

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23684040

研究課題名(和文)統合的モデリング手法による古海洋変動シミュレーション

研究課題名(英文)Simulation of long-term ocean variability by integrative modeling approach

研究代表者

岡 顕(OKA, AKIRA)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：70396943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,200,000円、(間接経費) 6,360,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、数百年以上の長期気候変動についての理解を目指し、詳細な大気海洋結合大循環モデルに加えて、長期時間積分が可能な簡略化した大気モデルを用いた結合モデル、およびシミュレーション結果と古海洋データとの直接比較を可能とする海洋炭素・物質循環モデルを併用し、それらのモデル群を組み合わせた統合的なアプローチにより、海洋環境場の長期変動シミュレーションを効率的かつ詳細に行うための手法を開発した。その手法を用いて、氷期の大西洋深層循環についての数値シミュレーションを行った結果、大西洋深層循環に熱的な閾値が存在し、そのことが氷期の気候変動を理解する上で重要な鍵となることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：By using a group of climate model including atmosphere and ocean general circulation model, climate model of intermediate complexity, and ocean biogeochemical model, we conducted long-term simulation of ocean and climate variability. From the simulation of the Atlantic meridional overturning circulation at the glacial climate, we identified the thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation which is a key process to understanding the glacial abrupt climate changes.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象海洋物理陸水学

キーワード：気候

1. 研究開始当初の背景

地球の気候はさまざまな要因・さまざまな時間スケールで変化しうるものであり、その全貌を把握することは容易なことではないが、とくに近年の観測データがカバーできない長期気候変動についての我々の理解は十分とはいえない。そういった長期気候変動にも目を向け、地球の自然の成り立ちについての理解を深めることは、将来の気候変動についてのより確かな科学的知見を与えることにもつながると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、数百年以上の長期気候変動についての理解を目指し、将来においても起こる可能性のある大規模気候変動についての科学的な知見を深めることを目的とする。そのような長期気候変動の理解には、深層まで含めた海洋の振舞いが重要となる。本研究では、過去の地球で実際に起こった大規模海洋変動を伴う気候変動に着目し、そのなかでも古気候・古海洋データが比較的密に存在する今から約2万年前の最終氷期、および最終氷期から現在にかけての海洋変動・気候変動現象を対象とする。

3. 研究の方法

本研究では、さまざまなモデル群を駆使した統合的モデリングによるアプローチにより、過去において引き起こされた古海洋変動・大規模気候変動の数値シミュレーションを行う。研究のターゲットは、最終氷期における大西洋深層循環、最終氷期における海洋炭素循環、氷期から現在への移行期に引き起こされた寒冷化イベント、などであり、それらを効率的かつ詳細に再現するために必要なモデリング手法を確立し、古海洋変動シミュレーションを実施する。

まず、¹については、大気海洋結合大循環モデル MIROC で実施されている現在および氷期のシミュレーションの結果から、海面での大気境界条件を作成する。作成した海面境界条件を用いて、海洋大循環モデル COCO による大西洋深層循環の再現シミュレーションを行う。海面での大気境界条件を現在から氷期にかけて徐々に変更する感度実験などを通じて、氷期における大西洋深層循環の振舞いを調べる。²については、MIROC および COCO によって得られた海洋物理場を利用して、海洋物質循環によるオフライン実験を実施することで、氷期における大気中二酸化炭素濃度変化に対する海洋の役割を議論する。³については、簡易気候モデル MIROC-lite を用いて、大気二酸化炭素濃度、軌道要素、氷床からの海洋への融解水についての条件を最終氷期から現在気候へと時系列的に移行さ

せる遷移実験を行い、退氷期における大西洋深層循環の変化と急激な気候変動との関連を議論する。その際に、氷期の大西洋深層循環を現実的に再現できるよう、⁴で得られた結果を参考に MIROC-lite を適切に改善したうえで実験を実施した。

4. 研究成果

研究期間の前半においては、海洋大循環モデルを用いた感度実験、およびその結果を用いた海洋炭素・物質循環モデルによるオフライン実験を中心に研究を推進した(上記の⁵および⁶)。最終年度には、海洋大循環モデルでの結果を踏まえて、簡易気候モデルを改善し、氷期から現在にかけての退氷期のシミュレーション(上記の⁷)を実施した。これらの研究を通じて、さまざまなモデル群を組み合わせた統合的なアプローチにより、海洋環境場の長期変動シミュレーションを効率的かつ詳細に行うための手法を開発するという、本課題の大きな目標のひとつを達成することができた。

研究の具体的な成果としては、大西洋深層循環、および、氷期の海洋炭素循環に関する課題を中心に成果があった。大西洋深層循環については、これまでの研究から、氷期における急激な気候変動を引き起こした要素として重要視されていた。しかしながら、既存の気候モデルにおいては、最終氷期における再現に深刻な問題がある(古海洋記録から示唆される弱さを多くのモデルで再現できない)ことが知られていた。本研究では、氷期の大西洋深層循環に関する海洋モデルによる系統的な感度実験の結果から、大西洋深層循環には熱的な閾値が存在し、それが氷期の状態を決める上で重要な要素となりうることを初めて指摘した(文献3)。この成果は、Natute 誌の News&Views に紹介記事が載るなど、国内外で大きな注目を集めた。

最終氷期における海洋炭素循環については、氷期における海洋へのダスト降下量の増加が海洋生物生産に与える影響を評価した研究(文献9)などの成果があったものの、最終氷期における大気中二酸化炭素濃度低下を十分にモデルで再現できないという問題は残された。この問題は、気候学の大きな謎のひとつとして残されている未解決な問題であり、今後も継続的な研究が必要である。本研究でその解決の糸口として着目したことは、氷期において海水の水塊年齢が現在に比べて著しく古くなっているとの古海洋データからの報告である。本研究において、モデルによりその再現を試みたが、データが示唆するほどの古い水塊の再現は困難であるという結果を得た。氷期において、海洋深層に炭素が貯蔵されたことが大気二酸化炭素濃度低下を引き起こした可能性が指摘され

ているが、氷期の古い水塊年齢をモデルで再現できないことが根本的な問題となっている可能性が示唆される。本研究では、これまでの海洋大循環モデルにおける鉛直拡散係数分布についての取扱いを再検討し、潮汐による影響を陽に考慮した3次元空間分布を与えることで、現在気候における海水の水塊年齢をより現実的に再現することができるといふ新しい知見を得ることができた(文献1)。今後は、本研究で得られた知見を、氷期海洋炭素循環を含めた海洋物質循環の理解へとつなげる研究に発展させたいと考えている。

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6件)

1. Oka, A. and Y. Niwa (2013): Pacific deep circulation and ventilation controlled by tidal mixing away from the sea bottom, *Nature Communications*, 4:2419, doi:10.1038/ncomms3419. (査読あり)

2. Chikamoto, O. M., A. Abe-Ouchi, A.Oka, and S. Lan Smith (2012): Temperature-induced marine export production during glacial period, *Geophysical Research Letters*, 39, doi:10.1029/2012GL053828. (査読あり)

3. Oka, A., H. Hasumi, and A. Abe-Ouchi (2012): The thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation and its control by wind stress forcing during glacial climate, *Geophysical Research Letters*, 39, doi:10.1029/2012GL051421. (査読あり)

4. Chikamoto, O. M., A. Abe-Ouchi, A. Oka, R. Ohgaito (2012): Quantifying the ocean's role in glacial CO2 reductions, *Climate of the Past*, doi:10.5194/cp-8-545-2012. (査読あり)

5. Chikamoto, O. M., L. Menviel, A. Abe-Ouchi, R. Ohgaito, A. Timmermann, Y. Okazaki, N. Harada, A. Oka (2012): Variability in North Pacific intermediate and deep water ventilation during Heinrich events in two coupled climate models, *Deep Sea Research II*, 61-64, 114-126. (査読あり)

6. Oka, A., A. Abe-Ouchi., M. Chikamoto, and T. Ide (2011): Mechanisms controlling export production at the LGM: effects of changes in oceanic physical fields and atmospheric dust deposition, *Global Biogeochemical Cycles*, 25, GB2009, doi:10.1029/2009GB003628. (査読あり)

[学会発表](計14件)

1. 岡 顕、丹羽 淑博、太平洋深層循環における潮汐混合の役割、2013年9月19日、札幌、2013年度日本海洋学会秋季大会

2. 小林 英貴、岡 顕、氷期の海洋炭素循環に関する数値シミュレーション、2013年9月17-21日、札幌、2013年度日本海洋学会秋期大会

3. A. Oka, Glacial climate and the Atlantic meridional overturning circulation - an ocean physical and biogeochemical modeling approach Sep 5, 2013, Barcelona, Spain, 11-th International Conference on Paleoceanography (招待講演)

4. A. Oka and Y. Niwa, Control of Pacific thermohaline circulation and ventilation by far-field tidal mixing, Jul 25, 2013, Gothenberg, Sweden, IHAS-IAPSO-IASPEI Joint Assembly.

5. 岡 顕、古海洋変動の理解のための海洋生態系・物質循環モデリング、2013年5月19日、東京、2013年度日本地球惑星科学連合大会(招待講演)

6. A. Oka, H. Hasumi, and A. Abe-Ouchi, The thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation and its control by wind stress forcing during glacial climate, Dec 7, 2012, San Francisco, USA, AGU fall meeting.

7. A. Oka, A. Abe-Ouchi, M. O. Chikamoto, T. Ide, Effects of Changes in Oceanic Physical Fields and Atmospheric Dust Deposition, Aug 14, 2012, Singapore, AOGS.

8. 岡 顕、氷期気候と海洋深層循環・気候モデルと古海洋データとの比較検証のための海洋物質循環モデリング、2012年5月24日、東京、2012年度日本地球惑星科学連合大会(招待講演)

9. A. Oka, H. Hasumi, and A. Abe-Ouchi, May 7, 2012, Thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation and its control by wind stress forcing during glacial climate, Crewe, UK, PMIP General Meeting

10. A. Oka, A. Abe-Ouchi, M. O. Chikamoto, T. Ide, Investigation on mechanisms controlling export production at the LGM with an biogeochemical ocean model, Apr 25, 2012, Vienna, Austria, EGU General Assembly.

11. A. Oka, A. Abe-Ouchi, M. O. Chikamoto, and T. Ide, Investigation on mechanisms controlling export production at the LGM by using an ocean

biogeochemical model, Feb 22, 2012, Salt lake city, America, Ocean Science Meeting.

12. A. Oka, A. Abe-Ouchi, and H. Hasumi, Two different modes of the Atlantic meridional overturning circulation corresponding to stadial and interstadial periods in glacial climate, July 1, 2011, Merbouren, Australia, IUGG XXV 2011

13. 岡 顕、阿部彩子、羽角博康、氷期における大西洋深層循環と急激な気候変動、2011年5月27日、東京、2011年度日本地球惑星科学連合大会

14. 岡 顕、阿部彩子、近本めぐみ、氷期における海洋炭素・鉄循環のシミュレーション、2010年5月26日、東京、2010年度日本地球惑星科学連合大会

6 . 研究組織

(1)研究代表者

岡 顕 (OKA AKIRA)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：70396943