

研究論文

CO₂海洋隔離の経済的便益評価Benefit of CO₂ Ocean Sequestration in Mitigation Strategies

時松宏治* ・ 徂徠正夫*** ・ 間木道政****
 Koji Tokimatsu Masao Sorai Michimasa Magi
 村井重夫***** ・ 大隅多加志***** ・ 茅陽一**
 Shigeo Murai Takashi Ohsumi Yoichi Kaya

(原稿受付日2003年10月9日, 受理日2004年4月23日)

Abstract

We present benefit of CO₂ ocean sequestration for mitigating global warming. The “benefit” of sequestration here means “avoided” economic damage that might be caused by CO₂ without implementation of CO₂ ocean sequestration. We propose a novel method to calculate the benefit of the CO₂ ocean sequestration, expressed in dollar per ton of carbon (\$/tC). CO₂ ocean sequestration is simulated by using a simple atmosphere-ocean-land BOX model that can treat thermohaline circulation, under four CO₂ reduction strategies from BAU to CO₂ double stabilization (S550). Atmospheric CO₂ concentration and global mean temperature increase can be calculated in the cases with and without sequestration by the simulations. Economic damage is evaluated based upon so-called “damage function” of RICE98 model developed by W. D. Nordhaus that outputs macro-economic damage expressed in %GDP from global mean temperature increase. The benefit is the difference of those with and without sequestration. The paper concludes that the sequestration will bring benefit in the orders of from several hundred to thousand dollars per ton of carbon in hundreds years of the future.

1. 背景

大規模なCO₂吸収リザーバーとして期待されている海洋隔離技術は着実に進展し、事業化を視野に入れて研究開発を行う時期に達しつつある。またIPCCでは海洋隔離技術と地中貯留技術に関する特別報告書作成に向けてLead Author会議が開催され、米国ではCSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum)¹⁾が開催されたりするなど、国際的に海洋隔離技術に対して関心が高まっている。これに伴い、貯留・隔離技術の技術的実現性、経済性、環境影響、社会受容性などの社会経済的有効性の評価が求められている。

海洋隔離による隔離ポテンシャル量や期間などの技術的有効性に関する評価は、古くから海洋科学の分野において研究がなされてきた^{2, 3)}。最近では化石燃料時代が終焉する将来時点での大気濃度定常状態を550ppmvとした場合の、海洋へのCO₂吸収量のポテンシャルは約1,600GtCと試算されている⁴⁾。

2. リークージを考慮した従来のCO₂隔離の経済的評価の方法

隔離技術の経済的評価の側面で特徴的な点は、隔離したCO₂の「リークージ (漏洩)」を伴う点である。これに対して従来では、次のような評価基準によるアプローチが行われてきた。

- ① 時点tにおける正味CO₂隔離量 (貯留量 - リーク量) を隔離年数で積算する, Carbon ton-year Accounting と呼ばれるアプローチ。
- ② 時点tにおける「正味CO₂隔離量 × 炭素価格」の値に対して、割引率を用いて積算するアプローチ。

①のアプローチは一番よく利用されるアプローチであり⁵⁾, GWP (Global Warming Potential) と類似している。積算期間としては100年間を採用することが多い。この方法の長所は、計算が容易であることと、曖昧さが無い点である。一方で短所は、この方法で得られる数値だけでは隔離の効果が多面的にはわからないこと、100年以上の貯留が可能なものについては、全てリークージがないものとして扱われる点である。

②のアプローチの長所は、各時点における炭素価格を反映可能な点である。一方で短所は、この数値だけでは実際に貯留の持つ効用がわかりにくい点である。

②のアプローチとして、文献⁶⁾では海洋隔離を例に炭素

* (財)地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ研究員
 E-mail: toki@rite.or.jp

** 〃 〃 研究所長
 〒105-0003 東京都港区新橋2-23-1 第3東洋海事ビル9階
 *** 〃 〃 CO₂貯留研究グループ研究員
 (現在 (株)三菱総合研究所 先端科学研究センター 研究員)
 **** 〃 〃 主任研究員
 ***** 〃 〃 主席研究員
 ***** 〃 〃 研究参事

〒619-0292 京都府相楽郡木津町木津川台9-2

隔離の持続性の問題を議論するために、炭素隔離をリーケージが考慮された“一時的隔離”と捕らえ、“永久的隔離”に対する“相対的価値”として示すなどの工夫がなされている。しかし、海洋隔離による放射強制力の低下を通じた温暖化回避は考慮されていないため、海洋隔離の便益の絶対値を表すことは不可能である。

なお、エネルギーシステムモデルをベースにした、統合評価モデルによる各種貯留・隔離技術の評価研究⁷⁾もあるが、そのようなモデルの枠組みでは気候変動によるエネルギーと経済への影響を扱っており、大気海洋循環は考慮されていない。以上より、リーケージを考慮し、かつ経済的便益を数値で提示できる方法の検討が望まれる。

3. 本研究の目的

そこで本研究では2章で指摘した従来アプローチが有する短所を克服すべく、CO₂削減シナリオ別の海洋隔離の位置付けを検討し、海洋隔離実施による地球温暖化回避に伴う経済的便益を、単位炭素隔離量あたりの金額で求めることを目的とする。

海洋隔離を実施しなければ、大気中に放出されるCO₂により経済的ダメージが引き起こされる。海洋隔離実施による経済的便益とは、海洋隔離実施によりCO₂が千年オーダーで大気中に放出されないことで、温暖化が回避されたことにより生じる経済的利得とする。

本研究では次の2点を組み合わせ、CO₂削減戦略における海洋隔離の位置付けとリーケージを考慮した上で、海洋隔離の便益の絶対額を\$/tCにより提示することを試みる。

- ① CO₂削減戦略における海洋隔離の位置付けを行い、簡易な炭素グローバル循環モデルを用いて、対応する海洋隔離実施による大気中CO₂濃度を求める。
- ② それを用いて全球平均気温上昇を求め、IPCCによるCO₂排出シナリオと基準GDP、マクロ経済影響を算出するダメージ関数を組み合わせることで、経済的便益を求める。

ただし、ダメージ関数の推計に不確実性が特に高く、基準となるCO₂排出シナリオとGDP、将来便益の積算期間、適用する割引率なども複数考えられる。そのため、提示する便益の絶対額も複数の条件下による結果の幅で示すこととする。

このように、本研究により得られる結果には不確実性が大きく入り込む余地があるものの、従来のアプローチでは困難な、海洋隔離の経済的便益を\$/tCの数値で明示可能である点に本研究の意義がある。

4. 方法

4.1 方法の概要

(1) 計算方法

海洋隔離実施前後の大気中CO₂濃度の差が全球平均気温の差となり、毎年の経済的便益を生み出すことになる。この毎年の経済的便益をある期間割引率を用いて総和し、その期間までの累積の海洋隔離注入量で割ったものにより、経済的便益を示すことになる。海洋隔離による経済的便益は次の各項から算出し、\$/tCの単位で表す。

$$\text{海洋隔離による経済的便益} = (\Sigma r \times \text{GDP}) \times (\Delta D / \Delta T) \times (\Delta T / \Delta P_{\text{CO}_2}) \times (\Delta P_{\text{CO}_2} / \Delta C) \dots \dots \dots (1)$$

ここで Δ は海洋隔離実施の有無による差分、各項は年の関数で、次の意味である。

- ・ Σr ：割引後の総和。rは割引率による割引係数、 Σ は年数に関する総和。
- ・ GDP：参照とするGDP。外生的に与える。
- ・ $\Delta D / \Delta T$ ：全球平均温度T(°C)の上昇に伴う温暖化によるダメージD(%GDP)。
- ・ $\Delta T / \Delta P_{\text{CO}_2}$ ：大気中CO₂濃度P_{CO₂}(ppm)とTの関係。
- ・ $\Delta P_{\text{CO}_2} / \Delta C$ ：海洋隔離注入量CによるP_{CO₂}濃度の変化量。

各項は次のように計算し、ステップにて行う。

ステップ① ($\Delta P_{\text{CO}_2} / \Delta C$) 項：大気海洋陸域マルチボックスモデル⁴⁾を利用して海洋隔離実施のシミュレーションを行い、大気中のCO₂濃度の変化量を求める。

ステップ② ($\Delta T / \Delta P_{\text{CO}_2}$) 項： $\Delta T = 2.5(\ln(P_{\text{CO}_2}(t)/P_{\text{CO}_2}(1765)))/\ln 2$ の式(ただしP_{CO₂}(1765) = 279ppm)⁸⁾を利用することで、海洋隔離実施による大気中CO₂濃度の変化より全球平均温度上昇を計算する。

ステップ③ ($\Delta D / \Delta T$) 項：Nordhausにより作成されたRICE98モデル⁹⁾におけるダメージ関数を参照し、全球平均温度上昇に伴うマクロ経済影響を算出する。詳細は文献⁹⁾に譲るが、本研究では $D = 1 - 1 / (1 + 0.00242 \Delta T + 0.00274 \Delta T^2)$ とした。

ステップ④ ($\Sigma r \times \text{GDP}$) 項：基準GDPは2100年まではSRES (Special Report on Emissions Scenario) のB2のマーカシナリオのGDP¹⁰⁾を用い、2100年以降は一定とする。割引率は2100年まで一定値を用い、2100年以降は2100年時点での割引率で一定とする。なお、2100年以降一定とした割引率については、感度解析として2100年以降一定としない方法等も検討する。

なお(1)式に示すように、本研究では海洋隔離実施に伴うCO₂分離回収に要するエネルギーなどの費用を差し引いた純利益を示すものではなく、海洋隔離実施による温暖

化回避の便益のみを試算し提示するものとする。

(2) 海洋隔離に着目したCO₂削減シナリオ

経済的便益の算出は次の考え方で行う。

- ① S550達成を政策目標とする。
- ② BAU (Business-As-Usual) からS550への複数のCO₂排出削減シナリオにおける、海洋隔離の位置付けを明確にする。
- ③ 削減シナリオ別の「海洋隔離の経済的便益」算出方法を考える。
- ④ 「海洋隔離の経済的便益」を将来選好の幅で示す。ここで将来選好とは、「経済的便益の積算期間」と「割引率」を意味している。

IPCCから発行されている最新の大気濃度安定化のシナリオとして、1994年に発行された最終大気濃度550ppm安定化 (S550)¹¹⁾ を用い、S550達成を政策目標とする。次にBAUのCO₂排出シナリオ (SRES-B2をデフォルトとする) からS550を達成するCO₂削減戦略シナリオを考える。海洋隔離に着目すると、表1に示す4つのシナリオが考えられる。

なお、シナリオ①以外では、「SRES-B2で10GtC/yrの排出量となる2030年から、その1割に相当する1GtC/yrを、太平洋中層放流による海洋隔離により2100年まで削減する」ものとする。シナリオ①でも削減すべき全量を太平洋中層放流による海洋隔離を想定して解析を行った。

なお、本研究においては、数百年にわたる世界全体の海洋隔離実施に伴う経済的便益を示すことを目的としている。そのため、シナリオ①ほどの大規模な海洋隔離を実際に実施するにあたって想起される技術的制度的な制約は考慮せず、簡略に太平洋中層放流による全量海洋隔離を想定して解析を行い、複数地点と複数深度におけるCO₂海洋隔離実施を想定した解析は今後の課題とした。

4.2 大気海洋陸域マルチボックスモデル

Sorai & Ohsumi¹⁾ により開発されたマルチボックスモデル (図1) には、CO₂のグローバル循環を支配する主要な生物地球化学的プロセス、すなわち、海洋熱塩循環、溶解度ポンプ、生物ポンプ、アルカリポンプ、陸域生物生産活動が全て取り込まれている。特に、海洋ボックスは、海洋熱塩循環を反映させるために、北極海 (表層, 中層), 北大西洋 (表層, 中層, 深層), 南大西洋 (表層, 中層, 深層), インド洋 (表層, 中層, 深層), 太平洋 (表層, 中層, 深層), 南極海 (表層, 中層) に細分化されており、ボックス間の海水流動はSchmitz¹²⁾ の海洋熱塩循環の解析結果に基づき与えられている。一方、陸域の一次生産量に対しては、CO₂施肥効果および温暖化効果が考慮されている。これらの特徴を有する本マルチボックスモデルでは、海洋中深層へ希釈溶解型CO₂海洋隔離技術を表現することが可能であり、CO₂を注入する海域および深度の違いについては、リーケージを反映した大気中CO₂濃度の違いとなって計算されている。

4.3 経済的便益の検討

検討方法の概要については4.1で述べたが、ここではS550達成を政策目標と定めた時の、CO₂削減戦略における海洋隔離の位置付けと将来選好について説明する。

(1) CO₂削減における海洋隔離の位置付け

CO₂のグローバル循環という観点からは、現在実施あるいは技術開発が進んでいるCO₂地中貯留技術についても、リーケージの可能性を考慮すべきであり、本研究対象である海洋隔離技術との共通する特徴を有している。しかしCO₂地中貯留技術の適用については、各国の置かれた地質条件の違い、技術を担う主体の熟練度、それを支える社会的文脈などを考えると、国際的な合意を必須の条件とする海洋隔離とは区別して論じることとすべきである。従って

表1 海洋隔離に着目したBAUからS550を達成するCO₂削減シナリオ (詳細は4.3 (1))

シナリオ名	削減シナリオ	海洋隔離の位置付け	海洋隔離によるCO ₂ 削減のシミュレーション方法
シナリオ①	海洋隔離のみ	唯一の大規模に実行可能で効果的な削減技術	BAU から S550 を実現する排出プロファイルまで、全て海洋隔離で削減する。
シナリオ②a	海洋隔離→他技術	即効性、大規模実効性のある削減技術で、優先的に実施される。(他削減技術の「順調で確実な」実施が「担保」されていない)	BAU 排出ラインから 2030 年～2100 年まで 1GtC/yr 海洋隔離により削減する (S550 の達成は他技術により可能と想定する)。
シナリオ②b	他技術→海洋隔離	CO ₂ 削減対策の優先順位では、海洋隔離技術は最後の手段。(他削減技術の「順調で確実な」実施が「担保」されている)	2030 年～2100 年まで 1GtC/yr 海洋隔離を最後に実施することで S550 が達成される (BAU から海洋隔離の実施までは他技術により可能と想定する)。
シナリオ③	他技術のみ	緊急避難的、バックアップ的、保険的、有事対応的な削減技術	2030 年以降、S550 の達成困難分が 1GtC/yr 発生し、2100 年まで続くとする。それに対して海洋隔離を実施することで S550 を達成すると想定する。

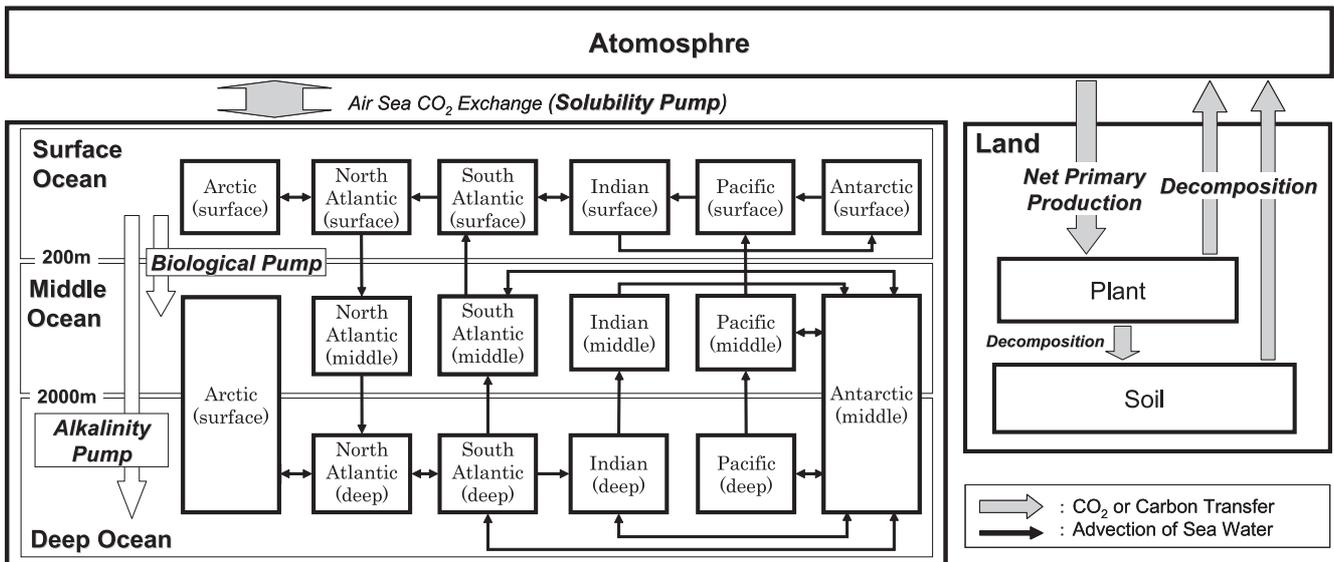


図1 大気海洋陸域マルチボックスモデルの概要

以下「CO₂削減対策，技術開発および普及，実行」のCO₂海洋隔離以外の他の技術の中に組み込まれているものとして議論を進める。

S550達成を政策目標と定めた時，海洋隔離を中心としたCO₂削減戦略における海洋隔離の位置付けを考えると，次の4つが考えられる。表2にはシナリオ間を比較するイメージを記す。

なお，表中の各◎○△の違いは程度の強弱をイメージしており，◎は強（あるいは「極めて」「殆ど」「ほぼ」など），△は弱（あるいは「低い」など），○はこれらの中（あるいは「多少」「比較的」など）を意味している。例えば，他技術によるCO₂削減の可能性については，シナリオ①は殆ど不可能（他技術ではCO₂削減はほぼ出来ない），シナリオ③はほぼ確実に可能（CO₂削減全量が他技術により可能），シナリオ②aは可能性が低く不確実（他技術によるCO₂削減の可能性は低くて不確実），シナリオ②bは可能性は高いが不確実（他技術によるCO₂削減の可能性は多少存在するが不確実），というような意味合いである。

シナリオ① 海洋隔離のみでS550を達成

- ・ 状況＝あらゆるCO₂削減対策，技術開発および普及，実行が順調に行かず，海洋隔離技術に対して積極的に期待が持たれ，隔離技術を全面的に利用実施すること

で，全てのCO₂削減をはかることに社会的合意が十分得られている状況。隔離技術が唯一の実行可能なCO₂削減手段となっている。

- ・ 海洋隔離の位置付け＝唯一の大規模に実行可能で効果的なCO₂削減手段とされる。

シナリオ②a 海洋隔離→他技術でS550を達成

- ・ 状況＝他技術によるCO₂削減の実効性，確実性が懸念されるために，隔離技術がCO₂削減技術の一翼を担う以上に即効性のある，大規模なCO₂削減効果をもたらす技術として期待され，国民の意識も何よりもCO₂削減量を少しでも確実に多く確保したい場合に，海洋隔離技術の利用推進に支持が得られている状況。
- ・ 海洋隔離の位置付け＝他のCO₂削減技術対策が「順調で確実に」実施されることが「担保」されていないために，海洋隔離技術は即効性，大規模実効性のある削減技術とされている。

シナリオ②b 他技術→海洋隔離でS550を達成

- ・ 状況＝海洋隔離技術によるCO₂削減に対する積極的利用推進への社会的合意が得られている状況。ただし経済性，効果，リグレット等の観点から，各削減技術の実施に優先順位の意味付けが存在し，その順位に従い各CO₂削減技術対策の「順調で確実な」実施が「担保」

表2 海洋隔離の位置付けに関するシナリオ間の比較イメージ

	他技術によるCO ₂ 削減			海洋隔離の社会受容性			海洋隔離による削減優先度		
	確実	不確実	不可能	高	中	低	高	低	保険的
シナリオ①			◎	◎			◎		
シナリオ②a		△			○			○	
シナリオ②b		○			△			△	
シナリオ③	◎					◎			◎

されていることが前提となっている。

- ・ 海洋隔離の位置付け＝他のCO₂削減技術対策が「順調で確実に」実施されることが「担保」されていることが前提であるため、各種CO₂削減技術のなかでの優先順位の意味付けでは、海洋隔離技術は最後の手段とされている。

シナリオ③ 他技術のみでS550を達成

- ・ 状況＝海洋隔離技術によるCO₂削減に対する積極的利用推進への社会的合意が得られておらず、他技術のみでBAUからS550へのCO₂排出削減を実行し、隔離技術は他技術でS550達成が困難とされた場合に限り利用実施する、という状況。このため海洋隔離技術の開発および隔離実施の備えは必要。
- ・ 海洋隔離の位置付け＝海洋隔離技術はCO₂削減技術として国民的理解は得られているものの、その実施には慎重であり、緊急避難的、バックアップ的、保険的、有事対応的、とされている。

(2) 将来選好（便益の積算期間と割引率）

本研究のような数百年オーダーの超長期にわたる問題に対して、何年先まで便益を積算し、どのような割引率を採用するかは難問である¹³⁾。文献¹⁴⁾は地球温暖化のような長期的問題に対して割引率を適用することに関して、経済学者の意見をまとめたものである。各意見のポイントは次の通り大きく異なり、通説的なものは存在しないことがわかる。

- ・ Broome：割引率 0
- ・ Henderson&Bateman：指数関数的な割引率
- ・ Bradford, Manne：長期プロジェクトに“通常”使われる割引率
- ・ Dasgupta：短期プロジェクトに“通常”使われる割引率
- ・ Kopp&Portney：割引率は30～40年の期間にしか適用できない
- ・ Weitzman：0～25年＝3～4％，26～75年＝2％，76～300年＝1％，300年～＝0％
- ・ Cline：0～30年＝5％，30年～＝1.5％（ただし30年以降は、0年からの割引値を用いる）

100年を超える超長期の問題に対して、何年先まで便益を積算し、どのような割引率を適用するかは、将来をどう見るか、人により大きく異なる。そこで本研究ではこれを将来に対する選好と捉え、複数の便益期間と割引率により結果を示した。

5. 結果

5.1 海洋隔離実施のシミュレーション

シナリオ 1, 2 a, 2 b, 3 に対応するマルチボックスモデルに与える大気排出量と海洋隔離注入量を図 2 に示

し、それによる海洋隔離実施のシミュレーション結果のうち、大気中CO₂濃度の計算結果を図 3 に示す。すなわち、海洋隔離実施有無の大気中CO₂濃度の差が全球平均気温の差となり、毎年の経済的便益を生み出すことになる。この毎年の経済的便益をある期間割引率を用いて総和し、その期間までの海洋隔離累積量で割ったものにより示すことになる。

5.2 海洋隔離による経済的便益

海洋隔離による経済的便益を、隔離便益の積算年数の関数により示した結果を図 4 に示す。結果は、シナリオ①、②a, ②b, ③の 4 通りに対して、年率 1%と 2%の割引率を適用したものである。横軸の一番右の「大気海洋CO₂濃度平衡時」とは、海洋隔離実施が有る時と無い時の両場合において、大気中と海洋中のCO₂濃度がほぼ一致する状態のことを意味し、この状態になる数百年以上の将来時点以降においては、海洋隔離実施に伴う経済的便益が増加せずに飽和する。即ち、経済的便益の最大値を示している。

割引率の適用は2000年を基準として2100年までは上記の割引率を用い、2100年以降は割引率 0%としている。割引率により海洋隔離による経済的便益は大きく変わり、割引率 1%を適用した時の経済的便益は、割引率 2%の経済的便益の約1/3となった。因みに、割引率を2100年以降一定とせず継続する場合は、割引率 2%の各シナリオでは2300年以降の経済的便益はほぼ一定となる。

また、積算年数の増加に対して海洋隔離による経済的便益は単調に増加する。海洋隔離実施を終了した2100年以降も経済的便益が増加する理由は、図 3 の斜線部で示されているように、海洋隔離実施による大気中CO₂濃度の低減が2100年以降も継続しているからである。

ここで、海洋隔離を積極的に実施した場合「大気海洋CO₂濃度平衡時」で示される経済的便益の最大値でみると、積極的実施が大きな経済的便益をもたらす結果となったが、そこへ到る過渡的時期においては必ずしも経済的便益が大きくなるとは限らず、むしろ図 4 中の2300年までの時間軸においては、シナリオ②a, ②b, ③は大差なくほぼ同じ値で、シナリオ①はこれらより低い値になっている。

これは先に述べた海洋隔離実施後の経済的便益の継続的増加と関連している。シナリオ①では2100年以降も大規模な海洋隔離を実施しているため、累積の海洋隔離実施量である経済的便益の分母の値は引き続き増加する。その一方で、シナリオ②a, ②b, ③では海洋隔離実施を2100年で終了しているため、経済的便益の分母の値は2100年以降一定となり、分子のみが増加する。このために経済的便益の値は2100年以降急増し、図 4 のグラフで示す2300年までの時間軸の範囲では、経済的便益はシナリオ①以外がシナリオ①を上回っている結果となっている。

以上より、この時間軸上においてはCO₂削減を全量海洋隔離により実施するシナリオ①より、部分活用のシナリオ②や③の方が経済的便益の上では有利である。このように

本評価では、海洋隔離シナリオにより相当な幅があるがあるものの、2300年までの時間軸においては経済的便益が得られることが確認された。

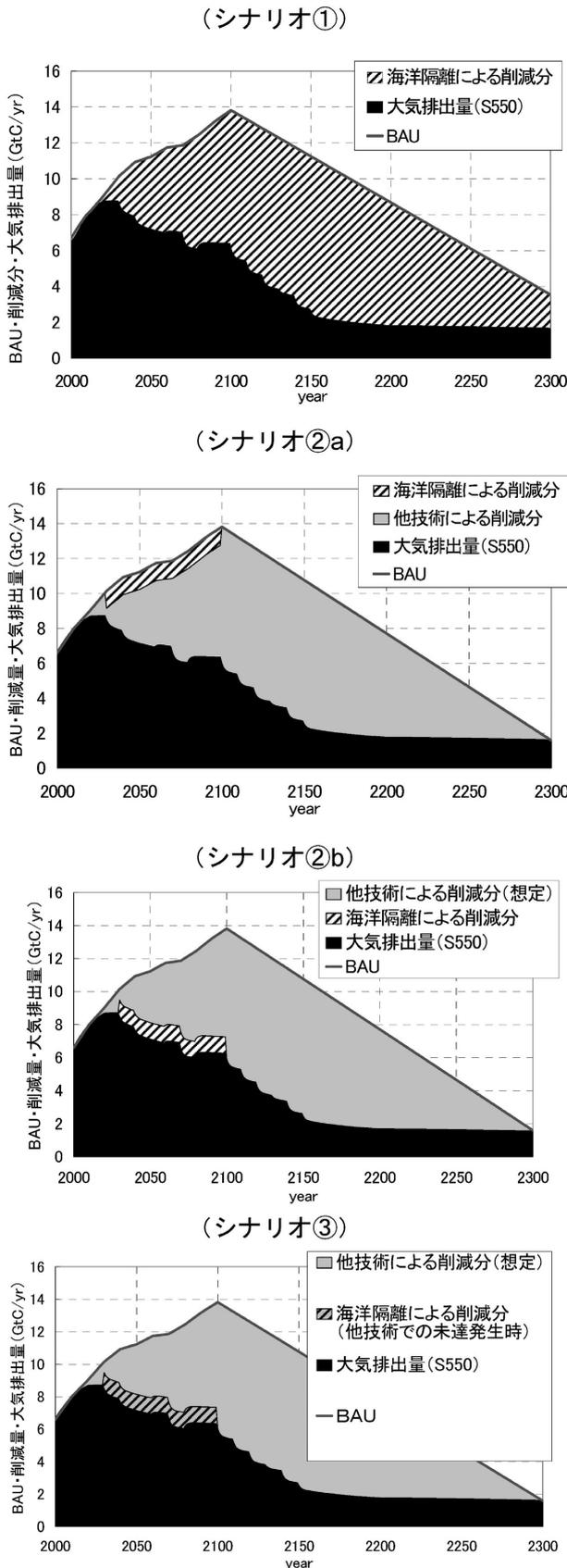


図2 削減シナリオを実現する大気排出量と海洋隔離注入量のプロファイル (マルチボックスモデルへの入力データ)

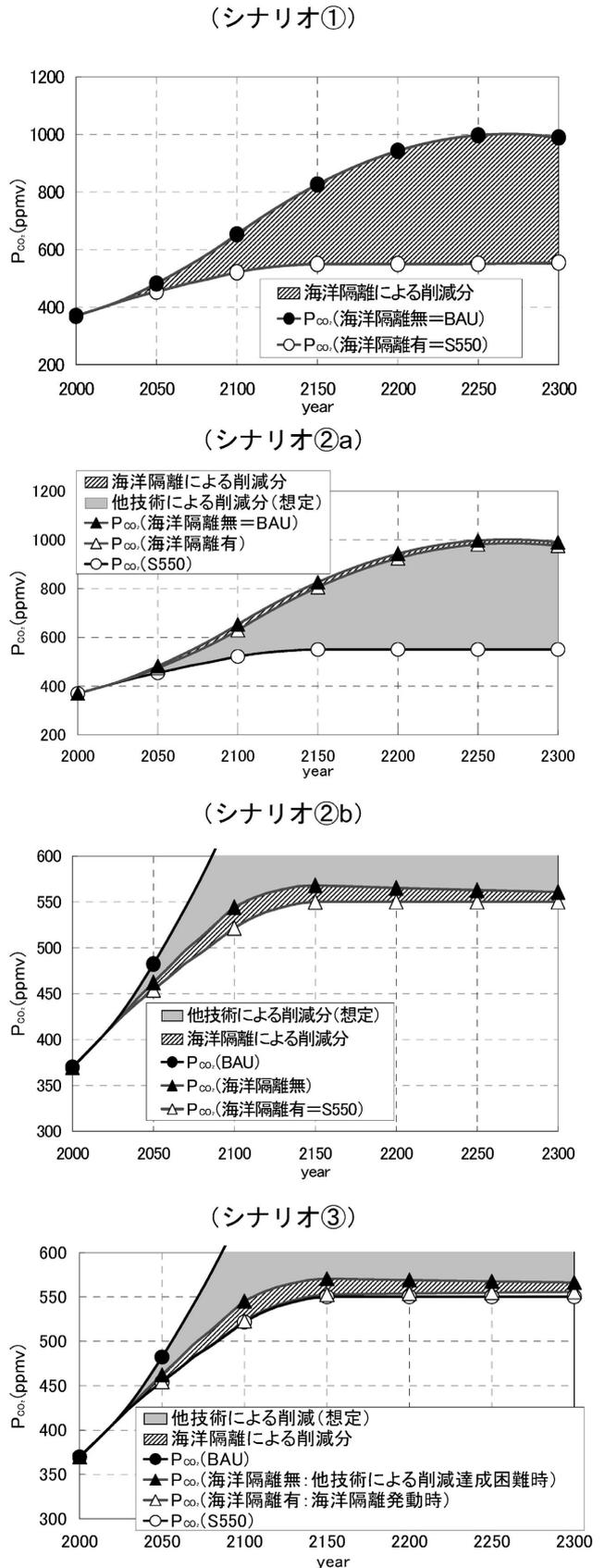


図3 海洋隔離実施の有無による大気中CO₂濃度の違い (マルチボックスモデルによる出力結果)

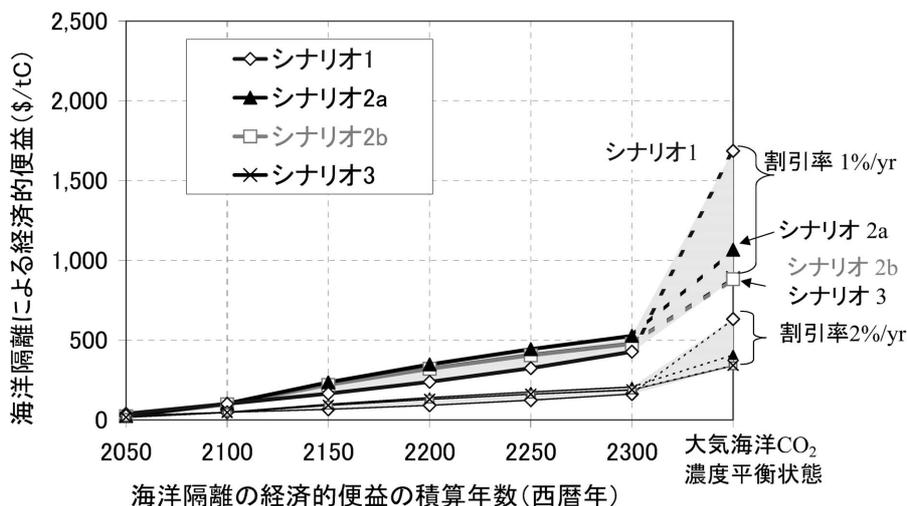


図4 海洋隔離による経済的便益 (便益の積算年数と割引率により複数示す)

6. 結論

CO₂のグローバル循環を支配する主要な生物地球化学的プロセスが組み込まれているマルチボックスモデルを用いて、海洋隔離実施のシミュレーションを行い、海洋隔離による大気中CO₂濃度低減とそれに伴う温暖化回避による経済的便益を試算した。今回用いたNordhausのダメージ関数によると、海洋隔離実施による経済的便益は

- ① BAUからS550へのCO₂排出削減シナリオ別における、海洋隔離技術の位置付け
- ② 将来選好(何年先の将来まで考えるか=積算期間年数, 将来の価値をどれだけ割引くか=割引率)

により大きく異なるものの、海洋隔離が長期的には数百~千\$/tCオーダーの経済的便益をもたらすことが示唆された。

なお、繰り返しになるが、本研究で述べた経済的便益とは、海洋隔離実施による温暖化回避の便益のみを示したものであり、海洋隔離実施に伴うCO₂分離回収・圧縮運搬・放流に要するエネルギーなどの費用¹⁵⁻¹⁷⁾を差し引いた純利益を示すものではない。今後、海洋隔離実施に係る費用に関する知見の蓄積と検討が進み、今回推計した経済的便益と比較検討することが求められる。

謝辞 本研究は経済産業省二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業費補助金事業「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」の研究の一環として実施された。

本研究を進めるにあたり山地憲治・東大教授、吉岡完治・慶応大教授、熊谷鋭・中央電力協議会事務局次長、弘田精二・日本鉄鋼連盟常務理事の先生方に貴重なコメントを頂きました。ここに謝意を記します。

参考文献

1) 朝日新聞2003年6月25日朝刊他。

- 2) M. I. Hoffert et al. ; Atmospheric response to deep-sea injection of fossil-fuel carbon dioxide, *Climatic Change* 2, (1979), 53-68.
- 3) B. K. Mignone et al. ; Sensitivity of sequestration efficiency to mixing processes in the global ocean, *Greenhouse Gas Control Technologies* (J. Gale, Y. Kaya eds.), Volume I (2003), 725-731, Pergamon.
- 4) M. Sorai and T. Ohsumi ; Ocean uptake potential for carbon dioxide sequestration, submitted to *Geochemical Journal*.
- 5) I. Noble et al. ; *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, (2000), Cambridge University Press.
- 6) H. Herzog et al. ; An Issue of Permanence : Assessing the effectiveness of temporary carbon storage, *Climatic Change* 59, (2003), 293-310.
- 7) K. Akimoto et al. ; Assessment of Global Warming Mitigation Options with Integrated Assessment Model DNE21, *Energy Economics* (in press).
- 8) G. W. Yohe, M. E. Schlesinger ; Sea-level change : The expected economic cost of protection or abandonment in the united states, *Climatic Change* 38, (1998), 447-472.
- 9) W. D. Nordhaus, J. Boyer ; *Warming the World Economic Models of Global Warming*, (2000), The MIT Press.
- 10) N. Nakicenovic, et al. ; (Eds.) *Special Report on Emissions Scenarios*, (2000), Cambridge University Press.
- 11) J. T. Houghton, et al. ; (Eds.) *Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, (1994), Cambridge University Press.
- 12) W. J. Schmitz ; On the interbasin-scale thermohaline circulation, *Rev. Geophys.*, 33, (1995), 151-173.
- 13) IER ; *ExternE National Implementation Germany*, 1997.
- 14) F. L. Toth ; Intergenerational equity and discounting, *Integrated Assessment* 1, (2000), 127-136.
- 15) 石谷久, 松橋隆治, 大村昭二, 竹田研一朗 ; CO₂回収-海洋投入システムの経済性評価, *エネルギー・資源*, 14-3 (1993), 85-90.
- 16) エネルギー・産業技術総合開発機構, (財)エネルギー総合工学研究所 ; 地球環境から見た総合的化石燃料サイクル分析評価手法の調査 (Ⅲ), NEDO-GET-9507, 平成8年3月.
- 17) J. David and H. Herzog ; The cost of Carbon Capture, *Greenhouse Gas Control Technologies* (D. J. Williams, R. A. Durie, P. McMullan, C. A. J. Paulson, A. Y. Smith eds.), (2001), 985-990, CSIRO.