琉球大学学術リポジトリ

サンゴ礁海域貝形虫の殻に見られる捕食痕についての進化古生物学的研究

メタデータ	言語:
	出版者: 田吹亮一
	公開日: 2009-12-02
	キーワード (Ja): 捕食者, 捕食痕, 貝形虫, 貝形虫の殻, ボーリング痕, 生態, 溶解
	キーワード (En): Naticidae, predators, predation scars, ostracodes, ostracode valves, naticids, drillhole, solution hole, ecology
	作成者: 田吹, 亮一, Tabuki, Ryoichi
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/13590

サンゴ礁海域貝形虫の殻に見られる捕食痕についての進化古生物学的研究

課題番号　　０９６４０５５８

平成９年度～平成１１年度科学研究費補助金
（基盤研究（C）（２））研究成果報告書

平成１２年４月

研究代表者　　田　吹　亮　一
（琉球大学教育学部助教授）

平成９年度～平成１１年度科学研究費補助金
（基盤研究（C）（２））研究成果報告書

１．　課題番号　　０９６４０５５８

２．　研究課題　　サンゴ礁海域貝形虫の殻に見られる捕食痕についての進化古生物学的研究

３．　研究代表者　琉球大学教育学部助教授　　田吹 亮一

４．　研究経費　　平成９年度　　1,100 千円
　　平成１０年度　　500 千円
　　平成１１年度　　500 千円

　　計　　2,100 千円

研究発表

Tabuki, R. and Hanai, T., 1999: A new sigillid ostracod from submarine caves of the Ryukyu Islands, Japan. *Palaeontology*, Vol. 42, Pt. 4, p. 569 - 593.

研究成果

1．はじめに

Vermeij (1977) による‘the Mesozoic marine revolution’の提唱以来、進化古生物学の分野において、生物進化に及ぼす生物的環境要因の重要性の認識が広まってきた（例えば、Oji (1986), Brett (1990) 等）。これまで、貝形虫の生態分布および進化について、底質、水深、水温、塩分濃度などの非生物的要因との関連で理解することはあっても、生物的環境要因、即ち、捕食、競争、寄生、共生等と結び付けて考察することはほとんどなかった。今後は、貝形虫の生態分布、進化と生物的環境要因との関連を具体的に明らかにしていく必要がある。貝形虫の殻に見られる捕食痕についての研究は現生、化石とも極めて少ない。その中で、Maddocks (1988) はアメリカ合衆国・テキサス州産の白亜紀、古第三紀、第四紀（完新世）の貝形虫化石又は遺がいの殻に見られる捕食痕を形態、サイズ等に着目して分類した。本研究での捕食痕の形態の分類も基本的には Maddocks に従う。貝形虫にとっての捕食者は、貝形虫を堆積物、有機物などと一緒に‘非選択的’に飲み込む「非選択的捕食者」と貝形虫個体をターゲットとして、攻撃、捕食する「選択的捕食者」に分けられるが、捕食痕のほとんどは後者によるものと考えられる。又、捕食痕の内、捕食者のボーリングによる捕食痕（以下、ボーリング痕）は主に、Naticidae（科）および Muricidae の巻貝によると考えられている（Reyment, 1966, ;Reyment *et al.*, 1987; Maddocks, 1988）。

筆者はこれまで、本研究と並行して、サンゴ礁の海底洞窟に生息する底生貝形虫の系統分類と進化について研究してきたが、その過程で、礁斜面に開口する洞窟の中に生息する貝形虫に対する捕食圧が、洞窟外のサンゴ礁環境に比べ、極めて低く、貝形虫の殻に見られる捕食痕の頻度も小さいことをに明らかにした（Tabuki and Hanai, 1999)）。本研究では琉球列島の海生の現生および化石貝形虫、特に、サンゴ礁および浅海域に生息する底生貝形虫を研究対象として、貝形虫の殻に見られる捕食痕について詳しく調べ、捕食痕の形態の特徴と貝形虫種の生態分布との関連を明らかにするとともに、捕食痕を形成した捕食者の特定を試みた。

2．殻に捕食痕の見られる貝形虫個体について

2－1．琉球列島のサンゴ礁海域の現生貝形虫個体

研究対象とした貝形虫個体（遺がい（殻））は2ヶ所の現世サンゴ礁、即ち、石垣島、西表島間のサンゴ礁である石西礁とその周辺海域（以下、石西礁）および沖縄本島北部、本部半島近くの瀬底島の礁池において採集された。石西礁は石垣島と西表島の間に広がる大サンゴ礁で、特に、その北縁の竹富島から小

浜島にかけて、又、その南縁の黒島、新城島周辺にサンゴ礁が発達、外洋側に向かい、礁斜面が発達する。石西礁の内側は礁湖的な環境となっている。特に、竹富島、小浜島間の海域は閉鎖性が強く、比較的穏やかな環境で、その中央部の水深 10 m 前後の海底堆積物として、シルト質の細粒堆積物が卓越する (Tabuki and Nohara, 1990)。貝形虫用堆積物試料は 1985 年 10 月、文部省科学研究費補助金（総合研究（A））の「沖縄・八重山群島石西礁と周辺海域の自然環境の現況と形成過程」（研究代表者：氏家 宏 琉球大学理学部教授）の中の研究題目「環境指標として貝形類」のため得られた 30 点の海底堆積物試料で、多くは中～粗粒砂よりなる（Figure 1）。各々の堆積物試料について、乾燥重量 80 g を 9 メッシュ（ふるいの目、2 mm）および 250 メッシュ（0.063 mm）のふるいで水洗いし、乾燥させた後、250 メッシュのふるいに残った堆積物残さの分割試料より200 個体を目処に貝形虫個体（そのほとんどは貝形虫の殻だけからなる貝形虫遺がい）を実体顕微鏡下で拾い出した。得られた3996 個体の貝形虫個体について調べた結果、78 個体の貝形虫個体に捕食痕とみられる殻の破損が認められた。

瀬底島周辺には裾礁型のサンゴ礁が発達するが、その内側には島をとり巻く形で礁池が見られる。本研究のための貝形虫用試料として、瀬底島北西部の礁池内において、異なる底質、即ち、表層砂、その表面に繊維状藻類が生育している手のひら大のレキ、大型海藻としてヒメモサズキ、サボテングサの 4 試料を 1997 年 5 月に採取した（Figure 2）。貝形虫用試料の処理、貝形虫個体の拾い出しの方法は石西礁の堆積物試料の場合とほぼ同じだが、瀬底島礁池の試料については、顕微鏡下での貝形虫生体（試料採取時、生きていたと考えられる貝形虫個体）と殻だけからなる貝形虫遺がいの両者の区別を容易にするため、250 メッシュのふるいに残った堆積物残さについてローズベンガル処理を施し、貝形虫生体のみ染色されるようにした。これら 4 試料より拾い出した貝形虫遺がい 1041 個体より、殻に捕食痕が見られる 14 個体の貝形虫個体を得た。なお、上述のレキとヒメモサズキの試料中に含まれる貝形虫　生体の一部の個体は生かした状態にしておき、捕食者を特定するための飼育実験に使用した。なお、この飼育実験のための貝形虫生体の採集は引き続き、1998 年、1999 年にも行った。

2－2．沖縄本島南部の知念砂層（更新統）の化石貝形虫個体

貝形虫化石用堆積物試料の採取を沖縄本島南部の知念村内、守礼カントリークラブゴルフ場東縁の崖に露出する知念砂層の露頭において行った。知念砂層 (Chinen sand) は、MacNeil (1960) により、琉球層群（更新統）の最下部の地層で、海生生物化石を多く含む浅海性砂質堆積物に対し命名された。ただ、

MacNeil (1960) の知念砂層の説明が簡略な上、知念砂層の模式地の久手堅付近の露頭が大きく改変したこともあり、その後、知念砂層の内容、層序学的位置についての研究者間の見解の違いが生じた（Table 1）。本報告での知念砂層の内容、層序学的位置については高嶺 (1999 MS) の見解に従う。なお、高嶺 (1999 MS) によれば、守礼カントリークラブゴルフ場東縁の崖に露出する知念砂層は島尻層群（中新世～更新世）の最上部に位置する新里層（鮮新世～更新世）の最上部、久手堅砂質シルト部層（高嶺 (1999 MS) により命名）に含まれる。ただ、高嶺 (1999 MS) は未だ、出版されていないため、ここでは知念砂層の名称を使用する。以下、本露頭の堆積物の特徴、貝形虫用堆積物試料の採取、処理について簡単に述べる。

本露頭の最下部には新里層（＝高嶺 (1999 MS) の新里層主部）の青灰色粘土が見られ、その上に、荷重痕に起因する凹凸に富んだ層理面を境に、知念砂層（＝高嶺　(1999 MS) の久手堅砂質シルト部層）がのる（Figure 3）。本露頭の知念砂層下部は灰色塊状砂質シルトよりなる。但し、最下部は灰色シルト質細粒砂よりなり、特徴的な２枚の褐色の中粒砂層（層厚、約５cm ）を挟む。下部の灰色塊状砂質シルトには微小な貝化石又はその破片が散在する。又、細～中粒砂の平行葉理が‘切れ切れ’状態で含まれる。本露頭の知念砂層の上部も灰色砂質シルトよりなるが、下部に比べ、細～中粒砂の平行葉理がより頻繁に含まれ、貝化石も多く見られる。上部の貝化石には小型の貝類が多く、二枚貝はほとんど単弁で葉理面にほぼ平行に配列し、他生的な産状を示す。知念砂層の上部には腕足類や単体サンゴの化石も少ないながら含まれる。

本露頭での貝形虫用堆積物試料の採取は計、５層準で行った（Figure 3）。５試料の内、「C－１」は新里層（＝高嶺 (1999 MS) の新里層主部）の青灰色粘土、「C－２」は知念砂層最下部の灰色シルト質細粒砂、「C－３」および「C－４」は下部の灰色塊状砂質シルト、「C－５」は上部の細～中粒砂の平行葉理を頻繁に含む灰色砂質シルトから採取した。堆積物試料は電気乾燥器内でよく乾燥させた後、各試料、８０ｇを単位量として、熱湯を注ぎ、半日放置した後、９メッシュおよび250 メッシュのふるいで水洗いし、再度乾燥させ、さらにガソリンを注いで約、３０分放置した。その後、熱湯を加えながら、ガソリン臭がなくなるまで煮沸した。その後、再度、ふるいで水洗、250 メッシュのふるいに残った堆積物残さを乾燥させ、各試料の分割試料より貝形虫化石個体を実体顕微鏡下で拾い出した。その結果、「C－１～５」より、各々、901 個体、548 個体、3587 個体、5459 個体、4743 個体、3996 個体を拾い出した。これらの計、19234 個体の貝形虫化石から190 個体の殻に捕食痕とみられる破損のある貝形虫化石を拾い出した。

3．貝形虫殻に見られる捕食痕について

貝形虫の殻の破損は生物的要因、非生物的要因の両者による。生物的要因による貝形虫殻の破損の痕は選択的捕食者による捕食痕と非選択的捕食者の消化管内での殻の溶解による「穴」に分けられ、非生物的要因による破損の痕は貝形虫個体の死後運搬の過程での貝形虫殻の機械的破損の痕と、主に、堆積後の化学的溶解による穴に分けられよう（Figure 4）。ただ、実際には生物的要因と非生物的要因のいずれかを断定することは困難なことが多く、本研究においても、ボーリング痕以外の捕食痕の中に、非生物的破損によるものがかなり含まれている可能性がある。又、貝形虫個体死後の貝形虫殻の生物によるボーリング、破壊も考えられる。本研究では、貝形虫殻の保存の程度等を考慮、捕食に伴う殻の破損の結果である捕食痕の特定に努めた。本研究は主に選択的捕食者による捕食痕を研究対象としているが、殻の溶解によると考えられる殻の破損についても言及する。

Table 2に石西礁および瀬底島礁池からの、捕食痕とみられる貝形虫殻の破損のある貝形虫種のリストを捕食痕の形態のタイプ別に示す。この表には貝形虫個体数の他、石西礁、瀬底島礁池での貝形虫種の生態分布の調査で判明した、生息時の底質についても示してある（Tabuki and Nohara, 1988, 1990, 1995; Tabuki *et al.*, 1993）。知念砂層（更新統）の貝形虫化石に見られる捕食痕の形態についての研究結果を、試料別の貝形虫種リストとして示す（Table 3）。当該の貝形虫種、又はその近縁の現生種の生息時の底質についても表中に明示した。捕食痕はその3次元的形態により、「パラボラ型」、「円筒型」、「不定形」の3タイプに分けられる。この内、「パラボラ型」、「円筒型」はボーリング痕であるが、「不定形」についてはボーリング痕の他、捕食者の「突き」等によるものも含まれると考えられる。以下、上記の3タイプの捕食痕の特徴、各々のタイプの捕食痕を有する貝形虫種、さらに想定し得る捕食者について述べる。

（1）パラボラ型の捕食痕（ボーリング痕）

このタイプの捕食痕は、殻表面での外形が直径、数十μ～200 μ程度の円形で、3次元的には滑らかな壁面が殻表面に対し比較的緩く傾き、殻の内側に向かい先細り状態になるすり鉢状の穴である。石西礁、瀬底島礁池の2ヶ所のサンゴ礁域貝形虫については、パラボラ型の捕食痕の出現頻度は極めて低く、わずかに4種類の貝形虫の殻に見られるにすぎない。これら4種は藻類（レキ上に生育する繊維状（微小）藻類を含む）の植物体上で生活している葉上種である。知念砂層の貝形虫化石について、パラボラ型はCytheropteron属のような泥底種で高い出現頻度で見られるが、パラボラ型の捕食痕を残すNaticidaeやMuricidaeの巻貝は砂泥底に生息していることを考えると、砂底種、泥底種の

殻に見られるパラボラ型の捕食痕の形成者として、これら巻貝が有力な候補となる。Maddocks (1988) はこのタイプの捕食痕の内、穴の径の大きなものはNaticidae の巻貝、穴の径の小さなものはNaticidae、Muricidae を含む巻貝や渦虫等による可能性があるとしている。ただ、Naticidae、Muricidae の巻貝が海藻、海草に付着して生活することはないことから（加瀬、私信、1997）、上述した貝形虫の葉上種についてはこれら巻貝以外に捕食者を求める必要がある。

（2）円筒型の捕食痕（ボーリング痕）

このタイプの捕食痕の形態はパラボラ型に似るが、穴の壁面が、殻表面に対し、ほぼ垂直になっていることで区別される。但し、殻表面に近い部分に限って、パラボラ型同様、穴の壁面が傾斜しているものがあり、本報告では、これも円筒型のボーリング痕に含めるが、これは後述する穴の直径が大きな捕食痕のグループに典型的に現われる。円筒型の捕食痕の穴の直径は数μから数百μにわたるが、おおよそ、穴の直径、100 μを境に大小二つの捕食痕のグループに分かれる可能性が高い。円筒型と後述する不定形の捕食痕は同程度の割合で出現、その出現頻度は高い。又、両タイプとも、１個体の貝形虫の殻に捕食痕が２個以上見られる場合もある。円筒型の捕食痕は、現生貝形虫では葉上種に多く、その他、砂底種、泥底種にも少ないながら認められるのに対し、貝形虫化石では、葉上種、砂底種に多い。Maddocks (1988) はこのタイプの捕食痕がNaticidae、 Muricidae を含む巻貝や渦虫等により形成される可能性に言及している。大きなサイズの円筒型の捕食痕は、多くの場合、殻表面に近い穴の壁面が傾斜していることから、 Naticidae、 Muricidae の巻貝のように、洗練されたボーリングの specialist による可能性が高い。但し、上述したように、葉上種については、Naticidae、Muricidae の巻貝以外に捕食者を求める必要がある。小さなサイズのものについては、その穴のサイズから巻貝などは捕食者ではあり得ず、線虫などがその候補となる。

（3）不定形の捕食痕

上記２タイプ以外の捕食痕で定まった形態を示さない。Maddocks (1988) も認めているように、このタイプでは穴の周辺の殻表面に削り痕、引っ掻き傷あるいは酸により溶かされた痕と見えるものが少なからず存在する。穴の径（長径）は100 μ以上と概して大きい。このタイプの捕食痕は、現生貝形虫では、円筒型同様、葉上種に多く、その他、砂底種、泥底種も少ないながら見られる。又、貝形虫化石では、比較的、砂底種、泥底種に多く認められる。具体的に捕食者の見当をつけるのは難しいが、捕食痕の形状から、歯で割ったり、鋏などにより突き刺した痕と考えられるものの他（Maddocks, 1988 、何らかの原因でボーリング痕の穴の外形が不規則になったとみられるものも含まれることから、

粗雑ながら、貝形虫の殻に対し、強力な破壊能力をもつ捕食者（例えば、小型の十脚類）の他、ボーリング痕をつくる捕食者も含まれると考えられる。

上記の３タイプの捕食痕とは別に、明らかに、殻全体の溶解が進み、その結果として、殻の一部に穴の空いた貝形虫殻が見られる。Sakai and Nishihira (1981) は沖縄本島近く、久高島の礁嶺において、底生有孔虫生体がナマコに飲み込まれている事実を述べているが（但し、著者らはナマコの糞に多くの底生有孔虫が生きた状態で発見される事から、捕食者としてのナマコの重要性については懐疑的である）、貝形虫についてもこのような非選択的捕食者によって飲み込まれ、消化管内でその殻が溶解する場合も考えられる。Kornicker and Sohn (1971) は魚類の消化器官内で溶解、穴の空いた淡水性、海生の貝形虫の殻の例を示している。ただ、非生物的要因により、例えば、局地的にpH 値の低い場所に堆積した貝形虫殻の一部が無機的に溶けた可能性もある。溶解により空いたと考えられる穴は１個体の貝形虫殻に多数見られる場合が多い。

４．貝形虫殻に捕食痕を残した捕食者を特定するための飼育実験について

貝形虫殻に捕食痕を残した捕食者を特定するための飼育実験に使用するため、瀬底島礁池の貝形虫用試料の内、レキとヒメモサズキの試料の一部から生きた状態の底生貝形虫と捕食者候補を選び、拾い出した。捕食者候補は巻貝と線虫の数種とした。1997 年には、開いた一方の端に0.1 mm の目の布製メッシュを張ったマイクロテストチューブの中に貝形虫数個体と同一種の捕食者の数個体を海水とともに入れたものを、貝形虫と捕食者の各々の種類を考慮したいくつかの組み合せを作り、それらを、１週間程、海水を満たした水槽内に置き、流水（循環式）飼育を行った。又、1998 年、1999 年には一方の端に0.1 mm の目の布製メッシュを張ったシャーレの中に、貝形虫生息時の底質の一つである微小藻類の生育したレキの小片、さらに貝形虫数個体、同一種の捕食者数個体を入れたものを、数組作り、1997 年同様、一定期間、水槽内で流水飼育を行った。残念ながら、捕食者の特定には至らなかった。

飼育実験を試みる中で２つの課題が出てきた。一つは飼育法である。同じ底生貝形虫でも泥底種の場合、水温の管理さえ注意しておけば、海底の泥を敷き、海水を満たしたシャーレ内で比較的簡単に長期飼育が可能である。一方、サンゴ礁域貝形虫の場合、その生息環境から推定される様に、流水飼育が必要となる。さらに、本研究のように、捕食者を特定することが目的の場合、貝形虫と捕食者が接触する機会を増やす、なるべく狭い空間内での飼育が望ましい。さらに、その場合、貝形虫と捕食者双方が飼育容器（上記のマイクロテストチューブ、シャーレ）内から逃げないよう布製メッシュを貼る必要がある。これらの条件が相まっ

て、飼育容器内の海水の循環が悪くなり、貝形虫と捕食者のいずれか、又は双方が弱り、さらには死亡するに至ることが多い。水温調節は水槽全体をインキュベーター内に置くことにより可能なため、飼育容器内の海水の循環に注意し、水質を良好に保つことが今後の飼育実験の課題となろう。二つ目は捕食者候補の選定である、現在、貝形虫殻に捕食痕を残す捕食者と想定されているのはNaticidae、Muricidae の巻貝だけである（Reyment *et al.*,1987; Maddocks, 1988)。しかし、貝形虫の砂底種、泥底種に見られるボーリング痕でも小さなものや葉上種に見られる捕食痕についてはNaticidae、Muricidae の巻貝以外にその捕食者候補を探さなければならない。この点については、Maddocks (1988) の挙げている渦虫の他、線虫も含め、試行錯誤しながら捕食者を探さざるを得ないが、その際、捕食のための口器等の構造を手掛かりに、捕食者候補を絞っていく必要がある。

5．まとめ

貝形虫の生態分布および進化について、非生物的要因だけでなく、生物的環境要因、特に、捕食や競争との関連を具体的に明らかにしていく必要がある。本研究では琉球列島の浅海性の現生および化石貝形虫を研究対象として、貝形虫の殻に見られる捕食痕の形態の特徴と貝形虫種の生態分布との関連を明らかにするとともに、捕食痕を形成した捕食者の特定を試みた。貝形虫にとっての捕食者は、貝形虫を‘非選択的’に飲み込む「非選択的捕食者」と貝形虫個体をターゲットとして、攻撃、捕食する「選択的捕食者」に分けられるが、捕食痕のほとんどは後者によると考えられる。現生貝形虫標本として、石垣島、西表島間の石西礁と沖縄本島・本部半島近くの瀬底島の礁池において採集した貝形虫遺がいを、さらに、化石貝形虫標本として、沖縄本島南部、知念村の知念砂層（更新統）からの貝形虫化石を研究対象とした。

捕食痕と考えられる貝形虫殻の破損はその３次元的形態により、現生、化石双方において、「パラボラ型」、「円筒型」、「不定形」の３タイプを認めた。この内、「パラボラ型」、「円筒型」はボーリング痕であるのに対し、「不定形」にはボーリングの他、粗雑ながら、強力な機械的破壊によるものも含まれると考えられる。

パラボラ型の捕食痕は、殻表面での外形は、直径が数十μ～200 μ程度の円形で、３次元的には滑らかな壁面が殻表面に対し比較的緩く傾くすり鉢状の穴である。Maddocks (1988) は大きなパラボラ型の捕食痕は Naticidae、Muricidae の巻貝、小さなものはNaticidae、Muricidae を含む巻貝、渦虫等を想定しているが、本研究で扱う貝形虫個体の内、葉上種の殻に見られるパラボラ型の捕食痕については、円筒型、不定形同様、Naticidae、Muricidae の巻貝以外に捕食者を探さなければな

らない。

円筒型の捕食痕はパラボラ型に似るが、穴の壁面が、殻表面に対し　ほぼ垂直になっていることにより区別される。円筒型の捕食痕は、明らかに大小二つのグループに分かれる。円筒型の捕食痕は現生貝形虫では葉上種に、化石貝形虫では葉上種、砂底種に多く認められる。Maddocks (1988) はこのタイプの捕食痕が Naticidae、Muricidae を含む巻貝や渦虫等により形成されたとしている。ただ、パラボラ型同様、葉上種については、Naticidae、Muricidae の巻貝以外に捕食者を求める必要がある。小さなサイズのものについては、その穴のサイズから巻貝などは捕食者ではあり得ず、線虫などがその候補となろう。

不定形の捕食痕は上記２タイプ以外の定まった形態を示さない捕食痕をさす。現生貝形虫では、このタイプの捕食痕は葉上種に多く、化石貝形虫では、砂底種、泥底種の殻に比較的多く認められる。捕食者として、粗雑ながら、貝形虫殻に対する強力な破壊能力をもつ捕食者（例えば、小型の十脚類）の他、ボーリング痕をつくる捕食者も含まれると考えられる。

上記の３タイプの捕食痕とは別に、非選択的捕食者の消化管内での溶解、あるいは無機的溶解の結果、殻全体の溶解が進み、殻の一部に穴の空いた貝形虫殻も見られる。

瀬底島礁池からの貝形虫生体と捕食者候補を同居させ、貝形虫殻に捕食痕を残した捕食者を特定するための飼育実験を水槽内で行ったが、残念ながら、捕食者の特定には至らなかった。今後の飼育実験の課題として、飼育容器内の海水の循環を良くし、水質を良好に保つこと、捕食のための口器等の構造を手掛かりに、捕食者候補を絞っていくことの二点が挙げられる。

引用文献

Brett, C.E., 1990: 4.13.1 Marine Predation. p. 368-372. *In*, Briggs, D.E.G. and Crowther, P.R. (eds). *Palaeobiology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 583 pp.

Kornicker, L.S. and Sohn, I.G., 1971: Viability of ostracode eggs egested by fish and effect of digestive fluids on ostracode shells: ecologic and paleoecologic implications. p. 153-166. *In* Oertli, H.J.(ed.). *Paleoecologie des Ostracodes*. Proceedings of the Third International Symposium on Ostracoda, Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 5 suppl., 953 pp.

MacNeil, F.S., 1960: The Tertiary and Quaternary gastropods of Okinawa. *U.S. Geol. Surv., Prof. Paper*, no. 339, p. 1-148.

Maddocks, R.F., 1988: One Hundred Million Years of Predation on Ostracoda: The Fossil Record in Texas. p. 637-657. *In* Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. (eds). *Evolutionary biology of Ostracoda, its fundamentals and applications*. Proceedings of the Ninth International Symposium on Ostracoda, Kodansha Ltd., Tokyo and Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1356 pp.

Oji, T., 1986: Skeletal variation related to arm regeneration in *Metacrinus* and *Saracrinus*, Recent stalked crinoids. *Lethaia*, Vol. 19, p. 355-360.

Reyment, R.A., 1966: Preliminary observations on gastropod predation in the western Niger Delta. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, vol. 2, p. 81-102.

——, Reyment, E. R. and Honingstein, A., 1987: Predation by boring gastropods on late Cretaceous and early Palaeocene ostracods. *Cretaceous Research*, Vol. 8, p. 189-209.

Sakai, K. and Nishihira, M., 1981: Population study of the benthic foraminifer *Baculogypsina sphaerulata* on the Okinawan reef flat and preliminary estimation of its annual production. p. 763-766. *In* Gomez, E. D., Birkeland, C. E., Buddemeier, R. W., Johannes, R. E., Marsh, Jr, J. A. and Tsuda, R. T. (eds). *The reef and man*. Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, Vol. 2, Manila, 785 pp.

Tabuki, R. and Nohara, T., 1988: Preliminary study on the ecology of ostracods from the moat of a coral reef off Sesoko Island, Okinawa, Japan. p. 429 - 437. *In* Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. (eds). *Evolutionary biology of Ostracoda, its fundamentals and applications.* Proceedings of the Ninth International Symposium on Ostracoda. Kodansha Ltd, Tokyo and Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1356 pp.

—— ——, 1990: The Ostracoda of the Sekisei-sho area, Ryukyu Islands, Japan: a

preliminary report on ostracods from coral reefs in the Ryukyu Islands. p. 365-377. *In* Whatley, R. and Maybury, C. (eds). *Ostracoda and Gloval Events*. Proceedings of the Tenth International Symposium on Ostracoda. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 621 pp.

——— ———, 1995: Seasonal distribution of intertidal ostracodes on gravels from the moat behind a coral reef off Sesoko Island, Ryukyu Islands, Japan. p. 343 - 349. *In* Riha, J. (ed.). *Ostracoda and Biostratigraphy*. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Ostracoda. A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, 454 pp.

———, Hamamoto, S., Mitsunaga, S. and Nohara, T., 1993: The ecological distributions of some ostracod species from coral reefs in the Sekisei-sho area, Ryukyu Islands, Japan. (abstract) p. 168. *In* McKenzie, K.G. and Jones, P.J. (eds). *Ostracoda in the Earth and Life Sciences*. Proceedings of the Eleventh International Symposium on Ostracoda, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 724 pp.

Tabuki, R. and Hanai,T., 1999: A new sigillid ostracod from submarine caves of the Ryukyu Islands, Japan. *Palaeontology*, Vol. 42, Pt. 4, p. 569 - 593.

高嶺 敏康, 1999 MS: 沖縄本島南部に分布する「知念砂層」の貝形虫化石群集と堆積環境について. 琉球大学大学院教育学研究科理科教育専修修士論文, 43 pp.

Vermeij, G.J., 1987: *Evolution and Escalation, an Ecological History of Life*. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, 527 pp.

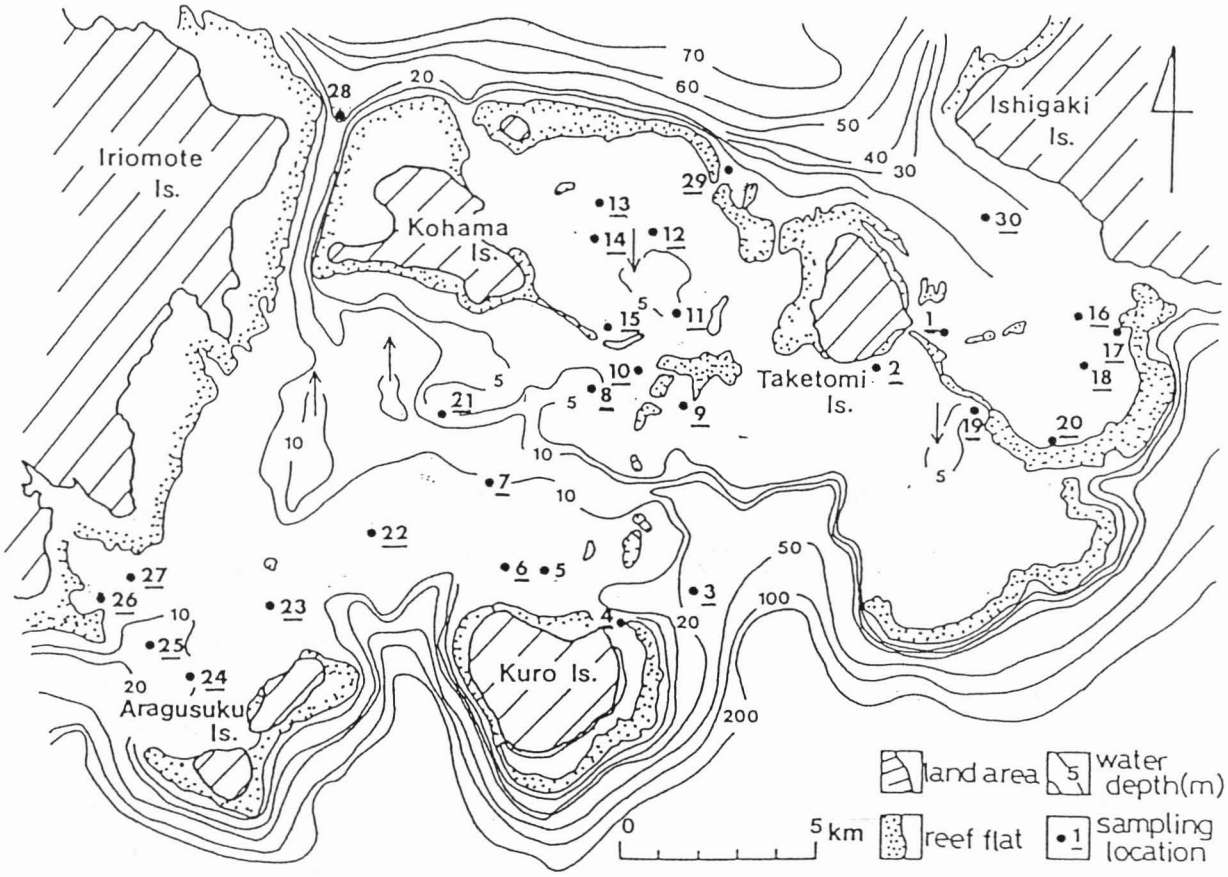

Figure 1. Sampling localities in the Sekisei-sho area

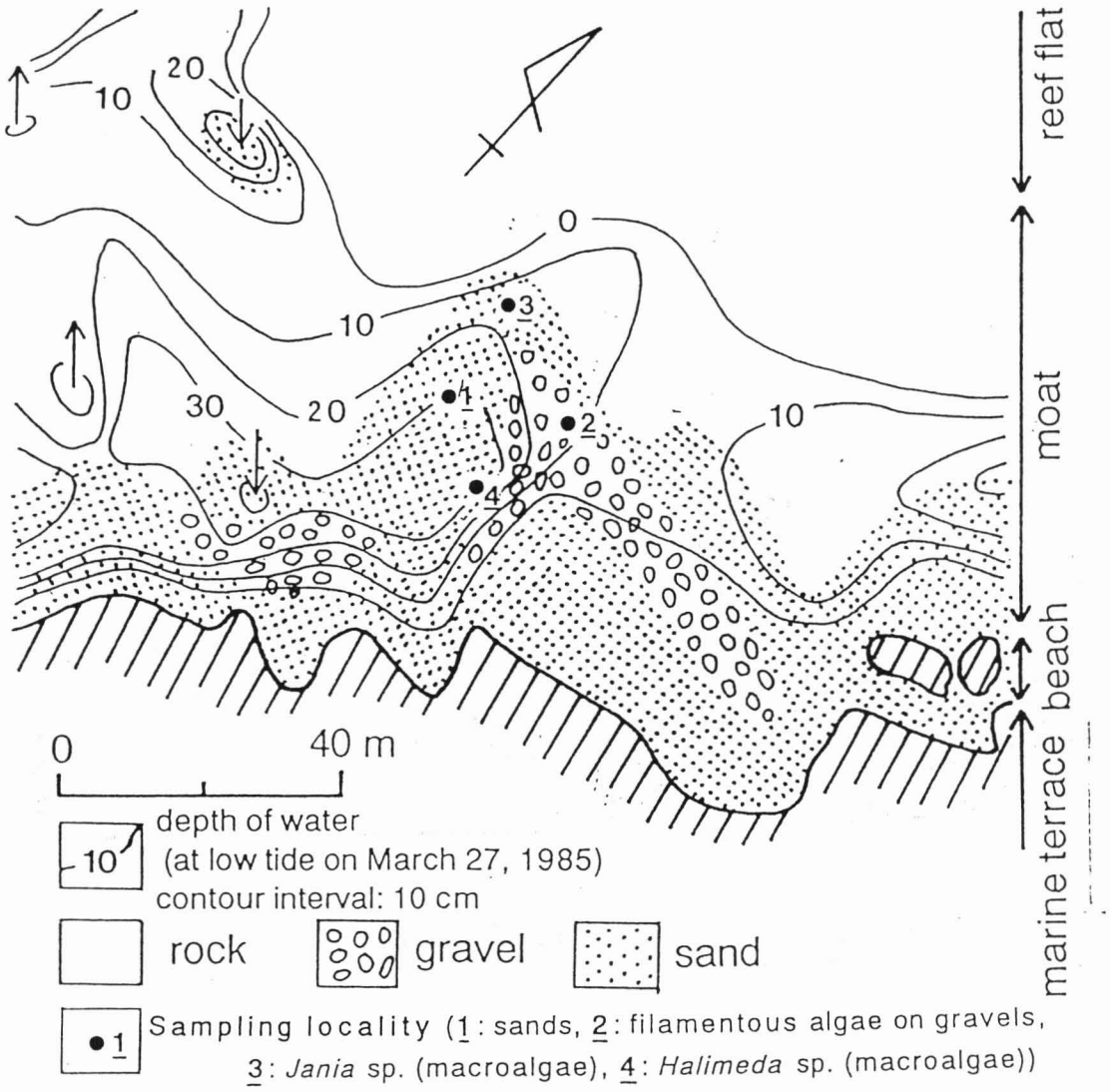

Figure 2. Sampling localities in the moat off the northwestern part of Sesoko Island

Table 1. Stratigraphic relationships between Chinen sand and the other upper and lower formations

MacNeil (1960)	Noda (1977) (in Japanese)	Natori (1979) (in Japanese)	Ibaraki (1981) (in Japanese)	Nakagawa *et al.* (1982) (in Japanese)	Takamine (1999 MS) (in Japanese)
Naha limestone (a formation of Ryukyu group)	Ryukyu Group	Naha limestone (a formation of Ryukyu' Group)	'Ryukyu Limestone'	Limestone (lower part of Ryukyu Group)	Naha Formation (a formation of Ryukyu Group)
Chinen sand (a formation of Ryukyu group)	Chinen Formation (a formation of Shimajiri Group)		Chinen Formation (a formation of Shimajiri Group)	Calcareous sandstone (lower part of Ryukyu Group)	Chinen Formation (a formation of Ryukyu Group)
		Chinen Sand (a formation of Ryukyu Group)		Silty sandstone (Shinzato Formation)	Kudeken Sandy Silt Member (uppermost part of Shinzato Formation)
Shinzato tuff member (a member of Shimajiri formation)	Shinzato Formation (a formation of Shimajiri Group)	Shinzato Formation (a formation of Shimajiri Group)	Shinzato Formation (a formation of Shimajiri Group)	Siltstone (Shinzato Formation)	Shinzato Formation ('main part')

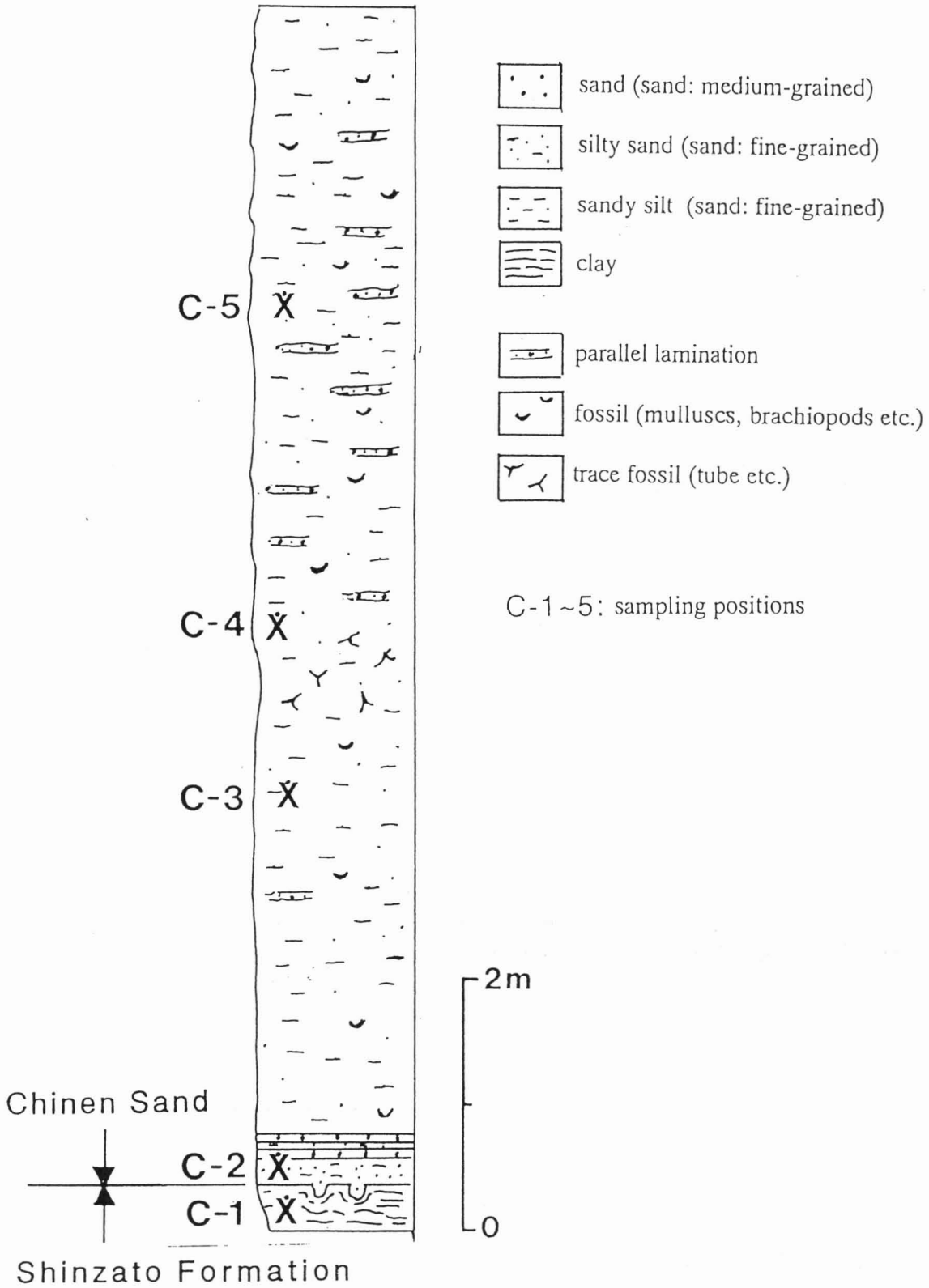

Figure 3. Columnar section of Chinen sand and the underlying Shinzato Formation, with the sampling positions, in a golf course ('Shurei Country Club') in Chinen Village

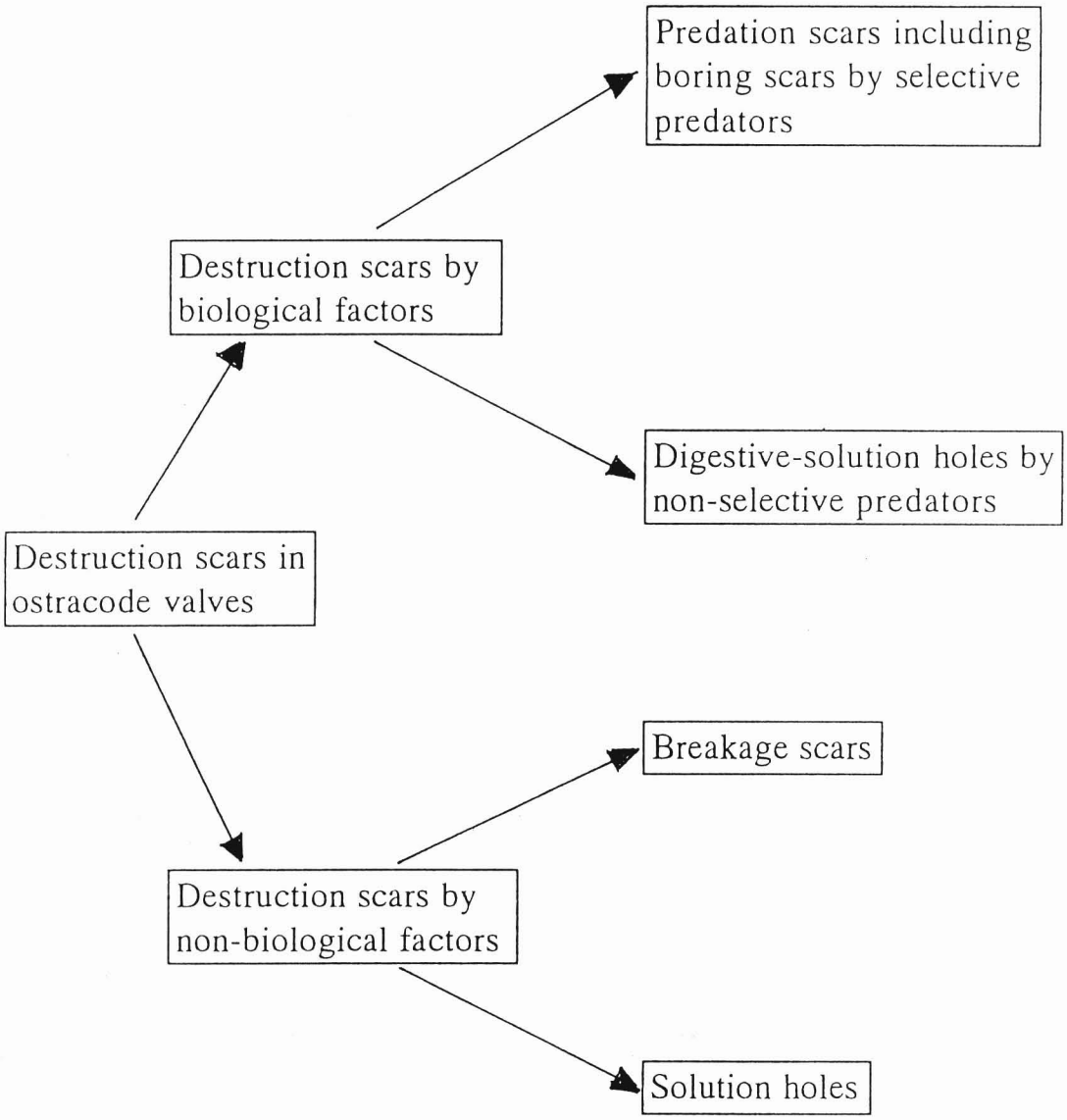

Figure 4. Causal classification of destruction scars in ostracode valves

Table 2. Reef ostracodes bearing predation scars from the Ryukyu Islands. The numbers in parentheses are the numbers of ostracode valves from the moat off Sesoko Island among the total ostracode specimens.

Morphological type of predation scars	Species name	No. of individuals	Substrate(Tabuki & Nohara (1990) , Tabuki (1993) etc.)
parabolic hole	Neonesidea sp. A	1	filamentous (f.) algae
	Paranesidea equipunctata	2	
	Jugosocythereis cf. elongata	1	f. algae
	Xestoleberis cf. hanaii	2 (1)	f. algae, macroalgae
cylindrical hole	Neonesidea cf. antonbruuna	6	f. algae
	N. sp. B	1	f. algae
	Paranesidea petalona	1	
	Triebelina bradyi	1	
	T. amicitae	1	
	Pontocythere subjaponica	1	sand
	Callistocythere rugosa	1 (1)	sand
	Neohornibrookella lactea	2	f. algae, macroalgae
	Neobuntonia sp. A	1	
	N. sp. B	1	
	Radimella cf. virgata	1	f. algae, macroalgae
	Jugosocythereis cf. elongata	5	sand
	Loxoconcha uranouciensis	4 (1)	sand
	L. japonica	6 (1)	f. algae, macroalgae
	Loxocorniculum sp.A	1	f. algae, macroalgae
	L. sp. B	1 (1)	f. algae, macroalgae
	Xestoleberis cf. hanaii	4 (2)	f. algae, macroalgae
	X. cf. sagamiensis	2	f. algae, macroalgae

Table 2. Reef ostracodes bearing predation scars from the Ryukyu Islands (continued). The numbers in parentheses are the numbers of ostracode valves from the moat off Sesoko Island among the total ostracode specimens.

Morphological type of predation scars	Species name	No. of individuals	Substrate (Tabuki & Nohara (1990), Tabuki (1993) etc.)
irregular hole	Neonesidea cf. antonbruuna	3	f. algae
	Paranesidea petalona	1	
	Triebelina bradyi	1	
	Macrocypris decora	1	f. algae, macroalgae
	Pontocythere subjaponica	1	sand
	Keijia demissa	1	sand
	Leptocythere pulchra	1	sand
	Callistocythere rugosa	1	sand
	Neohornibrookella lactea	2	f. algae, macroalgae
	Neocytheromorpha sp.	2 (1)	sand
	Jugosocythereis cf. elongata	4	sand
	Pistocythereis bradyi	1	fine-grained sand, mud
	Keijella sp.	1	fine-grained sand, mud
	Trachyleberis sp.	1	fine-grained sand, mud
	Semicytherura? miurensis	1 (1)	sand
	Loxoconcha uranouchiensis	5 (2)	sand
	L. japonica	3	f. algae, macroalgae
	Loxocorniculum sp. A	3 (2)	f. algae, macroalgae
	Xestoleberis cf. hanaii	6	f. algae, macroalgae
	X. cf. sagamiensis	3 (1)	f. algae, macroalgae
	Ornatoleberis sp.	4	sand

Table 3. Fossil ostracodes bearing predation scars from Chinen sand and Shinzato Formation. SB: substrate, M: mud, S: sand, A: algae. P: parabolic hole, C: cylindrical hole, I: irregular hole.

		C−1			C−2			C−3			C−4			C−5		
species name ＼ samples	SUB	P	C	I	P	C	I	P	C	I	P	C	I	P	C	I
Cytherelloidea yingliensis													2		1	1
C. serrulata										1						
C. senkakuensis																
Neonesidea cf. oligodentata	A		1			2	1		4	5		3			7	1
N. sp.	A														1	
Proporitocypris sp.	A															1
Poritocythere miurensis	S												1			
Parakrithella pseudadonta	S													1		
Munseyella japonica												1				
M. sp.																1
Schizocythere kishinouyei	S		1						2			1			6	1
Chejudocythere sp.																
Aurila cymba	A		2				1	1				1	2		1	4
Robustaurila assimilis	A			1												
Neocytheromorpha sp.													1			
Pacambocythere sp. A									1							
Acanthocythereis sp.			2													
Keijella bisanensis	M												1			
Bradleya nuda	M							1								
Coquimba sp. A			1												1	
Cornucoquimba sp. B								1	1		1	1		1		
Neocytheretta snelli	M												1			
Caudites sp.				1												
Bythoceratina cf. Hanaii										1	1		2		1	2
B. sp. B											1		2			
Eucytherura sp. A			1													
E. sp. B									1							
Hemicytherura cuneata	A					2			1			8			11	
H. sp.							1									
Kangarina sp.						1										2
Semicytherura henryhowei				1												
S. cf. henryhowei			1			1						2				
S. cf. miurensis				1					6			2				
Maburya sp.										1						
Cytheropteron miurensis	M										2			2		
C. cf. uchioi	M							1								
Paracytheridea neolongicaudata		1							2					1		
Loxoconcha laeta																1
L. uranouchiensis	S								1	1					3	1
L. cf. japonica	A		3	1						1		2			5	
Loxoconchella sp.											1					
Nipponocythere sp.													1			
Xestoleberis cf. hanaii	A									2		1		1	3	
X. cf. sagamiensis	A			1						2		2			4	
X. sp. A									1				1			
X. sp. C													1			
Foveoleberis cf. cypraeoides		1														
Paradoxostoma sp. A	A								1				1		2	
Cytherois sp. B	A								1						1	
total number of individuals		2	12	6		6	3	4	22	14	6	24	16	6	46	15

PLATES (1 ~ 8)

[Scale bar, —: 0.1 mm; =: 0.01 mm. Valve, right valve: RV, left valve: LV.]

Plate 1

Parabolic hole

Figs 1-2. *Paranesidea equipunctata*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 26. 1, lateral view of RV.
2, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Neonesidea* sp.A, Recent, Sekisei-sho, Loc. 10. 3, lateral view of LV.
4, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Paranesidea equipunctata*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 21. 5, lateral view of RV.
6, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Xestoleberis* cf. *hanaii*, Recent, the moat off the northwestern part of Sesoko Is..
7, lateral view of LV. 8, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 7.

Plate 2

Figs 1-2. *Xestoleberis* cf. *hanaii*, Pleistocene, Chinen sand, C-5. 1, lateral view of LV.
2, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Schizocythere kishinouyei*, Pleistocene, Chinen sand, C-5. 3, lateral view of LV.
4, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Cytheropteron miurense*, Pleistocene, Chinen sand, C-4. 5, lateral view of RV.
6, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Bradleya nuda*, Pleistocene, Chinen sand, C-3. 7, lateral view of RV.
8, enlarged view of the parabolic hole in Fig. 7.

Plate 3

Cylindrical hole

Figs 1-2. *Triebelina bradyi*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 1. 1, lateral view of LV.
2, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Paranesidea petalona*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 18. 3, lateral view of RV.
4, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Neonesidea* sp. A, Recent, Sekisei-sho, Loc. 27. 5, lateral view of LV.
6, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Jugosocythereis* cf. *elongata*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 7.
7, lateral view of RV. 8, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 7.

Plate 4

Figs 1-2. *Loxoconcha uranouchiensis*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 15. 1, lateral view of LV. 2, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Loxoconcha japonica*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 17. 3, lateral view of LV. 4, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Loxoconcha japonica*, Recent, the moat off the northwestern part of Sesoko Is.. 5, lateral view of RV. 6, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Loxocorniculum* sp. B, Recent, the moat off the northwestern part of Sesoko Is.. 7, lateral view of LV. 8, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 7.

Plate 5

Figs 1-2. *Schizocythere kishinouyei*, Pleistocene, Chinen sand, C-5: 1, lateral view of RV. 2, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Loxoconcha* cf. *japonica*, Pleistocene, Chinen sand, C-4. 3, lateral view of LV. 4, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Hemicytherura cuneata*, Pleistocene, Chinen sand, C-5. 5, lateral view of RV. 6, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Semicytherura miurensis*, Pleistocene, Chinen sand, C-3. 7, lateral view of LV. 8, enlarged view of the cylindrical hole in Fig. 7.

Plate 6

Irregular hole

Figs 1-2. *Loxoconcha uranouchiensis*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 27. 1, lateral view of LV. 2, enlarged view of the irregular hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Loxocorniculum* sp. A, Recent, the moat off the northwestern part of Sesoko Is.. 3, lateral view of LV. 4, enlarged view of the irregular hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Neohornibrookella lactea*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 8. 5, lateral view of LV. 6, enlarged view of the irregular hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Xestoleberis* cf. *sagamiensis*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 3. 7, lateral view of LV. 8, enlarged view of the irregular hole in Fig. 7.

Plate 7

Figs 1-2. *Xestoleberis* cf. *hanaii*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 2. 1, lateral view of RV. 2, enlarged view of the irregular hole in Fig. 1.

Plate 7 (continued)

Figs 3-4. *Xestoleberis* cf. *hanaii*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 5. 3, lateral view of RV. 4, enlarged view of the irregular hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Paranesidea petalona*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 12. 5, lateral view of LV. 6, enlarged view of the irregular hole in Fig. 5.

Figs 7-8. *Jugosocythereis* cf. *elongata*, Recent, Sekisei-sho, Loc. 14. 7, lateral view of RV. 8, enlarged view of the irregular hole in Fig. 7.

Plate 8

Figs 1-2. *Loxoconcha uranouchiensis*, Pleistocene, Chinen sand, C-5. 1, lateral view of RV. 2, enlarged view of the irregular hole in Fig. 1.

Figs 3-4. *Hemicytherura cuneata*, Pleistocene, Chinen sand, C-4. 3, lateral view of LV. 4, enlarged view of the irregular hole in Fig. 3.

Figs 5-6. *Parakrithella pseudadonta*, Pleistocene, Chinen sand, C-5. 5, lateral view of RV. 6, enlarged view of the irregular hole in Fig. 5.

Fig. 7. *Bythoceratina hanaii*, Chinen sand, C-5. 7, lateral view of RV.

Solution hole

Fig. 8. *Morkhovenia inconspicua*, the moat off the northwestern part of Sesoko Is.. 8, lateral view of RV.

Plate 1

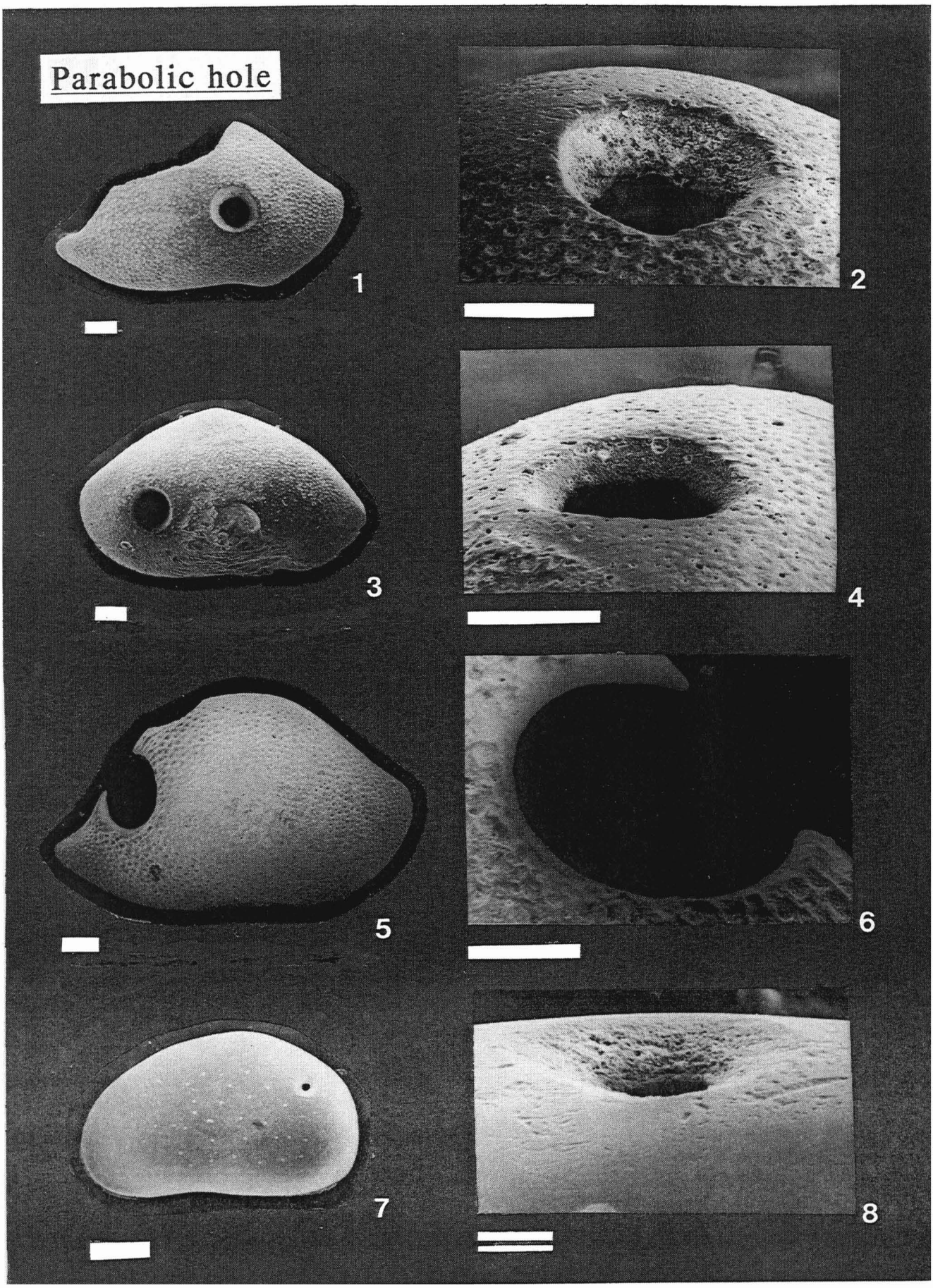

Plate 2

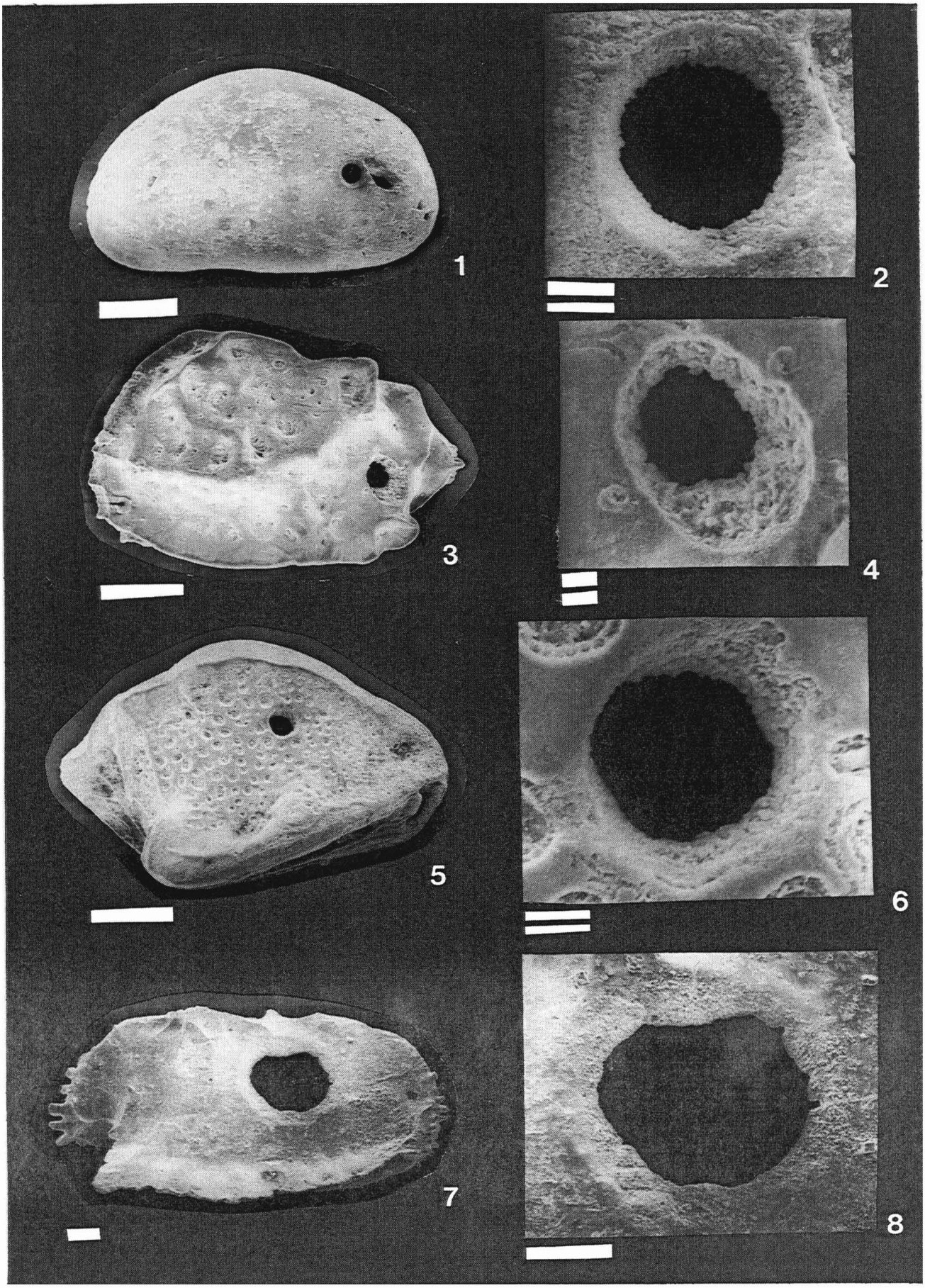

Plate 3

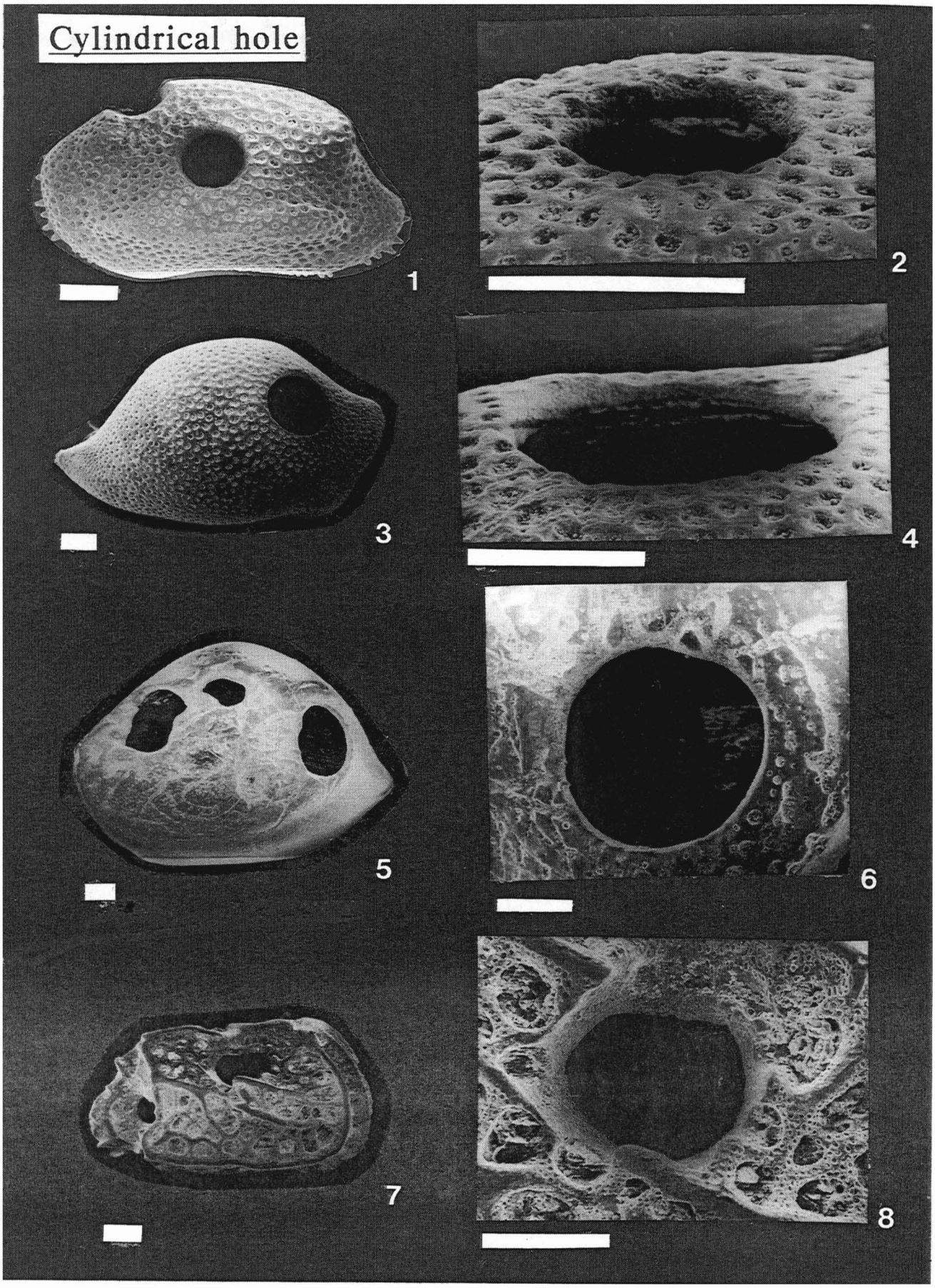

Plate 4

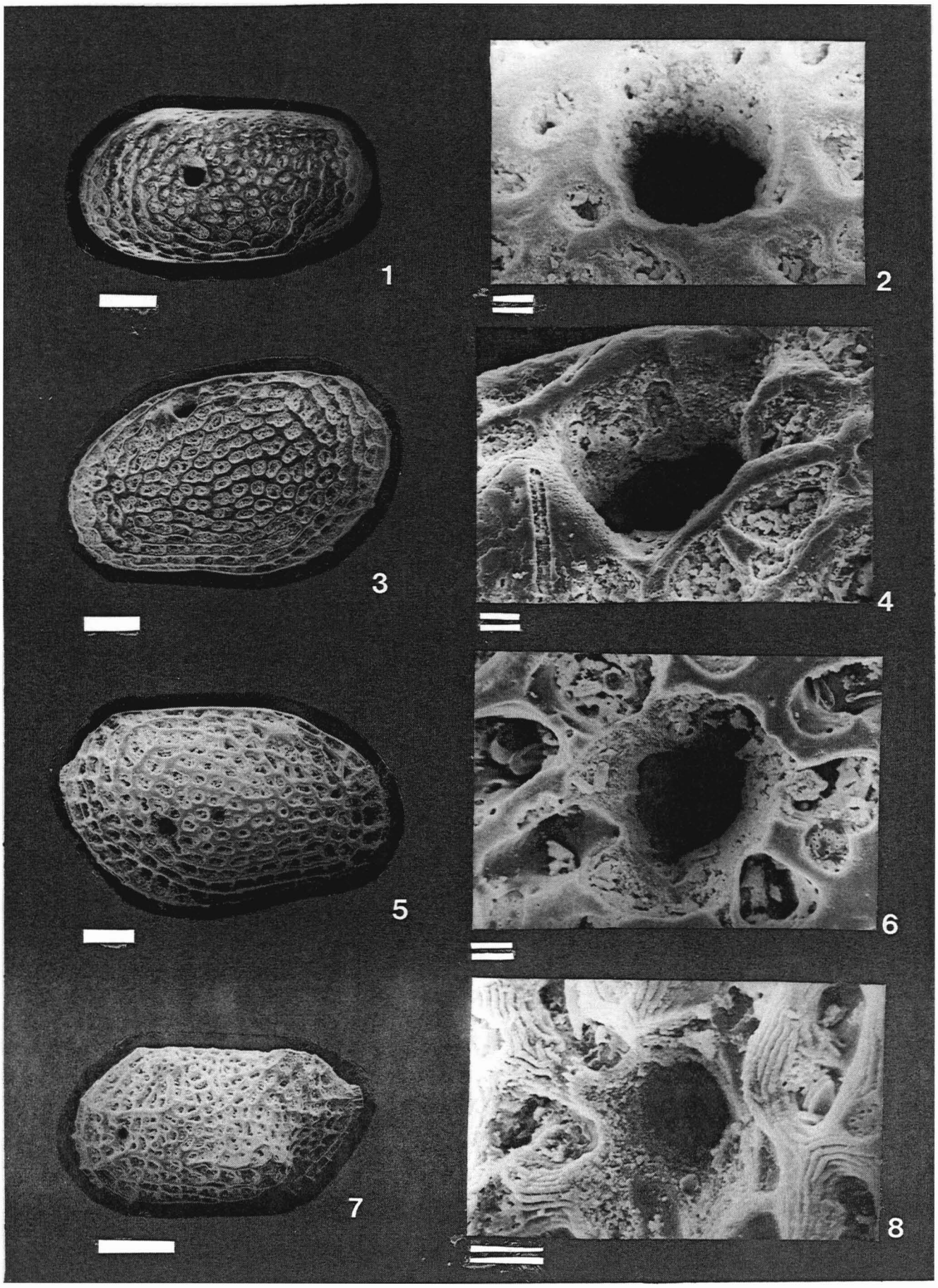

Plate 5

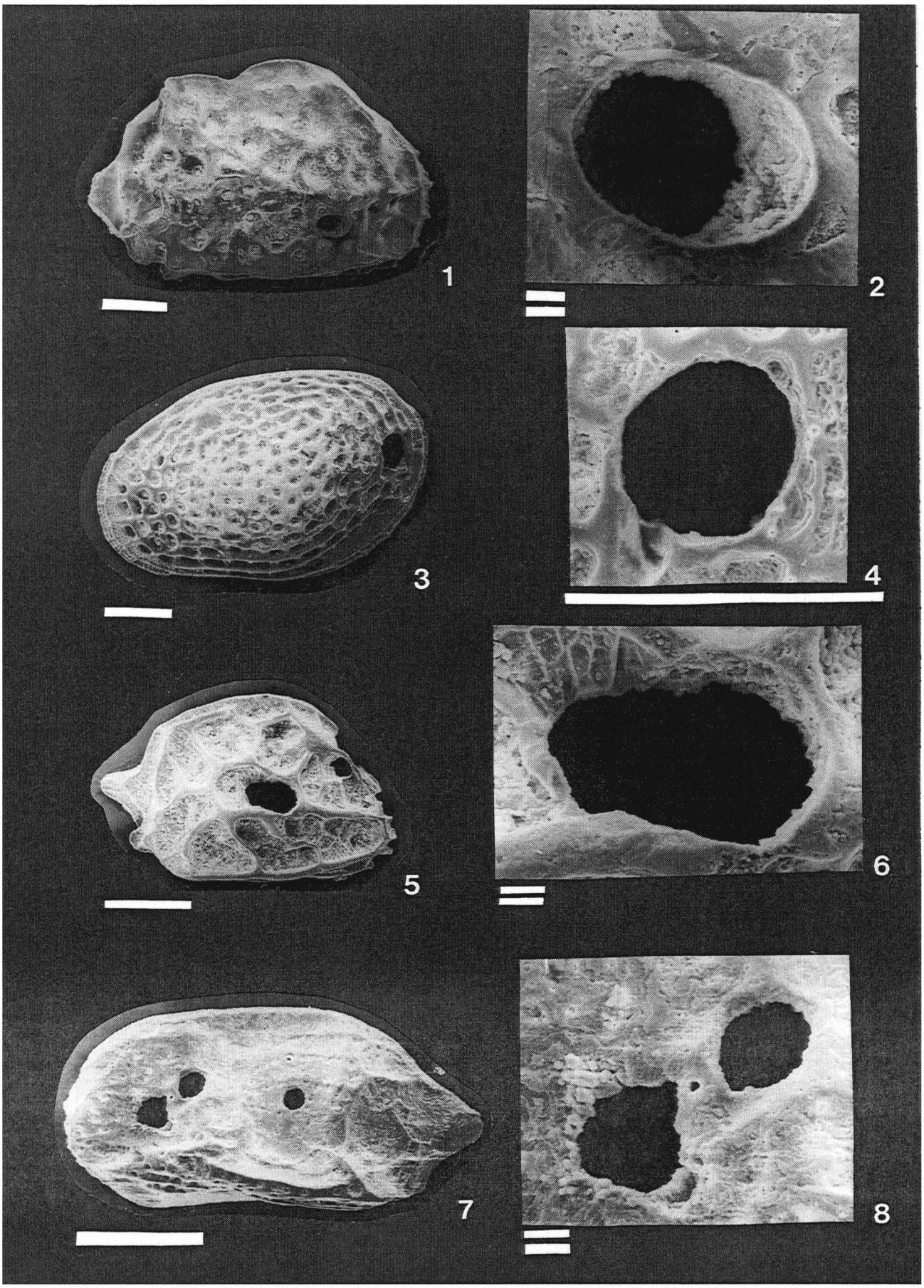

Plate 6

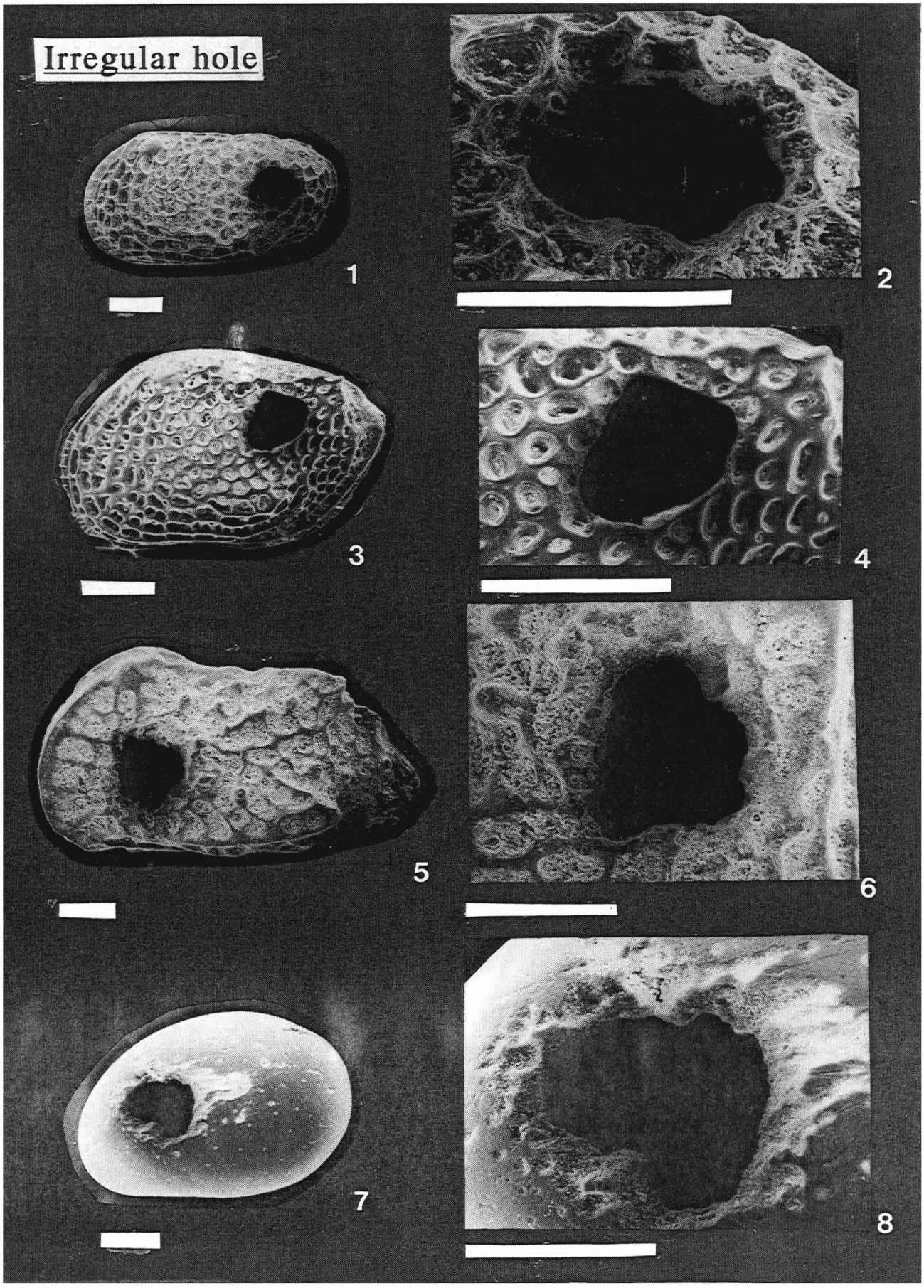

Plate 7

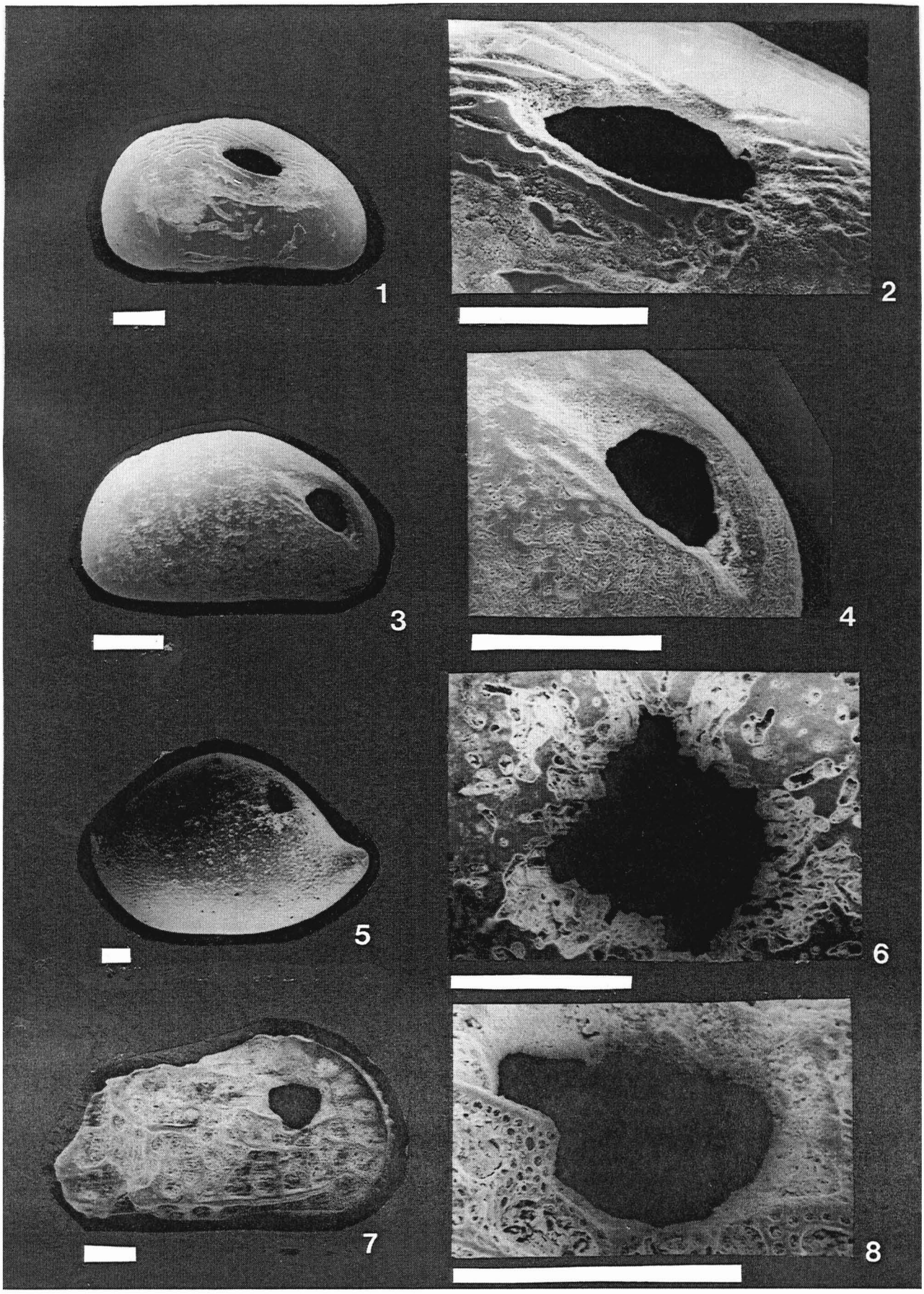
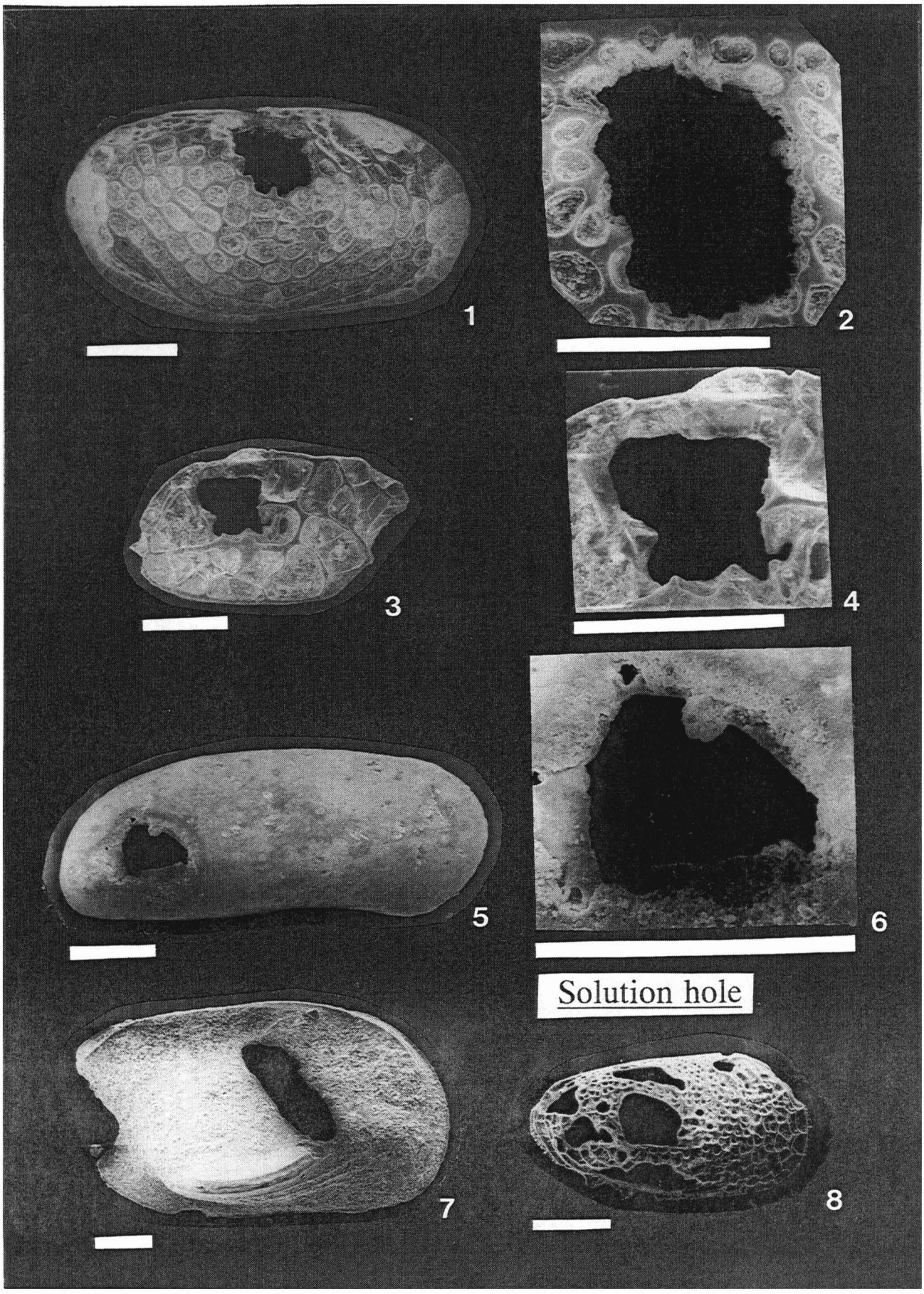
Plate 8