

大気・海洋間の二酸化炭素収支を考慮した二酸化炭素挙動解析

日本大学大学院 学生会員 ○島根 彰男
日本大学大学院 正会員 和田 明
(財)海洋生物環境研究所 正会員 長谷川 一幸

キーワード： 太平洋、二酸化炭素、二酸化炭素分圧、数値シミュレーション

1. はじめに

産業革命以後、人類は石油、石炭、天然ガス等の化石燃料を消費し続けている。そのため大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度が次第に増加し、地球が温暖化するのではないかと指摘されてきた。人為的に放出された CO₂ は、地球上の生物や海洋がその約半分を吸収し、大気中の CO₂ 濃度増加を引き止める役割を果たすと考えられている。

1997 年には、気候変動枠組条約第 3 回締約国会議(COP3)が開催され、日本は温暖化の原因と考えられている CO₂ を含む温室効果ガスを 1990 年の排出量に対し 2008～2012 年の期間で 6 パーセント削減することが義務付けられた。しかし、2003 年度の CO₂ 排出量は 1990 年度に比べ 11.9 パーセントの増加であり、温室効果ガスのうち CO₂ に関しては、削減するどころか増加しているのが現状である。

そこで、本研究では海洋、特に太平洋に着目し、大気・海洋間の CO₂ 収支を考慮した海洋循環モデルを構築し、今後 CO₂ が増加したらどの程度 CO₂ の吸収量が増加するかを、数値シミュレーションによって検討した。

2. 大気・海洋間の CO₂ 収支を考慮した CO₂ 挙動解析の検討

(1) 海洋大循環モデルによる流れ場の算定

海洋に吸収された CO₂ は移流・拡散して海域全体に広がっていくため、対象とする海域の正確な流動場の把握が必要となる。

そこで本研究では、Wada and Nagoya¹⁾が作成した海洋大循環モデルを使用して太平洋の流れ場をシミュレーション解析した。モデルの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 度×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:10m、第 2 層:35m、第 3 層:75m、第 4 層:150m、第 5 層:130m、第 7 層:1150m、第 8 層:2000m、第 9 層:

3000m、第 10 層:4000m、第 11 層:5000m、の 11 層に分割した。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。また、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³⁾を採用している。

(2) 大気・海洋間の CO₂ 収支の算定

海水が気相に接している場合には、大気・海洋間の CO₂ の移動(収支)はその分圧の高い相から低い相へと生じる(フィックの法則)。以下に大気・海洋間の CO₂ 収支の式を示す。

$$F = E \cdot (pCO_{2-OCEAN} - pCO_{2-AIR}) \quad (1)$$

ここで、F: CO₂ 収支量(mol/m²・yr)、E: ガス交換係数(mol/m²・yr・μ atm)、pCO_{2-OCEAN}: 海洋の CO₂ 分圧(μ atm)、pCO_{2-AIR}: 大気中の CO₂ 分圧(μ atm)である。CO₂ 収支量の値は、プラスであれば海洋から大気へ CO₂ を放出し、マイナスであれば大気から海洋へ CO₂ を吸収していることを意味する。

ガス交換係数は風速の関数である。この係数は報告者により様々な係数が提案されており、現在のところどの係数が最も現実に近いかが明らかにされていない。そこで本研究では長期的な風速のデータを用いることから、長期平均風速データに対する係数を報告した Tans ら⁴⁾の係数値を用いて計算を行った。この係数は風速が 3m/s 以上でないと、大気・海洋間で CO₂ 収支が起きないという特徴がある。

CO₂ は海水に溶解すると、遊離炭酸(H₂CO₃)となり、さらに重炭酸イオン(HCO₃⁻)、炭酸イオン(CO₃²⁻)と解離するため、ヘンリーの法則が成り立たない⁵⁾。そのため、海水の CO₂ の分圧は、水温、塩分、全炭酸濃度、全アルカリ度の 4 つのパラメータより算出した。

海上大気中の CO₂ 分圧は、化石燃料の燃焼の影響を直

受け取る陸地の近くを除けば、どの地点でもほぼ変わらないので、全海面上で同値とした⁶⁾。また、大気中のCO₂濃度の平均増加率は、1970年以降1.3ppm/yrであったが、近年では1.8ppm/yrと増加率も大きくなっている。そのため、大気中のCO₂濃度増加率(1.8ppm/yr)を考慮して計算を行った。

(3) 使用したデータ

使用した水温・塩分データは、日本海洋データセンター(Japan Oceanographic Data Center : JODC)所蔵の1906年～1988年にわたる約80年間の東経100度～西経60度区間に存在するBT類(XBT, MBT, DBT, AXBT : ステーション数924392点)、SD類(各層観測, STD, CTD : ステーション数298346点)を整理し、全炭酸濃度は、CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)のデータ(NDP-76)を緯度・経度方向2度に補間して使用した。

風速のデータは、SSM/I衛星風速観測値を使用した。SSM/I海上風データはNASAのGoddard Space Flight Center(GSFC)から提供されたもので、本計算の対象としている太平洋全域の1988年～1998年までの6時間毎のデータである。また、SSM/Iの分解能は経度方向2.5度×緯度方向2.0度であったものを経度・緯度方向2.0度に補間して使用した。

(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。

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

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(1.0×10⁶cm²/s)、K_V : 鉛直方向拡散係数(1.0×10¹⁰cm²/s)、F_{OCEAN-AIR} : 大気・海洋間のCO₂収支である。

(5) CO₂の挙動予測の計算結果

表-1は、現在の大気中のCO₂濃度(360ppm)を基準とし、大気中のCO₂濃度が5ppmずつ増加したと仮定した場合の表層(1層)のCO₂収支量の合計と全層(1～11層)のCO₂収支量の合計および年間のCO₂の吸収量をまとめたものである。この表の値はプラスであれば海洋がCO₂を吸収していることを示している。表より、大気中のCO₂濃度の増加に伴い海洋中のCO₂の吸収量も増加していくことがわかる。

また、IPCCレポートでは、全海洋の年間のCO₂吸収量は2.0±0.8GtC程度と予測している。今回、我々が実施した太平洋上での年間のCO₂吸収量は、表より0.672～0.796GtC程度であることから、太平洋は全海洋の約28～57パーセントの吸収を担っている。

表-1 CO₂収支量 (GtC)

	CO ₂ 濃度					
	365ppm	370ppm	375ppm	380ppm	385ppm	390ppm
1層	0.091	0.179	0.267	0.353	0.439	0.524
1～11層の合計	1.867	3.869	6.015	8.299	10.713	13.265
年間吸収量	0.672	0.696	0.721	0.747	0.771	0.796

3. おわりに

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、CO₂が増加した際の太平洋のCO₂収支量について検討を行った。計算結果から、大気中のCO₂濃度が増加をすると海洋の吸収量もそれに比例して増加することが確認された。

今後は海洋中のCO₂の吸収量が増加した際の海洋生物への影響について評価をしていくことが必要であろう。

参考文献

- 1) Wada, A. and Nagoya, S : Pacific ocean flow simulation using the data assimilation system, Flow Modeling and Turbulence Measurements IV, pp.631-637, 1996.
- 2) Sarmiento, J. L., and Bryan, K. : An ocean transport model for the North Atlantic, J. Geophys. Res., No.87, pp.394-408, 1982.
- 3) 長谷川一幸, 和田明, 西村玲輔, 高野憲治 : 北太平洋亜寒帯海域でのCO₂海洋隔離によるCO₂濃度変化予測, 海洋調査技術学会誌, No.5, pp.346-349, 1997.
- 4) Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi : Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget, Science, Vol.247, pp.1431-1438, 1990.
- 5) 角皆静男 : 炭素などの物質循環と大気環境, 科学, Vol. 59, No. 9, pp. 593-601, 1989.
- 6) 加藤義久 : 地球の水圏-海洋と陸水, 東海大学出版会, 新版地学教育講座, 第10巻, pp. 95-103, 1995.