

# 論文審査の結果の要旨

氏名 シェリフ多田野 サム

地球の気候は過去数十万年間に渡って、寒冷で北米、北欧等大陸上に巨大な氷床が形成された氷期と、現代のように比較的温暖な間氷期をおよそ 10 万年程度の周期で繰り返してきたと考えられている。近年では、寒冷な時期にも、ダンスガード・オシュガー (DO) 振動と呼ばれる、相対的に温暖な亜間氷期と寒冷な亜氷期という準安定な気候の間を数千年という短い時間スケールで激しく行き来する変動が存在したことがわかってきた。氷期には海洋深層循環、とくに大西洋子午面循環 (AMOC) が現代より弱かったことが地質学的データで示唆されているが、AMOC の強さは DO 振動に伴っても激しく変動したといわれている。このような古気候変動のメカニズムを解明することは、現在気候および将来の地球温暖化を理解する上でも重要な研究課題である。

コンピュータモデルによる氷期気候のシミュレーションでは、地質データとは逆に現在より強い AMOC 計算される場合が多く、その理由は明らかになっていない。また DO 振動のような激しい変動の再現もなされていない。

申請者は、古気候変動、ことに AMOC の変動に対する氷期氷床の役割に焦点を当てて、実際の気候を精度よく再現できる世界最先端の大気海洋結合気候モデル (AOGCM) を用いたメカニズム研究を行った。

第 1 章においては、AMOC の古気候変動に対する氷床の役割についての既存研究のレビューがなされ、多様な数値実験結果をもたらすメカニズムの理解が不十分であることが指摘されている。本研究では、拡大した氷床に伴う、大気風系の変化、海面での熱・水エネルギー交換等の各プロセスの役割を明らかにすることが目的とされている。

第 2 章では、氷期に拡大した大陸氷床による大気風系の変化が AMOC を強化する方向に働くことが AOGCM の大気部分、海洋部分を用いた数値実験によって明らかにされている。北米氷床の下流側の北大西洋での大気循環の変化が海洋風成循環を変え、海洋塩分の水平・鉛直輸送を変化させることによるもので、大気風系の変化には大きなモデル依存性がなく、多くの氷期シミュレーションで AMOC が強化される原因の一つと考えられる。これまでの研究では扱われなかった、北米と北欧氷床それぞれの相対効果や、風の変化の地域別の役割等も明らかにされた。

第 3 章では、DO 振動の亜氷期から亜間氷期への遷移を模した数値実験をもと

に、氷床の大きさが、氷期への遷移に及ぼす影響が調べられている。第2章の結果と整合的に、大きな氷床ほど遷移が速やかに起こることが確認された。この章では、AOGCMを用いた実験の大気-海洋間熱・水交換を制御する部分非結合実験手法を提案し、これを駆使してプロセス毎の効果を分離することに成功した。風の効果が氷期への遷移、AMOCの強化を助長する一方、熱、すなわち海面での冷却の効果はこれと逆向きに働くことがわかった。海面での水交換はこの場合効果は小さい。部分非結合実験により、風、熱それぞれのプロセスの働き方の詳細を吟味することが可能となり、異なるモデルでの実験結果の解釈の指針が与えられた。また、AMOCの急激な強化には、グリーンランド海での密度の大きい海水の沈み込みが引き金となることも明らかになった。

第4章では、用いたAOGCMの海洋混合に関わるパラメータ値を変えることにより、氷期にAMOCが弱化するという、地質データと整合的な実験結果をもとに、部分非結合実験を行い、背景気候、この場合はとくに北大西洋での海氷範囲の拡大が、大気風系や海面冷却それぞれのプロセスの働き方を変える仕方について解析されている。より寒冷的な気候下で海氷が広く北大西洋を覆うことで海水と大気の熱交換が遮断され、大気下層の安定度を大きく変化させることにより地表風系に大きな変化が起こり、これがAMOCの弱화를助長することによって、相対的に温暖な気候下でのものとは風と熱プロセスの働き方の大小関係が逆転することが示される。このことは、モデルによって異なる実験結果の理解に大いに貢献する知見である。

第5章では、本研究の主要結論がまとめられ、さらに古気候変動のより包括的な理解に向けた検討課題が具体的に議論される。

本研究は、世界最先端の大気海洋結合モデルを駆使した数値実験とその緻密な解析により、古気候変動に関わる物理プロセスを分離することに成功し、それにより、メカニズム解明を大いに進展させる知見が得られた。また、本研究で提案された数値実験手法は、今後の古気候メカニズム研究に大きな指針を与えるものであると考えられる。

よって、博士（理学）の学位を授与できると認める。

なお、本論文第2章は、阿部 彩子氏らとの共著論文の結果を含んでいるが、論文提出者が主体となって計算及び解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。