

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540498

研究課題名（和文）新生代後期における浮遊性珪藻類の進化過程の研究

研究課題名（英文）Evolutionary process of planktonic marine diatoms during the late Cenozoic Era.

研究代表者

柳沢 幸夫（YANAGISAWA YUKIO）

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：10358210

研究成果の概要（和文）：北太平洋中—高緯度、低緯度域、南大洋の深海底コアの分析により、3つの珪藻グループが地球環境の変動に駆動されて、グローバルなスケールでダイナミックな進化をしてきたことを明らかにした。暖流系の *Crucidentricula* 属は、4つの進化系列がそれぞれ温暖期に分化して分布範囲を広げた。寒流系の *Denticulopsis* 属は、広域分布を示す1系列を除き6系列が南北両半球の中-高緯度に分布する両極分布パターンをとり、両半球間の遺伝的交流期と分断期を繰り返しながら、複雑な進化をとげた。寒流系の *Neodenticula* 属は、先祖段階では両極分布を示すが、鮮新世に入ると交流は途絶え、北半球集団は *Neodenticula* 属まで進化した。南半球集団は進化しないまま絶滅した。

研究成果の概要（英文）：Dynamic evolutionary processes of the three marine planktonic diatom groups have been revealed by detailed diatom analysis of deep sea cores recovered in the middle- to high-latitude North Pacific, the low-latitude tropical Pacific and the Southern Oceans. *Crucidentricula* is a warm water extinct diatom genus composed of four evolutionary lineages, each of which expanded its geographic distribution into the high-latitudes during warm period of early to middle Miocene. The extinct diatom genus *Denticulopsis* consists of seven lineages, most of which are cold water diatoms showing a typical bipolar geographic pattern except for one cosmopolitan lineage. *Neodenticula* is an extant cold water diatom group born in the late Miocene. It shows a bipolar distribution during the late Miocene, but the Southern Ocean population became extinct in the early Pliocene.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、層位・古生物学

キーワード：地質学、古生物学、古海洋学、進化、珪藻、微化石、植物プランクトン、気候変動

1. 研究開始当初の背景

珪藻は非結晶質シリカの殻を持ち、光合成を行う真核単細胞微細藻類である。このうち、海生の浮遊性珪藻は海洋生物生産の約 40% をも固定する最も重要な一次生産者である。

海生の浮遊性珪藻化石については、深海底掘削計画によって良好なコア試料が利用できるようになり、主要な3つの生物地理区、すなわち北半球中～高緯度（北太平洋、北大西洋）、低緯度赤道域および南半球高緯度（南大洋）において、生層序学研究が急速に進展し、現在に至る珪藻化石群集の変遷の概要が判明した。一方、分子生物学研究も精力的に進められ、珪藻殻形成を制御する有機分子が発見されて、ごく近い将来、化石に記録された珪藻殻の形態進化を分子生物学的に理解できるようになると予想される。しかし、化石記録を丁寧に追跡して進化的形態変化を具体的に明らかにした研究はほとんどない。

当該研究代表者は、重要な年代指標珪藻である *Crucidenticula* 属、*Denticulopsis* 属および *Neodenticula* 属について詳細な形態観察と層序学的検討を行い、その進化系統を復元した。その結果、新生代後期において、これらの珪藻が経てきた進化過程の大まかな特徴が明らかになった。これら3属は形態的によく類似し、同じような生態的ニッチを占めると思われるが、実際は異なる先祖から異なる時期に極めてよく似た形態に進化したものであり（収斂進化）、その地理的分布パターンも全く異なる。これら3属の浮遊性珪藻は、それぞれ特徴的で極めてダイナミックな進化をしてきたことが判明してはいたが、当時は南大洋における種分類が混乱していたこと、年代層序が明らかにされた良好なコアがなかったために、これ以上この研究を発展させることはできなかった。しかし、最近になって信頼性のある古地磁気層序の確立したコアがそれぞれの生物地理区内で掘削され、これら3属の浮遊性珪藻の進化に関する研究をさらに前進させることが可能となった。

2. 研究の目的

この研究は、北太平洋中—高緯度、低緯度赤道域および南大洋の3つの生物地理区で掘削された時間コントロールのよい深海底コアの珪藻化石を分析することにより、*Crucidenticula* 属、*Denticulopsis* 属および *Neodenticula* 属のグローバルでダイナミックな進化過程を明らかにし、後期新生代における古気候変動との関係を解明することを目

的とする。具体的には研究期間内に以下の項目を明らかにする。

- (1) 3属の分類を再検討し確固とした種分類を確立する。
- (2) 年代層序の確立した深海底コアを用いて対比し、それぞれの種の正確な産出年代を明らかにする。
- (3) 系統解析手法を適用して3属の進化系統樹を確立する。
- (4) 進化傾向、反復進化のパターン、地理的分布の拡大と亜種形成、両半球間での共通性と異質性の分析による遺伝子交流の時期の特定など、3属のダイナミックな進化過程を明らかにする。
- (5) 酸素同位体比などの指標と対比し、珪藻進化に及ぼした古海洋変遷の影響を評価する。

3. 研究の方法

(1) 分類学的研究

保存のよい試料を用いて光学および走査型顕微鏡による詳しい殻形態の解析を行い、類似種との比較に留意して分類学的検討を行う。試料は、塩酸と過酸化水素で泥化处理をした後、ピロリン酸ナトリウムで粘土分を除いて洗浄してプレパラートを作成し、珪藻の保存状態の特により試料を選んで、分類学的検討試料とする。

(2) 生層序学的研究

南大洋では Hole 746A, 745B, 744B, 744A、赤道太平洋 Hole70, 77B、北太平洋中-高緯度では Hole 438A, 438B, 887 のコア試料について分析した。分析は光学顕微鏡を用いて、1試料につき100個の珪藻殻を計数して産出頻度を出し、その後プレパラート全面を走査して認められた種は「+」として記録した。この研究の対象となる種についてはとくに注意深く観察し、分類についても随時再検討を行いながら、研究を進めた。

(3) 系統樹の復元と進化パターンの解明

3つの主要な生物地理区で得られた生層序データをコンパイルし、種のグローバルな出現・消滅年代を明らかにした上で、系統樹の復元と進化パターンの解析を行い、3属の進化過程を明らかにした。

4. 研究成果

研究の結果、*Crucidenticula* 属、*Denticulopsis* 属および *Neodenticula* 属それぞれの珪藻グル

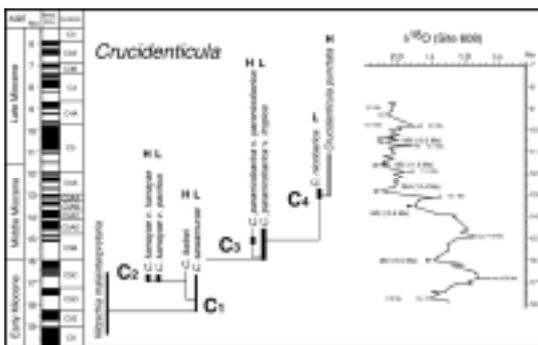
ープが、地球環境の変動に駆動されて、グローバルなスケールでダイナミックな進化をしてきたことが明らかとなった（第1図）。



第1図 進化系統図

(1) *Crucidenticula* 属の進化

この珪藻グループの先祖は 前期中新世の *Nitzschia maleinterpretaria* であり、この種から最初の種 *Crucidenticula sawamurae* が 18.3Ma ころ進化したと推定される。その後、*Crucidenticula* 属は、時代ごとに4つの進化系列 (C1-C4) に分化して進化した (第2図)。それらの進化系列は、それぞれよく似ているが形態が多少異なる2種の組み合わせからなり、片方が低緯度種、他方が中~高緯度種である。地球環境の古気候変動を記録している酸素同位体比曲線と対比すると、4つの進化系列はそれぞれ温暖期に対応する。このことは、暖流系であるこの属がそれぞれの温暖期に分化して中-高緯度域まで分布範囲を広げ、その過程で地理的な種分化を生じながら多様化してきたことを示している。

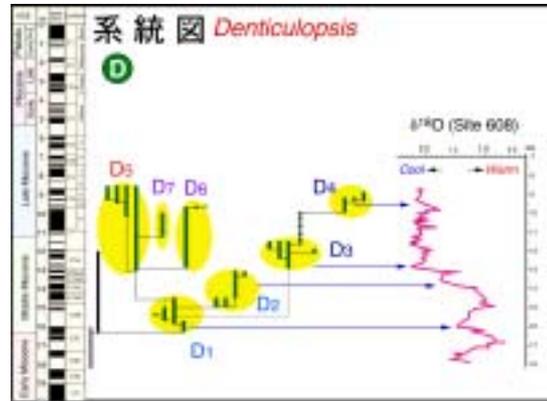


第2図 *Crucidenticula* 属の系統図

(2) *Denticulopsis* 属の進化

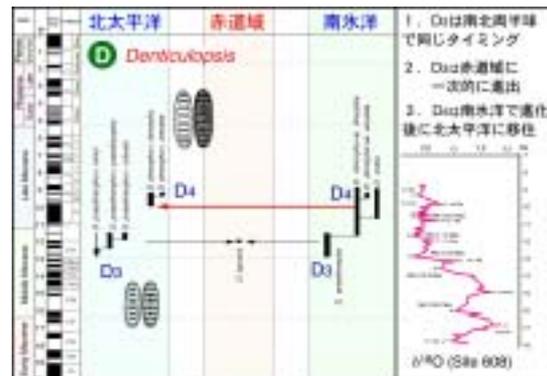
この珪藻属は、17Ma の一次的な温暖期の終了後の寒冷化とともに、形態的に類似した先祖種の *Nitzschia challengerii* から進化し、寒流系の優占珪藻属として確立した。その後、本属はD1 からD7の7つの進化系列に分かれ

て多様化した (第3図)。このうちにD5系列のみは 14Ma ころの地球規模の寒冷化に伴って赤道域にも侵入・定着し、広汎種としての特性を獲得したが、残りの6系列は寒流系の特性を保持したまま、南北両半球の中-高緯度に分布する典型的な両極 (bipolar) 分布パターンをとりつつ進化した。



第3図 *Denticulopsis* 属の系統図

両極分布を示す進化系列内では、初期の種は両半球で形態が同じであるが、系列の後期では両半球で異なる形態が現れるのが特徴である (第4図)。このことは進化系列の初期には両半球で遺伝的交流があったものの、その後期には交流が分断されて、両半球でそれぞれ独自の進化があったことを示す。このように、南北両半球の中-高緯度域における *Denticulopsis* 属の集団は、お互いに遺伝的交流のあった時期とそれが分断された時期を繰り返しながら、ダイナミックで複雑な進



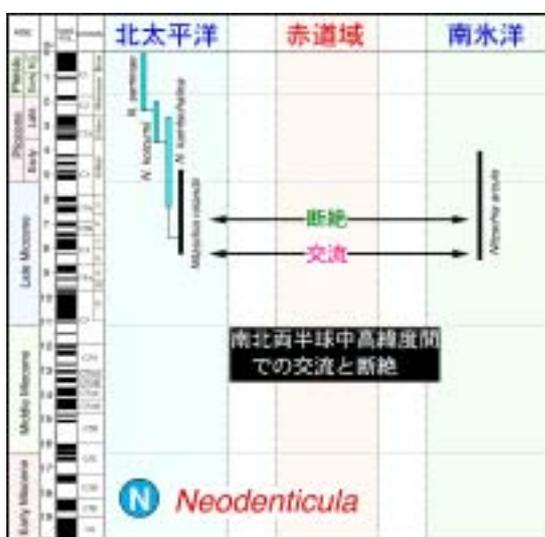
化をとげてきたことがわかった。

第4図 *Denticulopsis* 属のD3とD4系列の進化

酸素同位体比記録との対比に基づくと、両極の集団の交流は、冷涼期にはつながり、温暖期には切れていたと推定される。この推定は、冷涼期には赤道域でもD1やD3の系列の種が一時的にわずかに産出するという事実 (第4図) から支持される。

(3) *Neodenticula* 属の進化

この珪藻属は鮮新世から現世にかけて、北半球高緯度域にのみ分布する典型的な単極 (unipolar) 分布の寒流系珪藻である。しかし、この珪藻属の先祖である *Nitzschia rolandii* 段階 (後期中新世の後期) では、明瞭な両極分布を示し、この時期には *Denticulopsis* 属と同様に、両極間で遺伝的交流があったことがわかる (第 5 図)。しかし、鮮新世に入ると交流は途絶え、北半球集団は急速に大型化して *Neodenticula* 属に進化してこの海域の珪藻群集の主要メンバーとして繁栄し現在に至っている。これに対し、南半球集団は、形態的な進化もないまま、4Ma ころに絶滅し子孫を残していない。このことは、鮮新世以降の寒冷化により、極域と赤道域の温度差が大きくなり、また極域に新たな寒冷生物地理区が付加したことなどにより、南北両半球間の交流が困難になったためと推定される。



第 5 図 *Neodenticula* 属の進化

(4) まとめ

以上、本研究によって、*Crucidentacula* 属、*Denticulopsis* 属および *Neodenticula* 属の 3 つの珪藻グループは、それらが生息して時期の地球環境の変動と、それぞれのグループの地理的分布特性によって、それぞれ独自のダイナミックな進化過程を経てきたことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己、新潟県津川地域音無川ルートに分布する中部～上部中新統野村層の珪藻化石層序、地質

調査研究報告、査読有、61 巻、2010、147-160

柳沢幸夫、釧路海底谷壁から採取された泥岩試料の珪藻化石、地質調査研究報告、査読有、61 巻、2010、105-123

柳沢幸夫・大石雅之、岩手県北上市西部の上部中新統菱内層の珪藻化石年代、岩手県立博物館研究報告、査読無、26 巻、2009、01-10

柳沢幸夫・平中宏典・黒川勝己・渡辺真人、佐渡島中山層 (中部中新統～下部鮮新統) の珪藻化石層序、地球科学、査読有、63 巻、2009、95-106

Fujiwara, O., Yanagisawa, Y., Irizuki, T., Shimamoto, M., Hayashi, H., Danhata, T., Fuse, K. and Iwano, H., Chronological data for the middle Miocene to Pliocene sequence around the southwestern Sendai Plain, with special reference to the uplift history of the Ou Backbone Range, Bulletin of the Geological Survey of Japan, 査読有、59 巻、2008、423-438

(学会発表)(計 4 件)

柳沢幸夫、海成の地層中に記録された新第三紀の淡水～汽水生珪藻の進化：新潟県胎内・津川地域の例 (概報)、日本珪藻学会第 31 回大会、2010 年 5 月 9 日、東京

柳沢幸夫・本山 功、新潟県胎内地域に分布する新第三系の珪藻化石層序、日本古生物学会 2008 年年会、2008 年 7 月 6 日、仙台

柳沢幸夫、新生代における外洋性浮遊性珪藻の両極性分布、日本古生物学会 157 回例会シンポジウム、2008 年 02 月 01 日、宇都宮市

柳沢幸夫、海生化石珪藻 *Denticulopsis* 属の先祖と推定される小型の *Fragilariopsis* 属の 1 新種について、日本珪藻学会第 28 回大会、2007 年 05 月 19 日、大阪府狭山市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳沢 幸夫 (YANAGISAWA YUKIO)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員
研究者番号：10358210

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし