

化石研究会における化石の微細構造に関する研究と 古生痕学的研究について

大森昌衛*

On the study of the microstructure of fossils and the paleoichnological studies
in the Fossil Research Society of Japan

OMORI, Masae*

1. はじめに

化石研究会（以下化石研と略称）の50周年記念総会において、表題について講演する機会を与えられたことを感謝する。しかし手持ちの文献・書籍をすべて関係機関に寄贈した筆者が、表題で執筆することに困難を感じる。また筆者の専門が無脊椎動物であるため、脊椎動物及び植物に関する記述が欠落していることをお許し願いたい。

第二次世界大戦終了後に筆者が軍隊から復員して、再び古生物学の研究を志して東京教育大学理学部地質学鉱物学教室に戻ったのは、1946（昭和21）年3月であった。当時の教室の藤本治義教授から最初に筆者に課された作業は、戦争中に教室が空襲を避けて疎開したために混乱した標本収蔵タンスのなかの化石のラベルを整理することであった。

保存された標本台帳と、化石に付された番号とを照合してラベルを挿入する作業を約2年間続けたことで、化石分類学の大綱を改めて学ぶことが出来た。しかし同時に筆者は、化石の記載分類学的手法に疑問を抱くようになった。とくに標本の示す個体変異と化石における“種”の概念が経験的であることが、かつて数学を専攻した筆者には納得できなかった。

このような疑問を抱いたとき、化石研の設立準備のため井尻正二博士と交流する機会を得たことが、筆者の古生物観や、古生物の研究手法を確立する契機となっている。

2. 化石の微細構造の研究

化石の研究には、化石が示す形態の差同の比較や、大きさの測定、文献の検索・参照等による記載分類学的手法のみでなく、化石標本に保有される古生物の生

息時の発生・生理・生態等に関する情報を発掘するための研究手法の開発が必要であることを認識した。この認識は井尻博士との対話や、その著書「古生物学論」（井尻、1949）のほか、*Desmostylus* の歯化石の研究に歯学・物理学・化学の手法を用いた多くの研究（井尻、1937, 1953ほか）によって深められた。

井尻が化石の硬組織について解析手法の導入を思い立ったのは、東京大学理学部地質学教室の学生時代に、小林貞一教授が保有していたドイツのO.B. Bøggild (1930) の論文に触発されたため、と筆者に語っている。井尻は国立科学博物館に勤務する傍ら、東京医科歯科大学の藤田恒太郎教授の研究室に通い、電子顕微鏡による歯のエナメル小柱の構造を研究し、*Desmostylus* の化石の歯牙組織の微細構造に関する一連の研究論文を公表している（井尻、1937ほか）。井尻が *Desmostylus* の歯を研究対象として選んだのは、1) この化石が日本的であると同時に国際的であること、2) 化石の保存が良いこと、3) 進化上特別の位置にあるため、と語っていた。

井尻は歯の発生と組織を検討するため、自宅でイヌを飼育し、「イヌの歯牙の移植実験」の結果を報告している（井尻・菅沼、1942, 1943）。歯牙組織やその発生に関する井尻の一連の研究は、古生物学における微細構造の研究の先駆的なものである。

また、藤原隆代と共著で長鼻類の歯に含まれる有機物を分析し、石灰化に関与する機能の一部を解明した（Ijiri and Fujiwara, 1958, 1959）。この論文は矢部長克教授により、古生物学の新しい分野を開拓するものとして評価されたと聞いている。

2009年8月31日受付、2009年12月14日受理

*〒177-0045 東京都練馬区石神井台3-32-5

3. 箱根の硬組織研究会

古生物についての硬組織研究を促進したのは、1966（昭和41）年9月8～11日に神奈川県箱根で行われた「歯の硬組織研究—歯の形成を中心として」という表題のシンポジウムであった（荒谷ほか編，1969）。

この集会は井尻や荒谷真平（東京医科歯科大学・東北大学）・田熊庄三郎（東京歯科大学）ほかが組織したもので、古生物学関係者は井尻のほかには筆者・藤原隆代（資源科学研究所）・本庄 丕（北海道大学）・佐藤敏彦（東京教育大学・信州大学）・秋山雅彦（東京教育大学・北海道大学）・和田浩爾（国立真珠研究所・三重大学）が参加した（以上所属は現役当時，以下同じ）。生化学的研究(4)・組織化学的研究(5)・電子顕微鏡的研究(4)・比較発生学的研究(3)・比較生物学的研究—軟体動物(4)・比較生物学的研究—その他の種類の古生物(4)・形成障害的研究(3)の7分野について29件の研究報告が行われた（括弧内の数字は報告件数を示す）。軟体動物と古生物の分野では、電子顕微鏡・X線を用いた報告や、軟体動物を含む無脊椎動物の硬組織微細構造に関する報告と、総括的報告がみられる。

古生物の分野では、藤原が外国におけるX線解析による有機物化石の研究史を述べ、長鼻類の歯化石についての研究結果を報告している。秋山は生物進化史における硬組織に含まれる鉱物種の生成と機能にふれながら、硬組織の鉱物種と有機物との関係を述べている。本庄は炭酸塩岩が形成される際の生物学的及び非生物学的環境について説いている。

井尻は総括報告のなかで、「生物学と古生物学が共通の“言葉”を見出すためには、電子顕微鏡・生化学・X線によって、細胞や分子のレベルで化石を研究することが必要である。（中略）そのために化石研の研究者は結集して、諸外国と肩を並べる研究の第一線をおしすすめている」と化石研の研究を評価している。

4. 東京教育大学における古生物学ゼミ

当時東京教育大学で筆者が担当していた古生物学のゼミナールでは、とくに化石の微細構造に関する情報の収集と、学習に力を注いだ。

毎週金曜日の夜に行われたこのゼミには、東京教育大学以外の研究者も参加し、微細構造の研究に必要な実験器具の入手や、実験室の整備に関する相談も行われた。このゼミではGregoire, C.(1962), Schafer, H. (1970), Watabe, N. and Wilbur, K.M. (eds) (1974), Simkiss, K. and Wilbur, K. M. (1989), Carter, J. G. (ed) (1990)等の生体鉱物形成作用(Biomineralization)の基本的文献の輪読も行われている。

その頃、アメリカのカーネギー研究所のP.H. Abelson

がデボン紀の魚類化石に残留するグリシン等、7種のアミノ酸の検出を報告した論文(Abelson, 1954, 1955)を参考に、秋山雅彦が化石に含まれる有機物の研究を開始し、引き続き堀田 進（東京経済大学）、田崎和江（島根大学・金沢大学）らも化石の硬組織の生化学的観点からの研究（古生化学）を進めた。

秋山は1968（昭和43）年6月から翌年8月にかけて、アメリカのワシントン大学地球科学教室のW.D. Johns教授の研究室及びアリゾナ大学物理化学教室のR. W. G. Wyckoff教授の研究室に留学して、貝化石や恐竜の卵殻化石に残留するアミノ酸の研究を行った。

その後1970年に筆者の研究室に東京教育大学研究生として入室した東北大学理学部地質学古生物学教室出身の佐俣哲郎（麻布大学）は、軟体動物の殻体に含まれるアミノ酸の研究を行い、1977（昭和52）年1月から1979年9月までドイツのボン大学のH.K. Erben教授（図1）や、G. Krampitz教授の研究室に留学して、化石に含まれる有機物の研究を進め、学位（PhD）を取得した。



図1. H.K. Erben 教授. 1974年7月生命の起源に関する国際会議に出席のため来日した時の写真（右）。（筆者撮影）

そのほか、このゼミに参加していた佐藤敏彦（東京教育大学・信州大学）はサングの殻体の微細構造を、また小林巖雄（新潟大学）・真野勝友（筑波大学）・神谷英利（京都大学）らは軟体動物化石の殻体の微細構造を研究した。軟骨魚類の歯の化石を対象に後藤仁敏（鶴見大学）が、魚類の耳石を対象に高橋正志（日本歯科大学）が研究を行っている。

前述の箱根で行われた硬組織シンポジウムで知己を得た須賀昭一・田熊庄三郎の両教授には、東京教育大学大学院の古生物学専攻者を対象にした特別講義を依頼した。この依頼の適否について地質学教室の教授のなかで、地質学・古生物学教室として適切な講師であるかについて疑義が生じたが、「化石の硬組織の研究は古生物学の主要な内容であり、現生の動物の歯の基

礎的な知識がきわめて重要である」ことを述べて、理解を得ることが出来た。

5. 古生態学の研究

地層中に発見される化石の古生態や古環境を復元するために、現生生物の生態や環境の調査も行われた。

千葉県浦安や稲毛海岸(図2)での東京湾の干潟に生息する生物の生態や、神奈川県伊豆半島南部の海岸などで潮間帯に棲む生物の生態を観察した(陶山・歌代, 1955)。また、海洋調査船に乗って海洋生物の採集や観察も行っている。



図2. 千葉県稲毛海岸でアナジャコの巣穴を観察中の古生態グループ(第5回調査, 1959年12月23日)。(筆者撮影)

とくに、潮間帯に生息する穿孔または掘進性の生物が残す棲管に注目し、地層中に発見される生痕化石と比較し、その古生態や古環境を復元する研究が行われた。東京湾の干潟で見られる甲殻類の棲管に石膏を流し込んで形取り標本を採取し、古生物が地層中に残した棲管化石と比較した。歌代 勤(新潟大学)はこの手法を用いて甲殻類の各種の棲管について、一連の研究報告を行った(歌代, 1965ほか)。

生痕化石全般については、1991(平成3)年5月から在京の生痕化石に関心を持つ研究者が集まって、月に1回地学団体研究会の事務所で‘生痕ゼミ’を開催し、生痕に関する文献の輪読や各自の研究紹介を行ってきた。このゼミは今年の6月に通算200回を超えているが、その過程で全国的な「生痕研究会」が結成され、機関誌「Problematica」を発行している。また生痕化石の知識普及のため、Bromley, R.G.(1990)の訳書「生痕化石—生痕の生物学と化石の成因」(大森監訳, 1993)や、「地学ハンドブック(8)—生痕化石調査法」(地団研生痕化石研究グループ, 大森編, 1993)を執筆している。

生痕ゼミに参加している石田吉明はクモヒトデ

(Ophioroidea)の化石を研究し、分類や生態に関する多くの論文を公表している。そのため海洋調査船に乗って採集した現生種を実験室内で飼育し、その生痕の形態と形成過程、及び星型生痕化石を形成する生物と、その生物が堆積物から脱出する行動を観察している(石田, 1999; Ishida *et al.*, 2004)。

6. 化石研の創設によるインパクト

上述の研究を推進に当たっては、化石研の存在が大変大きかったことは言うまでもない。化石研は1959(昭和34)年11月4~5日に井尻正二・藤原隆代・青木 滋(東京教育大学・東京都土木研)の呼びかけによって、東京都新宿区百人町にあった資源科学研究所で設立総会が行われた。第1回の例会は翌年5月6~8日に東京都文京区大塚の東京教育大学理学部で開かれ(図3)、例会の翌日には三浦半島城ヶ島で現生生物の生態観察を行った(図4)。



図3. 1960年化石研第1回例会の時、東京教育大学西館屋上で撮った記念写真。後列右から3人目井尻正二氏、左から4人目藤原隆代氏。(故桑野幸夫氏撮影)



図4. 化石研究会第1回例会の際に行われた三浦半島巡検。(故森島正夫氏撮影)

化石研設立の主目的は、1) 古生態学、2) 化石の微細構造、3) 古生物学的進化論の3課題の研究にあり、各課題推進の責任者にはそれぞれ、徳永重元(地質調査所・バリノサーベイ(株)、藤原隆代、井尻正二が選出された。研究を進めるために必要な研究情報の収集・交換・討論会の開催を行い、会員は必ず上記のいずれかのグループに所属することになっていた。

化石研の例会や総会に関して筆者の手許に残っている資料は完全ではないが、1960(昭和35)年に第1回例会を開き、1983(昭和58)年2月12~13日に第1回総会(通算72回例会)を開催している。化石研ニュース第1号は1982(昭和57)年5月20日に第70回の例会案内として発行されている。その前の1963(昭和38)年3月に筆者が代表者となって行った文部省科学研究費の総合研究「化石の微細構造の研究」の連絡誌「オングストローム」(1964年3月発行、24頁)は、次のような内容となっている。

巻頭言(大森昌衛)、生物学と古生物学の協力(徳田御稔、京都大学・生態学)、硬組織の観察(田熊庄三郎)、総研に期待すること(和田浩爾)、夢に見る化石(井尻正二)、Kado, K.(1953)による二枚貝の貝殻構造の紹介(小林巖雄)、Bøggild, O.B.(1930)による軟体動物貝殻の基本構造、及びSchenck, H.G.(1934)による二枚貝の貝殻構造の紹介(小林巖雄)、炭酸塩鉱物の染色による識別法(磯貝文男)、化石の中のアミノ酸分析表(秋山雅彦)、化石介殻中の無機成分の変化(太田直一、東京都立大学)、Grégoire, C.(1962)の論文紹介(和田浩爾)、Watabe, N.(1963)の論文紹介(和田浩爾)等。

なお、筆者が代表となって実施した文部省科学研究費による総合研究は、1963(昭和38)年から2期継続して行われ、上記の連絡誌を見ると、参加者が17名となっており、専門分野の幅の広さが伺われる。総合研究の連絡誌はその後「ミクロ」と改称され、2・3号が発行された。その後秋山雅彦が代表者となって総合研究を実施している。この総合研究の連絡誌が発展して化石研の学術雑誌である「化石研究会会誌」となった。化石研究会会誌は2009年2月に41巻2号を発行し、「足跡化石の最前線—成果・研究の方法・課題」を特輯している。

化石研ニュースは現在106号(2009年10月)を発行しているが、50号(1994年9月)は第102回例会(日本大学松戸歯学部)を、100号(2007年10月発行)は第128回例会(早稲田大学国際教養学部)の案内であり、「日本の恐竜学最前線」に関する4題の講演の案内を掲載している。

また、化石研創設期には会員による「群馬県中之条産魚類化石の団体研究」を行い、その後も「クジラに

関する団体研究」(1980~)や「象団研(のちに長鼻類団研)」(1986~)等も行われている。

化石研創立早期の1960(昭和35)年から1970(昭和45年7月)にかけて、日本学術会議に付置されていた古生物学研究連絡委員会が「大学付置の共同利用による古生物学研究所—海洋調査船付き」を設立するため、浅野清(東北大学教授)を委員長とする委員会を設置して研究所の構成や運営方針の検討を行った。この委員会には、化石研会員の井尻正二と筆者が参加して化石研の意向の反映に努め、研究所の構成に系統発生・古生物化学・生鉱物学・超微古生物学・形態発生・古生態・古生物地理・古生物学応用・客員研究の9研究部門のほか、古生物地球化学測定装置と海洋調査船付置を計画した。審議の経過と内容については「日本の地質学」(日本地質学会編、597~599頁、1968)に紹介されているが、残念ながらこの研究所は実現に至らなかった。

7. 硬組織に関する国際研究集会

アメリカ科学振興協会(AAAS)による国際シンポジウムでの討論会(Carriker *et al.*, 1969)で小林巖雄が貝殻構造について講演(Kobayashi, 1969)したのが、化石研会員による海外での微細構造に関する最初の報告である。その後、1970年7月にドイツのMainz AcademyでBonn大学のH.K.Erben教授と、アメリカのデューク(Duke)大学のK.M.Wilbur教授やサウス・カロライナ(South Carolina)大学の渡部哲光教授らの主催によるBiom mineralizationの国際研究集会が開催された(大森, 1971)。日本からは筆者と和田浩爾、小林新二郎(北海道大学水産学部)が招待された。筆者は小林巖雄・柴田松太郎と連名で「タマキガイの殻体に見られる管状構造」について発表した(Omori *et al.*, 1962; Erben(ed), 1972; Omori *et al.*, 1976)。

この集会が契機となってBiom mineralizationの国際研究集会が継続して行われ、現在までに下記のように10回開催されているが、第7回迄の集会の内容については既に紹介している(大森, 1996)。

第2回(1974年10月1~4日)アメリカのSouth Carolina州のGeorgetownで行われた集会では、1) Concepts and Systems of Mineralization, 2) Cellular and Ultrastructural Aspects, 3) Shell Formationの3つのテーマで行われた(大森, 1975, 1979; Watabe and Wilbur(eds), 1974)

第3回(1977年10月8~11日)三重県賢島で次の6つのテーマで行われた(Omori and Watabe(eds), 1980)。括弧内は報告件数を示す。

1) General Problems of Biom mineralization(2)。

- 2) Biomineralization in Ascidaria and Mollusca(4).
- 3) *ditto* in Echinoidea, Decapods and Bryozoa(14).
- 4) *ditto* in Plants(2).
- 5) *ditto* in Vertebrates(3).
- 6) Diagenesis and Related Problems(7).

この集会で H.A.Lowenstam が“Calcium regulation and the appearance of carbonate skeleton in fossil record” という表題で講演を行っている。

第4回(1982年6月)にオランダの海岸にある保養地 Renesse で行われ(Westbroek and de Jong(eds), 1982), 日本からは北野 康(名古屋大学, 地球化学)・中原 皓(城西医科大学・明海大学)・小林巖雄(新潟大学)・小沢幸重(日本大学松戸歯学部)が参加した。

この集会のテーマは下記の通りであった。括弧内の数字は講演数を示す。

- 1) Global cycling and Biomineralization(7)
- 2) Aspects of calcification(27)
- 3) Biological Accumulation of Metal other than Calcium(16)

第5回(1986年5月19~23日)アメリカ・テキサス州アーリントン(Crick(ed), 1989)で行われ, 筆者のほか伊佐英信(琉球大学)・岡崎恵視(東京学芸大学)・中原 皓が参加している。筆者は「原生代末期の後生動物の硬組織形成をもたらした地球環境」について, 伊佐は「サンゴの石灰化」について, 岡崎は「植物の石灰化」について, 中原は「軟体動物の石灰化」についてそれぞれ報告した。

第6回(1990年10月8~12日)神奈川県小田原での集会は, 1) Organic Matrix のテーマについて12件, 2) Organic Mineralization のテーマで25件の講演が行われている。化石研の会員の小沢幸重(日本大学松戸歯学部)・沢村 寛(足寄動物化石博物館)・三島弘幸(高知学園短期大学)・笹川一郎(日本歯科大学新潟歯学部)・後藤仁敏(鶴見大学歯学部)・高橋正志(日本歯科大学新潟歯学部)らが講演している。(Suga and Nakahara(eds), 1991)。

第7回(1993年11月17~20日)モナコの集会では, 10の分科会で117件の講演が行われ, 日本からは三島弘幸, 寒河江登志朗(日本大学松戸歯学部), 高橋正志, 和田浩爾, 島本昌憲(東北大学理学部), 小林巖雄ほか数名が参加し, 18件の発表を行っている。Proceedings は4部に分けて出版されている(Allemand and Cuif(eds), 1994, 1995a, b, 1996)。

第8回(2001年9月25~28日)の集会は新潟県黒川村(現胎内市)で小林巖雄(新潟大学理学部), 小沢英浩(新潟大学歯学部)によって Biomineralization, BIOM2001として開催されている。参加者は海外から

40名, 国内90余名で, 120件の講演が行われている(Kobayashi and Ozawa(eds), 2004)。

第9回(2005年12月6~9日)南米チリのチリ大学の獣医科学部が主催し, チリ南部のプーコン(Pucon)で開催され, 日本からは化石研会員の小林巖雄, 神谷英利, 三島弘幸, 高橋正志, 寛 光夫のほか, 東京大学農学部, 北海道大学歯学部, 東京工業大学などから11名が参加している(Arias and Fernandez(eds), 2007)。会議の表題は“Biomineralization, from Paleontology to Material Sciences”となっており, 材料科学の研究報告が多かった。

第10回(2008年8月31日~9月4日)中国江蘇省連雲港市で行なわれた。北京の清華大学物質科学系の崔福齋教授(Fuzhai Cui)の主催によるもので, 日本からは小林巖雄, 笹川一郎, 高橋正志ほか8名が参加した。研究発表の内容は次の通りである。括弧内の数字は発表件数。Plenary lecture(4), Initial stage and evolution of biomineralization(4), Physiological and biochemical control in biomineralization(3), Bone, dentin, calculus and eggshell biomineralization(9), Microbial biomineralization and bio-ore formation(5), Biomaterials related to biomineralization(13), Nano-biominerals, nano-dissolution(3), Biominerals(8), Relationship between matrix and minerals(7), Biomineralization in the level of cell and gene(4), Poster session(70)。

Proceedings は上記の報告をまとめて掲載した出版物ではなく, 雑誌 Frontiers of Materials Science in China, Vol. 3, No. 2, 2009 と Biomedical Material 誌に分けて掲載されている(Cui and Bai, 2009; 笹川ほか, 2009)。

第11回は2011年にオーストラリアのクイーンズランドでの開催が予定されている。半世紀にわたり継続されてきたこの国際研究集会は21世紀へと引き継がれたということが出来る。

また, 大森ほかの発案により開始された東アジア地域を中心とした“Biominerals and hard tissues”に関する研究集会(Asian Symposium on Biomineralization: ASB)は, 第1回が1998年に中国北京市の中国科学院古脊椎動物古人類研究所において開催された(Kobayashi and Dai(eds), 2003)。それ以降, 第2回は2004年に北京市の清華大学において(主催者は清華大学の F.Cui 教授), 第3回は2007年に廈門市にて開催され(主催者は廈門大学の Q.Zhang 教授), 第4回は本年(2009年)11月に中国杭州市の浙江大学で開かれた(主催者は浙江大学の R. Tang 教授)。この集会で, 第5回は2012年に同じく中国合肥市で開催されることが決定した。

このほか国内でも、1987年6月15日に東京大学海洋研究所でのシンポジウム（大森ほか編、1988）、1992年8月24日～9月3日の万国地質学会（京都国際会議場）でのシンポジウム（Kobayashi *et al.* (eds), 1993）、1994年12月2～4日に三重大学生物資源学部で渡部哲光教授を招待しておこなわれたシンポジウム（和田・小林、1996）など硬組織に関する研究集会が開催され、それぞれ成果が出版されている。

8. 結び

井尻正二博士によって始められた“日本の化石の微細構造に関する研究”が、化石研会員を中心に国際的規模で発展したことは誠に喜ばしいことである。化石研が創設50周年を迎えた機会に、近い将来再び日本で「Biom mineralizationに関する国際研究集会」を開催することを期待したい。

Biom mineralizationの解明には、細胞レベルや分子レベルでの研究が必要であり、将来細胞古生物学（Cellular Paleontology）または分子古生物学（Molecular Paleontology）の構築に寄与するものである。

謝辞

筆者らがドイツで開かれた第1回の国際会議に招待されたのは、アメリカの渡部哲光教授（図5）がH. K. Erben教授に推薦されたためと伺っている。渡部教授は東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室で大森啓一教授の指導のもとに生体鉱物を研究し（Watabe, 1963）、その後アメリカのデューク大学のK.M. Wilbur教授の研究室に留学した。Wilbur教授と共にBiom mineralizationの国際研究集会を始め、終始この集会の継続実現に努めてきた。さらにサウス・カロライナ（South Carolina）大学の生物学・海洋科学の教



図5. 渡部哲光教授（右）と筆者。1986年5月、アメリカのアーリントンでの第5回国際生体鉱物研究集会での写真。（伊佐英信氏撮影）

授、電子顕微鏡センター長として活躍された。その間筆者を始め日本の生体鉱物研究者の育成や会議への参加勧誘に努め（渡部、1977）、真野勝友・三島弘幸・佐俣哲郎3氏のアメリカ留学に際しても指導協力を行っている。いわば日本におけるBiom mineralization研究推進の陰の功労者でもある。渡部教授がアメリカの大学を1994年に定年退職されたことを記念して、前述のように同年12月2～4日に三重大学生物資源学部で和田浩爾・小林巖雄両氏が主催して、Biom mineralizationの研究集会を開催させていただいた（和田・小林、1996）。この機会に改めて渡部教授に対して深甚の謝意を表したい。

本稿執筆に際して、小林巖雄・笹川一郎・三島弘幸・小寺春人・小沢幸重・真野勝友の諸氏から国際研究集会に関する資料の提供を受けたことに感謝する。また、生痕ゼミの諸氏からもいろいろと協力を得た。小林巖雄、神谷英利、笹川一郎、石田吉明の4氏には原稿の通読・補足を煩わしたことに深謝する。

引用文献

- Abelson, P.H. (1954) Organic constituents of fossils. *Ann. Rep. Geophysics Lab. Carnegie Inst.*, 55, Washington, 107-109.
- Abelson, P. H. (1955) *ditto*, *Science* 119 516.
- Allemand, D. and Cuif, J.P. (eds) (1994) Biom mineralization '93-7th Intn'l Symp. on Biom mineralization, *Bull. de l'Inst. Oceanogr. Monaco*, special **14** (1), 236pp.
- Allemand, D. and Cuif, J.P. (eds) (1995a) *ditto*, **14** (2), 306pp.
- Allemand, D. and Cuif, J.P. (eds) (1995b) *ditto*, **14** (3), 114pp.
- Allemand, D. and Cuif, J.P. (eds) (1996) *ditto*, **14** (4), 432 pp.
- 荒谷真平・井尻正二・桐野忠大・三村 二・須賀昭一・田熊庄三郎・和田浩爾編（1969）硬組織研究—歯の形成を中心として。医歯薬出版、東京、611頁。
- Arias, J. I. and Fernandez, M. S. (eds) (2007) *Biom mineralization from Paleontology to Material Science. (Proc. of 9th Int'l. Symp. on Biom mineralization)*, held in Pucón, Chile on 2005. Edit. Univ., 534pp.
- Bøggild, O. B. (1930) The shell structure of the mollusk. *Kgl. Danske. Videnskab. Selsk. Skr., Nature*, ser. **9**, vol. 2, 233-326.
- Bromley, R. G. (1990) *Trace Fossils: Biology and Taphonomy*. Chapman & Hall, 280pp.
- Carriker, M. R. Edmund, H. S. and Wilce, R. T. (eds) (1969) Penetration of calcium carbonate substrate

- by lower plants and invertebrates. An International Multidisciplinary Symposium, presented at the meetings of the American Association for the Advance of Science. *American Zool.* **9**, 629-1020.
- Carter, J.G. (ed) (1990) *Skeletal Bio-mineralization Patterns, Process and Evolutionary Trends*. Van Nostland Reinhold, New York, 1. 822pp.
- Cui, F. and Bai, L. (2009) Editorial for *Biomim.*-10. *Frontier of Materials Science in China*, **3**(2), 103.
- 地団研生痕化石研究グループ (1993) 生痕化石調査法—古生物の生活を探る—. 地団研ハンドブックシリーズ, 8, 東京, 145頁.
- Crick, R.E. (ed) (1989) *Origin, Evolution and Modern Aspects of Biomineralization in Plants and Animals (Based on the Proceedings of 5th International Symposium on Bio-mineralization, at the University of Texas at Arlington)*. Plenum Press, New York, 536 pp.
- Erben, H. K. (ed) (1972) *Biomineralization. Bd. 6. Ineternational Symposium über Problem der Bio-mineralization (Mainz, 1970)*, Akad, der Wissenschaft und der Literature, Mianz, 175pp.
- Grégorie, C. (1962) On submicroscopic structure of the *Nautilus* shell. *Bull. Inst. Roy. Soc. Sci. Natur, Belgique*, **38**, 49, 1-71.
- 井尻正二 (1937) 古生物学に於ける歯式の問題—新たに得られた *Desmostylus japonicas* の Zahnkeim M の分類記載を中心として—. 地質雑 **44**, 528, 837-850.
- 井尻正二・菅沼音一 (1942) 犬に於ける歯胚の移植実験. 口腔病学会雑誌 **16**, 6, 464-466.
- 井尻正二・菅沼音一 (1943) 犬に於ける歯胚の移植実験. 口腔病学会雑誌 **17**, 4, 293-301.
- 井尻正二 (1949) 古生物学論. 平凡社全書, 東京. 311頁.
- 井尻正二 (1953) 化石の歯の結晶学的考察. 地質雑 **61**, 715, 180-182.
- Ijiri, S. and T. Fujiwara (1958) Organic constituents of the fossil teeth in the Order Proboscidae. *Proc. Jap. Acad.* **34**, 5, 280-283.
- Ijiri, S. and T. Fujiwara. (1959). Experiments of calcification by organic substance in some fossil teeth. *ditto* **35**, 8, 469-471.
- 石田吉明 (1999) 表在性クモヒトデの埋積時の脱出行動と脱出姿勢—現生及び中新世キタクシノハクモヒトデを例として. 地質学論集 **54**, 161-173.
- Ishida, Y., Fujita, T. and Kamada, K. (2004) Ophiuroidea trace fossils in the resting behavior of extent brittle stars. In: Munchen-Heinzellen and Nebolsick (eds) *Echinoiderm, Proc. of the 11th Echinoderm Confer.* 2003, 433-438.
- Kado, K. (1953) On the scheme of the structure of Lamellibranchs. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B, Div. I*, **14**, Art. 18, 243-254.
- Kobayashi, I. (1969) Internal microstructure of recent bivalvian molluscs. *American Zoologist* **9**, 663-672.
- Kobayashi, I., Mutvei, H. and Sahni, A. (eds) (1993) *Structures, Formation and Evolution of Fossil Hard Tissues. Proc. of Symposium Attached to the 29th IGC*. Tokai Univ. Press, 214pp.
- Kobayashi, I. and Ozawa, H. (2004) Biomineralization (BIOM2001), Formation, Diversity, Evolution and Application. Tokai Univ. Press, Kanagawa, 399pp.
- Kobayashi, I. and Dai, Y. (2003) Biomineralization and hard tissues. *Jour. Fossil Res. Special Issue* **3**, 68pp.
- 日本地質学会編 (1968) 日本の地質学—現状と将来への展望—. 597-599頁, 日本地質学会, 東京.
- 大森昌衛 (1971) 生鉱物に関する国際会議に出席して. 化石研究会誌 **4**, 38-45.
- 大森昌衛 (1975) 生体鉱物形成機構に関する国際研究集会報告. 地質雑 **8**, 206-210.
- 大森昌衛 (1979) 第3回無脊椎動物及び植物の石灰化機構に関する国際会議報告. 地質雑 **84**, 1, 45-47.
- 大森昌衛監訳 (1993) 生痕化石—生痕の生物学と化石の成因. Bromley, R.G. 1990. Trace Fossils—biology and taphonomy—Chapman & Hall, 東海大学出版会, 東京, 364頁.
- 大森昌衛 (1996) 戦後の“Biomineralization Conference”の歩み. 和田浩爾・小林巖雄編, 海洋生物の石灰化と硬組織, 27-33頁, 東海大学出版会, 東京.
- Omori, M., Kobayashi, I. Shibata, M., Mano, K. and Kamiya, H. (1976) On some problems on concerning calcification and formation of taxodontid bivalves. In: Watanabe, N. and Wilber, K.M. (eds) *The Mechanisms of Mineralization in the Invertebrates and Plants*, pp. 403-426, Univ. South Carolina Press, Columbia.
- Omori, M., Kobayashi, I. and Shibata, M. (1962). Preliminary report on the shell structure of *Glycymeris vestita* (Dunker) with a special reference to the newly found structural patterns like to a “Punctum” in the shell of Brachiopoda. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C* **77**, 197-202.
- 大森昌衛・須賀昭一・後藤仁敏編 (1988) 海洋生物の石灰化と系統進化. 東海大学出版, 東京, 305頁.
- Omori, M. and Watanabe, N. (eds) (1980) *The Mechanisms of Bio-mineralization in the Animals and Plants*.

- Proceedings of 3rd Inter'nal Symp. on Biomineralization.*
Tokai Univ. Press, 310pp.
- 笹川一郎・高橋正志・小林巖雄 (2009) 第10回国際生
鉱物研究集会 (中国) の報告. 化石研会誌 **41**, 110-
111.
- Schafer, H. (1970) *Biological Calcification-Cellular and
Molecular Aspects.* Appleton Univ. Crofts Educ. Div.
Meredith Corp.
- Schenck, H.G. (1934) Literature of the shell structure
of Pelecypods. *Bull. Museam royal d'Historie Nature
de Belgique*, Tom X, 34.
- Simkiss, K. and Wilbur, K.M. (1989) *Biomineralization.*
Academic Press, San Diego, California. 337pp.
- Suga, S. and Nakahara, H. (eds) (1991) *Mechanisms and
Phylogeny of Mineralization in Biological Systems.*
Springer-Verlag, Tokyo, 517pp.
- 陶山国男・歌代 勤 (1955) 生痕の研究—生痕の生物
学的研究 1—. 新生代の研究 **21**, 416-424.
- 歌代 勤 (1965) 現生スナガニ *Ocypoda stimpsoni* の
生態と生痕—生痕の生物学的研究—. 新潟大学教育
学部高田分校研究紀要 **9**, 122-141.
- 和田浩爾・小林巖雄編著 (1996) 海洋生物の石灰化と
硬組織. 東海大学出版会, 東京, 318頁.
- Watabe, N. (1963) Decalcification of thin sections for
electron microscopic studies of crystal-matrix
relationships in molluscan shells. *Jour. Cell. Biol.* **18**,
3, 701-705.
- 渡部哲光 (1977) バイオミネラリゼーション—生物が
鉱物を作ることの不思議. 東海大学出版会, 東京,
180頁.
- Watabe, N. and Wilbur, K.M. (1974) *The Mechanisms of
Mineralization in the Invertebrates and Plants.* The
Belle W. Baruch, Library, in Marine Science, 5,
Univ, South Carolina Press, 461pp.
- Westbrock, P. and de Jung, E.W. (1982) *Biomineralization
and Biological Metal Accumulation. Biological and
Geological Perspectives.* D. Reidenal Pub.Co.,
Dordrecht, 533pp.