

「プロジェクト3」

二酸化炭素の海洋隔離に係わる濃度解析手法の高度化

和田 明 (土木工学科)

1. 二酸化炭素収支抑制策と隔離技術

地球温暖化の影響が将来的なものであり、また、対策を行った場合の経済的な影響が大きいと考えられるために、具体的な対策は遅れているのが現状である。現状の社会システムを変化させずに多量の二酸化炭素 (CO₂) の放出を削減させることは難しく、エネルギー利用の効率の向上を図ることは勿論であるが、CO₂の発生抑制策や固定・隔離技術についても研究開発を進めなければならない。

このような状況の中、対策の一つとして CO₂ 海洋隔離技術が注目されている。海洋は大気に比べて CO₂ を大量に貯蔵する能力があるにもかかわらず現在大気中の CO₂ は増加する一方である。そこで、発電所などから排出される CO₂ を回収し、液化した CO₂ を中深層に放出し、大気から隔離する CO₂ 海洋隔離技術が現在 CO₂ の処分方法として注目されている。^{1), 2)}

CO₂ の海洋隔離を考える上で大気・海洋間の CO₂ の収支を理解することは重要である。CO₂ の収支は大気海洋間の CO₂ 分圧差から生じると考えられており、海洋隔離の効果の向上を考える上でも CO₂ を吸収・放出する海域の特定は必要となってくる。そこで、本研究では、太平洋を対象として 2° × 2° メッシュ毎の CO₂ 分圧差を算出し、より精密な大気・海洋間の境界条件を与えることで CO₂ 投入後の濃度解析の高度化を図ることを目的とする。

2. 大気・海洋間の CO₂ 収支

大気・海洋間の CO₂ のやりとりを考える上で重要になってくるのは分圧である。勿論、大気⇄海洋の移動の方向は分圧の高→低となる。

CO₂ 分圧は次式で求めることが可能である。³⁾

$$pCO_2 = \frac{\Sigma CO_2}{\alpha_s} \frac{2 - \frac{Ac}{\Sigma CO_2}}{2 + \frac{K_1}{[H^+]}} \quad (1)$$

ここで、 pCO_2 : CO₂ 分圧 (atm)、 ΣCO_2 : 全炭酸濃度 (mol/kg)、 α_s : 溶解度 (mol/kg/atm)、 Ac : アルカリ度 (eq/kg)、 K_1 : CO₂ の見かけの解離定数 (mol/kg)、 H^+ : 水素イオン濃度 (mol/kg)。

3. 大気・海洋間の CO₂ 分圧差

CO₂ 分圧の算出法を用い、太平洋における海洋側の CO₂ 分圧を算定し、大気・海洋間の CO₂ 収支を考える。

$$\Delta pCO_2 = pCO_{2OCEAN} - pCO_{2AIR} \quad (2)$$

ここで、 ΔpCO_2 : 大気海洋間の CO₂ 分圧差 (μatm)、 pCO_{2OCEAN} : 海洋側の CO₂ 分圧 (μatm)、 pCO_{2AIR} : 大気側の CO₂ 分圧 (360 μatm)

$pCO_{2OCEAN} > pCO_{2AIR}$ であれば放出域、
 $pCO_{2OCEAN} < pCO_{2AIR}$ であれば吸収域となる。

4. CO₂ 分圧の感度解析

CO₂ 分圧の特性を知るために化学平衡の各種パラメータ依存性を解析した。表層海洋の全炭酸濃度、アルカリ度、水温および塩分の 4 つをパラメータに選び、これらの組み合わせにより 6 通りの感度解析を実行した。

図 1 (a) は水温、塩分一定条件下 (T=20°C、S=35psu) での全炭酸、全アルカリ度に対する化学平衡の応答を表す。CO₂ 分圧の等値線は全炭酸濃度の増加と全アルカリ度の減少にほぼ均等に応答するが、アルカリ度よりは全炭酸への依存性が

やや強い様子がわかる。図1 (b)には参考として既存文献から引用したCO₂分圧のパラメータ依存性を示す。図1 (a)は図1(b)と同じ条件での関数関係を表したもので、両者は合致しており、今回作成した化学平衡計算プログラムが正しく機能したことが確かめられる。

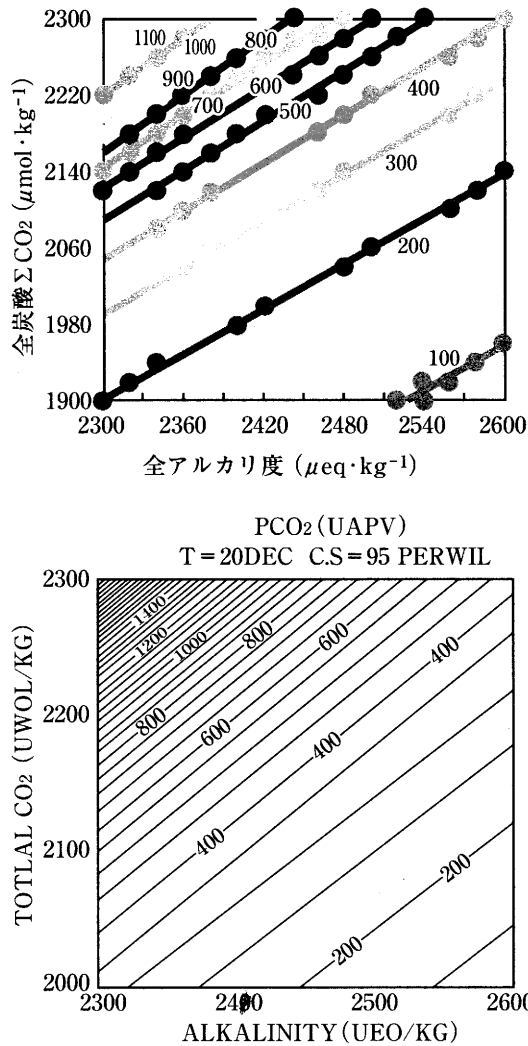


図-1 全炭酸と全アルカリ度に対するCO₂分圧の関係

5. 海洋中のCO₂

現在の海洋中のCO₂分布は、船舶によって観測され、次第に明らかになってきている。本研究では、CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)から入手できるCO₂濃度データ(NDP-76)を使用した。

データの対象領域は、東経0.5°～西経0.5°と南緯66.5°～北緯66.5°で、その分解能は1°×1°である。本研究の対象海域は、太平洋であるためこの全海洋のCO₂濃度分布データを用いて、太平洋上のCO₂濃度分布を線形補間して太平洋上のCO₂濃度分布を算出し、この値を現在のCO₂濃度分布とした。

6. 大気・海洋間のCO₂交換量

CO₂交換量は式(3)のようにCO₂分圧差にガス交換係数を乗じることで算出が可能となる。⁴⁾

$$E = K(pCO_{2OCEAN} - pCO_{2AIR}) \quad (3)$$

ここで、*E*: CO₂交換量(mol)、*K*: ガス交換係数(0.065mol/m²·yr·μatm)。

式(3)を用いて太平洋におけるCO₂交換量を算出した結果、図-2のような結果が得られた。図-2を見ると南半球、亜寒帯域(北緯40度・西経170度付近)付近に大きなCO₂吸収域があり、日本近海では日本列島南方が年間0.01Gt/yrを吸収していることがわかった。また、放出域についてはペルー沖からの北赤道海流に沿って広く分布していることがわかる。CO₂分圧は水温上昇により高くなるため、赤道付近の海域は放出域となっていると考えられる。

太平洋全体での吸収量については年間1.1Gt/yr吸収しているという結果が得られた。IPCC報告書によると全海洋におけるCO₂交換量は2.0±0.8Gt/yrとされているので、全海洋に対して太平洋が約50%占めることから、太平洋では約1.0±0.4Gt/yrと考えられている。よって今回の数値実験で得られた結果は妥当なものと考えられる。

7. CO₂濃度解析手法

CO₂を海洋に投入した場合、海洋隔離の効果を最大限に生かすには、投入する水深・生物への影響について考慮しなければならない。

- ① 経済的な面からなるべく水深が深くないこと。
- ② 海洋隔離の効果を生かすには投入したCO₂が短時間で表層に達しないこと。
- ③ 生物への影響を考え、投入層におけるCO₂濃度上昇が小さいこと。⁵⁾
- ④ 海底生物への影響を考え、海底層におけるCO₂濃度上昇が小さいこと。

投入点と投入方法については、日本近海で吸収域が特定できたため、東経132～136度、北緯22～26度の範囲で2度おきに(計9点)1年毎に投入点

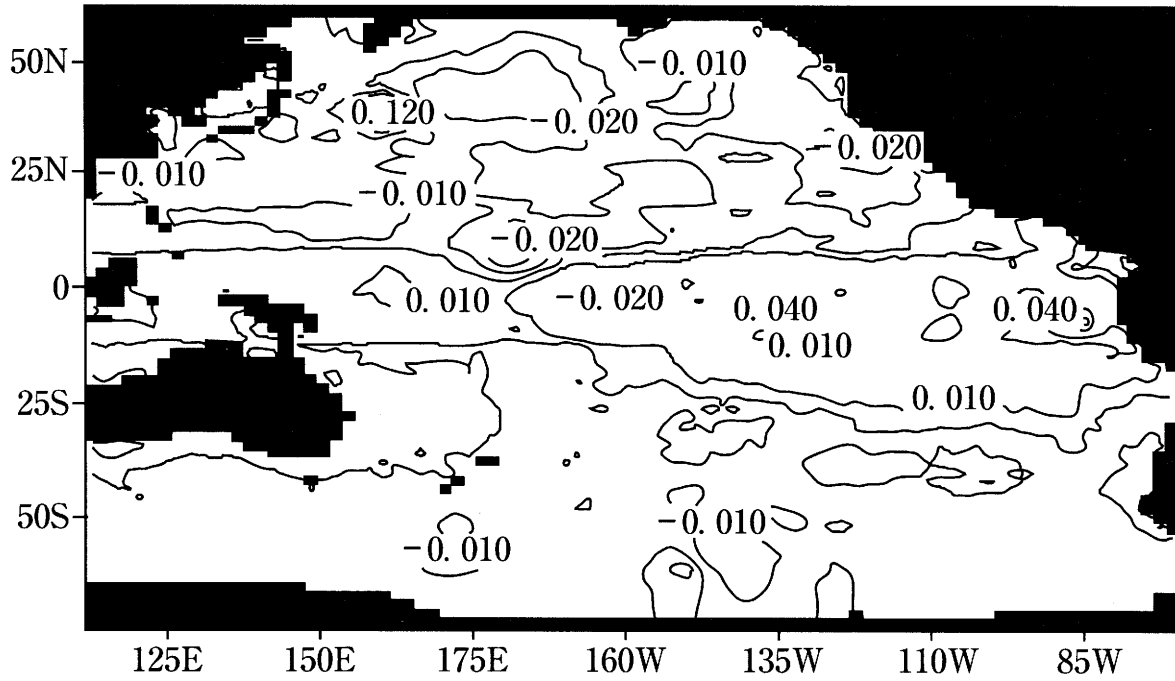


図-2 太平洋におけるCO₂の交換量 (Gt/year)

を変えてCO₂放出を行うとする。また、同海域で同一地点(東経134度・北緯24度)に連続投入した場合との比較も行う。(図-3)

CO₂の投入濃度については、COP3で採択された京都議定書に満足に達成することができる0.046Gt/年とした。

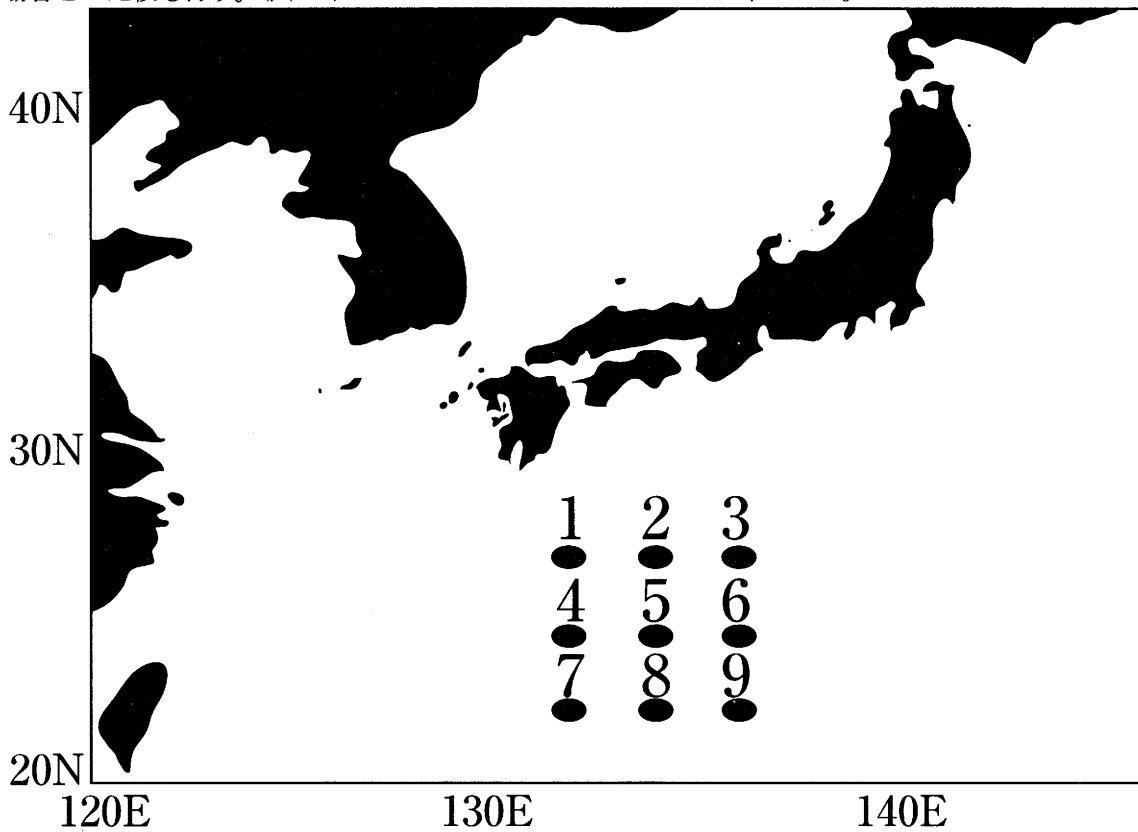


図-3 投入地点

《5番：50年連続投入地点、1～9：1年毎の移動投入地点(番号順に投入)》

投入層についてはハワイコナ市沖合で各層にCO₂を50年間連続投入した結果、投入層の濃度増加率が低く、表層、海底へ達する量が少ないことが好ましいことを考慮すると7層(800m~1500m)が最も好ましいので第7層投入とする。

本研究では、CO₂の大气・海洋間の収支を考慮した濃度計算式から海洋中のCO₂の濃度変化を算出した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\Delta} C = K_H \vec{\Delta}^2 C + K_V \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - F_{air-sea}(\lambda, \phi) + F_{inj}(\lambda, \phi, z) \quad (4)$$

ここで、左辺第一項は濃度の時間変化項であり、左辺第二項は移流項、右辺第一・二項は拡散項、右辺第三項は海表面での大气と海洋間の交換量、右辺第五項はCO₂の投入量である。

λ : 緯度、 ϕ : 経度、 C : CO₂の濃度変化($\mu\text{mol/kg}$)、 z : 深さ、 K_H : 水平方向拡散係数= 1.0×10^2 (m^2/s)、 K_V : 鉛直方向拡散係数= 1.0×10^{-3} (m^2/s)、とした。

また移流項で使用する流速場は、データ同化手法を用いて算出した流速場を使用した。⁶⁾ 計算期間を50年間として行った。

8. 解析結果

図-4は東経134度、北緯24度に50年連続投入した時(Case 1)と図-3に示す9点を50年移動しながらCO₂を投入した時(Case 2)の鉛直濃度分布図である。

Case 1において投入層(第7層)の濃度上昇値は48.9 $\mu\text{mol/kg}$ 、同層においてCase 2では18.5 $\mu\text{mol/kg}$ となり、今回の9点を移動しながら投入する方法では投入層において約3倍の希釈効果があることがわかった。

9. まとめ

平成15年度の研究ではCO₂分圧の算出、分圧差から大气・海洋間のCO₂交換量の算出、吸収・放出域の特定、これらを考慮したCO₂濃度解析を実施した。また、CO₂を1地点に連続投入するよりも、投入地点を変えつつ投入したほうが、CO₂投入層付近において希釈効果が高いことがわかった。

謝辞

CO₂分圧の項目で応用分子化学科・日秋俊彦教授のグループの先生にご助言をいただきました。感謝致します。

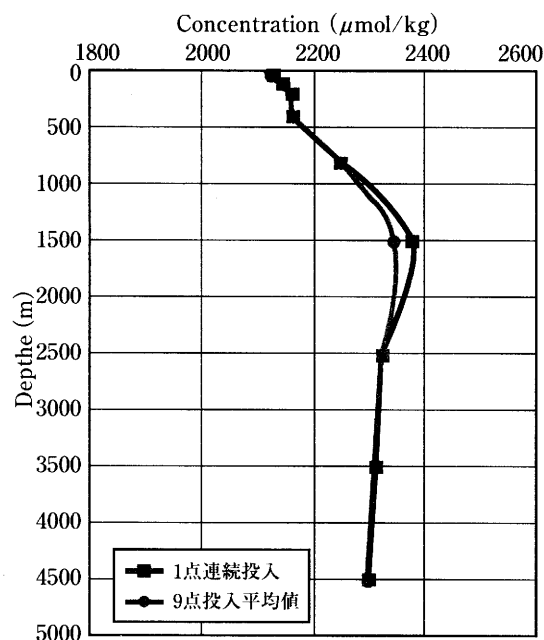


図-4 1点連続投入(東経134度・西経24度)と9点投入平均値の比較

参考文献

- 1) 綾 威雄、CO₂海洋隔離技術、月刊海洋、Vol. 33、2001、pp. 76-761
- 2) 和田 明、地球環境問題と技術開発—エネルギー転換と処理技術—、土木学会誌、Vol. 88、No. 2、2002、pp. 8-11
- 3) (株)関西総合環境センター、平成7年度 海洋の二酸化炭素吸収固定能力の調査、平成7年度調査報告書 NEDO-GET-9508、1996
- 4) 石田 明生、中田 喜三朗、青木 繁明、北太平洋における人間活動起源CO₂の挙動に関する数値実験、資源と環境、Vol.4、No.1、1995、pp. 53-60
- 5) 喜田 潤、魚類に及ぼす二酸化炭素の影響、海生研ニュース、No.64、1999
- 6) 長谷川 一幸、和田 明、高野 健治、西村 玲輔、データ同化法による太平洋3次元流動場モデルの構築と二酸化炭素海洋隔離の可能性の検証、土木学会論文集、II 719/II-61、2002、pp. 67-79