

論文審査の結果の要旨

氏名 小林 英貴

氷床コアデータに含まれる気泡を用いた気候復元から、約 2 万年前の最終氷期最盛期の大気中二酸化炭素濃度は、産業革命前の現代と比較して 100 ppm 程度低かったことが知られている。この大気中二酸化炭素濃度の変化は、海洋炭素循環の違いに起因すると考えられているが、海洋大循環モデルを用いた先行研究では、100ppm の低下を再現できていない。海底堆積物分析からは、最終氷期最盛期の南大洋深層が、産業革命前と比べて高塩分で古い水塊で占められていたことが示されており、これに伴う成層の変化が大気中二酸化炭素濃度低下の原因の一つと考えられている(南大洋仮説)。本研究は、この南大洋仮説に着目し、海洋大循環モデルを用いて、南大洋深層での高塩分化の再現を図ると共に、南大洋の成層化とそれに伴う海底堆積物へと埋没する炭酸塩の変化(炭酸塩補償過程)の増幅を通じて、海洋全体のアルカリ度が氷期に増加したことが、大気中の二酸化炭素濃度の 100ppm の減少を説明しうることを世界で初めて示した。

本論文は 5 章から構成されている。

第 1 章は導入部であり、海洋炭素循環過程の概観を示すとともに、最終氷期最盛期の海洋炭素循環に関する過去の関連研究がレビューされている。

第 2 章で実施した、南極周辺の海底付近の塩分を古海洋データへ緩和するとともに小さい鉛直拡散係数を与え成層を強化した実験では、南極周辺で塩分成層が強まり、鉛直混合が抑制されることで深層の水塊が古くなり、深層への炭素の貯蔵量が増加することで、大気中二酸化炭素濃度が 47ppm 低下した。しかし、観測された約 100 ppm の低下を説明できなかった。

第 3 章では、炭酸塩補償過程の氷期の低い大気中二酸化炭素濃度への寄与について、自ら新たに構築した堆積モデルを用いて評価し、南大洋の成層強化を考慮することにより、その応答が増幅されることを明らかにした。第 2 章で示したように、南大洋で成層が強まることで、深層全体の溶存無機炭素が増加するが、それは深層の炭酸カルシウムの飽和度も減少させる。炭酸カルシウムが溶

解しやすい環境となることで、堆積層に埋没する炭酸カルシウムが減少する。この炭酸カルシウム埋没量の減少によって海洋全体のアルカリ度が上昇し、海洋表層の二酸化炭素分圧および大気中二酸化炭素濃度を低下させる。この炭酸塩補償過程は、南大洋における成層の強化でより効果的に機能する。これら二つの過程を考慮することにより、氷期の大気中二酸化炭素濃度低下は約 73 ppm に達した。

第 4 章では、氷期実験に海氷生成に伴い排出される高塩分水ブラインのパラメタリゼーションや成層に依存した鉛直拡散係数のパラメタリゼーションを用いることで、南大洋仮説で想定される氷期深層海洋を再現し、その上で炭酸塩補償過程を導入し、海洋炭素循環の応答を介した大気中二酸化炭素濃度の変化を評価した。その結果、各海盆の中深層において塩分成層が強まり、深層全体の水塊が古くなり、溶存無機炭素の鉛直勾配をさらに強めた。この時の氷期の大気中二酸化炭素濃度の低下は、90 ppm を超え、氷床コアデータが示す最終氷期最盛期における大気中二酸化炭素濃度の低下の大部分を説明することに成功した。

5 章では、論文全体のまとめと重要性、今後の課題について述べられている。

本論文は、氷期の南大洋における塩分成層の強化と炭酸塩補償過程を考慮することが、その大気中二酸化炭素濃度の再現に対して重要であることを、数値モデルを用いて初めて定量的に示し、氷期の海洋炭素循環の理解に大きく貢献したものであり、海洋物理学および海洋物質循環学の観点から、学位論文として十分な成果であると判断する。なお、本論文の第 2 章から第 4 章は、指導教員である岡頭准教授らとの共同研究であるが、何れも論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、その寄与は十分であると判断できる。

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。