

地球温暖化に伴う溶存酸素減少に対する南大洋の重要性

山本彬友¹, 阿部彩子¹, 重光雅仁², 高橋邦生³, 山中康裕²

¹ 東京大学 大気海洋研究所

² 北海道大学 環境科学院

³ 海洋研究開発機構

The importance of the Antarctic Ocean on ocean oxygen depletion associated with global warming

Akitomo Yamamoto¹, Ayako Abe-Ouchi¹, Masahito Shigemitsu², Kunio Takahashi³ and Yasuhiro Yamanaka²

¹ *Atmospheric and Ocean Research Institute, University of Tokyo*

² *Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University*

³ *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology*

Ocean warming, increased stratification and weakening ocean circulation caused by global warming will likely lead to declines in dissolved oxygen in the ocean. This oxygen reduction can be considered as one of major stressor of ocean ecosystems and ocean biogeochemical cycles. A few earth system models of intermediate complexity show continuing oxygen reduction for 1000 years or more into the future, even after atmospheric CO₂ stops rising. The projected declines in the total oxygen inventory are as large as 30%. In contrast, fully coupled general circulation models cannot generally be run sufficiently long because of computational cost.

In this study, we conducted a quasi-equilibrium experiments (2xCO₂) for 2000 years using MIROC 4m. We calculated the change in dissolved oxygen concentration due to global warming using an off-line ocean biogeochemical model and the physical variables simulated by MIROC 4m. Global mean oxygen concentration decreases by 6 μmol/L at 200 model years. However, oxygen concentration rapidly recovers and overshoots preindustrial conditions. This recovery is induced by deep water formation in the Weddell Sea. Sea ice reduction in the winter and warming of the deep ocean lead to unstable stratification with respect to surface conditions, which then breaks down; ventilating the deep ocean. This deep water formation in the Weddell Sea result in a rapid increase in oxygen concentration in the deep Southern Ocean and a gradual increase in the other ocean. The potential for deep water formation in the Southern Ocean has important implications for ocean oxygen concentration in addition to the collapse of the Atlantic meridional overturning circulation that acts to stagnate the deep North Atlantic Ocean.

地球温暖化に伴う水温上昇(溶解度の低下), 成層化, 海洋循環の弱化は海水中の酸素濃度を全球的に減少させると考えられており, 海洋生物や生物地球化学的サイクルへの影響が懸念されている. 中程度の複雑さをもつモデルを用いたこれまでの研究では, 大気中の CO₂ 濃度上昇が止まった後も溶存酸素の減少は 1000 年以上続き, 最終的には約 30%減少すると示唆されている. 一方, コンピュータ資源の制約のため, 大気海洋結合モデル(GCM)を用いた溶存酸素減少の予測に関する研究のほとんどは 2100 年までに限られている.

本研究では GCM である MIROC と offline biogeochemical model を用いて理想的な温暖化実験(2xCO₂)を 2000 年積分し, 溶存酸素の濃度を計算した. 全球平均の溶存酸素濃度は 200 年かけて約 6 μmol/L 減少するが, その後回復し始め, 産業革命前の濃度より高くなる(図 1: 黒線). この酸素の回復は南極海から始まり, 特にウェッデル海周辺で起きていることが分かった(図 1: 赤線, 図 2). 南極海の冬期の海氷は約 700 年かけてゆっくり減少し, ウェッデル海周辺の open ocean になった場所で深層水が形成されていた. この深層水形成により, 酸素を多く含む表層水が深層に運ばれることで酸素の回復が起きたと考えられる.

GCM を長期積分した結果を使用することで, これまで示唆されてきた 3 要因(溶解度低下, 成層化, 循環の弱化)に加えて, 南大洋の振る舞いが温暖化に対する溶存酸素の変化について重要である可能性が初めて示された. 長期的な冬期の海氷減少やウェッデル海周辺での深層水形成については不確実性が大きいと考えられることから, 今後は観測やモデルの比較等を通じて検証する必要がある.

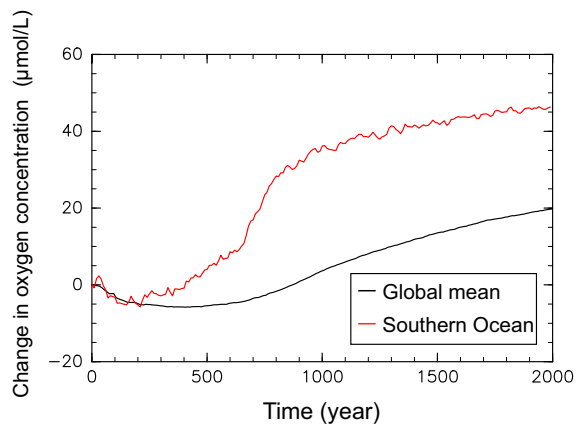


Figure 1. Changes in oxygen concentration from preindustrial conditions. Black line shows global mean changes in oxygen concentration. Red line shows changes in oxygen concentration in the Southern Ocean.

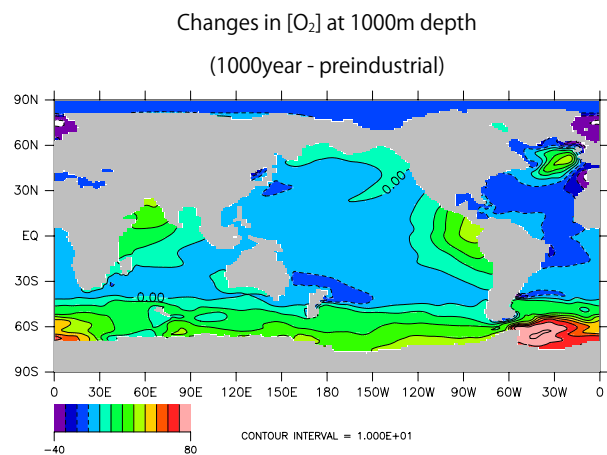


Figure 2. Distribution of oxygen change at 1000 m depth after 1000 model years