

特別寄稿：20 世紀後半における日本の中・古生代放射虫研究の進展

八尾 昭*

Akira Yao (2019) Development of Paleozoic - Mesozoic radiolarian research in the latter half of the 20th century in Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 70 (1/2), p. 249-260.

Abstract: Paleozoic-Mesozoic radiolarian research developed rapidly in the latter half of the 20th century in Japan. Based on passage of the author's research, the development process of radiolarian research in Japan is divided into 4 periods: (1) before 1968: Paleozoic-Mesozoic radiolarians were not admitted the biostratigraphical validity, (2) 1969-1978: Mesozoic-type radiolarian fossils have begun to be found from non-limestone facies "Paleozoic", (3) 1979-1988: Paleozoic-Mesozoic radiolarian biostratigraphy developed rapidly, and the reality as sedimentary complex of "Paleozoic-Mesozoic strata" was elucidated, and (4) after 1989: based on the analysis of radiolarian fossil assemblage, approach to paleo-environmental reconstruction has started.

Next factors existed as background of rapid development of radiolarian research: (1) radiolarian characteristics (high diversity and variability of species, high population, comparatively stable shell component, stratigraphically continuous occurrence), (2) spread of modernization of research method such as hydrofluoric acid (HF) treatment, scanning electron microscope (SEM) and computer, (3) organization of research system (Grants-in-Aid Co-operative Research (A), International Cooperation Research Project, International Collaborative Research etc.) and (4) organization and internationalization of information exchange (Radiolarian Symposium, International Conference etc.)

Keywords: Paleozoic, Mesozoic, Japan, radiolaria, biostratigraphy, development

要 旨

日本の中・古生代放射虫化石の研究は、20 世紀後半に急速に進展した。筆者の研究の経過に基づけば、その進展過程は、(1) 1968 年以前：中・古生代放射虫化石に生層序学的有効性が認められていなかった時期、(2) 1969 年-1978 年：非石灰岩相“古生界”から中生代型放射虫化石が発見された時期、(3) 1979 年-1988 年：中・古生代放射虫生層序学が急速に進展し、それに基づく検討によって“中・古生界”の堆積岩コンプレックスとしての実態が解明された時期、(4) 1989 年以降：放射虫化石の群集解析に基づく古環境復元へのアプローチが始まった時期、の4時期に区分される。

放射虫化石研究の急速な進展の背景には、(1) 放射虫化石の特性(種の多様性と変異性の高さ、産出個体数の多さ、比較的安定な殻成分、層序学的に連続した産出など)、(2) 研究手法の近代化(フッ化水素酸(HF)法、走査型電子顕微鏡(SEM)、コンピュータの普及)、(3) 研究体制の組織化(科学研究費補助金総合研究(A)、国際協力研究事業、国際共同研究など)、及び、(4) 情報交換の組織化と国際化(放射虫研究集会、国際研究集会など)という要素があった。

1. はじめに

2017年3月5日の2016年度微古生物学リファレンスセンター研究集会・第13回放射虫研究集会合同山形大会(MRC・NOM in Yamagata)の表彰式において、筆者は光栄にも水谷伸治郎先生と同時に「NOM功労賞」を授与された。表彰状には、「あなたは永年にわたり放射虫研究のため尽力しその発展に貢献するところ誠に大なるものがありました。よってここにその功績を称えとともに深い感謝の意を表し記念品を添えて表彰いたします。放射虫研究集会一同 MRC・NOM in 山形 実行委員長 本山 功」とある。この受賞を機に、筆者のこれまでの研究経過を中心にして、20 世紀後半において日本の古生代-中生代放射虫研究が進展した経緯を振り返りたい。

筆者が放射虫化石の研究に初めて携わったのは1967年であり、それ以来50年が経過した。この間、特に1960年代末から1990年代にかけて、日本の古生代-中生代(以降、中・古生代と表記)の放射虫化石の研究が急展開した。これと連動して古生界-中生界(以降、中・古生界と表記)の実態が急速に解明され、日本列島地質発達史の捉え方が劇的に変化したことは周知の通りである。この急速な解明・変化は、“放射虫革命”と称された(石垣・八尾, 1982)。

* Corresponding author: A. Yao, Okushiba-cho 8, Nara City, Nara 630-8256, Japan. Email: yao-a @kcn.jp

筆者及び共同研究者は、目まぐるしく展開した放散虫化石研究及び中・古生界研究の状況を折々に報告してきた(例えば、中世古ほか, 1983; 市川ほか, 1985; Mizutani and Yao, 1991; 八尾・水谷, 1993)。研究状況が平穩化した現在、改めて20世紀後半の研究経緯を振り返ることは有意義と思われる。本小論では、筆者が中・古生代放散虫化石の研究とどのように関わってきたかを軸にして、研究の経緯を1968年以前、1969年–1978年、1979年–1988年、1989年以降の4時期に区分して振り返る。また、中・古生代放散虫化石の研究が急展開した背景について、「放散虫化石の特性」、「研究手法の近代化」、「研究体制の組織化」、「情報交換の組織化と国際化」という視点で触れる。

2. 20世紀後半の中・古生代放散虫研究の経緯

2.1 1968年以前

日本の中・古生代放散虫化石の本格的な研究は、古くは1920年代にさかのぼり、以降1960年代までの間に、数年に1編ないし数編の論文が出されてきた(八尾ほか, 2001b)。これらの論文の多くは放散虫化石の発見を報じたものであり、当時の既存資料の少なさと限られた研究手法のため、産出層の年代論などに寄与した研究例はそれほど多くない。

筆者は奈良教育大学の1966年度卒業研究の課題として「京都府南部鷲峰山地域の丹波帯の地質学的研究」を設定し、野外地質調査と微化石の探査を行った。その結果、当初もくろんだコノドント化石の発見には至らなかったが、紡錘虫化石と花粉・胞子化石の発見という幸運に恵まれた(八尾, 1968; Takahashi and Yao, 1969)。これらの微化石が、後に明らかとなった丹波帯の実態(堆積岩コンプレックス)を示唆していることに気付かなかったが、研究を次のステップに進める大きな契機となった。

筆者は1967年に大阪市立大学大学院修士課程に入学し、市川浩一郎先生の指導を受けることとなった。市川先生は、東京帝国大学(現、東京大学)の小林貞一先生の門下生として学部生当時(1944年)に岩石薄片法による放散虫化石の研究を開始し、関東山地御嶽山地域の珪質頁岩(“古生界上部–三疊系ないしジュラ系”)から日本で初めて放散虫化石を新種記載した(Ichikawa, 1950)。市川先生のこの研究経験を受け継ぎ、筆者の卒業研究での微化石処理技術を活かして、大学院での研究目的として“放散虫化石に基づく日本の中・古生界の実態解明”を設定した。第一段階の研究として、様々な岩相から構成される含放散虫“古生界”が好露出しているルート、つまり秩父南帯(秩父帯の南の地体)の和歌山県由良地域(以降、紀伊由良地域と表記)の白崎–大引海岸を間縄測量で詳細に調査し、ルートマップ・柱状図を作成した。さらに、

採集した岩石試料を対象にして、放散虫化石の個体分離・摘出法の開発及び化石放散虫殻の観察法を検討した。

2.2 1969年–1978年

中・古生代放散虫化石の研究にとって、1969年–1978年の時期は、1979年からの急激な進展時期の前段階に当たる。この前段階でどのような研究が行われ、どのような成果が出され、どのように次の段階へ移行したかを、筆者の研究を中心に以下に記述する。

2.2.1 紀伊由良地域での研究

筆者の修士課程での最初の研究成果は、紀伊由良地域の秩父南帯“ペルム系”の珪質泥岩から混酸・アルカリ液による化学的処理によって、放散虫化石を個体分離・摘出したことである。更に、その産出個体を光学顕微鏡だけでなく、走査型電子顕微鏡(scanning electron microscope: SEM)で観察・撮影を行った(八尾・市川, 1969)。SEMは当時まだ大学に設置されておらず、実際の観察・撮影は株式会社島津製作所の科学計測工場(京都)で行った。古期放散虫化石のSEM像が日本で公表されたのは、八尾・市川(1969)が最初であり、世界的にも最初期である。

修士課程における更なる重要な成果は、紀伊由良地域の“ペルム系”から摘出した放散虫化石が古生代型ではなく、中生代型であり、産出層が中生界である可能性を示唆した(八尾・市川, 1969)ことである。この当時の放散虫化石による年代論は、主に19世紀後半から20世紀初頭に掲載された資料との比較に基づいており、“中生代の可能性”を推定するレベルであった。しかしながら、従来想定された年代とは異なり、より新しい年代の可能性のある放散虫化石を発見したことは、“放散虫革命”への導入のきっかけとなった。

筆者は1969年に博士課程に進学し、放散虫化石及び中・古生界の研究を続行した。紀伊由良地域の秩父南帯“古生界”(白崎石灰岩や立巖石灰岩などの含紡錘虫石灰岩体を除く)は、放散虫化石だけでなく、後に発見された大型化石(六射サンゴ化石・材化石など)からも中生界であることが明らかになった(八尾, 1970)。中生代型放散虫化石の産出については、日本古生物学会1971年年会・総会(東京大学, 1971年1月)で“Mesozoic Radiolaria from the Chichibu belt in the Yura district, Wakayama Prefecture”と題して講演した。含紡錘虫石灰岩体の産状については、中生界間の“スラスト岩体”である場合と、中生界中の“スライド岩体”である場合とを識別した(市川ほか, 1971; 八尾, 1971)。含紡錘虫石灰岩体は、いずれの産状であっても中生界とは起源を異にした異質岩体であることが判明した。つまり、付加体の特性の一つであるメラングジュの特徴が認識されたわけである。

2. 2. 2 犬山地域での研究

日本の中・古生代放散虫化石の多くは、一般的に保存が悪い。化石として残された放散虫殻の形態的・構造的特徴を詳細に検討するには、保存の良い個体の観察が必要である。そのため、1969年から愛知県犬山市北方の岐阜県各務原市鶴沼(以降、犬山地域と表記)の木曾川河岸に露出する美濃帯“ペルム系”中のマンガノジュールを、橋本 正(当時、大垣第一女子高等学校)氏の協力を得て検討を開始した。珪質泥岩層の数層準に含まれるマンガノジュールを採集し、酸液で処理した。マンガノジュールは容易に溶解、非常に保存の良い多種多様な放散虫化石が得られた。この放散虫化石群は、中生代以降にしか知られていない属や種に類縁なものを多数含むのに対し、古生代のものと類縁な種は全く見当たらない。この中生代型放散虫化石の発見の第一報を、日本古生物学会1971年年会・総会(東京大学、1971年1月)で“Radiolarian fossil from the so-called Permian of Unuma, north of Inuyama, Gifu Prefecture”と題して講演し、日本地質学会関西支部例会でも発表した(八尾ほか、1971)。さらに中生界上部にしか知られていなかった分類群の一つであるSpongosaturnalidに特化して、日本古生物学会第107回例会(奈良教育大学、1971年6月)で“岐阜県犬山市北方鶴沼産の後期中生代型Spongosaturnalin Radiolariaについて”と題して講演した。

上記の中生代型放散虫化石の発見と時を同じくして、犬山地域の“ペルム系”層状チャートから三疊紀後期を示すコノドント化石が報告された(Koike *et al.*, 1971)。それ以前に、犬山地域から正確な産地・産状は不明であるが、ジュラ紀アンモナイト化石が知られていた(Mizutani, 1964)。このように1970年代初頭には、美濃帯“古生界”の年代論に関して、いくつもの問題点が指摘された。これらの問題が解決されるまでは、あと約10年近くを要した。

1972年、大阪市立大学市川研究室にSEM (JEOL SEM S-1)が導入され、一段と放散虫化石の研究が進んだ。なかでも犬山地域のマンガノジュールや層状チャート層からの放散虫化石は、いくつかの分類群についてSEMによる入念な形態的検討がなされ、新種記載された(Yao, 1972, 1979, 1982; Ichikawa and Yao, 1976)。ここで新種記載された内のいくつかの種は、*Unuma echinatus*や*Striatojaponocapsa plicarum*のように、化石群集の代表種や化石帯の指標種となった。また、SEMによって殻組織の特徴が解析され(Ichikawa and Yao, 1973)、放散虫化石に特化したSEM使用法が解説された(八尾, 1975)。

2. 2. 3 葛生地域での研究

筆者は、1970年3月に発足したコノドント団体研究グループに加わり、足尾山地^{くずう}葛生地域の足尾帯“ペルム系”の野外調査に参加した。そこで採集された珪質岩・泥質

岩はHF法で処理され、得られた残渣中の放散虫化石を検討した。その結果、層状チャート層(見かけ上位)と緑色・赤色頁岩層(見かけ下位)から中生代型放散虫化石を見出し、それぞれActinommid群集とTheoperid群集を識別した(コノドント団体研究グループ, 1974)。緑色・赤色頁岩層からの放散虫化石には*Spongosaturnalis?* sp. などのSaturnalinaeが含まれることから、ジュラ紀を示す可能性を示唆したが、1970年代初期当時の放散虫年代論としては、「中生代と推定しておくのが妥当であろう」(コノドント団体研究グループ, 1974)とせざるを得なかった。しかし、それまでの年代論が、紡錘虫化石及びコノドント化石に基づいていたが、葛生地域の“ペルム系”から中生代型放散虫化石を検出したことによって、チャートと碎屑岩中の放散虫化石が注目されるきっかけとなった。

2. 2. 4 “中・古生界”の年代再検討の開始

1960年代末から1970年代前半にかけて、前述のように紀伊由良地域(秩父南帯)、犬山地域(美濃帯)、葛生地域(足尾帯)の“古生代”泥質岩類から中生代型放散虫化石の産出が明らかになった。これらの放散虫化石群には、年代論的に明言できなかったにしてもジュラ紀型の放散虫化石が含まれる。一方、美濃帯や足尾帯の“古生代”チャートからは、三疊紀コノドント化石が産出することも明らかになった。紀伊由良地域や葛生地域の“古生界”は、含紡錘虫石灰岩体を伴っている。このことは、“古生界”を構成する各岩相が、岩相毎に堆積年代を異にすることを示している。

筆者は、1970年から大和大峯研究グループの一員として、紀伊半島中央部の秩父帯・四万十帯及び高知県下の秩父南帯・四万十帯北縁部の調査を開始した。1970年代後半からは、“中・古生界”を構成するチャート、碎屑岩類(珪質泥岩、泥岩、砂質岩)、珪長質凝灰岩の放散虫年代、及び石灰岩・緑色岩類を含めた各岩相間の地質関係を検討してきた。その初期の成果として、ペルム紀放散虫チャート、三疊紀後期放散虫チャート、含ジュラ紀放散虫泥質岩、含白亜紀放散虫チャート・泥質岩を識別し、一見整合関係に見える地層間に層序的逆転や地層の構造的繰り返しを見出した(八尾, 1979; 大和大峯研究グループ, 1981)。

放散虫化石による年代検討は、それまで大型化石の産出が少なく、年代未詳層が大半を占める四万十帯においても開始された。中川・中世古(1977)は、徳島県下の四万十帯チャートからジュラ紀後期・白亜紀放散虫化石の産出を予報した。その後、中世古ほか(1979)は、紀伊半島・四国の四万十帯において、数百地点からの岩石試料をHF処理し、ジュラ紀末から白亜紀後期までの6つの放散虫化石群集を識別した。放散虫年代論は、おもにヨーロッパや北米の白亜系から報告された資料や1968年から始まった深海掘削計画(DSDP)の成果(*Initial Reports of*

the Deep Sea Drilling Project) などの比較に基づいている。

以上のように、1970年代後半に入って丹波—美濃—足尾帯・秩父帯・四万十帯において、幾人もの研究者によって“中・古生界”の放散虫化石による年代検討が本格的に始まった。そこから得られたデータに基づいて、次項で記すように放散虫生層序が設定されるようになり、化石帯の年代対比が行われ、結果として日本列島の“中・古生界”の実態解明へと急速に繋がっていった。

2.3 1979年–1988年

1979年–1988年は、日本の中・古生代放散虫化石の研究が最も精力的に行われた時期であり、その結果、日本列島に“放散虫革命”が起った時期でもある。この時期の研究の実状として、生層序学的研究が進み、主として放散虫化石群集による化石帯の設定がなされ、化石帯の年代層序学的対比の大綱が出来上がった。これと同時に進行で“中・古生界”の年代検討が行われ、“中・古生界”の多くが堆積岩コンプレックスであるという実態が、急速に明らかになった。堆積岩コンプレックスの形成機構・形成過程は、プレート造構論的に説明された。

2.3.1 中・古生代放散虫研究の急速な展開

1970年代末以降、日本の中・古生代放散虫化石の研究及びそれをういた“中・古生界”の検討が、急速に展開した。この様子は、日本の放散虫研究文献数の急激な増加として見て取れる(八尾ほか, 2001b)。ちなみに八尾ほか(2001b)によれば、1977年から1982年の中・古生代放散虫関連の文献数は、1977年：1編、1978年：0編、1979年：12編、1980年：19編、1981年：26編、1982年：85編である。本小論では、中・古生代放散虫に関連した学会講演数の変化を以下に示す。対象としたのは1977年から1982年の日本地質学会学術大会講演要旨集と日本地質学会関西支部報(支部総会・例会講演の要旨を掲載)であり、「古生代放散虫化石」ないし「中生代放散虫化石」を記述した講演要旨が何編あるかをカウントした。日本地質学会学術大会講演要旨集でのカウント結果は、1977年：0編、1978年：2編、1979年：9編、1980年：10編、1981年：26編、1982年：39編である。日本地質学会関西支部報でのカウント結果は、Nos.79-81(1977)：0編、Nos.82-84(1978)：0編、No.85(1979)：2編、Nos.86-87(1980)：9編、Nos.88-90(1981)：9編、Nos.91-92(1982)：7編である。日本地質学会学術大会及び日本地質学会関西支部総会・例会においても、1979年以降、中・古生代放散虫に関連する発表件数が急増していることは確かである。

中・古生代放散虫研究の急速な増加に関して、その研究分野を「第1回放散虫研究集会論文集」(中世古編, 1982)に収録された中・古生代放散虫関連の29論文で検討した。結果は、放散虫化石の産出・年代：12編、生層

序：11編、化石群集：2編、古生物地理：1編、形態：1編、分類：1編、系統・進化：1編である。このことから分かるように、急速に展開した主な研究分野は、放散虫生層序学と年代論であった。この研究動向の背景には、日本の“中・古生界”の実態解明という要請があったからであり、中・古生代放散虫研究がその要請に答え得る態勢を持っていたといえる。

2.3.2 放散虫生層序学的研究の開始

大阪市立大学市川研究室には、1970年代後半から1987年にかけて、放散虫化石・コノドント化石を扱う多数の大学院生が在籍した。松田哲夫・栗本史雄・磯崎行雄・中谷登代治・松岡 篤・石賀裕明・大塚 勉・Caridroit, M.・堀 利栄・中江 訓氏らである。筆者は、1979年から松田哲夫・磯崎行雄両氏と共に、美濃帯犬山地域の鶴沼においてコノドント化石・放散虫化石による生層序学的検討を開始した。その検討結果をYao *et al.* (1980)に基づいて、以下に記述する。

木曾川右岸に露出する層状チャート層の連続層序断面(層厚約120 m)から岩石試料(39個)を採集し、HF法で処理し、残渣中のコノドント化石と放散虫化石を手分けして同定した。その結果、層序断面の最下部(0 m層準)から104 m層準まで、三疊紀中期–後期を示すコノドント化石が順次産出し、その産出順序はヨーロッパ・北米における産出順序と調和的であった。コノドント化石産出層から2つ、それより上位から1つの放散虫化石群集を識別した。前2者は三疊紀中期–後期、後者はジュラ紀初期の放散虫化石群集であり、層序断面の104 m層準付近に三疊系/ジュラ系境界が存在する。さらに、木曾川河岸の*Unuma echinatus*で代表される放散虫化石群を産する泥質岩層はジュラ系中部、その層序的上位の砂質岩層はジュラ系上部と推定した。以上の三疊系中部–ジュラ系上部は、地層面にほぼ平行な断層(スラスト)によって繰り返し重なるという実態を明らかにした。

Yao (1982)は、上記の連続層序断面から産出する放散虫化石をより詳細に検討して、1新属3新種を含む46種を識別し、4つの放散虫化石群集(*Triassocampe deweveri*群集、*Triassocampe nova*群集、*Canoptum triassicum*群集、*Parahsuum simplicum*群集)を識別した。前3者が三疊紀中期–後期、後者がジュラ紀初期の放散虫化石群集である。これまで三疊系中–上部チャート層の年代論には、共産するコノドント化石が必須であったが、コノドント化石を共産しないチャートにおいて、放散虫化石のみで年代論が行える可能性が見えてきた。

筆者は、上記の検討に引き続いて松岡 篤・中谷登代治氏らと共にチャート層とその上位の碎屑岩層における放散虫生層序の検討を行った。その結果を八尾ほか(1982)に基づいて以下に略記する。検討地域は、美濃帯の犬山地域、秩父南帯の紀伊由良地域・佐川地域・

黒瀬川地域である。その結果、三畳紀中期からジュラ紀初期の4群集(前記)に加えて、ジュラ紀前期中頃の“*Parahsuum* sp. D”群集、ジュラ紀中期の*Hsuum* sp. B群集、*Unuma echinatus*群集、*Lithocampe(?) nudata*群集、ジュラ紀後期の*Gongylothorax sakawaensis* – *Stichocapsa* sp. C群集、“*Tricolocapsa* sp. O”群集、*Dictyomitra* sp. A – *Dictyomitra* sp. B群集を識別した。ジュラ紀中期–後期のいくつかの放散虫化石群集の年代論は、1970年代及び1980年代初頭にヨーロッパや北米のジュラ系中部統–上部統から報告された資料に基づいている。

以上のように、1980年代の早い段階で三畳系–ジュラ系から11の放散虫化石群集が識別された。時を同じくして、岸田・菅野(1982)は、四国・九州の秩父帯チャート層・碎屑岩層を放散虫生層序学的に検討して、三畳系中部–ジュラ系に10帯の放散虫化石帯を設定した。また、西園ほか(1982)は、九州球磨川流域の秩父南帯において、ペルム系–白亜系から16の放散虫化石群集を識別した。Ishiga *et al.* (1982)は、丹波帯の石炭系上部–ペルム系チャート層に9帯の放散虫化石群集帯を設定した。なお、上記で引用した1982年の論文は、全て「第1回放散虫研究集会論文集」(中世古編, 1982)に収録されたものである。

1980年代前半までの化石帯は、主に特徴種の組み合わせによる群集帯(assembly zone)として設定されてきたが、Matsuoka and Yao (1986)は、生層準(biohorizon: 種の出現・消滅層準)で規定された間隔帯(interval zone)としてジュラ系に8帯の放散虫化石帯を設定した。その後、日本の中・古生界の放散虫生層序学的研究は、着実に進んだ。八尾(2004)は、それまでの日本の顕生累界放散虫生層序に関する研究成果を通覧し、放散虫化石帯としてシルル系に9帯、デボン系に8帯、石炭系に13帯、ペルム系に12帯、三畳系に18帯、ジュラ系に12帯、白亜系に16帯を示した。

2.3.3 “中・古生界”の実態解明への適用

1970年代から中・古生代放散虫化石が中・古生界の年代決定に有効であることが判明したため、非石灰岩相“古生界”や“年代未詳中生界”の年代検討に放散虫化石が用いられるようになった。その結果、1980年代前半には、丹波–美濃–足尾帯・秩父帯・北部北上帯の非石灰岩相“古生界”の多くは、三畳系–ジュラ系下部チャート層とジュラ系碎屑岩層からなることが明らかになった。これら中生界と古生代石灰岩・緑色岩体は、異なる堆積場で形成された地質体であり、全体として堆積岩コンプレックスをなすことが判明した。同様に、四万十帯北半も白亜紀堆積岩コンプレックスで構成されることが分かった。

堆積岩コンプレックスは、層序的・構造的特徴に基づいてメランジューとチャート・碎屑岩シークエンスに区分される。メランジューは細粒の基質と様々なサイズのブ

ロックからなり、基質とブロックの堆積年代の相違は、放散虫化石などによって確かめられる。メランジューの大半は、海洋プレートが海溝域で沈み込む際に、堆積的ないし構造的に形成されたと解釈される。チャート・碎屑岩シークエンスは下部がチャート層、上部が碎屑岩層で構成される一連整合の地層であり、上方粗粒化を示す。その層序学的連続性は放散虫生層序によって確かめられる。このシークエンスの岩相変化は、遠洋域深海底から海溝域までの堆積環境の遷移を示すものと解釈される。

チャート・碎屑岩シークエンスは、地層面に平行な断層(スラスト)によって繰り返し重なった構造(スラストパイル構造)を呈することがある。堆積岩コンプレックスは、それを構成する岩相の組み合わせと形成年代の相違に基づいてユニット区分される。各ユニットはスラストで境され、構造的上位から下位のユニットに向かって形成年代が若くなるという極性を示す。

以上のように放散虫化石の研究によって明らかにされた“中・古生界”の実態から、地層の堆積場・コンプレックスの形成機構・形成過程に関して、プレート造構論的に説明されるようになった。筆者は、1967年以来研究を続けてきた紀伊由良地域の秩父南帯・四万十帯北縁部の“中・古生界”について、放散虫年代論と構造層序学的視点から地質構造発達史を論じ、それを学位論文としてまとめ、公表した(Yao, 1984)。

2.4 1989年以降

1980年代での生層序学的研究が一段落した段階で、筆者は1989年以降、中・古生代放散虫化石の群集解析を開始した。化石群集を解析する目的は、多様な種で構成される化石群集の実態や、産出層準間の化石群集の相違(経時変化)などを明らかにし、変化の要因を考察することである。最終的には、当時の古環境ひいては地球環境変動の復元にアプローチできるのではないかと考えられる。以下に筆者らが行った化石群集解析の例を示す。

2.4.1 ジュラ紀前期–中期の放散虫化石群集の解析

八尾・松岡(1981)は、美濃帯犬山地域の鶴沼セクションから産する放散虫化石群集(*Unuma echinatus*群集: 以降、*Ue*群集と略記)に150種以上が含まれることを指摘した。筆者は、1989年以降、犬山地域の鶴沼セクション(層厚約30 mの珪質泥岩層、年代:ジュラ紀中期のバジジアン期)のIN-10, IN-7, IN-3, IN-1層準(下位から上位へ:各位置はYao, 1972のText-fig.1-cを参照)のマンガノジュール、及び、美濃帯のより古い年代のマンガノジュール(ジュラ紀中期のアレーニアン期のMKM(GH)-1とHK-140、及びジュラ紀前期のトアルシアン期のNJ-12:各位置は八尾, 1997の第1図を参照)の放散虫化石群集を解析した。検討手法として、マンガノジュールの酸処理後の残渣から化石個体をピックアップし、SEM

で観察・同定した。化石群集の解析項目は、構成種数、Spumellaria種数/Nassellaria種数比(S/N比)、層準間の種構成の類似度、層準間の出現種数と絶滅種数などである。

八尾(1989)はIN-7層準のUe群集の構成種数を二百数十種以上としたが、その後の検討で種数は増加した。八尾(1991a)は、5層準(NJ-12, HK-140, GH-1, IN-7, IN-1)間の種構成の類似度を算出して、その数値と層準間の年代幅とがほぼ調和的なことを示した。八尾(1991b)は、上記5層準を通しての種産出状況を検討し、3～5層準にわたって産出する長期間種(生存期間:千数百万年)と1層準にのみ産出する短期間種(生存期間:数百万年以内)に大別し、短期間種が各群集の24～32%を占めることを明らかにした。八尾(1997)は、各層準の構成種数を再検討し、NJ-12:206種、HK-140:201種、MKM(GH)-1:282種、IN-7:303種、IN-1:280種、5層準全体で745種を識別し、745種全てをSEM写真で示した。この5層準間(年代幅:トアルシアン期からバジジョシアン期までの約1500万年間)の放散虫群集の変遷は、群集を構成する各種の生存期間の長短と、新種の出現率・既存種の絶滅率によって規制されているとした。

その後、八尾・西原(2004)は、次の検討結果を示した。鵜沼セクションの4層準(IN-10, IN-7, IN-3, IN-1)の構成種数はそれぞれ300種強であり、S/N比から判断してIN-10からIN-3層準までは定常的に群集変遷した。しかし、IN-3からIN-1層準に向かってSpumellaria種数の減少・Nassellaria種数の増加という下位分類群(亜目以下)で相当な消長があった。八尾ほか(2008)は、上記4層準に最下位層準のIN-16を加えて、鵜沼セクションにおける最終的な検討を次のように行った。各層準における全構成種数、Spumellaria種数、Nassellaria種数と、Pantanelidae・Hagiastriidae・Xiphostylidae・Saturnaliidaeのそれぞれの種数と種ごとの個体数をカウントし、特定種群の部位のサイズ(*Tripocyclia southforkensis*のスパイン長と殻直径、*Acanthocircus suboblongus*のリング横長と縦長)を計測した。その結果、種数と個体数の変化から当時の古海流(古黒潮と古親潮)の混合程度が推定され、サイズ変化から上位層準にむかって放散虫生息水塊の海水温が低下していったことが想定された。

2.4.2 ペルム紀後期—三畳紀中期の放散虫化石群集の解析

筆者は、大学院研究生の桑原希世子氏と共同でペルム紀後期から三畳紀中期にかけての放散虫化石群集の変遷を検討した。検討セクションは、美濃帯の郡上八幡セクション(ペルム系上部)と犬山地域の6セクション(三畳系下部—中部)である。検討方法として、HF処理後の残渣をスライドガラスに封入し、光学顕微鏡下で種の同定を行い、構成種数をカウントした。その結果、八尾・桑原(1997)によれば、ペルム紀後期を通じて群集の多様性

が高く、種数の大きな変化はみられないが、三畳紀前期の前期—中期では多様性は大きく減少し、三畳紀前期の後期には急速に多様性が回復した。ただし、ペルム紀と三畳紀の放散虫化石群集の間にはほとんど共通種が見られず、P/T境界を介して放散虫群集は急激に変換したといえる。

桑原・八尾(2001)は、ペルム系上部に特化して放散虫化石群集の多様性を検討した。検討対象は郡上八幡セクションの5層準であり、HF処理後の残渣から放散虫個体をピックアップし、SEMで撮影して種区分を行った。その結果、5層準を通して化石群集は70～100種で構成され、多様性の比較的高い状態を維持していたが、最上位層準で出現種数の減少、絶滅種数の増加が認められ、ペルム紀後期末に放散虫類の生息環境が急速に悪化した可能性が考えられる。以上のペルム紀後期—三畳紀中期の放散虫化石群集の解析を行う途上で、群集変遷様式を検証するためのモデル化の手法を提示した(桑原・八尾, 2004)。提示した「定常的群集変遷モデル」を用いて、実際のデータに基づくペルム紀後期とジュラ紀中期の群集変遷を検証すると、モデルと調和的な結果を得た。

3. 中・古生代放散虫研究の進展の背景

3.1 放散虫化石の特性

中・古生代放散虫化石の研究が急速に進展した背景には、放散虫が持つ生物学的な特性や、放散虫殻が地層中に残される環境、地層中での残存状況などが重要な要素として存在している。

3.1.1 種類の多様性と変異性

放散虫は、海洋性プランクトンの単細胞原生生物である。その多くは珪質の殻をもち、Polycystina亜門に分類され、カンブリア紀から現世まで存続している。Polycystina亜門には、Albaillellaria, Spumellaria, Nassellariaなどの目が含まれ、殻の長径は数十～数百 μm で、球形・回転楕円形・円盤形・釣鐘形・紡錘形・円錐形など様々な形をしている。それ故、種区分において、Polycystinaに約15,000種という多様な種が知られている。犬山地域のマンガノジュール(ジュラ紀中期のバジジョシアン期)から産するUe群集は、日本における最も多様な例(511種:八尾ほか, 2008)の一つである。一般的な層状チャートや珪質泥岩の1試料においても、放散虫化石は少なくとも数十種以上が識別される。

放散虫化石の特性として、種の多様性だけでなく、種構成の経時的变化が顕著である。最も大きな変化は、八尾・桑原(1997)で示したように、P/T境界から三畳紀前期の前期を介してペルム紀群集と三畳紀前期の後期群集とは総入れ替えに近い変化を起こしている。また、八尾(1997)で示したように、トアルシアン期からバジジョシ

アン期までの約1500万年間における各層準の種構成において、短期間種(生存期間数百万年以内)が各層準の約3割を占め、経時的に種構成が変化した。このことは、示準化石と成りうる放散虫化石が、どの層準においても多数存在することを示している。

3.1.2 殻の組成と堆積環境

現生の放散虫(Polycystina)の殻は、オパール(非晶質シリカ)で構成されるが、続成過程でオパールCTを経て石英に転移する。中・古生界中に含まれる放散虫殻は、炭酸塩や硫化鉄で置換されている場合を除いて、全て石英で構成される。殻を構成する石英の粒径が、細粒であればあるほど殻形態は良く保存されているが、変成・変質作用を受けた場合、殻の石英粒径は大きくなり、殻形態の保存は悪くなる。

珪質殻は化学的に比較的安定であり、地層中に化石として保存されやすい。遠洋性深海底堆積物と考えられる層状チャート層やそれに重なる珪質泥岩層から放散虫化石が多産する理由は、当時の海洋水塊中に多数の放散虫が生息し、その遺骸が炭酸塩補償深度(CCD)での溶解作用を受けず、海洋底では珪質の放散虫殻のみが残り、他の粒子がほとんど供給されないためである。

3.1.3 層序学的産状

放散虫化石は、古生代以降の大洋底深海底堆積物をはじめとして、さまざまな環境の海底に堆積した珪質岩・泥質岩・炭酸塩岩・凝灰岩中に含まれる。その産状は、層序学的に連続して産出する場合が多い。特に層状チャート層やそれに連続する珪質泥岩層は、堆積速度が遅く、長期間にわたって安定した堆積環境下で形成され、放散虫化石が層序学的に連続して含まれるに至ったと考えられる。

このような放散虫化石の産出の特徴は、前述したように放散虫の生体群集における種の多様性の高さ、個体数の多さ、浅海から深海に至る生息域の広さ、珪質殻の化学的安定性などにその要因がある。このような放散虫化石の特性を活かした古生物学的研究が1960年代末以降に急速に進み、放散虫化石が中・古生界においても示準化石として、また、生層序区分や対比の基準として有効であることが明らかになってきた。また、放散虫化石が古生物地理学的及び古環境学的指標としても有効であることも明らかになりつつある。

3.2 研究手法の近代化

中・古生代放散虫化石の研究が急速に進展した背景には、含放散虫岩の処理法の新たな開発や工夫(HF法)、及び観察や記録のための新しい機器(SEM, コンピュータ)の導入・普及があった。

3.2.1 HF法の工夫と普及

筆者が学部生であった1966年当時、中・古生代放散虫化石は、生層序学的に“役立たずの化石”という認識が一般的であった。その原因は、放散虫化石の多くがチャートや珪質泥岩といった硬質の岩石に含まれ、個体分離・摘出が容易でなく、もっぱら岩石薄片を光学顕微鏡下で観察していたため、放散虫化石の有用な形態的特徴が見出せていなかったからである。1960年代までは珪質岩から放散虫化石を個体分離・摘出する方法は開発されていなかった。筆者は、混酸・アルカリ液処理によって、珪質泥岩から放散虫化石を摘出した(八尾・市川, 1969)が、この処理法は、チャートには不適合であった。

1960年代後半に、日本ではコノドント化石が注目されだし、“古生界”の研究に有用と考えられた。そのため、チャート中のコノドント化石を研究するためにフッ化水素酸(フッ酸:HF)法が用いられ始めた(林, 1969)。コノドント団体研究グループは、1970年からチャートのHF処理を開始し、残渣中の副産物としての放散虫化石に注目した。また、泥質岩(泥岩・頁岩)をHF処理し、放散虫化石を個体分離した。以降、様々な研究者・グループが、フッ化水素酸の濃度や処理時間等の工夫を行い、HF法は様々な地質年代の様々な岩石種に適用され、広範に普及していった。

3.2.2 SEMの普及

放散虫化石は様々な形態の立体的な殻を持ち、放射棘や複雑な立体構造の骨針を持つものもある。そのため、岩石薄片法による殻断面の観察では、殻全体、殻表面の形態、骨格構造などの特徴をつかみづらい。放散虫殻の形態的特徴を明らかにするためには、光学顕微鏡と比較して、より解像度が高く、低倍率から高倍率まで連続的に観察でき、焦点深度が深いという特性をもつSEMが有用となる。

1972年に大阪市立大学市川研究室に導入されたSEM S-1は、日本電子株式会社の手近な試料を手軽に観察できるように開発した初期の小型走査型電子顕微鏡であり、価格は200～300万円であった。放散虫化石研究におけるSEMの使用は、1970年代以降、急速に普及し、1980年代では一般化した。

3.2.3 コンピュータの普及

放散虫生層序学的研究や放散虫化石の群集解析が進むにつれ、扱うデータ量は膨大になっていった。これらデータを記録し、まとめ、解析するツールとしてコンピュータが必須となった。なかでも手元において即利用できるパーソナルコンピュータ(PC)は、1980年代に普及しだし、1990年代に急速に広まった。また、放散虫文献データベースの構築及びインターネットを通しての公表には、大学の大型コンピュータが用いられ、大量の文献情報の

検索に供されるようになった。

3.3 研究体制の組織化

放散虫化石の研究において、各研究者による個別の研究が最も基本になることは確かであるが、その研究をより大きな課題の中に位置づけて、研究者間で情報交換が密に行える場を組織することも重要である。中・古生代放散虫の研究に重要な役割を果たした組織化を以下に取りあげる。

3.3.1 科学研究費補助金総合研究(A)

放散虫研究の高まりと時を同じくして、以下の4つの科学研究費補助金総合研究(A)が継続的に組織された。「本邦中・古生界の放散虫生層序に関する総合研究」(代表者：名古屋大学 水谷伸治郎, 1982–1983), 「西南日本の中生代含放散虫地帯の形成過程」(代表者：大阪市立大学 市川浩一郎, 1984–1985), 「放散虫生層序の国際対比」(代表者：名古屋大学 水谷伸治郎, 1989–1990), 「放散虫による顕生代海域環境の地史的変動の研究」(代表者：大阪市立大学 八尾 昭, 1992–1994)である。上記の総合研究のタイトルは、その当時の放散虫研究の主要課題がどこにあったかをよく反映している。

以上の総合研究(A)は、研究代表者と二十数名の研究分担者で組織された。研究分担者は、日本全国の大学で放散虫及び関連の研究を行っている主だった研究者から選ばれた。実施期間が2年ないし3年で、掲げた研究課題や関連課題に関してそれぞれ研究を進めた。その間、互いに情報交換を密に行い、最終年度には研究集会を持つなどして研究成果がまとめられた。総合研究(A)は、個人研究の枠を超えて広く情報交換する場を提供し、広く利用が望める放散虫文献データベースの構築を課題に含めるなど、放散虫研究の進展に大きく貢献した。

3.3.2 国際協力研究事業

国際連合教育科学文化機関(UNESCO)と国際地質学連合(IUGS)の国際協力研究事業として、国際地質対比計画(International Geological Correlation Programme: IGCP)がある。そのProject No.115 (IGCP115: “Siliceous Deposits in the Pacific Region”)の第2回国際研究集会が、1981年8月21–27日に日本で開催された。その際、犬山地域の中生界が野外巡検の対象となり、多くの外国人研究者に木曾川河岸の三畳系—ジュラ系層状チャート層・碎屑岩層が紹介された(Mizutani *et al.*, 1981)。

1985年から1990年にかけて、Project No.224 (IGCP224)が、市川浩一郎先生をリーダーとして組織された。IGCP224の課題は、“Pre-Jurassic Geologic Evolution of Eastern Continental Margin of Asia”であり、この課題のもとに13ヶ国の研究者が参加した。毎年、アジアの要地の持ち回りでシンポジウムが開催された。日本国内では、1970

年代末からの中・古生界における放散虫生層序学的研究、古地磁気測定、変成岩の同位体年代測定などの急速な進展に基づいて、各地体(テレーン)の見直しが行われた。その成果をまとめて“Pre-Cretaceous Terranes of Japan” (Ichikawa *et al.* eds., 1990)が出版された。この冊子は、日本列島の基盤を構成する先白亜紀地質体を、新しい視点で地体区分した最初の成果である。

3.3.3 国際共同研究

筆者は、中国の北京大学及び中国地質科学院との共同研究を1991年から2007年まで、17年間にわたって実施した。共同研究のきっかけは、北京大学のAn Taixiang教授が1982年に大阪市立大学を訪れた際、コノドント化石と放散虫化石を含めた共同研究実施の可能性を話し合ったことにある。1986年に国際学術研究「内モンゴル・吉林地帯のペルム—トリアス紀変動の地質学的研究」(代表：石井健一, 期間：1986–1989)の研究分担者として北京を訪れた際、An教授から北京大学地質学系で集中講義「放散虫古生物学」を行うよう依頼を受けた。1987年に集中講義を実施すると同時に、南中国の中・古生界を予察的に調査した。その後、科学研究費補助金国際学術研究「揚子地塊における古生代後期—中生代初期の環境変遷と古生代型生物群の大量絶滅過程」(代表 八尾 昭)が採択され、1991年度に現地調査を実施した。これが共同研究の始まりであり、それ以降、毎年、国際学術研究の研究課題にそって南中国における共同研究を実施してきた。共同研究への参加者は、日本側が八尾のほか2～3名、中国側がAn教授のほか2～3名とYao Jianxin (中国地質科学院)である。現地での野外地質調査には中国各省地質鉱産局の研究者が研究協力者として加わった。1999年に、共同研究の成果の一部をまとめて論文集(Yao *et al.* eds., 1999)を出版した。また、2000年までの共同研究の概要は、八尾ほか(2001a)にまとめた。2001年以降の南中国における現地調査は、年2回(3月と11–12月)実施し、3月は中国地質科学院、11–12月は北京大学がおもなカウンターパートであった。

松岡編(2001)は、中・古生代放散虫関連の国際共同研究として、上記の八尾ほか(2001a)以外に、相田吉昭ほかによるニュージーランドの中・古生界、指田勝男によるタイ・インドネシアの中・古生界、松岡 篤によるフィリピンのジュラ紀付加体及びチベットのジュラ系—白亜系、角和善隆・夏 文臣による南中国のデボン系—三畳系、久田健一郎ほかによる韓国の白亜系(礫中の放散虫化石)、小嶋 智ほかによるロシア沿海州の中・古生界を収録している。これら以外にも、筆者と韓国慶北大学Chang Ki-Hong教授との共同研究(Chang *et al.*, 1990)や水谷伸治郎先生と中国科学院南京地質古生物研究所Yang Qunとの共同研究など、多数の国際共同研究が実施された。

国際共同研究において、日本で急速に進展した中・

古生代放散虫研究, 及び中・古生界研究を基礎にして, 海外においても精力的な調査・研究が実施され, 学術的に重要な成果を挙げてきた。また, 共同研究を通して, 若手研究者の育成や研究手法の普及という面においても, 重要な役割を果たしてきた。

3.4 情報交換の組織化と国際化

放散虫研究において, 実際の野外調査や室内研究を伴う総合研究(A)や海外共同研究は重要であるが, より広範に研究成果や研究手法について情報交換する場も必要である。そのような情報交換の場として日本国内で組織された「放散虫研究集会」と, より広範な国際研究集会の組織やそれへの参加状況を以下に記す。

3.4.1 放散虫研究集会

1970年代末から1980年代初頭の放散虫研究への熱い思いと高揚感みなぎる中で, 中世古幸次郎先生が中心となって「第1回放散虫研究集会」(1981年10月14-15日, 大阪)が開催された。研究集会には, 120名もの参加があった。この研究集会のまとめの冊子として「第1回放散虫研究集会論文集」(中世古編, 1982)が出版され, その中には中・古生代放散虫関連の29編の論文が収録されている。その後, 放散虫研究集会は, 第2回: 1985年6月15-16日大阪市立大学(市川浩一郎), 第3回: 1990年9月30日-10月1日 宇都宮大学(酒井豊三郎・相田吉昭), 第4回: 1992年1月29日大阪市立大学(八尾 昭), 第5回: 1996年1月26-28日大阪市立大学(八尾 昭), 第6回: 1997年6月13-15日新潟大学(松岡 篤), 第7回: 2000年6月3-4日 兵庫県立人と自然の博物館(竹村厚司・古谷裕), 第8回: 2003年6月7-8日 筑波大学(指田勝男), 第9回: 2006年2月28日-3月3日 東北大学(鈴木紀毅), 第10回: 2009年3月20-21日 山口大学(鎌田祥仁), 第11回: 2011年10月29-30日 愛媛大学(堀 利栄), 第12回: 2014年11月29-30日 福島県立博物館(竹谷陽二郎), 第13回: 2017年3月2-5日 山形大学(本山 功)というように, ほぼコンスタントに開催されてきた。なお, 上記開催場所に付記されたカッコ内の人名は主催者名である。放散虫研究集会では, 若手研究者を中心に多くの研究発表がなされ, 研究集会後に発行される「放散虫研究集会論文集」に出来る限り多くの論文原稿を投稿するよう促してきた。また, 第3回以降, 放散虫研究集会の開催時期を, InterRad(後記)の開催時期の前に設定するなど, 国際研究集会との連携を考慮しながら実施されてきた。これら一連の活動は, 日本の放散虫研究のポテンシャル維持に役立ってきたといえる。

3.4.2 国際研究集会

日本の放散虫研究の情報交換が, 1980年以降, 国際的になっていった経緯を知るために, InterRadや

その他の国際研究集会(万国地質学会議IGCなど)とどのように関わって来たかを振り返りたい。InterRad(The International Association of Radiolarists)は, 放散虫関連の国際学術組織である。InterRadは, ヨーロッパを中心にEuroRadとしてスタートした。第1回EuroRad研究集会が, 1978年4月18-21日にフランス北部のリールで開かれた。第2回研究集会は, 1980年7月28日-8月1日にスイス西部のバーゼルで開かれた。参加者は, 欧米5カ国の8名と日本からの3名(中世古幸次郎, 西村明子, 八尾 昭)であり, 少人数での中身の濃い研究集会となった。時をほぼ同じくして, 1980年7月7-17日にフランスのパリで第26回IGCが開かれ, 放散虫関連のシンポジウムで筆者らも発表を行った。第3回EuroRad研究集会は, 1982年7月19-24日にノルウェー西岸のベルゲンで開かれ, 参加者16名のうち日本人は4名であった。1983年4月15-16日に米国テキサスのダラスでAAPG/SEPMを機に「放散虫ワークショップ」が開かれ, 約100名の参加者のうち日本人は若手5名であった。第4回EuroRad研究集会は, 1984年10月10-19日にロシア(当時ソ連)のレニングラードで開かれ, 参加者44名(ソ連31名)のうち日本からは2名であった。1987年にEuroRadの名称がInterRadに変更された。第5回InterRad研究集会は, 1988年7月21-24日にドイツのマルブルグで開かれ, 参加者79名のうち日本からは6名であった。この集会のビジネスミーティングにおいて, ヨーロッパ側から次々回の第7回を日本で開くよう要請があった。その理由は, 第2回以降, 日本から複数名が参加し, 名称がInterRadへ変更されたこともあって, 一度, ヨーロッパ以外で開催してはどうかというものである。第6回研究集会は, 1991年9月30日-10月5日にイタリアのフィレンツェで開かれ, 参加者72名のうち日本からは10名であった。この集会のビジネスミーティングにおいて第7回研究集会を日本で開催することが正式に決定された。1992年8月24日-9月3日に, 第29回IGCが京都で開かれ, その中で放散虫関連のシンポジウム“Radiolarian events”が組まれた。

以上のように, 1980年から1990年代初めまで, 放散虫関連の国際研究集会には, 日本から常に複数名の参加があった。参加者からは研究集会の様子がフィードバックされた。日本において, 1980年代に放散虫研究に携わる人数が急増し, しかも若手が多いという状況下で, InterRad研究集会を日本で開催しようという機運が高まった。InterRad VIIを日本で開催するにあたって, 日本国内では1989年から「InterRad準備委員会」が組織され, 研究集会の規模・開催時期・開催場所・費用の見積などに関する検討が始まった。1991年に日本開催が正式決定され, 「InterRad VII組織委員会」が組織された。

InterRad VII OSAKAは, 1994年10月20-24日に関西地区大学セミナーハウス(神戸市)において開催され, 96名(海外18ヶ国44名, 日本52名)の参加のもと, 108編の

論文が発表された。参加者規模は、それまでのInterRad研究集会の中で最大となり、大盛会となった。この研究集会の野外巡検として3コースが組まれたが、そのうちの2コースは、「丹波帯の古生界上部の層状チャート層」と「美濃帯の三畳系-ジュラ系の含放散虫層」であり、1980年代に放散虫生層序が明らかにされた代表的なセクションが海外の研究者に紹介された。

InterRadは、国際研究集会を開催するだけでなく、古生代・中生代・新生代のワーキンググループを組織しており、研究者はいずれかに加わって情報交換を行っている。1989年にスイスのBaumgartnerが中心になって“InterRad Jurassic-Cretaceous Working Group”を結成し、日本から紀藤典夫と松岡 篤が加わった。このワーキンググループは、精力的にテチス域のジュラ系中部—白亜系下部放散虫カタログの作成、生層序・年代の検討を行い、それをまとめて1172ページにも及ぶ大著(Baumgartner *et al.* eds., 1995)を出版した。放散虫カタログには、日本から新種記載された多くの種が含まれており、年代論的にも多く利用されている。

1997年のInterRad VIII(フランス)以降の研究集会にも、日本から多数の参加者があり、InterRadの中で日本は一大勢力となっている。この流れを受けて、再び日本でInterRad XV in Niigata 2017が2017年10月22-27日に開催された。

4. おわりに

筆者は、2008年3月末に大阪市立大学大学院を定年(63才)で退職して以来、自宅に生物顕微鏡を設置して中・古生代放散虫化石の検鏡を中心とした研究を続けてきた。現在、退職して10年が経過したが、その間、出来る限り放散虫化石研究の動向に注意を払ってきた。本小論は、「20世紀後半における日本の中・古生代放散虫研究の進展」を筆者の研究を軸にレビューしたものであり、21世紀に入ってからどのような進展があったかについては、少し間を置いて冷静にレビューする必要がある。しかしながら、2017年10月22-27日に日本で開催されたInterRad XV in Niigata 2017に参加して感じた最新の動向を若干取りあげたい。なお、InterRad XV in Niigata 2017がどのような国際研究集会であったかについての概要は、中川ほか(2018)で報告されている。また、InterRad XVのProgram & Abstractsは、InterRadのNewsletter (The International Association of Radiolarists, 2017)として発行されている。

InterRad XV in Niigata 2017は、日本で初めて開催されたInterRad VII OSAKA (1994)と比較すると、シンポジウムの内容が実に多様であり、24セッションが組まれた。そのうち中・古生代放散虫研究の成果が発表されたのは、18セッションに及んでいる。以前、研究の中心であった放散虫生層序は当然にして、それを前提とした次の

ステップの研究(放散虫化石を用いての地質系統境界、古海洋、古生物地理、テクトニクス、個体発生、進化などの研究)が進んでいることが実感された。また、筆者は本文で“20世紀後半における研究手法の近代化”に言及したが、最近、それを凌駕する更なる近代化が進んでいることも知らされた。さらに、若手研究者が堂々と研究発表を行い、いきいきとコミュニケーションをとっている様を見て、実にたのもしく感じられた。今後も放散虫研究が更に進み、様々な分野で大きく貢献することを強く願う次第である。

謝辞：この小論を書くきっかけをくださった本山 功氏を初めとする2016年度微生物学リファレンスセンター研究集会・第13回放散虫研究集会合同山形大会関係者及び水谷伸治郎先生に、まずお礼を申し上げます。筆者の放散虫研究を初歩からご指導下さった今は亡き市川浩一郎先生(大阪市立大学)、中世古幸次郎先生(大阪大学)に深く謝意を表します。また、1970年代後半から1987年まで市川研究室に籍を置いて共に放散虫研究にいらした大学院生各氏(本文に列記)や、1988年以降、筆者の研究室で放散虫研究に携わって成果をあげた大学院生各氏(桑原希世子・山本光一・福富孝義・岡本省吾・柏木健司・石本秀亀・平石美樹子・Yu Jie・舟川 哲・竹村静夫・山田昌史・梅田真樹・Liu Jianbo・谷口雅章・西原ちさと・山中雅之・後藤 隆・松永昌治・角谷直俊・大岡弘一・前川 淳・渡部 聡・藤田麻悠子・奥田 尚・菅森義晃・藤原武史・嶋川未来子・Vaziri.S.H.・都筑 宏)、及び卒業研究で放散虫化石に携わった学部学生の皆さんに感謝いたします。さらに、野外調査や室内処理等で苦楽を共にした大和と大峯研究グループの各氏や、総合研究及び個別の共同研究でお世話になった大勢の方々にもお礼を申し上げます。最後に、本小論原稿を査読くださった栗本史雄氏及び編集担当者に感謝いたします。

文 献

- Baumgartner, P. O., O' Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and De Wever, P., eds.(1995) Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology. *Memoires de Geologie (Lausanne)*, **23**,1172p.
- Chang, K. H., Woo, B. G., Lee, J. H. and Yao, A.(1990) Cretaceous and Early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang Basin, S. Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **26**(5), 471-487.
- コノドント団体研究グループ(1974)本邦二畳系と三畳系の境界におけるコノドントについて —唐沢地域における鍋山層とアド山層の層序とフォーナー—. *地球科学*, **28**, 86-98.

- 林 信悟(1969) HF法によるコノドントの抽出. 化石研究会会誌, **2**, 1-9.
- Ichikawa, K. (1950) A study on the radiolarian fauna of Mt. Mitake in the southern part of the Kwanto Mountainland, Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, **7**, pt.5, 281-315.
- Ichikawa, K. and Yao, A.(1973) Scanning electron microscope studies of pores of some cyrtoid radiolarians. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **16**, 125-144.
- Ichikawa, K. and Yao, A.(1976) Two new genera of Mesozoic cyrtoid radiolarians from Japan. In Takayanagi, Y. and Saito, T., eds., *Progress in Micropaleontology, Micropaleontology Press, The American Museum of Natural History*, 110-117.
- 市川浩一郎・石井健一・八尾 昭(1971) 和歌山県白崎地方の後期古生代石灰岩体の地質産状. 地質学論集, no.6, 176.
- 市川浩一郎・波田重熙・八尾 昭(1985) 中・古生界微化石層序と西南日本の中生代造構史の最近の諸問題. 地質学論集, no.25, 1-18.
- Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds. (1990) *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No.224 Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia, 413p.
- Ishiga, H., Kito, T. and Imoto, N. (1982) Permian radiolarian biostratigraphy. *News of Osaka Micropaleontologists, Spec. Vol.*, no.5, 17-26.
- 石垣 忍・八尾 昭(1982) 放散虫革命—放散虫研究者と現場教師の対話—. 地学教育と科学運動, no.11, 93-102.
- 岸田容司郎・菅野耕三(1982) 西南日本外帯における三疊紀・ジュラ紀放散虫化石分帯. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.5, 271-300.
- Koike, T., Igo, H., Takizawa, S. and Kinoshita, T. (1971) Contribution to the geological history of the Japanese Islands by the conodont biostratigraphy. Part II. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 165-168.
- 桑原希世子・八尾 昭(2001) 美濃帯層状チャートにみられるペルム紀新世の放散虫群集の変遷. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.12, 33-49.
- 桑原希世子・八尾 昭(2004) 「定常的群集変遷モデル」を用いた放散虫化石群集の解析. 情報地質, **15**, 151-157.
- 松岡 篤編(2001) パンサラサーテチスの古海洋学 グローバル・フィールド・サイエンスへの招待. 古生物学トピックス, no.2, 100p.
- Matsuoka, A. and Yao, A.(1986) A newly proposed radiolarian zonation for the Jurassic of Japan. *Marine Micropaleontol.*, **11**, 91-105.
- Mizutani, S. (1964) Superficial folding of the Palaeozoic system of Central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **12**, 17-83.
- Mizutani, S. and Yao, A.(1991) Radiolarians and terranes. Mesozoic geology of Japan. *Episodes*, **14**, 213-216.
- Mizutani, S., Imoto, N., Yao, A., Ichikawa, K., Ishida, K., Nakazawa, K., Otsuka, T., Shimizu, D. and Suyari, K.(1981) Triassic bedded chert and associated rocks in the Inuyama area, Central Japan. *The Second International Conference on Siliceous Deposits in the Pacific Region, IGCP Project 115*, 156-210.
- 中川衷三・中世古幸次郎(1977) 四万十層群の放散虫化石(予報) —四国東部の四万十帯の研究 その2—. 徳島大学芸紀要(自然), **27**, 17-25.
- 中川孝典・富松由希・伊藤 剛(2018) 第15回国際放散虫研究集会 —InterRad XV in Niigata 2017— 参加報告. 日本地質学会News, **21**, 9-10.
- 中世古幸次郎編(1982) 第1回放散虫研究集会論文集. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.5, 485p.
- 中世古幸次郎・西村明子・菅野耕三(1979) 四万十帯の放散虫化石の研究(白亜系放散虫を中心にして). 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.2, 1-44.
- 中世古幸次郎・水谷伸治郎・八尾 昭(1983) 放散虫化石と日本列島の中生代. 科学, **53**, 177-183.
- 西園幸久・大石 朗・佐藤 徹・村田正文(1982) 球磨川中流域における中・古生代放散虫化石群集について. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.5, 311-326.
- Takahashi, K. and Yao, A. (1969) Plant microfossils from the Permian sandstone in the southern marginal area of the Tanba belt. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no.73, 41-48.
- The International Association of Radiolarists (2017) RADIOLARIA. Newsletter of the International Association of Radiolarists, **40**, 1-324.
- 大和大峯研究グループ(1981) 紀伊山地中央部の中・古生界. 第35回地団研総会巡検案内書, 88p.
- 八尾 昭(1968) 京都府宇治田原町より紡錘虫化石の発見. 地質雑, **74**, 399-400.
- 八尾 昭(1970) 和歌山県由良地域の地質, とくに由良層について. 日本地質学会第77年学術大会 講演要旨, 215.
- 八尾 昭(1971) 和歌山県由良地域の秩父累帯, とくに古生代石灰岩体と中生層の関係について. 地学関係5学会連合学術大会 講演要旨, 487.
- Yao, A. (1972) Radiolarian fauna from the Mino belt in the northern part of the Inuyama area, Central Japan. Part I Spongosaturnalids. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **15**, 21-64.
- 八尾 昭(1975) 放散虫と走査型電子顕微鏡. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.5, 311-326.

- 石研究会誌, no.3, 16–19.
- Yao, A. (1979) Radiolarian fauna from the Mino belt in the northern part of the Inuyama area, Central Japan. Part II Nassellaria 1. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **22**, 21–72.
- 八尾 昭(1979) 本州地向斜のトリアス紀・ジュラ紀放散虫化石. 日本地質学会第86年学術大会 講演要旨, 148.
- Yao, A.(1982) Middle Triassic to Early Jurassic radiolarians from the Inuyama Area, Central Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **25**, 53–70.
- Yao, A.(1984) Subdivision of the Mesozoic complex in Kii-Yura area, Southwest Japan and its bearing on the Mesozoic basin development in the Southern Chichibu Terrane. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **27**, 41–103.
- 八尾 昭(1989) ジュラ紀中期放散虫化石 (*Unuma echinatus*群集)の群集組成. 日本古生物学会1989年年会 講演予稿集, 74.
- 八尾 昭(1991a) *Unuma echinatus* 群集(ジュラ紀中世放散虫)の群集組成[その7]. 日本地質学第98年学術大会 講演要旨, 281.
- 八尾 昭(1991b) *Unuma echinatus* 群集(ジュラ紀中世放散虫)の群集組成[その8]. 日本古生物学会第140回例会 講演予稿集, 28.
- 八尾 昭(1997) ジュラ紀古・中世放散虫群集の変遷. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.10, 155–182.
- 八尾 昭(2004) 第4章 放散虫生層序. 鎮西清高・植村和彦編, 地球環境と生命史, 古生物の科学5, 朝倉書店, 60–68.
- 八尾 昭・市川浩一郎(1969) 古期(中・古生代)放散虫化石の研究 —個体分離と表面形態の観察—. 化石研究会会誌, no.2, 15–19.
- 八尾 昭・桑原希世子(1997) ペルム紀新世から三疊紀古・中世にかけての放散虫群集の変遷. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.10, 87–96.
- 八尾 昭・松岡 篤(1981) 美濃帯犬山地域のジュラ紀放散虫 *Unuma echinatus* 群集. 日本地質学会関西支部報, no.90, 5–6.
- 八尾 昭・水谷伸治郎(1993) 放散虫化石の研究と中・古生界層序の再検討. 日本地質学会編, 日本の地質学100年, 131–137.
- 八尾 昭・西原ちさと(2004) *Unuma echinatus* 群集(ジュラ紀中世放散虫)の群集組成[その13]. 日本地質学会第111年学術大会 講演要旨, 35.
- 八尾 昭・市川浩一郎・橋本 正(1971) 岐阜県犬山地方のいわゆるペルム系からの中生代型放散虫化石群. 日本地質学会関西支部報, no.70, 11.
- Yao, A., Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1980) Triassic and Jurassic radiolarians from the Inuyama area, Central Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **23**, 135–154.
- 八尾 昭・松岡 篤・中谷登代治(1982) 西南日本のトリアス紀・ジュラ紀放散虫化石群集. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.5, 27–43.
- Yao, A., Ezaki, Y., Hao, W. C. and Wang, X. P., eds. (1999) *Biotic and Geological Development of the Paleo-Tethys in China*, Peking University Press, 168p.
- 八尾 昭・江崎洋一・桑原希世子・はお 維城・劉 建波(2001a) 南中国のデボン—三疊系 —P/T境界での大量絶滅の真相と日本列島の起源を求めて—. 松岡 篤編, パンサラサーテチスの古海洋学 グローバル・フィールド・サイエンスへの招待. 古生物学トピックス, no.2, 45–52.
- 八尾 昭・水谷伸治郎・桑原希世子(2001b) 日本の放散虫文献データベースからみた放散虫研究の動向. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.12, 375–382.
- 八尾 昭・西原ちさと・高田瑠美子・飯田啓紀・井下見苗(2008) *Unuma echinatus*群集(ジュラ紀中世放散虫)の群集組成[その14]. 日本古生物学会2008年年会, 講演予稿集, 35.

(受 付 : 2017年9月29日 ; 受 理 : 2018年9月18日)