発表課題一覧・要旨集

開催日時

1日目：2021年12月20日（月）

2日目：2021年12月21日（火）

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

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

発表課題一覧

特別発表・口頭発表（1 日目）

1-1.　清杉 孝司 他，神戸大学海洋底探査センター 他，研究成果報告

鬼界海底カルデラにおける物質科学的研究の現状

【CK20-S01 Leg 2】

日時：Day1 12/20（月）09:45-10:30

特別発表

1-2.　石塚 治 他，産業技術総合研究所 他，航海概要報告

大規模火山体崩壊 -マグマ供給系への影響- 白鳳丸 KH-20-7 航海報告

【KH-20-7】

日時：Day1 12/20（月）10:30-10:50

口頭発表

1-3.　田村 芳彦 他，海洋研究開発機構 他，研究成果報告

西之島 2020 年噴火の噴出物

【KR20-E06】

日時：Day1 12/20（月）10:50-11:10

口頭発表

1-4.　中岡 礼奈 他，神戸大学海洋底探査センター 他，研究成果報告

海底の鬼界アカホヤ噴火堆積物の特徴

【CK20-S01 Leg 2】

日時：Day1 12/20（月）11:10-11:30

口頭発表

1-5.　大坪 誠 他，産業技術総合研究所 他，航海概要報告

沖縄トラフ南部，背弧拡大プロセスの解明に向けて：KH-21-3 Leg 1

【KH-21-3】

日時：Day1 12/20（月）11:40-12:00

口頭発表

1-6.　谷 健一郎 他，国立科学博物館 他，航海概要報告

フィリピン海プレートの起源解明に向けて：白鳳丸 KH-20-6航海による

大東海嶺群・北大東海盆の地殻構造発達史への制約

【KH-20-6】

日時：Day1 12/20（月）12:00-12:20

口頭発表

1-7.　山崎 俊嗣 他，東京大学大気海洋研究所 他，研究成果報告

無人探査機用コアリング装置により採取された定方位試料の古地磁気から推定されたフィリピン海プレートの回転運動

【KS-19-8】

日時：Day1 12/20（月）12:20-12:40

口頭発表

1-8.　秋澤 紀克 他，東京大学大気海洋研究所 他，航海概要報告

東北沖プチスポット火山領域を対象としたYK20-14S/YK21-07S 次航海レポート ～マントル捕獲岩採取を目指して～

【YK21-07S】

日時：Day1 12/20（月）12:40-13:00

口頭発表

2-1.　西野 茂人 他，海洋研究開発機構，研究成果報告

2020 年「みらい」北極航海（MR20-05C）の概要とハイライト

【MR20-5C】

日時：Day1 12/20（月）14:30-15:15

特別発表

2-2.　池原 実，高知大学，研究成果報告

南大洋インド洋区における過去41 万年間の周極深層水変動

【KH-10-7】

日時：Day1 12/20（月）15:15-15:35

口頭発表

2-3.　久保田 好美 他，国立科学博物館 他，航海概要報告

東シナ海堆積物を用いた第四紀のアジアモンスーン変動史解明：KH-21-3 Leg 2

【KH-21-3 Leg 2】

日時：Day1 12/20（月）15:35-15:55

口頭発表

3-1.　纐纈 慎也 他，海洋研究開発機構，航海概要報告

GO-SHIP/P1 ラインにおける経年変化

【KH-21-3 Leg 2】

日時：Day1 12/20（月）16:05-16:25

口頭発表

3-2.　横川 太一 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告

凝集体生命圏：海洋炭素循環過程の未知制御機構の解明

KS-21-4 & -7 航海概要（春期ブルーム観測）

【KS-21-7】

日時：Day1 12/20（月）16:25-16:45

口頭発表

3-3.　青木 一真，富山大学，研究成果報告

MR16-08 から MR21-04 航海の海洋大気エアロゾルの光学的特性

【MR21-01, 03, 04, 06】

日時：Day1 12/20（月）16:45-17:05

口頭発表

3-4.　竹谷 文一 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告

「みらい」MR21-01 航海概要報告: 西部北太平洋におけるアジア大気微量物質による海洋生物地球化学への影響評価

【MR21-01】

日時：Day1 12/20（月）17:05-17:50

特別発表

特別発表・口頭発表（2 日目）

4-1.　野 徹雄 他，海洋研究開発機構 他，研究成果報告

「かいれい」地震探査システムで得られた日本海の地殻構造
～「日本海地震・津波調査プロジェクト」の成果 ～
【KR19-06C,KR18-06C,KM17-06C,KR16-08,KR15-11 Leg 3,KR14-08】
日時：Day2 12/21（火）09:30-09:50
口頭発表

4-2.　山野 誠 他，東京大学地震研究所 他，研究成果報告

千島海溝アウターライズにおける熱流量分布
―日本海溝海側の高熱流量域との比較―
【KH-18-5】
日時：Day2 12/21（火）09:50-10:10
口頭発表

4-3.　太田 雄策 他，東北大学大学院理学研究科 他，研究成果報告

千島海溝根室沖における複合海底測地観測
【KS-19-12】
日時：Day2 12/21（火）10:10-10:30
口頭発表

4-4.　東 龍介 他，東北大学大学院理学研究科 他，研究成果報告

広帯域海底地震計アレイ観測と S-net で捉えた千島・日本海溝会合部の地震活動
【KS-19-12】
日時：Day2 12/21（火）10:30-10:50
口頭発表

4-5.　三澤 文慶 他，産業技術総合研究所 他，航海概要報告

最表層部構造から紐解く東北沖上盤プレートの変動 -白鳳丸KH-20-10 航海報告-
【KH-20-10】
日時：Day2 12/21（火）11:00-11:20
口頭発表

4-6.　中村 恭之 他，海洋研究開発機構，研究成果報告

中西部南海トラフの3 次元地下構造とゆっくり地震発生域との関係
【KR19-E03】
日時：Day2 12/21（火）11:20-11:40
口頭発表

4-7.　木下 正高 他，東京大学地震研究所 他，航海概要報告

日向灘沖における九州パラオ海嶺沈み込みの影響評価　KS-21-18 航海序報告

【KS-21-18】

日時：Day2 12/21（火）11:40-12:00

口頭発表

5-1.　小林 瑠那 他，横浜市立大学 他，研究成果報告

深海熱水噴出域由来の微生物は電気を食べて育つのか？

【KR18-14 Leg 2】

日時：Day2 12/21（火）13:30-13:50

口頭発表

5-2.　吉村 太郎 他，東京大学総合研究博物館 他，研究成果報告

化学合成共生二枚貝の貝殻形成に伴う硫黄解毒メカニズム

【YK19-10】

日時：Day2 12/21（火）13:50-14:10

口頭発表

5-3.　福田 秀樹 他，東京大学大気海洋研究所 他，研究成果報告

三陸沖における水塊と浮遊性藻類群集の分布特性

【KS-17-3,KS-17-6,KS-17-12,KS-18-2,KS-18-8,KS-19-4,KS-19-7,KS-19-20】

日時：Day2 12/21（火）14:10-14:30

口頭発表

5-4.　Sangekar Mehul 他，海洋研究開発機構 他，研究成果報告

環境影響評価のための技術開発 KM20-11 Preliminary Results

【KM20-11】

日時：Day2 12/21（火）14:30-14:50

口頭発表

5-5.　Bergman Leah 他，海洋研究開発機構 他，研究成果報告

深海魚ホウライエソのメッカと化した黒瀬海穴

Deep-sea fishes in a sauna: viperfishes dominate a submarine caldera

KM20-11 Preliminary Results

【KM20-11】

日時：Day2 12/21（火）14:50-15:10

口頭発表

6-1.　野村 瞬 他，東京海洋大学 他，研究成果報告

深海3515mにおけるポルトランドセメント系材料の力学挙動原位置計測試験

【KR20-07】

日時：Day2 12/21（火）15:20-15:40

口頭発表

6-2.　末吉 惣一郎 他，日本海洋事業株式会社 他，研究成果報告

「みらい」北極航海におけるWebGIS を用いた海氷情報表示について

【KR20-07】

日時：Day2 12/21（火）15:40-16:00

口頭発表

ポスター発表（１日目） コアタイム 13:00-14:30

12/20-1. 永野 憲 他，海洋研究開発機構，研究成果報告
エルニーニョに関連したK2 測点冬季混合層直下の鉛直混合の強化
【KR19-02】

12/20-2. 藤原 義弘 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
コノハエビはポンペイワームを超える?
～タギリコノハエビの高温耐性に関する研究～
【KS-20-2】

12/20-3. 福場 辰洋 他，海洋研究開発機構，研究成果報告
ATP の現場定量分析による微生物バイオマス可視化への挑戦
【YK21-10】

12/20-4. 土屋 正史 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価 KM20-08,-09,-11 航海概要
【KM20-08,KM20-09,KM20-11】

12/20-5. 甘利 友花 他，東京海洋大学 他，研究成果報告
シンカイヒバリガイ類は共生細菌をどのように見分けているのか？
【KS-20-1】

12/20-6. 浜田 盛久 他，海洋研究開発機構 他，研究成果報告
鬼界海底カルデラ火山の地質岩石学的研究の進捗状況
―溶岩ドーム流紋岩質マグマの温度・圧力の推定を中心として―
【KR20-11】

12/20-7. 長瀬 薫平　他，広島大学 他，研究成果報告
白鳳丸KH-20-6 航海ドレッジ試料の研究船上における岩石物性測定の速報
【KH-20-6】

12/20-8. 横井 覚 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
夏季北進季節内振動に係る大気海洋相互作用研究：MR20-E01 航海概要
【MR20-E01】

12/20-9. 越川 海 他，国立環境研究所 他，研究成果報告
現場植物プランクトン蛍光の量子収率を指標とした揚鉱中の表層水質のリアルタイム監視手法の開発
【KM18-07C】

ポスター発表（2 日目） コアタイム 12:00-13:30

12/21-1. 塩原 肇 他，東京大学地震研究所 他，航海概要報告
海底面での機動的傾斜観測実現に向けた房総半島沖での長期試験観測
【YK20-15S】

12/21-2. 藤原 義弘 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
新たな海洋保護区（ 沖合海底自然環境保全地域 ）管理のための深海を対象とした生物多様性モニタリング技術開発（KM20-10C Leg1 航海概要報告 ）
【KM20-10C】

12/21-3. 熊谷 英憲 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
伊豆小笠原弧火山フロントから背弧側への熱水活動探索(YK21-10 速報)
【YK21-10】

12/21-4. 河地 正伸 他，国立環境研究所 他，研究成果報告
イメージングと深層学習によるメイオファウナのモニタリング手法開発
【KM20-10C】

12/21-5. 三浦 誠一 他，海洋研究開発機構 他，航海概要報告
日向灘スロー地震発生域における構造調査：KR20-10 航海報告
【KM20-10C】

12/21-6. 大田 修平 他，国立環境研究所 他，研究成果報告
フローサイトメトリーを利用した海底金属資源開発域における植物プランクトンへの影響評価技術開発
【KM17-12C】

12/21-7. 伊藤 幸彦 他，東京大学大気海洋研究所 他，研究成果報告
低気圧渦内のサブメソスケール構造と鉛直混合
【KS-19-19】

12/21-8. 悪原 岳 他，東京大学地震研究所 他，航海概要報告
海域機動地震観測による熊野灘のスロー地震調査
【KS-19-18】

12/21-9. 木戸 元之 他，東北大学災害科学国際研究所 他，研究成果報告
2011 年東北沖地震後の余効変動の研究
【KS-20-16】

鬼界海底カルデラにおける物質科学的研究の現状

○清杉孝司、巽好幸、鈴木桂子、金子克哉、中岡礼奈、山本由弦、清水賢、島伸和、松野哲男、
菊池瞭平、山口寛登（神戸大学）羽生毅（JAMSTEC）

40km^{3}以上のシリカに富むマグマを火砕物として噴出する壊滅的なカルデラ形成噴火（噴火マグニチュード＞7）は稀な現象ではあるが、非常に危険な地質現象である。カルデラサイクルにおける火砕物の噴火量とマグマ放出率を推定することは、壊滅的なカルデラ形成噴火のリスクと原因を評価する上で不可欠である。鬼界火山におけるカルデラ噴火によって噴出し、海底に堆積した火砕物を実際に確認するため、2020 年 1 月 11 日～14 日に鬼界火山において海洋研究開発機構の D/V「ちきゅう」の水圧式ピストンコアシステム（HPCS）とショート HPCS（S-HPCS）を用いた堆積物コアの採取を実施した。鬼界火山（鬼界カルデラ）は九州の南方沖約 45km に位置している。海底カルデラである鬼界カルデラはカルデラ縁北部を構成する 2 つの島（薩摩硫黄島と竹島）を除き、ほとんどのカルデラ構造が海底に存在している。鬼界火山では、140ka の小アビ火砕流、95ka の長瀬火砕流、最新の 7.3ka の幸屋火砕流の 3 つの大規模火砕流の発生が知られている。

掘削の結果、竹島の北東沖約 4.3km の 5 地点において堆積物コアを回収した。各掘削地点は、お互いに 10～20m 離れている。堆積物は未固結で生物擾乱は観察されなかった。コアの上位側からの堆積物層序は、礫層、淘汰の悪い火山礫層、オレンジ色がかった火砕物層、泥質砂層、および白色火砕物層である（図 1）。これらの堆積物の層相は次の通りである。

礫層：堆積層の最上部に礫層が存在することが、掘削口に崩落し下位の堆積物とともに回収された礫によって示唆される。礫種は、白い凝灰岩、黒曜石、灰色の火山岩、赤みがかった変質した火山岩、灰色の軽石、変質した軽石である。これらの礫は、角礫～亜角礫であり、最大粒径は直径約 5cm である。

淘汰の悪い火山礫層：淘汰の悪い火山礫サイズの淡黄色の軽石と、暗色の火山岩、灰色の火山岩、黒曜石で構成される。軽石と岩片の最大粒径は、それぞれ＞5cm と約 4cm である。軽石の存在量は深さによって異なる。掘削地点での層厚は 7m 以上である。

オレンジ色がかった火砕物層：少し赤みがかった色からオレンジ色の軽石からなる火山礫層（厚さ最大＞40 cm）と、比

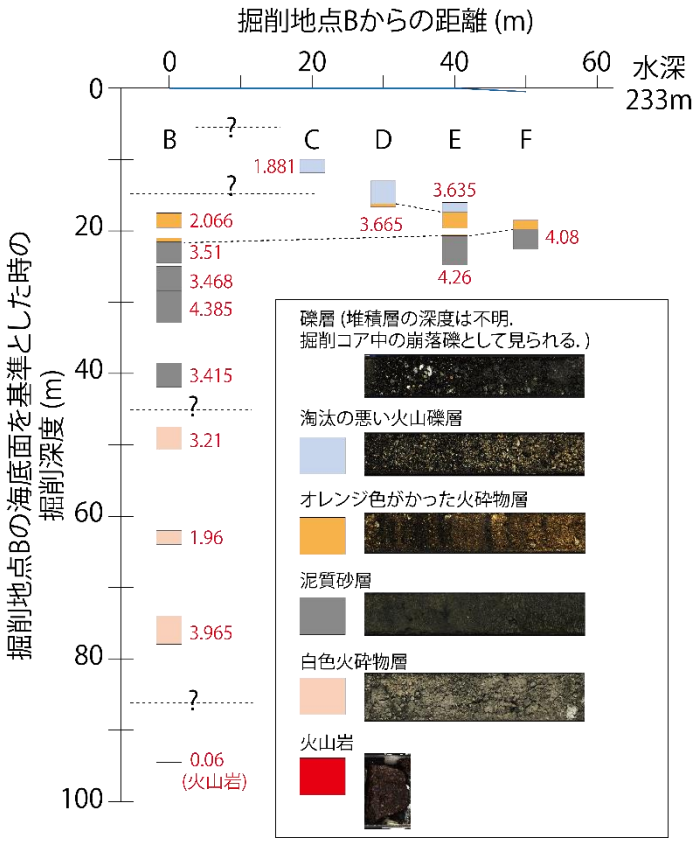


図 1．採取された堆積物の柱状図。赤数字は各コアの長さ（m）。

較的淘汰の良い薄い火山灰層（厚さ＜1 cm）で構成される。層厚は掘削地点で 5m 以上である。火山礫層と比較的薄い火山灰層の形成は、海中の沈着が原因である可能性がある。

泥質砂層：極細粒の黒色火山岩片で構成され、層厚は少なくとも 20.36m である。この堆積物には、貝殻片（～5 mm）や有孔虫が含まれる。この堆積物の最上部に含まれていた貝殻片を用いて C^{14} 年代測定を行った結果、11014-10475 cal BP(2σ暦年代範囲)の年代値が得られた。

白色火砕物層：主に淘汰の悪い白い軽石火山礫と比較的淘汰の良い火山灰で構成される。軽石の最大サイズは＞11cm である。堆積物の層厚は少なくとも 30ｍである。この堆積物には特徴的に石英が含まれる。特に、回収された堆積物の中央部（海底下 63～64m）では、石英（＜2mm）、斜方輝石、単斜輝石（＜1mm）および磁鉄鉱（＜2mm）の結晶のみからなる独特の堆積相を呈している。この独特の堆積相の形成は、海中における高温の火砕流からの堆積が原因である可能性がある。

淘汰の悪い火山礫層とオレンジ色がかった火砕物層は産状とその下位の泥質砂層中の貝殻片の年代値から 7.3ka のカルデラ形成噴火によって噴出した幸屋火砕流や、それに関連した堆積物と考えられる。また、白色火砕物層は長瀬火砕流堆積物に特徴的な石英を含むため、95ka に噴出した長瀬火砕流の堆積物であると考えられる。これらの堆積層の記載は、海中において火砕流堆積物を区別し、海中での火砕流の流れの振る舞いを理解する上で不可欠と言える。発表では堆積物の粒度分析結果についても言及する予定である。

大規模火山体崩壊-マグマ供給系への影響-

白鳳丸 KH-20-7 航海報告

○石塚治，片山肇，有元純，高下裕章，下田玄，針金由美子，Chris Conway，横山由香（産総研），
片岡香子（新潟大），古山精史朗（東京海洋大），小川真由（京大）坂本泉，内山涼多，安藤進吾
（東海大），亀尾桂（東京大学大気海洋研究所），久野光輝（日海事），宮嶋優希（MWJ），
小松 亮介（MOLマリン），三澤文慶（産総研），前野深（東大地震研）

[研究目的，背景]火山体崩壊が火山の噴火様式やマグマの化学組成等火山活動に及ぼす影響に関しては依然不明な点が多い．本研究では，火山体の崩壊を繰り返す活動的な火山（渡島大島火山）において，山体の崩壊がその火山のマグマ供給系と活動様式にどのような影響を及ぼすのか，を高時間分解能で解明することを最大の目的とする．このため，火山噴火から火山体周辺，海洋底への大量の物質供給，運搬・堆積過程を包括的に理解した上で，詳細な火山噴出物層序を確立，長期的なマグマ供給系及び噴火様式の時間変遷をこれまでにない精度で明らかにする．さらに構造探査と崩壊堆積物の採取により，陸上から海中に崩落した山体の体積をより正確に見積もることで，津波発生ポテンシャルの再検討を行う．

[渡島大島火山] 北海道西方の日本海に位置する渡島大島火山は，東北日本弧の最も背弧側に位置する活動的火山である．この火山は 1741 年の噴火の際，渡島大島西山火山の北側斜面で山体崩壊を起こし，山頂部には馬蹄形のカルデラ地形を形成した．その後の活動でカルデラ内に中央火口丘を形成し，現在に至っている．この山体崩壊により，津波が発生，渡島半島等日本海沿岸各地に大きな被害を及ぼした（死者約 1500 名）．渡島大島北側の海底斜面には流れ山地形が見られ，加藤（1997）によるしんかい 2000 による潜航調査により，崩壊堆積物が存在していることが確認された．また周囲を海に囲まれていることから，周辺海底に火山噴出物の良好な連続記録の保存が期待できる．このように渡島大島火山では，噴火に伴い山体崩壊が起きたことが明確で，山体崩壊とそれに対する火山の応答を研究する上で絶好のフィールドである．また 1741 年の津波については，各地での波高などの情報がまとめられ，地形判読により見積もられた山体崩壊量に基づく津波の挙動に関するシミュレーションが公表されている(Satake and Kato, 2001; Ioki et al.,2019 等)．このため，前述の崩壊堆積物の構成物が津波の規模推定にどのように影響するか，検証する上でも適した調査対象である．

[調査観測内容] KH-20-7 航海では，渡島大島周辺海底をターゲットとし，本研究の目的を達成するために，以下の調査を実施した．

1)渡島大島火山の山体崩壊由来の堆積物が分布すると考えられる島の北側斜面において，その構造，厚さ，分布範囲を明らかにするための反射法地震探査とサブボトムプロファイラによる構造探査．

2)渡島大島北側から東側にかけての斜面および奥尻海盆において，火山灰および山体崩壊に関連した堆積物の採取するための大口径グラビティコアラおよびアシュラコアラによる堆積物採取．

3)渡島大島北側斜面に分布する小丘の成因を明らかにするためのドレッジによる岩石試料採取及び海底撮影．

4)山体崩壊堆積物の分布や堆積状況を明らかにするための海底地形調査．

5)火山体とその基盤の構造を理解するための重磁力調査．

[結果概要]

1)堆積物コア採取は 15 地点で試みたが（図 1），渡島大島北側の山体崩壊堆積物が流下したと考えら

れる地域では大口径コアラはささらず，パイロットコアラで 20cm 程度までのスコリア質火山灰や未固結泥等が採取された．粗粒な崩壊堆積物本体をコアリングすることは困難であったと考えられる．一方島の北西側や，北東から東側の奥尻海嶺上の海盆や奥尻海盆では十分な長さのコアが得られた．これらのコアの上部には降下軽石，ガラス質テフラ，スコリア質火山灰等の火山噴出物が含まれている．このコアのスコリア質火山灰の化学組成と，渡島大島山頂部露頭で採取した 1741 年噴火で噴出したと考えられるスコリアの組成はほぼ一致する．一方軽石については，山頂露頭では見られないが，島の南部で 1741 年のスコリア直下に確認されている．このためコアの上部で確認されたこれら噴出物は 1741 年噴火に伴うものと考える．複数箇所で調和的な噴出物層序が得られており，この層序のどこに山体崩壊イベントが相当するのか，検討を行っている．これが特定されれば，山体崩壊の前後の詳細な噴火活動及びマグマの岩石学的，化学的特徴の時間変化が解明できると考える．

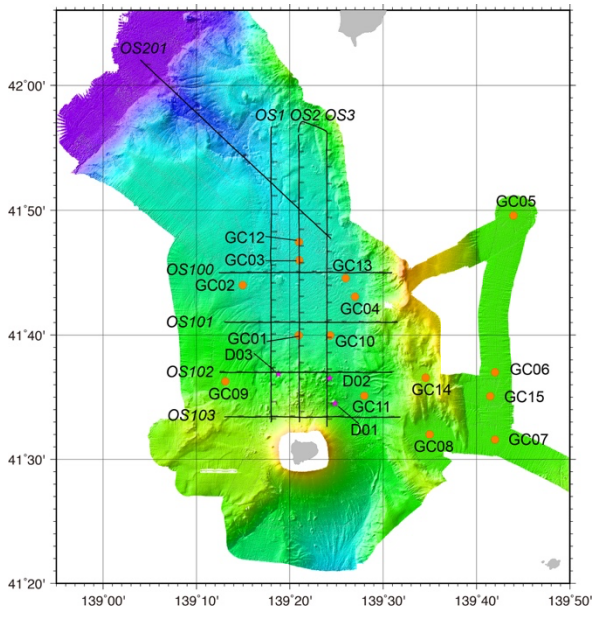


図 1　KH-20-7 航海における反射法音波探査測線と堆積物コア（GC）およびドレッジ(D)による岩石試料採取地点.

2)山体崩壊により形成された流れ山と考えられる地形について，ドレッジによる岩石試料採取を実施した．対象とした地形は，最大で底径 800m，比高約 150m 程度の海丘である，3 つの海丘で試料採取を試みいずれも十分な量の火山岩試料を採取した．ドレッジ曳航中に得た海底映像により，円磨度の低い溶岩ブロックが固着していない状態で海底面上にある地域（図 2）と，数 m 以上のスケール，すなわち露頭スケールのほぼそのままの溶岩露頭ブロックと思われる部分とが存在することが明らかになった．さらに回収された噴出物に水中噴出を示す証拠は認められない．これら露頭や試料の特徴から，調査した海丘はやはり側火山ではなく，流れ山であると解釈してよいと考える．採取した火山岩の化学組成は，1741 年噴出物とは明瞭に組成が異なる一方，山頂部の崩壊壁に露出する溶岩とは類似した組成であることが明らかになった．渡島大島西山の山体の一部が崩落して西山の北北西から北東側までの広い範囲の海底に移動，定置したことを示すと考えられる．

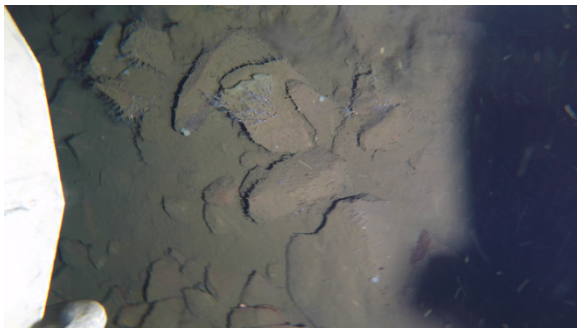


図 2　ドレッジ曳航中に撮影された，流れ山における岩屑なだれ堆積物と考えられる露頭　（D02 サイト）

3)新たに得られた海底地形データにより，海底下の崩壊地形や山体崩壊に伴う岩屑なだれ堆積物の粗粒部の分布が明らかになった．このデータと反射法音波探査により得られた地殻構造データを合わせて検討することにより，地形的に明らかに山体崩壊堆積物が分布していると考えられる地域より遠方にも堆積物が分布していることが判明すると同時に，その厚さや堆積構造について渡島大島からの距離に応じた変化が明らかになった．

西之島 2020 年噴火の噴出物

○田村芳彦・佐藤智紀（海洋研究開発機構），石塚治（産総研），吉田健太（海洋研究開発機構）

東京の約 1,000 km 南に位置する小笠原弧の西之島は有史以来噴火記録がなかったが，1973 年に突然噴火を始め新島を形成して 1974 年 5 月頃に火山活動を休止した。それから 40 年ぶりとなる 2013 年 11 月，突如噴火を再開した。現在まで以下のように，4 回の噴火期（噴火ステージ）と休止期を繰り返している。

- 火山活動　第一期　2013 年 11 月―2015 年 12 月（継続期間～2 年）
- 火山活動　第二期　2017 年 4 月 20 日―2017 年 8 月（継続期間～120 日）
- 火山活動　第三期　2018 年 7 月 12 日―2018 年 7 月 30 日（継続期間～20 日）
- 火山活動　第四期　2019 年 12 月 6 日―2020 年 8 月（継続期間～270 日）

第一期から第四期までの噴火のスタイルは総じて安山岩溶岩を噴出するストロンボリ式噴火であった。小笠原弧のような地殻が薄い海洋島弧における安山岩マグマの生成は，大陸の起源と密接に関係していると考えられている（Tamura et al., 2016; 2018）。ところが，第四期の終盤 2020 年 6-8 月に，一転して，これまでの安山岩溶岩流出と全く様相を異にした爆発的な噴火が起こった。大量の火山灰を噴出するバイオレント・ストロンボリ式噴火に移行したのである（栁澤ほか，2020）。このような噴火は全く予想されておらず，2019 年の噴火以前（第三期と第四期の間）に東京大学が島内に設置した地震計と空振計は，すべて溶岩と厚い火山灰におおわれてしまった。また，第四期のバイオレント・ストロンボリ式噴火は溶岩でおおわれていた西之島を厚い火山灰で覆われた島へと変容させた。さらに，成長して円錐形をしていた火砕丘は，第四期の激しい噴火によって拡大し，大きく裂けて，巨大な火口を見せている。

JAMSTEC 調査

JAMSTEC では，西之島 2020 年噴火の火山噴出物の実体を明らかにするため，2020 年 12 月 15 日から 12 月 29 日にかけて西之島火山噴火調査（KR20-E06「かいれい」）をおこなった（図１）。ボックスコアラー採泥器を用いて，西之島の海底斜面（水深 945 m～1,471 m）に堆積した火山砕屑物を採取した（図２）。ボックスコアラーは海底の表層（深さ 20 ㎝前後）しか採取できないが，多量の溶岩岩片とともに，新鮮なスコリアや軽石が採取された。また，2021 年 1 月 21 日から 1 月 30 日の令和 2 年度共同利用航海（KS-21-2）において，西之島から 15km 北の水深 2,500 m において無人探査機ハイパードルフィンの潜航をおこない，厚さ 1m の黒白互層の火山灰堆積物を観察し，プッシュコアでそれらの未固結の火山灰を採取した（図２）。

2020 年噴出物の化学組成

2020 年に爆発的噴火によって堆積したと考えられる海底表層堆積物は，玄武岩からデイサイト（無水でシリカ 50 %から 64 %）の広い組成範囲を示すことが判明した。2015 年噴火のほぼ均質な安山岩（シリカ～60%）の組成を示すものも含まれる。また，ハイパードルフィンで採取されたものとボックスコアラーで採取されたものは同じ組成範囲を示し，2020 年のバイオレント・ストロンボリ式噴火は火山灰の黒白互層を生成するバイモーダルな火成活動であったと考えられる。

安山岩マグマの流出からいかにしてバイモーダル火山活動へと移行したのか，2020 年における噴火様式の突然で劇的な変化は，近い将来のさらなる爆発的な噴火を示唆するのだろうか。噴出物の化学組成から地下で何が起こったのかを推測する。これらの結果は，今後の噴火に対応した迅速な調査の必要性を示唆する。

図 1．KR20-E06 において西之島の海底を調査するかいれい

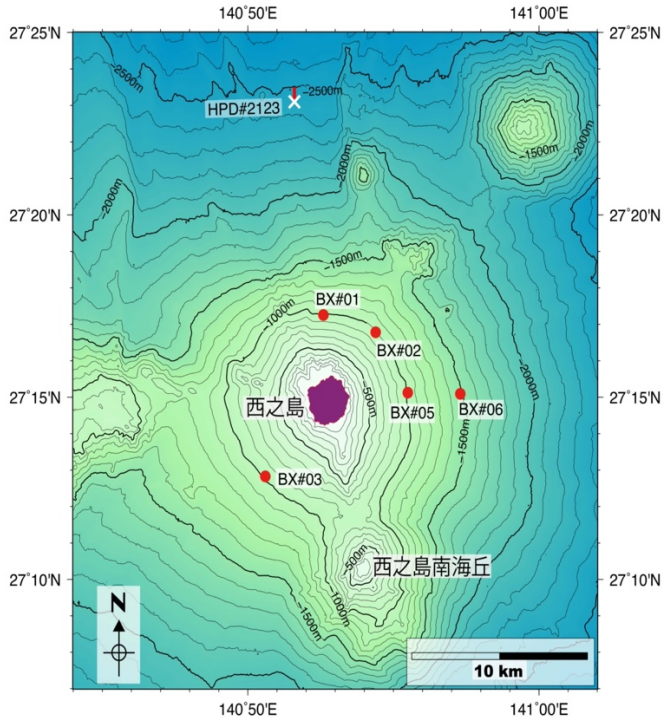


図２．BX#01～BX#06 はかいれい KR20-E06 におけるボックスコアラーによる試料採取地点（水深 945 m～1,471 m）。HPD#2123 は新青丸 KS-21-2 における無人潜水艇ハイパードルフィンの測線と試料採取地点（西之島の北 15 km，水深 2,500 m）。

海底の鬼界アカホヤ噴火堆積物の特徴

○中岡礼奈・鈴木桂子・清水賢・金子克哉・島伸和・清杉幸司・松野哲男・巽好幸（神戸大学),
羽生毅・宮崎隆・Maria Luisa G. Tejada・上木賢太（海洋研究開発機構）

鬼界カルデラ火山は鹿児島県南方沖に位置する海底火山で、海域と陸上の調査を組み合わせて詳細な噴火様式を検討することができる。鬼界カルデラ火山では日本最新の超巨大噴火である 7300 年前の鬼界アカホヤ噴火を含む複数の超巨大噴火が繰り返し発生している。鬼界アカホヤ噴火はプリニー式船倉降下軽石噴火に始まり、その間にイントラプリニアンの船倉火砕流が発生した。その後、大規模火砕流である幸屋火砕流が発生し、それに伴いアカホヤ火山灰が広域に堆積した。陸上では船倉火砕流はカルデラ壁を有する竹島や薩摩硫黄島にのみ堆積し、幸屋火砕流堆積物は竹島や薩摩硫黄島で厚く堆積し、海を隔てて数十キロ離れた遠方にも全厚１ｍ前後で薄く堆積している。海域では、神戸大学深江丸による反射法地震探査で、鬼界アカホヤ噴火で噴出し、海底を流れて堆積したと推定される堆積物（UnitS-1 と呼ぶ）が広範囲で厚く堆積している様子が確認できた。本研究では陸上と海底の両方に堆積する鬼界アカホヤ噴出物について、それぞれの構成物や堆積構造、火山ガラスの化学組成などを比較し、火砕物の流動堆積様式を明らかにすることを目的とする。

本研究では CHIKYU SCORE プログラムにて竹島の北東 4.3 km の地点で深度 10 m から 100 m まで断続的に掘削し、Unit S-1 は、境界が明瞭な２種類の堆積物 Lower S-1（深度 17～22m）と Upper S-1（深度<17m、10 m 以浅は採取できていない）に区分されることが確認できた。Lower S-1 は淘汰が悪く、赤褐色の軽石ラピリタフでしばしばラミナ構造を伴う。Upper S-1 は淘汰が悪いラピリ層で、軽石や石質岩片が含まれ、塊状である。また、新青丸（KS19-17）とかいれい（KR20-11）の研究航海にて SCORE 実施地点付近を含む給源近傍で７地点、遠方で 14 地点、コア長１～４メートルのピストンコアを実施した。

それぞれの堆積物に含まれる火山ガラスの化学組成を EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）で測定した。陸上の鬼界アカホヤ噴出物は、初期の船倉火砕流は SiO2=75 wt.%程度の高 SiO2 ガラスのみを含み、幸屋火砕流堆積物は下位では高 SiO_2 ガラスのみであるが、上位に向かい SiO_2=65 wt. %程度の低 SiO2 ガラスが混入する。これは噴火の初期（船倉火砕流から幸屋火砕流の初期まで）は高 SiO2 マグマのみを噴出し、噴火が継続する中で、低 SiO_2 マグマが混ざり下位から徐々に堆積したことを示唆する（藤原・鈴木, 2013)。SCORE 試料は Lower S-1 と Upper S-1 共に陸上の鬼界アカホヤ噴出物の高 SiO_2 ガラスと組成が一致するガラスのみを含み、低 SiO_2 ガラスは含まれない。ピストンコア試料については SCORE 掘削地点周辺を含む近傍と遠方の両方で鬼界アカホヤ噴出物と一致する高 SiO_2 ガラスと低 SiO_2 ガラスの両方が含まれている。海底の鬼界アカホヤ噴出物も Lower S-1 と Upper S-1 の下部で高 SiO_2 ガラスのみを含むことから、初期に船倉火砕流堆積物、その後に幸屋火砕流堆積物の初期に相当する噴出物が堆積していることが推定される。またピストンコアで採取した海底面近くの UnitS-1 上部については、高 SiO_2 ガラスと低 SiO_2 ガラスの両方が含まれることから鬼界アカホヤ噴火の後半の噴出物が堆積したものと考えられる。また、低 SiO_2 ガラスの含有量は陸上と海域共に近傍で多く、遠方で少ない傾向が見られる。これは噴火が進み、低 SiO_2 ガラスの含有量が増加するにつれて、遠方には到達しにくくなった可能性が考えられる。

沖縄トラフ南部，背弧拡大プロセスの解明に向けて：KH-21-3 Leg 1

○大坪　誠（産業技術総合研究所），久保田好美（国立科学博物館）三澤文慶（産業技術総合研究所），木下正高（東京大学地震研究所），新井隆太（海洋研究開発機構），土岐知弘（琉球大学），KH-21-3 乗船研究者一同

2021 年 1 月 23 日～2 月 8 日までの 17 日間の日程で、白鳳丸による沖縄トラフでの研究航海（KH-21-3 航海）を実施した。この航海では IODP 掘削に向けた 2 つの Leg を実施した。本発表では沖縄トラフ南部で実施した Leg 1（日程：2021 年 1 月 23 日～1 月 31 日）の概要を報告する。

沈み込み帯において背弧海盆では、拡大軸においてマグマが噴出し、島弧的なマグマから中央海嶺的なマグマへ遷移していることが報告され、このマグマの変化の前には拡大軸の形成（正断層運動）が先に生じていると考えられている（例えば、Dunn and Martinez, 2011 Nature）。しかしながら、マグマの影響が小さい初期段階において、どのようにして大陸リフトより短い時間（10 万年スケール）で地殻が薄くなるのか、そして、それを促進する要因が何かは明らかにされていない。これらの疑問を解くために、発表者らは、活動的な背弧海盆のうち、これから大陸地殻が薄化するステージの背弧海盆であり、かつ、未だに玄武岩質の海洋地殻の報告がない沖縄トラフ（Sibuet et al., 1995 JGR）に注目し、沖縄トラフ南部を対象とした IODP（国際深海科学掘削計画）による科学掘削を計画している（IODP 沖縄トラフ南部掘削計画；Otsubo, 2020 JpGU）。沖縄トラフは、ユーラシアプレートに位置する背弧海盆であり、200 万年前から断続的な拡大（リフティング）が生じている。特に、沖縄トラフ南部でのリフティングは約 10 万年前から開始と考えられるが、未だに玄武岩質の海洋地殻の報告がない。

Leg 1 では、沖縄トラフ南部の八重山海底地溝、石垣島沖・鳩間海丘周辺部などの各エリアで、トラフに発達する正断層群の詳細な描像、トラフに充填する堆積物の岩相・年代の解明、トラフ部分での地殻熱流量の測定、およびトラフ部分に点在する海丘群の岩石採取などを通して、沖縄トラフの最も活動が進む場所での第四紀後半から現在にかけての活動史の解明を目的とした。Leg 1 では、具体的には、反射法地震探査、堆積物コア採取、ドレッジによる岩石採取、ヒートフロー観測、マルチビーム音響測深機による海底地形調査、サブボトムプロファイラによる海底表層地層探査、プロトン磁力計、船上三成分磁力計、船上重力計による地球物理観測、XCTD 観測、プランクトンの採取、を実施した。

Leg 1 で得た結果の概要は以下の通りである。

- 各地点で見積もった地殻熱流量はトラフ中軸部では低く、トラフ中軸部より島嶼域側で高かった。
- 八重山海底地溝周辺の詳細な地質構造が明らかになり、特に下部からの貫入構造を捉えることができた。今回調査した北北西-南南東方向の３測線では、貫入構造の幅が西に向かって広くなる傾向が見られた。
- 地殻熱流量の低い４地点ではタービダイトを主とするコア試料が得られた。混濁流は琉球弧または台湾から供給されている可能性がある。

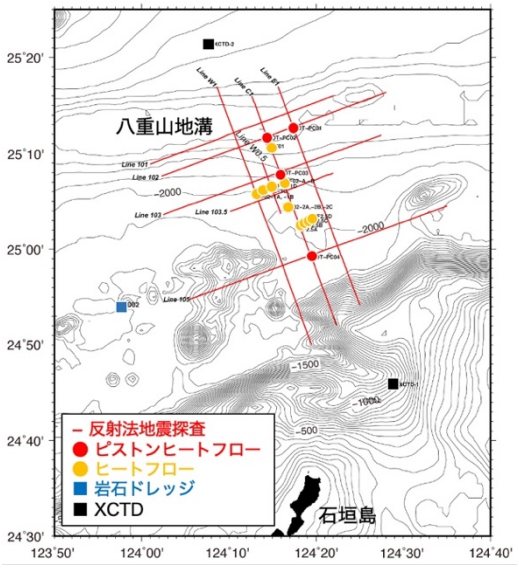


図 1. KH-21-3 Leg 1 航海の調査海域図。

フィリピン海プレートの起源解明に向けて：白鳳丸 KH-20-6 航海による大東海嶺群・北大東海盆の地殻構造発達史への制約

○谷健一郎（国立科学博物館），沖野郷子・田村千織・竹内誠・山本一平（東京大学大気海洋研究所），石塚治・針金由美子（産業技術総合研究所），楠橋直・下岡和也・相田和之（愛媛大学），植田勇人・奈良幸明・古川祐希・井上倫瑠・鈴木望夢・當山凛太郎（新潟大学），内山涼多（東海大学），長瀬薫平（広島大学），片山陽平（株マリンワークジャパン），小松亮介（株 MOL マリン）

伊豆小笠原マリアナ（IBM）弧は約 5200 万年前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で形成され始め（Ishizuka et al., 2011 EPSL)、これまで代表的な海洋性島弧とされてきた。その大きな根拠の一つとして、現在のフィリピン海プレートの大部分は海洋地殻から構成されていることが挙げられる。しかしながらその主要構成単位である海盆群（四国海盆・パレスベラ海盆・西フィリピン海盆・パラオ海盆）はいずれも始新世以降に拡大した背弧海盆であり、IBM 弧が誕生した際は存在しなかった。

初期 IBM 弧が基盤とした始新世以前の古フィリピン海プレートは、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～白亜紀のジルコン U-Pb 年代を示す花崗岩・変成岩を主体とする大陸地殻が確認されているが、確実に海洋プレートとされる地域は存在していない。大東海嶺群東方の奄美三角海盆は白亜紀海洋地殻から構成されていると考えられてきたが、IODP による基盤岩掘削によって IBM 弧形成初期の始新世に形成されたことが最近明らかとなった(Ishizuka et al., 2017 EPSL)。

これらの結果は古フィリピン海プレートが花崗岩類に代表されるような中生代の大陸性地殻から構成され、そのような地殻を上盤側プレートとして初期 IBM 弧が誕生した可能性を示唆している。

もしこの仮説が正しければ IBM 弧のテクトニックな解釈が大きく再検討を迫られる事態となる。しかし現在のフィリピン海プレートにおいて、その地殻構造や形成時期がまだ明らかになっていない地域が残っている。

本研究課題ではそのような海域の一つである、台湾東方沖の花東海盆と海盆東縁部の Gagua 海嶺の地質調査・地球物理探査を計画していた。しかし新型コロナウイルス感染拡大による日本・台湾間の往来が制限され、乗船予定であった共同研究先の国立台湾大学海洋研究所の研究者・学生が来日できなくなった。台湾側研究者の航海乗船が台湾 EEZ 内にある調査海域の MSR 申請同意条件であった為、調査が不許可となり、やむを得ず予備海域の大東海嶺・北大東海盆にて調査を実施した。

大東海嶺は YK10-04・KR13-15 航海によって、海嶺の中部・東部に島弧マントルカンラン岩や島弧的な地球化学的特徴を示す白亜紀～ジュラ紀の深成岩・変成岩・火山岩類が採集されていた（Morishita et al., 2018 Am. Min.など）が、海嶺西部や基部の地殻構造はまだ未調査となっていた。

航海は海況に恵まれ、約 10 日間の調査期間中に大東海嶺西部と北大東海盆において計 23 回のドレッジ調査を行い（図 1)、計約 950 kg の岩石試料の採集に成功すると共に、岩石に付着した底生生物のサンプリングも実施した。夜間は計約 850 マイル分の航走観測を実施し、地球物理データを取得した。

本航海の重要な成果として、下記の成果が挙げられる：

1. 大東海嶺基部における蛇紋岩海山の発見（D15)。蛇紋岩海山はこれまで海溝軸沿いでのみ見つかっており、プレート内に分布しているものは世界初の発見である。本海山から採集された岩石にはカンラン岩、変成岩、深成岩などの地殻深部由来のものが多数含まれており、現在その岩石学・

地球化学・年代学的分析を進めている。

2. 大東海嶺基部の北方斜面には北北西－南南東方向のコルゲーション構造が発達しており、海洋コアコンプレックスの存在が示唆されていた（小原ほか, 2015 地学雑誌）。本航海でのドレッジ調査によってコルゲーション表面から変成岩・変形岩が採集され、この構造が低角断層によるコアコンプレックス構造であることが初めて確認された。構成岩石から、この構造は北大東海盆拡大初期に形成された変成コアコンプレックスである可能性が高い。

他の観測点においても大東海嶺や北大東海盆の地殻構成岩石が採集され、将来的に花東海盆・Gagua 海嶺の調査が実現した際の重要な比較対象となる試料が得られた。

新型コロナウイルス感染拡大に伴う緊急事態宣言の発出という、我々がこれまで経験したことがない異常事態のなか、関係機関との調整や様々な感染予防対策を講じて調査航海再開に向けてご尽力下さった海洋研究開発機構・東京大学大気海洋研究所の全ての関係者の皆様に心よりお礼を申し挙げる。航海中は春日キャプテン並びに白鳳丸乗組員の皆様に、観測作業・船内生活などにわたり多大なご協力・ご援助を頂いた。

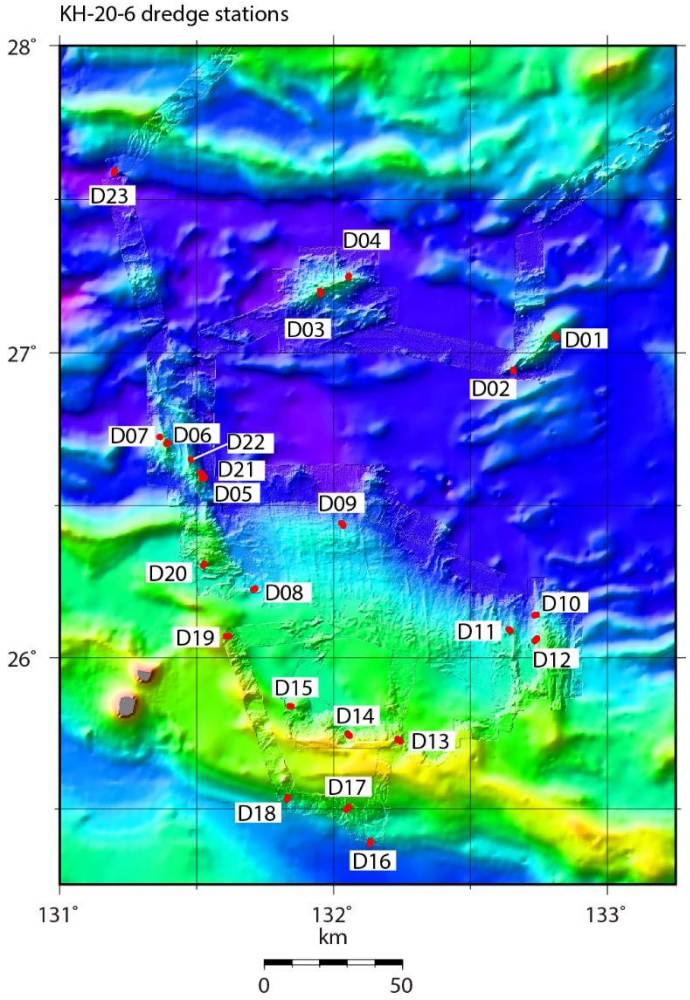


図 1. KH-20-6 におけるドレッジ観測地点

無人探査機用コアリング装置により採取された定方位試料の古地磁気から推定されたフィリピン海プレートの回転運動

○山崎俊嗣（東京大学大気海洋研究所），千代延俊（秋田大学国際資源学研究科），石塚治（産業技術総合研究所地質調査総合センター，海洋研究開発機構），田島史郷・宇都巨貴・高川真一（鉱研工業株式会社）

フィリピン海プレートの運動史を解明することは、日本列島をはじめとする周囲のプレートの構造発達史を理解する上で重要である。フィリピン海プレートは、始新世以降北上したと一般に考えられているが、その回転については 40 年以上議論が続いてきた。その最大の理由は、これまで海底から定方位試料を採取することが困難であったことから、縁辺部を除いてほとんどが海面下にあるフィリピン海プレートについて、みかけの極移動曲線の構築ができていないためであった。本研究では、新たに開発された無人探査機用のコアリング装置を用いて、フィリピン海プレート内に位置する九州パラオ海嶺上の日向海山から定方位試料を採取し、古地磁気学的分析を行った。採取された 2 本の約 30 cm 長のコア試料の年代は、石灰質ナンノ化石より中期～後期漸新世と推定された。段階交流消磁、段階熱消磁実験により初生磁化方位を分離できた。2 本のコアの平均として、偏角 51.5 度、伏角 39.8 度が得られた。この東偏した偏角は、フィリピン海プレートが、約 30 Ma 以降に約 50 度時計回り回転したことを示す。平均伏角からは、日向海山が約 500 km 北上したことが推定される。これらの結果は、30 Ma の九州パラオ海嶺の古位置は現在より南西であり、伊豆小笠原弧は、四国海盆の拡大に加えフィリピン海プレート自体の回転により現在の位置まで東向きに移動したことを意味する。

東北沖プチスポット火山領域を対象とした
YK20-14S/YK21-07S 次航海レポート～マントル捕獲岩採取を目指して～

○秋澤紀克・松崎賢史・田村千織（東京大学/大気海洋研究所），平野直人（東北大学），
町田嗣樹（千葉工業大学），石川晃（東京工業大学），下田玄（産業技術総合研究所），
安川和孝（東京大学大学院工学系研究科），金子純二（海洋研究開発機構），乗船者一同

プチスポット火山を作るマグマは、海底下 60 km より深部で形成されたとされる（Machida et al., 2017 Nature Communications, 8, 14302）。そのマグマ生成の規模はホットスポットよりも小さく、マグマ生成に伴う熱的な擾乱が少ないことが期待される。そのため、プチスポットマグマが地表に運んでくるマントルのカケラであるマントル捕獲岩は、地球深部マントルの化学組成や流動様式に加えて熱状態に関する情報を引き出すのに適した研究対象であると言える。しかし、プチスポットで採取されるマントル捕獲岩はサイズが最も大きいもので数 cm 程度しかなく、採取される量も少ないため研究を遂行する上で非常に困難な状況であった。実際、これまでにプチスポットマントル捕獲岩を対象とした研究例は少なく、その現状打破が望まれていた。そこで、我々は 2020 年 10 月 9-16 日に実施された YK20-14S 次航海及び、2021 年 5 月 1-8 日に実施された YK 21-07S 次航海の 2 つの航海を通してプチスポットマントル捕獲岩採取を試みた。

YK20-14S 次航海では、Hirano et al. (2006: Science, 313, 1426–1428)で Site A とされる日本海溝近辺のサイトでしんかい 6500 を用いた潜航を 2 回実施した（ダイブ番号：6K1564、6K1565）（図）。その結果、長径 3 cm 程の大きさに達するものを含めて数十個のマントル捕獲岩を採取することに成功した。また、YK 21-07S 次航海では、Site A より東、アウターライズ手前の Site B でしんかい 6500 を用いた潜航を 1 回実施した（ダイブ番号：6K1586）（図）。その結果、やはり長径 3 cm に達するものを含めて多くのマントル捕獲岩を採取することに成功した。特に、Site B では、高圧由来を示唆するざくろ石を含む捕獲岩を採取することに成功した。これは、プチスポットマントル捕獲岩において、初めての発見であった。

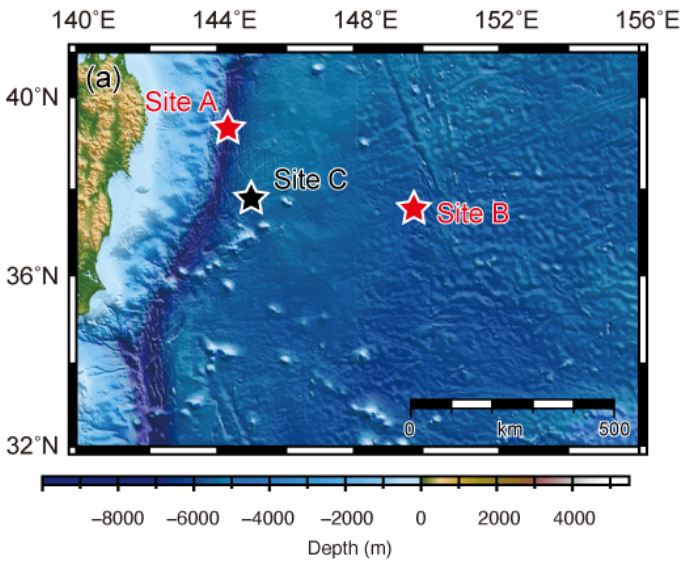


図 YK20-14S 次航海と YK 21-07S 次航海で調査対象としたサイ

現在、上記 2 つの研究航海で採取されたマントル捕獲岩を使用した研究を遂行している。今後、個々の研究成果が出てくると期待されるが、本発表では研究航海の概要とどのようなサンプルが採取されたのか紹介する。また、基本的な岩石記載・鉱物化学組成に関しても紹介する。

2020 年「みらい」北極航海 (MR20-05C)の概要とハイライト

○西野 茂人（海洋研究開発機構）
藤原 周・伊東 素代・小野寺 丈尚太郎・村田 昌彦・菊地 隆（海洋研究開発機構）

2020 年に国際連携による北極海同時広域観測 Synoptic Arctic Survey (SAS)が展開された。その目的は、北極海広域での海洋物理学的な構造や循環場、炭素や窒素など化学物質の収支や海洋酸性化の進行状況、海洋生物の生産力や生態系の変化などを明らかにすることができる統合的な観測データセットを作成することにある。そしてこのデータが近年急速に進行している北極域の環境・気候変化をとらえるための、さらに将来の環境・気候を予測するための基礎データとなる。そのために、これまで北極海では行われてこなかった複数船舶による同時かつ広域の高精度観測を実施する国際プロジェクト SAS が計画され、海洋地球研究船「みらい」は太平洋側北極海の観測を担当した。尚、本航海 (MR20-05C)は、文部科学省の「北極域研究加速プロジェクト Arctic Challenge for Sustainability Ⅱ (ArCS Ⅱ)」の下に実施された。

本航海では、北太平洋及び北部ベーリング海・チャクチ海・カナダ海盆を中心とした太平洋側北極海において、船舶観測（気象、衛星、海洋、地質、地球物理、及び連続観測)や係留系・セジメントトラップ観測を行った。また氷縁域ではサブメソスケールの海洋観測を実施した (Fig. 1)。

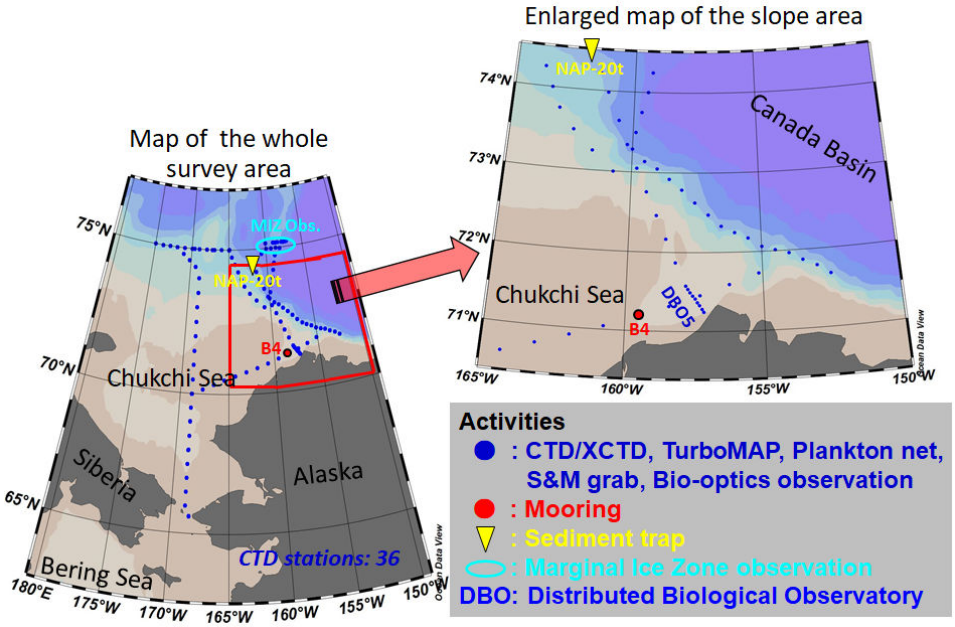


Fig. 1. Map of the research areas in the Arctic Ocean (left) and an enlarged drawing from the Chukchi shelf slope to the Canada Basin (right). Blue dots indicate stations where we conducted observations using Conductivity-Temperature-Depth (CTD) sensors with Lowered Acoustic Doppler Current Profiler (LADCP) and water sampling system; eXpendable CTD (XCTD) sensors; Turbulence Ocean Microstructure Acquisition Profiler (TurboMAP); plankton nets; Smith-McIntyre (S&M) grab; and bio-optics instruments. A red dot and yellow triangle represent mooring and sediment trap sites, respectively. A light blue ellipse represents an area of marginal ice zone (MIZ) observation, where we conducted sub-mesoscale observations using XCTD, RINKO-Profiler, and TurboMAP. Various drifting buoys were launched in the MIZ. We also carried out intensive oceanographic surveys off Pt. Barrow under an international collaboration (Distributed Biological Observatory; DBO).

本発表では以下の 3 つのトピックスについて紹介する。

1) チャクチ海南部の海域では、例年栄養塩やクロロフィル濃度が高いホットスポットが観測されるが、2020 年の航海では、クロロフィル濃度が低く、ホットスポットの形成がみられなかった。
2) 氷縁域では季節躍層付近にクロロフィル極大がみられた。また、海氷融解水のフロント付近では季節躍層以深でもクロロフィル濃度が比較的高かった。
3) チャクチ海北部の海台付近で、これまで観測されたことのないレベルの低酸素で炭酸カルシウム未飽和（Ω<1)である水が発見された（Fig. 2)。この水の分布は海盆スケールの高気圧性循環（ボーフォート循環)と関係していることが示唆された。

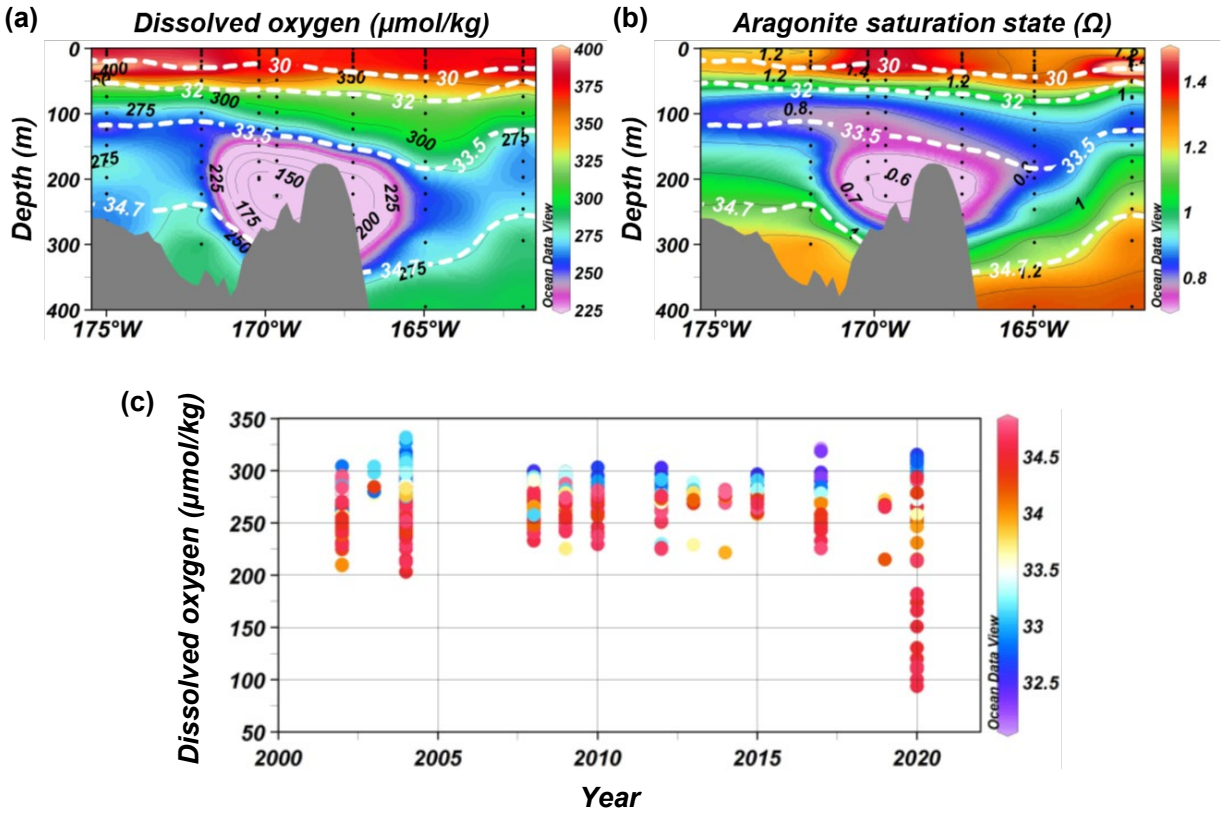


Fig. 2. Vertical sections of (a) dissolved oxygen and (b) aragonite saturation state, Ω, along a 75°N line across the Chukchi Plateau in Fig. 1. White dashed-lines indicate salinity. (c) Time series of dissolved oxygen in a water column between 100 and 300 m around the Chukchi Plateau in an area from 172 to 164°W in longitude and 73.5 to 76.5°N in latitude. Colors indicate salinity.

南大洋インド洋区における過去 41 万年間の周極深層水変動

○池原実（高知大学）

周極深層水（Circumpolar Deep Water: CDW）は、全球的な気候システムや南極寒冷圏を構成する重要な要素の一つである。しかし、周極深層水の地球化学に関する知見が不足しているため、氷期-間氷期の気候サイクルにおける南大洋インド洋区の CDW 変動は明らかにされていない。白鳳丸 KH-10-7 次航海において南大洋インド洋区のデルカノライズから採取されたピストンコア DCR-1PC を用いて、過去 41 万年間の底生有孔虫の炭素同位体比変動を復元した。従来、南大洋インド洋区においては最終氷期以降の CDW 変動を復元した研究例があるが、スーパー間氷期である酸素同位体ステージ（MIS）11 を含む長期スケールの CDW の変動を解析した例はない。本研究の結果、南大洋インド洋区では氷期に$\delta^{13}C$ が低いことから、氷期にはより南方に起源をもつ南極底層水（Antarctic Bottom Water: AABW）の影響を強く受けていたことがわかった。南大西洋（ODP 1089）や南太平洋（PS 75/59）で報告されている長期スケールの底生有孔虫$\delta^{13}C$ 記録と比較すると、過去 41 万年間にわたり氷期・間氷期スケールの$\delta^{13}C$ 変動がよく似たパターンを示すことから、南大洋の全てのセクターで共通の深層水の進化があったと考えられる。特に、南大洋のインド洋区と太平洋区の$\delta^{13}C$ 変動はほぼ同じ変動パターンを示すことが明らかとなったことから、インド-太平洋型の深層水変動であると言える。しかし、南大洋のインド洋と大西洋区の$\delta^{13}C$ 変動には違いが認められ、AABW（低$\delta^{13}C$）と北大西洋深層水（NADW）（高$\delta^{13}C$）が DCR-1PC サイト付近に交互に影響を与えていたことを示している。DCR-1PC では、MIS 5 の間氷期の一部において異常に重い$\delta^{13}C$ 値が記録されており、この時期に NADW の影響が特に強まっていたことを示唆している。

東シナ海堆積物を用いた第四紀のアジアモンスーン変動史解明：KH-21-3 Leg 2

○久保田好美（国立科学博物館），大坪 誠(産業技術総合研究所），池原 研(産業技術総合研究所），石野沙季（産業技術総合研究所），三澤文慶（産業技術総合研究所），松崎賢史（東大大気海洋研究所），荒井晃作（産業技術総合研究所），井上卓彦（産業技術総合研究所），KH-21-3 乗船研究者一同

2021 年 1 月 23 日～2 月 8 日までの 17 日間の日程で、白鳳丸による沖縄トラフでの研究航海（KH-21-3 航海）を実施した。この航海では IODP 掘削に向けた 2 つの Leg を実施した。本発表では沖縄トラフ北部で実施した Leg 2（日程：2021 年 2 月 1 日～2 月 8 日）の概要を報告する。

東アジア夏季モンスーンは，梅雨に代表される東アジアの水循環を支配する気候システムである。東アジア夏季モンスーンは人口が集中する東アジア地域に洪水や干ばつといった災害をもたらすため，将来予測の精度向上とそのための変動メカニズムの解明が急がれる。しかし，東アジア夏季モンスーンの長期変動予測(50 年以上の周期）は困難であり，観測記録よりも長い長期変動のメカニズムを明らかにできる古気候・古海洋学的な研究が不可欠である。

東シナ海北部は，長江からの淡水流入が表層塩分を変えるため，東アジア夏季モンスーン地域の降水量を復元するのに適した海域である。筆者らの先行研究では，IODP Exp. 346 の東シナ海北部サイト U1429 において，有孔虫化石の化学分析から過去 40 万年の水温と，降水量（塩分）指標である海水の酸素同位体比($\delta^{18}O_w$)を復元した。このサイトでは，速い堆積速度（30～70cm/ky）の良質なコアを得ることができた。この海洋堆積物コアからは，浮遊性有孔虫化石を用いて水温・降水量（塩分）といった気候の基本的なパラメータを数値で復元可能という点でアジアモンスーン記録のスタンダードと見なされる中国鍾乳石といった他の陸上モンスーン記録よりも優れている。U1429 の解析の結果，千年規模の東アジアの気候変動が北大西洋高緯度域の気候変動に強く依存することを示した。この北大西洋と東アジア地域の関係は，全球的な千年スケールの変動の振幅が増大した 150 万年前頃から始まった可能性が高いが，過去 150 万年間を通してのリンクのメカニズムについては証拠が乏しく，まだよくわかっていない。近年の気候・海洋モデル研究では，将来，北大西洋深層水循環が著しく弱化する可能性が指摘されており，東アジアの気候とのリンクのメカニズム解明が急務である。また，中国鍾乳石の記録は過去 70 万年前までしかデータが存在しないため，それより古い時代については東シナ海の記録がアジアモンスーン地域のスタンダードになる可能性を秘めている。

そこで筆者らは，東シナ海北部においてさらに 150 万年前までの高時間解像度の良質で連続的な堆積物を得るため，本航海では卓越周波数の高い音源である Mini-GI ガンを用いたマルチチャンネル反射法地震探査を行い，IODP 再掘削のための最良地点を探った.

その結果，男女海盆において 40 万年前に堆積したと考えられる砂層は南北に広く分布しており，その下には，成層したより古い地層が存在することが明らかとなった．この結果を基に，2021 年 11 月には「ちきゅう」を用いた表層科学掘削プログラム（SCORE）を提案し，40 万年よりも古い地層の回収とその連続性を確かめ，IODP-ICDP ジョイントプロポーザル(L-2-S)あるいは IODP フルプロポーザルの提案を目指す.

GO-SHIP/P1 ラインにおける経年変化

○纐纈慎也，勝又勝郎，熊本雄一郎，内田裕，笹岡晃征，安中さやか，重光雅仁，近藤圭，村田昌彦，
青山道夫(海洋研究開発機構)

2021 年 7 月から 8 月にかけて海洋地球研究船「みらい」により全球の全層的高精度観測の世界的な枠組みで実施されている北太平洋亜寒帯域の測線 GO-SHIP/P1 の一部を実施した（MR21-04 航海)。同様の枠組みの下で本ライン実施は過去 4 回実施（1985 年，1999 年，2007 年，2014 年）されており、今回が 5 回目となる。今回はこのラインのうち東側を実施することが出来なかったが、西側について長期的な変化を観測したので初期的解析の速報を行う。

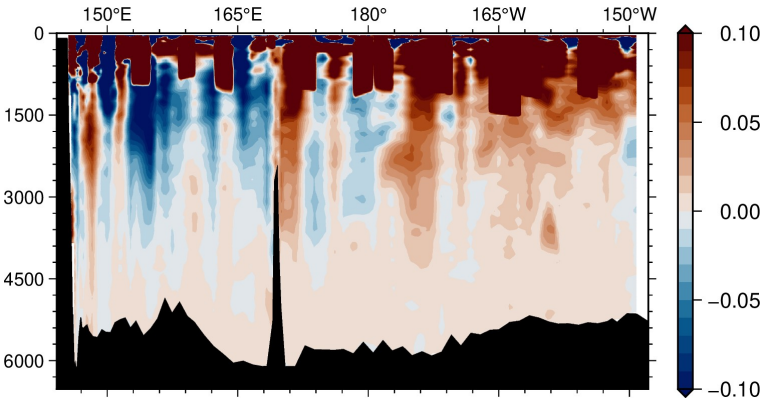


図 1. 前回（2014 年）から今回（2021 年）の水温の差(℃)

酸素極小層上部(200-1000m; 27.0-27.5 中立面密度)においては等密度面で比較的大きな昇温を観測した。昇温は 1985 年からの差で 0.1-0.3℃、前回の 2014 年からでも 0.05-0.2℃の差となっておりここ 10 年で特に急速に変化していると考えられる。等圧面上での 1985 年からの水温変化（図 2）は等密度面上での変化と近い 0.05-0.3℃であること、塩分変化が大きくないことから、全体的に温暖化が浸透している様子がとられられていると考えられえる。この水温変化は等密度面でみた溶存物濃度変化と対応している。例えば 27.0-27.5 中立面密度付近の等密度面上における 1985 年からの大きな溶存酸素変化（10-20 μmol/kg）のうち数割は密度が軽くなった効果によるものであると推定される。北太平洋亜寒帯域は重い密度層が表層に近いこともあり、過去に報告されている亜熱帯における温暖化の溶存酸素変化への効果と比べ大きく、北太平洋亜寒帯に現れる溶存物質の大きな 20 年変動や貧酸素化に効果を持つと推察された。講演時には栄養塩など他の物質の変化とも比較して報告する予定である。

底層では過去 4 回の観測から続く昇温傾向(Fukasawa et al., 2004, Masuda et al., 2010 など)が観測されていた(図 1)。これに加えて、K2 定点観測で報告されていた 4000m 付近での等温面で見た場合の低塩傾向(Uchida et al., 2020)が比較的広域の構造として確認されている。また、

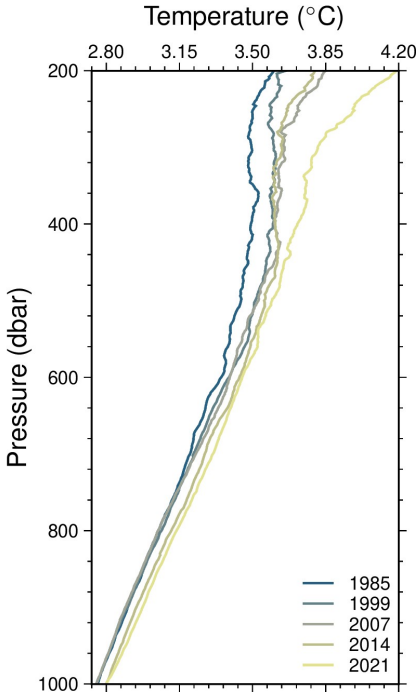


図 2. 2021 年観測範囲での平均水温プロファイル

凝集体生命圏：海洋炭素循環過程の未知制御機構の解明

KS-21-4 & -7 航海概要（春期ブルーム観測）

○横川太一（海洋研究開発機構），福田秀樹・永田俊（東京大学大気海洋研究所）、
KS-21-4/-7 乗船研究者一同

海洋表層で生産された有機物が凝集体となって中・深層へ沈降する過程（生物炭素ポンプ）は、大気中二酸化炭素濃度の調節に関わる、海洋炭素循環の大動脈ともいうべき重要なプロセスである。しかし、その制御機構については未解明の点が多く、気候変化に対する海洋炭素循環の応答を予測する上での大きな制約になっている。本研究では、凝集体を生息場とする微生物（原核微生物、真核微生物、ウイルス）の群集を「凝集体生命圏」として新たに概念化し、凝集体の生成・発達・崩壊に関わる主要な制御要因として提唱する。異分野の専門家の結集のもとに、これまで見逃されていた凝集体生命圏による炭素鉛直輸送の制御機構を解明する事を目的としている。

2021 年に実施された「新青丸」の 2 航海（KS-21-4、KS21-7)では、生物生産が高く珪藻を主体とした群集が発達する噴火湾から北海道南部沖にかけての海域で観測を実施した。春のブルームの前期（3 月、KS-21-4）と収束期（5 月、KS-21-7）に観測を行うことで、ブルームの異なるステージにおける凝集体生命圏の特徴を明らかにすることを目的とした。具体的には以下の観測を実施した。

1) 凝集体をできるだけ非破壊的に捕集するために、英国 OSIL 社のマリンスノーキャッチャー（MSC）を用いた観測を実施した。この装置を使うと、100L ないしは 300L の容量の海水を深度別に採水することができる。採水後、MSC を甲板に垂直に立てたまま固縛し、2 時間静置する。この間に、MSC の下部に沈殿した凝集体を回収した。捕集した凝集体は、微生物・ウィルス群集解析、顕微鏡解析、粒径分布解析、有機物組成解析、放射性同位体(RI)を用いた有機物取り込み活性の測定に供した。また MSC 外部にビデオカメラを固定し、採水現場環境の録画も行った。
2) 現場濾過器を用いて粒子を捕集し、Th-234 の測定に供した（KS-21-4 のみ)。得られたデータから、粒子の滞留時間および炭素の沈降フラックスの推定を行う予定である。
3) 調査地点の海水中の物理、化学、生物環境要因を明らかにするために、CTD 採水を行った。採取したサンプル海水は、ろ過などの適切な前処理を行った後に、遺伝子解析、微生物群集解析、顕微鏡解析、栄養塩類分析、粒子状有機物分析、溶存態有機物分析に供した。

現在、試料の分析やデータの解析を進めているところであるが、本発表では、観測の概要と予備段階の結果を紹介する予定である。なお、本研究は、科研費基盤研究 S「凝集体生命圏:海洋炭素循環の未知制御機構の解明」(19H05667)などの支援を受けた。

MR16-08 から MR21-04 航海の海洋大気エアロゾルの光学的特性

○青木　一真（富山大学 学術研究部理学系）

1. はじめに

地球の７割を占める海洋大気における雲やエアロゾルを観測することは、地球温暖化問題を含め、気候問題を解決するためには重要である。海洋大気は、広域に観測できる地球観測衛星などを利用するが、時間的・空間的変動の大きい事象を捉えるため、地上検証は陸上同様に必要不可欠である。ただし、海洋は、陸上観測とは違い定点で観測することができないため、船舶などを利用した観測が必要となってくる。エアロゾルの光学的特性の時間・空間変動を把握（Aoki *et al.*, 2013）するためや地球観測衛星（e.g. GCOM-C/SGLI）や数値モデル（e.g. SPRINTARS）の地上検証データとして利用するため、1994 年の東大・白鳳丸（KH94-4: Miura *et al.*, 1996）の研究航海以来、様々な船舶（海洋観測船、フェリー、タンカーなど）を利用し、海洋上の太陽直達光と周辺光の放射輝度の測定を行ってきた。現在は、JAMSTEC の海洋地球研究船「みらい」(Fig.1）を中心に海洋大気エアロゾルの光学的特性の観測的研究を進めている。本研究は、海洋上のエアロゾルによる気候影響の解明はもちろん、地球観測衛星や数値モデルの地上検証利用も目的のひとつである。今回は、2021 年度の速報結果も含め、海洋地球研究船「みらい」における海域や緯度ごとのエアロゾルの光学的特性と期間中に得られた西之島の噴火の影響などについて報告する。

2. 観測方法および解析

エアロゾルの光学的特性の観測は、太陽光と周辺光の各波長の放射輝度を自動測定できる、船舶型スカイラジオメーター（Fig.1: POM-01 MK-II and MK-III, PREDE CO.LTD., Japan）で行っている。陸上とは違い船の揺れなど条件が全く違うため、完全自動測定出来るように改良を重ねながら開発を行ってきた。開発当初（1990 年代）は、地上と同様の条件で観測出来るように、ジンバル型、2 台型、メカニカルジンバル型など試行錯誤しながら開発を進めて来た。現在は、GPS や制御システムの技術の発展により、動揺の影響が少ない大型船舶を利用することで、データを正確に得られるようになってきたため、見た目は地上観測機器に近くなってきた。太陽直達光は、より精度のよい測定するために、ピークホールド方式を採用し、直達光を 1 分間連続測定し、最適値を利用するようにしている。ただし、いくら大きな船舶でも動揺が大きい場合があるため、そのような場合はどちらにしても天候が悪い（太陽が出ない）ことが多いので、観測をしないこととした。船舶型は、地上の７波長タイプ（POM-01, 315, 400, 500, 675, 870, 940, 1020 nm）をベースとし、晴天時５分おきに、直達光と両サイド交互に周辺光を測定するように設定した。解析は、SKYRAD.pack ver.4.2（Nakajima et al., 2021）を使用して、エアロゾルの光学的特性などを導出している。

3. 海洋大気エアロゾルの光学的特性：MR16-08 to MR21-04

Fig.2 は、MR16-08 から MR21-04 までの 0.5 μm のエアロゾルの光学的厚さの緯度分布を示したものである。主に西太平洋地域の結果であるが、詳しくは、発表にて説明する。日本付近は、取得データが多いこともあるが、日本や越境する大気汚染の影響で、エアロゾルの光学的特性のばらつきや高い傾向を示している。また、近年では火山噴火の影響も観測でき、2020 年 8 月の西の島の噴煙を、航海

中に観測することが出来、その後、その空気塊が九州や北陸まで輸送され、陸上での同様のスカイラジオメーター観測で捉えることが出来た（衛星の結果も含め、詳細は発表にて）。

4. まとめと今後の課題

海洋大気エアロゾルの光学的特性の結果から海域ごとの変化や火山噴火のようなイベントも捉えることができ、現在、地球観測衛星の検証など、データ精度の向上に向けて研究を進めている。今後は、今回はエアロゾルのみであるが、水蒸気の吸収波長帯も観測しているため、海洋大気の可降水量とエアロゾルの解析も進めていきたい。また、他分野融合研究も進めており、例えば山岳研究から派生した海洋研究（Maki *et al.*, 2021）などにも力をいれていきたい。

謝　辞

本研究は、非乗船課題であるため、海洋地球研究船「みらい」の関係者、特に、日本海洋事業のみなさまに観測をサポートして頂き大変感謝しております。また、地球観測研究公募研究（RA2：JAXA）の一環で研究が進められています。

参考文献

Aoki. K., T. Takemura, K. Kawamoto, and T. Hayasaka (2013), Aerosol climatology over Japan site measured by ground-based sky radiometer, AIP Conf. Proc. 1531, 284-287 (2013); doi: 10.1063/1.4804762.

Maki Teruya, Kevin C. Lee, Stephen B. Pointing, Koichi Watanabe, Kazuma Aoki, Stephen D.J. Archer, Donnabella C.Lacap-Bugler, Akira Ishikawa,：Desert and anthropogenic mixing dust deposition influences microbial communities in surface waters of the western Pacific Ocean, Science of the Total Environment (2021), https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148026.

Miura, K., S. Nakae, K. Matsuda, N. Tsuge, and K. Aoki (1996), Size distribution of aerosol particles over the Western Pacific Ocean and the Southern Ocean. Proceedings of NIPR Symposium on Polar Meteorolgy and Glaciology, 10, 102-110.

Nakajima, T., Campanelli, M., Che, H., Estellés, V., Irie, H., Kim, S.-W., Kim, J., Liu, D., Nishizawa, T., Pandithurai, G., Soni, V. K., Thana, B., Tugjsurn, N.-U., Aoki, K., Hashimoto, M., Higurashi, A., Kazadzis, S., Khatri, P., Kouremeti, N., Kudo, R., Marenco, F., Momoi, M., Ningombam, S. S., Ryder, C. L., and Uchiyama, A.: An overview and issues of the sky radiometer technology and SKYNET, Atmos. Meas. Tech., 13, 4195-4218, 2020, https://doi.org/10.5194/amt-13-4195-2020.

Fig. 1 海洋地球研究船みらい JAMSTEC と船舶型スカイラジオメーター

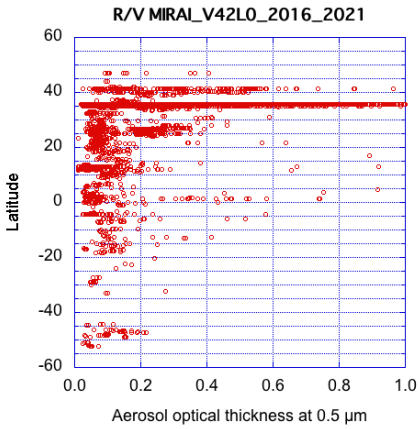


Fig.2 MR16-08～MR21-04 の 0.5 μm のエアロゾルの光学的厚さの緯度分布

「みらい」MR21-01 航海概要報告:西部北太平洋におけるアジア大気微量物質による海洋生物地球化学への影響評価

○竹谷文一・長島佳菜・喜多村稔・本多牧生・松本和彦・宮川拓真・藤木徹一・木元克典・杉江恒二・栗栖美菜子・脇田昌英・内田裕・中嶋亮太・野口真希・金谷有剛・原田尚美(JAMSTEC), 岩本洋子(広島大学), Astrid Müller・Matthias Frey(NIES), 村上裕太郎(NME), 藤木なぎさ(MWJ)

1．はじめに

主にアジア大陸を起源とする黄砂や人間活動に伴って排出される様々な物質が、偏西風の影響により大気を介して西部北太平洋域に輸送されている。このため、大気由来物質の海洋沈着による物質循環の変化、特に基礎生産へ与えうる影響がモデル計算などから報告されている。しかし、洋上の人為起源物質(大気由来物質など)の観測データ、海洋沈着後の海水柱の挙動、さらに低次生態系への影響に関する基礎データが著しく不足している。これら一連のプロセスを把握するため、大気・海洋・海底堆積物に至る各圏に跨る物質循環観測航海 IMPACT-SEA(Influence on Marine ecosystem at western north Pacific by Atmospheric Chemical Trace Species from East Asia)を実施した。本航海では、西部北太平洋海域へ大陸からの大気物質の飛来の可能性の高い冬季～春期にかけて集中観測することによって、特に化学・生態系の各種動態の解明を目的に調査を行った(図 1)。講演では航海の概要および初期結果の報告を行う。

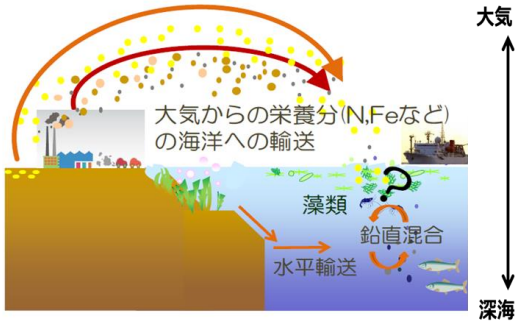


図 1 大気からの海洋への物質供給過程

2．観測

航海は、海洋地球研究船「みらい」により、2021 年 2 月 14 日(清水港)～3 月 24 日(清水港)の 40 日間実施した。航路は清水港出港後、下北沖を経て亜寒帯海域の大観測点 K2 (47°N, 160°E)にて観測を実施、その後南下し、亜熱帯海域の大観測点 KEO (32.4°N, 144.5°E)、KEOS (25°N, 145°E)、KEOSW (26°N, 135°E)の順に観測を実施、清水港に帰航した(図 2)。大観測点間に小測点を設け、次の観測項目を実施した：CTD 採水・生化学分析、懸濁粒子採取、降水地点での表層海水採水、クリーン採水、培養実験、マルチプルコアラーによる採泥、植物プランクトンの高速フラッシュ励起蛍光光度測定、NORPAC ネット/VMPS 鉛直多層式開閉ネットによる動物プランクトン採取、ハイブリット・セジメントトラップ係留系回収/設置、BGC アルゴフロート投入、ニューストンネットによるマイクロプラスチック採取、係留気球観測、観測点/航走中の各種大

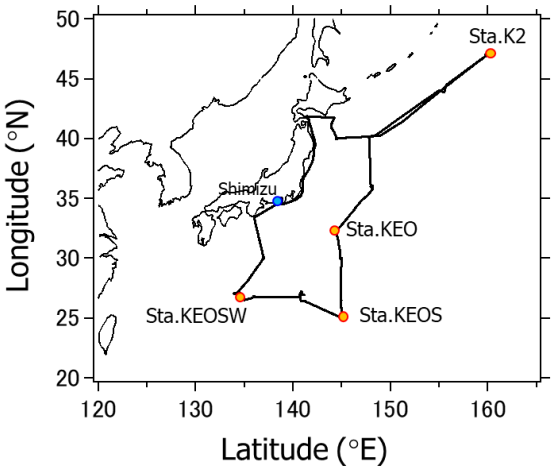


図 2 MR21-01 航海の航路図および大観測点

気組成連続観測、大気エアロゾル粒子・降雨採取、気象/表層海水連続観測などの多岐にわたる観測を実施した。MR21-01 航海では予定していた観測項目はほぼすべて実施できた。

西部北太平洋域は貧栄養海域として知られているが、降雨に伴う栄養塩供給が基礎生産を増大させる可能性を検証するために「降水地点での表層海水採水」を実施した。このために、研究船「みらい」が有するドップラーレーダーを用いて降水域の状況を把握し、雨水中の栄養塩分析のための降雨の取得に加え、降雨の到達前後に表層海水を採水し、培養実験により基礎生産力の比較を行った。

３．初期結果

「降水地点での表層海水採水」では、強い降雨が予想された亜熱帯海域(27°N, 140°E)付近にて降雨前に表層海水のバケツ採水を行い、直後に約一時間の降雨をとらえ、表層海水および降雨の取得に成功した（図 3)。降雨前後の表層海水の各栄養塩濃度(NO_3, NO_2, SiO_2, PO_4, NH_4)は、NO_3 および NH_4 などが 0.1μmol/L 以下の貧栄養状態であることを確認した。降雨前後における表層の基礎生産力を比較した結果、降雨後の表層海水での基礎生産力が降雨前に比べて増加しており、この時に採取した降雨サンプルの NO_3 および NH_4 の濃度は 10 μmol/L 以上であった。降水量(10 mm/h)を考慮すると、大量の NO_3 および NH_4 が表層に大気から供給されたことが見積もられ、降雨による栄養供給が海洋表層の基礎生産力を増大させた可能性が高い。このように、MR21-01 航海で大気からの栄養供給による海洋生態系への効果を現場観測によりとらえることができた。今後は、微量栄養成分の鉄の分布や窒素安定同位体比を用いた大気物質の海洋低次生態系への影響評価と解析を進めて行く予定である。

講演では、係留気球観測など、本航海で実施した観測初期結果を報告する予定である。また、本航海で取得した各種データは、乗船・非乗船研究者それぞれ解析中を進めているところである。今後、個々の解析結果を持ち寄り、様々な角度から MR21-01 での観測結果を検証・考察していく予定である。

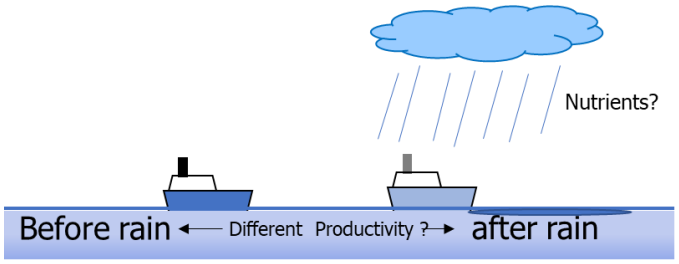


図 3 降水による大気からの栄養供給の表層基礎生産力への影響評価のための観測の模式図

謝辞

みらい運航にあたり様々なサポートをしていただいた船長および船員の皆様に感謝いたします。また、航海実施にあたり運航部および非乗船課題・陸上支援の皆様、日本海洋事業（株）およびマリン・ワーク・ジャパン（株）の皆様に大変お世話になりました。改めてお礼申し上げます。

「かいれい」地震探査システムで得られた日本海の地殻構造

～「日本海地震・津波調査プロジェクト」の成果～

○野 徹雄（海洋研究開発機構），佐藤 壮（気象庁札幌管区気象台）・小平 秀一（海洋研究開発機構）・佐藤 比呂志（東京大学地震研究所/静岡大学）・新井 隆太・白石 和也・三浦 亮・藤江 剛（海洋研究開発機構）・下村 典生（日本海洋事業）

深海調査研究船「かいれい」は、1997 年竣工以降、搭載されている地震探査システムを用いて、日本周辺の海域を中心に、多くの地殻構造探査とそのデータを用いた研究が実施されてきた。日本海においても、2007 年新潟県中越沖地震等による被害地震が相次いで発生したことをふまえて、2007 年に新潟県中越沖で「かいれい」を用いた緊急調査を行い（Cruise ID:KR07-E01）、2009 年から「ひずみ集中帯重点的調査観測・研究プロジェクト」による地殻構造探査を能登半島沖～西津軽沖にかけて展開し（Cruise ID:KR09-09・KY09-06・KR10-10・KR11-08・KR12-10）、2014 年からは「日本海地震・津波調査プロジェクト」による地殻構造探査を北海道西方沖～鳥取沖にかけて実施してきた（Cruise ID:KR14-08・KR15-08・KR16-08・KM17-06C・KR18-06C・KR19-06C）。これらの調査で得られた結果は、日本海の地殻構造の地域性が把握でき、日本海沿岸で発生した被害地震と地殻構造の関係についての理解が進捗したのみならず、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生に伴って進められた日本海の震源断層モデルの見直しやそのモデルを用いた津波や強震動のシミュレーション研究にも寄与することにつながった（日本海における大規模地震に関する調査検討会，2014；海域における断層情報総合評価プロジェクト，2015；東京大学地震研究所，2021）。本発表では、「日本海地震・津波調査プロジェクト」で得られた成果を中心に、地殻構造探査で明らかになった日本海の地殻構造に関して述べる。

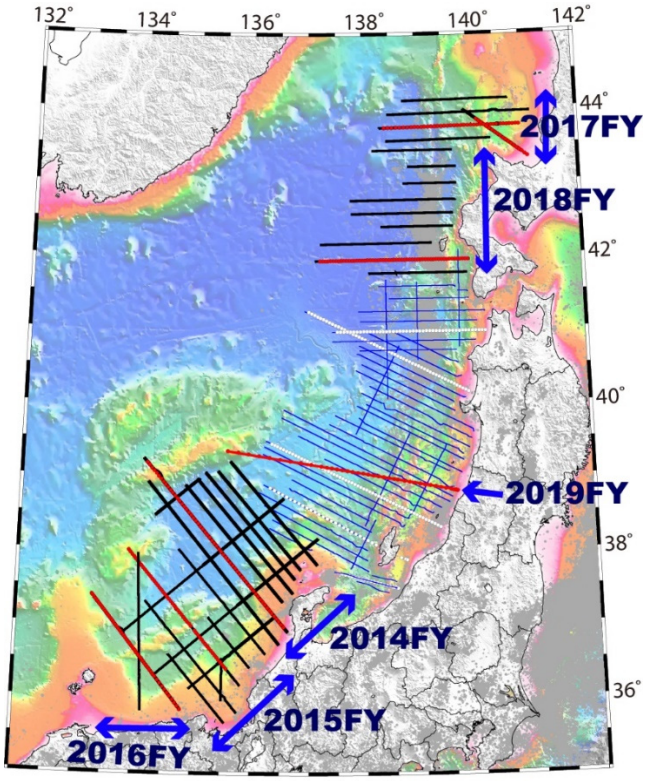
「日本海地震・津波調査プロジェクト」は 2013～2020 年度まで実施された文部科学省のプロジェクトで、JAMSTEC は東京大学地震研究所と共同で地殻構造探査を実施した。海域での調査は、マルチチャンネル反射法地震（MCS）探査と海底地震計（OBS）を用いた地震探査を行い、2014 年は石川県沖（KR14-08）、2015 年は福井県沖～京都府沖（KR15-11）、2016 年は兵庫県沖～鳥取県沖（KR16-08）、2017 年は北海道北西沖（KM17-06C）、2018 年は北海道南西沖（KR18-06C）、2019 年は山形県沖（KR19-06C）にてデータを取得した（図）。ただし、2019 年は複数の台風の影響により、OBS 探査のみの実施となった。

日本海で進められた地殻構造探査は、旧地震探査システムを使用した KR07-E01 と海底広域研究船「かいめい」を使用した KM17-06C を除くと、「かいれい」の同じ地震探査システムを用いたので、得られた結果は比較しやすいほぼ同様のデータ取得仕様で実施した。これらのデータを用いた研究により、日本海の地殻構造が日本海盆のような標準的な海洋地殻で形成をしている領域、大和海盆のような厚い海洋地殻で形成されている領域、日本海盆や大和海盆より日本列島側の領域や大和海嶺では大陸地殻で構成されていることがわかった。さらに、「日本海地震・津波調査プロジェクト」や「ひずみ集中帯重点的調査・観測の観測・研究プロジェクト」により、大和海盆の全域で地殻構造探査が展開されたことになり、大和海盆の地殻構造から推定される構造発達過程も推定できました（Sato et al., 2018, 2020）。一方、北海道西方沖と山形沖の地殻構造探査では、その海域で発生した 1940 年積丹半島沖地震（M_J7.5）、1993 年北海道南西沖地震（M_J7.8）や 2019 年山形県沖の地震（M_J6.8）の震源域またはその近傍を横切って実施した。今回の結果と「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」の結

果とを併せて考えると、日本海東縁における被害地震は大陸地殻の領域だけではなく、大陸地殻と海洋地殻の境界部や海洋地殻の厚さが変化している部分で発生しているケースがあることが明らかになった。つまり、日本海東縁で過去に発生した被害地震や推定されている震源断層・活断層の多くが逆断層タイプではあるが、被害地震や震源断層が同じ地殻構造の条件下で発生・分布しているわけではなく、いくつかのパターンに分類されることを示している。したがって、日本海東縁の震源断層に関しては北海道西方沖～新潟沖まで一律に評価するのではなく、各々の断層が形成されている地殻構造も考慮する必要がある。

また、日本海の活断層や地震活動は沿岸域や海陸境界域に多く分布するため、可能な限り沿岸域まで深部構造が得られるように観測を展開したいが、日本海の漁業活動は沿岸から沖合まで様々な目的・手法で展開されている。そこで、限られた予算の中でデータ取得面での新たな試みや改善を実施し、調査事前の交渉で可能な限り同意していただけるように準備した。例えば、OBS のアンカーの形状の改良、OBN（Ocean Bottom Node）の活用、アンカー回収に関する取り組みなどを実施し、可能な限り浅海域での OBS の展開を行った。また、KR19-06C の時のように台風等の影響で MCS 探査の実施ができなかったケースでは、「Reverse time migration」の適用（白石・他, 2021）など新たなデータ解析手法を試みた。このようなデータ取得及び解析時の検討・試みは、今後の観測・研究に活用ができる技術の蓄積につながっていくと考えている。ただし、浅海域をはじめとする沿岸域や海陸接合部の深部構造探査は、調査海域に関する事前調整も難しい部分もあり、加えて限られた調査時間とコストの中で実施するには、現状まだまだ技術的な課題も非常に多い。

最後に、本研究で得られた地殻構造探査データは、まだ様々な解析や研究を実施する余地が多く、日本海拡大や形成に関わる問題（例えば Van Horne et al., 2017）など他の研究にも貢献できる可能性がある。今後、JAMSTEC「地殻構造探査データベースサイト」（JAMSTEC, 2004）からデータを公開するので、日本海に関わる研究・教育等への利活用も促進していく。



図：「かいれい」などを用いた日本海での地殻構造探査測線。黒線が日本海地震・津波調査プロジェクトで実施した MCS 探査測線、赤線が日本海地震・津波調査プロジェクトで実施した OBS を用いた地震探査測線。青線が「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」や「新潟県中越沖地震に関する緊急調査研究」による MCS 探査測線、白丸が「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」による OBS を用いた地震探査測線。

千島海溝アウターライズにおける熱流量分布

―日本海溝海側の高熱流量域との比較―

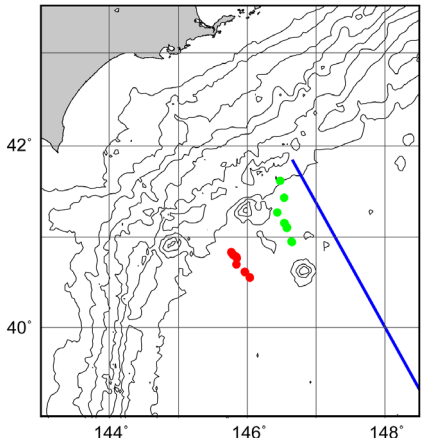
○山野誠・木下正高（東京大学地震研究所），佐々木肯太（構造計画研究所），
川田佳史（海洋研究開発機構）

日本海溝海側のアウターライズ上では、沈み込む太平洋プレートの年齢に対して異常に高い熱流量が観測されている（Yamano et al., 2014）。高熱流量は海溝軸から 150 km 付近まで及んでいるが、この範囲での値は一様ではなく、数 km スケールの大きな変動を示す。この地域では、海洋地殻～マントル最上部の地震波速度構造にも異常が見られ、プレートの屈曲により亀裂が生じ、水が入り込んだことを示すものと考えられている（Fujie et al., 2018）。熱流量と速度構造の異常の範囲がほぼ合致することから、沈み込みに伴い海洋地殻が破砕されて透水率が増加し、流体循環が発達して熱を効率的に運び高熱流量を生じる、というモデルが提案されている（Kawada et al., 2014）。

日本海溝に隣接する千島海溝にも、ほぼ同じ年齢の太平洋プレートが沈み込んでいる。この千島海溝の海側にも、日本海溝と同様な地震波速度構造の異常が存在し、プレート上層部への水の侵入を示している（Fujie et al., 2013 等）。一方、千島海溝海域ではこれまで熱流量測定データが乏しく、速度構造との比較、また日本海溝海域の熱流量分布との比較ができない状況であった。このため、2018 年、2020 年の白鳳丸 KH-18-5 航海、KH-20-8 航海において、北海道沖千島海溝海側のアウターライズ上で熱流量測定を実施した。

測定点は、海溝軸から約 30～110 km の範囲にあり、地震波速度構造が得られている測線に近い東側の点（図の緑色）と、西側の日本海溝に近い点（赤色）に分かれる。各点では、数百 m 間隔での高密度測定を行い（ピストンコアラーによるものを除く）、東側で 13、西側で 16 の測定値が得られた。多くの点での熱流量は約 50～60 mW/m^2 で、海底年齢に応じた値（約 50 mW/m^2）と同程度である。これは、日本海溝アウターライズでは 60～100 mW/m^2 の高熱流量が多いのに対し、相対的に低い値となっている。また、西側海域の 2 か所では、80～110 mW/m^2 という局所的な高熱流量が観測された。

千島海溝ではアウターライズにおける高熱流量値が少ないことの原因として、海洋地殻の破砕状況の違いが考えられる。千島海溝海側の地震波速度構造は、日本海溝に比べて異常の程度が小さく、亀裂や水の量が少ないと推定されている。これに対応して、海洋地殻の平均的な透水率も千島海溝の方が低いとすれば、流体循環が発達しにくく、熱の汲み上げが起きないと考えられる。一方、2 か所で観測された高熱流量異常は、局所的に破砕が進んだところで流体循環が起きていることを示すものであろう。日本海溝アウターライズに見られる数 km スケールの熱流量変動も、同様に、海洋地殻の破砕の不均質性によって生じたと考えることができる。



千島海溝アウターライズにおける熱流量測定点。青線は地震波速度構造が得られている測線。

千島海溝根室沖における複合海底測地観測

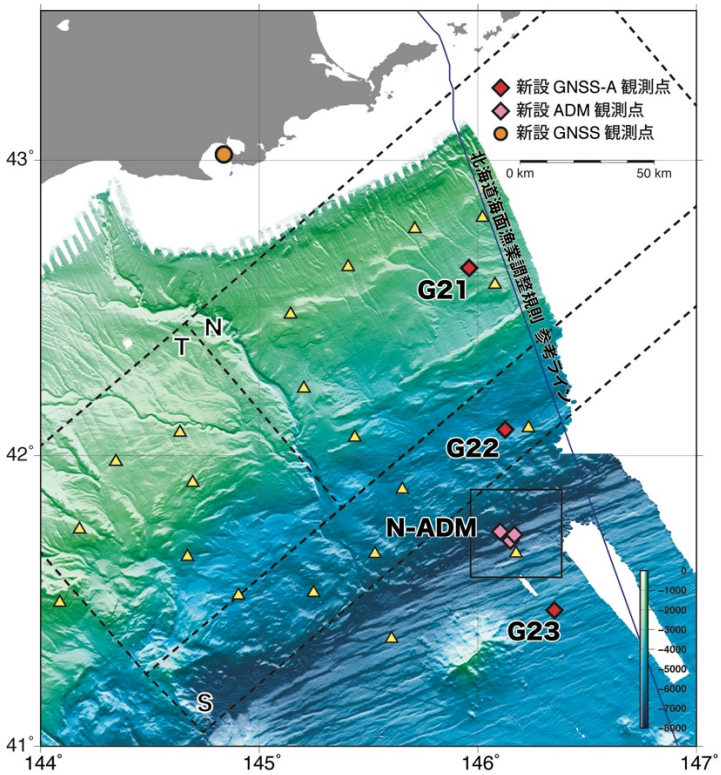
○太田雄策, 本荘千枝, 佐藤真樹子, 鈴木秀市, 東龍介, 日野亮太（東北大学大学院理学研究科),
木戸元之, 富田史章（東北大学災害科学国際研究所),
大園真子, 高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院),
飯沼卓史（海洋研究開発機構), 篠原雅尚（東京大学地震研究所）

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0, 以下東北沖地震)では GNSS−音響結合方式 (以下, GNSS-A) や, 海底水圧計による海底地殻変動観測によって，プレート境界の 10km 以浅で 50m を超える大きな断層すべりが生じていたこと，さらにその断層すべりが海溝軸まで到達していたことが高い確度で明らかになった．こうしたプレート境界浅部での大すべりを規定する要因をさまざまな側面から理解することは，超巨大地震の発生様式の理解を深める上で重要であり，特に他の地域における超巨大地震との比較研究を行うことは地震の多様性理解のために必須である．

千島海溝は，日本海溝と同じ太平洋プレートが沈み込む場であり，M8 クラスの巨大地震が十勝沖や根室沖といった各セグメントで繰り返し発生している．一方，津波堆積物の分布等から，17 世紀に十勝・根室沖の両セグメントを破壊し，さらにプレート境界浅部で大きなすべりが生じていた可能性が指摘され, そのすべり様式の 2011 年東北沖地震との類似性が指摘されている (Ioki and Tanioka, 2016).

こうした観点から，東北大学と北海道大学では，千島海溝根室沖における現在のプレート間固着の実測を目指した海底測地観測網の整備を共同で実施し, 根室沖の海溝軸に直交する方向に, GNSS-A 観測点を 3 点設置した（図）．併せて，海溝軸をまたぐ基線長を連続的に計測することで，プレート境界ごく浅部の固着状態の把握を目指した海底間音響測距観測点も 3 点設置し，長期観測に成功している(図).

GNSS-A 観測点は陸側斜面に G21, G22 の 2 点を設置し，沈み込む太平洋プレート上に G23 を設置した．そして 2019 年 7 月に初回の観測 (KS-19-12)を，2 回目の観測を 2020 年 10 月(KS-20-16)，3 回目の観測を 2021 年 4 月(KS-21-05) に実施した．3 回の観測であるため，精度の観点からまだ暫定的な結果ではあるものの, G21 や G22 観測点においてオホーツクプレートに対して北西方向の変位が確認され，プレート境界浅部を含めた固着を予期させる結果が得られつつある．発表では，これら観測の詳細とともに，現時点で得られている暫定的な結果とその解釈について詳細を述べる．



図．千島海溝根室沖に設置した海底測地観測網．赤色ひし型が新設 GNSS-A 観測点，桃色ひし型が海底間音響測距観測点をそれぞれ示す．黄色三角が S-net 観測点を示す．図中破線で示した矩形は，Ioki and Tanioka (2016) によって推定された 17 世紀に発生したと考えられる超巨大地震の震源断層を示す．

広帯域海底地震計アレイと S-net で捉えた千島・日本海溝会合部の地震活動

○東龍介（東北大学大学院理学研究科），川久保晋・太田雄策・高木涼太・鈴木秀市・佐藤真樹子・日野亮太（東北大学大学院理学研究科）・高橋秀暢（電力中央研究所）・田中伸一・篠原雅尚（東京大学地震研究所）

北海道南方に位置する千島・日本海溝会合部では、沈み込んでいる海山(Tsuru et al., 2005)のごく近傍で活発な浅部超低周波地震(sVLFE, Asano et al., 2008; Baba et al., 2020)と浅部低周波微動(Nishikawa et al., 2019; Tanaka et al., 2019; Kawakubo et al., 2021)の活動が観測されており、特異なプレート境界構造がここでのスロー地震の発生に関わっている可能性がある。一方、これら２タイプの活動の空間的な対応関係は、短周期海底地計震網による微動観測と陸上広帯域地震観測網による sVLFE 観測との震源精度の違いのため議論が難しかった。こうした背景から、会合部でのスロー地震活動の実態と海山沈み込みとの関係の解明には、活動域直上での広帯域海底地震観測によって通常地震も含めさまざまな地震を精度よく把握することが重要である。そこで本研究では、新青丸を利用した海底地震計の設置(KS19-12)・回収(KS20-16)作業によって、沈み込んだ海山周辺に 120 秒速度計１台と１秒速度計４台で構成する広帯域海底地震計アレイ観測を実施した。

解析では、微動・通常地震活動の概要把握を目的として、2019 年 7 月～2020 年 10 月の設置期間に観測された地震波形連続記録に対して地震波エンベロープ相関解析(ECC, Ide et al., 2010)を行い、観測点間の波形相関と震央精度に基づき地震候補カタログを作成した。ここで、アレイの検知能力がその直下に限定的であったことから、アレイ周辺の日本海溝海底地震津波観測網(S-net)60 観測点の記録についても別個に ECC 解析を行うことでカタログの空間範囲を広げた。次に、群発性のある期間(図１中、＃２～４の活動)を対象に、ECC で計算した地震動の継続時間、波形記録の目視による P・S 波初動の明瞭さに準じてカタログ中のイベントを近地通常地震、微動、遠地地震に分類し、誤検知イベントを除去した。さらに、近地通常地震の震源を P・S 波の到着走時を用いて HYPOMH (Hirata and Matsu'ura, 1987)により再決定した。

解析の結果から、各期間の活動には以下の特徴が指摘される。

- 2020 年 2 月中旬の活動＃２のイベントはほとんどが微動と判別された。この期間の微動は Nakanishi et al. (2019)が報告した微動帯で活動が始まり、１週間かけて海山の麓に至ったと考えられる（図２左)。ここでの移動速度は約 6 km/日と見積もられ、微動帯で観測された海溝沿いに伝播する活動の移動速度（12～20 km/s, Tanaka et al., 2019）の半分程度と遅い。
- 2020 年 6 月末（＃３）と 7 月末（＃４）の活動は、どちらも二週間程度の短期間に通常地震が 50 個ほど発生した活動であった（図２右)。地震波形の特徴より、それぞれのクラスターの中には地震間で波形の相似性が良いグループが複数あることが示唆される。こうした波形の相似性、震央の発生頻度、活動の継続時間をふまえると、見つかったクラスター活動はどちらもバースト型の繰り返し地震であったと解釈できる。

今回判別した微動・繰り返し地震活動は、震央推定精度を考慮すれば、いずれも沈み込んだ海山のすぐ downdip 側に局在した活動であったといえる。こうした特徴は、ニュージーランド・ヒクランギ沖に沈み込んだ海山の downdip 側で発生したスロースリップ直後に、微動やバースト型繰り返し地震が

発生した一連の活動(Shaddox and Schwartz, 2019)と類似している。Shaddox らによれば、バースト的な繰り返し地震発生はスロースリップに追随した高間隙圧流体の移動が原因と考えられる。今回観測したバースト活動も同じ発生メカニズムだとすれば、千島・日本海溝会合部において未だ観測例のないスロースリップが発生していた可能性がある。一方で、バースト活動の発生が微動活動＃２の４ヶ月後と時間差があり、これらが一連の活動であるとは考えにくい。今後、OBS と S-net データの併合解析によってバースト型繰り返し地震に同期する微動の探索、また、地震波形の相関解析によってバースト型繰り返し地震の検出漏れイベントの探索や地震の相対位置のなど詳しい特徴を調べる。

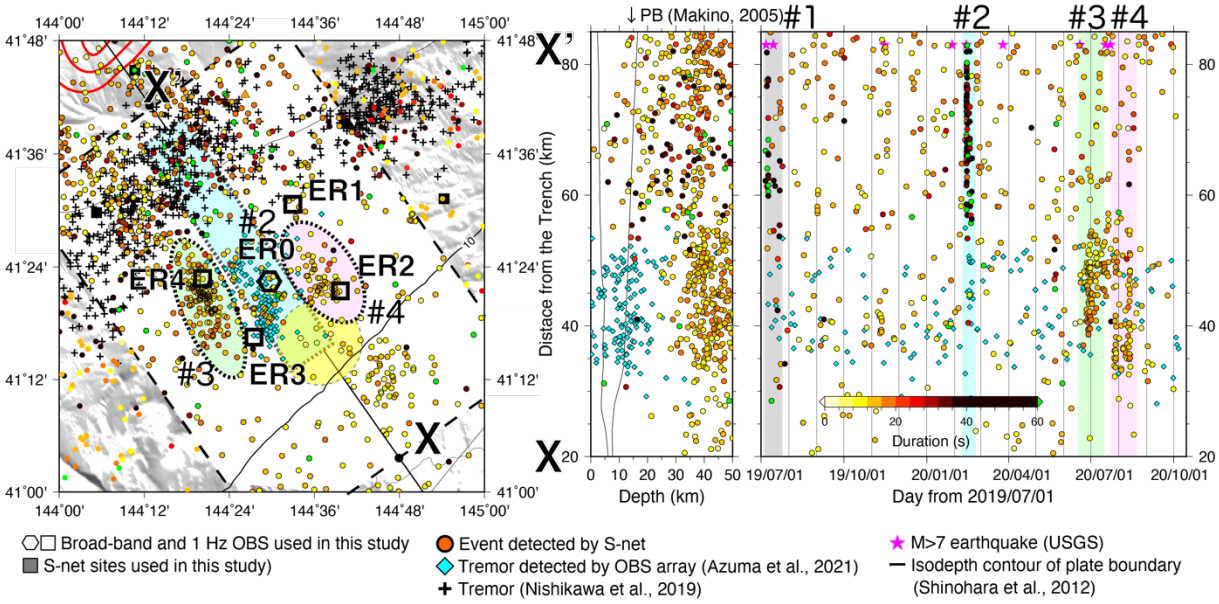


図１　ECC カタログの震央分布（左）と XX'断面投影した深さ断面（中）および時空間分布（右）。S-net カタログを地震動の継続時間で色付けした丸、OBS カタログの微動を水色の菱形で示す。

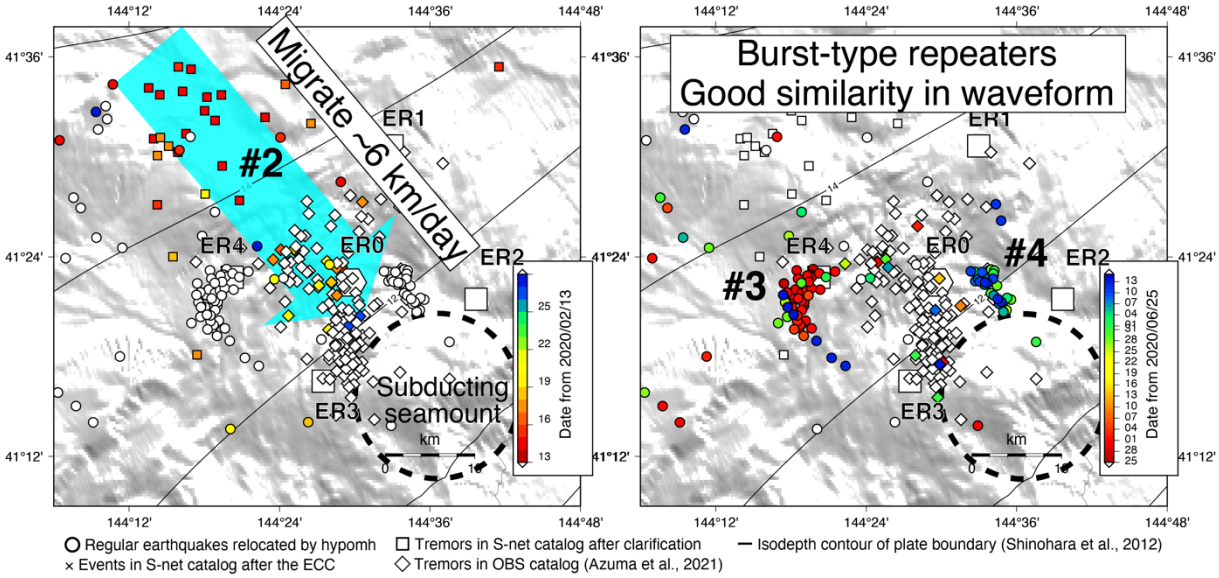


図２　活動＃２（左)、＃３と＃４（右）のイベント震央の時空間分布。OBS カタログの微動を菱形、S-net カタログの微動および通常地震を四角と丸で示す。色は活動期間の日付を示す。

最表層部構造から紐解く東北沖上盤プレートの変動

－ 白鳳丸 KH-20-10 航海報告 －

○三澤文慶・高下裕章（産業技術総合研究所）、冨士原敏也（海洋研究開発機構）、
鈴木克明（産業技術総合研究所）、佐藤悠介（東海大学）、田村千織（東京大学大気海洋研究所）、
亀尾桂（東京大学大気海洋研究所）、小松亮介（MOL マリン＆エンジニアリング）、
荒井晃作（産業技術総合研究所）

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（M_W 9.0）の発生に伴い、東北地方をはじめとする東日本の地域では活発な余震活動や地殻変動である余効変動が継続して発生していることが知られている（例えば Yamagiwa et al., 2015）。しかしながら、海域での海底地形もしくは海底下浅部構造から現在発生している余効変動の影響を捉えた研究事例は未だにない。東北沖の陸側プレート（以下、上盤プレート）に位置する前弧斜面域の地質構造に関しては、Arai et al. (2014) により 2011 年地震の震源域付近で地震前の音波探査断面を解析した結果、以下の 3 点を明らかにした。(1)「深海テラス」として定義されている前弧斜面域の全体的な沈降とは別に、活動的な地質構造として、数 10 km のスケールの小規模な凹地状の堆積盆が形成すること、(2) 堆積盆内に複数の不整合が認められることから突発的に発生する沈降運動が存在すること、(3) 凹地を作る沈降運動は正断層を伴うため、東北前弧域の上盤プレートにおいて地質時代を通して数 10 km スケールの沈降運動が生じたことである。2011 年地震後には、余効変動に起因する新たな変動が前弧斜面域においても存在することが推察されたため、2017 年（新青丸 KS-17-8 次航海）および 2018 年（白鳳丸 KH-18-1 次航海）では東北沖前弧斜面域にて反射法地震探査・高分解能サブボトムプロファイラー（SBP）探査・海底地形探査を実施した。特に SBP 探査結果においては北緯 39 度以南と以北の堆積盆の表層構造を比較した結果、北緯 39 度以北に位置する堆積盆では海底面に到達した正断層が発達することが明らかになり、現在も沈降運動が活動的であることが示唆された。

白鳳丸 KH-20-10 航海（2020/10/26～2020/10/30）では、日本海溝域および前弧斜面域にて巨大地震発生に起因した上盤プレートの地質変動を明らかにするべく、後述する 2 つのテーマを設定し、海底地形調査・SBP 探査・地磁気観測（曳行式プロトン・船上三成分）・船上重力探査・XCTD 観測を実施した（図 1）。テーマ 1 は、上盤プレート側の前弧斜面域にて現在発生していると考えられる沈降運動を SBP 探査により検出し、前弧斜面域の沈降運動の地域差を検証する。テーマ 2 は、Fujiwara et al. (2011) での観測範囲を含めた測線で海底地形調査を実施し、既存データの比較から余効変動の影響の抽出を試みる。

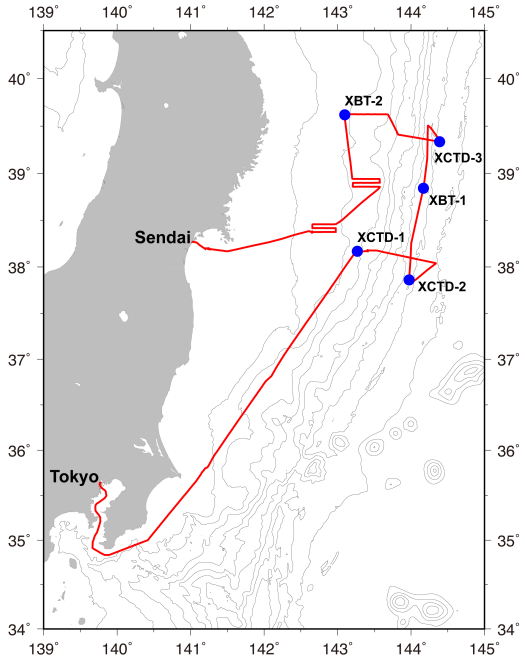


図 1 KH-20-10 航海の航跡図

テーマ 1 では、北緯 39 度以北で、未探査の堆積盆

にて SBP 観測を行った。その結果、堆積盆表層部の構造を把握することができ、かつ堆積層を切る断層と思われる不連続部が複数認められた。テーマ 2 では、①Fujiwara et al.(2011)にて海底変動を抽出した海溝軸を横切る測線，②海溝軸に沿った測線，③2011 年の地震で破壊伝搬が停止した北側縁辺での海溝軸を横切る測線の合計 3 測線を設定し、海底地形調査を実施した。その結果、Fujiwara et al.(2011)測線での余効変動は明瞭ではなかったが，一方でこれまで報告されていた海溝軸部分の地震前後の変動がより広がりを持つこと、更に測線③で観測した前弧斜面域の Middle slope terrace 部分にてこれまで報告のない 10 m を超える大きな沈降を確認した。本発表では、KH-20-10 航海の成果を中心に、これまでの新青丸 KS-17-8 航海および白鳳丸 KH-18-1 航海の成果も合わせて発表する。

中西部南海トラフの3次元地下構造とゆっくり地震発生域との関係

○中村恭之・白石和也・藤江剛・小平秀一・木村学・
海宝由佳・野徹雄・三浦誠一・尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）

南海トラフはプレート境界型の巨大地震が繰り返し発生してきた沈み込み帯である。近年ではゆっくり地震の観測が報告され、プレート間滑り挙動の多様性や相互関係を研究する上で重要な領域である。超低周波地震と沈み込む海山の関連が指摘されるなど、沈み込み帯の詳細な地下構造は、プレート境界近傍での地震関連滑り現象を解明する鍵の一つであると考えられる。

我々は、2018 年から中部－西部南海トラフ沈み込み帯において稠密測線による反射法地震探査を主とした構造調査を実施してきた。これまでに、潮岬沖から足摺岬沖の海域において 4-8km 間隔の測線で反射法探査データを取得した。これら新規取得した測線に加え、1990 年代に KR97-04 および KR99-04 航海で取得したデータの一部を対象に、重合前時間マイグレーション（PreSTM)、重合前深度マイグレーション（PreSDM）解析を実施した。解析では広帯域化処理、多重反射除去の他にも、複数のノイズ除去手法を組み合わせることで、高品質な反射断面を作成した。20 年以上前に取得されたデータは、ケーブル長が短い、チャンネル間隔が長いなど、反射法データ解析には不利な条件のデータではあったが、近傍で新規に得られたデータの解析結果を参考にしつつ最新の解析技術を適用することで、過去のデータからも構造情報の抽出にじゅうぶん使用可能な断面を作成することができた。本発表では、これらの反射断面を元に得られた構造の特徴とゆっくり地震との関連に関して報告する。

得られた断面には、沈み込むフィリピン海プレート基盤の上面、浅部沈み込み帯の堆積層内に発達するデコルマ面、付加体内部の変形、古い付加体を被覆する斜面堆積物、BSR など、南海トラフに特徴的な構造が明瞭に描き出されている。測線間隔が密に設定されているため、これまでに無い高分解能での 3 次元的構造マッピングが可能となった。沈み込むフィリピン海プレート上面の形状は、室戸岬沖周辺では起伏に富むことがわかった。室戸岬沖には複数の海山が沈み込んでいることがこれまでにも指摘されていたが、上記のプレート上面に見られた起伏はこれらの海山に対応するものが含まれると考えられる。一方、室戸岬沖を中心とする海域では、上記の海山に対応する高まりとは別に、海洋プレートの深度が急に深くなる箇所がトラフ軸に沿う方向に約 100km にわたって弧状に連続する様子が描き出された。位置は海底地形凹部（土佐ばえ海盆）近傍にあたる。

本研究でのデータ取得に用いたストリーマーケーブルの長さは 4.5-5.5km であるため、深さ 8km 以上と考えられる土佐ばえ海盆下の海洋プレート上面近傍の速度構造が精度よく求められているとは言い難い。PreSDM に用いた速度構造は、特に深部では水平方向にほぼ一様である。これらのことから、PreSDM 断面で土佐ばえ海盆下近傍で海洋プレート深度が急に深くなっている箇所では、実際にプレート深度が急に深くなっているか、その近傍での上盤側の P 波速度が水平方向に急激に変化しているか（深度が深く見積もられた側が低速度）である可能性がある。室戸岬沖ではこれまでに超低周波地震、微動、スロースリップイベントが報告されているが、これらは土佐ばえ海盆よりトラフ側で起こっており、陸側はほとんど報告されていない。今回の結果から、土佐ばえ海盆下でプレート境界もしくは上盤側の構造が変化していることが強く示唆されるが、この領域がプレート間滑り様式の境界にもなっている可能性がある。海山の沈み込みとゆっくり地震との関連が議論されているが、今回の結果は、

海山より大きな水平スケールの構造不均質がゆっくり地震の発生と関係している可能性を提示するものである。

日向灘沖における九州パラオ海嶺沈み込みの影響評価

KS-21-18 航海序報告

○木下正高（東大地震研），橋本　善孝・瀬戸口　亮眞（高知大学），濱田　洋平・金松　敏也（海洋研究開発機構），土岐　知弘・満留　由来（琉球大学）・鹿児島　渉悟(富山大学)
KS-21-18 航海乗船者一同

100%に近い固着の挙動を示す南海トラフ地震発生帯の西方境界は不明確である．日向灘沖の地震活動は南海トラフ主要部とは明らかに異なることが知られており，また最近の VLFE や SSE など，SE の発見により，日向灘の固着率は弱いとされるが，その実態はいまだ不明である．その実態解明に向けて，現在 IODP 掘削提案を提出準備中である（Nakata 他，JpGU2021）．地震断層の挙動を知るためには，広域探査データをベースとして，プレート境界断層や上盤からの試料採取等により，破壊の素過程に迫ることが必要である．本発表では，KS-21-18 航海などで新たに得られた熱流量等のデータを報告し，日向灘沖の熱・水理構造を推定する．

JAMSTEC の構造探査測線に沿って BSR 反射面が同定され，その深度から熱流量を新たに得た．九州パラオ海嶺（KPR）の延長線を境にその東では 50-100mW/m2，西では 25-40mW/m2 と顕著に異なる．その変化は KPR 延長上でわずか 20 km程度の幅で起きているようである．広域的には，沈み込む海洋地殻の年齢が KPR を境として大きく異なることが，熱流量の差として表れていると考えられる（Yoshioka, 2007 など）．一方，KPR 延長上の東側では，局所的に 100mW/m2 を超える高い熱流量があるが，それは南海トラフ軸付近に見られるものと同じであり，付加体先端部にむかって流体が湧出することが原因と考えられる．一方，沈み込んだ海山付近での低熱流量は，沈み込むプレートの年代差だけでは説明が難しく，何等かのメカニズムが必要であると考える．

2021 年 8 月 13 日から 19 日まで，東京大学大気海洋研究所の共同利用公募による研究航海「日向灘スロー地震は九州パラオ海嶺が起こしているのか　表層からのアプローチ」（課題代表者：木下正高）が実施された．停滞した低気圧等の悪天候のため，当初予定された作業時間（82 時間）が 37 時間に大幅に短縮されたが，日向灘沖にて，熱流量測定 4 点（貫入数 14），ピストンコア 3 点，表層コア（アシュラ）1 点の採取に成功した．一方，海底地形・表層地質調査，プロトン磁力計等による地磁気・重力探査は時間がなく実施できなかった．

本航海で得られた表層地質試料（ピストンコア 3 点・アシュラ 1 点）における記載・CT・物性（密度・間隙率・P 波速度等）・間隙水化学組成・He 同位体比・堆積年代等の分析，および熱流量測定の結果から、以下の項目が明らかになると期待される．日向灘沖における海山の沈み込みに関連した表層変形・堆積過程・流体移動過程（東京大学・高知大学・琉球大学・富山大学・JAMSTEC），宮崎沖の泥火山の成長過程や流体の起源（高知大学）．今後継続して実施される構造探査・掘削と併せて，海山周辺の応力場・水理状態と，海山周辺で発生しているスロー地震との関連の解明を目指す．

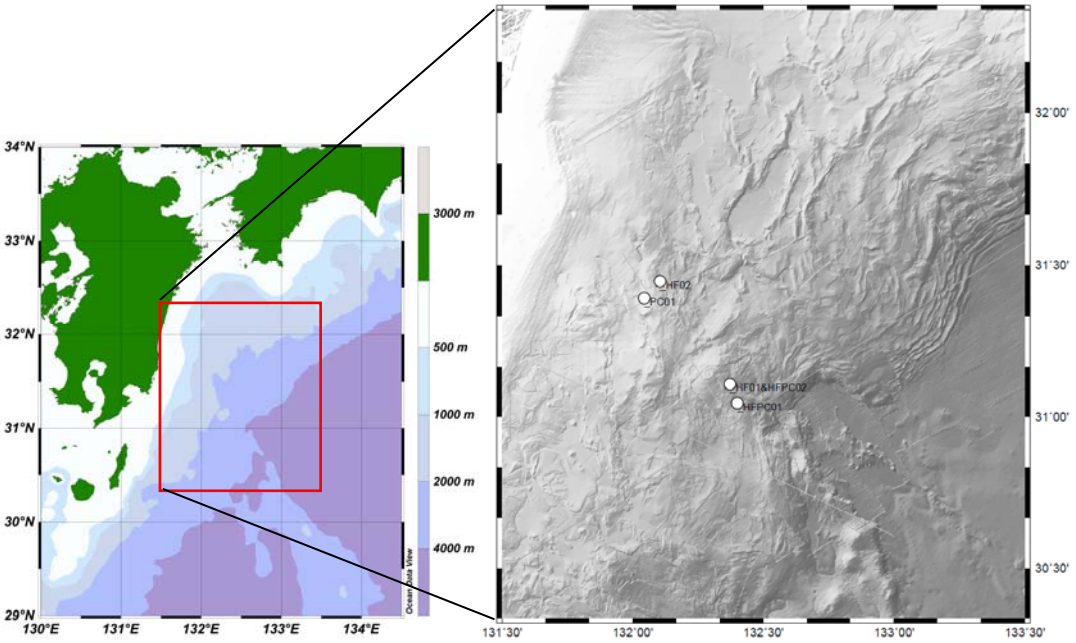


図.（左）KS-21-18 航海の調査海域.（右）調査海域の地形図とコア採取・熱流量観測地点（○）.

深海熱水噴出域由来の微生物は電気を食べて育つのか？

○小林瑠那・ 山本正浩（横浜市立大学，海洋研究開発機構），
谷崎明子・平井美穂・鹿島裕之・高木善弘・高井研（海洋研究開発機構）

近年、深海熱水噴出域において放電現象が起こっていることが明らかとなった。つまり、硫化鉱物を導電体として、還元的な熱水側から酸化的な海水側へと電子が流れている(図1)。このことから熱水噴出域において、光をエネルギー源として光合成を行い生育する植物のように、電気をエネルギー源として二酸化炭素固定を行って有機物を生産する『電気合成微生物』という独立栄養性微生物の存在が示唆されている。KR18-14 Leg 2 (かいれい/かいこう) 航海にて深海熱水噴出域から採取した岩石を電極に用いて、実際の熱水噴出域の放電環境を模擬した環境で微生物を培養する系を実験室に構築した(図2)。無機海水培地において、二酸化炭素を唯一の炭素源、岩石電極から放出される電子をエネルギー源として電気培養を継続したところ、独立栄養性硫黄酸化細菌として知られる*Thiomicrorhabdus*属の一種の集積が観察された。本研究ではこの細菌が電気合成微生物であるか検証することを目的とした。

まず、この *Thiomicrorhabdus* 属細菌の電気による増殖の観察を試みた。電気培養条件(図 2)および外部から電気を与えない対照条件において、蛍光顕微鏡による全菌数カウントと対象細菌に特異的な遺伝子を標的にした定量 PCR を培養 0 日目から継続的に行った。その結果、電気培養の条件でのみ培養開始約 11 週目から細胞数の上昇、および対象の *Thiomicrorhabdus* 属細菌の遺伝子のコピー数の増加が確認された。さらに、本菌が電気を'唯一の'エネルギー源に利用して増殖していることを証明するため、ステンレス電極を用いて電気培養を行った。培養後のステンレス電極を対象に Fluorescence in situ hybridization (FISH)解析を行ったところ、電極表面に本菌が付着していることが観察された。次に、電気培養液のメタゲノム解析を行い、本菌のゲノムの再構築を行うことで遺伝的な特徴の解析を試みた。結果、独立栄養性硫黄酸化に必要な代謝経路、すなわち二酸化炭素固定・硫黄酸化・酸素呼吸等の遺伝子群を保有しており、これらの遺伝的な特徴は他の Thiomicrorhabdus 属細菌と共通していた。一方で本菌に特有な特徴として、細胞外と電子の授受を行う「細胞外電子伝達経路」をコードすると推定される遺伝子クラスターが見出された。

上記の結果から、電気培養で集積した*Thiomicrorhabdus*属細菌の一種が、電気を唯一のエネルギー源、二酸化炭素を唯一の炭素源に用いて増殖する電気合成微生物であることが実験観察および遺伝情報から強く示唆された。今後はステンレス電極電気培養における細胞増殖の確認、炭酸取り込み実験による電気炭酸固定の実証を進めていく。

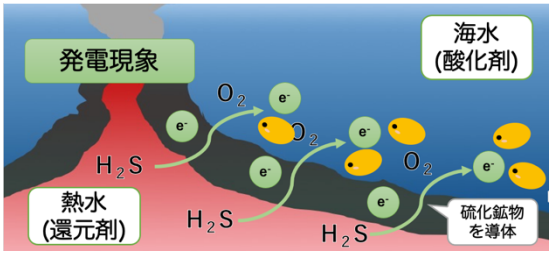


図 1. 熱水噴出域の放電現象のイメージ図

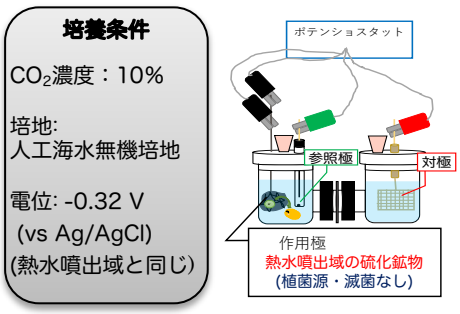


図 2. 電気培養の条件および様子

化学合成共生二枚貝の貝殻形成に伴う硫黄解毒メカニズム

○吉村太郎・佐々木猛智（東京大学総合研究博物館），Chong CHEN・岡田賢・高井研（海洋研究開発機構），白井厚太朗・田中健太郎・服部竜士・三木志緒乃（東京大学大気海洋研究所），今井宏明・西尾尚剛・高科幸平（慶應義塾大学理工学部）

化学合成細菌を細胞内に取り込む動物は、海洋の極限環境に適応する新たな機能を獲得し、この共生によって漸進的ではない進化を遂げてきた。これらの動物は、毒性の高い硫化水素などの還元物質を海水から体内に取り込み共生菌へと供給するが、過剰に摂取した硫化水素や共生菌の硫黄代謝物をいかに解毒・排出するかは、ほとんど明らかになっていない（図１）。これまで発表者らは、電子顕微鏡観察と元素分析を通じ、深海の熱水噴出域に生息する硫黄酸化細菌宿主キヌタレガイ類 *Acharax*・*Solemya*（二枚貝:キヌタレガイ科)における貝殻形成に伴う硫黄排出機能の実証を行ってきた(「海と地球のシンポジウム 2020」発表)。こうした硫黄解毒メカニズムの一般性を検証すべく、日本海溝水深 7,400m 付近で発見された化学合成共生二枚貝ナラクハナシガイ‘*Axinulus*’*hadalis*（ハナシガイ科）について、貝殻およびその形成に関わる外套膜を中心とした軟体部を詳細に分析した。なお、貝殻の形成には、生態や環境だけでなく系統も影響しうることから、同じく硫黄酸化細菌宿主であるハナシガイ科・ツキガイ科の浅海性近縁種と比較した（図２)。

その結果、(1)ラマン分光法分析より、ナラクハナシガイの貝殻は主にアラゴナイトから構成され、（２）FE-SEM（電界放出型走査電子顕微鏡）の観察より、貝殻微細構造には球晶状の微結晶の集合(約 1.0-2.5 μm)が多在すること、(３)SEM-EDS（エネルギー分散型Ｘ線分光法）の元素分析より、この球晶には高濃度の硫黄(平均約 16.2at%)が含まれること、(４)SEM-EBSD（電子後方散乱回折法）の結晶解析より、貝殻の結晶方位には規則的な成長が見られず、アラゴナイト結晶にやや歪みが生じていること、（５）TEM-EELS（電子エネルギー損失分光法）の化学状態分析より、貝殻に含まれる硫黄は、硫酸イオンあるいは硫酸カルシウムの状態で存在すること、(６)貝殻表面の有機膜は、非常に薄く(約 2.0-4.0 μm)、硫黄の含有率が比較的低いため(平均約 1.3at%)、殻皮を通じた硫黄排出機能は副次的であることが明らかになった。このような高濃度の硫黄分を含む球晶構造は、比較した近縁種には認められず、他の貝殻を含む生体鉱物にもこれまで知られていない特徴である。

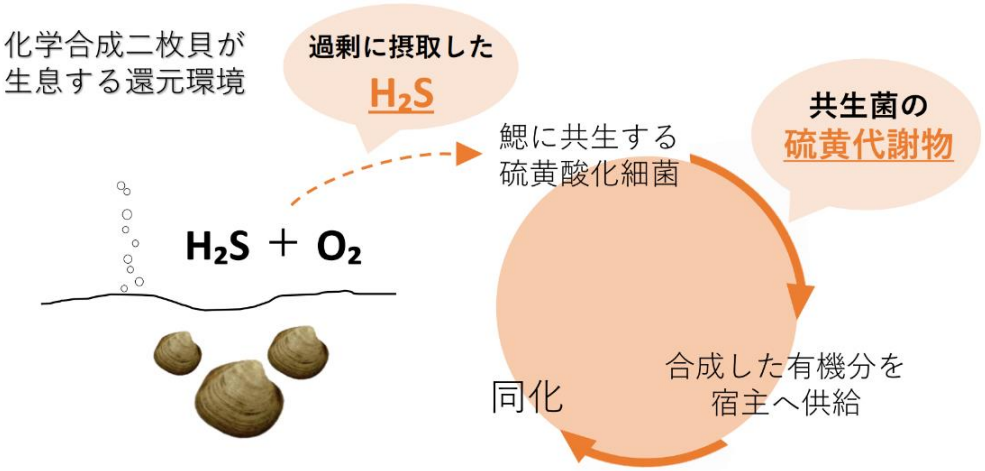


図１．硫黄酸化細菌宿主のエネルギー獲得経路における有害硫化物の発生.

以上の結果を踏まえ、現在、貝殻に含まれる硫化物が共生菌由来か環境水由来かを判別するために、Nano-SIMS（高空間分解能二次イオン顕微鏡）を用いた $^{32}S/^{34}S$ 硫黄同位体比分析を実施している。この結果、貝殻に含まれる硫黄の同位体比が、殻表面の付着物や軟体部の筋肉よりも低い $\delta^{34}S$ 値を示せば、貝殻結晶中の硫黄は何らかの生物学的作用を経て蓄積していることの証左となる。この結果は、貝殻が独立栄養内共生細菌からの硫黄を代謝する解毒機能を持っている可能性を示唆し、貝殻形成の新機能に関する仮説の検証に重要である。

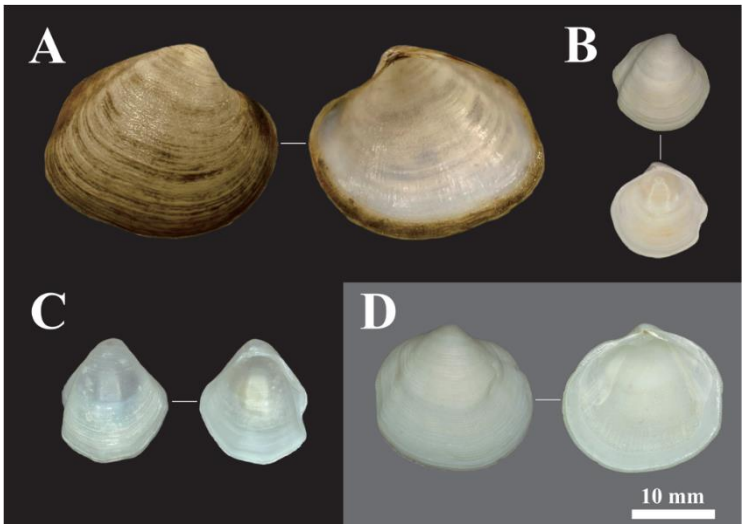


図２．化学合成共生二枚貝．ハナシガイ科：A. ナラクハナシガイ‘*Axinulus*’*hadalis*，日本海溝最深部（7,434 m），B. ハナシガイ *Thyasira tokunagai*，岩手県大槌湾（10 m），C. カワムラハナシガイ *T. kawamurai* 和歌山県串本町（80 m），ツキガイ科：D. ウメノハナガイ類 *Wallucina* sp. 静岡県下田沖（129 m）．

さらに、ナラクハナシガイの球晶形成と硫酸イオンの関係を検討すべく、硫酸イオンを添加したアラゴナイト結晶の人工生成による実証を試みている。この結晶学的実験は、共生菌の硫黄酸化過程に生じた硫酸イオンがカルシウムイオンと結合することにより、部分的に硫酸カルシウムの貝殻を形成し、有害な硫黄を解毒・排出するという仮説に焦点を当てている（図３）。現状では、結晶の c 軸方向における成長阻害と微結晶が集合して球晶を形成する過程が観察されており、人工的な貝殻微細構造の再現による硫黄解毒メカニズムの検証を進めている。この新しい解毒機能は、本種が炭酸塩補償深度（CCD: Carbonate Compensation Depth、西太平洋にて約 3000m）以深の炭酸塩骨格を保持しづらい環境において積極的な貝殻形成を営む背景になっている可能性がある。

今後、硫黄を含む貝殻結晶相の安定化が実証されれば、化学合成細菌宿主におけるバイオミネラリゼーションの新たな機能や、深海に生息する動物の外骨格形成メカニズムの理解への寄与が有望である。そして、本研究が検証を試みている貝殻形成過程における硫黄解毒メカニズムは、ナラクハナシガイやキヌタレガイ類に限らず、多くの化学合成共生に依存する動物が普遍的に硫黄などの有害代謝物の排出機能をもつ必要性を示唆している。したがって、他の化学合成共生動物においても、収斂進化により類似の解毒排出機能を獲得していることが予想され、この研究課題のさらなる発展が期待される。

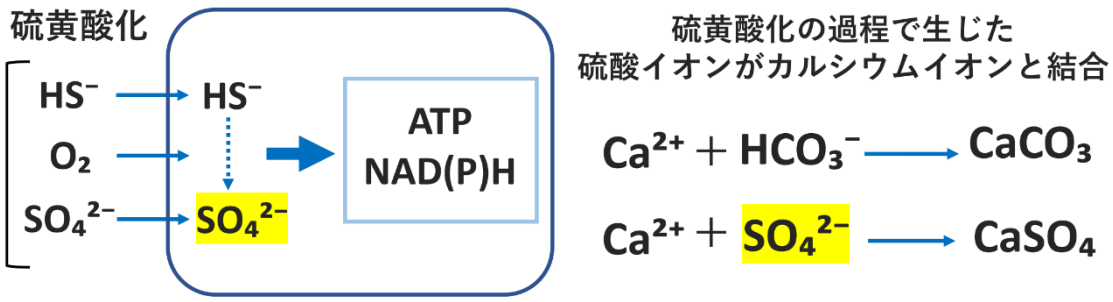


図３．ナラクハナシガイの球晶における硫酸カルシウムの形成経路．

三陸沖における水塊と浮遊性藻類群集の分布特性

○福田秀樹・楊燕輝・伊知地稔[1]・佐藤菜央美[2]・樋口有希子・永田俊（東京大学大気海洋研究所）
1:現所属　QIAGEN, 2:現所属 日本原子力研究開発機構

東北マリンサイエンス拠点形成事業(2011-2020 年度）では、巨大津波による三陸沿岸生態系の撹乱とその回復過程を明らかにするために、大槌湾と女川湾の沖合に設定した観測線を中心に、新青丸を利用した総合的な観測を実施した。我々は、これらの航海で得られたデータや試料を用い、三陸沖の複雑な水塊分布と浮遊性藻類群集の出現の関係の解析を進めている。本発表では、予備的な結果を紹介する。

三陸沖には亜寒帯由来の親潮系水と亜熱帯起源の黒潮・津軽暖流系水といった起源の大きく異なる水塊がその勢力を季節的に変動させながら流入しており、その境界部ではこれらの水塊が混合している。水塊の起源にその組成が強く影響を受ける栄養塩類および浮遊生物の群集構造の動態は複雑なものとなっている(Shiozaki　et al., 2020)。この黒潮－親潮移行帯域の水塊の分類には水温と塩分(Hanawa and Mitsudera, 1987; 田中ほか, 2019)、塩分とポテンシャルアルカリ度（Kakhei et al., 2017)、無機炭酸中の放射性炭素の同位体比（以下 DIC-Δ^{14}C; Satoh et al., 2019）が用いられている。本研究では DIC-Δ^{14}C を水塊の起源を示すトレーサーとして用い、三陸沿岸域の栄養塩の組成ならびに浮遊生物の群集構造と、水塊の起源・現場環境（水温・栄養塩類濃度）の関係を明らかにすることを目的とした。

新青丸で行われた８つの航海、KS-17-3（2017 年 4 月)、KS-17-6（2017 年 8 月)、KS-17-12（2017 年 10 月)、KS-18-2（2018 年 3 月)、KS-18-8（2018 年 7 月)、KS-19-4（2019 年 3 月)、KS-19-7（2019 年 5 月)、KS-19-20（2019 年 10 月）において、観測と試料の採取を行った。CTD センサーにより塩分、水温を測定したほか、水深 10 m および 50 m より採取した海水中のクロロフィル *a* および栄養塩類の各濃度、DIC の Δ^{14}C 値の測定、そしてろ紙に捕集された画分に含まれる DNA の採取を行った。DIC の Δ^{14}C 値の測定は東京大学大気海洋研究所の Single-stage accelerator mass spectrometer (SSAMS, National Electrostatics Corporation, USA)にて行った。また採取した DNA の 18S rRNA の V9 領域を PCR で増幅し、ライブラリーを作成した。得られた配列より解析に耐える OTU を選別したのちに BLAST 解析をかけ核酸配列データベース（INSDC）との比較を行った。

三陸沖で得られた DIC-Δ^{14}C 値は-78～32‰の範囲で変動した。硝酸塩とリン酸塩の相対的な関係を表すN^*は北太平洋では＜-2 から＞1.0 の範囲で変動するとされているが(Gruber and Sarmiento, 1997)、本研究でも同様の変動を示すと同時に DIC-Δ^{14}C 値と有意な強い正の相関がみられた)。N^*は脱窒や窒素固定により変動すると考えられるが、DIC-Δ^{14}C 値との間の正の相関は、この海域内での水塊の混合過程における N^*の変動に対してこれらの代謝系の寄与は小さく、N^*が水塊の年代の異なる海水の混合の程度の指標として用いることが出来ることを示している。N^*と水温・塩分の関係を解析したところ、Shimizu et al. (2001)の報告にあるように津軽暖水と親潮系水の境界部の等密度線上で両者の混合が捉えられることが明らかになった。

浮遊性の真核微生物群集に関して、18S rRNA の V9 領域を PCR で増幅することで得られたライブラリーから、解析に耐えうる 59895 の OTU を得た。そのうち INSDC のデータベースとの比較より、種名まで判明したものは 2407 であった。出現数の多かった *Thalassiosira* 属の 2 種についてそれぞれの

OTU の出現頻度（試料内の全 OTU に対する各種の OTU の出現数の割合）と水温、塩分、N*との比較を行った。熱帯から亜熱帯で出現するとされている *Thalassiosira minima* は N^*で-3～2 の広い範囲で出現しており、亜寒帯を起源とする水塊からも検出されたが、水温が 10℃未満の条件で特に出現頻度が高まることが明らかとなった。また温帯から亜寒帯に出現するとされている *Thalassiosira concaviuscula* については、Hanawa and Mitsudera (1987)の水塊区分では表層水系とされる水塊で出現頻度が高ったが、これらの水塊では N^*は＞1 となっており、主に亜熱帯を起源の水塊で出現することが本研究により明らかとなった。これらの結果は三陸沖の浮遊生物の群集の構造の成立過程を理解するうえで、N^*を用いた水塊解析が新たな視点をひらく可能性を持つことを示している。

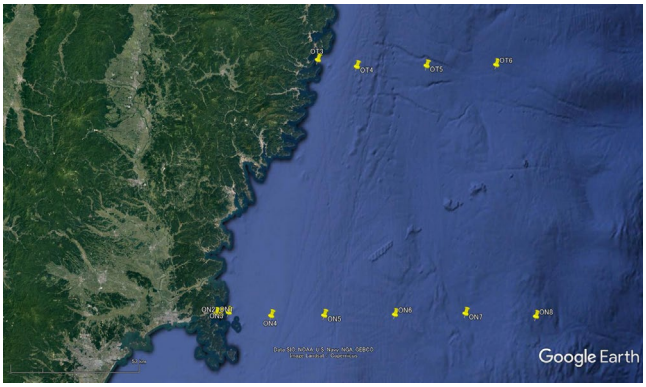


図 1 観測地点。

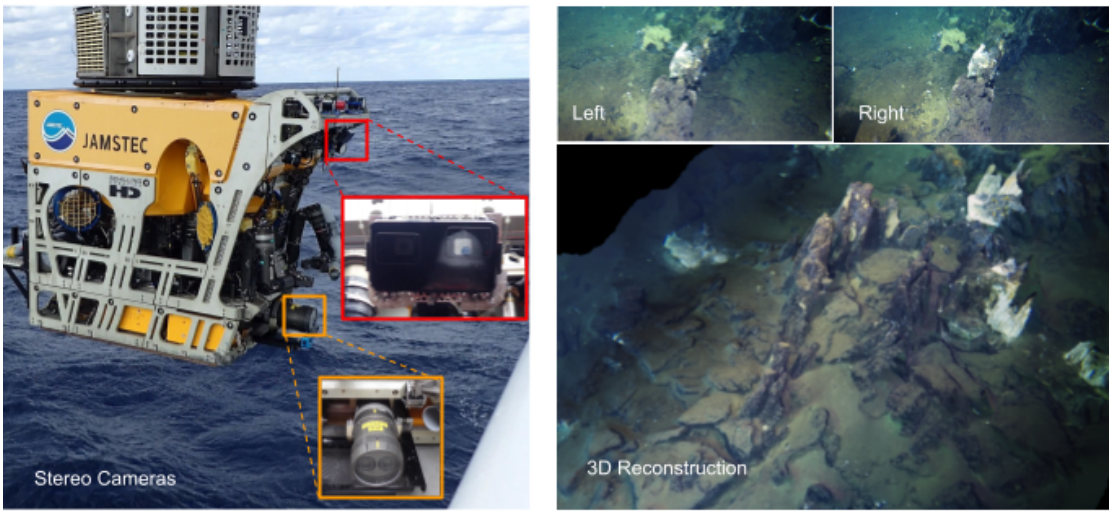
環境影響評価のための技術開発
KM20-11 Preliminary Results

○Mehul Sangekar・Dhugal Lindsay・Tomoko Takahashi・Javier Montenegro・Gerlien Verhaegen・Leah Bergman・渡部裕美・北田数也・川口慎介・山北剛久・古島 靖夫・藤倉克則・山本啓之・川人洋介・高井研（海洋研究開発機構），Zonghua Liu（東京大学），KM20-11乗船者一同

During the KM20-11 cruise of R/V Kaimei, various newly developed imaging systems were deployed and tested, and tools to efficiently analyze the collected data were also tested. 4K stereo camera systems were mounted on the front of the Kaimei ROV as seen in Figure 1a. The video was used to perform real-time and post cruise annotations to generate data for machine learning. Videos were also used to produce high resolution 3D reconstructions of the seafloor – one that was made at Myojin Knoll can be seen in Figure 1b.

A holographic camera system was also developed to image in grayscale very small sized objects with resolutions of about 10µm. The system can record holograms at a rate of 10 frames/second, making it possible to observe trajectories of objects in 3D. A Visual Plankton Recorder (VPR) was mounted on the CTD Rosette to record color images of plankton with resolution of 1024x1024 pixels. The recorded VPR images could be correlated with the CTD data since it was mounted on the system.

Tools are also being developed to accelerate the data analysis process post-cruise. A web-based interface was designed to automatically segment and extract regions of interest (ROI) from holographic and VPR systems. Datasets for machine learning and scientific analysis were automatically produced by combining ROIs with their associated metadata. Machine learning using clustering techniques is being explored on the extracted ROIs by using a tool called MorphoCluster.



a b

Figure 1 a) 4K Stereo camera systems mounted on Kaimei ROV b) Left and right image pair with 3D reconstruction at Myojin Knoll.

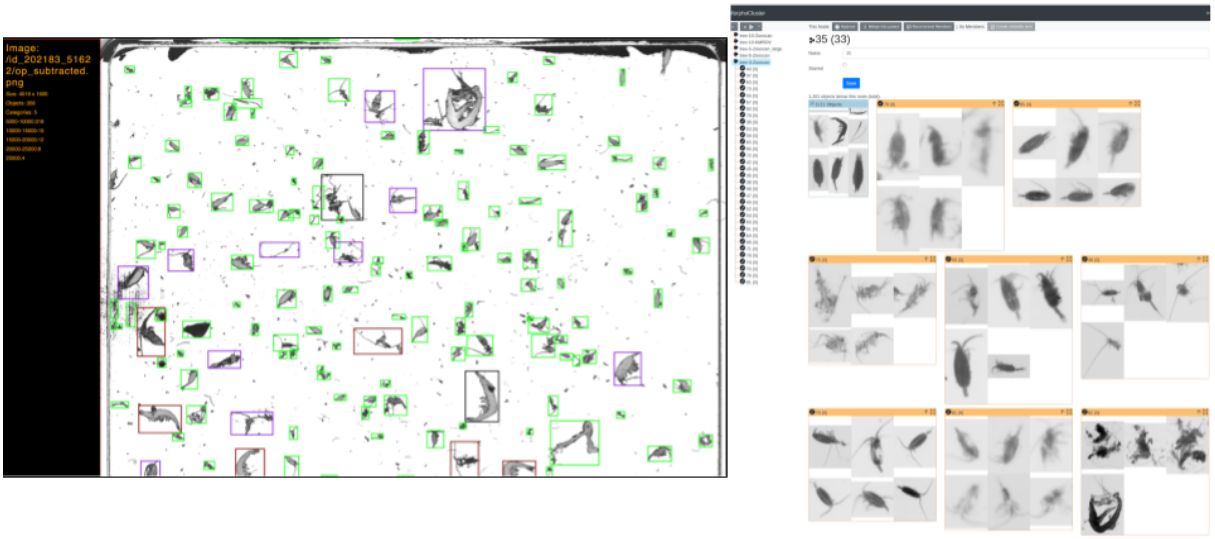


Figure 2 a) ROI detection and machine learning dataset generation tool b) Clustering ROIs using MorphoCluster

深海魚ホウライエソのメッカと化した黒瀬海穴

Deep-sea fishes in a sauna: viperfishes dominate a submarine caldera KM20-11 Preliminary Results

○Leah Bergman・Dhugal Lindsay・Mehul Sangekar・Javier Montenegro・Gerlien Verhaegen・古島 靖夫藤倉克則（海洋研究開発機構），井田齊（北里大学），KM20-11乗船者一同

Barbeled dragonfishes (family Stomiidae) are considered rare, solitary deep-sea predators, whose midwater biomass is dwarfed by their close relatives, lanternfishes and bristlemouths. Dragonfishes have never comprised the majority of midwater fish abundance anywhere throughout their range until now. The Kurose Hole, located within the Izu-Bonin island arc, has been sampled three times: twice during the 'Natsushima' expedition in 2000 and once during the 'Kaimei' expedition in 2020. These expeditions utilized cameras on submersible platforms to film both the benthic and midwater communities. The video taken from the ROV was analyzed using the Squidle-based annotation system co-developed by JAMSTEC/GreyBits Engineering, which allows for the same individual to be linked between multiple cameras to prevent recounting. During the 'Kaimei' expedition the temperature was 18°C at the base of the caldera, over seven degrees warmer than in the 'Natsushima' expedition. Many genera observed during the 'Kaimei' expedition, including *Chauliodus*, have never been recorded at such high temperatures. Over 1,500 individual viperfishes (genus *Chauliodus*) were recorded, accounting for over 61.4% of the total fish fauna with 4.6 per 100m^3; none were recorded during the 'Natsushima' expedition. Although poorly studied, larval ecology may explain why *Chauliodus* was so abundant within the caldera during the 'Kaimei' expedition.

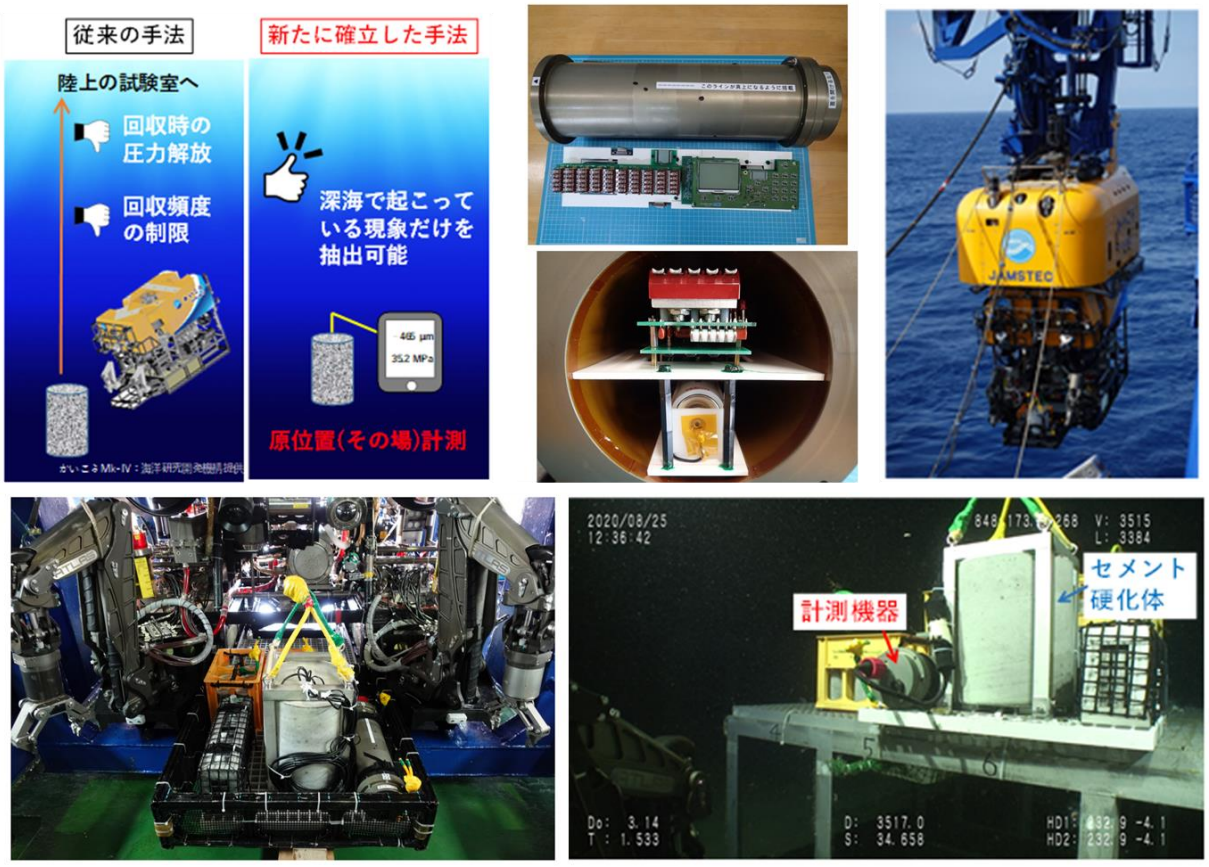
Figure 1: The viperfish *Chauliodus* within the Kurose Hole

深海 3515mにおけるポルトランドセメント系材料の力学挙動原位置計測試験

○野村瞬（東京海洋大学），高橋恵輔（宇部興産）、小林真理（宇部興産），川端雄一郎（港湾空港技術研究所），笠谷貴史（海洋研究開発機構），岩波光保（東京工業大学），山中寿朗（東京海洋大学），牧田寛子（東京海洋大学），後藤慎平（東京海洋大学）

極限環境である深海でのセメント系材料利用の実用化に向けては様々な課題がある。例えば高圧で低温条件に長期間晒される材料物質は短期に脆弱化する懸念がある。また、周辺海域の化学、微生物環境によっては材料の劣化が助長される可能性がある。様々にある懸念をあぶり出し、今後の対応の方向性を探る第一歩として、2020 年 8 月の KR20-07 航海において、ひずみ計や水圧計を埋め込んだ直径 350 ㎜、高さ 400 ㎜、空中重量 80 ㎏の円柱モルタル供試体および原位置計測を可能にする耐高圧データロガーを駿河湾沖 70 ㎞に位置する水深 3515m にある海底プラットホーム上に設置し計測を開始した。本プラットフォーム周辺海水は炭酸カルシウムに対して不飽和となっている。2021 年 6 月の KR21-07 航海では、当該フィールドに再度アクセスし、約 10 ヶ月ぶりに試料回収を行った。

本報告では円柱供試体や計測システムの詳細、設置/回収作業の概要を報告するとともに、回収した円柱供試体から得られた分析結果を速報的に報告する。



「みらい」北極航海における WebGIS を用いた海氷情報表示について

○末吉 惣一郎（日本海洋事業株式会社），矢吹 裕伯（国立極地研究所）、藤原 周（海洋研究開発機構）

１．はじめに

「みらい」北極航海では、年ごとに大きく変動する海氷状況に合わせ観測計画および観測活動を円滑に進めるため、国立極地研究所、北極域データアーカイブ（ADS）が開発した VENUS を 2015 年から使用している。北極海全域や観測海域全域の気象および海氷密接度、氷厚、海面水温予測が本船航跡と共に表示される。航海全体の状況把握に非常に有効なツールであるが、海氷縁に近い海域を航行したり、海氷縁観測のために海氷状況を把握する目的としては、解像度が不足していた。そこで海氷情報をユーザー側でより扱いやすく表示させる方法として WebGIS に着目し、簡易版の海氷情報表示システムを MR21-05C 北極航海に合わせて構築した。

２．システム概要

WebGIS として、マルチレベルの解像度の自作マップを Google マップの様な操作感で扱える初心者向けの Java スクリプトライブラリである“Leaflet”を「みらい」船内 Web に導入した。自作マップの表示要素として以下を準備した。自船位置・航跡・予定測点については geojson 形式で Web 上に直接表示、それ以外のデータは GDAL によるデータ変換、GMT(Generic Mapping Tool)により作画した。

・海氷予測データ（IcePOM：2.5 kmメッシュ予測、5 日先まで、VENUS から入手）
・海氷予測データ（ECCC RIOPS：5 kmメッシュ予測、2 日先まで、ECCC Web からダウンロード）
・SAR（合成開口レーダ）低解像度画像（1～2MB 程度、NOAA Web サイトからダウンロード）
・海底地形図（ETOPO1／IBCAO）
・EEZ 範囲
・自船位置、航跡、予定測点

SAR および海氷予測（ECCC）は陸上事務所のサーバーでデータ取得及び切り出し等加工し、船へ送信した。

３．表示、運用

データの表示例を図 1 に示す。海底地形図・EEZ 範囲を背景として、海氷予測表示、SAR 画像、自船位置・航跡・予定測点がそれぞれオーバーレイさせることが出来る。さらにオーバーレイする要素については、透過度を調整することで、衛星画像と海氷情報、または海底地形等の位置関係の把握が行いやすくしている（図 2 参照）。また、現場観測において求められる測点変更に伴うシップタイム計算の効率化を図るため、表示システム上で任意の地点間の距離計測機能を付加した。

（発表では実際の氷縁付近を航行した際の画像をもとに説明予定）

４．今後の展開

今回は海氷予測＋海氷実況(SAR 画像)を中心とした表示システムであるが、北極航海だけではなく、

様々な航海の目的に合わせて表示内容を変更可能である。例えば、気象モデル予測値や海面水温、クロロフィル濃度分布などを表示させることで、観測地点や観測内容を現場判断することも考えられる。今後、様々な観測航海のニーズに対応できる支援情報表示システムとして発展させたい。

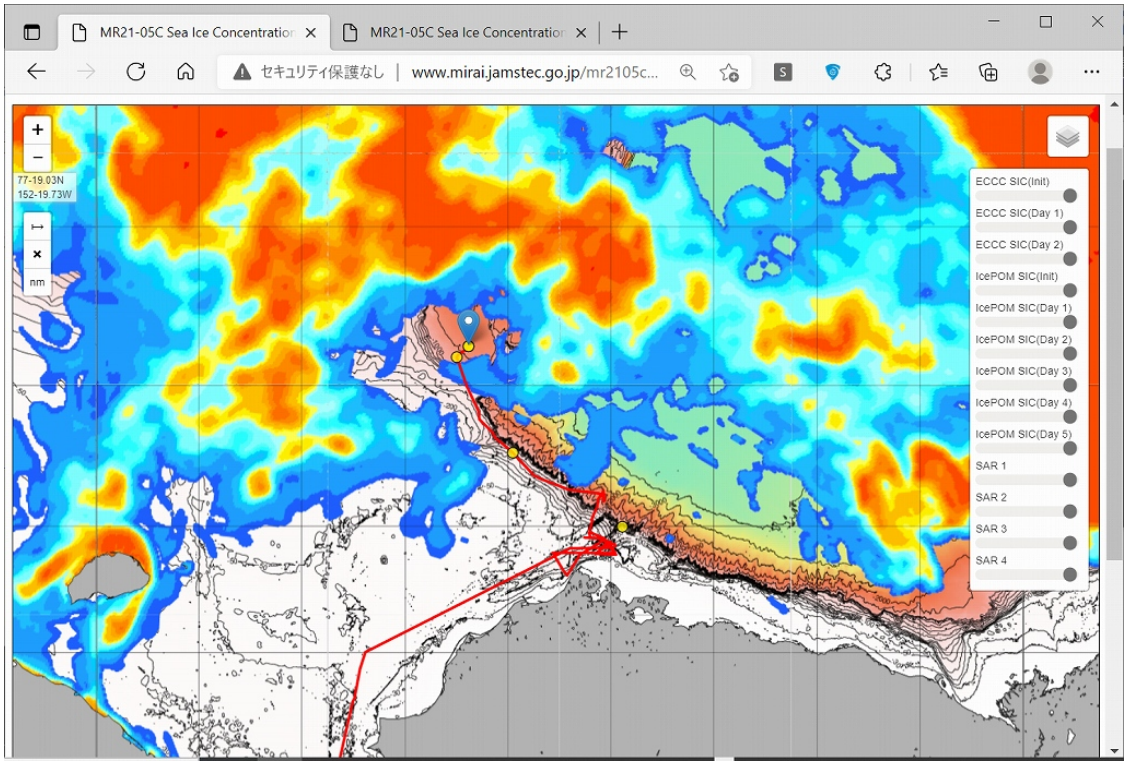


図１．海氷情報表示システム表示例（海底地形＋海氷予測）

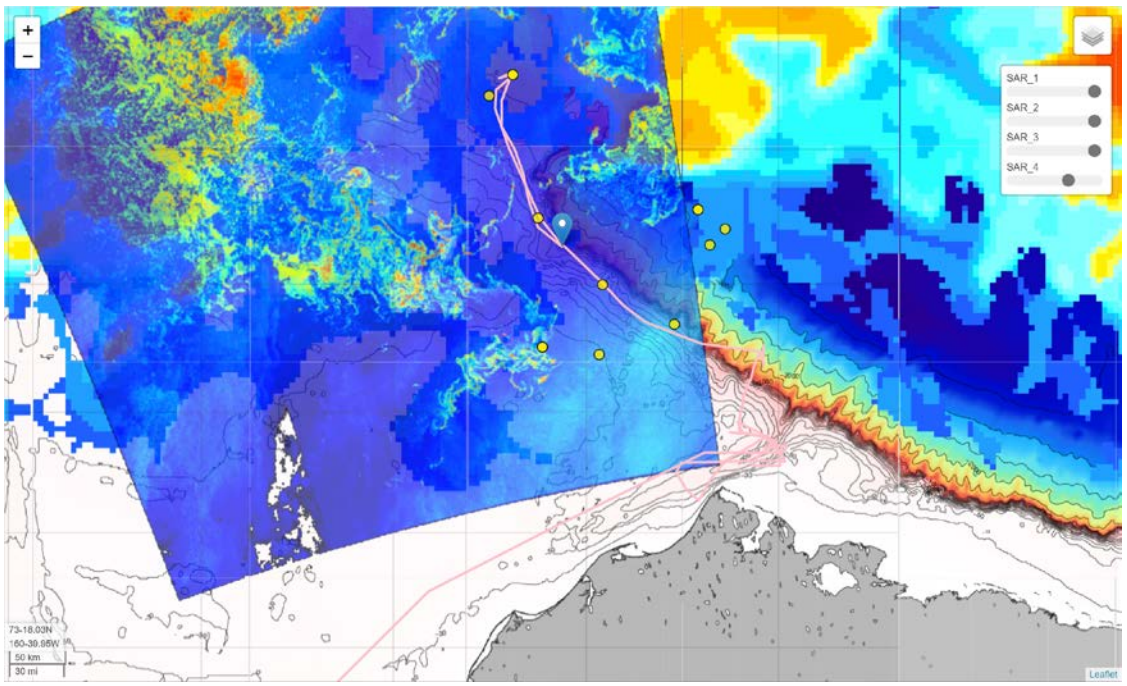


図２．SAR 画像＋海氷予測（ECCC RIOPS）の重畳表示（SAR 画像を透過）

エルニーニョに関連したK2測点冬季混合層直下の鉛直混合の強化

○永野 憲・脇田 昌英・藤木 徹一・内田 裕（海洋研究開発機構）

1. はじめに

産業革命以降，化石燃料の燃焼による人為起源二酸化炭素（CO_2）の大気への放出が増加している．海洋はその48%を吸収し，地球規模の炭素循環に重要な役割を果たしている（Sabine et al., 2004）．海洋のCO_2の吸収に伴って，海洋の表層水は酸性化し，100年でpHが全球平均で0.1減少している（Hoegh-Gulberg et al., 2014）．ただし，酸性化の速度は，物理的および生物学的環境によって海域ごとに異なることもある（Takahashi et al., 2006）．本研究では，全球平均よりも冬季酸性化速度の遅い北太平洋西部亜寒帯域のK2測点（47°N,160°E）（ Wakita et al., 2017）に注目し，物理環境の変化と酸性化の速度との関係を調べた．

2. 観測とデータ

2015 年7月，「白鳳丸」KH-15-J01航海にてハイブリッド係留系をK2に設置し，「みらい」航海（MR17-04, MR18-04 Leg1, MR19-02）等で回収と設置を行い，現在も観測中である．水中自動昇降式ブイに加え，係留系には，上向き75kHz Acoustic Doppler Current Profiler（ADCP）を深度370mに，7台のConductivity-Temperature-Depth（CTD）センサーを深度150mから475mまでに取り付け，流速と水温・塩分の鉛直分布を観測した．本研究では，2015年7月～2019年6月の約4年間のデータを用いて解析を行った．また，1999年よりK2測点にて船舶CTD観測と採水を行い，溶存無機炭酸（DIC）と全アルカリ度（TA）を計測した．さらに，DICとTAの観測値を用いてpHを算出した．

3. 結果と議論

1990年代後半から2000年代半ば，ラニーニャが頻繁に発生し，そのテレコネクションによるアリューシャン低気圧の弱化によって，西部亜寒帯循環（WSAG）が北に縮小した（Nagano et al., 2016,2019）．一方，本観測期間中は，エルニーニョが2014/2015年，2015/2016年，および2018/2019年に発生し，低気圧性のWSAGに伴う低い海面高度の海域は顕著に拡大したことが衛星海面高度計データから分かった．

係留観測から得られた流速ベクトルに回転ウェーブレット解析を行った結果，時計回りの近慣性周期変動が観測期間を通じて発生しており，特に，風の強まる冬から春にその振幅が強まることが分かった．さらに，周期70日以上の変動成分は反時計回りの変動の振幅が大きく，これは，2015/2016年と2018/2019年のエルニーニョによって励起されたロスビー波擾乱を捉えたものと考えられる．この流速の擾乱は，傾圧構造を持ち，冬季混合層の下層に鉛直シアの強化をもたらす．さらに，ポテンシャル密度も経年変化し，エルニーニョの年の冬に主密度躍層が顕著に浅くなる．

これらの流速およびポテンシャル密度の変化が鉛直拡散係数に与える影響を調べるために，リチャードソン数を用いた鉛直拡散スキームを使って冬季混合層下層の深度190mの鉛直拡散係数K_zを計算した．鉛直拡散係数の日平均値と月平均値を図1に示す．冬にK_zが$1.0\times10^{-5}m^2/s$よりも大きくなる頻度が高く，2016/2017年と2018/2019 年の冬は，エルニーニョに関連して流速シアが強化された

時期であり，これらの時期に K_z が大きくなる頻度が特に高い．さらに，DIC の鉛直勾配と K_z を用いて DIC の上向き鉛直フラックスを求めた．エルニーニョに関連する K_z の増加によって，DIC の鉛直フラックスは増加することが分かった．このエルニーニョの頻発による DIC の鉛直フラックスの増加が K2 の冬季混合層内の酸性化を促進していることも確かめられた．

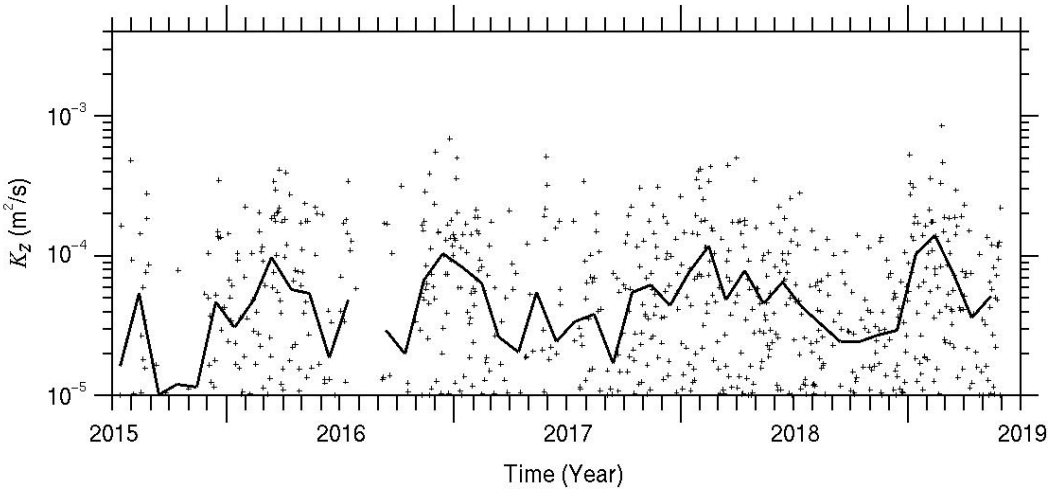


図 1. 鉛直拡散係数 K_z の日平均値（+）と月平均値（実線）

参考文献

Hoegh-Guldberg, O., et al. (2014). The ocean. In V. R. Barros et al. (Eds.), AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 1655-1731). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Nagano, A., Wakita, M., & Watanabe, S. (2016). Dichothermal layer deepening in relation with halocline depth change associated with northward shrinkage of North Pacific western subarctic gyre in early 2000s. Ocean Dynam., 66(2), 163-172. doi: 10.1007/s10236-015-0917-8

Nagano, A., & Wakita, M. (2019). Wind-driven decadal sea surface height and main pycnocline depth changes in the western subarctic North Pacific. Prog. Earth Planet. Sci., 6(1), 59. doi: 10.1186/s40645-019-0303-0

Takahashi, T., Sutherland, S. C., Feely, R. A., & Wanninkhof, R. (2006). Decadal change of the surface water pCO2 in the North Pacific: A synthesis of 35 years of observations. J. Geophys. Res., 111(C7). doi: 10.1029/2005JC003074

Sabine, C. L., et al. (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO2. Science, 305, 367-371. doi:10.1126/science.1097403

Wakita, M., Nagano, A., Fujiki, T., & Watanabe, S. (2017). Slow acidification of the winter mixed layer in the subarctic western North Pacific. J. Geophys. Res., 122, 6923-6935. doi: 10.1002/2017JC013002

コノハエビはポンペイワームを超える?

～タギリコノハエビの高温耐性に関する研究～

○藤原義弘（海洋研究開発機構），菊池知彦（横浜国立大学），山中寿朗・三田昴平（東京海洋大学），
八巻鮎太（新江ノ島水族館），土田真二（海洋研究開発機構）

熱水噴出域には数多くの固有種が生息する．その多くは化学合成細菌との共生関係を示し，共生細菌は熱水中に含まれる硫化水素などの還元的化学物質を利用して化学合成により有機物を生合成する．そのため，これらの生物はある程度，噴出する熱水に近づく必要があるが温度耐性の問題があり，多くの種では 3～20℃程度の水温帯に暮らしている．

真に高温耐性を持つ動物として知られるのはエラゴカイ科多毛類である．同科の一種であるポンペイワーム *Alvinella pompejana* はチムニーの壁面に棲管を作ってその中に生息しており，80℃の高温でも生存が可能であることが報告されている．しかしながら，ポンペイワームは体長 10cm を越える比較的大型の動物であり，体の後端部が高温に暴露されている場合でも，前端部は 20℃程度の環境に鰓を大きく広げており，体全体が常時高温に曝されていることはない．

我々は 2008 年に実施した「ハイパードルフィン」潜航調査において，鹿児島湾の水深 200m 海域より採集した熱水チムニー壁の内部に小型甲殻類の 1 種であるコノハエビ類(全長約 10mm)が多数生息していることを発見し，タギリコノハエビ *Nebalia tagiri* として新種記載した．チムニー壁は薄い場所では厚さ数 cm 以下であり，チムニー壁を挟んで内外の温度差は 190℃を超えているため，タギリコノハエビはこの極度の温度勾配の中で生息していることになる．そこで本研究では，本種の生息温度と温度耐性を明らかにするために本調査航海（KS-20-2）を実施した．

2020 年 1 月，鹿児島湾内の水深約 200 m に存在する熱水噴出域において，ROV「ハイパードルフィン」を用いて 4 潜航を実施した．しかしながら海底付近の溶存酸素濃度が非常に低く（<0.01 ml/L），タギリコノハエビを含め，生きた多細胞動物を全く確認できなかった．タギリコノハエビは熱水噴出域のみでなく，同湾内の水深約 100 m に位置するサツマハオリムシの群生域にも分布することが知られていたため，この地点において 3 潜航を実施した．サツマハオリムシ群生域の溶存酸素は熱水噴出域に比べて高く（2.7～3.9 ml/L），ROV に搭載したスラープガンやベイトトラップなどを用いて多数のタギリコノハエビを採集することができた．これらタギリコノハエビを用いて高温耐性に関する船上実験を行った結果について予察的に報告する．

サツマハオリムシ群生域より採集したタギリコノハエビ

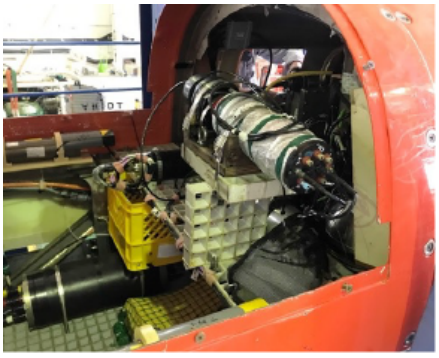
ATP の現場定量分析による微生物バイオマス可視化への挑戦

○福場辰洋・熊谷英憲（JAMSTEC）

これまでに海中の現場において、微生物バイオマスの指標となる ATP（アデノシン 3 リン酸）の定量ができる「現場型 ATP 定量分析装置」の開発および実海域での実証試験を行ってきた。本装置の特徴は、マイクロ流体技術を取り入れることで、ATP 定量のためのルシフェリン-ルシフェラーゼ（L-L）反応を行う生化学分析部の小型化を実現している点である。これまで主に「ハイパードルフィン」や「かいこう Mk-IV」などの ROV に搭載して電源の供給を受け、さらに母船上の制御・監視用 PC と接続された状態で評価を行ってきたが、電源ユニットおよび自動計測機能を用いることで AUV 等の自律型プラットフォームに搭載してスタンドアロン計測を行うことも可能である。YK21-10 航海では、東青ヶ島カルデラ、水曜海山等で実施された新規熱水活動の探索と既知熱水系における観測において、CTD 他の環境センサと共に AUV「うらしま」に搭載し、実海域での計測データを得ることができた。その結果、深度に応じて変化する ATP 濃度を連続計測することができた。また、深海現場における自動校正機能も正常に動作し、L-L 反応に起因する発光強度から ATP 濃度への換算を正確に行うことができた。一方で、流れ分析手法に基づいた本装置は他の環境センサと比べて応答が遅いという課題がある。そのため、「うらしま」の様に比較的高速で移動する巡航型 AUV に搭載して運用した場合、例えば熱水の影響を受けた水塊の内外における微生物バイオマスの変化を明瞭に捉えることが困難になるなど、広域での多項目同時計測ミッションに対応するための技術的課題が改めて認識された。

一般に連続流れ分析装置の応答を向上するには、まず分析試薬やサンプルの流量を高めることが考えられるが、その場合試薬消費量が増大し、コスト高となる。一方で、装置の小型化によって、デッドボリュームとフローセル容量の最小化を実現し、分析の時間分解能を向上する方法もある。さらなる小型化は超小型 ATV や漂流型ブイへの搭載にも必須である。そこで現在、3D プリンタによる 3 次元的な流路構造の実現とマイクロポンプ・バルブ等を完全に一体化し、デッドボリュームを最小化したマニホルド構造の導入によって、現場型 ATP 定量分析装置の中核部の超小型化に取り組んでいる。同時に、光検出器についても超小型検出器と油漬構造の採用による耐圧容器レス化を進めている。

ここでは、従来型の装置を「うらしま」に搭載して YK21-10 航海において得られた計測結果と、改良型の小型化装置の開発の現状について紹介する。



うらしまに搭載された現場型 ATP 定量分析装置

新型（左）と従来型（右）ATP 定量分析の比較

海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価

KM20-08, -09, -11 航海概要

○土屋正史・内田 裕・北橋 倫・中嶋亮太・横川太一・藤原義弘・矢吹彬憲・土田真二・磯部紀之・古島靖夫・生田哲朗・Lindsay Dhugal・藤倉克則（海洋研究開発機構），丸本幸治・多田雄哉（国立水俣病総合研究センター），武内章記・岡部宣章（国立環境研究所），川口大樹・豊田 栄（東京工業大学），川島彰悟・板井啓明・岩田忠久（東京大学），中田晴彦・Nurlatifah（熊本大学），川村喜一郎・中野健吾（山口大学），藤元 明（株式会社 DGN），KM20-08/-09/-11 乗船者一同

海洋研究開発機構 海洋生物環境影響研究センターでは、「海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価（P20-02 課題）」という研究課題を実施している。2020 年度の「かいめい」（KM20-08）航海では、海洋表層や深海域におけるマクロプラスチックやマイクロプラスチック（MPs）ごみの分布や挙動、輸送過程を明らかにするとともに、海洋生物や生態系に与える影響を調べ、プラスチック汚染の実態を明らかにすることを目的としている。さらに、海洋環境での影響評価手法の高度化と最適化を図ることを目的に、微生物生態系を指標とするベースライン調査を行い、水塊ごとに微生物群集の特徴の把握と環境変動に迅速に応答する代謝活性の理解を目指すとともに、深海生態系変動の把握を行うことを目的に、海洋洋深層水中の環境 DNA 解析用の試料採取を実施した。本調査航海では、上記目的に関連する研究課題を外部から募集し、「かいめい」シンポジウムにおいて追加された 1 課題を実施した。また、大学院生・ポスドク研究員を対象とした研究船共同利用（計画航海参加型）の追加公募に応募のあった 3 課題も実施した。なお、「かいめい」シンポジウムでは 11 課題を追加したが、新型コロナ感染症蔓延等の影響により研究者が乗船できなくなるなどにより、このうち 5 課題を実施した。

本航海では、2019 年度に実施した「よこすか」（YK19-11）航海に引き続き、黒潮続流再循環域（西太平洋ごみパッチ）に着目し、合計 12 測点で観測を行った。観測は、MPs の動態を調査するためのニューストンネットによる表層曳網のほか、堆積物中の MPs 解析に供するためのマルチプルコア柱状採泥を実施した。さらに、水柱の微生物生態系に関するベースラインデータや海水中の微生物の代謝、かいめいシンポジウム追加課題・計画航海参加型の追加課題の目的を達成するために、ニスキン採水および各種現場観測装置による物理化学パラメータ観測を行った。表層 MPs の観測からは、調査観測時に形成されていた渦の位置と MPs 濃度の関連性を見出すことに成功している。YK19-11 および KM20-08 で得られた知見から、西太平洋ごみパッチの規模と生態系への影響を把握すべく、現在詳細な解析を進めている。

シンカイヒバリガイ類は共生細菌をどのように見分けているのか？

○甘利友花（東京海洋大学），高木善弘・津田美和子（海洋研究開発機構）、多米晃裕（マリンワークジャパン）、吉田尊雄・生田哲朗（海洋研究開発機構、東京海洋大学）

シンカイヒバリガイ類（*Bathymodiolus* 属）は深海熱水域や湧水域に生息するイガイ科の二枚貝である。硫黄酸化型化学合成細菌やメタン酸化型化学合成細菌を鰓に共生させ、それらの化学合成共生細菌に栄養源を依存していると考えられている。本研究で対象としたシンカイヒバリガイ（*B. japonicus*）とヘイトウシンカイヒバリガイ（*B. platifrons*）は、メタン酸化型化学合成細菌を宿し、相模湾初島沖などで同所的に生息する種である。これらの２種は、共生細菌も宿主も近縁種であるにもかかわらず、１対１の関係で特異的に共生細菌を宿している。宿主世代を越えた共生菌の伝達には、一般に宿主個体ごとに環境から取り込む水平伝達と親から受け継ぐ垂直伝達の２つがあるが、この２種は水平伝達とされている。宿主は鰓の細胞の食作用によって外部環境から共生細菌を取り込むと考えられているが、宿主がいつどこで、どのようにして自種の共生細菌とその他の細菌を識別し、自種の共生細菌だけを受け入れ、他を排除するのか、その仕組みは全く分かっていない。そこで本研究では、宿主が体外からの共生細菌の接触に対してどのように応答するのか、接触時の遺伝子発現量の変動を網羅的に探索することで、共生細菌を識別する機構に迫ることを目的とした。

まず、KS-20-1 航海および KM20-09 航海で採取したサンプルを用いて、船上で共生細菌を暴露する実験を行った。シンカイヒバリガイとヘイトウシンカイヒバリガイの鰓組織をすり潰した懸濁液を共生細菌画分として調整し、それぞれの宿主の鰓組織へ 24 時間暴露させた。また、共生細菌を入れ替えた交差暴露も同時に行った。暴露後、宿主組織を RNAlater 中に入れ、RNA の固定保存をした。航海後、暴露した鰓それぞれから RNA を抽出し、RNA-seq 解析を行い、海水だけを暴露したコントロールと比べて有意に変動していた遺伝子（FDR<0.05）を抜き出した。それらに対し、機能のアノテーションやパスウェイ解析を行った。

その結果、シンカイヒバリガイとヘイトウシンカイヒバリガイ両方において、どちらの共生細菌を暴露した時でも、生体防御や食胞形成に関わる遺伝子の転写量が変動していることが確認された。特にシンカイヒバリガイでは、異種の共生細菌を暴露した鰓よりも自種の共生細菌を暴露した鰓の方が発現変動遺伝子の数が多かった。さらにシンカイヒバリガイにおいては、自種の共生細菌を暴露した際、食胞の維持・消化、および細菌の認識に関わると予想される遺伝子などの発現上昇が認められた。これらの結果から、シンカイヒバリガイ類が共生細菌を識別する仕組みについて議論したい。

鬼界海底カルデラ火山の地質岩石学的研究の進捗状況

―溶岩ドーム流紋岩質マグマの温度・圧力の推定を中心として―

○浜田盛久・羽生 毅・宮崎 隆・Maria L. G. Tejada・上木賢太・Bogdan S. Vaglarov・Iona McIntosh・常 青（JAMSTEC），鈴木桂子・金子克哉・清杉孝司・中岡礼奈（神戸大学）

鬼界海底カルデラ火山は、7300 年前の巨大噴火（鬼界アカホヤ噴火）をはじめとして、大小様々な規模の噴火を現在まで活発に繰り返している海域火山である。鬼界海底カルデラは二重のカルデラ壁とカルデラ内溶岩ドームから成り、その周囲に古くて比較的小さい火山体を伴っている。火山活動の履歴やマグマの活動状況についての理解を深めるため、現在、海洋研究開発機構と神戸大学は共同で鬼界海底カルデラ火山において地球物理学的観測及び地質岩石学的調査を行っている。本発表では、地質岩石学的研究の進捗状況の概要を報告する。併せて、地質岩石学的研究の成果の一例として、２航海（KR19-11 と KR20-11）でのドレッジによって採取された試料中の鉱物、メルト包有物、石基ガラスの分析結果を報告し、溶岩ドーム内流紋岩質マグマの温度・圧力条件を議論する。

カルデラ内溶岩ドームは直径約 10 km、海底面からの高さ約 600 m、体積約 32 km^3 の巨大な流紋岩質の溶岩ドームであり、7300 年前の巨大噴火以降にカルデラ内で成長したものと考えられている（Tatsumi *et al.*, 2018）。この溶岩ドームからドレッジされた流紋岩質の試料（全岩の SiO_2 含有量は 68～71 wt.%）の全岩化学組成は、薩摩硫黄島の硫黄岳のような 7300 年前の巨大噴火以降の「後カルデラ火山」の流紋岩質噴出物と同じ化学的特徴を示す。斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱、イルメナイトであり、副成分鉱物としてリン灰石が晶出している。斑晶鉱物のモードは 10 vol.%以下である。発泡度は試料毎に異なるが 10～40 vol.%である。海洋研究開発機構に設置されている電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）を用いて、各試料毎に斑晶鉱物とガラスの化学組成を分析した。

鬼界カルデラの溶岩ドームのメルト包有物や石基ガラスの組成は、斜長石、単斜輝石、斜方輝石に飽和した液組成に相当し、１気圧下での融解実験によって得られた複数相飽和した流紋岩質の液組成とほぼ一致する。ただし、ガラスやメルト包有物は最大で 2 wt.%程度の H_2O を含むことから、それだけの H_2O を溶存させるために 200 気圧以下の低い圧力下にあったと考えられる。

溶岩ドームの試料中の斜長石は An_{45}~An_{60} 程度の化学組成を示すが、個々の斜長石斑晶の組成は均質である。単斜輝石の組成は $En_{40\text{-}42}Wo_{42\text{-}44}$、斜方輝石の組成は $En_{65\text{-}67}Wo_3$ であり、これらの組成を 1 気圧の圧力を仮定して Lindsley (1983)の輝石温度計に適用すると、800～900 ℃という温度が見積もられた。磁鉄鉱の組成は $Mt_{70}Usp_{30}$、イルメナイトの組成は $Hm_{12}Ilm_{88}$～$Hm_{25}Ilm_{75}$ の範囲を示し、これらの組成を Fe-Ti 酸化物の地質温度計・酸素分圧計 (Buddington and Lindsley, 1964) に適用すると、輝石温度計と同様に 800～900 ℃という温度が見積もられた。温度と併せて見積もられた酸素分圧は Ni-NiO バッファーに相当し、島弧マグマとしては典型的な酸素分圧であった。

これらの結果を総合すると、鬼界海底カルデラの溶岩ドームの流紋岩質マグマは、地表付近の極めて低圧下（1 気圧～200 気圧）、すなわち海底カルデラ内で溶岩ドームが成長する過程でその場で結晶分化・発泡し、最終的に 800～900 ℃の温度で急冷・固化したと考えられる。

白鳳丸 KH-20-6 航海ドレッジ試料の研究船上における岩石物性測定の速報

○長瀬薫平（広島大学），
谷健一郎（国立科学博物館），沖野郷子（AORI），片山郁夫（広島大学）

１．はじめに

大東海嶺はフィリピン海プレート北西部に位置する地形的高まりである．この海域からは伊豆小笠原マリアナ弧が形成される始新世以前の形成年代を示す基盤岩類の報告があることから（例えば，Ishizuka and Yuasa, 2007），フィリピン海プレートの形成と進化を解明する上で鍵になると考えられている．2010 年に実施された YK-10-04 航海では，大東海嶺東部においてしんかい 6500 やディープトウによる潜航調査が行われ，火山岩や深成岩，変成岩，蛇紋岩といった多様な岩石種が採取されている．Nishizawa et al(2014)による地震波探査は，大東海嶺に中部地殻（Vp ≃ 6.3-6.8 km/s）が存在し，地殻の厚さが約 15-25 km であることを明らかにしており，大東海嶺は島弧的性質を持っている．一方で，大東海嶺北縁では P 波速度が 6.3 km/s を越える物質が海底近くまで分布していると推定されており，海洋コアコンプレックスのようにデタッチメント断層の発達した構造も考えられている．本研究では，大東海嶺の複雑な地殻構造の推定に新たな制約を与えることを目的として，KH-20-6 航海でドレッジされた試料を用いた研究船上での岩石物性測定を行ったので，その速報を紹介する．

２．試料・手法

測定試料は 5 つのドレッジ地点（D01，D02，D10，D13，D15）で採取された玄武岩，安山岩，デーサイト，緑色片岩，蛇紋岩化ハルツバージャイト，蛇紋岩，マンガンクラストの計 7 試料を用いた．各試料は一辺が約 2 cm のキューブ状に切り出し，サンドペーパーを用いて表面研磨を行った．空隙率と密度は海水に飽和させた質量と乾燥させた質量から求めた．また，弾性波速度と電気比抵抗は含水条件と乾燥条件においてそれぞれ測定した．試料の飽和は真空状態のデシケーター内において試料の入った容器へと海水を注いだ後に，デシケーター内を大気圧へと開放することで空隙へと海水を浸透させる含浸法を用い，試料の飽和時間は 24 時間とした．弾性波速度は P 波と S 波を測定し，P 波を 3 方位，S 波を直交する 2 つの伝播成分について 3 方位の計 9 成分の測定を行った．弾性波の送受信には共振周波数が 1MHz の接触型探触子を用いた．電気比抵抗は P 波と同じく 3 方位について行い，周波数が 25 kHz の交流電流を用いて測定した．また，試料を飽和させる海水は比抵抗が 0.19 Ω･m の海水を用いた．

３．結果・考察

船上での物性測定の結果，含水条件における P 波の平均速度は，玄武岩が 3.58 km/s，安山岩が 5.49 km/s，デーサイトが 3.00 km/s，緑色片岩が 6.20 km/s，蛇紋岩化ハルツバージャイトが 4.18 km/s，蛇紋岩が 3.12 km/s，マンガンクラストが 2.74 km/s であり，緑色片岩の P 波速度が大東海嶺北縁での観測結果に最も近い値を示していた．P 波の方位異方性は緑色片岩の 6%が最大であった．また，多くの試料において S 波の偏向異方性が 5%以下であったのに対して，緑色片岩の偏向異方性は 15%と高い異方性を示した．緑色片岩の電気比抵抗は，乾燥条件における異方性が弱いのに対して，流体の影響を受ける含水条件において異方性が強くなる傾向を示した．このことから，流体の経路となるクラックが異方的に存在している可能性が高い．以上の結果から，大東海嶺北縁において海底面近くに広く露出している岩石は緑色片岩である可能性が最も高く，異方的な性質を有していることが予想される．

夏季北進季節内振動に係る大気海洋相互作用研究：MR20-E01 航海概要

○横井 覚・米山 邦夫・竹谷 文一・勝俣 昌己・那須野 智江（海洋研究開発機構），
芳村 圭（東京大学），Gilles Reverdin（海洋学・気候研究所（仏）），青木 一真（富山大学），
松見 豊（名古屋大学），吉田 聡（京都大学），安永 数明（富山大学），竹見 哲也（京都大学），
Kelvin Richards（ハワイ大学/IPRC（米）），他 MR20-E01 航海乗船研究者

１．目的と観測概要

「夏季季節内振動」（BSISO）は西部熱帯太平洋域における対流活動や降水の変動に支配的な影響を及ぼす大規模大気擾乱のひとつであり、北西－南東方向に延びた対流活発域が時間と共に北上するという特徴がある。BSISO は台風発生頻度を変動させたり太平洋－日本（Pacific-Japan; PJ）パターンと呼ばれる波列を対流圏内に誘起したりすることなどで日本を含む中緯度帯の日々の天気にも影響を及ぼすため、予測の高度化のためにも BSISO の挙動を物理的に理解することは重要である。しかしながら、BSISO のメカニズムにはまだ不明な点も多く、最も基本的な特徴である北上のメカニズムについてさえ、いまだ議論は収束していない。そこで本研究では、北上メカニズムについてこれまで提唱されている様々な仮説のうち、海洋の熱的構造が北上に寄与しているという仮説に着目し、その検証のための詳細な大気海洋観測データを取得することを目的のひとつとして海洋地球研究船「みらい」MR20-E01 航海を実施した。なお、本航海は国際プロジェクト YMC（海大陸強化年）第 2 期の集中観測計画のひとつである YMC-BSM 2020（海大陸強化年 2020 年夏季モンスーン）計画の主要部分にも位置付けられた。

MR20-E01 航海では、2020 年 8 月 7 日から 9 月 8 日までの 33 日間、パラオ北方海域の北緯 12 度東経 135 度（図 a）にて定点観測を実施し、3 時間間隔のラジオゾンデ観測と CTDO/LADCP 観測、ドップラーレーダー等の各種連続観測を行った。また、定点観測期間中、降水活動に関係した短周期の大気海洋相互作用やメソスケールの海面水温・塩分構造を捉えるため、自走式無人観測機 Wave Glider 3 機と m-TRITON 係留系 1 基を図 b のようにドップラーレーダーの観測範囲内に十字に配置した。これらのプラットフォームでは、海水温・塩分や一般海上気象要素の観測に加え、受信した GNSS 電波信号を解析して鉛直積算水蒸気量を見積もる GNSS 可降水量観測も実施した。

２．初期結果

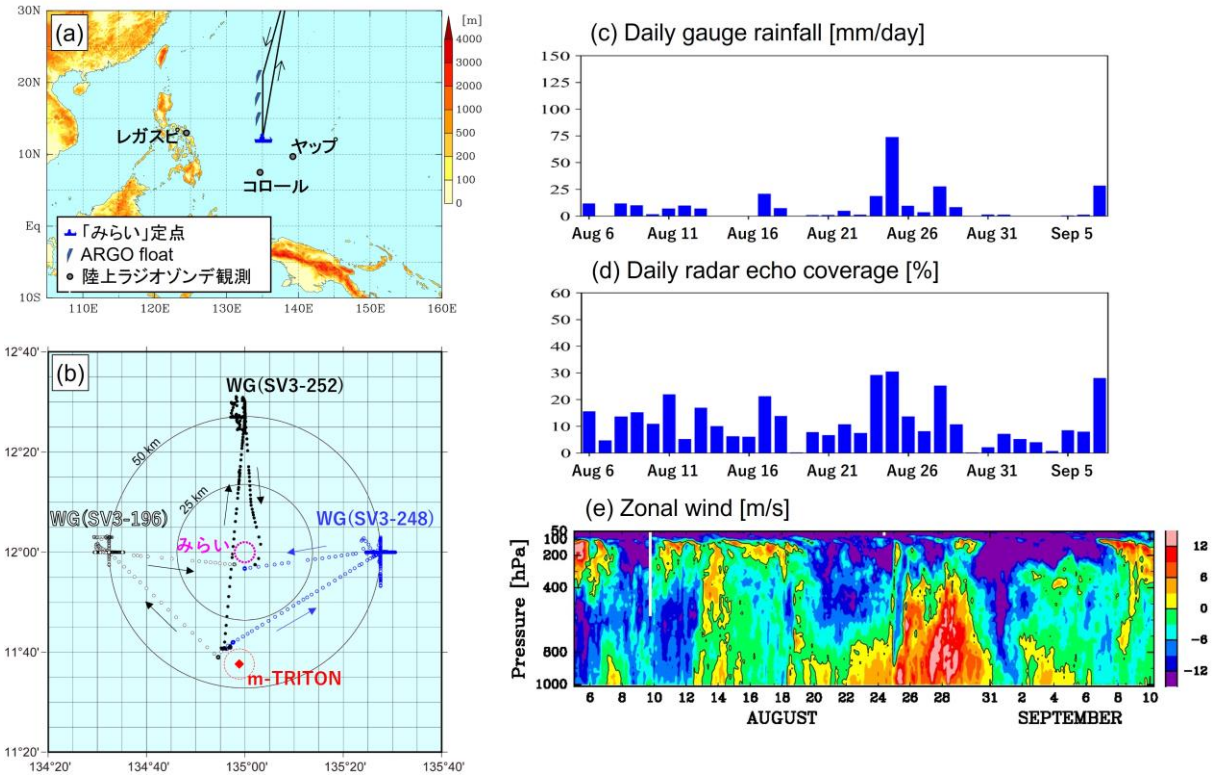
人工衛星データによると、8 月上旬、中旬には定点の南方に対流活発域が広がり、定点周辺はその縁辺域にあたっていた。この対流活発域は 8 月下旬に北上を開始し、9 月上旬には北緯 30 度付近にまで達した。北上の途上で、対流活発域から台風 2020 年 9 号（Maysak）、10 号（Haishen）が発生し、これらは 9 月上旬に九州に接近した。

「みらい」では、この北上する対流活発域の通過に伴う大気海洋変動の詳細な観測データを取得することに成功した。8 月 25 日を中心に多くの降水と活発な対流活動が「みらい」周辺で観測され（図 c、図 d）、そのすぐ後に強い西風が対流圏中下層に見られた（図 e）。また、「みらい」でのラジオゾンデ観測に加え、同期して実施したコロールとヤップにおける 6 時間間隔ラジオゾンデ観測のデータも用いることで、対流活動による非断熱加熱の鉛直構造を見積もることにも成功した。さらに、定点観測前に投入し、1 日 1 プロファイルの高頻度観測を実施したアルゴフロートにより、対流活発域の北上に伴う海洋水温・塩分プロファイルの南北構造の変化も捉えることができた。

今回捉えることができた北上する対流活発域を典型的な BSISO と認識して良いか否かは慎重に検討する必要があるが、上記で得られている特徴は BSISO の特性と一致しているため、得られた観測データを解析することで BSISO のメカニズムについて有用な情報が得られると期待される。今後、対流活発域の通過に伴う大気海洋相互作用過程やメソスケール海洋構造の変化を明らかにし、仮説の検証を進める予定である。

謝辞

本航海は、新型コロナウイルス感染症が世界中で猛威を振るい始めた 2020 年 8 月から 9 月にかけて実施されました。前例ないほど困難な状況のなかで、航海の実現のために多くの関係者の方々に大変な労力をかけていただきました。本当にありがとうございました。



図：(a)「みらい」によるアルゴフロート投入点と定点観測点。定点観測と同期して実施した陸上ラジオゾンデ強化観測点も示す。(b) 定点観測中の各種プラットフォームの配置。3 機の Wave Glider の航跡を黒丸、青丸、白丸で示し、m-TRITON の係留位置を赤菱形で示す。「みらい」は中央の紫丸の内側で定点観測を実施した。Wave Glider は、m-TRITON 係留点付近で展開し、それぞれの定点へ移動して観測を行った後、「みらい」定点観測の終盤に定点付近で回収した。(c) 定点期間中の「みらい」の雨量計日雨量。(d) 同じく、「みらい」周辺半径 30km の円内でのレーダーエコー（反射強度 15dBz 以上）被覆率（日平均値）。(e) ラジオゾンデで観測した「みらい」上空の東西風の鉛直高度断面図。

現場植物プランクトン蛍光の量子収率を指標とした
揚鉱中の表層水質のリアルタイム監視手法の開発

○越川海・河地正伸・大田修平（国立環境研究所），淵田茂司（早稲田大学），三輪哲也・古島靖夫（海洋研究開発機構），近藤俊祐（KANSO テクノス）

SIP「次世代海洋資源調査技術」（2014～2018 年度）において、国立環境研究所と海洋研究開発機構は海底熱水鉱床を対象とした資源開発における環境影響の検討及び評価手法の開発を行ってきた。環境影響については、海底鉱石の洋上回収における鉱石から海水への金属類溶出の有無の検討を行い、深海よりも温度や溶存酸素濃度の高い表層環境では、金属溶出が促進されることが明らかになった（Fuchida et al. 2018, 2021）。海底鉱石の洋上回収工程においては、表層環境への鉱石粒子の流出防止を図るとともに、作業海域における金属濃度の変動が生じないことを常時監視することが重要と言えるだろう。

これまでに揚鉱現場の作業船において実施可能な海洋環境中の金属濃度の監視手法として、洋上バイオアッセイ法の開発とその国際標準化（ISO-23734 として登録）を進めてきた。本発表では、常時監視に求められるリアルタイム性をさらに重視して開発した、新たな技術ついて紹介する。

本技術の心臓部には、植物の光化学系パラメータ（量子収率 Fv/Fm など）の測定により光合成活性や阻害反応の評価を行う市販のパルス変調蛍光光度センサー（Waltz 社 Water PAM、Flow-through Water PAM など）を採用した。このセンサーは非常に高感度で、外洋表層水等の植物プランクトン濃度が非常に低い試料でも扱うことができ、また光学式センサーであるためフロースルーチャンバー等を用いることで連続的な測定も可能である。

沖縄トラフ海域（KM17-12C 及び KM18-07C 航海）において採水した表層海水に熱水性鉱石由来の金属溶出液（Zn、Pb 含有）を ppb～ppm レベルで添加した。上述のセンサーを用いて、添加系内の植物プランクトンの Fv/Fm 時間応答を観察した。その結果、溶出液の添加濃度に応じて Fv/Fm は数分～数時間で減少していくことが確認された。金属類の光合成阻害機序については不明な点も多いが、外洋表層において優占的なピコプランクトンは金属暴露に対して脆弱であり（Ota et al. 2020）、光合成活性の指標である Fv/Fm の連続測定により、海水中の金属類等の阻害物質の濃度変化を検出できると考えられた。一方、海洋表層水の Fv/Fm は、日中に低下、夜間に回復するという明瞭な日周変動を示す。したがって、Fv/Fm の連続測定とその低下に基づき水質変化を検出するためには、Fv/Fm の自然変動を抑制または補正しなければならない。ここで、発表者らは、Fv/Fm 測定前の海水に約 15～30 分間の弱光照射を施すことにより、その自然変動を大幅に抑えられることを見出した。さらに金属暴露による Fv/Fm の低下は、暗所では生じにくく、弱光照射下で促進されることが明らかになった。以上の知見に基づき、連続取水した海水に弱光を照射するための複数の前処理槽及びパルス変調蛍光光度計から構成される Fv/Fm 連続測定装置を開発した。Fv/Fm 測定前に一定の弱光照射期間が必要であるが、海水取水後 15～30 分以内（準リアルタイム）で金属類等の光合成阻害物質の濃度変化を検出可能である。本技術で検出可能な金属種や濃度レベルの詳細な把握は今後の課題として残されているものの、基礎技術については、現在、国内（特願 2019-26026）及び国際特許（米国、欧州、中国）出願中である。

海底面での機動的傾斜観測実現に向けた房総半島沖での長期試験観測

○塩原肇（東京大学），佐藤利典（千葉大学），金慧貞・川野由貴・永井はるか（東京大学），
伊藤亜妃（海洋研究開発機構），杉岡裕子（神戸大学）

1. はじめに

機動的な海底傾斜変動観測の実用化に向け、センサー部を自由落下の着底時に海底面へ貫入させる方式の新型広帯域海底地震計(BBOBS-NX)[1]を基にした BBOBST-NX によって 2013 年以降、房総半島沖などでの長期観測を行っている。ここでは、2015 年に設置し 5 年ぶりに「しんかい 6500」の潜航作業で回収した BBOBST-NX を主とした、YK20-15S 航海報告を行う。

2. 長期試験観測

本観測は房総半島南東沖で繰り返しスロースリップイベント(SSE)が発生している領域で、2013-2014 年の観測に引き続き、2015 年 7 月から 2 年間の長期試験観測を開始した。これまでの観測時には数 10～100m離れた場所に流向流速計を設置し水温等も記録したが、この観測では自記式精密水温計（10 分サンプリング）のみを BBOBST-NX の記録部に取り付けた。2017 年･2019 年に回収航海があったが悪天候などで作業出来ず、2020 年 10 月の YK20-15S「よこすか・しんかい 6500」航海でやっと回収し（図 1)、観測を継続するために BBOBST-NX と海底電磁流向流速計（距離 25m)、および別 2 地点での海底圧力計の設置も行った。BBOBST-NX は設置から 5 年経過していたが内部時計はバックアップ電池で稼働しており、データの時刻精度も確保出来た。また、水温データは 4 年以上取得されていた。

3. 計測・処理方法

BBOBST-NX では記録部から独立した広帯域センサー部が海底面に大半埋設されており、底層流の影響による傾斜変動はほぼ無い。自由落下して貫入するため海底堆積層との結合も良好である。広帯域センサーの水平動 2 成分のマスポジション信号(振子位置、加速度出力)を速度信号 3 成分と併せ連続記録する BBOBST-NX は、広帯域地震・傾斜変動を同時に観測する。実際に得られたマスポジション記録には、広帯域センサーの経時変化とマスのセンタリング等によるシフトが見られる。シフトの前後区間で記録はほぼ連続しており、シフト分を補正した後に適当な関数（1 次＋対数）を gnuplot を使い当てはめ、経時変化を差し引き、傾斜変動の記録を得る。海底での潮汐による傾斜変動の振幅は約 0.1μrad と小さいが baytap08 プログラム[2]を適用して潮汐成分を取り除く。

4. 水温変化と傾斜変動

今回のマスポジションデータは、起動直後を除き 2 年間でマスのセンタリングがほぼ無いほどに安定していた。基本的な処理を済ませた傾斜変動には、2 成分共に水温変化との明確な関連性が見えた（図 2)。以前、同じ個体の広帯域センサーで取得した結果[3]では、傾斜変動と水温変化の関係が明確に示せなかったが、今回はセンサー近傍での水温計測のためか温度依存性（ほぼ-30μrad/℃）が確認できた。過去の傾斜変動と水温変化の関係を見ても、全て共通して負の温度係数で傾斜値が変化していることから、水塊移動による機構的傾斜発生ではなく、センサー自体の機械的温度依存性が原因と判断できる。この水温変化の影響を傾斜変動から除去する方法を試し、周波数領域で温度係数を推定してその分を差し引くことにした。同じセンサーによる過去 2 回の傾斜記録に対しても同様な処理を行ったが、水温計測地点が離れていたためか、温度係数がやや異なった。この処理後でも、ほぼ同じ地点

で BBOBST-NX により記録されていた、2014 年 SSE 時の傾斜変動は明確にあると見える。

5. まとめ

2 年間の BBOBST-NX による傾斜観測から、水温変化の計測と温度係数の推定が重要なことが明確となった。温度係数のオーダーから、水温変動が 0.1℃にも達しないような深海底では問題にならないかもしれないが、今後、傾斜変動観測するには、埋設される広帯域センサー部内での精密温度測定が必要になると考えている。

参考文献

[1] Shiobara, H., T. Kanazawa and T. Isse, IEEE-JOE, 38, 396-405, 2013.

[2] Tamura, Y., et al., GJI, 104, 507-516, 1991.

[3] Shiobara, H., et al., Front. Earth Sci., 8:599810, 2021.

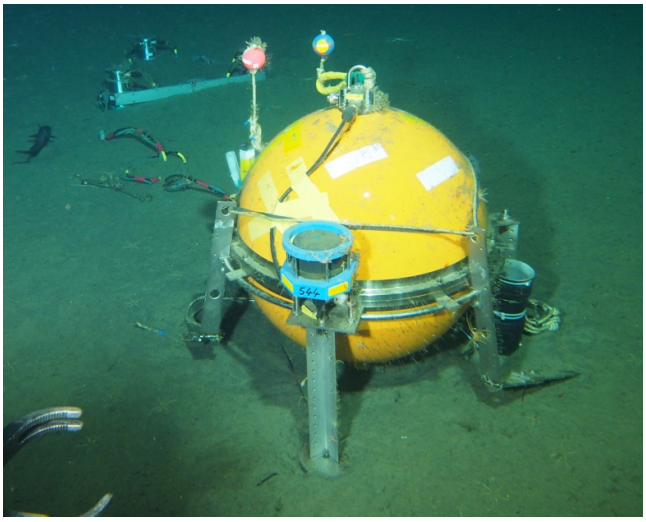


図 1　2015 年に設置し 5 年経過した回収時での BBOBST-NX の海底での様子

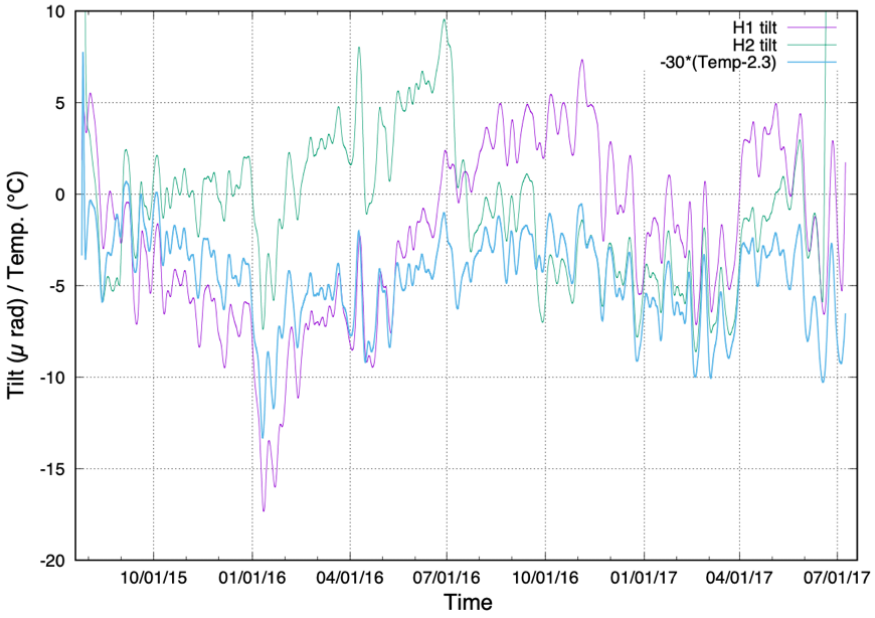


図 2　2 年間の傾斜 2 成分と水温の変化、1 週間の移動平均値

新たな海洋保護区(沖合海底自然環境保全地域)管理のための深海を対象とした生物多様性モニタリング技術開発(KM20-10C Leg1 航海概要報告)

○藤原義弘・吉田尊雄・土田真二・古島靖夫・山北剛久・北橋倫・藤倉克則(海洋研究開発機構)，小泉佳祐(京都大学)，邬倩倩(神戸大学)，浜崎恒二(東京大学大気海洋研究所)，砂村倫成・中坪典開(東京大学)，大田修平(国立環境研究所)，駒井智幸(千葉県立中央博物館)，KM20-10C 乗船者一同

生物多様性条約の下で我が国が議長国として策定した愛知目標の達成のため，令和２年 12 月３日，自然環境保全法に基づき，初めての沖合海底自然環境保全地域が４地域指定された．この中には日本の EEZ（排他的経済水域）内で最も深い海溝や，海山が高密度に存在する海域である以下の４海域，すなわち①日本海溝の最南部及び伊豆・小笠原海溝周辺の海域，②中マリアナ海嶺と西マリアナ海嶺を含む海域，③西七島海嶺を含む海域，及び④マリアナ海溝北部の海域が含まれている．この指定により，日本の海洋保護区の割合は管轄権内水域の 13.3%となり，「2020 年までに各国の管轄権内水域の 10%を海洋保護区等として保全する」とした愛知目標が達成された．

指定した沖合海底自然環境保全地域における生物多様性の変動がどの程度あるのか，開発等により自然環境が変化していないか，海洋保護区として保全効果が発揮できているか等を評価するためには，継続的に生物多様性をモニタリングする必要があり，その重要性が指摘されている．しかしながら沖合海底自然環境保全地域は距離的にも水深的にもアクセスが悪く，そのモニタリングには高額な大型研究船や高度なオペレーションを必要とする潜水調査船・無人探査機などが必須とされ，低コストで簡便かつ効率的なモニタリング方法が確立されていない．そこで我々は 2020 年度より環境研究総合推進費 SII-7「新たな海洋保護区（沖合海底自然環境保全地域）管理のための深海を対象とした生物多様性モニタリング技術開発」を開始し，その一環として KM20-10C Leg1 航海を実施した．

2020 年 11 月 25 日から 2020 年 12 月 1 日にかけて，西七島海嶺の正保海山および正徳海山において様々な観測機器類を用いた調査を実施した．この海域は過去に詳細な生物調査が行われていなかったため，各海山の山頂付近と水深 2000 メートル付近でベースライン情報の取得を試みた．マルチビーム測深器により対象海山の詳細な海底地形情報を取得後，「KM-ROV」による潜航調査（5 潜航）やフリーフォール式ベイトカメラによる観測（4 キャスト）により，各地点の生物相や生息環境に関するデータや試料を取得した．次に各海域の生物相や機能遺伝子等を環境 DNA 解析から明らかにするために，CTD 多連採水装置による採水（3 キャスト）を実施した．加えて，沖合海底自然環境保全地域の簡便な生物多様性モニタリングを実施するために開発中のフリーフォールランダーを用いた観測を実施した．本ランダーにはニスキン採水器（12 リットル）3 本，大量海水ろ過システム 1 台，各種物理化学センサー，タイムラプスビデオカメラ，投光器，音響切り離し装置等を搭載した．全高約 2.5 メートル，空中重量約 400 キログラムの本装置を正徳海山の水深 2000 メートルの海底に約 3 日間設置した．その結果，計 36 リットルの海水， 200 リットル以上の海水を濾過した計 4 本のカートリッジフィルター，約 90 分のタイムラプスビデオ映像，流向流速，水温，塩分，圧力，濁度，溶存酸素濃度といった環境データを連続的に取得した．本シンポジウムではこれらの成果の概要について報告する．

伊豆小笠原弧火山フロントから背弧側への熱水活動探索(YK21-10 速報)

○熊谷英憲・北田数也・金子純二・笠谷貴史・福場辰洋・池上郁彦（海洋研究開発機構）坂本泉・内山涼多・成田明弘（東海大学），股村祐希（東北大学），木村亮・山中健矢（日本海洋事業），木下正高（東京大学地震研究所）

調査の背景

海底熱水活動は、海底下に熱源の存在する条件のもとではすべからく存在すべきである。しかし、七島硫黄島海嶺に比定される火山フロント上に認識されているすべての火山に活発な熱水活動系が知られているわけではなく、水曜海山より北側のおよそ 200km は海底熱水活動の空白域である。また、巽(1995)が指摘した収束型プレート境界での複数の火山列に普遍性を見出すかはもはや論点にすらならない感もあるが、東北日本弧火山フロント上の火山と背弧側の第四紀火山との距離が数十キロメートルであることからは、背弧側に 30 浬程度の調査範囲の設定が必要か否かという、熱水活動の探索の観点から実際上の考慮が必要な問題として残されている。

海洋研究開発機構海洋機能利用部門では、いまだごく一部が活用されているに過ぎない海洋の資源を持続的かつ有効に利用するための研究開発を行っている。そのうち、海底の鉱物資源については、資源生成モデルの構築により有望な海域を理論的に予測することが必要で、このためには海底鉱物資源形成を促すプロセスと環境の特定が不可欠である。2014～2018 年に実施された戦略的イノベーション創造プログラム(第 1 期)「次世代海洋資源調査技術」では、沖縄トラフに的を絞って大規模な潜頭性の熱水鉱床が形成される条件が探られたが、伊是名海穴に知られる大規模鉱体の特異性を際立たせたにとどまっている。伊是名海穴ではカルデラ形成が堆積物供給の盛んな場で生じたことにより、カルデラ内に数十～百メートル程度の厚さで半遠洋性に近い堆積層が形成されており、海底面からの深度４０メートル内外に鉱体がみられる。今一つの可能性としては、断裂上に位置する島弧火山で過剰な流体供給がなされることによる熱水循環によっても大規模鉱体が形成されうるとは考えられるが、現世熱水活動としてそのような例を求めることは難しい。

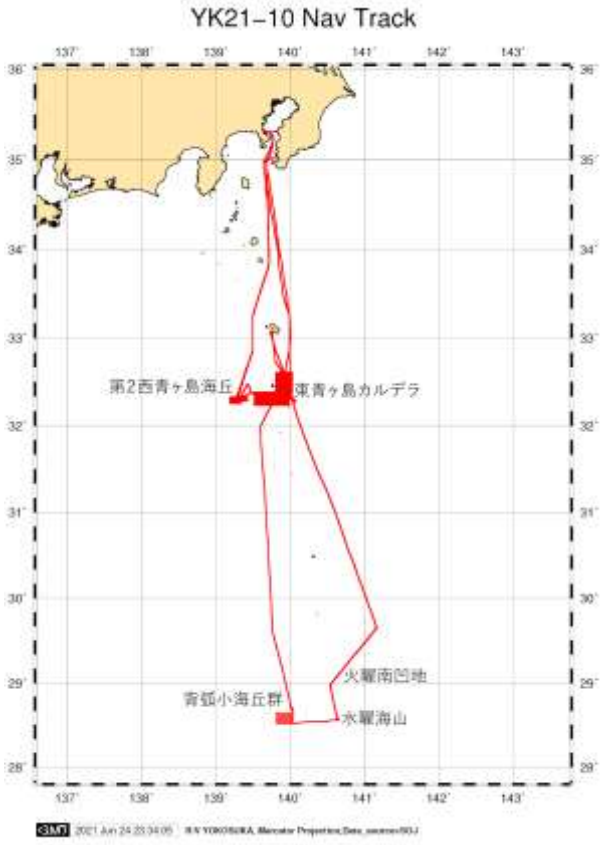
そこで、海洋機能利用部門では部門の中長期目標を達成するために必須の航海(特定航海)として一連の調査航海を計画、概算要求を行い、七島硫黄島海嶺を対象に調査を展開して、沖縄トラフ海域で定式化できた海底熱水鉱床探査プロトコルを適用、その拡張とさらなる鉱床有望海域の抽出をめざしている。

YK21-10 航海の概要

上述の調査計画の第 1 段階として YK21-10「よこすか／うらしま」航海では、１）来年度以降の既知熱水活動域での浅層掘削対象を絞り込むための「うらしま」による海底面に接近しての詳細な地形等基礎データの取得、２）七島硫黄島海嶺付近およびその背弧側での熱水活動探索を実施した。１）としては、東青ヶ島カルデラ、水曜海山、２）としては第２西青ヶ島海丘、水曜海山西方の背弧小海丘群(坂本ら、2001)を選んだ。「うらしま」潜航としては東青ヶ島カルデラで３潜航、水曜海山と第2.西青ヶ島海丘で各１潜航、船速を落とした「よこすか」による稠密地形観測を東青ヶ島カルデラ周辺、

第２西青ヶ島海丘、水曜海山西方の背弧小海丘群で行った。東青ヶ島カルデラでは、「よこすか」サブボトムプロファイラ記録の解析でカルデラ内北東側の最深部がもっとも海底面反射がシャープであったことから、最新の活動箇所であることが示唆された。またカルデラ内の北縁に位置している比高 300 m の小丘も周囲より測深機の後方散乱強度が高いため、これも同様に活動時期が新しい火山体である可能性がある。なお、本航の観測結果も利用して新青丸 KS-21-20(主席・野崎達生)が 2021 年 9 月に行われている。一方、背弧海丘群では、山体の長軸方向がおおむね NW-SE 走向で沈み込み帯上盤プレート内での応力場を反映しているとみられることが報告されていたが(坂本ら、2001)、本航での地形調査でもこの傾向は確認された。さらに、海丘群東端域では山体に放射状の尾根が普遍的にみられたことから、噴出活動時もしくは海底面近傍の噴出の最終段階が強い応力下にあったことよりは、むしろリフティングに関連して応力が比較的弱い条件下でのランダムな割れ目噴出での形成が示唆された。またサブボトムプロファイラ記録では尾根と尾根の合間の平坦面も強反射であり、非爆発的な火山活動の噴出物により埋められていることが推察される。第２西青ヶ島海丘でも、長径 1 キロメートルの小カルデラに着目して潜航を行い、カルデラ底北東側に海底面反射が強く、一段(100 メートル弱)深くなった箇所を見出したほか、N30E 走向で比高 30 メートルほどのなだらかな尾根やそれとほぼ平行にカルデラ縁を断ち切るような線状構造がみられるなど、複数ステージの活動が示唆されるデータが得られている。

本航は梅雨前線付近を東進する低圧部を避けての調査となり、背弧側の熱水探索および北緯 30 度付近の熱水空白域のサーベイは充分行うことができなかったものの、本航で拡張された稠密マルチビーム測深データや航走地球物理データをもとに伊豆小笠原弧の熱水活動分布についての理解を深めたいと考えている。



図：YK21-10「よこすか」航跡と調査個所

イメージングと深層学習によるメイオファウナのモニタリング手法開発

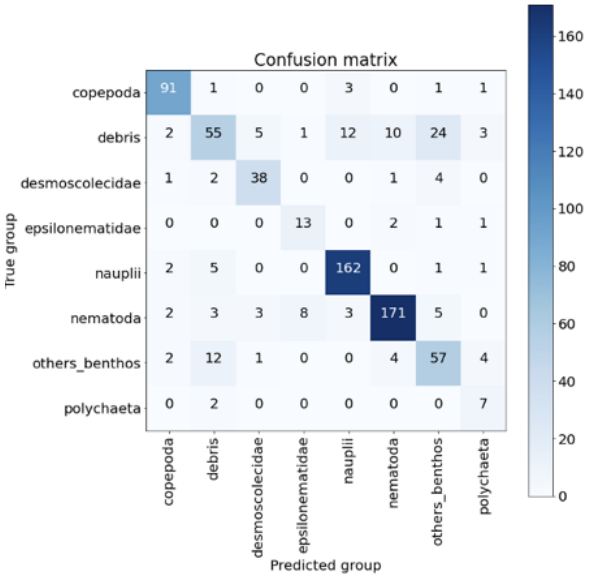
○河地正伸・越川海・大田修平（国立環境研究所），北橋倫（海洋研究開発機構）

環境研究総合推進費 SII-7-1 課題，「深海生物相の画像解析によるモニタリング法及びサンプリング法の開発」において，沖合海底自然環境保全地域の継続的かつ多地点でのモニタリングを実現するために，我々は，深海堆積物中に遍在するメイオファウナ群集のモニタリング手法を迅速化・簡便化するために，画像解析と深層学習により大分類群の同定と個体数測定を行う手法の開発に取り組んでいる。

メイオファウナは，目合い 1 mm のメッシュを通過して，32 µm のメッシュで捕捉されるサイズの底生動物の総称とされている。深海底において最も生息密度の高い動物群であり，代表グループとして，線虫類，カイアシ類等が含まれる。過去の研究では，メイオファウナ群集組成が，人為的な攪乱や環境変動により変化することも知られている。メイオファウナ群集の生物多様性を評価するには，顕微鏡下で堆積物からメイオファウナを拾い出して，計数や同定を行う必要があり，時間と労力，分類学的知識と経験を要する。モニタリング対象として利用するには，堆積物からメイオファウナを効率的に分離するための前処理技術や分類学の専門家でなくても迅速かつ簡便にメイオファウナの分類群の同定と計数を可能とする手法及び技術開発が必要と言えるだろう。

これまでに，メイオファウナを堆積物から分画する前処理法の検討，イメージングフローサイトメトリ（FlowCAM）によるメイオファウナ画像の取得，教師画像の整備，深層学習によるメイオファウナの分類とモデルの検討等に取り組むとともに，実海域調査航海（かいめい KM20-10C）において深海堆積物を採取することができた。

今回構築したモデルに深海底泥から採取，分画されたメイオファウナの FlowCAM 画像セットを入力データとして与えることにより，線虫類，カイアシ類，ノープリウス幼生については 90 %程度の正解率で分類・抽出の可能な性能を有することが判明した。一方、他のメイオファウナ、Desmoscolecidae, Epsilonematidae, Polychaeta 等では，現段階では実用的な正解率が得られていない。今後，訓練画像を増やすことで，改善可能と考えられた。メイオファウナ画像の深層学習に基づく自動計数・自動分類システムが構築されることにより，一定品質のデータ取得や分析作業時間の短縮が期待される。

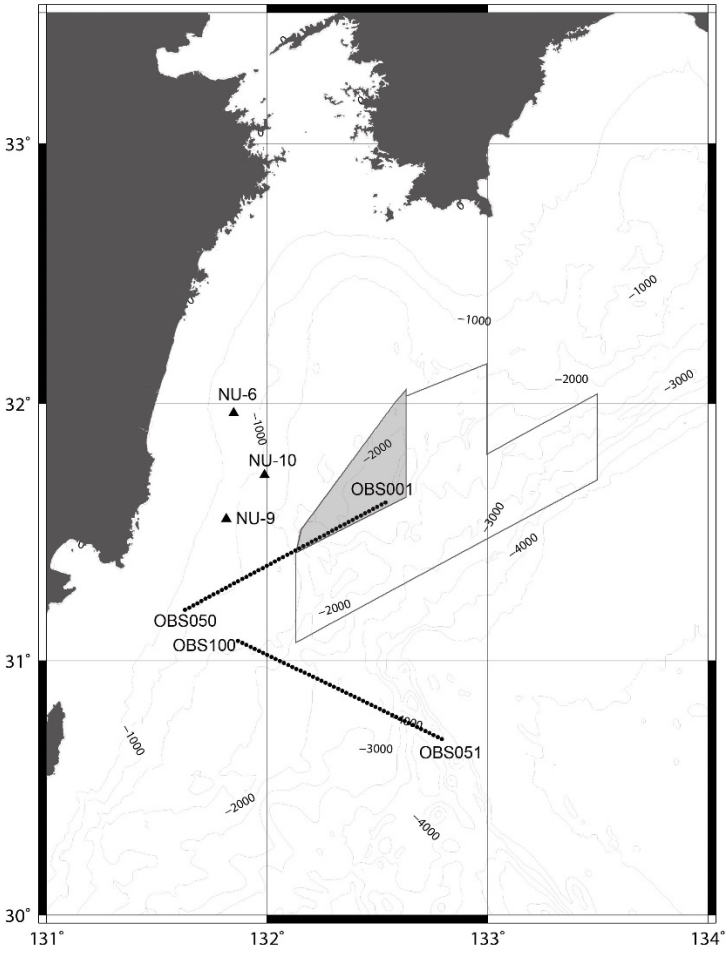


図．メイオファウナ画像分類モデルを用いたテスト画像の分類予測結果に関する混同行列。各セルの数値およびカラーは対応する画像枚数を表す。

日向灘スロー地震発生域における構造調査：KR20-10 航海報告

○三浦誠一・新井隆太・多田訓子（海洋研究開発機構），市原寛・中村捷人（名古屋大学），
中村泰之・藤江剛・尾鼻浩一郎・小平秀一・濱田洋平（海洋研究開発機構），
望月公廣・仲田理映・木下正高（東大地震研），橋本善孝（高知大学）

日向灘は南海トラフと琉球海溝の会合部に位置し、フィリピン海プレートが沈み込んでいるプレート収束場である。また、フィリピン海プレート上にある九州パラオ海嶺が沈み込んでおり、複雑な海底地形となっている。この日向灘ではマグニチュード（M）7 クラスの地震は観測されているものの、M8 を超える地震は観測されていない。また日向灘付近では浅部低周波微動や低周波地震などのスロー地震が多く観測されている。このような地震発生様式がどのような構造的特徴と関連しているのかを把握するため、2020 年 9 月に海洋研究開発機構の深海調査船「かいれい」を用いた KR20-10 航海を実施した。本航海では、2020 年 8 月に海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」にて設置および エアガン発振収録を行った海底地震計（OBS）100 台の回収と、2020 年 3 月に深江丸で設置した海底電位差磁力計（OBEM）3 台の回収を行った。本発表では航海概要と OBS および OBEM のデータ例や解析結果について報告する。なお本航海は科研費新学術領域「スロー地震学」の一部としても実施した。



KR20-10 航海で回収した海底地震計（黒丸）および海底電位差磁力計（黒三角）

フローサイトメトリーを利用した海底金属資源開発域における植物プランクトンへの影響評価技術開発

○大田修平(国立環境研究所)，淵田茂司（早稲田大学)，
山口晴代・山岸隆博・山本裕史・越川海・河地正伸(国立環境研究所)

日本は広大な排他的経済水域を有しており、列島周辺海底には豊富な鉱物資源が存在している。これらの資源開発域には、銅、鉛、亜鉛などのベースメタルやコバルトリッチクラストのようなレアメタルなどが知られている。金属資源開発を行う際には、海底環境だけでなく、海洋表層環境への影響についても配慮する必要があることが、国際海底機構（ISA）などから出された国際ガイドラインにも盛り込まれている。Fuchida ら（2018）は、海底環境（5℃、嫌気的環境）よりも表層環境（20℃、好気的環境）で加速的に硫化物試料から亜鉛(Zn)や鉛(Pb)などの重金属が溶出することを発見した(Fuchida et al. 2018. *Geochemical Transactions*)。また彼らの最近の実験では、ガルバニックな相互作用が熱水鉱石からの Zn や Pb の選択的放出の主要な原因となり得ることを明らかにした（Fuchida et al. 2021. *Applied Geochemistry*)。将来、商業ベースで開発が行われることを想定して、海洋表層の環境影響評価を行うのに有効な手法開発とプロトコール化が急務と言える。

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）による次世代海洋資源調査技術プロジェクト（H25～H30）では、海洋鉱物資源を低コスト・高効率で調査する技術に関する研究開発を行い、民間に技術移転することで海洋資源調査を飛躍的に加速することを目指した。国立環境研究所は、海底資源開発サイト付近の表層域の生態調査やモニタリング技術の開発を担当し、論文発表のほか、国内の民間調査会社への技術講習、国際海底機構（ISA）年次総会や国連 BBNJ 会合での広報、ISA 技術報告書掲載、ISO 登録作業等を通じて、国内外における周知・普及に努めてきた。国立環境研究所では SIP プロジェクト終了後も引き続き、海洋環境影響評価技術の開発に関わる研究を実施している。

植物プランクトンは原核・真核藻類を含む多種多様な微細藻類の集まりであり、開発が想定される外洋域では、ピコプランプトンと呼ばれる細胞直径が 2 μm 以下の微小サイズの微細藻類が優占している。さらに、外洋域環境は貧栄養であるため、沿岸海域に比べると細胞密度が低く、また、広く優占するシアノバクテリアは重金属に脆弱である種が多い（Ota et al. 2020. *Phycolgical Research*)。このため、現場でのアッセイでは、ピコプランクトンの検出も想定し、希薄海水をそのまま試験水として用いる生態影響評価手法は有効な手段となる可能性が考えられる。そのためには、海域や深度ごとに優占する藻類グループが異なることから、原核・真核藻類を含む多様な藻類グループに対応できる手法の開発が求められる。本研究では研究船に搭載可能な小型のフローサイトメーター(FCM) On-chip Sort を用いて、現場海水そのまま試験水として使用できる重金属影響評価系の確立を目的として研究を実施した。国立環境研究所微生物系統保存施設に保存され、外洋環境での生息が確認されている藻類株を用いて、重金属による細胞膜へのダメージをヨウ化プロピジウム（PI）染色により評価するプロトコールを確立した。本研究の結果、沿岸海水のような植物プランクトンが比較的多い海域だけでなく、細胞密度がきわめて希薄な海水サンプルでも、真核・原核藻類を問わず重金属の影響を短時間で評価できることがわかった。本発表では、海底資源開発現場における FCM による影響評価技術の開発状況、船上において環境影響調査に応用する際のノウハウやゲーティングストラテジーについても報告する。

低気圧渦内のサブメソスケール構造と鉛直混合

○伊藤幸彦・堤英輔・西川はつみ・安田一郎[1]（東京大学大気海洋研究所），
井上龍一郎（海洋研究開発機構），長井建容（東京海洋大学）

海洋において、異なる性質の水塊の間に形成される前線には、プランクトンや回遊魚等、様々な生物が濃密に分布することが知られている (Belkin et al. 2014)。この前線に対して、従来の船舶観測の多くは、数十 km 間隔の観測点によりメソスケール（およそ 10–100 km）でその構造を捉えてきた。しかし、近年の高解像度数値実験や衛星観測 (Capet et al. 2008; Mahadevan 2016)、曳航観測による一部の高解像度調査 (Itoh et al. 2016; Nagai et al. 2017)から、顕著な前線はサブメソスケール (<10 km)で発達することが示唆されており、これまでの船舶観測では前線域の輸送や撹拌、混合に関わる現象そのものが十分に解像できていなかった可能性が高い。本研究では、成層期における外洋域の前線を対象にサブメソスケールを解像する観測を実施し、空間構造や混合への影響を明らかにすることを目的とした。

学術研究船新青丸 KS-19-19（2019 年 9 月 27 日–10 月 4 日）により、常磐沖の黒潮続流北縁に形成された低気圧渦の調査を実施した。まず、低気圧渦を横断する観測線に沿って、6 knot で Underway CTD (UCTD: JFE Advantech 社の ASTD102 プローブを使用, Hasegawa & Mitarai)による曳航観測と、船底 ADCP（Ocean Surveyor 38kHz; Teledyne RDI）観測、表層環境モニタリング装置 (AMEMBO-III、CT&C) の連続観測を行い、水平間隔 約 3km 以下の水温・塩分・溶存酸素・クロロフィル a 濃度・濁度および流速の構造を捉えた。この観測で捉えられた前線周辺で、さらに乱流計 (VMP250: Rockland Scientific International 社)を用いて流速・水温の微細構造を計測し、乱流強度を推定した。このほか、CTD、NORPAC、渦中心付近における水中グライダー連続観測、ドリフター観測も適宜実施した。

UCTD の断面観測からは、中心部に顕著な低温・低塩分水を保持する低気圧渦の構造が捉えられた（図 1）。水平間隔 約 3 km の観測により、中心部から外側に向けて水温および塩分と密度の非常なシャープの勾配が存在していることが明らかになった。特に南側には小規模の水温・塩分偏差の出現など、顕著な微細構造が認められる。乱流計観測からは、季節躍層下でも前線帯でエネルギー散逸率が高まっていること、特に UCTD 観測から微細構造が認められた南側で特に強いことがわかった。

乱流強度の高まりは、前線の強い勾配に伴うリチャードソン数およびロスビー数の高まりに対応していた。Ray tracing 実験から、前線域でロスビー数およびリチャードソン数が O(1)になることで、内部波の屈折や反射が生じ、局所的に乱流が高まっている可能性が示唆された。衛星海面高度データから計算される歪率の分布から、南側の前線はメソスケールで生じる前線強化過程によるものであることが示唆された。

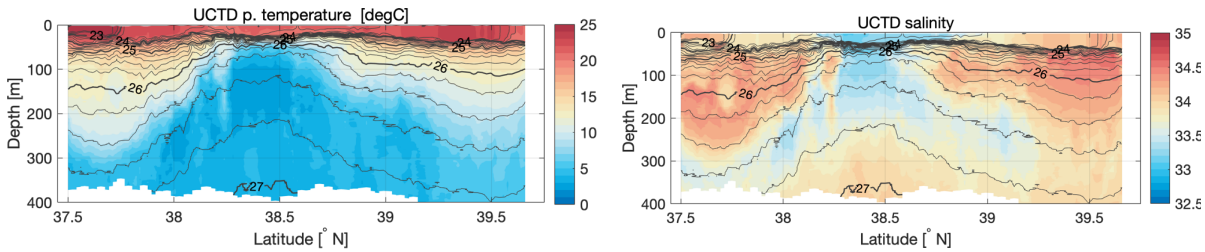


図 1 . Underway CTD による低気圧渦の南西―北東断面。（左）水温、（右）塩分

海域機動地震観測による熊野灘のスロー地震調査

○悪原岳（東大地震研），杉岡裕子（神戸大），山下裕亮・大柳修慧・Atikul Haque Farazi・伊藤喜宏（京大防災研），日野亮太・東龍介（東北大），荒木英一郎・利根川貴志（海洋開発研究機構），辻健（九州大），望月公廣・山田知朗・武村俊介・篠原雅尚（東大地震研）

近年の研究によって，沈み込み帯の浅部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）が発見され，巨大地震との関連性が注目されている．南海トラフ沈み込み帯の中央に位置する熊野灘では，海底ケーブル式の地震観測網（DONET；図１，赤色のシンボル）が常時稼働しており，スロー地震の特徴や発生環境に関する重要な知見が得られてきた．しかし依然として，沈み込み帯の浅部で発生するスロー地震については未解決の問題が山積している―スロー地震が活発な領域とそうでない領域を分ける原因は一体何なのか？スロー地震は本当に巨大地震断層面上で発生しているのだろうか？（そうでないとする説もある.）これらの問題に取り組むためには，現状の DONET よりも広範囲ならびに高密度な地震観測を実施することが望ましい．

熊野灘には，DONET ではカバーしきれていない領域が存在する．2019 年 9 月に実施された KS-19-18 次航海では，この領域におけるスロー地震活動を調査する目的で，海底地震計を設置した（図１，黄色のシンボル）．2020 年 12 月に始まったスロー地震群の活動は，この領域にも及んだことが分かっている（図１，青色の線で囲まれた領域）．本観測データを解析することで，DONET では捉えきれなかった微小なスロー地震の活動様式が明らかになると期待される．KS-21-10 次航海では，上述の海底地震計を回収するとともに，DONET の観測網間を補うように海底地震計を設置した(図１,灰色のシンボル)．この観測網で得られるデータを用いて，スロー地震発生域の地下構造やスロー地震の発生位置をより詳細に求め，スロー地震の発生メカニズムに迫ることを目指している．

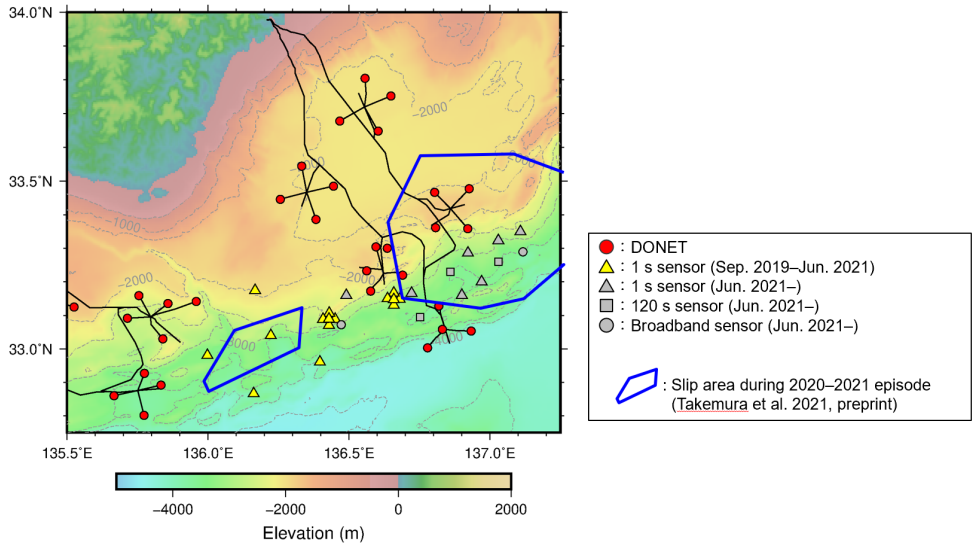


図１：KS-19-18，KS-21-10 次航海で設置された海底地震計と DONET，および 2020 年 12 月に始まったスロー地震の滑り域．

2011 年東北沖地震後の余効変動の研究

○木戸元之・富田史章（東北大学災害科学国際研究所），
日野亮太・太田雄策・東龍介・本荘千枝・佐藤真樹子・鈴木秀市（東北大学大学院理学研究科），
飯沼卓史（海洋研究開発機構）

2011 年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）では、これまで観測例のない大規模な断層すべりが発生したことが、GNSS-音響結合方式（GNSS-A）の海底地殻変動観測をはじめとする、各種の海底測地観測技術によって明らかにされた。さらに、地震後に観測網が整備され、日本海溝沿いの広域で余効変動場を計測し、粘弾性モデルおよび余効すべり分布の推定がインバージョン的手法によりなされてきた。

現在 GNSS-A 観測点は日本海溝沿いに太平洋プレート上の点も含め 21 点あり、十分な観測データを得るには多くのシップタイムが必要である。この観測の多くは、特に 2016 年以降については、共同利用の航海によるところが大きい。新青丸、よこすか、かいめいは、効率的な GNSS-A 観測に欠かせない専用の音響トランスデューサを船底に装備しており、これまで多くの観測に貢献してきた。船底装備のない白鳳丸においても、自航式ブイ等の海上プラットフォームを用いて観測を行ってきた。これまでのデータの蓄積により、図 1 に示すような余効変動場が得られ、東北沖地震の震源域に対する余効変動プロセスの空間変化を明らかにした。

また、地震後 10 年を経て、徐々に余効変動場が時間変化していく様子も見られるようになり、より頻度の高い観測が求められるようになってきた。特に三陸沖では繰り返し地震から沈み込み帯浅部でのスロースリップの発生が指摘されており、イベント前後での高頻度観測が求められている。そこで長期自律観測が可能な海上プラットフォームであるウェーブグライダーに GNSS-A 観測機器を実装し、2020 年からは無人観測をほぼ半年ごとに行っている。

一方、余効すべり分布の推定には、これまで重視してきた水平地殻変動だけではなく、上下変動による抑えが重要であることが指摘され、従来の中心定点観測による GNSS-A 観測のみでなく、上下動を検出するための海底局アレイの周りを周回する移動観測も頻繁に実施するようになってきた。ウェーブグライダーは移動速度が遅いため、中心定点観測には優れているが移動観測にはあまり適しておらず、今後も十分な移動観測を行うため、共同利用の船舶による観測も並行して行うことが肝要である。また、GNSS-A データの解析手法は発展途上であり、様々な観測形態が考案されている。解析で重要となる海中音速場を得るための CTD 観測、ウェーブグライダーと船舶との同時観測など、共同利用による船舶利用の必要性は増している。

プレート境界浅部の挙動は超巨大地震発生に大きく関わっており、海溝に沿ってその様子を把握することが重要である。地震後構築された GNSS-A 観測網は、地震前のそれと比べ海溝に近い場所を重点的にカバーしている。しかし観測の原理上、海溝軸の極近傍までは観測点を設置することができず、海溝に最も近い観測点でも海溝軸から 20 km ほど離れている。図 1 から明らかなように、太平洋プレートの沈み込む速度と余効変動場を比べると、海溝軸と GNSS-A の観測網との狭い範囲内に収束帯が存在すると考えられる領域もある。このような海溝軸極近傍の挙動を把握するために、海底での基線長変化の計測に特化した、海底間音響測距観測にも力を入れている。海溝軸を挟む最長で 10 km ほどの基線長変化が 1cm/yr 程度の精度で計測可能である。これまで宮城県沖の海溝軸でほぼ短縮なし、福島

県沖の海溝軸で若干他の短縮が観測され、それぞれ GNSS-A 観測による余効変動場と比較することで、プレート境界最浅部が固着しているのか、余効すべりがあるのか等の判定に言及してきた。現在、三陸沖での観測を終えた段階で、海溝軸に沿った挙動の違いに関するデータを着実に蓄積しつつある。

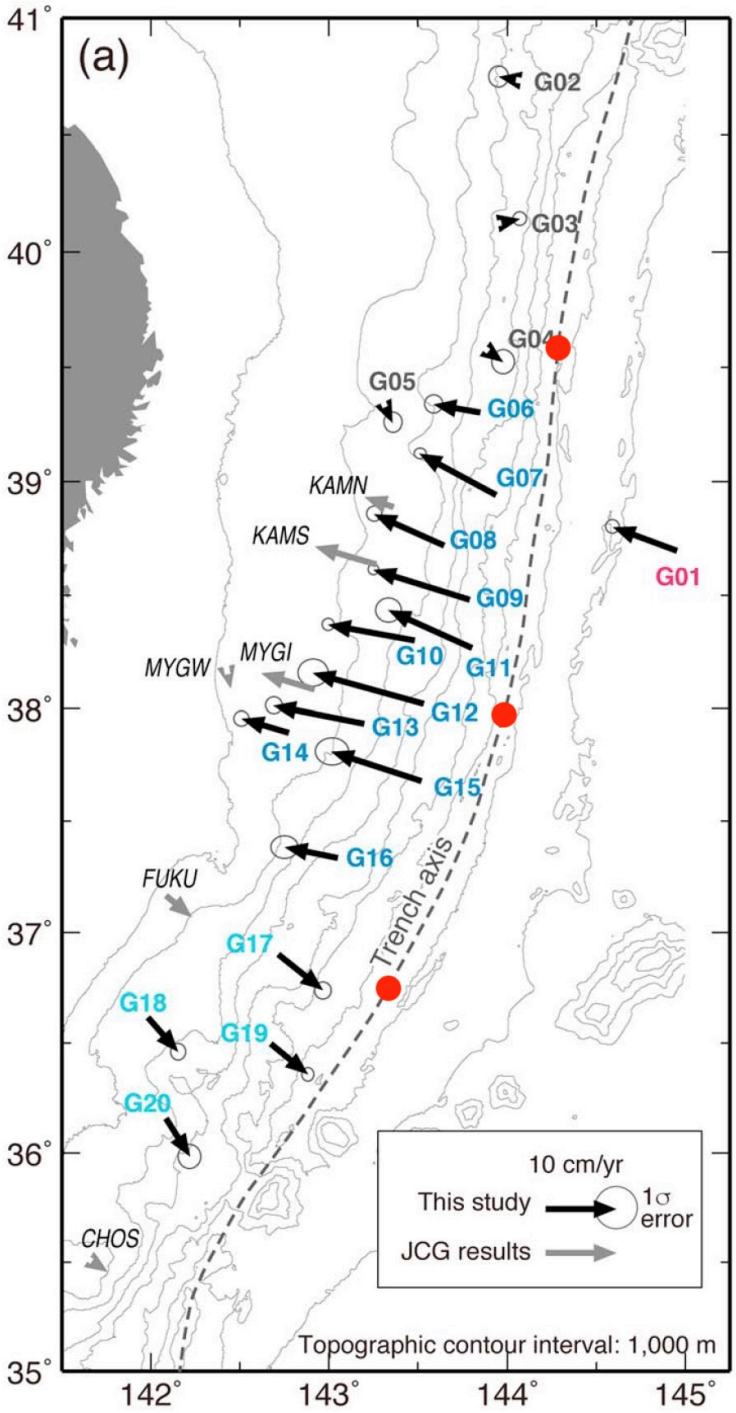


図１：2016 年までのデータによる東北沖地震後の余効変動場。赤丸は海溝軸での海底間音響測距の観測点。

Honsho et al. (2019)に加筆。