

令和 3 年 5 月 13 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：2019～2020

課題番号：19K23447

研究課題名(和文) 東南極最大の融解域トッテン氷河/棚氷に着目した海洋数値モデル開発

研究課題名(英文) Development of ocean simulation with focus on the Totten Ice Shelf

研究代表者

中山 佳洋 (NAKAYAMA, Yoshihiro)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号：30840201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：トッテン氷河は、近年氷厚が減少していることが知られている。継続的な棚氷厚の減少が続けば、氷河流動が加速し、海面上昇へ大きく寄与しうる。本研究では、海洋数値モデルMITgcmを用いて、東南極に位置するトッテン棚氷への温かい水塊(mCDW)の流入、トッテン棚氷からの氷河融解水の流出などに着目したモデル開発を行った。トッテン棚氷の融解量の時間変動を人工衛星からの見積もりと整合的な結果を示したことが、非常に大きな成果である。融解量は、Antarctic Circumpolar Current (ACC)の変動によって強く影響を受けることを初めて示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南極沿岸域の中で、特に、観測データ、数値モデル研究ともに、ほとんど実施されてこなかった、東南極沿岸トッテン氷河/棚氷沖における棚氷下部へ向かった高温の水塊の流入メカニズムを新たに示唆した点が学術的に意義がある。これらの海域における棚氷融解のメカニズムはこれまで、あまりよくわかっておらず、南極沿岸流と高温の水塊の陸だな上への流入の強い関係性が見つかったことは、さらに全球的な大気や海洋循環との関係性を明らかにするステップとなる。さらに、全球モデルなど、より低解像度、長期間のシミュレーションである気候モデルにおける海洋循環や海水準といった全球環境将来予測スキルの発展に資する。

研究成果の概要(英文)：East Antarctica's Totten Glacier has recently been melting at an alarming rate. In this study, we develop a regional East Antarctic configuration of the Massachusetts Institute of Technology general circulation model (MITgcm) and simulate ocean heat intrusions towards the Totten ice shelf. We demonstrate that Antarctic Slope Current (ASC) has a blocking effect and ASC weakening leads to on-shelf intrusions, which may control the Totten ice shelf melt rate.

研究分野：極域海洋学

キーワード：南大洋 南極 海面上昇 棚氷 融解

## 1. 研究開始当初の背景

東南極に位置するトッテン氷河は、近年、氷河流動が加速していることが指摘され、将来的に大きく海面上昇に寄与する可能性がある。トッテン氷河上流部には、海水準で3-4メートルに相当する氷が存在している。氷河流動が加速している主な原因は、トッテン棚氷下部への暖かい水塊（周極深層水）の流入による棚氷融解の加速である。近年、オーストラリア、日本などによって行われた海洋観測では、トッテン棚氷下部に約 $-0.5^{\circ}\text{C}$ の周極深層水（海水の結氷温度は約 $-2$ 度）が流入していることが示され、この海域は世界的な注目を集めている。しかし、トッテン棚氷に着目した海洋数値モデル研究は少なく、周極深層水の流入経路といった基本的なこともまだよくわかっていない。そこで、海洋/氷床観測データと海洋数値モデルを統合的に利用し、より現実に近く海洋を再現するという新たに確立されつつある手法を用いて、トッテン棚氷域の海洋数値モデルを開発することを提案した。こういった研究は、棚氷海洋相互作用の研究がより進んでいるアムンゼン海域ではすでに用いられており、南極氷床の海面上昇への寄与をより現実的に見積もる上で欠かせない。

## 2. 研究の目的

本研究では、Massachusetts Institute of Technology General Circulation Model(MITgcm)を用いて、トッテン域の海洋数値モデルを構築する。開発された海洋モデルの結果を解析することで、周極深層水の流入経路、氷河融解水の流出経路に着目したモデル解析を行う。海洋数値モデル内でトレーサーを人工的に散布した実験を行い、トレーサーの広がりを計算することで、水塊の流れる経路を解析する。また、氷床-棚氷-海洋結合モデルを利用して、Helene Seroussi氏（NASA ジェット推進研究所）、Tyler Pelle氏（カルフォルニア大学アーバイン校）と共同で、トッテン氷河による将来的な海面上昇への寄与の見積もりを行う。

## 3. 研究の方法

モデルの解像度は、水平方向約4 km、鉛直方向には50層である。モデルの初期値は、January World Ocean Atlas 2009の水温と塩分から25年スピンアップしたものを用いる。海底地形はInternational Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO)を用い、さらに、日本、オーストラリア、アメリカなどの船舶観測による地形データを加えて、新たに作成する。棚氷形状は、Antarctic Bedrock Mapping (BEDMAP-2)を用いる。さらに、NASA ジェット推進研究所によって進められているデータ同化プロダクト（Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO)）を海洋の境界条件として用いる。海洋モデルを駆動するための大気境界条件には、Era-interimを用いることで、高いモデルのデータ再現性を実現する。

## 4. 研究成果

モデル領域には、沖合に東向きに流れる Antarctic Circumpolar Current (ACC)が、陸棚斜面には、水深500-1500m程度の等深線を沿うように、西向きに流れる Antarctic Slope Current (ASC)が存在する。例えば、1993年の8月から11月に着目すると、水深477mにおける陸棚上の水塊の水温は、8月の時点では、約 $-0.3^{\circ}\text{C}$ であったが、11月の時点では、約 $0.2^{\circ}\text{C}$ となった。この高温の水塊は、沖から大陸棚上へと流入し、大陸棚上の等深線を沿うように、トッテン棚氷方面へと流れ

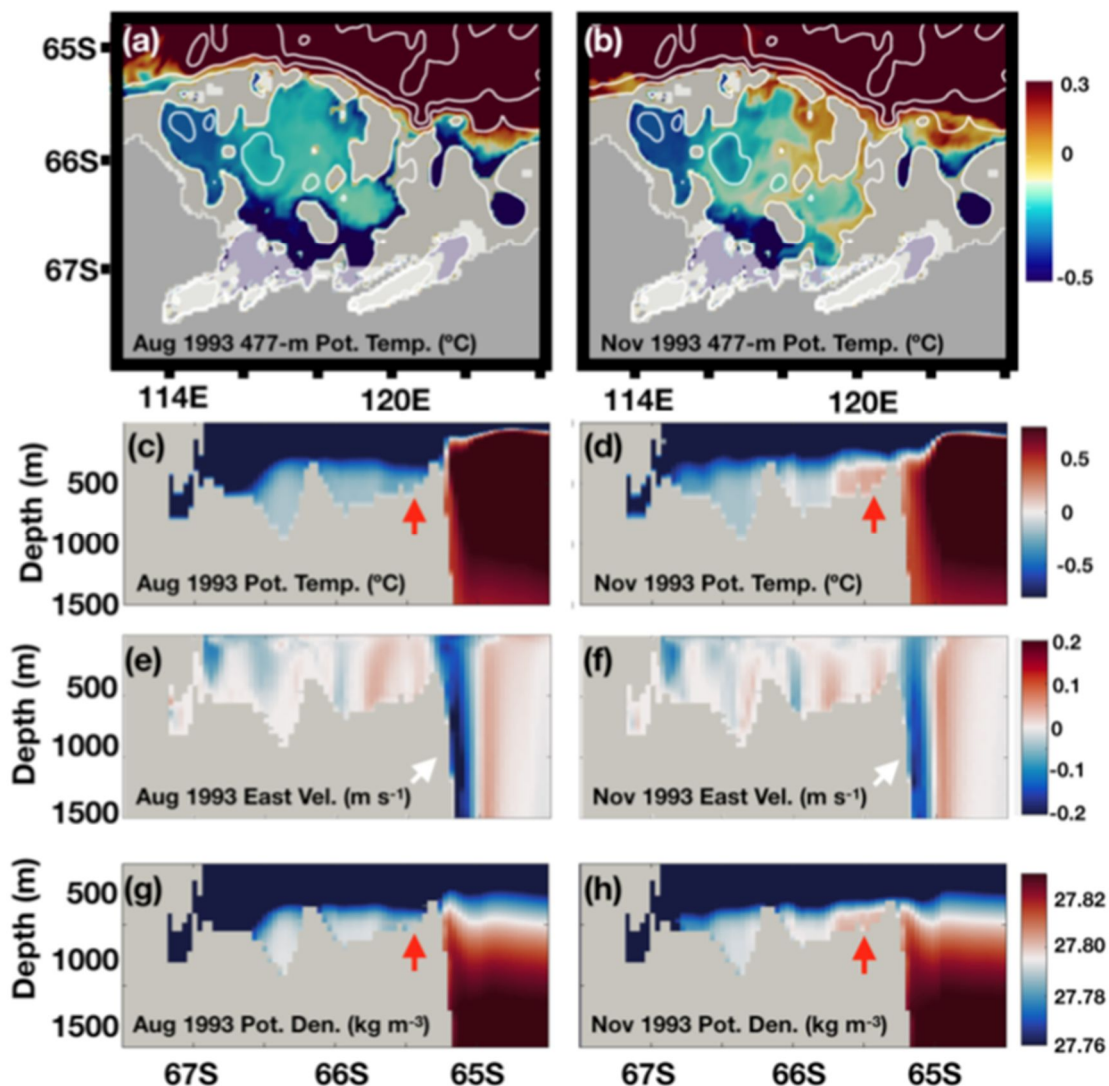


Figure 1: 1993 年(a)8 月、(b)11 月の水深 552 m におけるポテンシャル水温のシミュレーション結果。領域は、トotten 棚氷沖の大陸棚上の部分を拡大している。500 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m の地形コンターを白色で示す。同時期の(c,d)ポテンシャル水温、(e,f) 東向き流速、(g,h)ポテンシャル密度の東経 119 度に沿った断面図を示す。赤と白の矢印は、それぞれ、高温の暖かい水塊の陸だな上への流入と、南極沿岸流の 8 月から 11 月にかけての弱化を示す。

ている (Figure 1)。119°E に沿った断面図に着目すると、1993 年の 8 月から 11 月にかけて、大陸棚上への高温の mCDW の流入が確認できる。この水塊は、高温、高密度で、8 月-11 月の 4 ヶ月の期間で、約 50km 程度、南下している。同時に、ASC の強さは、8 月から 11 月にかけて、 $-0.2 \text{ m s}^{-1}$  から  $-0.1 \text{ m s}^{-1}$  と変化し、西向きの流れが弱化している (Figure 1)。本研究では、1992 年から 2016 年まで数値シミュレーションを実施したが、ASC が  $0.15 \text{ m s}^{-1}$  以上弱化する 1993 年、2005 年、2015 年について、Figure 1 と同様の変化が見られることがわかった。

さらに、投稿中の結果であるが、NASA ジェット推進研究所/カリフォルニア大学アーバイン校の共同研究者らとともに、氷床-棚氷-海洋結合モデルの開発を行った。シミュレーションは、2016年から2100年まで行った。大気のリフォーミングとしては、1992年から2016年までの大気再解析データを繰り返し使用し、海洋の境界条件は、データ同化プロダクト（Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO)）に加え、第6期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）の結果を海洋の境界で与えることで、モデルを駆動した。上述したモデル結果と統合的に、ASCが棚氷融解量を支配的に決定することが、将来予測においても確かめられた。また、2016年から2100年まで、継続的にトッテン氷河から氷が海洋へと流出し、継続的に海面上昇へ寄与する。海面上昇への寄与度は、SSP126、SSP585など言われる温暖化シナリオによるものの、現状と同様に、産業が重視され大量の二酸化炭素が大気中へと放出され続けるというシナリオでは、トッテン氷河だけで、約1500ギガトンの氷が2016年から2100年までに海へと流出し、約5mmの海面上昇へ寄与することが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakayama Y., Manucharyan M., Zhang H., Dutrieux P., Torres H., Klein P., Seroussi H., Shodlok M., Rignot E., Menemenlis D.	4. 巻 9
2. 論文標題 Pathways of ocean heat towards Pine Island and Thwaites grounding lines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-53190-6	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

1. 著者名 Nakayama Yoshihiro, Timmermann Ralph, H. Hellmer Hartmut	4. 巻 14
2. 論文標題 Impact of West Antarctic ice shelf melting on Southern Ocean hydrography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 2205-2216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/tc-14-2205-2020	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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Nakayama Y., Menemenlis D., Shodlok M., Rignot E.
2. 発表標題 Origin of Circumpolar Deep Water intruding onto the Amundsen and Bellingshausen Sea continental shelves
3. 学会等名 Japan Geophysical Union 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakayama, Y., Manucharyan G., Zhang H., Dutrieux P., Torres H. S., Serrousi H., Shodlok M., Rignot E.
2. 発表標題 Pathways of ocean heat towards Pine Island and Thwaites grounding lines
3. 学会等名 Forum for Research into Ice Shelf Processes 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Yoshihiro Nakayama, Chad A Greene, Fernando S Paolo, Dustin Carroll, Dimitris Menemenlis, Hong Zhang, Tyler Pelle, Mathieu Morlighem, Vigan Mensah, Haruhiko Kashiwase, Daisuke Simizu, Jamin Stevens Greenbaum, Donald D Blankenship, Ayako Abe-Ouchi and Shigeru Aoki
2. 発表標題	The development of East Antarctic ocean simulation with a focus on the Totten Glacier
3. 学会等名	AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Yoshihiro Nakayama, Hong Zhang, Vigan Mensah, Shuntraro Hyogo, Shigeru Aoki
2. 発表標題	Modeling Ice-shelf ocean interactions of West Antarctic and East Antarctic ice shelves
3. 学会等名	The West Antarctic Ice Sheet Initiative workshop, WAIS (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Yoshihiro Nakayama, Hong Zhang, Vigan Mensah, Shigeru Aoki, Dimitris Menemenlis
2. 発表標題	Modeling Ice-shelf ocean interactions of West Antarctic and East Antarctic ice shelves
3. 学会等名	JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Yoshihiro Nakayama, Hong Zhang, Vigan Mensah, Shuntraro Hyogo, Shigeru Aoki
2. 発表標題	Modeling Ice-shelf ocean interactions of West Antarctic and East Antarctic ice shelves
3. 学会等名	Forum for Research into Ice Shelf Processes (FRISP) (国際学会)
4. 発表年	2020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
研究協力者	ヘルマー ハートムット  (HELLMER Hartmut)		
研究協力者	サルーシ ヘレン  (SEROUSSI Helene)		

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		
米国	University of California Irvine	NASA Jet Propulsion Laboratory	
ドイツ	Alfred Wegener Institute		