

学 位 論 文 題 名

The characteristic evolution of the centric diatom,
the *Thalassiosira trifulta* group
and the *Azpeitia nodulifera* group,
in Neogene sediments
from the northwest Pacific Ocean

（中心型珪藻， *Thalassiosira trifulta* group 及び
Azpeitia nodulifera group にみられる北西太平洋における
新第三紀の進化特性）

学位論文内容の要旨

珪藻はバルブ（valve）と呼ばれる珪質の細胞壁を有する微細藻類であり、そのバルブの対称性によって中心珪藻類と羽状珪藻類の 2 個のグループに分けられる。本研究で対象とした中心珪藻類は浮遊性であり、海水や汽水中から多く出現する。珪質のバルブは微化石として堆積物中から大量に見いだされることから、様々な応用的な研究に利用されてきた。例えば、珪藻の進化を利用した生層序や、群集解析を用いた古海洋環境の復元などである。これらの研究成果は、古海洋学の発展に非常に大きな影響を与えている。しかしながら、珪藻は極めて多様化しているために、群集を利用した研究を行いやすい反面、分類が非常に難しいという問題点もある。特に、化石珪藻の分類学的な混乱が応用的な研究の発展を阻害している。また生層序学は生物進化を基本にしていながら、珪藻の進化を明らかにした研究例は少ない。

本研究は、異なる海洋水塊、すなわち寒冷水塊と温暖水塊に各々生息する珪藻グループの後期中新世以後の進化を比較することにより、その進化特性を明らかにすることを目的とする。また、珪藻グループの進化および多様化と、古海洋学的な研究成果とを比較することにより、珪藻の進化に対する気候変動の影響を考察する。研究に用いた試料は北西太平洋と日本海から採取された DSDP Holes 579A、580、581、および ODP Holes 797B、881B である。研究対象とした *Thalassiosira trifulta* group と *Azpeitia nodulifera* group は、それぞれ寒冷水塊と温暖水塊の代表的な珪藻種群である。これらの珪藻グループの詳細な進化過程を明らかにするために主として電子顕微鏡下で微細構造の詳細な記載を行った。また、*T. trifulta* group は生層序学的に重要な種を含むことから、このグループの生存期間を決定するために、補助的な措置として光学顕微鏡下での計数分析も行った。

Thalassiosira trifulta group を観察した結果、この珪藻グループは特徴的な 2 個の微細器官である trifultate fultoportula と occluded areola の有無によって 3 個のサブグループに区分で

きることが明らかになった。本研究では *trifultate fultoportula* を有する種群を *T. oestrupii* subgroup、*occluded areola* を有する種群を *T. bipora* subgroup、その 2 個の微細器官を持たない種群を *T. frenguelliopsis* subgroup として定義した。生存期間を観察した結果、*T. trifulta* group は 5.6 Ma に分化した後、4.8 Ma までに特徴的な微細器官を有する 2 個のサブグループに分化したことが明らかになった。この初期の多様化の過程で、生存期間が 10-20 万年程度の移行形態が出現した。その後、種の個性化が進むと同時に、1.5 Ma までの間に徐々に分類群の数を増やしてきた。*T. oestrupii* は生層序学的に重要な種でありその分岐年代は 5.3 Ma とされていたが、*fultoportula* の特徴に基づく種の定義の結果、その分岐年代は 2.4-2.2 Ma であることが明らかになった。

occluded areola は本研究によって見いだされた微細構造であり、この構造を有する 6 新種を記載した。光学顕微鏡下では、*occluded areola* は *central fultoportula* に類似しているために、これらの新種は複数の *central fultoportulae* を有する種として同定されてきた可能性がある。未発達な *occluded areola* を有する分類群を 5.1-4.8 Ma から記載したが、これらの分類群は変異が大きく、観察した個体数も少ないことから現在までに 3 分類群が新種として記載できていない。その生存期間が非常に短い（10-20 万年程度）ことから、本研究ではそれらの分類群を移行形態として定義した。移行形態の電子顕微鏡下での詳細な記載により、5.1-4.8 Ma の間に *occluded areola* が *central area* の *fultoportula* に近接する *areolae* から進化したことを明らかにした。*trifultate fultoportula* についても、未分化な状態の構造を *T. preaoestrupii* などから見いだしたことから、その進化過程を明らかにした。未分化な *trifultate fultoportula* は 4.8 Ma に出現し、完全な *trifultate fultoportula* は 3.4-3.2 Ma に出現した。*trifultate fultoportula* を有する *T. oestrupii* subgroup は 3.2 Ma 以降に多様化した。

Azpeitia nodulifera group を観察した結果、大型の *central rimoportula* の細胞の外側への開口を有する 2 つの分類群を見いだした。これらの分類群の中で、円形の開口を有する個体を *A. nodulifera* f. *cyclopus* として同定したが、不定形の開口を有する分類群は未記載の可能性があるので *A. nodulifera* type 1 として同定した。また *Azpeitia nodulifera* の *rimoportula* に関する 3 つの形質、突起の長径、外側への開口の長径、および knob の長径について電子顕微鏡下で測定した結果、この種の鮮新世の形態は更新世の形態に比べてより大きな変異を有することが明らかになった。これらの観察の結果、この珪藻グループは 4.6-2.4 Ma にかけて、種・変種レベルで多様化し、同じ時期に *A. nodulifera* の種内変異も増大していたことが明らかになった。

上述した 2 大珪藻グループの進化あるいは多様化した時期を比較すると、5.6-4.7 Ma および 2.4-1.6 Ma に好寒冷種群の *Thalassiosira trifulta* group のみが進化あるいは多様化しており、4.6-2.5 Ma では主として好温暖種群の *Azpeitia nodulifera* group が進化あるいは多様化していたことが明らかである。古海洋学的な研究成果によれば、4.4-2.7 Ma はその前後の時期に比べて比較的温暖である。このことから、上述の 2 大珪藻グループは気候条件の良好なときに進化あるいは多様化したと考えられる。

本研究は電子顕微鏡下で微細器官の詳細な記載を行うことにより、好寒冷種群である *Thalassiosira trifulta* group が、好温暖種群の *Azpeitia nodulifera* group よりも寒冷な時期に進化・多様化していたことを明らかにし、各々の珪藻グループにとって環境条件の良好な各々が時期に進化・多様化するという珪藻グループの進化特性を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 泉 格
副 査 教 授 岡 田 尚 武
副 査 助 教 授 鈴 木 徳 行

学 位 論 文 題 名

The characteristic evolution of the centric diatom,
the *Thalassiosira trifulta* group
and the *Azpeitia nodulifera* group,
in Neogene sediments
from the northwest Pacific Ocean

(中心型珪藻, *Thalassiosira trifulta* group 及び
Azpeitia nodulifera group にみられる北西太平洋における
新第三紀の進化特性)

本論文は寒冷水塊と温暖水塊に各々生息する *Thalassiosira trifulta* グループと *Azpeitia nodulifera* グループの500万年前以降の進化特性を明らかにするために、北西太平洋と日本海の深海堆積物から検出した珪藻殻の微細構造を主として走査型電子顕微鏡下で観察・記載し、その多様性と進化様式を解明した後に、進化を引き起こした要因として気候変動との関連性を検討している。また、*T. trifulta* グループに含まれる生層序学的に重要な示準化石種の生存期間を決定するために光学顕微鏡下で珪藻殻数の計数分析を行っている。

T. trifulta グループの観察では、本研究によって初めて見出した微細構造 *occluded areola* を有する 6 新種を記載・公表している。*occluded areola* と既知の *trifultate fultoportula* という特徴的な二つの微細構造の有無によって、*T. trifulta* グループを三つのサブグループに細分・定義している；すなわち *trifultate fultoportula* を有する種群を *T. oestrupii* サブグループ、*occluded areola* を有する種群を *T. bipora* サブグループ、何れの微細器官も持たない種群を *T. frenguelliopsis* サブグループとしている。

occluded areola は *central area* の *fultoportula* に近接する *areolae* から 5.1 Ma~4.8 Ma の期間に進化したことを明らかにしている。また、未分化な *trifultate fultoportula* は 4.8 Ma に出現し、3.4~3.2 Ma に完全な構造となり、*trifultate fultoportula* を有する *T. oestrupii* サブグループは 3.2 Ma 以降に多様化した進化過程を明らかにしている。

生存期間に基づき *T. trifulta* グループは 5.6 Ma に *T. frenguelliopsis* サブグループに分化した後、4.8 Ma までに特徴的な微細構造を有する 2 個のサブグループに分化したこと、この初期の多様化の過程で、生存期間が 10~20 万年程度の移行形態が出現したこと、その後に種の個性化が進行すると同時に 1.5 Ma までの期間に徐々に分類群を増加させたこと、などを明らかにしている。

Azpeitia nodulifera グループの観察では、大型の *centarl rimoportula* の細胞外側への開口形態によって 2 つの分類群—円形開口を有する *A. nodulifera* f. *cyclopus* サブグループと不定形な開口を有する *A. nodulifera* type 1 サブグループ—を識別・記載している。また、*rimoportula* の 3 つの形質—突起の長径、開口の長径、knob の長径—を電子顕微鏡下で測定し、4.6~2.4 Ma の期間に種・変種レベルで多様化すると同時に *A. nodulifera* の種内変異も増大したことを明らかにしている。

以上の結果に基づき、*Thalassiosira trifulta* グループと *Azpeitia nodulifera* グループが多様化あるいは進化した時期を比較して、5.6~4.7 Ma 及び 2.4~1.6 Ma に好寒冷種群の *Thalassiosira trifulta* グループのみが多様化あるいは進化しており、4.6~2.5 Ma には好温暖種群の *Azpeitia nodulifera* グループが多様化あるいは進化していることを明らかにした。4.4~2.7 Ma の期間はその前後の時期に比べて温暖であったとする古海洋学のデータから、それらの珪藻グループにとって良好な気候条件の時期に多様化あるいは進化していることを明らかにした。

本論文は、電子顕微鏡下で微細構造の詳細な記載を行うことによって、好寒冷種群の *Thalassiosira trifulta* グループが好温暖種群の *Azpeitia nodulifera* グループよりも寒冷的な時期に多様化・進化するという珪藻グループの進化特性を解明したことに加えて、海生微化石種群の分類学的記載と系統進化史に関する具体的研究例を提示している。

微化石による生層序学の研究が進展して、更なる高分解能解析のために系統進化を考慮した新たな化石種の分類学的見直しが必要とされ、また、進化による形態変異を考慮した化石種群の系統進化史が検討されなければならない学界にあって、本論文が古生物学研究の発展に貢献するところは大きい。

よって、審査員一同は申請者が北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があると認める。