

小特集「南極寒冷圏の古環境学 —南大洋から地球環境変動を探る—」

序 論

池 原 実¹⁾ 三 浦 英 樹²⁾ 中 井 睦 美³⁾
中 澤 努⁴⁾ 佐 野 修⁵⁾ 小 出 仁⁴⁾

Preface for the Special Issue on “Paleoenvironmental Changes in the Antarctic Cryosphere: Global Climate Change Investigated in the Southern Ocean”

Minoru IKEHARA¹⁾, Hideki MIURA²⁾, Mutsumi NAKAI³⁾,
Tsutomu NAKAZAWA⁴⁾, Osamu SANNO⁵⁾ and Hitoshi KOIDE⁴⁾

I. 気候システムにおける南大洋 および南極寒冷圏の重要性

南極氷床やその周辺に広がる南大洋を含めた南極寒冷圏が、現代および過去のグローバルな気候システムに果たしている役割は大きい。例えば、地質時代を通じて、大気中のCO₂濃度変動が気候変動と密接に関連してきたことが知られているが、最終氷期に低下していたpCO₂に対して、南大洋における生物ポンプの強化や表層成層化が大きく寄与していたと考えられている。このような大気CO₂濃度変動の原因とその変動プロセスを理解するためには、氷期-間氷期スケールでの南大洋の生物ポンプや表層水温、海洋フロント、海水分布、南極氷床などの南極寒冷圏サブシステムの変動メカニズムと様式を精度よく理解することが重要である。

南極大陸および南大洋は日本から遠隔地にある

ため、それらの地域をフィールドとする研究者人口は日本にはそれほど多くない。しかしながら、近年の南極観測隊によるフィールド調査や、白鳳丸による南大洋インド洋セクターでの海洋地質学調査と海洋コアの解析研究が行われ、日本から発信される南極寒冷圏変動史に関する研究成果も増えてきている。また、2009年度には統合国際深海掘削計画 (IODP) によって、東南極ウィルクスランド沖において南大洋では約10年ぶりの深海掘削研究が実施され、日本からも7名の研究者が国際共同研究に参画している。このように、近年さまざまな研究アプローチによって南極・南大洋の古環境変動研究が国内でも進展している状況である。

II. 小特集号の概要

本小特集は、南半球の中高緯度海域におけるこれまでの古環境研究の概要を広く網羅するための

¹⁾ 高知大学海洋コア総合研究センター

²⁾ 情報・システム研究機構国立極地研究所

³⁾ 大東文化大学文学部

⁴⁾ 産業技術総合研究所

⁵⁾ 東京大学名誉教授

¹⁾ Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Kochi, 783-8502, Japan

²⁾ National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Tokyo, 190-8518, Japan

³⁾ Faculty of Literature, Daito Bunka University, Tokyo, 175-8571, Japan

⁴⁾ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, 305-8567, Japan

⁵⁾ University of Tokyo, Professor Emeritus, Tokyo, 113-0032, Japan

4編の総説論文と1編の論説論文とで編成される。まず、新生代の全球気候進化と南極寒冷圏の関係を明らかにするため、国際深海掘削計画(ODP)によって南半球高緯度域で実施された二つの国際共同研究(Leg 175:ベンゲラ海流系(本山, 2012), Leg 189:タスマニアゲートウェー(鈴木, 2012))の成果をとりまとめるとともに残された課題を整理した。また、南大洋における古環境復元にとって重要なターゲットである海水分布、南極前線、生物生産量などの第四紀後期の変動について、とくにそれらの代替指標(プロキシー)の代表例として漂流岩屑(IRD)と珪質微化石に着目した総説論文2編(池原, 2012; 香月, 2012)をまとめている。さらに、生物生産量の代替指標として重要度が増してきている放射性核種による生物起源粒子フラックス復元法とその応用例に関する論説(原田ほか, 2012)を編集している。以下に各論文の概要を記す。

1) ODP Leg 175 総説(本山, 2012)

本山(2012)は、日本からみて地球のほぼ反対側にあるベンゲラ海流系に着目したODP Leg 175の成果をまとめた総説である。ベンゲラ海流は南大西洋における亜熱帯循環の東岸境界流をなす寒流であり、ナミビア沖における強い沿岸湧昇を伴うことから、インド洋から大西洋への熱輸送をつかさどるアグラス海流や高生物生産を介した炭素循環に強く影響している。この総説では、ベンゲラ海流が介在する古海洋イベントとして次の3つの現象に着目している。中新世に熱帯海洋での炭酸塩埋積量が急減する「炭酸塩クラッシュ」、鮮新世後期の珪藻生産量増大および寒冷化イベントである「マツヤマ珪藻極大」、第四紀の湧昇流強度変動に関連する「ウォルビス・オパール・バラドックス」である。これら南大西洋における古海洋イベントが全球規模の気候変動とどのような関係にあるのか、その謎を解き明かしてきた国際プロジェクトを概観することができる。

2) ODP Leg 189 総説(鈴木, 2012)

鈴木(2012)は、ODP Leg 189によるタスマニア南方海域における深海掘削研究に基づいて、白亜紀から第四紀にいたる古海洋およびテクトニ

クス研究の概要をまとめている。タスマニアゲートウェー(海路)の開裂は、世界の海洋循環および気候変動の歴史を理解する上で非常に重要なテクトニックイベントである。なぜなら、始新世以前はタスマニア陸橋が存在したため、太平洋とインド洋との間の海水循環が阻害されていたからである。本論文では、ODP掘削研究によって、時系列で解明されたタスマニアゲートウェーの開裂・深化と環境変動の様子が詳細に紹介されているとともに、これらの変化が地球規模の気候変動にどのように関連するかについても広くレビューされている。本総説は南大洋における白亜紀以降の古海洋変動史の概要を理解するために必読の論文である。

3) 海洋フロントの南北シフト(池原, 2012)

池原(2012)は、南大洋を特徴づける南極前線や冬季海水縁などの海洋フロントの南北シフトについて、現代および最終氷期に焦点を絞ってまとめている。現代については、南大洋におけるさまざまな観測記録をとりまとめた結果から、地球温暖化の進行と関連した南極周極流付近の暖水化と南極周極流自体の南下について紹介している。一方、地質学的時間スケールにおいては、最終氷期の南大洋では急激かつ短期間の海水拡大イベントが繰り返し起こっていた事実をとりあげている。このような海水拡大や南極氷床崩壊を復元する上で、南大西洋の複数の海洋コアの漂流岩屑(IRD)解析が有効なプロキシーとなることを示すと同時に、氷床ダイナミクスのみならず、南大洋の表層水温分布や海洋フロントの位置などIRDの堆積に関わる要因と問題点が要領よく整理されている。今後の課題として、IRDの起源の特定が重要であることが強調されている。現在の南大洋における継続的な観測記録の解析と地質学的スケールの古環境復元との両方のアプローチが、南大洋の海洋環境変動の実態を解明する上で重要であることを示す論文である。

4) 珪藻群集解析に基づく南大洋の古海洋変動復元(香月, 2012)

香月(2012)は、珪藻群集解析に焦点を絞り、最終氷期極大期(LGM)から完新世の南大洋に

おける海水分布と基礎生産力の変動史についてレビューしている。珪藻に代表される珪質微化石は、有孔虫などの炭酸塩微化石の産出が少ない高緯度海洋での古環境復元にとっては非常に重要な情報源となる。例えば、LGMの南大洋における冬季海水分布が各セクターによって異なることや、夏季海水縁がウェッデル海を除くと現在の夏季海水縁とほぼ同じ位置であったことが紹介されている。また、完新世の珪藻群集の変動から、太陽活動の周期的変化に連動した南大洋の短周期表層水塊変動の実態が明らかとなってきたこともあわせてまとめられている。本総説は、珪藻群集解析が南大洋の古環境復元にとって非常に有効な手法であることを示す論文である。

5) 放射性核種を用いた生物起源粒子フラックス変動の復元(原田ほか, 2012)

原田ほか(2012)は、南太平洋チリ沖中緯度域の堆積物コアを用いて、生物生産量プロキシとして用いられている放射性核種 ^{230}Th で規格化した生物起源粒子フラックスを新たに復元した。これまで一般的に過去の生物生産量変動の復元に用いられてきている手法は堆積速度を用いた沈積流量(MAR)法であるが、陸起源物質の流入による堆積速度の過大評価などの弊害が指摘されてきている。本論文では、 ^{230}Th 規格化法による生物起源粒子フラックスの復元法を詳しく解説し、かつ、その応用研究の一例としてチリ沖の生物生産量が最終氷期で小さく、最終融氷期後半で増加することを新たに明らかにした。南大洋における生物ポンプの評価は、大気 CO_2 濃度変動の要因を検証するために必要不可欠な課題である。 ^{230}Th 規格化法による生物起源粒子フラックス変動の復元は、今後、南大洋における生物ポンプ駆動効率に対して新たなデータセットを提供することが期待される。

III. 今後の展望

小特集「南極寒冷圏の古環境学」では、南大洋における古海洋変動の実態に迫る総説と論説をとりまとめた。これらの論文が、関連する分野の研究者に対する最新の南極寒冷圏変動史の情報発信

源となるとともに、将来の南極・南大洋研究に携わる可能性をもつ学生や大学院生等への刺激となることも期待したい。

口絵では、近年実施された白鳳丸による南大洋インド洋区での海洋地質調査の概要が報告されている。現在、それらの航海で新たに採取されたピストンコア(口絵1-図1参照)を用いて、ミランコビッチサイクルやより短い(千年~百年)時間スケールでの南極周極流や南極前線、冬季と夏季の海水縁などの海洋前線帯の南北シフトの実態を復元するための研究が行われている。海洋地質分野に限らず、近年、日本の研究船(白鳳丸、海鷹丸、みらい、しらせ等)を利用した南大洋の調査が精力的に展開されてきており、南大洋におけるさまざまな時間スケールの変動に関する成果が着実に蓄積されてきている。今後、分野の枠を超えて南極寒冷圏変動の実態を解き明かすための学際的研究がさらに発展していくことであろう。

現在進行中の南大洋の海洋地質調査や古海洋学研究は、統合国際深海掘削計画(IODP)の事前研究としても位置づけられている。現行のIODPは2013年にいったん終了するが、その後International Ocean Discovery Program(おなじくIODPと略)と名前を変えて2023年まで継続することになっている。過去2回の白鳳丸航海では、コンラッドライズ(口絵1-図1のCOR1地点付近)において集中的にサイトサーベイが実施され、詳細な海底地形と海底地質構造が明らかにされた。これらの最新の成果を踏まえ、今後、南大洋掘削研究のための新たな提案が行われていく計画である。平成24年7月には、IODP等の国際プロジェクトによる将来の南大洋掘削研究の方向性について議論する国際ワークショップが米国で開催される。今後10年程度の間、南大洋での深海掘削研究や南極大陸棚掘削研究などによる新生代の古環境変動復元研究が大きく進展することは間違いない。そのなかで、日本が主導する新たな南極・南大洋掘削研究が実現し、南極寒冷圏変動研究に大きく貢献することが期待される。

謝 辞

本小特集をまとめるにあたり、多くの方々に査読をしていただきました。査読に協力して頂いた方々に深く感謝します。

文 献

- 原田尚美・川上 創・福田美保・宮下 航・松本 剛 (2012): ^{230}Th を用いたチリ沖中緯度域における第四紀後期生物起源粒子フラックス変動. 地学雑誌, **121**, 555-569. [Harada, N., Kawakami, H., Fukuda, M., Miyashita, W. and Matsumoto, T. (2012): ^{230}Th -normalized fluxes of biogenic components from the central Chilean margin during the late Quaternary. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 555-569. (in Japanese with English abstract)]
- 池原 実 (2012): 南大洋における海洋フロントの南北シフト—現代および第四紀後期の海水分布, 南極前線, 南極周極流の移動と気候変動のリンケージ—. 地学雑誌, **121**, 518-535. [Ikehara, M. (2012): North-south shift of oceanic fronts in the Southern Ocean: Linkage between migration of sea ice coverage, Antarctic Polar Front, Antarctic Circumpolar Current, and global climate change from the present to late Quaternary. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 518-535. (in Japanese with English abstract)]
- 香月興太 (2012): 珪藻化石群集に基づく最終氷期極大期以降の南大洋における海水と基礎生産力の変動史. 地学雑誌, **121**, 536-554. [Katsuki, K. (2012): History of sea-ice and productivity in the Southern Ocean since the last glacial maximum based on the diatom assemblage changes. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 536-554. (in Japanese with English abstract)]
- 本山 功 (2012): 南大西洋ベンゲラ海流系の古海洋学—沿岸湧昇史とグローバル気候変動への応答 (ODP Leg 175 の総括)—. 地学雑誌, **121**, 478-492. [Motoyama, I. (2012): A review of the paleoceanography of the Benguela Current system in the South Atlantic (ODP Leg 175): Evolution of coastal upwelling and response to global climate change. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 478-492. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木紀毅 (2012): オーストラリア・タスマニア島南方海域の古海洋—白亜期末から第四紀まで: ODP Leg 189 の成果—. 地学雑誌, **121**, 493-517. [Suzuki, N. (2012): The latest Cretaceous to the Quaternary paleoceanographic history in the Southern Ocean, south of Tasmania, Australia: Results of ODP Leg 189. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 493-517. (in Japanese with English abstract)]