

# 発電所のCO<sub>2</sub>削減量を想定したCO<sub>2</sub>海洋隔離による濃度予測

○中村 倫明<sup>1</sup>, 和田 明<sup>1</sup>, 長谷川一幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本大学大学院総合科学研究科, <sup>2</sup>(財)海洋生物環境研究所

キーワード: 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>), メッシュ細分化, pH値, 数値シミュレーション

## 1. はじめに

近年, 地球環境問題の中でも地球温暖化は, 全地球規模で関心が高まっている問題である. 我が国では, 温暖化の主要原因と考えられているCO<sub>2</sub>の削減を定めた京都議定書の第一約束期間内(2008-2012)の削減目標達成は困難な情勢である<sup>1)</sup>. 一方, 削減目標を達成するために, 工場や発電所など大規模排出源から排出されるCO<sub>2</sub>を回収・貯留することにより大気へ放出させない技術(CCS; Carbon Dioxide Capture and Storage)の検討が各国で行われている. その基本構想の1つとして海洋中層へCO<sub>2</sub>を放出し希釈させる中層希釈放流方式による海洋貯留が考えられている.

著者ら<sup>2)</sup>のこれまでの研究では, 日本近海にCO<sub>2</sub>を投入した場合, 水平解像度(水平方向2°×2°)が粗くCO<sub>2</sub>濃度が平均化されてしまい, 海洋生物等への影響評価を行う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CO<sub>2</sub>濃度予測の精度向上を図り, 主要なCO<sub>2</sub>発生源の中でCO<sub>2</sub>の分離・回収技術が進んでいる発電所のCO<sub>2</sub>削減量を想定したCO<sub>2</sub>海洋隔離による濃度予測及びpHの予測を行った.

## 2. 解析モデルの概要

### 2.1 海洋大循環モデル

本研究で使用した流動モデルは, Wada et al<sup>3)</sup>, 長谷川ら<sup>4)</sup>が展開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ことから, 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, 水平方向の2度メッシュ(粗メッシュ)を基に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, 運動量を伝達させた. 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いた. 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た. また, 基礎方程式の座標系は水平方向に球面座標を用いた. ポテンシャル水温の保存式, 塩分の保存式には, Sarmiento and Bryan<sup>5)</sup>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た.

### 2.2 CO<sub>2</sub>の挙動予測の計算モデル

流動モデルと同じ格子系を基にCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分圧差から交換量を算出<sup>6)</sup>しTans<sup>7)</sup>らのガス交換係数を乗じることにより大気・海洋間のCO<sub>2</sub>収支を考慮し, Breger<sup>8)</sup>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.

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

ここで, C:全炭酸濃度( $\mu\text{mol/kg}$ ), t:時間(s),  $\vec{u}$ :流速(m/s),  $\nabla$ :球面座標の水平ナブラ演算子,  $\nabla^2$ :球面座標の水平ラプラシアン,  $K_H$ :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CO<sub>2</sub>収支( $\mu\text{mol/kg}$ ),  $F_{inj}$ :CO<sub>2</sub>投入量( $\mu\text{mol/kg}$ ),  $F_{bio}$ :生物ポンプ( $\mu\text{mol/kg}$ ),  $\lambda$ :緯度,  $\phi$ :経度である. 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<sup>9)</sup>の式から算出した値を用いた.

#### 4. CO<sub>2</sub>の挙動予測の計算結果と考察

CO<sub>2</sub>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を基準とし、大規模CO<sub>2</sub>発生源の中で分離・回収技術が進み、また立地条件から海上輸送が行いやすい発電所に着目し、電力事業のCO<sub>2</sub>排出量は約1/3であることから0.0173Gt/yrを投入量と仮定した。このときのCO<sub>2</sub>濃度は12307.8174 μmol/kg(負荷量/投入地点での格子体積)である。投入地点は地球環境産業技術研究機構のフェーズ2計画で検討された東経132度、北緯22度で、10年間連続投入した場合のCO<sub>2</sub>の挙動をみた。また投入層は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投入を避け、既往<sup>2)</sup>モデルの第7層(800~1500m)と同じ深さに相当する第10層(1250~1500m)とした。

投入開始から10年後のCO<sub>2</sub>濃度計算結果とpH結果を図-1、図-2に示した。計算結果から、投入地点の最高濃度は約2380 μmol/kgであり10年間で約150 μmol/kgの上昇であった。メッシュ細分化前のモデルでは濃度上昇が60 μmol/kgであり<sup>2)</sup>濃度に差異があった。また図-1より80 μmol/kg以上の濃度上昇は投入地点から数十kmの範囲であることが確認された。

図-2より、pHはCO<sub>2</sub>濃度分布と同様の分布をし、水平方向解像度0.2°×0.2°で発電所からの排出量を投入した場合の最も低いpHは約7.5であった。

生物種によってCO<sub>2</sub>影響には差異があるものの、カイアシ類に対するCO<sub>2</sub>暴露試験結果<sup>10)</sup>では、pH7.4ではコントロール区と比べて産卵率に有意差がなかったとされている。このことから、CO<sub>2</sub>影響は本計算から得られたpH7.5の領域の内側が問題になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 小池勲夫, 2006; 地球温暖化はどこまで解明されたか, 丸善株式会社, pp 277.
- 2) 中村倫明, 和田明, 長谷川一幸, 落合実: 日本近海でのCO<sub>2</sub>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.
- 3) Wada, A. and Nagoya, S. : Pacific ocean flow simulation using the data assimilation system, *Flow Modeling and Turbulence Measurements VI*, pp. 631-637, 1996.

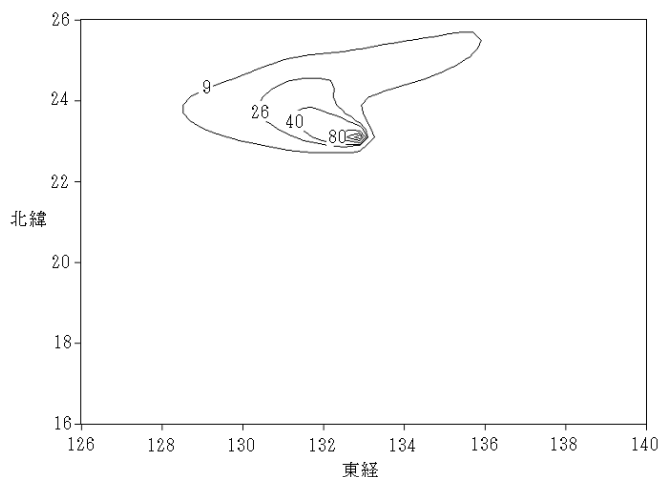


図-1 投入地点近傍の第10層におけるCO<sub>2</sub>の広がり(μmol/kg)

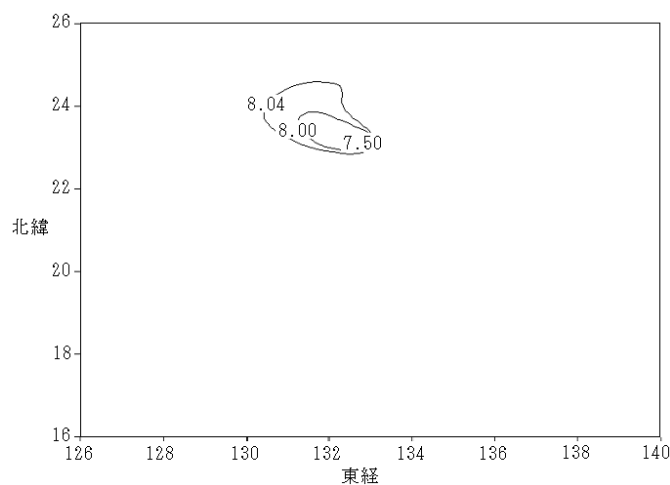


図-2 投入地点近傍の第10層におけるpH

- 4) 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.
- 5) Sarmiento, J. L., and Bryan, K. : An ocean transport model for the North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, No. 87, pp. 394-408, 1982.
- 6) 山本晋, 村山昌平, 後藤浩一: 大気・海洋間のCO<sub>2</sub>交換, *月間海洋*, Vol. 26, No. 6, pp. 335-341, 1994
- 7) Tans, P. P., I. Y. Fung and T. Takahashi : Observational constrains on the global Atmospheric CO<sub>2</sub> budget, *Science*, Vol. 247, pp. 1431-1438, 1990.
- 8) Berger, W. H. : Ocean Productivity and Paleoproductivity -An Overview Productivity of the Ocean, pp. 429-455, 1989.
- 9) Chen, Chen-Tung, A. and Pytkowicz, R. M. : On the total CO<sub>2</sub>-titration alkalinity, *Nature*, No. 281, pp. 362-365, 1979.
- 10) H. Kurihara, Y. Shirayama: Effects of raised CO<sub>2</sub> concentration on the egg production rate and early development of two marine copepods, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 49, pp. 161-169, 2004