

微生物科学

1. 分類・代謝・細胞生理

柳田 友道

微生物科学

1. 分類・代謝・細胞生理

柳田 友道

学会出版センター

著者紹介

柳田 友道 (やなぎた・ともみち)

1940 年 東京大学医学部薬学科卒業

1940 年 海軍薬剤科士官

1945 年 東京大学理学部植物学教室

1953 年 千葉大学腐敗研究所(現生物活性研究所)教授

1962 年 東京大学応用微生物研究所教授

1975 年 富山大学薬学部教授

1979 年 富山医科薬科大学教授

1979 年 富山大学学長 現在に至る

微生物科学・1. 分類・代謝・細胞生理 定価 8,000 円

1980 年 3 月 20 日 初版発行

検 印
廃 止

著 者 柳 田 友 道

発 行 者 学 会 出 版 セ ン タ ー

印 刷 所 大 昭 和 印 刷 株 式 有 限 公 司

製 本 所 誠 製 本 株 式 有 限 公 司

発 行 所 株 式 有 限 公 司 学 会 出 版 セ ン タ ー

〒113 東京都文京区本郷 6-2-10

電話 03-814-2001 振替東京 6-71057

挿図・伊藤允三/製版・大森製版所/カバー, 口絵・平版印刷

書籍コード 01971-1104

はじめに

本書の刊行に当って、異例とは思いますが、まずはじめに、どうして筆者が微生物研究の道に入り、どのような経過で今日に至ったかについて申し述べることにし、筆者をこの道に誘われ、また育ててくださった諸先輩に感謝の気持を捧げるとともに、その記述によって本書の性格のアウトラインを布石の形で披露することとした。

大学卒業後直ちに海軍入りして薬剤科士官として奉職した筆者が、終戦3年前に海軍療品廠研究部で最初にめぐり会ったのが宮木高明博士（当時千葉大教授、故人）であった。博士は有機化学偏重だった当時の薬学界で、生物学（特に生物化学）の啓蒙に孤軍奮闘しておられたので、是非にとお願いして研究部の顧問役になっていただいた。その後、博士の御薫陶にあずかり、筆者は微生物を相手にすることに悦びを感じ、終戦を迎えたとき、微生物の分野で研究者として再出発することに決意したのである。

当時の筆者の微生物学に対する知識は全く幼稚なものであった。ちょうど「何々をやりたい」とよくいう今の学部学生の漠然とした希望のようなもので、ただ気持だけが先行していた。このときに、素晴らしいアドバイスをしてくれたのが筆者の実兄柳田友輔（当時第一高等学校生物学教授）であった。彼が言うには、当時わが国で微生物を対象に研究している研究者のなかで、「生きている感じ」を最も身につけているのは東大理学部植物学教室の田宮博教授である。その門をたたけというのであった。そのとき「生きている感じ」と言っただか「生き物」と言っただかはっきり覚えていないが、素人の筆者にわかりやすく、難しい言葉を使わずに教えてくれたこの言葉は、今から考えると、ただ微生物を使って何か研究したってだめだ、折角やるなら生物学全体を意識した微生物学の研究をやれということであったと思われる。なお、そのとき兄から、基礎もなく田宮教授の所へ行っても足手まといになるだろうから、その前に東大伝染病研究所（現在の医科学研究所）にいる梅沢浜夫博士の所へ行って、実験手技から微生物全般にわたって基礎から教わってこいと言われた。早速、梅沢博士と田宮先生の門をたたいて御快諾を得た筆者は、ようやく本格的に微生

物学入門への道を歩むことになった。

田宮先生はその頃、二足のわらじをはいておられた。一つは本郷の植物学教室、他は目白の徳川生物学研究所であって、当時本郷には高宮 篤（故人）、小倉保之、森 健志、藤茂 宏博士らの面々、目白には神谷宣郎、田崎一二博士らが頑張っておられて、ゼミに出席しても未熟者の筆者にはほとんどわからなかった。それもそのはず、光合成の研究に血道をあげておられた田宮先生を筆頭に、酵素のキネティクス、原形質流動、神経の電気生理等々、内容があまりにも多様であったのである。こんな研究環境に飛込んで、話が違うのではないかと思ひながらも、田宮先生からいただいたテーマにとり組んだ。そのテーマは細菌の増殖に及ぼす薬物の影響を酵素のキネティクスに準じて解析するというもので、少しずつ研究が進むにつれて、はじめ話が違うと感じていた田宮グループの研究環境の貴重さが次第にわかるようになってきた。以前、兄が指摘した生物の「生きている感じ」というのは、こういうことなのかという実感が湧いてきた。また、どこまでも喰いついてゆくという完全主義的研究態度、生物学では特に遅れていた解析的研究態度について、田宮先生はじめ多くの先輩、同僚から学ぶことができた。また、論文を書くたびに田宮先生から糞味噌に叱られ叱られ過ぎて来た。こうして本郷で7年間もみにもまれて、千葉大学腐敗研究所（現在の生物活性研究所）に移り、いよいよ一本立ちの研究生活に入った。

その頃、田宮先生はよく、“研究するなら important なことをやれよ”と諭された。何が important なのかについては、本人の選択にまかされていたのである。

生物学の研究分野をみると、生物材料を中心とした見方と、生物現象を中心とした見方とがある。筆者は迷わずに後者を選択した。それもそのはずで、正規の生物学コースをとっていない筆者にとっては、分類学的な分野は最もなじみにくかったからである。そして、筆者が微生物細胞の成長・増殖の問題を選択した動機になったのは、当時田宮先生が緑藻 *Chlorella* の同調培養を完成されて大いに気をはいておられ、またその大量培養にも傾倒されておられたことであった。

筆者は細菌の同調培養や菌類の菌糸の先端成長の問題に興味をもち、同志を糾合して仕事にとりかかった、同志の中の異色は丸山洋一博士（現東京都立大学教授）であった。博士は東大工学部造兵学科を卒業し、戦時中は戦闘機に搭載する機関銃の設計をしていたという異材で、戦後志すところあって東大植物

学教室に入学し直したという人物である。筆者は丸山博士を得て、自分の最も不得手とする統計的な見方や、いわゆる生物物理学的（当時は未だこの言葉は生れていなかった）な物の考え方を親しく教わることができた。

そのうち機会を得て、テキサス大学の J.W. Foster 教授（故人）のもとに留学した。同教授は微生物化学者であり、戦後のわが国における抗生物質発酵技術の育ての親であることは、人のよく知るところである。その研究室で菌類に関する知見を充分仕入れるつもりで出かけた筆者は、そこでカビの胞子の発芽の研究のスタートを切った。

微生物細胞の成長、増殖、老化、あるいは形態形成の研究を進めている間に、問題はいろいろな方向に波及していった。そしてその都度、関連分野の現状把握につとめるのに追われた。また、微生物を扱っている間に、当面する問題点がはたしてその微生物に特有なものか、それとも生物界全般にわたって普遍的なものかの判断は重要なことであった。そのためには、高等生物細胞の成長や形態形成のことも勉強せねばならなかった。こうして自分の研究の位置づけもできるようになった。

筆者の研究の過程において、微生物学の世界では微生物遺伝学を中心とした分子生物学の発展はめざましいものがあつた。筆者自身、いつの間にかそれに乗り遅れていることを感じた。時流に乗るというのは好むところではなかったが、遺伝生化学という研究方法は、在来の単に生理生化学的な研究方法だけではうやむやのままに終わってしまうことも、かなりははっきりと解決への道を拓くものとして高く評価されてきた。しかも、この武器は微生物研究者にとっての特権のようなものであることが、筆者にも年とともに身にしみてわかってきた。千葉大学での 10 年を経て、東大応用微生物研究所へ移ってから、微生物遺伝学の刺激が強烈に身近かに迫ってきた。そこで筆者の研究室に助教授として迎えたのが石川辰夫博士であつた。博士は菌類遺伝学を深く専攻して来た方だったので、共々勉強させていただいたが、筆者の力足りず、はじめの遅れをとり戻せないままに停年を迎えてしまった。

応用微生物研究所で後年筆者に影響を与えてくださったのは、同研究所の植村定治郎教授（故人）と先生の主宰された微生物生態研究グループの方々であつた。筆者はそれまで純粋培養した微生物の成長・増殖・形態形成などにとり組んできたが、自然界に生活する微生物に目をみひらかせてくださったのが、そのグループであつた。このグループには植村先生のような発酵微生物学者あ

り、土壌微生物学者あり、ルーメン微生物学者ありといった具合で、彼らはそれぞれの分野で、難しい研究対象にとり組む人達であった。筆者はこれらの方々の影響で、東大停年前から、貧栄養環境に棲息する水界の細菌ならびに赤潮現象に興味をもち、富山大学に移ってからでもそれを続けることができた。そして、これまでの成長・増殖の研究の経験を生かしながら、この新しい研究にとり組んでいる間に、それまでに微生物分類学に関心のなかった筆者は、自分の分類学の弱さをかこつ憂目をしみじみと味わわされた。もし分類学的基礎ができていさえすれば、もっと大きなことが言えるのにと考えたことも少なからずあった。

筆者はこうして、若き時代に微生物学に誘われ、微生物の生き様にじかに接しつつ、多くの諸先輩や同僚、後輩の方々に教えられながら、ここまで何とかたどりついた。東大の停年を控えた頃、これまでの経験を踏まえて、自分の手で何とかものしてみようと、無暴にも微生物学書の著作を計画した。この種の成書の多くは編集書である。編集では、いくら頑張ってみても、編者の経験や個性をにじみ出させることはできない。広範な分野を自分独りでこなせば、誤りも出てくるかもしれない。しかし、その点は事前に識者の目を通すことでカバーすることとし、それよりも自身の体験をもとにした、個性のある、できるだけユニークな本を世に出したいという気持一杯で書きはじめた。

筆者にとって、微生物学を網羅することの難しさは、特に次の2つの点で感じた。第1点は、複雑にして多岐にわたる微生物独得の代謝の面であり、第2点は日進月歩の遺伝学の面であった。第1点のはじめに自力で書いてみたが、いかにも自信がなかったので、畏友日野精一教授(広島大学理学部生物学教室)に原稿を見ていただき、抜本的に改訂していただいた。また、第2点に至っては遂に手も足も出ず、全面的に石川辰夫教授、斎藤日向教授(東大応用微生物研究所)の手をわずらわせることとなった。

さて、本書は次のような内容で構成されている。まず、本書でとり扱う微生物は、原核細胞微生物として細菌と藍藻、真核細胞微生物として菌類、藻類(葉状藻類を除く)、原生動物とした。全般的に微生物を対象として種々の生物現象を広くとり扱うが、できるだけ高等生物との比較において見つめることとし、微生物に独得のものは、それを特に強調したつもりである。筋書としては、第I章の序章では、まず、「はじめに微生物ありき」という立場に立って、地球の形成過程における微生物の大きな役割を強調したあと、そのような微生物を

対象とした学問——微生物学——の発展過程や研究方法論について述べた。第 II 章の分類学では、分類方法論に重点をおき、各論は簡単に表を中心に説明することとした。第 III 章に代謝生化学をとりあげたが、ここでは一般的に生物界に共通した生化学的問題は除外して成書にゆずることとし、微生物特有の代謝を中心に述べた。これに続いて、IV 章から X 章までに、IV, 細胞生理化学では細胞の構造と機能について述べ、さらに; V, 細胞の成長; VI, 細胞集団の増殖; VII, 細胞集団の増殖阻害と死滅; VIII, 形態形成; IX, 生態; X, 遺伝と進化、の順で解説を進めていった。出版の都合上、I-IV, V-VIII, IX-X をそれぞれ 1, 2, 3 巻にまとめることとした。

巻頭には微生物学として重要な写真や電子顕微鏡写真を集め、また各章扉にはその章に関係の深い内外の代表的微生物学者の面影を紹介することにした。これらに協力された多くの先生方には心からお礼申上げる次第である。また、本文そのものも多くの参考書、総説、原著を読ませていただき、自分に理解できる範囲で解説を試みた。これらの参考文献は各表題下に脚註として示したが、それらの著者の先生方には満腔の謝意を表したい。これらの参考文献なしに本書の著作はあり得なかったのである。そして、原稿の一部は西 荒介教授（富山医科薬科大学教授）に校閲をお願いした。ここに改めて謝意を表明する。

筆者はいまこの拙文のペンをおくに当り、この書物を読まれた方の少しでも多くが、微生物の面白さにひかれて、自ら試験管を握る気になってくれないかと祈る気持でいる。そして、微生物学者の人口がせめて諸外国並に増大してくれば、望外の喜びである。近代生物科学の歴史は、微生物学がその発展の先導役を果たしたことを物語っている。今後とも微生物を科学する努力は生物科学発展の原動力になるものと信じている。

1980 年 1 月

柳 田 友 道

写 真 解 説

共通の略号：

CHL, 葉緑体 CHR, 染色体 CM, 細胞膜 CW, 細胞壁 ER, 小胞体
M, ミトコンドリア N, 核 NE, 核膜 NL, 核小体 V, 液胞

その他特別なものは各個に示した。写真説明の最後のアンダーライン上の数字（例，10 μ m）は写真中のバーの長さを示す。

写真 1 グラム陽性球菌 *Streptococcus pyogenes* 細胞の走査電子顕微鏡写真。細胞分裂は常に平行面で行われる。各細胞にみられる帯状構造については V-3 参照。 1 μ m. (天児和暢博士原図)

写真 2 *Streptococcus pyogenes* 細胞の超薄切片像。写真 1 にみられる帯状構造の部分には、隔壁の求心的成長がはさまっている。細胞中心部に核領域がみられる。 200 nm. (小池聖淳博士原図)

写真 3, 4 グラム陰性桿菌 *Escherichia coli* 細胞の超薄切片像。写真 3 のように通常の培養条件ではメソゾームはみられない。細胞中心部に拡がった繊維状の核領域に注目。 500 nm. 写真 4 は細胞壁の拡大図であるが、グラム陽性菌と比べると著しく相違する。最外部に波状の外膜(O)が存在し、ペプチドグリカン層(Pg)は薄い。ペリプラスマ(Pp)は幅広い。(小池聖淳博士原図)

写真 5, 6 グラム陽性桿菌 *Bacillus subtilis* 細胞の超薄切片像。写真 5 では細胞中央部に隔壁形成が進行しており、その周辺にメソゾーム(M)が存在していて、隔壁(S)の求心的成長が進んでいる。 500 nm. 写真 6 は細胞壁を拡大したもので、厚いペプチドグリカン層がみられ、外膜はなく、明瞭な荚膜(Cp)が存在している。ペリプラスマは狭い。(小池聖淳博士原図)

写真 7-10 種々の細菌のメソゾームを種々の電子顕微鏡技術で観察した写真。写真 7 と 8 は *Listeria monocytogenes* の超薄切片像で、写真 7 は内部に蜂の巣状構造をもつ嚢状メソゾームであり (100 nm)、写真 8 は 2 重膜の細胞膜が細胞内に陥入して層状をとったものである (100 nm)。メソゾームは固定液のイオン強度が低いと層状を呈し、高いと嚢状を呈するといわれるが、切断方向によっても形状は異なる。写真 7, 8 ではメソゾームが核領域と接しているのがわかる。写真 9 は *Clostridium botulinum* 細胞をネガティブ染色した場合の電子顕微鏡写真であり、重金属塩がメソゾーム内に浸透するため電子密度の高い渦巻状小管状構造として観察される。 500 nm. 写真 10 は *Lactobacillus fermenti* のフリーズエッチング像であり、ラメラ(層)状の円形メソゾームが上部

に 2 個，中央に 1 個みられる。100 nm. (川田十三夫博士原図)

写真 11 マイコプラズマの一種 *Acholeplasma laidlawii* の超薄切片像。様々な形態をとっており，細胞壁を欠如している。細胞中央部の白い部分が核領域（その中心にみえる密度の高い部分は固定操作上できた DNA 凝集体と考えられる）。500 nm. (土居養二博士原図)

写真 12 鶏卵卵黄嚢内に増殖した *Rickettsia prowazekii* (発疹チフス病原菌) の超薄切片像。最外層に莢膜様構造 (CL) が存在し，薄いグラム陰性菌類似の細胞壁をもっている。細胞内には細胞内膜系 (IM) がみられるが，これは細胞膜の陥入してできた袋と考えられている。(Anacker ら, 1967)

写真 13 哺乳動物組織培養細胞の液胞内に増殖した *Chlamydia psittaci* (オウム病原菌) 細胞の超薄切片像。クラミジアは増殖の過程において著しい形態変化を示す (V-2 参照) が，この写真は感染初期に出現する感染性小体 (elementary body) の形態を示す。細胞壁の存在がみられる。200 nm. (Anderson ら, 1965)

写真 14 ファージ T₄ (表 II. 12, p. 85) の白金-カーボン蔭付け法による電子顕微鏡写真。撮影フィルムから陽画をつくると蔭の部分 (白金-カーボン蒸気のかからなかった部分) は白くみえる。ファージの尾部繊維もみられている。図 II. 9 (p. 83) 参照。(小池聖淳博士原図)

写真 15 ファージ T₄ と同様の形態をもつファージ T₂ のネガティブ染色像。頭部基部の様 (カラー)，鞘の部分の横縞模様，スパイク，繊維などがみられる。図 II. 9 (p. 83) 参照。100 nm. (天児和暢博士原図)

写真 16 繊維状ファージ fd が *Escherichia coli* の細胞から放出されつつあるところの走査電子顕微鏡写真。この場合，他のファージと異なり，宿主細胞は破壊されない点に注目されたい。500 nm. (天児和暢博士原図)

写真 17, 18 Adenovirus (アデノウイルス) 5 型 (表 II. 12, p. 84) の電子顕微鏡写真。写真 17 は超薄切片像で HeLa 細胞内で増殖して結晶状配列をしている像。1 μ m. 写真 18 はケイタングステン酸でネガティブ染色したウイルス粒子像。正二十面体 (図 II. 9A, p. 83) のベントンから細い繊維 (写真中細くみえる) が突出している点に注目。50 nm. (永山在明博士原図)

写真 19 Tobamovirus (タバコモザイクウイルス) の電子顕微鏡写真。A は精製ウイルス粒子のネガティブ染色像。蛋白質の円筒内に RNA が存在する (図 II. 9B)。50 nm. B はタバコの葉肉細胞内に多数のウイルスが並列して集積しているのを示す超薄切片像。写真右上にはクロロプラストがみえる。1 μ m. (松井千秋博士原図)

写真 20 *Escherichia coli* K 12 JE 1031 (Hfr H 株) の白金-金合金蔭付け電子顕微鏡写真。この細胞には，予め F 線毛にのみ特異的に感染する RNA ファージ MS2 を感染させてある。従って，細胞周辺にみられる比較的長い鞭毛 (Fla, ファージ粒子は吸着

していない)とF線毛(F,多数の粒子が吸着している)との区別ができ、そのほかに多数の細く短いI型線毛(I)がみられる。(友枝宗光博士原図)

写真 21 *Escherichia coli* K12 株の Hfr C Pil⁺ 株 (高頻度接合型で線毛をも有する雄株, *m*) と F⁻ Pil⁻ 株 (F 因子欠損, F, I 線毛欠損雌株, *f*) とが F 線毛を介して接合している電子顕微鏡写真(ネガティブ染色像)。この場合も F 線毛は RNA フェージに感染させてあり, I 型線毛と区別されている。(橋本 一博士原図)

写真 22 *Escherichia coli* をスフェロプラストにした後, 中性洗剤で処理して細胞を緩やかに破壊して, 電子顕微鏡写真をとったもの。中央の黒い部分は DNA の付着している膜部分, DNA 繊維はスーパーコイルを形成している模様がよくわかる。1 μm 。(De-lius と Worcel, 1973)

写真 23 口腔内に棲息する大型 *Spirochaeta* 細胞の断面の超薄切片像。外鞘は濃い3層から成り, 多数の軸糸(F)および細胞膜(CM)がみられる。PCは円筒状原形質。100 nm。(Listgarten と Socransky, 1964)

写真 24 硫化水素含有泥から分離された *Spirochaeta zuelzeri* のネガティブ染色細胞像。細胞は外鞘(OS)に包まれており, その内側に細胞両端から中央に向かって2本ずつの軸糸(F)が走っている。PCは円筒状原形質を示す。500 nm。(Joseph と Canale-Parola, 1972)

写真 25 有柄光合成細菌 *Rhodospirillum* Rm 5 株の超薄切片像。一端に柄があり, 細胞質の周縁は, 数枚の重層膜から成るクロマトフォアで囲まれている。(Whittenberg と Dow, 1977)

写真 26 光合成細菌 Chromatiaceae (表 II. 10, p. 76) に属する *Ectothiorhodospira mobilis* の超薄切片像。細胞内に多層状をなして著しく発達した膜系は細胞膜と連続しており, バクテリオクロフィルやカロチノイドを含有する。本菌は H₂S 存在下に光合成を行う。(Remsen ら, 1974)

写真 27 光合成細菌 *Rhodospirillum rubrum* (表 II. 10, p. 76) の超薄切片像。細胞内には周辺近くに小胞状クロマトフォア (p. 332) が存在する。細胞内に貯蔵物質の顆粒がみられる。細胞壁はグラム陰性菌独特の形態を示す。(Drews と Ladwig, 1974)

写真 28 藍藻 Nostocales のユレモ *Oscillatoria redekei* (表 II. 19, p. 97) の超薄切片像。細胞は連続して糸状をなしているが, その細胞の隔壁部をはさんで両側にガス胞 (Gv, p. 473) の存在するのがみられる。また, 顆粒構造物 (Pg) も存在する。(Whitton と Peat, 1969)

写真 29 化学合成細菌である硝化細菌 *Nitrosocystis oceanus* の超薄切片像。細胞内に特徴的な平板状重層膜が存在するとともに, 多数の顆粒がみられる。多くの硝化細菌 (亜硝酸細菌および硝酸細菌, 表 III. 7, p. 148) には, この種の重層膜のないもの, 細胞周縁に重層膜のあるもの, あるいは管状膜構造をもつものなどがあり, 本菌における

重層膜の機能はわかっていない。500 nm. (Watson と Mandel, 1971)

写真 30 化学合成細菌である無色硫黄細菌 *Thiobacillus neapolitanus* (表 III. 7, p. 148) の超薄切片像。細胞内に多面体のカルボキシゾーム (C, p. 340) が多数存在している。100 nm. (Shively ら, 1973)

写真 31 藍藻 *Anabaena variabilis* の細胞の超薄切片像。表層は外側から、粘質繊維 (SHF), 4 層の細胞壁 (LIV-LI, p. 262) から成り、その内側に細胞膜 (PL) がある。細胞質内には核質 (NP), チラコイド膜 (TH, p. 333), シアノフィチン顆粒 (CG, p. 433), カルボキシゾームに相当する多面体 (PB), リボゾーム (R), 脂質顆粒 (LD) などがみられる。(Leak, 1967)

写真 32 藍藻 *Synechococcus lividus* の細胞の超薄切片像。細胞質周辺部にはチラコイドが存在し、その膜上にフィコビリゾーム (p. 334) が多数並列している。t は粒子の並列方向に対して横断方向、l は並行方向の断面。(Edwards と Gantt, 1971)

写真 33 酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の超薄切片像。細胞内部の固定、電子染色を充分に行って、細胞質内部の構造を鮮明にさせるため、厚くて硬い細胞壁を、予め細胞壁溶解酵素により大部分除去処理してある。出芽中であり、上方部位に出芽痕 (BS, 写真 34, 35 参照) の残部が存在する。核膜上にはブラック状の核付随体 (NAO) が存在し、核内には密度の高い核小体が見られる。核に接して密度の高い液胞 (DB) がみられ、また密度の低い液胞もあり、ミトコンドリアも周辺に多数みられる。1 μm . (田中健治博士原図)

写真 34 酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の走査電子顕微鏡写真。出芽中の細胞もみられるが、出芽娘細胞が分離したあとには出芽痕 (矢印) が残る。1 μm . (大隅正子博士原図)

写真 35 酵母細胞を蛍光色素 (ブライトナーまたはプリムリン) で染色した後、蛍光顕微鏡で観察した写真。A: 多極性出芽 (細胞壁の各所から出芽が起る場合) を行う *Saccharomyces cerevisiae* で、出芽痕のないもの (母細胞から出芽したばかりの娘細胞), 1 ないし多数個あるもの (1 回ないし何回も出芽分裂をした母細胞) がある。(田中健治博士原図) B: 2 極性出芽 (細胞壁の同一場所から何代にもわたって出芽する場合) を行う *Schizosaccharomyces pombe* の出芽痕。縞のように並列しているのがみえる。細胞の長径 11 μm . (Streiblová と Beran, 1963)

写真 36 酵母 *Candida rugosa* のフリーズエッチング像。写真中央部の核の表面には多数の核膜環紋がみえる。核の左上は液胞であり、その左には破壊されたため楕円構造のみ見えるミトコンドリアがある。1 μm . (田中健治博士原図)

写真 37 *Aspergillus oryzae* の成長菌糸の位相差顕微鏡像。先端部と後部とでは細胞内小器官の配置が異なる点に注目。特に白く光る液胞は後部にゆくほど発達している。10 μm . (田中健治博士原図)

写真 38-40 *Aspergillus niger* の栄養菌糸の超薄切片像。写真 38 は先端部。多数の先端小胞 (AP) が先端部に集り、そこにはミトコンドリアほか小器官はほとんど存在しない。1 μm 。写真 39 は次端部。核、ミトコンドリア、その他の小器官が発達し、先端に移動すると考えられる小さな液胞の形成がみられる。1 μm 。写真 40 は後端に近い部分。液胞の発達が顕著で、細胞礎質の密度も低い。1 μm 。(田中健治博士原図)

写真 41 担子菌 *Coprinus macrorhizus* (ウシグソヒトヨタケ) の菌糸隔壁部の超薄切片像。隔壁 (S) の中央部にはドリポア (D) とバレンテゾーム (P) から成る複雑な構造 (p. 278) がみられる。細胞膜が陥入してできたロマゾーム (*L_r* p. 345) もある。1 μm 。(田中健治博士原図)

写真 42-47 有殻微細藻類の表層構造を示す走査電子顕微鏡写真。写真 42 は渦鞭毛藻 *Heterocapsa triquetra*。殻は平滑、細胞の長径 20 μm 。写真 43 は渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii*。細胞上面は漏斗状、細胞の長径 70 μm 。(以上、原慶明博士原図)

写真 44 は円心目珪藻 *Coscinotiscus* sp. 細胞の直径 45 μm 。写真 45 は円心目珪藻 *Skeletonema costatum*。細胞の幅 15 μm 。(以上、著者原図) 写真 46, 47 は黄金藻植物のうろこをもったハプト藻の走査電子顕微鏡写真。写真 46 は *Cyclococcolithus leptoporus*。細胞の直径 18 μm 。写真 47 は *Syracosphaera mediterranea*。細胞の直径 13 μm 。(Gaarder, 1973)

写真 48 渦鞭毛藻 *Prorocentrum micans* の超薄切片像。核を中心に示した。核膜 (NM) に囲まれた核内に多数の染色体 (DNA 繊維の特徴的なアーチ状折たたみ構造に注目) が存在し、周辺には葉緑体もみられる。細胞の上下 35 μm 。(原慶明博士原図)

写真 49 *Euglena granulata* の超薄切片像。中心の核内には多数の染色体 (密度大) が存在し、核の後方に葉緑体その他多数の顆粒構造がみられる。先端部 (上部) には鞭毛溝がある (図 IV. 70, p. 363)。細胞の長さ 30 μm 。(Walne と Arnott, 1967)

写真 50 *Euglena granulata* の細胞表層に存在する外皮線条 (図 IV. 36A-C, p. 297) の横断面の超薄切片像。G, 溝; M, 粘液胞; R, 背脈。(Walne と Arnott, 1967)

写真 51 中心目珪藻 *Melosira* (図 IV. 33B 5, p. 293) の超薄切片像。珪酸質の被殻に囲まれ、周辺に葉緑体、右側に核が存在し、中央の大部分は液胞によって占められている (図 IV. 33, p. 293)。細胞の長径 27 μm 。(Crawford, 1973)

写真 52 緑藻 *Chlorella ellipsoidea* の超薄切片像。左半分はピレノイド (PY) と澱粉粒を含む葉緑体で占められ、チラコイド (TH) もみられる。核の上部にジクチオゾーム (G)、また上部中央に密度の高いポリリン酸 (P) を含むと考えられる液胞がみられる。1 μm 。(村上 悟博士原図)

写真 53, 54 鞭毛藻類の鞭毛の藍付け電子顕微鏡像。写真 53 は黄金褐色藻 *Synura*

の鞭毛で、幹となる鞭毛から毛様のマスチゴネマ (p. 361) が出て、さらにその先から細い繊維が出ている (図 IV. 68D, p. 360 参照)。写真 54 はユーグレナ植物の *Trachelomonas* の鞭毛で、細い毛様のマスチゴネマが先端以外は主に片側のみに存在している。(Dodge, 1973 より)

写真 55-59 種々の藻類の葉緑体の微細構造を示す超薄切片像。写真 55 は微細紅藻 *Porphyridium cruentum* (チノリモ) の葉緑体の一部で、一重のチラコイドがみられ、疎質内 (チラコイドの間) には明瞭ではないがフィコビリゾームがある。左側の密度のやや高い部分はピレノイド。写真 56 は緑藻 *Cladophora* の葉緑体の一部で、チラコイドが所々で 2-3 枚重なっている。写真右側に 2 枚の膜からできた葉緑体膜がチラコイドに沿って縦に走っている。その外側にミトコンドリアがある。写真 57 は緑藻 *Chara* (ジャジクモ) の葉緑体の全容で、多数のチラコイドが重層して、高等植物細胞にみられるようなグラナ (p. 335) を形成している。写真 58 は黄金褐色藻 *Ochromonas* の葉緑体のピレノイドで、澱粉粒は葉緑体膜の外側にある (図 IV. 54D, p. 336)。写真 59 は黄金褐色藻 *Dinobryon* の葉緑体先端に存在する眼点 (p. 337, p. 481) を示す。密度の高い多数の球状粒子より成り、カロチノイドを含有する。これは細胞先端の鞭毛溝の内側に存在し、溝の内部に鞭毛 (F) の断面がみられる。(以上, Dodge, 1973 より)

写真 60 緑藻デスミド *Micrasterias crux melitensis* のジクチオゾームのフリーズフラクチャー像。ジクチオゾーム形成面の扁平囊 (C) 周辺部に小胞体 (ER) 由来の 1 次小胞 (PV) がある。成熟扁平囊周辺部は膨潤し、小胞 (分泌小胞) が形成されている。200nm. (野口哲士博士原図)

写真 61-63 種々の下等真核微生物の特殊な核膜構造を示す超薄切片像。写真 61 は渦鞭毛藻 *Gymnodinium fuscum* の核膜の小部分の断面 (核はその右側、繊維状の密度の高い染色体が右上にみえる)。膜の内側に多孔性の膜が裏打ちされていて、外側の膜に孔はない。(Dodge, 1973) 写真 62 は渦鞭毛藻 *Noctiluca scintillans* (夜光虫, 図 IV. 68, p. 360) の核膜で、1 枚の膜 (環紋なし) の裏側に多数の小胞が並び、その一部は外側の膜と融合し、そのあと小胞の外側が開放する像がみえている。核膜内には多数の染色体がみられる。(Afzelius, 1963) 写真 63 は *Amoeba proteus* の核の一部で、核膜 (NM) の下に蜂の巣状の構造 (HC) があり、核の左側ではその縦断面が、右側ではその横断面がみられる。核内にはいくつかの核小体がある。1 μm . (Daniels, 1967)

写真 64 超鞭毛虫 *Trichonympha acuta* の光学顕微鏡写真。細胞先端 (右側) にはキャップ構造があり、鞭毛は細胞前半部から出ている。細胞内前部にある円形の核の周囲を副基体 (図 IV. 77C, p. 375 参照) が囲んでいる。細胞内後部 (左半分) には貪食された木片が多数存在する。細胞の長径約 0.2 mm. (Cleveland, 1962)

写真 65 *Amoeba proteus* (図 IV. 133, p. 471) の光学顕微鏡写真。右側に向ってアメーバ運動中のものを上部から観察した。右端に透明冠状体、左端にウロイド、中心部

進行方向に沿って内質ゾル、その周囲に外質ゲルがみられる。細胞の全長約 500 μm 。(石井圭一博士原図)

写真 66-69 種々の有孔虫の殻の立体走査光学顕微鏡写真。大きさ、形態に著しい相違のある点に注目。写真 66 は *Rotaliella heterocaryotica* の下面。細胞の横幅 43 μm 。写真 67 は *Globigerinoides sacculifer* の側面。細胞の横幅 410 μm 。写真 68, 69 は *Tretomphalus bulloides* で、写真 68 は上部に浮室をもつガモント（有性親）の細胞殻（細胞の横幅 480 μm ）、写真 69 はアガモント（無性親）の細胞殻上面（細胞の横幅約 630 μm ）。(Grell, 1973)

写真 70 有孔虫 *Globigerina bulloides* の生態写真。根状仮足 (p. 380) が八方に伸びている。×270。(Grell, 1973)

写真 71 太陽虫 *Echinosphaerium nucleofilum* の生態写真。有軸仮足 (p. 381) が八方に伸びている。細胞の直径 180 μm 。(重中義信博士原図)

写真 72 単室型有孔虫 *Allogromia* の生態写真。食餌となる微生物を捕えるために多数の根足を巧みに利用している。(Grell, 1973)

写真 73 繊毛虫 *Paramecium caudatum* (ゾウリムシ, 図 IV. 81, p. 378) の繊毛で覆われた体表を示す走査電子顕微鏡写真。左側中央口に囲口部がある。繊毛は斜め方向に後時性の運動を行っている (p. 459) のがよく示されている。10 μm 。(重中義信博士原図)

写真 74 旋毛目繊毛虫 *Metafolliculina andrewsi* の生態写真。右側の蠕虫形の遊泳細胞はロリカ (p. 295) から出ようとしており、左側の細胞は囲口部に 2 枚の翼 (右側) をもっているが、これはロリカ内にとどまっている。×150。(Grell, 1973)

写真 75 吸管虫 *Acineta tuberosa* の生態写真。細胞上部の 2 箇所から多数の触手が伸びている。細胞上部内に丸くみえるのは遊泳細胞で、これから孵化する直前にある。×510。(Grell, 1973)

写真 76 原モナス目有鞭毛虫 *Trypanosoma lewisi* (図 IV. 68H, p. 360) のキネトプラスト (p. 331) の長軸断面の超薄切片像。2 枚の膜に囲まれ、ミトコンドリア同様の棒形構造をもち、内部には DNA の繊維が中心部を横に走っている。キネトプラストの長径 1.3 μm 。(Grell, 1963 より)

写真 77 繊毛虫 *Oxytricha bifaria* (図 IV. 69A, p. 362 の *Keronopsis* と同科に属す) の棘毛 (p. 363) を構成する繊毛集団の横断超薄切片像。各繊毛は (9+2) 構造 (p. 364) をとっている。100 nm。(重中義信博士原図)

写真 78 全毛目繊毛虫 *Didinium nasutum* の口吻部の縦断超薄切片像 (図 IV. 117, p. 449)。食餌に突きささる口吻部先端部からは細胞内質にまでとどく長い毛桿 (Tr, p. 384) が 200 本以上も存在し、口吻中部周縁には細胞長軸に沿った細い繊維束 (Tf) が

著しく発達し、また口吻基部の周囲を繊維状の輪 (Fr) が囲んでいる。 1 μ m. (重中義信博士原図)

写真 79 太陽虫 *Echinosphaerium nucleofilum* (写真 71) の有軸仮足の横断超薄切片像。仮足内部には微小管が螺旋状に走っており、微小管は放射状に繊維によって架橋されている (図 IV. 83, p. 381)。 200 nm. (重中義信博士原図)

写真 80-82 吸管虫 *Tokophrya infusionum* (図 IV. 84E, p. 383) の触手の超薄切片像。写真 80 は横断面 (図 IV. 85A, p. 383)。 250 nm. 写真 81 は軸部縦断面。触手膜の内側に真直に縦に通っているのが微小管群。 500 nm. 写真 82 は触手先端部の縦断面。触手の先端部には接触胞 (図 IV. 86E, p. 386) の断面がみられる。また、軸部先端近傍では微小管群によじれがみられる。 500 nm. (重中義信博士原図)

