気候変動と富栄養化が海洋生態系•物質循環に与える複合的影響の評価

地球環境部門 環境変動予測研究センター

概要

背景: 化石燃料の燃焼や農業用肥料の利用などにより、大気や河川を介して海洋へ流入する栄養塩（窒素•鉄など）が劇的に増加している。この富栄養化は気候変動と同様に、海洋環境に大きな負荷をかける人為的要因である。

課題: 富栄養化の影響は沿岸域など局所的には評価•理解されているが、全球的な影響や気候変動との関係はほとんど理解されていない。

本研究: 富栄養化を考慮した地球システムモデルを開発し(MIROC-ES2L, Hajima et al., 2020)、シミュレーション実験を実施した。

結果: 過去の海洋基礎生産•貧酸素化•炭素吸収の全球的な変動において、富栄養化の影響が気候変動の影響に匹敵する可能性を示した。

→海洋環境に対する人間活動の影響を評価するには、気候変動と富栄養化の両方を考慮する必要がある(Yamamoto et al., 2022)

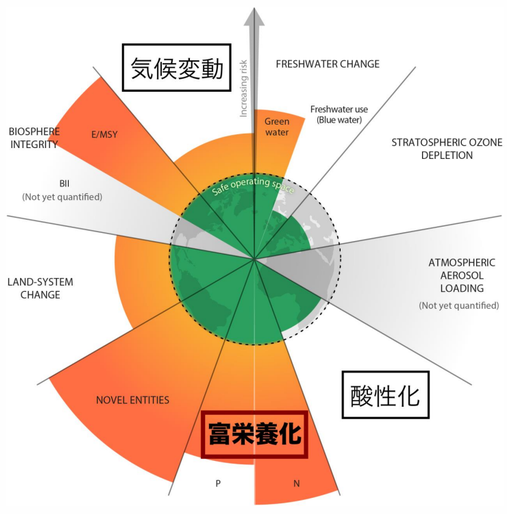

図1: 人間活動が地球環境に与える複合的影響を示したプラネタリーバウンダリー

Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Wang-Erlandsson et al 2022

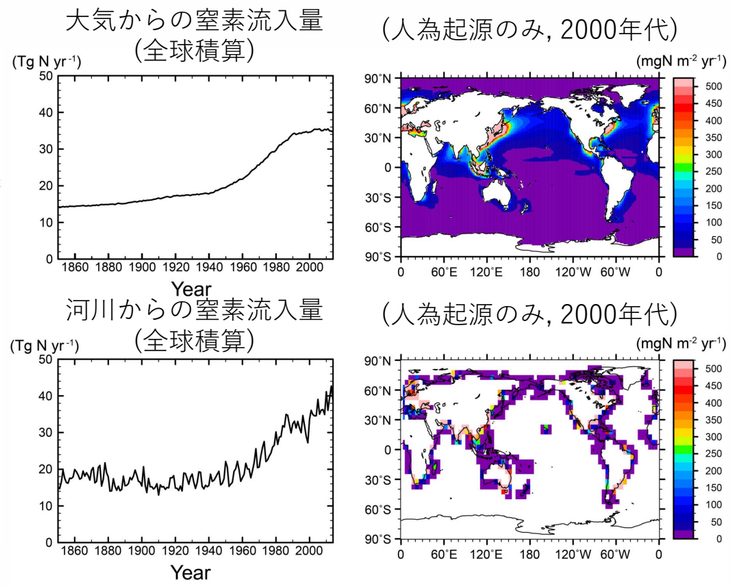

図2: 海洋に流入する窒素量の変化
上図: 大気経由, 下図: 河川経由

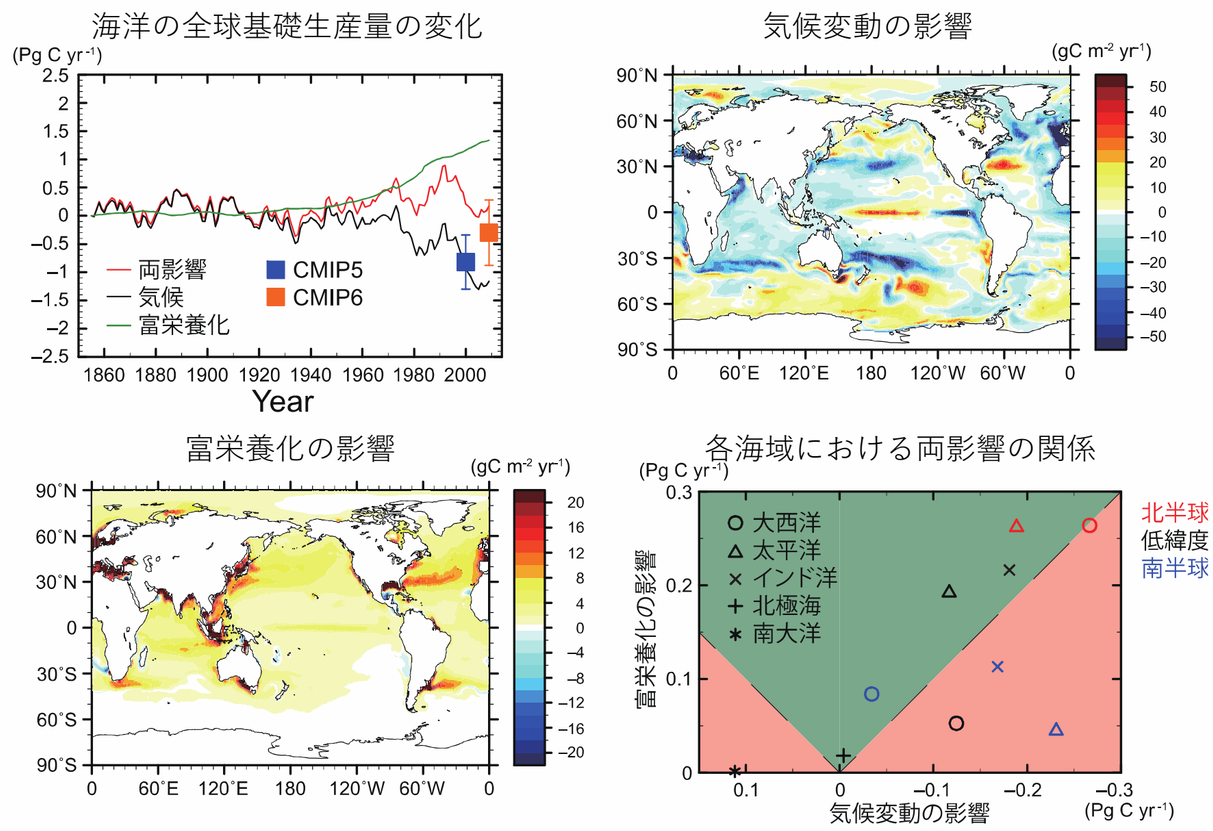

図3: 基礎生産に対する気候変動、富栄養化の影響

基礎生産に対する影響

気候変動: 成層化(※)により中低緯度では減少
水温上昇や光環境の改善により高緯度では増加
富栄養化: 栄養塩流入が多い沿岸域で基礎生産が増加
→**両影響がほぼ相殺**し、全球の基礎生産量はわずかに増加

•流入の多い北半球で富栄養化の影響が顕著であり、特に**北太平洋では富栄養化の影響が気候変動の影響を上回る。**

•窒素収支解析から、増加した窒素流入量の約半分が海洋に蓄積し基礎生産などに利用され、残り半分は窒素循環の変化(脱窒の増加と窒素固定の減少)によって消費された。
→富栄養化の影響を把握するには、栄養塩の流入量と生態系応答に加え、**窒素循環の応答の理解も重要**

※深い場所にある海水と表面にある海水が混じりにくくなる現象のこと

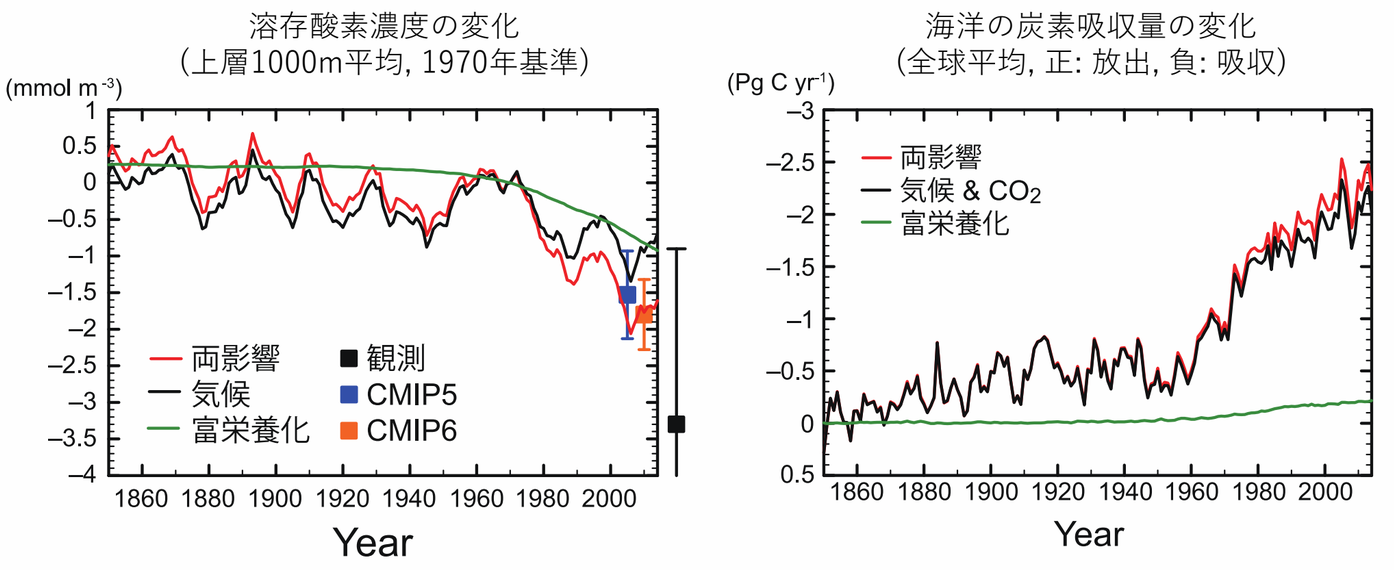

図4: 貧酸素化(左)と海洋炭素吸収(右)に対する気候変動(黒)、富栄養化(緑)の影響と複合的影響(赤)

貧酸素化•炭素吸収に対する影響

【貧酸素化】
気候変動: 水温上昇と成層化によって酸素濃度が減少
富栄養化: 有機物分解の増加によって酸素濃度が減少
→**両影響が同程度に寄与して貧酸素化を駆動**

•富栄養化を考慮することで、観測とモデルの不整合(モデル共通の問題)が一部改善

【炭素吸収】
気候変動: 水温上昇と成層化により減少(0.13Pg C yr⁻¹)
富栄養化: 有機物の輸送•分解の増加により増加(0.2Pg C yr⁻¹)
→**富栄養化が気候変動の影響を打ち消す**

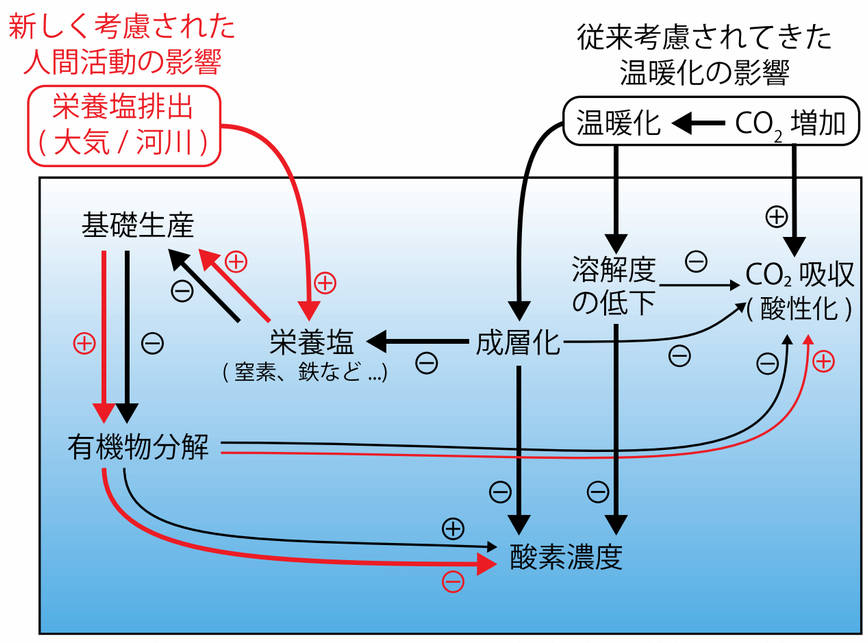

図5: 本研究から明らかになった海洋生態系•物質循環に対する気候変動(黒)と富栄養化(赤)の影響の概略図

まとめ•今後の展望

•本研究の結果から、海洋環境に及ぼす人為的負荷を低減するためには、気候変動と富栄養化の双方への配慮が必要であることが示された。
→**政策決定者に対する重要な示唆**となりえる

•人為的な栄養塩排出は今後も続くと予想されているため、複数の将来シナリオにおける富栄養化の影響評価に現在取り組んでいる。
また、モデル結果を検証するために、栄養塩濃度や基礎生産、窒素同位体(窒素循環応答の理解のため)などの観測結果と比較し、富栄養化の影響をより詳細に把握する予定である。

音声ガイド

右の二次元コードより音声ガイドを聞くことが出来ます。

山本 彬友
地球環境部門
環境変動予測研究センター