

プロジェクト 3

太平洋における大気・海洋間の CO₂ 収支について

和田 明(土木工学科)

1. 課題の意義

近年、大気中の二酸化炭素(CO₂)を始めとする温室効果ガスの増加が起因とされる地球温暖化が懸念されている。地球温暖化は自然の営みに基づく変動よりも更に早い速度で気候変動を招く恐れがあり、人類にとって最も脅威となる問題の一つであると考えられている。そのため日本が議長国となった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ている CO₂ を含めた温室効果ガスを基準年(1990年)に対し 6 パーセント削減を日本は義務付けられた。

大気中の CO₂ 濃度の上昇による地球温暖化に関しては、地球温暖化の影響が将来的なものであり、また対策を行な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 CO₂ の放出を削減させる事は難しく、エネルギー利用の効率の向上を図る事は勿論であるが、CO₂ の固定・隔離技術についても研究開発を進めなければならない。

海洋は大気の 50 倍以上もの炭素を含み、人類が排出した CO₂ の取り組みに重要な役割を果たしていると考えられている。

本課題では、海洋の持つ CO₂ 吸収源としての能力に着目し、発電所施設等で回収した CO₂ を海洋に溶解・吸収させた場合、どの程度の深度で隔離を行なえば周辺海域への影響が少ないか、また、どの海域で隔離を行なえば効率よく稀釈できるかを検討してきている。

平成 16 年度においては、特に太平洋がどの程度 CO₂ の吸収に寄与しているかを検討する。そして、どの海域でどの程度の CO₂ の交換が行なわれているのかを推定することを目的とする。

2. 平成 12 年度～平成 15 年度の成果

(1) 太平洋循環モデルによる流れの解析(平成 12 年度、平成 13 年度)

NASA から提供を受けた海上風データを用いた太平

洋 3 次元循環モデルを構築し流れのシミュレーションを実施した。解析に当たっては海洋の水温・塩分保存式にデータ同化の効果を入れてあるが、これが海流場を再現するのに有効である事が示された。流動解析結果の妥当性については、表層の流動は海上保安庁水路部による漂流ブイ軌跡結果や既往の知見との比較により、中深層での流れ場は人工放射性核種のフォールアウトによる海洋中濃度の再現計算により流動・拡散モデルの検証を行なった¹⁾。

(2) CO₂ 濃度の解析手法の高度化(平成 13 年度)

海洋中に投入された CO₂ の挙動については、3 次元の拡散方程式を用い、実際に実証実験が予定されていたハワイ・コナ市沖を対象として水深方向の層別(全体で 11 層)に CO₂ を放流した。年間投入濃度は $1.26 \times 10^2 (\mu\text{mol/kg}\cdot\text{yr})$ とした。この年間投入濃度は COP3 で定められた削減目標に対する超過分(0.046Gt)から算出した値である。隔離を行なった第 1 層～第 6 層では投入量の 50 パーセント以上が表層に達し、海洋隔離に適さないことがわかった。第 9 層～第 10 層では海底層に達する量が多く、海洋隔離には第 7 層(1000m 位)が有効であることがわかった。

(3) 大気・海洋間の CO₂ 交換量の算定(平成 14 年度、平成 15 年度)

大気・海洋間の CO₂ の収支を Takahashi (Columbia Univ.) 等の研究結果を参考に設定して計算をしてきた。更にモデルの精度を向上させるために、海表面の CO₂ 分圧から以下の式を使い大気・海洋間の CO₂ 収支を算出した。

$$F = E \cdot (p\text{CO}_{2-\text{OCEAN}} - p\text{CO}_{2-\text{AIR}}) \quad (1)$$

ここで、F : CO₂ 交換量(mol/m²・yr)、E : ガス交換係数(mol/m²・yr・ μatm)、 $p\text{CO}_{2-\text{OCEAN}}$: 海洋の CO₂ 分圧(μatm)、 $p\text{CO}_{2-\text{AIR}}$: 大気の CO₂ 分圧(μatm)である。ガス交換係数には石田らが報告した係数²⁾を用いて CO₂ 収支を算出し、これを大気・海洋間の CO₂ flux としてモデルに反映させ太平洋において CO₂ 挙動計算を行なった。しかし吸収域では、CO₂ の吸収量が過大に

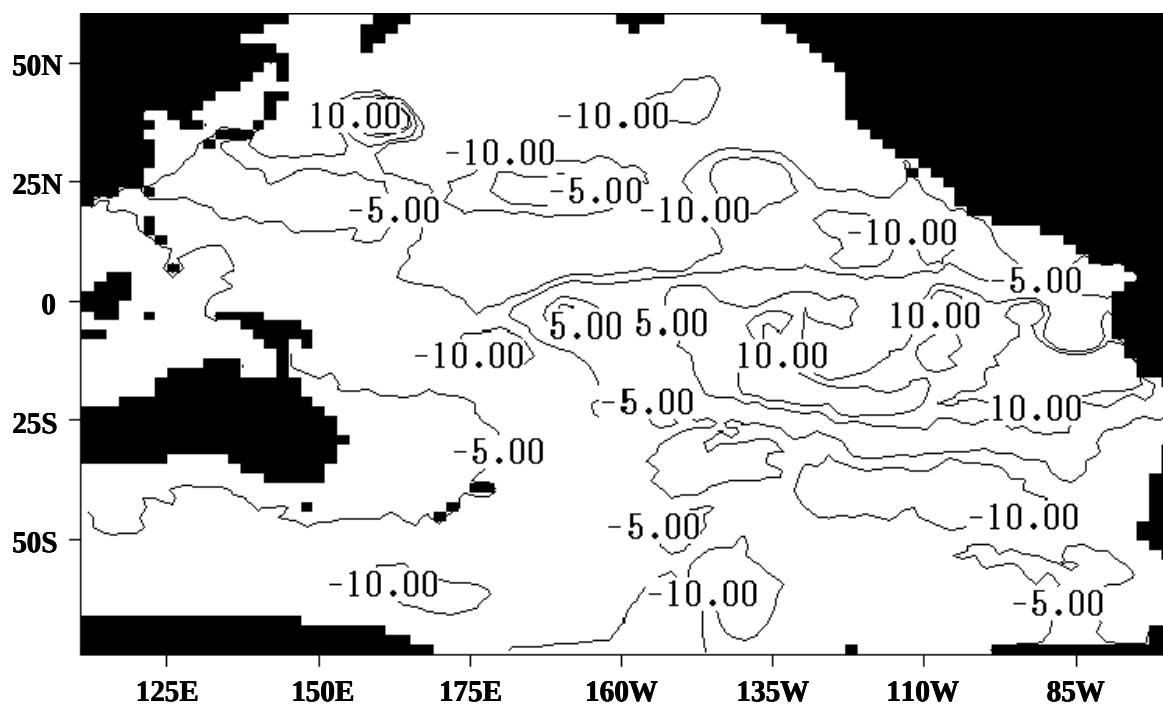


図-1 太平洋における CO_2 交換量 ($\times 10^3 \text{Gt/year}$)
 ガス交換係数：石田ら 大気中の CO_2 分圧： $360 \mu \text{atm}$

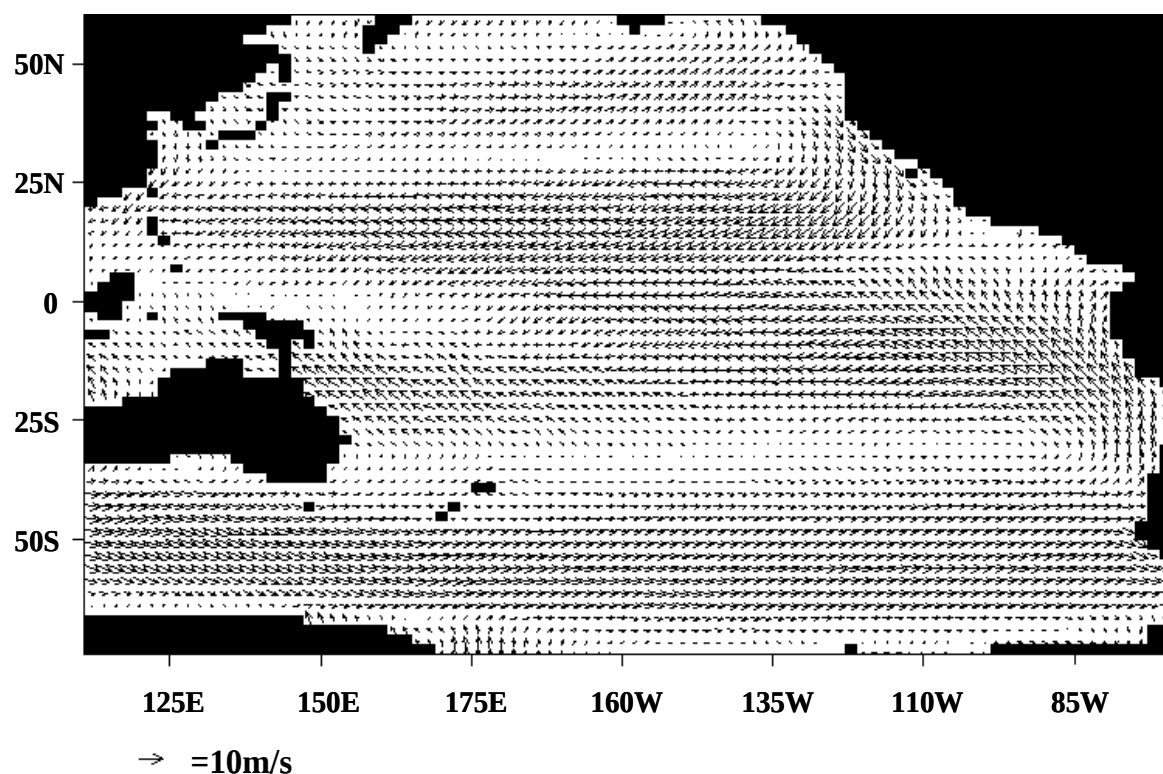


図-2 風速のデータ (m/s)

なり、表層付近で CO_2 濃度が著しく増加するという結果を得た(図-1 参照)。

3. 大気・海洋間の CO_2 交換量の算定(平成 16 年度)

3.1 CO_2 交換係数

平成 15 年度で採用した石田らのガス交換係数²⁾では CO_2 の収支量が過大になってしまったので、ガス交

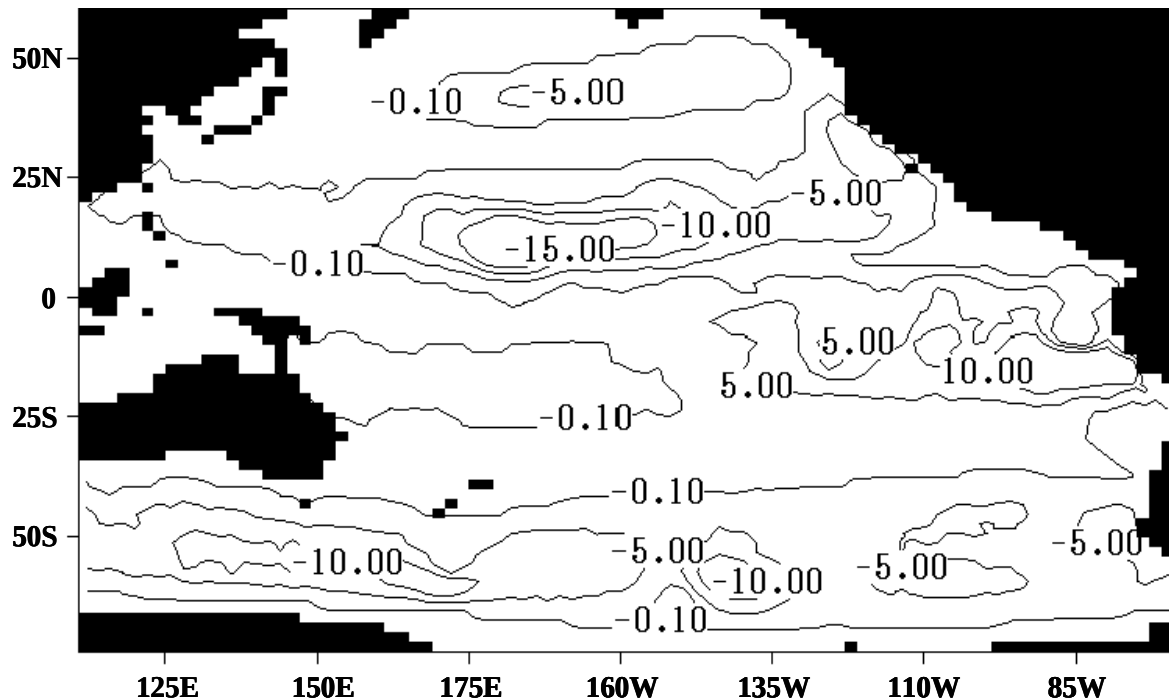


図-3 太平洋における CO₂ 交換量 (×10³Gt/year)
ガス交換係数：Tans ら 大気中の CO₂ 分圧：360 μ atm

換係数に風速のデータを使用する Tans らが報告した係数³⁾を用いて CO₂ 収支を算出した。Tans らは長期的な平均風速データを用いる場合に以下の係数を提案している。

$$E = 0.01(U - 3) \quad (2a)$$

$$E = 0.0 \quad (2b)$$

ここで、U：風速(m/s)である。風速が 3m/s 以上であれば式(2a)を用いて、風速が 3m/s 未満であれば式(2b)を用いる。

海洋の CO₂ 分圧は、海水と平衡状態にある気相を仮想導入し、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。大気中の CO₂ 分圧は、場所による変動が小さいと見なせるため、一定値と仮定した⁴⁾。

石田らが報告した係数²⁾は、どの海域においても CO₂ の収支(放出・吸収)が行なわれていると見なしたもので、CO₂ の収支の量は CO₂ 分圧差の値のみに依存するという係数である。平成 16 年度新しく試みた係数は Tans らが報告した係数³⁾である。この係数は風速が 3m/s 以上でないと大気・海洋間で CO₂ の収支は起きないとしたものなので、CO₂ の収支の量は CO₂ 分圧差と風速の値により決まる。

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、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 2.0×2.0 度に補間して使用した。

本課題で大気・海洋間の CO₂ 交換を算定する際に使用した風速を図-2 に示す。赤道付近では北東から南西方向へ吹く北東季節風、オーストラリア付近では北西季節風が現れているのがわかる。さらに、北東貿易風、南西貿易風、偏西風も確認できる。また、亜熱帯高圧帯(北・南緯 30 度付近)では風が収束し、その風速は非常に弱いということがわかる。

3.2 CO₂ 交換量の計算結果

CO₂ 交換量を求める際に、ガス交換係数に風速による影響を考慮した Tans らの係数³⁾ケース 1(式(2)を使用)と、風速による影響を無視した石田らの係数²⁾ケース 2 の 2 ケースで大気・海洋間の CO₂ 交換量を算出し、その交換量の合計を求めたのが表-1 である。大気中の CO₂ 分圧はおおよそ 1900 年代以降と等しい、300～380 μ atm までの範囲を考慮した。

表-1 より本計算結果では、ケース 2 の方が CO₂ 交換量の合計は大きくなった。また、大気中の CO₂ 分圧の値が小さければ、CO₂ は海洋から大気へ放出するが、

表－1 CO₂ 交換量 (GtC/year)

大気中のCO ₂ 分圧(atm)	ガス交換係数	
	Tansら	石田ら
300	0.63	0.09
310	0.16	-1.37
320	-0.30	-2.84
330	-0.76	-4.30
340	-1.22	-5.76
350	-1.68	-7.22
360	-2.14	-8.68
370	-2.60	-10.14
380	-3.06	-11.60

大気の CO₂ 分圧の値が大きくなるにつれて大気から海洋に CO₂ を吸収する傾向にあることが分かる。

大気の CO₂ 分圧の平均増加率は、1970 年以降 1.3 μ atm/yr であったが、最近では 1.8 μ atm/yr と増加率が大きくなっている⁴⁾。大気の CO₂ 分圧が約 10 μ atm 増加すると、海洋に取り込められる CO₂ の量は本計算結果から、ケース 1 では 0.4GtC/yr 程度増加し、ケース 2 では 1.46GtC/yr 程度増加することが明らかになった。

以上のことから、大気の CO₂ 分圧の大きさやガス交換係数によって大気・海洋間の CO₂ 交換量は変動することが確かめられた。

図－3 に大気の CO₂ 分圧を 360 μ atm(現在の大気の CO₂ 分圧)と設定し、ケース 1 を用いた場合の太平洋における CO₂ 交換量を示す。図－3 から、CO₂ の吸収域は北太平洋亜寒帯海域、北赤道海流海域、北赤道反流海域、南極環流海域に沿って分布していて、放出域はペルー沖から南赤道海流海域、南赤道反流海域に沿って分布しているのがわかる。以上のことから、CO₂ の吸収域、放出域と海流には関連性があることが明らかになった。

4. おわりに

本課題では、太平洋における大気・海洋間の CO₂ 交換量を大気と海洋の CO₂ 分圧差と風速から算出した。表－1、図－3 から太平洋は CO₂ の吸収に大きく貢献していることが明らかになった。

今後は大気・海洋間の CO₂ 交換量の算出精度を高めるために場所ごとの大気の CO₂ 分圧を求めて、これを考慮して CO₂ 交換量を算出する予定である。

5. 参考文献

- 1) 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, pp. 67-79、2002.
- 2) 石田明生、中田喜三郎、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、pp. 53-60、1995.
- 3) Tans, P. P., I. Y. Fung and T. Takahashi: Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget, Science, Vol. 247, pp. 1431-1438, 1990.
- 4) 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. 95-101、1995.