

CO₂ 海洋隔離における拡散解析手法に関する研究

—炭素循環パラメータの比較—

日本大学生産工学部土木工学科 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事が考えられている。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、海洋に長期隔離を行い大気中の 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)の効果によって炭素循環をおこなっている。

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の影響を検討することを目的とする。そして本研究は、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として位置づけをしている。

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(μmol/kg)、t : 時間(s)、K_H : 水平方向拡散係数(1×10³ m²/s)、K_V : 鉛直方向拡散係数(1×10⁻⁴ m²/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、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 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 CO₂ 分圧(μatm)である。また大気 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。

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 日本大学生産工学部土木工学科 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),(4),(5)に示す中村ら²⁾による手法を用いる³⁾。

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

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

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

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. 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 投入量をゼロとして計算する。図-1 は生物ポンプ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示す。この図において、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。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、この海域では、生物ポンプ項による効果は低いと考えられる。

海洋の炭素循環における4つパラメータの効果を検討するため、(1)式中の各項の効果量を表-1に示す。生物ポンプパラメータでは、表層から7層まで負、8層から16層まで正となり、生物ポンプ項によって下層へ CO₂ を移送する現象を再現している。溶解ポンプパラメータでは、すべての層で負となり、太平洋全域では CO₂ が大気へ放出されていることを示している。流れパラメータは表層から8層まで正、9層から16層まで負となり、拡散は表層から5層までは正となり、6層から16層までは負となっている。これらの要因として深層から表層に向けた流れが影響していると考えられる。CO₂ 投入が想定されている10層においては、各パラメータの絶対値を比較すると拡散による効果が大きい事がわかった。

4. まとめ

本研究ではモデルパラメータの影響を示した。今後として、より広範囲の観測値と比較を行い、基礎生産量について検証を行い、モデル精度の向上を図る必要がある。

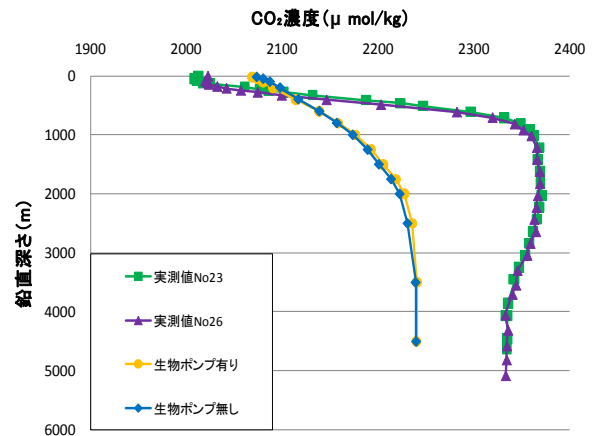


図-1 CO₂ 鉛直濃度分布(10 年後)(N:27.W:135)

表-1 パラメータ計算結果 単位(Gt)

層	水深(m)	生物ポンプ	溶解ポンプ	流れ	拡散
1	20	-0.3344	-2.0549	0.3146	4.2911
2	50	-0.5041	-2.9565	0.4952	6.1103
3	100	-0.8136	-4.6231	0.7205	9.1445
4	200	-1.4693	-8.1694	1.2569	13.8140
5	400	-1.9082	-12.5072	2.5521	11.0050
6	600	-0.9698	-8.5530	2.0934	-9.7746
7	800	-0.3335	-5.9041	0.9346	-3.8402
8	1000	0.2158	-3.7887	0.1089	-16.6225
9	1250	0.7824	-2.9241	-1.2877	-13.6077
10	1500	1.1302	-1.7564	-2.5975	-7.0281
11	1750	1.3193	-0.9148	-2.4344	-11.6611
12	2000	1.3832	-0.4975	-2.1469	-6.8607
13	2500	2.6311	-0.4536	-5.1370	-4.9685
14	3500	1.7539	-0.2078	-6.5589	-13.4160
15	4500	0.5106	-0.0459	-4.7078	-10.7892
16	5500	0.0170	-0.0010	-0.5201	-1.3772
+		9.7436	0.0000	8.4761	44.3649
-		-6.3329	-55.3580	-25.3902	-99.9458
計		3.4107	-55.3580	-16.9141	-55.5810

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/>