

化石の顕微鏡写真

大久保 雅 弘*・井 上 貴 央**

Atlas of fossils under microscope

Masahiro OKUBO and Takao INOUÉ

目 次

化石写真集

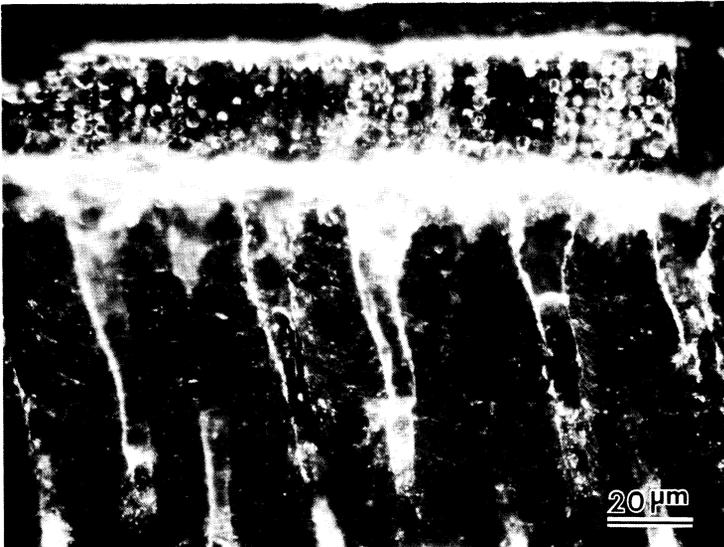
腕足類の貝殻構造	2
シャミセン貝の切片	3
レプリカをTEMとSEMでみる	4
スーパースコープ	5
SEMの初撮り	6
頭足類化石と貝殻構造	7
エ イ の 歯	8
プロベアムシウムの不思議	9
隠岐の含化石砂岩	10
ミオジプシナとオパキユリナ	11
ステレオ写真の魅力	12
海綿の化石	13
無蒸着観察	14
顕微鏡写真と電子顕微鏡(対談)	15

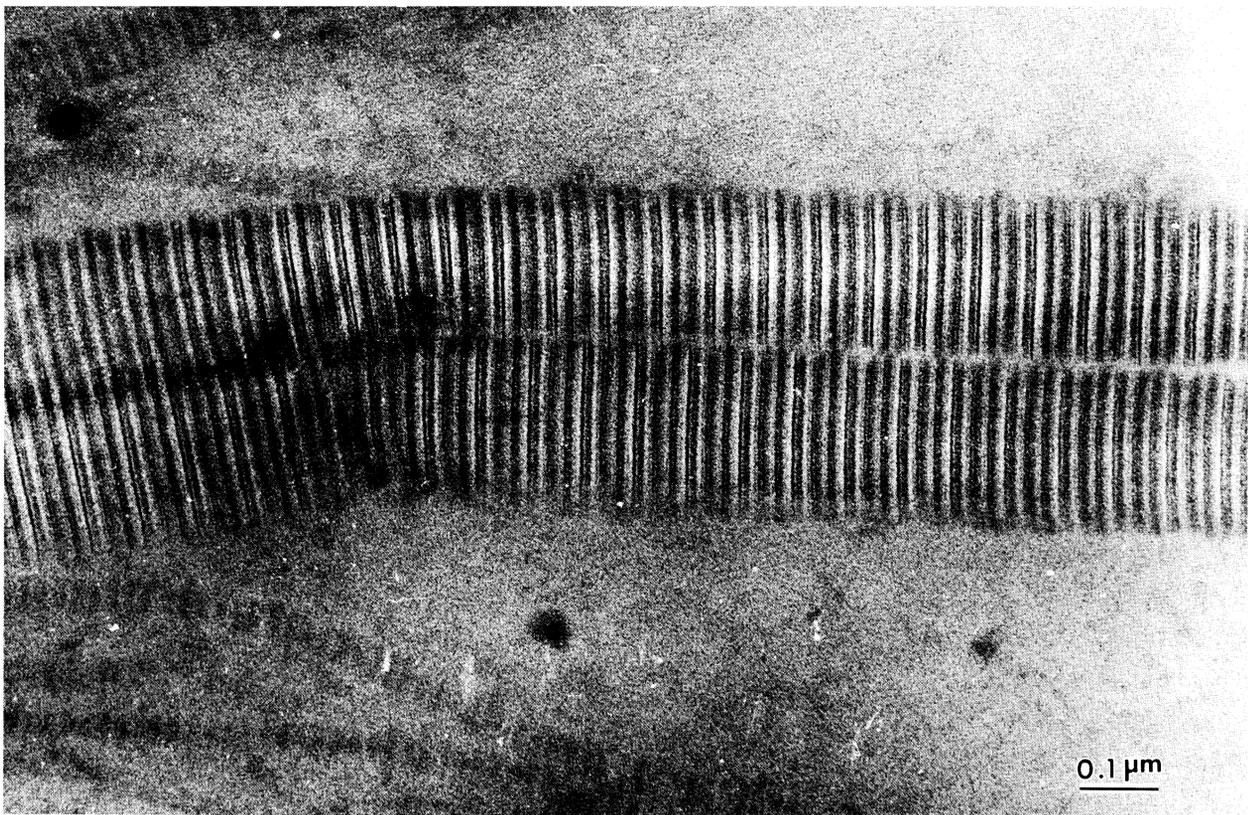
* 島根大学理学部地質学教室, Department of Geology, Faculty of Science, Shimane University
** 鳥取大学医学部第2解剖学教室, Department of Anatomy, Tottori University School of Medicine



腕足類の貝殻構造

千葉の瀬又で多産する *Terebratalia coreanica* について、以前に個体変異を計測したり、貝殻の薄片をつくったことがある。そこで貝殻構造の研究を始めるに当たって、まずその現生種の観察をした。上図は、背殻の大半をとりのぞいて片方の軟組織（総坦）をはずし、腕骨を露出させたものである。軟体部各組織のパラフィン切片もつくってみた。そして、貝殻の電顕観察に入る前に、光顕段階でできることをいろいろと試みた。下図はその1例で、薄片脱灰をしたのち、手製の暗視野照明により、管状構造を浮びあがらせたものである。

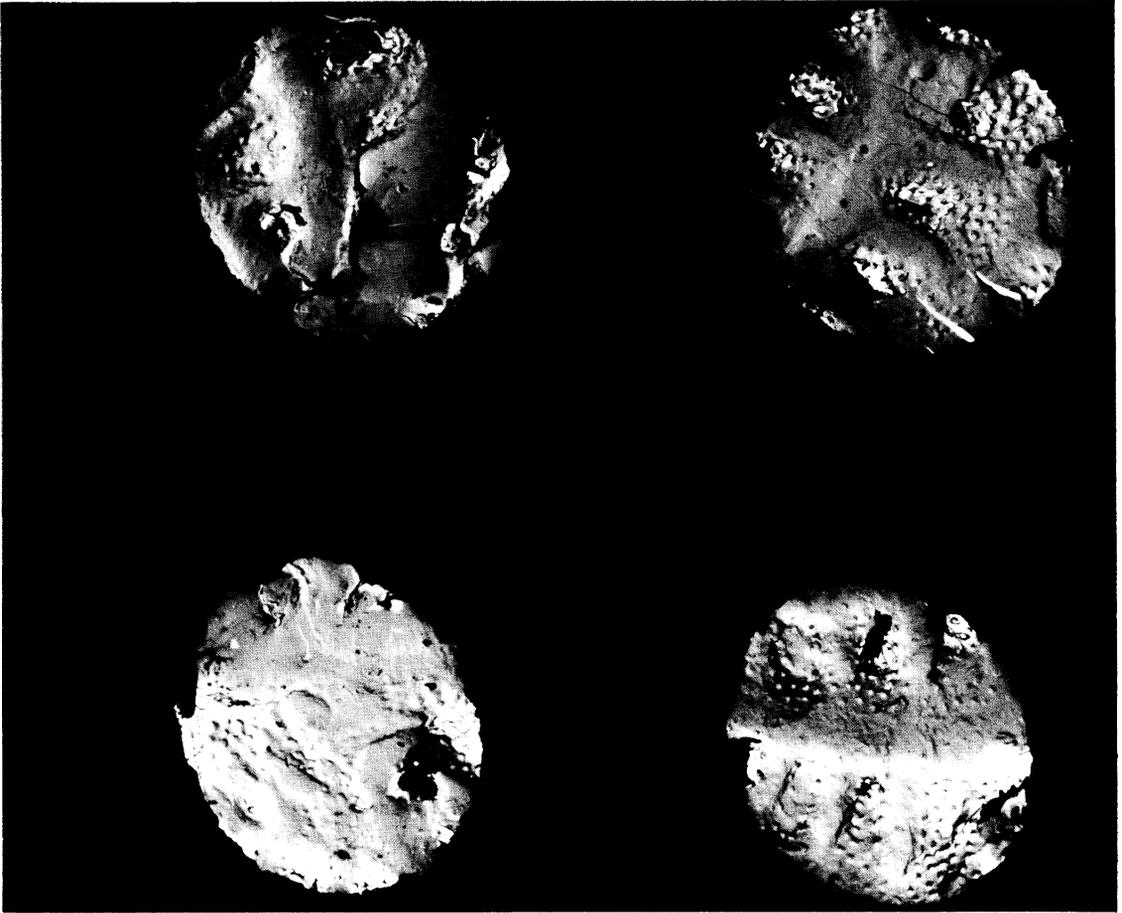




シャミセン貝の切片

生物がはじめて硬組織にもった鉱物は燐灰石 apatite であったことをシャミセン貝 *Lingula* は語ってくれる。その貝殻はきわめて薄い、燐灰石の層とキチンの層とが互層しているので、現生種をつかって切ってみた（下）。恥しい切片だが、2層は判然と区画されているのではなく、燐灰石の細片が散在して漸移的であることがわかる。また、貝殻や外套膜の中にはコラーゲン繊維が含まれているので、後者の切片を観察した（上）。どちらの写真も JEOL の 7A で撮影したものである。

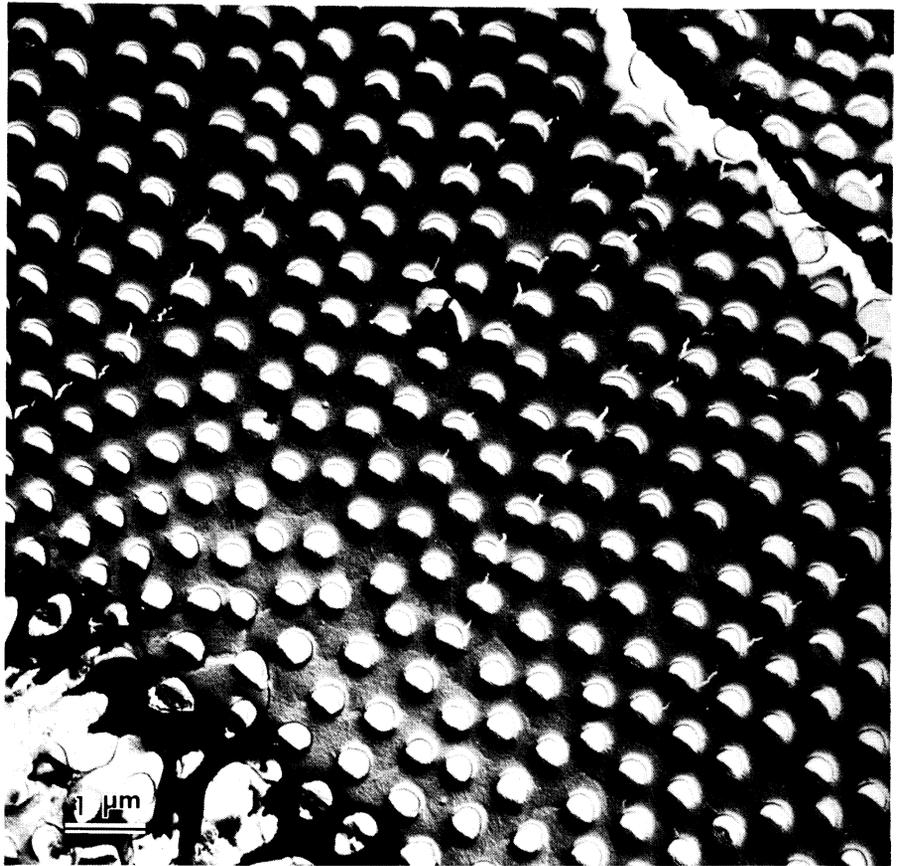




レプリカを TEMとSEMでみる

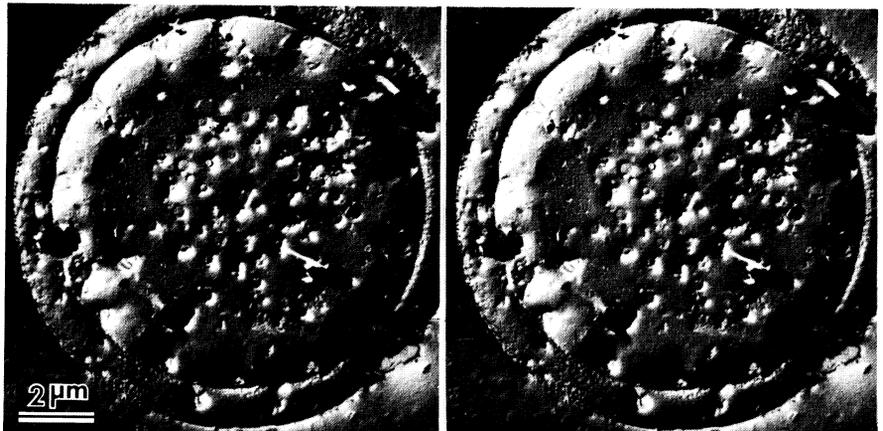
TEMしかなかった頃は、検鏡試料はほとんどがレプリカであって、手もとにあった各種の標本を使って腕だめしをした。上図は有孔虫化石 *Elphidium* のメッシュ像であるが、電顕写真とは、まさに葦の髄から天井覗く、の感がある。後になってSEMが使えるようになってから、そのときのメッシュをみた(下図)が、両方式の効果の違いが対照的である。

蒜山原層の
Stephanodiscus

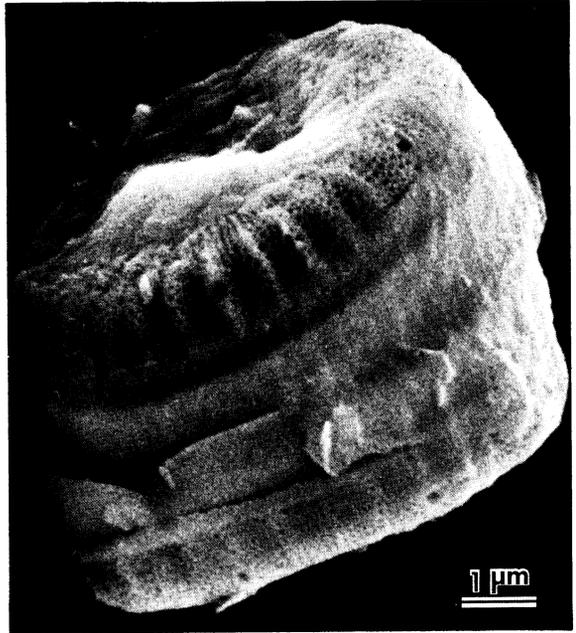
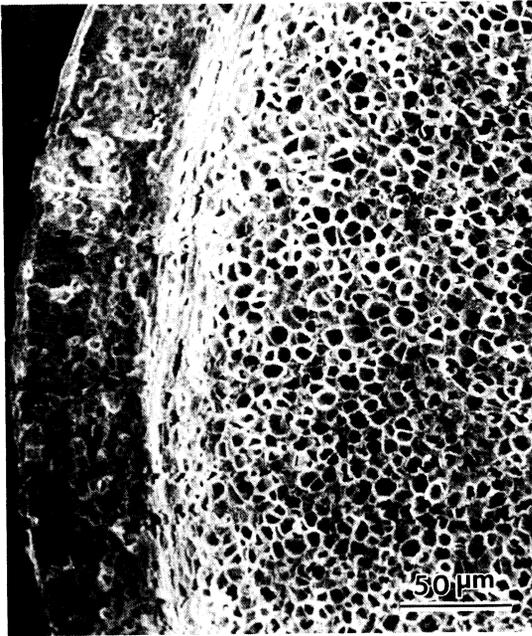


スーパー
スコープ

島根大学にはスーパースコープがあったので、ここでもレプリカ写真をとりまくった。それも2段レプリカだけではなく、1段レプリカや3段レプリカなども、対象をかえてやってみた。当時手がけていたフィールドの材料は珪藻化石が主であった。ここに示したものはいずれも1段レプリカである。スーパースコープは、直接倍率2,000倍、フィルム視野は24 mm²であるが、間違いなく電顕であるので、正焦点を目ざして、くたばれ大型電顕という気持ちで愛用した。上図では飾管内のこまかい網目が明瞭である。下図のステレオペアーは、メーカーのJEOLでも気のつかなかった使用方法ではないか、とひそかに自負する写真である。

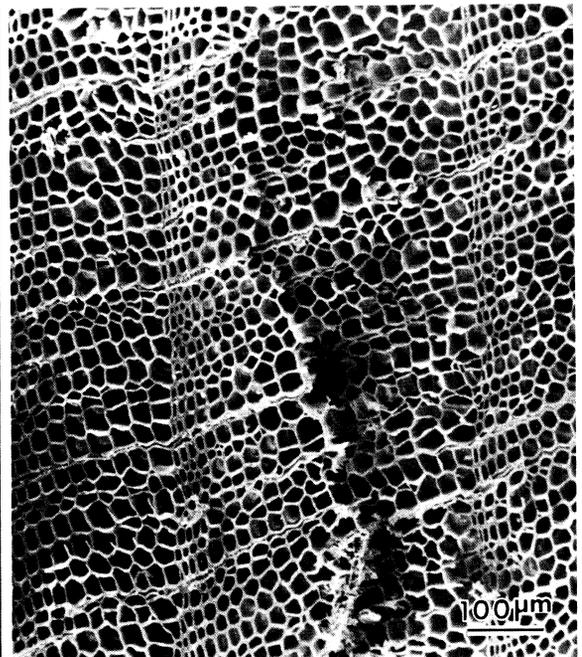


同じく *Cyclotella*



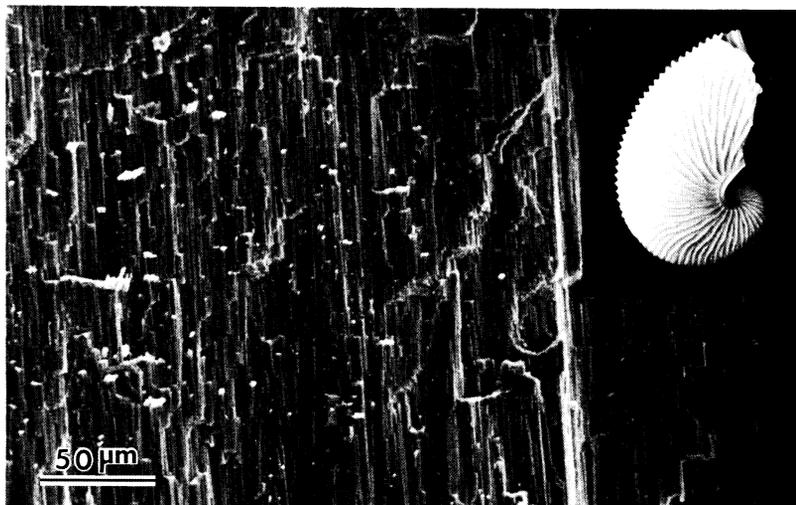
SEM の初撮り

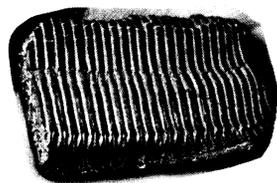
待望の SEM (JSM-15) に接したのは 1974 年であった。まさに高級拡大鏡の感があったので、手もとの材料を片っぴしから撮影した。左上は、岡山・蒜山原層のメニアンテスの断面、右上は蒜山原珪藻土中の *Stephanodiscus*。左下は沖縄の星砂中の小型巻貝、右下は、大山火山・名和火砕流中の材木の破断面。SEM 像は雪景色であるといわれるが、そんな感触はさらさらなく、感激にひたりながらズーミングを楽しんだ。このような観察手段が容易になると、小型有孔虫や花粉などの微小化石の写真はこれまでよりも格段にシャープになって、分類体系も変わるのではないか、と思ったものである。



頭足類化石 と貝殻構造

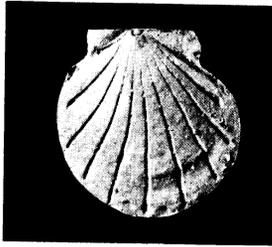
出雲地方の中新統産化石に“*Nautilus*” *izumoensis* (上) というのがあった。その外観からみて、オウム貝 *Nautilus* (下) の一種だとされていたものである。筆者が、布志名の露頭ではじめてこの化石を採集したとき、直観的に、オウム貝ではないと考えた。そこで化石の縦断面を切ってみると、予想どおり、隔壁その他の内部構造は存在しない。そこで、タコブネに近いのではないかと見当をつけ、現生のノーチルスも含めてこれらの異同を貝殻構造で証明しようと思った。それにはSEMがおおいに役立ち、簡単明瞭に三者の比較を可能にしてくれた。検鏡試料はいずれも貝殻の破断面であって、オウム貝貝殻の主体を占める真珠構造がタコブネ類にはない。そして問題の化石の貝殻は、現生のタコブネ(中)に酷似した構造型をもっていることがわかった。もちろん、巻貝の貝殻構造などとは全く異質のものである。従って、この化石をオウム貝類の“*Nautilus*”とよぶのは妥当ではないので、仮りに“*Argonauta*” sp. としておいたが、最近になって、Argonautidae 中の新属 *Mizuhobaris* と命名されている。





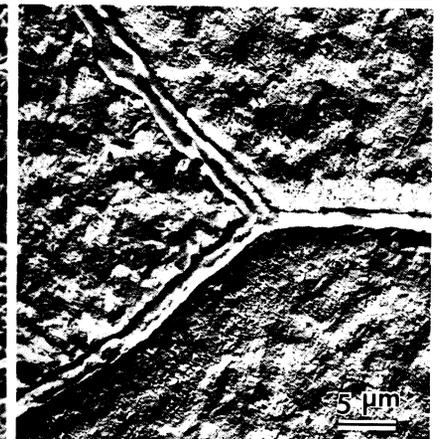
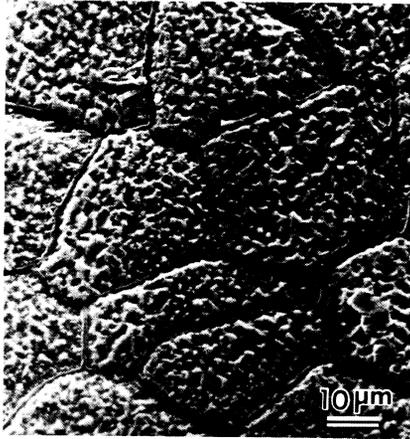
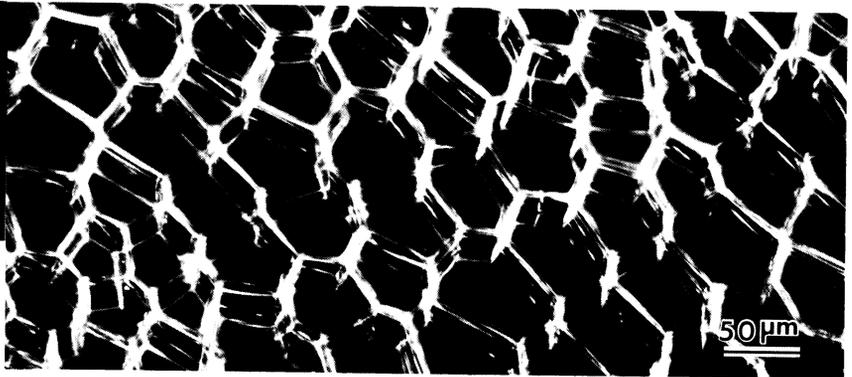
エイの歯

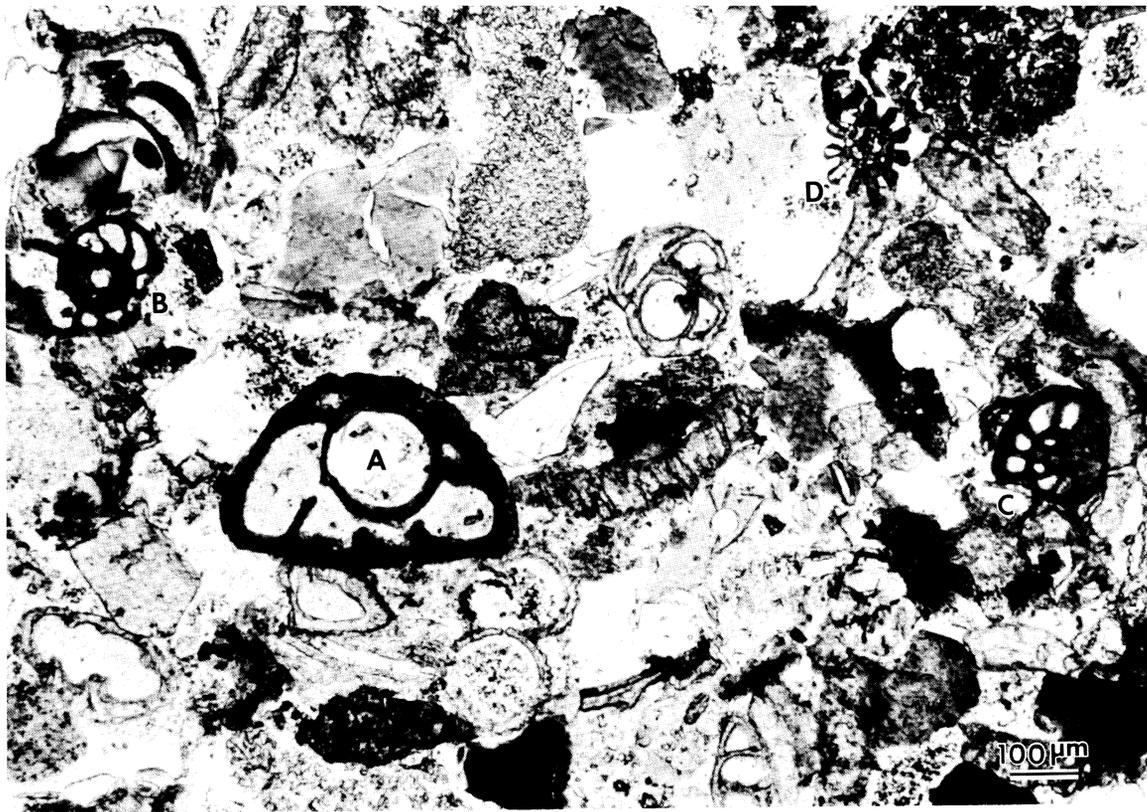
山陰ではじめてピカリアが発見された益田の中新統から、高校生がエイの歯（左下）をみつけた。さっそく研磨薄片をつくったが、血管腔（V）や骨髓腔（M）がよく残っていることに一驚した。学会誌に投稿したときは、ふつうのトビエイ *Myliobatis* と思っていたが、大きさがまったく異なるので、これはマダラトビエイ *Aetobatis* の歯であろう。



プロペラム シウムの不思議

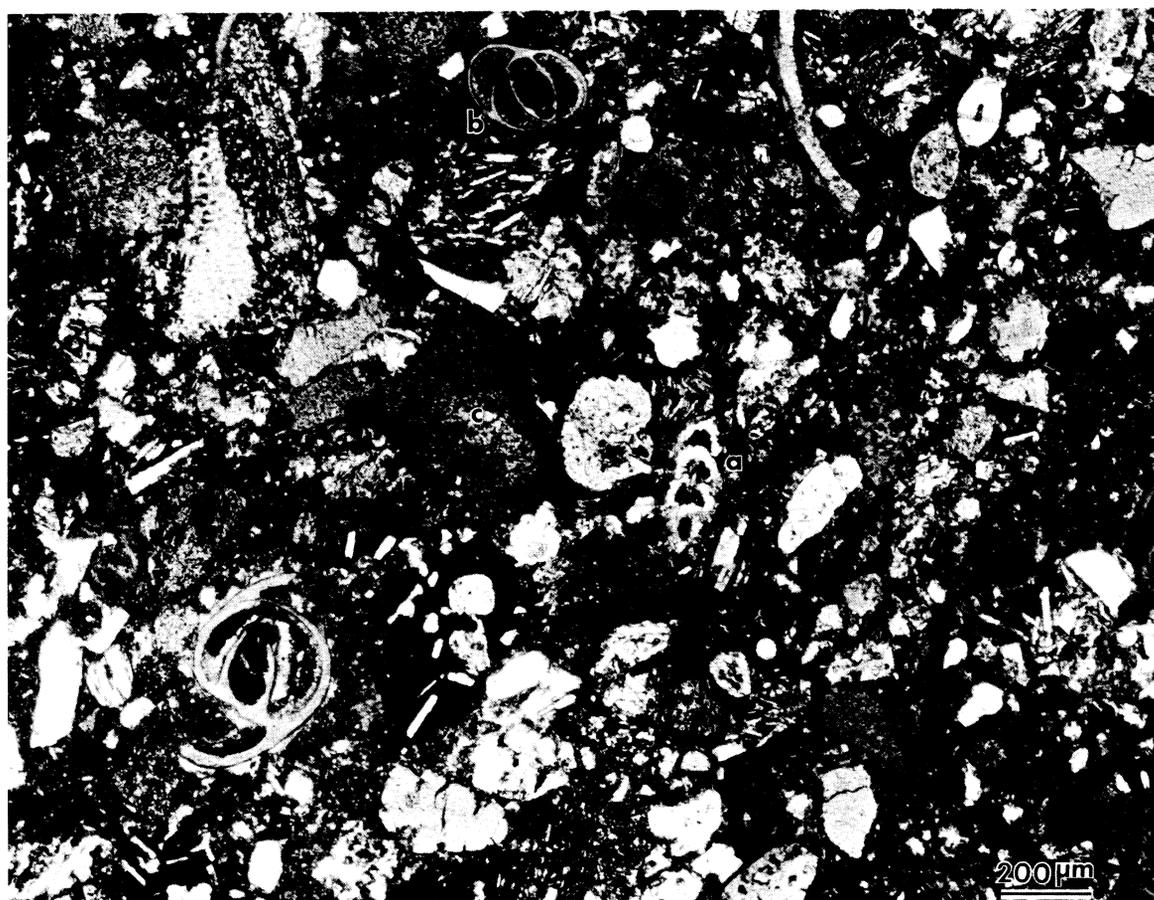
Propeamussium tatei-wai (KANEHARA) は各地の中新統から産するポピュラーな二枚貝化石である(左上)。鳥取層群からはこのほかに、直径が5 cm に達する大型のものが産出する。この標本の記載をおこなううち、プロペラムシウムでは、右殻と左殻で形態が異なることに気づき、現生の貝殻の微細形態を検討することになった。ミクロとマクロは不可分の関係にあるといわれるが、微細構造も左右で大きく異なっていたのには驚いた。左殻表層は1層の規則正しい稜柱層でおおわれていたが、これを剥して脱灰し、ノマルスキー照明で顕微鏡観察したり(右上)、剥離面を酸でエッチングしてSEM(左中)や、レプリカ(右中)をとって観察した。稜柱層の側面のコンキオリンには、ときどき横縞が観察されたが(左下)、この正体はまだまだ明らかではない。プロペラムシウムは系統的にみて古い二枚貝であるが、その微細構造は複雑で、いろいろな構造が存在する(右下)。このような複雑な構造の解析にはSEMが大いに役立った。

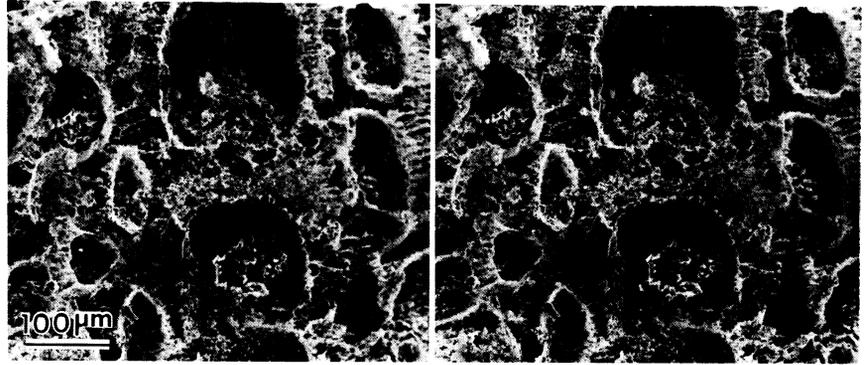




隠岐の含化石砂岩

島後の海成化石層は，釜谷海岸にでている上部中新統の砂岩（上）と久見川ぞいの中中新統の砂岩（下）が代表的であって，常法通り研磨薄片をつくって撮影した．前者には，小型有孔虫の *Cibicides* (A, B, C) が多く，ウニの棘 (D) もみえる．後者には *Lenticularia* (a) や *Triloculina* (b) などの有孔虫のほか石灰藻 (c) も含まれている．

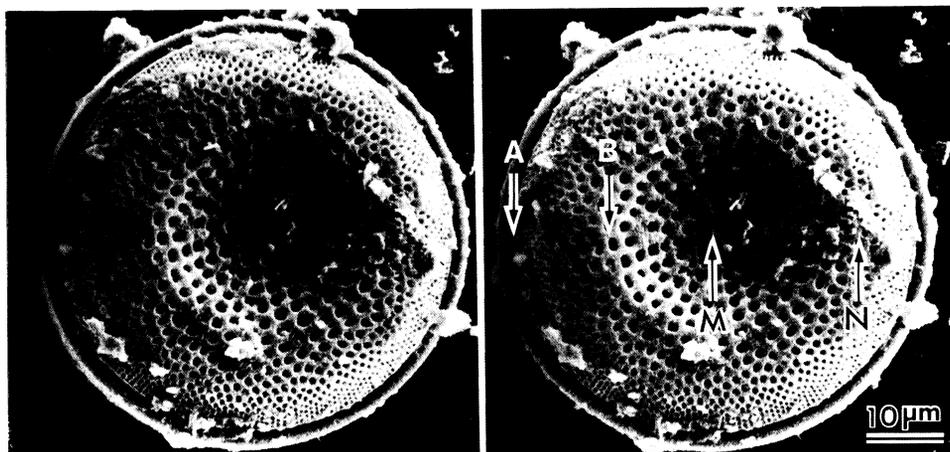




ミオジプシナとオパキュリナ

古生物学的には不毛の地に等しかった隠岐から、山陰で最初の大型有孔虫の準化石が見つかった。前ページの久見砂岩の直上から発見された *Miogypsina* (上および左下) と *Operculina* (右下) がそれであって、いずれも堆積岩の研磨薄片(下)をみた結果である。2 mm ほどの大きさだから肉眼でも確認できるはずなのに、予期しないものを現地で発見することは難しいことである。この *Miogypsina* は保存もよい上に量も多いので、断面を作ったり、脱灰したり、いろいろと試みた。化石中の軟組織はきわめてもろいので脱灰過程でうけるダメージが大きい。そこで、化石を扱うときには、完全に脱灰しないで、脱灰をごく浅い段階でとめてみたり、やや深くしたりして条件を変えてみた。上図のステレオペアーは、研磨断面を半脱灰状態にとどめたもので、各室をつなぐ脈管系の仕組みがわかる。*Operculina* の方は、量的にははるかに少ないが、これも保存よく残っていた。

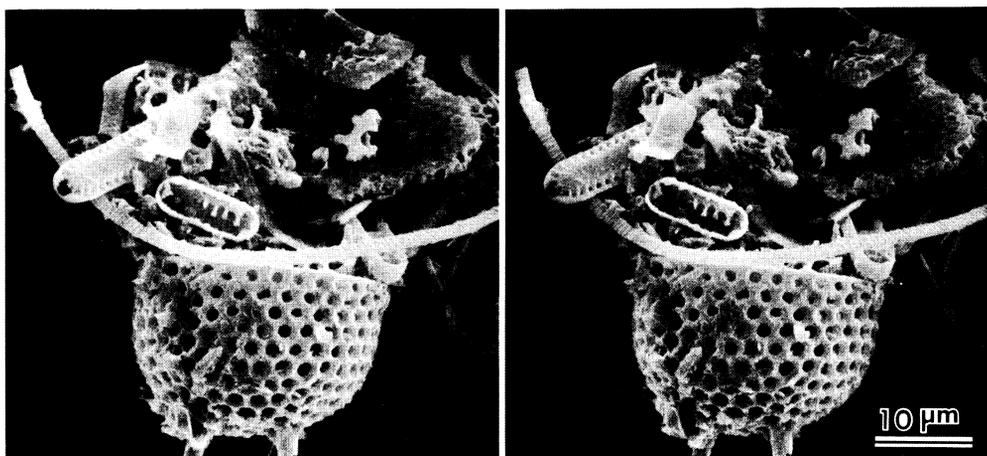


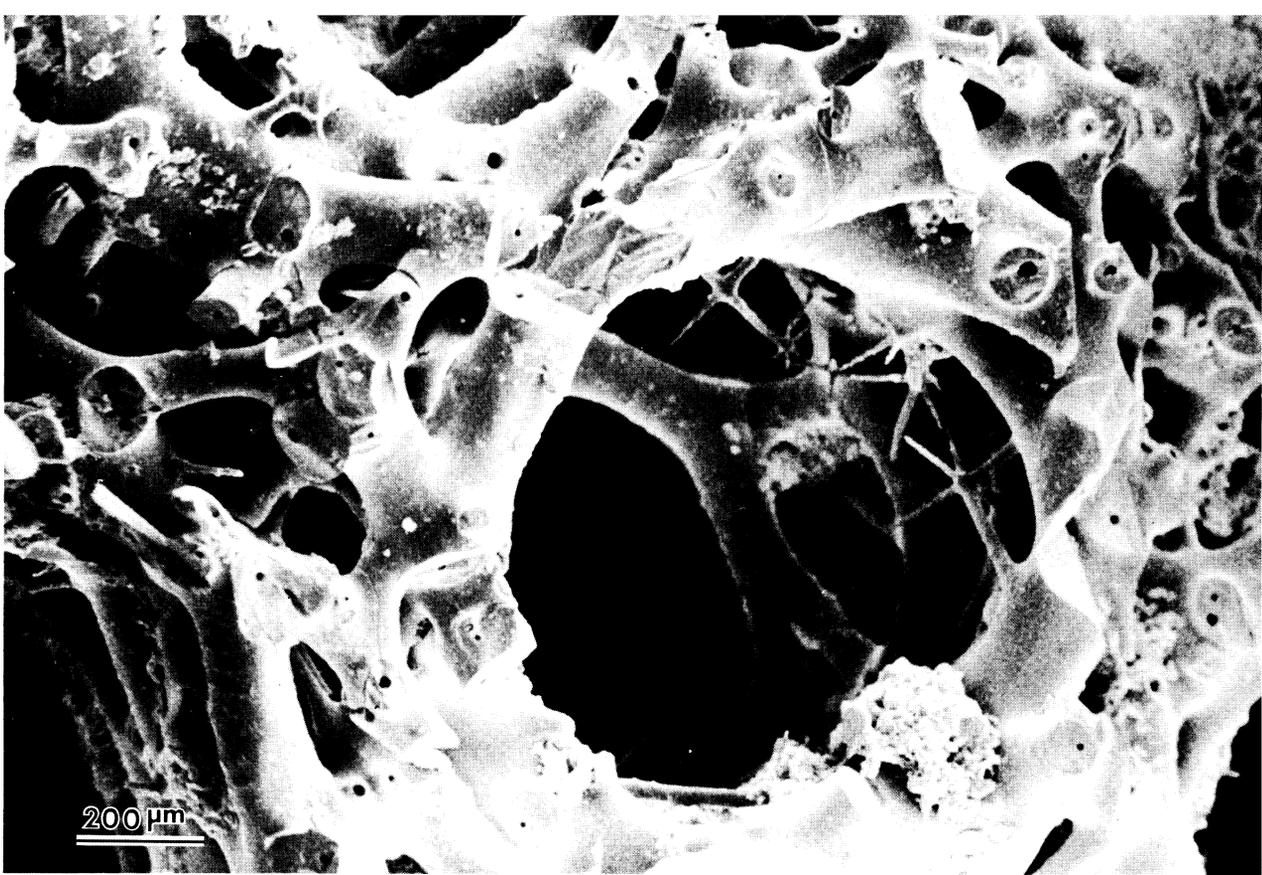


ステレオ写真の魅力

光学顕微鏡の対物レンズの分解能を調べるのに、珪藻検査というのがあるときいた。現在でも行われているのかどうか知らないが、珪藻の微細な幾何学的模様は格好の被検体なのであろう。これをSEMでみると、造化の妙に感心することしばしばである。しかし、科学には計測が不可欠である。平面的計測は簡単だが、垂直方向は何かと苦心するところなので、ステレオペアーから計算することを試してみた。

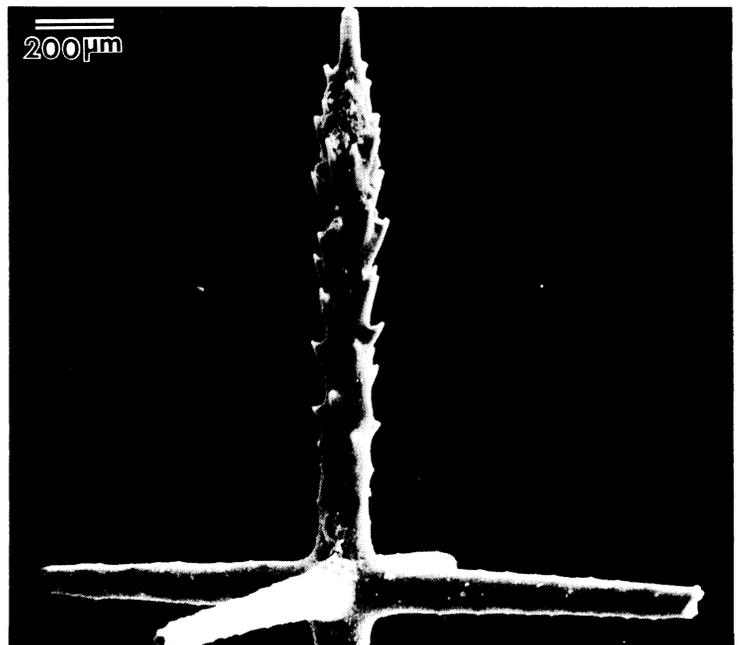
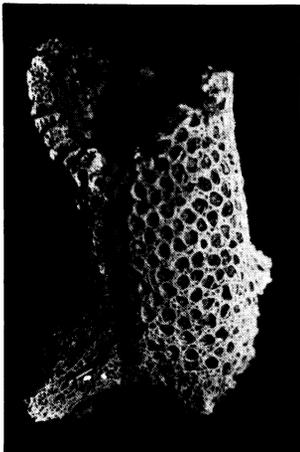
計算式は $H = b / \sin \theta \sim a / \tan \theta$ で与えられる。つまり、任意の1点が、角度 θ だけ傾斜したとき、回転軸からの距離が a から b に変化する関係を現わしたものである。式のうえでは簡単に試料面上の高さ、あるいは深さ H が求められるが、実際には1点のとり方が難しい。2枚の写真を並べて、幾何学的な同一点をとらなくてはならないから、ここに誤差を生じる。*Actinocyclus* 中の記号(右上)は、AB間の高低差、およびMN間の高低差を求めたことを示し、これによって珪殻中央部の凹みの深さがわかる。このような作業は、精度的にも光学顕微鏡には期待できない。山陰には、淡水成の珪藻土や海成珪藻土があって、珪藻化石にはこと欠かない。とりわけ隠岐の中新統からは多量の珪藻が検出されたので、珪藻の専門家ではないが、折りにふれて写真をとった。SEMでみると、保存のよいものや悪いものなどさまざまであるが、ステレオ写真で眺めるのがもっとも楽しい。それは高低差の大小がよくわかるから、こまかい構造まで理解しやすいからであろう。なかには、バケツ状の *Stephanopyxis* (下) の中に、大小さまざまな珪藻が、さながらゴミ箱にあふれてるかのようにみえる構図もあった。余興の一駒である。

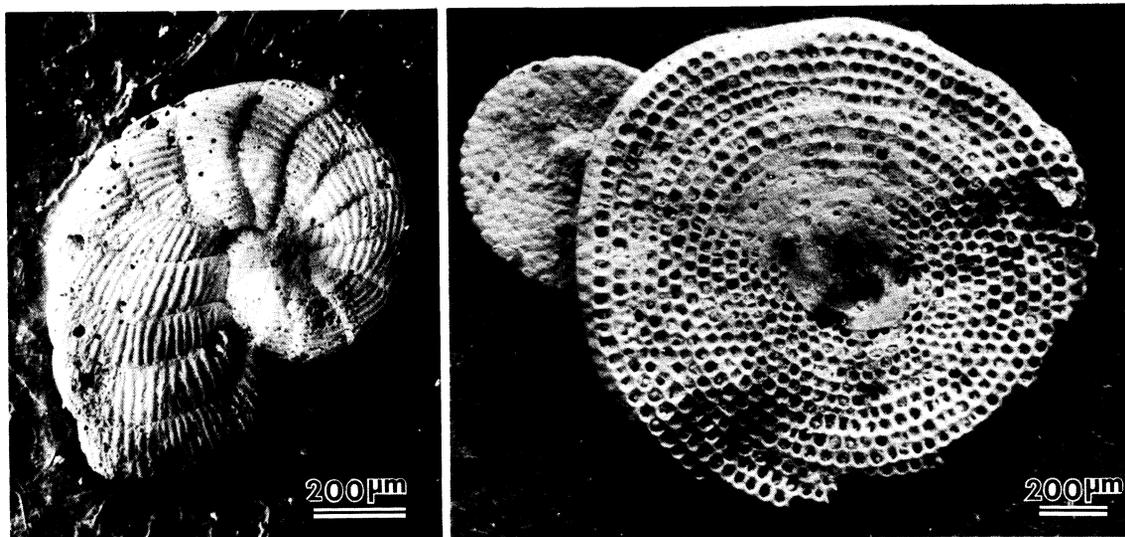




海綿の化石

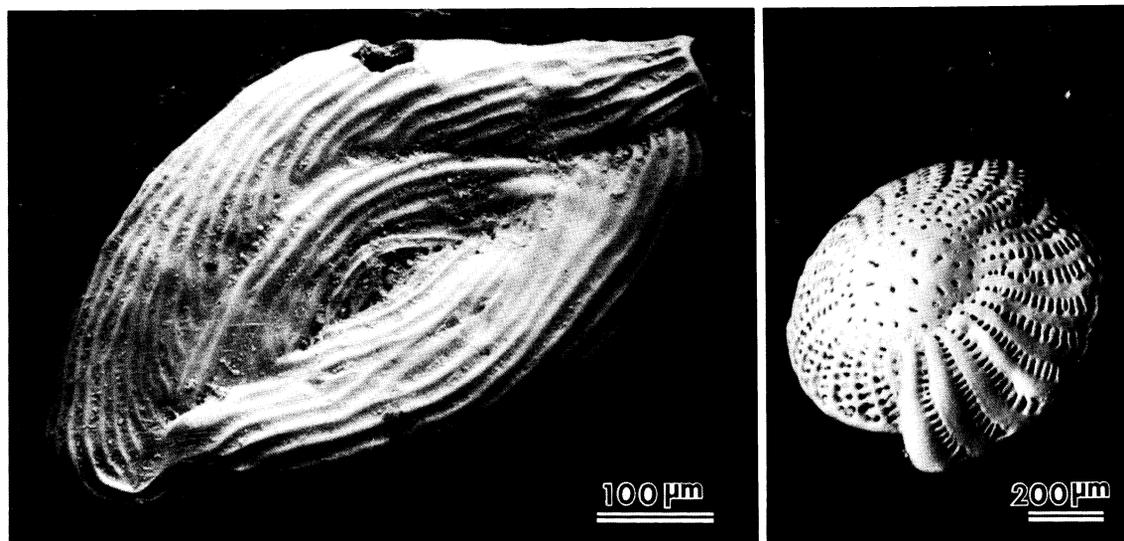
グリーンタフ地域の中新統からは、*Aphrocallistes* とよばれる六放海綿（左下）がしばしば発見される。能登半島がもっとも有名な産地であるが、隠岐の島後でもみつかったので、その機会に SEM で骨格構造や骨片の形を観察した。化石の外形は管状・袋状などさまざまである。すべて珪質であるから、化石の一部を拡大してみると（上）、精巧なガラス細工のようであって、下等動物にもこんな工作能力があったのかと驚く。こまかい骨片類の大部分は、本体から遊離して基質中に散在しているので、それらを洗い出してみると、形態的には 20 種類をこえる骨片がみつかった。六放体骨片（右下）は代表的なものである。もっとも、化石化の過程で、まったく別種類の骨片がまぎれこんでいることもあるので、化石の扱いは難しいことを痛感する。





無蒸着観察

WET-SEM. 直訳すれば濡れた電顕ということになるが、湿った含水試料が観察できる電顕の意である。普通、電顕の試料室は高真空に保たれており、完全に乾燥した試料でないとは観察できない。しかし、この電顕は試料室と電子銃の部分の真空度に差をもたせており、試料室は0.1-0.3 Torr程度の真空に保たれているから、含水試料が観察できるのである。また、試料を無蒸着で観察できる利点があり、試料を入れて、数分後には像がでるものだから、試料作製の時間を大幅に短縮することができる。メーカーから何かいい応用法はないですかといわれ、とっさに頭に浮かんだのは、紙製のプレパラートに載った有孔虫のことであった。とりあえず、沖縄の星砂に含まれていた有孔虫をプレパラートに載せたまま観察したが、結果は満足すべきものであった。無蒸着の利点をいかすと、貴重な模式標本の直接観察もできるし、含水試料の観察という面では、oil sand等の観察も可能であると思われる。ここには、はじめてWET-SEMに出会ったときに撮りまくった星砂の有孔虫の数コマをならべてみた。左上；*Peneroplis pertusus* (FORSKAL) 右上；*Marginopora vertebralis* BLAINVILLE 左下；*Spiroloculina angulata*? CUSHMAN 右下；*Elphidium craticulatum* (FICHTEL AND MOLL)。 (試料は赤木三郎氏提供、学名は多井義郎氏のご教示によった。)



顕微鏡写真と電子顕微鏡

顕微鏡写真は自然科学にとって不可欠な手段であるとともに、研究者の思考を助けたり、刺戟してくれる。昔からカメラ狂であった私は、フィールド写真のほか、光学顕微鏡や電子顕微鏡の写真をずいぶん撮ってきた。しかし、いざ公表できる写真となると、その数はぐっと少なくなってしまう。それは撮影の腕だけではなく、引伸し技術も未熟なためである。そして、なかなか上達しないままに、とうとう実験室を離れる運命となった。

これまでの研究生活をふり返ってみると、フィールドワークを別にすれば、やはり暗室作業が懐しい。長年撮りだめてきた写真の中には、論文には出さなかったけれどもぜひみてほしい、というのがいくつかあるので、この機会に化石写真集としてまとめてみた次第である。なお、無蒸着観察の項は井上氏によるものである。

また、電顕技術や写真技術については、井上貴央氏との交友をつうじて学んだ点が多いので、以下に同氏との対話をつけ加えたい（大久保）。

〔スケッチと写真〕

大久保：まずスケッチや写真の一般論から始めましょうか。井上さんは顕微鏡写真をとるのに付属の写真装置から始まったでしょう。私の場合は、小さなカメラの距離を無限大にして接眼レンズにくっつけて写真をとったのが始まりなんです。我ながらうまいことを考えたと思ってますよ。当時は、スケッチと写真を半々ぐらいに考えていました。いまはスケッチなんかどうなってますかね。

井上：最近ではスケッチする人はほとんどいません。

大久保：医学の研究過程とか教育過程とかで、スケッチは全然用がないんですか？

井上：学生にはスケッチをさせますが、実際にはミクロの仕事でスケッチするところはまずないですね。みんな写真です。マクロの肉眼解剖をやる人なんかは、精密なスケッチをやっていますけれども。

大久保：地質では偏光顕微鏡の実習があって、もっぱらスケッチです。2年生ぐらいの段階で、どの大学でも岩石の薄片をスケッチして、組織と構造を覚えるのですね。それから化石だって写真に撮ればそれっきりだけれど、スケッチを併用することもあります。鏡下ならカメラリングやアッペの装置を使ってね。

井上：私の教室では、このごろスケッチしないもんですから、アッペの装置なんて見たことはありませんよ。

大久保：そうですね。案外そんな簡単な描画装置を知らない人が多いですね。地質学では、露頭のスケッチというのが依然として残っているのと同様に、光学顕微鏡のスケッチも必要だと思います。写真とちがってスケッチには自分の判断が入ることがポイントでしょう。

井上：そういうスケッチは点でやるんですか、それとも線で？

大久保：本当は点でしょうね。その方が出来上りがきれいですね。僕は下手なもんだから、なかなか点で書くということが出来ません。うちの2年の実習でやっている岩石薄片のスケッチは、渡辺さんの指導がきびしいから本当にうまいですよ。

〔標本写真〕

大久保：ところで、写真はどうですか？ カラーとモノクロですが、どういうフィルムを使うとか、どういう現像液を使うとか、いろいろ工夫があるでしょう。

井上：私どもはモノクロというのはめったにないんです。たいていはカラーで撮っちゃいます。私どもの場合は、染色した標本を撮るわけですから、色のきれいな仕上がりが一つの本命になるわけです。論文なんかにすると、白黒にしたい場合はカラースライドからモノクロを作ります。初めから白黒で撮ることはまずありません。

大久保：標本写真なんか全部カラーですか？

井上：特に病理なんかの場合は、色の変化で病変を見ることが多いので、たいていカラーです。

大久保：化石標本は普通モノクロで撮ります。昔からのとり方はアンソニーカメラをちゃんとセットして乾板で一枚づつ写真を撮る、というのが普通だったですけどね。ここへきてからアンソニーカメラを買ってやり始めましたが、学生にとってもそれによって初めて写真技術を知るという事ではないでしょうか。

井上：アンソニーカメラを使わなくっちゃならないというのはどういう点があるのでしょうか？

大久保：構図のとり方と光の当て方が、原寸大で楽にチェックできる利点があります。ピントグラスが大きいから見やすいし、焦点深度もよく分かりますからね。

井上：フィルムからいいますと、FとかTechnical Panとか粒子の細かいフィルムがありますから、フィルムは別に大きいものを使う必要はないと思うんですね。

どちらがより手軽かといえばやはり35mmのほうだと思うんです。この前、岩波の科学映画の人でアンソニーの箱式カメラに凝ってる人がきましてね、あおりを付けて、前も後ろも焦点を合わすという話を聞いたんです。あおりが理解できると箱式カメラはやめられないぐらい面白いといっていました。

大久保：そう思いますよ。ただあおりを使う必要もこれまでは余り感じなかったですけど。やっぱり、大判カメラというのは違いますよ。

井上：カラーの標本撮影法についていますと、今、いい蛍光灯が出てるんですよ。これは、美術品の照明とか葉っぱこの選別用に使われるのですけれども、これを普通の蛍光灯に付け替えて撮影するとい写真が撮れますね。蛍光灯の値段もそう高くないです。

大久保：僕は昔流の照明しか知らないけど、とにかく光源でずいぶん苦労しましたね。石というのは発色が悪くてねえ。あれは色が複雑なんでしょうね。

井上：学会なんかで偏光顕微鏡のカラー写真を出すことなんかはないのですか。

大久保：喋るときはカラースライドでも、学会誌はモノクロです。

井上：そのときには、色がどうだとか、このスライドはいいスライドだとかいうことが問題になりませんか。

大久保：地質屋は、石の色にさほど神経質ではないんです。識別の決定的要因になることがあまりないからでしょうね。

井上：しかし、ローム等の露頭の写真を出すときには随分違うでしょうね。

大久保：陽あたりの具合で微妙に違いますからね。

〔光学顕微鏡写真〕

大久保：光顕の写真はまず照明ですね。位相差とかノーマルスキー照明とかいろいろありますが、基本のケラー照明法というのを、以前はいちいちトランス使ってやっていたけど、今はもう内蔵されているからあんまり問題ないみたいだけれど、低倍率の撮影はむづかしいですね。

井上：最近はいいいレンズが来ていますから、もう金さえ出せばきれいな写真が撮れますね。

大久保：低倍率の時、周りがどうしても暗くなって困ったなあ。

井上：周辺の解像度なんかも本当にきれいに出るレンズが国産で出てきていますので、金次第ということになりますね。

大久保：いま機器のカタログなんか見ても、まるで違ってきますね。露出も自動になってるし……。

井上：今はもうオートフォーカスの顕微鏡が出来てるんです。スイッチを入れて光を出して、視野を選んでボタンさえ押せば、露光もびったしだし、焦点もあってるし、フィルムも巻き上げてくれるというバカチョン顕微鏡ができています。こちらの方は、バカチョンカメラと違って、値段が張りますが。

大久保：どういう原理で焦点を合わせてるのだろう？

井上：さあ。よく分かりませんが、ちゃんとステージが上下して焦点があうんです。

大久保：こわい。じゃそれなりに切片の方も薄くなければだめですね。

井上：そうですね、厚いとどこに焦点を合わせたいのか機械も困るでしょうから。

大久保：我々の光学顕微鏡写真といたら、やはり白黒が多いですからフィルムと現像液をいろいろと組合せて、薄片に適したものをテストします。パンFを使うときは、少し感度を下げて撮って、現像時間を短くめにすると、フィルムの解像力が一番いい条件だということを知りましたが……。珪藻化石のようにコントラストが悪いものをとるときはミニコピーが一番いいっていうのもありますよ。メーカーが聞いたら非常識さにびっくりするかも知れないけど、硬調のフィルムを軟調の現像液で現像するとか、あるいはその逆に使うとか、色んな条件を変えて学生はテストします。

井上：普通の白黒の標本撮影の場合は、Fがいいですね。

大久保：むろんFが一番いいです。井上さん達よくカラーで撮っているのでしょうか、色温度の調節なんかはどうしてるんですか？

井上：それもちやんと自動化されています。

大久保：さすが医学だなあ。

井上：この前、神戸大学の溝口という先生が、カラーの撮影条件やフィルムの特性をチェックして、オリンパスが出してるOMRという雑誌に書いていますが、非常に参考になると思います。私達の場合、H.E染色をした標本を撮ることが多いのでエオシンの赤がどれくらいきれいに出るかというのがひとつのポイントになるんです。

〔薄片・接着剤〕

大久保：話はそれですが、写真の前の薄片の事ですけど、薄片というのは目的次第で厚さを加減しなければ

ならないんで、この点は生物切片でも同じだと思うんです。僕は、厚い段階で先ず写真を撮って、写真が間違いなく撮れたということが確認できたらまたすっていました。

井上：薄片を作るときにはレークサイドセメントやバルサムを使うわけですけど。

大久保：昔はバルサムの焼き加減に苦労しました。だからレークサイドセメントを見たときは、なんて便利なものが出来たんだろうとびっくりしました。また、カバーグラスかけるときは生物切片みたいなかけかたしないんです。別のスライドガラスで軟らかめのバルサムを焼いて、それを薄片の上につけてカバーグラスをかけ、気泡を抜きながらバルサムを焼くんです。そうすると気泡が抜けた頃にちょうどいい加減な硬さでカバーグラスがしまっているということになります。

井上：以前、教えていただいたバルサムの練り方、あれはいいですねえ。私は、接着剤を練るときに利用させてもらっていますが本当に無駄なく使えるのです。

大久保：本職の石工さんの仕事を盗み見したものです。やっぱり長年かけた定石のひとつですね。

井上：岩石の薄片の場合だと、屈折率の関係もあって、ちゃんとしたバルサムを使わなければならないのでしょうけど、速乾性という点からいきますとね、最近、非常にいい封入剤が出来てますよね。封入して数10分でOKというのとか。ああいうのは地質の方には使えないのですか？

大久保：我々地質屋は新しい技術を取り入れることに対してわりは無頓着だと思いますね。つまり、今までの定石の上に立ってるといことが多くて、新しいものを取り入れるという点が、ずうと不足していると思います。

井上：屈折率も当然違ってくるでしょうけど、違ったら違ったなりにスタンダードを作ればいい訳でしょう。

大久保：そういう事です。理屈はそうだけど、いきなり変えるわけにも行きませんね。屈折率は1.54を基準にして目がなれてしまったんだから、そりゃquartzがざらざらに見えたりしたら困るでしょう。接着剤も、アラルライトが出たときに僕はいち早く使ってみたんです。そしたら屈折率はどうかというから、田崎さんにコマ以下4桁ぐらいまで測ってもらい、すぐに地団研の速報に出したことをおぼえています。だいたいバルサムと近いんですが、気泡が入りやすい難点がありました。しかし、接着力が抜群で、バルサムよりずっといいから、それまで手古ずっていた難しい石の薄

片も処理できて、石工さんに喜ばれましたね。

井上：今、瞬間接着剤がはやりですが、ああいうのもどしどし応用していけば使えるのじゃないでしょうか。

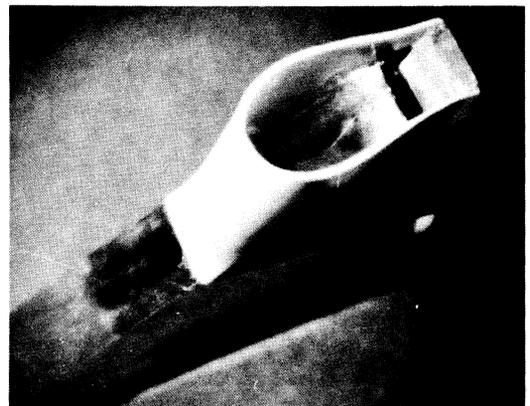
大久保：そうです。今は接着よりも空隙を埋める固化剤として使ってるみたいです。新しいものにかえると、見えるはずのベッケラインがみえなくなったりするのが困るわけです。

井上：僕、色々薄片の作り方なんか教わったですけど、医学部の解剖に入ってびっくりしたのは、骨の研磨標本を作るときなんです。標本を見ると余りにも厚いので、どのようにして研磨しているのって技官さんに聞いたら、骨を鋸で小さく切って、その小片を手で砥石にこすり付けてみがいっているっていうんです。これを聞いたときはびっくりしましてね。なんと前近代的なことやってんだろうと思いましたよ。3年程前に、学生実習用の標本を作りかえることになったのですが、この時は、地質のセンスに戻って、骨の小片を接着剤でスライドガラスに張り付け、これを幅が3 cm位の帯状に切った金属研磨紙でみがくという方法を取りました。うちは学生が120名いるものですから、120枚の標本を作らなければならないわけです。そこで教室挙げて、骨磨きをしたら、あっという間に出来てしまって、しかもこれまで以上に薄くていい標本が出来たんです。

大久保：お金持ちの医学部にも意外と原始的なことがあったんですね。地質の技術を役立ててもらって有難いけど、僕らが医学のほうから学ぶことの方が沢山あると思いますね。不精とか長年の習慣をのりこえてね。

〔ルビーナイフ談〕

大久保：研磨のついでに、昔、ルビーを加工した話もしておきましょう(第1図)。ダイヤモンドナイフは高



第1図 自作のルビーナイフ。

価値だから買ってくれる気遣いがないし、鉱物の人と話したら、人工ルビーあげますから自分で作ったらどうですかというんです。その代わり硬いですよ、ていわれたんですが、硬くたってグラインダーがあるじゃないかと思って研磨を始めたんだけど、本当に硬い。容易なもんじゃないですよ。チャートや水晶を磨くとき、よく硬い硬いというけれど、そんな比じゃないですよ。ただ、ちゃんと角度をとれるような装置をきちんと作ってやればよかったですけどね。さし当りは手製でルビーの刃先が出来るかどうかというのが狙いでしたからね。出来る、磨けるというのが分かるまで時間がかかりましたよ。

井上：刃先はちゃんと手でもって磨かれたんですか？

大久保：じーと持ってね。我慢と忍耐。

井上：切片の色としてはどれくらいの色が出たんですか？

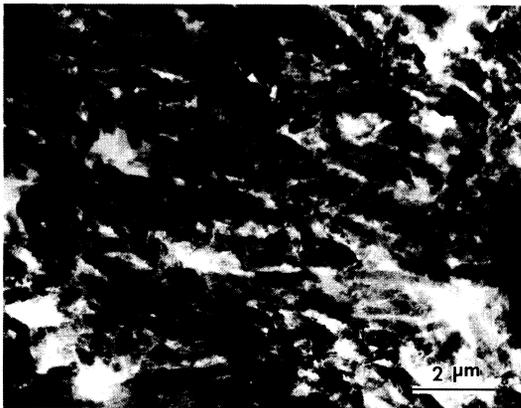
大久保：まあ、超薄とはいいがたいですよ。超厚切片でした。

井上：研磨というのは難しいようですね。

大久保：磨く方向があるしね。

井上：今は、サファイアナイフというのが市販されていますよね。私が前にいた教室の教授が、セラミックを使ってナイフが出来なかっていうんで、京セラの人を呼んで作ってもらったことがありましたけど、出来上がってきて試しに切ってみたら全然使いものにならなかったですね。1ミクロンの厚切り切片も取れなかったです。

大久保：僕のはガラスナイフの刃先と見くらべながらつくりましたから、かなり良心的な作品ですよ。自分の道具は自分で作れというような頭が僕には強いです。



第2図 ルビーナイフによる薄切 (*Lingula* 殻のアパタイト)。

やっぱり貧乏からの発想じゃないですか。教室には当時ミクロームがなかったので、日本電子に試し切りを頼んだんです(第2図)。その後、日本電子の超薄切片の講習会に行って、技術の人にルビーナイフの話をしたら感心してましたよ。執念ですって、1,000枚ぐらい切って1枚いいのが取ればいいじゃないですかって慰めてくれましたけどね。1,000枚も切る、そういう考え方も大切なんだなあと思いましたよ。全く非能率の話ですけどね。そんな余興みたいなこともあるほうが面白くていいんじゃないですか。

【電子顕微鏡の今昔】

井上：ここで電顕の話に移りましょうか。今の電顕はオートメーション機構が盛んに取り入れられてきてまして、排気系統もボタン一つで高真空まではいるようになってきてますし、非点補正なんかも自動化が進んでいるようですが、そういう意味では誰でも撮れるバカチョン電顕の時代にはいつてきているような気がします。昔から電顕をつついている人は、いちいちバルブを開けたり閉めたりしていたものですから、一応排気系の原理は分かっていたわけですが、ボタン一つの時代になると、こんな事が分かっても電顕写真が撮れるんですね。電顕の構造を理解するという意味では昔の方がよかったですね。

大久保：そうですね。技術的には確かにそうですね。いま、メーカーの講習会はどのようなところから教えるのですか？ 今でも初めは同じ様なことから教えているのでしょうか。

井上：昔は、確かに講習会というのがあって、電顕の原理から始まって、写真の撮り方、機械の保守点検まで教えていたのですが、最近あまり突っ込んではいなくなってきているようで、ユーザーは写真さえ撮ればよいような風潮になってきているようです。メーカーの方は、そういう事教えるよりも、とにかく保守契約を結んで下さいとくるわけですね。結んでいただくとちゃんと定期的に巡回してきて機械をベストの状態にしてあげましょうという訳です。

大久保：そうすると予算のない所は手が出せなくなってきたんですね。維持に相当金がかかるという訳ですよ。

井上：また後で話が出ると思うんですけど、JEOLのスーパーSCOOP、あれには部品のリストや規格や電気回路が書いてありましたね。最近の電顕はあれがないですね。

大久保:故障したときに困りますね、それだけでなくも故障の原因というのは分からないことが多いんだから。

井上:排気が自動になったおかげで、電磁弁というのが最近のどの電顕にも付いていますが、あれがまた壊れ易いんですよ。昔の手動式の弁だったらせいぜい弁をばらしてOリングをチェックすればよかったのが、電磁弁になるとお手上げですから。

大久保:自動化されたおかげで、かえって修理のために随分エネルギーを費やしたような気がしますね。この前サヨナラ講演のとき冗談で言ったんですけど、これまで僕がやった修繕だけで数100万円の金が島大では浮いたはずだってね。故障の大部分が排気系統でしたね。本体の所でトラブルを起こしたというのはほんに数えるぐらいしかありません。だから手動式だったらなんともなかったはずなんです。僕はメーカーによくいったんだけど、手動式も作ってくれて、そしたら、自動化しないと医者さんには売れませんだってね。

井上:僕なんか聞いてるのは、これは電顕の人口を増やすためですというのです。使いやすいにしないと売れませんか。これが本音なんでしょうけど。

私が一番最初に手にした電顕は鳥取大学の教育学部に入ったスーパースコープでしてね、広島東洋工業から中古品を運んできたんですけど、設置してみたら全然動かなかったんです。それで大久保先生に来ていただいて、一緒にバラしたりして修理してなんとか動くようにして頂いたというのが、私と電顕との付き合いの始まりであり、スーパースコープとの出会いでもあったんです。

大久保:スーパースコープは、もっと普及すると思ったんですけど案外普及しなかったんじゃないですか。

井上:それでも、1,500台程出荷されたようです。一時、学校の理振で電顕が取りあげられて、電顕が学校教育にも入りかけたんですけど、結局スーパースコープは続かなかったですね。

大久保:なぜでしょう？ やっぱ試料作りが難しいのでしょうかね。

井上:そうでしょうね。それとスーパースコープが出た頃はレプリカが流行だったのですが、最近の理科の教科書に出てくるのは、切片の写真が多いですからね。切片を作ってそれを観察するとなると、ミクロトームもあるしそれに伴う技術も必要ですからね。

大久保:透過型電顕の場合はいつもそういう問題が付きまといますね。それと裏返しでSEMが入ってきたわ

けですよ。

井上:スーパースコープはおもちゃのような簡単なTEMですけど、これに相当するSEMとしてミニSEMというのがはやった時期がありましたが、これもよく教育現場に出たんじゃないですか？

大久保:ありましたね。ああいう手軽な機械がもっとはやってほしかったと思うんです。簡単な原理そのものが組んであるんだから、手軽に使えますね。島大には、始めスーパースコープしかなかったから、これを何とかしようと思いました。ちゃんとフォーカスがええば、引き伸ばして1万倍位の写真はそう無理なく撮れますからね(5ページ図版・上図)。僕らが見みてるようなレプリカの写真だったらあれでも使えるんじゃないかと思ったし、負けず嫌いなもんだから、大型電顕に匹敵するような写真を撮ってやろうと思ったんです。そしたら使っている間に、ステレオ写真が撮れることに気が付いたんです(5ページ図版・下図)。メーカーもこんな使い方知らなかったとびっくりしましたよ。メーカーに代わって宣伝しときましょう。おもちゃみたいなものだけど原理を学んだり、電子顕微鏡の分解能がいかに素晴らしいかを知るには手ごろな機械じゃないかと思えますね。僕はここへきた当座、レプリカばかりやってたからスーパースコープは大変役にたったんです。粘土鉱物の写真を撮ったり、いろんな事に使っていました(第3図)。

井上:スーパースコープで切片の写真を撮られたことはありますか？ 加速電圧が50kV固定なので、切片



第3図 粘土鉱物セピオライト(岩手・滝観洞産)の1段レプリカ。

が厚いと余りよく見えないという話を聞いたことがあります。

大久保：萩山原団研の論文に出したイモゴライトの切片写真はスーパースコープで撮ったものです。その頃ポーターのミクロトームを買ったもんだから、萩山原のピート中の材木も切ってみました。

〔レプリカをめぐる〕

井上：大久保先生、最初の頃随分レプリカに凝っておられましたけど。

大久保：僕は電顕始めた頃、東大病院の電顕室に通ってましたが、そのオペレーターの小森さんはレプリカがうまくてねえ、ミルクのレプリカまでとっていたんですよ。その人に教わったり、耳学問したことが多かったです。その当時はみんな2段レプリカでやりましたが、2段レプリカじゃ面白くないなあと思って、こっちへきてから、1段レプリカ、2段レプリカ、3段レプリカと3種類やってみたんです。2段レプリカだと、どうしても陰影が逆になる部分があるから、ちょっと不自然な感じを受けるんですね。

井上：色々レプリカで苦労されたとは思いますが、走査電顕が出来て、簡単にものの表面が見えるようになってきた今の時点でも、まだレプリカの持つ意義というのは残っているのでしょうか？

大久保：そりゃ多少はあるんじゃないですか。分解能はどうですか？ TEMとSEMとの分解能の問題は？

井上：最近ではSEMの分解能もぐっとよくなってきました。

大久保：そう。おたくには最高のSEMがあるんですね。レプリカはうちのSEMと比べたらはるかにシャープな像が撮れますからね。それにシュードレプリカっていうんですか、鉸物の薄いのが残っていると、その端っこを電子回折に使ったりしたこともありました。ものが分かってたから余興で回折像を撮ってたようなものですけども。あれも、ステージが動くわけだから、オリエンテーションを考えてやれば、まだやりがいがある仕事として残っていると思います。本当は硬組織の超薄切片でやればいいのかも知れないですけど。

井上：生物組織では、組織を凍らせて、凍らせた状態でレプリカを撮るといった凍結レプリカが昔からあるんです。昔は、大久保先生がされていたように一方向からのシャドウイングだったのですが、最近は回転蒸着をするようになってきたんです。そうするとものが本当に3次元的に見えて、しかも分解能もいいのです

から、私達のようにSEMの立体性を売りものにしてきたSEM屋にとっては、一種の脅威なんです。ですから、先生がお撮りになった珪藻の化石のレプリカなんかも回転蒸着をすると本当にきれいにいくんじゃないでしょうか。もうSEMなんて要らないやとっていたかも知れませんが。

大久保：なるほど。回転蒸着は考えつかなかったなあ。まあ、SEMもTEMも両方の長所を生かして使って行けばいいのではないのでしょうか。SEMの分解能がうんと上がらない限りは、まだまだレプリカが要るんじゃないかと単純に考えていましたけどね。

井上：SEMをやっている人はよくいうのですけども、レプリカは所詮ものの型にしか過ぎない、実体を見ていないじゃないかってね。SEMの場合だと、X線微小分析装置などを付ければ、形態を見ながらそこにどういふ元素が局在しているかを分析できるわけですね。その点ではレプリカに優っていると思っています。

〔腕足類の貝殻〕

大久保：僕が腕足類をみたというのは特別な必然性はないんです。もともとPaleozoicをやりましたが、PaleozoicではBrachiopodaが示準化石になることが多いんです。そういうことでブラキオの分類を知っていたことと、化石研ではモラスカをやっている人は多かったけど、ブラキオやっている人はいなかったもんだから、それをみてやろうというのがきっかけでした。標本はたくさんあったし、個体変異を調べていたものもあったから、それから始めたんです。

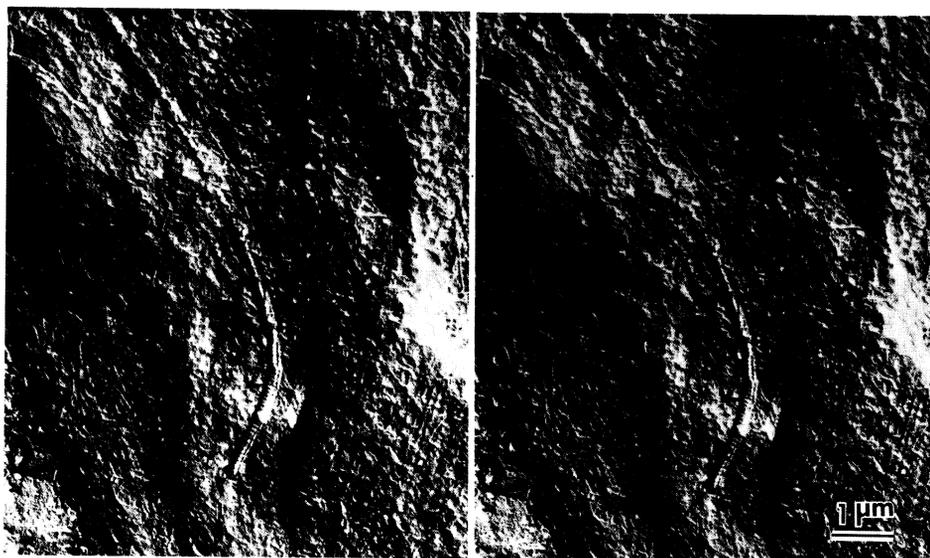
井上：ブラキオの殻の構造というのはどうなってるんですか。普通の二枚貝とは全然違うってんですか？

大久保：二枚貝にくらべて腕足貝はものすごく単純です。二枚貝のほうは一つ一つの構造が、非常に幾何学的でしょう。それにくらべたら、ブラキオのほうは構造が雑ですね。建築にたとえると安普請みたいです。内層と、薄い外層があるだけですから非常に単純です。化石研のモラスカの人たちが問題にした管状構造というのがブラキオにはあるんです(2ページ図版・下図)。すべてにあるわけじゃないんだけど、二枚貝にくらべれば太くて、その中に上皮細胞が入り込んできているんです。

井上：すると同じ管状構造といっても、*Glycymeris*なんかの場合は、上皮細胞が入っていかないですね。かなり違った意味あいものじゃないですか。

大久保：スケールがまるで違うんです。同じブラキオ

でもそれがあるものとないものがあるんです。それから、奇妙なことなんですけど、pseudo-punctate というタイプもあるんです。穴ではないんですけど、断面で乱れた構造を持つものがあるんです。それらの殻は calcite ですが、もう一つは, apatite をもった *Lingula* のグループがあ



第4図 *Lingula* の殻の中に含まれていたコラーゲンのステレオ写真。

ります (3 ページ図版・下図)。 *Lingula* というのは Cambrian の昔から出てくるんで、生物が最初に硬組織に使った鉱物が apatite であるという証拠にもなっているんですね。 *Lingula* の殻にも穴があいてるんですが、こちらの方はものすごく細かくて、二枚貝の管状構造に似てるんです。

井上: この場合は上皮細胞が入ってないんですね。

大久保: そう思います。 *Lingula* の場合は apatite と chitin の層が互層しているといわれていますからね。その互層の状態と穴が気になってやりかけたんですが未完成でした。

井上: 化石の場合は続成作用を受けて、内部の構造が変化すると思うのですが、化石の *Lingula* の場合もこの様な管状構造が残っているのですか？

大久保: そこでですね。問題は、そこで Tertiary と Silurian の *Lingula* を調べてみたんですけど、穴がなかったのか、みえないんです。 Silurian も今も外形はまったく変わらないので不可解です。

井上: その辺は化石の難しいところじゃないですかね。化石でないからといって、本当になかったともいえないし。

大久保: そうなんです。化石を扱うときはむづかしいけど、もっと根気よくやればよかったんです。化学分析のグループのほうは、hypro, collagen, apatite が密接な関係にあるとってましたからレプリカで collagen の写真を撮ってみました。現生の薄い殻を剥がしたり

してレプリカをとったんです (第4図)。

井上: 写真では、繊維状のコラーゲンがはっきりと認められますが、この様なコラーゲン線維が殻のあいだに入っているのですか？

大久保: そうだと思います。切片の方はマントルの部分です (3 ページ図版・上図)。コラーゲンのバンドのことだけど、どんなものでも周期は同じなんですか？

井上: コラーゲンは現在5つのタイプに分類されています。骨や歯牙に存在するようなコラーゲンは type I に属しているのですが、動物差だとか部位による形態の相違ということはまずないと思います。成長とともにコラーゲンの太さが増えるという人もいますが、基本的には、どんな動物でも、640 Å の縞模様をもってきます。コラーゲン線維は燐タングステン酸で染めると非常に細かい縞模様が見えるんですけど、いろんな染色法と生化学的な分析を組み合わせると、コラーゲンを追いかけてみると面白いと思いますね。

大久保: 僕は松江にきて、引続きブラキオをみようと思っていたんですけど、海岸に行っても、現在種が手に入らないし、化石でも、ぜんぜんブラキオがでないのがっかりしました。ブラキオの管状構造というのは、昔から外国では respiratory organ と書いてありましたね。

井上: 二枚貝の場合でも、あれは respiration に関係しているという説がありますね。

大久保：二枚貝の場合でも、管状構造をもっているのは原始的なものに多いというのでしょうか。化石の組織というのは脱灰すればバラバラになるのが多いですが、管状構造だけは煙突みたいに残るんです。

井上：上皮組織がはいっているということですが、それにもなって基底膜も伸びているはずですから、こういうものが残るのでしょうかね。ブラキオは先ほどいわれたように色々面白い問題があると思うんですけど、国内ではほとんどやっている人がいないですね。これは単に化石をやっている人口が少ないという理由でしょうか？

大久保：多分そうでしょう。ブラキオが化石として役にたつのは Paleozoic でも古い方ですから、やる人が少ないですね。

井上：日本のそのような地層からは、殻の残っている *Lingula* なんかは出てこないのでしょうか？

大久保：出ないです。calcareous のグループにもほとんど殻がないから残念ですね。

〔プロペラムシウム〕

井上：僕とプロペラムシウムの付き合いは、鳥取にきて一番最初に叩いた露頭からプロペラムシウムの新種を見つけたことに始まるんです。とにかく来たバスに乗って山に入ってやろうと思って、終点で降りたら、上地というところだったんですけど、その露頭で、これは何か出そうだということで叩いたら、プロペラムシウムが出でてきたんです。それから東京教育大の大森先生と記載の仕事なんかしていったんですけど、その間に右殻と左殻が形態的に異なることに気が付いたんです。そこで現在種はどうかと思って、じっくりみたら、まず殻の色がツキヒガイのように左右で異なっているんですね。米子にきてから、大久保先生のところで殻の微細構造を観察し始めると、これまた右の殻と左の殻で、微細構造が全く違っていたんですね。正直いってびっくりしたですね。

大久保：しかも内肋があるんでしょう。ブラキオだったらまん中に septum があるからどうとも思わないけれど、二枚貝に内肋があるっていうのはおもしろいですね。

井上：プロペラムシウムというのは、イタヤガイの仲間が一番祖先型だと思うんです。イタヤガイなんかの肋には、プロペラムシウムの内肋のような名残が認められる部分があるんです。

大久保：現在種は深いところに棲んでいるんですね。

そういう祖先型というか、古いタイプはだいたい深いところに棲んでいますね。だけど、今深いところにいるから、地質時代も深かったというわけにはいかないところが古生態の難しいところでしょう。あのときは現在種の貝殻を脱灰したりして、稜柱層の形なんかを見ましたね（9ページ図版）。

井上：僕は、殻の左右で、微細構造が異なるというのは、初めての発見じゃないかと思いましたね。このことを、新潟大学の小林先生に会ったときに話したことがあるんですが、そんなこと聞いたことがないけど、まあ、あってもいいんじゃないでしょうかとあっさりかわされました。

大久保：確かに二枚貝の常識に反しますね。

井上：殻の構造が違うということは、当然、mantle の構造も違うと思うんです。一度、生きたプロペラムシウムをつかまえてきて、mantle の様子を観察したかったですね。

〔固定・脱水〕

大久保：電顕を始めたのは微細構造から石灰化の問題だったのですが、僕自身がなかなか石灰化まで辿りつけないで、それだけが申し訳ないっていうか残念です。地質で電顕やることと、フィールドワークと両立させるというのは辛いですね。口でいうのは簡単だけど、両方やらなくちゃいかんと人にも言うし、自分でもそう思い込んでるけど、頭が切り替わらないんだなあ。ですから、固定というのも、生き物を使ってどうこうしたことがないから、ぴんとこないんですよ。化石でも固定しなくちゃならないですかね。

井上：固定というのは生物分野でも難しい問題なんです。現象的には蛋白などの高分子と高分子を結合させて、より安定な構造を作り出すことが固定なんですけど、一つの高分子を見るときに果して固定があるのかどうか、となるとこれがまた難しい問題なんです。化石の場合も同じだと思うんですけど、この場合は生体の中の蛋白が変性なり、続成作用なりを受けて、変化しているわけでしょう。しかし、一方では、化石の中からも多くのアミノ酸が検出されていますからね。このアミノ酸がどの程度のレベルまで細かくちぎれているのかということが問題なんでしょうけれども、化石からコンキオリンが実際検出されていますね。ですから、化石化しているといっても、まだそこには生体内高分子の一部が残存していると思わなくてはならないと思うのです。そういう事になりますと、化石の微細

形態を観察するときにも、固定は不可欠の手段であるような気がします。

大久保：僕は、固定というのはアクティビティを静止させることだと思っていました。有機質があるとはいえ、化石化したものに改めて固定しなくてはならないというのがよく分からないんです。僕は今まで固定というのはやったことがない。結果がどうであったかは分からないけれど。

井上：今まで、化石屋さんが扱ってきたコラーゲンというものは、比較的、硬い安定な蛋白なんです。ですから固定しようがしまいが、あの様なきれいな縞模様が見えるんです。その点、微細な糸層のようなコンキオリンがありますよね。ああいうのは、固定することによって、もっと実体に迫れる可能性があると思うんです。しかし、一方では、変な固定をしますと、有機質の高分子が凝集して beautiful artefact をつくる可能性がありますからね。この辺はもっと詰めなくてはならない問題が多いと思います。……話が前後しますが、いっしょに作った CPD (臨界点乾燥装置) に移りましょう。

大久保：作りましたね。あれもこの前のお別れ講演で話したですよ。まあ、予算節約というより、金がないから手製でという頭になるんですね。CPD はやっぱりドライアイスの方がいいんですか？

井上：ドライアイスも問題がないわけではないですが、壊れ易い試料なんかにはドライアイスがいいですね。炭酸ガスだと細かい試料はふっとんじゃうんですね。ドライアイスですとじわっと液状になってきますから、化石の脱灰標本なんかには適しているのではないのでしょうか。ドライアイスの臨界点乾燥法は、うちの田中教授が始めたんですけど、まだ一般には余り普及していないんです。全国的にも教えるぐらいしかないと思いますよ。チャンパーを冷やす必要もないし、非常に便利だと思うんですけどね。

大久保：そうですね。すごく調子いいですね。

井上：ただ一つ難点がありましてね。市販のドライアイスには普通多量の水分が入っているんです。水を入れないと、すぐ昇華してしまうそうで、工業的には、いかにしてドライアイスの中に水分を入れるかを各メーカーが競っているらしいんです。東京の方で売っているドライアイスは水が多くて使いものにならないという話を聞いています。うちでは、水の少ないメーカーのを選んで特別に取り寄せて使ってますけど、そちらの方の業界が進歩すればするほどドライアイス法は

使いにくくなるかも知れません。

大久保：松江はそういう心配はないみたいですよ。臨界点乾燥のとき、酢酸イソアミルで置き換えるというのは避けられないのですか？

井上：なぜ酢酸イソアミルを使うかといいますと、アミルと液状炭酸とはよく混じるわけですよ。それと、アミルはアルコールよりも蒸発しにくいので CPD の時空気乾燥を避けられるという利点があるんです。アミル程ではないですが、アルコールも液状炭酸と混じり合うことが出来るので、時と場合によっては、アミルを通さなくて試料を乾燥させることもあります。

大久保：技術的には当分臨界点乾燥法を越える乾燥法はないのでしょうか？

井上：いえ、あると思います。これは見直しを進めてるんですけど、凍結乾燥法というものがあるんです。昔の凍結乾燥は使いものにならなかったですけど、凍結を工夫することによって、かなり良い試料が出来るような気がしています。こちらの方だと試料を凍結するだけで、化学固定や脱水を省略できますから、壊れ易い試料なんかにはいいかも分かりません。これからどんどん試料作製法が進歩して行くでしょう。

大久保：僕らは機械に追われすぎているようです。試料作りが先にあって、これを見るためにはどういう機械が必要かという発想は出てこないみたいです。

井上：医学の世界では臨床やってる人たちは自分で試料作製法を開発せずに、こちらにおんぶして、こりゃいいとなるとすぐ自分のものにして応用するんですね。

大久保：医学というのはそういう進歩が早いようですね。いいとなるとワッと人が集まるでしょう。非常にそういう広がり方が速いですね。

井上：粘土鉱物やる人は電頭がなくっちゃだめなんですよ。地質の中で一番電頭を使ってるのは粘土鉱物やってるひとじゃないでしょうか。

大久保：そうかもしれません。

井上：いっぺん聞いてみたかったんですけど、切るのが大変でしょうが、granite とか limestone なんかの超薄切片を切った人はいるんですか？

大久保：聞いたことがないな。でも切れるんじゃないですか。apatite とか dentine とか切っていますからね。ただし、撮影のときにぐっと暗くしないと、アーテファクトが出るんじゃないですかね。

井上：その辺は試料を冷やしてみるとか、冷却ステージを使うとかすればなんとかなるんじゃないですか。

大久保：冷やすだけでは駄目ですね、わずかな経験ですが、液体窒素使ってその辺は完全にやっつつもりでも電子線によるダメージができましたから、感心して眺めていないで、さっさと写真撮ればよかったんでしょうね。limestone でもなんでも、まずみてやろうという気が大事なんじゃないかな。

井上：でもああいうのを切るときは躊躇しますね。

大久保：先ず頭にくるのは刃こぼれしたら大変、ということですね。だから切るのではなく、イオン研磨っていうんですか、あれで造岩鉱物を薄くしてみている人もいますよ。

井上：その様なイオンミリングが使えるんでしたら limestone なんかに脱灰して薄くしてみることも出来るんじゃないですか。

大久保：それも一法ですね。

井上：切るばかりが能じゃないということですね。

【コンキオリン】

井上：化石のコンキオリンというのはなかなか難しかったようですね。この前、手紙を整理してたら懐かしい手紙が出てきましたね、教育大の大森先生から頂いたものなんですけども、こちらで化石のコンキオリンをやってますと書いたら、大森先生も昔、本物かどうか随分苦労したもんですと、アーテファクトでない事をしっかりと確認しておいて下さいという内容だったんですけど。

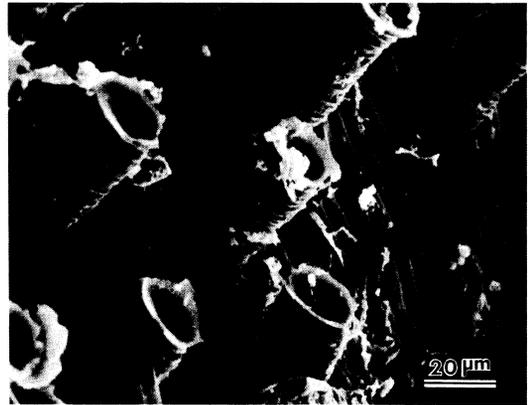
大久保：最初にコンキオリンといったのは、色々貝殻を化学分析してもどうしても残る有機質がある。それに対してコンキオリンという名前が付けられたときいています。

井上：それは形態を見て付けたのですか？

大久保：違うでしょうね、脱灰残渣でしょう。形態は見えないと思いますよ、1800年代ですから。

井上：そうすると、化学分析の結果から、残った有機質に対して付けられた名前なんですか。

大久保：だからブラキオもそうなんですけど、貝殻に有機質の何かがあることは分かっていたんだけど、どういう形のものかがわかるまでに半世紀以上かかっているということでしょうね。化石の場合、コンキオリンがどうなってるんかと思って、色んなことやったんですけど、何しろ壊れ易いから大変でした。ブラキオの貝殻を脱灰すると、穴の周りは残りやすいけどそのほかはほとんど飛んでしまうんです。SEM でみると煙突状に残るんだけど、あとは残らないんですね（第5



第5図 化石腕足類貝殻を脱灰して残った管状構造。

図)。そこで、途中で脱灰を止めるという方法を思い付いたんです。つまり多少とも支持組織が残った状態においたらどうなるかということを対象を変えてやってみました。たとえば、*Miogyopsina* の時も30分、1時間と脱灰時間を変えてやっただけです。でも、残りにくいものは何度やってもうまく残らない。非常に難しいですね。化石に近い現生種でみて行くのも一つの有力な立場ですけれども、化石に残ってるコンキオリンそのものがどういう状態で残ってるかがいつも頭の中がありました。化学分析のほうからはアミノ酸の値がつきつきに出てくるけれど、これを構造的に電顕でみたらどうかとなると、なかなかうまくいかない。焦りを感じました。CPDの手作りも、安上がりというだけでなく、化石の脱灰処理がし易いだろうと考えた側面があったわけです。なんとかSEMではっきりさせたいなあと高望みをしてたんですけど。

井上：その点SEMはいいですね。生物でもそうなんですけど、生化学的な分析が形態に先行するんですね。つまり形態屋というのはいつも後から追っかけていくんですね。先生の話を知っていると化石の方でも同じだなあと思いますね。

大久保：骨の脱灰はどのようにやるんですか？

井上：たいていはEDTAを使いますね。これまでは脱灰して鉱物成分を除去して有機物のみを見ていたのが、最近では鉱物と有機質との関係がどうなっているのかということに興味を持たれるようになってきているんです。このための特にうまい試料作製法というのはまだないようですが。

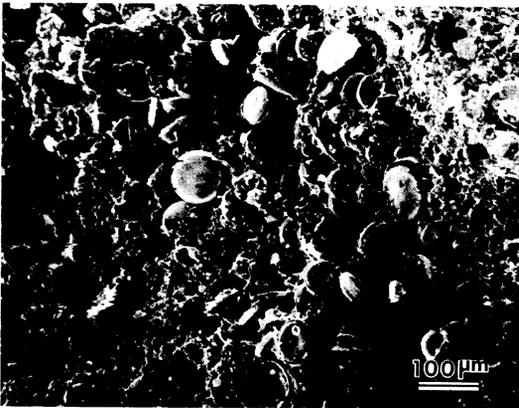
大久保：僕がやったみたいに、単純に一時間ほど脱灰して支持組織を残しておこうというのは駄目ですか？

井上：ちょっとでも脱灰操作を加えますと有機質の膜に接していた鉱物も駄目になりますからね。奥深いところではいいかも知れないですけど、表面では先ず、観察できないのではないのでしょうか。何しろ鉱物は有機質とびったりくっついていきますからね。

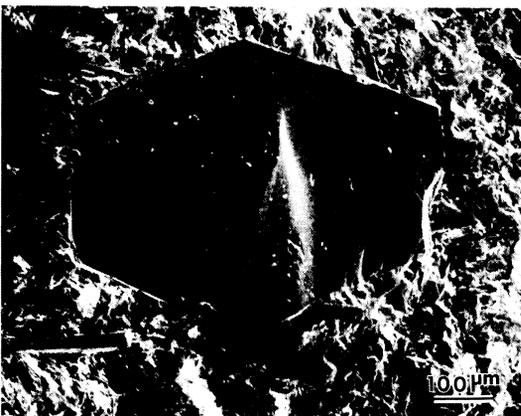
大久保：初めてレプリカでそういう事を考えたときは、鉱物のほうはEDTAで溶かす、有機質は何か酵素を使ってエッチングして両者を比較したらどうなるかということ考えたこともあるんです。片方の有機質をどうやったらエッチング出来るか、ということを生物学教室へ行って聞きかじりでやってみただけど、うまく行かなかったですね。

〔珪藻化石とステレオ写真〕

大久保：話は前後しますが、SEMが入った頃は面白くて、珪藻土（第6図）とか鉱物（第7図）とか、色んなものをみましたよ。本来の微細構造からはなれます



第6図 蒜山原珪藻土の表面。季節縞による殻径の大小の配列を示す。



第7図 浜田特産ネフェリンのSEM像。

が、僕は、地質試料を扱っていて微小化石が気になって仕方がなかったですね。はじめてSEMをみたときには、これで珪藻や花粉の分類体系が、あと5、6年もすれば変ると思ったんです（6ページ図版）。だけどその気配ないみたいですね。自分の見なれたものから抜けきらないんですかね。光学顕微鏡ではぼやっとしているのが、スーパースコープでさえ中の構造までびしっと見えるんですからね（5ページ図版）。その辺の違いをどうして考えないのかと不思議でしょうがないです。

井上：小さいものが出てきたら、こりゃ大変だという気持ちもあるんじゃないですか。

大久保：それともうひとつは、手段が代われば、分類体系を考え直さなければならないという大変さですね。ここの卒論で珪藻化石の電顕像と光顕像の比較をやりました。比較するまでが精いっぱい、それから先はついに出来なかったですけど、その頃、定量的に記載しなければと思って高さの測定を考えました。たとえば、珪藻のまん中のへこみはどれくらいかを、計算なり何なりして出さなければならない。それにはステレオ写真を使うのがいいと思ったんですけど、そういう事は医学の方では余りやらないんですか？

井上：日本では、あんまりやりませんね。SEMによる形態計測というのは外国ではもう随分前にやっているんです。ちょうど2枚の航空写真から等高線を書くように、二枚のステレオのSEM写真から図化器でもって試料表面の等高線を書いて、これにコンピューターを連動させて、ものの表面積や体積を求めようと思ったことがあったです。文献を調べてみると、随分前にされていてがっかりしたことがあります。この様な形態計測の仕事は、金属の腐食の方面でよくやられているようです。

大久保：そうですね。腐食の具合いを量的に測定するということですね。

井上：生物でも沢山使い道があると思うんですけどね。

大久保：僕は計算式は間違っていないと思うんですけど、実際に2点を測るのに、ノギスの先をどの点にもっていったらいいのが難題ですね。どうしてもそこに誤差が入ってきますよね。

井上：航空写真から山の高さを求めたりするときに視差を使いますね。どれくらいの精度があるんでしょう？SEMの写真でも視差を求めてやりかけたことがあるんですけど、正確に2点を測ると言うのは難しいですね。

大久保：航空写真でも、例えば段丘面のどのポイント

をとるかということがつきまとうんじゃないですか。それこそ針の先の1点ですからね。

井上: ああいう写真の場合は、畑の筋があったり、木があったりしますからね、SEM写真のように、のっぺりしたもんじゃないですから、点と点を結ぶのはSEM写真よりはやり易いのではないのでしょうか。

大久保: 僕は珪藻のまん中のへこみや膨らみを測った実例を出しましたが(12ページ図版・上図)、今までの光学顕微鏡だと精度的に不可能に近いわけですね。だから、それが可能なSEMをどうして使わないのかなあとと思います。微小化石の形態を記載するんだったら、そういう事も測定すべきじゃないかと思うんです。それにSEMで観察していると、時々珪殻の壊れたところがあって、篩管の表面だけ丸くて、一皮剥くと蜂の巣みたいな形をしていることもよくわかりますね。

井上: そういう点ではマイクロナビュレーターというのが面白いと思いますね。珪藻を観察しながら、珪藻の表面をちょっと剥してやると内部の構造が見えますから、こういうふうにして珪藻に記載をやるのもいいんじゃないですかね。

大久保: 細かい化石の記載にはそういうのもうんと使うべきなんでしょうね。化石屋もつとがんばらなきゃいけませんね。ミクロの観察といってもピンから切りまであるから。

【無蒸着による観察】

大久保: 鳥取大に限らないけれども、井上さんとこで、無蒸着というのを考え付いたのはどういうことですか？

井上: 今のうちの水準から行きますと、蒸着膜の厚さが邪魔になってきてるんです。ですから、なんとか蒸着することなしに観察できないかといってやってるんですけど、これは高倍率の話ですが、これとは逆に低倍率でも無蒸着観察が必要な場合があると思うんです。図版に写真を出しましたけど、WET-SEMという機械があるんです。この機械の原理は、試料室の真空を0.1-0.3 Torr位に保って、反射電子でもって、観察するんですけど、この機械を用いると、無蒸着で、しかも含水試料までも観察が可能なんです(14ページ図版)。

大久保: 加速電圧はずっと低いわけですか？

井上: いいえ、15kVです。もともとはオーストラリアのRobinsonという人が考えだしたんですけど、これを国内では明石製作所が製品化したんです。ある時、その会社へ行ってみると、この機械がありましてね、もともと、蒸着してもチャージアップを起こし易い繊維関

係なんかに売り込みを考えていたようなんですけど、なんか生物の方でも利用できないかと相談されましてね、それで色々考えて、使ってみると実に面白い機械でね。こりゃいいもんが出来たと思ったんです。とっさに思い付いたのが、無蒸着で観察できるという長所を地質の試料に応用できないかということだったんです。有孔虫なんかの微化石は、紙製のプレパラートに貼付けてあるでしょう。これを普通、SEMで観察するときはサンプルを取り出して、試料台に付けて、金属蒸着して見るわけですね。しかしこの様にすると貴重な試料が金ぴかになって、あとは使いものにならないわけですね。まして、タイプ標本なんか蒸着して観察するということが出来なかったわけです。ところが、この装置を使うと、蒸着することなく、また試料を損なうことなく観察できたわけです。

大久保: そりゃ貴重な方法ですね。台に止めるのはどうするのですか？

井上: 両面テープで止めます。プレパラート全体が試料室に入るものですから、有孔虫などのプレパラートをテープで止めて試料室に入れるだけでOKです。

大久保: それは有効ですね。以前、有孔虫を見ようとして金蒸着したことがあるんですが、厚過ぎて失敗したことがあります。その時にも蒸着したらもう元の凹凸とは違うんだからこの蒸着をなんとかしないといけないなと思ったですね。

井上: WET-SEMの場合は、水を含んでいるものも観察できるわけですから、例えばoil sandなんてものはそのまま入れて観察出来るんじゃないかと思うんです。油の粒がどの様な形をしているのか見た人はいないんじゃないですか。

大久保: そりゃ有利ですね。僕も今そう思ったんです。水のある所なんかどういふふうに写るの？

井上: 水そのものは見えないですね。面白いのはフィルムの膨潤の様子なんかも分かるんです。

大久保: 面白い機械ですね。そういうのができると試料の作り方の考えが変わりますね。そういう手段があるということになると、アルコール脱水なんか考えなくてもいいわけですね。鳥取大の80万倍の高分解能SEMですか、あれはどういうことを目的にやってるのですか？

井上: 今は免疫抗体なんかの生体の高分子を直接見てやろうということをやっています。

大久保: 電顕写真の倍率、僕、時々気になるんですけど、TEMと違ってSEMの倍率は必ずしも正確じゃな

いでしょう。その辺は許容範囲で、みんな許しているんですか？

井上：昔の電頭は Scann coil の振れ幅だけで読んでいたんですけど、今は、対物レンズの電流値も補正して読んでますから、殆ど問題にはならないと思うんです。確かに、試料台をセットする時だとか、試料の傾斜方向によって、すぐ 1 mm や 2 mm の誤差が出てきますが、補正していなくてもそう大きな誤差とはならないようです。大体メーカーの検査基準は 10% 以内とされていますが、実際は誤差は 5% 以内におさまっているとみていいようです。私達の教室では、何十万倍という写真を撮りまして、Å 単位の計算をすることがあるんですけど、TEM と比較しても遜色ない値が得られているようです。

大久保：そうですね。素晴らしい装置なりに、倍率のチェックも大変だろうなと思っていました。そういう時は標準試料を使ってやるんですか？

井上：いえ、標準試料は使いません。電流値と連動させた値を工場の方でチェックしてきているものですから。

大久保：工場のほうは何でチェックするんですか？

井上：SEM の分解能チェックというのはまたむづかしいんです。昔から一番よく使われてるのは磁気テープに金を蒸着してその割れ目を見るというものですけど、蒸着の条件によって色々割れ目が変わるようですし、余り当てにはならないんです。

【おわりに】

大久保：僕はつねづね考えてるんですが、実験をやる時にはまず、実験道というのがあると思うんです。器具や部屋の掃除から始まるような常識論ですが、実験室にもひどいのがありますからね。自分の使った器具類をそこらにほうりっぱなしにして帰るとかね。フィールド歩くときは、こうやって、ああやってと訓練をやるけれど、In door work のときは、あまりそういう訓練はやりませんね。こんな実験道（第 8 図）、井上さんどう思いますか？

井上：耳のいたいというか、眼がいたいというか、心にずきっと来ますね。

大久保：いや、僕だって自分の戒めとして壁に貼つけてるんです。そのひとつだけ、失敗を恐れなくて、ひらめいたことをすぐにやるということは大事だと思います。こうすればいいと思って、その辺の物ががさがさっと集めてやったときはうまくいっても、次にき

ちっと道具だけ揃えて整然とやってみると、全然うまくいかないというときがよくあるんじゃないですか。学生にはよくいってるんですけど、失敗を恐れなくて、実行することが大事なんだとね。

井上：確かに先ず実践という姿勢は大切だと思いますね。私の場合は、慎重過ぎる嫌いがあるのですが、とことん理論を詰めてから実験を始めるほうなんです。しかし、ひらめきというか、ある考えが浮かんで、これはいけると踏んだら、短期決戦でやってしまいますね。実験道でいうと、僕は常に最低 2 つはテーマを持つように心がけています。どっちつかずになることもあります。片方が失敗しても、もう一つがあるさという気持ちで仕事をしているんです。

大久保：なるほど。それと色々な実験をするとき時間的な制約があるし、手すきの時間も有効に使わなければならないし、色々ありますね。

井上：最後に化石写真集に寄せる夢と古生物学の近代化について伺いたいんですが。

大久保：化石研究会全体でみるともっといい写真がいっぱいあるでしょうから、そういうのを集めて、井上

室内実験の導道

- オ1. 同じ実験をくり返す⁺、1 度ですむように写真室にかかれ
- オ2. 失敗を恐れが何でもやるみよ。しかし同じ失敗をくり返す⁺
- オ3. 見よう見まねの勝ちな実験や操作をする⁺。巻貝・巻機使用の導法を守れ
- オ4. 時間の調整を考えよう。完了時刻の逆算をせよ
- オ5. 試薬・消磁石のムダ使いをさる⁺
- オ6. 汚染物質をたれ流す⁺
- オ7. 実験終了後は必ず元通りに片づけよ
使用器具の洗浄・機巻機の停止もどはさのつと実行せよ
- オ8. 各室の巻貝・機巻機の配置を自分勝手に乱す⁺ 部屋の規律を守れ

さん達でやって下さいよ。光学顕微鏡の写真も大事だと思うんです。いくらマイクロだからといっても電顕一辺倒というのは僕は行き過ぎだと思うんです。化石の場合はまだまだ光学顕微鏡の持っている意義は大きいですから。100倍オーダーの話、1,000倍オーダーの話、1万倍オーダーの話というふうに順番にやることでしょ。いま化石の場合は1万倍オーダーの話じゃないですかね。まだ10万倍の話というのは無理だと思うんですが、ゆくゆくはそういうふうになって行くでしょうし、それが出来ると化石に対する見る目が違ってくるんじゃないですか。地質時代と結び付いて、ミクロの構造という話が出てくるといいと思いますね。

井上：大森先生が「よみがえる化石」という本を出されていますけれど、化石をよみがえらせるにはどうしてもミクロの手法が大切ですね。

大久保：井尻さんが *in vitro* の実験で先鞭をつけられたけども、その後は僕なんか最たるもんだけど、仕事がなかなか進みにくい。いいわけがましいけど、地質の中では電顕ひと筋というわけにいかない事情もあります。つまり、地質図作りからはどうしても離れられないんですね。だけど、その難問は個人単位で考えるからであって、集団的な研究体制をつくる方向でしか解決しないでしょうね。でも、今は若い人達が化石研で新しい研究成果を出していますから前途洋々じゃないですか。それに「化石の研究法」の改訂もそろそろ話し始めていい頃でしょうし、技術的な改訂はむろん必要でしょうが、それと別冊で、現在の到達点がわかるような素晴らしい化石の写真集をつくってほしいです。