

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：62611

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22372

研究課題名(和文) 衛星重力データと固体地球応答モデルを用いた南極域バルジの形成・崩壊の検出

研究課題名(英文) Detection of collapsing peripheral bulge in Antarctica using satellite gravity data and GIA modeling

研究代表者

入江 芳矢 (Irie, Yoshiya)

国立極地研究所・先端研究推進系・特任研究員

研究者番号：30881015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：南極氷床質量変動を重力観測衛星(GRACE)から推定する上で、氷床変動に伴う固体地球の粘弾性応答(GIA)のモデルによる補正量が必要となる。しかし、GIAを評価する上で必要となる地球内部粘弾性構造について、南極下はその複雑さが問題となっている。本研究では、南極域におけるGIAモデルを高精度化するために、南極周縁のバルジと呼ばれる隆起域の変動に着目して、GIAの数値モデリングとGRACEのデータ解析を実施した。研究を進めていく中で、南極氷床質量変動の推定におけるGIA補正量の地球内部粘弾性構造依存性に関して、いくつかの重要な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の地球温暖化により加速する南極氷床融解は、全球的な海水準上昇を引き起こすため、人類社会への影響も大きく、南極氷床質量変動を推定することは非常に重要である。南極氷床質量変動を推定する上で、氷床変動に伴う固体地球の粘弾性応答(GIA)を評価する必要がある。本研究で得られた南極域におけるGIAの地球内部粘弾性構造依存性の理解は、南極氷床質量変動の正確な推定に貢献しうる点で、学術的・社会的意義を持つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Estimates of Antarctic ice mass change from the GRACE gravity signal require subtraction of the gravity rates predicted by the GIA model (GIA correction). However, Antarctica is known to have a complex viscoelastic Earth structure. To improve the accuracy of the GIA model in Antarctica, we study collapsing peripheral bulge in Antarctica using GIA modeling and GRACE data. In the course of the study, some important findings are made regarding the dependence of the Antarctic GIA correction for GRACE data on the viscoelastic Earth structure.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：GIA 南極氷床 地球内部粘弾性構造

### 1. 研究開始当初の背景

南極氷床は、近年の地球温暖化により、融解が加速している。加速する氷床融解は、世界的な海水準上昇を引き起こすため、人類社会への影響も大きく、氷床変動をモニターすることは非常に重要である。現在このモニターについては、重力観測衛星 GRACE が重要な貢献を果たしている（例えば、Tapley et al. 2019）。特に南極域では、氷から水への質量再分配が引き起こす重力場変動が明確に観測されている。しかしながら、重力場変動は、最終氷期以降の氷床融解（約 2 万年前から 7 千年前）に伴う固体地球の粘弾性応答（Glacial Isostatic Adjustment: GIA）による固体地球内部の質量分布の変化によっても引き起こされる。そのため、GRACE による重力場変動から南極氷床質量変化を推定する上で、GIA モデルによる補正量（GIA correction）が必要となる。

南極域における GIA モデルは不確実性が大きいことが問題となっている（例えば、Whitehouse et al. 2019）。その不確実性の主な理由の 1 つに、南極下の地球内部粘弾性構造の複雑さが考えられている。その複雑さとは、地震波速度構造から示唆される東西方向の不均質である。西南極下は、地震波が比較的低速度であることが確認されており、薄いリソスフェアと低粘性の上部マントルが示唆されている。一方、東南極下は、地震波が比較的高速度であることが確認されており、厚いリソスフェアと高粘性の上部マントルが示唆されている。

本研究では、南極域における GIA モデルを高精度化するために、氷床周縁域に形成されるバルジとよばれる隆起域と、それが氷床変動に応じて崩壊や移動する現象に着目する。バルジの形成・崩壊などの特徴は、マントルの粘性率構造などに強く依存する。そこで、バルジに着目することで、南極の氷床融解に伴う GIA 変動を高い精度で決定できる可能性があると考えた。南極ではバルジが海洋域の海底に形成されていると考えられ、現在はこのバルジの沈降により重力変動が生じているはずである。しかし、これまでそのような視点より観測結果を解析した報告はされていない。そこで、研究開始当初、南極周縁のバルジの変動を数値モデリングとデータ解析より検出することが可能であるかを、問いとして設定した。

### 2. 研究の目的

本研究では GIA の数値モデリングと GRACE のデータ解析を用いてバルジを検出することを目的とする。具体的には、GIA の数値シミュレーションを用いて、南極周縁域のバルジの変動が引き起こす重力場変動を再現し、GRACE のデータ解析を行い、数値シミュレーションの結果と比較し、バルジによる重力場変動を検出する。

### 3. 研究の方法

まず、GIA の数値シミュレーションを実施する。最終氷期以降（1 万年スケール）を対象として高時間分解能でのシミュレーションを可能とする GIA 数値モデリングを構築する。GIA 計算に必要な入力値であるマントルの粘性率構造と過去の氷床変動史について広範囲なパラメータ領域で計算を展開する。GIA の数値シミュレーションの結果から、バルジの変動によって引き起こされる重力場変動（振幅や空間パターン）を評価する。

次に GRACE のデータ解析を実施する。GFZ で公開されている GRACE の level 2 データ（16 年間分）を収集し、データに含まれるノイズを除去するために、De-stripping フィルター（Swenson & Wahr 2006）と Fan フィルター（Wahr et al. 1998）を用いたフィルター解析を行う。その上で、GIA 変動に関連する長周期成分を抽出するための時系列解析を行う。GIA の数値シミュレーションで得られた結果と比較して、解析データからバルジによる重力場変動を検出できるかを評価する。

### 4. 研究成果

図 1a は、既存の氷床融解史モデル ICE-6G\_D (Peltier et al. 2018) を用いたときの、GIA に伴う南極重力場変動の数値シミュレーション結果を示す。また、図 1b は GRACE データに基づく重力場変動を示す。これらの結果から、バルジの沈降によって生じる海洋域での重力場変動の振幅は非常に小さいことが判明した。

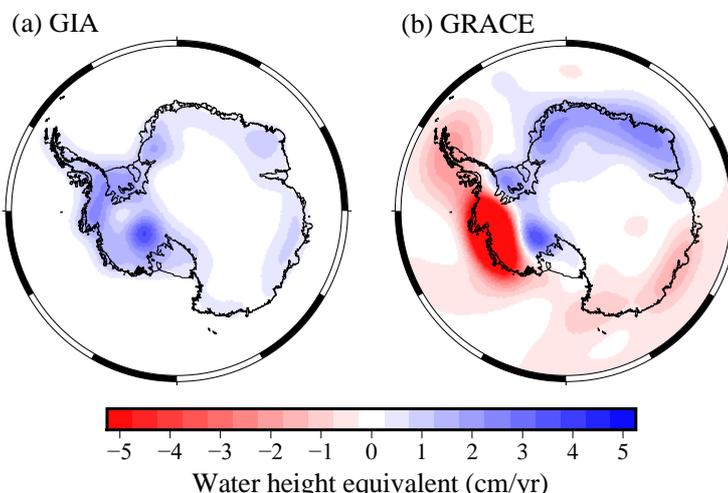


図 1: GIA モデルと GRACE データによる南極重力場変動。

GIA の数値シミュレーションを用いて、南極重力場変動のマントル粘弾性構造依存性について調べているうちに、重力場変動の空間パターンについてリソスフェアの厚さと上部マントルの粘性率の間にトレードオフが存在することを発見した。この結果は、地震学的に推定されている南極域における地球内部粘弾性構造の東西不均質は、重力場変動に基づく南極氷床質量変化の評価にあまり影響しないことを示唆する重要な結果である。そこで、GIA に伴う南極重力場変動の数値シミュレーション結果を用いて、南極質量収支推定における GIA correction の値を計算することで、GIA correction のマントル粘弾性構造依存性を詳細に調べた。

図 2a は、氷床融解史モデル ICE-6G\_D を用いたときの、GIA correction の粘弾性構造依存性を示す。黒丸は ICE-6G\_D で推奨される粘弾性構造を示し、コンターは黒丸における GIA correction の値からの相対値を示す。例えば、リソスフェアを厚くしていくと（縦軸上方向）、GIA correction の値は小さくなる。また、上部マントル（深さ 400 km 以浅）の粘性率を小さくしていくと（横軸左方向）GIA correction の値は小さくなる。これらの結果から、GIA correction の値を評価する上で、リソスフェアの厚さと上部マントルの粘性率の間にトレードオフが存在することが明らかになった。

次に、氷床融解史モデル ICE-6G\_D に加えて、3 つの既存の氷床融解史モデル：IJ05\_R2 (Ivins et al. 2013)、W12a (Whitehouse et al. 2012)、ICE-5G (Peltier 2004) についても同様に GIA correction の評価を行った。これらの氷床融解史モデルは、南極質量収支推定の国際的な比較研究（例えば、The IMBIE team 2018）に使われるなど、一般に広く使用されているモデルである。図 2b, c, d は、それぞれ氷床融解史モデル IJ05\_R2、W12a、ICE-5G を用いたときの、GIA correction の粘弾性構造依存性を示す。結果から、どの氷床融解史モデルを採用した場合でも、GIA correction の値を評価する上で、リソスフェアの厚さと上部マントルの粘性率の間にトレードオフが存在することが明らかになった。

最後に、地震波速度構造から推定される粘弾性構造 (Pan et al. 2021) を用いて、西南極と東南極の平均的な粘弾性構造を作成し、GIA correction の評価を行った。図 1 中の赤四角と青四角は、それぞれ西南極と東南極の平均的な粘弾性構造を示す。結果から、どの氷床融解史モデルを採用した場合でも、東西南極どちらの粘弾性構造を採用しても、GIA correction はほとんど同じ値を示すことが明らかになった。以上の結果をまとめると、リソスフェアの厚さと上部マントルの粘性率の間に存在するトレードオフにより、地震学的に推定されている南極域における地球内部粘弾性構造の東西不均質は、南極質量収支推定における GIA correction の評価にほとんど影響しないことが結論づけられる。

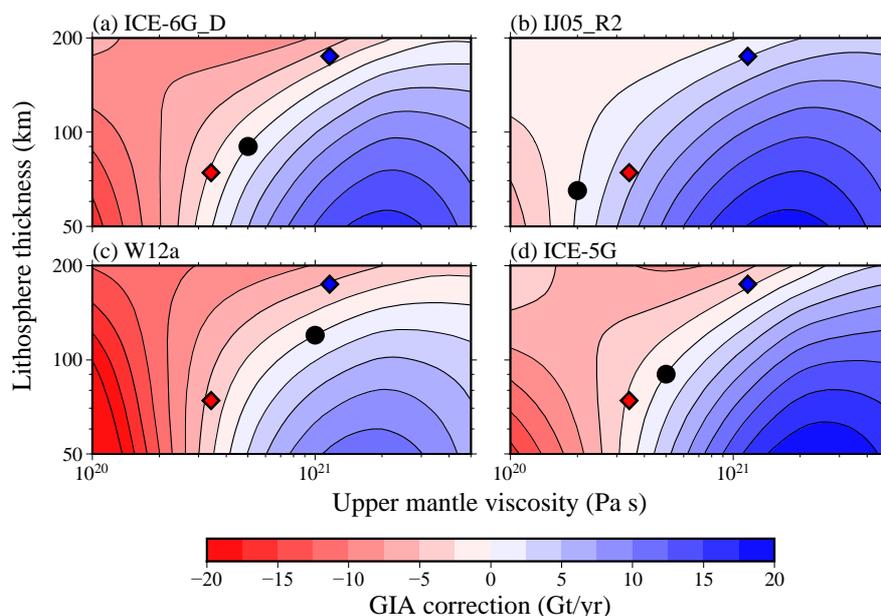


図 2 : GIA correction の地球内部粘弾性構造依存性。値は推奨される粘弾性構造（黒丸）からの相対値を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Ishiwa, T., Doi, K., Fukuda, Y.
2. 発表標題 Dependence of GIA-induced gravity change in Antarctica on viscoelastic Earth structure
3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江芳矢, 奥野淳一, 石輪健樹, 土井浩一郎, 福田洋一
2. 発表標題 GIAに伴う南極重力場変動の地球内部粘弾性構造依存性
3. 学会等名 日本測地学会第138回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Ishiwa, T., Doi, K., Fukuda, Y.
2. 発表標題 Dependence of upper mantle viscosity profile on GIA-induced gravity change in Antarctica
3. 学会等名 Scientific Assembly of the International Association of Geodesy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Ishiwa, T., Doi, K., Fukuda, Y.
2. 発表標題 Dependence of GIA-induced gravity change in Antarctica on viscoelastic Earth structure
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Scienc (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 入江芳矢, 奥野淳一, 石輪健樹, 土井浩一郎, 福田洋一
2. 発表標題 GIAに伴う南極重力場変動の地球内部粘弾性構造依存性
3. 学会等名 測地学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Doi, K.
2. 発表標題 Collapse of the peripheral bulge around Antarctica inferred from the satellite gravity data and GIA modeling
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Doi, K.
2. 発表標題 Collapse of the peripheral bulge around Antarctica inferred from GIA modeling
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 Irie, Y., Okuno, J.
2. 発表標題 Sensitivity of Antarctic GIA correction for GRACE data to viscoelastic Earth structure
3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Irie, Y.
2. 発表標題 Exploring glacial isostatic adjustment associated with climate events in Earth history
3. 学会等名 JpGU (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J., Doi, K.
2. 発表標題 Gravity field change in Antarctica inferred from GIA modeling
3. 学会等名 JpGU
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dependence of GIA-induced gravity change in Antarctica on viscoelastic Earth structure
2. 発表標題 Irie, Y., Okuno, J., Ishiwa, T., Doi, K., Fukuda, Y.
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Irie, Y., Okuno, J.
2. 発表標題 Degree dependence of Antarctic GIA correction for GRACE data
3. 学会等名 IUGG (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------