原著論文

踵骨の距骨関節面の形態変異について I ——現代日本人資料を用いた基礎形態学的研究——

田中健太郎^{*1,2}, 澤田 純明², 坂上 和弘², 百々 幸雄²

¹ 東北大学大学院医学系研究科整形外科学分野

² 東北大学大学院医学系研究科人体構造学分野

(平成 16 年 8 月 30 日受付, 平成 16 年 10 月 15 日受理)

要 約

踵骨の距骨関節面にみられる形態変異の形態学的意義や機能的意義については、いまだ統一された見解が得られていない。本研究では、性別と年齢が既知である現代日本人成人骨格標本を用い、踵骨の距骨関節面を Single Facet Type, Continuous Type, Demarcated Type, Separate Type, No Anterior Facet Type の 5 型に分類して形態学的分析を行った。その結果、1) 出現パターンに強い左右の連関が認められた; 2) 出現頻度に左右差はみられなかった; 3) 出現頻度の性差には 5% 水準で有意差が認められた; 4) 出現頻度に年齢差はみられなかった; 5) 踵骨と距骨の関節面形態は各分類型でほぼ一対一の対応関係を示した; 6) 前・中距骨関節面は Continuous Type で浅く、Demarcated Type, Separate Type の順に深くなるという所見が得られた。これらの結果に先行論文の知見を踏まえると、踵骨の距骨関節面の形態変異が遺伝的背景の濃い“形態小変異”のひとつであるとしても、その機能的側面を無視することができないことが示唆された。

キーワード: 踵骨, 距骨関節面, 形態変異, 分類, 現代日本人

Morphological Variation in Talar Joint Facets of the Human Calcaneus I. : Basic Morphological and Statistical Analyses

Kentaro Tanaka^{*1,2}, Junmei Sawada², Kazuhiro Sakaue², and Yukio Dodo²

¹Department of Orthopaedic Surgery, Tohoku University School of Medicine, Sendai

²Department of Anatomy and Anthropology, Tohoku University School of Medicine, Sendai

(Received 30 August 2004; accepted 15 October 2004)

Abstract

The talar joint facets of the calcaneus were classified into 5 types according to their configuration: single facet type, continuous type, demarcated type, separate type, and no anterior facet type. Side association, side difference, sex difference, and age change in the incidence of occurrence of the 5 types, and association between the morphological classifications of the joint surfaces of the calcaneus and talus were investigated using a dissecting room Japanese skeletal series of known sex and age. Measurements were also taken for the length

*東北大学大学院医学系研究科整形外科学分野

〒980-8575 仙台市青葉区星陵町 1-1

E-mail: kntrtnk@mail.goo.ne.jp

©2004 The Anthropological Society of Nippon

and depth of the anterior and middle talar facets of the calcaneus. The results showed that 1) Each individual type of talar joint facet was highly associated by side; 2) No side difference in trait incidence was found; 3) The sex difference in trait incidence was significant at the 5% level; 4) No age change in trait incidence from the young adult to the elderly was found; 5) A strong association was observed between the calcaneal and talar joint facet configurations: continuous vs. smooth, demarcated vs. angular, and separate vs. grooved; and 6) The depth of the anterior and middle talar facets of the calcaneus was greater in the separate type. Taking these results and the results of previous studies into consideration, it is concluded that the morphological variation in talar joint facets of the calcaneus may be regarded as not only one of the infracranial nonmetric traits under genetic control, but also a trait of some functional significance.

Key words: calcaneus, talar joint facets, variation, classification, modern Japanese

はじめに

ヒト“距踵関節”は、骨間靱帯を境界として前方に位置する距踵舟関節と後方に位置する距骨下関節に二分される。距踵舟関節は、踵骨内側に存在する載距突起と距骨頸部が関節する中関節面、および踵骨前内側部と距骨頭が関節する前関節面の2面により構成され、距骨下関節の後関節面を併せると、距踵関節には前・中・後の3面の関節面が存在する。しかしながら、その関節面の数と形態には多様性があることが以前から指摘されていた。

解剖学の成書、例えば Quain's Elements of Anatomy 11th ed. (Bryce, 1915) や Gray's Anatomy 38th ed. (Williams, 1995) には、踵骨の前方の関節面には載距突起の前縁に関節しない間隙があり、これにより前方の関節面はしばしば分割され、前と中の距骨関節面が形成されると記載されている。一方、Frazer's Anatomy of the Human Skeleton 6th ed. (Brethnach, 1965) の記載によれば、踵骨の載距突起上に中距骨関節面、踵骨の遠位部に前距骨関節面が存在し、程度に差はあるものの、両者は常に分離して存在するという。我が国の古典的解剖書である鈴木文太郎(1918)の人體系統解剖學には、踵骨の前距骨関節面と中距骨関節面の多くは連続して存在するが、まれに分離することがあると記載されている。

つまり距踵関節面、特にその前方の関節面の形態に変異があることは明白なのであるが、その形態学的意義や機能的意義については不明の点が多い。その問題を明らかにすべく、踵骨の距骨関節面の形態的変異について、その分類や出現頻度等を調査する研究が古くから行われてきた。

Laidlaw (1905) は踵骨の前距骨関節面と中距骨関節面が分離しているか否かに注目し、750 例の踵骨について、

それぞれの出現頻度を調査した。ケンブリッジ大学に所蔵されている様々な人類集団の踵骨を一括して出現頻度を求めたところ、分離していないものが69%を占め、そのうち前関節面と中関節面の間がくびれや線状構造物で区画されないものが全体の40%あり、前関節面が存在しないものが7例観察されたと報告している。

Bunning (1964) と Bunning and Barnett (1965) は、踵骨の距骨関節面の形態変異を多集団間で比較し、その人類学的意義を考察した。彼らは、関節面の数で踵骨を Single Facet Type, Two Facet Type, Three Facet Type の3型に分類し、ナイジェリア人、イギリス人、インド人およびヴェッダ人でそれぞれの出現頻度を比較した。その結果、i) これらの集団間で出現頻度に差がみられる。ii) 左右差はみられない。iii) 性差がみられる集団がある。iv) 胎児資料の観察が可能であったナイジェリアとイギリスの集団では、成人と胎児における出現頻度に大きな差がない」ことを明らかにした。これらの結果、特に胎児と成人間で出現頻度に差がないということから判断して、彼らは、踵骨の距骨関節面の形態変異は、経年的な変化によるものではなく、遺伝的に決定されたものであろうと結論した。

その後 El-Eishi (1974) はエジプト人での調査で、前距骨関節面が存在せず、中関節面が載距突起上にのみある型を追加し、踵骨の距骨関節面の形態変異を4型に分類した。Gupta et al. (1977) はインド人の調査で、また Campos and Pellico (1989) は出自不明の踵骨の調査で、前距骨関節面と中距骨関節面が連続している例をくびれが存在する型と存在しない型に細分し、さらに前関節面と中関節面が分離している例を、両者の距離が徐々に離れてゆき、最終的には前関節面が消失するまでの4亜型に分類した。

国内では、砂田(1932)が北陸日本人について、豊福

(1959) が北部九州日本人について、踵骨の前距骨関節面と中距骨関節面が分離している例と分離していない例の割合を調査した。Yamaguchi (1981) は四肢骨の非計測的形態小変異のひとつとして、踵骨の前・中距骨関節面が分離する変異型を取り上げ、その出現頻度を現代日本人、北海道アイヌ、北米インディアン（オンタリオ・イロコワ）について求め、三集団の系統関係を論じた。Nakashima and Hojo (1986) は、Bunning (1964) の3型分類に従って、中部九州人の踵骨資料を調査したが、中部九州人では、前・中関節面が分離する頻度が男性で非常に高く、著しい性差がみられるという点で、これまでに報告された現代日本人とは大きく異なっている。

一方、距踵関節の機能的側面に注目した研究もある。Bruckner (1987) は、踵骨の距骨関節面の形態変異が距踵関節の運動に影響するのではないかと考えた。彼は距骨関節面を2関節面と3関節面に分類し、その踵骨標本の側面輪郭像を用いて、踵立方関節面、距骨下関節面、踵骨底面のそれぞれがなす角度を計測し“calcaneal angle of inclination”は2関節面の方が有意に小さくなることを見いだした。このことから、3関節面を有する踵骨より2関節面の方が、距骨と踵骨間の動きが大きくなるであろうと結論した。

この研究を受けて Drayer-Verhagen (1993) は、関節面の形態変異により距踵関節の動きに差が出るのであれば、踵骨の前距骨関節面と中距骨関節面のなす角度にも違いが出てくるであろうと推測した。彼は、踵骨の前・中関節面を連続型、分離型、前関節面消失型の3型に分類し、前関節面と中関節面を矢状面に投影した角度を計測した。角度は、分離型、前関節面消失型、連続型の順に大きくなり、連続型の方が分離型より距踵関節の安定性が劣ると考えた。さらに、ほぼ同年齢の踵骨資料では、前・中関節面が連続するものに関節周縁骨増殖 (arthritic lipping) が有意に多く出現していることを見だし、彼の主張の正当性を裏付けた。

村田・坂井 (1994) は踵骨の前・中距骨関節面を、連続型、くびれ型、分離型の3型に分類した上で、解剖学実習用非乾燥標本を詳しく解剖し、これら3型は関節包周囲の靱帯の形態と深く関係していることを明らかにした。すなわち、分離型とくびれ型の一部に、底側踵舟靱帯など関節包周囲の靱帯の介在が認められるという。さらに距踵関節の可動性を半定量的に観察したところ、分離型、くびれ型、連続型の順に可動性が大きくなる傾向があることを示した。

このように研究史をふり返ってみると、踵骨の距骨関

節面の形態変異に関する研究には二つの流れがあることが分かる。ひとつは、この変異を人類学領域でいう“形態小変異”とみなす立場である。形態小変異というのは、機能的意義をほとんど持たず、その発現が主として遺伝的因子により決定されていると考えられる変異で、人類集団の系統関係を解明する指標としてよく用いられている (Berry and Berry, 1967; Ossenberg, 1970; Dodo, 1974; など)。この流れに沿う踵骨の関節面に関する研究としては、Bunning and Barnett (1965) に始まり、Saunders (1978)、Finnegan (1978)、Yamaguchi (1981) などがある。もうひとつは、踵骨の距骨関節面の形態変異に機能的意義があるという立場で、Bruckner (1987)、Drayer-Verhagen (1993)、村田・坂井 (1994) の研究がこれに含まれる。

本研究は、踵骨の距骨関節面の形態変異を、機能的意義をほとんど有しない形態小変異とみなすべきなのか、この変異に少なからず機能的な意義があるのかを明らかにするために企画されたもので、次のように二部構成からなる。

第I部は、年齢・性別が明らかな近・現代日本人資料を用いた基礎形態学的研究で、踵骨の距骨関節面の分類体系を見直した上で、左右の連関、左右差、性差、年齢差、距骨の踵骨関節面との対応、および前・中関節面の基本統計量を論じる。第II部は、時代・地域を異にする日本列島諸集団の踵骨資料を用いて、時代差・地域差などを論じる人類学的研究である。

資 料

左右の踵骨と距骨が存在し、性別と年齢が明らかで、しかも病変や外傷のない近・現代日本人（以下現代日本人）の骨格標本351体702側（男性194体388側、女性157体314側）を用いた。これらは千葉大学医学部、東京大学総合研究博物館、東京慈恵会医科大学、および京都大学理学部に所蔵されている標本である（表1）。年齢の下限は、踵骨骨端の骨化がほぼ完了する15歳とした。資料の年齢分布は表2に示した。

表1 現代日本人踵骨資料

コレクション	男性		女性	
	個体数	側数	個体数	側数
千葉大学	89	178	28	56
東京大学	62	124	19	38
慈恵医科大学	0	0	72	144
京都大学	43	86	38	76
計	194	388	157	314

表2 年齢別資料数

年齢	男性		女性	
	個体数	側数	個体数	側数
15～19	4	8	9	18
20～29	47	94	42	84
30～39	50	100	28	56
40～49	45	90	25	50
50～59	26	52	22	44
60～69	11	22	18	36
70～79	11	22	10	20
80～89	0	0	2	4
90～99	0	0	1	2
計	194	388	157	314

方 法

1. 関節面の形態分類

Bunning (1964) や Gupta et al. (1977) および Campos and Pellico (1989) の分類基準に加えて、ヒトの未成熟個体 (図1), 大型類人猿の未成熟・成熟個体の踵骨を参照にしながら、踵骨の距骨関節面の形態変異を以下の5型に分類した (図2)。

- i) Single Facet Type: 前・中・後関節面が連続してひとつの関節面を形成している。
- ii) Continuous Type: 後関節面は独立するが、前・中関節面は連続してひとつの滑らかな関節面を形成する。
- iii) Demarcated Type: 後関節面は独立する。前・中関節面の周縁は連続して一続きの関節面を形成するが、前と中関節面の境界部に微かな骨隆起を認め、前関節面と中関節面の領域が区別できる。前・中関節面の間にくびれが見られることが多い。
- iv) Separate Type: 前・中・後関節面がすべて分離して独立する。
- v) No Anterior Facet Type: 後関節面は独立し、中関節面が載距突起上に存在するが、前関節面が明確には存在しない。多くは前関節面に相当する部分が粗面となっている。

図1aにみるように、踵骨の距骨関節面の骨化が十分でない場合には、関節面はSingle Facet Typeの状態を示す。距骨関節面の骨化が完了すると、図1b, cに示すように前・中関節面に形態変異が発現する。大型類人猿の場合、未成熟個体ではヒトと同様に関節面はSingle Facet Typeの状態を示すが、骨化が完了しても前・中関節面はすべてContinuous Typeであった (チンパンジー未成熟個体18側, 成熟個体8側; オランウータン成熟個体6側; ゴリ

図1 小児踵骨の距骨関節面

a, 青森県浜尻屋遺跡出土6～7歳小児の左右踵骨。左右とも前・中・後関節面が連続してひとつの関節面を形成するSingle Facet Type。b, 北海道有珠モシリ遺跡出土の約10歳の小児左側踵骨。後関節面は独立するが前・中関節面が連続してひとつの滑らかな関節面を形成するContinuous Type。c, 現代日本人12歳小児の右側踵骨。中関節面は載距突起上に存在するが前関節面が存在しないNo Anterior Facet Type。

ラ成熟個体2側: これらの資料は、京都大学霊長類研究所、日本モンキーセンター、および東京大学総合研究博物館所蔵)。

このような所見から判断して、ここでは関節面の5型分類を次のように連続した形態変異であると仮定してみる。まずSingle Facet Typeを踵骨の距骨関節面の原初形態と考える。次いで後関節面と前・中関節面が分離することによってContinuous Typeが形成され、さらに前・中

図2 踵骨の距骨関節面の5型分類

- i) Single Facet Type: 前・中・後関節面が連続してひとつの関節面を形成している。
 ii) Continuous Type: 後関節面は独立するが、前・中関節面は連続してひとつの滑らかな関節面を形成する。
 iii) Demarcated Type: 後関節面は独立する。前・中関節面の周縁は連続して一続きの関節面を形成するが、前と中関節面の境界部に微かな骨隆起を認め、前関節面と中関節面の領域が区別できる。
 iv) Separate Type: 前・中・後関節面がすべて分離して独立する。
 v) No Anterior Facet Type: 後関節面は独立し、中関節面が載距突起上に存在するが、前関節面は存在しない。

関節面の境界部がくびれ、肉眼的に微かな骨隆起が認められるようになると、Demarcated Type になる。このくびれや骨隆起が発達し、前関節面と中関節面が分離すると Separate Type になり、前関節面が前方に変移しつつやがて消失すると No Anterior Facet Type が形成される。この Separate Type から No Anterior Facet Type への連続的移行は、Gupta et al. (1977) の写真と Campos and Pellico (1989) の模式図にも示されている。

踵骨と同様の手順で、距骨の踵骨関節面の形態変異も次のような5型に分類した(図3)。

- i) Single Facet Type: 前・中・後関節面が連続してひとつの関節面を形成する。
 ii) Smooth Type: 後関節面は独立するが、前関節面と中

関節面が連続してひとつの滑らかな関節面となっている。

- iii) Angular Type: 後関節面は独立。前関節面と中関節面は連続してひとつの関節面となるが、その境界が角度をなし、前・中関節面の領域が区別できる。
 iv) Grooved Type: 後関節面は独立。前関節面と中関節面の境界部に溝が存在し、前・中関節面が分離する。
 v) No Anterior Facet Type: 後関節面は独立。中関節面は存在するものの、前関節面が明確には認められず、距骨の踵舟靭帯関節面と区別できない。

2. 統計処理

上記の定義に従って踵骨と距骨の関節面変異型の出現状態を調査した。踵骨の距骨関節面の左右の連関、左右

図3 距骨の踵骨関節面の5型分類

- i) Single Facet Type: 前・中・後関節面が連続してひとつの関節面を形成する。
 ii) Smooth Type: 後関節面は独立するが、前関節面と中関節面が連続してひとつの滑らかな関節面を形成する。
 iii) Angular Type: 後関節面は独立。前関節面と中関節面は連続してひとつの関節面となるが、その境界が角度をなし、前・中関節面の領域が区別できる。
 iv) Grooved Type: 後関節面は独立。前関節面と中関節面の境界部に溝が存在し、前・中関節面が分離する。
 v) No Anterior Facet Type: 後関節面は独立。中関節面は存在するものの、前関節面が明確には認められず、距骨の踵舟靭帯関節面と区別できない。

差, 性差, 年齢差, および距骨の踵骨関節面との連関については, $r \times c$ 分割表を作成し, その独立性についてカイ二乗検定を行った。5%の危険率で独立性が棄却された場合は, 必要に応じて残差分析を行い有意なカイ二乗値をもたらしたカテゴリーを特定化した (Everitt, 1977)。

Single Facet Type と No Anterior Facet Type の出現度数が極端に少なかったため, 前述したように Single Facet Type から No Anterior Facet Type への形態的連続性を仮定して, Single Facet Type を Continuous Type に, No Anterior Facet Type を Separate Type に併合して検定を実施した。また年齢差の検定にあたっては, 15 歳から 29 歳の群, 30 歳から 49 歳の群, 50 歳以上の群の 3 群に分類して, カイ二乗検定を行った。統計学的処理には, SPSS 社の SPSS 11.5 J for Windows を使用した。

3. 前・中関節面の計測

踵骨の前・中関節面の深さが, Continuous Type, Demarcated Type および Separate Type で異なるか否かを調べるために, 以下の計測を行った (図4)。前関節面の前縁最上点を A, 中関節面の後縁最上点を B とし, 線分 AB から関節面に降ろした垂線の最深点を C とした。Separate Type では点 C が前関節面と中関節面を隔てる溝に一致するために, 両関節面を薄いドラフティングテープで架橋し連続する仮想関節面を作成した上で点 C を設定した。仮想関節面は実際の関節面に近似するように, 踵骨と距骨を関節させ, テープが関節面の湾曲に沿うように

作成した。

このように設定された点 A, B, C について, デジタルノギス (Digimatic Caliper, Mitutoyo) で A-B, A-C, B-C の距離を計測し, 三角関数を用いて線分 A-B から C までの深さを求めた。さらにその深さを線分 A-B で除して深さ示数とした。

男女, 左右別に, A-B 距離, 深さ, 深さ示数を Continuous Type, Demarcated Type, Separate Type 間で比較し, 一元配置の分散分析により有意差の検定を行った。有意差検定に先立って, 線計測および示数の正規性を Kolmogorov-Smirnov 検定にて, さらに等分散性を Leven の検定で確認した。また, 分散分析にて有意差が認められた項目については, Tukey の HSD 検定を実施し, 有意差をもたらした組み合わせを特定した。統計学的処理は, SPSS 11.5 J for Windows によった。

結 果

以下, 表中の省略記号に合わせて, 踵骨の Single Facet Type を SINGL, Continuous Type を CONT, Demarcated Type を DEMAC, Separate Type を SEP, No Anterior Facet Type を NO-ANT と記載する。同様に距骨の Single Facet Type を SINGL, Smooth Type を SMOOTH, Angular Type を ANGLE, Grooved Type を GROOVE, No Anterior Facet Type を NO-ANT と省略した。

図4 踵骨の前・中距骨関節面の計測点

A, 前関節面の前縁最上点。B, 中関節面の後縁最上点。C, 線分 AB から前・中関節面に降ろした垂線の最深点。

但し, Separate Type では前関節面と中関節面の間に溝が存在するため, 薄いドラフティングテープで架橋し連続する仮想関節面を作成して点 C を設定した。

1. 左右の連関 (表3)

踵骨の距骨関節面の変異形態は、男女とも左右で有意に連関する ($p=0.000$)。左右の一致率は男性では 79.9%，女性では 84.7% である。男性では、左側が CONT の場合、右も CONT であるケースが 44/55 (80.0%)，DEMAC であるケースが 9/55 (16.4%)，SEP であるケースが 2/55 (3.6%) で、NO-ANT であるケースは 0 である。左側が SEP である場合、右側が CONT であるケースは 3/69 (4.3%)，DEMAC であるケースは 12/69 (17.4%)，SEP であるケースが 54/69 (78.3%) で、NO-ANT であるケースは 0 である。女性でもほぼ同じような傾向がみられ、形態分類の項で述べたように、SINGL → CONT → DEMAC → SEP → NO-ANT という変異の連続性を仮定すると、左右の組み合わせで CONT と NO-ANT のように隣接する二つを超えた型が対応する例はなかった。

2. 左右差 (表4)

踵骨の距骨関節面各型の出現頻度に、男女とも左右差は認められなかった (男性 $p=0.401$ ；女性 $p=0.883$)。

3. 性差 (表5)

踵骨の距骨関節面各型の性差は、右側のみの出現頻度では有意差はみられなかった ($p=0.187$)。しかし、左右をプールした資料でみると、5%水準で有意差がみられ、残差分析の結果、男性は女性よりも SEP が有意に多いことが示された。

4. 年齢差 (表6)

左右両側の資料を用いて、踵骨の距骨関節面各型の年齢別出現頻度を比較したが、男性、女性とも 15 歳を越えた年齢段階では、有意な差は認められなかった (男性 $p=0.438$ ；女性 $p=0.702$)。

5. 踵骨と距骨の連関 (表7)

同一個体を用いて踵骨と距骨の関節面変異形態の連関を調べた。男女とも連関は明らかに有意で ($p=0.000$)，踵骨の CONT は距骨の SMOOTH に、踵骨の DEMAC は距骨の ANGLE と SMOOTH に、踵骨の SEP は距骨の GROOVE と ANGLE に対応している。

図 5a に踵骨が CONT で距骨が SMOOTH の例、図 5b に踵骨が SEP で距骨が GROOVE の例を示した。踵骨が SEP である例の方が明らかに前・中関節面のなす角度が鋭い印象を受ける。そこで次に、踵骨の前・中関節面の深さを評価する計測を行った。

6. 踵骨の前・中関節面の計測 (表8)

右踵骨についての計測結果を表 8 に示した。男性では、前・中関節面の長さ (A-B 距離)、深さ (D)、深さ示数 (D/A-B) のすべての項目で 5%水準で有意差がみられ

表3 踵骨の距骨関節面の左右の連関

男性		SINGL	CONT	DEMAC	SEP	NO-ANT	計
左	右						
	SINGL	0	1	0	0	0	1
	CONT	0	44	9	2	0	55
	DEMAC	0	6	47	5	0	58
	SEP	0	3	12	54	0	69
	NO-ANT	0	0	2	2	7	11
計		0	54	70	63	7	194

SINGL: Single Facet Type CONT: Continuous Type DEMAC: Demarcated Type SEP: Separate Type NO-ANT: No Anterior Facet Type

左	右	CONT*	DEMAC	SEP**	計
CONT*		45 (15.6)	9 (20.2)	2 (20.2)	56
DEMAC		6 (16.1)	47 (20.9)	5 (20.9)	58
SEP**		3 (22.3)	14 (28.9)	63 (28.9)	80
計		54	70	70	194

( ) は期待値 * SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=193.79$ d.f.=4 $P=0.000$
 左右の一致率: 79.9%

女性		SINGL	CONT	DEMAC	SEP	NO-ANT	計
左	右						
	SINGL	0	0	0	0	0	0
	CONT	0	47	5	0	0	52
	DEMAC	0	7	47	3	1	58
	SEP	0	0	8	36	1	45
	NO-ANT	0	0	0	0	2	2
計		0	54	60	39	4	157

左	右	CONT*	DEMAC	SEP**	計
CONT*		47 (17.9)	5 (19.9)	0 (14.2)	52
DEMAC		7 (19.9)	47 (22.2)	4 (15.9)	58
SEP**		0 (16.2)	8 (18.0)	39 (12.9)	47
計		54	60	43	157

( ) は期待値 * SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=192.61$ d.f.=4 $P=0.000$
 左右の一致率: 84.7%

た。Tukey の HSD 検定によれば、A-B 距離では DEMAC と SEP の間、深さと深さ示数では CONT と SEP の間に有意差が検出されている。左の踵骨ではいずれの項目にも有意差はみられなかったが、深さと深さ示数が CONT, DEMAC, SEP の順に大きくなる傾向は、右側と同様であった。

女性では、A-B 距離に有意差はみられなかったが、深さと深さ示数には 1%水準で有意差が認められた。Tukey

表4 踵骨の距骨関節面の左右差

男性						
	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
右	0 (0.0)	54 (27.8)	70 (36.1)	63 (32.5)	7 (3.6)	194
左	1 (0.5)	55 (28.4)	58 (29.9)	69 (35.6)	11 (5.7)	194
計	1 (0.3)	109 (28.1)	128 (33.0)	132 (34.0)	18 (4.6)	388

	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
右	54 (27.8)	70 (36.1)	70 (36.1)	194
左	56 (28.9)	58 (29.9)	80 (41.2)	194
計	110 (28.4)	128 (33.0)	150 (38.7)	388

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=1.828$ d.f.=2 P=0.401

女性						
	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
右	0 (0.0)	54 (34.4)	60 (38.2)	39 (24.8)	4 (2.5)	157
左	0 (0.0)	52 (33.1)	58 (36.9)	45 (28.7)	2 (1.3)	157
計	0 (0.0)	106 (33.8)	118 (37.6)	84 (26.8)	6 (1.9)	314

	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
右	54 (34.4)	60 (38.2)	43 (27.4)	157
左	52 (33.1)	58 (36.9)	47 (29.9)	157
計	106 (33.8)	118 (37.6)	90 (28.7)	314

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=0.249$ d.f.=2 P=0.883

のHSD検定では、深さと深さ示数ともCONTとDEMAC間が5%、CONTとSEP間が1%水準で有意であった。左側の踵骨でも同様な結果が得られているが、深さと深さ示数の有意水準はさらに低く、0.1%以下であった。

これらの結果は、踵骨の前・中距骨関節面は、CONT、DEMAC、SEPの順に絶対的にも相対的にも深くなっていくことを示している。その傾向は男性より女性に顕著であった。

考 察

1. 関節面の形態分類

踵骨の前・中距骨関節面の形態に変異があることは19世紀から知られていたが（例えば、Hyrtl, 1889; Testut, 1896）、踵骨の距骨関節面の形態変異が人類学者の関心を集めるようになったのは、Bunning (1964) がこの関節面をSingle Facet Type, Two Facet Type, Three Facet Typeの3型に分類してからである。彼のSingle Facet Typeは本研究のSingle Facet Typeに、Two Facet TypeはContinuous/Demarcated Typeに、Three Facet TypeはSeparate Typeにそれぞれ対応する。

Two Facet Type, すなわち後距骨関節面が独立し、前・中距骨関節面が連続しているタイプはその後、Gupta et al. (1977), Campos and Pellico (1989), 村田・坂井 (1994) により、前・中関節面にくびれの有るものと無いものに細分された。しかし実際には、どこからを“くびれ”とするかを客観的に判定することが困難であったので、本研究では、くびれの有る無しにかかわらず、微かな骨隆起によって前関節面と中関節面の領域が区別できるか否かによって、Continuous TypeとDemarcated Typeに分類した。結果的には後者に明確なくびれが伴う例が多かった。

Three Facet Type, すなわち前・中関節面が分離している例を、Gupta et al. (1977) は間隙が2mm未満のもの、2mm以上5mm未満のもの、5mm以上のものの3亜型に細分している。Campos and Pellico (1989) も、間隙が2mm未満のもの、2mm以上5mm未満のもの、5mm以上のものに細分しているが、極端に分離した例として前関節面が消失したものを追加し、全部で4亜型に細分している。Bunning (1964) には、前関節面が存在せず、中関節面のみが載距突起上にある例が記載されていないが、

表5 踵骨の距骨関節面の性差

右側

	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
男	0 (0.0)	54 (27.8)	70 (36.1)	63 (32.5)	7 (3.6)	194
女	0 (0.0)	54 (34.4)	60 (38.2)	39 (24.8)	4 (2.5)	157
計	0 (0.0)	108 (30.8)	130 (37.0)	102 (29.1)	11 (3.1)	351

	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
男	54 (27.8)	70 (36.1)	70 (36.1)	194
女	54 (34.4)	60 (38.2)	43 (27.4)	157
計	108 (30.8)	130 (37.0)	113 (32.2)	351

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=3.358$ d.f.=2 P=0.187

両側

	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
男	1 (0.3)	109 (28.1)	128 (33.0)	132 (34.0)	18 (4.6)	388
女	0 (0.0)	106 (33.8)	118 (37.6)	84 (26.8)	6 (1.9)	314
計	1 (0.1)	215 (30.6)	246 (35.0)	216 (30.8)	24 (3.4)	702

	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
男	110 (28.4)	128 (33.0)	150 (38.7)	388
女	106 (33.8)	118 (37.6)	90 (28.7)	314
計	216 (30.8)	246 (35.0)	240 (34.2)	702

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=7.766$ d.f.=2 P=0.021

El-Eishi (1974) はこの例をひとつの型として独立させている。Gupta et al. (1977) も中関節面しか存在しない例を独立した型に分類しているが、彼は Campos and Pellico (1989) と同様に前関節面の消失を前・中関節面が著しく分離した結果生じると考えているようである。これに対して Nakashima and Hojo (1986) は、前関節面がなく中関節面しか存在しない例を、踵骨の距骨関節面が2面しか存在しないという理由で、Bunning (1964) の Two Facet Type に分類している。

前関節面が存在せず中関節面のみが載距突起上にある例を、どの型に分類するかはなかなか難しい問題である。本研究では No Anterior Facet Type として独立させたが、基本的には Gupta et al. (1977) や Campos and Pellico (1989) と同様、Separate Type の前関節面が極端に前方に変移し、その部分が粗面と化したと考えた。

Bunning (1964) は、関節面が癒合することによって、Three Facet Type → Two Facet Type → Single Facet Type に移行するという形態的な流れを考えたが、本研究ではこれとまったく逆の流れを想定した。すなわち、方法の項で述べたように、ヒトの未成熟個体や大型類人猿の未成熟・

成熟個体の踵骨にみられる関節面の形態を判断根拠として、Single Facet Type を踵骨の距骨関節面の原初的な形態と考え、Single Facet Type → Continuous Type → Demarcated Type → Separate Type → No Anterior Facet Type という連続的な形態変異の流れを仮想した。

このように5型分類の連続性を仮定することが妥当であるか否かを、尺骨の滑車関節面の二分傾向を連続する7型に分類した Yamaguchi (1972) の思考法に準拠し、形態変異の左右の連関度に注目して検証してみた。表3に示したように、連関度は男女とも極めて高く、各型は左右でよく一致しており、一致しないものでも隣接する型と対応する例が大部分であった。一番問題になるのは No Anterior Facet Type の位置づけであるが、男女とも No Anterior Facet Type も左右で一致する例が最も多く、それ以外では Separate Type か Demarcated Type のみと対応していた。

すなわち、ここで分類した各型は No Anterior Facet Type も含めて、出現状態は左右でよく一致し、一致しなくとも隣接する型と対応する例が多いという規則性がみられた。このような結果から判断すれば、Single Facet

表6 踵骨の距骨関節面の年齢差

男性・両側						
年齢	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
15～29	0(0.0)	31(30.4)	29(28.4)	40(39.2)	2(2.0)	102
30～49	1(0.5)	55(28.9)	60(31.6)	62(32.6)	12(6.3)	190
50～	0(0.0)	23(24.0)	39(40.6)	30(31.3)	4(4.2)	96
計	1(0.3)	109(28.1)	128(33.0)	132(34.0)	18(4.6)	388

年齢	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
15～29	31(30.4)	29(28.4)	42(41.2)	102
30～49	56(29.5)	60(31.6)	74(38.9)	190
50～	23(24.0)	39(40.6)	34(35.4)	96
計	110(28.4)	128(33.0)	150(38.7)	388

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=3.774$ d.f.=4 P=0.438

女性・両側						
年齢	SINGL (%)	CONT (%)	DEMAC (%)	SEP (%)	NO-ANT (%)	計
15～29	0(0.0)	36(35.3)	33(32.4)	31(30.4)	2(2.0)	102
30～49	0(0.0)	35(33.0)	44(41.5)	24(22.6)	3(2.8)	106
50～	0(0.0)	35(33.0)	41(38.7)	29(27.4)	1(0.9)	106
計	0(0.0)	106(33.8)	118(37.6)	84(26.8)	6(1.9)	314

年齢	CONT* (%)	DEMAC (%)	SEP** (%)	計
15～29	36(35.3)	33(32.4)	33(32.4)	102
30～49	35(33.0)	44(41.5)	27(25.5)	106
50～	35(33.0)	41(38.7)	30(28.3)	106
計	106(33.8)	118(37.6)	90(28.7)	314

* SINGL を含む ** NO-ANT を含む
 $\chi^2=2.138$ d.f.=4 P=0.702

Type から No Anterior Facet Type へという 5 型分類の連続的な形態変異の流れを仮想することに、それほど大きな誤りはなかったと考えることができる。

2. 出現頻度

(1) 左右差

本研究結果からは、各型の出現頻度に左右差は認められなかった(表4)。国内外のこれまでの研究でも、Separate Type の出現頻度に左右差がみられたという報告はないので(砂田, 1932; 豊福, 1959; Bunning, 1964; Finnegan, 1978; Saunders, 1978; Padmanabhan, 1986; Nakashima and Hojo, 1986; Campos and Pellico, 1989; 村田・坂井, 1994), 現生人類では、踵骨の前・中距骨関節面の分離型と非分離型の出現頻度に左右差はないと考えて大過なさそうである。

(2) 性差

これまでに報告された現代日本人についての研究結果を表9に示したが、北陸(砂田, 1932), 北九州(豊福, 1959), 東京(村田・坂井, 1994)の日本人では, Separate

Type の出現頻度に性差は観察されていない。しかし, Nakashima and Hojo (1986) が報告した中部九州人では, 0.1%水準での明確な性差が検出されている。これは男性の Separate Type の出現頻度が日本人としては異様に高い(61.8%) ことに起因しており, 判定基準が他とやや異なるか, あるいはサンプリング・バイアスがかかった標本に基づいた結果である可能性が考えられる。

本研究での各型の出現頻度の性差は, 右側の踵骨に限った場合は有意ではなかったが, 左右の踵骨をプールした資料では5%水準での有意差が検出された。Separate Type が男性で10%ほど多いという結果である(表5)。しかし, この5%水準で有意な性差も, 第II部で述べるように, 出身地不明の東京大学の資料を除外して新たに九州大学の資料を付け加えることで完全に消失してしまうので, それほど明確な差異ではないと考えて大過なさそうである。

海外の文献を見ても, 明確な性差が報告されているのはナイジェリア人(Bunning, 1964)のみで, イギリス人

表7 踵骨と距骨の関節面の連関

男性・右側						
踵骨 \ 距骨	SINGL	SMOOTH	ANGLE	GROOVE	NO-ANT	計
SINGL	0	0	0	0	0	0
CONT	0	51	3	0	0	54
DEMAC	0	24	46	0	0	70
SEP	0	1	38	22	2	63
NO-ANT	0	0	0	0	7	7
計	0	76	87	22	9	194

踵骨 SINGL: Single Facet Type CONT: Continuous Type DEMAC: Demarcated Type

SEP: Separate Type NO-ANT: No Anterior Facet Type

距骨 SINGL: Single Facet Type SMOOTH: Smooth Type ANGLE: Angular Type

GROOVE: Grooved Type NO-ANT: No Anterior Facet Type

踵骨 \ 距骨	SMOOTH*	ANGLE	GROOVE**	計
CONT*	51 (21.2)	3 (24.2)	0 (8.6)	54
DEMAC	24 (27.4)	46 (31.4)	0 (11.2)	70
SEP**	1 (27.4)	38 (31.4)	31 (11.2)	70
計	76	87	31	194

( ) は期待値 * SINGL を含む ** NO-ANT を含む

 $\chi^2=149.68$ d.f.=4 P=0.000

女性・右側						
踵骨 \ 距骨	SINGL	SMOOTH	ANGLE	GROOVE	NO-ANT	計
SINGL	0	0	0	0	0	0
CONT	0	51	3	0	0	54
DEMAC	0	23	37	0	0	60
SEP	0	0	24	15	0	39
NO-ANT	0	0	0	0	4	4
計	0	74	64	15	4	157

踵骨 \ 距骨	SMOOTH*	ANGLE	GROOVE**	計
CONT*	51 (25.5)	3 (22.0)	0 (6.5)	54
DEMAC	23 (28.3)	37 (24.5)	0 (7.3)	60
SEP**	0 (20.3)	24 (17.5)	19 (5.2)	43
計	74	64	19	157

( ) は期待値 * SINGL を含む ** NO-ANT を含む

 $\chi^2=122.51$ d.f.=4 P=0.000

(Bunning and Barnett, 1965), インド人 (Padmanabhan, 1986), アメリカ白人および黒人 (Finnegan, 1978), アメリカ・インディアンおよびエスキモー／アリュート (Saunders, 1978) には性差は認められていない。したがって Separate Type の出現頻度の性差は、いくつかの例外を除いては、それほど問題にならないと考えて差し支えないように思われる。

(3) 年齢差

踵骨の骨化が完了した後の資料で、関節面形態変異の年齢変化を検討した研究はごく限られている。Finnegan (1978) は 20 歳以上のアメリカ白人と黒人について、Saunders (1978) はアメリカ・インディアンとエスキモー／アリュートについて Separate Type の出現頻度の年齢差を調べたが、いずれも有意な差は認められなかったと報告している。本研究の結果でも、各型の出現頻度は 15 ～

図5 前距踵関節（距踵舟関節）の内側面観
a, 踵骨が Continuous Type で距骨が Smooth Type。前・中距骨関節面の深さは 3.5mm, 深さ示数は 12.20。b, 踵骨が Separate Type で距骨が Grooved Type。前・中距骨関節面の深さは 6.7mm, 深さ示数は 18.70。

29 歳, 30～49 歳, 50 歳以上の 3 段階の年齢群で差はほとんど観察されなかった（表 6）。

(4) 男女左右を一括した出現頻度

男女左右を一括した現代日本人における Separate Type の出現頻度は、本研究では 240/702 (34.2%) であった（表 5）。表 9 に示したように、Separate Type の出現頻度は現代日本人では 30～40% とみなして差し支えないようである。中部九州人男性の Separate Type の出現頻度は 61.8% と非常に高い値を示しているが、これに No Anterior Facet Type を含めるとさらに頻度が高くなるはずであり、中部九州人についてはやはり前述したように、他の研究者と判定基準がやや異なるか、あるいはサンプリング・バイアスがかかった標本である可能性が高い。

3. 形態小変異とみなされる根拠と問題点

頭蓋には従来破格と言われてきた形態異常が無数とあってよいほどたくさん見つかるが、それらのうちで機能的な意味がほとんど考えられず、しかも“有る無し”を比較的容易に判定することができるものは形態小変異と呼ばれ、人類集団の系統関係を調べる指標として人類学領域で広く用いられている（例えば、Laughlin and Jørgensen, 1956; Berry and Berry, 1967; Yamaguchi, 1967; Ossenberg, 1969, 1970; Dodo, 1974）。これらの形態小変異の多くは胎生期に発現し、しかも同一集団では過去 1000 年, 2000 年にもわたって出現頻度に変化がないので、その発現にはかなりの程度に遺伝的因子が関与していると考えられている（Dodo, 1987; Dodo and Ishida, 1990; Ossenberg, 1994）。

このような頭蓋の形態小変異を四肢骨にも適用しようとする試みも行われており（Anderson, 1968; Finnegan, 1978; Saunders, 1978; Yamaguchi, 1981）、踵骨の前・中距骨関節面の形態変異もそのひとつに数えられている。形態小変異の特徴の一面として、強い左右の連関があること、左右差がないこと、性差がないこと、年齢差がないことが挙げられているが、本研究が示すように、性差については若干の問題があるものの、それ以外はすべて踵骨の距骨関節面の変異も形態小変異とみなしてよい条件を備えている。

Bunning (1964) はナイジェリア人の踵骨について、前・中関節面が分離しているものと連続しているものの頻度が、性差も含めて、成人と胎児でほとんど変わらないという結果を示し、前・中関節面の形態変異は遺伝的に決定されているのであろうと結論している。さらに、Bunning and Barnett (1965) は、前論文で明らかにした成人と胎児の関係をイギリス人についても確かめ、自説を補強している。本研究でもホルマリン固定の 10 ヶ月胎児標本 2 体 4 足を解剖してみたが^註、踵骨の前・中距骨関節面は完全に軟骨で形成されているにもかかわらず、Continuous Type と Demarcated Type を区別することができた。

しかしここで問題になるのは、軟骨を土台としている関節面の形態がそのままの状態で骨化して成人まで維持されるのか否かという点である。Scheuer and Black (2000) によれば、踵骨は出生時には長径 10mm 程度の洋梨形の骨塊として存在するが、踵骨としての特徴を備えてくるのは歩行の始まる 1 歳過ぎからであり、関節面の輪郭が明瞭になるのは 5～6 歳になってからだという。それまでは関節は完全に軟骨として存在するわけであるが、幼

表 8 前・中距骨関節面の計測値と示数の比較

男性・右側							Tukey's HSD 検定		
計測項目		CONT	DEMAC	SEP	F 値	P	計測項目		P
AB 距離	N	54	70	63	3.132	0.046	AB	CONT-DEMAC	0.780
	M (mm)	30.31	30.04	30.97				CONT-SEP	0.231
	SD	2.05	2.15	2.29				DEMAC-SEP	0.040
深さ (D)	N	54	70	63	4.092	0.018	深さ	CONT-DEMAC	0.171
	M (mm)	4.43	4.81	5.05				CONT-SEP	0.014
	SD	1.16	1.02	1.31				DEMAC-SEP	0.480
示数 (D/AB)	N	54	70	63	3.441	0.034	示数	CONT-DEMAC	0.085
	M	14.63	16.00	16.24				CONT-SEP	0.040
	SD	3.77	3.10	3.77				DEMAC-SEP	0.921

女性・右側							Tukey's HSD 検定		
計測項目		CONT	DEMAC	SEP	F 値	P	計測項目		P
AB 距離	N	54	60	39	0.936	0.394	AB	CONT-DEMAC	0.892
	M (mm)	27.08	27.27	27.70				CONT-SEP	0.368
	SD	2.25	2.11	2.17				DEMAC-SEP	0.599
深さ (D)	N	54	60	39	7.821	0.001	深さ	CONT-DEMAC	0.028
	M (mm)	3.98	4.50	4.85				CONT-SEP	0.001
	SD	1.11	1.09	1.02				DEMAC-SEP	0.262
示数 (D/AB)	N	54	60	39	7.547	0.001	示数	CONT-DEMAC	0.022
	M	14.67	16.49	17.51				CONT-SEP	0.001
	SD	3.79	3.59	3.39				DEMAC-SEP	0.357

児の歩行とはいえ関節面に加重がかかるのであるから、胎児期の軟骨でできた関節の形態がそのまま骨化の完了する時期まで維持されるかどうかは不明である。

この点に関しては、距骨の滑車関節面にできる蹲踞面の事例が参考になるであろう。Barnett (1954) はヨーロッパ人胎児 56 側、同成人 100 側の距骨を用いて、蹲踞面の出現頻度を比較した。その結果、内側蹲踞面は胎児では 78.6% に出現したが、成人には 11.0% にみられただけであった。さらに外側蹲踞面は胎児 23.2% に対して成人に

はわずか 2.0% にしか出現しなかった。このことから Barnett は、ヨーロッパ人は蹲踞面を高頻度を持って生まれてくるが、その後蹲踞姿勢をとる習慣がないため負荷のかからない蹲踞面は、成人になるとその出現頻度を著しく減少させるのであろうと考えた。この事例は、胎児期の軟骨を土台とした関節面の形態は、生後の生活習慣により変わり得ることを示している。

したがって、胎児と成人で出現頻度に目立った差がないという理由だけで、踵骨の前・中関節面の形態変異が

表 9 文献にみる現代日本人における Separate Type の出現頻度

集団	性別	側別	N	SEP (%)	備考	文献
日本人 北陸	男	左右	50	13 (26.0)	NO-ANT は含まれないと思われる 左右差・性差なし	砂田 (1932)
	女	左右	50	16 (32.0)		
	計	左右	100	29 (29.0)		
北九州	男	左右	120	45 (37.5)	NO-ANT は含まれないと思われる 左右差・性差なし	豊福 (1959)
	女	左右	56	20 (35.7)		
	計	左右	176	65 (36.9)		
中部九州	男	左右	102	63 (61.8)	NO-ANT は含まれない 左右差なし・0.1% 水準での性差あり	Nakashima and Hojo (1986)
	女	左右	100	36 (36.0)		
	計	左右	202	99 (49.0)		
東京	男	左右	166	68 (41.0)	NO-ANT は含まれないと思われる 左右差・性差なし	村田・坂井 (1994)
	女	左右	152	62 (40.8)		
	計	左右	318	130 (40.9)		

遺伝的に決定されていると結論するのはやや短絡に過ぎるように思われる。しかしまた同時に、それを否定するだけのデータを持ち合わせていないのが現状である。

4. 機能的意義

(1) 踵骨と距骨の関節面形態の連関

表7に見るとおり、男女とも踵骨の Demarcated Type は距骨の Smooth Type と、また Separate Type は Angular Type とに対応するが、期待値からの隔たりを考慮すれば、踵骨の Continuous Type は距骨の Smooth Type と、踵骨の Demarcated Type は距骨の Angular Type と、そして踵骨の Separate Type は距骨の Grooved Type と一対一の対応関係にあるのが基本であると考えて差し支えないと思われる。このことは、関節面の形態変異が踵骨と距骨で独立に起こるのではなく、何らかの共通した因子によって引き起こされることを物語っている。

距踵関節の距骨下関節と距踵舟関節はひとつのコンプレックスとして、足の内返し外返し運動の要になっているので (Inman, 1976; Kapandji, 1985)、踵骨と距骨の間で規則的な対応関係を示す関節面の変異が、足の運動に何らかの影響を与えている可能性は十分考えられる。

(2) 前・中関節面の深さ

図5に踵骨の Continuous Type と距骨の Smooth Type が対応する例、および踵骨の Separate Type と距骨の Grooved Type が対応する例を示した。踵骨の前距骨関節面と中距骨関節面がなす角度は Separate Type の方が小さいことが図から見てとれるが、このことはすでに Drayer-Verhagen (1993) がカリフォルニア・インディアンの資料を用いて報告している。彼によれば、Continuous Type の Intersecting angle は平均で 149.1 度であるのに対して、Separate Type では 127.8 度であったという。

角度の計測にはいろいろな困難が伴うので、本研究では、方法の項で述べたように線計測と三角関数を組み合わせて、前・中距骨関節面の深さと深さ示数を求めてみた。表8から明らかなように、男女とも深さと深さ示数は Continuous Type, Demarcated Type, Separate Type の順に大きくなり、Continuous Type と Separate Type の間には有意差が認められた。この結果は踵骨の前・中関節面の深さは Separate Type の方がより深いことを表しており、Separate Type の Intersecting angle がより小さいとした Drayer-Verhagen (1993) の結果と矛盾しない。Intersecting angle が小さければ、距踵舟関節の安定性が増加すると推測されるが、Drayer-Verhagen (1993) はさらに、ほぼ同年齢の資料では Continuous Type より Separate Type の方が arthritic lipping の出現頻度が有意に低いことを示し、

Separate Type の関節がより安定していると考えた。これらの所見も、踵骨の関節面の変異が足の機能に何らかの影響を及ぼしていることを示唆している。

(3) 距踵関節の運動

距踵関節はその運動軸（距骨頸の上内側から足根洞を通り踵骨隆起外側突起に抜ける軸）に沿った回旋運動を行い、足の内返し（内転と内反）・外返し（外転と外反）運動の主要な関節となっている (Inman, 1976; Kapandji, 1985)。その運動軸は平均して水平面から 42 度前上方に、足の中心線から 23 度内方に傾くとされているが、個体変異が大きく、水平面からの傾きは 20.5 度～68.5 度、足の中心線からの傾きは 4 度～47 度の範囲に及ぶと言われている (Inman, 1976)。

Bruckner (1987) は踵立方関節面が鉛直面に一致すると仮定し、踵骨の側面輪郭像を用いて関節面相互と踵骨底面の角度を計測したが、その結果、踵骨の前・中距骨関節面が連続している踵骨はそれが分離しているものよりも calcaneal angle of inclination（踵骨底面が水平面となす角度）が有意に小さいことを見いだした。このことから彼は、前・中関節面が連続している踵骨では距踵関節の運動軸の水平面からの角度も小さくなり、距踵関節の可動範囲も大きくなるであろうと推測した。実際、Inman (1976) は、距踵関節の運動軸が水平に近くなればなるほど、足の内転・外転よりも内反・外反の運動範囲が大きくなることを、“ちょうつがい” 模型を用いて見事に示している。

村田・坂井 (1994) は解剖実習用遺体 43 足を用い、二人の観察者が別々に距踵関節の可動性を評価した。その結果、踵骨の前・中関節面が分離しているものの可動性が最も小さく、くびれ形、連続型の順に大きくなる傾向があることを明らかにした。そして、分離型の場合には、前・中関節面の間に関節包周囲の靱帯が侵入し、この靱帯が関節を固定するために可動性が低くなるのではないかと考えた。

このような所見から判断すると、踵骨の距骨関節面の形態変異は、距踵関節の運動と何らかの関わりを持っていると考えざるを得ないであろう。

一部の研究者に受け入れられてきたように、踵骨の距骨関節面の形態変異が遺伝的背景の濃い形態小変異のひとつであるとしても、この形質には何らかの機能的な意味があることが本研究で示唆された。第Ⅱ部では、系統や生業がかなり明確に捉えられている時代・地域を異にする日本列島諸集団の踵骨資料を用いて、もう一步踏み込んだ議論を展開してみたい。

結 論

- i) 年齢・性別の明らかな現代日本人骨資料を用いて、踵骨の距骨関節面の形態変異について、左右の連関、左右差、性差、年齢差、距骨の踵骨関節面との対応を調査し、併せて前・中距骨関節面の基本計測を行った。
- ii) 過去の文献とヒトの未成熟個体および大型霊長類の未成熟・成熟個体の踵骨を参考にして、踵骨の距骨関節面の形態変異を、Single Facet Type, Continuous Type, Demarcated Type, Separate Type, No Anterior Facet Type の5型に分類した。
- iii) この5型分類では、Single Facet Type を原初形態と考え、Single Facet Type → Continuous Type → Demarcated Type → Separate Type → No Anterior Facet Type という連続的に移行する形態の流れを仮想した。
- iv) 各型の出現状態は左右でよく一致し、一致しなくとも隣接する型と対応する例が多いという規則性がみられたので、上で述べた仮想的な形態の流れはほぼ妥当なものと判断された。
- v) 各型の出現頻度に左右差はみられなかった。
- vi) 右側のみの踵骨資料では各型の出現頻度に性差は認められなかったが、左右をプールした資料では5%水準で有意差が検出され、男性に Separate Type が多いという結果になった。
- vii) 踵骨の骨化が完了する15歳以上については、各型の出現頻度に年齢差は認められなかった。
- viii) 踵骨と距骨の関節面形態には、Continuous Type—Smooth Type, Demarcated Type—Angular Type, Separate Type—Grooved Type というほぼ一対一の対応が認められたので、踵骨および距骨の関節面の形態変異は独立に生じるのではなく、何らかの共通因子によって引き起こされると推測された。
- ix) 踵骨の前・中距骨関節面は、Continuous Type より Separate Type の方が深いことが明らかにされた。先行研究の結果と対応させて考察すると、踵骨の関節面の形態変異が距踵関節の運動に何らかの影響を与えていることが推測された。
- x) 踵骨の関節面形態の変異が、遺伝的背景の濃い“形態小変異”のひとつであったとしても、機能的側面を無視することができないことが、本研究から示唆された。
- xi) 踵骨の距骨関節面の形態変異が示す形態学的・機能的意義をより明らかにするためには、見方を変えた

更なる研究が必要である。第Ⅱ部にその研究の一端を示す。

謝 辞

本研究を行うにあたり、貴重な資料の調査を許可していただき、さらにご助言を下さいました千葉大学大学院医学研究院の千葉胤道名誉教授；東京大学総合研究博物館の諏訪 元助教授；東京慈恵会医科大学解剖学講座第1の河合良訓教授、竹内修二講師；京都大学霊長類研究所進化系統研究部門の茂原信生教授、毛利俊雄先生、高井正成先生；財団法人日本モンキーセンターの高野 智先生；京都大学大学院理学研究科自然人類学研究室の中務真人助教授、荻原直道先生に深く感謝いたします。研究内容につき貴重なご意見を下さいました東北大学大学院医学系研究科整形外科学分野の国分正一教授に厚く御礼申し上げます。最後になりましたが、多大なるご助言とご協力を下さいました東北大学大学院医学系研究科人体構造学分野の諸先生方に謹んで感謝を申し上げます。

注 この2体の胎児液浸標本は東北大学旧解剖学教室に保存されていたものであって、解剖にあたっては東北大学医学部・医学系研究科倫理委員会の承認を得た。

引用文献

- Anderson J.E. (1968) Skeletal “anomalies” as genetic indicators. In: Brothwell D.R. (eds.), “The Skeletal Biology of Earlier Human Populations,” Pergamon Press, New York, pp. 135–147.
- Barnett C.H. (1954) Squatting facets on the European talus. *Journal of Anatomy*, 88: 509–513.
- Berry A.C. and Berry R.J. (1967) Epigenetic variation in the human cranium. *Journal of Anatomy*, 101: 361–379.
- Brethnach A.S. (1965) Frazer’s Anatomy of the Human Skeleton. 6th Edition. J. & A. Churchill, London.
- Bruckner J. (1987) Variations in the human subtalar joint. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 8: 489–494.
- Bryce T.H. (1915) Quain’s Elements of Anatomy. 11th Edition. Longmans, Green, and Co., London.
- Bunning P.S.C. (1964) Some observations on the West African calcaneus and the associated talo-calcaneal interosseous ligamentous apparatus. *American Journal of Physical Anthropology*, 22: 467–472.
- Bunning P.S.C. and Barnett C.H. (1965) A comparison of adult and foetal talocalcaneal articulations. *Journal of Anatomy*, 99: 71–76.
- Campos F.F. and Pellico L.G. (1989) Talar articular facets (facies articulares talaris) in human calcanei. *Acta Anatomica*, 134: 124–127.
- Dodo Y. (1974) Non-metrical traits in the Hokkaido Ainu and the northern Japanese of recent times. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 82: 31–51.
- Dodo Y. (1987) Supraorbital foramen and hypoglossal canal bridging: the two most suggestive nonmetric cranial traits in discriminating major racial groupings of man. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 95: 19–35.
- Dodo Y. and Ishida H. (1990) Population history of Japan as viewed from cranial nonmetric variation. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 98: 269–287.

- Drayer-Verhagen F. (1993) Arthritis of the subtalar joint associated with sustentaculum tali facet configuration. *Journal of Anatomy*, 183: 631–634.
- El-Eishi H. (1974) Variations in the talar articular facets in Egyptian calcanei. *Acta Anatomica*, 89: 134–138.
- Everitt B.S. (1977) *The Analysis of Contingency Tables*. Chapman and Hall, London.
- Finnegan M. (1978) Non-metric variation of the infracranial skeleton. *Journal of Anatomy*, 125: 23–37.
- Gupta S.C., Gupta C.D., and Arora A.K. (1977) Pattern of talar articular facets in Indian calcanei. *Journal of Anatomy*, 124: 651–655.
- Hyrtil J. (1889) *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*. Wilhelm Braumüller, Wien.
- Inman V.T. (1976) *The Joints of the Ankle*. The Williams & Wilkins Company, Baltimore.
- Kapandji I.A. (1985) *Physiologie Articulaire*. Fascicule II, Cinquième Édition. Maloine S.A. Éditeur, Paris. [荻島秀男・嶋田智明訳 (2003) カパンディ関節の生理学 II 下肢. 第2版, 医歯薬出版, 東京.]
- Laidlaw P.P. (1905) The os calcis, part II. *Journal of Anatomy and Physiology*, 39: 161–177.
- Laughlin W.S. and Jørgensen J.B. (1956) Isolate variation in Greenlandic Eskimo crania. *Acta Genetica et Statistica Medica*, 6: 3–12.
- 村田一彰・坂井建雄 (1994) ヒト踵骨の前・中距骨関節面と靱帯の多様性について. *解剖学雑誌*, 69: 42–49.
- Nakashima T. and Hojo T. (1986) Variations in the talar articular facets of Japanese calcanei. *Fukuoka Acta Medica*, 77: 544–548.
- Ossenberg N.S. (1969) Discontinuous Morphological Variation in the Human Cranium. A Thesis Submitted in Conformity with the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Toronto.
- Ossenberg N.S. (1970) The influence of artificial cranial deformation on discontinuous morphological traits. *American Journal of Physical Anthropology*, 33: 357–372.
- Ossenberg N.S. (1994) Origins and affinities of the native peoples of northwestern North America: the evidence of cranial non-metric traits. In: Bonichsen R. and Steele D.G. (eds.), “Method and Theory for Investigating the Peopling of the Americas,” Center for the Study of the First Americans, Department of Anthropology, Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 79–115.
- Padmanabhan R. (1986) The talar facets of the calcaneus: an anatomical note. *Anatomischer Anzeiger*, 161: 389–392.
- Saunders S.R. (1978) *The Development and Distribution of Discontinuous Morphological Variation of the Human Infracranial Skeleton*. National Museum of Man Mercury Series, Archaeological Survey of Canada 81, National Museums of Canada, Ottawa.
- Scheuer L. and Black S. (2000) *Developmental Juvenile Osteology*. Academic Press, San Diego.
- 砂田外治 (1932) 北陸日本人下肢骨ノ人類學的研究 其ノ十二 跟骨(B), 金澤醫科大學解剖學教室業績, 7: 99–118.
- 鈴木文太郎 (1918) 人體系統解剖學 卷之一. 丸善株式會社, 東京.
- Testut L. (1896) *Traite d'Anatomie Humaine*, Volume 1. Doin et Cie, Paris.
- 豊福哲夫 (1959) 北九州人の距骨, 踵骨の人類學的研究. 久留米醫學會雜誌, 22: 2189–2206.
- Williams P.L. (1995) *Gray's Anatomy*. 38th Edition. Churchill Livingstone, London.
- Yamaguchi B. (1967) A Comparative Osteological Study of the Ainu and the Australian Aborigines. Australian Institute of Aboriginal Studies, Occasional Papers Number 10, Human Biology Series Number 2, Canberra.
- Yamaguchi B. (1972) The bipartient tendency of the articular surface of the trochlear notch in the human ulna. *Okajima Folia Anatomica Japonica*, 49: 23–36.
- Yamaguchi B. (1981) Non-metric variants in the postcranial bones of the Ainu, Iroquois, and Japanese. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series D*, 7: 17–27.