



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

1日目：2025年3月12日（水）

2日目：2025年3月13日（木）

発表課題一覧

特別発表・口頭発表

1. 海洋底科学（地球物理、地震・津波、火山、地質、海底資源）

発表 1 日目

1-1. 高橋 努 他, 海洋研究開発機構 他

令和 6 年能登半島地震震源域での緊急海底地震観測及び海底電磁気観測

【KH-24-JE01, KH-24-JE02C, KH-24-JE03】

日時: 3/12(水)9:45-10:15

特別発表

1-2. 白石 和也 他, 海洋研究開発機構 他

熊野灘沖から遠州灘沖における地殻構造調査 (KM24-12)

【KM24-12】

日時: 3/12(水)10:15-10:35

1-3. 悪原 岳 他, 東京大学地震研究所 他

熊野灘のスロー地震活動とその地質構造の関係

【KS-19-18, 他】

日時: 3/12(水)10:35-10:55

1-4. 吉村 由多加 他, 国立極地研究所

古地磁気強度記録による海底火山の活動年代推定の試み

【YK05-16】

日時: 3/12(水)10:55-11:15

発表 2 日目

1-5. 二村 康平 他, 名古屋大学 他

中央インド洋海嶺マリーセレスト・トランスフォーム断層における海洋地殻の形成

【KH-15-5, 他】

日時: 3/13(木)10:50~11:10

1-6. 鈴木 諒翼 他, 神戸大学 他

マリーセレストトランスフォーム断層を用いて海洋地殻の鉛直磁化構造を探る試み

【KH-24-4】

日時: 3/13(木)11:10~11:30

- 1-7. 沖野 郷子 他, 東京大学大気海洋研究所 他
KH-24-4 速報:インド洋トランスフォーム断層調査 MOWALL-CIR
【KH-24-4】
日時:3/13(木)13:30~13:50
- 1-8. 西田 周平 他, 海洋研究開発機構
南海トラフにおけるゆっくり滑り観測網の整備
【KS-24-J03, KM24-11, KM24-13, KS-25-J02】
日時: 3/13(木)13:50~14:10
- 1-9. 大坪 誠 他, 産業技術総合研究所 他
沖縄トラフ、背弧でのマグマ活動を伴わない地殻の薄化:KH-23-11 航海報告
【KH-23-11, 他】
日時: 3/13(木)14:10~14:30
- 1-10. 中西 正男 他, 千葉大学 他
白亜紀中期における太平洋ーイザナギ海嶺のテクトニック事変
【MR15-03, 他】
日時: 3/13(木)14:30~14:50
- 1-11. 石塚 治 他, 産業技術総合研究所 他
高時間分解能で迫るプレート沈み込みにいたるテクトニクス -YK24-05S 航海速報-
【YK24-05S, 他】
日時: 3/13(木)14:50~15:10
- 1-12. 小原 泰彦 他, 海上保安庁海洋情報部 他
南部マリアナ地域の組成・構造とテクトニクス:白鳳丸KH-23-9 航海概要報告
【KH-23-9】
日時: 3/13(木)15:10~15:30

2. 海洋生命科学 (生物多様性、海洋生態系、海底下生命圏、生命科学)

発表 1 日目

- 2-1. 許浩東 他, 東京大学農学生命科学研究科, 東京大学大気海洋研究所 他
河口付近におけるマイクロプラスチックの濃度分布および輸送パターン
【KS-23-11, 他】
日時: 3/12(水)13:15-13:35
- 2-2. Kurt Bryant B. Bacharo 他, 琉球大学 他

Diversity and distribution of anthozoan specimens collected during the 2020-2024

JAMSTEC expeditions in the northwestern Pacific

【KM24-03 Leg 2, 他】

日時: 3/12(水)13:35-13:55

発表 2 日目

2-3. 王雪丁 他, 東京大学大気海洋研究所

環境DNAを用いた北太平洋亜寒帯および亜熱帯海域における魚類の日周鉛直移動特性の探究

【KH-23-3】

日時: 3/13(木)09:50~10:10

2-4. 林沅 他, 東京大学大気海洋研究所

5 年間の環境 DNA 観測が示す日本周辺の魚類群集地理分布

【KS-18-5, 他】

日時: 3/13(木)10:10~10:30

2-5. 浅田 要 他, 東京大学大気海洋研究所

超深海動物の深度分布と種分化: 北西太平洋の二枚貝を例に

【KH-22-8, KH-23-5】

日時: 3/13(木)10:30~10:50

2-6. 藤原 義弘 他, 海洋研究開発機構 他

KM24-03 Leg 2 航海概要

【KM24-03 Leg 2, 他】

日時: 3/13(木)16:20~16:40

2-7. 波々伯部 夏美 他, 海洋研究開発機構 他

志摩海脚の深海底生動物相: YK24-09S 航海の予察的成果報告

【YK24-09S】

日時: 3/13(木)16:40~17:00

3. 大気・海洋科学 (海洋物理、気象・気候、物質循環、古気候・古環境)

発表 1 日目

3-1. 粕谷 拓人 他, 九州大学, 海洋研究開発機構 他

大西洋子午面循環弱化イベントに伴う南半球偏西風帯変動

【MR16-09 Leg 2, 他】

日時: 3/12(水)13:55-14:15

- 3-2. 長島 佳菜 他, 海洋研究開発機構 他
ティッピングポイントと偏西風 ～海底堆積物からの知見と仮説～
【MR16-09 Leg 2, 他】
日時: 3/12(水)14:15-14:35

発表 2 日目

- 3-3. 高田 幸太郎 他, 名古屋大学環境学研究科 他
表層海水中の過剰メタンの起源
【MR24-07, 他】
日時: 3/13(木)9:30-9:50
- 3-4. 木元 克典 他, 海洋研究開発機構 他
西部北太平洋亜寒帯循環域の環境変化と生物応答研究: みらいMR24-07 Leg1航海報告
【MR24-07, 他】
日時: 3/13(木)15:40～16:00
- 3-5. 野 徹雄 他, 海洋研究開発機構 他
2024年能登半島地震震源域東部付近におけるSeismic oceanography研究
【KH-24-E1】
日時: 3/13(木)16:00～16:20

4. 海洋工学・技術開発(観測技術、ロボティクス、情報技術、データサイエンス)

発表 1 日目

- 4-1. 高塚 進 他, ソニーグループ株式会社, 海洋研究開発機構 他
イベントベースビジョンセンサー (EVS) 海洋粒子高速測定技術
【KM24-06C, 他】
日時: 3/12(水)14:40-15:00
- 4-2. 石橋 正二郎 他, 海洋研究開発機構 他
深海環境下におけるレーザー反射を適用した先進的光学計測技術の検証
【KM24-14C, 他】
日時: 3/12(水)15:00-15:20
- 4-3. 渡邊 佳孝 他, 海洋研究開発機構
音響通信測位統合装置の開発と実装
【YK24-18, 他】
日時: 3/12(水)15:20-15:40

5. その他(上記以外の海洋科学一般・教育・アウトリーチなど)

発表 2 日目

5-1. 中野 夏海 他, 海洋研究開発機構

IODP 研究航海 JTRACK における広報・アウトリーチ活動の報告

【IODP Expedition 405】

日時: 3/13(木)17:00-17:20

5-2. 倉田 祥徳 他, 日本科学未来館 他

日本科学未来館における「JTRACK」のアウトリーチ活動

【IODP Expedition 405】

日時: 3/13(木)17:20-17:40

ポスター発表(1日目：2025年3月12日(水)) コアタイム 11:15-12:15

1. 海洋底科学(地球物理、地震・津波、火山、地質、海底資源)

0312-1-1. 森岡 美樹 他, 日本海洋事業株式会社

海底地形データ処理の最適化 ～音速補正処理への4次元格子データ利用～
【その他】

0312-1-2. 高下 裕章 他, 産業技術総合研究所 他

日本海溝の広域地殻変動の検出に向けた海底地形観測の基準点作成
- 白鳳丸 KH-22-10 航海結果(速報) -
【KH-22-10, 他】

0312-1-3. 戸田 賢太郎 他, 東北大学 他

伊豆・小笠原海域の硫化物チムニー累帯構造と熱電変換性能に関する実験的検討
【KS-24-14, 他】

0312-1-4. 篠原 雅尚 他, 東京大学 他

緊急海底地震観測による令和6年能登半島地震震源域海域部の余震活動
【KH-24-JE01, KH-24-JE02C】

0312-1-5. 中西 諒 他, 京都大学 他

喜界島周辺海域における観測地震によるタービダイト層形成条件の検討
— KS-24-4 次航海の調査報告 —
【KS-24-4, 他】

0312-1-6. 小野 誠太郎 他, 東京大学大気海洋研究所 他

マリアナトラフの発達史
【YK09-08】

0312-1-7. 谷 健一郎 他, 国立科学博物館 他

古フィリピン海プレート起源と黒潮上流域における古海洋環境・生物相解明:
KH-23-10 航海予察的報告
【KH-23-10】

0312-1-8. 田村 芳彦 他, 海洋研究開発機構 他

能登半島地震と地質(漸新世-中新世の火山岩)の関係
【その他】

2. 海洋生命科学（生物多様性、海洋生態系、海底下生命圏、生命科学）

0312-2-1. 池上 隆仁 他, 海洋研究開発機構

黒潮続流・再循環域の深層におけるマイクロプラスチック沈降フラックスの定量

【KY14-09, 他】

0312-2-2. 中嶋 亮太 他, 海洋研究開発機構 他

YK23-15 航海概要 海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価②

【YK23-15】

0312-2-3. 湯浅 彩優 他, 東京海洋大学大学院 他

シンカイヒバリガイ類 2 種における共生細菌初期取り込み過程の比較

【YK23-12, 他】

0312-2-4. 宮本 祐成 他, 千葉大学 他

東部南太平洋の物質循環における浮遊性有孔虫の役割

— 群集構造とバイオマスの観点から —

【KH-19-6】

3. 大気・海洋科学（海洋物理、気象・気候、物質循環、古気候・古環境）

0312-3-1. 井上 龍一郎 他, 海洋研究開発機構 他

microALTO フロートによる海洋乱流観測

【KS-23-8, 他】

0312-3-2. 伊藤 幸彦 他, 東京大学大気海洋研究所 他

夏季の利根川沖陸棚上における陸起源物質の分布と輸送過程

— 新青丸 KS-23-16 次航海速報 —

【KS-23-16, 他】

0312-3-3. 高橋 杏 他, 東京大学大気海洋研究所 他

常磐沖・陸棚域における強乱流の物理過程解明に向けた集中観測

— 新青丸 KS-24-11 次航海速報 —

【KS-24-11, 他】

0312-3-4. 藤原 周 他, 海洋研究開発機構 他

太平洋側北極海における学際的研究

MR21-05C/22-06C/23-06C/24-06C 航海概要

【MR21-05C/MR22-06C/MR23-06C/MR24-06C, 他】

0312-3-5. 竹谷 文一 他, 海洋研究開発機構 他

みらい北極航海による洋上大気氷晶核測定:シベリア森林火災の影響

【MR16-06】

0312-3-6. 清木 亜矢子 他, 海洋研究開発機構

2024 年夏季の熱帯西部北太平洋域における大気海洋相互作用現象
～MR24-04 航海報告～

【MR24-04】

0312-3-7. 横井 寛 他, 海洋研究開発機構 他

北西太平洋熱帯域における大気海洋相互作用観測:MR24-04 航海概要

【MR24-04】

0312-3-8. 木下 武也 他, 海洋研究開発機構 他

海洋地球研究船「みらい」MR24-04 航海で実施した高高度ラジオゾンデ観測
により得られた大気擾乱活動に関する研究

【MR24-04】

0312-3-9. 金 仁熙 他, 東京大学大気海洋研究所 他

西部北太平洋における鉄, マンガン, 銅, 亜鉛の分布と生物地球化学循環

【KH-22-7, KH-23-2, 他】

0312-3-10. 川合 義美 他, 海洋研究開発機構 他

KS-22-10 航海とBGC アルゴフロートデータから明らかにした
北海道南東沖における 2022 年海洋熱波が溶存酸素濃度に与えた影響

【KS-22-10, 他】

0312-3-11. 永野 憲 他, 海洋研究開発機構

MR21-06 観測で捉えた黒潮続流から切離した冷水渦と風の弱化

【MR21-06】

0312-3-12. 矢部 いつか 他, 東京海洋大学

磯口ジェット・親潮合流域における水塊混合と混合水域への栄養塩供給に関する
研究:KS-24-9 航海概要

【KS-24-9, 他】

4. 海洋工学・技術開発(観測技術、ロボティクス、情報技術、データサイエンス)

0312-4-1. 田村 千織 他, 東京大学大気海洋研究所 他

白鳳丸マルチビーム音響測深機 EM124 チャレンジャー海淵測深

【KH-23-9】

0312-4-2. 西尾 貴樹 他, 海洋研究開発機構

大規模画像データセットを用いた深層学習による深海プラスチックごみの検出

【KS-24-15】

0312-4-3. 福場 辰洋 他, 海洋研究開発機構

Lab-on-a-Chip と3D プリント技術で挑む海洋生物多様性と海洋環境の可視化

【その他】

5. その他(上記以外の海洋科学一般・教育・アウトリーチなど)

0312-5-1. 石垣 秀雄, 東京大学大気海洋研究所

フリーフォール中における白鳳丸ウインチワイヤー(No.1, No.4)の挙動

【KH-24-2】

0312-5-2. 一柳 麻里香 他, 株式会社マリン・ワーク・ジャパン 他

JAMSTEC サンプルの活用を促進するメタデータ管理

【その他】

0312-5-3. 吉澤 理 他, 海洋研究開発機構

GIGA スクール特別講座～教室から深海探査につながろう！～開催報告

【KS-22-J01 Leg 2】

ポスター発表(2日目: 2025年3月13日(木)) コアタイム 11:30-12:30

1. 海洋底科学(地球物理、地震・津波、火山、地質、海底資源)

0313-1-1. 金澤 志旺 他, 千葉大学 他

海底圧力計と海洋モデルを用いた2024年房総スロースリップによる海底上下変動の抽出

【KS24-13】

0313-1-2. 永木 晴美 他, 日本海洋事業株式会社 他

JAMSTEC 船上重力計公開データの再整備

【その他】

0313-1-3. 三浦 誠一 他, 海洋研究開発機構 他

日本海溝中部における構造調査: KM24-04 航海報告

【KM24-04】

0313-1-4. 津村 紀子 他, 千葉大学 他

海陸統合地震探査による日高衝突帯深部構造の解明

【KH-23-8】

0313-1-5. 鹿児島 涉悟 他, 富山大学 他

新青丸 KS-23-6 次航海の成果に関する発表

【KS-23-6, 他】

0313-1-6. 古島 靖夫 他, 海洋研究開発機構 他

深海底近傍における乱流強度の実測、推定法、可視化技術の開発II

～MR23-03 航海で取得した ADV データを用いた乱流推定～

【MR23-03, 他】

0313-1-7. 田中 聡 他, 海洋研究開発機構

伊豆諸島火山活動把握のための調査観測航海－YK23-02 航海概要－

【YK23-02】

0313-1-8. 金松 敏也 他, 海洋研究開発機構 他

海底堆積物を使った千島海溝沿いの地震記録復元: 地震発生帯で採取された海底堆積物の概要

【MR22-04, 他】

0313-1-9. 三澤 文慶 他, 産業技術総合研究所 他

沖縄トラフ南部・石垣グラーベンでの潜航調査 - 新青丸KS-24-1航海結果(速報) -
【KS-24-1】

0313-1-10. 田中 えりか 他, 高知大学 他

KH-24-1 航海「シャツキーライズの地形と水塊構造:太平洋遠洋域の”Topographic high”における底層流と過去50 万年間の栄養塩供給機構の描像」速報
【KH-24-1】

0313-1-11. 金子 琉 他, 東京海洋大学 他

南鳥島近傍の堆積層構造と高濃度レアアース泥の関係
【MR15-E01 Leg3, 他】

0313-1-12. 内方 南緒 他, 東京海洋大学 他

水曜海山の海底熱水鉱床周辺に着目した浅部地下構造イメージング
【KR05-06】

2. 海洋生命科学 (生物多様性、海洋生態系、海底下生命圏、生命科学)

0313-2-1. 杉村 誠 他, 新江ノ島水族館 他

多点水温モニタリングを可能にした温水噴出システムの開発と検証
【KS-20-1】

0313-2-2. 高木 悠花 他, 東京大学大気海洋研究所 他

浮遊性有孔虫の18S rDNA メタバーコーディング解析に基づく光共生の特異性と進化
【KH-17-4, 他】

0313-2-3. 菅井 洋太 他, 東京大学大気海洋研究所 他

亜寒帯・亜熱帯外洋域の海表面マイクロレイヤー (SML) における有機物・微生物群集の時間変動
【KH-23-3】

3. 大気・海洋科学 (海洋物理、気象・気候、物質循環、古気候・古環境)

0313-3-1. 伊地知 敬 他, 東京大学大学院理学系研究科 他

小笠原海域で卓越する近慣性波の時系列観測
【KS-23-8】

0313-3-2. 鋤柄 千穂 他, 海洋研究開発機構

西部北太平洋亜熱帯域晩冬季の物理・化学場および生物群集構造の時間変化
(みらいMR24-01C 航海速報)

【MR24-01C】

0313-3-3. 濱崎 恒二 他, 東京大学大気海洋研究所 他

白鳳丸KH-23-3 次航海概要報告

西部北太平洋における大気海洋境界領域の統合研究 SOLAS-JIPS

【KH-23-3】

0313-3-4. 前田 歩 他, 東京大学大気海洋研究所 他

白鳳丸KH-22-3次慣熟航海で採取された沖縄トラフ堆積物の層序と古環境復元

【KH-22-3】

0313-3-5. 堀井 孝憲 他, 海洋研究開発機構 他

「みらい」によって観測されたスマトラ島南西沿岸の沿岸湧昇と海洋の生物学的応答

【MR17-08】

4. 海洋工学・技術開発(観測技術、ロボティクス、情報技術、データサイエンス)

0313-4-1. 杉原 孝充 他, 海洋研究開発機構 他

DARWIN リニューアル公開とデータオープンアクセスへの取り組み

【その他】

0313-4-2. 植木 巖 他, 海洋研究開発機構

「みらい」MR23-05Leg1 航海におけるフラックス漂流ブイ試験

【MR23-05 Leg 1】

0313-4-3. 中野 善之 他, 海洋研究開発機構

フィルム型プラズマ発光式 UV-C 光源を用いた採水用殺菌装置の開発

【MR22-03, 他】

0313-4-4. 藤木 徹一 他, 海洋研究開発機構

海洋環境変化と低次栄養段階生物への影響評価:生物地球化学(BGC)アルゴフロートの利活用とその拡張

【MR19-02, 他】

0313-4-5. 樹田 行弘 他, 海洋研究開発機構

Time-Reversal MIMO 通信による長距離水中音響通信の高速化

【YK22-12C, 他】

0313-4-6. 前田 洋作 他, 海洋研究開発機構

超深海自律サンプリングシステムの実現に向けてーYK23-11 航海報告ー
【YK23-11】

0313-4-7. 馬場 尚一郎 他, 海洋研究開発機構 他

CTD 採水システム用水温計のトレーサブル校正
【MR21-04】

5. その他(上記以外の海洋科学一般・教育・アウトリーチなど)

0313-5-1. 佐藤 寛之 他, 東海大学

日本の有人潜水調査船の維持・開発の重要性和ROV、AUV との共存
～「深海研究包囲網」の確立と推進～
【その他】

0313-5-2. 荻田 善之 他, 海洋研究開発機構

深海高解像度カメラシステムによる深海映像の撮影・アウトリーチでの活用
【YK22-04】

0313-5-3. 木戸 ゆかり 他, 海洋研究開発機構 他

八戸市立吹上小学校における JTRACK にかかる海洋 STEAM 授業実施報告
【IODP Expedition 405】

令和 6 年能登半島地震震源域での緊急海底地震観測及び海底電磁気観測

○高橋努（海洋研究開発機構），尾鼻浩一郎・野徹雄・笠谷貴史・小倉訓・大田優介・藤江剛・小平秀一（海洋研究開発機構），篠原雅尚・山田知朗・一瀬建日・悪原岳（東京大学地震研究所），村井芳夫（北海道大学），東龍介・日野亮太（東北大学），馬場久紀（東海大学），中東和夫（東京海洋大学），山下裕亮（京都大学防災研究所），八木原寛（鹿児島大学）

2024 年 1 月 1 日に能登半島で発生した $M_{JMA}7.6$ の地震とそれに伴う津波は、震源域周辺に大きな被害をもたらした。この地震の震源域は能登半島北東の海域から能登半島西方に約 150km の範囲に広がり、地震発生前の調査で指摘されていた複数の断層で破壊が生じたと考えられている。震源域の東半分が海域に分布することから、詳細な地震活動の推移把握や震源の深さ精度の向上、地下構造の解明などを目的に JAMSTEC と全国の大学が連携し、海底地震計(OBS)による地震観測や海底電磁磁力計(OBEM)による電磁気観測を実施することとなった。

$M_{JMA}7.6$ の地震発生約 2 週間後から KH-24-JE01 航海(24/1/16-1/23)を行い、34 台の OBS と 2 台の OBEM を設置した (図 1a)。その後、KH-24-JE02C 航海(2/19-3/1)で、26 台の OBS と 2 台の OBEM を回収し (図 1b)、新たに 20 台の OBS と 5 台の OBEM を設置した (図 1c)。KH-24-JE03 航海(6/15-6/23)では、5 台の OBS を回収し (図 1d)、構造探査用 40 台および自然地震観測用 20 台の OBS を設置した (図 1e)。構造探査用 OBS は、探査期間だけではなく 6~9 月または 8~9 月にデータ収録を行い自然地震の観測網の一部としても運用した。9 月上旬に備船による屈折法探査・反射法探査(8/30-9/6)を行い、また 9 月下旬には別の備船航海(9/20-10/1)で 63 台の OBS を回収し (図 1f)、新たに 20 台の OBS を設置した。2024 年 10 月からは OBS40 台・OBEM5 台が設置されており (図 1g)、2025 年 1 月の KH-25-JE01 航海(25/1/7-1/19)で、全ての OBS・OBEM を回収する計画である。

KH-24-JE02C 航海で回収した 26 台の OBS (図 1b) の地震波形記録は、全国の大学と JAMSTEC で分担して検測作業を進めた。その検測結果を用い、震源位置の再決定や震源メカニズムの推定が行われた (Shinohara et al., under review)。この研究により、震源域の海底下で発生する地震の深さは気象庁一元化震源では 5~25km であったが、震源域北東部では震源の深さは最大で 17km 程度、より西側では最大で 12km 程度であることがわかった。またこの研究では P 波の初動解析により震源メカニズムを推定し、逆断層成分が卓越した地震だけではなく横ずれ成分が卓越している地震も多く発生していることを示した。また別の取り組みとして震源スペクトルに関する研究も進めており、震源域北東側で系統的に応力降下量が小さいことがわかった。これは北東側で断層面の固着が弱い可能性や、高周波数側でのエネルギー励起が系統的に小さくなるような破壊過程の違いを示唆する。

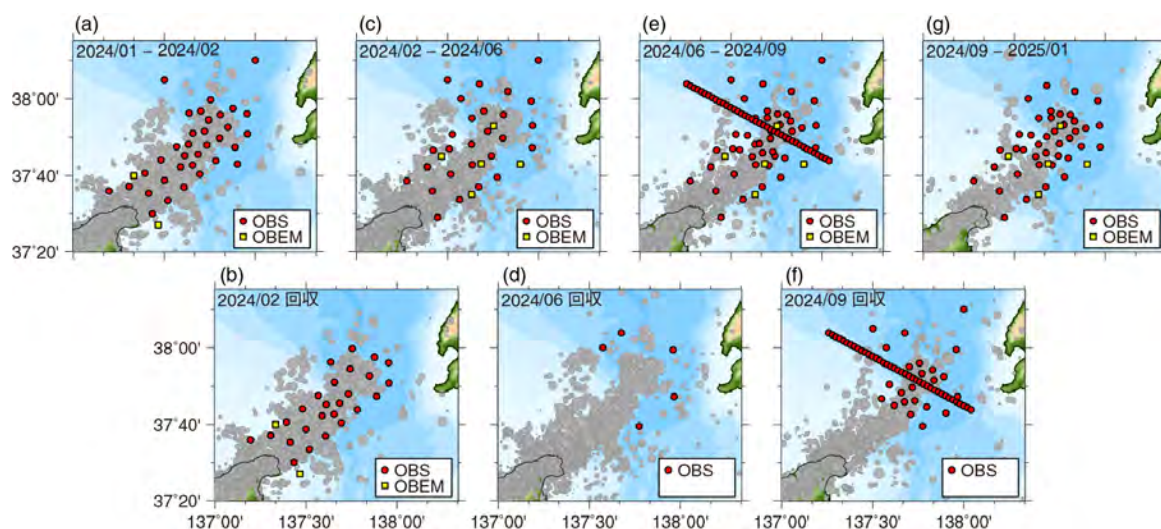


図 1. (a) 2024/1~2024/2 までの OBS・OBEM 観測網、(b) KH-24-JE02C 航海で回収した OBS・OBEM、(c) 2024/2~2024/6 までの OBS・OBEM 観測網、(d) KH-24-JE03 航海で回収した OBS、(e) 2024/6~2024/9 までの OBS・OBEM 観測網、(f) 備船航海で 9 月に回収した OBS、(g) 2024/9~2025/1 までの OBS・OBEM 観測網。灰色丸は気象庁一元化震源の震央を表す。

この一連の観測期間中の 2024 年 5 月に大規模な太陽フレアが発生し、OBEM による海底電磁気観測において良好な記録が観測されたことが期待されている。また KH-24-JE01, JE02C, JE03 の全てで海底地形調査を行い、震源域付近の水深 1000m 以上の領域のほぼ全てと富山湾内など震源域南側で調査を行った。その結果と 2023 年までに取得された地形データの比較から、海底谷付近の複数の箇所で、斜面崩落と考えられる地形変化が複数確認された (Kasaya et al., in prep.).

熊野灘沖から遠州灘沖における地殻構造調査（KM24-12）

○白石和也・三浦亮・中村恭之・藤江剛・三浦誠一（海洋研究開発機構），
市原寛・黒田真奈加（名古屋大学）

南海トラフ東部において実施した「かいめい」による KM24-12 航海の概要報告と、当該海域で明らかとなった海底下地質構造の特徴について紹介する。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に行われる、地震防災上最重要な領域の一つである。海洋研究開発機構では、南海トラフの全域で継続的に地殻構造探査を行っており、特に 2018 年以降はそれ以前よりも稠密な測線配置による地震探査を実施してきた。2022 年以降の調査対象地域である熊野灘沖から遠州灘沖は、1944 年昭和東南海地震の発生域であり、その海溝側の地殻浅部では微動や超低周波地震等のスロー地震が繰り返し発生することが確認されている。また、過去の調査によって、古銭洲海嶺の沈み込みが示唆されているものの、海嶺の詳細な形状や空間連続性について不明なことが多い。そこで、地質構造と地震活動の関係について理解を深めるため、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。

2024 年度は、KM24-12 航海（2024 年 10 月 19 日～11 月 10 日）において、それ以前の調査による既存データを活かすように稠密な測線を設定し、反射法地震探査を実施した（図 1）。反射法地震探査では、「かいめい」が曳航するエアガンアレイ（総容量 10,600 立方インチ）から 50m 間隔で音波を発生させ、海底下の地層境界から反射してくる波形情報を、曳航する長さ約 5.5km のストリーマケーブルに埋め込まれた多数の受振器で時系列データとして取得した。本調査でデータ取得した総測線長は約 1,455km であった。取得されたデータは船上で基本的な処理が施され、測線ごとに地下構造断面を描き出し（図 2）、取得されたデータの品質確認と予備的な地質構造解釈を行った。また、この航海では、YK24-08S 航海（2024 年 6 月）で設置された 5 台の海底電位磁力計（OBEM）の回収、地震探査測線に沿った海底地形調査、4 地点で投下式塩分水温深度計（XCTD）による測定を実施した。

海洋研究開発機構がこれまでに実施した調査により、トラフ軸と直交する方向には 4～8km 間隔、トラフ軸と並行な方向には 10～25km 間隔の測線で、南海トラフのほぼ全域をカバーできるようになった。これらのデータは最新の処理技術とイメージング技術によって詳細な海底下地質構造を明らかにし、一部の測線では海底地震計を用いた屈折法・広角反射法探査による地震波速度推定との統合的な理解に貢献してきた（Qin et al. 2021; Kimura et al. 2021, 2022, 2024; Nakamura et al. 2022; Arai et al. 2023, 2024; Takenouchi et al. 2023; Flores et al. 2024; Ma et al. 2024; Shiraishi et al. 2025 など）。今後もプレート沈み込み帯における継続的なデータ取得と統合的な処理・解析を通じて、三次元的な地下構造の解明と関連する地質現象の相互理解の深化に努める。

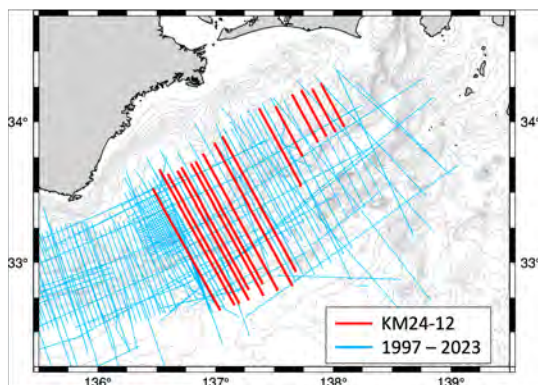


図 1 熊野灘沖から遠州灘沖における地震探査測線図。赤線が KM24-12 で実施した測線、青色が過去に実施した測線。

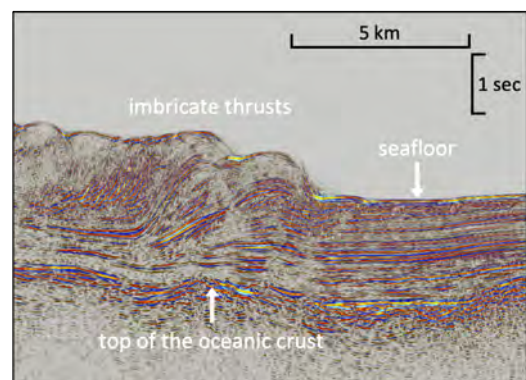


図 2 取得されたデータを船上で処理して得られた、反射波による地下構造断面図の例。

熊野灘のスロー地震活動とその地質構造の関係

○悪原岳（東京大学地震研究所）、白石和也（海洋開発研究機構）、辻健（東京大学）、山下裕亮（京都大学）、杉岡裕子（神戸大学）、Atikul Haque Farazi（バリシヤル大学）、大柳修慧・伊藤喜宏（京都大学）、新井隆太・荒木英一郎・藤江剛・中村恭之・利根川貴志（海洋開発研究機構）、東龍介・日野亮太（東北大学）、望月公廣・武村俊介・山田知朗・篠原雅尚（東京大学地震研究所）

沈み込むプレート境界面上で発生するゆっくりとした断層すべり（すなわち、スロー地震）を調査することで、巨大地震発生に向けての準備過程や、断層すべりのふるまいをよりよく理解できると期待されている。西南日本沈み込み帯の熊野灘海域では、数多くの構造探査が行われており、地殻構造がよく把握されている。また、海底ケーブル式地震観測網（DONET）が稼働しており、スロー地震の活動履歴もよくわかっている。そのため、スロー地震と地殻構造の関係を調査するための絶好の研究対象域となっている。しかし、スロー地震の震源決定精度が不足しているため、構造とスロー地震の関係性はまだ十分に解明されていない。

発表者の研究グループでは、2019 年から 2021 年にかけて熊野灘で DONET を補間する海底地震観測を実施した（KS-19-18, KS-21-10 次航海）。その観測期間中の 2019 年 12 月に、大規模なスロー地震活動が発生した。スロー地震は一般にシグナルが微弱かつ複雑なため、震源を精度よく求めることが難しい。本研究では、新たに開発した震源決定手法を用いて、テクトニック微動（スロー地震の一種）の高精度な震央分布と反射法地震探査による地質構造の対応関係を調査した。

その結果、テクトニック微動は覆瓦スラスト帯内で時間とともに発生場所を移しながら繰り返し発生するが、その移動フロントは前縁スラスト帯には到達していないことが分かった（図 1）。覆瓦スラスト帯から前縁スラスト帯への遷移部では、デコルマ面が前縁スラストへ接続し、断層面の傾斜角が急変する。この傾斜角の急変が、断層すべりを妨げていると考えられる。

2019 年から 2021 年にかけて展開された海底地震観測網は、観測点間隔が比較的大きかった。このため、テクトニック微動震源の深さの決定精度が高くなく、スロー地震の震源断層を特定するには至っていない。そこで、2021 年以降はより稠密な海底地震観測網を継続して展開しており（KS-22-8, KS-23-9 次航海）、およそ 5 年おきに発生する大規模スロー地震活動の再観測を目指している。

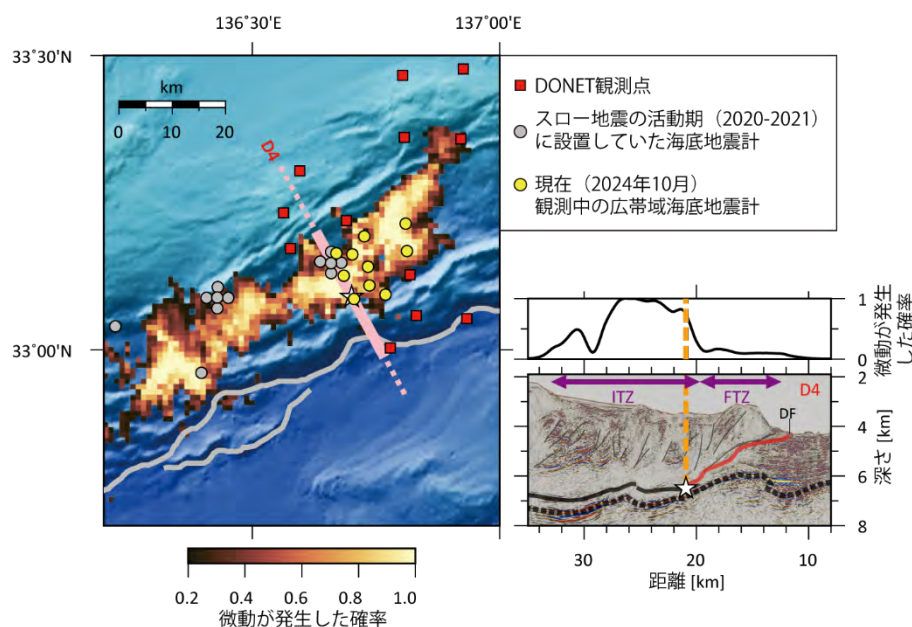


図 1. テクトニック微動の震央分布と地質構造との対応関係

古地磁気強度記録による海底火山の活動年代推定の試み

○吉村 由多加・藤井 昌和・竹原 真美（国立極地研究所）

海洋プレート形成過程やそれに伴う海底火山活動の実態、そして地球表層環境の理解には、海底の火山活動史の解明が鍵となる。しかし、およそ10万年よりも最近に形成された海底玄武岩の絶対年代の測定は一般に難しい。現時点においては、溶岩の累積関係や化学組成の変遷を観測することによる海底溶岩の相対年代の推定にとどまっている。一方で、過去の地磁気の強さ（古地磁気強度）は時代ごとに特徴的であるため、地磁気モデルと組み合わせることで海底玄武岩の年代推定に応用できる可能性がある。しかし、中央海嶺玄武岩を用いた古地磁気強度の測定手法はまだ確立されていない。内部で残留磁化鉱物を保持するガラスは、磁性鉱物を風化から保護すると考えられているため、多くの先行研究では、高品質の古地磁気強度を得るために中央海嶺玄武岩の急冷縁から採取された海底玄武岩ガラスが使用されている。例えば、Bowles et al. (2006, *G-cubed*) は、北緯 9° ～ 10° の東太平洋海嶺で採取された拡大軸に近い中央海嶺玄武岩のガラス部分を用いて、年代決定のための古地磁気強度測定を行った。彼らは古地磁気強度のコントラストを用いて、新旧の溶岩の間に約150年から200年の年代差を見出した。一方、急冷縁ガラスは常に残存しているわけではないため、全岩による古地磁気強度の測定が重要である。本研究は、中央インド海嶺の海底拡大軸部に位置する円錐状の火山体から採取された全岩海底玄武岩を対象にTsunakawa-Shaw法(Yamamoto et al., 2003, *GJI*)を用いた古地磁気強度復元と岩石磁気実験を実施した(Yoshimura and Fujii, 2024, *EPS*)。この火山体は拡大軸上での最近の火成活動であるNeo volcanic zoneに存在している。火山体の玄武岩試料は全て、有人潜水調査船「しんかい6500」によって2006年の研究船「よこすか」YK05-16航海で採取された。8つのサイトからそれぞれ2～3個ずつ、合計18個のスペシメンを用いて実験を行った。異なる形態（枕状溶岩とシート状溶岩）の2つのサイトからの6スペシメン（各3スペシメン）が合格基準に合格した。古地磁気強度のサイト平均値はそれぞれ 33.0 ± 1.0 と $35.8 \pm 1.7 \mu\text{T}$ であった。サイト平均値が類似していることから、これらの溶岩は短期間に噴出したことが示唆される。これらのサイト平均値は、サンプリングサイトにおける現在の地磁気強度 $46.0 \mu\text{T}$ の約0.7～0.8倍である。さらに、合格した試料と不合格だった試料の磁気的な性質の違いについて各種岩石磁気分析を行った。合格した試料は不合格の試料に比べて、キュリー温度が高く、自然残留磁化強度が低く、飽和残留磁化と飽和磁化の比(M_{rs}/M_s)が高く、より硬い磁性鉱物のシグナルを示した。これは玄武岩試料の事前選択によって、合格率の高い試料を見出すことができる可能性を示している。また、予察的な走査型電子顕微鏡観察を行ったところ、不合格試料のみに5～10 μm 程度の骨格状のチタノマグネタイトが含まれており（図1）、両者の冷却条件の違いが示唆される。2つのサイト平均値と1590年～現在の国際標準地球磁場モデル(IGRF-13)(Alken et al., 2021, *EPS*)とgufmlモデル(Jackson et al., 2000, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*)との間の主要な比較から、火山体の活動年代が1590年よりも古いと制約した。また、地磁気モデルBIGMUDI4k.1(Arneitz et al., 2019, *PEPI*)およびArchKalmag14k.r(Schanner et al., 2022, *JGR Solid Earth*)から計算された古地磁気強度曲線と2つのサイト平均値を比較したところ、紀元前7575年～紀元前1675年または紀元前25年～1590年でオーバーラップすることから、これらが火山体の活動年代の候補だと解釈することができる（図2）。今回のような海底火山の活動年代の制約は適切な岩石磁気の精査と古地磁気強度測定によって可能であり、他の海底火山研究にも応用可能だと考えられる。



図1. 不合格試料に含まれる骨格状チタノマグネタイト。

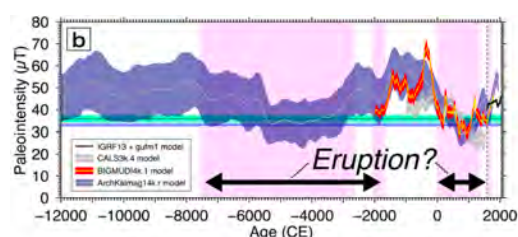


図2. 古地磁気強度による年代推定 (Yoshimura and Fujii, 2024)。

中央インド洋海嶺マリーセレスト・トランスフォーム断層 における海洋地殻の形成

○二村 康平（名古屋大）・森口 堯明（川崎地質）・秋澤 紀克（広島大）・町田 嗣樹（千葉工大）・
沖野 郷子（東京大学大気海洋研究所）・道林 克禎（名古屋大/海洋研究開発機構）

海洋地殻の形成は、マグマの化学組成と含水量に大きく影響される。中央海嶺では一般的にドライなマグマによる海洋地殻の形成が支配的とされてきた。しかし、太平洋の高速拡大海嶺やオフィオライト（海洋プレート断片）において、含水マグマの存在が指摘されており、その起源は含水物質のリサイクルであると提唱されている。一方、インド洋の低速～中速拡大海嶺では、過去のプレート由来のリサイクル物質が豊富に存在していることが指摘されている。このことから、インド洋においてもリサイクル物質を起源とした含水マグマが海洋地殻の形成に寄与している可能性がある。しかしながら、その実態は十分に明らかとはならない。本研究では、白鳳丸 KH-15-5 航海で採取された中央インド洋海嶺のマリーセレスト・トランスフォーム断層の斑れい岩とそれに関連する玄武岩の岩石学的/地球化学的（主要・微量元素組成）特徴に基づいて、中央海嶺の海洋地殻形成における水の影響を検討した。

マリーセレスト・トランスフォーム断層の斑れい岩は、粗粒斑れい岩、細粒斑れい岩やオキサイドガブロなど多様な岩相を有する。本研究では、これらの斑れい岩を全岩主要元素組成の特徴から大きく2つに分類した。グループ1はFe-Ti-Pに乏しく初生的な組成を示す。グループ2はFe-Ti-Pに富み分化した組成をもつ。微量元素組成については、グループ1は正のEu異常と軽希土類元素（LREE）の顕著な枯渇で特徴づけられ、グループ2は負のEu異常と平坦なREEパターンを示す。鉱物の主要元素組成について、斜長石と単斜輝石の分化トレンドに認められる顕著な特徴として、斜長石のアノーサイト値 $[An=Ca/(Ca+Na+K)]$ の減少が単斜輝石の $Mg\# [Mg/(Mg+Fe^{Tot})]$ の減少に比べて小さい点が挙げられる（図1）。また、斑れい岩と関連する玄武岩の微量元素組成は負のEu異常とLREEの顕著な枯渇を示す。さらに、そのREEパターンは、リサイクル物質が起源のメルトから形成したと指摘されている、Gasitao Ridgeから採取された玄武岩のREEパターンと一致した。

斜長石と単斜輝石の特徴的な分化トレンドは、MELTS (Ghiorso and Sack, 1995) を用いた数値モデリングから、マグマが約0.3 wt.%の H_2O を含むと仮定した分化トレンドによって説明される（図1）。この結果は、マリーセレスト・トランスフォーム断層の海洋地殻形成に含水マグマが関与していたことが示唆される。また、グループ1とグループ2の斑れい岩は、主要・微量元素組成に明確な違いが見られるものの、いずれも含水マグマの結晶分化作用によって形成されたと推定される。玄武岩の微量元素組成は、含水マグマの起源がリサイクル物質である可能性を示唆する。したがって、低速～中速拡大海嶺において、過去のプレート由来のリサイクル物質を起源とした含水マグマにより海洋地殻が形成された可能性がある。

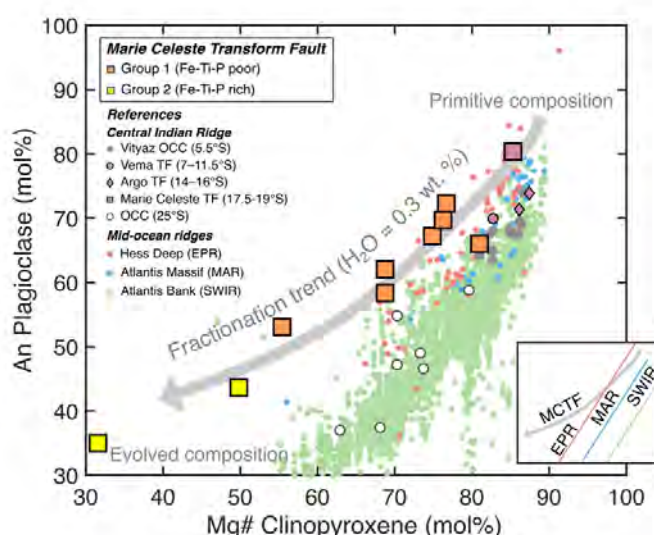


図1：マリーセレスト・トランスフォーム断層と中央海嶺の斑れい岩における組成トレンドの比較。

マリーセレストトランスフォーム断層を用いて 海洋地殻の鉛直磁化構造を探る試み

○鈴木諒翼・島伸和（神戸大学），
田村千織・芦田将成・小野誠太郎・沖野郷子（東京大学大気海洋研究所），
藤井昌和（国立極地研究所）

本研究はトランスフォーム断層の崖沿いに磁場観測を行い、海洋地殻の鉛直方向の磁化構造について理解を深めようとする試みである。海洋における磁場観測は、磁力計を曳航したり AUV に設置したりして行うことが一般的であり、ここから得られるデータのほとんどが水平方向に対する地磁気異常プロファイルである。鉛直方向に注目して実施された磁場観測の数少ない前例としては Tivey (1996) が挙げられる。この研究はトランスフォーム断層の崖地形を利用して鉛直方向に地磁気異常プロファイルを獲得することにより、海洋地殻最上部の溶岩層は強く磁化している一方、その下のダイク層の磁化は非常に弱いことを発見した。

本研究では、トランスフォーム断層の深部から浅部にかけて磁場観測を行うことにより、海洋地殻最上部の磁化層の厚さとその形成年代による違いを特定する。また、磁化層の特定により海嶺での溶岩の噴出量やマグマ溜まりの深さの時間的変化を調査する。さらに、ダイク層の下のはんれい岩層も残留磁化を保持していることが示唆されており (Pariso and Johnson, 1993)、その 2 層の磁化構造の違いについても検討する。

我々は白鳳丸 KH-24-4 航海において、中央インド洋海嶺・マリーセレストトランスフォーム断層の南側に存在する崖面をターゲットとして磁場観測を行った。南側の崖には高低差 3-4km の急峻な斜面が約 130km にわたって続いており、現在から過去 1100 万年にかけて形成された海洋地殻の断面が連続的に露出している。断層深部の岩石を目標としたドレッジが終了した後、ワイヤーに取り付けた小型の 3 成分磁力計が崖面付近を通るようにワイヤーの巻き上げと曳航を同時に行い（図 1）、海洋地殻起因の地磁気異常を鉛直断面による変化として観測した。異なる海洋地殻形成年代での磁化層の違いを調べるため、同様の観測を崖面内の 8 地点で行った（図 2）。

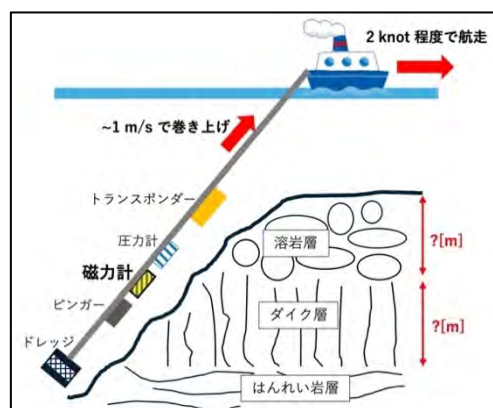


図1 断層崖面での磁場観測の概念図

データ解析では、磁力計周辺のワイヤー等が及ぼす磁場の影響を除去した後、観測位置ごとの地磁気異常プロファイルを得た。例として、8 つの観測点の一つである MC12 における地磁気異常データを磁力計が通過した軌跡上に示す（図 3）。深部では正の異常が確認できる一方、浅部では強い負の異常が確認できる。このプロファイルをもとに、溶岩層・ダイク層・はんれい岩層の 3 層を想定した磁化構造モデルを作成することを計画している。

講演では、各磁化層の磁化強度の違い、及び形成年代ごとの磁化構造の変化について考察した内容を発表する予定である。

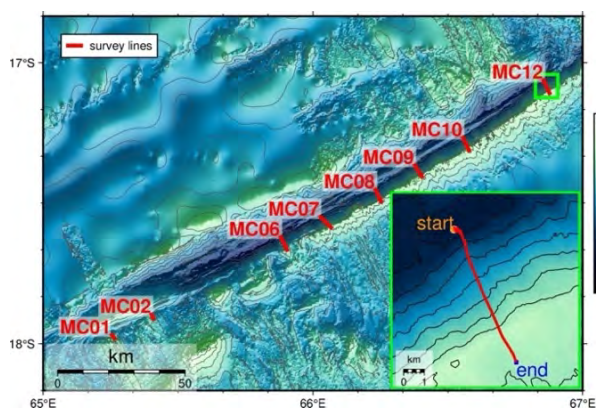


図2 磁場観測を行った 8 つの観測点
図右下は観測点 MC12 の拡大図

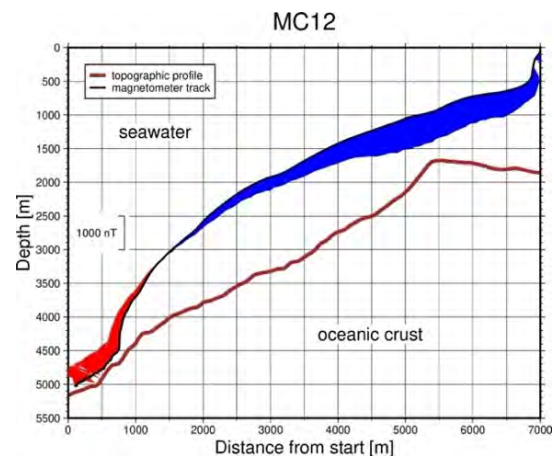


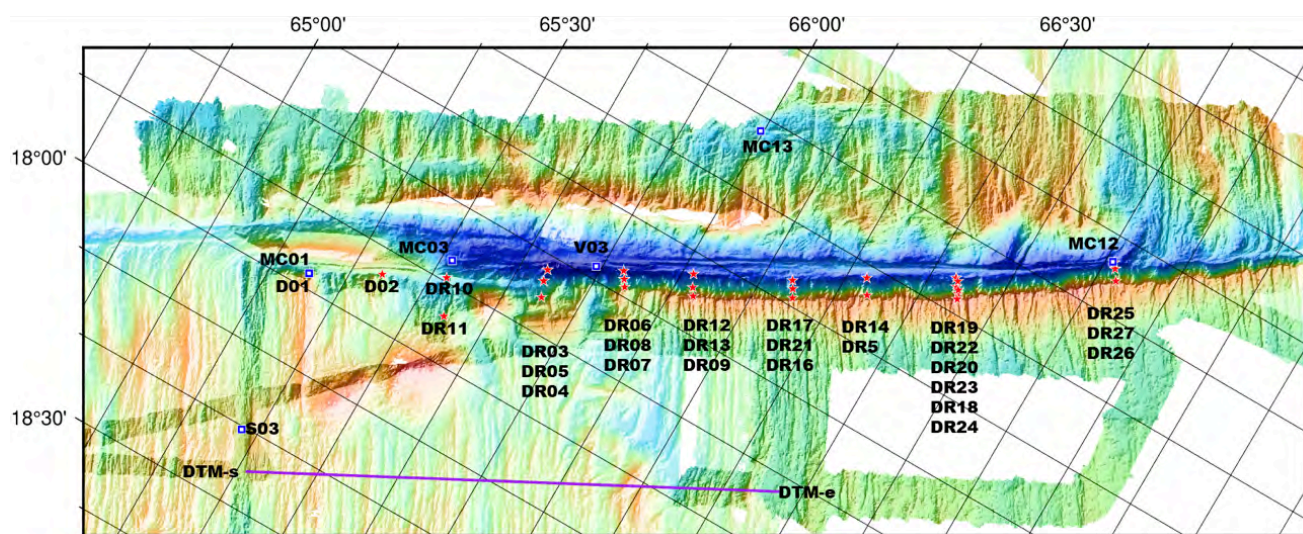
図3 MC12 における磁力計の軌跡と
観測された地磁気異常プロファイル（赤:正, 青:負）

KH-24-4 速報：インド洋トランスフォーム断層調査 MOWALL-CIR

○沖野郷子（東京大学大気海洋研究所），町田嗣樹（千葉工大），森下知晃（金沢大），道林克禎（名古屋大），石川晃（東京科学大），平野直人（東北大），李毅兵（中国地質科学院），藤井昌和（国立極地研），島伸和（神戸大），峰岸有紀・矢萩拓也（東京大学大気海洋研究所），砂村倫成（東大理），眞壁明子（海洋研究開発機構），KH-24-4 乗船研究者一同

白鳳丸 KH-24-4 航海は，2024 年 10 月 12 日（ポートルイス）から 11 月 8 日（ペナン）までの 1 ヶ月間にわたって行われた．本航海の主目的は，中央海嶺における海洋地殻生産プロセスの時間変動とその要因を明らかにすることで，MOWALL (Moho Observation along transform fault WALLs) プロジェクトの一環である．対象としたのは，中央インド洋海嶺 18° S に位置する，総延長 210km のマリーセレスト・トランスフォーム断層（以下 MCTF）である．この場所の海底拡大速度は片側 20mm/yr 程度と推定されており，断層に沿って 11Ma から現在までの海洋地殻が露出していることが期待された．本航海では，この断層沿いに系統的に岩石採取を行うほか，地球物理観測，海洋観測，生物採取を実施し，以下のような成果を得た．

- 1) MCTF とその両側の完全なマッピングを行い，トランスフォーム断層内，transverse ridge の詳細な地形データ，重力データを得た．
- 2) 総延長 137km の深海曳航磁場観測（曳航高度 200-500m）に成功した．およそ 9Ma までの高分解能磁気異常を検出し，海洋地殻生産プロセスの時間変動を明らかにする上で，精密な時間軸を導入することができた．また，堆積物による古地磁気強度変動と対応可能なデータを得た．
- 3) 断層の南壁沿いに 10~40km 間隔 10 箇所 27 地点（各点で崖の浅部，中部，深部）で岩石ドレッジを行い，すべての点で火成岩試料を得た．崖の下部からは主にガブロが，中部から浅部ではドレライトから玄武岩が採取され，海洋地殻断面を年代ごとに得ることに成功した．一部で熱水変質が見られた．カンラン岩類はごく少なかった．
- 4) 小型磁力計を岩石ドレッジのワイヤに装着して，断層壁面の地殻の磁化強度の変化を検出する初めての試みを行った．海洋地殻層序を反映したデータが得られた．
- 5) トランスフォーム断層内および隣接海嶺軸谷内で CTD 観測を 7 点，うち 6 点では採水を行った．水塊の性質，微生物，アンモニア，環境 DNA 等の研究を行う予定である．
- 6) CTD 採水実施点で NORPAC ネットによる表層プランクトン採取を行った．
- 7) 岩石ドレッジで得られた泥，岩石表面から生物採取を行い，15 分類群 49 個体が採取された．



マリーセレストトランスフォーム断層および KH-24-4 観測点

南海トラフにおけるゆっくり滑り観測網の整備

○西田 周平・荒木 英一郎・横引 貴史・松本 浩幸・町田 祐弥・辻 修平・馬場 慧
(海洋研究開発機構)

海洋研究開発機構では、東南海・南海地震の想定震源域に整備された海底ケーブル式の地震津波観測監視システム（DONET）を基盤とした、長期的な地殻変動のモニタリング技術の開発と観測装置の展開を実施している。海底水圧計による上下地殻変動観測、掘削孔による観測、光ファイバセンサによる観測などを組み合わせたゆっくり滑り観測網の技術開発および海域展開を継続している。また、これまでに浅部孔内に設置した傾斜計、海底の堆積物に埋設敷設した光ファイバ歪計、ちきゅうで掘削した孔内に設置した孔内観測点などによる観測は継続して実施している。本発表では、令和 6 年度実施した 4 航海で実施した成果を加え、南海トラフにおけるゆっくり滑り観測網の整備状況について報告する。

以降、12 月現在までの実施実績について記載する。

熊野灘、紀伊水道沖（DONET1 と DONET2 展開エリア、図 1）では、DONET 観測点 2F-25 での海底水圧計の現場校正や地殻変動観測点 2F-S2 への海底水圧計の設置、孔内観測点 C0002 への光ファイバ歪計の設置、孔内観測点 C9038B 500m 孔内に設置された光ファイバケーブルを用いた DAS 等による光ファイバセンシングを実施した。さらに、他機関と連携し、自己記録式の広帯域海底地震計（BBOBS）を孔内観測システムの周辺に展開するなどして、これまでの発生周期から熊野灘で 2025 年頃に発生すると予想されるゆっくり滑りの観測の準備を進めた。

日向灘（N-net 展開エリア、図 2）でのゆっくり滑りの観測を目的とした観測網の設置候補エリアの選定を開始した。本年度は、マルチビーム音響測深による海底地形調査や ROV による海底地形底質などの目視調査を実施した。

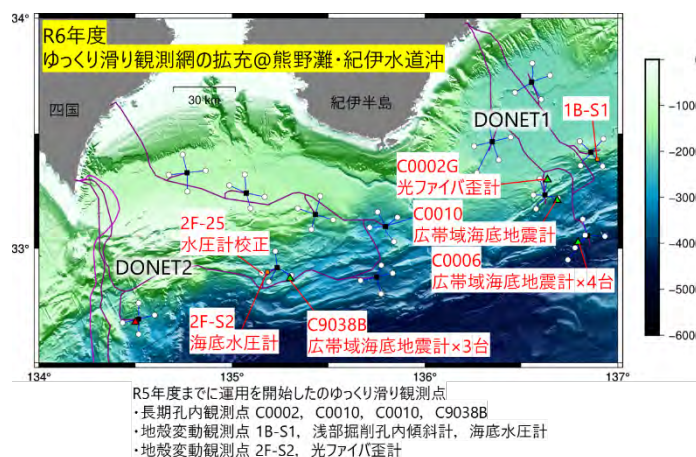


図 1 東南海・南海地震の震源域での海底観測網の配置図

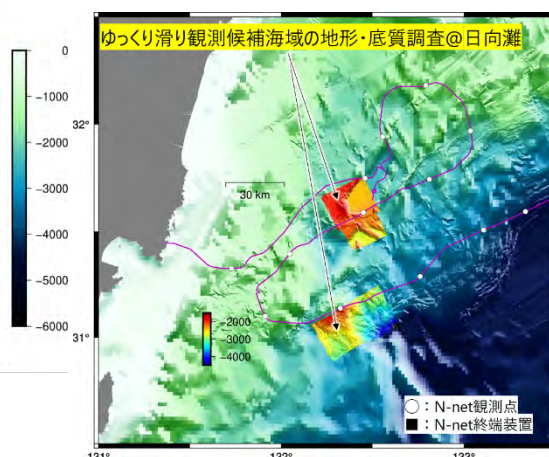


図 2 日向灘沖の観測網の配置図

沖縄トラフ、背弧でのマグマ活動を伴わない地殻の薄化：

KH-23-11 航海報告

○大坪 誠（産業技術総合研究所），木下正高（東京大学地震研究所），池原 実（高知大学），新井隆太（海洋研究開発機構），三澤文慶・高下裕章（産業技術総合研究所），亀尾 桂・田村千織・戸田亮二（東京大学大気海洋研究所）Stephen P. Obrochta（秋田大学），鹿児島渉悟（富山大学），土岐知弘（琉球大学），桑野太輔（京都大学），KH-23-11 乗船研究者一同

背弧海盆の形成と沖縄トラフにおける課題

「背弧海盆」と呼ばれる地形の形成と進化の仕組みは複雑で、地球の大きな地形の変動を理解する上で大きな課題です。背弧海盆は、厚い地殻が引き裂かれ、海底が少しずつ広がることで生まれます。これによって新しい海洋性地殻が作られていきます[1, 2]。地殻が引き裂かれ始めると、マグマが地中から上昇してくることで、地殻に引っ張る力（伸長変形）が働くと考えられています。そのプロセスには主に「ロールバックモデル」と「コーナーフローモデル」が提案されています[3, 4]。しかし、地殻が薄くなる初期の段階で何が起きているのか、その詳しい仕組みはまだ分かっていません。

沖縄トラフ：背弧海盆を解明するカギ

日本の南西にある沖縄トラフ[5]は、この「背弧海盆」の初期段階を研究するのに最適な場所です。沖縄トラフは、地球上でも数少ない、まだ海洋性地殻が作られていない「活動的な背弧海盆」です。特に南部では、年間5～10センチという速さで地殻が引き裂かれていることが分かっています[6, 7]。沖縄トラフ南部の「八重山海底地溝」は、最も深い場所で水深が2,000メートル以上に達します。そのすぐ南西には「与那国海底地溝」という別の地溝もあり、こちらは現在も沈み続けています。

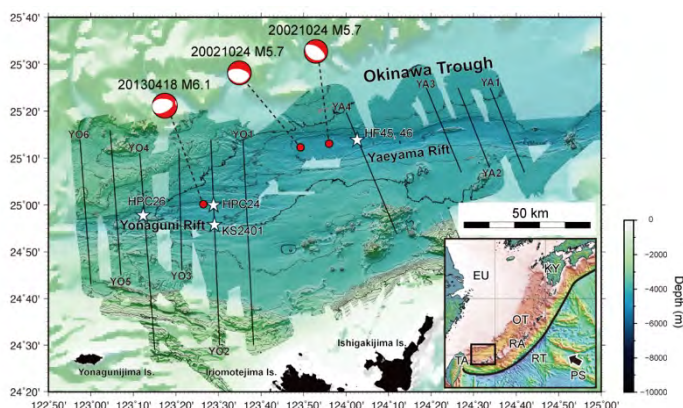
調査航海で分かってきたこと

私たちは、学術調査船「白鳳丸」を使って2回の調査を行い（KH-23-11：2023年12月28日～2024年1月11日、KH-21-3：2021年1月23日～2月8日）、沖縄トラフの南部にある「八重山海底地溝」と「与那国海底地溝」を詳しく調べました。その結果、地殻の浅い部分に正断層（地殻が引き裂かれてできる断層）が見つかり、地下の構造を詳しくイメージ化することに成功しました。さらに、地殻熱流量[8, 9]や地磁気異常を調べたことで、冷たい地殻がリフティング（正断層運動）を始める「2つのステージ」があることを示すことができました。

冷たい地殻でリフティングが起きる？

地殻が引き裂かれるとき、一般的には地下からマグマが上がってきて地殻を温めると考えられています。しかし、沖縄トラフでは地殻の温度がそれほど高くないことが分かりました。他の地域（例えば紅海[10]）では地殻の熱流量が高いのに対し、沖縄トラフではかなり低い数値が観測されています。これは「冷たい地殻」でもリフティングが起きていることを示唆しています。これらの結果は、沖縄トラフが今後どのように発達するのか、またこの地域で地震が発生する可能性がある場所を予測する重要な手がかりになると考えられます。

引用文献：[1] Martínez, F. et al. 2002, Nature, 416, 417-420; [2] Karig, D. E. et al., 1970, J. Geophys. Res. 75, 239-254; [3] McKenzie, D. 1978, Earth Planet. Sci. Lett. 40, 25-32; [4] Wernicke, B. 1985, Can. J. Earth Sci. 22, 108-125; [5] Sibuet, J.-C. et al., 1995, in Backarc Basins: Tectonics and Magmatism (ed. Taylor, B.) 343-379; [6] Sagiya, T. et al., 2000, Pure Appl. Geophys. 157, 2303-2322; [7] Nishimura, T. et al., 2004, Geophys. J. Int. 157, 901-916; [8] Yamano, M. et al., 1988, in Exploration and Development of Geothermal Resources / International Symposium on Geothermal Energy 313-316; [9] Kinoshita, M. et al., 2021, JpGU 2021 meeting Abstract SCG45-09; [10] Martínez, F. et al., 1989, J. Geophys. Res. Solid Earth 94, 12239-12265.



本課題の調査海域図

The reorganization of the Pacific-Izanagi Ridge in Early Cretaceous

○M. Nakanishi (Graduate School of Science, Chiba University), J. Uda (Graduate School of Science and Engineering, Chiba University), and W. W. Sager (Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston)

Introduction

The Pacific Plate is the largest oceanic plate, but the detailed tectonic history of the plate from Late Jurassic to Early Cretaceous remain unclear. The Pacific Plate was surrounded by Izanagi, Farallon, and Phoenix plates during that period. The magnetic anomaly lineations of the Pacific Plate for that time were identified by several works (e.g., Larson and Chase 1972; Sager et al., 1988; Nakanishi et al., 1989; 1992; 2015).

We are proceeding to examine magnetic anomaly lineations and inherited seafloor spreading fabric to reveal the tectonic history of the Pacific Plate from Late Jurassic to Early Cretaceous using the latest geomagnetic and multibeam bathymetric data. Here, we present clues about the reorganization of the Pacific-Izanagi Ridge during the Early Cretaceous. The study area is surrounded by the Nosappu Fracture Zone to the west, Kuril Trench to the north, Emperor Seamount Chain to the east, and Shatsky Rise to the south. The seafloor in the study area was formed at the Pacific-Izanagi Ridge during the Early Cretaceous. The Hokkaido Trough is one of the remarkable topographic features in the study area.

Data and Methods

Geomagnetic and multibeam bathymetric data incorporated in this study were derived from several different sources. We conducted geomagnetic and bathymetric surveys during the cruises by R/Vs *Hakuho-maru*, *Kairei*, *Mirai*, *Yokosuka*, *Falkor*, and *Thomas G. Thompson* in the study area. We proposed to obtain bathymetric data during the cruises by R/V *Mirai* from 2008 to 2015. Additional data were obtained from the domestic and international institutions and projects.

After recalculation of and manual editing of swath data, a bathymetric grid data set was produced at a 100 m spacing. We calculated magnetic anomalies using the Comprehensive Model 4 (Sabaka et al., 2004) and International Geomagnetic Reference Field 13th (Alken et al., 2021). The geomagnetic polarity timescale used in this study is that proposed by Ogg (2020).

Results

Our bathymetric map exposes complex chaotic topographic relief west of the Hokkaido Trough. The topographic relief has the similar size of abyssal hill fabric formed seafloor spreading. Some relief has the strike with an NE-SW strike, which is different from the strike of magnetic anomaly lineations south of the study area. Similar topographic relief is observed in the pseudo-fault zone associated with a ridge propagation. The magnetic anomaly lineations from chron M6 to chron M3 (ca. 128–126 Ma) south of the area of the chaotic topographic relief shorten with age. We could not identify any magnetic anomaly lineations with the same strike of the magnetic

anomaly lineation M3 in the area of the chaotic topographic relief. We thus conclude that the chaotic topographic relief was formed by propagation of the Pacific-Izanagi Ridge that started around M6 (ca. 128 Ma).

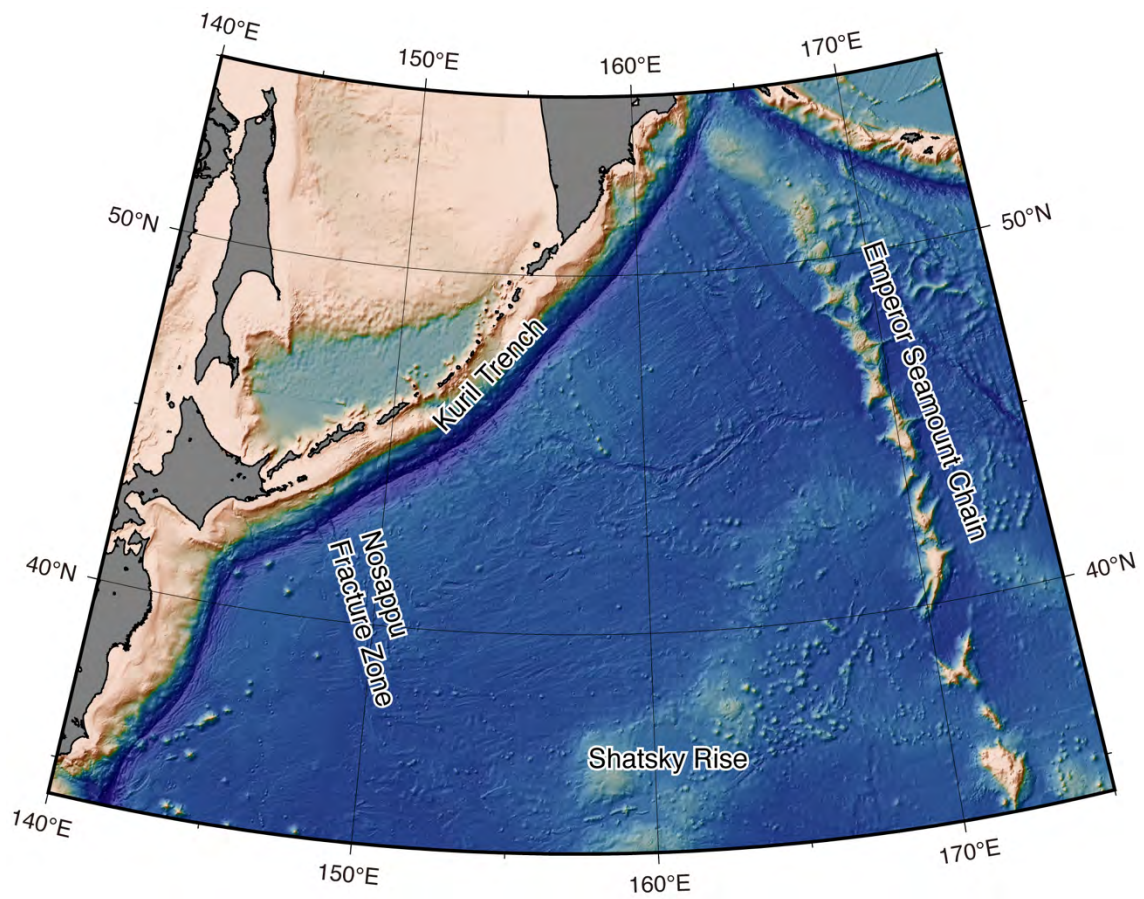


Figure 1. Bathymetric map around the study area.

高時間分解能で迫るプレート沈み込みにいたるテクトニクス

-YK24-05S 航海速報-

○石塚 治 (産総研), 谷 健一郎 (科博), 下田 玄, 針金 由美子, Conway Chris (産総研), 坂本 泉, 横山 由香, 池田 芽生, 柴尾 創土, 数野 夏美, 新井 仁菜 (東海大), 青木 智 (海保・海洋情報部), 小野 誠太郎 (東京大学大気海洋研究所), 伊藤 誠 (日海事)

[調査概要]

フィリピン海プレートとその周辺では、伊豆小笠原マリアナ弧の誕生につながる太平洋プレートの沈み込み開始に近接した時期に、西フィリピン海盆の海底拡大開始や沖大東マントルプルームの出現等、重要な地質イベントが起きている。しかしそれぞれの正確な時間関係が不明で、従って因果関係も明らかでない。2024年4月に実施したYK24-05S航海では、しんかい6500及び「よこすか」により西フィリピン海盆最古の地殻断面及びその周辺地質体との構造的関係を調査した。これにより西フィリピン海盆の拡大開始時期と沖大東プルーム出現時期を初めて明確に決定し、海底拡大とプルーム出現の間の因果関係を明らかにすると同時に、この時期のフィリピン海プレート内の構造発達過程を解明し、プレート沈み込み開始に至るテクトニクスの解明に取り組む。

[研究の背景]

約5500-5000万年前の期間、フィリピン海プレートとその縁辺部では、複数の地質学上重要なイベントが起きている。1) 太平洋プレートのフィリピン海プレート下への沈み込み開始と伊豆小笠原弧の創成 (5200万年前: Ishizuka et al., 2011, EPSL), 2) 西フィリピン海盆の拡大開始, 3) 沖大東マントルプルームの活動開始, 等である (図1)。これらのイベントは、インドのユーラシア大陸への衝突や太平洋プレートの運動方向の変化等、より広範囲に影響を及ぼす“地球規模”のイベントとも極めて時期が近接している。これらイベント間の成因的関連の有無は、地球規模の物質循環、プレート沈み込み開始の原因や、海盆拡大開始のトリガーの解明につながる地質学上極めて重要な課題である。しかし、それぞれの時間的關係 (特に同時性) が明らかになっておらず (図1), 各イベント間の因果関係を検証する上で重大な妨げになっている。

沖大東マントルプルームは西フィリピン海盆の拡大軸近傍に位置したと考えられ、西フィリピン海盆内に海洋島玄武岩類似の玄武岩からなる複数の海台を形成した (Ishizuka et al., 2013, Geology)。これまで海台の玄武岩から得られた最も古い年代が約4800万年前であり、この時期までにプルームの活動が開始していたと考えられる。このプルーム活動が西フィリピン海盆の海底拡大開始のトリガーとなった可能性が指摘されているが、プルームの活動開始時期と西フィリピン海盆の拡大開始時期はいずれも未解明のため、検証できていない (図1)。

一方西フィリピン海盆とともに、プレート沈み込み開始期にフィリピン海プレートを構成していた大東海嶺群 (図1) については、従来中生代にその構造が形成されたと考えられていた。しかし、新青丸、よこすか等の調査航海により、その地質構造は5000万年前以降大きく変化したことが初めて明らかになった (Ishizuka et al., 2022, 2024, G-cubed)。すなわち大東海嶺群内の北大東海盆の形成、拡大や、南北性の構造

線である奄美海底崖の形成が約4700万年前以降におきたことが明らかになった。これはプレート沈み込み開始以降、拡大する西フィリピン海盆と大東海嶺群が相互に干渉しつつ、複数の顕著な構造運動により現在のフィリピン海西半部の主要地質構造が形成されたことを示す。この構造運動により、西フィリピン海盆北端部一沖大東海嶺接合部では、西フィリピン海盆の海洋地殻断面と沖大東プルームに関係すると見られる火山群の断面が、海底崖に大規模に露出していることが期待される。そこで

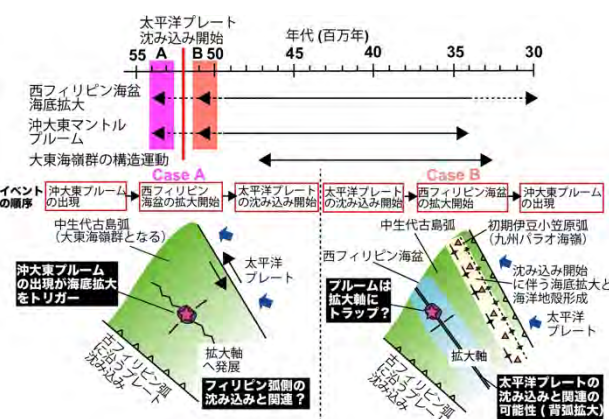


図1 フィリピン海プレート初期の地質イベントの時間関係 (上段) と、その違いにより想定される異なるテクトニクス (下段)。ここでは、各イベントと太平洋プレートの沈み込み開始との前後関係の違いによるモデル (A: 前, B: 後) の違いを示した。各潜航の調査対象 (時期) をあわせて示す。

[illegible]

図 2 YK24-05S 航海の調査海域

上記5潜航以外には、沖大東海底崖で1潜航、沖大東海底崖以南の西フィリピン海盆底で1潜航を実施、いずれも新鮮な急冷ガラスを含む溶岩の観察、回収に成功した。

採取岩石試料の予察的な化学分析結果は、今回沖大東海嶺南半部の地殻断面で採取した火山岩が大部分玄武岩であり、一部の潜航でよりアルカリ元素の含有量が高いトラカイト質玄武岩—トラカイト質安山岩であることを示している。またそれらの微量成分組成の特徴は、これまで報告されている白亜紀の年代を示す沖大東海嶺の島弧火山岩類とは明確に異なり、中央海嶺玄武岩あるいはマントルプルームに関連した海洋島玄武岩に近いことを示している。この結果は、沖大東海嶺南半部が西フィリピン海盆の海洋地殻に相当するという我々の仮説と矛盾がない。今後地球物理観測データと合わせ、地殻の形成年代と海盆の形成過程、関与したマグマ起源物質（特にマントルプルームの寄与）の特徴とその時間変遷等を明らかにしていく予定である。

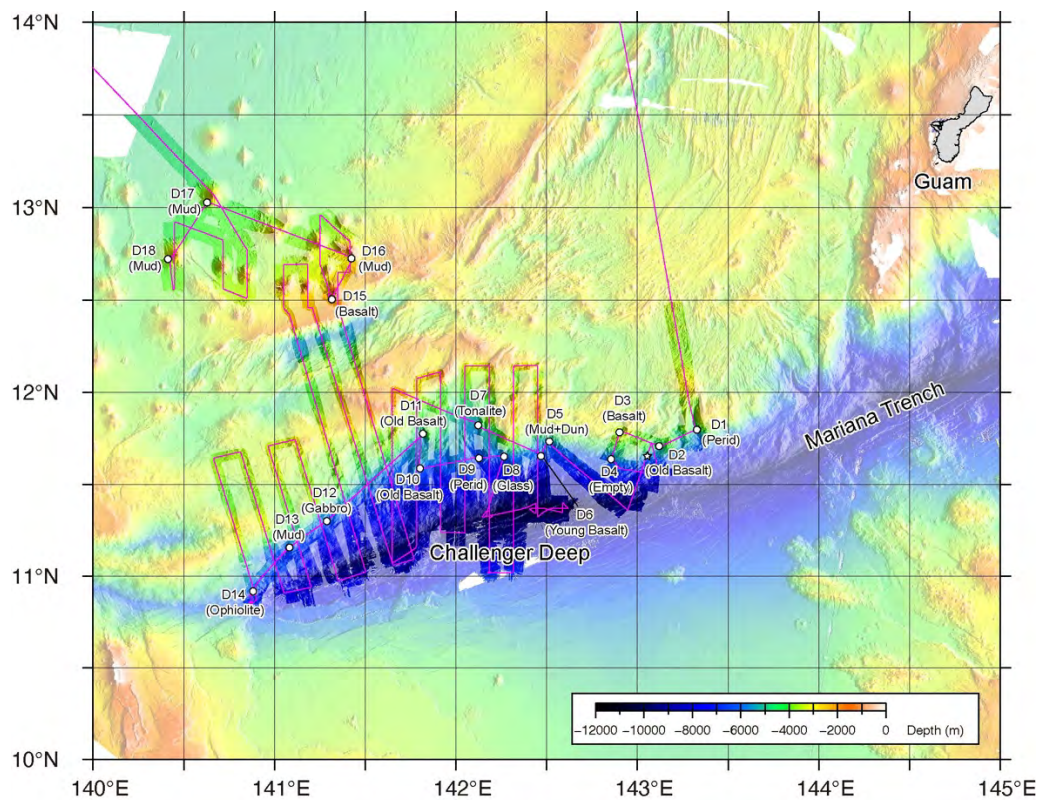
南部マリアナ地域の組成・構造とテクトニクス： 白鳳丸 KH-23-9 航海概要報告

○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）、針金由美子（産業技術総合研究所）、藤井昌和（国立極地研究所・総合研究大学院大学）、秋澤紀克（東京大学大気海洋研究所）、Basch Valentin（イタリア学術研究会議）、Ferrando Carlotta（ジェノバ大学）、片山郁夫（広島大学）、道林克禎（名古屋大学）、小川晟人（国立科学博物館）、竹内綾（近畿大学）、竹内誠・田村千織（東京大学大気海洋研究所）、富川光（広島大学）、渡邊俊（近畿大学）、山下浩之（神奈川県立生命の星・地球博物館）

近年の研究により、南部マリアナ地域は卓越した展張場にあり、南部マリアナ海溝陸側斜面において若い（約 3 百万年前）前弧リフティングが海溝陸側斜面上方にある古い（始新世中期から中新世中期）火山岩の高まりの列を割って発生し、マリアナトラフの背弧海盆アセノスフェアが海溝陸側斜面まで流入していることが明らかとなった（Ribeiro et al., Island Arc, 2013; G3, 2013）。これは広域拡大作用（Diffuse Spreading）により、海溝軸に近い位置で若いリフトが発生していると解釈され、伊豆・小笠原・マリアナ弧の約 5 千 2 百万年前の沈み込み開始当時に発生した前弧域での海底拡大現象のモダンアナログであるとされた（Martinez et al., JGR, 2018）。一方、中国のグループは、南部マリアナ地域東部では太平洋スラブが約 240 km に達しているのに対し、西に向かうにつれ、太平洋スラブの深度は次第に減じ、最西部では約 100 km となっているという興味深い地震学的観測事実を示した（Zhou et al., GJI, 2019）。両者を合わせて考えると、南部マリアナ地域では沈み込み開始現象が東から西へ向かって現在進行中であるとの仮説を設定することができる。

2023 年 11 月-12 月に実施した白鳳丸 KH-23-9 航海では、この仮説の検証を目的として、南部マリアナ地域のうち、これまで未探査であるチャレンジャー海淵の西方（東経 143 度以西）の南部マリアナ海溝陸側斜面の東西約 350 km を主な調査対象に、ドレッジによる岩石採取（18 点で実施）と地球物理学的データの取得（トータル約 90 時間実施）を行った（図）。また、2021 年度の白鳳丸大規模修繕時に換装された EM124 マルチビーム測深機の性能試験の一環として、チャレンジャー海淵の海底地形を実施した（田村ほか、本シンポジウム）。さらに、ドレッジによって採取された堆積物中の生物の記載を行い、XCTD による塩分フロントの観測、プランクトンネット（ORI ネット）を用いたプランクトンの採取およびニスキン採水器を用いた水深 200-400 m の海水採取により、ニホンウナギを含む魚類の理解に資する調査を行った。

白鳳丸 KH-23-9 航海の重要な成果の一つは、東経 142 度 15 分付近で新鮮なガラス質玄武岩を発見したことである。以前は、新鮮なガラス質玄武岩は西経 143 度までしか知られていなかったもので、今回の発見は南部マリアナ地域における広域拡大作用の範囲についての理解をさらに深めることになる。さらに、もう一つの重要な成果は、仮説検証に資するチャレンジャー海淵西方での岩石サンプリングが成功したことであり、これまでほとんど探査されていなかったこの海域の新しい岩石学的情報を得ることができた。



図：白鳳丸 KH-23-9 航海で実施した地球物理マッピングの実績とドレッジ地点。

河口付近におけるマイクロプラスチックの濃度分布および輸送パターン

○許浩東（東京大学農学生命科学研究科・東京大学大気海洋研究所）

松村義正・山下麗・西部裕一郎・伊藤幸彦・伊藤進一（東京大学大気海洋研究所）

海洋マイクロプラスチックは深刻な環境問題となっている。その由来のほとんどは陸起源と言われている（Jambeck et al., 2015; Lebreton et al., 2017）。不適切に管理されているプラスチックは環境に流入し、河川・大気を通して沿岸に運ばれ、流れ・波により、外洋まで輸送される（Rochman, 2018; Rochman & Hoellein, 2020）。しかし、その輸送プロセスは海洋ごみの発生・分布の予測、海洋プラスチック削減方策、沿岸生態系価値評価などに極めて重要であり、きれいな海の実現に不可欠であるにもかかわらず、不明な部分が多く残されている。本研究では、河口域のマイクロプラスチック濃度分布を調べ、沿岸からへの輸送プロセスを明らかにすることを目的とする。

2023 年 7 月九州西方川内川沖 3 点沿岸側 S10、S20、沖合側 S40（KS-23-11）と同じ年 9 月利根川河口部 9 点（KS-23-16）において、新青丸によるニューストンネット観測を行った。サンプルを持ち帰った後、抽出・酸化処理・密度分離後に、長さ・重量・スペクトルを測定した。サイズ 1.4 mm は測量限界なので、その下の物は投影面積もしくは最大フェレット径より、重量を推定した。また、濾水計から濾過量を計算し、測点それぞれの個数密度及び重量密度を求めた。一方、北太平洋全域 $1/11^\circ \times 1/10^\circ$ 解像度の粒子追跡モデルを用い、沿岸から外洋までの粒子輸送形態を分析した。調査と最も近い年の塩分データを使用し、塩分分布とマイクロプラスチック濃度関係を調べた。

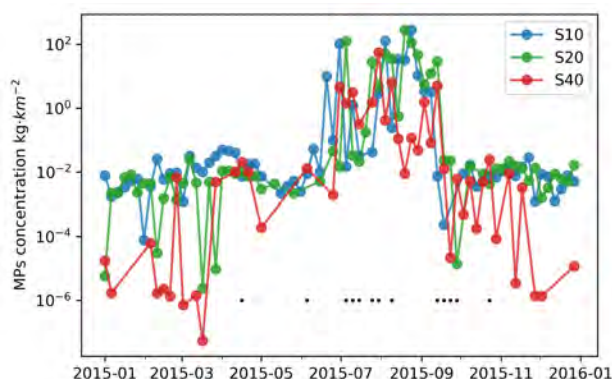
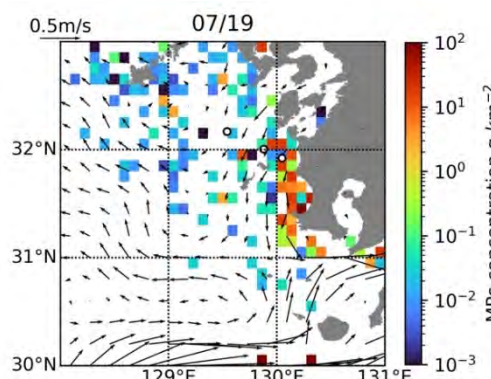


図 1、九州西方における MPs 濃度、海流及び観測点 図 2、モデルにおける 2015 年観測点の MPs 濃度

2015 年 7 月 19 日の流れ場から、黒潮は屋久島の南を北東方向に進み、流速が最大 1m/s ほどであり、一部の分岐流を抜けている（図 1）。川内川河口域の流れは南向き 10cm/s～30cm/s であり、河口域は河川ブルームの影響を受けているだけでなく、有明海や八代海からの流出水の影響を受けていることがわかる。カラーマップで示されたマイクロプラスチックの分布は、九州西岸で北部よりも南部の方が濃度が高い特徴が見える。また、沿岸域の方が沖合よりも濃度が高いことが分かる。モデル上一年間の濃度変化を見ると（図 2）、マイクロプラスチック濃度の季節変動が顕著であり、年間約 8 割の期間に S10（沿岸側）の MPs 濃度が S40（沖合側）より高い濃度が得られた。しかし、夏季には S40 の MPs 濃度が S10 を上回ることが多い。その場合は、黒潮分岐流からの輸送が沖合にある S40 の高濃度に貢献していると考えられる。観測の結果では、S40 の個数濃度もしくは質量濃度、いずれも最も高く、S10 の質量濃度が最も低い結果が得られた。

基本的に沖合側 S40 が低濃度であるが、外洋からの輸送効果が大きいと、沿岸の濃度を上回ることがある。さらに、モデルと観測の整合性が見られる。また、モデル上の流出源は河川しか考慮していないため、濃度が過小評価になる可能性がある。今回のサンプルでは繊維状マイクロプラスチック数が多く、重量が少ないが、生態系に取り込まれる可能性が高いと見られる。今後の予定は移流場がより複雑な海域（利根川河口）を検証すると考えている。

Diversity and distribution of anthozoan specimens collected during the 2020–2024 JAMSTEC expeditions in the northwestern Pacific

Kurt Bryant B. Bacharo (琉球大学), Kylie Villareal (琉球大学), Maria Paz Medina Monroy (琉球大学), Hiroki Kise (産業技術総合研究所), Asuka Sentoku (琉球大学), Hiroyuki Yokooka (いであ株式会社), Natsumi Hookabe (海洋研究開発機構), Jeremy Horowitz (スミソニアン協会国立自然史博物館), Shinji Tsuchida (海洋研究開発機構), Yoshihiro Fujiwara (海洋研究開発機構), James Davis Reimer (琉球大学)

The R/V *Kaimei* and R/V *Yokosuka* deep-sea expeditions led by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) at selected sites across the northwestern Pacific between 2020–2024 collected numerous anthozoan specimens from the Ritto, Kita-Koho, and Shoho Seamounts, Shima Spur, Omaezaki Spur, and the Daito Islands, at depths between 200 and 3200 m (Fig 1A–B). Anthozoan specimens, ranging from fragments to whole colonies, including 20 octocorals (class Octocorallia) and nine black corals (order Antipatharia), were analyzed using an integrated taxonomic approach. Morphological analyses included SEM examination of the sclerites (Fig. 1C) and the proteinaceous skeletal spines (Fig. 1D) of the octocorals and black corals, respectively. Further, template DNA was extracted and loci (Antipatharia=4, Octocorallia=2) were amplified and sequenced. We report and illustrate herein the occurrence of 11 species belonging to the genera *Chrysogorgia*, *Corallium*, *Callogorgia*, *Muriceides*, *Narella*, *Nicella*, *Pleurocorallium*, and *Thouarella* for Octocorallia and seven species belonging to the genera *Acanthopathes*, *Bathypathes*, *Hexapathes*, *Leiopathes*, *Stichopathes*, and *Umbellapathes* for Antipatharia. Taken together, these findings have important conservation implications in the northwestern Pacific and can help support the establishment of marine protected area networks to ensure the long-term protection of these vulnerable marine ecosystems.

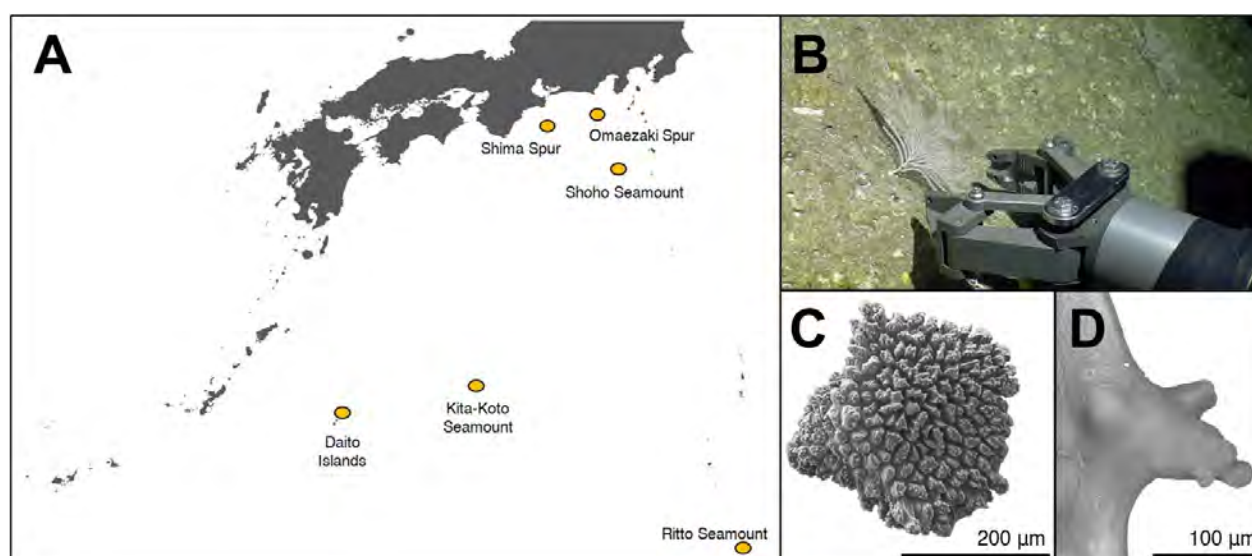


Figure 1. A) Map of the collecting sites, B) collection of an octocoral using KM-ROV manipulator, C) sclerite of an octocoral specimen (C), and D) skeletal spine of a black coral specimen.

環境 DNA を用いた北太平洋亜寒帯および亜熱帯海域 における魚類の日周鉛直移動特性の探究

○王雪丁・Sk Istiaque AHMED・Marty Kwok-Shing Wong・濱崎恒二・伊藤進一(AORI)

魚類の日周鉛直移動は海洋生態系において重要な生態学的現象であり、その理解は生態系管理や資源保全に不可欠である。日中は亜表層で行動し、夜間は表層に浮上し索餌活動を行う傾向を示す魚類が多数報告されているにも関わらず、各魚種に対する日周鉛直移動特徴についての知見は限られている。従来の研究では主にネットサンプリングによる仔稚魚を対象とした鉛直分布調査が行われてきたが、ネットサンプリングは高コストで莫大な労力と時間が必要な上に、逃避能力を有する魚類に対し負の選択的バイアスが生じる。さらに、ネットを用いた漁獲調査は魚類のみならず海洋生物全般へ負荷を与えるため、非持続的な調査法である。本研究では低コストかつ非侵襲的な生物調査法である環境 DNA (Environmental DNA, eDNA) 手法を用いた魚類の日周鉛直移動の網羅的把握の可能性の試験を目的とした。

調査サンプルは 2023 年 7 月 2 日から同月 29 日に KH-23-3「白鳳丸」西部北太平洋調査航海にて得た。亜寒帯海域に位置する K2 観測点および亜熱帯海域に位置する S1 観測点にてそれぞれ 40 時間および 48 時間の連続観測を行った (図 1)。4 時間おきにニスキンボトル採水器により約 10L の eDNA 海水試水を表層から水深 200 メートルまでの 7 つの異なる深度からサンプリングし、同時に海水の水温や塩分などを測定できる CTD センサーにより環境データを獲得した。

下船後 MiFish プライマーを用い環境 DNA サンプルのメタバーコーディング解析を行った。シーケンズデータはタグ配列の除去後ノイズ処理を行い、アダプター配列と低品質配列を除去して得られた代表配列のうちリード数が 10 以上あるものを BLAST で NCBI データと照合し、塩基の相同性が 98.5% 以上の配列を種に割り当てた。ただし、単一の種まで特定出来なかった代表配列に関しては該当の可能性が同程度である複数種の分類群としてまとめて取扱った。

亜寒帯海域における K2 観測点では 45 分類群、亜熱帯海域における S1 観測点では 140 分類群がそれぞれ検出された。K2 で最も検出された分類群はカラフトマス *Oncorhynchus gorbusha*、トガリイチモンジイワシ *Leuroglossus schmidtii*、コヒレハダカ *Stenobranchius leucopsarus*、サケ *Oncorhynchus keta*、ホテイウオ *Aptocyclus ventricosus* であり、S1 で最も検出された分類群はヤベウキエソ *Vinciguerrria nimbaria*、ツマリウキエソ *Woodsia nonsuchae*、トミハダカ *Lampanyctus Bonaparte*、クロソコイワシ属 *Pseudobathylagus* sp.、ホソクロタチ *Diplospinus multistriatus*、カツオ *Katsuwonus pelamis* であった。各観測点において昼夜で魚類構成比を比較した結果、K2 観測点では半日周鉛直移動を行うことが知られているハダカイワシ科コヒレハダカ *Stenobranchius leucopsaru* が夜間表層に多く検出された。S1 観測点ではハダカイワシ科スイトウハダカ *Diaphus gigas* が夜間表層に多く検出され、この種も同じく日周鉛直移動を行うことが先行研究で示されており、これらの結果は環境 DNA が魚類の日周鉛直移動行動を捉える特性を持つことを示した (図 2)。しかし、K2 観測点における日周鉛直移動の特徴は S1 観測点ほど顕著ではなかった。K2 観測点では水温が S1 観測点より極端に低い。環境 DNA は低温度で分解速度が遅いことが知られている。そのため、環境 DNA を用いてより正確に生物調査を行う際には水温などの環境条件を考慮する必要がある。今回は環境条件を考慮した一次元モデルを通じて、白鳳丸 KH-23-3 次航海により観測された環境 DNA の日周鉛直分布特徴について発表する予定である。

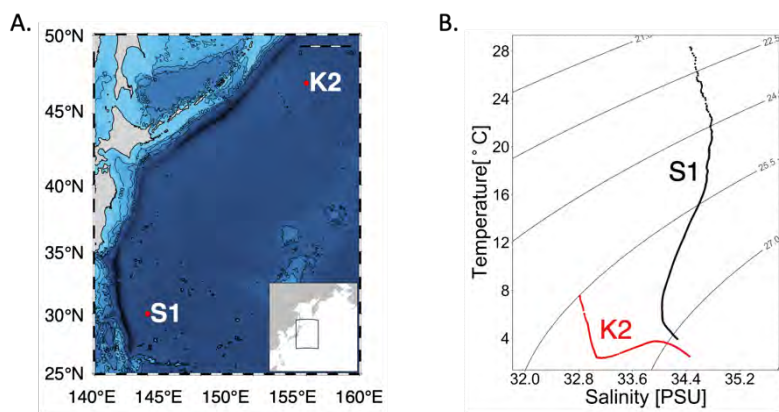


図 1 : K 2、S1 観測点 (A) と両観測点の平均 T-S ダイアグラム (B)。

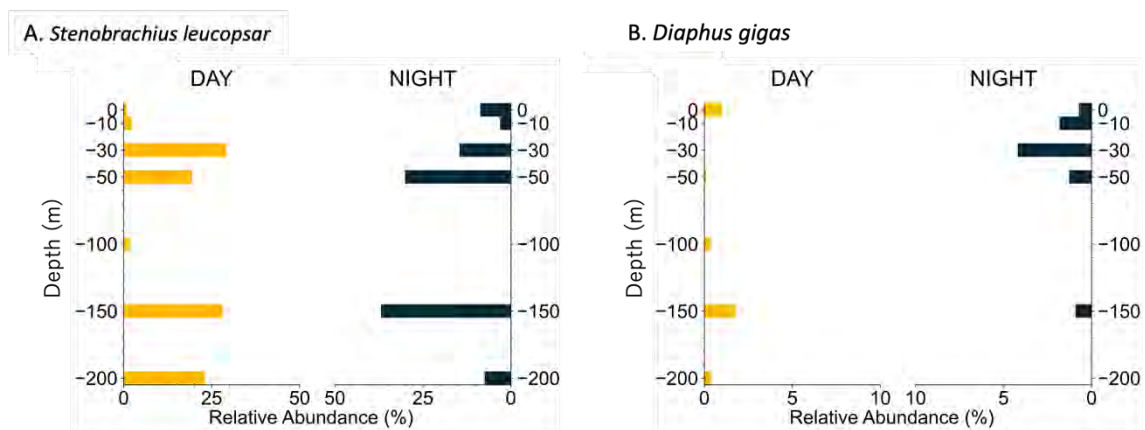


図 2 : 異なる水深における K 2 観測点のコヒレハダカ *Stenobrachius leucopsaru* 環境 DNA 相対存在量 (A) と S1 観測点のスイトウハダカ *Diaphus gigas* 環境 DNA 相対存在量 (B)。

5 年間の環境 DNA 観測が示す日本周辺の魚類群集地理分布

○林沅・余澤庶・AHMED Sk Istiaque・王雪丁・樋口富彦・矢部いつか・伊藤幸彦・堤英輔・
齊藤宏明・小松幸生・津田敦・川口悠介・岡英太郎・沖野郷子・小畑元・峰岸有紀・福田秀樹・
黄國成・井上潤・兵藤晋・伊藤進一

(東京大学大気海洋研究所, 東京海洋大学, 鹿児島大学)

過去の研究によって、海洋生態系における種多様性は水温 (Tittensor et al, 2010)、緯度 (Hillebrand, 2004)、深度 (MacPherson and Duarte, 1994) などに依存することが指摘されている。大西洋では、魚類の種数は、水温と基礎生産とともに増加し、深度とともに減少することが示されている (Gislason et al, 2020)。しかし、北西太平洋の海流は複雑で、極めて多様な環境を構成している。例えば、亜熱帯循環の西岸境界流である黒潮と亜寒帯循環の西岸境界流である親潮が流れ込むことで、栄養塩など分布だけでなく、植物プランクトンから魚類に至る海洋生態系の構造および生物生産量と分布に影響を与え、異なる水塊が接することでメソスケールからサブメソスケールに渡るフロントが形成され、多様な生息環境が構築される (Chelton et al., 2011; McWilliams, 2016)。これらのメソスケール・サブメソスケール現象に関連する鉛直流は、下層からの栄養塩を供給し、生物生産を高め、魚類を蜆集する。しかし、これらメソスケール・サブメソスケールの現象は時空間変動が激しく、魚類の分布との関係を調べるためには、高解像度の魚類の時空間データが必要となり、従来のネット曳網による採集では不十分である。環境 DNA (eDNA) は、生物が環境に放出する遺伝子を収集することにより、物理的な捕獲を必要とせず種を検出することができ、非侵襲的で高時空間解像度の生物多様性モニタリング手法を提供する。

本研究では、沖合域での環境 DNA 技術 (Ocean DNA) を用いて日本周辺海域の魚類群集組成を探索し、魚類の多様性を支える環境要因を明らかにすることで、気候変動下での生物多様性保護と食料供給という海洋生態系サービスの持続可能な発展のための基盤的情報を提供することを目的とする。

2018 年から 2023 年の間に、学術研究船新青丸と白鳳丸を使用して実施した 17 回の航海で採取された海水試料を用いた。海水試料は、表層ではバケツを用い、深度 10m、30m、50m、100m、150m、200m ではニスキン採水器を使用して採集した。0-200m の深さで 193 の測点でサンプリングを行い、合計 1031 の海水試料を収集した。これらのデータは、沿岸から沖合に至るさまざまな生態環境を含んでいる。環境データは同時に CTD-DO システムを用いて収集した。採集された海水試料は Sterivex DNA フィルター (0.45 μ m) で濾過し、RNA-later を加えた後、-20°C で保存し、実験室に持ち帰ってから DNA を抽出した。MiFish プライマー (Miya et al., 2015) を用いた解析により、Amplicon sequence variant (ASV) に分類し、BLASTN (ver.2.12.0) を用いて系統推定を実施した。日周鉛直移動に伴う昼夜採集の影響を軽減するため、200m までのデータを各測点で積算してから解析を行った。

種の存在/不存在データに基づく階層的クラスター分析を行い、各調査地点を 7 つのグループに分類した (図 1)。種蓄積曲線の漸近値の結果から、日本南部および琉球列島周辺の温暖な海域で種多様性が最も高く、次いで沿岸地域であることが示された。Kruskal-Wallis H 検定および Mann-Whitney U 検定の結果、Shannon 指数と Simpson 指数にグループ間で有意な差があることが確認された。また、推定された最大種数と種の変化率の結果から、上記の地域に加え、黒潮・親潮混合水域が高い種多様性のポテンシャルを有することが明らかとなった。非度量多次元尺度法 (NMDS) の解析から、7 つのグループ間で魚類群集の構成が異なることが示され、これらの群集が異なる環境勾配によって形成されていることが示唆された。特に、水温、塩分、水深などの環境変数が、群集組成に強い影響を与

える要因であることがわかった。加えて、一般化加法モデル（GAM）を用いて種数の主な環境駆動要因を解析したところ、表層水温、水深、クロロフィル濃度、塩分、水温の鉛直勾配が、種分布の空間的変動を説明する上で有意な影響を持つことが示された。

以上の結果から以下の知見が得られた。

1. 日本周辺の魚類多様性は、緯度や水深だけで決定されるものではない。
2. 生物多様性のホットスポットは、沿岸－近海の前線域および黒潮－親潮混合水域に形成されている。
3. 沿岸域の多様性が海域が沖合に延びるだけでなく、水温と関連した双峰型の多様性ピークを示す。

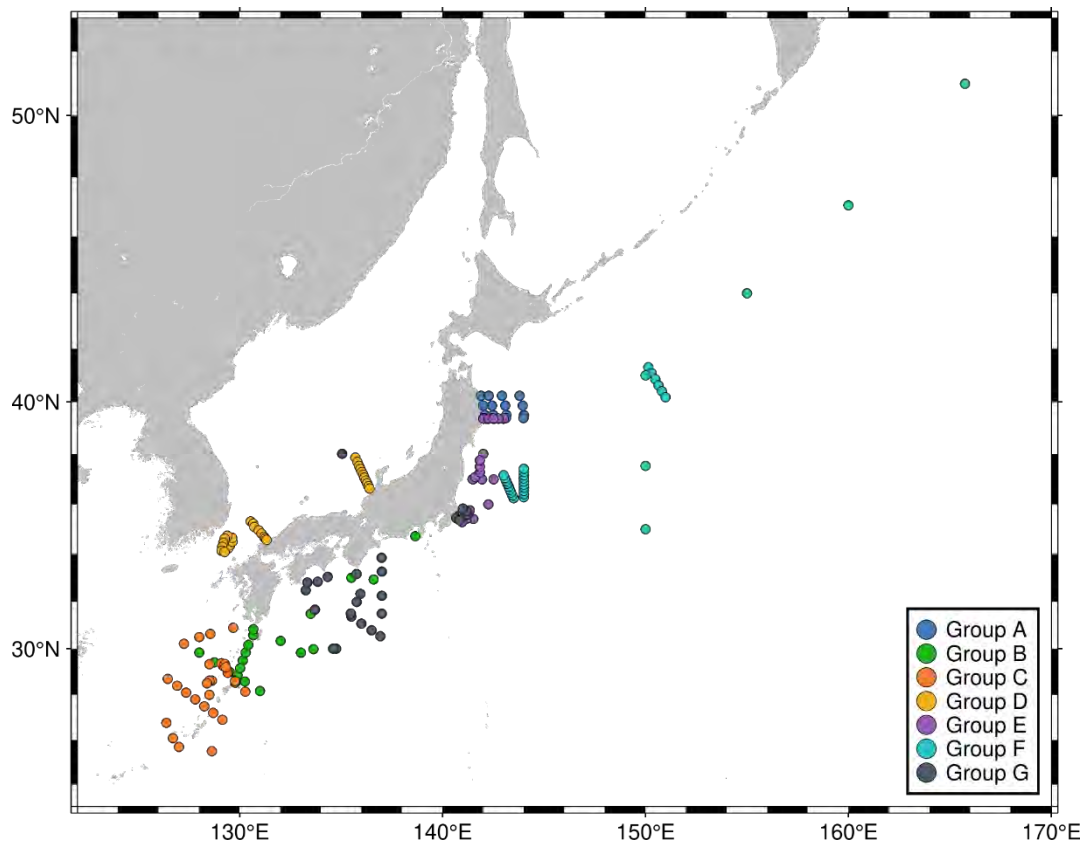


図 1. 魚類群集の地理的グループ分布

超深海動物の深度分布と種分化：北西太平洋の二枚貝を例に

○浅田要・狩野泰則・小島茂明（東京大学大気海洋研究所）

序論

海溝は、プレート収束境界に形成される海洋最深の環境である。海溝内部には多くの固有種が生息し、超深海帯と呼ばれる生物群集を形成している (Belyaev, 1989)。これら超深海性種の起源について、地形や水圧といった海溝特有の物理環境への適応により浅所の深海性種から分化したとする説が提唱され (Wolff, 1960; Belyaev, 1989)、その結果生じる超深海帯/深海帯間の群集境界として水深 6,000 m (Jamieson, 2015) または 6,500 m (UNESCO, 2009) が採用されてきた。しかしながら、超深海帯の調査機会のごく限られるため、低い生物密度と相まって、いずれの議論も少数の測点・個体数に基づく推測に留まっている。また多くの分類群で形態での区別が困難な隠蔽種の存在が指摘されており、形態と分子データの双方に立脚した種分類に基づく生物相の把握が求められている。

本研究では、高い表層基礎生産により著しい生物多様性を示す 2 つの海溝（日本・千島海溝）を対象に、超深海において種数及び個体数が卓越する二枚貝類を用いて上記課題の解決を試みた。その結果、水深 6,600 m 付近での明瞭な深海-超深海群集境界ならびに 2 つの単系統群における両水深帯間での種分化を見出すとともに、超深海固有種の浮遊幼生が浅所で分散している可能性を示した。これらは、超深海動物群集の固有性が垂直方向の生態的種分化により創出・維持されることを示した初の研究である。

方法

白鳳丸 KH-22-8 及び KH-23-5 航海において、ビームトロール及びそりネットを用いたサンプリングを実施した。このうち水深 5,000 m 以深の測点（図 1）から得られた二枚貝標本について、殻形態およびミトコンドリア COI 領域のバーコーディングによる種分類を行った。また属内に近縁な複数クレードの存在を確認した系統について、COI 及び核 rRNA 配列と殻の輪郭形状の定量比較を実施し、これに基づく種分類の結果を測点間の群集構造解析に用いた。また超深海帯固有種について COI ハプロタイプ解析を行い、海溝間の遺伝的分化について検証した。

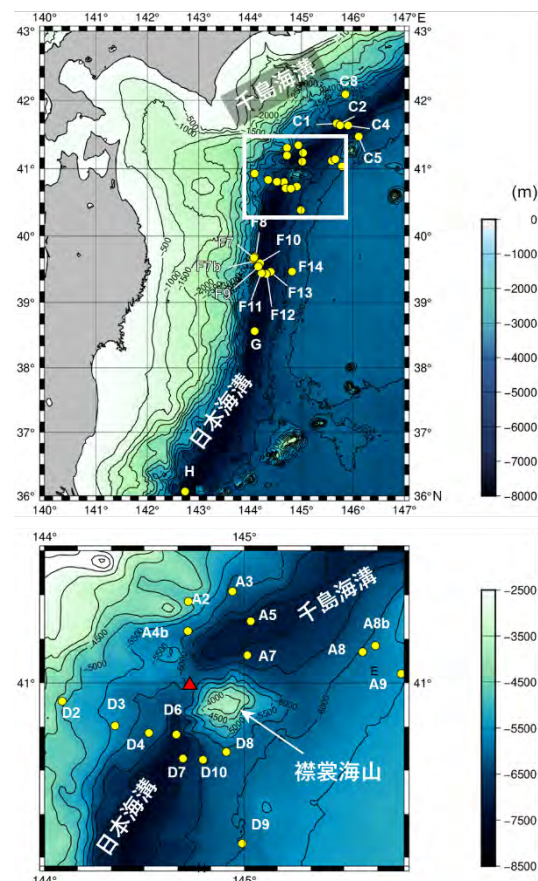


図 1. 解析対象海域。黄色のマーカーは採集測点を示す。赤色のマーカーは海溝軸上の襟裳海山の最深地点 (6280 m) を示す。

結果・考察

計 32 地点 41 曳網から得られた 16,975 個体の二枚貝標本を、17 科 41 種に分類した。出現種数は深度勾配に沿った減少傾向を示し、20 種が 5 測点以上から得られた。

各種の分布に基づき測点間の群集構造解析を実施した結果、深海帯と超深海帯とみなされる 2 つのクラスターが検出され

(5,013–6,562 m 及び 6,660–8,014 m、図 2)、超深海帯の上限水深を約 6,500 m とす

る説を支持した。また水深と群集類似度に有意な相関が検出された一方、緯度（地理的距離）との相関は認められなかった。対象海域における水深 5,000 m 以深の物理環境（e. g., 水温、塩濃度、溶存酸素濃度）は一定であることから（Nozaki et al., 1997）、二枚貝の群集組成は深度勾配に沿った水圧変化に規定される可能性が高い。

Neilonella 属および *Bathyspinula* 属について COI・28S 配列ならびに形態の比較を行った結果、遺伝的にごく近縁であるもののいずれの形質でも区別可能な 2 クレードの存在を確認した（図 3a, b）。両属とも約 6,500 m を境界としてその上下で 2 クレードが棲み分けていたほか、両クレードが一部の水深（6,523–6,562 m）で同所的に採集されたことから、これらを生殖的に隔離された姉妹種（*B. calcarella*, *B. vityazi* および *N. schepmani*, *Neilonella* sp. 1）と認めた。本結果は、超深海性種が深海平原種から分化したとする説を強く支持する。

これら姉妹種のうち超深海性の *B. vityazi* および *Neilonella* sp. 1 は、襟裳海山による生息水深の分断にもかかわらず日本/千島海溝間で遺伝的に分化していなかった（図 3c）。この結果は、超深海種の浮遊幼生が鉛直移動により姉妹種の生息する深海帯（日本・千島海溝間の最浅部 6,280 m）を分散可能であることを意味する。従って、姉妹種間の分化は幼生の着底環境（水深・地形等）に対する嗜好性あるいは成体の生理的耐性への選択圧により同所的に生じた可能性がある。

姉妹種による明瞭な棲み分けは、深海帯-超深海帯間の移行帯が極めて狭いことを強く示唆する。これは、運動性が高く餌付き罌に誘引される一部の腐肉食性動物を用いた既往研究とは対照的な傾向である（e. g., Jamieson et al., 2011）。今後複数の分類群間での比較により、大水深における生物分布が食性や遊泳能力等の生態的特性により規定される可能性について検証したい。

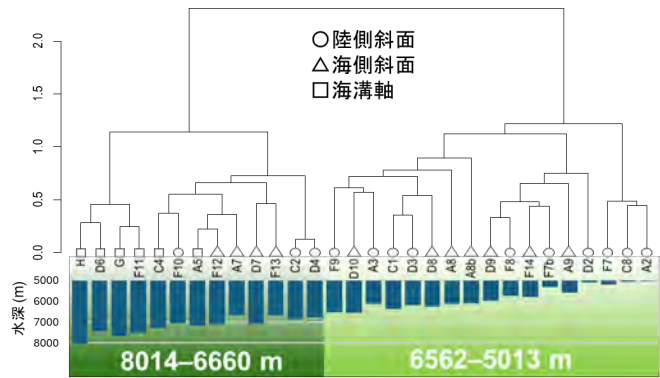


図 2. Jaccard 指数および ward 法を用いた presence/absence データに基づくクラスタリング。

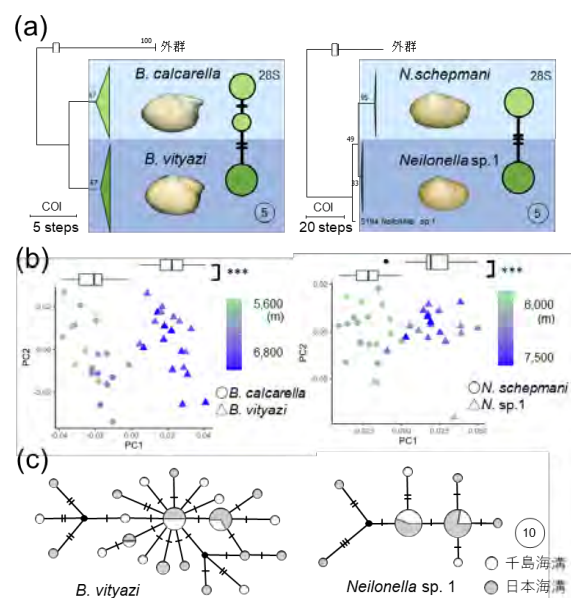


図 3. (a)ミトコンドリア COI 領域 (*Bathyspinula*: 658 bp; *Neilonella*: 652 bp) に基づく MP 法系統樹および核 28S rRNA 領域 (*Bathyspinula*: 796 bp; *Neilonella*: 708 bp) に基づく TCS ハプロタイプネットワーク。枝状の値はブートストラップ値を示す。(b) 楕円フリーエ法による形態解析の主成分得点。箱ひげ図は各種の第一主成分得点の範囲を示す。(c) 超深海性種の COI ハプロタイプネットワーク。

KM24-03 Leg 2 航海概要

○藤原義弘・河戸勝・吉田尊雄・土田真二・波々伯部夏美・BERGMAN, Leah (海洋研究開発機構), 小枝圭太・千徳明日香・REIMER, James Davis・BACHARO, Kurt Bryant (琉球大学), 自見直人 (名古屋大学), 別所-上原学 (東北大学), 山中寿朗 (東京海洋大学), 白木祥貴 (北海道大学), 佐藤真央 (国立科学博物館), 喜瀬浩輝 (産業技術総合研究所), 八巻鮎太 (新江ノ島水族館), 大野敦生・横岡博之 (いであ), 伊藤昌平 (FullDepth), 光藤数也 (光藤深海企画), 小山靖弘 (NHK エンタープライズ)・安田哲郎・岡村弦樹 (タイムレスビジョン・プロ), VENDETTI, Jann (ロサンゼルス自然史博物館), 杉本洋平 (日本海洋事業), 四宮裕太・TUN, Htet Aun・藤岡里帆 (マリンワークジャパン)

以下に挙げる2つの研究課題のもと、2024年4月27日から5月19日にかけて KM24-03 Leg 2 航海を実施した。レグの前半(4/27～5/11)では、笹川平和財団による研究助成プログラム「オーシャンショット」採択課題である「Deep-Sea Archaic Refugia in Karst (D-ARK)」に関する調査を実施した。本課題は深海鍾乳洞の生物多様性の解明とそのための探査技術の開発を目的とした約3年間の研究プロジェクトである。南大東島および北大東島は約5千万年前に赤道付近で形成された海洋島で、上部約2000mが石灰岩でできていると考えられており、陸上には数多くの鍾乳洞が存在することから深海鍾乳洞の候補地として選定した。マルチビーム音響測深機による海底地形調査の結果、大東諸島周辺は水深2000mまで急激に落ち込んだ斜面で、南大東島の北西および北大東島の北東で斜面崩落に伴うものと推定する切り立った地形を確認した。この周辺で無人探査機「KM-ROV」および「クラムボン」による計14回の潜航調査を実施し、水深300～400mにおいて大小いくつもの小穴や洞窟を発見した。洞窟内部を観察するため開発した深海内視鏡と mini ROV を「KM-ROV」に搭載し、海底で動作試験を実施した結果、洞窟内に特有のいくつかの分類群を観察・採集した(図1, 2)。またこの海域でベイトカメラキャストを9回実施した結果、水深約2100mの平坦部では生物量が非常に小さいことを明らかにしたほか、同海域において環境DNAサンプル採取のためのCTDキャストや釣獲調査を実施し、多様性情報を収集した。

レグの後半(5/12～5/19)では、海洋研究開発機構の中期計画課題である「海洋生物多様性の変動予測と汚染物質の動態把握」のため、九州・パラオ海嶺の北高鵬海山において調査を実施した。同海山は1970年代にトロールやたて縄釣りによって調査が実施され、いくつかの分類群については詳細な検討が行われている。しかし、それ以降、本格的な生物調査は実施されておらず、また過去に一度も生物学的な目視調査が実施されていない海域である。加えて、九州・パラオ海嶺の西方に位置する西七島海嶺沖合海底自然環境保全地域と生物相に類似点があることから、日本南方の生物多様性の保全や変動予測を行う上で重要な海域である。今回の調査では過去に実施されていない調査手法を導入し、より詳細な生物多様性に関する情報を取得しつつ、前回調査から約40年で生物相にどのような変化があるのかを確認することを主な目的とした。計4回の潜航調査の結果、平頂海山である北高鵬海山の山頂(約330m)の生物多様性は比較的低く、種の分布は平坦部内でも不均一であることがわかった。一方、山頂の西側に位置する海陵では生物多様性が比較的高いことや海陵の頂上(水深約530m)付近に小さな洞窟が存在し、大東諸島との共通種が分布することがわかった。水深330mと2000mで各3回のベイトカメラ調査を実施した結果、300m海域には浅海性の捕食者と深海性の捕食者が混在すること、2000m海域の生物量は大東諸島周辺よりも大きいことを明らかにした。

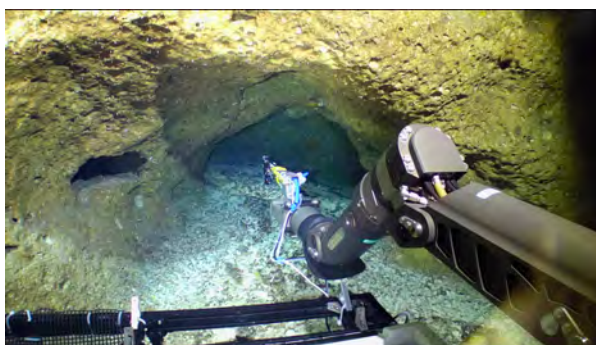


図1. 深海内視鏡による小穴の観察

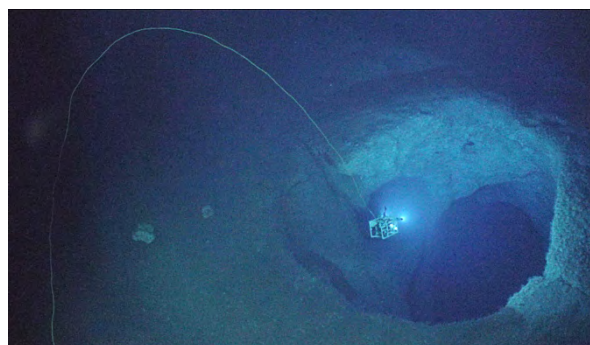


図2. mini ROVによる深海鍾乳洞探査

志摩海脚の深海底生動物相：YK24-09S 航海の予察的成果報告

○波々伯部夏美・藤原義弘・河戸勝（海洋研究開発機構），小川晟人（国立科学博物館），自見直人・酒向実里・下岡敏士・福岡雅史（名古屋大学），手良村知功（東海大学），喜瀬浩輝（産業技術総合研究所）・櫛田優花（立正大学），中野裕昭（筑波大学），白木祥貴・関口翔悟（北海道大学），木村妙子（三重大学）

海山には急峻な地形から成る複雑な海底環境によって、しばしば深海性ベントスの多様性のホットスポットが形成されている。そのため、海洋保護区（MPA, Marine Protected Area）として維持管理することが求められているが、海山生態系の持続可能な保全のためには、保全生態学の観点から保全単位となる生物相を把握し、さらに、その保全単位の集団の維持に寄与するメタ個体群構造の把握が不可欠である。

一般に、沖合の海山は沿岸部よりも栄養が乏しいため、沿岸域の有機物供給が安定し個体数密度が高いソース個体群からの幼生分散が、海山の個体群の維持に重要だと考えられる。熊野沿岸は、山々が海岸線に迫る地形や年降水量が極めて多く、温暖多雨な気候と海洋への有機物供給によって古くから好漁場として利用されてきた。また、近年の黒潮大蛇行の影響を受け、黒潮の一部が遠州灘沖で分岐西進し、熊野灘に沿って南進し沿岸水を取り込みながら再度黒潮に合流する「熊野沖左旋環流」が発達している。このような海洋環境・生物学的背景から、熊野沿岸部及び西七島海嶺北部の個体群は熊野沖左旋環流の影響を受けて分散・拡大している可能性が高い。

熊野灘は、2009 年以降毎年、三重大学生物資源学部附属練習船「勢水丸」での学生実習のほか、研究代表者を含む本航海参画研究者主催の研究航海によって極めて高い生物多様性が明らかになっている。しかし、水深 900m 以深の急峻な地形に関する調査はこれまで行われておらず、熊野灘深海底生動物相全貌把握の空白地帯として残されていた。

本研究では、熊野灘～南海トラフ急峻部の生物相が、西七島海嶺海山群を支えるソース個体群として機能しているかを検証するとともに、同海域の動物相の分類群網羅的把握を試みた。2024 年 6 月 9－16 日に実施した YK24-09S 航海では、しんかい 6500 を用いて志摩海脚の深度別 3 地点（6K#1781-1783）及び西七島海嶺と志摩海脚の地理的中間地点にあたる遠州灘沖海山頂部（6K#1784）で潜航調査を実施した（図 1）。さらに、志摩海脚 2,000 m 地点では 2 台のフリーフォール式ベイトカメラを運用し、取得した各キャスト最大 13 時間の映像をもとに魚類相把握を試みた（図 1）。以上の調査の結果、水深 780～3,253 m からメガベントス～メイオベントスを含む 10 動物門 321 ロット以上の底生動物を採集した（図 2）。特に、志摩海脚の頂部で行われた第 1782 潜航では、大規模なサガミハオリムシ群落で構成される新たな湧水域を発見した。さらに、MASS Pump（海水大量濾過装置）を「しんかい 6500」とベイトカメラに搭載し、魚類及び底生無脊椎動物相の環境 DNA 試料の採取を試みた。

本発表では、YK24-09S 航海の概要に加え、潜航調査と採集試料の形態観察や DNA バーコーディング及びメタバーコーディング解析から得られた予察的成果について紹介する。

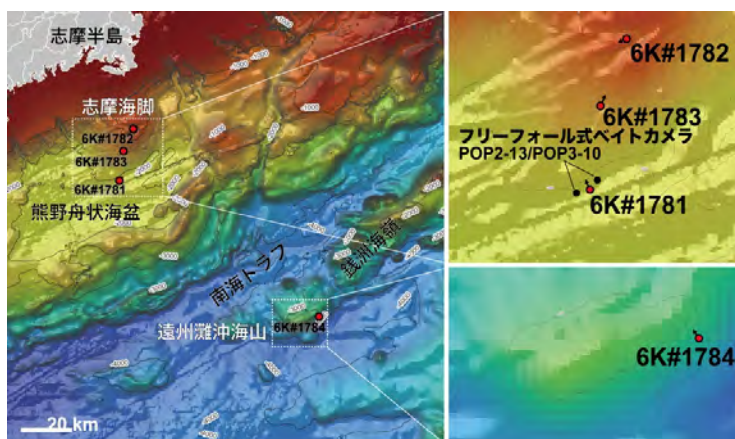


図 1. YK24-09S 航海の調査地点。



図 2. 本調査で採集した底生動物（一部）。

大西洋子午面循環弱化イベントに伴う南半球偏西風帯変動

○粕谷拓人（九州大学，海洋研究開発機構），長島佳菜（海洋研究開発機構），長谷川精・村山雅史（高知大学），岡崎裕典（九州大学），國吉優太・阿部彩子（東京大学大気海洋研究所），岩崎晋弥（北海道大学），原田尚美（東京大学大気海洋研究所，海洋研究開発機構）

最終氷期には，北米大陸から北大西洋へと氷山が流出したイベント（いわゆるハインリッヒイベント；Heinrich Events）が度々発生し（Hemming 2004, *Rev Geophys*），北大西洋への淡水供給を通じ，大西洋子午面循環の顕著な弱化を引き起こしていたことが知られている（Henry et al. 2016, *Science*）。数値実験からは，大西洋子午面循環の弱化と共に大気の子午面循環の大規模な再編が起こり，その結果，熱帯収束帯（ITCZ）の南偏や，南半球偏西風帯の南極方向への移動を引き起こした可能性が示されている（Ceppi et al. 2013, *J Geophys Res Atmos*）。また，こうした偏西風帯の南偏を介してエクマン湧昇の増大が起こり，南大洋内部から大気への CO₂ 放出が促進された可能性が指摘されている（Anderson et al. 2009, *Science*; Wendt et al. 2024, *PNAS*）。しかしながら，南半球偏西風帯の南下については，数値実験からは予測されているものの，データによる実証が遅れている。そこで本研究では，2016 年度に海洋地球研究船「みらい」を用いて実施された MR16-09 leg2 において，パタゴニア氷原を有するチリ南部の沖合（図 1；南緯 46.4 度，西経 77.3 度，水深 3082 m）で採取された堆積物コア試料（MR16-09 PC3）を用いて，中に含まれる砕屑物を対象とした様々な分析を行い，最終氷期における南半球偏西風帯の南偏の可能性を検証した。現代の衛星観測データに基づく，南半球偏西風の強度変動はパタゴニア西部の降水量変動と相関があり，また，アンデス山脈南部への多量の降水は山岳氷河群を支持している。さらに氷原に接続するフィヨルドやチャネルから，多量の懸濁物質が本研究地点を含む東部南太平洋へ流出している。本研究では陸源砕屑物の供給変動を通して氷河収支や降水量，それに影響を与える南半球偏西風変動を復元することを目指した。MR16-09 PC3 は Hagemann et al. (2024, *PNAS*) により既に詳細な年代モデルが確立されている。本研究では，まず蛍光 X 線コアログを用いて測定した 5 mm 解像度の元素組成および透過 X 線像に基づき砕屑物画分の含有量変動を調査し，砕屑物画分の X 線回折およびレーザー回折散乱式粒度分布測定に基づき，それぞれ砕屑粒子の供給源地質や運搬過程を反映する鉱物組成と粒度分布を調査した。その結果，ハインリッヒイベントの後期にかけて，コア中の砕屑物含量が顕著に増加することが明らかとなった。また，X 線回折および粒度分析の結果は，砕屑物含量の顕著な増加と同時にパタゴニア西部の沿岸地域から砕屑物が追加的に流出していたことを示唆した。このような急激な砕屑物供給の変動は，南緯 30 度以南のチリ沿岸では南緯 46 度付近でのみ確認された特徴であり，パタゴニア氷床中央部の西側において氷河の質量収支が顕著に増加したことに伴い氷河侵食域が沿岸地域のフィヨルドやチャネルに急速に拡大したことを示唆する。氷期において，南極の気温は千年スケールで増減を繰り返す

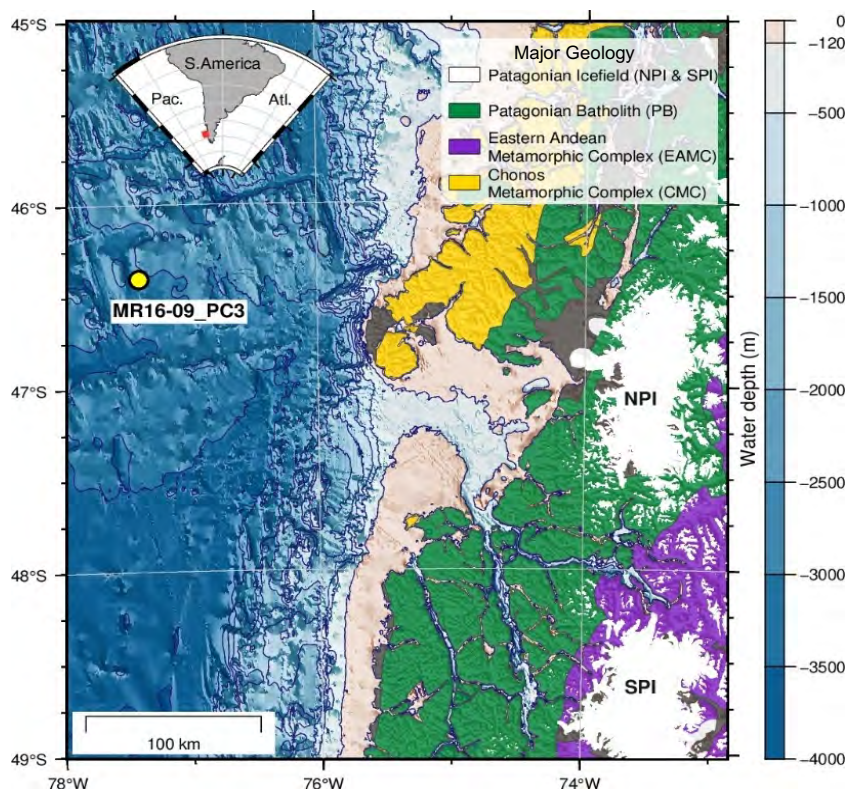


図 1. 研究サイト MR16-09 PC3 および陸上地質概略図。地質概略図は Gómez et al. (2019)，氷河概略図は RGI Consortium (2017)，および海底地形は GEBCO*を参照。
*https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

ていることが知られるが、本研究で明らかになったパタゴニア西部の氷床拡大イベントの頻度やタイミングは、気温低下の他に降水増加がないと説明できない。そこで、大気海洋大循環モデル MIROC4m を用いて北大西洋表層への水撒き実験を実施し、チリ沿岸の降水量および西風強度の時系列変動を調査したところ、水撒き開始から数百年遅れて偏西風帯および降水帯が南下を始めることが明らかとなった。これは本コア試料中で見られた碎屑物供給の増加タイミングと整合的であり、南半球偏西風帯の南下に伴う降水量の増加がパタゴニア氷床中央部西側の質量収支の増加に寄与した可能性を示す。これらの発見は、北大西洋に端を発する急激な海洋循環変動が大気を介して南半球の中緯度地域に伝播したことを示す重要な証拠となる。

References

- Anderson RF, Ali S, Bradtmiller LI, Nielsen SHH, Fleisher MQ, Anderson BE, Burckle LH (2009) Wind-Driven upwelling in the Southern Ocean and the Deglacial Rise in Atmospheric CO₂. *Science* 323:1443–1448. <https://doi.org/10.1126/science.1167441>
- Ceppi P, Hwang YT, Liu X, Frierson DMW, Hartmann DL (2013) The relationship between the ITCZ and the Southern Hemispheric eddy-driven jet. *J Geophys Res Atmos* 118:5136–5146. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50461>
- Hagemann JR, Lamy F, Arz HW, Lembke-Jene L, Auderset A, Harada N, Ho SL, Iwasaki S, Kaiser J, Lange CB, Murayama M, Nagashima K, Nowaczyk N, Martínez-García A, Tiedemann R (2024) A marine record of Patagonian ice sheet changes over the past 140,000 years. *Proc Natl Acad Sci* 121:e2302983121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2302983121>
- Hemming SR (2004) Heinrich events: Massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint. *Rev Geophys* 42. <https://doi.org/10.1029/2003RG000128>
- Henry LG, McManus JF, Curry WB, Roberts NL, Piotrowski AM, Keigwin LD (2016) North Atlantic ocean circulation and abrupt climate change during the last glaciation. *Science* 353:470–474. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5529>
- Wendt KA, Nehrbass-Ahles C, Niezgoda K, Noone D, Kalk M, Menviel L, Gottschalk J, Rae JWB, Schmitt J, Fischer H, Stocker TF, Muglia J, Ferreira D, Marcott SA, Brook E, Buizert C (2024) Southern Ocean drives multidecadal atmospheric CO₂ rise during Heinrich Stadials. *Proc Natl Acad Sci* 121:e2319652121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2319652121>

ティッピングポイントと偏西風～海底堆積物からの知見と仮説～

○長島佳菜（海洋研究開発機構）、粕谷拓人（九州大学、海洋研究開発機構）、
長谷川精（高知大学）、豊田新（岡山理科大学）

地球温暖化に伴う地球環境の激変に関して、最近『ティッピングポイント』という気候システムに不可逆的な変化を引き起こす転換点の概念が注目されており、大西洋子午面循環（AMOC）の弱化、北極海の水氷減少、グリーンランド氷床の融解、アマゾン熱帯雨林の消失などの転換点を持つ気候システムの構成要素は『ティッピングエレメント』と呼ばれ、世界的な関心を集めている（McKay et al., 2022 *Science*）。一方で、日本を含む世界の人口が集中する中緯度域に甚大な気候リスクを生じさせる“偏西風”に関しては『ティッピングエレメント』と見なされているが（Global Tipping Points report 2023 (<https://report-2023.global-tipping-points.org/>)), そもそも偏西風の動態が十分に理解されていないため、どのような臨界点を持つのか、また不可逆的な変化であるのか、詳しい議論が遅れている。偏西風経路の偏差は、世界各地の猛暑・干ばつといった中緯度域における異常気象の発現に関与するため、その動態の理解と将来予想が喫緊の課題である（例えば Francis and Vavrus, 2015, *Environ. Res. Let.*）。

偏西風の動態を理解する上で重要になるのが、他の『ティッピングエレメント』からの影響である。偏西風は、北極海の水氷消失と AMOC の弱化による影響を強く受ける可能性が指摘されている

（Global Tipping Points report 2023 1.4.2.6 章）。例えば、複数の観測や数値モデルなどから、北極域の水氷減少に伴う極域温暖化増幅により、北半球の赤道-極域の温度勾配が減少することで、偏西風は弱体化し蛇行度が増加していくと予想されている（Coumou et al., 2018 *Nature Coms.*）。一方、大西洋高緯度域の淡水化に伴う AMOC の弱化については、近年、従来予想されていたよりも早いタイミング・スピードで進行していることが指摘されるようになってきている（Rahmstorf, 2024 *Oceanography*）。しかし、先行する北極の水氷消失・温暖化増幅に比べ、AMOC の弱化が遠隔地へ与える影響は僅かにしか顕在化していないため、今後の偏西風への影響については検証手段が乏しい。

そこで本研究では、「みらい」や「かいいい」などの航海で採取した海底堆積物から、過去の様々な気候条件下における南北両半球の偏西風経路の変動を復元した結果を報告する。そして温暖化の進行に伴う AMOC の弱化に対し、偏西風の経路や蛇行度が将来どのように変動する可能性があるかについて、古環境記録の研究から示唆される知見について議論する。

我々は、まず偏西風によって長距離輸送される東アジア内陸の砂漠（タクラマカン砂漠やゴビ砂漠）起源の“風成塵（ダスト）”に着目し、日本近海で採取された海底堆積物（KR07-12 PC5&8, MD01-2407 等）の中から風成塵起源の碎屑粒子を抽出して、様々な鉱物学的な分析・検討を行うことで、過去の東アジア上空の偏西風経路の復元を行った。その上で、最終氷期および複数の間氷期（酸素同位体ステージ 1, 5e, 11：産業革命前と同程度の気温～現在よりも更に温暖であった時代）に起こった AMOC 弱化（例えば Henry et al. 2016 *Science*; Galaasen et al. 2020 *Science*）に対する東アジア上空の偏西風経路変動を調べた。その結果、最終氷期の AMOC の弱化時（循環が大幅に減少～ほぼ停止に近い状態）に、東アジア上空の偏西風が南側にシフトしたことが明らかになった（Nagashima et al. 2011 *JAES*）。一方、過去の温暖期においても、AMOC の弱化（循環が小幅～大幅に停止）に対して、東アジア上空の偏西風は最大で氷期に匹敵する程度、南側にシフトしたことが示唆された（Nagashima et al. in. prep.）。現在、東アジアの偏西風の強風軸（上空の偏西風ジェット軸）は、冬～春にはヒマラヤ-チベットの南側に位置しているが、5 月頃になるとヒマラヤ-チベットの北側へジャンプし、そのまま 10 月まで北側を通過する（Schiemann et al., 2006 *Clim.*）。対して、我々の結果は、最終氷期および一部の温暖期の AMOC の弱化イベント時には、偏西風ジェット軸が一年の大半の時期を通じ、ヒマラヤ-チベットの南側に位置したことを示し、南側へのシフトとは偏西風経路の季節進行の変化と言い換えることができる。現在は 5 月頃に起こる、偏西風のヒマラヤ-チベットの北側へのジャンプは、東アジアの夏季モンスーン降雨帯の大陸内陸部への進行や梅雨前線の発達を引き起こすとされており（Sampe and Xie, 2010 *J. Clim.*）、海底堆積物から示された AMOC 弱化に伴う偏西風の南側シフト時には梅雨前線の発達や、東アジアの夏季モンスーン降雨帯の内陸部への進行が著しく弱まった可能性が高い（Nagashima et al. 2013 *G3*）。

次に我々は、南太平洋チリ沖で採取された海底堆積物（MR16-09 PC01&03）を用いて、偏西風帯で増加する降雨の増減を示す指標から、過去の AMOC の変動に対する南半球の偏西風経路変動の復元を行った。その結果、最終氷期の AMOC 弱化時に、南半球チリ沖上空の偏西風も南側にシフトしたことが示された（本シンポジウム「大西洋子午面循環弱化イベントに伴う南半球偏西風帯変動」（発表者：粕谷拓人）において詳しく紹介）。また、温暖期における AMOC の弱化時にも、チリ沖上空の偏西風の経路変動が起こった証拠が得られている（Nagashima et al. in. prep.）。我々の結果から明らかになってきた AMOC の弱化に伴う南北両半球に及ぶ偏西風南下の原因については、氷期における AMOC の弱化を再現した数値モデルの結果からある程度説明することが出来る。モデル実験からは、AMOC 弱化に伴う南北両半球の気温・水温分布の変化により、北半球ハドレー循環の強化と南半球ハドレー循環の弱化が起こり、それに伴う熱帯収束帯や南半球を中心とした偏西風帯の南下が示されている（例えば Lee et al. *Paleoceanography*）。今後は、温暖期における AMOC 弱化においても、同様のメカニズムが生じ得るのか、また、モデルからは顕著に見えない北半球の偏西風の南下は東アジア上空に限定される現象なのか、数値モデルによる更なる検証が必要である。

以上のように、AMOC の弱化イベントは偏西風経路変動を通じて東アジアモンスーンの季節進行など、中緯度の気候に甚大な影響を与えることが明らかになりつつあり、その影響は陸域に留まらず、偏西風と相互に密接に関係している黒潮の経路や北太平洋の水温など（Wang et al. 2014 *Nat. Clim. Change*; Zhang and Zhou 2015 *JAMES*）多岐に渡る可能性が高い。さらに最終氷期の南太平洋上の偏西風の南偏は、エクマン湧昇の増大を通じ、南大洋内部から大気への CO₂ 放出を引き起こしたとする指摘があり（例えば Anderson et al. 2009 *Science*）、将来南半球偏西風の南偏が起こった場合、大気中二酸化炭素増加へ正のフィードバックとして働く可能性がある。

今後の課題として、上述のように温暖期における AMOC 弱化のメカニズムを数値モデルから詳しく調べると共に、それぞれ異なる影響を偏西風に与える“北極の海氷減少”と“大西洋子午面循環の弱化”が合わさることで、偏西風経路はどのように変化するのか、また海洋との相互作用はどのように効いてくるのか、これらの観点からも更なる検証を進める。

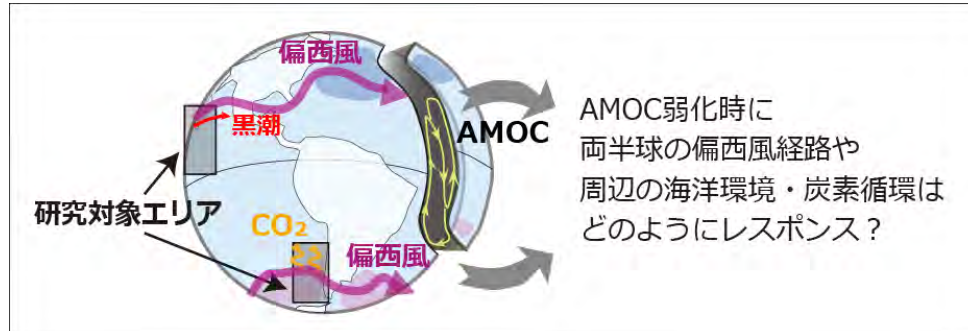


図1 本研究の研究対象海域とコンセプト

表層海水中の過剰メタンの起源

○高田幸太郎¹、角皆潤¹、中川書子¹、伊藤昌稚¹、佐藤晋太郎²、亀山宗彦³
(1 名古屋大学環境学研究科、2 北海道大学理学院、3 北海道大学地球環境科学院)

メタン (CH_4) は一般に嫌氣的環境で生成され、好氣的環境で酸化分解されるという特徴をもつ。しかし海水は好氣的な表層水を中心に大気平衡よりも CH_4 が過剰に溶存しており、古くからこの矛盾は「メタンパラドックス」と呼ばれてきた。Sasakawa et al. (2008) は CH_4 の $\delta^{13}\text{C}$ を指標に用いて、この過剰 CH_4 の主要起源は沈降粒子と結論づけた。一方、Klintzsch et al. (2023) は室内培養した植物プランクトンから CH_4 が放出されることを確認するとともに、その $\delta^{13}\text{C}$ が Sasakawa et al. (2008) が報告した海水中の過剰 CH_4 の $\delta^{13}\text{C}$ と概ね一致することを見出した。そこで Klintzsch et al. (2023) は、植物プランクトンを海水中の過剰 CH_4 の主要起源として提案している。そこで本研究は海水中の過剰 CH_4 について $\delta^{13}\text{C}$ に加えて $\delta^2\text{H}$ を測定し、外洋海水中の過剰 CH_4 の起源の解明に挑戦した。

具体的には白鳳丸 KH23-3 次航海（主席研究員：濱崎恒二）において西部北太平洋亜寒帯域と亜熱帯域で、新青丸 KS24-12 次航海（主席研究員：岩本洋子）において北緯 35 度付近の日本近海域で、MR24-07 次航海（主席研究員：本多牧生）において西部北太平洋亜熱帯域で各層採水を実施し、 CH_4 濃度とその $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^2\text{H}$ 値を測定した。

海水中の過剰 CH_4 について $\delta^2\text{H}$ 値が明らかになるのは

本研究が初めてである。その結果、表層海水試料の多くは大気平衡状態と比べて CH_4 が過飽和となっていることが確認出来た。また海水中の過剰 CH_4 について、その平均 $\delta^{13}\text{C}$ 値を求めたところ、 $-41.6 \pm 1.6 \text{ ‰}$ となった。一方、本研究が世界で初めて明らかにした過剰 CH_4 の平均 $\delta^2\text{H}$ 値は $-62.3 \pm 8.9 \text{ ‰}$ となり、海洋環境における一般的な有機物 ($\delta^2\text{H} = -122 \pm 31 \text{ ‰}$; Lecuyer, et al., 1998) と比べて有意に高い $\delta^2\text{H}$ 値で特徴づけられることが明らかになった。Sasakawa et al. (2008) は、過剰 CH_4 に見られた高い $\delta^{13}\text{C}$ 値 (-33 ‰) は、沈降粒子内の還元環境下で生成した CH_4 (-60 ‰ から -80 ‰ 前後) が酸化的な海水中に放出される過程で進行する酸化分解に起因すると解釈している。本研究で観測した高い $\delta^2\text{H}$ 値はこの解釈と整合的である (Fig. 1)。一方で植物プランクトンが生成した CH_4 とするとここで見られたような高い $\delta^2\text{H}$ 値は説明が難しい (Fig. 1)。表層海水中の過剰 CH_4 は、沈降粒子中の微小還元環境下における生成・放出に起源をもつ可能性が高いことが、 $\delta^2\text{H}$ 値からも支持された。

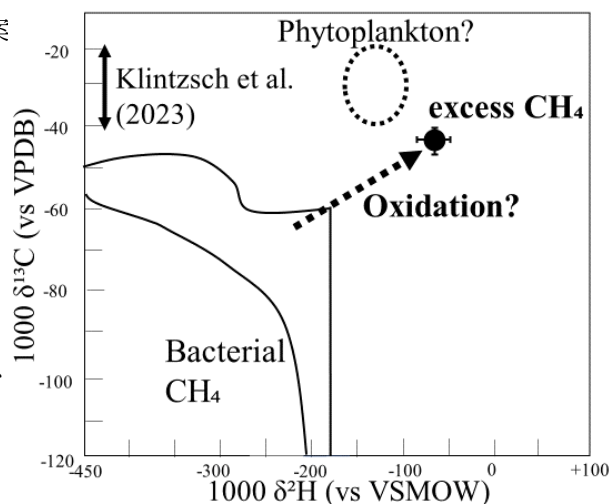


Fig. 1 過剰 CH_4 の $\delta^2\text{H}$ と $\delta^{13}\text{C}$ 値

西部北太平洋亜寒帯循環域の環境変化と生物応答研究： みらい MR24-07 Leg1 航海報告

○木元克典・野口真希・清水啓介・内田裕・藤原弘行・脇田昌英・中野善之・渡健介（海洋研究開発機構），下島公紀（東京海洋大学），三野義尚（名古屋大学），佐川拓也（金沢大学），宮本祐成（千葉大学），後藤理菜（東京藝術大学），Leg1 課題提案者一同

1. はじめに

西部北太平洋亜寒帯域は、生物による二酸化炭素吸収能が世界最大級、かつ海域別漁獲量が最も高い豊かな海である。一方で近年の地球温暖化により、当海域でも海洋酸性化、海水温の昇温、貧酸素化といった海洋環境変化の進行が確認されている。我々は 2021 年度よりアジア域の人間活動と西部北太平洋の生態系に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とした研究航海を実施しており、西部北太平洋の各季節において観測を行った航海（MR21-01、MR21-06、MR22-03、MR23-05）に引き続き、本 MR24-07 Leg1 航海では、秋季から冬季に向かう期間において進行しつつある海洋酸性化などの海洋環境変動と生態系へ影響を捉えることを目的とし、大気から海洋、生態系にいたる総合的観測を実施した。

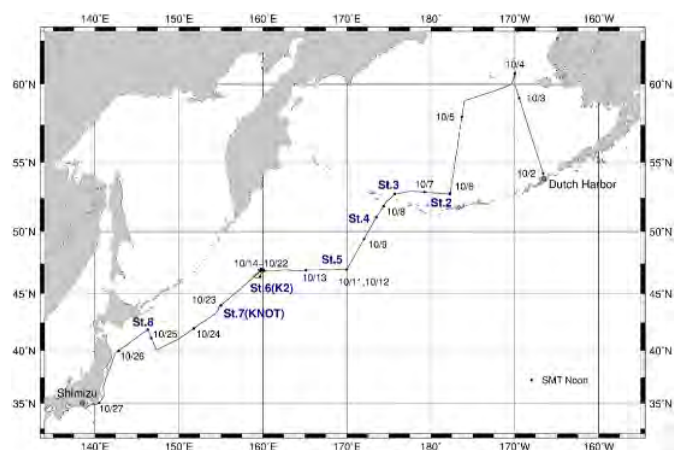
2. 観測報告

本航海は 2024 年 10 月 2 日にダッチハーバーを出港し、10 月 28 日に清水港に帰港する全 27 日間の行程で合計 8 地点の観測を実施することができた。出港直後よりベーリング海で発達した大型の低気圧の襲来に見舞われ、これを避けるべく北緯 61 度まで北上、海況の回復ののち、St. 2 より観測を開始した。アリューシャン列島沿いに西側へ観測を行い、アッツ島東の海峡より南下し北太平洋へ進入、天皇海山列直上の観測点 St. 5（K2-east）で CTD 観測、プランクトン観測、BGC フロート投入後、St. 6（K2）の大測点で 9 日間にわたる観測を実施した。本観測点ではハイブリッド係留系の回収・再設置をはじめ、大気観測、CTD 採水、プランクトン観測、基礎生産実験、VM ドローン投入・揚収観測などを行った。回収されたハイブリッド係留系に係留されていた各水深のセジメントトラップには、いずれも沈降粒子が回収されており、夏季と秋季に沈降粒子束が多く、冬季から春季にかけて小さくなるという傾向を示すことが確認された。

また St. 6（K2）では、北太平洋の海洋酸性化とこれに関連する生物学的過程を時系列で明らかにするためのセジメントトラップ係留系「K2-0A」を、新規に設置することに成功した（北緯 46 度 53.58 分、東経 159 度 40.21 分、水深 5116m）。この係留系には、水深 80m に自動採水装置（RAS）が係留され、またその直下の水深 150m にはセジメントトラップが係留されており、年間を通した表層混合層内の炭酸系の変動に加えて、そこに生息する動物プランクトンや石灰化生物の動態を連続的に捉えることができる点に特色がある。とくにこれまで観測されていない、冬季混合層内の海洋酸性化の変動の詳細な解明が期待される。

VM ドローン試験では、波高 3m、風速 12～15m の荒天環境において、航走時の船速、舵の効果を検証するデータ取得に成功するとともに、船体傾斜時の複合気象センサの計測データと、みらいに搭載されている気象センサとの比較用データの取得等に成功した。

さらに本航海では、サイエンスとアートのコラボレーションというユニークな研究テーマも実施された。発表では、航海の概要に加え、進行中の分析結果について報告を行う。



MR24-07 Leg1 航海におけるみらいの航跡

2024 年能登半島地震震源域東部付近における Seismic oceanography 研究

○野 徹雄（海洋研究開発機構）・大塚 宏徳（東京大学地震研究所）・八田 真理子・金子 仁（海洋研究開発機構）・千手 智晴（九州大学応用力学研究所）・三澤 文慶（産業技術総合研究所）・孫 岳・山川 登・呂 玉琪・朴 進午（東京大学大気海洋研究所）

2024 年 1 月 1 日に、能登半島北部を震源とする能登半島地震 ($M_j 7.6$) が発生し、2024 年 1 月以降能登半島地震に関連した学術研究船「白鳳丸」による緊急調査航海が 5 回実施された。そのうち、2024 年 3 月に実施された第三次航海 (Cruise ID: KH-24-E1) では共同利用研究航海として様々な調査・観測が行われ (Park, 2024, Cruise rep.)、その中の観測項目のひとつであるマルチチャンネル反射法地震 (MCS) 探査は能登半島地震震源域東部の海域にて 14 測線で実施された。海域で行う地震探査では、通常海水中的数据はノイズとし、海底下のイメージングを最適化するために解析され、KH-24-E1 にて得られたデータは 2024 年能登半島地震の地震断層に関連した海底下の構造の抽出に関わる研究が進行中である (朴・他, 2024, 地震学会)。一方、Seismic oceanography とよばれる研究においては、通常ノイズとして扱う海水中的数据の解析を行うことにより、海水中の現象をイメージングし、渦形成、内部波、乱流混合などの様々な海洋現象の研究に応用されてきた (e. g. Song et al., 2021, Deep-Sea Res.)。また、海底まで達している断層近傍で MCS 探査を行った研究では、断層付近からの流体の放出が示唆される海水中的イメージに成功したケースも報告されている (e. g. Tsuru et al., 2020, EPS)。

そこで、東京大学大気海洋研究所が所有している地震探査システムを用いて、KH-24-E1 航海で実施された MCS 探査のデータから、震源域を含む能登半島東方沖の海水中的イメージングに着目した研究を行った。本研究で用いたデータ取得の震源は GI ガン (Generator 250 cu.in. [約 4.10 L], Injector 105 cu.in. [約 1.72 L]) 2 基から構成されたエアガンアレイを用い、発震間隔が 18.75 m、エアガンアレイの曳航深度が 5 m、エアガン動作圧力が 2,000 psi (約 13.8 MPa) で観測を行っている。ストリーマケーブルはケーブル長が 1200 m、チャンネル間隔が 25 m、チャンネル数が 48 の仕様のシステムを使用し、曳航深度は深度調整装置を用いて海面下 5 m に制御された。データの収録はサンプリング間隔 2 ms、記録長 5~6 s で行われた。以上の仕様で取得されたデータを用いて、標準的なフローチャートに沿って解析を実施した。

解析の結果、探査測線下で推定されている断層や余震域の直上の海水中で特徴的なイメージは見つけられなかった。しかし、探査測線の東側に位置している富山トラフ上の海面下 200 m 付近に非常に明瞭かつ直線状の反射面がイメージングされた。この海水中の反射面は能登半島に近い南西側の測線で特に明瞭で、相対的に振幅が大きく、連続性も良い結果となった。このような反射面の形成は、これまで Seismic oceanography の研究で報告されている海水中の反射面と比べても珍しい。それに対して能登半島から離れた北東側の測線になると相対的に振幅が小さくイメージされ、複数枚の反射面に分かれ、連続性も悪くなる傾向にあった。また、南西側の測線の交点ではその反射面が数十 m 上下にずれており、交点となったそれぞれの測線の探査日時が 1~2 日程度違うことから、この反射面の深度は比較的短い時間で変化していることも示唆される。

この反射面の形成要因について、同じ航海で実施された CTD 観測、XBT 観測、ADCP 観測、SBP 探査等のデータも用いて、検討した。その結果、強反射面がイメージされている測線に近い CTD 観測点 (S1-5) では、水温・密度躍層の浅層に強反射面が対応し、密度勾配、蛍光、塩分、濁度の値が急激に変化する水深と強反射面の位置がほぼ一致していた。さらに、不明瞭なイメージとなっている測線に近い CTD 観測点 (TCW-2) に比べると、S1-5 の方が躍層に相当する領域の厚みが大きく、温度・密度の変化が勾配で相対的に緩やかであった。さらに、海洋研究開発機構アプリケーション・ラボが公開している海中天気予報 (JCOPE-T DA) (Miyazawa et al. 2021, Remote Sens.) の 3 月上旬の (密度や水温の) モデル解析結果では、MCS 探査の測線付近の水深 150~200 m で密度・水温ともに数日間で急激に変化しており、測線交点での反射面のずれの要因との関連を示唆している。

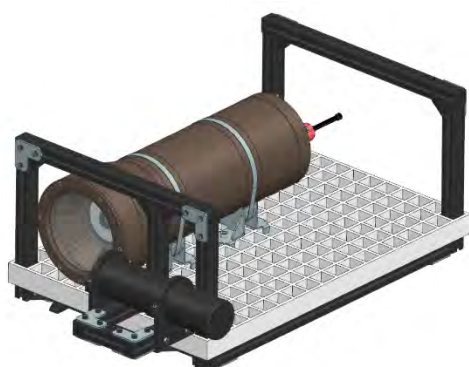
イベントベースビジョンセンサー（EVS）海洋粒子高速測定技術

○高塚 進（ソニーグループ株式会社/海洋研究開発機構），川口 慎介（海洋研究開発機構），
宮本 教生（海洋研究開発機構），佐藤 秀仁（ソニーグループ株式会社），
安住 仁史（ソニーグループ株式会社），林 靖人（海洋研究開発機構）

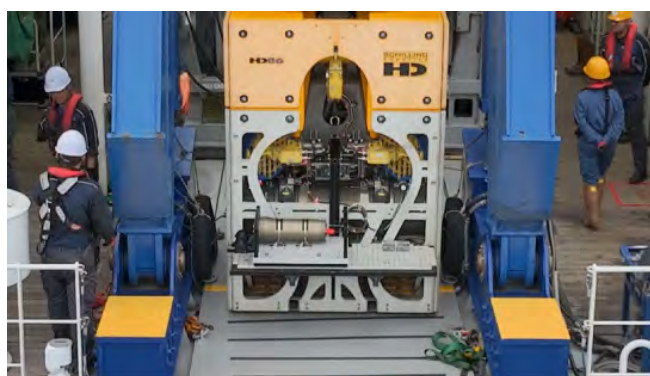
プランクトンや粒子態有機物を含む『海洋粒子』は、海洋生態系の基盤要素であり、気候変動や水産資源量変動の支配要因である。定量的な海洋粒子観測の実現には、消費電力、時間分解能力、データサイズ、感度等の課題があり、これらの課題解決にはセンサーの技術革新が不可欠である。本研究ではファクトリーオートメーションなど産業向けに開発されたソニーの『イベントベースビジョンセンサー（EVS）』を用いて浮遊する粒子を高速にとらえることで対象の動きに着目した『海洋粒子高速測定技術』を実現する。また近赤外光の照明を用いることで生物の光走性を誘発しない非侵襲型測定を可能にする。

海流によって流される凝集体やプランクトンなどの粒子の数や動きを正確に測定するには、高い時間分解度で高速撮影を行うことが必要となる。EVS は一般的なビデオカメラに採用されているイメージセンサーと異なり、10,000fps（フレーム換算時1秒間に1万枚）に相当する高速なモーションキャプチャを実現する。また、従来の高速度カメラと比較して低い消費電力とコンパクトなデータ容量で動作するため、海中での長時間撮影が可能となった。

SIP3 環境課題 KM24-06C「かいめい」にて、KM-ROV に耐圧容器に入れた EVS 測定装置を設置。駿河湾で深度別の海洋粒子観測を行った。従来、困難だった海中に浮遊する凝集体の直接観測実験を、波長 830nm 近赤外線レーザーシート照明（レーザー光をシート状に照射）を用いて、粒子数、サイズ、空間分布、移動速度の計測を行った。



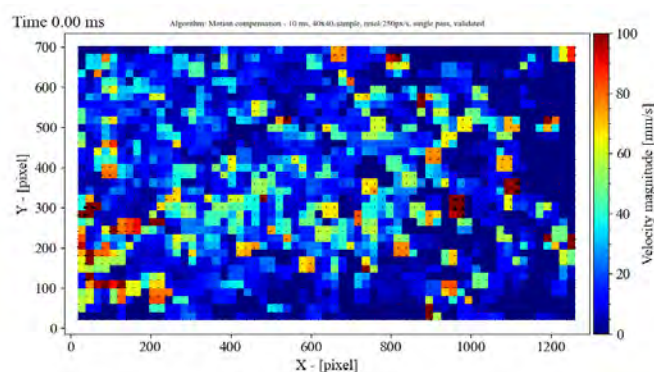
EVS 測定装置。カメラとレーザー照明を深度 3000m 耐圧容器に格納。



ROV 背面部分に EVS 測定装置を設置。



EVS で測定された浮遊する粒子の高速撮影動画のスクリーンショット。



測定二次元平面内の粒子の移動速度と空間分布図。

深海環境下におけるレーザー反射を適用した先進的光学計測技術の検証

○石橋正二郎・田中聖隆・高柳麻佐子（海洋研究開発機構），
岡田隆光・鐵田大輔・高田溪作（三菱電機ディフェンス&スペーステクノロジーズ），
長谷川寛・森下浩志（浜松ホトニクス株式会社）

深海底に露出する海底資源域などの特異点を鮮明かつ詳細に可視化することは、海底資源探査にとって重要事項である。この際、海底資源域の位置を把握し、その資源種を推定するとともに、当該資源域や周辺の状況を理解することができれば、海底資源に関する探査・採鉱等の効率化に繋がり、産業化への発展も期待される。そこで現在、海底資源域の新たな探査手法の基礎となる光学技術を検証するため、深海および深海底におけるレーザー反射特性に着目し、以下に示す技術の基礎研究に取り組んでいる。

- ① レーザー反射の伝播時間・反射率検出による深海底の長距離計測技術および可視化技術（深海底の可視化）
- ② レーザー反射から深海底の底質・特性を推定する機会学習技術（深海底の類別）
- ③ レーザー反射から海中懸濁物に対するのドップラーシフト（相対速度）を検出する技術（深海底の位置把握）

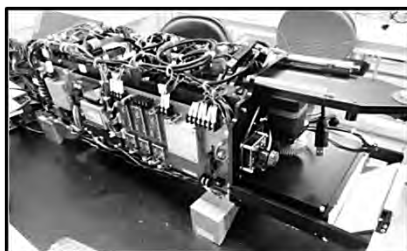
①の取り組みでは、レーザー光の海底反射を検出し、レーザー反射強度とレーザー伝播時間から海底画像を生成する海中レーザースキャナを開発する。レーザー光源として、532nm（グリーン）の可視光と、355nm（紫外 | UV）の非可視光の2つの異なるレーザー波長を適用する2種類の海中レーザースキャナの構築を進める。当該各スキャナーでは、水平分解能 8,000 画素以上の超高精細な海底可視化画像を生成させ、併せて、世界最高レベルの最大計測距離の実現を目指す。

②の取り組みでは、①で開発した各海中レーザースキャナにより生成された海底可視化画像を用いて、深海底の底質を推定（類別）するアルゴリズムを開発する。畳み込みニューラルネットワーク（CNN）に基づく機械学習を適用し、各海底画像を入力として既知の海底モックアップおよび未知の実海底を自動類別するアルゴリズムの構築を進める。

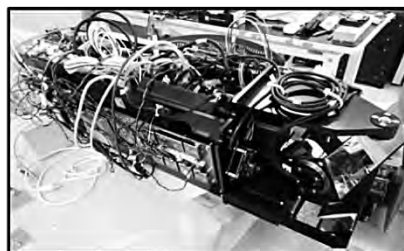
③の取り組みでは、海中懸濁物に対するレーザードップラーシフトを検出し、相対速度を計測する海中レーザードップラ速度計を開発する。当該ドップラーシフトは海水を構成するごく微小な浮遊粒子に対して検出されるため、相対速度は対水速度と等価と考える。レーザー反射により計測された対水速度を、慣性航法システムの誤差推定機能に入力する複合航法システムの構築を進める。

以上のレーザー反射に関する各検出技術の基礎が確立され、展開していくことで、光学を基盤とした新たな海底資源探査手法の実用化が期待される。従来のソナー技術やカメラ技術では検出が困難であった微小な海底特異点を高精細に可視化し、その位置が把握され、資源種を特定（推定）する。これら全てを光学技術により実現することで、音響干渉や音響ノイズの影響と完全に切り離されたシステムが成立する。本発表では、これらレーザー反射に関する各検出技術の実用性検証のために開発された実証機（下図）について言及する。併せて、海中探査機「かいこう」に当該実証機を搭載して実施した深海試験について示す。

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。



レーザー実証機
(海中レーザースキャナー | 532nm)



レーザー実証機
(海中レーザースキャナー | 355nm)



レーザー実証機
(海中レーザードップラ速度計)

音響通信測位統合装置の開発と実装

○渡邊佳孝・出口充康・樹田行弘・志村拓也（海洋研究開発機構）

潜水調査船やAUV (autonomous underwater vehicle)等の海中探査機の運用において、探査機と海上の母船等の間で、減衰の大きい電磁波の代わりに音波を用いて無線通信および位置計測を行う。従来の海洋研究開発機構（以下、「機構」）での探査機の運用においては、音響測位は主として SSBL (super short baseline)方式を用いて母船から探査機位置の把握を行い、それとは別のシステムとして音響通信装置を搭載して運用を行ってきた。音響通信を用い、潜水調査船「しんかい 6500」においては海中で取得した画像の船上への伝送、AUV においては機体ステータスや観測データの船上への伝送（アップリンク:UL）と、船上から AUV への制御コマンドの送信（ダウンリンク:DL）などが行われる。AUV 等の探査機においては、DL の高い通信確度が安全で安定的な運用のため非常に重要である。音響測位と音響通信機能の設計において、各機能の周波数配置と送受信タイミングの考慮が必要である。想定される伝搬距離、通信範囲を考慮する他、特に海中機体に装備される送波器、受波器の距離が近い場合には、送受の信号間で周波数的に分離されていても大音量の送信波の干渉により受信が阻害されることが多く、このような場合、送受信のタイミングにオペレータの配慮が要求される。

機構におけるAUV運用では、周期的なULにより探査機のステータスや基本的な観測データが逐次母船に伝送され、これをオペレータが監視し、シナリオ変更や緊急時対応等のコマンドおよび位置補正情報の伝送時に探査機に向けてDLが送信される。このオペレーションにおいて、高頻度・大容量のUL通信と確実なDL通信を、オペレータの介入無く自動的に同時に達成する手法を提案した。提案手法では、AUV、母船等の各装置にチップスケール原子時計を搭載して高精度に時刻同期し、送信時刻情報を含んだ音響通信と同時に片道の音響信号の授受（主にUL）により測位処理を実施することで、AUV運用に必要な音響通信および測位を成立させるために必要な音響信号の送受信の頻度を大幅に抑制する。さらに、測位結果を活用してDL通信の送信タイミングを制御し、特にAUV側での送受信の干渉を自動的に回避する。AUVからのUL送信の無音区間を極端に短くして大容量化し、DL送信時には高精度に送信タイミングを制御してAUV側の短い無音区間に確実に検出させ、DL受信中のULを一時的に停止させることで確実なDLを達成する。

本提案手法は、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期において求められた、海上のASV (autonomous surface vehicle)にて監視される5機までの複数のAUVの同時運用を可能とするために必要な要素技術として適用された。ASVと複数のAUVの間で送受信される多種の音響通信および測位用の信号間の干渉を避けつつ、システムを自律動作させるために必要な要素技術として、「音響通信測位統合装置」の開発を行った¹⁾。本開発においては、SIP第2期で掲げられた目標を達成すると同時に、後に機構の探査機へ水平展開し、活用されることを念頭に開発した。既に、「しんかい 6500」、開発中の11,000m級フリーフォールランダーシステム「FF11K」、および8,000m級に改造中のAUV「うらしま」に実装され、またAUV「じんべい」にも搭載の予定である。「しんかい 6500」の画像伝送の運用、「FF11K」および「うらしま」の航海における動作試験で、良好な結果を得ている。

本発表では、開発した音響通信測位統合装置の概要と、各探査機への実装状況について紹介する。

「しんかい 6500」では、新画像伝送装置として適用し実運用に供しており（図1）、高フレームレートの画像伝送（UL）と同時に母船「よこすか」に搭載された音響航法装置での測位も可能である。また、将来的にはDL機能を活用し、一部オペレーションの自動化や、潜水船と母船間の情報共有の確度向上を目指す。8,000m級「うらしま」においては、異なる指向性を有する送波器を装備しており（図2）、ピッチ角が大きくなる潜航・浮上中と、大深度での海底観測中で使い分ける。試験潜航において、着水直後から浮上まで、高頻度のULと高確度のDLを実現しており、安定的なオペレーションが可能との評価を得ている。受波器アレイを装備することで「うらしま」側でDL受信と同時の相対位置計測も可能となり、将来的な活用が考えられる。

参考文献

- 1) Y. Watanabe, et al., “Development of Integrated Acoustic Communication and Positioning System for Operation of Autonomous Underwater Vehicles and A Sea Trial”, OMAE2023-106749



図1. 「しんかい6500」での伝送画像

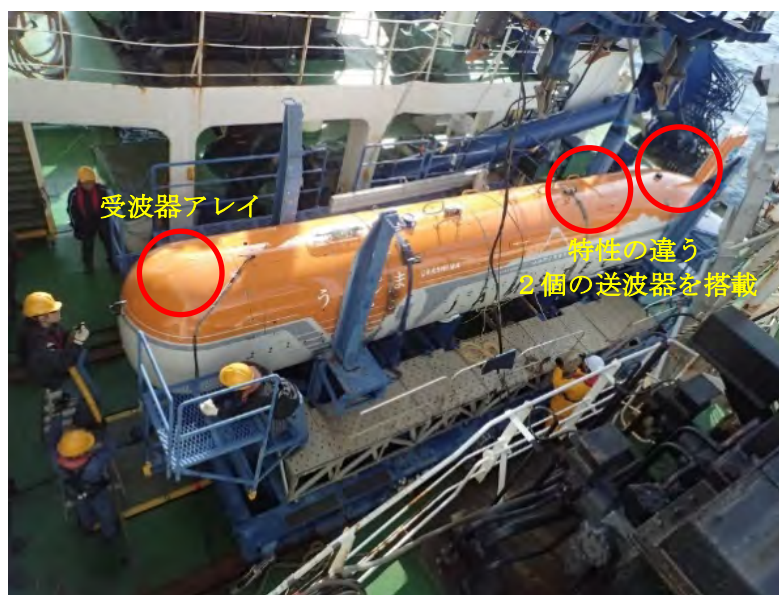


図2. 8000m級「うらしま」による試験

IODP 研究航海 JTRACK における広報・アウトリーチ活動の報告

○中野夏海・村田レナ・吉澤理・吉松あゆみ・JTRACK アウトリーチチーム（海洋研究開発機構）

2024 年 9 月 6 日から 12 月 20 日にかけて、IODP 第 405 次研究航海である「日本海溝巨大地震・津波発生過程の時空間変化の追跡」“JTRACK”を地球深部探査船「ちきゅう」で実施しました。本航海では、海洋地球科学の調査現場をリアルタイムで目撃することで、研究活動の重要性を実感してもらうことなどを目的に、「ちきゅう」研究航海の期間中に積極的なアウトリーチ活動を国内外に向けて展開しました。本発表では、本航海における具体的な実践例とその評価について発表します。

①ライブ配信

YouTube およびニコニコ生放送の 2 つのプラットフォーム上で、航海の進捗に合わせ、船上からの中継を含むライブ配信を高速衛星通信回線を利用して計 5 回実施しました。また、ライブ配信のパブリックビューイングを全国の科学館等 14 施設で実施しました。

②学校、科学館等での展示や中継イベント

航海中の船上と日本国内の科学館 13 施設とを結ぶ中継イベントを実施しました。イベントに合わせて一部の科学館では JTRACK に関する特別展示も行われました。また、学術集会等での中継を 5 回実施しました。

③Outreach Officer によるアウトリーチ活動

「ちきゅう」における IODP 研究航海では初となる、船上でアウトリーチ活動を専門として行う Outreach Officer が乗船しました。IODP 航海においても初めての試みとして、日米欧豪それぞれで行われた公募により選出された、様々なバックグラウンドを持った 9 名の Outreach Officer が乗船し、各々の分野における発信を行うと共に、JTRACK アウトリーチチームとして連携してアウトリーチ活動を行いました。

これらのライブ配信中のコメントやイベント後に回収したアンケート、中継授業に参加した児童の学習意欲、イベントを取材報道したニュースなどから、東北沖巨大地震の震源域の研究や、世界記録を達成するような科学調査の現場について、参加者がイベントによって興味をもちその意義や重要性を理解していたようすわかりました。これにより、本航海におけるライブ中継や Outreach Officer の乗船といった積極的なアウトリーチ活動は、研究活動の重要性を国内外に実感させるという目的の達成に効果的であったことが伺えました。



ライブ配信における船上からの中継の様子
(©JAMSTEC/IODP)



中継イベントでの船上の様子
(©JAMSTEC/IODP)

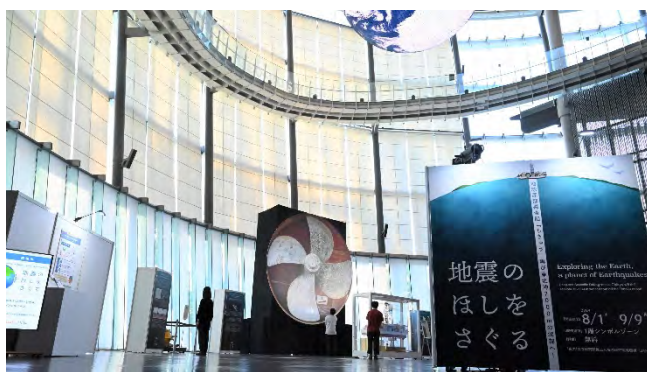
日本科学未来館における「JTRACK」のアウトリーチ活動

○倉田祥徳・櫻庭真弓・園山由希江・澤田拓実・清水菜々子・
三浦菜摘・岡山悠子（日本科学未来館）

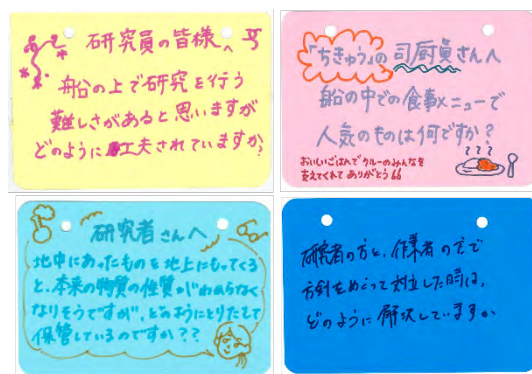
日本科学未来館（以下未来館）にて、2024年8月1日（木）から9月9日（月）に開催した期間限定展示「地震のほしをさぐる ―地球深部探査船『ちきゅう』再び東北沖 7000m の深部へ!」において、地球深部探査船「ちきゅう」の模型展示や地震研究者たちの取り組みを紹介し、地球科学研究の壮大なスケールと情熱に迫った。さらに展示内では、IODP（国際深海掘削計画）第405次研究航海「JTRACK」の内容を紹介するとともに、来館者が地震研究や掘削活動に興味を深められるように「ちきゅう」に乗り込むクルーへの質問や応援メッセージを市民から募集した。結果的に多くの質問やメッセージカードが寄せられ、これらの質問を土台に、出航前から帰港後にわたる「JTRACK」の連続的なアウトリーチ活動を行っている。

掘削調査への出航前には、地震の研究者と科学掘削現場で活躍している EPM（Expedition Project Manager）を未来館にお招きし、8月31日にトークイベントを開催した。当日は100名近い参加者にご参加いただき、アーカイブ動画は未来館の YouTube チャンネルでトークイベント当日に来場できなかった人々や、遠方に住む方々にも広く視聴されている。また、当館の科学コミュニケーターが JTRACK のアウトリーチオフィサーとして、JTRACK のオペレーション中に地球深部探査船「ちきゅう」に乗船し、「地震のほしをさぐる」で寄せられた質問を、乗船している研究者、船長、司厨員、看護師などへ直接インタビューを行った。その内容を、科学コミュニケーターによるブログや未来館で行っているプレゼンテーションに活用し、継続的なアウトリーチ活動を行っている。

このアウトリーチ活動を通じて、未来館は研究現場と市民をつなぐ橋渡し役としての役割を担い、市民に地震研究の意義や挑戦についての理解を深めてもらうと同時に、研究者や技術者の日常や掘削作業の実情を共有することで、科学をより身近に感じてもらうことを期待している。



期間限定展示「地震のほしをさぐる」



「地震のほしをさぐる」で寄せられた質問の例

海底地形データ処理の最適化 ～音速補正処理への4次元格子データ利用～

○森岡美樹・永木晴美・坂本雅子（日本海洋事業株式会社），
川上創・福田和代（海洋研究開発機構）

1. はじめに

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、JAMSTEC 船舶に搭載されているマルチビーム音響測深装置（MBES）で得られた海底地形データについて、航海毎に処理と品質管理を行い、航海・潜航データ・サンプル探索システム（DARWIN；<https://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/ja/>）から公開している。公開している海底地形データは、品質上の差異から調査海域と回航中に分けており、調査海域では調査研究において高精度な海底地形が求められることから、MBES 音速補正のために1日に1回程度 XCTD や XBT 観測が行われ、リアルな水中音速での音速補正が可能である。一方、回航中は XCTD や XBT 観測は積極的に行われていないため、ARGO フロートの観測データや別の航海で取得された XBT/XCTD/CTD から作成した音速プロファイルを用いて後処理で音速再補正を行ってきた。しかし、実際の水中音速とのフィッティングが悪く低品質の海底地形データを公開せざるを得ない場合があることが課題であった。

そこで、水平解像度 2 km の時空間的に高密度な 4 次元格子データ（日本沿岸海況監視予測システム GPV（日本近海域））を回航中の海底地形データの音速補正に導入すべく試行したため本発表で紹介する。

2. 海底地形データ処理の従来手法と問題点

DARWIN から公開している回航中の海底地形データの音速補正については、前述の通り、ARGO フロートの観測データや過去に取得された XBT/XCTD/CTD から作成した音速プロファイルを利用して後処理で音速再補正を実施してきた。しかし、海域によって時空間的に遠い ARGO データしかない場合があり、最適な音速補正が出来ず、スマイルカーブまたはアングリーカーブが見られる品質が低い海底地形データ（図 1 左側）を公開しているケースも存在する。特に近年見られる黒潮大蛇行の様に年代によって水塊の配置が大きく変化しているため、空間だけでなく時間的な一致性が重要であるが、空間的閾値内に存在する ARGO データは 10 年以上昔の観測データであることもしばしばである。

その他、回航用の音速プロファイル作成手順で、高度な品質管理を施された ARGO 観測データを採用しているが、品質管理済み ARGO データが配信されるまでに 6 か月程度のタイムラグがある。従来の処理手順では、MBES データの取得時間に可能な限り近い ARGO データを利用したいため、処理対象の航海終了日から 6 か月経過した後に ARGO データをダウンロードして回航中の音速補正に利用している。そのため、海底地形データの DARWIN 公開までには航海終了から少なくとも 1 年程度の作業時間を必要とする。

3. 4次元格子データによる音速補正の結果と今後の予定

今回、気象庁/気象研究所からリアルタイムで配信されている GPV データ（日本沿岸海況監視予測システム GPV（日本近海域））から、MBES データ各ファイルの収録開始時の時間、緯度、経度とマッチする水温、塩分データを抽出し、MBES データと対になる GPV 音速プロファイルを作成して音速補正を行った。図 1 の通り、従来手法（ARGO）による音速補正ではアングリーカーブが見られた異常地形が GPV 音速プロファイルでの補正により大きく改善されたことを確認した。

処理フローについては、図 2 の通り ARGO データの品質管理待ちの 6 か月間のタイムラグを削減可能である。その他の定常観測項目と比べて公開までに時間を要してきた海底地形データであるが、GPV データの導入により従来よりも迅速なデータ公開が可能となることが期待される。

今後の予定として、2024 年度中に GPV 音速プロファイルの導入に向けて処理システムを構築し 2025 年度から回航中の海底地形データの音速補正に採用していく。

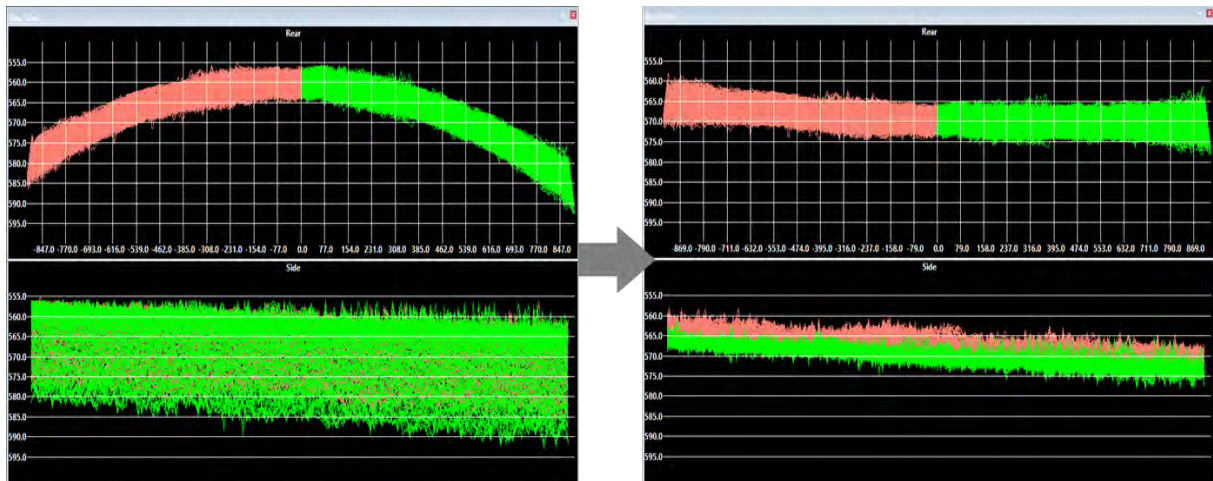


図 1：GPV データを用いた音速補正で改善された海底地形データの一例
(左：従来手法 (ARGO) 音速プロファイル適用、右：GPV 音速プロファイル適用)

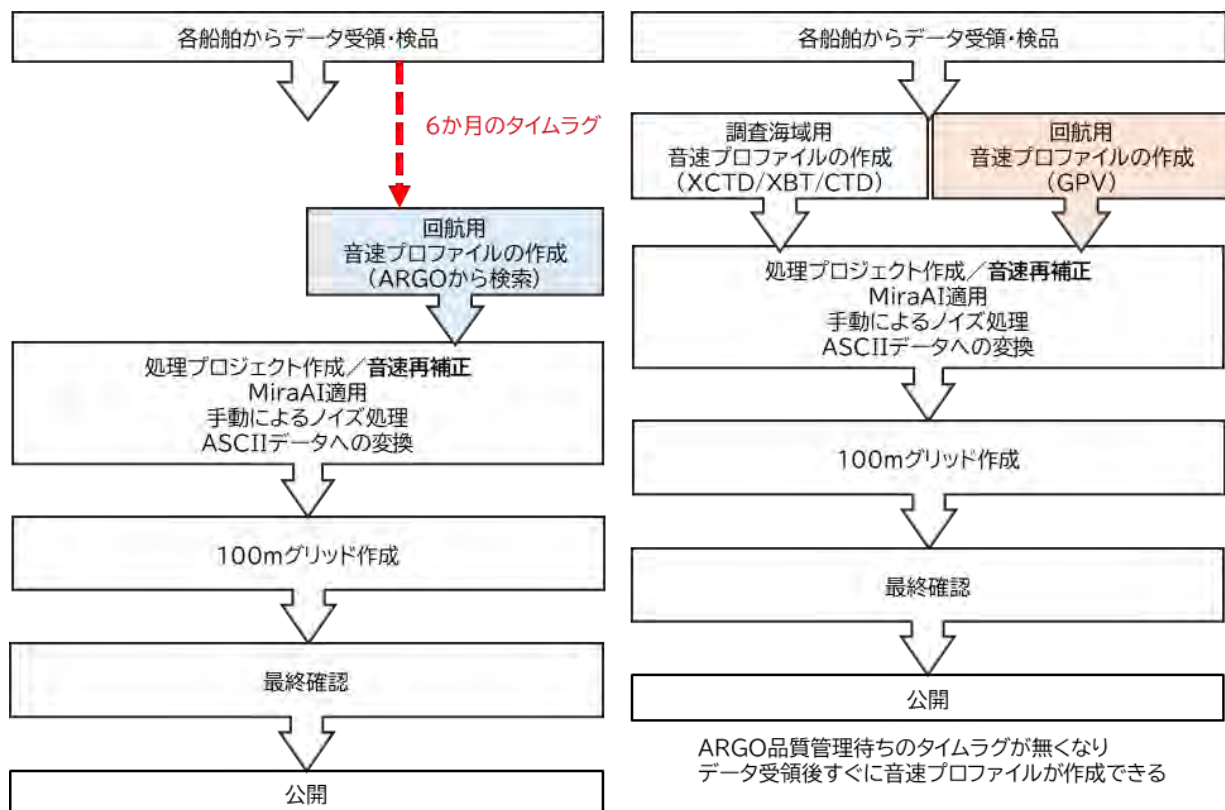


図 2：GPV データ導入により効率化する海底地形データ処理フロー
(左：従来手法 (ARGO)、右：GPV 導入後)

参考文献

気象庁地球環境・海洋部 (2020): 配信資料に関する技術情報第 537 号: 日本沿岸海況監視予測システム GPV の提供について, <https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/537.pdf>

日本海溝の広域地殻変動の検出に向けた海底地形観測の基準点作成 - 白鳳丸 KH-22-10 航海結果(速報) -

○高下裕章（産業技術総合研究所），富士原敏也（海洋研究開発機構），木戸元之（東北大学災害科学国際研究所），亀尾桂・田村千織（東京大学大気海洋研究所），三澤文慶・鈴木克明・本荘千枝†（産業技術総合研究所），森口堯明†（東京大学大気海洋研究所），日野亮太・鈴木秀市・佐藤真樹子・西村建†・後藤博文・黒須直樹†（東北大学大学院理学研究科），森尚仁（東海大学海洋学部，MWJ），金子純二（海洋研究開発機構），古山精史郎・唐澤卓朗†（東京海洋大学），中尾眞子（MOLMEC），片山陽平（MWJ，海洋研究開発機構）

† 民間企業へ異動

2011 年東北地方太平洋沖地震では、地震直後に実施された海底地形観測とその差分解析を通じて、海底面の地殻変動が検出され、プレート境界断層の破壊が海溝軸にまで到達していたことが示された (Fujiwara et al., 2012)。この断層破壊は、津波の直接的な原因であるとされるが、このような研究成果は、地震発生前に取得された高精度な観測データとの比較に基づいているため、事前に精度の高い観測が実施されていたかどうか重要な鍵となる。しかし、海底地形観測には、陸上とは異なり固定基準点が存在しないという課題があり、地震前後の変動量を精査するには多大な労力を要する。そのため、地震前後の変動を高精度で把握するためには、基準点となるデータの整備が不可欠である。GNSS-A 観測点が将来発生する地震時まで継続的に維持されることで、地形調査のデータの位置のバイアス除去が可能となる。しかし、途中で GNSS-A 観測点の継続が廃止された場合でも、地震後に潜航艇等で新たな海底局を過去の海底局に隣接させ、相対位置関係が把握できるかたちで設置すれば、地形調査のデータのバイアス補正に利用可能である。

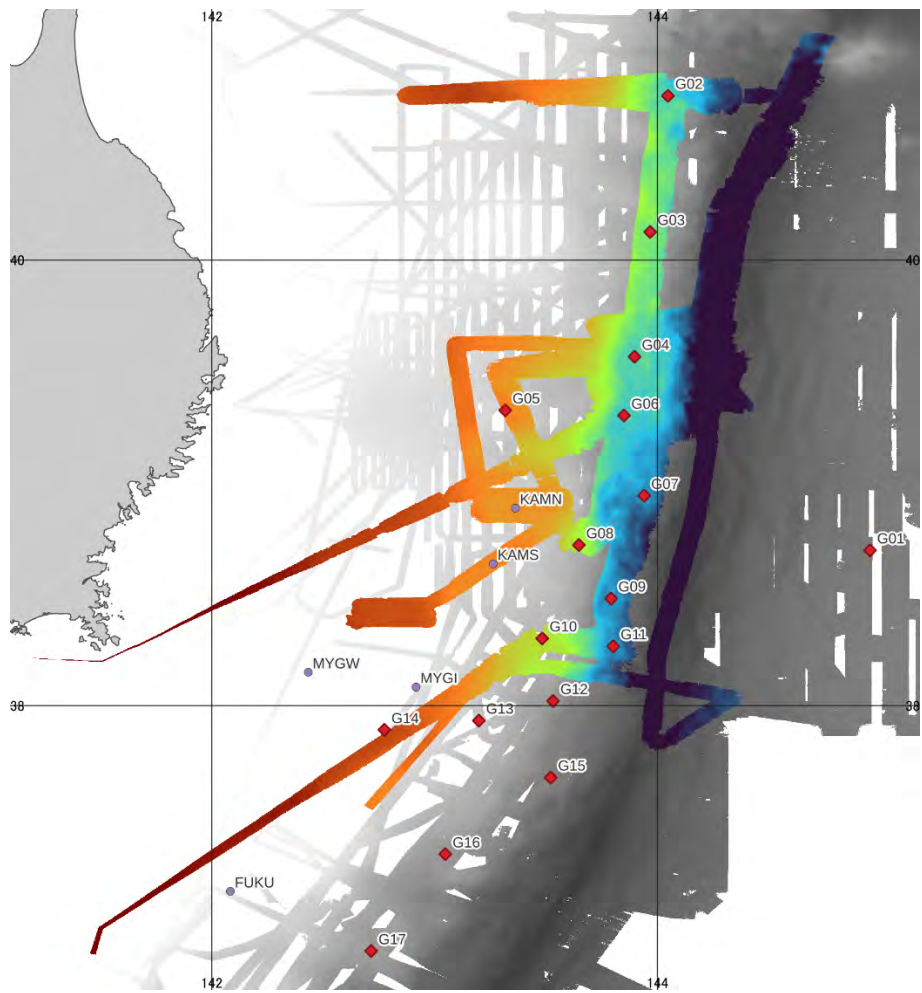
本研究では、日本海溝において地震後から実施されている GNSS-A 観測 (例えば Tomita and Kido, 2022; Yokota et al., 2018) の海底局を地形データ比較時の基準点として活用し、将来的な地震に備えた高精度な海底地形データの整備を目的とした高精度な地形観測を実施した。また Middle Slope Terrace (MST) を含む陸側斜面においても海底地形観測および SBP (Sub-Bottom Profiler) 観測を実施し、既に報告されているエリア以外で、地震に伴う大きな地殻変動の有無を調査した。

学術調査船「白鳳丸」による KH-22-10 調査航海 (2022/12/2-2022/12/8、寄港地：仙台・横須賀) では、(1) マルチビーム音響測深調査、(2) CTD および XCTD 計測、(3) サブボトムプロファイラ調査、(4) 船上重力計測、(5) 曳航磁力計測、(6) 船上 3 成分磁力計測を行った。さらに、局所的な変形が予測される海底では、(7) 海底間音響測距観測 (ADM: Acoustic Distance Meter)、および音響パスを確保するための音響中継機 (IPR: Indirect Path Ranging) の投入を行った。

特に (1) (2) に関し、2022 年大改修後の白鳳丸に新規搭載された最新のマルチビーム音響測深装置 (Kongsberg 社 EM124、12kHz のフルデプス対応) を中心に観測を行った。さらに水深データの補正に必要な海中音速構造を正確に把握するため、XCTD プローブ (XCTD-4N) を用いた 9 回の観測および、CTD 付き音速度計 (Midas SVX2, Valeport 社製) を用いた 1 回の観測を実施し、計 10 回のデータ取得を行った。

本航海では、東北大学が管理する観測点 G02, G03, G04, G05, G06, G07, G08, G09, G10, G11 の合計 10 点の直上を通過し、精度の良い地形観測を実施した。また、過去の KH-20-10 調査航海では、海上保安庁が管理する GNSS-A 観測点 KAMS, KAMN 合計 2 点の直上で観測を行い、こちらも高品質な海底地形データを取得済みである。これらの観測データを組み合わせることで、日本海溝域の 12 地点、日本海溝中部から北部をカバーするエリアにおいて高精度な基準点となり得るデータセットが整備された。

本講演では、これらの観測データの初期的な調査結果を報告し、過去にとられた日本海溝の観測地形データを比較する。



図：KH-20-10 および KH-22-10 で取得した海底地形。背景（グレースケール）は、2011 年の地震までに取得された海底地形。

伊豆・小笠原海域の硫化物チムニー累帯構造と 熱電変換性能に関する実験的検討

○戸田賢太朗（東北大学）、岡本敦・Otgonbayar Dandar・高橋美咲・佐藤義倫（東北大学）、
井原智則（東京海洋大学）・野崎達生（早稲田大学）

海底熱水噴出孔は中央海嶺や島弧・背弧域に分布し、マグマや海洋地殻に由来する硫黄やその他金属元素を含む熱水と海水との混合によりチムニー状やマウンド状の硫化鉱物構造体を形成する。噴出孔では熱水-海水間の酸化還元電位差と硫化鉱物の導電性により深海底への電子供給が起きることが報告されており、太陽光の届かない深海底生態系へのエネルギー供給を担う可能性が示唆されている。(Yamamoto et al., 2018)。そのため硫化物チムニーを介した海水への電子供給プロセスの解明は海底生態系の成り立ちや生命の起源についての理解に重要である。そこで本研究では、チムニーの発達プロセスとそれに伴う電気特性の変化を実験的に調査し、海底熱水系における発電現象のメカニズムについて検討することを目指した。硫化鉱物は半導体特性を有し、熱水-海水間の温度勾配と半導体の熱電特性がマッチングすることで、酸化還元電位差に匹敵する電気ポテンシャルが生じることが報告されている。特に、噴出孔周辺の閃亜鉛鉱を置換して形成される黄銅鉱や方鉛鉱からなる高密度組織では、海中への電子供給に有意な熱起電力が生じることが見出され、チムニーの発達に伴い熱電効果による発電現象が生じる可能性が示唆された。本研究ではまず研究航海 KS-22-12、KS-24-3 および KS-24-14 において採取されたチムニーサンプルの鉱物組織の観察とゼーベック係数 S_w [mV K^{-1}]、導電性 σ [S cm^{-1}]といった電気特性の測定を実施し、伊豆小笠原海域における発電現象への熱起電力の寄与について考察した。さらに、チムニーを構成する硫化鉱物である閃亜鉛鉱と黄鉄鉱・方鉛鉱の単体に加えて閃亜鉛鉱と黄鉄鉱からなるチムニーサンプルを出発物として、模擬熱水と反応させる水熱実験を実施しチムニーの発達に伴う鉱物置換反応の再現を試みた。水熱実験の生成物表面についても電気特性の測定を行い、チムニーでの硫化鉱物置換反応による発電性能の変化を評価することでチムニーの累帯構造発達プロセスと発電現象との関係性について考察した。

伊豆・小笠原海域産のチムニーサンプルを EPMA(JEOL8200)および X 線分析顕微鏡(TORNADO, Bruker)で分析すると、図に示すような 3 類型に分類できることが分かった。図 1.a のサンプルは主に多孔質な重晶石および閃亜鉛鉱で構成され、導電性は全ての領域で 10^{-12} オーダーと非常に低い。図 1.b は比較的密度の高い閃亜鉛鉱と球状の黄鉄鉱からなり、導電性は 10^{-11} オーダーと比較的高い。図 1.c は主に b で見られたような閃亜鉛鉱と黄鉄鉱からなる組織で構成されるが、熱水の通り道であった空隙周辺の組織が、方鉛鉱および黄銅鉱で置換されている。また導電性については、閃亜鉛鉱領域で 10^{-8} ~ 10^{-10} 、方鉛鉱領域で 10^0 オーダーとなっている。図 1.a・b・c はそれぞれチムニーの形成初期・中期・後期のサンプルと考えられる。伊豆・小笠原海域産のサンプルの特徴として形成初期は重晶石に富み、発達が進むと方鉛鉱が多く産出することが挙げられる。a-c に示すサンプルの S [mV]、 σ [Scm^{-1}] およびパワーファクター $S^2\sigma$ [$\text{mV}^2\text{Scm}^{-1}$]を図(d)に示す。図から、累帯構造の発達に伴ってチムニー組織の導電性は増加する一方でゼーベック係数は減少し、結果としてパワーファクター $S^2\sigma$ は 10^6 オーダー程度増加することが分かる。

水熱実験の実験条件は 200°C および 300°C で飽和蒸気圧であり、適宜 NaCl (1M) および還元剤として Na_2SO_3 (1.1M) を添加し反応時間は 12 日間(288 時間)とした。閃亜鉛鉱・方鉛鉱を出発物として還元剤を添加しない条件では Cu^{2+} との反応により出発鉱物表面に Cu_2S と CuS の間で銅の価数が変化する Cu-S 系の被膜が形成された(図 2.a)。一方で還元剤を添加した条件では、Cu-S 系生成物と CuFeS_2 によるゾーニングが確認できた(図 2.b)。比抵抗値は閃亜鉛鉱・方鉛鉱それぞれ 10 桁・4 桁と大きく低下した。黄鉄鉱を出発物に用いると、体積膨張に伴う置換反応によって反応フロントで反応誘起応力が生じ、結晶に亀裂が形成されて生成鉱物の表面には Cu-S 系、亀裂内部には黄銅鉱と系統的に変化した(図 2.c)。この反応により比抵抗値は 4 桁低下している。黄鉄鉱内部への生成物の変化は、Fe と Cu の化学ポテンシャル勾配および酸素フガシティ勾配を反映していると考えられる。水熱実験の生成物について独自に開発した装置を用いてゼーベック係数 S [mV/K] を測定し、発電性能の指標であるパワーファクター $S^2\sigma$ を算出した。測定によりチムニーの主要構成鉱物である閃亜鉛鉱が Cu-S 系硫化物および CuFeS_2 で置換されることで最大 10^6 オーダーで $S^2\sigma$ が向上するという結果が得られた(図 2.d)。

天然物の観察と水熱実験の結果を総合すると、以下の示唆が得られる。チムニーは発達初期段階では重晶石と閃亜鉛鉱からなる導電性の低い組織から構成され、電子の移動が大きく制限されるため生

じる熱起電力は小さい。一方で鉱化作用・鉱物の沈殿が進むと導電性の高いCu-S系硫化物や黄銅鉱、方鉛鉱などの緻密な層が低導電性の硫化鉱物上に形成される。その結果、熱水噴出孔の周縁部および内部から外部にかけてパワーファクター $S^2\sigma$ の高い組織が網目状に形成され、電子輸送の橋渡しとして機能するのに加えてチムニー壁のコア-リム間に存在する温度勾配を熱起電力へと変換することで電子の輸送を促している可能性が考えられる。

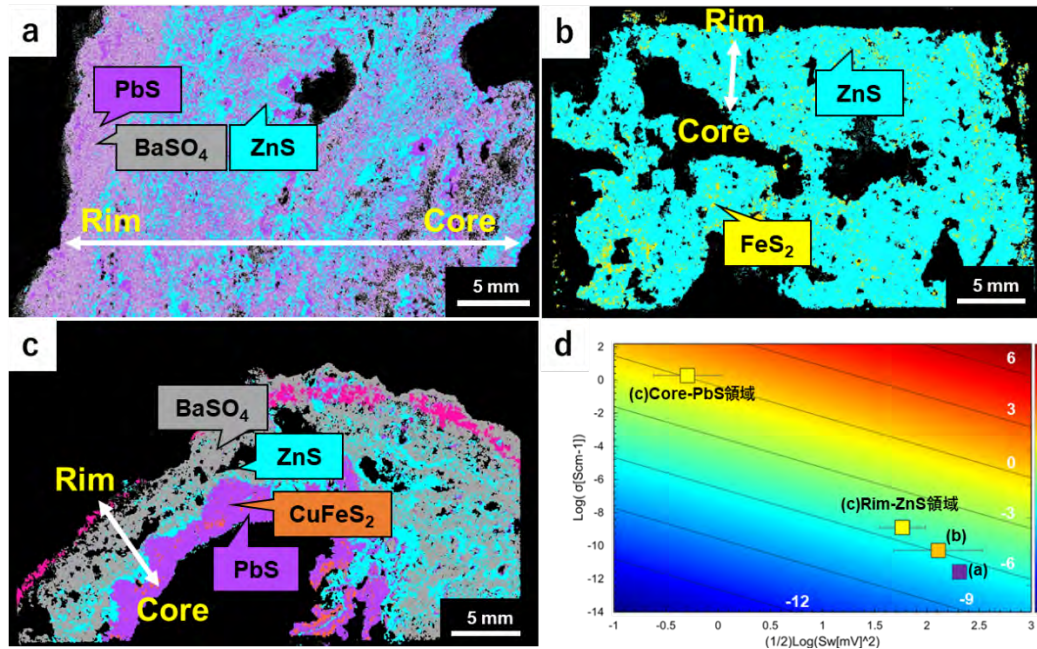


図1. 伊豆小笠原海域で採取されたチムニーサンプルの断面組織および電気特性

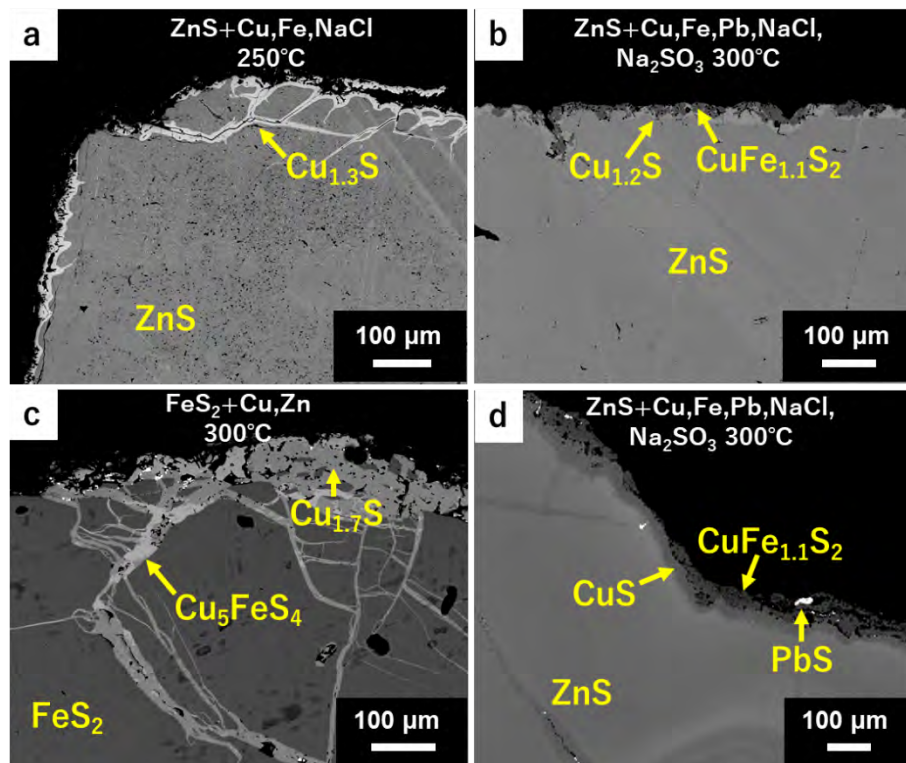


図2. 水熱実験生成物断面の性状

緊急海底地震観測による令和6年能登半島地震震源域海域部の余震活動

○篠原雅尚(東京大学), 日野亮太(東北大学), 高橋努・尾鼻浩一郎・小平秀一(海洋研究開発機構), 東龍介(東北大学), 山田知朗・悪原岳(東京大学), 山下裕亮(京都大学), 蔵下英司(東京大学), 村井芳夫(北海道大学), 一瀬建日(東京大学), 中東和夫(東京海洋大学), 馬場久紀(東海大学), 太田雄策(東北大学), 伊藤喜宏(京都大学), 八木原寛・仲谷幸浩(鹿児島大学), 藤江剛(海洋研究開発機構), 佐藤利典(千葉大学), 塩原肇・望月公廣・酒井慎一(東京大学), 白鳳丸 KH-24-JE01 および KH-24-JE02C 乗船研究者

石川県能登半島を震央とする令和6年能登半島地震が2024年1月1日に発生した。気象庁マグニチュードは7.6であり、本震の発震機構解は、北西-南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型である。能登半島において2020年12月から継続していた群発地震活動と異なり、今回の能登半島地震の震源域は半島東方の海域に広がっている。そこで、海域下での余震活動の詳細を明らかにするために、自由落下自己浮上式海底地震計(OBS)の高密度な観測網による海域緊急余震観測を実施した。

2024年1月20日から海洋研究開発機構学術研究船「白鳳丸」を用いて34台のOBSの設置を開始した(KH-24-JE01航海)。OBSの設置間隔は、余震の発生深度とほぼ同じと思われる10 kmとし、1月24日に観測を開始した。観測には、固有周波数4.5Hzの地震計を搭載する短周期OBS(SPOBS)、長期観測型OBS、広帯域OBSの3種類のOBSを使用している。設置したOBSのうち、26台のSPOBSを白鳳丸KH-24-JE02C航海により、2月22日から24日にかけて回収した。

2024年2月に回収したSPOBSのデータを用いて、余震の震源分布と発震機構解を求めた。各OBS記録の時刻をGNSSの情報を用いて標準時に補正し、観測期間中に気象庁が震源決定した情報を基に、各OBSおよび周辺の陸上観測点について1000個以上の余震のP波およびS波到着時、初動の極性を読み取った。震源決定に用いる速度構造は、過去にこの領域で行われた地震波構造探査の結果(Nakahigashi et al., 2012)を元とした。また、浅部の不均質構造を補正するために、観測点補正値を導入した。震源決定には、海底観測点25点と能登半島最東部に位置する陸上観測点4点を用いた。まず、絶対走時を用いる震源決定(Hirata and Matsu'ura 1987)により初期震源を求め、double-difference (DD)法(Waldhauser and Ellsworth 2000)により、震源を再決定した(図1)。

震源決定の結果、震源は深さ約17 kmまでに決定され、深い地震は震源域最東部に多く位置している。観測域の西部については深さが12 kmを超える余震はほとんどない。これらは余震活動が上部地殻内において活発であることを示している。余震は走向の異なる面構造を形成する3つのグループに分かれおり、西部のグループは南東に傾き下がり、中央および東部グループは北西に向かって傾斜している。観測域では過去の研究により地震発生断層モデルが構築されており、余震分布は断層モデルとよく一致する。ただし、最東部の断層モデルの北側半分に対応する領域では地震活動が活発でない。発震機構解をReasenberg and Oppenheimer (1985)のプログラムにより初動極性を用いて決定した(図2)。多くの逆断層型の余震がある一方で、横ずれ型断層の発震機構をもつ地震も見られた。逆断層型および横ずれ型の発震機構解を持つ地震はどちらも北西-南東方向の圧縮が卓越している。さらに詳しく見ると、圧縮軸の卓越方位に地域性があり、ほぼ断層モデルの走向に直交している。

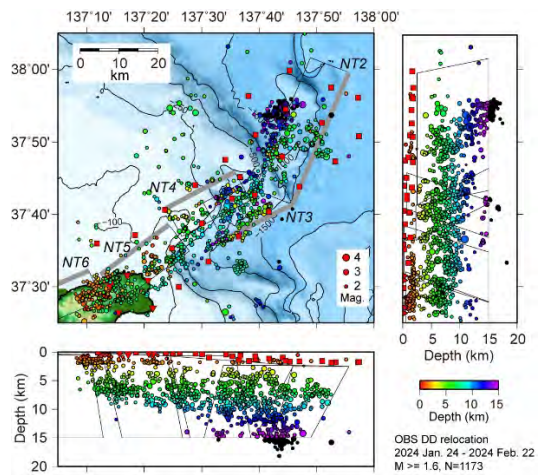


図1 余震の震源分布

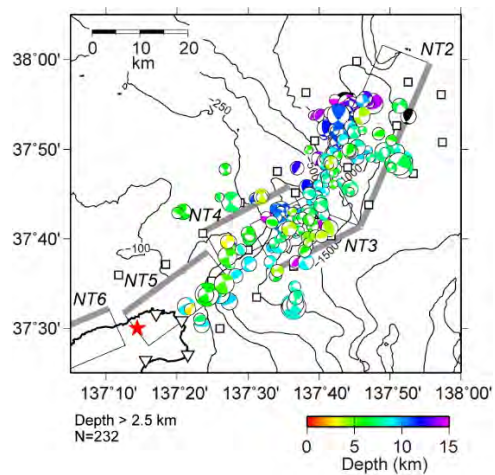


図2 初動極性による発震機構解分布

喜界島周辺海域における観測地震によるタービダイト層形成条件の検討 —KS-24-4 次航海の調査報告—

○中西諒・成瀬元（京都大）、喜岡新（東京大）、常岡廉・根本夏林（東京大学大気海洋研究所）、藤島誠也・佐藤瑠晟（京都大）、天野敦子（産業技術総合研究所）、井尻暁（神戸大）、芦寿一郎・横山祐典（東京大学大気海洋研究所）

地震動からの混濁流発生プロセスを理解するため、喜界島周辺海域において実施した KS-24-4 次航海の結果を本講演は報告する。混濁流によって形成されるタービダイトは地震履歴を復元するための指標として注目されている。しかしながら、混濁流の発生要因は地震動による地すべりや堆積物の懸濁のみでなく、洪水や潮位変化といった複数のメカニズムが存在する。また、混濁流の現地観測の難しさから、どの程度の揺れで混濁流が発生するかといった堆積メカニズムに関する知見に乏しい。すなわち、タービダイトからのより確度の高い地震発生間隔や規模の復元のためには、地震動による混濁流の発生からタービダイトの堆積までのプロセスを理解する必要があるだろう。そこで、KS-24-4 次航海では、観測記録のある地震に伴って形成されたタービダイトの検出を目的として、喜界島周辺でコア試料を採取した。本報告では、得られたコア試料やその年代測定結果について述べる。また、調査期間には M5.6 の地震が発生し、震源近傍における地形探査や採泥を実施したため、これについても報告する。

KS-24-4 次航海では、喜界島東に位置する 7 つの海盆群でピストン（1 地点）・マルチプルコア（8 地点）による採泥を実施した。マルチプルコアは 1 m 尺に改良されたコアラーを用いて 70-80 cm 長の表層試料を取得した。これに加えて KH-23-4 で得られたマルチプルコア、および産業技術総合研究所が木下式グラブ採泥器を用いて取得した表層堆積物を検討対象とした。タービダイトの堆積年代は ^{210}Pb および ^{137}Cs 放射線量から見積もった。測定にあたっては、東京大学大気海洋研究所先端分析研究推進室のゲルマニウム半導体検出器および多チャンネル波高分析器を用いた。

航海の結果、採取コア試料の一部から、1950 年以降に堆積した砂層を確認した。柱状試料として得られた 13 試料のうち表層付近に砂層が確認できたコアは 3 試料であり、これらは同一の海盆内のコアであった。砂層はいずれも表層付近に 2-5cm の層厚で存在し、その堆積年代は 1960-1980 年代であった。この砂層がタービダイトだとすると、この年代における混濁流のトリガー候補としては、1986 年の M6.1 地震や 1960 年のチリ津波が挙げられる。

一方、M5-7 クラスの高頻度かつ小規模な地震に伴った混濁流の発生は、今回の調査では確認できなかった。観測データが充実してきた 1950 年代以降、奄美大島周辺で発生した地震の規模は最大で M7.0 程度である。調査地域周辺では M6-7 クラスの地震は 10 回程度が観測されているものの、それらによって形成された砂層は本航海のコア試料からは確認されなかった。最大地表地震加速度を距離減衰式 (Nakanishi and Takemura 2024) から求めたところ、斜面安定性解析（簡易ビショップ法）から喜界島周辺の斜面堆積物が不安定になる加速度はおおよそ 300gal 以上の値が必要であると見積もられた。こうした地震動を引き起こす地震は斜面から 10km 範囲程度で Mw6 以上のものに相当する。しかしながら、斜面の安定性解析は地震動のみでなく、斜面堆積物の物理的特性によって安定性が変化し、そのような特性のデータは乏しいため、本検討では文献値を使用していることに留意が必要である。今後は、混濁流発生条件を明らかにするため、地震の特性（規模や震源位置）に加えて、供給源となる上流斜面の堆積物の状態について詳細に検討する必要があるだろう。

本航海中に M5.6 の地震が調査海域で発生したため、この地震による混濁流発生について即時調査を行う機会を得た。地震発生から 14 時間後に震源近傍の海盆において採泥を行ったところ、その際に記録された深海カメラには海底が懸濁した様子は映されていないかった。加えて、調査範囲において 2015 年に取得された海底地形データと本航海で取得されたものを比較した結果、目立った崩壊地形などは確認されなかった。今回の地震のような M5.5-M6.0 という規模の地震は 4 年に 1 度という頻度で起こっているが、この規模の地震では混濁流イベントは必ずしも発生しないものと推定される。

マリアナトラフの発達史

○小野 誠太郎・沖野 郷子・山崎 俊嗣（東京大学大気海洋研究所），
島 伸和（神戸大学大学院理学研究科）

マリアナトラフは、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込むことにより形成された、現在でも活動的な背弧海盆である。マリアナトラフは地形の特徴から北部、中部、南部の3つの地域に分けることができる。これまでに3つのそれぞれの地域で地磁気異常データの解析を元に拡大開始年代や拡大速度が考察されてきたが、マリアナトラフ全体の形成史について総合的な研究はなかった。本研究ではマリアナトラフ全体の地形、地磁気異常、重力異常を解釈することで、拡大開始から現在までの拡大過程を考察する。世界の背弧海盆の中でも、地形・地磁気・重力異常データが全域で得られている場合は稀であり、本研究によって背弧海盆の形成過程に新たな知見を与えることが期待できる。

本研究に用いたデータは、海底地形、地磁気異常 z 成分、重力異常データの3種類である。海底地形データは研究調査船「よこすか」、「かいれい」、「白鳳丸」、「なつしま」による計32航海でのマルチナロービーム測深器で測定された。これらのデータと NOAA (<https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry>) の地形データ 11 航海分を用いて 0.001d (~100m) グリッドの地形データを作成し、データが不足している部分は GMRT (Ryan et al., 2009) と GEBCO (GEBCO Bathymetric Compilation Group, 2024) の地形データで補完して、マリアナトラフ全体の地形データを作成した。地磁気データは、研究調査船「よこすか」、「かいれい」、「白鳳丸」による計21航海で、船上3成分磁力計によって取得された。マリアナトラフが磁気赤道に近い場所での東西拡大であること、水平ジャイロコンパスの不調により地磁気異常水平成分の精度が悪いデータがあったことから、本研究では地磁気異常 z 成分を使用した。まず Isezaki (1986) の手法を用いて船体磁化の影響を補正し、Parker and Huestis (1974) のインバージョン手法を用いて、船体磁化補正した地磁気異常 z 成分を海底下の磁化強度に変換した。重力異常データは Sandwell et al (2014) のフリーエア重力異常グリッドデータを使用し、海底地形データと Parker (1972) の手法を組み合わせることでマントルブーゲー異常 (MBA) を計算した。次に本研究で求めた海洋底年代から、半無限冷却モデルで地殻の密度がどれくらい変化するかを Kuo and Forsyth (1988) の手法で見積もり、残差マントルブーゲー異常 (RMBA) を求めた。この RMBA が全て地殻の厚さに起因すると考えることで、最終的に地殻の厚さのバリエーションを求めた。

作成した詳細地形図の解釈に基づき、拡大軸、セグメント境界、リフティングと海底拡大の境界を認定した。現在の拡大軸は計18個の2次のセグメントに分かれているが、セグメント長は拡大開始から一定ではなく、セグメントの盛衰や分離・融合があったことが明らかになった。特に中部地域では約3Maに海底地形の線構造の走向が大きく変化している。また、海底下の磁化強度分布からは縞状異常の特徴が明らかになり、地形を考慮した二次元ブロックモデルを仮定した地磁気異常のフォワードモデリングを行うことで、セグメントごとに縞状異常の同定を行った。海盆の西縁は、西マリアナ海嶺（古島弧）に接しており、最も古い磁気縞状異常は、中部で C3An. 1n_old (約6.3Ma)、北部で C2An. 3n_old (約3.6Ma)、南部で C2An. 3n_young (約3.3Ma) であった。海盆の東縁は西側に比べて磁気縞状異常が出にくく、これは火成活動が重なることで元々の海盆部分が隠されてしまっていることが原因であると考えられる。また各セグメントでの拡大速度を比較した結果、北部では時間と共に拡大速度が減少している一方、南部では時間と共に拡大速度の増加が見られた。また拡大軸の西側は東側と比べて拡大速度が約5mm/yr大きく、両側拡大速度は、北部のセグメント1での25mm/yrから、南部のセグメント18では49mm/yrとなっており、北部より南部の方が拡大速度が大きい傾向があった。また Kato et al (2003) の GPS 観測によって決定されたオイラー極・角速度から推定される海底拡大速度と比較すると、特に北部で本研究の拡大速度と一致しない。これは Kato et al (2003) では 21° N から 23° N のリフティングの影響を考慮せずにオイラー極を計算していることに起因すると考えられる。また本研究で同定した拡大軸の方向と海底拡大速度を元に、Goudarzi et al (2014) の手法を用いてオイラー極の推定を試みた。その結果、オイラー極は Kato et al (2003) のものより北側になり、拡大速度の大きさは観測の結果とよく一致したが、観測と計算の残差速度の南北差が大きく、これはマリアナトラフが島弧に沿った方向に伸長していることを示し、先行研究で示されているように剛体運

動ではないと解釈できる．最後に GPlates (Boyden et al., 2011) を使用してマリアナトラフ全体の
リコンストラクションを試みた (図 1)．その結果，拡大開始前の中部地域は北部と南部と比較して島
弧の幅が一番薄くなっていることが示され，これは西フィリピン海盆拡大時の拡大軸である Central
Basin Fault からの影響だと考えられる．

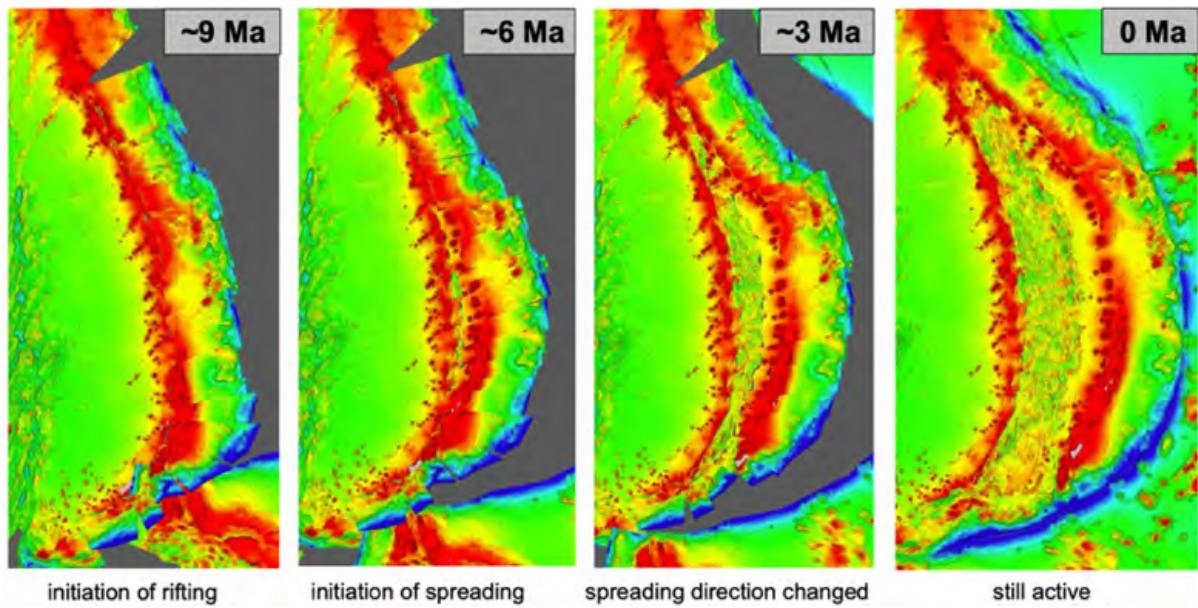


図 1．マリアナトラフの拡大過程

古フィリピン海プレート起源と黒潮上流域における 古海洋環境・生物相解明：KH-23-10 航海予察的報告

○谷健一郎・小川晟人（科博）、石塚治・針金由美子（産総研）、沖野郷子・小野誠太郎・亀尾桂・竹内誠・芦田将成（AORI）、HSIUNG Kan-Hsi・波々伯部夏美（JAMSTEC）、佐川拓也（金沢大）、植田勇人・當山凜太郎・坂井燈（新潟大）、楠橋直・宮本真愛（愛媛大）、中島広喜（琉球大）、SU Chih-Chieh・HO Sze Ling・CHANG Jih-Hsin・LEE Hsin・CHIOU Shye-Donq・HSU Ta-Wei・HSU Ling-Lan・HSU Sheng-Ting・LIAO Ying-Hsuan・HUANG Ching-Yun・HSU Yao・CHUNG Cheng-Chun・TUNG Ru-Yun（IONTU）・CHEN Li-Wen（NAMR）・澤田律子（MWJ）・鈴木由布（MOL Marine & Engineering）

典型的な海洋性島弧とされてきた伊豆小笠原マリアナ（IBM）弧は、約5,200万年前の始新世に、太平洋プレートがフィリピン海プレートの下に沈み込みを開始したことにより形成が始まった（Ishizuka et al., 2011）。しかし、初期 IBM 弧の基盤として存在していた始新世以前の子フィリピン海プレートには、大東海嶺群・伊豆前弧・九州パラオ海嶺南端部において、ジュラ紀から白亜紀のジルコン年代を示す花崗岩や変成岩を主体とする大陸地殻の断片が確認されている。一方、確実に海洋プレートであるとされる地域は発見されていない。この結果は、古フィリピン海プレートが中生代の大陸地殻から構成され、そのような地殻を上盤側プレートとして初期 IBM 弧が形成された可能性を示唆している。

古地磁気に基づくフィリピン海プレートの復元モデルによれば、始新世の初期 IBM 弧は古赤道付近に位置していたとされる（Hall et al., 1995 など）。そのため、中生代大陸地殻がインドシナ地塊の延長部に対応していた可能性がある。この場合、初期 IBM 弧は大陸縁辺で誕生したこととなり、従来のテクトニックな位置づけが覆されることになる。しかし、古フィリピン海プレート全体像を解明するには未解明の海域が残されており、その一つがフィリピン海プレート北西部を構成する花東海盆と Gagua 海嶺である。

花東海盆では、東西方向の磁気縞異常が観測されていることから、南北方向の海洋底拡大によって形成されたと考えられている。しかし、その形成時期は不明である。Deschamps et al. (2000) は磁気異常と海盆南部から採取された斑レイ岩の放射年代から、花東海盆が前期白亜紀に拡大したと解釈している。一方、Doo et al. (2014) は磁気異常パターンのマッチング結果から、始新世に拡大したと主張している。また、地震波構造から得られたリソスフェアの厚さも、始新世以降の若い年代を示唆している（Kuo et al., 2009）。

花東海盆が白亜紀に形成された場合、古フィリピン海プレートの一部として海洋地殻が存在していた可能性が高い。一方、始新世に形成された場合、西フィリピン海盆と同時期に形成された背弧海盆である可能性が高い。

Gagua 海嶺についても解釈が分かれている。Deschamps et al. (1998) は、Gagua 海嶺がトランスフォーム断層沿いで海盆地殻が圧縮場によって隆起したものであると解釈している。一方、Qian et al. (2021) は、海嶺頂部で採取された島弧的地球化学特徴を持つ玄武岩質安山岩から白亜紀の年代を報告している。また、この火山岩には原生代の年代を示すジルコンが含まれており、Gagua 海嶺が南中国地塊から切り離された大陸地殻である可能性を指摘している。

花東海盆の形成時期が白亜紀か始新世か、Gagua 海嶺が隆起した海洋地殻か、それとも古い大陸地殻かという未解明の問題は、IBM 弧沈み込み開始時のテクトニック環境を理解する上で決定的に重要である。そのため、詳細な調査が求められている。

このような背景の下、白鳳丸 KH-23-10 航海では、花東海盆と Gagua 海嶺の地史解明を目的とし、地球物理航走観測および基盤岩類の系統的なサンプリングを計画した。

花東海盆では、地磁気異常と海盆地殻構成岩石の放射年代測定を対比し、拡大史を明らかにする。また、花東海盆は北赤道海流から分岐した黒潮が東シナ海に流れ込む入口に位置しており、古海洋環境の復元や黒潮流域の生物相解明においても非常に重要な海域である。このため、海底堆積物のコア採取や底生生物の分類学的研究も計画した。さらに、海盆北部は大陸－島弧衝突によって隆起している台湾本島からの堆積物が琉球海溝に流入するチャネルとなっており、その運搬・堆積プロセスを明ら

かにするために、堆積物コア中のタービダイトの給源を検討する。

Gagua 海嶺では、採取した岩石の年代学・岩石学・地球化学的分析を行って大東海嶺群などの古フィリピン海プレート基盤岩類と比較するために、系統的な岩石採取を計画した。

本航海は、当初 2023 年 12 月 13 日から 24 日までの 12 日間（那覇出入港）を予定していた。しかし、強い冬型の気圧配置による悪天候のため、調査は大幅に短縮され、航海も 12 月 23 日に 1 日早く帰港することとなった。しかし花東海盆と Gagua 海嶺において、計 7 回の岩石ドレッジを行い、花東海盆内からは玄武岩、Gagua 海嶺からは花崗岩・珪長質火山岩類などの火成岩類を採取することに成功した。さらには 2 回のピストンコア、1 回のマルチコアラー、1 回の VMPS 観測と、260 海里にわたる地球物理航走調査を行い、海底地形、磁気、重力データを取得した。

本航海の準備に際し、MSR 申請などで尽力いただいた JAMSTEC 研究プラットフォーム運用部門および東京大学大気海洋研究所研究船共同利用の皆様に深く感謝する。また、航海中には春日キャプテンをはじめとする白鳳丸乗組員の皆様にも多大な協力をいただいた。この場を借りて心より感謝申し上げる。

本発表では、KH-23-10 航海の概要と採取試料から得られつつある結果について報告する。

能登半島地震と地質（漸新世-中新世の火山岩）の関係

○田村芳彦（海洋研究開発機構）、森下知晃・長谷川実咲・山内大樹（金沢大学）

令和 6 年能登半島地震を引き起こした流体の起源 能登半島地震は逆断層によって引き起こされたが、能登半島周辺におこっていた群発地震も含めて、その逆断層の活動に地下の流体が関与した、とされている（Amezawa et al., 2023, GRL 50; Nishimura et al., 2023 Sci. Rep 13; Yoshida et al., 2023 GRL 50）。能登半島には現在火山活動がないため、沈み込む太平洋プレート由来の流体であるとは言い切れない。一方、Umeda et al. (2009 JGR 114)、Umeda et al. (2024 GRL 51) や加戸ほか (2016 地球化学 50) は、能登半島の温泉水を分析し、地中に閉じ込められている化石海水や、マントル由来と考えられる高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位体を示す流体が断層系を通して地表に湧出している可能性を指摘している。つまり、能登半島に存在する流体の起源については十分に解明されていない状態である。

作業仮説として、「日本海形成時に正断層に沿ってマントルまで海水が浸入した」と考えてみる。太平洋などの中央海嶺において、断層に沿ってマントルまで海水が浸入し、低圧のマントルの含水融解がおこる可能性はある(図 2 Tamura et al., 2022)。同様なことが、日本海形成時にもおこっていたのであろうか。日本海形成時には多くの正断層が形成された。これらの正断層に沿って、大量の海水が下部地殻や、おそらくマントルにまで到達したはずである。上昇してきた高温のマントルと海水が接して、融点の低下によりマントルの融解がおこり、マグマが生成しただろう。特に低圧 (< 1GPa) においてはマントルの含水融解によって高マグネシウム安山岩が生成する(Tamura et al., 2022)。

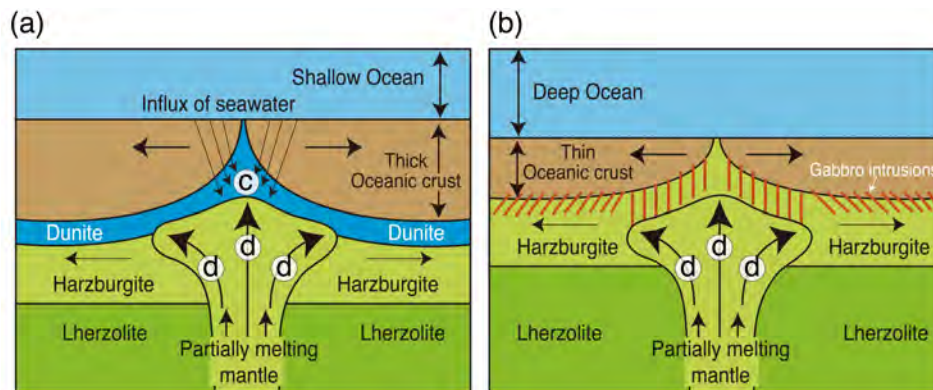


図 1 中央海嶺においてはマントルの上昇による減圧融解（d で示す）に加え、海水の浸入によるマントルの加水融解（c で示す）が起きている可能性がある。この場合、モホ面にダナイトが形成され、地震波のモホ反射面となる。Tamura, Y., Rospabe, M. and others. (2022) The nature of the Moho beneath fast-spreading centers: Evidence from the Pacific plate and Oman ophiolite. *Island Arc* 2022, 31:e12460. <https://doi.org/10.1111/iar.12460>

この仮説を検証するためには、日本海形成の時代に生成した、能登半島の地質と火山岩類（穴水累層）の再検討が必要である(図 2)。穴水累層の火山岩類を採取して記載岩石学、全岩組成分析、同位体分析などをおこなう。高マグネシウム安山岩マグマは、マントルが含水状態で高温・低圧で融解することによって生成する。能登の火山岩類の親マグマが、高マグネシウム安山岩マグマであるか

どうか、マントルと海水の反応があったのかどうか、を検証する。



図2 左：羽咋郡志賀町（はくいぐんしかまち）の海岸沿いに20 km続く洪水安山岩。右：輪島市門前町（わじましもんぜんまち）の安山岩溶岩。地震で崩壊した柱状節理。

われわれが調査に行ったのは、2024 年 12 月で、震災からほぼ一年が経過していた。多くの家を取り壊されて更地になっていたが、その隣には依然として多くの廃屋が残されていた。一方、地質学的には新しい露頭が露出することとなり、図 2 の門前町の柱状節理は崩壊し、図 3 の宝立町の珪藻土でできた見附島は、軍艦島という異名で能登観光のシンボルであったが（左図）、著しく崩壊した（右図）。人的な被害が大きかった能登半島地震ではあるが、その原因を究明し、将来の地震予測に貢献したいと思っている。



図3 左：珠洲市宝立町（すずしほうりゅうまち）見附島。能登観光のシンボルの存在であった。写真提供：石川県観光連盟。右：令和6年能登半島地震後の崩壊した見附島。

謝辞：本研究は、東京大学地震研究所共同利用(2024-K0B001)の助成をうけました。

黒潮続流・再循環域の深層における マイクロプラスチック沈降フラックスの定量

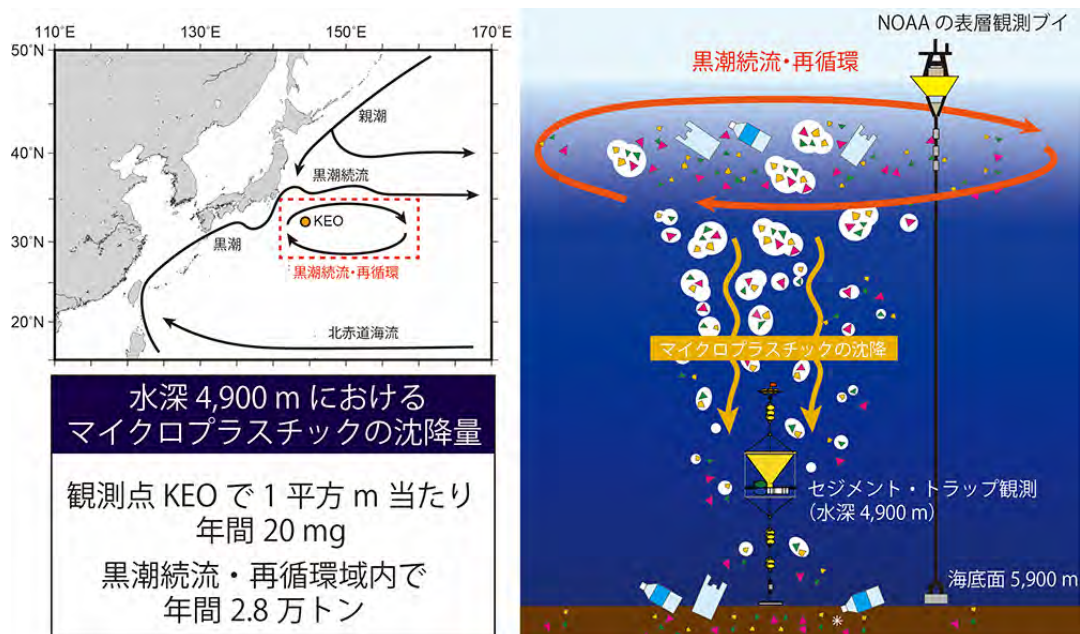
○池上隆仁・中嶋亮太・長船哲史・Eko Siswanto・本多牧生（海洋研究開発機構）

海洋研究開発機構によるこれまでの観測から、房総半島沖の黒潮続流・再循環域の深海底において、マイクロプラスチック（microplastics、以下 MPs と記載する）やマクロプラスチックごみが大量に集積していることが明らかになっていった。しかし、毎年、実際にどれだけの量の MPs が深海に沈降しているのかは定量的に把握できていなかった。

そこで、本研究では MPs の沈降フラックスを推定するため、黒潮続流・再循環内に位置する観測点 KEO で採取された海洋沈降粒子のアーカイブ試料を用いた。用いた試料は、観測点 KEO の水深 4,900 m に係留したセジメント・トラップにより 2014 年 7 月 1 日から 2016 年 10 月 2 日にかけて 18～21 日ごとに時系列で採取されたものである。アーカイブ試料を使用する上で、試料を保管しているポリエチレン容器からの MPs の発生や試料の防腐剤として使用されているホルマリン海水中の MPs による試料汚染の懸念があった。しかし、ポリエチレン容器に約 2 年半保管されたホルマリン海水を分析した結果、MPs 分析に使用される分量あたりに 0.25 個の MPs しか含まれず、海洋沈降粒子中に検出される MPs の量に対して無視できる程度の汚染であることが確認された。

海洋沈降粒子試料を分析したところ、すべての試料から MPs が検出され、17 種類のプラスチック材質が同定された。検出された MPs の 90% は 100 μm 以下のサイズであった。1 日 1 平方 m 当たりの MPs の沈降フラックスは、個数ベースでは 111～889 個の範囲で変動し、平均値は 352 個であり、大西洋亜熱帯循環における沈降フラックスと同程度であった。質量ベースでは観測期間に 4.5×10^{-3} から 3.8×10^{-1} mg の範囲で変動し、平均値は 5.4×10^{-2} mg であった。

MPs の沈降フラックスの季節変化から、沈降は主に表層の一次生産の増加に伴う海洋沈降粒子の増加によって駆動されていることが分かった。観測点 KEO での 1 平方 m 当たりの年間 MPs 沈降量は 20 mg であり、この値を黒潮続流・再循環域全体に外挿すると、年間 2.8 万トンの MPs が水深 4,900 m まで輸送されていると推定された。



本研究の概念図

YK23-15 航海概要

海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価②

○中嶋亮太・矢吹彬憲・土屋正史・波々伯部夏美・松岡大祐（海洋研究開発機構）、中田晴彦（熊本大学）、岡西政典（広島修道大学）

プラスチックを含む海洋ごみによる海洋生態系の汚染が懸念されており、世界各国が海洋ごみ汚染の実態把握や排出防止に向けて動いている。特に深海底は海洋ごみの最終的なシンクと考えられ、深海底におけるごみ分布把握は急務の課題である。本研究では、ごみの集積が予測される海域の 1 つである「四国沖・黒潮再循環域」に着目し、海洋表層や深海域におけるマクロプラスチックごみやマイクロプラスチック (MPs) の分布・挙動・輸送過程を明らかにするとともに、海洋生物や生態系への影響を検証し、プラスチック汚染の実態解明を目的とした。

2023 年度の「よこすか」(YK23-15) 航海では、2022 年度に四国沖・黒潮再循環域で実施した「かいめい」(KM22-15) 航海で各種試料の採取した地点を補間するように、黒潮再循環域の海底に 6 つの観測点を設けた。しかし、台風の影響により同域での観測は 3 測点にとどまった。その代わりにリファレンス測点として、駿河湾内に 1 測点、南海トラフ北部に 2 測点を設定し観測を実施した。海底におけるマクロプラスチックごみが生態系に及ぼす影響を調査するため「しんかい 6500」を用いて海底観察やごみの採集、さらに堆積物中の MPs 解析用プッシュコアによる柱状採泥を行った。また、ニューズトンネットによる浮遊 MPs の採集や、深海環境の微生物多様性評価を目的としたニスキン採水による環境 DNA 採取も実施した。さらに、よこすかシンポジウムで追加課題として採択された「四国海盆周辺の海底プラごみと有機・無機添加剤汚染の実態把握に関する研究」および「海洋プラスチックごみ付着生物研究」を推進するため、採取したごみの一部を切り出し分析するとともに、マクロベントスの採集を行った。

黒潮再循環域の深海平原（水深 5200-6000m）で確認されたマクロプラスチックごみの量（1300-2200 items/km²）は、陸地に近い南海トラフ北部の 2 つの比較的浅い海底（3500-3700m）で見つかるごみ量とほぼ同程度であったが、駿河湾内では約 10,000 items/km² と多数のプラスチックごみが観察された。また、東アジア・東南アジア由来のプラスチックごみも見られ、黒潮による深海へのごみ輸送実態が明らかになりつつある。

なお、本航海には NHK が乗船し、船上での調査活動を撮影・記録して番組（「サイエンス ZERO」）で放映し、この取り組みのアウトリーチが実施された。

シンカイヒバリガイ類 2 種における共生細菌初期取り込み過程の比較

○湯浅彩優・生田哲朗（東京海洋大学大学院、海洋研究開発機構）

共生は、異種の生物が同箇所でも互いに作用しながら生活する現象であり、生物の多様な環境への適応進化を可能にしてきた。太陽光の届かない深海では、光合成による一次生産を行うことができないが、深海の多くの湧水域や熱水噴出域では、メタンや硫化水素などの還元物質を酸化するエネルギーを利用して有機物合成を行う化学合成独立栄養細菌が一次生産を担う化学合成生態系が形成されている。そのような環境では、化学合成細菌を体内や体外へ共生させ、生存に必要な有機物を大きく依存する動物種がしばしば存在する。このような動物（宿主）と化学合成細菌（共生細菌）との結びつきが強固な共生関係において、宿主の世代ごとに共生細菌がどのように獲得されるのかは、共生系を成り立たせた基盤となる仕組みを理解する上で大変重要な問題である。

深海化学合成生態系に優占するイガイ科二枚貝であるシンカイヒバリガイ類は、成長の過程で環境から鰓上皮細胞に化学合成細菌を取り込み共生させる。シンカイヒバリガイ類と共生を営む化学合成細菌には、メタン酸化型共生細菌と硫黄酸化型共生細菌が知られている。それらの鰓での局在性には細胞内共生と細胞外共生があり、一般にメタン酸化型共生細菌は細胞内共生を、硫黄酸化型共生細菌は宿主の貝の種により細胞内共生、細胞外共生のどちらかを営むとされている。そうした共生が始まる瞬間、つまり共生細菌取り込みの際に、宿主と共生者が最初に出会う場は細胞であるにもかかわらず、共生細菌がいつどのように取り込まれるのか、その過程が細胞レベルで調べられた例はない。本研究グループではこれまでに、かつては硫黄酸化型共生細菌を細胞内に宿すとされていたシチヨウシンカイヒバリガイ *Bathymodiolus septemdierum* において、成貝の鰓上皮細胞の詳細な 3 次元観察を行い、共生細菌を保持する膜小室（シンビオソーム）は、実は複雑な構造を介して細胞外と連絡を保持し続けるという、細胞「外」共生的性質を持つこと、1 細胞内ではほぼ全てひと繋がりであることを明らかにした。さらに発表者はこれまでに、共生細菌取り込みの初期に当たると考えられる稚貝で同様の観察を行い、共生細菌取り込みの初期において、細胞の表面構造をダイナミックに変化させ、ひと繋がり（シンビオソーム）に共生細菌を取り込むことを見出した。しかし、他のシンカイヒバリガイ類の種では、共生細菌取り込みの初期に細胞でどのような形態的な変化が起きているのかは全く分かっておらず、種ごとに多様な共生様式を持つシンカイヒバリガイ類において、共生細菌の取り込みに共通の機構を持つのか、種ごとに全く別の機構を持つのか不明である。メタン酸化型共生細菌を宿すシンカイヒバリガイ *Bathymodiolus japonicus* では、食食により共生細菌を完全に細胞内に取り込むとされている一方、シチヨウシンカイヒバリガイにおける鰓細胞内の様子は、一般的な食胞と呼ばれる姿とは異なっているように見える。そこで本研究では、「シンカイヒバリガイ類では細胞内共生と細胞外共生では、共生細菌の取り込みには異なる機構が働いている」という仮説を立てた。この仮説を検証し、シンカイヒバリガイ類の共生成立の根幹をなす共生細菌取り込みの仕組みを理解することを目的として、シンカイヒバリガイの稚貝を用いてメタン酸化型共生細菌と細胞内共生を営む種における初期取り込み過程の 3 次元観察を行い、細胞「外」共生を営むシチヨウシンカイヒバリガイと比較した。

本研究では「よこすか」YK23-12 航海において、相模湾初島沖でしんかい 6500 で採集したシンカイヒバリガイの殻長約 5 mm の稚貝を使用した。稚貝の鰓上皮細胞の 3 次元観察を行うため、樹脂包埋した試料の超薄連続切片を撮影・トレースして 3 次元再構築を行うアレイトモグラフィー法を採用した。まず、稚貝を船上に引き上げ後すぐにグルタルアルデヒドで固定した。その後、樹脂包埋を行い、厚さ 80 nm の超薄連続切片を約 300 枚作成し、走査型電子顕微鏡（SEM）で撮影を行った。観察は複数の細胞を対象とし、各細胞で 1 細胞の厚み分すべて、およそ 200 枚の撮影を行った。撮影後、画像解析ソフトウェア上で細胞膜、細胞核、共生細菌をトレースして各要素を抽出したのち、細胞を 3 次元

再構築して観察を行った。この結果をこれまでに観察を行ってきたシチヨウシンカイヒバリガイ稚貝で見られた細胞形態と比較した。

今回3次元再構築したシンカイヒバリガイ稚貝の鰓上皮細胞では、取り込まれていた共生細菌の数は1個から3個であった。これら全ての細胞において、細胞「内」共生を営むシンカイヒバリガイで、共生細菌取り込みの際にシンビオソームの一部が細胞「外」と繋がっている様子が観察された。さらに立体化には至っていないが、より共生細菌の多い細胞、つまり取り込み開始からより時間が経過したと考えられる細胞でもシンビオソームが細胞外と繋がっている様子が観察された。また、共生細菌の数が3つの細胞では一つのシンビオソームの中に共生細菌が2個入っている様子も観察された。シチヨウシンカイヒバリガイの稚貝では、観察した細胞に取り込まれていた共生細菌の数は2個から44個で、全ての共生細菌は細胞外に繋がる一つのシンビオソーム中に取り込まれていた。両種の比較から、細胞内共生を営むシンカイヒバリガイにおいて、取り込みの初期では一定期間にわたり細胞外と連絡を保持している可能性があり、一つのシンビオソームに複数の共生細菌を取り込むなど、「シンカイヒバリガイ類では細胞内共生と細胞外共生では、共生細菌の取り込みには異なる機構が働いている」という当初の仮説とは異なり、2種の共生細菌の取り込み機構は似通った性質を持つ可能性があるという結果が得られた。しかし、シンカイヒバリガイでは1細胞内に複数のシンビオソームを持っているという、これまでにシチヨウシンカイヒバリガイで見られた様子と異なる結果も得られたため、本種において観察例数をさらに増やし、今回の結果の一般性を問いながら仮説の検証を続けていく必要がある。

シンカイヒバリガイ類は多様な共生様式を持っており、今後はそれらをできる限り幅広い種で観察、比較することによって、シンカイヒバリガイ類における化学合成共生を成立させた仕組みや、多様な共生様式を生み出した背景について理解を深めていきたい。

東部南太平洋の物質循環における浮遊性有孔虫の役割 ー 群集構造とバイオマスの観点からー

○宮本祐成（千葉大学）・高木悠花（東京大学大気海洋研究所）

浮遊性有孔虫は、炭酸塩の殻を持つ海洋動物プランクトンの一種であり、海洋表層に全球的に分布する生物である。さらに、最近では地球温暖化に伴って、浮遊性有孔虫の生息域の縮小や多様性の減少、個体数の減少が報告されるなど、現在の海洋環境変動によって危機に晒される生物である可能性が指摘されている。しかし、浮遊性有孔虫の存在量を、バイオマスの観点から定量的に議論している例は少なく、海洋の低次生態系や炭素循環に果たす役割が十分に理解されているとはいえない。生物地球化学的循環における浮遊性有孔虫の役割をより正確に理解し、環境変動が低次生態系に与える影響を評価するためには、彼らの存在量を定量的に把握することが重要である。本研究では、調査海域における浮遊性有孔虫の鉛直・水平方向の個体数に加え、有孔虫の細胞質を構成するタンパク質量を定量的に算出することで、バイオマスとしての存在量を明らかにした。また、群集構造と存在量、海洋の環境パラメータとの相関を求め、海洋の物質循環に果たす役割について考察した。

本研究では、東部南太平洋を調査海域とし、白鳳丸 KH-19-6 次航海 Leg2 において、南緯 10° から 30° の間の 5 測点で採取されたプランクトン試料を用いた。試料は鉛直多層曳きプランクトンネット VMPS によって採取された。採取区間は 0-20 , 20-50 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-200 m, 200-500 m, 500-1000 m の 7 層である。計 35 試料より浮遊性有孔虫を全て拾い出し、種ごとの個体数を記録、顕微鏡にて画像撮影を行い、一個体ごとに殻サイズを計測した。海洋の物理化学的な鉛直構造は、CTD 観測データのうち水温、塩分、クロロフィル濃度、溶存酸素濃度の値を利用した。有孔虫 1 個体ごとのバイオマス量は、先行研究に基づき、殻サイズとバイオマス量との相関式を用いて算出した。各サンプルの群集、バイオマスとその水深の環境パラメータとの相関関係を調べた。

5 測点で生体/遺骸合わせて 19 属 40 種、20,372 個体を分類した。群集データに対してクラスター解析を行うと、浮遊性有孔虫群集は大局的には、St1 - 4 の群集と St5 の群集、また水深 200 m を境に浅層と深層の群集に分けられた。群集データと海洋環境パラメータから環境傾度分析を行った結果、4 つのパラメータはいずれも群集の鉛直分布に対して有意に影響を与えており、特に水温、塩分と高い相関関係があった。海水の密度は水温と塩分で決まるため、水深による密度差という物理的な障壁が、有孔虫の鉛直分布を制約すると考えられる。有孔虫の測点ごとの群集変化は、溶存酸素濃度との間に比較的高い相関が見られた。本海域は溶存酸素濃度の異なる水塊によって特徴づけられるため、群集組成にも水塊構造の違いが反映されていることが示唆された。

浮遊性有孔虫の採取区間ごとの総バイオマス量は、個体数のピークよりもやや深い層に位置することが明らかとなった。これは有孔虫の生息水深が成長に応じてやや深くなることを示しており、浮遊性有孔虫の成長段階によるバイオマスの下方輸送が示唆された。また、有孔虫は、同種であっても低緯度ほど大型化し、温暖な環境ほどよく成長する傾向が見られたことから、水塊の性質は個体サイズにも影響を与えていることが示唆された。

浮遊性有孔虫の全球的な群集構造は、現在、世界的にデータベース化が進められているが、東部南太平洋はデータの乏しい海域である。したがって、本研究の成果は、その空白域を補うことにも寄与する。さらに今後、本研究で得られるような浮遊性有孔虫のバイオマスデータを他の海域においても蓄積させていくことで、浮遊性有孔虫の炭素循環における機能のより精緻な評価が可能になると期待される。

microALTO フロートによる海洋乱流観測

○井上 龍一郎(海洋研究開発機構)、Anneke Doeschate(Rockland Scientific)、Beth Curry(MRV Systems)、伊地知 敬(東京大学)、堤 英輔(鹿児島大学)、長井 健容(東京海洋大学)、古島 靖夫(海洋研究開発機構)

海洋で乱流が起こす鉛直混合は、中深層では熱の輸送を行うことで海洋深層循環を駆動し、亜表層では成層構造を変えることで海面水温変動に影響を与え、栄養塩等の溶存物質を中深層から表層へと運ぶことで生物生産を支える等の重要な役割を担っている。この海洋乱流は現象スケールが数メートル以下と小さいことから、気候変動研究に広く使われている海洋モデルの中では陽に取り扱うことが出来ず、パラメタリゼーションが用いられる。これまでに、現場観測・理論研究・超高解像度数値モデル等から得られた知見を元に様々なパラメタリゼーションが提案されているが、未だ発展途上であり、生態系を含めた気候変動予測の不確実性の一因となっている。海洋乱流の全容理解には、観測に基づく実態の把握が必要不可欠であるが、海況に影響を受け時空間的に疎な船舶による乱流観測では十分なデータを取得するのは困難であり、海洋乱流は十分理解されたとは言い難い状態にある。

研究発表者は、流速や水温の変動を高速で測るセンサーを装着し、乱流データを内部処理することによって少ない通信量での乱流自動観測を実現する自立式フロートを用い、このような状態の改善を試みたいと考え新青丸を利用し検証を行ってきた(KS-22-11, KS-22-17, KS-23-8)。本発表では、これまでにフロートを投入後に回収することで得られた、フロートによる高解像度乱流データの解析によって得られたフロートによる乱流観測の精度や、高解像度乱流データと船舶乱流観測データを比較した結果を紹介する。また、フロートによる高解像度乱流データと内部処理された乱流データを比較し、自立式フロートによる乱流の自動観測可能性について検証した結果も紹介する。

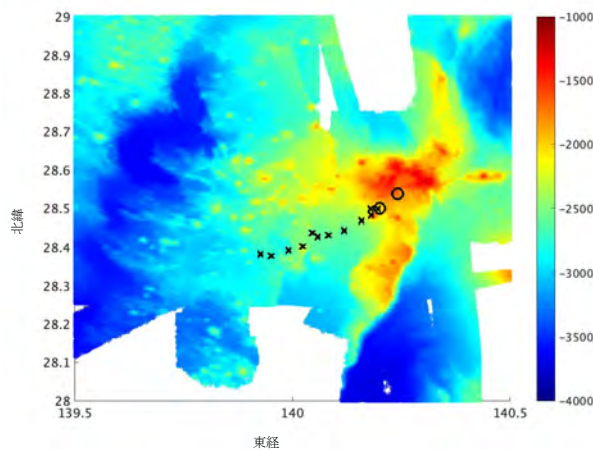


図1: KS-23-8航海での乱流観測点。xがフロート観測点、oが投棄式乱流計観測点。カラーバは水深を表す

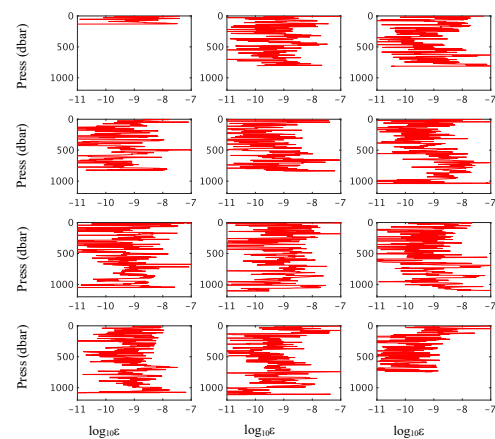


図2: 図1で示されたフロート観測点において得られた高速水温計データから見積もった乱流エネルギー散逸率 ϵ (Wkg^{-1})の時系列

夏季の利根川沖陸棚上における陸起源物質の分布と輸送過程 -新青丸 KS-23-16 次航海速報-

○伊藤幸彦・柳本大吾・高橋 杏・中島壽視・林 沅・許 浩東・寒田倫子(東京大学大気海洋研究所)・堤 英輔(鹿児島大学)・増永英治・針間虎次朗・柳澤 晃(茨城大学)・増田貴子(水産研究・教育機構・水産資源研究所)・柴野良太(いであ株式会社)

本研究グループでは、豊かな海の恵をもたらすことで知られている日本列島の沿岸海域の物質循環や生物生産過程がどのように維持されているか、特に陸水と外洋の攪拌や混合、陸棚上における水柱と堆積物中の間隙水の交換がどのように生じているか解明するため、観測とモデリングによる研究を実施している。本発表では、2021年5月に実施した新青丸 KS-21-8 次航海、2023年1月に実施した KS-23-2 次航海に引き続き、利根川系水と黒潮・親潮が相互作用する銚子沖海域の夏季の物質動態について調査を実施した KS-23-16 次研究航海の概要を報告する。

KS-23-16 次航海は、2023年9月15日に小樽港を出港し、主観測海域である銚子・房総沖において、係留系の設置、およびCTD+採水、表層水サンプリング、マルチプルコアラー、VMP、Underway CTD (UCTD)、ニューストンネット観測を実施した(図1)。係留系は上向きの300 kHz ADCPを水深約100 mの海底付近に設置し、航海終了後の12月に備船により回収した。採水・採泥・ネットサンプリングは約5 nm 間隔の定点B1, B2, C1, C1, C3, D1, D2、UCTD(自由落下曳航CTD)はB1-B3、またB3-B1 およびこれに直交する等深線方向の観測線ではCTDとVMPを約1 nm 間隔で実施した(図2)。

Underway CTDによる断面観測では、異なる水塊の層状構造が捉えられた。海域では全体として温度成層していたが、塩分でみると表層約20 m以浅に低塩分水、20-200 mには塩分34を超える高塩分水、その下層には再び低塩分水が分布していた(図3)。表層の低塩分水は岸側で特に低く、河川系水が混合しながら沖合に広がっているものと考えられた。2023年9月の観測海域には黒潮が近接しており、20-200 mの高塩分水は、黒潮から派生した水塊であると考えられた。前線構造は単純ではなく、高塩分水塊の内部にも密度面の変化を伴う水温、塩分変動があった。またクロロフィル、溶存酸素などの分布(本要旨では図なし)からは、等密度面に沿った水塊の攪拌が活発に生じていることが示唆された。発表では他の観測項目の概要についても紹介する。

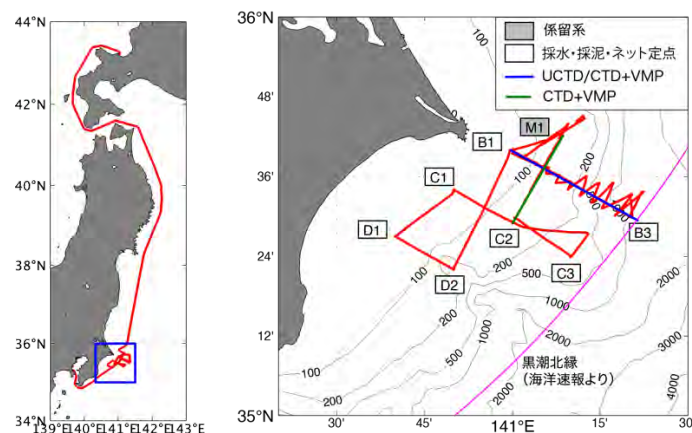


図1、2：全体の航跡、主要観測点の配置

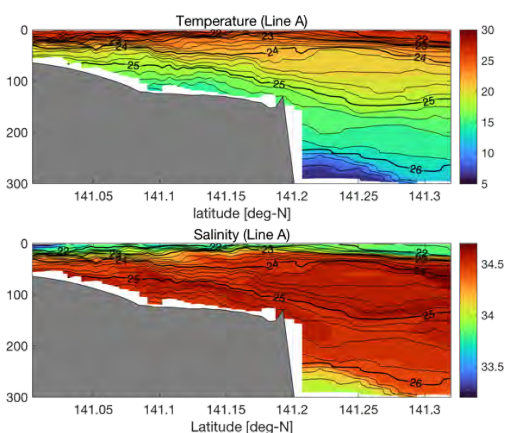


図3．B1-B3のUCTDによる水温塩分分布

常磐沖・陸棚域における強乱流の物理過程解明に向けた集中観測 -新青丸 KS-24-11 次航海速報-

○高橋杏・伊藤幸彦・柳本大吾・中島壽視・王雪丁・金裕竣・上野威・寒田倫子・村上喬史
(東京大学大気海洋研究所),

堤英輔 (鹿児島大学), 増永英治・佐近淳平・吉田壮太 (茨城大学)

房総・常磐沖の陸棚では、利根川河川水の影響を含む沿岸水と、沖合を流れる黒潮の影響を含む外洋水が隣接しており、これらの海水の混合は、沿岸の生産を支える栄養塩循環の駆動要因の一つであると考えられる。本研究グループでは、沿岸水と外洋水の混合をもたらす物理過程や、混合が栄養塩循環に与えるインパクトを解明するため、研究船による観測を継続的に実施してきた。

2023 年 9 月に房総沖で実施された KS-23-16 次航海では、陸棚での水温・塩分・流速・乱流・クロロフィル・栄養塩の空間分布の調査を行い、沿岸/黒潮フロントにおける乱流鉛直混合が垂表層クロロフィルに必要な栄養塩供給に寄与することを示唆する結果が得られた。また、陸棚での係留観測では、大潮期の底層に急激な水温低下が確認され、内部ボアによる強い乱流混合が断続的に生じている可能性が示唆された。前者は平常時の状況、後者はイベント的な現象を反映していると考えられ、乱流混合が栄養塩循環に与える影響を包括的に理解するためには、流動場の空間構造だけでなく時間変動にも注目する必要があることが示された。これを踏まえ、2024 年 7 月に実施された KS-24-11 次航海では、常磐沖陸棚において (i) 同一測線上での水温・塩分・流速・乱流・クロロフィル・栄養塩のリピート観測、(ii) 多数のセンサーを用いた係留観測を行った。

KS-24-11 次航海では、6 月 30 日に函館港を出港し、津軽海峡を経由して約 2 日間の航行後、常磐沖の調査地点 (図 1) に到着した。7 月 2 日には、B8, B7, B6, B5, B4, B3 地点で CTD、鉛直微細構造プロファイラ (VMP) による乱流観測を実施した。7 月 3 日には、M1 地点にて音響ドップラー流速計 (ADCP)、水温塩分計 10 台、クロロフィル濁度計 4 台、水温計 12 台 (SBE-56 10 台+ DEFI-T 2 台) を搭載した係留系 1 を設置、M2 地点にて ADCP と水温計を搭載した係留系 2 を設置、その後 B ライン上での Underway CTD (UCTD) 観測を行った。7 月 4 日から 5 日にかけては、A ラインを 6 時間おきに往復し、UCTD・VMP 観測を繰り返し実施した。7 月 5 日には A1, A2, A4, A6, A7 地点にて CTD・VMP 観測を実施した。合計で CTD 14 回、VMP 40 回、UCTD 311 回の観測を行い、6 日 10:00 に横須賀港に入港した。本航海で設置した 2 基の係留系は、KS-24-16 次航海において、8 月 21 日に回収された。

発表では、本航海で新たに確認された内部孤立波について紹介する。係留系 1 では、水深 30-55 m に大振幅の水温変動が断続的に観測された。ADCP で得られた水平流速・鉛直流速の特徴的なパターンから、この水温変動は内部孤立波の波列と考えられる。内部孤立波は、外洋から陸棚に進入した内部潮汐波が進行速度の低下に伴い増幅・非線形化することで生じたと推測される。内部孤立波の継続時間は約 10 分で、例えば 7 月 10 日のイベントでは立て続けに 8 波が観測された (図 2)。水温計 SBE-56 の時系列にパラメタリゼーションを適用して乱流鉛直拡散係数を推定したところ、内部孤立波発生時の乱流混合は平常時の 100-1000 倍に達することが示唆された。

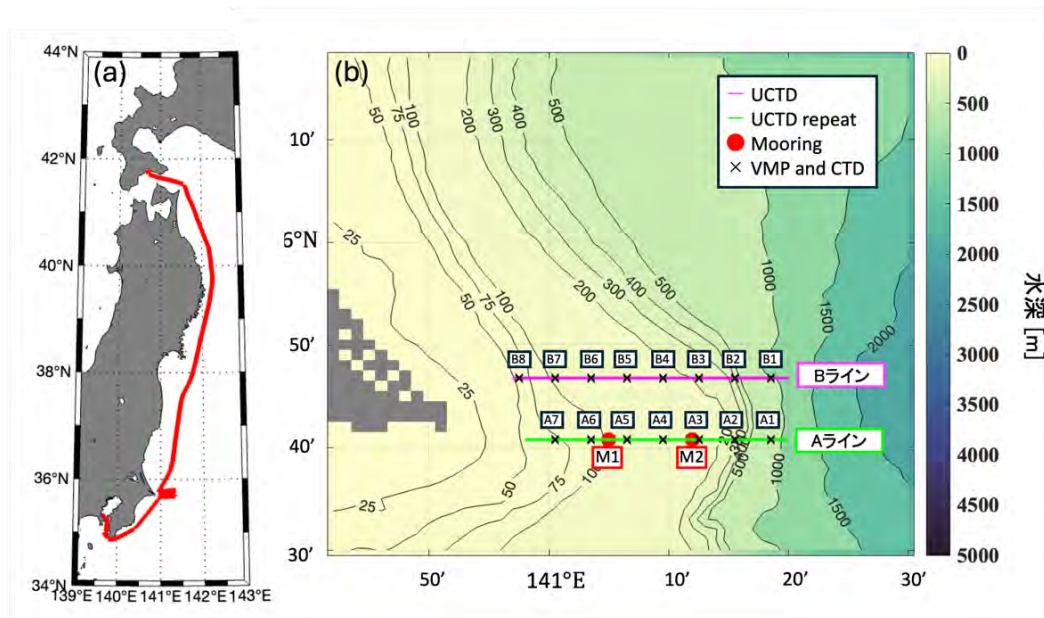


図1：新青丸 KS-24-11 次航海の(a)経路と(b)観測地点。

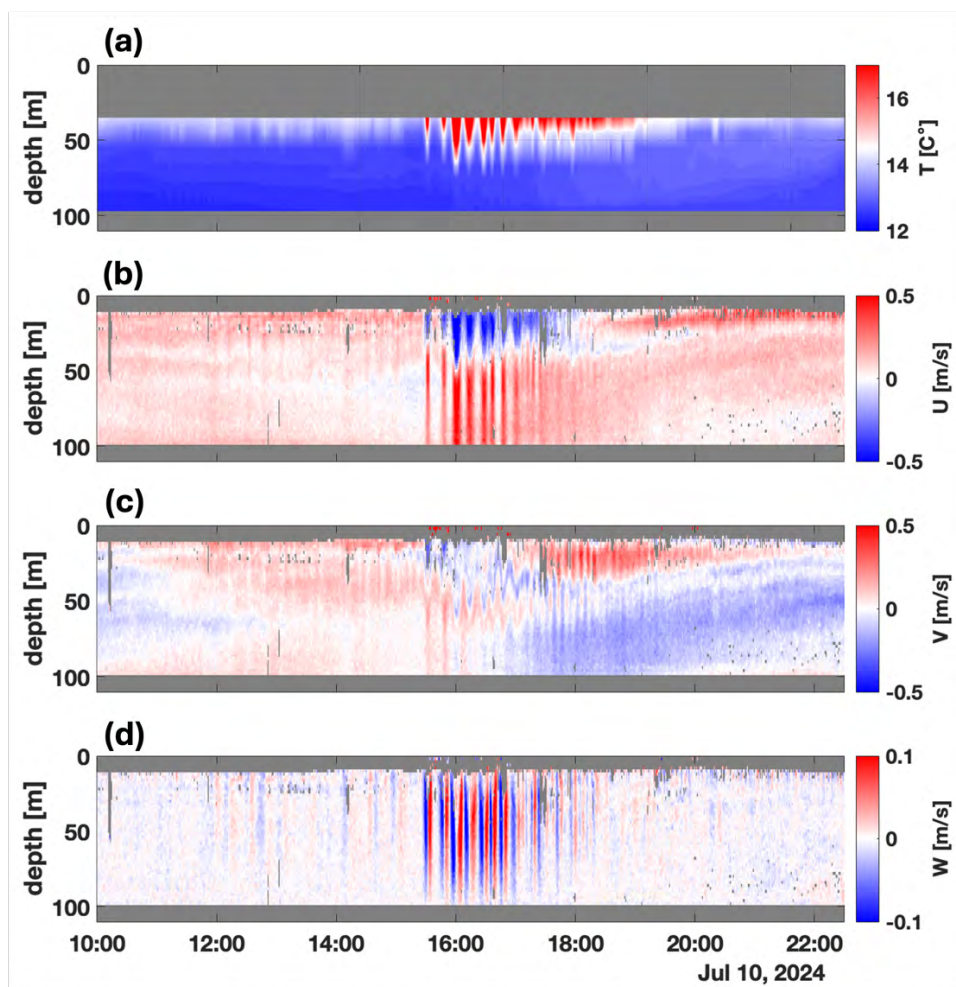


図2：係留観測で捉えられた内部孤立波イベントにおける(a)水温、(b)東西流、(c)南北流、(d)鉛直流の時系列。

太平洋側北極海における学際的研究
【MR21-05C/22-06C/23-06C/24-06C 航海概要】

○藤原周・伊東素代（海洋研究開発機構），渡邊英嗣・八田真理子・小野寺丈尚太郎・西野茂人・村田昌彦・菊地隆（海洋研究開発機構）

北極海は、地球温暖化や海洋温暖化が世界で最も早く進行しているエリアである。これまで、海洋地球研究船「みらい」を中心とした現場観測や衛星観測、数値モデル実験などを通じて、北極海への熱、淡水、栄養塩といった化学物質の重要な供給源である太平洋起源水の広がりや、海氷減少や海洋生態系の変化に与える影響を調査してきた。特に近年では、太平洋から北極海に流入する水塊が北極海全体に及ぼす影響が大きくなっていることが明らかになっている。「北極域研究加速プロジェクト（ArCS II: Arctic Challenge for Sustainability II, 2020-2024 年度）」の枠組みの下、我々は劇的な環境変化が進行中の北極海のゲートウェイの一つ、太平洋側北極海を重点海域とし、海洋物理学的な水塊構造や循環場、炭素や窒素などの化学物質の収支、海洋酸性化やプラスチックごみによる汚染の進行状況、さらには海洋生物の生産力や生態系の変化を明らかにするための統合的な観測データセットの構築を目的とした航海を実施してきた。2022・2024 両年においては上記に加え、数 m スケールの海底堆積物コアを採取し、古気候復元研究のための試料を得た。さらに、いずれの航海において将来的な海水下の自律観測観測を見据えた水中ドローン(COMAI)の運航試験を実施した。表 1 に各航海における主要観測項目、図 1 に観測点および航海期間中の平均海水氷密度（GCOM-W1/AMSR-2）を示した。当日は各年における海洋構造の特徴などを報告する。

表 1 航海期間および主要観測項目の実施測点数

航海 ID	観測期間	CTD 観測点	XCTD 点	ネット 観測点	堆積物採 取点	係留系	COMAI ダイブ
MR21-05C	2021/8/31- 10/21	63	64	ZP:46 MP:18	AC:12 PC:1	BCE/BCC/BCW 設置回収、NBC 設置・ NAP 回収	4
MR22-06C	2022/8/12- 9/28	34	81	ZP:17 MP:19	GC:10 AC:8 BC:4 MC:4	BCE/BCC/BCW 設置回収、NBC 回収・ NAP 設置	4
MR23-06C	2023/8/25- 10/4	44	57	ZP:37 MP:32	AC:10	NAP 設置回収	5
MR24-06C	2024/8/26- 9/30	46	78	ZP:37	GC:2 AC:36	BCE/BCC/BCW/NAP 設置回収	6

※ZP:動物プランクトンネット,MP:浮遊プラスチックネット,AC:アシユラ採泥器,PC:ピストンコア,GC:グラビティコア,MC:マルチプルコア,BC:ボックスコア,BCE/BCC/BCW:東/中央/西パロー海底谷係留系,NAP:ノースウィンド海底平原係留系,NBC:パロー海底谷北部係留系

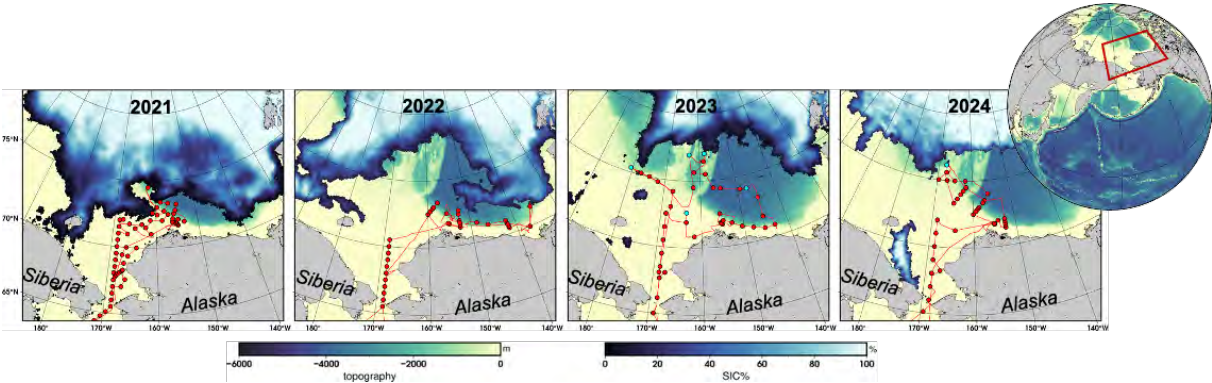


図 1 2021-2024 年の「みらい」北極航海における航路・観測点位置および海水氷密度分布図。海水氷密度は各航海の北極海滞在期間中の平均値を表す。

【謝辞】

北極海観測の実施にあたり海洋地球研究船「みらい」井上治彦・辻晶久両船長および乗組員の皆様、アイスパイロット David Snider 氏、日本海洋事業、マリンワークジャパン、研究プラットフォーム運用部門の皆様の厚いご支援に深く御礼申し上げます。航海は文部科学省 ArCSII プロジェクトの支援を受けて行われました。

みらい北極航海による洋上大気氷晶核測定：シベリア森林火災の影響

○竹谷文一（海洋研究開発機構）、當房豊（国立極地研究所）・宮川拓真（海洋研究開発機構）・
滝川雅之（海洋研究開発機構）・朱春茂（海洋研究開発機構）・金谷有剛（海洋研究開発機構）

【はじめに】

北極域を含む高緯度域では、水滴と氷晶からなる混合相雲がしばしば存在し、この地域の水循環と放射に重要な役割を果たしている。雲の氷晶生成の核となるエアロゾル(氷晶核)は、氷晶の形成を促進し、雲の放射特性や寿命を変化させることで混合相雲の特性に影響を与える。したがって、その濃度と発生源に関する情報は、気候や水循環を推定する上で重要である一方、海洋上の氷晶核濃度に関する情報は観測の機会の少なさにより、極めて乏しい。本研究では、海洋地球研究船「みらい」を用いた洋上観測(MR16-06)によって測定された北太平洋西部から北極海上の氷晶核の個数濃度と同時に採取したエアロゾル粒子の成分を比較し、発生源などの知見を得ることを目的とした。

【観測および解析】

みらい航海(MR16-06, 2016年8月-10月)は清水港から西部北太平洋を通りベーリング海峡を抜け、北極海に入り、その後、同じルートで清水港に帰港するルートで実施された。航行中の暴露甲板に氷晶核分析用のサンプラーおよびエアロゾル成分分析用のエアサンプラーを設置し、フィルター上にエアロゾルを捕集した。船の排煙(煙突はサンプラー設置場所より後方)を避けるため、サンプリングは相対風向風速が船首側より $\pm 75^\circ$ 以内かつ 3m/s 以上の時にのみサンプリングを行うシステムで実施した。また、同時に暴露甲板には自家蛍光エアロゾル粒子(生物由来エアロゾル粒子)を連続測定するWIBS-4装置を設置し、そのデータも解析に用いた。採取したエアロゾルはそれぞれ航海終了後に、実験室で氷晶核濃度、金属成分濃度等の分析を行った。航海中のエアロゾルの起源や輸送経路推定のため、WRF-FLEXPARTを利用しシミュレーション解析結果も利用した。

【結果および考察】

図1にMR16-06で測定した氷晶核濃度(N_{INPs})およびエアロゾル粒子の成分濃度の時系列変化を示した。本研究では氷晶核として働く粒子を -25°C から -5°C までの間で計測した。 -25°C で氷晶核として働く粒子の数濃度($N_{\text{INPs}}(-25^\circ\text{C})$)はエアロゾル成分のFe及びMnの質量濃度との比較から、その変動傾向は類似しており、陸起源粒子が $N_{\text{INPs}}(-25^\circ\text{C})$ に影響を与えている可能性が示唆された。また、 -15°C で氷晶核として働く粒子の数濃度($N_{\text{INPs}}(-15^\circ\text{C})$)と自家蛍光粒子との比較では良い相関が得られ、生物由来粒子が $N_{\text{INPs}}(-15^\circ\text{C})$ に影響していることが示唆された。また、9月下旬にベーリング海と西部北太平洋上で高濃度の氷晶核が観測された。バイオマスバーニングの指標となるレボグルコサン成分の上昇に加え、シミュレーションによる輸送経路を推定した結果、この高濃度氷晶核はシベリア森林火災の影響によるものと考えられた。本研究ではシベリア森林火災由来のエアロゾル粒子が発生源から数千キロ離れた西部北太平洋洋上に輸送され、放射収支や水循環などに影響を与える氷晶核濃度に大きく寄与することが明らかとなった。

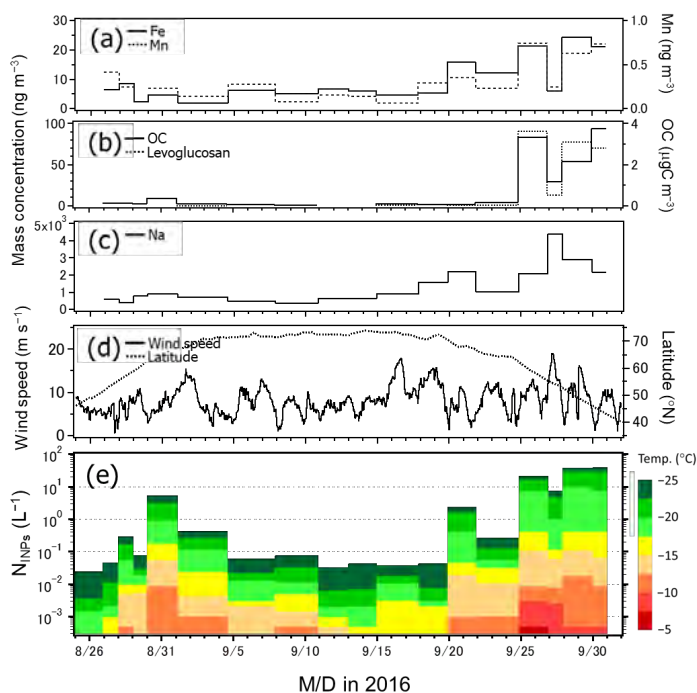


図1. MR16-06で分析したエアロゾル粒子成分の経時変化
(a):鉄とマンガン、(b):有機炭素とレボグルコサン、(c):ナトリウム
(d):みらいで計測した真風速、(e):氷晶核濃度

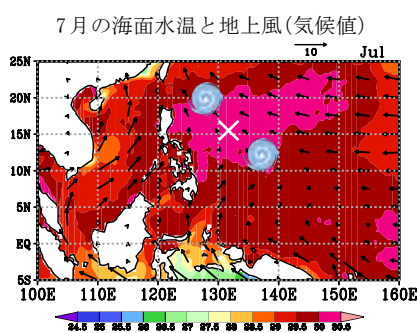
2024 年夏季の熱帯西部北太平洋域における大気海洋相互作用現象

～MR24-04 航海報告～

○清木亜矢子・勝俣昌己・横井覚（海洋研究開発機構）

熱帯西部北太平洋は、季節的に北上した暖水プールとモンスーントラフ（低圧部）によって積雲対流活動が活発な領域です。また、この時季に支配的な大気の時季内変動は北半球夏季時季内振動 (BSISO) と呼ばれ、30-90 日周期で組織化した積雲群が暖水プール上を北東進することが知られています。BSISO 対流の影響は、熱帯低気圧の発生や、強風による海洋上層の混合、太平洋－日本パターンと呼ばれるテレコネクションの励起など多岐にわたります。我々は、2024 年 6 月下旬から 7 月下旬にかけて、海洋地球研究船みらいを用いて、熱帯西部北太平洋における大気海洋相互作用をターゲットとした集中観測を行いました。本研究では、主に船上で得られた海上気象データと CTD から計測された塩分・水温・圧力（深度）データを用いて、海洋上層変動と BSISO との関係を調査しました。

集中観測前半から中盤にかけて、定点付近における BSISO はずっと抑制期でしたが、7 月下旬に活発期が訪れ、台風も発生しました。その抑制期から活発期への転換期（位相 5 から 6）では、上層の塩分が急激に低下したことにより、混合層（密度がほぼ均一な層）の深度が急激に浅くなりました。これには、降水の増加に加え、南方からの移流の可能性も示唆されます。一方、大気の対流活動はまだ組織化しておらず、風の強化や日射の減少もみられなかったため、海面水温は上昇しました。従来、強い降水は風の強化と日射の減少を伴うため SST が下がるといわれていましたが、今回はそれらを伴わなかったため、浅い混合層によって逆に海面水温が上がりやすかったと考えられます。このような数日規模での海面付近の現象が、BSISO 対流の北上や台風の発達を促進した可能性が示唆されます。

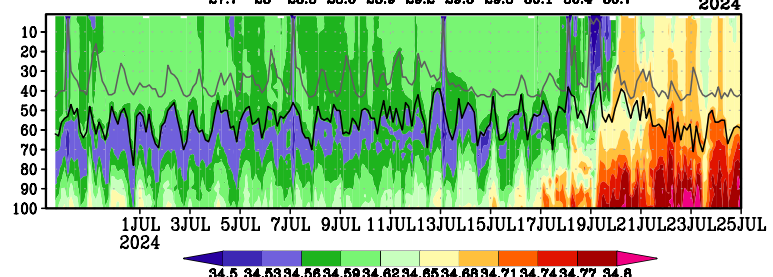
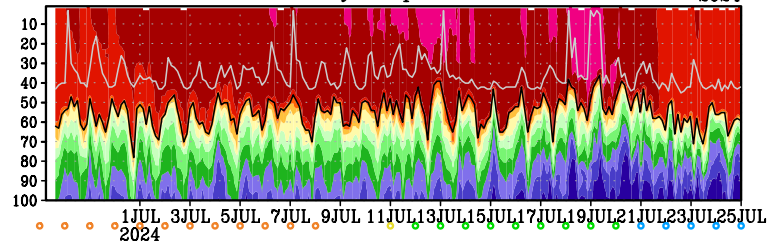


CTD から得られた 1-100m 深度の水温（上図）と塩分（下図）。灰線は混合層深度、黒線は等温層深度を示す。色のついた丸は、BSISO 発生日における位相を示す。

BSISO 位相

PH :1 2 3 4 5 6 7 8

MR24-04 CTD 3-hrly Tmp & Sal JJ 2024



北西太平洋熱帯域における大気海洋相互作用観測：MR24-04 航海概要

○横井覚・勝俣昌己・清木亜矢子・木下武也・藤田実季子・竹谷文一（海洋研究開発機構），
青木一真（富山大学），志村智也（京都大学），Gilles Reverdin（海洋学・気候研究所），
Hugo Bellenger（気象力学研究所），三浦裕亮（東京大学），神山翼（お茶の水女子大学）

1. 目的

日本の南方に位置する北西太平洋熱帯域は、全海洋で最も海面水温が高い「暖水プール」の北端に位置しています。この海域では、高い海面水温により大量の水蒸気が大気下層に供給され、それにより活発な積雲対流活動が生じています。この積雲対流活動がエネルギー源となり、熱帯低気圧（台風）や夏季熱帯季節内振動（BSISO）などの様々な大規模大気擾乱が発生・発達します。このうち、BSISO は、その名の通り北半球の夏季・暖候期（6-10 月）に顕著にみられる現象で、対流活動が特に活発な帯状の地域が差し渡し数千 km もの長さで西北西－東南東方向に広がり、赤道付近から北緯 20-25 度付近まで 2-3 週間かけて北上するという特徴を持っています。BSISO は梅雨入りや梅雨明けのタイミングを決める要因のひとつである、BSISO の状況次第で台風発生頻度が 3 倍近くも変動する、など、BSISO は日本をはじめとして東アジア・東南アジア諸国や太平洋島嶼国にも多大な影響を与えています。従って、BSISO の発生や発達、移動といった振る舞いを支配する力学的・熱力学的要因を特定することは、科学的に興味深いだけではなく、得られた科学的知見は予測の高度化と防災・減災に資するため社会的にも重要な課題といえます。

BSISO の振る舞いには海洋表層・亜表層の熱的構造が重要な役割を果たすと考えられています。とりわけ、BSISO を駆動する積雲対流活動の特性に大きな影響を及ぼすと考えられるメソスケール（空間スケール 100km 程度）の大気海洋相互作用や海洋表層・亜表層の応答を詳細に把握し、その役割を理解することが重要です。

現在、多くの気象衛星やアルゴフロート等の海洋観測機器により、北西太平洋熱帯域の大気や海洋について多くの観測データがあります。しかしながら、既存の観測網では上記の目的を達成するうえで必要となる高時空間分解能のデータを得ることができませんし、大気海洋相互作用の把握に必須となる雲の直下での海上気象データを得ることは困難です。そこで、「みらい」MR24-04 航海では、北西太平洋熱帯域において、BSISO のライフサイクルの大部分を捉えることが期待できるほどの長期間（30 日）にわたって定点観測を行い、大気と海洋の直接観測を実施しました。

2. 観測日程、観測項目

「みらい」MR24-04 航海（2024 年 6 月 21 日清水～7 月 30 日清水）では、北西太平洋熱帯域の北緯 15 度東経 132 度（定点）付近にて 30 日間（6 月 26 日～7 月 25 日）の定点観測を実施し、3 時間間隔のラジオゾンデ観測と CTDO₂/LADCP 観測、1-2 日間隔の高高度ゾンデ観測、各種連続観測（ドップラーレーダー（MPOL）、ライダー、大気ガス・エアロゾル観測、スカイラジオメーター、GNSS 水蒸気観測、一般海上気象、表層海水連続観測など）を行いました。また、「みらい」定点から約 50km 離して 3 台の自律型海洋プラットフォーム Wave Glider を配置し、海上気象と海面水温・塩分、流速の連続観測を行う（図 1）とともに、海面水温・塩分を測定する漂流ブイ（Surpact 漂流ブイ系）の投入・回収を 4 回行いました（漂流期間はそれぞれ 1-2 日）。

また、清水港から定点までの航路上で、漂流ブイ（SPOTTER）と APEX プロファイリングフロートを 1 台ずつ投入しました。

3. 初期解析結果

定点観測期間の前半から中盤にかけ（～7 月 17 日）、活発な対流活動で特徴づけられる「対流活発帯」は定点よりも南方に位置しており、定点付近では孤立積乱雲による散発的な降水が発生するのみの比較的穏やかな状況が続いていました。その後、対流活発帯が北上を開始し、定点では 7 月 18 日になって対流活動が活発化し、対流圏下層の風はそれまでずっと続いていた東風から南南西風に変わるという劇的な変化をみせました（図 2）。この北上は、BSISO に伴うものと解釈できました。また、北上する対流活発帯の内部では低気圧性の渦擾乱（熱帯低気圧）が複数発生し、これらは発達しながら西北西進してフィリピン近傍で台風 3 号、4 号となりました。このように、定点観測期間中に BSISO の対流活発帯と、その中で発達しつつある渦擾乱を捉えることができました。

今後は、得られた観測データの詳細な解析を通して、BSISO 対流活発帯の北上や渦擾乱の発達に及ぼす海洋の役割を、大気海洋相互作用の観点から明らかにしていく予定です。

謝辞

本航海の実現のためご尽力いただいた全ての皆様、特に日本海洋事業株式会社、株式会社マリン・ワーク・ジャパンの皆様には大変お世話になりました。どうもありがとうございました。

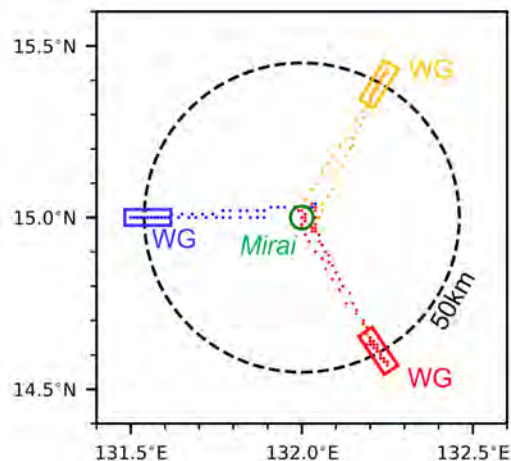


図 1 「みらい」定点（北緯 15 度東経 132 度）観測時に展開した 3 台の Wave Glider の位置。投入（6 月 27 日）から回収（7 月 19 日）まで 1 時間ごとの位置を機体別に橙点、赤点、青点で示す。各色の長方形は Wave Glider の定点海域を表す。

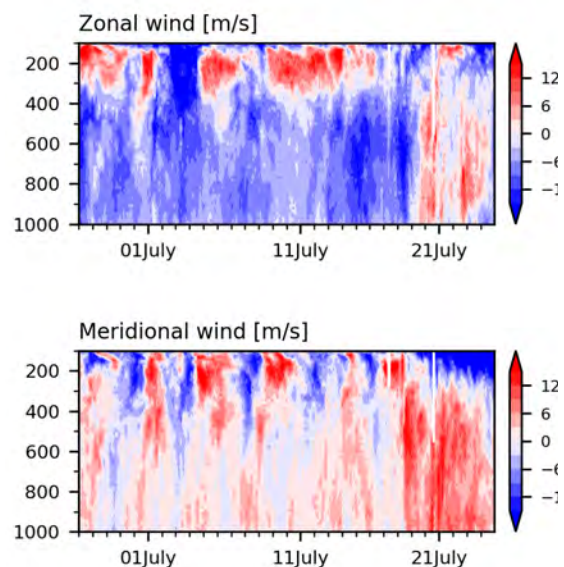


図 2 定点観測期間中に「みらい」ラジオゾンデ観測で得られた（上）東西風と（下）南北風の時間高度分布図。高度は気圧（hPa）で表しており、対流圏下層はおおむね 500hPa 面よりも下層を指す。

海洋地球研究船「みらい」MR24-04 航海で実施した高高度ラジオゾンデ観測により得られた大気擾乱活動に関する研究

○木下武也（海洋研究開発機構），荻野慎也・鈴木順子・城岡竜一・清木亜矢子・横井覚（海洋研究開発機構）

1. はじめに

近年、成層圏（高度約 10～50km）に存在する大規模子午面循環や熱帯の東西風速変動（準 2 年振動）が対流圏の気象に直接影響を与えることが分かってきた。一方、成層圏、特に高度 30km 以上の領域は、それ以下に比べ直接観測データが少なく、子午面循環や準 2 年振動、それらを駆動する大気擾乱活動の詳細な理解が遅れている。そこで高度 30km 以上の直接観測を行うべく 2024 年 7 月に海洋地球研究船「みらい」で高高度ラジオゾンデ観測を実施した。本発表では、同時期に沖縄で実施した高高度ラジオゾンデ観測状況を紹介するとともに、高度 30 km 以上の大気擾乱活動について調べた結果を報告する。

2. 使用したデータ

2024 年 6 月 28 日～7 月 24 日の「みらい」の定点観測地点（15N, 132E）にて合計 22 回、また 2024 年 7 月 16 日～25 日にかけて沖縄の琉球大学（26.25N, 127.77E）にて合計 11 回の高高度ラジオゾンデ観測を実施した（図 1）。使用したゴム気球は 2000g（TX2000）と 3000 g（TX3000, CR3000）バルーンで浮力は上昇速度がおおよそ 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。これに加えて解析では MERRA2 再解析データ、複数の衛星観測データを使用した。

3. 結果

「みらい」での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 0 m/s 付近で大気擾乱により揺らいでいるのに対し、東西風速は対流圏で西風、成層圏では東風といった大きな鉛直構造の中に複数の大気擾乱が存在す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、6 月 28 日と 7 月 16 日の観測では成層圏において数 km にわたり高度が上がるとともに温度が下がる構造（温度低下層）が確認できた。この温度低下層について、ホドグラフ解析や再解析データを用いて調べた結果、子午面循環の駆動源の 1 つである大気重力波がこの構造に関わっていることが示唆された。

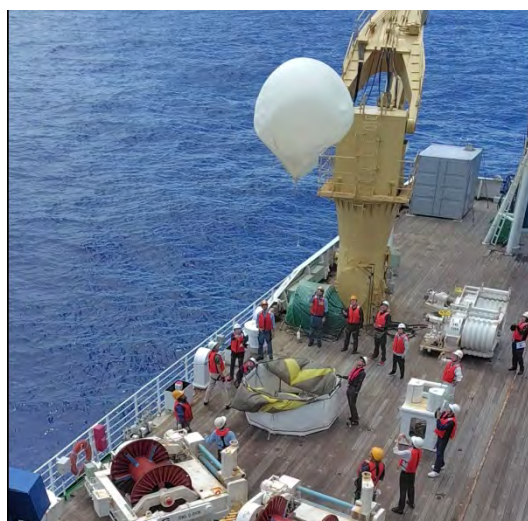


図 1：6 月 28 日の高高度ラジオゾンデ観測。

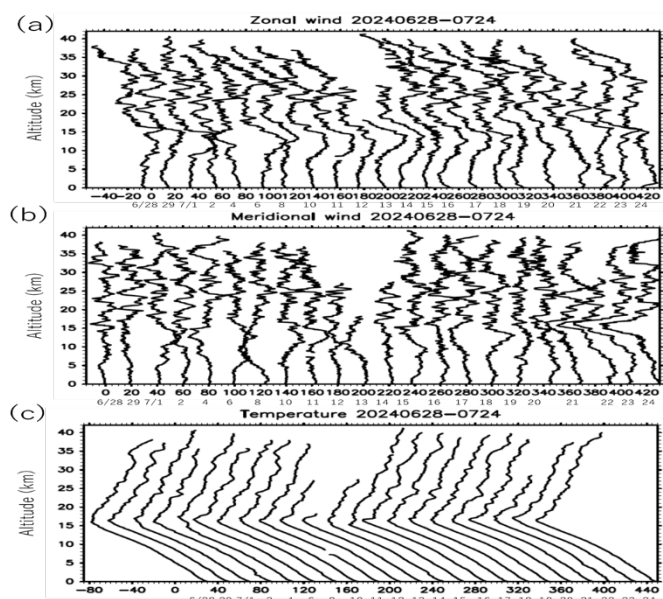


図 2：研究船「みらい」で取得した東西風速(上)、南北風速(中)、温度(下)の高度分布図。風速は 20m/s、温度は 10℃ずつずらしてプロットしている。

西部北太平洋における鉄，マンガン，銅，亜鉛の分布と 生物地球化学循環

○金 仁熙・漢那 直也・乙坂 重嘉・小畑 元（東京大学大気海洋研究所），則末 和宏（新潟大学）

海洋に存在する植物プランクトンは光合成を通じて一次生産を行うことで海洋の生物プロセスに寄与する。植物プランクトンの光合成には、主要な栄養元素である窒素、リン、ケイ素に加えて、微量元素（鉄、マンガン、銅、亜鉛など）が必須栄養素として摂取される。特に鉄は「第4の栄養塩」であり、主要栄養塩が表層に存在しても鉄が不足すれば一次生産が行われない場合がある。また、鉄だけでなくマンガン、銅、亜鉛は植物プランクトンの光合成、窒素代謝過程、炭素固定に関与する。

一方、海洋中の微量元素は、海洋の生物地球化学循環を追跡するトレーサーとして重要な役割を果たす。微量元素は、外部の供給源（大気中の塵粒子、河川、熱水活動など）からも海洋に流入する。海水中の微量元素は、植物プランクトンの摂取、沈降粒子による除去、水塊の移動など複雑な過程を経て循環する。しかし、北太平洋亜寒帯に存在する、HNLC (High-Nutrients, Low-Chlorophyll) 海域の形成メカニズムと中・深層水における微量元素の分布はまだ十分に明らかにされていない。本研究では、西部北太平洋の代表的な観測点で溶存態と全可溶態の微量元素の鉛直分布を調査し、それらから得られる可溶性粒子態微量元素から、同海域の内部での微量元素の循環と供給源からのフラックスについて議論する。

本研究では、2022年及び2023年に実施した白鳳丸研究航海(KH-22-7, KH-23-2)を通じて、OP20, OP17, OP12の3観測点で海水を採取した (Fig. 1)。海水試料中の微量元素は、キレート樹脂 (Presep[®] PolyChelate) を用いた固相抽出法で前濃縮した後、硝酸で溶離し、溶離液中の濃度を高分解能誘導結合プラズマ質量分析法により測定した。

鉄とマンガンについては、全可溶態と溶存態で有意な濃度差が見られた。特に溶存酸素極小層と海底直上で最も濃度差が大きくなることを明らかにした。溶存態銅と亜鉛は主要栄養塩と同様に表層で濃度が低く、深層ほど高くなる鉛直分布を示すことを確認した。鉄とマンガンとは異なり、銅と亜鉛は全可溶態と溶存態濃度に差がほとんど現れないことを明らかにした。

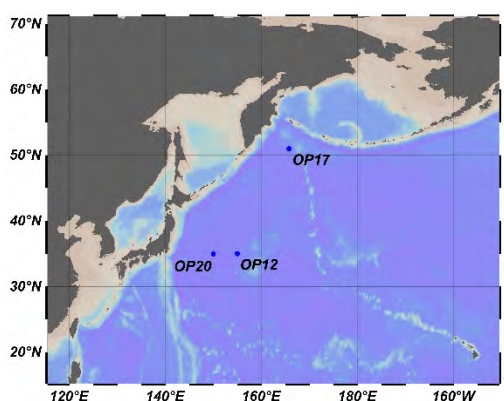


Fig. 1 白鳳丸研究航海を通じて調査された観測点 (OP20, OP17, OP12)

KS-22-10 航海と BGC アルゴフロートデータから明らかにした 北海道南東沖における 2022 年海洋熱波が溶存酸素濃度に与えた影響

○川合義美（海洋研究開発機構）・岡英太郎（東大大気海洋研究所）・
佐藤佳奈子・細田滋毅・木戸晶一郎（海洋研究開発機構）

温暖化に伴い海水温が平年より大幅に高くなる「海洋熱波」の発生頻度が増加したり持続期間が長期化していることが指摘されている。三陸・北海道南東沖では 2010 年頃から海洋熱波が頻発している（Miyama et al. 2021）。この海域の高温化は、大気場の変化による海面加熱の強化・冷却の弱化という大気駆動が効いている年もあるが、主として親潮の後退や黒潮水の北上という海流の変化によるところが大きい。三陸・北海道南東沖では、2017-2018 年頃にいったん高温化が収まったが、その後再び高温化が起こり現在まで続いている。本研究では、2022 年夏季から翌冬季にかけてこの海域で観測を行った BGC アルゴフロートのデータから海洋熱波と溶存酸素濃度（DO）との関係を考察する。

本研究では 2 本の DO センサ付きアルゴフロートのデータを主に用いる。WMOID2903654 のフロートは 2021 年 2 月 22 日に白鳳丸 KH-21-1 航海で黒潮再循環域に投入されたが、2022 年 7 月上旬から黒潮続流を横切って北上し翌 2 月まで北海道南東沖で観測を続けた。WMOID2903667 のフロートは 2022 年 4 月 19 日に黒潮続流の南側で投入されたのちほぼすぐに北上し翌 4 月まで観測を続けた。水温、塩分、DO の気候値は、World Ocean Atlas 2018 の客観解析 1 度格子月別データを使用する。

2022 年の夏季以降、当該海域の海面水温は平年を大きく上回り（図 1）、夏季と秋季の偏差は 1982 年以降で最高であった（翌 2023 年に更に記録更新）。2 本のフロートはほぼ期間を通して平年より高い水温・塩分を観測した。DO もそれに対応して約 200m 以浅ではほぼ常に低偏差であった。新青丸による観測でも S1、C02-C03 にかけての海域で顕著な高温偏差が見られ（図 1）、それに対応して約 200m 以浅で DO は低下していた（図 2）。しかし深度 200-600m では逆に高偏差となっていた。2903654 のフロートは 6 月頃と 8 月頃に一時的に低温・低塩の海域に入ったが、そこでは約 300m 以浅では高酸素、それ以深では低酸素という関係が見られた。各深度における水温偏差と DO 偏差の単相関では、約 200m 以浅で有意な負相関、約 700m 以深で有意な正相関であった。一方、密度座標で見ると、ポテンシャル密度 26.7 以下では水温偏差と DO 偏差の間に強い負の相関があった。この関係を利用して、DO 偏差を spiciness 成分と dynamical 成分に分離した。spiciness 成分は密度変化を伴わない水温変化に対応したもので主に等密度面混合に起因し、dynamical 成分は等密度面の上下と関係している。spiciness 成分はほぼ全体的に負の値であり、これは南方の低 DO の水が移流して等密度面混合により DO を低下させたことを示している。それに対し dynamical 成分は高 DO 化をもたらしていた。軽い黒潮水の流入で表層の高 DO 水が押し下げられたことで 200m 以深が高 DO 化したと考えられる。

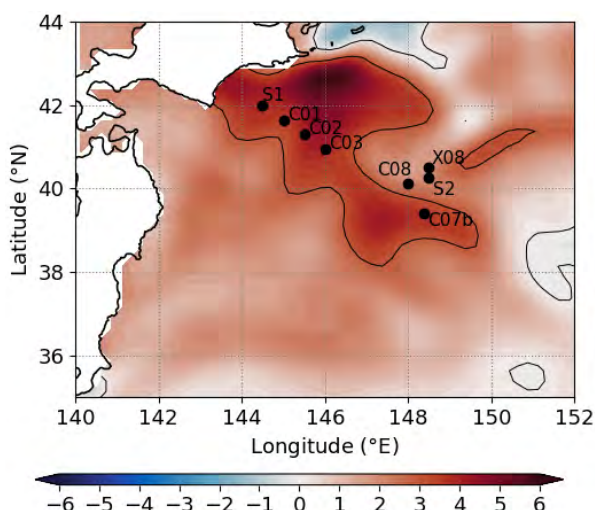


図 1. KS-22-10 航海の CTD 観測点。背景は 2022 年 7 月 17 日～8 月 1 日の平均海面水温偏差。等値線は 0℃及び+3℃を示す。

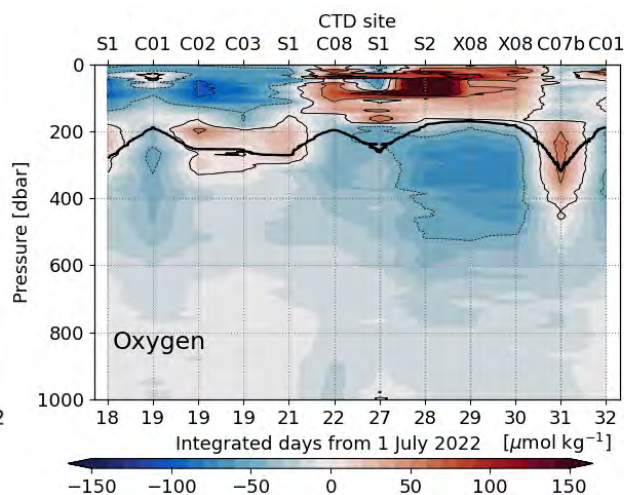


図 2. KS-22-10 航海の CTD 観測で得られた溶存酸素濃度の気候値偏差。

MR21-06 観測で捉えた黒潮続流から切離した冷水渦と風の弱化

○永野 憲・喜多村 稔・渡 健介・植木 巖（海洋研究開発機構）

黒潮は、熱帯域から熱を亜熱帯域に運び、冬季のユーラシア大陸から吹く冷たく乾燥した風によって熱が奪われ、黒潮続流域は世界でも有数の熱放出域として知られている。そのため、黒潮続流域の熱放出は、大気へのインパクトも大きいと考えられる。さらに、黒潮続流域は、黒潮続流から切離した低気圧性渦（以降、冷水渦と呼ぶ）や高気圧性渦が存在し、中規模渦の活動も顕著に高い海域でもある。中規模渦は、海面水温の偏差を伴い、熱放出に変化をもたらすことが過去の研究で報告されている。

そこで、2021 年 11 月から 2022 年 1 月にかけて実施した「みらい」MR21-06 Leg1 および Leg2 航海期間中、34.5°N、150.0°E 付近に存在した冷水渦に注目し、船舶に備え付けの気象センサーと水温および塩分センサーによる大気と表層海洋の連続観測データと CTD や XCTD による水温・塩分データを用いて解析を行った。また、航海中、2021 年 11 月 23 日に冷水渦の中心付近に投入した Multipurpose Observation Float (MOF) 1 台によって得られた約 4 日間の水温・塩分の鉛直プロファイルも解析に用いた。さらに、アルゴフロートによる水温・塩分の観測と人工衛星によって得られた海面高度、海面水温、および海上風のデータも用いて解析を行った結果も報告する。

大気と海洋の連続観測データをもとに乱流熱フラックスをバルク法によって計算した結果、冷水渦の周辺で熱放出は小さくなっていることが確認できた。しかしながら、冷水渦の内側と外側で海面水温に顕著な違いは見られなかった。また、本航海で取得した 4 回の水温の断面でも冷水渦の内側と外側で混合層水温に顕著な違いは見られなかった。一方、大気海洋相互作用によると見られる海上風の弱化が観測され、この風の弱化が冷水渦周辺での乱流熱フラックスを抑制していることがわかった。衛星観測によって得られた海上風データでも冷水渦の周辺の風の弱化を確認することができた。回転経験直交関数解析を行った結果、海上風速の極小は周辺に比べて約 5 m/s 以上低下していたことがわかった。

冷水渦の中心付近に投入された MOF は、混合層内の急速な低塩分化を捉えていた。この塩分変化は、冬季、冷水渦の外側の塩分変化の傾向とは逆であり、黒潮続流との相互作用によって、黒潮続流の北から低塩分の海水が冷水渦の内部に貫入したものと解釈できる。船舶および衛星による水温観測では捉えられなかった黒潮続流北側の低温の海水の冷水渦中への供給が伴っており、これが大気に影響を及ぼしているもの考えられる。

なお、本研究の詳細は、Nagano et al. (2024)として出版されている。

謝辞：「みらい」MR23-06 Leg1 および Leg2 航海を行うにあたり、船長および乗組員、観測技術員をはじめとする日本海洋事業株式会社と株式会社マリン・ワーク・ジャパンの皆様に御礼を申し上げます。

参考文献

Nagano A., M. Kitamura, K. Watari, and I. Ueki (2024) Kuroshio Extension cold-core ring and wind drop-off observed in 2021-2022 winter, *Progress in Earth and Planetary Science*, 11:48, <https://doi.org/10.1186/s40645-024-00649-4>

磯口ジェット・親潮合流域における水塊混合と 混合水域への栄養塩供給に関する研究：KS-24-9 航海概要

○矢部いつか・Diego Otero（東京海洋大学）・伊藤進一・漢那直也・樋口富彦・黄國成・金仁熙・林沅・許浩東（東京大学大気海洋研究所）・寛茂穂・増田貴子（水産研究・教育機構）・近藤能子・高見澤昂伸（長崎大学）・高尾信太郎（国立環境研究所）

混合水域は、日本南岸の黒潮・黒潮続流域を産卵場とするサンマなどの小型浮魚類が回遊し、親潮域とならぶ重要な索餌海域である。黒潮続流の準定在的な分岐流である磯口ジェットは、黒潮由来の温暖な水塊を混合水域や亜寒帯域にもたらすものの、基礎生産に必須となる栄養塩が乏しい。2017年に実施した新青丸 KS-17-09 次航海では、磯口ジェットと親潮の接近域で強い湧昇流が発生し、等密度面を横切る水塊混合および栄養塩供給の引き金となる可能性が示された。本発表では、栄養塩供給プロセスとその起源を明らかにするために2024年6月に実施した新青丸 KS-24-9 次航海の概要を報告する。

KS-24-9 次航海では、磯口ジェットの流路に沿った栄養塩濃度の変化を捉えるため、フロントを横断する2本の観測ラインを設けた。栄養塩供給を伴う水塊混合プロセスを明らかにするための物理・化学観測（CTD、船底 ADCP、VMP、ニスキン採水）と水塊混合がもたらす小型浮魚類、餌生物である動物プランクトンと基礎生産者である植物プランクトンの生物量および種組成の変化を明らかにするための生物観測（ニスキン採水、ノルパック、ニューストン）を実施した。また、オホーツク海を起源とする微量金属および栄養塩の存在を明らかにするためにクリーン採水を行い、微量金属が与える植物プランクトンの増殖への影響を評価するための培養実験も実施した。

磯口ジェットの流軸が分布する A03-A04 点とその南側では、高温・高塩分・低栄養塩の亜熱帯起源の水塊が表層に分布した。2017年（KS-17-9）、2023年（KH-23-2）と同様に、亜熱帯系の水塊の下部である $26.5\sigma_\theta$ 以深で亜寒帯起源の低塩分水が密度面に沿って沈み込んでいた。硝酸塩の分布は等密度面に沿った分布を示すものの、流軸のある A04 付近では局所的に栄養塩濃度が高くなっており、等密度面を横切る水塊混合の存在を示唆する。なお、貫入する低塩分の上部には低 PV の水塊が分布しており、それらの水塊の境界では強ソルトフィンガー型の二重拡散のシグナルを示した。発表時には、より詳細な解析結果を紹介する。

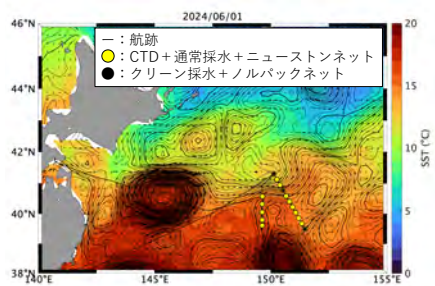


図1. 観測時の海面高度と磯口ジェット横断面の観測点

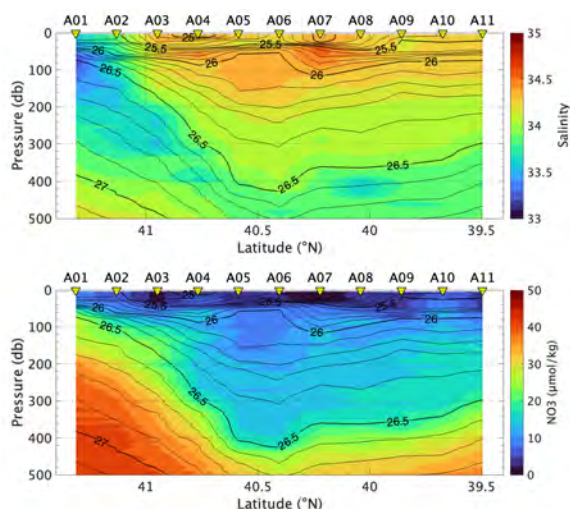


図2. フロントを横切る塩分（上）と硝酸塩（下）の鉛直断面図

白鳳丸マルチビーム音響測深機 EM124 チャレンジャー海淵測深

○田村千織（東京大学大気海洋研究所）、藤井昌和（国立極地研究所、総合研究大学院大学）、
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）、
小野誠太郎（東京大学大気海洋研究所）、伊藤禎宏（広島大学）、
中尾眞子（MOL マリン&エンジニアリング株式会社）

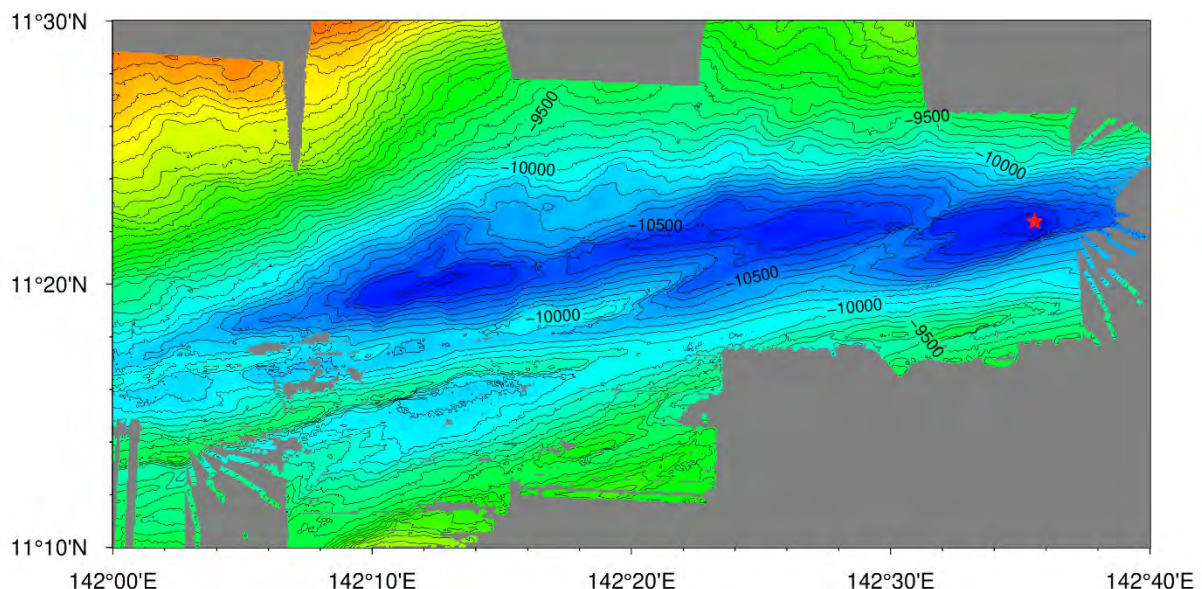
白鳳丸のマルチビーム測深機(MBES)は、2021 年度の大規模修繕時、老朽化した SeaBeam3020 (ELAC SONAR 社) から最新鋭の EM124 (KONGSBERG Discovery 社) へ換装された。本機器では周波数、Pulse Length、セクター数、パルス形式が Depth Setting によって予め設定されており、水深により適切な測深モードへの切り替えが自動で行われる。本機器の運用においては、浅海から深海まで高精度で高分解能な海底マッピングが可能となることに加え、計画、調査、解析の各段階で時間を節約できる複数のデータ・タイプの同時収集をサポートするなど幅広い機能が利用可能であり、低ノイズで最小限の後処理だけで最高品質のデータ提供が期待される。

この EM124 の超深海域水深 8,000m~11,000m での測深性能評価および運用方法の検討のため、KH-23-9 次研究航海において、マリアナ海溝世界最深部チャレンジャー海淵(10920m±10m, GEBCO, 2010)の海底地形調査を実施した。海溝沿いの東西測線と、東部、中央部、西部の 3 つの盆地を縦断する南北測線を設定した。対象の盆地域では静音な電気推進、対地船速 4knots、スワス幅 40 度/40 度の観測設定に固定し、盆地間の移動では電気推進、対地船速 8knots、部分的にディーゼル推進、対地船速 15knots で測深を行った。音速度補正には、投下式塩分水温深度計 XCTD4 を使用して水深 1,914m までの海洋構造を観測した現場データを活用し、深層の海洋モデル値(LEVITUS)と組み合わせた海水音速プロファイルを計算した。

本観測の結果、東西測線では良好なデータが高密度に取得できた。小さな隆起構造の反対側で軽微なデータ損失が確認された。南北測線では船の直下約 1km 幅で盆地の底の良好なデータを得たが、スワスの外側ではデータのノイズが増加した。この原因は海流と風によるピッチとロールの動揺の影響と考えられる。全般にスワスの特定のポイント(ビームセクターの継ぎ目と考えられる)の周りで深くなる傾向があり、数ピングに 1 回程度の頻度で観察された。また、異なる推進モードや船速の大小ではデータ品質に明らかな違いは見られなかった。

今回の白鳳丸 EM124 によるチャレンジャー海淵の新たな測深結果は、3 つの盆地のうち東部盆地で最も水深が深く、中央部盆地で最も浅いことを示し、この傾向は他船の観測に基づく先行研究と一致した。さらに、東西方向の単一測線、最大 15knots の船速、浅い XCTD と深海モデルによる海水音速度プロファイルの活用だけでも、超深海でかなり現実的な測深値が得られることが示された。

図：KH-23-9 MBES 測深により取得したチャレンジャー海淵の海底地形図。赤星印は今回の最深部。



大規模画像データセットを用いた深層学習による 深海プラスチックごみの検出

○西尾貴樹（海洋研究開発機構）、齋藤秀亮・松岡大祐・中嶋亮太（海洋研究開発機構）

プラスチックごみによる海洋汚染は世界的な問題であり、汚染軽減に向けた政策の立案や効果検証のため、ごみのモニタリングによる分布の把握が必要となっている。特に日本は排他的経済水域（EEZ）における 6,000m 以深の面積が世界 1 位で、周辺の海底にごみの溜まり場が多数あると考えられており、深海を含めた広域的・継続的なごみのモニタリングにおいて重要な役割を担っている。海洋研究開発機構（JAMSTEC）では深海ごみのモニタリングを効率的に行うため、深層学習を用いて深海映像からプラスチックごみを自動検出する技術を開発している。具体的にはこれまでに、ポリ袋やペットボトル等のマクロなサイズのプラスチックごみを検出対象として、過去 30 年以上の JAMSTEC の深海調査において有人潜水調査船「しんかい 2000」や「しんかい 6500」、無人探査機「ハイパードルフィン」などで撮影・蓄積された膨大な数の映像と、JAMSTEC がインターネットに公開している「深海デブリデータベース」(<https://www.godac.jamstec.go.jp/dsdebris/j/index.html>) および「深海映像・画像アーカイブス」(<https://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/j/index.html>) で整備された情報を用いて教師データを約 2.2 万件作成し、深層学習モデルの学習を行った。その後、新たに撮影した深海映像に学習済みの深層学習モデルを適用し、プラスチックごみを自動検出できるかどうか検証した。さらに、自動検出に適した映像の撮影条件を定めるため、堆積物の有無や被写体のサイズ、濁りなど複数の条件で撮影された映像で検証を行った。その結果、目視で検出可能なプラスチックごみについて 60%以上の検出精度を達成した。学習済みの深層学習モデルによるプラスチックごみ検出結果の例を図に示す。本発表では、深海のプラスチックごみ自動検出について、潜航調査時の船上での試行を含めたこれまでの結果、現状の課題および今後の展望を報告する。



図. 学習済みの深層学習モデルによるプラスチックごみ検出結果

Lab-on-a-Chip と 3D プリント技術で挑む 海洋生物多様性と海洋環境の可視化

○福場辰洋, 賀来将大, 小柳亮太 (海洋研究開発機構)

海洋を含めた水環境における生物多様性の可視化において、環境DNA技術は極めて有用なツールとして注目されている。この技術は、魚類や両生類から、微生物に至るまでの多様な生物種の検出と、種組成も含めた網羅的解析まで対応が可能な手法であり、近年では生物多様性クレジット制度の導入に向けた基盤技術としても期待が高まっている。一方、サンプル採取に必要なコストや時間を削減するためには、環境DNA サンプルの採取を自動化できる装置が必要となる。現在ではサンプル採取の担い手は研究者だけでなく、市民科学者にまで広がりを見せており、より簡便で効率的な技術へのニーズが高まっている。また、観測プラットフォームは、船舶からROV、AUV、ドローンなど多岐にわたるため、自動採取装置には多様なプラットフォームやユースケースに対応できる柔軟性が要求される。そこで我々はこれまでに最大12サンプルの定量的な濾過濃縮が可能な表層ブイ型の「eDNAサンプラー」(図1)の開発と評価を進めてきた(福場ら2022, T. Fukuba *et al.*2022, 福場ら2024)。その技術を基盤として、水深1000mまでの試験を実施済みの「深海版eDNAサンプラー」(図2)の開発にも取り組んできている。また、より小型化を進めることで、「江戸っ子1号」などのランダーや海氷下ドローン「COMAI」に搭載可能な「小型eDNAサンプラー」(図3)の開発と評価も進行中である。さらに、民間商船を活用したサンプル採取や市民科学者によるサンプル採取ミッションを対象とした「船上型自動サンプラー」(図4)の開発と実フィールドにおける実証も進行中である。このような多様なeDNAサンプラーの開発と展開を可能にしているのが3Dプリント技術である。ポンプやバルブを搭載した流体マニホールドだけでなく、装置の主要部まで3Dプリンタで出力して、装置として組み上げることで、極めて迅速かつ柔軟に多様な装置を展開することが可能になった。

一方、生物多様性と同様に水環境における化学物質動態の解明も重要な課題である。極めて多様な人為起源化学物質等の動態を明らかにするためには、センサや現場分析装置を活用して計測の時空間分解能を向上することが求められる。特にAUVやROV、プロファイリングフロートなど、小型化が進む多様な観測プラットフォームを用いた展開を考えると、センサや現場計測装置のさらなる小型化が必要となる。中でも、試薬を用いる現場流れ分析装置の小型化においては送液系の小型化・省電力化が鍵となる。また小型省電力の送液系は、センサデバイスの現場校正や洗浄プロセス等にも応用することが可能な基盤技術となりえる。そこで現在、Lab-on-a-Chip (LoC) 技術を応用することで、低消費電力、さらには無電源の送液技術に基づいた「極限環境マイクロTAS技術」の確立に挑戦している。中でも海洋の環境水圧を活用した連続送液技術の高度化を進めることで、長期にわたって無電力で安定した微量送液を実現できる技術を目指している (T. Fukuba *et al.*, 2023)。具体的には、環境水圧を減圧し、連続的にサンプル海水を計測系に供給するためにガラス製のマイクロ流体デバイスを試作し、評価を進めてきた(福場, 2024) (図4)。さらに取り込まれた海水を用いて分析試薬の間接的な送液を実現するため、3Dプリンタで製作した小型のプラットフォームを用いており、これまでにpH-ISFET等と組み合わせて現場校正を可能とする機構を実現し、評価を行ってきている (T. Fukuba, 2025)。

生態系の解明には生物と環境の複合同時観測が不可欠である。より広範囲に、高密度に、低コストでそれを可能にするためには新たな技術体系の積極的な導入と、それによる観測技術の革新と実用化が求められる。ここでは、LoC技術と3Dプリント技術、そしてそれらの融合によって実現をめざす海洋生物多様性と環境の可視化と解析に向けた研究開発の取り組みを紹介する。

【参考文献】

T. Fukuba, “Application of Ambient Pressure-Driven Pumping Technology for Underwater pH Measurement” Underwater Technology 2025 (UT25, Taipei, 2025), Accepted

福場辰洋, 小林陽子, 濱崎恒二, 「12 連 eDNA サンプラーの開発と実用化に向けた改良」第 7 回環境 DNA 学会つくば大会（つくば, 2024.12.2）要旨集 p. 11, 2024

福場辰洋, 「海洋環境の水圧を利用した無電源送液技術の展開」第 41 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（仙台, 2024.11.26）26A3-PS-20 (S-159), 2024

T. Fukuba, M. Bergaud, S. Grall, S. Li, S- H, Kim, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, N. Clément, “Application of Ambient Pressure-Driven Pumping Technology towards Ultra Low-Power Underwater Sensing”, UT’23 (Tokyo, 2023. 3.6-9), Proceedings pp. 227-231, 2023

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



図 1 12 連 eDNA サンプラー



図 2 深海用 eDNA サンプラー



図 3 小型 eDNA サンプラー



図 4 船上用 eDNA サンプラー

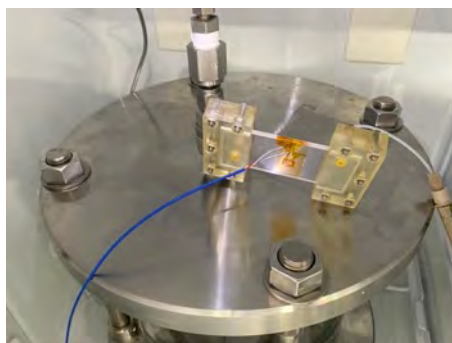


図 5 ガラス製マイクロ流体デバイスの評価の様子

フリーフォール中における白鳳丸ウインチワイヤー (No. 1, No. 4) の挙動

石垣秀雄 (東京大学大気海洋研究所)

白鳳丸には5つのウインチ (No. 1~No. 4, No. 8) が常設されている。このうち No. 1, No. 4, No. 8 ウインチにはワイヤーが巻かれている。ワイヤーを用いた観測では、基本的にスイベルを使用するので、観測中に撚りが溜まる可能性が低い。一方、No. 2, No. 3 ウインチにはケーブルが巻かれている。ケーブルを用いた観測では、基本的に電気信号を伝える観測となるのでスイベルを使用することができず、観測中に撚りが溜まる可能性が高い。したがって、ワイヤーを使用する航海ではフリーフォールを実施しないが、ケーブルを使用する航海では航海終了時にフリーフォールを実施する (海況が悪いなどの理由で実施されない時もある)。

1年に1度実施されるドック工事終了後の性能確認試験航海において、ワイヤー (No. 8 ウインチワイヤーを除く) およびケーブルのフリーフォールが実施されることがあるが、他の試験が優先されることや海況が悪いなどの理由で、毎年実施されるとは限らない。つまり、No. 1, No. 4 ウインチワイヤーに撚りが溜まっている可能性は否定できない。そこで、KH-24-2 次研究航海において、No. 1, No. 4 ウインチワイヤーに LADCP を取り付けて回転数を計測し、ワイヤーの状態を調査した。

ワイヤーの撚りにはZ撚りとS撚りの2種類がある。これら2種類の呼び方は、基本的にワイヤーの素線1本ごとに入っている撚りの方向を示す場合に使用されるが、ここではワイヤー全体に入る撚りの方向を示す場合にも使用することにする。つまり、Z撚りおよびS撚りのそれぞれには2つの意味が含まれることになるので、素線自体の撚りを示しているのか、ワイヤーの全体に入っている撚りを示しているのか、正確に認識する必要がある。

ワイヤーに張力が掛かることで、その撚りが取り除かれる方向に回転することが一般的に知られているが、これについても同様に考えることができる。つまり、素線自体の撚りが取り除かれる方向への回転なのか、ワイヤー全体の撚りが取り除かれる方向への回転なのか、正確に認識する必要がある。

本発表では、No. 1 および No. 4 ウインチワイヤーのフリーフォールで得た結果を示し、ワイヤーの挙動を示す要因について考察する。No. 1 に関しては、2024 年度のドック工事でワイヤーを新替えしているので、そのことも踏まえて考察する。



白鳳丸 No. 1 ウインチワイヤー



白鳳丸 No. 4 ウインチワイヤー

JAMSTEC サンプルの活用を促進するメタデータ管理

○一柳麻里香・久積正具（マリン・ワーク・ジャパン），
伊勢戸徹・川上創・福田和代（海洋研究開発機構）

海洋研究開発機構(以下 JAMSTEC)は、生物・岩石・堆積物コア・海水など様々なサンプルを採取し研究を行っている。近年、サンプルの取扱いにおいて、安全保障輸出管理、研究インテグリティや生物多様性条約への対応など、リスクマネジメントの実施が必要となり、これまで以上にサンプルのメタデータ管理が重要視されている。本発表ではこれまで実施してきたサンプル管理で用いているデータベース「JAMSTEC サンプルデータベース(以下 JSDB)」へのサンプルに関する情報の登録と品質管理について紹介する。

JSDB は、提供された「岩石」「生物」「コア」「その他*」サンプルのメタデータを各サンプルで共通する項目と各サンプル特有の項目に分類し、合理的にデータを管理するシステムである。また、サンプルの保管場所、研究成果である文献や分析データ、他のデータベースへのリンク及び提供情報なども登録可能で、サンプルに関する情報を関連付けて管理できる。

今までの JSDB へのサンプルメタデータ登録は、JSDB 登録用データセットを作成してデータ入力している。JSDB のデータ項目はメタデータシート of データ項目より細分化しており、JSDB 登録用データセットの作成では、該当するデータをサンプルメタデータシートより抽出し、適合するデータに整形及び変換している。サンプルメタデータシートに含まれない航海や課題に関するデータは、船舶のメタデータシートやクルーズレポートより抽出している。このように、JSDB へのデータ登録には、各サンプルの基本的知識及び船舶搭載機器や採取機器に関する幅広い知識が要求されていた。

しかしながら今後は、JSDB の機能改修により各サンプルのメタデータシートを直接取り込むことが可能となるため、登録作業の簡易化が見込まれる。それにより、研究者によるメタデータの登録や更新が増加し、登録情報の適正化・更新の即時性が期待される。加えて、輸出管理や条約に関する情報を登録し、サンプルに関わる情報を集約することで適切なサンプル管理が可能となる。

JAMSTEC に所属するサンプルの情報は、定められた公開猶予期間に沿って JAMSTEC が運営する DARWIN や BISMAL で Web 公開している。公開する情報は、JSDB より抽出し、公開サイトのデータフォーマットに合わせてデータの整形を行っている。サンプルのメタデータを JSDB に集約することで、公開作業の効率化と情報発信の即時性を高めている。サンプル情報の公開は、第三者からのサンプルへのアクセスを可能にし、共同研究や展示協力の機会を増やしている。

このように、一元化されたサンプルのメタデータ管理によって、適切なサンプルの利用や提供を進め、サンプル活用の促進が期待できる。



JSDB のトップ画面

観測番号: Y23-105

ID	On board ID	Date Collected				Latitude			Longitude			Depth [m]	Area	
		YYYY	MM	DD	HH:MM:SS	Dec	Min	Sec	Dec	Min	Sec			
1	船上機 (サンプリング)	観測日時				緯度(60進法)			経度(60進法)			観測水深	海域	
[01]	6041659-R01	2023	06	09	3:00	.327	12	121.234	N	133	121.234	E	2389	Nankai
[02]	Y099-S01-02-R02	2023	06	18	10:00	.467	11	34.590	N	139	45.670	E	1234	Nankai
1	6041659_R01-1	2023	06	17	3:39:05	UTC	33	54:702	N	135	59:5253	E	2735	Nankai
2	6041659_R01-2	2023	06	17	3:39:05	UTC	33	54:702	N	135	59:5253	E	2735	Nankai
3	6041659_R01-3	2023	06	17	3:39:05	UTC	33	54:702	N	135	59:5253	E	2735	Nankai
4	6041659_R02	2023	06	17	3:43:35	UTC	33	54:678	N	135	59:5253	E	2735	Nankai
5	6041659_R04	2023	06	17	3:45:20	UTC	33	54:678	N	135	59:5253	E	2735	Nankai
6	6041659_R05	2023	06	17	4:04:54	UTC	33	54:652	N	135	59:5073	E	2735	Nankai

岩石サンプルのメタデータシート抜粋

*「その他」サンプルは、2024 年度より JSDB への登録とデータの公開を開始。

GIGA スクール特別講座～教室から深海探査につながろう！～開催報告

○吉澤理・市原盛雄・野牧秀隆・小林香苗・磯部紀之・宮崎征行・福山宥斗・荻田善之・中條秀彦
・野田澤篤人・池上文香・石井将人・磯野哲郎・田村貴正（海洋研究開発機構）

文部科学省が主催する「GIGA スクール特別講座～教室から深海探査につながろう！～」を実施するため、新青丸 KS-22-J01 航海（レグ 2）において、無人探査機「ハイパードルフィン」潜航の様子を各地の学校にライブ中継するオンライン授業を 2022 年 1 月 18 日に実施した。

特別講座では、無人探査機「ハイパードルフィン」による深海調査の様子、相模湾初島沖のシロウリガイコロニー近傍の環境、生息する生物の特徴、深海での生分解性プラスチックの分解実験などについて、臨場感のある実際の洋上、深海での調査現場と中継しながら研究員による講義を行った。また、横浜市立大道小学校 5 年生（51 名）は JAMSTEC 横須賀本部に来訪して受講した。

学校でのタブレット端末を活用したインタラクティブな学習環境を活用し、オンラインで実施したクイズへの回答数が 2 万 4 千件、また研究者に寄せられた質問・メッセージ数は 1 万 1 千件を超える大きな反響があった。児童生徒から寄せられた質問は、講座後も専用のポータルサイトに回答を掲載し、各校での事後学習に活用された。特別講座の様子は、JAMSTEC のウェブサイト公開した。

<https://www.jamstec.go.jp/j/pr-event/giga-jamstec/>

文部科学省が推し進める GIGA スクール構想に寄与する特別講座の実施に協力することで、先進的な教育行政に海洋分野から貢献する意義深い取り組みとなった。今回取り組んだ経験は、その後の企画や技術の向上を経て、2024 年に IODP 第 405 次研究航海（JTRACK）において地球深部探査船「ちきゅう」乗船研究者が全国各地の科学館等の子供たちと直接交信して海洋科学技術を学ぶ中継イベントの計画や、現在 JAMSTEC が取り組んでいる海洋 STEAM 事業の教育現場への推進に生かされている。



海底圧力計と海洋モデルを用いた

2024 年房総スロースリップによる海底上下変動の抽出

○金澤志旺・佐藤利典（千葉大）、碓氷典久（気象研）、中東和夫（東京海洋大）
山田知朗・篠原雅尚（東大地震研）

1. はじめに

スロースリップ（SSE）は、GNSS 観測が始まった 1990 年代後半以降に世界各地で発見された地震波を出さずに断層やプレート境界等がすべる現象である。それまでは、プレート境界は、地震時に急激にすべるか、プレート運動速度で定常的にすべるかのどちらかであると考えられていたが、SSE のように、間欠的にプレート運動速度より速くすべる現象もあることが認められた。SSE を調べることは、プレート境界での応力蓄積・解放過程の多様性を理解する上で重要である。また、SSE は、周辺の大地震を起こす領域と関係があるという研究もあり、大地震の発生予測という面でも SSE の調査は重要である。

プレート境界の SSE の多くは、海底下で発生している。これを連続的に観測するために、海底圧力計（OBP）による上下地殻変動観測が行われている。海底での圧力変化には、SSE による海底の上下変位以外に、潮汐、海洋変動、海底の季節変動、周辺の大地震の余効変動などによる変化が含まれる。SSE に由来しない変化を除去するため、これまで様々な方法が提案されてきた。観測点の平均を引く方法（e.g. Suzuki et al. Tectonophysics, 2016）、海洋モデルを用いる方法（e.g. Inazu et al. Marine Geophys Res, 2012）、パラメトリックモデルを当てはめる方法（e.g. Sato et al, GRL, 2017）、深さが近い観測点同士の差を取る方法（e.g. Inoue et al. GRL, 2021）などがある。Sato et al. (GRL, 2024) は、海洋モデルと観測データに、マルチチャンネル特異スペクトル解析(MSSA)を適用し、観測データから海洋変動をよりよく除去する方法を開発した。本研究は、この方法を、2024 年 2～3 月に発生した房総スロースリップに適用し、SSE 発生時の上下変動の抽出を試みる。

2. 観測と解析方法

OBP の観測は、房総半島の南東沖において、2022 年 9 月から 2024 年 7 月の間、東大地震研の OBP6 台で実施した。設置は第二開洋丸（海洋エンジニアリング）、回収は神鷹丸（東京海洋大）と新青丸（海洋研究開発機構、KS24-13）で行った。

解析では、まず 1Hz サンプリングを 1 時間サンプリングにし、Baytap08 (Tamura & Agnew, 2008) を用いて海洋潮汐を除去した。これの 1 日平均を取り、さらに 7 日移動平均を取って、1 日 1 点のデータとした。このデータと気象研が開発した海洋モデル（MOVE/MRI.COM-JPN）に対して、MSSA を適用した。MSSA は、複数のチャンネル間を似た成分に分解する方法である。各成分でデータと海洋モデルの相関を取り、相関の良いもののみを用いて海洋モデルを再構成した。これは、海洋モデルから観測データをよく再現できている成分のみを取り出すことで、海洋モデルの不完全さを補償していることに相当する。観測データから再構成した海洋モデルを差し引くことで、よりよく海洋変動が除去できる。海洋変動を除去したデータに海底の季節変動や SSE による変動等を表したパラメトリックモデルを当てはめることにより、SSE による変動を抽出した。

3. 結果

現在解析中であるが、季節変動と SSE の変動を表したパラメトリックモデルの当てはめから、すべりの中心と思われる付近でわずかに隆起、その周辺ではほぼ変動なしという結果となった。これは、2018 年の房総 SSE と比べると変動が小さく、2024 年の房総 SSE は、規模が小さかったことを示唆する。

謝辞

本研究の遂行にあたり、海洋研究開発機構「新青丸（KS24-13）」、東京海洋大学「神鷹丸」、海洋エンジニアリング（株）「第二開洋丸」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(23K03541)の補助を受けました。

JAMSTEC 船上重力計公開データの再整備

○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・福田和代（海洋研究開発機構）

1. はじめに

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、研究船に搭載されている多様な観測装置で取得された地球物理・海洋物理化学・気象データを航海毎に処理・品質管理の上、「航海・潜航データ・サンプル探索システム」（DARWIN；<https://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/ja/>）から公開している。船上重力計で取得された海上重力データもその一つであり、ユーザーがすぐに利用できるよう船上重力計で計測した相対重力値を絶対重力値に変換し、フリーエア重力異常値を算出したものを公開している。また、絶対重力値への変換前には各種の補正を行っているほか、一定の基準で信頼性の低いデータを除去する品質管理を行っている。年間 50～100 に上る航海のほぼ全てで船上重力計を稼働させており、それらのデータを処理して公開する労力は少なくないが、重力結合作業も出来る限り実施し、フリーエア重力異常値としての公開を目指している。本発表では、JAMSTEC のデータ公開部署にてどのように重力結合、データ処理、品質管理を行っているかを紹介するとともに、日本近海の海上重力データをコンパイルした際に見つかった問題点と、その対応として実施した船上重力計データの再整備について紹介する。

2. 船上重力計処理済みデータの問題点と対応

JAMSTEC データ公開部署では、2001 年度以降に取得された航海の船上重力計データのうち、748 航海の処理済みデータを公開している（2024 年 11 月末現在、図 1 に航跡図を示す）。船上重力計で取得した相対重力データは、寄港岸壁での重力結合処理を実施し、ドリフト補正とエトベス補正を施した後、絶対重力値へと変換し、フリーエア異常値を算出している。また、小泉ほか（1994）および Fujiwara et al.（2006）を参考に、品質管理基準としてフリーエア重力異常値の水平勾配が 10 mGal/km 以上を超える場合、エトベス補正值の変動が 3 mGal/min の場合を信頼性の低いデータとして除去している。その後、衛星重力モデルとの比較ならびに同航海内でのクロスポイントにおける値の比較等を行い、海上重力データとして齟齬がないことを確認した上で公開・提供している。しかしながら、過去のデータ処理においては岸壁絶対重力値の入力や相対重力値の読み取りを手作業で行っていた時代があり、誤入力が発生していた。また、衛星重力モデル等との比較を行っていなかった時代もあり、前述の誤入力や機器の異常を発見できないまま公開していたケースも存在した。

そこで今回、日本近海の JAMSTEC 船上重力データのコンパイル作業を行い、そのデータの品質を再確認するとともに、国土地理院公表の重力異常データ（重力異常データ 日本とその周辺（Ver. 1））との比較を行うことにより、不適切な処理が行われているデータや機器不調等による不良データを抽出し、修正を行った。具体的には、各航海データの測定点におけるフリーエア重力異常値に対して、国土地理院公表重力異常データから近傍点のフリーエア重力異常値を抽出し、その差が 20 mGal 以上である数をカウントした。航海全期間に対して 1%以上のカウント数が見られる航海については、品質を再チェックし、不適切な処理が行われている場合は再処理を行った。また、機器不調やデータの異常が発生していた場合は当該期間を削除する対応を行った。最後に 10 mGal コンターのフリーエア重力異常図を作成し、航跡が浮き出るような不整合が残る航海データを特定しその原因調査と修正、再処理を行った。

3. 結果

前項の修正を施したところ、10 mGal コンターのフリーエア重力異常図は図 2 の（a）から（b）へ変化し、データ品質の改善が見られた。データ品質の改善度合いについて議論するため、異なる航海データで互いに交差する測線を抽出し、その二乗平方根交点誤差（RMS COD：root mean square crossover difference）を算出したところ、修正前と修正後の RMS COD は図 2 に示した常磐沖では 17.0 mGal から 4.6 mGal に大きく改善していることを確認した。

当日の発表では、公開済みであり修正が必要であった航海データの差替え状況を報告するとともに、別途公開を予定している日本近海のコンパイルデータについて紹介する予定である。

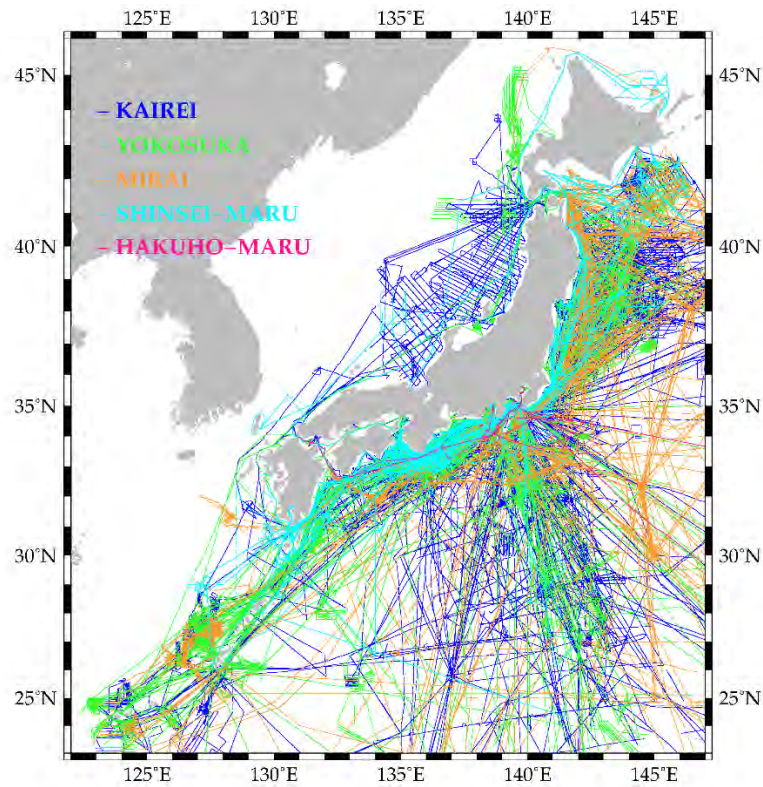


図1: JAMSTEC船上重力計公開データの航跡図 (2024年11月末現在)

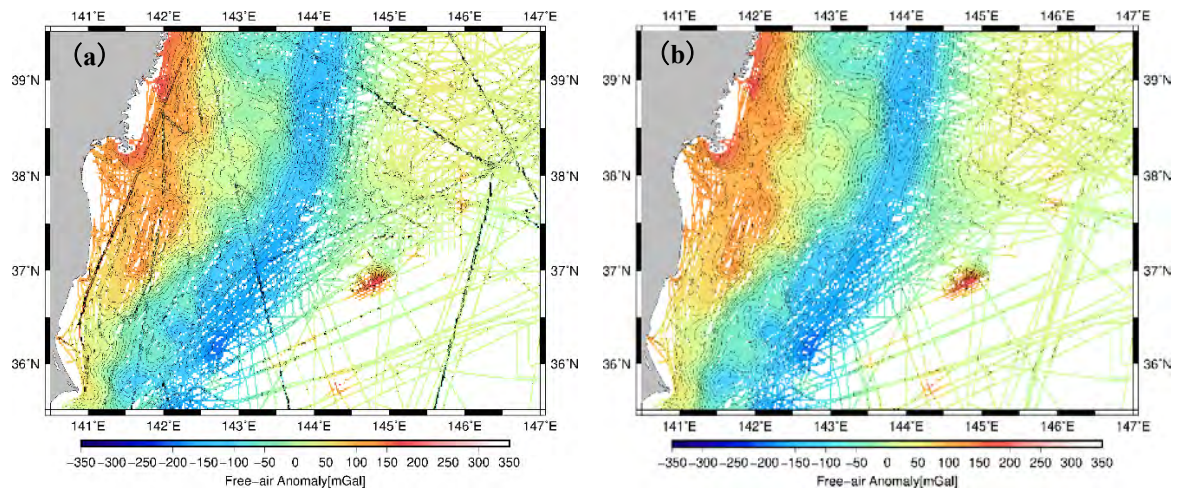


図2: 修正前後のJAMSTEC海上重力公開データによるフリーエア重力異常図 (10 mGalコンター)

(a) 修正前 (b) 修正後

参考文献

- 小泉 ほか (1994): 瀬戸内海における海上重力測定, 測地学会誌, 第40巻 第4号, 333-345.
- Fujiwara et al. (2006): Gravity and Magnetic Constraints on the Crustal Structure and Evolution of the Horeki Seamount in the Izu-Bonin Arc, JAMSTEC Rep. Res. Dev., 4, 55-65.
- 国土地理院 (2024): 重力異常データ 日本とその周辺説明書, https://www.gsi.go.jp/butsuri/data/manual_GSIANO.pdf

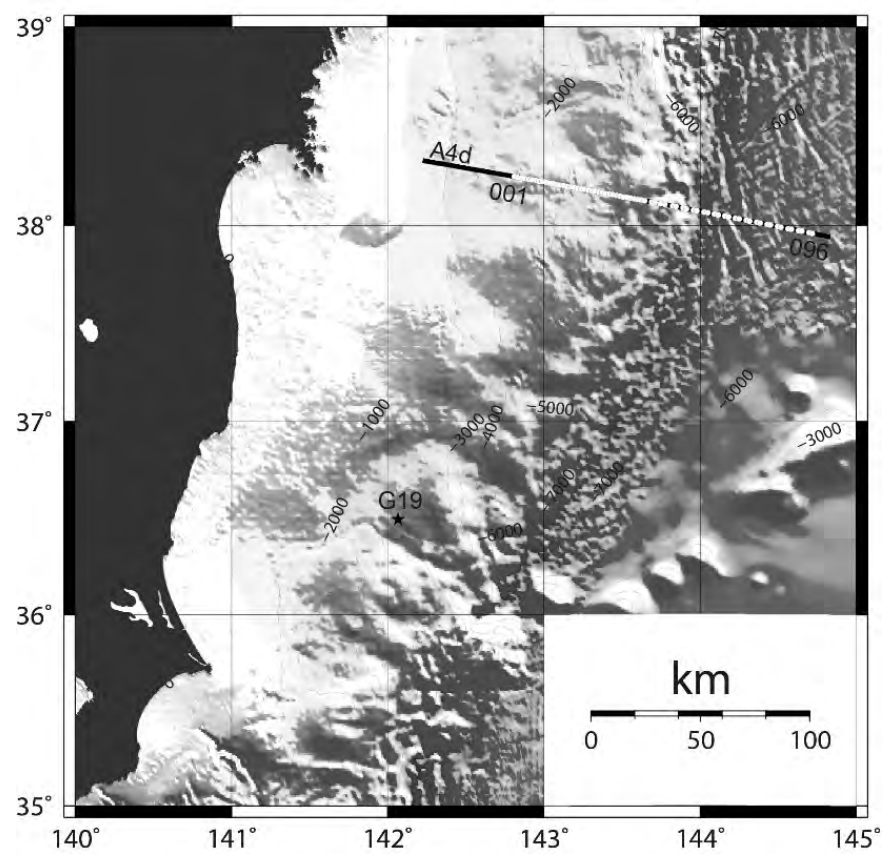
日本海溝中部における構造調査：KM24-04 航海報告

○三浦誠一・三浦亮・海宝由佳・藤江剛・中村恭之・飯沼卓史（海洋研究開発機構），
木戸元之・富田史章（東北大学）

海洋研究開発機構では、千島・日本海溝で発生する地震現象を理解しプレート間固着・滑りの推移予測を行う上で必要となる、千島海溝域や東北地方太平洋沖地震の震源域、およびそれに隣接する日本海溝北部や南部域のプレート沈み込みの様相など広域構造把握を目指す、大規模2次元構造調査観測研究を実施してきている。その一環として、東北地方太平洋沖地震のすべりが大きかった日本海溝中部において、2024年5月から6月にかけて海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」によるKM24-04航海を実施した。航海中には海底地震計（OBS）70台の設置を行って、OBS向けに最大10600立方インチの大容量エアガン発震を行うとともに、5.5kmのストリーマーケーブルを用いた大規模2次元マルチチャンネル反射法（MCS）探査を実施して、OBS20台を回収した。残りのOBSの回収は2024年7月に備船航海で実施した。OBSは2km間隔という稠密間隔で設置し、一部は既存測線のOBS6km間隔の間を補うように設置した。これは本航海と既存のOBSデータを統合して波形インバージョン解析を行い、従来の波線解析だけではとらえられない微細な不均質構造を把握するものである。そしてMCSによる地下構造イメージと合わせて、プレート境界や前弧域および海溝海側における変形や低速化による含水化といったプレート固着状態やプレート変性など地震現象に直結する構造要因をとらえるものである。また本航海の測線は国際深海科学掘削計画（IODP）405次航海（JTRACK）による掘削地点に近接しており、JTRACKの掘削による物質科学の研究と本航海で取得したデータによる研究との統合研究によって東北地方太平洋沖地震破壊域周辺の実態解明を行うことが可能となる。

東北地方太平洋沖地震の際に大きな変位を観測した海底地殻変動について、時間が経つにつれて変化が生じてきており、プレート間の固着状態の変化を表していると考えられている。この変化をとらえ余効すべりやプレート間固着状態の変化を把握するため、「かいめい」に装備された地殻変動センサー（船底トランスデューサー）および地殻変動観測用GNSSアンテナを用いた、音響測距結合方式による地殻変動観測（GNSS-A）を1観測点で行った。

本発表では航海概要とMCSおよびOBSのデータ例や予備的な解析結果等について報告する。



KM24-04 航海で設置した OBS (001-096)、MCS 測線 (A4d) および地殻変動観測点 (G19)

海陸統合地震探査による日高衝突帯深部構造の解明

○津村 紀子（千葉大学）、村井 芳夫（北海道大学）、馬場 久紀（東海大学）、佐藤 利典（千葉大学）、蔵下 英司・篠原 雅尚（東京大学）、阿部 信太郎（（財）地震予知総合研究振興会）、内田 康人（北海道立総合研究機構）、石井 拓也（千葉大学）、中尾 風佐（川崎地質(株)）、松本 和也（（株）日光堂）、浅田 拓海（室蘭工業大学）、大上 隆史（産業総合技術研究所）、安藤 美和子・田中 伸一（東京大学）、井戸口 愛菜・高本 慶太郎（東海大学）、平松 知也（（独）エネルギー・金属鉱物資源機構）、百本 直輝（東京電力）、山中 悠資（東京大学）、中垣 達也（北海道大学）、山花 弘明（東京大学）、笹川 陽二郎・小貫 隼人・柴田 早希・安原 一晟（千葉大学）

1. はじめに

日高衝突帯の深部構造は反射法地震探査や自然地震波形の解析からいくつか推定されているものの、深さ 40 km 以深については統一的な解釈が得られていない[e.g. Tsumura et al., 1999; Kita et al., 2012]。本研究では、主に反射探査の結果から Tsumura et al. (1999) が提唱した、東北日本弧に衝突した千島弧地殻が裂けて下部地殻の一部が深部に沈み込む剥離が起こっているという作業仮説を検証する。そのため、浦河沖でのエアガン発震を陸域で受信する海陸統合探査を行って、既存反射断面では連続性が追えなかった剥離構造深部からの反射波を捉え、島弧間衝突の境界形状を約 50 km の深度まで明らかにすることを目指した。

2. 海陸統合地震探査

2023 年 10 月 16 日～11 月 14 日まで、北海道浦河町から大樹町までの国道や林道沿いなどに約 250m 間隔で、210 点の陸上受信点を設置した(図 1)。測線のうち 180 点は固有周波数 4.5Hz の GeoSpace 社製 3 成分地震計 GS-11D、さらに測線の西半分には 30 点、約 1 km 間隔で固有周期 1 Hz の Renartz 社製 3 成分地震計 LE-3DLite MarkIII を置き、GeoSpace 社製のデータロガーGSX でサンプリング周波数 250Hz で地動データを現地収録した。

海域での探査は東京大学大気海洋研究所白鳳丸共同利用研究航海（KH-23-8：2023 年 11 月 8 日～12 日）により実施された。海域測線は浦河の沖合い北東―南西直線上に設定され、測線の全長は 50 km、測線北東端が陸域観測点の南西端から約 30 km に位置する。海域測線下には 2.5 km～10 km の間隔で 8 台の海底地震計も設置された。11 月 9 日～10 日に 1500cu. in のエアガン 4 台を 4 ノットで曳航しながら図 1 の Line1 および Line2 を往復し、75 秒間隔（約 150m 間隔）で発震を行った。発震総数は 1039 である。

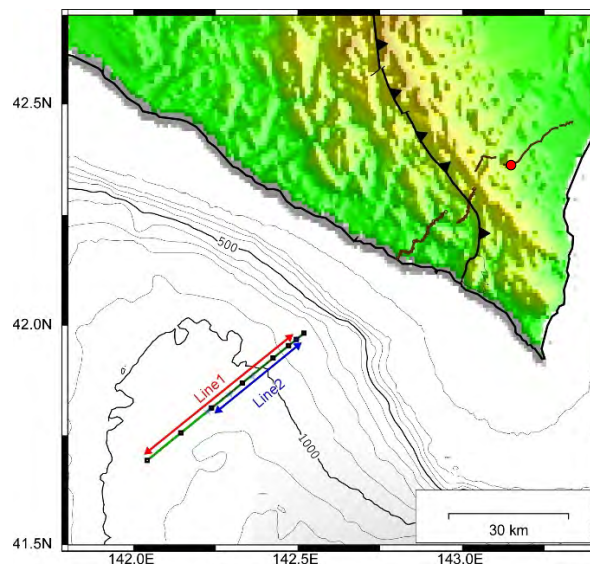


図 1 海陸統合地震探査測線
図中の赤丸は図 2 の観測点記録を取った受信点の位置

3. 観測結果

陸域で観測された波形を観測点記録として並べると、南西端の観測点では海域発震測線の全領域で撃ったショットの初動が往復走時 10s~22s 付近に見いだせた。図 2 は日高山脈の東側にある受信点（図 1 の赤丸）で得られた観測点記録である。初動は走時 16~22 秒付近に明瞭に見られ、往復走時 25~26 秒付近には断続的に反射位相が、またそれよりも早い往復走時 20 秒付近にもいくつか反射波が見られた。これらの位相はその走時から、東北日本弧内の下部地殻相当の深度に反射面からの波および解析地域下に沈み込んだ太平洋プレート上面付近からの反射波がである可能性が考えられる。

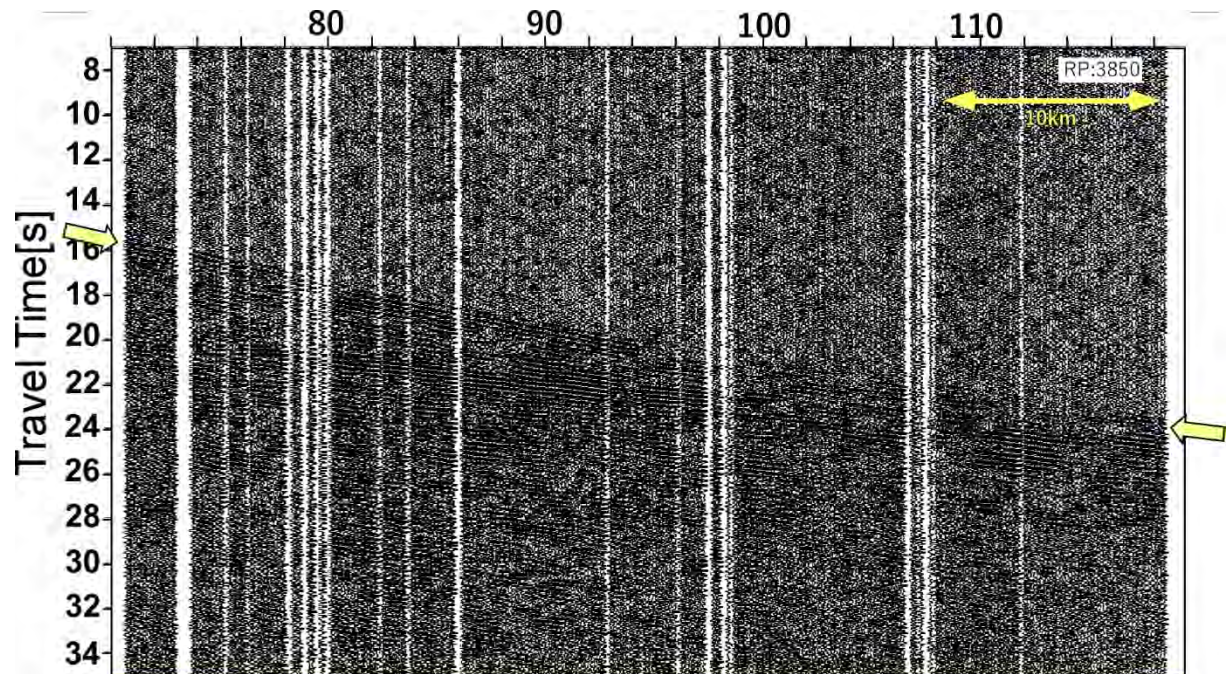


図2 図1の赤丸の受信点での観測点記録 横軸は震源からのオフセット距離

謝辞： 本研究の海域探査は東京大学大気海洋研究所学術研究船白鳳丸共同利用による研究航海（KH-23-8）により実施されました。また、東京大学地震研究所共同利用(2023-B-04)の援助を受けました。

新青丸 KS-23-6 次航海の成果に関する発表

○鹿児島 渉悟（富山大学）、新青丸 KS-23-6 次航海乗船者・関係者

海溝海側のアウターライズではプレートの沈み込みに伴う屈曲により浅部に伸張応力場が生じ、地殻を断ち切る正断層群が発達して地塁・地溝構造が形成され、正断層型の地震（アウターライズ地震）が海洋プレート内部で発生する。大規模なアウターライズ地震は海溝型巨大地震に連動して発生することが知られている。2011 年東北地方太平洋沖地震後には大規模アウターライズ地震が生じておらず、その切迫度は増しているが、アウターライズ巨大地震の発生メカニズムに関する知見は極めて不足している。新青丸 KS-23-6 次航海は、日本海溝海側の断層近傍における地球物理学・地球化学的観測を通じて、流体循環の規模と断層の活動履歴を調査することにより、流体循環がアウターライズ巨大地震に与える影響の解明に貢献することを目指して、2023 年 4 月 19-26 日の日程で実施された。

本研究では三陸沖・日本海溝海側の断層近傍において堆積物コアおよび堆積物中の間隙水試料の採取・分析、地殻熱流量の測定を実施し、海底下の流体循環などに関するデータを収集した。採泥はピストンコーラーを用いて実施した。また、アウターチューブに温度計を装着することによって、着底時に地殻熱流量測定用の温度データを収集した。研究期間中は海況不良に見舞われて観測計画の大幅な変更を余儀なくされたものの、船長・乗組員・乗船研究者の皆様の協力により 2 点での採泥に成功し、大変感謝している。

得られた試料の分析項目の一例として、間隙水に含まれる希ガス濃度・同位体組成が挙げられる。流体の起源や循環を推定する上で、化学的に不活性でマントル起源物質の混入に敏感な ^3He は有用なトレーサとなる。Park et al. (2021) は日本海溝アウターライズにおける間隙水中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を観測し、その空間分布などを基に、同地域でモホ面を横切るような流体循環像が存在する可能性を示した。しかしながら流体循環像の空間的広がりや時間変動についてはデータが限られているため、ほとんど議論されていないのが現状である。本研究では間隙水中の希ガス分析を実施するため、揚収した堆積物コアを船上で 1 m ごとのセクションに分割した後、さらに各 1 m セクションの中央 30-40 cm を切り出した。切り出した 30-40 cm セクションの上下断面に塩ビ製の蓋を取り付け、コア台に固定したのち電動ドリルを用いてコアチューブの側面に穴を開けて、そこに銅管サンプラーを装着した。この状態で油圧ジャッキを用いて上下の蓋をコアチューブ内に押し込むことによって、側面の穴から出てきた堆積物を銅管サンプラー内に抽出した。堆積物試料を抽出後、銅管サンプラーの両端を鋼鉄製のクランプで挟んで封印した。大気成分による汚染を極力避けるため、以上の作業をコア揚収後に船上で速やかに実施した。その後の試料処理と測定は東京大学大気海洋研究所で実施した。遠心分離法により堆積物から間隙水を抽出した後、真空容器を接続した状態で銅管を開放することによって、間隙水に含まれる溶存ガスを真空容器内の気相へと抽出した。得られた気相を真空ラインに導入し、精製後に四重極型質量分析計で $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を、希ガス用質量分析計 Helix SFT で $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を測定した。得られた試料のデータは、大気および大気と平衡させた純水 (air-saturated water) の測定値に対して規格化を行った。白鳳丸 KH-20-8 次航海、KH-22-6 次航海などにおいても、当該海域における間隙水中の希ガス濃度・同位体組成のデータを収集しており、それらと比較することによって、2019-2023 年において Park et al. (2021) の観測点 PC7 における間隙水中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は継続的に空気よりも高く、最も高い層で 5 R_a (1 R_a : 空気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) 程度の値を示すことが分かった (鹿児島ほか, 2024)。これは採取深度よりも深い層に、より高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つリザーバが存在し、日本海溝アウターライズの断層における流体循環が、マントル起源物質を継続的に表層へと供給している可能性を示唆している。

本発表では、新青丸 KS-23-6 次航海の観測内容と上記のように得られた成果について、さらなる紹介を行いたい。

(参考文献)

Park et al. (2021) Scientific Reports 11, 12026.; 鹿児島ほか (2024) JpGU 2024, SCG52-03.

深海底近傍における乱流強度の実測、推定法、可視化技術の開発 II ～MR23-03 航海で取得した ADV データを用いた乱流推定～

○古島靖夫（海洋研究開発機構）、長尾 正之（産業技術総合研究所）・田中 衛（東京理科大学）

深海底近傍における乱流の直接計測とその動態把握は、近年、活発化している海底鉱物資源開発時における環境影響を評価するための重要な環境因子の 1 つとして注視されている。なぜなら、開発時の掘削や揚鉱過程において発生する濁質水（プルーム）は、海底近傍の混合（乱流）環境によって懸濁粒子の拡散・巻上や再堆積を引き起こし、開発区周辺の環境や生態系に負の影響を及ぼす可能性があるからである。国際海底機構（ISA）が 2013 年に発表した海底資源開発に関わる環境影響評価ガイドラインでは、海洋物理学的なベースライン調査の推奨事項として、水柱全体の乱流と鉛直渦拡散率を定量化する必要性が示されている。さらに、2020 年の改訂版では、潮汐サイクルに合わせた複数回の乱流計測が理想であることも示された。我々は、海底資源開発における EIA（環境影響評価）技術として、VMP-X（投下式乱流微細構造プロファイラー）を導入し、深海底近傍の乱流データの直接計測を SIP プロジェクト第 I 期において開始した。しかし、海底近傍における乱流データを時系列的に直接計測することは、技術的にも特に財政的にも難しかった。そこで、我々は、高精度な超音波流速計のデータを用いて、海底近傍における乱流強度（乱流運動エネルギー散逸率： ϵ ）を推定する方法を開発し、産総研と JAMSTEC と共同で特許（特願 2021-140907）を出願した（審査中）。

本報では、科学掘削が予定されていた伊豆小笠原海嶺の東青ヶ島海丘と九州パラオ海嶺の駒橋海山において、海底設置型フリーフォールランダーシステム（以下、ランダー）を用いて、深海底近傍における乱流強度の推定値および環境、映像データ等を取得し、海底環境が異なる両海域海底における乱流強度の変動と周辺環境との関りを示し、今後の環境影響評価技術開発への適応について検討した。ランダーの設置および回収は、MR23-03 航海で実施した。

東青ヶ島海穴の海底近傍における乱流強度（ ϵ ）は、観測地点の北側に存在する熱水噴出域からの

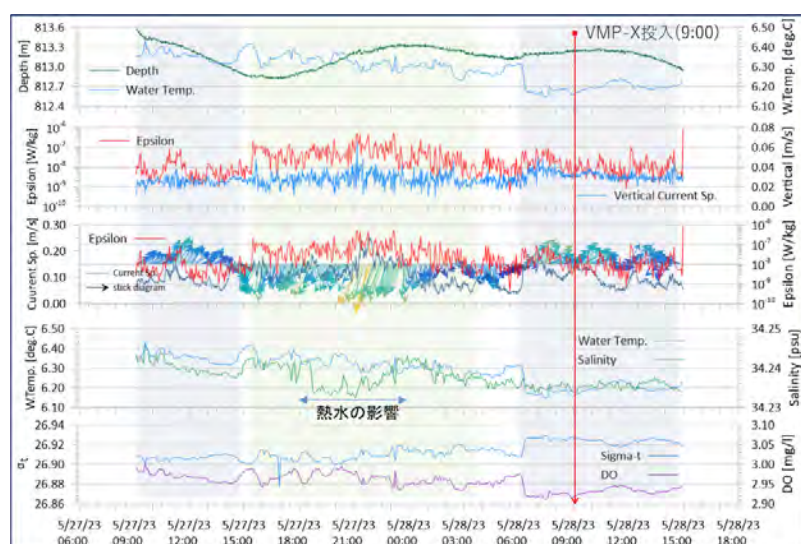


図1 東青ヶ島海穴における海底近傍における乱流強度と環境データの時間変

の熱水および複雑な海底地形の影響を受けていることが示唆された（図 1）。一方、マンガン団塊の平原であった駒橋海山では、乱流強度（ ϵ ）が海山の尾根に沿った北西流が強いときに強まることから、潮汐による流れの強弱の影響を受けていることが示唆された。これらの結果は、人為的大規模開発を行う際に必要な環境影響評価において、懸濁物質の拡散や再堆積の環境影響を評価する際は、海底近傍の混合環境を制御する環境因子を明らかにすることが重要であることを示唆した。本報で示

した海底近傍における乱流強度推定法によるベースラインデータ取得の調査技術は、ISA 環境ガイドラインにおける乱流強度を得る具体的かつ効率的な技術となり得ると考えられた。引き続き、乱流計を用いて得られる海底近傍の乱流（強度）データと超音波流速計による測流結果から推定された乱流強度データをベースラインデータとして蓄積すると共に、数値予測モデルへの適用法も含めて検討することが重要である。さらに、「深海底近傍における乱流強度の推定法」の一般向けプログラム開発が必要である。

伊豆諸島火山活動把握のための調査観測航海－YK23-02 航海概要－

○田中聡・羽生毅・中島倫也（海洋研究開発機構）

伊豆大島は1986年、三宅島は2000年に大規模な噴火を経験して以来、それぞれ38年と24年が経過している。過去100年から200年間にわたるこれらの島の噴火周期を考慮すると、次の噴火に対する懸念は高まっていると言わざるを得ない。このような状況の下、伊豆大島から三宅島にいたる海域で地球物理観測を実施する場合に備え、データのリアルタイム伝送能力を評価するために、YK23-02航海ではウェーブグライダーから撮影した伊豆大島の動画の伝送、伊豆大島や三宅島近海における携帯電話のキャリア強度測定を実施した。さらに、今後の航海においてピストンコアによる採泥に適した地点を選定するために、三宅島東方および伊豆大島南西海域において反射法等による浅部構造調査を実施した。

1. ウェーブグライダーからのデータ伝送

遠洋の離島と異なり、伊豆大島には携帯電話通話網が整備され、海上においても通信・通話が可能である。そこで、本航海では従来の衛星通信ではなく、携帯電話網を利用したWiFiルーターを用い、Webカメラ（両側面にATOM-Cam2を1台ずつ、船尾にATOM-CamSwingを据えつけ）で撮影した14秒長動画や、Spatialで測定した位置・揺動情報などをリアルタイムで陸上のサーバーに伝送する装置をウェーブグライダーのフロート内に装備した。この装置の電源にはリチウム電池を用いた。

航海時期は真冬であったにもかかわらず、時々東風も吹き、AISを搭載しない漁船やレジャーボートが伊豆大島周辺海域を多数航行していたため、当初予定していたウェーブグライダーを航海初日に投入して数日間海域を離れるという計画を取りやめ、伊豆大島東海域に「よこすか」が留まっている間にウェーブグライダーを航行させ、船のレーダーなどで怪しい船影を監視しながら運用することにした。

2023年2月18日06時55分、伊豆大島から約4km東に離れた海上でウェーブグライダーを投入し、島の西側から来る海流の影響を避けるために島の南北端からはみ出さないようにほぼ南北方向に往復移動させ、12:30に回収した。動画や位置情報などの伝送は当初順調であったが（図1参照）、09時42分に停止した。ウェーブグライダー回収後に確認したところ、WiFiルーター周りの回路に浸水がみられた。しかし、電源周りの一部は無事だったために、Webカメラは動作しており、約5.5時間にわたる全行程の映像がメモリに保存されていた。ルーターや電源分岐装置等を組み入れた防水ケースから電源ボックス、Webカメラ、Spatialに向けて多くのケーブルを出さざるを得なかったために、ケースの防水性能を低下させてしまったことが課題として残った。

2. 携帯電波キャリア強度測定

デッキに携帯電話（OUKITEL WP18 Pro）を固定し、AC電源をブリッジから引き回すことによって、航海期間中、携帯電話を連続動作させた。携帯電話にはG-NetTrackProというアプリケーションをインストールし、携帯電話電波強度を測定し、記録させた。航海終了後、パソコンにダウンロードして分析した。

その結果、L1バンド（周波数2.0GHz）では、伊豆大島や三宅島のごく近海においてのみ、通信が可能な-100dBより大きいキャリア強度が確認されるに留まったが、プラチナバンドのL19バンド（800MHz）においては、伊豆大島や三宅島から約10km離れた海域においても-100dBより大きいキャリア強度が確認されることがわかった（図2）。これは、島内の携帯電話網がダウンしていない限り、海上からWiFiによるデータ伝送が十分実用的であることを示唆する。

3. シングルチャンネル反射法探査とサブボトムプロファイリング

三宅島では過去 100 年の間は約 20 年ごとに噴火し、またそれ以前も繰り返し噴火が起こっていることが知られているが、その活動規模については陸上の調査からは必ずしも良く分かっていない。また、陸上では痕跡が残されていない噴火活動があった可能性もある。噴火により火山周辺に堆積したテフラは、特に海底においては擾乱を受けることなく保存され、長期間の火山活動の時系列的な記録を保持している可能性がある。従って、火山から様々な距離や方向における海底堆積テフラを採取することにより、各噴火の規模や噴火様式を明らかにすることができる。このような調査を企図し、三宅島と伊豆大島周辺海域において海底下堆積物構造を調査した。

三宅島に関しては、偏西風によりテフラが運搬され堆積すると考えられる東側の海域で、シングルチャンネル音波探査とサブボトムプロファイラーによる音響探査を実施した。測線は、東西方向の測線を 6 本と、南北方向の測線を 1 本設定した。一方、伊豆大島に関してはその南西側の海域においてサブボトムプロファイラーによる音響探査を実施した。この海域は、東側に大室ダシが位置するため、二つの火山に由来するテフラが堆積している可能性がある。この海域でサブボトムプロファイラーのみを実施した理由は、船舶通行が輻輳する海域であるためストリーマーを曳航することが難しかったためである。測線は、東西方向に 5 本の測線を設定した。

三宅島東方におけるシングルチャンネル音波探査の結果、島に近い側では堆積構造に乱れがある箇所もあるが、島から 10km 程度離れたあたりからはおおむね成層した堆積構造をしていることが明らかになった（図 3）。このことから、三宅島東方の広い範囲で、過去の噴火活動履歴を記録する堆積物が得られることが期待される。実際、翌年度に行われた KM23-14 航海でピストンコアによる採泥を実施し、9 世紀の神津島もしくは新島由来の白色軽石層とともに三宅島由来と考えられる黒色のテフラ層を含むコア試料が得られた。

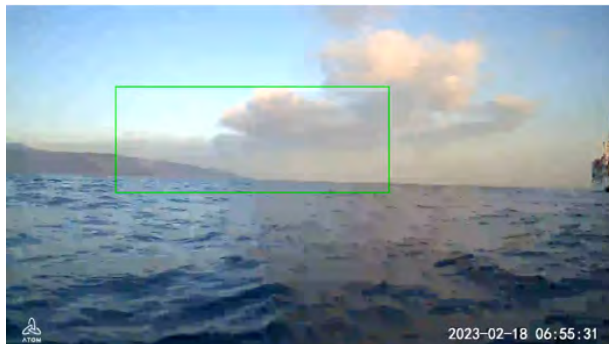


図 1. Web カメラから伝送された 14 秒動画のスクリーンショット。左に伊豆大島、右端に「よこすか」が確認できる。

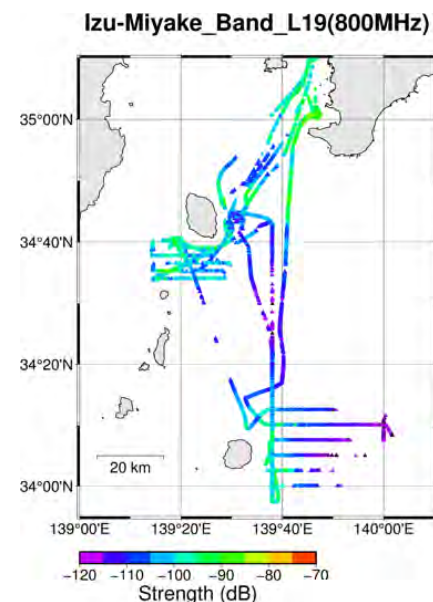


図 2. L19 バンド(800MHz)におけるキャリア強度分布。

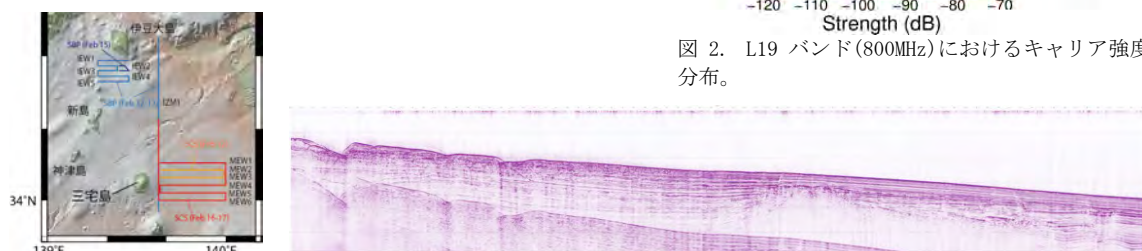


図 3. (左) 反射法探査測線（赤線とオレンジ色の線）と（右）測線 MEW1 の反射断面。

海底堆積物を使った千島海溝沿いの地震記録復元： 地震発生帯で採取された海底堆積物の概要

○金松 敏也・Kan-Hsi Hsiung・窪田 薫・Yu-Chun Chang・富士原 敏也（海洋研究開発機構），
池原 研（産総研），中西 諒（京大），池田 尚史（山口大），山本 裕二・上西 諒・与謝野 勲・
浦本 豪一郎・永澤 綾子・金子 幸司朗・壽 隆海大（高知大），石澤 堯史（東北大），
Yang Zhao（東京大学大気海洋研究所），Jyh-Jaan Steven Huang・
Yen-Hsi Wu・Yao-Ming Liu（台湾大学）

千島海溝沿いの津波堆積物の記録から北海道沿岸では数百年ごとに巨大地震が発生してきたと考えられている。最も直近では17世紀に起こったと考えられており、この地震による陸上津波堆積物の分布から複数の地震セグメントの破壊、および海溝付近まで破壊が伝播する東北地方太平洋沖地震のような巨大な地震が発生したと想定されている。一方、そのような巨大地震では三陸沖にも津波が到達したと考えられるが、三陸沖では北海道沖に由来する17世紀の津波記録は明らかでないという指摘など17世紀の北海道沖巨大地震の実態解明にはさらなる情報が必要である。

そのため、我々は海底堆積物を採取し地震時に形成されたと考えられるイベント層の分布を把握し、その時空間分布から北海道沖巨大地震の実態解明にせまろうと考え、2017年から調査を実施してきた。これまでに日高沖、十勝沖、根室沖、さらに広域堆積システムを理解するためアウターライズ海域まで調査を広げ、ピストンコアリングによる地層試料採取を実施してきた。一連の調査により得られた試料は細粒なためイベント層と半遠洋性堆積層の区別が困難な場合が多い。しかし堆積物コアの記載、X線CTイメージ、物性測定、帯磁率異方性による磁気ファブリックデータの取得、またバルク有機物の ^{14}C 年代を用いることによりイベント層と半遠洋性堆積層とを明瞭に区別できるようになってきた。一方、このようなイベント層を過去の地震記録として考える上では、精度高い年代が必要になってくる。本海域の海底堆積物には ^{14}C 年代に有効な有孔虫の産出が乏しく炭酸塩カルシウムを使った ^{14}C 年代取得は難しい。このため挟在する火山灰の同定、バルク有機物を用いた ^{14}C 年代、古地磁気永年変化、特定有機物放射性炭素年代測定、花粉を使った ^{14}C 年代による年代測定を試みている。その結果、陸上津波堆積物に対応づけできそうなイベント層が見出されるなど、年代論も次第に明瞭になってきた。本発表ではこれまで採取した試料の様々なデータの概要を紹介し、研究の今後の展開を示す。以下の航海MR17-06, KS19-12, KM22-05, MR22-04, MR24-02, KS-24-7, MR24-05でご協力いただいた船長はじめ乗組員、観測技術員、乗船研究者、東京大学大気海洋研究所共同利用・共同研究推進室、海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用部門の皆様に感謝申し上げる。

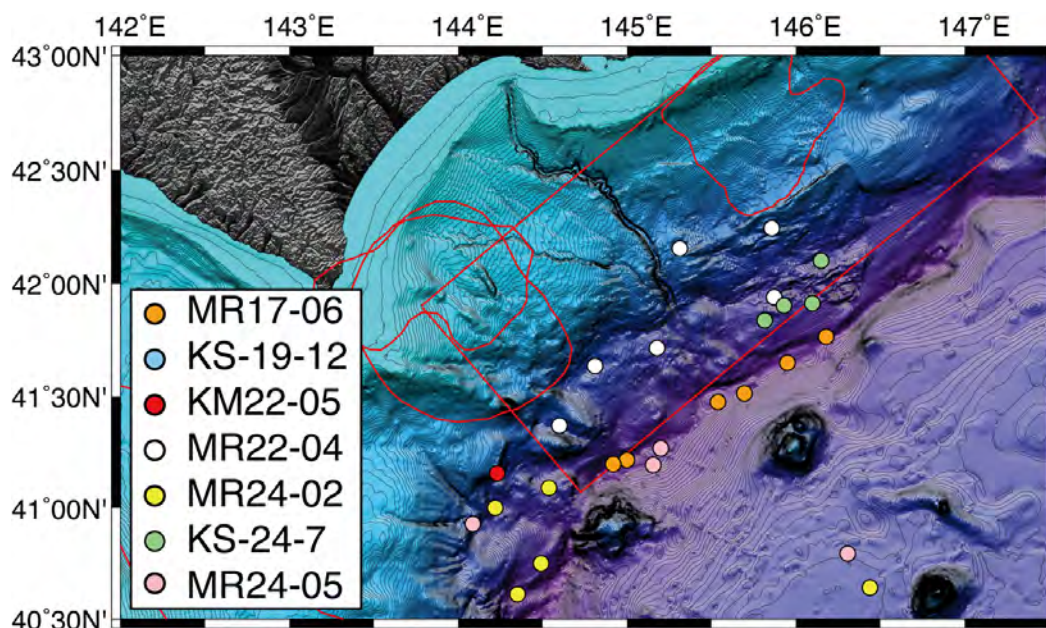


図 北海道沖でこれまで採取したピストンコアの位置、赤線は歴史地震のアスペリティー範囲

沖縄トラフ南部・石垣グラーベンでの潜航調査 - 新青丸 KS-24-1 航海結果(速報) -

○三澤文慶・石塚 治（産業技術総合研究所）、南 宏樹（海上保安庁海洋情報部）、木下正高（東京大学地震研究所）、古山精史朗（東京海洋大学）、森 光貴（千葉大学大学院）、松永都和（東京海洋大学）、石垣秀雄（東京大学大気海洋研究所）、井和丸 光（日本海洋事業株式会社）、高下裕章（産業技術総合研究所）

沖縄トラフ南部ではトラフ中央部において約 200 万年前から断続的な背弧拡大が発生し（例えば、Sibuet et al., 1998）、八重山海底地溝及び与那国海底地溝といった複数の地溝帯（グラーベン）で現在も拡大が進行していると考えられている。

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、沖縄周辺海域での海域地質情報整備の一環で 2018 年 8 月に石垣島周辺海域での海底地質・海底地球物理調査を実施し、石垣島北方の鳩間海丘から石垣海丘群の地域に、これまで未報告の活動的な正断層により形成されたグラーベンを新たに発見し、かつグラーベンの内部に複数の小規模な海底火山が点在することも明らかにした(Misawa et al., 2020)。また、海上保安庁海洋情報部でも同海域の海底地形調査が、2017 年に測量船及び自律型無人探査機(AUV)を用いて実施されており、同じグラーベンの存在及び海底火山の詳細な地形について報告した (Minami et al., 2020)。さらに、このグラーベン周辺では、複数の水中音響異常域の存在を指摘し、海底熱水域の存在の可能性が示唆された (Minami et al., 2020)。これまでの調査結果を総合すると、新たに見つかったグラーベンは八重山海底地溝などで認められる特徴と一致するため、非常に若い新たなリフティング域である可能性を指摘した (Misawa et al., 2020, Minami et al., 2020)。しかしながら、両研究とも音響を用いた観測による研究であるため、グラーベんに点在する海底火山の目視観測事例及び山体を構成する岩石の種類や形成年代に関し、その詳細は不明であった。

2024 年 1 月 25 日から 2 月 3 日にかけて実施した東北海洋生態系調査研究船「新青丸」(JAMSTEC)を用いた KS-24-1 航海では、石垣島北方沖で新発見したグラーベンである石垣グラーベン（仮称）内の海底火山にて無人探査機ハイパードルフィン (HPD) による潜航調査を 2 回 (Dive#2230・#2231) 行い、海底火山の形成・活動年代の特定および海底火山を作るマグマの起源や形成メカニズムなどの解明を目指して海底観察・岩石試料採取・地殻熱流量観測を行った。また、KH-23-11 航海で亡失したヒートフロー測定装置及びトランスポンダーの海底状況を確認するべく、沖縄トラフで 1 潜航 (Dive#2232) を実施した。

本発表では、新青丸 KS-24-1 航海での潜航調査で明らかになった石垣グラーベン内の海底火山の実態及び採取した岩石の特徴などを中心に、調査結果を速報的に報告する。

KH-24-1 航海「シャツキーライズの地形と水塊構造：太平洋遠洋域の”Topographic high”における底層流と過去 50 万年間の栄養塩供給機構の描像」速報

田中えりか（高知大学），○黒田潤一郎（東京大学大気海洋研究所），安川和孝（東京大学工学系研究科），朴進午・亀尾桂・戸田亮二（東京大学大気海洋研究所），飯島耕一（海洋研究開発機構），臼井洋一（金沢大学），桑原佑典・小笠原光基・池津雄地・伊地知遼行・畠山裕亮（東京大学工学系研究科），孫岳・于凡・呂玉琪・山川登・趙陽（東京大学大気海洋研究所），中川友紀（東京大学理学系研究科），吉住勇輝（高知大学），磯田龍之介（金沢大学），卯田寿里・本多楓太・伊藤颯矢（千葉大学），堀内禎希（日本海洋事業），澤田律子（マリンワークジャパン），中尾眞子（MOLMEC）

シャツキーライズは北西太平洋の約 1 億 4700 万年前～1 億 2400 万年前の海底（水深 5500～6000m）上に位置する巨大火成岩岩石区（LIPs）であり、頂部は水深 1950 m に達する^[1]。シャツキーライズは、亜熱帯ジャイアおよび偏西風の流路に位置している（図 1）。そのため、シャツキーライズにおける栄養塩の供給は、黒潮続流・親潮などの表層海流、および、偏西風による陸源ダストの供給によって担われてきたとされている^{[2][4]}。加えて、近年、黒潮流域やシャツキーライズ南方の貧栄養域において、海流と地形の高まり（Topographic high）が引き起こす乱流・湧昇流に伴う栄養塩供給機構が評価されつつある^[6, 7]。しかしながら、底層流に対して巨大な地形が物理障壁として作用することによる、海洋表層～中深層への栄養塩供給機構とその堆積物組成への影響について、観測に基づく体系的な検証は未だ行われていない。特に、シャツキーライズの南西部斜面の水深 3000 m 以深には、過去の海底堆積物掘削により、更新世～白亜紀間の堆積物の無堆積（ハイエイタス）が存在していることが明らかになっており、長期間にわたり、堆積層の堆積を阻害するのに十分な強さを持つ海流が存在していたことが示唆される^[8]。

そこで、KH-24-1 航海は、「シャツキーライズの地形と水塊構造：太平洋遠洋域の”Topographic high”における底層流と過去 50 万年間の栄養塩供給機構の描像」と冠し、2024 年 4 月 2 日～4 月 19 日の期間で、CTD 採水・観測、および、堆積物の採取を実施した。これにより、現在から約 50 万年前の底層流の挙動、栄養塩の分布、生物生産性および生物・微生物群集の変化を明らかにすることを目指した。加えて、海底地形・堆積構造調査（SBP, MBES, MCS）を行うことで、海底面下に存在するハイエイタスの分布を詳細に検討するとともに、さらに古い時代の情報を得るための長尺コア（海底掘削コア）の取得のための基礎データを得ることも目的とした。本発表では、KH-24-1 航海の速報として、シャツキーライズ Tamu Massif 南西部斜面で得られた堆積物コアおよび海底地形・堆積構造調査の結果を紹介する。

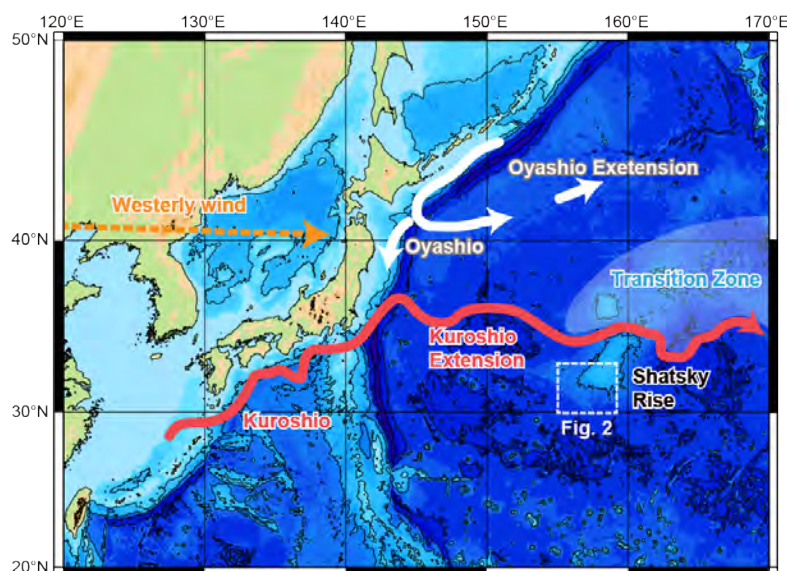


図 1. シャツキーライズ周辺に影響を与える海流および風系 (modified from [3])

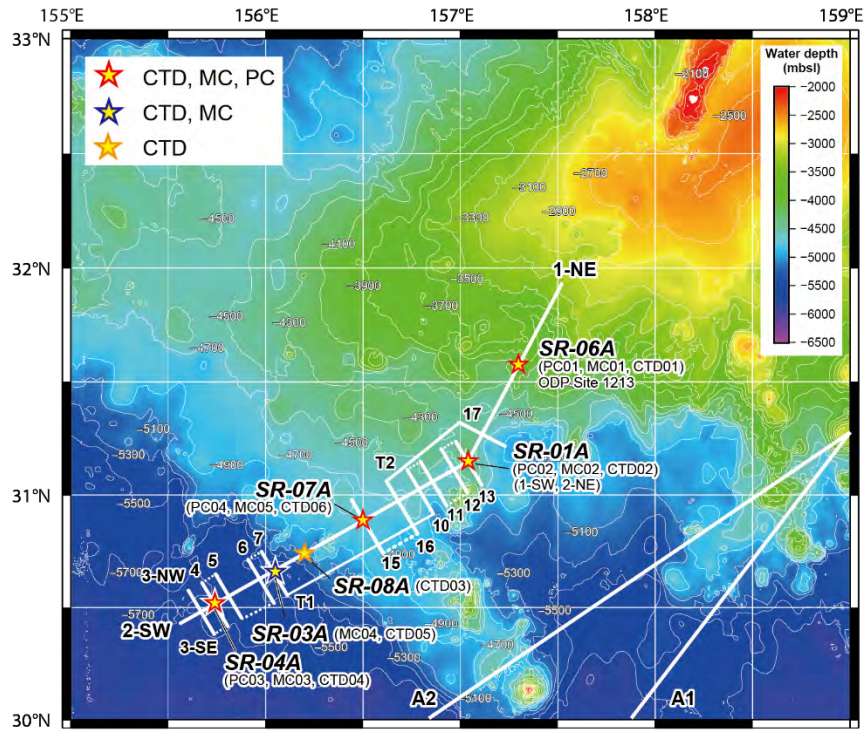


図 2. 研究対象海域。星印：採水・採泥地点、白実線：海底地形・堆積構造調査測線、白点線：測線間の移動経路。
CTD: CTD 採水／観測、MC: マルチプルコアラーによる採泥、PC: ピストンコアラーによる採泥。

[1] Zhang et al. (2016) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 441, 143–156. [2] Chiyonobu et al. (2012) *Mar. Micropaleontol.*, 96–97, 29–37. [3] Seo et al. (2018) *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 496, 323–331. [4] Amo and Minagawa (2003) *Org. Geochem.*, 34, 1299–1312. [5] Maher et al. (2010) *Earth Sci. Rev.* 99, 61–97. [6] Ohta et al. (2020) *Sci. Rep.*, 10, 9896. [7] Kobari et al. (2020) *Biogeosciences*, 17, 2441–2452. [8] Bralower et al. (2002) *Proc. ODP.*, 198

南鳥島近傍の堆積層構造と高濃度レアアース泥の関係

○金子琉（東京海洋大学），中東和夫（東京海洋大学），
山下幹也（産業技術総合研究所），飯島耕一（海洋研究開発機構）

南鳥島は、東京都小笠原村に属する日本最東端の島であり、国内で唯一太平洋プレート上に存在する島である。近年の調査研究によって、日本の排他的経済水域 (EEZ) である南鳥島周辺海域は、マンガン・ジュエルやレアアースを多く含む堆積物 (レアアース泥) などの多くの海底資源が発見されている。加藤 (2015) は、南鳥島南方の調査地点において海底下 3 m 付近に、最高 6500 ppm を超える超高濃度のレアアース泥が存在し、複数の地点で海底下 10 m 以内の浅い深度から高濃度レアアース泥が出現することを発見した。さらに、Nakamura et al., (2016) は、サブボトムプロファイラーとピストンコアで得られたデータ・サンプルから、南鳥島周辺の代表的な表層地質構造断面図と海底表層に分布する堆積物の分布区分を示し、表層レアアース泥濃度分布図を作成した。

一方で、サブボトムプロファイラーで得られる地下構造は浅い部分に限られるため、反射法地震探査を用いてより深い領域をイメージすることはレアアース泥の堆積場の理解に重要である。そこで本研究では、2015 年に海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」を用いて実施された航海 MR15-E01 leg3 で取得された 7 本の反射法地震探査データを使用し、レアアース泥と堆積層構造の関係を明らかにすることを目的とした。

解析の主な処理はジオメトリの設定、バンドパスフィルタ、NM0 補正、速度解析、CMP 重合、キルヒホッフ時間マイグレーション、トップミュートである。また、一部の測線データに関してはアトリビュート解析も行い、堆積層の物性評価や基盤面の解釈を詳細に行なった。

解析の結果、概ね全ての測線で海底面が往復走時 (TWT) 7.5~7.6 秒付近にあることがわかった。さらに、南鳥島の北側に位置する測線と南側に位置する測線で海底面の様子が大きく異なっていることがわかり、北側では海底地形が大きく変形している箇所が見られ、南側では比較的平坦な地形が見られた。また、複数の測線では海底面から TWT 約 0.2 秒にかけて透明堆積層が見られることがわかった。南鳥島の南側に位置する南北方向の 2 つの測線について解釈を行なった。東側の測線では中央付近で音響基盤の不連続が見られ、ブーゲー重力異常と比較することで断層であると解釈した。そして、各測線で見られる音響基盤は、海上保安庁で実施された同海域の屈折法地震探査の速度解析の結果 (Kaneda et al., 2015) との比較結果から海洋地殻の上面であると解釈した。海洋地殻上面よりも上の層を堆積層とし、東測線と西測線で堆積層厚をそれぞれ計算した。東測線では断層を堺にして、南側で約 160 m、北側で約 400 m であり、西測線では一様に約 400 m であった。この二つの反射断面図と先行研究で得られている南鳥島周辺のレアアース泥表層濃度分布図を重ねて比較を行った。比較の結果、堆積層が薄い場所でレアアース泥濃度が高く、堆積層が厚い場所でレアアース泥濃度が薄いことがわかった。また、瞬間周波数のアトリビュート解析の結果、堆積層が高周波、海洋地殻が低周波に卓越していることがわかった。今後、エンベロープのアトリビュート解析を行うことで海洋地殻の上面を正確に決め、堆積層厚を明らかにし、高濃度レアアース泥の堆積場の理解にむけた検討を行う。

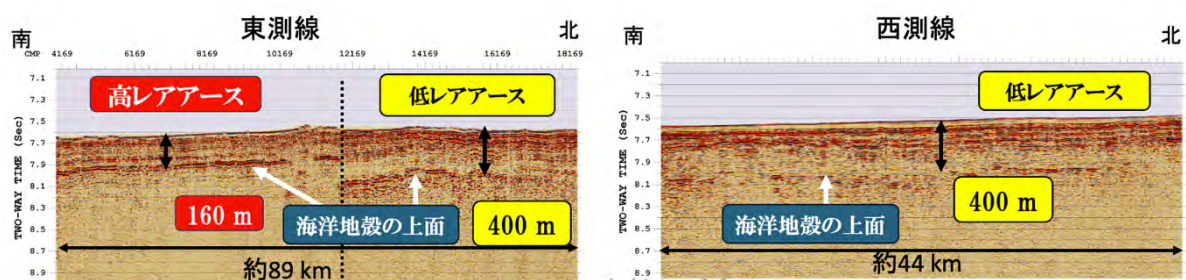


図. 反射断面とレアアース泥濃度の関係

水曜海山の海底熱水鉱床周辺に着目した浅部地下構造イメージング

○内方南緒（東京海洋大学）、中東和夫（東京海洋大学）・山下幹也（国立研究開発法人 産業技術総合研究所）・金子琉（東京海洋大学）

伊豆小笠原弧は、フィリピン海プレートに位置する典型的な島弧である。伊豆小笠原弧では火山フロント周辺において島弧性の海底熱水活動に伴う鉱化作用が次々に確認され、その成因を知ることは海底鉱物資源の賦存量評価の上で重要である。伊豆小笠原弧南部の火山フロントは七曜海山列と呼ばれ、その一つである水曜海山は、伊豆・小笠原諸島（父島）の北西約 120 マイルに位置し、山頂水深 860m の西峰と 1310m の東峰との 2 つの山体を連ねた円錐型海底火山である。同海山は小笠原舟状海盆と西之島舟状海盆に挟まれ、伊豆・小笠原弧の七島・硫黄島海嶺上に存在する七曜海山列のほぼ中央の北緯 28 度 35 分、東経 140 度 40 分に位置している。

水曜海山の熱水活動は、1991 年に海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 有人潜水調査船“しんかい 2000”を用いた七曜海山列の潜航調査で発見された。また、同海山は伊豆・小笠原弧の火山フロントに位置し、水深 1380～1390m の火口底で活発に熱水鉱床が形成されつつある。山頂付近は熱エネルギーの放出場所として最も適しており、同海山の山頂付近にも熱水の通路があると考えられるが、山頂付近の地下構造が未だ不明瞭であるため、熱水の通路と思われる部分を認められていない。

本研究では、2005 年に海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の深海調査研究船“かいれい”を使用し実施された KR05-06 航海の反射法地震 (MCS) 探査で得られた測線 IBr3 を再解析し、水曜海山周辺の断層（熱水の通路）を確認することを目的とする。解析の主な処理はジオメトリの設定、シングルトレース、バンドパスフィルタ、一定速度解析、マイグレーションであり、良好な結果が得られている。

今後解析を続け、水曜海山の山頂付近の地下構造に着目することで浅部構造の詳細を明らかにし、熱水の流れを確認したい。また、熱水鉱床が確認される他の海底火山における本研究解析結果の応用も期待される。

多点水温モニタリングを可能にした温水噴出システムの開発と検証

○杉村 誠（新江ノ島水族館）

長井 裕季子，豊福 高志，吉田 尊雄，生田 哲朗（海洋研究開発機構）

新江ノ島水族館では，海洋研究開発機構と共同で水槽内に 40℃を超える熱水を噴出させる機構を有し，深海の熱水噴出域及び鯨骨生物群集や湧水域を再現した水量 2.88t の「化学合成生態系水槽（2007 年）特許第 5396266 号 発明第 1436729 号」を製作した．しかし，現行のままでは熱水の作成や送水が不安定であった．そこで今回，既存の「化学合成生態系水槽」の熱水噴出機構を参考にし，小規模水槽ではあるが，約 35℃までの温水を安定して噴出させ，多点水温モニタリングを可能にした温水噴出システムを開発した．そして，熱水に対して依存度が高いことで知られているユノハナガニを用いて，行動観察を行うことで熱水への嗜好性や行動パターンの探索と本システムの効果の検証したので報告する．

飼育水槽と温水水槽をそれぞれ W500mm×D500mm×H500mm（125L）と濾過水槽 W800×D500 mm×H400mm（160L）を用意し，同一循環系に設置した．温水水槽は循環水を段階的に効率よく温めるため，水量を約 30L に調整し第 2 温水水槽，内部に約 3L の温水水槽を設置して第 1 温水水槽とした．加温にはそれぞれ 200W と 1,000W のセラミックヒーターを用いた．第 2 温水水槽内には水中ポンプを設置し，加温した循環水を第 2 温水水槽内で常に循環させることで加温と保温が可能になった．飼育環境 4℃の時に約 35℃の熱水を作り保温することができた．温水は温水水槽の循環から分岐させて，飼育水槽へ送水した．この時の循環水と温水の送水量は，循環水≧温水送水量とした．飼育水槽へ温水を送るパイプには保温材を巻くことで温水の水温を保った．温水水槽の水量調整と温水の水温を一定に保つ循環機構，送水パイプの保温などにより，安定した温水の作成と維持，水温を保ったまま送水を可能にすることができた．

行動観察には，サンプルとして KS-20-1 にて伊豆小笠原明神海丘水深 1296m より採取されたユノハナガニ *Gandalfus yunohana* 4 個体（雌雄各 2 個体）を用いた．飼育水温は 3.5～4.0℃，温水の噴出口には，筆者のユノハナガニを用いた抱卵個体の行動研究（Blue Earth, 2012）を参考に，飼育水と温水との温度勾配を作るために径 100 mm の塩ビパイプを 1/2 にカットしたシェルターを被せ，それぞれに 5℃，10℃，15℃，20℃，25℃，30℃の温水（冷水を含めて，温水とした）を噴出させて行動の観察を行った．水温のモニタリングには，温水及びシェルター内の水温を「おんどとり（T&D 社）」，飼育水温を「温度管理システム『ACALA MESH』（タイムマシーン株式会社）」を用いて 1 分間隔で記録した．ユノハナガニの行動はタイムラプスカメラ「TLC-200Pro」（Brinno 社）を用いて 1 分間隔/4 時間で記録した．ユノハナガニの温水への嗜好性を指標化するために，温水噴出口からの距離で次の 3 つに分けて記録した．0：温水の噴出場所に体を密着させる，1：温水の噴出場所からは離れるがシェルターの中に留まる，2：シェルターの外に出る．嗜好性が高い 0←1→2 嗜好性が低いとした．

行動観察の結果，噴出させた温水が 5～10℃の時，シェルター内の平均水温は 4.1～6.6℃，飼育水温との水温差は平均 0.45，1.90℃で，雌 1 個体を除いて 90%以上の時間をシェルターの外で過ごしていた．15℃の時，シェルター内は平均 8.73℃，飼育水温との差は平均 3.94℃で，シェルターの内外を行き来したり，ある雌個体については背部や腹部を温水の噴出口に体を密着させ，またある雄個体がシェルター内に留まる様子も観察された．20～25℃の時，シェルター内が平均 10.1，11.67℃，飼育水温との差が平均 5.13，6.19℃で，すべての個体が 80%以上の時間をシェルター内で過ごした．20℃の時，雌 2 個体は温水に体を密着させていた．他は密着せずとも温水噴出口の直上に立ち上がって腹部に温水を当てたり，シェルターの壁に掴まりながら背部を当てる様子が観察された．30℃の時，シェルター内は平均 13.4℃，飼育水温との差は平均 6.93℃で，雌 1 個体がシェルターから出てしまう様子が観察されたが，他の個体は 90%以上の時間留まり，温水パイプ付近で腹部を水底につけるように伏し，シェルター壁面に背部や腹部を当てて温水に直接当たらないように距離を取る様子が観察された．これらの結果，個体差はみられるが飼育水温が 4℃の時，温度差が約 4℃を超えるとより暖かい場所の探索行動を示し，温水が 15～25℃の時に雌個体は雄個体比べて温水との距離が近い場所に集まり，温水が 30℃以上になると 13.4℃のシェルター内に嗜好性が高まることが分かった．

これにより噴出する温水の水温が変化すると、彼らの行動パターンも変化していくことが明らかになった。

この検証結果から、新たな温水噴出システムは温水（熱水）に対して依存性をもつ生物において、未だ実験に改良の余地はあるが、行動パターンの観察・研究を行うには有効性を感じるシステムであると考えられる。今後はさらに精度を上げたユノハナガニの行動パターンの研究、飼育から繁殖、その他の熱水噴出域周辺に生息している深海生物の行動から生態の解明を行いたい。さらには、当館の「化学合成生態系水槽」へのフィードバックを行い、改善し、深海生物の長期飼育へつなげていきたい。

浮遊性有孔虫の 18S rDNA メタバーコーディング解析に基づく 光共生の特異性と進化

○高木悠花（東京大学大気海洋研究所）、仲村康秀（島根大学）、
Christiane Schmidt（ブレーメン大学）、Michal Kucera（ブレーメン大学）、
齊藤宏明（東京大学大気海洋研究所）、守屋和佳（早稲田大学）

浮遊性有孔虫には、藻類との細胞内共生関係（光共生）を営む種が知られ、本分類群の地質時代を通じた種多様性の創出に深く関わっていると考えられている。近年の研究では、浮遊性有孔虫個体から光合成の活性を検出し細胞内に生きた藻類がいる証拠を掴むことで、どの種が光共生種であるかが識別され、それまで認識されてこなかった共生種の存在も明らかになってきている。しかし、共生しているか否かが判明しても、どのような藻類が共生しているのかは、ごく一部の種について知られているのみであり、多くの種では不明であった。浮遊性有孔虫は単細胞生物であるが、細胞内には共生藻や餌など、多数の他生物由来のものが存在している。そのため、有孔虫個体中に存在する DNA を網羅的に解析すれば、共生藻の種類や食性を明らかにすることができる。本研究では特に、細胞内から検出される光合成する分類群、すなわち藻類の組成に着眼し、浮遊性有孔虫と共生藻のパートナーシップの解明を行った。

本研究では、白鳳丸 KH-16-7, KH-17-4, おしよろ丸 243, ドイツ船 Meteor M140 次航海により、様々な海域で採取された計 19 種の浮遊性有孔虫を対象とした。各個体から DNA 抽出を行い、18S リボソーム RNA 遺伝子の V9 領域を対象として増幅し、次世代シーケンサー（Illumina 社, Miseq）を利用してメタバーコーディング解析を実施した。得られた結果から藻類の配列を抽出し、その組成を種ごとに比較した。また、有孔虫種の分子系統解析を行い、系統樹上での共生藻の種類の分布を確認した。一部の種については、船上で、アクティブ蛍光法を用いた光共生系の光合成生理特性の解析も行い、共生藻の光適応能を評価した。

メタバーコーディング解析の結果、光共生性の浮遊性有孔虫種では、各種がほぼ単一の藻類を有することが明らかとなり、採取された海域や季節、水深によらず、そのパートナーシップは高い特異性を示すことが明らかとなった。本研究により共生藻と認定されたものは、渦鞭毛藻 1 種、ペラゴ藻 3 種、ハプト藻 1 種、緑藻 2 種であった。また分子系統解析の結果では、渦鞭毛藻を共生させる種は単系統であるものの、ペラゴ藻を共生させる種は異なる系統にまたがっており、複数の系統で繰り返し共生関係が獲得されていることが明らかとなった。さらに、分子時計および各種の化石記録を踏まえた出現年代を考慮すると、渦鞭毛藻の共生関係は比較的早く、少なくとも漸新世まで遡ることが示された。すなわち、有孔虫の系統を通じた継続的かつ特異性の高い共生関係は、渦鞭毛藻との間のみで築かれ、その他の共生系は比較的新しく、また藻類がどの宿主に共生するかという、共生藻にとっての宿主特異性は低いことが明らかとなった。さらに、ペラゴ藻を共生させる種は、より低照度に適応していることが光合成生理状態の解析から明らかになり、より深い水深でも光合成できる藻類を獲得できたことが、宿主のニッチ拡大に貢献した可能性が示唆された。

亜寒帯・亜熱帯外洋域の海表面マイクロレイヤー（SML）における 有機物・微生物群集の時間変動

○ 菅井 洋太・岡本 諭賢・後藤 周史・吉澤 晋・濱崎 恒二（東京大学 大気海洋研究所）

海洋の最表層わずか1 mm 未満の層は、海表面マイクロレイヤー（Sea surface microlayer, SML）と呼ばれている。大気と海洋の境界に位置しているため、SML は気体や粒子の大気－海洋間の交換を通して、生物地球化学的な物質循環や気候変動に重要な役割を果たしている。SML には様々な有機物や微生物（細菌、植物プランクトンなど）が高濃度に集積され、微生物の群集構造も異なるなど、化学的・生物的に特異的な環境が形成される。SML は風や降水などの天候の影響を受けやすく、化学的・生物的特性が時間的にも空間的にも大きく変動すると考えられるが、SML の時空間変動に関する研究は比較的少なく、特に外洋域における時間変化に関する知見は非常に限られている。そこで、白鳳丸 KH-23-3 次研究航海（西部北太平洋における大気海洋境界領域の統合研究 SOLAS-JIPS）では、西部北太平洋の亜寒帯域および亜熱帯域の定点において SML の観測を優先的に繰り返し実施することで、外洋域の SML の化学的・生物的特性の時間変動を明らかにすることを目的とした。

白鳳丸 KH-23-3 次研究航海（2023 年 7 月）において、亜寒帯域（Station K2, Leg 1）および亜熱帯域（Station S1・KEOS, Leg 2）で SML 観測を実施した。自動回転式ドラムサンプラー（特注）を用いて SML を採取し、ハイロートサンプラー（Shibata）を用いて比較用として海面直下（深度 0.5 m）の海水を採取した。観測中に水温、塩分、風速を測定し、実験室で透明細胞外ポリマー粒子（TEP）・クロロフィル *a*（Chl. *a*）濃度、原核生物現存量、原核生物・真核微生物群集構造などのサンプルを採取した。群集構造解析では、原核生物（16S, 515FY-926R）および真核微生物（18S, E572F-E1009R）を対象にメタバーコーディング解析を行った。SML と海面直下における化学・生物パラメーターの比を Enrichment factor（EF）とし、SML における有機物・微生物群集の集積の指標とした。

海面直下と比較して、SML における Chl. *a* 濃度は低く（EF < 1）、TEP 濃度は高い（EF > 1）傾向を示した（図）。しかし、風速が最も低く（ 0.99 m s^{-1} ）、海面が穏やかであった 19 日（Station S1）は、SML における Chl. *a* の高濃度の集積（EF = 5.72）が見られた。このとき、粒子付着性画分（ $> 3 \mu\text{m}$ ）の原核生物では Cyanobacteriales（*Trichodesmium* 属）が優占（56.5%）し、他のサンプルと大きく異なる群集構造を示した。今後、原核生物の現存量や真核微生物の群集構造の結果と合わせて、SML における有機物・微生物群集の時間変動について考察する。

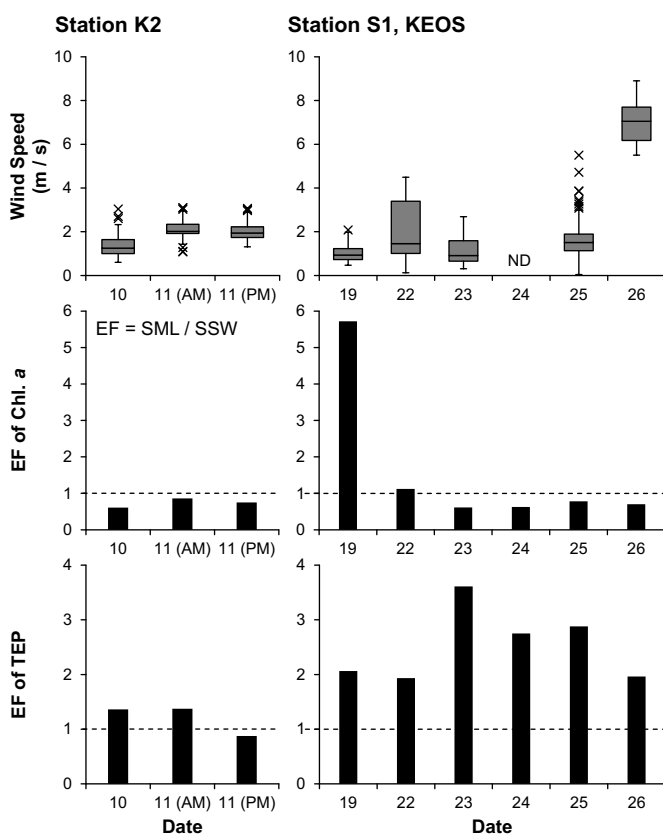


図 風速およびChl. *a*・TEP濃度のEnrichment factor（EF）の変動

小笠原海域で卓越する近慣性波の時系列観測

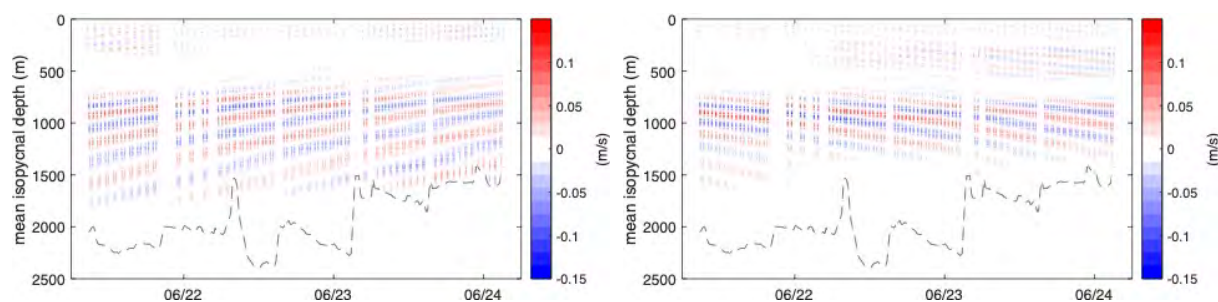
○伊地知敬（東京大学大学院理学系研究科）、井上龍一郎・古島靖夫（海洋研究開発機構）

海洋大循環モデルが高精度になればなるほど、計算結果の鍵を握るサブグリッドスケールの乱流混合過程をより正確に理解していくことが重要な課題となっている。海洋内部領域における乱流強度分布は空間的に著しく非一様であり、北太平洋における乱流ホットスポットは西部の特に伊豆・小笠原海嶺周辺に偏在していることが知られている。小笠原海域における強い乱流混合は、急峻な海嶺上で励起された半日周期の内部潮汐波が内部波間相互作用の一種である Parametric Subharmonic Instability (PSI) を受けることで、約 1 日周期で変動する近慣性流シアが強化されることに伴うものであると考えられている。実際、小笠原海域における鉛直プロファイル観測からは、ファインスケールの流速シアが密度ストレインに比べて著しく強化されることから、近慣性波が卓越していることが示唆されている。一方、時系列観測は圧倒的に不足しており、当該海域において約 1 日周期で変動する近慣性波の存在を未だに観測から直接的に捉えられていないのが現状である。

本研究では、CTD/LADCP の降下・上昇を連続的に繰り返す、いわゆる、ヨーヨー観測を小笠原海域において実施し、時間・鉛直方向の詳細な内部波データから、強い乱流混合を引き起こす鍵となる近慣性波を直接的に捉えるとともに、それが PSI 機構によってどの程度説明されるのかを検証した。

2023 年 6 月に実施された新青丸 KS-23-8 次航海において、小笠原海域・水曜海山の西部にある海山列の周辺（緯度: 28.5°N、経度: 140.2°E、深さ: 1500m）で、CTD/LADCP のヨーヨー観測を表層 40m から海底近傍までの範囲で行い、約 3 日間で合計 100 プロファイルの流速・密度データを得ることに成功した。さらに、ヨーヨー観測と並行して、乱流センサー搭載フロート micro-ALTO フロート、および、着底浮上型の深海乱流プロファイラー VMP-X による乱流観測を実施し、micro-ALTO フロートからは 11 プロファイルの上層 1000m までの乱流データを、VMP-X からは 3 プロファイルの着底までの全水深の乱流データを得ることができた。

期待通り、観測された水平流速には、慣性周期の約 1 日で時計回りに回転する近慣性波の成分が最も顕著に見られた。調和解析・回転スペクトル解析の結果、この近慣性流は、特に中層で卓越し、鉛直 100m スケールの高波数で上向き・下向きに伝播する成分が同程度の振幅で含まれていた。一方で、近慣性波の次に卓越していた内部潮汐波は鉛直 1000m スケールの低波数で伝播し、その位相が上向き・下向きに伝播する近慣性波の位相と同期していることを、当該海域で初めて直接的に捉えることができた。この内部潮汐波と近慣性波との位相同期によって、中層における乱流散逸率のピークに匹敵する $O(10^{-8})$ W/kg ものエネルギーが PSI によって輸送されていることが明らかになった。



観測から抽出した下向き、上向きに伝播する近慣性波の東西流速

西部北太平洋亜熱帯域晩冬季の物理・化学場および生物群集構造 の時間変化（みらい MR24-01C 航海速報）

○鋤柄千穂・横川太一・眞壁明子・田角栄二・川口慎介（海洋研究開発機構）
他 MR24-01C 乗船者一同

西部北太平洋亜熱帯海域は、黒潮や黒潮続流に囲まれ短期間で環境が大きく変化することが知られている。特に 2-3 月（晩冬季）は、年間で最も深い混合層（～400m）が観測され（Suga et al., 2004, Qiu et al., 2007 など）光や栄養塩環境が大きく変化する。この時期は、クロロフィル濃度や基礎生産力が年間で最も高い値を示すことが知られており（Matsumoto, 2016, 2021, Siswanto et al., 2015）、活発な生物活動が行われていると考えられている。しかし、天候や海況が短期間（数日スケール）で変化し、生物活動もそれに追従して応答するため、晩冬季の生物地球過程については不明の点が多い。本研究は、海洋の物理・化学場の短期間変化が生物量やその分布、さらに群集構造に与える影響を明らかにすることを目的とし、海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」MR24-01C 航海で、亜熱帯海域（観測点 KEO, 北緯 32.5 度東経 144.5 度）の最も生産性の高い晩冬季（2024 年 2 月 21 日 18 時から 24 日 18 時）において、3 時間毎の CTD 観測（表層から 300m まで）および試料採水を行った。なお、CTD によって水温、塩分、密度、溶存酸素濃度、クロロフィル蛍光、濁度、透過率、蛍光有色溶存有機物（FDOM）、光合成有効放射（PAR）、後方散乱の鉛直プロファイルを取得した。また、CTD に取り付けたニスキン採水器で、栄養塩（硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸、アンモニア）濃度、硝酸同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{18}\text{O}$ ）、粒子状有機炭素（POC）、微生物生物量（*Synechococcus*、*Prochlorococcus*、ピコ植物プランクトン、従属栄養性細菌、ウィルス様粒子）、および微生物 DNA/RNA 試料を採取した。

観測中は、低気圧の通過により天気が日替わりで変化した（図 1）。すなわち、2/21, 22 日は強い南西風が吹き気温が高く（～19℃）、23 日は風速が低下し日中に強い雨が降り、24 日は強い北風が吹き気温が低下した（～13℃）。降雨のあった 2 月 23 日午後、海洋表層の塩分が 0.06psu 低下した。また、水柱中の混合層は、2 月 21 日 18 時から 24 日 6 時まで 100m 以浅であったが、24 日 9 時以降 150m 以深となった。有光層深度は、観測期間を通して約 70m であった。

栄養塩濃度のプロファイルの時間変化（図 2 左）は、概ね水塊構造と同様の変化を示したが、23 日 12, 15, 18 時に 60-100m 付近で他と比べ高い濃度が観測された。これらの高い栄養塩濃度は、低い酸素濃度を伴っており、有光層より深いところからやってきたことが示唆された。また、特に酸素濃度のプロファイル（図 2 右）に見られるこの深さでの不連続性は、水塊の湧昇というよりは等密度面に沿った別の水塊の水平的な貫入によるものと考えられる。

また、2 月 24 日 9 時以降、混合層の深化に伴い混合層中の栄養塩濃度が低下した。一方で、クロロフィルおよび粒子状有機炭素濃度が増大していた。このことは、2 月 24 日 6 時から 9 時の間に観測点付近の水塊が変化したことを示唆するものであった。

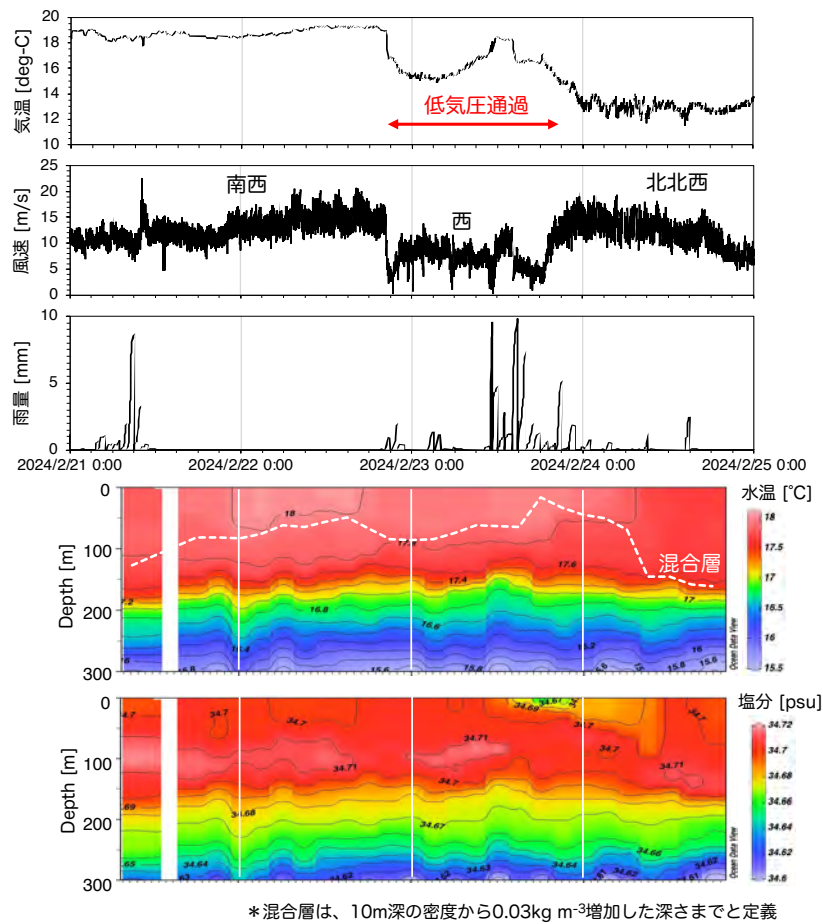


図 1. 観測期間中の気象および水塊構造の時間変化

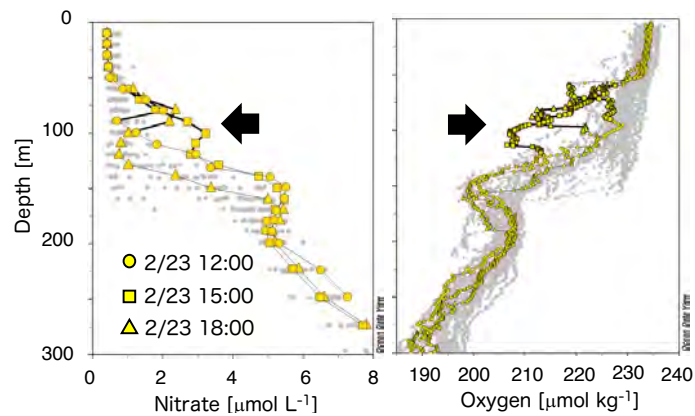


図 2. 観測期間中の硝酸（左）と溶存酸素濃度（右）のプロファイル

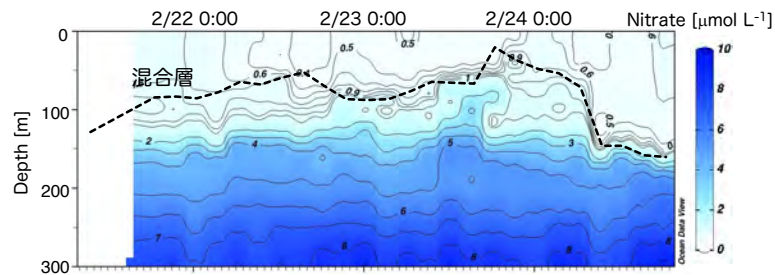


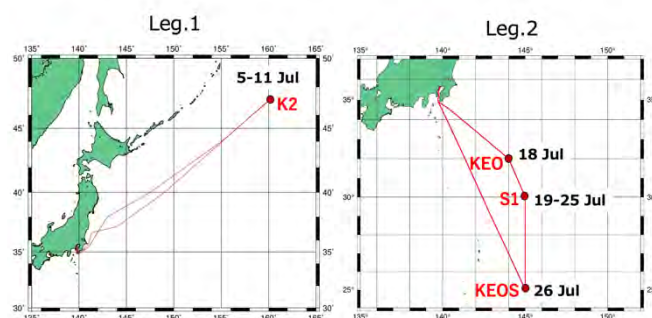
図 3. 観測期間中の硝酸濃度の深度時間断面

白鳳丸 KH-23-3 次航海概要報告 西部北太平洋における大気海洋境界領域の統合研究 SOLAS-JIPS

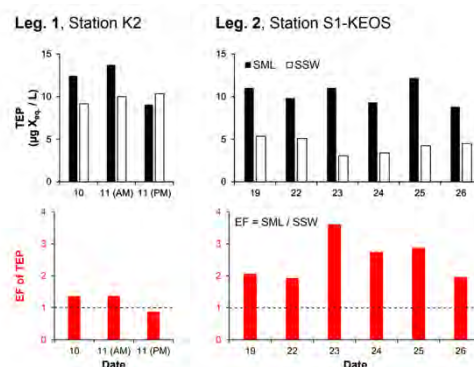
○濱崎恒二（東京大学大気海洋研究所）、乗船研究者一同

近年、二酸化炭素、窒素、鉄、各種の海洋生物起源気体など、様々な物質の分布や海洋・大気間でのフラックスについての理解が飛躍的に高まり、全球規模での見積りも大きく進んできた。一方で、これらの物質の時空間変動を説明するためには、海洋生物群集も含めた生成・消滅の機構を定量的に理解することが必須だが、未解明の点も多く残されている。窒素などの湿性沈着に対する植物プランクトン応答、大気経由での鉄供給における滞留時間や溶解度の把握、ダストイベントによる突発的な生産、亜熱帯域の窒素固定生物応答など、現場観測を必要とする課題は多い。そのほか、海飛沫から生じるエアロゾル粒子の雲凝結核や氷晶核への寄与についても、大気海洋境界面における粒子生成フラックスやその化学組成の解析が求められている。強い海流系に支配され時空間的にダイナミックな海域であると同時に、偏西風によって陸域から運ばれる様々な物質の影響や、環太平洋火山帯で時として発生する火山噴火の影響を受けやすい海域でもある西部北太平洋において、様々な海洋・気象条件下での生物地球化学的諸過程を観測し比較解析することが、上述した課題の解明に向けたアプローチとして有効と考えられる。特に本研究では、定点滞在型観測の利点を生かし、大気と海水に加えて海表面マイクロ層（SML）の観測を優先的に実施した。海のごく表面 1mm に形成される SML は、大気海洋間での物質交換を考える上で重要だが、観測データが圧倒的に不足しており、本航海によって新たな知見を得ることを目指した。

令和 5 年 7 月 2 日～7 月 29 日の航海期間に、亜寒帯 K2(47N160E)で 6 日間、亜熱帯 S1(30N145E)にて 7 日間、KE0(32N144E)、KE0S(25N145E)でそれぞれ半日の観測を実施した。全国 13 の大学や研究機関から 17 の研究チームが参画し、海表面マイクロ層（SML）の採集、CTD 及びクリーン採水、現場濾過、プランクトン・ニューズトンネット採集、ビデオプランクトンレコーダー、フラックスブイ観測、光観測、大気採集（エアロゾル、降水含む）、甲板培養実験、海面フラックス連続観測、表層環境モニタリング、大気及び研究用海水揮発性有機物（VOC）、溶存ガス連続測定、海潮流計（ADCP）によるデータ取得を行なった。SML については全 9 回の採集を行うことができた。これまでの分析の結果、亜熱帯観測点での糖質粒子（TEP）や栄養塩（ NH_4 、 PO_4 ）の濃集に加えて、高い酵素活性や呼吸活性を示すデータが得られている。また、生物活動による DMS の活発な放出を示唆するデータも得られた。さらに、SML 及び表層直下海水のクリーン採水も行い、溶存態や粒子態鉄の濃集を示唆するデータも得られている。亜熱帯 S1 で 7 月 19 日に行なった SML 観測では、窒素固定シアノバクテリアの一種であるトリコデスミウムのブルームが見られており、海水データに加えて VOC やエアロゾルなど大気データとの関連付けが期待される。その他、微生物、プランクトン、魚類など生物群集の日周変動、鉄、有機物、窒素など海水化学パラメータの変動、エアロゾル組成や雲核活性粒子、水銀フラックス、VOC といった大気パラメータの変動について分析とデータ解析が進んでいる。



KH-23-3 次航海の航路と観測点



海表面マイクロ層とその直下海水の糖質粒子（TEP）濃度と両者の割合

白鳳丸 KH-22-3 次慣熟航海で採取された 沖縄トラフ堆積物の層序と古環境復元

前田 歩（東京大学大気海洋研究所）、中西 諒（京都大学理学研究科）、宮入 陽介、横山 祐典、
松崎 賢史、○黒田 潤一郎、山口 飛鳥、芦 寿一郎、沖野 郷子（東京大学大気海洋研究所）

学術研究船白鳳丸の改修工事後の 2022 年 2 月に実施された地学系慣熟航海 KH-22-3 では、沖縄トラフ周辺でピストンコアラによる柱状採泥が実施された。奄美大島北西沖におけるステーション(水深 1025 m)で、ほぼ均質な泥質堆積物コア(KH22-3-PC01)が採取された。慣熟航海を通して、本船で引き続き迅速かつ擾乱なく良質のコア試料が採取できることを確認した。採取コアについて、詳細な岩相記載、X 線 CT スキャンによる内部構造観察、放射性炭素年代測定、テフラ層序検討などを行い、その試料をもとに古海洋学的研究を行ったので報告する。

年代層序学的検討

放射性炭素年代測定では、連続的な堆積が示唆される海底下深度-年代曲線が得られ、最下部の海底下深度 7.47 m で約 23.7 ka BP、平均堆積速度は約 37 cm/ky であった。また、広域テフラである鬼界アカホヤ(K-Ah, 7.3 ka)、桜島薩摩(Sz-S, 12.8 ka)と対比される火山灰層が、それぞれ海底下深度 0.91 m, 2.37 m に確認され、放射性炭素年代と整合的であった。年代層序学的検討から得られた堆積物の連続性、半断面の肉眼観察、X 線 CT スキャン画像による内部構造観察から、古環境研究に活用できる良質なコアが採取されたと結論づける。

古海洋学的検討

人間社会の活動により、気温上昇や降水パターンの変化が生じているが、熱帯・亜熱帯貧栄養海域における海洋生態系への気候変動の影響は未解明な部分が多い。東アジアへの一大水産資源供給源である黒潮流域は貧栄養海域であり、過去の様々な気候条件下での古生態系を復元することで、今後の流域生態系への影響を見積もることが可能である。黒潮流域である沖縄トラフの古海洋環境を復元するため、浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比測定と群集解析を行った。表層に生息する浮遊性有孔虫、*Globigerinoides ruber* の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ruber}}$) は -3.48‰ から -0.49‰ までの値をとり、深度-年代曲線から推定される完新世から最終氷期までの温暖/寒冷期の各シグナルを示す酸素同位体比プロファイルが得られた。浮遊性有孔虫は *G. ruber*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globigerina bulloides* 等が群集中で優占し、同海域の先行研究における優占種と一致した。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{ruber}}$ より完新世、完新世から最終氷期最盛期、最終氷期最盛期以降の 3 つのセクションに分けることができ、各々の期間における浮遊性有孔虫群集中の特徴種は *Pulleniatina obliquiloculata* 等の熱帯・亜熱帯種、寒冷種の *Neogloboquadrina* 属、底生有孔虫及び温帯～寒冷種と変遷し、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{ruber}}$ の変化と整合的であった。

「みらい」によって観測された スマトラ島南西沿岸の沿岸湧昇と海洋の生物学的応答

○堀井 孝憲・植木 巖・茂木 耕作・松本 和彦（海洋研究開発機構）、

Kelvin J. Richards（ハワイ大学/IPRC）、安藤健太郎（海洋研究開発機構/WPI-AIMEC）

スマトラ島南西の沿岸海域には、5～9月頃におけるモンスーンの南東風に応答して発生する冷水の沿岸湧昇が存在する。この沿岸湧昇はインド洋暖水プールの東南部に発生する現象で、インド洋東部の海面水温の時空間変動や、短期気候変動現象であるインド洋ダイポール現象の発生や発達、また生物変動やそれによるこの海域の活発な漁業活動にも関わる重要な現象である。しかしながら、過去の研究例は衛星観測データを使用したものが主であり（例えば Susanto et al. 2001）、スマトラ島南西の沿岸域の海洋内部の変動の詳細を示した観測研究はなかった。

2017年12月5日から2018年1月1日まで、観測船「みらい」によるインド洋東部、スマトラ島南西沿岸部における大気海洋の集中観測が行われた。観測期間はモンスーンの南東風により冷水の沿岸湧昇が発生する時期から遅れているが、この集中観測で得られたデータの解析は、インド洋東部の海洋物理・化学・生物学的な変動メカニズムの理解につながり得る。本研究はこの集中観測で得られた水温・栄養塩・クロロフィルの変動を報告する。

主に使用したデータは観測船「みらい」のスマトラ島南西沿岸部（南緯4.2度、東経101.5度）における定点観測のデータである。集中観測期間において、3時間ごとの水温、塩分、乱流、および流速の観測が行われた。また6時間ごとの栄養塩やクロロフィルaなどの採水データも取得された。また観測線「みらい」による海上気象データ（海上風、降水量、短波放射など）も取得された。本研究ではこれらに合わせてコペルニクス海洋環境モニタリングサービス（CMEMS）によって提供された衛星観測に基づく海面高度データや海洋表層クロロフィルaデータも使用した。

「みらい」による定点観測の期間において、インド洋の赤道域では西風が卓越し、スマトラ島南西部では北西風が吹いていた。この風の場合は沿岸湧昇を引き起こすものと逆向きである。ところが「みらい」による水温の深度-時間断面図によると、2017年12月中旬から下旬にかけて水温躍層が徐々に浅くなっていた（図1a）。また塩分の時系列も水温躍層下部の高塩分水が徐々に浅くなる同様の傾向を示した（図1b）。海面高度データの解析結果から、この水温躍層の変化は、11月下旬から12月上旬に卓越した東部赤道インド洋の西風の弱化と中部インド洋の東風の出現に起因していたことが分かった。ここではインド洋赤道域の風によって強制された季節内スケールのケルビン波が東に伝播し、スマトラ島沿岸域に影響していた（図は省略）。またこの水温躍層の浅化と同時に、躍層上部における活発な海洋混合、栄養塩の上方への輸送、および亜表層のクロロフィルaの発達（図1c）が観察された。これらの生物物理学的な反応は、季節的な沿岸湧昇のピークではない時期であっても、季節内スケールの風の強制によって、沿岸湧昇および沿岸域の生物活動に必要な栄養塩の供給がなされることを示している。

（参考文献）

Susanto, R. D., A. L. Gordon, and Q. N. Zheng (2001) Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophys. Res. Lett.* 28 1599-1602.

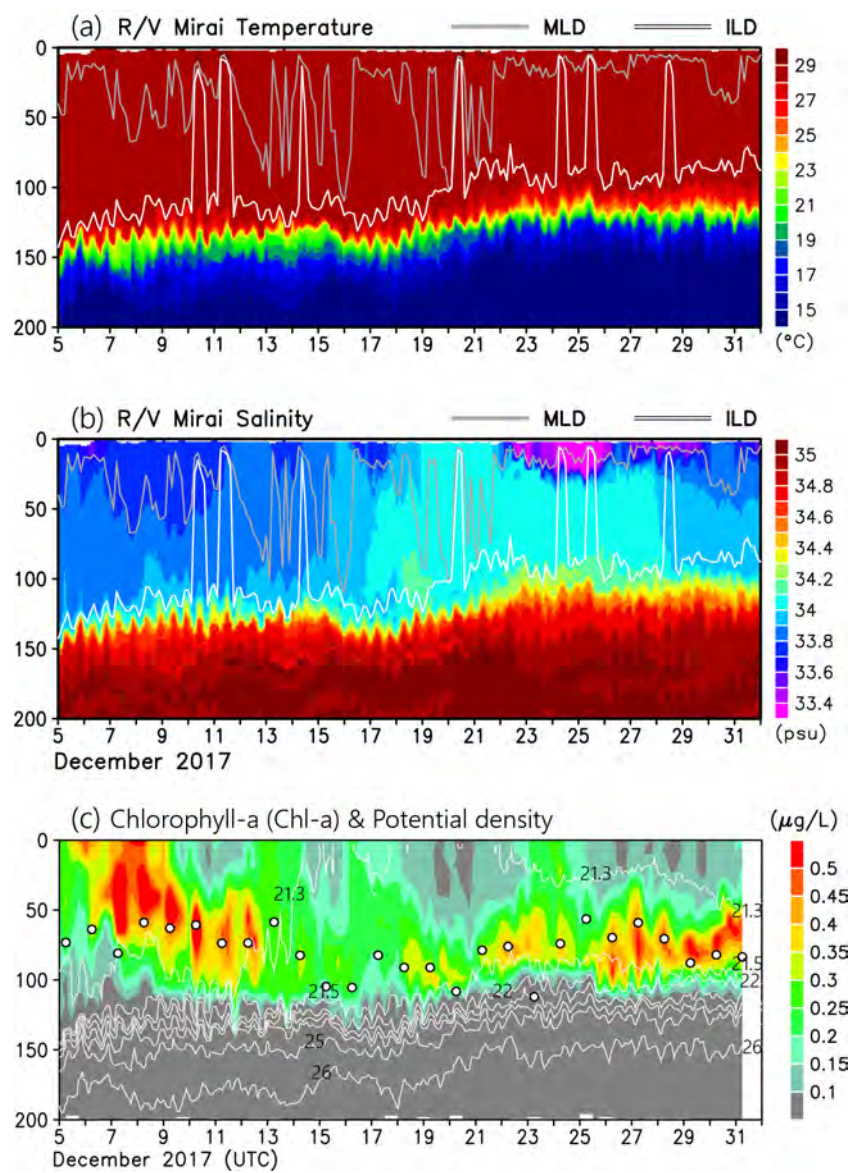


図 1：(a) 観測線「みらい」(南緯 4.22 度、東経 101.50 度) による 3 時間ごとの水温の深度-時間断面図。(b) は (a) と同様ただし塩分。(c) は (a) と同様ただし 6 時間ごとのクロロフィル a。(a) と (b) の灰色線は混合層深度を、白線は等温層深度を示す。(c) の白コンターはポテンシャル密度を、白丸は有光層深度を示す。

DARWIN リニューアル公開とデータオープンアクセスへの取り組み

○杉原孝充（海洋研究開発機構）、高津佳宏（海洋研究開発機構）、川上創（海洋研究開発機構）、伊勢戸徹（海洋研究開発機構）、澄川あゆみ（日本海洋事業）、福田和代（海洋研究開発機構）

航海・潜航データ・サンプル探索システム（DARWIN）は数年の暫定サイト運用期間を経て、2024 年 3 月にリニューアル公開された。現時点で、航海情報・観測データサイトと潜航情報・観測データサイトを開設しており、これまでに実施された JAMSTEC 船舶による航海のメタデータと航海中に取得された海底地形データなどの観測データ、JAMSTEC で運航管理している深海探査機による潜航のメタデータと各種観測データをそれぞれ公開している。また DARWIN リニューアル公開に合わせて、航海メタデータの全てに DOI（Digital Object Identifier）を付与している。

DARWIN の新規開発と運用においては、データベースの基盤システムとして GODAC で開発、運用している DaCS（データコンベヤサーバ）を利用している。DaCS を用いて航海データサイト、潜航データサイトを設定することで、API を利用して、ある航海で実施された潜航メタデータを航海メタデータに関連づけるなどの相互リンクの自動化を容易にしている。航海データサイトと潜航データサイトの連携だけでなく、同様に DaCS で開設しているクルーズレポート・データブックカタログとも連携し、各航海メタデータにそれぞれの航海のクルーズレポートをリンクし、簡単にアクセスできるようにもしている。このため、DARWIN 航海データサイトでは、航海番号から各航海のメタデータ（船舶名、期間、海域など）にアクセスすることで、各観測データ、航海中に実施された各探査機潜航のメタデータ、クルーズレポート、クルーズサマリ、この航海に付与された DOI といった、その航海に関連する情報を統合的に取得できるようにしている。

近年、学術誌に論文を投稿する際、多くの学術誌で利用データのオープンアクセスが求められている。DARWIN 航海データサイトから取得できる観測データを論文に用いる際、上述の航海メタデータに付与している DOI を利用して引用することができる。潜航データについても同様に、潜航を実施した航海の DOI を引用できる。またクルーズレポート・データブックカタログでも各航海のクルーズレポートに DOI を付与しているので、航海の記録や取得データの詳細について、テクニカルレポートとして引用する際にも DOI を利用できる。これも上述の通り、航海データサイトで関連するクルーズレポートへのリンクを示しているので、DARWIN を航海関連データ発信の基軸とすることで、JAMSTEC で実施した航海に関する一連の情報を、その引用手段も含めて示すことが可能となっている。現在、同様な機能を持つサンプルメタデータの公開サイトの準備を行っており、2025 年 3 月に公開予定である。



DARWIN URL: <https://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/ja/>



図 1 DARWIN 航海データサイトトップページ

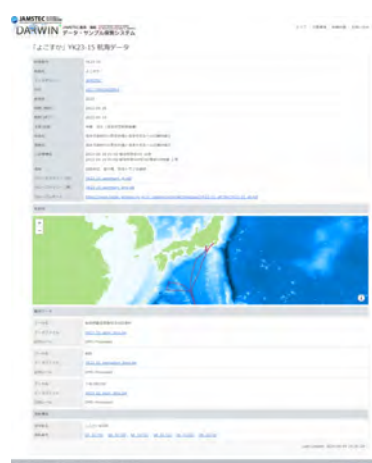


図 2 DARWIN 航海データページの例
DOI が付与されている。

「みらい」MR23-05Leg1 航海におけるフラックス漂流ブイ試験

○植木 巖（海洋研究開発機構）、福田 達也（海洋研究開発機構）

1. はじめに

大気と海洋間の熱あるいは運動量のフラックスは大気海洋相互作用に関する基本的な要素であり、結果として局所あるいは全球規模の気象や気候に影響を与えるものである。しかしながら、特に海洋上の現場観測は航行中の船舶やいくつかの係留ブイに限られており、その定常的な取得は少ないのが現状である。一方、解析や予報・予測モデルに用いられている全球のフラックスデータセットがいくつか存在する。それらは格子状のデータセットで使いやすいが、現場観測との比較等で精度を評価すると、比較的現場データが多く存在する熱帯域でも総熱フラックスで約 20 W/m^2 の RMS 差が存在し、それは総熱フラックスの年平均の 10% 程度に相当する大きな値である (Tomita et al., 2018)。さらに、いくつかあるプロダクト間で総熱フラックスの年平均を比較するとその差が $\pm 20 \text{ W/m}^2$ 程度であり、現存するフラックスプロダクトの不確かさの大きさがうかがわれる状況である (Yu, 2018)。そうした状況を改善するための国際的なプロジェクトとして OASIS (Observing Air-Sea Interaction Strategy) が進行中である。我々が実施しているフラックス漂流ブイの開発もそのプロジェクトへの貢献となっている。

熱フラックスを考えた場合、総熱フラックスは放射フラックスと乱流フラックスの和で表現されるが、前者は短波放射計と長波放射計で計測し、後者は風速・気温・海面水温・大気比湿の計測から経験式を用いた推定で導出するといった少し煩雑な観測が必要になる。そのため、船舶以外での観測を行う場合は、プラットフォームのペイロード容量や電源の制限を考慮する必要が出てくる。

われわれはこれまでにトライトンブイのような長期係留ブイでの熱フラックス計測を行うことで精度評価をしたセンサ群による長期観測を進めてきた。一方で Wave Glider を用いた観測により、機動的かつブイに比べて高頻度の観測も行っている。開発中の漂流ブイはそれらに加えて、低コストによる多数展開の観測を目指すことで観測域の拡張へと繋げることを想定している。

今回は「みらい」MR23-05Leg1 航海にて、はじめての海域試験を実施し、観測の安定性と継続性の確認、動揺補正ルーチンの評価、Wave Glider 観測との比較をおこなったので、それらの結果を報告する。

2. フラックス漂流ブイ

トライトンブイや Wave Glider 上での海面熱フラックス観測で培った技術をベースとして、小型・軽量かつ高い耐候性能を持つ気象センサ群とともに観測制御や衛星通信機能に関する技術開発を進めてきた。それらに加え、係留ブイや Wave Glider よりも激しいと想定される動揺に関しても GNSS/INS (全球測位衛星/慣性航法システム) 技術を利用した記録を行い、それを用いた風向・風速補正ルーチンの開発も進めている。フラックス漂流ブイは直径 0.85 m、高さ 2.3 m (海面上 1.4 m)、空中重量 46 kg (浮力 85 kg) のサイズであり (図 1)、観測頻度 20Hz での 3 成分の風向・風速とともにブイの姿勢・角速度・加速度の計測を実施する。スカラー量としては 1 秒毎の海面水温と大気圧、30 秒毎の気温と湿度の計測を行う。電力は太陽光パネルの発電と蓄電池で賄い、フル充電で 3 日間の計測が可能な仕様としている。以上の計測で少なくとも顕熱フラックスに対する渦相関法による直接乱流計測が可能となる。

3. MR23-05Leg1 航海での海域試験

1) 試験概要

海域試験は2023年7月6日から13日にフィリピン海ブイの係留地点付近にて実施された。7月6日の0400UTC頃に「みらい」から2台のフラックス漂流ブイを投入し、約5日後となる7月11日の0500UTCに回収した。

2) 試験結果

投入した2台のフラックス漂流ブイはほぼ同様の軌跡をたどり、投入海域からおおよそ西へと移動した(図2)。フラックス漂流ブイで観測された海上風は南東風であり(図3)、南赤道海流で西に流されつつ、ローカルな風で若干北へと向かっている様子がうかがえる。渦相関法によって算出された顕熱フラックスは、風速の弱い期間前半で小さめの値を取るが、その後風速の増加と共に値が増加する。また、風速変動に起因した日周期に近い周期変動も確認できる(図4)。

同時期に近傍で観測を行っているWave Gliderと係留ブイとの比較による観測評価の詳細に関しては発表時に述べるが、概ねそれらの観測と同程度の観測が出来ており、短い期間ではあるものの動揺補正を含めたシステムは良好であると結論付けられた。



図1 フラックス漂流ブイ

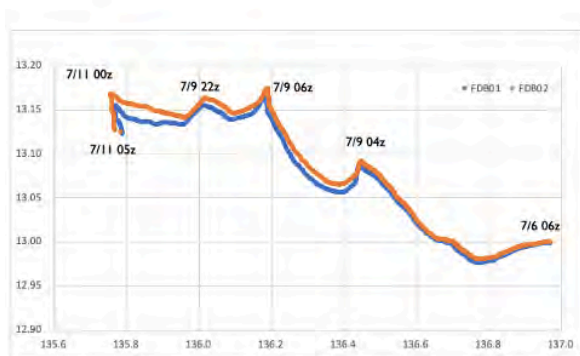


図2 海域試験時の2台のブイの挙動

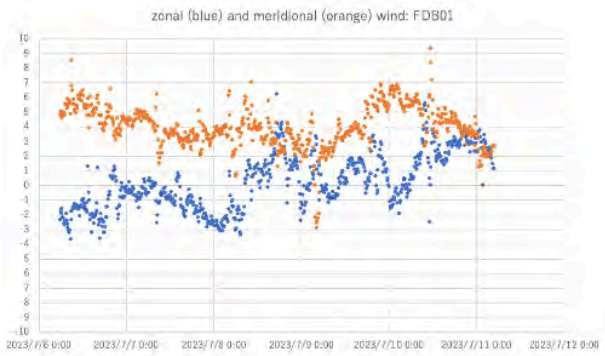


図3 ブイにより得られた海上風

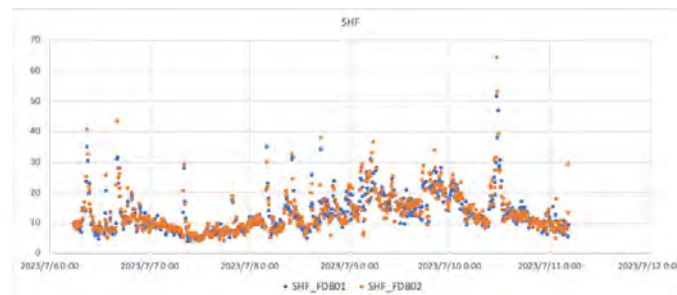


図4 顕熱フラックス

フィルム型プラズマ発光式 UV-C 光源を用いた採水用殺菌装置の開発

○中野善之・脇田昌英・藤木徹一（海洋研究開発機構）

1. はじめに

海水中に溶解している二酸化炭素と炭酸系物質の総量である全炭酸は GO-SHIP (The Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program) のような国際的な観測のみならず、生物地球化学的研究が行われる航海や沿岸観測などでも必須の分析成分となって久しい。全炭酸の試料には船上で測定する場合においても変質を防ぐための目的で飽和塩化水銀 (II) 水溶液 (HgCl_2) を添加するのが一般的であり、全炭酸の認証標準物質としてスクリプス海洋学研究所から有償で提供される CRM にも添加されている。 HgCl_2 は猛毒で毒劇法でも毒物に指定されており取扱いに注意が必要である。さらに、水銀に関する水俣条約発効後は全炭酸試料や CRM の輸送が制限され、今後は海水試料への HgCl_2 添加そのものが規制される可能性もあるが、代替手段についてはようやく検討され始めたのが現状である。

我々はフィルム型プラズマ発光式深紫外光源を用いた採水用殺菌装置を開発し、「みらい」MR22-03 航海において HgCl_2 を添加した全炭酸試料との比較保存試験を実施した。さらにそれらの結果を元に採水用殺菌装置を改良し、「みらい」MR24-07 航海において、同様の比較保存試験を実施した。

(本要旨中「殺菌」、「除菌」、「不活化」の用語が含まれているが、採水用殺菌装置は医療機器ではないため、あくまでも開発中装置の技術説明として記載している。)

2. フィルム型プラズマ発光式深紫外光源の技術概要と採水用殺菌装置仕様

フィルム型プラズマ発光式深紫外光源はチューブ状の発光素子 (2mm 幅) を並べフィルム状の電極シートを貼り合わせることで丸めることもできるフレキシブルな面光源になっている。深紫外線の発光原理はチューブ内の放電ガスに交流電界を印加し、放電による真空紫外線で紫外蛍光体を励起発光するプラズマ方式で光源に水銀は使用していない (Awamoto et al., 2018)。この光源の特徴として、発光効率が紫外 LED の数十倍高い、点灯後すぐに明るくなる、深紫外領域で幅広い波長の光を出せる、点ではなく面で拡散発光できるため影が少なくなるなど既存の紫外線光源と比べ優れた点がある。

採水用殺菌装置 (大きさ $400 \times 125 \times 81\text{mm}$) 内の $\Phi 30\text{mm}$ 、長さ 150mm の石英管にこの光源を巻き付け、中を通る海水へ全周から深紫外線を放射し殺菌する仕組みである。ニスキン採水器の採水口と装置の海水入口をシリコンチューブでつなぎ、装置の海水出口に通常はニスキン採水器の採水口に取り付ける採水チューブをつないで採水を行う。「みらい」のニスキン採水器からは最初に約 1.8L/min の流量で海水が流れてくるが、この流量では装置に入ってから約 4 秒で殺菌された海水が出てくる。

3. MR22-03 航海における全炭酸試料保存試験

「みらい」MR22-03 航海において採水用殺菌装置を使って採水した全炭酸試料の保存試験を実施した (図 1)。航海最初の測点 (32.5N , 137.5E) の SCM (60m) から HgCl_2 添加、 HgCl_2 添加無し、採水用殺菌装置を通した 3 種類のサンプルを 7 本のニスキン採水器から採取した。試料は全て室温で保存し、

それぞれの7試料を航海中に約5日間隔で測定した(図2)。

HgCl₂を添加した試料を基準として、全炭酸の差が5.0μmol/kg以内を誤差範囲内とした。HgCl₂添加無しの試料は3回目の測定(試料採取13日後)以降は全て誤差範囲外となり、基準からは全て全炭酸が高くなっていた。これは試料内の有機物がバクテリア等により分解された影響であると思われる。採水用殺菌装置を通した試料は4回目と7回目の測定のみ基準との差が誤差範囲外となったが、HgCl₂を添加しない試料と比べて有意に差が小さかった。7個の基準試料の平均値は2003.1±1.9μmol/kg、装置を通した試料の平均値は2005.8±3.0μmol/kgとなり、その差は2.7μmol/kgで誤差範囲内に収まって測定のばらつきの差も小さかった。このことから、本研究で開発した採水用殺菌装置はHgCl₂を使わない全炭酸試料の保存に約1ヶ月は有効であることが示唆された。また、採水後すぐに測定した全炭酸、アルカリ度、栄養塩、溶存有機炭素(DOC)は本装置を通した試料と通さない試料で有意な差は見られず、深紫外線によってDOCが無機炭酸に変わり、全炭酸が過大評価されるということとはなかった。

4. 採水用殺菌装置の改良とMR24-07航海における全炭酸試料保存試験

MR22-03航海での結果から、HgCl₂を添加した試料に比べ採水用殺菌装置を通した試料は完全に殺菌できていないこともわかった。FRRFを用いた植物プランクトンの活性を測定する実験では、採水の際に装置内を流れる海水の流速を落として、紫外線を当てる時間を長くすることで活性が落ちることがわかった。

採水用殺菌装置の殺菌能力を高めるため、深紫外線を当てる時間を長くして、より強い深紫外線を当てるように装置を改良した。改良した採水用殺菌装置(大きさ390×123×200mm)は海水が通る石英管をΦ50mmと改良前から20mm太くし(長さは150mmで同一)、同じ流速でも長時間深紫外線が当たるようにした。深紫外線光源は出力を上げ、改良前から約2倍の照度として、石英管を太くしたことによる深紫外線の減衰影響を少なくできた。改良した採水用殺菌装置を使って「みらい」MR24-07航海において、MR22-03航海と同様の全炭酸試料の保存試験を実施した。要旨執筆時点では測定データが出揃っていないため、保存実験の結果を示すことができないが、発表当日は紹介できる見込みである。



図1. 「みらい」のCTDフレームに取り付けた採水用殺菌装置(赤枠内)

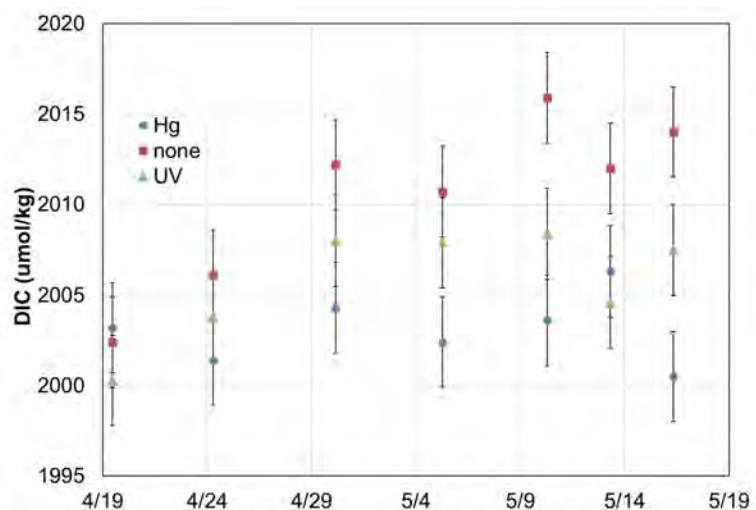


図2. HgCl₂を加えた試料(Hg:●)、添加無しの試料(none:■)、採水用殺菌装置を通した試料(UV:▲)の全炭酸測定値。測定初日は4/19で測定最終日は5/16。

海洋環境変化と低次栄養段階生物への影響評価： 生物地球化学(BGC)アルゴフロートの利活用とその拡張

○藤木徹一・相田(野口)真希・細田滋毅・佐藤佳奈子（海洋研究開発機構/変動海洋エコシステム高等研究所），平野瑞恵・星原(山本)綾（海洋研究開発機構）

人間活動による二酸化炭素の大气放出の増加は、海水温の上昇、海氷の減少、海洋深層から表層への栄養塩供給量の低下、貧酸素化、酸性化など様々な海洋環境の変化を引き起こす。これらの変化は、特に海洋の低次栄養段階生物であるプランクトンの生育や代謝過程に影響を及ぼし、食物連鎖を通じて海洋生態系全体にその影響が波及することが危惧されている。この複雑な環境変化に対する海洋生態系への定量的な影響評価には、洋上観測、環境制御実験、数値モデリングなどによる統合的な研究が必須であるが、時空間的な観測データの不足が、この定量的な影響評価を困難にしている。

この課題を解決する観測手法として、近年、アルゴフロートと呼ばれる自動昇降型海洋観測プラットフォームが注目されている。アルゴフロートは、1999 年に開始された全海洋での水温・塩分プロファイル(0 ～ 2,000 m)の時空間観測を目指した国際共同研究であるアルゴ計画で開発されたものである。CTD センサーを搭載したアルゴフロート観測網は、全海洋で 3,500～4,000 台が維持され、取得されたデータは海況監視・予測や気候・海洋環境変動研究などに活用されている。

さらに最近のフロートとセンサーの技術進歩により、CTD センサーに加え、酸素センサーや硝酸塩センサーといった多様なセンサーをフロートに搭載することが可能となり、海洋生態学研究への応用が可能な生物地球化学(BGC)アルゴフロートが開発された。BGC アルゴプログラムでは、酸素、硝酸塩、pH、クロロフィル *a*、懸濁粒子、下方向放射照度などを測定するセンサーを搭載した 1,000 台の BGC アルゴフロートを展開することで、全海洋での時空間的に高頻度の生物地球化学観測網の構築を目指して、国際的な協力関係のもとフロートの投入を推進している。2024 年 11 月時点で 722 台の BGC アルゴフロートが稼働し、観測を行っている。BGC アルゴフロートで取得されたデータは、CTD データと同様に、アルゴ全球データセンターから無償公開されている(<http://www.argodatamgt.org/>)。

日本に近い西部北太平洋亜寒帯域は世界でもっとも生物による二酸化炭素吸収能の大きな海域、すなわち高い生物生産性を誇る海域の一つである。しかし、近年の昇温や海洋酸性化などの環境変化が、当該海域の低次栄養段階生物にどのような影響を与えるのかはよく分かっていない。JAMSTEC では、全海洋での生物地球化学観測網構築への貢献とともに、本海域での環境変化と低次栄養段階生物への影響を評価するために、2017 年より BGC アルゴフロートを用いた観測研究を行っている（図 2）。本発表ではその観測結果についても紹介する。

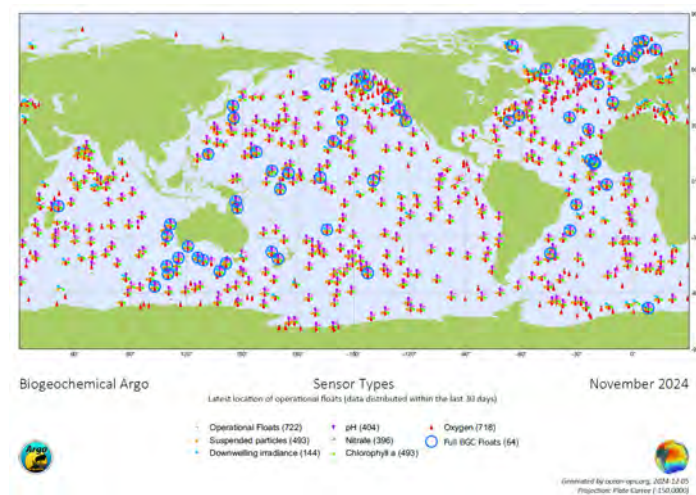


図 1. 2024 年 11 月時点で稼働する 722 台の BGC アルゴフロートの全球観測マップ（引用元：OceanOPS）



図 2. 海洋地球研究船「みらい」からの BGC アルゴフロート投入風景

Time-Reversal MIMO 通信による長距離水中音響通信の高速化

○樹田行弘・出口充康・渡邊佳孝・志村拓也（海洋研究開発機構）

水中音響通信技術は、電磁波が急速に減衰してしまう海水中において、中長距離無線通信を実現する唯一の実用的な通信方法です。しかし、水中音響波は比較的減衰が小さいとはいえ、高周波信号ほど損失が大きくなる吸収減衰により利用可能な帯域幅が制限されるため、長距離においては通信速度が制限されてしまうことが課題の一つとなっています。加えて、海面・海底面における反射や海水中の音速構造に依存した屈折波などが複雑に重畳（マルチパス）して受信されることや、送受信機の動揺ならびに海洋変動に伴う時間変動性の影響が非常に大きいため、陸上の無線通信（携帯電話や Wi-Fi など）の信号処理手法を直接採用することも困難であると考えられます。結果として距離に対して通信速度が反比例する傾向があり、従来のシステムでは通信速度（通信容量、bps 単位）×通信距離の値を指標にすると、おおむね 40 kbps×km 程度の性能でした。海洋研究開発機構では、深海域調査機器-研究船間の中距離音響通信高速化の研究開発に取り組んでおり、しんかい 6500 との通信など、送受信機配置が鉛直方向の関係になる環境において上記の距離×通信速度の指標において 10 倍以上の性能での水中音響通信を実現しています¹⁾。一方で浅海～中深度海域における長距離通信では送受信機の位置関係が水平方向となりますが、この場合、鉛直方向の通信よりも多くのマルチパスが大きな時間的広がりをもって受信されるため、より厳しい通信環境であるとされます²⁾。

本研究では、マルチパス干渉の影響が厳しく、使用可能な帯域幅が制限される水平方向の長距離水中音響通信において、空間多重 Multiple-Input/Multiple-Output (MIMO) 方式による通信信号処理により通信速度の向上を実験的に検証しました。空間多重 MIMO 方式は、同一の帯域幅を使用する信号を複数の送信機から発信し、複数の受信器を備えたアレイによって信号受信する方法です。原理的には、受信アレイ信号処理において各送信機からの信号を空間的に分離しつつ正確に信号を検知することができれば、送信機を加算した分通信容量を増加させることが可能です。

水中音響通信環境の時変動性、マルチパス干渉に対応しつつ、空間多重 MIMO 通信を実現するために、大きく分けて 2 つの信号処理アプローチを組み合わせた方式を用いました。まず、Adaptive Passive Time Reversal と呼ばれるアレイ信号処理手法によりマルチパスによる干渉の影響を抑制しつつ、混信状態にある各送信機からの信号を空間的に分離します。続いて、判定帰還型等化器と呼ばれる、時間領域の信号等化手法により、逐次的に信号処理を行うことによって時間変動性を含む残留干渉の影響を補正し、各送信機から送られた元信号を推定する手法を用いました。

様々な海域条件で取得したデータのうち、本稿では高知県沖において距離 14km の位置に送信機・受信器アレイを係留してデータ取得し、提案手法を適用して性能評価した結果について述べます。本稿の通信実験に関わるパラメータを表 1 にまとめます。通信信号を復調した結果のビット誤り率 (BER) の累積分布を評価した結果を図 1 に示します。通信信号フレームの構成や同時送信数を変えることで、異なる通信速度で信号を送受信した結果を表示しています。同時送信数の増加や信号効率の良い信号フレームを用いる場合、通信速度が速くなります。図 1 が示す通り、最大速度である 39.5 kbps の構成においても、約 95 % 以上のデータにおいて誤り訂正前の BER が 0.001 以下という、高品質な通信信号処理結果を得ました。また、すべての通信パケットにおいて前方誤り訂正によって復号した結果は誤りを含まず、すなわち、本実験中においてはエラーフリー通信を達成することができました。

研究計画期間中に得た実験結果と従来の水中音響通信研究および通信製品群の性能を比較したものを図 2 に示します。海域の特徴や実験期間中の天候・海象の影響により、結果にばらつきはあるものの、従来技術と比較して通信の長距離化・高速化が果たされていることがわかります。

提案手法により長距離の実海域環境においても MIMO 通信が成立することを実証しただけでなく、14 km の距離において通信速度 39.5 kbps という数値を達成したことは、従来の水中音響通信システムと比較して距離×通信速度指標において 10 倍以上の性能向上が可能であるということを示唆しています。本研究の成果は、広域な海洋観測システムの自動化に不可欠な、海中情報ネットワークの構築に向けた一つの知見として役立つものと考えます。

参考文献

- 1) 海洋研究開発機構技術開発部, ” 陸上と海中の通信をささえる基盤技術, 水中音響通信・測位に関する研究”, <https://www.jamstec.go.jp/engd/j/base.html> (参照 2024/12/13)
- 2) 樹田行弘、出口充康、志村拓也, ” 水中音響通信技術の紹介”, 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン B-plus, **60**(4), pp. 271-283, (2022).

表 1 通信パラメータ

信号帯域幅	4 - 8.5 kHz
送信機数	1 - 5 Ch.
受信器数	24 Ch.
変調方式	QPSK (2bps/Hz)
通信路符号化	5/6 LDPC
通信速度 (符号化前)	最大 39.5 kbps

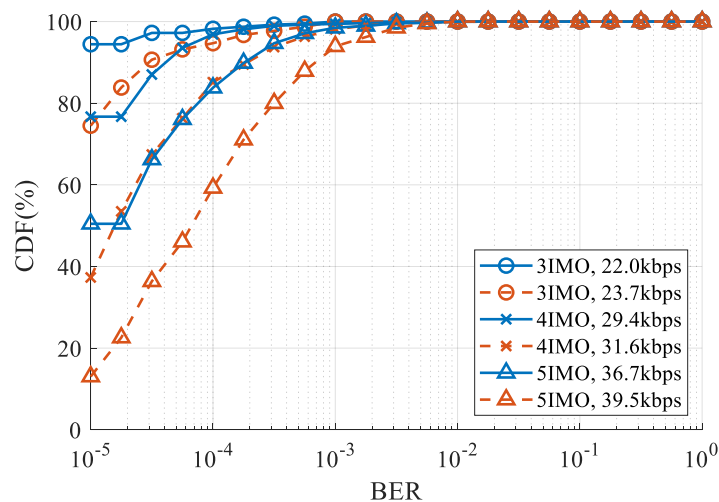


図 1 通信信号処理結果の BER 累積分布関数

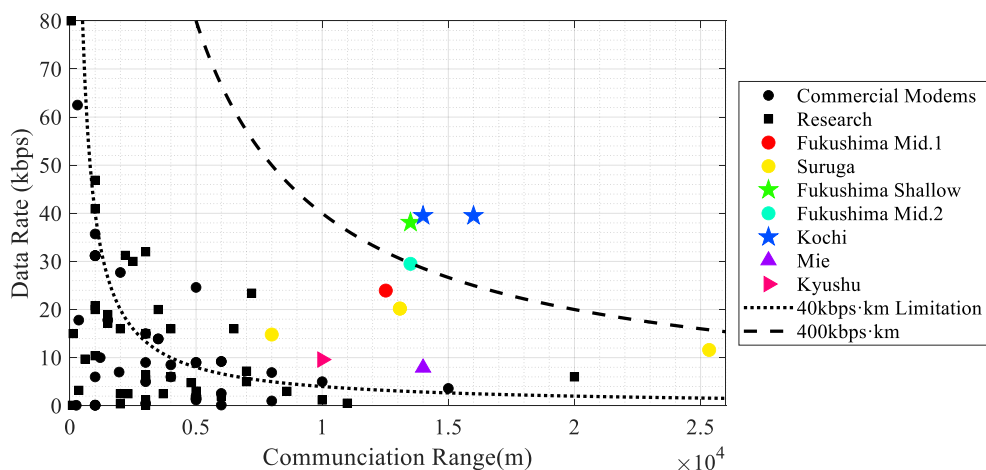


図 2 研究計画全体における試験結果と従来研究・製品群の性能比較

超深海自律サンプリングシステムの実現に向けて－YK23-11 航海報告－

○前田洋作・各務均・麻生達也・蠣崎賢（海洋研究開発機構）

日本周辺には日本海溝や伊豆小笠原海溝をはじめ、超深海が存在する海溝が複数あり、水深 6000m 以深の面積・体積は世界一である[1]。海溝軸を対象とした科学研究ニーズは根強くあり、2022 年には米国のフルデプス有人潜水船 LimitingFactor 号によって、日本海溝および伊豆小笠原海溝の科学的調査が実施されている[2]。しかし、現在日本は超深海に行ける探査機を保有していないため、日本だけでこのような調査を行うことが出来ず、科学研究の発展や政府が掲げている海洋状況把握（MDA）の進捗に重大な影響が出ている。

大深度からサンプル採取を行う探査機は、①有人潜水船、②長尺アンビリカルケーブルを用いた ROV、そして③自律航走可能な AUV に細径長尺光ファイバケーブルを接続して、船上でオペレーターが深海底映像の把握とマニピレーター操作を行うハイブリット ROV/AUV システム[3][4]が現在までに実績を上げている。①②はその性質に大深度対応ということも相まって、大掛かりなシステムになり、開発・運用コストがかさむことは避けられない。③について、サンプリングを行う場合、細径長尺光ファイバケーブルが必要になるが、ケーブルが絡んだり、切れたりしないようにブイクルや母船を操船する必要がある。10000m 級の大深度でこれを行うことは難しく、光ファイバが切れないことを祈りながらのオペレーションになる可能性が高い。

そこで、これまでに我々の開発チームは、母船とケーブルで接続することなく、高速音響通信と自動化技術を用いてサンプリングを行うブイクルシステムの提案を行い、実現可能性を探ってきた。そのコンセプトは図 1 の通り、ランダーと小型自律ブイクルをセットにしたものである。このメリットとして、ランダーとブイクルでそれぞれ役割分担を行うことで、特にブイクル側の搭載品を少なくすることができ、超深海対応にもかかわらずコンパクトにできることが挙げられる。ブイクルが行うべき水平方向移動、目的試料の探索・採取に必要な機能を搭載し、それ以外の鉛直移動、大容量電源搭載、船上との音響通信等の機能をランダーの方に搭載することができる。

本講演ではこのシステムの実現に向けて行ってきた、主にランダー側の技術開発（高速音響通信、セラミックスを用いた軽量高強度耐圧容器、フルデプスランダー等）および自動サンプリングに向けたロボットアームシステム、ターゲット検出の技術開発について、YK23-11 航海における水深 9200m での海域試験結果を報告する。

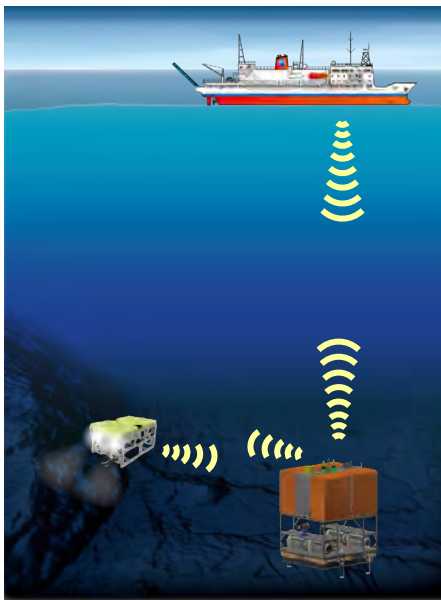


図 1 超深海自律サンプリングシステムのイメージ

参考文献

- [1] シップ・アンド・オーシャン財団 Ocean Newsletter 第 123 号
(2005.09.20 発行)
https://www.spf.org/opri/newsletter/123_3.html
- [2] Ueda, H., Kitazato, H., Jamieson, A. *et al.* The submarine fault scarp of the 2011 Tohoku-oki Earthquake in the Japan Trench. *Commun Earth Environ* **4**, 476 (2023).
- [3] <https://www.whoi.edu/oceanrobots/robots/nereus-phone.html>
- [4] Wang, J., Tang, Y., Li, S., Lu, Y., Li, J., Liu, T., Jiang, Z., Chen, C., Cheng, Y., Yu, D., Yan, X. and Yan, S. (2024), *The Haidou-1 hybrid underwater vehicle for the Mariana Trench science exploration to 10,908 m depth* Cover Image, Volume 41, Number 4, June 2024. *J Field Robotics*, 41: i-i.

CTD 採水システム用水温計のトレーサブル校正

○馬場尚一郎・川上創（海洋研究開発機構），斉藤郁彦（産業技術総合研究所），
田中辰弥（株式会社マリン・ワーク・ジャパン）

海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、海洋地球研究船「みらい」、海底広域研究船「かいめい」に搭載された CTD 採水システム（Fig.1）において、Sea-Bird Scientific 社製（SBS 社）の SBE3 シリーズの水温計を採用し、高精度な温度観測を行っています。SBE3 は初期精度 $\pm 0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、安定度 $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以下の性能を有しており、これまで JAMSTEC はこれらの精度を担保するために、年に一度 SBS 社で校正を実施しています。しかし、近年校正費用の上昇や校正期間の長期化（約 4 ヶ月）が課題となっており、校正間隔の延長や、研究航海と校正期間の調整が求められています。

一方で、JAMSTEC 技術開発部では、係留系観測用の水温計を校正するシステムを開発してきています。この校正システムは 2 段階の校正の連鎖で構成され、その 1 段階目の校正（Fig.2）では、計量標準総合センター/産業技術総合研究所の協力のもと国家計量標準と直接校正した標準抵抗温度計（SPRT）を基準温度計とし、SBE3 の比較校正を行っています。さらに、本校正装置に起因する不確かさ要因を検証し、それらを評価・測定することにより、国家計量標準にトレーサブルな校正手法を確立しています。

本発表では、この校正装置を用いて JAMSTEC 内で SBE3 の校正を実施し、SBS 社の校正結果と比較することで、自前での SBE3 校正の妥当性の評価や、経年ドリフト値の把握を検討しました。自前の校正が実現すれば、校正タイミングを柔軟に調整し、さらに校正間隔を延長する指標の確立が期待されます。



Fig.1 CTD 採水システム

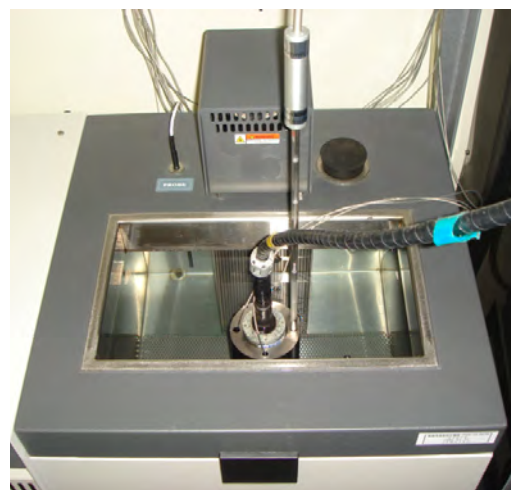


Fig.2 SBE3 校正システム

日本の有人潜水調査船の維持・開発の重要性と ROV、AUV との共存 ～「深海研究包囲網」の確立と推進～

○佐藤寛之（東海大学海洋学部海洋理工学科海洋理工学専攻）、脇田和美（東海大学海洋学部）

日本は深海大国であり、深度別の EEZ 体積では 5000m 以深では世界一位を誇る。深海研究のアイコンともいえるしんかい 6500 は、先代しんかい 2000 に次ぐ有人潜水調査船として 1981 年に完成、91 年から調査潜航を開始。彼女の功績は数知れない。このしんかい 6500 に、母船よこすかの老朽化などで停船の危機が迫っている。そして ROV、AUV においても技術開発が遅れているという現状がある。今日までの海洋・深海研究を支えてきた有人潜水調査船しんかい 6500 の維持・継承の重要性、及び ROV、AUV を組み合わせた「深海研究包囲網」について筆者の視点から解決策を展開していく。HOV とは Human Occupied Vehicle の略で有人潜水調査船を、ROV とは Remotely Operated Vehicle の略で遠隔操作型無人潜水機を、AUV とは Autonomous Underwater Vehicle の略で自立型無人潜水機を指す。

深海探査システム委員会ではたびたび次のようなキーワードが出てくる。『HOV, ROV, AUV 単体による深海調査ではなくて、組み合わせた深海調査』。こうした組み合わせた体制を筆者は「深海研究包囲網」と命名し、包囲網の確立と推進を提案する。深海研究包囲網は図 1 を基盤とするソフト面・ハード面の二つの柱によって構成される。

ソフト面ではコミュニティの拡大・安定、人材・財源の確保、アウトリーチの推進、情報発信の推進が挙げられる。深海調査には多くの人とコストがかかる。国家レベルのプロジェクトをきっかけにコミュニティの拡大を行い、人材育成を図る。こうしたプロジェクト、コミュニティの形成によって新たな技術者の育成の場、そして今後の有人調査船に必要な技術の継承が可能となる。こうした取り組みは産業育成へとつながり、今後の新技術の開発の促進剤ともなる。また「深海をより身近に」をキーワードにアウトリーチの推進、情報発信によって一人一人の深海探査への関心と賛同を得る。そうした市民の理解の上に、海洋立国である日本の海洋・深海調査の重要性を政府に訴え、一時的ではなく、深海研究包囲網の安定した運用のための継続的な財源を確保する。

ハード面では母船をはじめとした調査船の充実、技術の継承と開発が挙げられる。調査船の充実により、より効率的な調査が可能となる他、国内のみならず国外からの注目・需要も高まり日本が世界の中で深海研究をリードしていくことが可能となる。またソフト面で拡大したコミュニティ内に包囲網の継続、技術の継承が可能となる。そうした中で現在難航している ROV, AUV の技術開発の問題解決につながる。

こうした深海研究包囲網の中心となるのがしんかい 6500 と母船よこすかによって構成される「しんかいシステム」である。しんかい 6500 は深海研究の社会的意義を有すると共に研究者の五感としての役割を果たしてきた。深海研究では「有人・無人問題」がよく議論される。JAMSTEC 高井氏は『有人潜水船と他の無人機による調査の違いは、科学的成果（論文）の質と量について影響を及ぼさない』と述べている。実際、無人機にはない「有人」潜水調査船としてのしんかい 6500 の役割としての社会的意義、すなわち「アイコン」としての存在がある。国立科学博物館の谷氏は博物館で一般の方と接する経験から『いつか自分がそこに行けるかもしれないという夢は、一般の方から関心を得て、身近なものとして感じてもらう上で非常に重要ではないかと思っています。』と述べている。加えて谷氏は『地質学者にとって「しんかい 6500」は、海洋底を調査するための手と足とハンマーです。』と研究者の五感としての役割を述べている。神戸大学海洋底探査センターの石橋氏は『潜水艇はやはり人間が行って周りを見ることができるといふ非常に大きな利点があり、（中略）チムニーの立体的な構造とか熱水鉱床の広さのスケール感というのは、やはり潜っていかないと分からないのだなということは非常に強く実感しました。』と有人潜水調査船の空間性を述べた。

現状のしんかいシステムの延命措置では、近い将来に運航は停止する可能性がある。そこでしんかいシステムが停止した場合に発生する科学的損害を経済的価値の評価により定量的に明示し、しんかいシステムの開発にかかるコストを相対的に比較し、しんかいシステムの重要性の理解を

図り、財源の確保を推し進めることを提案する。しんかいシステムが停止した場合、本来アクセスできたであろう深海環境の評価、調査から生まれる論文などの学術的価値、人材育成の場としての価値、さらに一般の人に夢を与えるといった価値など様々な観点での評価が必要である。また財源確保の方法として、母船への見学ツアーの実施や、民間人の宇宙旅行のように「深海ツアー」と題してしんかい6500に乗船してツアー代を財源として確保する。6K 一番の課題である耐圧殻開発は、JAMSTEC、三菱重工業、川崎重工業など民間企業を巻き込み、「有人潜水調査船耐圧殻プロジェクト」と題し国家レベルでの協力開発を提案する。多くの企業・エンジニアが参加することで多角的な議論・検討が可能となり現状を打破できる可能性があると考ええる。加えて世界の複数の研究所との共同開発、運用を行うことでコストダウンを図る。日本国内にとどまらず国際共同プロジェクトによって海洋・深海研究・教育の船舶や機器が無い国への機会や研究の機会を提供すると共に、海洋に関わる人材への育成へとつなげる。支援母船に関しては HOV のみの運用ではなく、より多くの人数が乗船しかつ深海調査機を同時・複数運航できるような中型の船舶が必要となる。こうした設備は「分野横断型の研究の推進」へとつながる。もし実現できた場合は AUV が先に潜航、広域調査を行い、そのデータを基に HUV を用いてピンポイントでの潜航調査へとつなげることができる。

参考文献

- 1) [JAMSTEC の歴史 | JAMSTEC 50TH ANNIVERSARY](#)
- 2) [公開シンポジウム「有人潜水調査船の未来を語る」 | 日本学術会議 \(scj.go.jp\)](#)
- 3) [「しんかい 6500」の老朽化問題をめぐる報道に寄せて、ほんとうに伝えたいこと | フカメディア \(fukamedia.jp\)](#)
- 4) [しんかい 6500 老朽化、迫る設計寿命 文科省、無人機開発優先へ：朝日新聞デジタル \(asahi.com\)](#)
- 5) [議事次第・資料一式 \(その 3\) \(mext.go.jp\)](#)
- 6) [深海探査システム委員会 \(第 1 回\) 議事録：文部科学省 \(mext.go.jp\)](#)
- 7) [最前線海洋研究の「実践」を通じた若手人材育成プロジェクト＜若手人材の育成に関する取り組み＜組織情報＜海洋研究開発機構 \(jamstec.go.jp\)](#)
- 8) [深海探査システム委員会 \(第 2 回\) 議事録：文部科学省 \(mext.go.jp\)](#)
- 9) [議事次第・資料一式 \(その 1\) \(mext.go.jp\)](#)
- 10) [深海探査システム委員会 \(第 3 回\) 議事録：文部科学省 \(mext.go.jp\)](#)
- 11) https://www.mext.go.jp/content/20231122-mxt_kaiyou-000032709_1.pdf
- 12) [深海探査システム委員会 \(第 4 回\) 議事録：文部科学省 \(mext.go.jp\)](#)
- 13) [深海探査システム委員会 \(第 5 回\) 議事録：文部科学省 \(mext.go.jp\)](#)
- 14) [mext.go.jp/content/20231226-mxt_kaiyou-000033079_001-1.pdf](#)
- 15) [議事次第・資料一式 \(その 2\) \(mext.go.jp\)](#)
- 16) [mext.go.jp/content/20240205-kaiyou-000033580_02.pdf](#)



図1 深海研究包囲網のイメージ図 (第1回深海システム委員会より)

深海高解像度カメラシステムによる深海映像の撮影・アウトリーチでの活用

○荻田善之・中條秀彦・吉澤理・豊福高志（海洋研究開発機構）

2016 年より続けている、これまでにない広視野でリアルな深海映像の撮影及び、深海探査機の監視カメラの試験を目的とし、「よこすか」YK22-04 航海において、「しんかい 6500」の試験・訓練潜航の様子を深海高解像度カメラシステムを用い深海映像の撮影を行い、広報・アウトリーチ活動に活用した。

同時に、深海の映像を活用した海洋科学技術の普及広報活動を、プロサッカークラブの川崎フロンターレと連携して実施するため、「しんかい 6500」カメラによる撮影も行った。

本発表では深海高解像度カメラシステムにより撮影された深海映像の活用事例と今後深海高解像度カメラシステムの利用が期待される分野、また、社会の多様な分野と連携した海洋科学技術のアウトリーチの取り組みについて紹介する。

- 1 深海高解像度カメラシステムの概要
 - ・小型・高画質（8K）な深海水下カメラ（耐圧 4000m）
 - ・広視野角（200 度程度）を撮影可能
 - ・海底設置（スタンドアローン、8 時間以上）及び深海探査機と接続した撮影が可能
- 2 撮影された深海映像の広報アウトリーチ活用事例
 - ・国立科学博物館 360°シアター「深海-潜水艇が照らす漆黒のフロンティア-」
 - ・YouTube360 度映像「深海 VR」シリーズ
「海底に降り立つ」はルミエール・ジャパンアワード 特別賞などを受賞し、現在も 790 万回以上再生されている
 - ・その他、様々な広報イベントでの利用、映像提供などを行っている
- 3 カメラシステムの利用が期待される分野
 - ・映像素材（学習素材、アミューズメント、プラネタリウムでの活用など）
 - ・リアルタイム配信（船上、陸上への VR 映像としての配信、Society5.0 科学博での実績あり）
 - ・監視カメラ（海底ステーションなど）
- 4 川崎フロンターレによる海の研究活動を紹介する記念企画と連携したアウトリーチの取り組み
 - ・本航海での試験訓練で撮影された映像をもとに深海調査の様子や環境を映像で紹介（YouTube 他の動画サイトにて公開）
 - ・川崎市内の小学校・特別支援学校（117 校）の児童に配布するフロンターレこども新聞での「深海を学ぼう！」年間連載記事の制作
 - ・Jリーグ公式戦来場者へ海の研究活動を紹介するイベントの実施（2022 年 8 月 7 日に開催）等



八戸市立吹上小学校における JTRACK にかかる海洋 STEAM 授業実施報告

○木戸 ゆかり・中野 夏海・五味 和宣・廣瀬 重之・大嶋 真司・市原 盛雄（海洋研究開発機構），
横内 裕史・広田 陽介・川村 洋（八戸市立吹上小学校），日向端 聖（八戸市教育委員会）

海洋研究開発機構（以降 JAMSTEC）では、次世代の海洋人材育成を目的として、令和 5 年度より「海洋 STEAM プロジェクト」を開始した。取り組みの一環として、JAMSTEC が八戸市教育委員会と共同で制作した海洋 STEAM 教材を用いた実践授業と JTRACK 研究航海の学校教育現場への社会実装を同時に実現。教室と「ちきゅう」船上とをライブ中継でつなぎ、双方向性のある海洋 STEAM 授業を国内で初めて実施した。

11 月 12 日に八戸市立吹上小学校で実施された本イベントは、2 部構成である。まず前半で、海洋 STEAM 教材第 3 巻「海の地震と防災 海底下の地層」を活用した授業を担当教諭が実施し、後半は「ちきゅう」との中継授業を行った。

本イベントの大きな目的は、JTRACK 研究航海の学校教育現場への社会実装と海洋 STEAM 授業後のリアル体験モードの実践である。1 コマ目の授業では、「地震の予測はできるのか？」の問いに対し、児童生徒がそれぞれの意見を表明し、コア試料から予測できる可能性を提案した。また「ちきゅう」の模型や水槽実験を通じて、深海掘削の課題とそれぞれの解決策を真剣に考えた。特に水槽実験では、担当教諭のきめ細かい工夫が随所に見られ、児童生徒の理解を効果的に促すことに貢献した。

2 コマ目は、八戸市教育委員会、多くの保護者や地域関係者が見守る中、5、6 年生約 160 名が「ちきゅう」とのライブ中継授業を受けた。船上スタッフがドリルフロア、カッティングエリア、コアラボに移動しながら、今回のミッションやコア試料が上がってきてから研究区画までの処理フローや道具について説明した。また児童からの質問に回答することで、子供たちはプロジェクトの目的や「ちきゅう」の研究設備を画面越しに深く理解した。「南海トラフ地震の予測はできるのか」「乗船に必要な資格は」など追加の質問も途切れることなく、児童生徒の興味関心は深まる一方であった。中でも、普段は積極的な発言を控えるような特別養護の児童が自ら質問していた姿に校長先生から驚きと感動もあった。中継の最後には、乗船研究者から吹上小学校へのメッセージ「For the children in Hachinohe」がサプライズ紹介され、児童からの拍手喝采で最高潮の中、「ちきゅう」中継授業を終了。後日、吹上小学校 156 名からの直筆応援メッセージの貼られた大型ポスターが船上に送られ、船上スタッフらが熱心に眺めている様子が伝えられた。今回のイベントを通じて、「ちきゅう」と「教室」の間で温かい心の交流が芽生えたことを特筆したい。

今回は、熱心な教諭、校長先生、教育委員会の方々に支えられ実現したイベントであった。イベントの様子は地元の TV 局や新聞各紙に大きく報じられた。これまで「ちきゅう」の研究や一般公開などを実施し、強い連携基盤がある八戸市で開催されたことも大きかった。今回のモデル事業の成功を今後の海洋 STEAM プロジェクトのさらなる発展につなげていく。



1 コマ目の水槽実験の様子



2 コマ目の体育館での中継。行列して船上へ質問をする様子