

汽水棲シジミ類 2 種の殻体内部構造

小林巖雄¹⁾・高安克己²⁾

Internal shell microstructure of two species of Japanese brackish-water corbiculids

Iwao Kobayashi¹⁾ and Katsumi Takayasu²⁾

Abstract: Shell microstructures of brackish-water bivalvian molluscs were examined by the use of light and scanning electron microscopes. The species examined were *Corbicula japonica* and *Geloina coaxans*, Corbiculidae.

Their layer structures are discriminated into a periostracum and a calcareous shell layer. The latter is subdivided into two layers, namely outer and inner layers, and moreover, has myostracum.

In the shell of *Corbicula japonica* the calcareous shell layer is composed of the outer finely crossed lamellar and inner complex crossed lamellar layers. The thicker inner layer near the umbral side has fine canal structure. In the shell of *Geloina coaxans* the periostracum is also subdivided into four sublayers under light microscopy and intruded into outer calcareous shell layer at some places. The calcareous shell layer consists of the outer crossed lamellar and inner complex crossed lamellar layers. Their shell layers are made of calcium carbonate mineral, aragonite.

Growth structure is well marked in calcareous shell layers, composed of wider dark and narrower light bands arranged alternatively. The texture of each morphological shell structure is not cutted by any thier bands. The growth bands of *Geloina* is more clear than those of *Corbicula*. The cause of their differences is due to environmental effects.

Key words: *Corbicula japonica*, *Geloina coaxans*, shell structure, growth line, aragonite

1. は し が き

本邦に分布する二枚貝シジミ科の貝類は 5 種類ほどであり、淡水から汽水域に生息している。これらはいずれも食用にされ、なかでもヤマトシジミは重要な水産資源の 1 つとして各地の潟湖において漁獲されている。島根県宍道湖はその代表的な生産地であるとともに、日本一の漁獲高を保持している。生産向上のためにシジミ類の成長機構を解明することは重要であり、その基礎的研究の一環として、貝殻の形成機構及び貝殻内部構造の研究をはじめた。

本報告では、宍道湖産のヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime および沖縄県西表島産のマングローブシジミ *Geloina coaxans* (Gmelin) の貝殻構造について顕微鏡によって観察した結果を報告する。なお、本邦にはこのほかに淡水棲シジミとして各地の河川や湖沼に生息するマシジミ *Corbiculina leana* (Prime) と琵琶湖水系のみが生息するセタシジミ *Corbicula sandai* Reinhardt が分布し、汽水棲シジミとしてはマングローブ沼に生息するヒルギシジミ *Geloina proxima* (Prime) が分布する(波部, 1977)。また、*Corbiculidae* 科の貝殻構造は、Kobayashi (1971), Taylor *et al.* (1973), 魚住・鈴木(1981), Prezant and Tiu (1985), Prezant and Tiu (1986), Prezant *et al.* (1988), Tiu and Prezant (1989a, 1989b), Isaji (1993) ほかによって様々な視点から研究されている。

謝辞: 本研究に際して、宍道湖蛸組合長井原信夫氏をはじめ、組合員の方々、島根県水産試験所三刀

¹⁾ 新潟大学理学部地質科学教室
Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University
²⁾ 島根大学汽水域研究センター
Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University

屋内水面分場および同分場長の中村幹雄氏，島根大学理学部地質学教室の諸兄，同汽水域研究センターの所員の方々に，試料の提供，研究の便宜などを与えていただいた。Damayanti Gurung氏には図の作成に協力いただいた。これらの方々に厚くお礼を申し上げる。なお，文部省研究交流旅費を本研究の一部に使用した。

II. 試料及び方法

1. 観察試料

顕微鏡観察に使用した試料はつぎの種類である。

1) Family Corbiculidae Gray, 1847 シジミ科

Subfamily Corbiculinae Gray, 1847 シジミ亜科

Genus *Corbicula* Mergele von Muhlfield, 1811 ヤマトシジミ属

Corbicula japonica Prime, 1864 ヤマトシジミ

島根県松江市宍道湖産

1983. 4. 及び 1991. 2 に採取された標本である (図版 1- 図 1a~d).

2) Family Corbiculidae Gray, 1847 シジミ科

Subfamily Polymesodinae Habe, 1977 ヒルギンシジミ亜科

Genus *Geloina* Gray, 1842 ヒルギンシジミ属

Geloina coaxans (Gmelin, 1791) マングローブシジミ

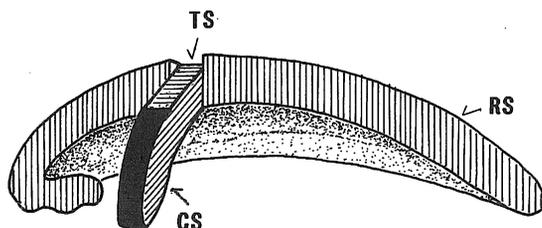
沖縄県西表島産

1988.4. に採取された標本である (図版 1- 図 2a,b).

2. 試料の作成と観察方法

A. 薄片の光学顕微鏡による観察

貝殻の放射方向 (radial), 横断方向 (cross), 接線方向 (tangential) の 3 方向の薄片断面 (第 1 図) を作成する。薄片の作成は通常の薄片作成方法と同じ工程をへてつくられるが，スライドガラスへの接着には接着剤として市販されているアロンアルファ，またはアラルダイトを使用した。



第 1 図 殻体の薄片を作成した断面

RS:放射方向の断面 CS:横断方向の断面 TS:接線方向の断面

Fig. 1. Direction of each section

RS:radial section CS:cross section TS:tangential section

B. 走査型電子顕微鏡による観察

観察試料は 3 つの方法によって作成された。

1) 内表面の観察: 生貝の軟体部を取り除いた後，蒸留水で殻体を直ちに水洗し，自然に風乾させた。

2) 破断面の観察: 必要な方向の殻体の断面があらわれるように破断した。

3) 研磨-腐食面の観察: ダイヤモンドカッターによって必要な方向の断面が得られるように殻体を切断し，その面を軽く研磨した後アラルダイトなどで研磨面をスライドガラスに接着した。つぎに，カーボランダムを使用してこれを研磨した後，EDTA 飽和溶液によってこの面を約 15~20 分間腐食した。水洗した後，自然に風乾させた。

風乾する前に，超音波洗浄器によって 1)~3) の試料を軽く洗浄した。これらの試料を試料台あるいはスライドガラスに載せ，イオンスパッタリング装置を使用して金を被覆した。

観察に使用した走査型電子顕微鏡は日本電子株式会社 SEM-25 型で，加速電圧 15 ないし 20kV であった。

C. X線粉末回折法による鉱物同定

乳鉢によって石灰質の内外の殻質層を含む殻体を粉末にしたものを，x線ディフラクトメーターで測定した。測定の条件は，X線:Cu-K α ，管球電圧・電流:30kV・10mA，走査速度:2°(2 θ)/min. である。

III. 殻体内部構造

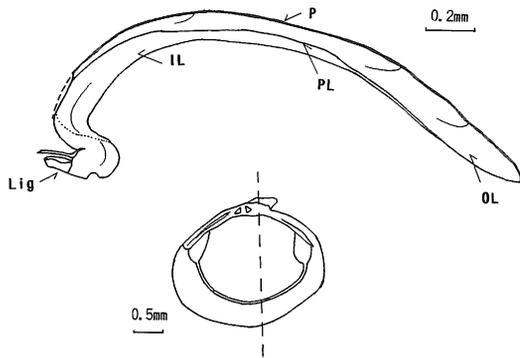
1. ヤマトシジミ

ヤマトシジミの殻体は，外表面側からみると緑黒色ないし黒色を示している。これは殻のもっとも外側を覆う殻皮の色である。また，外表面は平滑ではなく，ゆるく波状を示した成長輪脈が明瞭に発達する。内表面は普通乳白色不透明質であるが，ときに紫色を呈していることがある。前後の閉殻筋が殻に付着する閉殻筋痕，外套膜の付着する套線が存在する。咬板部は乳白色不透明質である。靱帯は殻頂よりも後方に外在する。多くの個体は殻頂付近の貝殻を溶解させ，乳白色あるいは紫色の殻体内部を表出させている。

図版 1- 図 1 の写真は貝殻の外表面と内表面を示している。

A. 殻層構造

放射方向の断面 (図版 1- 図 3) からなる薄片の光学顕微鏡観察から，本種の殻体内部構造は外表面側から殻皮層，石灰質殻層に区分される。後者はさらに外殻層と内殻層に区別され，両者の境界には套痕域



第2図 殻層構造を示した放射方向の模式的断面図(ヤマトシジミ)

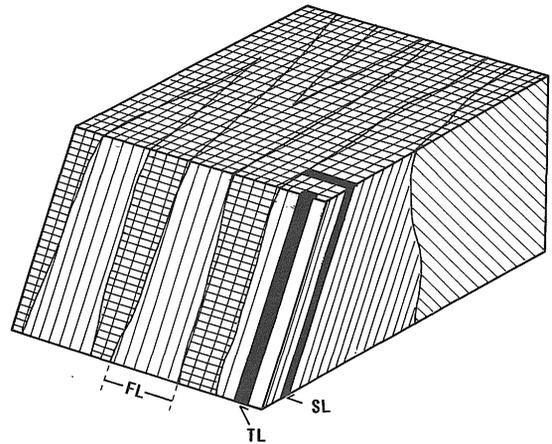
P: 殻皮 OL: 石灰質外殻層 IL: 石灰質内殻層 PL: 筋殻層
Lig: 靱帯
Fig. 2. Schematic radial section (*Corbicula japonica*)
P: periostracum OL: outer calcareous layer
IL: inner calcareous layer
PL: myostracum (or pellucid layer) Lig: ligament

に形成される筋殻層(myostracum)が介在する。殻層構造を示した放射方向の模式的断面図および内表面を第2図に示す。

殻皮(periostracum)は淡褐色を呈し、一見無構造質にもみえるが、薄く研磨された部位では、極淡黄色と黄緑色からなるそれぞれ色調の異なる外側と内側の2層に区別できる。殻皮の厚さは腹縁側で厚く、本標本(殻幅約18mm)では最大 $20\mu\text{m}$ である。前述の2層はそれぞれ約 $10\mu\text{m}$ の厚さをもつ。殻頂付近の摩耗部を除けば、殻の外表面側の全体を覆っている。

石灰質外殻層(outer calcareous layer)は全体に乳白色透明質であるが、成長線に並行するように淡い褐色を呈する帯状部がよく発達する。層厚は殻頂側から腹縁側に向かって次第に厚くなるが、殻頂から腹縁側に向かって約12.5mm付近で殻層の厚さが約 $350\mu\text{m}$ ほど急激に増加し、そこより腹縁側では層厚約 $1100\mu\text{m}$ になる。このような層厚の変化は殻頂とこの部位との中間付近でも認められる。この標本でみられるような殻層の層厚の変換点の意味は今後の課題となるであろう。

石灰質内殻層(inner calcareous layer)も全体に乳白色透明質であるが、成長線に並行するように褐色を呈する帯状部が内殻層の外表面よりと中央域に幅広く発達する。このほか、鮮やかな紫色を呈する帯状部が成長線と並行して同様に発達するのも特徴的である。内殻層の層厚は殻頂付近で最も厚く、この標本では約 $1000\mu\text{m}$ に達している。この層厚は腹縁側に向かって次第に減少するが、外殻層で認められたのとは逆に、殻頂から腹縁側に向かって約12.5mm付近で層厚が急減している。



第3図 微細交差板構造の模式的構造図(ヤマトシジミ)

FL: 第一次薄板 SL: 第二次薄板 TL: 第三次薄板
Fig. 3. Schema of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*)
FL: first-order lamellae SL: second-order lamellae
TL: third-order lamellae

殻頂付近の咬板部は咬歯を形成することから、他の殻層域とは異なる成長方向をとる。一般に、咬板域の成長は内殻層のそれとは不連続的になることが多いが、この種類では咬板部の構造と内殻層の構造とが連続的にみえる。

薄片下での筋殻層は不明瞭で他種に比べて識別しにくい。このほか、靱帯については別の機会に述べる。

B. 石灰質殻層の構造

光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いた各種試料の観察結果について記述する。

a. 外殻層

外殻層を構築する形態型は微細交差板構造(finely crossed lamellar structure)に属する。この他一見して透明質にみえる部位もある。

微細交差板構造は、交差板構造に比べると組織の形態がわかりにくい。これは構造の単位が微細であるほか、透明質になっているためである。この形態型は、細長い板状の結晶子(crystallite)をユニットとし、その長軸が同一方向に並んだ集合体を構成する。この集合体は低倍率での薄片観察下で帯状にみえるし、立体的には薄板をなすことから、第一次薄板(first-order lamellae)と名付けられた(Bøggild, 1930)(第3図)。微細交差板構造では、交差板構造に比べて、この第一次薄板は小型化し幅が狭い。放射方向の断面でみられる第一次薄板の幅は約 $15\sim 5\mu\text{m}$ である。第一次薄板の配列もそれほど規則的ではない。さらに、Bøggild(1930)は薄片下にみられる形態から判断して、第一次薄板を構成する平行配列し

た薄板をみとめ、これを第二次薄板 (secondary-order lamellae) と命名した。その後、電子顕微鏡による観察の結果、第二次薄板はさらに細かいユニットである細長い結晶子からなることが明らかになり、細長い結晶子は第三次薄板と命名された (Kobayashi, 1964)(第3図)。

光学顕微鏡による観察

放射方向の薄片: 偏光顕微鏡の平行ニコルのもとでは(図版1-図4a), 微細交差板構造の第一次薄板の配列が明瞭な部分とやや不明瞭な部分とがみられる。前者は褐色に着色した殻体の部位や外表面側に広く認められる。第一次薄板による縞の構造は成長線に対して直角方向に延びている。直交ニコルのもとでは(図版1-図4b), 第一次薄板の区画が明瞭となり、各薄板内における構造の存在も細部は不明ながら確認できる。

横断方向の薄片: 成長線に対してほぼ直交する方向に延びる細かい縞が並ぶ(図版2-図1)。これは第一次薄板による形態とみなされ、直交ニコルのもとでは、この縞が透明質な部位でも強調される。

接線方向の薄片: 第一次薄板は細かいさざ波状の模様を呈するようになる(図版2-図2)。この薄板の幅はかなり細かい部位から粗い部位まで存在する。
走査型電子顕微鏡による観察

内表面: 腹縁付近では、不規則な形をしたモザイク状の構造がみられる(図版2-図3)。その大きさは約 $1\mu\text{m}$ である。これらは結晶子の成長自由縁に相当するものである。さらに腹縁から $100\mu\text{m}$ ほど内側に入ると、鋸歯縁をもつ長板状の構造が殻体の腹縁にほぼ直交する方向に平行に配列している(図版2-図4)。詳しくみると、この構造はいくつものブロックに区画されている事がわかり、隣合うブロックではそれぞれの中にみられる長板状の構造の鋸歯縁の向きが反対を向いている。このブロックは交差板構造の各第一次薄板の成長面に相当する。ここでみられる第一次薄板の幅は約 $10\mu\text{m}$ である。このブロックの内部にみられる鋸歯縁をもつ長板状の構造は第二次薄板に相当する。この形態型の第一次薄板は交差板構造に比べて小型でかつ配列が悪い点で異なる。また、内表面にあらわれる第一次薄板の長辺は腹縁に平行している。この点から、これは同心円型微細交差板構造 (concentric finely crossed lamellar structure) に所属する。

破断面: 図版2-図5のように、第一次・第三次薄板の集合状態や形態が良く分かる。断面での第一次薄板の幅は $10\sim 15\mu\text{m}$ である。各薄板の内部には同一方向に配列した第三次薄板の破断した面が露出し、細長い板状の結晶子からなる第三次薄板の形態が良

くわかる。第三次薄板の幅は $0.1\mu\text{m}$ 以下である。

研磨・腐食面: 微細交差板構造の断面が良く観察される(図版2-図6)。特に第三次薄板の形やその配列の状態がわかる。第三次薄板の幅は $10\sim 20\mu\text{m}$ である。

b. 内殻層

内殻層を構成する形態型は複合交差板構造 (complex crossed lamellar structure) に属する。

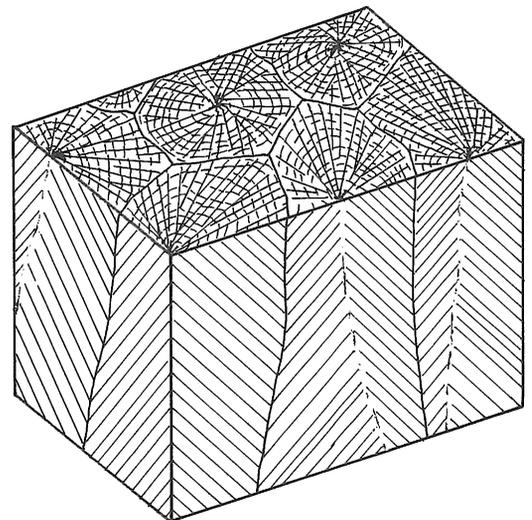
この形態型は交差板構造と同様に細長い板状の結晶子をユニットとしている。この結晶子が円錐体に集合した稜柱状の構造を構成している(第4図)。この稜柱の形態が明瞭な円柱をなすものから、かなり変形したものまで知られている。本種ではかなり明瞭な円柱を形成している部位が多い。

光学顕微鏡による観察

放射方向の薄片: 偏光顕微鏡の平行ニコルのもとでは(図版3-図1a), 左右に下へ向かう羽毛状に延びた細条を示す稜柱の集合からなる構造を呈している。この断面でみられる各稜柱の幅は約 $50\sim 100\mu\text{m}$ と大きく変わる。各稜柱は成長線にほぼ直交しているが、かならずしも内表面から内層の上面まで延びるのではなく、内層の途中でせん滅している稜柱も多い。直交ニコルのもとでは(図版3-図1b), 稜柱内が部分的に消光するし、ステージの回転により消光部位が移動する。

横断方向の薄片: 放射方向の薄片と同じ形態を呈している。

接線方向の薄片: ほぼ円形からやや不規則な形をした稜柱の横断面に相当する構造が全体に認められる(図版3-図2)。この稜柱の縁は必ずしも滑らかで



第4図 複合交差板構造の模式的構造図(ヤマトシジミ, マングローブシジミ)

Fig. 4. Schema of complex crossed lamellar structure (*Corbicula japonica* and *Geloina coxans*)

はなく、不規則でもある。各稜柱内には細かい構造が存在するが低倍率では不明瞭である。

走査型電子顕微鏡による観察

内表面:形態の不明瞭な部位から、渦巻や半同心円状に並ぶ鱗状の模様を示す部位(図版3-図3)が存在する。これらは結晶子の成長自由縁である。このほかに径1~2 μm の小さい孔が多数散在する部位もあり、これらは管状構造の開口部にあたる。

研磨・腐食面:図版3-図4のように、長板状の結晶子群が部分的に同一方向を保って配列している。このほか、成長線に対して垂直に並び、細い稜柱状の構造を示す薄層が挟在する(図版3-図5)。

c. 咬板部

外殻層と同じ形態型の微細交差板構造からなる。しかし、透明質であるため光学顕微鏡観察によってはその形状をみきわめにくい。

C. 殻体内部の成長構造

光学顕微鏡による薄片観察に際しては、薄片が薄すぎても、また逆に厚くても成長構造の観察には適しない。

光学顕微鏡下で観察される成長構造としては、着色した不透明質な帯(暗帯 dark band)と、透明質な帯(明帯 light band)とが基本的に識別できる。これらはいずれも殻体が成長していく時に石灰化にかかわる生理的状態の違いに応じて構造の異なる層が順次周期的に形成されたことによる。

成長構造から、外殻層と内殻層とでは成長方向が異なる事が分かる(第2図)。

光学顕微鏡による観察

殻体の形態型の構造と成長線との関係を見ると、形態型を形成する構造、例えば交差板構造の第一次

薄板は、成長線の存在とは関係がないように成長線を横切って連続している。また、形態型の構造が成長線を境に中断してしまい、不連続になる場合もある。つぎに、外殻層と内殻層での成長線の特徴を簡単に述べる。

外殻層:暗帯と明帯からなる成長構造が全体に認められる(図版4-図1)。外殻層の内表面側では、両帯からなる構造の繰り返し認められにくくなり、細条線からなる成長構造がみられるようになる。

内殻層:幅の狭い明帯と暗帯とがやや波曲しながら細かく繰り返している(図版4-図2)。

D. 生体鉱物

CuK α の $2\theta=26.2^\circ$, 27.3° , 33.2° および 38.0° 付近に強いピークが現れ、ほとんどアラゴナイトからできていることがわかる(第5図a)。

2. マングローブシジミ

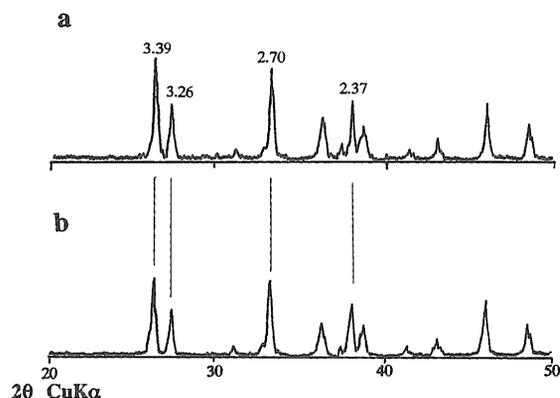
マングローブシジミの殻体は、ヤマトシジミよりはるかに大きく、かつ厚い。観察に使用した標本も、殻長75mm、殻幅85mmの個体であった。ヤマトシジミと同様に外表面側からみると、殻表は褐黒色ないし黒色を示し、艶がある。この色調は殻のもっとも外側を覆う殻皮の色によるが、薄片でみると帯黄色を示す。また、外表面は平滑ではなく、そこには数多く弱い成長輪脈が明瞭に発達する。殻皮は成長輪脈に沿って弱く張り出している。とくに、殻の腹縁よりでは殻皮が成長輪に沿って薄膜状に多く突出している。内表面は乳白色不透明質である。前後の閉殻筋が殻に付着する閉殻筋痕は明瞭であるが、外套膜が付着する套線はわかりにくい。咬板部は厚く大きく発達する。靱帯は殻頂より後方に外在する。多くの個体は殻頂付近の貝殻を溶解させ、白色の殻体内部を表出させている。この溶解は内殻層まで達している。

図版1-図2の写真は貝殻の外表面と内表面を示している。

A. 殻層構造

放射方向の断面からなる薄片の光学顕微鏡による観察から、本種の殻体内部構造は外表面側から殻皮層、石灰質殻層に区分される。後者はさらに外殻層と内殻層に区別される。殻層構造を示した放射方向の模式的断面図および内表面を第6図に示す。

殻皮は黄色~褐色を呈し、無構造質であるが、色調の違いから4層に区別できる(図版4-図3a, b)。すなわち、外表面側から不透明質層、透明質層、細かいラミナをともなう淡褐色層、及び濃褐色層を伴う

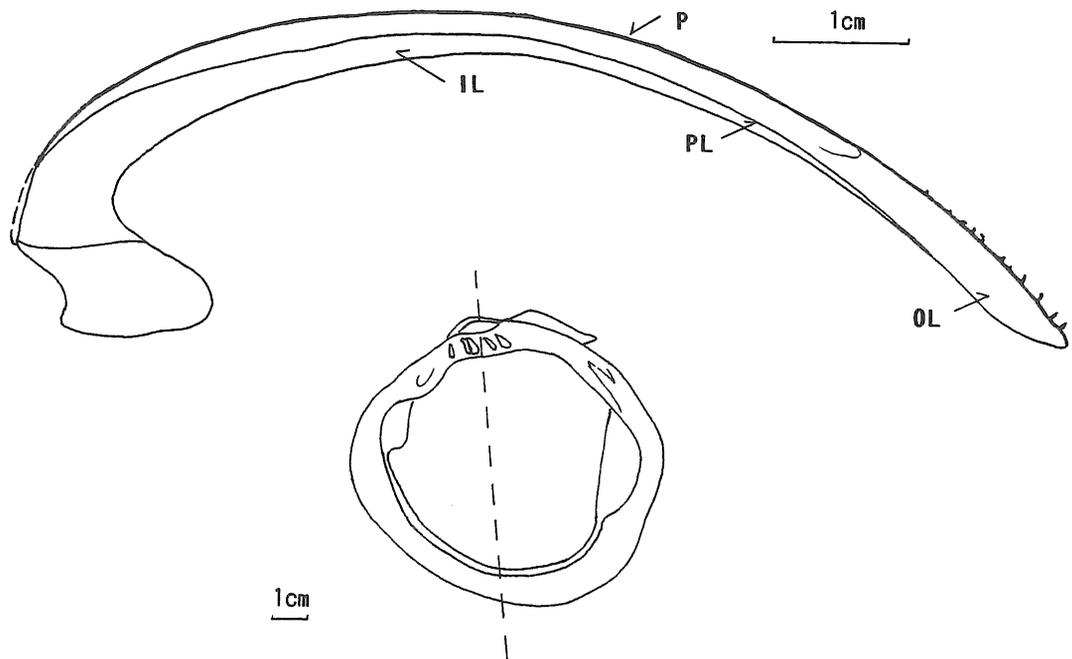


第5図 貝殻のX線分析結果

a. ヤマトシジミ b. マングローブシジミ

Fig. 5. X-ray powder diffraction pattern of shell

a. *Corbicula japonica* b. *Geloina coaxans*

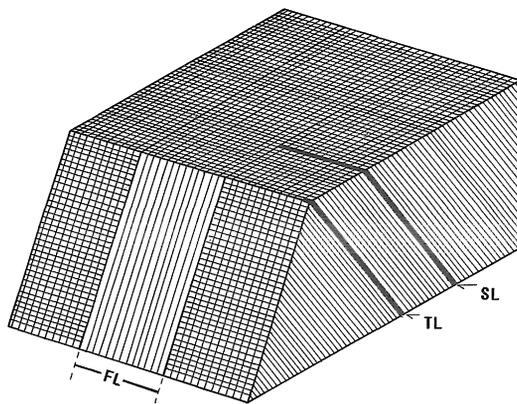


第6図 殻層構造を示した放射方向の模式的断面図(マングローブシジミ)

P: 殻皮 OL: 石灰質外殻層 IL: 石灰質内殻層 PL: 筋殻層

Fig. 6. Schematic radial section (*Geloina coaxans*)

P:periostracum OL:outer calcareous layer IL:inner calcareous layer PL:myostracum (or pellucid layer)



第7図 交差板構造の模式的構造図(マングローブシジミ)

FL: 第一次薄板 SL: 第二次薄板 TL: 第三次薄板

Fig.7. Schema of crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*)

FL:first-order lamellae SL:second-order lamellae

TL:third-order lamellae

黄色層である。本標本では、腹縁側での各層の厚さは $5\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ および $50\mu\text{m}$ である。また腹縁よりの外表面で多くみられる殻皮の薄膜状の突起は、外側の不透明質層と透明質層が張り出してできていることが、薄片の観察からわかる。突出した透明質層の内部に淡褐色層が介在することも多いが、黄色層はその張り出しに加わっていないようである。殻皮は殻頂付近の摩耗部を除けば、外表面の全体を覆っている。

このほか、殻皮の一部、とくに黄色層が成長線に

並行して外殻層の内部にまで挿入している部位が、この標本の放射方向の断面で1ヶ所認められた(図版4-図4a, b)。

石灰質外殻層は全体に乳白色透明質であるが、部分的には成長線に並行するように褐色を呈する帯状部が発達する。外殻層の層厚は殻頂から腹縁に向かって次第に厚くなり、この標本では腹縁側の層厚は約3mmに達する。

石灰質内殻層も全体に乳白色透明質であるが、部分的に成長線に並行するように褐色の帯状部が発達する。内殻層の層厚は殻頂付近で最も厚く、この標本では約5mmに達しており、腹縁側に向かって次第に減少する。殻頂付近の咬板部は咬歯を形成することから、ほかの殻層域とは異なる成長方向を取る。咬板部の構造は内殻層の構造に対して不連続的である。

筋殻層は薄層として識別される。

B. 石灰質殻層の構造

光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いた各種試料の観察結果について記述する。

a. 外殻層

外殻層を形成する形態型は交差板構造(第7図)であるが、この構造はヤマトシジミの項ですでに述べた微細交差板構造と基本的に同一な構成をしている。

交差板構造は、ヤマトシジミの微細交差板構造に比べて、第一次薄板の幅がかなり大きく、放射方向の断面でみられる第一次薄板の幅が約80~20 μm である。薄板の形態もはるかに明瞭である。

光学顕微鏡による観察

放射方向の薄片:偏光顕微鏡の平行ニコルのもとでは(図版4-図5)、成長構造に対して直交する方向にやや不連続的な縞の構造が明瞭にみられる。これらは交差板構造の第一次薄板の断面に相当するものである。各第一次薄板内には構造の存在が確認できる。直交ニコルのもとでは、第一次薄板の区画がさらに明瞭となり、その内部の構造も強調される。

接線方向の薄片:2方向からなる細かい条線が全体に観察される(図版4-図6)。これは第一次および、第二次ないし第三次薄板による形態とみなされる。薄片の厚さが比較的薄い部位では各第一次薄板がよくわかり、各薄板の中はさらに細かい条線が多数同じ方向に走行している。隣合う薄板内の条線の方向はそれぞれ異なるが、一つ置きの薄板内では細かい条線が同一方向に走行する。これらの像は交差板構造によって現れる典型的な形態である。直交ニコルのもとでは、各薄板の構造がさらに明瞭となる。

走査型電子顕微鏡による観察

内表面:腹縁付近では、明瞭な形態を示さない細かい構造(図版5-図1)、あるいは無構造である。さらに腹縁から約数mm内側に入ると、不明瞭ながら微細な形態がみられ、そこには殻縁に並行する方向に延びた第一次薄板に相当する区画が認められる(図版5-図2)。第一次薄板によるこの区画の長軸が殻縁に平行しているので、同心円型交差板構造である。

破断面:図版5-図3のように、第一次薄板の集合状態や形態が極めてよくあらわれているこの断面での第一次薄板の幅は10~20 μm である。各第一次薄板の内部には同一方向に配列した第三次薄板の破断した縁が露出している。細長い板状を示す第三次薄板の形態がよくわかる。

研磨・腐食面:交差板構造の断面が同様によく観察できる(図版5-図4)。とくに第三次薄板の形やその配列の状態がわかる。第三次薄板の幅は約1 μm 以下である。

b. 内殻層

内殻層を構成する形態型は複合交差板構造である。

この形態型の基本的形態についてはすでに述べた(第4図)。本種では各稜柱が大きく、またその形がかなり変形している。

光学顕微鏡による観察

放射方向の薄片:偏光顕微鏡の平行ニコルのもとでは、稜柱およびその内部の構造をみる事ができる。稜柱の形・大きさはさまざまである(図版5-図5a)。各稜柱の内部には羽毛状ないし山形状の細条群が平行して走る。放射断面でみられる各稜柱の幅は大きく、約500~200 μm に達する。稜柱の形態が変形している部位では、細条がクロスラミナ状を示している。直交ニコルのもとでは(図版5-図5b)、稜柱内の細条が同一方向に走行している部分では同時に消光し、ステージの回転により消光部位が移動する。

接線方向の薄片:稜柱の横断面を示すほぼ円形の集合からなるパターンが全体に認められる(図版6-図1)。それぞれの稜柱の縁は必ずしも滑らかではなく、屈曲している。各稜柱は細かい構造を示すが低倍率の観察では細かくみることができない。

走査型電子顕微鏡による観察

内表面:結晶子の遊離縁とみられる細かい方形状の構造が全面にみられる。さらに、溝状の構造がある(図版6-図2)。

破断面:長軸を同一方向に向けた細長い板状体が見られる(図版6-図3)。これらは複合交差板構造を構成する結晶子である。このほか、この図には細かい柱状の構造からなる層厚10 μm 以下の層がみられる。

研磨・腐食面:図版6-図4のように、隣接する稜柱を構成する結晶子群はそれぞれ異なる方向に配列している。

c. 套筋殻層 (pallial myostracum)

この層は透明質であり、内表面に垂直な方向をもつ細かい柱状の構造からなる(図版6-図5)。これは光輝層 (pellucid layer) ともいう。層厚40 μm 以下である。

d. 咬板部

外殻層の形態型と同じ、交差板構造である。

C. 殻体内部の成長構造

光学顕微鏡下では、殻体内部の構造として観察される成長構造は、不透明質な暗帯と透明質な明帯とである。薄片を薄くし過ぎると、「成長線」の構造は見えなくなる。

外殻層では、幅の広い暗帯と狭い明帯からなる成長構造が一般に広くみとめられ、とりわけ外表面よりで明瞭である。また、ヤマトシジミの標本に比べて、この構造は外殻層のほぼ全層にわたって明瞭に

発達し、かつ律動的に繰り返し現れていることが多い(図版6-図6a, b)。ただし、各バンドの幅には粗密があるなど、成長率の周期的変化などを読みとることができる。詳細は今後の検討に待ちたい。交差板構造の第一次薄板は暗帯および明帯を横切って連続している。殻皮が外殻層に挿入する部位では第一次薄板の構造が明らかに中断する。

内殻層では、明瞭な「成長線」は外殻層に比べると少ないが、同様に暗帯と明帯の繰り返しからなる成長縞が光学顕微鏡下で観察できる。複合交差板構造の構成要素はこれらによって中断することなく連続している。このほか、筋殻層に似ている約10~40 μm の厚さの透明質な層が所々に介在している(図版6-図7)。ここでは複合交差板構造の構成要素が一次中断するが、その後再び成長している。

D. 生体鉱物

ヤマトシジミの場合と同様に、26.2°, 27.3°, 33.2° および 38.0° 付近に $\text{CuK}\alpha$ の 2θ のピークがあり、アラゴナイトからなることがわかる。

IV. 考 察

1. 貝殻構造(基本形態型)について

シジミ超科に属する二枚貝の貝殻内部構造については、Kobayashi (1971), Taylor *et al.* (1973), 魚住・鈴木(1981)ほかによってその概要が報告されている。

なかでも、Taylor *et al.* (1973)は、Corbiculaceaに含まれる6種類の貝殻構造を調べている。その結果はつぎのように述べられている。

日本産 *Corbicula fluminea* (Lamarck), インド産 *Corbicula occidens* Deshayes, Nyanza 湖産 *Corbicula* sp., ニカラグア産 *Cyrena inflata* Say, エクアドル産 *Polymesoda anomala* (Deshayes), Mangalore, インド産 *Veloria cyprinoides* (Gray)の貝殻の内部構造は、内外の2つの殻層構造からなり、外殻層は finely crossed lamellar (微細交差板構造)層、内殻層は complex crossed lamellar (複合交差板構造)層、およびそれらの間に不明瞭な套筋殻層(pallial myostracum)が介在する。咬板部は微細交差板構造からなる。外殻層の第一次薄板はかなり細かく同心円型の配列をする。*Polymesoda* と *Veloria* では柱状の構造が外殻層に存在する。内殻層はかなり粗いラスからなり、柱状に配列している。貝殻はアラゴナイトからなる。

Kobayashi(1971)は *Corbicula japonica* の貝殻構造を外殻層の pseudo-crossed lamellar structure と、内殻層の complex structure からなると述べた。これらは本

報告において、前者を finely crossed lamellar structure, 後者を complex crossed lamellar structure にそれぞれ呼び改めて使用されている。

魚住・鈴木(1981)は Corbiculacea の外・中殻層が微細交差板構造(finely crossed lamellar structure), 内殻層が複合交差板構造(complex crossed lamellar structure)からなると述べている。

Prezant and Tiu (1985)は *Corbicula fluminea* に“purple”と“white”の2型があるが、両者の差異を貝殻構造について比較検討した。その結果、両者に相違点はなく外殻層は crossed-lamellar structure, 内殻層は complex crossed-lamellar structure からなると述べている。

これらの諸研究を通してみると、Corbiculacea の貝殻は微細交差板構造からなる外殻層と複合交差板構造からなる内殻層とで特徴づけられるといえる。

今回の結果から、Corbiculidae シジミ科に属する Polymesodinae 亜科のマングローブシジミと Corbiculinae 亜科のヤマトシジミは貝殻構造に相違点があることが判明した。マングローブシジミの貝殻は交差板構造からなる外殻層と複合交差板構造からなる内殻層であるのに対して、ヤマトシジミの貝殻は微細交差板構造からなる外殻層と複合交差板構造からなる内殻層とで構築されている。外殻層をなす交差板構造と微細交差板構造とは、構成が基本的に同一であり、中間的形態をとる場合もある。しかし、それぞれは種的特徴として認められるものでもある。内殻層をなす複合交差板構造は種類によって構成にかなり変化をもつが、両種の間でも形態が異なることも明らかである。

2. 管状構造について

一部の二枚貝には、管状構造が殻体構造の1つとして存在し、外套膜の突起がこの管状体に挿入している(Oberling, 1964; Kobayashi, 1969; Waller, 1980 ほか)。この機能は、感覚、呼吸、石灰化、光受容体などの作用をもつものと推定されてきた(柴田, 1971, 1979 ほか)。Tiu and Prezant (1989b)は *Corbicula fluminea* (タイワンシジミ)でこの構造を発見し、その機能の1つは殻を外套膜に固定することであると述べている。今回、管状構造の開口部とみられる構造がヤマトシジミの殻体の内表面において確認されたが、今後詳細な検討を要する点である。

3. 殻体内の着色について

ヤマトシジミの貝殻は殻体の内部や内表面に紫色の着色を呈していることがある。このような着色現象はほかの種類であまり知られていないが、名前に

もなっているウチムラサキの貝殻の内表面はこの着色で特徴づけられている。この紫色を着色する物質の化学的組成の検討も必要である。本標本では、紫の着色帯が内殻層に存在し、おおきく2つのバンドを形成しているが、このような現象はこの種類において一般的である。タイワンシジミでは、正常な状態の時は貝殻の色が紫色をしているが、ストレスが貝に加わると白色化することが報告された (Prezant *et al.*, 1988)。本標本の薄片で観察された内殻層の紫色帯と白色帯はこのような貝の生理的状態、すなわち貝の成長期と、なんらかのストレスが多くかかった時期をそれぞれ反映しているのであろうか。後者の帯には成長構造(線)がよくみられる。このようなストレス時においては、貝殻構造も変化することが知られているが、ヤマトシジミでの観察も今後の問題としたい。

4. 殻皮について

シジミ類の殻皮は黒色質で厚く、強靱な有機質の物質からなる。今回観察した両種はその構造を互いにやや異にしている。殻皮は酸性環境下において貝殻の溶解を防止する機能や付着生物・穿孔生物をはじめ周囲からの生物の破壊を防止する機能を持つといわれている。殻の縁辺における形成開始時には、石灰質顆粒物質が石灰質殻体の形成の基盤となる殻皮の上に最初に沈着する。

マングローブシジミの殻皮は殻表から縷状に細かく突き出ているし、4層の層構造からなり、ヤマトシジミと異なる点が多い。

5. 成長構造について

有機基質と炭酸塩鉱物からなる貝殻は、溶解を伴いながらも沈着によって付加的に成長していく。その際、貝殻の内表面付近に存在する套液の生理的状態が周期的・非周期的に変化し、形成された貝殻は縷状構造を呈する。このような成長のリズムによって形成される殻体の内部構造を成長構造とする。一般に、薄く着色した暗帯と無色透明質な明帯が繰り返している構造が形成される。今回観察した標本においてもこれらの構造が明瞭に発達するが、マングローブシジミはヤマトシジミよりもかなり明瞭な成長構造を形成している。この相違は両標本の生態環境の違いにあると思われる。マングローブ沼の干潟では、潮汐による冠水と露出が周期的に起こり、その変化が貝殻の形成に強い影響を与えているとみなされるし、一方、宍道湖のヤマトシジミは1年中ほとんど水面下に棲息し、大気中に露出することがない環境で成長している。この環境の違いによる効果

が成長構造の違いに現れているのであろうか。

このほか、ヤマトシジミにみられた2回の成長率の変化は貝殻の季節的な、かつ年齢査定にかかわる構造の可能性もある。

これらの成長構造の形成機構については今後検討していく課題になるであろう。

V. ま と め

1) 本論文で取り扱った二枚貝はヤマトシジミとマングローブシジミの2種類である。

2) 光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡によって貝殻の殻体内部構造を調べた。

3) 殻層構造は両種とも、外表面側から、殻皮層、石灰質外殻層、石灰質内殻層からなる。この他筋殻層がある。

4) ヤマトシジミでは、外殻層が微細交差板構造、内殻層が複合交差板構造からなる。マングローブシジミでは、外殻層が交差板構造、内殻層が複合交差板構造からなる。両種の複合交差板構造は稜柱の形態や結晶子の配列にやや差異がある。

5) 交差板構造、微細交差板構造および複合交差板構造は、いずれもアラゴナイトの結晶からなる。

6) 成長構造はマングローブシジミで明瞭である。

7) このほか、管状構造、殻体の着色現象と貝の生理状態、殻皮の構造とその形成、殻の溶解と貝殻構造などの諸問題を詳細に検討していく必要がある。

引用文献

- Bøggild, O. B., 1930, The shell structure of the mollusks. *D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr., Naturv., Ser. 9*, vol. 2, pp. 232-325.
- Fritz, L. W. and R. A. Lutz, 1986, Environmental hyperturbations reflected in internal shell growth patterns of *Corbicula fluminea* (Mollusca: Bivalvia). *The Veliger*, **28**(4): 401-417.
- 波部忠重, 1977, 日本産軟体動物分類学, 二枚貝綱/掘足綱. 北隆館, 東京, 372p.
- Isaji, S., 1993, Formation of organic sheets in the inner shell layer of *Geloina* (Bivalvia: Corbiculidae): An adaptive response to shell dissolution. *The Veliger*, **36**: 166-173.
- Kobayashi, I., 1964, Microscopical observations on the shell structure of bivalvia—part 1 *Barbatia obtusoides* (Nyst)—. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C*, **82**: 295-301.
- Kobayashi, I., 1969, Internal microstructure of the shell

- of bivalve molluscs. *Am. Zoologist*, **9**: 663-672.
- Kobayashi, I., 1971, Internal shell microstructure of recent bivalvian molluscs. *Sci. Rep. Niigata Univ., Ser. E, Geol & Mineral.*, **2**: 27-50.
- 小林巖雄, 1981, 軟体動物の殻体内部構造とその古生物学的意義—とくに, 二枚貝について—. 波部・大森監修「軟体動物の研究」, 大森昌衛教授還暦記念論文集, pp. 47-62.
- 小林巖雄, 1988, 二枚貝の貝殻構造とその系統進化. 大森・須賀・後藤編「海洋生物の石灰化と系統進化」, 東海大出版会, 東京, pp. 97-112.
- Oberling, J. J., 1964, Observations on some structural features of the pelecypod shell. *Mitt. Natr. Ges. Bern., N. F.* 20 Bd., pp. 1-63.
- Prezant, R. S. and A. T. Tiu, 1985, Comparative shell microstructure of North American *Corbicula* (Bivalvia: Sphaeriacea). *The Veliger*, **27**: 312-319.
- Prezant, R. S., A. T. Tiu and K. Chalermwat, 1988, Shell microstructure and color changes in stressed *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *The Veliger*, **31** (3/4): 236-243.
- Prezant, R. S. and A. T. Tiu, 1986, Spiral crossed-lamellar shell growth in the bivalve *Corbicula* (Mollusca: Bivalvia). *Trans. Amer. Microsc. Soc.*, **105**: 338-347.
- 柴田松太郎, 1971, サルボウの貝殻に認められる管状構造の機能に関する実験的研究, その3). 地球科学, **25**(6): 239-244.
- 柴田松太郎, 1979, フネガイ目の殻体に認められる管状構造. 貝類学雑誌, **38**(1): 48-60.
- Taylor, J. D., W. J. Kennedy and A. Hall, 1973, The shell structure and mineralogy of the bivalvia II. Lucinacea-Clavagellacea conclusions, *Bull. British Museum (Nat. Hist.), Zoology*, **22**(9): 255-294.
- Tiu, A. T. and R. S. Prezant, 1989a, Temporal variation in microstructure of the inner shell surface of *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Heterodonta). *Amer. Malac. Bull.*, **7**(1): 65-71.
- Tiu, A. T. and R. S. Prezant, 1989b, Shell tubules in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Heterodonta): functional morphology and microstructure. *The Nautilus*, **103**(1): 36-39.
- 魚住悟・鈴木清一, 1981, 二枚貝における殻体構造の進化, 波部・大森監修「軟体動物の研究」, 大森昌衛教授還暦記念論文集, pp. 63-77.
- Waller, T. R., 1980, Scanning electron microscopy of shell and mantle in the order Arcoida (Mollusca; Bivalvia). *Smithsonian Contributions to Zoology*, **313**: 1-58.

図 版 説 明

図版1

Plate 1

図1 宍道湖産のヤマトシジミ スケール:1cm

a. 左殻外面 b. 右殻外面 c. 左殻内面 d. 右殻内面

Fig. 1. *Corbicula japonica* Prime from Lake Shinji, Shimane. (scale bar is 1cm)

a. outer view of left valve, b. outer view of right valve, c. inner view of left valve, d. inner view of right valve

図2 沖縄産のマングローブシジミ スケール:1cm

a. 左殻外面 b. 左殻内面

Fig. 2. *Geloina coaxans* (Gmelin) from Iriomote Is., Okinawa. (scale bar is 1cm)

a. outer view of left valve, b. inner view of left valve

図3 光学顕微鏡下における放射方向の薄片像(ヤマトシジミ)スケール:0.5mm

Fig. 3. Radial thin section (*Corbicula japonica*). OM. Bar=0.5mm

図4 光学顕微鏡下における微細交差板構造の放射方向の断面像(ヤマトシジミ)スケール:40 μ m

a. 平行ニコル下 b. 直交ニコル下

Fig. 4. Radial section of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). OM. Bar=40 μ m

a. plane polarized light, b. crossed nicols.

図版2

Plate 2

図1 光学顕微鏡下における微細交差板構造の横断方向の断面像(ヤマトシジミ)スケール:40 μ m
平行ニコル下

Fig. 1. Cross section of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). Plane polarized light. Bar=40 μ m.

図2 光学顕微鏡下における微細交差板構造の接線方向の断面像(ヤマトシジミ)スケール:40 μ m
直交ニコル下

Fig. 2. Tangential section of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). Crossed nicols. Bar=40 μ m.

図3 走査型電子顕微鏡下における微細交差板構造の成長内表面像, 殻体の腹縁部(ヤマトシジミ)
スケール:5 μ m

Fig. 3. Inner growth surface of finely crossed lamellar structure at the ventral margin (*Corbicula japonica*). SEM. Bar=5 μ m.

図4 走査型電子顕微鏡下における微細交差板構造の成長内表面像, 殻体の腹縁部からやや内側に入る部位(ヤマトシジミ)スケール:5 μ m

Fig. 4. Inner growth surface of finely crossed lamellar structure at slightly inner part from the ventral margin (*Corbicula japonica*). SEM. Bar=5 μ m.

図5 走査型電子顕微鏡下における微細交差板構造の破断面像(ヤマトシジミ)スケール:5 μ m

Fig. 5. Broken surface of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). SEM. Bar=5 μ m.

図6 走査型電子顕微鏡下における微細交差板構造の研磨・腐食面像, 放射方向(ヤマトシジミ)
スケール:10 μ m

Fig. 6. Etched surface of finely crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). Radial section. SEM. Bar=10 μ m.

図版3

Plate 3

図1 光学顕微鏡下における複合交差板構造の放射方向の断面像(ヤマトシジミ)スケール:40 μ m
a: 平行ニコル下 b: 直交ニコル下

Fig. 1. Radial section of complex crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). OM. Bar=40 μ m.

a. plane polarized light, b. crossed nicols

図2 光学顕微鏡下における複合交差板構造の接線方向の断面像(ヤマトシジミ)スケール:40 μ m
直交ニコル下

Fig. 2. Tangential section of complex crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). Crossed nicols. Bar=40 μ m.

図3 走査型電子顕微鏡下における複合交差板構造の成長内表面像(ヤマトシジミ)スケール:10 μ m
Fig. 3. Inner growth surface of complex crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). SEM. Bar=10 μ m.

図4 走査型電子顕微鏡下における複合交差板構造の研磨・腐食面像,放射方向(ヤマトシジミ)
 スケール:10 μ m
Fig. 4. Etched surface of complex crossed lamellar structure (*Corbicula japonica*). Radial section. SEM.
 Bar=10 μ m.

図5 内殻層にみられる稜柱状構造を示す薄層,走査型電子顕微鏡写真像(ヤマトシジミ)スケール:10 μ m
Fig. 5. Thin layer of prismatic structure in the inner calcareous layer (*Corbicula japonica*). SEM. Bar=10 μ m.

図版4

Plate 4

図1 外殻層にみられる成長構造,光学顕微鏡像(ヤマトシジミ)スケール:50 μ m
Fig. 1. Growth structure in outer calcareous layer (*Corbicula japonica*). OM. Bar=50 μ m.

図2 内殻層にみられる成長構造,光学顕微鏡像(ヤマトシジミ)スケール:50 μ m
Fig. 2. Growth structure in inner calcareous layer (*Corbicula japonica*). OM. Bar=50 μ m.

図3 光学顕微鏡による殻皮の構造(マングローブシジミ)スケール:100 μ m
 a, bとも平行ニコル下
Fig. 3. Structure of periostracum (*Geloina coaxans*). OM, a and b: plane polarized light. Bar=100 μ m.

図4 外殻層に挿入する殻皮,光学顕微鏡像(マングローブシジミ)スケール:100 μ m
 a. 平行ニコル下 b. 直交ニコル下
Fig. 4. Periostracum inserted into the outer calcareous layer (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m.
 a. plane polarized light, b. crossed nicols.

図5 光学顕微鏡下における交差板構造の放射方向の断面像(マングローブシジミ)スケール:50 μ m
 平行ニコル下
Fig. 5. Radial section of crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). OM. Bar=50 μ m. Plane polarized light.

図6 光学顕微鏡下における交差板構造の接線方向の断面像(マングローブシジミ)スケール:100 μ m
 平行ニコル下
Fig. 6. Tangential section of crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m. Plane polarized light.

図版5

Plate 5

図1 走査型電子顕微鏡下における交差板構造の成長内表面像,殻体の腹縁部(マングローブシジミ)
 スケール:10 μ m
Fig. 1. Inner growth surface of crossed lamellar structure at ventral margin (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図2 走査型電子顕微鏡下における交差板構造の成長内表面像,殻体の腹縁部からやや内側に入る部位(マングローブシジミ)スケール:10 μ m
Fig. 2. Inner growth surface of crossed lamellar structure at slightly inner part of ventral margin (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図3 走査型電子顕微鏡下における交差板構造の破断面像(マングローブシジミ)スケール:10 μ m
Fig. 3. Broken surface of crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図4 走査型電子顕微鏡下における交差板構造の研磨・腐食面像,放射方向(マングローブシジミ)
 スケール:10 μ m
Fig. 4. Etched surface of crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). Radial section. SEM. Bar=10 μ m.

図5 光学顕微鏡下における複合交差板構造の放射方向の断面像(マングローブシジミ)スケール:100 μ m
 a: 平行ニコル下 b: 直交ニコル下
Fig. 5. Radial section of complex crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m.
 a. plane polarized light, b. crossed nicols

図版6

Plate 6

図1 光学顕微鏡下における複合交差板構造の接線方向の断面像(マングローブンジミ)スケール:100 μ m
平行ニコル下

Fig. 1. Tangential section of complex crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m.
Plane polarized light.

図2 走査型電子顕微鏡下における複合交差板構造の成長内表面像(マングローブンジミ)スケール:10 μ m

Fig. 2. Inner growth surface of complex crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図3 走査型電子顕微鏡下における複合交差板構造の破断面像(マングローブンジミ)スケール:10 μ m

Fig. 3. Broken surface of complex crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図4 走査型電子顕微鏡下における複合交差板構造の研磨・腐食面像,放射方向(マングローブンジミ)
スケール:10 μ m

Fig. 4. Etched surface of complex crossed lamellar structure (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=10 μ m.

図5 外殻層と内殻層の間にみられる稜柱状構造を示す套筋殻層,走査型電子顕微鏡写真像(マングローブンジミ)スケール:100 μ m

Fig. 5. Prismatic structure of pallial myostracum between outer and inner calcareous layers (*Geloina coaxans*). SEM. Bar=100 μ m.

図6 外殻層にみられる成長構造,光学顕微鏡像(マングローブンジミ)スケール:100 μ m

a. 平行ニコル下 b. 直交ニコル下

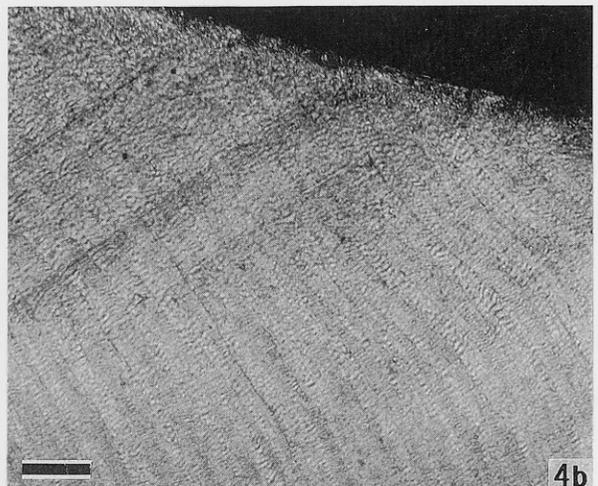
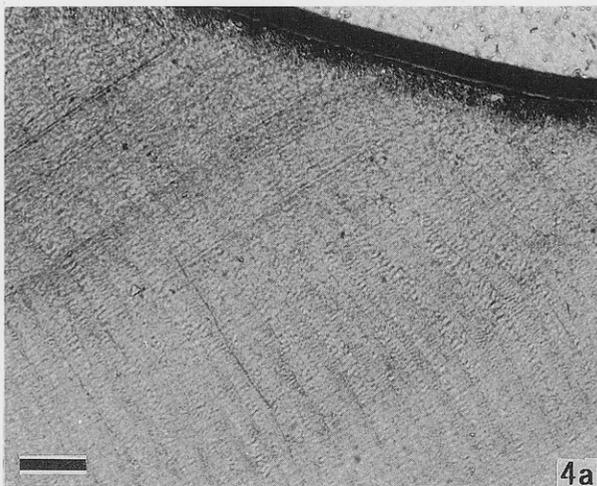
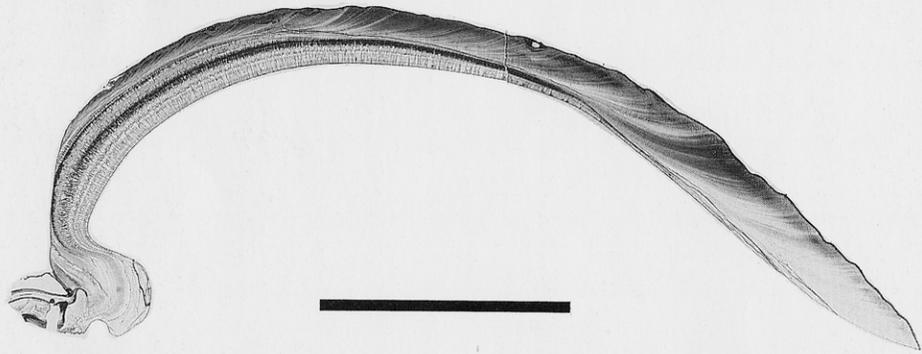
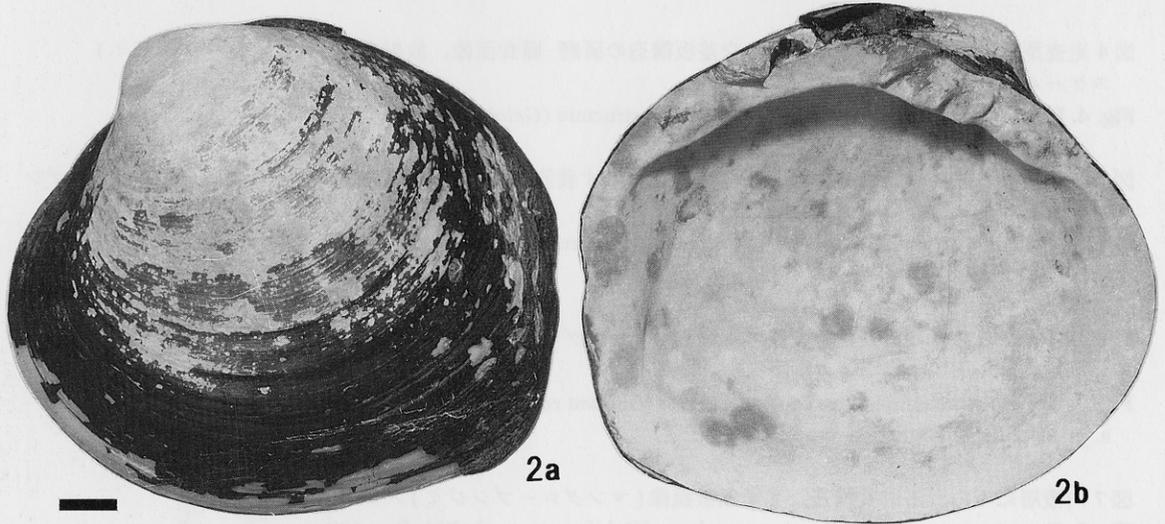
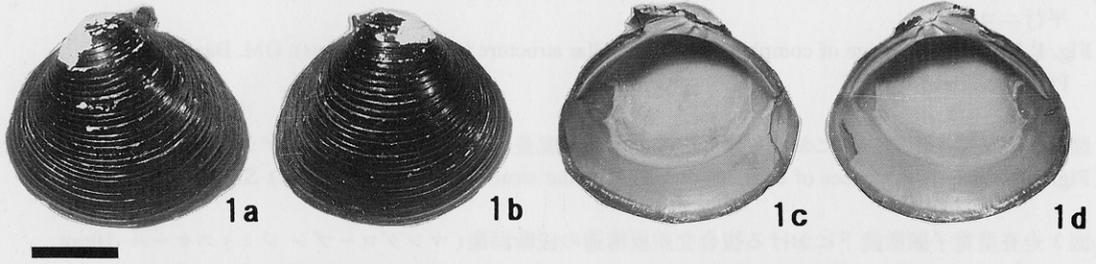
Fig. 6. Growth structure in outer calcareous layer (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m.

a. plane polarized light, b. crossed nicols

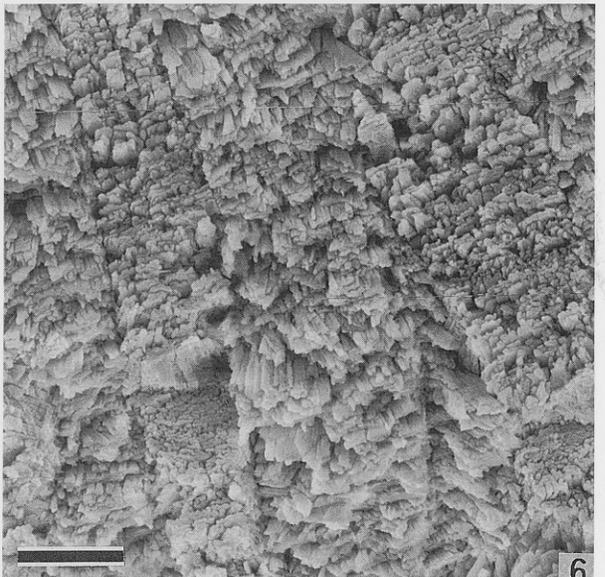
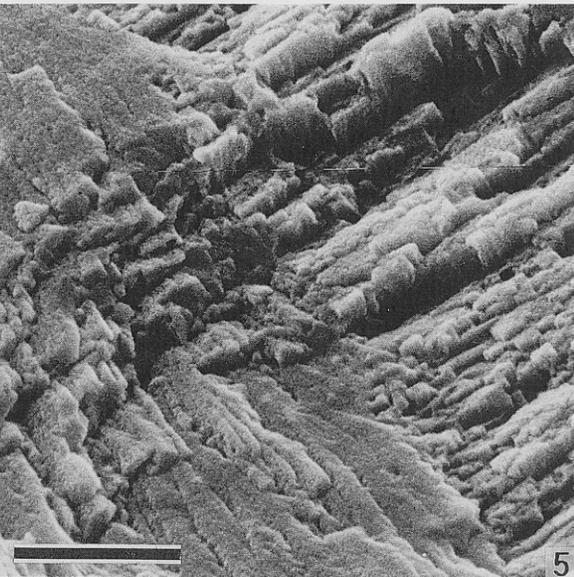
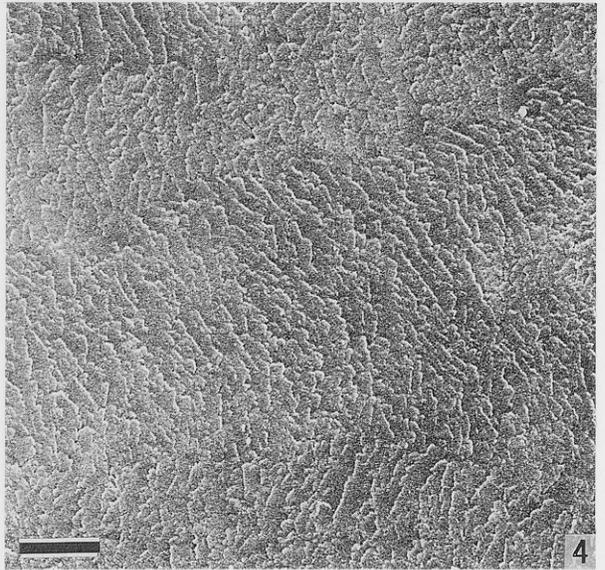
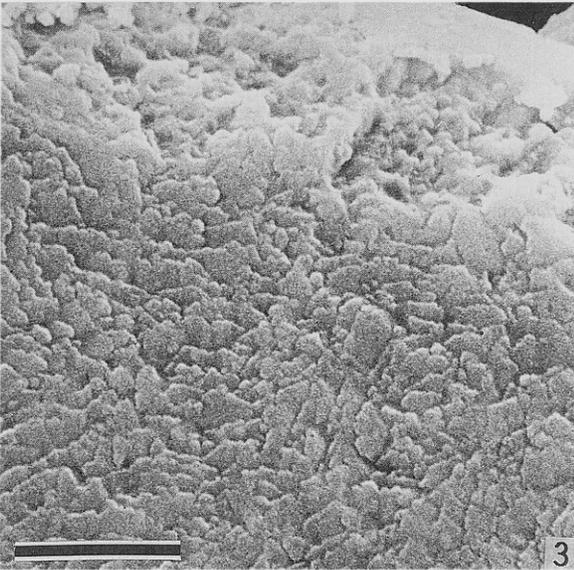
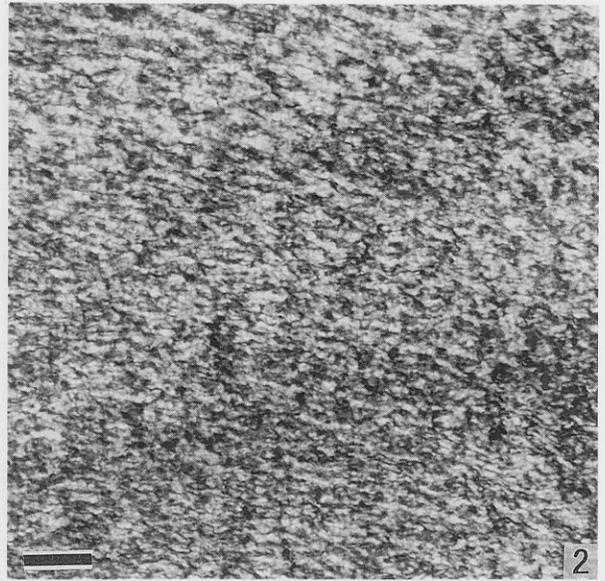
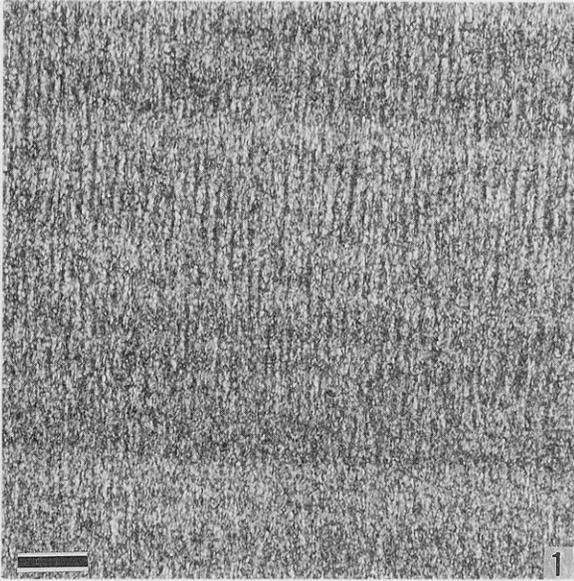
図7 内殻層にみられる成長構造,光学顕微鏡像(マングローブンジミ)スケール:100 μ m

Fig. 7. Growth structure in inner calcareous layer (*Geloina coaxans*). OM. Bar=100 μ m.

図版 1
Plate 1

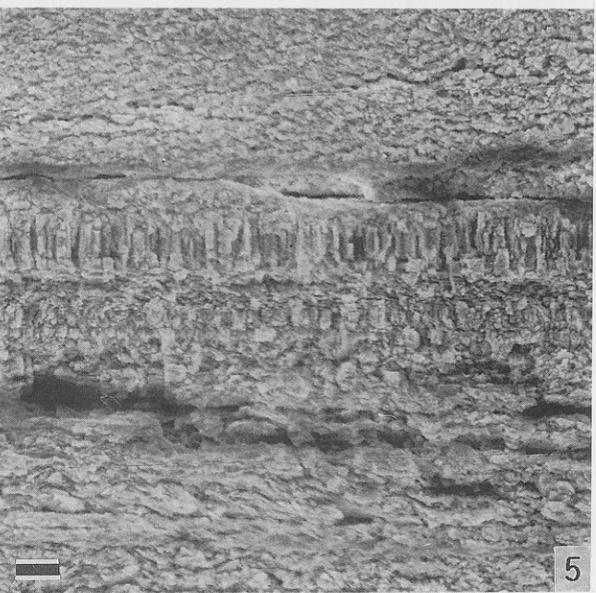
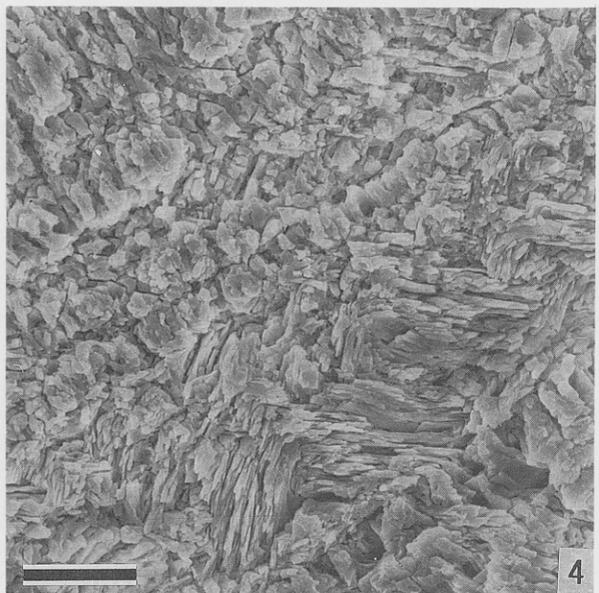
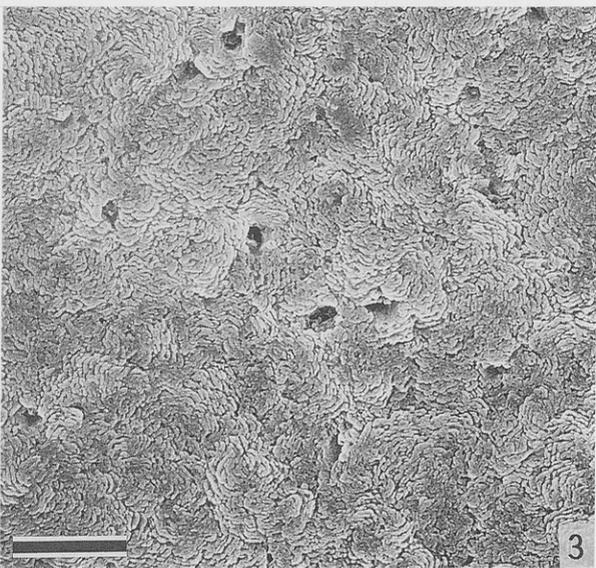
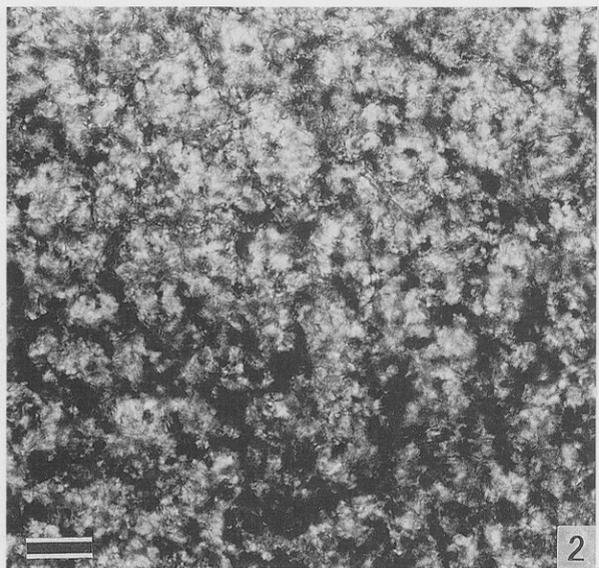
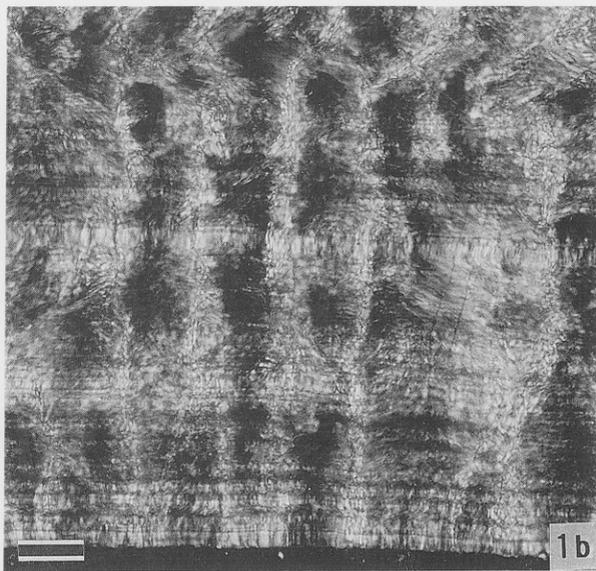
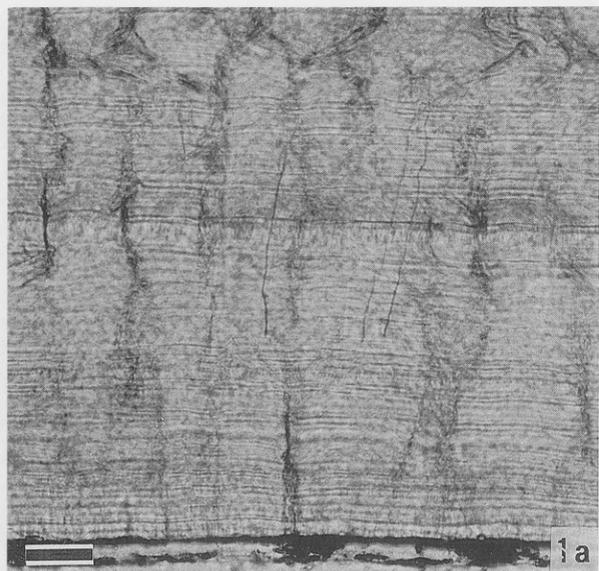


図版2
Plate 2

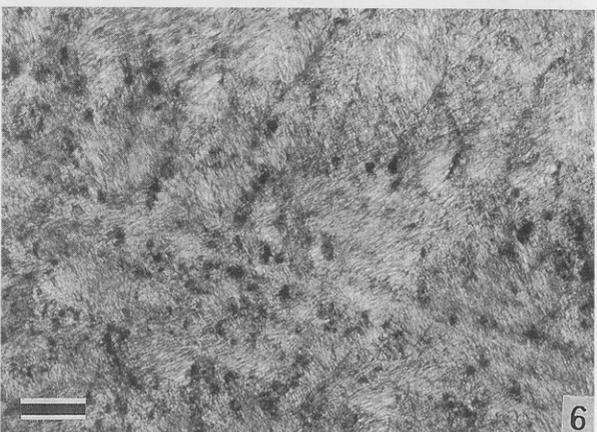
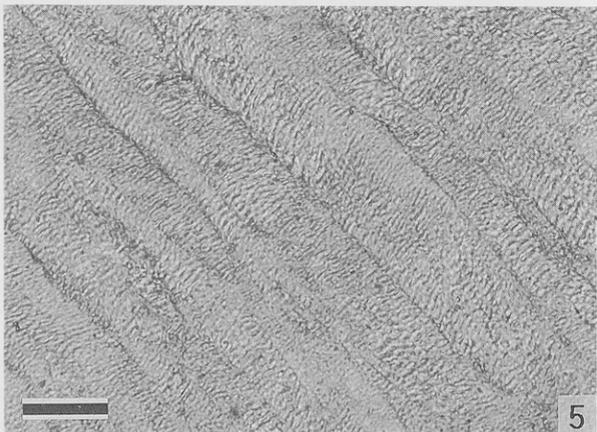
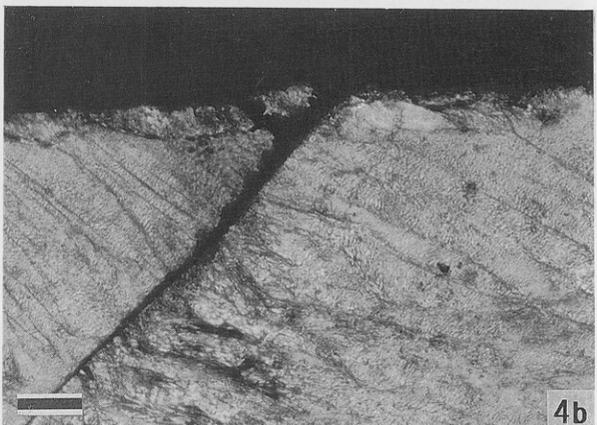
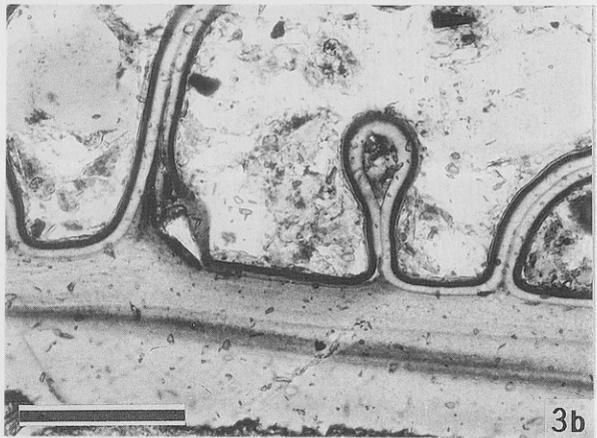
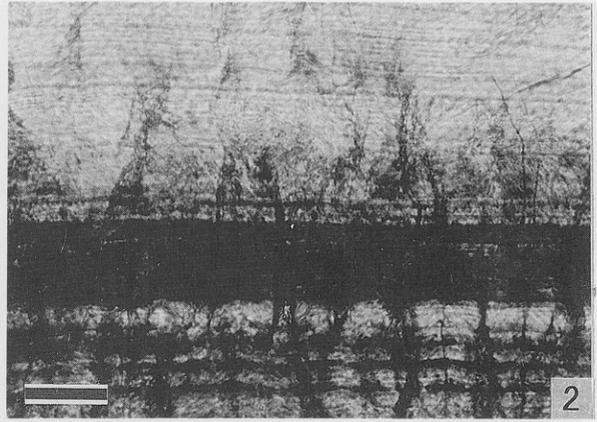
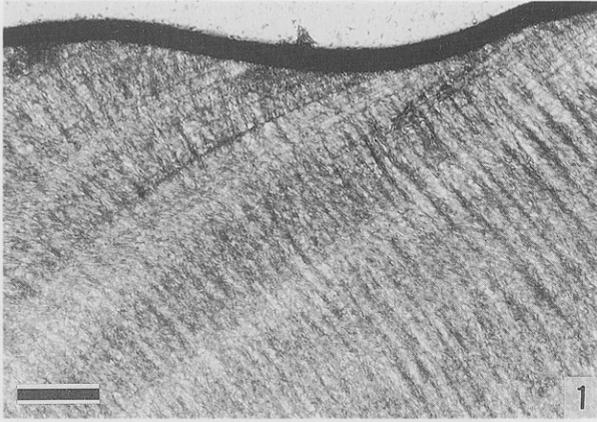


図版 3

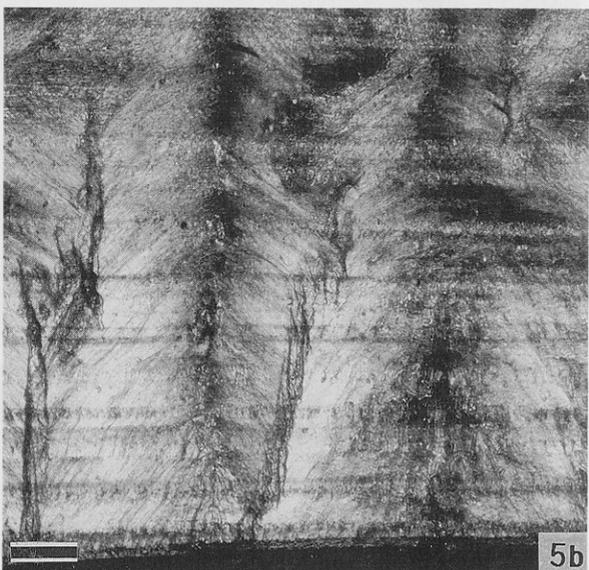
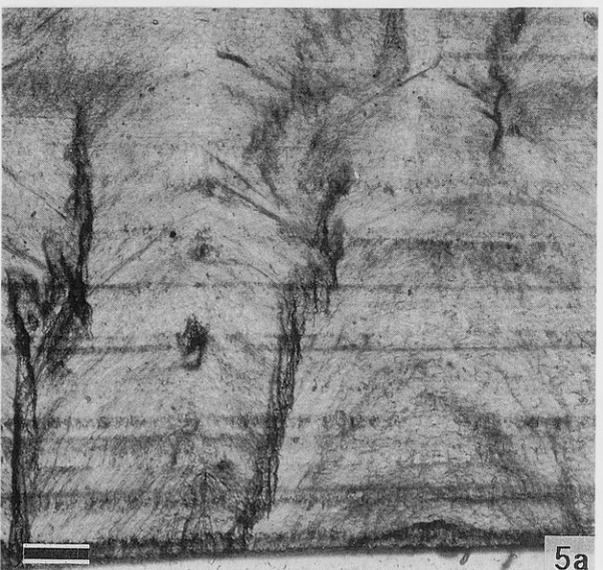
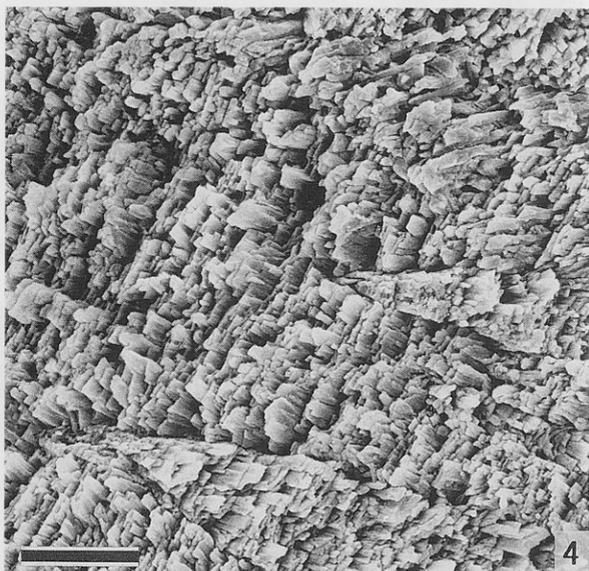
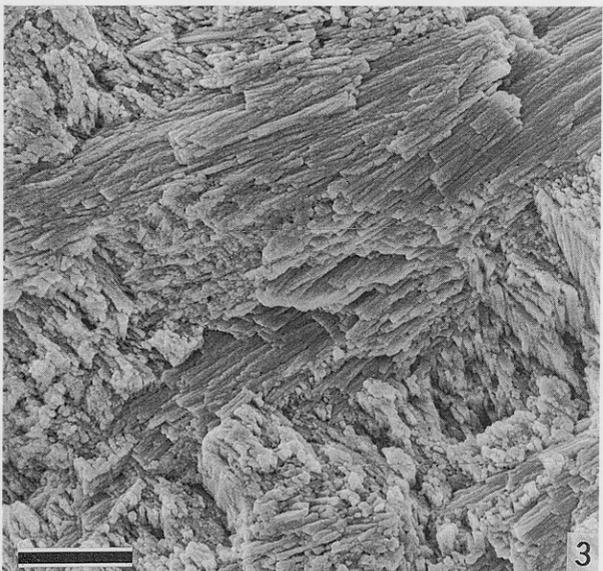
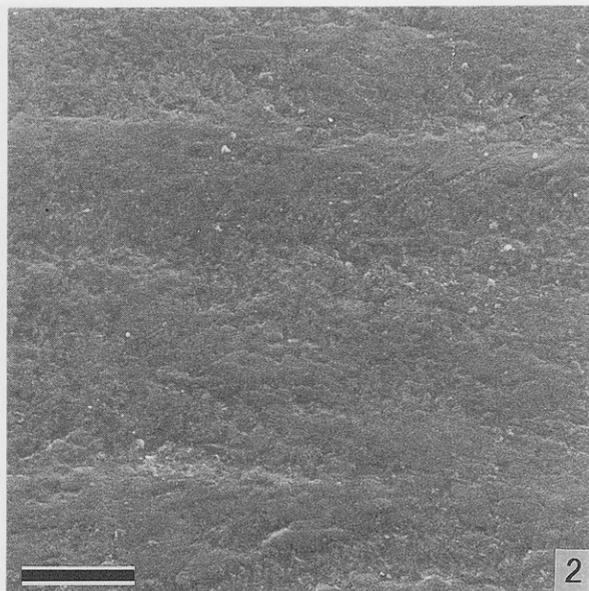
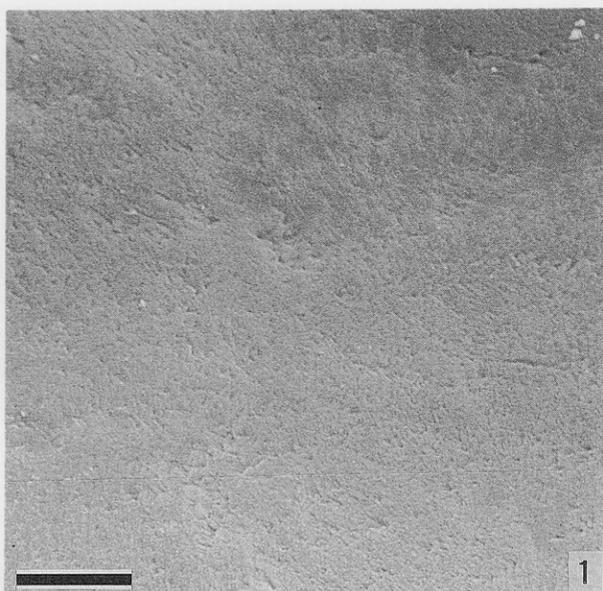
Plate 3



図版4
Plate 4



図版5
Plate 5



図版6
Plate 6

