

# コンピュータによる衿ぐり曲線の算出†

若山 忠雄††

服飾における衿ぐり曲線のデザインは現在写真計測や手作業によっている。そこで本稿では物体曲面の構造線解析の研究の一環として衿ぐり曲線の問題を取り上げ、コンピュータによるその算出の自動化を試みる。

まず、曲面上に自由に置かれた粘性ゼロ密度一定の糸が形成する空間曲線を曲面懸垂線として定式化し、これが衿ぐり曲線の形状を表わすことを示す。次に、物体曲面の特徴領域・構造線の特徴量の算出に微分幾何学の手法を適用することとし、筆者の所属する研究室で開発した光学系形状計測システムによって得られる形状データが容易に微分幾何学上のデータ表現に変換できることを示す。続いてこの準備のもとに、曲面懸垂線を力学的平衡の考え方に基づいて算出する手法を述べる。さらに曲面懸垂線算出の応用として衿ぐり曲線を算出し、こうして得られた曲線が、服飾界で行っている、頸まわりにチェーンを置くことによってできる実際の衿ぐり曲線ときわめて良く一致することを示す。最後に衿ぐり曲線から衿型を求める衿型展開について述べる。

## 1. ま え が き

曲面物体の三次元イメージ情報に基づいた曲面上の構造線解析の応用研究の一環として、本稿では服飾における衿ぐり曲線の問題を取り上げ、コンピュータによるその算出の自動化を試みる。

服飾デザインの中で、頸部のデザインの良し悪しは衣服そのものの着易さや美しさをも決定づけるものであるが、その中でも特に頸部と衣裳との接線である衿ぐり曲線（ネックライン）のデザインは重要である。服飾界においてはこのような衿ぐり曲線の算出手法の研究が行われているが、まだ手作業や写真計測によるのが現状である。

そこで本稿では衿ぐり曲線をコンピュータにより算出する訳であるが、まず衿ぐり曲線を、物体曲面の特徴を表わす構造線の一つとみなし得る曲面懸垂線として捉え、両者の関係を論ずる。次に物体曲面の特徴領域・構造線などの特徴量の算出に微分幾何学の手法を適用することとし、筆者の所属する研究室で開発した高精度の光学系形状計測システムにより得られるデータが容易に微分幾何学上のデータ表現に変換できることを示す。さらに曲面懸垂線を力学的平衡の考え方に基づいて算出する手法を述べる。またこのとき、測地線は曲面懸垂線の特種な場合として容易に得られることを示す。続いて曲面懸垂線の応用として、本題の衿ぐり曲線を算出し、さらにその派生として、それから衿型を求める方法について述べる。最後にこうして得

られた衿ぐり曲線が、頸まわりにチェーンを置くことによってできる曲面懸垂線が与える実際の衿ぐり曲線とよく一致することを示す。

## 2. 衿ぐり曲線と曲面懸垂線

### 2.1 衿ぐり曲線の定式化

服飾界においては衣服に対する衿ぐり曲線が衣服のデザインの観点から重要視されてきており、その特性計測の研究が行われている<sup>1)</sup>。衿ぐり曲線の形態にはいろいろ考えられるが、前述の要求を満たす衿ぐり曲線は、平沢和子氏\*によると、図1に示すように頸高点(A)および頸椎点(第7頸椎)(B)を通る、頸部上に固定されることなく自由に置かれた十分に細いチェーンによって作られる閉曲線であるという。以下ではこれを単に衿ぐり曲線と呼ぶことにする。また衿(衿型)は衿ぐり曲線から上部3~4cm程度にある頸部上の曲線と衿ぐり曲線とによって作られる帯状の領域である。

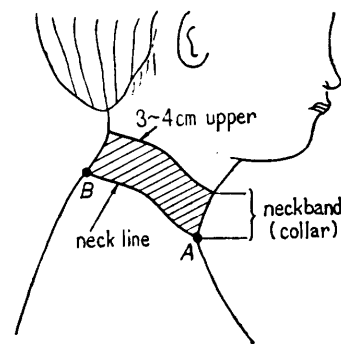


図1 衿ぐり曲線の定式化  
Fig. 1 Formulation of a neck line.

† Computer Derivation of Neck Lines by TADAO TAKAYAMA (Yokosuka Electrical Communication Laboratory, N. T. T.).

†† 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所  
\* 鼎立新潟女子短期大学 (被服構成研究室)

## 2.2 曲面懸垂線

粘性ゼロで密度一定の糸を、その両端を固定して空間に自由に垂らした場合にできる平面曲線は一般に懸垂(曲)線と呼ばれている。これに対して曲面上に、その曲面との摩擦がゼロである、粘性ゼロで密度一定の糸を自由に置いた場合にできる空間曲線を本稿では曲面懸垂線と呼ぶことにする。さらに曲面懸垂線は両端固定の開いた糸によってできる開いた曲面懸垂線と、単純閉曲線を固定されることなく自由に置いてできる閉じた曲面懸垂線とに分類されるものとする。

このように考えた場合、上述の衿ぐり曲線は閉じた曲面懸垂線とみなすことができる。したがって衿ぐり曲線を算出するには(閉じた)曲面懸垂線を算出すればよい。

## 3. 微分幾何学と入力データの预处理

### 3.1 曲面解析への微分幾何学的アプローチ

一般に濃淡図形あるいは三次元世界の写真などに対する解析などの画像処理の研究は盛んに行われているが、曲面物体の三次元座標データから出発した物体認識・曲面解析などの研究は余り行われていないようである。その理由の一つには画像データに比して三次元曲面データを得るための形状計測装置が十分には開発されていないことが考えられる。その中であってこれら分野の仕事としては、石井ら(電総研)<sup>2)</sup>のレーザスポット光の投影による距離の計測とそれによる物体の簡単な特徴抽出、白井ら(電総研)<sup>3)</sup>のレンジファインダを用いたスリット光の投影による距離の計測とそれによる多面体データの基礎領域への分割、Popplestone ら<sup>4)</sup>の行った白井らの仕事の拡張による平面および円柱面をもった混合物体の認識、あるいは同じく三角測量の原理により得られた一般曲面物体に対する物体の円筒あてはめによるAgin<sup>5)</sup>の仕事などが見受けられる。しかしこれらの仕事で用いられている形状計測装置はその計測精度に対して必ずしも満足すべきものではなく、したがってそれによって得られる計測データから出発する特徴解析にも自ずと限界がある。

筆者の所属する研究室でも三角測量の原理を応用したレーザビームによる光学系形状入力システムを構成した<sup>6)</sup>。このシステムは次節で述べるように計測精度が優れており、また被計測物体を回転させながら計測すれば曲面のほぼ全域にわたって計測することができる。したがってこのシステムにより計測された三次元

データを用いれば、物体曲面のほぼ全域にわたってそれぞれの点または領域における曲面の形状特徴あるいはそれに基づく物体の全体的形状が任意に解析できるはずである。またこれらの特徴量を自由に算出するには微分幾何学で得られているいくつかの手法を適用すると都合が良い。ところが微分幾何学では三次元座標の表現に径数表現(助変数表現)を一般には用いているが、我々の計測システムから得られた入力データは容易にこの径数表現に変換することができる。そこで本稿では物体曲面の解析に微分幾何学の手法を適用する訳である。

### 3.2 三次元データの入力処理と径数表現

三次元直交座標系を  $x, y, z$  とすれば、その系における曲面の方程式は一般に、陽関数  $z=f(x, y)$ 、または陰関数  $F(x, y, z)=0$  なる型で表現することができる。しかし陽関数表現の場合はそれぞれの座標に対して対称でなく、曲面の接平面が  $x-y$  平面に垂直なところでは  $\partial z/\partial x, \partial z/\partial y$  などが  $\infty$  になったりして不都合である。また陰関数表現は代数曲面や特殊な曲面以外は余り有利な表現とはいえない。

そこで本稿では曲面懸垂線の算出さらに一般的には諸特徴量の算出を考慮して微分幾何学的手法の適用のし易い径数表現を用いる訳である<sup>7), 8)</sup>。いま径数を  $u, v$  とし、 $u-v$  平面のある領域  $D$  で定義された3つの関数  $x(u, v), y(u, v), z(u, v)$  により曲面は

$$\left. \begin{array}{l} x=x(u, v) \\ y=y(u, v) \\ z=z(u, v) \end{array} \right\} (u, v) \in D \quad (1)$$

として表現される。そこで次に我々の計測システムから得られるデータをこのような径数表現に変換するための入力処理の過程について述べる。

まずシステムの簡単な原理図を図2に示す<sup>6)</sup>。図において、物体は回転軸を  $(x_0, y_0)$  とする回転台の上に置かれ、照射光(レーザビーム)はその回転軸を通り、 $x-y$  平面に垂直な方向(縦方向)に振られ、それによってできる物体曲面上の縦方向の光線は受光面上においてスリット像として観測される。一本のスリット像データは、受光面上の座標系を  $p, q$  とすれば、 $q$  の値が0から2,046までの偶数値であるような最大1,024個のデータ点列であり、しかも  $p$  を  $q$  の関数とみなした場合、 $p$  は  $q$  の一価の関数であり、傾きは  $\infty$  にはならない。前述のように照射光の振れによってできる面は光原と回転軸を通る固定された平面であるので、物体曲面を全体にわたって計測するには物体を

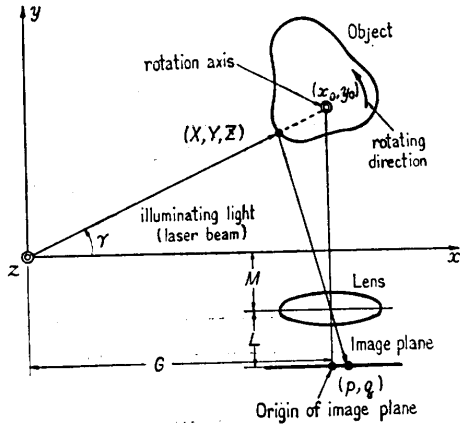


図2 三角測量の原理によるレーザービーム形状計測システム  
Fig. 2 Laser ranging triangulation system.

例えば1度ずつ回転させながら計測する必要がある。いま、ある計測時点における物体の標準位置に対する回転角を  $\theta$  ( $0 \leq \theta < 2\pi$ ) とすれば、 $p$  は  $\theta$  の関数でもあり、かつこれも一価であり、しかも傾きは  $\infty$  にはならない。したがって  $p$  は  $\theta$  と  $q$  の二変数関数  $p(\theta, q)$  となり、しかも一価であってその偏微分値は  $\infty$  にはならない。

次に曲面上を縦方向に走る光線の上の点  $(X, Y, Z)$  は装置パラメータを図のように設定することにより次式にて計算される<sup>9)</sup>。

$$\begin{cases} X = \frac{G + M \cdot \frac{p}{L}}{1 + \frac{p}{L} \cdot \tan \gamma} \\ Y = X \cdot \tan \gamma \\ Z = C \cdot \frac{G \cdot \tan \gamma - M}{L \left(1 + \frac{p}{L} \cdot \tan \gamma\right)} \cdot q \end{cases} \quad (2)$$

ここに  $C$  は装置定数である。したがって  $X, Y, Z$  は  $\theta$  と  $q$  の二変数関数である。また点  $(X, Y, Z)$  に対応する標準位置での物体曲面上の点の座標  $(x, y, z)$  は原点が回転軸上に来るように  $x-y$  平面に平行に平行移動した場合、次式で与えられる。

$$\begin{cases} x = (X - x_0) \cos \theta + (Y - y_0) \sin \theta \\ y = (Y - y_0) \cos \theta - (X - x_0) \sin \theta \\ z = Z \end{cases} \quad (3)$$

すなわち  $x, y, z$  は  $\theta$  と  $q$  の二変数関数である。さてここで  $\phi \equiv \pi/90$  として、 $\theta = \phi u$  とおけば、 $X, Y$  の径数の一つ  $\theta$  は  $u$  ( $0 \leq u < 180$ ) により置き換わ

る。また(2)式における  $Z$  は計測原理より  $q$  に対して単調増加関数である。したがって以下の計算を行い易いように径数  $q$  に対し径数  $v$  を導入して、 $Z = 2.5v - 330$  となるようにすれば、 $Z$  は  $v$  の一次式で定まることになる。ただしこの場合、そのときの  $v$  に対応する  $q$  の値を求め、 $X, Y$  の計算時にはこの  $q$  の値を用いることとする。こうして  $X$  の変換された値を  $W$  とする。すなわち  $W = W(u, v)$  である。したがって物体形状は径数を  $u, v$  として次式で表現される。

$$\begin{cases} x = (W - x_0) \cos \phi u + (\eta W - y_0) \sin \phi u \\ y = (\eta W - y_0) \cos \phi u - (W - x_0) \sin \phi u \\ z = 2.5v - 330 \end{cases} \quad (4)$$

ただし、

$$\begin{cases} 0 \leq u < 180, 0 \leq v < 255 \\ \phi = \frac{\pi}{90} \\ \eta = \tan \gamma \end{cases}$$

具体的には受光面データからノイズの除去、不連続点の検出、データ点の補填などの前処理を行って、定義領域  $D$  が  $180 \times 255$  の大きさの径数表現  $W(u, v)$  を求める。定義領域の例を後述の図4(a)に示す。図において斜線部分は自分自身の陰によりできる不連続点領域、または照射光の当たらない未定義領域を表わしている。また  $u=0$  と  $u=180$  とは同じ部分を表わしている。

なお、本計測システムでは装置パラメータは最適となるように選び、スパン  $G$  をできるだけ広く取り、またデータ入力はスリット像の中心線をハード的に取るようにするなどしてその計測精度の向上を計ることにより、平均精度を1%以内に行っている。また入力速度は100スリットで17秒である。

### 3.3 基礎量の計算

曲面上の点を以下では径数  $u, v$  を用いて  $P(u, v)$  またはベクトル  $r(u, v)$  で表わすものとする。微分幾何学的手法による曲面解析においては、その解析は基礎量に基づいて進められるが、その内の一つ、第1基礎量  $g_{\alpha\beta}(\alpha, \beta = 1, 2; g_{12} = g_{21})$  は次式で与えられる<sup>9)</sup>。

$$g_{11} = r_u \cdot r_u, \quad g_{12} = r_u \cdot r_v, \quad g_{22} = r_v \cdot r_v \quad (5)$$

$x, y, z$  を(4)式に基づいて  $u, v$  で微分し、(5)に代入すれば、第1基礎量は次のようになる。

$$\begin{cases} g_{11} = x_u^2 + y_u^2 \\ g_{12} = x_u x_v + y_u y_v \\ g_{22} = x_v^2 + y_v^2 + 6.25 \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 $x_u, y_u$  などは、

$$\begin{cases} a \equiv \cos \phi u + \eta \sin \phi u \\ b \equiv \eta \cos \phi u - \sin \phi u \end{cases} \quad (7)$$

とにおいて、次式で与えられる。

$$\begin{cases} x_u = aW_u + b\phi W + \phi(x_0 \sin \phi u - y_0 \cos \phi u) \\ x_v = aW_v \\ y_u = bW_u - a\phi W + \phi(x_0 \cos \phi u + y_0 \sin \phi u) \\ y_v = bW_v \\ z_u = 0 \\ z_v = 2.5 \end{cases} \quad (8)$$

なお、偏微分  $W_u, W_v$  は2次式11点近似の数値微分<sup>7)</sup>によって計算する。さらに点  $P(u, v)$  における曲面の単位法線ベクトル  $n$  は、 $g = g_{11}g_{22} - g_{12}^2$  とおいて、

$$n = \frac{r_u \times r_v}{\sqrt{g}} = \frac{1}{\sqrt{g}} \times (2.5y_u, -2.5x_u, x_v y_u - x_u y_v) \quad (9)$$

により与えられる。

#### 4. 曲面懸垂線の算出と算出例

##### 4.1 曲面懸垂線の算出

曲面懸垂線は、変分問題としてオイラーの微分方程式を立てて、これを解くことにより求めることができるが、導出された方程式は通常の懸垂線の場合に比べて非常に複雑であり、直感的にも分かりにくく、また数値解を深し出すのに相当の難儀が予想され、したがってこの方法による解法は得策ではない。そこで本稿ではこれを力学的平衡の考えに基づいて算出する手法について論ずる。ただし以下の議論において、求めるべき曲面懸垂線には弛みすなわち弛んで曲面上から離れ空間内に形成される懸垂線は含まれないものとする。

いま重力が  $m$  なる十分に小さな数珠玉が等間隔  $l$  にて重さゼロなる糸により連結されているとし、これを数珠と呼ぶことにする。この数珠を数珠玉との摩擦がゼロなる曲面上に置いた場合、間隔  $l$  をどれだけでもゼロに近づければ、その数珠が示す折れ線はどれだけでも曲面懸垂線に近づくことは明らかである。そこでこの折れ線を近似的曲面懸垂線または単に曲面懸垂線と呼ぶことにする。

枠ぐり曲線に対応する曲面懸垂線は閉じた曲面懸垂線であるが、これを求めるには頸周りを一周して始点にもどり、かつ始点に入る曲線と始点から出る曲線との接線ベクトル・主法線ベクトル・従法線ベクトルがその点において一致するような開いた曲面懸垂線を求

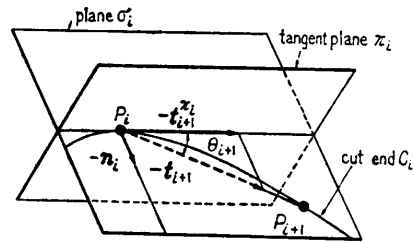
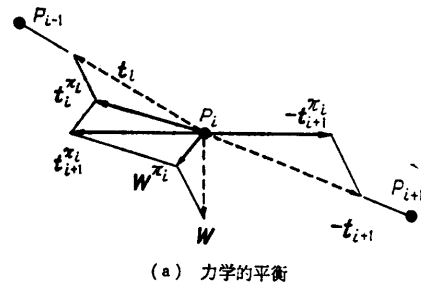


図3 曲面懸垂線の近似的算出

Fig. 3 Approximate derivation of surface catenary.

めればよい。しかし曲面懸垂線を折れ線で近似するにはこの条件は厳し過ぎるので、これを緩めて算出条件として始点にもどること、接線ベクトルの方向が一致することを考えることとする。さてここで曲面上の開いた数珠の各数珠玉を順に、

$P_0$ (始点),  $P_1, P_2, \dots$

とし、この各点  $P_i$  を順に求めるのであるが、いまそれらが  $P_i (i=1, 2, \dots)$  まで求まっているものとする。このとき次なる数珠玉  $P_{i+1}$  を求める問題について考える。図3(a)に示すように、数珠玉  $P_{i-1}$  が  $P_i$  を引っ張る張力ベクトルを  $t_i$ 、 $P_i$  の受ける重力ベクトルを  $w=(0, 0, -m)$ 、 $P_i$  における曲面の接平面を  $\pi_i$  とし、さらにそれぞれのベクトルの平面  $\pi_i$  に対する射影ベクトルをその記号の右肩に  $\pi_i$  をつけて表わすことにする。三次元空間内において曲面上に自由に置かれた数珠の数珠玉  $P_i$  に対してそれに加わる力にある力学的平衡が成立するならば、それは接平面におけるそれからの力の射影に対しても成立するはずである。したがって次なる点  $P_{i+1}$  に対する張力ベクトル  $t_{i+1}$  の射影ベクトル  $t_{i+1}^{\pi_i}$  は次式によって決定される。

$$t_{i+1}^{\pi_i} = t_i^{\pi_i} + w^{\pi_i} \quad (10)$$

したがってこれにより張力ベクトル  $t_{i+1}$  および数珠玉  $P_{i+1}$  を求めることができる。すなわち図3(b)に示すように、点  $P_i$  を通り、 $P_i$  における曲面の単位法線ベクトル(接平面  $\pi_i$  の方向ベクトル)  $n_i$  および射影張力ベクトル  $t_{i+1}^{\pi_i}$  を含む平面  $\sigma_i$  と曲面とが

交わってできる切り口曲線  $C_i$  の上において,

$$\overline{P_i P_{i+1}} = l \tag{11}$$

を満たす点  $P_{i+1}$  を求めればよい。いま  $P_i$  からみた  $P_{i-1}$  の向きの単位ベクトルを  $\mathbf{d}_i$  とすると、 $P_{i+1}$  が定まればそれに対する単位ベクトル  $\mathbf{d}_{i+1}$  は容易に求めることができる。またベクトル  $\mathbf{t}_i$  と  $\pi_i$  に対するその射影ベクトルとのなす角を  $\theta_{i+1}\pi_i$  とすれば、 $\theta_{i+1}\pi_i$  は容易に求まり、

$$|\mathbf{t}_{i+1}\pi_i| = |\mathbf{t}_{i+1}| \cos \theta_{i+1}\pi_i \tag{12}$$

であるから、張力ベクトル  $\mathbf{t}_{i+1}$  は次のようにして求めることができる。

$$\mathbf{t}_{i+1} = |\mathbf{t}_{i+1}| \cdot \mathbf{d}_{i+1} = \frac{|\mathbf{t}_{i+1}\pi_i|}{\cos \theta_{i+1}\pi_i} \cdot \mathbf{d}_{i+1} \tag{13}$$

これに(10)式で求められた値を代入すればよい。さらに点  $P_i$  の位置ベクトルを  $\mathbf{r}(P_i)$  とすれば点  $P_{i+1}$  は、

$$\mathbf{r}(P_{i+1}) = \mathbf{r}(P_i) - l \cdot \mathbf{d}_{i+1} \tag{14}$$

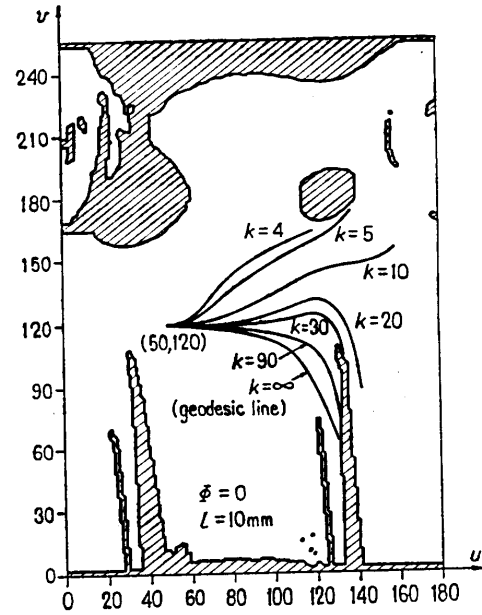
により求めることができる。

この手続きを  $i=1, 2, 3, \dots$  の順に従って適用してゆき、順次に点  $P_1, P_2, \dots$  を求める。ただし、 $P_0, \mathbf{t}_1\pi_0$  は初期条件として与えられる。曲面懸垂線の形状は  $m$  に影響されないで以下では  $m=1$  としても一般性を失わない。そこで単位ベクトルを  $\mathbf{d}$  として、

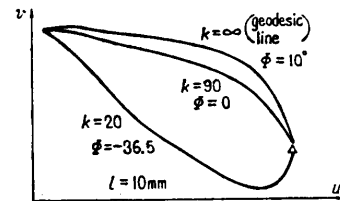
$$\mathbf{t}_1\pi_0 = k\mathbf{d}$$

とすれば、 $k$  は  $P_0$  と  $P_1$  との間の糸の正規化された張力の接平面  $\pi_0$  への射影であり、 $\mathbf{d}$  は  $\pi_0$  上での初期算出方向を表わす単位ベクトルである。したがって  $P_0$  を通る閉じた曲面懸垂線を求めるには、いままでに計算された点  $P_{i+1}(i=1, 2, \dots, n)$  に対して線分  $P_n P_{n+1}$  が始点  $P_0$  の近傍を通り、かつ線分  $P_0 P_1$  となす角が十分に小さくなるように  $k$  と  $\mathbf{d}$  を調節すればよい。また接平面  $\pi_0$  上に  $x-y$  平面に平行でかつ  $u$  軸の正の方向が正となるような基準軸をとって、単位ベクトル  $\mathbf{d}$  がその基準軸となす角を  $\phi$  とし、この  $\phi$  を以下では初期算出方向とする。

次に初期値  $k$  と  $\phi$  の与え方について述べる。ただし算出対象とする曲面懸垂線の近くには頸部のようにコブ型の領域はないものとする。始点  $P_0$  に対して終点を  $P_f$  とし、いま線分  $P_n P_{n+1}$  が  $P_f$  の近くを通ったものとする。このとき線分  $P_n P_{n+1}$  と点  $P_f$  との距離を  $\delta$  とし、この  $\delta$  の値が毎回の曲線懸垂線の算出において単調減少するように次の算出のための  $\phi$  の値を定める。 $\delta$  がある定められた十分小さな値より小さくなった線分  $P_n P_{n+1}$  は終点  $P_f$  を通ったものとする。



(a) 張力の大きさによる曲面懸垂線の変化



(b) 両端固定の曲面懸垂線

図4 曲面懸垂線の算出例 (aは正規化された張力を示す)

Fig. 4 Derivation examples of surface catenaries ( $k$  denotes normalized tensions at calculation starting points).

る。また閉じた曲面懸垂線の場合は  $P_0=P_f$  とみなす。いま線分  $P_n P_{n+1}$  が点  $P_0(=P_f)$  を通ったとして、このとき線分  $P_n P_{n+1}$  と線分  $P_0 P_1$  とのなす角が上に凸ならば張力を大きくする、すなわち  $k$  を大きくすればよい。また下に凸ならば  $k$  を小さくすればよい。そして再び  $P_0$  を通るように  $\phi$  を調節する。両線分のなす角が十分小さくなれば計算は停止する。

#### 4.2 曲面懸垂線の算出例

図4(a)に  $P_0=(50, 120)$ 、初期算出方向  $\phi=0$  の場合の、初期射影張力  $k$  の各々に対する曲面懸垂線の算出状況を示す。図4(b)は二点を通る曲面懸垂線の算出例である。なお、図において  $k=\infty$  は測地線を示す。測地線は曲面上における二点間の最短径路であるが、これは張力  $k$  が、

$$k \rightarrow \infty$$

である曲面懸垂線である。

### 5. 衿ぐり曲線の算出と衿型展開

#### 5.1 衿ぐり曲線の算出

2.1 節で述べたように、衿ぐり曲線は頸窩点と頸椎点とを拘束されることなく通る曲面懸垂線である。そこでまず頸窩点と頸椎点の二点の位置を決定しなければならない。マネキン人形に対する我々の三次元データは、頸部下部のほぼ中心部が床に平行な  $x-y$  平面の原点に位置し、 $y$  軸の正の方向に向いた姿勢を表現している。したがって原点を通る  $y-z$  平面による物体の切断面を表現するならば図5のようになる。 $x=0$  に対する  $u$  の値は  $u=78$  および  $u=163$  であった。図に示されているように頸窩点  $A$  は (163, 123) であり、また頸椎点  $B$  における切り口の接線  $t$  と線分  $AB$  とのなす角  $\psi$  はいくつかの実物写真のデータから  $80^\circ \sim 90^\circ$  程度であることが確かめられた。そこでこれを  $\psi=85^\circ$  としたところ、頸椎点  $B$  の位置は (78, 145) となった。

さて次に図6において、二点  $A$  (頸窩点) と  $B$  (頸椎点) を拘束されることなく通る閉じた曲面懸垂線を求める訳であるが、算出始点  $P_0$  を  $A$  点 ( $B$  点) に選んだ場合、求められるべき曲面懸垂線は必ずしも  $B$  点 ( $A$  点) を通るとは限らない。そこで  $x$  軸を中心に、 $x$  軸の正の方向からみて右回転 (前かがみ) が正の方向となるように角  $\theta_1$  だけ物体を回転することとする。このとき物体上の点  $(x, y, z)$  は次の関係式で示される点  $(x', y', z')$  に移される。

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y \cos \theta_1 + z \sin \theta_1 \\ z' = z \cos \theta_1 - y \sin \theta_1 \end{cases} \quad (16)$$

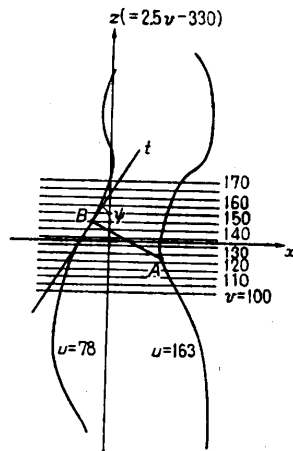


図5 頸窩点  $A$ 、頸椎点  $B$  の設定  
Fig. 5 Setting of points  $A, B$ .

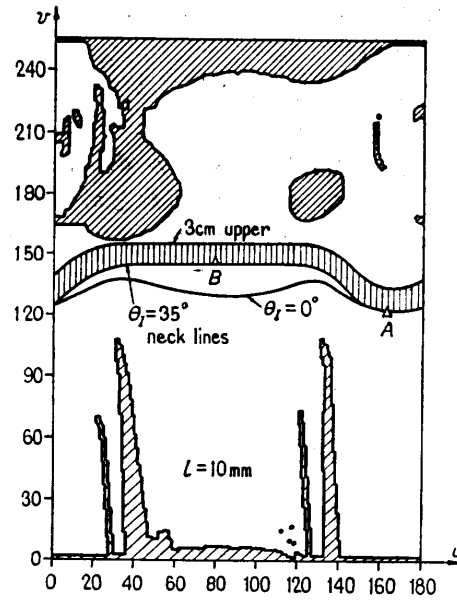


図6 衿ぐり曲線の算出  
Fig. 6 Derivation of neck lines in parametric representation.

この関係式は単位法線ベクトルの回転に対しても適用される。 $A$  点を  $P_0$  に選んだ場合、 $\theta_1=35.0^\circ$  であった。ちなみに  $\theta_1=0^\circ$  の場合も図示しておく。

#### 5.2 衿型展開

$\theta_1=35^\circ$  なる閉じた曲面懸垂線 (衿ぐり曲線) およびこの曲線から空間内で 3cm 上部にある曲面上の閉じた曲線を求め、この両曲線で囲まれた帯状の領域を衿、またその平面展開を衿型と呼ぶことにする。いま衿ぐり曲線上の点 (数珠玉) を  $P_i$ 、その 3cm 上部の曲面上の点を  $P_i'$  とする。このとき図7(a)に示すように、

$$\begin{cases} |P_i P_i'| = 3 \text{ cm} \\ \angle P_{i-1} P_i P_i' = 90^\circ \end{cases} \quad (17)$$

となるようにする。こうして求めた曲線を前出の図6に示す。図において縦線の領域が衿の径数表現である。図7(a)に従ってこの領域を平面展開して求めた衿型を図7(b)に示す。なお、衿ぐり曲線の算出において、数珠玉の間隔  $l$  を図では  $l=10 \text{ mm}$  としたが、頸部に関する限り  $l=20 \text{ mm}$  の場合でも  $l=5 \text{ mm}$  のような場合でも、求められた曲線の形状にはほとんど差が出なかった。

なお、使用計算機は TOSBAC-40C ミニコンを用い、計算時間は  $W$  および基礎量の計算を除いて、衿ぐり曲線の算出に 10 分程度、さらに衿型の算出に 30 秒程度であったが、 $W$  や基礎量は外部記憶 (ディスク)

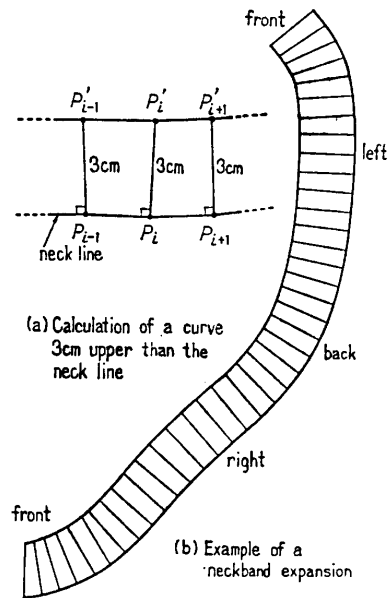


図 7 衿型の算出  
Fig. 7 Derivation of a neckband.

ク)に入れておいたので、この計算時間の大部分は外部記憶とのデータ転送に消費されていると思われる。

### 5.3 衿型の実装

前節で求められた衿型をマネキン人形に実装した様子を図8に示す。衿型はマネキン人形の頸部に密接し、かつ頸高点と頸椎点とを通ることが確かめられた。また図9は頸高点と頸椎点とを通るように実際にネック・チェーンのマネキン人形の頸部に自由に置いた様子を示す。これにより形成される曲面懸垂線が、実装された衿型が示す衿ぐり曲線ときわめて良く一致することが確かめられる。その誤差は曲面上において1mm以内であった。

### 6. あとがき

以上に曲面懸垂線の算出とその衿ぐり曲線算出への応用について述べてきたが、これで従来は写真計測や手作業によっていた衿ぐり曲線の算出とその衿型展開をコンピュータにより自動化するという所期の目的は達せられたが、精度の問題についてはより多くの具体例による定量的把握の方法を検討する必要がある。さらに実用化に関しては実際の人体を対象とすることから頸部のみを対象としたより高速かつ簡便な計測システムの設計、あるいはデータ圧縮などを考慮したより能率的なデータの表現や処理アルゴリズムの開発などの問題を検討する必要がある。しかしこれらの多くは



図 8 衿型の実装  
Fig. 8 Implementation of the neckband.



図 9 ネック・チェーンによる衿ぐり曲線の形成  
Fig. 9 Neck line formation by a neck chain.

安価なマイクロコンピュータや超 LSI の開発により容易に解決されるものと思われる。

また一般的曲面懸垂線の算出問題そのものを考えた場合、例えば糸が空間内に弛んでできる懸垂線の扱いや、複数個のコブの存在するような曲面上での解曲線の能率良い探索、始点における滑らかな接続などの問題を考える必要がある。

謝辞 日ごろより御指導いただく当研究所の大和特別研究室長、ならびに本研究のきっかけを与えていただいた平沢和子氏に対し感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 山口, 他: 衿ぐり曲線の特性について, 繊維学会誌, Vol. 33, No. 2, pp. 56-63 (1977).
- 2) 石井, 長田: レーザートラッカーによる3次元物体の特徴抽出, 計測自動制御学会論文集, Vol. 10, No. 5 (1974).
- 3) Shirai, Y., et al.: Recognition of Polyhedrons with a range finder, IJCAI (1971).
- 4) Popplestone, R. J., et al.: Forming models of plane-and-cylinder faceted bodies from light stripes, IJCAI (1975).
- 5) Agin, G. J.: Representation and description of curved objects, Report AIM-173, Stanford.
- 6) 有沢, 浮田, 上田: 3次元物体の形状入力システム, 情報処理 17 回全国大会 (1976).
- 7) 若山: 曲面物体の構造線の算出とその表示法, 電子通信学会研究会資料 PRL-76-92 (1977).
- 8) 若山: 曲面物体の特徴パラメータ算出法, 昭和52年電子通信学会総合全国大会 (1977).
- 9) 岩田: 微分幾何学入門, 横書店 (1966).

(昭和53年9月22日受付)

(昭和53年12月21日採録)