

## 室房分画による浮遊性有孔虫3次元形態の定量解析手法

### The quantitative analysis method of three dimensional morphometry by segmentation of planktonic foraminifera chambers.

伊藤 光<sup>1\*</sup>, 佐々木 理<sup>2</sup>, 岩下 智洋<sup>3</sup>, 長濱 裕幸<sup>1</sup>, 鹿納 晴尚<sup>2</sup>

Hikaru Ito<sup>1\*</sup>, Osamu Sasaki<sup>2</sup>, Tomohiro Iwashita<sup>3</sup>, Hiroyuki Nagahama<sup>1</sup>, Harumasa Kano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 東北大学総合学術博物館, <sup>3</sup> 有限会社ホワイトラビット

<sup>1</sup>Dept. of Earth Sciences, Tohoku Univ., <sup>2</sup>The Tohoku University Museum, <sup>3</sup>White Rabbit Corporation

これまでに浮遊性有孔虫を対象とした形態解析では, Lohmann(1983)の2次元形状の輪郭を対象とした形状記述を始めとして, 殻外形の輪郭をフーリエ変換して変異を調べる固有形態解析 (Malmgren et al., 1984; Hull and Noris, 2009), 殻上の地標の分布の歪みを用いた Scott et al. (2007)の手法など, 多岐に渡る計測方法や解析方法が試みられている。しかし, これらは特定の方向から見た殻形態の2次元像を用いた手法であり, 物体の実際の3次元形状からの歪みが大きく, またいずれの方向からの側面を取り扱うかにより恣意性が介在し得る。浮遊性有孔虫の3次元的な殻形態に着目すると, Berger (1969)の古典的な固定基準モデル (fixed-reference model) から Tyszka and Topa (2005)の殻形成モデル (emergent model) まで様々な記述モデルが提案されており, 個々の室房形態の形状や大きさ, 付加位置及び付加方向の3次元パラメータで数学的に記述することができることが分かっている。しかし, 殻長や室房直径, 室房の付加角度は Kennett (1966)や Wei and Kennett (1988)の研究で取り扱われているものの, これらの手法では個々の室房の3次元形態を取り扱う事は不可能である。そのため, 室房の3次元形態を解析するための手法が必要とされている。

一方で, 生物の形態解析において, 近年の計算機技術の発達は3次元形状を取り扱うことを可能とした。計算機による3次元形態解析の対象としては, X線コンピュータトモグラフィ断層像から再構成した3次元標本が代表的である。この技術はツノトカゲ頭部の三次元像化 (Hodges and Garland, 2003)や霊長類の頭蓋骨 (Wiley et al., 2005)などに使用されている。3次元形態の解析手法は3次元閉曲面を用いた Brechbuhler (1995)のパラメータ化や Shen and Makedon (2006)による球面マッピングなどが存在し, 古生物学においては Polly and Macleod (2008)の Eigensurface 法などが該当する。X線CTを用いた3次元形態解析において, Speijer et al. (2008)は浮遊性有孔虫を対象とした研究の将来性について指摘している。

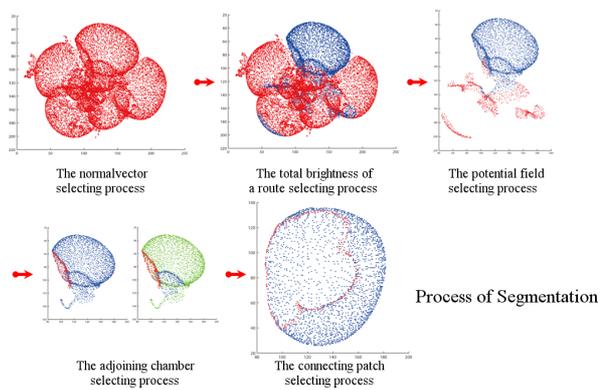
本研究は, X線CT断層像から再構成した3次元モデルからの個々の室房領域の分画手法と, 3次元パラメータの定量解析及び形態比較手法を開発することを目的とする。

形態解析の対象として, 本研究で使用するX線CT撮影装置 ScanXmate-A150S145/2(コムスキャンテクノ社)の分解能に対し, 十分な大きさを持つ浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina* 属から, *N. himiensis* と *N. dutertrei* を選択した。*Neogloboquadrina* 属は室房形態に明瞭な特徴を持たず, 変異に富むため形態解析の例に適している。個々の室房形態は, 二次石灰化の影響を受けずに初成の形態を保っている内壁部で代表させた。

殻形態の分画及び解析は数値解析ソフトウェア MATLAB 上で行い, 読み込ませた断層像から3次元形状をパッチオブジェクト化する事で幾何学的に取り扱っている。パッチオブジェクトとは, 物体の表面形状を多数の小さな三角形(パッチ)によって近似的に表現したものである。個々のパッチには物体の表面と裏面を定義する固有法線ベクトルが定められている。

室房領域分画法は法線選択法, 経路積分選択法, ポテンシャル選択法, 隣接室房選択法, 連結選択法の5つの処理で構成される。パッチオブジェクト化した殻は, 最初に法線選択法により固有法線ベクトルが室房の内部のマーカーポイントに向かうパッチ頂点, 即ち室房の内壁部を含む頂点群を抽出される。次に施す経路積分選択法は, マーカーポイントに直接面した室房壁を抽出する工程である。その後, ポテンシャル選択法にて室房の内側にベクトル場が向かうパッチ頂点を抽出する。ここで選択した部位には任意の室房の内壁部と, 隣接する室房の外壁部が含まれるが, 後者は隣接室房選択法によって除去することが可能である。最後に, 連結選択法を用いて上述の分画工程の全ての条件を満たしながら, 室房内壁でないパッチ頂点を取り除く事で分画は完了する。

形態比較は, 抽出した室房内壁形状を二次元の形態情報マップに展開する事で行う。室房重心を原点とした口孔ランドマークによる位置合わせ, サイズの影響を無視し格子単位を規格とする形態比較を行う為の格子化, データの存在しない領域のマスキングの工程を経て個々の室房をマップ化し, 差分計算を行う。この手法により, 大きさの異なる室房間の形態について論じることが可能となった。また, 出力した標高図や傾斜図の経緯度ごとの比較を経て, 種間に有意な形態差を確認できた。この手法を用いた場合は極域に歪みが生じるため, 現在は新たな形態比較法の開発を試みている。



キーワード: 浮遊性有孔虫, 形態解析, 定量解析, 3次元標本, X線CT

Keywords: planktonic foraminifera, morphometric analysis, quantitative analysis, 3-D specimen, X-ray CT