

化石表面形状の3次元形態測定学：イノセラムスの殻形態を例として

生形貴男

静岡大学理学部地球科学科

Three-dimensional boundary morphometrics of inoceramid shell shape

Takao Ubukata

Institute of Geosciences, Shizuoka University, Oya 836, Suruga-Ku, Shizuoka 422-8529, Japan (sbtubuk@ipc.shizuoka.ac.jp)

Key words: boundary morphometrics, inoceramid, spherical harmonics, 3D digitizer

標識点に依存しない形態測定学は、一般に境界形態測定学 (boundary morphometrics) と総称される。近年、境界形態測定学では、三次元物体の表面形状を解析する方法がハード・ソフト両面で急速に発達し、古生物の形態解析にも応用されるようになった。曲面上各点の3次元座標を計測する装置としては、レーザー光や接触プローブを用いて表面形状を走査する3次元スキャナーや、接触プローブ付きの可動式スタイラスを備えた3次元デジタイザなどがある。後者を用いれば、貝殻の成長線のような特定の曲線に沿った各点の座標を取得することが可能となる (図1)。

二枚貝の場合、成長線や肋などの共心円状の曲線構造を参照して、そうした曲線の長さや曲線上の位置がそれぞれ $0 \sim 2\pi$ の範囲になるようそれらを基準化した媒介変数 (ϕ, θ) で貝殻表面における“番地”を表せば、殻表面上各点の3次元座標は“番地”の関数 $x(\phi, \theta)$, $y(\phi, \theta)$, $z(\phi, \theta)$ として記述される (図2)。これら三つの形状関数について、球面調和関数 (Brechtbühler *et al.*,

1995) を用いて級数展開すれば、級数の各項にかかる係数群によって貝殻表面形状を定量化することができる (Shen *et al.*, 2009)。その一方で、調和関数の特定の次数までの項のみを使って逆変換を実行すれば、細かい凹凸を取り除いて平滑化したような仮想的な表面形状が再構築できる (図3)。こうした逆変換による再構築は、形状の変異成分の可視化にも利用できるもので、実際の研究においては解析結果を解釈する上で大きな助けとなる。

査読者の岡本 隆博士と編集長代行の奈良正和博士には有益なご意見を頂いた。ここに記して謝意を表す。

文献

- Brechtbühler, Ch., Gerig, G. and Kübler, O., 1995. Parameterization of closed surfaces for 3-D shape description. *Computer Vision and Image Understanding*, **61**, 154-170.
- Shen, L., Farid, H. and Makedon, F., 2009. Modeling three-dimensional morphological structures using spherical harmonics. *Evolution*, **63**, 1003-1016.

(2012年1月10日受付, 2012年1月27日受理)

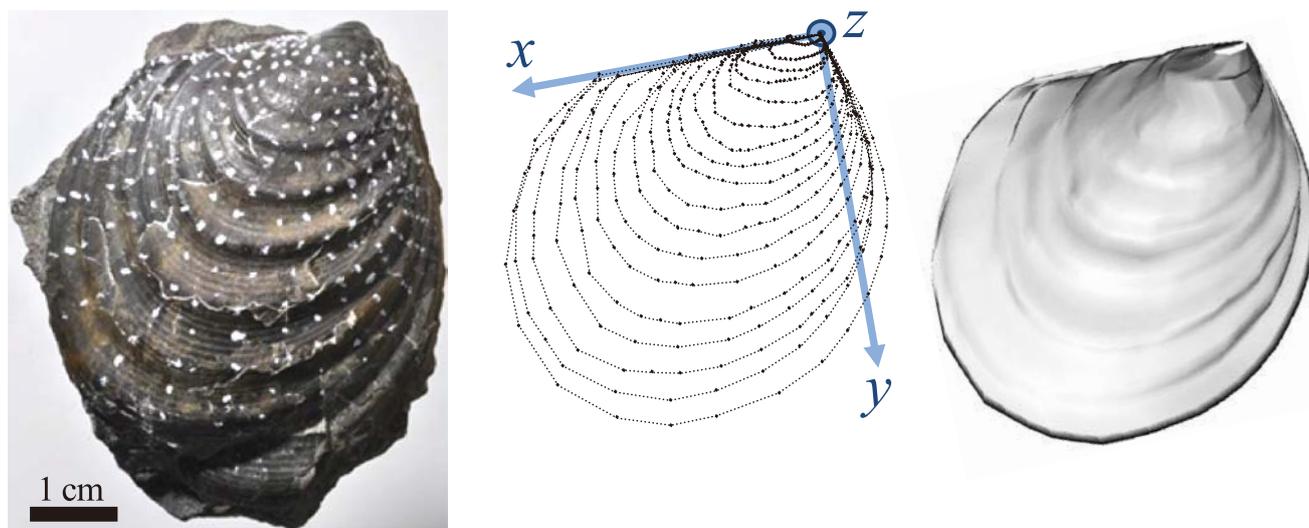


図1. イノセラムス類 *Inoceramus ezoensis* の表面形状の捕捉。標本の肋や成長線に沿って計測点の目印を付け (左), 電磁気式3次元デジタイザ (Polhemus社製 PATRIOT System) を用いて各点の3次元座標を計測し (中), スプライン補間によってデータ点が等間隔になるよう稠密に配置し直すことで、表面形状をコンピューター・グラフィックスで復元することができる (右)。

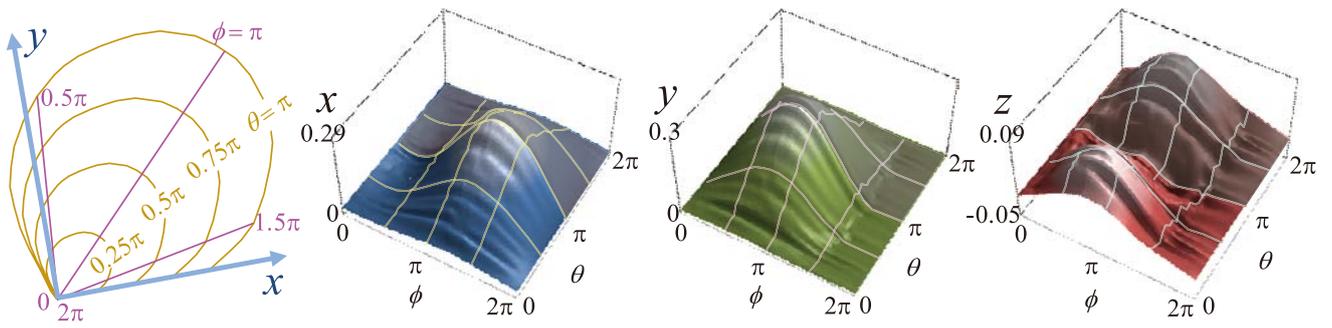


図2. 図1の試料の計測から得られた形状関数. 成長線の長さや成長線上の位置を参照して“番地” (ϕ, θ) を付け(左), その関数として各位置の x, y, z 座標を表す. 計測した中で最後の成長線の長さを π とする. このような形状関数曲面をそれと鏡面対称な曲面(やや暗い部分)と接続して, 鏡映し関数の方に $\pi \sim 2\pi$ の値を割り当てる. こうして形状関数の θ 方向の対称性を確保することによって, 調和級数を収束させることができる.

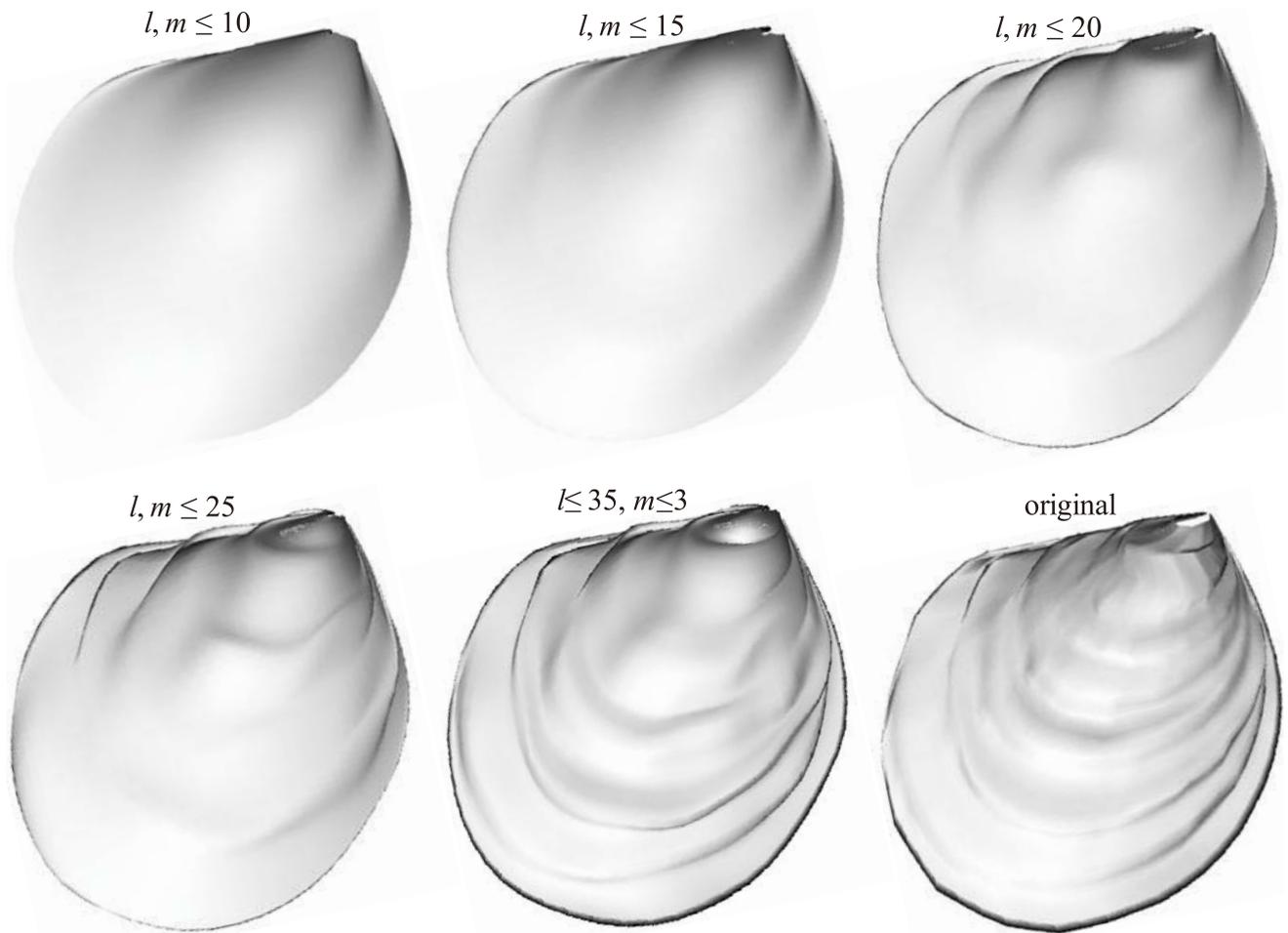


図3. 図2の形状関数 $x(\phi, \theta), y(\phi, \theta), z(\phi, \theta)$ を球面調和関数

$$Y_l^m(\phi, \theta) = (-1)^{\frac{m+|m|}{2}} \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}} \frac{(1-\cos^2\theta)^{\frac{|m|}{2}}}{-2^{|m|} \sin\theta} \left(\frac{d}{d\theta}\right)^{|m|} (\cos^2\theta - 1)^l e^{im\phi}$$

に級数展開して, l, m 次の項までを用いた逆変換

$$f(\phi, \theta) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l c_l^m Y_l^m(\phi, \theta)$$

によって形状を再構築したグラフィックス. 比較のため, 実測した表面形状(original)も図示した.