

南極大陸棚域における淡水供給 -その空間分布と近年の変化-  
Sources of freshwater to the Antarctic continental shelf -distributions and multi-decadal changes-

青木 茂<sup>1\*</sup>  
AOKI, Shigeru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所

<sup>1</sup>ILTS, Hokkaido University

The Antarctic continental shelf is the gateway to the global ocean from the Antarctic Ice Sheet, the largest freshwater reservoir on Earth surface. Discharge of the freshwater occurs as the processes such as basal melting of ice shelves and calving of icebergs. On the other hand, sea ice formation and melting on the shelf redistribute the freshwater, affecting the overturning circulations of oceans. These two processes of freshwater transport are closely related to the surrounding oceanic and atmospheric conditions, and therefore estimating their contributions and clarifying their relationships with underlying environments are necessary to quantify the overall impacts to the ocean and its temporal change.

From observed salinity and stable oxygen isotope ratio of sea water with a few assumptions applied, meteoric and sea ice fractions in sea water are estimated on the shelf and their geographical distributions are studied. Meteoric ice fraction is largest in the surface layer of West Antarctica, but the water column inventory is largest in the Ross Sea and surprisingly uniform around Antarctica. The column inventory of meteoric ice retains the broadly consistent signature of ice shelf basal melting, which is proposed by the recent studies, but its oceanic stock is rather homogenized due to the effects such as oceanic advection and basin-scale circulation. Sea ice fraction contributes large production in the areas of strong katabatic wind and shows negligible production/net melting in the West and central East Antarctica. The vigorous vertical mixing due to high production also distributes the meteoric fraction to a wider depth range.

Observed salinity trend suggests a possibility of temporal change in these freshwater transports. The salinity trend at the bottom of the shelf for the recent four decades reveals the salinification in the West Antarctica and freshening in the Ross Sea. Repeated observations on the shelf region off the Adélie Land Coast indicate freshening for the recent two decades. These signatures might be consistent with the accelerating discharge of the west Antarctic ice sheet. The signatures are consistent with the structure of the recent salinity change of Antarctic Bottom Water, suggesting the on-going impact of the Antarctic shelf on the global scale.

## 第4の南極底層水：ケープダンレー底層水 The fourth Antarctic Bottom Water: Cape Darnley Bottom Water

大島 慶一郎<sup>1\*</sup>; 深町 康<sup>1</sup>; ウィリアムス ガイ<sup>2</sup>; 二橋 創平<sup>3</sup>; 田村 岳史<sup>4</sup>; 北出 裕二郎<sup>5</sup>; 平野 大輔<sup>5</sup>; 青木 茂<sup>1</sup>; 若土 正暁<sup>1</sup>

OHSHIMA, Kay I.<sup>1\*</sup>; FUKAMACHI, Yasushi<sup>1</sup>; WILLIAMS, Guy D.<sup>2</sup>; NIHASHI, Sohey<sup>3</sup>; TAMURA, Takeshi<sup>4</sup>; KITADE, Yujiro<sup>5</sup>; HIRANO, Daisuke<sup>5</sup>; AOKI, Shigeru<sup>1</sup>; WAKATSUCHI, Masaaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup>タスマニア大学, <sup>3</sup>苫小牧工業高等専門学校, <sup>4</sup>国立極地研究所, <sup>5</sup>東京海洋大学

<sup>1</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Antarctic Climate and Ecosystem Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia, <sup>3</sup>Tomakomai National College of Technology, <sup>4</sup>National Institute of Polar Research, <sup>5</sup>Tokyo University of Marine Science and Technology

世界の最も大きな海洋循環は、南極海と北大西洋の2ヶ所で重い水が沈み込み全海洋の深層に拡がりながら徐々に湧き上がることで作られる深層循環である。より冷たくて一番重いのは南極底層水で全世界の底層に拡がっており、南極底層水起源の水は、地球の全海水の30 - 40%をも占める (Johnson, 2008)。重い水の沈み込みが弱化したり、沈み込む場所が変わると、深層循環が変わり、地球上の気候が激変することになりうる。

南極底層水の生成域は、ロス海・ウェッデル海・アデリーランド沖が3大生成海域として知られている。ウェッデル・エンダービー海盆の東部にも第4の南極底層水の生成域があることが示唆されていたが、それがどこかはよくわかっていなかった。南極底層水は、沿岸ポリニヤでの高氷生産に伴うブライン排出で生成される重い水が起源になっている。人工衛星からの海水情報と熱収支計算により南極海で初めて示された氷生産量のマッピング (Tamura et al., 2008) から、南極昭和基地の東方1,200km、アメリカ棚氷の西に位置するケープダンレーポリニヤが南極海で第2位の氷生産海域であることが明らかになった。そこで、この海域が未知 (第4) の南極底層水生成域ではないかと予想し、日本のIPY観測のターゲット海域とした。そして、予想通り、ここが南極底層水の生成域であることを実測で明らかにし、この第4の底層水をケープダンレー底層水 (Cape Darnley Bottom Water: CDBW) と名づけた (Ohshima et al., 2013)。

観測では、ケープダンレー沖に4つの係留系を設置し、2008/2009年の1年間の水温・塩分・流速の連続データを取得した。係留系の設置はJAMSTECの白鳳丸で、回収は東京海洋大学の海鷹丸で行われた。この観測によって、重い水が陸棚より峡谷に沿って底層に集中する形で300 m程度の厚さを持って流出し、底層水となっていく様子を直接捉えることに成功した。今回の発見は、底層水生成には、今まで広い陸棚・窪地と棚氷が不可欠とされていたが、それらの条件がなくても氷生成が非常に強力であれば底層水は作られることを示唆するものである。東南極では、ケープダンレー沖ほどではないが、氷生産量が大きい海域が複数ある。本研究は、これらの海域でも多量ではなくとも底層水ができて可能性を示すものであり、実際に海鷹丸での係留観測から、南極第6位の氷生産域であるビンセネス湾ポリニヤ沖でも底層水生成のシグナルが観測されている。

係留観測による底層水のフラックスの見積りと、氷生産量による塩分収支からの見積りから、全南極海で沈み込む底層水のうちの6 - 13%程度がこの海域から潜り込んでいると推定した (潜り込む流量は0.3 - 0.7 Sv)。さらに、ケープダンレー底層水は、徐々に周極深層水と混合しながら西方へ移流され、ウェッデル海 (大西洋セクション) の深層水の13 - 30%を占めると推定した (流量は0.65-1.5 Sv)。今までの底層水循環像を一部描き換えることを提案するものである。大西洋セクションでの底層水は、1980年代より昇温し生成量が減少していることが示唆され (Purkey and Johnson, 2012)、子午面循環の弱化の可能性が指摘されている。加えて、ケープダンレーポリニヤ周辺での海底コアの解析から、ここでの底層水の生成量が2000年スケールで変動していることも示唆されている。以上から、全球的な海洋子午面循環やその変動を考える際にも、今後はケープダンレー底層水を考慮に入れる必要がある。

キーワード: 南極底層水, 沿岸ポリニヤ, 氷生産, 高密度陸棚水, 係留系, ケープダンレー

Keywords: Antarctic Bottom Water, coastal polynya, sea-ice production, dense shelf water, mooring, Cape Darnley

## 気候変動の鍵を握る南極の海 Southern Ocean: the key factor of climate change

田村 岳史<sup>1\*</sup>; 嶋田 啓資<sup>2</sup>; 松村 義正<sup>3</sup>; 草原 和弥<sup>3</sup>; 佐藤 健<sup>3</sup>; 野村 大樹<sup>3</sup>  
TAMURA, Takeshi<sup>1\*</sup>; SHIMADA, Keishi<sup>2</sup>; MATSUMURA, Yoshimasa<sup>3</sup>; KUSAHARA, Kazuya<sup>3</sup>; SATO, Tatsuru<sup>3</sup>; NO-MURA, Daiki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東京海洋大学, <sup>3</sup> 低温科学研究所

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Tokyo University of Marine Science and Technology, <sup>3</sup>Institute of Low Temperature Science

海は熱・塩・酸素・CO<sub>2</sub>・栄養塩等を膨大に溜め込み、海洋大循環によってこれらを地球全体に輸送する。海水が存在する極域の海は“気候のカナリア”であり、温暖化等の気候変動に対して敏感に応答する。南極海で形成される南極底層水はこの二項目に対して主役を演じているが、その全体像を現場観測のみから捉えるのは今なお困難である。我々は、衛星観測による海水生産量のモニタリング、現場観測による水温塩分場の高精度マッピング、高解像度数値モデルによる数値実験という異なる三つの手法から多角的に取り組み、南極底層水の生成量・沈み込み過程・底層での拡がりを数値モデルから定量的に評価する事を目標としている。本研究は、地球規模での気候システムの解明における最後にして最難関の空白域に対してチャレンジするものであり、気候変動予測に貢献をするものである。

我々のここ数年の研究によって、(1) 衛星データの蓄積とその解析技術の開発・発展により、南極底層水の形成と直接リンクする海水生成量の広範囲長期連続モニタリングが可能になった事 (Tamura et al., 2008)、(2) 数値モデルの高解像度化・高度化により、南極沿岸域の様々な物理過程を経験的なパラメータ化に頼る事なく陽に解像するシミュレーションを行い、その結果を現場観測と直接比較する事が可能となった事 (Matsumura and Hasumi, 2011)、の二つの大きな進歩があった。これらの我々の経験を踏まえ、三つの独立した研究手法、(a) 衛星データ解析による海水生産量モニタリング、(b) 現場観測データに基づく水温塩分場等の高精度マッピング、(c) 高解像度海洋モデルによる数値実験を組み合わせる事で、南極底層水の実態を定量的に把握する事が初めて可能となる。

本研究では、我々がこれまで開発・運用してきたデータ・解析手法・数値モデルを結集し、新たに南極での海洋観測に参加して必要なデータを取得し、海洋大循環の南側駆動力である南極底層水形成をもたらす一連のプロセスを詳細に調査する事により、その全貌を定量的に明らかにする事を試みている。具体的には、「南極底層水の生成量・沈み込み過程・底層での拡がりを評価する事」である。「底層水の起源となる高密度水がどこでどれだけ作られているのか?」「その高密度水はどのくらい周囲の水と混合しながら大陸斜面上を沈降していくのか?」「最終的に南極底層水が海底のどこにどの程度存在し、拡がっていくのか?」を、最新の現場・衛星観測データ及び数値モデルを駆使して、定量的に明らかにする事を目標としている。

本講演では、我々が現在進めている、(I) 人工衛星による海水生産量のマッピング、(II) 海洋観測データの高度化、(III) 棚氷-海水-海洋結合モデリング、(IV) 微小スケールモデリングについて、それぞれ現時点で得られている結果を紹介する。

キーワード: 南大洋, 南極底層水, 海水生産量, 現場海洋観測データセット, 棚氷-海水-海洋相互作用, 微小スケールモデリング

Keywords: Southern Ocean, Antarctic Bottom Water, Sea Ice Production, In-situ Ocean Observation Data Set, Ice shelf - Sea ice - Ocean Interaction, Micro-scale Modeling

## 南極底層水形成機構の高解像度モデリング High resolution Modeling on the Antarctic Bottom Water Formation

松村 義正<sup>1\*</sup>; 大島 慶一郎<sup>1</sup>; 羽角 博康<sup>2</sup>  
MATSUMURA, Yoshimasa<sup>1\*</sup>; OHSHIMA, Kay I.<sup>1</sup>; HASUMI, Hiroyasu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学 低温科学研究所, <sup>2</sup> 東京大学 大気海洋研究所

<sup>1</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

南極沿岸域で形成される南極底層水は海洋の成層構造の最下層に位置し、その生成量や水塊特性は全球規模の海洋深層循環や密度構造の維持に極めて重要な役割を担っている。しかし時空間的に密な直接観測が困難なことから南極底層水形成の実態は未だ明らかでなく、その詳細な理解は現代の海洋学・気候学の最重要課題の一つと言って良い。底層水形成においては数 10m 規模のシア不安定による水塊混合・数 km 規模の海底地形起伏・数 10km 規模のポリニヤ形成とそこでの熱・塩分フラックス、数 100km スケールの風成循環場など、様々な時空間スケールのプロセスが本質的に重要な役割を担っており、かつそれは相互に影響を及ぼしあっている。それらを単一の数値モデルで同時に扱うことは計算負荷の観点から困難であるため、底層水形成を扱った既存の数値モデリング研究は極めて理想化した設定で各プロセスの影響をそれぞれ別個に評価するものに留まっていた。

特に高密度水が沈み込む過程で周囲に存在する相対的に軽い水と混合することによる水塊変質プロセスは静水圧近似に基づく数値モデルでは表現できないため、非静力学モデルが必要となる。海洋非静力学モデルは時間刻み毎に全計算領域を対象とする 3 次元 Poisson 方程式を解く必要があるが、従来用いられていた共役勾配法による解法では計算コストが格子数に対して非線形的に増大するため、現実海洋を対象とした大規模シミュレーションは困難であった。我々は多重格子法を海洋モデルに最適化して用いることでこの問題を克服し、極めて計算効率の高い非静力学海洋モデルを開発した。これにより現実的な設定での大規模数値実験を行い、シミュレーション結果と現場観測データを直接定量的な意味で比較することが可能となりつつある。またこの非静力学海洋数値モデルにオンラインの粒子追跡法を組み込むことにより、底層水が沈み込む過程で海底のセジメントを輸送するプロセスや、海水が結氷する際に生じる微小な結晶粒子(フラジリアイス)の振舞いを陽にシミュレートする事を可能とする事も可能となった。

本講演では我々が開発している数値モデルの概要を紹介すると共に、それを用いて行っている南極底層水形成過程に関するシミュレーションの結果を、特に数 km スケールの海嶺・峡谷が底層水形成の経路に与える影響、及び斜面を降る底層水が引き起こす KH 不安定に伴う乱流混合過程に関して議論する。

キーワード: 南極底層水, 非静力学モデル

Keywords: Antarctic Bottom Water, non-hydrostatic model



## 南極棚氷底面融解の数値モデリング Modeling basal melting of Antarctic ice shelves

草原 和弥<sup>1\*</sup>; 羽角 博康<sup>2</sup>

KUSAHARA, Kazuya<sup>1\*</sup>; HASUMI, Hiroyasu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

海水-海洋結合モデルに棚氷コンポーネントを導入し、その数値モデルを使って、南極棚氷の底面融解について調べた。このモデルでは、現在気候下での南極棚氷底面融解量は 770-944 Gt/yr と見積もられる。南極各棚氷において、数値モデルと様々な棚氷底面融解観測結果を詳細な比較を実施した。南極棚氷の底面融解を引き起こす熱源は棚氷ごとに大きく異なることがわかった。このモデルを用いて、将来南大洋上で起こる予測されている気温上昇と西風の強化に対する感度実験を行なった。このモデルでは、南極棚氷底面融解量は気温上昇に鋭敏に応答するが、西風強化にはほとんど応答しない。気温上昇に対する底面融解量の変化は棚氷ごとに大きく異なる。気温上昇に最も鋭敏に応答したのはベリングスハウゼン海に存在する棚氷群で、次に東ウェッデル海、インド洋セクターに位置する棚氷群であった。これらの棚氷での融解量の増加は、中層水または表層水の棚氷下への流入パターンの変化に伴う熱量増加によって引き起こされる。対照的に、ロス海やウェッデル海の棚氷群では、気温上昇に対して極めて鈍感である。これらの棚氷ではたとえ気温が上昇しても、棚氷前面での海水生産がある程度あり、棚氷下に流入する水温が表層結氷水温付近に維持されるためであることがわかった。南極全体では、気温上昇に対して、棚氷底面融解量が増加する。この棚氷底面からの南大洋への淡水供給の増加は南極底層に形成される子午面循環を弱体化させる効果をもつ。

キーワード: 南極棚氷, 棚氷-海水-海洋結合モデル, 気候変動

Keywords: Antarctic ice shelves, Ice shelf-sea ice-ocean coupled model, Climate change

## 氷床の融解によって起こりうる南極沿岸ポリニヤの急激な変化 A possible scenario of a drastic change in Antarctic coastal polynyas associated with ice sheet loss

二橋 創平<sup>1\*</sup>; 大島 慶一郎<sup>2</sup>; Fraser Alexander D.<sup>2</sup>  
NIHASHI, Sohey<sup>1\*</sup>; OHSHIMA, Kay I.<sup>2</sup>; FRASER, Alexander D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 苫小牧工業高等専門学校 機械工学科, <sup>2</sup> 北海道大学 低温科学研究所

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Tomakomai National College of Technolog, <sup>2</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Coastal polynyas, which are newly-forming sea-ice areas surrounded by pack ice, are formed by divergent ice motion driven by winds and/or ocean currents. Antarctic coastal polynyas are very high sea-ice production areas, because the heat insulation effect of sea ice is reduced significantly in the case of thin ice and accordingly huge heat loss to the atmosphere occurs. The resultant large amount of brine rejection leads to dense water formation. The dense water is a major source of Antarctic Bottom Water (AABW), which is a key player in the global climate system as a significant sink for heat and possibly carbon dioxide. Coastal polynyas are also sites of biological "hot spots", because of much-enhanced primary productivity.

Very recent studies have suggested that landfast sea ice, which is stationary sea ice attached to coastal features such as grounded icebergs and glacier tongues play an important role in the formation of some coastal polynyas by blocking ice advection to cause divergence. Key examples are the Cape Darnley Polynya and Mertz Polynya, both of which are major source areas of AABW.

In this study, we present the first combined circumpolar mapping of Antarctic coastal polynyas and fast ice, based on satellite observation to examine and quantify the linkage between coastal polynyas and fast ice. The map reveals that most coastal polynyas are formed on the western side of fast ice, suggesting that fast ice is an essential element for the formation of most coastal polynyas. Furthermore, we demonstrate that a drastic change in fast ice extent, which is particularly vulnerable to climate change, causes dramatic changes in associated polynyas and possibly AABW formation that can potentially contribute to further climate change.

The map presented in this study reveals that many of the coastal polynyas are formed along the East Antarctic coast where fast ice dominates. In the West Antarctic sector, it was suggested that intrusion of relatively warm Circumpolar Deep Water (CDW) onto the continental shelf causes the basal melting of ice shelves, possibly leading to acceleration of iceberg calving. Future climate change might precipitate a similar situation also in the East Antarctic sector where the location of CDW is relatively close to the continent. This possibly causes drastic changes of fast ice extent directly by melting, or indirectly by acceleration of iceberg calving. The drastic change in fast ice extent is expected to cause a dramatic change in the polynya area and sea-ice production. Further, a huge tabular iceberg can directly affect the polynya area by covering over as shown in the Ross Sea Polynyas area in 2000 and 2002; giant icebergs B-15 and C-19, calved from the Ross Ice Shelf, causing a significant reduction of the polynya area and sea-ice production. The results of this study suggest that fast ice and precise polynya processes should be addressed by next-generation models to reproduce the formation and variability of sea-ice production, dense water, and AABW properly. The mapping presented in this study would give the boundary/validation data of fast ice and sea-ice production for such models.

キーワード: 沿岸ポリニヤ, 定着氷, 南極底層水, 冰山, 氷床

Keywords: Coastal polynya, Landfast sea ice, Antarctic Bottom Water, Iceberg, Ice sheet

## 偏西風 VS 成層・南大洋の環境変動と炭素貯蔵 Wind-buoyancy dichotomy of the Southern Ocean carbon storage

伊藤 貴充<sup>1\*</sup>; 高野 陽平<sup>1</sup>; Deutsch Curtis<sup>2</sup>  
ITO, Takamitsu<sup>1\*</sup>; TAKANO, Yohei<sup>1</sup>; DEUTSCH, Curtis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ジョージア工科大学地球大気科学科, <sup>2</sup> ワシントン大学海洋学科

<sup>1</sup>School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, <sup>2</sup>School of Oceanography, University of Washington

We use a hierarchy of ocean climate-carbon models to investigate the future scenarios of the Southern Ocean carbon storage. Intensified and poleward-shifted westerly wind is hypothesized to enhance the upwelling of deep water and thermocline ventilation, which may be counteracted by the warming and freshening of the surface waters. We analyze the solubility and biological carbon pumps in the Southern Ocean as simulated by the Climate Model Inter-comparison Project phase 5 (CMIP-5) models. Model-model differences in the regional carbon storage are significant, O(100PgC), reflecting the organized changes in the two carbon pumps. To investigate the underlying mechanisms, we perform a suite of numerical sensitivity experiments using an ocean biogeochemistry model, where we purposefully impose (1) a global warming of sea surface temperature, (2) an intensification of freshwater forcing and (3) an increase in the Southern Ocean wind. Comparing the simulated patterns of carbon and oxygen changes, we find that the future increase in the biological carbon storage is likely due to the warming and freshening of the surface water dominating over the increasing wind.

## ケイ藻ケイ酸殻の微量元素と南太洋のセディメントトラップ観測 Incorporation of trace elements by diatom frustules: Significance of sediment-trap observation in the Southern Ocean

赤木 右<sup>1\*</sup>  
AKAGI, Tasuku<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

近年、演者はセディメントトラップ試料の希土類元素の研究を通して、ケイ藻ケイ酸殻には、ケイ酸イオンの他に、①ケイ酸-金属錯体、②アルミノケイ酸塩をも吸収されることを明らかにした。そして、ケイ藻が希土類元素の海洋物質循環、アルミノケイ酸塩の可溶化に影響を与えている可能性を指摘した (Akagi, 2013; Akagi et al., in press)。そして、これらはネオジムの同位体比の観測結果と整合的であり (Akagi et al., in press)、ほぼ証明されたと考えている。世界の研究者に新たな知識として受け入れられるためには、ベーリング海は特殊海域と見なされる傾向があり、南太洋での研究が必要である。

①のケイ藻ケイ酸殻が希土類元素を吸収するというアイデアは、希土類元素のケイ酸錯体をケイ藻が摂取する理論が海洋表面の希土類元素濃度を良く説明することから生まれた (Akagi, 2013)。この理論は、ベーリング海の調査では、②のケイ藻が同時に吸収するアルミノケイ酸塩粒子によって軽希土類元素のデータが乱され、その影響の少ない重希土類元素に適用が限られてきた。この理論は南太洋のように陸起源物質の混入が少ない理想的な海域で最もきれいに証明されるだろうと期待している。理論の完成には、南太洋のセディメントトラップ調査が求められる。

希土類元素の中のネオジムの同位体比は氷期-間氷期の変動と連動していることを考えると、ケイ藻は何らかの方法で海洋ネオジムの同位体比に影響を与えている可能性がある。この“何らかの方法”を明らかにすることは、ネオジムの同位体比変動を正しく捉えることに直結し、氷期-間氷期変動研究において最も中心的な意義と考えている。

ところで、海洋の微量元素化学においてケイ藻は全く考慮されていない。海洋において、2価の金属元素の一部と3価の金属元素のほぼ全てはケイ酸錯体で存在することが予想され、ケイ藻ケイ酸殻に効率的に吸収される可能性が高いと考えられる。南太洋においてケイ藻の役割を正しく理解し、他の元素の循環への影響を考察することも、研究の大きな意義である。

Akagi, T., Fu F.-F., Hongo, Y. & Takahashi, K. (2011) Composition of Rare Earth Elements in Settling Particles Collected in the Highly Productive North Pacific Ocean and Bering Sea: Implications for Siliceous-Matter Dissolution Kinetics and Formation of Two REE-Enriched Phases. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 75, 4857-4876.

Akagi, T. Rare earth element (REE)-silicic acid complexes in seawater to explain the incorporation of REEs in opal and the “leftover” REEs in surface water. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 113, 174-192 (2013).

Akagi T., Yasuda S., Asahara Y., Tanimizu M, Emoto M. & Takahashi K. Diatoms spread a high  $\epsilon$  Nd-signature in the Oceans. *Geochem. Jour.* in press.

キーワード: ケイ藻ケイ酸殻, 微量元素, セディメントトラップ, 南太洋  
Keywords: diatom frustules, trace elements, sediment trap, Southern Ocean



## 最終氷期の南大洋における千年スケールの海氷拡大イベント Millennial-scale sea ice expansion in the glacial Southern Ocean

池原 実<sup>1\*</sup>; 香月 興太<sup>2</sup>; 山根 雅子<sup>3</sup>; 横山 祐典<sup>4</sup>

IKEHARA, Minoru<sup>1\*</sup>; KATSUKI, Kota<sup>2</sup>; YAMANE, Masako<sup>3</sup>; YOKOYAMA, Yusuke<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター, <sup>2</sup> 韓国地質資源研究院, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, <sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM),

<sup>3</sup>JAMSTEC, <sup>4</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

The Southern Ocean has played an important role in the evolution of the global climate system. Area of sea ice shows a large seasonal variation in the Southern Ocean. Sea ice coverage on sea surface strongly affects the climate of the Southern Hemisphere through its impacts on the energy and gas budget, on the atmospheric circulation, on the hydrological cycle, and on the biological productivity. In this study, we have conducted fundamental analyses of ice-rafted debris (IRD) and diatom assemblage to reveal a rapid change of sea ice distribution in the glacial Southern Ocean. A piston core COR-1bPC was collected from the Conrad Rise, Indian sector of the Southern Ocean. Core site is located in the Polar Frontal Zone. Sediments are composed of diatom ooze. Age model of COR-1bPC was established by <sup>14</sup>C dating and oxygen isotope stratigraphy of planktic foraminifera. Records of IRD concentration suggest millennial-scale pulses of IRD delivery during the last glacial period. The depositions of rock-fragment IRD excluding volcanic glass and pumice were associated with increasing of sea-ice diatoms, suggesting that the millennial-scale events of cooling and sea-ice expansion were occurred in the glacial South Indian Ocean. Similar episodic IRD depositions were identified in the South Atlantic during the last glacial period (Kanfoush et al., 2000). However, Nielsen et al. (2007) proposed that the tephra-rich grains in the South Atlantic IRD events (SA-IRD events) were mainly derived from South Sandwich Island volcanic arc, and concluded that sea-ice was the dominant ice rafting transport of such IRD grains. Preliminary provenance study of IRD grains suggest that the source of IRD in the South Indian Ocean was also volcanic arc in the South Atlantic, based on chemical compositions of rock-fragment IRD grains. Thus prominent IRD layers in the glacial South Indian Ocean correlate the SA-IRD event, suggesting episodes of sea ice expansion and cooling in the Atlantic and Indian sectors of the Southern Ocean.

キーワード: 南大洋, 海氷, 千年スケール変動, ダスト

Keywords: Southern Ocean, sea ice, millennial-scale, dust

南極地質掘削「ANDRILL Coulman High Project」の紹介と日本の貢献  
The ANDRILL Coulman High Project: Japanese contribution to the next phase of the Antarctic Geological Drilling

菅沼 悠介<sup>1\*</sup>; 池原 実<sup>2</sup>; 須藤 斎<sup>3</sup>; 野木 義史<sup>1</sup>  
SUGANUMA, Yusuke<sup>1\*</sup>; IKEHARA, Minoru<sup>2</sup>; SUTO, Itsuki<sup>3</sup>; NOGI, Yoshifumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 高知大学海洋コア研究センター, <sup>3</sup> 名古屋大学  
<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Kochi Core Center, <sup>3</sup>Nagoya University

The Coulman High Project (CHP) proposes to recover two, high-quality, continuous drill-cores by drilling into Paleogene to lowest Miocene strata beneath the Ross Ice Shelf on the Coulman High in the Ross Embayment, Antarctica. The overarching objective is to establish a history of Cenozoic climate, tectonic and glacial changes in an ice-proximal setting to determine the sensitivity of Antarctica's ice sheets to a range of climatic and tectonic forcings. The sedimentary archives to be recovered in these two ~800-m drill holes will offer a window into the range of environments, ecosystems and tectonic events in the Ross Sea region as it stepped from the warm, high-CO<sub>2</sub> Greenhouse world of the Eocene into the lower-CO<sub>2</sub> and highly variable Icehouse climate of the Oligocene and early Miocene. Antarctica was the keystone in this global climate transition and hosted the growth of ice sheets that started major cryosphere influence on global systems. The sensitivity of the climate system to elevated levels of greenhouse gases, the strength of polar amplification, and the behavior of the AIS in a world warmer than today remain fundamental questions to be addressed by CHP's integrated data-climate modeling studies. These seek to reduce the large uncertainties in predictions of future ice-sheet dynamics and sea level, in part by testing models with ancient scenarios under conditions warmer than today. To improve predictions of long-term future climate and sea level, it is imperative to obtain geological records of past polar climates and ice sheets from time intervals when atmospheric CO<sub>2</sub> was two to four times higher than present levels. Modern observations and instrumental records provide details regarding current and short-term change, but high-fidelity climate records that span previous periods characterized by higher-than-present CO<sub>2</sub> are only available from the Earth's geological records.

The Japanese ANDRILL consortium has decided to join the CHP. In this talk, we will introduce the scientific backgrounds, logistics, and schedule of this drilling project.