

八代海における成層の影響を考慮した 海水中 CO₂に関する数値モデル開発

九州大学大学院 学生会員 ○小森博仁・齋藤直輝・熊柄 フェロー 矢野真一郎
神戸大学 正員 中山恵介 北見工業大学 正員 駒井克明 島根大学 正員 矢島啓

1. 目的

大気中の CO₂削減に関して、海洋生態系が固定する炭素「ブルーカーボン」が近年注目されており¹⁾、特に海草等が広く分布する沿岸域は炭素固定の場として期待されている^{2),3)}。一方で、沿岸域における CO₂吸収量の推計は不確実性が高い⁴⁾。海水中への CO₂吸収量の算定では海水中 CO₂分圧（以下、pCO₂）が用いられる。沿岸域の pCO₂は、生物活動や流動等の物理過程、地理・地形等の様々な影響を受けるため、時空間的に大きく変動する。よって、沿岸域の CO₂吸収量の推計結果を向上させるためには、多様な条件に基づいた pCO₂データを蓄積する必要がある。また、過去の研究事例では、成層の発達に伴い表層の溶存無機炭素濃度(DIC)が低下し、pCO₂動態が変化することが報告されている⁵⁾。しかしながら、成層発達期の pCO₂に関する時空間的に詳細な研究事例は少ない。

そこで本研究では、八代海において成層の影響を考慮した pCO₂の数値モデルの開発を試みた。また、齋藤ら⁶⁾による異なる成層条件下での現地調査結果を対象にモデルの再現性を評価した。

2. 研究内容

(1) 対象海域と現地観測

研究対象とする八代海は、流入する河川の流域面積のうち約 60%を球磨川が占めており⁷⁾、海草とサンゴの両方が生息する温帯域である特徴を持っている^{8),9)}。

齋藤ら⁶⁾は、成層の発達を確認するため、図-1 に示す球磨川河口に近い観測地点（北緯 32°27'30"，東経 130°27'37"，水深 20 m 程度）で定点観測を実施した。調査内容は水質調査および採水であり、3つの成層条件下（弱い成層期の 2018 年 8 月 26 日、混合期の同年 12 月 7 日、および強い成層期の 2019 年 8 月 2 日）の満潮 9 時頃から干潮 15 時頃までの半潮汐間に実施された。

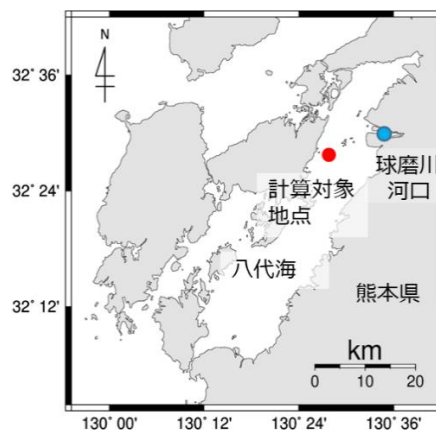


図-1 計算対象地点

(2) 流動モデル

本研究では、汎用型沿岸流域数値モデルである DELFT3D を数値シミュレーションに使用した。助走計算期間は 2 ヶ月間とした。計算領域は八代海と有明海を結合した領域を設定した。開境界条件は長崎県の樺島水道から鹿児島県の阿久根を結んだ線上で 40 分潮成分を与えた。水平方向の解像度は Δx が約 250 m であり、鉛直方向には σ 座標系で 17 層（上層から 2%×10 層、5%×1 層、10%×3 層、15%×3 層）を設定した。開境界の水温は福岡管区気象台による日別海況情報中の海面水温と 50 m 深水温データを使用した。河川流量は国土交通省の流量観測所の実測値を、気象データは気象庁アメダスの熊本地点の実測値を用いた。

(3) pCO₂ 評価のための低次生態系モデル

低次生態系モデルとして DELFT3D のサブモデルとして組み込まれている WAQ モデルを用い、流動モデルの結果をカップリングして計算を行った。モデルを構成する要素は、植物プランクトン（一種類）、栄養塩（三種類）、粒状態有機物 POM、溶存酸素 DO、ならびに溶存無機炭素濃度 DIC と全アルカリ度 TA とした（図-2）。pCO₂は炭素系の化学的平衡関係¹⁰⁾より水温、塩分、DIC および TA から算出した。考慮した素過程は、光合成・呼吸・枯死、有機物の無機化・沈降、硝化、再曝気等である。モデル式やモデルパラ

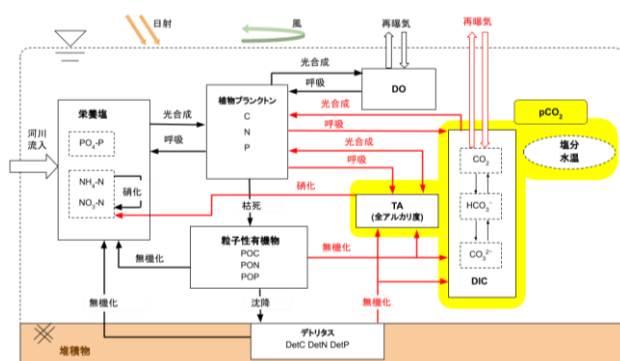


図-2 低次生態系モデルの構成

メータについては紙幅の関係で詳細の説明を省くが、既往研究^{11),12)}を参考に値を設定した。

3. 結果

図-3 に強い成層期における pCO₂のモデルの計算結果をイソプレットで示す。弱い成層期と混合期については省略する。計算値は観測値⁶⁾とほぼ同様の変動幅にあることから、本モデルは鉛直方向の pCO₂の分布を概ね再現できていると考えられる。

また、相関係数 R と平均平方二乗誤差率 $RMSPE$ で再現性を 3 つの成層条件全ての結果を用いて評価した。水温と塩分については強い相関（それぞれ R は 0.981, 0.952）が見られた。DIC と TA についても強い相関（それぞれ R は 0.913, 0.932）が見られた。また、pCO₂は $R=0.808$ となり、計算値と観測値との間に強い相関が認められた（図-4）。

次に、 $RMSPE$ で誤差を評価したところ、水温と塩分では、それぞれ $RMSPE$ は 5.085%, 1.662% となり、DIC と TA では、それぞれ $RMSPE$ は 0.117%, 0.701% となった。pCO₂は $RMSPE=2.681\%$ となり、全体的に誤差が小さい結果が得られた。以上より、相関係数 R と平均平方二乗誤差率 $RMSPE$ より水温、塩分、DIC、TA および pCO₂のいずれも数値モデルの再現性は良かった。

4. 結論

八代海において海水中 pCO₂の評価のための数値モデルを開発し、3 つの成層条件における pCO₂の鉛直方向の分布をおおまかに再現することができた。今後は、pCO₂の再現性を向上させるパラメータの組み合わせを検討し、大気-海水間 CO₂フラックスの経

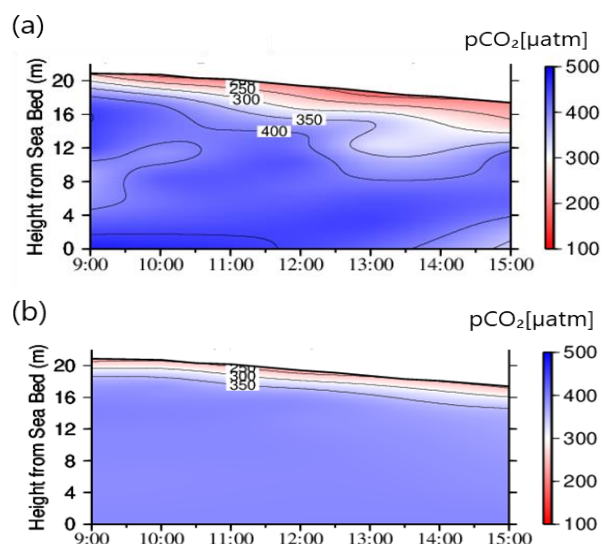
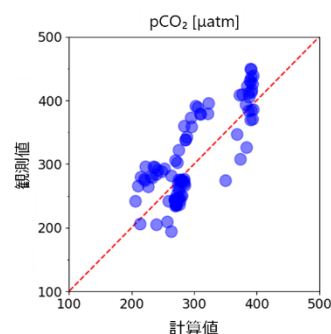


図-3 強い成層期（2019年8月2日）における pCO₂のイソプレット ((a) 観測値⁶⁾, (b) 計算値)

図-4 pCO₂の観測値⁶⁾と計算値の散布図

年変化を推定する予定である。

〔謝辞〕 本研究は科研費基盤研究(B)(JP18H01545), ならびに河川財団2020年度研究助成により実施された。冬季調査では長崎大学水産学部所有の実習船鶴洋丸を利用し、長崎大学多田彰秀教授にご協力いただいた。ここに記し感謝の意を表す。

〔参考文献〕 1)UNEP(2009): *Blue Carbon, A rapid response assessment.*, 2)McLeod et al.(2011): *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552-560., 3)Watanabe et al.(2015): *Global Change Biology*, 21, 2612-2623., 4)Sohma et al. (2020) : *Journal of Coastal Zone Studies*, 32(4), 9-14., 5)藤井ら(2013) : 土論 B2, 69(2), I_1111-I_1115., 6)齋藤ら(2020) : 土論 B2, 76(2), I_901-I_906., 7)環境省(2016) : 平成 28 年度有明海・八代海等総合調査評価委員会報告案, 8)環境省(1997) : 第 5 回自然環境保全基礎調査, 9)野島(2004) : みどりいし, 15, 5-11, 10)Zeebe & Wolf-Glandrow (2001): *CO₂ in seawater: Equilibrium kinetics, isotopes.*, 11)田所ら(2019) : 土論 B2, 75(2), I_1231-I_1236., 12)Sohma et al.(2018): *Ecological Modelling*, 384, 261-289.