

浮遊性有孔虫の幾何モデリング：口孔（Aperture）の実装と分類学的考察

木元克典¹, 吉野隆², 岸本直子³, 松岡篤⁴, 栗原敏之⁴, 石田直人⁴, 松浦執⁵

1) (独) 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, 2) 東洋大学理工学部, 3) 京都大学工学研究科, 4) 新潟大学理学部, 5) 東京学芸大学教育学部

E-mail: kimopy@jamstec.go.jp

Advanced Geometric Modeling of Planktic Foraminifera: The apertures and taxonomic implications

K. Kimoto¹, T. Yoshino², N. Kishimoto³, A. Matsuoka⁴, T. Kurihara⁴, N. Ishida⁴, and S. Matsuura⁵

1) RIGC/JAMSTEC, 2) Toyo Univ., 3) Kyoto Univ., 4) Niigata Univ., 5) Tokyo Gakugei Univ.,

Keywords: Planktic foraminifera, chamber formation, apertures, taxonomy

1. はじめに

浮遊性有孔虫は、海洋に生息する微小な有殻動物プランクトンであり、炭酸カルシウムの外骨格を形成する。この外骨格は複数の球形～亜球形、あるいは平板形のチェンバー（殻室）が螺旋状に配列して付加成長してゆく形態を示す。それぞれのチェンバーは内部で口孔（Aperture）を介してひとつに繋がっており、内部には細胞質が充填している。種類によってチェンバー、口孔の形態および配列が異なるため、これらをもとにした基本的な生物学的分類体系ができあがっている。

我々は 2008 年形の科学シンポジウムにおいて、これら浮遊性有孔虫の形態を数理的に解析するため、チェンバーの配列を再現する単純な幾何モデルを提案した[1]。このモデルでは現在の海洋に生息している浮遊性有孔虫について、すべての科（Family）レベルで殻室の配列様式を説明することができた[2]が、チェンバーの配列に重点を置いていたため、口孔（Aperture）の位置は省略されていた。そこで本研究では、このモデルに口孔を再現するためのパラメータを実装し、実際に存在する形態により忠実な浮遊性有孔虫の形態のモデリングを試みた。ここで得られたシミュレーションの結果と、実際に存在する浮遊性有孔虫との形態の比較検討を行ったので報告する。

2. 口孔（Aperture）の重要性

有孔虫にとって、口孔はチェンバー内部に充填している細胞質が出入りするための開口部としての役割をもっているが、口孔の位置はあらたに付加されるチェンバー（最終殻室）の配置を規制するため、形態による分類を行う上でもっとも重要な形質のひとつである。有孔虫の口孔の位置を幾何モデルで表現することによって、種の定義をより定量的、客観的に示すことができ、口孔の配列の規則性と分類基準についての関係を明らかにすることが期待できる。

3. モデル

今回のモデルでは前述のチェンバー形成モデル[1]に口孔の位置を決定するためのパラメータを付加している。チェンバー形成モデルは、個々のチェンバーを球で近似し、その中心の位置と半径の変化を記述したものである。半径とチェンバーの中心間距離はそれぞれ等比数列の関係にあるとし、チェンバーの中心を結ぶ直線がなす角は常に一定である。そのため、モデルを記述するパラメータは、1) 半径の拡大の仕方 r , 2) 初期の 2 球の中心間距離を xy 平面上に投影した長さ d , 3) 球の中心を結ぶ線がなす θ , 4) 初期の 2 球の中心間距離を z 軸（回転軸）に投影した長さ h , そして、5) チェンバーの数 n からなる。

今回導入したモデルは、球帽で近似した口孔の位置を記述するために、さらに 3 つのパラメータを導入している。ひとつは、口孔の大きさに相当する、球帽の半径 r' である。口孔の大きさはチェンバーの半径に対して一定比であると仮定したので、 r' は球の半径に対する球帽の半径の比である。残りの 2 つは、口孔の位置に相当する、球の中心から球帽の中心へ向かうベクトルの向きを記述する角度 ϕ_1 および ϕ_2 である。我々は形状の記載を目的としている。そのため、これらの角度の定義を幾何学になじみのある研究者にもわかりやすいように座標軸を基準とした。球の中心から球帽の中心への向き

が xy 平面となす角度を ϕ_1 とし、球の中心を通り z 軸と平行なベクトルを軸にして球帽の中心を回転させる角度を ϕ_2 とした。直観的に言えば、原点からチェンバーの高さだけ上から見たときに、どれぐらい上を向いているのかと、どれぐらい中を向いていないかに相当している。

4. 結果

上記モデルを用いて再現できた浮遊性有孔虫の例を示す。左が現在の海洋に生息する浮遊性有孔虫の電子顕微鏡画像、右がシミュレーションによるモデルである。

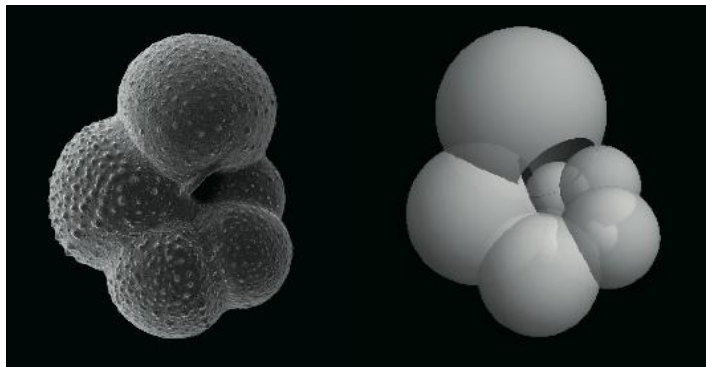


図1 (左) : *Globigerina quinqueloba*
 $(r = 1.2, d = 1.5, \theta = -1.3, h = 0.2, n = 11, r' = 0.5, \phi_1 = -0.1, \phi_2 = 0.4)$ 最終旋回のチェンバー数が 4.5, 口孔は最終チェンバーにのみ見えているが、それ以前の口孔はチェンバーの内側に隠れており見えない。

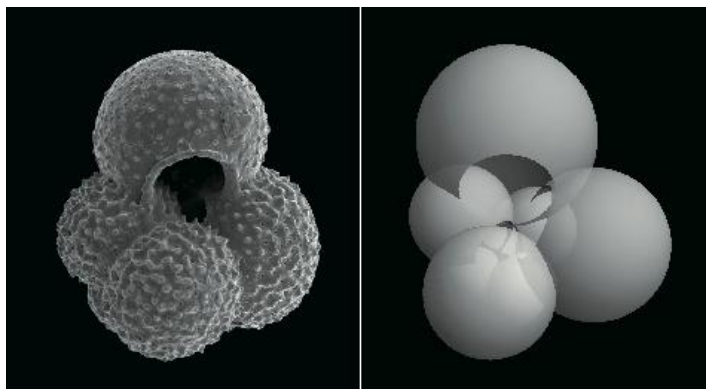
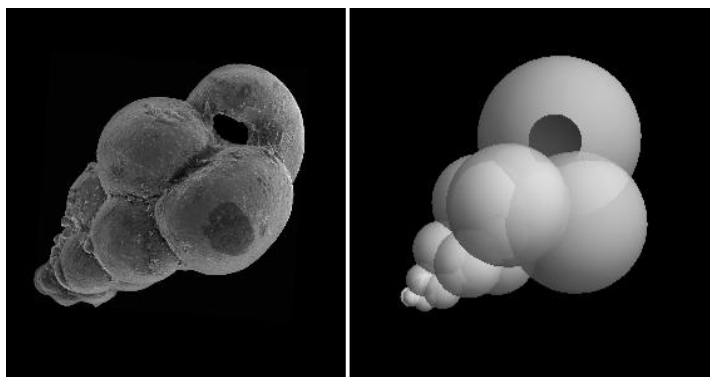


図2 (左) : *Globigerina rubescens*
 $(r = 1.2, d = 1.8, \theta = 1.8, h = 0.16, n = 13, r' = 0.5, \phi_1 = 0.2, \phi_2 = -0.1)$

最終旋回のチェンバー数は 4 で、口孔は骨格の臍部（中央部）に位置する。口孔の両端は 3 つのチェンバーにわたっている。

図3 (右) : *Gallitellia vivans*
 $(r = 1.15, d = 1.3, \theta = 4.4, h = 0.4, n = 13, r' = 0.3, \phi_1 = 0, \phi_2 = -0.4)$

最終旋回のチェンバー数は 3, 旋回の高さが高い。口孔は臍部に位置する。



本モデルを用いることにより、現在生息しているほとんどの浮遊性有孔虫の口孔を含めた形態をシミュレートでき、よりリアリティのある形態が復元できた。すなわち、浮遊性有孔虫の口孔の形態と位置は、基本的にチェンバーに対する球帽の座標とその半径で表現できることを意味している。講演では復元できた浮遊性有孔虫の形態と実在する種との比較、また口孔のパラメータとの関係について考察を行う。

文献

- [1] 吉野隆ほか(2008) 浮遊性有孔虫チャンバー形成モデル その 1: モデルと実装, 形の科学会誌, **23**(1), 75-76 (シンポジウム要旨) .
- [2] 木元克典ほか(2008) 浮遊性有孔虫チャンバー形成モデル その 2: 実在する形態との比較, 形の科学会誌, **23**(1), 77-78 (シンポジウム要旨) .