

生物膜表面形状の測定技術に関する研究

函館高専 正会員 大久保 孝 樹
 横浜国大生産工学科 日本機学会会員
 西 野 耕 一

1. はじめに

写真測量とは、写真という平面形状に映し出された像の形状から被写体の空間的な形を計測する方法で、写真に映し出された被写体の2次元形状から3次元形状を求める測定計算方法である。従来の写真測量は人の目に頼ってきたが、CCDカメラが発達して以来、この人為的操作をコンピュータ化することが進められてきた。このような写真測量において、人の目による実体視の感覚に頼らずに完全にコンピュータ化するためには、2枚の写真での同一点の認識が重要視される。この同一点の認識方法としては、写真測量における共線条件の成立から求める方法や、流体力学分野で流速計測に用いられているPTV法の応用、窓領域と探索領域の濃度(256階調)の相関から同一点を認識する相互相関法の応用などが考えられる。今回の研究では、相互相関によって、実際の生物の表面形状を測定した。生物膜のミクロな表面形状を広領域の範囲で測定する場合、CCDカメラがかなりの高解像度を持っていなければならない、現在使用しているカメラの画素数では不可能に近いことがわかっている。本研究では、この問題を解決するために、実体顕微鏡を用いて一部を拡大してCCDカメラに撮り、高精度のマイクロステージでX-Y方向に移動させ、それらの3次元計算データを連結させる手法を用いた。

2. 計測装置

図-2は、CCDカメラに装着した実体顕微鏡とX-Yマイクロステージの写真である。図-1は、CCDカメラによって画像を取り込むためのコンピュータ周辺機器である。



図-1 コンピュータ周辺機器

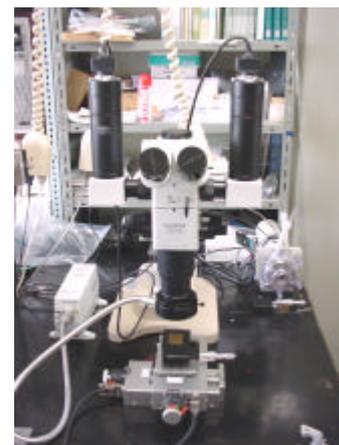


図-2 実体顕微鏡・CCDカメラ
X-Yマイクロステージ

3. 相互相関法と3次元計算方法

相互相関法とは、左画像内に窓領域を設定し、右画像内の探索領域内の候補領域に重ね合わせ、各画素ごとの濃度値の積を求め、その領域全体の和から相関係数を算出するものである。両領域で濃度がまったく一致した時は1.0となるがステレオ写真では試料が左右にずれているため同一窓領域の相関係数は必ずしも1.0になるとは限らなく、本研究では最低の相関係数として0.6をとっている。また、同一領域から大幅にずれると相関係数は非常に小さく(0.3以下)となる。そこで、候補領域を順次ずらしてゆき相関係数が最大となる領域を窓領域と同一の領域とみなした。同一点として、窓領域と相関係数が最大となった候補領域の図心を用いた。

3次元の計算方法は図-3に示すように投影中心 $O(X_0, Y_0, Z_0)$ と写真の像 $p(x, y)$ と被写体 $P(X, Y, Z)$ が一直線状にあるという空間直線の式が基本となる。この式は共線条件式と呼ばれ次のように表される。

$$x = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

キーワード：生物膜，写真測量，CCDカメラ，実体顕微鏡，相互相関法

連絡先：042-8501 函館市戸倉町14-1 函館高専環境都市工学科 TEL.(Fax)0138-59-6487

ここで、 a_{ij} は 3 軸周りの回転角 j, k によって作られる 3×3 の回転行列の要素で次式で表される。

$$R = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos w & -\sin w \\ 0 & \sin w & \cos w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos j & 0 & \sin j \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin j & 0 & \cos j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos k & -\sin k & 0 \\ \sin k & \cos k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$a_{11} = \cos j \cos k, a_{12} = -\cos j \sin k, a_{13} = \sin j$$

$$a_{21} = \cos w \sin k + \sin w \sin j \cos k, a_{22} = \cos w \cos k - \sin w \sin j \sin k, a_{23} = -\sin w \cos j$$

$$a_{31} = \sin w \sin k - \cos w \sin j \cos k, a_{32} = \sin w \cos k + \cos w \sin j \sin k, a_{33} = \cos w \cos j$$

4 . VBasic による相互相関・3 次元計算ソフト

図-4 は、Visual Basic で作成した相互相関法と 3 次元計算のソフト入力画面である。この作成したソフトは、入力画像数とファイル名、窓領域と探索領域などの画素数および同定したカメラパラメーターを入力することによって計算実行可能となる。



図-4 3次元計算ソフトの入力画面

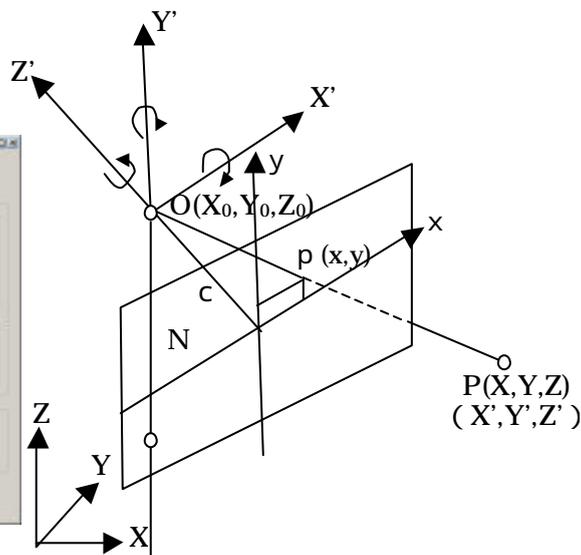


図-3 共線条件

5 . 計測結果

生物膜の表面を X-Y マイクロステージを用いてオーバーラップ 45%程度で移動させ撮影した。一回の撮影では Left と Right の 2 つの CCD カメラで画像を取り込んだ。X 方向 6 回 Y 方向 6 回の移動で一枚の生物膜から計 $36 \times 2 = 72$ 枚の画像を取り込んだ。

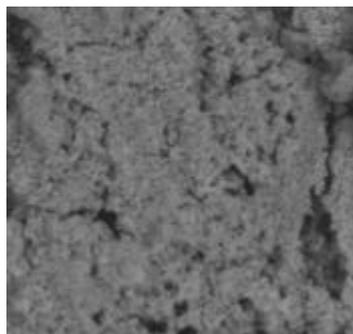


図-5 生物膜表面写真



図-6 生物膜 3-D 画像(連結前)

このようにして取り込んだ一枚の画像例が図-5 であり、図-6 が左右 2 枚の画像を VBasic のソフトで計算した 3-D 画像の例である。図-7 は、36 枚の 3-D 画像を格子状の値に補間した後、連結したものである。連結した生物膜表面画像の範囲は、約 10×10 mm である。生物膜は、7 日間連続実験で馴致したもので反応槽の上層、中層、下層から採取したものである。

反応槽上層の凹凸が激しい生物膜では、相互相関法の同一点認識でエラー値が生じていることがわかる。

6 . 今後の課題

相互相関法の同一点認識のエラー値を除去するプログラムを組み込む必要がある。レーザー変位計などで計測し比較検討する必要がある。

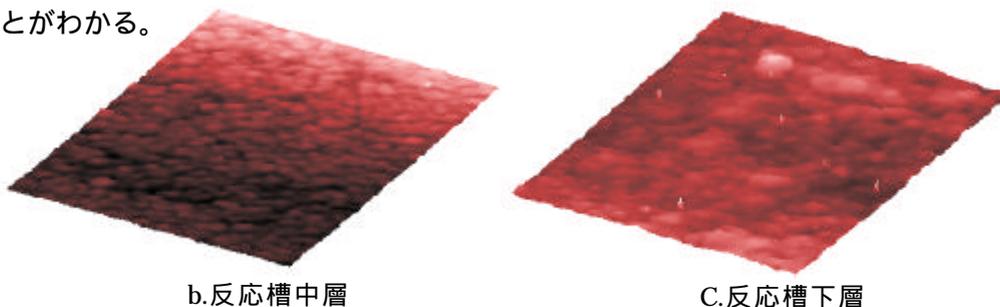


図-7 36 枚の 3-D 画像を連結した生物膜表面画像

なお、本研究は科学研究費基盤 C(2)の中間報告の一部である。