

南大洋・南極氷床変動の解明に向けた分野融合研究 Integrated multidisciplinary study on change in the Southern Ocean and the Antarctic ice sheet

野木 義史^{1*}; 大島 慶一郎²; 池原 実³; 茂木 正人⁴; 川村 賢二¹; 福田 洋一⁵; 阿部 彩子⁶;
田村 岳史¹; 菅沼 悠介¹
NOGI, Yoshifumi^{1*}; OHSHIMA, Kay I.²; IKEHARA, Minoru³; MOTEKI, Masato⁴; KAWAMURA, Kenji¹;
FUKUDA, Yoichi⁵; ABE-OUCHI, Ayako⁶; TAMURA, Takeshi¹; SUGANUMA, Yusuke¹

¹ 国立極地研究所, ² 北海道大学低温科学研究所, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター, ⁴ 東京海洋大学, ⁵ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ⁶ 東京大学大気海洋研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ³Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ⁴Tokyo University of Marine Science and Technology, ⁵Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, ⁶Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

地球上の氷の約90%を有す南極氷床は、海水準で約70mに相当する最大の淡水リザーバである。一方、南大洋は、南極底層水という最も重い水が生成され、これは全海水の30-40%を占める巨大な負の熱のリザーバであるとともに、CO₂の最大のリザーバでもある。このように、南極氷床と南大洋は、熱・水・CO₂の巨大リザーバであり、全球気候や海水準を決める最重要コンポーネンツである。南極氷床と南大洋での変化は、全球環境変動の前兆かつ駆動力である可能性が高く、これらの変化を読み解くことは、地球システムの将来予測に不可欠である。それにも関わらず、南極氷床と南大洋は、その観測の困難さから最もよく分かっていないコンポーネンツでもある。特に、東南極に関しての研究はほとんどなく、氷床、海洋とも理解が最も遅れている。

南極氷床においては、氷床-海洋境界部での棚氷下部の状態が鍵となり、大気-氷床-固体地球と海洋の相互作用の理解が極めて重要である。また、南大洋の物理・生物・化学過程は、全球気候に影響を与えてきた炭素循環の変動を解明する上で重要である事は明らかである。さらに、海洋循環や海水変動にともなう、莫大な生物生産量をもつ南大洋生態系へのインパクトの解明も不可欠である。したがって、南大洋及び南極氷床が種々の相互作用を通じて駆動する全球環境変動に関して、その素過程の実態を明らかにし相互作用のメカニズムを理解する必要があり、そのためには、過去から現在にいたる様々な分野にまたがる観測データの統合とモデルとの分野融合研究が必須となる。さらに、これらの相互作用を解明する鍵となる未探査領域である、海水下および海水縁域において、現場観測データを取得する必要があり、そのための測器開発も重要な要素となる。本講演では、熱・水・CO₂の巨大リザーバとして、全球気候・生態系変動を駆動する南極氷床と南大洋という視点から、南大洋・南極氷床変動の総合的解明に向けた分野融合研究の取り組みとその枠組みを紹介し、今後の方向性や展望を議論する。

キーワード: 南大洋, 南極氷床, 海洋循環, 生態系, 炭素循環

Keywords: Southern Ocean, Antarctic ice sheet, ocean circulation, ecological system, carbon cycle

過去 300 万年間における東南極氷床高度変動の復元と温暖地球の氷床ダイナミズム
の理解に向けて：南極地域観測第IX期計画
Reconstruction of the East Antarctic ice sheet variability during the last 3 Ma and glacial
dynamism in the warm world

菅沼 悠介^{1*}; 奥野 淳一¹
SUGANUMA, Yusuke^{1*}; OKUNO, Jun'ichi¹

¹ 国立極地研究所
¹National Institute of Polar Research

Reconstructing past variability of the Antarctic ice sheets is essential to understand their stability and to anticipate their contribution to sea level change as a result of future climate change in a high-CO₂ world. Recent studies have reported a significant decrease in thickness of the East Antarctic Ice Sheet (EAIS) during the last several million years. However, the geographical extent of this decrease and subsequent isostatic rebound remain uncertain and a topic of debate. Recently, we reconstructed magnitude and timing of ice sheet retreat at the central part of the Sor Rondane Mountains in Dronning Maud Land, East Antarctica, based on detailed geomorphological survey, cosmogenic exposure dating, and glacial isostatic adjustment modeling (GIA). Three distinct deglaciation phases are identified in this area during the Quaternary and the ice sheet thinning is estimated to be at least 500 m during the Pleistocene. Although this is the first attempt to estimate the absolute thickness of the EAIS thinning during the Quaternary with GIA modeling, local effects, such as regional ice flow and damming, to the ice sheet thickness reconstruction remain unclear. Here, we propose that a new expedition plan for the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) phase IX program (2015 - 2020 austral summer seasons) for providing a better constraint for the EAIS thickness reconstruction during the last 3 Ma. In this plan, we are going to carry out expeditions in the Belgica and Yamato Mountains. This will contribute further understanding of the glacial dynamism of the EAIS in the warm world and interaction with the reorganization of the Southern Ocean circulation through the moisture transport from the Southern Ocean to the interior.

南大洋上における海上風経年変動 — DPOI・KDOI との相関特性— Interannual Variation of Surface Wind over the Southern Ocean -Correlation Feature with DPOI and KDOI-

八木 雅文^{1*}; 饒田 邦夫¹; 永延 幹男²; 小林 大地¹

YAGI, Masafumi^{1*}; KUTSUWADA, Kunio¹; NAGANOBU, Mikio²; KOBAYASHI, Daichi¹

¹ 東海大学大学院海洋学研究科, ² 国際水産資源所

¹School of Marine Science Technology, Tokai University, ²NRIFS/Fisheries Research Agency

1. はじめに

南半球における地球表面の大半は海洋で覆われ偏西風ジェットの影響によって高緯度域は全海洋でも最も風の強い海域として知られている。南大洋上における代表的な大気・海洋現象として南半球環状モード (Southern Annular Mode; SAM)、南極振動 (Antarctic Oscillation Index; AAO)、南極周極波 (Antarctic circumpolar wave; ACW) が存在し (Rogers and vanLoon, 1982; Thompson and Wallace, 2000; White and Peterson, 1996)、偏西風の強弱に関係するとともに、近年南大洋上での偏西風の強風化に伴い南極海の環境変化に重要な影響を与えることが指摘されている (Aoki, 2002; Gong and Wang, 1999; Marshall, 2003; Naganobu et al., 2014; IPCC, 2001, 2007, 2013)。特に、南極海を生息地とするナンキョクオキアミの資源量は豊富であり、その生態変動は周辺海況や気象変動に支配されることが考えられる。先行研究において、ドレーク海峡上における地域スケールの偏西風変動指数として導入された DPOI (Drake Passage Oscillation Index) がドレーク海峡周辺における生物資源量や上層海洋の年々変動に関係していることが指摘されている (Naganobu et al., 1999; 近藤, 2008)。また、ドレーク海峡に卓越する海上風変動がインド洋南方域を含めた広域での海上変動と同時相関が見られ、DPOI がこれらのよい指数になることが示唆された (依田, 2011)。本研究では、DPOI が南大洋の如何なる海域における海上風変動を反映しているのかに注目するとともに、DPOI と同時相関が認められたインド洋南方に位置するブリッツ湾上に DPOI と同定義の新しい指数 KDOI (Kerguelen Davis Oscillation Index) を考案し、海上風データを用いて DPOI および KDOI の時系列に対する相関特性をベースとした解析を行った。

2. 使用データ

南半球での海上気象観測は、過去に遡るほどデータ数が減少するため、長期間の解析が可能な数値モデル再解析データの信頼性は保証されているとは言い難い。そこで、本研究室で継続作成している衛星観測による海上風データを含め再解析データとの相互比較を兼ねて解析を行った。

3. 結果

まず DPOI、KDOI の時間変動特性をみるためにスペクトルを求めた結果、約 6 ヶ月および 12 ヶ月に有意なピークが認められるほか、DPOI は 32 ヶ月、KDOI は 24 ヶ月にも顕著なピークが見られる (図 1)。また DPOI は 100 ヶ月以上の周期帯におけるエネルギーレベルも高く、十年以上の長周期変動の存在も示唆される。

次に、DPOI、KDOI の変動と南大洋全域における海上風変動 (NCEP/NCAR1 再解析データ) との関係調べるために、風の東西成分との空間相関場を作成した。その結果、DPOI、KDOI および海上風変動との相関は 12 ヶ月移動平均値 (経年変動) に対して特徴的な空間特性がみられ、DPOI はドレーク海峡およびオーストラリア南方 (図 2)、KDOI はブリッツ湾、ウェッデル海およびロス海北方 (図 3) において高相関域が見られた。また、36 ヶ月移動平均値における海上風変動との相関分布図は、ロス海からドレーク海峡西部において DPOI では負の相関、KDOI では正の相関を示し、ロス棚氷、ロンネ棚氷において DPOI では正の相関、KDOI では負の相関を示すという違いが見られた (図 4、図 5)。また 12 ヶ月平均値、36 ヶ月平均値の DPOI、KDOI 共にドレーク海峡西部で無相関が見られた。これらのことから南大洋上における海上風変動に関しては、DPOI および KDOI に関連する変動の空間特性は時間スケールによって異なることが示唆され、今後これらを明らかにする必要がある。

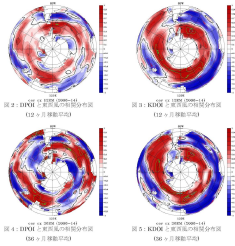
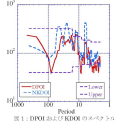
キーワード: 偏西風, DPOI, KDOI, AAOI

Keywords: Circumpolar westerlies, DPOI, KDOI, AAOI

MIS21-03

会場:301A

時間:5月27日 11:30-11:45



南大洋の数年から十年規模の変動 Variability of the Southern Ocean in annual to decadal time scales

勝又 勝郎^{1*}
KATSUMATA, Katsuro^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

近代的海洋物理観測データが整備されてきた1980年代以降に観測された南大洋の物理的变化を概観する。

南大洋は大気・固体地球・海氷・氷床に囲まれている。大気から与えられる東向きの運動量フラックスは有意な強化および南下トレンドを示す。熱・淡水フラックスに関してはよく分かっていない。氷床融解に伴う淡水フラックスは有意に増加しているが海域差が大きい。

南大洋をめぐる南極環海流には風の強化にもかかわらず有意な流量トレンドは観測されていない。人工衛星搭載の海面高度計から推定した表層地衡流によれば、風の強化は環海流ではなく傾圧不安定にともなうメソスケール渦の強化に繋がっていると考えられる。この渦強化は空間的に海底地形にトラップされており風の変化に対する「定在渦」の重要性に注目が集まっている。

一方、子午面循環は深層水の湧昇と表層水の北上に伴う上部セルは強化している傾向が、深層水の湧昇と底層水の沈み込みに伴う下部セルは弱体化している傾向が数値シミュレーションで再現されている。観測は不確定性が大きいがこの結果を否定するものではない。

海水の性質の変動は、第一に南極底層水の減少がはっきりと観測される。これは底層の温暖化・淡水化の影響と考えられる。またインド洋太平洋セクタでは底層水に溶存酸素の減少（等密度面では増加）が見られる。これは約10年前にロス海で生じた海氷移動 calving の影響とも解釈できる。

便宜上いくつかの点に分けて紹介したが、これらの変動は互いに強い関係を持って相互作用している。フィードバックがあるかもしれない。大気・固体地球・海氷氷床を包括的に理解する観測システムが必要である。

キーワード: 西風強化, 渦飽和仮説, 南極底層水減少, 低塩化

Keywords: SAM intensification, eddy saturation hypothesis, Antarctic Bottom Water decrease, freshening

アイスコアを中心とした南極気候・氷床研究の現状と展望 Prospects of Antarctic climate and ice sheet studies based on ice cores

川村 賢二^{1*}; 阿部 彩子²; 藤田 秀二¹; 東 久美子¹; 本山 秀明¹; 植村 立³; 飯塚 芳徳⁴
KAWAMURA, Kenji^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako²; FUJITA, Shuji¹; GOTO-AZUMA, Kumiko¹; MOTOYAMA, Hideaki¹; UEMURA, Ryu³; IIZUKA, Yoshinori⁴

¹ 国立極地研究所, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 琉球大学, ⁴ 北海道大学低温科学研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ³University of the Ryukyus, ⁴ILTS, Hokkaido University

Ice cores from Antarctica have provided valuable information on past climate changes and interactions over various spatial and temporal scales. In particular, the Japanese ice core and climate modeling communities have made efforts to collect and analyze deep ice cores from Antarctic inland site, Dome Fuji. The orbital tuning of O₂/N₂ ratio with the local summer insolation based on physical link enables us to construct an accurate age model for this ice core and hence for histories of atmospheric CO₂ concentrations and various Antarctic environmental parameters such as temperature, accumulation rate and aerosol fluxes and forcings (e.g. Kawamura et al., 2007 Nature; Iizuka et al., 2012 Nature; Uemura et al., 2012 Clim. Past). The accurate age scale also enabled the IPCC-class climate and ice sheet models to run with realistic history of greenhouse-gas radiative forcing, and it was a key to the successful simulation of the glacial-interglacial cycles with realistic timing and amplitude (Abe-Ouchi et al., 2013 Nature).

An important next challenge for the Antarctic paleoclimate community is to understand the Antarctic ice sheet changes and feedbacks in response to external forcing such as changes in greenhouse effect and ocean temperature. For example, paleo-sea-level studies have suggested that sea level was higher than present by more than 4m during the last interglacial (Marine Isotope Stage 5e), and by up to ~20 m (with high uncertainty) during the interglacial some 420,000 years ago (MIS 11). Together with Greenland ice mass and ice-core evidences, Antarctic ice sheet is suggested to have contributed to the both sea-level high stands. However, the CO₂ level in those periods were not particularly high compared to the Holocene preindustrial level, and the orbital forcing (northern summer insolation) is weak during MIS 11. To solve the enigma, it is not enough to study the interglacials in relation to the instantaneous forcings such as insolation and CO₂, but it is also necessary to study the histories of climatic components such as temperature, ice volume and bedrock, from the preceding glacial periods to the interglacials.

Other aspects of Antarctic ice-core paleoclimate will also be covered in the presentation. For example, ice cores from inland and coastal regions should be measured with process studies for better reconstructions and understanding of aerosol radiative forcing and sea ice extent around Antarctica.

キーワード: アイスコア, 南極氷床, 気候変動

Keywords: Ice core, Antarctic ice sheet, Climate change

グローバルな視点で見た南大洋の海水生成と底層水形成 Sea ice production and bottom water formation in the Southern Ocean from a global view

大島 慶一郎^{1*}; 二橋 創平²; 岩本 勉之³; 田村 岳史⁴
OHSHIMA, Kay I.^{1*}; NIHASHI, Sohey²; IWAMOTO, Katsushi³; TAMURA, Takeshi⁴

¹北海道大学低温科学研究所, ²苫小牧工業高等専門学校, ³新潟大学, ⁴国立極地研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Tomakomai National College of Technology, ³Niigata University,

⁴National Institute of Polar Research

世界の最も大きな海洋循環は、南大洋と北大西洋の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循環（海洋深層循環）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。重い水の沈み込みが弱まったり、沈み込む場所が変わると、海洋深層循環が変わりうる。そうすると、海が持っている熱容量は非常に大きいので、地球上の気候が激変することになる。実際に古い過去にはそのようなことが起こっていたことが示唆されている。南極底層水の元となる重い水は、沿岸ポリニヤという、海水生産が非常に大きな海域での多量のブライン生成が起源となっている。現在、北極海では中深層水となるような重い水は生成されていない。北太平洋では、一番重い水はオホーツク海のポリニヤでの高海水生産によって生成され、北太平洋中層に及ぶオーバーターニングが作られる。従って、大規模な海洋循環・オーバーターニングには、重い水を作る元である海水生産量が重要なファクターになる。我々は、人工衛星データと熱収支計算を駆使することで、海水生産量を見積もるアルゴリズムを開発し、世界に先駆けて海水生産量のグローバルマッピングを行った。その結果、南大洋は北極海などに比べ、沿岸ポリニヤでの海水生産量が非常に高いことがわかり、南大洋で底層水が形成されることを説明する。南大洋で高い海水生産となる要因は主に2つあると考えられる。一つは陸に囲まれていない南大洋は沿岸域で海水が発散場になりやすくポリニヤが出現しやすいこと。これは周りを陸に囲まれた北極海とは対照的である。もう一つは南極沿岸には定着氷や氷河が張り出していること。南極沿岸ポリニヤはこれらの西側に出現する場合が多く、卓越風の風下、または西向き沿岸流の下流域に発散域が生じることによる。海水生産量マッピングからは、南極昭和基地の東方1,200kmのケープダンレーポリニヤが南大洋で第2位の生産量を持つ海水生産領域であることが明らかとなり、未知（第4）の南極底層水生成域であることが示唆された。日本のIPY観測によってそれが実証された。一方、第3の南極底層水生成域であるメルツ氷河の沖では、2010年の氷河崩壊により、海水生産量が40%程度減少し、それに伴ってこの南極底層水の生成が減少したことも示唆されている。このように、海水生産は、重い水や底層水形成と密接に関係しており、一方で氷河や定着氷の変動に大きく影響されることが示唆された。

キーワード: 南極底層水, 海水生産量, 沿岸ポリニヤ, オーバーターニング, 定着氷

Keywords: Antarctic Bottom Water, sea ice production, coastal polynya, overturning, landfast ice

南極沿岸ポリニヤにおける海水生産量の変動 Sea ice production variability in the Antarctic coastal polynyas

田村 岳史^{1*}; 大島 慶一郎²; フレーザー アレックス²; ウィリアムズ ガイ³
TAMURA, Takeshi^{1*}; OHSHIMA, Keiichiro²; FRASER, Alex²; WILLIAMS, Guy³

¹ 国立極地研究所, ² 北大・低温研, ³ ACE CRC

¹National Institute of Polar Research, ²Institute of Low Temperature Science, ³ACE CRC

地球規模の海洋の熱塩・物質循環を駆動しているのは、高緯度域で起こっている高密度水の沈み込みであり、これによって大気と海洋深層との熱・物質交換が行われている。世界で最も重い水である南極底層水の形成に対して、南極沿岸ポリニヤにおける多量の海水生産が重要な役割を果たしていると考えられている。南極沿岸ポリニヤは主に風や海流によって海水が運び去られることが原因で形成され、そのほとんどの領域は新生氷か薄氷で覆われている。冬季において、薄氷域での大気に対する熱損失は他の一般の海水域と比べて1~2オーダー大きく、すなわち沿岸ポリニヤは海水生産工場とも言える。しかしながら、現場観測が難しい海域であるため、南極沿岸ポリニヤでの海水生産の変動について定量的な議論は行われてこなかった。

南極沿岸ポリニヤの海水生産量の変動は、南極沿岸域で生成される高密度陸棚水の変動の理解に対して有益な情報となりうる。ロス海とオーストラリア南極海盆域において、高密度水と底層水の淡水化が近年報告されている。海水生産量は、高密度水の形成に影響を与えるキーパラメーターの一つである。また、海水生産に伴うブライン排出が、棚氷下へのCDWの侵入を抑制し、棚氷の底面融解を抑制する効果があると考えられている。本研究の目的は、全南大洋における各沿岸ポリニヤでの海水生産量の変動を明らかにすることである。

現時点では、衛星データを用いて沿岸ポリニヤを検出し、表面熱フラックスを計算することによって海水生産量を見積もるのが、一つの有効な方法である。海水生産率を見積もっている過去のほとんどの研究はリージョナルな研究である。我々のこれまでの研究は、衛星マイクロ波放射計のデータを用いて薄氷域の氷厚を検出して熱収支計算を行い、その熱損失から、主に海水生成に使われるとの仮定の下、海水生産量を見積もっている。薄氷厚アルゴリズムの開発およびそれを用いた年変動の研究にあたって、これらの研究では Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) 輝度温度データ(1992年~現在)を主に使用した。より解像度の高い Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) データは2003年以降のデータしか使用できない。より長い年変動の議論を行うため、本研究はSSM/Iデータを使用する。

海水生産量の絶対値は、アザラシによるバイオリギングのデータから求められた海水生産量を用いて検証した。海水生産量の年変動は気温や沖向き風のそれよりもポリニヤ面積のそれと非常に良い相関があった。ロス海沿岸ポリニヤは、ロス棚氷から割れだした巨大氷山の影響によって海水生産量が激減するイベントがあったが、その後回復傾向にある。メルツポリニヤは、メルツ氷河崩壊の影響によって海水生産量が激減するイベントがあり、現在まで毎年、過去最低記録を更新し続けている。

キーワード: 海水生産, 沿岸ポリニヤ, 年変動, 南極, リモートセンシング

Keywords: sea ice production, coastal polynya, interannual variability, Antarctica, remote sensing

AMSR-E データを用いた南極海の定着氷域の新しい検出方法 A new method to detect landfast sea ice in the Antarctic Ocean using AMSR-E data

二橋 創平^{1*}; Fraser Alexander D.²; 大島 慶一郎²
NIHASHI, Sohey^{1*}; FRASER, Alexander D.²; OHSHIMA, Kay I.²

¹ 苫小牧工業高等専門学校 機械工学科, ² 北海道大学 低温科学研究所

¹Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Tomakomai College, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Landfast ice (fast ice) is stationary sea ice attached to coastal features such as the shoreline and grounded icebergs. Antarctic fast ice extent is estimated to be only about 5% ($0.8 \times 10^6 \text{ km}^2$) of the entire sea-ice extent, although the spatial distribution and variability of fast ice are not yet well understood. Fast ice exerts a significant influence on the climate system, biogeochemical cycles, biological activity, and ship navigation, despite its relatively small extent. For example, most Antarctic coastal polynyas form on the western side of fast ice, indicating the important role of fast ice in polynya formation. Further, fast ice forms an important interface between the ice sheet/shelves and the moving pack ice zone, and has been shown to influence floating ice tongue/ice shelf stability.

Detection of fast ice has been carried out along the East Antarctic coast based on cloud-free visible and infrared satellite images. However, this method, while providing extremely high resolution, is less suitable for making a circumpolar dataset. By using passive microwave satellite (SSM/I and AMSR-E) data, fast ice is detected based on the characteristic that the brightness temperature fast ice tends to be lower than that of thin ice and are similar to that of ice sheet. However, the only the climatology of fast ice extent can be shown by this method, because the temporal resolution is coarse (three months) and there is some false detection.

In this study, fast ice area is detected based on spatial and temporal matching of brightness temperature of AMSR-E: pixels whose spatial distribution of brightness temperature is similar for a certain period, that is motionless sea-ice pixels, are detected as fast ice. The preliminary results show that this method can detect fast ice area with relatively finer temporal resolution (from a few weeks to one month). Further, false detections caused by the previous method are reduced significantly. This technique will complement the existing high-resolution MODIS fast ice dataset. Further, by applying this technique to AMSR2 and SSMI data, change in the fast ice extent for the longer period of about 30-years could be examined.

キーワード: 沿岸定着氷, 沿岸ポリニヤ, 棚氷, 氷舌, 氷床, 南極

Keywords: Landfast sea ice, Coastal polynya, Ice shelf, Ice tongue, Ice sheet, Antarctica

南極海氷域における物質循環研究 Biogeochemical study in the sea ice area of the Southern Ocean

野村 大樹^{1*}; 橋田 元²; 田村 岳史²; 大島 慶一郎¹
NOMURA, Daiki^{1*}; HASHIDA, Gen²; TAMURA, Takeshi²; OHSHIMA, Kay. I.¹

¹ 北海道大学低温科学研究所, ² 国立極地研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²National Institute of Polar Research

Sea ice has rarely been considered in estimates of global biogeochemical cycles, especially gas exchanges, because of the assumption that, in ice-covered seas, sea-ice acts as a barrier for atmosphere-ocean exchange. However, recent work has shown that sea ice and its snow cover play an active role in the exchange of gases between the ocean and atmosphere. Our results provide a useful reference for future studies as the ongoing drastic changes in polar climate and sea ice extent are likely to alter the biogeochemical cycles in polar ocean-sea ice-atmosphere system. In this presentation, we will show the preliminary results obtained at the international sea ice research by Aurora Australis off East Antarctica (SIPEX-II) in 2012 and a mid-winter sea ice cruise by Polarstern in the Weddell Sea, Antarctica (AWECS) in 2013. In addition, we will also show the ongoing research for the effect of Antarctic bottom water formation on the biogeochemical cycles in the Southern Ocean.

キーワード: 海氷, 極域, 南極海, 物質循環

Keywords: Sea ice, Polar ocean, Southern Ocean, Biogeochemical cycles

南極棚氷底面融解の氷期及び温暖気候下における変動メカニズム Antarctic ice shelves' basal melting and its mechanisms under the LGM and a CO2 doubling climate

小長谷 貴志^{1*}; 阿部 彩子¹; 草原 和弥²; 羽角 博康¹

OBASE, Takashi^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako¹; KUSAHARA, Kazuya²; HASUMI, Hiroyasu¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 北海道大学低温科学研究所

¹AORI, the University of Tokyo, ²ILTS, Hokkaido University

Basal melting of Antarctic ice shelves is considered to be an important factor to the retreat of Antarctic ice sheet in the past or future, but little consensus exists on how the rate of basal melting changes against climatic forcing.

We investigate Antarctic Ocean and basal melting of Antarctic ice shelves under the Last Glacial Maximum (LGM) and an equilibrium CO2 doubling climate as well as present-day, using a circumpolar ocean model with ice shelf cavity component (Kusahara and Hasumi 2013). As the circumpolar ocean model requires atmospheric forcing at sea surface and oceanic forcing at lateral boundary of the model domain, we use outputs of a climate model (MIROC) simulations. To test the sensitivity to climate, we use present-day Antarctic ice sheet/shelf configuration in all experiments.

Although global radiative forcing of LGM and CO2 doubling climate are similar, change in basal melting amount under the CO2 doubling climate is more pronounced than the LGM. Change in background climate modifies basal melt rate of ice shelves through changes in water mass properties on continental shelves. Active sea ice production in the Antarctic Coast forms cold and dense water on continental shelves under a colder climate. Under a warmer climate, decreased sea ice production and dense water on continental shelves enable warm deep water in the Southern Ocean to intrude onto continental shelves and increase basal melting. This behavior of the water mass properties on continental shelves is not well represented in the climate model with a coarse resolution.

A series of sensitivity experiment shows that atmospheric heat-derived forcing is the most important to sea ice production and basal melt rate. These results suggest that basal melt rate of ice shelves is not simply parameterized from deep ocean temperature in the Southern Ocean, and that it is required to consider water mass formation process in the Antarctic Coast.

キーワード: 南極, 棚氷, 棚氷底面融解, 海氷, 海氷生成, 南大洋, 大陸棚, 海洋モデル, 気候モデル

Keywords: Antarctica, Ice Shelves, Basal Melting, Sea Ice, Sea Ice Production, Southern Ocean, Continental Shelf, Ocean model, Climate model

南大洋における栄養塩サイクルと生物生産量の氷期-間氷期スケール変動 Glacial-interglacial variations in nutrient cycle and biological productivity in the Southern Ocean

池原 実^{1*}; Kuhn Gerhard²; Esper Oliver²
IKEHARA, Minoru^{1*}; KUHN, Gerhard²; ESPER, Oliver²

¹ 高知大学海洋コア総合研究センター, ² アルフレッドウェゲナー研究所

¹Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ²Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

【はじめに】南大洋はグローバルな気候システム変動において極めて重要な役割を持っている。特に、南大洋の成層化の程度や偏西風帯での湧昇流の強弱が大气・海洋間の炭素循環を支配していると指摘されている (Anderson et al., 2009 等)。しかしながら、極前線より南側の亜南極域における古海洋変動研究は限定的で、特に南大洋インド洋区における海水分布、栄養塩供給量、生物生産量などの変動の実態は依然として不明瞭である。

【試料と手法】本研究に用いた海洋コアは、南大洋インド洋区のエンダービー深海平原から Polarstern によって採取されたピストンコア PS2603-3 (58° 59' S, 37° 38' E, 5289m) である。コアの年代モデルは、珪藻生層序を基礎として帯磁率および生物源オパール%変化のパターンを氷期-間氷期サイクルと対比することで構築した。約 10cm 間隔で採取した堆積物を乾燥粉末化し、元素分析計連続フロー質量分析計 (DeltaPlus Advantage) を用いて $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を測定した。

【結果と考察】PS2603-3 コアの $\delta^{15}\text{N}$ は、間氷期 (完新世, MIS 5e) で低下し、氷期 (LGM, MIS 6) に増加する傾向を示した。一方、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は間氷期に増加し氷期に低下した。生物源オパール量は間氷期で高く氷期に低い。この海域は氷期に季節海水域となっていたことが IRD や珪藻群集から明らかとなっている (池原ほか, 2014)。従って、南大洋インド洋区の亜南極域では氷期に海水被覆の影響で湧昇流が弱まり表層への栄養塩供給が制限されていたと考えられる。また、完新世の $\delta^{15}\text{N}$ が約 4 ‰であったのに対し、MIS 5e の $\delta^{15}\text{N}$ はほぼ 0 ‰まで低下していた。MIS 5e の生物源オパール量は完新世よりも高く、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 値も約 2 ‰重い。よって、MIS 5e は完新世に比べて湧昇流による栄養塩供給量が増加していた可能性が高い。これらの現象は、MIS 5e には完新世に比べて極前線帯がより南方へシフトしていたことを示唆する。

キーワード: 南大洋, 生物生産量, 栄養塩, 成層化

Keywords: Southern Ocean, productivity, nutrient, stratification

ウェッデル海に産する珪質微化石を用いた中新世-鮮新世の古環境復元 Miocene-Pliocene paleoenvironmental reconstruction using siliceous microfossils in the Weddell Sea sediments

加藤 悠爾^{1*}; 須藤 斎¹
KATO, Yuji^{1*}; SUTO, Itsuki¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

南極海において海氷が生成される際には、海水中の塩分の大半が氷から吐き出されるために低温高塩分の高密度水（ブライン）が作られる。このブラインは海洋循環を駆動する南極底層水のソースとなっている。よって、海氷生成量の増減は南極底層水の生成率を支配しており、間接的に全球の気候変動をも制御している可能性がある。また、ブラインの沈み込みに伴って起こる湧昇により海底から栄養塩に富んだ深層水が供給されるため、海氷形成は珪藻をはじめとする海洋プランクトンの分布にも大きく寄与する。したがって、地質時代に遡って気候・海洋循環の変動を調べるためには、南極海の海氷分布とそれに伴う海流運動の復元を行うことが重要な課題となる。

南極海の堆積物には珪藻化石が豊富に含まれており、これらは重要な年代決定・古環境指標として用いられている。しかし、南極海周辺における珪藻化石を用いた古環境復元の研究のほとんどは、最終氷期などの比較的新しい時代に焦点を当てており、過去の長期間にわたる海氷分布の変遷史を、珪藻化石などの古生物学的データや海流の鉛直・水平方向の運動を含めて復元した研究例はほとんどない。また、南極海などの湧昇流帯によくみられる珪藻のうち、*Chaetoceros* 属は貧栄養環境下において休眠孢子と呼ばれる形態をとって休眠し、再び湧昇が起こって栄養塩と日光が供給されると活動を再開するという生活環を持っている。そのため、珪藻・休眠孢子化石の変動を複数地点・年代間で調査・比較することにより、本海域の湧昇流やその原因となる海水生成・分布等を復元できる可能性がある。さらに、南極海の堆積物からは、主に淡水域に生息する黄金色藻のシスト化石も産出する場合があり、これらの産出は南極大陸起源の融氷水の存在を示唆すると考えられる。しかし、これらの休眠孢子・黄金色藻シスト化石を古海洋学的視点から研究した例は少ない。これらを踏まえ、本研究では、ウェッデル海で掘削され、長期間（中新統から鮮新統）にわたる珪藻化石記録が残されている ODP Site 689 の試料を解析し、当該海域における過去およそ 2500 万年間にわたる古海洋環境変遷の推定を行うことを主な目的とする。

珪藻化石の計数（種同定とカウント）は、一試料につき 400 殻になるまで行い、珪藻化石を 400 殻計数する間に産出した *Chaetoceros* 属休眠孢子化石、および黄金色藻のシスト化石の産出数も併せて記録した。サンプリングは 1 m ごと（約 10-20 万年間隔）に行った。

その結果、約 18 Ma に、南極周極流の北縁に多く生息する *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* の多産出が確認されたことから、当時、南極周極流が現在の位置（南緯約 50°）とは大きく異なる場所に分布していた可能性が示唆された。また、海氷形成を示唆する珪藻種群は約 13 Ma から産出し始め、約 9.5-5 Ma に高い産出量を示した。また、約 9.5 Ma には、融氷水の指標となる黄金色藻シストが減少した。このことから、本海域では、約 13 Ma から海氷が発達し始め、約 9.5 Ma には多年氷が分布するようになったと考えられる。また、約 4.8 Ma の休眠孢子・黄金色藻シストの多産出は、大陸起源の融氷水により表層水が押し流され、それを補うようにして湧昇が強化された可能性を示唆している。さらに、約 4.8-3 Ma には比較的温暖な環境を示唆する珪藻種群と黄金色藻シストが同時期に多産することから、この時期に南極氷床融解による淡水供給があったことが示唆された。

キーワード: ウェッデル海, 珪藻, 黄金色藻シスト, 休眠孢子, 海氷

Keywords: the Weddell Sea, diatom, chrysophyte cyst, resting spore, sea-ice

南大洋の最終氷期以降の海底堆積物の地球化学: リンの存在形態別から探る栄養塩状態の変動史 Evidence from phosphorus speciation for changing nutrient status in the Southern Ocean since the last glacial period

下出 直幸^{1*}; 山口 耕生²; 池原 実³

SHIMODE, Naoyuki^{1*}; YAMAGUCHI, Kosei E.²; IKEHARA, Minoru³

¹ 東邦大学理学部化学科, ² 東邦大学&無紗 明日吐露倍汚路地 院素手中途, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター
¹Department of Chemistry, Toho University, Japan, ²Toho University & NASA Astrobiology Institute, ³Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Japan

南極寒冷圏 (Antarctic Cryosphere) を構成する南大洋は、地球規模の気候システム変動に重要な役割を果たしてきた。現在の南大洋は、高栄養塩・低クロロフィル (HNLC: high-nutrient, low-chlorophyll) 海域として知られており、リンや鉄などの微量の制限栄養塩によって基礎生物生産が制御されている。過去の南大洋は、約7万~1万年前の最終氷期の海底堆積物の記録から、特に最寒冷期 (LGM: Last Glacial Maximum) に向けて、嫌氣的となったことが知られている。しかしながら、当時の海洋の酸化還元状態や栄養塩状態の変化の解明はほとんど進んでいない。

本研究では、南極寒冷圏の構成要素の一つである海水や棚氷が、氷期- 間氷期の遷移期に張り出したことに起因する海水の酸化還元状態の変化に着目して、当時の生物生産や栄養塩状態の変化をリンの形態別存在量から制約することを主な目的とした。上記の変化を敏感に反映する、堆積物中のリンの形態別存在量から、過去の堆積環境に関する重要な情報を得ることができる。

南大洋インド洋区の Conrad Rise で2010年に採取された堆積物コア COR-1bPC から37試料を選び、凍結乾燥後にボールミルで粉末化したものを本研究の試料とした。Ruttenberg (1992) の SEDEX 法を改良した方法により、試料中のリンを吸着性リン (P_{abs})、鉄結合態リン (P_{Fe})、自生アパタイト態リン (P_{auth})、砕屑性リン (P_{det})、有機態リン (P_{org})、の5形態に分画した。各試料溶液のリン濃度は、モリブデンブルー法により測定した。

最終氷期の暗色堆積物中の P_{auth} , P_{det} , P_{org} , P_{tot} の存在量は、それぞれ平均で 0.020 wt.%, 0.004 wt.%, 0.008 wt.%, 0.059 wt.% であり、間氷期の明色堆積物中では、最終氷期のものより少なく、それぞれ 0.005 wt.%, 0.002 wt.%, 0.004 wt.%, 0.022 wt.% であった。海水や棚氷下の海洋は、大気-海洋相互作用が制限されて溶存酸素濃度が減少し、次第に還元的环境を形成する。よって、少なくともコア採取地点である Conrad Rise (南緯 54.2°) 迄は海水が到達していたために海洋が還元的环境となったことが示唆される。最終氷期での P_{Fe} 存在量の増減の繰り返しは、海洋の還元的环境の度合の変動によるものと考えられることから、Conrad Rise 近辺で海水が南北に移動していたことが示唆される。

最終氷期最寒冷期 (LGM) では、 P_{auth} , P_{det} , P_{org} , P_{tot} の存在量が急激に増大して最大値を示し、 P_{Fe} も調和的に変動していた。海洋へのリンのソースは、風成塵、氷屑氷河による運搬、または鉄水酸化物に吸着したリンの還元溶解による放出のどれかである。風成塵は南極大陸の表面が氷床に覆われているため考えにくい。従って、後者2つの過程により海洋表層へのリンと鉄の供給量が増大し、海水中の制限栄養塩元素の濃度が上昇したことで初期生産力が増大し、大量の有機物が生成されて深海へと沈降し、その途中で溶存酸素の消費が活発となって海洋環境が嫌氣的となったため、と考えられる。このように初期生産力が増大したことにより、重要な温室効果ガスである大気中の二酸化炭素の濃度の減少を引き起こした、と考えられる。

本研究により、最終氷期における海洋の還元化は、リンの形態別の結果に反映されていた。よって、リンの形態別分析は海洋の酸化還元状態や栄養塩状態を復元する上で有用なものである。

南大洋の成層化が氷期の大気中二酸化炭素変動に及ぼす影響の評価 Role of Southern Ocean stratification in glacial atmospheric CO₂ reduction evaluated by a three-dimensional OGCM

小林 英貴^{1*}; 岡 顕¹
KOBAYASHI, Hidetaka^{1*}; OKA, Akira¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

氷期における大気中の二酸化炭素濃度は、間氷期と比べて約 100 ppmv 低下していたことが知られている。しかしながら、これまでの海洋大循環モデル (Ocean General Circulation Model: OGCM) を用いた数値実験では、氷期と間氷期との間の大気中二酸化炭素濃度の違いを再現することができていない。古気候プロキシデータから、最終氷期の南大西洋深層では、37.0 psu を超える高塩分や、3,000 年を超える水塊の滞留時間が示された。これらの証拠は、氷期の南大洋で塩分による成層が強くなり、表層から隔離された深層が炭素を多量に保持していた可能性を示唆する。OGCM を用いた先行研究では、氷期の深層の塩分や水塊年齢の再現が不十分であり、これが大気中二酸化炭素濃度の再現に影響していたことが考えられる。

そこで本研究では、南大洋における成層の強化が大気中二酸化炭素濃度の変動に与える影響を、OGCM を用いて定量的に評価した。氷期における南大西洋深層での高い塩分データを説明するためには、東南極における深層水形成が重要であることがわかった。その一方で、南大洋深層の高塩分は、深層大循環の南極底層水起源の北向き流量を増加させるため、海洋中の炭素の滞留時間が小さくなることで、先行研究とは異なり、大気中二酸化炭素濃度を増加させる寄与があることが示された。また、成層の強化に伴う鉛直混合の弱化により、溶存無機炭素の濃度の鉛直勾配が大きくなり、大気中二酸化炭素濃度は減少した。しかしながら、南大洋の過程のみでは、氷期の大気中二酸化炭素濃度の低下のうち、半分程度しか説明できなかった。本研究の結果は、氷期-間氷期にわたる海洋炭素循環の変動に対する南大洋の過程の寄与を、先行研究では過大評価していた可能性を示唆する。南大洋のみならず、太平洋の成層が強化されることが、氷期の大気中二酸化炭素濃度の変動に重要である可能性が示された。

キーワード: 炭素循環, 氷期-間氷期, 南大洋, 子午面循環

Keywords: carbon cycle, glacial/interglacial, Southern Ocean, meridional overturning circulation

千年スケールの温暖化に対するウェッデル海における深層対流の発達を引き起こす 全球的な溶存酸素の増加 Global oxygenation by enhanced deep convection in the Southern Ocean under millennial- scale global warming

山本 彬友^{1*}; 阿部 彩子¹; 重光 雅仁²; 岡 顕¹; 山中 康裕²

YAMAMOTO, Akitomo^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako¹; SHIGEMITSU, Masahito²; OKA, Akira¹; YAMANAKA, Yasuhiro²

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² 北海道大学大学院 地球環境科学研究院

¹Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ²Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

地球温暖化に伴う表層水温の上昇、成層化と深層循環の弱化は海水中の溶存酸素を全球的に減少させると考えられており、海洋物質循環や海洋生態系への影響が懸念されている (Keeling et al., 2010)。中程度の複雑さを持つ気候モデルを用いたこれまでの研究では溶存酸素の減少は 1000 年以上続き、最終的に 20-50% 程度減少すると示唆されている (Schmittner et al., 2008; Shaffer et al., 2009)。長期的な溶存酸素の減少は、深層循環の変動の寄与が大きいと考えられているが、GCM を用いて酸素の変動を 1000 年以上計算した研究がない為によく分かっていない。

本研究では、気候モデル MIROC とオフライン海洋物質循環モデルを用いて理想的な温暖化実験 (2xCO₂, 4xCO₂) を 2000 年積分し、溶存酸素と深層循環の変動について調べた。

温暖化実験の初期 500 年では先行研究同様、溶存酸素は全球的に減少する。しかし 500 年以降、南大洋から酸素濃度が回復し始める。最終的には表層の酸素濃度が減少し、大西洋子午面循環 (AMOC) が産業革命前より弱くなっているにもかかわらず、中深層の大部分で酸素の回復が起き、全球平均の酸素濃度は産業革命前の濃度より高くなった。この酸素回復はウェッデル海における深層対流の回復、発達によって駆動される。深層対流の発達により、酸素を多く含む表層水が深海に供給される為、南大洋の酸素濃度は急激に回復する。さらに、この酸素濃度の高い底層水が各海盆に輸送され、それまでの酸素減少を打ち消す為全球的な酸素回復を引き起こした。本研究では、AMOC の強さや CO₂ 濃度の違いに関わらず、この 1000 年スケールの酸素回復が共通的に見られた。

ウェッデル海における深層対流については、先行研究と同様に表層の低塩化に伴う成層化により深層対流の停止が初期の 500 年に起きるが (de Lavergne et al., 2014)、その後対流は復活して産業革命前の状態よりも強くなる。これは 500 年以降、表層の低塩化は停滞する一方、中深層では低塩化が引き続き進むことで密度成層が再び不安定になるために対流が起きる。また水温上昇は深層でより大きく、密度成層が産業革命前の状態より不安定になるため、より広範囲で対流が起きると考えられる。

本研究の結果から、ウェッデル海における深層対流の発達により、1000 年スケールの溶存酸素回復を引き起こされる可能性が初めて示された。この酸素回復はこれまで報告されている 100 年スケールの全球的な溶存酸素減少と大きく異なる。今後は観測やモデルの比較を通じて深層対流発達の不確かさを見積もる必要がある。

キーワード: 溶存酸素, 地球温暖化, 深層対流, 熱塩循環

Keywords: dissolved oxygen, global warming, open ocean convection, thermohaline circulation

大気海洋結合モデルと氷床モデルによる南極海洋および氷床の古気候における役割 Modelling the importance of Southern ocean and Antarctic ice sheet in Plio-Pleistocene climates

阿部 彩子^{1*}; 齋藤 冬樹²; 高橋 邦生²; 大垣内 るみ²

ABE-OUCHI, Ayako^{1*}; SAITO, Fuyuki²; TAKAHASHI, Kunio²; OHGAITO, Rumi²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ²JAMSTEC

¹ Atmosphere and ocean research institute, Univ. of Tokyo, ²JAMSTEC

In order to understand the factors influencing the Antarctic climate and Ice sheet and evaluating its influence upon global climate, many paleoclimate modelling under LGM condition and Pliocene are performed and two examples are shown here. Southern Ocean is important as the source of Antarctic Bottom water formation which influences the atlantic meridional overturning circulation (AMOC) and carbon storage. Here we analyse the latest multi models of CMIP5 and PMIP experiments as well as MIROC model (Japanese GCM) and show that the deepening of AMOC simulated in most of the models come from the insufficient model performance in Southern ocean. We further show that the models which don't have shallower glacial AMOC have even stronger AMOC because of the existence of ice sheets, through the feedback between the AMOC, sea ice and wind stress in the north Atlantic. The second topic is on the modeling the Antarctica ice sheet, on which we discuss the influence of global climate change under glacial condition and Pliocene in models to aid interpretation of paleodata showing the increase in altitude in some area and retreat of margin, decrease of sea level in Pliocene. By combining ice sheet model and GCM, we show that the mid Pliocene ice sheet shows an increase in altitude in East Antarctica especially in the Queen Maud Land region because of accumulation increase, while a thinning or retreat in the Wilkes land and Aurora basin where relatively the bedrock is low. Further studies need an update in ice sheet modeling treating properly the ocean-ice interaction, basal processes and rebound of bedrock, as well as climate experiments taking into account the different orbital conditions.

キーワード: 気候, 氷床, 古気候, 海洋, 気候モデル

Keywords: Climate, ice sheet, paleoclimate, ocean, climate model

2002-2014年のGRACE衛星重力データを用いた南極しらせ氷河の質量収支の研究 Study of surface mass balance of Shirase Glacier using 2002 to 2014 GRACE satellite gravity data

山本 圭香^{1*}; 福田 洋一²
YAMAMOTO, Keiko^{1*}; FUKUDA, Yoichi²

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 京都大学大学院理学研究科

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Graduate School of Science, Kyoto University

衛星重力ミッション GRACE の時間変動重力場データを用いた最近の南極氷床の質量変動の研究では、南極全体の氷床質量は 2002 年の打ち上げ以来、一貫して減少を続けており、近年その減少が加速していることが報告されているが、この減少は主に西南極の大規模な氷床融解、流出によるものであり、東南極では逆に若干の質量の増加が観測されている。東南極の中で、特に大きな増加傾向が見られるのが、しらせ氷河付近である。本研究では、GRACE データを用いて得られたしらせ氷河の氷床質量の経年変化について、その変動を引き起こす主要因、変動のメカニズムを調査することを目的とした。われわれは、2002 年 3 月から 2014 年 3 月までの GRACE 衛星重力データを用いて、しらせ氷河における質量変動の流域平均値の経年変化トレンドを見積もった。その結果、+23.7 Gt/yr の質量増加が観察された。このうち GIA の寄与は約 3-10 %程度と予想されるため、観察された増加の大部分は表面質量変化によるものと考えられる。続いて経年変化トレンド大きな地域の空間分布について調べたところ、顕著な正のピークはしらせ氷河の河口付近 (38.6° E、-70.5° N) に位置していることがわかった。一つの関心事は、観察された質量の増加が、単に降雪量の増加で説明できるのか、それとも下部の氷床流動の減速といった横方向の流出入量変化も関係しているのか、ということである。このことを明らかにするため、われわれは、GRACE から得られた表面質量変化の値と、この地域におけるリージョナルな大気客観解析によって得られた表面質量変化の計算値との比較をおこなった。大気客観解析による表面質量収支のデータは、横方向の流出の成分を含んでおらず、両者の差の時系列は、この流出の時間変化を表すと考えられる。発表では、これらの結果に基づき、しらせ氷河流域における氷床流動のメカニズムについて、考察をおこなう。

キーワード: 南極氷床変動, GRACE, 衛星重力ミッション, 表面質量収支, しらせ氷河

Keywords: Antarctic ice sheet change, GRACE, satellite gravity mission, surface mass balance, Shirase Glacier