

論文題名

二酸化炭素の海洋深層への隔離による海産カイアシ類への致死影響

長崎大学大学院 海洋生産科学研究科

渡 辺 雄 二

地球温暖化の原因として人間活動に伴う二酸化炭素（以下 CO_2 ）の大気中への放出が最も大きいといわれている。これを軽減する方法として、地中や海洋への隔離手法が提言されてきた。後者のうち 1,000~3,000m の中深層への希釈溶解法は潜在的な隔離量が大きく、日本を中心として研究が進められている。しかし、深海においても多数の生物が生息しており、 CO_2 を放出した場合の影響が懸念される。ところが、これまで実際の深海プランクトンを用いた実験は行われておらず、その影響は推論の域を出ていない。

CO_2 海洋隔離希釈溶解法では、液体 CO_2 を放出し、 CO_2 液滴が上昇しながら溶解希釈することが想定されている。液滴の溶解は数時間から数十時間内に終了し、その後は海洋の移流拡散により拡散していくとされている。この液滴が溶解する初期段階で、液体 CO_2 は海水に対して重量比で数万倍から数十万倍（ CO_2 分圧として $10^3 \sim 10^4 \mu \text{atm}$ に相当する）に希釈される。そこで、本研究では、カイアシ類を高 CO_2 条件化に曝露して、致死濃度と致死時間の関係を調べ、 CO_2 海洋隔離におけるカイアシ類への影響を評価した。

まず CO_2 の急性影響を求めるために、1 日~2 週間の期間、一定濃度の CO_2 分圧に曝露し、死亡個体を観察した。死亡個体の経時変化データをもとに、プロビット法により半致死曝露時間を推定した。

外洋性カイアシ類は西部北太平洋の北緯 43 度、36 度、25 度、24 度および 14 度の 5 点において採集した。中深層性カイアシ類は新たに開発した断熱タイプのコッドエンドを装着した口面積 1m^2 のネットにより、主に 500 から 1,500m の鉛直引きにより採集した。また、500m から表層への鉛直引きにより採集した表層性カイアシ類も比較として用いた。 CO_2 分圧が約 1,000 から $100,000 \mu \text{atm}$ に調製した海水中にカイアシ類を投入し、6~12 時間ごとに死亡個体を観察した。得られた死亡数の変化より、プロビット法を用いて各 CO_2 分圧に対する半数が死亡する半致死曝露時間 (LT_{50}) 求めた。

半致死曝露時間は曝露した CO_2 分圧が高くなるほど短くなり、カイアシ類に対する高 CO_2 の致死作用は、曝露濃度と曝露時間を両対数で表すと直線関係となった。過去に実施された低 pH 曝露実験の結果と比較すると、24 時間の曝露の場合無機酸では pH4.5-5.8 で半数が死亡したが、 CO_2 で曝露した場合には半数致死は pH6.0-7.0 で生じた。 CO_2 で曝露した場合には、海水の酸性化の影響だけでなく、細胞膜を透過しやすいガス態の CO_2 の影響を強く受

けていることが示唆された。

海域（亜寒帯・温帯海域、亜熱帯海域）と生息深度（表層、中深層）別に、カイアシ類の致死特性を比較したところ、中深層性カイアシ類は必ずしも表層性カイアシ類よりも CO_2 の増加に対して弱くはないことが明らかとなった。特に、亜寒帯海域の中深層性カイアシ類は、 CO_2 の増加に対して感受性が小さく、高 CO_2 分圧に対して強い耐性を示した。海洋では CO_2 分圧は表面よりも下層で高く、中深層で極大を示す。特に、生物生産の高い亜寒帯海域の中深層は CO_2 分圧がもっとも高く、環境への適応が疑われる。

次に、 CO_2 海洋隔離における実際の放出では液体 CO_2 が放出され溶解希釈されることから、 CO_2 濃度の大きな変化が生じる。このため、 CO_2 分圧が変動した場合のカイアシ類の致死率の変化の有無を検討した。

実験材料として外洋性カイアシ類の入手が困難であったために、実験には沿岸性カイアシ類を用いた。予備実験として定常条件での曝露実験を行い、 CO_2 分圧に対する致死作用の発現は外洋性カイアシ類と同じであり、生理的に外洋性カイアシ類と同等であると考えた。

非定常条件は、初期の曝露条件を $40,000 \mu \text{ atm}$ として、半数程度の個体が死亡した時点で、これより高濃度の $80,000 \mu \text{ atm}$ と低濃度の $20,000 \mu \text{ atm}$ に CO_2 分圧を変えた際の死亡率の変化を比較した。 $40,000 \mu \text{ atm}$ から $80,000 \mu \text{ atm}$ に分圧を増加させた場合の死亡速度は、定常状態の $80,000 \mu \text{ atm}$ の場合と変わらなかった。このことは $40,000 \mu \text{ atm}$ の曝露による馴化作用がカイアシ類では明確には生じないことを示している。カイアシ類のようなガス交換器官を持たず、体表でのガス交換に依存するような小型の動物では、魚類で認められている馴化作用を想定する必要はないと考えられた。

カイアシ類への CO_2 の致死影響は、濃度と時間の関数として表すことが確認できたことから、急性致死モデルが構築された。この急性致死モデルは実験観察結果とよい一致を見たことから、 CO_2 の希釈拡散モデルと結合することにより、 CO_2 海洋隔離の初期希釈段階の生物影響を評価できると考えられる。