

第Ⅱ部門

海洋生物の pH 依存性が炭素吸収・固定・貯留機能に与える影響

大阪市立大学工学部

学生員 ○大町 佳史

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 相馬 明郎

1. はじめに

海洋は大気 CO_2 の重要な吸収源である¹⁾。Sohma et al.²⁾は、海洋が大気 CO_2 を吸収し、海底に貯蔵する一連の流れを気候変動緩和機能とし、この機能を(1) 海洋が大気から CO_2 を吸収する炭素吸収、(2) 生物が光合成等によって体内に炭素を固定する炭素固定、(3) 永久堆積層に炭素が貯留される炭素貯留の3つに区分した(図1)。特に生物生産性の高い沿岸域では高い炭素吸収・固定・貯留機能を有する可能性がある³⁾。一方、大気 CO_2 の上昇は海洋の酸性化をもたらし、海洋生物に影響を与えることは知られており、これまで幾つかの実験が行われている⁴⁾。しかし、酸性化に伴う海洋生物の代謝の変化が、気候変動緩和機能に与える影響は明らかになっていない。この影響の解明には、酸性化に伴う海洋生物の代謝の変化が、浮遊系・底生系に渡る炭素循環に与える影響を把握することが有効である。本研究では、海洋生物の pH 依存性と、浮遊系・底生系に渡る炭素循環を取り扱う生態系モデル EMAGIN_B.C_pH を構築し、現代(2000.A.D) および未来(2100.A.D)における東京湾の炭素吸収・固定・貯留機能を解析し、海洋生物の pH 依存性が都市沿岸域の気候変動緩和機能に与える影響を明らかにすることを目的とする。

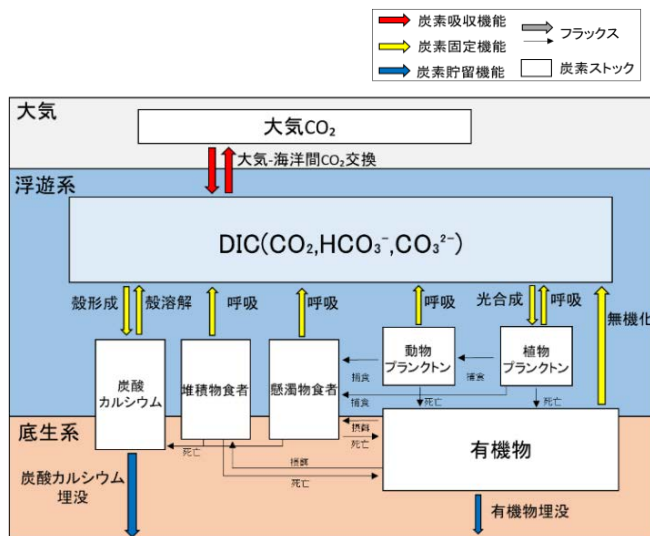


図1 生態系ダイアグラム簡略図

2. 研究方法

2.1. pH 依存モデルの構築

浮遊系・底生系に渡る炭素循環を取り扱う既存の生態系モデルとして EMAGIN_B.C²⁾がある。EMAGIN_B.Cは水温上昇に伴う生物化学過程、海洋生物(動・植物プランクトン、底生動物)代謝の変化や、酸性化と炭酸平衡系の関係は表現されている。しかし、酸性化による海洋生物への影響は考慮されていない。そこで本研究では、海洋生物の pH 依存性を新たに定式化し、EMAGIN_B.C²⁾に組込んだ生態系モデル、EMAGIN_B.C_pH を構築した。本モデルにより、酸性化による生物代謝の変化を考慮した気候変動緩和機能が評価可能となる。海洋生物の pH 依存性のモデル化では、生物の pH 変化に伴う成長速度・個体数変化に関する既往知見を統合し、植物プランクトン(PP)の光合成、動物プランクトン(ZP)、懸濁物食者(SFB)、堆積物食者(DFB)の摂餌において、図2のように pH による成長制限を関数化した。

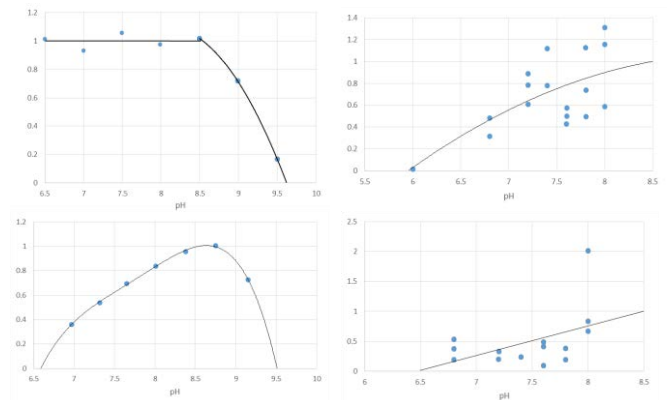


図2 各生物における pH 制限関数
(左上: PPの光合成, 右上: ZPの摂餌
左下: SFBの摂餌, 右下: DFBの摂餌)

2.2. モデルの適用と検証

開発した EMAGIN_B.C_pH を東京湾に適用した。適用の際、淡水流入、流入負荷、日射量、湾口境界値などの境界条件(モデル駆動力)は、1998~2002年の観測データや届出値より作成した一年周期関数

で与え、東京湾における現代（2000. A.D）の平年的な季節変動を表現した。モデルの検証は、DIC（溶解態無機炭素）、pH、 $p\text{CO}_2$ （水中の二酸化炭素分圧）のモデル変数の計算値と1998～2002年の観測値の比較をもって行い、計算値は観測値を概ね再現した。

3. 結果・考察

3.1. 解析方法

EMAGIN_B.CとEMAGIN_B.C_pHによる計算結果を比較することで、海洋生物のpH依存性が気候変動緩和機能に与える影響を評価した。また、両モデルの比較は、現代（1998～2002年）ならびに未来（2100年）の2つの時代に対して行った。ここで、現代とは、2.2で述べたモデル駆動力にて計算したもの、未来（2100年）とは、モデル駆動力のうち、水温・大気 CO_2 分圧・外洋DIC・河川DICの4項目を、RCP8.5シナリオで想定されている値に設定（表1）し、2000年から2100年までの100年間の時系列を計算し、2100年に到達した状態を示している。

表1 未来のモデル駆動力で数値を変更した4項目

変更項目	領域	現代(2000年)	未来(2100年)
(a)水温($^{\circ}\text{C}$)	浮遊系全域	17.1	19.1(+2.0)
(b)大気 CO_2 分圧(μatm)	大気全体	395	950(+555)
(c)外洋DIC(mgC/L)	浮遊系表層	23.0	25.8(+2.8)
(d)河川DIC(mgC/L)	全河川	15.4	17.3(+1.9)

3.2. 解析結果

(1) 現代のモデル駆動力を用いた解析結果

図3に各モデルによる現代の気候変動緩和機能の解析結果を示す。EMAGIN_B.C_pHはEMAGIN_B.Cと比較し、大気からの CO_2 吸収量は 3tonC/day 減少、生物の固定量は 40tonC/day 減少、永久堆積層への埋没量は 7.9tonC/day 増加した。この結果から、海洋生物のpH依存性は、大気に CO_2 を放出、生物体外に炭素を放出、海底に炭素を埋没する方向へ働き、気候変動緩和機能を低下させることが明らかになった。

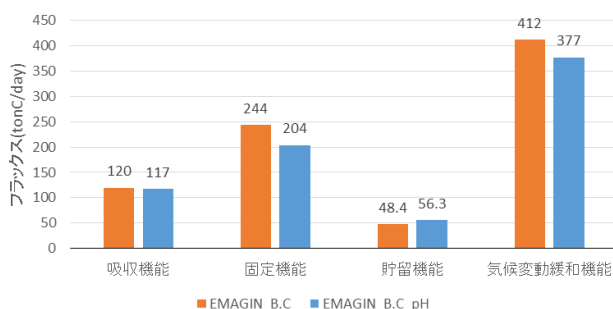


図3 現代における各モデルの気候変動緩和機能

(2) 未来のモデル駆動力を用いた解析結果

図4に各モデルによる未来の気候変動緩和機能の解析結果を示す。EMAGIN_B.C_pHはEMAGIN_B.Cと比較し、大気への CO_2 放出量は 60tonC/day 減少、生物の固定量は 131tonC/day 増加、永久堆積層への埋没量は 35tonC/day 増加した。この結果から、海洋生物のpH依存性は、大気から CO_2 を吸収、生物体内に炭素を固定、海底に炭素を埋没する方向へ働き、気候変動緩和機能を高めることが明らかになった。

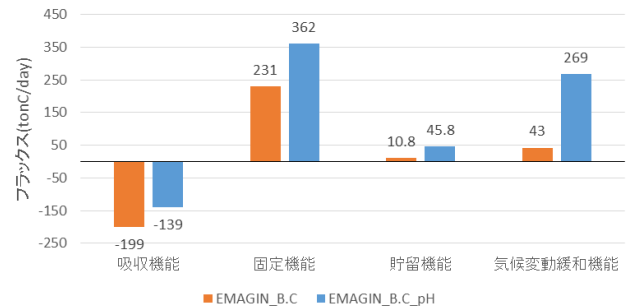


図4 未来における各モデルの気候変動緩和機能

4. 結論

本研究から以下の3点が示された。

- ・ 現代と未来のいずれにおいても、海洋生物のpH依存性はDICやpHにはほとんど影響を与えなかった一方、生物ストックには影響を与え、概ね減少させることが明らかになった。
- ・ 現代において、海洋生物のpH依存性による固定機能低下の主要因は、PPによる光合成量の減少であった。未来において、固定機能向上の主要因はPPによる光合成量の増加と、SFBによる呼吸量の減少であった。
- ・ 海洋生物のpH依存性は、現代においては気候変動緩和機能を低下させ、未来においては高めることが明らかになり、モデル駆動力によって生物のpH依存性が気候変動緩和機能に与える影響は異なることが示された。

参考文献

- 1) Archer, D., & Brovkin, V., 2008. The millennial atmospheric lifetime of anthropogenic CO_2 . *Climatic Change*, 90 (3) , 283-297.
- 2) Sohma, A., Shibuki, H., Nakajima, H., Kubo, A., Kuwae, T., 2018. Modeling a coastal ecosystem to estimate climate change mitigation and a model demonstration in Tokyo Bay. *Ecological Modeling*, 384, 261-289.
- 3) Nellemann, Christian, and Emily Corcoran, eds. Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon: a rapid response assessment. UNEP/Earthprint, 2009.
- 4) Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., ... & Gattuso, J. P., 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global change biology*, 19 (6) , 1884-1896.