

「プロジェクト3」

二酸化炭素の海洋隔離の可能性の検討

和田 明 (土木工学科)

1. 研究目的

人間は今1年間に二酸化炭素(CO₂)を化石燃料の燃焼によって約200億t大気に放出し、その量は自然状態での火山や温泉からの放出量の200倍に達している。

CO₂の増大に伴う地球温暖化の影響が未来的なものであり、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。今後はエネルギー利用の効率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。

本研究では、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えば効率よく希釈できるかを検討した。

2. 研究経過

2.1 太平洋循環モデルによる流れの解析

平成12年、13年度においてNASAから提供を受けた海上風データを用いた太平洋3次元循環流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ことが示された。流動解析結果の妥当性については、表層の流動は水路部による漂流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った。

2.2 二酸化炭素の海洋中の挙動

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、拡散係数値は水平、鉛直共海洋中核種濃度解析した値を設定している。年間投入濃度は 1.26×10^2 (μ mol/kgyr)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。

海洋隔離を検討した海域は実際に実証実験が予定されていたハワイ沖(北緯19度、西経157度)である。CO₂海洋隔離は大気側の濃度の上昇を抑制する事を第一目的とし、更に本研究では底層に棲息するベントス類への影響も評価した。隔離されたCO₂は流れ場の影響を強く受け、表層第1層で放出した場合も放出点での濃度は 178.9μ mol/kgと高濃度になるのに対して南半球側の濃度上昇はほぼ 1.0μ mol/kg未満であった。これは放出点が亜寒帯循環系の中にあるため、一部が北赤道反流によって広がっていくものの、ほぼこの循環系の中でCO₂が留まっていることが確認された。隔離を行った第1層～第6層では温度躍層内であるために鉛直方向の対流も大きく、一年間の投入量のおよそ50%以上が表層にまで到達してしまい海洋隔離には適さないことが分かった。また、投入水深は深ければ深いほど表層にまで達する総量は少なくなるが、その分海底層に到達した総量も大きくなる。そこで、温度躍層以下の第7層～第10層に放出した際は最下層に達する総量を見積もることにより海底生物の影響を考慮した。この結果、第1層～第6層では表層に達する量が多量になり、第9層～第10層では海底層に達する量が多すぎるため、CO₂海洋隔離には第7層(1000m位)が有力であることが分かった。

3. 平成14年度に得られた結果

近年の観測結果などからCO₂を吸収する可能性がある海域だと注目されている北太平洋亜寒帯海域の温度躍層以深で海洋隔離した場合、どの海域で隔離すれば効率よく表層の濃度上昇を抑制し、周辺海域に分散させることができるかの検討を行った。¹⁾

北太平洋亜寒帯海域は冬季の気象条件が厳しいことなどから日本近海やアリューシャン列島沿い、カダグ沿岸の一部を除いては観測実績が少なく、他の海域に比べ実態の理解が進んでいない。しかしなが

ら、この海域ではCO₂を吸収する可能性がある海域だということが近年の観測結果などからわかってきた。

14年度では特に北太平洋亜寒帯海域でCO₂の海洋隔離を行った際の濃度影響評価を行い、実際に北太平洋ではどの海域がCO₂海洋隔離に最も適しているかの評価を行った。

そこで、投入水深に関する13年度の結果を考慮して、同海域の第7層（温度躍層直下）でCO₂を放出した場合、表層に到達するCO₂総量とCO₂の最大濃度が同海域でどのように変化するかを検証を行った。CO₂の投入量やモデルの計算期間は13年度の場合と同値とした。また、同海域は13年度の検討により3次元流動場モデルの流れ場の見積もりが概ね良好であったことが以下のように確認された海域である。

図-1に大谷がDodimead et al.およびFavorite et al.の結果をとりまとめた海流の模式図を示す。北太平洋亜寒帯海域には様々な環流が存在していることが分かる。一方、図-2にデータ同化手法で得られた水深75mでの北太平洋亜寒帯海域の流動解析結果を示す。計算結果では、既往の文献で求められているホツカ海内を反時計回りに流れる流れや、およそ東経160度、北緯50度以北に位置するカムチャッカ半島東岸を沿うように南下する流れ、さらに西経160度、北緯60度に位置するアラスカ半島の東岸にある反時計回りの循環等が計算されている。このように北太平洋亜寒帯海域での流れ場の再現性は比較的良好であることが確認されている。

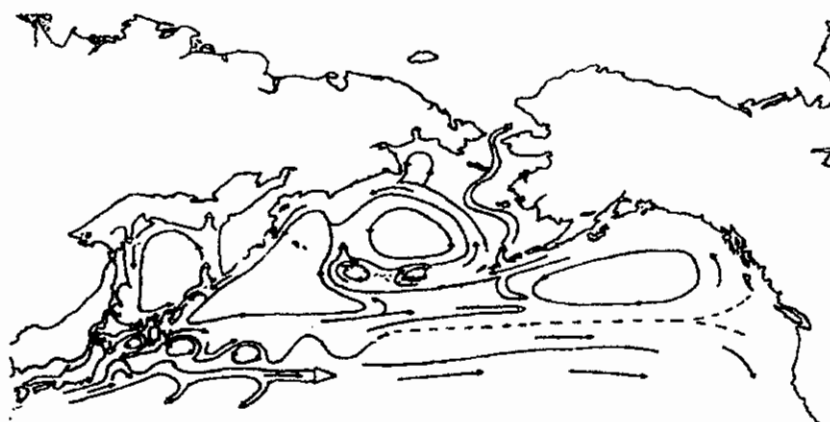


図-1 大谷がDodimead et al.(1963) およびFavorite et al.(1976)の結果をとりまとめて作成した海流の模式図

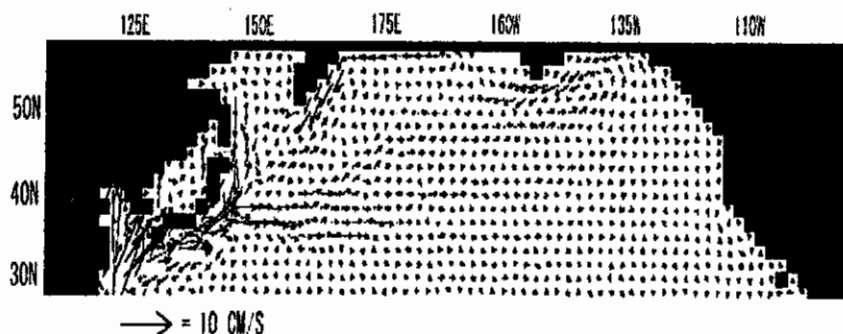


図-2 水深75mにおける北太平洋亜寒帯海域の水平流動場

亜寒帯海域での投入点を図-3に示す。計算開始から50年後の表層に到達したCO₂総量、CO₂最大濃度およびCO₂の年間投入量に対するCO₂の表層到達量の比をそれぞれ求めた結果を表-1に示す。CO₂の放出場所が緯度方向に変化した場合はさほど大きな濃度変化は認められないが、経度方向に変化した場合には、より東側でCO₂を排出した場合の方が表層に到達するCO₂量や最大濃度を抑制することができることが確認できる。

図-4に抑制効果が最も確認できた亜寒帯東部(北緯52度西経160度)の第7層でCO₂を放出した時の表層でのCO₂濃度分布を示す。²⁾

表-1 北太平洋亜寒帯域の第7層に放出したCO₂の挙動

投入地点	表層に到達したCO ₂ 総量 ($\times 10^{-5}$ Gt)	表層でのCO ₂ 最大濃度 (μ mol/kg)	年間投入量に対する 表層到達量の比(%)
50°North, 160°East	14.20	3.50	30.87
170°East	10.90	3.87	23.70
180°	9.84	3.67	21.39
170°West	10.40	3.79	22.61
160°West	8.11	3.26	19.22
150°West	7.51	3.02	17.63
140°West	6.68	2.66	16.33
52°North, 160°East	13.90	3.37	30.22
170°East	11.60	3.58	25.22
180°	11.30	3.67	24.67
170°West	10.90	3.68	23.70
160°West	9.78	3.46	21.26
150°West	8.71	3.21	18.93
140°West	7.21	2.65	15.67
54°North, 160°East	14.60	3.74	31.52
170°East	12.10	3.74	26.30
180°	11.80	3.83	25.65
170°West	11.40	3.59	24.78
160°West	9.17	3.22	19.93
150°West	9.19	3.31	19.98
140°West	6.82	2.50	14.83

表層に達したCO₂は北太平洋亜寒帯循環系の中で広がっていき、投入地点よりもやや西側に強く移流・拡散していくが、この循環系の外の濃度上昇は僅かであり、特に南半球側の濃度上昇は50年間連続放出した場合ではほとんど認められなかった。この傾向は、東部海域で放出した場合も、西部海域で放出した場合も同じであった。このように、北太平洋亜寒帯海域の温度躍層以下でCO₂を放出した場合、西部海域に比べ東部海域の方がCO₂の表層到達量を抑制できることが確認された。

4. 今後の検討項目

4.1 流動モデルの改善(計算グリッドの細分化)

現行の流動モデルでは、そのモデル解像度が水平方向には経緯度2度×2度、鉛直方向には11層とな

っている。そのため、モデル解像度よりも細かい現象については、現在展開中のモデルでは捉えることが不可能である。モデル解像度の細分化には、計算に必要な入力データが不可欠となるが、近年観測網の拡充などにより十分モデルの細分化は可能である。そこで、モデルの解像度を水平方向には経緯度1度×1度、鉛直方向には30層程度に分割する。

4.2 CO₂の挙動予測モデルの改善

i) 海表面での大気-海洋間CO₂交換量の設定

大気-海洋間CO₂交換量は大気側のCO₂分圧と海洋側のCO₂分圧の差、および海表面での風速の大きさによって決定される。

現行のモデルでは、このCO₂交換量を

Takahashi(Columbia Univ.)等の研究結果を参考に太平洋海域毎に設定しているが、正確には海表面での風速値と分圧差によって定めるべきである。そこで、NASA提供のSSM/I衛星観測データ(風速データ)を用いて、海表面でのフラックスを再定義させることでより正確なモデルを構築する。

ii) クラスレート・ハイドレートの影響

低温・高圧(10℃以下、4.5Mpa(メガパスカル)以上)で放出されたCO₂と海水との界面にはクラスレート・ハイドレート物質が形成され、海水中に投入されたCO₂は周辺海域と混ざりにくくなる。また、液化させたCO₂の投入により周辺海水の密度にも少なからず影響を与える。これらの影響を考慮したモデルの

構築が必要となる。

4.3 海洋生物に対するCO₂の影響

CO₂濃度の上昇が海洋生物に及ぼす影響は濃度上昇幅に依存するだけでなく、個々の海洋生物の耐性にも依存する。殆どの種についてCO₂濃度上昇に対する耐性と生理反応の情報は極めて少ない。海洋生物への急激なイパクトを避けるためには、PHを7.5より低くする事は避けるべきである。

3次元海洋循環モデルによるCO₂濃度予測結果と全地球海洋の海洋生物学的マップを比較検討して、環境影響を最小限にするCO₂注入方法の研究を行う。

参考文献

1) K. Hasegawa, A. Wada and R. Nishimura., Calculations of the Concentration of Radionuclides(CS-137, SR-90, PU-239/240) in the Pacific Ocean, Journal of Hydroscience and hydraulic engineering, Vol.20, No.2, (2002), pp227-237

2) 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、Vol.14, No.2, (2002), pp13-27

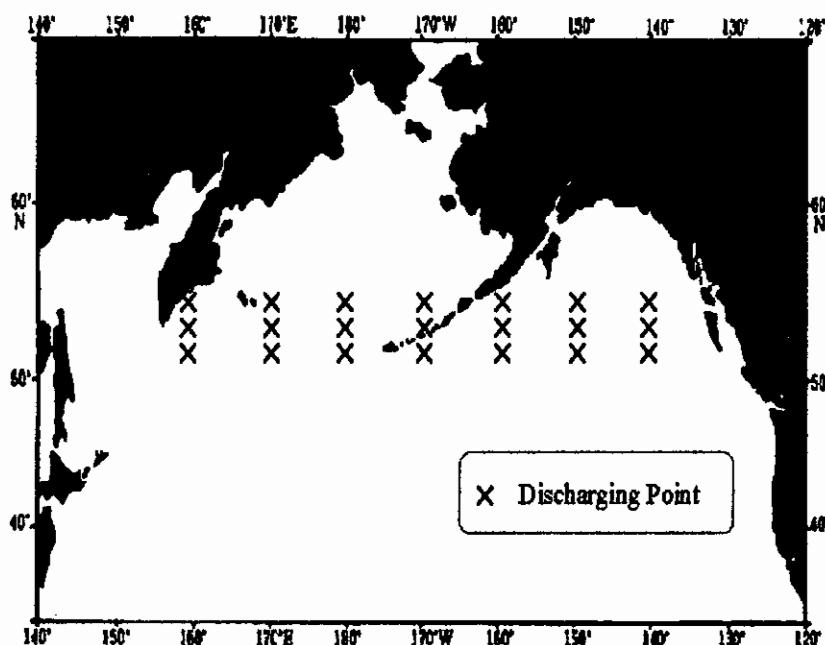


図-3 亜寒帯海域での投入点

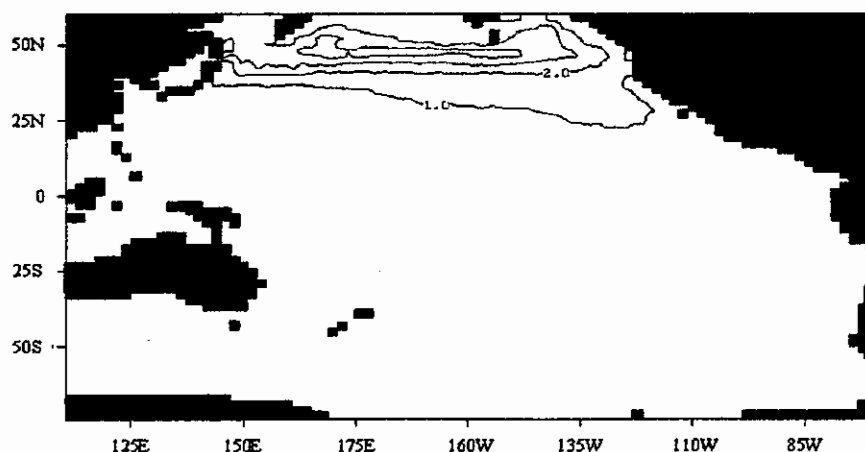


図-4 北緯52度、東経160度の第7層でCO₂を50年間連続放出した場合の表層水平濃度分布図(μmol/kg)