

原 著

四次多項式の適合による正常咬合者の上下顎歯列弓形態の相関

葉山 佳一 新井 一仁 石川 晴夫

日本歯科大学歯学部歯科矯正学教室

Kaichi HAYAMA, Kazuhito ARAI and Haruo ISHIKAWA

Department of Orthodontics, School of Dentistry at Tokyo, The Nippon Dental University

キーワード : dental arch form, normal occlusion, non-contact three-dimensional shape measuring system, fourth-order polynomials, correlation

抄録 : 正常咬合者の歯列弓形態には人種差や個人差が認められるが、個人の上下顎歯列弓形態は調和していると考えられている。しかしながら、上下顎で異なる形態的特徴を報告した研究もあり不明な点が多い。本研究の目的は、正常咬合者の上下顎歯列弓形態に四次多項式を適合し、各項の係数から上下顎歯列弓形態の相関関係について検討することである。資料として、本学の学生および職員約3,500名の中から選択した正常咬合者30名(男女各15名、平均23.2歳)の口腔模型をもちいた。教室で考案した計測システムは、非接触三次元形状計測装置(VMS-250 R, (株) UNISN), graphic workstation (Indigo 2, Silicon Graphics Inc.), ならびに三次元 CAD software (SURFACER, Imageware Inc.) から構成される。通法にしたがって口腔模型を測定し、上下顎にそれぞれ基準平面として咬合平面を設定したあと、各歯の切縁中央、犬歯尖頭、ならびに臼歯では頬側咬頭頂の座標値を算出した。なお大臼歯の計測点は近遠心咬頭頂の中点とした。さらにパーソナル・コンピュータ (ThinkPad 600, IBM Co.) とデータ処理ソフトウェア (Excel 97, Microsoft, Inc.) にて、各被験者の上下顎の計測点にそれぞれ最小自乗法を用いて四次多項式 ($y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$) を適合した。被験者30例の上下顎ごとに各項の係数(a, b, c, d, ならびに e)の平均値と標準偏差を求め、さらに各係数について上下顎間で相関係数を算出後、統計学的な検定を行った。四次多項式における各項の係数について上下顎間で算出した相関係数は、それぞれ a は 0.796, b は 0.546, c は 0.763, d は 0.621, e は 0.813 であった。また統計学的な検定を行った結果、すべての項の係数において上下顎間で統計学的に有意な正の相関が認められた。このことから正常咬合者の上下顎歯列弓形態は相関関係があることが明らかとなった。

(Orthod. Waves 59(5) : 303~311, 2000)

Correlation between upper and lower dental arch forms by fitting of fourth-order polynomials

Abstract : The purpose of this study was to evaluate the correlation between upper and lower dental arch forms with normal occlusions through the fit of fourth order polynomials. Thirty subjects (15 males and 15 females, mean age 23 years and 2 months) with normal occlusions were selected from a total population of 3,500 Nippon Dental University students and staff. A non-contact laser-scanning three-dimensional orthodontic cast measuring system developed by our research unit was used as the primary evaluation tool. The reference plane was defined as the plane passing through the midpoint of the edges of the central incisors (the origin) and the mesio-lingual (for the upper arch) or disto-buccal (for the lower arch) cusp tips of the first molars, bilaterally. The midpoints of incisal edges, canine cusps, and the buccal cusps of premolars, first and second molars were digitized as X-Y coordinates in the CAD data. These coordinates were sent to a personal computer (ThinkPad 600, IBM Co., USA) and analyzed by Excel 97 (Microsoft, Inc., USA). The midpoints of mesial and distal buccal cusp tips of first and second molars were used for defining molar position. A line passing through the origin and the midpoint of right and left first molars was defined as the Y-axis. A fourth order polynomial ($y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$) was fit to coordinates on each dental arch by the least square method. Pearson's correlation coefficients (r), which computed between the coefficients of terms (a, b, c, d, and e) of the fourth

order polynomials in upper and lower arch were 0.796, 0.546, 0.763, 0.621, and 0.813, respectively. Statistically significant correlations were found in all of those coefficients of terms ($p < 0.01$). In conclusion, a corre-

lation was found between upper and lower dental arch forms with normal occlusions.

(Orthod. Waves 59(5):303~311, 2000)

緒 言

歯列弓形態については未だ不明なことが多く、また、臨床的にも矯正治療患者にどのような形態を付与すべきかは重要な課題のひとつである¹⁾。正常咬合者の歯列弓形態においても人種差²⁾、あるいは個人差^{3~5)}を有すること、基礎的研究が少ないこと⁶⁾などからいまだ明確な形態を特定できないのが実情である¹⁾。

特に、歯列弓形態の中でも正常咬合者の上下顎歯列弓については、上下顎ともに調和^{7~11)}している、あるいは近似^{9~11)}しているとの報告がある一方で、上顎は楕円を、下顎は放物線を示す¹²⁾、あるいはそれぞれ異なる¹³⁾など上下顎の類似性を否定した報告もあり、不明な点を残している。

歯列弓形態を定量的に分析する方法として数学的あるいは幾何学的手法を応用した研究が多く、円と直線の組み合わせ⁸⁾、指数関数¹⁴⁾、楕円¹⁵⁾、三焦点楕円¹⁰⁾、放物線¹⁵⁾、懸垂曲線¹⁶⁾、多項式^{2~4,11,13,17~23)}スプライン曲線²⁴⁾、ならびに円錐曲線²⁵⁾、などがとり上げられて検討されている。このうち多項式の中でも四次多項式が、日本人の正常咬合者の歯列弓に最も適合するとの評価を得ており^{2,4,11,13,19,20)}、さらに四次多項式の各項の係数から歯列弓形態の特徴を定量的に分析することが可能とする考え方¹⁷⁾が一般に受け入れられている^{13,21,22)}。すなわち、二次項が大きい場合には tapered な、四次項が大きい場合には square な、さらに一次項や三次項の係数の絶対値が大きい場合には非対称な歯列弓形態をするとされ^{17,21)}ている。四次多項式の各項の係数をもつこのような特徴を生かして双生児の歯列弓形態の類似性の分析にも応用されている²¹⁾。四次多項式の各項の係数が歯列弓形態を正確に反映し、かつ正常咬合者の上下顎の歯列弓形態が近似しているとしたら四次多項式の各項の係数は上下顎間で相関関係があるものと考えられるが、Richards ら²¹⁾は上下顎間で低い相関係数を報告し、不明な点を残している。

以上のことから、本研究の目的は四次多項式の各項の係数を用いて、正常咬合者の上下顎歯列弓形態の相関関係について検討することである。

方 法

I. 資 料

本学歯学部、附属歯科衛生士専門学校ならびに歯科

技工士専門学校の学生および教職員約 3,500 名の中から下記の条件を満たす 81 名の被験者を視診にて一次的に選んだ。以下、81 名の正常咬合者の判定基準を示す。

- 1) 矯正治療を受けた経験がないこと。
- 2) 適正な overjet と overbite を有し、大臼歯関係は Angle I 級で、咬合線¹²⁾の不均衡が少ないこと。
- 3) 歯列弓形態に非対称性が認められないこと。
- 4) 補綴物や咬頭を被覆するような修復物がなく、第三大臼歯以外に欠損歯がないこと。
- 5) 開口障害、顎関節部の疼痛、ならびに異常な咬耗が認められないこと。
- 6) 歯周組織に歯肉炎や歯肉の退縮などの異常が認められないこと。
- 7) 顔貌形態に異常が認められないこと。

さらにこれらの被験者について口腔模型を作製し、それらの模型から最も接触点のずれが小さく歯列に連続性を有していると考えられる被験者 30 名 (男女各 15 名、平均年齢 23.2 歳、標準偏差 3.5 歳) を最終的に選択し、本研究の正常咬合者の資料とした²⁶⁾。

II. 計測方法

1. 口腔模型の三次元形状計測

教室で考案した非接触三次元形状計測システム^{27,28)}は、主に非接触三次元形状測定装置 (VMS-250 R, UNISN 社、大阪)、グラフィック・ワークステーション (Indigo 2, Silicon Graphics, Inc., 米国)、ならびに分析用三次元 CAD ソフトウェア (SURFACER, Imageware, Inc., 米国) などから構成される。

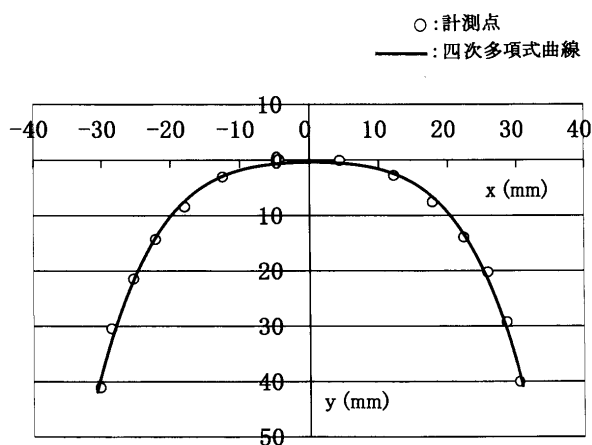
測定条件は、小林ら²⁶⁾の方法にしたがって、測定点の間隔を 0.20 mm~0.25 mm に設定し、測定された三次元座標値は 1 つの連続した点群データに変換されグラフィック・ワークステーションに転送し、分析用三次元 CAD ソフトウェアに読み込んだ。

2. 基準平面の設定と点群データの三次元座標変換

分析用三次元 CAD ソフトウェアで読み込んだ点群データに、小林ら²⁶⁾の方法にしたがって基準平面として咬合平面を設定した。ついで上下顎の各咬合平面が x-y 平面と平行になるように上下顎の各点群データの三次元座標変換を行った。

3. 計測点の設定と二次元座標変換

各歯における計測点は、小林ら²⁶⁾の方法にしたがって、切歯では切縁中央の点、犬歯では尖頭、臼歯では頬側咬頭頂に設定した。これらの各計測点の三次元座



$$\text{四次多項式: } y = 3.52 \times 10^{-5}x^4 - 3.02 \times 10^{-5}x^3 + 9.49 \times 10^{-3}x^2 - 8.02 \times 10^{-3}x + 4.09 \times 10^{-1}$$

図 1 被験者の 1 例の上顎における計測点と適合した四次多項式および四次多項式曲線

表 1 正常咬合者 30 例の上下顎の各歯列弓について算出した四次多項式 ($y=ax^4+bx^3+cx^2+dx+e$) における各項の係数の平均値と標準偏差

	a	b	c	d	e
上顎 平均値	2.48	-0.55	1.93	2.33	-0.07
標準偏差	1.03	0.97	0.77	5.50	0.51
下顎 平均値	3.66	-0.06	2.34	-1.67	-0.21
標準偏差	2.07	1.50	1.28	7.11	0.58

四次項は $\times 10^{-5}$, 三次項は $\times 10^{-4}$, 二次項と一次項は $\times 10^{-2}$ でそれぞれ示した。

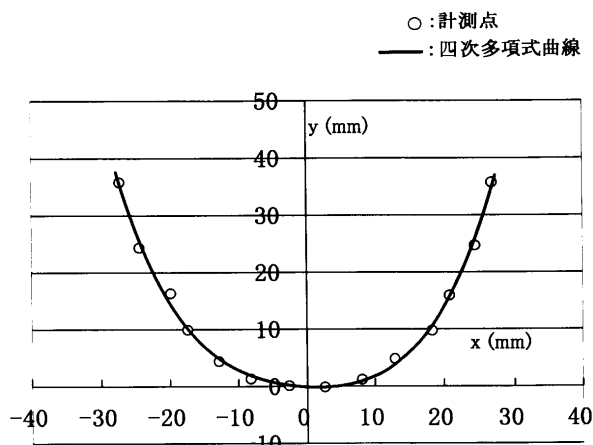
標値を算出し、テキスト・データとしてパーソナル・コンピュータ (PC-9821 Xa 13, 日本電気 (株), 東京) に転送した。

転送された三次元座標値を、宇塚ら⁴⁾の方法にしたがってデータ処理ソフトウェア (Excel 97, Microsoft Inc., 米国) を用いて、以下のように二次元座標変換処理した。まず、三次元座標値から (x, y) 座標値を取り出し、大白歯の近遠心の各咬頭頂における計測点の midpoint を算出して各大臼歯の計測点とした。ついで左右側中切歯の切縁中央を結んだ線分の midpoint を原点とし、左右側の各第一大臼歯の計測点を結んだ線分の midpoint が y 軸上を通るように二次元座標変換を行った。なお、x 軸は上下顎ともに被験者の左側を (+) とした。

III. 分析方法

1. 四次多項式の算出

各被験者の上下顎ごとに座標変換後の座標値について最小自乗法を用いて四次多項式を算出し、さらに多項式曲線を描記した (図 1, 2)。また、被験者 30 例について上下顎ごとに四次多項式における各項の係数の



$$\text{四次多項式: } y = 3.81 \times 10^{-5}x^4 + 1.20 \times 10^{-4}x^3 + 2.06 \times 10^{-2}x^2 - 6.69 \times 10^{-2}x - 9.81 \times 10^{-2}$$

図 2 被験者の 1 例の下顎における計測点と適合した四次多項式および四次多項式曲線

表 2 正常咬合者 30 例について算出した四次多項式 ($y=ax^4+bx^3+cx^2+dx+e$) における各項の係数の上下顎間における相関係数および検定結果

	a	b	c	d	e
相関係数	0.796**	0.546**	0.763**	0.621**	0.813**

(** : $p < 0.01$)

平均値と標準偏差を算出した。なお、四次多項式は、四次項の係数を a, 三次項の係数を b, 二次項の係数を c, 一次項の係数を d, 定数項を e とおき、 $y=ax^4+bx^3+cx^2+dx+e$ とした。

2. 各項の係数の上下顎間における相関係数の算出
四次多項式における各項の係数を用いて、上下顎間の歯列弓形態の相関関係を検討する目的で、各項の係数の相関係数を求め統計学的な相関の有意性の検定を行った。さらに、直線回帰分析を行い回帰式と散布図に回帰直線を描記した。

結 果

I. 四次多項式における各項の係数

被験者 30 例について、上下顎ごとに四次多項式における各項の係数の平均値と標準偏差を算出した結果を表 1 に示す。

II. 上下顎間における相関係数と有意性の検定結果

被験者 30 例について上下顎ごとに四次多項式を算出し、各項の係数の上下顎間における相関係数を求め、統計学的な検定を行った結果を表 2 に、散布図と回帰直線の方程式の算出結果を図 3~7 に示す。

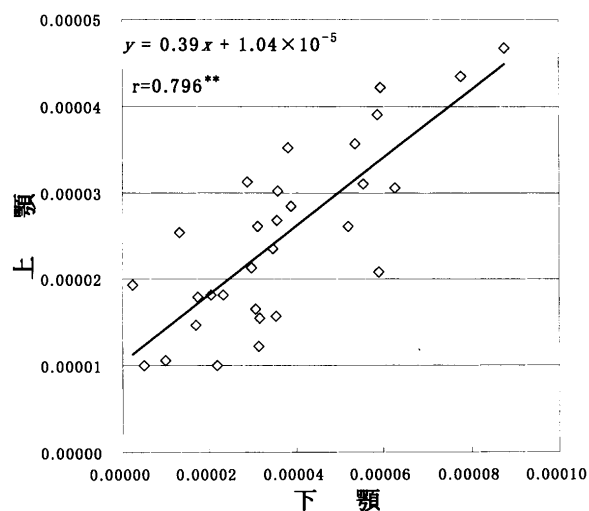


図 3 四次多項式の四次項の係数 (a) の上下顎間における散布図, 回帰直線と回帰式, ならびに相関係数 (r) の統計学的な検定結果 (**: $p < 0.01$)

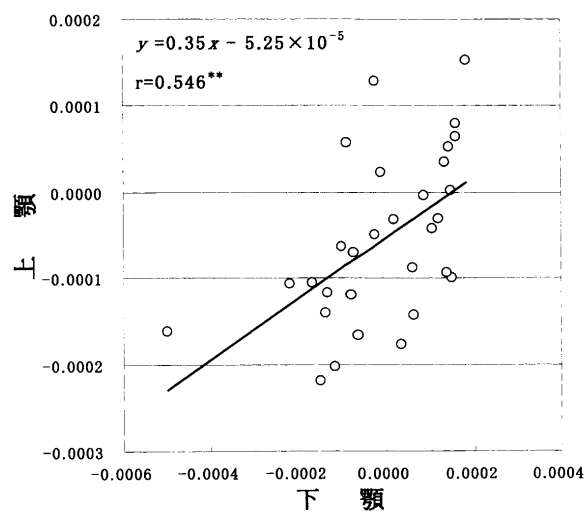


図 4 四次多項式の三次項の係数 (b) の上下顎間における散布図, 回帰直線と回帰式, ならびに相関係数 (r) の統計学的な検定結果 (**: $p < 0.01$)

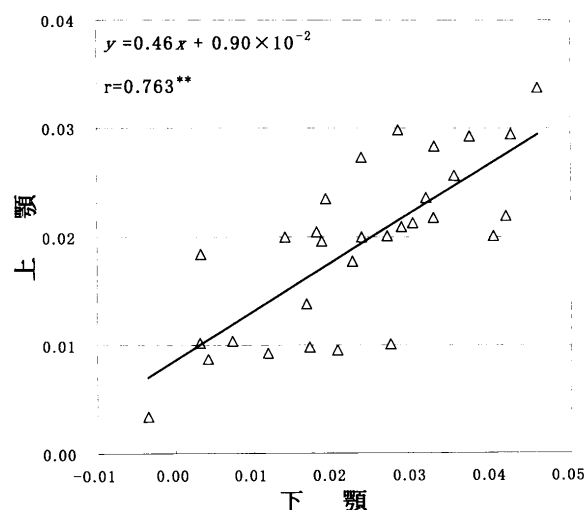


図 5 四次多項式の二次項の係数 (c) の上下顎間における散布図, 回帰直線と回帰式, ならびに相関係数 (r) と統計学的な検定結果 (**: $p < 0.01$)

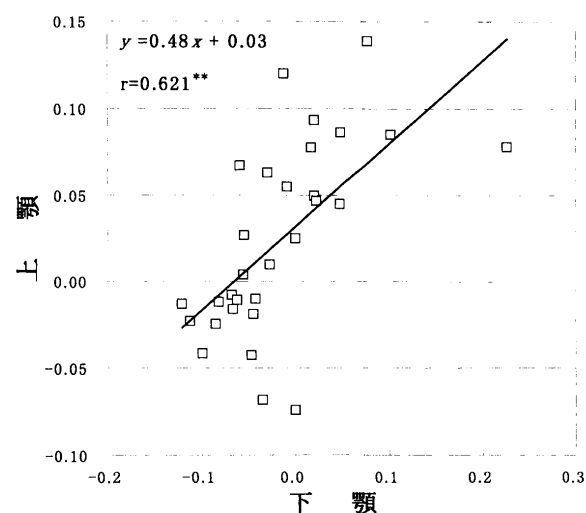


図 6 四次多項式の一次項の係数 (d) の上下顎間における散布図, 回帰直線と回帰式, ならびに相関係数 (r) と統計学的な検定結果 (**: $p < 0.01$)

四次項 a の相関係数は 0.796, 三次項 b では 0.546, 二次項 c では 0.763, 一次項 d では 0.621, 定数項 e では 0.813 であり, すべての項の係数で上下顎間に統計学的に有意な正の相関が認められた。また, 相関係数の大きさは $e > a > c > d > b$ の順序で, 偶数次項が大きかった。

考 察

I. 方法について

1. 被験者について

歯科矯正学における治療目標は個性正常咬合²⁹⁾の獲得にあり³⁰⁾, 正常咬合者の歯列弓形態を客観的に分析することの目的は, 単に正常者の平均値を算出するのみならず個人差の範囲やその特徴についても明らかにすることにある。そのためには, 大きな母集団の中から選択条件を明確にした上で選別されている被験

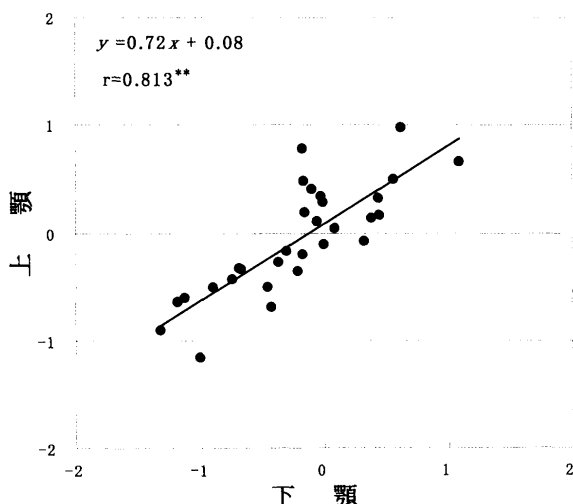


図 7 四次多項式の定数項の係数 (e) の上下顎間における散布図、回帰直線と回帰式、ならびに相関係数 (r) と統計学的な検定結果 (** : $p < 0.01$)

者^{11,26)}を用いて検討することが必要であるが、検討結果については松浦ら¹¹⁾が大きな個人差を報告しているのと同様に、本研究で用いた被験者でも、垂直的²⁶⁾あるいは水平的⁴⁾な個人差が明らかとされている。本研究の目的は、個人差を有する被験者の個人の上下顎間における歯列弓形態の相関関係について検討することであり、正常咬合者の歯列弓形態に個人差があることを前提としているため、男女をあわせて検討することとした。

2. 計測システムについて

本研究では、教室で考案した非接触三次元形状計測システム²⁸⁾を用いた。本システムによって口腔模型全体の形状を高密度³¹⁾かつ高精度²⁵⁾で計測することを可能にし、しかも、将来的には咬合状態を三次元的にシミュレーションする可能性が示唆されている³²⁾。咬合状態を三次元的にシミュレーションするには、三次元空間に存在する歯や咬合の正常な形態に関する基礎的データの蓄積が必要であるが、現在のところ十分に得られているとは言いがたい。そこで正常咬合者の歯列弓形態の特徴を定量的に分析する手法について検討することは、コンピュータで咬合状態の三次元的なシミュレーションをしていく上での有用な情報を提供し得るものと考えて本研究を立案した。

3. 基準平面の設定方法について

歯列弓形態の分析には、従来から規格写真撮影法^{2,22,33)}や光学式複写機^{3,34-37)}が用いられている。しかしながら、撮影条件の一つである基準平面については言及されていないため、得られた結果の再現性や信頼性は低いと考えられる。本研究では、口腔模型上の任

意の部位に基準点を設定できるという非接触三次元形状計測システムの特徴を生かし、かつ豊富な情報量を用いて、前方基準点として左右側中切歯切縁中央の点を結んだ線分の中点、後方基準点としては上顎では第一大臼歯舌側咬頭頂、下顎では第一大臼歯遠心頬側咬頭頂を選択して実験条件を規定し、結果の再現性や信頼性に考慮した。下顎の後方基準点に Andrews³⁸⁾は、下顎第二大臼歯を用いているが、本研究では、宇塚ら⁴⁾の方法にしたがって第一大臼歯遠心頬側咬頭頂を用いて基準平面を設定した。

4. 計測点の設定について

歯列弓形態を表現するために、計測点についてはいろいろな方法^{3,14,15,18,19,24,38)}が試みられているものの定説がない¹⁵⁾。本研究では、他の研究^{13,14)}に比べて信頼性が高いと評価された方法⁴⁾にしたがって、切歯の切縁中央、犬歯の尖頭、ならびに臼歯部の頬側咬頭頂に計測点を設定した。一方、近年矯正治療術式の変化⁶⁾から歯列弓形態というよりも、むしろマルチブラケット法における主線の形態 (アーチワイヤー・フォーム)¹⁹⁾を求める目的で歯列弓形態を考える^{19,38)}傾向があり、その際 Facial axis (FA) point を計測点とするべきであるとの意見もある^{11,19,20)}。本研究では、正常咬合者の歯列弓形態を諸研究と比較する目的で代表的な方法として前述のように計測点を設定したが、今後は大臼歯の近遠心頬側咬頭頂の分界溝最深点^{13,14)}や FA point^{11,19,20,38)}などを計測点とした場合についても検討して結果を比較する必要があると考えられる。

5. 近似多項式の選択について

歯列弓形態全体の概形を表す計算式として多項式では二次多項式^{9,15,18,39)}、三次多項式⁹⁾、四次多項式^{13,17,18)}、ならびに六次多項式^{4,18)}が検討されている。一方、正常咬合者の歯列弓形態には四次多項式が最も適合し、また四次多項式による形態が正常咬合を表しているとされている^{2,4,10,11,13,20,23)}。さらに最近の研究⁴⁾によれば、二次多項式に比べて四次多項式と六次多項式は統計学的に有意に適合し、さらに四次多項式と六次多項式の間では統計学的な差異がないとの結果から、四次多項式の方が変曲点をもつ六次多項式よりも適していると結論している。また、四次多項式の各項の係数から歯列弓形態の特徴を角張度 (squaredness) と開大度 (taperedness) および非対称性に関する項目である lopsidedness と tiltedness について定量的な分析が可能である¹⁷⁾との考え方を支持する研究^{13,21,22)}も多い。すなわち、二次項が大きい場合には tapered な、四次項が大きい場合には square な、さらに一次項や三次項の係数の絶対値が大きい場合には非対称な歯列弓形態をするとされている^{17,21)}。四次多項式の各項の係数をもつ、このような特徴を生かして双生児の歯列弓形態の類似性や同一被験者の上下顎の相関関係の分析に応用され

ているが、上下顎間の相関係数は小さく ($r=0.27\sim 0.09$) 相関関係が薄いことが示され²¹⁾、機能的な咬合を営むために上下顎の歯列弓形態は近似する必要がないと考察している。しかしながら、一般的に正常咬合者では上下顎の歯列弓形態は調和すると考えられることから、もしも四次多項式の各項の係数から歯列弓形態の特徴を表現できるならば、四次多項式の各項の係数は上下顎間で相関関係があることが予測できるが、これを確認した研究はみられず不明な点を残していた。

以上のことから、本研究は上下顎における歯列弓形態の相関関係の分析に四次多項式の各項の係数を用いて上下顎間の相関係数を算出して定量的に評価することとした。

II. 結果について

1. 各項の係数の平均値について

被験者 30 例について上下顎ごとに四次多項式における各項の係数の平均値を算出した結果をもとに四次多項式を表記すると、上顎では $y=2.48\times 10^{-5}x^4-0.55\times 10^{-4}x^3+1.93\times 10^{-2}x^2+2.33\times 10^{-2}x-0.07$ 、下顎では $y=3.66\times 10^{-5}x^4-0.06\times 10^{-4}x^3+2.34\times 10^{-2}x^2-1.67\times 10^{-2}x-0.21$ となった。

本研究の結果 (表 1) と比較のために表 3 に過去に報告されている研究^{19~23)}を示す。四次項 a の平均値は本研究と他の研究^{20~22)}で近似しているものがみられた。小坂ら²⁰⁾と Ferrario ら²²⁾の女性では、本研究を含む他と異なり四次項の係数が上顎で大きいことが報告されている。このことについて小坂ら²⁰⁾は Lu¹⁷⁾を引用して、上顎の歯列弓が下顎に比較して矩形状を呈すると考察している。小坂ら²⁰⁾も行ったように二次項を基準としたときの四次項の大小を評価するなどの方法をとることで、各項の係数の持つ意義をよりいっそう明らかにできる可能性があり、四次多項式を用いて歯列弓形態を分析する方法について検討する上での課題の一つとしてあげることができる。また瀬畑¹⁹⁾と崔²³⁾は四次項について上下顎ともに 0.000 と報告し四次項が 0 に近いと考察しているが、数値は小さくても算出される歯列弓形態に与える影響は大きいことから他の研究のように 10^{-5} 以下の数値も報告すべきであると考えられる。三次項 b では本研究と Ferrario ら²²⁾は近似していたが、その他の研究^{19~21,23)}では、数倍から 100 倍に近い大きな値を示し、非対称性が顕著であることを示している。二次項 c は本研究と他のほとんどの研究で近似していたが、一部^{19,23)}の研究結果では約 10 倍の値を示していた。一次項 d では、ほとんどの研究がほぼ同じ結果であったのに対し、一部^{19,23)}の報告では、約 100 倍の値を示していた。Richards ら²¹⁾は三次項と一次項の奇数次項は左右に非対称な例でそれぞれ正と負の値を取り、被験者ごとにランダムに異なるためその

平均値は 0 に近くなると考察しているにもかかわらず他の研究に比較して大きな数値を報告し、一部の非対称が大きな症例の影響が平均値に強く影響していると考えられる。また、瀬畑¹⁹⁾と崔²³⁾の四次多項式から曲線を描記しても論文に記載されている歯列弓形態のグラフとは異なるため、四次多項式の記載が実際の算出結果と異なっている可能性が指摘できる。一方、本研究とその他の研究^{20~22)}では、前述のように正常咬合者の選択条件、計測点の設定位置、人種、ならびに性別などが異なっているにもかかわらずほとんどの算出結果が近似していた。

以上のことから、本研究結果は四次多項式における各項の係数から歯列弓形態を分析することができるといふ Lu¹⁷⁾の提案を支持するものであり、各項の係数の特徴を応用した分析方法がさらに発展する可能性が示唆された。

2. 各項の係数の標準偏差について

各項の係数の標準偏差は、被験者間における個人差を表すものである。被験者 30 例について上下顎ごとに四次多項式における各項の係数の標準偏差を算出した結果、上顎においては、a は 1.03×10^{-5} 、b は 0.97×10^{-4} 、c は 0.77×10^{-2} 、d は 5.50×10^{-2} 、e は 0.51 であり、下顎においては、a は 2.07×10^{-5} 、b は 1.50×10^{-4} 、c は 1.28×10^{-2} 、d は 7.11×10^{-2} 、e は 0.58 であった。

本研究の結果 (表 1) と比較するために過去に報告されているものを表 3 に示す。本研究結果は、被験者の選択基準を明確に記載している Ferrario ら²²⁾の結果と近似していた。それに対して Richards ら²¹⁾の結果はとくに三次項と一次項の奇数次項の係数において標準偏差が大きかった。すなわち Richards ら²¹⁾の被験者の中には本研究や Ferrario ら²²⁾に比べてかなりの非対称な歯列弓形態が含まれていることが推察される。このことから、本研究や Ferrario ら²²⁾のように被験者を選択基準を明確にして選択すれば、歯列弓の非対称な被験者を排除することにつながり、三次項と一次項の奇数次項を小さくなることを示唆しているものとする。同時に、四次項と二次項の偶数次項では被験者の選択方法の影響が少ないことも明らかになった。このことは、偶数次項を除いて平均的な歯列弓形態を求めるといふ考え方^{2,20)}を支持する結果となったともいえるが、今後は、本研究の被験者においても奇数次項を除いた四次多項式を算出して検討すべきものと考えられる。

3. 四次多項式における各項の係数による上下顎歯列弓形態の相関関係の検討

松浦ら¹¹⁾は、上下顎の平均値から算出した四次多項式曲線を観察した結果、下顎の歯列弓は、上顎をわずかに小さくした形態で表現することでき、上顎の相似形を示すと報告している。しかし、定量的な検討は行

表 3 報告されている各研究による上下顎ごとに適合した四次多項式の各項の係数の比較

			a	b	c	d	e
Richardsら ²¹⁾ 1990 年 (Male)	上顎	平均値	2.40	-2.10	2.20	-0.30	
		標準偏差	1.30	2.60	1.20	12.30	
	下顎	平均値	2.40	-4.70	3.30	-0.70	
		標準偏差	1.30	5.30	1.50	20.00	
Richardsら ²¹⁾ 1990 年 (Female)	上顎	平均値	2.70	-5.00	3.10	-2.10	
		標準偏差	1.30	6.40	1.10	13.20	
	下顎	平均値	3.70	-13.50	4.50	0.90	
		標準偏差	2.20	13.10	2.40	32.90	
Ferrarioら ²²⁾ 1994 年 (Male)	上顎	平均値	1.91	0.04	2.55	3.32	
		標準偏差	0.53	0.87	0.77	4.03	
	下顎	平均値	2.30	0.05	3.18	0.15	
		標準偏差	1.10	0.99	0.78	5.65	
Ferrarioら ²²⁾ 1994 年 (Female)	上顎	平均値	3.49	-0.17	2.19	0.54	
		標準偏差	1.43	0.49	0.91	4.03	
	下顎	平均値	3.23	-0.58	2.79	0.15	
		標準偏差	1.37	1.74	0.99	5.65	
小坂ら ²⁰⁾ 1997 年	上顎	平均値	3.29		1.18		0.22
	下顎	平均値	2.89		1.98		0.26
瀬畑 ¹⁹⁾ 1980 年	上顎	平均値	0.00	30.00	19.70	524.20	-53.88
	下顎	平均値	0.00	50.00	26.20	604.90	-53.76
崔 ²³⁾ 1984 年	上顎	平均値	0.00	30.00	16.90	524.20	-39.78
	下顎	平均値	0.00	50.00	19.70	604.90	-42.09

四次項は $\times 10^{-5}$ 、三次項は $\times 10^{-4}$ 、二次項と一次項は $\times 10^{-2}$ でそれぞれ示した。また、Ferrarioら²²⁾の結果は他の研究と比較するために上顎のy軸の方向を反転させて示した。

わず、客観的な根拠は明示していない。前述のように歯列弓形態の特徴は、四次多項式の各項の係数から定量的な分析が可能であると考えられている^{13,17,21,22)}ことから、本研究では、この四次多項式の各項の係数に着目して上下顎の歯列弓形態の相関関係について相関係数を用いて検討した。その結果、四次多項式における各項の係数の上下顎間で相関係数の統計学的な検定を行った結果、aの相関係数は0.796、bは0.546、cは0.763、dは0.621、eは0.813であり、すべての項の係数で統計学的に有意な正の相関が認められた。このことは正常咬合者では、上下顎の歯列弓形態は統計学的に有意な正の相関関係があることを示すものである。この結果はRichardsら²¹⁾の結果と異なり、前述のように被験者の選択条件の違いが結果に影響していることが考えられる。さらに本研究の結果は、臨床的に矯正歯科医が、日常行っている上下顎の主線を調和させて屈曲していることを理論的に裏付けられるものと考えられるが、実際の臨床では、ブラケットやチューブの存在を念頭においた形態の付与が必要となるので、さらに詳細な検討を加えていく必要がある。

また、相関係数が大きいのは $e > a > c > d > b$ の順序

であり、奇数次項に比較して偶数次項で大きい傾向が認められた。Richardsら²¹⁾は正常咬合者ではない被験者の上下顎間に有意な相関関係はみられず、上下顎のどちらかの歯列弓形態の非対称は対顎に影響を与えず、その結果、被験者の中に交差咬合などの不正咬合を有する者があることを示唆している。本研究の被験者は左右の非対称な歯列弓形状を呈するものが少ないことを示し、正常咬合者では不正咬合者に比べて非常に小さな非対称があったとしても、対顎はそれに対応した形態を呈していることを示すものともいえる。

さらに、回帰式を算出した結果、四次項aでは $y = 0.39x + 1.04 \times 10^{-5}$ 、三次項bでは $y = 0.35x - 5.25 \times 10^{-5}$ 、二次項cでは $y = 0.46x + 0.90 \times 10^{-2}$ 、一次項dでは $y = 0.48x + 0.03$ 、定数項eでは $y = 0.72x + 0.08$ であり、下顎の歯列弓形態から上顎の歯列弓形態を数学的・幾何学的手法をもって客観的に推定できる可能性を示唆している。したがって前述のような矯正歯科治療時のコンピュータによる咬合状態の三次元的シミュレーションを行う上での有用な情報のひとつになるものと考えられる。

稿を終るに臨み、研究遂行にあたりご協力いただいた日本歯科大学歯学部歯科矯正学教室の藤田美也子助手はじめ教室員各位に感謝いたします。

本論文の要旨は、平成 11 年度日本歯科大学歯学会大会(平成 11 年 6 月、新潟市)において発表した。

なお、本研究の一部は平成 7 年度文部省科学研究費助成金、基盤研究 (A) 課題番号 07407061 の補助によるものである。

文 献

- 1) Graber, T. M. and Vanarsdall, Jr., R. L. : Orthodontics, current principles and techniques, 2nd ed., St. Louis, Mosby-Year Book, Inc., 1994, 57.
- 2) 青木美穂, 相馬邦道, 三浦不二夫 : 矯正治療後の歯列弓形状, 日矯歯誌 47 : 780-795, 1988.
- 3) Felton, J. M., Sinclair, P. M., Jones, D. L. and Alexander, R. G. : A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form, Am J Orthod Dentofac Orthop 92 : 478-483, 1987.
- 4) 宇塚 聡, 新井一仁, 石川晴夫 : 正常咬合者の歯列弓形態への多項式曲線の適合性, 日矯歯誌 59 : 32-42, 2000.
- 5) 新井一仁 : Straight-wire technique の発展性, 東京矯歯誌 7 : 122-129, 1997.
- 6) 石川晴夫, 古賀正忠 : プリアジャステッドブラケットシステム・ストレートワイヤーテクニック, 東京, 1997, クインテッセンス出版, 53-111.
- 7) Bonwill, W. G. A. : The geometrical and mechanical laws of the articulation of the human-teeth The anatomical-articulator, in the American system of dentistry, ed. by Litch, W. F., Philadelphia, 1887, Lea Brouther&Co., 486-498.
- 8) Hawley, C. A. : Determination of the normal arch, and its application to orthodontia, Dental Cosmos 47 : 541-552, 1905.
- 9) Kato, S., Kubota, K., Hashimoto, T., *et al.* : Study on the relative positions of teeth and the average form of dental arches, J Nihon Univ Sch Dent 6 : 111-121, 1964.
- 10) Brader, A. C. : Dental arch form related with intraoral forces : $PR=C$, Am J Orthod 61 : 541-561, 1972.
- 11) 松浦 久, 戒田清和, 桑原洋助, 三浦不二夫 : 日本人に適した Straight-wire 法のための appliance および archwire の開発, 東京矯歯誌 7 : 33-43, 1997.
- 12) Angle, E. H. : Treatment of malocclusion of the teeth, 7th ed., Philadelphia, 1907, The S. S. White Dental manufacturing Co.
- 13) 岩林幹雄 : 曲線適合による歯列弓形状の検討, 口病誌 44 : 57-71, 1977.
- 14) Hayashi, T. : A mathematical analysis of the curve of dental arch, Bull Tokyo Med Dent Univ 3 : 175-218, 1956.
- 15) Currier, J. H. : A computerized geometric analysis of human dental arch form, Am J Orthod 56 : 164-179, 1969.
- 16) Scott, J. H. : The shape of the dental arches, J Dent Res 36 : 996-1003, 1957.
- 17) Lu, K. H. : An orthogonal analysis of the form, symmetry and asymmetry of the dental arch, Arch Oral Biol 11 : 1057-1069, 1966.
- 18) Pepe, S. H. : Polynomial and catenary curve fits to human dental arches, J Dent Res 54 : 1124-1132, 1975.
- 19) 瀬畑悦子 : 日本人正常咬合者における歯牙・歯列弓形態の矯正学的研究, 歯科学報 80 : 945-969, 1980.
- 20) 小坂 肇, 小林知樹 : 日本人正常咬合者の歯列弓形態および矯正用アーチワイヤーフォームに関する研究, 歯科学報 97 : 1029-1036, 1997.
- 21) Richards, L. C., Townsend, G. C., Brown, T. and Burgess, V. B. : Dental arch morphology in south Australian twins, Arch Oral Biol 35 : 983-989, 1990.
- 22) Ferrario, V. F., Sforza, C., Miani, Jr. A. and Tartaglia, G. : Mathematical definition of the shape of dental arches in human permanent healthy dentitions, Eur J Orthod 16 : 287-294, 1994.
- 23) 崔 松林 : 韓国人正常咬合者における歯牙・歯列弓形態の矯正学的研究, 歯科学報 84 : 1055-1076, 1984.
- 24) BeGole, E. A. : A computer program for the analysis of dental arch form using the cubic spline function, Comput Program Biomed 10 : 136-142, 1979.
- 25) Sampson, P. D. : Dental arch shape : A statistical analysis using conic sections, Am J Orthod 79 : 535-548, 1981.
- 26) 小林美也子, 新井一仁, 石川晴夫 : 日本人正常咬合者における Spee の彎曲の三次元的分析, 日矯歯誌 57 : 258-267, 1998.
- 27) 石川晴夫, 新井一仁, 村本睦司, 川崎弘司 : 非接触高速三次元計測システムの歯科矯正学への応用 第 1 報 システムの概要, 歯学 83 : 503, 1995.

- 28) 新井一仁, 石川晴夫: 非接触三次元形状計測システムの口腔模型への応用—不可視領域の削減法—, 日矯歯誌 58: 148-153, 1999.
- 29) Johnson, A. L.: Occlusion, Basic principles of orthodontia, Lecture III, Dent Cosmos 65: 503-510, 1923.
- 30) 榎 恵: 歯科矯正学, 第2版, 東京, 1979, 医歯薬出版, 7.
- 31) 新井一仁, 中川千賀, 宇塚 聡, 他: 非接触三次元形状計測システムの歯科矯正学への応用 第18報 咬合接触の分析法, '98 光計測シンポジウム論文集, 78-81, 1998.
- 32) 石川晴夫, 新井一仁: 矯正用診断模型の三次元形状の記録, 分析, 保管に CAD/CAM システムを応用できる, ザ・クインテッセンス 16: 23-24, 1997.
- 33) BeGole, E. A., Cleall, J. F. and Gorny, H. C.: A computer system for the analysis of dental casts, Angle Orthod 51: 252-258, 1981.
- 34) Surback, B. T., Artun, J., Hawkins, N. R. and Leroux, B.: Associations between initial, posttreatment, and postretention alignment of maxillary anterior teeth, Am J Orthod Dentofac Orthop 113: 186-195, 1998.
- 35) De La Cruz, A. R., Sampson, P., Little, R. M., *et al.*: Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention, Am J Orthod Dentofac Orthop 107: 518-530, 1995.
- 36) BeGole, E. A. and Lyew, R. C.: A new method for analyzing change in dental arch form, Am J Orthod Dentofac Orthop 113: 394-401, 1998.
- 37) Cassidy, K. M., Harris, E. F., Tolley, E. A. and Keim, R. G.: Genetic influence on dental arch form in orthodontic patients, Angle Orthod 68: 445-454, 1998.
- 38) Andrews, L. F.: Straight wire-The concept and appliance, San Diego, 1989, L. A. Wells Co.
- 39) 関川三男, 尾崎至郎, 金沢英作, 尾崎 公: 一般二次方程式による歯列弓形態の検討, 日大口腔科学 10: 196-202, 1984.

主 任: 石川 晴 夫 教授 2000 年 1 月 27 日 受付

連絡先: 新 井 一 仁
 日本歯科大学歯学部歯科矯正学教室
 〒 102-8158 東京都千代田区富士見 2-3-16