

複素自己回帰モデルに基づく輪郭形状の識別に関する研究

北海道大学 ○橋本進 金子俊一 五十嵐悟

緒言

医療の分野において最近利用されている人工関節では、体内で使用されたときの摩擦・摩耗によって生じる摩耗粉の人体に対する影響が問題視されている。本研究では、体内における摩擦・摩耗に大きな影響を与える予想される関節の輪郭形状に着目し、複素自己回帰モデルを用いて人工関節の分類を試みた。

1. 序論

近年医療分野において人工関節が利用されているが、加工誤差のために摩耗が大きくなること、またその結果発生した摩耗粉の人体への影響が問題視されている。人工関節の形状として摩耗が少なくなるためには、関節形状が真円に近い形状であることや、目立った凹凸が無いことが望まれるので、製品として完成された人工関節の形状に対してこれらの評価を行うことはこうした問題を解決するうえで重要な意味をもっているといえる。

このような処理は、最終的にはそのすべてが自動化されることが望まれる。そのため本研究では、人工関節の形状の評価をその断面図の輪郭を用いることによって行うことを考える。具体的には複素自己回帰モデルを用い、図1に代表されるような人工関節の断面形状を円に近い形状のグループ、楕円に近い形状のグループ、凹凸が目立つ形状のグループという3つのグループに分けることを目的とする。

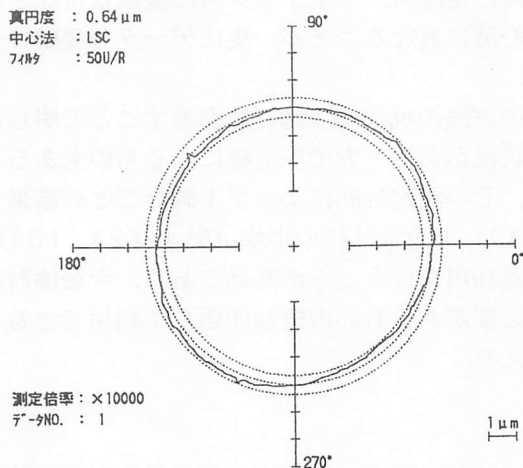


図1 人工関節の断面図

2. 輪郭形状と複素自己回帰モデル

(i) 複素自己回帰モデル¹⁾

複素自己回帰モデルとは、ある平面図形があったときにその輪郭線上の点(輪郭点)を、 m 個前までの輪郭点の線形結合で近似するモデルである。具体的には輪郭点を $(x_j,$

$y_j)$ ($j=0, 1, \dots, N-1$) とし、その複素表現を $z_j=x_j+iy_j$ とすると m 次の自己回帰モデルは、

$$\hat{z}_j = \sum_{k=1}^m a_k z_{j-k}$$

で表される。 a_k は複素自己回帰係数と呼ばれ、平均2乗誤差

$$\varepsilon^2(m) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} |\hat{z}_j - z_j|^2 = \mathbf{a}^* \mathbf{R} \mathbf{a} - \mathbf{r}^* \mathbf{a} - \mathbf{a}^* \mathbf{r} + r_0$$

が最小となるように決められる。ただし、

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_0 & \bar{r}_1 & \bar{r}_2 & \dots & \bar{r}_{m-1} \\ r_1 & r_0 & \bar{r}_1 & \dots & \bar{r}_{m-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \dots & \bar{r}_{m-3} \\ & & & \dots & \\ r_{m-1} & r_{m-2} & r_{m-3} & \dots & r_0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)^T$$

$$\mathbf{r} = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_m)^T, \quad r_k = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (z_j \bar{z}_{j-k})$$

である。 \bar{z} は z の複素共役であり、 \mathbf{x}' は \mathbf{x} の転置、 \mathbf{x}^* は \mathbf{x} の共役転置を表す。また、平均2乗誤差が最小となるときの複素自己回帰係数は次式で表される。

$$\mathbf{a} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{r}$$

(ii) 輪郭形状間の距離尺度²⁾

本研究では輪郭形状を分類する際の距離尺度として、複素パワーケプストラム距離と呼ばれるものを用いた。

2つの輪郭点列 $z^{(i)}$, $z^{(j)}$ 間の複素パワーケプストラム距離 $Dc(i, j)$ は次式で定義される。

$$Dc(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \ln \left\{ \varepsilon_i^2 / (r_0^{(i)}/N) \left| A^{(i)} e^{i2\pi k/N} \right|^2 \right\} - \ln \left\{ \varepsilon_j^2 / (r_0^{(j)}/N) \left| A^{(j)} e^{i2\pi k/N} \right|^2 \right\} \right\}^2$$

ここで A は、輪郭点列の z 変換

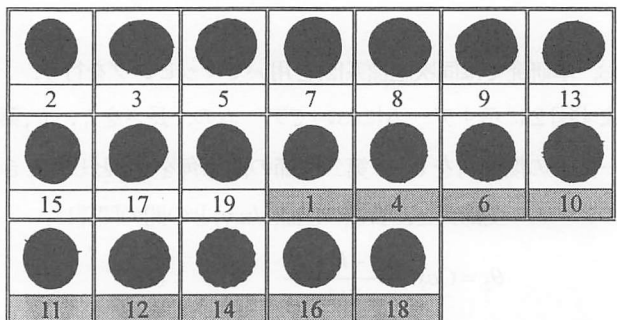
$$Z(\omega) = E^f(\omega) / \left(1 - \sum_{k=1}^m a_k \omega^{-k} \right)$$

の分母である。また、 $E^f(\omega)$ は誤差の z 変換を表す。

複素パワーケプストラム距離は、輪郭点列のスペクトル包絡の対数変換に基づいた距離尺度である。

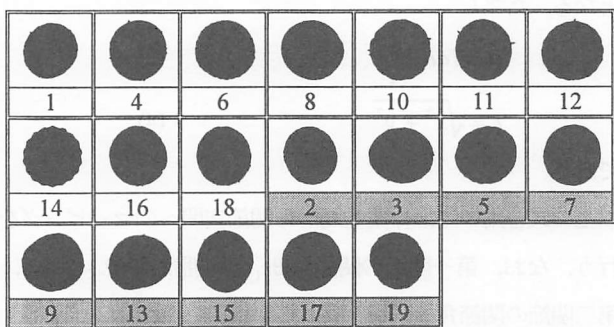
3. 実験

複素自己回帰モデルを用いて実際の人工関節の断面形状に対する分類実験を行った。実験に用いた輪郭点データは、図1のような三次元測定機によって測定した結果をスキャナにより取り込み、そこから160点を等間隔にサンプリングして作成した。また分類には、それぞれのグループに基本形状を設定し、その形状との距離で分類する最短距離法を用いた。実験に用いた輪郭形状は図2に示す19種類である。



	凹凸が目立たない形	凹凸が目立つ形状
基本形状	7	10

(a) 凹凸部の有無の分類 (次数: 5)

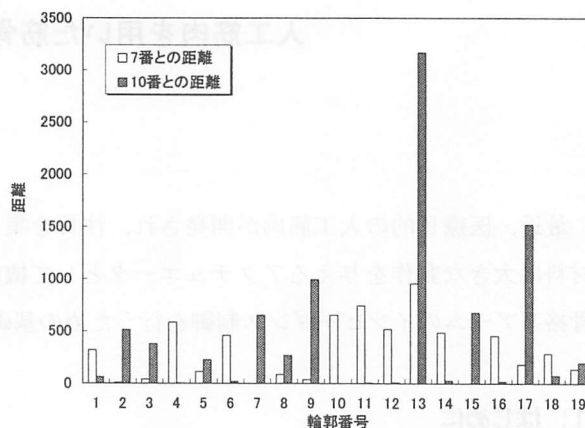


	円に近い形状	楕円に近い形状
基本形状	16	3

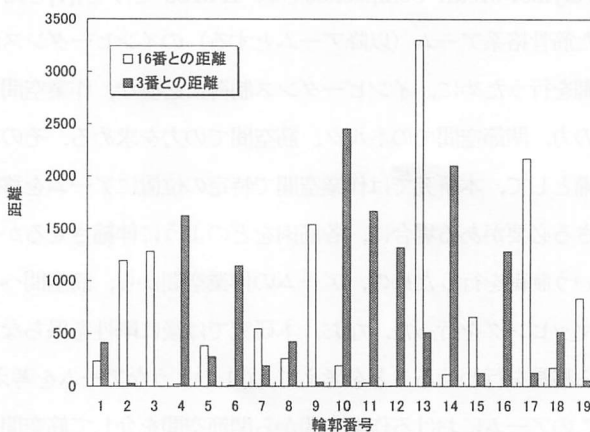
(b) 円、楕円形状の分類 (次数: 13)

図2 分類結果

分類は、凹凸が目立つ形状の分類(図2(a))と、円に近い形状及び楕円に近い形状の分類(図2(b))の2種類を行った。どちらの場合も、最も人間の感覚に近いと思われる結果が得られたときの次数を例として掲載したが、実際にはどちらの実験も次数の変化に対する結果の違いはほとんど無かった。次に結果の考察について述べるが、現在は結果の妥当性を目視によって行っている。図2より、凹凸形状の分類ではよい結果が得られていることが分かる。また円、楕円形状の分類では、1番の形状や11番の形状のように楕円に近い形状が円形状と判断される誤認識も起きているが、その他の形状ではよい結果が得られていることが分かる。図3に、それぞれの分類時における、各グループ基本形状と各輪郭形状との距離をグラフによって示す。



(a) 凹凸形状分類時の各基本形状と各輪郭形状との距離



(b) 円、楕円形状分類時の各基本形状と各輪郭形状との距離

図3 基本形状と各輪郭形状間の距離

図3より、どの輪郭形状についても、異なる基本形状との距離の間に大きな差が出ており、輪郭形状の違いが距離に反映されていると分かる。

4. まとめ

複素自己回帰モデルを用いることによって、人工関節断面形状に対する凹凸形状の分類と円、楕円形状の分類を行った。今後は分類結果の妥当性をあらかじめ保証する方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 大津, 栗田: Shape Descriptor としての複素自己回帰モデルの提案, 電子情報通信学会総合全国大会予稿集, D-496, (1989).
- 2) 栗田, 関田, 大津: 複素自己回帰モデルに基づく輪郭形状間の距離, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J73-D-II, No.9, pp.1493-1503, (1990).