

大気・海洋間の二酸化炭素交換量を考慮した

二酸化炭素海洋隔離の評価

日本大学大学院生産工学研究科
日本大学生産工学部

学生員 松田 和久
正会員 和田 明

1. はじめに

地球温暖化防止京都会議(COP3)では温暖化に寄与するとされるCO₂を含めた温室効果ガスを基準年(1990年)に対して2010年までに6パーセント削減することを日本は義務付けられている。しかし、地球温暖化ガスの代表であるCO₂は、増加の一途を辿っており、具体的な対策がなされていないのが現状である。このような背景の中で、発電所等から排出されるCO₂を回収し、液化したCO₂を中深層に放出することで隔離するCO₂海洋隔離技術が現在CO₂の処分方法の一つとして注目されている。そこで、本研究では大気と海洋間のやりとりの影響を考慮した数値モデルを構築しCO₂を海洋に投入した場合どのような挙動を示すのか検討した。

2. 海洋中の二酸化炭素が受ける影響

海洋に溶けたCO₂は、化学変化を起こして、遊離炭酸(H₂CO₃)・重炭酸イオン(HCO₃⁻)・炭酸イオン(CO₃²⁻)に変化するといわれておりこれらをまとめて全炭酸(式-1)と呼んでいる。



海水中の全炭酸(TCO₂)は、海の流れによる影響や生物・化学変化による影響や大気と海洋間のCO₂交換量の影響を受けると考えられている。生物による影響に関しては、「生物ポンプ」といわれており植物プランクトン・藻類などは光合成によって表層のCO₂が減少することである。また炭酸塩の溶解の過程によってCO₂が減少する「アルカリポンプ」などがある。しかし、植物プランクトンや藻類などは光合成を行いながら呼吸もするため正味のCO₂量を見積もることは非常に難しい。

キーワード 海洋隔離技術・二酸化炭素

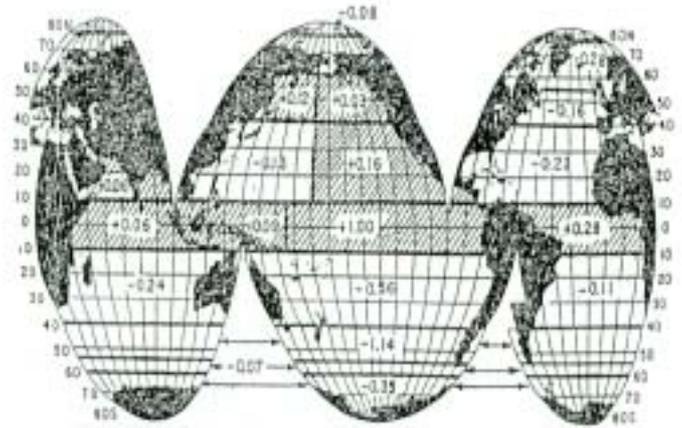


図-1 二酸化炭素の年間交換量(億トン)

またアルカリポンプとは、炭酸カルシウムが炭酸塩補償深度(水深2000~3000m以下)まで海水の鉛直循環によって深海に運ばれ溶解し、海水中のアルカリ度を高め、酸であるCO₂を中和させる働きのことを指す。そして、その溶解した海水が表層に浮かび上がったとき多くのCO₂が吸収されるがCO₂が吸収される過程は非常に長期間である。これらの理由から今回の研究では、「生物ポンプ」「アルカリポンプ」の影響は無視し、大気と海洋間のCO₂交換量を考慮した海洋中のCO₂濃度変化の計算を行うこととする。

3. 大気と海洋間の二酸化炭素の交換量

CO₂のやりとりについては、大気のCO₂分圧(PCO_{2air})と海表面のCO₂分圧(PCO_{2ocean})の差(PCO₂)から算出することができる。この他にTakahashi¹⁾らは、CO₂観測データからCO₂の交換量(図-1)を算出している。本研究では、このTakahashi¹⁾らによって求められたCO₂の交換量データを使用して、本研究の対象海域である太平洋のCO₂の交換量を設定した。

4. 海洋中の二酸化炭素初期濃度分布

本研究では、CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)から無償で入手できる全海洋 CO₂ 濃度データ(NDP-76)を使用した。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 濃度分布として利用した。

5. 濃度計算式

今回投入点は、ハワイコナ市沖合とした。ハワイコナ市沖合に CO₂ を投入した理由については、日本・アメリカ・ノルウェー・カナダが液化 CO₂ 海洋投棄の実地実験を行う計画があるためである。また 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。

本研究では、サンゴの固定量²⁾及び大気と海洋間のやりとりを考慮した濃度計算式(式-2)から海洋中の CO₂ の濃度変化を算出した。流速場については、データ同化手法を用いて算出した流速場を使用している。

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

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1・2項は拡散項、右辺第三項は、サンゴによる CO₂ 固定による CO₂ 濃度減少項、右辺第四項は海表面での大気と海洋間の交換量、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(μmol/kg)、z: 深さ、K_H: 水平方向拡散係数 = 1.0 × 10² (m²/s)、K_V: 鉛直方向拡散係数 = 1.0 × 10⁻³ (m²/s) とした。

6. 計算結果と考察

ハワイコナ市沖合の各層ごとに、CO₂ を 50 年間連続投入した。各層ごとに投入した 50 年後の濃度増加率を表-2 に示す。

表-2 濃度増加率

| | 投入深さ | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1層 | 2層 | 3層 | 4層 | 5層 | 6層 | 7層 | 8層 | 9層 | 10層 | |
| 濃度増加率 | 1層 | 33.2% | 10.7% | 4.2% | 3.1% | 3.0% | 3.0% | 3.0% | 3.0% | 2.9% | 2.9% |
| | 2層 | 15.7% | 13.9% | 4.4% | 3.0% | 2.9% | 2.9% | 2.8% | 2.8% | 2.8% | 2.8% |
| | 3層 | 5.5% | 6.3% | 9.8% | 3.0% | 2.5% | 2.5% | 2.4% | 2.4% | 2.4% | 2.4% |
| | 4層 | 1.8% | 2.0% | 2.7% | 7.7% | 1.9% | 1.4% | 1.4% | 1.4% | 1.4% | 1.4% |
| | 5層 | 0.8% | 0.8% | 0.8% | 0.8% | 4.8% | 1.1% | 0.7% | 0.7% | 0.7% | 0.7% |
| | 6層 | 0.3% | 0.3% | 0.3% | 0.3% | 0.4% | 6.4% | 0.9% | 0.4% | 0.3% | 0.3% |
| | 7層 | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.3% | 2.1% | 0.3% | 0.1% | 0.1% |
| | 8層 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 5.1% | 0.2% | 0.0% |
| | 9層 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 4.4% | 0.8% |
| | 10層 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 6.0% |

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、表層における濃度増加率も低いこと、そして生態系への影響を考えると投入層で濃度増加率が低いことが好ましい。この二点から考えると、投入層の濃度増加率が最も低く、表層における増加率も比較的低い第七層(水深 1150M)での CO₂ の投入が適切であることがわかった。次に第七層に投入した時の鉛直濃度分布を図-2 に示す。

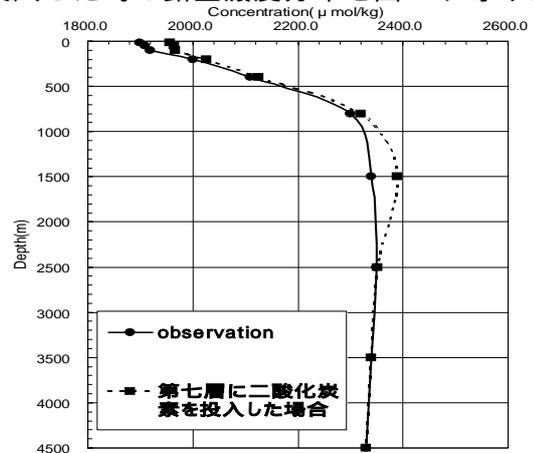


図-2 CO₂ を第七層に投入した際の鉛直分布図

第七層に投入した場合は、水深 900m ~ 2200m まで影響を受けることがわかった。

今後の課題としては、今回考慮に入れなかった生物ポンプ・アルカリポンプの影響についても考慮し、検討を行いたい。

7. 参考文献

- 1) Takahashi, T.: The carbon dioxide puzzle, Oceanus, Vol.32, No.2, pp.22-29, 1989.
- 2) 茅根創, 地球規模の CO₂ 循環におけるサンゴ礁の役割, Chishitsu News, No.436 (1990), pp6-16