

石垣島白保サンゴ礁における ナガウニによる生物侵食と堆積物生産

鈴木倫太郎*・菅 浩伸**・岩崎 健***

要 旨

サンゴ礁において、重要な侵食営力であるウニ類による侵食は、同時に侵食した碎屑物を排出することによって、堆積物を生産する役割も果たしている。本研究では、ウニが取り込む摂取物の内容・量を調べ、サンゴ礁内の堆積物収支を考えるための基礎とする。ここでは、石垣島白保海岸で最も優位に分布の見られるナガウニ (*Echinometra mathaei*) を対象に、摂取される堆積物の起源と粒度組成の分析を行った。*E. mathaei* は殻長が大きい個体ほど多量の炭酸カルシウムを摂取し、90%以上が径1 mm以下の細粒堆積物を生産している。これらの細粒堆積物は白保サンゴ礁内の底質に多くは認められず、潮流や波浪によって移動していることが示唆される。摂取物の起源は、サンゴ礁石灰岩以外に、有孔虫や貝殻片が判別され、サンゴ礁内の堆積物を摂取していることが明らかになった。実質的な *E. mathaei* の侵食量は、摂取物の総量から見積もられていた侵食量より、少ない可能性が示唆できる。

I. はじめに

サンゴ礁地域では、波による物理的侵食、カルスト作用による化学的侵食に加え、生物による生物侵食が主な侵食営力となっている。このなかでも生物侵食は侵食営力全体の約7割を占めることが推定され (Scoffin *et al.* 1980), サンゴ礁地域において重要な侵食営力と考えられている。生物侵食とは浅海域に生息する生物が、餌となる岩石表面の藻類などを摂取する行動や、自らの棲家を造るために岩石を削る侵食活動である。この生物侵食はサンゴ礁以外の岩石海岸などでも見られるが、サンゴ礁の石灰岩は多孔質で他の岩石に比べて軟らかく、生物にとって容易に加工できるため、生物侵食の活発な場所となっている。サンゴ礁地域では様々な生物が侵食活動を行うことが報告され、バクテリアから魚類まで多様なスケールの生物が、物理的な削剥や、化学的溶解によって侵食を行っている (Glynn, 1997)。

これらの生物のなかで、特にウニ類は重要な侵食生物として捉えられている。Russo (1980) は、エニウェトク (Enewetok) 環礁において *Echinometra mathaei*, *Echinostrephus acic-*

*駒澤大学大学院博士後期課程

**岡山大学教育学部助教授

***岡山大学教育学部学生

ulatus の摂取物から侵食量を求めた。その結果、環礁内の尖礁 (knoll) で $81.0\text{gm}^{-2}\text{Y}^{-1}$ 、礁舗 (inner reef flat) では $325.0\text{gm}^{-2}\text{Y}^{-1}$ 、環礁外の礁原上 (reef flat) で $108.0\text{gm}^{-2}\text{Y}^{-1}$ の侵食量があることを推定した。この値はエニウェトク環礁における総侵食量の 2～8% に相当し、他の侵食生物とあわせ、生物侵食は重要な侵食営力となるとした。さらにウニ類が生物侵食に占める割合は、バルバドス (Barbados) で 79.4% (Scoffin, 1980)、キュラソーで 87.8% (Bak, 1990) と推定されている。このようにウニ類は、侵食生物のなかで非常に高い割合を占めている。

これらのウニ類をはじめとする侵食生物は、石灰岩を侵食するだけではなく、侵食した碎屑物を海中に排出するため、堆積物の生産者としての役割も果たしている。海綿類は石灰岩の表面を覆い、触手を使って石灰岩を溶かしながら径 5～15mm の穴を掘り込こむと同時に、砂～シルトサイズの堆積物を生産することが知られている (Clyde *et al.*, 1973)。また、Hunter (1973) はバルバドスにおいてガンガゼ (*Diadema antillarum*) の体内の摂取物を分析した。その結果、摂取物は径 0.05～3 mm の基盤上を侵食したペレット、石灰藻、底質の砂などを起源とし、1年間で1個体当たり 755.0g、1 ha 当たり 9.7t の堆積物を生産することを推定した。

このように、ウニ類はサンゴ礁域において重要な侵食生物、また堆積物の生産者としての役割を果たしている。本研究では沖縄県石垣島白保海岸において、この地域で最も優位に分布の見られるナガウニ (*Echinometra mathaei* 写真1) を対象に、ウニ類が生産する堆積物の組

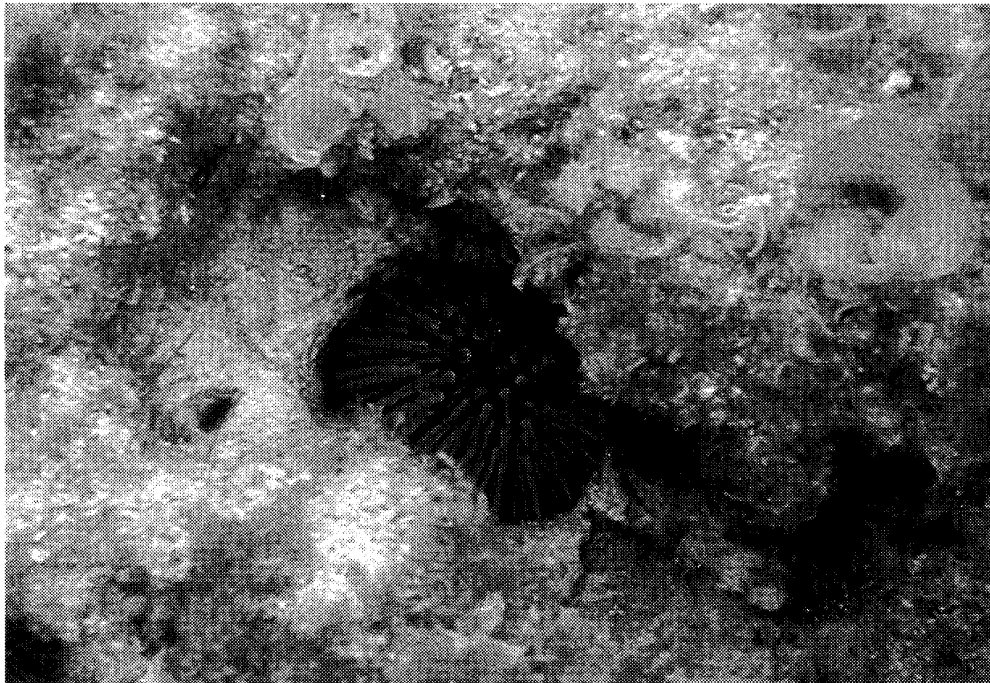


写真1 礁嶺上の溝に生息する *E. mathaei* type B
(2000年9月 石垣島白保 筆者撮影)

成を *E. mathaei* の摂取物を基に検討する。また、*E. mathaei* が生産する堆積物がサンゴ礁内において果たす役割を、サンゴ礁内の堆積物の分布から考察する。

対象とする *Echinometra mathaei* は、太平洋南部から日本の太平洋沿岸まで分布し、沖縄のサンゴ礁浅海域では、一般的に見ることができる。この *E. mathaei* をはじめとするウニ類は、サンゴ礁域における侵食生物のなかで最も侵食量の多い生物とされている。また、*E. mathaei* は、調査地域において最も優位に分布するウニであり、調査測線に沿う分布は、微地形に伴う帯状構造によって種の差が見られる（鈴木・菅，1999）。礁嶺によって外洋と隔離され、穏やかな環境である浅礁湖・前方礁原内側帯では *E. mathaei* type A（ツマジロナガウニ）、礁嶺では *E. mathaei* type B（ナガウニ）、type C（リュウキュウナガウニ）の分布が優位に見られる。*E. mathaei* の分類は、Nishihira *et al.* (1991) に従った。

II. 調査地域の地形

調査地域である石垣島は、八重山諸島の東部に位置する面積 222.85km² の島である（図1）。島の周囲には裾礁タイプの現成サンゴ礁が発達するが、東海岸と西海岸でその形態が大きく異なる。東海岸では、明瞭な浅礁湖を有するサンゴ礁が発達し、汀線から 1 km 前後の幅で連続性の良い前方礁原が発達している。それに対し西海岸では、東海岸のように連続した前方礁原が未発達であり、礁の輪郭は湾入に富む形状をなしている。本研究では、サンゴ礁地形の帯状構造が明瞭であることから、石垣島南東部の白保海岸に調査測線を設定した。調査地域は、汀

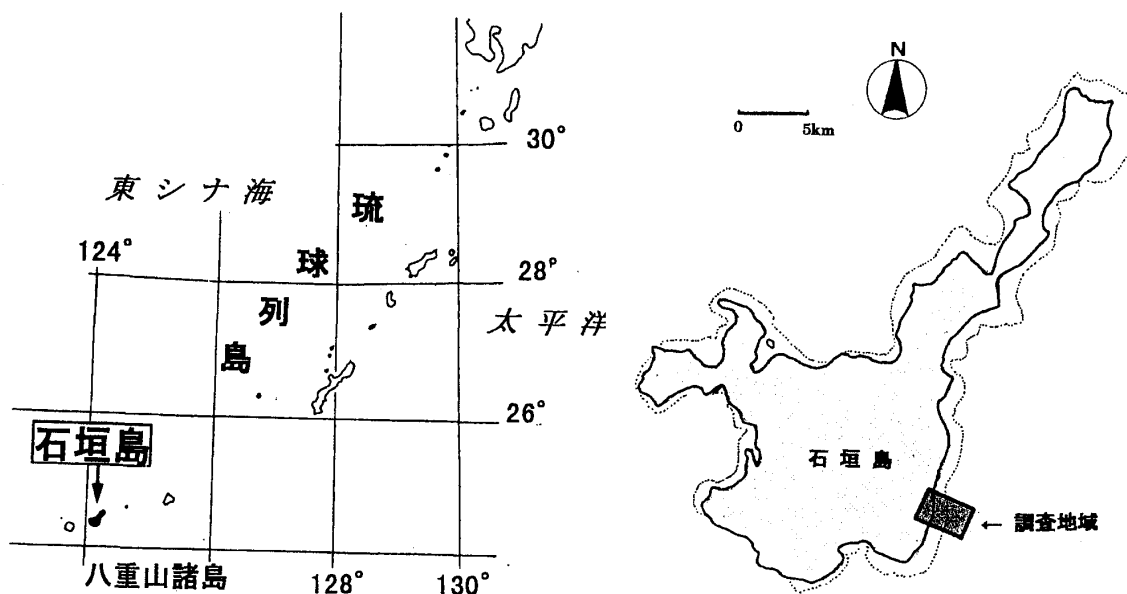


図1 調査地域位置図

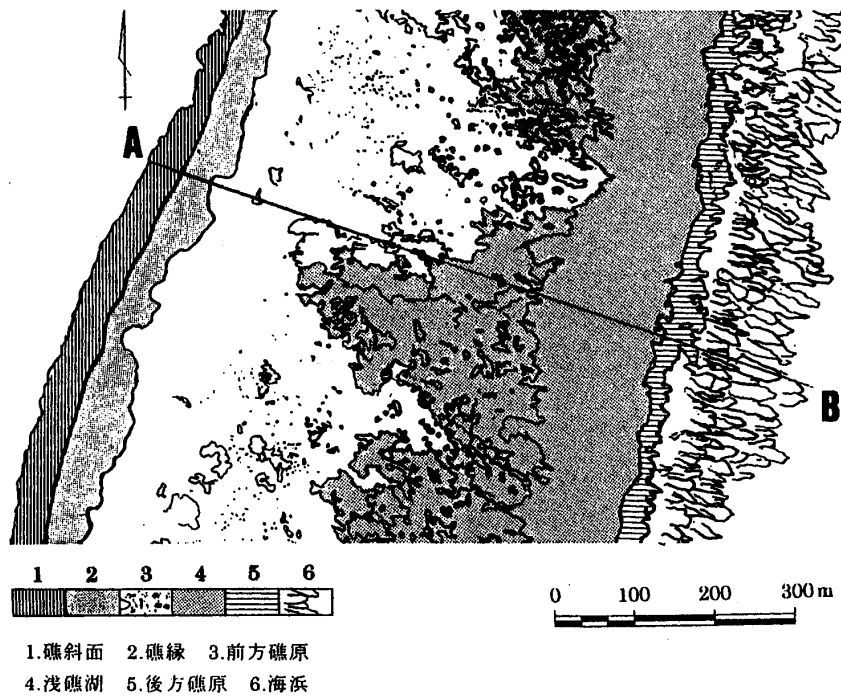


図2 地形分類・調査測線位置図

線から礁縁部までは約800mと幅広く、明瞭な礁嶺が発達する。浅礁湖内ではパッチ状に造礁サンゴ類が生育し、汀線近くでは「藻場」と呼ばれる海草類の群落も見られる。

本研究では、サンゴ礁地形の帯状構造が明瞭である第2ポール付近にて、汀線から外洋方向に直交する測線を設定した(図2, A-B)。調査測線に沿って断面測量を行い、空中写真判読の結果と合わせ微地形の分類を行った(図2・3)。

Ⅲ. サンゴ礁堆積物

調査測線に沿って、以下の地点で堆積物を採取した。堆積物は測線に沿い、海浜(汀線より陸側に10・30・40m地点)、汀線(中等潮位線0m)、後方礁原(40・60m)、浅礁湖内(80m地点 100~400m間では50m間隔)、前方礁原内側帯(450~650m間では50m間隔)、礁嶺(680m地点)で採取した。砂礫の堆積が見られない前方礁原外側帯・礁縁部は除外した。採取した砂は乾燥させた後、篩を用いて径250 μ m~4mmまで6階級の粒度に分類した。

図4は測線上における粒度組成で地形分帯ごとに異なる。海浜では径1mm以下の堆積物が80%以上を占め、比較的細粒の堆積物が多く見られる。特に汀線付近では、径1mm以下の細粒堆積物が97%以上を占めている。それに対し、海浜と接する後方礁原では、径1mm以上の堆積物が増加する。

図3

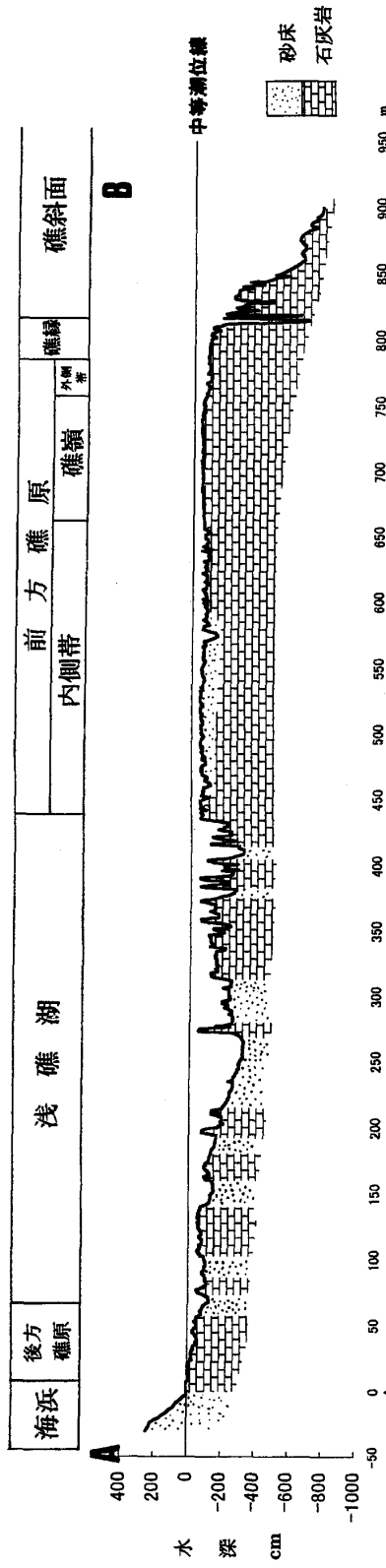


図4

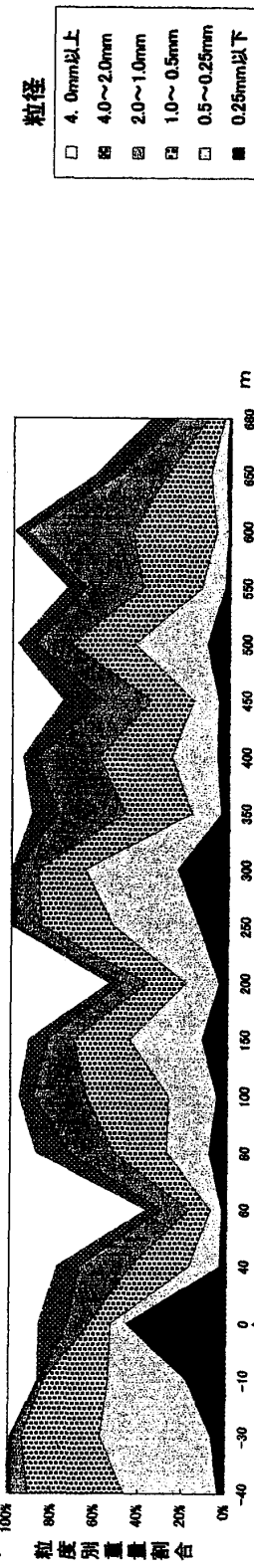


図5

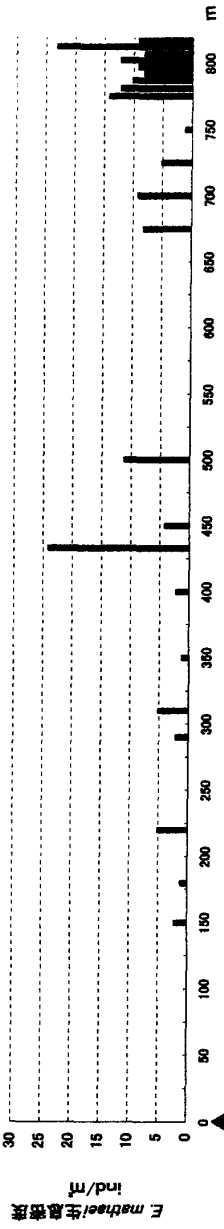


図3 調査測線地形断面図

図4 サング礁堆積物の粒度組成

図5 測線上における *E. mathaei* の分布 (鈴木・菅, 1999より作成)

▲ = 中等潮位線を基準とした汀線 (0 m)

後方礁原は水深が浅く、干潮時には石灰岩が露出する場所である。ここでは満潮時には礁嶺を越えた外洋の波が当たる場所であるため、細粒の堆積物が堆積しにくい環境である。浅礁湖では礁原上と異なり、径1 mm以下の細粒堆積物が多くを占めるが、場所によって差が見られる。特に200m地点では径2 mm以上の粗粒堆積物の割合が増加するが、ここでは水深が120 cmと浅く、造礁サンゴ類や礁岩が分布している。450m地点より礁嶺に向かう前方礁原内側帯でも、礁嶺に近づくとともに細粒の堆積物が減少する。ここでは水深が浅く、満潮時には礁嶺を越えた波の影響を受ける場所であるため、粗粒堆積物の割合が増加すると考えられる。また、礁嶺に近い650・680m地点では、波浪による影響に加え、*Baculogypsina* sp. などの大型底棲有孔虫の生産場となっている（阿部，1999）ことがその要因であろう。

IV. *E.mathaei* の体内摂取物

1. サンプルングと分析方法

本研究では、*E. mathaei* が生産する堆積物の組成を明らかにするため、*E. mathaei* の体内に摂取された堆積物の分析を行った。試料として用いた *E. mathaei* は、調査測線に沿った場所で2000年9月に採取した。対象とした *E. mathaei* は、浅礁湖内で type A (24個体)、礁嶺・前方礁原外側帯において type B・C (16個体)、合計40個体であり、平均殻長33.08mmであった。

採取した *E. mathaei* は、体内の摂取物を取り込んだ状態のまま抽出し、有機物を除去した炭酸カルシウムの堆積物のみを抽出することを目的として、試料を以下のように処理した。

E. mathaei の摂取物は、侵食量の推定に用いられることが多い。Peyrot *et al.* (2000) は Moorea 島において *E. mathaei* 体内の摂取物から侵食量の推量を試みている。ここでは解剖して取り出した摂取物を、電気炉を用い450°Cで5時間燃焼させて有機物を除去している。また、Conand *et al.* (1997) は Reunion 島において *E. mathaei* の侵食量を推量し、*E. mathaei* の摂取物を550°Cで5時間燃焼させ、有機物を除去している。

本研究においても、採取した *E. mathaei* から摂取物を含む消化器官を取り出し、電気炉を使用して450°Cで5時間燃焼させて有機物の除去を試みた。しかし、有機物はほぼ除去されたが、実体顕微鏡で確認した結果、炭酸カルシウムは破壊や変形しているため、原形の確認が不可能であった。この方法は、*E. mathaei* 体内の炭酸カルシウム量を計量するためには有効であるが、摂取物の粒径や組成を明らかにすることは不可能である。そこで本研究では、雪野ほか (1999) によるハマサンゴ骨格中の微量元素から水温を復元する研究で用いられたクリーニング処理を参考にし、摂取物の原形を保ったまま、有機物を除去する方法を試みた。

初めに *E. mathaei* から抽出した消化器官に対し、30%過酸化水素水と0.1M水酸化ナトリウム水溶液の1:1混合液を加え、約60度で5分間湯煎したのち、遠心分離器に1分間かけ、

有機物と炭酸カルシウムを分離した。その後10分間静置し、上澄み液をピペットで取り除いた。上澄み液を取り除いた摂取物に純水を加え、10分間の超音波洗浄を行い、再び10分間静置し、上澄み液をピペットで取り除いたのちに40度以下で乾燥させた。しかし、堆積物は原形を保ったまま有機物は除去されたが、炭酸カルシウムが重量で5～7%ほど溶解し損失する結果となった。そこで、炭酸カルシウム粉末とサンゴ礁堆積物を用い、水酸化ナトリウム水溶液と過酸化水素水の濃度を変えながら、同様の過程で作業を行い、重量を損なわない濃度を求めた。

ここでは、0.025M水酸化ナトリウム水溶液と、15%過酸化水素水の1：1混合液を用いて同様の方法を試みたところ、損失重量が1%未満であった。そのため、この濃度において試料の有機物除を除去することにした(図6)。有機物を除去した堆積物は、恒温乾燥機内にて40℃で乾燥させ、土壌用粒度分析篩で分類し、それぞれの粒度に分けたものを電子天秤で計量した。また、計量した後に実体顕微鏡を用い、堆積物の内容を可能な限り分類した。

2. 結果

(1) *E.mathaei* の体内摂取物の粒径

E. mathaei 体内の摂取物を計量した結果、個体の殻長が増すほど、摂取物内から抽出された炭酸カルシウム量は増加する(図7-a)。また、同じ殻長であっても、種別で見ると浅礁湖に優位に分布

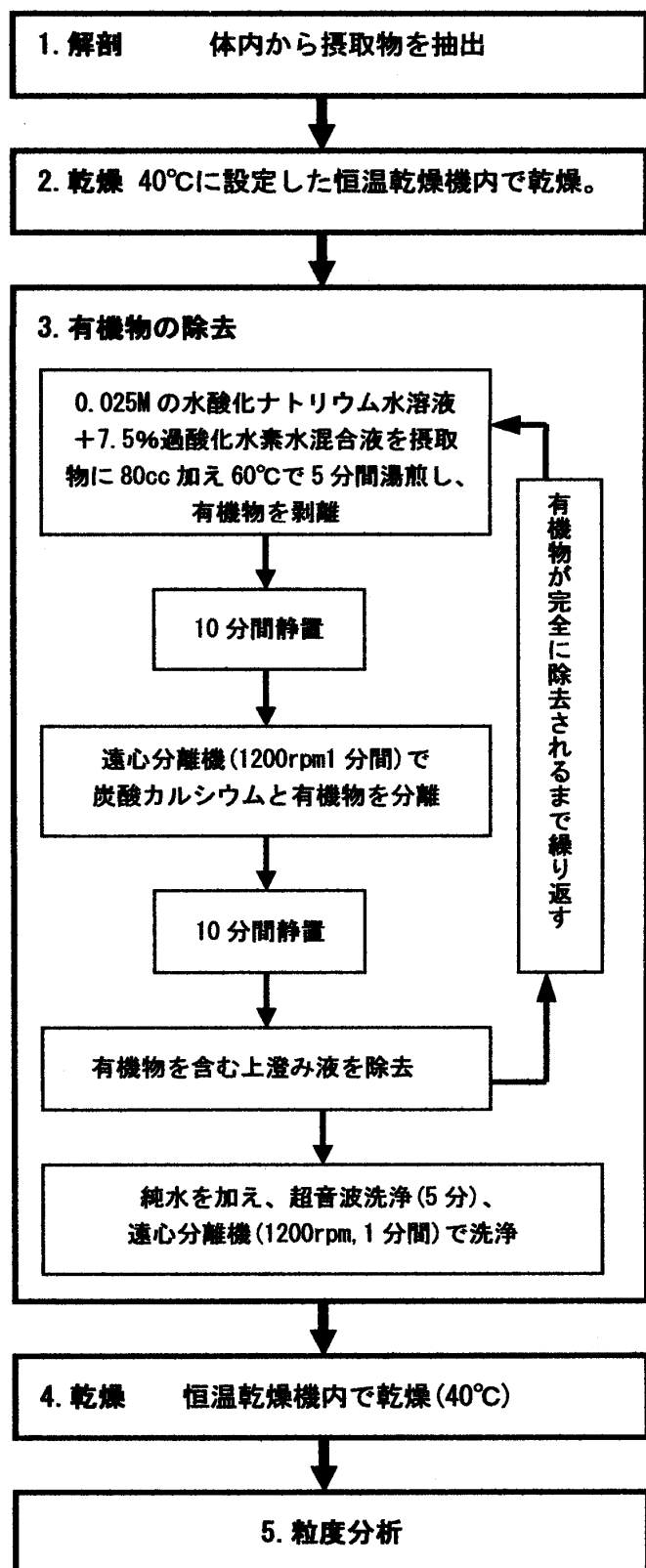


図6 有機物除去過程フローチャート

する type A が、礁原上に布する type B・C よりも多くの炭酸カルシウムを体内に取り込んでいる (図 7-b・7-c)。

粒度分析の結果、各個体が生産する堆積物の粒度組成は図 8 のとおりである。全ての堆積物は径 4 mm 以下であったが、その中でも特に径 1 mm 以下の堆積物が全体の約 90% を占め、径 0.25mm 以下の堆積物が 53.4% と最も高い割合を占める (表 1)。このように、*E. mathaei* はサンゴ礁内において極めて細粒の堆積物を生産している。種別に見ると、type A に比べ、type B・C が粒径の大きい堆積物を取り込む傾向が見られる (表 1)。

表 1 *E. mathaei* 粒度別重量率

<i>E. mathaei</i>	粒 径				
	2.0mm以上	2.0-1.0mm	1.0-0.5mm	0.5-0.25mm	0.25mm以下
type A (n=24)	-	7.4	14.6	22.5	56.2
type B・C (n=16)	3.7	15.5	19.9	17.7	43.9
total (n=40)	0.9	9.5	15.8	20.9	53.4

(%)

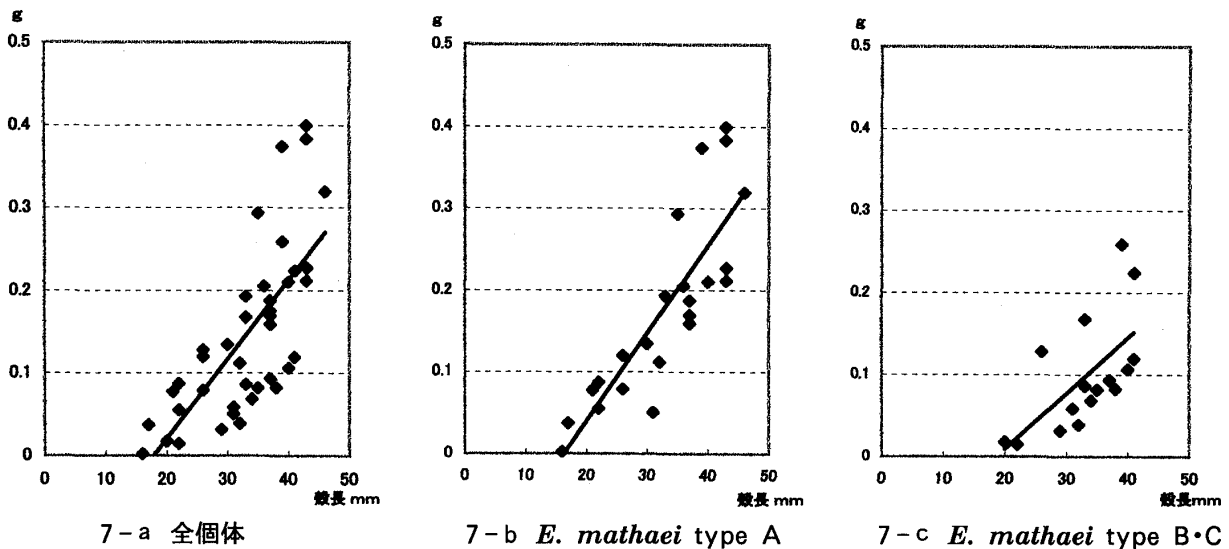


図 7 *E. mathaei* 殻長と摂取炭酸カルシウム量

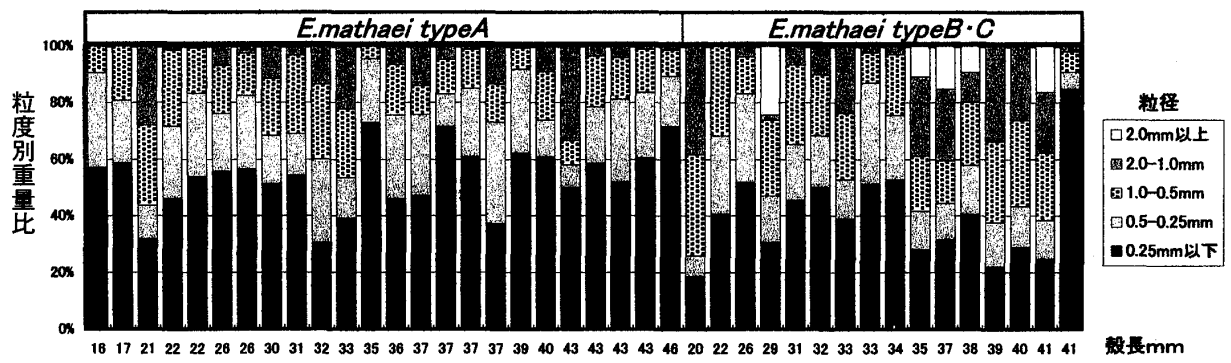


図8 *E. mathaei* 個体別摂取物の粒度

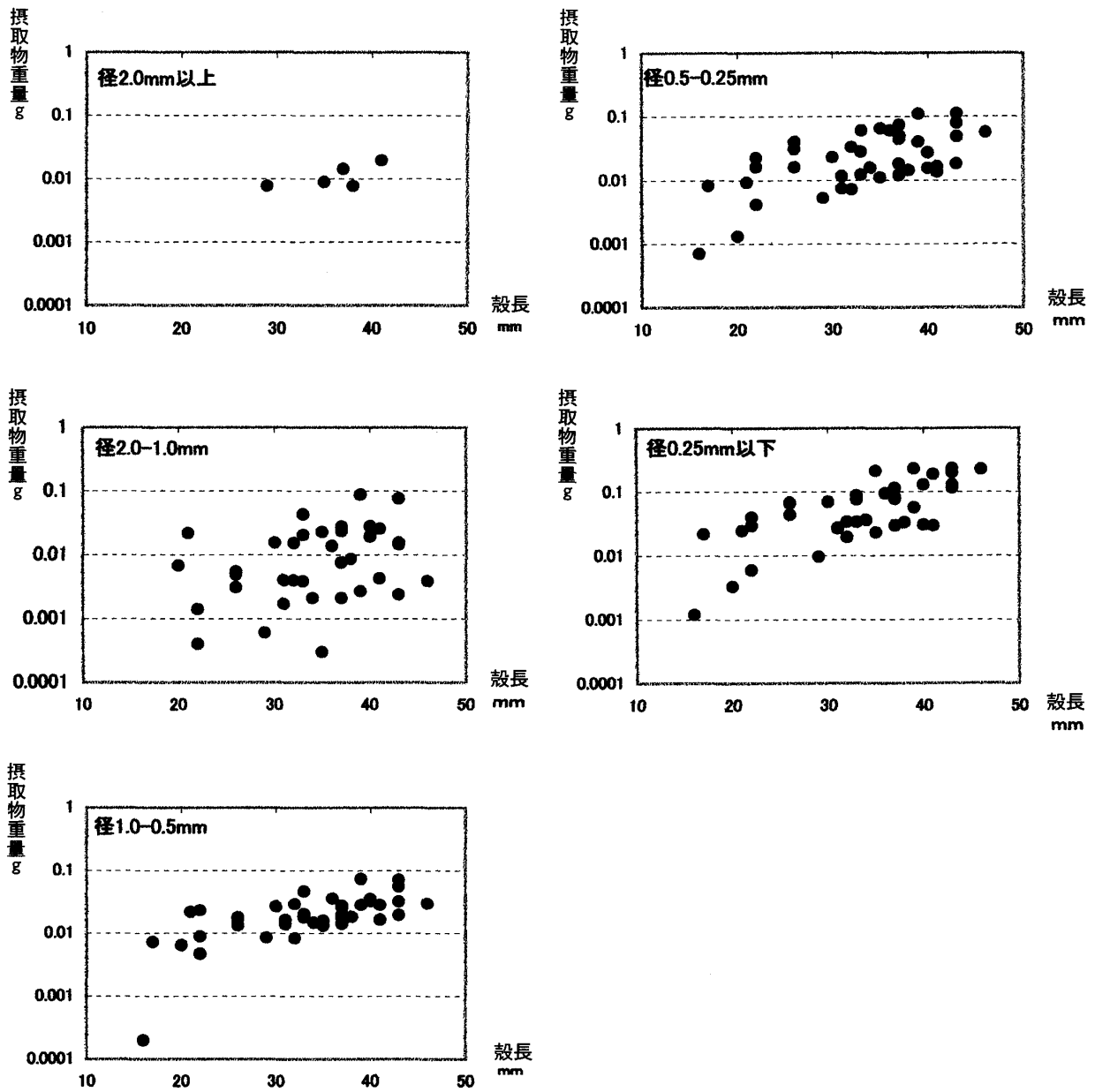


図9 粒径別 *E. mathaei* 摂取物重量と穀長

また、*E. mathaei* は個体の殻長によって取り込む堆積物の粒径に違いが見られる（図9）。径1.0mm以上の粗粒堆積物は、殻長が20mm以上に達した個体で認められる。径2.0mm以上の堆積物は殻長29mm以上の個体で、径1.0～2.0mmの堆積物は殻長20mm以上で認められる。これらの粗粒堆積物では、殻長の増大にともなった量的な増加傾向は見られない。それに対し、径1.0mm以下の細粒堆積物は、殻長が増すと共に摂取量も増加する。

(2) *E. mathaei* の体内摂取物の内容構成

E. mathaei の摂取物の堆積物について、実体顕微鏡を用い、識別可能な径0.5mm以上の構成物の同定を行った。堆積物は有孔虫殻（写真2）、貝殻片（写真3）、ウニ棘（写真4）、石灰藻類、サンゴ片に分け、そのほか起源が明瞭ではないものについては不明とした。また堆積物は、岩石片など陸源のものは認められず、全てがサンゴ礁起源の石灰質の堆積物であった。分類した結果を表2に示す。

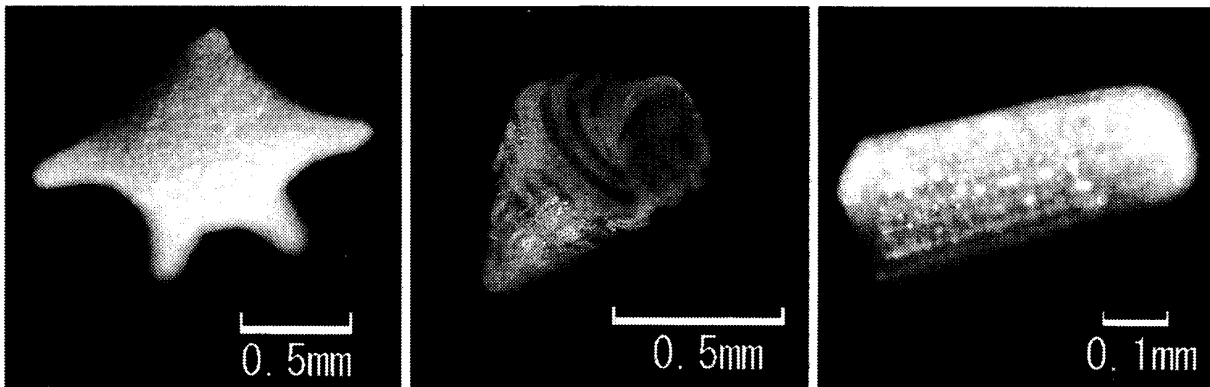


写真2

写真3

写真4

写真2 *E. mathaei* 摂取物から抽出された *Baculogypsina* sp.

写真3 *E. mathaei* 摂取物から抽出された貝殻

写真4 *E. mathaei* 摂取物から抽出されたウニの棘

分類した堆積物は、その起源から2つに区分される。有孔虫殻・貝殻片・ウニ棘は、礁原上や浅礁湖内の堆積物をそのまま取り込んだものである。これに対し石灰藻類とサンゴ片は、サンゴ礁表面の石灰岩を削剥した可能性がある。

起源が明確である9.3%の堆積物のうち、堆積物をそのまま取り込んだ貝殻片・有孔虫・ウニ棘は44.6%、石灰藻類・サンゴ片は55.4%であった（表2）。浅礁湖に多く生息するtype Aでは、礁原上に多く分布するtype B・Cに比べ、貝殻片・サンゴ片の値が高い。逆に有孔虫・石灰藻類については、礁原上のtype B・Cの値が高い。特に有孔虫は、取り込まれた堆積物の中で最も多く確認された。摂取物の組成において、殻長による選択的な摂取は認められなかった（表3）。

表2 *E. mathaei* 摂取物の構成率 (径0.5mm以上)

<i>E. mathaei</i>	貝殻片	有孔虫	ウニ棘	石灰藻	サンゴ片	その他
<i>typeA</i>	2.1	2.9	0.6	0.4	2.4	91.6
<i>typeB-C</i>	0.8	4.6	0.5	3.8	1.4	88.8
<i>total</i>	0.7	1.7	1.8	2.6	2.5	90.7

(%)

表3 *E. mathaei* 体内摂取物の種・殻長別構成率 (径0.5mm以上)

殻長	<i>E. mathaei typeA</i>						<i>E. mathaei typeB-C</i>					
	貝殻片	有孔虫	ウニ棘	石灰藻	サンゴ片	その他	貝殻片	有孔虫	ウニ棘	石灰藻	サンゴ片	その他
20mm以下	-	-	-	2.5	-	97.5	2.1	12.2	-	4.1	-	81.6
21-25mm	0.9	-	-	1.9	2.5	94.7	-	9.5	-	-	-	90.5
26-30mm	1.4	0.2	0.7	1.4	0.7	95.5	-	2.2	0.7	-	2.2	94.9
30-35mm	-	0.2	-	1.1	4.4	94.3	1.1	6.5	1.5	3.8	3.7	83.5
36-40mm	0.5	0.2	6.7	2.1	0.5	90.1	0.3	3.3	-	5.9	0.3	90.1
40mm以上	0.5	0.7	0.2	2.8	6	89.8	1.5	3.8	-	0.8	0.8	83.1
平均	2.1	2.9	0.6	0.4	2.4	91.6	0.8	4.6	0.5	3.8	1.4	88.8

(%)

V. 考 察

1. *E. mathaei*が生産する堆積物

以上の結果から、*E. mathaei* が摂取・生産する堆積物と、サンゴ礁内における堆積物の関係について考察する。

E. mathaei の摂取・生産する堆積物は、99.8%が径2mm以下の細粒堆積物である。しかし、浅礁湖内および礁原上における堆積物は、径2mm以上の粗粒堆積物が多くを占める(図4)。図5は測線上における*E. mathaei*の生息密度分布である。*E. mathaei*は浅礁湖、前方礁原内側帯、礁嶺上、礁縁に生息が見られる。しかし、*E. mathaei*の分布と細粒堆積物の分布は一致しない。一方、汀線および海浜部では径1mm以下の堆積物の構成率が高くなるが、後方礁原より陸側では*E. mathaei*の分布は見られない。*E. mathaei*の生産する細粒堆積物は、生息場所から潮流や波浪の影響によって移動し、汀線付近や海浜に堆積すると考えられる。

Clyde *et al.* (1978) はジャマイカの Discovery Bay において、海綿の生産するシルトサイズの堆積物の移動について調査を行い、水深15m付近で生産されたシルト質堆積物は、水深55mの外洋側礁斜面に向けて移動することを示した。これは、造礁生物によって生産された炭酸カルシウムが、生物侵食によって生産される堆積物によって、サンゴ礁外に移動することを示すものである。本研究における*E. mathaei*が生産する堆積物についても、海綿が生産す

る堆積物同様に、サンゴ礁に蓄積された炭酸カルシウムを、サンゴ礁外に排出する役割も果たすと考えられる。

2. *E. mathaei* 摂取物の組成

E. mathaei の摂取物を分析した結果、浅礁湖に生息する type A, 前方礁原内側帯・礁嶺に生息する type B・C では、その組成について顕著な差が認められた(表2)。これは、*E. mathaei* が生息する場所によるものと考えられる。サンゴ礁内は地形分帯によって、生息する造礁サンゴや藻類の分布が異なっている。調査地域である白保海域では、浅礁湖内には造礁サンゴ類が分布し、礁嶺から前方礁原外側帯では石灰藻類や algal turf と呼ばれる糸状藻類が優位に表面を覆う(Takahashi *et al.*, 1985, 中森ほか, 1988)。それに対し、造礁サンゴ類が分布する浅礁湖内に生息する type A は、砂床の上には生息せず、枝上サンゴ群体の間や、礁岩の窪みに身を隠すように生息している。type A はこれらの表面を削るため、サンゴ片の割合が type B・C に比べて高いと考えられる。それに対し、type B・C は礁嶺や前方礁原外側帯に溝を形成して生息している。ここでは造礁サンゴ類の生息は少なく、石灰藻類の被覆率が高いため、摂取物内の石灰藻類の値が高くなると考えられる。また、ここでは藻類の表面に底棲有孔虫が生息しており、藻類と共に有孔虫を摂取することが十分考えられる。このために、type B・C では有孔虫の割合が高いと考えられる。このように、種による摂取物の組成の差は、生息する環境に強く影響されるとみられる。

E. mathaei をはじめ、侵食生物の摂取物中の CaCO_3 は、しばしば生物侵食量の定量化に用いられる(Russo, 1980など)。たとえば Conand *et al.* (1997) は、リユニオン(Reunion) 島において、*E. mathaei* の内臓から炭酸カルシウムを取り出すことによって侵食量を求め、サンゴ礁における炭酸カルシウムの収支についての検討を行った。しかし、これらの研究では摂取物の組成についての検討はなく、体内の CaCO_3 を全て侵食したものとして侵食量を算出している。本研究では、採取した堆積物を同定した結果、殻長が20mm以上の個体全てで、貝殻片・有孔虫・ウニ棘のサンゴ礁内の堆積物が確認された。その量は、起源が同定できた摂取物の45%を占める。これは *E. mathaei* がサンゴ礁の石灰岩を侵食する他に、*Diadema antillarum* 同様、堆積物を取り込み再生産していることを示唆している。今日までの *E. mathaei* に関する侵食量の定量化では、この再生産される堆積物を考慮したものは無く、それらの研究で求められている侵食量は、実際の侵食量よりも多く見積もられている可能性がある。

VI. 結 論

本研究では、石垣島白保の現成サンゴ礁において、ナガウニ (*Echinometra mathaei*) に

よって摂取・生産された堆積物を分析した結果、以下の点が明らかになった。

1. *E. mathaei* はサンゴ礁内において主に径 1 mm 以下の細粒堆積物を生産し、殻長が大きい個体ほど多くの堆積物を生産している。これらの細粒堆積物はサンゴ礁内の潮流や波浪によって *E. mathaei* が生息する以外の場所に運搬されると考えられる。
2. *E. mathaei* は、サンゴ礁石灰岩を侵食する以外に、サンゴ礁内の堆積物も摂取していることが明らかになった。このうち、浅礁湖に分布する type A は貝殻片・サンゴ片、礁原上に分布する type B・C は有孔虫・石灰藻類を多く摂取しており、生息場所による差異が認められる。

謝 辞

本稿を作成するに当たり、駒澤大学文学部 小池一之先生にご指導をいただきました。*E. mathaei* の解剖について、水産庁西海区水産研究所石垣支所の施設を使用させていただき、同支所 洪野拓郎博士にご指導いただきました。*E. mathaei* 摂取物から、有機物を除去する方法については、都立大学研究生 雪野 出博士にご指導、助言をいただきました。有孔虫の同定に関し、駒澤大学付属高校講師 阿部晃子氏に助言をいただきました。堆積物の分析では駒澤大学文学部地理学科 工藤聖子氏に、写真撮影では、駒澤大学大学院 鈴木重幾氏・兒玉傑互氏に協力していただきました。また、現地調査においては、WWF サンゴ礁保護研究センターの施設を使用させていただき、同センター 小林 孝氏には調査においてご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- Bak, R. P. M. (1990) Patterns of echinod bioerosion in two Pacific coral reef lagoons. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 66, pp.267-272
- Clyde, H., Moore, Jr., and Shedd, W. W. (1973) Effective rates of sponge bioerosion as a function of carbonate production. *Proc. 2nd International Coral Reef Symp.*, 1, pp. 501-505
- Conand, C., Chabanet, P., Cuet, P., and Letourneur, Y. (1997) The carbonate budget of a fringing reef in la Reunion island (Indian Ocean) : sea urchin and fish bioerosion and net calcification. *Proc. 8th International Coral Reef Symp.* 1, pp.953-959
- Glynn, P. W. (1997) Bioerosion and coral-reef growth : a dynamic balance, *In* : Birkeland C. ed. Life and death of coral reefs. International Thomson Publishing, pp.68-95.
- Hunter, I. G. (1973) Sediment production by *Diadema antillarum* on a Barbados fringing reef. *Proc. 1st International Coral Reef Symp.*, 1, pp.106-109
- Nishihira, M., Sato Y., Arakaki, Y., Tsuchiya, M. (1991) Ecological distribution and habitat preference of the sea urchin *Echinometra mathaei* on the Okinawan coral reefs. *Biology of Echinodermata. In* : Yanagisawa, T., Yasumasu, I., Oguro, C., Suzuki, N., and Motokawa, T. eds. Balkema, Rotterdam, pp.91-104.

- Peyrot-Clausade, M., Chabanet, P., Conannd, C., Fontaine, M. F., Letourneur, Y. and M. Harmelin-Viven, M. (2000) Sea urchin and fish bioerosion on La Reunionn and Moorea reefs. *Bull. Mar. Sci.*, **66**, pp.477-485.
- Russo, Anthony R. (1980) : Bioerosion by two rock boring echinoids (*Echinometra Mathaei* and *Echinostrephus aciculatus*) on Enewetak Atoll, Mashall Islands. *Jour. Mar. Res.*, **38**, pp.99-110
- Scoffin, T. P., Stearn, C. W., Boucher, D., Flydl, P., Hawkin, C. W., Hunter, I. G. and MacGeachy, J. K. (1980) Calcium carbonate budget of a fringing reef on the west coast of Barbados. *Bull. Mar. Sci.*, **30**, pp.475-508
- Stearn, C. W. and Scoffin, T. P. (1977) Carbonate budget of a fringing reef, Barbados. *Proc. 3rd International Coral Reef Symp.*, **2**, pp.471-476
- Takahashi, T. Koba, M. Nakamori, T. (1985) Coral reefs of the Ryukyu Island : Reef Morphology and Reef Zonation, *Proc. 5th International Coral Reef Symp.*, **3**, pp.211-216
- 阿部晃子(1999) : 石垣島白保サンゴ礁における大型有孔虫生息域の一考察. 駒澤大学大学院地理学研究, No.27, pp.39-44.
- 鈴木倫太郎・菅 浩伸 (1999) 石垣島白保サンゴ礁における生物侵食と地形分帯. 日本地理学会発表要旨集, No.55, pp.108-109
- 中森 亨・井龍康文 (1990) サンゴ礁の地形区分と造礁生物の礁内分布, サンゴ礁地域研究グループ編『熱い自然』, 古今書院, pp.39-56.
- 雪野 出, 鈴木 淳, 川幡穂高, 塚本 斉, Lough J. M., 中森 亨, 中野義勝 (1999) 琉球列島瀬底島産のハマサンゴ骨格を用いた水温復元 : 水温指標としての Mg/Sr 比. 海の研究. **8**, pp.399-409