



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Comparison of ocean deoxygenation between CMIP models and observations in the North Pacific in the last half century [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	阿部, 佑美
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16085号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93419
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yumi_Abe_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 阿部 佑美

学 位 論 文 題 名

Comparison of ocean deoxygenation between CMIP models and observations in the North Pacific in the last half century

(北太平洋における過去半世紀の海洋貧酸素化に対する CMIP モデルと観測との比較)

酸素は過去半世紀にわたり、海洋の生物活動によって消費される重要な溶存ガスであり、植物プランクトンの光合成や大気とのガス交換によって海洋表層で飽和状態に達する。光合成や呼吸などの過程において、酸素は二酸化炭素と直接関連しているため溶存酸素 (O_2) の変動を理解することは、地球温暖化の文脈で重要な炭素循環を理解する上で不可欠である。地球温暖化に伴って全球海洋で O_2 の量が減少している。この現象は海洋貧酸素化と呼ばれ、様々なスケールの海洋生態系に直接的な影響を及ぼすことから、近年地球温暖化に関連する環境問題として注目されている。温暖化で地球環境がどのように変化するかを予測することは一般社会にとって非常に重要な、注目度の高い課題である。将来予測の確実性を高めるためには、予測モデルが過去の変化を適切に再現することが重要である。Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) では、 O_2 減少に対してモデルが観測よりも過小評価していたことが問題となっていた。CMIP6 ではモデル性能の向上により、 O_2 減少が観測データセット間の推定のばらつきの範囲内に収まっている。しかしながらその比較は全球海洋かつデータセット間のばらつきが大きい水深に限定されており、まだ粗いままである。本研究では、1958 年から 2005 年の間において観測データが豊富な北太平洋において観測データと CMIP5/6 のモデルアウトプットの比較を行い、CMIP モデルが観測データによって推定された O_2 減少をどの程度再現しているのか詳細を明らかにする。領域は北緯 15 度から 65 度、東経 120 度から 260 度、水深 0 m から 1000 m である。モデルは合計 20 モデルから使用可能な全てのアンサンブルである 204 のアンサンブルを用いた。大規模なアンサンブルを用いることは温暖化による外部強制応答と自然変動とによるモデル予測の不確実性を評価するのに有効である。自然変動についてモデルが観測を再現することは不可能であるため、両者の不確実性を分別してモデルの再現性について議論することは非常に重要である。近年の計算機の発達によって可能になった大規模なアンサンブルの解析は、 O_2 では単一モデルのみの解析が行われているに留まり、複数モデルかつ 200 以上のアンサンブルを使用した研究は本研究が初めてのものである。

モデルアンサンブル間の O_2 トレンドのばらつきは大きい。一部のモデルアンサンブルでは観測と同等以上の O_2 減少を示す一方で、増加トレンドを示すモデルアンサンブルも複数存在する。このようなモデルの不確実性は、大規模アンサンブル解析の結果自然変動による影響が大きいことが明らかになった。そのためトレンドについていえばモデルは観測を再現できていると考えられる。しかしながら、ほとんど全てのモデルは O_2 の気候値を過大評価している。特に観測以上の減少トレンドを示すアンサンブルが複数存在する IPSL-CM6A-LR や MPI-ESM1-2-LR では O_2 気候値の鉛直プロファイルは観測と大きく異なり、 O_2 の豊富な海洋表層から O_2 の少ない海洋内部にかけての勾配が非常に緩やかである。この気候値の違いはモデルが通風換気や混合といった背景場を十分に再現できていないことを示唆する。次にモデルが O_2 トレンドの空間パターンについて観測を再現できているのか調べた。モデル間経験的直交関数 (EOF) 解析により、北太平洋の O_2 トレンドのモデル間の大きさのばらつきが EOF 第一モードに現れる空間パターンと密接に関連していることが明らかになった。EOF 第一モードの空間パターンは北太平洋亜寒帯域西側とオホーツク海およびベーリング海付近で O_2 変化が大きい特徴がある。したがってこれらの領域で O_2 減少が大きいモデルは北太平洋全体でも O_2 減少が大きいということが明らかになった。モデルで示された北太平洋亜寒帯域での強い O_2 減少は、観測された O_2 トレンドの空間パターンとも一致

している。この亜寒帯域での O₂ 減少は生物が O₂ を消費することによる減少というよりも、通風換気や混合の弱化や成層の強化といった物理的要因によって引き起こされていることが示された。この結論は、モデルアンサンブル間の亜寒帯地域におけるポテンシャル水温と O₂ トрендとに相関が存在する一方で、溶存有機炭素と O₂ トрендとの間には有意な相関が存在しないことによって支持されている。しかしながら、観測はどのモデルアンサンブルよりも水温の昇温トレンドに対する O₂ の減少トレンドの比率が大きい。このため、CMIP モデルでの亜寒帯域の O₂ と水温の変化の関係は観測を正確に再現できておらず、モデルは観測とは別の要因によって観測と同程度の O₂ 減少が起こっていることが示唆される。さらに、グリッドデータだけでなくより生データに近い長期観測データとも比較を行った。北緯 50 度、西経 145 度に位置する Station P では、モデルが観測に比べて O₂ トрендを著しく過小評価し、O₂ 気候値を過大評価していることが明らかになった。これらの詳細な比較により、本研究では CMIP モデルは観測された O₂ 変化を十分に再現できていないことを明らかにした。