日本近海における二酸化炭素の海洋隔離による濃度予測の検討

1	111	1.XP	I.

経済発展と共に年々増加している化石燃料の大量消 費は、地球温暖化問題の主要な原因であり、それに伴う CO₂の排出量も増加の一途を辿っている。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。化石燃料の消費に伴う CO₂の濃度上昇 を抑制する対策の 1 つとして、発生した 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、中層希釈放流を行う際、どの程度 の深度で CO₂を投入すれば、環境への影響が低くなるか を、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、数値シミュレーションによって検討すること を目的とする。

2. 解析モデルの概要

2.1 海洋大循環モデル

本研究で使用した海洋大循環モデルは、長谷川ら¹⁾が 再現してきたモデルを用いている。海洋の流速成分は Primitive な方程式系を使用している。計算海域は太平 洋全域とし。水平方向の計算メッシュは経緯度 2×2 度 (110E~70W, 60N~74S, C grid)である。鉛直方向の計算 メッシュは、第 1 層:0~20m,第 2 層:20~50m,第 3 層:50~100m,第 4 層:100~200m,第 5 層:200~400m, 第 6 層:400~800m,第 7 層:800~1500m,第 8 層:1500 ~2500m,第 9 層:2500~3500m,第 10 層:3500~4500m, 第 11 層:4500~5500m,の11 層に分割している。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 Bryan²⁾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 大気・海洋間の CO₂ 収支

大気・海洋間の CO₂交換は大気と海洋の CO₂分圧差によ り収支方向を決め、風速に依存する気体交換係数を分圧 差に乗することにより、算出することができる³⁾。

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

算出式を(1)に示す。

 $F = E(pCO_{2-OCEAN} - pCO_{2-AIR})$ (1) ここで、F:CO₂ 交換量 (mol/m²·yr),E: 気体交換係数 (mol/m²·yr・µ atm),pCO_{2-OCEAN}: 海洋の分圧(µ atm), pCO_{2-AIR}:大気の分圧(µ atm)である。また気体交換係数は、 本研究では長期的な平均風速を用いる場合に適するとさ れる、Tans ら⁴⁾の式(2)を使用した。

$$E = 0.016(U - 3) \qquad U > 3m / s E = 0 \qquad U < 3m / s$$
(2)

ここで、U:風速(m/s)である。この式は風速が3m以上で 交換が行われるとし、風速が大きいほど交換量も大きい という特徴がある。

2.3 生物ポンプ

海洋へと溶け込んだ CO₂ が、一次生産者である植物プラ ンクトンや、捕食者である動物プランクトン、大型動物 などを介し、有光層から下層へ移送することを生物ポン プと呼ぶ⁵⁾。一次生産者は光合成することにより CO₂を 吸収し、炭素のシンクとなる。これが基礎生産である。 基礎生産は栄養塩の供給方法により新生産・再生生産に 分類され、新生産量は下層への CO₂ 移送量とほぼ同量と されており、下記の式(3)より算出できる⁵⁾。そこで本研 究では、算出した移送量を有光層から吸収し中層で放出 することで、生物ポンプにおける炭素の鉛直循環過程を 再現した。

$$f = pp/410 pp < 150 (3) f = pp/a - pp2/b 150 < pp < 500$$

ここで、f:新生産量比(%),pp:一次生産量(gC/m²・ yr),a=400,b=340000 である。一次生産量が 150gC・m⁻²・ year⁻¹以下であれば上の式を用い,一次生産量が 150~500gC・m⁻²・year⁻¹の範囲内では式(3)を用いる。

3.3 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

キーワード 太平洋、二酸化炭素、数値シミュレーション、生物影響 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 ータを使用した。全炭酸濃度,全アルカリ度は Chen ら ⁶⁾の式(4)を、変動範囲内で各温度別に式を算出し、その 式より求めた値を用いた。

$$TCO_{2} = 2,242 - 12.08 \ \theta(\pm 18)$$

TA = 2,384 - 3.36 \ \theta(\pm 11) (4)

ここで、TCO₂:全炭酸濃度(µmol/kg), TA:全アルカリ度 (µequiv/kg), :温度()である。また生物への影響を 回避するため、投入層は有光層である1~4層、海底付近 の10,11層への直接の投入を避け5~9の各層とした。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を132E,22Nの日本近海に50年間 連続投入し50年後の結果を検討した。

3.4 CO2の挙動予測の計算モデル

本研究では、大気・海洋間の CO₂ 収支を考慮した数値 モデルを構築した。以下に解析に使用した計算式を示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \overline{u}\overline{\nabla}C = K_H \overline{\nabla}^2 C + K_V \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - F_{OCEAN-AIR}(\lambda, \phi) + F_{inj}(\lambda, \phi, z) - F_{bio}(\lambda, \phi, z)$$
(5)

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 収支である。

4. CO2の挙動予測の計算結果

表-1から、全投入量に対して有光層に到達した 002量 は,投入層が第7層以深であればおよそ5%以下に抑える ことができると考えられる。一方、第8層以浅であれば 4000m 以深には CO2の到達量はほぼ皆無に等しくなった。 これらにより、CO2の投入深度は第7層および第8層が有 力であるが、経済性を考慮すると第7層の方が適してい ると考えられる。

次にこの結果を踏まえて、生物への影響予測を行った。 生物への影響はしばしば、pH値を用いて行われ、濃度計 算結果第7層における pH値を算出した(図-1)。図-1と 吉川⁷⁾の報告を比較すると、本計算結果の pHが一番低く なった海域が投入地点の pH=7.908 であり、正常孵化率, 生存率,成長率とも吉川⁷⁾の報告した pHの値を上回って いるので、魚類に関しては影響が生じないという結果が 得られた。

5. おわりに

本研究の計算結果では、CO2濃度予測より第7層,8層 での投入が有力であると考えられる。だが、経済性を考 慮し第7層が妥当であると結論つけた。

またその時、7層投入時での本計算結果では,魚類に

表-1 投入層別全 11 層への到達量(×10³Gt)

\langle	/	投入層				
		5 (300 m)	6 / (600 m)	7 📕 (1150 m)	8 / (2000 m)	9 / (3000 m)
到達層	1 /	15.8	11.8	8.3	0	0
	2 (20 ~ 50 m)	33.8	25.3	17.9	0	0
	3 篇 (50 ∼ 100 m)	69.8	46.7	31.8	0	0
	4 – (100 ~ 200 m)	226.9	123.2	77.6	0	0
	5 (200 ~ 400 m)	815.9	422.2	243.5	0	0
	6 / (400 ~ 800 m)	817.5	1133.8	684.3	5.1	0
	7月 (800~1500m)	173.7	455.5	1318.6	560.5	9.9
	8 / 1500 ~ 2500 m	0	0	8.4	2054.5	503.3
	9 /// 2500 ~ 3500 m	0	0	0	28.4	2156.3
	10 /// 3500 ~ 4500 m	0	0	0	0	36.7
	11 //	0	0	0	0	0



対し影響が生じないという結果が得られた。しかし、本 計算モデルのメッシュ格子幅は経緯度 2×2 度であるた め,太平洋全体を広域で見た場合での評価はできるもの の、CO₂の放出口近傍のような局所的な範囲での評価がで きていないといえる。今後は局所的な範囲での評価が必 要である。

参考文献

- 長谷川一幸,和田明,西村玲輔,高野憲治:水工学論 文集,47(2003),1297-1302.
- Sarmiento, J. L., and Bryan, K. : An ocean transport model for the North Atlantic, J. Geophys. Res., No.87, pp.394-408, 1982.
- 3) 山本,村山,後藤:大気・海洋間の CO₂ 交換,月間海 洋,Vol.26, No.6, pp.335-341,1994
- Tans, P.P., I.Y.Fung and T.Takahashi: Observational constrains on the global Atmospheric CO₂ budget, Science, Vol.247, pp.1431-1438, 1990.
- 5) 半田暢彦:大気水圏科学からみた地球温暖化,海洋生物,pp.271-286,1996.
- Chen-Tung A.Chen,Ricardo and M.Pytkowicz: On the total-CO₂-titration alkalinity- oxygen system in the Pacific Ocean,Nature, Vol281,pp362-365,1979.

7) 吉川貴志:海生研研報, No.7, pp1-33, 2004.