

CTによる化石からの貝の形状の3次元非破壊復元

3N-9

土井 紀枝[†] 金子 豊久[†]片田 和廣[‡]

豊橋技術科学大学 情報工学系

藤田保健衛生大学 衛生学部

1. はじめに

化石の生存状態を3次元復元することが本研究の目的である。本研究は豊橋市自然史博物館の協力を得て行なっている。

現在発見されている貝化石の大部分は、岩中に石化した状態で存在している。そのため、岩中の貝化石の全体の形状を確認するためには、岩を割るなどの物理的方法を用いなければならないのが現状であるが、誤って化石を破損してしまうおそれがある。そこで、本研究では医療用に用いられているCTを利用することにより、非破壊的に岩中の貝化石情報入手し、その貝の形状を3次元的に表現することを試みた。

2. マーチングキューブ法による貝化石の復元

岩中に存在し、そのままでは見ることで見えない貝の形状(図1)は、CTでボリュームデータを得ることにより、適当なしきい値を設定することで取り出すことが可能である。CTデータにおいて、あるスライスを可視化したものを図2に示す。今回使用したデータは、ボクセルサイズが $0.351 \times 0.351 \times 1.0 [mm^3]$ で $512 \times 512 \times 118 [pix]$ のCTデータである。



図1 岩中に存在する貝化石

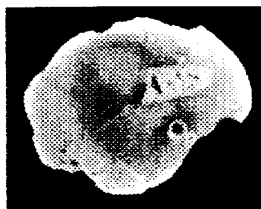


図2 CTデータのスライス画像

CTデータから形状を得る代表的な手法であるマーチングキューブ法(MC法)を用いて形状を復元することを試みた。MC法は、あるしきい値を設定することで、表面形状を求めるものである。しかし、一般的に貝化石は石化している場合が多く、化石部分の濃度値が岩部分と類似している場合があるため、そのままMC法を適用すると正確な形状を復元することができない。そこで、各スライス毎に貝のエッジをDynamic Programming¹⁾で取得し、貝外部と内部のそれぞれの平均の差分を境界部分のデータとしてMC法を用いることで、形状を復元した。(図3)この化石はおよその大きさは $26.3 \times 17.5 \times 20.0 [mm]$ である。

この方法について次の問題点があげられる。

- (1) なめらかな形状が生成できていない。
- (2) 形状に破損があった場合、その部分を復元できない。

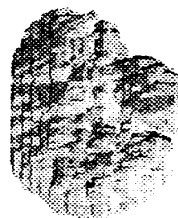


図3 MC法での化石の復元(正面図)

- (3) 処理に手動の部分が多く、時間がかかる。

3. 貝の形状モデルによる復元

3.1 3次元貝形状モデル

2章での問題点を解決するために、関数で表現された貝形状モデル²⁾を用いる方法を試みた。

巻貝の渦巻形状は、渦巻頂点を原点として、図4のように貝の渦巻開始点での半径を r_0 、その時の高さを z_0 、ある点での半径を r 、その時の高さを z 、回転角度を θ とすると、以下のような関数で表すことができる。

$$\theta = t, \quad r = r_0 \xi_r^t, \quad z = z_0 \xi_z^t \quad (1)$$

ここで、 $0 \leq t \leq t_{max}$ であり、 t_{max} は渦巻の全回転角度を示す。また、 ξ_r と ξ_z は貝それぞれに固有の値である。

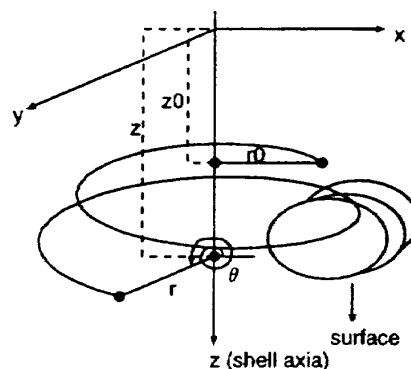


図4 貝形状作成方法

また、この z 軸と平行で、かつ半径方向に平行に貝の表面形状を生成していくことにより、貝の形状を求めることができる。

3.2 2Dでの貝形状の生成

式(1)を利用して、貝の回転軸が横フレームに垂直になるように取得した2D画像について形状の生成を行なう。

3.2.1 表面形状の取得

化石は一般に完全な形で保存されていることが稀であり、表面形状も完全にとれるものは少ない。そこで、取得できる表面形状だけをDynamic Programming¹⁾によって取得し、残りの部分を楕円で補間する方法をとった。楕円は長軸を貝の回転軸に達する長さとし、最適化を行なうことで求めた。

Nondestructive Reconstruction of 3D shells from fossil CT data

Norie Doi, Toyohisa Kaneko and Kazuhiro Katada

[†] Toyohashi University of Technology

Tempaku-cho, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan

[‡] Fujita Health University School of Medicine

Kutukake-cho, Toyoake, Aichi 470-1192, Japan

また、この結果をスムージング処理することで、実際のエッジと補間したラインとの境界での急激な形状の変化や、形状自身のノイズを除去した。³⁾

3.2.2 渦巻形状の取得

図5のように、渦頂点 *top*、渦開始点 *start*、渦終了点 *end* の3点の座標をマウスによって取得し、全回転数 α を得ることにより、式(2)から式(1)の ξ_r, ξ_z を得る。この時、貝の軸 ϕ は0、つまり、*z* 軸に平行と仮定する。

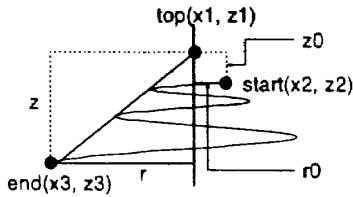


図5 定数決定点

$$r_0 = |x_1 - x_2|, \quad z_0 = |z_1 - z_2|$$

$$r = |x_1 - x_3|, \quad z = |z_1 - z_3|$$

$$\xi_r = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad \xi_z = \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (2)$$

以上のように貝の形状を生成し、3点 *top, start, end* と *z* 軸と貝の軸とのずれ ϕ [rad] を2Dの化石とのマッチングをとることによって最適化し、最終的な形状結果を得る。図6に示した化石の写真を原画像とし、以上の処理により図7が得られた。図6と図7は類似性が高く、本手法の有効性が検証できたと考える。

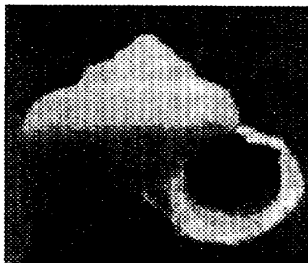


図6 貝形状の原画像(2D)

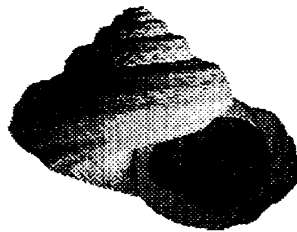


図7 復元した貝形状(3D)

3.3 3Dでの貝形状の生成

3.2章の手法を2章で得た結果に対して行なう。

図8のように原画像を取得し、これについて、式(1)と式(2)を適用した。表面形状は一部を楕円で補間し、スムージング処理を行なうことでMC法による凹凸やノイズを除去した。

処理対象とした貝化石(図3)は、*z* 軸方向に渦巻が進行していない。そのため、図7のような円錐形とは違い、平たい形状になることが予想されたが、パラメーターの最適化の結果、予想と同じ結果が得られた。処理の最終結果を図9に示す。また、MC法による形状と復元した形状の対応図を図10に示す。図10から、形状の保存の良い箇所を基準とすることで欠損している箇所を補い、なるべく前者に合わせて復元を行なっていることが分かる。また、関数による形状モデルを使用した方が、MC法のみ適用したときに比べてなめらかな形状が得られている。

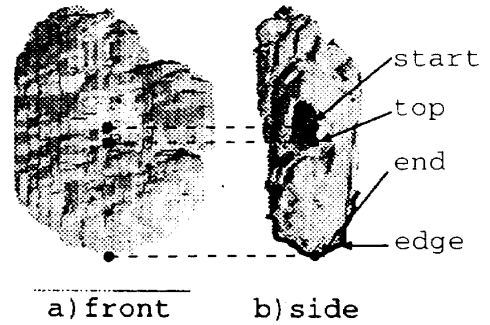


図8 MC法による出力結果の利用

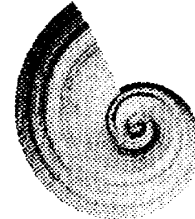
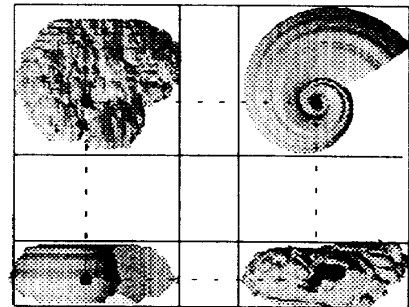


図9 関数による化石の復元結果(MC法利用後)

MC(front) output(front)



output(side) MC(side)

● top point

図10 出力対応図

4. ま と め

岩の中に存在する貝化石について、非破壊的な方法で3次元復元を行なった。その結果、岩石に損傷を与えることなくなめらかな形状を復元することができた。また、この手法を用いれば、一部欠損のある場合でも形状の復元が容易となる。

今後の課題としては、処理速度を向上させるため、ボリュームレンダリングを使用することでMC法を用いることなく形状の復元を行なうこと、そして、表面に複雑な凸形状の存在する場合の対処法の検討と、形状生成後の貝の色の選択および、マッピングがあげられる。

参 考 文 献

- 1) Eric N.Mortensen, et al., Intelligent Scissors for Image Composition, SIGGRAPH '95 Los Angeles California, pp191-198.
- 2) Deborah R.Fowler, et al., Modeling seashells, SIGGRAPH '92 Chicago, pp379-387.
- 3) Gabriel Taubin, A Signal Processing Approach To Fair Surface Design, SIGGRAPH '95 Los Angeles California, pp351-358.