



共催：AORI・JAMSTEC

海と地球の シンポジウム

科学のフロンティア × 研究船

発表課題一覧・要旨集

開催日時

1日目：2023年3月16日（木）

2日目：2023年3月17日（金）



東京大学 大気海洋研究所
Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo



JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

発表課題一覧

特別発表・口頭発表 (1日目)

- 1-1. 矢部 いつか 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 研究成果報告
磯口ジェット流域における水塊混合と栄養塩循環に関する研究
【KS-17-9】
日時: Day1 3/16 (木) 09:45-10:30
特別発表

- 1-2. 田中 潔 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 研究成果報告
台風によって河川から海洋に流出した放射性セシウム
—陸と川と海を繋ぐ水循環—
【KT-11-22 (震災対応航海)】
日時: Day1 3/16 (木) 10:30-10:50
口頭発表

- 2-1. 西川 はつみ 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 研究成果報告
最近の持続する黒潮大蛇行が四国沖再循環域の亜熱帯モード水に与える影響
【KS-21-9】
日時: Day1 3/16 (木) 10:55-11:15
口頭発表

- 2-2. 鈴木 順子 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
MR21-03 航海中に西太平洋上で観測された水蒸気・上層雲変動
【MR21-03】
日時: Day1 3/16 (木) 11:15-11:35
口頭発表

- 3-1. 豊福 高志 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
海洋研究への関心層形成を促進する アウトリーチプログラムの開発
“Science × Art 企画”
【KR21-11】
日時: Day1 3/16 (木) 11:45-12:05
口頭発表

- 3-2. 澄川 あゆみ 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
クルーズレポートへの DOI 付与の取り組み
【その他】
日時: Day1 3/16 (木) 12:05-12:25

口頭発表

- 3-3. 茂木 祐子 他, 株式会社マリン・ワーク・ジャパン 他, 研究成果報告
船舶観測データの品質向上への取り組み (XBT, CTD, TSG)
【その他】
日時 : Day1 3/16 (木) 12:25-12:45
口頭発表
- 3-4. 永木 晴美 他, 日本海洋事業株式会社 他, 研究成果報告
JAMSTEC 海底地形公開データ処理の効率化と品質向上
【その他】
日時 : Day1 3/16 (木) 12:45-13:05
口頭発表
- 4-1. 藤原 義弘 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
沖合海底自然環境保全地域からの希少種の発見
～環境 DNA 解析とベイトカメラ調査によるヨコヅナイワシの検出～
【KM21-E04C, KM20-10C】
日時 : Day1 3/16 (木) 14:35-15:20
特別発表
- 4-2. 王 雪丁 他, 東京大学農学生命科学研究科 他, 研究成果報告
環境 DNA を用いた外洋域における魚類群集組成と環境要因について
【KS-20-13】
日時 : Day1 3/16 (木) 15:20-15:40
口頭発表
- 4-3. 齊藤 宏明 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 航海概要報告
黒潮パラドックスの解明 -KH-20-9 白鳳丸航海概要-
【KH-20-9】
日時 : Day1 3/16 (木) 15:40-16:00
口頭発表
- 5-1. 白石 和也 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
南海トラフ西部から日向灘における地殻構造探査
【YK21-14, KM21-07, YK21-19】
日時 : Day1 3/16 (木) 16:10-16:30
口頭発表

- 5-2. **野 徹雄 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告**
「かいめい」による北海道南東沖千島海溝周辺での地震探査
【KM20-E02, KM21-04, KM22-07, YK22-07 他】
日時 : Day1 3/16 (木) 16:30-16:50
口頭発表
- 5-3. **吉田 健太 他, 海洋研究開発機構, 航海概要報告**
最近活発な小笠原の海域火山を注視する YK22-15 航海報告
【YK22-15 他】
日時 : Day1 3/16 (木) 16:50-17:10
口頭発表
- 5-4. **谷 健一郎 他, 国立科学博物館 他, 航海概要報告**
福徳岡ノ場 2021 年 8 月噴火の緊急調査 : KS-22-5, -13 航海の予察的報告
【KS-22-5, KS-22-13】
日時 : Day1 3/16 (木) 17:10-17:30
口頭発表

特別発表・口頭発表 (2日目)

- 6-1. 田中 聡 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告
鬼界海底カルデラの総合調査
【KM21-05, KM22-01】
日時 : Day2 3/17 (金) 09:30-09:50
口頭発表
- 6-2. 長屋 暁大 他, 神戸大学/海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
屈折法地震波構造探査によって明らかになった鬼界カルデラ火山直下の
低速度領域
【KM21-05】
日時 : Day2 3/17 (金) 09:50-10:10
口頭発表
- 6-3. 小畑 拓実 他, 神戸大学 他, 研究成果報告
鬼界カルデラ火山海底下の三次元比抵抗構造解析
【KR20-11 他】
日時 : Day2 3/17 (金) 10:10-10:30
口頭発表
- 6-4. 羽生 毅 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
鬼界カルデラ破局噴火のマグマ準備過程
【CK20-S01 Leg-2 他】
日時 : Day2 3/17 (金) 10:30-10:50
口頭発表
- 6-5. 道林 克禎 他, 名古屋大学 他, 研究成果報告
伊豆・小笠原海溝の前弧マントル研究
【YK17-14】
日時 : Day2 3/17 (金) 11:00-11:45
特別発表
- 6-6. 田村 芳彦 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
海洋地殻と地殻-マントル境界 (モホ) を形成する新しいモデル
【NT15-E02 他】
日時 : Day2 3/17 (金) 11:45-12:05
口頭発表

- 6-7. 小原 泰彦 他, 海上保安庁海洋情報部/海洋研究開発機構/名古屋大学 他,
航海概要報告
YK21-06S・YK22-18S:四国海盆南海道メガムリオン群の潜航調査報告
【YK22-18S 他】
日時: Day2 3/17 (金) 12:05-12:25
口頭発表
- 6-8. 石塚 治 他, 産業技術総合研究所 他, 航海概要報告
西フィリピン海盆上での伊豆小笠原島弧創成の可能性
—島弧-拡大軸会合部潜航調査—
【YK22-11S 他】
日時: Day2 3/17 (金) 12:25-12:45
口頭発表
- 7-1. 麻生 達也 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
自律型無人探査機「AUV-NEXT」を用いた自動観測への取り組み
【YK22-03 他】
日時: Day2 3/17 (金) 14:15-14:35
口頭発表
- 8-1. 小原 泰彦, 海上保安庁海洋情報部/海洋研究開発機構/名古屋大学, 研究成果報告
我が国の深海探査機能の近未来のあり方
日時: Day2 3/17 (金) 14:40-15:00
口頭発表

ポスター発表（1日目） コアタイム 13:05-14:35

- 3/16-1. 永野 憲 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
係留ブイによる西部太平洋暖水プール北縁の大気海洋観測(III)
【MR21-03 他】
- 3/16-2. 永野 憲 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
汎用小型観測フロート(MOF)を用いた黒潮続流南側における冷水渦観測
【MR21-06】
- 3/16-3. 植木 巖 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告
暖水プール北部における統合的的海洋大気観測研究- MR21-03 航海概要 -
【MR21-03 他】
- 3/16-4. 伊藤 幸彦 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 航海概要報告
房総半島東部沿岸～沖合における物質循環 : KS-21-8 航海概要
【KS-21-8】
- 3/16-5. 大柳 良介 他, 国士館大学 他, 研究成果報告
伊豆・小笠原海溝の前弧マントル岩石の変成作用
【YK17-14】
- 3/16-6. 小畑 元 他, 東京大学 他, 航海概要報告
白鳳丸 KH-22-4 次研究航海報告
【KH-22-4】
- 3/16-7. 乙坂 重嘉 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 研究成果報告
日本海対馬暖流域における海洋構造の変化に対する化学環境の応答
粒子フラックスの変化とその要因
【KS-21-13 他】
- 3/16-8. 青野 辰雄 他, 量子科学技術研究開発機構 他, 研究成果報告
福島第一原発沖における海水と堆積物中の放射性セシウム濃度変動
【KS21-23 他】
- 3/16-9. 針金 由美子 他, 産業技術総合研究所 他, 航海概要報告
KS-21-16 航海概要報告 : 南部琉球弧の火山フロントに関連する
第3宮古海丘から得られた火山岩の岩石学的特徴
【KS-21-16】

- 3/16-10. 富士原 敏也 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告
千島海溝における巨大地震・津波発生源の地震履歴研究
「みらい」MR22-04 航海報告
【MR22-04 他】
- 3/16-11. 芦 寿一郎 他, 東京大学大気海洋研究所 他, 航海概要報告
室戸岬東方沖の堆積環境と地震履歴 - 新青丸 KS-22-3 次航海概要報告 -
【KS-22-3 他】
- 3/16-12. 三浦 亮 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
南海トラフ「かいいい」KR11-09 航海における
マルチチャンネル反射法地震探査データの再解析
【KR11-09】
- 3/16-13. 多米 晃裕 他, 株式会社マリン・ワーク・ジャパン 他, 研究成果報告
シンカイヒバリガイの鰓細胞による外来細菌の取り込みと選択的消化
【NT14-05 他】
- 3/16-14. 余澤庶 他, 東京大学農学生命科学研究科 他, 研究成果報告
海水に含まれる DNA から外洋の小型浮魚類の分布を探る
【KS-18-5】
- 3/16-15. 富山 隆将 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
持続可能な岩石サンプル管理に向けた JAMSTEC の取り組み
- 3/16-16. 額瀨 慎也 他, 海洋研究開発機構, 研究成果報告
機械学習手法による Argo データ QC フラグ付与
【MR21-04】

ポスター発表 (2 日目) コアタイム 12:45-14:15

3/17-1. 木下 武也 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告

海洋地球研究船「みらい」にて実施した高高度ラジオゾンデ観測により
捉えられた西太平洋域高度 30 km 以上の擾乱活動について

【MR21-03】

3/17-2. 堤 英輔 他, 鹿児島大学水産学部 他, 航海概要報告

三陸沖のサブメソスケール流動に伴う混合と物質輸送に関する研究

【KS-22-11 他】

3/17-3. 川合 義美, 海洋研究開発機構, 研究成果報告

初春の親潮水温前線に対する大気下層の応答

【KH-13-3】

3/17-4. 勝又 勝郎, 海洋研究開発機構, 研究成果報告

南大洋インド洋セクションの底層水

【MR19-04】

3/17-5. 内田 裕 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告

北極海の絶対塩分アノマリー

【MR22-06C 他】

3/17-6. 脇田 昌英 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告

東北地方太平洋沖地震前後における三陸沖陸棚斜面の底層水環境の変化

【MR12-E02 他】

3/17-7. 喜多村 稔 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告

MR21-06 航海概要報告

【MR21-06】

3/17-8. 荻野 慎也 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告

研究船「みらい」による 2021 年夏季の西太平洋上部対流圏・下部成層圏に
おける物質循環観測

【MR21-03】

3/17-9. 杉江 恒二 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告

「みらい」 MR22-03 航海概要報告 -春季西部北太平洋における
東アジア大陸起源物質の分布と生態系への影響-

【MR22-03 他】

- 3/17-10. 高田 兵衛 他, 福島大学環境放射能研究所 他, 航海概要報告
福島沿岸海域における放射性核種の動態および生態系の環境応答
: KS-21-23, KS-22-14
【KS-22-14, KS-21-23 他】
- 3/17-11. 佐藤 利典 他, 千葉大学 他, 研究成果報告
MSSA 解析とパラメトリック関数のフィッティングを併用した
海洋モデルを用いた海底圧力計からのスロースリップによる変動の抽出
【NT15-12 他】
- 3/17-12. 悪原 岳 他, 東京大学地震研究所 他, 研究成果報告
浅部テクトニック微動の高精度震源決定に向けた手法開発
【KS-21-10 他】
- 3/17-13. 清水 良弥 他, 東京海洋大学 他, 研究成果報告
エアガン-海底地震計データによる福島県相馬沖の地震波速度構造
【KR12-20】
- 3/17-14. 木戸 元之 他, 東北大学災害科学国際研究所 他, 研究成果報告
海底間音響測距観測による岩手県沖海溝軸の挙動の解明
【KS-21-25, KS-21-5 他】
- 3/17-15. 池上 隆仁 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
西部北極海における水柱のマイクロプラスチック存在量の評価
【MR21-05C 他】
- 3/17-16. 古島 靖夫 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告
KM21-08、KM22-02 航海概要報告
海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価 (P21-02 課題)
【KM21-08、KM22-02】
- 3/17-17. 中嶋 亮太 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
ハイパースペクトルカメラとコーヒー抽出機構を組み合わせた
半自動マイクロプラスチック分析装置
【KM22-15】
- 3/17-18. 笠谷 貴史 他, 海洋研究開発機構 他, 航海概要報告
深海におけるセメント系材料の長期暴露試験と様々な原位置実験による
力学挙動の把握

【YK22-09C 他】

- 3/17-19. 福場 辰洋 他, 海洋研究開発機構 他, 研究成果報告
環境 DNA サンプル自動採取・保存装置の開発と現場遺伝子解析への展開
- 3/17-20. 田代 省三 他, 地球環境フォーラム, 研究成果報告
海洋研究者支援サイト「海洋調査研究プラットフォーム」の構築
- 3/17-21. 井原 智則, 東京海洋大学, 航海概要報告
海底熱水鉱床の局所熱流動に着目した鉱物形成・物質輸送の解明
KS-22-12 報告
【KS-22-12】

磯口ジェット流域における水塊混合と栄養塩循環に関する研究

○矢部いつか・伊藤進一（東京大学大気海洋研究所）、長井健容（東京海洋大学）、西岡純（北海道大学）

亜熱帯循環の一部である黒潮と亜寒帯循環の一部である親潮に挟まれた海域では、両水塊が混ざり合う混合水域が形成される。混合水域を流れる磯口ジェット（以下、ジェット）は、黒潮の分岐流であり、黒潮由来の温暖な水塊を亜寒帯域に輸送する。サンマやさば類をはじめとする小型浮魚類は、産卵場である温暖な黒潮・黒潮統流域から餌の豊富な亜寒帯域への索餌回遊時に混合水域を利用する。ジェットの温暖な環境は稚仔魚の成長や生残に好適であること、餌環境のよいジェットの下流域にはよい漁場が形成されることが知られている。ジェットの起源である黒潮水は餌環境の指標となる栄養塩が乏しいため、餌環境が好適であるとは言い難い。そのため、水塊混合に伴うジェット内部への栄養塩供給が重要となるが、その混合プロセスはまだ未だ明らかとなっていない。本発表では、観測データに基づきジェット流域の栄養塩分布とその空間変動を示し、その混合要因を検討する。

KS-17-9 航海（主席研究員 伊藤進一）では、「夏季における東北沖合海域の海洋生物生産を支える栄養塩供給過程の観測」を研究課題として、硝酸塩センサー（ISUS）を搭載したCTD観測と乱流計観測（VMP250）、ジェットを横断する複数のラインにおけるUnderway CTD（UCTD）観測を実施した（図1）。図1の海面高度が示すように、2017年のジェットは複数の高気圧性渦をつなぐような蛇行流となっていた。

ジェットを横断する複数のラインにおいて、南側にジェット由来の高温・高塩の水塊が分布し、その下部（ $26.5\text{-}26.8\sigma_\theta$ ）に低温・低塩な親潮水が密度面に沿って貫入する様子が捉えられた。（図2）。鉛直解像度の詳細な硝酸塩データを取得したGGラインでは、貫入した親潮水の上部（ $26.0\text{-}26.3\sigma_\theta$ ）では、硝酸塩濃度が隣接する観測点より高くなっていた。硝酸塩濃度の高い領域では、塩分が低くなっており、栄養塩豊富な親潮系との水塊混合がジェット内に栄養塩を供給したものと考えられる。同様の水塊混合は、上流に位置するIIラインでは見られるものの、さらに上流のJJラインでは見られない。栄養塩供給を伴う水塊混合がジェット上で発生していることが明らかとなった。水塊混合が見られたIIラインでは、ジェットと親潮が接近する地点となっており、強いフロント構造および二次循環が形成されていた。二次循環に伴う鉛直上向きの流れが栄養塩豊富な親潮水を湧昇させていることが明らかとなった。有光層付近への栄養塩供給にはさらなる混合過程が必要となるが、このような栄養塩供給が定常的に発生している可能性を示した。

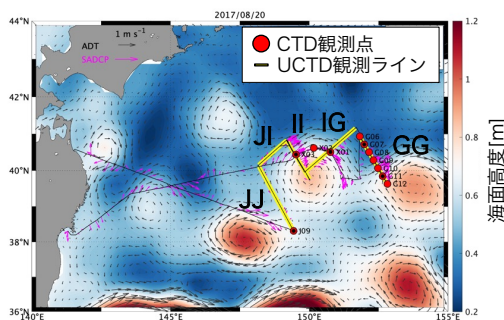


図1 KS-17-9の観測地点と観測期間中の2017年8月20日の海面高度（カラー）、地衡流（黒ベクトル）

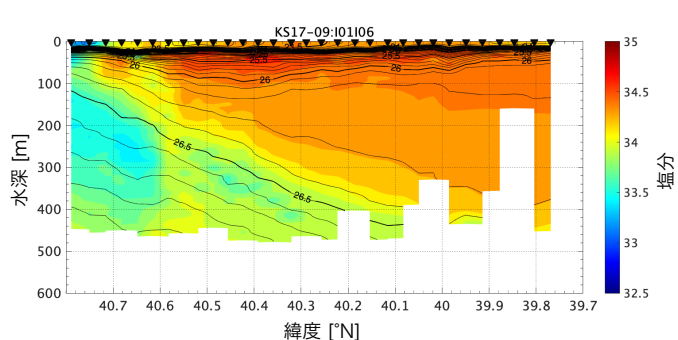


図2 IIラインの塩分（カラー）と密度（等値線）の鉛直断面

台風によって河川から海洋に流出した放射性セシウム —陸と川と海を繋ぐ水循環—

○田中潔（東京大学大気海洋研究所）、長尾誠也（金沢大学）、北出裕二郎（東京海洋大学）、
仁木将人・勝間田高明（東海大学）、美山透（海洋研究開発機構）、吉成浩志（北海道大学）

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災と巨大津波は、福島第一原子力発電所（以下、FDNPP）に甚大な被害を与え、多量の放射性セシウムが海洋に流出した。本研究では、放射性セシウムが海洋に至る過程が幾つか有る中で、陸上に降下した放射性セシウムが河川を経て海洋に流出して拡がる過程に着目した。

一般に、河川の大規模出水時の海洋観測は、悪天候のため困難であることが多い。しかし、本研究では台風に伴う極めて大規模な出水から8日以内に、黒潮親潮混合域の緯度帯に位置する常磐沖の広範な海域で観測を実施することに成功した。実はこのとき、常磐地域の主要河川である利根川と那珂川では、2007年以來の、記録的な大規模出水が生じていた。本研究ではこのときの観測結果に基づき、「陸と川と海」を繋ぐ水循環と、それに伴う放射性セシウムの海洋への流出過程を調べた。

2. 観測方法

2011年9月7日～12日の期間、図1の海域で水温・塩分の深度分布観測（CTD）と測流（ADCP）、及び表層水（深度10m）の採水を実施した（**淡青丸 KT-11-22 次 震災対応航海**）。採水した海水中の放射性セシウム（ ^{134}Cs と

^{137}Cs ）の濃度測定は、金沢大学 低レベル放射能実験施設及び尾小屋地下実験施設におけるゲルマニウム半導体検出器を用いて行った。本研究では以下、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の溶存態及び粒子態の全ての濃度合計値について、測定日から採取日に壊変補正を施したものを「放射性セシウム濃度」と表記する。

3. 結果

表層の放射性セシウム濃度と塩分の分布を見ると（図1）、FDNPPに近い測線よりも、遠くに位置する測線のほうが高濃度の放射性セシウムが検出された。また、沖合で高濃度セシウムが検出された測点では、塩分が低い傾向が見られた。さらに、塩分の鉛直プロファイルを見ると（図略）、低塩分水は、深度10m以浅にのみ存在していた。これらの分布特性は、今回検出された低塩分水と高濃度放射性セシウムは、FDNPPから離れた場所に河口を持つ河川（那珂川や利根川等）から海洋に流出した可能性を強く示唆する。

図2aは、観測直前8日間の降水量分布（積算値）を示す。FDNPPの近傍では降水が少ないのに対して、

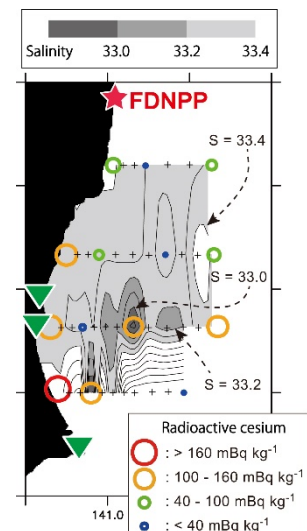


図1. 表層（深度10m）の放射性セシウム濃度（カラー○印）と、塩分（等値線と陰影部）の分布。○印が大きいほど放射性濃度は高い。陰影が濃い域ほど、塩分が低い。下向き緑三角▼印は、久慈川・那珂川・利根川の河口位置を表す。

那珂川及び利根川の上流域では積算降水量が500 mmを超える豪雨が生じていた。一方、図 2b は ^{137}Cs の、陸上への初期沈着量を示す。両図を見比べてみると、那珂川及び利根川上流域で豪雨が生じていた地域には、 ^{137}Cs が予め多量に沈着していたことが分かる。

そして、この豪雨は、利根川や那珂川に大規模な出水を引き起こした。各河川の流量時系列を見ると（図略）、利根川と那珂川では9月4日前後に、2007年以來の大規模な出水が生じていた。

さらに、これらの大規模出水は、大規模ブルーミングももたらしていた。すなわち、出水が生じる前は、クロロフィル高濃度域は岸近傍に限られていた（図略）。これに対して、出水が生じた直後の観測期間中は、クロロフィル高濃度域は遙か沖合にまで広がっている（図 3）。そして、沖合に広がったクロロフィル高濃度域は、低塩分域と良く一致する。

4. まとめ

ADCP による測流値やデータ同化モデルによる黒潮の分布も併せ見ると（図略）、那珂川（や久慈川）から海洋に流出した河川水や放射性セシウムは、地球自転の影響を受けて岸沿いに南下しながら、やがて沖へ広がっていったと考えられる。一方、利根川からの流出については、犬吠埼の影響を受けて、河口から沖へすぐに広がっていったものが多いと考えられる。利根川からの流出水については、黒潮の影響を受けながら北東方向へ流された可能性も考えられる。

本研究の最も特筆すべき点は、様々なデータ（現場海洋・降水量・セシウム沈着量・河川流量・人工衛星・数値シミュレーションのデータ等）を組み合わせ、「陸と川と海」を繋ぐ水循環過程（図 4）を明瞭に示したことに有る。

- 今回検出された放射性セシウム濃度の最高値は 165 mBq kg^{-1} であった（厚生労働省による飲料水基準値 10 Bq kg^{-1} の 1.65 %）。
- 本要旨の内容及び図の多くは Tanaka et al. (2022, *Limnology and Oceanography*, doi:10.1002/lno.12065) から引用した。

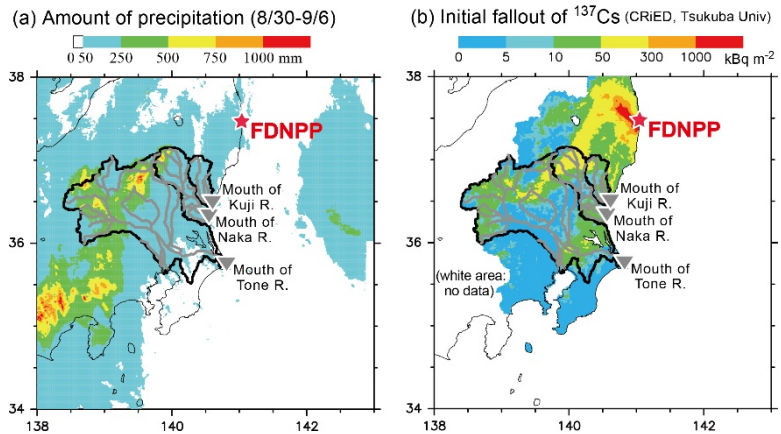


図 2. (a) 観測直前 8 日間の積算降水量。(b) セシウム 137 の初期沈着量。灰色太線は久慈川・那珂川・利根川水系の流路を、黒色太実線は各水系の流域境界を表す。降水量は、気象庁解析雨量データから算出。セシウム沈着量は、筑波大学アイソトープ環境動態研究センターのデータセットに基づいて作成。河川水系流路と流域は、国土交通省国土数値情報データから作成。

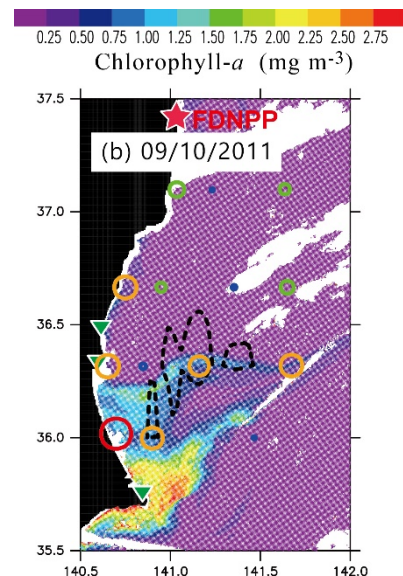


図 3. 観測期間中のクロロフィル a の海面分布。カラー○印は図 1 に示した放射性セシウム濃度を、黒色破線は塩分 33.2 の等値線を表す。Korea Ocean Satellite Center 静止海色衛星 GOCI データより作成。

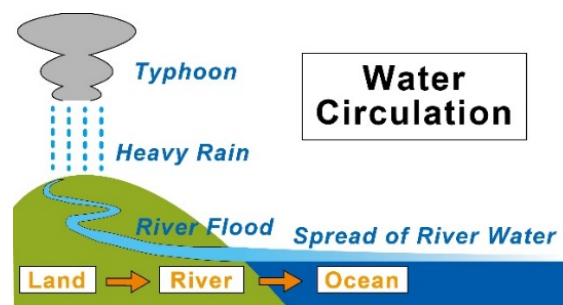


図 4. 「陸と川と海」を繋ぐ水循環過程の模式図。

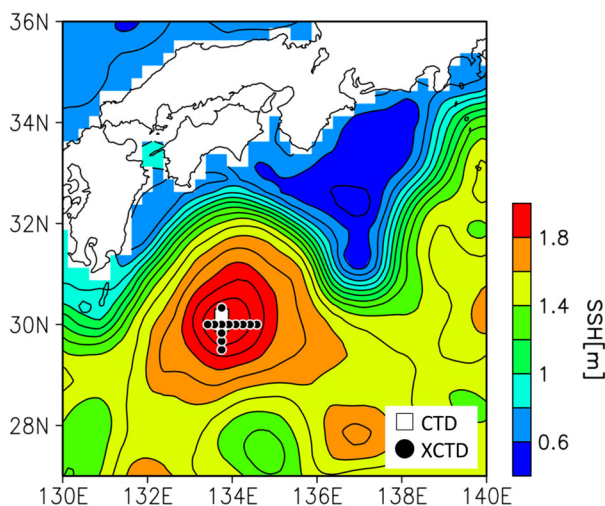
最近の持続する黒潮大蛇行が 四国沖再循環域の亜熱帯モード水に与える影響

○西川はつみ・岡英太郎（東京大学大気海洋研究所）、杉本周作（東北大学）

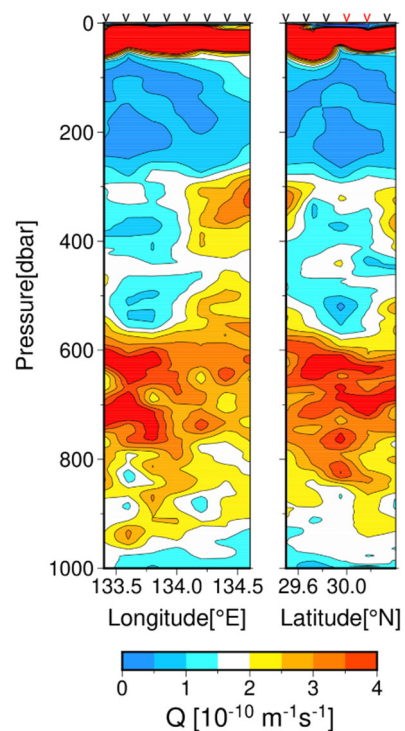
北太平洋亜熱帯モード水（STMW: Subtropical Mode Water）は黒潮ならびに黒潮続流の南側で冬季に形成される鉛直一様層で、気候変動や物質循環変動の重要な要素である。STMW の形成・移流は、黒潮の流路に強く影響を受ける。特に四国沖の黒潮再循環域では、黒潮が蛇行流路（大蛇行流路ならびに非大蛇行離岸流路）をとるとき 19°C を超える温かい STMW が形成され、1 年以上前に形成された冷たい STMW と 2 層構造をつくることが知られているが（Sugimoto and Hanawa, 2014）、先行研究が対象とした蛇行期間はいずれも 1 年程度である。2017 年 8 月に始まった黒潮大蛇行は、観測史上最長となる 5 年 3 か月の記録を現在も更新中であり、複数年持続したのは 1975~80 年以来実に 40 年ぶりである。本研究では、アルゴフロートおよび気象庁船舶観測のデータに加え、KS-21-9 次研究航海（図 1）を実施し、複数年持続する黒潮大蛇行が四国沖再循環域の STMW の形成・移流に与える影響を調査した。

2018 年晩冬以降、四国沖再循環の STMW は多層構造（例：図 2）を 3 年以上維持していたことが明らかとなった。大蛇行開始前、2017 年晩冬に形成された水温 18°C の STMW が 100~500m 深で 1 層構造を成していた。大蛇行開始後の 2018 年晩冬には 19°C を超える温かい STMW が深さ 300m まで形成される一方、2017 年製の STMW は 350~650m 深に移動し、2 層構造が形成された。その後、温かい STMW の上部は翌冬の混合層への取り込みにより毎年更新され、取り残された下部は徐々に拡散された。一方で、2017 年製の冷たい STMW は、4 年以上にわたり生き残った。STMW は通常 2 年程度で拡散されてしまうため、長寿命な STMW の観測に成功したと言える。これは、大蛇行に伴う四国沖の再循環が強化され、再循環内部が拡散の小さい非常に保存的な状態であったためと考えられる。

さらに、再循環内で行われた気象庁の船舶観測（2018 年 6 月）と KS-21-9 次研究航海（2021 年 5 月）の酸素データから、酸素消費速度の見積を試みた。2017 年製 STMW の深度に相当する深さ約 500dbar における AOU（見かけの酸素消費量）は 2018 年には 0.423 ml l⁻¹、一方、2021 年には 0.737 ml l⁻¹であったことから、酸素消費速度は 0.105 ml l⁻¹ yr⁻¹ と見積もられた。この値は、化学トレーサーを用いた先行研究の値と整合的であった。



(上) 図 1: KS-21-9 次研究航海の四国沖再循環域の測点図。背景は 2021 年 5 月 29 日の衛星海面高度。



(右) 図 2: 図 1 測線における渦位 (Q) の鉛直断面図。1.5×10⁻¹⁰ m⁻¹ s⁻¹ よりも小さい領域 (青色) が STMW を表す。上部の v マークは XCTD (黒) と CTD (赤) の観測点位置。

MR21-03 航海中に西太平洋上で観測された水蒸気・上層雲変動

○鈴木順子（海洋研究開発機構）、荻野慎也・木下武也・城岡竜一（海洋研究開発機構）

1. はじめに

インドネシア海大陸気候に関する国際共同研究プロジェクト Years of the Maritime Continent (YMC) 期間中の2021年5-7月、研究船「みらい」(MR21-03 航海)により西太平洋にて、特殊ゾンデ(新型露点ゾンデ (SKYDEW)、オゾンゾンデ、および雲粒子ゾンデ)を搭載したラジオゾンデ飛揚観測を実施した。夏季モンスーンと対流季節内変動にともない、上層雲の変動やその雲粒子の特徴、およびオゾン変動について、気象場との関係を明らかにすることを旨とした。本発表では、観測時の水蒸気量と力学場の変動について調査した結果を報告する。

2. 使用したデータ

定点観測期間の2021年6月12~30日におこなわれた、RS-11Gラジオゾンデ、ECCオゾンゾンデとSKYDEW露点ゾンデの単独・連結飛揚(計10回)の各観測によるデータをもちいた。以下、時間はUTC(現地時間はUTC+07)で記す。

最近開発されたSKYDEW露点ゾンデ(以下SKYDEWゾンデ)は、鏡面冷却型の露点計で、鏡面をペルチエ素子方式で冷却し、従来型測器のように冷媒を使用しないため、環境負荷が少ない利点がある。通常ラジオゾンデ(RS-11G)とSKYDEWゾンデのRH_w(水に対する相対湿度)を比較すると(図1、および研究船「みらい」搭載のライダーによる。ただしライダーの図は省略)、両ゾンデとも、上部対流圏(~10km)より下層ではほぼ同じ値を示しており、6/25高度8km付近の雲内の値も対応がみられる。しかし両日とも、上層雲が存在している高度12-16.5kmでは、両ゾンデの変動傾向は似ているものの、SKYDEWゾンデのみ飽和状態を観測できており、SKYDEWゾンデの上部対流圏における観測有用性を示していた。

3. 解析結果

定点観測期間中、高度16-30 km付近の力学場には、重力波とみられる変動が卓越していた(図2)。高度17-20kmに注目すると、期間の前半(6/12-19)では温度アノマリの負域、後半(6/22-30)では正域がみられた。図1で同高度の相対湿度をみると、6/17よりも6/25では乾燥している。例えば17 kmでは、6/17には30%程度だったが、6/25には10%以下であった。また、6/25の温度アノマリ正域の下端(16.5 km)は、上層雲の雲頂高度に対応していた(図なし、ライダーデータによる)。この期間、重力波による温度変動が上層雲の雲頂高度を規定していたことを示唆している。

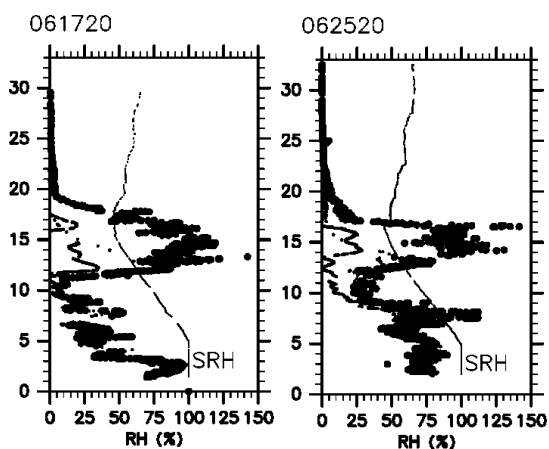


図1: 6/17と6/25の水に対する相対湿度(RH_w, %)の鉛直プロファイル。濃い点はSKYDEWゾンデ、薄い点はRS-11Gゾンデ。右側の点は飽和相対湿度。

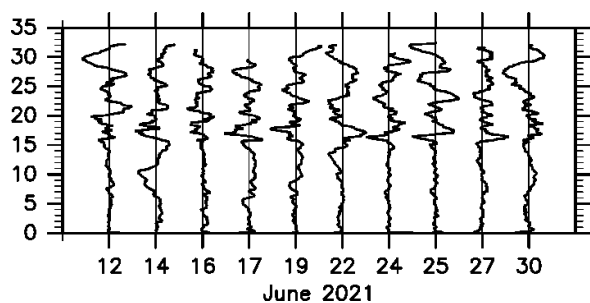


図2: 2021年6月12~30日11UTC放球のRS-11Gラジオゾンデによる、温度アノマリの鉛直プロファイル。横軸の各日の縦線は0 K、横軸の間隔は10 Kの幅に対応する。

海洋研究への関心層形成を促進する アウトリーチプログラムの開発 “Science × Art 企画”

○豊福高志・長井裕季子(JAMSTEC), 椿玲未(エウサピア), 笠谷貴史(JAMSTEC), 渡邊晃一(福島大・芸術による地域創造研究所), 加藤朱美(郡山市ふれあい科学館), 田口康大(3710Lab/東大), KR21-11 航海クリエイター一同, 野崎達生・土屋正史・後藤久美・笠原敬弘・川口慎介・増田周平(JAMSTEC)

一般における海洋研究への関心は必ずしも高いとは言えない。この現状を打破し、海洋研究の重要性や、面白さを広く訴求するために、様々なアウトリーチ活動が行われている。JAMSTEC50周年事業研究系ワーキンググループにおいても周年事業をアウトリーチの機会として捉え、Science と Art を有機的に連携させることで海洋研究をアウトリーチできないか検討を行った。そこで、多様なクリエイターに海の研究の最前線のひとつである研究船での科学観測の現場を体感していただき、その経験を基に創作活動を行うことで、潜在的な関心層への到達を図るプログラムを実施する運びとなった。航海終了後、現場で得たインスピレーションや採取したサンプルをベースに複数のプロジェクトが立ち上がり、2022年10月現在も作品化に向けた話し合いが行われている。また、すでに作品として結実したものもあるのでこれらの動向について報告する。

本課題は2021年7月に駿河湾において、KR21-11航海において実施した。航海ではJAMSTECの研究船が深海調査研究船「かいいい」、ROV「かいこう」を使った現場観測やプランクトンネットを用いた生物採取を行い、得られた深層水、底質、プランクトン試料などを船内で処理した。その間乗船クリエイターたちは船内ミーティング、現場観測、試料処理の一連の研究活動の中に身を置き、その流れを体感した。クリエイターはそれぞれの独自の視点から研究航海を捉え、船内の設えや音環境などの記録や、乗船研究者や乗組員とのコミュニケーションを通じた取材活動が行われた。一方、本航海は新型コロナウイルス感染症に係る4回目の緊急事態宣言の期間中に行われたため、一部の乗船予定者については所属機関の許可が得られず、参加を見送らざるを得なかった。参加が叶わなかった乗船予定者については、得られた試料や船上での写真や動画を共有することで、研究航海を追体験していただいた。

福島大学のグループは、大学でのプロジェクト実践研究の一環として、海洋観測の現場から得られた映像や海水・底質試料を活かした絵画や造形を制作した(図1)。参加学生の多くが教員志望であり、今後海洋研究に触れた経験が授業等で活用されることが期待される。加えて、福島大学 芸術による地域創造研究所の協力機関である郡山市ふれあい科学館と連携し、同館において海洋をテーマとした企画展を開催し、制作物を通じた海洋研究のアウトリーチを行った。

3710Lab(みなとラボ)のグループでは、デザイン、造形、服飾、音楽など幅広い分野から乗船者を募り航海に臨んだ。航海後は各分野で海洋をモチーフにした創作プロジェクトが進行している。またそのうちのいくつかは作品として結実しており、一部のクリエイターとの対談やその作品についてオンラインイベント(クリエイターズ meet サイエンス, <https://youtu.be/EKnRmypoN6U>, 図2)で紹介した。

本発表では個々の取り組み事例について紹介するとともに、Science と Art の協働によるアウトリーチの新たなあり方について議論する。



図1. 駿河湾底質と深層水を用いた作品



図2. オンラインイベントの様子

クルーズレポートへの DOI 付与の取り組み

○澄川あゆみ・福田和代・菱木美和（海洋研究開発機構）、
安部文雅・植草蒼志・望月美紀・中本加奈（株式会社マリン・ワーク・ジャパン）

海洋研究開発機構研究データ公開技術グループ（以下、RdPT グループ）では、研究調査航海における成果として提出されるクルーズレポートの受領、所内データベースでの一元管理および公開を行っている。クルーズレポートのメタデータと PDF ファイルはカタログシステム「クルーズレポート・データブック」¹⁾で公開され、2022 年 7 月末時点で 1992 年から 2022 年までの合計 1,153 件のクルーズレポートにアクセス可能である（図 1）。

クルーズレポートはこれまでも論文の参考文献として引用されてきたが、昨今のデジタルオブジェクト識別子（DOI）を用いた文献引用普及の加速化に伴い、論文執筆者からクルーズレポートへの DOI 付与希望の問い合わせが増加傾向にある。DOI を付与することにより、永続的なアクセスを可能とし、検索性の向上、引用方法の明確化および利用追跡が容易になる等の利点があることから、利用者の利便性向上と研究航海の成果を幅広く活用推進するため、クルーズレポートに対する試験的な DOI 付与を開始した。

クルーズレポートへの DOI 付与及びその情報を公開するには、クルーズレポートに関するメタデータが必須となる。メタデータ作成の効率化のため、航海に関するデータの情報を一元管理するために運用されている「観測メタデータ管理システム」²⁾（以下、管理 DB）の機能を改修し、クルーズレポートに関するメタデータを半自動生成することで、効率的な運用方法を試行している。

図 2 にクルーズレポートへの DOI 付与と公開までの流れを示す。管理 DB 上で生成された DOI 付与に必要なメタデータは、機構の研究データへの DOI 付与及び当該情報を管理するために構築した「データ DOI 管理システム」に登録され、DOI のランディングページが生成・公開される。ランディングページには URL リンクとして「クルーズレポート・データブック」の各クルーズレポートページへ遷移するようになっている。また、クルーズレポートページに直接アクセスする利用者に対しても DOI が把握出来るよう公開ページおよび PDF ファイルにも必要な情報を記載する等の配慮をしている。

「データ DOI 管理システム」に登録されたメタデータは Web API 連携により日本で唯一の DOI 登録機関であるジャパンリンクセンター（JaLC）³⁾が運用する「JaLC システム」へ登録されるとともに国際的なデータに関する DOI 登録機関 DataCite⁴⁾にも登録され、さらに、日本最大規模の学術情報検索サービス CiNii Research⁵⁾にも自動連携されている。これにより、さらなる検索性の向上も期待できる。

本発表では、JAMSTEC におけるクルーズレポートへの DOI 付与に対する検討及びシステム構築の状況と、今後の予定について紹介する。

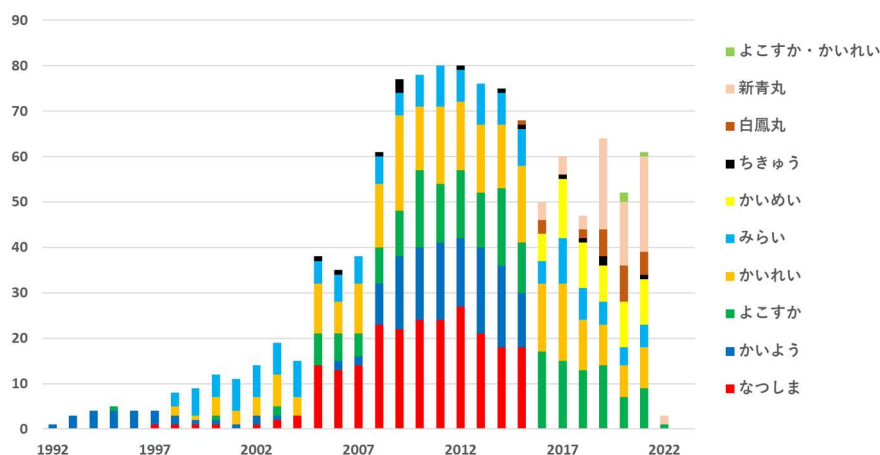


図1 過去30年分のクルーズレポート公開件数 (2022年7月末時点)

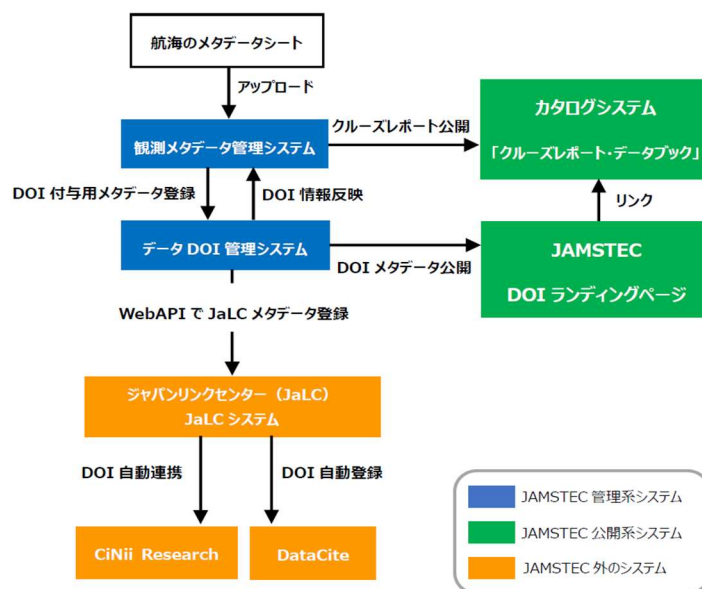


図2 クルーズレポートのDOI登録、公開までの流れ

参考文献・URL

- 1) クルーズレポート・データブック
https://www.godac.jamstec.go.jp/cr_catalog/view/base?lang=ja
- 2) 観測メタデータ管理システム
 安部他 (2014) , 観測メタデータ管理システム, JAMSTEC Report of Research and Development, 18, 53-64, doi:10.5918/jamstecr.18.53.
- 3) ジャパンリンクセンター(JaLC)
<https://japanlinkcenter.org/top>
- 4) DataCite
<https://search.datacite.org/>
- 5) CiNii Research
<https://cir.nii.ac.jp/>

船舶観測データの品質向上への取り組み (XBT, CTD, TSG)

○茂木祐子・松尾典幸・田中辰弥・安部文雅 (マリン・ワーク・ジャパン),
川上創・菱木美和・齊藤千鶴 (海洋研究開発機構)

「みらい」、「かいめい」等の JAMSTEC が運用する船舶の調査航海で取得された観測データは情報管理部署 (地球情報科学技術センター研究データ公開技術グループ) へ提出されてる。我々マリン・ワーク・ジャパン (以下、MWJ) は JAMSTEC の情報管理部署において、これらの観測データ・サンプルの保管・品質管理・公開に関する業務支援を実施しており、観測データの品質管理においては CTD、XBT、XCTD、TSG を担当している。

各機器の品質管理としては、受託や特別な取り決め等のある航海を除き、均一な処理を施すとともに、データフォーマットを整え、品質情報 (ReadMe) を準備した上で公開している。この均一処理を効率的に実施するために、これらの観測データを処理・管理するデータベース (図 1) を構築し、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) が公開している品質管理手法*1に基づく処理プログラムを組み込み、自動的に処理が行えるようにしている。

年間を通じて JAMSTEC 船舶にて取得される多くのデータを処理するためこのような自動的なシステムを構築しているが、プログラムだけの処理では限界があるため最終的には人間による目視チェックが必要となる (図 2 及び図 3)。今回のシンポジウムでは、MWJ が実施している観測データの品質管理をするためのデータベースを紹介するとともに、これまで数多くのデータを処理してきた中で気付いたデータの傾向等について発表する。

*1 Boyer, T. and S. Levitus (1994), Quality Control and Processing of Historical Oceanographic Temperature, Salinity, and Oxygen Data, *NOAA Technical Report NESDIS 81*.

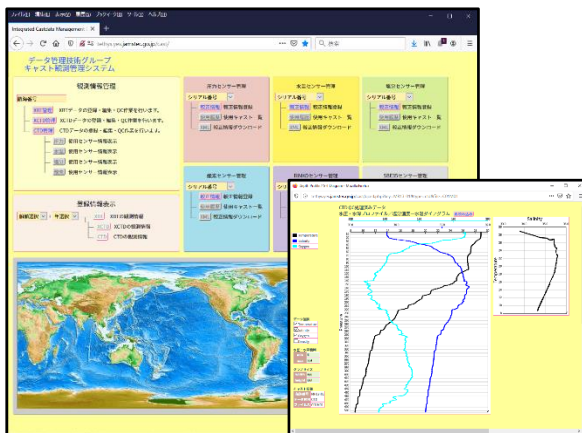


図 1 データベース「キャスト観測管理システム」

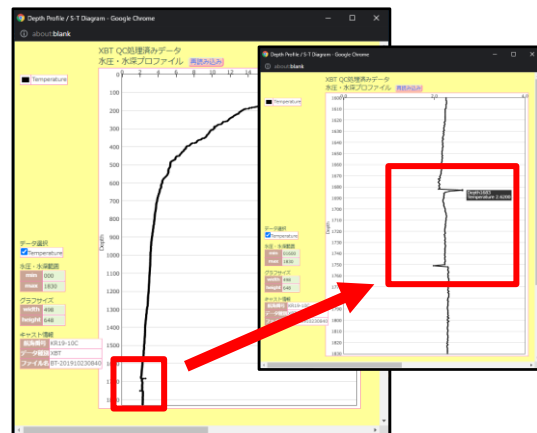


図 2 XBT の自動処理をすり抜けたノイズを目視でチェックした例

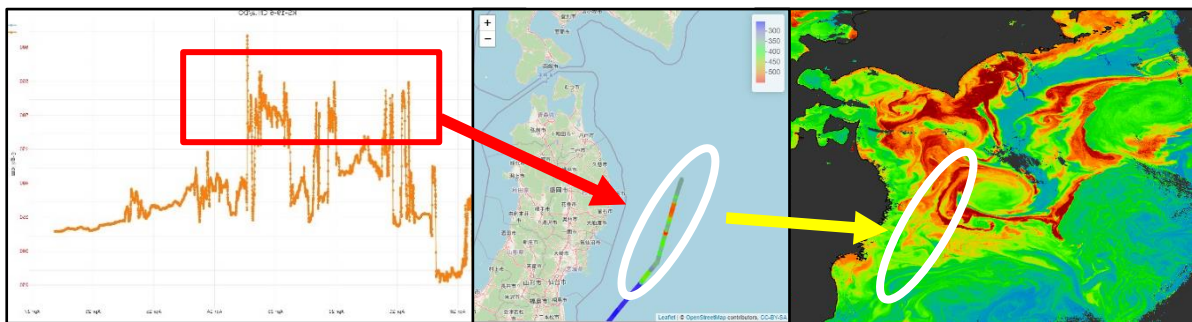


図 3 TSG の自動処理で DO の閾値越を目視チェックと衛星データの比較で正常と修正した例

JAMSTEC 海底地形公開データ処理の効率化と品質向上

○永木晴美・森岡美樹・坂本雅子・佐野守（日本海洋事業株式会社），
川上創・菱木美和・齊藤千鶴（海洋研究開発機構）

JAMSTEC の航海・潜航データ・サンプル探索データベース（DARWIN）では、JAMSTEC 船舶にて取得されたデータが公開されており、マルチビーム音響測深装置（以下「MBES」）で取得された海底地形データについても航海毎に処理・品質管理の上で公開を行っている。海底地形データは、機構が実施するほぼ全ての航海で常時取得されており、それらの処理に掛かる労力は少なくない。また、2012～2014 年の間に実施した MBES の換装によってデータ量が大幅に増加するなど機器も変化しており、その都度、処理方法や公開データの容量圧縮等の検討を行うとともに、海底地形処理ソフトウェア（Teledyne CARIS 社製 HIPS & SIPS ; 以下「HIPS & SIPS」）の自動ワークフローや自動ノイズ除去機能を導入することで、業務効率化だけではなく品質向上にも取り組んでいる。

表 1 JAMSTEC 海底地形データ処理手法の変遷

	旧 MBES データ処理	現用 MBES データ処理①	現用 MBES データ処理②
対象とする MBES	SeaBeam2000 SeaBat8160	EM122 SeaBeam3000	EM122&EM124 SeaBeam3000
主たる処理・公開時期	～2016 年	2017～2020 年	2021 年～
処理ソフトウェア	HIPS&SIPS 7.0-9.1	HIPS&SIPS 9.1	HIPS&SIPS 11.3-
ワークフローの自動化	×	×	○
位置情報エラー修正	○	○	○
機器仕様外データの除去	○	○	○
スパイクデータの除去	○	○	○
サイドビームの除去	±約 55 度	±60 度	±60 度
フィルタ等によるノイズ除去	×	△ Surface Cleaning	○ Mira AI
ボトムロストデータの除去	×	○	◎
Gridding による平均化	×	○	○
公開データ (XYZ) の粒度	全測深点	100m 格子	100m 格子

JAMSTEC における海底地形データの処理手法は表 1 に示すとおり大きく 3 つの変遷に分けることができる。特に、2021 年以降（表 1 の「現用 MBES データ処理②」）は HIPS & SIPS に自動ノイズ除去機能（Mira AI）が追加され、この機能を導入したことで人間によるマニュアル編集処理に近い結果を自動で得られるようになった。当該機能のみでの完全なノイズ削除は困難ではあるが、若干のマニュアル編集を加えるだけで良質なデータとなることが多く、2020 年以前の処理と比較してノイズ除去率が最も高い状態での公開が可能となった。本発表では、JAMSTEC 海底地形データの処理手法の変遷について振り返るとともに、現在採用している Mira AI の処理実例等について詳しく紹介する。

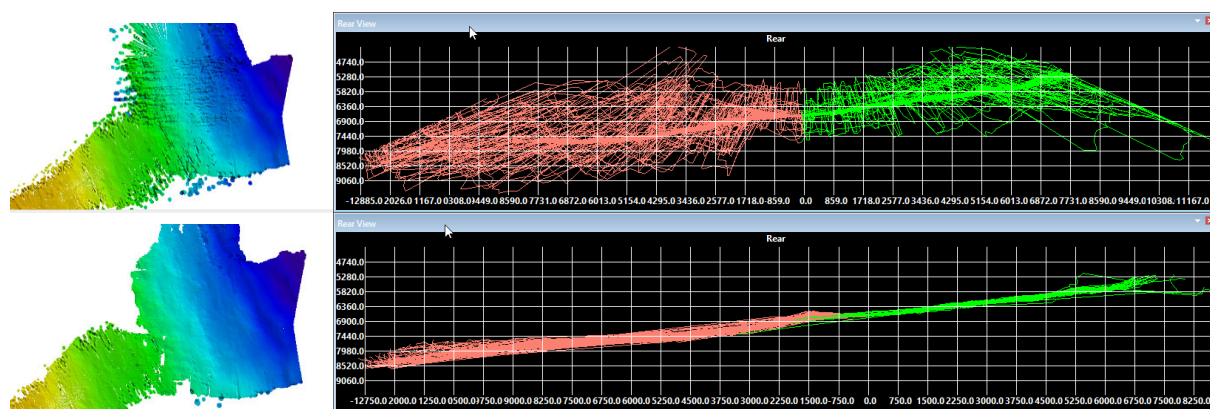


図 1 : Mira AI によるノイズ除去例（上 : Mira AI 適用前、下 : Mira AI 適用後）

沖合海底自然環境保全地域からの希少種の発見

～環境 DNA 解析とベイトカメラ調査によるヨコヅナイワシの検出～

○藤原義弘・土田真二・河戸勝（海洋研究開発機構）、増田殊大（東京大学生産技術研究所）、大類穂子（海洋研究開発機構）、佐土哲也・宮正樹（千葉県立中央博物館）、吉田尊雄（海洋研究開発機構）

2010年10月に愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（CBD・COP10）で採択された「愛知目標」の達成のため、自然環境保全法に基づき、2020年12月3日に国内初の沖合海底自然環境保全地域が4地域指定されました。この指定により、日本の海洋保護区の割合は13.3%となり、「2020年までに海域の10%を海洋保護区等として保全する」とした「愛知目標」が達成されました。指定した沖合海底自然環境保全地域における生物多様性の変動がどの程度あるのか、開発等により自然環境が変化していないか、海洋保護区として保全効果が発揮できているか等を評価するためには、継続的なモニタリングが必要であり、その重要性が指摘されています。そこで2020年度より、沖合海底自然環境保全地域内に存在する海山の生物多様性を把握するために、海底広域研究船「かいめい」を用いた深海調査に着手しました。

2020年11～12月および2021年10月に西七島海嶺沖合海底自然環境保全地域の正保海山、正徳海山、元禄海山、安永海山および中マリアナ海嶺・西マリアナ海嶺北部沖合海底自然環境保全地域の日光海山、立冬海山において、「かいめい」に装備されたCTD付きロゼット型採水器を用いた大量採水を行い、計2.6tの海水を75本の濾過フィルターで濾過しました（1本当たり約35kgの海水を濾過）。これらの濾過フィルターから環境DNAを抽出し、魚類のDNA塩基配列を対象とした遺伝子増幅を行ったのち、次世代シーケンサーを用いて塩基配列の解読を行った結果、約780万個のDNA断片（リード）から塩基配列情報を得ることができました。その中で、正徳海山の水深1961m、元禄海山南方の水深2060m、安永海山の水深1969mおよび1976mで採取した海水からヨコヅナイワシの遺伝子断片を検出しました。ヨコヅナイワシの遺伝子断片が検出されたのはいずれも水深が1900m以深であり、西七島海嶺に限定されていました。ヨコヅナイワシの遺伝子断片が検出された地点において、解析した各地点の総リード数に占めるヨコヅナイワシのリード数の割合は0.5～8.9%であり、平均2.4%の配列がヨコヅナイワシのものでした。またヨコヅナイワシの遺伝子断片の検出は海底付近に限定されており、同一地点であっても海底から大きく離れた場所で採取した海水からはヨコヅナイワシの遺伝子断片を確認することができませんでした。

2021年10月14日、ヨコヅナイワシの遺伝子断片が確認された海山のうち、元禄海山南方の水深2091mにベイトカメラを設置したところ、海底設置から約5時間半後にヨコヅナイワシが出現しました。餌カゴに近づいてきたヨコヅナイワシは付近にいたイバラヒゲに対して大きく口を開ける威嚇行動を2回行って、集まっていた魚類を追い払い、餌カゴに噛み付いた後、その場を離れました。撮影した映像から、ヨコヅナイワシの眼が藍色をしていることや皮膚にはかなり凹凸があり、多くの寄生虫が付着していることがわかりました。約4分後に同じ個体がカメラの前に姿を現し、餌カゴに近づくことなく遠目を泳ぎ去りました。餌カゴのサイズを元に、映像から算出したヨコヅナイワシの全長は253cm（標準体長222cm）でした。

環境DNA解析とベイトカメラ観察を組み合わせた本研究により、ヨコヅナイワシの新たな生息地を発見するとともに、他種に対する威嚇行動を初めて記録しました。ヨコヅナイワシは2021年に新種として記載され、これまでにわずか6個体しか採集されていない希少種です。このような「発見の難しい種」を生物密度が非常に低いであろう外洋の深海域で検出できたことは、環境DNA解析が将来にわたる沖合海底自然環境保全地域のモニタリングに非常に有効な手法であることを示しています。

環境DNA解析はこれまで様々な水域で利用され、生物多様性に関する知見が蓄積されています。しかしながら環境DNA解析のみでは、生物の大きさ、生息密度、性別、成熟度、体色、行動といった生態学的情報を得ることは困難です。ベイトカメラ観察は、特に深海域に棲息する生物に関して、環境DNA解析を補うことのできる手法です。ただしベイトカメラが観察できるのはライトの光が届く範囲のみで、環境DNA解析よりも狭い範囲しか調査できません。従って、環境DNA解析による広域調査とベイトカメラ観察によるスポット調査を組み合わせることで、これまで研究が困難であった深海域に棲息するトップ・プレデター等、大型の希少種の生態学的情報を取得することが可能になることを示

しました。

今回の調査により、ヨコヅナイワシの棲息範囲が駿河湾から南方へ400 km以上拡がり、これまで知られていた棲息水深よりも少し浅めに分布できることがわかりました。ただし駿河湾と今回ヨコヅナイワシの配列を検出した正徳海山の間位置する正保海山からはヨコヅナイワシに関する情報を得ることができませんでした。現段階ではまだ調査回数が少ないため、ヨコヅナイワシの分布が正保海山周辺で途切れているのかどうかは不明です。またヨコヅナイワシを検出した西七島海嶺より南方に位置する立冬海山や日光海山からもヨコヅナイワシに関する情報を検出することはできませんでした。今後のさらなる調査によって、ヨコヅナイワシの正確な分布範囲を明らかにできるものと考えています。

一般的にヨコヅナイワシが含まれるセクトリイワシの仲間は体が柔らかく、水っぽい筋肉で出来た脆弱な生きものであると考えられていました。ところがヨコヅナイワシはイバラヒゲに向かって大きな口を開けて威嚇し、餌カゴ周辺からイバラヒゲを追い払いました。これまでの研究により、ヨコヅナイワシは比較的大型の魚類を餌としていることやヨコヅナイワシの栄養段階が非常に高いことがわかっていますので、今回示した威嚇行動はこれらの事実とよく一致しました。先述のヨコヅナイワシの体長なども勘案すると、本種は駿河湾のみならず、西七島海嶺においてもトップ・プレデターの役割を果たしているものと推定しました。

これまでの知見によると、水深2000 mを超える深海に暮らす全長200 cmを超える硬骨魚類はわずか7種しか知られておらず、そのうち深海固有種はヨコヅナイワシとムネダラのみでした。今回報告したヨコヅナイワシはムネダラの最大記録を上回るため、ヨコヅナイワシは2000 mを超える深海固有種として世界最大の硬骨魚類であることが判明しました。ムネダラの成魚も栄養段階がかなり高いことが知られており、水深2000 mを超える深海域にもこのような大型魚類がトップ・プレデターとして棲息可能なニッチ（生態学的地位）が存在することがわかりました。またこれら2種の分布は北太平洋に限定されていることから、少なくとも北太平洋の水深2000 mにはこのような大型の捕食者を養うことのできるエネルギーの供給が行われているものと推察しました。なおこの2種は明瞭に空間的な棲み分けを行っており、ヨコヅナイワシは、より深く、より低緯度に分布する傾向にありました。

深海に棲息するプレデターの情報は非常に限られています。先述のムネダラは典型的な「ラットテール型」で尾部に向かうにつれ細くなり後端は尖っています。このような体型であるためムネダラの遊泳速度は遅く、実際、底引き網で捕獲されています。一方、ヨコヅナイワシは紡錘形で大きな尾びれを持ちます。これまで採集されている6個体のヨコヅナイワシは全て延縄で捕獲されており、底引き網で採集された個体は皆無であることから、本種の遊泳能力の高さを伺い知ることができます。世界的海洋生物データベースであるOBISによると、水深2000 m以深で実施された延縄の記録は10回以下であるのに対し、底引き網は1000回以上が記録されています。以上のことから、これまで実施されている深海調査では遊泳能力の低い魚類しか採集できず、ヨコヅナイワシのような遊泳能力の高い、大型の魚類を十分に採集できていない可能性が高いことがわかりました。今後は延縄に加えて、本研究で実施した環境DNA解析とペイトカメラ観察の組み合わせにより、世界の深海に潜む遊泳能力の高いプレデターを明らかにできるものと期待しています。

先述の「愛知目標」において、生物多様性の損失を食い止めるため、各国は2020年までに生物多様性と生態系サービスにとって重要な地域を中心に、陸域および内陸水域の少なくとも17%、沿岸域および海域の少なくとも10%を、効果的な保護区等に指定することが定められました。その結果、2021年5月時点で、生物多様性条約締約国において、陸域の16.64%、海域の7.74%が保護区等に指定されました。しかしながら保護区等に指定された地域においても、生物多様性の理解が十分であるとは言い難く、特に海洋の沖合域についてはその傾向が顕著です。事実、本研究で新たに発見したヨコヅナイワシの生息地は、沖合海底自然環境保全地域およびその周辺であり、海洋保護区でさえその場に暮らすトップ・プレデターの存在を把握できていなかったこととなります。

地球環境変動が進むと、その影響を最も強く受けるのは各生態系のトップ・プレデターであり、トップ・プレデターの個体群に及んだ変化が地域の食物連鎖を乱し、やがて生態系全体に壊滅的な損害を与えることが推定されています。今後は本研究の成果を活かして、沖合海底自然環境保全地域等におけるトップ・プレデターを含めた生物多様性の把握に務めるとともに、生態系を簡便にモニタリングするための技術開発を進め、地球環境変動が深海生態系に及ぼす影響をより正確に評価することのできる研究開発を継続的に推進します。

環境 DNA を用いた外洋域における魚類群集組成と環境要因について

— 「新青丸」KS-20-13 航海 —

○王雪丁・余 澤庶・榎本めぐみ（東京大学農学生命科学研究科）

黄國成・井上潤・兵藤晋・樋口富彦・津田敦・伊藤進一（東京大学大気海洋研究所）

1. はじめに

回遊性魚類は生活史段階に適した環境を選択しながら回遊していると考えられている。それゆえ、海洋環境の変化に応じて分布域や回遊経路を変化させる。特に外洋域におけるマサバやカタクチイワシなどの回遊性小型浮魚類は海洋環境の影響を受けやすいことが知られている（目黒ほか, 2002; 鶴田, 2001）。しかし、種ごとの分布は海洋環境だけでなく、種間関係によっても影響を受けるはずであり、魚類の群集組成と海洋環境を同時に解析し、魚類の分布特性を決定する要因について明らかにするべきである。そこで、本研究では、日本海における小型浮魚類の分布を例として、環境 DNA を用いて魚類群集組成と分布を把握し、魚類群集分布特性と環境要因の関係を調べることを目的とした。

環境 DNA とは、海洋の場合、海水中に浮遊・存在する DNA のことであり、外洋域での環境 DNA を本研究では海洋 DNA と呼ぶ。近年、海洋 DNA を分析することにより魚類の生息状況（在・不在や海洋 DNA 現存量など）を推定することが可能になった（Yu et al., 2022）。本研究では、魚類の在・不在だけでなく、分布量の比較も行うため、海洋 DNA の定量分析を小型浮魚類 6 種に効率的に行うことができる multiplex real-time PCR 法を（Wong et al., 2022）用いた。

2. 観測地点および研究手法

「新青丸」KS-20-13 航海（2020 年 8 月 23 日～2020 年 9 月 3 日）では、対馬周辺から能登半島にかけての日本海において、CTD による海洋環境観測および試水採取を実施した（図 1）。水深 5 m、50 m、100 m（または海底直上）にて、Niskin 採水器により試水を得た。採取した試水は航海中にすぐフィルターろ過などの適切な前処理を行い、凍結保存した。凍結保存したサンプルは、航海後に研究室にて種特異的なプライマーを用いた multiplex real-time PCR を実施した。その結果得られた種ごとの DNA 濃度をもとに、魚類群集組成（マサバ *Scomber japonicus*、ゴマサバ *Scomber australasicus*、カタクチイワシ *Engraulis japonicus*、マイワシ *Sardinops melanostictus*、マアジ *Trachurus japonicus*）と環境因子（水温、溶存酸素、濁度、塩分、観測点の最大水深）の関係を調べるため、直接傾度分析法による解析を行った。

3. 結果と考察

いずれの観測点でもカタクチイワシの海洋 DNA の濃度が高く（図 2）、分布密度が他の 4 種に比べて有意に高いことが示唆された（t-test, $p < 0.01$ ）。さらに、環境因子に対する直接傾度分析の結果（図 3）から、いずれにも環境因子である水温、溶存酸素、塩分、観測点の最大水深と有意に相関があった（F-test, $p < 0.05$ ）。第 1 軸（db-rda1）は溶存酸素との負相関、水温および塩分との正相関を示し、第 2 軸（db-rda2）は観測点最大水深との正相関が高かった。対馬周辺、C ライン、Y ラインの魚類群集はそれぞれ重なりあって分布しており、対馬から能登半島にかけて徐々に魚類群集組成が変化してい

ることが示唆された。また、日本海におけるカタクチイワシの詳細な回遊様式は不明であるが、産卵は能登半島以西の水域では冬季を除いてほぼ周年行われることが報告されているため、本研究で検出された海洋 DNA にはカタクチイワシの親魚だけでなく、卵仔魚も含まれていた可能性が高い。今回の解析では、各深度におけるサンプルを個別に扱ったため、深度方向の環境因子の変化も含まれている。今後は、鉛直方向に積分した海洋 DNA 積算量を算出し、水平方向の環境因子によって魚類群集組成がどのように変化するのか調べる予定である。

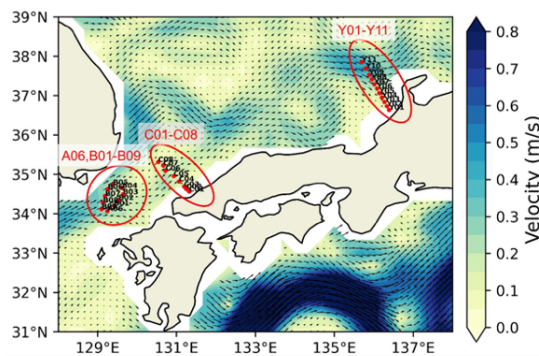


図 1. 本研究における観測点の分布. 3つのグループに分けられる: A06, B01-B09を含むA, B circle; C01-C09を含むC line; Y01-Y11を含むY line.

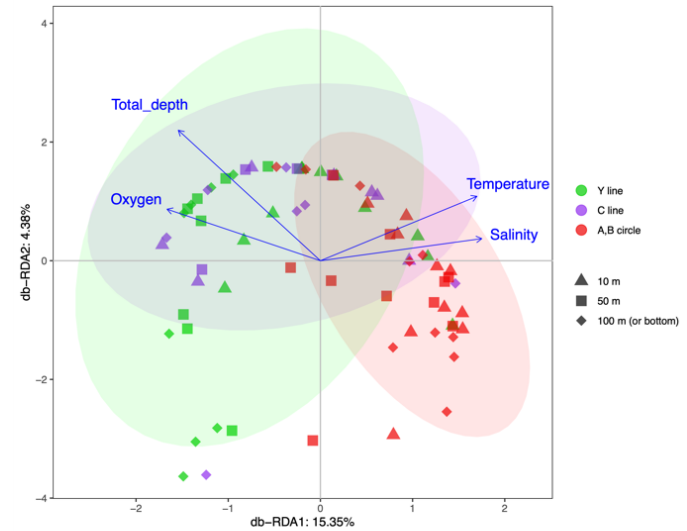


図 3. db-RDA による観測点の序列化.

図中の矢印は環境変数を示し、各観測点は分類群で表示.

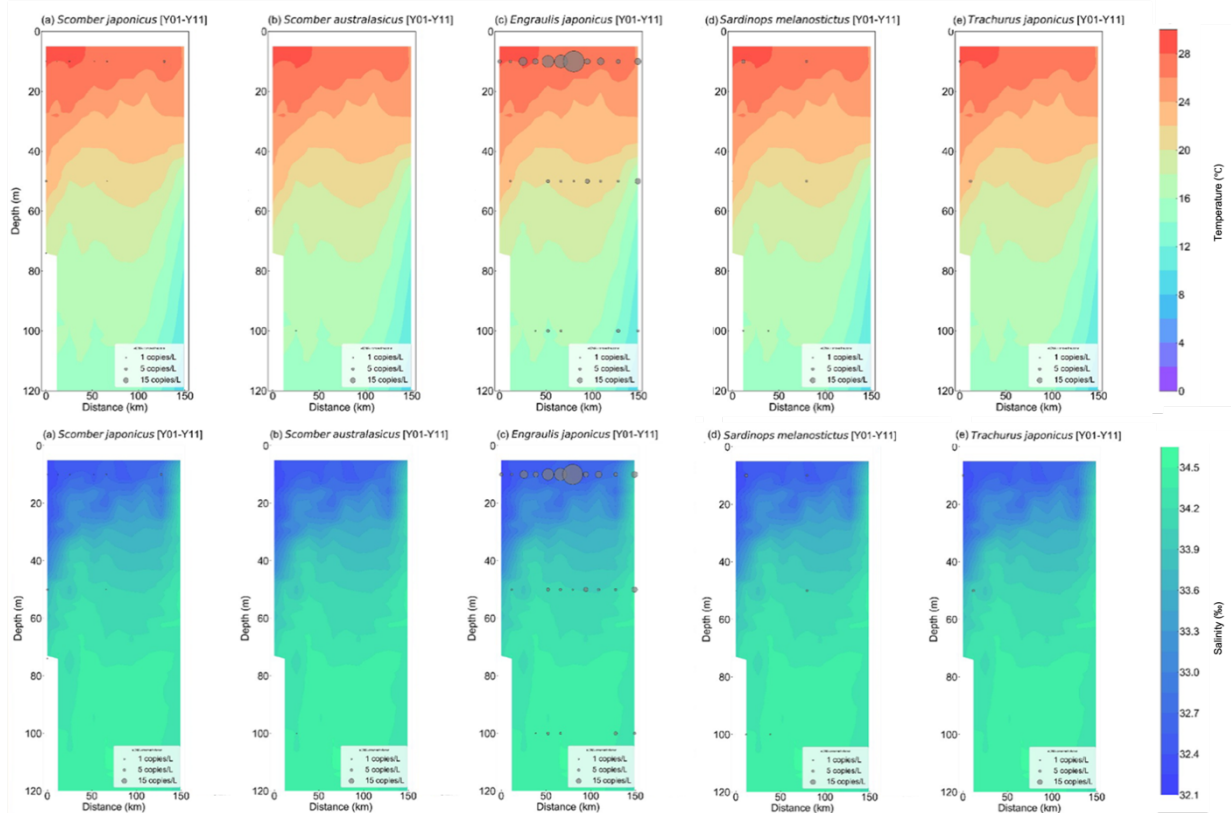


図 2. 観測線 Y line の鉛直断面における海洋 DNA から検出された (a) マサバ *Scomber japonicus*、(b) ゴマサバ *Scomber japonicus*、(c) カタクチイワシ *Engraulis japonicus*、(d) マイワシ *Engraulis japonicus*、(e) マアジ *Engraulis japonicus*.

黒潮パラドックスの解明 -KH-20-9 白鳳丸航海概要-

○齊藤宏明・海老原諒子・福田秀樹・Yubei Wu・中桐菜緒・Siyu Jiang・永田俊・小川浩史（東京大学大気海洋研）、長井健容（海洋大）、Gloria Silvana Duran Gomez・森川恵理（海洋大院）、小針統・山口郁哉・久米元・数野真・眞子裕友（鹿大水産）、山田洋輔（海洋研究開発機構）

黒潮域では貧栄養であるにもかかわらず漁業生産が高い。我々は、この矛盾を“黒潮のパラドックス”と名付け、その解明を目指してきた(Saito, 2019)。今までの研究で、黒潮流路上には、海底地形や蛇行に伴って表層に栄養塩を供給する物理機構が存在すること、また、栄養塩供給に応答し、魚類仔稚魚へ生物生産を転送する様々な食物連鎖の存在が知られているが、その栄養塩供給過程や有機物転送過程には不明な点が多い。そこで、白鳳丸 KH-20-9 航海を実施し、物理機構による栄養塩供給のホットスポットを中心に、流軸を横切るまたは流軸に沿った観測線を設け、物理、化学、生物に関する学術分野横断観測を行い、各海域に特徴的な物理現象が生態系構造や生物生産に与える影響を調べた。

流動構造の詳細な把握のために、CTD 観測に加え、自由落下曳航式乱流プロファイラー (UVMP)、自由落下曳航式生物化学プロファイラー (SUNADAYODA) 等による物理観測を行った。また、採水およびネット採集による化学・生物観測を行い、物理機構に対する黒潮生態系の応答を調べた。そのなかでは、環境 DNA 試料を得るとともに、各種ネット曳網によってプランクトンを採集し、生物地理や動植物プランクトンの生産、食物網動態に関する研究を行った。また、粒状有機物動態把握のため、セジメントトラップやマリンスノーキャッチャーを用いた沈降粒子の採集、マイクロプラスチックの採集を行った。

当初 2020 年 6 月に計画されていた航海は、コロナ感染症拡大により延期されたが、海洋研究開発機構、東大海研共同利用共同研究推進センター等のご尽力により、2020 年 9 月 10 日から 10 月 5 日までの 26 日間に実施することができた。黒潮は 2017 年 8 月から大蛇行が継続していたが、観測期間の 2022 年 9 月 21 日ごろから、蛇行基部がくびれるように接近し、9 月 28 日には黒潮から切離して、北緯 30 度 30 分、東経 137 度付近を中心とする冷水塊が形成された。本航海では、形成直後の冷水塊を北西から冷水塊中心まで横切り、さらに北部へ抜ける観測を行う機会に恵まれた。

発表では、今までに得られた、海洋物理過程による栄養塩供給機構、生物地理、生態系の構造、生産生物と分解過程に関する成果の概要を説明し、黒潮生態系の生物生産機構や分解過程について報告する。また、Kuroshio Paradox の解明に必要な残された課題について議論する。

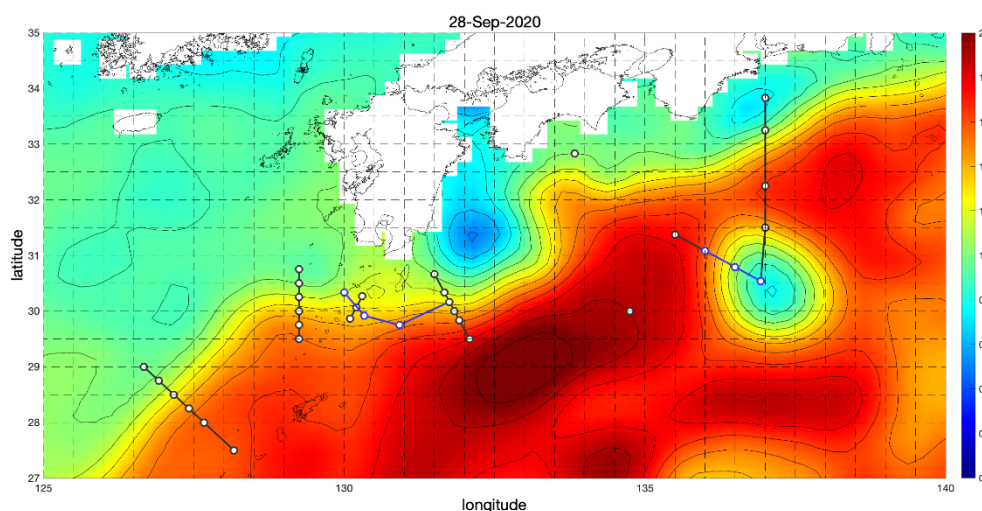


図. KH-20-9 航海における観測点および海面高度偏差 (2022 年 9 月 28 日)

南海トラフ西部から日向灘における地殻構造探査

○白石和也・新井隆太・山本富士夫・高橋努・多田訓子・三浦亮・濱田洋平・海宝由佳・中村恭之・藤江剛・三浦誠一・小平秀一（海洋研究開発機構），市原寛・中村捷人（名古屋大学），Yanxue Ma・木下正高・仲田理映・望月公廣（東京大学地震研究所），橋本善孝（高知大学）

南海トラフではプレート境界型巨大地震が繰り返し発生し、近年はスロー地震の観測が多数報告され、地震活動の多様性や相互関係について研究が盛んな、地震防災上最重要な領域の一つである。地質構造と地震活動の関係性について理解を深めるためには、広域かつ稠密に地殻構造を調査し、沈み込み帯の詳細な地質構造と物理物性を三次元的に明らかにしていくことが必要である。そこで、海洋研究開発機構では2018年から継続的に、稠密な地震探査を主とする地殻構造探査を実施している。南海トラフ中西部では、稠密な二次元反射法地震探査によって海洋地殻上面の形状を従来よりも詳細に描像し、プレート固着強度の違いや地震活動との対応を示唆する構造的特徴が明らかになった（Nakamura et al., 2022）。

南海トラフ西部から日向灘にかけては、四国沖の南海地震すべり域の西端部（Sagiya and Thatcher, 1999）から日向灘の微動（Yamashita et al., 2015, 2021）および超低周波地震（Tonegawa et al., 2020）が頻発する領域へと、プレート境界の固着強度がトラフ平行方向に変化している（Uchida et al., 2020）。そこで、多様なプレートすべり様式を規定する構造要因を明らかにすることを目的に、高知県足摺岬沖から宮崎県都井岬沖の海域において、2021年8月から同年10月にかけて三航海からなる調査（YK21-14, KM21-07, YK21-19）を実施した（図1）。この調査では、曳航式ハイドロフォンストリーマー（全長約5.5km）と大容量エアガン（10,600立方インチ）を用いた反射法地震探査、測線に沿って稠密に設置した海底地震計（1kmまたは1.67km間隔）とエアガンを用いた屈折法地震探査を実施し、合わせて海底電位磁力計の設置を行った。

本発表では、調査概要について報告するとともに、反射法および屈折法地震探査で取得されたデータに基づき、当該海域で明らかとなった地殻構造の特徴について紹介する。反射法地震探査データは、同海域の既存データの一部とともに解析を行い、広帯域化処理および多重反射波・各種ノイズの抑制処理等を経て、重合前時間マイグレーションと重合前深度マイグレーションによる反射断面を作成した。屈折法地震探査データは、同様に既存屈折法データとともに、走時トモグラフィを適用して広域の速度構造を推定した。その結果、沈み込むプレートの大局的形状と海洋地殻上面の起伏、付加体内部の構造およびアンダースラストシーケンスの空間変化など、地震活動との関係が示唆される地質構造と速度分布が明らかとなった。南海トラフ全域において三次元的な地質構造を詳細に描像するために、一連の稠密な新規データ取得と既存データを活かした解析を継続的に行うのが有効である。

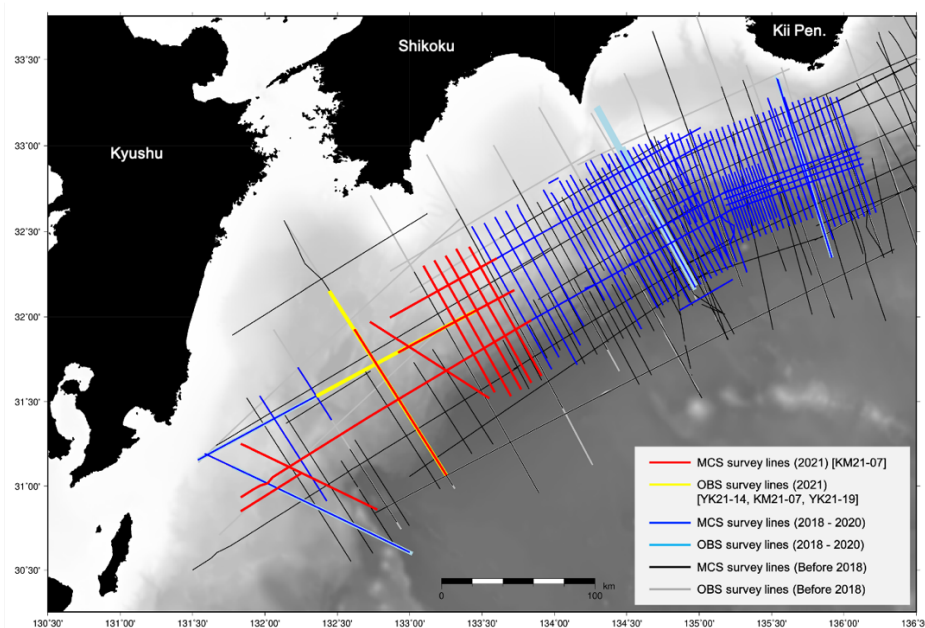


図1 南海トラフ中西部における JAMSTEC 調査航海による地震探査測線分布

「かいめい」による北海道南東沖千島海溝周辺での地震探査

○野 徹雄・小平 秀一・藤江 剛・尾鼻 浩一郎・中村 恭之・新井 隆太・白石 和也・三浦 亮（海洋研究開発機構）・瀧澤 薫（日本海洋事業）・山口 寛登（神戸大学/海洋研究開発機構）・藤本 萌（ハワイ大学）・中西 正男（千葉大院理学）・海宝 由佳（海洋研究開発機構）孫 岳・于 凡・朴 進午（東京大学大気海洋研究所）・小林 稜弥（千葉大院融合）・五十嵐 智秋（海洋研究開発機構）・木戸 元之・富田 史章（東北大学災害科学国際研究所）・飯沼 卓史（海洋研究開発機構）

海洋研究開発機構は、主に深海調査研究船「かいらい」や海洋調査船「かいよう」を用いて、南海トラフや日本海溝を中心に多くの地殻構造探査とそのデータを用いた研究が進められ、単に地殻構造研究のみならず、掘削科学や津波・地震サイクルシミュレーション等へも重要な役割を果たしてきた。千島海溝周辺での地殻構造研究は、1973 年根室半島沖地震 (M_j 7.4) や 2003 年十勝沖地震 (M_j 8.0) の震源域における地震探査 (KY00-02・KR00-04・KR03-14) とそのデータを用いた研究 (Nakanishi et al., 2004, JGR; Tsuru et al., 2005, GRL) や 2009 年と 2010 年に千島海溝アウターライズ領域で実施された地震探査の結果 (KR09-06・KY09-03・KR10-09) から、 V_p/V_s 比の系統的な変化を明らかにした研究 (Fujie et al., 2013, GRL) などが実施されてきた。また、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M_j 9.0) 以降は、深海潜水調査船支援母船「よこすか」(YK16-17・YK18-12) を用いて、千島海溝の海溝底付近で高解像度反射法地震探査が行われ (中村・他, 2019, JpGU)、KR19-07 航海では根室沖から釧路沖においてマルチチャンネル反射法地震 (MCS) 探査と海底地震計 (OBS) による地震探査を実施した (東・他, 2021, JpGU)。一方、地震調査研究推進本部は 2017 年 12 月に「千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第三版)」を新たに公表したが、地殻構造研究の観点からみると、千島海溝周辺は南海トラフや日本海溝と比べるとデータがまだまだ少なく、千島海溝周辺の長期評価をより高精度とする上では、新たな観測・研究が必要な海域である。

そこで、北海道南東沖千島海溝周辺において新たな地殻構造探査データの取得を行うために、2020～2022 年に海底広域研究船「かいめい」で MCS 探査と OBS による地震探査を行った (KM20-E02・KM21-04・KM22-07)。これらの航海は新型コロナウイルス感染拡大後に実施したので、その時々ガイドラインに応じた対応を行った上で、調査海域での漁業活動・気象・海象の影響等はあったが、10 測線の MCS 探査と 1 測線の OBS による地震探査を行った。MCS 探査は、最大 10600 in³ のエアガンアレイと約 5500 m のストリーマケーブルでデータ取得を行い、航海終了後、多重反射波・ランダムノイズ等のノイズ抑制処理および Deghost 処理による広帯域化処理を重点的に実施した上で、重合前マイグレーションによるデータ解析を行った。OBS による地震探査に関しては、OBS の設置作業を「よこすか」(YK22-07) で行い、KM22-07 にて十勝沖で 78 台の OBS を用いて実施した。OBS の設置点の一部は千島海溝付近の水深 6000 m 以深となるため、6000 m 以深の 17 観測点は超深海型 OBS (Asakawa et al., 2012, IEEE J. of Oceanic Eng.) を使用した。設置した OBS は全台回収でき、現在解析中である。3 航海で取得された地震探査データは、北海道南東沖でプレート境界型の巨大地震と地殻構造の関係に関する研究や海溝海側斜面でのプレート内地震に関連した震源断層の研究に対して貢献でき、現在進行中である。また、科研費基盤(A)「千島海溝沖アウターライズ津波即時予測に向けた震源断層マッピングと津波評価」の一環として、千島海溝周辺に 24 台の OBS による自然地震観測を行うため、YK22-07 で OBS の設置を行い、KM22-07 で全台回収した。この自然地震観測においても、6000 m 以深の観測点が 2 点あるため、その 2 点は超深海型 OBS を使用している。さらに、KM21-04 と KM22-07 においては、北海道南東

沖までの回航時や地震探査時の警戒船が対応できないような荒天時に、千島海溝～日本海溝周辺に東北大らが設置した海底地殻変動観測点（Kido et al., 2015, GENAH, IAG Symp.）で「かいめい」に装備された地殻変動センサーによる GNSS-音響測距結合方式での海底地殻変動観測を 4 カ所で行った。

本発表では、KM20-E02・KM21-04・KM22-07・YK22-07 の観測概要と得られた地震探査データに関する現時点での暫定的な解析結果及び研究成果について報告する。

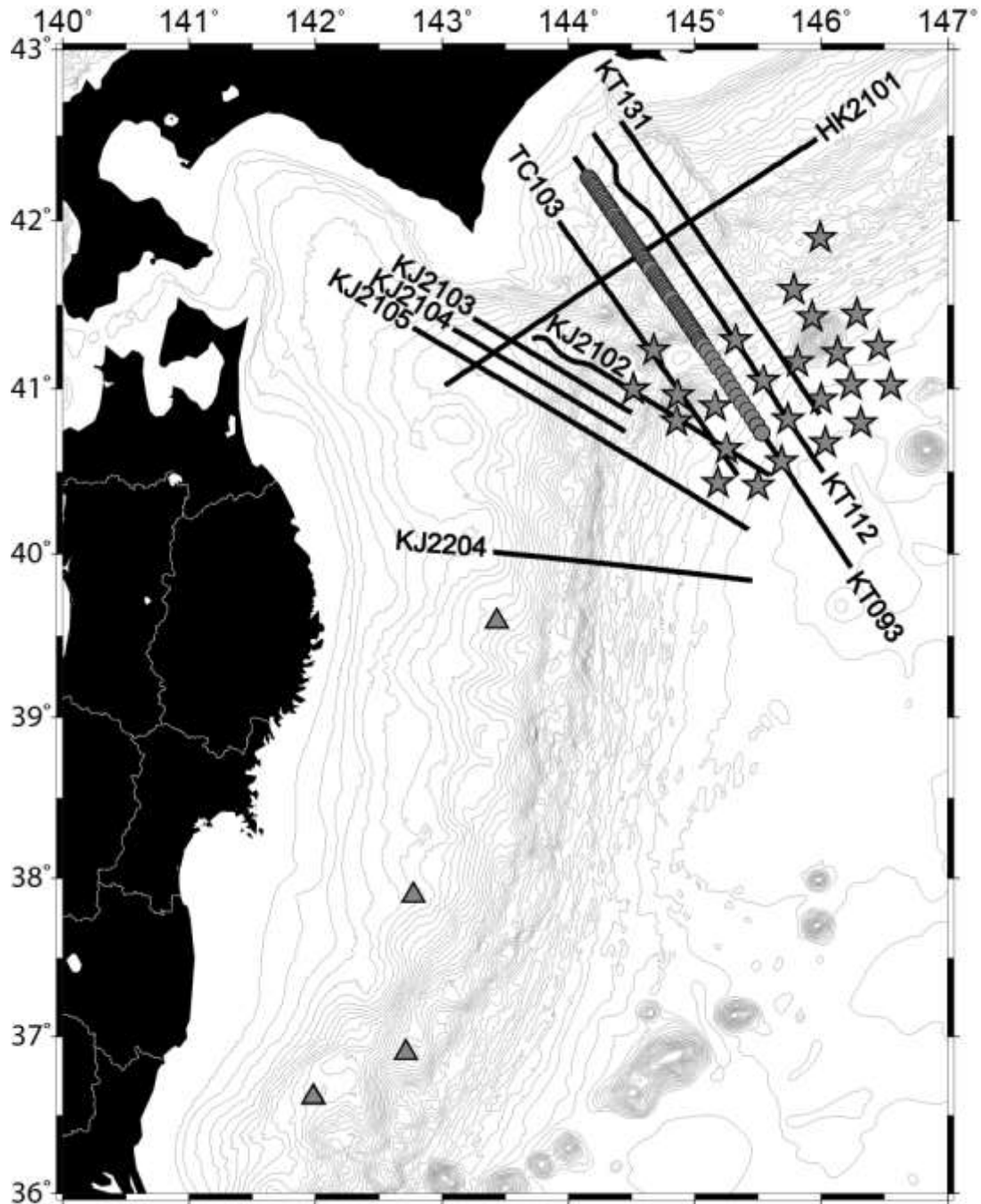


図 KM20-E02・KM21-04・KM22-07・YK22-07にて調査を実施した測線・観測点。黒線が地震探査測線（KM20-E02・KM21-04・KM22-07）。丸印が地震探査用のOBS（KM22-07・YK22-07）。星印が自然地震観測用のOBS（YK22-07・KM22-07）。三角印が海底地殻変動観測点（KM21-04・KM22-07）。等深線はJTPO30v2。

最近活発な小笠原の海域火山を注視する YK22-15 航海報告

○吉田健太，多田訓子・浜田盛久・佐藤智紀・田中えりか・常青・羽生毅・田村芳彦・小野重明（海洋研究開発機構）

近年，小笠原の海域火山が活発な活動を見せており，同時に社会的な注目も集めている．2013 年から間欠的な噴火を見せている西之島や，2021 年 8 月の大規模噴火とその後の軽石漂着「災害」が話題になった福徳岡ノ場のほか，2022 年に入ってから立て続けに硫黄島や海徳海山で噴火活動が観測されている．

JAMSTEC では，このような海域火山の噴火実態と活動状況を明らかにするために，継続的な調査航海を試みている．2022 年 8 月 14 日から 27 日にかけて，調査船「よこすか」を用いて，西之島と福徳岡ノ場の活動を注視する為の観測航海（YK22-15）を行い，ドレッジによる直近の火山噴出物の採取とドローンおよび目視による現在の活動状況の確認を行った．本発表ではその概要を報告する．

西之島

西之島では2013年11月から間欠的な噴火活動が見られ，現在までに4つの噴火期が見られている．2019 年からの第四期噴火活動では，それまでのストロンボリ式噴火から一転し，大量の火山灰を噴出するバイオレントストロンボリ式噴火へと移行した（柳澤ほか，2020 火山）．また，噴出物の化学組成も安山岩質のもの（ $\text{SiO}_2 \sim 60\%$ ）から，玄武岩質からデイサイト（ $\text{SiO}_2 = 50\text{--}64\%$ ）まで幅広い組成範囲を持つものへと変化している（田村ほか，2021 海と地球のシンポジウム；Maeno et al., 2021 Front. Earth Sci.）．

8 月 16 日～18 日の観測期間中の西之島では，火口および山体中腹から白色噴気が連続的に上がっているのが認められた．また，火砕丘中央火口の底には湯だまりが確認された（図 1）．

西之島南海丘および西之島南側の斜面でドレッジ調査を実施し，新鮮な火山岩を得ることが出来た．それらの予察的なデータも報告する予定である．



図 1 2022 年 8 月 16 日時点での西之島遠景．火口内および山体中腹から白色噴気が上がると共に，島の周辺には濃い変色水が広がっている．

福徳岡ノ場

南硫黄島の北に位置する海底火山である福徳岡ノ場は，明治以降にも複数回の噴火と新島形成（および速やかな消失）が記録されており，2021 年 8 月 13 日から 15 日にかけて発生した大規模な噴火で大量の軽石を放出するとともに新島を形成した．放出された軽石は軽石筏をなして西向きに漂流し，10 月 4 日に南大東島へ漂着したのを皮切りに，南西諸島の各地へと漂着し，人々の生活に大きな影響を与えた（Yoshida et al., 2022 IAR）．この軽石が灰色の基質に黒っぽい粒を含むという外見的特徴を有していたこともあり，軽石の漂着は SNS 上で多くのユーザーに取り上げられ，軽石漂着状況の迅速かつ広範囲な把握を行うことが可能であった（吉田ほか，2022, GKK）．軽石の一部は南シナ海を越えてタイやマレーシアへも漂着する一方で（Yoshida et al. 2022 Geochem. J.），2022 年の夏～秋にかけて日本海を北上して北陸地方から北海道まで漂着範囲が広がった（吉田ほか，2022 GKK）．

福徳岡ノ場の 2021 年噴火の漂着軽石の化学組成は $\text{SiO}_2 = 61\text{--}62\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.6\text{--}10\%$ を示す粗面岩組

成であり、1986年の噴火時に調べられた軽石の化学組成とよい一致を示す。また、漂着軽石は稀に黒色を呈するものがあるが、全岩化学組成は灰色の軽石と一致する粗面岩組成であり、黒色は軽石の発泡ガラス中に含まれる磁鉄鉱ナノライトによるものである (Yoshida et al., 2022 IAR)。軽石の中に稀に含まれる Fo₉₀ 程度のかんらん石や An₉₀ 程度の斜長石から、福徳岡ノ場の噴火には玄武岩質のマグマの活動が寄与していたと考えられるが、明瞭なマグマ混合・混交の証拠は見られず、鉱物あるいは最大 1cm 程度の包有物としてしか玄武岩質マグマの痕跡は認定できていない (Yoshida et al., 2022 IAR)。

YK22-15 航海では、火山近傍でのドレッジ調査により、近傍性の火山性堆積物を採取することで、「浮かない岩石」から福徳岡ノ場の火山活動の詳細な描像を得ることを目的としている。更に、ドローンを用いての火口直上観察、及び山体周辺での空中磁気測量を実施し、噴火後の福徳岡ノ場の状況把握も試みた。

2021年の噴火時には噴煙・軽石は強く西向きに流れていたが、火口の西側でのドレッジ調査では軽石や無～弱発泡の黒曜石様の岩石が採取された。この黒曜石様岩石は、谷ほか (2022 JpGU) で報告されているものと同じものであると考えられる。また、福徳岡ノ場を取り囲む北福徳カルデラ外輪山の北東外縁でのドレッジでは、黒色の溶岩が採取された (図 2)。これらの無～弱発泡の岩石試料は、漂着軽石と共通する斑晶鉱物 (単斜輝石・斜長石・かんらん石) を含むが、基質がほぼガラス質であるものから、ナノライト及びマイクロライトを多量に晶出させているものまで、試料毎に異なる結晶化度を呈する。全岩化学組成は SiO₂=63.5-64.5%の粗面岩組成を示し、漂着軽石として得られた試料よりも分化した特徴を持つ。これら「浮かない岩石」と漂着軽石 (浮く岩石) に見られた岩石学的な相違は、噴火時の放出機構の違いを反映している可能性が高い。

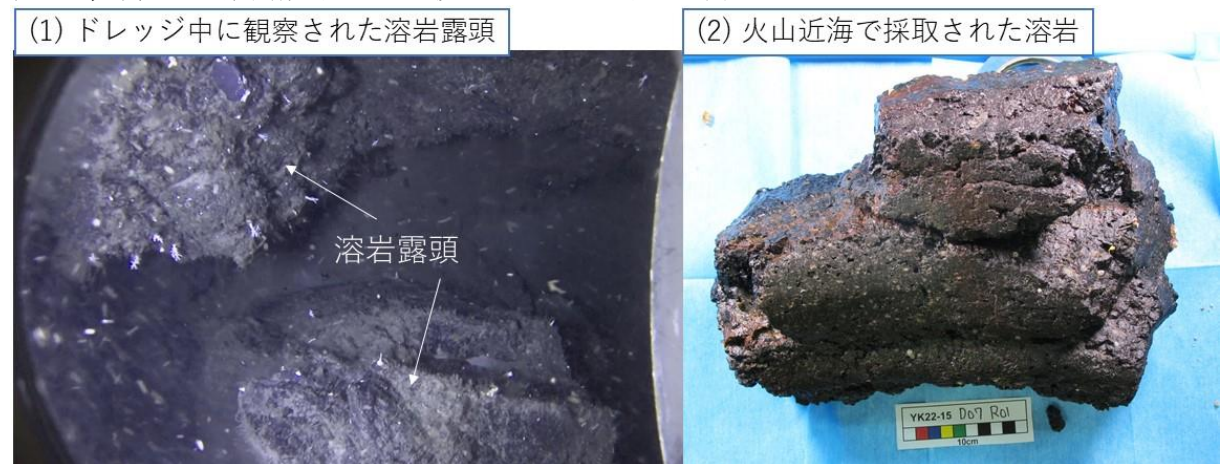


図 2 福徳岡ノ場の北東外縁で、ドレッジ中に観察された溶岩露頭と、その露頭から採取されたと思われる溶岩試料。

ドローンで観察した 2022 年 8 月時点での福徳岡ノ場は、静穏な状況を保っており、火口からは火山性のガスと思われる泡が少量放出されているのが確認できた (図 3)。山体内部の状況を把握するために、ドローンによって磁力計を曳航する空中磁気測量を実施し、高品質のデータを取得出来た。ドローンによる空中磁気測量は、活動中の海域火山での高品質磁力データ取得に威力を発揮することが我々のグループの西之島での成果からわかっており (Tada et al., 2021 JVGR)、今回福徳岡ノ場の山体周辺で取得したデータから、過去のデータ (例えば小野寺ほか, 2003 海洋情報部研究報告) との比較を進めることで、国内では戦後最大規模と言われる福徳岡ノ場の 2021 年噴火の前後で山体内部に変化が起きているのかの把握も目指す。講演ではこれらの成果についても触れる予定である。

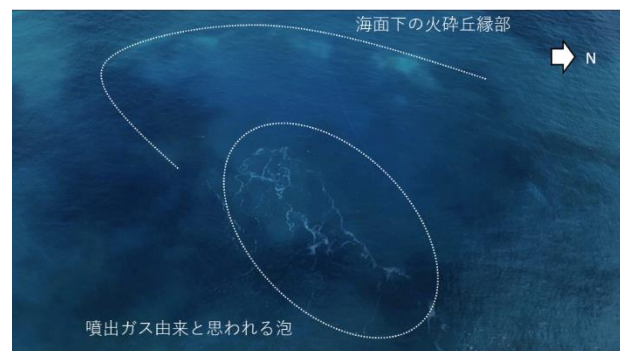


図 3 2022 年 8 月 22 日の福徳岡ノ場直上。

福徳岡ノ場 2021 年 8 月噴火の緊急調査 KS-22-5, -13 航海の予察的報告

○谷健一郎・小松浩典・佐野貴司（国立科学博物館）、石塚治・及川輝樹・片山肇・鈴木克明（産業技術総合研究所）、南宏樹（海上保安大学校）、長井雅史（防災科学技術研究所）、嶋野岳人（常葉大学）、中村美千彦・浮田泰成（東北大学）、前野深・水野樹（東京大学地震研究所）、McIntosh Iona（海洋研究開発機構）、自見直人・酒向実里（名古屋大学）、田村千織（東京大学大気海洋研究所）、中野幸彦（マリンワークジャパン）、池上郁彦（タスマニア大学）

福徳岡ノ場は伊豆小笠原弧南端部に位置する活動的な海底火山であり、2021 年 8 月 13 日に 11 年ぶりに噴火しているのが、気象衛星ひまわり 8 号や海上保安庁航空機の観測から確認された。本噴火では噴煙柱の高度が 16 km と対流圏界面に達し（気象庁火山活動解説資料 8 月 13 日 13 時半発表）、また衛星写真から、噴火開始と同時に海面下に変色域が出現し、その後海面上に軽石が浮上しているのが観察された。さらには 15 日の航空機観測によって直径約 1 km の新島が誕生し、軽石筏（ラフト）が北西方向に漂流していることが判明した（気象庁火山活動解説資料 8 月 16 日 14 時発表）。噴火は 3 日間継続し、後半は噴煙柱を伴わないマグマ水蒸気爆発に移行して終息した。新島は数か月後に波蝕で消滅したが、軽石ラフトは黒潮反流にのって西に 1000 km 以上流され、昨年 10 月以降、大東諸島や琉球諸島などの南西諸島の島々に続々と漂着し、海運・観光・漁業などに大きな影響を与えた。

本噴火による噴出物量は 0.1 km³ 以上と推定され、噴煙高度も考慮すると火山爆発指数 4 クラスのプリニー式噴火であった可能性が高い。これは 21 世紀に入ってから日本国内で発生した噴火としては、陸上火山を含めても最大規模である。特に観測網が不足している海底噴火としては、ケルマディック弧 Havre 火山 2012 年噴火（Carey et al., 2018 Sci. Adv.）に次いで、海底噴火の時系列をリアルタイム観測データと比較して詳細に研究できる貴重なチャンスである。Havre 火山 2012 年噴火は水深 500 m 以深の噴火であったのに対し、福徳岡ノ場 2021 年噴火は噴火前の山頂水深が約 30 m（伊藤・他, 2011 海洋情報部研報）と浅海で発生しており、水圧がマグマの発泡や破碎に与える影響を定量的に理解する上でも比較研究対象として非常に重要である。

本噴火の発生を受けて、我々は福徳岡ノ場の周辺海域において系統的な火山地質調査と試料採集を行うための緊急調査を提案し、今年度「新青丸」を用いた 2 航海（KS-22-5, -13 航海）を実施することができた。

KS-22-5 航海は 2022 年 4 月 12 日～23 日の期間で実施した。2021 年 8 月噴火で放出された軽石・火山灰などの火山砕屑物の特徴・時間変化やその分布域を明らかにするために、K グラブ・グラビティコアラーによる堆積物採取とドレッジ調査による岩石採取を計画していた。しかし航海前に発生した台風 1 号がフィリピン海を北東方向に進んだことにより、4/13～17 朝まで奄美大島にて避泊せざるを得ない事態となった。その結果、予定していた約 5 日間の調査計画に対して調査海域に約 15 時間しか滞在することができず、夜間航走観測と計 8 回の K グラブ採泥のみ実施できた（図 1）。K グラブ採泥は火口の西側海域で実施し、いずれも昨年 8 月の噴火由来と考えられる火山灰・軽石を採集することに成功した。一部の堆積物は船上で強い硫化水素臭がして、同時に採集された底生生物も熱水環境を好むゴカイ 2 種とナメクジウオ 1 種のみしか生息していないことが明らかになった。採泥器に取り付けた深海カメラの映像でも周辺海底は、一面火山灰で覆われており、その他の底生生物は確認されなかった。

KS-22-13 航海は 2022 年 8 月 25 日～9 月 3 日の期間で実施した。無人探査機ハイパードルフィン 4500 を用いて、計 4 回（第 2183 潜航～第 2186 潜航）の潜航調査を実施し（図 1）、福徳岡ノ場火山近傍とその周辺海底の火山地質調査と岩石・堆積物サンプリング、また同時に底生生物の採集も行うことに成功した。夜間は航走観測を実施し、地形・重力・3 成分磁気データを取得した。

現場海域では当初 8 月 28 日～31 日正午まで約 3.5 日間の調査を計画していた。しかし調査海域の北方で台風 11 号が発達しながら西進したため、調査は 8 月 29 日夜で切り上げて北上を開始した。回航中に海況が回復したため、9 月 1 日夕方～2 日夕方までの間、予備海域の黒瀬西海穴周辺の航走観測を実施した。

現在、採集された火山灰・黒曜石・軽石などから構成される噴出物の表面形態・内部構造・全岩／鉱物化学組成などの各種分析を進めているが、軽石ラフトとして日本列島に漂着したものは組織や

全岩化学組成が異なる噴出物が存在していることが判明し、噴火の全容を理解するためには火口近傍の噴出物の採集が必要不可欠であることが分かった。また海底における噴火堆積物の分布域も衛星や航空機から観測された噴煙の流下域と概ね対応していることも明らかになった。

KS-22-5, -13 航海で採集された噴火堆積物からは、今後浅海噴火における爆発的噴火のダイナミクスと噴出物の運搬堆積機構について、重要な制約が得られると期待される。また海底噴火に伴う海底生態系への影響についても、その回復・遷移過程を理解する上で貴重なデータが得られた。これらの航海の実施に際しては中村・青木キャプテンをはじめとする新青丸乗組員の方々、木戸運航長をはじめとするハイパードルフィン4500 運航チーム、研究船共同利用に関わる海洋研究開発機構・東京大学大気海洋研究所の関係者の皆様にご協力頂いた。厚くお礼申し上げます。

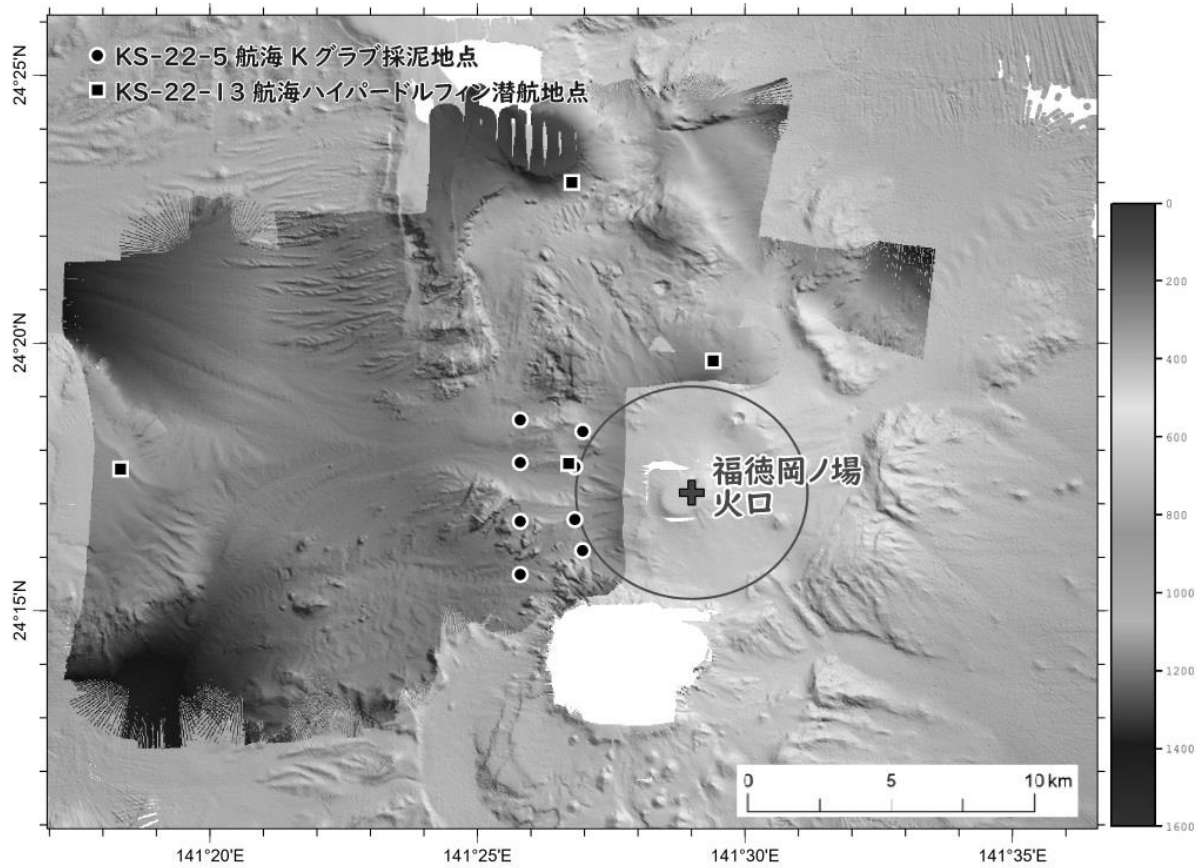


図1. KS-22-5, -13 航海で取得した海底地形図と調査地点

鬼界海底カルデラの総合調査

○田中聡・羽生毅・藤江剛・山本揚二郎・小平秀一・
宮崎隆・臼井洋一・上木賢太・Maria Luisa G. Tejada(海洋研究開発機構)、
宮町宏樹(鹿児島大学)、西来邦章・佐藤勇輝(原子力規制庁)、
島伸和・鈴木桂子・金子克哉・松野哲男・清杉孝司・中岡礼奈・
大塚宏徳・清水賢・荒木将允・長屋暁大・小畑拓実(神戸大学)、
ならびに課題提案者一同

本発表では、鬼界海底カルデラ火山の調査を目的とした KM21-05 航海と KM22-01 航海の概要を報告する。鬼界海底カルデラ火山は 7300 年前の巨大噴火をはじめとして大・小規模の噴火を現在まで繰り返してきており、現在も活発な火山活動を継続させている。しかし、外輪山である薩摩硫黄島などを除いてカルデラの大部分が海面下にあるため、その活動履歴や火山下のマグマ活動状況について不明の点が多い。KM21-05 航海では、鬼界カルデラ地下浅部の地震波速度構造を明らかにするために、エアガン-OBS による屈折法地震波構造探査を実施した。さらに KM22-01 航海では、活動履歴を明らかにするために BMS 掘削と ROV 潜航を実施した。

構造探査の実施に先立ち、備船によって海底地震計(OBS)45 台が設置された(図1)。内訳は東北東から西南西に全長 175km にわたる主測線沿いに、カルデラ内部で 2km 間隔、カルデラ外では 5km 間隔の計 39 点、カルデラ外部北側に計 6 点である。KM21-05 航海では、「かいめい」運航上の制約のため、カルデラ外部の主測線の西北西側と西南西側、さらにカルデラの南西側と南東側の測線上において 200m 間隔でエアガンを発振した(図1)。当初は KR20-11 航海で設置された長期観測用 OBS を回収する前にエアガンを発振する計画であったが、海況が悪かったため 25 点中 16 台を先に回収し、エアガン発振時には 9 台の長期観測用 OBS が残っていた。エアガン発振後、カルデラ外とカルデラ内の一部の構造探査用 OBS35 台と長期観測用 OBS を 4 台回収した。ただし、長期観測用 OBS5 台は浮上してこなかったために未回収である。カルデラ内に残った構造探査用 OBS は、2021 年 10 月の神戸大学練習船深江丸によって 3 台が回収されたが、1 台が未回収となった。回収された長期観測用 OBS に記録された自然地震の P 波と S 波の走時データと従来のデータを組み合わせて、九州南方沖の地震波速度構造の推定を進めている。また、主測線上の 38 台の構造探査用 OBS の初動走時データを用いて、2 次元屈折法解析を行っている。

さらに KM21-05 航海では 8 台の海底電位差磁力計(OBEM)を設置した(図1)。これらは、広帯域海底地震計(BBOBS)と共に、2023 年 2 月の KS-23-3 航海で回収予定である。

KM22-01 航海では、KM-ROV による 2 回の潜航と 3 回の BMS 掘削潜航を実施した(図2)。KM-ROV#169 潜航は海底カルデラの南東側において、BMS 掘削潜航の事前調査として実施した。このサイトは、岩体の貫入により古い噴出物の層が持ち上げられて露出している可能性が構造探査から示唆された場所である。砂地の海底に噴出時期が異なると推定される軽石が散在し、さらに安山岩質な貫入岩体によると考えられるちみつな火山岩も採取された。海底観察と採取された火山岩から、BMS 掘削の有力な候補地点とされたが、作業時間の関係で掘削を行うことはできなかった。KM-ROV#170 潜航は、鬼界カルデラの南西に位置するマウンド状の地形の西側斜面で実施した。切り立った崖状の地形が観察され、溶岩流の縁にあたりと解釈した。古そうに見える軽石に加えて、この地点においてもマフィックでちみつな岩石が採取された。今後の化学分析の結果を待つ必要があるが、カルデラ壁近くで採取される

ちみつな安山岩質の岩石と同様、カルデラ形成以前に存在した火山体に由来する可能性がある。

BMS#14 掘削潜航は東側のカルデラ壁上で実施され、約 25m のコア試料が採取された。構造探査により貫入岩体が存在すると考えられた場所であり、軽石や火山灰からなる約 6m の層の下に、予想通り火山岩が存在することが確認された。上部では水冷破碎された産状を示すが、下部に行くほどよりちみつになった。カルデラ壁下から直接採取されたコアは、カルデラ形成前後のマグマ生成過程を理解するための重要な試料である。BMS#15 と #16 は鬼界カルデラから東へ離れた地点で実施された。構造探査に基づき、7300 年前の巨大噴火に加えて 9 万 5 千年前と 13 万年前の巨大噴火による火砕物の存在が予想された。しかし、掘削孔がもろかったことに加えて BMS 掘削装置の不具合も発生し、二回とも 10m 程度までの掘削に留まった。採取された試料は 7300 年前の巨大噴火による海底火砕流堆積物に相当すると考えられる。

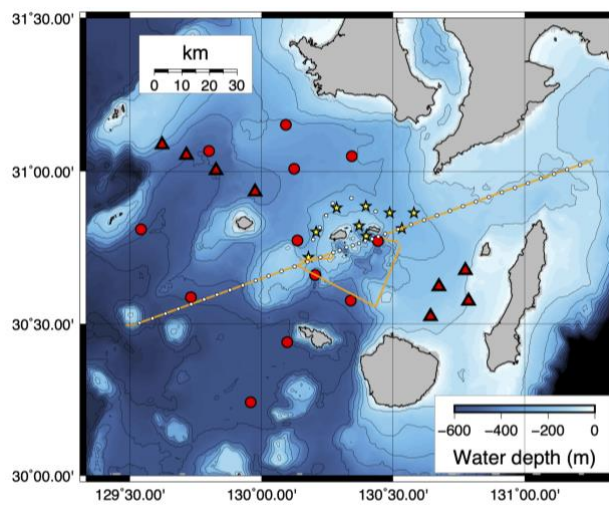


図 1. KM21-5 航海によって実施された構造探査の測線と OBS、OBEM の配置図。白丸は構造探査用 OBS、黄色の星印は長期観測用 OBS、赤丸は BBOBS、赤三角は OBEM。オレンジ色の実線がエアガンを発振した測線。

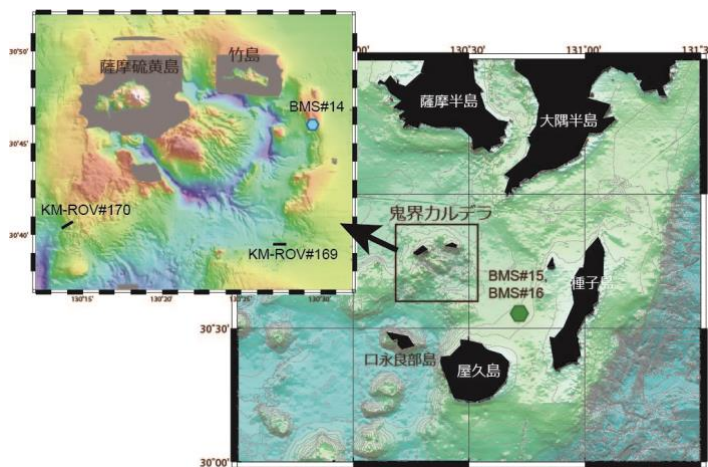


図 2. KM22-01 航海において実施した BMS、KM-ROV 潜航地点。

屈折法地震波構造探査によって明らかになった 鬼界カルデラ火山直下の低速度領域

○長屋暁大（神戸大理/海洋研究開発機構）、藤江剛・小平秀一・田中聡・山本揚二郎（海洋研究開発機構）・杉岡裕子（神戸大 KOBEC/理）、宮町宏樹（鹿児島大理）、松野哲男・大塚宏徳（神戸大 KOBEC）・鈴木啓太（神戸大 KOBEC/日本海洋事業株式会社）、島伸和（神戸大理/KOBEC）

本発表では KM21-05 航海において行われた屈折法地震波構造探査によって明らかになった鬼界カルデラ直下の低速度領域について報告する。鬼界カルデラは鹿児島県薩摩半島の南部約 60 km に位置する海底カルデラ火山であり、現在に至るまで大小規模の噴火を繰り返してきた。2016～2017 年に神戸大学「深江丸」によって行われた探査航海により、二重のカルデラ構造や、熱水活動などが明らかになり、7300 年前の巨大噴火以降に成長した溶岩ドームの下にはマグマだまりの存在が示唆されている (Tatsumi et al., 2018)。また、Hamada et al. (submitted) では、カルデラ内溶岩ドーム及び周辺の火口丘の岩石試料を分析した結果から、地下のマグマ供給系のモデルを提案している。しかし、マグマだまりの有無も含め、現在のカルデラの地下構造の実態は不明である。マグマだまりの存在を仮定した場合、温度などの要因によって弾性波速度が低下し、地震波速度構造探査によって低速度領域として捉えられることが予期される。そこで、本研究の目的は、鬼界カルデラでの屈折法地震波構造探査により地震波速度構造を推定し、鬼界カルデラ直下における低速度領域の有無や、低速度領域が存在する場合はその規模などを含めた実態を明らかにすることである。

2021 年 7 月 19 日～8 月 1 日に海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」を用いた KM21-05 航海では屈折法地震波構造探査が実施された。本研究では、探査によって取得した海底地震計 (OBS) データに初動走時トモグラフィ解析 (Fujie et al., 2006 ; 2013) を適用し、鬼界カルデラを東北東-西南西方向に横切る全長約 175 km の主測線 A-A' の深度 20 km までの二次元 P 波速度構造を推定した (図 1)。初動走時トモグラフィ解析には、主測線上に設置された 38 台の OBS の鉛直成分のデータから読み取った約 12,200 個の初動走時を使用した。

初動走時トモグラフィ解析の結果、鬼界カルデラ (測線西端からの距離 80～100 km) 直下の深さ 3～11 km において、カルデラ壁近傍西側及び東側 (測線西端からの距離 30～80 km 及び 100～110 km) よりも P 波速度が遅い領域 (以下、低速度領域) がイメージされた (図 1)。また、それぞれの領域における一次元速度プロファイルの平均値を比較すると、深さ 5.3 km では約 0.8 km/s (14 %) の速度低下が確認された (図 2)。速度構造の不確定性解析の結果、低速度領域の標準偏差は 0.1～0.3 km/s であり、安定して再現されることがわかった。また、チェッカーボード解像度テストによって、低速度領域において、深さ約 5 km までは水平方向 7.5 km、鉛直方向 2.5 km の空間分解能があり、深さ約 11 km までは水平方向 15 km、鉛直方向 5 km の空間分解能があることを確認した。以上のように、構造の再現性、空間分解能の評価から、鬼界カルデラ直下には、その近傍よりも平均 P 波速度が最大約 14%遅い領域の存在が明らかになり、その広がりには水平方向に約 25 km、鉛直方向に約 8km である。加えて、本研究の測線と交差する ECr11 測線 (Nishizawa et al., 2019) と本研究の測線での速度構造を比較したが、上記のような低速度異常は見られなかった。したがって、この低速度異常は鬼界カルデラ下特有の構造を示していると考えられるが、どのような物理的特性に起因するのかについては不明である。そのため、今後は物理的特性と地震波速度の関係を検証する必要がある。具体的には、地震波速度の低下を説明するために必要なカルデラ地下の温度条件について求めることである。また、温度の上昇のみで地震波速度の低下を説明することが難しい場合は、岩石の間隙率、その間隙を埋める物質、マグマの溶融度などの、地震波速度を変化させる要因についても考察することが必要である。このような検証を経た後、鬼界カルデラのマグマ供給系のうち、その浅部のモデルについて提案したい。

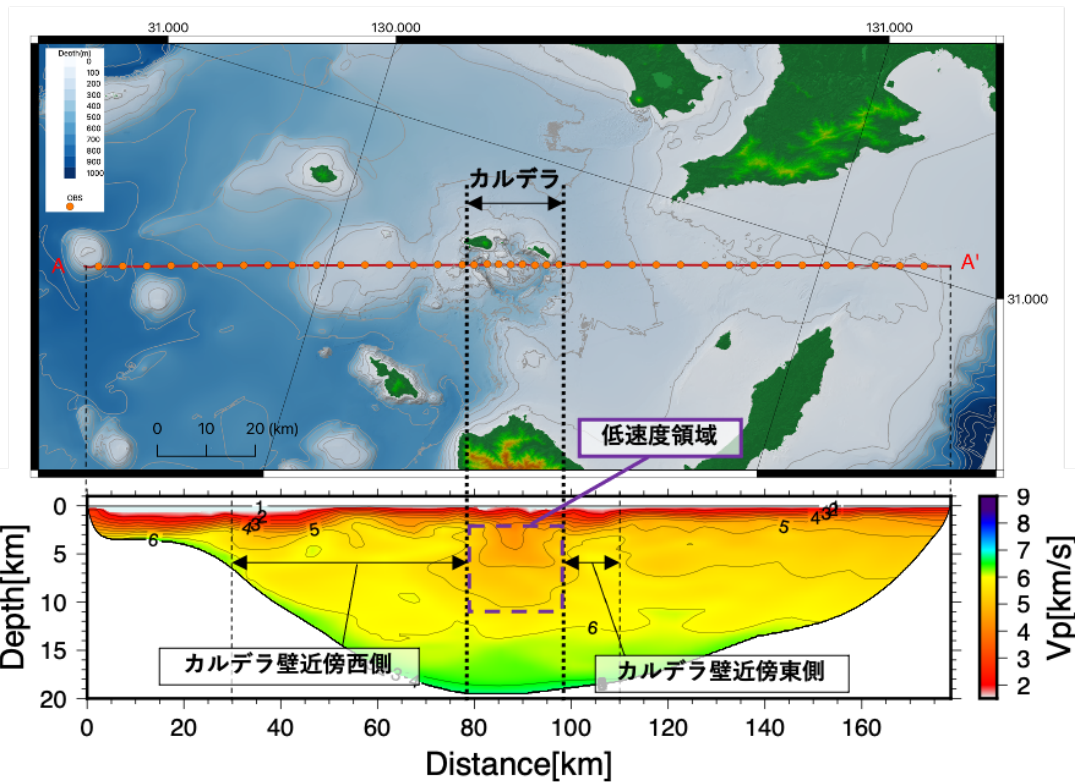


図1. 上段：全長約 175 km 主測線 A-A' と鬼界カルデラの位置。また地図上のオレンジ色丸印は OBS の位置を示している。
 下段：推定された二次元 P 波速度構造。縦軸は二次元断面の深さ、横軸は測線西端 A からの距離を示している。等値線の間隔は 0.5 km/s であり、波線の通っていない場所は白色でマスクしている。低速度領域は、紫色点線で囲まれた領域にあたり、その隣のカルデラ壁近傍西側、東側の領域の水平方向の範囲を矢印で示している。

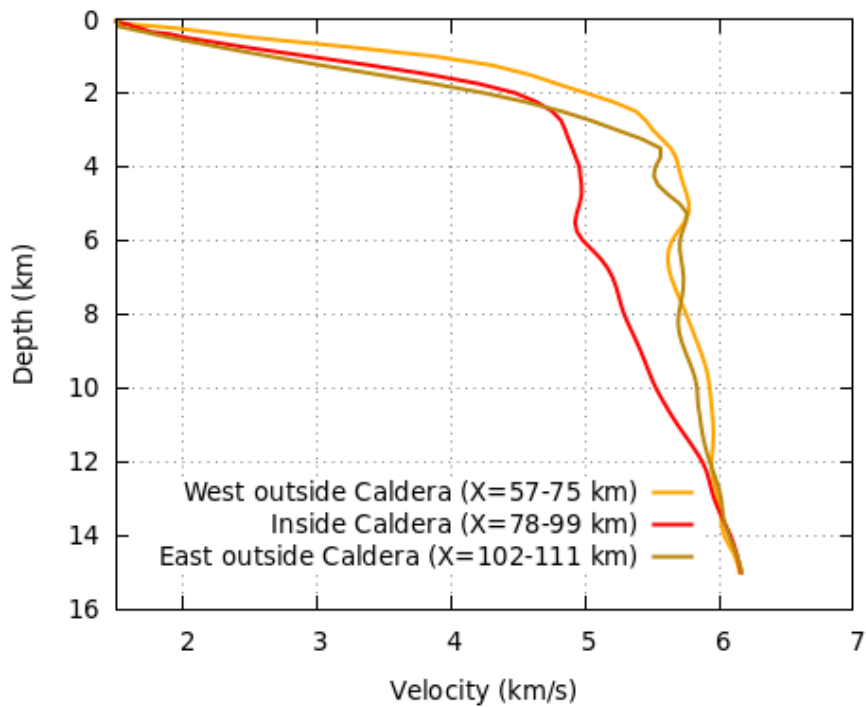


図2. 推定された一次元 P 波速度構造の各領域での平均値。X 値は測線西端からの距離を表す。

鬼界カルデラ火山海底下の三次元比抵抗構造解析

○小畑拓実・荒木将允・廣瀬時・沖園雄希・松野哲男・南拓人・大塚宏徳・巽好幸・杉岡裕子
・島伸和（神戸大学），羽生毅・田中聡（海洋研究開発機構），市原寛（名古屋大学）

本研究の目的は、地下の比抵抗異常体の存在や連結性の推定を通して、巨大カルデラ噴火を導いてきたマグマ供給系の現状への理解を進めることにある。研究対象とした鬼界カルデラ火山は、鹿児島県の南方に位置し、巨大カルデラ噴火が繰り返されてきた。また、現在、カルデラ内部で溶岩ドームの存在が確認されており、直近の巨大カルデラ噴火（7.3ka）以降もマグマが供給されている可能性が指摘されている（Tatsumi et al., 2018）。

我々は、鬼界カルデラ火山海底下の比抵抗構造を推定するため、OBEM（海底電位差磁力計）の設置、回収を進めてきた。2016年10月から2020年3月にかけて、神戸大学練習船「深江丸」を用いて、周辺の海底17地点へのOBEMの設置を行い、16地点で回収をしてきた。「かいいい」KR20-11航海では、よりカルデラ中心部から離れた8地点にもOBEMを設置し、2021年3月に「深江丸」で回収した。「かいいい」KM21-05航海では、鬼界カルデラ火山の南東部4地点と北西部4地点にそれぞれ設置し、北西-南東方向に直線状の観測点配置が実現された。これらは、「新青丸」KS-23-3航海で回収予定である。今回は、深江丸、及び、KR20-11航海で得られたデータを用いて解析した。

設置した海域は水深111m~623mと浅く、得られた電磁場データには海流やそれによる機体の揺れの影響が見られたため、慎重に処理を行い、使用できる部分を見極めた。事前処理を施した電磁場データから、BIRRP（Chave and Thomson, 2004）を用いて、MT応答関数を推定した。リモートリファレンス処理のため、鹿屋、柿岡、女満別、父島の地磁気観測所データを利用した。

鬼界カルデラ周辺のような海底地形の変化が激しい場所では、地形の起伏によって生じる電磁場の歪みが地下構造の推定に影響を与えるため、地形効果を精度良く考慮できる解析手法が必要である。少ない計算グリッドで海底地形を容易に表現する方法として、FS法（Baba and Seama, 2002）がある。我々は、地下比抵抗構造の三次元インバージョンコードModEM（Egbert and Kelbert, 2012; Kelbert et al., 2014）にFS法を導入したModEM+FS法を開発した。

深江丸に搭載したマルチビーム音響測深機による海底地形データとJODC、ETOPO1の地形データを統合して、鬼界カルデラを中心とした地形モデルを作成した。このモデルのもとで、ModEM+FS法を用いて、MT応答関数からインバージョン解析によって三次元比抵抗構造を推定する。講演ではその結果も報告する予定である。

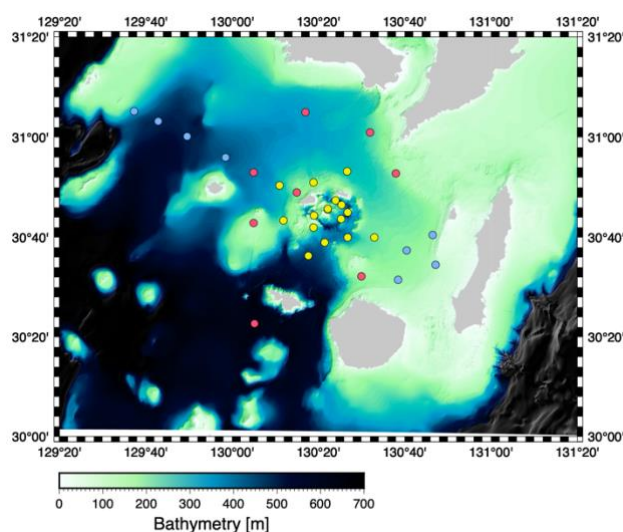


図. OBEMの設置地点。設置航海は以下の通り。
黄丸…深江丸、赤丸…KR20-11、青丸…KM21-05

鬼界カルデラ破局噴火のマグマ準備過程

○羽生毅・常青（海洋研究開発機構）、中岡礼奈・清杉孝司・金子克哉・鈴木桂子・山本由弦・松野哲男・島伸和・巽好幸（神戸大学）

九州南方に位置する鬼界海底カルデラ火山は、破局噴火を繰り返し起こしてきたことが知られている。しかし、火山体の大部分が海底下にあるため、破局噴火の規模や様式については未解明の部分も多い (Tatsumi et al., Sci. Rep., 2018)。また、破局噴火に至るマグマ準備過程についても、ほぼ未知であるといっても過言ではない。鬼界カルデラ火山の噴火規模や活動履歴を解明するために、「ちきゅう」を用いた表層科学掘削プログラム (SCORE) により鬼界カルデラの北東側の海域で掘削が行われた (CK20-S01, Exp. 912 Leg-2)。最も深い掘削孔である Hole-B は海底下約 96m に達し、断続的にコア試料が採取された。この掘削孔からは約 7300 年前の鬼界アカホヤ破局噴火 (K-Ah) に加え約 95000 年前の鬼界葛原破局噴火 (K-Tz) に対応する試料、及びその前後に堆積した火山砕屑物試料が得られた (清杉他、海と地球のシンポジウム 2021)。

二つの破局噴火の間の火山砕屑物は、一つの破局噴火から次の破局噴火へ向けてどのようにマグマが変化、蓄積されてきたかを反映しているはずである。そこで、Hole-B から得られた 12 試料に対して、化学組成を測定した。コア試料に含まれる火山砕屑物はメッシュによるふるい分けをした後樹脂に埋めて研磨し、LA-ICP-MS を用いて 30 μm のスポット径で石基と斑晶鉱物に対して主成分元素と微量成分元素の同時測定を行った。

K-Ah に対応するコア試料は粒径によらず化学組成はきわめて均質で、フェルシクな K-Ah の陸上試料の化学組成と一致した。一方、K-Tz に対応するコア試料は粒径によって異なる傾向を示した。すなわち、粒径 120-250 μm のフラクションではフェルシクな K-Tz の陸上試料の化学組成と一致したが、粒径 250 μm 以上のフラクションでは、上記の化学組成の範囲に入るものに加えて、安山岩から玄武岩質安山岩の組成を示すものが新たに見つかった。同様の傾向は斜長石の化学組成にも見られ、多くの斜長石が An# で 0.45 以下である一方、粒径 250 μm 以上で An# が比較的高い (0.5-0.8) 斜長石も存在しており、マフィックなマグマの存在が示された。K-Ah 噴火ではフェルシクなマグマが卓越するもののマフィックなマグマ成分の存在も知られていたが (藤原・鈴木, 火山, 2013)、K-Tz 噴火でもマフィックマグマが破局噴火に関与していたことが考えられる。また、K-Ah と K-Tz に相当するフェルシクマグマの化学組成の違いも明らかになった。すなわち、K-Tz は K-Ah に比べて TiO_2 , Sr, Zr, Nb, Y に乏しく、Eu の負異常が大きく、REE パターンは下に凸の形を持つという特徴を示した。この違いは結晶分化作用では説明できず、下部地殻で異なるフェルシクマグマが生成し、供給されていたことを示唆する。

K-Tz と K-Ah に挟まれたコア試料については、火山砕屑物に加えて貝殻片が含まれていたため、その炭素 14 年代を求めた。その結果、底部では約 4 万年の年代を示した。そこから上部へ行くほど単調に年代は若くなっていたことから、二つの破局噴火に挟まれた火山砕屑物は約 4 万年前から 7300 年前の火山活動を反映したものであると考えられる。

この二つの破局噴火の間の火山砕屑物試料はフェルシクなものからマフィックなものまで広い化学組成を示し、K-Tz 火山砕屑物とは異なる次のような共通の特徴が見られた。まず、K-Tz に特徴的な低い TiO_2 (<0.5 wt%) を持つ試料はどの粒径フラクションにも見つからなかった。そして、 SiO_2 - TiO_2 図において K-Ah 噴火の試料に特徴的な TiO_2 に富む組成トレンドに概ね重なった。微量元素組成も K-Ah 噴火の火山砕屑物の示す組成に近い。このことは、K-Tz 噴火に見られた TiO_2 の低いフェルシクマグマは少なくとも 4 万年前にはすでに残存していなかったことを意味する。鬼界カルデラの下には TiO_2 の高い (すなわち後に起こる K-Ah 破局噴火と同じ) フェルシクマグマの供給が 4 万年前以前には開始しており、同時にマフィックな組成を持つマグマも供給されつつ、その後の K-Ah 噴火へ向けてマグマの蓄積が進行したことが示唆される。

伊豆・小笠原海溝の前弧マンントル研究

○道林克禎・柿畑優季（名古屋大）、齋藤涼（静岡大）、針金由美子・石塚治（産総研）、岡本敦（東北大）、大柳良介（国士舘大）、畠山航平（明星大学）、片山郁夫（広島大学）、二村康平・夏目樹（名古屋大）、小野重明（海洋研究開発機構）、北里洋（東京海洋大学・デンマーク超深海研究所）

2017年のR/V YokosukaによるYK17-14航海の一環として、Shinkai6500による伊豆・小笠原海溝の陸側斜面6500m付近の地質調査が行われた。Shinkai6500は、海亀海山（Dive 6K1507;[1]）および水深約6500mの2地点(6K1505, 6K1506)において、蛇紋岩、斑レイ岩、玄武岩を採取した（図1）。このうち蛇紋岩の4試料には、元のカンラン岩の組織が一部残されていた。これらの元の組織は粗粒で、塑性変形による動的再結晶作用も部分的に確認された。蛇紋岩に残るスピネル結晶の平均化学組成は0.69から0.85という高いCr# (=Cr/(Cr+Al))を示し、水の添加によって熔融した枯渇度の高い前弧マンントルの特徴をもつ。さらに、海亀海山の蛇紋岩に残されたスピネル結晶のCr#は、本研究よりも約1000m浅い水深5500m付近で産出された蛇紋岩のCr# (Cr#=0.64~0.67) [2,3]よりも明らかに高く、より深部ほど枯渇したマンントル物質が分布する傾向を示した。また、カンラン石の結晶方位ファブリックを測定できた4試料の蛇紋岩のうち、1試料に水の影響によって形成されるファブリックが見つかった。特に海亀海山では、Harigane et al. [2]の結果と合わせて、水の影響が強いほど結晶方位ファブリックも強い集中度をもつことが明らかになった。以上の結果は、沈み込み初期にスラブ由来の含水流体が前弧マンントルに流入してマンントル流動が強まったことを示唆する。さらにDSSV Pressure DropによるRing of Fire Expedition 2022の一環として8月13日に実施されたLimiting Factorによる海溝最深部陸側斜面の潜航調査を含めると、伊豆・小笠原海溝の陸側斜面の超深海底は「沈み込み初期の前弧マンントルのダイナミックな情報をもつ稀少な海域」と推定可能である。

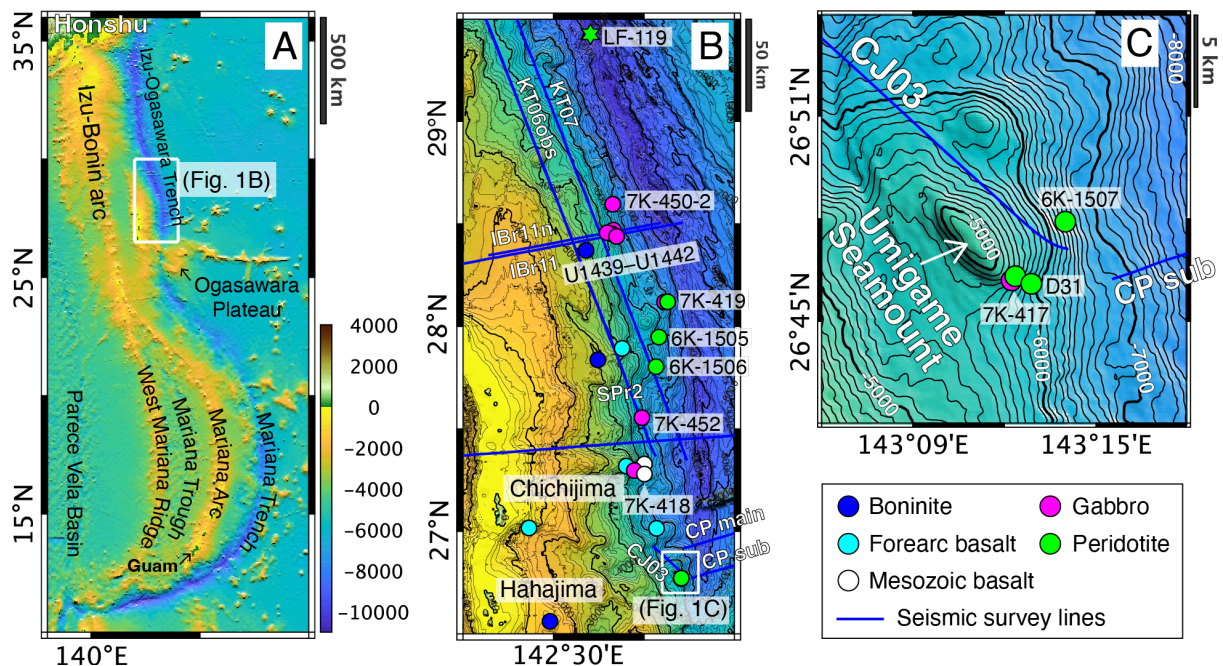


図1 (A) 伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝の位置図。白枠はBの範囲を示す。(B) 伊豆・小笠原海溝南部の海底地形図と主な岩石の分布。青い線は測線。白枠はCの範囲を示す。(C) 海亀海山の地形図と主な岩石の分布。Shinkai6500の潜航地点：6K、Kaikoの潜航地点：7K、ドレッジ地点：D31、IODP掘削地点：U、Limiting Factorの潜航地点：LF。[2-5]と本研究のデータを基に作成。

[1] Oyanagi, R. et al. 2021. *Communications Earth & Environment*, 2: 243. [2] Harigane, Y., et al. 2013. *Earth Planet. Sci. Lett.* 377-378, 106-113. [3] Morishita et al. 2011. *Geology* 39, 411-414. [4] Ishizuka et al. 2011. *Earth Planet. Sci. Lett.* 160, 65-80. [5] Reagan et al. 2017. *Int. Geol. Review* At: 14:01.

海洋地殻と地殻-マントル境界（モホ）を形成する新しいモデル

○田村芳彦（海洋研究開発機構）・マチュー・ロスパビ（Ifremer）・藤江剛（海洋研究開発機構）
 ・大平茜（海洋研究開発機構/INPEX）・金田謙太郎（海上保安庁）・アレキサンダー・ニコルス（カンタベリー大）・ジョージ・セルニア（トルース大）・佐藤智紀（海洋研究開発機構）・小平秀一（海洋研究開発機構）・三浦誠一（海洋研究開発機構）・高澤栄一（新潟大）

中央海嶺で形成されるモホロビッチ不連続面（モホ：地殻とマントルの境界）は、地震波速度と密度に明瞭な差が生じる境界であるため、地震波の強い反射が期待される。

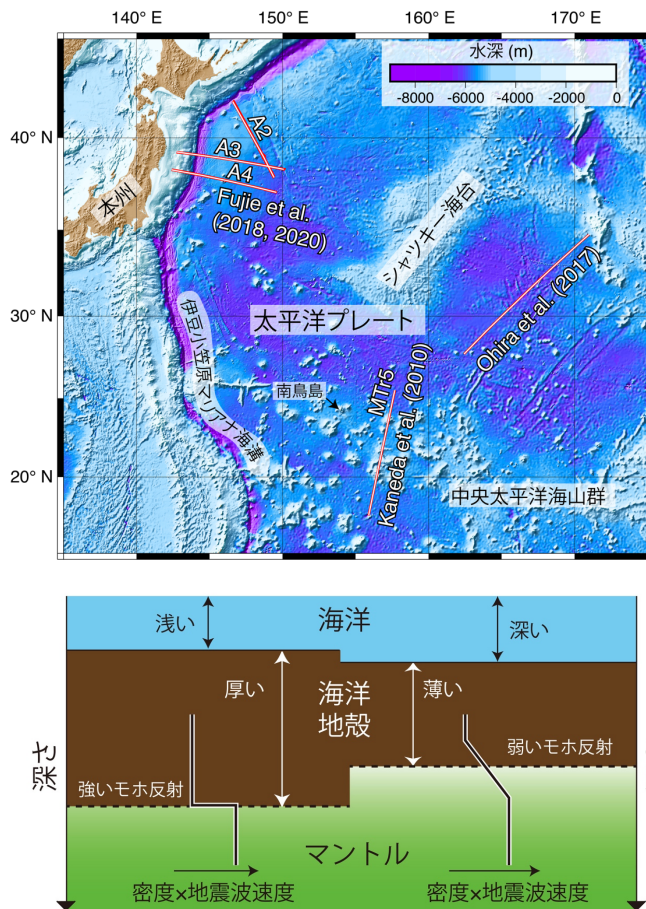


図1. 北西太平洋における反射法地震探査と屈折法構造探査の測線

JAMSTEC および海上保安庁では北西太平洋において、3,000 km を越える測線の反射法地震探査と屈折法構造探査を行ってきた（図1）。これまでの海域調査を総括すると、概してモホ面が明瞭ではない。つまりモホ反射面が存在しない、または、不明瞭な反射しかない海域が大部分である。なぜモホ面で地震波が反射しないのか。

海洋地殻とモホ面は中央海嶺の火山活動でできる。中央海嶺では、マントルの上昇による減圧融解により玄武岩マグマが生成する、と考えられてきた。

図2. 同じ測線の反射法地震探査と屈折法構造探査から見られる海洋地殻の概略図。強いモホ反射面をもつ海洋地殻は厚く、弱いモホ反射面をもつ海洋地殻は薄い。

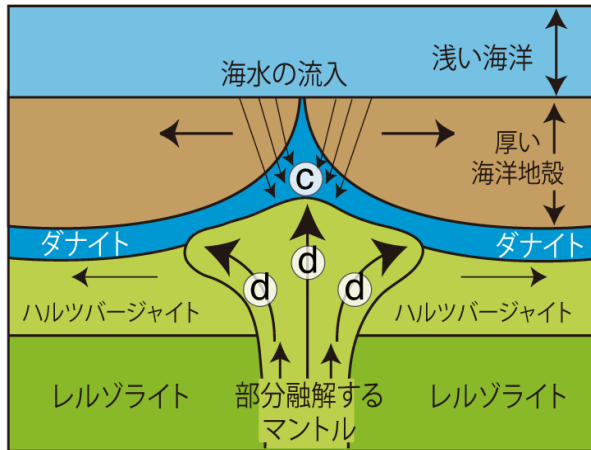
地震波は音響インピーダンス（密度 × 地震波速度）の差が大きい境界で反射

する。下部地殻と最上部マントルが、それぞれ、はんれい岩とカンラン岩（ダナイト、ハルツバーシャイト）であれば、モホ面は明瞭な地震波の反射面を形成する。しかし、多くの海洋地殻でモホ面の反射がないことから、ペンローズモデルを補完する新しいモデルが必要となる。

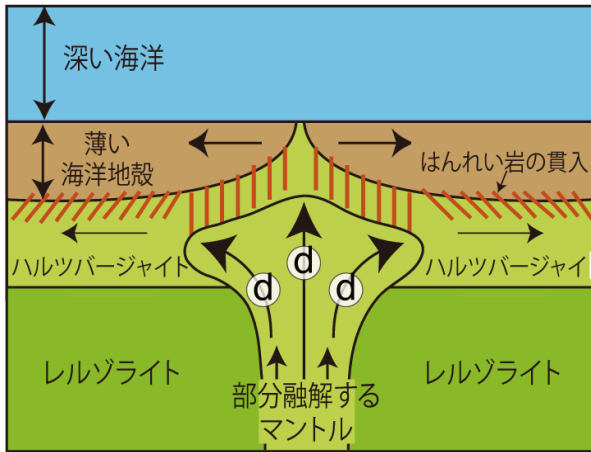
詳細に探査結果をみていくと、モホ面の反射強度と地殻の厚さと水深が相互に関係していることがわかった（図2）。明瞭なモホ反射面のある海洋地殻は厚く、水深が浅い。一方、モホ反射面のない海洋地殻は薄く、水深が深い。この関係を説明するため、オマーンオフィオライトで得られた知見を加え、海洋地殻とモホ面のできかたに画期的なモデルを提示する。

図3a, 3bは、中央海嶺における二通りの海洋地殻形成を示す概略図である。このモデルだと、中央海嶺でのマントルの溶け方には2通りある。一つは、従来からいわれている、マントルの上昇・減圧融解である。玄武岩マグマが生成し、①でマグマは分離して上昇し、地殻をつくる。

(a)



(b)



(c) Low pressure (< 1GPa)
Hydrous melting

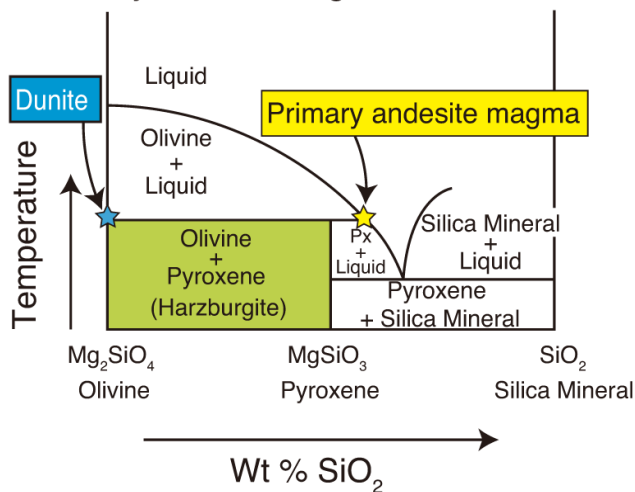


図 3a, 3b. 中央海嶺における二通りの海洋地殻形成を示す概略図.

図 3c. 低圧, 含水下で最上部マントルが溶ける相平衡図.

一方, 近年, 中央海嶺の断層によってマントルにまで水が流入する可能性が議論されている. よって, もう一つは, 海水侵入による最上部マントルの含水融解である. ©で安山岩(ボニナイト) マグマを生成分離して地殻をつくる. 前者は中央海嶺で常におこっている. 一方, 後者のイベントが起こった場合, より多くのマグマが生成し, その結果, 地殻が厚くなり, さらに地殻とマントルの境界に, 地震波を強く反射するダナイトが厚く生成される (図 3a). 地殻が厚いと, アイソスタシーのため水深は浅くなる.

図 3c は, 中央海嶺直下で海水が断層に沿って浸入して最上部マントルの部分融解をおこす場合の相平衡図である. 地殻直下の最上部マントルでは低圧の含水融解により, ダナイトとボニナイトが生成される. ちなみに, ボニナイトは多くのオフィオライトで見られる.

地殻とマントルの境界に厚いダナイトが存在する場合 (図 3a) と玄武岩マグマ (はんれい岩) の貫入が多く見られる場合 (図 3b) の二通りはオマーンオフィオライトでもみられる. 図 3a の地殻からダナイト層への急激な変化は, 地震波を強く反射するため, 強いモホ反射面を形成する. 一方, 図 3b のように地殻とマントルの境界に多くの貫入岩が存在すると, 深さ方向の密度と地震波速度の変化が連続的となり, モホ反射面は存在しなくなる.

西之島の地下のマントルで大陸を形成する安山岩マグマが生成されている (Tamura et al., 2016; 2018). 図 3c は, 西之島直下で安山岩マグマを形成するのと同じ相平衡図で中央海嶺においてモホが形成されていることを示している.

参考 : Tamura et al. (2022). The nature of the Moho beneath fast-spreading centers: Evidence from the Pacific Plate and Oman ophiolite. *Island Arc* 31 <https://doi.org/10.1111/iar.12460>

YK21-06S・YK22-18S: 四国海盆南海道メガマリオン群の潜航調査報告

○小原泰彦（海上保安庁海洋情報部・海洋研究開発機構・名古屋大学）、沖野郷子・秋澤紀克・森口堯明（東京大学大気海洋研究所）、針金由美子・石塚治（産業技術総合研究所）、藤井昌和（国立極地研究所）、平内健一（静岡大学）、道林克禎・二村康平・片桐星来・夏目樹・竹林知大・富岡優貴（名古屋大学）、股村祐希（東北大学）、谷健一郎（国立科学博物館）、山下浩之（神奈川県立生命の星・地球博物館）、町田嗣樹（千葉工業大学）、Sanfilippo Alessio・Basch Valentin（パピア大学）、Snow Jonathan E.（レイジアナ州立大学）、竹内綾（東京大学）

海洋コアコンプレックス（Oceanic Core Complex; 以下 OCC）は、中央海嶺において海底拡大に伴うデタッチメント断層（大規模な低角正断層）の下盤が、海洋下部地殻・最上部マントルのかんらん岩・はんれい岩類を伴って拡大軸近傍に露出したドーム状の構造であり、メガマリオンとも呼ばれている。地形的には拡大軸に対して直交するうね模様（＝ コルゲーション）を表面に伴うことが特徴である。OCC は上部マントル・下部地殻への「窓」（＝ テクトニックウィンドウ）として、かつ断層運動による海底拡大プロセスを明らかにできる場として重要である。

海上保安庁海洋情報部が実施した日本政府の大陸棚調査によって、フィリピン海背弧海盆ではパレスベラ海盆に存在する地球上最大の OCC であるゴジラメガマリオンに加え、四国海盆などの複数箇所ですべて主に海底地形の特徴から OCC の存在が示唆されていた（小原ほか, 地学雑誌, 2015）。こうした背景の下、我々国際的研究グループは、四国海盆の北緯 24 度付近の拡大軸において、2018 年から 2020 年に 4 航海を実施し、3 個の OCC の存在を確認した。そのうち、マドメガマリオンと命名した OCC について、四国海盆下の含水マントルに由来するかんらん岩・はんれい岩の岩石学的・地球化学的特徴を明らかにすると共に（Basch et al., G3, 2020; Akizawa et al., PEPS, 2021; Sen et al., G3, 2021）、デタッチメント断層の発達に伴う低温変質作用の記載を行った（Hirauchi et al., Island Arc, 2021）。

2021 年と 2022 年の YK21-06S と YK22-18S 航海においては、四国海盆南西部の OCC 群に着目した調査を実施した。四国海盆南西部では、海底地形の特徴や、マントルが地下浅部に上昇していることを示す 200 mGal に達する高マントルブローグ異常の存在などから、5 個の OCC の存在を確認していた（小原ほか, 地学雑誌, 2015）。実際に、YK21-06S と YK22-18S 航海において、5 個のうち 3 個の OCC において「しんかい 6500」による潜航調査を実施し、いずれもからマントルかんらん岩の採取に成功し、これらの地形と重力異常から示唆されていた OCC の存在が、物質的にも確かであることが確認された。

これまでの調査を受けて、四国海盆の南西部・南部において、OCC の存在を広く確認することができ、記載の便宜のため、それらの OCC に対して四国・紀伊半島地域の古い地名である「南海道」にちなんだ命名を行った。すなわち、既に命名されていた彗新メガマリオンとマドメガマリオンを除き、西から、伊予メガマリオン、土佐メガマリオン、讃岐メガマリオン、阿波メガマリオン、淡路メガマリオン、紀伊メガマリオンと命名し、全体として南海道メガマリオン群として記載することとした（図 1）。

南海道メガマリオン群は四国海盆の拡大の進行に合わせて、マントルへの水の流入を断続的に記録したテクトニックウィンドウである。今後、南海道メガマリオン群の岩石試料と地球物理学的データの

解析から、四国海盆の拡大の進行に伴うマントル内への水の流入の時間変動の解明に取り組むこととする。本講演では、YK21-06S と YK22-18S 航海の成果を中心に、南海道メガマリオン群の特徴について報告する予定である。

また、YK22-18S においては、シップタイムの有効利用と異分野との協業による新しいシナジーの発出という観点で、「しんかい 6500」による大水深域での海水採水と採泥に基づく環境 DNA データの解析による、四国海盆の大水深域における水生生物相の把握のための調査も実施した。

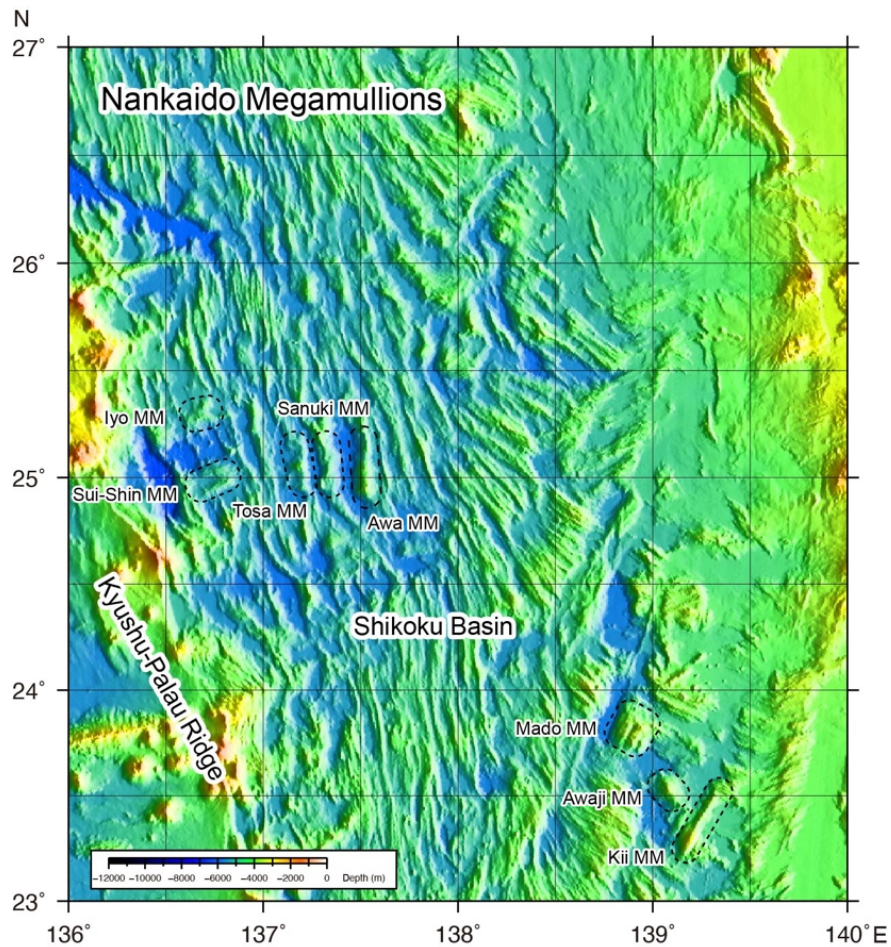


図 1. 四国海盆南西部・南部の海底地形図。南海道メガマリオン群の位置を示す。MM はメガマリオンの略。

西フィリピン海盆上での伊豆小笠原島弧創成の可能性

—島弧-拡大軸会合部潜航調査—

○石塚 治・下田 玄・針金由美子・佐藤 太一・Christopher E. Conway(産総研),
海野進・Nguyen Thi My Trinh (金沢大), 坂本 泉・中村 希・森 光貴・

渡邊 聡士・内山涼多(東海大), 谷 健一郎(国立科学博物館),

小原 泰彦(海上保安庁, 海洋研究開発機構, 名古屋大), 小川智美・奈須俊勝(日本海洋事業)

[研究目的] フィリピン海プレートのテクトニクス復元の上で“最大の謎”とあってよい西フィリピン海盆と伊豆小笠原島弧の関係の解明を目指す。西フィリピン海盆の海底拡大軸と九州パラオ海嶺(かつての伊豆小笠原弧)の会合点の地殻断面を精査することで、1)伊豆小笠原島弧成長過程と西フィリピン海盆の海底拡大の時間的、構造的関係、すなわち海底拡大軸が伊豆小笠原弧と交差する状態で海底拡大を続け、伊豆小笠原島弧の一部は西フィリピン海盆の海洋地殻上に誕生したのか、2)海底拡大軸-島弧会合点では、海洋地殻の生産と沈み込むスラブからの流体のマグマ発生への寄与がどのように時間的、空間的に変化したのかを明らかにして、会合点でのマントル及びマグマ生産の物理化学的条件を解明する。

[研究の背景・西フィリピン海盆拡大軸と島弧の関係] プレートの沈み込み開始過程については、近年の伊豆小笠原島弧における研究により、プレート沈み込み開始から島弧の誕生、成長過程における火成活動や地殻構造の時空変化が明らかになりつつある。しかし、プレートの沈み込み開始前後のテクトニクスが依然として不明で、このため沈み込み開始要因も特定できていない。

フィリピン海プレートのテクトニクスを考える上で重要な未解決課題として、初期伊豆小笠原島弧と西フィリピン海盆の関係がある(図1)。西フィリピン海盆の拡大は4900万年前以前に開始し、約3500万年前に概ね停止したと解釈されており、この海盆はプレート沈み込み開始以前から伊豆小笠原島弧最初期を通じて、

海底拡大を続けていたと考えられる。現在の地形的関係から、当時九州パラオ海嶺(すなわち古伊豆小笠原弧)と西フィリピン海盆が交差する状況が発生していた可能性が高いが(図1)、火成活動や地殻構造発達過程での相互関係や、いつから交差したのか不明であり、

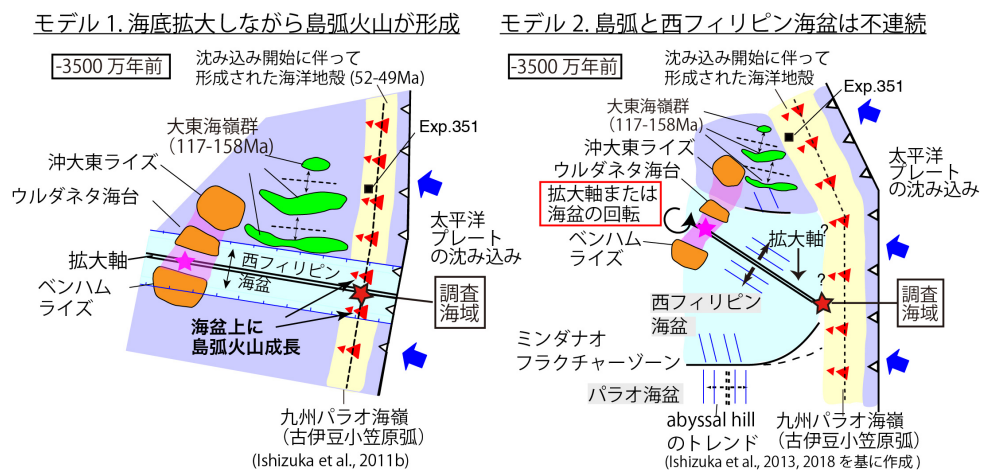


図1 西フィリピン海盆と伊豆小笠原島弧の関係についての異なるモデル。1)西フィリピン海盆の海洋地殻が形成されつつ、それを基盤として島弧火山が誕生、成長する、2)西フィリピン海盆あるいはその拡大軸の回転の結果、伊豆小笠原島弧(九州パラオ海嶺)と拡大軸は交差したとし、島弧基盤は西フィリピン海盆とは関係なく、島弧は全域にわたり同時期(52 Ma)に誕生したとする。

これが沈み込み開始にいたるテクトニクスと伊豆小笠原島弧の成長発達過程の解明の大きな障害とな

っている。

検証すべきモデルとして、1) 西フィリピン海盆の拡大軸が長期間伊豆小笠原島弧と交差しており、伊豆小笠原弧の一部は形成直後の西フィリピン海盆海洋地殻上に形成された（モデル 1: 図 1）、2) 西フィリピン海盆は伊豆小笠原の背弧海盆として拡大したが、拡大軸が回転したため最終的に交差したもので、拡大軸近傍で島弧が形成されたわけではない（モデル 2: 図 1）、等の可能性がある。特にモデル 1 が真実の場合、伊豆小笠原弧の基盤として西フィリピン海盆の海洋地殻が約 2000km 以上の区間に存在することになり、これまで得られている伊豆小笠原マリアナ弧の地殻構造断面の解釈や、島弧創成過程を含む島弧形成発達史の議論について根本的に再考を要請することになる。

[九州パラオ海嶺—西フィリピン海盆 CBF リフト会合部調査]

YK21-06S 及び YS22-11S 航海では、九州パラオ海嶺—西フィリピン海盆 CBF リフト（海底拡大軸）の会合部にて a) しんかい 6500 による潜航調査、b) 海底地形、海底地磁気、重力異常の航走観測、を計画した。潜航調査は、九州パラオ海嶺の島弧地殻と、その基盤をなす海洋地殻、すなわち西フィリピン海盆あるいは沈み込み開始期に形成された海洋地殻（FAB 海洋地殻）の関係を解明するため、島弧及び海洋地殻断面の露出が期待できる 5 地点において、地殻層序の観察と層序ごとの系統的岩石試料採取を行った。

3 潜航（6K#1643-1645）は拡大軸—島弧会合部とその周辺で実施した。このうち 1644 潜航は、九州パラオ海嶺と拡大軸が交差する部分の斜面で、1645 潜航は海底拡大に関連したと考えられる構造線（断層崖）が九州パラオ海嶺西縁を切る部分に露出する九州パラオ海嶺背弧地域の断面で行った。いずれのサイトでも部分的ながら良好な露頭を観察でき、新鮮な急冷ガラスを含む玄武岩溶岩試料の採取に成功した。採取試料の分析を通じて、構造線の活動時期、拡大軸と島弧の交差した時期とそこで生産されたマグマの特徴と活動時期を明らかにする予定である。

一方 6K#1646-47 潜航は、会合部より西側の拡大軸内の海洋地殻断面、及び拡大軸北側に分布する CBF ライズと呼ばれる高まりの断面に相当すると考えられる地点で実施した。いずれの潜航点も、ルート全体を通じて好露頭に恵まれ、新鮮なガラスを含む玄武岩の枕状溶岩を多数サンプリングした。予察的な化学組成分析結果は、両潜航点に露出する、海底拡大に関連して活動したと考えられる玄武岩マグマが極めて広い組成範囲を持つことを明らかにした。それぞれのルートで見られる組成バリエーションは、結晶分化作用で説明できるものではなく、部分熔融度の違い、あるいはマグマの起源物質であるマン틀の不均質によるものと考えられる。今後これが海底拡大最末期の部分熔融度の低下によるものなのか、あるいは西フィリピン海盆地域に知られているマン틀ブルームの影響によるものなのか、さらには沈み込むプレートの影響があったのか等検討し、拡大軸—島弧会合部におけるマグマテイズムとテクトニクスとの相互作用について解明したい。

本講演では予備海域である奄美海底崖地域で実施した潜航についても報告する予定である。

自律型無人探査機「AUV-NEXT」を用いた自動観測への取り組み

○麻生達也・中谷武志・前田洋作・澤隆雄（海洋研究開発機構）

AUV（Autonomous underwater vehicle:自律型無人探査機）は、搭載しているソナーやカメラを用いて水深数千メートルの海底地形調査や海底撮影などを自律航行にて行うことが可能である。しかし現状、AUVを用いた調査には着水揚収や監視のために支援母船が不可欠であり、自律航行可能な無人機という調査コスト面での利点を最大限に活かしていない。このような背景から我々のグループでは、「自動観測への取り組み」として母船レスでAUV運用を行い、調査を省人・無人化することを目指している（図1）。その中の1つの調査ミッションとして、海底地震計等のデータ回収をAUV単独で行うことを想定している。この課題に対する技術開発を進めており、YK22-03航海において海底観測装置からのデータ回収およびAUV位置情報の補正に関する試験を行った。

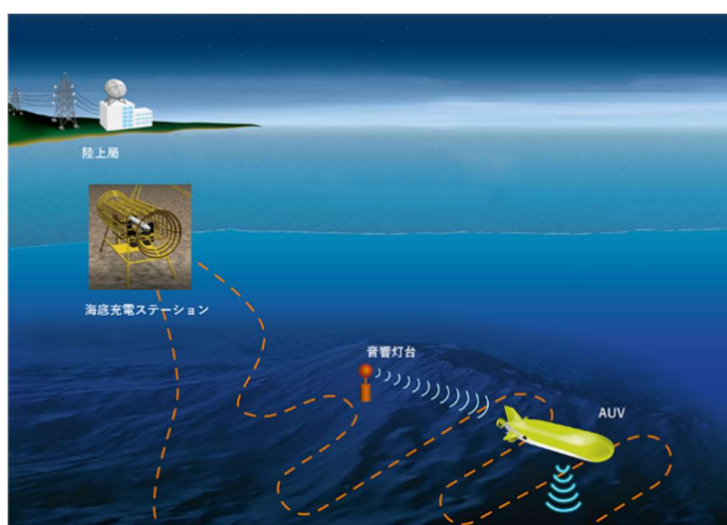


図1 AUVによる海洋観測の自動化

本試験ではAUVに自律型無人探査機「AUV-NEXT」（図2）、海底観測装置として、海底設置型観測システム「Free Fall Camera System 11K:FFC11K」（図3）を用いた。



図2 自律型無人探査機「AUV-NEXT」



図3 海底設置型観測システム「FFC11K」

実施した試験は2つあり、ひとつは航行型 AUV による海底観測装置のデータ回収実証試験。これまでに海中において光無線通信を可能とする技術開発を行ってきた。これを実際の調査観測に適用するために小型の海中光無線通信装置を開発し、本試験に用いた。回収するデータは海底設置した「FFC11K」の HD カメラにて撮影した生物画像とした。「AUV-NEXT」が「FFC11K」の直上を航行し、その間に両機に搭載した海中光無線通信装置で対象画像データを取得することができた（図4）。

ふたつめは、AUV 自己位置情報の補正に向けた、海底設置音響灯台からの AUV 音響測位に関する試験である。母船レス化により岸壁から調査海域まで AUV が単独で航行する場合、航続時間が増加する。それに伴い AUV が持つ位置精度には誤差が蓄積するため、定期的な位置の補正が必要となる。そこで、音響灯台による測位情報を AUV の自己位置補正に使用する手法に着目し、「FFC11K」に音響通信測位装置を搭載し、「AUV-NEXT」の測位および測位情報をリアルタイムで「AUV-NEXT」へ送信するシステムを開発した。本航海においてこれを用いた実証試験を行った。

両試験結果の詳細を発表時に報告する。

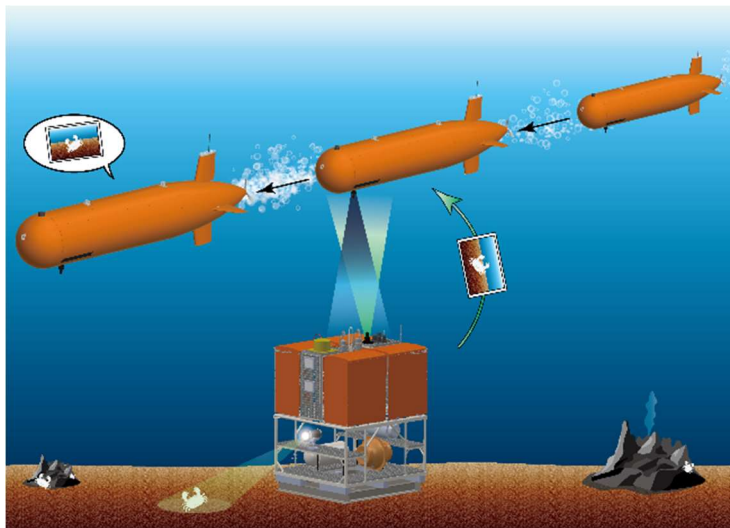


図4 海中光無線通信の試験概要

我が国の深海探査機能の近未来のあり方

○小原泰彦（海上保安庁海洋情報部・海洋研究開発機構・名古屋大学）

近い将来に有人潜水調査船「しんかい 6500」の運航の耐用年数に到達することを踏まえ、海洋研究開発機構内において、海洋研究開発機構所有の深海探査機能の将来の方向性についての議論が開始された。そして、2022年9月の日本地質学会第129年大会（早稲田大会）の海洋地質部会ランチョンにおいては、この議論についての情報共有がなされ、「日本の深海調査コミュニティが一丸となって、本議論に参加して真剣に検討すべき」との方向性が確認された。これを受け、関係する有志により、2023年1月に「我が国の深海探査機能の近未来のあり方について考えるシンポジウム」を東京大学大気海洋研究所にて開催することとした。

「海と地球のシンポジウム 2022」においては、「我が国の深海探査機能の近未来のあり方について考えるシンポジウム」の報告を行うと共に、「海と地球のシンポジウム 2022」の参加者と更に議論を深めることとした。

係留ブイによる西部太平洋暖水プール北縁の大气海洋観測(Ⅲ)

○永野 憲・植木 巖・勝俣 昌己・脇田 昌英 (海洋研究開発機構)

1. はじめに

Tropical Atmosphere and Ocean/Triangle Trans-Ocean Buoy Network (TAO/TRITON)ブイアレーは2000年に構築され, El Niño-Southern Oscillation (ENSO)の発生メカニズムの解明と予測精度の向上に貢献した(Ando et al., 2017, JO, 73, 403-426). これまでに提唱されたENSOメカニズムのうち, フィリピン東方海域の大气海洋変動が重要な役割を果たすことが指摘されている(Hasegawa and Hanawa, 2007, JO, 63, 561-572). 近年頻発しているエルニーニョモドキと呼ばれる現象もフィリピン東方に顕著な変動を示す. さらに, Pacific Decadal Oscillation (PDO)に伴うアリューシャン低気圧の変動によって励起された海洋変動は, 亜熱帯循環内部領域の亜表層を南に伝わりフィリピン東方海域まで達する(e.g., Schneider et al., 1999, JP0, 29, 1056-1070). Nagano et al. (2022, accepted by PEPS)は, アルゴデータと衛星海面高度計データを組み合わせ, フィリピン東方海域で亜表層(約100~200m深)の鉛直上向き流速が準10年(8~12年)規模で変化し, PDOの位相反転に寄与していることを示唆した. フィリピン東方海域は, 暖水プールと呼ばれる顕著に海面水温(SST)が高い海域の北縁にあたり(図1), 暖水プールの変動に伴うSSTの変化も大きく, 上述したように, ENSOやPDOの影響を受けていると考えられる. したがって, フィリピン東方海域での表層付近の水温変化のメカニズムを明らかにすることは, ENSOやPDOのメカニズムのさらに深い理解につながる.

また, フィリピン東方海域の海面塩分(SSS)の経年変動が中緯度大气海洋相互作用のキーエリアである黒潮続流域の塩分変動に影響を及ぼしている(Nagano et al., 2014, JO, 70, 389-403; 2017, GRL, 44, 6895-6903). そのため, フィリピン東方海域の水塊の経年変動を明らかにすることは, 熱帯域の変動の中緯度への影響を明らかにすることにもつながる.

そこで, フィリピン東方の大气と海洋の変動を把握するために, フィリピン東方(13°N, 137°E)において(図1), 2016年12月から係留ブイ(Phブイ)観測を開始した. ブルーアースサイエンス・テク2018とブルーアースサイエンス・テク2019では観測の途中経過を報告した. 今回は, その後のデータを含めた結果を報告する.

2. 観測

2016年12月3日, Phブイを設置し, 観測を開始した. その後, 2018年8月, 2020年2月, および2021年6月に入れ替えを行った. ブイ直下の深度1mと深度700mまでのワイヤロープに最大300mまでSea-Bird Electronics社製 Conductivity-Temperature (CT) センサーおよび Conductivity-Temperature-

Depth (CTD)センサー-SBE37を取り付け, 水温と塩分を観測した. また, ブイ直下に ADCP Sentinel (Teledyne RDI社製)を下向きに取り付け, 最大100m深までの流速の鉛直分布を計測した. 溶存酸素(DO)濃度センサー-RINKO-I (JFEアドバンテック社製)を, 深度80m, 100m, 150mに取り付け, DOを計測した. ブイタワーには, 温湿度計, 風向風速計, 短波・長波計, 雨量計, 気圧計を取り付け, 気象要素を観測している.

3. 結果

Phブイの係留期間は既に5年を超え, 水温(図2), 塩分(図3), およびDO等の経年変化が捉えることが出来た. 2018年秋から2019年春にかけてエルニーニョが発生し, この期間は前後の期間に比べて主水温躍層は約50m程度浅かった(図2). それに伴って, 高塩分の回帰線水も浅い層に見られ

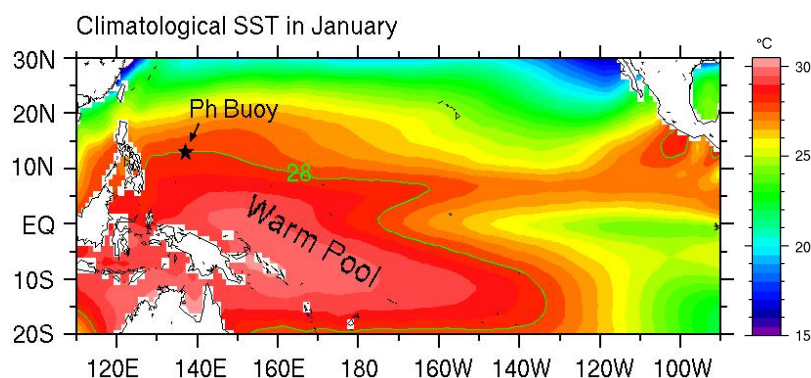


図1. 1月の海面水温(SST)の気候値とPhブイ設置位置(★). 緑色の等温線は28°Cを示す.

た(図3). Nagano et al. (2014, 2017) が指摘するエルニーニョ期の高い SSS も捉えられており, この SSS の増加と回帰線水の浅化とが同期している. このことは, この高い SSS はエルニーニョに伴うウォーカー循環の東方移動による降水の減少に加えて, 下層の回帰線水の影響も受けている可能性を示している.

また, 2018 年 12 月から 2019 年 3 月の SST は, 他の年の冬季よりも顕著に低かった. これは, 亜熱帯循環内部領域のポテンシャル密度 $25.0\text{--}25.5\sigma_\theta$ の層の流量変動(Nagano et al., 2016, ODYN, 66, 1637-1649)に起因し, フィリピン東方海域の亜表層の低温の水の鉛直輸送の強化に伴う強い冷却(Nagano et al., 2022)を受けた可能性がある. この SST の低下は, 深度 100m と 150m の DO の低下と見かけの酸素消費量(AOU)の増加(図4)とも同期している. これは, エルニーニョの発生に伴って西部熱帯太平洋に発生する低気圧性擾乱による主水温躍層の浅化に加え, 直前のラニーニャに伴う鉛直流の強化による亜表層の高い AOU で特徴付けられる古い水が湧昇していることを示唆するものかもしれない.

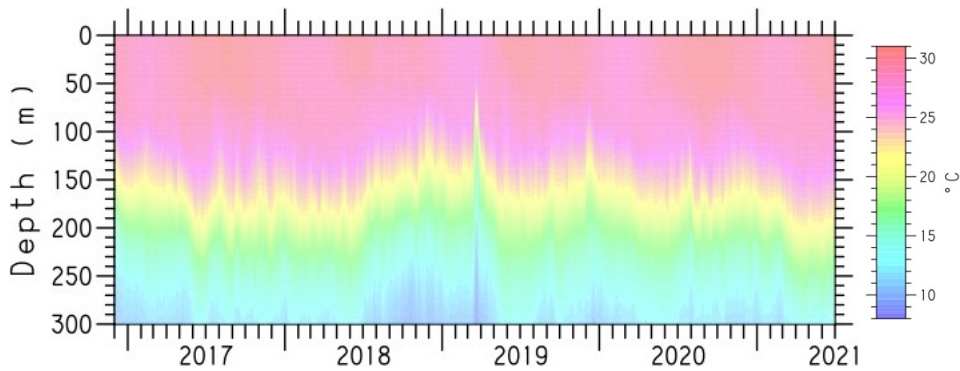


図2. Ph ブイ係留観測で得られた海面から300m深までのポテンシャル水温.

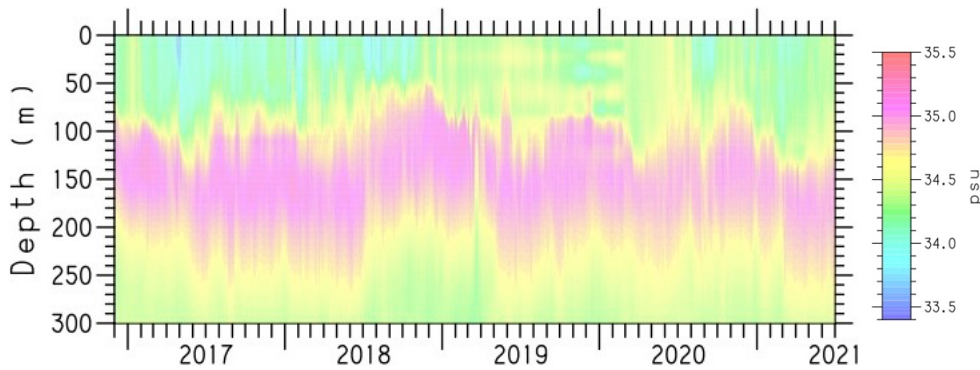


図3. Ph ブイ係留観測で得られた海面から300m深までの塩分.

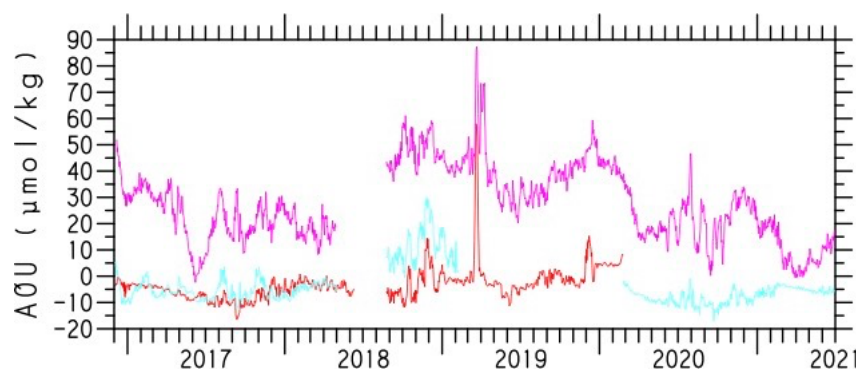


図4. Ph ブイ係留観測で得られた見かけの酸素消費量(AOU)の時間変化. 深度80m, 100m, および150mにおける時系列を赤色, 空色, マゼンタ色の線でそれぞれ示した.

謝辞: 係留ブイの設置・回収は, 「みらい」MR16-08, MR18-04 Leg2, MR20-01, MR21-03 航海で実施しました. 記して感謝します.

汎用小型観測フロート(MOF)を用いた黒潮続流南側における冷水渦観測

○永野 憲・喜多村 稔・渡 健介・植木 巖 (海洋研究開発機構)

1. はじめに

近年, 人工衛星による海面水温や海面高度等の観測, アルゴフロートによる亜表層の水温・塩分の鉛直プロファイルデータは海洋研究に必須となっている. しかしながら, これらの観測技術の発展にも関わらず, 時空間スケールの小さな現象の理解は不十分である. 中規模渦もその現象の一つであり, 渦内部の時空間構造の詳細や生物化学的特性はまだ調べるべきことが多く残されている. そのため, さらに高解像度化と多項目化された観測が必要である.

そこで, 本研究では, 黒潮続流から南側に切離した低気圧性の中規模渦である冷水渦に着目し, 汎用小型観測フロート(MOF)を渦内部に投入し観測を行なった. 今回は, その初期解析の結果を報告する.

2. 観測

図1に2021年11月6日の海面高度の水平分布を示す. 「みらい」MR21-06航海にて, 2021年11月6日, MOF 1台を34.0°N, 157.0°E付近に中心を持つ冷水渦(以後, CCR1と呼ぶ)に投入し, 3時間ごとに観測を行い, 11月18日までに合計93回の水温と塩分の鉛直プロファイルを得ることが出来た. 2021年11月23日には, 34.5°E, 150.0°E付近に中心を持つ冷水渦(CCR2)にMOFを投入し, 6時間ごとの観測を行い, 11月28日の観測終了までに10回の水温と塩分の鉛直プロファイルを取得した. 両フロートとも, 海面から最大100m深まで観測を行った.

3. 結果

黒潮続流の南側は, 黒潮続流から切離した冷水渦が観測されることが多い. 冷水渦の流速は速く(局所ロスビー数 >1), 切離直前に黒潮続流の北側にあった水塊を内部に保持していることがしばしば見られる(Nagano et al., 2016, J0, 72, 837-850). 本観測でMOFを投入した渦CCR2でも, 「みらい」による横断観測を行い, 黒潮続流の北側に存在していたと見られる低い塩分の水塊の存在が渦内部の表層付近に確認できた. 一般に, 切離した冷水渦はロスビー波として西に伝播する性質を持つと考えられる. しかしながら, CCR1とCCR2はMOF観測中, 西方伝播することなくほぼ同じ位置に存在していた. これは, 渦のすぐ北を東向きに流れる黒潮続流の影響を受け続けていたことを示唆している.

MOFによる渦内部の観測は, 大気からの影響と考えられるごく表層の数日程度の時間スケールの水温と塩分の変動に加え, 少なくとも深さ80mに達する塩分の低下を捉えていた. 渦の外側は黒潮に由来する高塩分の水塊に囲まれているため, MOFで観測された渦中心部の低塩化は黒潮続流を通じて北の低塩分の水が供給されているためであると考えられる.

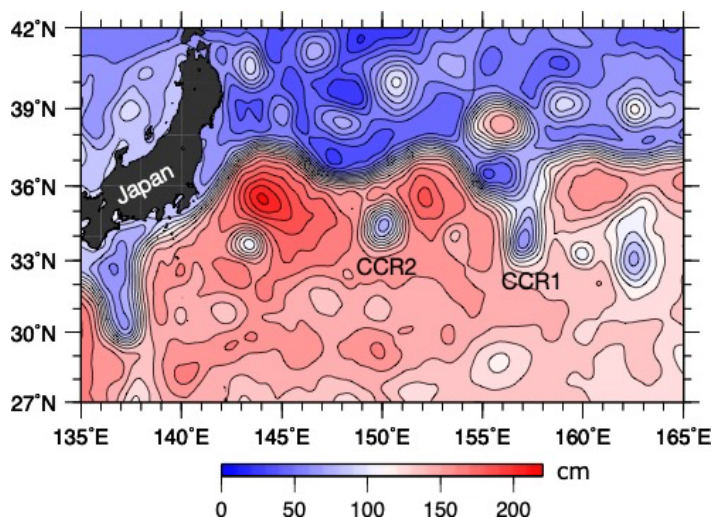


図1. 衛星観測で捉えた2021年11月6日の海面高度分布. 等値線間隔は10cmである. 本観測でMOFを投入した冷水渦には, CCR1とCCR2と記号を付した.

暖水プール北部における統合的海洋大気観測研究 - MR21-03 航海概要 -

○植木 巖・勝俣 昌己・永野 憲・耿 驃・谷口 京子・渡 健介・石原 靖久・福田 達也・細田・滋毅
金谷 有剛・荻野 慎也 (海洋研究開発機構), 鈴木 直弥 (近畿大学), 青木 一真 (富山大学),
Meghan Cronin (NOAA/PMEL)

1. はじめに

熱帯太平洋の西部海域には他の海域に比べ海面水温の高い「暖水プール」が存在しており、地球システム上における全球への熱の再配分過程のスタート地点と認識されている。暖水プールは北半球の夏に北へと拡張し、冬に南へと衰退するという季節変動に加え、エルニーニョ現象に伴う経年的な変動の振幅が大きく、結果として生じる海面水温分布は夏の北進季節内振動等の大気変動や大気のテレコネクションパターンを介して日本の気象・気候に大きな影響を与えている。また、より長周期に注目すればエルニーニョ現象の10年規模の変調や太平洋10年規模変動とも関係していることが示されてきている。

本研究では海面水温のフロントが存在し、海面水温の時空間変動が大きい海域である暖水プールの北端海域に注目して研究を進める。特に、海面水温の大きな変動に伴って変化する大気海洋相互作用と海洋の内部構造について、船舶による詳細な大気海洋観測や係留ブイによる長期時系列観測といった現場観測でその特徴を捉え、変動メカニズムの同定に加え、その影響範囲について評価することを目指している。

海洋地球研究船「みらい」によるMR21-03航海は、以上に述べた研究課題に対応する形で2021年5月26日から7月7日までの43日間の日程でおこなわれた(図1)。より具体的には、暖水プールの北端に相当する北緯13度、東経137度で実施しているフィリピン海ブイの長期係留観測サイト近傍で20日間ほどの定点観測を実施して大気下層と海洋上層の詳細な観測をおこなった。定点観測時にはドップラーレーダー、ライダーをはじめとする各種観測機器による大気の連続観測とゾンデ観測、CTDO/LADCP観測を中心とした3時間毎の観測とともに、2台のフラックスグライダー(Wave Glider)観測、アルゴフロート、小型多目的フロート(MOF)、漂流ブイなどの投入型の機器による観測により詳細な海洋と大気の観測を実施した。また、それらの観測に加え、フィリピン海ブイの入れ替えと共に、そのブイを中心としたマルチプラットフォーム実験を開始した。

マルチプラットフォーム実験は、OceanSITESのフラックスリファレンスサイトである北緯13度東経137度のフィリピン海ブイを中心とした1辺が200km程度の矩形の各頂点に深度1500m~2000m程度の間の流速プロファイルが観測できるADCP係留系を設置し、その矩形内にアルゴフロートを10台程度投入することで成立するシステムのデモンストレーションである(図2)。具体的には、ADCP係留系から得られる深度2000m付近の流速分布とフロートから得られる水深2000mまでの水温・塩分プロファイルを組み合わせて、実測流速基準の地溝流速場、水温場、塩分場の4次元データを取得するというコンセプトに基づくものである。中心のフィリピン海ブイで得られる海面フラックスの時系列を利用することで、海洋内部構造と共に海面強制の時間変化も得ることが出来ることとなる。今回はADCP係留系を2台設置した条件でのテストを試みた。

2. 航海速報

航海中の熱帯太平洋の気候的な背景場としては2020年12月から2021年2月にかけての期間にピークを迎えたエルニーニョからの回復過程にあり、ENSOとしてはほぼ平時の状態となっていた。より短い時間スケールに注目しても、Madden-Julian Oscillationや北進季節内振動の卓越時期からも外れており、比較的静穏な状況であった。そのような中で観測時には、いくつかの大気の赤道ロスビー波が観測点の北側を通過し、後半には後に台風となるものもあった。そうした大気波動に影響を受けて、7月25日以降には徐々に相対湿度や対流有効位置エネルギーが上昇していく傾向が捉えられ、結果として対流活動が活発になっていく様子が確認された。また、対流活動活発化に至るまでの過程で日周期振幅が大きくなりながら徐々に上昇していく海面水温も確認されており、今後の解析により、静穏時の大気海洋相互作用の過程の理解がより進むことが期待される。

航海には様々な研究グループが参加しており、それらの課題は「気候変動に関わる海洋大気エアロゾル・ガスの広域観測」、「3軸超音波風速計を搭載した小型波浪ブイを用いた大気・海洋間運動量フラックス観測」、「海洋上の大気エアロゾル観測」、「夏季モンスーン・対流季節内変動に伴う物質循環

観測」と多岐に渡っている。それぞれの課題は概ね順調に観測を終えており、今後の研究成果が期待される。また、次年度以降の航海では係留系の回収も予定しており、マルチプラットフォーム実験で得られるデータも出さるようになるので、更なる解析を進め、暖水プール北端での大気海洋相互作用の統合的な理解に向けた研究をより推進していきたい。

謝辞

本航海は新型コロナウイルス感染症拡大化の状況で実施された長期外洋航海でした。安全な航海実施の為にルール作りを含め、航海実施のために多くの方々の労力のもとで、無事に航海を完遂することが出来ました。関係する全ての方々に感謝致します。また、「みらい」航海にあたり、船長及び乗組員、観測技術員をはじめとする日本海洋事業株式会社並びに株式会社マリン・ワーク・ジャパンの皆様に変更して御礼を申し上げます。

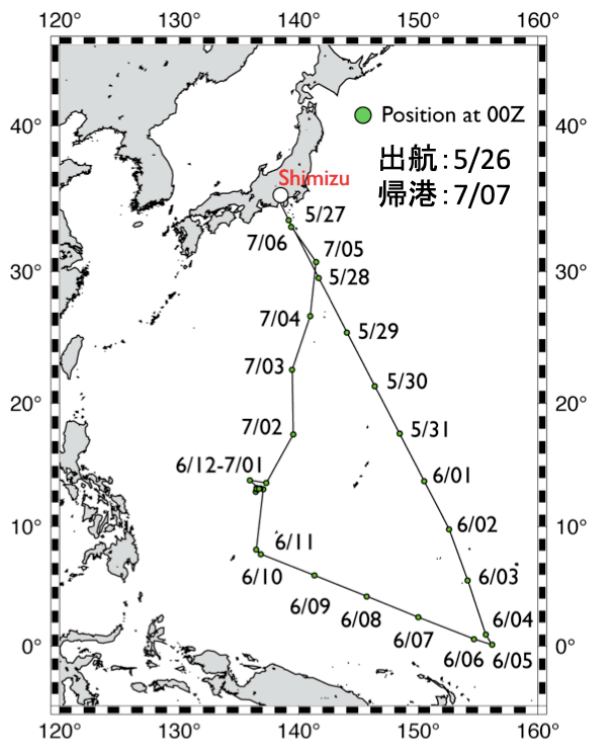


図1 航海航路図

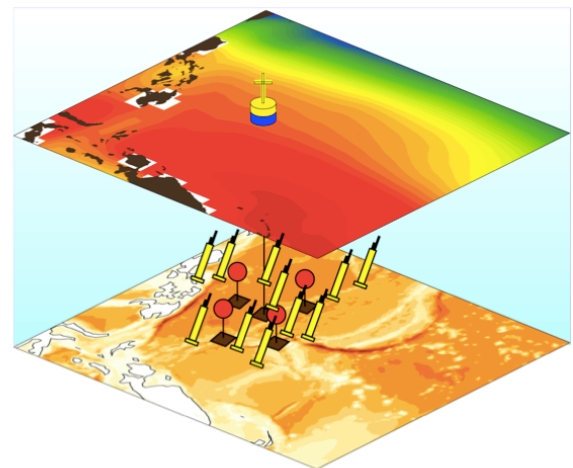


図2 マルチプラットフォーム実験

房総半島東部沿岸～沖合における物質循環：KS-21-8 航海概要

○伊藤幸彦・柳本大吾・柴野亮太・干場康博（東京大学大気海洋研究所），堤 英輔（鹿児島大学水産学部），増永英治（茨城大学地球・地域環境共創機構），中島壽視（福井県立大・大学院生物資源学研究所）

日本の沿岸海域は、多雨に伴う豊富な陸水によって栄養塩類が供給されている。陸起源の無機栄養塩類は一次生産者によって消費され、一部は懸濁態の有機物として大陸棚までの海域に堆積、一部は沖合域に輸送されると考えられる。海域の生物生産過程を考える上で、系外である陸域から供給される栄養塩類の動態理解は重要である。近年の同位体分析技術により、海域への栄養塩供給源として、河川水のほか、海底から湧出する地下水、堆積物からの間隙水が重要であることが示唆されている。しかし、河川水、地下水の識別においても、現状では多くの研究が特定の内湾域での事例である。また日本列島は大陸棚が狭く黒潮や親潮などの海流が接岸しているため、多くの海域で大陸棚上の物質輸送の主体となっている内部潮汐と風に加えて、海流やそれに付随する擾乱の影響も考慮する必要がある。物理現象による堆積物輸送については、内湾域での観測・数値実験は行われているものの、堆積物の供給経路や外洋からの影響は考慮されていない。

そこで、陸域から海域への物質供給の実態解明、特に海域の生物生産に関わる陸起源栄養塩の動態解明を目指し、新青丸 KS-21-8 次航海「房総半島沖合における河川系水の分布・混合過程に関する研究」(5/18-5/23) を実施した。本発表では本 KS-21-8 航海概要と成果の速報を報告する。調査海域は、利根川河口から黒潮続流に至る房総沖海域で、自由落下曳航式 CTD による高解像度観測、鉛直微細構造による乱流観測、および陸起源を指標するラジウム同位体のサンプリング等を行なった。観測期間は黒潮が房総半島に非常に接岸しており、水深 100 m 以浅にも黒潮系水の影響が及ぶ状況で、利根川河口沖（図の最浅点）からの断面においても塩分のみでは陸水を識別するのは困難であった。しかし、大陸棚上では塩分が外洋と同等の 34.5 超であるがクロロフィル蛍光が高く、また濁度は大陸棚の底層から水柱にかけて濃度が高まっていた。陸起源物質を指標するラジウム同位体を房総沖の海域で分析したところ、陸水の寄与率は塩分のみでの推定ではほぼゼロなのに対し、塩分と ^{226}Ra （粒状態/堆積物経路を含む）に基づいて推定すると表層においても数%の寄与が示唆された。これらのことは、表層からの淡水供給に付随する一次的な栄養塩供給ではなく再生栄養塩の寄与が大きいこと、その再生栄養塩に海底堆積物の影響が及ぶ可能性を示唆している。

現在、当該海域において再観測を計画しており、今後、海洋構造や同位体分布の蓄積、および海底堆積物の分析から、沿岸と外洋の海水交換および生物生産への影響解明を進めていく予定である。

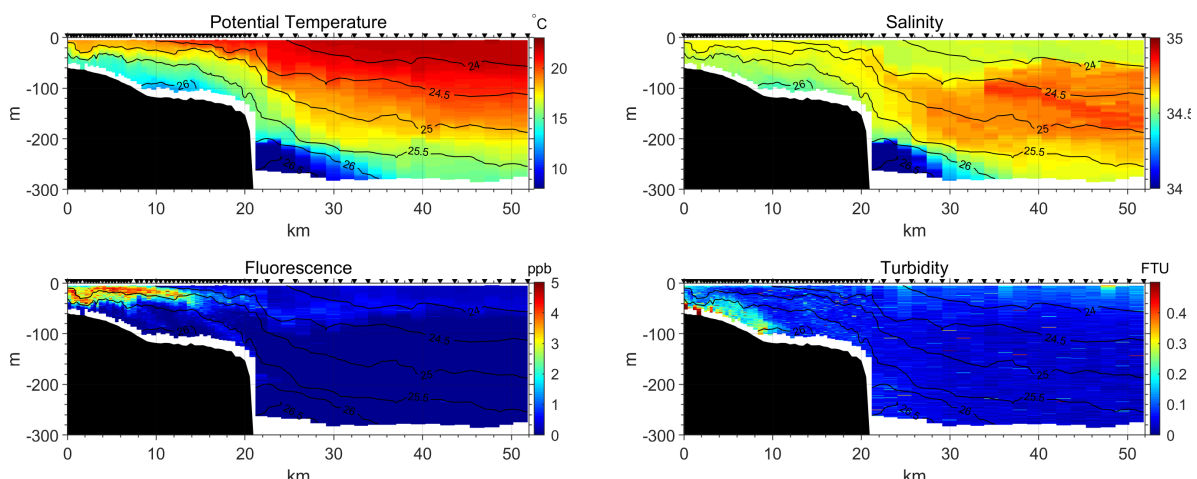


図 1. 新青丸 KS-21-8 次航海 (2021/5/18-23)において実施した曳航式 CTD 観測で得られたポテンシャル水温 (左上)、塩分 (右上)、クロロフィル蛍光 (左下)、濁度 (右下) 断面。黒コンターはポテンシャル密度、各パネル上方の黒三角印は曳航式 CTD 投入点を示す。観測線は利根川河口の沖から南東向きで黒潮続流を横切っている。

伊豆・小笠原海溝の前弧マントル岩石の変成作用

○大柳良介（国土館大）、沢田輝・Qing Chang・吉田健太（海洋研究開発機構）、
針金由美子（産総研）、岡本敦（東北大）、道林克禎（名古屋大）

2017年のR/V YokosukaによるYK17-14航海の一環として、Shinkai6500による伊豆・小笠原海溝の陸側斜面6500m付近の地質調査が行われた。Shinkai6500は、海亀海山(Dive 6K1507)および水深約6500mの2地点(6K1505, 6K1506)において、蛇紋岩、斑レイ岩、玄武岩を採取した(図1a)。本研究では、海亀海山で採取した蛇紋岩の観察を行い、変成履歴の解読を試みた。蛇紋岩は一次鉱物としてかんらん石、直方輝石、単斜輝石、スピネルを含み、原岩はハルツバージャイトである。かんらん石は蛇紋石(Lizardite)に置換されており、蛇紋岩化の進行度は約60-100%である。直方輝石は部分的に滑石に置換されている。また、炭酸塩脈が観察される。炭酸塩脈には蛇紋石の破片が多く含まれる(図1b)。蛇紋石の破片同士はジグソーパズルのように復元することができず、また母岩の蛇紋岩との空間的連続性が観察されない。一部の炭酸塩脈には、かんらん岩が含まれていた(図1c)。このかんらん岩の破砕片は数センチほどの大きさで角ばっており、一次鉱物としてかんらん石、直方輝石、単斜輝石、スピネルを含む。かんらん石はほとんど蛇紋岩作用を受けていない。直方輝石は滑石とかんらん石($Mg\# [=Mg/(Mg+Fe)] = 0.86$)に置換されている。単斜輝石は部分的に角閃石(TremoliteやMagnesio-hornblende)に置換されている。スピネル結晶の化学組成は $Cr\# = [Cr/(Cr+Al)] = 0.68 - 0.70$, $Mg\# = 0.40 - 0.50$, $TiO_2 < 0.06 \text{ wt\%}$ であった。このかんらん石の結晶方位ファブリックは $[100](010)$ パターン(A-type)で、無水条件下で形成すると考えられる。炭酸塩脈内の蛇紋石やかんらん岩の破片の産状は、脈形成時にこれらの破砕片が流動化することで深部から運ばれてきたことを示唆している^[1]。蛇紋石の相図^[2]によると、直方輝石が滑石とかんらん石に置換される反応は約600-700°Cで起きる。ほぼ未変質のかんらん岩と共に蛇紋岩が見出されたことは、前弧マントルにおける蛇紋岩化反応を引き起こす流体供給が空間的に不均一である可能性を示唆している。

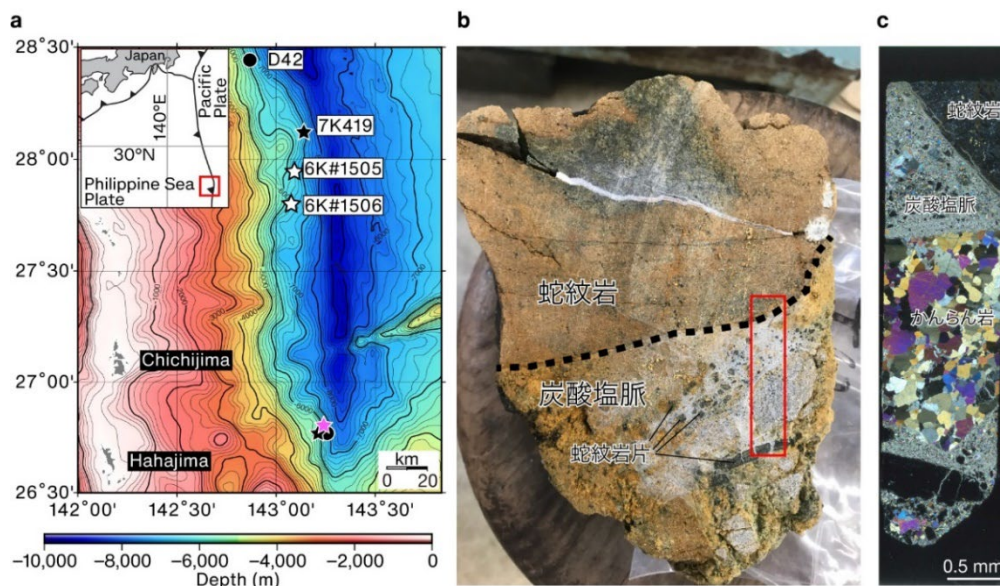


図 1. (a) 伊豆・小笠原海溝、海亀海山（ピンク星）の位置図。星印は超塩基性岩が採取された場所を示す。(b) 海亀海山から採取された炭酸塩脈を含む蛇紋岩の断面写真。赤枠は(c)の薄片の作成場所を示す。(c) 炭酸塩脈内のかんらん岩破砕片の産状。

References

- [1] Oyanagi, Ryosuke, et al. "Hadal aragonite records venting of stagnant paleoseawater in the hydrated forearc mantle." *Communications Earth & Environment* 2.1 (2021): 1-10. [2] Evans, Bernard W. "The serpentinite multisystem revisited: chrysotile is metastable." *International Geology Review* 46.6 (2004): 479-506.

白鳳丸 KH-22-4 次研究航海報告

○小畑元・乙坂重嘉・漢那直也・豊島栄太・小川浩史・福田秀樹(東京大学),
近藤能子・川上有希子(長崎大学), 田副博文(弘前大学),
村山愛子・今井 望百花・西岡純(北海道大学)

【はじめに】

1989年に就航した白鳳丸は遠洋・近海を問わず長期の研究航海に大いに利用されてきた。しかし、船齢が30年を超えたため、2021年に大幅な改修を行うこととなった。この新しくなった白鳳丸による効率的な研究航海の実施・新しい観測法の開発を目指して2022年1月より慣熟航海を実施し、新規導入機器の試験及び改修後設備による観測機器の運用を行なった。その慣熟航海の一つであるKH-22-4次航海では化学系の観測を行い、さまざまなテストを実施した。ここでは、その一部を発表する。

今回の白鳳丸の大幅改修において、No. 3 ウインチへの繊維索ケーブルの導入は大きな改善点の一つである。海水中の微量元素の生物地球化学循環に注目が集まっている現在、研究船にとってクリーン採水ができる環境を整えることは重要である。白鳳丸には建造当初からチタン製のアーマードケーブルが設置されており、国際 GEOTRACES 計画レベルの観測も可能であった。しかし、ケーブルの劣化によって2015年にチタンケーブルが取り外されて以来、白鳳丸でのクリーン採水は、新青丸の繊維索ケーブルを搬入して行っていた。今回の改修により、白鳳丸備え付けの繊維索ケーブルでクリーン採水が実施可能となった。

【研究航海】

研究航海は2022年2月20日(鹿児島港)～3月3日(鹿児島港)に行われた。観測海域は鹿児島湾、東シナ海、琉球海溝である(Fig. 1)。まず、CTD多重採水システム(CMS)を用いてクリーン採水を行なった。国際 GEOTRACES 計画の基準を満たすように、サンプルはクリーンスペースで処理を行なった。また天然・人工放射性核種測定用海水試料を採取するため、大量採水器を使用した。さらに水柱中の沈降粒子を捕集するため、マリンスノーキャッチャーを使用した。

【結果】

新しい繊維索ケーブルを使ってクリーン採水を行った。当初、CTDセンサーにトラブルが発生したが、ケーブルそのものではなくセンサー類の問題であることがわかり、無事に観測を実施することができた。

本航海中に鹿児島湾、東シナ海、琉球海溝においてクリーン採水を実施し、最深6300mまでの深度の海水試料を採取できた。本講演では海水中の微量金属元素の測定結果の概略を紹介する。

また本航海では、換装した後部甲板Aフレームを用いる観測も実施した。マリンスノーキャッチャー、大量採水器などを用いて観測を実施し、これまで通り問題なくサンプルを得ることができることを確認した。

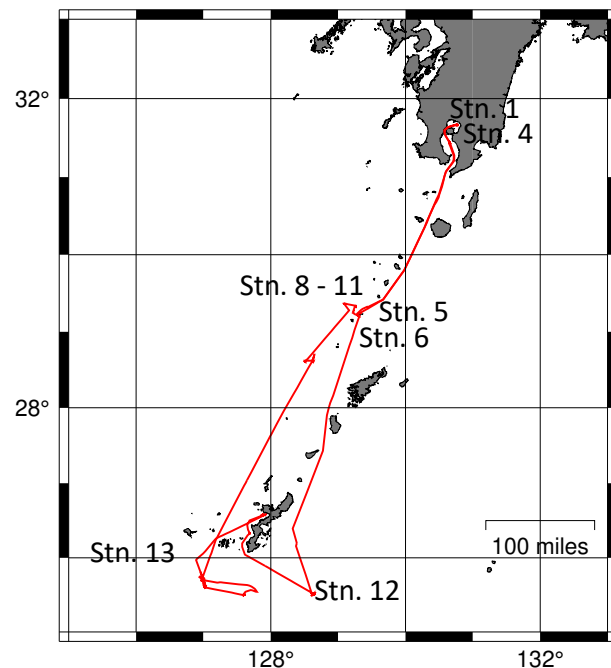


Figure 1. Station map during KH-22-4 cruise

日本海対馬暖流域における海洋構造の変化に対する化学環境の応答： 粒子フラックスの変化とその要因

○乙坂重嘉・小畑 元・川口悠介・矢部いつか（AORI），荒巻能史（国立環境研），
和川 拓・帰山秀樹（水産研究・教育機構），井上睦夫・長尾誠也（金沢大学）

1. はじめに

日本海は、水深 150 m 以浅の海峡によってのみ周辺海と接続しており、独自の深層循環を持つ。日本海の深層における海水の鉛直循環の時間スケール（海水交換時間）は約 100 年と推定され、外洋の海洋循環システムのそれに比べて一桁小さい。このため、数十年スケールでの全球的な環境の変化に伴う海洋深層への影響が、酸素濃度の濃度減少や、深海底生魚類の分布水深の変化として表れることが指摘されており、継続的な監視とともに、制御因子の理解が求められている。「新青丸」KS-21-12 航海（主席研究員 川口悠介）と KS-21-13 航海（主席研究員 乙坂重嘉）では、「日本海対馬暖流域における学際的合合同海洋観測」としてシリーズ観測を実施し、日本海内部への物質輸送フラックスの長期的な変化の検出を試みた。本講演では、一連の観測で得られた結果の一部を速報する。

2. 方法

日本海南東部の大和海盆の最深部（海底水深 2950 m）において、セジメントトラップを備えた係留系を設置し、2021 年 7 月 29 日から 8 月 8 日の 11 日間にわたって沈降粒子を採取した。セジメントトラップは水深 1219m および 2431m の 2 層に設置した。係留系の設置は KS-21-12 次航海、回収は同 13 次航海で実施した。KS-21-13 航海では、大和海盆に加えて、日本海北東部の日本海盆（海底水深 3580 m）、及び大和海盆東部縁辺の対馬暖流域（観測点 JS3, 海底水深 806 m）で海水及び懸濁粒子試料を採取した。

懸濁態物質の海洋内部への輸送効率の空間変化の観測・解析には、海水および懸濁物中のトリウム-228 (^{228}Th) を用いた。 ^{228}Th は天然放射性核種で、海洋において海水に溶存する親核種のラジウム-228 (^{228}Ra) の壊変によって生成する一方で、沈降粒子に吸着して除去されやすい特徴を持つ。この ^{228}Th の海水中での生成、除去、放射性壊変の収支から、海水中での ^{228}Th フラックスを見積もることができる。各観測点における深度 10 m から 1000 m までの 6 層で 20~40L の海水を採取し、ただちに試料容器内で二酸化マンガン (MnO_2) を生成、 ^{228}Th 及び ^{228}Ra を吸着させ、 MnO_2 をメンブレンフィルター上に回収した。フィルター試料中の ^{228}Th 及び ^{228}Ra の放射能を金沢大学の低レベル放射能実験施設で計測した。

3. 結果及び考察

海水柱内での ^{228}Th 収支から見積もった ^{228}Th の沈降粒子フラックス（単位時間・単位面積当たりの沈降粒子量）は、大和海盆東縁、大和海盆、日本海盆の順に高かった。大和海盆における粒子フラックスは日本海盆の約 1.5 倍であり、1990 年代から 2000 年代にかけて日本海の広域で実施したセジメントトラップ実験の分布の特徴と整合的であった。大和海盆東縁における ^{228}Th フラックスは海盆中央部の同水深の約 3 倍であった。この観測点の深層における海水中の $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 比から、懸濁粒子の滞留時間は 200 日程度と見積もられ、海盆縁辺の海底で再懸濁した粒子が数ヶ月規模で交換しながら移動し、海盆縁辺での沈降フラックスを増大させたものと推測された。

大和海盆のセジメントトラップで観測された沈降粒子フラックスは、水深 1219m 層では $72\sim 77 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、2431m 層では $101\sim 133 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。水深 2431m 層の値は約 20 年前（1999 年～2001 年）の観測値と同程度だったのに対して、1219m では、同じ季節の観測値に比べて 30%程度低かった。

1219m 層のセジメントトラップで計測した ^{228}Th 粒子フラックスは、その上層での海水柱内の ^{228}Th 除去量から見積もった粒子フラックスの 1/3 程度であった。この結果は、海盆縁辺から内部にかけて存在していた堆積物粒子や懸濁物粒子が、 ^{228}Th の半減期（1.9 年）に比べて長い期間かけて海盆内部へと水平輸送され、上層の「新しい」粒子と入れ替わったことを示しているものと推定された。

以上のことから、海盆縁辺での粒子の再懸濁と海盆内部への輸送が、大和海盆における長期的な粒子フラックスの変化を制御していると考えられ、物理構造の情報と組み合わせて、詳細に議論を進める予定である。

福島第一原発沖における海水と堆積物中の放射性セシウム濃度変動

○青野辰雄・福田美保・櫻田正宣・高橋博路・山崎慎之介(量子科学技術研究開発機構)、神林翔太(海洋生物環境研究所)、御園生敏治・中西貴宏(日本原子力研究開発機構)、三浦輝(電力中央研究所)、西川淳(東海大学)、乙坂重嘉(東京大学大気海洋研究所)、高田兵衛(福島大学環境放射能研究所)

1. はじめに

2016年から2021年に東北海洋生態系調査研究船新青丸による福島周辺海域の放射性核種の動態と生物利用性等の調査航海が5回実施され、福島第一原子力発電所(FDNPS)周辺海域を中心に、海水、堆積物や生物等の採取が行われた。調査航海の目的は FDNPS 事故によって海洋に放出された放射性核種の沿岸域における放射性核種のフラックスの観測や放射性核種の生物利用性の把握等である。海洋環境の状況を把握するために、福島沖の海水と堆積物中の放射性セシウム(Cs)濃度を調査した。今回は、FDNPS 近傍の海水と堆積物中の放射性 Cs の濃度分布や変動について報告する。

2. 方法

2016年11月(KS-16-19)、2017年9月(KS-17-11)、2018年9月(KS-18-12)、2020年10月(KS-20-17)および2021年10月(KS-21-23)に実施された東北海洋生態系調査研究船新青丸による調査航海において、海水や柱状堆積物を採取した(図.1)。海水は孔径0.2 μ mのフィルターでろ過後に、AMP法を用いて放射性Cs測定試料を作成した。また1cm毎にカットした堆積物は、乾燥後目開き2mmのステンレス製ふるいを用いてふるい分け等を行い、U8容器等に封入して測定試料とした。これらの試料はゲルマニウム半導体検出器で放射性Csの測定を行い、その濃度は試料採取日に補正した。海水および堆積物の放射性Csの検出下限値はそれぞれ1mBq/Lと1Bq/kg-dryであった。

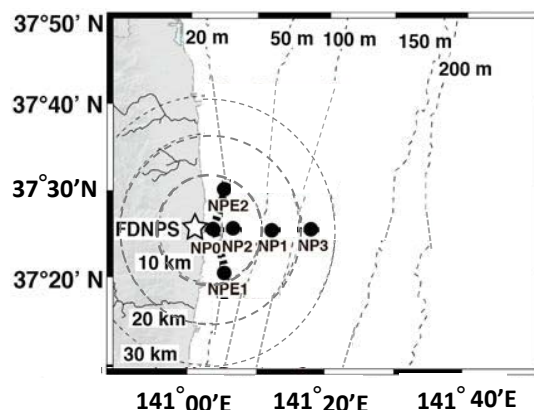


図.1 福島第一原子力発電所周辺海域の調査点

3. 結果及び考察

海水中の ^{134}Cs (半減期2.1年)は、2016年11月にFDNPS近傍の測点NP0(水深15m)で検出されたが、この測点以外では検出されなかった。また2017年以降に海水中の ^{134}Cs は検出されなかった。得られた結果から年毎に測点毎の水柱中 ^{137}Cs インベントリーを計算した結果、FDNPS近傍では海水中 ^{137}Cs 濃度インベントリーが減少する傾向にあった。FDNPSから約5km東沖合の測点NP2から沖合の測点では、事故前の海水中 ^{137}Cs 濃度に近似した濃度で、水柱中 ^{137}Cs インベントリーに大きな変動が認められなかった。堆積物(0-10cm)中の ^{137}Cs 濃度インベントリーは測点毎に近似した値で、FDNPSから約5km東沖合の測点NP2から水深が深くなる沖合の測点において、 ^{137}Cs 濃度鉛直分布は年毎に異なるもののインベントリーに大きな変動がなく、つまり顕著な減少が認められないことが明らかになった。

KS-21-16 航海概要報告：南部琉球弧の火山フロントに関連する 第3宮古海丘から得られた火山岩の岩石学的特徴

○針金由美子・下田玄・Conway Christopher・石塚治・佐藤太一(産総研)、谷健一郎・Murch Arran・小川晟人(国立科学博物館)、南宏樹(海上保安大学校)、青木智・小原泰彦(海上保安庁)、松尾拓己・山本真生(東京大学)、田村千織(東京大学大気海洋研究所)、中野幸彦(株マリンワークジャパン)

琉球弧の火山フロントは、約200万年前から現在に至るまで、沖縄トラフの東縁に沿って発達し、和達―ベニオフ帯の約100 kmの深さに位置するとされている(Letouzey and Kimura, 1986; Kimura et al., 1991; Sibuet et al., 1987, 1998; Shinjo et al., 1999, 2000)。北部琉球弧では、安山岩―デイサイト―流紋岩を主とする活火山が多数確認されている(図1A: 千葉, 1989; Shinjo et al., 2000; 下司・中野, 2007; 中野・下司, 2008; 横瀬ほか, 2010など)。一方、南部琉球弧の火山フロントは、北部琉球弧に比べて海底火山がまばらであり、海底地形や地震波構造からの特徴や和達―ベニオフ帯の深さから主に推定されている(図1A: 渡辺ほか, 1995; Sibuet et al., 1987, 1998; Nishizawa et al., 2019)。これらの海底火山から得られる岩石試料は少ない(例えば Ishikawa et al., 1991; 渡辺ほか, 1995; Shinjo et al., 1998; 渡辺, 2000)ことから、南部琉球弧における火山フロントに関連した火山活動の性質などはまだ十分に説明されていない。

沖縄県宮古島の北東約120 kmに位置する第3宮古海丘(図1B)は、2013年から海上保安庁により自律型潜水調査機器による海底調査が実施されている。Minami and Ohara (2018)は、第3宮古海丘が山体頂部に火口丘と3つのカルデラ状地形を伴う海底火山であることを明らかにした。この第3宮古海丘を構成する岩石については、中央火口丘付近からデイサイト(大島ほか, 1988)、山体斜面からパミス(Shinjo et al., 1998)が採取された報告があるのみである。周囲のテクトニクスとの関係から第3宮古海丘は火山フロントに関連する海底火山であることが推定されるが、岩石学的な視点からの検討はほとんど行われていない。そこで、昨年、JAMSTEC 調査船「新青丸」KS-21-16 航海にて、航走観測(海底地形・地磁気観測)、ドレッジによる岩石試料などの採取と海底カメラを用いた露頭観察を第3宮古海丘とその周辺の海域で実施した。本発表ではこの航海の調査概要について紹介する。

なおKS-21-26航海は、COVID-19感染拡大による研究船・練習船航海の中止により研究計画の変更を余儀なくされた大学院生や若手研究者を対象とした、計画航海参加型の緊急公募により採択された「南西諸島におけるクモヒトデ属の分類学的再検討と多様性の評価(申請者: 東京大学 松尾拓己)」と共同で航海を実施している。

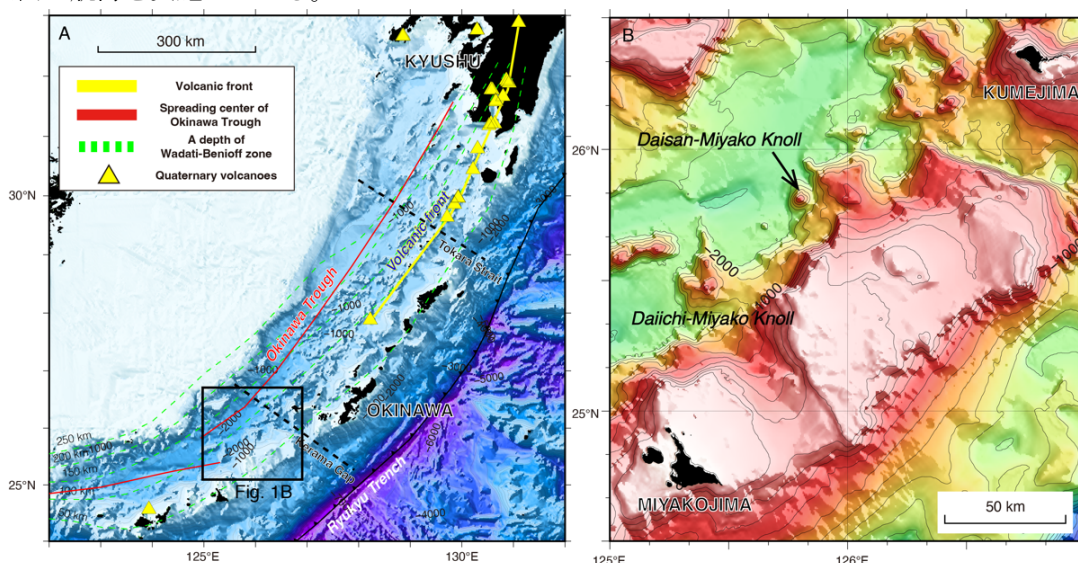


図1. A: 南西諸島の海底地形図。B: 図1Aにある黒枠の拡大図。第3宮古海丘とその周辺の海底火山の位置を示す。

千島海溝における巨大地震・津波発生源の地震履歴研究 「みらい」MR22-04 航海報告

○富士原敏也・金松敏也・熊術昕・窪田薫（海洋研究開発機構）
池原研（産業技術総合研究所），菊井万維（千葉大学）

地質学的調査研究から千島海溝沿いの巨大地震履歴・発生間隔を把握することを目的とした、海洋地球研究船「みらい」によるMR22-04調査航海(期間：2022年6月15日～6月30日、寄港地：清水～清水)が行われた。行った調査は、ピストンコアリング採泥、サブボトムプロファイラ調査、シングルチャンネル反射法調査、マルチビーム音響測深、XCTD計測、船上重力計測、曳航式・船上3成分磁力計測である(図参照)。本講演では初期的な調査結果を報告する。

十勝沖、根室沖の千島海溝陸側斜面6地点(水深3370～5684m)において、ピストンコアパイプ長6mまたは8mの採泥を行った。地震時に海底が揺れることで発生する地震性タービダイトと目される層、年代指標になると期待される火山灰層を含む海底堆積物柱状試料を採取した。

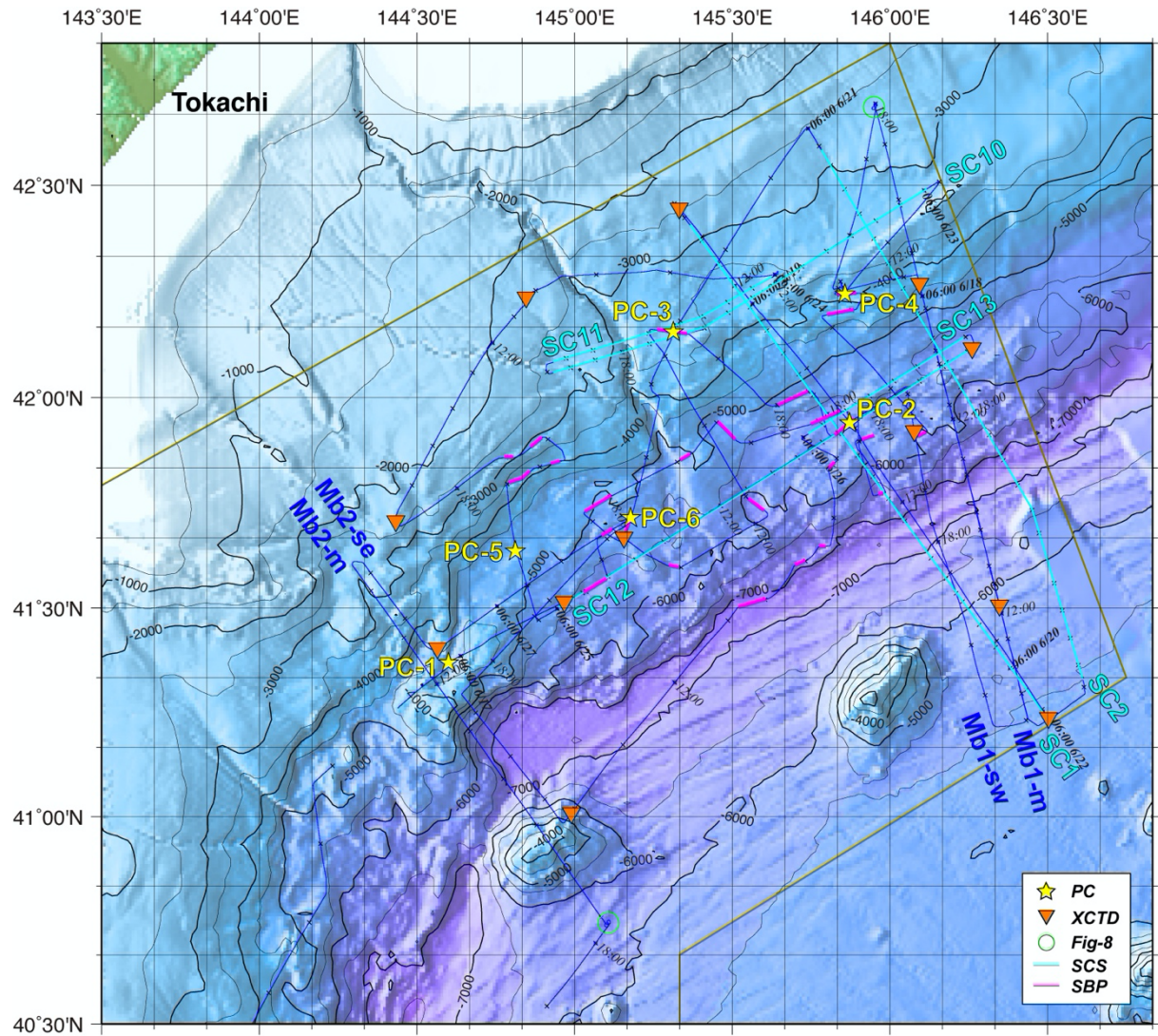
採泥点選定の事前調査として、海底扇状地や陸側斜面孤立小海盆25地点において、サブボトムプロファイラ(3.5kHz)調査を行った。採泥点周辺の表層(コア長相当深度)付近は共通して約2-3m間隔で強/弱の反射面が連続する互層となっている。

採泥点周辺広域の海底地質、堆積層序・構造を詳細に把握するため、シングルチャンネル反射法調査を行った。355立方インチ(Generator:250, Injector:105)のGIガンを発振源、約250m長のハイドロフォンストリーマーを受信器とした小規模の構成である。海溝に直交または平行する6測線が得られ、上部斜面上の平坦な堆積盆では、海底下深さ500m程度までの堆積層構造が明らかになった。

千島海溝域における正確度の高い海底地形データセットの整備を目指した、マルチビーム音響測深(12kHz)調査を行った。そのために、海中音速構造把握のためのXCTD計測を頻繁に13点で行った。ノイズ除去編集のみの現段階データで、東北大学の根室沖GNSS-A海底基準局3地点12局をベンチマークとして水深を比較したところ(図中のMb1-m測線)、正確度は水深約5600mの中部斜面上基準点で悪い結果となっているが、水深差は平均で10m以内である。標準偏差は水深の0.1%以内であった。

海溝軸に直交する地磁気全磁力調査測線からは、中生代に形成された太平洋プレートの地磁気縞状異常群M5, M6, M7, M8(約130-133Ma(Ma:百万年前))が、海溝海側から海溝を越えて陸側まで記録されている観測データを得た。

井上治彦船長をはじめとする「みらい」乗組員、日本海洋事業、マリンワークジャパンの観測技術員には調査航海において、試料採取、観測データ取得に多大なる尽力をいただき感謝いたします。また、陸上支援をいただいたJAMSTEC研究プラットフォーム運用開発部門運用部の関係諸氏に感謝いたします。



図の説明：調査海域の採泥点・測線・測点分布。濃い青の実線は「みらい」の航跡を示す。図中のシンボルは PC:ピストンコアリング、SCS:シングルチャンネル反射法調査測線、SBP:サブボトムプロファイラ調査測線、Fig-8:「8」の字航走、XCTDの位置を示す。

室戸岬東方沖の堆積環境と地震履歴 -新青丸 KS-22-3 次航海概要報告-

○芦 寿一郎 (東京大学大気海洋研究所), 村山雅史 (高知大学), 金松敏也 (海洋研究開発機構),
KS-22-3 次航海乗船研究者

室戸岬東方沖の水深 1000 m 付近には、海底地すべりによるとみられる馬蹄形地形が認められる。馬場ほか (2017, JpGU 要旨) は、1512 年に発生した永正地震の際に宍喰村 (現徳島県海陽町) に被害を及ぼした津波がこの海域の地すべりによるものであることを数値計算を用いて推定した。白鳳丸 KH-16-5 次航海では同海域で最大の地すべり地点において、無人探査機 NSS のサブボトムプロファイラー (SBP) 探査を、KH-17-2 次航海では地すべり域で表層柱状採泥を行った。しかし、最近生じた地すべりを示すイベント層は柱状試料において認めることはできず、馬蹄形地形は古い時代の地すべりによるものであることが分かった。一方、その後に行われた高解像度の海底地形調査では、想定した地点の西側に崩壊痕の新しい地すべりが発見され (Baba et al., 2019, Tectonophysics), その斜面崩壊による津波の発生が示唆された。新青丸 KS-22-3 次航海では、この新しい地すべり域において採泥を行い、地すべり時期の特定を目的とした。

新青丸 KS-22-3 次航海では、室戸岬東方と土佐バエで約 3 日間のピストンコア採泥、マルチプルコア採泥、およびサブボトムプロファイラーによる浅部地下構造探査を予定した。しかし荒天のため約半日の作業時間となり、室戸岬東方の隣接する地点のみの採泥となった (図 1)。ピストンコア採泥 2 地点、マルチプルコア採泥 5 地点で得た試料は、高知大学海洋コア総合研究センターにおいて X 線 CT スキャン画像撮影を行なった後に半裁し記載を行なった。地すべり地形の下流部の試料には、最近の地すべりを示す擾乱・変形した層準は認められず、新たに見つかった地すべりも最近のものではないことが明らかとなった。一方、計画では採泥を予定していた土佐バエでも地すべり地形が見出されているが、荒天のため試料採取は実施できなかった。

以上のように当初目的とした地すべりによる津波発生に関する情報取得には至らなかったが、これまでに得られた試料には多数のタービダイトが認められた。KS-22-3 次以前の航海で得られた試料の年代測定の結果、近傍の閉鎖海盆で報告されているタービダイトの発生間隔 (岩井ほか, 2004, 地質学論集) とほぼ同じであった。室戸岬東方沖の本研究による採泥点では河川からの堆積物供給が限られるため、イベント層を用いた地震履歴復元に有効であることが示された。

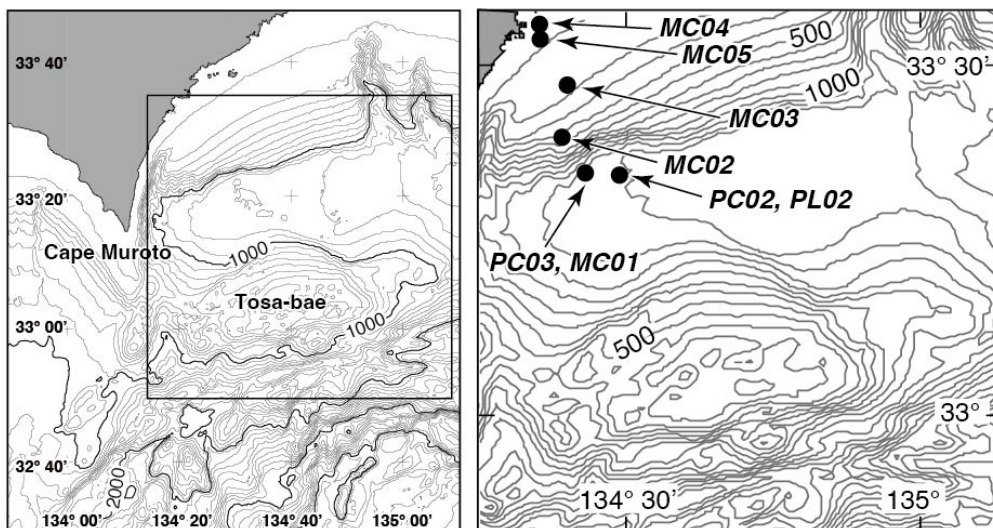


図 1 KS-22-3 次航海における室戸岬東方沖の採泥点の位置図

南海トラフ「かいいい」KR11-09 航海におけるマルチチャンネル 反射法地震探査データの再解析

三浦 亮, 野 徹雄, 中村恭之, 白石和也 (海洋研究開発機構)

JAMSTEC では大容量エアガンアレイとハイドロフォン・ストリーマケーブルを用いたマルチチャンネル反射法地震探査 (Multi-Channel Seismic Reflection Survey、以下「MCS 探査」と表記) のデータを取得し、海底下数～数十 km の地殻構造イメージングを行うことで様々な研究を実施してきた。中でも地震発生帯研究では、プレート境界の形状や断層の分布、および浅部の堆積層の構造などを把握するため、浅部から深部に至る地殻構造イメージングが必要不可欠とされ、MCS 探査データは研究の基礎データとして重要な役割を果たしている。

しかしながら、一般に海域での MCS 探査の実施にあたっては、漁業活動や海上交通における船舶の輻輳状況、波浪・うねり・強潮流などといった、操船や探査機器曳航に対しての様々な制約条件がある。このため、「可能な範囲で」最適と考えられる探査仕様を決定しなければならない。このような制約条件の中で、必ずしも研究の目的や対象に応じた理想的な探査仕様で観測が実施できるわけではなく、データ性状に合わせた解析の工夫や技術の高度化が必要になる。

深海調査研究船「かいいい」KR11-09 航海では、文部科学省からの受託研究「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」の個別研究テーマ「南海トラフ域海域地震探査・地震観測」の一環として、MCS 探査およびエアガンと海底地震計を用いた屈折法探査による地殻構造調査が実施された。同航海では紀伊半島沖の南海地震破壊域におけるプレート沈み込みに関する詳細な構造のイメージングを目的として、5 測線の MCS 探査データが取得された。このうちの KI02 測線では、MCS 探査でとらえることは稀な海洋地殻内の反射面が南海トラフ域でも初めて認められた (文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 2012)。さらにその後、同航海の KI06 測線をはじめ、同海域で過去に取得された MCS 探査データに同様の特徴を有する反射波の存在が認められた (山下ほか, 2012)。

データの解析について、2011 年当時の標準処理として、共通反射点 (Common Mid-Point, CMP) 重合法と重合後マイグレーションを主軸として多重反射抑制処理にはラドン変換法を用いる、従来からの一般的な処理手法が適用された。一方、近年の MCS 探査データ解析では、計算機能力の飛躍的な向上を背景に、かつては高度処理として限定的に適用されていた SRME (Surface-Related Multiple Elimination) 法や高分解能ラドン変換法による多重反射抑制処理、重合前マイグレーションを標準的に適用するのが主流となっている。さらに、エアガンおよびストリーマを海面下で曳航する場合、その曳航深度に応じてエアガンから海面で一度反射して位相が反転した下方進行波 (ゴースト反射波) によって損失するノッチ周波数近傍の信号エネルギーを回復するため、広帯域化処理も広く実施されるようになってきている。最近では、このような高度処理を JAMSTEC による新規取得の MCS 探査データの解析にも取り入れることで、明瞭な深部構造イメージに基づく研究成果を挙げている (例えば、Nakamura et al., 2022)。そこで、これらの処理技術を既存の MCS 探査データに適用して再解析することで、多重反射をはじめとする各種ノイズのより効果的な抑制やゴースト反射波の抑制による広帯域化を通じて、従来処理による解析結果よりも明瞭な地殻構造イメージを得られることが期待される。

本発表では、KR11-09 航海における MCS 探査データを対象として、近年の高度解析技術を用いた再解析を実施した結果を報告する。特に、これまで確認されていた海洋地殻内の反射面のみならず、沈み込んだ海洋地殻上面など比較的深部の反射面についても再解析の結果として従来処理の結果よりも明瞭なイメージが得られており、これらについて再解析前後での比較例を紹介する。併せて、MCS 探査におけるデータ取得時の制約の具体的内容と、近年の解析技術によるデータ解析によってそれらの制約にどの程度の対応ができるのか検討し、今後の課題として紹介する。

<文献>

文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 2012, 東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究 (平成 23 年度) 成果報告書.

Nakamura et al., 2022, Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2022GL098180.

山下ほか, 2012, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会要旨, SCG66-01.

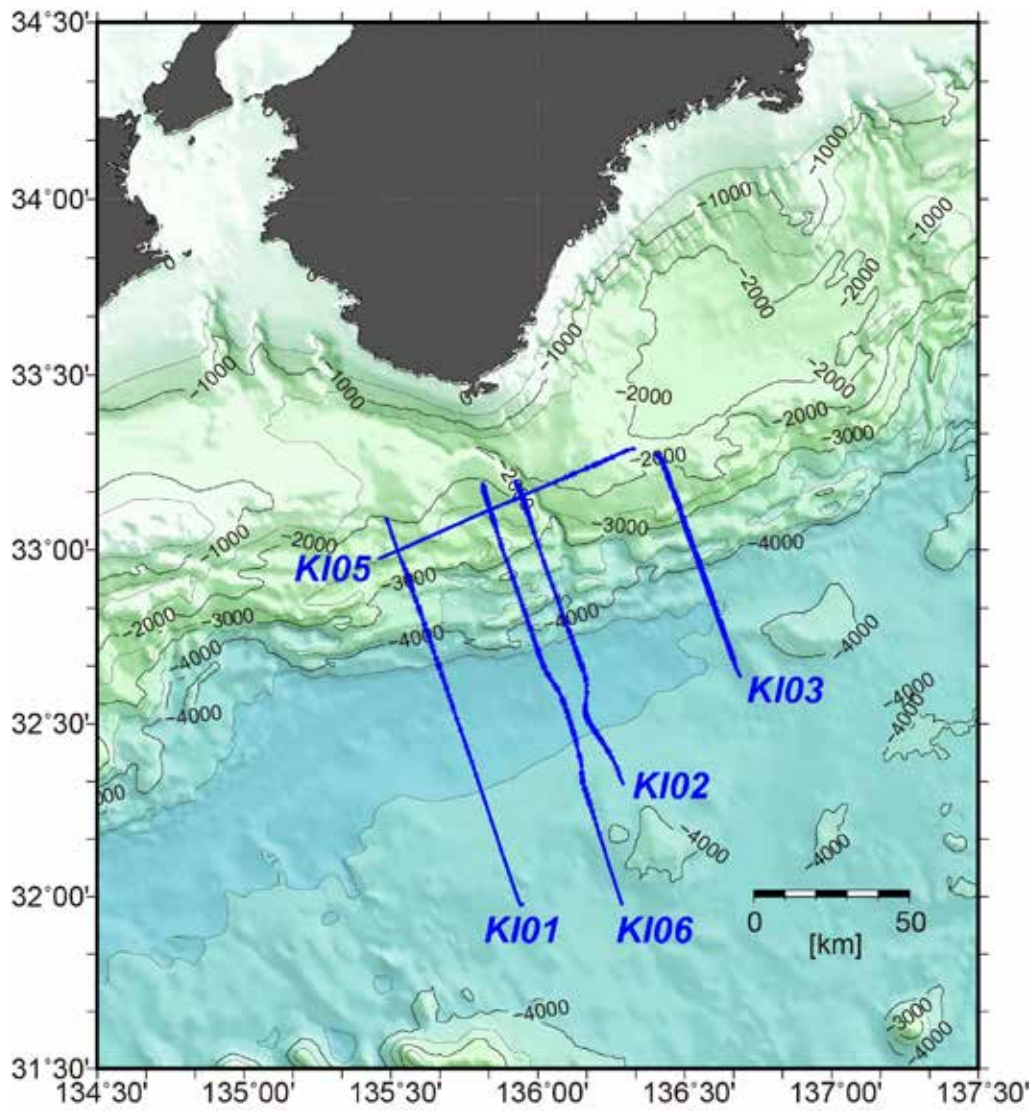


図 KR11-09 航海 MCS 探査測線図

シンカイヒバリガイの鰓細胞による外来細菌の取り込みと選択的消化

○多米 晃裕 (MWJ), 丸山 正 (北里大学), 吉田 尊雄 (JAMSTEC)

深海に生息する二枚貝のシンカイヒバリガイ (*Bathymodiolus japonicus*) は、メタン酸化細菌 (以後、共生細菌) を鰓細胞内に共生させている。この二枚貝類は、環境から共生細菌を獲得すると考えられているが、二枚貝のどの器官、どの組織から、どのようにして共生細菌を獲得するのかはあまりよく知られていない。これまで、環形動物ガラパゴスハオリムシでは、環境中の硫黄酸化共生細菌を体表から細胞内に直接獲得すると報告されている (Nussabaumer AD. et al., 2006)。このことから、私たちは、共生細菌獲得の一つの方法として、共生組織である鰓細胞に直接外来細菌を取り込む機構として貪食作用があると考えた。本研究では、外来細菌に対して、鰓細胞が貪食作用を示すかどうか、また、取り込み後に消化するかどうかを明らかにすることを目的とした。

シンカイヒバリガイは、相模湾初島沖の水深約900m付近にて採取された。採取後、シンカイヒバリガイの飼育海水中に、4種類の緑色蛍光標識細菌 (生きた状態の GFP 発現大腸菌・固定した大腸菌、固定したビブリオ菌、鰓から抽出し固定した共生細菌: 以後、蛍光細菌) をそれぞれ加え、最大24時間反応させた。反応後、二枚貝全体および鰓組織の切片を作製し、蛍光顕微鏡観察を行なったところ、数多くの蛍光細菌が鰓細胞内に局在していた。局在状態をより詳細に確認するため、蛍光顕微鏡で観察した同一サンプルの同一視野を走査型電子顕微鏡により観察した。その結果、鰓細胞表面の細胞膜に包囲された蛍光細菌が観察され、また、細胞内の蛍光細菌は小胞内に局在していた。次に、消化反応を調べたところ、蛍光細菌を取り込む小胞内では、酸性化と細胞内消化酵素のエステラーゼの活性が示された。その一方で、鰓細胞内にもともと共生している共生細菌のほとんどは、24時間の反応後でも、酸性化やエステラーゼ活性といった消化反応が示されなかった。

以上の結果から、シンカイヒバリガイの鰓細胞は外来細菌を環境中から直接取り込む機構を持つことが明らかになった。また、取り込まれた外来細菌はその後酸性化および消化酵素による分解を経て消化されると考えられた。この一連の反応は、一般的に知られている細胞性免疫反応の貪食機構 (ファゴサイトーシス) と一致する (Weiss G. et al., 2015)。本研究では、鰓細胞は4種類の蛍光細菌全てを取り込むことが示された。これまで、シンカイヒバリガイは1種類のメタン酸化細菌を鰓細胞内に共生することが知られている (Duperron S. et al., 2009)。一方で、これらの外来細菌は取り込まれた後に消化されるのに対し、大多数の既存の共生細菌に対して消化反応は見られなかった。このことから、鰓細胞は貪食機構による取り込み後の消化反応の過程に、共生細菌のみを保持するための制御の仕組みがあると示唆された。シンカイヒバリガイの共生系の構築と維持には、鰓細胞の貪食機構における選択的制御が関与している可能性があると考えている。

- Nussabaumer AD. et al. 2006. Nature 441, 345-348.
- Weiss G. et al. 2015. Immunol. Rev. 264, 182-203.
- Duperron S. et al. 2009. Comptes. Rendus. Biol. 332, 298-310.

海水に含まれる DNA から外洋の小型浮魚類の分布を探る

○余澤庶（東京大学農学生命科学研究科）

伊藤進一・兵藤晋・伊藤幸彦・黄國成・吉澤晋・井上潤（東京大学大気海洋研究所）

伊知地稔（東京都立大）

〈研究背景〉

黒潮に伴って形成されるフロント域に魚類が蟄集することが報告されていますが、外洋の魚類分布調査は主に曳網によって行うため、フロント域の複雑な水塊構造と比較できるほど高い空間解像度で魚類分布調査を行うことは困難です。一方、湖や河川あるいは沿岸域においては、環境 DNA 法という新たな手法により、魚類などの水生生物の分布調査が進められています。環境 DNA とは、水生動物から水などの生活環境に放出された DNA（鱗や粘液など様々な形で放出）の総称で、環境水の分析から魚類の情報を入手することができます。しかし、外洋域では魚類の分布密度が高くないため、環境 DNA による魚類分布把握（本研究では OceanDNA と呼ぶ）が可能か不明な点が残されていました。

環境 DNA の分析手法は、種特異的解析（定量的ポリメラーゼ連鎖反応 quantitative polymerase chain reaction: qPCR）と網羅的解析（メタバーコーディング法）に大別されます。qPCR 法は、分析対象とする魚種の環境 DNA を定量的に把握することができますが、一度に解析できる魚種が限定されます。一方、メタバーコーディング法は、全魚種を対象に同時並行的に分析でき、サンプル内の各魚種 DNA の相対的存在比を求めることが可能ですが、サンプル間の定量的比較には問題があります。

〈研究内容〉

本研究では、qPCR 法とメタバーコーディング法を用いて外洋域で採取した海水サンプルを分析することで、OceanDNA の有効性を試験しました。対象としては、水産物として重要であり、広域を回遊する小型浮魚類であるマイワシ、カタクチイワシ、マサバ、ゴマサバ、マアジ、サンマの 6 魚種を選択しました。これらの魚種の分布は、強い海洋前線構造に影響されることが予想されます。このため、2018 年 5 月に東北海洋生態系調査研究船新青丸にて、顕著な海洋前線構造が形成される黒潮続流域を横断するような観測線（図 1）で、水深 0m から 300m までの海水を採取し、qPCR 法とメタバーコーディング法の両方を用いて、OceanDNA を分析しました。マサバとゴマサバの DNA 配列が類似しているため、今回用いたメタバーコーディング法では両種を区別できません。そのため、マサバとゴマサバをさば類としてまとめ、4 魚種 1 魚類の分布を調べました。

qPCR 法とメタバーコーディング法による小型浮魚類の検出をそれぞれ全観測点で合計すると、両者ともマイワシ検出率が最も高く、さば類が二番目に高く、マアジが一番低いという順位が一致していました。また、両者の検出傾向に統計的にも正の相関があることが示され、検出された小型浮魚類の空間分布も類似していました（図 2）。これらの結果は、qPCR 法とメタバーコーディング法ともに外洋域においても小型浮魚類の検出に有効であることを示しています。

さらに、検出率が比較的高かったマイワシ、さば類、カタクチイワシの 3 種が qPCR 法で検出されたサンプルにおいて、メタバーコーディング法から得られた各魚種の DNA 検出量割合を計算し、3 種をとりまく魚類群集構造を推定しました（図 3）。このように、qPCR 法から対象魚種の定量的な情報を得

ると同時に、メタバーコーディング法から対象魚種を取り巻く魚類群集構造を推定することが可能になりました。

<研究意義>

OceanDNA は魚類に対し非侵襲的で、漁網より時空間的に高解像度な観測が可能となります。従って、OceanDNA を用いることで、海洋前線などの顕著な海洋構造に対応した小型浮魚類の分布を把握したり、短期間での小型浮魚類の分布変化を把握したりすることが可能になると期待されます。さらに、本研究で提案したように、qPCR 法とメタバーコーディング法を併用すると、小型浮魚類の分布だけでなく、周囲の魚類群集構造を同時に推定することが可能なので、生態系に準拠した資源管理への貢献も期待されます。

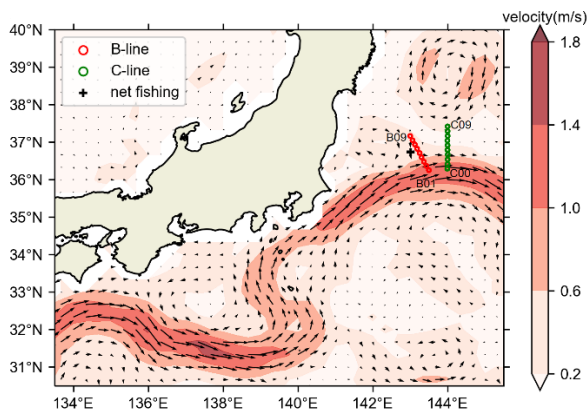


図1. 本研究のOceanDNA サンプル採集観測点の分布（赤丸および緑丸）。背景の色は観測期間中の流速、矢印が流向および流速。流速流向はOcean Surface Current Analysis Real-time data (<https://sealevel.jpl.nasa.gov/documents/1641/>)よりデータを取得しました (Yu et al., 2022 PLoS ONE より)。

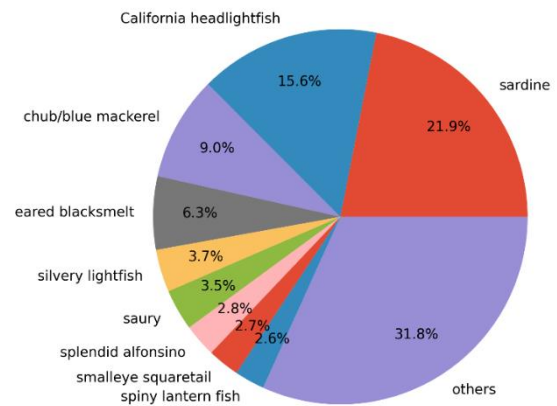


図3. qPCR 法にてマイワシ、さば類、カタクチイワシが検出されたサンプルに対しメタバーコーディング法を実施した際に検出された魚種のDNA 検出量比。
sardine: マイワシ, California headlightfish: トドハダカ, chub/blue mackerel: マサバおよびゴマサバ, eared blackmelt: ソコイワシ, silvery lightfish: キュウリエソ, saury: サンマ, splendid alfonsino: キンメダイ, smalleye squaretail: ドクウロコイボダイ, spiny lantern fish: イバラハダカ. Yu et al., 2022 PLoS ONE より。

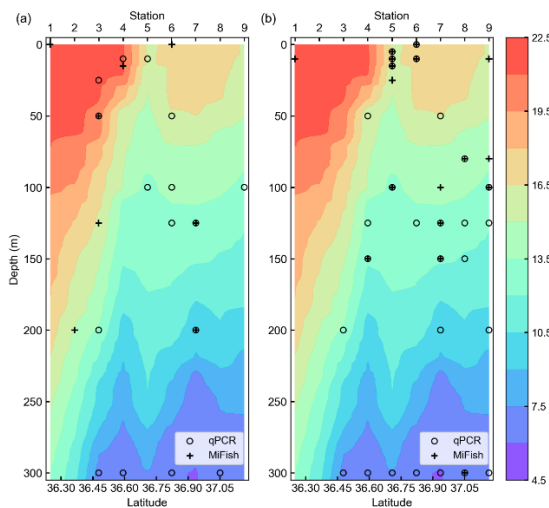


図2. 観測線 B 鉛直断面において OceanDNA から検出された (a) さば類、(b) マイワシの分布 (○ : qPCR 法、+ : メタバーコーディング法) (Yu et al., 2022 PLoS ONE より)。

持続可能な岩石サンプル管理に向けた JAMSTEC の取り組み

○富山 隆将・伊勢戸 徹・佐藤 孝子・川上 創・菱木 美和・田村 芳彦
(海洋研究開発機構)

海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、2007年5月に制定されたデータポリシー [1] に基づき、研究航海で取得されたデータ・サンプル、およびそのメタデータ（基本情報）の公開を、研究・教育等を目的とする二次利用のために行ってきた。これは国内におけるオープンサイエンスへの取り組み [2] としては先駆的なものであったが、その道りは決して一様ではなく、組織運営の在り方や課題採択・研究予算の枠組みの変化、データ・サンプルの質・量的増加、情報システムやワークフローの再構築などのため、断続的な対応が求められてきた。この活動は、様々な機関・部署・研究グループ間の協働と、種々の情報システムの連携で成り立っており、円滑な運用には現場を担う関係者間の理解と協調が欠かせない。

中でも、サンプルは、新たな分析手法の適用や地域間の比較対照による研究の発展に有用なだけでなく、研究エビデンスとしての側面も大きいため、その保存は研究の健全性を維持する上でも必須の取り組みとなっている [3]。JAMSTEC では、組織としての統一的なサンプル管理を実現するために、情報管理部署がサンプルのメタデータを集約し、データベースで管理・公開してきた。岩石サンプルの場合は、乗船研究者らが持ち帰って使用するワーキングサンプルとは別に、長期保存・二次利用向けに分割したアーカイブサンプルの提出を求め、情報管理部署においてサンプル自体の一元的管理を行うことで、効果的な運用を実施してきた。しかし、この方法では、研究者側のワーキングサンプルと情報管理部署のアーカイブサンプルとで二重の管理が発生することになり、そのために様々なリソースを消費してしまう等の問題もあった。

このような反省をもとに、JAMSTEC では、これまでの取り組みを活かしつつ、より持続性が高く、研究現場の自由度を高め、かつ組織としてのサンプル管理を増強する新たな仕組みを検討している。方向性としては、研究者らが各自の研究活動上の必要のもとに岩石サンプルの保管・管理および二次利用への対応を行うものとし、特に JAMSTEC 内では研究者らが直接サンプル管理データベース（JSDB） [4] を用いた情報管理にコミットすることで研究現場に即したサンプル運用を実現する方針であり、情報管理部署は、サンプルの運用について総合的な状況を把握しつつ、研究データの公開と情報システムの維持・改善、研究者らによるサンプル情報登録・更新のサポートに注力していくことを想定している。

岩石サンプル運用に関わる各者の役割の変化に伴い、保管・公開・提供・処分等、サンプル運用の各場面でのワークフローやその情報管理の在り方も見直される必要がある。既存の体制からは大きな変更となるが、情報管理部署による岩石サンプルのアーカイブ収集停止に向けた準備や、研究者主体でのサンプル情報管理への移行を見越したデータベースの機能強化などは既に始まっており、今後も段階的に見直しが進められる見通しである。

本発表では、JAMSTEC の岩石サンプル管理の取り組みについて、これまでの経緯を振り返るとともに、研究現場のニーズに即した運用にむけた取り組み状況及び今後の展開について紹介し、岩石サンプルを利用する研究者や、他機関で岩石サンプルの管理を担う方々と意見を交わしたい。

- [1] 海洋研究開発機構 (2007) データ・サンプルの取り扱いに関する基本方針 (データポリシー)
https://www.jamstec.go.jp/j/database/data_policy.html
- [2] 日本学術会議 (2020) オープンサイエンスの深化と推進に向けて
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t291-1.pdf>
- [3] 日本学術会議 (2015) 科学研究における健全性の向上について
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-k150306.pdf> (pp. 4-8)
- [4] Tomiyama et al. (2020) Sample management in JAMSTEC: Cooperation-based management of diverse samples, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MGI36-P04

機械学習手法による Argo データ QC フラグ付与

○ 瀧瀬慎也, 細田滋毅, 佐藤佳奈子, 杉浦望実 (海洋研究開発機構)

はじめに

Argo プロジェクトの元で観測網の調整・維持・品質管理・データ公開がなされている昇降式海洋観測プロファイラを用いた海洋観測網は、現代の海洋観測網を支える大きな基盤となっている。このプロジェクトの元で公開されているプロファイルは 1 月当たり 12000 プロファイルにのぼる。このプロファイルは、即時品質管理を経て公開された後、詳細な科学的解析に耐える遅延品質管理を行うことでより信頼性の高いデータセットとして公開されている。これまでのプロファイルデータの状況から、即時品質管理時につけられた品質管理フラグは、(データセンターに依存するが) 遅延品質管理時に 2 割以上付け替えがあり、データフローとしても遅延品質管理に一定のインパクトがあることがうかがわれる。また、近年、フロートに搭載された塩分センサーの時間ドリフトの問題やデータ同化を用いたインパクト解析などによって、遅延品質管理の重要性が改めて明らかになってきている。一方で、Argo データは、機動的観測研究や現業業務にも活用されており、速報性も重要であると考えられ、より素早く、よりよい品質のデータセットを生成することは有用であると考えられる。海洋研究開発機構では、こうした背景をもとに、既存の遅延品質管理の結果から学習することで、比較的即応的に、即時品質管理と遅延品質管理の間を埋めるデータセット作成を可能とすることを目指して機械学習に基づく品質管理フラグ付け手法を開発している。その経過について報告する。

手法

まず、プロファイルデータの前処理として Sugiura & Hosoda (2020) にならい観測データをシグネチャに変換することで多次元系列データであるプロファイルにある情報をなるべく保存して効率的な特徴抽出を行う。Sugiura & Hosoda (2020) では、この変換により線形の形で十分品質管理フラグを決定できるとの仮定を置き一定の有用性を示していた。これに対し本研究では、品質管理がより複雑な過程を経ている可能性を踏まえ判定の関数をニューラルネットで表すことでより高精度の判定を目指し、いくつかのネットワーク構造を試して比較を行った (詳細は講演時)。

結果

本要旨では、日本のデータセンター(JMA)にあるデータから標準的なプロファイル長のものを抜き出し、比較的成績の良かったネットワーク構造のものについてのみ紹介する。図 1 のように 80% 程度の再現率 (全てのエラープロファイルのうちエラープロファイルと判定できた割合) を設定した場合でも、90% の適合率 (エラープロファイルの診断が合っていた割合) を確保できるまで開発が進んでおり、この中身の評価などを経て遅延品質管理前の中間的なデータセットとして公開を目指しているところである。開発にあたっての検討状況や他のデータセンターのデータに対する当手法の適用などについては講演時に発表する予定である。

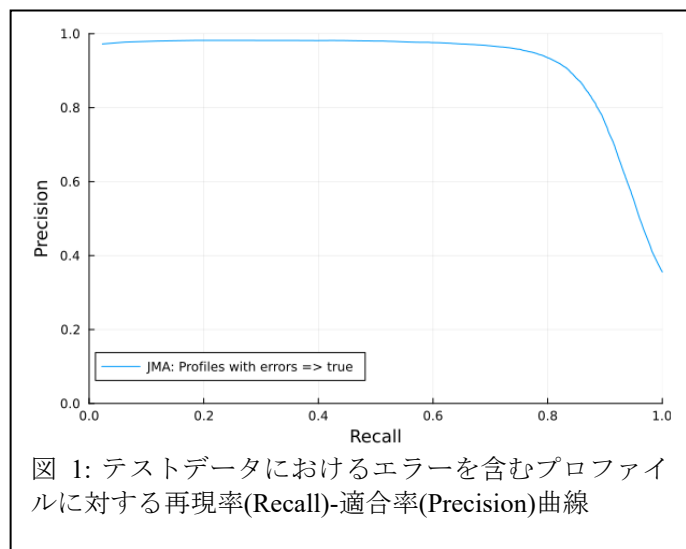


図 1: テストデータにおけるエラーを含むプロファイルに対する再現率(Recall)-適合率(Precision)曲線

海洋地球研究船「みらい」にて実施した高高度ラジオゾンデ観測により 捉えられた西太平洋域高度 30 km 以上の擾乱活動について

○木下武也（海洋研究開発機構）、荻野慎也・鈴木順子・城岡竜一（海洋研究開発機構）

1. はじめに

現在、一般のラジオゾンデ観測におけるゴム気球の到達高度は下部成層圏に限られており、過去に実施されていたロケットゾンデ観測が終了して以降、定常的な成層圏上層の風速・風向の直接観測は行われていない。そこで成層圏上層の定常かつ直接観測を目指し 2021 年 5 月から 7 月にかけて海洋地球研究船「みらい」の航路上で実施した高高度ラジオゾンデ観測の結果を報告する。また再解析データとの比較、衛星観測データとの比較結果を紹介するとともに、高度 30 km 以上の領域における大気擾乱の特性について調べた結果も合わせて報告する。

2. 使用したデータ

2021 年 5 月 27 日～7 月 5 日の海洋地球研究船「みらい」の航路上（図 1）で、合計 27 回の高高度ラジオゾンデ観測を実施した。観測当初は日射の影響を考慮し夜間に放球を行っていたが、対流圏界面付近でバーストしてしまう現象が見られたため、6 月 2 日以降、日没前に放球時刻を変更することとした。その結果、高度 39 km 以上の風速・温度データを 13 回、その中で 40 km を超えるデータを 8 回取得することに成功した。使用したゴム気球は 3000 g (TX3000)、4000 g (TA4000)、1000 g (TX1000) バルーンである。浮力は上昇速度がおよそ 5 m/s になるよう調整した。ラジオゾンデは iMS-100 を使用した。

3. 結果

観測で得られた東西風速・南北風速・温度の鉛直構造を図 2 に示す。南北風速は移動観測期間・定点観測期間ともに 0 m/s 付近で大気擾乱により揺らいているのに対し、東西風速は例えば 6 月 3 日の赤道域での観測では、成層圏準 2 年周期振動による東西風速の高度方向の変化がはっきりと見え、北緯 13 度付近で行った定点観測期間では東風の中に複数の大気擾乱が存在するなど、観測する緯度により構造が大きく異なることが確認できる。温度データからは、対流圏界面が約高度 16 km に位置することがわかり、成層圏において東西・南北風速よりも鉛直波長の長い大気擾乱が存在することが確認できる。続いて定点観測期間の高度 30～40 km における東西・南北風速を JRA55 や MERRA2 などの再解析データの風速と比較したところ、この高度域における平均的な風速の差は小さいが、鉛直波長 1～4 km 程度の大气擾乱により特定の高度では風速 10 m/s 程度の差が見られることがわかった（図省略）。この他にも衛星観測との比較解析により高度 30 km 以上における直接観測の重要性を示す結果を得た。今後は、ホドグラフ解析などを用いて高度 30～40 km に存在する重力波等大気擾乱活動を調べ、大気擾乱に伴う物質輸送を推定する予定である。

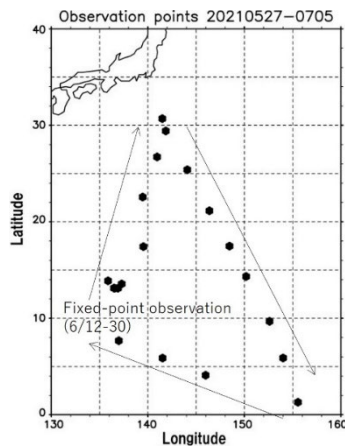


図 1：2021 年 5 月 27 日～7 月 5 日の高高度ラジオゾンデ観測地点。

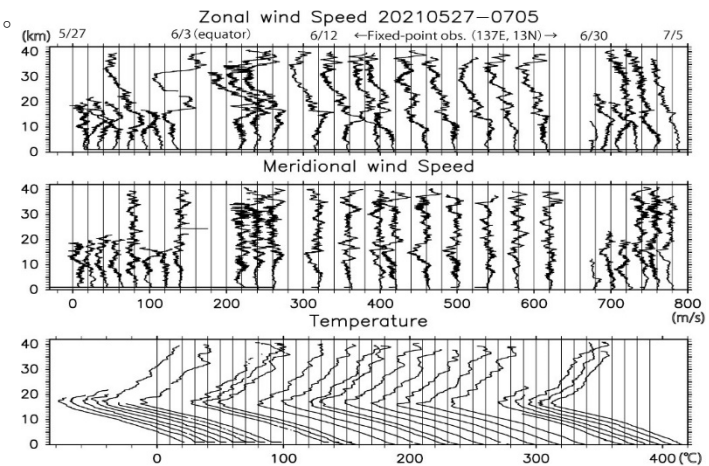


図 2：研究船「みらい」で観測した東西風速(上)、南北風速(中)、温度(下)の高度分布図。風速は 20m/s、温度は 10℃ずつずらしてプロットしている。

三陸沖のサブメソスケール流動に伴う混合と物質輸送に関する研究

○堤 英輔 (鹿児島大学水産学部, 東京大学大気海洋研究所), 伊藤 幸彦・伊藤 進一・柴野 良太・矢部 いつか(東京大学大気海洋研究所), 増永 英治 (茨城大学地球・地域環境共創機構), 井上 龍一郎 (海洋研究開発機構)

三陸の沿岸から沖合の海域は世界有数の好漁場として知られている。三陸海洋がこのような高い生物生産性を有する理由として、津軽暖流、親潮及び黒潮系暖水塊が季節的に入り会い、潮目すなわち前線を形成するからだと考えられている。前線では収束帯が形成されプランクトンが集積することで索餌場として好適となることや鉛直流や混合が強化され栄養塩の有光層への供給が生じることが前線周辺に漁場が形成される要因として挙げられている (水産海洋学会編 2014)。三陸沖の前線構造について最近 Itoh et al. (2022) は大槌湾沖の東西線における高解像度の CTD 観測から前線構造の季節変動を明らかにし、三陸沖における前線が津軽暖流と親潮、黒潮系水の会流によって形成されその後サブメソスケールからメソスケールの水平的な流動・混合によって緩和されるといふ、ダイナミックかつ過渡的な強化・減衰過程の描像を示した。本研究では、三陸前線域のサブメソスケールの水平流動・混合過程からどのように鉛直的な物質輸送が起こるのかを明らかにすることが三陸沖の高い生物生産性を理解するのに重要な点であると考え、これを明らかにする目的で 2022 年 8 月に学術研究船「新青丸」を利用した物理・生物化学的な調査を行った。本発表ではこの物理面の調査結果を報告する。

2022 年 8 月 4 日から 10 日までの間に実施された新青丸 KS-22-11 次研究航海において、三陸沿岸から沖合の前線構造の観測を行った。大槌湾沖を中心として、夏季に強化される津軽暖流を横断する 5 断面を設定し、湾口もしくは陸岸近傍から沖合までの自由落下曳航式 CTD 観測を実施した (UCTD, Itoh et al. 2022)。岸から沖向きに 6 knot で航走しながら bioUCTD プローブ (JFE Advantech 社の ASTD102) の投下・回収を繰り返すことで、表層から海底直上もしくは水深 250 m までの水温・塩分・クロロフィル蛍光・濁度・溶存酸素のプロファイルを水平 0.4-1.7 km の間隔で取得した。UCTD 観測時には新青丸船底に搭載された超音波ドップラー流速計 (ADCP, Teledyne RDI 社 38 kHz Ocean Surveyor) によって流れを計測するとともに、研究用表層海水を連続的に分析し、表層の水温、塩分、クロロフィル蛍光、濁度、硝酸塩濃度をモニタリングした。本航海では UCTD 観測の他にも、大槌湾湾口沖に 2 系の ADCP (Teledyne RDI 社 300 kHz Workhorse Sentinel) を係留し流れ場の観測を行った。

調査時の大槌湾沖は三陸沿岸を南下する津軽暖流の影響が大きく、一方で比較的低温な水塊が三陸沿岸に沿って分布する状況であったことが衛星観測データから分かった (図 1)。現場の UCTD 観測では、沿岸に低水温 (図 2 左)、高塩分 (図は示さない)、高硝酸塩濃度 (図 2 右) の水塊が位置し、沖合の水塊との間にシャープな前線を形成していた。この低温の水塊は水平移流された親潮系水塊だと観測時の状況から考え難く、局所的な湧昇もしくは鉛直混合で生じたと推察されるが、顕著な海上風が無かったため風成の沿岸湧昇である可能性は小さい。船底 ADCP 観測からは観測海域の流れは沿岸で弱く沖ほど強くなる相対渦度を持っており、水温・硝酸塩分布と対応が見られることから、陸岸地形が津軽暖流に作用することで境界層を生じ、湧昇もしくは鉛直混合を生じた可能性を検討した。

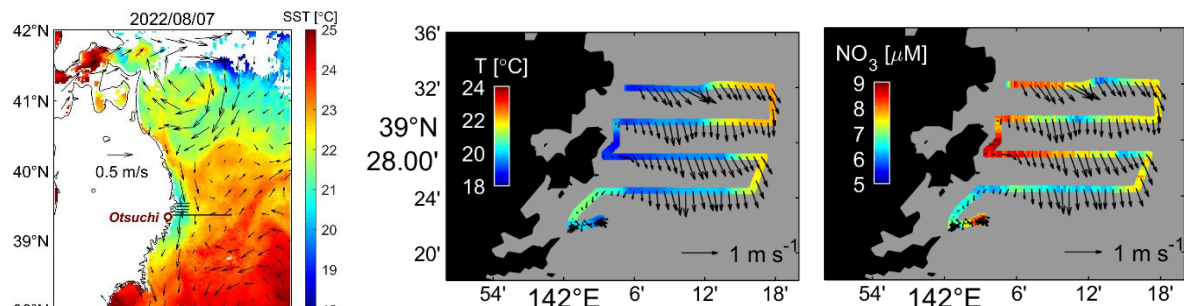


図 1 2022 年 8 月 7 日におけるひまわり 8 号海面水温 (カラー) と CMEM 衛星絶対地衡流速場 (矢印)。実線は自由落下曳航式 CTD 観測を行った調査線を示す。

図 2 8 月 7 日自由落下曳航式観測時の研究用表層海水の分析結果。左図と右図のカラーはそれぞれ水温と硝酸塩濃度を示し、図中の矢印は船底 ADCP による表層(およそ 25m 深)の流速を示す。硝酸塩濃度は紫外線による分析装置 (Sea-Bird Scientific 社 SUNA V2) による計測値に基づいており、速報値である。

初春の親潮水温前線に対する大気下層の応答

○川合義美 (海洋研究開発機構)

黒潮続流の水温前線が大気に与える影響に関しては観測及び数値モデルの両面から数多くの研究がなされてきたが、亜寒帯の水温前線と大気との関係については比較的研究例が少ない。数値モデルを用いて親潮前線に対する影響を調べた研究としては Taguchi et al. (2012, JC), Masunaga et al. (2015, JC), Masunaga and Schneider (2022, JAS) などがあるが、この海域で現場観測に基づく研究を行った例はほとんどない。特に冬～初春にかけては荒天が多いため観測が困難という要因もある。白鳳丸 KH-13-3 次航海では、2013 年 4 月 5 日から 4 月 29 日にかけて北緯 41 度付近を中心に延べ 119 点で GPS ラジオゾンデ (明星電気製 RS-06G) による高層気象観測を実施した (図 1)。以下の解析では北緯 37 度以南の黒潮続流付近の 16 点のデータは含めない。また、回航中を含むほぼ全期間で海上気象要素 (気温、湿度、気圧、風向・風速、短波・長波放射)、海面水温 (SST)、海面塩分、及び流速の連続データを取得した。シーロメータによる雲観測、GPS 水蒸気量観測も実施した。

SST が 4°C 以下の冷水域では雲底高度が 100m 付近にあることが多かった (図 2)。これは北寄りの風の場合も南寄りの風の場合も同じだが、地表付近で北寄りの風が吹いていた時の方が頻度は約 2 倍多い。それに対して、SST が 4°C を超える暖水域では雲底高度が 200m 以上になることが多かった。これは暖水域の方が地表付近の鉛直混合が盛んになるためである。同じ暖水域でも南寄りの風の時の方が雲底高度はより高くなる。

また、幅の細い暖水ストリーマー上でシーロメーターの後方散乱強度が強くなっている事例を観測することができた (図 3)。これは高水温に対応してエアロゾル粒子が鉛直混合で上方に輸送されていたことを示唆する。

本研究の詳細は Kawai et al. (2019) に掲載されている (<http://doi.org/10.2151/jmsj.2019-024>)。

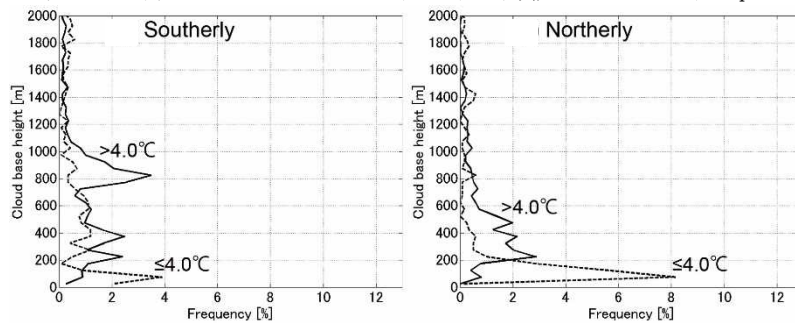


図 2. 北緯 39 度以北の雲底高度の頻度分布。実線は SST > 4.0°C の場合、破線は SST ≤ 4.0°C の場合。左は海面付近が南寄りの風の場合、右は北寄りの風の場合。

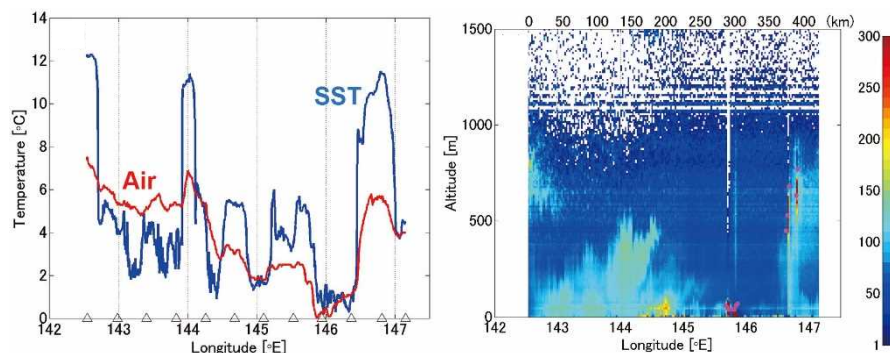


図 3. (左) 4 月 4 日 2359 UTC から 5 日 1618 UTC にかけて北緯 40 度付近を航走したときの SST と海上気温。(右) シーロメーターの後方散乱強度。

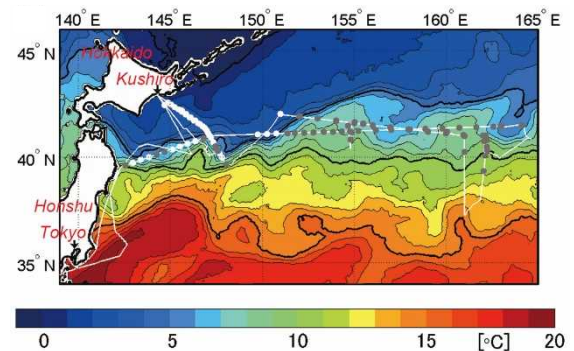


図 1. 航跡 (白細線) とラジオゾンデ観測点 (丸)。SST が 4°C を超えていた地点は灰色で、4°C 以下の地点は白丸で示している。背景は 2013 年 4 月の月平均客観解析 SST。

南大洋インド洋セクションの底層水

○勝又 勝郎（海洋研究開発機構）

「みらい」による MR19-04 航海レグ 3 ではポートルイスから南極大陸に向かう I07S 線（東経 55 度）に沿った高精度物理・化学観測が行われた。観測線南端では東方のポリニヤに伴う高密度水の沈み込みによって生じた南極底層水が観測される。この底層水は卓越する東西流（南極環海流と南極陸棚斜面海流）の影響を受けながらもインド洋に流出する。Johnson (2008) の図 3 にあるように、西インド洋への流出は I07S 線に沿って追いかけることができる。多パラメタ観測の利点を生かし、I07S 線に沿った深層水の混合比を計算する。この海域は、西方はウェデル海深層水・東方はケープダンレー深層水・アデリーランド深層水・ロス海深層水の混合であるので、これらの混合比を温度・塩分・レッドフィールド比を用いた栄養塩保存量・フロン類などを組み合わせて推定する。とくに混合比が大きく変化する場所と東西流の関係、海底地形やパラメタリゼーションで推定した鉛直混合との関係を議論する。

北極海の絶対塩分アノマリー

○内田裕・伊東素代・藤原周・西野茂人（海洋研究開発機構），
Zoe Koenig（University of Bergen），Rich Pawlowicz（The University of British Columbia）

2010年に改訂された新しい海水の状態方程式である2010年国際熱力学方程式（TEOS-10）では、従来の実用塩分（ S_p ）に代わり、新たに絶対塩分（ S_A ）が定義・導入された。しかし、現状では、海洋の現場で S_A を高精度に測定できるセンサーが利用できないため、標準組成塩分（ S_R ）と絶対塩分アノマリー（ δS_A ）の和： $S_A = S_R + \delta S_A$ と定義された。ここで、 S_R は IAPSO 標準海水の組成の最良推定値である標準組成に対する絶対塩分であり、(35.16504/35.0) S_p で定義される（つまり、標準海水の S_p が35の場合、絶対塩分は35.16504 g/kgと推定される）。 δS_A は主として電気伝導度ではその影響を測定できない非イオン成分であるケイ酸塩や、硝酸塩・アルカリ度・全炭酸の標準海水の値からの偏差で表すことができる。外洋域深層では、主にケイ酸塩とアルカリ度偏差の影響が同程度に大きいだが、これらは互いに相関を持って変化するので、TEOS-10では、データが豊富なケイ酸塩の関数として近似し、ケイ酸塩の気候学的分布から δS_A を求める推定式が提供されている。北極海については、 δS_A を求めるための海水密度の実測値が無かったため、大西洋の推定式をそのまま適用しているが、その後実施された北極海での密度実測値から、北極海表層では河川水（アルカリ度偏差）の影響で比較的大きな δS_A が広く分布していることが報告された（Millero et al. 2010, doi:10.1007/s10498-010-9111-2）。

本研究では、北極海における δS_A の推定式を精度良く改訂するために、2010年（49NZ20100902）、2014年（49NZ20140831）、2015年（49NZ20150824）、2016年（49NZ20160822）、2017年（49NZ20170824）、2021年（49NZ20210831）、2022年（49NZ20220812）に、海洋地球研究船「みらい」により、北極海におけるCTD採水観測において海水密度データを蓄積してきた。また、2015/2016年には、カナダの北極海沿岸多島海における河川・河口域で密度データを収集した。さらに、2021年には、ノルウェーのR/V Kronprins Haakonによるナンセン海盆・アムンセン海盆でのCTD採水観測で海水密度データを収集した（図1）。また、北極海表層における河川水の影響の詳細を明らかにするために、屈折率密度センサーを「みらい」表層海水連続測定に導入した（2021年に試験運用し、2022年から本格運用を開始）。それに伴い、屈折率密度センサー補正用試料として航路沿いの1日1回の採水サンプルを分析し海水密度データを収集した。これらのデータを元に、 S_p と δS_A の関係から、北極海表層における河川水の影響を詳細に評価することを目指している。

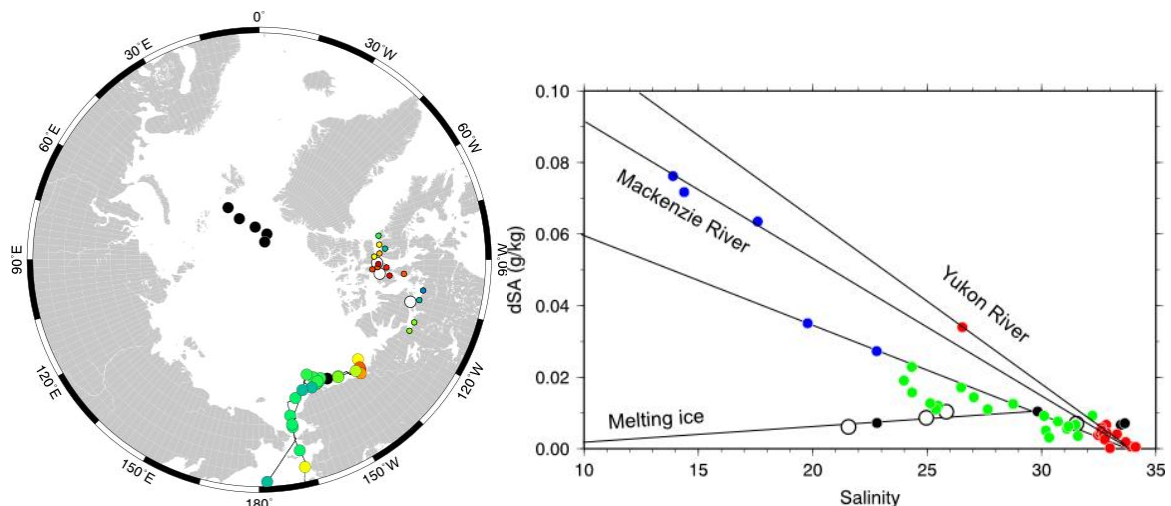


図1：海水密度採取測点（左）と実用塩分（ S_p ）絶対塩分アノマリー（ δS_A ）の関係（右）。「みらい」のデータは2022年に取得した採水試料の結果のみを示す。右図の赤点はベーリング海、緑点は北極海、青点はマッケンジー河口沖の「みらい」データを表し、白丸はカナダ多島海の左図の白丸に対応、黒点はナンセン海盆・アムンセン海盆の左図黒点に対応。カナダ多島海の小さい色丸は河川（塩分はほぼゼロ）のデータで、色は δS_A （寒色は小、暖色は大）を示す。

東北地方太平洋沖地震前後における三陸沖陸棚斜面の底層水環境の変化

○脇田昌英（海洋研究開発機構），渡邊修一（海洋研究開発機構），吉野順（東北環境科学サービス），小栗一将（南デンマーク大学・海洋研究開発機構），野牧秀隆（海洋研究開発機構），川口慎介（海洋研究開発機構），有吉慶介（海洋研究開発機構），永野憲（海洋研究開発機構），藤倉克則（海洋研究開発機構）

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は三陸沖南部で発生し、主に三陸沿岸全域に強力な地震動や甚大な津波が襲来した。本震や数多くの大きな余震は、大陸棚、陸棚斜面、海溝底にまで大規模な土砂等の流入により、海底地形や海底表層状況が変化させた。そこで、2011年3月の東北地方太平洋沖地震が三陸沖陸棚斜面の底層水環境をどのように変化させたかを調べるため、2011年から2018年の間に、表面から海底2000dbarまでの船舶観測と大槌沖1000dbarに海底係留観測を行った。

2011年3月の本震以降の船舶観測は、海洋地球研究船「みらい」（MR11-05：2011/7、MR12-E02：2012/3、MR12-02：2012/7、MR13-04：2013/7）、北海道大学水産学部附属練習船「おしよろ丸」（OS252：2013/3）、東海大学海洋調査研修船「望星丸」（BO13-20：2013/11）、東北海洋生態系調査研究船「新青丸」（KS-14-3：2014/3、KS-15-13：2015/10、KS-15-15：2015/11、KS-16-2：2014/3、KS-17-J05：2017/3、KS-17-J08C：2017/6）学術研究船白鳳丸（KH-18-J03C：2018/8）において、三陸沖の八戸沖、宮古沖、釜石沖、女川沖、仙台湾、福島沖の測線において、表面～海底(最大深度約2000dbar)までのCTD・観測と海水試料の採取を行い、水温・塩分・溶存酸素・透過度・栄養塩・溶存無機炭素・アルカリ度・メタン・メタン炭素同位体などを分析した。大槌沖1000dbarでの海底係留観測は水温・塩分・溶存酸素データを採取した。さらに、本震前後変化を調べるため、2005～2015年の気象庁で実施された三陸沖の船舶観測の結果も用いた。

本震後の観測結果から、福島沖から八戸沖までの広範囲に渡って、三陸沖の陸棚斜面の底層には濁度の高い層（最大6%）が存在し、2018年まで確認された。この高濁度層は、本震後、頻繁する大規模な余震による堆積物の再懸濁により発生していた。加えて、本震前後の気象庁・JAMSTEC等の観測結果を比較したところ、水深1000と1500dbar（等密度面 $27.38\sigma_\theta$ 、 $27.56\sigma_\theta$ ）の底層水の溶存酸素濃度は有意に約10%低下し、その低下は2018年まで続いていたが（図）、栄養塩と溶存無機炭素は大きな変動を示していた。陸棚斜面の底層水では、濁度が増加すると、溶存酸素・硝酸塩が減少、リン酸塩・溶存無機炭素・メタンが増加するという有意な相関関係が見られた。これは、地震後、細菌等による呼吸と脱窒による懸濁有機物分解が底層水の化学環境を変化させていることを示していた。さらに、本震と断続的な大きな余震による堆積物の再懸濁が、広範囲に渡るこの陸棚斜面の底層水環境の変化を維持させていたことがわかった。

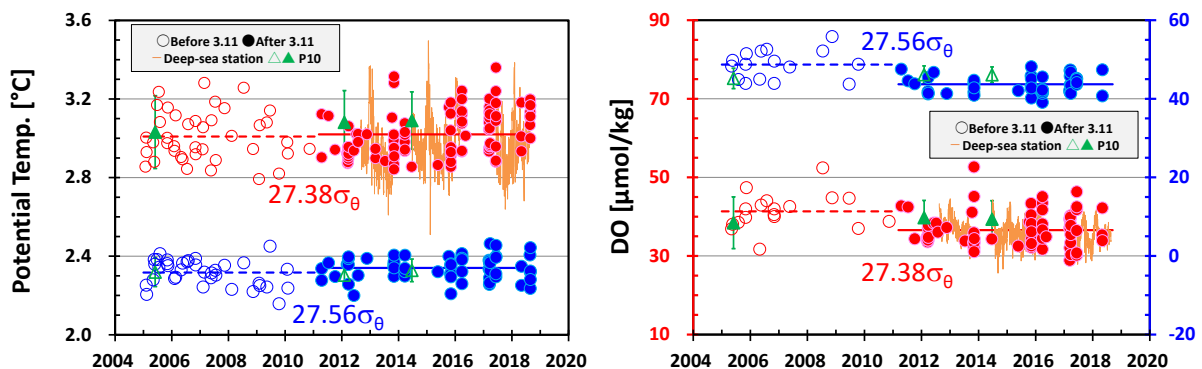


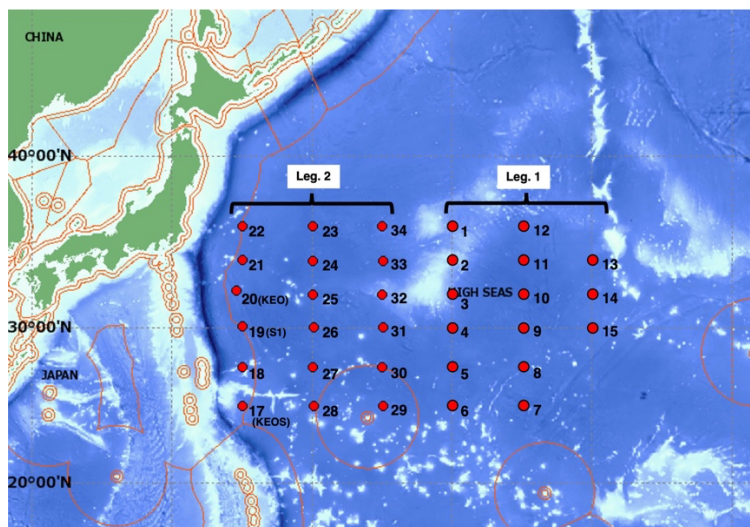
図 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の前後における三陸沖の陸棚斜面上の底層水（ $27.38\sigma_\theta$: 1000dbar; $27.56\sigma_\theta$: 1500dbar）でのポテンシャル水温と溶存酸素の変化

MR21-06 航海概要報告

○喜多村稔・松本和彦・熊本雄一郎 (JAMSTEC), 小川萌日香・古卷史穂 (北海道大学),
李何萍・三谷曜子 (京都大学), 多田雄哉 (水俣病総合研究センター), 田中さき・
松中哲也・浜島靖典 (金沢大学)

アジア域における産業活動の活発化に伴い、人為起源物質の環境への放出量が増加している。これらの物質は、黒潮・黒潮続流あるいは偏西風帯の影響で北太平洋にも輸送され、物質循環や海洋生態系に影響する可能性がある。しかし、西部北太平洋の外洋域では、人為起源物質の輸送、分布、生態系への影響といった基礎データは著しく不足しているのが現状である。そこで「みらい」MR21-06 航海では、移流および大気経路で外洋に供給される人為起源物質を対象とし、異なる起源・化学的特性・輸送様式を有する様々な物質の比較観測「西部北太平洋亜熱帯域におけるアジア域由来人為起源物質の分布と生態系への影響」を2021年11月3日～27日 (Leg1) および12月18日～2022年1月13日 (Leg2) にかけて実施した。調査測点として、図に示す北緯 25~36 度および東経 145~170 度に位置する計 33 点を計画したが、Leg2 では荒天のため St. 25 および St. 29~34 の観測は出来なかった。

本航海でターゲットとする人為起源物質は、マイクロプラスチックおよび大型漂流ゴミ、窒素化合物やブラックカーボンなど大気微量物質、二酸化炭素やメタン等の温室効果気体、福島原発事故由来の放射性核種、水銀、多環芳香族炭化水素である。マイクロプラスチック・大型漂流ゴミに関しては、ネット曳網・目視観測・可視カメラ観測による海面の水平分布把握に加えて、採水システム・現場濾過器・セジメントトラップ係留系を用いて水柱内の分布・挙動を調査した。また、これらプラスチックゴミ分布に中規模渦が与える影響、溶出する溶存有機物、TEP (Transparent Exopolymer Particles) との関係、動物プランクトンや鯨類に与える影響を明らかにするためのサンプルも採取した。一方、大気微量物質および各種ガスの観測は、各種エアサンプラーなどを用いた採集と自動計測器を使った連続観測である。人為起源物質の大気中の輸送や海洋への沈着過程を理解するために重要となる、雲、降水、大気エアロゾルの連続観測もあわせて実施した。また、大気から海洋へ沈着した物質が低次生態系に与える影響を明らかにするために、基礎生産力と降雨イベントとの関係を明らかにする。予察的な観測からは降雨が基礎生産速度を上昇させる結果を得ているが、その効果の大小を議論するために、低気圧性中規模渦が基礎生産力に与える影響と比較を試みる。放射性核種に関する観測は、 ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{129}I を対象とし、海水中および動物プランクトン群集中の濃度分布を調査した。水銀およびメチル水銀に関しては、海水中の濃度分布をクリーン採水から明らかにするとともに、メチル化・脱メチル化に関与する微生物群を探索している。多環芳香族炭化水素の水平分布と移流様式は、表層海水の採集を広範囲に行うと共に放射性ラジウムや放射性ヨウ素をトレーサーに使った解析から明らかにする。シンポジウムにおいては、これらの中からいくつかの結果を紹介する。



MR21-06 調査海域

研究船「みらい」による2021年夏季の 西太平洋上部対流圏・下部成層圏における物質循環観測

○荻野慎也・鈴木順子・木下武也・城岡竜一・勝俣昌己・耿驪・永野憲・谷口京子（海洋研究開発機構）、清水健作・杉立卓治（明星電気）、植木巖・米山邦夫（海洋研究開発機構）

1. はじめに

夏季の西太平洋域ではモンスーンや対流季節内変動(BSIS0)に関連した活発な対流活動により、大気の流れの場が変動し、それに伴う中緯度・熱帯間および対流圏・成層圏間の物質の輸送が起こっていると考えられている。また、対流活動により励起された各種波動が上層大気の流れ場を変動させることで、大気大循環や物質輸送に影響を与える。しかし、その実態は直接観測の不足もあり、必ずしも明らかではない。特にオゾンと水蒸気は気候の形成に本質的な役割を果たすため、その変動の実態を明らかにすることは地球環境変動の理解に重要である。また、そのような輸送過程の変動に影響する各種大気波動の実態は特に通常の気球観測では到達不能な高度 30 km 以上の領域で不明な点が多く残されている。我々は2021年夏季に研究船「みらい」において、オゾンと水蒸気の空間的な分布実態とより高層の力学過程を捉えることを目的に気球観測を西太平洋において実施した。本稿ではその概要と初期的解析結果を報告する。

2. 観測概要

観測はYMC (Years of the Maritime Continent) の一環として、2021年5月24日から7月8日にかけての研究船「みらい」による西太平洋航海(MR21-03)の航路上で行なった(図1)。日本を出航後、南下、西進する途中、定点観測地点、その後北上する途中において、11回のオゾン・水蒸気ゾンデ観測、15回のオゾンゾンデ観測、27回の超高層ゾンデ観測を行なった(詳細は図1参照)。水蒸気ゾンデは明星電気の新型鏡面冷却型水蒸気ゾンデ Skydew を用いた。超高層ゾンデは、3000 g (一部 4000 g) のバルーンに明星電気 iMS-100 を取り付け飛翔させ、通常の気球観測では到達しない、高度およそ 40 km までの温度と風速を測定するものである。オゾンゾンデには En-sci 製 Model-1Z ECC を使用した。

3. 観測期間中の気象場の状況

観測期間中、西太平洋域での対流活動は比較的不活発であり、BSIS0 のシグナルも不明瞭であった。一方、東南アジア域ではモンスーンの対流が活発化しており、それに伴う対流圏上層の高気圧性循環が形成されつつあった。

4. 定点観測期間における中緯度から低緯度へのオゾン輸送

まず、2021年6月12日から6月29日の定点(北緯13度、東経137度付近)観測期間にオゾンゾンデで捉えられた上部対流圏・下部成層圏(UTLS, 10~20km)におけるオゾン変動の原因を調べた。期間中、高度15~17 km 付近に数日スケールのオゾン変動が認められた。オゾンの増大期における背景場の状況を JRA-55 再解析データにより調べると、みらいで捉えられたオゾン増大は、水平スケール数 100 km の渦位の大きな領域(低気圧性の渦擾乱)と良く対応していることがわかった。さらに、この高渦位領域の起源を後方流跡線解析により調べると、中緯度成層圏の空気塊がロスビー波の碎波に伴い熱帯対流圏に運ばれ、みらいの定点観測地点にまで到達したものであることがわかった。このような高渦位領域の鉛直スケールは 2 km 程度である。これは、JRA-55 再解析の鉛直分解能でスケールではなく、鉛直分解能に優れたオゾンゾンデ観測により確実に確認できたものである。また、さらに鉛直に細かな鉛直 1 km 以下のスケールを持つ変動もオゾンゾンデでは認められた。これは重力波によるものと推定されるが、今後の解析により明らかにする予定である。

5. まとめ

2021年5月下旬から7月上旬にかけて研究船「みらい」MR21-03航海において、物質輸送、力学変動を捉えることを目的に特殊ゾンデの観測を行ない、モンスーン循環発達期の、西太平洋域における対流活動が静穏な状況での物質輸送の実態を捉えた。観測されたオゾンの変動は鉛直スケールを含め JRA-55 再解析に表現される高渦位領域の通過と整合的であった。このことから、中緯度起源の高濃度オゾンがロスビー波碎波に伴い、熱帯西太平洋域に輸送されていたものと考えられる。この結果は、

モンスーン発達期の対流静穏期の西太平洋における成層圏・対流圏間の物質輸送はロスビー波砕波によるものが支配的であることを示している。

謝辞

観測の実施に当たっては、研究船「みらい」の乗員および日本海洋事業の観測技術員の方々のご協力を頂きました。深く感謝いたします。

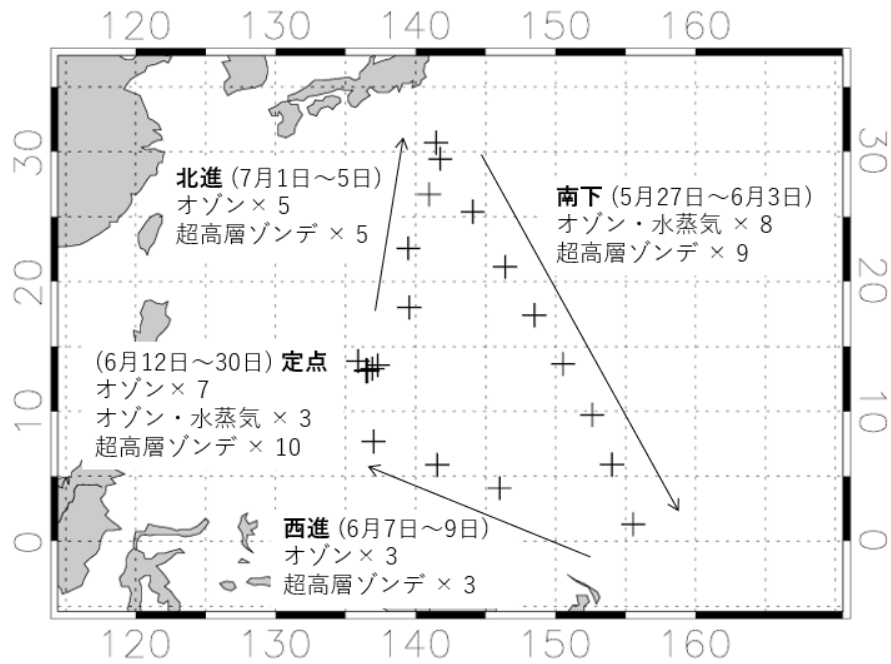


図1 みらい MR21-03 航海におけるオゾンゾンデ、オゾン・水蒸気ゾンデ、超高層ゾンデの放球地点(+)と放球回数。

「みらい」MR22-03 航海概要報告 -春季西部北太平洋における東アジア大陸起源物質の分布と生態系への影響-

○杉江 恒二・藤木 徹一・木元 克典・松本 和彦・竹谷 文一・脇田 昌英・中野 善之・岸 正敏・喜多村 稔・金谷 有剛 (海洋研究開発機構), 佐々木 雄亮・塩崎 拓平・Qin Hongwei (東京大学大気海洋研究所)・下島 公紀・大井 麻由・刀祢 館奈々子・山口 三亜佳 (東京海洋大学)・三野 義尚 (名古屋大学)

1. はじめに

西部北太平洋域は世界で最も生物多様性が高い海域の一つであり、かつ、極めて大きな漁獲量を誇る豊かな海である。隣接するアジア域は近年目まぐるしい発展を続けており、人間活動と海洋生態系の関係性を把握することは喫緊の課題である。陸上における大気微量物質やプラスチックごみの発生量の推定は比較的精度よく行うことができるが、それらが海洋へどれほど排出されているかについては調査の不足により定量的な議論が難しい現状にある。加えて、人為起源および自然起源の大気微量物質が海洋生態系に及ぼす影響についての知見も不足している。大気 CO₂ 濃度の上昇に伴う地球温暖化や海水の pH の低下 (海洋酸性化) などの環境変化については、長期モニタリ

春季西部北太平洋における東アジア大陸起源物質の分布と生態系への影響

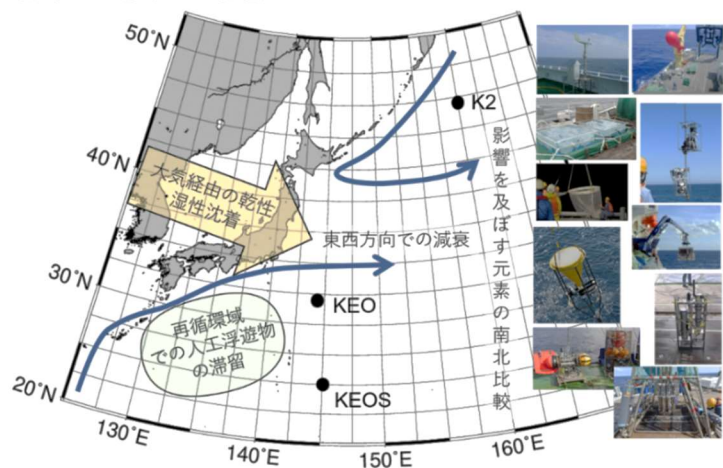


図 1. 本研究の概念図

ングによる現状の把握と地球システムの変動を加味したメカニズム理解の深化が生態系影響の長期予測を可能とするため、知見の充足の必要性は高い。そこで本研究では、アジア起源の人為起源の大気微量物質が西部北太平洋に多く到達すると考えられる季節において、大気観測並びに海水中における大気由来の微量物質の定量に基づく生態系影響の情報を得ることとした (図 1)。

2. 航海概要

2022 年 4 月 16 日から 5 月 19 日にかけて海洋地球観測線「みらい」による 34 日間の調査を実施した。清水港を出港後、St. 1~5 までの亜熱帯海域、St. 6~9 の黒潮統流域、St. 10~13 の亜寒帯域、St. 14, 15 の津軽海峡沿岸において観測を行った (図 2)。本研究で実施した観測項目は、各種センサー類を取り付けた CTD-CWS システムによる採水、クリーンウィンチを用いたクリーン採水、乱流観測、ネット (NORPAC, VMPS, Newston) による動物プランクトンおよびマイクロプラスチック観測、マリンスノーキャッチャーによる沈降粒子観測、高速フラッシュ励起蛍光光度計 (FRRF) による植物プランクトンの光合成活性観測、降雨・霧採取、大気エアロゾル採取を行った。CTD-CWS システムにより採取した試水は、塩分、栄養塩、クロロフィル *a* などの生物地球化学的パラメータの分析、UV 殺菌による化学パラメータの保存性試験、および培養実験に供した。クリーン採水からは微量金属分析用の試料を得た。また、St. 11 (K2) では、MR21-01 航海で設置したハイブリッド係留系の回収と再設置および BGC アルゴフロートの投入も行った。St. 12 では MR21-04 航海で投入した乱流計センサー付き Deep Ninja フロートの回収を行った。St. 14, 15 付近では、ADCP による海底地形データの取得を行った。

本発表では、航海で得られた結果の速報値を紹介する。

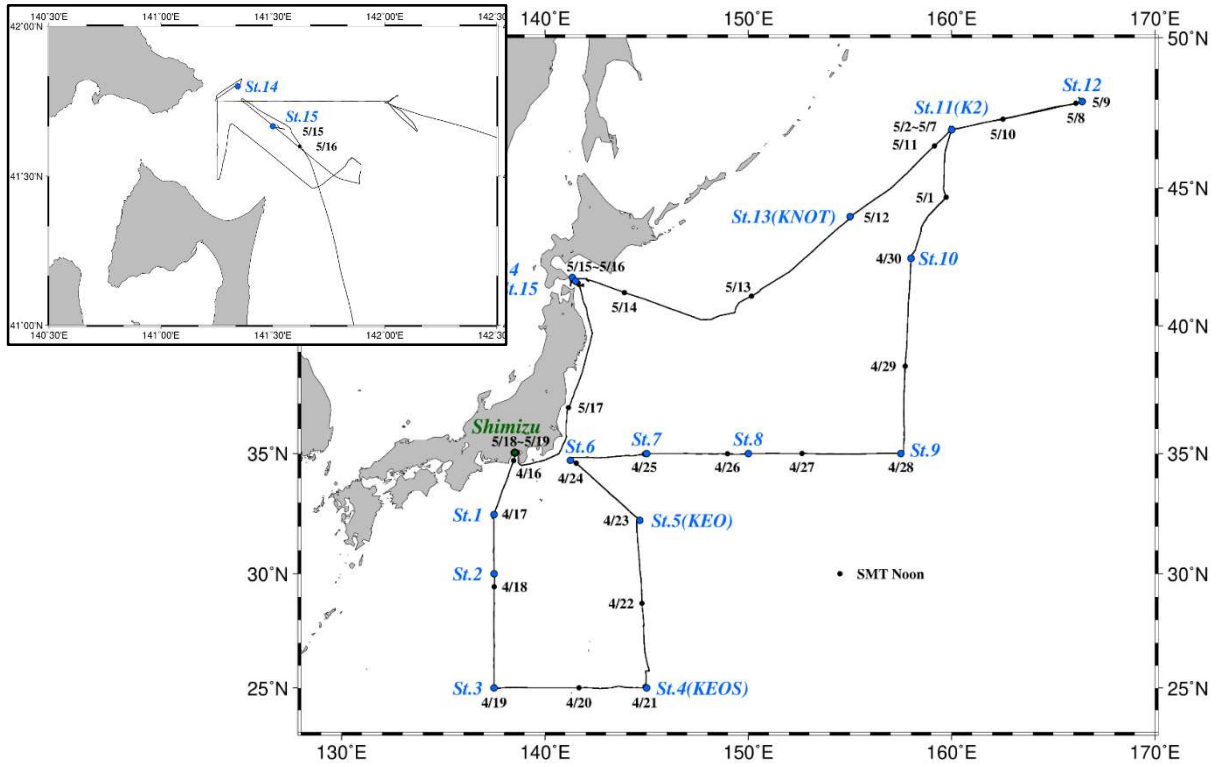


図1. MR22-03 航海の航路と観測点

福島沿岸海域における放射性核種の動態および生態系の環境応答 KS-21-23, KS-22-14

○高田 兵衛・大槻 あずさ・佐藤 俊（福島大学環境放射能研究所），乙坂 重嘉・戸田 亮二（東京大学大気海洋研究所），西川 淳・剣持 瑛行・石倉 明依・山田 萌々加・新開 祐介・伊藤 海奈・中川 あや（東海大学海洋学部），青野 辰雄（量子科学技術研究開発機構），津旨 大輔・三浦 輝・西野 圭佑（電力中央研究所），中西 貴宏・御園生 敏治・渡辺 勇輔・森 愛理・Batdulam Battulga（日本原子力研究開発機構）

2021年10月7日～10月17日までの11日間ならびに2022年10月2日～13日の12日間の日程で、新青丸による福島沿岸海域において、研究航海を実施しました。この航海では2011年3月に起きた福島第一原子力発電所事故以降のフォローモニタリングという位置づけに加え、放射性核種の海洋における動態や生態系の環境応答に対する科学的理解を深めることの二点を目的としています。

フォローモニタリングとして、これまでの調査航海で得られた観測結果の継続性を踏まえた、海水、海底堆積物、生物、懸濁粒子の採取・分析を行いました。第二に、ALPS処理水の海洋放出の影響解明のための事前調査を行いました。福島第一原子力発電所では、発生した汚染水を多核種除去設備（ALPS）等で浄化した処理水、いわゆるALPS処理水をその敷地内で保管しており、これらは2023年度を目途に海洋放出する方針です。これらの航海では中立的な位置づけから、科学的な根拠に基づいた結果を示すことも重要な課題です。更に、放射性核種の海洋における動態の科学的理解の深化のために、福島周辺海域における放射性核種の分布の独自調査を実施し、新たな知見の蓄積にも貢献することを目的としています。

これらの航海では宮城県、福島県および茨城県の沿岸域（北緯35度から38度、東経140.5度から142.5度で囲まれる海域内）において、2011年から2018年、2020年にかけて実施した調査航海の内容を考慮しつつ、最近の調査結果も踏まえて30以上の観測点を精選し、実施しました。これらの観測点では、沿岸域における溶存態放射性核種のバックグラウンド把握のために、ALPS処理水の海洋放出の影響が及ぶ海域を中心にCTD観測と溶存態放射性核種（セシウム、トリチウムなどの中～長寿命核分裂生成物等）分布の詳細観測を実施しました。福島第一原発施設近傍における放射性核種の生物利用性の把握のために、浅海域や海底付近の生物群集への放射性核種の濃縮機構解明、更にはALPS処理水放出後の生態系への影響評価のため、海水、海底堆積物、間隙水試料と併せて、プランクトンやベントス等の生物試料の採取も行いました。

これらの調査の結果から、天然放射性核種や事故由来の人工放射性核種の陸域から海域へのトレーシング結果の可視化や、災害の影響評価のための新しい指標の提示といった様々なアウトプットが行われ、国際社会共通の環境目標であるSustainable Development Goalsの達成に向けた取り組みとしても期待できます。



CTD-RMS とライトアップされた福島第一原発



表層の粒子採取のためのニューストンネット

MSSA 解析とパラメトリック関数のフィッティングを併用した 海洋モデルを用いた海底圧力計からのスロースリップによる変動の抽出

○佐藤利典・鈴木雅博（千葉大）、村田耕一（千葉大、応用地質）、碓氷典久（気象研）、
塩原肇・山田知朗・篠原雅尚（東大地震研）

1. はじめに

海底圧力計（OBP）は、海底の上下変動を連続的に観測でき、スロースリップ（SSE）などのゆっくりした変動を捉えることにも有効である。しかし、OBP の観測データには、地殻変動以外に、海洋潮汐、海洋変動、機器の永年変化（ドリフト）などが記録されていて、これらを適切に取り除く必要がある。清水、他（JpGU, 2021）は、観測データと海洋モデルをマルチチャンネル特異スペクトル解析（MSSA）を用いて成分に分解し、関連のよい成分のみを用いて観測データから海洋変動を取り除くという方法を開発した。これは、海洋モデルの不完全さを取り除き、より観測データから地殻変動を取り出しやすくする方法である。本研究では、更新された海洋モデルにこの方法を適用し、SSE による変動の抽出を試みた。

2. 方法

解析に使用した更新された海洋モデルは、気象庁気象研究所が開発した日本沿岸海況監視予測システム再解析データセット「MOVE/MRI.COM-JPN Dataset」（広瀬、他、気象研技術報告、2020）である。OBP データは房総沖 SSE 領域で観測したデータ（2013-2015、2016-2018）を使用した。このデータには、2014 年と 2018 年の SSE が含まれている。

OBP データからは、潮汐モデル「Baytap08」（Tamura et al. GJI, 1991）を用いて潮汐成分を取り除き、直線フィットでトレンドを取り除いた。潮汐とトレンドを除いたデータと海洋モデルを用いて MSSA を行い、成分ごとにデータとモデルの相関を出し、相関の良い成分のみを用いて海洋モデルを再合成し、これを潮汐とトレンドを除いたデータから差し引いた。その後、SSE による変動や季節変動等を見積もるため、パラメトリックモデル（Sato et al, GRL 2017）を当てはめ、スロースリップによる変動の抽出を試みた。

3. 結果

更新された海洋モデルは、従来の海洋モデル「FORA-WNP30」（Usui et al., J. Oceanogr, 2017）と比較して非常によく観測データと合っていることがわかった（図 1）。潮汐とトレンドを除いたデータから再合成した海洋モデルを差し引いたデータは、変動の標準偏差が 1.81 hPa となった。単純に海洋モデルをそのまま差し引いた場合の標準偏差は 2.41 hPa であり、本研究の方法によって海洋変動がよりよく除けている可能性がある。再合成した海洋モデルを差し引いたデータに、パラメトリックモデルを当てはめると、残差の標準偏差は 0.76 hPa となった。推定されたスロースリップによる上下変動は、2018 年の SSE に対して隆起域と考えられる場所で 14.8 mm (-1.49 hPa) の隆起となった（図 2）。

謝辞

本研究の遂行にあたり、海洋研究開発機構「白鳳丸（KH13-5）」、「なつしま（NT15-12）」、海洋エンジニアリング（株）「第三開洋丸」、「第五開洋丸」を使用させて頂きました。各船長以下、乗組員の方々に感謝します。本研究は文部科学省の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援および科研費(25287109) の補助を受けました。

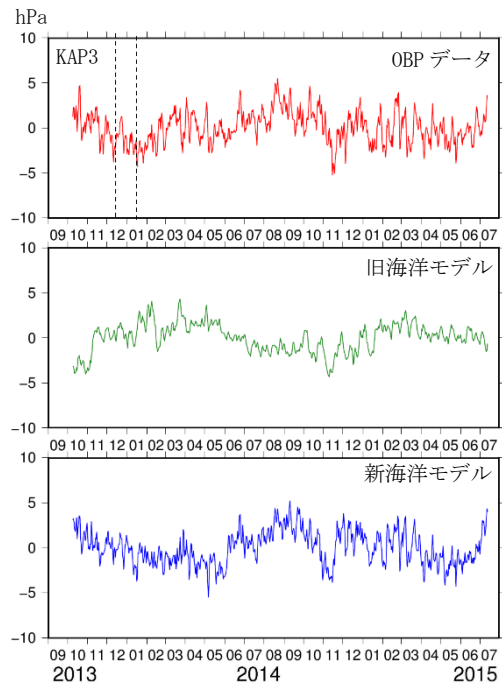


図 1. OBP と海洋モデル (2013-2015 年)
 上図：OBP、中図：旧海洋モデル (FORA-WNP30)、下図：新海洋モデル (MOVE/MRI.COM-JPN Dataset)。破線は SSE 発生期間。

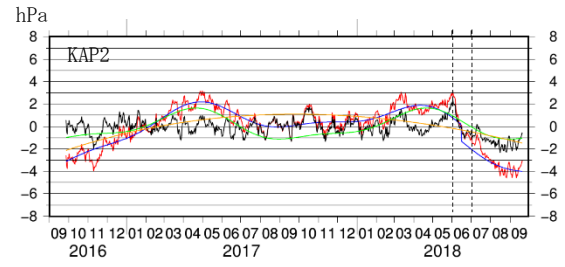


図 2. OBP から再合成した海洋モデルを差し引いたものにパラメトリック関数をフィッティングしたもの (2016-2018 年)。
 赤線：OBP から再合成した海洋モデルを差し引いたもの、青線：フィッティング曲線、緑線：季節変動、オレンジ線：直線+対数関数、黒線：赤線から SSE 時のギャップ以外のフィッティング曲線を差し引いたもの。破線は SSE 発生期間。

浅部テクトニック微動の高精度震源決定に向けた手法開発

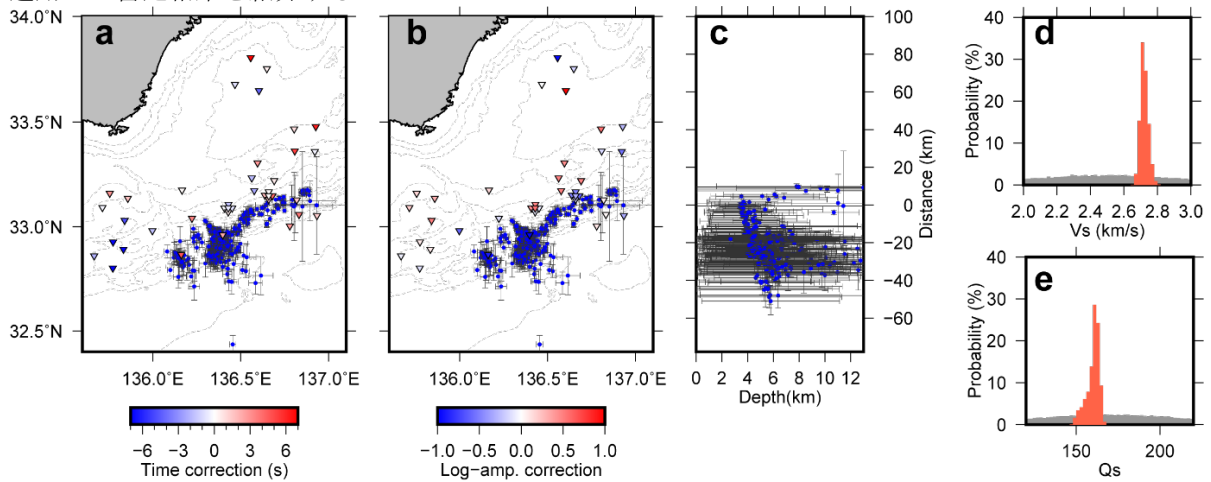
○悪原岳（東京大学地震研究所），山下裕亮（京都大学防災研究所），杉岡裕子（神戸大学），
篠原雅尚（東京大学地震研究所）

テクトニック微動は 2000 年代以降に見つかったプレート境界面あるいはその近傍で発生するゆっくりとした断層すべり現象であり，プレート境界で発生する巨大地震との関連性が議論され続けている．南海トラフ沈み込み帯の室戸沖から熊野灘に渡る海域では，海底ケーブル式の地震観測網（DONET1, 2）によって，沈み込み帯浅部で発生するテクトニック微動の活動様式が長期間・高密度で観測されている稀有なフィールドである．それでもなお，テクトニック微動に伴う地震波信号は微弱であるため，震源決定の精度に課題がある．加えて，海域では柔らかい海底堆積物の影響で地震波の到達が遅れ，振幅が増幅される．これらの要素が震源決定に及ぼす系統誤差も，テクトニック微動の震源決定を一層困難にしている．

新青丸 KS-19-18 次航海，および KS-21-10 次航海を通して，DONET1-2 間の観測空白域に海底地震計 15 台からなる自然地震観測網が 2019 年 6 月から 2021 年 6 月にかけて行われた．観測期間内の 2020 年 12 月から 2021 年 2 月にテクトニック微動の大規模な活動が発生した．本研究では，このテクトニック微動の詳細な活動様式を調べるために，微動の高精度震源決定を目指した手法開発を行った．

本研究が提案する新手法は，3 つのステップに分かれる．まず始めに，各観測点間におけるテクトニック微動の地震波到達時刻の差，および振幅の差を計測する．この観測点ペアの情報は冗長性を持つため，最適化により各観測点における相対的な地震波の到達時刻・振幅を計算することができ，またその不確かさも見積もられる．次に，得られた相対時刻・振幅から，地震波の見かけ上の伝播速度・減衰定数を簡便に評価する．この簡便な見積もりが物理的に合理的な範囲から外れる場合には，データが外れ値の影響を強く受けていると判断できる．最後に，相対到達時刻・振幅およびその不確かさを入力として，ベイジアンインバージョンにより①震源位置，②観測点ごとの地震波到達の遅れ，振幅増幅の程度，並びに③地下の地震波速度，減衰定数を同時に推定する．

本発表では，本手法を DONET1-2 ならびに新青丸を利用して設置された海底地震計からなる観測網に適用した暫定結果を紹介する．



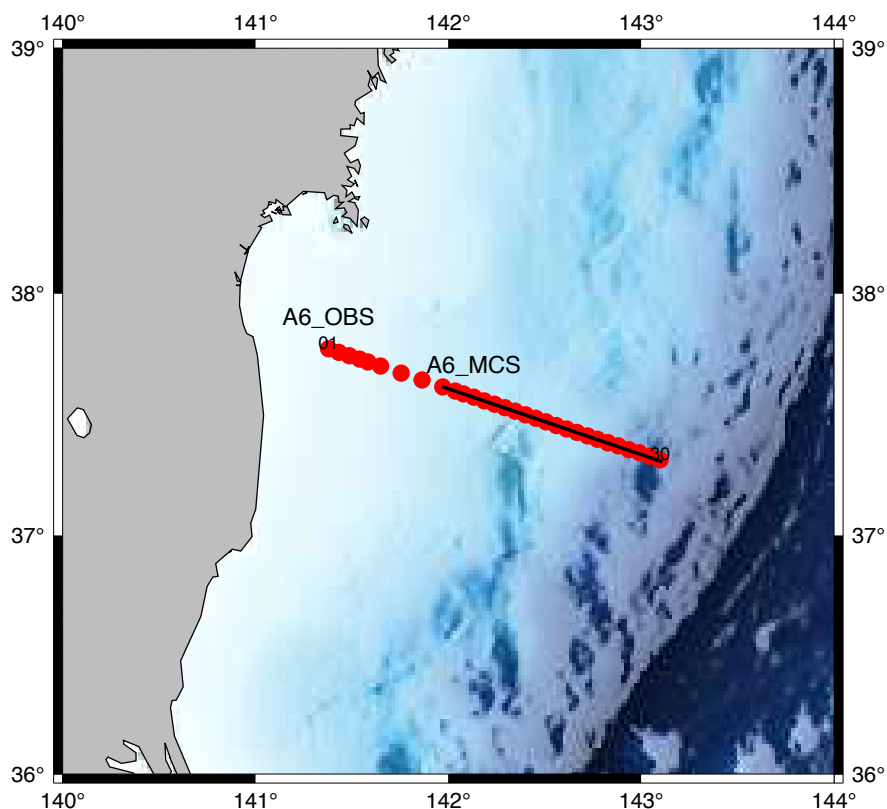
(a-c) 求められた微動の震源位置（青色の丸印）と観測点ごとの(a)到達時刻の遅れまたは(b)振幅増幅（逆三角形）．(d) S 波速度の事後確率分布．(e) 減衰定数の事後確率分布．

エアガン-海底地震計データによる福島県相馬沖の地震波速度構造

○清水良弥・中東和夫（東京海洋大学），野徹雄・三浦亮・藤江剛（海洋研究開発機構），
佐藤壮（気象庁），高橋努・三浦誠一・小平秀一（海洋研究開発機構）

福島県沖では太平洋プレートの沈み込みに伴った地震活動が見られ、1938年にはM7を超える大規模なプレート境界型地震（1938年福島県沖地震）が連続して発生しており、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の南側の震源域に位置している。日本海溝で発生するプレート境界型地震の破壊域とプレート境界の形状には関連性がある事が日本海溝の先行研究（例えば Ito et al. 2005）で指摘されている。一方で、福島県沖は同じ日本海溝に位置する宮城県沖などの他海域に比べて、大規模な地殻構造調査の実施例が少ない。そこで、2012年12月-2013年1月に海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいれい」によって日本海溝南部の陸側斜面域に位置する福島県相馬沖で地殻構造調査（KR12-20 航海）が実施された。KR12-20 航海では、海溝軸と垂直な方向に31台の海底地震計（OBS）を設置し、同時に444chのストリーマーを用いたマルチチャンネル反射法地震（MCS）探査も実施された（図）。また、人工振源として最大総容量7,800 cu. inのエアガンアレイが使用された。

データは現在解析中であるが、作成した反射断面を見ると地殻浅部には数多くの正断層を確認することが出来る。今後、MCS データを用いた解析を進め、測線下の浅部速度構造を精度良く決定する予定である。さらにMCS データの解析結果をもとに初期モデルを作成し、波線追跡法を用いて測線下の二次元P波速度構造モデルを明らかにする予定である。



(図) KR12-20 航海で展開されたOBS（赤丸）とMCS測線（黒線）

参考文献

Ito, A., Fujie, G., Miura, S., Kodaira, S. and Kaneda, Y., Bending of the subducting oceanic plate and its implication for rupture propagation of large interplate earthquakes off Miyagi, Japan, in the Japan Trench subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 2005, 32, L05310
<https://doi.org/10.1029/2004GL022307>

海底間音響測距観測による岩手県沖海溝軸の挙動の解明

○木戸元之・富田史章（東北大学災害科学国際研究所）・日野亮太・太田雄策・東龍介・鈴木秀市・
佐藤真樹子・西村建（東北大学大学院理学研究科）

2011年東北地方太平洋沖地震は、アスペリティーであると推定されていた領域のみならず、従来歪みを貯めていないと考えられていたプレート境界浅部まで地震時にすべり、巨大津波の発生源となり得ることを示した。一方、地震後の海底の変動は、宮城県沖を中心とする大すべり域において粘弾性緩和による西向きの動きが卓越することがGNSS-音響観測によって示された他、その南側の隣接海域では余効すべりと考えられる東向きの動きが見られ、現在は減衰傾向にある。北側の海域では動きが小さく、GNSS-音響観測の観測頻度では、固着が弱いのか、再固着+スロースリップの組み合わせなのか分解することが困難である。

海底間音響測距は、海溝軸を跨ぐ相対運動を連続データとして直接計測することが可能で、GNSS-音響観測の空白域となっている海溝軸付近の大深度域で、陸側プレートと沈み込む海洋プレートの相対運動がどのように解消されているのか、その時間変化も含めて明らかにするポテンシャルを持っている。東北大学では2014年からの特別推進研究（課題番号26000002）以降、海底間音響測距装置を重点的に整備し組織的に日本海溝・千島海溝沿いの海溝軸の挙動をモニタリングしてきた。海底間音響測距装置は1年乃至2年で機器の入れ替えが必要で、さらに測距の確実性を確保するための深層係留によるやや大掛かりなオペレーションも必要となってくる。これらの作業の多くを機構の共同利用研究による調査航海で、不足する分は備船や気象庁との連携で継続してきた。

これまで、宮城県沖海溝軸での通算2年ほどの観測からは海溝軸の短縮は見られず、浅部ウェッジが沈み込むプレートとともに動いていることがわかった。一方、福島県沖海溝軸での1年半の観測では、海洋プレートの沈み込みモデルの半分程度の速度の短縮が見られ、余効すべりの収束と解される他、海溝軸とGNSS-音響観測点の間に収束帯が存在することを示唆した。この他、岩手県沖、青森県沖、千島海溝でも観測を実施している。今回、解析を進めた岩手県沖海溝軸での計測結果を報告する。

KS19-12航海で4台(M3, M4, M6, M7)の装置を海溝軸をまたいで設置し観測を開始(2019年7月)した(図1)。さらに同年11月に気象庁の凌風丸で深層係留の装置(M5)も設置し、翌2020年6月に回収した。転倒したと見られる1台(M3)をKS20-16航海で回収(2020年10月)し、残りの3台は凌風丸で2021年4月に回収した。この内、今回解析に使用したのは、深層係留装置を除いて直接音響パスの通ったM4-M6基線、M4-M7基線、およびM6-M7基線である。音速補正として、基線両端の温度変化に数日のメディアンフィルタをかけて局所変化を除去した上で両者の平均を取ることで基線に沿った温度変化の代表値としたほか、代表地点の圧力データに対し長期変動は無いものとしてドリフト成分を取り除いたものを用いた。また、計測器の傾斜変化(一部センサーのドリフト補正あり)から機器の傾きによる音響素子の位置の変化を補正した。さらに、計測期間中の余震(図1の震源球)による地震動の影響と見られるステップ上の姿勢変化分も補正した。これらの処理を経て、海溝軸を挟むM4-M6, M4-M7基線(~8km)に推定精度2cm/yrを超えるような短縮が見られないことがわかり、平時の浅部境界は再固着していることを伺わせる。一方、誤差が小さいはずの3km弱のM6-M7基線は、同じ太平洋プレート上であるにも関わらず2cm程度の長周期のゆらぎが残り、その原因を調査中である。

上記観測期間中は岩手県沖のスロースリップは報告されておらず、今後発生するかも知れない同現象による変位を継続的にモニタリングするため、KH22-10で観測を再開させる予定である。

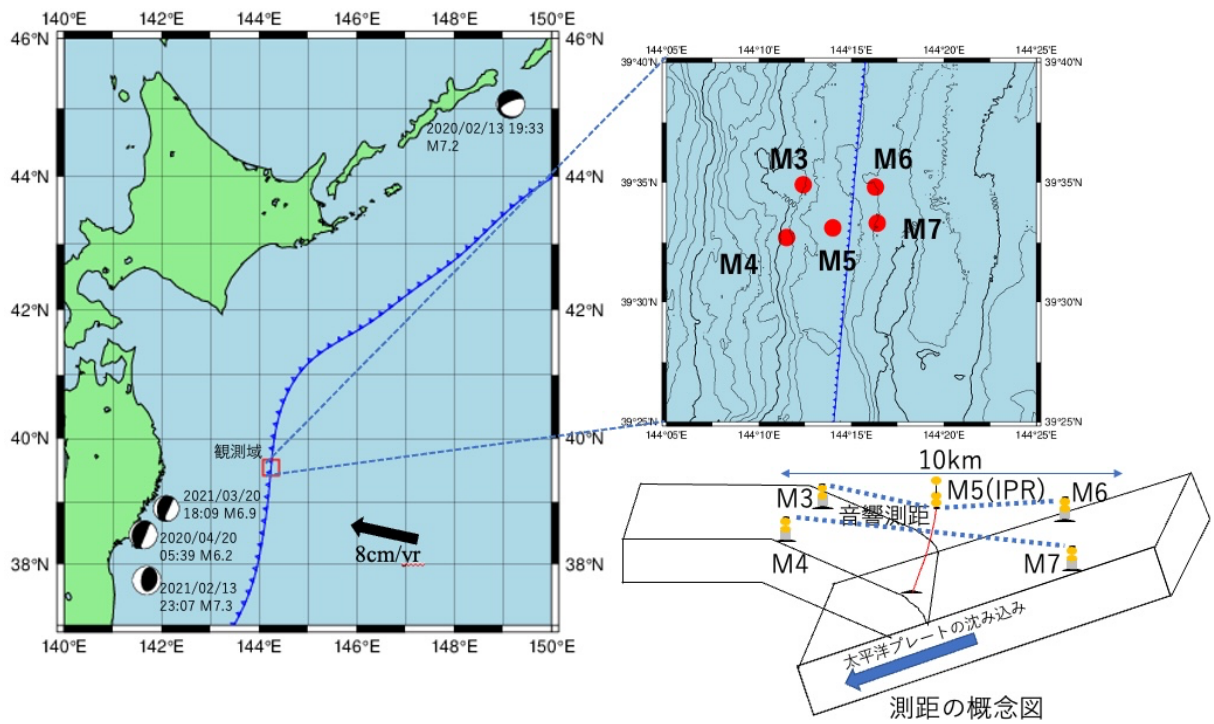


図 1 : 岩手県沖の海底間音響測距観測の機器配置。

西部北極海における水柱のマイクロプラスチック存在量の評価

○池上隆仁・中嶋亮太・藤原周・小野寺丈尚太郎・伊東素代（海洋研究開発機構），豊島淳子（笹川平和財団），渡邊英嗣・村田昌彦・西野茂人・菊地隆（海洋研究開発機構）

現在、海洋には毎年1000万トンものプラスチックごみが放出されており、プラスチックごみは紫外線による劣化や物理的な破碎により微細化し、回収不可能な粒径5 mm未満のマイクロプラスチック（microplastics、以下MPsと記載する）となる。MPsに残留もしくは吸着した化学汚染物質は海洋生物に取り込まれることで生殖や成長を妨げるため、深刻な海洋汚染問題となっている。太平洋側の西部北極海は、周囲を陸に囲まれ、ベーリング海峡を通じて太平洋起原水が流入するため、太平洋からのプラスチックごみが流れ着く潜在的な集積場所の一つである。近年のMPsの流入は、地球温暖化に伴う海氷の減少が著しい西部北極海の海洋生態系への環境ストレスを増大させる可能性が指摘されている。しかし、MPsに関する定量的データの報告は大西洋側北極海に偏っており、西部北極海では、これまでに数地点で海水中のMPs濃度が報告されたのみであった。特に西部北極海の水柱のMPsの存在量は全く分かっておらず、データの空白域となっていた。

そこで、2020年と2021年の夏季に研究船「みらい」により、北極海への太平洋起原水流入のゲートウェイであるチュクチ海およびベーリング海の20観測点において、ニューストンネットを用いて海表面に浮遊するMPsの分布量を調査した。観測で得られた表層のMPs濃度と試料採取時の波高・風速から、各観測点の水柱のMPsの存在量を推定した（図1）。その結果、チュクチ海（ベーリング海峡を除く）における水柱のMPs存在量は平均で約5200個 km^{-2} （重量換算で124 g km^{-2} ）であり、チュクチ海の総面積が62万 km^2 とした場合、チュクチ海の水柱中に浮遊するMPsの総量は 3.3×10^9 個（重量換算で 7.7×10^4 kg）と推定された。チュクチ海の水柱のMPs存在量は、先の研究で報告された大西洋側の北極海の水柱のMPs存在量に比べると約1/30程度、世界の海洋のMPs存在量と比較しても10分の1以下であることから、チュクチ海の水柱は世界的に見てもプラスチックごみによる汚染が少ない海域であることが明らかになった。

また、ベーリング海峡における観測結果から、太平洋からチュクチ海へのMPs流入量を概算した。観測結果からベーリング海峡の水柱における平均のMPs濃度は 0.7×10^{-3} 個 m^{-3} （重量換算で17 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）であり、ベーリング海峡における年平均流量を毎秒 0.8×10^6 m^3 とした場合、MPsの年間流入量は 1.8×10^{10} 個（重量換算で 4.2×10^5 kg）に相当することが分かった。この値はチュクチ海の水柱中に浮遊するMPsの5.5倍以上であり、太平洋から流入したMPsの大部分はチュクチ海の水柱以外の場所（海底堆積物や海氷）やチュクチ海以外の海域に蓄積していることが示唆された。

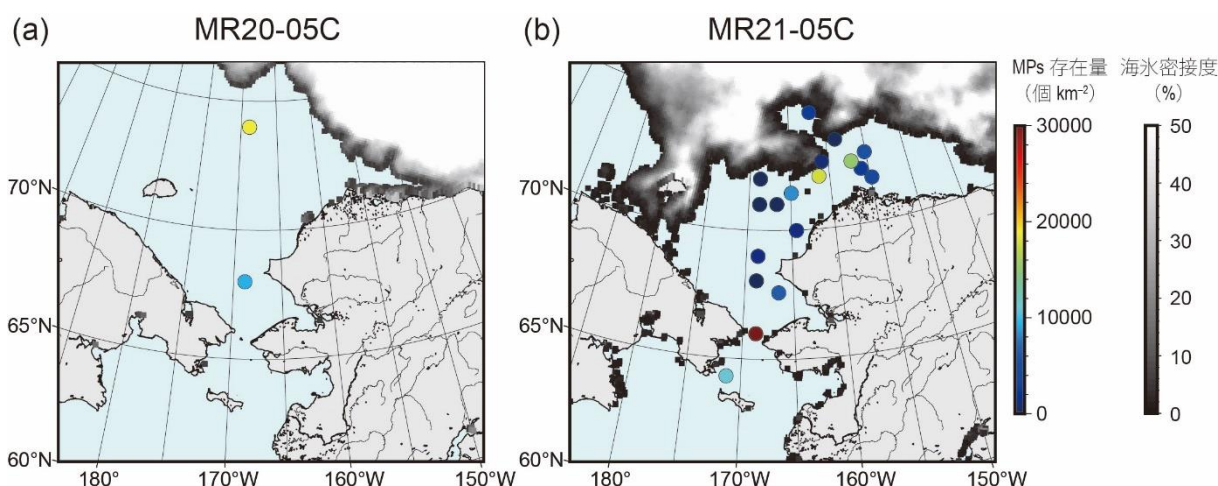


図1. チュクチ海におけるマイクロプラスチック存在量の水平分布。(a)はMR20-05C航海、(b)はMR21-05C航海の分布を示す。カラースケールはマイクロプラスチックの存在量、グレースケールは、サンプリング期間中の平均の海水密度度をそれぞれ表す。

KM21-08、KM22-02 航海概要報告：

海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価(P21-02 課題)

○古島靖夫・生田哲朗・山北剛久・高橋朋子・Sangekar Mehul Naresh・甘利由香・土屋正史・北橋倫・横川太一・中嶋亮太・近藤圭・田角英二・真壁明子・小川晟人・藤倉克則(海洋研究開発機構), 粥川洋平・喜瀬 浩輝(産業技術総合研究所), 丸本幸治・多田雄哉(国立水俣病総合研究センター), 武内章記・岡部宣章(国立環境研究所), Chenchen Tang(明治大学), 自見直人(名古屋大学), 波々部夏美・Gregorius Altius Pratama(東京大学), 柳研介(千葉県立中央博物館), 乗船者一同

2020 年度に引き続き、KM21-08、KM22-02 航海では、以下を目的に研究課題「海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価(P20-02 課題)」を実施した。

1. 汲み上げ海洋深層水取水口付近の現状把握と現場海水の採取を行い、海洋深層水中の環境 DNA 解析による深海生態系変動を把握する。(KM21-08 leg. 2)
2. 海洋表層から深海域におけるマイクロプラスチック (MPs) を含む海ごみの分布と動態を明らかにし、深海生物・深海生態系に与える影響を把握するとともに、沿岸域における海ごみ汚染の実態を解明する。(KM22-02・KM21-08 leg. 1)
3. 海底資源開発など人間活動が引き起こす懸濁粒子の巻上げや再堆積が、深海生態系に与える影響を評価する手法の高度化と最適化を図る。(KM21-08 leg. 1)

また、本課題の目的を達成するために貢献しうる追加研究課題を“かいめい”シンポジウムを通じて募集し、採択された研究課題(KM21-08: 2 課題、KM22-02: 4 課題)も併せて実施した。しかし、KM21-08 航海は当初 leg. 1 と leg. 2 で実施予定であったが、Covid-19 感染拡大防止の影響を受け、実調査 3 日間のみ航海(KM21-08)となり、上記の目的 1 のための航海(KM21-08 leg. 2)は中止となった。

KM21-08 航海では、相模湾初島沖において KM-ROV を用いた深海生物の微小粒子取込み実験に用いるシンカイヒバリガイ類の採取、海ごみの分布や深海生態系の影響を知るための海底観察、コアサンプリング、生物採集等を行った。さらに、水深 900 m の深海において KM-ROV に搭載した現場型粒子測定装置(RamaCam)による連続的なホログラム画像とラマン信号の取得に成功した。この結果は、今回の現場調査に向けた自動粒子検出アルゴリズムの開発に寄与する。また、KM-ROV に搭載した 3 次元マッピングシステムにより、海底の高精細な映像・画像データを取得した。これにより、詳細な生物の分布や種判別等を面的に捉えることが出来る海底マップの作成が可能となった。さらに、KM-ROV により海底設置した超音波流速計(ADV)と投下式乱流計(VMP-X)を用いた海洋乱流の直接観測を行い、複雑な海底地形による深海乱流強度の実態把握と乱流強度推定手法の開発・高精度化に貢献する知見を得た。

KM22-02 航海では、南西諸島周辺海域(沖縄本島周辺海域)の水深 1,300~7,300m の 5 測点にて、ニューズトンネットによる海表面の MPs の採取、CTD 多連採水装置による海洋鉛直構造の調査と微生物群集調査のための採水や微生物群集の分布を支配する各種化学パラメータ、海洋表層の水銀やメタンと二酸化炭素などの溶存ガス濃度の連続観測を行った。マルチプルコアラー観測では、海底堆積物の試料を採取し、ビームトロールでは、海ごみやそれに付着する生物の採取を行った。また、船上からは表層に浮かぶメソ~マクロサイズの見え目視観察や映像撮影を実施した。これらの結果を基に、房総半島沖に見られたプラスチックごみの集積との比較や、プラスチックごみの汚染源に近い海域(東アジアや東南アジアなど)での分布実態を把握することで、黒潮に沿ったプラスチックごみの挙動の理解が進むことが期待できる。

ハイパースペクトルカメラとコーヒー抽出機構を組み合わせた半自動マイクロプラスチック分析装置

○中嶋亮太・野牧 秀隆・土屋正史（海洋研究開発機構）、北橋倫（株式会社 KANSO テクノス）、朱 春茂・金谷 有剛（海洋研究開発機構）、下出 信次（横浜国立大学）、ドゥーグル リンズイー・千葉早苗・藤倉克則（海洋研究開発機構）

全球規模における海洋マイクロプラスチック (MPs) のモニタリングは、SDG14 の開発目標を達成するための喫緊の課題であるが、従来の MPs 分析 (材質判別、個数、形状など) は労力と時間がかかるため制約が大きい。そのため自動 MPs 測定は持続可能な MPs のモニタリングに不可欠な技術である。自動 MPs 分析装置を研究船や通常の航路を定期的に通過する商船に設置できれば、広大な範囲において MPs の時系列観測が可能になる。また、フィールドで得たサンプル分析も効率的になる。本研究では、自動コーヒー抽出機とハイパースペクトルカメラを組み合わせて、研究船や商船で採取した海水に含まれる MPs を連続的に測定する半自動分析システムを開発した。

新たに開発したシステムは、MPs の濾過・撮影を行う搬送系と撮影された MPs の分析を担う解析系で構成される。また、粒子の検出と材質判別までには、(1) 船の海水水道から生海水をシステムへ供給、(2) 自動コーヒー抽出機構を用いて海水を定期的にロール状の紙フィルター (目合い約 100 μm) にろ過し、真水で洗浄・脱塩、(3) 吸引脱水によるフィルターから水分除去、(4) ハイパースペクトルカメラによる撮像と画像および近赤外スペクトルの取得、(5) フィルター巻き取りとサンプルアーカイブ、(6) 画像二値化による粒子認識と各粒子のハイパースペクトル抽出、各粒子の材質同定、(7) 各粒子のサイズと材質を出力する、という 7 つのプロセスで構成されている。基本的に、ペーパーフィルターを定期的に交換する限り MPs のモニタリングが可能である。本発表では KM22-15 Leg2 次研究航海で実施予定の本装置の運用も含めて紹介する。

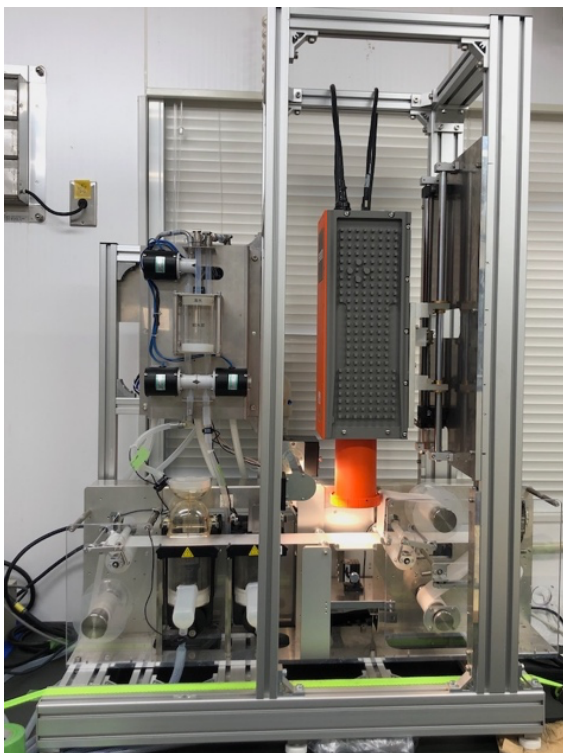


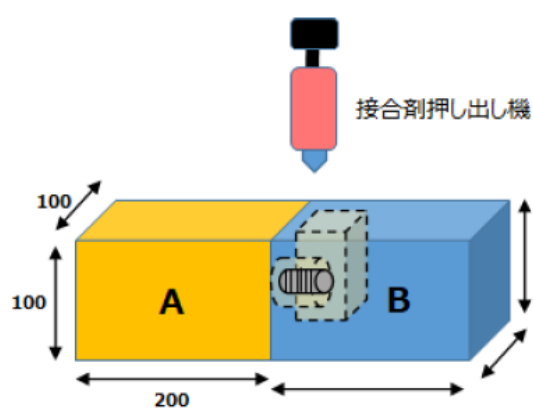
図1. 開発したマイクロプラスチック半自動分析装置の搬送系とハイパースペクトルカメラ

深海におけるセメント系材料の長期暴露試験と様々な原位置実験による力学挙動の把握

○笠谷貴史（海洋研究開発機構）、山中寿朗（東京海洋大学）、野村瞬（東京海洋大学）、高橋恵輔（UBE 三菱セメント）、小林真理（UBE 三菱セメント）、川端雄一郎（港湾空港技術研究所）、岩波光保（東京工業大学）、迫井裕樹（八戸工業大学）、松本朗（不動テトラ）、昇悟志（不動テトラ）、牧田寛子（東京海洋大学）、後藤慎平（東京海洋大学）、安井万奈（早稲田大学）

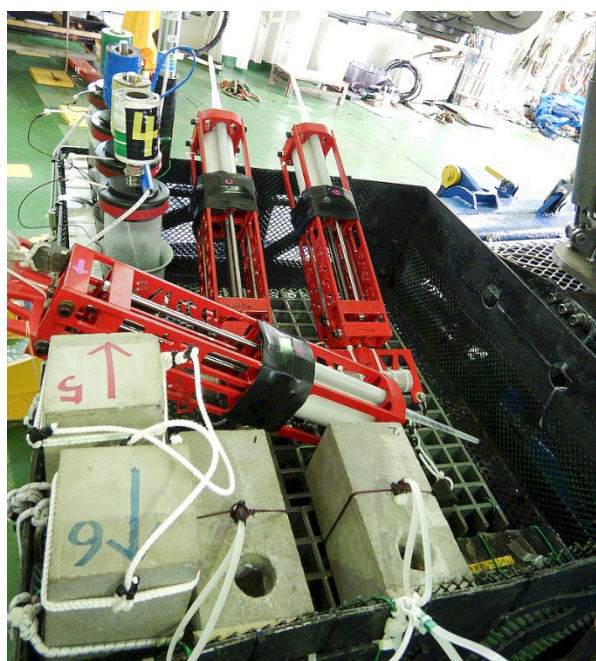
セメント系材料の海洋での利用には、材料としての劣化の評価が非常に重要である。我々は、超加速度試験となる極限環境である深海において、2017年に南海トラフ北縁海域水深約3500m（海域1）にプラットフォームを設置し、セメント系材料の長期暴露試験や原位置計測を実施してきた。これまでの海底での作業は主としてビークルの試験航海への追加作業という形で実施してきたが、2022年度は科研費や共同研究にもとづく研究費も使い、セメント系材料の海洋利用に特化した航海を実施した。航海（YK22-09C）は2022年5月に実施され、しんかい6500による4回の潜航で様々な作業を実施した。本航海では、これまで継続して実施している海底プラットフォームに据え付けられた長期暴露試験供試体の回収と新規設置、歪み計測を行う原位置観測装置の回収・再設置に加え、(1)現場でのコンクリート部材の接合試験、(2)CPTによる地盤強度計測試験を新規に実施した。また、本航海では水深の異なる新しい試験地点として、駿河湾湾奥部清水沖の約1000mの海底（海域2）を設定した。

図1は接合試験のイメージ図であるが、接合用の鉄筋の入ったA材と鉄筋の差し込み孔および接合剤の注入孔の空いたB材をマニピュレータにより海底で組み合わせ、図2の赤いフレームで構成された注入器の上部に取り付けられたハンドルをマニピュレータで回すことで、接合剤を注入孔に注入する。接合試験は海域2において4組の部材に対して注入作業を行い、そのうち1組については同じ潜航で回収した。また、残った注入剤を用いて海域1でも簡易的な接合試験を実施した。海底での注入作業は問題なく実施することができ、海域2で回収した1組を揚収後に確認したところ、十分な強度で接合されていることが確認された。CPTプローブによる計測は、インフラ建設時に重要な情報となる地盤強度の計測を行うもので、今回は水先端抵抗と間隙水圧を計測する2成分計と、それに加えて周面摩擦を計測する3成分計の両方を用いて計測を行った。これらの観測はオフライン観測であるが、オンライン観測を目指して傾斜計部のみをビークルの船内のPCで制御・計測するプローブの試験観測も実施した。観測は、海域2で設定された潜航範囲を航走しながら底質が異なる地点がある度に着底し、それぞれのCPTプローブを海底にマニピュレータで突き刺して試験データの取得を行った。



（上図）図1 接合試験のイメージ図。

（右図）図2 潜航前のペイロード。手前のセメント部材は接合試験のための供試体。上に空いている孔は接合剤の注入孔。奥の赤いフレームが接合剤の入った接合剤押し出し機である。



環境 DNA サンプル自動採取・保存装置の開発と現場遺伝子解析への展開

○福場辰洋，賀来将大（海洋研究開発機構），
西澤岳人，下島公紀（東京海洋大学），
後藤周史，峰岸有紀，濱崎恒二（東京大学大気海洋研究所）

近年、海水に含まれる環境 DNA の分析に基づいた解析手法が、海洋生態学研究のみならず、水産や環境アセスメント等の産業分野において展開されつつある。一般的には数リットル程度の海水サンプルを採取し、そこから DNA を抽出することで、微生物だけでなく魚類などの大型遊泳生物等の検出と、種組成も含めた網羅的解析までが可能になっている。一方で、特に外洋域や深海を対象とした場合、海水サンプルの採取には、採水器を備えた船舶や ROV 等のプラットフォームを用いる必要があるため、解析の時空間分解能の向上には何らかの現場型装置の導入による自動化・リモート化が必要である。

そこで我々は、環境 DNA サンプルの自動採取装置「eDNA サンプラー」の開発と評価を進めてきている（福場ら 2022, T. Fukuba *et al.* 2022）。本装置はシンプルな構成でありながら最大 12 サンプルの定量的な濾過濃縮が可能である。また DNA の分解を抑制するために必須の試薬添加も可能である。電源なども含めて表層ブイに収納した状態（図 1）で 1~2 名での海域投入・回収が可能にほどに小型化されているため、多様なプラットフォームを用いた展開が期待できる。スケジュールに従った完全自動動作の他、携帯電話通信網を用いた遠隔操作・モニタリングも可能である。これまでに表層ブイ版の eDNA サンプラーについては、岩手県大槌湾内におけるサケやエゾアワビ等を対象とした環境 DNA 自動採取ミッションを通して実海域試験を繰り返してきている。また、海中環境での運用を可能にした改良版の eDNA サンプラーは、IFREMER（フランス国立海洋開発研究所）との国際協同プロジェクトに基づいて、仏領ニューカレドニア沖海域での長期係留展開も計画されている。水中で使用可能な小型 eDNA サンプラーは、AUV 等を用いた深海環境 DNA サンプルリターンミッションにも展開できる。

上記の eDNA サンプラーは、完全自動の遺伝子検出を目指した装置の開発プロジェクト（文部科学省海洋資源利用促進技術開発プログラム・海洋情報把握技術開発）において、サンプル自動濾過モジュールとして開発された装置「ATGC Automated Gene Collector」の 1 タイプを単独で現場展開可能にした装置である。同プロジェクトを通して、近日中に遺伝子抽出機能、PCR による標的遺伝子の検出機能まで集積化が完了する予定である。ここでは、これまでの eDNA サンプラー開発と展開の現状、および現場遺伝子解析装置開発の最新動向について紹介する。



図 1. 浮体に組み込まれた eDNA サンプラー

【参考文献】

T. Fukuba, S. Goto, M. K-S. Wong, Y. Minegishi, S. Hyodo, Y. M. Kobayashi, Y. Sugai, and K. Hamasaki “Development and Evaluation of Automated Gene Collector - ATGC-12S for Environmental DNA sample Archive at Aquatic Environments” Proceedings of Oceans 2022 Hampton Roads, 2022

福場 辰洋，後藤 周史，小林陽子，濱崎恒二，「海洋現場における全自動環境 DNA 分析に向けた現場型装置開発の現状と将来展望」海洋理工学会 令和 4 年（2022 年）度 春季大会（東京，2022.6.9）講演論文集 pp. 29-32, 2022

海洋研究者支援サイト「海洋調査研究プラットフォーム」の構築

喜多河康二・北沢一宏・鈴木祥市・柴田 桂・○田代省三（地球環境フォーラム）

1. はじめに

広大な排他的経済水域と領海を持つ日本にとって、この海洋の解明は必須の重要な課題だ。しかし、近年の財政状況の悪化に伴う運航予算の縮減並びに燃料費の高騰は、海洋研究にとって必要不可欠な基盤である研究船の運航日数の減少、ひいては減船にまで及んでいる。

研究船の利用は、東京大学大気海洋研究所が事務局を務める「共同利用」による公募型研究航海により海洋研究者に平等に配分されている。しかし、航海日数の減少による採択率の低下は、研究提案を出しても採択されないとの閉塞感から応募数の減少を招いている。この傾向は特に若手研究者にみられ、日本の海洋研究は危機的状況だ。また、公募型研究航海は、海洋科学の発展に資するだけでなく、海洋研究者・技術者を目指す大学・大学院生に現場を教える貴重な教育の場でもある。研究船の航海日数の減少は、これら次世代育成に必要な教育の場も同時に奪うことになっている。

2. 背景

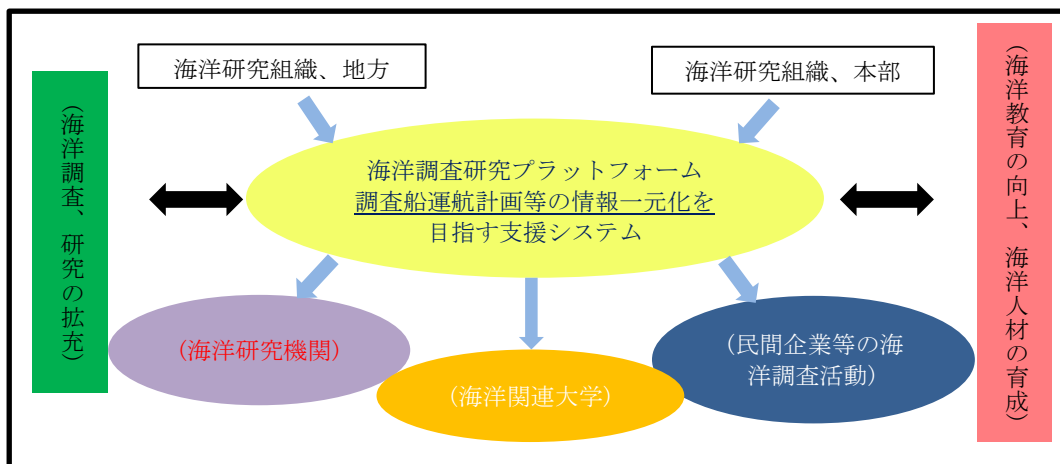
第三期海洋基本計画（2018年）では「研究機関・大学等有する船舶、探査機、スーパーコンピュータ等の施設・設備等について、性能を十分に発揮できるよう計画的に代替整備、老朽化対策等を進めるとともに、限られた研究基盤の有効活用を図るため、共同利用を推進する。（文部科学省）」とされており、研究機関・大学等有する船舶の運航機関と海洋研究者との連携強化が求められていることから、公益財団法人日本海洋科学振興財団が一般社団法人新技術振興渡辺記念会の平成27、28年度科学技術調査研究助成により有識者及び船舶運航機関等の専門家で実施した「海洋調査研究観測機器等の共用化支援システム構築方策に関する調査研究」で対応策をとりまとめた。その結果、不足する公募型研究航海日数の補填に大学が有する船舶の航海時間の活用の検討、また、研究機関・大学等有する船舶の運航計画等の情報を一元的に集約したポータルサイト構築の必要性が指摘された。

3. 目的

この提言を受け、研究機関・大学等有する船舶を海洋研究での活用の機会を増やすことを目的に、利用可能な船舶のシフトタイム等を含む情報の紹介を通じて、船舶の利用を望む海洋研究者と運航機関との調整を行うため海洋研究者支援サイト「海洋調査研究プラットフォーム」を構築する。

なお、本支援システムは、日本海洋学会の要請を受け特定非営利活動法人地球環境フォーラムが運用する予定である。

図1. 海洋調査研究プラットフォームが目指すイメージ



海底熱水鉱床の局所熱流動に着目した鉱物形成・物質輸送の解明 KS-22-12 報告

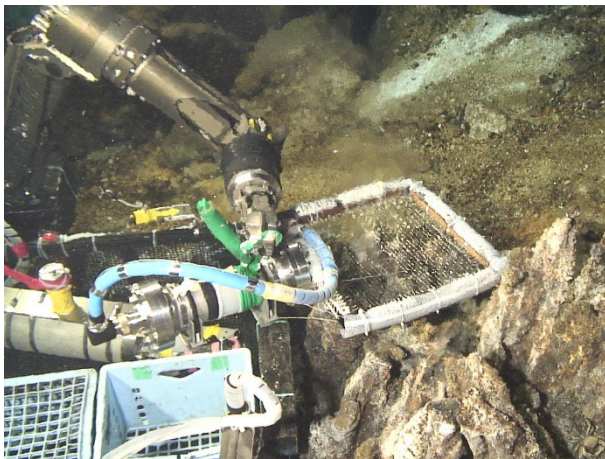
○井原 智則（東京海洋大学）

海洋資源の開発は国策として進められており、海洋基本計画やエネルギー基本計画などにおいてもその重要性が述べられている。一方、海底熱水活動を起源とする金属資源は、海洋地殻や堆積物から溶出した元素を含む熱水の物質輸送により成り立っているが、未だ熱水流動の流体力学的な詳細なふるまいについては解明されていない。加えて、噴出後のチムニーなどでの鉱物の物理的な沈殿メカニズムについても謎が多い。将来にわたる持続可能な資源開発においては、海底熱水サイトの物質輸送（フラックス）・そしてチムニーやマウンドにおける鉱物の物理的形成過程を理解することが鍵となってくる。海底熱水活動は、時に 300°C を超える熱水の深海底からの噴出、周辺海水による冷却に伴う元素の析出、速度場・温度場・物質濃度場による拡散過程を伴い、チムニー内等での物理・化学変化を経た上で最終的に鉱床が形成される。従って、熱水活動の各現象場を計測によって観測し、その上で、熱水噴出孔からの供給物質を境界条件にとれば、輸送過程および海底熱水鉱床の振る舞いを流体力学的観点から説明できることが期待される。

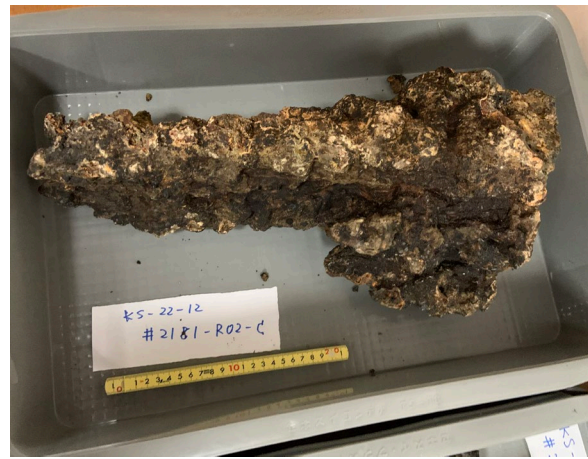
上述の背景から、熱水の局所熱流動現象を実際の計測により評価した上で、形成鉱物の分析を行い、熱水鉱床の詳細なふるまいを流体力学的アプローチで解明することを目的として研究を行っている。KS-22-12 航海では、伊豆・小笠原海域における活動的な海底熱水サイトをいくつか選定し、その中で明神海丘（サンライズ鉱床）および明神礁カルデラ（ライジングスター鉱床）について、新青丸及び無人探査機ハイパードルフィンを用いた潜航調査を行った。調査においては、超音波流速分布計測（Ultrasonic Velocity Profile; UVP）法を用いた熱水流動計測、点計測型の熱水温度計および面計測型の熱水温度分布測定装置を用いた熱水温度計測、海水・熱水試料の採取およびチムニー試料採取を行った。本報では、航海概要報告としてその内容について述べる。

2022 年 8 月 21 日に実施した HPD#2181 潜航においては、サンライズ鉱床を調査した。面計測型熱水温度分布測定装置での測定の様子を下図に示す。本海域では最高温度 214°C の熱水活動が観察され、UVP 法による流動計測、温度分布計測、ならびに熱水サンプルやアクティブチムニーの採取を行った。本海域においては、音響測位結果がなつしま・ハイパードルフィンにおける過去の潜航と比べてドリフトしていると思われるため、今後の調査においては注意が必要である。2022 年 8 月 22 日に実施した HPD#2182 潜航においては、サンライズ鉱床を調査した。この海域は比較的穏やかな熱水活動が広域で観察され、最大で 233°C の熱水活動を確認した。熱水漏出域の活動を UVP 法ならびに熱水温度分布測定装置にて計測し、自然熱水活動の特徴を捉える事が出来た。また、タートルチムニーの根本にあるデッドチムニーや、ビッグチムニー周辺のアクティブチムニーの採取などを行った。

得られたデータを基に現在詳細な解析を進めている。末筆ながら、新青丸乗組員一同ならびにハイパードルフィン運航チーム、本航海に関わった全ての方に感謝を申し上げる。



面計測型熱水温度分布測定装置での計測の様子



採取されたアクティブチムニーの例