

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17671

研究課題名(和文) 生物起源炭酸塩の鉱物相選択と海水化学組成・共生藻の関係性

研究課題名(英文) The influence on polymorph selection of carbonate in biomineralization by chemical components in seawater and symbiotic relationship

研究代表者

櫻 聡子 (MOTAI, Satoko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・特別研究員(PD)

研究者番号：70795228

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：造礁サンゴの骨格はアラゴナイト(カルシウム炭酸塩)で作られている。本研究では造礁サンゴと共生している褐虫藻が骨格形成に与える影響を検討した。アラゴナイトの多形であるカルサイトが形成されやすい海洋化学組成でサンゴを飼育した結果、褐虫藻がないと海水環境の変動が直接反映されるようにカルサイトが形成されやすくなった。またアラゴナイトが形成されやすい海水でも、少量のカルサイトを形成する場合があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

造礁サンゴは三畳紀には出現し、現在までの生存している動物である。造礁サンゴは褐虫藻と共生関係にあり、その関係がサンゴの成長を支えていると考えられている。褐虫藻について着目した本研究では、褐虫藻がサンゴの骨格形成に関係していることを明らかにした。今後、サンゴ骨格の化石の研究と合わせることで、共生の進化過程の解明に貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Reef-building corals form skeletons of aragonite (CaCO<sub>3</sub>). This study examined the influence on calcification by symbiotic relationship between corals and zooxanthellae. When corals grown without symbiotic relationship in the calcite sea, which had the chemical compositions let corals precipitate calcite, corals formed calcite. Furthermore, corals formed trace amount of calcite in the aragonite sea, when they had no symbiotic relationship.

研究分野：鉱物学

キーワード：生体鉱物 造礁サンゴ 共生藻 多形

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

造礁性サンゴやシャコガイは共生関係にある褐虫藻の生み出すエネルギーを使い、その骨格や貝殻を他生物に比べ短期間で大量に形成する。骨格や殻はカルシウム炭酸塩で形成されており、炭酸塩中の微量元素濃度比や同位体比の変動は形成当時の環境を反映していることから、古環境復元のツールとして広く用いられている。カルシウム炭酸塩にはカルサイト(方解石)とアラゴナイト(霰石)の二つの多形が存在する。炭酸塩中の微量元素量はどちらの鉱物相に取り込まれているかでその分配係数が異なるが、現生のサンゴ骨格及びシャコガイ殻はアラゴナイトのみで形成されているため、古環境復元方法は炭酸塩がアラゴナイトであることを前提に確立されてきた。サンゴやシャコガイの化石中にカルサイトが見つかった場合、骨格組織が当時のままに保存されていたとしても、熱力学的に準安定相であるアラゴナイトが常温常圧で安定なカルサイトに相転移したと解釈され、古環境復元を行うには適切ではないとされている。

### 2. 研究の目的

造礁サンゴ骨格やシャコガイの殻は、現生ではアラゴナイト骨格( $\text{CaCO}_3$ )であり、どちらも褐虫藻と共生関係を持つユニークな動物である。近年サンゴを用いた実験から、サンゴに共生している褐虫藻の働きや海水組成次第で、同じくカルシウム炭酸塩であるカルサイト骨格を持ちうることが指摘されている。現生および化石サンゴ骨格やシャコガイの殻は古環境復元ツールとして広く用いられているが、骨格や殻が形成時にアラゴナイトかカルサイトであったかが復元値に大きく影響する。そこで本研究では、サンゴ・シャコガイが生存していた過去4億年間に骨格や殻の鉱物相がどのように変化していたのかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

褐虫藻の有無による場合分けをするためサンゴ・シャコガイ採卵をし、稚サンゴ・稚貝を飼育することで炭酸塩骨格・殻を得る。海水は、海水主要組成からMgを0にした人工海水を用意する。人工海水と自然海水を適宜混ぜて過去4億年間に変動したと推測されるMg/Caが0.5-5.2の海水を作成し、化学組成(Ca、Mg)をICP-MSで測定する。稚サンゴの採取・飼育：飼育実験は沖縄で行う。屋外水槽に移されたサンゴ(親個体)から採卵しプラヌラ化させ、褐虫藻の有無で場合分けを行うため、フィルターで濾過した褐虫藻の除外されている自然海水と褐虫藻有りの海水でそれぞれ飼育を行う。飼育は、共生藻の有り無しそれぞれで温度を恒温槽で一定に保った中で行う。

シャコガイ稚貝の採取・飼育：シャコガイは漁業目的による稚貝の飼育が沖縄で行われている。分析：得られた炭酸塩骨格の重量測定、実体顕微鏡やSEMでの骨格構造観察、飼育条件の違いごとに1個体以上のX線回折実験を行う。鉱物相量比の変化、硬組織内で鉱物相の分布を明らかにする。

### 4. 研究成果

造礁サンゴを褐虫藻の有無といくつかの海水のMg/Caモル比を再現した環境でサンゴを飼育し、その骨格を得ることができた。飼育したサンゴの骨格の鉱物相および骨格構造や骨格組織を走査電子顕微鏡、CTスキャンで観察を行った。

稚サンゴを用い、サンゴの共生している共生藻を排除し、Mg/Ca比を調整した海水でサンゴ飼育同様の実験を行ったところ、Mg/Ca比が2.0以上ですでにカルサイトが析出しはじめようえ、同様のMg/Ca比でも共生藻のいるサンゴよりカルシウム量が大きい(Table 1、学会発表[4])。したがって、共生藻の有無もアラゴナイト・カルサイトの選択因子のひとつとして扱う必要が出てきた。サンゴやシャコガイがいつ褐虫藻と共生生活をはじめたのかはわかっていない。そのため、過去のカルサイト・アラゴナイト量比を推測するためには、共生藻の有無を場合分けして検討することが望ましい。同時に、骨格や殻から共生藻の有無を判断できるようになれば、カルサイトを含む化石からの環境復元がより現実的なものになることと期待できる。

これらの実験結果から、次のことが分かった。現在の造礁サンゴ骨格(褐虫藻有)は炭酸塩カルシウムの1つであるアラゴナイトで構成されている。しかし、褐虫藻のいないサンゴを室温(約25℃)で飼育すると、海水のMg/Caモル比が現在の海水と同様に高いとき(~5)にも少量のカルサイト(炭酸塩カルシウム)が、さらにMg/Caモル比~3以下になるとカルサイト重量比が増加し、1以下ではカルサイトのみで骨格が形成されることが分かった(Table 1)。褐虫藻がサンゴと共生しているときに、海水のMg/Caモル比が1以下であるときもアラゴナイトを形成する。よって、褐虫藻は、カルサイトが形成されやすい海水環境であっても、サンゴの骨格形成場をアラゴナイトの形成されやすい状況する機能を担っていると推測される。

さらにMg/Caモル比が約5の場合のみで、褐虫藻ありと褐虫藻なしで飼育温度条件を変えて飼育した。それぞれの条件で複数の稚サンゴ骨格の鉱物相を一個体ずつ測定した。その結果、サンゴ骨格はアラゴナイト主体で形成されているが、いくつかのサンゴ骨格にはカルサイトで最強の回折ピークがみられる2θがおおよそ29°のところに、強度は小さいながらピークが確認された(Fig. 1)。これはわずかにカルサイトがサンゴ骨格中に含まれていることを示している。Table 2は飼育温度と褐虫藻の有無ごとに、骨格中のカルサイト由来のピークがあるものの個数を表している。褐虫藻がいない場合はサンゴ骨格中にカルサイトが含まれる個体が、褐虫藻のい

る場合に比べて多い傾向が 2 種のサンゴどちらにもみられた。飼育温度や種の違いによるカルサイトの析出に関連性は見られなかった。

今回の結果から、褐虫藻がない場合のほうがいる場合よりもカルサイトをつくりやすい傾向にあるといえる。これまで褐虫藻が骨格形成にどのような影響を与えるのかは、不明瞭であったが、本研究によりはじめて鉱物相の選択に影響する可能性が示唆された。ただし、褐虫藻がいる場合でもカルサイトを含む骨格があることから、「稚ポリプの骨格形成時」という状況自体にもカルサイトを形成する要因がある可能性もある。さらに褐虫藻及び、稚ポリプの骨格形成を考えるには、サンゴ骨格に検出限界以下のカルサイトが含まれていることも考慮する必要がある。

シャコガイについては本研究実施期間中に、飼育方法を確立することができなかった。シャコガイはサンゴと同様に褐虫藻を有し、アラゴナイトの貝殻を形成する。褐虫藻との共生進化過程を議論していくうえで、重要な生物の一つであり、サンゴと比較して共生関係の進化がどのような相違点があるかを検討することで、生物種の違いという軸を持つことができると期待できる。そのため、今後シャコガイの飼育法の確立を目指していきたい。

Table 1 海水の化学組成、Mg/Ca モル比、褐虫藻のいないサンゴの鉱物学的特徴

Ca (mmol/l)	Mg (mmol/l)	mMg/Ca	<i>Acropora tenuis</i>		<i>Acropora digitifera</i>			
			$d_{104}$ (Å)	Rietveld analysis		$d_{104}$ (Å)	Rietveld analysis	
				Cal	Rwp		Cal	Rwp
				wt ratio			wt ratio	
21.33(26)	13.41(16)	0.63(1)	3.031	1*		3.042	1*	
19.81(33)	17.33(30)	0.87(2)	3.035	1*		3.024	0.5	11.95
9.42(4)	13.96(13)	1.52(2)	3.022	0.04	2.59	3.017	0.6	4.61
10.82(16)	21.95(11)	2.03(3)	3.006	0.2	5.25	2.997	0.03	3.23
14.87(38)	35.27(99)	2.37(9)	3.004	0.2	3.45	2.999	0.08	5.08
10.20(30)	27.64(108)	2.71(13)	N.A.	0*		2.999	0.07	3.40
13.08(31)	41.51(115)	3.17(12)	N.A.	0*		3.010	0.01	4.39
9.82(16)	34.44(95)	3.51(11)	N.A.	0	2.44	2.995	0.07	3.91
10.37(5)	51.68(107)	4.98(11)	N.A.	0	2.68	2.993	0.02	2.92

Note: mMg/Ca = Mg/Ca molar ratio in experimental seawater; Arg = aragonite; Cal = calcite;  $d_{104}$  =  $d$ -value of calcite (104); N.A. = not applicable; \* under detection limit in Rietveld or visual analysis.

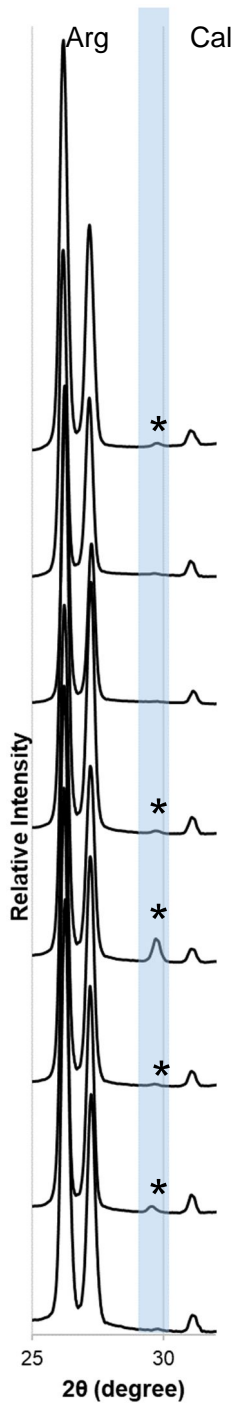


Figure 1 造礁サンゴ骨格の XRD パターン

*Acropora digitifera* を 25 で褐虫藻のいない状態で飼育した骨格 8 個体の測定結果。アラゴナイト (Arg) 以外に、アスタリスクで示したようにカルサイト (Cal) のピークがみられる個体がある。

Table 2 飼育条件毎のカルサイトを含む骨格個数

Temperature ( )	<i>Acropora digitifera</i>				<i>Acropora tenuis</i>			
	zoox	N	apo	N	zoox	N	apo	N
23	-		0	5	-		0	3
25	-		5	8	-		2	5
27	1	10	0	4	0	5	3	10
29	0	4	0	5	0	9	4	15
sum	1	14	5	22	0	14	9	33
Percentage of skeleton including calcite	7%		23%		0%		27%	

zoox: with zooxanthellae、 apo: without zooxanthellae

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Satoko Motai, Jun Kawano, Saki Harii, Tsuyoshi Watanabe, Takaya Nagai
2. 発表標題 The mineralogical features of aposymbiotic coral skeletons cultured in seawater varied Mg/Ca molar ratios
3. 学会等名 14th International Symposium on Biomineralization (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 髙橋聡子、富岡尚敬、川野潤、波利井佐紀、永井隆哉、渡邊剛、兒玉優、伊藤元雄
2. 発表標題 microstructures of aposymbiotic scleractinian coral cultured in seawater with various Mg/Ca ratios
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考