総 説

本邦含油新第三系をめぐる放散虫化石層序の進歩

—化石帯区分の進歩—*

本 山 功**

(Received September 4, 1998; accepted November 26, 1998)

A review of radiolarian biostratigraphy for the oil-bearing Neogene of Japan
—Advances in biostratigraphic resolution—

Isao Motoyama

Abstract: During the last decade, the Neogene radiolarian zonation of Japan has been greatly improved by combination of biostratigraphic studies from both onshore sections and offshore deep-sea cores. This improvement is achieved by advancement of knowledge on taxonomy, the nature of evolutionary lineages, and the paleomagnetic dating of biostratigraphic events. The biostratigraphic framework established here consists of three zones of the tropical area for Lower Miocene and 14 zones and subzones of the subarctic area for Middle Miocene to Pleistocene. These zones provide an average age resolution of about 1.6 m.y. between 16 and 7 Ma and about 0.8 m.y. between 7 and 2 Ma. The Lower Miocene radiolarian biostratigraphy of Japan is poorly known due to a lack of good reference sections.

These biostratigraphic results revealed that Neogene radiolarian assemblages of Japanese oil-field belong to the subarctic biogeographic province of the North Pacific rather than temperate one. However, due to the presence of many undescribed species and few quantitative assemblage data, details of radiolarian ecological and paleoenvironmental aspects of the Neogene of Japan are not known. Characterization of radiolarian assemblages and paleoenvironmental interpretation will be a considerable subject on the Japanese Neogene in future.

The lower limit of the *Eucyrtidium inflatum* Zone is modified herein.

Key words: Neogene, Radiolaria, biostratigraphy, Japan

1. はじめに

日本の油田地域には新第三系珪質堆積物が広く分布し、その中には珪藻化石とともに放散虫化石が豊富に含

まれている。中世古は、有孔虫化石用に処理した試料から放散虫化石が多産するのに着目し(中世古, 1954), 当初から油田探鉱への応用を目的として陸上の含油新第三系の検討を進め、群集型に基づく対比と分帯に成功した(Nakaseko, 1959, 1960)。その後、深海掘削計画による海域における研究の発展があり、最近になって、中期中新世から鮮新世を網羅する新たな化石帯区分が整えられた(本山・丸山, 1998)。

本総説では、まず日本を中心とした新第三系の放散虫化石層序の研究史をレビューし、続いて最新の放散虫化石年代尺度(Fig. 1)について解説する。そして中世古・菅野(1973)と家田(1974)によって指摘されていた日本の新第三系放散虫化石層序に関する問題点をいま

* 平成10年6月2日, 平成10年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「年代層序の多様化と石油探鉱への応用」にて講演 This paper was presented at the 1998 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Diversified chronostratigraphic tools and their application to petroleum exploration" held in Sapporo, Hokkaido, Japan, June 2, 1998.

** 琉球大学理学部物質地球科学科 Department of Physics and Earth Sciences, University of the Ryukyus.

Fig. 1 Neogene radiolarian biochronology for the northern Japan and its adjacent area.

Geomagnetic polarity time scale is after Berggren *et al.* (1995). Radiolarian zones are from Motoyama and Maruyama (1998). Radiolarian events are from Motoyama (1996) for the Late Miocene and Pliocene and from Motoyama and Takahashi (1997) for the Middle Miocene. Ages of events are after Motoyama and Maruyama (1998) for the Late Miocene to Pleistocene and Sanfilippo and Nigrini (1998) for the Early Miocene. *Eucyrtidium* sp. B of Motoyama and Takahashi (1997) has been described as a species *Phormocyrtis alexandrae* by O'Connor (1997). *Cycladophora davisiana cornutoides* of Motoyama (1996) was raised to species rank later by Motoyama (1997). Zonal redefinitions are described in Appendix.

一度振り返ってみて、その後何がどの程度解決されたか、また、今後の課題は何かなどを考察する。日本各地の含油新第三系から得られている放散虫化石データの検証といった、より地域的な問題については、近々別の機会に公表の予定である（投稿中）。

2. 研究史

2.1 初期の研究

放散虫の研究は Ehrenberg や Haeckel らによる19世紀の記載学的研究を出発点として発展してきたが、化石帯が区分されて新生代の年代指標としての有用性が世界的に広く認識されるようになったのは、1960年代半ば（Hays, 1965）以降のことである。

日本の新第三系の放散虫化石層序の研究は、それより10年ほど早く中世古により開始された（中世古, 1954; Nakaseko, 1955）。中世古は1959年から1960年にかけて秋田・山形の油田地域で対比の指標となる群集型の識別を行った（Nakaseko, 1959, 1960）。放散虫化石による第三系の分帯に成功したという点で、その研究成果は当時世界的にも前例のない画期的なものであった。また、熱帯—亜熱帯域と異なる生物地理区における新第三系微化石分帯としては、他の浮遊性微化石グループと比べても先駆的な業績であった。当時、北太平洋周辺地域で第三系の放散虫化石の研究といえば Clark and Campbell (1942, 1945) と Campbell and Clark (1944) 以外には手がかりが乏しく、中世古は群集による分帯を進める一方で、膨大な数の未記載種の中から新種の記載を進めていった（Nakaseko, 1955, 1963, 1971a, 1971b; Nakaseko and Nishimura, 1971）。しかしながら、多様な種の進化系列までは十分に明らかにせず、10余年を経て菅野とともに日本の新第三系標準放散虫化石帯を公表したときにも（中世古・菅野, 1973）、依然として多くの問題が残されていた。

2.2 化石帯の系譜

Fig. 1 に示すように、最新の分帯案では20Maから現在にかけての地質時代の中に16の化石帯が区分されている。この分帯案は、1970年以降のほぼ四半世紀の間に、さまざまな研究者により異なった場所で設定された化石帯をつなぎ合わせて編集してできたものである。新しい化石帯の設定には、1970年以降の海域における研究が大きな役割を果たしてきた。以下、Fig. 2 を参考にしながら1970年以降の研究史、とくに化石帯の系譜を追ってみる。

Fig. 1 の16の化石帯の定義の経歴をみると（Fig. 2）、熱帯域での研究と北太平洋中緯度域の研究の2つの流れがあることが分かる。

熱帯域を代表するのは、Riedel and Sanfilippo (1970, 1978) である。Riedel and Sanfilippo (1970) はカリブ海で行われた深海掘削計画（DSDP Leg 4）に参加して、初めて第三系の放散虫化石帯を設定し、その中で新第三系に11の化石帯を設定した。翌年には *Can-nartus laticonus* 帯が廃止され（Riedel and Sanfilippo, 1971）、その後 Riedel and Sanfilippo (1978) によって下部中新統の化石帯の細分化と、上部中新統と鮮新統の化石帯すべての再定義が行われた。Riedel and Sanfilippo (1978) の化石帯は新第三紀の放散虫化石帯の国際標準とされるようになり（Sanfilippo *et al.*, 1985; Berggren *et al.*, 1985）、さらにそのうちの中部～上部中新統の化石帯は北太平洋の中緯度域にも導入された（Kling, 1973; Foreman, 1975; Sakai, 1980; Morley, 1985）。

一方、北太平洋中緯度域では、まず上部鮮新統と第四系について Hays (1970) が4つの化石帯を区分した。Foreman (1975) はヘスライズにおける深海掘削に基づいて *Sphaeropyge langii* 帯を設けて鮮新統の新しい分帯案を示した。この分帯案は、その後、北太平洋中緯度域における標準的な放散虫化石帯とみなされるようになり（Sakai, 1980; Reynolds, 1980; Morley, 1985）、さらに尾田 (1986) や斎藤ほか (1986) の日本の新第三紀標準微化石年代尺度にも採用された。Reynolds (1980) は三陸沖の大陸斜面部において新第三系を8つの新化石帯を含む13化石帯に区分した。日本付近で第四系から下部中新統上部にまで及ぶ一連の放散虫化石層序が1つの地質断面で調査されたのは、この時が初めてであった。また、三陸沖の海溝の外側では中部中新統に熱帯域の化石帯区分が適用できるのに対し（Sakai, 1980）、同緯度の海域であっても海溝の内側の中部中新統では熱帯域の化石帯は認め難い、ということもこの時に明瞭になった。Reynolds (1980) が新設した化石帯のうち *Eucyrtidium inflatum* 帯はその後船山 (1988) によって再定義されて、日本における適用性も広く認められるようになったが、それ以外の7つの化石帯の適用性はいまだに不明である。

船山 (1988) は能登半島で放散虫化石層序の検討を行い、下部中新統最上部から上部中新統下部にかけて4つの化石帯と2つの亜化石帯を設定した。船山 (1988) は、化石帯を規定する基準面が能登半島だけではなくて岩手県と青森県にまたがる三戸地域や DSDP Site 436 などにも追跡できることを示し、自ら化石帯の適用性が広いことを示した点においても優れていた。さらに ODP Leg 145 の深海掘削研究により、船山 (1988) の化石帯と基準面は北太平洋北部一帯で広く認められるこ

Fig. 2 Genealogy of Neogene radiolarian zones in and around Japan.

It shows, for example, that *Calocyclus costata* Zone which was first defined by Riedel and Sanfilippo (1970) was followed by Kling (1973) and Riedel and Sanfilippo (1978) and emended later by Funayama (1988), and then the emended zone was incorporated into the zonal scheme of Motoyama and Maruyama (1998).

とが分かっている (Morley and Nigrini, 1995; Shilov, 1995)。中緯度域の上部中新統と鮮新統の化石帯には Foreman (1975) の区分が用いられてきたが、最近になって Motoyama (1996) は、Foreman (1975) の化石帯は日本海の DSDP Site 302 や三陸沖 DSDP Site 438 には適用できないことを明らかにした。Motoyama (1996) はさらに、比較的短い生存期間あるいは短い多産期間を持つ新種をいくつか見つけ出して7つの化石帯を新設し、その適用範囲も日本付近からカムチャッカ沖太平洋に及ぶことを示した。

3. 日本の新第三紀放散虫化石層序最新版

本山・丸山 (1998) および上述の研究史をふまえて、Fig. 1 に日本の新第三紀放散虫化石層序の最新版を示した。以下、この放散虫化石年代尺度の特徴や問題点を15項目にわたって列挙する。項目(1)~(7)は全体的な特徴、項目(8)~(15)は個別の特徴や問題に関する内容である。なお、本山・高橋 (1997) では暫定的な措置としていた *Eucyrtidium inflatum* 帯の下限の再定義を本論で公式に記載する (Appendix 参照)。

(1) 地質年代単元を含めた地磁気極性年代尺度には Berggren *et al.* (1995) を用いた。詳細は本山・丸山 (1998) を参照されたい。

(2) 放散虫化石帯と境界イベント、およびそれらの年代値は、本山・丸山 (1998) のものを用いた。ただし、前期中新世の2つの境界イベントの年代値には Sanfilippo and Nigrini (1998) により示された値を用いた。

(3) 二次イベントには、Motoyama (1996) と本山・高橋 (1997) によるものを合わせて示した。

(4) 0~20 Ma の2,000万年間に垂帯も含めて17の化石帯が区分されたので、1化石帯当たりの平均時間長 (時間解像力) は約120万年である。とくに後期中新世~鮮新世 (7~2 Ma) に限ってみると約80万年になる。化石帯数で見れば熱帯域の化石帯 (Sanfilippo and Nigrini, 1998) に匹敵する時間解像力が発揮できるようになった。

(5) 下部中新統の化石帯 (Riedel and Sanfilippo, 1978) は日本の付加体には適用できるが (Appendix 参照)、常磐地域を除いて陸上の下部中新統への適用性は低い。Shilov (1995) は ODP Leg 145 の研究成果として下部中新統の新しい化石帯区分を提唱したが、示準種が新種であるため日本ではその種の産出報告がなく、本邦への適用の見通しはたっていない。

(6) 中部中新統の化石帯の適用範囲は日本から北太平洋北部一帯に及ぶと考えられる。上部中新統~鮮新統の化石帯の適用範囲は少なくとも日本からカムチャッカ沖

太平洋に及ぶと考えられる。これらの化石帯は逆に房総半島より低緯度側には適用できないと考えられる。また、このことから、中期中新世~鮮新世の日本の放散虫群集は、生物地理的に見て熱帯や温帯ではなくて亜寒帯域 (亜北極域) に所属するものであったと考えることができる。

(7) Morley and Nigrini (1995, Table 8) はいくつかの基準面の数値年代を公表しているが、もしそれらを採用すると、本山・丸山 (1998) が示した珪藻化石層序との対応関係と明らかに矛盾するものが出てくる (例えば *E. inflatum* の出現)。その原因は、試料間隔が粗いため Morley and Nigrini (1995) の試算した年代値に最大±50万年の不確定さがあることと、Site 884 と日本から遠く離れた Site 887 のデータとの平均に基づいているためだと考えられる。したがって、Morley and Nigrini (1995) が示した数値年代はここでは採用しない。

(8) 房総半島 (本山・高橋, 1997) で認められたイベントのうちの *Phormocyrtis alexandrae* の終産出と *Lithopera thornburgi* の初産出は、日本海側や東北・北海道地方での適用性がよく分かっていない。

(9) 化石帯の認定には影響しないが、*Eucyrtidium inflatum* の終産出と *Lychnocanoma magnacornuta* の初産出との層序関係は地域により違いがある。すなわち、両種は房総半島 (本山・高橋, 1997) や北太平洋北部 (Morley and Nigrini, 1995; Shilov, 1995) では共産するが、能登半島 (船山, 1988) では共産しないとされている。

(10) 本山・丸山 (1998) でも指摘したが、Morley and Nigrini (1995) が示した *L. magnacornuta* の終産出の Site 884 における年代値 (12.31-12.93 Ma) は、その誤差を考慮しても本論の年代値 (約 11.7 Ma) とかなりの違いがあり、見過ごすことはできない。*L. magnacornuta* の分布の中心が北方にあったとすれば、房総半島は分布の縁辺域であったために、そこでの出現時期が遅れたという可能性も考えられる。しかし、今のところ解決の手がかりはない。

(11) 約 10 Ma から約 11.5 Ma にかけての期間には有望な放散虫イベントが見つからない。これは日本 (船山, 1998) においても、北太平洋北部 (Morley and Nigrini, 1995) においても同様である。

(12) 後期中新世と鮮新世の二次イベントは主として三陸沖の DSDP Site 438 のデータ (Motoyama, 1996) に基づいている。日本海側では一般に *Didymocyrtis* 属や *Diartus* 属の産出に乏しいので、*Didymocyrtis antepenultima* から *D. penultima* への進化的移行イベントと *Diartus hughesi* の終産出イベントは日本海側では正

しく認定できないものと考えられる。

(13) *Thecosphaera japonica* の初産出層準は、日本海で *Lychnocanoma parallelipis* の終産出層準と一致するので、その年代値はほぼ 5.6 Ma だと考えられる。ただし三陸沖ではもっと古い層準からも産出が知られているのでこの限りではない。

(14) 後期中新世と鮮新世のイベントについては年代値を示してあるが、この年代値は珪藻化石層序を仲介者として間接的に地磁気層序に対比して求められたものなので (Motoyama, 1996; 本山・丸山, 1998), 珪藻化石層序と地磁気層序との関係に何か変更が生じれば、おのずと放散虫化石イベントの年代値も変更を受ける。この点には十分注意が必要である。もちろん放散虫化石層序が直接に地磁気層序に対比されることが好ましい。それには珪藻化石層序と同様に ODP Leg 145 の掘削試料について、もっと試料間隔の密な検討がなされることが望まれる。

(15) *Dictyophimus robustus* (Motoyama, 1996) と *D. bullatus* (Morley and Nigrini, 1995) は、記載上、翼の発達具合に違いがあるのだが、形態的に近縁な種であることは疑いない。種内変異の範疇に含まれる可能性もあるので分類学的な検討が望まれる。

4. 本邦の新第三系放散虫化石層序学上の問題点

放散虫は種数が豊富な上に未記載種が多い。また、日本は暖流や寒流の会合域に位置し、背後には外洋とは別の縁海を控えている。日本の新第三系放散虫化石層序の発展を考えるとときには、他の微化石や熱帯域の放散虫化石層序とは異なったこのような条件に配慮し、特性を生かしたり制約を乗り越えたりしていく必要がある。中世古・菅野 (1973) と家田 (1974) は、このような条件を考慮して放散虫化石層序学上の課題や問題点をいくつか指摘している。そこで、彼らによって指摘された課題や問題点が現在までにどのように解決されたか、何が解決されていないかについて考えてみたい。そして、その考察を通じて今後の課題を考えていきたい。

4.1 中世古・菅野 (1973) による課題

Nakaseko (1959) と中世古・菅野 (1973) は、群集型による対比や群集型に基づく分帯を行うにあたってその基本的な考え方を示している。

まず Nakaseko (1959) は、「一定の海洋気候区内であれば環境の変化はほぼ同時に起こり、それに伴う群集の変化も同時に起こるであろう。したがって、特徴種や優勢種の変化による対比が可能なのはである」という基本概念を示した。この概念は当時の微化石層序の中心的存在であった底生有孔虫化石層序の基本概念に準じたも

のであり、さらに、放散虫は浮遊性なので底生有孔虫よりも適用範囲が広いだろうという予測に基づいていた。

しかしながら、その後10年余りの間に微化石層序学の主役は浮遊性有孔虫化石層序に移り、分帯の基本要素が群集ではなくて個々の種の生存期間や進化系列へと変化してしまっただ。中世古・菅野 (1973) は、このような世界情勢の変化を考慮して、分帯を行うに当たって5項目の基本概念を掲げたが、その内容は2つに要約できる。

1つは上記の Nakaseko (1959) の基本概念と同じものである。この概念の価値はその後とも変わっていない。例えば、船山 (1988) は *Cenosphaera* 属や *Spongodiscus* 属の産出頻度の層序的变化が太平洋側 (宮城県) と日本海側 (能登半島) で対比できる可能性を指摘している。ただし、群集の変化を議論するときには、船山 (1988) のように定量的なデータを示すことが大切であり、産出量の評価に主観が入る余地を少なくしなければならない。

もう1つの基本概念は「放散虫の種の進化系列を正しく評価することは難しいため、浮遊性有孔虫と同じようには分帯を行うことができない」という考え方であった。進化系列を正しく評価できない理由としては、放散虫の生物学的データが貧弱なこと、放散虫の分類が自然分類にほど遠いこと、日本付近は寒流と暖流の交錯などの環境の変化が激しいので真の進化的な出現の認定が難しいことが挙げられている。

放散虫の生理と生態についてここで詳しく述べる余裕はないが、この分野ではその後めざましい進展があり (Anderson, 1983), 最近になって日本でも身近な研究分野になりつつある (松岡, 1994; Sugiyama and Anderson, 1997)。

放散虫の自然分類の確立は、現在においてもなお放散虫研究者にとっての大命題であると思われる。しかし、深海掘削計画の進展に伴い多数の系統分類学的研究 (例えば, Sanfilippo and Riedel, 1970, 1980, 1992; Moore, 1972; Nigrini and Caulet, 1988) が進められているため、この課題はゆっくりだが着実に解決が図られている。日本における最新版の化石帯と基準面 (Fig. 1) の設定過程においても、分類学的研究が生かされている (Fig. 3)。すなわち、中世古が新種として記載した *Lychnocanum nipponicum* (Nakaseko, 1963) がその後細分されて *L. magnacornuta* (Sakai, 1980) と *L. parallelipis* (Motoyama, 1996) が定義され、いずれも示帯種となった。また中世古が命名した *Anthocorys akitaensis* (Nakaseko, 1959) は *Cycladophora nakasekoi* と *C. sakaii* に区分され (Motoyama, 1996), それぞれ示帯種

と基準面に使われることになった。中世古・菅野 (1973) が *Eucyrtidium calvertense* と呼んでいた種には、*E. inflatum* (Kling, 1973) が含まれていた。このように見ると、かつて中世古らが群集型の認定のときに着目していたいくつかの特徴種が分類学的に細分化され、その生存期間が精度よく求められることによって、日本の新第三系放散虫化石層序が進歩してきたのだと見なすこともできる。

以上、放散虫の生理生態と分類についての研究不足は、その後の研究により着実に解消されてきているため、現在においてはもはや化石帯設定の障害とはならないと言える。

一方、種の真の進化的な出現や消滅の特定は実際に難しい場合がある。しかし、それはとくに放散虫に限った問題ではなく、それぞれの事例ごとに吟味するより方法がない。再堆積については、ある種の放散虫に固有な問題があるかもしれない。例えば、*Cyrtocapsella tetrapera* がその急減層準よりも明らかに上位の地層から多産することがしばしばあり、その解釈で研究者を悩ますことがある (菅野, 1986; 竹谷・相田, 1991)。何か形態的に再堆積しやすい理由があるのかもしれないので、水槽実験のような試みがなされてもよいのではないかとと思われる。

4.2 家田 (1974) による課題

家田 (1974) は、中世古・菅野 (1973) による放散虫分帯の公表を契機にして、石油探鉱上の放散虫化石層序の成果の要約とともに今後の問題を指摘した。その要点は以下のように7つある。

① 中世古らによる研究は地表試料が主だったので坑井試料による検討が必要：その検討は1974年以降も続けられているが、日本海側地域においては似たような群集型や化石帯が認められている (本山, 投稿中)。

② *Thecosphera japonica* 帯の細分：Motoyama (1996) により細分化がなされた。

③ 深海掘削計画によりもたらされた分帯や種の進化系列を本邦の含油新第三系に適用できるかどうか：長田 (1982) はこの問題に焦点を当ててレビューを行い、低緯度化石帯や北太平洋中緯度化石帯を本邦含油新第三系の石油探鉱にどのように融合利用させればよいか思案をめぐらせている。しかしながら、その後、日本付近から北太平洋北部一帯においては、低緯度域や中緯度域の化石帯や示準種をあえて利用しないでも分帯が可能であることが示された (船山, 1988; Morley and Nigrini, 1995; Shilov, 1995; Motoyama, 1996)。

④ 古地磁気層序との対比：Sakai (1984), Morley (1985), 尾田 (1986), Morley and Nigrini (1995) により

検討され、さらに本山・丸山 (1998) が最近の地磁気極性年代尺度の改定に合わせて議論を行った。これまでは、微化石層序を通じて日本の地史的な現象を世界の地史と比較するには、生物地理区の異なる日本の微化石層序と熱帯域の微化石層序との対応関係を生層序学的に明らかにしてやらなければならなかった。しかし、日本周辺地域で日本の微化石層序を直接に古地磁気層序に対比できれば、世界との対比もさらに直接的になる。その意味で、北太平洋北部の ODP Leg 145 の掘削孔で下部中新統に達する古地磁気層序が得られたことの意義は大きい。放散虫化石層序についても古地磁気層序のもっと精度のよい直接対比データが出されることが期待される。

⑤ 浮遊性有孔虫や珪藻などの他の微化石層序との併用：複合微化石層序については、浮遊性有孔虫、石灰質ナノ化石、珪藻など各種の生層序学的研究が充実するにつれ、さまざまな機会に議論が重ねられており (中世古ほか, 1972; Ikebe and Working group, 1977; Tsuchi, 1984; 尾田ほか, 1983; 渡辺, 1983; 尾田, 1986; 斎藤ほか, 1986; 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992; 本山・丸山, 1998; 斎藤, 本号), 今後ともその重要性が増すことは間違いないであろう。放散虫化石帯 (Fig. 1) と珪藻化石帯 (本山・丸山, 1998; Yanagisawa and Akiba, 1998) を見比べると、前期中新世末期から後期中新世中期にかけては珪藻化石帯のほうが区分が細かく、後期中新世後期から鮮新世にかけては放散虫化石帯のほうが区分が細くなっている。互いに相補的であるので、併用することにより新第三系全体をより精度よく年代決定することが可能になる。

⑥ 電子顕微鏡を用いた種の再検討：日本の新第三紀放散虫化石に関して1980年以降に最も熱心に研究されてきた課題は、電子顕微鏡を用いた骨格形態学的検討であると言ってもよいかもしれない。すなわち、西村 (1982), 中世古ほか (1982), Nakaseko *et al.* (1983), 西村 (1986, 1987), Nishimura (1990), Sugiyama (1993), Funakawa (1994, 1995) らによるものであり、新生代の放散虫研究の底上げが着実に進められている。ただ、これらの研究は生層序学の発展を積極的に指向したものではない。今後、この方面からの生層序学への一層の応用が期待される。

⑦ 生態学的な資料の蓄積：⑥とは対照的に最も立ち後れている研究課題が、この生態学的問題 (群集と環境との関係) である。新第三系放散虫では群集の定量的なデータが非常に乏しく、既存の論文から群集の地理的な変化を客観的に読みとることが極めて難しい。Motoyama (1996) は、*Stichocorys peregrina* の産出量の層序

変化が、日本海と三陸沖、それにカムチャッカ沖太平洋の3地点で三者三様に異なることを見だし、それはおそらく寒冷水の発達に関連していて、その種は相対的に暖かい海水を好んでいたであろうと推定した。つまり、*S. peregrina* は熱帯域や中緯度域の分帯に有効な種であるが、日本付近では生態学的な要因に強く左右されるため、その生層序学的利用には注意が必要であることが分かったのである。ある種がいったん示準種としての役割を担うと、他の種よりも対比上の精度が高いものと思われるようになりがちだが、常にそうでは限らない。おそらく *S. peregrina* 以外の多産種や指標種の中にも同様の問題を持つものがあると思われるので、生態学的な検討が盛んになることが望まれる。

5. ま と め

本邦含油新第三系に適用可能な放散虫化石層序は過去10年ほどの間に大いに進歩した。化石帯の数でみれば、他の微化石層序と比べてひけをとらないだけの時間解像力を発揮できるようになった。中世古・菅野 (1973) の分帯を第一段階とすれば、第二段階に達したといってもよいであろう。下部中新統についてはまだこんとんとしているものの、化石帯の細分化という課題はひとまず成就されたとしておきたい。次の段階としては、例えば、堆積層の形成過程を海水準変動と堆積盆の変動に有機的に結びつけて理解するために、詳細なシーケンス境界(不整合)の年代決定やコンデンス堆積物の認定を可能にするような生層序(Copestake, 1993)が求められるであろう。

古地磁気層序との直接対比は今後の課題として残されている。複合微化石層序については、国内の同一セクションにおける複数微化石の同時検討が進むことで(本山・高橋, 1997)、さらに精度の向上が期待できる状況にある。

系統分類の問題は、完成への道のりは遠いが着実に進歩しているので、今までの歩みを今後も持続していけばよいと思われる。ただし、生層序学的な進歩に直結するような分類学的研究が多少でも増えることが期待される。放散虫には未記載種も多いので、分類学的検討が進めば新たな示準種の発見にもつながるであろう。

新第三紀の生態学的な研究は、最もやっかいな問題として残されている。まず、群集が場所によりどのように異なるのかを定量的に評価しなければならない。かといって日本列島の隅々まで調査してみるわけにもいかないので、いくつかの代表的な地質断面を選んで、群集の層序的な変化と地理的な変化をつぶさに検証してみてもどうであろうか。生態学的な特殊性を考慮しながら含油

新第三系の放散虫化石群集を解読しようという明確な目的意識をもった研究姿勢が望まれる。もちろん、それは小論の著者に課された今後の務めでもあるにちがいない。

謝 辞

秋葉文雄氏をはじめシンポジウム世話人のかたがたには発表の機会を与えていただいた。記して御礼申し上げたい。

引用文献

- Anderson, O. R., 1983 : Radiolaria. Springer-Verlag, 355 p.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Flynn, J. J. and Van Couvering, J. A., 1985 : Cenozoic geochronology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **96**, 1407-1418.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C., III and Aubry, M.-P., 1995 : A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P. and Hardenbol, J., eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, *SEPM Spec. Pub.*, no. 54, 129-212.
- Campbell, A. S. and Clark, B. L., 1944 : Miocene radiolarian faunas from southern California. *Geol. Soc. America Special Papers*, no. 51, 1-76.
- Clark, B. L. and Campbell, A. S., 1942 : Eocene radiolarian faunas from the Mt. Diablo area, California. *Geol. Soc. America Special Papers*, no. 39, 1-112.
- Clark, B. L. and Campbell, A. S., 1945 : Radiolaria from the Kreyenhagen Formation near Los Banos, California. *Geol. Soc. America Mem.*, **10**, 1-66.
- Copestake, P., 1993 : Application of micropalaeontology to hydrocarbon exploration in the North Sea basin. In Jenkins, D. G. ed., *Applied Micropalaeontology*, 93-152, Kluwer Academic Publishers.
- Foreman, H. P., 1975 : Radiolaria from the North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 32. In Larson, R. L., Moberly, R., Bukry, D., et al., *Init. Repts. DSDP*, **32**, 579-676, Washington, D. C., U.S. Government Printing Office.
- Funakawa, S., 1994 : Plagiocanthidae (Radiolaria) from the Upper Miocene of eastern Hokkaido, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, no. 174, 458-483.
- Funakawa, S., 1995 : Lophophaeninae (Radiolaria) from the Upper Oligocene to Lower Miocene and intrageneric variation in their internal skeletal structures. *J. Geosci., Osaka City Univ.*, **38**, Art. 2, 13-59.
- 船山政昭, 1988 : 能登半島珠洲地域の新第三系の岩相および放散虫化石層序. 東北地質古生物研報, no. 91, 15-41.
- Hays, J. D., 1965 : Radiolaria and late Tertiary and

- Quaternary history of Antarctic seas. In Llano, G. A., ed., *Biology of the Antarctic Sea*, 2, *Antarctic Research*, Series 5, 125-184, American Geophysical Union.
- Hays, J. D., 1970: Stratigraphy and evolutionary trends of Radiolaria in North Pacific deep-sea sediments. *Geol. Soc. America, Mem.*, **126**, 185-218.
- Ikebe, N. and Working group, 1977: Summary of bio- and chronostratigraphy of the Japanese Neogene. In Saito, T. and Ujiie, H., eds., *Proc. First Intern. Congress Pacific Neogene Stratigraphy, Tokyo 1976*, 93-114, Kaiyo Shuppan, Tokyo.
- 石川照久, 1982: 高知県室戸半島に分布する四万十帯南帯(第三系)の放散虫. 大阪微化石研究会誌(NOM), 特別号, no. 5, 399-403.
- 家田享一, 1974: 本邦含油第三系における化石放散虫を用いた調査報告のまとめと将来の研究方向について. 石資技研所報, **17**, 241-256.
- Kling, S. A., 1973: Radiolaria from the eastern North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 18. In Kulm, L. D., von Huene R., et al., *Init. Repts. DSDP*, **18**, 617-671, Washington, D. C., U.S. Government Printing Office.
- 松岡 篤, 1994: 平板状スプレマリア(放散虫)のアクソフラジュールと殻にみられるその通過孔. 化石, no. 56, 1-8.
- Moore, T. C., Jr., 1972: Mid-Tertiary evolution of the radiolarian genus *Calocycletta*. *Micropaleontology*, **18**, 144-152.
- Morley, J. J., 1985: Radiolarians from the Northwest Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 86. In Heath, G. R., Burckle, L. H., et al., *Init. Repts. DSDP*, **86**, 399-422, Washington, D. C., U.S. Government Printing Office.
- Morley, J. J. and Nigrini, C., 1995: Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy of North Pacific Sites 881, 884, 885, 886, and 887. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F. (eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, **145**, 55-91, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Motoyama, I., 1996: Late Neogene radiolarian biostratigraphy in the subarctic Northwest Pacific. *Micropaleontology*, **42**, 221-262.
- Motoyama, I., 1997: Origin and evolution of *Cycladophora davisiana* Ehrenberg (Radiolaria) in DSDP Site 192, Northwest Pacific. *Marine Micropaleontol.*, **30**, 45-63.
- 本山 功, 投稿中: 本邦含油新第三系をめぐる放散虫化石層序の進歩—石油探鉱への適用. 石技誌.
- 本山 功・丸山俊明, 1996: 放散虫および珪藻による津軽半島新第三系の複合微化石層序. 地質雑, **102**, 481-499.
- 本山 功・丸山俊明, 1998: 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合. 地質雑, **104**, 171-183.
- 本山 功・高橋雅紀, 1997: 房総半島, 中部中新統木の根層および天津層の放散虫化石層序—珪質・石灰質微化石層序の統合に向けて. 石技誌, **62**, 226-238.
- 長田享一, 1982: 北太平洋における放散虫化石層序について—放散虫化石層序のレビューと北太平洋低・中緯度地域間の対比. 石資技研所報, **25**, 53-73.
- 中世古幸次郎, 1954: 富山県南部の中新世放散虫化石群集について(予報)—日本新生代微化石層序学的研究その5. 大阪大学南校・北校理科報告, no. 3, 107-124.
- Nakaseko, K., 1955: Miocene radiolarian fossil assemblage from the southern Toyama Prefecture in Japan. *Sci. Repts., South and North College, Osaka Univ.*, no. 4, 65-127.
- Nakaseko, K., 1959: Applied micropaleontological research by means of radiolarian fossil in the oil bearing Tertiary, Japan (Mainly in Akita and Yamagata sedimentary basins) Part 1. Method, geological note and radiolarian assemblage in Akita sedimentary basin. *Sci. Repts., South and North College, Osaka Univ.*, no. 8, 113-193.
- Nakaseko, K., 1960: Applied micropaleontological research by means of radiolarian fossil in the oil bearing Tertiary, Japan (Mainly in Akita and Yamagata sedimentary basins) Part 2. Radiolarian assemblage in Yamagata basin, discussion and conclusion. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, no. 9, 149-185.
- Nakaseko, K., 1963: Neogene Cyrtioidea (Radiolaria) from the Isozaki Formation in Ibaraki Prefecture, Japan. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, no. 12, 165-198.
- Nakaseko, K., 1971a: On the *Spongoplegma antarcticum* Haeckel. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, **20**, no. 2, 51-57.
- Nakaseko, K., 1971b: On some species of the Genus *Thecosphaera* from the Neogene formations, Japan. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, **20**, no. 2, 59-66.
- 中世古幸次郎・小泉 格・菅野耕三・米谷盛壽郎, 1972: 富山県灘浦地方の新第三系の微化石層序. 地質雑, **78**, 253-264.
- 中世古幸次郎・長田享一・西村明子, 1982: 中新世から発見された Pentactinocarpinae 亜科の種について(予報). 大阪微化石研究会誌(NOM), 特別号, no. 5, 423-426.
- Nakaseko, K., Nagata, K. and Nishimura, A., 1983: *Pentactinosphaera hokurikuensis* (Nakaseko): A revised early Miocene Radiolaria. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, **32**, 31-37.
- Nakaseko, K. and Nishimura, A., 1971: A new species of *Actinomma* from the Neogene formation, Japan. *Sci. Repts., Coll. Gen. Educ., Osaka Univ.*, **20**, no. 2,

67-71.

- 中世古幸次郎・菅野耕三, 1973: 日本新第三紀の化石放散虫分帯. 地質学論集, no. 8, 23-33.
- Nigrini, C. and Caulet, J. P., 1988: The genus *Anthocyrtidium* (Radiolaria) from the tropical late Neogene of the Indian and Pacific Oceans. *Micropaleontology*, **34**, 341-360.
- 西村明子, 1982: *Sphaerostylus yatsuoensis* Nakaseko と *Stylatractus universus* Hays の殻構造について (Actinommids の殻構造の研究その 1). 大阪微化石研究会誌 (NOM), 特別号, no. 5, 427-436.
- 西村はるみ, 1986: 放散虫の殻の成長について. 大阪微化石研究会誌 (NOM), 特別号, no. 7, 157-165.
- 西村はるみ, 1987: *Cyrtocapsella tetrapera* Haeckel (Radiolaria) の頭部殻室の微細構造. 化石, no. 43, 25-33.
- Nishimura, H., 1990: Taxonomic study on Cenozoic Nassellaria (Radiolaria). *Sci. Repts., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, Sec. B, **11**, 69-172.
- O'Connor, B., 1997: Lower Miocene Radiolaria from Te Kopua Point, Kaipara Harbour, New Zealand. *Micropaleontology*, **43**, 101-128.
- 尾田太良, 1986: 新第三紀の微化石年代尺度の現状と問題点—中部および東北日本を中心として. 北村記念地質論文集, 297-312.
- 尾田太良・長谷川四郎・本田信幸・丸山俊明・船山政昭, 1983: 中新統浮遊性微化石層序の現状と問題点. 石技誌, **48**, 71-87.
- Osozawa, S., Sakai, T. and Naito, T., 1990: Miocene subduction of an active mid-ocean ridge and origin of the Setogawa ophiolite, central Japan. *J. Geology*, **98**, 763-771.
- Reynolds, R. A., 1980: Radiolarians from the western North Pacific, Leg 57, Deep Sea Drilling Project. In Scientific Party, *Init. Repts. DSDP*, **56/57**, pt. 2, 735-769, Washington, D. C., U. S. Government Printing Office.
- Riedel, W. R. and Sanfilippo, A., 1970: Radiolaria, Leg 4, Deep Sea Drilling Project. In Bader, R. G., Gerard, R. D., et al., *Init. Repts. DSDP*, **4**, 503-575, Washington, D. C., U. S. Government Printing Office.
- Riedel, W. R. and Sanfilippo, A., 1971: Cenozoic Radiolaria from the western tropical Pacific, Leg 7. In Winterer, E. L., Riedel, W. R., et al., *Init. Repts. DSDP*, **7**, 1529-1627, Washington, D. C., U. S. Government Printing Office.
- Riedel, W. R. and Sanfilippo, A., 1978: Stratigraphy and evolution of tropical Cenozoic radiolarians. *Micropaleontology*, **23**, 61-96.
- 斎藤実篤, 1992: 房総半島南部の新生界の層位学的研究. 東北大地質古生物研報, no. 93, 1-37.
- 斎藤常正・小泉 格・尾田太良・岡田尚武, 1986: 東北・中部日本新第三紀古地磁気・微化石年代尺度. 北村 信 (編), 新生代東北本州弧地質資料集, 宝文堂.
- Sakai, T., 1980: Radiolarians from Sites 434, 435, and 436, Northwest Pacific, Leg 56, Deep Sea Drilling Project. In Scientific Party, *Init. Repts. DSDP*, **56/57**, pt. 2, 695-733, Washington, D. C., U. S. Government Printing Office.
- Sakai, T., 1984: Neogene radiolarian datum planes of the equatorial and northern Pacific. In Ikebe, N. and Tsuchi, R., eds., *Pacific Neogene Datum Planes—Contributions to Biostratigraphy and Chronology*, Univ. Tokyo Press, 35-39.
- Sanfilippo, A. and Nigrini, C., 1998: Code numbers for Cenozoic low latitude radiolarian biostratigraphic zones and GPTS conversion tables. *Marine Micropaleontology*, **33**, 109-156.
- Sanfilippo, A. and Riedel, W. R., 1970: Post-Eocene "closed" theoperid radiolarians. *Micropaleontology*, **16**, 446-462.
- Sanfilippo, A. and Riedel, W. R., 1980: A revised generic and suprageneric classification of the artiscins (Radiolaria). *J. Paleontol.*, **54**, 1008-1011.
- Sanfilippo, A. and Riedel, W. R., 1992: The origin and evolution of Pterocorythidae (Radiolaria): A Cenozoic phylogenetic study. *Micropaleontology*, **38**, 1-36.
- Sanfilippo, A., Westberg-Smith, M. J. and Riedel, W. R., 1985: Cenozoic radiolaria. In Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton Stratigraphy*, 631-713, Cambridge University Press.
- Shilov, V. V., 1995: Miocene-Pliocene radiolarians from Leg 145, North Pacific. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F., eds., *Proc. ODP, Sci. Results*, **145**, 93-116, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 菅野耕三, 1986: 放散虫の再堆積の問題について. 大阪微化石研究会誌 (NOM), 特別号, no. 7, 131-139.
- Sugiyama, K., 1993: Skeletal structures of Lower and Middle Miocene lophophaenids (Radiolaria) from central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N. S., no. 169, 44-72.
- Sugiyama, K. and Anderson, O. R., 1997: Experimental and observational studies of radiolarian physiological ecology, 6. Effects of silicate-supplemented seawater on the longevity and weight gain of spongioid radiolarians *Spongaster tetras* and *Dictyocoryne truncatum*. *Marine Micropaleontology*, **29**, 159-172.
- 竹谷陽二郎・相田 優, 1991: 福島県棚倉地域の新第三紀久保田層より産する放散虫化石. 福島県立博物館紀要, no. 5, 31-51.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 (編), 1992: 改訂版日本の石油・天然ガス資源. 520 p.
- Tsuchi, R., 1984: Neogene biostratigraphy and chronology of Japan. In Ikebe, N. and Tsuchi, R., eds., *Pacific Neogene Datum Planes—Contributions to*

Biostratigraphy and Chronology, Univ. Tokyo Press, 223-233.

渡辺其久男, 1983: 東北裏日本油田地域の年代層序の現状. 石技誌, 48, 88-92.

Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998: Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *J. Geol. Soc. Japan*, 104, 395-414.

Appendix

The present radiolarian zonal scheme (Fig. 1) is composed of zones which are compiled from Riedel and Sanfilippo (1978) for the Lower Miocene (*L. elongata* to *S. wolffii* Zones), Funayama (1988) for the Middle Miocene (*C. costata* to *E. inflatum* Zones), Motoyama (1996) for the Upper Miocene and Pliocene (*L. magnacornuta* to *C. sakaii* Zones), and Hays (1970) for the Pleistocene (*E. matuyamai* to *B. aquilonaris* Zones).

Lower Miocene *L. elongata* to *C. costata* Zones have been recognized in accretional complexes of Muroto Peninsula in Shikoku Island (Ishikawa, 1982), Shizuoka Prefecture in Tokai district (Osozawa *et al.*, 1990), and Boso Peninsula in Kanto district (Saito, 1992). Middle Miocene to Pliocene zones, *C. costata* to *C. sakaii* Zones, have been recognized in normal sedimentary sequences of Boso Peninsula (Motoyama and Takahashi, 1997), Noto Peninsula in Hokuriku district (Funayama, 1988), Sannohe area in Tohoku

district (Funayama, 1988), Tsugaru Peninsula in Tohoku district (Motoyama and Maruyama, 1996) and DSDP Sites 302 and 438 (Motoyama, 1996).

The *E. asanoi* and *E. inflatum* Zones are redefined here as follows. Abbreviations of bio-events are same as those in Fig. 1.

***Eucyrtidium asanoi* Interval Zone, Funayama 1988, emend. herein**

Bottom : F *Eucyrtidium asanoi*

Top : FC *Eucyrtidium inflatum*

Remarks : Because of the isolated occurrence of *E. inflatum* at the base of its range, F *E. inflatum* coincides with F *E. asanoi* at the Kinone Formation of Boso Peninsula (Motoyama and Takahashi, 1997). Therefore, FC *E. inflatum* is a better indicator for the upper limit of the zone.

***Eucyrtidium inflatum* Interval Zone, Reynolds 1980, emend. Funayama 1988, emend. herein**

Bottom : FC *Eucyrtidium inflatum*

Top : F *Lychnocanoma magnacornuta*

Remarks : As mentioned above, FC *E. inflatum* is a better indicator for the lower limit of the zone. This zone is subdivided into the following two subzones.

a Interval Subzone, Funayama 1988, emend. herein

Bottom : FC *Eucyrtidium inflatum*

Top : RD *Cyrtocapsella tetrapera*

b Interval Subzone, Funayama 1988

Bottom : RD *Cyrtocapsella tetrapera*

Top : F *Lychnocanoma magnacornuta*