

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、石灰質の外骨格を有する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 と二酸化炭素濃度上昇に比較的高い耐性を示す。
 - (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

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。

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、石灰質の外骨格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。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確立されていないが、今後、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な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その他、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500mの海底で漏洩すると仮定したケースでは、水深200m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500mでは液滴状、水深200m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を通して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、海面上昇などがあり、大気中の二酸化炭素濃度増加による海洋の酸性化及び酸性化による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、及び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。

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

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