

「環境低負荷型の社会システム」
平成8年度採択研究代表者

茅根 創

(東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 助教授)

「サンゴ礁によるCO₂固定バイオリアクター構築技術の開発」

1. 研究実施の概要

サンゴ礁は、光合成・石灰化を通じてすべての生態系の中でもっとも活発に炭素循環に関わっている。本研究の目的は、サンゴ礁におけるCO₂収支を規定する要因を明らかにするとともに、サンゴ礁におけるCO₂循環メカニズムに基づいて生態系を活用したCO₂制御技術を提案することである。これまでに、サンゴ礁海域における炭素循環評価のための計測システムとして、海水中のCO₂分圧連続計測システムと全炭酸・アルカリ度の連続計測システムの開発に成功した。これを用いて、裾礁型サンゴ礁である石垣島と堡礁型サンゴ礁であるパラオ諸島において、CO₂、炭酸系、物理量変化の1年間の通年観測に成功した。観測期間中に発生した白化によって、サンゴ礁の群集の劣化に伴ってCO₂がどのように吸収・放出されるかを明らかにすることができた。その結果、健全なサンゴ群集が過剰な有機物生産をもち、CO₂吸収に働くこと、サンゴ群集の劣化によってCO₂放出にシフトすることが明らかになった。この結果は、サンゴ礁の保全・修復・創成がCO₂の吸収につながることを実証する重要な成果である。さらに、サンゴ礁をCO₂固定の観点から3つのサブシステムに分け、それらの効率を高めることによって、CO₂固定の最適化を進める方策をまとめた。とくに生成した有機物の行方について、サンゴ礁で生産される有機物の特性に基づいて、有機物の隔離と難分解性化の方策を検討した。最終年度には、これらの成果をまとめ、サンゴ礁の評価・診断手法を開発するとともに、サンゴ礁生態系-炭素循環モデルを構築し、CO₂制御技術を提案する。

2. 研究実施内容

(1) 海洋のCO₂収支に関わる計測システムの開発

海洋における炭酸系の測定可能な4つのパラメーターのすべてについて、測定システムを開発し、その評価を行なった。炭酸系(全炭酸・アルカリ度)については、精密測定システムを導入し、国際的な標準システムとの比較を行なった。さらに、炭酸系はこれまでバッチで試料を実験室に持ち帰って1つ1つ測定されていたが、フロー中で連続的に測定するシステムの開発に成功し、その安定性、精度の評価を行った。CO₂については、船上搭載型と水中設置型CO₂測定システムを

開発し、小電力の気体透過膜平衡器の評価を行った。これら測定システムを組み合わせ、CO₂変動を解析するために必要な物理量とあわせ、石垣島とパラオ諸島において1年間の通年観測に成功した。

(2) CO₂収支におけるサンゴ礁の役割の評価

裾礁型と堡礁型のサンゴ礁において、地形と生物分布、海水流動の特性を明らかにした。通年測定結果に基づいて、サンゴ礁の生物群集代謝とCO₂変動との関係、これらを規定する要因について明らかにし、光と水温、海水流動が、海水の物理的特性と生物群集代謝とを通じてCO₂変動を規定していることを明らかにした。

研究期間中に地球規模のサンゴ礁白化がおり、その前後・白化後のサンゴ礁生態系の変化の過程を明らかにすることができた。さらにこうした白化によるサンゴ群集の劣化に伴って、どのように生物群集代謝が変化するか、その結果、CO₂収支がどのように変化するかを観測することができた。その結果、健全なサンゴ群集が卓越するサンゴ礁生態系は光合成による群集純生産が卓越し、CO₂吸収のポテンシャルを持つこと、白化すると光合成生産が落ち込み、白化によってサンゴ群集から藻場群集へのシフトによって光合成・石灰化生産とも落ち込むことが示された(図表参照)。従来、サンゴ群集よりも藻場群集の方がCO₂固定ポテンシャルが大きいのではないかと推測があったが、サンゴ群集の光合成生産に対する寄与を始めて評価することができた。

礁原の海水の炭酸系計測によって見積もられた光合成生産と、サンゴ礁とその外洋側から採取した懸濁態・溶存態有機物の流量とを比較し、サンゴ礁で生産される有機物は多くが溶存態であること、生産と収支とのオーダーが一致していることを突き止めた。さらに、有機物の組成と分解実験とから、有機物の分解プロセスを解明し、多くのフラックスが難分解性かしていることを明らかにした。これも従来の有機物はすぐ分解するだろうという推測と反する結果である。さらに有機物生産と栄養塩収支とを比較した。

(3) サンゴ礁によるCO₂固定バイオリアクター構築技術の提案

サンゴ礁バイオリアクターのサブシステムとして、有機物生産サブシステム、石灰化サブシステム、有機物隔離サブシステムの3つをわけ、それぞれ制御条件と制御効果判定条件を抽出した。有機物生産・石灰化サブシステムは、サンゴ礁生物群集の生物群集代謝で、これは群集構造と物理環境によって駆動される。また石灰化サブシステムは、有機物生産サブシステムの間を提供する。2で得られた成果は、サンゴ礁バイオリアクターの特性を解析したことになる。

CO₂隔離のためには、有機物生産サブシステムを駆動し、生産された有機物を隔離保存することが必要である。有機物生産サブシステムの駆動は、光合成の最適条件と健全な群集の維持・回復・創成、有機物生産の場の創成が必要である。有

機物隔離サブシステムの駆動には、難分解性有機物の生産促進、炭酸塩粒子への吸着保存、サンゴ礁地形を利用した海洋深層への沈降が適当である。とくに有機物の難分解性化>吸着保存>海洋深層への移行は、本研究の(2)において得られた知見をもとに、具体的な提案が可能である。

図 白保サンゴ礁(左)とパラオサンゴ礁原(右)の調査期間ごとの光-光合成・石灰化曲線 (■光合成 ▲石灰化)

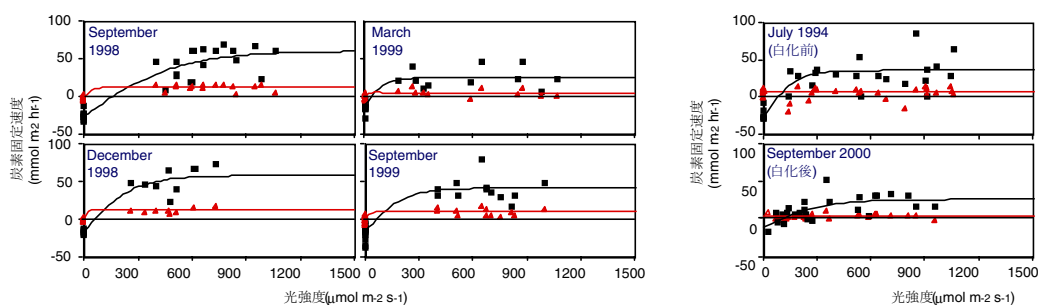


表 白保サンゴ礁の日生産量と二酸化炭素分圧

期間	水温 (°C)	塩分 (PSU)	光強度 in water (mmol m ⁻² d ⁻¹)	サンゴ被度		生産量				PCO ₂				
				Total	白化率 (%)	Pg	R	Pn	G	Pg/R	Pn/G	Offshore (μatm)	Reef# (μatm)	Reef-offshore (μatm)
21-23, September 1998	29.0	34.7	20-23	5.9	51	632	-596	36	127	1.1	0.3	353	405	+52
3-5, December 1998	25.5	34.4	9-13	4.7	0	464	-368	96	121	1.3	0.8	342	354	+12
18-19, March 1999	25.2	34.6	18-21	4.6	0	395	-298	97	70	1.3	1.4	341	344	+3
25-27, September 1999	28.1	34.2	16-17	5.3	0	525	-394	131	112	1.3	1.2	354	366	+12

外洋水の水温・塩分に正規化

表 パラオサンゴ礁の日生産量と二酸化炭素分圧

期間	水温 (°C)	塩分 (PSU)	光強度 in water (mmol m ⁻² d ⁻¹)	サンゴ被度		生産量				PCO ₂				
				Total	白化率 (%)	Pg	R	Pn	G	Pg/R	Pn/G	Offshore (μatm)	Reef# (μatm)	Reef-offshore (μatm)
16-21, July 1994	28.8	33.6	11-28	<30		760	-593	167	130	1.3	1.3	351	348	-3
13-18, September 2000	29.5	33.7	9-21	<15		263	-238	25	74	0.3	0.3	358	357	-1

外洋水の水温・塩分に正規化

3. 主な研究成果の発表 (論文発表)

- 堀 和明・茅根 創：琉球列島中・南部の島棚地形の特徴とその形成過程について。地理学評論, 73, 161-181(2000).
- Kayanne, H. : Impacts on natural resources and ecosystems : coral reefs. In Mimura, N and Harasawa, H. eds. "Data Book of Sea-level Rise 2000", Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, 38-41.

- Morimoto, M., Kayanne, H., Yonekura, N., Abe, O., Chiu, C.-H. and Matsumoto, E. : Sea surface temperature around 6000 years ago : Reconstructed by coral annual bands from Kikai Island in the subtropical Northwestern Pacific. Proceedings International Conference on Climate Change and Variability,(2000) 29-33.
- Yamamoto, M.(2000) Source characterization of carbonate- and noncarbonate-associated lipids in a coral reef sediment. Res. Org. Geochem., 15, 13-17.
- Yamamuro, M. : Coral reefs as sustainable organic producers. Proceedings of Pacific Congress on Marine Science & Technology 99, 2000年7月, 356-360.
- Yamamoto, M., Shiraiwa, Y. and Inouye, I.(2000) Physiological responses of lipids in *Emiliana huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica*(Haptophyceae) to growth status and their implications for alkenone paleothermometry. Org. Geochem., 31, 799-811.
- Yamano, H., Miyajima, T., and Koike, I.(2000) Importance of foraminifera for the formation and maintenance of a coral sand cay : Green Island, Australia. Coral Reefs, 19, 51-58.
- Yamano, H., Kayanne, H., Yonekura, N., and Kudo, K.(2000) 21-year changes of backreef coral distribution: causes and significance. Journal of Coastal Research, 16, 99-110.
- Yamano, H., Kayanne, H., and Yonekura, N.(2001) Anatomy of a modern coral reef flat : a recorder of storms and uplift in the late Holocene. Journal of Sedimentary Research, 71, 295-304.
- Yamano, H., Hori, K., Yamauchi, M., Yamagawa, O., and Ohmura, A.(2001) Highest-latitude coral reef at Iki Island, Japan. Coral Reefs, DOI10.1007/s003380100137.