

古生物学研究教育の課題と展望

1993

日本古生物学会

# 序にかえて

古生物学は古くて新しい学問である。科学としての体系を整えたのは18世紀に遡り、19世紀には化石に関する知識の集積とともに、進化論が生まれ、これによって人類の世界観は一変するに至った。その後現在に至るまで、蓄積された化石に関する情報は、地球科学や生物科学の基礎として、また石油開発やその他の応用面で、重要な役割を果たしてきた。同時に、40億年に及ぶ生命の歴史、多様な生物の栄枯盛衰の探求は、人々の知的欲求を満たし、ロマンを与える役割も果たしてきた。近年では、古生物学は、かつての博物学的イメージから一変して、地球科学と生命科学との境界領域において、生命現象とその背景となる環境を長大な時間軸上で扱う科学へと、新たに展開しつつある。

私達をめぐる自然環境が危機に直面している今、新しい自然観を創造し、人類が自然と共存していく方策を見いだすための基礎として、古生物学、広くは古生物学を含む自然史科学の果たすべき役割はきわめて大きい。過去を知らずして現在を理解し、未来を語ることはできないのである。

しかし、人々の高まる自然への関心と基礎研究の必要性の増大にもかかわらず、日本においては、古生物学の基礎を支える基盤はきわめて弱体であり、また、古生物学の教育についても、一般への啓蒙から専門家の養成まで、問題点は余りにも多い。この「課題と展望」は、そのような現状を直視し、古生物学と、ひいては自然史科学の発展に資する活動の一つとして、まず、古生物学の研究課題と将来の展望、古生物学に関する教育の現状と問題点を中心に検討した結果である。この報告書のため、研究・教育の時間を割いて3年余にわたって検討を重ね、努力された多くの関係者に対し深い敬意を表したい。まだ取り上げるべき課題や検討すべき問題が多々残されているが、日々新たな問題が生じ、事態は変動している。学会としては、一刻も早く公表してこれを役立てて頂きたい、そのなかでまた検討を重ねていきたいと考えている。

この報告書が、古生物学会内だけでなく、各方面においてさまざまな形で有効に利用されることを切望する。

1993年1月

日本古生物学会会長

鎮西清高

# 「古生物学研究教育の課題と展望」 刊行にあたって

日本古生物学会では、1990年1月長期計画委員会を発足させ、学会長ほか10名のメンバーでスタートした。この委員会の目的は、わが国の古生物学研究教育の現状を多角的に検討し、21世紀にむけての古生物学の将来の展望を示すと同時に、古生物学を含む自然史科学の基礎科学としての重要性を内外にアピールすることにある。

わが国の自然科学の現状を見ると、古生物学などの基礎的研究分野は多くの問題をかかえている。巨大科学や時流に乗った応用科学の進歩の中にあつて、研究設備、研究費、研究ポスト等、様々な面で縮小を余儀なくされ、これから先端科学と同様に発展させる基盤が脆弱となっている。その背景には、古生物学等の自然史科学に対する社会認識が大きく関与しているように思われる。例えば、野外観察や標本に根ざす学問の基本認識の不足が研究教育の著しい支障となっている事などがあげられるであろう。われわれは古生物学がどのようなものであるかを普及させるために、社会に対して、また周辺の他分野の研究者に対して、より積極的な働きかけが必要と思われる。

本委員会では過去3年間議論を積み重ね、上記の問題を念頭におきながら、古生物学研究教育の現状を分析し、今後の展望を考えた。まず第1章では、古生物学とはどのようなものかを概観し、第2章ではわが国において今後推進すべき主たる研究課題をとりあげ、今後の指針と展望を述べた。第3章ではこれらの研究を進める上で、現状を分析しつつ、その具対策を提言してとりまとめた。第4章では古生物学の教育について義務教育のレベルから若手研究者の育成まで、さらに生涯教育の中で、古生物学を含む自然史教育のあり方を考察した。巻末には参考資料として、国際誌の研究動向を掲載した。

本報告書は古生物学研究教育のすべてを網羅しているわけではない。しかし、本委員会設立の目的と委員会における議論の積極的積み重ねを御理解いただき、本答申を契機として、さらなる発展を期待するものである。本報告書の作成は委員会に責任があるが、委員会メンバーの他に多くの学会員の方に執筆や内容の検討に御協力いただいた。ここに篤く感謝を申し上げる。この報告書作成のための費用は、学会費および科研費総合研究Bによつている。関係各位に感謝申し上げます。

長期計画委員会委員(ABC順)：鎮西清高(会長)、速水 格(前会長)、池谷仙之、北里 洋、小泉 格、

松岡數充、森 啓、野田浩司、岡田尚武、大野照文、小澤智生、棚部一成。

執筆協力者：阿部勝巳、郡司幸夫、平野弘道、河村善也、近藤康生、小竹信宏、松居誠一郎、松隈明彦、

松岡 篤、森田利仁、西田民雄、小笠原憲四郎、岡崎美彦、大路樹生、佐保哲郎、高山俊昭、植村和彦、

山口寿之、山野井徹、八尾 昭。

1993年1月

長期計画委員会

委員長 森

啓

# 目 次

1. 古生物学とは .....	1
2. 古生物学研究の課題 .....	6
2-1. 地球環境の変遷を復元する .....	6
2-2. 形態と分子の両面から生物進化を探る：進化古生物学の課題 .....	18
2-3. 地球史における生態系の進化を追求する .....	28
2-4. 古生物を用いた地質年代スケールの精度と信頼度を向上させる .....	42
2-5. 化石を現在によみがえらせる ―実験的手法― .....	52
2-6. 古生物の分類 ―生物の多様性を探る― .....	59
3. わが国の古生物学研究を推進するためには .....	64
3-1. はじめに .....	64
3-2. 研究体制 .....	65
3-3. プロジェクト研究の推進 .....	68
3-4. 博物館の充実 .....	68
4. わが国の古生物学教育を充実させるには .....	69
4-1. 高等学校までの地学教育と古生物学 .....	69
4-2. 大学における古生物学教育 .....	73
4-3. 大学院の研究・教育 .....	74
4-4. 生涯教育と古生物学 .....	80
5. 付録 .....	81
5-1. 古生物学関係の学術雑誌6誌における過去5年間の論文内容の傾向 .....	81

## 古生物学研究教育の課題と展望

### 1. 古生物学とは

#### 1-1. 化石と古生物

古生物というのは、過去の地質時代に生息していた生物を指し、これらを研究対象とする学問分野が古生物学である。古生物は遺骸(生物のもつ硬い骨格等)や遺跡(足跡等)などの化石として地層中に保存され、地質時代に生物が生息した直接的証拠となっており、化石を通してその生息環境、生物群の地史的消長など、長い地球の歴史の中での生物の辿ってきた道筋を知ることができる。

過去に生息した生物は、その死後堆積物中に保存され、長い年月を経て、生物的、物理的、化学的諸作用(続成作用等)を受けつつ化石となり今日に至っている。従って、古生物研究の原理と手法は、必然的に地質学的側面と、生物学的側面をもっている。

一口に化石といっても、その種類はモネラ界のバクテリアや単細胞の原生生物から霊長類に至るまで様々である。化石には骨格の他に、カンブリア紀のバージェス頁岩動物群のように軟体部も保存されているもの、DNAを保持した植物化石、マンモス象のように動物全体が残されているもの等も含まれる。また大きさも、35億年前に地球に誕生し、生命の起源の鍵を握っている原核生物の化石は、数ミクロンのオーダーであり、かたや恐竜等のように巨大なものまで多様性に富んでいる。古生物学は古動物学、古植物学等に区分され、さらに細かい分類群によって、微古生物学、古無脊椎動物学、古脊椎動物学等にも細分される。また研究対象とする分野によって、化石層位学(層位学的古生物学)、系統分類学、古生態学、古気候学、古生物地理学、古環境学、タフオノミー、進化古生物学、分子古生物学等の名称も適宜用いられる。このように、古生物学の研究対象は広範かつ多岐にわたっている。

#### 1-2. 化石層位学の進歩

古生物学の今日までの研究の歴史を振り返ると、古生物学は地質学と表裏一体となって発展してきたことが解る。つまり、古生物研究の主流は、まず化石を分類、記載し、その生存年代を決定することであり、わが国の明治以来の伝統的研究手法も、この

線上にあったと言え、今日においてもその流れが残っている。これらの研究は化石層位学の進歩に大きく貢献し、地質時代の詳細な編年を可能にした。わが国においても、日本列島の構造発達史が今日のように詳細に論じられるようになった背景には、各地域の長年の古生物学的研究の地道な蓄積がある。特に有孔虫、放散虫、ナンノ化石等の微古生物学的研究は、電子顕微鏡の開発などの科学技術の進歩に支えられて飛躍的に発展し、その成果は、今日の地球観の根幹であるプレートテクトニクス理論の実証に大きく寄与した。とりわけ、深海掘削技術の進歩は、深海底堆積物や堆積物中の化石の研究を可能にし、数々の国際的プロジェクトによって、大洋における多くの地域でデータが集積され、精度の高い年代区分や対比を可能にした。従来陸上の試料に大幅に依存していたこれらの研究は、深海底データの蓄積によってその様相は一変した。また、これら一連の層位学的古生物学の研究は、石油石炭などの天然資源の開発にもその一翼を担ってきた。

このように、地球の歴史の総合的編纂は、古生物学的研究の成果なしに語ることはできない。現在脚光をあびている生物の大量絶滅の原因や、地球史における生命の起源、原核生物から真核生物へ、さらに今日までの生物の進化を論じる上においても、化石の分類記載とその編年は、これらの課題解明の基礎として重視されている。

#### 1-3. 周辺科学の進歩と古生物学

近年における周辺科学の発展や科学技術の進歩が古生物学の研究動向に大きく影響を及ぼしてきたことは、前述の通りである。地質学的側面での研究においてもその変化は顕著である。プレートテクトニクス理論が古生物地理の根本的見直しに通じたことは、その代表例と言えるであろう。

古生物地理学(古動物地理学、古植物地理学)は古生物学の重要な一分野であり、分類記載された化石データの蓄積と地質時代の編年の進歩と歩調を合わせて進展してきた。古生物地理学の課題としては古生物地理区の設定と古地理図の復元がまずあげられる。それぞれの地質時代の生物地理区の復元には、限定された地理的分布を有する化石動植物群が用いられ、共通する分布の広がりによって陸域、海域が

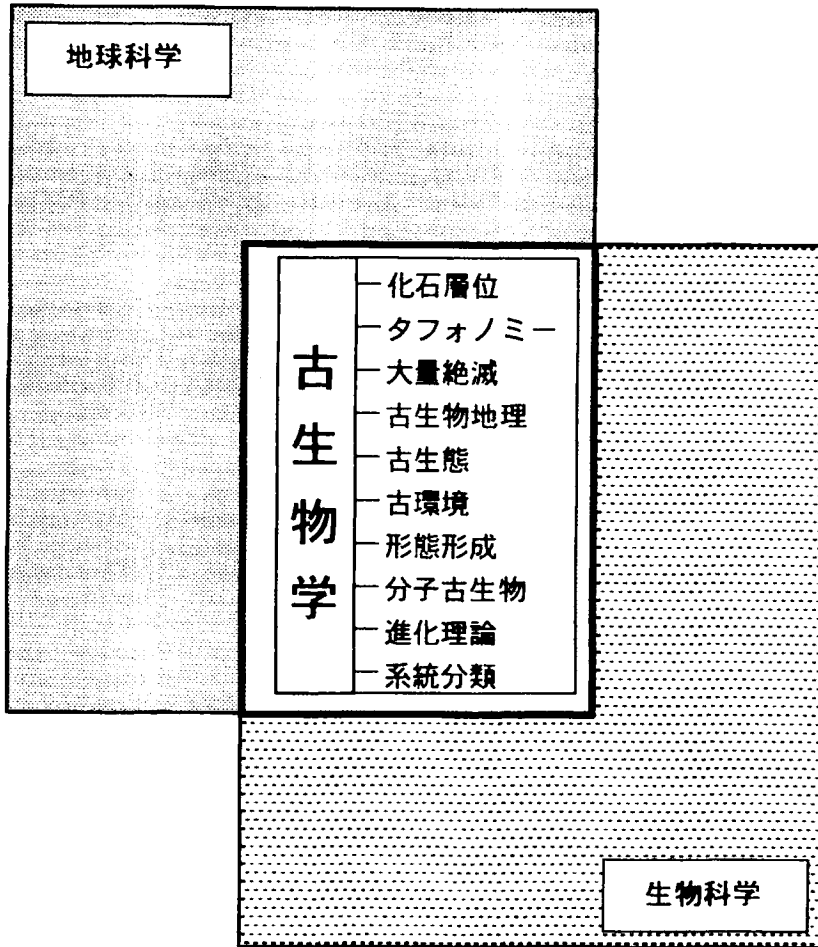


図1-1. 古生物学の位置づけと主な研究分野.

推定されてきた。古生代後半の化石植物群の地理的分布による、ゴンドワナ植物群、カタシヤ植物群、アンガラ植物群、ユーラメリア植物群の4植物地理区の設定などは、その一例である。化石動物群においても、カンブリア紀から第四紀まで、それぞれの時代の特徴的分類群によって古動物地理区が復元されてきた。

しかし、旧来の伝統的古生物地理学においては、古地理図の作成にあたって、化石産出地点がそのまま古地理上の位置とみなされた。その結果、古動物群の地理的分布の解釈において、陸橋といった無理な想定が行われたりしてきた。プレートテクトニクス理論の台頭は、かつてウェーゲナーによって提唱された大陸移動説を現実のものとし、古地磁気学

の発展によって、互いの大陸間の相対的距離や位置が明らかにされた。わが国のように、環太平洋の多変動帯に位置する地域の古地理復元は、地質構造の複雑さとあいまって大変困難であるが、これまで蓄積された化石データを再編し、新しい地球観のもとに、新たな古地理区の復元や、古地理図の作成が行われている。

一方、古生物地理学と関連して、それぞれの分類群の起源と移動、分散に関する研究がある。これらの研究におけるオーソドックスな考え方は、化石の層位学的記録を基に、最も古い年代記録を持つ地域からより新しい年代記録の地域へ移動したとするものである。しかし、各分類群の産出記録は千差万別であり、きわめて乏しいデータから、起源と移動が

大胆に推定されたり、化石記録の新たな付加と共に、その起源と移動経路の再考を余儀なくされるといった問題をはらんできた。これに対して、近年の分岐分類学という新たな概念の提唱は、分類学のみならず、古生物地理学の基本的考え方にも強く影響を与えている。これによれば、生物の地理的分化は、それぞれの分類群の移動という個々の要因よりも、生物群全体を支配した共通の要因(地理的分断)がより重要であると考えられる。その背景には、生物の地理的分化は、系統的分化と不可分とする基本理念がある。前者を分散生物地理学と呼ぶのに対し、これは分断生物地理学と呼ばれている。今後、後者の考え方が、分散生物地理学的立場の研究をすべて払拭するという状況にはないが、古生物地理学の新たな展開として注目される。

#### 1-4. 生物学的古生物学の動向

これまでの地質学的背景のもとでの帰納的手法に基づく古生物学的研究は、近年大きく変貌して現在に至っている。その第一の変化は、古生物学のより生物学的視点に立脚した研究(生物学的古生物学)の強い動向である。このような研究は19世紀後半から20世紀初頭すでに始まっていたと言えるが、今世紀後半になって加速された。1960年代後半における国際古生物連合の機関誌としての *Lethaia* の発刊、米国古生物学会機関誌 *Journal of Paleontology* に加えて、*Paleobiology* の発刊や、欧米諸国の主な古生物研究機関の名称が *Paleontology* から *Paleobiology* に変更されたことも、この大きな流れを反映したものと見なされる。この流れは公表された論文によくあらわれている。巻末の古生物学関係の国際誌に掲載された論文内容を見ると、生物学的視点からの分野の多様化が歴然としている。これは、生物学等の周辺科学の発展と科学技術の進歩と密接に関連し、研究手法や研究分野の広がり、学際的分野の発展に強く結び付くことになった。分子古生物学という新たな分野の発展はその好例である。

今世紀後半に入って、生物学は著しい進展をみせ、とりわけ分子生物学的分野の進歩は、生命現象を分子レベルで論じることを可能にした。分子古生物学という新たな分野も、分子生物学の発展に負うところが大きい。

地質時代に堆積した堆積物(地層)に含まれる生物起源である有機物や化石から抽出される有機物などを分子化石と呼んでいる。これらの有機化合物の研究は、化石燃料としての石油を対象に進められ、そ

の起源、続成、熟成度等の解明に貢献してきた。これら有機化合物の研究は、地球化学の分野の研究として位置づけられ、古生物学の一分野とみなす考えは希薄であった。しかし、高度な質量分析機器の開発は、有機物の供給源である生物種の認定にまで発展し、有機地球化学と古生物学を結び付け、さらに化石中のアミノ酸の研究や、化石DNAの研究は、分子レベルでの系統学を編み出すに至った。このように、分子古生物学は、旧来の古生物学のあり方を一変させ、研究対象を広げると共に、他の様々な分野と関連しつつ進展をみせている。今後、生命の起源に関する研究はもとより、古生物系統分類、古環境や生物の進化機構の解明等に、分子古生物学の成果と情報は益々重要となっていくであろう。

#### 1-5. 生物進化と古生物学

地球上には様々な生物が生存していたことは化石の記録によって証明される。この記録は生物が進化してきたことを示す直接的証拠でもある。それぞれの地質時代に生存した生物は、それぞれ個別にその都度創造されたものではなく、共通の祖先から分化し、その形態を時代と共に変化させてきたという思想が進化論である。ダーウィンやワラスによる進化学説(自然選択説)が生物の進化を自明のものとして、自然科学のみならず、社会一般に大きく影響を与えたことは画期的出来事として歴史に残っている。以後生物進化の機構の解明は様々な学説として提唱され今日に至っている。化石を扱う古生物研究者にとっても、それぞれの化石のもつ形態の時間的変化、系統の推定、大量絶滅の原因等、進化に直接関連する諸問題の解明に努力を注いできた。このような状況の中で、分子生物学の発展と分子古生物学の新たな展開は、生物の進化という古生物学の究極の命題とも深く関わることになった。遺伝学の進歩は、DNAの塩基配列によって生物種間の遺伝的距離をはかれるまでになり、その距離によって系統や種分化の時期が推定されるようになった。このような分子レベルの進化が、旧来の形態レベルの進化の研究とどう結び付くかは大きな課題として残っている。同一の試料で、分子、形態両面からの情報が比較検討されるのが理想的であり、今後の期待されるテーマではあるが、化石情報の多くにこれを望むことはできない。しかし、分子生物学的視点での系統の復元が化石記録に基づく復元に比べてより優れているといった一部の見解は妥当ではないであろう。これは、化石記録が不完全なものとの判断に起因していると思

われるが、そもそも生物進化の大きな道筋は、化石の記録によって初めて明らかとなったのであり、これからの生物進化の究明も、化石記録なしに論じることはできないであろう。化石の形態レベルでの研究から進化機構の究明にどこまでせまれるかには問題があるにしても、地質時代を通じての生物の進化過程の解明は化石の古生物学的研究にゆだねられていることに変わりはない。

#### 1-6. 地球環境と古生物学

今、地球環境が大きな問題となっている。地球誕生以来の、生物の歴史をみると、人類の出現とその発展は画期的出来事として位置づけられるであろう。地質年代の尺度で考えれば、それこそ臨時に今日の高度な文明社会を築きあげたことは、生物史上かつてなかった大事件である。しかし、その一方において環境破壊、環境汚染という深刻な事態を生じさせた。産業革命以来の化石燃料消費による大気中の二酸化炭素の増大とその温室効果による人類や生物への影響、フロンガス使用によるオゾン層破壊とその生物への影響、硫黄酸化物や窒素酸化物による酸性雨の増加と生態系の破壊、熱帯雨林などの森林乱伐による生態系破壊、陸上開発に伴う土砂流入による海洋汚染、核実験、原発事故の放射性物質放出による大気汚染、等等その状態は多様で、それぞれが複雑に結び付いて地圏環境に著しい影響を及ぼしている。南米ペルー沖で発生し、海水温が異常に上昇するエルニーニョ現象は、地域によって大干ばつや集中豪雨をもたらし、大気の大循環を変動させている。これらの問題は、地球全体の問題として、自然科学の対象を越えて、社会的、経済的、政治的問題に発展している。

これらの諸問題の現状を認識し、将来を予測するためには、自然のありのままの環境、特に地球がたどってきた歴史、生物と環境のかかわりの歴史、をまず正しく把握する必要がある。人類の辿ってきた歴史が、未来の子孫の教訓となり示唆をあたえるのと同じく、地球の過去の環境史の理解が大切である。この点において、古生物学は今日の環境問題と深く関与しており、その解決の重要な一翼を担っていると言えるであろう。

地球の古環境の研究は、地球化学、地質学、古生物学などの研究によって近年大きな進展をみせている。原始地球大気の圧倒的主成分であった二酸化炭素が、今日の0.03%に至った経緯には、炭酸カルシウムを分泌する生物による二酸化炭素の固定が大き

く関わっている。また逆に原始大気に存在しなかった酸素が、次第に蓄積され、オゾン層を形成して生物の生存を可能にしたのも、先カンブリア時代のラン藻の光合成によるところが大きいと考えられている。このように、地球上に生存した生物は、単に物理的、化学的環境に支配されてきたのではなく、生物自ら環境を変え、整えてきたことが古生物学的研究によって明らかである。

現在を含む第四紀(160万年前から現在まで)は、今後の地球環境を考える上でも重要な研究対象となる時代である。第四紀は、人類の時代とも氷河時代とも呼ばれている。その名の通り、第四紀には、寒冷な氷期が繰り返し訪れたことが知られている。このような環境変動に関する研究は、多角的に研究され、中でも古生物学的見地からの研究はその中心的存在である。ニューギニアのヒューオン半島に発達する海岸段丘は、それぞれが過去のサンゴ礁堆積物で構成されている。造礁サンゴ骨格の年代測定と段丘解析から更新世後半の海水準変動の歴史が明らかにされた。一方深海堆積物中の有孔虫化石の酸素安定同位体の研究によって同年代の水温変化が求められた。さらに南極氷床の水の中の気泡(空気の化石)の研究で、過去の大気中の二酸化炭素の含有量がわかり、重水素の測定で気温変化が求められ、これらの結果が古生物学的研究成果とみごとに一致することが示された。このように、第四紀の環境変動の歴史はここ数十年の間著しい進展をみせている。今後、酸素、炭素安定同位体の研究は古生物学の重要な一分野として、地球環境解明に益々貢献することが期待される。

#### 1-7. わが国の古生物学研究教育の現状

翻って、わが国の古生物学研究教育の現状をみると、様々な面で問題をかかえている。これらの問題は古生物学のみならず、自然科学全般の基礎的分野に共通した問題でもある。その第一は、大学や関連研究機関における研究教育の環境の状況にある。

巨大科学や時流に乗った応用科学が発展する中で、地味な基礎科学分野は、研究設備、研究費、研究ポスト等、あらゆる面で縮小を余儀なくされ、これら先端科学と同等に発展させる基盤が脆弱となっている。この格差は近年一段と加速されているように見え、自然科学全体の健全な進歩が益々阻害されて行く危険性を内蔵している。このような状況に至った背景には、研究者や学会が負わなければならない問題も多いが、古生物学等の基礎科学に対する社会的



認識が大きな要因として挙げられるであろう。例えば、野外観察や化石試料等の標本に根ざす学問は、前近代的であるという誤解が、わが国では一般に払拭されていない印象が強く、特に自然科学の他分野の研究者の間でさえ、十分な認識を得られていないことは遺憾である。標本は知的財産であるという理解は欧米諸国では常識として受け止められているが、わが国ではそのレベルに達していない。以下に標本についてのわが国の現状を紹介する。

これまで述べてきたように、化石は過去の地球上に存在した生物の直接的証拠である。これらの研究に用いられた化石標本類は莫大な数にのぼっており、わが国の各大学、研究機関に収蔵されている標本数も、全体では数百万点に達すると推定される。これらの標本類には、過去の研究に用いられた標本の他に、教育上貴重な外国からの購入標本も数多く含まれている。研究標本の中には、東南アジア、中国大陸、樺太など現在では入手が困難な試料もある。収蔵標本で、とりわけ重要なのは、分類記載の対象となった模式標本である。模式標本というのは、現生および化石の系統分類の基礎となる原標本のことで、生物分類の物差となる標本である。国際命名規約に定められているように、生物の最小単位である種は、架空のものではなく、実存する標本に基づいて認定されなければならない。それぞれの分類群の研究者が、論文として公表し、指定した標本を模式標本と呼んでいる。公表された模式標本は、1個1個に番号が付され、登録の上保管される。論文中でも標本番号や保管場所等が明記されるのが常である。模式標本にも様々な種類があるが、最も重要なのは、新種を提唱するにあたっての原模式標本である。これらは、個々の種において、1個ないし数個体しか存在しないことも多く、同一種の他の標本とは異なる重要性を有している。

これらの標本類は、単に過去の研究の遺産ではなく、常に今日の見地から研究に活用されている。従って、模式標本を保管している大学や研究機関は、研究者に対して、いつでも利用できるよう便宜を与えるのが国際的慣習であり、かつ義務となっている。事実、わが国の各標本保管機関に対する各種要望や問い合わせは、国内のみならず、外国からも頻繁で、標本の貸借、情報の提供は日常的なこととなっている。

このように、化石標本は、古生物学的研究教育の基礎となるものであり、これらを十分に管理し、将来の研究教育のためにその利用度を高め、情報を広

く研究者や学生に提供できるよう、その体制を整備することは、標本保管機関に課せられた責務である。しかし、わが国におけるこれら貴重な標本類の収蔵、管理には、深刻な問題が山積している。この問題は化石標本に限らず、現生の生物の系統分類を扱う生物学の分野や、遺跡の試料を扱う考古学分野とも共通した問題でもある。その一つに、大部分の大学において、標本の管理運営に携わるキュレーターがいないことがあげられる。外国の大学では、キュレーターのやっている仕事は、わが国では、すべて研究者の肩にかかっており、その負担は益々増大している。第二は収蔵施設の極めて貧困な状況である。欧米の主要な大学には、付置施設として立派な標本館や博物館をそなえている。研究標本が整然と管理され、標本の展示も学生の実習や一般的教育普及の配慮がゆきわたっている。わが国では、このような状態からほど遠く、胸をはれる収蔵施設は一つもないのが実状であり、人手不足のため、標本の整理もままならず、立派な標本をもちながら、死蔵されているのが現状である。

本研究の目的の一つは、このような現状を学会内外にアピールして、自然史研究教育の改善の第一歩とすることにある。

この他、古生物を含む自然史科学教育にも数々の問題点が指摘される。中学の理科や高校の地学の教育において、どれだけのウェイトで自然史が扱われているかは、大学で行われている教育に密接に関係しているものにとっても関心事である。大局的にみると、現在の高校受験や大学受験の制度がこれらの教育に色濃く影響を与えているように見える。高校入試で、化石や自然の歴史に関する設問においても、机上でのテストの繰り返しの中で、成績を向上させ、満点の解答をしても、化石採集など自然に直接接する機会をもてないまま終わってしまうケースが多いと思われる。また、高校における地学教育は、大学入試センター試験での地学受験者が、他科目に比べて少ないことや、地学の試験が物理と同じ時間帯に組み込まれていること等示されるように、単に技術的問題に左右され、受験制度が本来在るべき教育を歪め、縮小を余儀なくされている感はいなめない。さらに、このシステムは、高校の地学教師採用の枠を狭め、益々悪循環となっている。

中高教育にとどまらず、今生涯教育の大切さが指摘されている中で、自然史の占める位置は本来大きいはずである。前述の地球環境とも関連して、自然のありのままの姿とその生い立ちの理解が今ほど必

要とされているときはないであろう。このような状況を分析し、我々は今何をなすべきか、研究と教育普及の両面から将来を慎重に見すえる必要がある。

## 2. 古生物学研究の課題

### 2-1. 地球環境の変遷を復元する

#### 2-1-1. はじめに

太陽系の誕生から現在に至るまでの地球の歴史を明らかにすることは、地球科学の基本的な目的の一つである。自然科学イコール博物学であった時代から、古生物学は地球の歴史を理解するのに必要な時間軸を設定し、地球環境変遷の概要を明らかにしてきた。しかし、「我々の住んでいる地球がどんな歴史を経て今日の姿になったかを知りたい」という知的欲求を満たすことだけが、地球の古環境を調べる目的ではない。極端に人口が増加し、人間活動の引き起こす地球環境の歪みが顕著になってきた現在では、地球環境が今後どう変わっていくのかを知ることが、緊急で切実な課題である。そのためには、正常な地球環境とは元来どんなものであって、地質時代を通じてどのような範囲で変化してきたのかを知ることが重要である。

地表環境は固体地球・水圏・大気圏などにおける物質とエネルギーの循環により直接コントロールされているが、大気と海の進化を始め、過去から現在に至るまでの物質循環に生物活動が果たした役割は大きい。例えば、始生代中頃(約35億年前)に出現したラン藻が光合成をして酸素を作り出し、当時の地球上に大量に存在した鉄イオンを酸化して層状鉄鉱床(BIF)を形成したとか、この酸化が一段落した後は大気中に酸素が蓄積され始め、約20億年前から今日まで地球の大気に酸素が含まれるようになったことなどは典型的な例である。また、生物は生息環境の変化に対応して群集の組成や生息場所を変えるので、化石群集の変化から古環境の変遷を知ることができる。さらに、化石の同位体分析によって、海水の大循環を含む海洋環境の歴史を知ることでもできる。従って、古生物の記録を定性・定量的に測定することで、地球環境が変化してきた実態をかなりの程度まで明らかにすることが可能である。

実際の地球環境復元の作業については、堆積学、地球化学、同位体科学、古地磁気学、地球年代学などと古生物学が有機的に関連しており、各分野ごとに得られたデータを総合的に解析して初めて可能になることが多い。このため他分野の研究者と共同で

研究を進めたり、学際的なテーマに取り組んだりすることが必要である。日本の古生物学者は、精密で信頼度の高いデータを提供する点で定評がある。地球古環境の研究は今後ますます発展し、重要性を増すことは明白である。その重要さと意義を理解して貰うため、日本の古生物学研究者が関与してきた地球古環境の研究例と今後やるべき研究について、最も研究が進んでいる白亜紀以降に絞っていくつか取り上げる。

#### 2-1-2. 温暖期の地球環境復元

人間活動による地球温暖化がすでに始まっている可能性が高い現在においては、実際に今より温暖であった時期の地球環境復元はきわめて重要な課題である。ここでは、近未来に起るであろう、今より少し進んだ程度の温暖化に相当するヒブシサーマル期(6,000年前)と、極端な温暖期であった白亜紀を重要なターゲットとして考えたい。

##### <ヒブシサーマル期の気候と生物相の復元>

現在、大気中の二酸化炭素濃度の増加による温室効果により地球の温暖化が心配されている。平均的な見積りでは、21世紀にかけて、平均気温が2~3度上昇すると考えられているが、これとはほぼ同じ程度温暖であった時代が、今からおよそ6,000年前の完新世中頃(縄文時代前期)である。温暖な気候に対応して当時の海面は今より2~3m高く、東京都の大部分は水没してしまっていた。また、世界的な気候分布が今とは大きく異なっていたため、当時の気候を再現すると、現在の農業をそのまま続けることができなくなると想定される穀倉地帯も多い。

二酸化炭素の温室効果による温暖化と、縄文時代の温暖化は、原因が異なるため同じことが起きるかどうかわからないが、地質学的に最も新しい温暖期の古環境の研究は、これからの人類社会の計画に大きく貢献するはずである。この時代の古環境は、時代の新しさもあり、これまでも大変精密に復元されている。我々の直接的な生活環境である陸上環境は、おもに花粉化石による植生の復元がなされていて、氷河期にはわずかに九州南部以南にしか見られなかった照葉樹林が、本州中部にまで広がっていた様子が明らかになっている。また、沿岸海域の古環境はおもに貝類化石を用いて復元されていて、例えば現在関東以南、有明海や瀬戸内海などにしかみられないハイガイが三陸沿岸まで分布を延ばしていたことが明らかになった。このように古環境の概要は明らかになっているが、温暖化による生物群の具体的な移

動のプロセスなどは今後の重要課題である。今後起るであろう温暖化が生物群集、特に森林などを安定的に移動させるものであるか、または破壊的な影響をもたらすのかという点の予測においても、ヒブサーマル期の環境復元は重要な予測を与えるかも知れない。

また、単に古環境が生物の分布を支配したという側面ばかりでなく、たとえば温暖化によって生物が北上する状況と寒冷化によって南下する場合とは、生物の反応が異なる例も指摘されていて、生物が環境に適応しようとするときの生物自身の持つ弾力性に起因する微妙な問題は、古環境の復元を不確実にする反面、生物自身が示す環境に対する順応の柔軟性を示しているおもしろい。

#### <白亜紀における地表環境の復元>

白亜紀(1.4-0.65億年前)には地球全体の温暖化がとりわけ著しく、白亜紀の海洋における水温分布や海洋循環システムの解明が重要視される。当然、当時の大気中の二酸化炭素濃度は現在よりはるかに高いレベルにあったと考えられるが、大西洋の中部白亜系には大量の有機炭素を含む黒色腐泥層が広く堆積している層準がある。黒色腐泥の堆積は、まだ十分に拡大していなかった大西洋で海水循環が滞り、底層水の溶存酸素が不足したことが直接原因とされるが、結果的には炭素循環系から大量の炭素を取り除いたことになる。さらに、この現象は大西洋に限らず、グローバルに起ったらしいことが分かってきた。太平洋でも白亜紀中期の海底で溶存酸素が低下した事実が、北海道の白亜系に含まれる有孔虫の群集変化で最近明らかにされた。また、白亜紀には世界各地で大量のチョークが堆積したが、これまた大気中の二酸化炭素を炭酸カルシウムとして海底にため込んだことになる。いずれにしても、白亜紀中期には海底堆積物中に大量の炭素が取り込まれながら、同時に大気中の二酸化炭素濃度が高いレベルで推移したわけで、この時の炭素循環サイクルの実体解明は重要である。当時の気候帯区分を再現し、表層水塊の分布と深層水の循環様式を明らかにするとともに、特徴的な底生生物群集と生痕化石の存在から底層水中の溶存酸素濃度を明らかにすることで、古生物学者の果たし得る役割は大きいと考えられる。

#### 2-1-3. 漸移的な地球環境変遷史の解明

上に述べた地球温暖期の古環境復元は、漸移的な地球環境変遷の特定のフェーズを取り上げたものだが、多様に変化してきた地球環境の歴史は、化石の記録として読みとることができる。

一般に陸地は侵食場であるため、連続した記録が残りにくい。従って、地質時代のグローバルな古気候分布を連続的に調べるには、長期間の連続した記録が残されている深海堆積物の研究が重要である。グローバルな地表気象を司っているのは、地表での熱収支と大気・海水の循環によるエネルギーの配分様式であるが、深海堆積物中には、太陽エネルギーの吸収率と関係する大気・海中の二酸化炭素濃度や、地表における熱運搬の媒体として最も重要な海流系の変遷記録が、化石として残されている。また、陸上での古気候変化も、海底堆積物中の風成粒子や堆積相の違いとしてある程度推定できる。したがって、1968年から国際深海掘削計画(DSDP-IPOD-ODP)が始まって深海堆積物の研究が盛になると、地球年代学が飛躍的に発展するとともに、地球古環境の研究が本格的に行なわれるようになった。

海生生物の化石群集の解析と、化石化した炭酸カルシウムの安定同位体測定からは、水塊分布と水温や生物生産の情報が得られる(図2-1)。石灰質リーフの成長速度を測定し、深海への石灰質遺骸の堆積量を計算することで、当時の生物活動により炭酸カルシウムとして固定された二酸化炭素量も計算できる。海洋中のライソクラインや炭酸カルシウム補償深度(CCD)は、(1)大気・海水中の二酸化炭素濃度、(2)海洋における生物生産量、(3)深層水の化学的性質、などが複合して現われたものであるが、石灰質微化石の群集解析でその深度分布の変化が精密に分かる。このように、深海底コアに含まれる化石を研究すれば、海洋の古環境が判明するだけでなく、大気中の二酸化炭素濃度や陸地の分布・古気候を含めたグローバルな環境を復元することも可能なのである。

#### <浮遊性微化石の群集変化が示す第三紀の気候・海流系の変化>

古第三紀後期には、地球規模で長期的に寒冷化したことが良く知られており、熱帯海域におけるプランクトン群集の多様度低下としても記録されている。漸新世初期には南極に氷床ができ始めたことが、酸素同位体の分析で推定されていたが、ODPの最近の南大洋の航海でも、これを裏付ける堆積学的証拠が得られた。また、南半球の高緯度海域における浮遊性有孔虫殻の酸素同位体分析と石灰質ナノプランクトンの群集解析の結果、漸新世初期の海水温低下は急速に起ったことが分かった。古第三紀後期における南半球高緯度地帯の寒冷化は、オーストラリア大陸の北上が進んで周南極海流が形成されたためと



図2-1. 殻が化石として保存される海生プランクトンの代表的なもの。中央の円盤状のものが珪質の殻を作る珪藻。その左上にある塊状のものが石灰質の殻を作る浮遊性有孔虫。珪藻の左下に直線状に配列するものが石灰質の殻を作る石灰質ナノプランクトン。

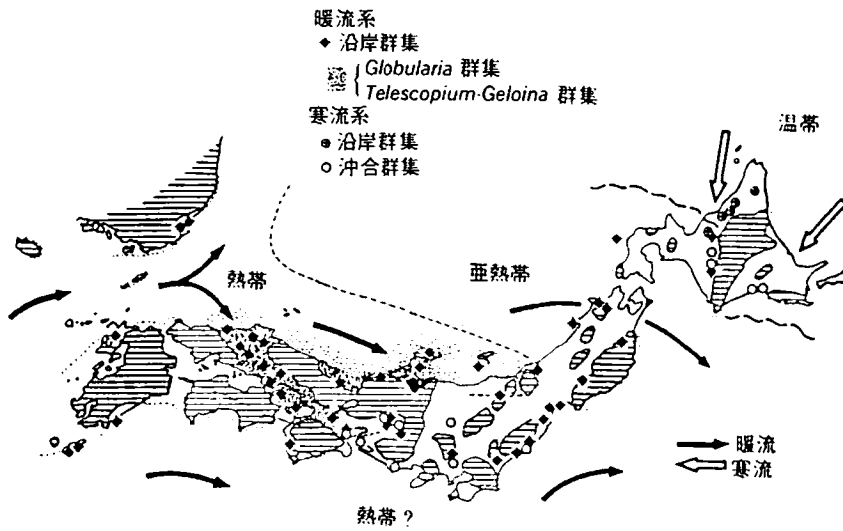


図2-2. 日本海に暖流が入り込んだ1,600万年前の日本の生物地理区と、表層の海流系（鎮西，1981）。

されるが、この変化は長期的に起ったと考える人も多く、このことが漸新世初頭における急速な水温低下の直接原因であるのかどうか分かっていない。現在型の海洋大循環システムがいかに形成されたかを知ることは重要であり、始新世後期から漸新世前期にかけての古環境変化を、広い範囲における各種浮遊性微化石群集の解析に基づいて調べる必要がある。

前期中新世に拡大し始めた日本海にはその末期になって暖流が入り込み、石灰質微化石が大量に堆積して、本州の日本海沿岸は亜熱帯性の気候下にあった(図2-2)。ところが、中期中新世中期になって日本海は急激に寒冷化し、珪質頁岩が堆積するようになったが、この直接原因としては、リンを含む栄養塩の増加とそれによって起った珪質プランクトンの増殖が考えられる。これまで、日本海におけるこの大規模な環境変化の間接的原因としては、地域的な構造運動によって暖流の流入が阻止され、親潮タイプの寒流が入り込み始めたためとされてきた。ところが、北米のカリフォルニアでも、これと同時代に、石灰質相の堆積からリン灰石堆積のフェーズを経て、珪質相の堆積へと変化したことが明らかになった。中期中新世に日本海で起った古環境変化は、全地球的な海洋循環系の変化の一環であることが考えられる。今後は北朝鮮やロシアの日本海沿岸、さらにはロシア領のオホーツク海と太平洋沿岸域での調査を行って、日本海での珪質相の堆積開始と北米太平洋岸での同様現象との因果関係を明らかにする必要がある。新第三紀の北太平洋で起った最大級の海洋環境変化であるこのイベントの実体解明には、わが国の古生物学者の参加が絶対に必要であり、国際的な共同研究のイニシアチブを取るべきであろう。そのためには、近いうちに建設される予定の海洋科学技術センターの深海掘削船を大いに活用して西太平洋と東インド洋からボーリングコアを採取し、化石群集の解析を通じて南極底層水の形成史や表層海流系の進化を解明するよう努力すべきである。

<底生生物化石の群集変化が示す気候・海流系の変化>

沿岸堆積物に含まれる貝類などの底生動物化石の絶滅は、地層の保存の問題と密接に関係しているため、最近の大量絶滅の議論ではあまり取り上げられないことが多い。しかしながら、浮遊性微化石を用いて明らかにされた大量絶滅時の海洋表層水の変化、また底生微化石を用いた底層水の実態など、古環境に関する情報が飛躍的に増大した現在では、沿岸性底生動物群の消長も議論できるような状況が整って

きたと思われる。日本では、特に新生代の沿岸堆積物が連続的に保存され、そこに含まれる貝類を中心とする底生動物化石群の記載もよく揃っている。沿岸水の古環境は、酸素同位体比法を適用し難いので、堆積物そのものや貝殻などの硬組織に残された記録を利用して復元することにより、これらの化石群の絶滅に関する議論も進展するであろう。特に日本海の拡大などの大地形変化の沿岸海域の古環境に与える影響は明らかであり、その実態を明らかにすべきであろう。

<高等植物化石を用いた陸上古気候の復元>

陸上の植物は、化石として残りやすい気候変化に敏感で、気候条件に応じて棲み分けているので、示相化石として広く使われている。また、新生代の植物は、そのほとんどが現在の植物に近縁なものであることから、植物化石群集を解析して過去の陸上気候を知ることができる。まず、植物の葉や実など肉眼で見えるような大型植物化石群集からは、定性的な古気候の復元ができる。最近では、葉の形と古気候との関係が求められ、全緑葉率などによって年平均気温を推定することもある程度可能になった。

つぎに、肉眼では見えない高等植物の器官として花粉がある。これは化学的に安定な物質から出来ているため化石として残りやすい。さらに、花粉は風や水によって運搬されやすいため、陸成、海成を問わずほとんどの水域の堆積物に含まれている。したがって、連続した地層から花粉化石を取り出して群集の経年変化を求めれば、当時の古植生の変遷がわかり、古気候を連続的に復元することができる。また、花粉化石は海生の微化石とともに産出するので、古環境の変化を海洋と陸上とを関連させて比べることもできる。このように、花粉化石は陸上の環境を知るのに最も有力な手段となるが、克服すべき基礎的な課題も残されている。その一つとして、花粉化石は、光学顕微鏡による鑑定では「種」レベルでの同定が難しく、「属」の段階に留まることが多いことである。これは光学顕微鏡の解像力の限界などもあって、現生花粉の形態差による分類が難しいことにも起因する。最近、特にヨーロッパでは、走査電子顕微鏡(SEM)によって系統的に花粉の形態が観察され、種の区分に十分な形態の差異が見いだされるに至っている。わが国ではSEMの普及率が高いといった有利な条件があるし、それにもまして、現生植物の豊富に残る東アジアに位置するという利点もある。現生花粉の形態を系統的に分類するような基礎的な研究は、わが国でこそ率先して行なうべき

である。こうした基礎的な研究が進み、花粉化石が「種」のレベルで鑑定できるようになれば、花粉化石は陸上の古気候を一段と正確に知るための有力な古生物学的武器となるであろう。

#### <グローバルな海水準変動>

ある地域に起った海面変動は、ユースタティックな海水準変動と地域的な地殻変動に由来するものが重なり合った結果であるが、広い範囲で測定した海面変動の記録を突き合わせれば、地域的なファクターを識別することが可能で、グローバルな海水準変動の歴史を知ることができる。氷床の発達や海洋性プレートの生産速度変化などによって、ユースタティックな海水準変動が起れば、沿岸部や大陸棚における生物相分布が大きく変化する。海洋の底生生物には生息に適した水深の範囲が限られているものが多く、群集の変化から古水深の変遷を復元することは古くから行なわれてきた。また、海岸線や潮間帯には特徴的な生物群集や堆積相が発達するので、地層中に保存されたこれらの証拠から、過去の海岸線の位置を知ることができる。日本列島は活動的なプレート境界に位置し、地域的な地盤の上昇・沈下が激しくて、グローバルな海水準変動の研究にはあまり適していないとされる。しかし、短期間に大規模な海水準変動が起った第四紀後期については、国内のフィールドでもユースタティックな海水準変動の復元が可能だけでなく、浅海域の堆積速度の大きさを生かしてより高精度の復元も可能である。実際、地層対比と海面変化の解析に有効なシーケンズ層序学的手法を用いて、日本の第四系を対象にグローバルな海面変動を研究する堆積学者も出始めている。さらに、国内の研究者の一部は、地形解析や炭酸塩岩の年代測定などの手法を用いて、西太平洋全域のフィールドでこの問題に取り組んでいる。古生物学的データが付け加われば、海面変化の歴史解明はより正確になるわけで、わが国の古生物学者が自ら入手し得るデータをもってこれらの研究に参加し、その発展に貢献できる可能性は高いと思われる。

#### 2-1-4. 突発的な地球環境変遷史の解明

1992年にはスイフトータットル彗星が地球に接近したが、その距離が大きく肉眼観察はできなかった。しかし、2126年には直径10 kmと推定されるこの彗星が再び回帰し、8月14日に地球と衝突する可能性が1万分の1であると計算されている。また、地球上には現在、5万年前のものとしてされる米国アリゾナ州のMeteor Craterを始めとして139個の隕石衝突痕

が残っており、地球創世期には日常的に起っていた天体衝突が現在でも継続していることは間違いない。直径10kmの小天体が衝突すれば地表と海面表層部の生命は大打撃を受けるのは確実だが、グローバルな規模での突発的環境変化は、大規模な火山活動や海洋循環の急激な変化でも起こり得る。

#### <白亜紀末の大絶滅の原因解明>

地球科学界での最近のホットトピックスというだけではなく、一般にも大きな関心を巻き起こしているのは、白亜紀／第三紀(K/T)境界で起った陸上動物と海生プランクトン大絶滅の原因究明であろう。これについては従来から多種多様な原因が唱えられてきたが、最近では小天体衝突説と大規模な火山活動説が有力視されてきている。白亜紀末期には各種の生物群が段階的に衰退したという事実に基づいて、日本の古生物学者には小天体衝突説を受け入れ難いとする空気が強いように思われる。しかし、白亜紀末期の段階的な絶滅とK/T境界での突然の大量絶滅は両立し得るし、水生植物の葉の化石にみられる凍結による変形と花粉の成長段階から、小天体の衝突にともなう「衝突の冬」は6月前半に起ったとする。米国の古生物学者の見解も最近発表された。日本でも北海道で海成のK/T境界層が発見されたが、イリジウムの濃集が見られなかったことに加えて古生物学的データに乏しく、大量絶滅の原因解明に大きく貢献したとはいえない。今後は国内のみならず積極的に海外に出かけ、この問題究明に適した地質セクションを見つけたすとか、ODPもしくは日本自前の深海掘削計画で新たな証拠を提示するとかの努力を心がけるべきであろう。

#### <底生生物群集が示す第三紀の海洋循環系の変化>

K/T境界以降に起った最大級の海洋環境変動の一つは、暁新世／始新世境界における底生生物の大絶滅である。先にも述べたように、K/T境界では陸上動物や浮遊性海洋生物の多くが絶滅したが、底生有孔虫の方はこの境界を何事もなくやり過ごした。ところが、浮遊性有孔虫の群集変化が少なかった暁新世／始新世境界において、底生有孔虫の方は、タクサの30-50%が絶滅するという大打撃を受けたことが、北海道の川流布層を含む世界各地の露頭セクションの研究で最近明らかになった。底生有孔虫のこの大絶滅は、高緯度起源の寒冷な底層水が、約百万年間(58-59Ma)低緯度起源の温暖な底層水と置き変わったことが原因とされるが、底層水の置き換えは海洋全体での循環系が変わることを意味し、その変化はきわめて短時間に起ったと考えられる。この

群集の劇的変化の直接理由としては、底層水の水温上昇によるとする説と、底層水中の溶存酸素が欠乏したためとする説とが唱えられており、真相解明が急がれる。前説は有孔虫殻の酸素同位体測定から導かれたものだが、後説は底生有孔虫の形態分析に基づいている。後説では海洋の温暖化にともなって深層水循環が鈍化し、溶存酸素が減少したと説明するが、同様の現象が漸新世後期にもあったとする。今後より広い海域での分析結果を増やし、一般に南極氷床が拡大した時代とされる漸新世後期に、底層水滞留の事実があったのかどうかを明らかにする必要がある。

#### 2-1-5. 第四紀の古環境復元

第四紀は、気候変動の大きいことが特徴の一つである。この時期の地球規模での古気候の変動は、化石に保存されている酸素の同位体比の変化などによって、連続的に知られるようになった。またこの時期は、プレートの境界部での新しい構造運動が活発化し、アジアにおいては、ヒマラヤ山脈の上昇や日本列島の褶曲など、今日見られるような地形が造られてきた。新たな地形の出現は、例えばモンスーン気候の発生や、日本海側と太平洋側の気候の対立など、より局地的な気候の差異を発生させ、グローバルな気候変動と重なって、地域的な気候変化の幅をさらに大きくしている。

第四紀として特筆すべきは、この時代が人類の時代であるということである。この時代の古気候の変動や地域化は、ヒトの進化や分化あるいは、分布に大きな影響を与えたとはいえない。また、文明の盛衰と古気候の変動が関連していることが、花粉分析などによって次第に明らかにされつつある。未来の地球環境を正確に予測することは、21世紀最大の課題になるであろう環境問題の解決に不可欠である。この予測は、第四紀における陸の古気候の変遷を、その時間と広がりにおいて明らかにすることで初めて可能になる。わが国は、第四紀になって構造活動が活発化した地域が多いため、各地の盆地や平野の下にこの時期の堆積物が累積している。こうした各地の地層を、その時代を明かにしつつ花粉分析などの古生物学的な研究を行えば、陸域における古環境の変遷がより具体的に明らかになるであろう。

<深海堆積物に記録された第四紀大陸気候と基礎生産の変化>

氷期と間氷期では乾燥地帯の分布域が違っており、気候分布も異なることから、特定の地域(海域)への

風成堆積物の降水量と鉱物種が異なる。深海堆積物中にはこの変化が記録されており、粘土鉱物の分析で陸上における気候区の変化をある程度解明できることが、地中海や日本海からの深海ボーリング試料を用いた研究で示されている。さらに、風成粒子の降水量が、海生プランクトンの生産量に影響を与えることが最近明らかにされた。海洋表層においては、プランクトンの繁殖に必要なミネラルのいくつかが常に欠乏状態にあるが、不足リストの筆頭にあるのが鉄である。乾燥地帯から飛来する風成粒子には鉄が多く含まれているため、風成粒子降水量の増大は、海生プランクトンの生産増加と直結することになる。精密な地球年代学を用いて珪質および石灰質プランクトンの堆積速度を計算すれば、粘土鉱物の研究で推測された大陸気候の変化を、古生物学的なデータで補足・実証することが可能と思われる。さらに、深海底コアに含まれる花粉の分析を加えれば、より確度の高い情報を古生物学サイドから提供できるであろう。日本には現在も大量の黄砂が飛来しており、粘土鉱物の分析でも氷期/間氷期サイクルにおける大規模な陸上環境の変化が示されているのだから、日本近辺の縁海と太平洋から採取したコアを用い、大陸気候の変遷史を古生物学的データに基づいて解明することの意味は大きいといえる。

#### <第四紀後期の海洋環境復元>

海生プランクトンの化石群集を統計的に解析し、地質時代の海洋表層における季節毎の水温和塩分を知るという変換関数(Transfer Function)の方法は、1970年代の初めに開発され、最終氷期の1万8千年前当時の地表状態を復元したCLIMAPの成果が公表されて、一躍注目されることとなった(図2-3)。CLIMAPで使われた変換関数は、大西洋やインド洋における現生種の地理分布に基づいており、北西太平洋海域でこれを適用すると誤差が大きくなってしまふ。このため、日本近海で使える変換関数の開発が進められており、浮遊性有孔虫や石灰質ナノ化石については予察的な結果が発表されている。日本近海や北太平洋での精度の高い古海洋環境復元を計るために、地域性を加味した新たな変換関数の完成が待たれるところである。このためには北西太平洋全域から多数の底質表層試料を採取する必要がある。

ところで、北太平洋では炭酸カルシウム補償深度(CCD)が浅いため、石灰質微化石の保存状態は一般によくはない。このため、石灰質のみならず珪質の微化石から得られるデータをも統合して解析できれば、より精度の高い古環境解析が可能になる。実際

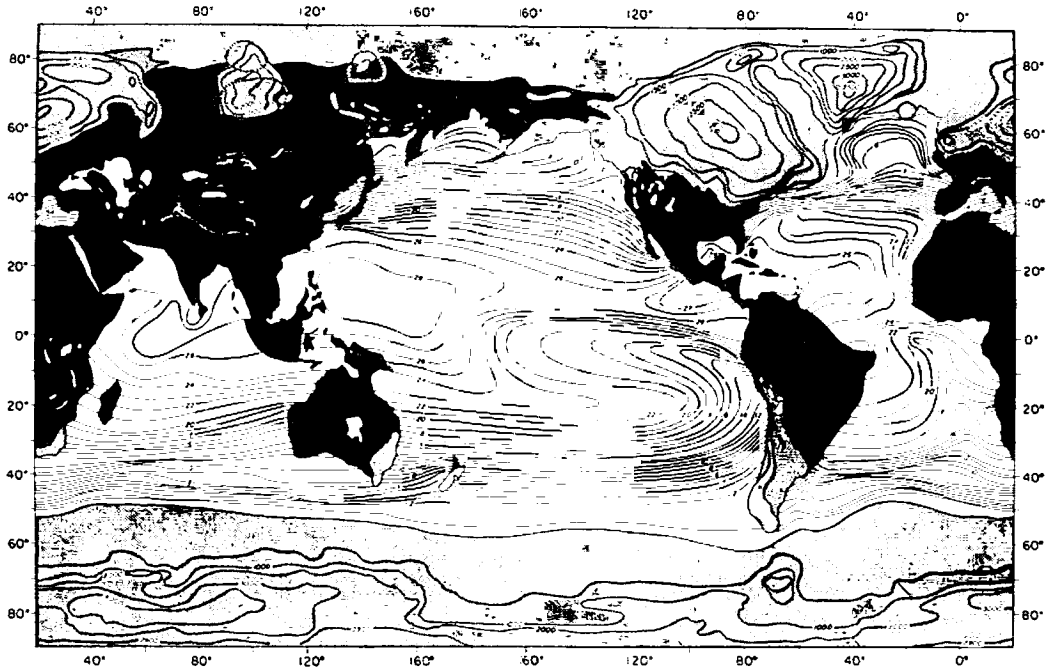


図2-3. 最終氷期極大時(1万8千年前)の北半球の冬の表層水温と氷床の厚さ。(CLIMAP Project Member, 1976).

数年前には、国内の研究者グループが、東日本の沖合いで採取した3本のコアについて数種類の微化石群について温暖/寒冷種の構成比変化を調べた。この結果として、変換関数を全く使わずに過去2万年間の親潮と黒潮の消長が明らかにされたが、研究に使用したコアの長さ不足でそれ以前の古環境復元はできなかった。海域によっては、単一生物グループの化石群集を変換関数で解析する以上に、この方法の方が環境復元に適しているとも考えられる。

先にも触れたように、貝化石群集の解析に基づく同様の研究はもっと早くから始まっており、最終氷期後の急激な温暖化に伴って暖水性動物群が日本列島沿岸を北上して分布を拡大し、縄文海進と呼ばれる最温暖期後の弱い寒冷化に伴って再び南下して、分布域を縮小した経緯が詳しく明らかにされている。このように、第四紀におけるグローバルな気候変化に対応した、海洋環境のドラマチックな変化が明らかになった今、第四紀後期を通じての微古生物学的研究がもっと盛んに行なわれるべきである。そのため使えるコアは現在日本国内にあまりにも少ない。通常の海洋観測船を用いて多数のピストンコアを採

取するのはもちろんとして、自前の深海掘削船を用いてHPC(水圧式ピストンコア)を計画的に採取し、その有効利用を計るべきであろう。

<浅海・陸成層に含まれる第四紀環境変化の記録>

第四紀における陸上の古環境の変遷史は、浅海成・湖成・河成堆積物の中にもよく記録されている。そのような記録は、大型植物化石や花粉化石などの微化石の分析によって解読することができる。日本では、特に近畿・東海地方の鮮新・更新統で古くからそれらの化石の研究が行なわれ、詳細な層序学的・年代学的な研究の成果と組み合わせることによって、古環境の変遷史が詳細に復元されてきた。また、近年は堆積速度が速く記録の分解能がよい湖成堆積物が注目され、琵琶湖ボーリング等によって得られたコアの微化石分析によって、細かいオーダーでの環境変遷史が明らかにされている。

陸成の代表的な第四紀堆積物としては黄土(レス)がある。その中には黄色味を帯びた本来の黄土の部分と赤色の古土壌が交互に繰り返した細かい縞模様が見られる。このような模様は第四紀の古気候の変化を表わし、古土壌の部分は温暖期、黄土の部分は寒



冷期を表わすとされる。黄土層には、古地磁気測定やその他の方法で詳しい年代尺度を入れることができる。また黄土層からは、脊椎動物化石や陸貝化石、花粉化石などが産出し、それらを詳しく分析することによって、第四紀における地球環境の詳細な変遷史を解明することができる。

世界各地にある黄土層の中で、中国の黄土層は最も代表的なものの一つで、日本の研究者も一部でその研究を手がけている。中国の黄土層の研究を推進することは、第四紀の陸上の古環境変遷史を復元する上できわめて重要と考えられ、そこに含まれる化石群集の解析という点では、日本の古生物学の研究者も大きく貢献しうる研究テーマである。

#### 2-1-6. 人類を取りまく環境の歴史的变化を復元する ＜人類化石や考古遺物と共産する動植物化石の分析＞

われわれ人類がどこから来たのかという人類の起源の問題は、近代自然科学が解決をめざしてきた最も重要な課題の一つである。近年の化石資料の蓄積によって、人類がチンパンジーやオランウータンなどの類人猿と共通の祖先から分化したのは、中新世中～後期頃とされる。それ以降の人類の進化史は、多くの化石資料や考古遺物によって明らかにされてきた。人類の化石そのものは古人類学の研究対象であるが、人類の化石や遺物が含まれている陸成の地層には豊富な動植物化石が含まれていて、古生物学的な研究が必要な場合が多い。それらの動植物化石を分析することによって、その化石人類が生活していた当時の自然環境を復元できるからである。自然環境を復元することは、その化石人類と自然とのかかわりを理解する上でも、人類進化の要因を解明する上でもきわめて重要である。

人類化石と共産する化石には、陸生脊椎動物化石が多く、有名な人類化石には必ずと言っていいほど多量の脊椎動物化石が伴っている。そのことは、アウストラロピテクスやジャワ原人、北京原人などの例を見ても明かである。それらの脊椎動物の研究は、古生物学の研究者にまかされることになる。

最近、日本の研究者グループがケニアで発見した中新世中～後期のヒト上科に属する化石は、人類進化を考える上できわめて重要なものであるが、それに伴っては乳類を中心に多量の脊椎動物化石が産出した。そのような化石群集の解析結果から、当時の動物相→古環境が復元された。

人類学者による化石人類発見のための努力や考古

学的な発掘調査は、今後も世界中で勢力的に続けられるはずであり、今後さらに多くの発見が期待されるが、それに伴って大量の動植物化石が産出し、古生物学の研究者には環境復元の仕事がまかされることになるであろう。

#### ＜現代人の拡散と古環境＞

現代人の起源については、(1)世界各地で見つかった古代型人類とは別系統で、20万年前にアフリカに発生したものが、その後各大陸に広がったとする単一起源説と、(2)100万年以上前にアフリカで発生したものが各大陸に拡散移住し、地域毎に異なる進化を遂げたとする多地域進化説とが対立している。いずれにせよ、拡散した時期の陸上の古環境を復元することは、拡散の原因を考えたり、拡散によって生じた新しい生活環境域での人類の生活を考える上できわめて重要である。拡散地域の古環境は、人類の化石や遺物に伴って産出する動植物化石ばかりではなく、その地域の陸成堆積物に保存されているほ乳動物化石や大型動物化石、花粉化石などの分析によっても復元される。日本でも最近、後期更新世以降のモンゴロイドの拡散をテーマとする研究が行なわれ、モンゴロイドの拡散地域である日本、中国、シベリア、北アメリカなどでの古環境復元が試みられている。

#### ＜第四紀末のは乳類の大絶滅—人類のもたらした変化?＞

第四紀末は地球環境が大きく変化した時期であったが、この時期には陸生ほ乳類の多くの種類が世界各地で絶滅したことが知られている。このような絶滅現象は南北アメリカで特に顕著で、更新世末の短い期間にきわめて多くの種類が絶滅したとされる。絶滅の原因論としては、当時すでに高度な狩猟技術を持っていた人類の「殺し過ぎ(オーバーキル)」によるとする説が北米では有力で、数値シミュレーションによる絶滅パターンのモデルまで提唱されている。しかし、地球環境の変化に原因を求める説も根強く、「殺し過ぎ」だけで世界各地の絶滅現象をうまく説明できるかどうか疑問がある。いずれにしても、ほ乳動物化石群集を詳しく解析し、世界各地での絶滅のパターンを明らかにすること、大型植物化石や花粉化石の分析で当時の陸上の古気候や古植生を明らかにすること、考古学的・人類学的手法で当時の人類の生活を復元することなどが必要であろう。

このような第四紀の絶滅現象が最初に注目されたのは北アメリカであったが、その他の地域ではまだまだデータが不足である。特に、東アジアでは信頼

性の高いデータが少ない。地球規模での絶滅現象の解明のため、東アジアのデータをまとめる必要がある。

## 2-1-7. 地域的な古環境の復元

### <海岸部での環境復元>

先にも述べたように、底生生物は生息環境の違いに対応して住み分けるが、河口や内湾など、底質と塩分濃度が局地的に大きく変化する部分ではとくにこの傾向が明確で、化石群集の解析からかなり詳しい環境復元が可能である。このことは多くの底生動物化石で検証できるが、体化石だけではなく生痕化石のもたらず情報も無視できない。また、底生有孔虫、渦鞭毛藻、珪藻などの原生生物も塩分濃度の変化には敏感で、これら水生の微小生物が残す殻やシストの化石からも環境復元が可能である。さらに、海岸部には陸上植物も繁茂しており、葉や果実などの大型化石と花粉や胞子などの微化石を合わせて、陸源化石の研究も環境復元に欠かせない。

このように海岸部での環境変化は生物相に大きな影響をおよぼし、化石群集もそれに応じて変わるので、堆積相の解析だけでは分からない陸成相、汽水成層、海成層の分布を、化石相の違いに基づいて正確に見分けることができる。日本の大都市は海岸部に発達し、第四紀に形成された海岸平野に位置するものが多い。ここでは、活発な基盤の構造運動にくわえ、氷期-間氷期を通じての海水準変動の影響で、陸成層と海成層が複雑に入り組んだ軟弱な地層が分布する。大都市においては深層地下での土木工事が多くなってきているが、陸成層と海成層では土質力学的特性が異なっており、海成層の三次元的な分布を正確に知ることが大事である。従来の土質調査では分からなかった海成層の分布が、海生の微化石によって正確に識別できることが、関西新空港や東京の地下空間計画の調査で明らかになり、軟弱地盤での大工事に際しては微化石の調査が不可欠であるという認識が、急速に広まりつつある。地質学・地球科学系学科での学部教育において、海岸平野の軟弱地盤に含まれる微化石の定量的解析法を手ほどきし、土木工事業界からのニーズに答えるとともに、一般にもその重要性を認識させるように努力すべきであろう。

### <陸地に近い海域における環境復元>

外洋に面した陸棚から深海底までの環境では、海岸線から遠くなり水深も深くなるほど生息環境の異質性が小さくなるため、大地形と水深の変化に対応

した底生生物の群集変化が、生物相変化の主体となる。化石を用いた古水深の復元には、底生の無脊椎動物や有孔虫が有効で、陸棚から深海底までの生息場の大きな復元が可能である。最近では、潮下帯から陸棚内帯上部に限って住むホヤに含まれるアラゴナイト骨針を使って、地層中の再堆積の程度や重力流の移動経路が分かることも示された。また、石灰質ナノプランクトンでは、底質中の遺骸群集組成が水深に比例して変わることが明らかになり、陸地に近い海域における過去の水深変化を復元する新たな手段が得られた。このように、底生および浮遊性微化石の群集解析から、陸地に近い海域での水深変化が読み取れるわけだが、その基本となるデータの地域性は大きく、各海域において個別に適用できる。水深ゲージの完成が待たれる。貝類では深度分布が古くから知られていて、化石にも広く応用されているが、深度分布の緯度勾配や時代変化などを明らかにして、精度を高める必要がある。また、他の化石グループについても水深ゲージとしての有効性を検証し、陸上や浅海での堆積環境復元や化石燃料資源の探査に役立てるべきである。

潜水艇や深海カメラを用いた最近の深海底観察では、局地的な環境の違いを反映した大型の底生生物の生息分布が明らかにされつつあるが、生活痕跡の違いとして観察される情報も多い。一般に体化石の乏しいタービダイトの分析において、生痕化石の果たす役割の重要性は広く認識されているが、深海における底生動物の住み分けに関する情報が増えてくれば、タービダイト以外の深海堆積物の解析にも生痕化石が利用できるものと期待される。

日本には世界でも第一級の深海潜水艇や深海カメラが多くあるし、日本の国土は多様な深海環境で取り囲まれてもいる。わが国の古生物学者が現生の底生動物の作る生活痕を系統的に研究すれば、生痕化石を用いた堆積環境解析の分野で世界をリード出来る可能性が高い。

### <内湾や沿岸環境の汚染モニターとしての古生物学>

琵琶湖や霞ヶ浦でのアオコの異常発生や、瀬戸内海で最近特に赤潮が頻発するようになったことから明らかのように、湖や海の富栄養化によって特定の生物が異常繁殖するようになる。汚染された水域では、骨格に異常を示す魚が多くみられる事実も報告され始めている。このように、水環境汚染の影響は目に見える形で生物相に現われてくるが、その経年変化を調べるには堆積物の調査が最も重要であ

る。ところが、骨格を作らない藻類や魚の骨が地層中に保存されることはまれであり、日常的に見聞する環境汚染の影響は、環境汚染の経年変化の証拠としては使えない。したがって、比較的最近に発生し始めた人為的汚染といえども、これを系統的に調べるには微化石となり得る遺骸からの情報に頼るしかない。すなわち、ピストンコアを採取し、その中に含まれる原生生物の石灰質・珪質の外骨格や、渦鞭毛藻シストなどを定量的に調べるという方法であるが、この種の環境汚染モニタリングはまだその実例を聞かないし、今後日本の古生物学者が緊急に取り組むべき課題であろう。

もっとも、微化石となりうる原生生物の骨格形態や群集組成に、環境汚染の影響が現われなければこの方法は使えない。これを検証しうる研究例はまだ少ないが、東京湾や三河湾で採取した石灰質ナノプランクトンには、外骨格の奇形がきわめて高い割合で発生していることが分かっている。この奇形は西太平洋の縁海で一般にみられる奇形とは異なるタイプのようで、人為的な環境汚染が原因ではないかと考えられる。先にも述べたように、地層中の遺骸群集を扱う仕事は古生物学者の守備範囲である。先ずは、古生物学者が率先して汚染海域とその周辺での水と底質コアを採取し、微化石になりやすい遺骸が環境汚染のモニターとして使えるかどうかを検証すべきであろう。

<プレートテクトニクスに関連する特殊な海底環境の復元>

海洋プレートの生産される拡大境界やホットスポットの付近では熱水が吹き出しており、ブラックスモーカーやホワイトスモーカーと呼ばれる熱水吹き出し口の周辺では、太陽エネルギーに依存しないチューブワームなどの特殊な生物群集が存在する。プレートの沈み込み帯においても、熱水の吹き出し口で同様の熱水群集が観察されたが、冷水の湧き出し口にはシロウリガイなどの特殊な生物群集が存在する。最近ではこれらの熱水や冷水湧出に伴う化石群集が、陸上に露出する海成層中で認められ始めており、日本でも三浦半島に分布する新第三系の数層準において、シロウリガイの化石コロニーが最近見つかって、テクトニクス復元にとっての重要なデータとして注目されている。シロウリガイの中にはきわめて小型のものもあり、従来の研究では見逃されてきた可能性が高い。これからの海成化石群集の調査に当たっては、熱水や冷水湧出にともなうこれらの特殊な化石の産出を識別し、プレート境界部におけるテクト

ニクスと堆積環境の復元に貢献すべきであろう。

## 2-1-8. 地球環境にみられる周期性の解明

<化石の内部構造や組成に現われた地球環境の周期性>

付加成長する古生物の硬組織、たとえば、二枚貝やフジツボなどの貝殻やサンゴの骨格、魚類の耳石、植物の木部にみられる年輪など、さまざまな環境変化が生物体の構造の変化として記録されている(図2-4)。この種の記録は地層に残された記録に比べるとはるかに断片的ではあるが、一般的により精度が高い。生物の成長に伴って形成された組織であるから、連続した記録は数十年程度と短いことが多いが、場合によっては日変化までも解読可能なほど精密な記録である点が特徴である。ここでいう環境変化とは、たとえば潮間帯の海洋生物では潮汐であり、また別の場合餌の供給量の変化である。したがって、化石から推定された周期性には、基本的に1日2回の潮汐から、水温変化などの年周期、また、木の年輪には黒点の増減として現われる太陽活動周期である約11年の周期性、などさまざまな周期性が認められる。また、これらの断片的な記録を長い地質時代にわたって集めれば、一ヶ月の日数や一年の日数の見積りなど、月と地球の回転の地質時代を通じた変化など、長期的な変化も明らかになっている。

化石硬組織に記録された古環境情報は以下のカテゴリーに分けることができる。

(1)木の年輪、貝殻の潮汐による成長輪、などに代表される時間情報

この時間情報は、さらに年代推定の物差しとしての利用法と地球公転周期の変化の復元といった天体力学的復元への応用に分けられよう。年代推定の物差しとして最もよく知られたものは木の年輪による年輪年代学であろう。木の年輪では、現在まで生き続けている個体の調査から始まり、時代をさかのぼることによって木の年輪による絶対年代が決定でき、考古学や歴史学へ大きく貢献した。寿命の短い浅海性海洋生物の貝殻などではこのような試みは困難だが、絶対年代は分からなくても、正確な年単位の相対年代が明らかになるだけでも、古環境学に大きく貢献することはまちがいない。このアイデアに基づいた古環境研究は未開拓であるが、残された記録の質から考えて、記録の読み取り技術さえ進歩すれば、今後飛躍的な進歩が期待できる分野である。

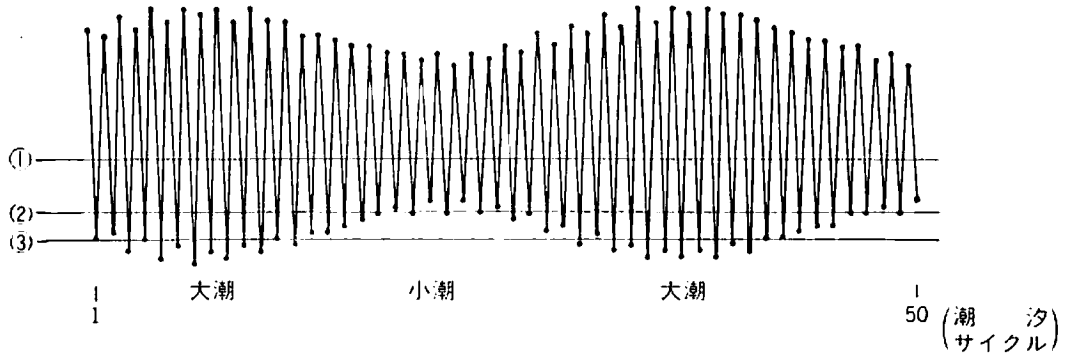


図2-4. 数万年前の大阪湾に住んでいた二枚貝の化石に残された成長パターンから推定される  
生息当時の潮汐タイプ。横線は調査した3種類の化石の推定生息位置(大野照文, 1987)。

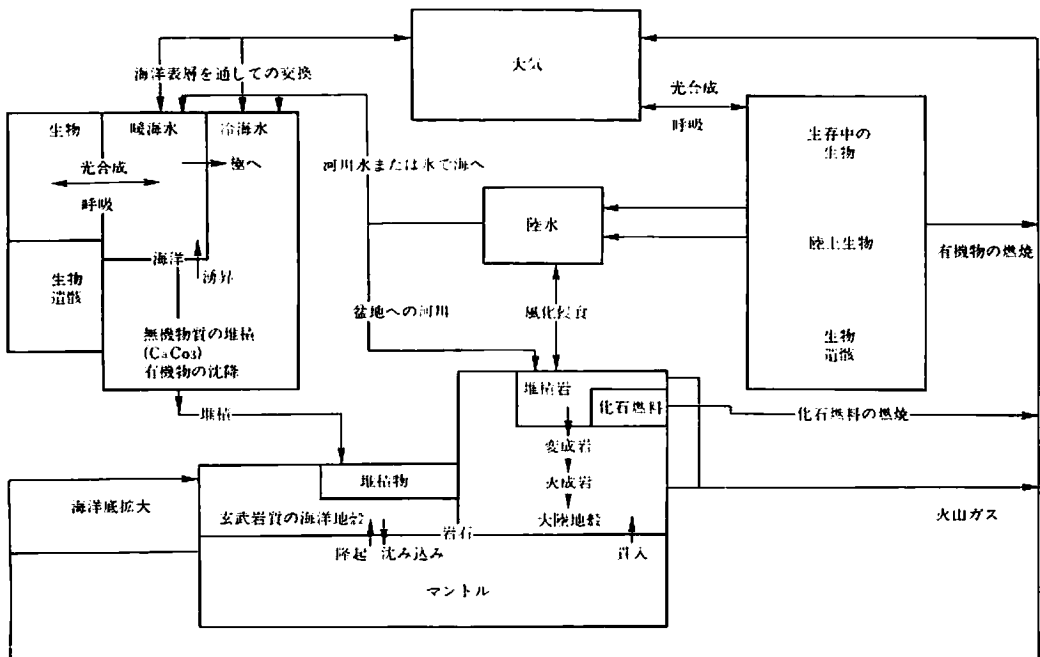


図2-5. 地球表層の炭素循環プロセス (Bolin *et al.*, 1979).

## (2) 貝殻の成長量の変化や不連続面の存在

これらの変化は水温変化などの古環境だけではなく、生殖などの古生物の生活周期をも記録している。生活周期の解読は、マーキングした二枚貝個体の長期にわたる成長追跡、貝殻の成長線と酸素同位体比の比較解析に基づいて試みられており、これらの情報を読む技術がさらに進めば、種々の古生物の生態を復元することも可能なはずである。

## (3) 硬組織を構成している物質そのものの化学組成に記録された古環境情報

すでに、炭素同位体比や酸素同位体比は古環境の推定、また年代学的应用において大いに役立つことは実証済みである。これらの確立された手法も、さらに精度が高まり、多面的に応用されていくだろう。

## ＜化石群集に現われた地球環境の周期性＞

化石群集は堆積相の変化に伴って周期的に変化することが多い。これは、化石の分布を支配している環境要因が周期的に変化していることの反映にほかならない。底質の環境条件を直接反映する底生生物の場合は特にこのことがはっきりしている。最も顕著な例は、第四紀の氷河性海水準変動に支配された堆積サイクルの中にみられる化石群であろう。わが国の例では、関東堆積盆の堆積物が陸上に連続的に露出しており、貝類などの大型無脊椎動物化石群が周期的な変化を示していることがよく知られている。

第四紀の周期的な環境変化の根本的要因は、地球軌道要素の周期的変化が北半球の高緯度地域の日射量の変化をもたらす、それがペースメーカーになって引き起こされているとするミランコビッチ説が定説として受け入れられており、根本的原因はすでに明らかにされているとも言える。しかし、日射量の変化が、どのような具体的なプロセスをへて、気温、海水温、海流、海水準などの変化をもたらすかについては、未だに明らかにされていないことが多い。さらに、このような環境要因の変化がどのように生物群集の変化をもたらすか、またそのダイナミックなプロセスの持つ古生態学的、進化学的意義の解明は今後の研究に持ち越されている。このような問題に対して理解を深めるには、化石群だけの研究では不十分であり、堆積物の検討が不可欠である。近年発達してきたシーケンス層序学のモデルを作業仮説として堆積相の解釈を行ない、そこに化石のデータをのせて考察することが必要である。化石を含む堆積物を十分理解した上で化石群集を取り扱うことの

重要さは強調し過ぎることはないであろう。古環境の変化の議論はもちろん、進化や絶滅の議論など古生物の議論のほとんどすべての基礎であり、この解釈が進歩すると、それまでの議論が無になるような事態も起こりうる。

## 2-1-9. 生物活動と大気中の二酸化炭素濃度との関係解明

＜現在炭酸塩骨格として堆積している二酸化炭素の定量＞

海洋に生息するサンゴの仲間には石灰質のリーフを作るし、海洋プランクトンの中には石灰質の殻を作っている。大量の炭酸カルシウムを海底に沈積させるものがある。炭酸カルシウムの生成には水中の二酸化炭素が使われており、これらの生物は繁殖することで、水中の二酸化炭素と平衡状態にある空気中の二酸化炭素を減らす働きをしている。今日では化石燃料の大量使用による大気中の二酸化炭素量増加が顕著になり、近い将来における地球温暖化が懸念されているが、将来起りうるシナリオを議論するに当たっては、現在の炭素循環の実体を明らかにすることが重要である。とりわけ、このサイクルの中で重要な役割を担っている、炭酸塩の堆積量と溶解量を正確に知る必要がある。また、地球温暖化の進行に伴って、海洋生物の分布が将来変わることが考えられる。このため、大気中の二酸化炭素濃度変化と温室効果進行のシミュレーションに際しては、生物活動によってどれだけ量の有機炭素と炭酸カルシウムが現在堆積しつつあるかを明らかにすると同時に、どの生物種がどれだけ効率的にそれを行なっているかを知らることが重要である。

最近日本でも自前のセディメントトラップ設置が盛んになり、多くの試料が計画的に採取されるようになってきた。セディメントトラップで採取した試料を化学分析することで、有機炭素と炭酸カルシウムのフラックス総量を測定することはできるが、どの生物種がどれだけフラックスを担っているかについては、形態を観察してタクサを定量的に決めるしかない。現在の海洋生物学者の中では殻を観察してタクサの判定が出来る人はごく限られており、実際には古生物学者がこの役のかなりの部分を担うことになる。

＜地層中に含まれる有機炭素の成因解明＞

石灰質の殻を作らなくても、プランクトンの遺骸がマリンスノーや糞粒として海底に堆積すれば、大量の炭素を水中から取り除くことになる(図2-5)。

すなわち、空気中の二酸化炭素濃度を減らす働きである。堆積したプランクトンの遺骸は、海底が酸素欠乏状態であったり堆積してくる有機物量が多すぎたりすると埋積され、通常の炭素循環サイクルから取り除かれることになる。陸上でも植物体がケロージェンや石炭などとして地層中に取り込まれれば、全く同じことが起る。石油や石炭として地層中に固定されたこれらの炭素を人類が化石燃料として使用し、再び炭素循環システムに加えることで、現在の地球温暖化が起っているわけだが、凍土地帯や大陸棚から放出されるメタンガスもその原因として最近注目されてきている。

これらの有機物やガスとして地層中に取り込まれたり、自然に大気中に放出されたりしている量の測定については、古生物学者の貢献は少ないであろう。しかし、一時的に地層中に取り込まれる炭素の成因を知ることは、地球温暖化対策のために重要であり、古生物学者が貢献できる部分が多い。例えば、底層水の溶存酸素量は、底生有孔虫の群集組成で判断することが可能である。有機堆積物量の増大は湧昇流の発生が最大原因であるが、石灰質や珪質の殻を作るプランクトンには湧昇流域に特有の群集があり、その出現で湧昇流の発生を検証することができる。また、地層中に含まれるアルケノンなどの分子化石を分析し、地層に取り込まれた有機物の根源を明らかにする研究も盛んになりつつある。このように、化学分析に加えて微化石や分子化石を研究することで、埋積された生物源有機炭素の起源を明らかにすることができるわけで、過去の地球における炭素循環の実態解明にとって、古生物学は重要な役を担っている。

最近のODPでは、湧昇流の発生に伴う基礎生産力の増加と、有機炭素の集中的な堆積過程の究明を重点的な調査目的の一つとしており、各大洋の赤道海域における湧昇流発生の歴史とメカニズムを明らかにしつつある。日本の古生物学者は、炭素循環サイクルの歴史解明を目指したODPの航海に直接参加しており、その実態解明に大きく貢献している。日本人研究者によるこの方面での活躍は継承されるであろうが、今後はもっと定量的な検証を加味し、新しいモデルを提唱するような研究が期待される。

## 2-2. 形態と分子の両面から生物進化を探る：進化古生物学の課題

### 2-2-1. はじめに

生物学的な古生物の研究(Paleobiology: 進化古生物学ともいう)は、地質時代のあらゆる生命現象

の解明を目的とするが、その中心的課題は約35億年にわたって地球上で繰り返されてきた壮大な生物進化の過程と様式を明らかにすることである。生物進化に関する包括的かつ科学的な研究は、C. Darwinの「種の起源」(1859)によって体系づけられた。その後、現在に至るまで膨大な化石資料が世界各地のさまざまな時代の地層から集められ、それらの記載・分類学的研究によって生物界の歴史の変遷の様相が明らかになった。1960年代以降、他の生物科学・地球科学の諸分野と同様に、進化古生物学においても理論と技術の両面で大きな発展があり、内外で新しい自然観のもとに革新的な研究が数多く生まれている。

従来、生物群の系統関係は、比較解剖学を基礎とした化石・現生種間での形態の相同関係や現生種の発生様式の特徴などに基づいて組み立てられてきた。一方、近年の分子生物学の急速な発展により、タンパク質の一次構造やDNAの塩基配列の解析から、種々の現生生物集団・種間の遺伝的距離と系統関係を求めることが可能となり、また「分子時計」の仮説に基づいて、分岐年代が推定されるようになった。そこで、このように新しく分子レベルの研究から推定される系統と、従来の主に形態に基づいて組み立てられる系統とが、どの程度一致するのかを調べることが、進化生物学の重要な課題の一つとして浮かび上がってきた。

ところが、生物の系統を編もうとする上記の2つのアプローチには、それぞれに利点と弱点があり、取り扱う素材と方法にも基本的な違いがあって、両者の間には必ずしも接点が得られていない状態にある。また、形態レベルでの進化では自然選択が進化要因として最も重視されるのに対して、分子レベルでの進化では確率的な要因(中立的な突然変異と遺伝的浮動)が重要と考えられている。生物の形態変化は注意深い化石記録の検討からある程度復元できるが、形態(表現型)は元来遺伝因子と環境因子の相互作用の産物であるから、形態的差異の程度がそのまま系統的違いを反映するわけではない。

形態レベルの進化では、分類群や時代によってその速度に大きな違いが認められている。一般には集団のサイズが小さく隔離の起こりやすい哺乳類などの陸上動物で形態の時代的变化が著しい。しかし、同じ分類群に属する古生物でも、ある場合にはきわめて急速に変化し、別の場合には長期にわたって停滞することが知られている。もちろん、形態レベルの進化にも確率的な要因は働くが、生態および生息

環境と関連して形態変化の速度が大きく支配される。一方分子レベルでは、相同なタンパク質のアミノ酸配列やDNAの塩基の配列の置換率が多くの分類群ではほぼ一定な値になる。分子進化では自然選択に中立的な変異が機会的浮動によって集団に広がるという分子進化の中立説が提唱された。この仮説に基づいて組み立てられる分子進化の系統樹は、しばしば化石や個体発生に基づく従来の系統樹とは一致しないことが指摘されている。例えば、ヒト科の進化についても、分子レベルの研究によって従来の考えとは異なった系統関係が推測され、大きな議論を生じている。しかし、現生生物の分子レベルの解析から推定される系統は、あくまでパターンであって、分岐の時期は推定されるとしても、共通の祖先がいかなる形態と生態をもつ生物であったかは知ることができない。また、「分子時計」の仮説そのものにも問題がないわけではない。

結局、2つのアプローチは、条件のよい同一の素材(化石および現生試料)を、それぞれの利点を活かした方法で解析し、得られた結果を比較することによって、始めて接点をもつことができる。このような認識から、すでに吹米では古生物学者・分子生物学者が共同で分子古生物実験室を設ける研究機関が増えてきた。我が国にもこのような新しいプロジェクトに積極的に取り組む若手研究者が現れ、具体的成果が出始めている。

## 2-2-2. 形態レベルの研究

古生物学は「形の科学」という側面をもつ。古生物学ではおもに肉眼あるいは顕微鏡を介して識別される古生物の遺骸やその行動の痕跡、すなわち化石を研究素材とする。地層中あるいは化石硬組織中に含まれるアミノ酸などの化石分子を除けば、我々が化石から直接得られる情報は広い意味での形態と産状だけである。したがって古生物学の形態への依存度は基本的には今も昔と変わっていない。しかし、形態に対する認識は大きく変わった。今日の進化古生物学では、化石の形態を単に静的に観察して記載・分類するのではなく、あらゆる理論・実験的手法を駆使して化石を調べ、その背後にある古生物の生命活動や進化の歴史を明らかにすることを目標としている。これを可能にしたのは、古生物学者が(1)飛躍的に発展を遂げている現代生物学の知見を研究にとりいれたこと、(2)化石だけでなく現生生物を直接の研究対象としたこと、さらに(3)電子顕微鏡・レントゲン・CTスキャン・X線マイクロアナライ

ザー・質量分析計などの各種理化学機器、コンピュータ・画像処理装置等の情報機器(含ソフトウェア)、年代測定や化石の抽出・処理に関する技術を研究に導入し、新しい分野を開拓したこと、などがあげられる。

以下に述べるように、形態レベルの進化古生物学の範囲は、系統分類にとどまらず、先カンブリア時代の生物の進化に関する研究、形態進化や系統分化パターンの解析、形態と機能の関係や形態形成に関する実験的・理論的研究、形態解析を介しての生活史・行動・生態についての研究など、多方面におよんでいる。

### <新しい古生物系統学の確立>

19世紀後半に生物進化が広く認められて以来、すべての化石は、単一の祖先から分かれ出て現在の多様な生物に至る進化過程の産物であることが強く意識され、系統関係の解析は古生物研究の中心的な課題となった。とくに、化石としてよく保存されるような生物においては、古生物の研究は系統の理解に最も重要な役割を果たしてきた。古くから続けられている分類研究においても、系統を最もよく反映すると思われる体系が尊重され、改善が図られた。当初は安易に既存の種や属をつなぎ合わせたような系統樹も作られたが、1960年代以降は米国の古生物学者G. G. Simpsonや動物学者E. Mayerらによって確立された進化の総合説や集団の概念(変異を持つ個体群を生物進化の基本単位とする基礎的概念)のもとに、化石においても個体発生や個体変異の解析を通じて形態進化を認識するようになった。わが国でも、特定の分類群についてはモデルケースとなるような説得性の高い系統が復元されるようになった。しかし、これらは古生物全体から見ると、まだごく一部であり、化石記録の不完全性が痛切に感じられることも少なくない。また信頼性の高い系統の復元は、当該化石生物群の時空分布範囲すべての(場合によっては全世界の)資料に基づいて行わなければならないことが明らかであり、フィールド調査などに多大の労力と費用を要することも認識された。

形態に基づいて系統を考察しようとする時、生物の形態を構成する各形質をどのようにして妥当に評価するかは系統学(Systematics)の最大の問題であり論点である。ある形質は環境要因に応じて簡単に変化するのに対して、別の形質はより安定していて系統をよく反映しているように見える。できるだけ多数の形質の全体的類似性の程度により系統関係を把握しようとする多形質分類の立場をとる表現学派

(数量分類学で代表される)に対して、系統学派は少数形質に基づく分類と系統の復元を行ってきた。系統学派の中でも総合説の立場をとる進化分類学では、この形質の重みづけを注意深い経験のふるいわけにたよってきた。系統学派のもう一つの立場は、Henning(1950)によって開拓された分岐分類学である。これは、多くの形質について各形質の状態(ステイト)の極性(原始-派生関係)を判断し、その組合せによって最も矛盾の少ない分岐図(クラドグラム)を選択するもので、近年米国を中心に古生物の研究にも大きな影響を及ぼしている。その是非はともかくとして、これからの古生物の系統学的研究では、形態形質だけでなく、その背後にある発生・生理・生態・行動などの諸特徴を加えて、あらゆる角度から諸形質の厳密な評価を行っていく必要がある。

#### <進化のパターン解析>

進化を種形成を伴わない集団のレベルの「小進化」と、種レベル以上の「大進化」に分けることがある。小進化は集団内での遺伝子頻度の変化として定義され、その機構は突然変異・自然選択・遺伝的浮動で説明されている。しかし、大進化が小進化と同じ機構で生じたのかどうかについては、よくわかっていない。

古生物に見られる形態進化の様式を種分化と関連づけた研究は数多くあり、中でも1972年にEldredgeとGouldが提唱した断続平衡モデルは進化生物学者を巻き込んだ論争に発展した学説としてよく知られている。しかし、化石種は現生種と異なり形態学的特徴によって定義されているので、ある進化系列に大きな形態の飛躍が認められても、それが直ちに種分化に伴って生じたとは限らない。例えば、発生を調節する遺伝子の突然変異や調節遺伝子の突然変異によって、個体発生における形質発現が促進されたり遅滞する異時性(ヘテロクロニー)の現象が起こり、見かけ上大きな形態変化が生じる場合も考えられる。

このように形態進化の生物学的意味を探るにはまだ未解決の問題が残されているが、化石記録が豊富で時空分布がよく追跡できる分類群については、個体発生・系統発生を通じての形態変化のパターンを詳しく解析することによって解明の糸口が見つかる可能性がある。すでに日本でも、古生代ヘルム紀のフズリナの種系列の一つについて諸形質の進化傾向が詳しく解析され、外国の古生物学の教科書に漸進的進化の好例として紹介された。また、イタヤガイ科二枚貝の一種(ヒヨクガイ)の系列について不連続変異の解析に成功した研究例もある。系統が現世ま

で続くような第四紀の古生物は、(1)古い時代の古生物に比べて、化石記録の不完全性の程度が低い、(2)現生種の遺伝・生理・生態・発生などに関する生物学的情報を直接生かして研究ができる、(3)年代に関する資料が豊富である、などの理由から、単一系列内の形態変化のみならず種分化過程の解析にもよい条件を備えている。ごく最近、若手研究者が小笠原諸島固有の陸生巻貝類について形態と分子の両面から系統の解析を行い、更新世末期から現世に至る進化過程について興味ある成果を挙げつつあるが、これは今後目指すべき進化的研究のモデルケースと言えるだろう。

#### <機能形態および形態形成に関する研究>

すでに述べたように、形態(表現型)レベルの進化は遺伝的要因と環境要因の相互作用の結果生じたと考えられる。さまざまな生物の間で、同じ生活様式や生理的働きを持つことにより、体や器官の形態・構造が互いに類似する現象が知られているが、類似する器官の中には、系統的に起源を同じにするもの(相同器官)とそうでないもの(相似器官)がある。機能形態学は、現生生物での形態と生態・機能の関係についての知識なくしては成り立たない分野であるが、近年実験的な方法が取り入れられ、我が国でも多くの興味ある研究がなされている。この研究は、古生物の形態の適応的意義、つまり形態進化の機能的側面の解明につながり、今後ますます発展が期待される。

古生物の形態の中には、筆石類にみられる樹状パターン・軟体動物の殻表面の規則的彫刻・アンモナイトの縫合線などのように、形成過程において物理的な法則もしくは制約条件が強く関与したと思われるものがある。A. Seilacher(1970)は、このような要因を建築学的要因と呼び、系統的要因、適応的要因と合わせて形態形成の3要素とした。彼が確立した構成形態学は、古生物の形態形成や進化を支配する構造的(物理的)条件を明らかにしようとする点に大きな特徴がある。

生物の形態は形と大きさに分解でき、それらは個体の成長とともに動的に変化する。生物が理論的に取り得る形態の全スペクトラムを想定し、実際に採用している形態の領域と比較しつつ、生活様式・進化傾向・適応の物理的限界や形態形成の制約条件を解析しようとする理論形態学は、米国のD. M. Raupによって開拓され、1970年代以降コンピュータの普及とともに進化古生物学の新しい潮流の一つとなった。我が国においても、世界に先駆けて若手研究者



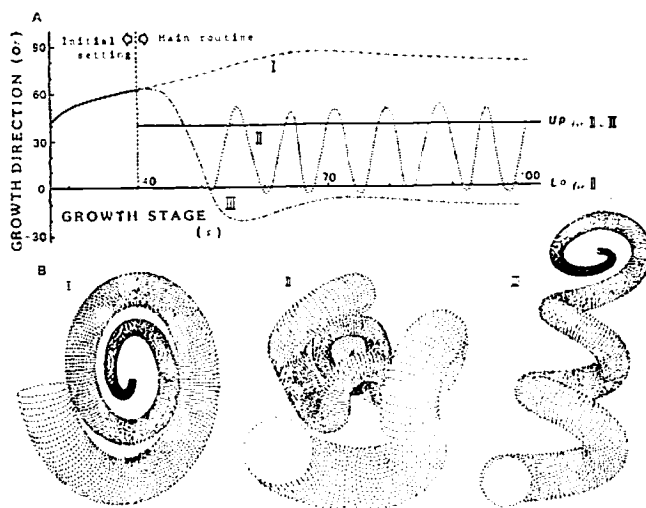


図2-6. 静水力学的制約条件(中立浮力)の下、成長方向を変化させることによって理論的に作り出された異常巻きアンモナイトの殻形態(コンピュータ・シミュレーション)(Okamoto, 1988)。同じ初期条件でスタートさせても、成長方向を上向きに保つと*Scalarites*のような平巻き型(I)が作り出され、また成長方向を下向きに保つと*Eubostrychoceras*のようなヘリコイド型の殻(III)が形成される。さらに、成長方向の上限と下限を決めてその範囲で調節させてやると*Nipponites*のような殻(II)ができる。

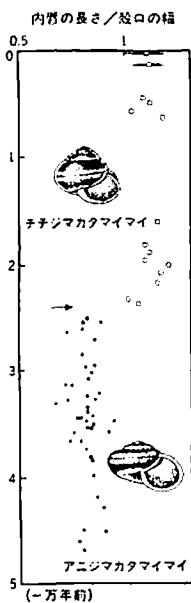


図2-7. 小笠原諸島固有の陸生巻貝(カタマイマイ属)の一進化系列に認められる漸続的な形態進化(Chiba, in press)。このような比較的短期間(約1000年)で達成されたアニジマカタマイマイからチチジマカタマイマイへの飛躍的な形態進化でも、集団遺伝学でいう小進化(自然選択による方向性選択)で十分説明できる。

が軟体動物の付加型骨格の成長パターンを微分幾何学とコンピュータ・シミュレーションの手法を用いて解析することに成功した。さらに、異常巻アンモナイトの進化に認められる表現型レベルでの大きな形態変化が、静水力学的制約条件の下で、殻の成長方向をわずかに変えることで達成できることを理論的に証明して、国際的に注目を集めた。また別の若手研究者は、軟体動物の殻表面に認められる規則的な色模様について、細胞同士の拡散反応系における、生化学反応の有限処理速度が物理学/生物学の弁別の本質的であることを指摘し、有限観測伝播速度下のダイナミカルモデルを提唱し、形態形成への生物物理学的アプローチを開拓した。このように、古生物学の形造りに関する研究は、化石の形態に近似した図形を描くことを目的とした記述的段階から出発し、シミュレーションによって形態進化の過程や機構に関する仮説を検証する段階へと飛躍的に発展を遂げている。この研究は21世紀に向けて、分子発生遺伝学や生物物理学の理論や数値実験を取り入れた形態形成機構解明の研究へと継承されていくであろう。すでに、米国ではこのような観点からの萌芽的研究が開始されており、例えば後生動物の初期進化にみられる体制の対称性や体節構造の起源が分子発生遺伝学的立場から論じられるようになってきた。

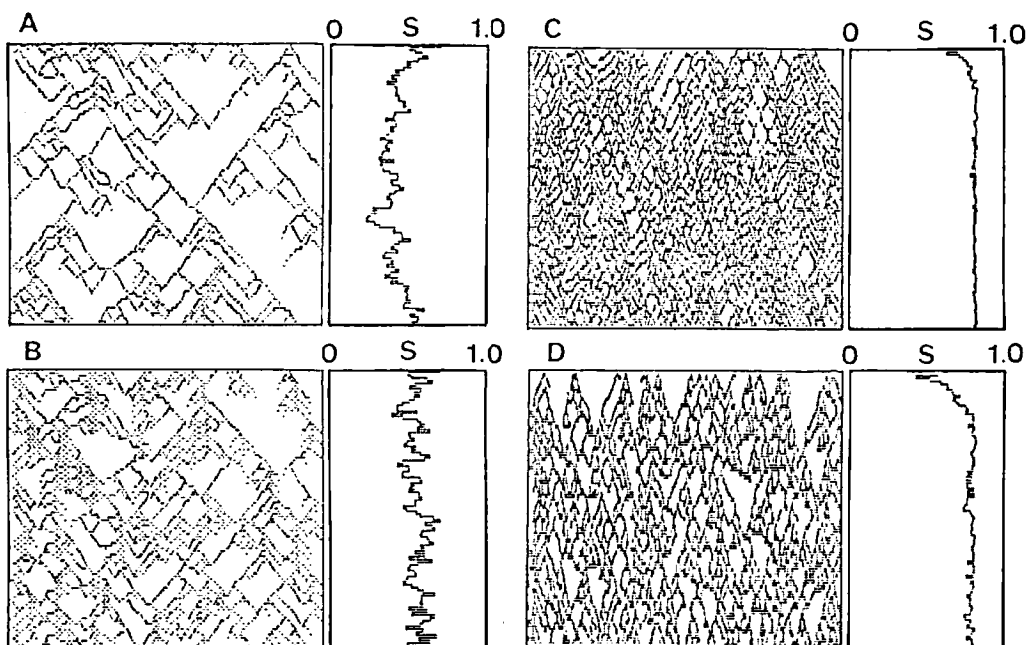


図2-8. 拡散反応系型のセル・オートマトンによって作り出されたパターン (Gunji, 1990). 各図とも軟体動物の殻周辺部での色素細胞の生化学反応によってできる紋様をよくシミュレートしている。右側のジグザグカーブは空間的なメトリックエントロピーSの変化パターンを示す。

#### <先カンブリア時代の化石の研究>

過去2世紀にわたって行われてきた化石の記載分類学的研究によって、生物界の発展や進化の歴史の全貌は調べ尽くされたのであろうか? いや、決してそうでない。すでに確立したとみなされていた化石群の系統分類や進化が、新しい化石の発見や研究方法の見直しによって大幅に変更された例もある。さらに、生物の歴史の約80%の長さを占める先カンブリア時代の化石の研究は、1960年代に入ってようやく本格化したにすぎず、過去約6億年間(顕生代)の化石の研究に比べて著しく遅れている。先カンブリア時代の古生物の大部分は硬組織を持たない微少なバクテリアやラン藻類などの単細胞生物で占められるが、それらは化石として保存されにくいうえに二次的混入の可能性もあって、有効な研究方法が確立されていなかった。しかし、最近の化石抽出技術の進歩や電子顕微鏡の発達・普及により、この問題も解決されつつある。また、後に述べる分子化石の研究も並行してすすめられるようになった。先カンブリア時代には、生物の進化史上最大の事件である生命の誕生をはじめ、光合成能力の獲得・原核生物か

ら真核生物への進化・多細胞生物の出現といった生物界の大変革があったと推定されている。また、世界各地の先カンブリア時代末期の地層から報告されている殻を持たない生物群(エディアカラ動物群と総称される)が後生動物でないとする説が最近ドイツの古生物学者Seilacherによって提唱され、原始的な後生動物であると主張する学者との間で論争を引き起こしている。ともあれ、先カンブリア時代の化石の研究は、これら進化学上の重要課題を明らかにするための有効なアプローチの一つであり、生命のRNA生物からDNA生物への進化説や共生説の検証にもつながるであろう。日本列島にはオルドビス紀以前の含化石層はまだ確認されていないが、アジア大陸東部や韓半島には保存のよい化石を産する先カンブリア系が広く分布するので、それら化石の調査・研究を行う国際的プロジェクトの推進が強く望まれる。

#### <例外的に保存のよい化石群の研究>

通常的环境下では、生物の死後、軟体部は急速に腐敗しバクテリアの働きによって分解し消失するため、化石として残る部分は鉱物質の骨・歯・殻など

の硬組織だけの場合が多い。軟体部が残った化石としては、これまでシベリアなどの永久凍土に保存されたマンモスや琥珀中の昆虫などがごく稀な例として知られていた。しかし、近年世界各地のさまざまな時代の地層から印象もしくは鉱物質に置換された状態で保存された軟体部を伴う化石群がかなり多く発見されている。このような例外的に保存のよい化石群を多く含む地層はKonservat-Lagerstätten(ドイツ語で「保存鉱床」の意味)と称され、進化古生物学的に注目を集めている。Lagerstätten中の化石群は硬組織を持たない分類群を多く含むため、それらの進化史の概要を明かにする上で重要である。また、現世に類縁を持たない絶滅分類群(例えばコノドント類)の系統上の位置の解明に役立つ。とくに、カナダのプリティッシュ・コロンビア州に分布する中部カンブリア系バージェス頁岩の動物群(最近、S. J. Gouldにより興味ある著作が出版された)に比較されるきわめて保存のよい化石群は近年アジア大陸東部から報告されており、3-2で述べたような国際的共同研究により顕生代初期の後生動物の爆発的進化の詳細が明らかになるであろう。本邦においても、栃木県塩原の第四紀湖成層のように保存良好な化石群を含むLagerstättenが発見されつつあり、今後さらに詳しい研究が望まれる。

#### <「生きた化石」の研究>

現生種の中には、シーラカンス・カプトガニ・オウムガイ・ネオトリゴニア・イチョウなどのように、古い地質時代から現在にいたるまで大きな形態変化をとげずにいるものがあり、このような生物は「生きた化石」(学術用語では遺存種)と総称されている。長い間、遺存種にみられる進化的な停滞は遺伝的変異性の損失の結果生じ、それらは他の生物に比べて一般的に低い遺伝的変異量を示すと考えられてきた。しかし、最近の研究者が電気泳動法などによって求めた遺存種の遺伝的変異量(多型遺伝子座の割合、平均ヘテロサイコシティ)は、他の生物とはほぼ同じレベルにあり、このことから遺存種は遺伝的変異量の不足が原因で生じたとは考えにくい。米国の古生物学者S. M. Stanleyは「生きた化石」の緩進化の原因について、前述の断続平衡モデルを導入して少ない系列数で偶然長期間生き残ったため大きな形態変化が起こらなかったにすぎないと指摘しているが、必ずしも納得のいく説明とは言いがたい。むしろ、遺存種は海底洞窟などの隠生的環境、捕食圧の低い亜深海・深海域、海洋底の熱水噴気孔付近の特殊な環境などに多く見つかっており、環境要因が体制の

保守性の維持に関与している可能性がある。この問題を明らかにするためには、今後遺存種の形態学・遺伝学・生態学・発生学・生理学的特徴を総合的に解析するとともに、比較される化石種についても検討を加えていく必要がある。幸いにして、日本列島周辺には、目立たない小型の生物を含めて「生きた化石」と呼ばれる生物が多様な水陸環境に存在し、この研究に絶好なフィールド条件を備えている。今後、関連諸分野の研究者を加えた学際的プロジェクトの推進が望まれる。

#### 2-2-3. 分子古生物学的アプローチによる系統進化の研究

進化の研究には、進化の過程の解明と進化機構の解明という二つの主要な課題がある。進化の直接的な証拠である化石を扱う古生物学は言うまでもなく生物の進化の過程を明らかにする上での中心的な分野であり、地球に生命が誕生して以来、約35億年間にわたる長大な時間の系における生物の系統発生の概要を明かにする上で大きな貢献をなしてきた。しかし、形態と化石の産出情報にもとづく古生物学の系統の解明には、化石記録の不完全性に起因する問題が常につきまとうだけでなく、先カンブリア代末の無脊椎動物や白亜紀末の哺乳類の放散の例に見られるように、多くの系統が形態の著しい不連続変異を伴ってほぼ同時に出現し、形態の上からも化石記録の上からも系統の解明が困難な場合がままあることや、また形態にはその機能の反映としてしばしば収斂が生じ、形態にもとづく系統の推定が必ずしも真の系統関係を表していない可能性など、自ずから限界がある。この様な古生物学的系統解析の限界を補完するものとして、最近、分子系統学的研究が大きくクローズアップされてきた。分子系統学は分子生物学とりわけ進化の機構を中心的に研究する分子遺伝学の最近の著しい進歩の上に発展してきた新しい分野である。

進化の機構の研究は、Charles Darwinの自然選択説以来、メンデル主義の確立、集団遺伝学の理論体系化、遺伝子を構成するDNAの二重らせん構造の発見とセントラルドグマ説、新しい遺伝子像に立脚した分子遺伝学へと常に遺伝学を中心として発展してきた。1940年代に成立した進化の総合説の流れの中では、進化の研究の中心的興味は、集団内および集団間の遺伝的変異の解析による小進化の解明から種形成の問題にいたるいわば低次分類群のレベルに終始していた。しかし、1960年代初頭に、分子生

物学的手法が進化の研究に導入されるや、系統進化の研究は新しい局面を迎えた。DNAが遺伝子の本体である事がCrick等によって発見され、DNAの塩基配列上の3つの特定な塩基配列(コドン)がある特定のアミノ酸を指定している事が明かにされた結果、蛋白質は遺伝子の情報を反映した産物であると言う視点が生まれた。Zuckerlandl and Pauling (1962)以来、多くの生物に共通に認められる蛋白質のアミノ酸配列が系統解析のために決定され比較された。その結果、蛋白質におけるアミノ酸置換数は比較する生物が共通の祖先から分岐してから経過した時間に比例していることが、換言すれば蛋白質のアミノ酸置換率は時間当りほぼ一定であると言う“分子時計”の性質が明かにされた。分子時計の性質を利用すると、ある一つの化石分岐年代をリファレンス年代として使用する以外古生物学的情報を必要とすることなしに、種間から門と門との間にいたるまでの系統関係図(系統樹)が作成できる上に、その分岐年代までも得ることができる。分子系統学の研究は、進化の過程を研究する古生物学の研究者に大きなインパクトを与えることになった。分子系統学による解析結果と古生物学的データとの不一致に関し、初期には両分野の研究者間で激しい論争が行われた。しかし、現在では、両分野の利点と欠点を相互に補完し、より信頼のおける系統学的結論を導こうという方向にこの論争は収束しつつある。進化の研究において、これまで独立に行われてきた過程と機構と言う枠組みが取り払われる状況がここに生まれた。さて、アミノ酸配列や免疫学的手法による系統解析法は、進化学に進展をもたらしたものの、高価な分析機器を必要とする上に、分析にエキスパートの人材を要する点などから一般化するには到らなかった。これらの手法に替わって、簡便なゲル電気泳動法が導入され、同位酵素蛋白(アイソザイム)を産生する遺伝子座の遺伝子頻度の分析が盛んに行なわれ、低位分類群間の系統関係が遺伝的距離として論じられた。アイソザイムの分析の結果、形態的遺存種“生きている化石”においても、また環境の安定した深海底の生物においても、著しい形態変異を示す種と同じレベルの高い遺伝的変異が認められ、これらの変異の保有機構が大きな問題になった。分子レベルの進化は、表現型レベルの進化と異なり、機械的な遺伝的浮動によっていると言う分子進化の中立説が提唱された。この説は分子時計に理論的裏付けをあたえることとなった。

1980年代以降、とりわけ最近の分子生物学の発展

はめざましく、これまで研究対象にできなかった高次な生命現象を視座に置くことが出来るまでになった。この進歩は、遺伝子を構成するDNAの塩基配列をスピーディーに解析する技術、種々の酵素によるDNAの切断と結合技術、遺伝子のクローニングやスクリーニング技術、PCRによるDNA増幅技術などのいわゆる遺伝子工学技術の革命的進歩と歩調をあわせていることも特筆される。これらの最近の新知見や技術を積極的に導入しながら、分子進化の研究は多くの人々の興味を集める科学分野へと急速に変貌をとげていった。進化の素材である遺伝子を見ても、遺伝子の分断構造(エクソン・イントロン構造)、遺伝子重複、多重遺伝子族、動く遺伝子、核内・核外遺伝子の協調などの様々な遺伝子の様態が明かにされ新しい遺伝子像が浮き彫りになってきた。形態形成に関する分子発生遺伝学も着実に進歩を遂げ、ショウジョウバエやウニでは卵極性遺伝子、分節遺伝子、ホメオチック遺伝子といった一連の発生制御遺伝子が確認され、その構造と機能が明かにされてきている。ウニ類などでは、近い将来、形態進化に遺伝学的解釈を与えることも可能となるう。

このような分子遺伝学の最近の潮流の中で、進化の機構と過程を分子レベルで解明しようとする分子進化学または分子系統学の分野が確立した。この分野では、研究成果を発表する国際誌(Journal of Molecular Evolutionなど)が既に相当な巻号を重ねているほか、内外で教科書が相次いで出版され着実な地歩が築きあげられている。分子進化学のこのような状況は、当然、古生物学における分子レベルの研究と研究体制の拡充に拍車をかけることになった。

歴史的に見ると、古生物学における分子レベルの研究は1954年Abelsonが二枚貝などの化石硬組織から種々のアミノ酸を報告し、化石中の有機分子を研究する分野として古生化学を提唱したことに始まる。1960年代にCalvinらは、微化石を含む先カンブリア代の地層を始めとして地質時代の種々の堆積岩から生物源の炭化水素分子などを相次いで発見した。そして、Calvinは、これらの分子化石の起源と続成の研究を通して化学進化、生命の起源・進化にアプローチする分野として分子古生物学を位置付けた。ところで、生命現象に深くかかわる遺伝子や蛋白質分子はその重要な機能的制約のために、長い進化の過程を通して極めて保守的に保存され“生きている分子化石”あるいは化石分子(Fossil molecules)と呼ばれている。この化石分子を利用すれば、現在に系統

が存続する生物に関する限り、先カンブリア代や古生代に起こった生物の分岐を化石記録との関連で考察することも可能となる。UCLAの分子古生物学研究室を主宰するB. Runnegar (1986)や英国グラスゴー大学で分子古生物学を推進しているG. Curry (1987)等によって、化石中の分子化石(molecular fossil)に加えて、現存生物中の化石分子をも研究のターゲットとする分野として分子古生物学が位置付けられ、積極的に生物中の化石分子をも研究対象とする体制が出来上がった。グラスゴー大学やUCLAの分子古生物学研究室にはクリーンルームに蛋白質シーケンサーを始めとする総額1億円を優に越す実験機器群が配備され、生化学者をもスタッフに採用した、これまでの古生物学の研究室の枠を越えた新しいスタイルの研究室が実現している。日本でも分子古生物学を指向した研究者また研究室が誕生しているが、欧米の先進的な研究室に比べ、設備、予算および人材の投入・後進の育成といったすべての面で、大幅に遅れをとっているこの現状を考えると、日本においてもこの分野の研究者の交流を活発化するとともに、学会レベルでも、この重要な新しい古生物学分野の振興と人材養成といった問題を真剣に考え方策を立てることが急務の様に思われる。

最近の分子古生物学の活動状況をみるとめざましいものがあり、1988年アメリカ古生物学会主催でMolecular Evolution and Fossil Recordsと言うshort courseが開かれ、学会出版物が出されたのを始めとして、1991年にはRoyal Society主催の会議Biomolecular Paleontologyがロンドンで開催され、古生物学、分子遺伝学、生化学、人類学などの多分野の人々が一同に会し活発な議論がなされ成果出版物が刊行されている。また、同年、英国でAncient DNAに関するワークショップが開かれた。1992年6月のNorth American Paleontological Convention、8月のIGC (Kyoto)でも分子古生物学に関するシンポジウムが開かれた。

次に、分子古生物学に関連して今後推進して行くべき課題について記す。

<DNA化石の塩基配列データによる古生物の系統進化学的研究>

ごく最近まで、化石生物の遺伝子の研究は正にSF小説“Jurassic Park”の話でしかなかったが、1986年に発明されたPCR装置(DNA増幅装置)は古生物学の夢を現実のものにした。1990年アメリカのGolenbergらはアイダホ州の下部中新統のクラークア化石層(17-20Ma)産化石モクレンの葉より葉緑体D

NAの遺伝子の一部820塩基対を増幅し配列を決定し、そのデータを基に現生近縁種との間の分子系統学的解析に成功した。この研究は分子生物学者の手によるものであるが、分子進化の過程を直接研究する道を古生物学にもたらしたと言う点で、その学問的意義は計り知れないものがある。最近、アメリカ・エール大学のグループ(DeSalle et al., 1992)により、約30Maのドミニカ産漸新世琥珀中の昆虫化石から核およびミトコンドリアDNAの一部が増幅され、その塩基配列が決定され、系統学的研究がなされており、今後、極めて保存良好な化石を対象にDNA化石の研究が活発化するものと予想される。日本の新生代の地層中には、クラークア化石層に匹敵する保存の植物化石層が知られているほか、保存の良好な脊椎動物化石を産するので、日本産化石を対象としたDNA化石の研究に期待がよせられる。

<化石硬組織の有機マトリックスのアミノ酸組成およびアミノ酸配列による系統解析>

軟体動物などの貝殻にはコンキオリンが、脊椎動物の骨格や歯にはコラーゲンが有機基質としてかなりの量含まれている。これらの有機基質は化学的に耐久性の強い鉱物質に保護されているため、1億年という様な地質年代を経ても初生の分子構造をかなりの程度保存した状態で発見される場合もままある。硬組織を脱灰し可溶画分をカラムなどで分画し一定の化学的性質をもった純粋な画分(Ca-結合ペプチド等)を得た後、アミノ酸分析を行いその組成の比較から系統の解析を行う。この手法は近年のクロマトグラフィーの進歩にも支えられ進展を見たものである。最近、本手法による中生代ジュラ紀以降のカキ類の系統解析が日本の研究者によって行われた。本手法は保存良好な中生代の化石には十分適用可能なので、今後研究例が増加するであろう。一方、化石脊椎動物においては、ナウマンゾウの臼歯のあるものに現生のゾウ類のものと比較できる保存状態のコラーゲン分子が日本の研究者により確認されており、そのコラーゲン分子の分子生物学的解析が期待されている。この種の研究も今後大いに進展するものと思われる。

<免疫学的手法による古生物の系統解析>

放射性的ラベルをつけた抗原と抗体を使つた高感度の放射免疫測定法が開発されたことにより、化石組織中にわずかに保存されている蛋白質を利用しての免疫学的研究が可能となり、その系統学的応用への道が拓かれた。この方法を用いて、マンモスやアメリカマストドンなどの化石哺乳類の系統解析がア

アメリカの研究者により行われ大きな成果が挙げられている。英国のグラスゴー大学では、この手法を使って化石種を含む腕足類の系統進化学的研究プロジェクトがなされており、同類の大分類の改訂を含む大きな成果が得られている。本研究プロジェクトに参加している日本の若手研究者により、本邦の鮮新統産化石腕足類の免疫系統学的研究がなされている。中生代の軟体動物の硬組織から蛋白質の検出報告がなされている現在、モノクローナル抗体を用いる方法をも併用していけば、免疫学的手法の古生物の系統学的研究への適用は今後ますます拡大していくものと思われる。

#### <硬組織の鉱物結晶中の蛋白質の研究>

グラスゴー大学の分子古生物学研究グループにより、分子量の小さい蛋白質分子が腕足類などの殻を構成する鉱物結晶中から発見されそのアミノ酸配列の一部が既に決定されている。この蛋白質を産生する遺伝子は恐らく核遺伝子上にあるものと考えられ、その配列の系統進化学的価値に期待がよせられている。この種の蛋白質の分子古生物学的研究が待望される。

#### <分子進化速度の測定と分子進化の様式に関する研究>

化石記録から分岐年代が決定出来る現存種の遺伝子の塩基配列を決定し分子進化の速度を測定する。日本には腹足類キサゴ類を始めとし、この種の研究を行う上で良好な素材が少なくなく、この種の研究が日本の研究者によって既に開始されている。この研究は、分子進化の中立説の検証や、分子時計の根本問題に関わる系統間における進化速度の違いの検証と言った進化学上極めて重要な問題の解決に道を開くものである。

#### <生命の起源と細胞進化段階の生物の系統進化学的研究>

地球形成後の地球環境下で、どのような過程を経て生命が誕生したか、また、原始的生命がどのような過程を経てより高次の生物段階へと進化していったかを明らかにすることは現代科学の究極的課題の一つである。この問題解決へのアプローチとして、(1)先カンブリア代の地層中の化学化石、生物分子化石、微化石の研究を推進する。また、(2)RNA生物からDNA生物への進化過程を、また、原核生物の共生によって真核生物が生まれた過程を現存する原始的生命の染色体、核、オルガネラ、RNAの塩基配列、遺伝子の配列および構成などから考察していく。

#### <無脊椎動物界の系統進化学的研究>

先カンブリア代末およびカンブリア代末に無脊椎動物界の大放散が行われたことが、化石記録から明らかになっている。また、この時代の無脊椎動物には現在の分類体系では分類不能の軟体動物と節足動物との中間型の生物も存在していた。無脊椎動物の各門間の系統関係と分岐年代を、この時代の形態を比較的よく保存している現生の形態の遺存種のDNAおよびRNAの塩基配列データ、遺伝子の配列と構成の情報から、また、ヘモシアニンやヘモグロビン蛋白質のアミノ酸配列データから解析し、化石記録と照合し系統関係を考察する。

#### <脊椎動物の系統進化学的研究>

脊椎動物は骨格や歯の硬組織を有するため、化石記録から系統発生の概要が比較的よく解明されている。しかし、三疊紀のハ虫類や白亜紀末の哺乳類の爆発的な放散にみられるように、形態上の不連続を伴って高次分類群が一斉に出現するため、系統進化学的に重要な分類群の分岐の順序と関係が解明されていない。脊椎動物のミトコンドリアDNAは、総塩基対、遺伝子配列の変異に乏しく、かつ進化的に保守的ないくつかの遺伝子領域が知られているため、核DNAのリボソームRNA遺伝子などとともに上記の系統学的問題の解明に理想的な分子と言える。ミトコンドリアDNAを中心に、核DNAのヘモグロビン遺伝子の多重遺伝子構造などの情報を加味して問題の解決を計る。

#### <深海性生物の起源と系統の研究>

海洋底、海嶺の熱水噴気孔周辺、およびプレート収束域の断層に沿う湧水域には細菌の化学合成に立脚する莫大なバイオマスを持つ生物群集が認められる。これらの特異な環境に適応したシロウリガイ類やハオリムシ類などの生物がどのような分類学的位置をしめどの様に進化してきたかを解明することは進化学的に興味ある課題である。これらの生物の形態学的研究と分子系統学的研究は深海生物の起源と進化の問題の解決に光明を与える。

#### 2-2-4. 古生物の進化研究に関する我が国の現状と問題点

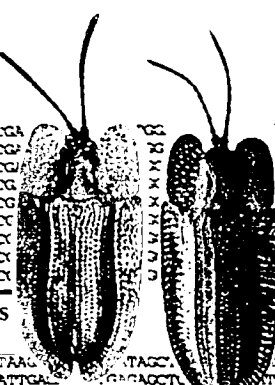
進化古生物学は今や新しい局面を向かえ、内外で革新的な研究が始まっている。我が国でも、多くの体制や予算上の制約があるにも関わらず意欲的な若手研究者がこの分野で活躍を始めている。それに対して、これからの一大発展が期待される分子古生物学をはじめとする新しい研究分野を具体的に推進するための準備体制は残念ながらきわめて不十分であ

# 30-Million-Year-Old DNA Boosts an Emerging Field

18 SA

```

DROS TTACCCACTCCCGGCTCCGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACAAATACAGGACTCATATCCGA
MAHT TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
NASU TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
AMBD TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
ZOOT TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACAAATACGGGACTC--ATCCG
MDAR TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
BLAT TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
PTER TTACCCACTCCCGGACCGGGGAGGTAGTGACGAAAAAT AACGATACGGGACTC--ATCCG
    
```



```

TTTAAA'
TTAAA'
CTAAA'
CTAAA'
CTAAA'
CTAAA'
TTAAA'
TTAAA'
TTAAA'
    
```

## Quaggas and mammoths are extinct—but genes and proteins extracted from their mortal remains can 'live' again

```

DROS GCCTCGGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
MAHT GCCTCGGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
NASU GCCTCGGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
AMBD GCCTCGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
ZOOT GCCTCGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
MDAR GCCTCGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
BLAT GCCTCGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
PTER GCCTCGGCTTAATTTGACTCAACACGGGAAACCTTACCAAGGTCGAAACATTAAGTGTAAAG
    
```

Eons-apart look-alikes. Specimens of a leaf beetle of the genus *Delocrazia*. One specimen (left) was recently captured in the Peruvian rain forest; the other is a 30-million-year-old specimen in Dominican amber

## Miocene DNA sequences — a dream come true

A chloroplast DNA sequence amplified by the polymerase chain reaction from a 16 million year old leaf raises the hope of directly following molecular change on an evolutionary time scale.

```

MDAR AA'TTAAAATTTACAAAATATAAAGGTTTATAGGGTCTCTCGGCCTTTAAAAATATTTTTCGCTTTTGCTAAAAAATAAAATCTACAAA
DROS AA'TTAAAATAAAATAAATATAAAGATTATAGGGTCTCTCGGCCTTTTAAATTAATTTTAGCTTTTGGACTAAAAAATAAAATTCATTTTA
BLAT AA'TTAAAATAAACAATAAATATAAAGATTATAGGGTCTCTAGAAATTTTAAATATGCTTTAGCTTTTGGACTAAAAAATAAAATCTATAAA
    
```

図2-9. 現代に甦る化石生物の遺伝子。DNA化石の研究は進化生物学に新しいニッチを開拓した(Science, vol. 257, 1992のV. Morellの解説, およびR. DeSalleほかの論文の図を中心にデザイン化)。

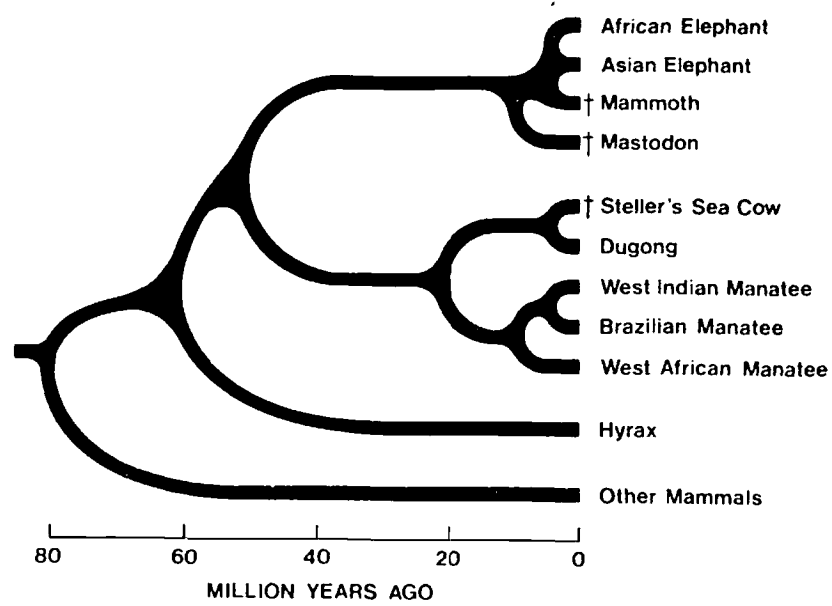


図2-10. 免疫学的手法に基づく長鼻類と海牛類の系統樹(Lowenstein, 1988による)。現存種と絶滅種(†)の軟および硬組織より抽出したタンパク質の免疫学的距離から系統樹と分岐年代が推定された。

る。この基礎的研究を行うべき研究機関(大学・自然史博物館など)の人員ポスト数・スペース・設備・研究費はいずれも不足であるというよりは、理想の状態に比べてゼロに近いのが現状である。一挙に理想の状態にするのは無理であるとしても、早期にかなり抜本的に研究環境の改善がなされなければ、若手研究者の意欲を助長することもできず、この方面の研究において外国に大きな遅れをとることが懸念される。現代の進化古生物学は地球科学と生命科学を両輪とした近代的な科学へと変貌をとげつつあるが、欧米諸国と異なり我が国の大学においては研究・教育体制がまだこの変化に十分対応できない状態にある。その結果、地質系教室・学科に籍を置く生物系出身者、あるいは生物系教室・学科に籍を置く古生物学者はともにきわめて少なく、古生物学者と生物学者の間の人事を含めた相互交流は活発でない。一方、地球科学・地質学の諸分野においては、プレート・テクトニクス説の確立にみられるように新しい地球観のもとで学問の再編・統合がすすめられ、地球惑星科学や地球環境科学のような新しい学際的研究領域が生まれつつある。古生物学においても、21世紀に向けて現生・化石生物の研究を対等に評価できるような幅の広い、しかも革新的な若手研究者を育成するためには、生物系の学科・教室との教育・研究面での連携をさらに強めていく必要がある。

すでに英国では大学の地質古生物学関係の教室を再編成して、グラスゴー大学に分子古生物学研究の拠点を設け、生化学者をもスタッフに採用して斬新で活発な研究活動が展開されている。同様の動きは米国にもみられ、古生物学者が中心となってスミソニアン研究所・カリフォルニア大学ロサンゼルス分校・アメリカ自然史博物館などに次々と分子古生物学や分子系統学の実験室が設立され、多くの分野の若手研究者によって系統進化の解明を目指して精力的な研究・教育体制がスタートしている。科学研究が非常に多様化した現在、すべての大学・博物館にさまざまな分野の研究者がばらばらに雑居しているのは甚だ能率が悪い。それぞれの機関の研究者を満足させるような設備を備えるには莫大な経費とスペースを要するであろう。たとえ小規模の研究機関であっても、特色を持ち特定の分野では世界の第一線の研究ができるよう集中的な投資を行うことが必要である。それに伴って生じる教育上の偏りは、非常勤講師を含む教官人事の交流・学生の一次的指導委託などによって補えるだろう。また、このような特色のある研究室に、当初からその専門研究に意欲

的な大学院生や海外からの研究者が自然に集まるようになれば、格段に大きな成果が期待できるだろう。

## 2-3. 地球史における生態系の進化を追求する

### 2-3-1. 古生態学の新展開

過去の生物たちはどんな生活をしていたか、どんな所に棲み、何を食べ、どんな行動をとっていたか、といった問題を研究するのは古生態学である。しかし課題はそれだけでなく、古生物たちのそのような生活がどのようにして始まり、どう変遷して現在に至ったか、という問題、生物の進化を環境との関連で捉える、ということこそ古生態学の中心課題である。

進化をめぐるさまざまな議論のなかでも、古生態学は特に環境との関係、あるいは生物たちの生活という視点からこれを見ようとしている。生物はなぜ時と共に形を変え、進化するのかを概念的にいえば、生物個体群のもつ変異性や生物社会の不安定性に、環境の変化が働きかけて進化を引き起こすのだ、といえよう。この意味で、進化の原因を考察する際には、古生態学的視点からのアプローチが中心となる。このように、古生物の生活、古生物とその環境との関係、そして生物とその環境との相互作用の歴史を追求するのが古生態学である。

古生態の研究は、はじめ、地質学の一分野として、過去の地表環境の復元を目指す研究として始められた。しかし、30~40年ほど前から、上記のような生物科学的視点からの研究が進められ、多くの成果をあげてきた。環境復元の基礎を提供するものとしての古生態学は、今後ますます重要になると考えられるが、ここでは、主として古生物学的視点から古生態学の現状と将来の展望を論ずることにしたい。

日本では、1920年代末から早坂一郎がこの種の研究の重要性について強調し、自らも各地の干潟などにおける観察や、露頭における化石の産状観察などを重ねてきた。また一方、楨山次郎は、早く1931年に層序学における古生態学的研究の重要性を指摘し、掛川層群中の軟体動物化石のニッチを論じ環境変遷にともなう群集遷移を認めるなど、現在でも新鮮に感じられるほどの議論を展開している。第二次大戦前にも、そのほか何人かの先導的な研究者が現れたが、残念ながらこれが日本の古生物学において大きな研究の流れを形成するには至らなかった。これはしかし、諸外国でも同様であった。

近年、古生物学関係者が積極的に現生生物の研究を進め、古生態の研究に必要とする現生生物の資料



を集め、現生生物の生態を調べるために、自ら飼育を行うなどという傾向が強くなったのが大きな特徴である。現生の海洋生物学者と共同して、大規模な海洋生物の調査なども行われるようになった。

古生態学の発展には、また、機能形態学の進歩も大きく貢献した。機能形態学では、化石の形態を、単に古生物の多様さを示すものとして見るのではなく、生物がその環境に適応していることを示す指標として捉え、これに基づいて生活様式を復元したり、形態のもつ機能的意義を考察する。機能形態学は、このように古生態学の重要な一分野として研究が進むようになった。また、コンピュータの発達で、形態を幾何学的に解析する分野も進展し始めた。こうして、群集論的視点と、機能形態に基づく個生態的視点とが融合し、古生態学の視野が急速に広がり始めたのが1970年頃からであったといえる。

現在の古生態学は、このような傾向の延長線上にあって、これらに進化的視点を加え、生態学、海洋生物学などの他分野と融合し、更に新しい展開を見せつつある段階にあるといえよう。しかしまた、以下に述べるように、優れて生態学的な、あるいは古生態学独自の視点から研究すべき問題も多く立ち現れるようになってきた。

### 2-3-2. 群集古生態学的視点

形態レベルの進化は、生物をとり巻く環境と無関係には起こっていない。生物は、生物のもつさまざまな変異性をもとに、生物を取り巻く自然環境と反応し、たまたまその時の環境に適合したものが生き残り、また自らの生存によって環境を改変しつつ、形態を変え、新しい環境に適合する多様な種類が次々と出現してきた。これが進化である。進化とは多様な環境と資源の開発の歴史である、ということになる。地球と生物の長い歴史の中では、現在の自然界からの想像を超えたダイナミックな変化が起こっている。その実相を探るのが古生態学の課題である。

生態学の研究において、生物と環境の関係を調べる視点としては、ある場所に生息する生物を全体として捉え、複数の個体・複数の種の集合、すなわち広義の生物群集として扱う局面と、個体あるいは個々の種を中心に、その生活と環境との間の関係に注目する局面とがある。両者は相補的であり、ことに不完全な記録を扱う古生物学においては、どちらの局面といわずに、利用できる全データを利用し、組み合わせ、古生物と環境との関係のうちの、化石から理解できる部分を解きあかすことが要求される。

こうして不完全ながら解きあかされた結果を時間的に配列し、時間的変遷を追求することになる。

どちらと区別せずに利用できる情報は利用して生物と環境の関係を解きあかす、といっても、この2つの局面はアプローチの方法が違い、視点も違う。そこで、本論では両者をわけて、別項としてそれぞれの狙いや方法について考察を進めたい。

#### <群集論的古生態学の課題>

生命の歴史をみれば、初期にはごく単純な構成の生物群集しかいなかったものが、後になると、きわめて複雑で多様な群集が現れる。このことからみても、群集自体、あるいは群集構造、も進化していることは明らかである。現在の生態系を扱っている生態学では、群集論的研究の一つとして、群集の安定性とその機構の研究が行われている。いわゆる生態的ホメオスタシスの機構により安定に存続する群集が、長い時間をみると著しく変化しているのである。この、長い時間経過の中で起こる群集構造の変革と、その原因の問題は、古生態学が探求すべき最も中心的な課題であると言える。

群集の構造を支えている機構、例えば捕食-被食関係、あるいは種間競争や種間の調節などの解明は、群集論として重要な課題であり、化石を対象とした古生態の研究では、これらに関する個々の事実の提出、その歴史の追求は当然の責務である。後に、その一例として共生系の問題について論ずる。

しかし、原理的問題についてはどちらかといえば受動的で、現生生態学に従うケースが多くならざるを得ない。しかし、古生態学には、代わりに「安定な群集構造の変革」という大きな問題が与えられているのである。

なお、群集論的研究では化石群集をどのようにして認識するか、古群集の復元はいかにすれば可能かが研究の出発点となる。これは主としてタフオノミーの研究の問題であり、後に別項で論ずる。

#### <化石の群集構造をどう認識するか>

各生物群集にはそれぞれ独特の群集構造がある。その群集構造をつくるにいたった基本要素は、群集における生息空間の利用様式、食物の供給と配分、の2点に要約できる。生物の各種類には、それぞれ独特の生息場所、生活様式がある。これがその生物のニッチ(生態的地位, ecological niche)である。群集構造は、具体的にはニッチの組合せとして捉えられる。ある生息域に存在する資源は、そこに棲む生物と環境との相互作用の結果、最も安定なニッチに分割されていると考えられる。時とともに群集構造

が複雑化しているということは、すなわち、新しいニッチが開発され、既存のニッチは次第に細分化し多様化している、ということになる。

問題は群集構造あるいはニッチを、化石を対象にしてどう認識するか、である。時と地域を隔てて、似たような環境の場所にきわめて類似した組成の生物群が現れる現象(群集の相同現象、あるいは平行現象)は、その2つの生物群のニッチの種類や組合せ、すなわち群集構造が同一で、安定に存在していたことを示す。このことにより、化石群を対象にして安定なニッチの存在とその組合せを認識することができる、と期待される。また、その変化を、ある時代の群集構造の崩壊と、次の時代におけるニッチの再編成、として捉えることができるだろう。

なお、この局面の研究では、生痕化石の研究、すなわち、生痕化石の生態的機能的意義を調べ、体化石として残されていないニッチを復元することが、将来きわめて重要になる。生痕の行動学的研究からニッチの復元をすすめる研究については、別項でまとめて論ずる。

#### <群集構造の変化は断続的か>

化石群集の相同現象が時代を隔てて認められることから、群集構造が長期にわたって安定であることが示される。このような群集構造の時代的变化パターンを見ると、それは断続的に起こっているように見える。すなわち、新しいニッチの開発が比較的急速に起こり、一旦成立したニッチは長く安定に存続するようである。このことをまず、さまざまな時代について、さまざまな群集レベルで確かめるべきである。

この方向で化石群集の相同性・再現性を探る研究は、その性質上、多数の化石群の解析と比較研究を必要とするので、研究例は多くない。一般的に言って生物界にみられる大きな変革の時に群集構造の再編成が起こっていると予想される。今後の具体的テーマとしては、このような変革期の前後における群集構造の研究を進めることがまず重要であろう。

#### <K/T境界その他の時代境界における群集構造の変化>

白亜紀/第三紀境界では、多様な分類群で種の交代が起こった。大きな分類群の絶滅も起こった。しかし、群集構造はどうであろうか。アンモナイトの絶滅など、目、亜綱の絶滅や入れ替わりが起こっているのだから、群集構造がかなり高いレベルで変化していることは確かだが、彼らの占めていたニッチはどうなったか、特に底生動物群における変革どん

な様子であったか。底生生物群についても同じ視点からの検討が必要であるが、相当に完備された動物相構成種のリストはできているが、群集構造という視点からの解析はほとんど手がつけられていない。

この問題は、日本で九州や北海道において、特に詳細な研究が可能であろう。

古第三紀/新第三紀境界においても、浅海の底生動物群が大きく変化している。この変化の特徴は、属レベルで絶滅したものは少なく、属レベルで新規参入者が多いことである。また、属レベルで絶滅はしなかったが、底生動物群中での優占度が大きく変わり、古第三紀で優勢だったグループのほとんどは、新第三紀以後はごく限定された種数・個体数を占めるだけになったものが多い。このテーマでは、日本の各地、北九州の炭田地帯、北海道、常磐地方などが世界的なフィールドとなる。このような変化は、この境界に限らず、中・古生代のいろいろな時期に起こっているらしい。この変化の詳細と、これを引き起こした環境要因の研究は、今後の重要な課題となろう。

#### <絶滅>

たいていの生物は、いつかは子孫を残さずに絶滅する。絶滅は、生物と環境との関係が極端な形で現れたものであり、両者の関係のバランスが破れて、終末を迎えたものであるから、その実体の解明は、古生態学にきわめて重要な手がかりを与えてくれる。絶滅には、1種類だけが単独に絶滅する現象と、複数の種が同時に絶滅する、という事件とがある。両者は同じ絶滅でも古生態学的には意味が違ふと考えられる。絶滅原因の探求などその研究の場合、前者は、その種を中心とした問題が対象で、競争・敵・環境などについて検討が進められる。多数の種が同時に絶滅する大量絶滅の場合には、同時に共通の原因を探さなくてはならない。

大量絶滅の過程とその原因は、恐らく古生物学の中でも人的・時間的に最も大規模な探求活動を必要とするテーマであろう。P/T境界やK/T境界における絶滅の研究がそのよい例である。多様な分類群の専門家だけでなく、他分野の研究者の協力と、全地球的な規模の探索が行われなくてはならない。それでも多少とも真実に近づくには長いたゆみない研究が要求される。

#### <第四紀氷河性海面変動に対応する海の群集の変化>

氷河性海面変動はきわめて短時間内に起こる著しい環境の変化であり、同じ質の変動がくり返し起こ

ている。このため、大規模な環境変動に対する生物たちの反応を調べるのにきわめて好適な素材である。日本列島には、第四紀の水河性海面変動に伴う堆積物・化石群が、世界的にみてもよく残っている。

すでに、完新統の材料について、気候の温暖化や海面の上昇に伴う生物たちの振舞いに関する研究が進められ、北方へ分布を広げる速度が計算されたり、現生種のデータから齊一主義的に求めた過去の水温値が異常で、これが生物たちの分散時における温度に対する未知の反応の結果であるらしいこと、などがわかってきている。完新統堆積物は保存がよく、時間的分解能が他の時代に比べて際だって高いので、現在の生態と古生態とを接続する鍵となることが期待される。これまでよりもっと集中的な研究が望まれる。

第四紀に高海面期の堆積物が繰り返し出現することを用いて、同じ地域の同じ環境へ、ある群集が時を隔てて再び戻ってきたときどのように変化しているか、を詳細に追跡することができれば、先に述べた群集構造の安定期中で、何が変動し何が不変であるか、といった細かな群集の変化を追跡することができる。換言すれば、安定な群集構造のインフラストラクチャーを明らかにすることが可能になるのではなかろうか。

#### <多細胞動物の爆発的進化>

現在、世界的に古生物学者の注目を集めているのは、先カンブリア時代末からカンブリア紀にかけての多細胞動物の爆発的進化であろう。最古の多細胞動物の体化石群とされるEdiacara動物群について、腔腸動物や環形動物の祖型を中心とする動物群であるとする従来の見解に対し、これらは体表の膜を通して拡散によって呼吸し、循環系をもたない菌類に似た絶滅生物(Vendobionts)がつくる群集である、という考えが出され、論争の的となっている。これまでも、特にカナダのBurgess Shale Faunaの進化的意義をめぐる、多くの議論が展開されている。また、最近中国において、下部カンブリア系の澄江動物群など、驚異的に良好な保存状態の化石群が発見されており、このような化石群を対象とした群集構造の研究の進展が期待される。

これらの研究により、従来の進化観は重大な改変を受けたといえる。すなわち、生物は、機会があればあたかも実験をするように極めて多様な形態タイプを生み出し、その中で好適なものだけがテストに耐えて生き残って次の世代の祖型となるのだ、ということがわかってきた。このことは、群集構造の変

遷を考察する際に、構造の再構築における試行錯誤と、それが環境によりふり分けられる過程とを解析する上で、きわめて重要な手がかりを与えてくれると期待される。

#### <陸の生態系の発展>

陸上生態系は、堆積物の保存状態がよい古生代中ごろに、それまで生物が存在していなかった陸上に新しく出現した生態系である。陸上生態系の出現と発展は、全く新しい群集構造の構築であり、その改変である。その意味で陸上群集の研究は古生態学の課題の中でも中心的テーマであり、興味深い研究の進展が期待される。

この研究のひとつの柱は陸上植物の研究であり、植物群落構造の進化の研究であろう。近年では葉や材化石のみならず多様な植物体記録、その痕跡を用いて研究が進められている。陸上動物群集の群集構造の進化については古くから多くの研究があるが、なお新しい目で解決すべき問題が次々と現れている。K/T境界における陸上の脊椎動物群の改変などは専門家ならずといえども興味をそそられる主題である。

ただ、陸上群集は海の群集に比べて保存に問題が多く、その点でこの分野の研究は困難な問題に直面する。洞窟、タールの池、琥珀の中、湖沼などの特殊な環境に残された例外的の保存のよい材料について、優れた研究が期待される。日本国内では特定の地層や場所を除いて、この問題にアプローチする好適なフィールドがないかもしれないが、大陸地域ではさまざまな時代の多様な群集について研究が可能で、近い将来、現地の研究者と日本の研究者が共同で研究を進めることが期待される。

#### 2-3-3. 微化石群集の古生態研究

微化石は大型化石と違って露頭での産状観察が困難であるが、数が多いので量的な扱いができることが何と言っても最大の利点である。微化石の古生態学的研究では、この利点を活かして、過去の生物体量や生産量、物質サイクルを考察するなど、量的な議論をすることが可能となる。また、微化石は個体が小さいために、流体力学的な環境が大型化石と異なっている。たとえば、有孔虫のような微小生物の運動では、慣性力より流体の粘性力が強く作用し、流体のレイノルズ数そのものも大型生物に働くレイノルズ数よりかなり小さい。従って、これら微小生物の機能形態を考える場合には違う発想を必要とする。こうしてみると、微化石の古生態学は大型化石のそ

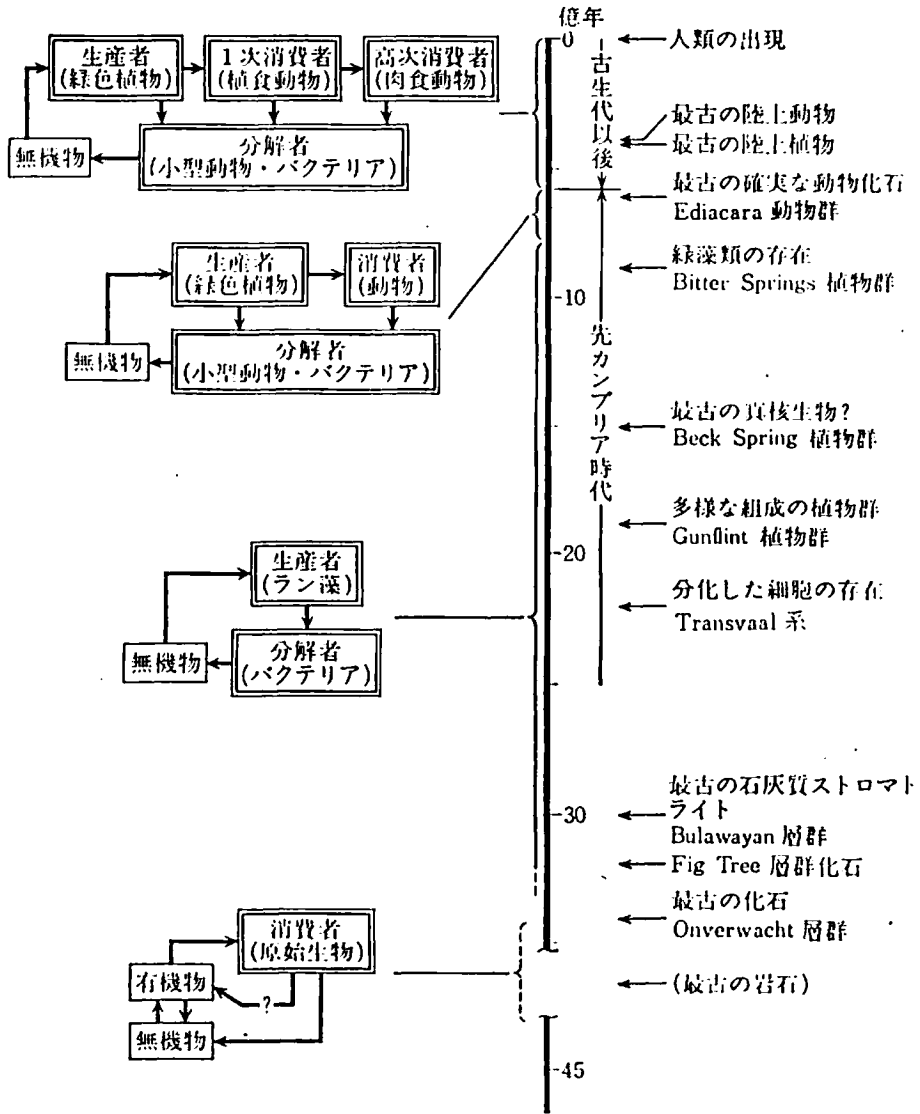


図2-11. 生態系の構造の時間的发展. 時間とともに生態系の構成要素が増し, 複雑化する. 基本構造は古生代以来変っていない. しかし, 一つの構成要素の内部をみれば, 時と共に多様化してゆく(鎮西, 1978).

れとは違う研究に発展し, 大型化石の及ばない問題にアプローチできると考えられる.

底生生物群集に限らず, 浮遊性生物群集についても, 群集構造の安定性と変革性の問題は, 生物社会の進化を扱う上できわめて興味深い重要な研究分野である. 海の生態系研究では, 浮遊性の生産者が時代とともに変遷してきて, この変遷に伴う群集構造の改変の詳細はきわめて興味深いテーマである. ま

た. その変遷が底生系に与える影響や, 物質のサイクルに与える影響についての検討も重要になる.

<過去の生物生産量の推定>

最近, 古海洋学の研究が急速に進み, 海洋表層の生物生産を量的に推算することに成功した. たとえば, 堆積物中の有機物の C-13/C-12 比を用いて, 過去の生産量を推定することができる. また, 同じく Cd/Ca 比から海水の栄養塩の量を推定できる

ようになってきている。このように、浮遊性生物の生物体量や、栄養塩類の量など、海洋生態系を特徴づける要素が定量的に推定できるようになれば、海洋表層から底層へのエネルギーの流れを過去に遡って推定することが可能である。広域の平均的変動を記録している外洋堆積物を用い定量化が可能な微化石を用いるこの分野の研究は、将来の発展が期待される。

#### <海洋生態系における新しい生産者の参入>

過去の海洋生態系の変化で興味深いのはジュラ紀である。ジュラ紀は浮遊性有孔虫、珪藻が出現して海洋表層生態系に参入した時期である。これは海の表層生態系の構造が大きく変わったことを意味し、その結果一次生産物の質と量が変わったことを示唆している。また、そのため、深海生態系における有機物と栄養塩の消費も大いに変わった可能性があり、興味つきないテーマである。ただ、実際には、ジュラ紀の堆積物は深海底にはほとんど残っていないので、陸に付加され保存された地層を対象に研究することになる。

#### <還元環境群集の成立>

比較的最近になって開発されたニッチの例として、堆積物中の無酸素層に生息する深潜型内生動物の出現がある。生痕化石の証拠からも、内生動物が古生代からいたことはわかっているが、しかし、これらの動物が還元的環境のなかでどの様な代謝系をもっていたか、すなわち、酸素呼吸をしていたか、嫌気呼吸だったか、化学代謝(バクテリアとの共生)なのか、わかっていない。有孔虫の場合、深潜型内生種は白亜紀のいわゆる無酸素事件の後になって出現しているように見える。二枚貝についてはまだ研究が少ないが、有孔虫だけでなく大型生物でもそうであるとすれば、地球規模の環境変動が生態系の構造変革(新しいニッチの開発)のきっかけになった例と考えられ、今後の研究テーマとして興味深い。

#### <深海群集の成立>

生物は浅海域で発生し、深海と陸上に生息域を広げていった。大型化石の研究対象となる地層は、その分布から、浅海から大陸斜面までにはほぼ限られ、深海にはきわめて稀になって研究が難しい。しかし、生物の深海環境への進出は、陸上への進出と同様にきわめて興味深く、また、探求すべき重要なテーマである。

大陸斜面を下った深海底には、硬組織を持たない堆積物食の大型動物のほか、化石記録に残りやすい底生有孔虫やオストラコーダほかの小型動物が多く

生息している。これらの微化石群は、深海動物群集の成立を追求する上で、重要な手がかりになると期待される。最近、深海に関する質の高い情報が多く集積されている。たとえば、DSDP、ODPなどの深海掘削計画で採取されている深海堆積物の連続コア資料は、中生代以降の深海の連続したデータを記録しているので、微化石群集に岩相・生痕相をあわせ解析することによって、深海生態系の変遷を辿れる可能性がある。

#### 2-3-4. 個生態論的研究

具体的な問題にはいる前に、個生態的アプローチで何を指すか、について考察する必要があると思われる。個生態論という言葉からは、化石生物の個体あるいは種を対象とし、その生態を研究する分野のように受けとれる。しかし、この分野の研究の主たる狙いは、個々の生活・生態の復元ということよりも、次のような一般の問題にあると考えられる。すなわち、

- (1) 特定の分類群(系統)に現れる生活様式の多様さをもれ落ちなく調べあげ、その広がり、その広がり限界を支配している要因を検討すること、
- (2) 特定の生活様式が、ある分類群内において出現した時期、その経緯、その発展、盛衰、を明らかにし、このような変遷とそれを支配する要因、ことに環境のインパクトを追求すること、
- (3) 特定の生活様式が多様な系統でどの様に現れているか、すなわち、生活様式の「収斂」現象の実際と、その意味を論ずること、などである。

これらの研究において、特定の系統に属する生物群を対象にする場合には、形態レベルでの進化の問題に発展し、その要因と制約条件を明らかにする方向に進む。いっぽう、特定の生活様式について多様な系統の生物を対象に研究することによって、生物が環境に反応してそれに適合したニッチを開発し、確立していく過程を明らかにすることができる。と期待される。

#### <生活様式復元の基本情報>

化石生物についてその器官の機能を論ずる際に、一般に用いてきた方法には3通りある。第一は、ホモロジーの概念を利用して現生生物の器官との対応関係を判定し、相同な器官でかつ形態が類似しているからその機能も同じである、と判断する方法。第二はアナロジーを利用し、起源はともかく形が似ていれば機能も似ているだろうとする方法。第三は人

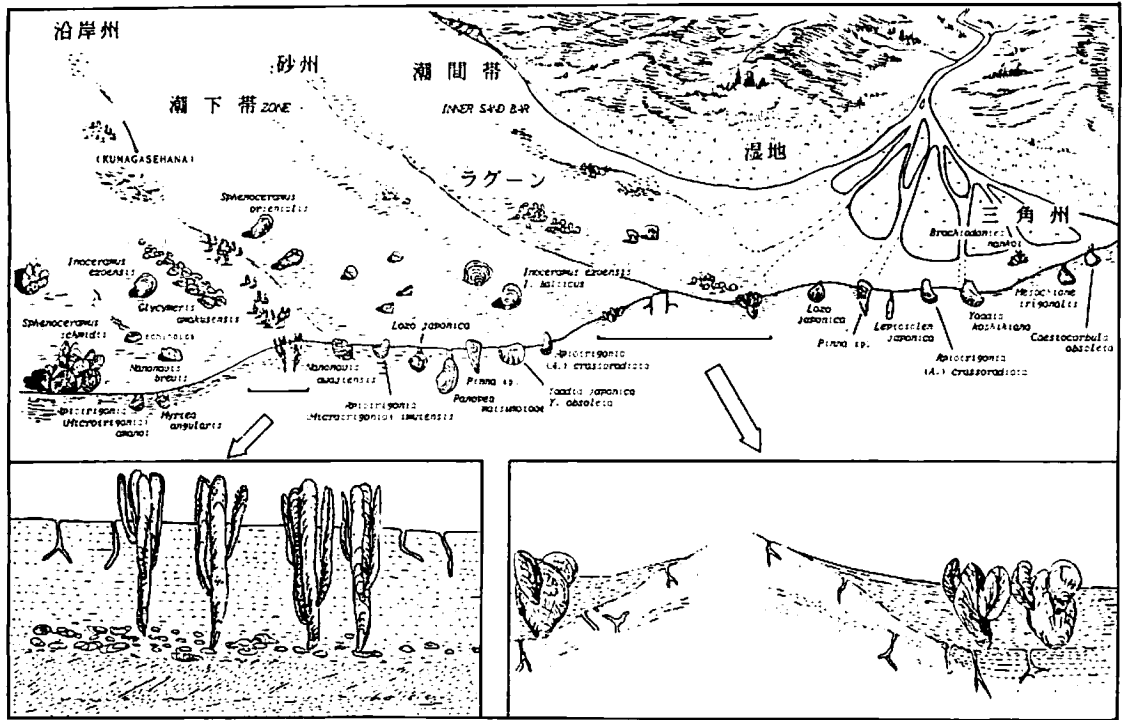


図2-12. 底生化石群集を復元する。白亜紀後期の浅海底生群集(上)とカキ礁の様子(下)。九州、姫浦層群での例(利光ほか、1990)

造の機械との比較による方法、である。最後の方法は、Rudwickによって、ある機能を果たす上で理想的な形態を想定しそれと実際の器官の形態とを比較するいわゆるParadigm法として確立されたものである。

このような方法の他に、近年活発に研究され、著しい成果を上げつつある方法として、生物の形態を数的にシミュレートし、形態形成の原理を理解してその生態的意義を探る、という方法がある。

いずれの方法でも、化石の生活様式を復元する上で最大の手がかりは形態である。ことに現生生物における形態と、生活様式との関係に関する一般的理解が研究の基礎となる。このためには、次項で述べるように実験的手法を導入し、現生生物の機能形態学的、個生論的研究が必要になる。絶滅生物の場合には、このような古生物の形態に関する一般的理解の他に、自生的個体の産状、生痕、共存する他の種類との生態的関係、など、利用できる情報はすべて用いることが必要となろう。コンピュータ・シミュレーションの方法でも、形態の解釈には、現生

生物からの類推や形態と生活様式との間の関係の一般的理解が基礎である。

<機能形態研究における飼育実験・模型実験の必要性>

さきに述べたいずれの方法でも、ある器官が、その機能を果たすことが“可能”である、とは言えても、実際にそう働いていたことを証明することはできない。これを証明するには、現生生物の生活状況を観察し、現実の器官の実際の運動や働きを調べ、それと比較するほかないであろう。絶滅生物については、何をしても最後は類推のほかないとはいえ、これらの方法で得られた結果は、現生生物のを用いた実験・観察によって補強され、信頼性のある結論に達する。

現生動物の行動については多くの観察があるが、器官の形態と機能とを直接結び付けた観察は、期待されるほど多いものではなく、むしろ我々が化石への応用の目的で必要とするような観察は、一般に極めて少ないといっても過言ではない。このために、問題の所在を承知している古生物学研究者が現生

物を飼育し、その行動を観察することが重要となる。同様に、模型による実験も、形態の機能的意義を知る上で今後ますます重要性を増し、盛んになるであろう。

#### <生活様式と形態形成との関係>

生物の形そのものをダイナミックに理解するために、今後は、完成された器官をそのはたらきという面から解釈する、という姿勢だけでなく、形がどのようにしてつくられるか、形を構成する物質の構造が機能とどのようにかかわっているか、という視点からの研究が重要になると期待される。

それには、形態形成・形質発現の研究、生物硬組織の形成過程の研究、形態形成上の制約条件の研究など、基礎的な研究が必要となる。このため、古生物学研究者だけでなく生物科学の諸分野の研究者との協力が必要である。

従来、生物体硬組織の構造や、構造形成に関する研究では、その結果を、分類や系統関係を理解するために用いる場合が多かった。しかし構造が機能と密接に関係していることは言うまでもないことで、機能的な視点から構造をみるのが重要である。また、硬組織の主要構造要素の研究が主で、局所的に出現する特殊な構造についてはあまり研究が進んでいない。しかし、このような局所的で特殊な構造は、優れて機能的であり、生体の中で独特な役割を果たしている場合が多い。これらに着目し、その構造と形成機構の研究を進めることが期待される。

#### <生活史の解析>

生物の進化過程をより良く理解するためには、繁殖生態・初期発生・絶対成長・寿命などの生活史に関する情報が重要になる。これらの情報は直接化石に保存されないが、体化石や生痕化石に残された形態や構造を生活史のわかっている現生種のものと比較することによって、かなりの精度で推定することができる。

例えば、付加成長をする硬組織をもつ軟体動物・腕足動物・サンゴなどの無脊椎動物では、後期発生から死に至るまでの生活史の記録が硬組織中に成長線の形で保存されている。これを電子顕微鏡や画像処理装置を使って解説し、酸素・炭素同位体比のデータと比較することにより、絶対成長様式・生殖年齢・寿命などの情報を得ることができる。

初期発生の知見は、系統の推定はもちろん、初期生活史を通じて、古生物の繁殖戦略・分散機構・地理的分布の理解にきわめて重要である。従来、古生物学で扱う個体発生はほとんどが発生学の定義でい

う後期発生であったが、最近では電子顕微鏡の発達・普及によってそのギャップはかなり埋まりつつある。軟体動物を例にとると、デンマークの海洋生物学者 G. Thorson や我が国の網尾勝・首藤次男らの詳細な実験的研究により、孵化前後の短い期間にできる原殻の形態学的特徴に基づいて化石種の発達様式、幼生の食性や相対的な浮遊期間の長さなどを推定することが可能となった。また、直達発生をとる頭足類では胚殻の内部構造の特徴から胚段階での形態形成や体制変化を議論できるようになった。さらに、海生無脊椎動物の初期発生の様式は、個体群間の遺伝的分化の程度や地理的分布、種分化の頻度とも密接に関係することが米国の古生物学者 D. Jablonski によって指摘されている。このように形態解析を基礎とした生活史に関する研究は、古生物進化の質的側面を理解する上で重要である。

#### <同位体地球化学からのアプローチ>

O-18, C-13のように、化石硬組織の同位体組成・化学組成は、環境を構成する海水に関する情報、および生体の生理活動に関する情報を与えてくれる。この方法は、従来は主に古環境を復元するために使われてきたが、古環境復元の道具としてのみに用いるにはあまりに多くの情報を内蔵している。同位体地球化学をもっと積極的に古生態学の研究に取り込むことを考えたい。生体内での代謝活動の変動は殻の同位体組成の変動として記録されている。大型化石では、殻に何年にもわたる個体の歴史が連続して記録されているのでそれを読みだすことが可能である。

種の違いによる同位体比の差異、いわゆる vital effect は、同位体による古環境解析の際に起こるあいまいさの原因となっているが、生物体の生理的特性の違いが同位体比の差異として現れているのだから、殻の同位体組成を解析して生物体の生理活性の状態や、種の特性を推定できるようになるに違いない。また、食物の同位体組成はそれを食べている生物の同位体組成に反映する。したがって、食物の嗜好性が強い生物の場合、殻の同位体から微環境を推定することができる。このように、ほかの解析手段と併用することによって古生態をより具体的に明らかにできると期待される。

#### <共生系の進化の研究>

共生系の進化は古生態学の重要なテーマになると考えられる。細胞内共生現象は原生生物をはじめ、さまざまな生物に見られることが知られている。この共生系が、いつ、どのようにして成立したのか、

その結果、生物は何を得たのか、また、共生させるに際して宿主の殻・骨格形態になにか工夫がなされたであろうか。光合成藻との共生関係にある二枚貝では、光が透過しやすい構造の殻があったり、光をあてるため外套膜を広げやすくする形態になっていることが知られている。

共生系は生物の進化を考える上で重要である。共生系の発展とそれが共生系をつくる双方の生物の進化にどんな影響を与えているか、という問題は古生態学の興味深いテーマの一つである。サンゴ、二枚貝などと光合成藻類の共生はよく知られており、これらについて研究が始まっている。現生の大型有孔虫類も、光合成藻との共生系をもっており、この現象は貧栄養海域への適応現象として理解されている。大型有孔虫は、古生代以降のさまざまな時代に厚い石灰岩層を形成するほど発展しているが、しかし、フズリナ、オルビトリナなどの絶滅した大型有孔虫が藻類と共生関係を持っていたかはわからない。また、殻への共生の影響については十分に検討されていない。

### 2-3-5. 古生物地理の研究

地球上には、現在、場所によって違う生物群がいる。これは、その場所あるいは周囲におこった地史的変動により、またその変動に反応し影響されて、生物群に隔離や交流が起こった結果生じたものである。この問題を探求の主題とする生物地理学は、従って必然的に時間軸にそう変化、すなわちその成立過程を問題にする。この点で古生物学と一連の研究分野である。現生生物の生物地理学は、現在の断面から出発して変遷をさかのぼり、古生物地理学は過去のある時点の断面から出発してさかのぼる。古生物地理学は、進化学において、系統分類学的視点と古生態学的視点の橋渡しをする分野であるとも言えよう。

#### <分散生物地理学と分断生物地理学的視点>

生物地理学は、分岐分類学という新しい分類学概念の台頭によって、近年その装いを一変した分野で、その視点について1970年代後半から激しい論争を巻き起こしてきた。従来の古典的な生物地理学では、生物群はいずれかにその発祥の地があり、そこからさまざまな手段で分散し、曲折を経た結果、現在のような分布をとるに至った。と考える。従って、この考え方では、その発祥の地を発見することと、分散の経路・隔離のいきさつを調べ、新しい種の出現と進化を追求することが、主要な目標となってい

る。

これに対し、近年分岐分類学の立場から分断生物地理学(vicariance biogeography)という新しい視点が提唱された。この考え方では、祖型種が分散するのでなく、もともと広域に分布していた原始的な種が存在し、その分布域が分断されるにつれて隔離が進行し、新しい種が生まれてきた、と解釈する。

だが、どの種も程度の差こそあれ分散能力を持ち、実際に分散したであろうから、これは、どちらの考えが正しいかという問題ではなく、ある生物地理的差異がどちらの考えでよりよく説明できるか、ということが問題になるであろう。そして、これに解答を与え、検証できるのは古生物学である。日本及びその周辺だけを見ても、この問題に関する興味深い様々なテーマがある。

#### <島の陸生貝類の生物地理>

伊豆諸島や琉球列島には、豊富な陸貝類が生息している。この陸貝には、島毎に独特の種が生息していたり、また、本土と同一種がいたりすることが知られており、生物地理と進化研究の対象として、きわめて興味深い。これらの陸貝は化石としても普通に発見されるので、注意深い層序学的検討や放射年代測定と併せて、これらの種の時間空間的分布の詳細を調べることが可能であろう。小笠原諸島の陸貝類については、すでに千葉 聡によってこの種の研究がすすめられ、興味深い多くの結果が得られつつある。

#### <新第三紀における日本海動物相の成立>

新第三紀中期の日本海浅海域には、他の地域とは異なる独特の底生群集(塩原・耶麻動物群が生息し、各地で保存のよい貝化石群として発見される。この群集は、前後の時代の同じ環境の底生動物群集と比べると、同属で異種の組合せによって構成されている。その成因について、これは元は中新世前期末に西太平洋の熱帯域から分散して日本にまで達した群集で、それが日本海の開口という事件によって分断され、地理的隔離を起こしたものと推定されている。しかし現在までの研究では、推定される種分化についての詳細な検討は行われていない。この種分化は多くの分類群に平行に認められる現象で、分断生物地理学的視点の検証に格好の素材である。

#### <付加帯における浮遊性生物群の生物地理>

日本列島を構成する付加帯には、外洋性の層状チャートが広く分布し、それには豊富な放散虫群集が保存されている。それぞれの付加帯のチャートは、いずれもその基盤である海洋地殻が現在よりはるかに低



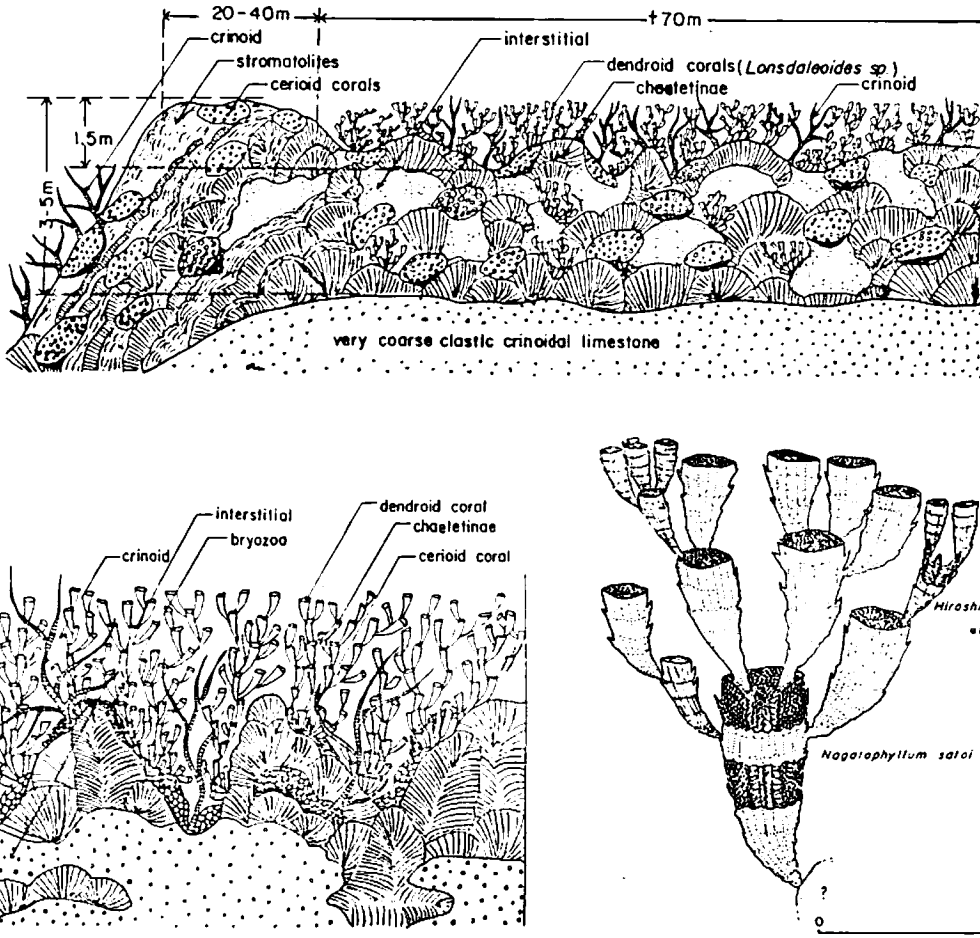


図2-13. 石炭紀前期のサンゴ群集とサンゴ礁の構造の復元。秋吉台石灰岩層群での例(上、下左:太田, 1968, 下右:配川・太田, 1968)。

緯度から出発し、北上して日本列島に近づく間に、次々と堆積したものと考えられる。従って、各付加帯には、低緯度から日本付近までの海域の放散虫群集が、時系列として保存されているはずである。そこで、それぞれの付加帯から互いに同時代の部分を取り出して放散虫群集を配列すれば、それはその時代の低緯度から日本までの間の群集の生物地理的变化を示していることになる。また一方、これらの化石群を、付加帯毎にその形成年代にしたがって整理し比較すると、低緯度海域における群集の時代的変遷を追跡することができるであろう。しかし、チャート中の放散虫群集は保存の良否によって見かけの組成が著しく変わるので、このような場合の組成を論ずるには、慎重なタホノミーの検討が必要である。

2-3-6. 生痕化石による古生態研究

生痕化石は堆積物表層部で起こる様々な生物活動の記録である。底生動物は海底環境の変化に極めて鋭敏に反応して行動する。そしてその反応がダイレクトに、しかもリアルタイムで生痕として記録される。したがって、生痕化石から読みとることができる情報は、生痕形成者の行動や運動そのものの記録であると同時に、環境変化の情報でもある。生痕化石の研究では、単に過去の生物の、個々の行動や生活を復元するのに役立つだけでなく、種類や時代を超えて、行動・運動の規則性とその時間的发展を比較・検討することができる。また付着、穿孔性生物の場合は、宿主の個体との間のbiotic interaction、さらに捕食跡などの場合は捕食・被食関係などの理

解にもつながる情報を得ることができる。

一般に、生痕をつくった動物の化石は見つからないので、それがどのような生物なのか不明である場合が多い。しかし、生痕化石から読みとった情報から「このような形態と生活様式の生物であるにちがいない」という推定が可能となろう。また、一旦保存されると、化石化の過程で被る情報の消失が硬組織の化石よりも少なく、元の姿をより確実に復元することができる。このことは過去の生物群を復元し、その進化を跡づける群集古生態学的研究にとって、きわめて重要である。

#### <生痕による行動学的研究>

生痕を用いた研究は、過去の生物の行動を探る直接的なアプローチであり、生痕化石の形態のパターンと規則性をもとに、その行動上の意味を探ることができる。これにより古生物の生きていた姿を知ることができる。さらに、その時代的変遷過程を追跡することで、底生動物を行動の進化という視点から捉えることができる。

これまでこのような研究の対象となった生痕は、主に深海底に棲む表生種の摂食行動によって形成されたものであり、海底面という平面空間での限られた行動が対象であった。これは、内生底生動物がつくる立体的な生痕化石の全容を把握することが極めて困難なこと、そして意外にも現生の内生動物の生態に不明な点が多いことに原因があったように思われる。現生動物の生痕の研究では海水が存在するため、深海カメラ、潜水艇による観察が主たる手段であり、内在型の生痕を簡単に立体視することができない。

生痕化石(あるいはボックス・コア試料)では立体的に解析することが容易で、その点で現在の海底の研究より有利な面があり、その解析から海底からは得られない底生動物の行動・運動に関する情報を引きだすことができる。すなわち、化石の情報から現生動物を理解する、という研究が可能である。

行動・運動様式を環境要因との関連から検討するのも重要である。環境変化は生物の行動や運動に大きな影響を及ぼす。そこで、生痕から環境変化とそれに対する生物の反応を探ることができる。海底環境が急変するような事件とそれに対する生物の反応を知る好例として、タービダイトや火山灰の堆積による底生動物の活動の変化などがあげられよう。

#### <生痕化石への実験的アプローチ>

生痕化石の研究は、その形態と産状を、形成者の形態や生態を考慮しつつ進められるべきである。生

痕化石の多くは、これまで漠然とその形成者が推定され、形成のメカニズムやプロセスも推論の域を出していない。これは、さきに述べたように、自然状態で現生動物を対象に生痕を観察することが困難なためである。むしろ地層中に化石として保存されたもののほうが全貌を知り詳細の観察が可能である。

そこで、現生の生痕形成動物を対象に、飼育による形成実験の研究が重要になる。たとえば、泥管をつくる多毛類を採取し、底質、粒度、堆積速度、急激な埋積や侵食など、飼育条件を変えて飼育し、どのような形態の泥管をつくるかといったデータを得ると、泥管の形成メカニズムとプロセスを知る手がかりが得られると期待される。

一つの生痕が形成されるにはどれくらい時間がかかるか、それがわかれば、間接的に、形成者の成長速度、動物活動によって移動する堆積物の移動速度、等々、地層だけからでは知り得ない多様な生態的情報を得ることができるはずである。このために、深海動物を対象に観測地点を定め、そこで海底面上にマーカーとなり得るような物質を撒き、一定時間経過後(数日-数週間)に観察するという実験が考えられる。その結果は、外生種では海底面上を肉眼観察することで、また内生種の場合には、巣穴の周囲の摂食痕を観察したり、マーカー物質を散布した海底堆積物を採取して、物質の攪はんや移動を調べることができる。

#### <堆積物表層の物質移動・循環へのアプローチ>

流体力学の法則に支配されて海底面に到達した堆積物粒子群は、そこで流体力学から解放され、底生動物の活動に支配される世界に移る。底生動物の棲息域である堆積物表層付近では、底生動物の活動によってその物理・化学条件すら支配されている。

底生動物の活動が堆積物を混合する現象は、生物攪拌として知られている。生物攪拌はきわめて普遍的にみられる現象で、堆積学的に重要である。しかし、底生動物のどのような活動でどのように堆積物が混ぜられるのか、具体的に定量的な議論は、これまでほとんどなされてこなかった。すなわち、“混ぜる”という現象のメカニズムとプロセスが、まだほとんど理解されていない。“混ぜる”のが底生動物であるから、研究の鍵は底生動物の活動にある。この研究には、生痕化石が底生動物のどのような行動を反映しているのかを明確にし、次いで行動の違いによって、堆積物がどこから、どこに、どのくらい移動しているかを、メカニズムとプロセスを中心に検討することになる。これらの項目は、生痕化石

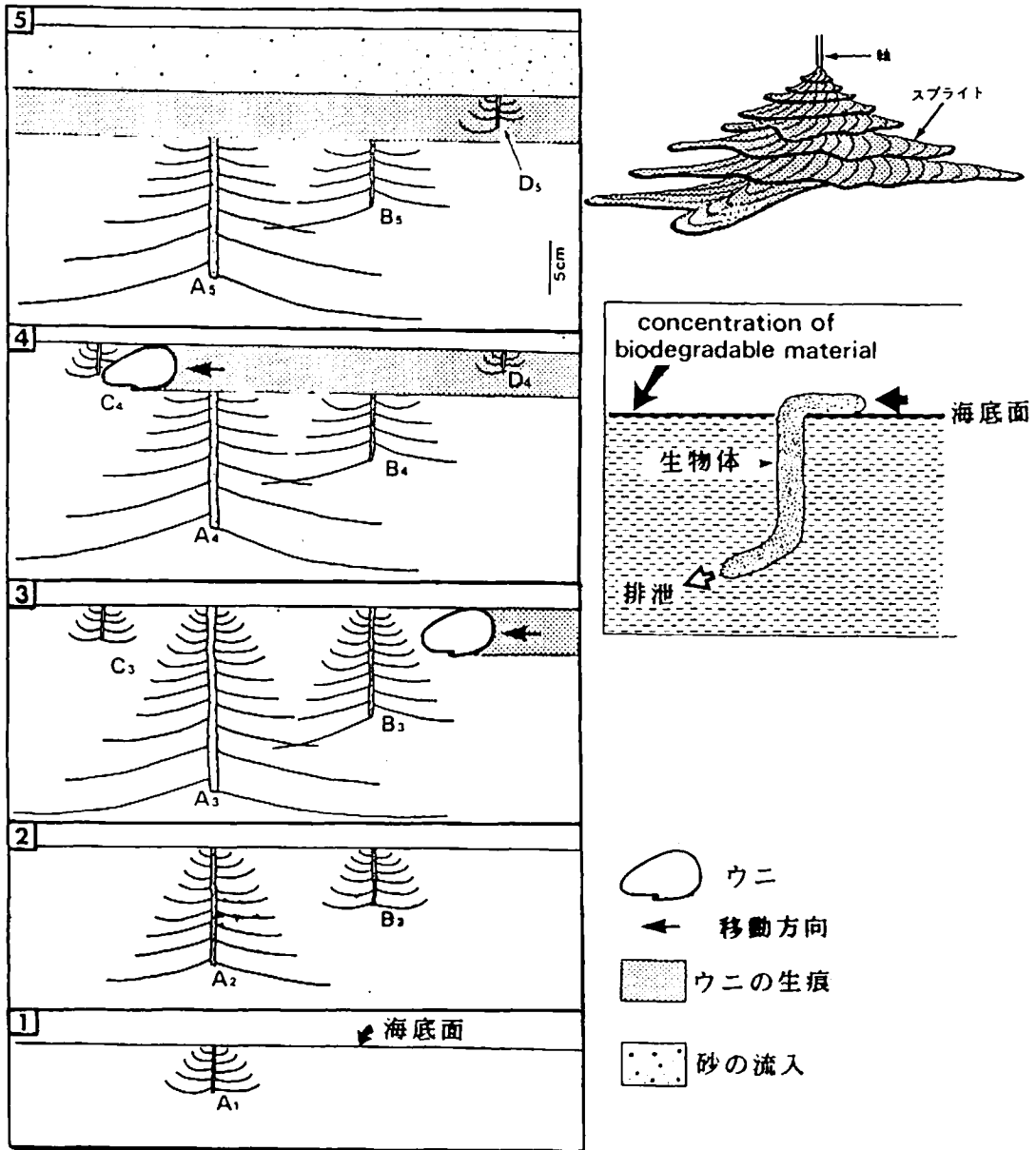


図2-14. 生痕をつくった動物の行動と成長を復元する。Zoophycos動物は海底面で摂食し、断面では傘を広げたようなスプライト(実際はらせん状のトンネル：右上)をつくり、成長する。1-5へと時が経ち、あるものは保存され、他は破壊される。

の形態の意味、産状を正確に理解すれば十分に知り得る。

またさらにコンピューターに、生物の寿命、生物の棲息密度、異なる行動様式をもつ生物が共存する割合、堆積速度等を変数として与えて、シミュレー

ションにより堆積物が混合する過程を視覚的にとらえることも可能であろう。これにより、研究はより現実に近づくであろう。またこの研究では、地球化学や生物学などの他分野との共同研究が必要となる。

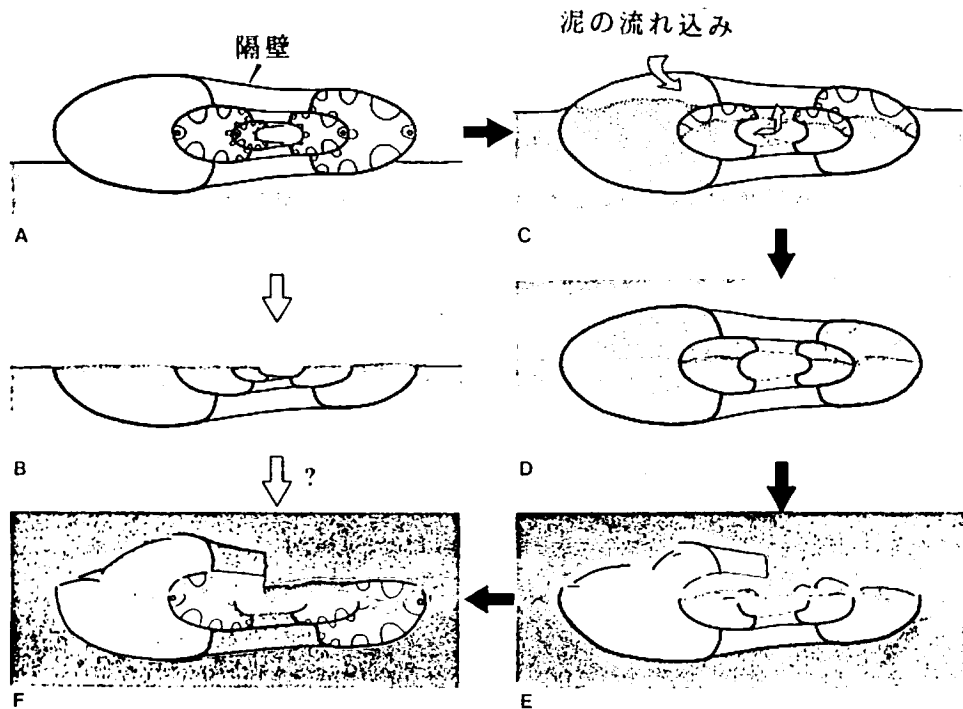


図2-15. アンモナイトの化石化(半アンモナイトの形成)。下半部だけが保存されたアンモナイトのできる過程。海底で住房には堆積物が充填し、隔壁が支柱となってつぶされないが、房室は半ばまで埋っただけのために、上半分が押しつぶされた。

### 2-3-7. 古生態学とタフオノミー(化石化過程)の研究 <タフオノミーから古生態学へ>

生物と環境の関係を追求するには、上記のような研究の前提として、化石化の過程(taphonomy)を理解し、何がどの様に失われ変質したかを知ることが、化石記録を正しく評価し、化石情報を十分に利用するためにきわめて重要となる。このことは古生態研究にとどまらず、すべての古生物研究にとってその出発点となる。

また、化石化の過程で何が失われたか、と言う消極面だけでなく、化石化の過程そのもの、あるいは化石化作用の働き方、情報の消失の仕方、などが、その生物の古生態やそれをとりまく古環境を解く鍵になる。タフオノミーの分野は最近研究者が急増し、出版される論文も急増して、著しい進歩をとげつつある。

化石化の過程とその研究には次の3つの局面がある。すなわち、(1)生物の死後、死体が腐敗・分解し、生物体が消滅していく過程；(2)分解から残った遺骸が地層中に埋もれるまでの過程(すなわち堆

積作用)；(3)地層中に埋もれた後の変質と変形の過程(すなわち続成作用)、である。タフオノミーの研究では、化石堆積論など特定の分野が突出して進歩するのではなく、このどれもが並行して進歩していくことが特に期待される。

(i)遺骸の腐敗・分解の過程は、生物体と生活情報の何がどのように消失していくか、また、それらが保存されるのはどのような条件のもとかが問題となろう。実際には微生物学と連係した実験的研究や、野外における分解・逸失過程の長期的な観察などを通して研究が進んでいる。

(2)化石の堆積に関する研究では、殻・骨格の集積や拡散、破壊、地層中における殻・骨格の配列方位などについて、野外観察、水槽実験などから研究されている。この分野は浅海における堆積過程の研究の進展にともなって、特に発展しつつある。

(3)化石の続成変化の研究は、化石の保存状態の観察や変形のメカニズムの解析・変質の分析にはじまり、変形・変質や保存の物理化学的条件

を調べ、化石が発見されるまでに被った変化を追求している。

#### <タフォノミーの研究と化石群集>

露頭の化石群は、過去の生物群集をそのまま代表しているものではない。過去の群集の構成要素のあるものは保存の機会に恵まれず、欠落しているであろうし、ときには生息域を全く異にし、生息時期さえ異なる個体群が偶然集合しているだけの場合も少なくない。これらについての的確に判定し、その化石化の過程を正しく評価することは、群集古生態学研究の第一歩である。これらの評価が正しく行われた結果、「過去のある時に同一生息場所で生活していた個体の集合」である化石群集(fossil community)が認識される。

このような研究は群集論的古生態学の進歩に不可欠であるが、現状では評価の過程における具体的な検討の進め方、結果の整理、記述法、などについて、まだルーチン化された方式がない。現状では、まずこれらについて定量的比較が可能のように「規格」を設定することが重要であろう。

タフォノミーの検討は化石の産状観察から始まる。化石の産状についてはこれまで多くの記述があるとは言うものの、記載のための、客観的で系統的な基準がないのが現状である。記載の着眼点や用語などの統一のために、基準を早急に作成し、誰でも使用できるようにする必要がある。

化石の産状の観察では、まず第一に、地層中に含まれる化石個体が、(1)生息姿勢を保持したまま化石化したものか、(2)生息姿勢から動いてはいても地層が堆積した場所(厳密には連続する同一の生息環境域内)に生息していた原地性のものか、(3)他の場所から運搬移動されてきたもの、あるいは生息期を異にした個体が混合しているか、を識別できるようにしなくてはならない。この3タイプでは、それぞれ内包する古生態学的な情報が異なり、これを区別して利用できるようにする必要がある。

#### <古群集の復元>

化石群集は、過去の生物群集(古群集: paleocommunity)の一部を代表しているに過ぎず、また、個体数は化石の種類によって増・減いずれかに偏っているに違いない。この欠落を補い、偏りを正して古群集が復元されたとすれば、そこで、さきに述べた大きなテーマ「群集構造の変遷」に直接せまることが可能になる。

化石群集から出発し、過去の生物群集の組成や構造を復元し、その生態系の諸相を論じようとする

研究が、期待を込めて進められたことがある。例えば過去の群集における食物連鎖の復元、系内を流れるエネルギー量の計算などがその例である。

しかし、過去の生物群集を復元するには、化石群集の産状観察に基づく議論を超えた推論が必要となる。研究の現状は、さきに述べた海洋表層の生態系を除けば、残念ながらこのレベルに達していない。この推論を可能にするのはタフォノミーの研究である。化石化にともなって生物体がどのように消滅していくか、何が残りやすく、何が残りにくいのか、どんな痕跡が残るかあるいは残らないか、などが具体的に議論でき、現実の化石群に当てはめられるようにならないと、古群集の復元は困難であろう。

古群集の復元には、タフォノミーや生痕化石からのアプローチのほかに、現生群集の組成や構造からの類推による復元もあるが、このような方面からの研究も、またほとんど進んでいない。

#### 2-3-8. 古生態学研究の将来

これまであちこちで触れたように、古生態学研究の中心的課題は、生物進化の問題を、特に環境と生物との相互作用という面から追求することにある。古生態学は、系統進化学と車の両輪の関係を構成し、生物とそれをめぐる環境という視点から生物進化の問題にアプローチし、生物進化をより深く理解するための重要な突破口となっていくにちがいない。

#### <生態学との関連>

一方、生態学との結び付きもますます強化され、現生・化石の区別なく、生物と環境の相互作用について研究が進められるようになった。実験不可能な長い時間における生物の反応を化石によって調べ、一方では同じ生物について、実験的に環境要素を精密にコントロールし、その中における反応を調べる、など現生・化石の特徴を活かした多面的研究により、新しい視界を広げていくことが期待される。現生生物に対応する近縁なグループが存在しない絶滅群でも、現生生物にみられる通則ないしは一般的傾向を利用するため、例えば中生代や古生代の生物群の専門家たちが現生生物の実験的研究を行うことが珍しくない。これらの新しい古生態学的研究は既に始まっており、そこではもはや現生生物の研究者、化石研究者などという区別はなくなってしまっている。

近年特に著しく進展している数理生態学との関連も今後ますます深まっていく部分であろう。数理生態学が提出している理論的問題のうちで、長期的な変化を追跡して初めて検証されるような問題は、化

石の材料を用い、古生物学的手法で追求しないと解決しないものが少なくない。また、逆に化石や古生物の発想から、数理生態学に対し彼らの気付かなかった問題を提案することができるはずである。

たとえば、現在、適応戦略論の対象は、多くは高等生物の行動や動物の生殖様式などについてであるが、機能形態学に適応戦略論を導入し、コンピュータを用いる理論形態学的手法を用いて、生物体の「形」の問題に展開することができると、これは古生態学の新しい展開の突破口になると期待される。さきに古生物地理学の項でも触れたように、理論的研究から提唱された生物の分散と分断に関する多くの問題は、対象とする時間が長いために、古生物学以外の方法で検証することはできない。

#### <古生態学の応用的側面>

生物はきわめて鋭敏な環境の指示者である。この特徴を活かして、これからますます問題が広がっていくと思われる地球環境の、過去と未来を追求する研究に切り込んでいくことも重要となろう。化石生物を環境復元の指標として用いるとき、生態学・古生態学の基礎なしには正しい解釈に到達することができない。生物を用いる古環境の復元は、応用古生態学とも言うべき分野であり、古生態の基礎的研究の果たすべき役割は、この方面にもますます広がっていくに違いない。

## 2-4. 古生物を用いた地質年代スケールの精度と信頼度を向上させる

### 2-4-1. はじめに

歴史自然科学の一員である古生物学は、地質時代の地球上に起こった自然現象や表層環境を時間の経過にしたがって配列して、復元することを学問上の重要な役割の一つとしている。そのための学問分野である生(物)層序学では、地殻表層部の大部分を構成する堆積岩のなかに含まれる化石内容をもとにして、地球の歴史の時を刻み、対比によって各地域の地層の時刻を1つの国際的な標準年代で合わせることで地質年代尺度の上にプロットすることを目的としている。地質年代尺度の基準になっている地質時代区分〔代(界)、紀(系)、期(階)〕は、1850年代までに現在の形にほとんど等しいものが確立された。そこでの基本単位は、標準層序の化石内容によって定義された階であり、これが提唱された頃の古生物学界を反映して、中生代の海成層の階はアンモナイトや貝化石にもとづいており、古第三系は大型有孔虫に、新第三系は貝化石にもとづいている。

これらの大型化石は、その分布が地域的であるために、世界中に適用できる広域対比の手段には成り得なかった。

1970年代から1980年代にかけて精力的に行なわれた浮遊性微化石を用いた生層序の確立、そして古地磁気層序と放射年代値の導入による年代層序としての体系化によって、地層の対比と年代決定の精度は飛躍的に高まった。例えば、新第三系では数10万年程度の誤差で、白亜紀でも100万年程度の誤差で歴史を語る事が出来るようになった。その結果地質時代に起こった様々な地質現象の前後関係が明らかになり、隕石の衝突や火山の噴火と生物の大量絶滅との関連性など、これまで独立に認識されてきた現象の相互関係が因果関係という観点から検討できるようになった。現在、そのためにより細かな精度と信頼性の高い時間スケールの確立が必要とされている。

### 2-4-2. 古生物(化石)を用いた地質年代スケールとは何か

時間は、過去から未来に移り流れて行く抽象的な概念でしかないから、それが具体的な物や事象として記録された場合にのみ、その時間は現実のものとなって認識される。過去の生物や地質事象を時系列上に復元しようとする場合には、目的に合った時間精度を地質年代スケールの上に設定する必要がある。古生物(化石)は、地殻表層部に最も普遍的に存在する堆積物や地層に包含されている。堆積物や地層は、常温常圧下における生成物であるので、古生物(化石)を用いて地質年代スケールを設定することは、他の物理化学的手法による地質年代スケールの設定に比べて容易であり、かつ様々な地域に分布する様々な時代の地層を対象として多数設定することができる。

各地域の堆積盆地から得られた堆積物や堆積岩の時間的・空間的な相互関係は、標準地質年代尺度あるいは地球規模の標準時間尺度に統合される。したがって、地球規模という観点からは、地球表面の70%を占める海洋底における層序学的な知識がとりわけ重要となる。さらに、地質年代スケールを設定するために有効な古生物(示準化石)としては、(1)その生存時に広範に分布し、(2)堆積物や地層中に化石として保存され易く、それ故に堆積物や地層中から多数産出し、(3)種が多様であり、(4)地質時代を通じて進化が顕著であることなどの条件が課せられているので、この点では海成堆積物(岩)中に含有さ

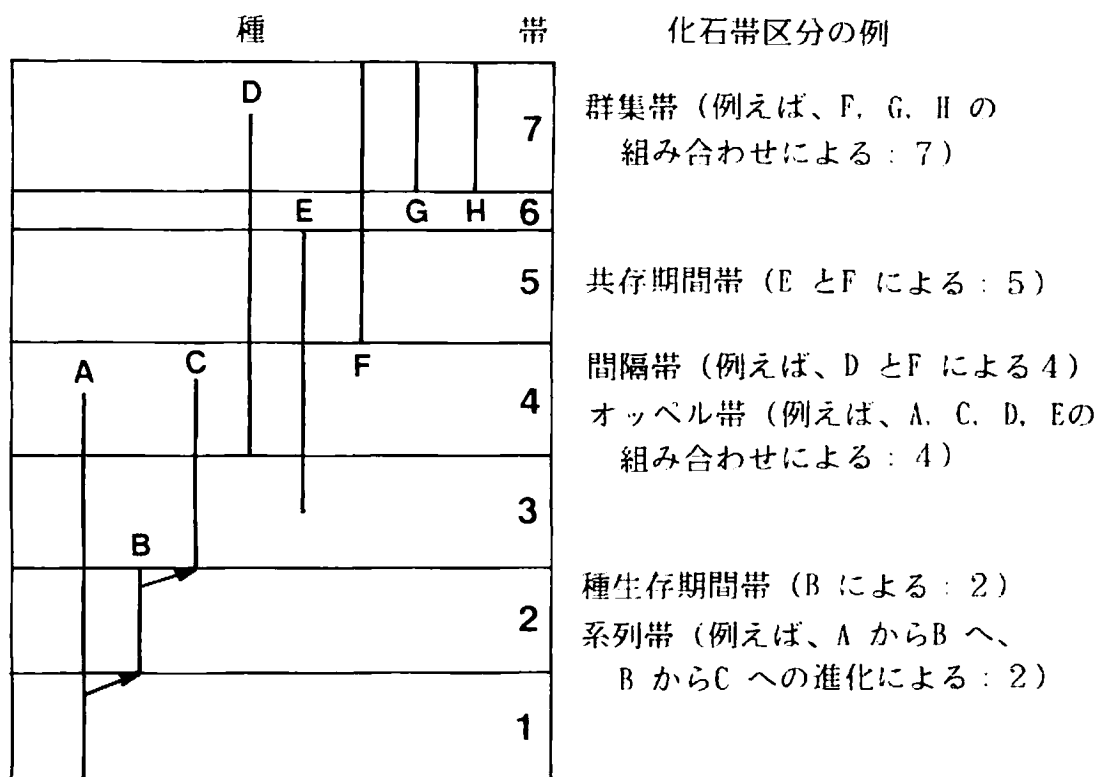


図2-16. 種古生物事件(出現と絶滅)および生存期間を使って、化石帯を設定する方法。

れる浮遊性微化石が示準化石として最も適していると言える。

しかし、地殻表層部は海成層のみから構成されているわけではなく、非海成の陸成層も発達しているので、陸成層中に含有される植物化石と花粉化石、哺乳類動物化石を使った生層序についても当然のことながら考慮する必要がある(2-4-3、参照)。

2-4-3. 古生物(化石)を用いて地質年代スケールはどのようにして設定されるか

生層序学における基本的な単位は、帯(zone)である。帯は、その包含する化石の内容や特徴にもとづいて、隣接する堆積物や地層から区別される地層の部分とをさす。現在、用いられている帯には、異なった概念や定義で規定された多くの種類があるが、一般的には次の4種類がある。(1)ある特徴的な化石種群の集合体として区分される堆積物や地層の部分としての、群集帯(assembly-zone)。(2)ある特定の種の全生存期間とその地理的な生息範囲の限界

によって区別される堆積物や地層の部分としての、生存期間帯(range-zone)。(3)ある特定の種のアクメ(繁栄期)によって区別される堆積物や地層の部分としての、アクメ帯(acme-zone)。(4)複数の種の進化や絶滅の時間面によって区別される堆積物や地層の部分としての、間隔帯(interval-zone)などである。これらのうち、生存期間帯は、1種の生存期間にもとづく場合(種生存期間帯、taxon-range-zone)と複数の種の生存期間とを組み合わせた次のような3つの場合がある。共存期間帯(concurrent-range-zone)、オッペル帯(Oppel-zone)、および系列帯(lineage-zoneあるいはphylo-zone)である。

生存期間帯と間隔帯との2つの帯は、生物の進化にもとづく種の出現と絶滅や生存期間によって定義されているので、帯を特徴づける種の地理的分布が広範なほど帯の適用範囲が広まることになる。ある生物種が出現する層準と絶滅する層準(示準面、datum levelあるいはdatum plane)以外に、ある種や属の個体群が急激に大量に産出しはじめたり、減少

しはじめる層準や殻の巻き方向が逆転する層準なども帯区分の日安となる。

#### 2-4-4. わが国の近年における大型化石層序の研究動向

##### <植物化石・花粉化石層序>

陸成層の生層序には、大型植物、花粉、胞子、脊椎動物、淡水生貝類などが用いられる。これらのうち、化石産出の普遍性が最も高いのは植物化石である。植物化石によるわが国の生層序学的研究の好例として、古くは中生代植物群や新第三紀植物群の総括があげられる。また、中新統下部における2型の植物化石群(阿仁合型および台島型)の存在は、化石に乏しい緑色凝灰岩類の層序決定に大きな役割を果たした。これらの研究における生層序区分の基本は、時代性を示す特徴種とともに化石群構成種の類似性に重点がおかれ、その後の研究でも踏襲されている。特定タクサの系統進化、絶滅、出現にもとづいた生層序学的考察は、大阪層群(鮮新-更新統)の例に典型的にみられるように、より新期の地層を対象に行なわれている。古地磁気層序や放射年代、火山灰層序などを併用し、扱う化石も大型植物だけでなく、花粉・胞子やその他の化石を同時に検討することが常用の手法となっている。

花粉・胞子化石を用いた生層序は、当初、花粉含有量の多い石炭・泥炭や炭質岩を対象にした上部白亜系、古第三系、新第三系などの研究に多い。その後、海成層を対象とした研究もなされるようになり、海成層独自の花粉帯区分が行なわれるようになった。また、時代決定に有効な微化石をほとんど産しない“貧化石帯”の層序考察や、海成層と陸成層の対比についても花粉・胞子化石群集による実証的検討がなされるようになっていく。

##### <貝類化石層序>

わが国では、1960年代まで貝類化石を中心にして地質時代が決められてきた。しかし、微化石層序学や地質年代学の進展とともに貝類生層序を主とする研究や年代論は後退した感がある。その一方、従来設定されてきた貝類化石帯と微化石層序との消長関係について再検討がなされ、その信頼性を高めたり一部で修正が行なわれている状況である。例えば、中・古生代では、コノドントやフズリナ、放散虫化石などとの組み合わせ、中生代では放散虫、石灰質ナンノ化石、浮遊性有孔虫などとのクロスチェック、新生代ではさらに多くの微化石との年代的消長関係が検討されている。これらの研究の背景には、貝類

化石が地質学のなかで占めてきた示準化石としての価値を再評価することに加え、貝類化石は野外調査時に容易にかつ即時に年代の推定ができるなどの長所が生かされているものと考えられる。また印象化石でも種の特徴が認識できるものが多いことや、貝類化石だけしか産しない地層が多いことなどから、貝類化石独自の生層序は依然として必要性を失っていない。

新生代における貝類の系統進化的考察から特定グループ(ホタテガイ、アカガイ、エゾキリガイダマシなど)にもとづく化石帯の設定や系統的種・亜種を指標にした系統種化石帯などは貝類層序のなかで最も信頼性に富む。このような貝類化石帯の設定だけでなく、貝類化石にもとづく研究は古生物学一般の諸問題に対しても先駆的な研究例を示してきた。

##### <アンモナイト類化石層序>

わが国の白亜紀のアンモナイト類・イノセラムス類など大型化石による層序・分帯に関する研究は古くから行われてきたが、わが国が模式地より隔離しており往々にして古動物地理区が異なっている。このため、アンモナイト・イノセラムスなどの大型化石層序と浮遊性有孔虫・底生有孔虫・放散虫・石灰質ナンノプランクトンなどの微化石層序との対比による国際対比も試みられてきた。近年のアンモナイト化石層序と浮遊性有孔虫層序との統合に関する具体的研究には、セノマニアン・チューロニアン階についての、いづれも息の長い継続的研究がある。蝦夷累層群のセノマニアン・チューロニアン階境界には、硫化物態硫黄の含有率のピークが存在する。同様のことが北アフリカのチュニジアや南東フランスのセノマニアン・チューロニアン境界においても認められ、松本ら(1991)の統合化石層序による階境界の設定は、国際的にみても極めて高い精度である。国際対比を可能とする基礎的研究として、当然わが国各地の白亜系の化石層序学的研究がある。それらは文字どおりわが国の各地にわたり詳しく調査され、年々精度をあげている。

海生軟体動物としてのアンモナイト類の化石層序学は、海成層・陸成層が指交する地域のあるわが国では、観点を定めることによって非海生軟体動物の化石層序の精度向上を可能とする。このような地域では、必ずしもアンモナイト研究者が望むような多数の種類、あるいは多数の個体が、よい保存状態で産することはないが、地道な努力を積み重ねることによって近年では高い精度で国際対比が可能となってきた。



## 2-4-5. わが国における浮遊性微化石層序の現状

生層序の区分を厳密に行なうためには、堆積間隙や乱れのない連続した堆積物や堆積岩を得ることが最も必要である。このような試料という点では、深海底掘削コアが陸上の地質断面よりも優れている。1968年から始まった深海底掘削計画の進展に伴って、海洋底堆積物(岩)の層序に関する研究は急速に推進された。1975年以降の国際化においては、わが国も分担金を支払う見返りとして、2か月間の1航海に乗船研究者を常時送り出すことができるようになったが、そのために日本古生物学界は微化石を用いた生層序学の研究を世界のレベルで保持しなくてはならなくなった。

この期間を通じて、わが国では北西太平洋の海洋底堆積物(岩)における珪藻や放散虫など珪質微化石層序の確立が陸上の地質断面における研究とあいまって進められてきた。

生層序の研究が進展するにつれて、堆積物や地層をより一層細かい単位で認識しようとする新しい生層序区分の試みが、化石種の分類を細密化し、個々の化石種の層序的分布とそれらの組み合わせによって行なわれるようになった。しかし、生層序における分解能を高めると、それに反比例して適応範囲の時間的・地理的な限界が小さくなっていくことに注意すべきである。

一つの種類の微化石がもつ化石帯や示準面の地域性と層序的分解能の限界を補うために、地質年代の決定と対比によく用いられる4種類の浮遊性微化石—浮遊性有孔虫、放散虫、石灰質ナンノプランクトン、珪藻—の示準面を組み合わせ統合することによって、化石層序区分の分解能を高めようとする努力が、I GCP-246によってなされた。しかし、統一化した年代スケールの中に4種類の微化石を用いた生層序的データを設置するだけに留まり、ある種類の微化石による示準面の層序上の位置(層準)に対する他の基準面の相互関係を吟味するまでには至らなかった。この不備は、その後、東北日本の三陸沖深海底掘削コアと陸上地質断面の海成堆積物中に共存する4種類の微化石それぞれにおける種の出現・消滅・急増・急減などの示準面を相互に直接対応させた研究によって補われた。この方法論は化石層序学における最も基本的な取り組み方であると言えるが、4種類の浮遊性微化石群が各地域の地層の全層準にわたって共存することは稀であり、各種微化石にもとづく示準面の層序的關係を広域にわたって確認することは容易

でないことが判明した。

生層序の分解能を高めるために、わが国の古生物学界では、新第三系と古第三系の生層序と対比に関する総合研究において、すでに述べたように異なった種類の微化石による生層序区分を同一の地質断面に統合させる試みを引き続いて行った。浮遊性単細胞の生物は種類によって生息する場所や環境が異なっているだけでなく、化石の保存状態も違ってくる。このような要因によって、微化石の産出状態が種類によって地域的あるいは層序的に偏在して来るので、多くの種類の微化石を取り扱うことによって生層序の分解能を高めることが出来るようになる。生層序の分解能は、一般に、地質時代をさかのぼるにつれて、続成作用が進行することによる化石殻の溶解や堆積間隙の増加などによって低下するので、陸上においては地質断面を厳選し、試料の採取間隔を細かくすることが必要となる。

生層序学の発展に伴って、海成堆積物の層序区分に用いられる微化石の種類が増加してきて、花粉化石や渦鞭毛藻などによる帯区分も試みられた。

プレートテクトニクスによって現在の海洋底には保存・記録されていないジュラ紀以前の微化石年代スケールは、海洋底堆積物(岩)の海溝部への沈み込み過程の際に形成された陸上の付加体において設定された。その例を中・古生界の放散虫層序にみる事が出来る。

### <中・古生界放散虫層序>

中・古生界放散虫層序学の1970年代以降の急速な進展は、目を見張るものがあった。まさに、“放散虫革命”と呼ぶにふさわしいものであった。とくにわが国における1980年代のその進展は、中・古生代変動帯研究と関わって地質学界の中心的話題の1つであった。その理由は、放散虫化石が示準化石として有効に役目をはたし、その結果から中・古生界層序の新たな設定、地質構造のとらえ直し、発達史の新しい解釈などが急速に展開したからである。中・古生界放散虫層序学の急速な進展は、地質学における“地相斜造山論”から“プレート造構論”へのパラダイムの変換に密接に関わったものであり、時代の要請に沿ったものであった。

1970年代以降の中・古生界放散虫層序学の研究方法は、基本的には従来の一般的な化石層序学の方法と異なっていないが、研究手段の面でいくつかの近代化がなされた。特筆すべき点は以下の通りである。(1)変動帯の中・古生界の層序のとらえ方が大きく変わり、付加体としてのメランジュや海底地す

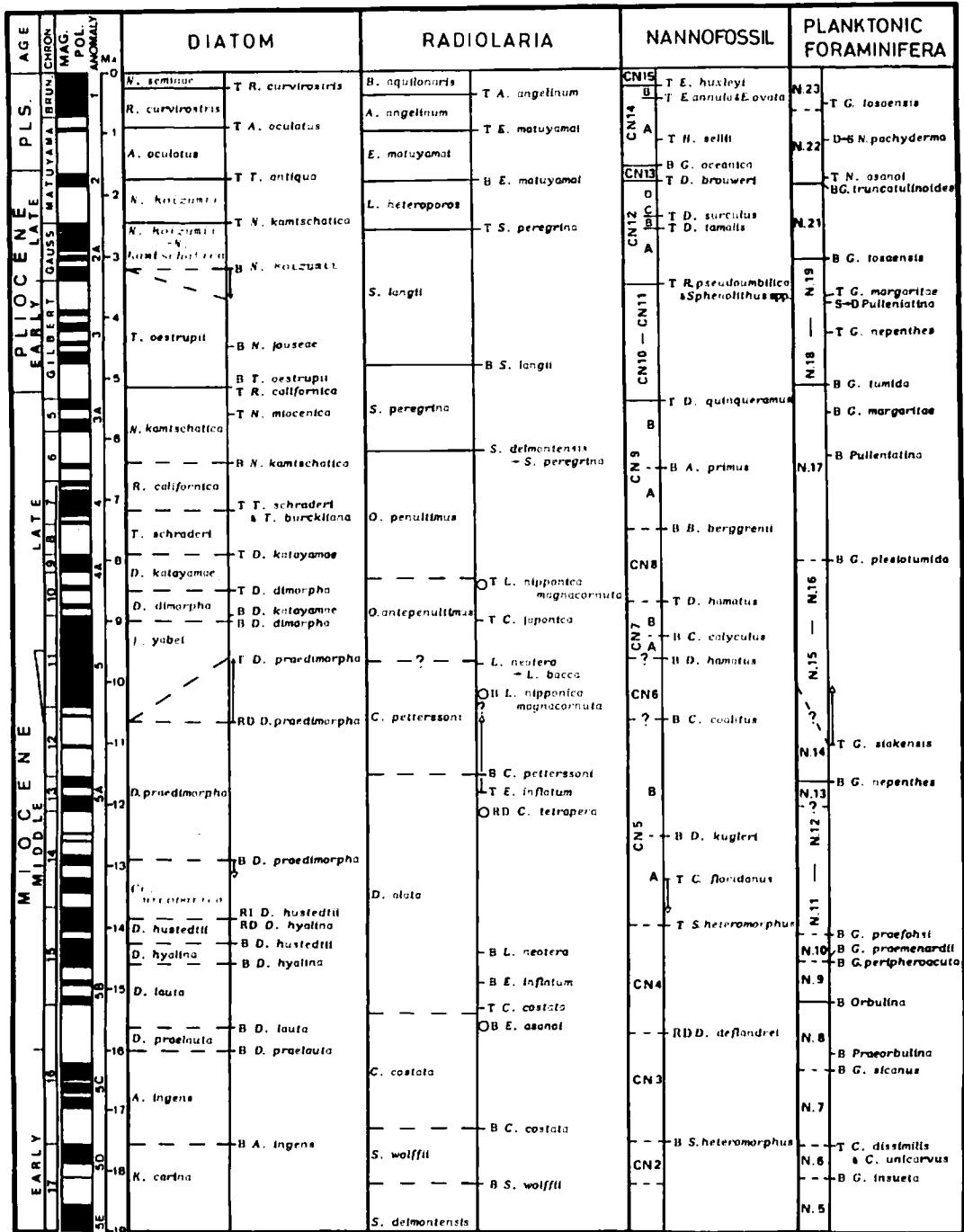


図2-17. 東北・中部日本新第三系古地磁気・微化石年代尺度(北村編, 1986).

		放 散 虫 化 石 帯	
		Assemblage Zone	Range Zone · Interval Zone
白	上	<i>Amphipyndax tylotus</i>	<i>Amphipyndax enesseffi</i> - <i>A. tylotus</i>
		<i>Artostrobium urna</i>	<i>Patellula planoconvexa</i> - <i>Artostrobium urna</i>
垂		<i>Dictyomitra formosa</i>	
		<i>Holocryptocanium barbui</i>	<i>Holocryptocanium barbui</i> - <i>H. geysersensis</i>
		<i>Thanaos conica</i> - <i>Ultraporora</i> sp. A	<i>Acaentotyle umbilicata</i> - <i>Ultraporora praespinifera</i>
		<i>Mirifusus</i> sp.- <i>Parvicingula</i> sp. A	<i>Eucyrtis tenuis</i> <i>Obesacapsula rotunda</i>
系	下	<i>Pseudodictyomitra</i> cf. <i>carpatica</i>	<i>Parvicingula altissima</i> <i>Mirifusus mediodilatus</i> <i>Mirifusus baileyi</i>
		<i>Pseudodictyomitra primitiva</i> - P. sp. A	<i>Pseudodictyomitra primitiva</i>
シ	上	<i>Tricolocapsa yaoi</i>	<i>Cinguloturris carpatica</i>
		<i>Gongylothorax sakawuensis</i> - <i>Stichocapsa nadaniensis</i>	<i>Styllocapsa(?) spiralis</i>
ユ		<i>Guexella nudata</i>	<i>Tricolocapsa conexa</i> , <i>T. tetragona</i>
		<i>Unuma echinatus</i>	<i>Tricolocapsa plicarum</i>
中		<i>Hsuum hisuikyoense</i>	<i>Laxtorum(?) jurassicum</i> , <i>Hsuum</i> sp. G
		<i>Parahsuum</i> sp. D	<i>A. pachyderma</i> , <i>D. (?)</i> sp. A-D, <i>(?)</i> sp. G
系	下	<i>Parahsuum simplum</i>	<i>Parahsuum directiporata</i> <i>Parahsuum</i> sp. C, P. sp. A
		<i>Canoptum triassicum</i>	<i>Betraccium deweveri</i>
三	上	<i>Triassocampe nova</i>	<i>Capnodoce</i>
		<i>Triassocampe deweveri</i>	<i>Capnuchosphaera triassica</i> <i>Emiluvia(?) cochleata</i> <i>Archaeospongoprimum compactum</i> unnamed
舞	中		
	下		
系	上	<i>Neobailletella ornithiformis</i>	<i>Follicucullus scholasticus</i> - <i>Albailletella levis</i>
		<i>Neobailletella optima</i>	
ル	中	<i>Follicucullus scholasticus</i>	
		<i>Follicucullus monacanthus</i>	
ム		<i>Pseudoalbailletella globosa</i>	<i>Pseudoalbailletella rhombothoracata</i> - <i>Pseudoalbailletella scalprata</i>
		<i>Pseudoalbailletella</i> sp. C	
系	下	<i>Albailletella sinuata</i>	
		<i>Ps. scalprata</i> m. <i>rhombothoracata</i>	<i>Ps. simplex</i> - <i>Ps. lomentaria</i>
石	上	<i>Pseudoalbailletella lomentaria</i>	
		<i>Pseudoalbailletella u-forma</i> m. II	
炭	系	<i>Pseudoalbailletella u-forma</i> m. I	
		<i>Pseudoalbailletella bulbosa</i>	
系	上	<i>Pseudoalbailletella nodosa</i>	

図2-18. 古生代後期-中生代の放散虫化石帯区分.

べり堆積物としてのオリストストローム、また、海洋プレート層序を代表する緑色岩-チャート-碎屑岩シーケンスなどの概念が導入された。これらの実態の解明のために、野外における放散虫化石用試料の採集においてより吟味された精度の高いポイント設定が要求された。つまり、メランジュのユニット区分やメランジュ・オリストストロームにおける岩体と基質の堆積年代の相異の検討には、それに見合った試料採集が必要となり、岩体内における化石層序の検討においてはより高密度の層状チャート層における単層ごとの採集が重要となった。(2)岩石試料の処理法として、1960年代までの岩石薄片法から化学薬品(主としてHF)による個体分離・摘出法へと移行した。また、岩石試料の特性に応じた処理法や摘出個体のクリーニング法などが工夫された。(3)放散虫化石の観察・情報化における近代化として、観察には光学顕微鏡だけでなく走査型電子顕微鏡(SEM)が導入され、1980年代には一般化した。情報化に関しては、個々の研究者がパソコンによる分類・文献に関するデータベース化を進めており、一部では大型計算機による写真映像のデータベース化も進められている。

以上の研究手段の近代化や研究対象の広範囲化によって、中・古生界放散虫化石帯がはじめて設定されるようになった。この設定は、わが国と諸外国で同時進行的に進められた。上部古生界や下部中生界において、わが国の試料にもとづくわが国の研究者独自の化石帯設定が、世界の研究をリードした面もあった点は高く評価される。しかしながら、この段階での化石帯設定は年代分解能の点においてまだ初歩的段階であると言わざるを得ない。また、化石帯の種類としても、群集帯としての設定から、間隔帯あるいはアクメ帯、生存期間帯へと研究が進められつつある段階である。

#### <フズリナ生層序>

わが国をはじめ北米や旧ソビエト連邦など多くの国々では、フズリナ類が上部古生界石炭-ペルム系の年代決定と対比の手段としてもっぱら利用されてきた。その研究のピークは1960年代にあり、上部古生界の石灰岩の年代がほぼ決定されると、その研究は急速に衰退した。しかし、プレートテクトニクスの発展に伴い環太平洋地域のトレインの古生物地理学的研究や最近の古生代後期の氷河性海面変動をはじめとする古環境の解析のニーズから、精度の高いフズリナ生層序区分はむしろ最近になって確立されたと言える。

1970年代初頭までのわが国のフズリナ生層序は、異なったトレインで立てられた統や階の模式層序をつなぎ合わせて設定されたものであり、階と階の区別や化石帯と化石帯との区別を厳密に行う上で大いに問題があった。

秋吉帯の秋吉石灰岩層群は、海洋底の海山上に発達した礁石灰岩と考えられ、石炭紀前期トルネイ世よりペルム紀中期末にいたる約9000万年間にわたり連続して堆積した石灰岩層から成る。本層群の下部石炭系ビゼー階以上の石灰岩中に石灰質小型有孔虫とフズリナ類による47化石帯が最近設定された。この生層序区分は、現在、テーチス海区の標準生層序として認められている。秋吉石灰岩層群に発達していない上部ペルム系のフズリナ化石帯を舞鶴帯で補うと、有孔虫化石帯がまだ設定されていない下部石炭系トルネイ階を除き、50化石帯がわが国の石炭-ペルム系に現在確認されている。これらの化石帯は基本的には群集帯、生存期間帯、およびアクメ帯から成り、これに間隔帯や種の出現と絶滅層準を加味すると、さらに精度の高い生層序区分が可能となる。秋吉帯で確認されたものと同じ精度の生層序区分は、現在、テーチス海域全域で認められており、広域に生じた様々な地学現象を約100万年の誤差の範囲で考察できる状況にある。

#### 2-4-6. 化石帯区分の地域性に関連した問題点

化石帯区分とそれにもとづく対比が世界的に進行するにつれて、元来低緯度で設定された浮遊性有孔虫・放散虫・石灰質ナノプランクトンなどの化石帯は、高緯度域までおよばないことが判明してきた。このために、高緯度域では珪藻など別の化石帯による別個の化石帯を設定する必要がでてきた。すなわち、気候帯-水塊群に対応した生物群集の緯度的分化によって影響された化石帯区分の地域性の問題である。この地域性は、新生代においては新第三紀の始まりとともに成立してくる。例えば、わが国における浮遊性有孔虫の化石帯区分では、太平洋沿岸部に発達する新第三系のかかなりの部分に低緯度域の化石帯区分をそのまま適応できるが、日本海沿岸部域では低緯度域との共通種が少なくなり、独自の化石帯区分が必要になっている。

化石帯区分に関わる地域性の問題は、言い換えれば基準面の非時性ということである。例えば、北太平洋の中緯度域では珪藻*Denticulopsis praedimorpha*の消滅とその子孫種*D. dimorpha*の出現の間に*Thalassiosira yabei*帯(9-11Ma)が間隔帯として設

定されているが、高緯度域の北太平洋や南極海では進化系列から予測されるようにこの2種のレンジが重なり合う共存期間の存在することがわかってきた。帯区分の地理的適応限界と示準面の等時性について古気候帯や水塊分布などの環境要因と関連させて検討しなければならなくなった。

#### 2-4-7. 示準面による国際対比

地域的な化石帯区分を全地球的に標準化する正当的な方法は、ヨーロッパ大陸を模式地とする年代層序区分体系に対比する方法である。年代層序区分の基本的な単位である模式地における“階”の生層序の研究が地元の研究者のみならず、世界中の研究者によって精力的に行なわれた。わが国からは東北大・地質学古生物学教室を中心としたチームが活躍した。一般に、多くの階の模式地は大陸縁辺域に位置し、貝化石など大型化石を含む浅海性の堆積相であるために、外洋性の多様な浮遊性微化石を連続して産出しないこと、さらに北西ヨーロッパにおける古第三系の階の模式断面に典型的にみられるように、階がその実質である模式層序によって完全に代表されていないということが分かっている。このような“階”の不完全さを補うために、“期”の上限や下限を規定する同時間層序としての境界模式層序が提唱されている (ISSC, 1976)。

この提唱を契機として、浮遊性微化石種のレンジの出現や絶滅などの生物事件 (biological event) にもとづく生層序学的示準面によって年代層序区分を作成する研究が推進されることとなった。それは、微化石の帯区分が単一あるいは複数の化石種のレンジの組み合わせによって、個々の化石帯の上限や下限が示準面のレンジの上限あるいは下限として規定されているからである。わが国においては、浮遊性有孔虫をはじめとする各種の浮遊性微化石による示準面を総合して一本化する研究が層序区分体系の対比と統合化の進み中で実施された。

浮遊性微化石による地域的な層序区分体系が確立し、整備されるにしたがって、地域ごとの化石帯区分とその群集組成の“空間的広がり”の時間的変動が追求されるようになり、帯区分の境界をなす示準面がもつ(古)生物学的意義が(古)気候や(古)海洋の側面から検討されるようになった。

#### 2-4-8. 生層序示準面の相対時間を絶対時間へ変換する際の問題点

生層序帯区分の境界や示準面は相対的なものであ

り、それ自体では何ら年代値を示すことはない。しかし、それらを挟在する火成岩や火山灰の放射年代値あるいは地磁気層序年代値のいづれかに対応させることによって、帯区分の境界や示準面は具体的な年代値を得ることができるようになる。放射年代値は、もっぱら陸上の地質断面において火山灰層や火山岩を素材として測定されるので、堆積岩における生層序示準面と対応づけられる放射年代値はきわめて少ない。しかし、わが国の浮遊性有孔虫層序や珪藻層序などで試みられたように、生層序示準面と放射年代値との対応関係を積極的に追求して、自前の年代スケールを作成することが大事である。

一方、地磁気層序は主に海洋底堆積物のピストンコアや掘削コア、および陸上の堆積岩などを使って編年されるので、生層序と地磁気層序との直接的あるいは間接的な対応関係は比較的容易になされてきた。地磁気層序の編年に関しては、二つの方法が用いられてきた。一つは海洋底玄武岩の帯磁による磁気異常の縮模様を解析して得られる年代スケールであり、もう一つは年代値が判明している浮遊性微化石の示準面との対応による年代スケールである。これら二つの方法論の違いによって、地磁気異常5の“長い正帯磁期”を地球磁場逆転史のエポック9に対比するのか、それとも11に対比するのが過去20年間問題とされてきたが、赤道太平洋や大西洋における深海底掘削の結果にもとづき、エポック11に対比する案が広く受け入れられるようになった。この国際的論議に関与して、わが国では中部地域の浮遊性有孔虫層序と放射年代値にもとづき、地磁気異常5=エポック11を支持する研究結果が得られたが、最近の研究では地磁気異常5=エポック11となっている。東北日本と北海道では、珪藻層序とK-Ar年代値との対応から地磁気異常5=エポック9が妥当である。

古地磁気層序を時間スケールに使うと、浮遊性微化石の緯度による地理的分布の違いを具体的に検討した研究がある。すなわち、赤道太平洋域と房総半島の新第三系において古地磁気層序と直接対応のついた浮遊性有孔虫の示準面によって、両地域における示準面を比較したところ、約0.5Maの範囲内で対比できることが分かっている。また、北西太平洋の中緯度域においては、古地磁気層序の判明している500万年前以降の掘削コアを使って、低緯度と高緯度域との珪藻示準面を比較したところ、かいて暖流系示準種の示準面は等時的であるが、寒流系のそれは時間面に斜交する傾向のあることがわかってい

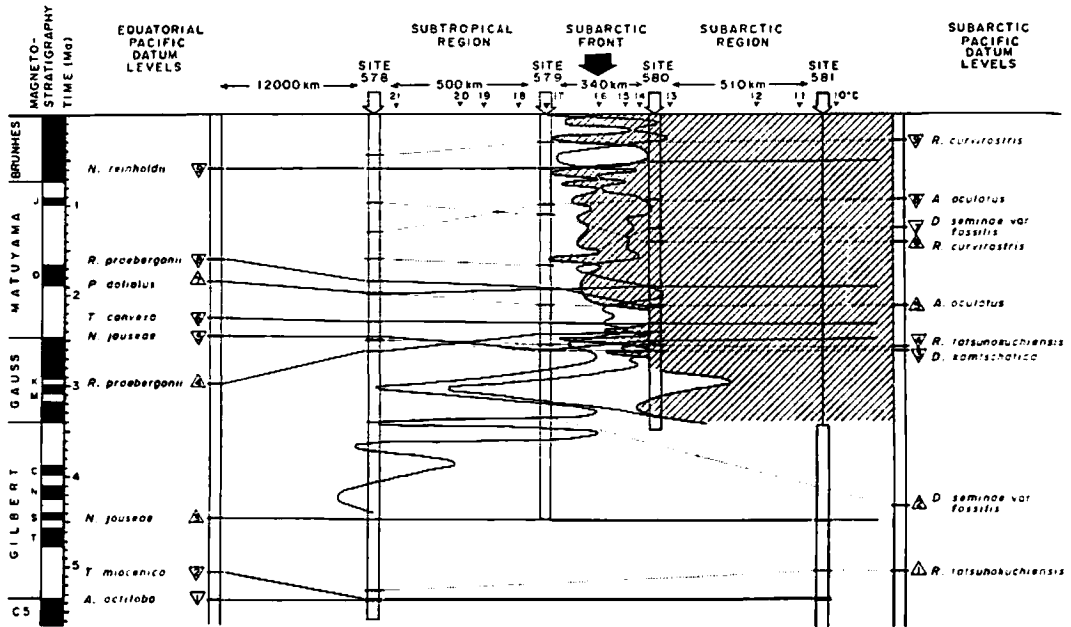


図2-19. 北大西洋からの深海掘削コアにおいて、古地磁気層序を年代尺度にして、珪藻化石の出現・絶滅の層準を南北断面において比較すると、地域によって出現・絶滅の時間が異なるので、古生物地理区の認識が必要となる。

る。

#### 2-4-9. 生層序学の精度と信頼度を向上させるためにはどうしたらよいか

連続した堆積物や堆積岩において、個々の化石種のレンジあるいはレンジの上限や下限が示す時間面の地理的広がりや環境変化とを照合させて、環境変化に影響されず、かつ時間面に斜交することのない、同時面として扱うことのできる対比に有効な示準面を選び出す作業がまず必要である。このような示準面として最も信頼できるのが、祖先型から子孫型にいたる同一の進化系列において規定される系列帯の示準面。祖先型種が進化したことによって生じた子孫型種の出現と祖先型の消滅、である。これらは、古生物事件(paleontological event)と呼ばれ、化石層序学における層序として最も重要で、かつ意義のある示準面である。その理由は、生物進化が非可逆的であること、一つの進化系列における先祖型から子孫型への分岐(新しい種の出現)が同一生物地理区の中において同時的であることにもとづいている。

このような研究の好例をわが国の珪藻化石層序学にみることができる。すなわち、*Crucidentricula*属、*Denticulopsis*属、*Neodenticula*属などの種群における進化系列にもとづいて、化石帯区分あるいは示準面を設定しえたのである。

同一セクションにおいて、系列帯の示準面と古地磁気層序あるいは放射年代値などの物理的基準とを直接対応させるとともに示準面が意味する生物-環境事件を解明することが必要である。

#### ＜中・古生界放散虫層序＞

より精度の高い、しかも信頼性のある放散虫年代スケールを設定する研究を推進するに当たって、中・古生代放散虫研究における独自の問題点があるので、指摘しておきたい。(1)まず放散虫群集の種の多様性である。1岩石試料中に含まれる放散虫化石種は、保存のよい試料では数百種におよぶ。ちなみに、美濃帯ジュラ紀古世-中世マンガノジュールに含まれる放散虫群集においては、検討した5層準の試料のいずれからも200~300種が識別され、その半数以上は未記載であり、各層準の固有種は各層準の群集

構成種の30%を占める。一般的に言って、これまで化石層序学あるいは古生物学的研究の対象となった中・古生代放散虫種は、その群集構成種中の限られたグループに属するものであり、しかも各研究者によって扱われるグループが異なっている場合が多かった。そのため論文・報告書だけにもとづいた単純な群集の比較は困難であった。少なくとも鍵になる放散虫群集に関しては、群集構成種の分類・記載を網羅的に行ない、群集比較の基礎を固めておく必要がある。さらに群集比較に際しては、研究者間の情報交換や試料交換を密にすることが重要である。

(2) 放散虫化石を多産する岩石試料は、一般的にはほかの示準化石を含む例が少ない。そのために、ほかの示準化石を共存する層準の年代的データを重要視し、それを基準としながら独自の放散虫年代スケールを設定するのが一般的研究方向である。この方法では、数多くの層序断面でのほかの示準化石による年代チェックを通して、放散虫年代スケールの間接的・総合的チェックとなりうる。最近、ヨーロッパの研究者を中心に日本の研究者も参加して、ジュラ系中部から白亜系下部にかけての精度の高い対比をめざしてUnitary Association (Baumgartner et al., 1980)による放散虫分帯が進められている。この分帯は、示準となる500種以上の放散虫化石種を選び出し、世界各地でのそれらの共産関係を電算処理した結果にもとづいており、年代はほかの示準化石(主としてアンモナイト)によってチェックされている。この方法にはいくつかの問題点が含まれているが、放散虫年代スケールの高精度化の有効な一方向であろう。古生界—トリアス系における放散虫化石帯は、主としてコノドント化石によって有効に年代チェックがなされており、上部古生界ではフズリナ化石との共存関係も明らかになりつつある。(3) 中・古生代放散虫年代学を進めるにあたって、古生態学的・古生物地理学的・古海洋学的検討は必須である。現世放散虫類は海洋表層域に多く生息していることが明らかであるが、同時に深海域にも生息が確認されており、また、放散虫殻を大量に含む堆積物の多くは深海底に分布している。過去の海洋で放散虫がどのような生息分布をもっていたか、どのように海洋環境に支配されていたかなど、ほとんど分かっていないが、化石帯区分の地域性と関連して、古生態学的・古生物地理学的・古海洋学的検討は今後の重要な課題である。

#### <貝類化石層序>

貝類種属の生息域が見かけ上で深度に規制される

ため、例えば潮間帯から深度20-30mではアカガイやキサゴ、50-60m以浅の公海域ではホタテガイ、マルスタレガイ科、浅海帯から上部漸深海帯—300m以浅ではエゾキリガイダマシなど、タクサの環境・形態の特性をふまえた生層序も必要とされる。最近では、新たに総括された微化石年代スケールや東北本州弧の新生代層序の総括を基礎に一部の重要な貝類種属の生存年代が示されている。

貝類化石の生層序の精度をより向上させるためには、種・亜種、型など種内変異の認識をさらに検討しながら時間的形態変化のパターンを把握し、形態と系統進化の対応を明確にすることである。さらに種や亜種以外のレベルで認識されている形の時間的変化(部分:例えば、ホタテガイの耳の大きさやヒヨクガイに認められている二型形の頻度変遷)を把握することも重要な課題である。これらは系統分類学の進展と同調する問題、すなわち古生物学全体の問題であり、問題を解決するための研究には電子顕微鏡を用いた初期形態の観察解析、個体発生パターンや形態形成パターンの論理的認識、形態の断続の諸原因(内的、環境圧、多型など遺伝的表現型)などを追求する必要がある。種内変異の検討には同時間内の地理的・生態的変異と時間とともに生じる変異の両面が予想され、系統的变化と時間の対応を見きわめるためには遺伝学的成果をふまえた新たな視点からさらに多角的に研究する必要がある。

このような研究を通じて、形態と時間との関係、形態変化と遺伝的関連、形態変化を起こす諸原因などについて一層理解が進み、今後の地球環境と生物変動の対応も把握できる可能性がある。

#### <アンモナイト類化石層序>

わが国の白亜系のうち、少なくとも前弧海盆の沖合の堆積物については整合一連であると考えられており、頻繁に固化面や濃縮層などを挟在するヨーロッパの模式地や北アメリカ西部内陸地域の堆積物に比べて、化石層序の基本である化石種の層序的分布をとらえる上で圧倒的に有利である。一方、浅海域についての層相解析やシーケンス層序学的観点からの取り組みは、古生態学的研究やタフオノミーの研究同様、少数の研究者の開発的あるいは画期的研究はあるが、全体としてはまだ世界の最前線からはおかれており、従来の化石層序にはほとんど生かされてはいない。

白亜紀には3回の海洋無酸素事変が知られている。このほかにも様々なevent stratigraphyの研究の発展を通じて、今後一層高い精度でアンモナイト化石

層序と浮遊性微化石の突き合わせが進められよう。しかし、大型化石と微化石という関係に限らず、分類群によって最適条件はもとより環境への耐性も異なるのであるから、層序的分布範囲が異なるのは自然であろう。様々な事変に際して、Lazarus species も知られている事であり、今後は大型化石と微化石両分野の共同のフィールド・ワークだけでなく、各分類群の系統進化と古生態の研究を深めることが肝要である。

なお、大型化石と微化石の両化石層序の個別および共同の研究努力とともに統合層序としてはもちろん他の分類群の化石層序との比較検討のほか、古地磁気層序と放射年代の研究も合わせて行なう必要がある。この場合にも化石層序の研究者がフィールドに同行して、適切な層準の試料を得ることが肝要である。

#### ＜植物化石・花粉化石層序＞

花粉・胞子化石をも含めた植物化石層序の精度と信頼度を向上させるためには解決しなければならない多くの問題点がある。すなわち、部分化石における分類学的制約、陸成層の特性に起因した岩相の水平的・垂直的連続性など、さらに異地性群集における母植物からの生産・運搬・埋積過程の影響などである。また、ある地域で得られた生層序区分は、同じ堆積盆地や地域内では有効でも、広域対比には、そのままでは適用することができない。このような難しい一面はあるが、陸成層独自の生層序を確立していくことは、陸上に生活の場をもった動植物の考察に欠かすことは出来ないし、その適用によっては、北アメリカにおける白亜紀／古第三紀境界付近の植物化石群にみられるような短期間の変化を摘出できる可能性がある。植物化石を用いた広域対比は、群集変化が気候(環境)変化と連動していると考えられる場合に、間接的な示準的应用として可能である。最終氷期以降の花粉群集による時代区分は、とくに生層序を意識した研究ではないが、気候環境を反映した群集帯区分である。東北地方の上部中新統中に認められる“船川遷移面”も同様な観点からとらえることが出来る。これらの例は、植物(植生)と気候環境とがよく対応することの一つの応用であるが、異地性群集をあつかう場合にはタフォノミーの側面を十分に考慮する必要がある。その点で、植物の器官ごとにタフォノミーに関する基礎データを蓄積することが生層序的解釈の信頼度を高めることになる。

## 2-5. 化石を現在によみがえらせる ー実験的手法ー

### 2-5-1. はじめに

古生物学は、伝統的に、化石とそれを含む地層を主な研究対象としてきた。したがって、研究の価値は、化石と地層をいかに詳細に観察し、記載したかによって評価されることが多かった。このため研究結果の考察は、結果がどれほど興味深いものであっても、そのときどきの流行のパラダイムを借りた説明に終わることが多かった。しかしこのレベルで満足しては、近代的な機器を用いても、また最新の理論を借りても、所詮は解釈の域をでない。古生物学が自然科学の一員であるためには、導き出された結果とその解釈について、その妥当性を検証する努力をしていかねばならない。もちろん自然を詳しく観察し、自然との対話を繰り返すことは研究の第一歩であり、必要不可欠なことである。しかし、その一方で、自然を観察することから得た結論を検証する試み、つまり実験を伴った自然への積極的な働きかけがあってもいいのではないかと思う。

化石の研究に実験的手法を用いる試みは、日本でも半世紀以上前からすでにあつた。早坂一郎は、占領下の台湾西岸の tidal flat をフィールドにして、海生無脊椎動物の考現古生物学的(actuopaleontological)な観察を繰り返し行なつた。この早坂の卓見は、戦後、浅野ら(1958)の松川浦の総合研究を生みだした。しかし、戦後復興期においては鉱工業への貢献が重要視されていたこともあり、生物としての化石を理解しようとする生物学的古生物学よりも、地質学と強く結びついた地質学的古生物学が優先された。この地質学的古生物学偏重への反省は、ほぼ戦後の復興の成つた、昭和42年の古生物研究所設立案(古生物研連、1967)に述べられ、その後、化石になつた生物を理解するために現生の同種、近似種の生物学を導入する手法は徐々に浸透していくことになる。化石硬組織内の同位体研究グループ(1969、1971、1972)やオウム貝の飼育観察を通じてアンモナイトの生物学にアプローチしたJECOLNグループ(1980)の活動がその中でも目立つ研究活動である。一方、脊椎動物についての実験的研究も始められ、井尻・菅沼(1943)は歯の萌芽機構に関する移植実験を犬を使って行なっている。井尻が提唱した実験古生物学的研究は、井尻が組織した化石研究会の活動として展開され、主に歯学の基礎分野で成果を挙げた。

現生生物の研究を通じて化石生物を理解しようとする考現古生物学は、今日では、市民権を得ている。



# 化石の研究・解釈とその検証可能性

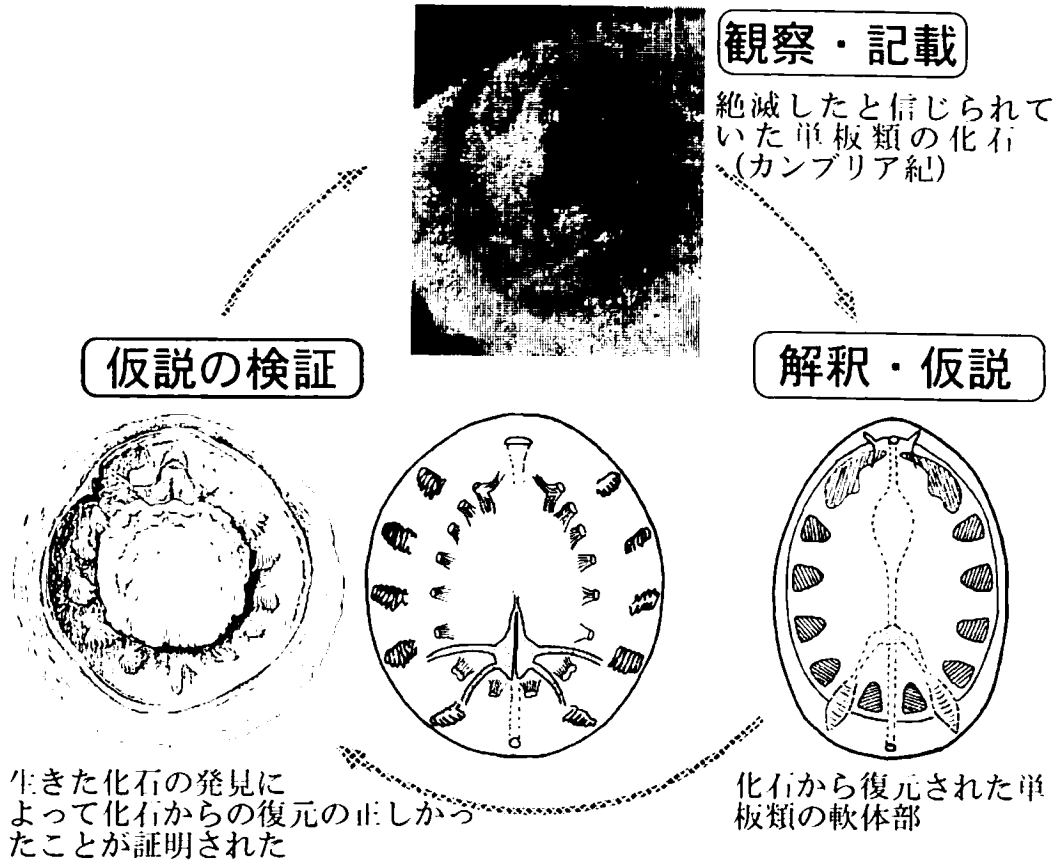


図2-20. 化石の研究解釈とその検証可能性

化石のみで知られていた生物が生きた化石として発見される時、古生物学者の復元の確かさが試される。1953年、偶然に発見されたネオピリナは、絶滅したと思われていた単板類についての化石からの復元像がかなり正しいものであったことを示した。偶然に頼らず、データ収集・解釈(=仮説の提唱)・検証のループをもっと積極的に構築してゆくことによって、古生物学をより次元の高いものへと脱皮させることができる。そのための有力な研究方法が実験古生物学的手法である。

しかし、その研究方法は生理、生態などについて観察するレベルに留まっているものが多い。

私達は、十分に制御した環境のもとでの生物の飼育、飼育環境を変化させて生物と環境との相関をより積極的に理解する研究や、交配、遺伝子の組み換えなど、古生物学に積極的に実験的手法を導入することを主張する。他の国に比較して、わが国は実験古生物学を推進するにあたって、次のような利点があり、実験古生物学を世界的にリードしようとする私達にとってきわめて有利である。

その第一の利点は日本の地理的位置である。日本は周囲を海に囲まれ、その海岸線はrocky shoreからmuddy tidal flatまで変化に富んでいる。また、浅海から大陸斜面、海溝底、そして大洋底までパラエティに富んだ水深の生物がいる。さらに日本列島は南北に長く、南からは黒潮が、北には親潮が流れている。そのため、日本列島の周りには亜寒帯から、亜熱帯までの海中気候帯が見られる。このため、日本周辺には多種、多様な生物相、特に海生無脊椎動物相が発達している。このことは、さまざまな分類

群にわたる研究テーマを設定出来るとともに、実験材料の選択の範囲が極めて広いことを意味している。

二番目の利点は、日本が海産生物などの養殖技術に優れていることである。日本人は海産生物を食料として嗜好するために、水産学が盛んで、日本各地には栽培センターが設置されている。そこでは、世界的にも第一級の海産生物の養殖技術が培われており、この養殖技術を使えば、海産生物の飼育実験が可能である。また、全国に点在する大学付属の臨海実験所は、諸外国と異なり、多額の使用料を払うことなく使用できることから、飼育実験を行なう場合の拠点として利用価値が高い。

三番目には、日本は技術先進国であることが有利である。日本は電子計算機、電子顕微鏡をはじめとする高度な研究実験機器の生産国であるため、比較的安価にこれらの機器を調達し、研究に用いることが可能である。また、飼育実験の成果を近代的な機器を用いて解析することも容易にしている。さらに、再現実験、理論的検討などの機器解析、計算機解析をする場合にも、科学機器が容易に手に入るのは利点である。

以上の三つの特色を生かす事ができれば、化石の研究から得られた仮説を、化石と比較可能な現生物を選び、高度先進技術をも駆使した実験を行い、比較することによって検証することが可能となるはずである。このようにして、私達は「化石をよみがえらせた」と思われるほど生き生きとした、しかも実際に検証された、より現実感のある古生物像を得られる。また、幸運な場合には、あとで述べるように、実際に化石をよみがえらせることも可能であろう。本論では、古生物学の研究に際して実験的手法を積極的に用いる実験古生物学の現状とその展望を述べる。

#### 2-5-2. 飼育実験(海生無脊椎動物を例に)

飼育実験を用いた考現古生物学の第一の目標は、環境要因をコントロール、あるいはモニターしながら飼育することによって、生物の諸形質と環境との関係を正確に対応づけることができることであろう。日本では、古生態学や古環境学的な観点から、生物の成長様式・成長線形成と環境の関係、底質内での埋没深度や潜行方法などの研究が行われてきた。さらに最近では、人工・自然環境下で、ウミユリの莖の再生実験を行い、捕食に対する適応戦略を明らかにしようとする試みも行われている。また、飼育を通じて受精から性成熟、そして死に至る全生活史を

解明することは、生物学的古生物学の基礎をつくるとともに、生物の系統、分類を論ずる際の重要なデータとなっている。例えば、棚部らは、初期生活史の不明だったオウム貝の受精卵の人工保育や人工孵化に成功し、アンモナイトなどの化石有殻頭足類の初期発生や繁殖戦略・系統進化を推定するうえでの基礎データを得つつある。さらに、飼育ではないが、干潟における実験・観察を通じて遺骸集団の生産・保存・再構成など、古生物を扱うときに避けて通れない taphonomy の問題に積極的に取り組んでいる人達もいる。また、有孔虫の殻の諸形質の生物学的意味を明らかにするために行なわれた飼育実験によって、たとえば、砂質有孔虫の殻にみられる2つの形態変異の出現の原因が、遺伝的要因ではなく、水温と溶存酸素量の変動が原因であることが明らかになった。また、別の例では刺を持つ個体と刺を持たない個体という殻形態上の変異を持った個体同士が細胞質融合を起こすことを確かめ、2型が同一種であることも飼育実験により確かめられた。このように飼育実験は、古生態や古環境はもとより、生物の形態の理解、あるいは種の認定といった分野の研究にとっても有力な手段となっている。

最近の研究機器の進展は、飼育条件をより厳密にコントロールでき、飼育中の各種環境要素を精密にモニターすることのできる飼育装置の組立を可能にした。たとえば静岡大学に導入された飼育実験装置は、温度・塩分濃度・pH・溶存酸素量・光・溶存栄養塩量などを精密にコントロールすることが可能である。このような実験水槽が稼働すれば、古生態・古環境の推定に利用されている経験則を実験的に検証できよう。さらに、ちょっとした工夫で、先カンブリア紀の二酸化炭素に満ちた地球環境、中生代の anoxic な海洋条件など、現生の環境には存在しないような過去の環境条件を装置内に再現することが可能であり、その中でさまざまな生物を飼育、観察すれば、生物界の変遷の理解を飛躍的に高めるだろう。

実験古生物学のために開発すべき装置はいくつもある。たとえば、飼育生物のモニタリングは堆積物中でも可能であるべきで、堆積物の中を連続観察可能な X 線透視システムの開発が急がれる。堆積物内で生物がどのように生活しているのかを知ることは、化石として豊富に産出し、しかも生息場所に in situ で保存され易い内生生物やその生痕は化石の産出場所やその周辺環境情報を知るための重要な手がかりである。このため生没した内生生物化石やその生

痕化石の連続・非攪乱観察が可能になり、その堆積物中での行動生態の理解が進めば、古生態だけでなく、周辺の高環境の復元にとっても大きな武器となる。特に、最近、溶存酸素量の指示者として注目されている、生痕をつくる内生で軟体部しか持たないような無脊動物を、溶存酸素量を制御した環境下で飼育、X線観察できるようになれば、この分野の研究は飛躍的に発展するだろう。内生生物の挙動のX線連続観察は、さらに、地層の堆積学的情報の擾乱の程度の見積り、堆積物中での残留古地磁気の獲得深度と生物擾乱との関係の見積りなどを通じて、関連地学分野の研究の基礎的データを提供するだろう。

上記のような装置は、開発されると同時に古生物学者にあまり開放されるべきである。多くの古生物研究者は、自分が取り扱っているテーマを理解する上で、飼育が必要であると感じている。問題は、その頻度である。もしも、飼育によって一部の問題を解こうとしている場合、わざわざそのために、飼育設備を整え、飼育方法を修得、開発する人はいないであろう。また、飼育実験は極めて時間的に束縛される研究であるために、研究の経済性を考える人はこの研究方法とはならないに違いない。このジレンマから逃れるためには、飼育実験を主体として古生物学の研究を推進する大学あるいは臨海研究センターを選び、設備を集中させればよい。ちょっと使いたい研究者は、その設備と飼育に関するノウハウを利用すればよく、このようなシステムが完成すると飼育実験に対する敷居は低くなるにちがいない。

### 2-5-3. 生化学的手法

遠藤(1991)に紹介されているように、分子進化学的アプローチが新たに注目されている。日本でも古生物研究者が鮮明な研究テーマとテーマに適した材料を持って研究を始めている。

生化学的なアプローチとして重要なのは次の二点である。一つはDNAや蛋白質など、直接に遺伝情報の解読に関わる生化学的方法であり、もう一つは化石となって残る生物の殻の形成メカニズム(生鉱物学)に関わるものである。

古生物学では、化石として残る殻の構成物質および殻形態が一次情報としてもっとも基本であり、系統や進化系列の研究も殻形態の時代的推移に基づいて行われてきた。一方、分子遺伝学的手法に基づいて、硬組織中に残留したわずかな量の蛋白質やDNAからアミノ酸や塩基の配列の一部を決定した例が

報告されている。そうして得られたデータから推定した進化の系統は、表現型から編纂された進化のシナリオとは異なる場合がある。どちらが正しく、一方は間違っているという一元論に立つのではなく、古生物学者の側からも積極的に分子生物学的手法を利用してこのような不一致の原因に迫るべきであろう。そうすれば今は一見矛盾するようにみえる二つの情報が総合されて全く新しい進化系列の構築、進化メカニズムの解明につながるかも知れない。現在では、化石中に痕跡的に残されたDNAを、生化学的検査に耐え得る量まで複製するPCR技術が簡易化されてきた。分子進化の研究は、大掛かりな設備と多数のスタッフによる生化学的、分子遺伝学的研究が主体となる。したがって、研究費確保と技術修得の面から、敷居が高い分野である。しかし、日本でもこの分野に精力的に参入する中堅、若手の古生物研究者がでてきた。彼らの努力が実を結び、研究の花が開くように設備投資や研究費をふくめた研究の理解と支援がなにより重要である。

日本の生鉱物学の研究は、真珠養殖が盛んであることもあり、世界の先陣を切って研究が進められ、その知識も蓄積されてきた。しかし、生鉱物の結晶形態およびその集合としての殻の内部構造については詳細に研究されたものの、殻形成の生化学および分類群をまたいだ比較生鉱物学については理解が進んでいない。生鉱物は、化石として残る殻の基本物質であり、ほとんどの古生物情報は化石から読み取られている。このことを考えると、生鉱物の形成過程を理解することは、とりもなおさず過去の生物記録が化石として残る硬組織にいかにして保存されていくのかという、記録メカニズムを解明することにほかならない。今後、優秀な若手研究者が参入し、研究を継続、推進する必要がある。

### 2-5-4. 有機化学的手法

生化学的手法が、続成作用を被らなかつた生物情報を研究するものだとすれば、有機地球化学的手法は続成作用を被った有機物の研究をもとに、その原材料をつくった生物や被った続成作用の履歴を推定するものであると位置づけられよう。このことは逆に、有機物の続成過程がわかれば、元の高分子の姿が見えてくることも意味する。少数ながら、我が国でもこの分野で業績をあげている研究者がいる。酸素、炭素、窒素、水素、硫黄などの生元素やその同位体組成、そしてそれらの元素の挙動についての研究は、生物や生物圏が地史を通じてどのように変遷

してきたかを解釈する上で重要である。特に、生命の起源と初期の重要な進化が起こったはずなのに、それを伝える体化石がほとんどない、先カンブリア紀の生物界の様子や、それをとりまく大気、海洋の様子を推定するにはこのような方法が有効である。さらに、先ほど述べたような飼育装置中での環境再現実験を組み合わせた場合は、より効果的に理解できるであろう。実際、原始生命が深海の熱水湧出域を起源とするという学説を立て、それを解くために原始地球環境を再現した実験を繰り返し行なっているグループがある。このような化学進化に関する研究は、古生物学の主流からはずれているようにも見えるが、積極的に過去の環境を再現しようとする実験を行なう過程で、いままでに考えられていたことの是非を検証することが出来る点で積極的である。

先カンブリア紀には、太陽は現在の数十パーセントの明るさしか持っていなかったと言われている。海洋、陸上の一次生産にとって決定的な制限要因となる太陽の明るさの記録も、もしかすると生物の残した有機物の中に残されているかも知れない。このような情報を読みとる試みはまだない。このような有機化学的方法を駆使した古生物学的研究方法は、生物の発生、進化にとって重要で、しかも地史学的に謎の多い先カンブリア紀の歴史の解明に大きく役立つ可能性を秘めている。

### 2-5-5. モデル実験

機能形態学の研究では、化石の形の理論的な研究によって推定された機能が実際にはたし得るのかどうか検証するために、模型を使った実験がしばしばなされてきた。最近では、飛行機設計家マックレディーによるプテロザウルスの再現、飛翔実験が記憶に新しい。また風洞や水路を使った実験が、古生物の運動性能、死後の運搬堆積過程など流体力学的な側面の研究に役立ってきた。さらに無脊椎動物の殻や骨格は、摩擦や破壊などを防ぐのに能率的な微細組織や形態をもっていることが多い。微細組織と材料工学的知識との比較、生物の形と建築工学との比較、そして工学分野で確立されている力学的解析などのBiomechanicsの手法は、これからも生物の形態の理解にとって有用な手段であり続けるだろう。また堆積物中に住む内生生物にとっては、棲管の掘削、維持、また養分や酸素を豊富に含む水と、棲管内の水の交換など、生存にとって重要な課題が存在する。このような課題の解決と掘削・支保・換気を始めとするトンネル工学の間にもアナロジーが成り立つか

も知れない、今後追求すべき課題である。

### 2-5-6. 理論的研究

生物の形態形成の理解は、実際の生物を観察するだけでは限界があり、形態を支配する数理的な規則性を理解することも重要である。この分野では、理論生物学的な立場と、理論形態学的立場から行なった実際の生物の形のモデル計算など、若手研究者の中から優れた研究が生まれつつある。郡司の研究は、形態の理論的考察を行なうのみならず、観測に起因する自己言及構造を基礎に、状態空間を定義するパラダイムをも問い直しており、ともすると既存のパラダイムに何の疑問もなく乗って解釈をしている多くの研究者にアンチテーゼを提示している点で革新的である。郡司とは若干異なった視点から、森田は巻貝の殻の形態形成を理論的に理解しようと試みている。彼はMaynard Smith(1985)流の形態変異の幅を制限する発生学的制約の概念をふまえつつ、進化的保守性という鍵を使って、解こうとしている。一方、岡本の研究は、異常巻きアンモナイトを例に、古生物の形態を理論的に考察している。これらの理論的研究は、飼育実験や水槽実験などの実証的な研究とともに重要なアプローチであり、今後ともスーパーコンピュータの確保などを通じて彼らの研究を支援する事が重要である。

また地史を通じての生物や生態系の進化、絶滅バターンの理解にとっても、線型・非線型を問わずモデル計算の持つ意味はますます重要となっている。わが国では、この分野の研究は精力的には進められていないが、今後、若手研究者を中心に着手して行くべきであろう。

### 2-5-7. 実験古生物学の将来

古生物学における実験的アプローチについて、現状を概観した。では、10年先の21世紀を考えた時に、どのような研究が実験古生物学として考えられるであろうか、将来への展望を述べる。

急速な技術革新が進んだ現在、遺伝子工学や制御工学技術の進展は、生物を人為的に変異させ、それに人工的選択圧をかけることによって淘汰し、進化を実験的に取り扱うことすら可能になり始めている。古生物学的視点から提起されてきた生命科学上のさまざまなユニークな仮説やテーマも、いままでは技術的制約から検証の段階まで到達することもなく放置されてきたものが多かった。実験古生物学自体は、特定のテーマを標榜するものではない。しかし、最

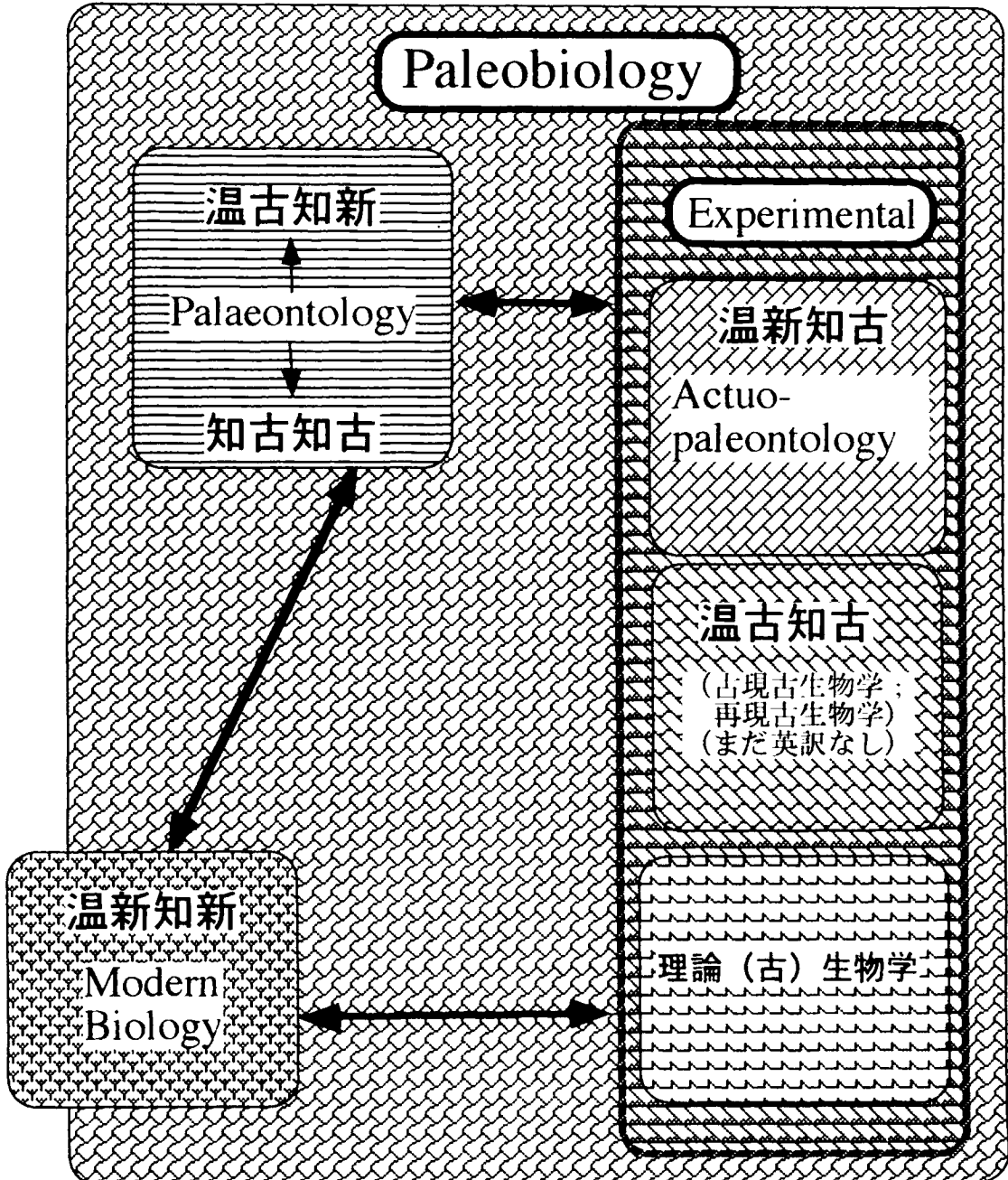


図2-21. 実験古生物学から見た古生物学像

温故知新という言葉は、従来の古生物学を表現するにふさわしい言葉である。この言葉の四つの言葉を組み合わせれば古生物学の様々なアプローチ間、あるいは、生物学と古生物学のアプローチ間の関係が見えてくる。図を見て読者なりの解釈をさせていただくためにあえて細かい説明は省く。なお、温故知古については、図2-22を参照されたい。

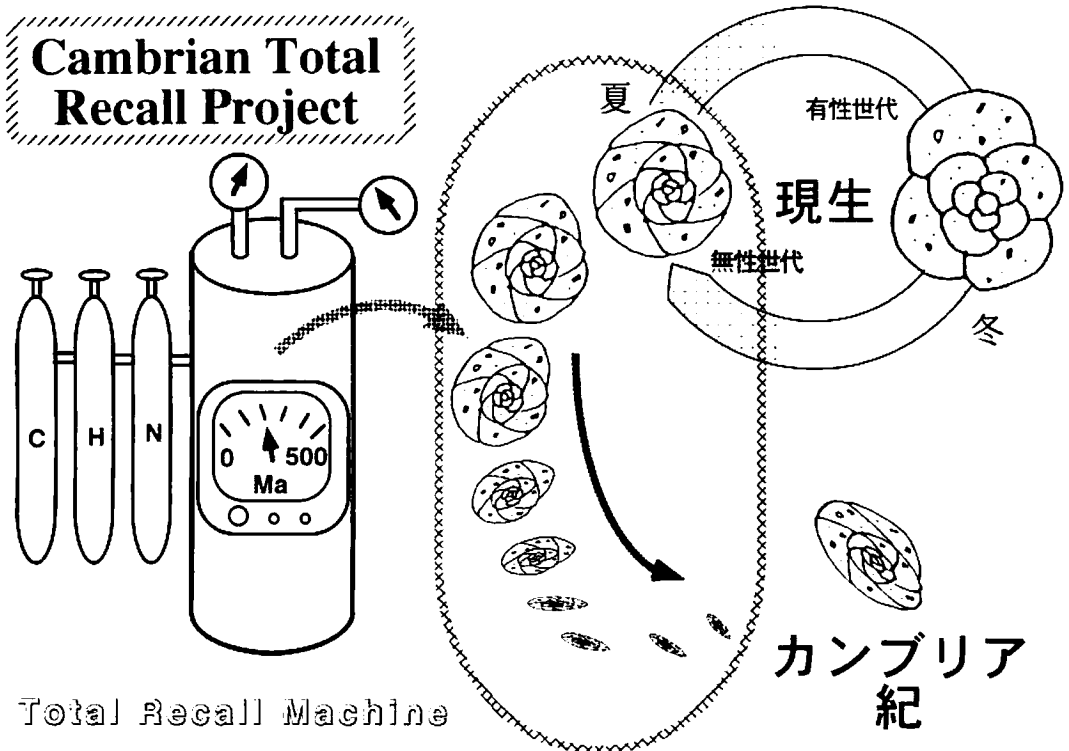


図2-22. Cambrian total recall project.

浜名湖の底生有孔虫トロカミナ・ハダイは夏の貧酸素状態の時期に無性世代になる。無性世代は、現在よりもずっと溶存酸素の少なかったカンブリア紀当時の貧酸素環境の頃の名残である。トロカミナ・ハダイを貧酸素状態で飼育してやれば、有孔虫の進化の初期のころの姿を私達に見せてくれるのではないだろうか。このような生き物の過去の記憶を呼び覚ます実験装置をPaleontological Total Recall Machineと呼ぼうではないか。このマシンを使って長い歴史を持つ様々な生物の過去の記憶を呼び覚まし、古生物学的に重要なデータを集める計画をPaleontological Total Recall Project (トロカミナ・ハダイの場合には時代に応じてCambrian Total Recall Project)と呼びたい。このような、いわば疑似タイムマシンをつかって、生物を時間的意味でもin-situで調べてやろうというのが古現古生物学(現在に呼び戻した過去の環境下で、生物を調べ古生物学的情報を得る)あるいは温故知古の実験古生物学の立場である。

先端技術も含む実験手法を取り入れることによって、古生物学者によって提起されてきた古生物学上重要な仮説を古生物学者自らの手で実証することのできる時代が訪れつつある。

以下に実験古生物学として、将来、実現可能と思われる研究テーマを2、3あげる。

(1) 現在と大きく違う地質時代の環境を実験室内で再現し、その環境下での生物の生理、生態を観測する研究。たとえば、二酸化炭素に富んだ太古代 (Archaean) の地球環境を再現し、ラン藻類や原始藻類がその環境下でどのような生理活性を示すかを観測する。また、白亜紀のanoxicな海洋環境を再現し、現生の底生有孔虫類をそこで飼育して適応状況を検討する。こ

のような再現飼育実験は生物の持つ保守性を利用して、この実験を通じて生物と環境との相関を検討できるのみならず、地学の研究では往々にしてないがしるにされる復元された環境の妥当性の検討にもなる。私達がこのように考える根底には、生物は変化しているだけではなく、その変化の裏に保守的な部分を保持し続けているのだという視点をもっているからである。

(2) 太古の生物を実験室で生かす。現代の生物にとって著しく環境の悪いところには古生代型の生物がいるということがいわれている。このことは、生存競争に負けた生物が、“進化から取り残されて”、細々と生き永らえているのだと説明される。しかし、本当に細々と生きている

のだろうか？ 極限環境に耐えられる生物の多くは、いくつかの異なった代謝系を持っていることが知られている。このことは、生物は進化し革新していく部分と保守的な部分とを合わせもっていることを示唆する。太古の環境を実験室で作り出し、そこでいろいろな生物を飼育してみると、昔からの代謝系を兼ね備えている生物はその環境下でよく成長し、繁殖するに違いない。また、現在の生態系では従属的な地位しか占めていないような種類が優占し、地球上の物質循環の流れを律速することもありうる。私達は、現在の論理で過去を割り切ろうとしがちである。「現在は過去の鍵である」からである。しかし、過去をありのままに再現することによって、過去の論理もまたあるのではないのだろうか。「過去もまた現在、未来の鍵である」という、「古現古生物学」が生まれる可能性がある。

- (3) 新しいDNA解析技術を用いて化石生物を生き返らせる。現在、DNA解析技術が発展し、古生物の塩基配列が、ほんのわずかのDNA試料から決められるようになってきた。その結果、10年から20年先には、いくつかの化石生物の部分的な塩基配列が決定されるかも知れない。そうすると、化石生物の部分的なDNAをある種の細胞に導入し、化石生物の形質を発現させることも可能になる。このようにして化石形質を現生生物に再発現させることにより、形質の機能形態を直接検討できるだけでなく、形態形成のプロセスをin situに観測できるようになる。昨年来、「Jurassic Park」という、恐竜を遺伝子組み換え技術を使って現在に蘇らせるSFが流行っている。この小説のようなことが直接起こるとは思えないが、遺伝子組み換え技術をいろいろ使った化石の研究が増えてくるとは間違いない。

- (4) 化石硬組織に発現する諸形態の生物学的な評価をする。化石として残る硬組織の形態的特徴は、硬組織の材質とともに分類上の重要な要素である。したがって、いままでも硬組織の外部形態などは詳細に観察され、記載されている。しかし、硬組織上に発現した形態が遺伝や環境要因とどのようにかかわっているのかという生物学的評価はほとんどなされていなかった。実験室内で硬組織を持つ生物を、環境要素をさまざま変えた条件下で飼育し、そのときに硬組織上に発現される形態的特徴を検討することによっ

て、どの形態要素がどういった環境に関係しているのかを積極的に理解できる。また、それぞれの形態がもつ生理機能をも検討可能である。このようにして環境条件に左右されて変異する硬組織上の形態を除去することによって、真に遺伝的意味をもった形態を浮き上がらせることができ、より realistic な形態進化の検討ができるようになる。

私達は、このようなことが夢ではなく、現実として語れるぐらい技術革新が進行した今、この機会を逃さず、適正な規模の設備、資金の投資および人材を確保すべきであると主張したい。そうすることによって古生物学が発展し、実りある成果が得られると確信している。

## 2-6. 古生物の分類 —生物の多様性を探る—

### 2-6-1. はじめに

古生物の分類研究は長い歴史を有し、わが国でも120年近くにおよぶ。かつて世界中の著名な古生物学者のほとんどは、それぞれ専門とする分類群の化石の記載を手がける分類研究者であった。現在の古生物の多様性に関する膨大な知見は、長年の分類研究の蓄積に負うものであり、今後も引き続き充実させなければならない。古生物学は時間軸をもつ生物学であるから、化石の分類は現生生物と同一の理念のもとに行われるべきものである。その間に特に境界のようなものは存在しない。実際に、化石によく保存され現存する分類群では、現生種を含めた多様性の探求が古生物研究者のテーマとなることが多い。動植物を対象とする分類学は、本来あらゆる生物科学の基礎として、かつ自然史科学の中核として、関連科学の発展に大きな役割を果たしてきた。近年では、分類学は逆に生物科学のあらゆる分野で得られた成果がフィードバックされる総合的な科学として蘇生している。

ところが、わが国では、このような新時代における分類研究の意義が見直されて拠点の整備が行われる前に、生物科学・地球科学のいくつかの分野で革命的な発展が始まった。このために、大学などにおいては、分類学の研究・教育にあてられる人員・予算・スペースが他の基礎科学や応用科学分野に比べて極端に縮小されてしまい、すでに尋常的手段では回復不能の状況に追い込まれている。将来にわたって優秀な分類研究者をどの程度育成し確保できるかも懸念される問題である。しかし、生物の多様性とその起源に対する人類の知識欲は決して衰えること

はない。分類学に強い関心をもつ優れた学生や一般人は決して少なくなっていない。

分類研究は最近の地球環境問題や資源問題に対しても考察のための最も基礎的な資料を提供する。近年の研究により、生命の誕生以来地球環境を大きく変えて来たのは生物であることが強く認識されるようになった。自己増殖する生物は、きわめて短い期間に環境を大きく変化させる潜在的能力をもつ。その増殖の基本的単位である集団や種の多様性を扱う分類学がこの問題に深く関与することは明白である。分類研究者はこの差し迫った問題に対しても大きく貢献できるし、また積極的に発言するべきである。本章ではわが国の分類研究(とくに化石に残りやすい分類群の多様性の研究)の現状と問題点を分析し、今後の発展と研究教育体制改善の糧としたい。

#### 2-6-2. 分類研究継続の必要性

古生物の分類研究は地球科学の発展に大きな役割を果たしてきた。古くは19世紀にほぼ完成をみた地質時代の大区分から、最新の精緻な時間の分解能の追及やグローバルなスケールの古環境の解析にいたるまで、化石を利用する研究はすべて資料の妥当な分類なしには遂行できない。例えば、地球上に生じた大事変と生物の大量絶滅との関係やその周期性が大きな研究課題となっているが、その基礎となる絶滅の資料は過去の分類研究の蓄積以外の何ものでもない。このような新しく志向される研究でも、長い歴史をもつ分類研究の成果にいわば只乗りしているのである。また、優れた記載的研究はしばしば理論的研究以上に長い生命をもつ。出版以後数十年、場合によっては百年以上も経過した論文が現代の第一線の研究にしばしば引用されるのも分類学を中心とした自然史科学の特徴である。

化石の記録はきわめて不完全で偏ったものに違いないが、地中には未知の化石が大量に埋もれている。最近でも重要な意味をもつ化石がしばしば発見される。もしここで古生物の記載・分類研究が中止されれば、過去の生物の多様性に関する具体的な基礎資料は現在以上には増えないことになる。分類研究は、時流に乗って脚光を浴びる学問や社会の性急な要求とは必ずしも関係なく、恒常的に続けられなければならない。また、確固たる基盤を持たないバブル経済が崩壊したように、基幹となる研究分野の活動の停滞や空洞化が起こることは、学問全体にとっても決して好ましいことではない。

生物の多様性の理解は、古生物の分類を抜きにし

ては考えられない。現存する生物はかつて地球上に現れた生物のごく一部であり、それらがすべて歴史を背負っていることを考えればこれは自明である。子孫を残すことなく絶滅した分類群はきわめて多く、少なくとも現生生物の数十倍はあったはずである。事実、古生物には現生生物に比べてはるかに広い形態のスペクトラムが存在する。また、古生物の分類研究は、生物の系統進化の追及と直結する。化石は生物進化の唯一の物的証拠であり、現生生物の分子レベルの研究によって系統の推定が行われるようになった今日でも、進化生物学上の研究素材としての化石の価値は決して失われない。かつて古生物の進化研究は、ほとんど形態の時間的な変化だけを問題にしていたが、近年では、化石の形態・産状から生態・行動・発生・生物間の相互作用など個体あるいは集団・群集レベルの生命体としての情報を引き出し、幅広い見地から進化現象を考察する。また、妥当な形質の評価を行って分類に還元するようになった。分子古生物学からの系統分類へのアプローチもすでに開始されている。

近年のフィールド調査・検出・分析・観察技術の革命的な発達により、既存および新規の化石資料から、これまでには知ることができなかった大量の情報を取り出すことができるようになった。最近の分類学はこのようなあらゆる近代的手法を駆使して進められる。化石の分類研究がこれまで以上に地球と生物の歴史とシステムの解明に大きく貢献することは疑いない。

#### 2-6-3. 現代科学としての分類学

分類とは、単に既存の分類体系に応じて受動的に属や種を判定することではない。それは生物の多様性についてある理念のもとに体系を立てる行為であって、立派な創造的活動である。その基本的な理念は関連科学の発展とともに大きく変化してきた。

生物の記載・分類研究は古くから続けられているので、先端的な分野の研究者からはとすると古めかしい学問と見られる傾向がある。これには、古典的な研究方法だけを固執して他の研究分野の発展に目を向けなかった保守的な分類研究者にも責任がある。分類研究者にとって新たな要求をする前に反省すべき点が多々ある。例えば、古いタイプの分類研究者は、分子生物学をはじめとする新興の実験・理論的な生物科学を、自分の研究とは無縁の学問であるかの様に認識し、いたずらに対立したり被害者意識を抱いてきたように思える。それらを生物の多様



性の理解に積極的に取り入れようとする姿勢に欠けていたといえよう。これでは改善要求について広い範囲の研究者の理解を得られなくても仕方がないであろう。しかし、学問の歴史が古いということと学問が時代遅れであることとはイコールではない。残念ながら、我国ではこのあたりの誤解が多く、単に学問の名称や成立年代によって内容の斬新さを感覚的に判断してしまう傾向がある。

近年、分類学にも著しい発展と理念の変革があり、静的な標本の形態だけに基つて典型的な分類を行う博物学的段階から大きく脱皮した。つまり、分類学(systematics)は、比較形態学の他に近代的な生態学・行動学・発生学・細胞学・遺伝学・生物地理学・分子生物学などの成果がフィードバックされることにより、限りなく発展する最も総合的な学問に生まれ変わったのである。この変革により、分類学は少なくとも理念の面においては危機を乗り越えることができたと思う。最近では、単に経験や名人芸に頼るのではなく、多くの形質の極性(原始的か派生的であるか)の組み合わせに基づいて最も矛盾の少ない分岐パターンを選択する分岐分類法のように、分類学の科学性そのものを向上させようとする方法論的な努力も盛んに行われている。分子系統学との関係のように、現在盛んに議論が戦わされている課題もあるが、近代科学としての分類学は大きく再構築されたといえよう。生物学的な古生物学においても、近年になって分類理念の変革が広く浸透し、研究者の分類学的形質を評価する目が大きく変わっている。ただ、このような分類研究者の理念の改革は数十年にわたって徐々に進行したので、一般には特に華々しい変革と映らなかつたかも知れない。

#### 2-6-4. 分類研究のための必要条件

現代の生物の多様性に関する研究は、分子生物学を含むあらゆる近代科学の知見や方法を適用して進められる。他の研究分野と同様に、分類学の研究拠点には多くの近代的な設備・機器類を必要とすることはいうまでもない。一方、分類学は非常に国際性が強い息の長い学問であり、内外の研究者が円滑に研究が進められるよう、常に相応の投資と努力が行われていなければならない。また、分類研究はこれまでの遺産の上に積み重ねられる創造活動であるから、一旦研究の拠点が崩壊すると再建はきわめて困難となる。学問の性質上、分類学の研究・教育の拠点には次のような特別の条件を必要とする。

(1) 既存および新規の標本を整理・保全・公開す

- るための経費、スペースやキュレーターの確保
- (2) 飼育装置など生きている標本を研究するための特殊設備
- (3) 分類研究を進めるための近代的な処理・分析・観察・撮影・計測などを行う機器
- (4) 大型動物の標本などを研究するための十分なスペースと設備
- (5) 内外のフィールド調査および他の研究機関の標本調査を行うための費用
- (6) 分類学関係の出版物の購入、特に分類学では欠くことのできない古い時代の文献やマイクロフィルム類の整備
- (7) 研究・教育のための広い範囲の分類群の比較標本の充実
- (8) 生物の多様性、タイプ標本、出版物に関するデータベースの構築
- (9) 分類学関係の長期にわたる訪問研究者や留学生の受け入れ態勢の整備
- (10) 専門的な分類研究を適正に評価するための機構、特に学位を審査するための全国的な協力態勢の確立。
- (11) 通常の学術誌では扱わないモノグラフや標本カタログなどの出版費

分類研究の特殊事情として、他の専門研究以上に広汎な文献の探索が必要となる。分類学が単なる文献学に陥ることは好ましいことではないが、分類研究が過去の成果の上に積み重ねられる新しい創造である以上、リンネが命名法を確立した18世紀中葉以降のあらゆる記載論文を参照する必要が生じうる。そのために、歴史が浅く戦前の文献をあまり多く蔵しない地方大学においては、分類研究は実施が困難であるとされてきた。最近では図書館間の相互貸借やコピー技術の発達で問題の一部は解消されつつあるが、一方では出版物の著しい増加と価格の上昇で、長い分類研究の歴史をもつ機関でも購入が追いつかなくなった。多くの大学でこれまで長く続けてきた分類学関係の雑誌や単行本の購読を中止せざるをえない状況が生じている。一般に分類学関係のそれぞれの図書館の利用頻度は特に高いというわけではないが、いざという時にこれが参照できないと研究全体が中断してしまうことが多い。全国にたとえ1カ所でもよいから、分類関係の図書館を完備する機関が欲しい。最近中国ではこの方針で図書館の収集が行われていると聞いているので、わが国でも施政次第で不可能なことではないと思う。

生物の分布に国境はない。分類学的研究では種の

模式地の調査や海外の機関に保存されている標本の検討がしばしば必要になる。日本の生物・古生物を理解するために海外に出かける必要もしばしば生じる。校費や科学研究費を使って短期の海外研究ができるようになれば、分類研究は大きく進展するであろう。

近年、大学などにおいては、種々の原因によって、分類学の研究教育活動を遂行するための最低限の前提条件が脅かされている。以下にその現状を示し、抜本的な研究教育条件の改善を求めるものである。すべての大学での大幅な改善が難しいとすれば、せめて大学関係の分類学研究者が共同利用でき、分類研究を志向する大学院生の教育(学位審査を含む)を行う博物館・研究所の設立が不可欠である。

#### 2-6-5. 標本保全の現状と問題点

一般にある学説が科学的であるかどうかは、その学説の確からしさにあるのではなく、追試や反証の可能性の有無にある。分類学においては、記載や分類研究が科学であるためには、命名の基礎となった模式標本(命名規約で保全が強く要請されている)はもちろん、記載された全標本を後の研究者がいつでも必要に応じて再検討できる状態を維持しておかなければならない。記載標本が失われるということは、その分類研究の科学性が大きく損なわれることを意味する。

わが国の古生物標本の保全はいかなる状況にあるだろうか。昭和61-63年度に行われた総合研究A「古生物タイプ標本の保全に関する研究」(研究代表者:速水 格)の結果、次のような実態がほぼ明らかにされた。

- (1) 標本の保全状況は研究機関によって様々であるが、どの機関においても、標本整理のための予算、保管スペースが極端に不足し、整理と保全に責任をもつキュレーターが確保が困難な状況が生じている。
- (2) タイプ標本を含む代替のできない記載標本のかなり多くが紛失したり行方不明になっている。個人所有のままになっているケースも少なくない。
- (3) スペースの不足やキュレーターの不在から記載標本が一般標本から区別されずに未整理のまま収蔵されている場合が多く、それらの恒久的な保全が懸念される。

化石標本は一般に腐敗・変質のおそれは少ないが、このような状況は放置できないところにまで来てい

る。記載標本は機器類とは異なり、古くなったからといって廃棄したり更新することは許されない。大学では年々増加する保全すべき標本に対してほとんど抜本的対策が講じられなかったために著しい混乱と超過密状態が生じた。もちろん、各機関において分類研究を行っている研究者は最善の努力を行ってきた。しかし、この数十年の間、事態は一向に改善されないばかりか、定員削減、校費の目減り、研究機器や学生数の増加に伴う新たなスペースの需要により、標本保全をめぐる状況は悪化の一途をたどっている。戦後まもなく関係者の努力によって認められた大学の標本維持費は、金額が据え置きのために現在では全く形骸化している。標本の重要性に関する啓蒙の不足も感じられる。この危機的状況に際して我々はとりあえず次のように提案したい。

- (1) 分類研究の歴史が古く、多くの標本を抱えている大学に対して、大学博物館ないしは標本室の整備につき特別の配慮をしてほしい。講座あたりの基準面積から標本保存のためのスペースを捻出することは到底不可能である。せめて海外からの分類研究者に対して文化国家として恥ずかしくない状態にしたい。
- (2) 標本保全が不可能な機関や個人所有のままになっている記載標本は、早急にその地域に建設されている自然史系の博物館に移管するのが望ましい。ただし、現在多くの博物館は社会教育を最も重要な任務としており、展示と入館者数の増加には熱心であるが、必ずしも先進国の大きな博物館のように分類研究者にも対応する機関とはなっていない。記載標本の受け入れ態勢を含めて博物館自体の任務の再考も必要である。
- (3) 大学の標本維持費をせめて発足(1950年ごろ)以後の物価の上昇に合わせて増額してほしい。
- (4) 分類研究をすべて大学から博物館に移すという考えには賛成できない。体制の異なる大学と博物館のスタッフが、これまで以上に密接に協力して標本の保全と分類学の教育にあたることは重要であるが、専門的知識をもつ博物館のキュレーターを育成するのは大学以外ではできないからである。研究と教育は一体のものであり、大学に分類研究者がいなくなれば、育成はできなくなる。

#### 2-6-6. 分類研究者の育成とレベルの向上

古生物学を含め生物科学・地球科学に多くの新し

い魅力ある研究分野が生まれた以上、分類研究が科学研究の中で占める割合が相対的に減少したのは当然のことである。問題は、いかにして将来にわたって分類研究者を確保し、そのレベルを向上させるかという点にある。先に述べたように、記載・分類は時代遅れのレベルの低い研究であるとの誤った認識から、優秀な学生や若手研究者はとかくこの方面の研究を敬遠する傾向があった。この間に大学においては、分類学の指導にあたるべき研究者があまりにも減少し、教育にも大きな支障を来すようになった。新しい分類学の意義が見なおされ、総合的な科学として再構築が図られるようになったのは比較的最近のことである。広い範囲の大学の学生が分類学関係の仕事で学位が得られるように計画されている総合大学院の構想は、この問題を大きく改善するものと期待される。ただし、その大学院教育の中核となる機関の抜本的な整備が不可欠であろう。

古生物の分類研究には、単にローカルな化石の記載・命名から、全世界の種を詳細に検討してその間の関係を論じたものまで、さまざまなレベルのものがある。動植物の国際命名規約は、出版物と提唱される分類名の適格性について規準を与えているが、研究のレベルを問うものではない。したがって、かりに極めて不十分で安易な記載であっても、規約に定められた最低限の規準を満たしている限り、新しい名称は適格となり先取権の対象となる。この名称形成の方式は、分類学の大衆化や取り組み易さを生むメリットがある反面、過度の細分や新種ラッシュなど一部のみに単なる命名の名誉欲を煽ることになった。分類学の近代化が浸透してきた最近でもこのような風潮は一部に残っており、学問全体の評価を下げる結果になっているのは遺憾である。単に新種や新属名を提唱するだけではその古生物の実態について新しいことが分かったことにはならない。他方、既知の種や既存の標本においても、新しい理念や技術を適用すれば多くの新知見を得ることができる。

種レベルの分類研究を行うにあたって、博物学的な分類と近代的分類の分かれ目になるのは、集団(個体群)の概念の有無であろう。これは、化石を単なる無機的な物体と考えるか、かって集団を構成していた個体の遺骸と考えるかの違いでもある。集団は生物が生活・進化する基本的な単位であり、この概念によって分類学は初めて近代的な生態学や遺伝学と同一の基盤をもつことになった。同一集団に属する個体にどれだけ大きな形態上の変異が存在していても分類学的にこれを細分することはできない。

種の認定は形態変異以外にも生態・時空的分布・行動・遺伝などあらゆる情報を集めて判断されるべきである。この基本的な概念は1940年代に「新分類学」として有識者の間に定着し、1950年代以降古生物研究者にも広く浸透した。しかし、化石では「個体変異を解析するだけの資料を得にくい」とか、「形態以外に種の異同を判定するための情報は得にくい」という理由で、昔ながらの安易な類型的分類を脱皮することなく形だけで種を認定・識別する人も少なくなかった。化石記録から復元される進化過程は、この生物学の重要な基礎的概念の有無によって非常に異なったものになるであろう。ここでは、この問題について深入りすることは避けるが、集団の概念は近代的な生物研究の基本思想であって、対象によって変えるべきものではないことを指摘しておこう。

このような分類学の理念や方法に関する啓蒙活動は、内外に優れた著述があるにもかかわらず、わが国ではあまり徹底して行われていない。大学に分類研究者が少なくなるにつれて、教育はむしろおろそかになっているのではなからうか。大学と博物館などの優れた分類研究者が互いに協力して学生・アマチュアに対して啓蒙を行うことは、分類研究のレベルを向上させる第一歩であろう。

## 2-6-7. 分類研究の拠点としての博物館

外国の著例を見るまでもなく、古生物の分類研究の重要な拠点は、前記の条件を備えた博物館に求めるべきである。ここ数十年の間に、全国の多くの地方自治体に自然史系の博物館が建設された。建物や展示は大変立派なものも多く、初等教育・生涯教育を通じて分類研究者を含む自然史研究者の潜在的人口の増加に大きく寄与している。旧来の博物館の薄暗いイメージは一掃され、効果を高めるための展示の構想・技術や普及のための設備などは世界的に見てもかなり高いレベルにある。しかし、外面的な華やかさに比べて、専門の分類研究者や外国からの訪問研究者にとって魅力のある楽屋裏(研究室・標本室・図書室など)をもつ博物館はまだきわめて少ないのが現状である。もちろん、設立の目的に応じて多様な形態の博物館が存在してよいのであるが、博物館活動の基礎となる研究への投資は一般にきわめて低く、設立母体の財政状態によっては真っ先に切り捨てられる傾向がある。

先進国の本格的な自然史博物館(例えば、米国のスミソミアン研究機構に属する国立自然史博物館や英国の大英自然史博物館)は、もちろん普及活動も行っ

ているが、世界をリードする幅広い分類研究活動を自ら行くとともに、莫大な量の記載標本・比較標本および図書を蔵し、世界中の優れた専門研究者が訪れて共同利用する研究のメッカになっている。今のところ、このような機能は国立科学博物館を含めて日本の自然史博物館には備わっていないし、これを目指している自然史系の博物館もほとんど知らない。また、設立目的や管轄母体の違いから、大学と博物館の間で教育者の交流がやりにくいのも問題である。優れた分類研究者を擁し、学位の審査権をもつ自然史博物館(あるいは研究所)がどうしても必要である。自然史系の博物館で働く学芸員の地位とレベルについても問題が多い。多くの場合、学芸員には展示・普及・標本の入手などに関する館のあらゆる雑務が課せられる。自由な研究は制限され、必ずしも奨励されていない。標本のキュレーティングには専門知識を要するから、これは明らかに学芸員が責任をもって行うべき仕事であるが、このような不明確な学芸員の役割分担が博物館の研究面での発展を阻害している。自然史系博物館の現状・問題点・現場の声についてはシンポジウム記録「新しい自然史学と博物館」(月刊地球149号)を参照されたい。学芸員を含めてほとんどの自然史研究者が博物館の研究面での発展を切望しているのに、これが実現されないのはなぜだろうか。研究の拠点への発展に博物館法上の制約があるとすれば、法の改正が必要である。もしそれができなければ、分類研究者は国立歴史民俗博物館のような専門研究と高等教育に重点を置く共同利用機関の設立を別個に求めざるをえない。

学芸員は必ずしも分類研究者である必要はないが、自然史系の博物館で生物や化石標本の適切なキュレーティングを行うには、自らがフィールドや標本にもとづく自然史研究の経験をもち、分類学や分類体系について基本的な学識を有することが要求されるであろう。博物館のレベルを向上するには、まず学芸員の選考の方法から考えられなければならない。地方自治体を母体とする博物館では、地域社会への奉仕も一つの要件であろうが、採用にあたっては、これまでの研究の実績や内容を重んじ、公募制を取り入れるなど、広く全国的な視野で適任者を選考することが望まれる。また、採用後もキュレーティング・研究・学位取得の奨励や内外の博物館などへの研修や留学の機会をなるべく多く設けるなど、レベルの向上のために為政者に望む事柄も少なくない。

## 2-6-8. あとがき

このような分類学をとりまく近年の劣悪な状況は、古生物・動物・植物に共通し、自然史科学関係者は機会あるごとにその窮状を訴え、改善を要望してきた。しかし、ほとんどの場合、これらは緊急を要する問題とは見なされず、長期間にわたって抜本的な改善が先送りされてきた。このままでは、わが国の分類研究は先進国だけでなくアジア近隣諸国からも取り残されてしまう。この要望は、上記の現状認識と反省のもとに、現代科学の一翼として生物の多様性に関する革新的な研究・教育を大きく発展させることを目的としており、単に古くから行われてきた伝統的な分類研究を復活させようとするものではない。最近になって、ようやく多くの人の間で、基礎科学としての分類研究の意義が見直されるようになったが、なお研究教育環境の実質的な改善への道程は遠いといわざるをえない。関連科学の研究者と施政者の一層の理解をお願いしたい。

## 3. わが国の古生物学研究を推進するためには

### 3-1. はじめに

わが国の古生物学の研究・教育の現状は、さまざまな面で多くの問題を抱えている。これらの問題は古生物学のみならず、自然史科学全般にわたる基礎科学に共通した問題でもある。

近年、わが国は少なくとも物質的にはかなり豊かになった。バードウォッチングやスキューバダイビング人口の急増にも表われているように、生活にもある程度の余裕が生まれ、知的好奇心を自然へ向けて発信し、自然界の未知なる現象を身近な自然の中に探求しようとする人が増えてきた。このような社会的状況は大変好ましいことであり、日本人もようやく人間本来の姿を取り戻し始めたといえる。わが国の経済優先政策がこのような状況を生みだしてきたことは確かであるが、反面、この間に応用科学万端の蔭で基礎科学分野の研究・教育環境は著しく劣悪化してしまった。特に自然史科学の研究を推進し、後継研究者を育てなければならない大学において、設備、予算、ポストなどの著しい縮小を余儀なくされてきた。今やこれらの学問分野の存続さえ危ぶまれているところがある状態である。わが国がこのような状況にある中で、すでにアジア近隣諸国では自然史研究を志向する者の多くが日本よりも欧米での研究・教育を望むようになってきた。最近では彼らのレベルは急速に向上している。少なくとも東アジアでのリーダーシップを果たすべき日本の自然史

研究は、このままでは世界からも取り残されてしまう恐れがある。

近年、地球上で起こっているさまざまな環境問題は、人類の繁栄とは裏腹に、「地球環境の破壊」という最悪の形で急速に進展している。まさに地球生命の危機、人類の存続さえ危惧される状況になってきた。このような状況下において、皮肉にも自然史科学の研究・教育の必要性和重要性とがクローズアップされる結果となった。今や自然史科学の研究は単に「人類の知的好奇心を満足させる」あるいは「人類に精神的な豊かさを与える」だけでなく、人類が直面している深刻な問題を根本的に解決するために不可欠な学問分野の一つとなったといえる。地球環境問題・資源問題などに対して適切な指針を与え、これからの人類のなすべき方策を講ずるために、これらの自然環境のシステムを過去から現在にかけて解析することによって、はじめて未来への予測ができるのである。このように古生物学は地球環境と生物との関わりを歴史を解き明かすものであり、今日の地球環境問題と深く関わっている。そして、未来の地球と共存していく人類にとっての重要な指針を与える学問の一翼を担っているといえる。

前章において、古生物学が今後推進すべき研究課題を具体的に取り上げてきたが、つぎに、これらの課題を積極的かつ効率的に遂行するための方策が提示されなければならない。

### 3-2. 研究体制

#### 3-2-1. はじめに

現在、古生物学の研究が一つの独立した分野として「研究組織」に組み込まれているのは、一部の国立大学理学部(北大、東北大、筑波大、東大、名大、京大、九大など)と国立科学博物館だけである。これらの機関では小規模ながらも複数の研究者を擁し、それぞれに特徴をもった古生物学の研究を展開している。しかし、わが国の古生物学研究者の大部分は、主として各大学の理学部、教育学部、教養部、地方博物館などに分散しており、その殆んどが地学、地質学、層序学などを担当する傍らで、単独に孤立した状態で古生物学の研究を行なっているのが現状である。その上、これらの機関においては、最近の「大学改革」に伴う「学科改組・再編」によって、順次他の学問分野の中に包含されるか縮小を余儀なくされる傾向にある。

わが国の古生物学の研究を推進するためには、少なくとも現状では、前述の「研究組織」をもった機

関がそれぞれの特徴を最大限に発揮しなければならないことはいうまでもないことである。しかし、大学には学生の教育という大きな責務が、また博物館には社会教育という重要な使命が同時に課せられているために、ある特定の目的に焦点を合わせた大規模のプロジェクト的研究を推進しにくい体制となっている。従って現体制下では、古生物学の研究を飛躍的に推進させるには自ずと限界がある。そこで現研究体制を再編整備することと、研究の拠点となる研究所の設立を提案する。

#### 3-2-2. 大学における研究体制の再編整備

まず、前述の複数の研究者を擁し、現在「古生物学」の看板を掲げている「研究組織」を重点的に整備・充実する必要がある。これまでも、それぞれの大学は「研究分野」あるいは「研究手法」において、伝統的スクールカラーのようなある種の特徴をもっていた。それは創設者の研究内容または理念がそのまま受け継がれてきたものであるが、時を経るにつれてこれらの伝統は次第に薄れてきている。時代と共にその伝統も内容的に変革していくことは当然のことではあるが、どこの大学も似たような内容を志向する最近の傾向は見なおされなければならない。古生物学の研究分野は多岐にわたり、ますます細分化される中であって、少ない研究集団がそれぞれ均一化される傾向をここで排除しなければならない。

つぎに、主として新制大学理学部の地学系学科に分散している古生物学をさらに充実・整備する必要がある。全国の国立大学理学部には地学系の学科があり、講座名として古生物学を掲げているところもあるが、大部分の学科ではマイナーな存在に甘んじているのが現状である。古生物学者を2人以上擁する学科は少なく、殆んどの学科が1人ないしは全くいない状態である。しかも、ここでの古生物学者は、すでに他分野の地球科学系研究者が扱えなくなってしまった地史学、層位学、野外実習などの地質学にとって最も基本となる教育を一手に受け持つことを要求されている。これらの基礎科目を担当することは古生物学の基礎でもあるので、今後も積極的に協力することはやぶさかではない。しかし、あまりにも小人数であるがために本来の専門である古生物学を副的に扱わざるを得ない状況にある。このような状況の中で、有能な古生物学の研究者がより高い研究成果を挙げられる方策を施さなければならない。地方大学に赴任した若く有能な研究者が孤軍奮闘している姿は立派であるが、本領を発揮できないまま

にやがて意欲を失ってしまう状況であるとすれば、これはまさに山々しき問題である。

ここで一つの提案として、複数の古生物学研究者をもつ大学は積極的にその特徴(研究内容ないしは手法)を前面にだすべきである。例えば、生層序学を軸に関連する分野を受け持つ東北大学、進化古生物学(Paleobiology)を志向する東京大学、分子古生物学を進める名古屋大学といったような、大学ごとのカラーをより強く求めることによって研究面ではより一層の推進がはかれるであろう。わが国の古生物学推進のためには、各大学の研究組織を「ある分野」(あまり狭くない守備範囲)に目標を定めて、それを軸に必要な人材と設備などを集中投資することが必要である。特に人事面において有効な配置が望まれる。また、研究・教育に欠かせない機器、文献、標本等の設備を継続的に収集・維持することが望まれる。

新制大学理学部の地学系学科においては、大学ごとにその内容を均一化した構成とせず、各大学は広い領域を持つ地学分野の中の一部を強化することに努める必要がある。具体的には、全国をいくつかのブロックに分け、地学の中のある特定分野を特に強化した大学を各ブロックに1校ずつ設けることにする。この方式が実施されるならば、例えば、古生物学を強化した大学は全国にブロック数つくられることになる。このことは地学系の他の分野も同時に強化されることになる。この再編成によって、今まで各地に分散していた地学系の全ての分野が各ブロックごとにある程度集中でき、各専門分野の研究と教育面において生き返えることになる。新制大学の現体制では、小さな規模の中で広い領域の地学を網羅することは不可能であり、前述したような集中化を行なう以外に解決の方法は見つからないと思われる。従って、このような新制大学理学部の地学系学科の再編成が早急に望まれる所以である。

前述の提案には理念的に異論を唱えるむきもあろう。また、現体制下での実行は難しいといわれるむきもあろう。確かに、どの大学がどの分野を強化するかは大問題である。また、この方式は研究の推進には寄与するであろうが、教育の面ではどうであろうか、問題は多々あると思う。しかし、各大学の地学系学科が連携することによって、研究面ばかりでなく教育上の問題も解決できるのではないだろうか。すでに、全国19大学の地学系学科では、野外巡検を始めとする単位の互換制度を検討中であり、教育上の足りない分野を互いに補い合う制度を検討し始め

ている。旧制大学に比べて1学科の教官数が少ない新制大学においては、このように大学間の連携を積極的に進める必要がある。また、非常勤講師をもつと有効に活用することも検討されなければならない。

昨今、英国が行なった大学地質学科の全国的再編成は記憶に新しいが、このような大胆な発想の下にわが国も何らかの改革をしなければならない時期にきている。今や大学設置基準の大綱化に伴う大学改革をどこの大学も検討中であるが、この改革がそれぞれの大学内だけで終始することなく大学間の連携にまで発展しなければ、我が国の大学の真の発展は期待できない。

英国の改革は地質学から真っ先に始められた。幸いにも、わが国の大学理学部も地学系学科の連携は進んでおり、改革は可能であると思われる。

### 3-2-3. 自然史科学研究所の設立

これまでに述べたように、生物は地質時代を通じて地球的なスケールの中で進化してきた。従って、ある生物の進化の道すじを追求するとき、その対象を局所的な地域・時代の資料に限った研究に終始するのでは目的は達せられない。当然のことながら、進化が起こった全域の長い地質時代にわたる資料について研究が進められなければならない。その意味で、古生物学の研究にとって国際的な協力と交流は不可欠であり、これを積極的に推進しなければならない。このように研究領域が拡大しつつある現在および将来の古生物学の発展を考えると、わが国の既存の組織だけでは研究の国際的レベルを維持することが困難である。また、わが国の古生物学の将来を担う研究者の養成には、在来の学問分野の枠を越えた教育が必要であるが、これも既存の大学などの研究機関では能力の限界を越えている。以上のような理由から、関連分野の成果を幅広く取り入れ、内外の研究機関・研究者との密接な交流を計りながら、わが国における古生物学の研究と研究者養成の中核的な役割を果たし、世界をリードする研究所の早期設立が強く望まれる。

古生物学に関する「研究所設立の要求」は今ここに始まったわけではない。昭和38年に古生物学研究連絡委員会が古生物学長期研究計画(第1次案)を策定して以来、古生物学会は第2次案、第3次案と慎重な検討を重ね、古生物学研究連絡委員会を経て学術会議にその設立を提案してきた。日本学術会議は昭和41年の第47回総会においてこの第3次案を承認し、共同利用研究所としての設立を政府に勧告した。昭

和42年より具体的な設立計画に基づき東北大学から毎年概算要求してきたが、残念ながら認められるところまでに至らなかった。この10数年の歳月の間に世界の古生物学は目覚ましく発展したが、最近の世界の研究動向をみると、当初計画された設立案の基本的構想がその内容において的を得たものであることが証明される。この点においても、当初の計画が実現されていたならば、一躍世界をリードした研究所となっていたであろうと悔やまれるところである。このような経緯の後、世界の学問的方向を踏まえ、さらに将来の発展と対応させるべく当初の計画を大幅に修正したのが昭和53年のことであった。古生物学会は検討小委員会を設置し、つぎのような古生物学研究所案を作成した。

「進化古生物学研究所」構想

名称：進化古生物学研究所

(Institute of Paleobiology)

目的：化石および現生生物を用いて生物進化の過程と機構に関する基礎的研究を行なう。すなわち、生物学的古生物学(パレオバイオロジー)の研究所である。

所属：文部省直轄の研究soまたは国立大学附置共同利用研究所とする。

運営：3研究系、9研究部門を置き、他に1プロジェクト部門、中央実験機器センター、文献情報センター、標本処理管理センター、臨海研究施設などを併設する。全国の関連研究機関との交流・協力をはかり、広く古生物学研究者のために共同利用の場を提供する。

組織：ここで採用した研究組織は現在行なわれており、また将来発展が見込まれる研究分野に対応するものである。生物がどのように由来してきたかという歴史 (I) と、生物やそれを作っている物質がそれを取り巻く環境のなかでどのように機能してきたか (II) を追求することは、生物学的古生物学の中心課題である。ここでは、(I) を系統進化系、(II) を古生態・古生理系とし、これに生物進化研究の地質学的基礎を強調した地質古生物系を加えた3研究系を主柱とした。各系は主に取り扱う課題の性質や研究対象の違いに応じた3つの部門で構成される。勿論、これらの各部門で行なわれる研究の内容は互いに密接に関連して、明らかな境界はなく、系・部門にまたがる研究者が相互に、また技術者と協力して、大学で行なわれているような実験生物学的な研究と博物館で行なわれるような

分類学的研究を有機的に結合し、幅広く弾力性に富む研究を能率的に実行できるように配慮した。

- I. 系統進化研究系 (Phylogeny)
  1. 分岐進化研究部門 (Cladogenesis)
  2. 系列進化研究部門 (Phylogenesis)
  3. 高次分類群の出現・絶滅研究部門 (Macroevolution)
- II. 古生態・古生理研究系 (Paleoecology and Paleophysiology)
  4. 機能形態研究部門 (Functional Morphology)
  5. 古生理・古生化学研究部門 (Paleophysiology and Paleobiochemistry)
  6. 群集古生態研究部門 (Community Paleoecology)
- III. 地質・古生物研究系 (Geological Paleontology)
  7. 化石化作用研究部門 (Fossilization)
  8. 古生物地理研究部門 (Paleobiogeography)
  9. 古生物年代研究部門 (Biochronology)

以上の構想を実現するべく、古生物学会は文部省・学術会議などに熱心に働きかけてきた。しかし、現在の情勢では「構想」に示されている規模の研究soの設立は直ちには困難であるとの認識をもった。そこで平成元年には規模を多少縮小してでも早急に実現することが急務であるとの判断から、「構想」の一部からでも順次実現をはかることとして、当初は3部門程度の大学附置研究所を念頭に再検討した。共同利用がしやすい地域で、かつ高い順位で設立要求ができる学内状況と、人員拠出、建築スペース、推進するマンパワーなどを考慮して、静岡大学を選定した。静岡大学では理学部付属施設として、現在の学問の発展状況に合わせて新しく「地球生物学研究施設」(系統分化研究系と機能生理研究系の2大講座)を立案し、目下、その実現に向けて努力している。

わが国の自然史科学全体の現状は、程度の差こそあれ、研究・教育の困窮度が目立つ。予算・スペース・研究を支える人員の不足はいずれも極限に達しており、自然史の研究と教育に携わる教官も減少してきた。このままでは学問の存続そのものが危ぶまれている。しかし、自然史研究を志す学生・院生は必ずしも少なくなっているわけではない。各分野で

優れた若手研究者が成長していることは疑いないが、残念なことには彼らを受け入れて研究を続けさせ、才能を発揮させる場が著しく不足している。また、多くの若手研究者が劣悪な環境に苦しみながらも新しい自然史科学を志向し、自前で研究を進めるとともに研究会などを積極的に組織してレベルの向上に努めている。このような研究者を勇気づけ、自然史科学研究上の共通する問題について、抜本的な改善策を早急にとらなければならない。現状の社会情勢を考えると、自然史科学の各分野ごとに大きな将来計画を実現させることは難しい。そこで、自然史研究に深く関係する学協会および研究連絡委員会が情報交換を密にすると共に、共通する要求を集約して自然史科学全体の再興をはからなければ、これらの問題を根本的に解決することはできないであろう。一日でも早く自然史科学研究所の設立を実現しなければならない。

### 3-3. プロジェクト研究の推進

前章で指摘された、特に推進されるべき今後の「古生物学の課題」は大きく6分野、約60の項目にわたる。これらは個々のタクサを越えた研究項目であり、伝統的な古生物学から模索的要素を含む課題まで多岐に及んでいる。また、個人でも扱える課題もあるが、共同しなければ達成できない大型のプロジェクトもある。特に「分子古生物学」や「実験古生物学」などの分野は最新の実験機器群を必要とし、これら大型の予算を伴う研究についてはもはや既存の研究組織ではとうてい賅いきれない。従って、これらの大型プロジェクトを推進するためにはどうしても専門の共同利用組織の「研究所」が必要になってくる。研究者の任期なども考慮した柔軟な組織体制の下で、協同的・組織的な研究が推進されるべきである。

共同利用の「研究所」が設立されることが第一の解決策ではあるが、それができるまで手をこまねいているわけにはいかない。世界各国の先端的な研究室に比べ、わが国の現状は設備・予算・人材の投入の面で大幅に遅れをとっている。このままではわが国の研究は益々取り残されてしまう。そこで早急の対応策として、次のように重点プロジェクトを設定して、既存の組織が全面協力する必要がある。

- (1) 大学の研究体制の項で述べたように、現在複数の研究者を擁する大学はこれらの「推進すべき重要課題」に組織改革も含めて積極的に取り組んでもらいたい。そして、それぞれの大学

が特色のあるプロジェクト研究を推進してほしい。そのためには思い切った人事の刷新も必要であろう。

- (2) これらのプロジェクト研究を財政的にサポートしなければならないが、一つの手段として、文部省科学研究費に重点項目を設定することを提案する。これが現時点で対処できる最も手短かな方策である。

### 3-4. 博物館の充実

「自然史」と「博物学」は共に“Natural history”の訳語である。欧米では“Natural history”が現代科学として生き続け、発展しているのに対して、わが国の「博物学」は、「博物的」という言葉で表現されるように、「前世紀的学問」というイメージが強い。しかし、これを単なる「言葉の問題」として無視するわけにはいかない。わが国の「博物学」に対するこのような不当なイメージは、これまでの応用科学万能政策によって生みだされたものであることは確かであるが、他方、これらの学問分野に携さわってきた、これまでの研究者の努力が足りなかったことも謙虚に反省すべきである。自然史系の基礎科学の社会的イメージの低下は、「博物学」を今後「自然史科学」と読み代えることで解決するほど単純な問題ではない。

「博物学」または「自然史科学」は現代科学の一翼として、多くの科学分野で得られた広汎な知見を吸収し活用する総合科学であり、そこには当然のことながら自然を理解するための理論や実験などの新しいアプローチが含まれている。自然と理論との間を往来する基礎科学として、我々は新しいイメージを作り上げていく努力をしなければならない。

ここ数十年の間に、全国の多くの地方自治体に自然史系の博物館が建設された。それらは近代的な建物をはじめ、展示の構想・技術・設備などを見ると世界的にもきわめてレベルの高いものである。これらの博物館は主として「展示」を通じて、初等教育・社会教育に、また、自然史学の普及に大きく寄与している。このような最近の傾向は大変好ましいことであり、他の地方自治体も積極的に推進してほしい政策の一つである。しかし、これらの「博物館」が総じて社会教育を重視するあまり、その基礎となる研究面に殆ど力を入れていない状況に問題がある。外面的な華やかさに比べて、専門の研究者、特に欧米からの研究者にとって魅力のある博物館はきわめて少ないのが現状である。勿論、設立の目的に応じ



それぞれ多様な形態と内容を持つことはよいのであるが、博物館活動の根幹となる基礎研究への投資が著しく貧弱である。先進国の伝統ある自然史博物館、例えば、米国のスミソニアン研究機構に属する国立自然史博物館や英国の大英自然史博物館は、勿論、普及活動も行なっているが、多くの著名な研究者を擁し世界をリードする幅広い研究活動を展開している。そして、常に世界中から多くの専門家達が集まり、共同利用できる自然史研究のメッカとなっている。わが国の博物館は、残念なことによいような機能を果たしているとはいえない。国立科学博物館を含めて日本の自然史系の博物館は欧米のような研究を基盤とする組織にはなっていない。これらの博物館が、設立の目的や管轄母体の相異から、大学との研究・教育面での交流を妨げていることも大きな問題である。

さらに、わが国の自然史系博物館における学芸員の地位に関する問題が多い。多くの場合、学芸員は展示・普及・標本の入手などに関する仕事を業務とし、必ずしも研究者として位置づけられていないところに問題がある。学芸員として赴任した有能な若手研究者が、雑務に追われて研究できない状況を多々見ている。

以上のような問題点を踏まえ、わが国の博物館を充実するための方策を提案する。

- (1) 今後も国立科学博物館が社会教育を主体とした国立機関として機能するならば、国立歴史民俗博物館のような専門の研究と高等教育に重点をおいた国立機関としての「自然史科学博物館」の設立が必要である。
- (2) 前述の「自然史科学博物館」の実現が難しい状況であるならば、とりあえず現在の国立科学博物館を充実し、大学院教育を担当できる組織とする。これに法制上の制約があるとするならば、我々は「博物館法の改正」を直ちに要求しなければならない。
- (3) 前章2-6で述べたように、自然史科学にとって「標本」とその「保管」は絶対に欠かせないものである。わが国において、この大切な「標本」を恒久的に管理・保管のできる大学はごく限られている。歴史的に多くの標本を抱えている大学は「大学博物館」ないしは「標本室」の整備とキュレーターを今後とも強く要求していかなければならないが、現状で「安全な管理」ができない機関は早急に何らかの対処を講じないと取り返しのつかないことになる。そこで、

「標本保全」が不十分な機関または個人所有の「記載標本」は、直ちに管理能力のある機関に移管することを勧告する必要がある。

- (4) 前項の「標本管理」は国立科学博物館または地域の自然史系の博物館が行なうことが望ましいが、前述したように、これらの博物館は必ずしもこれらの「標本」の受け入れ態勢において満足できる機関とはなっていない。従って、これらの受け入れ機関の整備が急務であるが、とりあえず現時点でできることは、それぞれの博物館が「責任を持てる分類群」を指定し、管理する以外にない。この方式が全国に浸透すれば、現在危機に貧している標本の多くは救えるであろう。地域の博物館はこれらの標本を受け入れることによって、「ある分類群における専門の博物館」として世界の研究者に対しても魅力ある機関に蘇生するであろう。さらに、これを機に「ある分類群の専門家」を研究者として継続的に抱え、「関連した文献」を意識的に収集することによって、研究面においても特徴のある博物館となるであろう。

ここに提案したように、わが国の博物館が小規模ながらも欧米におけるような自然史研究の拠点として整備されるならば、大学における研究と合わせて、わが国の自然史科学はさらに発展するであろう。

#### 4. わが国の古生物学教育を充実させるには

##### 4-1. 高等学校までの地学教育と古生物学

##### 4-1-1. わが国の古生物学の研究教育基盤を充実させるためには

化石を直接の研究対象とする古生物学が、専門家ではない一般の人々に現在どの様に受けとめられているのかを理解しておくことは、今後広く古生物学の意義と必要性を学会の外に向かって説くためには重要である。最近はある意味で化石がブームになっているといわれている。新聞やテレビなどのマスメディアは各地で発見された貴重な化石をいち早く報道しており、また化石に関する特集などが組まれることも多い。化石に関する情報が一般の人々にもこれまで以上に多く届くようになってきた。とくに恐竜や、ゾウなどの大型は哺乳類などの発見はしばしば紙面を飾り、多くの人々が化石へ関心を示すきっかけとなっている。また恐竜を中心とした書物も翻訳を含めて数多く出版されている。さらに長野県野尻湖での調査のように、一般の人たちが化石の発掘に

直接参加することができる機会も増えてきている。以上の状況は、化石を科学的に研究することの重要性について一般の人々の理解を得やすい環境を醸し出しているといえる。

ところで一般の人々にとって、化石に関する科学的な基礎的知識は、自然科学の他の分野と同じように義務教育を含め、それ以後の教育で獲得されるものである。従って、小学校からはじまり、中学校、高等学校をへて大学・大学院までで行われている教育内容や、その他さまざまな機会を通して得られる知識の内容を吟味することから、一般の人々が基本的に備えている化石に関する科学的な情報の量や質を知ることができよう。しかしここで念頭においておかなければならないことは、知識獲得の主な場となる小学校、中学校、高等学校で使用されている教科書の内容や教材が、それぞれの教育課程で適切に教えられているとは限らないことである。たとえば高等学校で「地学」を授業科目として採用しているケースははなはだ少なく、おそらく全体の20%を超えることはないであろう。また小学校や中学校でも後述のように、化石に関する教材があるものの、それが教える側の都合により適切に取り上げられていない例も多々あるということに留意する必要がある。ここでは先ずそれぞれの教育課程で化石や古生物に関する教材がどの様に取り扱われているのかを概観する。そしてそこに見られる問題点を指摘し、古生物研究教育の基盤を充実するために望まれる事柄を述べる。

#### 4-1-2. 小学校教科書における化石や古生物関係の記述

小学校で化石に触れているのは6年生の「地層」に関する教材の中においてである。その概要は次のようである。

地層：大地を形成する物質としての観点からのみ地層が取り上げられており、地層が時間を記録しているとの視点が認められない。

地層に含まれる化石：生物の遺骸—現存する類似生物の生息環境をもとにして化石を含む地層の堆積環境を推定している(示相化石の概念)。

自然界に存在する物質の一つとして地層を取り上げ、その中に含まれる化石に注意を払わせている。さらに化石(=古生物)と現在特定の環境に生息する生物との比較から、地層の堆積環境なども推定させ

ている。しかしながら小学校では地層が下から順に堆積していくことが明確に記述されておらず、従って地層に時間が記録されているとの考えには至らない。このことはたとえ地層に化石が含まれていたとしても、それらから現生生物につながる過去の生物の直接的な記録が化石であるという考え方を児童に与えることには無理がある。進化という抽象的な概念の理解を期待することは困難であるとしても、少なくとも堆積物の重なり方から新旧を知り得るとの見方を示しておく必要がある。

この時期の児童は様々な現象に興味を示す。それは学校教育からはなれた場であることが多い。とくに家族で出かけた博物館や、プレゼントされた本などを通して何らかの形で恐竜をはじめ様々な化石に興味を示すことがある。この時期に獲得した興味と関心が、将来の進路決定に重要な意味を持つこともしばしばである。従って、この時期の児童に対しては学校教育のみならず、博物館見学や自然観察などの課外活動を通して、化石をはじめ多種多様な自然に触れることができるような施設や活動の場を提供することが重要である。

#### 4-1-3. 中学校教科書における化石や古生物関係の記述

中学校での理科は物理・化学的分野を主とした第一分野と生物・地学的分野を主とした第二分野にわかれている。したがって化石や古生物の教材は第二分野において、以下に述べるような教材として取り上げられている。

- 生物の移り変わり(その証拠としての化石)
- 進化の概念：生物の外形や生活の仕方が変化することによって進化が行われてきた。
- 脊椎動物間のつながり
- 系統樹を通して個体発生と系統発生を考える。
- 大地とその変化(地層を構成する物質の一部として取り上げられる)
- 地球の歴史：
  - 示相化石 地層の堆積当時の自然環境の推定。
  - 示準化石 地層が堆積した時代の判定。
- (生徒の住んでいる地域から産出する化石を教材にしており、地域性の重

視が見られる)。

#### 人間と自然

地球の自然環境：

エネルギーの循環を重視(しかし時間軸を入れた説明がない)

生物の出現と自然環境の変化：生物が環境へ与えた影響を評価。

(大気中の酸素量の増加を例とする)。

人類と自然環境のかかわり合い：

人間と自然の調和を求めた提言。

(農業や工業が自然へ与えた影響を取り上げる)。

中学校の教育においては、小学校で抜け落ちていた化石の持つ二面性(地球の歴史を探究するための道具としての化石と生物の進化を実証している化石)を明確にしている。したがってこの時点で化石や古生物に関する基本的な知識の獲得が行われていると見なせるであろう。その場合の教材として地域から産出する化石標本やその写真を用いていることもあり、地域性を重要視する姿勢をうかがうが、化石として産出する古生物の部位や産状についての説明が行われていない。つまり化石を通してより具体的な古生物の姿がとらえられていないといえる。

しかし一方で注目し、また評価しておかなければならないことは、地球環境の保全という立場での教材化が認められる点である。従来の教科書では単に地球の歴史の一部として生物の歴史(=進化)を取り上げてきたようであるが、最近では人間と自然との調和を考えるにあたって、地球環境の変化そのものに生物が果たした役割を例としてあげている点である。これは生物としての側面を持つ人類が、今後の地球環境にどのような影響をあたえていくのかを考えるうえでの資料を提供しようとの観点である。中学校までが義務教育であることから、少なくとも基本的な化石や古生物の概念がこの時点までの学校教育を通して得ることができる状況に留意しておくべきである。すなわち、化石や古生物に関する一般の人々の関心と興味を引くための手立ては、中学校までの教育課程で十分に吟味されることが望まれる。その場合、当然のことながら生徒の生活圏内にある事象に基づいた教育が有効であることはいままでもない。つまり地域性の重視である。しかし昨今のように人工的な自然改変が早く、たとえ時間を割いて野外での見学コースなどを準備したとしても、それを十分に生かすことができなくなってしまうような現状では、野外観察に代わるような施設の利用を考

えなければならぬ。例をあげるとすれば、各地域にその地域の自然に関する情報が収蔵されているような自然史系の博物館を活用する方法である。あるいは建物としての博物館ではなく、自然状態のまま種々の現象を保存してあるような野外博物館を設立しておくのも一つの方法であろう。

#### 4-1-1. 高等学校の教科書における化石や古生物関係の記述

高等学校においては化石や古生物に関連した教材は地学や生物のほか、理科Ⅰの教材でも取り上げられている。それらの内容は以下のようである。

##### <理科Ⅰ>

理科Ⅰでは自然の本質に触れるという目的で、身近な事象や現象を教材として取り上げ、それらを互いに関連付けて論理的に説明することに主眼がおかれている。

##### 化石・古生物に関連した教材

##### 生命の連続と生態系

##### 生物の進化：

生物の基本構造の比較(相同器官と相似器官)

個体発生と系統発生

地球の歴史にみられる進化の証拠としての化石

進化の要因(進化諸説の解説)

生物がこれまでにたどった歴史を知るために、生命の発生から始まり各地質時代の生物界を説明している。ここで注意しておきたいことは、この部分では化石そのものの記述はなされているが、化石が保存される過程や化石が認識される過程が触れられていない点である。

なお理科Ⅰでも中学校の教科書と同様に「自然と人間」の教材はみられるが、ここでは地球環境の歴史の変遷は取り上げられておらず、したがってそこに生物が果たしてきた役割を理解させることは困難である。つまり地球観の形成に重要な歴史的観点からの考察は不可能になっている。

さらに教材の取扱い方で注目しておかなければならない点は、ある理科Ⅰの教科書ではこれを2分冊にし、物理・地学編と生物・化学編とにまとめていることである。この教科書によると化石や古生物に関する記述は物理・地学編にはほとんどみられず、生物・化学編に上述のような項目が取り上げられているだけである。

##### <地学>

地学では化石に関する記述として、「地球の生い立ち」の部分で化石の役割を取り上げている。ここでは化石が基本的に備えている性質から、その古生物が生存していた環境や化石になるまでの過程の記録を重要視することができる示相化石と、古生物の生存期間に基づきその化石を含む地層の形成年代を推定することができる示準化石を解説している。

(1) 生物の歩み

(2) 地球の進化: 生物の出現と進化(地質時代区分と古生物)

示相化石

示準化石

(3) 地殻の歴史: 化石と地質年代

化石とその形状

化石による地層同定の法則

地質時代の区分

示相化石と示準化石(生物の進化の記録として日本列島の地史で紹介)

ここでは化石の実用的な側面が強調されており、いわゆる古生物の本質的な理解をめざしていないように思われる。つまりいわゆる生物学的な古生物の考察、「進化」に踏み込んだ記述はほとんど行なわれていない。

<生物>

生物の分野では化石や古生物に関する記述はほとんど認められない。

「生物の集団」生態学的分野

地球生態系の変遷と人類の進化

自然と生物・生態系の平衡と保全に関連して地球生態系の変遷と人類の進化が取り上げられているにすぎない。人類の進化もそれが地球生態系に及ぼした意義を認識することを前提として記述されているだけで、進化そのものを重要視しているのではない。ただしその前に極めて簡単に生物の進化につれて地球全体としての生態系が大きく変遷してきたことをつけ加えて紹介しているだけである。

高等学校における化石や古生物の学習は基本的には中学校で習得した化石についての概念を、それぞれの教科でさらに深化させているといえる。しかし理科I、地学、生物それぞれの教科がめざす目的にしたがって化石や古生物の概念が分断されているようである。たとえば地学では、地球の歴史を解明する道具としての化石が強調されている。しかしここでは進化を実証するものとしての化石の取扱は認められない。それに対して、理科Iでは化石や古生物

の進化的側面を強調している。生物では生態系の歴史の変遷を概説してはいるが、個々の生物が歴史的な存在であるとの観点をほとんど欠いている。

したがって高等学校において化石や古生物の科学的意義(化石のもつ二面性の意義)を総合的にを理解しようとするならば、理科I、生物、地学を学ばなければならない。しかし現実にはこれら3教科をすべて学べるような教育課程をもうけているところは少ないといわざるをえず、これが化石や古生物の備えている特性を高校生に十分に理解させることができない理由の一つであるように思われる。この点は大学および大学院での教育でいわゆる専門家や研究者養成のためのカリキュラムを作り上げる際に十分に留意しておく必要がある。

高校生において抽象化の概念が一段と発達するとすれば、この時期に帰納的な科学の存在を理解する目的で野外実習を取り入れることも考えられる。さらに自然史博物館をはじめ、植物園や動物園、水族館などの施設を活用して、現存する生物やその群集の成立過程を、実物に即して考察していくことも生物進化を考える上で重要な作業となるであろう。

4-1-5. 共通第一次学力試験・大学入試センター試験における地学受験者数の変化

全国の国立大学を中心に実施されてきた共通第一次学力試験・大学入試センター試験における地学受験者数の変化を調べてみた。これはさきに述べたように高等学校では化石や古生物についての教育は、おもに理科Iや地学の教科でなされていると見なされる。しかし現状では多くの高等学校で地学が授業科目として採用されておらず、また地学の受験生の多くは文系学部の志望であると言われている。したがって大学で古生物学を専攻する学生が高等学校で必ずしも地学を学んでいるとは限らない。

年度	全受験者数	地学受験者数
1992年	428,903*	21,358
1991年	430,341	19,961
1990年	408,350	21,148
1989年	374,482	23,044
1988年	376,267	22,957
1987年	368,898	20,526
1986年	343,518	26,543
1985年	329,870	39,272
1984年	341,288	72,821
1983年	343,049	92,193

1982年	334.118	98.527
1981年	340.614	78.943
1980年	333.026	64.582
1979年	327.140	49.822

1989年度以前は共通一次試験，以降は大学入学センター試験と呼ばれている。なお高等学校の教育課程の改正に伴って，1985年以前は「地学Ⅰ」，以降は「地学」として出題されている。全受験者数は1989年以前は5教科を受験した人数で，以降はセンター試験を1教科でも受けた人数をしめすが，\*印は外国語の受験者数である。実際の受験者数はこれよりも若干多くなるであろう。

地学関係の受験者は1984年度以降に著しく減少している。これは理科4教科必修であったのが，この年度を境に選択制に変更され，その結果地学を採用する学校が少なくなったためと考えられる。しかし若干の増減はあるが地学が減少し続けている状態が1992年度まで認められる。おそらく地学を授業科目として採用している学校がさらに減少しているのではないかと予想される。このことは大学において高等学校で受けた教育をもとに，大学で地学を専攻しようとする学生がそれほどいないことを示している。したがって高等学校までに受けた教育をもとに，大学で古生物学を専攻しようとする学生はさらに少なくなっていると想像できる。日本の大多数の大学が，高等学校を卒業した時点の大学入学時に学部での専攻を決定させている。つまり教養課程で受けた教育をもとに自らの進路を検討する機会を閉ざしている。あるいはその機会がきわめて乏しいことを考えると，この状況はきびしく受けとめなければならない。

## 4-2. 大学における古生物学教育

### 4-2-1. はじめに

大学では教養課程の教育を見直して，これまでの教養教育と専門教育との区別をなくし，4年一貫の教育課程をめざす改革が進行中である。しかしこれまで行われてきた教養教育の内容を見直すことは一貫教育をさらに充実するためにも必要なことである。

### 4-2-2. 教養課程

大学の教養課程で提供されている一般教育科目では，教材の選定が担当教員に任ざれていることが多い。そして講義題目もさまざまである。たとえば「地学」の科目が設定されているとしても，そこで

古生物に関する講義が行われているとは限らない。おそらく古生物学およびそれに関する教材は「地学」関係の講義のみならず，「生物学」をはじめ様々な科目で取り上げられているであろう。最近の傾向では進化論と関連させて，古生物学と銘打たないまでもそれを講義することもある。さらに教養課程で注目しておかなければならないのは，専門教育に直結する講義ではなく，いわゆる教養としての古生物や化石に関する講義を提供できることであろう。とくに地球環境問題に関連させて，地球環境の歴史的変遷を直接に示すものとして古生物や化石についての講義が行われるようになったということである。さきに述べたように，日本の大学では，いわゆる学部での専攻が，基本的には高等学校で受けた教育に基づいて決定されてしまうという，ある意味では不合理なシステムがあるがゆえに，教養課程での教育が軽視され，さらには歪められている。このような状況では古生物や化石を直接の対象とする研究者むけのカリキュラムとは別に，化石や古生物研究の基盤を充実させる意味でも，古生物研究の意義を広く社会に認められることをめざした一般教養での教育を充実させることが今後さらに重要になってくる。

### 4-2-3. 学部教育

大学の学部(地質学関係)における古生物関係の教育は，一般古生物学・古生物学，生物圏進化学・進化古生物学，層位古生物学，生態学・古生態学の名のもとに講義で行われている。これらの開講科目だけから判断すると，少なくとも基本的には化石の応用面を中心にした講義が行なわれているといえる。その一方で進化古生物学あるいは進化学に関連した古生物学は地質学系の学科ではほとんど取り扱われていないのが現状である。これは地質学系古生物学を修めた教員が主体になって上述の講義を担当していることによる。生物学系の学科では，古生物学そのものを講義している例はない。系統進化学や系統分類学などの講義を通して古生物に触れることがある程度で，進化学の大部分は種形成や種分化の機構を遺伝学や分子生物学と関連させて講義されている。従来の制度では，学科間の講義の相互乗り入れが困難であったため，学生にとっては古生物研究に必要な化石の二面性を適切に学び得る機会に恵まれてこなかったともいえる。

これまでの大学では，教養課程と専門課程とが教育の組織をも含め，それぞれ分離独立していたが故に4年一貫の教育課程を望むべくもなかった。しかし

従来の一般教育の見直しを焦点にして状況は変化した。教養課程や教養部を見直し、少なくとも4年間を一貫した教育と研究を確立すべき時期に来ている。大学における古生物学教育をより適切なものとするために、また分類学研究者が決定的に不足している現状を改善するために、この機会を十分に活用すべきであり、その際には生物学系の教科をも組み入れた自然史科学の視点でのカリキュラムが是非とも必要である。

小中学校や高等学校の教員の養成を主たる目的とする学部での古生物学教育も重要である。すでに述べてきたように古生物研究の基盤を充実するためには、小学校や中学校、高等学校で行われる教育を軽視することができない。そしてそのことは教育を支える教員の能力にゆだねられている。現状では教員養成系学部における古生物学教育は基本的に地学系の教室で行われている。しかしこれらの学部では講義担当教員数が絶対的に不足していることもあって、学問分野の多様性に呼応した多様な講義を開講することが困難な状況にある。さらに小学校から高等学校までの教育で教材を地域に求めることが重要視されていることからみて、これらの教育課程の教員養成にもそのような視点(地域の化石を活用する)での実験や実習が必要であることはいうまでもない。しかし現状では教員数の不足からの制約は大きく、理想的なカリキュラムの設定にはほど遠い。このような状況を少しでも改善するためにも、今回の大学でのカリキュラムの見直しの機会をぜひとも活用すべきであり、その場合単に大学内部だけでの改革に留まらず、学外の施設や人材も積極的に活用すべきである。

#### 4-2-4. まとめと提言

小学校から高等学校の教育課程における古生物学のこれまでの取扱は、以下のように整理することができよう。小学校では自然界に存在する一つの物質として化石に気づかせ、さらに現生生物との比較によって大まかな堆積環境を考えさせる。中学校ではさらに進んで、(1)進化を実証するものとしての化石、(2)地球の歴史を解明する手がかりの一つの道具としての化石、に着目している。高等学校では基本的に中学校における(2)を強調している。

学校教育における古生物学の取扱にはこれまでのように、化石に関わる基本的な視点を抜きにすることはできない。しかし古生物学=化石に関する科学にいかに関心と興味を抱かせるのかは大いに工夫を

要する点である。最近の中学校の教科書では地球環境問題に関連させて、地球生態系を認識するという立場から生態系の歴史、さらにその主役である古生物に言及している例がある。これは学校教育におけるいままでのように自然科学が物理学・化学・生物学・地学と細分された観点(この点は高等学校の教科に如実に現れている)からのみ化石や古生物を教材化するのではなく、物理学・化学・分子生物学など精密科学に対する一端にある生態学や地球科学などを中心とした野外科学の枠のなかでの教材化が考えられなければならないという一つの方向を示しているのではなかろうか。この観点はこれまで細分化されていた教育分野をある程度に統合する方向であり、それは自然史科学への志向であるともいえる。古生物学=化石に関する科学はそのなかで生物を時間軸の座標においてみつめる方向でなければならない。さらに自然史科学は野外科学の一分野であるが故に、基本的に地域に根ざした科学である。従って化石を教材化する際にも地域との関わりを抜きにすることができないことはいうまでもない。このような視点は、小学校から大学における自然史科学教育全体に通じるものと考えられる。教育を受ける側の能力に応じた教材の作成は重要であり、大学においては魅力ある教科書も必要であろう。科学技術の発展にともなって教育現場にも化石や古生物に関係したビデオ・スライドなどの視聴覚教材が活用されている。このような教材は今後も積極的に活用されなければならないが、それはあくまでも疑似体験であり、実物が備えている生の情報とは異なることに注意しておく必要がある。その一方で一つの学校や一人の教員では対応することができない教材、すなわち自然史博物館や野外博物館の施設やその素材も含めた整備が必要になってくる。

#### 4-3. 大学院の研究・教育

##### 4-3-1. はじめに

大学院における古生物学に関した学問的教育・研究については、著しく多様化しつつあるその学問体系や大きく変貌しつつある研究対象や研究内容に、深い理解と認識のもと、現状の分析と適切な改善を行って、基礎科学としての社会的需要や期待にも充分配慮すべきであろう。

大学院における古生物学の教育・研究では伝統的な知識や研究手法が要求されることも、広い領域の知識と理解力・研究の計画性や将来への深い洞察力を修得することも重視され、また益々高性能化する

実験・測定機器にも対応・熟練を必要とする現状になりつつある。加えて、研究の国際化が進むにつれ、多種類の広領域の情報処理能力をも必要になってきている。

今回の大学審議会の答申に見られるように、これまで研究者養成に重きが置かれていた大学院教育が、大学院修了時に授与される学位記名から、単位あるいは学位取得に関する多くの点で、各大学院研究科が独自で自由度の高い個性的教育への改善が促されたといえる。同時に、大学院教育の学問的・社会的閉鎖性は、大学院生の収容人数の柔軟化、大学院間の教育・研究交流の促進や社会人教育の門戸を広げたことによって、その流動性を増し、大きく開放されたと言える。このことは、大学院教育が従来のように研究者の養成に重きはあるものの、広く産業界・官界・教育界に於いても活躍出来る人材の養成も必要とされていることと併せ、高等教育の教育効果に実りある成果を求めた「教育レベルの底上げ」が要求されていると捉えられる。即ち、大学院教育の実質的変換期を迎えたと言える。

このような大学院教育の改革がなされた現状に鑑み、古生物学あるいは、その関連分野の地殻進化学、地球圏生物進化学、地球環境科学、地球資源科学、海洋生物科学、自然史科学などの大学院における基礎的あるいは応用的要素を含め、系統的な広領域教育のカリキュラムとその人材的充実を実現させねばならない。また同時に、大学院各研究科は課程修了要件などを含む教育内容および学位修得に対する研究指導體制、研究指導教官の教育・研究業績の評価および質的向上、学問的進展・国際性などについて十分なる検討を積極的におこない、大綱化の精神に添った個性的な近未来的高等教育(大学院教育)の改善に向け努力する必要がある。

このような背景とわが国の大学院教育の現状から以下のような提言をし、多くの優れた大学院修了者を養成するために努力するとともに、これらの提言の文部行政の実現を期待するところである。

### 1-3-2. 大学院教育・研究体制

大学院の教育体制の整備あるいは改善は、各大学院研究科あるいは、研究分野、講座レベルでその伝統的業績に添って、柔軟に行える部分もあろう。しかし、柔軟にとは言え、産・官・学界の必要とする国際性豊かなセンスを持ち、高い専門的知識を有する修了者を教育・育成するにはそれなりに必要な実験・演習などを含めた系統的なカリキュラムを組み、

高く評価されるべき教育がなされなければならない事は言うまでもないところである。しかし、これまでの大学院における古生物学の教育がそれぞれ特定の研究を志向している少数の大学院生を対象として、共通した、あるいは、関連した適切なカリキュラムを単位相当分の時間数開講する事は、綿密な講義計画に基づいて開講される学部学生向けのカリキュラムに比較すれば、容易な事ではあるまい。現行の大学院修了者に必要な30単位という単位数に関しては、今回の大綱化では全く触れられていない。しかし、単位の互換認定、幅を広げた単位認定の制度を考慮すると、近い将来において改善可能と捉えられる。例えば、大学院生の学会発表(講演)や論文の公表(出版)等は、最も関連のある実験や演習等に比しても遥かに多くの時間を費やし、深い学術的推考を行っており、大きな教育効果が認定できるところであるばかりか、その後の課題研究(論文課題)に加速を加え、また関連研究者との交流のきっかけを掴むものとして学問的・社会的意義深いものがある。しかし、それらには教官サイドから奨励はされるものの単位の認定等はなされていない現状であり、大学院教育としては評価を与える(単位の認定)べきところと言える。

勿論、大学院教育での柔軟性をあまりに強調すると、現行の大学院教育の制度(例えば、大学院担当教官の配置)のピンチにも成り兼ねないところがある。即ち、大学院教育には大学院生側への改善とともに、大学院担当教官側の改善、或いは検討すべき下記のような問題もあることを指摘したいのである。  
<大学院専任教官の独立>

大学院修了に要する必要単位数(30単位)はその専門とする研究科の最も基礎的な科目や、専門分野の専門科目が組み入れられているのは、当然であろうが、受講する院生と開講する担当教官の間には、修了に要する必要単位という捉え方と、自分の課程論文課題に対する基礎、或いは専門的講義としての捉え方とのバランスが考えられる。しかし、その講義による専門性の充足度を考慮すると、担当教官に対するウエイトは大きいものがある。大学院生の多い研究科ではそのウエイトに応じて担当教官が、大学院教育(講義等)に全力を注ぐ事が出来よう。しかし、古生物学は地球科学の研究分野では基礎的教科ではあるものの、全国的に各大学院専攻での院生の数は一桁である事が多いのが現状である。わが国に於ける大学院担当教官は通常、大学院と学部とは兼任の状況であり、従って大学院担当教官の学部での

講義担当も重く、必ずしも大学院での演習・実験を含み各種講義への全力投球的講義が出来ているのであろうかとの疑問が持たれるのが必須であろう。

勿論、講義担当で充足出来ない科目に関しては、非常勤講師による補充が行われているであろうが、必ずしも十分な措置とは言えないところがある。

大学院教育が社会的にも重視されてきている今日、学部学生の人口も先々減少する事を確認しながら、一部の大学で検討されてきている制度的な大学院大学への改組とは別に、大学院のみを担当する教員を配置(配置替え)して小数の大学院生向けの教育あるいは、講義担当のシステムを作り、よりゆとりのある充実した大学院教育の実現をすべきであろう。そのための一方法として、欧米で伝統のあるサバータカル制度を導入し、大学院教官の知的情報の充足や、研究時間の補充に充て、その対策とすることも可能であろうが、根本的な解決策にはなりえないのである。勿論大学院担当教官も受け入れ院生の専攻或いは、人数によって、学部担当教官との互換或いは担当の輪番制等を考慮し、学部・大学院双方の教育的或いは人の一層の効果を考慮する事が寛容であろう。このことは教官側の改善でもあり、院生側の改善にも繋がるものであり、古生物学の分野ではこのような制度的な改善には大きな期待がかけられる。

#### <学位審査にかかわる改善>

大学院における院生の学位論文に関する研究指導は大学設置審議会の定めるところにより、その資格審査が必要であることは周知の通りである。しかし、冒頭にも述べたように古生物学の研究分野での課題研究が複雑多岐にわたる傾向にあり、学外研究者の学位審査への参加が可能なる事は大学院研究科としては大いに歓迎される場所である。しかし、この制度も、特に学外から審査に参加される場合、他大学大学院教官であってもまた、研究機関の研究者であっても、地理的条件、社会的条件、時期的条件、研究的条件など多くの障害点があり、それらの解決には容易でないことも多いと考えられる。しかし、連携大学院等の精神からすれば、他大学院関係教官や他研究機関研究者の自由度のある指導あるいは審査委員会への参加により、より実りのある学位審査や指導(研究交流を含み)が可能となり、大学院教育の改善にも通ずるところが大きいと考えられる。勿論、この制度の拡大発展の為にも、各大学院研究科の個性的な教育・研究の体制が整っている事が前提である事は申すまでもない事である。

#### <大学院修了年限短縮の推進>

これまで、諸外国の30才代半ばの若手研究者が国際的な場、例えば学会、シンポジウム等での第一線の活躍をしているのに比べられ、わが国の大学院教育には国際性の欠如や学術的後進性さえ指摘される事がある。大学院教育で研究者養成を早期に実現させようとする新しい制度として、このたび大学3年修了即大学院入学、更に大学院に於ける修了期間短縮(修士1年、博士2年)という制度が導入された。この制度の積極的な活用と、大学院教育に国際性を加味すれば、わが国からも20才代後半から30才代前半の国際的な場で活躍できる優れた若手研究者の実現が大きく期待される。

即ち、最近の実験設備、研究・教育機器のめざましい発展・進歩による諸測定・実験あるいは複雑な諸情報の短時間処理も可能となり、大学院に於ける学位に関する研究課題の早期完了が可能なる状況になってきた事は周知の事である。

従って、優れた院生の研究の進捗状況を積極的に支援できる大学院教育のシステムあるいはカリキュラムを各大学院研究科で設定すべきである。例えば、専任あるいは招聘を含む外国人教官の導入、外国人教官あるいは外国人研究者による長期的外国語による講義・演習など国際性の高いカリキュラムの恒常化、T. A.制度の正常活用化、などを検討すべきである。

古生物学の研究分野では事の他、例えば標本の採集、分類作業を含む系統分類、分析、写真撮影、文献収集などは経験的学習要素が多く、時間のかかる研究分野であるということで、その実現に難題があるように思われるが、このような研究分野こそ、野外調査や標本採集の能率化、効率化を目的とした全国的な情報交換・検索システムの完成が出来れば、容易に受け入れられる制度と言えよう。このためには国家的規模の古生物に関する完全なる資料(図書、文献、標本、産地等)のデータバンクを早期に完成させなければならない。

勿論、大学院生早期修了制度には大学院担当教官の人事、例えば若手教官ポストの優先確保など研究職の保証制度が、欲しいところである。

この制度の目的が優秀な若手研究者養成にあるので、院生側で将来への志向が変更した場合、例えば研究者志向から民間企業への就職、教育界への転向などはその資格等で条件を満たさない事があるので、大学院教育の中であって充分配慮した指導と社会的理解を求めて行かなければならない。

#### <大学院生の教育・研究環境の整備・改善>



大学院生が21世紀のわが国の大学院教育や研究の担い手として育てて行くためには大学院の教育・研究環境を国際性豊かなセンスと高い学問的知識を修得出来るよう次のような整備や改善が希望される。

#### (1) 教官研究費海外使用の実現

古生物学における国際性については近年益々国際的研究が盛んになるに伴い国際誌や国際学会での外国語による学問的接触の機会が大学院生レベルでも多くなってきているのみならず、大学院生自身が海外の研究者との交流、共同研究や実地調査も積極的に進んで行っている。しかし、わが国の大学院教育は国際性に乏しいと言われ、国際的な研究に大きな支障がある。大学教官(大学院教官も含む)の恒常的研究費(校費)は海外での直接使用や海外からの物品類の直接購入は出来ない事になっている。制度的な解決が付き、校費の海外での使用が可能になれば、古生物学の研究分野では研究の著しい進展が期待されると同時に、国際性豊かな研究者の育成や国際性豊かな研究が可能となる。古生物学で最も基本的で重要なことは、地層で言えば、その地層の模式地、分類群で言えば、模式標本、論文で言えば原本を学問的意味でそれらを直接確認し、提唱事項を科学的に追証することであり、問題解決の出発点でもある。このことは、古生物学では事の他重要であり、そのことが実現しないことにより、その後の研究が進展しなかったり、制限されたり、また、中断せざるをえないことさえあるのである。わが国のように四方を海で囲まれているようなところでは、海外で創設された模式地や模式種に直接接する事は容易な事ではないのである。わが国のどれほど多くの古生物学研究者がそれらの追証に時間と費用を掛けてきたか、事例を挙げるまでもなく多いのである。これからの若手研究者(大学院生)がこのような学問的障害に面し、研究が遅延するようなことが生じるならば、諸外国の研究者に先んじる事が困難になるのではないかと懸念されるのである。その抜本的解決策として、勿論海外研究費や国際学術研究費が十分交付されるようになることも希望されるが、科学研究費を含み一般会計の教官当たりの恒常校費の海外使用が可能になる事である。このことは、国際学術研究のような系統的且つ計画的調査・研究と異なり、通常的な研究・教育の折々に生じた国際的問題の解決のみを目的として、通常の研究費を使用し、数日から2-3週間の期間海外に出かけることである。このよう

に恒常の教官研究費や比較的少額の科学研究費の海外使用が可能となれば、古生物学の研究分野では研究の進展を大きくかえ、問題がその都度その都度解決され、その教育・研究の効果は多大なものが期待されるとともに、国際的流動性の高い研究が可能となる。

現在大学院生が海外で国費で調査研究に参加出来るのは、国際学術研究の代表者の協力者となれた場合のみであり、人数、機会的にも少ないのが現状である。

外国の大学院生で学位論文課題が外国のフィールドであったり、外国の化石資料であったりするが、自由に指導教官の研究費を海外で使用していると聞いている。しかし、その研究成果の功績や、研究視野の育成、国際性、等を考慮すると、そこにわが国の国際性に関する大学院教育の改善すべき大きな問題があると言える。

我々には魅力ある研究課題が海外にあっても、その実現は現行制度では至極困難である。例え恒常経費や科学研究費で経費の投入が可能で、研究の成果が期待されても研究費の国内使用という会計法の規則によって、教官も院生もその実現は不可能なのである。渡航費用などが国際競争等により廉価になってきた今日、通常予算を切り詰める事によって短期間でも海外で模式地や模式標本或いは、関係研究者との直接意見の交換や資料の膝詰めの討論の時間が持てれば、費用の数倍もの効果が挙げられるところである。経済力が国際レベルで高いといわれるわが国の若手研究者が自由に国際的研究のため、指導教官の恒常経費を使用し海外での研究が出来るならば、国際性豊かな学術的センスを修得するための最も近道であると言える。このような改正は行政改革の中では難易度は低く、可能なのではなからうか。これは海外で出版される学術図書を購入に多額の手数料が加算され、どれほどか大学校費を圧迫し、大学院教育・研究を阻害しているかと、併せ考えるに、検討するに充分価値あるものと指摘される。

#### (2) 大学院教育・研究の活性化の推進

大学院における大学院生の個性的な研究が推進されるために、研究指導或いは研究課題に先端的で、独創性が必要である事は言うまでもないところである。そのような独創的な研究が、一層充実した成果となるためには、関連する他大学や他研究機関の研究者との自由な研究交流を深める必要がある。現在、非常勤講師等は国内に限られている

が、欧米で行われているように、あるいは、前項目で述べたように校費の海外使用のセンスで、海外で第一線の活躍している研究者を招待出来るような改善が望まれる。海外で第一線の活躍している研究者の講義や講演を、他大学院生とともに自由に、また、頻繁に聴講出来、共にセミナーや巡検等を企画・実現出来るようなシステムが出来れば、大学間の研究交流や院生の教育的交流も可能となり、必然的に国際的センスを身につけ、学力のレベルアップや人的活性化が進むことになろう。

現在の非常勤講師の運用は研究或いは教育面で充足していない分野を補ったり、更に、専門を深く細部に亘る講義を求めるなど、その教育的効果はそれなりに挙げられていると思われる。しかし、そこには惰性化している面もなくはなく、活性化の実現に改善されるべきである。

類似した課題として、大学間や研究所間での実験設備や実験装置の自由な共同利用を進める事により、若い時期における大学院生の研究交流が推進され、院生の活性化を通じて指導を行っている大学院教官等にも良い影響が及ぶものと効果が期待される。この活性化の成功は、大学院生が学生の教育・研究の指導的立場に立ったときの効果も充分考えられるところである。

### (3) 大学院における伝統的教育・研究継承の重要性

これまで、大学院における先端的あるいは独創的な研究を通じて、国際性豊かな研究や、高度な成果の挙げられる教育の推進について述べてきた。しかし、古生物学の中でも、系統分類学、進化学、古生態学や古生物地理学等の膨大な資料を扱う研究分野では、伝統的な研究手法を継承して高い成果を挙げてきている事も重視しなければならない。即ち、地道な資料の集積及びその学術的処理・解析などの伝統的学問を継承できる若手研究者の養成も重要であり、大学院教育の中でも考慮され、カリキュラムのなかでも取り入れなければならない。特に、学問的な衰盛による伝統的研究の伝承或いは研究者の後継者作りは、長期的展望から、計画的かつ慎重に対処しなければならない。すでに、別項目で述べられているように、生物分類学という、最も基礎的な古生物学或いは生物学の研究分野であるにも拘らず、その後継者の育成が充分と言えない現状を作り上げている。このことは後継者の育成に数年から10年以上の年月を必要と

するところから、伝統的学問を継承する事の重要性に対する警鐘ともいえる。

### (4) 社会的需要性の高い人材の養成

大学院によっては修士課程のみを開設しているところと、博士課程まで開設しているところがある。大学院修了者のなかでも、修士修了者に対する社会的需要が高いのは自然科学の分野全般の傾向のようである。とくに、近年企業に於いても、教育界にあっても修士課程修了者を即戦力にということで、その需要が高くなっている。

修士課程教育研究科にあっては、修得した専門的知識は教育の場で活用でき、教育のレベル向上という面で大いに活用されることが期待される。従って、教育研究科においては博士課程に準じた教育が望まれる。

他方、理系の修士課程修了者には、就職をする者、進学をする者に分かれるであろう。前者にあっては、古生物学に疎遠になることが多い事と思われる。後者にあっては、博士課程のある別の大学院で再び教育を受ける事になるであろう。従って、理系修士課程にあっては、教育系修士課程では教育の目標が定められるのに対して、担当教官の綿密な講義内容や計画が必ずしも実っているとは言えない点があり、制度的な面からも、十分に吟味をする必要がある。

博士号取得者に対する企業からの受け入れも少なからず増加し、企業関係者の学位取得の意向が増加している処から、大学院教育の中に社会的需要にも応じられるような対策をとるべきである。大学院進学希望者が増加している今日であるが、全ての大学院修了者(学位取得者)が研究者に成り得るとは言えず、大学院修了者は官界・産業界あるいは教育界のそれぞれ適切な業界でも活躍出来る素養を身につけておく事も肝要である。

わが国の大学院(大学)と企業との関係は研究面でも、教育面でも十分な交流や、情報の交換或いは関心が持たれていないのが現状であろう。大学院(大学)の研究先行型を企業にも理解を求め、一層の人的交流や研究交流を進める必要がある。大学院生の研究成果に関しても、関連する企業等の研究者にも積極的に交流を求め、研究成果をコアとして、大学院担当教官側も社会的需要を高める努力はしなければならない。企業からの非常勤講師や、人的導入も積極的にを行う事により、双方の理解を深める効果や交流が促進されるものである。

### (5) 学問的研鑽の奨励と奨学金

近年、大学院生あるいは学位取得者を対象とした日本育英会、学術振興会の各種奨学制度(ODP、PDFなど)が増加し、その恩恵を蒙る院生あるいはオーバードクターが増加し、大学院での研究意欲を促進していることは、喜ばしい事である。日本学術振興会特別研究生の採用は、志向する研究機関への流動が可能であり、その人的或いは研究的交流が促進されて、その効果が挙げらつつあると言える。更に、この制度で、その費用の海外使用が可能になれば、一層の研究効果が挙げられると言える。特に古生物学の分野では、この年齢における国際的研究効果が高いと言える。

日本育英会の奨学金は日本の優秀で研究意欲の旺盛な大学院生に貸与されているが、わが国の将来の発展を担っている有望な若手研究者である事を考えると、外国人留学生と同等に額をあげ、貸与でなく、支給(返済をしないこと)の制度にする事を期待したい。その結果、若い院生さらに後続の学徒への学問的奨励と研鑽への努力を促進出来ると思われる。

平成4年度から実施されたテーチングアシスタント制度の導入も国際性豊かなセンスを身につけると言う事では歓迎されるべきである。

このように若手研究者への受け得る恩恵は多々あり、大学院院生間で、その奨励の意義を十分理解して、研究・教育効果を果たすべき責務を付加する事も考えられよう。

#### <外国人留学生の教育・研究指導体制>

外国人留学生の急増(昭和60年から平成2年の5年間で外国人留学生の平均伸び率は、22.5%で21世紀までに10万人に達すると予想されている)は言葉や文化の違い等、留学の意図と異なった問題で、外国人留学生と日本人大学院生との間で問題が生じてきている。外国人留学生の教育・研究体制について、古生物学の分野でも検討すべき問題が少なくない。勿論、古生物学の研究には、特定の国境がある訳でなく、むしろ、国際的な研究が普通に行われている学問分野であり、国際的交流が必要とされているとも言える。

#### (1) 留学生の教育体制

多くの日本留学を希望している外国人学生は、すでにそれぞれの国で、大学を卒業し、ある程度安定した研究機関や企業で活躍している者である。しかし、先々の仕事の一層の発展や、研究の成果を期待している者でもある。彼らは日本の受け入

れ大学、或いは受け入れ関係教官(もしくは指導教官)と直接もしくは、間接的に面識がある者も、全くない者もいる。従って、入学以前の状況は日本人大学院生と同じとも言える。しかし、入学時の専門的知識は、それぞれの国の教育制度やカリキュラムが日本の大学とは異なり、必ずしも年齢や、就職して活躍しているとはいえ、彼らが日本人院生に比し、優れているとは言い難い。しかし、彼らの、入学後の努力には顕著な面があり、課程修了に向け力を付けていくのは、明瞭である。このような留学生を受け入れた場合に、留学生は日本人院生と同じカリキュラムをこなしているいるが、教育体制については十分検討すべきであろう。

特に学位論文の研究課題については、さらに深刻な問題がある。留学生の中には、自国にたびたび研究の度に出かける事が出来ない国や、資料を持ち出す事が出来ない国もあり、自ずと研究課題が限定される事がある。古生物学では特定のフィールドを持ったり、特定の分類群の為多くのサンプルを必要とする事が多い。このような条件のため、日本国内の生層序の確立や地域地質等に関与した課題を選んだ場合には、日本語論文を理解しなければならず、最も大きな難題に面する事になる。外国人留学生は大学院入学以前に日本語の研修を受け、日本語で講義を受け、大学院に於ける勉学に支障がない状態で入学してくるのであるが、日本語の学術論文を読み、検索し、十分理解する事は困難な事が多い。勿論日本語に関する問題や、研究課題に関する問題は入学以前の問題であるが、教育体制の一貫として、十分考慮されるべき事である。外国人留学生は日本語が生活に必要であることは理解しているが、研究面では英語などで十分やって行けると信じている場合が多いのが現状であろう。受け入れ側としては、古生物学という研究で留学してきているのだから、日本語の問題ではないと言う大きな配慮も必要である。

留学生に対する教育体制の考慮も必要であるが、日本の指導状況も理解させるのも必要である。研究課題によって、直接留学生の国へ指導の為出かける事が必要であっても、外国での校費の使用や旅費の捻出も出来ない事など、摩擦の無いように理解を求めるべきであろう。この点でも、教官の研究費が海外使用が可能になれば、留学生教育は更なる効果が期待されるのである。

日本語の問題が解決されれば、少なくとも国費留学生は大学院における課題研究を全うする事だ

けであろう。国によっては大学院は課程(コース)であるから、講義や実験で所定の単位を修得する事によってほぼ完了し、課題研究(論文)には日本人大学院生とは逆に、淡泊であるかもしれない。日本人、外国人留学生を問わず、大学院教育の確固たる方針を立てていなければならない。勿論私費外国人留学生に関する教育的配慮も、国費留学生と同等であるが、結果的には日本人と同レベルの学位論文を要求する事であろう。特に、私費留学生の場合に問題になるのは、学費が不十分な事があり、私的な問題が大きく、受け入れ教官は私的な問題で学位のレベルを下げない事が大切な使命となろう。

#### (2) 留学生教育の推進(効果)

留学生が専ら留学の目的に添って勉学の完結(学位の修得)を実現できれば、留学生自身はもとより、当該留学生を派遣した研究機関やその国の関係者は安堵し、その後の学术交流や教育交流に期待が持たれこととなり、留学効果は大きく評価されてよからう。

発展途上国からの留学生が多い事から、学位修了後帰国した留学生を中心とした出身国での教育に期待が寄せられ、二次的な教育効果さえ期待される。また、帰国留学生を通じた学術的支援も可能となり、留学生教育の副次的な成果が挙げられる事が期待される。留学生側の問題としては、帰国後の復職に関して大きな問題があるようである。即ち、留学生がわが国の恵まれた研究環境下において留学を全うし、学位を修得していることである。従って、彼らが帰国して、どのようにして職場復帰しているかは、余り知られていないようである。また中には、研究条件によって、留学をして修得した学位と関係の無い職種についているとの事もあるようである。国家的な方針で留学生教育を推進していく上で、留学生の帰国先でのある程度とはいえ、職場復帰あるいは研究環境整備にまで配慮すべきである。国と国、大学と大学や、教官と教官など、どのレベルであっても人的援助や物的援助もまた、留学制度の一貫ではなかろうか。

また、留学中の留学生は若い年齢でもあり、学位取得後の職場復帰が困難な場合には、外国人研究者としての受け入れについての素地作りも必要かも知れない。

#### <社会人再教育の推進>

産業界や教育界ですでに活躍中の社会人が、大学院に再入学し、大学院教育を受け、学位を修得しよ

うとすることは、大いに歓迎されるべきである。勿論、その受け入れ体制やそのカリキュラムは十分検討しておかなければ、それぞれの社会人の研究意欲を満足させられない事が有り得る。社会人の受け入れは、本人の蓄えた研究の基礎資料の総括などであろうが、若い学部卒業の院生の中にあつて、社会人としての経験や専門的な知識を通じて、教育効果を導き出す事が出来ると思われる。大学院で修得した専門的あるいは教育的知識を、再び職場に持ち帰り、大学院(大学)と産業界或いは教育界との学術的或いは教育的交流や人的交流が推進できると大きく期待される。

#### 4-4. 生涯教育と古生物学

地球の変遷・生物の進化を証す基本的資料となる古生物標本(化石)は、古生物学研究者の研究成果であり、証でもある。従って、国際的規則に添って、わが国においても、諸外国同様に、その管理・保管には多くの努力が払われている。古生物標本(化石)は地球の自然史に関する雄大なロマンを広く伝承する事も出来る。従って、地域性や年齢層をこえた、生涯教育の良き教育材料として活用される得ものである。また、同時に地球の自然史文化財として、これを長らく保護し、未来永劫に伝え残すべきものでもある。

近年、県を初め各地方自治団体等において、自然史関係の博物館或いは資料館の設立が相次ぎ、古生物標本類の保管・展示などが進められ、そこでの標本類の研究や管理業務に大学や大学院で古生物学を専攻した多くの学芸員、或いは研究者が任務につき、新たな古生物学の分野を広げつつある事は喜ばしい限りである。わが国における学芸員の研究条件は欧米のそれと比較して良好とは言えないようであるが、自然史を通して多くの人たちへの情報の伝達が可能な最前線にいることは確実であり、生涯教育という観点からはその任務に大きいものがある。そこには年齢や職種に関係なく、古生物の秘めた地球の情報を求め、豊かな地球の歴史を化石を通して知りたい人たちが集まり、その場で通じる会話はまさに生涯教育そのものであろう。特に古生物(化石)が持つ地球環境の情報を通じ地球環境の保全などは、自然史科学教育の教材として果てしなく広がるものと期待される。また、博物館や資料館は、その地域における文化活動の中心的活動が可能な位置づけがなされているところから、古生物に関する生涯教育の中心的活動の場として、大いに期待される場所である。

古生物と環境教育, 古生物による古環境復元と将来予測, 古生物と自然環境の保全, 環境保全の重要性, 古生物学の啓蒙, 古生物と自然観, 古生物に関する社会意識の変遷, 古生物が影響した自然観, 社会・文化史, 科学史の理解など多くの題材がその対象として挙げられる。

近年, 大規模な工場地や宅地の造成, 道路開発等により, 化石採集の条件が厳しくなったり, 多くの化石が破壊されたり, 採集不能な状況が現出している。このように地球の文化的遺産が地球上から消滅していくことは, 非常に遺憾なことである。このような化石が何人たりとも人工的には復元する事のできない地球の文化財であり, 如何に重要であるかを知る機会が持てれば, 何らかの対応がそれぞれの場で取れるであろう。生涯教育にはどの教育機関でも可能であり, どの教科にあっても可能であろう。古生物学の学術的貢献, 化石の重要性については社会的理解や支持を必要とし, それが教育の場で, 適格な教師(出来れば, 大学院教育を修了した教師)によって行われる事を期待したい。このような教育は博物館においても十分行われる事が強く期待される。

この先, 大学院修了者が中等教育の現場で教員あるいは教員指導者として, 古生物学の教育を行う事が多くなることと思われる。しかし, 現状では古生物学の研究分野を含む地学の教員の採用が各県により異なるが, 採用状況がかなり厳しい状況にある。しかし, 古生物学を含む地学の教科をを他分野(例えば物理, 生物)教官の代行的教育では実りのある実践教育(自然史に関する観察や実験を必要とする)の充実とは逆行することであることを, 関係官庁等は正しく認識し, 適格な教員を配置される事を強く願う者である。

さらに, 古生物の情報が多くの人に正しく理解され受け入れられるべく, 適格な啓蒙活動(出版物, ビデオ, テレビ, ラジオ等)は生涯教育的立場から大いに歓迎される。

## 5. 付録

### 5-1. 古生物学関係の学術雑誌6誌における過去5年間の論文内容の傾向

なお, 雑誌の選定においては特定の分野や分類群を扱った専門誌は除いてある。

#### PALAEOBIOLOGY (米国古生物学会機関誌)

分野	1987	1988	1989	1990	1991
系統・進化学	9	13	9	14	6
大量絶滅	6	2	3	2	4
大進化	5	2	1	1	0
機能形態	7	2	2	6	3
タフオノミー	1	4	1	4	2
古生物地理	0	2	0	1	8
成長解析	2	1	3	3	1
形態形成	1	2	3	2	1
個体古生態	1	2	3	1	0
初期発生	0	0	0	2	0
群集古生態	0	0	0	0	1
分子古生物学	0	0	0	1	0

#### LETHAIA

(国際古生物学協会(IPA)機関誌, ノルウェー)

分野	1987	1988	1989	1990	1991
系統分類・進化	5	7	13	10	9
比較解剖	7	3	3	3	2
個体古生態	6	8	5	5	8
群集古生態	3	7	2	4	6
成長解析	2	4	6	2	3
機能形態	3	2	3	5	3
タフオノミー	2	3	4	2	2
形態形成	3	0	0	1	2
分子古生物学	0	0	1	1	2
大量絶滅	0	1	0	1	0
初期発生	1	0	1	0	1

#### HISTORICAL BIOLOGY (英国)

分野	1988	1989	1990	1991	1992
(除最終号)					
系統分類・進化	11	2	7	8	9
大量絶滅	0	6	1	15	1
機能形態	3	3	1	1	2
個体古生態	0	3	3	0	2
群集古生態	0	0	6	0	0
古生物地理	1	1	3	0	0
比較解剖	0	3	1	0	0
初期発生	1	2	0	0	0
タフオノミー	1	1	0	0	1
分子古生物学	2	0	0	0	0

成長解析	0	0	0	0	1	生層序	0	0	0	0	0
形態形成	0	1	0	0	0	古環境	0	0	0	0	1

## PALAEOLOGY (英国古生物学会機関誌)

分野	1987	1988	1989	1990	1991
系統分類・進化	39	45	36	34	39
個体古生態	1	3	1	3	3
機能形態	3	3	2	2	0
比較解剖	1	0	2	3	2
タフオノミー	2	1	1	2	1
成長解析	1	1	1	2	1
生層序	0	1	1	1	2
群集古生態	1	0	0	3	0
分子古生物学	0	0	0	1	2
大量絶滅	1	1	0	0	0
古環境	0	1	1	0	0
古生物地理	1	0	1	0	0
形態形成	0	1	0	0	0

## PALAONTOLOGISCHE ZEITSCHRIFT

(ドイツ古生物学会機関誌)

分野	1987	1988	1989	1990	1991
系統分類・進化	19	17	14	20	16
個体古生態	1	0	1	0	3
機能形態	1	1	1	1	0
比較解剖	0	0	4	1	1
タフオノミー	0	0	0	1	0
成長解析	0	1	3	1	0
群集古生態	0	1	0	0	3
初期発生	0	1	0	3	0

## TPPSJ (日本古生物学会報告紀事)

分野	1987	1988	1989	1990	1991
系統分類・進化	20	18	23	17	17
成長解析	1	1	2	1	1
機能形態	2	1	0	0	0
個体古生態	1	0	1	0	1
群集古生態	0	0	0	1	1
古生物地理	0	0	0	2	0
タフオノミー	1	0	0	1	0