

# CO<sub>2</sub> 海洋隔離の環境リスク評価に関する研究

環境モデリング統合学分野 佐藤研究室 56738 大宮俊孝

## 1. 背景・目的

大気中の温室効果ガス濃度増加に伴う気候変動<sup>[1]</sup>のリスク削減が国際的課題となっている。特に CO<sub>2</sub> は海洋表層酸性化も引き起し、生態系に大きな影響を及ぼすことが示唆されている<sup>[2]</sup>。その対策として、大規模排出源から分離・回収した CO<sub>2</sub> を海洋に隔離する方法が提案されている。Moving Ship 方式による CO<sub>2</sub> 海洋隔離のベネフィットとして"海洋表層酸性化の緩和"、"海洋の炭素固定プロセスの人為的な加速"の 2 点があるが、リスクとして"CO<sub>2</sub> 暴露に伴う中深層生物への影響"が指摘されており<sup>[3]</sup>、環境影響評価モデルの構築が地球環境産業技術研究機構を中心に行われている。<sup>[4]</sup>

しかし、地球温暖化の緊急性や省エネ・新エネの普及速度を考慮し、限られた情報の中でも、CO<sub>2</sub> 海洋隔離のベネフィット/リスクの判断が求められており、技術の順応的管理の判断材料として、環境影響指標の必要性が高まっている。

本研究は、日本船舶海洋工学会 海洋の大規模利用に対する包括的環境影響評価委員会(IMPACT 委員会)によって提案されているエコロジカル・フットプリントと環境リスクの概念を統合した環境影響評価指標 *III* (Inclusive Impact Indicator, Triple I)の枠組み<sup>[7]</sup>に基づいて、二酸化炭素海洋隔離の生態リスクと人間リスクを考慮した指標を算出し、今後の、指標開発及び技術開発の議論の一助とすることを目的とする。

## 2. 手法

### 2.1 研究の流れ

式(1)に示した日本船舶海洋工学会 IMPACT 研究委員会によって提案されている環境影響指標 *III* の各項を現在得られる情報を使って求めていく。

$$III = \Delta EF + \alpha \Delta ER + \frac{\sum EF}{\sum GDP} (\beta \Delta HR + \Delta C) \quad (1)$$

ここで *EF* はエコロジカル・フットプリント、 $\alpha$  は Footprint / Risk Rate of ecosystem、*ER* は生態リスク、 $\sum EF / \sum GDP$  は世界の総 *EF* と総 GDP の比 (*EF*-経済価値換算係数)、 $\beta$  は Cost / Risk Rate of Human Life、*HR* は人間リスク (健康リスク、社会資産へのリスク)、*C* はコストとベネフィットである。なお *III* の各項は「リスクーベネフィット」という形式をとっている。

#### 2.1.1 *EF*

希釈型 CO<sub>2</sub> 海洋隔離 (回収量 20,000 [t/day]) について、簡易な LCA を行い、分離回収プロセス、輸送・隔離船の運航において大気に排出される温室効果ガスと隔離による CO<sub>2</sub> 削減分のエコロジカル・フットプリントを求め、 $\Delta EF$  を算出した。

#### 2.1.2 *ER*

CO<sub>2</sub> 海洋隔離に関する *ER* を求めるには個体群の増殖に関するパラメータから絶滅確率を算出する必要がある。しかし、現在行われている海洋生物への CO<sub>2</sub> 暴露実験ではそれらのパラメータが解明段階にあり、*ER* を求めることができない。また、*ER* を土地面積に換算する  $\alpha$  も現在の情報では求めることができない。そこで、(1)に示す方法で、種数減少比から環境改変面積を、(2)に示す方法で専門家アンケートから CO<sub>2</sub> 海洋隔離による生物多様性の減少の生起確率を求め、それらをかけることで  $\alpha \Delta ER$  を導くこととした。

# (1) Species Area Relationship (SAR)<sup>[6]</sup>を利用した環境改変面積の導出

多数の観測結果から生物種数  $S$  と生息地面積  $A$  の間には次のような関係があることがわかっている。

$$S = c A^z \quad (c, z: \text{constant}) \quad (2)$$

近年では、様々な観測結果から、SAR の有効性が確認され、生息地損失に伴う減少種数の予測に用いられており、気候変動による生息地損失[3]、面的な開発による生息地損失[4]などによる生物多様性への影響を予測する際などに頻繁に用いられている。

(3-1)式において環境改変前を

$$S_{\text{original}} = c A_{\text{original}}^z \quad (3)$$

環境改変後を

$$S_{\text{new}} = c A_{\text{new}}^z \quad (4)$$

とし、(3)式を(2)式で割ると

$$S_{\text{new}} / S_{\text{original}} = (A_{\text{new}} / A_{\text{original}})^z \quad (5)$$

両辺の対数をとって  $z$  で割ると、

$$(S_{\text{new}} / S_{\text{original}})^{1/z} = A_{\text{new}} / A_{\text{original}} \quad (6)$$

両辺に  $A_{\text{original}}$  をかけると、改変後の面積は、

$$A_{\text{new}} = A_{\text{original}} (S_{\text{new}} / S_{\text{original}})^{1/z} \quad (7)$$

よって、ある地域の種数が環境改変によって  $S_{\text{original}}$  から  $S_{\text{new}}$  に変化した際にその地域で改変された面積  $\Delta A$  は、

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_{\text{original}} - A_{\text{new}} \\ &= A_{\text{original}} - A_{\text{original}} (S_{\text{new}} / S_{\text{original}})^{1/z} \\ &= A_{\text{original}} (1 - (S_{\text{new}} / S_{\text{original}})^{1/z}) \end{aligned} \quad (8)$$

とあらわすことができる。つまり、改変前の生息地面積  $A_{\text{original}}$  と改変前後の種数の比  $S_{\text{new}} / S_{\text{original}}$  がわかれば仮想環境改変面積  $\Delta A$  を推定できる。

今回、海を深層(隔離対象海域)、外洋表層、沿岸域の3つにわけて考えることにし、それぞれの面積を次のように与えた。またそれぞれの値を(3-9)式に代入して種数減少率を与えると Fig.3-2 のようになる。

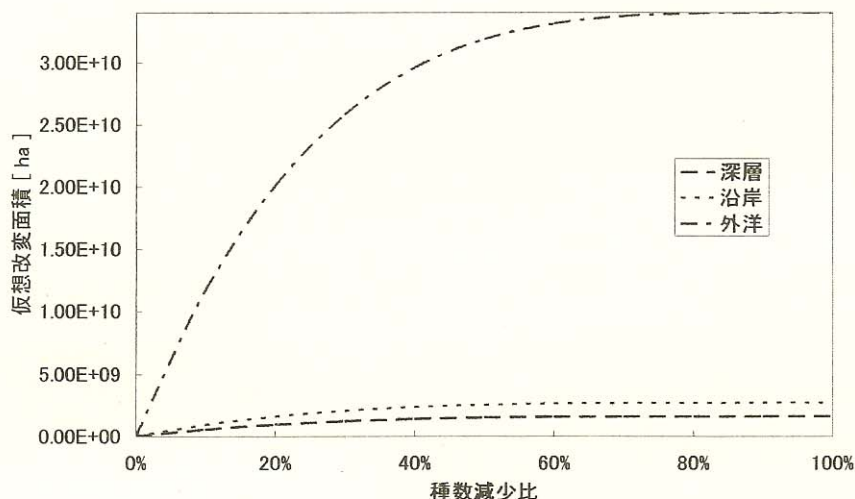


Fig.1 各海域における生物種数減少比と仮想環境消費面積の関係



## (2)クロスインパクト法によるエンドポイントの生起確率の算出

CO<sub>2</sub> 海洋隔離を行った際に生起すると思われる 29 事象について技術予測に用いられる準定量的手法であるクロスインパクト法を適用した。専門家に対して各事象の生起確率および事象間の影響度に関するアンケート調査を行い、クロスインパクト法により解析し、エンドポイント(生物多様性の減少)の生起確率を求めた。この手法は、解析のプロセスに、専門家が推定した確率を、確率論の数学的条件に満たすように修正するプロセスを備えていることが特徴であり、単純に専門家の予測を集計するだけでは得られない高次の情報を得ることができる。

### 2.1.3 HR

地球温暖化、酸性化、資源消費、光化学オキシダントの HR (人間健康、社会資産に対するリスク) の算出を LIME[8]を用いておこなった。

### 2.1.3 C

年間平均隔離量  $2.7\text{E}+10$  [t-CO<sub>2</sub>/year]から、二酸化炭素海洋隔離の *Cost* と *Benefit* を求めた。二酸化炭素海洋隔離の単位隔離量当たりのコストは 7959 [yen / t-CO<sub>2</sub>]である。また、隔離によって削減された(大気中に放出されなかった)二酸化炭素量をそのまま排出権として売却した価格の合計をベネフィットとして考えるので、二酸化炭素の排出権取引が行われている EU の 2006 年の平均価格 17.40 [€/t-CO<sub>2</sub>] (2007 年 1 月 29 日現在日本円換算 2730[円 / t-CO<sub>2</sub>])を用いる。

## 3.結果

以上の手順で求めた *III* について Table 1 に示す。

Table 2 *III* の例

沿岸	10% V.S. 10%	16% V.S. 10%	40% V.S. 10%
表層	10% V.S. 10%	16% V.S. 10%	40% V.S. 10%
深層	10% V.S. 40%	10% V.S. 40%	10% V.S. 40%
$\Delta EF$ [gha / year]	-6.9E+09	-6.9E+09	-6.9E+09
$\Delta ER$ [ha / year]	-5.6E+06	-2.8E+07	-8.0E+07
$\Sigma EF / \Sigma GDP$ [gha / yen]	2.8E-06	2.8E-06	2.8E-06
$\Delta HR$ [yen / year]	-4.3E+13	-4.3E+13	-4.3E+13
$\Delta C$ [yen / year]	1.4E+14	1.4E+14	1.4E+14
<i>III</i> [gha / year]	-6.6E+09	-6.7E+09	-6.7E+09

隔離なしの時の種数減少率 VS 隔離ありの時の種数減少率

## 4. 結論

二酸化炭素海洋隔離の III は、 $\Delta EF$  が一番大きな割合を占めることがわかった。今までエコロジカル・フットプリントでは、考慮されていなかった生態リスクを面積に変換する手法を開発することで土地面積としてリスクを統合することができた。実観測データや二酸化炭素暴露実験データなどの不足および生態影響のメカニズムの解明にかかる時間を考慮すると二酸化炭素海洋隔離の指標化を行うことは非常に困難であるが、視点を変え、より公平な判断ができると考えられる専門家のリスク認知を利用することで、生態リスクを指標化できることが示唆された。しかし、生態系の複雑性を考慮すると、ここで得られる値は、生態系の挙動を必ずしも反映しているとはいえず、やはり、生態学的手法を用いた厳密な評価もあわせておこなっていく必要がある。

#### 4. 参考文献

1. IPCC: Climate change 2001. 2001
2. Orr, et al., "Anthropogenic acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms," *Nature*, 437:681-686, 2005
3. IPCC: IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. , 2005
4. 地球環境産業技術研究機構 [www.rite.or.jp](http://www.rite.or.jp)
5. 大塚耕司, "海洋の大規模利用に対する包括的環境影響評価指標の一提案", *Proceedings of Techno-Ocean 2006/ 19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium*, 2006
6. Michael L. Rosenzweig, "Species diversity in space and time", Cambridge University Press, 1995
7. 林礼美ほか, "クロスインパクト分析による地球温暖化対策評価のための叙述的シナリオの構築", エネルギー・資源, Vol.26, No.3, 2005
8. 伊坪徳宏ほか, "ライフサイクル環境影響評価手法 LIME", 産業環境管理協会, 2005