原著論文

成人期近代日本人における大腿骨の加齢変化について

水嶋崇一郎^{1*}, 坂上 和弘²

¹ 東京大学総合研究博物館

² 国立科学博物館人類研究部

(平成 21 年 9 月 11 日受付, 平成 21 年 11 月 17 日受理)

要 約

本研究では, 成人期近代日本人(明治・大正期没)の大腿骨を用いて, 外形ならびに骨幹中央部の内部断面形状を計測し, 特に骨幹部における外形拡大, 髓腔の拡張, 緻密骨中の空隙の増大, これら三点の加齢変化について年齢横断的調査を実施した。資料には男性 77 体(20～81 歳), 女性 39 体(22～74 歳)の右大腿骨を使用した。内部断面計測に際しては高精細のマイクロ CT 装置を導入した。解析においてはサンプルを三つの年齢群(青壮年, 20～49 歳; 熟年, 50～64 歳; 老年, 65 歳以上)に区分し, これらの年齢群間で計測値の差の有意性を統計学的に検定した(二標本 t 検定, Mann-Whitney の U 検定)。その結果, 男女に共通して, 熟年・老年の骨体中央矢状径・骨体中央横径・外形断面積は青壮年と比較して有意差がなく, 従って高齢化に伴う骨幹部外形の拡大パターンは本集団において認められなかった。男性の髓腔部断面積では熟年・老年と青壮年の間で有意差が見られなかった(ただし加齢に伴う緩やかな拡張パターンが認められた)。一方, 女性の髓腔部断面積では, 高齢な年齢群ほどより大きい傾向があり, 20 歳代中頃から 40 歳代まではほぼ一定であったが 50 歳代以降から急激に拡張していくパターンが認められ, 閉経に伴う女性ホルモンの分泌減少との関連性が窺われた。緻密骨中の空隙に関しては, 男女とも高齢個体ほど空隙の断面積が大きい傾向があり, 空隙化の著しい個体は特に 30 歳代中頃以降の女性において見受けられた。本研究では, 骨幹内部の力学的脆弱化を補う外形拡大の機能適応は示唆されず, また, 男性に比して女性の骨幹部は加齢に伴う弱体化の危険性が大きいことが改めて示された。

キーワード: 骨粗鬆症, 加齢効果, 閉経, 近代日本人, 大腿骨

Age-Related Changes in the External and Midshaft Cross-Sectional Geometries of the Adult Recent Japanese Femur

Souichiro Mizushima^{1*} and Kazuhiro Sakaue²

¹*The University Museum, The University of Tokyo*

²*Department of Anthropology, National Museum of Nature and Science*

(Received 11 September 2009; accepted 17 November 2009)

*東京大学総合研究博物館
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
E-mail: s_mizu@um.u-tokyo.ac.jp
©2009 The Anthropological Society of Nippon

Abstract

The periosteal dimensions, medullary area, and intra-cortical porosity of the femoral midshaft cross section were measured by using the recent Japanese materials (77 males, aged 20 to 81 years, and 39 females, aged 22 to 74 years), in order to further investigate age-related bone geometrical changes during adulthood. The midshaft cross sections were captured by micro-CT scanning. The samples were divided by age into three subgroups: YOUNG (20–49 years), MIDDLE (50–64 years), and OLD (65+ years). Differences among the subgroups were statistically examined by performing the t-test and Mann-Whitney U test. It was found that, in both sexes, there were no significant differences in the periosteal dimensions (the anteroposterior and mediolateral diameters and the total area) between YOUNG and MIDDLE and between YOUNG and OLD, indicating no femoral periosteal expansion during adulthood. In males there were no significant differences in the medullary area between YOUNG and MIDDLE and between YOUNG and OLD, while in females MIDDLE ($P = 0.06$) and OLD ($P < 0.05$) had the greater medullary area than YOUNG. The female medullary area tended to remain almost constant from their mid-20s to 40s and to increase remarkably from their 50s to 70s. These findings indicate a close relationship between menopause (decrease of female hormone) and increased endosteal resorption of femoral diaphysis. It was also found that in both sexes the intra-cortical porosity of older individuals tended to be greater than those of younger individuals, highly porous cross sections were observed particularly in females after the mid-30s. The results of the present study indicate that the functional adaptation compensating for age-related weakening of bone substance by periosteal expansion had not taken place in the recent Japanese femora, and that females have higher risk of age-related weakening of femoral diaphysis in comparison with males.

Key words: osteoporosis, aging effect, menopause, recent Japanese, femur

はじめに

近年、高齢化に伴う骨量の減少ならびに易骨折性の増大、いわゆる骨粗鬆症に対して、世界的に大きな関心が寄せられている。我が国では、若年成人の腰椎骨塩量平均値の70%をカットオフ値として、50歳以上の女性のおよそ25～36%が骨粗鬆症に罹患していると推計されており（藤原ほか, 1997; 鈴木ほか, 1998; 山本, 1999; 福永, 2002）、本疾患の予防は高齢社会における最重要問題のひとつと捉えられている（鈴木, 2002）。成人期にわたり骨のリモデリング・パターンについて精査することは、この骨粗鬆症問題に対する基礎研究として重要であり、ヒトの加齢・老化現象の一面をより深く理解する上でも役立つと思われる。

ヒトの骨では、加齢とともに骨密度の減少や骨梁構造の破綻が生じ、力学的頑丈性が大きく低下することが知られている（Weaver and Chalmers, 1966; Atkinson and Weatherell, 1967; Singh et al., 1970; Martin and Atkinson, 1977; Riggs et al., 1982）。四肢長骨ではさらに髓腔の拡張や緻密骨中の空隙の増大が認められる（Ruff and Hayes, 1988; 加藤, 1995; Feik et al., 1996, 1997; 竹内ほか, 1998; 竹内, 2000）。特に閉経後の女性では、女性ホルモンであるエストロゲンの分泌減少に伴って骨吸収が亢進するた

め、骨量の減少が著しい（森井, 2000）。骨粗鬆症の進行により、上腕骨近位部、橈骨遠位部、大腿骨頸部は構造的・力学的なウィークポイントとなっており、転倒時などにおける骨折頻度が他部位よりも高いことが知られる（林, 1999）。

一方で、四肢長骨においては、成人到達以後も加齢とともに骨幹が太くなる（骨幹部の外形が拡大すること）が度々報告されてきた。たとえばSmith and Walker (1964)では、現代人女性の45～49歳と75～90歳の二群間で大腿骨骨幹中央部の径の差が3.4 mmに達することが示されている。高齢化に伴う骨幹径ないしは骨幹の外形断面積の拡大は、ヨーロッパ系現代アメリカ人男性、アメリカ先住民Pecos Pueblo、現代オーストラリア人、近代日本人など（Ruff and Hayes, 1982, 1988; Boussein et al., 1994; 加藤, 1995; Feik et al., 1996; 竹内ほか, 1996; 竹内, 2000; Russo et al., 2006）、さらにはヒトのみならずニホンザルにおいても報告されている（Kimura, 1994）。以上は全て年齢横断的の調査である。年齢縦断的な調査としてはHeaneyら（1997）やAhlborgら（2003）があり、上記と類似する外形拡大現象が報告されている。従来、外形の拡大に関しては、加齢に伴う骨の脆弱化を構造的に補う現象として、機能適応的な観点から解釈されてきた（たとえばRuff, 1992; Kimura, 1994; Russo et al., 2006）。

日本人の四肢長骨においては、髓腔の拡張の経年変化について未だ十分な調査がなされておらず、また、緻密骨中の空隙の増大パターンに関する研究は見当たらない。一方で、加齢に伴う外形の拡大はいままでの形態比較研究においてはほとんど検討されてこなかった現象である。たとえば骨幹の太さから男性と判定された人骨が、実際には外形の拡大した高齢女性であるといった可能性が想定され、加齢効果の影響を考慮することは形態人類学上重要な意義を持つ。さらに、上記の機能適応的解釈に関連して、近年では四肢骨の形態形成において力学負荷 (Ruff et al., 2006), ならびに発生初期のパターン形成や軟骨成長板のかたち (Lovejoy et al., 2003) が果たす役割についての議論が進められてきており、この点をより深く論じるためにも成人到達以後の外形拡大現象はさらに詳しく調査、検討される必要がある。そこで、本研究では、成人期近代日本人の大腿骨を用いて、外形ばかりでなく CT 撮影により骨幹中央部の内部断面形状を計測し、特に骨幹部における外形拡大、髓腔の拡張、緻密骨中の空隙の増大、これら三点の加齢変化の有無や傾向を明らかにすることとした。

資 料

資料は、東京大学総合研究博物館に保管されている、近代日本人の個体骨格標本から選定された右大腿骨である (男性 77 体、女性 39 体、計 116 体分)。これらの標本は明治・大正期に東京大学医学部解剖学教室によって収集されたものである。資料の性別と年齢は各標本に付随する情報に従った。資料の選定に当たっては、20 歳以上の個体について、右大腿骨を含む体幹骨に顕著な病変、変形が認められないものとした。これにより、男性では 20 歳から 81 歳 (平均年齢 39.8 歳)、女性では 22 歳から 74 歳 (平均年齢 47.2 歳) にわたる資料を選出した。本研究では比較解析のために 20 歳から 49 歳までの個体を青

表 1 本研究で使した右大腿骨の資料数

年齢区分 (歳)	男性	女性
20 ~ 49	59	20
50 ~ 64	10	11
65+	8	8
計	77	39

図 1 本研究で計測した大腿骨の外形 8 項目

壮年 (男性 59 体、女性 20 体)、50 歳から 64 歳までを熟年 (男性 10 体、女性 11 体)、65 歳以上を老年 (男性 8 体、女性 8 体) として三区分した。各年齢群における男女別の資料数を表 1 にまとめた。

方 法

馬場 (1991) により定義されたマルチン式に準拠して、計 8 項目の外形の線計測を行ない、頸断面示数と骨体中央断面示数を求めた (図 1, 表 2)。さらに、マイクロフォーカス X 線 CT 装置 (TESCO 社製 TX225-ACTIS, 東京大学総合研究博物館所蔵) を利用して、骨幹中央部の

表 2 本研究で用いた大腿骨の外形 8 項目・示数 2 項目およびそれらの定義

項目	定義
大腿骨最大長	骨頭の最上 (高) 点から下端の最下 (深) 点までの距離 (Martin No. 1)。
頭垂直径	骨頭の上外側端から下内側端までの距離 (Martin No. 18)。
頸垂直径	頸の上面から下面までの最小距離 (Martin No. 15)。
頸矢状径	頸垂直径を計った位置における、頸の前面から後面までの距離 (Martin No. 16)。
骨体中央矢状径	骨体中央部において、矢状方向に計った、骨体の前面から後面までの距離 (Martin No. 6)。
骨体中央横径	骨体中央矢状径を計る位置で、それと直交する方向に計った、骨体の内側面から外側面までの距離 (Martin No. 7)。
上顆幅	内・外側上顆の、それぞれ最も側方に突出する点の間の距離 (Martin No. 21)。
外側顆投影長	矢状方向に計った、外側顆の最前点から最後点までの距離 (Martin No. 22)。
頸断面示数	$100 \times \text{頸矢状径} \div \text{頸垂直径}$ 。
骨体中央断面示数	$100 \times \text{骨体中央矢状径} \div \text{骨体中央横径}$ 。

表3 外形8項目についての基礎統計量

項目		男性				女性			
		全個体	青壮年	熟年	老年	全個体	青壮年	熟年	老年
大腿骨最大長	Mean (mm)	406.4	405.1	407.3	414.6	377.9	376.8	381.7	375.4
	s.d.	22.4	22.7	24.2	18.3	19.8	23.7	18.6	9.0
頭垂直径	Mean (mm)	45.7	45.5	46.4	46.3	40.8	40.5	41.6	40.6
	s.d.	2.4	2.3	3.2	2.3	2.1	2.0	2.6	1.3
頸垂直径	Mean (mm)	33.1	32.8	33.7	34.2	28.0	27.5	28.6	28.4
	s.d.	2.5	2.4	3.5	2.0	2.1	2.1	2.3	1.4
頸矢状径	Mean (mm)	24.9	24.8	25.7	25.1	22.0	21.3	23.2	22.1
	s.d.	2.1	2.0	2.7	1.9	2.3	2.2	2.6	1.4
骨体中央矢状径	Mean (mm)	26.7	26.3	27.6	28.2	23.8	23.9	24.4	22.9
	s.d.	2.3	2.2	2.5	2.3	1.9	1.9	1.9	1.4
骨体中央横径	Mean (mm)	25.7	25.6	25.9	26.1	23.5	23.0	24.0	24.0
	s.d.	2.1	2.0	2.4	2.1	1.6	1.4	1.9	1.5
上顎幅	Mean (mm)	78.8	78.4	80.6	79.9	71.6	71.5	71.9	71.4
	s.d.	4.3	4.0	5.6	4.5	3.2	2.9	4.2	2.3
外側顎投影長	Mean (mm)	60.3	60.1	60.6	61.9	54.6	55.0	54.2	54.5
	s.d.	3.2	2.8	4.5	4.5	2.9	3.0	3.0	2.9

に示す。男女に共通して、全ての項目で青壮年と熟年の間、青壮年と老年の間に有意差はなく（図3）、青壮年から老年にかけての一貫した外形拡大パターンは男女ともに認められなかった。男性の骨体中央矢状径は20歳から30歳代中頃の個体まで大きくなる傾向があり、その後は一定の値であることが判明し、一方で男性の骨体中央横径ならびに女性の二径では有意な拡大パターンは認められず、20歳以降は一貫して一定の値であった（図4）。

内部断面形状6項目の基礎統計量を表4に、箱ヒゲ図を図5に示す。男性では全ての項目で青壮年と熟年の間、青壮年と老年の間に有意差はなく、従って、男性の骨分布形状には明確な加齢変化は認められなかった。一方で、女性では、高齢な集団ほど髓腔部断面積が大きく、その反面、外形断面積は一貫してほぼ一定の値であり、老年の骨質部断面積は青壮年に比して有意に小さくなっていた。大腿骨最大長の二乗により基準化した髓腔部断面積についての散布図を見ると（図6）、男性では年齢と髓腔部断面積との間に有意水準に近い正の相関性があり、加齢に伴い髓腔が緩やかに拡張していく傾向が見出され、一方、女性は男性より明確な有意な正の相関関係が認められた。回帰直線から算出して、男性では20歳に対して80歳の髓腔部断面積が124%であるのに対して、女性では167%であった。

示数4項目の基礎統計量を表5に、箱ヒゲ図を図7に示す。男性では、全ての項目で青壮年と熟年の間、青壮年と老年の間に有意差は見られなかった。一方で、老年女性骨体中央断面示数は青壮年より有意に小さく、つまりは老年女性の骨幹中央部は相対的に前後方向に扁平

であった。易骨折性が高いことが知られる女性の大腿骨頸部に着目すると、年齢の違いによる有意なシェイプ差は見られなかった。女性では、熟年・老年の骨部占有割合は青壮年より有意に小さく、骨質の占める割合は加齢とともに一貫して減少していくパターンが認められた（図7、図8）。

年齢とICPおよびPICPの散布図を図9に示す。ICPにおいては、男性で有意な正の相関性があり、また女性で有意水準に近い正の相関関係が認められており、男女とも高齢な個体ほど骨質部中の空隙の断面積が大きい傾向が確かめられた。PICPにおいては男女に共通して有意な正の相関関係が認められており、従って、高齢個体ほど骨の占有領域に対する空隙の割合が高い傾向が確認された。20歳代では男女のPICPに大きな違いは見られないが、30歳代中頃以降から70歳代にかけてPICPの大きい女性個体が目立っており、加齢に伴う女性の空隙化の著しさが窺われる。上記で見られた、加齢に伴う女性の骨部占有割合の減少傾向（図7、図8）は、髓腔の拡張ならびに骨質中の空隙の増大の双方によって生じたことが窺われる。

考 察

1. 先行研究と本研究結果との共通点・相違点

まず、大腿骨骨幹中央部における外形の拡大、髓腔の拡張、緻密骨中の空隙の増大に関して、先行研究と本研究結果との対応関係を以下に示す。ヒトの大腿骨骨幹部は成人到達以後も加齢とともに太くなっていくことが様々な年齢横断的調査において報告されてきた（Smith

図3 外形8項目における男女別・年齢別の箱ヒゲ図。青壮年と熟年の間、ならびに青壮年と老年の間で二標本t検定を行ない、それらの有意確率を図中に示した。

図4 年齢と骨体中央矢状径・骨体中央横径（大腿骨最大長により基準化）の散布図。男性の骨体中央矢状径を除いて有意な相関関係は認められなかった（R 値は Pearson の相関係数）。有意な P 値については太字で表わした。

表4 内部断面形状6項目についての基礎統計量

項目		男性				女性			
		全個体	青壮年	熟年	老年	全個体	青壮年	熟年	老年
外形断面積	Mean (mm ²)	487.8	482.9	491.7	519.2	398.8	394.1	412.0	392.4
	s.d.	67.9	60.4	96.3	80.8	43.0	49.0	36.1	35.7
骨質部断面積	Mean (mm ²)	352.5	351.4	352.2	360.7	256.5	269.9	256.4	223.3**
	s.d.	54.9	55.0	61.5	52.2	48.5	40.0	62.2	33.4
髓腔部断面積	Mean (mm ²)	132.0	128.8	135.3	151.4	134.2	118.2	146.1	158.0*
	s.d.	39.8	34.8	57.2	49.3	40.9	36.3	38.8	41.7
最大断面2次モーメント	Mean (mm ⁴)	20253	19821	21178	22280	12416	12535	13088	11194
	s.d.	5913	5376	7921	7207	3134	3565	2948	1984
最小断面2次モーメント	Mean (mm ⁴)	15846	15559	15841	17977	9925	10073	10484	8786
	s.d.	4483	4092	5676	5667	2495	2411	3111	1470
断面2次極モーメント	Mean (mm ⁴)	36099	35380	37019	40257	22340	22607	23572	19980
	s.d.	10155	9210	13390	12690	5473	5875	5897	3205

男女の各々において、青壮年と熟年の間、ならびに青壮年と老年の間で計測値を比較し、統計学的に有意差があった場合は*印を付した。*, P<0.05; **, P<0.01。

and Walker, 1964; Ruff and Hayes, 1982; 加藤, 1995; 竹内ほか, 1996; 竹内, 2000)。ニホンザルの横断研究でも類似の結果が報告されている (Kimura, 1994)。縦断調査とし

ては Heaney ら (1997) によるアメリカ人女性のレントゲン計測があり、大腿骨骨幹径の拡大が提示されている。しかしながら、本研究では男女に共通して外形の拡大は

図5 内部断面形状6項目における男女別・年齢別の箱ヒゲ図。青壮年と熟年の間、ならびに青壮年と老年の間で二標本t検定を行ない、それらの有意確率を图中に示した。有意なP値については太字で表わした。

確認されておらず（図3，図4），上記の先行研究の結果とは合致しないものであった。外形の拡大が確認されなかった先例としてはRuff and Hayes (1988)におけるヨーロッパ系現代アメリカ人女性が挙げられる。この中でRuffらは，アメリカ人女性の活動レベル（つまりは骨にかかる力学負荷の程度）が他集団より相対的に低かったために最適な骨リモデリングが促されず，骨幹の外形が拡大しなかったのであろうと機能適応的に解釈している。一方，本研究の髓腔部断面積においては，先行研究の結果（たとえば，Feik et al., 1996; 竹内ほか，1998）と

類似して，男女とも加齢に伴った拡張パターンが認められており，特に女性の拡張率の方が大きいことが改めて確かめられた（図6）。また，本研究のICP，PICPの結果からは，先行研究（Feik et al., 1997; Thomas et al., 2005）と同様に，近代日本人においても加齢とともに緻密骨中の空隙が増大し，特に高齢女性ほど空隙化の程度が著しい傾向が見出された（図9）。

2. 髓腔部断面積の拡張パターンと性ホルモンとの関連性について

ここでは，上述の髓腔の拡張についてより詳細に論じ

図6 年齢と髓腔部断面積（大腿骨最大長の二乗により基準化）の散布図。男性では有意水準に近い正の相関性があり、女性では有意な正の相関関係が認められた（R 値は Pearson の相関係数）。回帰直線の傾きと切片は最小二乗法による。有意な P 値については太字で表わした。

表5 示数4項目についての基礎統計量

項目		男性				女性			
		全個体	青壮年	熟年	老年	全個体	青壮年	熟年	老年
頸断面示数	Mean	75.5	75.6	76.4	73.3	78.6	77.6	81.1	77.7
	s.d.	4.9	4.7	5.7	4.9	5.7	5.0	7.6	3.3
骨体中央断面示数	Mean	104.3	103.3	107.2	108.3	101.7	103.8	102.6	95.2**
	s.d.	9.4	9.8	8.3	5.8	9.3	6.7	13.6	4.9
最大・最小断面2次モーメント比	Mean	128.5	128.1	134.6	124.2	126.9	124.1	131.3	128.1
	s.d.	16.3	15.6	22.0	13.4	20.0	13.4	30.1	18.3
骨部占有割合	Mean	72.4	72.7	72.3	69.8	64.4	68.8	61.6*	57.3*
	s.d.	6.7	6.5	8.0	6.3	10.8	8.8	12.2	9.6

男女の各々において、青壮年と熟年の間、ならびに青壮年と老年の間で計測値を比較し、統計学的に有意差があった場合は*印を付した。*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$ 。

るため、20歳未満の近代日本人断面データ（未発表）を追加して、髓腔部断面積（絶対値）の散布図を作成した（図10）。男女の髓腔部断面積は出生時から20歳代中頃まで急激に増加し続け、その後は50歳頃までおおよそ一定の値であり、50歳代から再び拡張していくパターンが見て取れる。熟年以降の髓腔部断面積（大腿骨最大長の二乗により基準化）に注目すると（図11）、男性では比較的緩やかな拡張パターンを示すのに対して、女性ではより急激な拡張傾向にあることがわかる。近年の日本人女性は約50歳で閉経を迎え（Kono et al., 1990; 玉田・岩崎, 1995）、女性ホルモンであるエストロゲンの分泌減少を主な要因として骨吸収が急激に進むことが知られている（森井, 2000）。今回、熟年以降の髓腔部断面積の動向が男女間で異なっていたことは、こうした閉経、骨粗鬆症に関連する現象の違いが反映された結果として解釈できよう。なお、明治・大正期に報告された本邦女性の閉経年齢は45.6～47.7歳であり（玉田, 1985）、本研究に

おける女性の髓腔部断面積の急増タイミング（50歳代）とは数年のずれがある。現代人大腿骨の髓腔部断面積の急増タイミングも同じく50歳代であること（Feik et al., 1996, 1997）を考慮すると、少なくとも今回扱った女性集団に関しては閉経年齢が現在と大きく変わらなかった可能性がある。

3. 骨幹部の外形拡大とその解釈について

従来から、骨の力学的頑丈性は加齢とともに低下することが知られている。四肢骨骨幹部で観察されてきた外形の拡大は、そうした骨の脆弱化を構造的に補う現象として機能適応的に解釈されてきた（Ruff, 1992; Kimura, 1994）。今回の近代日本人の特に老年女性においては、緻密骨中の空隙および髓腔部の断面積が著しく大きく、従ってこれらの効果により骨幹部では力学的脆弱化が進行しているものと判断される。その反面、年齢横断的な今回の集団では、力学的頑丈性を補填するための外形の拡大は確認されておらず（図3、図4、図5、図10）、上

図7 示数4項目における男女別・年齢別の箱ヒゲ図。青壮年と熟年の間、ならびに青壮年と老年の間で Mann-Whitney 検定を行ない、それらの有意確率を図中に示した。有意な P 値については太字で表わした。

述の機能適応モデルは裏付けられていない。骨の脆弱化を補うための外形拡大が見られないことの解釈としては、近年の Lovejoy ら (2003) の初期発生モデルを挙げることができる。Lovejoy らは、骨形態の決定において、力学負荷は従来想定されてきた主要な役割を担うのではなく、骨幹部は（正常な範囲の力学負荷の下では）負荷の程度を反映することなく形成されるとする。さらに成人後のリモデリングにおいては、力学負荷の感受に基づいた骨形成は起こらないとしている。本研究結果はこの仮説と矛盾しない。ただし、今回扱った老年資料は男女各8体分であり（表1）、外形拡大現象が確認されなかった原因として資料数が不十分であった可能性がある。また、年齢横断的調査の場合、年齢群間の違いが加齢変化によるものではなく、出生コホートの違いに起因する可能性もある。

一方、近年の測定技術の発展に伴い、骨量と骨分布の経年変化が、リモデリングによる骨膜下の骨形成と骨内膜面の骨吸収、ならびにそれらの不均衡によって生じることが縦断データから明らかになりつつある (Lauretani

図8 女性における年齢と骨部占有割合の散布図。有意な負の相関関係が認められた (R 値は Spearman の順位相関係数)。回帰直線の傾きと切片は最小二乗法による。

et al., 2008)。ただし、骨形成と年齢、性別、ホルモンレベル、遺伝的背景、負荷刺激といった様々な要因間の関連は複雑であり (例えば Ruff et al., 2006; Seeman, 2007;

図9 年齢とICPおよびPICPの散布図。男女とも有意、ないしは有意水準に近い正の相関関係が認められた（ICPのR値はPearsonの相関係数、PICPのR値はSpearmanの順位相関係数）。×印が男性、○印が女性を表わす。有意なP値については太字で表わした。

図10 年齢と外形断面積、髓腔部断面積の散布図。ここでは20歳未満のデータ（未発表）をさらに加え、出生後から老年までの加齢パターンを示した。○印と点線が外形断面積、×印と実線が髓腔部断面積を表わす。図中の曲線はLOWESS平滑化（tension = 0.5）による。

Lauretani et al., 2008; Petit et al., 2008), 骨および部位ごとのデータの蓄積が望まれる。骨幹部については、加齢とともに、適応的な方向に外形が拡大することが報告されているが、これが力学負荷に対応した骨形成であるか、それとも骨組織のターンオーバーの一環として起こり、負荷刺激の程度とは対応しないものか、今後の検討が必要と思われる。この双方の区別は、一見詳細事に見えるかもしれないが、古人骨資料の解釈に直接関わるものであり (Lovejoy et al., 2003; Ruff et al., 2006), 人類学の分野では慎重に見極める意義があると思われる。

図11 50歳以降における年齢と髓腔部断面積（大腿骨最大長の二乗により基準化）の散布図。×印が男性、○印が女性を表わす。男性では有意な相関性がなく、女性では有意な正の相関関係が認められた（R値はPearsonの相関係数）。回帰直線の傾きと切片は最小二乗法による。

謝 辞

本研究を行なうに当たり、お茶の水女子大学生活科学部の松浦秀治教授には有益な御助言を頂いた。また、特に骨幹部の外形拡大現象について考察するに当たり、東京大学総合研究博物館の諏訪元教授には様々にご教示頂いた。厚く御礼申し上げる。

引用文献

- Ahlborg H.G., Johnell O., Turner C.H., Rannevik G., and Karlsson M.K. (2003) Bone loss and bone size after menopause. *The New England Journal of Medicine*, 349: 327–334.
- Atkinson P.J. and Weatherell J.A. (1967) Variation in the density of the femoral diaphysis with age. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 49: 781–788.
- 馬場悠男 (1991) 人骨計測法. 人類学講座別巻 1—人体計測法 II, 雄山閣, 東京.
- Bouxsein M.L., Myburgh K.H., van der Meulen M.C.H., Lindenberger E., and Marcus R. (1994) Age-related differences in cross-sectional geometry of the forearm bones in healthy women. *Calcified Tissue International*, 54: 113–118.
- Feik S.A., Thomas C.D.L., and Clement J.G. (1996) Age trends in remodeling of the femoral midshaft differ between sexes. *Journal of Orthopaedic Research*, 14: 590–597.
- Feik S.A., Thomas C.D.L., and Clement J.G. (1997) Age-related changes in cortical porosity of the midshaft of the human femur. *Journal of Anatomy*, 191: 407–416.
- 藤原佐枝子・増成直美・児玉和紀・福永仁夫 (1997) 腰椎・大腿骨骨塩量カットオフ値を使った骨粗鬆症有病率の検討. *Osteoporosis Japan*, 5: 223–226.
- 福永仁夫 (2002) 骨粗鬆症罹患率の推定. *Osteoporosis Japan*, 10: 11–13.
- 林泰史 (1999) 骨の健康学. 岩波書店, 東京.
- Heaney R.P., Barger-Lux M.J., Davies K.M., Ryan R.A., Johnson M.L., and Gong G. (1997) Bone dimensional change with age: interactions of genetic, hormonal, and body size variables. *Osteoporosis International*, 7: 426–431.
- 加藤征 (1995) 第7回肉眼解剖学研究会抄録—大腿骨骨幹の加齢と増径. *Anthropological Science*, 103: 493.
- Kimura T. (1994) Age changes of postcranial skeletons in adult Japanese macaques. *Anthropological Science*, 102 (Suppl.): 27–41.
- Kono S., Sunagawa Y., Higa H., and Sunagawa H. (1990) Age of menopause in Japanese women: trends and recent changes. *Maturitas*, 12: 43–49.
- Lauretani F., Bandinelli S., Griswold M.E., Maggio M., Semba R., Guralnik J.M., and Ferrucci L. (2008) Longitudinal changes in BMD and bone geometry in a population-based study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23: 400–408.
- Lovejoy C.O., McCollum M.A., Reno P.L., and Rosenman B.A. (2003) Developmental biology and human evolution. *Annual Review of Anthropology*, 32: 85–109.
- Martin R.B. and Atkinson P.J. (1977) Age and sex-related changes in the structure and strength of the human femoral shaft. *Journal of Biomechanics*, 10: 223–231.
- 森井浩世 (2000) 骨粗鬆症 Q&A. 医薬ジャーナル社, 大阪.
- Petit M.A., Beck T.J., Hughes J.M., Lin H.M., Bentley C., and Lloyd T. (2008) Proximal femur mechanical adaptation to weight gain in late adolescence: a six-year longitudinal study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23: 180–188.
- Riggs B.L., Wahner H.W., Seeman E., Offord K.P., Dunn W.L., Mazess R.B., Johnson K.A., and Melton L.J. (1982) Changes in bone mineral density of the proximal femur and spine with aging. Differences between the postmenopausal and senile osteoporosis syndromes. *The Journal of Clinical Investigation*, 70: 716–723.
- Ruff C.B. (1992) Biomechanical analyses of archaeological human skeletal samples. In: Saunders S.R. and Katzenberg M.A. (eds.), *Skeletal biology of past peoples: research methods*, Wiley-Liss, New York, pp. 37–58.
- Ruff C.B. and Hayes W.C. (1982) Subperiosteal expansion and cortical remodeling of the human femur and tibia with aging. *Science*, 217: 945–947.
- Ruff C.B. and Hayes W.C. (1988) Sex differences in age-related remodeling of the femur and tibia. *Journal of Orthopaedic Research*, 6: 886–896.
- Ruff C.B., Holt B., and Trinkaus E. (2006) Who's afraid of big bad Wolff? "Wolff's law" and bone functional adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 129: 484–498.
- Russo C.R., Lauretani F., Seeman E., Bartali B., Bandinelli S., Iorio A.D., Guralnik J., and Ferrucci L. (2006) Structural adaptations to bone loss in aging men and women. *Bone*, 38: 112–118.
- Seeman E. (2007) The periosteum -a surface for all seasons. *Osteoporosis International*, 18: 123–128.
- Singh M., Nagrath A.R., and Maini P.S. (1970) Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 52: 457–467.
- Smith R.W. and Walker R.R. (1964) Femoral expansion in aging women: implications for osteoporosis and fractures. *Science*, 145: 156–157.
- 鈴木隆雄 (2002) 骨粗鬆症の疫学—わが国の現状と今後. 新薬と治療, 52: 17–20.
- 鈴木隆雄・吉田英世・石崎達郎 (1998) 骨粗鬆症—発生率・有病率, 治療状況, 予後. *日本臨床*, 56: 1563–1568.
- 竹内修二 (2000) 四肢長骨の成長に伴う形態変化. *解剖学雑誌*, 75: 207–214.
- 竹内修二・影山幾男・栗竹智雄・加藤征・山下廣 (1998) 加齢に伴う大腿骨髄腔の拡大. *解剖学雑誌*, 73: 259–264.
- 竹内修二・加藤征・山下廣 (1996) 成長後も加齢に伴い太くなる長骨. *Auxology*, 3: 24–26.
- 玉田太朗 (1985) 時代による閉経年令の推移. 玉田太朗編, 更年期・老年期の婦人科学, 産婦人科 MOOK No. 30, 金原出版, 東京, pp. 30–33.
- 玉田太朗・岩崎寛和 (1995) 本邦女性の閉経年齢. *日本産科婦人科学会雑誌*, 47: 947–952.
- Thomas C.D.L., Feik S.A., and Clement J.G. (2005) Regional variation of intracortical porosity in the midshaft of the human femur: age and sex differences. *Journal of Anatomy*, 206: 115–125.
- Weaver J.K. and Chalmers J. (1966) Cancellous bone: its strength and changes with aging and an evaluation of some methods for measuring its mineral content. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 48: 289–299.
- 山本逸雄 (1999) 骨粗鬆症人口の推定. *Osteoporosis Japan*, 7: 10–11.