

47-14 二酸化炭素海洋隔離による海洋物質循環過程への影響評価に関する研究

独立行政法人 産業技術総合研究所 鈴木昌弘・原田 晃

m.suzumura@aist.go.jp, harada.emtech@aist.go.jp

1. 研究の目的

大気中二酸化炭素濃度の抑制のための対策として、二酸化炭素の海洋隔離が検討されており、きわめて有効な技術と考えられている。海洋隔離技術の確立にあたっては、特に海洋環境に与える影響の評価が今後解決すべき大きな課題であることから、これに対する科学的知見の集積が急務である。二酸化炭素海洋隔離によって影響を受け、海洋を変化させる恐れのある過程のうち、表層から運ばれてきた粒子の分解・溶解に関するものは、炭酸塩、ケイ酸塩など生物起源の粒子状無機物の溶解過程、

有機物が分解して化学成分が海水へ戻る過程(バクテリアの関わるものを含む)がある。これらの過程が変化すると、引き続いて起こる海底面への粒子輸送が変化し、これに伴う底生生物への影響が懸念されるほか、表層に回帰する栄養塩の質的变化が生じ、さらには表層生態系への影響が懸念される。そこで、本研究では、二酸化炭素の放出(注入)によって作り出される高二酸化炭素・低pH海水の上記過程への影響を室内および現場実験で求めるとともに、西部北太平洋での実施を想定して、その影響の程度を時間的・空間的に評価する。この結果から、海洋環境影響のより少ない海洋隔離に関する提言をまとめ、国際的コンセンサスに向けた情報提供を行う。

2. 研究の方法

2.1 海洋中深層域の粒子状物質についての現状把握

2.1.1 沈降粒子束の量的及び質的特性の把握

海洋隔離に適していると考えられる西部北太平洋亜熱帯海域を中心に、セジメントトラップ等を用いた懸濁・沈降粒子の観測、および海底堆積物の観測を実施し、二酸化炭素の海洋隔離によって影響を受ける可能性のある、炭酸塩についての現状を把握した。西部北太平洋の2測点(A: 22° 31.7 N, 131° 56.0 E, 水深 5,716m、及び B: 23° 13.2 N, 131° 05.8 E, 水深5,574m)において、セジメントトラップ5台からなる係留系により採取された沈降粒子試料を用い炭酸塩の測定を行った。

また西部北太平洋全体の状況を捉えるためには、過去に行われた観測結果の利用が有効である。そこで、これまでに産業技術総合研究所(旧資源環境技術総合研究所および地質調査所)が中心になって実施したセジメントトラップ観測結果のデータベース化を実施した。

2.1.1 粒子状有機物の特性把握

海水中の粒子状有機物は粒子状無機炭素(炭酸カルシウム)と同様に、海洋の炭素及び栄養塩フラックスを支える重要な成分である。そこで、北太平洋の広範な海域(35° 00 N, 139° 20 E, 水深 1,495m; 33° 01 N, 141° 18 E, 水深 3,485m; 22° 45 N, 158° W, 水深 4,750m)において表層から深層までの粒子状有機物を採取し、特に粒子と関わりの深い疎水性物質の分布を調査した。

2.2 粒子の分解・溶解過程に与えるpCO₂の影響評価

海洋環境から採取された粒子状物質を使った室内実験を行い、pCO₂(pH)の変化による炭酸塩粒子の溶解速度の変化を測定した。即ち、ろ過海水を満たした実験水槽(投げ込み式クーラーで温度調整)に高濃度のCO₂ガスを注入してpHを低下させ、ここに現場海域で採取した浮遊性有孔虫殻試料(生物体炭酸カルシウム)を静置し、実験前後の重量差の経時変化からその溶解率を求めた。

3. 研究の成果

3.1 海洋中深層域の粒子状物質の現状

観測によって得られた全沈降粒子束は20-40mgm⁻²day⁻¹の範囲にあった。二つの観測点は極めて近いところに位置しているにもかかわらず、粒子束には顕著な違いが見られ、粒子の沈降は不均一で空間的変動が大きいことが示唆された。

12月から7月までの全期間を通して炭酸カルシウムが沈降粒子の50%以上を占めていた。粒子の化学組成は時期、深さによる変化はあまり見られず、平均的な組成は炭酸カルシウム60%、生物起源ケイ酸塩10-15%、有機物10-15%、アルミノ珪酸塩10-20%であった。通常、全粒子

束が大きくなる時には、生物起源ケイ酸塩と有機物の占める割合が大きくなる傾向にあるが、今回の観測点ではこの傾向が見られず、常に炭酸カルシウムが占める割合が大きかった。このことは、亜熱帯海域における粒子による物質の輸送は炭酸カルシウムを主成分とする粒子によって行われていることを示している。

GISを利用したデータベースについては、現在は全粒子束、各主成分の濃度、フラックスのデータを14観測点について収録した段階であり、さらに今後は同海域で実施された他の機関による観測結果も収録していく予定である。

粒子状有機物質に関しては、有機溶媒抽出による疎水性リン化合物の測定を実施した。疎水性リンの濃度は栄養塩の乏しい海域で低くなる傾向を示し、光合成生産を支える栄養塩として寄与している可能性が示唆された。また、疎水性リンが全リンに占める割合は深層に向かって著しく増大し、これらが表層から海底へと運ばれる重要なリン化合物であることがわかった。

3.2 粒子の分解・溶解過程に与えるCO₂の影響

注入したCO₂ガスの濃度を70,000ppmとし、ガス流量を調整し水温を約7℃で制御したところ、海水のpHを5.9～6.1に保持することができた。CO₂ガスの注入(pHの低下)により、炭酸カルシウムの溶解速度は顕著に増加したが、実験に用いた浮遊性有孔虫 *G. truncatulinoides* 試料では、時間と共に溶解率が指数関数的に高くなり、16日目の溶解率は約75%に達した。これは、有孔虫の殻が溶解することによって、海水に接触する面積が次第に広がることによると考えられる。海中の粒子の沈降速度は1日当たり数百mであり、海底へ到達するあるいは深海のある面を通過できる炭酸カルシウムの割合は沈降速度と溶解速度の競争で決まることになるが、溶解が一旦始まると加速度的に溶解が進むことが上述のことから示唆される。

4. 今後の課題

4.1 粒子の分解・溶解過程に与えるCO₂の影響の詳細検討

4.1.1 CO₂濃度の影響検討

海洋中深層に注入されたCO₂が時間の経過とともに周辺へと拡散してゆく過程において、注入場所直近ではCO₂濃度は著しく高くなり、周辺では拡散の度合いによ

って徐々に希釈されてゆく。即ち、隔離実施海域の周辺にはCO₂濃度の異なる水塊が形成されてゆくことになるため、粒子の溶解に及ぼす影響評価はCO₂の広範な濃度範囲で検討する必要がある。今後は物理モデルによって予測されるCO₂の拡散の度合いと濃度レベルをもとに、注入するCO₂の濃度を变化させることにより、その影響の度合いを詳細に検討してゆく予定である。

4.1.2 擬似現場環境における影響評価

海洋における炭酸カルシウムの溶解過程は水温やpHに加えて、水圧の影響を強く受けることが知られている。これまでは大気圧下による簡便な室内実験により検討を行ってきたが、実際に隔離が予定されている海洋中深層に相当する圧力下での実験を実施することが重要である。

4.1.3 有機物の分解に与える高CO₂の影響評価

炭酸カルシウムの溶解に加えて、有機物の分解に及ぼす高CO₂濃度(低pH)の影響を評価することが重要である。有機物は二酸化炭素の最終的なシンク(除去形態)の一つとして重要であり、これらが分解されることによって二酸化炭素へと無機化する過程は、海洋のひいては大気も含めた二酸化炭素収支に対して著しい影響を及ぼすと予測される。有機物の分解はバクテリアなどの微生物とそれらに由来する分解酵素によって進行することから、上述したような広範囲のCO₂濃度における分解速度、酵素活性の変化を調査する予定である。

4.2 海洋隔離による海洋物質循環変化の推定と取りまとめ

海洋中深層域の粒子状物質についての現状の把握、及び粒子の分解・溶解過程に与えるCO₂の影響評価によって得られた知見・成果を、実際の隔離実施シナリオに沿ったモデルに取り込み、影響の時空間範囲を評価し、海洋隔離に関する提言をまとめる。

5. 成果文献

Suzumura, M. and E.D. Ingall (2004): Distribution and dynamics of various forms of phosphorus in seawater: insights from field observation in the Pacific Ocean and a laboratory experiments, *Deep-Sea Research I*, 51: 1113-1130.