

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23244102

研究課題名(和文)南極寒冷圏変動史の解読：第四紀の全球気候システムにおける南大洋の役割を評価する

研究課題名(英文)Antarctic Cryosphere evolution: To evaluate the role of the Southern Ocean in the global climate system during the Quaternary

研究代表者

池原 実(Ikehara, Minoru)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授

研究者番号：90335919

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 23,200,000円、(間接経費) 6,960,000円

研究成果の概要(和文)：南大洋インド洋区のコンラッドライズにおいて、南極周極流の影響によって形成された巨大砂丘様海底地形(セディメントウェーブ)を新たに発見した。海底下地質構造解析を基にしたセディメントウェーブ形成史から、南極周極流がおよそ150万年前に北上したと推測される。

最終氷期には冬季海水縁が少なくとも緯度として15度程度北側に移動し、その影響で表層は低塩分化して成層が強化されていた可能性が高い。この現象は氷期の CO_2 濃度低下に大きく寄与していたであろう。また、冬季海水分布は氷期の間に数千年スケールの周期で南北振動していた。

研究成果の概要(英文)：Large-scale sediment wave structures were discovered on the Conrad Rise, Indian sector of the Southern Ocean. The sediment waves are most likely formed by bottom current interactions with the Antarctic Circumpolar Current (ACC). Based on the seismic survey, it is thought that the ACC was migrated to the north at about 1.5 Ma.

Winter sea-ice edge was significantly shifted to the north at least about 15 degrees as latitude during the last glacial period. This indicated that the Southern Ocean surface water was stratified due to input of less saline water. In addition, the millennial-scale cooling and sea-ice expansion were occurred in the glacial South Indian Ocean.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位古生物学

キーワード：南大洋 海水 南極周極流 セディメントウェーブ 気候変動 生物ポンプ バイオマーカー ダスト

1. 研究開始当初の背景

南極氷床と南大洋は、全球気候システムにおいて地球を冷却する働きをしており、南極寒冷圏 (Antarctic Cryosphere) と呼ばれている。南極寒冷圏を構成するサブシステム (南極氷床、海水、氷山、南極表層水、生物ポンプ、南極周極流、南極底層水 (AABW)、南極中層水 (AAIW) 等) は、相互に連動しながら新生代を通じた地球の気候進化 (特に寒冷化) に大きく寄与している。特に、海水分布の変化はアルベドを変化させるため寒冷化や温暖化を加速度的に進めるフィードバック効果を持つとともに、海水生成時に排出される高塩分水 (ブライン) を通じて南極底層水の生成効率を支配している。また、氷期—間氷期スケールでの大気 CO₂ 濃度変動のメカニズムは根本的に解明されていないが、季節海水域である南大洋の表層成層化の強弱が一つの駆動機構として重要視されている。さらに、氷期における南極前線の北上が、南大洋での湧昇流の強化や湧昇域の拡大をもたらすと考えられるため、偏西風帯と連動した南極前線の南北シフトも近年注目されている。しかし、南極前線より南の海域での古海洋変動研究は、その地理的制約やコアの年代モデル構築の難しさから極めて限定され、全球気候システムを考察する上でも空白域である。

これまでの科研費・基盤研究 (B) によって、南大洋インド洋区のリュツォ・ホルム湾 (昭和基地) 沖とコンラッドライズにおける国際共同研究を行った結果、次の点が明らかとなってきた。

コンラッドライズ南西斜面には、海水の流れに起因する巨大砂丘様海底地形 (セディメントウェーブ) が存在すること、そのセディメントウェーブ構造が反射法地震波断面にも認められ、海底下 400m 程度まで存在していることを新発見した。LHB-3PC コア (南緯 66 度) では、氷期には生物生産量が激減していたが、間氷期には珪藻を主体とする生物生産が増大していた。

コンラッドライズの海洋コア COR-1PC は、平均堆積速度が 40cm/ka に及ぶ珪藻遺骸が卓越するドリフト堆積体であり、完新世における珪藻群集および浮遊性有孔虫の酸素同位体比に数百年スケールの変動が新たに見いだされ、温暖期中の南極前線付近の短周期環境変動の存在が明らかとなった。

しかしながら、コンラッドライズにおけるセディメントウェーブの空間的広がりが不明確であり、その成因も不明である。また、コンラッドライズの海洋コア (COR-1PC: 4m 長) の最下部の年代は約 1 万年前であり、古海洋変動研究にとって最重要である最終氷期最寒期を含む南極前線および生物生産量の変動が不明であった。

そこで、東京大学大気海洋研究所の白鳳丸共同利用によって、第 2 次南大洋調査航海 (平成 22 年 12 月 17 日～平成 23 年 1 月 17 日) を立案し、本研究を実施した。

2. 研究の目的

- (1) コンラッドライズ周辺域のセディメントウェーブの時空間的広がりを明らかにし、その成因を考察するとともに、海洋循環との関係を解明する。
- (2) 緯度トランセクトを成す海洋コア群を使って、氷期—間氷期スケールの海水縁 (冬季・夏季)、南極前線、南極周極流等の表層システムの南北振動の実態、および、生物生産量と海洋成層化の時間的・空間的変動を解明する。

3. 研究の方法

2 回の白鳳丸航海 (KH-07-4, KH-10-7) においてコンラッドライズ周辺で実施した海底地形および反射法地震探査データを統合し、詳細な地形地層解析を行う。また、南大洋インド洋区から採取した海洋コア (DCR-1PC, COR-1bPC, LHB-4bPC) (図 1) の非破壊基礎解析および年代モデル構築を実施し、古環境変動解析を優先するコアを選定する。優先度の高いコアから複数の古海洋プロキシ (代替指標) による古環境復元研究を行う。特に、有孔虫の炭素・酸素同位体比、放射性炭素年代測定により詳細なコアの年代モデルを構築する。海水分布プロキシである珪藻群集と漂流岩屑 (IRD)、ダストプロキシであるアルカンなどのバイオマーカー分析を行う。

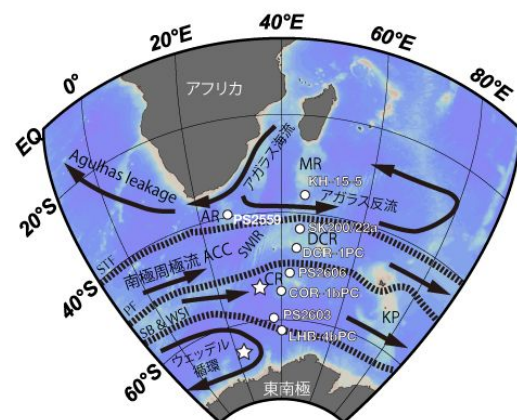


図 1. 本研究のターゲット海域の海底地形図と表層循環。白丸 (○) は緯度トランセクトをなす海洋コアの地点。星印 (☆) は、セジメントトラップ設置予定点。海底地形の略: MR: Madagascar Ridge, AR: Agulhas Ridge, DCR: Del Caño Rise, CR: Conrad Rise, KP: Kerguelen Plateau. 海洋フロントの略: STF: Subtropical Front, PF: Polar Front, SB: Southern Boundary of ACC, WSI: Winter sea ice.

4. 研究成果

- (1) コンラッドライズ南西斜面で発見したセディメントウェーブの空間分布と形態的

特徴を明らかにした。セディメントウェーブの大きさは、波状構造の一つ一つが鳥取砂丘とほぼ同じ程度の規模であった。コンラッドライズ周辺海域における南極周極流の流路および流速データと比較したところ、コンラッドライズのセディメントウェーブは、南極底層水や南極中層水ではなく、表層流としての南極周極流の影響で形成されたことが明らかとなった。また、反射法地震探査による海底下地質構造を解析した結果、コンラッドライズの上部ユニット（層厚約 400m）ではセディメントウェーブが明瞭に観察されるが、下部ユニットでは観察されないことがわかった。このユニット境界の年代は約 150 万年前と見積もられる。よって、南大洋ではおよそ 150 万年前後に大きな海洋構造の変化が起こり、南極周極流がこの時代に北上して現在とほぼ同じ場所を流れるようになったと推測される (Oiwane et al., 2014)。

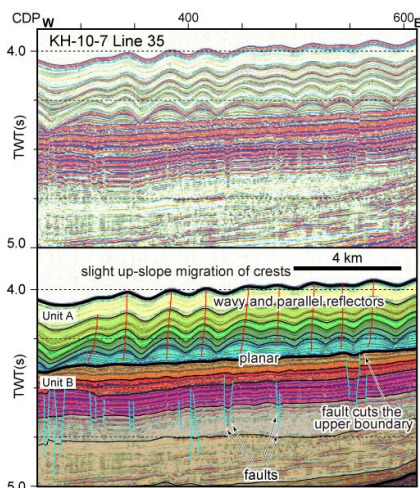


図2.コンラッドライズ南西斜面域におけるマルチチャンネル反射法地震波探査断面の例。ユニットAには、明瞭なセディメントウェーブが認められるが、ユニットBにはそれが見られない。ユニット境界の深度は約400mで、およそ150万年前頃と推定される。

- (2) コンラッドライズの海洋コア (COR-1bPC) の酸素同位体層序および放射性炭素年代測定の結果、コア最下部がおよそ 4 万年前に相当すること、南極アイスコアで認められる Antarctic warming event に相当する酸素同位体の正のピークが見られること、平均堆積速度がおよそ 25cm/ka であることがわかった。また、漂流岩屑 (IRD) および珪藻群集解析の結果、最終氷期には冬季の海水氷北限がコア地点よりも北に移動し、かつ、数千年スケールの周期で南北振動していたことが明らかとなった。IRD の増加イベントは、北部北大西洋で顕著に見られるハインリッヒイベントのタイミングとは必ずしも一致していなかった。
- (3) デルカノライズの海洋コア (DCR-1PC) における浮遊性有孔虫および底生有孔虫

の酸素同位体比変動を復元した。また、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定を行い、コアの年代モデルを構築した。深度 3.6m がおよそ 13 万年前に相当することが判明し、平均堆積速度は 2.5cm/ka であった。また、浮遊性有孔虫の酸素同位体比の変動パターンは、底生有孔虫の酸素同位体比変化とは一部異なり、特に、最終氷期最寒期 (LGM) と酸素同位体ステージ (MIS) 4 の亜氷期には、浮遊性有孔虫の酸素同位体比が有意に小さい値にシフトしていたことが明らかとなった。このことは、氷期の南大洋インド洋区の表層水がより低塩分化していた可能性を示唆している。LGM と MIS4 では、IRD が明瞭に増加する傾向を示すことから、DCR-1PC 地点は季節海水域となっており、現在の極前線の北側にまで冬季海水氷縁が北上し、表層の低塩分化を引き起こしていたことが示唆される。現在の冬季海水氷縁は南緯 60 度より南に位置するため、最終氷期には冬季海水氷縁が緯度にして 15 度程度北上していたと考えられる。

- (4) DCR-1PC および COR-1bPC の主要元素 (窒素・炭素・硫黄) とバイオマーカーを分析した結果、2 地点ともに氷期に有機炭素量と全硫黄量が増加すること、また、貧酸素環境を示唆するバイオマーカーであるスクアランの濃度も氷期に増加することが見いだされた。また、陸源高等植物由来の代表的バイオマーカーである長鎖アルカンのフラックスを復元し、最終氷期には南米起源のダスト供給量が増加していたことを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 13 件)

Akira Ijiri, Masako Yamane, Minoru Ikehara, Yusuke Yokoyama, Yusuke Okazaki, On-line oxygen isotope analysis of sub-milligram quantities of biogenic opal using the iHTR method coupled with continuous-flow IRMS, *Journal of Quaternary Science*, in press.
Oiwane, H., Ikehara, M., Suganuma, Y., Miura, H., Nakamura, Y., Sato, T., Nogi, Y., Yamane, M., Yokoyama, Y., Sediment waves on the Conrad Rise, Southern Indian Ocean: implications for the migration history of the Antarctic Circumpolar Current, *Marine Geology*, 348, 27-36, 2014. DOI: 10.1016/j.margeo.2013.10.008. 査読有
 Okuno, J., Nakada, M. Ishii, M. Miura, H., Vertical tectonic crustal movements along the Japanese coastlines inferred from late Quaternary and recent relative sea-level changes, *Quaternary Science Reviews*, 91,

42-61, 2014. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.03.010. 査読有
菅沼悠介, 野木義史, 池原実, ANDRILL Coulman High 計画-ロス棚氷上からの地質掘削で取り組む高 CO₂ 世界の南極氷床復元-, 月刊地球, 36 (2), 87-94, 2014. 査読無
岩井雅夫ほか, 2014. 新生代東南極氷床発達史: Exp.318 ウィルクスランド航海. 月刊地球 号外 No.64, p.111-118. 査読無
Okuno, J., Miura, H., Last deglacial relative sea level variations in Antarctica derived from glacial isostatic adjustment modelling, *Geoscience Frontiers*, 4, 623-632, 2013. DOI: 10.1016/j.gsf.2012.11.004. 査読有
Pant, N. C., Biswas, P., Shrivastava, P.K., Bhattacharya, S., Verma, K., Pandey, M., and IODP Expedition 318 Scientific Party, 2013. Provenance of Pleistocene sediments from Site U1359 of the Wilkes Land IODP Leg 318 - evidence for multiple sourcing from the East Antarctic Craton and Ross Orogen. The Geological Society of London 2013, Geological Society, London, Special Publications, 381, <http://dx.doi.org/10.1144/SP381.11>, 査読有
Cook, C., van de Flierdt, T., Williams, T., Hemming, S.R., Iwai, M., Kobayashi, M., Jimenez-Espejo, F.J., Escutia, C., Gonzalez, J.J., Khim, B.-K., McKay, R.M., Passchier, S., Bohaty, S.M., Riesselman, C.R., Tauxe, L., Sugisaki, S., Galindo, A.L., Patterson, M.O., Sangiorgi, F., Pierce, E.L., Brinkhuis, H., and IODP Expedition 318 Scientists, Dynamic Behaviour of the East Antarctic Ice Sheet during Pliocene Warmth. *Nature Geoscience*, 6, 765-769, 2013. doi:10.1038/ngeo1889, 査読有
菅沼悠介, 金丸龍夫, 大岩根尚, 齋田宏明, 赤田幸久, 東ドロンイングモードランド, セール・ロンダーネ山地地学調査隊報告2011-2012 (JARE-53), 南極資料, 56, 381-433, 2013. 査読無
土屋範芳, 石川正弘, Satish Kumar, 河上哲生, 小島秀康, 海田博司, 三浦英樹, 菅沼悠介, 阿部幹雄, 佐々木大輔, 千葉政範, 岡田 豊, 東ドロンイングモードランド, セール・ロンダーネ山地 地学調査隊報告2009-2010 (JARE-51), 南極資料, 56, 295-379, 2013. 査読無
Katsuki, K., Ikehara, M., Yokoyama, Y., Yamane, M., Khim, B.-K., Holocene migration of oceanic front systems over the Conrad Rise in the Indian Sector of the Southern Ocean, *Journal of Quaternary Science*, 27, 203-210, 2012. DOI: 10.1002/jqw.1535. 査読有
Yamazaki, T., and M. Ikehara, Origin of magnetic mineral concentration variation in the Southern Ocean, *Paleoceanography*, 27,

PA2206, doi:10.1029/2011PA002271, 2012. 査読有

池原 実, 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, 2012. 査読有

[学会発表](計48件)

池原 実, 南大洋におけるセディメントトラップ実験の提案:白鳳丸 KH-15-5 次航海(2015年度), MRC2014 (微古生物学リファレンスセンター研究集会 2014), 海洋研究開発機構横浜研究所, 2014年2月28日~3月2日.

小原晴香・池原 実・B.-K. Khim, 南大洋コンラッドライズにおける最終氷期以降の堆積環境の変化, 第13回日本地質学会四国支部総会・講演会, 愛媛大学, 2013年12月21日.

Yusuke Suganuma, Hideki Miura, Albert Zondervan, Jun'ichi Okuno, Deglaciation history of Dronning Maud Land (East Antarctica) constrained by glacial geomorphology and 10Be exposure dating: implication for Plio-Pleistocene climate evolution of the Antarctic cryosphere, 極域科学シンポジウム, 2013年11月12-15日.

Ikehara, M., Transect drilling across the Indian sector of the Antarctic Circumpolar Current (ACC), ECORD-ICDP MagellanPlus Workshop Series: Planning Workshop for 'Integrated Southern Ocean Latitudinal Transects (ISOLAT)' to Investigate Southern Ocean Palaeoclimate and Past Antarctic Circumpolar Current Variability, University of Cambridge, 23-26 September, 2013.

Suganuma, Y., Miura, H., Zondervan, A., Okuno, J., Deglaciation history of Dronning Maud Land, East Antarctica deduced by ¹⁰Be exposure dating and geomorphology of Sør Rondane Mountains coupled with GIA modeling. 2nd Workshop on Pliocene climate, Bristol, UK, September 8-10, 2013.
Minoru Ikehara, Kota Katsuki, Masako Yamane, Yusuke Yokoyama, Takuya Matsuzaki, Millennial-scale deposition events of ice-rafted debris (IRD) in the glacial South Indian Ocean, 11th International Conference on Paleoceanography, Sitges (Barcelona) Catalonia, Spain, 1-6 September, 2013.

池原 実・香月興太・山根雅子・横山祐典・松崎琢也, 南大洋における最終氷期の海水拡大・寒冷化イベント, 日本古生物学会 2013 年年会・総会, 熊本大学, 2013年6月28日~30日

池原 実, 野木 義史, 菅沼 悠介, 三浦 英樹, 大岩根 尚, 香月 興太, 板木 拓也, 中村 恭之, 河瀧 俊吾, 佐藤 暢, 南大洋掘削計画: 南極寒冷圏変動史プロジェクト (AnCEP) の概要と今後の展開, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2013 年 5 月 19 日-24 日. Ikehara, M., Southern Indian Ocean drilling proposal: Outline and future plan of Antarctic Cryosphere evolution project (AnCEP), The Scotia Arc: Geodynamic Evolution and Global Implications, A Symposium, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Granada, Spain, May 14-16, 2013.

Suganuma, Y., Ikehara, M., Kuhn, G., Iwai, M., Oiwane, H., Miura, H., Jokat, W., Nogi, Y., Evolution of the East Antarctic Ice Sheet and Southern Ocean at Dronning Maud Land, Antarctica. Chikyū+10, Tokyo, Japan, 2013 年 4 月 21-23 日.

Hisashi Oiwane, Minoru Ikehara, Yusuke Suganuma, Yasuyuki Nakamura, Yoshifumi Nogi, Hideki Miura, Taichi Sato, Migration of the Antarctic Circumpolar Current in the Late Neogene: reconstruction from sediment wave on the Conrad Rise, Indian Sector of the Southern Ocean, American Geophysical Union Fall Meeting 2012, San Francisco, CA, December 3-7, 2012.

Minoru Ikehara, Yoshifumi Nogi, Yusuke Suganuma, Robert Dunbar, Boo-Keun Khim, Tim Naish, Richard Levy, Xavier Crosta, Laura De Santis, Gerhard Kuhn, Thamban Meloth, Samuel Jaccard, Hideki Miura, Hisashi Oiwane, Kota Katsuki, Takuya Itaki, Yasuyuki Nakamura, Shungo Kawagata, Masao Iwai, and Hiroshi Sato, Antarctic Cryosphere Evolution Project (AnCEP): New IODP proposal for transect drilling in the Southern Ocean, Special session at the 3rd symposium on Polar Science, National Institute of Polar Science, November 26-27, 2012. (招待講演)

Kota Katsuki, Minoru Ikehara, Yusuke Yokoyama, Masako Yamane, Ocean front migration over the Conrad Rise in the Indian Sector of the Southern ocean since the last glacial maximum, Special session at the 3rd symposium on Polar Science, National Institute of Polar Science, November 26-27, 2012.

Hisashi Oiwane, Minoru Ikehara, Yusuke Suganuma, Hideki Miura, Yasuyuki Nakamura, Taichi Sato, Yoshifumi Nogi, Antarctic Circumpolar Current Fluctuation in the Late Neogene: constraint from sediment wave on the Conrad Rise, Indian Sector of the Southern Ocean, Special session at the 3rd symposium on Polar

Science, National Institute of Polar Science, November 26-27, 2012.

M. Ikehara, Y. Nogi, Y. Suganuma, R. Dunbar, B.K. Khim, T. Naish, R. Levy, X. Crosta, L. De Santis, H. Miura, H. Oiwane, K. Katsuki, T. Itaki, Y. Nakamura, S. Kawagata, M. Iwai, and H. Sato, New IODP proposal for transect drilling in the Indian sector of the Southern Ocean: Conrad Rise and Del Caño Rise, International Symposium on Paleooceanography in the Southern Ocean and NW Pacific: Perspective from Earth Drilling Sciences, Kochi University, November 19-21, 2012.

池原実, 野木義史, 菅沼悠介, 南大洋における新たな IODP 掘削研究への展望, PALEO 研究最前線-「地球環境史学会」発足シンポジウム-東京大学大気海洋研究所, 11/9-10/2012.

Minoru Ikehara, Hisashi Oiwane, Yasuyuki Nakamura, Yusuke Suganuma, Yoshifumi Nogi, and Hideki Miura, Middle Pleistocene evolution of the Antarctic Circumpolar Current and Weddell Gyre, 34th International Geological Congress, Brisbane, Australia, 5-10 August, 2012

Minoru Ikehara, Hisashi Oiwane, Yasuyuki Nakamura, Yusuke Suganuma, Yoshifumi Nogi, Hideki Miura, Middle Pleistocene evolution of the Antarctic Circumpolar Current, XXXII SCAR Open Science Conference 2012, Portland (Oregon, USA), 15-19 July 2012.

Minoru Ikehara, Yoshifumi Nogi, Yusuke Suganuma, Boo-Keun Khim, Tim Naish, Richard Levy, Xavier Crosta, Laura De Santis, Hideki Miura, Hisashi Oiwane, Kota Katsuki, Yusuke Yokoyama, Takuya Itaki, Yasuyuki Nakamura, Antarctic Cryosphere Evolution Project (AnCEP), Transect drilling in the Indian sector of the Southern Ocean <804-Pre>, ANTARCTIC AND SOUTHERN OCEAN FUTURE DRILLING WORKSHOP, Portland (Oregon, USA), 13-14 July 2012.

池原 実, 野木 義史, 菅沼 悠介, 三浦 英樹, 大岩根 尚, 香月 興太, 板木 拓也, 中村 恭之, 河瀧 俊吾, 岩井 雅夫, 佐藤 暢, 南大洋掘削計画の提案: 南極寒冷圏変動史プロジェクト (AnCEP), 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2012 年 5 月 21 日-25 日.

21 池原 実, 山根 雅子, 横山 祐典, 松崎琢也, 南大洋インド洋区における最終氷期以降の海水分布と極前線帯の変動, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2012 年 5 月 21 日-25 日.

22 池原 実, 大岩根 尚, 香月 興太, 中村 恭之, 野木 義史, 佐藤 太一, 菅沼 悠介, 三浦 英樹, 山根 雅子, 横山 祐典, 中期

更新世における南極周極流の北上～南大洋コンラッドライズのコア・SBP・サイスミックの統合解析～, 2011年度古海洋学シンポジウム, 東京大学大気海洋研究所, 2012年1月5-6日.

- 23 池原 実, 野木 義史, 菅沼 悠介, 三浦 英樹, 大岩根 尚, 中村 恭之, 香月 興太, 横山 祐典, Boo-Keun Khim, 河潟 俊吾, 板木 拓也, 佐藤 暢, 南大洋インド洋区におけるIODP掘削研究プロポーザル, 第11回日本地質学会四国支部総会・講演会, 徳島大学, 2011年12月23日
- 24 Ikehara, M., Katsuki, K., Yokoyama, Y., Yamane, M., Khim, B.-K., Holocene polar front migrations over the Conrad Rise in the Indian sector of the Southern Ocean, American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, CA, 5-9 December, 2011.

〔図書〕(計2件)

清川昌一, 伊藤孝, 池原実, 尾上哲治, 2014. 地球全史スーパー年表, 岩波書店.
三浦英樹, 「理科年表シリーズ 環境年表 平成25・26年 第3冊」(編者: 国立天文台), 丸善株式会社, pp. 11-55 「第2章 気候変動・地球温暖化」(分担執筆)2013年.

〔その他〕

ホームページ等

http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/Members_HP/ikehara/Lab_J/research/kiban2011/index.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

池原 実 (IKEHARA, Minoru)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 90335919

(2)研究分担者

三浦 英樹 (MIURA, Hideki)
国立極地研究所・教育研究系・助教
研究者番号: 10271496
菅沼 悠介 (SUGANUMA, Yusuke)
国立極地研究所・教育研究系・助教
研究者番号: 70431898
大岩根 尚 (OIWANE, Hisashi)
国立極地研究所・教育研究系・研究員
研究者番号: 80581363
野木 義史 (NOGI, Yoshifumi)
国立極地研究所・教育研究系・教授
研究者番号: 90280536
河潟 俊吾 (KAWAGATA, Shungo)
横浜国立大学・教育人間科学部・准教授
研究者番号: 90244219
岩井 雅夫 (IWAI, Masao)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授
研究者番号: 90274357
中村 恭之 (NAKAMURA, Yasuyuki)
海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス
領域・研究員
研究者番号: 60345056

(3)連携研究者

香月 興太 (KATSUKI, Kota)
韓国地質資源研究院・研究員
研究者番号: 20423270
横山 祐典 (YOKOYAMA, Yusuke)
東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号: 10359648
板木 拓也 (ITAKI, Takuya)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・
研究員
研究者番号: 30509724