

軟体動物絶滅種の 貝殻微細構造による検討

研究課題番号 01540644

平成2年度科学研究費補助金 一般研究(C)

研究成果報告書

平成3年3月

研究代表者

福岡教育大学教育学部助教授

鈴木 清 一

「課 題 名」 : 軟体動物絶滅種の貝殻微細構造による検討

「課 題 番 号」 : 0 1 5 4 0 6 4 4

「標 題」 : 平成2年度科学研究費補助金（一般研究C）研究成果報告書
平成3年3月

「研究代表者」 : 鈴木 清 一（福岡教育大学教育学部助教授）

「研 究 経 費」 : 平成元年度 1, 5 0 0千円
 平成2年度 2 0 0千円
 計 1, 7 0 0千円

「研 究 発 表」 :

ア. 学会誌等

- 鈴木清一・山田 清・都郷義寛 : 島根県の中部中新統益田層群産貝殻化石の内部を充填する高Srアラレ石. 地質学雑誌、第96巻。1990年10月。

イ. 口頭発表

- Suzuki, S., Togo, Y. and Uozumi, S.: Exoskeletal adaptations for life environment in neritacean gastropods. The 6th International Symposium on Biomineralization, 1990.10.11.
- Togo, Y., Suzuki, S., Iwata, K. and Uozumi, S.: Larval shell formation and mineralogy of *Neptunea arthritica* (Neogastropoda: Mollusca). Ibid., 1990.10.9.
- 鈴木清一: 芦屋層群産の珪化軟体動物化石における殻体構造の保存。日本地質学会第98年総会・年会、1991年4月5日（発表予定）。

「研究成果」

序 論

節足動物に次ぐ大きな動物群である軟体動物は、カンブリア紀に出現して以来、幾多の盛衰を繰り返しながら今日の繁栄に至っている。この動物の系統進化については、多くの研究者により様々な観点から論じられ、その大綱においてさえ、未だに議論を呼ぶところである(Yochelson, 1979)。近年はNeontology的立場から、現生材料を用いた殻体構造の検討に基づいて、二枚貝類の系統進化についての仮説(Taylor, 1973; 小林, 1981, 1988; 魚住・鈴木, 1981)や巻貝に関する仮説(都郷・鈴木, 1988)が出されている。また、軟体動物の基本的構築構造は、系統発生の初期段階において既に出ていたことが、カンブリア紀の化石の検討から明らかにされた(Runnegar and Pojeta, 1985)。これまでの殻体構造に関する研究成果を総合すると、出現以来現在に至るまで、各々の系統において殻体構造の抜本の変更はなかったものと予想される。しかし、筆者らが試案した「殻体構造の解析から系統進化へアプローチする方法」(鈴木・都郷, 1987)からみると、殻体構造の研究はまだ端緒に着いたところであり、データの蓄積は極めて不十分な段階にあると言わざるを得ない。対象試料も現生標本が主体であり、系統進化の議論において、決定的証拠となる化石データの不足は重大である。

以上の研究の到達点に立脚し、本研究では、不足する化石データの収集に務めた。とりわけ絶滅種に主眼を置いたのは、当然ながら、これらの殻体のデータは化石からしか得られないからである。同時に、各絶滅種の系統的位置について、これまでは外部形態の比較検討に頼って議論されていたが、これを安定な形質である内部構造の観点から検討しようとするものである。ところで、化石を用いる場合、化石化に伴う二次的な内部構造の変化を吟味しなければならない。とくに軟体動物殻体は炭酸塩鉱物を主要構成物としており、地表環境において変化し易い硬組織の1つである。したがって、本研究では化石化における初生殻体構造保存の問題についても検討した。

本研究における検討標本は、以下に示すように、国内各地の白亜系から第四系に至る種々の層準からのものである。いずれも筆者自身により産状調査が行われた地点で採集されたものである。

<下部更新統>

- 1) 瀬棚累層: 北海道黒松内町、長万部町; *Acila insignis*, *Callista* (*Ezocallista*) *brevisiphonata* など。
- 2) 多賀層群富岡累層: 福島県広野町; *Acila divaricata*.
- 3) 姫島累層: 大分県姫島村; *Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis*.
- 4) 宮崎層群児湯累層高鍋部層: 宮崎県高鍋町; *Acila divaricata*, *Anadara* sp. *Paphia* sp. など。

<中部中新統>

- 5) 上杵臼累層: 北海道様似町、浦川町; *Plicatomytilus hidakensis*.
- 6) 備北層群: 岡山県勝央町、広島県庄原市; *Vicarya japonica*, *Tateiwaia* sp.
- 7) 益田層群: 島根県益田市; *Vicarya japonica*, *Tateiwaia tateiwai*, *Crassostrea gravitesta* など。

<下部中新統>

- 8) 芦屋層群: 北九州市、山口県下関市; *Acila ashiyaensis*, *Glycymeris cisshuensis*, *Ostrea* sp. など。

＜白亜系＞

9) 中部蝦夷層群三笠累層: 北海道三笠市; *Anadara* sp. "ammonite".

10) 姫浦層群: 熊本県竜ヶ岳町; *Glycymeris* sp. *Ostrea* sp.

これらの標本について、粉末X線回折法および炭酸塩染色法による鉱物同定、薄片試料の偏光顕微鏡観察、レプリカ試料の位相差顕微鏡観察、腐食研磨試料の走査型電子顕微鏡観察、エネルギー分散型X線分析装置による元素分析などを行った。

A. 絶滅種の殻体構造

軟体動物絶滅種の殻体構造についての研究 (MacClintock, 1967; Hundson, 1968; Batten, 1972; Carter and Tevesz, 1987など) は、その多くが中・古生代の標本であるにもかかわらず、構造保存が良好で十分な観察記載がなされている。しかし、我が国において、同様の標本を入手することはほとんど期待できない。また、構造復元の確実性という点からも、まず、新生代の標本から始めるのが妥当であると判断される。したがって、今回は新生代の絶滅種である以下の4種について検討した。

1. *Vicarya japonica* (中期中新世)

本種の殻体は、塔型で、螺管外表面にとげ状突起を螺状にめぐらしており、螺管内部の殻軸にも不明瞭な螺状脈が一条認められる。また、殻口の内唇、外唇とも滑層の発達により肥厚している。これらの裝飾部位を含め、殻体はすべてアラレ石質である。

螺管部には4殻層が識別される(外表面側から、第1層～第4層とする)。このうち、第4層是最内層に相当し、構築構造、分布の点で他の殻層とは明瞭に区分される。即ち、第1層～第3層は典型的交差板構造により構築されるが、第4層は構造要素の配列などにおいて、それよりも不規則な“最内層型交差板構造”からなる(第2図)。また、他の殻層が、殻体の成長に伴って、殻口側ほど厚くなるのに対し、第4層は殻頂側で肥厚し、殻口に向かって薄化・尖滅する。第1層～第3層の区分は構築構造の構造要素の配列方向の相違により識別される。第1層では、交差板構造の第1次薄板の長軸が殻体の成長方向とほぼ平行に配列している。また、この層の最外部は明瞭な交差パターンを示さず、針状結晶の放射状配列から2条またはそれ以上の束状集合体(第1次薄板)へ次第に移化することが認められる。第2層では、第1次薄板の長軸は殻体の成長方向と直交する。第3層の第1次薄板の配列は第1層のそれと同様である。各殻層において、これらの主要構造に介在して、不規則稜柱構造からなる薄層が発達している。螺管横断面における各殻層の分布をみると、第1層と第2層は殻軸部を含む全周囲に発達するが、第3層は殻軸部と後方(殻頂側)には分布しない。第4層は殻頂付近の螺管では全周囲にみられるものの、殻口に近づくにつれて殻軸部と後方には発達しなくなる。外表面のとげ状突起部では、第1、2層が肥厚するが、第3、4層はとくに厚くなることはない。

内外唇の滑層は、螺管部の第1層(および第2層)から連続して形成されている。主要には交差板構造により構築され、不規則稜柱構造の薄層を頻繁に挟む他、放射状稜柱構造に同定し得る部位もある(第5図)。さらには、粒状構造の部位も観察される。放射状稜柱構造は粒状構造と交差板構造の間に位置し、それぞれの構造と漸移する。交差板構造との漸移部は原交差板構造に類似する。この現象は、粒状構造→放射状稜柱構造→原交差板構造→交差板構造の構造分化を示唆するものとして、注目される。

以上の*Vicarya japonica*の殻体構造をPotamididae科現生種と比較するため、*Batillaria multiformis*(ウミナ)、*B. cumingii*(ホソウミナ)、*B. zonalis*(イボウミナ)、*Cerithidea djadjariensis*(カワア

イ)、*C. rhizophorum* (フトヘナタリ)、*C. largilliertii* (クロヘナタリ)、*Terebralia palustris* (キバウミナ)の7種の殻体についても検討した。これらの殻体は4殻層からなり、第2層から第4層の構造はすべて共通で、*V. japonica*と同様である。しかし、第1層の構造は*Batillaria*属の3種と、他の4種との間に若干の相違が認められる。前者の第1層は、局部的にみれば放射状稜柱構造や交差板構造に同定可能な部位もあるが、全体としては、原交差板構造からなるとみることができる。一方、後者のそれは、外表面付近はやや不規則な結晶配列であるが、交差板構造により構築される。したがって、*V. japonica*の殻体構造は前者のグループとは異なり、後者のグループに属すると見なされる。構造分化の観点からみれば、*V. japonica*はPotamididae科においては比較的進化した殻体を保有していることになる。

2. *Glycymeris cisshuensis* (初期中新世)

本種の殻体はアラレ石質で、外層、中層、光輝層、内層の4殻層からなり、外・中層は交差板構造、光輝層は光輝構造、内層は複合交差板構造により構築される。このうち、外・中層の交差板構造はともに第1次薄板の長軸を殻体の成長方向に直交させて配列しているが、その中軸は中層で直立しているのに対し、外層では前縁方向に垂れ下がるように前傾している。内層の複合交差板構造の詳細については、構造保存がやや不良なため、観察できなかった。ただし、内層には不規則稜柱構造の薄層が部分的に介在していることが確認された。

以上の殻体構造の特徴はGlycymeridae科の現生種*Glycymeris albolineata* (ベンケイガイ)のそれとほとんど同じである。

3. *Acila ashiyaensis* (初期中新世)

本種の殻体もアラレ石質で、前種同様に4殻層からなる。外層は不規則稜柱構造、中層は柱状真珠構造、光輝層は光輝構造、内層はシート状真珠構造からなる(第8図)。外層の不規則稜柱構造において、稜柱状結晶の長軸は全体として前傾している。中層の柱状真珠構造はタブレット(多角板状結晶体)の累重において、巻目に見られるような典型的柱状を示さず、隣接タブレットとの境界を少しづつずらして重なる二枚貝特有のパターンをとる。

本種の殻体構造は、Nuculidae科の現生種*Nucula nucleus* (ホンクルマギ)、*Acila (Truncacila) insignis* (キララガイ)、*Acila divaricata* (オオキララガイ)と基本的に同じである。ただし、外層の不規則稜柱構造の結晶配列からみると、放射状配列の*N. nucleus*とは異なり、前傾配列の他の2種の内でも、傾斜角度が比較的小さい点では、*A. divaricata*により類似する。

4. *Crassostrea gravitesta* (中期中新世)

本種の殻体の外層は方解石稜柱構造、中・内層は葉状構造とチョーク層からなる。これらはいずれも方解石質である。この他、アラレ石質の光輝層の存在が予想されるが、今回は確認できなかった。チョーク層とは、葉状構造内にレンズ状に介在し、方解石の針状~小稜柱状の結晶が相対的に外側の葉状構造との境界面から伸長し不規則に配列している部位をいうが、構築構造の名称は与えられていない。

本種の殻体構造はOstreidae科の現生種*Crassostrea gigas* (マガキ)のそれと基本的に同じである。詳細にみると、現生種よりもチョーク層の発達がよく、むしろ葉状構造が貧弱であるが、これは個体差の反映と考えられる。

以上の新生代絶滅種4種の殻体構造を総括すると、予想されたことではあるが、比較した同一科の現

生種のそれと基本的には同じであり、大幅な相違は認められない。しかし、Potamididae科の第1殻層のように、近縁ながらも相異なる構築構造が同一科内に種間差として存在したり、Nuculidae科の外層のように、同一構造であるが、結晶配列に種間差があるなど、科内に多様性がみられる場合には、絶滅種の系統的位置を考察することが可能である。なお、構造形態の微小な差異を種間で比較する際には、あらかじめ個体差の範囲を検討しておくことが必要であろう。

B. 化石化過程における殻体構造の保存

古生物の体組織は、それが硬組織と言えども、化石化過程において様々な変形、変質作用を受けることは周知の通りである。その度合は経過時間、化石化環境などとともに、体組織のもつ本来の性質に深く関連している。一般に炭酸塩を主要構成物とする軟体動物殻体の場合、磷酸塩からなる脊椎動物の歯牙組織などに比して、はるかに変質し易く、内部構造は破壊され易いと考えられている。こうした事情を反映して(?)、化石を試料とした殻体構造の研究は、その意義の大きさにも関わらず、極めて少ない。しかし、この通説は一般論としては誤りではないが、過大に評価されているように思われる。既に古生代の化石殻体についてその構造が明らかにされているように(Mutvei, 1983; 他前出)、炭酸塩質化石硬組織の内部構造の復元は決して不可能なことではない。今回の研究において、初生殻体構造が多様なパターンで保存されていることが明らかとなった。

1. アラレ石質構築構造の保存と方解石化に伴う残存様式

殻体を構成する炭酸カルシウム結晶には、アラレ石と方解石の2種類があるが、前者は常温・常圧下では準安定であり、化石化過程において容易に後者に転移する。今回検討した標本においても、とくに古い地質時代のものはアラレ石質殻体の多くが方解石化していた。しかし、方解石化殻体には初生構造保存の点で種々の段階があり、また、アラレ石質のまま残存する場合でも構造破壊が部分的に進行していることが認められた。

更新統(瀬棚層、富岡層、高鍋部層)産のアラレ石質殻体の標本では、方解石化は認められなかった。これらの殻体構造の保存は極めて良好である。ただし、有機基質そのものは消失しているように観察される。Acila属など二枚貝殻体の真珠構造部では、部分的に層間基質や結晶間基質に対応する膜状物質が認められるが、反射電子組成像から判断して、これは有機物ではなく、炭酸塩鉱物のようである。一方、アラレ石結晶は現生殻体における特徴(形態、サイズ、配列など)をほぼ完全に保存していることが多く、初生構造の検討には支障がない。しかし、真珠構造からなる部位では、隣接タブレット間の境界が不鮮明となり、融合しているように観察されることもある。これは同一産地から得た他の殻体において、交差板構造などを構成する針状結晶にはみられない現象であり、構築構造の種類により、化石化のプロセスが異なることを示している。また富岡層の標本において、殻体内部が部分的に溶解して空洞を生じ、二次的に鍾乳石または石筍、石柱に類似したアラレ石の柱状結晶が晶出しているのが観察された。

中部中新統(上杵田累層、益田層群、備北層群)および下部中新統(芦屋層群)では、いずれも方解石化が認められるが、アラレ石質の個体または部位も残存していた(第1図)。方解石化の程度は産出地の層準、岩相により異なり、大局的にはより古い時代のものの方が、また細粒な岩相より粗粒な岩相の方が、方解石化は進行している。しかし、同一産地でも個体毎に異なり、緻密には個体レベルで化石化の履歴が異なることを反映した結果を示している。ここで、益田層群産の*Vicarya japonica*、芦屋層群産

の *Glycymeris cisshuensis*, *Acila ashiyaensis* の観察を基に方解石化の特徴を列挙すると、以下の通りである:

- 1) 構築構造の種類により方解石化の度合いが異なる。真珠構造、複合交差板構造、交差板構造、“最内層型交差板構造”の順で方解石化し易い。
- 2) アラレ石から方解石に転移すると、直ちに再結晶化してモザイク状を呈することが多く(第6図)、転移段階を示す試料は極めてまれである。
- 3) アラレ石段階で、チョーク状に変質(主に結晶の細粒化、孔隙の発生、配列の無秩序化による)したり、結晶の融合がある部位では、方解石化し易いようである。
- 4) 方解石化は殻体の表面、即ち母岩との境界から殻体内部へ進行する場合と殻体内部で開始し、周辺に拡大する場合の2つのパターンが認められる(第1図)。後者のパターンはアラレ石段階で殻体の表面付近が赤褐色化したり、透明化して何らかの(上述のチョーク化とは異なる)変質を被った標本でみられる。

上述のような方解石化に伴って、殻体構造の崩壊が進行し、遂には消失するが、方解石化の進行程度や構造の種類により、種々の様式で初生構造の残存が認められる。

- 1) 最も構造保存が良いのは、芦屋層群産 *G. cisshuensis* の交差板構造で、方解石化しているにもかかわらず、構造要素の最小単位である第3次薄板(針状結晶)が現生貝のそれと同様に識別される。これはアラレ石から方解石への転移後に、再結晶作用を受けていないことを示している。
- 2) 交差板構造が再結晶化してモザイク状になった部位では、部分的にモザイク結晶粒内に“ダスト”状の針状物や伸張した空泡が第3次薄板に対応した配列方向をもち、全体としてこれらが第1次薄板に対応する縞状パターンを示すため、結果的に交差板構造の残存を認め得ることがある。
- 3) 真珠構造の場合、モザイク化した部位に構造が残存することは極めてまれであるが、タブレットの層状配列に対応したリズム的な条線模様が識別されることがある。これは殻体内部よりも内表面付近で顕著である。また、内表面の観察で、タブレットの形態に類似する多角板状結晶を識別することが可能な場合もある。
- 4) 再結晶作用は繰り返して行われ、次第に粗粒化するようであるが、その比較的早期の段階にあると思われる部位では、細粒のモザイク結晶が初生構築構造を反映した輪郭形態や配列を示すことがある。例えば、*V. japonica* の殻体の一部に、交差板構造の第1次薄板に対応する長板状のモザイク結晶が並列していることが観察された。また、*G. cisshuensis* の殻体の内層相当部で、複合交差板構造の束状結晶集合体に対応するモザイク結晶の配列様式がみられた。
- 5) モザイク結晶は、4) で述べた他に、成長線構造、殻層構造に規制された形態、配列を示すことがある。これは再結晶化がかなり進行したと判断される部位でも認められる。

白亜系(中部蝦夷層群三笠層、姫浦層群)産の標本はすべて方解石化し、再結晶してモザイク化している。初生構造は成長線構造に対応するとみられる条線が時に観察できる以外は、完全に消失している。

2. 方解石質構築構造の保存

以下に示すように、方解石質構築構造はアラレ石質構築構造に比べて、一般に保存がよい傾向が認められる。また、同質であっても構築構造間に保存状態の差異があり、チョーク層、葉状構造、方解石稜柱構造の順で保存され易い。

中部中新統(益田層群)の *Crassostrea gravitesta* 殻体には、方解石稜柱構造、葉状構造、チョーク層中の針状結晶集合体など、方解石質の初生構造が極めて良好に残存している。ただし、方解石稜柱

構造の稜柱内部は再結晶化している可能性もある。また、下部中新統（芦屋層群）産の *Ostrea* sp. では、葉状構造、チョーク層中の針状結晶集合体が初生構造として観察されるが（第3図）、葉状構造の一部が再結晶化してモザイク状を呈することがまれにみられる。さらに、白亜系（姫浦層群）産 *Ostrea* sp. においては、葉状構造の再結晶化がかなり進行しているが、初生構造が残存する部位も多い。チョーク層はほぼ完全に保存されている。

3. 炭酸塩殻体の他鉱物置換と構築構造の保存

これまでに検討した化石殻体中において、二次的に形成された非炭酸カルシウム鉱物として、石英、フッ素リン灰石、ドロマイト（以上、芦屋層群）、方沸石（芦屋層群および三笠層群）、黄鉄鉱（芦屋層群および益田層群）、石膏（姫浦層群）が確認された。このうち、ドロマイトと黄鉄鉱は殻体内の空隙（カキガイ類殻体のチョーク層のように殻体形成時に生じたものと、穿孔生物によるとみられる二次的なものがある）を充填しており、構造保存には直接的に関係しないようである。また、方沸石は明らかに空隙を充填している場合と、炭酸塩結晶を置換して成長した可能性を持つ場合とがある。ただし、後者の場合でも今のところ構造の残存は認められない。一方、石英は、以下に述べるように、構造保存に深く関与することが判明した。なお、他の2鉱物については今回は検討できなかった。

石英による鉱物置換（珪化）が行われている化石殻体は、下関市西部の竹の子島に分布する芦屋層群の1露頭から採集した *Glycymeris cisshuensis* のものである。母岩は主に方解石を基質とする粗粒砂岩からなり、貝化石は密集してレンズ状に含まれている。珪化は殻体の大半におよぶ場合もあるが、多くは部分的に行われている。非珪化部は方解石化している。この方解石化部では、初生構造がほとんど消失しているのに対し、珪化部ではきわめて良好に保存されている（第4図）。薄片の開放ニコール観察では、珪化部はほとんど無構造であるが、直交ニコール観察では、初生構造を反映した消光様式が識別される。交差板構造の場合、第3次薄板のオーダーで識別可能である。ただし、隣接結晶同士の融合、粒状化（粗粒化）、カルセドニーの形成など、構造破壊の現象も観察される。複合交差板構造の部位では、初生的結晶配列とカルセドニーの組織が類似するため、初生構造の残存と破壊が区別しがたいことがある。フッ酸処理した研磨試料や自然腐食（風化？）試料の走査型電顕観察では、保存良好な部位でも、第3次薄板相当の針状結晶形態がそのまま残存することは少ない。多くは長粒状結晶（径、 $0.5\text{--}2\mu\text{m}$ ；長さ、 $5\text{--}10\mu\text{m}$ 程度）が初生構造の結晶配列と同様に配列している（第7図）。また、エッチパターンとして針状結晶の残像を識別できるものの、径、 $0.1\mu\text{m}$ 足らずの微粒状物質の集合体からなる部位も観察される。これは非晶質珪酸の可能性もある。なお、境界が珪化部と指交状に入り組む方解石化部には、針状結晶が保存されており、この部位では再結晶化が行われていないことを示している。即ち、炭酸塩質殻体の珪化による部分的置換は、方解石の再結晶化に先行して行われたことを暗示している。

4. 続成作用における二次沈着物と殻体構造の保存

殻体が碎屑粒子とともに堆積して埋積されていく際に、碎屑粒子による充填が不完全な場合、殻体の内外の表面付近に空隙が形成される。この空隙はその後の続成過程において、そのまま残存していることもあるが、通常は間隙水からの二次沈着物によって完全に（あるいは不完全に）充填されてしまう。

今回の検討標本においては、殻体周囲の二次沈着鉱物として、方解石、アラレ石、高Srアラレ石、黄鉄鉱、フッ素リン灰石などが認められた。このうち、後2者は前3者に伴う微量物質である。方解石充填は備北層群、芦屋層群、三笠層群、姫浦層群などの、殻体の方解石化が顕著な標本でごく普通にみられた。また、益田層群産の標本の一部には、高Srアラレ石と共存する充填性方解石が見いだされた。多

くは再結晶化により、粗粒化してモザイク状を呈するが、備北層群の標本の一部では、殻体表面から成長したことが明白である犬歯状結晶が存在する。しかし、いずれにせよ、(アラレ石質)殻体構造に関連する現象を認めることはできない。

アラレ石による充填は、瀬棚累層、富岡累層、高鍋部層のいずれもアラレ石質殻体が残存する標本で確認された。また、高Srアラレ石は殻体部がアラレ石のままでも、方解石化していても、どちらの場合でも存在する。これらの結晶は、基盤となる殻体の構築構造の種類を問わず、稜柱状結晶として殻体表面から伸張する。即ち、結晶形態には殻体構造の影響はみられない。しかし、薄片のクロスニコル下での観察では、充填結晶が隣接する殻体の交差板構造の第1次薄板毎の消光様式に対応して、縞状に消光する現象を識別することができた。これは初生殻体の結晶が保有していた光学性を、殻体外の二次的充填結晶が受け継いだことを意味する。

以上のように、化石殻体における内部構造の保存は様々な様式でなされており、化石化過程は必ずしも一方的な構造破壊の過程ではない。一時的には構造保存を促す場合もあることが判明した。これらのことは化石殻体において、殻体構造に関するデータ収集の枠を飛躍的に拡大させたことを意味している。今後は、殻体構造を用いた軟体動物系統進化の議論を、時間軸に沿って展開し得るものと期待される。

引用文献

- Batten, R. L., 1972: *Am. Mus. Nat. Hist. Novit.*, 2501, 1-34.
- Carter, J. G. and Tevesz, M. J. S., 1978: *Jour. Paleont.*, 52, 859-880.
- Hudson, J. D., 1968: *Palaeontology*, 11, 163-182.
- 小林巖雄, 1981: 波部忠重・大森昌衛(監); 軟体動物の研究, 47-62. 大森昌衛教授還暦記念論文集刊行会, 新潟.
- 小林巖雄, 1988: 大森昌衛・須賀昭一・後藤仁敏(編); 海洋生物の石灰化と系統進化, 97-112, 東海大学出版会, 東京.
- MacClintock, C., 1967: *Peabody Mus. Nat. Hist. Bull.*, 22, 1-140.
- Mutvei, H., 1983: *Lethaia*, 16, 233-240.
- Runnegar, B. and Pojeta, J., 1985: In Trueman, E. R. and Clarke, M. R. (eds.); *The Mollusca*, vol. 10, 1-57. Academic Press, New York.
- 鈴木清一・都郷義寛, 1987: 化石研究会会誌, 19, 27-31.
- 鈴木清一・山田 清・都郷義寛, 1990: 地質雑, 96, 873-876.
- Taylor, J. D., 1973: *Palaeontology*, 16, 519-534.
- 都郷義寛・鈴木清一, 1988: 大森昌衛・須賀昭一・後藤仁敏(編); 海洋生物の石灰化と系統進化, 113-134. 東海大学出版会, 東京.
- 魚住 悟・鈴木清一, 1981: 波部忠重・大森昌衛(監); 軟体動物の研究, 63-77. 大森昌衛教授還暦記念論文集刊行会, 新潟.
- Yochelson, E. L., 1979: In House, M. R. (ed.); *The Origin of Major Invertebrate Groups*, 323-358. Academic Press, London and New York.

図 版 説 明

1. 部分的に方解石化したアラレ石質殻体の薄片写真（オープンニコル）：×33. *Vicarya japonica*（益田層群）。外表面付近は方解石化していない。また、方解石モザイク結晶中にも交差板構造が残存している。
2. アラレ石質構築構造が未変質のまま保存されている部位の薄片写真（クロスニコル）：×165. *Vicarya japonica*（益田層群）。左側から、第2層、第3層、第4層（最内層）の順である。第2、第3層は交差板構造、第4層は“最内層型交差板構造”により構築される。
3. 方解石質構造が未変質のまま保存されている殻体のレプリカフィルム写真（位相差像）：×165. *Ostrea* sp.（芦屋層群）。上半は葉状構造、下半はチョーク層である。
4. 石英により置換された部位に交差板構造が保存されている殻体の薄片写真（クロスニコル）：×83. *Glycymeris cisshuensis*（芦屋層群）。部分的にカルセドニーが形成されている。最上部と左側は方解石化部位。
5. *Vicarya japonica*（益田層群）の未変質殻体内唇滑層のEDTA腐食研磨試料のSEM（走査型電顕）写真：×2,000。この部位は放射状稜柱構造に同定される。
6. *Vicarya japonica*（益田層群）の部分的に方解石化した殻体のEDTA腐食研磨試料のSEM写真：×2,000。未変質アラレ石部と方解石化部の境界は入り組んでいるが、明瞭である。
7. *Glycymeris cisshuensis*（芦屋層群）の石英置換殻体のフッ酸腐食研磨試料のSEM写真：×1,000。初生構築構造が交差板構造であることを識別できる。
8. *Acila ashiyaensis*（芦屋層群）の方解石化殻体のEDTA腐食研磨試料のSEM写真：×5,000。方解石モザイク結晶中に、真珠構造のタブレットが層状に配列しているのが識別される。





