

古環境を記録する微小甲殻類—貝形虫—

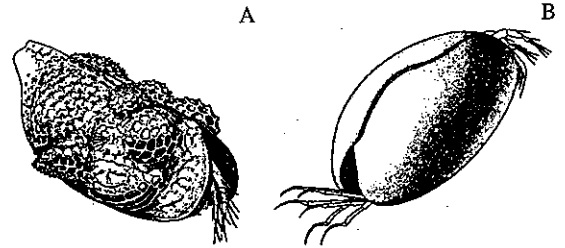
山田 桂¹⁾

1. はじめに

従来、古水深や底層環境の復元には底生有孔虫が多く用いられてきた。それは様々な環境の堆積物から産出するうえ、古海洋研究の中心である深海海底コア試料の大部分に含まれるからである。これに対し、最近数十年間で貝形虫の名前は古海洋分野の研究者に知られるようになったものの、その生態や分布など、古環境解析についての知識を持っている人は少ない。第四紀研究において、高分解能かつ高精度な解析が求められるようになり、産出だけではなく、限定された環境情報を持つ生物が必要とされるようになってきた。ここで紹介する貝形虫は、化石として多産する上、様々な環境下に適応したそれぞれ異なる群集が存在しており、特に浅海域において非常に有効な古環境指標となる。浅海性堆積物は地域的な古環境変動だけでなく、グローバルな変動も記録しており、古海洋変化を解明するために非常に重要である。その他、幼生期においても浮遊性生活をしないという貝形虫の特性は、古地理の変遷を究明する重要な鍵となる。また殻表面の装飾が遺伝的に獲得されたことを利用した形態解析や、DNAによる系統関係の解明など、生物学的アプローチも可能である。古海洋研究の関心が深海底から中層～浅海域へも広がる現在、貝形虫を用いてどのような古環境解析がどの程度可能であるのか、研究例を挙げて紹介したい。

2. 生物学的特徴

貝形虫亜綱(Ostracoda)は、分類学上は節足動物門、甲殻亜門、大顎綱に属し、5つの目からなる。



第1図 2枚の殻の間から付属肢を出して歩いている貝形虫の様子(Benson, 1981より)。A: Bythoceratid, B: Macrocyprid.

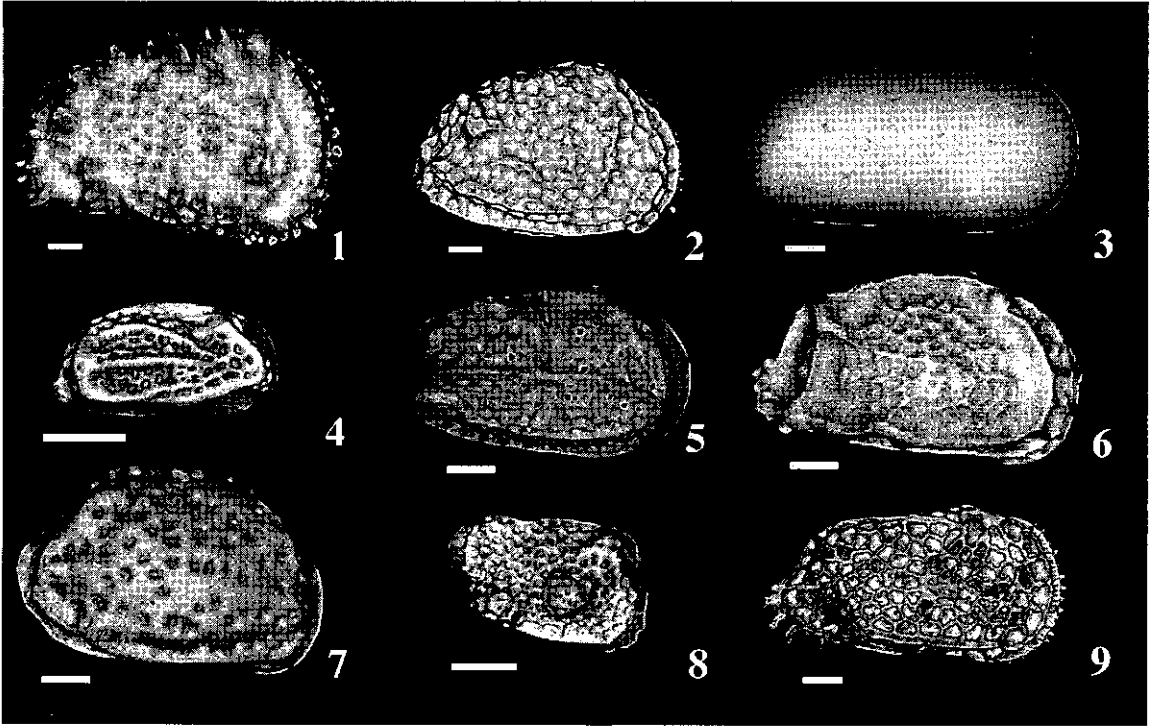
一般に左右非対称の2枚の石灰質殻(背甲)が動物体を包み込んでおり(第1図)、動物体は7対の付属肢を持つ。左右の石灰質殻は背縁にある蝶番(hinge)で合わさり、閉殻筋によって開閉される。大きさはほとんどが1mm以下だが、中には3cm以上の種もある。

貝形虫は雌雄異体で、一般には有性生殖を行うが、淡水域などに生息する種には単為生殖によって発生する種もある。種によって異なるが4-9回の脱皮を繰り返して成長し、成体までの期間はおおよそ20-80日である。脱皮時に新しい殻を作る時間は数時間から長くて数日で、脱皮ごとに殻の大きさは約1.2倍になる。成熟の1~2段階前の幼体(A-1, A-2)で雌雄の殻形態の区別が可能になり、成体はその差が明瞭になる(一般に雄の殻は細長く、雌の殻は丸い)。したがって、貝形虫の個体は左右の殻、雌雄、各成長段階を区別して認識しなければならない。

貝形虫は深海、浅海から汽水域、および陸水域まであらゆる水域に生息する。あまり知られていないが、水田で勢よく動き回っている微小動物は貝形虫であることが多い。貝形虫の多くは底生で、内生、遊泳性や葉上生活をする種なども存在す

1) 筑波大学 地球科学研究科:
〒305-8571 つくば市天王台1-1-1

キーワード: 貝形虫, 古環境, 高分解能, 化学分析, 鮮新-更新世

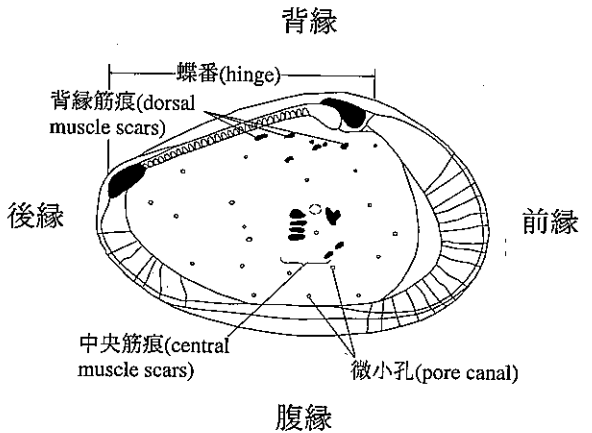


第2図 貝形虫化石殻の外側の走査型電子顕微鏡写真。スケールバーは100 μ m、全て右殻で腹縁が下側である。1: *Acanthocythereis dunelmensis*, 2: *Robertsonites* sp., 3: *Krithe antisawanense*, 4: *Swainocythere* sp., 5: *Paijenborchella tsurugasakensis*, 6: *Hemicythere kitanipponica*, 7: *Cythere hanaii*, 8: *Typhlocythere* sp., 9: *Cletocythereis* sp.

る。遊泳性の代表的な種は、発行する光で一般にもよく知られているウミホタル (*Vargula hilgendorffii*) で、貝形虫の仲間である。藻類、小動物や腐敗した動植物片などを餌とし、雑食性である。

化石として堆積物中に保存されるのは、多くの場合石灰質殻であり、動物体が残るのはごく稀である。殻表面には複雑な装飾が見られ(第2図)、これまでの研究からそれらは動物体の形態・生理的特徴を反映した構造であることが分かっている。殻の内側には、蝶番 (hinge) や筋肉痕 (muscle scars) など分類学的に重要な形質を多く保持している(第3図)。殻表面および内側の形質は遺伝的に受け継がれたものと環境変化によって獲得した生態的形質があり、注意が必要である。

最も古くはカンブリア紀の地層から産出し、日本では岐阜県に分布するオルドビス紀の地層から、日本最古の化石として貝形虫化石が報告されている。貝形虫にとって最も大きな変化は古生代と中生代の間に起き、動物群の転換があった。その後は大きな変化はなく、特に中新世以降はほぼ共通



第3図 貝形虫の左殻内側の構造 (Van Morkhoven, 1962より)。

した分類群で構成されている。このため現在最も繁栄しているグループは、中生代にその地位を獲得し現在に至っている。化石・現生種を合わせると10万種に達すると言われ、日本周辺では約500種が報告されている。

3. 環境指標としての使用法

環境指標としての貝形虫化石の使用法は、2つに大別される。一つは種あるいは属などの群集組成を用いる生物学的方法で、もう一つは炭酸カルシウムの殻を材料とした化学的方法である。

(1) 生物学的手法

現在の生息環境などの情報に基づき、古環境を推測する方法である。主に古水深、湾域(湾奥・湾中央部・湾口部)や外洋などの生息環境、古水温などの指標として用いることができる。

現在の海域では、一般には水深の増加に伴い個体数・種数ともに減少する。そのため、古環境解析に使用する場合、最も有効なのは陸棚以浅の浅海性堆積物で、底生有孔虫以上に高分解能で古水深や堆積環境を復元することも可能である。現在の日本海では水塊に対応して貝形虫群集が異なり、金沢沖では群集は大きく水深18-29m, 48-75m, 101-151m, 178m以深に分けられる(Tsukawaki *et al.*, 1998)。日本で最も研究が進んでいるのは内湾域であり、詳細な分布と環境との対応関係が明らかにされている。内湾域では個体数は多いものの、種数は極端に減少する。現在の日本周辺の湾域は、*Bicornucythere bisanensis*, *Cytheromorpha acupunctata*, *Spinileberis quadriaculeata*の3種によって占められている。これらの種は、内湾域の中でも環境条件によってそれぞれ優占順位が異なり、最も優占する水深、塩分、底質の条件が明らかにされている(池谷・塩崎, 1993)。特に水深と関連しており、それぞれ水深5-10m, 2-3m, 2-7mで最も優占する。完新世のボーリングコア試料からは貝形虫化石が多産することが多く、大阪湾のコア試料から得られた貝形虫化石群は上記の3種を含む。現世データから復元された当時の最大古水深は約33mで、層準ごとに非常に高精度で古水深を復元した研究もある(Irizuki *et al.*, 2001)。

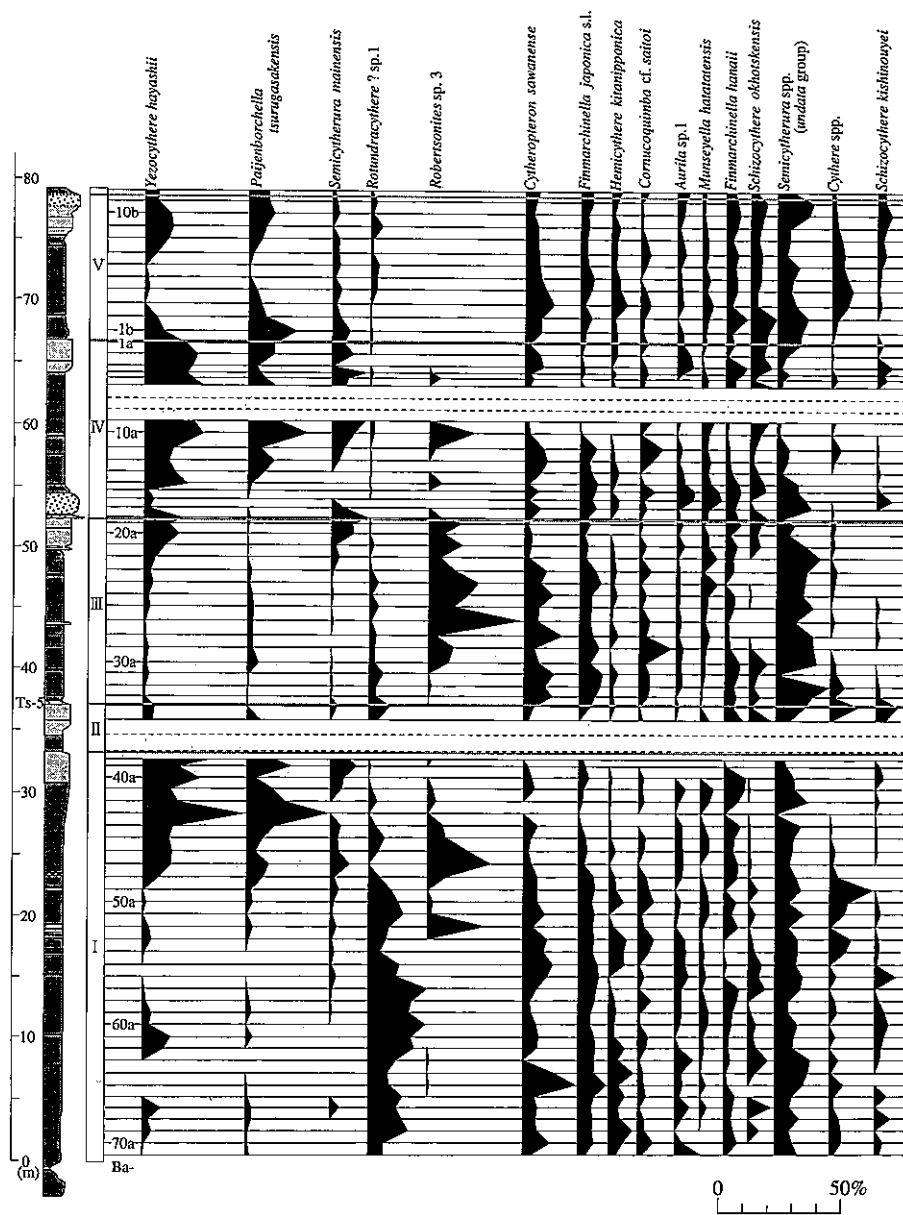
しかしこのような高分解能な研究は依然少なく、群集を用いた復元は、特に古水温に関しては相対的な議論がほとんどである。現生アナログ法はこの問題を解決し、古水深や古水温を数値で復元することができる方法の一つである。現生アナログ法とは、日本周辺の海流系、水深、地形の異なる様々な海域から集められた群集データを基に、化

石群集がそれらのどの場所と最も類似しているかをSCD値と呼ばれる相関係数を用いて判断し、化石群集が堆積した当時の夏と冬の水温および水深を数値として示す方法である(Ikeya and Cronin, 1993; 池谷・山口, 1993)。優占種が現生種で占められる場合、このような解析法が可能であり、日本の鮮新・更新統ではこの方法により古水温と古水深が復元されている(例えば, Ikeya and Cronin, 1993)。しかしながら、古日本海や中新統のように、絶滅種が高い割合を占める場合には、このような方法を使用するのが困難なことが多い(Yamada *et al.*, in press)。

(2) 化学的手法

貝形虫そのものを材料として、殻に含まれる微量元素や安定同位体から古環境を復元する方法である。ここでは主にMg/Ca, Sr/Caについて述べる。

現在海外の研究者たちが盛んに行っている研究の一つに、湖沼生貝形虫の殻の安定同位体測定および化学分析がある。現生標本の研究については採取や飼育が容易であること、化石の研究に関しては高密度で古環境を解析できるという点で、貝形虫は湖沼における研究では特にその威力を発揮することができる。しかし、淡水は炭酸カルシウムに不飽和なため殻中の石灰質分が少なく、化石として保存されにくいという弱点もある。これまでの飼育実験や現生標本の分析などから、貝形虫殻中のMg/Caは水温と相関があると言われてきた(例えば, Chivas *et al.*, 1993)。さらに、現生貝形虫殻を用いて作成された分配係数に基づき、古水温の復元が様々な水域・時代で行われている(例えば, Dwyer *et al.*, 1995)。しかし、多くの条件下で飼育実験が行われるにつれて、Mg/Caが極端に低い(<1)あるいは高い母水中で飼育された貝形虫殻のMg/Caは、通常海水レベルのMg/Caの母水中で飼育された貝形虫とは異なる分配係数を示した(Wansard *et al.*, 1998)。また低温条件下では殻のMg/Caは異なった分配係数を示すという報告もされた(De Deckker *et al.*, 1999)。Sr/Caに関しては、当初塩分の指標になると言われていたが、後の研究の多くは殻のSr/Caと塩分の間に相関関係はないという結論に達している。しかし、海洋において低温の場合は殻のSr/Caは水温と良い相関を

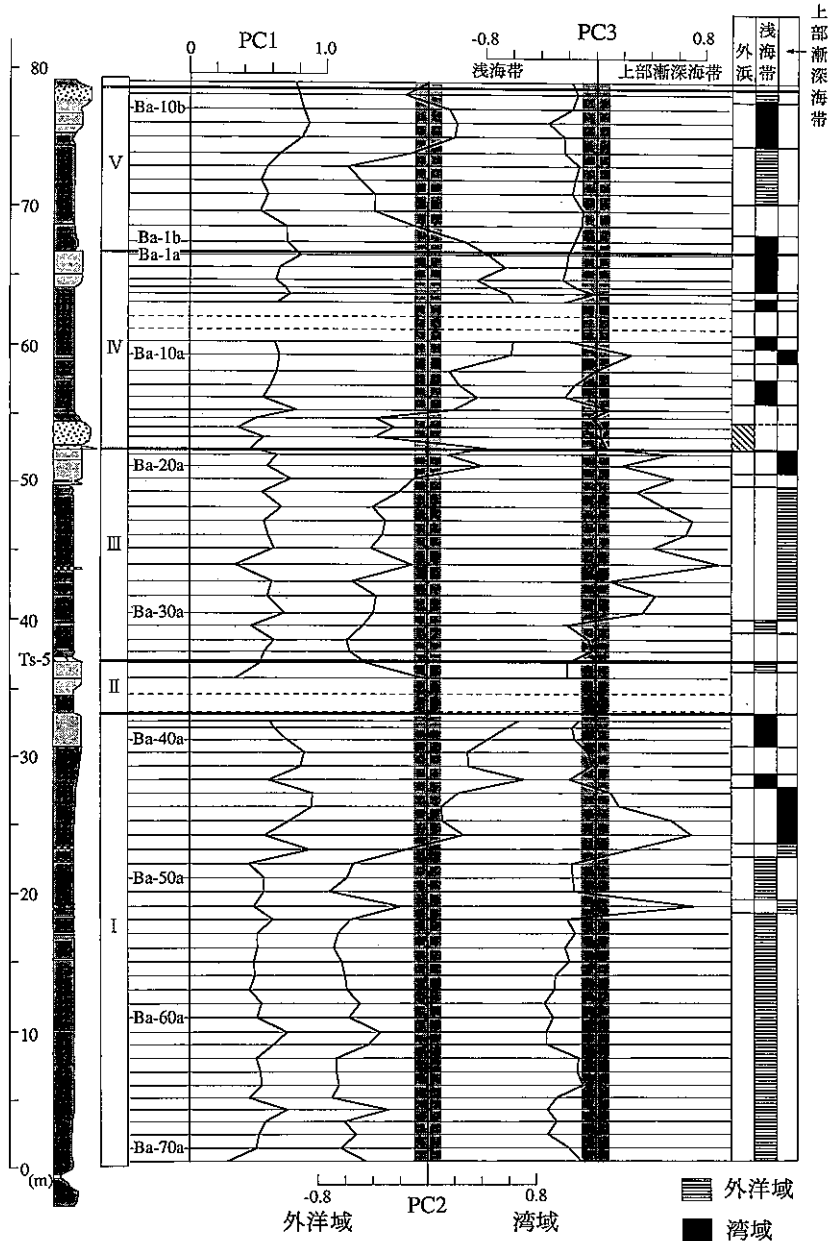


第4図
 笹岡層における優
 占種となる貝形虫
 化石の相対頻度変
 化 (Yamada et al.,
 in pressより). I~
 Vは堆積相に基づ
 き区分されたユニ
 ットを示す.

示す、また湖においては例外的に塩分の指標となるという結論なども導かれており (De Deckker et al., 1999), Sr/Caが古環境の指標となりうるかについては今後も検討が必要である。殻のMg/Ca, Sr/Caを用いた古環境復元は、徐々にそのメカニズムが解明されてきており、Mg/Caがほとんど変化しない海洋においては、貝形虫殻のMg/Caが水温の指標となりうるというのは広く認められている。

古水温を復元する分配係数は属ごとに異なる (例えば、Chivas et al., 1983) ため、別の海域で分

配係数が明らかになっている属を用いて、水温を復元することができる。海洋の古水温復元に最も頻繁に用いられる貝形虫は *Krithe* 属である。この属は殻表面がなめらかで装飾が少なく (第2図3)、深海底コアから比較的多産する。*Krithe* 属についての分配係数は、これまでに3地域で作成されているが、それらはわずかながら異なっている。その理由について Corregge and De Deckker (1997) は、栄養の供給量による成長速度の違いと回帰曲線を作成した温度条件の幅の違いを挙げており、現在



第5図 笹岡層の貝形虫化石を用いたQ-mode主成分分析結果と推定された環境変動(Yamada *et al.*, in pressより). I~Vは堆積相に基づき区分されたユニットを示す. PC1~PC3はそれぞれ第1~第3主成分の主成分得点を示す.

殻の大きさや成長速度に注目が集まっている。貝形虫は、初期の成長段階ほど殻中のMg/Caはより高い値を示すことが知られており、成体に比べA-1はより高いMg/Caを持つ(Chivas *et al.*, 1986)。そのため、分析には成体のみを選んで行う必要がある。また成長速度は餌の量によって異なるとも言われ、これらに関しては今後の課題である。

4. 鮮新-更新世における群集に基づく高分解能解析

微化石は少量の試料でも群集解析に必要な個体数が得られるため、層位学的に短い間隔で試料を採取することができる。加えて浅海域では堆積速度が速いため、時間的に高分解能な古環境復元が

可能である。日本における貝形虫化石群集を用いた高密度な古環境復元は、日本海側に分布する鮮新-更新統で行われている(例えば Cronin *et al.*, 1994)。従来よりも細かな時間間隔で群集変化を検討した結果、層厚50cm~1mの間でも優占種が著しく変化することが分かってきた。

秋田県に分布する笹岡層上部(2.20-2.05Ma)から産出する貝形虫化石群集の垂直変化は、驚くほど激しい(第4図)。主たる優占種は、寒冷浅海種である *Yezocythere hayashii*, *Paijenborchella tsurugasakensis* や上部漸深海帯を特徴づける *Robertsonites* sp. 3, その他 *Semicytherura mainensis* や *Rotundracythere?* sp. 1 であり、最大で全体の40%を占める。それぞれのピークは数回表れており、一致する場合や異なった層準にピークを持つ場合など、様々である。試料は約1m間隔(約1,900年間)であるが、その間に各優占種の割合が急激に変化している層準もある。また新潟県に分布する上部鮮新統鍬江層では、50cm間隔(約1,600年間)で採取した試料の一つからグローバルな寒冷化のイベントが見つかっており(山田ほか, 2001)、後期鮮新世においても高分解能で研究を行う重要性を示唆している。

群集変化を引き起こす要因を客観的に判断するために、主成分分析やクラスター分析など、多変量解析が用いられることが多い。Yamada *et al.* (in press) は笹岡層の貝形虫化石群集を用いてQ-mode主成分分析を行い、古環境を議論している(第5図)。解析の結果、第3主成分までで群集の変化について70.2%説明され、特に古水深と海洋の解放性(湾域か外洋域か)によって群集が規制されていることが明らかになった。古水深は浅海帯あるいは上部漸深海帯で示され、これらは現在の日本周辺海域ではそれぞれ水深50-150m, 200m以深に相当する。つまり、笹岡層の堆積場は外洋浅海域(50-150m)、外洋漸深海域(200m以深)、湾浅海域(50-150m)および湾漸深海域(200m以深)の組み合わせで示される(第5図)。このように具体的な数値で古水深を復元できることにより、水深変動の回数だけでなく、その変動規模も読みとることが可能である。例えば、上位の2つのサイクル(IVとV)では大部分が浅海帯(水深50-150m)内で変動しているのに対し、下位の2サイクル(Iと

III)は上部漸深海帯(200m以深)に至っていることから、IVおよびVに見られるサイクルの変動は、IとIIIに比べ小さいことが分かる。一方、サイクルIVの最下部は外浜を示す堆積構造が見られる。また、サイクルIIIは古水深変動が上部漸深海帯で終わっており、最上部に浅海帯のサイクルが一部欠如していると考えられることなどから、サイクルIIIとIVの間には他と比べて相対的に大きな海水準変動があったと推察している。

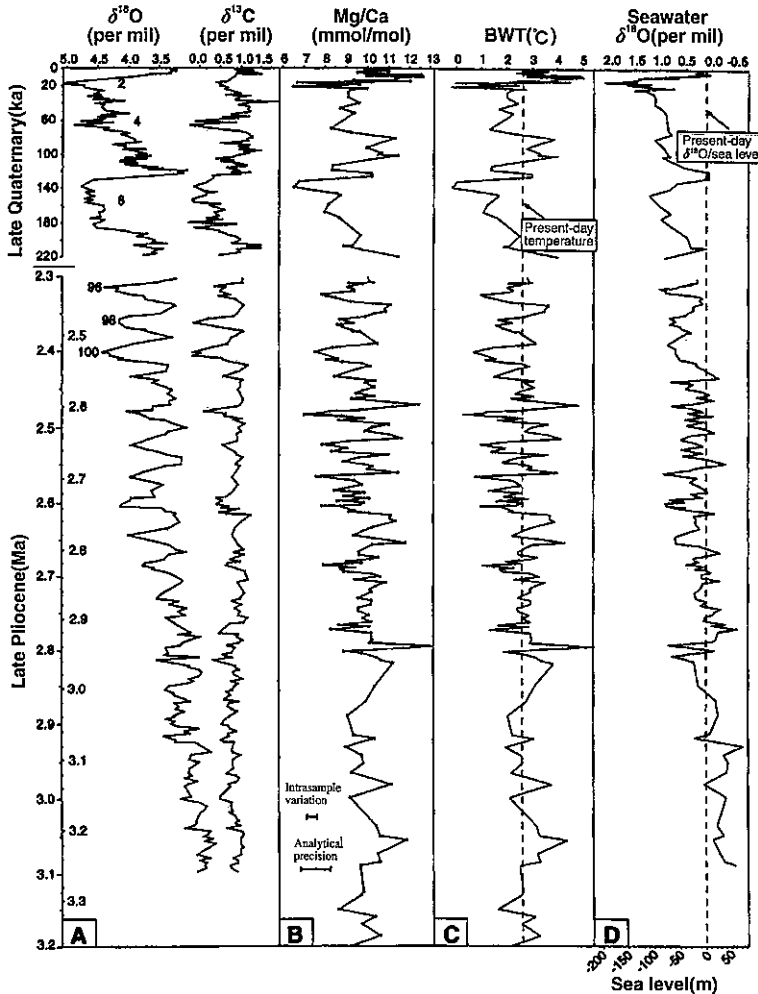
石川県に分布する更新統大桑層から産する貝形虫化石群集を用いて、クラスター分析を行い、試料をいくつかのグループに分類している(Ozawa and Kamiya, 2001)。各グループに優占する貝形虫化石の現在の生息深度から復元された古水深は、10-20m, 20-30m, 30-80m, 100-150mであり、酸素同位体ステージに対応する数回の相対的海水準の変動が認められた。これは同地域で行われた底生有孔虫に基づく古水深に比べても、高精度で復元されている。

これまで高分解能で古環境が復元された地層の年代は残念ながら重複していないため、地域間での対比は行えない。しかし、今後データが蓄積されれば、数千年~数万年単位という高精度で日本海沿岸域における環境の変遷が復元されると期待される。

5. 殻の化学分析に基づく古環境復元

日本周辺の深海底コア試料中の貝形虫化石はあまり研究されていないが、世界では地域や条件により深海底コアから貝形虫化石が産出し、それらを用いて研究が行われている。その多くは、安定同位体測定や化学分析による古環境復元である。

オーストラリアのサンゴ海西部(水深1,630m)で掘削されたボーリングコア試料は、保存の良い貝形虫化石を豊富に含んでいる。産出した貝形虫化石群集と殻の化学分析結果との組み合わせから、中層水の変動とその原因が考察されている(Corregge and De Deckker, 1997)。この研究では、まずCorregge(1993)によって同海域の表層堆積物に含まれる貝形虫を用いて作成された、*Krithe*と*Bythocypris*の殻のMg/Caと水温との関係式に基づき、古水温を復元した。用いた式はそれぞれ以



第6図 北大西洋の海底コアから得られた有孔虫殻の酸素・炭素同位体比、貝形虫殻のMg/Caとそれによって推定された海底の古水温、および復元された当時の海水の酸素同位体比(Dwyer *et al.*, 1995より)。

下のように示された。

$$T(^{\circ}\text{C}) = 520 \times (\text{Mg/Ca } \textit{Krithe} \text{ valve}) - 3.3$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 366 \times (\text{Mg/Ca } \textit{Bythocypris} \text{ valve}) - 6.7$$

次にCorrege and De Deckker (1997)は、過去の塩分と密度を明らかにした。海水中の $\delta^{18}\text{O}$ は水温と氷床量(=塩分:氷床形成には軽い同位体が優先的に用いられるため、塩分と海水中の同位体比の間には相関関係が見られる)によって規制されているため、各層準の底生有孔虫殻の $\delta^{18}\text{O}$ を現在の同地点の底生有孔虫殻の値から引いたその差は、温度と塩分により変化した分である。1°C低下すると $\delta^{18}\text{O}$ の値は0.5‰増加するため、貝形虫殻のMg/Caから求められた古水温変動を海水中の $\delta^{18}\text{O}$

の変化に読みかえることができる。最後に塩分によってのみ変化した $\delta^{18}\text{O}$ の変動が導かれ、現在の海洋では塩分1‰の変化は海水の $\delta^{18}\text{O}$ を0.5‰変化させる(Craig and Gordon, 1965)ことから、塩分の変化を復元することが可能となる。さらにLabeyrie *et al.* (1992)による水温-塩分-密度ダイアグラムにより、海水密度を復元している。

この貝形虫化石の殻の化学分析による水温変動の復元は、過去10万年間にサンゴ海西部における中層水が劇的に変化してきたことを示唆した(Correge and De Deckker, 1997)。さらに密度および塩分により、過去10万年間に同地域の古海洋環境が3相に大別されること、同位体ステージ3(55-40kyr)は南極中層水(Antarctic Intermediate Water)の水温が現在と最も似ていること、ニューギニアが中層水の変化の重要なバリアとして働いていたことなどを明らかにし、南西太平洋の中層水循環の解明に大きな貢献をした。

この結果は貝形虫殻中のMg/Caは底層水温を復元する有効な手段であることを示しており、Correge and De Deckker (1997)

は、底生有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ と組み合わせることで過去の底層水の密度および塩分をも復元することが可能となると言及している。

その他、第6図に示すように北大西洋の深海底コアから多産する*Krithe*属貝形虫の殻のMg/Caから、2.85-2.40Maの底層水温が復元されており、底生有孔虫殻の酸素同位体比と非常に良く一致することも示された(Dwyer *et al.*, 1995)。浅海堆積物を対象とした古環境復元に関しては、北海のコアから産出した貝形虫化石を用いて、殻のMg/Caおよび酸素・炭素同位体比を測定した研究があるが、垂直変化については議論されていない(Ingram, 1998)。

6. 最後に

貝形虫化石の研究は、貝化石など他の分類群と比べ日本における本格的な研究の歴史が浅く、化石のみならず現生個体の地理的分布に関しても空白域が多い。近年、中新世、後期鮮新世や更新世などの貝形虫化石群集が徐々に明らかになってきたが、全く研究がなされていない時代もあり、これから発展していく分野である。殻の安定同位体および化学分析に関しても、研究者間の見解に相違が見られ、古海洋復元に用いるためには、メカニズムを解明するような基礎的な研究も必要である。また、世界的にも湖沼や深海底においては研究が行われているが、浅海域における研究はごくわずかであり、現世データ・化石データの蓄積とともに、研究手法の確立も望まれる。

謝辞：本原稿をまとめるにあたり、島根大学総合理工学部の入月俊明先生には、原稿を読んでいただきコメントをいただいた。

引用文献

- Benson, R. H. (1981) : Form, function, and architecture of ostracode shells. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 9, 58-80.
- Chivas, A. R., De Deckker, P., Cali, J. A., Chapman, A., Kiss, E. and Shelley, J. M. (1993) : Coupled stable-isotope and trace-element measurements of lacustrine carbonates as paleoclimatic indicators. In Swart et al. (eds.), *Climate change in continental isotopic records*. AGU, 113-122.
- Chivas, A. R., De Deckker, P. and Shelley, M. G. (1983) : Magnesium, strontium, and barium partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions—a preliminary study. In Maddocks, R. F. (Ed.), *Applications of ostracoda*. Univ. Houston Geoscience, 238-249.
- Chivas, A. R., De Deckker, P. and Shelley, M. G. (1986) : Magnesium and strontium in non-marine ostracod shells as indicators of palaeosalinity and palaeotemperature. *Hydrobiologia*, 143, 135-142.
- Correge, T. (1993) : The relationship between water masses and benthic ostracod assemblages in the western Coral Sea, southwest Pacific. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 105, 245-266.
- Correge, T. and De Deckker, P. (1997) : Faunal and geochemical evidence for changes in intermediate water temperature and salinity in the western Coral Sea (northeast Australia) during the Late Quaternary. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 131, 183-205.
- Craig, H. and Gordon, L. I. (1965) : Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In Tongiorgi, E. (Ed.), *Stable Isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures*. CNR, Pisa, 9-130.
- Cronin, T., Kitamura, A., Ikeya, N., Watanabe, M. and Kamiya, T. (1994) : Late Pliocene climate change 3.4-2.3Ma: paleoceanographic record from the Yabuta Formation, Sea of Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 108, 437-455.
- De Deckker, P., Chivas, A. and Shelley, M. (1999) : Uptake of Mg and Sr in the euryhaline ostracod *Cyprideis* determined from in vitro experiments. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 148, 105-116.
- Dwyer, G. S., Cronin, T. M., Baker, P. A., Raymo, M. E., Buzas, J. S. and Correge, T. (1995) : North Atlantic deep-water temperature change during late Pliocene and late Quaternary climatic cycles. *Science*, 270, 1347-1351.
- Ikeya, N. and Cronin, T. M. (1993) : Quantitative analysis of Ostracoda and water masses around Japan: Application to Pliocene and Pleistocene paleoceanography. *Micropaleontology*, 39, 263-281.
- 池谷仙之・塩崎正道 (1993) : 日本沿岸内湾性介形虫類の特性—古環境解析の指標として—。地質論, 39, 15-32.
- 池谷仙之・山口寿之 (1993) : 進化古生物学入門 甲殻類の進化を追う。東京大学出版会, 148p.
- Ingram, C. (1998) : Palaeoecology and geochemistry of shallow marine ostracoda from the Sand Hole Formation, Inner Silver Pit, southern North Sea. *Quat. Sci. Rev.*, 17, 913-929.
- Irizuki, T., Masuda, F., Miyahara, B., Hirotsu, A., Ueda, S. and Yoshikawa, S. (2001) : Vertical changes of Holocene Ostracodes in Bore Hole Cores from off Kobe, related to the opening of straits and relative sea-level changes in Western Japan. *The Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*, 40, 105-120.
- Labeyrie, L. D., Duplessy, J. C., Duprat, J., Juillet-Leclerc, A., Moyes, J., Michel, E., Kallel, N. and Shackleton, N. J. (1992) : Changes in the vertical structure of the North Atlantic Ocean between glacial and modern times. *Quat. Sci. Rev.*, 11, 401-413.
- Ozawa, H. and Kamiya, T. (2001) : Palaeoceanographic records related to glacio-eustatic fluctuations in the Pleistocene Japan Sea coast based on ostracodes from the Omma Formation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 170, 27-48.
- Tsukawaki, S., Kamiya, T., Ozawa, H. and Kato, M. (1998) : Preliminary results on the sediment samplings during the R. V. Tansai-maru cruise KT96-17 Leg 2 in the Southwestern part of the Japan Sea—sediments, benthic foraminifers and ostracodes—. *Bull. Japan Sea Res. Inst.* 29, 67-89.
- Van Morkhoven, F. P. C. M. (1962) : *Post-Palaeozoic Ostracoda. 1 (General)*. Elsevier. Amsterdam. London. New York.
- Wansard, G., De Deckker, P. and Julia, R. (1998) : Variability in ostracod partition coefficients D (Sr) and D (Mg). Implications for lacustrine paleoenvironmental reconstructions. *Chem. Geol.* 146, 39-54.
- 山田 桂・渡辺真人・入月俊明・田中裕一郎 (2001) : 上部鮮新統緬江層上部 (新潟県) における貝形虫化石群集と海洋環境の変遷。日本地質学会第108年学術大会 (金沢), 201.
- Yamada, K., Irizuki, T. and Tanaka, Y. in press, Cyclic sea-level changes based on fossil ostracode faunas from the Upper Pliocene Sasaoka Formation, Akita Prefecture, northeast Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*

YAMADA Katsura (2002) : Minute Crustacea recording paleoenvironments -Ostracoda-

< 受付 : 2002年6月15日 >

地質ニュース 576号