

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小長谷 貴志

近年の観測により、南極氷床の質量が減少する傾向にあることが明らかになってきており、将来に急激な崩壊が起こる可能性についても議論となっている。過去の南極氷床変動を理解して将来の南極氷床変動を制約することを目指し、古気候を題材にした気候・氷床モデリングにより、南極氷床変動に関する研究が進められている。本論文は、現在に比べて南極域の気候が温暖で、南極氷床が縮小していたと考えられている今からおよそ 13 万年前の最終間氷期の気候再現、および、棚氷底面融解を決定するプロセスについてのモデル研究を通じて、過去と将来の南極氷床変動メカニズムについて議論している。

本論文は、5 章から構成されている。

序論である第 1 章では、気候と南極氷床の関係を調べた気候モデリングについての先行研究をレビューするとともに、本研究で着目する 2 つの課題を提示している。1 つ目の課題は、最終間氷期における温暖な南極域の気候を気候モデルではうまく再現することができず、南極域が温暖であった要因が未解明であるという点である。2 つ目の課題は、南極棚氷の質量収支プロセスであり、棚氷付近の海洋循環変化によって棚氷底面融解量の変化が生じることが指摘されているが、長期の気候変化におけるその役割は十分に調べられておらず、モデルを用いたこれまでの再現においては簡易的に扱われてきた点である。本論文では、第 2 章で 1 つ目の課題、第 3 章で 2 つ目の課題を取り上げ、第 4 章でそれらの結果に基づき将来の南極氷床変動について議論することが述べられている。

第 2 章では、大気海洋結合モデルを用いて最終間氷期についての気候再現実験を行い、南極域が温暖であった要因について調べている。氷期からの気候遷移に着目するため、氷期気候での平衡状態を初期値とし、日射・温室効果ガス・海洋への氷床融解水の流入といった境界条件を氷期条件から間氷期条件へと遷移的に変化させることで、退氷期についての遷移実験を実施した。遷移実験は、最終氷期から現在の間氷期初期まで、および、約 14 万年前の氷期から最終間氷期までの 2 つについて行い比較した。世界初となる大気海洋結合モデルによる 2 つの退氷期についての比較実験の結果は、グリーンランドと南極での気温、および大西洋深層循環の強さについての気候復元データを極めてよく再現するものであった。この結果から、2 つの退氷期では、両者の海洋への氷床融解水の流入量の違いによっ

て、大西洋子午面循環の推移に違いが生じ、それに伴う海洋熱輸送の変化が最終間氷期における南極域での昇温を引き起こしうることを示した。

第3章では、南極氷床の質量バランスに大きく寄与するプロセスとして、近年とくに注目を集めている棚氷底面融解と南極域海洋循環との関係に焦点を当てている。棚氷底面融解プロセスを陽に扱う棚氷-海洋結合モデルを用いた南極域領域モデルシミュレーションによって、現在条件、氷期条件および二酸化炭素濃度倍増時における棚氷底面融解量を評価した。その結果、氷期と現在との違いは小さい一方、二酸化炭素濃度倍増時には棚氷底面融解量が大きく増加することが分かった。温暖化時と寒冷化時でのこの応答の違いは、南極沿岸での海氷生成により生じる大陸棚上の高密度水の存在により、暖かい海水の棚氷下への流入が阻害されるというプロセスが維持できるかどうか起因していることを示した。

第4章では、以上で得られた結果を踏まえ、南極氷床が縮小する条件と、将来の南極氷床変動について議論している。第2章から示された最終間氷期と将来では南極域の温暖化メカニズムは異なるものの、第3章で着目した棚氷底面融解に大きく影響する南極域での大気温度・海洋水温の上昇が両者で共通することを指摘し、南極氷床の急激な崩壊を引き起こしうるほどの棚氷底面融解量に、今後数百年程度で達しうる可能性を示唆した。

第5章では、論文全体についてのまとめが述べられている。

以上のように、本論文は、世界初となる大気海洋結合モデルによる2つの退氷期の遷移実験の比較を通じて、最終間氷期の南極域の温暖化の要因を解明するとともに、これまでの長期気候モデリングで簡易的に扱われてきた棚氷底面融解プロセスに南極域海洋循環が大きな役割を持つことを明らかにし、将来の南極氷床変動へも重要な示唆を与えている。これらの成果は、過去と将来の南極氷床変動プロセスの理解に大きく貢献するものであり、学位論文として十分な成果であると判断する。なお、本論文は指導教員である阿部彩子教授らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験手法の検討およびデータの解析・解釈を行っており、論文提出者の本研究に対する寄与は十分であると判断する。

従って、審査員一同は、博士（理学）の学位を授与できると認める。