

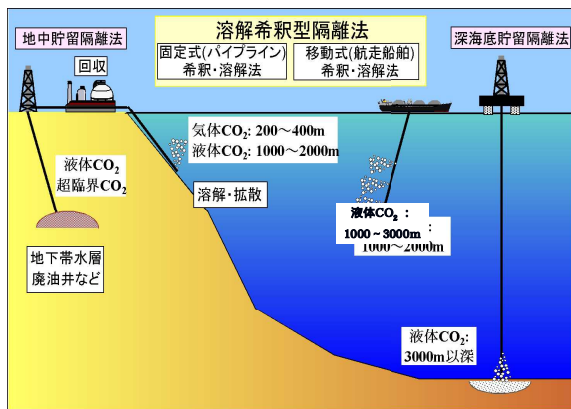
4 二酸化炭素海洋隔離の環境影響評価技術開発

渡辺雄二(株)環境総合テクノス)

キーワード：二酸化炭素、海洋隔離、生物影響、環境影響評価

1. はじめに

二酸化炭素の海洋隔離は、人間活動由来の二酸化炭素を回収し、海洋の中深層(1,000~3,000 m)に溶解希釈させる技術である。海洋に隔離された二酸化炭素は長期間に亘り海洋に維持されるために、二酸化炭素を大気中にそのまま放出した場合に生じる急激な濃度上昇を抑制することが期待される。



日本では、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が平成9年度~13年度にかけて「二酸化炭素海洋隔離の放出・希釈技術開発」を、その後財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)が平成14年度~平成20年度にかけて「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」を行ってきた。

従来、工学技術の開発が先行し、その後環境影響評価が実施されることが多いが、本技術は海洋環境そのものを利用することから、工学技術開発と環境影響予測技術開発が並行

して実施されてきた。本発表では、環境影響、特に生物影響を中心にケーススタディにおいて検討した環境影響の考え方について紹介する。

2. 生物影響

二酸化炭素が海水に溶解すると、海水中の二酸化炭素ガスの分圧が上昇するとともに、海水中では二酸化炭素は溶解して海水のpHを下げる。しかし、pHを低下させる水素イオンなどのイオン物質はガス態に比べて生物膜の透過性が悪い。このため、海水を二酸化炭素と塩酸などの無機酸で調整した場合の生物の反応は大きく異なり、同じpHでは二酸化炭素のほうが無機酸よりも高い致死率を示す^{1,2}。このため、海洋隔離の環境影響評価においては海水中の二酸化炭素分圧を指標とすることが必要となる。

ところで、海洋隔離を実施しようとする外洋の中深層は生物密度が低く、かつ低温のため、生態系としての時空間スケールが大きく、中深層での影響を評価するには数年以上のスケールで考える必要がある。しかし、このような長期間の影響を実際に検証することはできない。このため、ケーススタディでは短期影響などの結果をもとに、閾値を推定することを試みた。

3. ケーススタディによる影響予測

3.1 長期影響の推定

野外における水生生物への化学物質の環境

影響評価の基準として予測無影響濃度あるいは無影響濃度予測値 (Predicted No Effect Concentration : PNEC) という考え方が OECD や環境省などにより示されている。予測無影響濃度というのは、その場に生息するすべての水生生物に対する影響がない、すなわち生態系への影響が生じない濃度を示す。予測無影響濃度の推定には、急性や慢性影響の無影響濃度に対して、既知の情報量に応じて不確定性係数 (アセスメント係数と称される場合もある) が 1-1000 で除して求められる。この不確定性係数は、OECD や各国の毒性試験法は対象としては陸域での利用を基本としており、外洋を対象として設定されたものではない。また、それぞれ設定値に相違が見られる。

今回、海洋において常に優占するカイアシ類を対象として、予測無影響濃度を求めることを試みた。外洋性カイアシ類の二酸化炭素における致死曲線から 0.1% 致死率を無影響濃度の近似値とし、Mayer ら (1994)³ の方法により慢性致死に関する無影響濃度を推定した。得られた 5,600 ppm (95% 信頼区間 3,300 ~ 7,900 ppm) から海洋隔離が想定される亜熱帯海域の水深 2,000m の二酸化炭素分圧 (約 700ppm) を減じて、致死に対する無影響濃度を約 5,000ppm と推定した。また、カイアシ類の抱卵率への影響実験では 5,000ppm では対照群と有意差が認められていない⁴。慢性影響の結果がある場合と判断し、5,000ppm を不確定係数 10 で除し、予測無影響濃度 (PNEC) を 500ppm と推定した。

3.2 ケーススタディにおける影響範囲

海洋隔離は水深 1,000 ~ 2,500m に二酸化炭素を放出・希釈する方法であり、希釈濃度が上記の予測無影響濃度を下回れば、生物影響を避けることができる。Masuda ら (2008)⁵ は海洋大循環モデルにより所定の海域に放出し続けた場合の二酸化炭素の拡散範囲を予測した。最も濃度の高い海域においても生物実験から予測された無影響濃度 (PNEC) を下回

る結果が得られ、ケーススタディにおける条件では生態系への影響を最小限の抑えられる可能性を示した。

4 . モニタリング

生物影響を抑制した隔離方法を実施した場合、その結果が予測結果と一致するかどうかモニタリングすることは非常に重要である。しかし、時空間スケールの大きな海洋隔離の場合には、実際にすべての状況をモニタリングすることは不可能である。そこで、モニタリングすべき指標を抽出することが重要となる。本プロジェクトでは隔離を行う海域の環境と生物組成を調査し、生態系モデルを構築することにより、指標を抽出することを試みた。生態系モデルのパラメーターに対する二酸化炭素の影響は明らかでないため、二酸化炭素の影響を受けるであろうボックスとパラメータを選択し、感度解析を行い、結果としてどのボックスの変動が大きく影響をうけるか検討した。その結果、二酸化炭素を放出した層よりもその下層のほうが変化が大きく、なかでも栄養段階が大きな肉食性で大きな変化率が得られた。これは、二酸化炭素を放出した層の生物活動が抑制されると、下層への有機物フラックスが増加することによって考えられた。栄養段階の上位生物は生息密度が非常に小さいため、変化が大きい一方で調査精度が劣るため、適切な栄養段階の選択が必要となる。

モニタリング方法の検討は、不確定性の大きな事業においては非常に重要となる。

5 . さいごに

今回、ケーススタディとして現在得られた結果を元にどの程度予想することが可能であるかの試みがなされたが、深海生態系についてまだ不明な点も多く、さらにデータが蓄積されることが求められる。

このような大きなスケールを対象とする環

境影響予測には、どうしても大きな不確定性が残らざるを得ない。そのため、単純にデータの蓄積だけを待っている、現実的に事業の実行は不可能である。そこで、近年このような不確定性のある事業の進め方のひとつとして順応的管理の概念が取り上げられている。自然の機能を利用する技術の活用は今後もさまざまなところで提案されると考えられ、環境影響評価における評価手法やモニタリング手法の開発がさらに求められよう。

6. 謝辞

本発表は、RITE が実施した二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発の成果によるものです。プロジェクトの関係者に対して、感謝申し上げます。

7. 文献

1. Kikkawa, T. et al. 2004. Comparison of the lethal effect of CO₂ and acidification on red sea bream (*Pagrus major*) during the early developmental stages. Marine Pollution Bulletin, 48:108-110
2. Watanabe, Y. et al. 2006. Lethality of increasing CO₂ levels on deep-sea copepods in the western North Pacific. Journal of Oceanography, 62:185 - 196
3. Mayer, F. L., et al. 1994. Predicting chronic lethality of chemicals to fishes from acute toxicity test data: Concepts and linear regression analysis. Environmental Toxicology and Chemistry, 13:671- 678
4. Kurihara, H. et al. 2004. Effects of raised CO₂ concentration on the egg production rate and early development of two marine copepods (*Acartia steueri* and *Acartia erythraea*). Marine Pollution

Bulletin, 49:721 - 727

5. Masuda, Y. and Y. Yamanaka (2008) Simulation of 50 Mton CO₂ injection per year into the ocean using an ocean general circulation model. OCEANS 2008 - MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean, DOI: 10.1109/OCEANSKOB.2008.4531030