

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号： 23903  
 研究種目： 基盤研究（C）（一般）  
 研究期間： 2010 ~ 2012  
 課題番号： 22590640  
 研究課題名（和文） マルチスライス CT 再構成画像を用いた恥骨部および寛骨耳状面形態の 3 次元解析  
 研究課題名（英文） Three dimensional analysis of pubic bone and pelvic auricular surfaces using reconstructed CT images.  
 研究代表者  
 青木 康博（AOKI YASUHIRO）  
 名古屋市立大学・大学院医学研究科・教授  
 研究者番号： 90202481

研究成果の概要（和文）：法医学分野において性別判定・年齢推定に有用とされている恥骨部につき、3次元画像および3次元CT再構成画像を用いて定量的解析を行った。恥骨結合部の平均面曲率は30歳までは大きく、それ以降は低下し平準化した。凹部・凸部の面積比は加齢に従い増加する傾向が認められた。さらに恥骨結合部の相同モデルを作成し、これを利用して主成分分析を行ったところ、各年齢層に特徴的な成分、および特に35歳以下において年齢と関連した変化を示す成分が検出された。

研究成果の概要（英文）：Three dimensional pubic bone images, synthesized with 3D scanner and reconstructed from multi-slice CT images, were analyzed to quantify any age-dependent morphological changes of the symphyseal faces. Average values of absolute mean curvatures of pubic symphyseal surfaces under 30 years old were higher than those of older individuals, of which the values were approximately constant. The ratio of the concave areas increased gradually with progressing age classes. In the principal component analysis performed on the homology models of the pubic symphyseal faces, some components specific to each age class were detected. Furthermore, among the specimens of under 35 years old, a few age-correlated components were also identified.

### 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
2013年度			
2014年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野： 医歯薬学

科研費の分科・細目： 社会医学・法医学

キーワード： 法医学，法医人類学，画像解析，CT，骨盤骨，恥骨結合，主成分分析

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 骨盤骨はヒトにおいて性的二型のもっとも顕著な骨であり、また恥骨結合面や寛骨耳状面の形態などは年齢推定に有用であることなどから、法人類学的に重視されてきたが、現代人乾

燥骨の実測データはほとんどない。

(2) 一方、近年マルチスライスCTの普及およびコンピュータの処理能力の高速化により、CT画像からの簡便で再現性の高い3次元画像構築が可能になり、病変等の空間的位置関係の把握

が容易であることから、臨床現場で多用されるようになった。骨盤骨も形状が複雑であり、位置関係の理解を容易にするためには、3次元像の取得が有効であり、これを利用すれば各種の計測が可能である。

(3) 3次元画像を用いた計測値に基づく解析は、容積や体積の測定を除けば、主に任意断面を抽出して距離を測定するなどの2次元的手法を主体としてなされているのが現状である。複雑な形状を有する人体に対し、2次元解析はその簡便性、実用性等の点でなお有力な手法であるが、近年人体表面形状計測で試みられているような、彎曲やねじれなどの3次元特徴を分析することにより、人体内部構造の3次元画像構築の計測学的有用性が格段に向上することには疑いがなく、またハードウェアおよびソフトウェアの進歩は今後も加速されることが予想されるので、人体の3次元計測あるいは3次元解析は法医学・法科学に限らず医学全般において発展の望める技術分野と考えられた。

## 2. 研究の目的

恥骨部標本を3次元レーザースキャナにより撮影して得た3次元画像、およびマルチスライスCT画像より再構成した骨盤骨3次元画像を用い、恥骨部および寛骨耳状面など、生体や通常の剖検死体では観察に困難が伴う部位の描出を試み、さらにデータ変換後に、各種計測およびデータ解析を行うことにより、現代日本人男女における年齢による形態変化および性的二型を示す特徴部位につき、法医学的に有用で、かつデジタルデータの特性をいかした3次元・2次元解析法を提唱する。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料

氏名不詳で鑑定囑託され、その後身元が判明した剖検死体から採取された、名古屋市立大学大学院医学研究科法医学分野および岩手医科大学法医学講座保管の恥骨標本145例(男性90例、女性55例、11~88歳)、および、岩手医科大学附属病院並びに附属循環器センター放射線科より提供を受けた、連結不可能匿名化された骨盤部CT画像226例(10~80歳代、男性124例、女性102例)を用いた。

### (2) 恥骨結合部再構成画像を用いた数量的評価法の検討

#### 再構成像の評価

恥骨標本はレーザースキャナ(PICZA LPX-600, Roland社)で撮影し3次元恥骨像を作成した。骨盤部CT画像(Aquilion-advance, Aquilion 64, 東芝, 撮影ピッチ1mm)からは、可視化ソフトウェア(INTAGE Realia, KGT社)を用いて3次元像を作成し、さらに断面

により分割するなどの処理を施して、恥骨結合面像を描出した。前者については、再現性を評価するために実物標本と画像とを直接比較し、Suchey-Brooks(S-B)分類による相判定が可能であるかどうか、可能であるとして標本との間に齟齬が生じないかを確認した。なお相判定はCT再構成画像に対しても試みた。

#### 恥骨結合面の3次元曲率解析

恥骨結合面の凹凸を検査するため、3次元像をSTLデータにエクスポートし、3次元解析ソフトウェア(3D Rugle6, メディックエンジニアリング社)を用いて、恥骨結合面を約5mm<sup>2</sup>ごとに分割して曲率を計測し、その分布を明らかにするとともに、それらの絶対値の平均値(平均曲率)を算出し、相との関係を検討した。

#### 恥骨部相同モデルの作成

恥骨結合面の形状の差異を統計的に分析することを目的とし、各恥骨像について同一点数、同一位相幾何構造からなる相同モデルを作成した。テンプレートには半楕円球状のテンプレートモデルを粘土で作製し、レーザースキャナにて恥骨標本と同様に撮影したものをを用いた。HBM-Rugle(メディックエンジニアリング)により、テンプレート像と各恥骨3次元像の大きさや方向を調整した後、恥骨の各標記点(特徴点)およびその中間に位置する点などの対応する点を各像に記し、Homologous Body Modelingソフトウェア(産業技術総合研究所)を使用して作成した。

#### 恥骨結合面の主成分分析

恥骨結合部の加齢による変化の定量的表現の試みとして、各恥骨相同モデルにつき、Human Body Statistics - Principal Component Analysis(HBS-PCA)を用いて主成分分析を行い、検出された主成分値と、年齢、およびS-B分類の各相との関連について検討を行った。また、主成分に基づく形状生成用データを利用し、各相の特徴形態を表現する主成分形状を検出し、検出された形状と特徴形態とを比較するとともに、相ごとの特徴像および平均像の作成を試みた。

### (3) CT再構成像からの寛骨耳状面の描出

各3次元CT再構成画像をポリゴンデータに変換し、ポリゴン編集ソフトウェアを用いて仙骨部を除去し寛骨耳状面を露出させ、その表面形状について解析を試みた。

## 4. 研究成果

### (1) 恥骨標本3次元像の再現性

恥骨標本のうち、表面が磨耗・破損していたり、極端に粗糙となっているもの4例は相判定には適さず、最終的に141例(男性89例、女性52例)の3次元像を得た。ポリゴン化した結合部像では、主に第1・2相に認められる平行

隆線や第5相以降で顕著化する陥凹を観察できたが、小孔ヤリッピングなど微細な構造は一部把握できなかった(図1)。画像を用いたS-B分類の相判定の結果は実物標本によるそれとほぼ一致し、画像解析を行うに十分な再現性が確保されていると考えられた。



図1. 左: 恥骨標本, 右: スキャナによる3D再構成像 (S-B分類第2相)

(2) CT画像からの恥骨結合部3次元再構成  
描出した恥骨結合面像につき、CT値(Hounsfield number)を調整することなどにより、平行隆線などによる結合面の凹凸および輪郭はある程度描出でき、相の推定が可能な例もあった。一方、特に第5相以降では靭帯の骨化の影響などにより、結合部の骨表面像の描出に困難を伴う例が相当数あった(図2)。

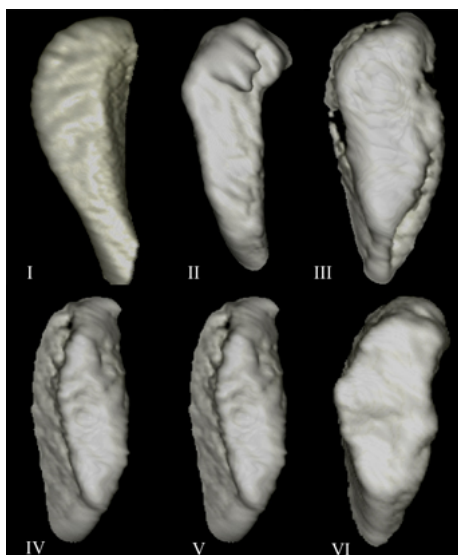


図2. CT画像から再構成した恥骨結合面の3次元像。ローマ数字はS-B分類相を示す。

### (3) 恥骨結合面の曲率解析

男女とも恥骨結合面の平均曲率(絶対値)は、S-B分類の第1相, 2相においては大きく、3相以降は低下し、平準化した(図3)。年齢との関係においても、10歳代~30歳代にかけ低下する

傾向が、特に女性の右恥骨で顕著に認められた。

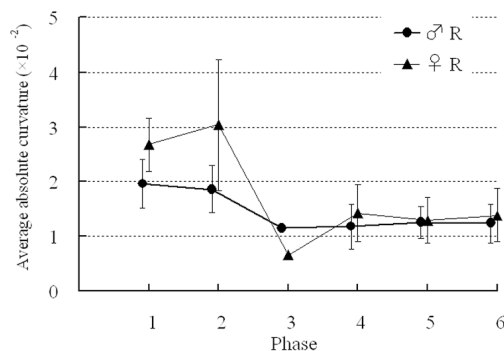


図3. 平均曲率のS-B分類相間の変動(右恥骨結合面)

また全般に女性において男性より大きな値を示した。一方、凹領域・凸領域の比は、男女とも相対年齢と正相関する傾向が認められた(図4, 5)。

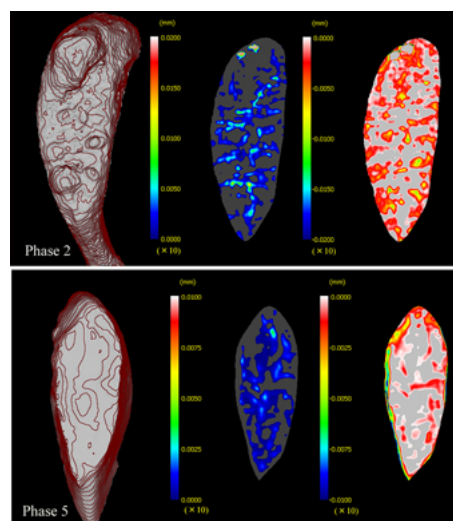


図4. 恥骨結合面の等高線表示(左), および曲率分布(中: 凹部, 右: 凸部)。上: S-B分類第1相, 下: 同第4相

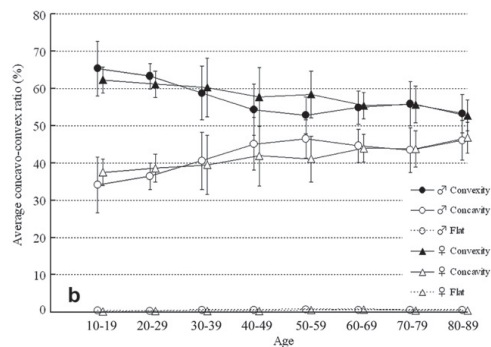


図5. 恥骨結合面の凹凸部の面積比と年齢との関係

一般に恥骨結合面は、骨吸収などにより40歳代以降（第4相以降）陥凹が進むと考えられているが、結合面の各部を対象とする検討においては、そのような変化は、平均面曲率よりも面積比に反映されたと考えることができる。なお、3次元CT再構成像については、平均曲率の解析に適した十分な数の像を得られず、以下に述べる相同モデルを用いた主成分分析も成し得ていない。

#### (4) 相同モデルの評価

ポリゴン数の削減を目的とし、相同モデル像と3次元像間の平均法線距離を計測したところ、1500点（ポリゴン数3000）以上のテンプレートではほぼ一定になったことから、相同モデル化には1500点数のテンプレート像を採用した。第1相に分類された男女各5例をもとに作成された相同モデルを実際の3次元像に重ね合わせたところ、面間距離はおおむね $\pm 0.3\text{mm}$ 以内であり、テンプレートや標記点の設定には改善の余地があると考えられたものの、ほぼ良好な相同モデルが形成された。

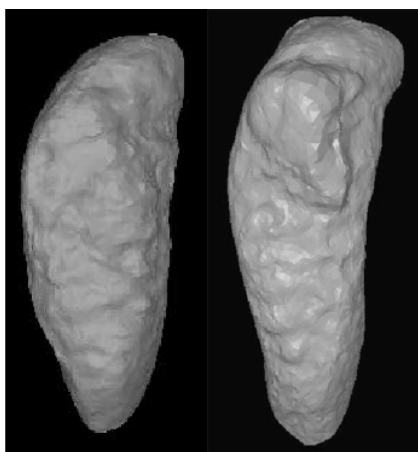


図6. S-B分類第1相（男性，左恥骨  $n = 5$ ）の平均像（左，主成分値：0）および特徴像（第1主成分値：-154.4）

#### (5) 主成分分析による特徴像および平均像の作成

男女各相群ごとの分析により、それぞれ2~10個の主成分が検出された。全主成分値を0として生成された形状を平均像、主要主成分値を試料の最大値に設定して生成された形状を特徴像とし、主成分分析に基づく代表的形態を作成した（図6）。

#### (6) 年齢・相に関連した主成分の検出

相同モデルを用いた主成分分析ではS-B分類の各相に特徴的な形状成分がみられたが、男女全例（男性90例，女性52例）での検討では主成分値のばらつきが大きく、また階級ごとの試料数に差があることもあって、相または年齢階層と強い相関のある成分はみられなかった。そ

こでこれらの条件を調整して抽出した各年齢層の標本（男性26例，女性24例）から作成した相同モデルを対象として検討を行ったところ、実年齢と関連する成分が男女各1成分ずつ検出され、特に男性の35歳以下の事例については、比較的強い相関（ $n=11$ ,  $R^2=0.69$ ）を有する成分が認められた（図7）。また隣接する相間で値が著明に変化する成分も検出された。

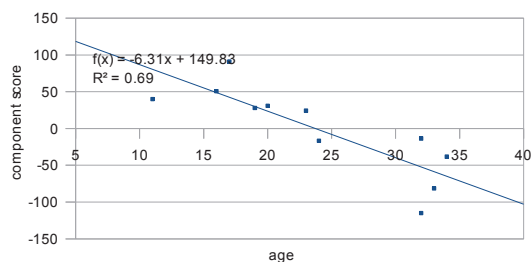


図7. 35歳以下の男性左恥骨相同モデルにより検出された第2主成分値と年齢との相関（ $n=11$ , contribution ratio:20.1）

今回の結果は、相同モデルおよびそれを用いた主成分分析により、年齢との相関を示す成分、あるいは相間の移行に関連した成分を検出できたことは、恥骨結合面の加齢による形態変化について、定量的評価の可能性を示すものと考えられる。一方、特に若年者についてのサンプル数が少ないこと、加齢による主成分値の増大への対応が今後の検討課題として挙げられる。

#### (7) 寛骨耳状面の描出

3次元骨盤部CT再構成画像より仙骨を除去して寛骨耳状面の描出を試みたところ、一部の例で耳状面を露出することが可能であったが、関節部の癒着が強く完全な露出像を得られない例が多かった。また今回用いた再構成の手法では、解像性の影響により微細な表面構造を観察することは困難であった。

研究代表者および研究分担者は本研究課題への着手に先立ち、あるいは併行して、骨盤部3次元CT再構成像を利用し、大坐骨切痕・恥骨下部のフィット円生成による曲率解析や腸骨窩の面曲率の計測などを行ってきた。これらの研究手法は法科学分野においては比較的先駆的なものであって、画像を用いた骨盤骨の解析に基づいた研究報告は近年増加している。そのような流れの中で、本研究による成果も国際的に評価されているものとする。しかし、本研究課題は3次元解析法の開発を一つの主要課題としており、それについては一定の成果を得たと言えるものの、3次元CT画像の利用ないし定量的評価法の確立という点での達成度は十分とは言えない。最も障害となったのは画像の解像性および描出法の問題であり、特に寛骨耳状面につ

いては、描出法自体について再検討を求められている。このため今後、画像処理や解析法の改良のみならず、撮像や再構成機器のハードウェア的、ソフトウェア的解決も図られる必要がある。その一方で、相同モデルを用いた主成分分析は人体の形状解析法として有効であり、法科学分野においてもその有用性は高いものと考えられた。特に冒頭で述べたとおり、骨盤骨は法科学的に重要視されている骨であるので、今後寛骨の他の部位も解析対象とし、研究を進める予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分野及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Biwasaka H, Sato K, Aoki Y, Kato H, Maeno M, Tanijiri T, Fujita S, Dewa K. Three dimensional surface analyses of pubic symphyseal faces of contemporary Japanese reconstructed with 3D digitized scanner. *Legal Med* (査読あり) 2013; 15: *Corrected proof available online*. DOI: 10.1016/j.legalmed.2013.02.003

Biwasaka H, Aoki Y, Sato K, Tanijiri T, Fujita S, Dewa K, Yoshioka K, Tomabechi M. Analyses of sexual dimorphism of reconstructed pelvic computed tomography images of contemporary Japanese using curvature of the greater sciatic notch, pubic arch and greater pelvis. *Forensic Sci Int* (査読あり) 2012; 219: 288.e1-288.e8. DOI: 10.1016/j.forsciint.2011.11.032

Biwasaka H, Tokuta T, Sasaki Y, Takagi T, Tanijiri T, Miyasaka S, Takamiya M, Aoki Y. Application of computerized correction method for optical distortion of 2-dimensional facial image in superimposition between 3-dimensional and 2-dimensional facial images. *Forensic Sci Int* (査読あり) 2010; 197: 97-104. DOI: 10.1016/j.forsciint.2009.12.063

[学会発表](計2件)

琵琶坂 仁, 佐藤 圭, 青木康博, 加藤秀章, 前野善孝, 藤田さちこ, 高宮正隆, 出羽厚二, 谷尻豊寿. 主成分分析による恥骨結合部3次元像の形態解析. 第96次日本法医学学会学術全国集会. 2012年6月9日 アクトシティ浜松(静岡県).

琵琶坂 仁, 佐藤 圭, 青木康博, 加藤秀章, 前野善孝, 藤田さちこ, 出羽厚二, 吉岡邦裕, 苫米地牧子, 谷尻豊寿. 骨盤部マルチ

スライス CT 再構成画像を用いた恥骨結合部の3次元解析. 第95次日本法医学学会学術全国集会. 2011年6月16日 コラッセふくしま(福島県).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

青木 康博 (AOKI YASUHIRO)  
名古屋市立大学・大学院医学研究科・教授  
研究者番号: 90202481

##### (2) 研究分担者

琵琶坂 仁 (BIWASAKA HITOSHI)  
岩手医科大学・非常勤講師  
研究者番号: 90405837