

過去の大規模な気候変動における氷床・海洋・大気の相互作用の解明

Understanding the interaction between ice sheets, ocean and atmosphere under large scale climate changes of the past

課題番号：17H06104

阿部 彩子（ABE-OUCHI, AYAKO）

東京大学・大気海洋研究所・教授



研究の概要（4行以内）

地球軌道要素や温室効果ガスなどの外力に対する氷床・海洋・大気システムの変動を明らかにするために、統合的な気候モデルを用いて過去の大規模な気候変動を再現し、そのメカニズムを調べる。数千年周期で繰り返す急激な気候変動や、氷期から間氷期へ移行する退氷期の気候変化、過去150万年の氷期サイクルの気候遷移などの長期気候変動力学モデルを構築する。

研究分野：環境学

キーワード：環境変動、古気候モデル

1. 研究開始当初の背景

過去100万年において、約10万年周期で氷期と間氷期が交代する氷期サイクルが知られ地球軌道要素が究極の原因かどうか（ミランコビッチ理論）気候変動に関する地球科学の重要課題である。これまでの我々の研究で、本格的な数値モデルを用いて初めて過去40万年の氷期サイクルの再現に成功し、軌道要素の役割と気候・氷床・固体地球の相互作用や、二酸化炭素フィードバックの重要性を示した。しかし、近年矛盾とも見える高解像度観測が出され、より長期の氷期サイクルの要因解明や、氷期サイクルにおける急激な気候変化メカニズム、退氷期の複雑な気候変化プロセス理解など未解決課題となっている。

2. 研究の目的

(1) 氷期に数千年周期で繰り返す急激な気候変動（ダンスガード・オシュガーイベントDOE）を大気海洋結合モデルによって再現し、古環境データに見られる様々な特徴（氷山の大量流出減少や、アジアや熱帯の急激な水循環変化、海洋物質分布の変化、各地の環境変化など）のメカニズムを提示する。

(2) 二酸化炭素濃度や軌道要素、氷床形状を様々に変化させ気候応答をみる「感度実験」を数多く行い、急激な気候変動が起こる条件を解明する。「氷期中期にしか起こらなかった理由は何か」、「自励的な振動か、何らかの強制力への応答か」、「将来温暖化で起こる可能性は？」といった重要な未解決問題への解答を与える。

(3) 大気・海洋・氷床・固体地球の相互作用

を明らかにするために、複数のモデルを組み合わせて、氷期から間氷期への移行における氷床・気候変動を再現する。これにより、退氷期や間氷期の気候や海水準が時代により異なっていた要因を詳細に調べる。過去150万年間の氷床モデルの超長期積分などを通じて、氷期サイクルの卓越周期が約100万年前を境に4万年から10万年に移り変わった原因を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、大気海洋結合モデルMIROC GCMや氷床モデル、植生モデルを用いて、過去150万年の地球軌道要素と温室効果ガスを入力として氷床や気候シミュレーションを行い、氷床と気候と深層海洋の変化機構を調べる。

特に、氷期サイクルの周期の変化、氷期終焉の退氷期の気候と氷床と海洋の変化、そして数千年の急激な気候変動の再現とその出現条件を探るための感度実験を数多く実行、分析し、海洋、大気、氷床のシステムの振る舞いを定量化し、古気候データと合わせて変動メカニズムを解釈する。

海洋物質循環モデル、同位体モデルを用いて古気候データと比較可能な諸量を計算し、各種古気候データとの直接比較を可能にすることで気候モデルの検証も進める。

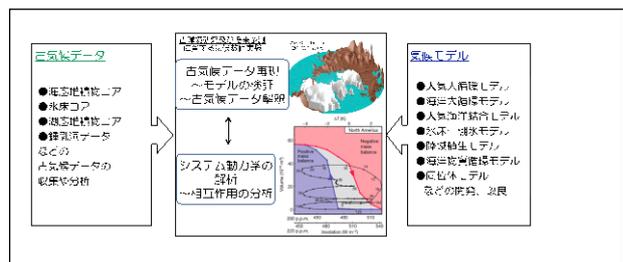


図2 研究手法概要

4. これまでの成果

(1)大気海洋結合モデル MIROC を用いて氷期に数千年周期で繰り返す急激な気候変動(ダンスガード・オシュガーイベント DOE)と古環境データに見られる様々な特徴を世界に先駆けて再現できた。(2)大気中CO₂濃度と日射パラメータを変えた長期実験を行い、北大西洋深層循環の振動の発生条件を明らかにした。さらに、氷期末期の実験を行って、現実の時系列で起きた急激な気候変化(1番目の DOE)への示唆を示すことができた。計算された大気海洋場の解析と感度実験から、CO₂による南大洋の冷却過程を通して、海洋深層の温度・密度変化が振動の形成に寄与すると考えられるというメカニズムを提示した。このような気候モデルの深層循環の振動を北大西洋深層循環の振動の数値モデルと比較して、ある限られた条件下での固有振動と解釈できることを示した。(3)過去150万年の氷床と気候のモデリングについて、4万年周期の観測されている時期の再現に着手した。160万年前から120万年前の時代に着目し、大気中二酸化炭素濃度CO₂が230ppmで一定の下で、4万年周期の氷期サイクルのデータと整合的な結果が得られた。この時期の氷期サイクルの形成に軌道要素と氷床-気候の非線形性が重要な役割を果たしたこと、退氷のタイミングや氷期サイクルの形状を決めるのは自転軸傾斜と歳差の位相であることがわかった。ここまで得られた成果は、海洋や氷床と海水準変化が過去にどう変化し、将来どのように変化していくかを統一的に説明したり、過去と将来の共通点や違いなどを広く示すことにつながると期待される

5. 今後の計画

(1)気候モデルの結果とメタンなどのアイスコアや古海洋データによる気候復元との比較やモデルの詳細な解析を進め、現実に来た DOE の要因を解釈する。(2)氷期中盤は気候変動の周期が短いという問題に着目して、北大西洋深層循環の振動の維持や遷移メカニズムとその周期を決めている要因を調べるための大気海洋結合モデル感度実験を行う。(3)氷期サイクル形成理解の上でポイントとなる、離心率が小さく氷期から間氷期の振幅が大きい時代(40万年前)など多数の退氷期と間氷期の氷床モデル実験を行う。氷床再現に対する海洋循環による熱輸送変化の影響を考慮するため、大気海洋結合モデルによる実験も行う。過去150万年の氷期サイクル実験を通じて、4万年から10万年に周期が変化した要因を分析する。より古い年代のアイスコアやより高解像度の古海洋データ取得や解釈のための古環境モデリングの高度化や活用の方策も探る。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

<主要発表論文>

1. Sherriff-Tadano, S. and Abe-Ouchi, A. (2020) Roles of sea ice-surface wind feedback in maintaining the glacial Atlantic meridional overturning circulation and climate. *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-19-0431.1.
2. Obase, T. and Abe-Ouchi, A. (2019) Abrupt Bolling-Allerod Warming Simulated under Gradual Forcing of the Last Deglaciation. *Geophysical Research Letters*, 46, 11397-11405. doi:10.1029/2019GL084675. (プレスリリース解説あり)
3. Menviel, L., E. Capron 他17名 (Abe-Ouchi, A. 6番目) (2019) The penultimate deglaciation: protocol for Paleoclimate Modelling Intercomparison Project (PMIP) phase 4 transient numerical simulations between 140 and 127 ka, version 1.0. *Geoscientific Model Development*, 12, 3649-3685. doi:10.5194/gmd-12-3649-2019.
4. Yamamoto, A., Abe-Ouchi, A. 他3名 (2019) Glacial CO₂ decrease and deep-water deoxygenation by iron fertilization from glaciogenic dust. *Climate of the Past*, 15, 981-996. doi:10.5194/cp-15-981-2019.
5. Uemura, R. 他18名 (Kawamura, K. 5番目, Abe-Ouchi, A. 13番目) (2018) Asynchrony between Antarctic temperature and CO₂ associated with obliquity over the past 720,000 years. *Nature Communications*, 9, 961. doi:10.1038/s41467-018-03328-3.

<受賞一覧>

1. 2020年度 吉森正和 古気候シミュレーションを活用した気候感度および気候フィードバックのメカニズムに関する研究 日本気象学会賞
2. 2018年度 津滝 俊 カービング氷河の急激な変動メカニズムの解明 日本雪氷学会平田賞
3. 2017年度 木野佳音 地球の軌道要素の変化に対する気候の応答 日本地球惑星科学連合学生優秀発表賞
4. 2017年度 渡辺泰士・阿部彩子・齋藤冬樹・木野佳音 更新世初期の4万年周期の氷期間氷期サイクルの再現と軌道要素の役割 地球環境史学会優秀発表賞

7. ホームページ等

<http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~abeouchi/abeouchi@aori.u-tokyo.ac.jp>