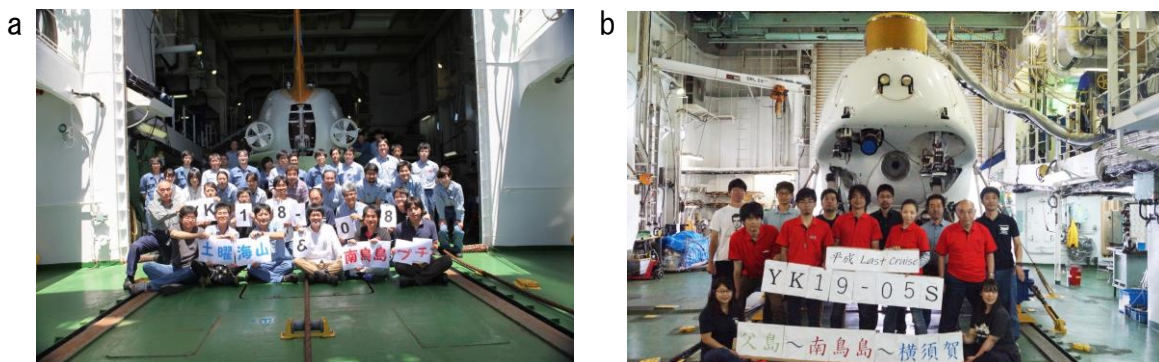


図1 a: YK18-08 研究航海で「しんかい 6500」の船尾を背景にして撮影した、乗船研究者 14 名と「しんかい 6500」チーム及び「よこすか」乗組員の集合写真（Machida, 2018）。 b: YK19-05S 研究航海で「しんかい 6500」の船首を背景にした乗船研究者 13 名の集合写真（Machida, 2019）。

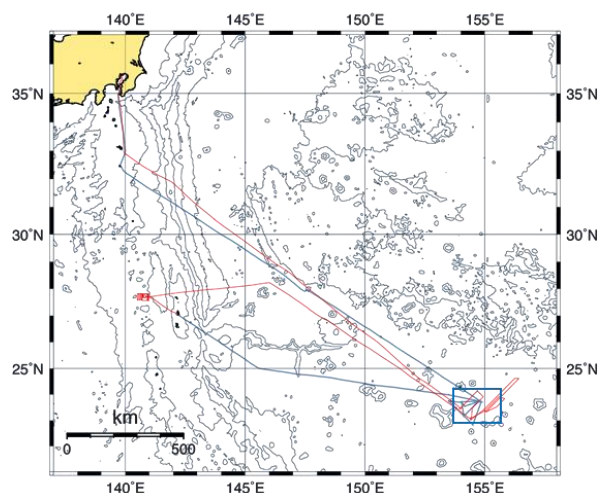


図 2 「よこすか」YK18-08 研究航海（赤線）及び YK19-05S 研究航海（青線）の航跡図。青枠は図 3 の範囲を示す (Machida, 2018 及び Machida, 2019 に加筆)。

諸島父島二見港出港—7 月 7 日（土）東京晴海朝潮埠頭入港の 13 日間で行われた（図 2）。本航海は調査海域が比較的近接する 2 研究課題の研究者が乗合で行う航海である。前半は田村芳彦 (JAMSTEC) グループによる西ノ島周辺海域での調査，そして後半は南鳥島海域での課題名：リソスフェア—アセノスフェア境界の進化～新たなダイナミックな固体地球の描像～（課題提案者：千葉工业大学 町田嗣樹）調査である。6K 潜航調査は前半に 2 回，後半に 4 回予定されていたが，荒天のため後半は 3 潜航となった。航海の首席研究員は田村が務め，乗船研究者は田村グループ 6 名，町田グループ 7 名，技術員 1 名の合計 14 名であった（図 1a）。

町田グループの有人潜水調査船 6K での 3 回の潜航調査

（6K#Dive1520-1522）（図 3）により詳細な海底地質観察，試料採集が行われた。更に夜間及び潜航調査が不可能な荒天時には、「よこすか」による海底地形や船上重力計等による地球物理調査が行われた。6K 初潜航の研究者 2 名及び，研究航海初参加の大学院生 2 名の手記は後半に掲載する。

1.2 「よこすか」YK19-05S 航海

本航海は 2019 年 4 月 19 日（金）小笠原諸島父島二見港出港—4 月 28 日（日）横須賀追浜 JAMSTEC 埠頭入港の 10 日間で行われた（図 2）。本航海は課題名：プチスポット火山活動から読み解くリソスフェア—アセノスフェア境界の実体とプレート変形過程（課題提案者：町田嗣樹）である。乗船研究者は町田首席研究員以下，13 名であった（図 1b）。6K での 3 回の潜航調査（6K#Dive1542—1544）（図 3）により詳細な海底

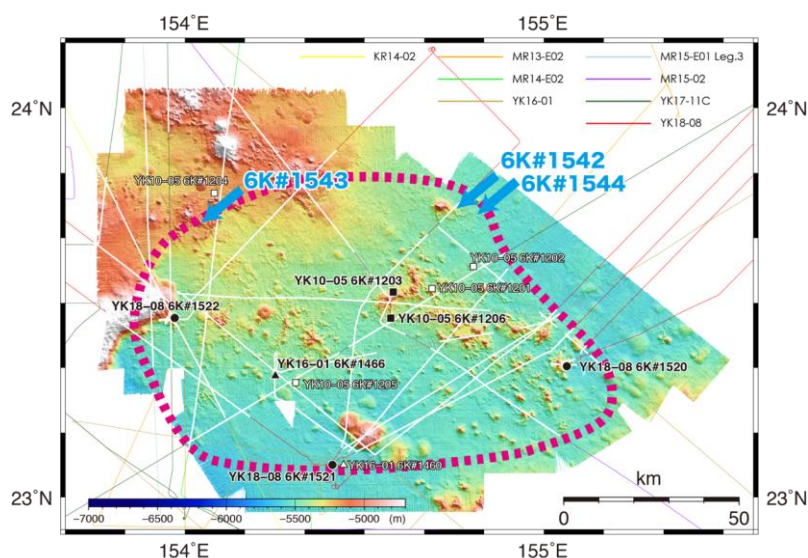


図 3 「よこすか」YK18-08 航海と YK19-05S 航海，及び以前行われた YK10-05 航海と YK16-01 航海での，「しんかい 6500」潜航調査地点を，南鳥島調査海域の詳細な海底地形図上に示す。YK10-05 航海の 2 地点（6K#1203 and 1206）と YK16-01 航海の 2 地点（6K#1460 and 1466），及び YK18-08 航海の 3 地点（6K#1520—1522）と YK19-05S 航海の 3 地点（6K#1542—1544）で，プチスポット溶岩が確認されている。溶岩の予想分布域を太い赤点線枠で示す (Machida, 2019 Figure 3-4)。着色された直線は SBP データのある航跡で，KR は「かいれい」航海，MR は「みらい」航海を示す。航跡の途中の白色部は音響不透明層が海底に露出している部分を示す。

地質観察、試料採集が行われた。そのうち最後の 1 潜航は研究者 2 名が乗船する、ワンマンパイロットで行われ、多大な成果が得られた（詳細は後述する）。更に夜間には、YK18-08 航海同様に、母船による調査が行われた。6K 初潜航の研究者 1 名及び、研究航海初参加の大学院生 3 名の手記は後半に掲載する。

尚、本稿は乗船研究者の原稿を最大限生かしつつ、石井の責任において取りまとめたものであり、各章または各節末に執筆者を明記した。従って内容に若干の重複のある点はご容赦頂きたい。（石井、金子誠記）

2. 「よこすか」YK18-08, YK19-05S 航海の結果

2.1 「よこすか」YK18-08 航海の調査結果

ブルーアースサイエンス・テク 2019 での YK18-08 航海速報（町田ほか，2019）により調査結果の紹介を行う。

南鳥島南方沖では 2010 年にプチスポット火山調査を主目的に YK10-05 航海で、9 回の 6K 潜航調査が行われたが、プチスポット火山一体が発見されたのみであった（潜航は 6K#1203, 6K#1206 の 2 回）。その後、2016 年 4 月に行われた YK16-01 航海によるマンガンノジュール調査の際に、マンガンノジュール密集域であろうと考え潜航調査を実施した 2 か所の深海平原（6K#1460 および 6K#1466 潜航）が、偶然にもプチスポット溶岩の分布域であった。このことから、船上マルチナロービーム音響測深機（MBES）において強い後方散乱強度（反射強度）を示し、船上サブボトムプロファイラー（SBP）により堆積物層が確認できない、音響的に不透明な層が海底面に露出する深海平原は、プチスポット溶岩分布域であり、その近傍の小海丘はプチスポット火山である可能

性が高いということが分かった。つまり、MBES と SBP の組み合わせによりプチスポット火山の場所を特定できると考えられる。

今航海での潜航調査は、調査海域の南西で発生した台風の影響を受け、予定から 1 潜航減の 3 潜航となった。調査地点（図 3）は、拓洋第五海山の東方の 2 箇所の小海山（6K#1520, と 6K#1522）および深海平原（6K#1521）である。3 潜航でプチスポット溶岩の分布を確認し、岩石試料を採取し、本海域におけるプチスポット火山の分布範囲を特定した。

6K に搭載した深海 SBP、および深海 MBES により、詳細な堆積構造、特に海底面下の堆積層中に伏在するシル状溶岩に由来すると思われる強い連続する反射面の把握、更に海底面のマンガンノジュール分布状況や溶岩の露頭の形状などの微地形の観測、および記録を行った。特に、第 1521 潜航では、平坦な深海底（＝深海平原）において、深海 SBP により捉えた地下の堆積物中のプチスポット溶岩（貫入岩体）に由来すると期待された反射面を辿って航行した結果、地下の反射面から連続し海底面に突出する溶岩の露頭に到達し、試料の採取に成功した。同時に、貫入岩体の分布とそれに付随する複数の露頭の配列が、北西－南東方向に伸びている可能性があることを見出した。この北西－南東方向は、本海域におけるアウターライズ東端のプレート凹屈曲の軸線（ヒンジ線）の方向に等しい。つまり、観察された貫入岩体と露頭の定向配列は、プチスポットマグマ噴火がプレートに亀裂を生じさせる応力場の方向に規制されているという、Hirano et al. (2006) によって提唱されたプチスポット噴火モデルを裏付ける直接的証拠であると考えられる。（町田ほか（2019）を石井が一部改変）

2.2 「よこすか」YK19-05S 航海の調査結果

首席研究員は航海後の速やかなクルーズサマリー（英文と和文）と Cruise Report（英文）の作成・提出が義務付けられており、これらは JAMSTEC ホームページで公表されている。それとは別に、航海中の船上観測データ、潜航データ、採取試料の観察・記載記録などの一次データを含む“Onboard Report”が乗船研究者間で共有される（これは通常非公開である）。ここでは、YK19-05S 航海の主な調査結果を本航海のクルーズサマリー（Machida, 2019）を通して紹介する。

本航海における 6K の潜航調査は、非常に安定した気象・海況の中、予定していた 3 回の潜航を全て実施することができた（第 1542 潜航から第 1544 潜航まで）。潜航調査地点は、南鳥島の南方、拓洋第五海山の東方の 2 箇所の小海山（6K#1542、と 6K#1543）および深海平原（6K#1544）である。すべての潜航において溶岩の分布を目視により確認し、多数のサンプルを採取した。スコープによる小礫の採取も行った。6K には深海 SBP、および深海 MBES を搭載し、詳細な堆積構造、特に海底面下の堆積層中に存在する溶岩に由来すると思われる強い反射面の把握、および溶岩の露頭の形状などの微地形の観測および記録を行った。採取した岩石サンプルは、重さ・大きさ・丸さの記載に続き、岩石カッターで半割し、半割面の写真撮影、および代表サンプルの詳細記載を行った。

夜間の調査時間を利用し、SBP、MBES、船上磁力計、プロトン磁力計による地球物理調査も実施した。拓洋第五海山の東部を重点的に観測し、穏やかな海況のおかげで良好なデータを得ることができた。

6K#1542 及び 6K#1543 の潜航地点（図 3）はプチスポット溶岩分布域の東北端及び西北端に位置する小海山である。前者の潜航研究者浅見は前年

度 YK18-08 航海での初回潜航 6K#1522（西端の小海山）に続く 2 回目の潜航であり、後者の潜航研究者田中は 6K 初潜航である。両者の 6K 初潜航者としての体験記を後述する（第 7 章）。6K#1544 潜航地点（図 3）は、プチスポット溶岩分布域東北端の小海山 6K#1542 潜航地点近傍やや東の深海平原での、6K#1544 潜航は 2 名の研究者、町田嗣樹と金子純二及び大西琢磨パイロット（所謂ワンマンパイロット）で行われた。熟練した専門の異なる研究者が同乗し議論しながら調査・研究に臨んだことにより、多大な成果を上げることができた。この件に関する詳細は後述する（第 6 章 2 節）。（町田による YK19-05S クルーズサマリー（Machida, 2019）を石井が一部改変）

2.3 採取された岩石試料について

現在解析中であるため、ここでは詳細は控えさせて頂くことにするが、プチスポット溶岩の一例として、図 4 にやや発泡した流離構造をもつ玄武岩溶岩（サンプル番号 YK19-05S, 6K1544R05）を紹介する。試料はアルカリ玄武岩と思われる枕状溶岩であり、最外部から内に向かい、厚さ約 3 mm のマンガン酸化物殻、厚さ約 2 mm の急冷ガラスが変質したパラゴナイト層、発泡した玄武岩層、やや緻密な玄武岩と発泡した玄武岩の互層、の存在が読み取れる。流理構造は写真（図 4a）でも認められるが、レントゲン写真像（図 4b）ではより顕著に認められる。写真（図 4a）の表面から深さ方向へ約 3 mm の仮想切断面の X 線 CT 面像を疑似カラー化した写真（図 4c）では、点在する淡青色～橙色部が認められる。赤色度が増す程、相対密度が高いことを示すことから、これらは密度の高い斑晶鉱物や外来結晶と思われる。今後、X 線強度と密度に関する定量化を図り、ジルコン、ガーネット、ダイヤモンド等という稀少

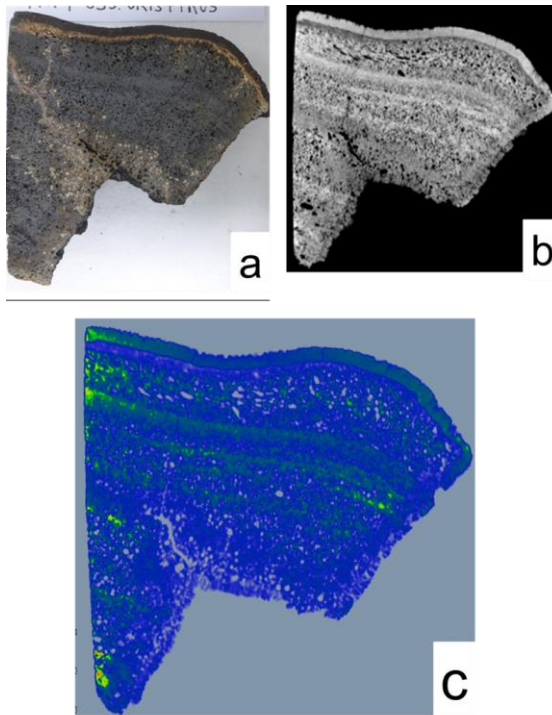


図 4 プチスポット溶岩の一例：発泡した新鮮な玄武岩溶岩（サンプル番号 YK19-05S, 6K1544R05）. (a) 試料の切断面写真（試料の横幅は約 15 cm）. (b) 同試料のレントゲン写真像. 密度の高い明灰色層と、密度の低い暗灰色層の互層あり. (c) 同試料の深さ約 3 mm の仮想切断面の X 線 CT 画像を疑似カラー化した写真. 点状する淡青色～橙色部は密度の高い斑晶鉱物か外来結晶と思われる.

鉱物の同定・発見・採取・観察・研究に活用する予定である. 現在考察中の具体的手法は昨年の深田研年報中の 7 章 2 節 CT スキャンによる非破壊的研究（石井ほか, 2019）に紹介があるので参考にされたい. また CT スキャン画像を活用して発泡の程度（発泡度）の定量化も試みたいと思う.（石井, 金子誠記）

3. 6K ワンマン潜航（2 オブザーバー潜航）

3.1 6K ワンマン潜航への道

3.1.1 「しんかい」の運用

日本初の本格的な深海用有人潜水調査船「しんかい 2000」は、1981 年の第 1 回潜航から 2002

年の第 1411 回潜航後の運航停止に至るまでの約 20 年間に、海洋研究に多大な科学的足跡を残した（文部科学省, 2015）. 「しんかい 2000」の全潜航及び 1981 年に完成した 6K の 2019 年 1524 潜航までは、研究者（観察者）1 名、パイロット 2 名で運用されて来た. 通常、潜水艇の潜航準備から、揚収までの各種点検操船調査作業等は、2 名のパイロットが共同で動作・作業確認をしながら行っている. 困難な作業、例えば着底後研究者の希望に従い岩石採集等の海底観測時には、正面の窓前に着座した船長が、正面（時には左右）窓を通し、マニピュレーターの動きを目視しながらリモートコントローラー（リモコン）で操作する. その際の操船は船長の音声指示に従い、後部の船長補佐が操船用リモコンで行う. そして両パイロットは、時々役割を交代して観測を継続する.

2018 年 10 月 18 日 6K 第 1525 潜航で初めて研究者 2 名、パイロット 1 名での運用（＝ワンマンパイロット潜航）が行われた. 研究者にとっては有難い運用であるが、パイロットは操船とマニピュレーター操作をはじめとする各種作業点検を、経験を積んだ研究者のコパイロット的補助を受けつつも、全て一人で行うことになり、負担増になると予想される. ワンマンパイロット潜航達成までの道のりに関する、JAMSTEC からの、まとまった報告書は存在していないが、“JAMSTEC 6K ワンマン”でネット検索すると、百件以上がヒットする. それらによると、しんかい 6500（＝6K）ワンマンパイロット潜航に向けての具体的な取り組みは 2016 年末から 3 年間かけて行われた模様である. 以下に主な記述を紹介する.

3.1.2 フリートトピックス 2016

JAMSTEC フリートトピックス 2016（JAMSTEC 海洋工学センター運航管理部,

2017), 第 2 章の 2. JAMSTEC 所有の有人潜水調査船と無人探査機について, の有人潜水調査船の項には, 以下の様に述べられている. “-----前略. また, ワンマンパイロットによる運用を見据えた耐压殻内の機器配置変更と新バードゲージ (注: 耐压容器内の壁に各種装置を設置するための球殻状フレーム) の製作, 殻内機器の更新, マニピュレーターとサンプルバスケットの装備位置変更, 自動測位表示装置の導入準備など調査観測機能の強化と計器の更新を順次進め, 平成 28 (注: 2016) 年度の定期検査工事で完成に向けた準備作業を進めている.”

3.1.3 「しんかい 6500」利用の手引き

2019 年 4 月改訂の“乗船研究者の有人潜水調査船「しんかい 6500」利用の手引き”(JAMSTEC, 2019) の第 2 章「しんかい 6500」のミッション, 第 (2) 項には, “(2) 1 名もしくは 2 名 (ワンマンパイロット潜航) の研究者が乗船できます. ---中略---. 研究者 2 名での乗船をご希望の際には, あらかじめプロポーザル作成時に, 船舶運用グループ担当者までお問い合わせください.” とある. 更に第 3 章システムの特徴, 第 2 項の②乗員には, “乗員 3 名の内訳は, 研究者 1 名もしくは 2 名, パイロット 2 名 (研究者 2 名の場合はパイロット 1 名) です.” とある.

3.1.4 櫻井司令による 6K チームレポート

ここでは, JAMSTEC ホームページ内の櫻井利明 6K 運航チーム司令が担当する連載コーナー: 6K 特設ページ (チームレポート) を中心に, ワンマンパイロット潜航への経緯をまとめた.

櫻井 (2017a, 2017b) によると, 2016 年 11 月 21 日から 2017 年 3 月 17 日の約 3 か月間の 2016 年度定期検査工事で例年の開放点検に加え, 機

能向上および改造工事も実施された. 特にパイロットや研究者の観察スペースである耐压殻下部に空間的なゆとりを設けるため, 搭載されている装置類を耐压殻上部に集中する配置替を実施した. 具体的には (1) 大型の総合情報表示装置 (ADS3) を取外し, CAN バス通信を採用した小型の総合情報表示装置 (ADS4) に換装し, 手元に置いたタブレット端末で潜水船の全データ確認を可能とした. (2) スチール製の酸素ポンペを FRP 製の酸素ポンペ (充填圧力も約 1.5 倍) に換装し, 酸素ポンペの小型・軽量化を図った. (3) ジャイロコンパス (OCTANSIII) を慣性航法装置 (INS) に換装, 今後の, 海底調査中の潜水船測位精度の向上を図った.

2017 年 12 月 7 日から 2018 年 3 月 12 日の約 3 か月間の 2017 年度中間検査工事で例年の法定点検に加え, ワンマンパイロット化に向けた改良, 最終的な船内機器の配置替えを実施した (櫻井, 2018a). そして最初のワンマンパイロット潜航は 2018 年 10 月 18 日, 磐城海山のコバルトリッチクラスト研究のための YK18-E02 航海, 6K#1525 潜航: 観察者は地質学者の臼井 朗 (高知大学) と生物学者の Chong Chen (JAMSTEC), 船長は大西琢磨で行われ (櫻井, 2018b), 翌日 10 月 19 日に JAMSTEC ニュース (JAMSTEC・海洋工学センター, 2018) として全国に報道され, 研究の概要は翌月報道された (JAMSTEC・高知大学ほか, 2018).

2018 年 10 月 26 日から 2019 年 2 月 8 日の約 3 か月間の 2018 年度中間検査工事で例年の法定点検に加え, 2 回のワンマンパイロット潜航運用を経て, 若干の改良を行った (櫻井, 2019a). そして, 我々の航海での最初のワンマンパイロット潜航は, 翌年の YK19-05S 航海の 2019 年 4 月 24 日に, 6K#1544 潜航 (町田・金子, 2019; Kaneko



図 5 6K#1544 潜航は 2019 年 4 月 24 日に、2 オブザーバー潜航（ワンマンパイロット潜航）で行われた。ハッチ開口部から撮影した三密状態の乗船者、上から左周りに潜航長大西琢磨、観察者金子純二と町田嗣樹（櫻井，2019b，写真 2）。

and Machida, 2020），観察者町田嗣樹と金子純二，船長大西琢磨（図 5）として行われた（櫻井，2019b）。この潜航では今までにない研究成果が得られたので，詳細を第 3 章 2 節で紹介する。

3.1.5 ワンマンパイロット潜航実施ガイドライン

更に櫻井（石井への私信，2020）によると，ワンマンパイロット潜航実施にあたり，JAMSTEC では「ワンマンパイロット潜航実施ガイドライン」を作成しており，研究者は，以下の要件を満たすことが必要となる（石井により若干改変して以下に再録する）。

“ 2. パイロット及び観察者が満たすべき要件
調査研究航海においてワンマンパイロット潜航を行うパイロット及び観察者は，以下の要件を満たさなくてはならない。

（1）パイロットが満たすべき要件

1) パイロットは「しんかい 6500」の乗船履歴と，これまでに経験したオペレーションの内容を考慮

のうえ，司令が指名した者であること。

2) パイロットは調査研究航海の潜航日前 3 年以内に，消防局・消防本部防災協会などが主催する救命講習を受講し「普通救命講習 I」以上の救命講習修了証を取得していること。

（2）観察者が満たすべき要件

1) 観察者のうち 1 名以上が「しんかい 6500」において 2 回以上の潜航経験を有しており，オペレーションについて理解していると司令が認めた者であること。

2) 観察者は実施要領書作成段階から，少なくとも航海開始の 2 か月半前までに「しんかい 6500」乗船者への確認書（以下，「確認書」という。）（別紙 1）に同意・署名し，運用部へ提出する。観察者は調査研究航海の潜航日前 3 年以内に，消防局・消防本部防災協会などが主催する救命講習を受講し「普通救命講習 I」以上の救命講習修了証を取得し，確認書及び乗船申込書と共に修了証の写しを運用部へ提出すること。

4. 当面の潜航実施可否の判断

調査研究航海においてワンマンパイロット潜航を実施する場合は，当面の間，以下の手続きを行う。

（1）事前協議

調査研究航海の開始 2 か月半前までに，首（主）席研究者（員）はワンマンパイロット潜航における潜航計画書（別紙 2）を作成し，運用部長及び司令とその内容及び潜航要件確認書（別紙 3）について協議を行い，運用部長及び司令から実施に関する合意（ワンマンパイロット潜航計画確認書（別紙 4））を得られていること。” 以上。

尚，櫻井氏によると，2020 年 7 月末現在 11 回のワンマンパイロット潜航を実施し，最近はワンマンパイロット潜航ではなく 2 オブザーバー潜航と表記するようにしているとのことである。

3.1.6 最前線海洋研究の「実践」を通じた若手人材育成プロジェクト

2019 年 8 月には、“ネクスト・オーシャンズ・タレント発掘プロジェクト、有人潜水調査船「しんかい 6500」による潜航調査航海「深海研究のガチンコファイト」を体感せよ！最前線海洋研究の「実践」”という挑発的なタイトルの若手人材育成プロジェクトが実施された。その最終報告書（高井，2019）によると，これは 6K に観察者（研究者）2 名乗船が可能になったことから，学部・高専学生（学部 1, 2, 3 年生相当）に 6K 乗船の機会を与え，若手人材育成に活用するという，高井研氏により発案された大胆な若手人材育成プロジェクトである。北は北海道から南は沖縄までの学部・高専学生を主とした応募者 224 名（男性：148 名，女性：76 名）を書類審査で面接選考候補者 20 名（男性：11 名，女性：9 名）へ絞り込み，更に「よこすか」に乗船する“ガチファイター”7 名（男性：3 名，女性：4 名）が決定された。そして，最終的な潜航研究者 3 名（男性：1 名，女性：2 名）は「よこすか」航海中に順次決められていった。各段階での選考過程，最終選考に漏れた 4 名を含む“ガチファイター”7 名の手記，およびそれ等に対する高井氏の感想・論考は何れも生き生きとしており，胸が熱くなる程の感動を与えてくれる。何しろ熱い報告書である，是非一読をお勧めしたい。

3.1.7 その他の参考情報

システム＜有人潜水調査船「しんかい 6500」（JAMSTEC, 2017b）では，「しんかい 6500」に関する基本的事項・性能が，動画を含む多数の映像・画像を駆使し，丁寧に説明・解説されている。その中の“2016 年度定期検査工事における耐压殻内の改修工事について”という項目でワンマン

パイロットでの運用に向けた解説がある。

話題の研究 謎解き解説「しんかい 6500」，改修工事で操作性向上へというタイトルのプレスリリース（JAMSTEC, 2017a; Press Releases 番外編, 2017/06/20）では，ワンマンパイロットでの運用に向けた，耐压殻内の改修前と，改修後の差異が映像・画像で丁寧な解説と併に示されている。それによると，耐压殻内下部の乗船者スペースが，大幅に拡大された事が良くわかる。

尚，ネット配信されている JAMSTEC（2011）による約 27 分間の動画，“有人潜水調査船しんかいの系譜”，も「しんかい 6500」の理解に大変有益である。（JAMSTEC のインターネット情報を基に石井記）

3.2 プチスポット火山調査への「しんかい 6500」音響探査の活用

3.2.1 はじめに

プチスポット火山調査において，「しんかい 6500」（以下，6K という）を使用した露頭観察と岩石試料採取は非常に有効な調査方法である。しかしながら，南鳥島周辺海域の調査域は，水深 5000 m を超え，潜航調査時の海底への降下と海面への浮上には時間を要するため，海底での調査時間は 4 時間程度に限られる。少ない時間でプチスポット火山と思われる露頭を探し出すことは容易ではなく，さらに複数の露頭となれば尚更であり，（非常に）効率的な調査および試料採取が求められる。同一地点で潜航を複数回行うことができれば十分な調査が可能となるが，昨今の航海日数と 6K の潜航数の減少により現状では難しい。そこで，我々は限られた潜航機会を最大限に活かすことに注力し，6K にマルチビーム測深機（MBES）とサブボトムプロファイラー（SBP）を搭載して，観察および試料採取という通常の潜

航調査（人間の目）に音響探査（音響の目）を加えることで、これら課題に対して取り組んでいる。このようなアプローチにより、露頭の形状や規模・配置、露頭周辺の海底下構造や連続性など、産状・地質を詳細に把握することができ、プチスポット火山の全体像を理解するうえで重要な手掛かりともなる (Kaneko and Machida, 2020)。

3.2.2 観察者2名同乗の第1544潜航調査計画

これまで探査機による潜航調査が行われていない未知海域において、船舶で取得した海底地形と浅部地質構造データを元に、第1544潜航の調査域を選定した。調査域は、水深は約5500メートル、中央に長さ約1000メートル、比高約20メートルの高まりが認められ、その高まりまたは周辺にプチスポット火山露頭が存在すると予測した（図6）。潜航調査は、2018年度から正式運用となった

「ワンマンパイロットオペレーション」によって、主席の町田と金子純二による観察者2名、パイロット1名で臨み、下記手順により1潜航で2つの調査を実施することを計画した。

計画（その1）音響探査：潜航前半は主担当を金子純二とし、最初の着底後にビークルを高度50 mまで上昇させ、東西を基本とする測線を航行しMBESとSBPによる音響探査を実施する（図6、白矢印参照）。

6Kにはペイロード機器として、MBES（Seabat 7125）とSBP（Strata Box）を搭載した。潜航前にはデータ解析処理時に必要な各補正用機器との時間同期とオフセット計測を行うとともに、耐圧殻内には観測時のパラメータ調整用として、機器毎にコントロールPCを設置した（図7）。

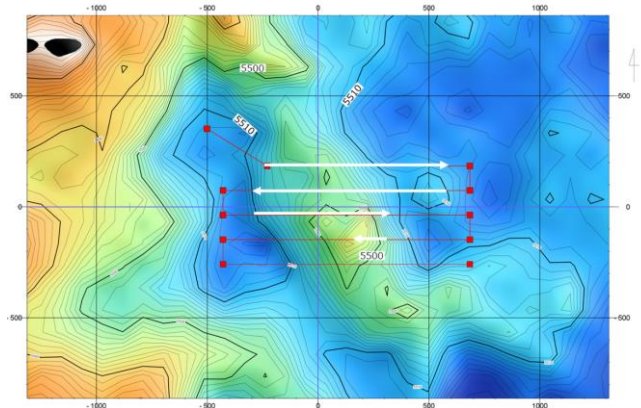


図6 「よこすか」で取得した海底地形図に、赤点・赤線で示す6Kの潜航計画測線を付記。等深線間隔は1 m、白色矢印は音響探査航跡、地図上の距離の単位はメートル。

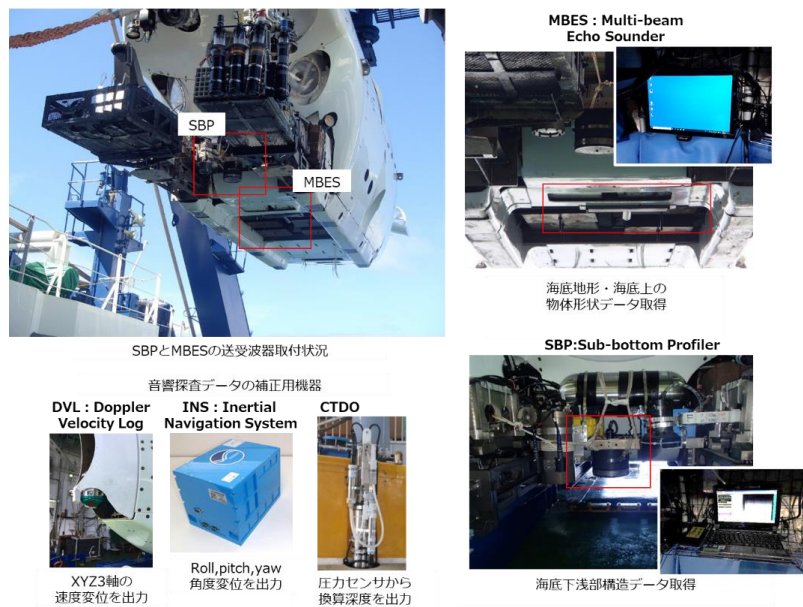


図7 6K 搭載用マルチビーム音響測深機（Multi-Beam Echo Sounder＝MBES）、サブボトムプロファイラー（Sub-Bottom Profiler＝SBP）、音響探査データ補正用機器（DVLとCTDO）及びその他機器（INS）の6Kへの取付状況。注：DVL（＝Doppler Velocity Logs）はドブラー効果から対水速度を算出する装置、CTDOは深度/圧力、水温、塩分、溶存酸素を測定する装置、INS（＝Inertial Navigation System）は慣性航法装置。

計画（その 2）露頭観察と試料採取：以上の音響探査の結果を踏まえ、後半は主担当を町田とし、音響探査によって分布を把握した露頭へとビークルを下降させ、同じく探査によって探知した複数の露頭を巡り、観察およびマニピュレーターを用いたサンプリング等を実施する。

3.2.3 潜航調査結果

海底での約 4 時間の滞在のうち、着底後にビークルの調整やカメラキャリブレーション、音響探査前の底質確認等で約 1 時間を使用したため、音響探査は 1 時間のみ実施することとした。結果として、新規のプチスボット火山露頭群を発見し、海底地形データ、海底下構造データ、露頭観察映像データ、ならびに岩石試料を取得した。各調査の詳細を以下に示す。

計画（その 1）音響探査

11:56～12:58（約 1 時間）

東西測線 4 本を速度約 1.5 kt で計測。航走距離は約 2.8 キロメートル、MBES の掃海面積は約 0.25 平方キロメートルとなった。MBES スワス画面と SBP 断面は、6K 耐圧殻内のモニターにリアルタイム表示される。これにより、海底面上のメートル規模から数十メートル以上の岩石や露頭と考えられる地形形状（起伏）とそれらの位置、

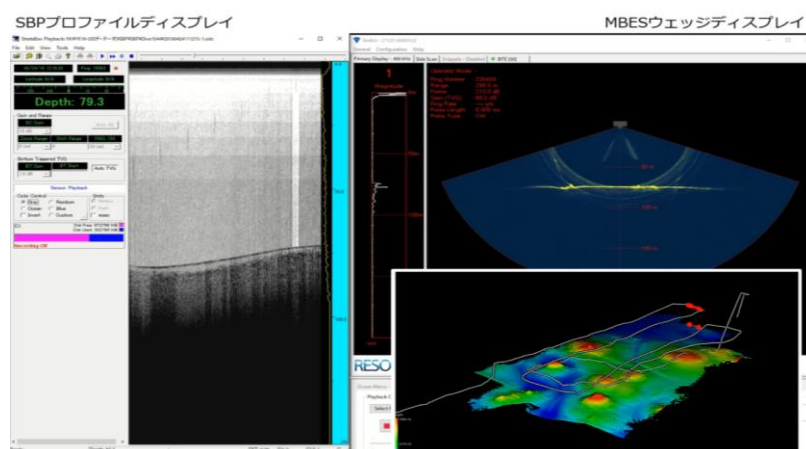


図 8 6K 耐圧殻内での MBES と SBP データ表示。青矢印：SBP 断面表示から、海底下数メートルに、海底の露頭まで連続する強い反射面を確認した。白矢印：MBES スワス表示から、平な海底面と左舷側に比高 1～2 メートル程度の露頭らしき高まりを捉えた。右下の図は 6K の航跡の俯瞰図（図 9 参照）。

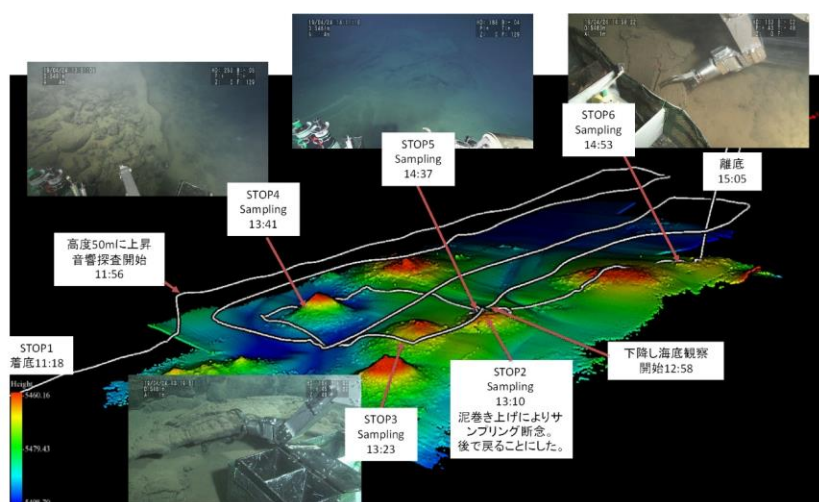


図 9 6K の航跡と海底地形の 3 次元図（俯瞰図）上に作業の時間・内容・映像を示す。11:56 から 13:23 までは高度約 50m で音響探査航行、その後 12:58 から海底観察・試料採取を行い 15:05 に離底した。

さらに海底面下にシル状に貫入する溶岩に由来すると考えられる反射面の分布や、それらが海底まで連続し、やがて露出する様子を、手に取るように把握することができた（図 8）。

計画（その 2）露頭観察と試料採取 13:10～15:05（約 2 時間）

前半の音響探査で検知した露頭群から調査域を代表すると考えられる露頭群を 5 箇所選定した

うえて海底に降下した。5 つの露頭で合計 10 試料の新鮮な溶岩試料を採取した。5 つの露頭では、これまでのプチスポット火山潜航調査で確認していた全てのタイプの溶岩形態（チューブ状の枕状溶岩や、フローの先端が風船状に膨らんだものなど）を観察することができ、それぞれから後の化学分析等に必要十分な量の試料を採取することができた。過去の潜航調査では、露頭がどこにあるか分からない状態のまま 4 時間連続で調査を続け、結果として観察した露頭の数は今回と同様の 5 地点程度、試料数も 10 試料程度（20 試料前後採取できることもあるが）のことが多々あった。そのことを考慮すると、今回のような音響とのハイブリッド調査が如何に効率的であるかが分かる。

また、STOP2 では泥の巻き上げにより試料採取を断念したが、他の露頭に訪れた後に再び同一地点に戻ることができ、STOP2 として着底した際のビークル着底跡がある地点付近において新たに STOP5 として、泥が晴れた状態で試料採取を行うことができた（図 9）。このように「同じ場所に戻る」ことは、以前の音響を用いない潜航調査では想定できなかったことである。音響の目によって、「必要な場所で確実に試料を採取する」といった陸上地質調査に匹敵する緻密な調査が可能となったのである。

3.2.4 潜航調査のまとめ

第 1544 潜航では、新規のプチスポット火山露頭を確認した。最初に音響探査によって調査域全体の露頭マッピングを行い、その後に各露頭をロスなく巡り観察・サンプリングを行うことで効率的な地質調査が行えた。

高度 50 メートルと低高度での音響探査は、MBES のスワ幅は狭まるがデータ密度が高まった。また、SBP はフットプリントが狭まり減

衰も抑えられるためデータ品質は向上した。これらのデータから、プチスポット火山の露頭の形状や規模・配置、露頭周辺の海底下構造や連続性など産状の把握が可能になったものとする。

二人の観察者が互いの専門性を活かした分担作業と、その場で意見を交え情報を共有することで効率的な地質調査となり、ワンマンパイロット潜航の有効性を示すことができた。正に、ワンマンパイロットオペレーションによる次世代の潜水地質調査の幕開けである。（金子純二，町田記）

4. 「よこすか」「しんかい6500」初乗船記

ここでは YK18-08, YK19-05S 研究航海の、6K 初潜航研究者 3 名（秋澤，浅見，田中），および研究航海初参加の大学院生 5 名（進士，小長谷，大嶋，長谷川，木野）の体験記を掲載する。和文と英文が混在しているがご容赦頂きたい。尚「よこすか」初乗船記（金子，2019）も参照されたい。（石井記）

4.1 秋澤紀克 YK18-08, 6K#1520 で初潜航

「しんかい6500 に対して思うこと」

私（秋澤紀克：東京大学 大気海洋研究所所属）は、陸上にのしあげたかつての海洋リソースである「オフィオライト」や地球深部物質のカケラである「捕獲岩」を用いた研究を行ってきた。特に、海外での調査経験は豊富で、オマーン、イギリス、トルコ、モロッコ、キャロライン諸島、イースター島、クック諸島などで調査を行った実績がある。時には朝から晩まで荒野を歩き回り、岩石を観察して採取し、重くなったリュックを汗水垂らして運ぶ作業は、充実感をもたらす。そして、その作業を数日から数十日間にわたり毎日繰り返すと、調査地に愛着が湧いてしまう。そして、

また帰ってきたいと毎回思う。

さて、そんな野外調査の経験を積んできた私であるが、2018 年 7 月 1 日に初めてしんかい 6500 を用いた潜航を経験した。正直なところ、ありきたりな「どうしても乗船したい！」と子供の頃から思ってきたわけではなく、高揚感もなく潜航当日を迎えた。というのも、私はかなり船酔いに悩まされ、高揚感を感じる余裕がなかった。そして、あっという間に潜航開始を迎え、海の中に投入された。私の率直な感想は、「感動した」。それまで何度も海外の素晴らしい絶景を目の当たりにしてきたが、それとは全く異なる絶景であった。海は本当に綺麗な青色で、沈むにつれて真っ暗になる。神秘的であった。何よりも、全く揺れない。船酔いしていた私は、冷静さを取り戻しこれまで感じたことない高揚感に浸った。海底に到着してしんかい 6500 のライトが照らす海底の岩石は、輝いて見えた（ライトは LED であったので反射もあるが、目の中に入る海底の景色は今まで見たことない素晴らしい絶景であった）。たった 1 回の潜航であったが、私は「また帰ってきたい」と強く思った。

2020 年 10 月 9～16 日には、私が首席研究者を務める YK20-14S が控えている。次は、自分の意思で海底に戻る。しんかい 6500 は、多くの方に夢や希望を与えていると思う。実際、しんかい 6500 を特集した新聞記事や科学博物館での企画展示が数多くある。これからは、そういった夢や希望を与えるしんかい 6500 を用いた航海を企画し、研究成果を残すことができるようにしたいと思う。しんかい 6500 に携わった最初のきっかけはあまり素晴らしいものではないが、それでも研究者を魅了してしまうしんかい 6500 は、本当に素晴らしい潜水調査船なのだと思う。

最後に、しんかい 6500 に乗る機会を与えてく

ださった千葉工業大学の町田嗣樹上席研究員と、本稿執筆の機会をくださった静岡大学の石井輝秋客員教授、深田地質研究所の金子誠研究員、YK18-08 に乗船した研究員と乗組員の方々に深く感謝いたします。また、私を魅了してくださったしんかい 6500 にも深く感謝いたします。（秋澤記）

4.2 浅見慶志郎 YK18-08, 6K#1522 で初潜航

「しんかい 6500 乗船で感じた調査効率化のカギ (6K#1522 および 6K#1542)」

この節では、著者（浅見）のしんかい 6500（以下 6K）初潜航及び 2 回目の潜航での体験と今後のための忘備録を記す。事の始まりは、後進を育成するという町田主席の厚意により、博士課程の学生である自分が YK18-08 航海で与えられた“たった”4 潜航（悪天により実施したのは 3 潜航）の内の 1 潜航の担当となった事である。

潜航経験の豊富な町田主席により、事前に 6K による調査の流れや注意点についてレクチャーがあり、それを基に自ら調査海域とルートを設定した。調査ルートを設定する上で注意したのが、約 4 時間にわたる調査の時間配分に加え、調査ルートの水深及び山体斜面に対する角度である。海底の観察をしなければ、6K は 1.5-2 kt ほどの速度で移動できる。さらに岩石サンプリングを行う場合には露頭 1 か所当たり数十分は要する。これらの情報から、自ずと調査可能な範囲が決まるので、調査目的を満たせるように調査ルートを設定してゆく。基本的には深部から浅部へ向けて調査し、斜面を横切る際は 6K の左舷側に斜面が来るようにすると、トリム調整時間の削減や研究者用の観察窓（6K の左舷側にある）からの海底観察が容易になる。6K1542 潜航では最終的に図 10 の様に潜航計画を作成し、6K チームと打合せを行った。

いざ潜航すると、初めて生で見る深海の様子に感動する間もなく慌ただしくオペレーションが始まる。やりたい事はいくらでもあるが、1 航海当たりの潜航数は少なく、1 潜航当たりの調査時間は4時間しかないのだ。岩石採取を主目的としている場合、着底後に露頭を探すことになる。この際に、6K に取り付けられた MBES と SBP が威力を発揮し、スムーズに露頭へ向かうことができた。露頭が見えると、研究者が場所を指示して採取を行う事になるが、慣性を考慮してなるべく前方の露頭を指示しないと露頭にとりつくまでに無駄な時間をかけることになる。パイロットに事前に目標を伝えておくと思慮疎通が容易になる（例えば大きな亀裂の入った枕状溶岩があれば教えてほしい等）。

試料採取を開始すると、特に溶岩や Mn クラストの場合、時間がかかる場合が多い。パイロットが採取しやすいような場所を示唆してくれる事もあるが、将来に向けて、アームで掘み取る従来の採取手法に囚われないブレイクスルーが必要なように思う。1 か所に時間を費やしすぎると後の行程

に影響が出るが、基本的には二度と戻ってこれないので、離脱の判断はなかなか難しい。自分は初潜航 6K1522 でプチスポット火山の調査後に隣接する拓洋第五海山に向かったが、わずかに時間が足りずに到達できなかった。試料採取自体は順調だったが、今振り返るとストップした露頭と採取した試料数が多すぎたのが原因と思われる。

近年搭載された 6K の船内タブレットには、6K の位置や速度等の基本情報が表示されている。研究者が地図上の位置を指定してメモを書き込むことができるので、非常に便利であった。何よりも、タブレットにはほぼ全ての情報が集約されるので、後から研究ノートと 6K のログをつき合わせる必要がない。さらに、システムの改良により、海底にいても自位置把握がかなり正確になったので、船内タブレットを活用する事で調査行程の時間管理が容易になる。狭い船内ではタイピングが困難かつ文字情報以外は残せないという課題はあるが、高い将来性を感じた。

自分が経験した 2 回の潜航において、1 潜航当たりの成果を最大化するために、調査目的と優先

順位の明確化、船内タブレットの活用、現在の作業を切り上げて次へ向かう時間や採取するサンプル数の設定などが重要だと実感した。要は、海底で判断に悩む時間は徹底的に減らし、機械的に目標を達成出来る様にする事が重要である。本文が今後の 6K の調査効率化にあたり少しでも参考になれば幸いである。（浅見記）

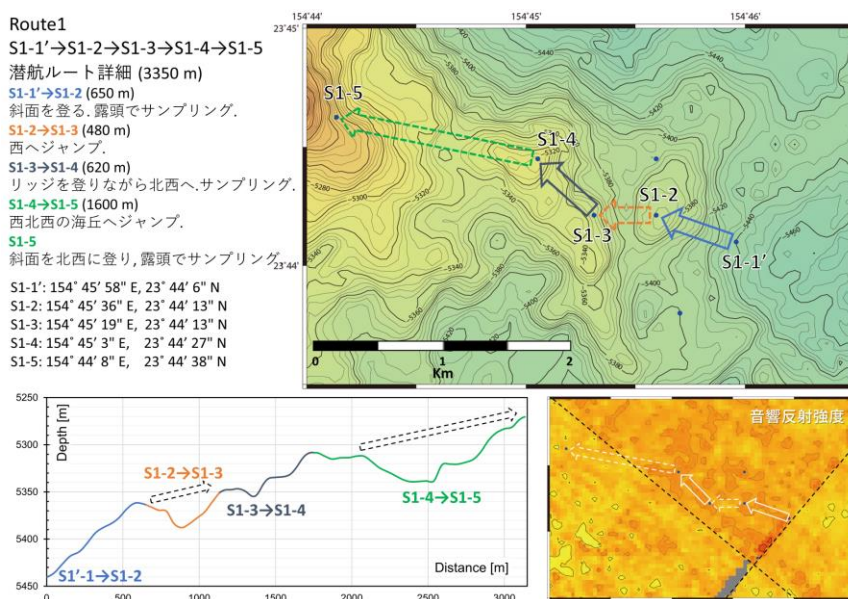


図 10 6K#1542 潜航における潜航計画（本文参照）。

4.3 田中えりか YK19-05S, 6K#1543 で初潜航 「しんかい 6500 初潜航記」

私にとって、YK19-05S は、YK17-11C 南鳥島マンガンノジュール航海以来、2 回目のよこすか乗船であった。YK17-11C では、よこすかの上から 6K 潜航の観測補助を行っていたが、今回、6K の潜航の話をいただいたときには驚きと同時に不安を感じた。初潜航ではあるができる限りのことはしたい。そう思い、潜航計画を練りながら、私は YK17-11C の潜航を思い出しつつ、事前に 3 つの方針を立てた。

まず一つ目は、同じ場所に 10 分以上とどまらないということである。この海域には、マンガンクラストが厚くサンプリングが困難な場所もある、そのような場所では、サンプリングにトライして、だめなら別の場所を探すというように、露頭観察に努めながら、トライアンドエラーを繰り返して、できるだけ多くの場所でサンプリングに挑戦することを試みることにした。もちろん、10 分以上というのは、単なる目安であり心の持ちようの問題である。サンプリングが満足にできそうな場所では、10 分にとらわれずしっかりサンプリングを行うことを肝に銘じた。二つ目は、底層流の流れを観察するということである。YK17-11C では、底層流の流れが弱く、サンプリング時に泥が舞い上がり、30 分以上視界が遮られるという潜航もあった。上述した「同じ場所に 10 分以上とどまらない」という戦略にも通じるが、海底で活動できる時間（4 時間弱）を考えると、底層流の流れをしっかりと観察しながらサンプリングポイントを選定することも重要だと考えた。三つ目は地形をよく見るということである。しんかい 6500 の特性として、海底が平らな場所～上り斜面でのサンプリングが得意である。特にマンガンクラストが厚い場合には、マニピュレーターがつかみやす

く、6K 全体で力をかけられるような場所でないと、サンプリングは厳しい。そのため、地形を基によりサンプリングが容易そうな場所を選ぶ努力をすることを試みた。潜航プランは北西—南東方向に連なる小山に対し、南西側のふもとから北東方向に進んで 1 つ目の山頂までを上りきり、そこで北西に方向転換、尾根沿いを進むことで 2 つ目の山頂に到達するというものであった。

潜航当日、着底後した地点は、泥がうっすらとかぶってはいるものの底層流が強く、視界はクリア、山体は狙っていたプチス波特火山でほっとした、しかしながら、問題は想像以上にマンガンクラストが厚いことだった。何度か平坦な場所、および平坦～上り斜面になる場所でトライしてみたが、なかなか思うようにサンプリングができない。さらに、山頂に向かって、前進しながら高度計をみていると、マンガンクラストに覆われた溶岩流が進行方向に沿って幾筋も存在するのに加え、進行方向とは垂直な方向に百 m 程度の間隔で海底が数十 m の高低差を呈していた。そのため、6K を着底させ、サンプリングできるような場所がなかなか見つからなかった。そこで、当初の計画を変更し、1 つ目の山頂を登り切らずに、半時計回りに迂回し、1 つ目の山頂と 2 つ目の山頂の間の尾根にショートカットして平坦な海底を探すことにした。

その作戦は吉と出た。尾根の部分には比較的平坦な場所が広がっていた。緩やかな海底面の上にしんかい 6500 を着底させ、マニピュレーターとスラスターを駆動させながらサンプリングを行った。サンプルが取れた瞬間には「パキッ」という音が聞こえるようだった。5 cm 以上のマンガンクラストの下部まで採取できたようだ。無事にサンプルを採取するという目的を達成でき、船長の松本恵太氏、船長補佐の西郷亮氏とともに、ほ

っとした瞬間だった。

船長・船長補佐からは、総じて判断が早く、初潜航とは思えなかったとお褒めの言葉をいただいた。それは、YK17-11C 航海の観測補助の経験、YK19-05S の乗船研究者からの手厚いサポート、そして 6K 運航チームの高い技術によって、潜航に向けて「育ててもらった」からだと思う。だからこそ、今後、私自身が研究者として成長するのみならず、次世代の研究者が成長できるような研究環境を作っていきたいと強く思う。(田中記)

4.4 進士優朱輝 YK18-08 研究航海初乗船記

“R/V Yokosuka YK18-08 Cruise Report Yuzuki Shinji Master course 1st, Department of Earth Sciences, Graduate school of Science, Tohoku University ”

When I heard about the invitation to join this research cruise from Assoc. Prof. Hirano, I decided to join the cruise mainly for the following reasons: 1. I want to experience research cruise at least once in my life because I have been interested in research vessels (i.e. CHIKYU, SHINKAI 6500 etc.) from my childhood and I want to see the operation of them. 2. I want to see what researchers do in research vessels with my own eyes. 3. I want to go Chichijima, (the area of sea around) Nishinoshima and Minamitorishima, where it's not easy to visit. Of course I enjoyed visiting Chichijima etc. and watching the operation of SHINKAI 6500, and I learned jobs of researchers in research vessels by watching them or doing them by myself, but now I feel I obtained more good results in this cruise than I expected before starting it. The most significant result is to have learnt and understood more about the latest research of seafloor-geoscience through my jobs, seminar, discussion and so on. About Tamura-sensei's research ("Tairiku" project), I learned about

some part of it in the intensive class held in Tohoku Univ. about 2 years ago. But in this cruise, not only I learned the updated information of the research, but also understood much more about the generation mechanism of continental crust (andesitic magma in mantle), which I couldn't understand fully in the intensive class. Furthermore, I'm excited and interested in the new finding of ankaramite accompanying andesite and primitive basalt in submarine volcano (of course I'm so glad to get small tips of the ankaramite from Tamura-sensei). As for Machida-sensei's research (LAB evolution research using petit spot volcano), although Assoc. Prof. Hirano and his student research about it in our laboratory, I had never observed petit spot lavas in my memory and didn't know much about the occurrence of them in seafloor before joining this cruise. In this cruise, I observed some kinds of petit spot lavas to describe samples collected by SHINKAI 6500 and I learned much occurrence of them (i.e. aphyric dense basalt with almost no bubble, mud volcano, volcanic mud-flow). In addition, I enjoyed recording the dive log of SHINKAI 6500 because I felt as if I embarked it and sometimes I felt so glad to get good samples like divers of it. At the very end of this cruise report, I would like to thank first Machida-sensei and Assoc. Prof. Hirano for providing me with opportunity to get precious experience like this. And I'm also grateful to all researchers joining this cruise and all of crew of R/V Yokosuka and SHINKAI 6500 for their instruction, advice and support. (進士記)

4.5 小長谷智哉 YK18-08 研究航海初乗船記

「YK18-08 研究航海初体験記」

潜水調査船支援母船「よこすか」による調査航海 YK18-08 に同行した。これは二つの研究グ

ループ（土曜海山調査：田村グループ，南鳥島南東沖プチスボット調査：町田グループ）による航海であり，どちらもしんかい 6500（以降 6K）による深海底潜航調査を行った．当時筆者は海底の岩石研究については専門外であった．そのような人間が本調査航海に同行できたのは非常に幸運なことであり，お誘い下さった平野直人准教授，また快く受け入れてくださった町田嗣樹上席研究員に心より感謝申し上げる．

小笠原諸島父島の二見港を出発した翌日から二日間，土曜海山への潜航調査（#1518-1519）が行われた．6K の潜水・揚収に伴う作業を間近で見学できたが，クレーンによる振り出しや振り戻しは圧巻であった．また，作業は迅速かつ的確に進行しており，安心感があった．筆者は町田グループ所属であったため，本潜航調査に伴う記録や採取岩石試料の記載などは手伝わなかったが見学させて頂いた．夜には調査目的の共有や潜航結果報告，次回潜航の概要報告を目的としたサイエンスミーティングが開かれた．記載作業の見学時に間近で岩石試料を観察できたこともあり，田村グループの研究対象である沈み込みに伴うマグマの成因・組成・組織などについて大変勉強になった．船の中で生活を共にしているためか，気軽に質問できたことも理解の助けになった．

土曜海山調査を終え，二日の回航ののち町田グループの調査海域である南鳥島南東沖に到達した．筆者の業務は研究作業室のセッティング，6K 潜航中の各種記録，採取試料の記載であった．潜航中は，6K から送られる映像やよこすかとの交信内容をもとに採取試料の数や採取地点の記録を取った．映像は十分に鮮明であり，今まさに 5000 m 直下の海底で潜航調査しているのだと思うと興奮した．採取試料には通し番号を付け，重さ・サイズを記載し，撮影ののち切断した．その

後，新鮮な切断面を見て岩石の特徴を記載した．記載後，いくつかの研究機関への分配作業を行った．記載作業を通して海底プチスボット溶岩の特徴を把握することができた．現在筆者はプチスボット溶岩を用いた研究を画策しているが，この経験は試料準備の上で大変参考になると感じている．

船内生活は快適だった．食事は司厨部の方が用意してくださるが，三食全て十分な量で非常においしかった．風呂やトイレはよく掃除され，気持ちよく使用できた．洗濯機や乾燥機も備えられ，衣食住に困ることは全くなかった．また，町田先生が定期的に親睦会を主導してくださったおかげで田村グループの方々とも交流を深めることができた．

今回の調査航海で特筆すべき経験となったのは町田グループに同行された石井輝秋先生との出会いである．石井先生は岩石学・造岩鉱物学がご専門の大変経験豊富な研究者で，短い間に多くのことを学ばせて頂いた．質問すれば何でも筆者の理解度に合わせて明解に回答してくださるため，非常に質問しやすく様々なことを教わった．薄片作成の手ほどきを直接受けたり，石井先生の研究への取り組み方について教わったりしたが，特に研究者としての姿勢に学ぶべきところが大きかったと思う．とても気さくなお人柄でありながら相手が誰であってもよく尊重されるため，誰もが非常に親しみやすく，良いつながりが自然にできていくのだろうと思った．また，必要と思ったことを実行するまでのスピード感が印象的だった．人とのつながりと行動の迅速さは研究において非常に重要なことであると思うが，同時に筆者が苦手とするところである．この点で石井先生は非常に良い模範であり，間近で学ぶことができた幸運に感謝したい．

6K で潜航した方々は口々に素晴らしい体験だ

ったと言っていた。本航海に同行できただけでも望外のことであるが、直接感想を聞くと自分も経験してみたいくなるものである。6K に搭載されたビデオカメラによる鮮明な映像を見ることが出来るが、やはり自分の目で見てみたいと思った。また、6K の存続が危ぶまれているといった話も耳にした。岩石学の基本は観察である。やはり実際に産状を目の当たりにし、その場で判断しなければ本当に重要な試料は手に入らず、データの解釈も難しくなるのではないかと思う。海底研究の基本かつ強力なツールとして 6K には存続してもらいたい。いつか自身も搭乗し、海底の景色を目の当たりにしてみたいと思った。

最後に、本調査航海は想像以上に多くのことを学ぶ機会となった。学術的なことのみならず船内生活に不慣れな自分を導いて下さった YK18-08 研究チームの皆さま、安全な運行・快適な生活をサポートして下さい下さった潜水調査船支援母船「よこすか」乗組員の皆さま、完璧な潜航を行い貴重な岩石試料をもたらして頂いた 6K 運用チームの皆さまに感謝いたします。(小長谷記)

4.6 大嶋ちひろ YK19-05S 研究航海初乗船記

「YK19-05S 研究航海初体験記、東京大学大気海洋研究所 修士2年」

人生初の研究航海へお誘いを受けたのは卒業論文に追われる年明けの頃であった。春から大学院進学する東京大学大気海洋研究所は、その名の通り乗船機会に大変恵まれた環境と聞く。正月に田舎にも帰らず部屋に籠って論文執筆していた私に“研究航海”の四字は大変心踊る響きであった。まだ見ぬ大海とそこで行われる数々の研究に思いを馳せながら、私は二つ返事で乗船希望のメールを返した。

4 月、引越しを終え新生活への順応もままなら

ない内に乗船当日を迎えた。乗船地の父島は晴天に恵まれ、夏のような陽射しの中で小型漁船から研究船よこすかへ乗り込んだ。初めて立ち入るよこすか船内、研究室、食堂、操舵室、どれもが新鮮であった。見知らぬ船の見知らぬ人々、そして少し緊張感のある船内の空気、そして何よりも甲板にずっと鎮座する“しんかい 6500”に息を呑んだ。私はこの時の高揚感を生涯忘れることは無いだろう。

そこからの一週間は忙しくも楽しい、目まぐるしい日々であった。毎日行われる潜航に向けた打ち合わせは、この航海の担う使命を強く意識付ける場であった。6K に乗り込む諸先輩方の背中を見送り、深海からの通信音声聞きながら懸命にログを記録する。波に揺られる我々の足下、遙か海の底に先ほどまで隣にいた彼らが潜っているというのは何とも不思議な事実であった。無線から聞こえる声は、人類未踏の地を進む頼もしい科学者の声だ。画質の粗い通信映像に 6K のマニピュレーターが岩石試料を採取する様子が映ると、船内では声が上がった。私は即座に時間と採取地点、収納場所を記録した。

海底での作業を終えた 6K がゆっくりと水面に向かって上ってくる。その間に我々は食事をしたり、サンプル処理の準備を整えて帰還を待つ。しかしこの時間も何だかソワソワと落ち着かない。もしかして予想外に多くの貴重な試料が得られるかもとを期待しつつ、ただただ待ち続ける。

そして遂に 6K が帰還するとその瞬間、それまでの期待や不安は何処へやら、てんやわんやのサンプル処理が始まるのであった。つい先刻まで深く静かな海の底で幾千年眠り続けていた岩石たちが、我々の手によって命名され大きさを測られ、半分に切られて撮影されていく。こうした次々の作業をこなす中で、自分は今新たな研究の現場に

立ち会っているのだと強く実感した。学部生の頃の研究とは違う、もっと活発に分野を切り拓いていくような研究である。

こうして 1 週間に渡る私の初航海は大学院生活のスタートに大きな衝撃もたらし、瞬く間に終了してしまった。研究航海の魅力は何と言っても、乗船者全員が一丸となって未知の大海に挑む面白さにあるだろう。この航海ですっかり海の魅力に取り憑かれた私は、その後一年の内にさらに 2 回の航海に出ることになるのだった。(大嶋記)

4.7 長谷川貴章 YK19-05S 研究航海初乗船記

“Takaaki Hasegawa (Cruise Report)”

First of all, I'd like to appreciate for Hirano-san and Machida-san to invite me in this research. It was very interesting for me to actually see how the deep sea looks like and what's happening there from the geological standing point of view.

Petit-spot is a new type of volcanoes which doesn't match with any conventional type of them in terms of the process in its formation. One of the significant things which was revealed by the recent study is the petit-spot magma is originated from lithosphere-asthenosphere boundary. Thus, we can figure out the spatio-temporal variation of lithosphere and asthenosphere by looking into the petit-spot lava, which used to be challenging as we couldn't get those information from the other type of volcanoes. Understanding the evolutionary process of lithosphere and asthenosphere will eventually lead to obtain a comprehensive picture of material cycling inside the earth. For this, we conducted a survey to collect rock samples from the sea bottom in Minamitorishima area using shikai6500.

I'm from the field of ecology, geology, which

accounts for the dynamics of materials on the earth, is closely related to ecosystems. Especially, volcanoes where materials are supplied from the inner part of the earth play important role in forming new type of ecosystems. To understand how volcanoes work, therefore, is crucial to understand how ecosystems are formed. I personally think that ecologists overlook the importance of material cycling which is driven by volcanoes. Even though it's currently inactive, the ecosystems could be characterized by the lava that has various kinds of minerals and nutrient because primary producers highly depend on those substances. For example, there is a hypothesis that high productivity of the coastal area in Samani Town, which is located in southern part of Hokkaido, is maintained because the rivers running through soils which are partially made from lava bring mineral-rich water into the sea. This is the case of coastal area, but there should be a lot more cases that the factors controlled by volcanoes directly or indirectly have impact on the characteristics of ecosystem, even in deep sea. It would be interesting if there are particular organisms or ecosystems depending on petit-spot environment.

I'm not sure if I'm able to apply what I learned and experienced from this cruise to my research field, but I believe those will be definitely useful as long as I'm in the field of natural sciences. It's nice to talk to the students and researchers working on completely different things from what I'm studying now. I hope I can somehow collaborate my study with someone on this cruise someday in the future! (長谷川記)

4.8 木野聡志 YK19-05S 研究航海初乗船記

“Satoshi Kino (Cruise Report in Japanese)”

本航海は 2019 年 4 月 18 日から 28 日にかけて

実施された YK19-05S 航海であり、私は初めての航海として参加させていただいた。まずは町田首席研究員はじめ、未熟な自分を温かく迎え入れ、指導していただいた同航海参加研究員の方たちに感謝を述べます。ありがとうございました。

今回の航海は自分の研究対象とは直接関係しない南鳥島沖のプチスポット火山調査のためのものであった。にもかかわらず参加させていただいたのには、常々航海に参加したいという思いが自分にはあったものの、なかなかその機会に恵まれなかったためである。授業のスライドや教科書を見て得た知識に関して自分はあまり実感が湧かず、学んでも身になる知識になっているのかわからなかった。とりわけ自分が研究しているマンガン酸化物（特にマイクロマンガンノジュール）については、保管されていたサンプルを目にすることはあっても、サイトでどのような形態・場所でどれだけの量存在しているのか、ある種実体がよくわからないものを研究している感覚にとらわれていた。よって実際にサイトに赴いてどのようにサンプルが採取されているのか、そしてそのとき研究者たちが何を考え・議論しているのか肌で触れてみたかったのである。そこで、本航海への参加できるとお誘いいただいたときは2つ返事で参加を表明した。

そうして参加してまず初めに感じたのは、当たり前のことながら研究者だけでは航海は成り立たないということである。「よこすか」船員の方々、「しんかい」チームの方々の10日にも及ぶ協力を経てようやく3回のダイブ、そして40余りのサンプルが得られた。自分が何気なく手にし、処理していたサンプルもこのようにたくさんの人と時間、お金をかけて得られたものであったという当然の事実気づき、自分が恵まれた環境にいると同時に有意義な研究をしなければならないと

いう責任を感じた。一方で、「しんかい」からの映像をリアルタイムで見たり、採られたばかりのサンプルに触れることで、マンガン酸化物の海洋底における様態を実感できた。マンガン酸化物は回収したほぼどの岩石にもコーティングしており、なかには50 cm ものマンガン層厚のクラストも見受けられた。話には聞いていたが実際に見て非常に驚き、海洋（底）全体ではどれほどのマンガン及び微量元素として含まれるコバルト、ニッケル、銅ら有価鉱物のバジェットが存在するのか、鉱床としての可能性とともに、海水からの沈積反応のダイナミックな反応・生成規模がうかがい知れて非常に興味深かった。こうした海山斜面の岩石の露頭にコーティングするクラストと、平坦な堆積物上で核を得て球形に成長するノジュールとの間ではどうして形状でそのような違いが生じるのか、堆積物上に層状にクラストを形成することはなぜないのか、今まで見逃してきた事実を考える機会にもなった。また、これまでの研究とは無関係であるが個人的に興味を持っていた MBES や SBP といった海洋底資源探査における技術の実際の運用やその有効性を知ることが出来たのも非常に良かった。

最後に今回の航海での経験を踏まえて今後活かしていきたいことについて述べる。航海中はオン・オフ時間を問わず今回の研究対象であるプチスポットをはじめ岩石・生物などについて活発な議論がなされていた。そんな中、基礎知識すらおぼつかない自分はそういった知的な議論に参加することが出来ずいくばくか悔しい思いをした。今後修士でどういった研究を進めていくにせよ、地学全般の基礎知識を備えることは必要と考え、最低限高校教科書レベルは身に着けようと思った。また、本航海によりマンガン酸化物に関する実感的な理解が得られたと感じている。それに基づい

て、自分がこれまで行ってきた研究の目的・他の地球化学の中での位置づけを見直したいと思う。加えて、今回実際にみて興味をもった探査・観測技術などに関する現在の研究テーマ等も調べてみながら、自分がこれからどのような方向に研究を進めていくか決めていきたいと思う。（木野記）

5. 今後の課題

5.1 プチスポット火山の深海掘削

プチスポット火山を構成する岩石の、海底下の浅部構造・産状に関しては、3.2 で述べた通り、6K 搭載用サブボトムプロファイラー（Sub-Bottom Profiler=SBP）が有用である。更に火山体深部構造に関しては、富士原等（Fujiwara et al., 2007）の東北沖 SiteB 海域のプチスポット火山の反射法地震探査研究があり、火口丘下部には山頂から約 600 m の深度まで、火山角礫岩が想定されている。「新青丸」KS-18-9 航海では、東北沖 SiteC 海域の水深約 5700 m で、爆裂火口（マール）を持つプチスポット火山を発見しプチスポットパイプの存在を提案し、深田研年報で報告（石井ほか, 2019）するとともに、コロナ禍の中で開かれた、Goldschmidt Conference 2020（Ishii et al., 2020）のオンライン会議でも発表した。

アセノスフェア由来のダイヤモンドを胚胎することで有名なキンバーライトパイプと同様、プチスポットパイプは火山角礫岩で満たされていると予想される。一般的に深海掘削においては、固結した火山角礫岩の掘削は溶岩の掘削に比べ格段に迅速・容易に行える。実際石井が乗船したグローマーチャレンジャー号による 1978 年の国際深海掘削第 59 節（Kroenke et al., 1981）448+448A 孔においては、40 年も前のシングルビット掘削技術でありながら、約 2 週間という短期間に、枕状

溶岩層を含む火山碎屑岩層を 914.0 m まで掘りぬいた実績がある。

プチスポットパイプからはキンバーライトパイプと同様、海洋地殻上部からモホまで（約 7 km）の岩石・鉱物は勿論、更にモホからアセノスフェアまでの岩石・鉱物を外来岩石・外来結晶として胚胎する岩石が採取出来る可能性がある。即ち、プチスポットパイプは海洋プレート直下、深さ約 60 km の（混じりけの少ない）アセノスフェア由来岩石試料の入手可能性のある、地球上唯一無二の地質体であると考えられる。石井ほか（2019）はプチスポット火山マール火口内での R/V「ちきゅう」による深海掘削を提案したが、再度強力に推奨したい。マール内にリエントリーコーンを設置しての R/V「ちきゅう」による、ノンライザー深海掘削は、「ちきゅう」の能力が最大限活かせる提案だと思われる。即ち、上記マール下の直径約 1 km のプチスポットパイプが垂直に連続して存在していると仮定すると、水深が 5700 m なので、数千メートル（3000 m から 4000 m, うまくすると 6000 m）掘削可能かもしれない。海底下数百メートル毎に、掘削孔壁を貫いての横掘りによる、地殻構成岩石採取が可能に成れば尚望ましい。これぞモホール計画そのものと言っても過言ではない。

南鳥島海域でもマール状山体を有するプチスポット火山の発見を期待したい。

5.2 X線 CT 画像による稀少鉱物の研究

玄武岩溶岩（#6K1544R05）写真（図 4a）の表面から深さ方向へ約 3 mm の仮想切断面の X 線 CT 画像を疑似カラー化した写真（図 4c）では、点在する淡青色～橙色部が認められる。赤色度が増す程、相対密度が高いことを示すことから、これらは密度の高い斑晶鉱物や外来結晶又は外来岩

石と思われる。これらは実際の切断面写真（図 4a）では判別が困難である。

今後、X 線 CT 装置により、研究対象岩石と標準試料の密度既知鉱物を同時測定し、X 線強度と密度に関する定量化を行い、ジルコン、ガーネット、ダイヤモンド、エクロジャイト等という稀少鉱物・岩石の発見・同定・採取・観察・研究に活用したい。現在考察中の具体的手法は昨年深田研年報中の 7 章 2 節 CT スキャンによる非破壊的研究（石井ほか, 2019）に紹介があるので合わせて参考にされたい。また CT スキャン画像を活用して発泡の程度（発泡度）の定量化をも試みたいと思う。（石井, 金子誠記）

6. おわりに

本報告は、町田主席了解のもと石井と金子誠（主に石井）が取りまとめを行なう事となった。従って一切の不具合の責任は石井に帰せられる。

今回の 2 航海の乗船研究者延べ 17 名のうち 4 名が大学院生、研究航海初体験者が 3 名で、荒天による時化が予想されるなか、重い船酔者も出ず、無事初期の目的に合う岩石試料採取ができたことは、「よこすか」の研究船としての能力が優れているからと考えられる。

プチスポット火山の発見及びその後の平野、町田を中心とする一連の研究は、現在話題の「千葉時代（チバニアン=Chibanian）」の研究（千葉県市原市の養老川沿いの約 77 万年前の「地球磁場逆転期の地層」を「国際標準模式地」として日本で初めて認定された研究）同様、日本発の独創的研究であることは間違いない（例えば、千葉セクション GSSP 提案チーム, 2019）。プチスポット火山研究・プチスポットパイプ研究はチバニアン研究同様、地質学上の世界的大発見・貴重な研究と

考えられる。是非研究を極め、世界に発信したい。（石井記, 連絡先: ishiiteruaki@hotmail.com）

謝辞

航海では YK18-08 航海の青木高文船長、YK19-05S 航海の辻晶久船長を始めとする「よこすか」乗組員の皆様、両航海での櫻井利明司令を始めとする 6K チームの皆様、更に東京大学大気海洋研究所（AORI）及び海洋研究開発機構（JAMSTEC）の関係者の方々にお世話になりました。CT スキャンに関しては、高知大学海洋コア総合研究センター（共同利用研究, 採択番号: 18A026, 18B029, 19A046, 19B042）で分析させて頂き、関係者の方々にお世話になりました。岩石試料観察・研究には東京大学大気海洋研究所共同利用研究（受付番号 116, 2018 ; 受付番号 120, 2019）で、柏地区へ度々訪問する機会を持ち得たことが役立っています。櫻井利明司令には 6K ワンマン潜航運用に関しての情報提供・御教示を頂きました。以上の方々に心より厚く御礼申し上げます。（石井記）

文献

- 千葉セクション GSSP 提案チーム（責任著者：菅沼悠介）（2019）：千葉セクション：下部-中部更新統境界の国際境界模式層断面とポイントへの提案書（要約）。地質学雑誌, **125**, 5-22.
- Fujiwara, T., Hirano, N., Abe, N., and Takizawa, K. (2007): Subsurface structure of the "petit-spot" volcanoes on the northwestern Pacific Plate. *Geophysical Research Letters*, **34**, L13305.
- Hirano, N., Kawamura, K., Hattori, M., Saito, K. and Ogawa, Y. (2001): A new type of intra-plate

- volcanism: young alkali-basalts discovered from the subducting Pacific Plate, northern Japan Trench: *Geophysical Research Letters*, **28**, 2719-2722.
- Hirano, N., Takahashi, E., Yamamoto, J., Abe, N., Ingle, S. P., Kaneoka, I., Kimura, J.-I., Hirata, T., Ishii, T., Ogawa, Y., Machida, S. and Suyehiro, K. (2006): Volcanism in response to plate flexure. *Science*, **313**, 1426-1428.
- 石井輝秋・金子誠・平野直人・町田嗣樹・松本亜沙子・秋澤紀克・佐藤勇輝・油谷拓・浅見慶志朗・桂木悠希・坂井俊太・中野幸彦・松崎琢也 (2019): 新青丸「KS-18-9 航海, プチスボット火山ドレッジ研究速報と展望: 一歴史的大発見: 東北沖太平洋超深海底の爆裂火口 (マール) —, 深田研年報, 20, 105-128.
- Ishii, T., Kaneko, M., Hirano, N., Machida, S. and Sato, Y. (2020): Petit-spot with Maar like edifice. *Goldschmidt2020 Abstract*, <https://doi.org/10.46427/gold2020.1146> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC (2011): 有人潜水調査船「しんかい」の系譜, JAMSTEC YouTube 2011/12/01, <https://www.youtube.com/watch?v=LgRJJa-jabA0> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC (2017a): Press Releases [番外編]話題の研究 謎解き解説「しんかい 6500」, 改修工事で操作性向上へ (2017/06/20 掲載), https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/quest/6k/ (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC (2017b): システム<有人潜水調査船「しんかい 6500」, <https://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/system/> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC (2019): 有人潜水調査船「しんかい 6500」利用の手引き (2019 年 4 月改訂), http://www.jamstec.go.jp/maritec/j/boarding/guide_ship/doc/6500.pdf (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC 海洋工学センター (2018): 「しんかい 6500」ワンマンパイロット潜航実施～パイロット 1 人で操縦, 観察者 2 人の乗船が可能に～, JAMSTEC ニュース, 2018 年 10 月 19 日, https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20181019 (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC 海洋工学センター運航管理部 (2017): JAMSTEC フリートトピックス 2016, <https://www.jamstec.go.jp/maritec/j/blueearth/2016/pdf/be16-13.pdf> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- JAMSTEC・高知大学・茨城大学ほか (2018): 常磐沖での新たなマンガンクラストの調査結果速報について, <http://www.jamstec.go.jp/sip/pdf/press20181114.pdf> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- Kaneko, J., and Machida, S. (2020): High-resolution bathymetry and efficient geological survey using submersible SHINKAI 6500 equipped with MBES and SBP in the petit-spot volcanic fields around Minamitorishima Island. *JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual*, SCG66-P18.
- 金子誠 (2019): よこすか (YK-19-05S) 研究航海に参加して. 深田研ニュース, **162**, 6-8.
- Kroenke, L., Scott, R., ---, Ishii, T. et al. (1981): Initial Report of the Deep Sea Drilling Project, Volume 59. DSDP Leg 59 Participating Scientists, US Gov. Printing Office, Washington, D.C., USA, 820p.
- Machida, S., Hirano, N. and Kimura, J. (2009): Evidence for recycled plate material in Pacific upper mantle unrelated to plumes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **73**, 3028-3037.
- Machida, S., Hirano, N., Sumino, H., Hirata, T., Yoneda, S. and Kato, Y. (2015): Petit-spot geology reveals melts in upper-most asthenosphere dragged by lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **426**, 267-279.
- Machida, S., Kogiso, T. and Hirano, N., (2017): Petit-

- spot as definitive evidence for partial melting in the asthenosphere caused by CO₂. *Nature Comm.*, **8**, 14302, doi:10.1038/ncomms14302.
- Machida, S. (2018): Evolution of the Lithosphere-Asthenosphere Boundary: A new and dynamic picture of the solid Earth, R/V Yokosuka YK18-08 Cruise Report Part II, 51-67, 及びクルーズサマリー (日) (英), http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/doc_catalog/metadataDisp/YK18-08_all (2020 年 8 月 25 日 参照).
- Machida, S. (2019): Understanding the nature of Lithosphere-Asthenosphere Boundary and Plate flexure by petit-spot volcanism, R/V Yokosuka YK19-05S Cruise Report, 1-17, 及びクルーズサマリー (日) (英), http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/doc_catalog/metadataDisp/YK19-05S_all (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 町田嗣樹・秋澤紀克・浅見慶志朗・石井輝秋・平野直人・YK18-08 航海乗船研究者一同 (2019): 南鳥島南東方沖のプチスポット火山: YK18-08 航海速報. ブルーアースサイエンス・テク 2019, 平成 31 年 2 月 20 日 (水) ~21 日 (木), 横浜市 横浜港 大さん橋ホール, 講演要旨 BEST19-P12.
- 文部科学省 (2015): JAMSTEC における深海探査機の歩み補足資料 (参考資料 6), https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu5/013/siryo/_icsFiles/fieldfile/2016/01/25/1366045_14.pdf (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2017a): 「しんかい 6500」試験潜航 YK17-06 レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk17-06.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2017b): 「しんかい 6500」訓練潜航 YK17-07 レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk17-07.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2018a): 「しんかい 6500」試験潜航 YK18-04 レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk18-04.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2018b): 「しんかい 6500」調査潜航 YK18-E02 航海レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk18-e02.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2019a): 「しんかい 6500」試験・訓練潜航 YK19-02 航海レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk19-02.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- 櫻井利明 (2019b): 「しんかい 6500」調査潜航 YK19-05S 航海レポート, <http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk19-05s.html> (2020 年 8 月 25 日 参照).
- Sato, Y., Hirano, N., Machida, S., Yamamoto, J., Nakanishi, M., Ishii, T., Taki, A., Yasutaka, K. and Kato, Y., (2018): Direct ascent to the surface of asthenospheric magma in a region of convex lithospheric flexure. *Int'l Geol. Rev.*, **60**, 1231-1243, doi:10.1080/00206814.2017.1379912.
- 高井研 (2019): 最前線海洋研究の「実践」を通じた若手人材育成プロジェクト, ネクスト・オーシャンズ・タレント発掘プロジェクト, 有人潜水調査船「しんかい 6500」による潜航調査航海「深海研究のガチンコファイト」を体感せよ! (更新日 20190617), http://www.jamstec.go.jp/j/about/hr_cruise2019/ (2020 年 8 月 25 日 参照).