

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：62611

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13621

研究課題名（和文）固体地球モデルによる氷期の南極氷床変動復元とその変動メカニズムの解明

研究課題名（英文）Reconstruction of Antarctic Ice Sheet changes during a glacial period using GIA modeling

研究代表者

石輪 健樹 (Ishiwa, Takeshige)

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：10811896

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：南極氷床融解による海面上昇が危惧されている現在、南極氷床の気候変動に対する応答を理解することは学術的にも社会的にも喫緊の課題である。長期的な時間スケールの南極氷床変動史を評価するため、本研究は約2万年前の最終氷期最盛期の南極氷床変動史を復元することを目的とした。南極では直接的な南極氷床変動記録が不足しているため、本研究は数値モデルから約2万年の南極氷床変動を復元した。その結果、南極から離れた地域の海水準データから、南極氷床変動史の制約が可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南極氷床変動の時間スケールは様々であるが、衛星をはじめとする観測データは数十年に限られている。現在の南極氷床変動はより長期的な時間スケールを含んでいるため、その評価が南極氷床の気候変動に対する応答を理解する上では重要である。長期的な時間スケールの変動の復元には地質学的試料が有用であるが、南極域における地質学的記録は時空間的に不足している。本研究により南極から離れた地域の地質学データを用いて、GIAモデルから南極氷床変動史の制約が可能であることが示されたことは、長い時間スケールの南極氷床変動の復元につながり、将来の気候変動に対する南極氷床の応答の理解に向けて重要な知見である。

研究成果の概要（英文）：Understanding the Antarctic ice sheet changes in response to climate change is an important issue for both research and society, since the Antarctic ice sheet melting will mainly cause global sea level rising. In order to assess the long-term time scale of Antarctic ice sheet variability, this study aimed to reconstruct the Antarctic ice sheet history during the Last Glacial Maximum (LGM, about 20,000 years ago). Due to the lack of direct records of Antarctic ice sheet changes, the Antarctic ice sheet history in the LGM does not well constrain. This study reconstructs the Antarctic ice sheet changes using a numerical modeling and sea-level data far from Antarctica. The results show that it is possible to constrain the Antarctic ice sheet history using not only geological evidence in Antarctica but also regions far from Antarctica.

研究分野：古環境復元

キーワード：南極氷床 GIAモデル 古環境

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が進行している現在、南極氷床融解による海水準上昇が危惧されている(例えば、DeConto and Pollard, 2016 *Nature* など)。そのため、気候変動に対する南極氷床の応答を理解することは社会的に喫緊の課題である。その理解のためには、多様な時間スケールをもつ南極氷床変動を総合的に評価する必要がある。例えば、現在の南極氷床の質量収支の評価に有用である GPS や衛星データは、数十年にとどまっており、それらの観測値は過去の氷床変動による表層荷重の再分配に起因する固体地球変形の効果 (GIA: Glacial Isostatic Adjustment) を含んでいる。また、GIA の時間スケールは数十年から数万年と言われ、GPS や衛星データの観測よりも長い時間スケールを有している。GIA による固体地球の変形は過去の氷床変動史に起因するため、過去の南極氷床変動史の復元は現在および将来の南極氷床の動態を知る上で喫緊の課題である。

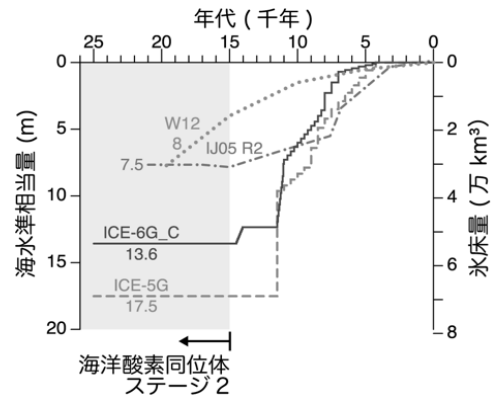


図1: 過去 25,000 年間の南極氷床変動史 (Argus et al., 2014 を改変)。

約 2 万年前は最終氷期最盛期と呼ばれ、北米・北欧に氷床が発達し、全球的に海水準が約 130 m 低下した時期である。南極氷床も現在より多くの氷を有していたが、その値は先行研究間で大きな乖離がある(図 1)。また、最終氷期最盛期から現在に至る過程で、南極氷床がいつ、どれくらい融けたか、についても先行研究間で異なる。地質学的試料から復元される直接的な南極氷床変動記録の空間的・時間的な欠損が大きな原因として考えられ、南極における野外調査の困難さに起因する。そのため、直接的な南極氷床変動記録を用いずに、南極氷床変動史を制約が可能であれば、上述の問題点を解決することに繋がる。

南極氷床および、南極を取り巻く南大洋の古環境を復元することは、南極周辺の環境変動のみならず、氷期における地球表層システムの理解につながる重要な知見が得られると期待される。また、南極氷床の気候変動に対する応答の理解を深めることにより、将来の気候変動予測の精度向上に寄与できると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、地質学的試料から復元される直接的な南極氷床変動記録に依存せずに最終氷期最盛期を含む海洋酸素同位体ステージ 2 における南極氷床変動史を GIA モデルによるフィンガープリントにより復元することを目的とした。本研究で導入する GIA モデルは海水面が等ポテンシャル面に一致することを利用し、表層荷重の再分配に伴う固体地球の応答を地球物理学的法則に基づき計算する。地球の内部構造と氷床の空間・時間的変化を入力パラメータとして、ある地点の現在からの相対的な海面変化(相対的相対的)を導き出す。GIA モデルには氷床の分布の違いに依存し、相対的相対的の計算結果が変化するという特徴がある(フィンガープリント)。この特徴を利用して、退氷期における全球的な海水準変動の南極氷床の寄与率を推定した先行研究は存在するが、氷床拡大期に適用した研究は例がない。直接的な氷床変動記録を必要としないフィンガープリントは、直接的な南極氷床変動記録が不十分である海洋酸素同位体ステージ 2 の南極氷床変動への制約に有用である。

### 3. 研究の方法

本研究は氷期に相当する海洋酸素同位体ステージ 2 における南極氷床変動史の制約を目的とし、下記の研究方法に従って研究を進めた。

#### ① 全球的な氷床変動史の構築

北西オーストラリア・ボナパルト湾は旧氷床域から離れており、大陸氷床に起因する GIA の影響が少ない。そのため、ボナパルト湾の地域的な海水準変動史は全球的な海水準変動史を反映している。よって、この地域の海洋堆積物試料から復元される海水準変動と GIA モデルにより、全球的な氷床変動史を復元することが可能である。

#### ② 海水準データセットの構築

上記のボナパルト湾のデータに加え、旧氷床域から離れた地域の海水準データ(東オーストラリア・グレートバリアリーフ、紅海、中南米・バルバドス、スンダ海)に対し、年代の再検討を実施し、海洋酸素同位体ステージ 2 における海水準データセットを構築した。

#### ③ フィンガープリント法による南極氷床変動史の制約

フィンガープリント法は、全球的な氷床変動史がインプットとして必要である。①で構築した全球的な氷床変動史の氷床分布を変化させることで南極氷床変動への制約を試みた。

#### 4. 研究成果

海洋堆積物試料と GIA モデルから全球的な海水準変動曲線を提唱し、その成果を足がかりとして氷期の南極氷床変動史の制約を進めた。南極から離れた地域のデータの再評価を実施し、並行して南極近縁のデータにも着目して本研究を進めた。

##### ① 全球的な氷床変動史の構築

ボナパルト湾の海洋堆積物試料から海水準変動曲線を復元し、全球的な氷床変動史を GIA モデルから構築した。この成果は国際誌に掲載され (Ishiwa et al., 2019 *Scientific Reports*)、国立極地研究所を主体としてプレスリリースも行った。本研究成果は海洋酸素同位体ステージ 2 において急激に氷床が成長し、全球的に海水準が低下した可能性が示唆された。この知見が海洋堆積物試料から得られるのは初めてであり、氷期における氷床変動メカニズムの解明への寄与が期待される。

##### ② 海水準データセットの構築

ボナパルト湾の海水準データに加え、近年公表されたデータも含め、海水準データセットを構築した。これらの旧氷床域から離れたデータに加え、南極域における海水準データもコンパイルし、GIA によるモデル実験を行い、氷期における東南極氷床変動史を制約した (Ishiwa et al., 2021 *Geology*)。

##### ③ フィンガープリント法による南極氷床変動史の制約

南極氷床の全球的な氷床変動に占める割合が、GIA モデルの計算結果にどのような影響を与えるかを評価した (Ishiwa and Okuno, 2018 *EGU meeting*)。その結果、北西オーストラリア・ボナパルト湾より中南米・バルバドスの GIA モデルにより計算される海水準が、南極氷床の全球的な氷床変動に占める割合に対してより敏感に応答することが示唆された。

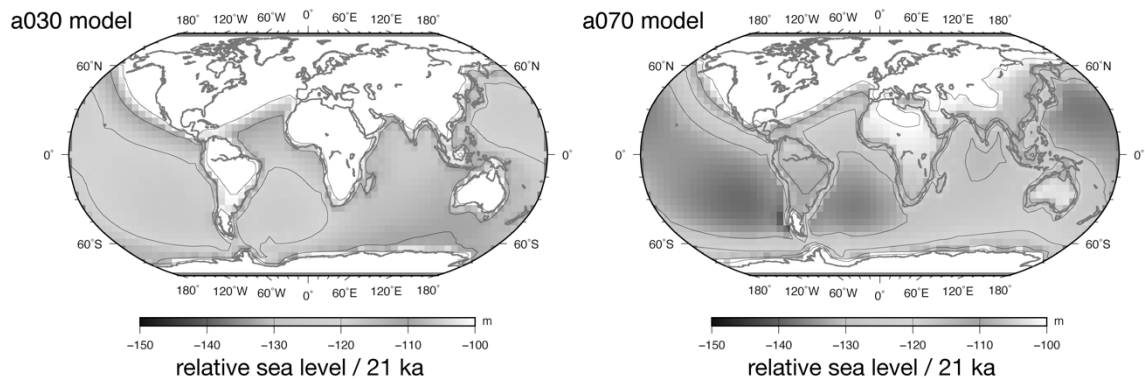


図 2：全球的な氷床変動史に対する南極氷床の割合を変化させた場合の GIA モデルの計算結果。

従来の研究とは異なる全球的な氷床変動史を①で構築したが、南極氷床をはじめとする各々の氷床がどの時期にどの程度、変動したかを評価するには③のアプローチが有用であることが本研究で示された。今後、本研究の成果を活かし、フィンガープリント法を用いて南極氷床変動史の構築を進めていく。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ishiwa Takeshige, Tokuda Yuki, Itaki Takuya, Sasaki Satoshi, Suganuma Yusuke, Yamasaki Shintaro	4. 巻 28
2. 論文標題 Bathymetry data and water column profiles in the shallow waters of Langhovde in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100650 ~ 100650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2021.100650	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishiwa, T., Tokuda, Y., Itaki, T., Sasaki, S., Suganuma, Y., Yamasaki, S.	4. 巻 28
2. 論文標題 Bathymetry data and water column profiles in the shallow waters of Langhovde in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石輪健樹, 徳田悠希, 板木拓也, 佐々木聡史.	4. 巻 64
2. 論文標題 第61次日本南極地域観測隊における宗谷海岸域の地形調査の報告	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 南極資料	6. 最初と最後の頁 330-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15094/00016229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishiwa, T., Yokoyama, Y., Okuno, J., Obrochta, S., Uehara, K., Ikehara, M., Miyairi, Y.	4. 巻 9
2. 論文標題 A sea-level plateau preceding the Marine Isotope Stage 2 minima revealed by Australian sediments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-42573-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yokoyama, Y., Purcell, A., Ishiwa, T.	4. 巻 32
2. 論文標題 Gauging Quaternary Sea-Level Changes Through Scientific Ocean Drilling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Oceanography	6. 最初と最後の頁 64-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5670/oceanog.2019.121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Ishiwa, T., Suganuma, Y., Okuno, J., Tokuda, Y., Itaki, T., Sasaki, S., Yamasaki, S.
2. 発表標題 Sea-level reconstruction using GIA modeling and geological evidence at Lutzow-Holm Bay during the past 50,000 years
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石輪健樹, 奥野淳一, 菅沼悠介.
2. 発表標題 GIAモデルを用いた東南極インド洋セクターにおける氷期の氷床変動復元
3. 学会等名 第四紀学会2020年オンライン学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Tokuda, Y., Itaki, T., Sasaki, S., Suganuma, Y., Yamasaki, S.
2. 発表標題 Preliminary Results of the JARE 61 geomorphological survey at Langhovde in Lutzow Holm Bay, East Antarctica
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Okuno, J., Whitehouse, P.L., Suganuma, Y.
2. 発表標題 The timing of Antarctic Ice Sheet glaciation evidenced by Marine Isotope Stage 3 sea-level highstand records
3. 学会等名 INQUA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Yokoyama, Y., Okuno, J., Obrochta, S., Uehara, K., Ikehara, M., Miyairi, Y.
2. 発表標題 A sea-level plateau during Marine Isotope Stage 2 evidenced by the Bonaparte Gulf sediments, northwestern Australia, and glacial isostatic adjustment modeling
3. 学会等名 EGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石輪健樹
2. 発表標題 GIA モデルから探る最終間氷期の海水準変動
3. 学会等名 「未来の温室地球の類型としての過去の温暖期の気候状態の解明(その2)」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石輪健樹、奥野淳一、菅沼悠介、三浦英樹
2. 発表標題 Late Pleistocene to Holocene sea-level change in East Antarctica revealed by glacial isostatic adjustment modeling
3. 学会等名 2019年度地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Okuno, J., Whitehouse, P.L., Sugauma, Y., Miura, H
2. 発表標題 Antarctic Ice Sheet change before Marine Isotope Stage 3 using a glacial isostatic adjustment model
3. 学会等名 GRAntarctic-NIPR Joint International Symposium on Ice-Ocean Interaction (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Okuno, J.
2. 発表標題 Sea level fingerprinting as a reconstruction of AIS history during MIS 2
3. 学会等名 Polar 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ishiwa, T., Okuno, J.
2. 発表標題 Potential Antarctic Ice Sheet volume during the Last Glacial Maximum by sea-level fingerprinting using glacial isostatic adjustment modeling
3. 学会等名 The EGU General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石輪健樹、奥野淳一、菅沼悠介、三浦英樹
2. 発表標題 GIA モデルによる東南極氷床変動史の復元と浅海域の海底堆積物掘削に向けて
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石輪健樹、奥野淳一
2. 発表標題 A sea-level fingerprinting analysis by glacial isostatic adjustment modeling for the Antarctic Ice Sheet change from the Last Glacial Maximum to the Holocene
3. 学会等名 2018年度地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

国立極地研究所プレスリリース：海洋堆積物コアから解明された最終氷期における短期間の氷床変動  
<https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20190510.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	奥野 淳一  (Okuno Jun'ichi)	国立極地研究所・研究教育系・助教	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------