

論文内容の要旨

論文題目 Process of Seawater CO₂ System Formation and Biological Community Metabolism in Coral Reefs and Brackish Estuaries
(サンゴ礁およびエスチュアリーにおける炭酸系形成と生物群集代謝過程)

氏名 渡邊 敦

はじめに

沿岸海域は全海洋一次生産の 15-50%を占めると言われており、そこでの CO₂ 収支の重要性が最近になって指摘されている。沿岸海域での CO₂ 研究は、海水中の CO₂ ガス分圧を大気中のそれと比較して大小を議論しているものがほとんどだが、これでは情報が 1 次元的で、どういった生物群集代謝過程にともない CO₂ が変化しているかはわからない。

一方、CO₂、HCO₃⁻、CO₃²⁻からなる炭酸系のうち、アルカリ度(TA)と全炭酸(DIC)というパラメーターを用いた解析は生物群集代謝の影響を直接的に把握することができるため有益である。光合成・石灰化などの生産や、呼吸・嫌氣的代謝などの分解は TA と DIC を単純な比例関係を持って変化させる。ゆえに TA-DIC 図上での変動をベクトル解析することにより、生態系内での群集代謝の特性を解析することができる。

TA-DIC 図を用いての生態系内での群集代謝計測では、湾内やサンゴ礁での光合成・石灰化やマングローブ林での嫌氣的代謝などが報告されている。しかしそれらは物理環境が非常に単純な系での研究か、定性的に群集代謝の傾向を示唆するだけのものがほとんどだった。

海水と淡水混合が卓越する系での群集代謝や、同じ生態系内で地形的・生物的に異なる特徴を持つサブシステムが見られるような系での群集代謝などは明らかにされていない。このような系の解析では、時間的・空間的に大きな炭酸系の変動が予測され、大量の試料の分析が必要になる。また、CO₂ の大気との交換などを議論するためには正確さの高いデータが必要になる。

質の高い TA、DIC 分析を多量にすることが困難だった点が、TA-DIC を用いての群集代謝解析が進まなかった原因の一つと考えられる。そこで本研究では、新しく開発された TA、DIC 測定装置を用いてこれらの分析を精度良く、高速化することに取り組み、可能にした。

この方法を用いて、3つの沿岸生態系における群集代謝を評価することが本研究の目的である。3つの生態系の一つはパラオ堡礁であり、ここでは光合成・石灰化の活発な礁原と分解の卓越するラグーンという異なるサブシステムが見られる。このサブシステム間での群集代謝を通して、炭酸系が形成されていく過程を TA-DIC 図から明らかにする。

二つ目は石垣島・吹通サンゴ礁で、ここではマングローブ林を通して流入する河川水と海水の混合が見られる。さらに海水流動が複雑な開放系であり、海草と造礁サンゴが共存する。このように複雑な系において、水塊混合を考慮した上で、海水滞留時間を用いて群集代謝が TA-DIC 変動に与える影響を見積もる。

最後は中海エスチュアリーで、ここでは河川・宍道湖を通じての淡水流入が顕著で、また潮位差が 20~40cm と小さいため、系内で塩分成層が発達している。この塩分成層が底層での分解を促進し、底層は貧酸素化が進んでいる。一方、表層は河川を通して多量の栄養塩と有機物、光を受け生産が進む。このような表層と底層というサブシステムでの群集代謝を通して、全体の炭酸系が形成されていく過程を明らかにする。以上のフィールドの結果から、複雑な物理環境を示す一般的な沿岸環境下において、群集代謝が炭酸系を形成していく過程を明らかにすることが本研究の目的である。

結果

パラオ堡礁では、浅い (1-3m) サンゴ礁礁原で活発な光合成・石灰化の影響で短時間に TA、DIC が大きく減少する。一方、深い (20m~50m) ラグーンでは、長い (20-30日) 滞留時間に石灰化と呼吸が進行し、TA を減少、DIC を増加させる。こうした2つのサブシステム間の影響が合成された形で、外洋-サンゴ礁間で TA-DIC が変化することが明らかになった。また 1998 年に起こったサンゴ礁白化による堡礁環境の悪化により、礁原・ラグーンを通しての光合成・石灰化による炭酸系形成過程が経年的に減少したことが示された。

吹通サンゴ礁では、マングローブ林を通して流入する高い TA、DIC を持つ河川水と海水の混合を評価し、この効果を差し引くことで、系内での TA-DIC の変動のみを抽出することができた。こうした開放系での TA-DIC の変動は生物群集代謝と滞留時間の両者の影響を受けていることが分かった。サンゴ卓越域、海草卓越域で行った 24 時間連続計測の結果から、TA-DIC は比較的単純な変動を示し、その場所による差が小さいことがわかった。得られた TA-DIC 変動から、ベクトル分解により群集代謝を見積もることができた。その結果、一般的なサンゴ礁・海草から報告されている中間の値をし

めした。このことは吹通サンゴ礁の炭酸系がサンゴ・海草の両者の影響を受け、それらが良く混合していることを示唆する。

水深 6m の中海では塩分成層により水深 3m 程度で表層と底層の水塊が明瞭に分かれている。底層には日本海より沈み込んだ重い海水が呼吸によって貧酸素～無酸素化し、その後の主に堆積物での嫌氣的代謝によって TA、DIC を増加させる。表層には宍道湖を経てきた淡水が流れ込み、これが底層の水塊も取り込み TA、DIC を上げた後、十分な光環境のもとで植物プランクトンによる光合成で DIC を減少させていく過程が明らかになった。この活発な光合成のために、表層の二酸化炭素分圧は非常に低いレベル（大気の 1/3 程度）に抑えられていることが明らかになった。

考察

沿岸域での複雑な群集代謝を明らかにするためには、TA-DIC の高精度・迅速な測定が必要であった。本研究では新たに開発された TA-DIC 測定装置の分析化学的検討を行ない、目的に足る解像度・精度の炭酸系データが得られるようになった。得られた TA-DIC データからは、海水と淡水の混合の影響を評価した上で、生態系内での炭酸系の変動を示すことができた。

数 m 以下の浅く、サンゴや海草が卓越するような場所では、炭酸系の日周変動が見られる。この日周変動は生物群集代謝だけでなく、滞留時間をも反映することが示唆された。このことにより海水の平均滞留時間を見積もることで、群集代謝量を評価することができるようになった。見積もられた結果を比較すると、吹通での光合成・石灰化速度は同じ石垣島の白保サンゴ礁と比較して 6~8 割の値になっていることが分かった。一方、白化後のサンゴ被度が数分の 1 以下に低下したパラオ礁原では、白化前と比較して光合成・石灰化速度が 4 から 5 割に低下したことも示された。サンゴから海草・海藻へのフェイズ・シフトでは石灰化の低下が顕著であり、TA-DIC の TA-DIC 図上での変動の傾きの減少としてあらわれることが分かった（。

5m 以深のラグーン、エスチュアリー環境下では、水深が大きいためと生産速度が小さいために、炭酸系の日周変動は顕著に見られない。炭酸系は比較的長い滞留時間内の代謝を蓄積させていると考えることができる。空間的差異は滞留時間の違いとともに、群集代謝の差を反映していると考えられる。特に中海エスチュアリーの表層と底層のように、光環境や有機物負荷の差が炭酸系の差として顕著に現れることが分かった。

本研究により、沿岸海域における炭酸系（TA-DIC）の計測から群集代謝がその変動に与える影響を定量化することができるようになった。また二酸化炭素分圧の変動を引き起こす生物要因も明らかにできる。今後、より広範な沿岸海域での計測を行うことにより、沿岸生態系が外洋・大気との間の炭素循環に果たす役割を明らかにすることができると思われる。