

# 共生藻類を含む生きている有孔虫の観察 —理科教育における有孔虫の教材化の一例—

八田 明夫\*・岩尾 研二\*\*

(1996年10月15日 受理)

Observation of living Foraminifera containing endo-symbiont algae

— An example of teaching materials using Foraminifera in science education —

Akio HATTA and Kenji IWAO

## 1 はじめに

我が国では、環境教育を行う特定の教科を設けずに既存の教科で環境教育を行うことになっている。理科においても環境教育の視点を含んだ教育が行われている。理科における環境教育で学ぶべき事柄の中に、物質循環や相互関連性や生物の連続性などがある。物質循環を理解することは、人間の活動が環境に影響を与える時の限界を認識することに繋がる。物質循環や相互関連性や生物の連続性の学習では、生産者—消費者—分解者の輪の中で人間を含めた生き物が生存していることを学ぶことができる。これまでに、こうした物質循環を学ぶために閉じた系を演示したミニ生態系の観察などいくつかの教材が工夫されている。実験観察の重要性が認識されている中で更なる実験観察が求められている。

本論の目的は理科教育の中で行われる環境教育に有孔虫の観察を取り入れることの有効性について論じることである。いわゆる星砂と言われている有孔虫や殻の外から共生藻類を確認できる有孔虫の観察例を述べる。本研究の一部を1996年の理科教育学会九州支部大会で「生きている有孔虫の観察」と題して発表した(八田・岩尾, 1996MS)。

## 2 生きている有孔虫の採取

有孔虫は海洋に生息する原生動物である。有孔虫にはプランクトンとしての生活をする浮遊性有孔虫と海底で生活している底棲有孔虫とがいる。観察に用いる有孔虫は海岸で比較的容易に採集できる。浮遊性有孔虫も採集できるが、ほとんどが遺骸である。外洋に出ないと浮遊性有孔虫の生体を採取することは困難である。

沿岸で採取できる有孔虫は底棲有孔虫である。底棲有孔虫は海岸の砂などの堆積物の中や海藻(あるいは海草)や岩などに付着して生息しているので、砂を採取するか、海藻や海草を取って大

\* 鹿児島大学

\*\* 阿嘉島臨海研究所

きな容器の中でよく揺すってやれば採取することができる。本論で行った実験観察で使用した有孔虫は沖縄県石垣島の有孔虫, パプア・ニューギニアおよびパラウ共和国の沿岸の有孔虫である。

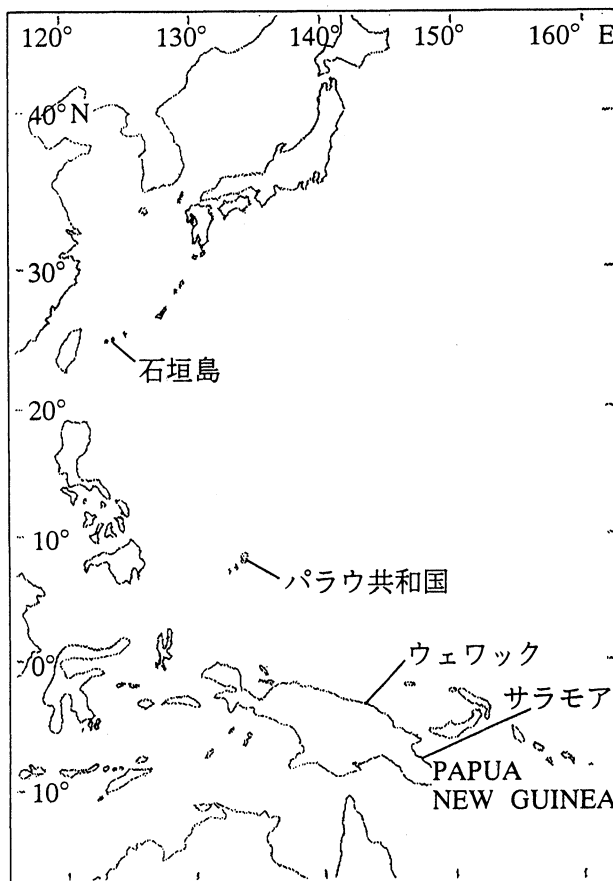


図1 試料採取地点

### 3 有孔虫の生活史

Plate 1 の Figs. 1-6 の有孔虫はアガモントが無性的にガモントを輩出している所である。Figs. 1-4 の有孔虫は沖縄県石垣島の伊原間沖の礁池内で, Figs. 5, 6 はパプア・ニューギニアのウェワックで採取した有孔虫である。この現象を説明するために有孔虫の生活史について, LOEBLICH & TAPPAN (1988)などを基に若干の解説を行う。

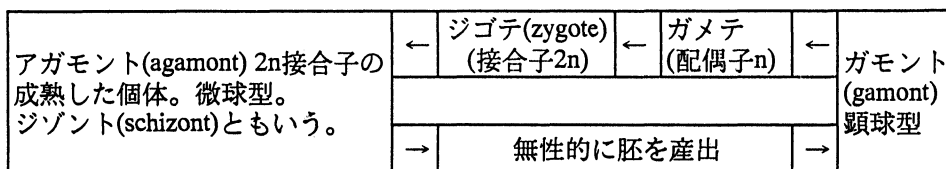


図2 有孔虫の生活史

アガモント (agamont) は配偶子の融合によりできた有孔虫の成熟した個体で, 無性的に生みだされたガモント世代と区別されている。ジゾント (schizont) ともいわれることがある。初房が極めて小さいことにより微球型と名付けられている。成長すると大きな個体となる。

八田・岩尾：共生藻類を含む生きている有孔虫の観察 — 理科教育における有孔虫の教材化の一例 —

ガモント (gamont) は無性的に生みだされた世代で、配偶子を形成し有性的に再生する。初房が大きいので顕球型と名付けられている。成長するとアガモントより小さな個体となる。ガモントが輩出するガメテ (配偶子) が接合したものがジゴテ (接合子) であり、成長してアガモントとなる。ジゴテ (接合子) (zygote) は、有性的生殖による二つの  $n$  のガメテ (配偶子) の融合の結果、配偶子として染色体の数が二倍になった  $2n$  の接合子である。

#### 4 塩酸処理後の有孔虫の観察

沖縄県石垣島と西表島の間には「石西礁」と呼ばれる日本最大のラグーンが広がっている。この浅海域の有孔虫は HATTA and UJIE (1992) によりモノグラフとして出版され、UJIE and HATTA (1995) により分布が明らかにされている。この海域に接している石垣島の白保海岸の有孔虫の中から石西礁に於ても多産する *Calcarina gaudichaudii* D'ORBIGNY と *Baculogypsina sphaerulata* (PARKER & JONES) について、10%のホルマリンで固定した有孔虫を塩酸で殻を溶かして有孔虫の内部を観察した。

試料は石垣島伊原間沖800mと1100mの礁池内で1996年1月16, 17日に採集した。いずれも内部は褐色や緑色をしていることが確認できた。*Calcarina gaudichaudii* D'ORBIGNY や *Baculogypsina sphaerulata* (PARKER & JONES) は殻が厚く内部に共生している藻類を色で確認することは困難である。殻を溶かして有孔虫の軟体部を確認できる方法は観察方法としては、より良いものと考えられる。

前述のように Plate 1 の Fig. 1-3 の *Calcarina gaudichaudii* はアガモント (ジゾント) がガモントを無性的に出している所で、塩酸で殻を溶かした結果が Plate 1 の Fig. 4 である。Plate 1 の Fig. 1-3 の *Calcarina gaudichaudii* に比べて有孔虫の軟体部はほとんど無く、次世代の輩出にそれが使われてしまったことを推測できる。Plate 1 の Figs. 5, 6 はパプア・ニューギニアのウェワックで採取した有孔虫で、ローズベンガルで生体染色処理を施したためガモントが赤く染まっている。採取した時、生きていたことを示している。

Plate 2 はまだガモントを出していない *Calcarina gaudichaudii* である。殻を溶かしてみると、褐色の生体が明瞭に見える (Figs. 2, 5, 6)。Plate 3 は *Baculogypsina sphaerulata* と *Calcarina defranci* である。Figs. 2, 4 は殻を溶かした個体でほとんどが褐色であるが稀に緑色の個体もある。Figs. 5, 6 はローズベンガルで染めてある。

#### 5 生きている有孔虫の観察

Plate 4 はアルコールで固定する前の生きている状態の有孔虫である。パラウ共和国の沿岸で採取した。採取した日に堆積物から分離し顕微鏡撮影をしたり、水槽で生きたまま保存し偽足を出している所を撮影した。いずれも有孔虫に共生している藻類の色がよく確認できる。Fig. 1 は偽足を出して捕食行動をしている *Amphistegina* と *Elphidium* である。Fig. 2 は *Parasorites orbitol-*

itoides (HOFKER) で黄緑色を呈している。Fig. 3 は *Archaias angulatus* (FICHTEL & MOLL) で青緑色をしている。Fig. 4 は、有孔虫を拾い集めたもので、紫色の種が *Peneropris planatus* (FICHTEL & MOLL), 青緑色の種が *Archaias angulatus* (FICHTEL & MOLL) 褐色の種が *Amphistegina lessonii* D'ORBIGNY である。

## 6 生きている有孔虫から環境教育として学べる事柄

有孔虫の観察を取り入れた環境教育で学ぶことのできる事柄とその内容を表1に示した。生物の連続性、相互関連性、物質循環などを学ぶ手立てとしてこれまでも閉じた系を演示したミニ生態系の観察などが工夫されている。生きている有孔虫の観察もミニ生態系の観察と同様の目標と教育効果が期待できる。以下に有孔虫の観察で学べる具体例を述べる。

表1 有孔虫の観察から環境教育として学べる事柄と内容

学べる事柄	有孔虫の観察点と学べる内容
生物の連続性	アガモントがガモントを輩出している様子； 子孫を残すということ
生物の相互関連性	緑色や褐色や紫色の有孔虫、共生藻類の観察； 共生関係、二酸化炭素の還元
物質循環	炭酸カルシウムの殻、有孔虫を含む石灰岩； 二酸化炭素の固定

第一に生きている有孔虫の観察で「生物の連続性」を学ぶことができる。成熟したアガモント（微球型）から多数のガモント（顕球型）が輩出されている様子の観察は有孔虫という生物が子孫を残す営みをしていることを直接観察することになる。ガモントは配偶子を出して有性生殖的に繁殖するがこの観察は技術的な困難が多い。しかしアガモントがガモントを待っている個体は比較的容易に採取でき、低倍率の顕微鏡でも分かるので観察が可能である。

第二に生きている有孔虫の観察で「生物の相互関連性」も学ぶことができる。緑色や褐色の有孔虫には緑藻類や褐藻類が含まれていることが分かっているので、このことを文献で学習し生きている有孔虫の観察で、その色から藻類の存在を判断できる。動物である有孔虫は酸素を消費し二酸化炭素を放出する。しかし、内部に共生している（内共生している）藻類が二酸化炭素を酸素に変えて放出する。有孔虫は海水中のカルシウムイオンと二酸化炭素から炭酸カルシウムを作り出し殻を形成する。この時、1モルの炭酸カルシウムを作り出すのに1モルの二酸化炭素を出してしまう（角皆，1989）。しかし、この二酸化炭素もやはり藻類により酸素に変えられる。結局、有孔虫と藻類のコンビは二酸化炭素を炭酸カルシウムの形に変えて固定しているのである。現在の環境問題の中心的な事柄の一つに二酸化炭素の増加問題がある。有孔虫という動物と藻類という植物の共生関係が二酸化炭素の増加をくい止める働きの一部を担っていると言える。

第三に化石となった有孔虫の観察である。有孔虫の中には遺骸となって堆積し長い年月をかけて石灰岩となったものがある。フズリナ石灰岩や貨幣石石灰岩などはその代表である。地殻の構成物質となった石灰岩は火山活動や風化や溶解で再び循環する。有孔虫の殻の構成物質に注目するとこ



八田・岩尾：共生藻類を含む生きている有孔虫の観察 — 理科教育における有孔虫の教材化の一例 —

のような物質循環を考えることができる。小さい循環から大きな循環まで色々な循環があるが、すべての物質は何らかの循環の一部を形成しているのである。人間がこの循環の中で異常に振る舞うことで環境問題が発生している。物質循環の概念を学ぶことの意義は大きい。

## 7 理科教育における有孔虫の教材化の内容とその拡大

これまでに有孔虫が教材として使われてきた例を表2にまとめる。主に地学教育の立場から有孔虫を教材としている例が多かった。

表2 有孔虫が教材として使われている分野、内容、意義

分野	内容や意義
地史の学習	フズリナや貨幣石など(示準化石)
進化の学習	フズリナの進化など(進化の証拠)
堆積岩の学習	有孔虫を含む石灰岩(二酸化炭素の固定)

フズリナや貨幣石などを使い示準化石としての有孔虫を地史の学習に取り入れている。進化についての学習ではフズリナの進化などが進化の証拠として挙げられて学習されている。堆積岩の学習では有孔虫などが形成する石灰岩の学習から二酸化炭素の固定について学んでいる。古世代のフズリナは石灰岩を形成しており、石灰岩は多量の二酸化炭素を含んでいるなどの例である。

これらの学習に加えて生きている有孔虫の観察も教材として価値があることをこれまで述べてきた。前述のように生物の学習で、原生動物としての有孔虫が、植物である藻類と共生していることを学ぶことができる。藻類と共生している有孔虫は藻類から酸素を供給してもらい、藻類は有孔虫に住みかの提供を受けている。この有孔虫を観察し、その共生関係を知ることは、生物の調和的な生き方を理解することに繋がるものと考えられる。

生きている有孔虫が藻類と共生していること、有孔虫が石灰岩を形成していることなどは地球環境を理解することに繋がっている。このように有孔虫を素材として環境教育に必要な事柄を数多く扱うことができる。本論では詳細には触れないが浮遊性有孔虫が深海に炭酸カルシウムの殻を運搬していること（グロビゲリナ軟泥の例）も地球環境の中で有孔虫の果たしている役割の一つと言える。人類がヒトであった時代には地球の有限性は認識できないものであった。そして人類はジェット機で地球を飛び交い、対流圏の上限の汚れを目撃した。ついには人工衛星で地球から飛び出し、その大気の希少さに気がついた。地球の有限性の認識は、こうしてようやく手に入れた大事な概念である。有限である地球の大気の組成は微妙なバランスの上に成り立っている。これまで大気中の二酸化炭素の割合は増加する傾向があったため、その温室効果により地球は温暖化に向かうと予想されている（最近その増加が止ったというデータも公表されているが）。

二酸化炭素の増加が心配される中で、前述したように有孔虫は大気中の二酸化炭素の割合の平衡を保つように働いていると言える。有孔虫は大気中の二酸化炭素を減少させているメカニズムの一部である。

## 8 環境教育の授業

上述してきたように地球の有限性、生命の連続性、物質の循環性、生物の共生関係を学ぶことが環境教育の目標として大切である。どのような内容を持った授業を構成していったらよいであろうか。第一にこれらの要素を学び各自の認識にまで高めるために、児童・生徒による実験観察を行うことである。授業の流れとして課題把握→実験観察→事実の学習→自己の認識への取り込みという、体験的学習を通した流れで授業を行ない環境教育においても実験観察が重要な要素としてかならず含まれる様にするのである。知識として一時的に暗記させるのではなく、自分で実験・観察を行い明確な認識になるような手立てを講じる必要がある。

第二に環境問題になる様な事柄が発生しそうな時、「Think Global, Act Local」な人間に育てる内容が盛り込まれていることである。地球規模で考え、地域で行動できることが環境教育の授業の目標として同時に含まれていることは望ましいが必要十分条件ではない。別々の主題で学ぶことが多いと考えられる。環境教育の多くの目標の内の一つでも含まれていれば良いと考える。しかし、どのような時も地球的規模の現象として考察し、自分のいる地球にその原因の一つ一つが存在していることと結び付ける努力が必要である。地球の有限性、生命の連続性、物質の循環性、生物の共生関係などを学ぶことのできる有孔虫の実験・観察を行うことで環境教育が成り立つと考えられる。

謝辞：本報告に用いたサンプルの一部は、(財) 熱帯海洋生態研究振興財団・阿嘉島臨海研究所が、海洋科学技術センターより委託された「サンゴ礁におけるベントスの定量評価に関する研究」の調査において採取したものである。同センターに感謝の意を表します。

## 引用文献

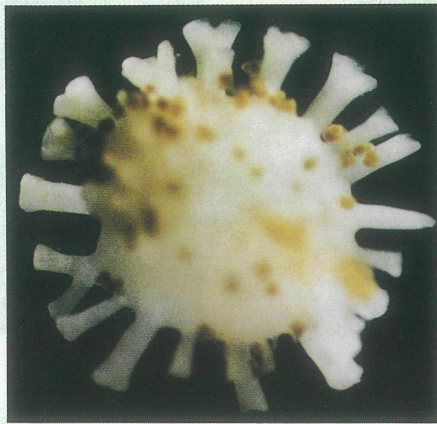
- LOEBLICH, A.R., Jr., and H. TAPPAN (1988): Foraminiferal Genera and their Classification. Van Nostrand Reinhold Company Inc. 970pp., 847pls.
- 八田明夫・岩尾研二 (1996MS): 生きている有孔虫の観察 —共生藻類の確認—. 平成8年度日本理科教育学会九州支部大会発表要旨, B-07
- HATTA, Akio and Hiroshi UJIE (1992): Benthic foraminifera from coral seas between Ishigaki and Iriomote Island, southern Ryukyu Island Arc, northwestern Pacific. Bulletin of the College of Science, University of the Ryukyus, no.53, p.49-119; no. 54, p.163-287.
- 角皆静男 (1989): 炭素などの物質循環と大気環境 —地球環境の変化における海洋の重要性—, 科学, Vol. 59, no. 9, p. 593-601.
- UJIE, Hiroshi and Akio HATTA (1995): Quantitative Analyses of Benthic Foraminiferal Assemblages from Southern Ryukyu Island Arc, Subtropical Northwestern Pacific Ocean. Journal of Foraminiferal Research, Vol. 25, no. 4, p. 334-349.



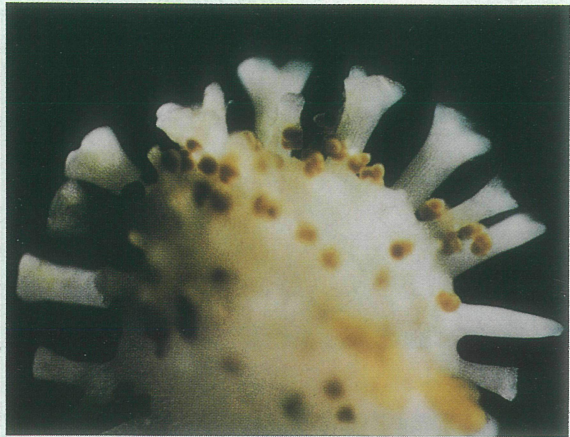
八田・岩尾：共生藻類を含む生きている有孔虫の観察 — 理科教育における有孔虫の教材化の一例 —

図版 1

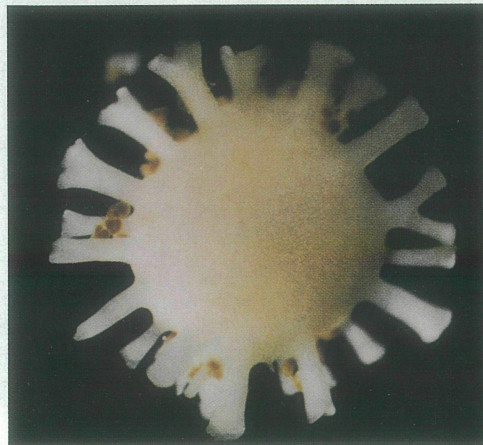
Figs. 1-4. *Calcarina gaudichaudii* D'ORBIGNY, Fig.1, 3, x13.7; Fig.2,4x18,  
 沖縄県石垣島, 伊原間沖で採取。この個体はアガモントで多数のガモントを放出している。Fig. 4は塩酸  
 で殻を溶かしたもので有孔虫の殻の中のほとんどが空であったことを示している。殻の中心だけに内容物  
 (生体) が存在している。周辺の小さい個体がガモントである。  
 Figs. 5, 6, *Calcarina gaudichaudii* D'ORBIGNY, Fig.5, x13.7; Fig.6, x27.5,  
 パプア・ニューギニア, ウェワックで採取。生体であることを確認できるローズベンガルで染色したため赤  
 く染まっている。



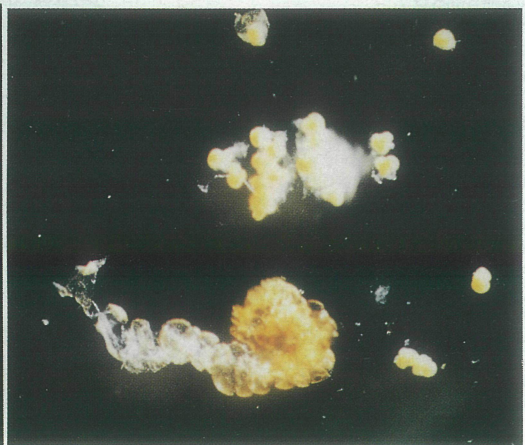
1



2



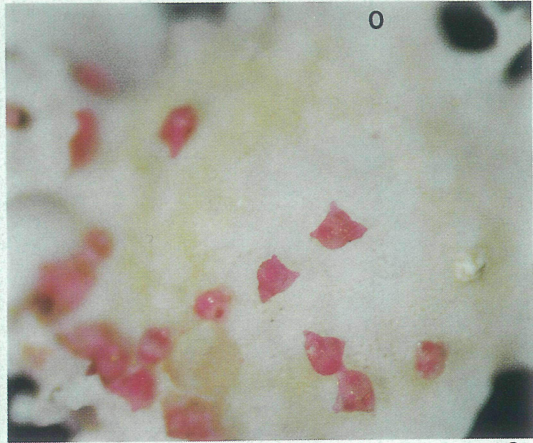
3



4



5

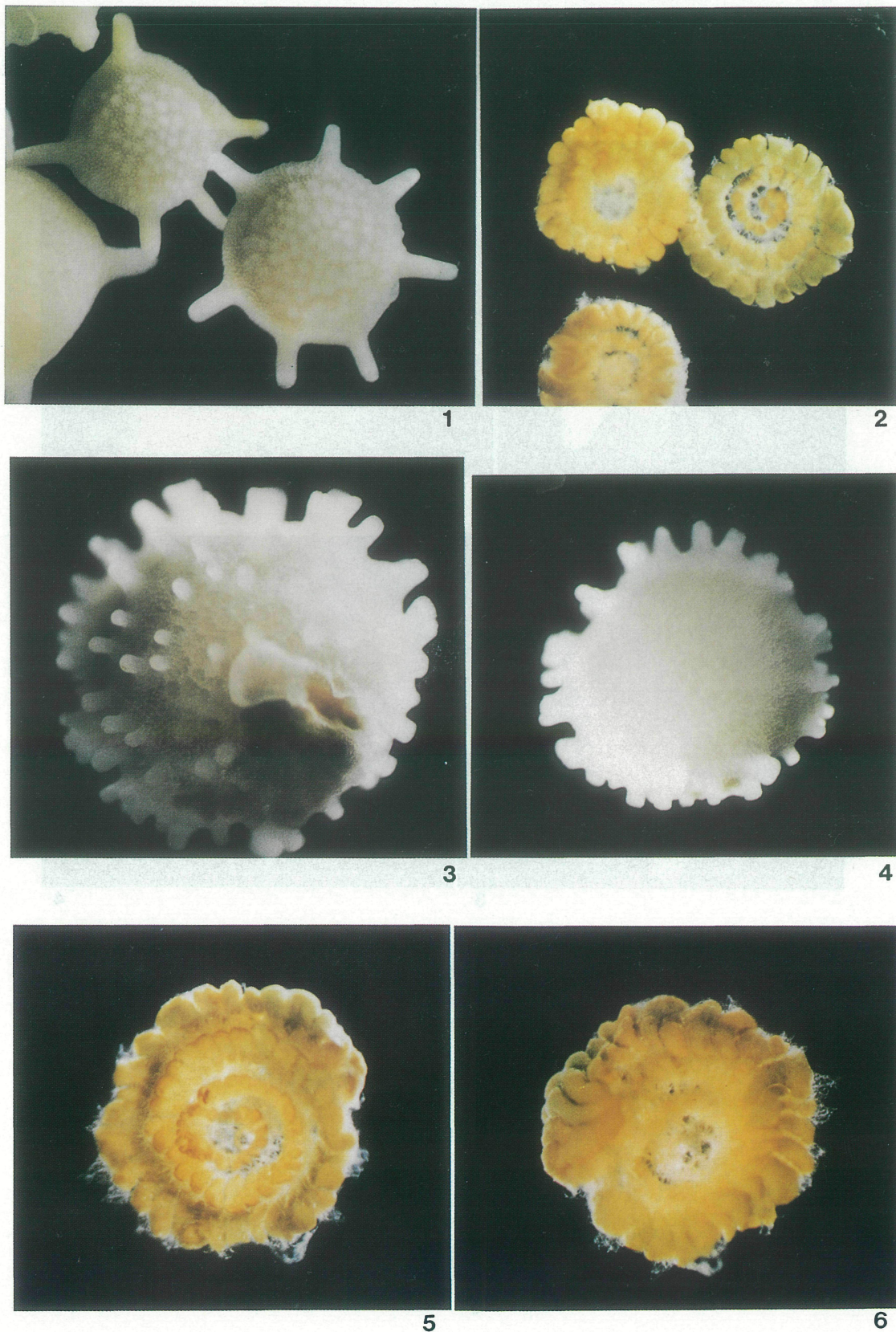


6



## 図版 2

Figs. 1-6. *Calcarina gaudichaudii* D'ORBIGNY, Fig.1-3, 5, 6 x20.6 ; Fig.4x16,  
沖縄県石垣島, 伊原間沖で採取。Fig. 1, 3, 4は殻を溶かす前の個体 ; Figs. 2, 5, 6は殻を溶かした個  
体。室の数が数えられるほど内容物(生体)が充実している。

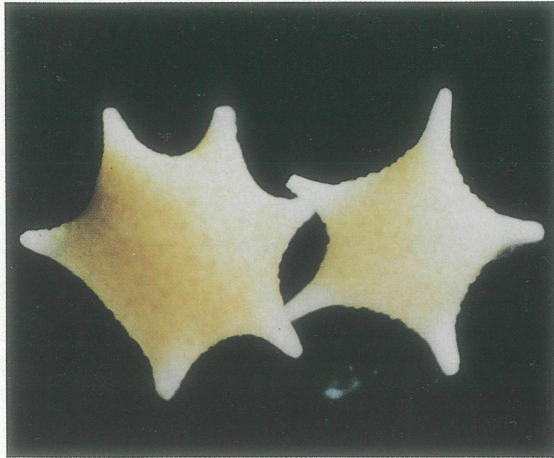




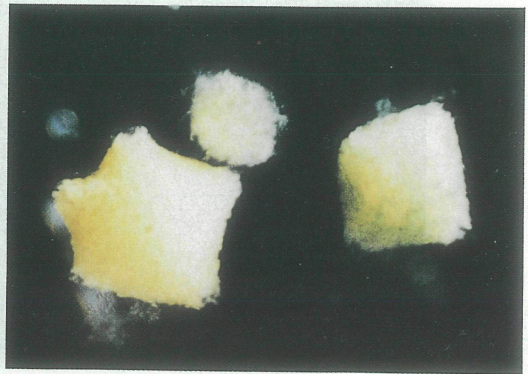
八田・岩尾：共生藻類を含む生きている有孔虫の観察 — 理科教育における有孔虫の教材化の一例 —

図版 3

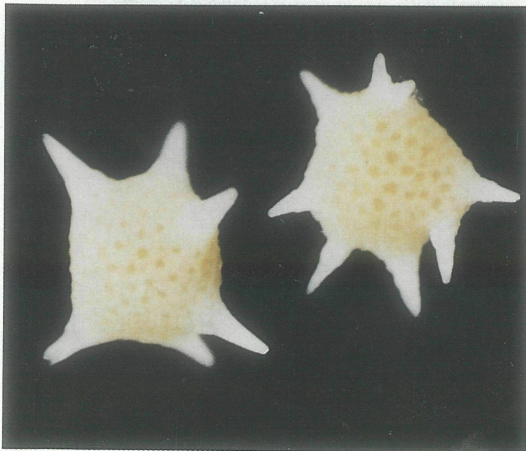
Figs.1-5. *Baculogypsina sphaerulata* (PARKER & JONES), Fig. 1 - 5 x19 ; Fig. 5, x15, Figs. 1 - 4 . 沖縄県石垣島, 伊原間沖で採取。Fig. 1, 3 は殻を溶かす前の個体 ; Figs. 2, 4 は殻を溶かした標本。多くは黄褐色だが緑色の個体もある。  
Figs.6, *Calcarina defranciai* D'ORBIGNY, x15 ; Fig.5, 6. パプア・ニューギニア, サラモアで採取。ローズベンガルで染色したため赤く染まっている。



1



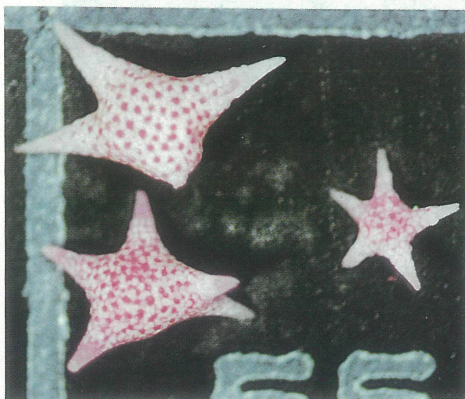
2



3



4



5



6



## 図版 4

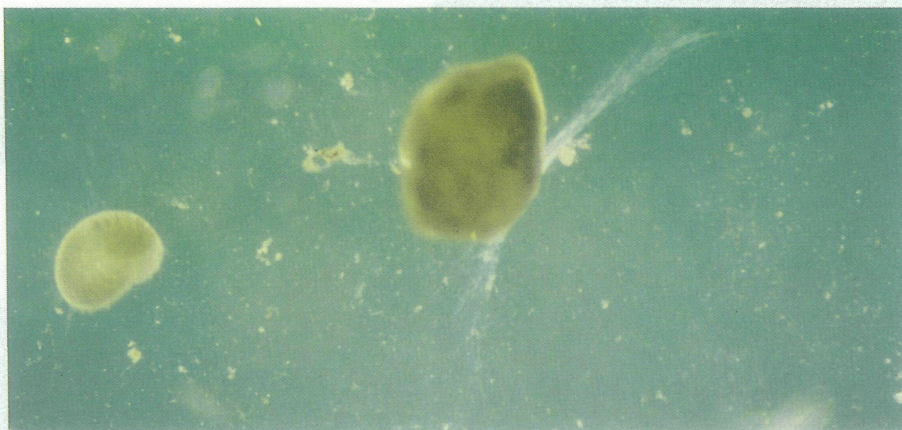
Fig. 1. 偽足を出して捕食行動をしている *Amphistegina* と *Elphidium*。いずれも褐色である。×22

Fig. 2. *Parasorites orbitolitoides* (HOFKER)。本種は黄緑色をしている。×38

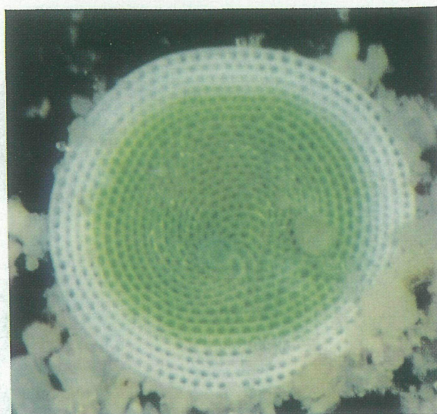
Fig. 3. *Archaisa angulatus* (FICHTEL & MOLL)。本種は青緑色をしている。×19

Fig. 4. 紫色の種が *Peneropris planatus* (FICHTEL & MOLL), 青緑色の種が *Archaias angulatus* (FICHTEL & MOLL) 褐色の種が *Amphistegina lessonii* D'ORBIGNY である。×6.2

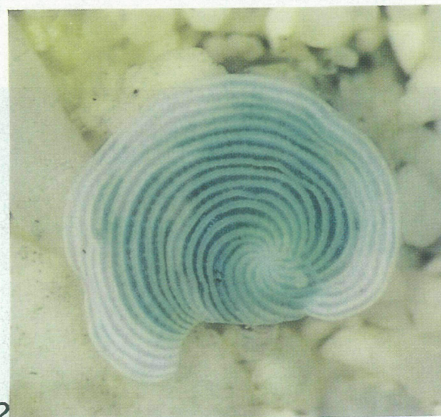
Fig.1-4, パラウ共和国で採取。



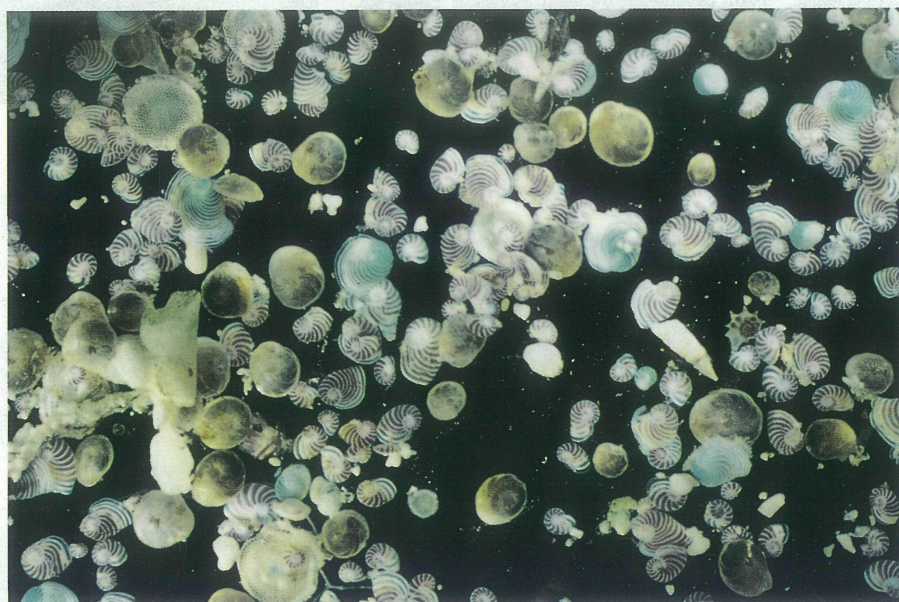
1



2



3



4