

第 240 回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 後期第四紀の海洋環境と生物生産—海洋と気候変動の変遷—

後期第四紀には、人類の活動なくして自然の働きのみで地球表層環境が大きく変動してきたことが知られている。この自然のみの働きの解明なくして、現代の地球環境問題に対する理解や対策を正しく行うことは不可能である。地球表層環境の中でも温暖化に関係した大気中の温室効果期待の濃度には、生物の働きが重要であるとされている。そこで、この発表会では、基礎生物生産と気候変動に焦点を絞って現在までに得られた成果をまとめ、この分野の古海洋学の研究について将来の方向づけを行った。

後期第四紀における年代測定の課題と問題点

増澤敏行

1970年代後半から、AMSによる ^{14}C や ^{10}Be の測定法が開発された。1980-81年には、加速器質量分析専用の小型タンデム加速器システムが開発された。これがタンデトロンAMS (Model 4130 AC-14 Tandetron Analyzer)であり、名古屋大学にはアイソトープ総合センターに米国のアリゾナ大学に続いて、その2号機が導入された。1982年3月に組み立てが完了し、1985年5月にはクリーンブースを備えた試料調整実験棟が増築され、1987年度から学内共同利用が開始された。1990年6月には、古川総合研究資料館を取り組んだ形で、学内共同利用施設「名古屋大学年代測定資料研究センター」として発足した。1992年1月-3月には、試料交換装置を手動の6試料を装着するものから自動資料交換を可能とする18試料を装着する装置に改造した。名古屋大学のタンデトロンAMSは ^{14}C 測定の専用機として様々な分野の様々な形態の試料に対応する試料調整法の開発を行い、地球科学、農学、地理学、環境科学、歴史学、考古学、人類学など多くの試料の ^{14}C 測定を行ってきており、 ^{14}C 年代測定に対してはNUTAコードを、また、 ^{14}C 濃度測定に対してはNUTEコードを発行している。1994年度末で全積算測定試料数は5,000をこえ、また年間測定試料数は年々増加し、1994年度では800試料に達している。これらの測定及び研究の成果は名古屋大学加速器質量分析計業務報告書として発表されている。

また、AMS ^{14}C 年代測定法の試料調製及び測定法の概要について、 ^{14}C 年代標準系、RADIOCARBON 1993

*平成8年1月18日本所において開催

CALIBRATIONの概要として年輪による補正、海洋試料の補正、TIMSによる ^{230}Th - ^{234}U 法を用いるサンゴ試料による補正、湖成堆積物年層による補正、 $\delta^{18}\text{O}$ のミランコビッチサイクル解析による補正および今後の課題について紹介した。(名古屋大学大気水圏科学研究所)

Keywords: AMS ^{14}C , Late Quaternary, Carbon cycle

最終氷期の基礎生産力—光合成と石灰化—

本多牧生

最終氷期の大气中二酸化炭素濃度($p\text{CO}_2$)の低下は海洋の CO_2 吸収能力が増加したためと考えられている。海洋の CO_2 吸収能力が増加する最大要因としては海洋における基礎生産力の増加が挙げられてきた。その証拠として、低緯度を中心に堆積物中の有機炭素含量、生物起源オパール含有量の増加、浮遊性有孔虫と底棲有孔虫の $\delta^{13}\text{C}$ の差の増加等が報告されている。一方では、Cd/Ca(栄養塩の指標)が変化していない、南極海の珪藻堆積量が多くなっていない、氷期にも好気性底棲有孔虫が生息していた等の否定的観測結果も多く、基礎生産力の増加を定量的に支持する証拠は不十分である。そのため以下に示す最終氷期の炭酸系の変化が着目されている。

(1) CaCO_3 を形成する生物種の衰退、あるいは SiO_2 殻を形成する種の増加。サンゴ礁が大气中 CO_2 の吸収域か、放出域か、あるいは円石藻のブルームは海水中の $p\text{CO}_2$ を増加させるか否か等の議論で明らかのように、生物活動により炭素が海水中から“除去”された場合、その有機炭素/無機炭素比(Co/Ci)が海水中の $p\text{CO}_2$ の変化を決定する。最終氷期には、陸起源物質の供給により海洋へ SiO_2 が供給され、 CaCO_3 を作らない生物種の

基礎生産力が増加したというシナリオが提案されている。南太平洋では氷期に Co/Ci 比が増加していたことが観測されている。また海洋表層での CaCO_3 の形成が現在の 40% ほど低下すれば、大気中の二酸化炭素濃度は約 90 ppm 低下するという試算結果もある。

(2) CaCO_3 の溶解によるアルカリ度の増加、深層水の湧昇や陸起源物質の供給が活発になり、基礎生産力、および沈降粒子束が増加した。また大西洋では炭酸イオン濃度の低い南極底層水が赤道域付近まで北上した。これらの結果、海底堆積物中の炭酸カルシウムが溶解し、このアルカリ度が増加した水が湧昇したというシナリオで、多くの数値シミュレーションがこのシナリオを支持している。堆積物中の有孔虫の種組成比の観測結果から、東部大西洋赤道域や西部太平洋赤道域で CaCO_3 の溶解が活発であったことが報告されている。逆に北東部太平洋では氷期には CaCO_3 の堆積量が多くなっているという報告例がある。これは、 CaCO_3 形成の増加・太平洋深層水 (NPDW) の形成による CaCO_3 の保存性の向上等により引き起こされた結果と推察されるが、いずれにせよ同海域では氷期には大気中 CO_2 吸収がよく行われていなかったことを裏付けている。

(海洋科学技術センター-深海研究部)

Keywords : Glacial, Interglacial, Carbonate, Organic carbon, Partial pressure of CO_2

バイオマーカーによる古海洋環境の復元

河村公隆

特定の生物種や生物群が特徴的に生合成する有機化合物、バイオマーカーが近年、古環境の指標として応用されつつある。筆者らは中央太平洋に分布する深海底堆積物表層 23 サンプルを分析して、数多くのバイオマーカーの深海底表層での分布を明らかにし、さらに西赤道太平洋カロリン海盆で得られた深海底コアについて分析を行って、過去 2 万年間の古環境をバイオマーカーを用いて復元することを試みた。炭素数 25-36 のアルカンなどの陸上高等植物のバイオマーカーは北半球高緯度域で相対的に高い濃度を示し、これらが極域へ長距離大気輸送されていることが示唆された。また偏西風帯と貿易風帯の堆積物に含まれる陸起源バイオマーカーの組成が大きく異なることから、バイオマーカーの組成から起源域を推定できることも明らかにした。深海底コアの分析結果は、陸起源およびプランクトン起源のバイオマーカー

両者が最終氷期において相対的に高い濃度を示し、最終氷期において大気輸送力が強化され、また海洋表層での生物生産が増加したことを明らかにした。ココリスのバイオマーカーである長鎖不飽和アルケノンの不飽和度から求めた過去 2 万年の表層水温は、氷期も現在と同様に 30 度近い高い水温であったことを示し、CLIMAP の結果を支持した。また、堆積物中のアルケノン量が窒素同位体比と逆相関にあることを見出し、アルケノン生産量が表層水中におけるココリスの栄養状態に支配されていることも示唆した。

(東京都立大学理学部、現在北海道大学低温科学研究所)

Keywords : Organic matter, Biomarker, Glacial, Paleoceanography

堆積有機物の炭素・窒素安定同位体比による古海洋解析

中塚 武

有機物の炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) は、90 年代になって、多くの外洋堆積物コアの中で測定され、過去の海洋表層の生物地球化学的環境を復元することのできる指標として、新たな地位を確立しつつある。 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、古くは、60 年代から、沿岸や湖沼堆積物コアの中で測定され、当初「水温の指標」と考えられた時期があったが、その後、沿岸・湖沼への陸起源有機物の寄与が大きいたことが指摘され、80 年代には、海洋の堆積有機物の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 値は、「低い $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 値」の陸起源有機物と、「高い $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 値」の海起源有機物の、2 ソース間での「単純混合」で説明されるようになった。しかし、90 年代に入ると、陸上植物の CO_2 取り込み時の同位体分別モデルをまねた、植物プランクトンの同位体分別モデルが提唱され、地球環境問題への関心とも相まって、外洋堆積物コアの $\delta^{13}\text{C}$ 値の変化を「表面水の溶存 CO_2 濃度」の変遷と関連づける考え方が広まった。近年では、更に、植物プランクトンの培養実験等の基礎研究が進み、外洋有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値が、単に溶存 CO_2 濃度だけでなく、植物プランクトンの成長速度のような生物学的要因によっても変化することが、明らかにされつつある。この間、有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値を堆積物バルクではなく、特定植物プランクトンのバイオマーカーの様な、分子レベルで測定する研究も進み、有機物のソースの変化や、分解による同位体分別の効果を排除して、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の情報を古海洋の表層水環境の情報として、純粋に取り出

すためのとりくみも進んでいる。一方、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の方は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と比べて、堆積物コアへの応用が遅れていたが、80年代後半になると、「セジメントトラップで採取された沈降粒子の $\delta^{15}\text{N}$ 値の時系列変動が、表層水の栄養塩環境の季節変化を反映している」との観測例が増加し、その知見を外洋堆積物コアの解析に応用する研究が、90年代になって始まった。現在、堆積物コア中の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動を用いて、高緯度海域における表層水での栄養塩利用効率の変化や、貧酸素中層水における脱窒強度の変遷を復元する取り組みが進みつつある。赤道海域における堆積物 $\delta^{15}\text{N}$ 値の時空間分布の解析では、この $\delta^{15}\text{N}$ 値という指標が、過去の複雑な赤道海流系のパターンの変化を、鋭敏に記録しうる、他の古海洋指標にはない特徴を持ったものであることも明らかとなった。

(名古屋大学大気水圏科学研究所)

Keywords : Organic matter, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, Sediments

数百年-数千年スケールの急激な気候変動 (Dansgaard-Oeschger Cycle) に対する 地球システムの応答

多田隆治

1990年代はじめに、グリーンランド中央部においてGRIPおよびGISPIIによって掘削されたアイスコアの解析により、最終氷期において数百年-数千年のタイムスケールで繰り返される突然かつ急激な気候変動(Dansgaard-Oeschger Cycleと呼ばれる)の存在が、広く認識されるようになった。D-O Cycleは、グリーンランド氷床の酸素同位体比の変動として最も顕著に表現され、それはわずかに数十年の内に起る 10°C におよぶ気温変化を反映していると言われる。この変化が、グローバルな変動であるのか? どのような原因で生じ、どのようなメカニズムで伝播されたのか? 間氷期においてもこのような変動は起り得るのか? といった点に、現在、研究の興味が集まっている。また、こうしたグリーンランド氷床コアの解析と並行して、北大西洋において堆積記録解析が行なわれ、ローレントイド氷床をはじめとする北半球氷床が、D-O Cycleに対応して、ほぼ同時に崩壊を繰返し、Ice-rafted debrisを堆積させたことが明らかにされた。こうした氷床の崩壊は、D-O Cycleの寒冷化ステージの最終段階で起り、D-O Cycleを特徴付ける急激な温暖化に先立っている。また、北大西洋深層水は、D-O Cycleに連動した表層水温の低下に伴って弱まったらし

い。

一方、最近になって、カリフォルニア沖、日本海、インド洋などから次々にD-O Cycleのシグナルが報告され、また、南極の氷床記録からも、不明瞭ながらD-O Cycleの痕跡が報告され、D-O Cycleがグローバルな現象である可能性が高まった。このうち、カリフォルニア沖では、D-O Cycleに対応して中層水の起源が変化した可能性が指摘されている。また、日本海、インド洋における結果は、D-O Cycleに対応した、大気循環の変化の可能性を示唆している。また、氷床崩壊に伴う海水準変動が、D-O Cycleの伝播に拘わっている可能性も指摘された。この様に、D-O Cycleは、地球表層システムを構成する様々なサブシステムの相互作用を伴っている。今後、これらサブシステムのうちのどこから変動が始まり、どの様に伝播して行ったかを解明し、D-O Cycleを引き起こす究極の駆動力の実体を明らかにする必要がある。

(東京大学理学部)

Keywords : Climatic change, Earth surface system, Dansgaard-Oeschger Cycle

ミランコビッチ変動と気候変動

増田耕一

地球表層は、太陽光を高温熱源、宇宙空間を低温熱源とする熱機関ととらえることができる。地球上に到達する太陽エネルギーの変動の原因としては、太陽から出るエネルギー量の変動、太陽と地球との幾何学的位置関係の変動、太陽と地球の間で電磁波に影響を与える惑星間物質の変動がありうるが、このうち位置関係の変動だけが、天体力学的手法によりほぼ決定論的に過去にさかのぼって知ることができる。

地球上の太陽エネルギーの緯度・季節分布を変化させるのは、「軌道要素」と言われる、地球の公転軌道の離心率、地軸の傾き、近日点の季節である。この第2、第3のものは、地球の公転軌道と自転のパラメータの組み合わせであり、氷床と海洋の間の質量移動から地球の自転へのフィードバックがありうるが、第四紀の範囲で考えるときは一方向の外力と考えてもさしつかえないだろう。

離心率は約10万年および40万年の周期で変動し、全球平均・年平均の日射量に影響するが、その振幅は全日射量の千分の一の桁にすぎない。地軸の傾きは約4万年の周期で変動し、年平均の緯度別の日射量に影響する。近日点の季節は約2万年の周期で変動し、季節別・緯度

別の日射量に影響する。

第四紀の地球環境にはいくつかの周期性が知られている。最近の百万年間は 10 万年周期の水期サイクルが目立つのに対して、その前の百万年間はむしろ 4 万年周期が主である。最近の水期サイクルについてみると、水の量・海水準と、大気中の二酸化炭素やメタンの濃度、高緯度の気温の指標などが、巨視的には同位相で変動している。

SPECMAP (Imbrie ほか) でまとめられたように、海底堆積物の古気候指標の時系列をパワースペクトル・クロススペクトルやデジタルフィルタの方法で周期成分に分けると、第四紀の前半・後半のいずれの時期についても、約 2 万年および約 4 万年の周期成分があり、それは軌道要素の時系列とコヒーレントである (適当な位相差を仮定すれば相関がよい)。地球表層環境の変動のうち、この 2 つの周期帯の変動は、日射量に対する線形的応答とみなせるようである。

第四紀後半の 10 万年周期が日射量への応答であるとすると、非線形システムが介在することを考えなければならぬ。大陸氷床の数値モデルの実験 (阿部彩子氏によるもの、及びそれ以前の研究例) によれば、ある境界条件のもとでは、2 万年周期の外部条件の変動に対して氷床は 10 万年程度の不規則な振動を起こすことがある。氷床の高さと表面質量収支の関係、及び氷床の基盤となる地殻・上部マントルの変形が、非線形効果を作り出しているようである。

なお、多くの非線形システムに見られる性質であるが、比較的線形に近い条件では、入力の変動の倍の振動が出現することが多く、さらに非線形が強くなると不規則になってゆく。第四紀前半の 4 万年周期は、季節ごとの日射量の 2 万年周期を入力とした大陸氷床の倍周期応答である可能性がある。一方、温度の年変化をならす動きをする海洋表層が主役であるとすれば、緯度ごとの年平均日射量の 4 万年周期に対する線形的応答である可能性もあるかもしれない。(東京都立大学理学部)

Keywords : Quaternary, Climatic change, SPECMAP, Milankovich cycle

実験古生物学的手法による古海洋環境指標の確立

北里 洋

有孔虫の古生物学は、進化・系統を検討する場合でも、地球環境の変遷を理解する目的でも、地層から産出

する有孔虫化石を記載し、分類することから始まる。有孔虫の分類は殻に現れた形態的特徴に基づいて行われる。したがって、有孔虫の殻の形態及び構造は詳細に研究されている。しかし、注意深く殻形態を観察し、記載しても、有孔虫の殻に現れた形質が、遺伝的なものなのか、生態的に変化する形質であるのかを判断することは難しい。私たちは、有孔虫の殻形態が示す意味を理解する目的で、いくつかの環境要素を制御した飼育実験を行って、環境とともに変化する形質がなんであるのかを評価している。また、遺伝的な性質を理解するために、交配実験と核の ribosomal DNA 塩基配列による系統関係の検討を行っている。ここでは、主に飼育実験によって分かったことをまとめる。

飼育は成長の早い浅海種を用い、水温・塩分・溶存酸素量・光・餌を制御して行った。実験に用いた固体群は、遺伝的に均一なクローンを使うように心掛けたが、なかなか無性生殖しない種類については、同一産地で同一時期に採集したものを用いた。水温は成長速度と相関する。特に初期の成長速度は飼育水温・塩分によって大きく異なった。溶存酸素量を変化させると、成長速度が変化するとともに、房室のふくらみと壁孔の密度に変異が現れる。光は、藻類を共生させていない多くの有孔虫に直接には影響を与えない。しかし、多くの有孔虫類は藻類を餌としているために、光の欠如は餌不足として影響がでる。すなわち、成長が遅れるか停止する。餌は成長に関係する。有孔虫の種類によって餌に対する嗜好はかなりあるが、同一種類で、違った餌をやることによって形態に影響が現れることは少ない。

(静岡大学理学部地球科学教室)

Keywords : Paleoceanography, Cultivation, Benthic foraminifera

外洋域の堆積粒子

川幡穂高

外洋域で堆積した物質は、主に沈降粒子を経て現在の状態になったと考えられている。例えば、太陽光が透過する範囲である有光層内で生物が生産した有機物が鉛直方向に輸送されるのは言うまでもないことであるが、風送塵についてもこれらの生物に取り込まれることにより、表層から急速に深海に輸送されることが確認されている。古海洋学で扱う試料は通常堆積物あるいは堆積岩であるから、これから引き出される情報を解析するため

には、沈降粒子の性質を知ることがその解析精度をあげる上でも重要となってくる。

全海洋特に外洋域からの結果をまとめた。最大値は $120 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、最小値は $0.37 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ で、両方とも南極海で観測されている。太平洋では、東経 175 度線上では、赤道域で $15 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、北緯 8 度で $5.8 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、北緯 30 度で $17.3 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、北緯 37.5 度で $34.5 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、北緯 46 度で $75.8 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、となっている。これは、基礎生物生産力の変化と調和的である。基礎生物生産力が高い高緯度地方では高い全粒子束が観察されている。

粒子状物質の起源は大きく分けると 4 つに分類できる：A) 生物起源物質、B) 陸源物質、C) 海成起源物質、D) 宇宙起源物質。この中で、C と D の量は一般に少ないので、A と B が重要である。そこで、沈降粒子の性質を把握するために、通常は、有機炭素成分、炭酸塩成分、生物起源オパール、石質成分に分類される。

高生物生産地域で炭酸カルシウム粒子束が飽和する傾向は、堆積物中の有孔虫と有機炭素から推定した基礎生物生産力の記録にも現われている。有機物と有孔虫を用いた変換式 187-6-27 を用いて計算した 2 つの基礎生物生産力の変動傾向は比較的よいが、有孔虫の変換式を用いた場合には、絶対値が小さくなる傾向がある。セジメント・トラップ観測の項でも述べたように有孔虫の生産は中-高基礎生物生産力では飽和してしまい、基礎生物生産力が増えても、有孔虫の生産はそれほど増加しない。そこで、有孔虫を用いた物生産力の推定は、より低い基礎生物生産力の地域の方が信頼が得られやすい傾向がありそうである。

(海洋地質部)

Keywords : Sinking particles, Carbon cycle, Primary productivity

海洋環境と生物生産性の変動

高橋孝三

海洋表層付近で生産される殻を持ったプランクトンは、やがて沈降し、その一部は堆積物中で微化石となって保存される。古環境復元に、地球環境の幾多のシグナルを含んだ微化石が重要なことは周知の通りである。今日、問題は、プランクトン殻がどのような生産・沈降・堆積過程を経て微化石として保存されていくのか良くわかっていない。海底堆積物中の化石の保存量は、炭酸塩または珪酸塩のどちらかにより、保存の度合いが環境条件

により著しく異なるが、例えば珪酸塩の場合、海洋有光層での生産量のわずか 1% 程度が最終的に保存されて化石となる。また、この 1% 程度の化石が一体どの季節や温度、あるいは栄養塩や太陽光の変化を示すものなのか、一連の化石化のデータが必要である。CLIMAP 等の一連のプロジェクトで変換関数法による古環境の復元が成功裡になされてきた。しかしながら、ここでは表層海水温度と保存化石との関連を数学的に解いただけのもので、化石化の過程を普遍的に理解した訳ではないことに基本的問題が残されている。

このような観点から、沈降有殻プランクトンを深海で捕捉し、放散虫、珪藻、浮遊性有孔虫、円石類、などの鉛直フラックスを実測し、沈降プロセスの詳細を理解することが切望される。幸いにも、現代の海洋科学技術は、セディメント・トラップという機器による時系列試料の収集を可能にした。ここでは、北太平洋亜寒帯海域ならびに縁辺海のベーリング海において計測された生物源粒子フラックスとその沈降過程について述べてみたい。

米国ウッズホール海洋研究所 Dr. Susumu Honjo 及びカナダ海洋研究所 Dr. C. S. Wong のリーダーシップにより、1982 年 9 月から 1986 年 8 月までの 4 年間北太平洋亜寒帯東部アラスカ湾のステーション PAPA (50° N , 145° W , 水深 4,200 m) において全自動時系列セディメント・トラップの繫留実験(トラップ水深: 1,000 m, 3,800 m)が行われた。この繫留実験の試料解像度は 2 週間であり、沈降フラックスの高解像データが得られた。ここでは、珪質プランクトン、すなわち放散虫、珪藻、及び珪質鞭毛藻のフラックス・プロセスの詳細が理解できた。珪酸塩フラックス全量のうち、年間を通して珪藻の優占的重要性もさることながら、ある季節に関しては(特に晩春)放散虫の台頭に注目すべきである。またこの地点より 350 km 東に離れたステーション C (49.5° N , 138° W , 水深 3,900 m; トラップ水深: 3,500 m) でも 1985 年より 1 年間のフラックス測定が行われた。このアラスカ湾の両定点では、上記の 3 群集の解析からは、フラックス組成は全く同一であった。しかし、フラックス値には約 2 倍の差があり、生物生産性が大きく異なることが判明した。また、亜寒帯中部には、高橋・米田らによる日米共同研究の一端として、この海域を代表する外洋定点としてステーション SA (Subarctic Pacific: 49° N , 174° W , 水深 5,400 m: 1990 年 8 月より) が、また、ベーリング海アリューシャン海盆 (Aleutian Basin) には、亜寒帯における縁辺海としては最初の長期ステーション AB (53.5° N , 177° W , 水深 3,800 m: 1990 年 8 月より) が設置されている。この両ステーションでは、現

在も時系列セディメント・トラップを使用した海底から 600 m 直上での沈降粒子フラックス計測実験が継続中である。両ステーションでのフラックス組成とその季節・年変動の対比を行うことは、縁辺海と外洋域の生物生産性の差を比較することにほかならない。一般にステーション AB のほうが、ステーション SA に比べ生物源粒子は約 2 倍ほど高く、限られた固有種（例えば珪藻 *Chaetoceros* 休眠孢子）も見い出された。このステーション AB の高生産性は、主に珪質プランクトンが起因しており、円石藻フラックスは両ステーションで似たようなレベルを示した。本発表では、亜寒帯東部と中部の外洋域での放散虫、珪藻、円石類などの鉛直フラックスの季節・年変動を地理的な観点より総括する。また、それらの時系列変動を縁辺海のベリング海のそれと比較して、気候変動に対するレスポンスの差異を討論したい。

(北海道東海大学)

Keywords : Sinking particles, Fossilization process, Siliceous marine plankton

有孔虫にもとづく古環境解析—現状と展望—

長谷川四郎

多変量解析の技法を用いた浮遊性有孔虫群集の解析は因子分析によるバリマックス群集の認定と温度変換関数の構築によって、最終氷期最寒期における海洋の表層水温分布を明らかにし、古気候図を作成するまでに至った (CLIMAP)、その後、地域性の高い群集への応用やさらに過去に遡る試みなどが行われてきた。しかし最近に至って、uk 37 から求められる古水温との相違が明らかになり、有孔虫殻の溶解による群集組成の変質が問題点として指摘された。

これとは別に、これまでに蓄積されてきた浮遊性有孔虫の生態に関する知識やセディメント・トラップの研究を通じて、種による生息水深の差異や生存量の季節変化、湧昇流地域における温度躍層の季節変動との関連性などが明らかになってきた。これらの成果は、一つの遺骸群集に含まれる有孔虫種が示す古環境（この場合の水

温）が種によって異なる季節あるいは異なる水深のものであることを示している。変換関数を用いるうえで、今後はこれらの変動要素や殻の保存状態の評価を取り入れることが必要である。

プランクトンでは海洋の水塊分布に対応して広範囲に分布することがよく知られているが、ベントスである底生有孔虫についても底層水塊との関連性が考えられる。現生底生有孔虫群集についての因子分析の結果はこのことをよく示しており、とくに深層および底層水塊との対応関係が明らかにされている。また、富山湾では底生有孔虫種群の生息水深が成層構造をなす水塊の深度分布とはほぼ一致することが明らかになった。

一方、底生有孔虫化石群集に多変量解析を用いた研究例は少なくないが、その数学的な結論である各因子（あるいは主成分）に生態・生息環境・生物地理などの生物学的な解釈を与える段階で行き詰まっている例が多いように思える。解析の対象地域が幾つかの異なる水塊の分布範囲にわたる場合は異なる水塊間で群集間の相違も大きいのに対し、各水塊の分布範囲内は安定した環境下にあることから、群集間の共通性が高くなる。これはいわば第 1 段階の古環境解析で、広域に分布する水塊と群集の対応関係が明瞭に認められる。一方、対象地域が狭く群集の変異が小さい場合、単一の水塊内でのより細かな環境変異を捉えることになる。これは第 2 ないしさらに高いレベルの古環境解析にあたるが、実際には各因子（あるいは主成分）が示唆する環境要因の追求には困難な場合が多い。それは個々の種の生息を限定する環境因子が必ずしも判明してないためである。底生有孔虫の生態は飼育実験や自然観察を通じて、徐々に明らかにされてきている。生活様式や生活場に特有の形態的特徴や、貧酸素環境など特定の環境に適応する形質、環境汚染に伴う奇形などの発現などが知られており、今後もこれらの観察を通じて、形態の種内変異や群集あるいは種の入れ替わりと環境の変化との関連性など微小環境の理解を深めて、化石種へも応用しうる生態学的知識の蓄積が必要である。

(北海道大学地球環境科学研究科)

Keywords : Planktonic foraminifera, Benthic foraminifera, Paleoceanography