

CO₂濃度予測モデルのメッシュ細分化による効果

日本大学大学院 学生会員 ○中村 倫明 日本大学大学院 正会員 和田 明
 海洋生物環境研究所 正会員 長谷川 一幸 日本大学 正会員 落合 実

1. はじめに

経済発展と共に年々増加している化石燃料の大量消費に伴う CO₂ の排出量増加は、地球温暖化問題の主要な原因とされ、問題視されている。産業革命以前、約 280ppm であった大気中の CO₂ 濃度は 2000 年には 368ppm に達した。こうした中、CO₂ の濃度上昇を抑制する CO₂ 回収・貯留技術(CCS)技術の 1 つとして、大規模排出源から回収した CO₂ を海洋に溶解させ、長期にわたって隔離することを目的とした海洋隔離技術が各国で検討されている。

海洋隔離の基本構想の 1 つとして、中層希釈放流方式がある。本研究では、この中層希釈放流を対象とし、CO₂ 投入量や希釈特性の把握の検討、海洋生物への影響評価を行うことを目的としている。著者ら¹⁾のこれまでの研究では、日本近海に CO₂ を投入した場合の濃度予測によると、大きなメッシュサイズ(水平方向 2° × 2°)では濃度が平均化されてしまい、海洋生物等への影響評価に適用させるには不十分であった。そこで、本研究では水平方向解像度を 1/10(0.2° × 0.2°)とすることで CO₂ 濃度予測の精度向上を図ることとした。また、大気・海洋間の CO₂ 収支、生物ポンプを考慮したモデルを用い、投入後の CO₂ 濃度分布を示した。

2. 解析モデルの概要

2.1 流動モデル

本研究で使用した流動モデルは、Wada et al²⁾、長谷川ら³⁾が再現してきたモデルを改良した。計算対象範囲(太平洋全域;110E~70W, 60N~74S, C grid)全てを細分化させると計算負荷が大きいため、投入海域近傍の解像度の細分化を行った。細分化の範囲は投入地点(東経 132 度, 北緯 22 度)を中心に経度 127~139 度, 緯度 17~25 度とした。細分化の方法として、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た。また鉛直方向の計算メッシュは既往の 11 層から 16 層へと層を増やした可変メッシュ区切りとした。密メッシュ系においては、粗メッシュ系からの情報として、境界流速を補間してセット

し、運動量を伝達する。次に密メッシュから粗メッシュへの情報伝達は、流量保存則が厳密になるように、圧力ポアソン方程式を密メッシュおよび粗メッシュの自由度を同時に連立させて解く。圧力ポアソン方程式の解き方は、構造メッシュ上の不完全コレスキー分解付き共役残差法を用いた。海洋の流速成分は Primitive な方程式系を使用している。また、基礎方程式の座標系は水平方向に球面座標を用いている。ポテンシャル水温の保存式、塩分の保存式には、Sarmiento and Bryan⁴⁾にならい、計算値と観測値を同化させる項を導入するモデルを採用している。

2.2 CO₂の挙動モデル

次に CO₂ 濃度拡散の概要を示す。流動モデルと同じ格子系を元に CO₂ 放出点近傍を細分化させたモデルを構築した。

モデルでは大気と海洋の CO₂ 分圧差から交換量を算出⁵⁾し Tans⁶⁾ら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、また Brger⁷⁾ら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)を考慮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。

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

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)、F_{bio}: 生物ポンプ(μmol/kg)である。拡散方程式の離散化には有限体積法を用いている。

3. 使用したデータ

使用した水温・塩分データは JODC 所蔵の 1906~1988 年にわたる約 80 年間のデータを用いた。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。全炭酸濃度、全アルカリ度は Chen ら

キーワード 二酸化炭素、海洋隔離、ネスティング手法、数値シミュレーション

連絡先 〒102-8251 東京都千代田区五番町 12 番 5 号 日本大学大学院総合科学研究科 TEL090-4224-5282

8)の式(2)を、変動範囲内で各温度別に適用した値を用いた。

$$\begin{aligned} \text{TCO}_2 &= 2,242 - 12.08 \theta (\pm 18) \\ \text{TA} &= 2,384 - 3.36 \theta (\pm 11) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 TCO_2 :全炭酸濃度($\mu\text{mol/kg}$)、 TA :全アルカリ度($\mu\text{equiv/kg}$)、 θ :温度($^{\circ}\text{C}$)である。

4. CO_2 の挙動予測の計算及び結果

CO_2 投入量はCOP3で定められた基準値に対し、2003年の年間超過量である 0.052Gt/yr とした。このときの CO_2 濃度は $36997.505 \mu\text{mol/kg}$ (負荷量/投入地点での格子体積)である。日本近海に10年間連続投入し CO_2 の挙動をみた。また本モデルでは中層の層厚さを細かくし層の数が増加したため投入深度の検討を行う必要があるが、生物への影響を回避するため、有光層と海底付近の深層への直接の投入を避けた、既往(中村ら,2007¹⁾)モデルの第7層($800 \sim 1500\text{m}$)と同じ深さに相当する第10層($1250 \sim 1500\text{m}$)とした。

CO_2 濃度計算結果を図-1及び図-2に示す。 CO_2 を10年間投入し続けるケースと CO_2 を投入しないケースを計算し CO_2 海洋隔離による濃度上昇を算出した。図-1は細分化した日本近海投入地点近傍における投入深さ(第10層)での CO_2 濃度上昇値であり、図-2は既往モデル¹⁾による CO_2 濃度上昇値である。

図-2によると投入地点の濃度上昇は10年後で約 $60 \mu\text{mol/kg}$ あったが、図-1では約 $7200 \mu\text{mol/kg}$ となっている。このことから、改良したモデルではメッシュサイズによる CO_2 濃度の差が生じることが分かった。また、図-2では各メッシュ間の CO_2 濃度勾配が小さく同一 CO_2 濃度範囲が広く精度が低い。一方、図-1より CO_2 投入地点からの広がり方や濃度勾配が大きくなることが確認できた。

本研究では数値モデルを用いて、海洋生物への CO_2 濃度上昇による影響評価を行うことを主な目的としている。その前段階として、モデルメッシュ細分化による計算精度の検証を行ったが、今後は投入量の検討、投入地点、投入深度の再考、海洋生物への影響評価が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 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,Vol.51,pp.1475-1480,2007.
- 2) Wada, A. and Nagoya, S.: Pacific ocean flow simulation using

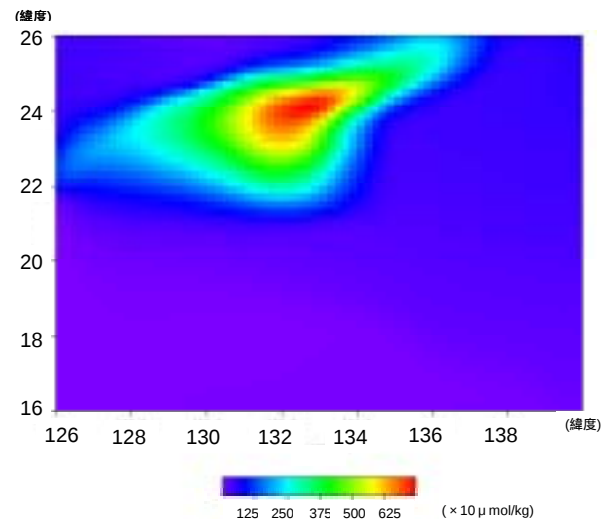


図-1 投入地点近傍の第10層における CO_2 の広がり

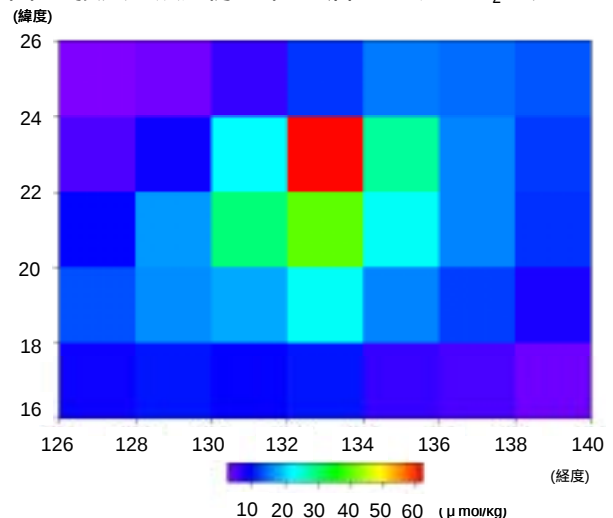


図-2 既往モデル¹⁾による投入地点近傍の第7層における CO_2 の広がり

the data assimilation system, *Flow Modeling and Turbulence Measurements*, pp.631-637, 1996.

- 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 Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol.20, No.2, pp.277-237, November, 2002.
- 4) Sarmiento, J. L., and Bryan, K.: An ocean transport model for the North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, No.87, pp.394-408, 1982.
- 5) 山本晋, 村山昌平, 後藤浩一: 大気・海洋間の CO_2 交換, 月間海洋, Vol.26, No.6, pp.335-341, 1994
- 6) Tans, P.P., I. Y. Fung and T. Takahashi: Observational constraints on the global Atmospheric CO_2 budget, *Science*, Vol.247, pp.1431-1438, 1990.
- 7) Berger, W.H.: Ocean Productivity and Paleoproductivity -An Overview Productivity of the Ocean, pp.429-455, 1989.
- 8) Chen, Chen-Tung, A. and Pytkowicz, R.M.: On the total CO_2 -titration alkalinity, *Nature*, No.281, pp.362-365, 1979.