

CO₂ 海洋隔離における拡散解析手法に関する研究 —生物ポンプモデルにおける一次生産量に関する基礎的研究—

日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 ○渡邊道人
日本大学大学院総合科学研究科 学生会員 中村倫明
日本大学生産工学部 正会員 落合 実
日本大学大学院総合科学研究科 正会員 和田 明

1. はじめに

地球温暖化の主な原因の一つとして、現在、大気中の CO₂ 量が増加し続けていることが考えられており、CO₂ 削減はこれからの世界各国の共通課題となっている。その解決策として、発電所等の大規模排出源より排出した CO₂ を海洋中に長期隔離し、大気中 CO₂ 濃度を抑制する方法(海洋隔離)が考えられている。海洋は自然条件下でも、移流・拡散や溶解ポンプ(大気-海洋間の CO₂ 交換)、生物ポンプ(鉛直方向への CO₂ 移送)の効果によって炭素循環が行われている。

著者らはこれまでに、海洋の炭素循環をモデルに考慮し、CO₂ 拡散モデルの精度向上を図ってきた。その結果、生物ポンプ項には更なる精度向上を行う必要があることが分かった¹⁾。そこで、本研究は生物ポンプに大きく寄与する基礎生産量をパラメータとして生物ポンプ項の検討を行う。本文では、基礎生産量のオーダーを変更した感度解析を行い、生物ポンプ項への寄与を検討する。

2. 数値解析モデル

2.1 流動モデル概要

使用した流動モデルは、中村ら²⁾が展開してきた太平洋の一部を細分化したモデルを使用する。細分化は投入海域近傍とし、投入地点(東経 132 度、北緯 22 度)を中心に経度 127~139 度、緯度 17~25 度を 10 分割する。すなわち、元の 2 度メッシュ(粗メッシュ)に 0.2 度メッシュ(密メッシュ)を導入するネスティング手法を用いる。また鉛直方向の計算メッシュは 16 層で可変メッシュ区切りとした。

2.2 CO₂ の挙動予測モデル

(1)基本式

CO₂ 濃度の解析は、次式を用いる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla C = K_H \nabla^2 C + K_V \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - F_{OCEAN-AIR}(\lambda, \phi) + F_{inj}(\lambda, \phi, Z) + F_{bio}(\lambda, \phi, Z) \quad (1)$$

ここで、 C :全炭酸濃度($\mu\text{mol/kg}$), t :時間(s), $\vec{u}$:流速(m/s), ∇ :水平ナブラ演算子, K_H :水平方向拡散係数($1 \times 10^3 \text{m}^2/\text{s}$), K_V :鉛直方向拡散係数($1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$), $F_{OCEAN-AIR}$:大気・海洋間の CO₂ 収支($\mu\text{mol/kg}$), F_{inj} :CO₂ 投入量($\mu\text{mol/kg} \cdot \text{yr}$), F_{bio} :生物ポンプ($\mu\text{mol/kg} \cdot \text{yr}$), Z :鉛直方向深さ, λ :球面座標の緯度, ϕ :球面座標の経度である。

(2)大気・海洋間の CO₂ 交換

式(1)の右辺 3 項は、単位面積当たり海洋表面を通して交換される CO₂ 量(大気・海洋間の CO₂ 収支)であり、大気と海洋表面の CO₂ 分圧差によって変化する。即ち、CO₂ は大気分圧が高ければ大気から海洋に吸収され、海洋分圧が高ければ海洋から大気へ放出される。以下に大気・海洋間の CO₂ 収支の算定式を示す。

$$F_{OCEAN-AIR} = E \cdot (p\text{CO}_{2-OCEAN} - p\text{CO}_{2-AIR}) \quad (2)$$

ここで、 $F_{OCEAN-AIR}$:収支量:CO₂ 収支($\text{mol/m}^2 \cdot \text{yr}$), E :ガス交換係数($\text{mol/m}^2 \cdot \text{yr} \cdot \mu\text{atm}$), $p\text{CO}_{2-OCEAN}$:海洋の CO₂ 分圧(μatm), $p\text{CO}_{2-AIR}$:大気の CO₂ 分圧(μatm)である。

また大気の CO₂ 分圧は現在でも上昇し続けていることから、大気 CO₂ 濃度は 1.8ppm/yr ずつ増加させて計算を行う。

(3)生物ポンプ

海洋表面では大気から溶け込んだ CO₂ と栄養塩を材料にして植物プランクトンが光合成により無機炭素(CO₂)から有機炭素を生産している。これを基礎生産(Primary production)と呼ぶ。

この生成された有機炭素は基礎生産の行われる有光層(～200m)からやがて中・深層へと落下し、そこで分解・消費を受け再び無機炭素へ戻る。こうした有光層から下層への炭素物質による移送過程のことを生物ポンプと称されている。

本研究における、基礎生産に対する新生産の割合および生物ポンプは、式(3)、(4)、(5)に示す中村ら²⁾による手法を用いる。

$$f = pp/410 \quad (3)$$

$$f = pp/400 - pp/340000 \quad (4)$$

$$F_{bio} = pp \times f \quad (5)$$

ここで、 f : 基礎生産に対する新生産の割合、 F_{bio} : 生物ポンプ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$)、 pp : 基礎生産量($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$)。基礎生産が $150 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$ 以下であれば式(3)を用い、基礎生産が $150 \sim 500 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$ までは式(4)を用いる。

3. 生物ポンプモデルの検討

本研究では、生物ポンプにおける基礎生産量の影響を検討することから CO_2 投入量をゼロとして計算する。著者らのこれまでの検討¹⁾から、基礎生産量の過少設定が考えられている。そこで、現在使用している基礎生産量を基本として、10倍、100倍と1/10倍の基礎生産量に対する濃度変化を比較することで、生物ポンプ項の感度をみた。図-1, 2, 3は基礎生産量の各倍率における CO_2 鉛直分布、及び実測値³⁾の鉛直分布を示す。これらの図から、基礎生産が0.1倍、現在(1倍)、10倍までは大きな変化は見られないが、基礎生産を100倍にした場合に観測値に近くなる傾向が見られる。一方で、図-2, 図-3を見ると表層付近の効果には大きな違いが見られる。このことは、現在の基礎生産量を一律に増加させれば良いわけではなく、基礎生産の地域差も考慮する必要性を示している。つまり、詳細な基礎生産のデータを与える必要がある。

4. まとめ

研究は、基礎生産量のオーダーを変更することで、生物ポンプ項に対する感度解析を行った。その結果、生物ポンプに及ぼす影響が大きく、基礎生産量の多地点における観測データの必要性が確認された。今後は電中研⁴⁾やVGPM⁵⁾による基礎生産量の算定を生物ポンプモデルに考慮することを検討する。

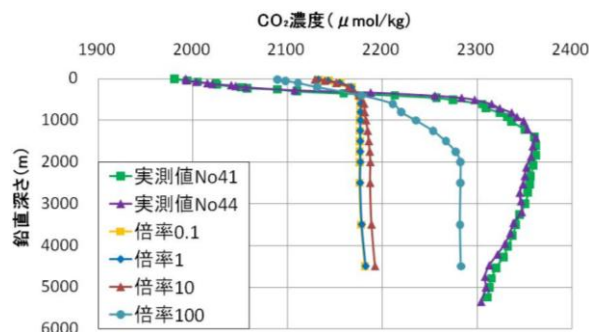


図-1 CO_2 鉛直濃度分布(10年後)(N:15.W:135)

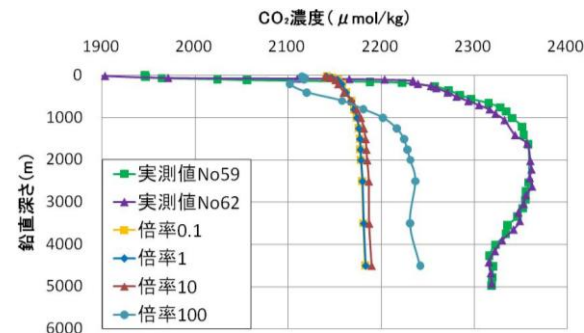


図-2 CO_2 鉛直濃度分布(10年後)(N:21.W:135)

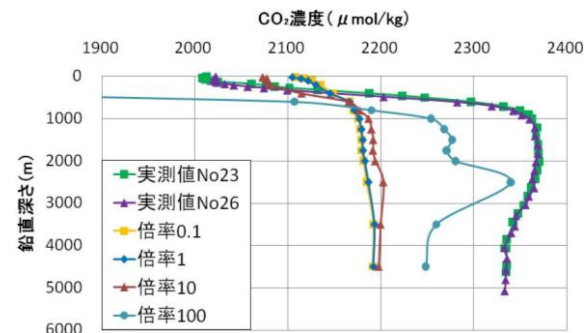


図-3 CO_2 鉛直濃度分布(10年後)(N:27.W:135)

参考文献

- 1) 渡辺道人ほか: CO_2 海洋隔離における拡散解析手法に関する研究—海洋中炭素循環パラメータによるモデル精度の検討—, 第65回年次学術講演会講演概要集, II-295
- 2) 中村倫明ほか: 数値モデルを用いた日本近海における CO_2 海洋隔離による CO_2 濃度影響評価, 海洋調査技術学会誌, Vol.42, pp.1-13, 2009
- 3) CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER, URL- <http://gcmd.nasa.gov/>
- 4) 西岡純ほか: 東部北太平洋亜寒帯域における生物学的な炭素移送量評価のための海洋プランクトン生態系モデルの構築, 電力中央研究所報告 U00010
- 5) Behrenfeld, M. J., E. Marañón, D. A. Siegel and S. B. Hooker (2002): Photoacclimation and nutrient-based model of light-saturated photosynthesis for quantifying oceanic primary production. Mar. Ecol. Prog. Ser., 228, 103–117.