

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887001

研究課題名(和文)南極の棚氷-海氷-海洋間相互作用に関する数値モデリング

研究課題名(英文)Modeling Antarctic ice shelf/sea ice/ocean interactions

研究代表者

草原 和弥 (KUSAHARA, Kazuya)

北海道大学・低温科学研究所・特任助教

研究者番号：20707020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年の気候変動/地球温暖化にともなう、極域の雪氷-海洋海洋圏に大きな変化が表れはじめている。この研究プロジェクトは、数値モデルを使って、気候/海洋に影響を与える南極海の棚氷-海氷-海洋の相互作用について調べることを目的とした。現在気候、最終氷期最大期(LGM)を想定した数値実験、アデリーランド沖を高解像度化した数値実験を行なった。一連の数値シミュレーションから、南極沿岸域での海氷生産に伴う高密度水形成と大陸外縁から流入する周極深層水の強弱によって、棚氷の底面融解量がきまることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Large changes are observed in polar cryosphere and ocean along with the recent climate change/global warming. The purpose of this project is to investigate Antarctic ice shelf/sea ice/ocean interactions, using a coupled ice shelf-sea ice-ocean model. We performed simulations for present and Last Glacial Maximum conditions, and a simulation with fine resolution over the Adelie Land region, East Antarctica. From the above numerical simulations, we found that sea ice production in Antarctic coastal regions and intrusion of Circumpolar Deep Water from shelf break are important factors for basal melting of Antarctic ice shelves.

研究分野：極域海洋学

キーワード：棚氷-海氷-海洋相互作用 南大洋 数値モデリング 棚氷底面融解

1. 研究開始当初の背景

南極氷床は地球の気候変動を考える上で、極めて重要な気候サブシステムである。近年、その南極氷床の加速度的な質量損失が大きな注目を集めている。その原因の一つとして、南極氷床/大陸をとりまいている南大洋による棚氷の底面融解が挙げられている。棚氷とは氷床の末端で、海洋にせり出した部分を指す。棚氷底面が融解すると、海洋に淡水(棚氷融解水)が供給されることになる。この数十年間で、南大洋の表層/亜表層及び底層が低塩化していることが、海洋観測から示唆されている。この海洋淡水化の要因としても、南極棚氷の融解量の増加が示唆されている。このように、棚氷融解は氷床の質量バランスのみならず、南大洋の環境場形成にとっても、重要な要素である。しかしながら、現在のところ、南極の棚氷融解そのものや、その融解水が気候/南大洋システムへ及ぼす影響はよく分かっていない。本研究は、棚氷-海水-海洋結合モデルを用いて、南極の氷床/棚氷-海水-海洋間の相互作用及び棚氷の融解が海水場や海洋場へ与える影響を明らかにするものである。

2. 研究の目的

南極棚氷-海水-海洋相互作用に関する三つのテーマに関して研究を実施した。

(1) 南極棚氷融解水の行方

仮想トレーサー(特定の水を識別するために、色をつけることに対応する)を使って、南極棚氷の融解水の地域特性を明らかにする。

(2) 最終氷期最大期における雪氷-海洋相互作用

最終氷期最大期は、いまからおよそ2万年前で、この時期南極の氷床は現在のよりも発達している時期である。現在気候とは全く異なる条件下での、南極棚氷-海水-海洋相互作用を調べる。

(3) 東南極アデリーランド沖での雪氷-海洋相互作用

東南極アデリーランドは活発な海水形成があり、高密度形成水の場所として知られている。海水形成はメルツ氷河舌の西側で活発である。こういった、海水生成-棚氷-高密度水形成といった点において、アデリー沖は棚氷-海水-海洋相互作用がある南極の典型的な海域であるといえる。アデリー沖を数値モデルの水平解像度を局所的に数 km と高解像度化した棚氷-海水-海洋結合モデルを現在気候場の下で駆動し、棚氷底面の融解量・棚氷融解水が海水・海洋場へ与える影響を調べる。

3. 研究の方法

東京大学大気海洋研究所と海洋開発機構で開発/管理されている海水海洋結合モデル

に棚氷コンポーネントを導入したものを利用した。

4. 研究成果

(1) 南極棚氷融解水の行方

上述の棚氷-海水-海洋結合モデルを使って、南極棚氷融解水の流路及びその南大洋システムへの影響を調べた。棚氷融解水の流路は複数の仮想トレーサーをモデル内に撒くことにより、その振る舞いを詳しく調べた。南極棚氷をその地理的特徴から、ウェッデル海・東ウェッデル海・東南極域・ロス海・アムンゼン-ベリングスハウゼン海の5つに分類し、それぞれの棚氷群から、底面融解量と同じだけの仮想トレーサーをモデル海洋に散布した。

各棚氷群の底面融解水はローカルな海洋の流れによって運ばれているため、棚氷融解水の流路は棚氷融解水の生成場所によって大きく異なる。ウェッデル海及びアムンゼン-ベリングスハウゼン海の棚氷底面融解水はその大部分が表層/亜表層に存在し、南極周極流によって低緯度方向に効率的に運ばれていることがわかった(図1)。南極全体の棚氷底面融解水の鉛直分布をみると、およそ4分の3は表層/亜表層に存在し、のこりは南極沿岸域での高密度水の形成時に取り込まれ、南極底層水の一部として、底層に分配されることがわかった。

南極棚氷融解水の南大洋システムへの影響を調べるために、各棚氷群もしくは全棚氷において、棚氷の底面での熱力学過程を断ち切った数値実験を実施した。これらの実験と棚氷底面融解過程がある実験との差から、棚氷融解水が存在することによって、南極の海水量及び深層循環に大きな違いが起こることがわかった。

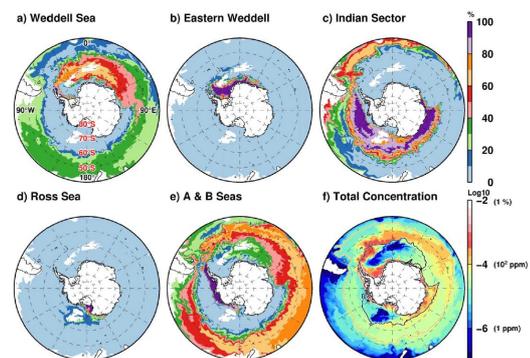


図1: 仮想トレーサーの表層での水平分布。結果はトレーサー散布後10年目の結果を示す。パネル a-e はそれぞれ、ウェッデル海、東ウェッデル海、東南極、ロス海、アムンゼン/ベリングスハウゼン海の棚氷群を起源とする棚氷融解水トレーサーである。パネル f は南極全体の融解水トレーサーを示す。

(2) 最終氷期最大期における雪氷-海洋相互作用

棚氷-海水-海洋結合モデルを用いて、最終氷期(LGM)における南大洋の海水場の再現性及び南極棚氷の底面融解とその熱源について調べた。LGMは、南極棚氷の位置・形状、海洋場、大気環境場が、現在気候のそれらと大きく異なっている。LGMの氷床の接地線は大陸棚外縁付近まで張り出しており、棚氷は全体的に経度方向に細長い。その面積は現在の南極棚氷の総面積の約60%である。LGMにおける南極棚氷の分布・形状は棚氷/氷床結合モデルの結果を用いた。LGMにおける水温/塩分場及び海面境界条件はLGMをターゲットとした気候モデル/海洋モデルの結果を利用した。LGM設定下で数値実験を行なうと、冬季の海水分布は現在に比べて緯度 $\sim 7^\circ$ 程度低緯度方向に広がった。夏季は大西洋セクターのみに海水が残存し、インド洋及び太平洋セクターでは海水はほぼ消失する。数値モデルで再現された海水の季節変動は過去の堆積物の観測から見積もられたLGMの海水研究と整合的なものである。LGMにおける、南極棚氷の底面融解の総量は2146 Gt/yrで、現在の南極棚氷の融解総量の約3倍である(図2)。LGMにおける南極棚氷の単位面積の融解率は、現在の南極棚氷融解率の約5倍である。LGMでは、棚氷の場所がより低緯度側に張り出しているため、周極深層水起源の暖かい水が棚氷下に効率的に流入し(図3)、現在より活発な棚氷底面融解となることわかった。

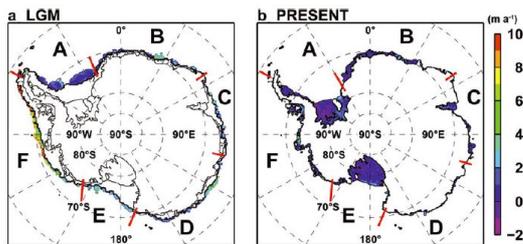


図2: 南極の棚氷底面融解率(a: LGM, b: 現在気候)。正(負)の値は融解(結氷)を示す。

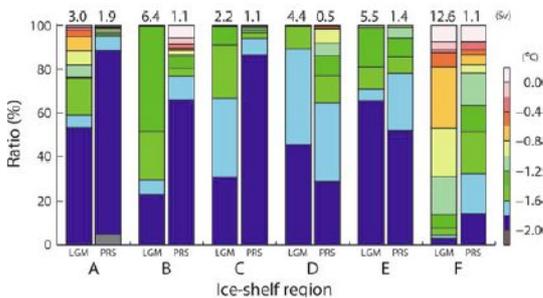


図3: 棚氷下に流入する水塊の分布(左: LGM, 右: 現在気候)。棒グラフの上の数字は棚氷下の海洋への流入量を示す。

(3) 東南極アデリーランド沖での雪氷-海洋相互作用

東南極に位置するアデリーランド沖に活発な海水生成域として知られるメルツポリニヤがある。メルツポリニヤはメルツ氷河舌/海岸線の西側に形成される開水/薄水域で、東南極域では有名な沿岸ポリニヤである。南極沿岸の典型的な海域であるアデリーランド沖(東経 135°E - 150°E)に着目し、棚氷-海水-海洋結合モデリングを実施することによって、雪氷-海洋間相互作用を明らかにすることを目的とした。ここでは、特に、2010年2月に起こったメルツ氷河分離のイベントに対するメルツ氷河舌の融解量の変化及びその原因について説明する。

モデル座標の特異点を移動させることによって、対象海域(ウィルクスランド沖)の水平解像度を6 km以下と高解像度化した。鉛直解像度は20-50 mである。本モデルでは定着氷を薄い棚氷(15 m, 図4のB,F,H)として扱った。図4はメルツ氷河舌分離前と分離後の棚氷/定着氷の底面融解率の水平分布図である。メルツ氷河舌の底面融解量は分離前17 Gt/yr、平均の底面融解率は3.14 m/yr (Aの領域)である。分離後、融解量は3.1 Gt/yr、平均融解率は0.95 m/yr (A'の領域)となる。メルツ氷河舌の平均融解率が減少したのは、氷河舌がなくなったことにより、海洋循環場が大きく変化が変化したことによって、周極深層水の大陸棚上への流入が抑制されたためであることがわかった。

また、海水生産量/高密度陸棚水/南極底層水の経年変動/メルツ氷河舌分離の影響についても調査した。

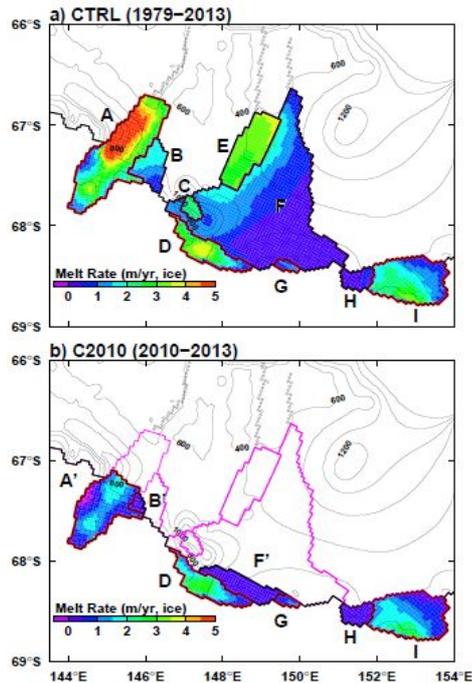


図4: アデリー沖での棚氷/定着氷の底面融解率。パネル a/b はメルツ氷河舌分離前/後を示す。

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3件)

Kusahara, K., T. Sato, A. Oka, T. Obase, R. Greve, A. Abe-Ouchi, and H. Hasumi (2015, in press): Modelling the Antarctic Marine Cryosphere at the Last Glacial Maximum, *Annals of Glaciology*, 56(69), 425-435, doi:10.3189/2015AoG69A792, 査読有

Kusahara, K., and K. I. Ohshima (2014): Kelvin Waves around Antarctica, *Journal of Physical Oceanography*, 44, 2909-2920, doi:10.1175/JPO-D-14-0051.1, 査読有

Kusahara, K., and H. Hasumi (2014): Pathways of basal meltwater from Antarctic ice shelves: A model study, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 119, 5690-5704, doi:10.1002/2014JC00915, 査読有

[学会発表](計8件)

Kazuya Kusahara and Hiroyasu Hasumi: Pathways of basal meltwater released from Antarctic ice shelves: A model study, AGU Fall Meeting 2014, 2014年12月15日, サンフランシスコ(アメリカ合衆国).

草原 和弥, 羽角 博康, Alexander D. Fraser, 青木 茂, 田村 岳史: 東ウィルクスランド沖の雪氷 - 海洋相互作用に関する数値モデリング, 第5回極域科学シンポジウム, 2014年12月2日, 国立極地研究所(東京都立川市).

Kazuya Kusahara and Hiroyasu Hasumi: Modeling Pathways of basal meltwater from Antarctic ice shelves (invited), Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, 2014年7月28日-8月1日, ロイトン札幌(北海道札幌市).

草原 和弥, 羽角 博康: 南極棚氷底面融解の数値モデリング, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 2014年5月2日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市).

草原 和弥, 佐藤 建, 岡 顕, 羽角 博康, Ralf Greve: 最終氷期最大期における南極棚氷の底面融解, 日本海洋学会春季大会, 2014年3月27日, 東京海洋大学品川キャンパス(東京都港区).

Kazuya Kusahara, Tatsuru Sato, Akira Oka, Takashi Obase, Ralf Greve, Ayako Abe-Ouchi, and Hiroyasu Hasumi: Modeling sea ice extent and basal melting of Antarctic ice shelves at the Last Glacial Maximum, IGS International Symposium on Sea Ice

in a Changing Environment, 2014年3月13日, ホバート(オーストラリア).

Kazuya Kusahara and Hiroyasu Hasumi: Modeling Antarctic ice shelf responses to future climate changes, Ocean Science Meeting 2014, 2014年2月25日, ハワイ(アメリカ合衆国).

Kazuya Kusahara, Tatsuru Sato, Akira Oka, Hiroyasu Hasumi and Ralf Greve: Modeling basal melting of Antarctic ice shelves at the Last Glacial Maximum, 第4回極域科学シンポジウム, 2013年11月13日, 国立極地研究所(東京都立川市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

草原 和弥 (KUSAHARA, Kazuya)

北海道大学・低温科学研究所・特任助教

研究者番号: 20707020