

Vol.68 No.3 May 1994

日大歯学

Nihon University Dental Journal

日本大学歯学会

NIHON UNIVERSITY SOCIETY OF DENTISTRY

日大歯学

Nihon Univ.
Dent. J.

ISSN 0385-0102

フーリエ解析による頭蓋骨形態数量化の
法医学的応用について

— 性別判定に応用した場合 —

中 原 悦 夫

日本大学歯学部法医学教室

(指導：竹井 哲司教授)

日大歯学第68巻第3号別刷
(平成6年5月30日発行)
Nihon Univ. Dent. J. Vol. 68 343-353 (1994)

〔原 著〕

フーリエ解析による頭蓋骨形態数量化の 法医学的応用について

— 性別判定に応用した場合 —

中 原 悦 夫

日本大学歯学部法医学教室

(指導: 竹井 哲司教授)

Medico-Legal Application of Enumeration by Cranial Form Using Fourier Analysis

— Sex Determination Application —

Etsuo Nakahara

Department of Legal Medicine, Nihon University School of Dentistry

(Director: Prof. Tetsuji Takei)

要旨: 側貌頭部X線規格写真(男子: 68名, 女子: 48名)を資料として, その鼻骨先端から外後頭頭後縁に至る側貌輪郭線にフーリエ解析を応用し, 頭蓋骨形態の特徴を数量的に捉えた。算出されたフーリエ級数の再現性について検討した結果, 第10周波数までで, 近似的に原形態を再現できた。得られた定数および第10周波数までの周波数振幅, 合計11項目のうち, 5項目に5%以下の危険率で男女間に性差が認められた。さらに, 男女別平均形態の性差を検討した結果, 大きさにおいては男子のほうが女子より大であり, 形状では男子の平均曲線が眉弓・眉間部および外後頭隆起部で外側に位置し, 一方前頭結節部では女子の方が外側に位置していた。フーリエ変換によって得られた定数および第10周波数振幅までの数値を判別要因とした, 性別判定のための判別式の適中率は91.4%(男子: 91.2%, 女子: 91.7%)であった。

キーワード: 個人識別, 性別判定, 頭蓋骨, フーリエ解析

Abstract: To enumerate the cranial form, standardized lateral roentgenograms of Japanese subjects (68 males and 48 females) were used, and Fourier analysis was applied to the contour (from Nasion to Bolton point).

With respect to the convergence of the Fourier degree, the complex morphology of the original form was almost described accurately by inclusion of the 10th amplitudes.

T-test revealed a significant sex difference in 5 items out of 11 (overall size A0 and 1-10 amplitudes) between male and female groups ($p < 0.05$).

The morphological differences in the mean form depicted between males and females showed that the size was greater in males and the mean curve of males was described more externally at the site corresponding to the glabella and the external occipital protuberance regions, in comparison with those of females. On the other hand, the mean curve for females was described more externally at the region corresponding to the frontal tuberosity.

In sex determination using the obtained Fourier coefficients (overall size A0 and 1-10 amplitudes), the correct rate was 91.4% (males: 91.2%, females: 91.7%).

Key words: personal identification, sex determination, skull, Fourier analysis

(受付: 平成5年10月20日)

〒101 東京都千代田区神田駿河台 1-8-13

1-8-13 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan

緒 言

法医鑑識の実務において、人体硬組織から個人識別を行う場合、証拠保全の立場から資料を非破壊的に検査することが要求される。その非破壊検査のなかでも、最初に行うのが資料の形態に関する肉眼的観察と計測である。

肉眼による形態の観察は、人間の視覚をとおして行われ、資料の形態的特徴は、検査者がそれまで経験的に得た情報および知識が無意識下で一瞬のうちに統合され、判断されて言葉で表現される。骨の性差に関する表現法についていえば、“丸み、突出、平坦、発達”などがそれにあたる。しかし、同じ形態を観察してもその表現方法には個人差があり、これといった基準がないための確に形態の特徴を表現するのは困難である。

そこで形態計測においては、数値という基準をつくることで、より客観的に形態的特徴を表現することが可能となる。

従来の形態計測の研究¹⁻¹⁷⁾は、そのほとんどが解剖学的特徴を有する各点間の距離または角度の計測に基づくもので、法医学の分野における計測値による性別判定法⁸⁻¹³⁾でも、同様に直線的な計測値が用いられてきた。本来、形態計測において扱う資料は複雑な形態をしていることが多く、無数の計測点を資料全面にでも設定しない限り、直線的な情報だけでその形態の特徴を的確に表現することは困難である。

一般に形態は大きさ (size) と形状 (shape) の両要素からなることを考慮すると、従来の形態計測は、このうち大きさの要素のみを計測の対象としてきたことになる。

近年、曲線の形状を定量的に解析できる手法として、フーリエ級数の応用による形態解析法¹⁸⁻³⁰⁾が盛んに研究されている。この方法は、形態を表す曲線がある区間で周期性があると仮定して、曲線上のデータをフーリエ級数式で近似していく方法であり、得られたフーリエ係数は、大きさと形状とを表す指標となり、それぞれ別個に扱うことができる。したがって、この手法により、これまで主観的にしか表現できなかった形状の数値化が可能となった。

実際に、法医学の分野では、岡田ら²⁴⁾が側貌頭

部X線規格写真を資料とし、前頭骨と鼻骨の境界の最深点 (N) から冠状縫合が輪郭と交わる点までの前額部形態にフーリエ変換を応用し、その形態を数量的に表現することで男女の形態的差異を定量的に検討するとともに、判別関数法による性別判定を行い88.0%の適中率を得ている。また、同じ手法で小野塚²¹⁾は、鼻骨から前頭骨に至る頭蓋骨の側貌形態を数量化して性別判定を行い、88.8%の適中率を得るとともに、同一資料上に直線距離項目を設定し、その計測値を判別要因として加えた場合の判別精度についても検討している。

しかし、これらの報告では、頭蓋骨のなかでも特に性差が著しいとされる鼻骨から前頭骨にかけての輪郭線の形態的特徴を、周波数振幅を等尺化した数量、すなわち形状 (shape) の特徴量のみで表現し、得られた全周波数の数量を変数として性別判定を行っているが、得られたフーリエ級数の再現性、および男女の平均形態についてまでは検討していない。

そこで今回著者は、より全体的に頭蓋骨を把えるため、鼻骨先端から外後頭顆後縁に至る頭蓋骨輪郭線にフーリエ解析を応用し、その形態的特徴を大きさと形状の要素両者で表現することで、頭蓋骨輪郭線の平均形態における性差について検討するとともに、得られた数値を変数とした性別判定のための判別式を導出した。その結果、比較的良好な結果が得られたので報告する。

資料および方法

1. 資料

資料は側貌頭部X線規格写真で、特に異常を認めない22~25歳の116例 (男子68例、女子48例) である。この資料は、本学歯学部学生について撮影した実習用写真であり、被験者にFrankfort水平面基準位で咬頭嵌合位をとらせて撮影した。

2. 計測方法

1) 計測部位の設定およびデータの入力

形態差の計測部位の選択にあたっては、(1) 従来より、性差が比較的明瞭に出ていると言われていた部位を含むこと、(2) 写真上での輪郭線のトレースが比較的容易であること、(3) 破損・欠損が起こりにくく、加齢による影響を受けないこと、

を考慮し、今回は Aboshi ら²³⁾の報告に準じ、ナジオン (N) から外後頭顆後縁の最上点 (Bo) へ引いた線と輪郭線との交点 (B) までの頭蓋骨輪郭線について検討した。すなわち、X線写真上に設計・製図用フィルム (TRACETER, Z-200S: ソマル社製) を重ね、必要な輪郭線をトレースし、点Nと点Bを結んだ線をX軸、線分NBの中点を原点Oとし、原点を通りX軸に直交する線をY軸とした (第1図)。

つぎに原点Oから頭蓋骨輪郭線に向けて、2度刻みで引いた半直線と頭蓋骨輪郭線が交わる点、計91点の(X,Y)座標値を原データとした。この際、個々の資料の輪郭線の形態はすべて異なるので、アセテート紙を用いて等角度スケールを作成し、全資料について同一基準で原点O、点N、等角度スケールと輪郭線との交点、終点Bの順にタブレット・デジタイザ (KD3310A: グラフテック社製) を使い、ポイントモードで入力した。

2) 頭蓋骨輪郭線の数値化

頭蓋骨輪郭線を尾崎ら³¹⁾および関川³²⁾の方法に準拠し、フーリエ級数を用いて表現した。すなわち、計測部位の輪郭線が 2π を周期とする波形を示すとすれば、個々の資料の(X,Y)座標値を極座標値に変換することで、有限項のフーリエ級数展開式

$$Y(\theta_i) = A_0/2 + \sum (A_i \cdot \cos \theta_i + B_i \cdot \sin \theta_i)$$

により形態をかなり近似的かつ数学的に表現することが可能となる。ここで、フーリエ級数の定数項 (A_0) および係数 (A_i, B_i) は最小二乗法を応用し、第45周波数 (AMPL) まで求めた。フーリエ級数をここで打ち切るのは、計測点数の $1/2$ 以上の高周波は、三角関数の振動回数が計測点数よりも大きくなり、級数の和の意味がなくなるためである。

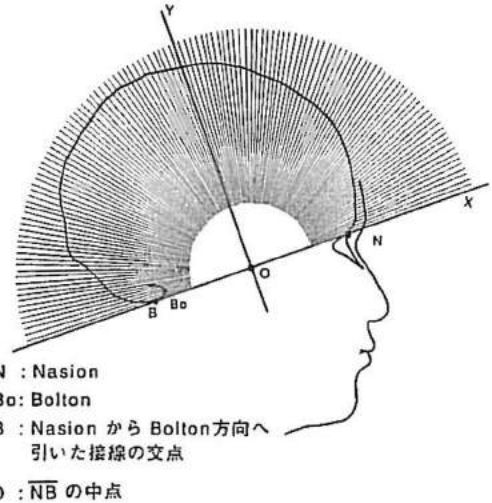
この式に基づいて算出された、コサイン係数 (A_i) およびサイン係数 (B_i) を同一周波数ごとに下記の

$$P_i = (A_i^2 + B_i^2)^{1/2}$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, 45)$$

により合成し、最終的に頭蓋骨輪郭線を1個の定数項 (A_0) と45個の周波数振幅 (P_i) で表現した。

3) フーリエ級数の再現状態について



第1図 計測部位

頭蓋骨輪郭線上でデジタイズされた原データ系列と、第1周波数から順次高周波の周波数を加えて作図された曲線を重ねて描記させ、フーリエ級数による頭蓋骨輪郭線の形態の再現状態について検討した。

4) 頭蓋骨輪郭線の男女別平均形態について

定数 (A_0) と45個の周波数振幅 (P_i) について、それぞれ男女別の平均値を求め、その平均値をもとに頭蓋骨輪郭線の平均形態を描記させ、男女別の形態的特徴について検討した。

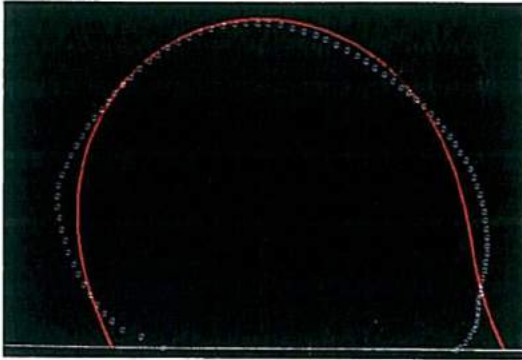
なお、フーリエ変換および輪郭線の描記までの計算処理の行程は、パーソナルコンピュータ (PC9801VX: NEC社製) で行い、プログラムは日本大学松戸歯学部解剖学教室から供与されたプログラムを改変して用いた。

5) 統計処理

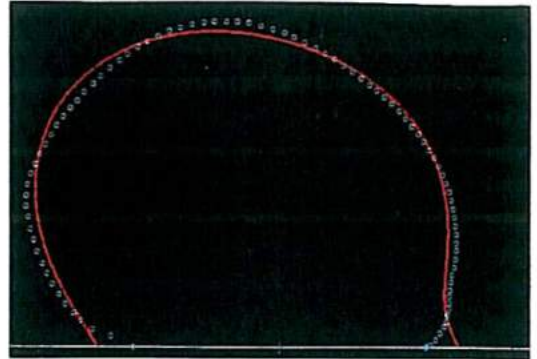
男女別に、フーリエ級数の再現性に影響を与える周波数までのフーリエ係数の平均値および標準偏差を求め、男女差のT検定を行った。ついで、フーリエ係数を変数とし、頭蓋骨輪郭線について判別分析を行い、性別判定のための判別式を導出した。さらにこの判別式を本研究で用いた資料116例に適用して適中率を算出した。

成績

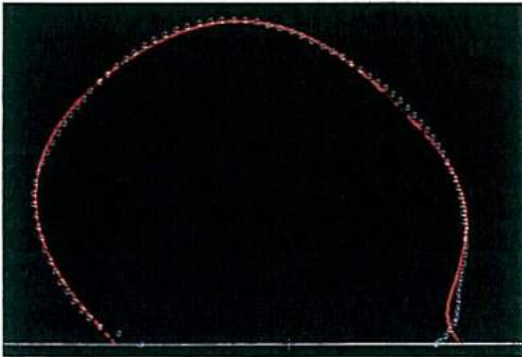
1. 頭蓋骨輪郭線のフーリエ級数による再現状態について



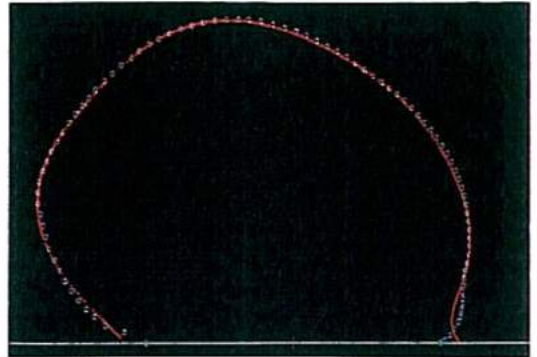
第2図 1 AMPL(第1周波数)で再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



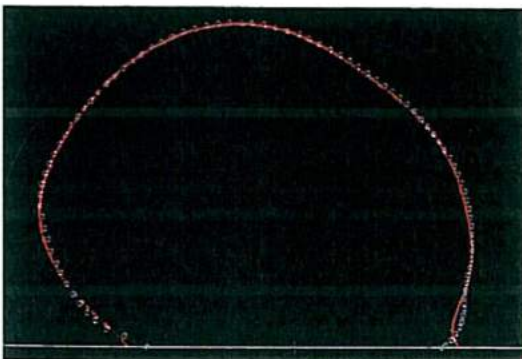
第3図 1~2 AMPLで再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



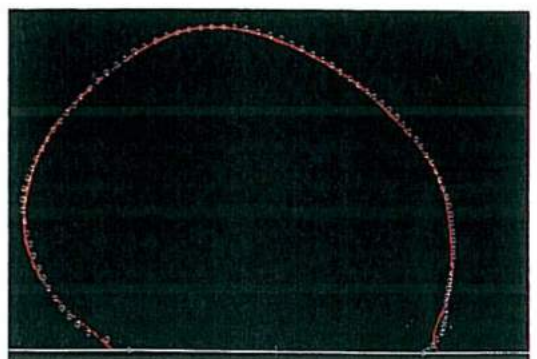
第4図 1~3 AMPLで再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



第5図 1~4 AMPLで再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



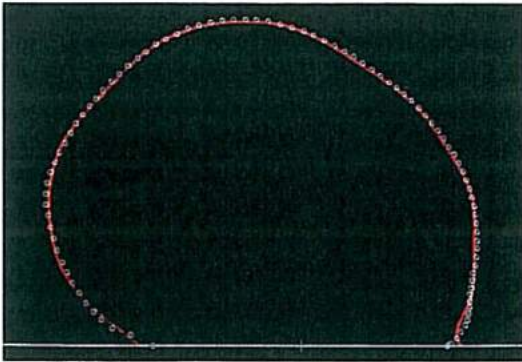
第6図 1~5 AMPLで再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



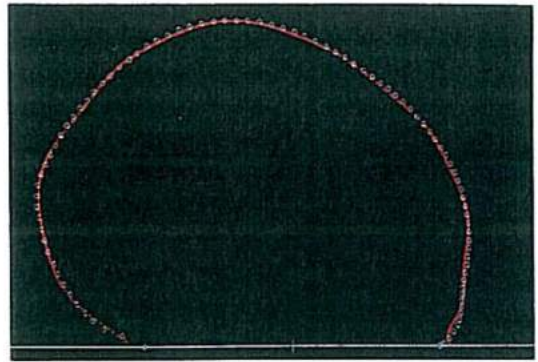
第7図 1~6 AMPLで再現した曲線と原データとの重ね合わせ像

45周波数まで算出されたフーリエ級数による再現性を調べるため、第1周波数(1AMPL)から順次に高次の周波数を加えて再現させた曲線と、原データ系列をプロットさせた曲線とをコンピュータ画面上で重ね合わせた(第2~11図)。この際データとして、男子68例分の定数(A0)とフー

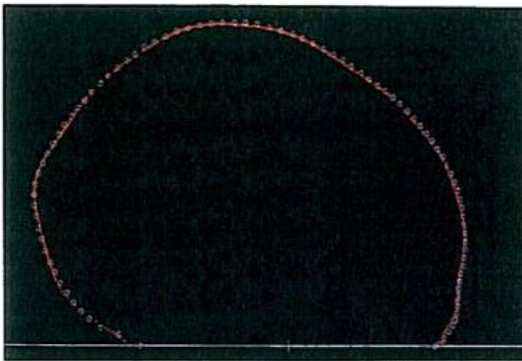
リエ係数の平均値および原データ座標値の平均値とを用いた。その結果、頭蓋骨輪郭線において第1周波数ではX軸方向の成分がおおまかに再現され(第2図)、これに第2周波数を加えるとY軸方向の成分が再現されていく(第3図)。さらに第5周波数まで加えると輪郭線の概形が回復され



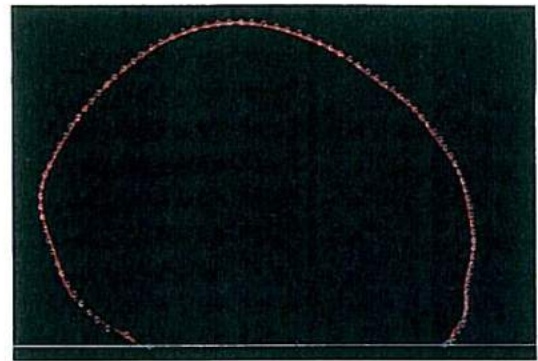
第8図 1~7 AMPL で再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



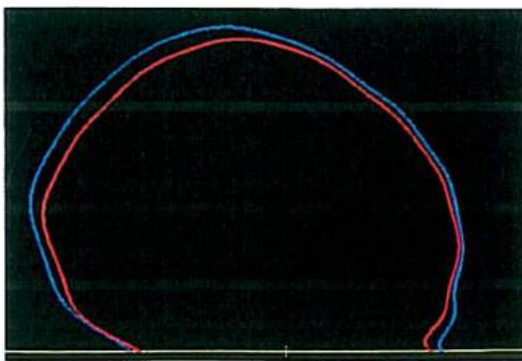
第9図 1~8 AMPL で再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



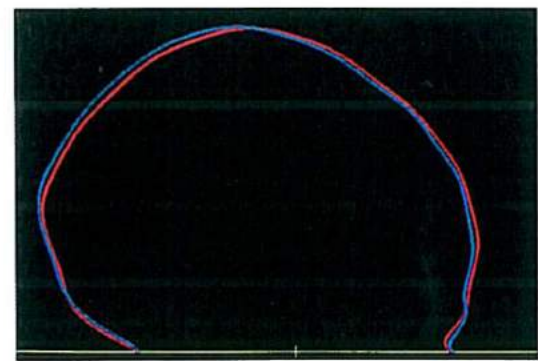
第10図 1~9 AMPL で再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



第11図 1~10 AMPL で再現した曲線と原データとの重ね合わせ像



第12図 男女の平均形態の重ね合わせ像
青：男子 赤：女子



第13図 男女それぞれの平均値を基準化した重ね合わせ像
青：男子 赤：女子

てくる(第6図)が、眉間部、前頭骨頂部、後頭部の細部において、まだ若干、適合は良くない。しかし以降、順次に加えていくことにより、細部が次第に回復され、第10周波数まで加えると、かなり近似的に原形態を再現できた(第11図)。

2. 頭蓋骨輪郭線の男女別平均形態について
男女計116名の側貌頭蓋骨輪郭線について、フーリエ級数の再現性に影響を与えると確認された第10周波数までの定数と周波数振幅の平均値と標準偏差を男女別に算出し、男女差のT検定を行い、

第1表 側頭蓋骨輪郭線の定数(A0)および周波数振幅(Pi)の平均と標準偏差

No.	男子(N:68)		女子(N:48)		有意差	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
A0	120.52	3.28	115.72	3.45	***	
Pi	1 AMPL	36.28	2.82	34.76	2.76	**
	2 AMPL	7.73	1.98	7.37	1.37	
	3 AMPL	5.02	0.85	5.70	0.72	***
	4 AMPL	2.21	0.58	1.97	0.50	*
	5 AMPL	1.18	0.42	1.35	0.38	*
	6 AMPL	1.00	0.36	1.01	0.28	
	7 AMPL	1.06	0.35	1.14	0.26	
	8 AMPL	1.03	0.25	1.07	0.21	
	9 AMPL	0.94	0.22	0.92	0.19	
	10 AMPL	0.71	0.23	0.74	0.17	

*** : 0.1% Level
 ** : 1% Level
 * : 5% Level

それらの結果を第1表に示した。フーリエ級数の定数項(A0)および周波数振幅の平均値は、11項目中、定数項(A0)および第1,2,4,6,9周波数振幅の6項目で男子が女子より大なる値を示した。またT検定の結果、定数項(A0)および第3周波数振幅で0.1%、第1周波数振幅では1.0%、第4および第5周波数振幅では5.0%以下の危険率で男女間に有意差が認められた。

第10周波数までのフーリエ係数の平均値を用いて、頭蓋骨輪郭線の男女別平均形態を描記させ(第12図)、その形態的特徴について検討した。その結果、基準線と輪郭線で囲まれる部分の面積は、男子の方が大であった。

つぎに、男女の頭蓋骨輪郭線の平均形状について、その性差を視覚的に把え易くするために、フーリエ係数のうち大きさの要素に関する定数項(A0)の値を男女間で基準化し、男女別に描記させた平均像を重ね合わせた(第13図)。その結果、男子では眉弓・眉間部の隆起および外後頭隆起付近で女子より隆起し、一方、女子では前頭結節付近の隆起が著明であった。

3. 判別関数による性別判定および判別精度について

男子68例、女子48例計116例の頭蓋骨輪郭線について、それぞれにおいて得られたフーリエ級数の定数項(A0)と10個の周波数振幅値、合計

第2表 性別判定のための定数および係数

		第1群	第2群
フーリエ級数の定数項(A0)	Z ₁	15.605	14.874
第1周波数振幅	Z ₂	-3.449	-3.370
第2周波数振幅	Z ₃	-9.340	-8.804
第3周波数振幅	Z ₄	-0.556	1.320
第4周波数振幅	Z ₅	28.028	25.186
第5周波数振幅	Z ₆	-22.848	-20.943
第6周波数振幅	Z ₇	1.608	0.381
第7周波数振幅	Z ₈	46.762	45.752
第8周波数振幅	Z ₉	-16.825	-13.149
第9周波数振幅	Z ₁₀	36.542	31.316
第10周波数振幅	Z ₁₁	-50.277	-45.866
定数	Z ₀	-873.911	-800.761

第3表 判別式の適中率

(N)	適中率
男子(68)	91.2%(62)
女子(48)	91.7%(44)
全体(116)	91.4%(106)

11個を変数とし、性別判定のための判別分析を行った結果、第2表に示すような判別のための係数(Z₁~Z₁₁)および定数(Z₀)が得られた。

この判別式の有意性について、マハラノビスの汎距離(D²)を計算したところ、160.89となり、F検定の結果0.1%の危険率で有意であった。

実際に性別を判定する場合には、

$$Y = Z_1 X_1 + Z_2 X_2 + \dots + Z_{11} X_{11} + Z_0$$

(X₁~X₁₁は周波数振幅値Pi)

の判別式を使用する。すなわち、第2表に示した第1群と第2群の係数について別々に計算する。そして2つのY値を比較して、第1群の値(Y₁)の方が大きければ男子、第2群の値(Y₂)の方が大きければ女子と判定する。この判別式を本研究で用いた資料に適用し、その判定の適中率を求めたところ、男子は68例中62例で91.2%、女子は48例中44例で91.7%、全体では91.4%であった(第3表)。

考 察

法医学の分野で個人識別を行う際、性別の判定は最初の鑑定項目として重要である。特に、骨は

物理・化学的性質上、侵襲に比較的強い抵抗性を示すことから、長年放置され高度に腐敗が進行した遺体、あるいは火災現場などで軟組織の損壊が著しい遺体の身元確認作業において、鑑定資料となる場合が多い。

白骨死体の性別判定は、骨の肉眼的観察による形態学的特徴および人類学的計測値に基づいて行われる。骨格にみられる特徴的形態学的性差は、骨盤について頭蓋骨に比較的好く表現されているといわれている。頭蓋骨の性別判定は、判定者が熟練した専門家であれば、肉眼的に判断を下してもその適中率は95%にも達する³³⁾という。事実、法医学や人類学の文献および成書³⁴⁻³⁶⁾には、男女の頭蓋骨の形態的特徴について多数記載³⁷⁻⁴⁰⁾されている。

しかし、頭蓋骨の形態的特徴を肉眼的に観察して性別を正確に判定するには、長年の研鑽により得られる解剖学的・人類学的知識と経験とが要求されることから、ある一定の手順を踏めば、誰でもが客観的に正確な判定を下せる方法の確立が望ましい。

一方、数値をもとに客観的に判断できる計測学的な性別判定法には、資料骨の計測値と男女の対照値とを比較する方法と、これらの計測値を用いた判別関数による方法⁶⁻¹³⁾とがある。

計測値と対照値との比較による方法は、男性に近い数値を示す項目と、女性に近い数値を示す項目の多少を検討して行う。しかし、計測にあたって資料骨上の比較的広い範囲から多数の計測点を正確に設定しなければならず、資料の破損状態によっては計測不可能な項目も出現する。加えて日本人頭蓋の人類学的計測値については多数の研究報告^{3,37,41-43)}があり、どの報告者の値を対照値として使用するかによって、結果が異なる場合も予想される。

また判別関数法による性別判定は、数値で判断が下せるという利点があり、各骨について求められている判別式に資料骨の計測値を代入して判別値を算出し、判別限界値との大小で判定される。頭蓋の計測値に基づく判別関数による性別判定法については、埴原⁵⁾、赤嶺⁶⁾、Gilesら⁷⁾、Snowら⁸⁾、田中ら⁹⁾の報告がある。このうち埴原⁵⁾は、日本人頭蓋105個を用いて判別式を作成した結果、

誤判率は10.29~16.93%と形態学的観察のみによる正解率とほとんど変わらず、この理由として大きさに関する限り、頭蓋における性差は比較的弱いことを指摘している。

以上、頭蓋骨に関する計測学的な性別判定法は、客観的に数値で判定結果が得られるという利点があるものの、その使い難さと、肉眼的観察に比べてもなお判定精度が多少劣るという理由で、専門家の間ではあくまでも補助的に使われているというのが現状である。

この原因をさらに掘り下げて考えてみると、従来の形態計測は、その手法自体に限界があったように思われる。一般的に形態を構成する要素としては、その対象物の大きさ(size)と形状(shape)が挙げられる。人間の視覚による判断は、これらの要素を瞬時に統合して把握する。しかし従来の計測学的な性別判定法では、直線距離、角度などもっばら大きさの要素のみを対象としており、形状についてはほとんど考慮されていない。すなわち、これまでの手法で資料の形態的特徴として扱っていた情報は、本来資料そのものもつ形態的情報のごく一部分でしかなかった、といえる。人体を構成する骨は、どの断面でみても、直線ではなく連続する曲線によって形作られている。曲線を数学的に表現することにより連続的に捉え、再現性がよく、さらにその係数値により統計的な処理が簡単に行える方法としてフーリエ級数による解析方法^{44,45)}がある。この手法は、各領域で形態の解析に実際使われ、多数の報告¹⁶⁻³²⁾がなされている。この方法によれば、曲線を一種の波形とみなすことにより、大きさおよび形状の情報を数値的に別個に扱うことができる。

法医学の領域では、岡田ら²⁴⁾が頭蓋骨のなかでも特に性差が著しいとされる頭蓋骨前額部に、また小野塚²¹⁾が前頭骨から鼻骨に至る形態にこの手法を応用し、それぞれ性別の判定を試みてともに良好な成績を得ている。また、頭蓋骨全体の形状については、Lestrelら²⁷⁾が男女30名分のセファログラムの経年資料を用い、頭蓋冠の成長発育に関する解析的研究を行っているほか、Aboshiら²³⁾が中国人男子50名の側貌頭部X線規格写真を資料とし、今回著者が設定した部位と同じ頭蓋骨輪郭線にこの手法を応用し、フーリエ級数の再

現性に関する基礎的な研究を行っているものの、法医学的な立場から形態的性差および性別の判定まで行った報告はない。

そこで著者は、このフーリエ変換の手法を法医学的に応用すべく、その第一歩として、頭蓋骨輪郭線に適用し、数学的に形態を再現することで成書に記載されている男女間の形状の差異を数値的に確認するとともに、性別の判定を行った。

1. 頭蓋骨輪郭線の再現状態について

まずフーリエ級数を用いて頭蓋骨輪郭線を表現すると、どの程度の再現性が得られるかについて検討した。関本²⁹⁾、Aboshiら²³⁾の方法に準じ、45周波数まで算出されたフーリエ級数の再現性を調べるため、コンピュータ画面上で第1周波数成分から順次他の高次の周波数成分を加えて曲線を再現させ、同じ画面上でプロットさせた原データと重ね合わせた。この方法によれば、視覚的に曲線の適合状態からフーリエ級数の再現性が確認できる。その結果、第5周波数成分まで加えると、頭蓋骨輪郭線の概形が再現された。また、それ以降第10周波数成分まで加えることにより、鼻骨から眉間隆起付近および外後頭隆起より下方の輪郭線が再現され、側貌頭蓋骨輪郭線の形態分析を行う上で、十分な情報が得られることが確認された。なお第10周波数成分以降の高次の周波数については、どの資料においても主として始点および終点付近の形態の収束にのみ関与することを確認した。複雑な形態を有する曲線のフーリエ級数による再現性については、各周波数ごとのパワースペクトル ($A_i^2 + B_i^2$) の累積寄与率から判断する方法もあるが、今回は視覚的に再現状態が簡便に確認できる利点を活かし、得られたフーリエ係数値から実際に曲線を描出させる方法を選択した。

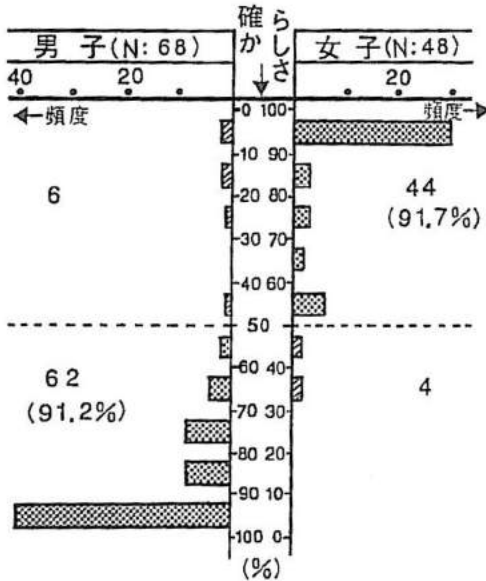
曲線状輪郭の数値化に際し、フーリエ級数を適用する場合、まず座標系の設定方法、計測点の数が問題となる。Lestrelら²⁶⁾は、曲線状輪郭の形態に関する解析的な研究を行い、曲線状の輪郭を有する形態には、直交座標系よりも極座標系のほうが有効であることを報告している。また下顎下縁形態にフーリエ級数を用いて歯科矯正学の分野における顎態分析への応用の妥当性を方法的に述べている相馬ら²⁵⁾も、直交座標系は対象となる曲線の勾配が基準線に対して小である場合、すな

わち曲線の曲率半径が大である場合に採用するのが望ましい、と述べている。今回は、計測に用いた部位のうち、特に鼻骨先端部から眉間隆起部にかけての曲線の曲率が高いため、できるだけその形態のもつ情報を減ずることなく、充分表現できるよう極座標系を採用した。ただし、原点については、相馬ら²⁵⁾の報告にもあるとおり、その設定方法により原データ系列が変化する場合もある。本研究では、原点を便宜的に線分NBの midpoint として座標系を定めたが、この点については今後の課題としたい。

2. 頭蓋骨輪郭線の平均形態について

男子68例、女子48例の側貌頭蓋骨輪郭線にフーリエ解析を応用し、得られた定数(A0)とフーリエ級数で再現するのに必要と確認された第10周波数までの振幅値の男女別の平均値と標準偏差を算出し、さらに男女差についてT検定を行った。周波数振幅の平均値で比較すると、定数(A0)および第1,2,4,6,9周波数振幅の6項目では、男子が女子より大なる値を示し、他の5項目については女子の方が男子より大なる値を示した。また、T検定の結果、定数(A0)と第3周波数振幅では0.1%、第1周波数振幅では1.0%、第4,5周波数振幅においては5.0%以下の危険率で有意差が認められた。この結果から、級数の再現に必要な11個の変数のなかでも、特定の周波数で性差の現れることが確認された。

頭蓋骨輪郭線のフーリエ級数による形態分析を行ううえで、形態の再現性に影響を与える第10周波数までのフーリエ係数値の平均値を男女別に算出し、その値をもとに平均形態を表すフーリエ級数式を求め、男女別の平均形態として描記させた。得られた男女別の平均形態を原点Oを中心として重ね合わせ、その形態的差異について検討した。男子の平均形態を示す曲線は、女子の曲線をほぼ取り囲むように描記され、頭蓋骨輪郭線のサイズは、男子の方が女子より大きいことが確認された。この結果は、従来より報告されている日本人頭蓋骨の直線的計測法による男女の人類学的計測値データ^{3,37,41-43)}を裏づけるものである。しかし、単純に男女の平均形態を重ね合わせただけでは、頭蓋骨輪郭線の形状(shape)の性差を明確に把握することはできない。



第14図 判定の確からしさ

形態を大きさと形状に分離して把えることが可能なフーリエ級数の使い方に関し、Lestrelら²⁶⁾は、フーリエ級数を用いて形の比較を行う際には、大きさを基準化することが重要であると指摘している。そこで、本研究でも男女の頭蓋骨輪郭線の平均形態における形状の比較に際し、頭蓋骨輪郭線の面積値をもとに、大きさの基準化を行った。この結果、大きさの要素を排除し、形状の性差を視覚的に把えることが可能となった。

このように、基準化された男女頭蓋骨輪郭線の平均形態における重ね合わせ像から、以下の4つの形状の差異が認められた。(イ)鼻部から眉間部分にかけて、男性の輪郭線は、女性のものに比べ隆起している。(ロ)前頭部分では、男性に比べ女性の輪郭線が隆起突出している。(ハ)頭頂部分から後頭部分にかけての輪郭線は、女性では円みを帯び、男性ではより直線的である。(ニ)外後頭隆起相当部においては、男性の輪郭線が女性より突出している。すなわち、頭蓋骨輪郭線の形状は、男子の平均曲線が眉弓・眉間部および外後頭隆起相当部付近で女子より外側に位置し、一方女子の平均曲線は前頭結節相当部付近で男子より外側に位置した。

これらの所見はいずれも、肉眼的観察をもとに頭蓋骨の形態的性差として従来から報告されてい

る所見³⁷⁻⁴⁰⁾と一致していた。

3. 判別関数による性別判定について

フーリエ係数のうち直流部分(A0)は大きさの要素に関与し、交流部分(Ai, Bi)は形状の要素に関与する。法医学の分野におけるフーリエ解析を応用した性別判定¹⁸⁻²⁴⁾では、岡田ら²⁴⁾が、側貌頭部X線規格写真を資料として、冠状縫合が輪郭と交わる点から前頭骨と鼻骨の境界最深部の前額部形態にフーリエ変換を応用し、88.0%の適中率を、また小野塚²¹⁾は、同じ手法で男女80名ずつ計160名の前頭骨から鼻骨に至る側貌骨外形線について検討し、88.8%の適中率を得ている。これらの報告では、形状の要素だけに着目するという立場から、同一周波数におけるフーリエ係数を合成した振幅を定数(A0)で除した(等尺化)値が判別のための変数として用いられている。この等尺化处理により、各周波数の振幅は、大きさとは無関係な形の特徴を表す指標となり得る。しかし、本研究では、本来男女の頭蓋骨にはそれ自体、大きさの違いと形状の違いがあるという立場から、大きさの要因(A0)と形状の要因(フーリエ係数を合成した周波数振幅値)の両者を同列に扱い、判別のための変数として用いた。

男女の側貌頭蓋骨輪郭線から得られたそれぞれの定数および周波数振幅合計11個を要因として、性別判定のための判別式を導出し、本研究で用いた資料の適中率を算出したところ、91.4%(男子:91.2%,女子:91.7%)の適中率が得られた。資料および方法が異なるため一概には比較できないが、この適中率は岡田ら²⁴⁾、小野塚²¹⁾の報告と比べ、それ以上であり、充分有用性があると思われる。

一般に判別式を適用して、2つの分類のうちいずれかに属するかを判定した場合、個々の判定について、その「確からしさ」を計算できる。そこで資料とした116例について、得られた判別式を適用し、個々の判別の確からしさを算出し、その結果を第14図に示した。80%以上の確からしさで正しく判定できた例は、116例中81例69.8%(男子:70.6%,女子:68.8%)であった。一方、男性であるにもかかわらず、80%以上の確からしさを女性と誤判された例が68例中4例(5.9%)あったが、反対に女性であるのに男性と誤判され

た例はなかった。

以上、側貌頭蓋骨輪郭線にフーリエ変換を応用することで、その形態的特徴が数量的に把握できた。また、得られた数量、すなわちフーリエ係数のうち大きさの要因(A0)と形状の要因(Ai, Bi)とを同列に変数として扱うことにより、比較的精度の高い性別判定が可能となった。

結 論

頭蓋骨輪郭線の形態を数量化するに際し、男子68名、女子48名、計116名の側貌頭部X線規格写真を資料とし、その鼻骨先端から外後頭顆後縁に至る側貌頭蓋骨輪郭線にフーリエ解析を応用した。得られたフーリエ係数値を用いて曲線を再現することにより、フーリエ級数の再現性と男女間の形態的差異について検討した。さらに、個々の資料について得られた定数および周波数振幅の値を変数とし、性別判定のための判別式を導出し、以下の結論を得た。

1. 算出された45周波数までのフーリエ級数の再現性について検討した結果、第10周波数までで、ほぼ近似的に原形態を再現できた。

2. 男女別に算出されたフーリエ係数の平均値を用いて、男女別平均形態を描出させ男女の形態的差異について検討した結果、サイズでは男子のほうが大であり、形状では男子の平均曲線が眉弓・眉間部および外後頭隆起相当部付近で女子より外側に位置し、一方女子の平均曲線は前頭結節相当部付近で男子より外側に位置した。

3. 定数および10個の周波数振幅を変数として、導出された判別式は、F検定の結果、0.1%の危険率で有意であった。

4. 本研究で用いた資料116例について、得られた判別式を用いて性別判定を行ったところ、91.4% (男子: 91.2%, 女子: 91.7%) の適中率を得た。

5. 以上、頭蓋骨輪郭線形態の数量化に関し、フーリエ解析を応用したところ、従来から計測されてきた大きさの要素に加えて形状の要素も同時に数値化でき、この両者を用いることにより、法医学の分野における性別判定などに応用できることが示唆された。

稿を終わるにあたり、御指導、御教示を賜りました日本大学歯学部法医学教室竹井哲司教授に深甚なる謝意を表しますとともに、研究に御協力頂きました法医学教室員各位に深謝致します。

文 献

- 1) Simmons, K.: Cranial capacities by both plastic and waters techniques with cranial linear measurements of reserve collection; *Human Biol.*, 14, 473, 1942.
- 2) Keen, J.A.: A study of the differences between male and female skulls; *Am. J. Phys. Anthrop.*, n.s., 8, 65-79, 1950.
- 3) 森田 茂: 関東地方人頭蓋骨の人類学的研究; 慈恵医大解剖学教室業績集, 第3号, 1-58, 1950.
- 4) 平田直行: 頭蓋骨の性差に関する研究; *人類学研究*, 4, 142-179, 1957.
- 5) 埴原和郎: 判別関数による日本人頭骨ならびに肩甲骨の性別判定法; *人類誌*, 67, 191-197, 1959.
- 6) 赤嶺敏之: 頭蓋骨の性別判定に関する法医学的研究; *四国医誌*, 16, 1-21, 1960.
- 7) Giles, E. & Elliot, O.: Sex determination by discriminant function analysis of crania; *Am. J. Phys. Anthrop.*, n.s., 21, 53-68, 1963.
- 8) Snow, C.C., Haratman, S., Giles, E. & Young, F.A.: Sex and age determination of crania by calipers and computer — A test of the GILES and ELLIOT discriminant functions in 52 forensic science —; *J. Forensic Sci.*, 24, 448-460, 1979.
- 9) 田中武史, 埴原和郎, 小泉清隆: 判別関数による現代日本人頭骨の性別判定法; *札幌医誌*, 48, 582-593, 1979.
- 10) 丸山寿夫: 頭蓋骨の性別判定に関する研究 — 計測値の性差と判別関数の適用 —; *日大歯学*, 54, 221-227, 1980.
- 11) 小沢壮年: 頭部X線規格写真からの性別判定; *日大歯学*, 62, 432-439, 1988.
- 12) 広瀬 広, 矢野幸子, 深松建史: 判別関数による骨の判定の信頼度 — 男性もしくは女性示数の適用 —; *日法医誌*, 31, 39-49, 1977.
- 13) 笹嶋正博, 堤 正広, 横沢清水, 野村育鎔, 宮澤富雄, 竹井哲司: インド人頭蓋骨の計測値と性差に関する研究 — 日本人との比較 —; *日大歯学*, 54, 910-918, 1980.
- 14) Knott, V.B.: Size and form of the dental arches in children with good occlusion studied longitudinally from age 9 years to late adolescence; *Am. J. Phys. Anthrop.*, 19, 263-284, 1961.
- 15) Foster, T.D., Grundy, M.C. & Lavelle, C.L.B.: A longitudinal study of dental arch growth; *Am. J. Orthod.*, 72, 309-314, 1977.
- 16) Lavelle, C.L.B., Flinn, R.M., Foster, T.D. & Hamilton, M.C.: An analysis into age changes of the human dental arch by a multivariate technique; *Am. J. Phys. Anthrop.*, 33, 403-412, 1970.

- 17) Hayashi, T.: A mathematical analysis of the curve of dental arch; Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 3, 175-218, 1956.
- 18) 網干博文, 小野塚清史, 竹内俊裕, 水野 修, 大田 豊, 竹井哲司: フーリエ解析による上顎犬歯の性別判定; 日法医誌, 44 補, 261, 1990. [抄録]
- 19) 水野 修: フーリエ変換による上顎犬歯の性別判定; 日大歯学, 64, 874-883, 1990.
- 20) 網干博文, 竹内俊裕, 大田 豊, 岡村正美, 堤 博文, 竹井哲司: フーリエ解析による犬歯の性別判定; 日法医誌, 45 補, 139, 1991. [抄録]
- 21) 小野塚清史: フーリエ解析を応用した頭蓋の性別判定—前頭骨から鼻骨に至る側貌骨外形線による—; 日大歯学, 66, 975-983, 1992.
- 22) 大田 豊: フーリエ変換による下顎犬歯の性別判定; 日大歯学, 66, 437-444, 1992.
- 23) Aboshi, H., Kasai, K., Takei, T. & Richards, L.: The application of fourier analysis to the study of cranial morphology; I.A.D.R. Aust. and New Zealand div., 42, 1992. [抄録]
- 24) 岡田吉郎, 井上 仁, 伏見良隆, 山本直人: フーリエ変換による頭蓋骨前額部の男女形態的差異の研究; 科警研報告, 40, 147-153, 1987.
- 25) 相馬邦道, 羽立みよ子: フーリエ級数の顎態分析への適用に関する検討; 口病誌, 47, 135-144, 1980.
- 26) Lestrel, P.E., Kinbel, W.H., Prior, F.W. & Fleischmann, M.L.: Size and shape of the hominoid distal femur; Fourier analysis, Am. J. Phys. Anthropol., 46, 281-290, 1977.
- 27) Lestrel, P. E. & Brown, H. D.: Fourier analysis of adolescent growth of the cranial vault - A longitudinal study -; Human Biol., 48, 517-528, 1976.
- 28) 柏木茂昌: 下顎窩のX線学的形態に関する研究—フーリエ級数による女性下顎窩の形態の解析—; 九州歯会誌, 31, 125-153, 1977.
- 29) 関本恒夫: フーリエ解析による乳歯列の形態学的研究—歯列弓, 歯槽基底弓の大きさならびに形状について—; 歯学, 70, 849-868, 1983.
- 30) 大庭 健, 柏木茂昌, 竹井 力: フーリエ級数による曲線の解析—下顎窩のX線学的形態について—; 歯放線, 16, 189-197, 1976.
- 31) 尾崎 公, 上明戸 芳光, 鈴木隆延, 高木 一, 星野浩一, 鈴木盛勝: 歯の形のフーリエ解析 第1報—上顎第一大臼歯; 歯基礎誌, 19, 554-560, 1977.
- 32) 関川三男: 歯列弓形態のフーリエ解析; 歯基礎誌, 28, 43-61, 1986.
- 33) Hrdlicka, A.: Practical anthropometry; 2nd ed., Wistar, Philadelphia, p. 21-23, 1920.
- 34) 松倉豊治: 法医学; 初版, 永井書店, 大阪, p.69, 1974.
- 35) 石橋 宏: 個人識別; (四方一郎, 永野耐造編: 現代の法医学, 初版, 金曜出版, 東京), p. 301, 1977.
- 36) 青木利彦, 向井 敏: エッセイチャート社会法医学; 第1版, 医歯薬出版, 東京, p.293-294, 1978.
- 37) 瀬田季茂, 吉野峰生: 白骨死体の鑑定; 初版, 合文社, 東京, p.108-122, 1990.
- 38) Keen, J.A.: A study of the differences between male and female skull; Am. J. Phys. Anthropol., 8, 65-79, 1950.
- 39) Krogman, W.M.: The human skeleton in forensic medicine; 1st ed., C.C. Thomas, Springfield, p. 112-152, 1962.
- 40) Simpson, K. & Knight, B.: Forensic medicine; 9th ed., Edward Arnold, London, p. 21-30, 1985.
- 41) 大槻嘉男: 北陸日本人頭蓋骨の人類学的研究; 十全会誌, 35, 606-621, 1930.
- 42) 松元実義: 現代中部九州(肥後)人頭骨の人類学的研究; 熊本医会誌, 30, 834-870, 1956.
- 43) 三橋公平: 関東日本人頭蓋骨の人類学的研究; 千葉医会誌, 34, 248-283, 1958.
- 44) 安居院猛, 中嶋政之: FFTの使い方; 第8版, 産業報知センター, 東京, p. 11-64, 1981.
- 45) Lestrel, P.E.: Some problems in the assessment of morphological size and shape differences; Yearbook Phys. Anthropol., 18, 140-162, 1974.