

海洋 CO₂ 濃度予測モデルにおける生物ポンプ過程の検討

日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 入江 寛
 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

CO₂排出が世界中で増加し続けている中で、現在の地球上にあるCO₂を減らすことは、困難であると考えられる。そこで、新たに大気中へ排出するCO₂の量を削減する必要がある。

本研究では発電所など、大規模排出源から排出されたCO₂を海洋に長期隔離することにより、大気中へのCO₂排出を抑制することが可能とされている海洋隔離に着目した。一方、海洋では移流・拡散や大気とのCO₂交換と別に海洋生物による生物ポンプが炭素循環として役割を担っている。生物ポンプは、炭素の鉛直移送に大きく寄与することから重要な過程であるとされる。

そこで本研究では、CO₂濃度拡散モデルの中で、生物ポンプによる炭素循環項に対して鉛直方向の循環過程を考慮した生物ポンプモデルの検討を行うものである。

2. 数値解析モデル

2.1 流動モデル概要

本研究で使用した流動モデルは、長谷川ら¹⁾²⁾³⁾らが再現してきたモデルのメッシュサイズを細分化した。計算対象範囲(太平洋全域; 110°E~70°W, 60°N~74°S, C-grid)全てを細分化させると計算負荷が大きいことから、CO₂投入海域近傍(127°~139°E, 17°~25°N)の解像度の細分化(0.2°×0.2°)を行った。

2.2 CO₂の挙動予測モデル

流動モデルと同様にCO₂放出点近傍の格子を細分化させたモデルを構築した。モデルでは海洋表面の境界条件として、大気・海洋のCO₂分圧差から交換量を算出しTansら⁴⁾のガス交換係数を乗じることにより大気・海洋間のCO₂収支を考慮した。またBergerら⁵⁾の基礎生産量から生物活動による炭素の鉛直移送(生物ポンプ)を投入した数値モデルを構築した。以下に解析に使用した計算式を示す。

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

ここで、 C : 全炭酸濃度 ($\mu\text{mol/kg}$)、 t : 時間 (s)、 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_{ini} : CO₂投入量 ($\mu\text{mol/kg} \cdot \text{s}$)、 F_{bio} : 生物ポンプ ($\mu\text{mol/kg} \cdot \text{s}$)、 λ : 球面座標の緯度、 z : 鉛直方向の深さ、 ϕ : 球面座標の経度である。

2.2 生物ポンプ

海洋表面では大気から溶け込んだCO₂が光合成により有機炭素を生産している。これを基礎生産と呼び、この生成された有機炭素は基礎生産の行われる有光層から中・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。これらの過程を生物ポンプと称している⁶⁾。

著者らはこれまで、中村ら⁷⁾による手法と同様に、基礎生産に対する新生産の割合を用いて算出し、この新生産量を生物ポンプによる炭素の鉛直輸送量として、有光層において輸送量相当分を海洋中の炭素量から削減し、中層において沈降量(輸送量)を海洋中の炭素量に加算する手法を用いてきた。

しかしながらこの手法ではCO₂の鉛直輸送の際、水深200m~2500mの間の沈降量は全て同量である。実際は分解や溶解によって鉛直深さが深いほど、沈降してくるCO₂量は少なく、生物ポンプによる炭素循環効果は小さい。そこで本研究では、鉛直深さに依存する沈降量を式に考慮することによって生物ポンプ過程の精度向上を図った。以下に沈降量(J)と生物ポンプ(F_{bio})の式を示す⁵⁾。

$$J(z)_1 = 40 \times pp / z \quad z < 100 \text{ m} \quad (1)$$

$$J(z)_1 = 0.409 \times pp^{1.41} / z^{0.628} \quad z > 100 \text{ m} \quad (2)$$

$$J(z)_2 = 9 \times pp / z + 0.7 \times pp / z^{0.5} \quad (3)$$

$$F_{bio} = -J(z_1) + J(z_2) \quad (4)$$

キーワード 二酸化炭素、海洋隔離、生物ポンプ、数値モデル

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学大学院生産工学研究科 TEL047-474-2452

ここで $J(z)$: 基礎生産に対する沈降水量 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{year}^{-1}$)、 E_{bb} : 生物ポンプ ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$)、 pp : 基礎生産量 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$)、 z : 鉛直方向の深さ (m)。 $J(z)$ をそのまま各層に与えることによって生物ポンプを再現している。

3. 使用したデータ

使用した水温・塩分データは日本海洋データセンター(JODC)所蔵の1906～1988年にわたる約80年間のデータを用いる。風速のデータは、NASAのGoddard Space Flight Center(GSFC)から提供された太平洋全域の1988年～1998年までの6時間毎のデータを使用した。

また、基礎生産量のデータはBerger⁵⁾に基礎生産量分布図の対象海域の値を抜粋し使用した。

4. 生物ポンプモデルの検討

生物ポンプ改良前と改良後の比較を行うことから CO_2 投入は行わず、海洋に存在する炭素量と大気・海洋間の CO_2 交換のみを扱った。計算期間は10年間とした。この間、大気 CO_2 濃度は1.8ppm/yr増加させた。

図-1、図-2に(126.5°E,16.5°N)と(135.5°E,16.1°N)における生物ポンプ改良前と改良後の CO_2 濃度計算結果の鉛直分布を示す。この図から、表層での CO_2 濃度は改良後ほうがの値が高く、中層から深層にかけては改良前ほうがの値が高くなっていることが確認された。これは、改良後では深さ方向に依存した量しか鉛直方向に輸送されないため、 CO_2 の沈降水量が小さくなったかものと考えられる。

5. まとめ

本研究では鉛直方向の循環を考慮した生物ポンプモデルを提案し、より実現に近い CO_2 鉛直移送を再現する結果が得られた。

今後は今より広範域の観測値と比較してモデルの検証及び精度向上を行うこと、そして生物ポンプモデルの中で重要な要素である基礎生産量について検討しモデル精度の向上を図ることとする。

参考文献

- 1) 長谷川一幸,和田明,西村玲輔,高野憲治:太平洋全域での二酸化炭素中層放流の検討,水工学論文集,Vol.47,pp.1297-1302,2003
- 2) 長谷川一幸,和田明,西村玲輔,高野憲治:NSCAT・SSM/I衛星観測データを用いた太平洋3次元流動場による二酸化炭素の海洋隔離の可能性に関する研究,水工学論文集

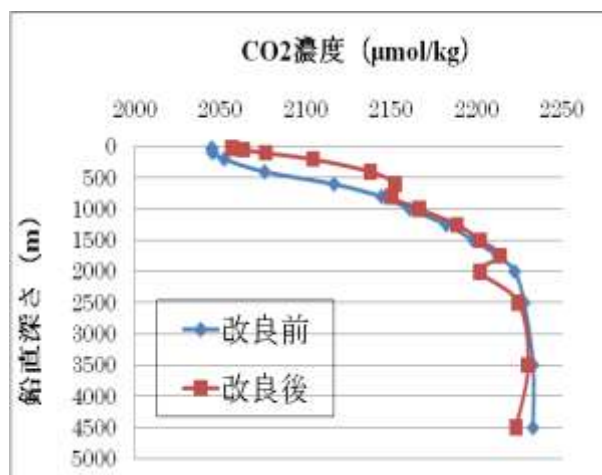


図-1 投入地点における鉛直方向の CO_2 (126.5E,16.5N)

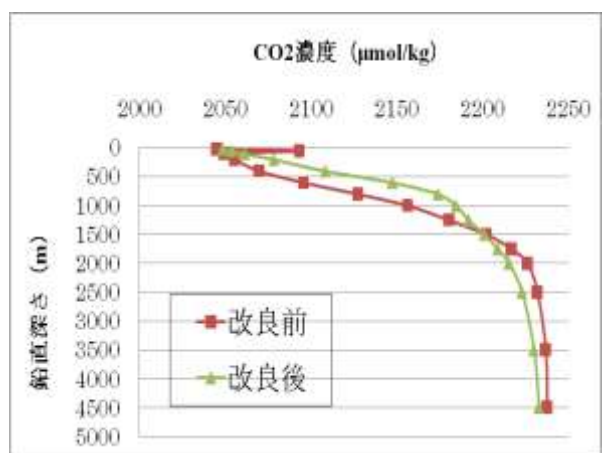


図-2 投入地点における鉛直方向の CO_2 (135.5E,16.1N)

,vol,pp.1063-1068, 2001.

3) K.Hasegawa, A.Wada, R.Nishimura, K.takano: Calculations of the concentration of radionuclides

(Cs-137, Sr-90, Pu-239/240) in The Pacific Ocean, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol,20, No2, pp.277-237, 2002.

4) Tans, P.P., I.Y. Fung and T.Takahashi: Observational constrains on the global Atmospheric CO_2 budget, Science, No.247, pp.1431-1438, 1990.

5) Berger. W.H.: Ocean Productivity and Paleoproductivity-An Overview Productivity of the Ocean, pp.429-455, 1989.

6) 半田暢彦: 海洋生物, 大気水圏科学からみた地球温暖化, p.271-286, 1996.

7) 中村倫明, 和田明, 長谷川一幸, 落合実: 日本近海での CO_2 海洋隔離における濃度予測及び生物影響, 水工学論文集, Vol51, pp1475-1480, 2007.