

CO₂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—

日本大学大学院 学生会員 ○渡邊道人
 日本大学大学院 学生会員 中村倫明
 日本大学 正会員 落合 実
 日本大学大学院 正会員 和田 明

1. はじめに

現在、大気中の CO₂ 量が増加し続けている事が地球温暖化の主な原因の一つとして考えられ、CO₂ 削減は今後の世界各国の共通課題となっている。その解決策として、CO₂ を海洋に長期隔離することによって大気中の 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)の効果により炭素循環がおこなわれているがその速度は遅いものとなっている。

本研究では、この海洋の炭素循環をモデル化し、そのモデルパラメータ(溶解ポンプ、生物ポンプ)について検討した。それによって、投入海域の選定、海洋の CO₂ 吸収促進、そしてモデル精度の向上などに関する基礎的検討が可能となる。

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、長谷川ら¹⁾が展開してきたモデルのメッシュサイズ(東経2度、北緯2度)を細分化して使用する。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濃度の解析には、次式を用いる。

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

ここで、C：全炭酸濃度(μmol/kg)、t：時間(s)、K_H：水平方向拡散係数(1×10³m²/s)、K_V：鉛直方向拡散係数(1×10⁻⁴m²/s)、F_{OCEAN-AIR}：大気・海洋間のCO₂収支(μmol/kg)、F_{inj}：CO₂投入量(μmol/kg・yr)、F_{bio}：生物ポンプ(μmol/kg・yr)、λ：球面座標の緯度(rad)、φ：球面座標の経度(rad)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の量(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。すなわち、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。

$$F_{OCEAN-AIR} = E \cdot (pCO_{2-OCEAN} - pCO_{2-AIR}) \quad (2)$$

ここで、F_{OCEAN-AIR}：収支量：CO₂収支(mol/m²・yr)、E：ガス交換係数(mol/m²・yr・μatm)、pCO_{2-OCEAN}：海洋のCO₂分圧(μatm)、pCO_{2-AIR}：大気分圧(μatm)である。また大気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(~2500m)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。

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 〒274-8575 千葉県習志野市和泉町1-2-1 日本大学大学院生産工学研究科 TEL 047-474-2452

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)~(5)に示す中村ら²⁾による手法を用いる³⁾。

$$f = pp / 410 \tag{3}$$

$$f = pp / 400 - pp / 340000 \tag{4}$$

$$F_{bio} = pp \times f \tag{5}$$

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($gC \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$)、 pp : 基礎生産量($gC \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$)。基礎生産が $150gC \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$ 以下であれば式(3)を用い、基礎生産が $150 \sim 500 gC \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$ までは式(4)を用いる。

3. CO₂ 循環過程の比較及びパラメータの影響

本研究では、計算パラメータの影響を検討することから CO₂ 投入量をないものとし計算をする。計算期間は 10 年間とした。また各項の寄与を調べえるため、式(1)において各項を考慮した場合と考慮しなかった場合の計算を行いその差を評価した。図-1 に生物ポンプ項を考慮した場合としない場合、及び CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER から提供された炭素の実測値の鉛直分布を、図-2 には溶解ポンプ項を考慮した場合としない場合、と実測値の鉛直分布を示す。

図-1 において、計算値は、実測値に比べ表層の値が高く、深層では低くなっている。つまり、表層から深層へ向けた炭素移送が少ないことが考えられる。また、生物ポンプの有無による計算統計の差は小さい。このことから、今回のモデルではこの海域においての生物ポンプ項による効果は低いと考えられる。

図-2 においては、生物ポンプ同様に、計算値は実測値に比べ表層の値が高く、深層では低くなっている。溶解ポンプの有無による差は表層付近で考慮したものの方が大きい。このことから、この海域では、溶解ポンプ項による効果は高く、大気へと放出していることが分かった。

4. まとめ

本研究では太平洋炭素循環モデルのパラメータ検討を行った。その結果、生物ポンプ項の効果は知見で言われているより小さく、また実測地との比較では傾向は類似しているものの値に差があった。今後は、生物ポンプ項の精度向上を図る必要があり、実測値との詳細な比較を行う予定である。

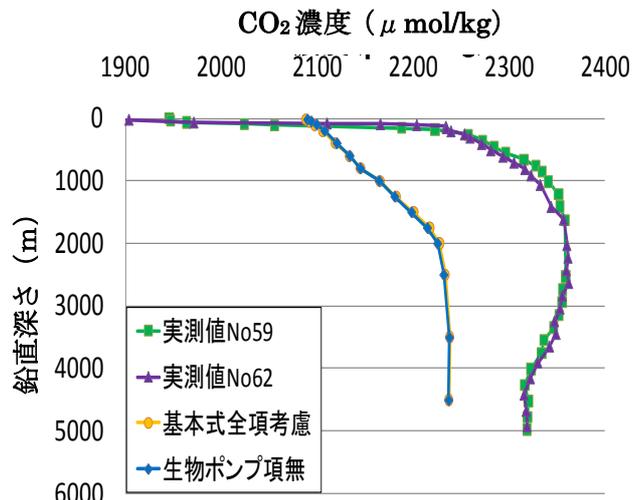


図-1 生物ポンプにおける CO₂ 鉛直濃度分布 (10 年後)(N:21.W:135)

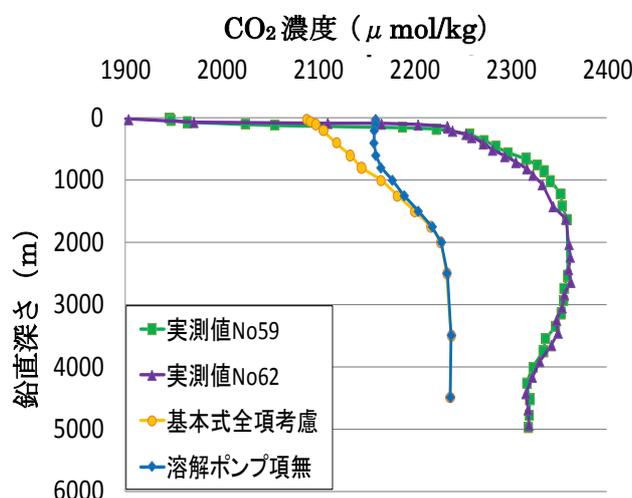


図-2 溶解ポンプにおける CO₂ 鉛直濃度分布 (10 年後)(N:21.W:135)

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)中村倫明,和田明,長谷川一幸,落合実 : 数値モデルを用いた日本近海における CO₂ 海洋隔離による CO₂ 濃度影響評価, 海洋調査技術学会誌,Vol.42, pp.1-13,2009
- 3)W.H. Berger et al. : OCEAN Productivity and Paleoproductivity. An Overview Productivity of the Ocean,pp8-15,1989
- 4)CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER, URL- <http://gcmd.nasa.gov/>