

# サンゴの放出する有機物 —サンゴ卵と粘液状物質について—

荒井 孝之<sup>1)</sup>・池田 穰<sup>2)</sup>・丸山 正<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

造礁サンゴは体内に渦鞭毛藻を共生させており、熱帯のサンゴ礁における主な一次生産者として重要であるばかりでなく、サンゴ礁形成においても中心的な役割を果たしている。しかし、サンゴ-共生藻共同体により生産された有機物の、サンゴ礁生態系における行方については明らかでない。ここでは、造礁サンゴが体外に大量に放出する有機物として卵や粘液状物質に着目して、それらの組成や移動を紹介し、造礁サンゴからの有機物の流れについて考察する。

## 2. サンゴ卵の組成と拡散

### 2.1 造礁サンゴの有性生殖

造礁サンゴの一斉産卵現象は、最近テレビ等で放映されているため有名であるが、造礁サンゴの生殖様式が明らかにされて来たのはここ十年のことである。造礁サンゴの有性生殖には、体内受精してプラヌラを保育するタイプと、放卵放精して体外受精をするタイプがある。そのそれぞれについて、雌雄同体種と雌雄異体種が存在するため、全体で四つの基本的な生殖パターンが存在する。1980年代まで、造礁サンゴの主な生殖様式はプラヌラ保育タイプであり、年間を通じて断続的に幼生を放出すると考えられていた(Duerden, 1905)。しかし、1980年代に、いろいろな種類の造礁サンゴが、年一回、晩春から夏にかけての満月あるいは新月の晩前後に一斉産卵を行っていることが見いだされ、造礁サンゴの

主な有性生殖の様式は、雌雄同体種の体外受精タイプであると考えられるようになった(Harrison et al., 1984)。このタイプの造礁サンゴのほとんどは、複数の精子と浮力を有する卵子が一つに包み込まれた卵-精子バンドル(egg-sperm bundle)を一斉多量に産卵する(Babcock et al., 1986; 口絵参照)。この生物学的意義として、水面という限られた空間に精子、卵子を濃縮して受精の確率を高めること、捕食者を飽食させ摂食から免れること、浮力を有する受精卵が潮流に乗って拡散し生息範囲を拡大すること等が考えられている。

### 2.2 造礁サンゴ卵の構造および組成

それでは、このような浮力を有するサンゴ卵は、どのような構造や化学組成をしているのだろうか。代表的な造礁サンゴの一つであるミドリイシサンゴ(ハイマツミドリイシ: *Acropora millepora*)の走査型電子顕微鏡写真と透過型電子顕微鏡写真とを、それぞれ写真1a, bに示した。これらの写真から、直径約500  $\mu\text{m}$ の卵の表層5  $\mu\text{m}$ には卵黄様の小粒が多数存在しているが、内側の残りの大部分には直径4.5~6.0  $\mu\text{m}$ の油滴が多数存在していることがわかる。

我々は3種の造礁サンゴ、ハイマツミドリイシ(*Acropora millepora*)、ウスエダミドリイシ(*A. tenuis*)、エダコモンサンゴ(*Montipora digitata*)の卵の化学成分を分析し、卵乾燥重量の62~69%が脂質であることを示した(Arai et al., 1993 in press)。また、サンゴ卵の脂質の主成分は第1図に示したように三種共通して中性脂質で、その大部分がワックスエステルであったが、トリアシルグリセロール含量はミドリイシ属で低く、コモンサンゴ属で高い傾向が認められた。この違いは、極性脂質の構成脂肪酸やリン脂質種の分析結果から、エダコモ

1),3) ㈱海洋バイオテクノロジー研究所 清水研究所  
〒424 静岡県清水市袖師町1900

1) 現在: ㈱資生堂 基礎科学研究所

2) ㈱海洋バイオテクノロジー研究所 釜石研究所  
現在: ハザマ技術研究所

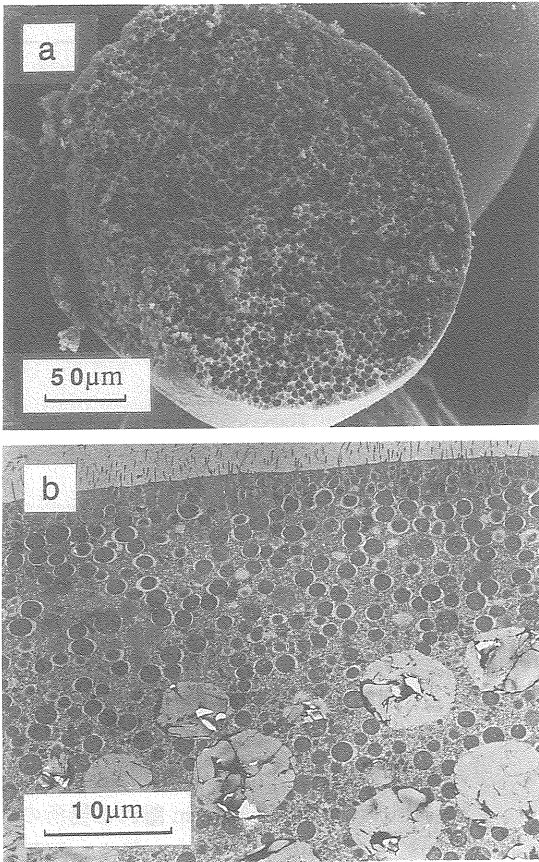


写真1 ハイマツミドリイン卵全体の断面・走査型電子顕微鏡写真(a)および表層部位の超薄切片・透過型電子顕微鏡写真(b)。直径約500 μmのサンゴ卵の表層5 μmを除くほぼ全ての部位に多数の油滴が観察され(a)、表層部には卵黄様の小粒とワックスエステルで満たされた直径4.5~6.0 μmの油滴が観察できる(b)。

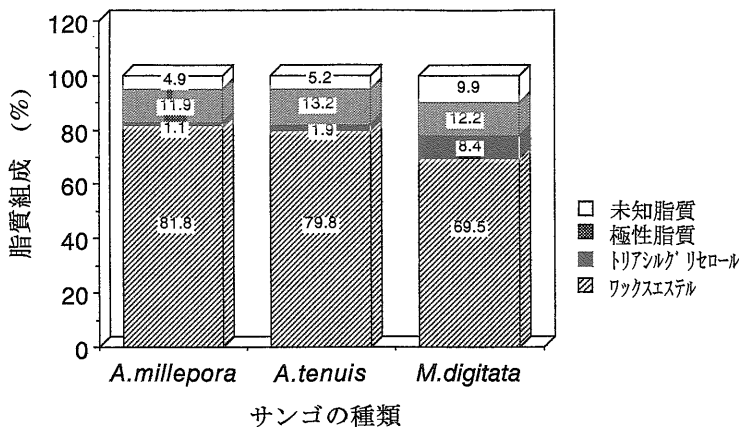
ンサンゴ卵中だけに多数存在する共生藻に起因していると思われる。ワックスエステルがサンゴ卵の主成分であることは、種々のサンゴの組織に含まれる脂質の主成分がワックスエステルであることと一致している(Benson and Muscatine, 1974)。しかしながら、サンゴ卵の脂質含量は*Pocillopora capitata*のポリプ組織(30~40% dry wt)の値の約2倍に及んでいる(Patton et al., 1977)。また、卵内の油滴はその乾燥重量の90%以上がワックスエステルであったことから、卵内のワックスは殆どこの油滴中に存在すると考えられる。

### 2.3 造礁サンゴの産卵数

雌雄同体—体外受精タイプの造礁サンゴが産卵する卵の数および大きさを、第1表に示した。Harriot (1983)は、ポリプ当たりの産卵数と卵の大きさはポリプの大きさに比例するのに対し、コロニー単位表面積当たりの産卵数は卵の大きさに反比例することを見いだした。一年間にコロニー単位表面積から産卵される卵の総容量は、第1表に示した様に比較的一定で、その平均値は206±104 ml/m<sup>2</sup>/yrである。このように浮力を有する大量の卵は数日のうちにほぼ一斉に産卵されるのであるが、それらはその後どうなるのであろうか。

### 2.4 卵および発生初期胚の拡散

プラヌラ保育タイプのプラヌラ幼生は、放出された後比較的短時間で着底可能であるのに対して、体外受精タイプのプラヌラ幼生が着底可能になるまでには少なくとも4~6日間必要である(Babcock and Heyward, 1986)。着底するまでに時間がかかるこ



第1図 3種の造礁サンゴ卵の脂質組成。造礁サンゴ卵の脂質は、ワックスエステルを主成分とする中性脂質で大部分が占められているが、*Montipora digitata*ではトリアシルグリセロールの含量が高い。

第1表 雌雄同体・体外受精型造礁サンゴ卵の大きさと産卵数

種類	卵直径 μm	年間産卵数 cm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	年間産卵容量 mm <sup>3</sup> cm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	文献
<i>Lobophyllia corymbosa</i>	750	178	39	Harriot (1983)
<i>Acropora sarmentosa</i>	652	169	25	Wallace (1985)
<i>A. valida</i>	633	96	13	Wallace (1985)
<i>A. hyacinthus</i>	622	182	23	Wallace (1985)
<i>A. longicyathus</i>	591	190	20	Wallace (1985)
<i>A. florida</i>	584	209	22	Wallace (1985)
<i>A. nobilis</i>	571	261	25	Wallace (1985)
<i>A. loripes</i>	560	156	14	Wallace (1985)
<i>A. granulosa</i>	534	116	9	Wallace (1985)
<i>Favia fava</i>	500	764	50	Harriot (1983)
<i>Diploria strigosa</i> (Bermuda)	440	350	16	Wyers (1985)
<i>Diploria strigosa</i> (Puerto Rico)	400	486	18	Szmant (1986)
<i>Goniastrea favulus</i>	430	368	15	Babcock (1986)
<i>Montipora digitata</i>	410	250	9	Heyward and Collins (1985)
<i>Platygyra sinensis</i>	405	350	12	Babcock (1986)
<i>Goniastrea aspera</i>	360	935	23	Babcock (1986)
<i>Acropora cervicornis</i>	300	500	12	Szmant (1986)
<i>Montastrea annularis</i>	300	1440	25	Szmant (1986)
平均±標準偏差 (n=18)	502±128	389±345	20.6±10.4	

とに加え、体外受精型造礁サンゴの発生初期胚やプラヌラ幼生が正の浮力を持つことは、それらが産卵されたリーフ外の外洋に流れでる可能性があることを示している(Harrison et al., 1983). 卵や発生初期胚の拡散のパターンが、産卵時の天候、特に風や海流によって大きく左右されることは、Willis and Oliver (1988a)がグレートバリアリーフでの造礁サンゴの一斉産卵の観察結果で示している。風が強い(15-20ノット)時には、卵や発生初期胚はラグーンから非常に速く一掃され、産卵後20時間以内にリーフ外の広い範囲に拡散される。一方、風が弱い時(5-15ノット)には、大量の卵や発生初期胚は比重が軽いため海面に集まり、サンゴ卵スリックと呼ば

れるものを形成する。サンゴ卵スリックはやがてリーフ外に流出するが、産卵後14~22時間程度観察可能で、時には大きさが幅3m長さ9kmに達し、リーフの沖合6.5kmまで流されることもある。スリック中およびスリックから10m離れた場所の発生初期胚の濃度分布(第2表)から、発生初期胚はスリック中の海面の極く表層に非常に高密度で存在すること、およびスリックからわずか10m離れただけでその濃度は外洋表層海水とはほぼ等しくなってしまうことがわかる。Willis and Oliver (1988b)はこのことを利用して、スリックの面積からその中に存在する胚の総数を約 $4 \times 10^9$ 個と見積っている。

このようにしてリーフから流れ出た発生初期胚の

第2表 サンゴ卵スリック内外でのサンゴ胚濃度

水深 (m)	採取方法	サンプル数	サンゴ胚の平均密度	標準偏差
スリック内				
0.0	ひしゃく	36	$7.9 \times 10^6$	$\pm 2.3 \times 10^7$
0.3	ポンプ	4	$7.2 \times 10^2$	$\pm 1.0 \times 10^7$
0.6	ポンプ	4	$6.9 \times 10^1$	$\pm 1.3 \times 10^6$
1.0	ポンプ	4	$3.2 \times 10^1$	$\pm 4.6 \times 10^1$
3.0	ポンプ	4	$4.0 \times 10^0$	$\pm 3.0 \times 10^0$
5.0	ポンプ	4	$4.0 \times 10^0$	$\pm 6.0 \times 10^0$
スリック外10m				
0.0	アラカトネット	6	$6.6 \times 10^0$	$\pm 1.2 \times 10^1$
2.0	アラカトネット	7	$4.0 \times 10^{-1}$	$\pm 4.0 \times 10^{-1}$

一部は潮流に乗って別のリーフに到達し、そこで着底し生息領域を拡大するのに成功するが、その他の大部分の胚はやがて比重が重くなり外洋の海底に沈む(Bull, 1986; Oliver and Willis, 1987).

## 2.5 サンゴ卵および発生初期胚の捕食

発生初期胚は沈降によって失われるばかりでなく、スリックに集まる数多くの魚や捕食性の無脊椎動物に捕食されることが観察されている(Willis and Oliver, 1988b). また, Westneat and JoAnn (1988)は、一斉産卵直後の二種のコーラルフィッシュ(*Acanthochromis*, *Abudefduf*)の胃内容物が、通常観察される藻類や底棲無脊椎動物から全てサンゴ卵に置き換わっていたことを、オーストラリアのグレートバリアリーフで観察した。従って、サンゴ産卵時のサンゴ礁生態系において、サンゴ卵はエサとして重要な地位を占めている可能性がある。しかしこの可能性を検証するには、さらに定量的な研究が必要である。

## 3. サンゴ粘液の組成と生産量

### 3.1 サンゴの粘液状物質について

造礁サンゴは粘液状物質を絶えず体表に分泌し、サンゴ表面のクリーニング(Lewis and Price, 1976; Schuhmacher, 1977), 低潮時の乾燥からの保護(Krupp, 1982a), そして温度や塩分濃度の変化に対する防御(Marcus and Thorhaug, 1982)等を行っていると考えられている。この粘液状物質には、ポリブ表皮の粘液細胞から分泌される粘液と、それに包み込まれて放出される微小な脂質粒等の溶存態有機炭素(DOC-lipid)が含まれている(Crossland et al., 1980; Benson and Muscatine, 1974; Crossland, 1987).

粘液の主な構成成分は、タンパク質あるいはペプチドと強く会合した硫酸ムコ多糖と考えられ(Krupp, 1985; Meikle et al., 1988), 分泌直後は適度な粘度を持った流動性のある透明な物質である。しかしそれが海水や懸濁物と接触すると構造的変化が起こり、不溶性のゲルになる(Ducklow and Mitchell, 1979). 一方, DOC-lipid の主成分はワックスエステルで、その他にリン脂質, ステロールやトリアシルグリセロール等が種々の造礁サンゴで検出されている(Benson and Muscatine, 1974; Cross-

land et al., 1980; Crossland, 1987). 不溶性になった粘液は、時間と共に沈殿粒子, 藻類, 原生動物, バクテリアそして生物残骸等を包み込み、サンゴ表面から粘液シートとして洗い流される。

粘液や粘液シートは、サンゴに寄生するカニ(Knudsen, 1967), 魚(Hiatt and Strasburg, 1960; Johannes, 1967; Benson and Muscatine, 1974), エビ(Daumas and Thomassin, 1977)や動物プランクトン等によって摂食され、動物プランクトンでは粘液状物質中の有機物の約50%が代謝・利用され、実際にエサとして役立つことが確認されている(Gottfried and Roman, 1983). そのため、粘液状物質はサンゴ礁の物質循環において重要な物質の一つであろうと考えられ、その組成を分析する数多くの研究がなされてきたが、その結果は研究者により大きく異なっている。この原因は、粘液と共に存在する不純物, DOC-lipid やサンゴ組織の混入を考慮しなかったためと考えられる(Krupp, 1982). 以下に、上記のことを考慮して得た分析データを紹介する。

### 3.2 粘液と粘液シートの組成

Coffroth(1990)は、もっとも粘液状物質の生産量が高いと言われている造礁サンゴ *Porites* 属(Coffroth, 1988)の粘液と粘液シートの組成を分析した(第3, 4表). 両者を比較すると、有機物中のタンパク質含量や窒素量はあまり異ならないが、粘液シート中の有機物含量や有機物中の炭水化物量, 炭素量およびカロリー値は、粘液での値よりも著しく低い値を示し、純粋な粘液と時間が経過して不純物を含む粘液シートではその組成が大きく異なっていることがわかる。粘液のカロリー値は、その他のサンゴで知られている値, 3.95~5.2 cal mg<sup>-1</sup> (Coles and Strathmann, 1973; Richman and Slobodkin, 1975)の範囲内であったが、海洋生物の一般的な値, 5.0~6.5 cal mg<sup>-1</sup>(Slobodkin and Richman, 1961; Paine, 1964)よりも低い。以上の結果等から、粘液や粘液シートの栄養的価値は低いと述べられているが、サンゴ礁での物質循環における役割は、これらの物質がどれだけ生産され、また先に述べたようにどれだけ生物に利用されているにかかっていると考えられる。

### 3.3 粘液, 粘液シートおよび DOC-lipid の生産量

Coffroth(1990) は *Porites astreoides* と *P. furcata*

第3表 粘液の組成

種類	AFDW %	炭素	窒素	C/N	加 <sup>-</sup>	炭水化物		タンパク質		脂質	
						DW %	AFDW %	DW %	AFDW %	DW %	AFDW %
<i>P. astreoides</i>	87.3	385.9	56.3	6.9	5.0	33.9	39.0	21.8	24.6	0.5	2.8
<i>P. furcata</i>	87.0	338.1	28.6	12.1	4.3	45.1	51.6	12.4	14.2	0.03	0.2
<i>P. lobata</i>	68.0	ND	ND	ND	ND	26.3	38.5	16.5	24.1	ND	ND
<i>Porities sp.</i>	71.0	ND	ND	ND	ND	26.9	37.5	17.1	24.0	ND	ND

AFDW: 有機物乾燥重量, DW: 乾燥重量, 炭素 & 窒素:  $\mu\text{g}/\text{mg}$  DW, C/N: 炭素/窒素比, カロリー:  $\text{cal}/\text{mg}$  AFDW, ND: not determined

Coffroth (1990) Marine Biol. 105, 39-49

第4表 粘液シートの組成

種類	AFDW %	炭素	窒素	C/N	加 <sup>-</sup>	炭水化物		タンパク質		脂質	
						DW %	AFDW %	DW %	AFDW %	DW %	AFDW %
<i>P. astreoides</i>	26.6	70.3	13.5	5.9	2.2	3.6	14.0	6.9	27.5	0.6	2.3
<i>P. furcata</i>	34.0	95.3	23.4	4.1	2.6	3.7	11.3	12.9	34.7	1.2	4.8
<i>P. divaricata</i>	22.7	ND	ND	ND	3.5	3.5	15.5	7.0	30.5	0.01	0.04
<i>P. australiensis</i>	33.1	107.1	16.3	5.9	3.9	5.4	17.4	9.9	30.7	ND	ND
<i>P. lutea</i>	31.1	163.7	27.5	5.9	2.8	4.3	14.4	7.9	25.0	0.7	3.8
<i>P. lobata</i>	37.3	151.5	31.9	5.0	3.2	6.0	15.4	9.1	24.2	0.5	1.8
<i>P. murrayensis</i>	24.3	117.7	21.5	5.5	ND	2.9	11.6	6.8	28.5	0.2	0.6
<i>Porities sp. 1</i>	36.5	ND	ND	ND	ND	7.3	20.1	8.3	22.7	ND	ND
<i>Porities sp. 3</i>	42.5	106.5	22.1	4.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

AFDW: 有機物乾燥重量, DW: 乾燥重量, 炭素 & 窒素:  $\mu\text{g}/\text{mg}$  DW, C/N: 炭素/窒素比, カロリー:  $\text{cal}/\text{mg}$  AFDW, ND: not determined

Coffroth (1990) Marine Biol. 105, 39-49

が生産する粘液シートのリーフ当たりの年間総生産量を  $1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ reef yr}^{-1}$  と見積り, サンゴ礁の年間総炭素フラックス量,  $300 \sim 5000 \text{ g C m}^{-2} \text{ reef yr}^{-1}$  (Lewis 1977; Kinsey 1985) に対する寄与率は  $0.036 \sim 0.6\%$  であることを示した。また, ストレス下で生産される粘液量から粘液総生産量の上限值 ( $600 \mu\text{g C cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) を見積り, その寄与率  $0.5 \sim 9\%$  を求めた。以上の結果から, 粘液や粘液シートがサンゴ礁生態系に与える量的な影響は少ないと結論付けられているが, この生産量のデータは, *Porites astreoides* と *P. furcata* の粘液シートが月約一回三日間の頻度で大量に放出されることを前提に見積られた値であり, 自然状態で日常的に放出されている粘液や DOC-lipid については考慮されていない。

Crossland (1987) は, 海中に沈めたチャンバー中に造礁サンゴ *Acropora variabilis* および *Stylophora pistillata* を入れて, 自然に近い状態ではほぼ純粋な粘液と DOC-lipid の日常的な生産量を測定した。その結果, 粘液生産量は *Acropora variabilis* および *Stylophora pistillata* のコロニー表面積当たりそれぞれ  $5.79$ , および  $5.08 \mu\text{g C cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  であり, 同様に

DOC-lipid はそれぞれ  $16.20$ , および  $23.04 \mu\text{g C cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  であった。この値から *Stylophora pistillata* の一日の光合成による正味の炭酸同化量,  $122.5 \mu\text{g C cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Muscatine et al., 1984)  $\sim 267.6 \mu\text{g C cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (McCloskey and Muscatine, 1984) に占める粘液および DOC-lipid の割合を計算すると, *Stylophora pistillata* は一日にそれぞれ  $1.90 \sim 4.15\%$ ,  $8.6 \sim 18.8\%$ , 合計では炭酸同化量の  $10.3 \sim 21.8\%$  に相当する有機炭素を, 分泌によって失っていることになる。Crossland et al. (1980) によれば, *Acropora acuminata* ではこの合計値は約  $40\%$  にまで及ぶと報告されている。一方 Crossland (1987) の上記結果は, DOC-lipid として失われる有機炭素量の方が粘液よりも多いことを示しており, 同様な結果は Crossland et al. (1980) も報告している。このように, 造礁サンゴが光合成によって同化した炭素の内かなりの部分が日常的に粘液や DOC-lipid として失われているため, サンゴ礁での物質循環を明らかにするためには, これらの物質を含めた粘液状物質のリーフにおける総生産量を定量的に測定することが重要であると考えられる。

#### 4. ま と め

サンゴの生産者としての役割は大きいと言われて  
いるが、その生産量およびそれからの物質の流れに  
ついては余り分かっているとはいえない。ここでは  
サンゴ卵の放出と粘液状物質の分泌について述べた  
が、サンゴ礁における物質循環と有機物の運命につ  
いては今後定量的な研究を行っていく必要があり、  
特にリーフから外洋への物質の流れについての研究  
が必要である。

#### 引用文献

- Arai, T., Kato, M., Heyward, A. J., Ikeda, Y., Iizuka, T. and Maruyama, T. (in press) : Lipid composition of positively buoyant eggs of reef building corals. *Coral Reefs*.
- Babcock, R. C. (1986) : Population Biology of Reef Flat Corals of the Family Faviidae (goniastrea, Platygyra). Thesis, James Cook University of North Queensland, Townsville, 163 pp.
- Babcock, R. C., Bull, G. D., Harrison, P. L., Heyward, A. J., Oliver, J. K., Wallace, C. C. and Willis, B. L. (1986) : Synchronous spawnings of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. *Mar. Biol.*, **90**, 379-394.
- Babcock, R. C. and Heyward, A. J. (1986) : Larval development of certain gamete-spawning scleractinian corals. *Coral Reefs*, **5**, 111-116.
- Benson, A. A. and Muscatine, L. (1974) : Wax in coral mucus: Energy transfer from corals to reef fishes. *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 810-814.
- Bull, G. (1986) : Distribution and abundance of coral plankton. *Coral Reefs*, **4**, 197-200.
- Coffroth, M. A. (1988) : The function and fate of mucous sheets produced by reef coelenterates. *Proc. 6th Int. Symp. Coral Reefs*, **2**, 15-20.
- Coffroth, M. A. (1990) : Mucous sheet formation on poritid corals: an evaluation of coral mucus as a nutrient source on reefs. *Mar. Biol.*, **105**, 39-49.
- Coles, S. L. and Strathmann, R. (1973) : Observation on coral mucus "flocs" and their potential trophic significance. *Limnol. Oceanogr.*, **18**, 673-678.
- Crossland, C. J. (1987) : In situ release of mucus and DOC-lipid from the corals *Acropora variabilis* and *Stylophora pistillata* in different light regimes. *Coral Reefs*, **6**, 35-42.
- Crossland, C. J., Barnes, D. J., Borowitzka, M. A. (1980) : Diurnal lipid and mucus production in the Staghorn Coral *Acropora acuminata*. *Mar. Biol.*, **60**, 81-90.
- Daumas R. and Thomassin, B. A. (1977) : Protein fractions in coral and zoantharian mucus: possible evolution in coral reef environments. *Proc. 3rd int. Symp. coral reefs*, 517-523.
- Ducklow, H. W. and Mitchell, R. (1979) : Composition of mucus released by coral reef coelenterates. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 706-714.
- Duerden, J. E. (1905) : Recent results on the morphology and development of coral polyps. *Smithson. Misc. Collect.*, **47**, 93-111.
- Gottfried, M. and Roman M. R. (1983) : Ingestion and Incorporation of Coral-Mucus Detritus by Reef Zooplankton. *Marine Biol.*, **72**, 211-218.
- Harriot, V. J. (1983) : Reproductive ecology of four scleractinian species at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, **2**, 9-18.
- Harrison, P. L., Babcock, R. C., Bull, G. D., Oliver, J. K., Wallace, C. C. and Willis, B. L. (1983) : Recent developments in the study of sexual reproduction in tropical reef corals. In: J. T. Baker, R. M. Carter, P. W. Sammarco and K. P. Stark (Editors), *Proceedings: Inaugural Great Barrier Reef Conference*, Townsville, JCU Press, Townsville, 217-219.
- Harrison, P. L., Babcock, R. C., Bull, G. D., Oliver, J. K. Wallace, C. C. and Willis, B. L. (1984) : Mass spawning in tropical reef corals. *Science, N. Y.*, **223**, 1186-1189.
- Heyward, A. J. and Collins, J. D. (1985) : Growth and sexual reproduction in the scleractinian coral *Montipora digitata* (Dana). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **36**, 441-446.
- Hiatt, R. E. and Strasburg, D. W. (1960) : Ecological relationships of the fish fauna on coral reefs of the Marshall Islands. *Ecol. Monogr.*, **30**, 65-127.
- Johannes, R. E. (1967) : Ecology of organic aggregates in the vicinity of a coral reef. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 189-195.
- Kinsey, D. W. (1985) : Metabolism, calcification and carbon production I. Systems level studies. *Proc. 5th Int. Coral Reef Congr.*, **4**, 505-526.
- Knudsen, J. W. (1967) : Trapezia and Tetralia (Decapods, Brachyura, Xanthidae) as obligate ectoparasite of pocilloporid and acroporid corals. *Pac. Sci.*, **21**, 51-57.
- Krupp, D. A. (1982a) : The composition and production of the mucus of the solitary mushroom coral, *Fungia scutaria* (Lamarck). Ph. D. thesis, University of Hawaii.
- Krupp, D. A. (1982b) : The composition of the mucus from the mushroom coral, *Fungia scutaria*. *Proc. 4th Int. Coral Reef Symp.*, Manila, **2**, 69-73.
- Krupp, D. A. (1985) : An immunochemical study of the mucus from the solitary coral *Fungia scutaria* (Scleractinia, Fungiidae). *Bull. mar. Sci.*, **36**, 163-176.
- Lewis, J. B. (1977) : Processes of organic production on coral reefs. *Biol. Rev.*, **52**, 305-347.
- Lewis, J. B. and Price, W. S. (1976) : Patterns of ciliary currents in Atlantic reef corals and their functional significance. *J. Zool., Lond.* **178**, 77-89.
- Marcus, J. and Thorhaug, A. (1982) : Pacific versus Atlantic responses of the subtropical hermatypic coral *Porites* sp. to temperature and salinity effects. *Proc. 4th int. Symp. coral Reefs*, **2**, 15-20.
- McCloskey, L. R. and Muscatine, L. (1984) : Production and respiration in the Red Sea coral *Stylophora pistillata* as a function of depth. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B.*, **222**, 215-230.
- Meikle, P., Richards, G. N. and Yellowlees, D. (1988) : Structural investigations on the mucus from six species of coral. *Mar. Biol.*, **60**, 81-90.

Muscatine, L., Falkowski, P. G., Porter, J. W., Dubinsky, Z. (1984) : Fate of photosynthetic fixed carbon in light- and shade-adapted colonies of the symbiotic coral *Stylophora pistillata*. Proc. R. Soc. Lond. Ser. B., **222**, 181-202.

Oliver, J.K. and Willis, B.L. (1987) : Coral-spawn slicks in the Great Barrier Reef: preliminary observations. Mar. Biol., **94**, 521-529.

Paine, R. T. (1964) : Ash and calorie determinations of sponge and opisthobranch tissues. Ecology, **45**, 384-387.

Patton, J. S., Abraham, S., Benson, A. A. (1977) : Lipogenesis in the intact coral *Pocillopora capitata* and its isolated zooxanthellae: evidence for a light-driven carbon cycle between symbiont and host. Mar. Biol., **44**, 235-247.

Richman, S., Loya, Y., Slobodkin, L. (1975) : The rate of mucus production by corals and its assimilation by the coral reef copepod *Acartia negligens*. Limnol. Oceanogr., **20**, 918-923.

Schuhmacher, H. (1977) : Ability of fungiid corals to overcome sedimentation. Proc. 3rd int. Symp. Coral Reefs, **1**, 503-510.

Slobodkin, L. B. and Richman, S. (1961) : Calories/gm. in species of animals. Nature, Lond., **191**, 299.

Szmant, A. M. (1986) : Reproductive ecology of Caribbean reef corals. Coral Reefs, **5**, 43-54.

Wallace, C. C. (1985) : Reproduction, recruitment and fragmentation in nine sympatric species of the coral genus *Acropora*. Mar. Biol., **88**, 217-233.

Westneat, M. W. and JoAnn, M. R. (1988) : Predation on coral spawn by planktivorous fish. Coral Reefs, **7**, 89-92.

Willis, B. L. and Oliver J. K. (1988a) : Inter-reef dispersal of coral larvae following the annual mass spawning on the great barrier reef. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Australia, **2**, 853-859.

Willis, B. L. and Oliver J. K. (1988b) : Distribution of coral eggs and larvae in the central section of the great barrier reef marine park following the annual mass spawning of corals. In Final report to the great barrier reef marine park authority. Department of Marine Biology James Cook University, Townsville, 23-28.

Wyers, S. C. (1985) : Sexual reproduction of the coral *Diploria strigosa* (Scleractinia, Faviidae) in Bermuda: research in progress. Proc. 5th Int. Coral Reef Congress, Tahiti, **4**, 301-306.

---

ARAI Takayuki, IKEDA Yutaka, MARUYAMA Tadashi (1993): Coral egg and mucus: Energy transfer from reef-building coral to reefs?

---

## 豆辞典

### サンゴの骨格

サンゴはポリプと呼ばれる肉質の体の下部に、炭酸カルシウムの骨格を作る。化石として残るのは、この骨格の部分である。骨格には、ポリプの隔膜に対応した放射状の壁が見られる。造礁サンゴの多くは、この隔壁が6の倍数あることから、六放サンゴと呼ばれる。

写真は、石垣島サンゴ礁の現生カメノコキクメイシ骨格の薄片(左)と、エジプトシナイ半島の白亜紀中期のキクメイシ科の化石の薄片(右) (×1.3)。

(地質調査所地質標本館所蔵標本；撮影：佐藤喜男・巖谷敏光；文：茅根 創)

