

氷期における南大洋成層化が海洋炭素循環に及ぼす影響の評価 Role of Southern Ocean stratification in glacial atmospheric CO₂ reduction

小林 英貴^{1*}; 岡 顕¹
KOBAYASHI, Hidetaka^{1*}; OKA, Akira¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

約 80 万年前から現代にかけて、氷期-間氷期サイクルに伴い、大気中二酸化炭素濃度が約 80-100ppmv 程度変動していたことが、氷床コアの記録から明らかにされている。その変動には、海洋が大きく関わっていることが認識されつつあるが、その詳細なメカニズムについては、未だ未解明な点が多い。古気候データから、南大西洋深層では 37.0psu を超える高塩分が示唆され、成層が現代より強くなっていたことが示唆されている。さらに、深海サンゴから得られた $\Delta^{14}\text{C}$ のデータから、南大西洋で水塊年齢が 3000 年を超えていたことが示されている。これらの証拠から、氷期には南大洋深層を中心に塩分による成層が強く、海洋深層が表層から隔離され、南大洋深層が氷期に炭素の大きな貯蔵庫であった可能性が示唆されている。

本研究の目的は、氷期における南大洋成層化が海洋の炭素循環場に与える影響について、数値モデリングによる定量的な評価を行うことである。まずは、古気候データから示唆される、南大洋深層における高塩分かつ古い水塊年齢を、三次元の海洋大循環モデルを用いて再現することができるかを議論する。その上で、そのような南大洋での変化が大気中二酸化炭素濃度にどの程度影響するのかを評価する。現代 (CTL) と LGM に関する標準実験では、大気中二酸化炭素濃度は CTL 実験が約 303ppmv、LGM 実験が約 259ppmv で、LGM-CTL 間の大気中二酸化炭素濃度差は、約 44ppmv であった。また、LGM 実験において、データから示唆される南大洋深層における高塩分で古い水塊は再現されなかった。ブラインリジェクション過程を表現することで、氷期の塩分分布は概ね再現できたが、南大洋深層の高密度化に伴う循環構造の変化の影響で、古い水塊年齢や氷期の大気中二酸化炭素濃度は実現されなかった。さらに、塩分成層が鉛直混合を弱くもたらす過程を考慮するため、鉛直拡散係数を成層に依存させた形で与えたところ、高緯度の深層水形成領域で鉛直拡散係数が大きくなり、循環構造の変化が大気中二酸化炭素濃度の増加をもたらした。そこで、南大洋の成層化を想定し、南大洋の鉛直拡散係数を理想的に $0.1\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ とする数値実験を実施したところ、標準実験に比べて約 11ppmv の大気中二酸化炭素濃度の減少が生じたが、南大洋の局所的な成層化による深層への炭素貯蔵の増加だけでは、氷期の低い大気中二酸化炭素濃度を説明できなかった。その後、全海洋で鉛直拡散係数を理想的に $0.1\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ とする実験についても行ったが、その応答は標準実験に比べて約 15ppmv の大気中二酸化炭素濃度の減少に過ぎず、鉛直拡散係数の変化に伴う循環構造の変化だけでは、氷期の低い大気中二酸化炭素濃度は実現するのは困難であった。これらの結果から、炭酸塩補償過程など、今回用いた数値モデルでは表現されない過程の重要性が示唆された。

キーワード: 海洋炭素循環, 最終氷期, 南大洋, 海洋大循環モデル

Keywords: ocean carbon cycle, Last Glacial Maximum, Southern Ocean, Ocean general circulation model