別添１

地球温暖化対策としての二酸化炭素海底下地層貯留の利用とその海洋環境への影響防止の在り方について（案）

平成　　年　　月

中央環境審議会地球環境部会

二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会

目　　次

はじめに

１．二酸化炭素海底下地層貯留をめぐる動向と利用の在り方

（１）ロンドン条約及び96年議定書の概要
（２）96年議定書附属書Ｉ改正に関する動向
（３）国内における96年議定書附属書Ｉ改正への対応
（４）二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）技術
（５）二酸化炭素海底下地層貯留の環境影響
（６）地球温暖化対策としての展望

２．二酸化炭素海底下地層貯留に係る海洋環境への影響防止の在り方

（１）二酸化炭素海底下地層貯留に係る許可の申請主体
（２）二酸化炭素海底下地層貯留の許可の主体
（３）国民からの意見聴取
（４）二酸化炭素流の処分量等に関する削減努力及び処分方法に関する検討
（５）貯留される二酸化炭素流の特性把握及び行動基準
（６）事業者による二酸化炭素流の貯留地点の選択
（７）貯留される二酸化炭素流による潜在的影響の評価
（８）監視（モニタリング）
（９）海洋環境への影響のおそれが生じた場合の措置
（10）許可制度

３．その他

（１）事業者側での他の権益との調整
（２）科学的知見の集積、国民への普及
（３）国際的な動向を踏まえた制度の評価、見直し

はじめに

地球温暖化問題は、人間活動に伴って発生する温室効果ガスが大気中の温室効果ガス濃度を増加させることにより、地球全体の地表及び大気の温度を追加的に上昇させ、自然の生態系及び人類に深刻な影響を及ぼすものである。その予想される影響の大きさや深刻さから見て、人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つである。地球温暖化の影響のうち海洋環境に関わるものとしては、海水温の上昇に伴うサンゴの白化、海洋生物の分布の変化、海面上昇などがあり、また、近年、大気中の二酸化炭素濃度の増加による海洋表層の酸性化及びこれに伴う海洋生物への影響も指摘されている。

国連気候変動枠組条約の究極目的は、大気中の温室効果ガス濃度を自然の生態系や人類に悪影響を及ぼさない水準で安定化させることであり、このような濃度安定化のためには、排出量と吸収量を同等のレベルにして地球上の炭素循環をバランスさせることが必要である。このため、世界全体の排出量を早期に現在の半分以下にまで削減することが求められている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第３次評価報告書（2001）によれば、温室効果ガスの排出削減の開始が早ければ早いほど、予測される気温及び海面水位の上昇はより遅くなる、とされている。また、2006 年 10 月に発表された英国のスターン・レビューでは、直ちに強力な行動をとれば、地球温暖化の悪影響を回避する時間はまだ残されている、とのメッセージが発信されたところである。このため、省エネルギー対策の推進、再生可能エネルギーの開発・普及を含む多様な政策・措置を早急に講じていく必要がある。

このような状況の下で、近年、中長期の地球温暖化対策の一つとして、二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）技術に対する認識が高まっている。2006 年４月には、「1972 年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約の 1996 年の議定書」（以下「96 年議定書」という。）の附属書Ｉに定める投棄可能な廃棄物その他の物に、海底下地層に貯留する二酸化炭素流を追加すること等を内容とする議定書附属書 Ｉ 改正案がオーストラリアより提案された。同改正案が採択されれば、国際的には、海洋環境保全上支障がない場合には二酸化炭素海底下地層貯留が可能となることとなったため、我が国においても、二酸化炭素海底下地層貯留の海洋環境への影響の防止の在り方についての検討が、その地球温暖化対策上の位置付けの検討とともに求められることとなった（同改正案は、その後、同年 10 月から 11 月に開催された 96 年議定書第１回締約国会議において採択され、同改正は 2007 年 2 月 10 日に効力を生じることとなった。）。

上記の 96 年議定書改正提案を踏まえ、地球温暖化対策としての二酸化炭素海底下地層貯留の利用とその海洋環境への影響防止の在り方について、平成 18 年９月４日付けで環境大臣から中央環境審議会に諮問がなされ（諮問第 193 号、環地温発第 060904002 号及び環地保発第 060904001 号）、同諮問は地球環境部会に付議された。これを受けて、本二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会では、地球環境部会での審議に資するため、諮問事項に対する調査検討を行ってきた。

今般、その結果がとりまとまったので、ここに報告するものである。

中央環境審議会地球環境部会
二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会
委員名簿（五十音順、敬称略）

	赤井	誠	(独)産業技術総合研究所　エネルギー技術研究部門兼エネルギー社会システムグループ長
	池田	龍彦	横浜国立大学 大学院国際社会科学研究科教授
	大塚	直	早稲田大学　法学部教授
	木幡	邦男	(独)国立環境研究所　水土壌圏環境研究領域長
	小山	次朗	鹿児島大学　水産学部教授
	佐藤	徹	東京大学　大学院新領域創成科学研究科教授
委員長	清水	誠	東京大学　名誉教授
	白山	義久	京都大学　フィールド科学教育研究センター海域ステーション瀬戸臨海実験所教授
	須藤	隆一	東北工業大学　土木工学科客員教授
	高村	ゆかり	龍谷大学　法学部法律学科教授
	野尻	幸宏	(独)国立環境研究所　地球環境研究センター副センター長
	原沢	英夫	(独)国立環境研究所　社会環境システム研究領域長
	細見	正明	東京農工大学　工学部化学システム工学科教授
	松橋	隆治	東京大学　大学院新領域創成科学研究科教授

二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会
会合日程と主要議題

第１回　平成 18 年 9 月 25 日
- 今後の審議の進め方について
- ロンドン条約 96 年議定書附属書Ｉ改正の動きについて
- 二酸化炭素海底下地層貯留技術：環境影響評価に関連する技術内容

第２回　平成 18 年 10 月 12 日
- 専門家へのヒアリング（二酸化炭素海底下地層貯留技術、海洋環境への影響等）
- 二酸化炭素海底下地層貯留の利用について
- 海洋環境への影響防止のための制度の在り方（論点）
- 二酸化炭素海底下地層貯留の利用に関する関連施策

第３回　平成 18 年 11 月 20 日
- 二酸化炭素海底下地層貯留の環境影響評価について
- 二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会報告書骨子（案）について

第４回　平成 18 年 12 月 26 日
- 二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会報告書（案）について

第５回　平成 19 年　 月　 日

１．二酸化炭素海底下地層貯留をめぐる動向と利用の在り方

（１）ロンドン条約及び96年議定書の概要

「1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約」（以下「ロンドン条約」という。）は、陸上発生の廃棄物の投棄による海洋汚染の防止を目的とした条約であり、1972年に採択され、1975年に国際発効している。我が国は、同条約に1973年に署名し、1980年に加入書を寄託した。同条約の締約国数は平成18年11月30日現在、81カ国である。

その後、海洋投棄に関する規制の強化を目的に「1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約の1996年の議定書」（以下「96年議定書」という。）が1996年11月に採択された。96年議定書は、ロンドン条約の締約国15カ国を含む26カ国以上の批准または加入の後、30日目に発効することとされており、2006年3月24日に国際発効したところである。96年議定書の締約国数は平成18年11月30日現在、30カ国である。

96年議定書は、海洋投棄[1]及び洋上焼却を原則禁止とし、海洋投棄を検討できるものを限定列挙する方式を採用するとともに（附属書Ｉ）、海洋投棄する場合にはその影響の検討等に基づいて許可を発給すること（附属書II：廃棄物評価フレームワーク（以下「WAF」という。））を義務付けている。なお、附属書IIの実行ガイダンスとして、廃棄物評価ガイドライン（以下「WAG」という。）が定められており、具体的には、一般的な廃棄物評価ガイドライン（一般WAG）及び個別品目毎の評価ガイドライン（品目WAG）が定められている。

（２）96年議定書附属書Ｉ改正に関する動向

2006年４月28日、オーストラリアにより、「96年議定書附属書Ｉに定める投棄可能な廃棄物その他の物」として、海底下地層に貯留される二酸化炭素流[2]を追加すること等を内容とする議定書附属書 Ｉ 改正案が提案された。同改正案は

[1] 96年議定書では、「海洋」は「海底下」を含むと定義されている。
[2] オーストラリア提案の改正案が採択された結果、96年議定書附属書Ｉに“Carbon dioxide streams from carbon dioxide capture processes for sequestration”が追加された。「二酸化炭素流」は”carbon dioxide streams”を翻訳した用語である。なお、本報告書において、貯留後及び漏洩する二酸化炭素について論ずる場合、正確には、①分離・回収プロセス及び原料に起因し偶発的に含まれる物質、並びに②海底下に存在する物質が共存することが想定されるが、これらの物質は量的には微量と考えられるため、便宜上、単に「二酸化炭素」と記述している。

フランス、ノルウェー及びイギリスによる支持を受けて提出されたものである。同改正案は、2006年10月30日から11月3日にかけて開催されたロンドン条約第28回締約国会議・96年議定書第1回締約国会議において検討され、採択された。附属書の改正は、採択後、100日で効力を生じることと定められていることから、本附属書改正は2007年2月10日に効力を生じることとなる。

（３）国内における 96 年議定書附属書 I 改正への対応

我が国では、ロンドン条約の求めるところを、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」（昭和45年法律第136号。以下「海洋汚染防止法」という。）及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（昭和 45 年法律第 137 号）に取り込み、廃棄物等の海洋投棄及び洋上焼却処分の適切な管理を行ってきたところである。

96 年議定書の採択を踏まえ、我が国においても同議定書を締結すべく、海洋汚染防止法の一部改正（平成 16 年法律第 48 号）等国内担保制度の整備を進めてきており、同改正法は平成19年4月1日より施行されることとなっている。

今般、96 年議定書附属書Ｉが改正され、投棄可能な廃棄物その他の物として海底下地層に貯留される二酸化炭素流が追加されたことから、我が国としても、地球温暖化対策としての二酸化炭素海底下地層貯留の利用とその海洋環境への影響防止の在り方について検討を行うこととした。

（４）二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）技術

①　概要

CCS技術とは、二酸化炭素大規模排出源（例えば発電所や天然ガス鉱山等）で発生する二酸化炭素を他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留又は海洋に隔離することにより、二酸化炭素を大気から長期間隔離する技術である。

CCS の形態は、大きくは「地中貯留」と「海洋隔離」に区分され、また、「地中貯留」には、本専門委員会の審議事項である「海底下地層貯留」の他、「陸域の地層貯留」が含まれる。ただし、海底下地層貯留と陸域の地層貯留とを区分せずに「地中貯留」として説明されている場合があることから、本報告書において「地中貯留」とした場合には、「海底下地層貯留」と「陸域の地層貯留」とを含むものとする。

地中貯留される二酸化炭素流は、圧入井から高圧で地層中に注入される。二酸化炭素は常圧・常温では気体であるが、7.39メガパスカル（約73気圧）以上、31.1℃以上では液体でも気体でもない超臨界流体となる。超臨界流体の二酸化炭素は、液体に近い溶解性（気体よりも溶けやすい）や密度（気体よりも密度が大きい）を持ち、また気体に近い拡散性（液体よりも拡散しやすい）を持つため、より多くの二酸化炭素を貯留層内部に安定的に浸透させることができる。超臨界状態で貯留されるためには、地下1,000m程度以深（海底下の場合は、水深と海底下の深度の合計で1,000m程度以深）が、貯留地点として想定される。

二酸化炭素地中貯留に関する技術は、分離・回収、運搬、圧入及び貯留という一連のプロセスからなる。二酸化炭素地中貯留の対象としては、枯渇油層及びガス層、帯水層（深部塩水層）並びに炭層が検討されている。

②　二酸化炭素地中貯留の利用動向

海外においては、既に実用規模の二酸化炭素地中貯留プロジェクトが実施されている。最大規模のものでは、ノルウェーの石油・天然ガス採掘を行う企業が 1996 年から北海において実施している Sleipner（スライプナー）プロジェクトがあげられる。同プロジェクトでは、海底下地層から採掘された天然ガスに随伴する二酸化炭素を分離・回収し、年間 100 万 CO_2 トン、2004 年までの累積貯留量では 700 万 CO_2 トンを超える二酸化炭素を近傍の海底下帯水層に貯留している。また、オーストラリア西部の大規模ガス開発事業では、天然ガスに随伴する二酸化炭素を分離･回収し、別途帯水層に貯留することが計画されている（Gorgon（ゴルゴン）計画）。本計画内容に基づいて実施された環境影響評価においては、二酸化炭素流の貯留地点、監視計画等の検討が行われている。

一方、国内では、経済産業省の補助事業として、新潟県長岡市において（財）地球環境産業技術研究機構（RITE）による二酸化炭素の帯水層貯留の実証試験が行われている。本実証試験では、平成 15 年７月からの 18 ヶ月間で合計約 1 万 CO_2 トンの二酸化炭素が地下約 1,100m の帯水層に貯留された。現在、観測井等による貯留後のモニタリングが継続的に行われている。また、北海道夕張市においては、二酸化炭素の炭層貯留の研究開発が行われている。

③ 二酸化炭素分離・回収技術

二酸化炭素地中貯留の一連のプロセスにおいては、より環境負荷の少ない特性を持つ二酸化炭素を分離・回収するとの観点から、二酸化炭素分離・回収に

係る技術が特に重要である。貯留される二酸化炭素流は、化石燃料の燃焼過程等から生じる排ガスを処理して、化学吸収法などを用いて分離・回収する。二酸化炭素分離・回収は、主としてエネルギー関連施設を含む大規模工業施設において実施されると想定される。現在、実用化及び研究段階にある燃焼過程における分離・回収技術は複数あり、燃焼後、燃焼前及び酸素燃焼の３つの形態に分類される。回収後の二酸化炭素流に含まれる不純物の種類・量は、燃料の種別、性状、燃焼法、回収技術によって異なる。

二酸化炭素分離・回収の実施には、追加的なエネルギーが必要とされる。なお、分離・回収に係るコストは、二酸化炭素地中貯留全体のコストの多くを占めており、当該技術の省エネルギー化、コスト低減等が課題となっている。

④ 監視（モニタリング）技術

二酸化炭素海底下地層貯留においては、貯留層から二酸化炭素の漏洩がないことを監視するとともに、海洋環境の変化の程度を監視することが必要である。

貯留層における二酸化炭素の監視手法としては、観測井等における圧力・温度等の観測、及び地震探査、音波探査、電気探査等があげられる。

海洋中の二酸化炭素濃度の監視手法としては、サンプリングによる計測があげられる。連続的な監視については、センサーを用いて二酸化炭素濃度やそれに伴う pH 低下などをモニターし、データを伝送する技術の開発が検討されている。

（５）二酸化炭素海底下地層貯留の環境影響

① 海水中の二酸化炭素濃度

海水中のバックグラウンドの二酸化炭素濃度については、気象庁により冬季における東経 137 度線、北緯 7～33 度の海域で行われた大気中及び海表面の二酸化炭素分圧（pCO_2）の観測結果から判断すれば、2005 年における我が国の海域とその周辺の海表面におけるpCO_2は概ね340ppm[3]程度と考えられる。（ただし、pCO_2 は水温の他、生物生産の大きな海域や鉛直混合の盛んな海域においては日周変動、季節変動によっても変動する。）

---

[3] 本報告書では、海水中の二酸化炭素分圧について、本来用いられるべき圧力の単位であるμatm（百万分の一気圧）を用いず、便宜的に体積比（ppm，百万分の一）で示した。海水と平衡にした空気中の二酸化炭素体積比と二酸化炭素分圧は、ほぼ等しくなる。

② 海水中の二酸化炭素濃度の上昇による海洋環境への影響

海底下地層に貯留した二酸化炭素が海洋に漏洩した場合の海洋環境影響については、2005 年に発行された CCS についての気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の特別報告書（以下「IPCC 特別報告書」という。）や、海水中の二酸化炭素濃度を上昇させて行われた生物試験結果では、以下の知見が得られている。

○ 多くの動物は低二酸化炭素濃度の環境に適応しており、高二酸化炭素濃度で極めて高い酸性の水への暴露は急性致死をもたらす。常時上昇した二酸化炭素濃度に生物がどこまで適応できるかは不明であるが、現状の低二酸化炭素濃度の海域で生息する多くの種は、一時的な二酸化炭素濃度の変動には耐えられるが、二酸化炭素濃度が恒常的に高くなる海域においては、生物相が変化すると考えられる。

○ 一般的には、外洋に分布する生物、深海に分布する生物は、沿岸浅海に分布する生物に比べて環境の擾乱に弱く、二酸化炭素濃度の上昇には脆弱である可能性がある。

○ 魚類成魚は、総じて二酸化炭素濃度の上昇に強く、無脊椎動物は弱い傾向がある。また、石灰質の殻を持つ生物には強い影響が生じる可能性がある。例えば、以下のような研究結果が得られている。

(ア) 浅海域の成魚については、短期致死濃度が pCO_2 で 50,000〜70,000ppm との知見が得られている。これらから、二酸化炭素濃度上昇に比較的高い耐性を示すと考えられる。

(イ) 空気呼吸する生物（海生哺乳類、ウミガメ）は、二酸化炭素濃度上昇の影響はわずかである。

(ウ) 殻を持つ動物（棘皮動物、腹足類）は、pCO_2 が 560ppm まで上昇すると（二酸化炭素分圧の変化量（ΔpCO_2）が 200ppm まで上昇すると）[4]、成長率及び生存率が低下する傾向にある。

(エ) カイアシ類が海水中の二酸化炭素濃度の増加によっても影響が生じないであろうとする推定濃度は、ΔpCO_2 で 5,000ppm 程度と推定される。また、異なるエンドポイント[5]による生態影響試験結果が得られていることを勘案して設定した安全率を考慮した場合の無影響

---

[4] IPCC 特別報告書に引用された生物試験に関する論文（Shirayama and Thornton, 2005）では、実験方法を ”with air to which an additional 200 ppm of CO_2 was added ”としており、ΔpCO_2 で 200ppm とする方が適切とも考えられる。

[5] エンドポイントとは、化学物質等による生体影響の明確な影響指標を指す。具体的には、死亡、催奇形性、発がん性、生長又は成長阻害、増殖又は繁殖阻害、行動異常などがあげられる。

レベルはΔpCO_2で 500ppm 程度と推定される。

○ 二酸化炭素濃度上昇の影響は、成体よりも初期発育段階でより著しい傾向がみられ、魚類では成魚への影響は小さくとも、卵稚仔で高い死亡率が発生する可能性がある。

○ 急性致死レベルよりも低い濃度においても、成長抑制及び生殖能力の低下、病気への抵抗力の低下などの機能の退化が生じることがあり、特定種の個体密度および生産力の低下、ひいては食物連鎖を通じた生態系レベルでの影響の可能性が示唆される。

まだ海洋生態影響に関する確実な情報は少ないが、これらを総合すると、二酸化炭素濃度の上昇による海洋生物への影響が認められた最小濃度については、石灰質の殻を持つ動物の試験結果からはΔpCO_2で 200ppm（IPCC 特別報告書の記述に基づけば pCO_2で 560ppm）であった。また、動物プランクトンでの試験結果からは、無影響と想定される濃度はΔpCO_2で 500ppm と考えることもできる。ただし、地域、水深、季節などによってバックグラウンドの観測値がこれらの値を上回ることも珍しくない。従って、これらの値を超えたから直ちに何らかの影響があると考えるのではなく、問題となる現場の pCO_2の変動や生物相等を考慮し、具体的に環境影響を検討する必要がある。

以上から、二酸化炭素海底下地層貯留に係る海洋環境影響評価を行うための知見は存在しており、許可発給の際に事業者が潜在的影響の評価を行うこと（２.（７）参照）は可能である。

IPCC 特別報告書の政策決定者向け要約によれば、「適切に選択され管理された地中貯留サイトに二酸化炭素が留まる割合は、100 年後に 99%以上である確率は 90～99%（very likely）であり、1000 年後に 99%以上である確率は 66～90%（likely）である。」とされている。従って、二酸化炭素海底下地層貯留において適切な場所の選定と管理が行われれば、二酸化炭素が海洋に漏洩する可能性は非常に小さいと想定されるが、海洋に漏洩した場合における生物の慢性影響の評価も重要な課題である。海洋生物に関する慢性影響評価については、現時点では国際機関で承認された試験手法がないが、長期にわたる影響に関する科学的知見を収集し、許可申請時に最新の知見をもとに影響評価を行う必要がある。

③ 二酸化炭素の海底漏洩後の挙動に関するシミュレーションの例

二酸化炭素海底下地層貯留に係る潜在的環境影響評価に当たっては、漏洩し

た二酸化炭素の海水中の挙動シミュレーションを実施することが有効である。例えば、通常想定される以上の規模の大地震が発生したとしても起こるとは考えにくい極端な漏洩シナリオを仮定し、二酸化炭素の単位時間当たりの漏洩量、水深、気泡（液滴）径等のパラメータを変えた５つのケースを仮定してΔpCO_2を計算した研究結果によれば、主として以下の点が示された。

○　二酸化炭素の単位時間当たりの漏洩量の他、温度、圧力など、海水の物性等によって挙動が変化した。

○　計算が行われた５つのケースいずれにおいても、二酸化炭素の漏洩に伴うΔpCO_2は漏洩地点付近の水深で最も高く、表層に向かうに従い減少した。

○　単位時間当たりの漏洩量が多いと仮定したケースの方が、少ないケースよりもΔpCO_2が高かった。

○　漏洩する二酸化炭素の気泡（液滴）径が小さいと仮定したケースの方が、大きいケースよりもΔpCO_2が高かった。

○　水深500㎜の海底で漏洩すると仮定したケースでは、水深200㎜の海底で漏洩すると仮定したケースよりもΔpCO_2が高かった。（この結果は、海底付近で漏洩した二酸化炭素の物性の違い（水深500㎜では液滴状、水深200㎜では気泡状と仮定）が影響していると推定される。）

以上から、二酸化炭素の海底漏洩後の挙動に関するシミュレーションの手法は存在しており、許可発給の際に事業者が行う潜在的影響評価に活用することは可能である。ただし、上記のシミュレーションは一定の仮定の下で行われたものであり、実際の影響評価を行う際には、個別のケースごとに、可能な限り、貯留地点における特性に応じてパラメータを設定していく必要がある。

なお、海底下に貯留される二酸化炭素流に含まれる有害物質については、海洋環境への影響を防止する観点から適切なレベルに管理される必要があることから、圧入可能な二酸化炭素流について、その物理的、化学的特性を管理する必要がある。

また、海底から漏洩した二酸化炭素が海上で活動するヒトの健康や船舶の航行に与える影響については、仮に巨大な断層が発生した場合であっても、断層内は岩石等の物質で充填されていることから、爆発的に漏洩することは起こらないと考えられる。上記の極端な漏洩シナリオに基づいても、二酸化炭素は海

水に溶けやすい物質であり、また、海流による移流拡散等があることから、海上に漏洩する二酸化炭素濃度は低く、よって大気中濃度の上昇はヒトの健康に影響を及ぼすようなレベルにはならないと考えられる。

実際に事業者が潜在的影響評価を行う際には、個別のケースごとに、可能な限り貯留地点における特性に応じてパラメータを設定していく必要があり、その場所で想定される保守的な仮定（すなわち、環境保全上、安全側に立った仮定。以下同じ。）の下での漏洩シナリオのケースでも、ヒトの健康及び船舶航行に影響を及ぼさないことを示す必要がある。

（６）地球温暖化対策としての展望

①　概要

地球温暖化の影響のうち海洋環境に関わるものとしては、海水温の上昇に伴うサンゴの白化、海洋生物の分布の変化、海面上昇などがある。大気中の二酸化炭素濃度増加による海洋表層の酸性化及びこれに伴う海洋生物への影響も指摘されており、今般の 96 年議定書附属書 I 改正に係る決議においても海洋酸性化に対する深刻な懸念が明記されたところである。ロンドン王立協会[6]によれば、地球温暖化に伴い、現在の表層海水中の pH は、産業革命前と比較して 0.1 低下しており、2100 年までに pH はさらに最大で約 0.5 低下[7]すると予測されている。

国連気候変動枠組条約の究極目的は、大気中の温室効果ガス濃度を自然の生態系や人類に悪影響を及ぼさない水準で安定化させることであり、このような濃度安定化のためには、世界全体の排出量を早期に現在の半分以下にまで削減する必要がある。

我が国の二酸化炭素海底下地層貯留の地球温暖化対策としての展望を検討するに当たっては、世界全体での先行する知見をとりまとめた IPCC 特別報告書、国際エネルギー機関(IEA)が 2006 年６月に発刊したエネルギー技術展望(Energy Technology Perspectives）の技術進展シナリオ（以下「IEA 技術進展シナリオ」という。）等を参照することができる。

---

[6] Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide, the Royal Society, 2005

[7] IPCC/SRES(Special Report on Emission Scenarios)の A2 シナリオの場合、産業革命前と比較して 2100 年までに表層海水中の pH は約 0.5 低下すると予測されている。IPCC 第３次評価報告書（2001）によれば、A2 シナリオの場合、2100 年における二酸化炭素の大気中濃度はおおよそ 800ppm 前後になると予測されている。

なお、二酸化炭素海洋隔離については、IPCC 特別報告書において詳細な記載がある。その中には、海洋生物への影響も指摘されており、海底下地層貯留の評価にも適用ができる。96 年議定書では、海底下を含む海洋への二酸化炭素の投棄行為が禁止されていたが、今般の同議定書附属書Ｉの改正に伴い、二酸化炭素流の海底下地層への貯留が可能となった。一方、海洋隔離については、ロンドン条約締約国会議において将来的な検討事項であることが指摘されている。従って、二酸化炭素海洋隔離については、今後は、国際的な動向も踏まえつつ、当該技術の環境影響評価に関する調査の実施等により科学的知見の充実に努めていくことが重要である。

②　二酸化炭素地中貯留の可能容量

IPCC 特別報告書において、世界における二酸化炭素地中貯留の可能容量は 66%から 90%の確率で約２兆 CO_2 トンと推定されている。また、我が国における地中貯留の可能容量は、背斜構造[8]を持つ地層のうち基礎試錐データがあるもので約 52 億 CO_2 トンであるとの試算もある（ただし、この試算は事業コストを考慮したものではない。）。

③　CCS の短期的な地球温暖化対策としての位置付け

国連気候変動枠組条約及び京都議定書に基づく各締約国の温室効果ガス排出・吸収量は、IPCC が定めたインベントリガイドラインに基づき計上されている。2006 年 10 月には、新たな知見を盛り込んだ 2006 年 IPCC ガイドラインが公表され、CCS の計上方法についても記載されているが、現時点では、2006 年 IPCC ガイドラインを用いて、CCS による削減量を京都議定書第一約束期間（2008-2012 年）に適用することについては決定されていない。また、クリーン開発メカニズム（CDM）に関しては、現在、CDM プロジェクトにおける CCS の扱いに関する検討が行われている段階である。

我が国における二酸化炭素地中貯留技術については、現在はまだ実証実験の段階であり、また、IPCC 特別報告書等が行った試算によれば、二酸化炭素の分離・回収、パイプラインによる輸送等にかかるコストはかなり高く、当該技術の短期的な導入・普及には課題がある。

---

[8] 背斜構造とは褶曲した地層の山の部分をいい、ラクダの背中のコブに似ているところから名づけられたもの。石油や天然ガスが集まっている所は背斜構造となっていることが多い。

このように、インベントリや CDM における CCS の取扱いは、国連気候変動枠組条約締約国会議及び京都議定書締約国会合においては議論の途上であること、また、我が国においては、二酸化炭素地中貯留技術の現時点での実施コストは高く、技術フィージビリティ及び環境影響等についての検討を行うための実証実験は行われるものの、短期的に実用ベースでの実施に至る可能性は、今後の国際動向も踏まえる必要があるが、高くないと考えられている。これらのことから、我が国としては、二酸化炭素地中貯留技術について研究開発を進めていくこととし、京都議定書第一約束期間においては、着実に現行の温室効果ガスの削減対策を推進していく必要がある。

④　CCS の中長期的な地球温暖化対策としての位置付け

IPCC 特別報告書においては、温室効果ガスを安定化させる場合、世界全体の温室効果ガス削減量に占める CCS の割合は、750ppm の水準で 15%、450ppm の水準で 54%になると想定されている。また、IEA 技術進展シナリオでは、CCS の利用により、世界の二酸化炭素排出量は、2050 年までに基本シナリオより 20～28%削減されると予測されている。これらのことから、二酸化炭素地中貯留は、環境への影響を生じないよう適切に実施されるのであれば、中長期的には重要な地球温暖化対策のオプションの一つになりうる。

しかし、温室効果ガス排出量の大幅削減の実現及び低炭素社会の実現に向けた社会経済システムの抜本的な変革のためには、二酸化炭素地中貯留技術の活用のみならず、省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの普及についても引き続き最大限取り組む必要があることは当然である。また、2100 年以降の長期的展望に立てば、化石燃料資源も枯渇の方向に向かうと考えられることから、低炭素社会の実現に向けた社会経済システムの抜本的な変革や、安全かつ確実な革新的技術の出現が必須である。このため、二酸化炭素地中貯留技術は、それまでの「つなぎの技術」として有効であると考えられる。

こうしたことから、二酸化炭素地中貯留技術については、中長期的にも研究開発を進めるとともに、中長期的な観点からの我が国としての当該技術の位置付け、環境影響評価、安全性評価、コスト評価、持続可能な開発との整合性等について、今後とも検討を行う必要がある。

２．二酸化炭素海底下地層貯留に係る海洋環境への影響防止の在り方

（１）二酸化炭素海底下地層貯留に係る許可の申請主体

WAF は二酸化炭素海底下地層貯留に係る行為の規制を行うことを求めていることから、この観点からは、当該貯留行為を行う事業者が申請を行うことが適切である。

なお、排出行為を行う者と貯留行為を行う者とが異なる場合については、許可申請に当たって必要な、貯留される二酸化炭素流の特性等の情報に関する伝達等について、国際的な動向も踏まえ、制度的な検討を行う必要がある。

（２）二酸化炭素海底下地層貯留の許可の主体

国際約束である 96 年議定書を担保する責務は国が有していること、また、廃棄物排出制度との整合性を保つ必要があることから、国が許可を行うことが適切である。

（３）国民からの意見聴取

国は、二酸化炭素海底下地層貯留に係る許可発給に当たっては、透明性確保の観点、説明責任の遂行、海洋環境に係る情報の集約等の観点に留意しつつ、公告・縦覧等を実施し、国民の意見提出の機会を確保する必要がある。

（４）二酸化炭素流の処分量等に関する削減努力及び処分方法に関する検討

WAF は、廃棄物の海洋投入処分において、海洋投入処分量等の削減努力等を求めている。また、廃棄物その他の物の海洋投入処分の許可に当たっては、海洋投入処分以外に適切な処分の方法がないものであることが求められている。

二酸化炭素海底下地層貯留の場合、その特性に加え、WAF の実行ガイダンスである二酸化炭素流海底下処分に関する評価ガイドライン（CO_2・WAG）等の国際動向を踏まえつつ、実態に即した制度の検討を行う必要がある。

（５）貯留される二酸化炭素流の特性把握及び行動基準

①　事業者による二酸化炭素流の特性把握

海洋投入処分（二酸化炭素流の場合は貯留）される廃棄物等については、事前の適切な影響評価を行うため、化学的、物理的、生物学的特性を十分に把握する必要がある。このため、海洋環境への影響を防止する観点から、排出源から分離・回収した二酸化炭素流の特性について把握すべき事項について、整理する必要がある。

②　行動基準（判定基準）

96 年議定書においては、行動基準（Action List）として、当該基準を超える場合には原則として投棄を禁じること等を判断するための基準を設けるべきとされている。廃棄物海洋投入処分の場合、我が国では、投入処分される廃棄物について有害物質に係る判定基準を設けており、これによって 96 年議定書の求める行動基準を担保している。

2006 年 10 月から 11 月に開催された 96 年議定書第１回締約国会議で改正された同議定書附属書Ｉにおいては、貯留目的の二酸化炭素流については、「海底下へ貯留されること」、「二酸化炭素が圧倒的（overwhelmingly）であること。また、分離・回収プロセス及び原料に起因し、偶発的に含まれる物質を含みうる。」、「廃棄物その他の物が廃棄目的で添加されないこと」と表現されている。我が国においては、予防的アプローチに基づき、CO_2・WAG の検討状況等国際的な動向を勘案して、二酸化炭素海底下地層貯留に関する判定基準の設定について検討することが適切である。

（６）事業者による二酸化炭素流の貯留地点の選択

廃棄物海洋投入処分の場合、処分が行われる海域の環境保全の観点から、廃棄物の品目毎に排出海域を定め、海洋投入処分を企図する排出事業者が、該当する海域区分の中から投入処分を実施しようとする海域を選択し、潜在的影響の検討及び監視計画の立案を行った上で処分地点を選択する方式となっている。

他方、二酸化炭素海底下地層貯留の場合、貯留地点周辺の海底から漏洩する二酸化炭素に係る海洋環境を保全する観点から、当該貯留を企図する事業者が、貯留した地層内における二酸化炭素の挙動や、漏洩した場合における海洋環境への影響の評価を行う必要がある。地層の特性は多様であり、かつ、貯留の安定度は専ら地層の特性に依存するため、貯留地点の選定は、当該貯留事業の適正な実施に当たっての重要なプロセスである。

従って、二酸化炭素の海底下地層貯留の許可発給の手続きにおいては、廃棄物海洋投入処分で定められているものと同様の仕組みとして一律に排出海域を特定するのではなく、むしろ、事業者が、事業ごとに当該貯留を計画する地点を選定して、潜在的影響の検討及び監視計画の策定を行った上で、当該貯留地点を適切に選択することが必要である。なお、選択に当たっては、藻場、干潟、サンゴ群落等、海洋環境保全上重要な海域に留意する必要がある。

（７）貯留される二酸化炭素流による潜在的影響の評価

廃棄物海洋投入処分の許可に当たっては、海洋投入処分を企図する排出事業者が、廃棄物の排出海域における海洋環境の保全に著しい障害を及ぼすおそれがないことを示すため、事前に潜在的影響の評価を行うこととされている。

二酸化炭素が漏洩した場合に海洋環境に与える潜在的影響については、CO_2・WAG 等に基づき、当該貯留を企図する事業者が評価を適切に実施するよう措置する必要がある。このため、国が、法令又は指針等によって具体的な検討内容、検討手法、監視項目等を明確にしておく必要がある。

当該影響評価における予測の手順は、主として次の２段階に分けて考えることが適切である。

①圧入された二酸化炭素の海底下地層中での挙動の予測

②二酸化炭素が海底から漏洩したと仮定した場合における海洋環境への影響予測

上記①については、Best Available Technology（BAT: 利用可能な最善の技術）を活用し、かつ、保守的な仮定でのシミュレーションを行うことを基本とすることが適切である。また、上記②については、BAT 及び保守的な仮定を前提に、二酸化炭素が漏洩したと仮定した場合における海水中の二酸化炭素濃度上昇による影響を予測対象とすることが適切である。

また、当該影響予測に係るシミュレーションを行う際には、個別のケースごとに、可能な限り、貯留地点における特性に応じてパラメータを設定していく必要がある。

（８）監視（モニタリング）

①　監視制度の基本的な考え方

二酸化炭素海底下地層貯留においては、貯留層から二酸化炭素の漏洩がないことを監視するとともに、海洋環境の変化の程度を監視することが必要である。また、海洋環境の変化の程度を監視するためにはバックグラウンドの海洋環境の把握が必要であり、具体的には、貯留地点付近における貯留前の海洋環境や、貯留地点周辺海域の海洋環境の監視も必要である。

我が国における二酸化炭素海底下地層貯留の監視制度の検討に当たっては、当面想定される実証実験等の事業を念頭に置いた監視に関する、適切な手法、

期間、実施主体等について検討する必要がある。なお、これらの検討に当たっては、WAF 及び今後作成される CO_2・WAG を踏まえる必要がある。

海底下地層に貯留された二酸化炭素は、今後、温室効果ガス国内インベントリ上、排出されなかった量としてカウントすることになる可能性がある。このような場合には、圧入終了後の監視の期間、頻度を含む国内における監視制度の検討に際し、COP 及び COP/MOP 等における国際条約に基づく監視制度との整合を図る必要がある。

② 監視の主体

二酸化炭素海底下地層貯留に係る事業の許可を受けた事業者（以下「許可事業者」という。）は、貯留地点周辺の地質、海域等に関する詳細な情報を有していること、及び汚染者負担原則も踏まえ、貯留地点付近の監視の主体は許可事業者とすることが適切である。

③ 監視の手法

監視に当たっては、以下の監視対象項目ごとに、科学技術の進展、監視の実施に伴う環境への影響等を考慮し、適切な手法を選択することが適切である。

(ア) 観測井における二酸化炭素流の圧入圧力、貯留層内の圧力
(イ) 貯留層における二酸化炭素の挙動
(ウ) 海水中の二酸化炭素濃度及び pH 等
(エ) 海洋生物への影響

なお、監視対象項目の選定にあたっては、二酸化炭素の漏洩に随伴して漏洩する可能性のある物質についても考慮する必要がある。

④ 二酸化炭素流の圧入期間中、圧入終了後（閉鎖後）における監視の考え方

監視の実施期間については、対象となる事業が、長期間にわたる二酸化炭素の貯留を目的としていることから、二酸化炭素流の圧入期間中（圧入行為の一時的な中断期間を含む。以下同じ）に加え、圧入終了後（閉鎖後）も相当期間、監視を実施する必要がある。また、監視結果については、定期的に許可事業者から環境大臣に報告することが必要である。

（ア）圧入期間中の監視

圧入期間中は、貯留された二酸化炭素の挙動が不安定であることから、坑井における二酸化炭素流の圧入圧力、貯留層内の圧力、圧入量（貯留量）の監視、貯留層における二酸化炭素の貯留状態等の監視を実施することが必要である。また、海水中の二酸化炭素濃度、pH、海洋生物の状況などの海洋環境についても監視することが必要である。

（イ）圧入終了後（閉鎖後）の監視

圧入終了後（閉鎖後）は、特に圧入終了直後において、圧入貯留層の圧入口付近の圧力が高く二酸化炭素の帯水層内での移動が大きいと考えられること、また、長期の安定性を確認する必要があることから、二酸化炭素の貯留状態及び海洋環境の監視を行う必要がある。許可事業者が当該監視の結果、環境影響が予測の範囲内であったことを確認して、その結果を定期的に環境大臣に報告することが必要である。

（９）海洋環境への影響のおそれが生じた場合の措置

許可事業者による監視の結果、海底下地層内の二酸化炭素の挙動又は海洋環境への影響が予測の範囲を超えていた場合には、二酸化炭素流の①圧入期間中と、②圧入終了後（閉鎖後）の場合に応じ、以下の対応措置を講じることが必要である。この場合、許可事業者は、当該監視結果及び当該措置を実施する旨を直ちに環境大臣に報告するとともに、当該措置及びその後の監視の結果についても定期的に環境大臣に報告する必要がある。

① 圧入期間中に二酸化炭素が貯留層から漏洩した場合の措置

許可事業者は、当該圧入行為の中止、貯留層内の圧力の解放等の対応措置を講じるとともに、海底下地層内の二酸化炭素の挙動及び海洋環境への影響が予測の範囲内に戻るまで、高頻度で監視を継続する必要がある。

② 圧入終了後（閉鎖後）に二酸化炭素が貯留層から漏洩した場合の対応措置

許可事業者は、貯留層内の圧力の解放等の措置を講じるとともに、海底下地層内の二酸化炭素の挙動及び海洋環境への影響が予測の範囲内に戻るまで、高頻度で監視を継続する必要がある。

（10）許可制度

①　許可の見直し・更新制度

WAF は、「許可は、監視結果及び監視計画の目的を考慮し、定期的に見直されるべき」としており、定期的な許可更新制度が求められる。

二酸化炭素海底下地層貯留に当たっては、平成 19 年４月から施行される海洋汚染防止法に基づく廃棄物海洋投入処分の許可体系と同様に、実施計画（適切な貯留場所の選択を含む）、環境影響の事前評価、監視計画等に基づく「有期限の許可」を環境大臣が発給し、監視結果等に基づいて許可更新を行う仕組みとすることが適切である。

②　許可の有効期間

二酸化炭素海底下地層貯留における二酸化炭素流の圧入期間は、一般に 10 年以上の長期間になると想定されており、圧入終了後も相当期間の監視が必要になると想定される。許可の有効期間については、廃棄物及び水底土砂に係る許可制度も踏まえ、また、最新の科学的知見を踏まえたシミュレーションを実施することも含め実態を適切に把握するためにも、最長５年程度とすることとし、許可を定期的に更新していくことにより、長期間の監視を担保する仕組みとすることが適切である。

なお、今後、民間企業によって二酸化炭素海底下地層貯留が本格的に実施される段階においては、別途、許可事業者が破産等により監視等を継続できなくなる場合の対応について、検討していく必要がある。

３．その他

（１）事業者側での他の権益との調整

二酸化炭素海底下地層貯留の実施に当たっては、貯留地点周辺の海域及び貯留予定の地層に係る既存権益との調整を図る必要性が生じる可能性がある。特に、貯留海域に鉱業権が設定・出願されている場合、事業者において、既存の権益との調整を図っておく必要がある。

（２）科学的知見の集積、国民への普及

本報告書は、現時点での科学的知見に立脚しており、今後も、二酸化炭素海底下地層貯留に係る監視及び生態影響評価等に関する最新の科学的知見を得る

ために必要な技術開発を推進するとともに、関連技術の開発・普及の動向を随時収集・分析する必要がある。その上で、事業者は、許可申請時において、このような最新の技術の組み合わせを念頭において、潜在的影響評価、監視計画の策定等を行う必要がある。

国は、二酸化炭素海底下地層貯留に係る科学的知見のさらなる集積を図るとともに、これらの知見を国内の事業者、国民などに普及させることが必要である。また、国は、監視手法の検討も含め、二酸化炭素海底下地層貯留に係る海洋環境への影響に関する調査研究を推進することが重要である。

（３）国際的な動向を踏まえた制度の評価、見直し

本報告書は、現時点での国際的な枠組みに立脚している。このため、今後も国際的な動向を注視し、積極的に議論に参加し、必要に応じて制度の評価、見直しを行う必要がある。