側弯症せき柱の三次元形態モデリング*

但 野 茂^{*1}, 金 山 雅 弘^{*2}
鵜 飼 隆 好^{*1}, 金 田 清 志^{*2}

Three-Dimensional Morphological Modeling of Scoliotic Spine

Shigeru TADANO, Masahiro KANAYAMA,
Takayoshi UKAI and Kiyoshi KANEDA

Scoliosis is a spinal deformity that is defined as a pathological frontal curvature with decrease of the physiological sagittal curvature, and must be evaluated three-dimensionally. We present a morphologic curve to express the three-dimensional configuration of a scoliotic spine from two plane radiograms, and evaluate spinal curvature three-dimensionally. The morphologic curve can be formulated from two plane curves approximating the frontal and sagittal arrangements of the centers of vertebral bodies. Furthermore, the Cobb angle, which is widely used in orthopaedics, can be calculated three-dimensionally as the maximum angle between two tangent vectors of the morphologic curve. In 45 spines with idiopathic scoliosis, the configurations of spines were extremely well approximated by the morphologic curves. Three-dimensional Cobb angle was significantly larger than frontal Cobb angle. Since the three-dimensional Cobb angle includes the sagittal and frontal curvatures, it can be used for three-dimensional evaluation of the scoliotic spine.

Key Words: Biomechanics, Shape Measurement, Medical Engineering, Scoliotic Spine, Mathematical Modeling, Three-Dimensional Configuration, Morphological Curve

1. 緒 言

正常なせき柱は、前額面(体の正面像)では真直ぐで、矢状面(体の側面像)では胸つい部で後弯(後方に凸)、腰つい部で前弯(前方に凸)の生理的弯曲を示す。これに対し、側弯症せき柱は、側方への病的な弯曲すなわち側弯変形を示すとともに、矢状面の生理的弯曲が減少し、つい体の回旋変形を伴う⁽¹⁾⁽²⁾。すなわち、側弯症せき柱は、単一平面内での二次元変形ではなく、複雑な三次元変形となる。

せき柱側弯症の大部分は、思春期女子に多く発生する、いわゆる「特発性側弯症」である。その発生原因には、諸説があるものの決定的なものはいまだ不明である。临床上最も重要な問題は、この疾患が成長期に発症し、成長とともに進行する点である。側弯症が進行すれば、(1)腰背部痛や神経合併症の出現・悪化、(2)胸郭の変形による呼吸器・循環器障害の出現、(3)美容上の不都合、などの問題が生じてくる。特に高度に側弯が進行した場合、(2)は重大な障害となりうる。

従来より側弯症の進行は側弯形態と関係があると報告されてきた⁽³⁾⁽⁴⁾。側弯変形が高度な場合や高度に進行することが予想される場合、せきつい矯正固定術が施される。その際、側弯の矯正だけでなく、回旋変形の矯正や、矢状面での生理的弯曲の獲得・維持など、三次元的な矯正が試みられるようになってきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。このように、側弯症の進行を予測する上でも、また治療の面でも、側弯症せき柱の形態を三次元的に評価することは、極めて重要な課題と考える。しかしながら、臨床的には、側弯症せき柱の変形はおもに前額面の二次元的な弯曲度(Cobb 角)⁽⁷⁾によって評価され、矢状面での弯曲を含めた三次元的な形態評価を行った例はほとんどない。

そこで本研究では、側弯症せき柱の形態を三次元的に評価するため、蓄積された臨床データすなわち初診時の正面・側面全せき柱X線写真から、数学モデルにより側弯症せき柱を再構築する三次元形態モデリング手法を提示し、側弯症せき柱の解析的な形態評価の手法を検討する。

2. せき柱形態のモデリング手法

2.1 つい体の三次元座標値の測定 せき柱全体の形態を数値化するため、まず正面および側面全せき

* 1994 年 10 月 14 日 日本機械学会材料力学部門講演会において講演、原稿受付 1994 年 11 月 14 日。

^{*1} 正員、北海道大学工学部 (〒060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)。

^{*2} 正員、北海道大学医学部。

柱X線写真より各ついで体の三次元位置座標を測定する。そのため、図1のせき柱全体座標系をX線像上に設定した。原点は仙つい(S1)の上端2点の中点とした。 x 軸、 y 軸および z 軸は、それぞれ前額面、矢状面および水平面に垂直とし、前方、右および頭側方向をそれぞれ正とした。図1に示すついで体の各点(1~12)の座標値をX線写真用デジタイザ(GRAPHTEC社製, KD5050L)により測定した。各ついで体の測定点は、正面X線像においては右上端点(y_1^n, z_1^n)、右下端点(y_2^n, z_2^n)、左上端点(y_3^n, z_3^n)、左下端点(y_4^n, z_4^n)、右つい弓根上端点(y_5^n, z_5^n)、右つい弓根下端点(y_6^n, z_6^n)、左つい弓根上端点(y_7^n, z_7^n)、左つい弓根下端点(y_8^n, z_8^n)とし、側面像においてはついで体の前上端点(x_9^n, z_9^n)、前下端点(x_{10}^n, z_{10}^n)、後上端点(x_{11}^n, z_{11}^n)、後下端点(x_{12}^n, z_{12}^n)とした。なお、ここで n は、ついで体のレベルを示し、第1胸つい($n=1$)から第5腰つい($n=17$)までの全胸腰ついで体を測定した。

せき柱全体の形態は、ついで体の中心点を結んだ曲線で表示する。各ついで体中心の位置座標 $C^n(x_c^n, y_c^n, z_c^n)$ は、図1の測定点から、式(1)で与えられる。

$$\begin{aligned} x_c^n &= (x_9^n + x_{10}^n + x_{11}^n + x_{12}^n) / 4 \\ y_c^n &= (y_1^n + y_2^n + y_3^n + y_4^n) / 4 \\ z_c^n &= (z_1^n + z_2^n + z_3^n + z_4^n) / 4 = (z_5^n + z_{10}^n + z_{11}^n + z_{12}^n) / 4 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

なお、 z_c^n は正面像と側面像から別々に算出されるが、本測定では、両者の値がほぼ一致することを確認した。そのため、ついで体中心位置座標は式(1)で表示されることになる。

2.2 せき柱形態曲線の表示 式(1)で得られた各ついで体中心 C^n の三次元配列を空間曲線で表示する。一般に、空間曲線は、その曲線上の任意の点の位置ベクトルを $r=(x, y, z)$ とし、 x, y, z 軸方向の単位ベ

クトルをそれぞれ i, j, k とすれば、式(2)で表すことができる。

$$r = x(t)i + y(t)j + z(t)k \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)の係数のうち $x(t), y(t)$ は、 $z(t)=t$ とすると xz 平面(矢状面)と yz 平面(前額面)におけるついで体中心 C^n の配列をそれぞれ示すことになる。それらを式(3)および(4)に示すような原点を通る五次曲線を用いて、最小二乗法により近似した。

$$x = a_1 z^5 + a_2 z^4 + a_3 z^3 + a_4 z^2 + a_5 z \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$y = b_1 z^5 + b_2 z^4 + b_3 z^3 + b_4 z^2 + b_5 z \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(3)、(4)はそれぞれ曲面を表し、これらの交線が側弯症せき柱の三次元形態を示す曲線となる。すなわち、式(2)の各係数は式(5)で表される。これをせき柱形態曲線と定義する。

$$\begin{aligned} x(t) &= a_1 t^5 + a_2 t^4 + a_3 t^3 + a_4 t^2 + a_5 t \\ y(t) &= b_1 t^5 + b_2 t^4 + b_3 t^3 + b_4 t^2 + b_5 t \\ z(t) &= t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5)$$

2.3 ついで体回旋角の算出 玉木ら⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ は、二方向同時X線撮影によりせきついで体の三方向回転角の解析手法を示した。本研究では、初診時の正面・側面X線写真から側弯変形とついで体回旋変形の関係を検討するため、特に z 軸回りの回旋角の測定に限定する。側弯変形による各ついで体の回旋角を正確に測定するには、X線横断面像が必要であるが、単純X線では撮影できない。そのため、ついで体形状を円柱状にモデリングすることにより z 軸回りの回旋角を推定した。図2に示すように、円柱状ついで体における両つい弓根の相対的位置がついで体中心線からどれだけずれているかによって、回旋角が幾何学的に算出される。ここで、Stokesらの方法⁽²⁾と同様に、側弯によるついで体の回旋中心はついで体中心とみなす。すなわち、両側つい弓根の中点

図1 せき柱全体座標系と測定点

図2 ついで体回旋角の算出

Mと、つい体中心線との距離を W とする。左つい弓根中央からつい体中心線までの距離を a 、右つい弓根中央からつい体中心線までの距離を b とすると、 W は式(6)で表される。なお、正常なつい体では、 $a=b$ である。

$$W = b - \frac{a+b}{2} = \frac{b-a}{2} \dots\dots\dots (6)$$

したがって、第 n つい体の回旋角 θ^n は、式(7)となる。

$$\tan \theta^n = \frac{W^n}{d^n} = \frac{b^n - a^n}{2d^n} \dots\dots\dots (7)$$

上式の a^n , b^n および d^n の値は図1の測定点の座標を用いると、式(8)で与えられる。

$$\begin{aligned} a^n &= \left| \frac{y_1^n + y_8^n}{2} - \frac{y_1^n + y_2^n + y_3^n + y_4^n}{4} \right| \\ b^n &= \left| \frac{y_5^n + y_6^n}{2} - \frac{y_1^n + y_2^n + y_3^n + y_4^n}{4} \right| \\ d^n &= \left| \frac{x_{11}^n + x_{12}^n}{2} - \frac{x_9^n + x_{10}^n + x_{11}^n + x_{12}^n}{4} \right| \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、点Mの x 座標値は、 x_{11}^n と x_{12}^n の中点とした。式(8)を式(7)に代入すると、回旋角 θ^n が式(9)で計算される。

$$\begin{aligned} \tan \theta^n &= \left[\frac{2y_5^n + 2y_8^n - y_1^n - y_2^n - y_3^n - y_4^n}{2|x_{11}^n + x_{12}^n - x_9^n - x_{10}^n|} \right] \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

なお θ^n は、つい体を上方より見て反時計回りを正にとる。

2・4 三次元 Cobb 角の定義 臨床的には、Cobb 法⁽⁷⁾による側弯度(Cobb 角)は、図3に示すように、全せき柱正面X線写真(yz 平面, 前額面)において、上

図3 Cobb 角の臨床的定義

位終ついのつい体上縁と下位終ついのつい体下縁に接線をひき、そのなす角の値である。これは、前額面上で二つい体の最大接線角に等しい。この方法を空間に拡大し、三次元的な彎曲度を求める。

せき柱形態曲線上の任意の点における接線ベクトルを $\dot{\mathbf{r}}$ とすると、

$$\dot{\mathbf{r}} = \left(\frac{\partial x}{\partial t}, \frac{\partial y}{\partial t}, \frac{\partial z}{\partial t} \right) = (x'(z), y'(z), 1) \dots\dots (10)$$

となる。せき柱形態曲線上の任意の2点における接線ベクトルを $\dot{\mathbf{r}}_k$, $\dot{\mathbf{r}}_l$ とすると、そのなす角 α_{kl} は式(11)で与えられる。

$$\alpha_{kl} = \cos^{-1} \left(\frac{\dot{\mathbf{r}}_k \cdot \dot{\mathbf{r}}_l}{|\dot{\mathbf{r}}_k| \cdot |\dot{\mathbf{r}}_l|} \right) \dots\dots\dots (11)$$

上式で計算される α_{kl} のうち、側弯範囲内での最大値を三次元 Cobb 角と定義する。側弯範囲は、前額面形状の近似式である式(4)から決定すればよい。すなわち、臨床的に決定される側弯の上位および下位終つい、式(4)で表される曲線上の変曲点に相当する。したがって、 $\partial^2 y / \partial z^2$ が最も零に近い値となる点の接線ベクトル $\dot{\mathbf{r}}_k$, $\dot{\mathbf{r}}_l$ から、側弯範囲内の三次元的な彎曲度を示す $\alpha_{\max}$ の値が式(11)で計算される。なお、式(10), (11)において、矢状面形状を表す成分である x 成分を無視すれば、前額面(yz 平面)での Cobb 角を解析的に求めることができる。これは、臨床的に計測される Cobb 角に相当する。

2・5 せき柱形態曲線のねじり率 2・2節で定義したせき柱形態曲線において、「曲線の平面曲線からの偏り」を表すねじり率 T (geometric torsion)⁽⁸⁾ を求める。すなわち、せき柱形態曲線のねじり率 T は、式(5)を用いて、式(12)で計算される。

$$\begin{aligned} T &= \rho^2 \frac{\frac{d\mathbf{r}}{dt} \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \frac{d^3\mathbf{r}}{dt^3}}{\left| \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt} \right)^2 \right|^{3/2}} = \rho^2 \frac{\begin{vmatrix} x' & y' & z' \\ x'' & y'' & z'' \\ x''' & y''' & z''' \end{vmatrix}}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \\ &= \rho^2 \frac{\left(\frac{d^2x}{dz^2} \frac{d^3y}{dz^3} - \frac{d^2y}{dz^2} \frac{d^3x}{dz^3} \right)}{\left[\left(\frac{dx}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dz} \right)^2 \right]^{3/2}} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

ここで、 ρ は曲率半径を示し、次式により求められる。

$$\begin{aligned} \rho^2 &= \frac{\left| \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt} \right)^2 \right|^{3/2}}{\left(\frac{d\mathbf{r}}{dt} \right)^2 \left(\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \right)^2 - \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt} \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \right)^2} \\ &= (x'^2 + y'^2 + z'^2)^3 / [(x'^2 + y'^2 + z'^2) \\ &\quad \times (x''^2 + y''^2 + z''^2) - (x'x'' + y'y'' + z'z'')^2] \\ &= \left[\left\{ \left(\frac{dx}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dz} \right)^2 + 1 \right\}^3 \right] / \end{aligned}$$

図 4 側弯症形態評価(右胸ついカーブの場合)

図 5 側弯症形態評価(左胸腰ついカーブの場合)

$$\left\{ \left[\left(\frac{dx}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dz} \right)^2 + 1 \right] \left[\left(\frac{d^2x}{dz^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dz^2} \right)^2 \right] - \left(\frac{dx}{dz} \frac{d^2x}{dz^2} + \frac{dy}{dz} \frac{d^2y}{dz^2} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (13)$$

正常なせき柱は前額面での弯曲をもたないため、その形態曲線は矢状面内にある平面曲線となり、式(12)のねじり率はつねに零となる。これに対し、側弯症せき柱では、側方への弯曲とともに平面からの偏りが生じてくると考えられる。この場合、ねじり率はある値をもつことになるので、ねじり率が側弯症せき柱の形態に対する一つの指標となる。

3. 測定結果と形態評価

3・1 せき柱形態曲線の評価 北海道大学医学部附属病院整形外科における蓄積されたせき柱側弯症症例のうち、10歳から16歳の特発性側弯症45例を無作為に抽出し、本手法によって形態測定を行った。測定結果の具体例を図4、5に示す。両図中、左からせき柱の前額面形状、矢状面形状、つい体の回旋角分布を示し、実線は式(5)のせき柱形態曲線である。図4は第5胸ついと第12胸つい間(T5-T12)で、前額面Cobb角が47°の右胸ついカーブの症例である。前額面形状、矢状面形状とも、実線でよく近似されている。

図 6 前額面 Cobb 角の測定値と解析値の関係

図5は第11胸ついと第4腰つい間(T11-L4)で、前額面Cobb角25°の左胸腰ついカーブの症例である。図4の場合と同様に、前額面および矢状面形状が式(5)で極めてよく近似されていることがわかる。

以上の症例と同様に、測定した全例において、前額面および矢状面形状は式(5)のせき柱形態曲線によってよく近似されることを確認した(相関係数 $R \geq 0.96$)。

次に、式(5)により求めた前額面(yz平面)Cobb角と臨床的に実測されたCobb角との関係を図6に示す。縦軸はCobb角の計算値、横軸はCobb角の実測値である。グラフに示されるように両者はほぼ一致し

た。このことは、この数学モデル(せき柱形態曲線)の有効性を裏付けることと、図3に示した臨床的図式解法の妥当性を確認した。図7には、三次元Cobb角と前額面(yz 平面)でのCobb角の関係を示す。縦軸は式(11)で計算された三次元Cobb角、横軸は前額面でのCobb角を表す。三次元Cobb角の値は、大部分の症例で前額面でのCobb角よりも大きな値を示した。

3.2 X線撮影時の体幹位置の確認 本手法により測定される側弯部のついで体回旋角は、X線撮影時の体幹位置の影響を大きく受ける。そこで、側弯部におけるついで体の回旋変形の影響が最も小さい第1胸ついで(T1)および第5腰ついで(L5)の回旋角によって、X線撮影時の体幹の回旋度を確認した。ただし、T1およびL5が側弯範囲に含まれる例は除外した。結果として、T1の平均回旋角は $2.5 \pm 1.9^\circ$ 、L5の平均回旋角は $2.2 \pm 1.7^\circ$ であり、X線撮影時の体幹の回旋はわずかであった。このことは正面像がほぼ正確にとられていることを意味している。そのため、回旋角測定値を補正せずそのまま評価に利用した。

3.3 ついで体回旋角と彎曲度との関係 前額面および矢状面彎曲と回旋角 θ の分布パターンの具体例

図7 前額面Cobb角と三次元Cobb角の関係

図8 ついで体回旋角と前額面Cobb角の関係

を、図4および図5に示してある。両図から、回旋角 θ の最大値は、頂ついで近傍にあることがわかる。ここで頂ついでとは彎曲の頂点にあるついでを意味する。図8には、前額面でのCobb角とついで体回旋角との関係を示してある。両者の間には正の相関($R=0.607$)が認められた。これに対し、図は省略するが三次元Cobb角とついで体回旋度との間には、あまり強い相関は認められなかった($R=0.497$)。

3.4 せき柱形態曲線のねじり率の評価 せき柱形態曲線におけるねじり率 T と側弯範囲との関係を図9、10に示す。図9は、図4の胸ついでカーブの症例である。その側弯範囲はT5-T12で、グラフ中に斜線で示した。ねじり率は、平面曲線からの逸脱度を表すものであるが、この値はほぼ終ついでレベルで極値をとることがわかる。また、側弯範囲内では、ほぼ零となっている。図10は、図5の胸腰ついでカーブであり、側弯範囲はT11-L4である。図9と同様に、ねじり率は終ついでレベルで極値をとり、カーブ範囲内では零に近い値を示した。また、測定したほとんどの症例において、図9および図10と同様に、ねじり率はほぼ終ついでレベルで極値をとり、側弯範囲内で零に近い値を示すことを確認した。このことは、側弯症におけるせき柱形態曲線は、終ついでレベルにて平面曲線から逸脱するが、

図9 ねじり率分布(右胸ついでカーブの場合)

図10 ねじり率分布(左胸腰ついでカーブの場合)

カーブの範囲内では平面曲線を示すことを意味する。すなわち、せき柱側弯症において、側弯範囲内のついで配列は一平面上にあることになる。

3・5 最大湾曲面の評価 本手法の三次元 Cobb 角は、せき柱の湾曲度を表す指標であり、必ずしも病的な湾曲の特性のみを表しているわけではない。湾曲度(三次元 Cobb 角)が同じであっても、矢状面での生理的湾曲を表している場合もあれば、側弯変形を表している場合もある。ところが 3・4 節の結果から、側弯症せき柱において、湾曲部は一つの平面上にあることが示された。すなわち、三次元 Cobb 角はこの平面上で測定された値となっている。このことから、三次元 Cobb 角を含む平面の空間位置が、湾曲の形態特性を表す別の指標となる。この位置は三次元 Cobb 角の定義を考えると最大湾曲面に相当する。すなわち、最大湾曲面は頂つい・上位終つい・下位終ついの中心を通る平面と定義し、その前額面(yz 平面)、矢状面(xz 平面)、水平面(xy 平面)に対する傾斜角 β_{yz} , β_{xz} , β_{xy} を各症例に対して求めた。図 4, 5 の症例の値を例として、表 1 に示す。

次に、最大湾曲面の傾斜角と頂つい回旋角との関係

表 1 側弯範囲の傾斜角

	β_{yz}	β_{xz}	β_{xy}
Case of Fig.4	33	59	81
Case of Fig.5	11	84	80

(degree)

図 11 三次元 Cobb 角の図示

を検討した。水平面に対する傾斜角 β_{xy} の全症例平均値は $81.4 \pm 6.2^\circ$ であり、頂つい回旋角の大きさによらず、最大湾曲面は水平面に対しほぼ垂直な位置を示した。一方、前額面に対する傾斜角 β_{yz} 、矢状面に対する傾斜角 β_{xz} と頂つい回旋角の間にも一定の関係は認められなかった(それぞれ $R=0.126$ および $R=0.141$)。また、矢状面に対する傾斜角と前額面での Cobb 角、三次元 Cobb 角の間にも相関は認められなかった(それぞれ $R=0.407$ および $R=0.094$)。

4. 考 察

Deacon ら⁽⁹⁾ は、特発性側弯症の屍体せき柱を X 線学的に検討し、通常の正面像・側面像では、頂つい部を基準とする真の正面像・側面像に比べ、側弯の大きさや生理的後弯の減少は著しく過小評価されることを示し、側弯症のせき柱形態を三次元にとらえることの重要性を示唆した。以来、側弯症せき柱の三次元計測について、いくつかの研究がなされてきた^{(10)~(13)}。Stokes ら⁽¹²⁾ は、側弯症せき柱の形態を、側弯の程度およびパターンを問わずに適用できるフーリエ正弦級数による二次元数学モデルを用いて表示し、前額面および矢状面 Cobb 角を解析的に求めた。さらに、最大湾曲を示す面への投影像において、側弯変形の三次元的な湾曲度を評価している。しかしながら、側弯症におけるせき柱変形が三次元的なものであることを考えると、その変形の評価も、投影像においてではなく、三次元的に行う必要がある。本研究においては、前額面および矢状面への投影像をもとに、せき柱形状を数学モデルによって三次元的に再構築することにより、変形の評価をより三次元的に行うことができた。すなわち、図 11 に示すように、本研究で提示した三次元 Cobb 角は“上位終ついのついで体上面に対する法線と下位終ついのついで体下面に対する法線が空間でなす角”であり、側弯のみでなく矢状面湾曲も含む三次元的な湾曲度を表しており、側弯症せき柱の形態を三次元的に評価する指標として用いることができる。また、Raso ら⁽¹¹⁾ は、側弯症せき柱の三次元計測において、「側弯部の湾曲度が最大を示す投影面」を最大湾曲面として提示した。しかしながら、投影像ではない真の最大湾曲面の決定には、側弯部が一平面上にあることが前提となる。そのことは、これまでの研究では示されていなかった。本研究では、側弯範囲とねじり率との関係から、側弯部が一平面上にあることを明らかにした。これは側弯症せき柱における最大湾曲面の決定に際し非常に重要な知見である。一方、最大湾曲面の矢状面からの回旋と頂つい部でのついで体回旋度との間に

は一定の関係は認められなかった。これは、Stokes ら⁽¹²⁾の研究と同様、側弯変形は「せき柱のある範囲が頂ついを中心に一塊となって回旋する」という単純な機序でおこるのではないことを示している。側弯症におけるせき柱変形の生体力学的な説明は依然として未解決の重要な課題である。また、本研究で提示した側弯症せき柱の三次元形態に関するパラメータ(三次元 Cobb 角およびその測定面、ついで回旋度)と臨床的諸問題(側弯変形の進行との関係、せきつい矯正固定術の三次元的な矯正効果など)との関連については不明であり、いくつかの問題点も残されている。一つには、せき柱側弯症は、発見された時点あるいは進行が認められた時点で、なんらかの治療(装具治療、手術治療等)が施されるため、その自然経過を確認することが非常に困難であることが挙げられる。また本研究では、蓄積された臨床データの活用という点に重点を置き、過去に撮影された全せき柱 X 線写真を用いて三次元形態を再構築した。しかしながら、これらの X 線写真においては、必ずしも、正面像あるいは側面像が正確にとらえられているとは限らない。このことは三次元形態の解析手法そのものに影響を与えるものではないが、三次元形態をより正確に把握するという点からすれば、二方向 X 線同時撮影法⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾を用いた正確な正面像および側面像の撮影が必要となるだろう。側弯症せき柱の三次元形状に関するパラメータと臨床的諸問題との関連は今後の課題であり、さらに研究を進めて行く必要がある。

本研究は、文部省科学研究費補助金、重点領域研究「バイオメカニクス」(課題番号 05221205)によった。

5. 結 論

(1) 正面・側面全せき柱 X 線写真における計測のもとに、側弯症せき柱の三次元形態を数学モデルで表示し、せき柱形態曲線を定義した。

(2) 側弯症せき柱の三次元形状を評価するパラメータとして、三次元 Cobb 角を定義した。また最大湾曲面がせき柱形態曲線から理論的に算出された。

(3) せき柱形態曲線から解析的に求めた前額面 Cobb 角は、臨床的に測定される Cobb 角とほぼ一致した。

(4) せき柱形態曲線は側弯範囲内では平面曲線を呈した。

文 献

- (1) Nash, C. L. and Moe, J. H., Study of vertebral rotation, *J. Bone Joint Surg.*, **51**, A(1969), 223-229.
- (2) Stokes, I. A. F., Bigalow, L. C. and Moreland, M. S., Measurement of axial rotation of vertebrae in scoliosis, *Spine*, **11**(1986), 213-218.
- (3) Lonstein, J. E. and Carlson, J. M., The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth, *J. Bone Joint Surg.*, **66**, (1984), 1061-1071.
- (4) Weinstein, S. L. and Ponseti, I. V., Curve progression in idiopathic scoliosis, *J. Bone Joint Surg.*, **65**, A(1983), 447-455.
- (5) Cotrel, Y., Dubousset, J. and Guillaumat, M., New universal instrumentation in spinal surgery, *Clin. Orthop.*, **227**(1988), 10-23.
- (6) 佐藤・金田・鏡・ほか 2 名, 胸腰椎・腰椎側弯症への Kaneda device の応用, 日整会誌, **68**(1994), S645.
- (7) Cobb, J. R., Outline for the study of scoliosis, American Academy of Orthopaedic Surgeons, *Inst. Course Lect.*, **5**(1948), 261-275.
- (8) 宮本・松田訳, 基礎数学ハンドブック, (1978), 187-244, 森北出版, 東京.
- (9) Deacon, P., Flood, B. M. and Dickson, R. A., Idiopathic scoliosis in three dimension, A radiographic and morphometric analysis, *J. Bone Joint Surg.*, **66**, B(1984), 509-512.
- (10) DeSmet, A. A., Asher, M. A., Cook, L. T., Goin, J. E., Scheuch, H. and Orrick, J. M., Three dimensional analysis of right thoracic idiopathic scoliosis, *Spine*, **9**(1984), 377-381.
- (11) Raso, J., Gillespie, R. and McNeice, G., Determination of the plane of maximum deformity in idiopathic scoliosis, *Orthop. Trans.*, **4**(1980), 23.
- (12) Stokes, I. A. F., Bigalow, L. C. and Moreland, M. S., Three-dimensional spinal curvature in idiopathic scoliosis, *J. Orthop. Res.*, **5**(1987), 102-113.
- (13) 玉木・梅崎・山縣・ほか 3 名, 二方向同時 X 線撮影によるせき柱形状解析(せきつい骨回転の三次元的きょう正角の計算), 機論, **51**-465, A(1985), 1375-1384.
- (14) 玉木・梅崎・井上・ほか 2 名, 二方向同時 X 線撮影によるせき柱形状解析(第 2 報, せきつい骨の回転状態を表わす三方法の呈示), 機論, **52**-480, A(1986), 2103-2108.