（論文博士用）

(for Degree earned by Submitting Doctoral Thesis)

（別記様式－論７）

千葉大学審査学位論文（要約）（Summary）

審査専攻　地球環境科学

Thesis Advisor’s Division

氏　名　土井 信寛

Name

論文題名（外国語の場合は、その和訳を併記） Thesis Title（foreign language title must be accompanied by Japanese translation）
石灰質ナノ化石 reticulofenestrids の形態変遷の解明

博士学位論文要約

1. はじめに

中生代三畳紀の頃から現在にかけて海洋表層に生息する藻類の一つに，石灰質ナノプランクトンと呼ばれるグループが存在する．これらの特徴は微小な方解石結晶を用いて石灰質の小盤を形成することで，この小盤は本体のプランクトンの死後，海底に堆積する．この小盤が化石化して保存されたものは石灰質ナノ化石と呼ばれる．

石灰質ナノ化石の形状は多様であり，その形によって分類される．その中でも，新生界を通して産出する石灰質ナノ化石のグループである reticulofenestrids の形は，円形もしくは楕円形を基本としている．この分類群は最も普遍的に産出する石灰質ナノ化石の一つで，様々な海域に広く分布したことが知られている．reticulofenestrids を構成する円形・楕円形の小盤は一般的な俗称としてココリス（coccolith：円石）とよばれているまた，ココリスの中心には中央部（central-area）と呼ばれる穴が開いており，見た目を決める特徴の一つとなっている．

reticulofenestrids は暁新世から現在に至るまでの幅広い期間で多くの種が出現・絶滅したことが知られ，いくつかの種はそのサイズ変化をもとに石灰質ナノ化石層序の指標種として扱われることがある．(Martini, 1971 ; Okada and Bukry, 1980 ; Backman et al, 2012 ; Agnini et al., 2014)．ただし，単純な円形・楕円形で特徴的な形質に乏しいため，属レベル・種レベルでの分類については様々な見解が存在し，全ての分類基準が統一されてい

るわけではない.

一方で，reticulofenestrids の形態を主に決める要素であるココリスや中央部のサイズ・形は, どれも計測によって数値で示すことが可能である. これは, 数値データによって, 分類学や層序学的に従来曖昧だった点を明確化できることを意味する. そこで本研究では，多様な形態種の絶滅と出現が繰り返された，始新統から中新統にかけての reticulofenestrids のココリスおよびその中央部の形態解析を行い，その変遷について詳細に調べた.

2. 研究方法

本研究では，中期始新世から後期中新世に該当する約 45 Ma–7 Ma の海底コア試料を使い，その中に含まれている reticulofenestrids を観察した．主に形態計測を目的として海底コア試料は，国際深海掘削計画第 208 次研究航海で南大西洋の Site 1265 Hole A から掘削されたものと，国際深海掘削計画第 117 次研究航海でアラビア海の Site 731 Hole A から掘削されたもので，前者は中部始新統から上部中新統までの範囲に相当する 46 試料，後者は中部中新統から上部中新統に相当する 16 試料を使用した．また，特定の層準で見られる reticulofenestrids のサイズ変化が広域で確認できるか検証するため，中部中新統から上部中新統に該当する，統合国際深海掘削計画で太平洋四国海盆沖の Site C0011 Hole B で掘削された試料も使用した.

石灰質ナノ化石 reticulofenestrids の形態計測では中央部の測定を詳細に行うために，試料 208-1265A と試料 117-731A に含まれる個体の観察には走査型電子顕微鏡を使用して写真撮影を行った．本研究では中央部の計測が確実に可能な reticulofenestrids のみを撮影対象にした. 計測は画像解析ソフト image J を用いて行い, 各試料で撮影した 40~100 個体のココリスの各部位を楕円解析で測定し, ココリスの長軸の長さ（coccolith length）, ココリスの短軸の長さ（coccolith width），中央部の長軸の長さ（central-area length），中央部の短軸の長さ（central-area width）を求めた．加えて，楕円率を算出し，ココリスの形を数値で表した．一方，層序学的な検討を目的とした試料 322-C0011B では偏光顕微鏡を使用し，各試料 100 個体のココリスのサイズを 1 μm 単位で計測した.

3. 結果

形態計測の結果，reticulofenestrids のココリスの長軸と短軸は比例的な関係にあることが明らかになった．一方，その中央部の長軸と短軸は必ずしも比例的に分布するわけではなく，多様な形状が存在することがわかった．また，ココリスと中央部の楕円率は後者の方が全体的に小さい値を示し, より楕円形に近い形をとるものが多いことが明らかになった.

時代変化に着目すると，ココリスの長軸の長さの中央値は，前期漸新世から前期中新世の約 34~19 Ma にかけて，似たような増減を繰り返している．これは急激に値が大き

くなった後，時代経過とともに緩やかに小さい値へと変化し，ある時再び大きな値を示すというパターンであり，およそ 1.5–2.5 m.y.の間隔で繰り返されていた．

22 M~12 Ma にかけては，中央部の長軸の長さの分布は大きく二つに別れた．また，22 Ma 以降ではココリスおよび中央部の楕円率が小さい値を示す個体（楕円形に近い個体）の数が増えていた．

本研究で見られた，ココリスの形状に比べて中央部の形状がより多様で楕円形に近いものが多いという傾向は，従来の研究でも言及されており，Young（1998）では中央部の形状はココリスよりも小さく，長軸・短軸の長さのわずかな変化によってその値が大きく変化するため，中央部の形状がココリスよりもより細長く見えやすいとしている．

4. 考察

本研究で確認された主要な分類群は *Dictyococcites* 属，*Reticulofenestra* 属，*Cyclicargolithus* 属であった．その中でも，*Dictyococcites* 属の個体は中央部を覆う central-grill という石灰質の装飾を持つことが特徴である．加えて，本研究の形態計測の結果から，ココリスのサイズに関わらず，中央部の長軸の長さが 3.0–5.0 μm でほぼ一定であることがわかった．また，*Reticulofenestra* 属は始新世・漸新世において，*Cyclicargolithus* 属との明確な区別が難しい一方で，中新世においては中央部の大きさや楕円率がそれぞれ異なる値を示すようになり，両者の区別が容易になっていた．以上の結果を踏まえ，

本研究で明らかになった中央部の長軸の長さや中央部の楕円率のような中央部の形態データは，属レベルの明確な分類に有用であることがわかった．

種レベルの分類を行う際は，従来の reticulofenestrids の分類定義に則っているが，新たに分かった中央部の形態データに基づいて別種に分けるべきである個体が確認された．それは正円形に近く中央部が比較的小さい *Cyclicargolithus floridanus* において見られ，その中央部の長軸の長さが，22–18 Ma では概ね 2 µm よりも大きい一方で，18–12 Ma では大半が 2 µm 以下の値を示していた．そこで，本研究では 18–12 Ma で新たに確認された個体を *C. floridanus* type B と呼称し，従来 *C. floridanus* と呼ばれていたものを *C. floridanus* type A として扱った．

また，試料 117-731A の特定層準においては，小型の *Reticulofenestra minuta* の中でも特に小さい個体が存在することがわかった．これらはココリスの長軸の長さが 2.5 µm を下回り，10.5 Ma 頃に産出が確認された．このような個体には他の層準で見られた *Reticulofenestra minuta* とは異なり，中央部の縁に collar と呼ばれる石灰質の突起物がついていたため，本研究では亜種として *R. minuta* subsp.と呼称した．

得られた形態データをもとに分類を行った結果，確認された約 20 種の reticulofenestrids の産出上限・下限が概ね明確になった．ただし，前述したような *Reticulofenestra* 属と *Cyclicargolithus* 属の見分けがつけにくい始新世・漸新世においては，似たような形態を示す個体が多く，その産出範囲が不明瞭のままとなった．

また，特徴的なサイズを示す *Reticulofenestra* 属の産出は，層序学的に対比可能なイベントとしてよく利用されているため（Rio et al., 1990 ; Raffi et al., 1995 ; Kameo and Bralower, 2000），本研究で見られた *R. minuta* subsp.の産出についても，広域で確認できるのか調査した．

その結果，観察したアラビア海の試料と北西太平洋の試料で，化石帯 NN8–NN9 における *R. minuta* subsp.のような小型個体の産出が確認された．さらに，インド洋やカリブ海の試料を用いて行われた過去の研究でも，同様の小型個体の産出が見られた．これは，この産出イベントが詳細な地層対比に有用であることを示している．

本研究で明らかになった reticulofenestrids の形態変遷や各分類群の産出範囲から，reticulofenestrids の形態変化が始新世/漸新世境界や漸新世/中新世境界付近で多く見られることがわかった．これらは海洋環境変動，特に水温が大きく変化した時期と一致している．また，当時の気候が大きく転換した中期中新世においても，reticulofenestrids を構成する *Cyclicargolithus* 属と *Reticulofenestra* 属の形態変化が発生しており，その形態変遷が海水温変動と連動している傾向が見られた．　このように本研究のデータは，海洋の環境が reticulofenestrids の形態を決める要因の一つであることを強く示唆した．

以上の研究成果により，reticulofenestrids の中央部の形態は分類上重要な形質であり，形態の変遷を把握する上で有用であることがわかった．生物学的に考えても，ココリスの中央部は，植物プランクトンがココリスを形成する過程で最初に作り出される部位で，

プランクトンが持つ遺伝情報を反映して形が決定されていると考えられる．そのため，中央部の形態データは形態分類において欠かせない要素だと結論付けることができる．

5. 結論

本研究で得られた結果は，従来の reticulofenestrids の分類においては注目されていなかった部位である中央部のサイズ・形状が，分類群を特徴づける因子の一つであり，属レベル・種レベルの分類をする際に有用であることが示された．

また，詳細に明らかになった形態変遷史によって，形態が大きく変化した時期が海洋の水温が大きく変動したと考えられる時期と一致している事例が多く確認され，reticulofenestrids と海洋環境の関連性が強く示唆された．

これらの研究成果は，過去の環境変動の影響が，中央部の形質に関係している可能性が高く，ココリスや reticulofenestrids の機能・環境への応答性を議論する際には，中央部の形態情報に着目する必要があることを示している．現在までに中央部に着目した研究は多くないが，今後 reticulofenestrids の研究を発展させていくうえで，重要な因子として取り上げていかなくてはならない．