

BPT024-14

会場:201B

時間:5月22日 17:45-18:00

微化石研究における X 線 CT を使用した形態解析の有用性：浮遊性有孔虫の例 Availability of morphological analysis using X-ray computed tomography in microfossil study: Example of planktonic foram

遠藤 孝義^{1*}, 佐々木 理², 長濱 裕幸¹

Takayoshi Endo^{1*}, Osamu Sasaki², Hiroyuki Nagahama¹

¹ 東北大学理学研究科, ² 東北大学総合学術博物館

¹ Graduate School of Science, Tohoku Univ, ² The Tohoku University Museum

X 線計算機断層撮影法 (X 線 CT) は、多方向から撮影した X 線透過像から逆投影法により元の物体の X 線吸収率の空間分布を計算し、物体の三次元構造を内部も含め非破壊的に撮影・再現することが可能である。化石研究においても、大型化石・微化石などいかなるサイズの標本について任意の断層像と投影像が再現可能なことに加え、画像の拡大、縮小、回転の操作が容易であるため、X 線 CT は従来の手法では詳細な観察が困難であった標本に対しての新たな観察手法として普及し始めている。

生物の形態を定量的に記述するために理論形態学の研究は古くから発展しており (e.g., Thompson, 1915; Raup, 1966; Okamoto, 1988)、本研究で対象とする浮遊性有孔虫についても殻形態を表現できる数多くのモデルがある (e.g., Berger, 1969; Tyszkla and Topa, 2005)。しかし、形態を三次元物体として記述するこれらのモデルに対して、従来の計測手段である光学顕微鏡写真、電子顕微鏡画像、X 線投影像などの二次元像に基づく計測データを適用した場合、撮影角度や投影による誤差・歪みが無視できず、実際の空間配置を再現することは困難である。そこで本研究ではこの問題を解決できる X 線 CT を計測に用いることで、三次元像に基づく浮遊性有孔虫の形態計測法の開発を行い、得られたデータから浮遊性有孔虫の殻形態を決定しうる殻の配列様式および個体成長様式に関して考察を行うことで、微化石における X 線 CT を用いた解析の有用性を示す。

撮影に使用した高分解能 X 線 CT 撮影装置は ScanXmate-A150S145/2 (コムスキャンテクノ株式会社) であり、今回の撮影条件での空間分解能は $5\ \mu\text{m}$ 、画像における 1pixel 長は $2.5\ \mu\text{m}$ である。X 線 CT の基本原理は以下の通りである。まず X 線は線源から照射され標本を透過し、その際の X 線吸収率の経路積分値が検出器に X 線投影像として計測される。次に標本を取り囲むように X 線の照射角度を変えていくことで、撮影方向の異なる多数の投影像が取得される。そして、多数の投影像から離散フーリエ変換を用いて標本の X 線吸収率の空間分布が再現される。これは数学的には逆 Radon 変換の問題を解くことに等しい (Radon, 1917)。撮影終了後、標本の一断面における X 線吸収率が断層像の輝度値として出力される。

本研究では微化石の撮影・計測テストケースとして浮遊性有孔虫を対象とした。浮遊性有孔虫は石灰質の殻を持つ海洋プランクトンであり、示準化石や古海洋復元指標として重要な微化石の一つである。また、化石としての豊富な産出量と時間連続性の高さから、系統進化学的研究の対象としても注目される。浮遊性有孔虫はその成長過程で球形～卵形の殻 (室房) を一つずつ付加していくことが知られている。今回、比較的形態が単純かつ大型であり、室房の配列も単純な浮遊性有孔虫 *Globoconella inflata* を選択した。撮影の結果は各断層像の観察に加え、レンダリングソフト Molcer Plus (WhiteRabbit 有限会社) を用いてディスプレイ上に可視化し観察を行った。計測部位には各室房の体積と重心を採用した。

断層像の画像処理にはフリーソフト ImageJ 1.43 を、全断層像から得られたデータの集計作業には Excel を用いた。まず各室房の内壁輪郭を検出するために、一個体分の全断層像の輝度ヒストグラムを作成し、輝度分布の平均値を閾値として全ての断層像を二値化した。次に輪郭に対しての距離関数を求め、その極大値と頂点を検出することで各室房領域に分割した。そして各室房領域の面積と重心を算出し集計を行うことで、室房体積と室房重心の成長軌跡を求めた。なお、室房重心の成長軌跡に対しては理論形態学における Okamoto (1988) の成長管モデル (動標構モデル) を参考に、Frenet-Serret の公式 (Frenet, 1847; Serret, 1851) を用いて曲率・捩率を求めた。簡潔に言えば、曲率は曲線の旋回半径の逆数、捩率は曲線の旋回面からの捩れ具合を表現する変数である。

計測の結果、最終室房から遡って 11 個の室房の体積と重心の値が得られた。室房体積は指数関数的に増加する傾向があり、最終螺旋を構成する室房はさらに成長率が増加するが、最終室房では成長率が急激に減少することが分かった。これらのデータは福留 (1986) における有孔虫の等比数列型の付加成長様式が実際に体積の値として計測されたものと言える。室房重心の成長軌跡の曲率・捩率を算出すると、曲率は正で一定の割合で増加し、捩率はほぼ 0 に近い正の値を取ることが分かった。講演ではこれらのデータの考察を詳細に述べる。

キーワード: X 線計算機断層撮影法 (X 線 CT), 形態解析, 浮遊性有孔虫

Keywords: X-ray computed tomography (X-ray CT), morphological analysis, planktonic foraminifera