

## 踵骨X線画像のフラクタル次元解析

北山 彰<sup>1</sup> 林 明子<sup>1</sup> 荒尾 信一<sup>1</sup>  
 天野 貴司<sup>1</sup> 板谷 道信<sup>1</sup> 山下 一也<sup>1</sup>  
 友光 達志<sup>2</sup> 曾根 照喜<sup>3</sup> 福永 仁夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>川崎医療短期大学 放射線技術科

<sup>2</sup>川崎医科大学附属病院 中央放射線部

<sup>3</sup>川崎医科大学 核医学

(平成9年9月17日受理)

## Fractal Dimension Analysis of Calcaneal Radiographs

Akira KITAYAMA<sup>1</sup>, Akiko HAYASHI<sup>1</sup>, Shinichi ARAO<sup>1</sup>,  
 Takashi AMANO<sup>1</sup>, Michinobu ITAYA<sup>1</sup>, Kazuya YAMASHITA<sup>1</sup>,  
 Tatsushi TOMOMITSU<sup>2</sup>, Teruki SONE<sup>3</sup> and Masao FUKUNAGA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Technology,  
 Kawasaki College of Allied  
 Health Professions

<sup>2</sup>Department of Radiology, Kawasaki Medical School Hospital

<sup>3</sup>Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School  
 (Accepted on Sep, 17, 1997)

**Key words** : デジタル画像処理, フラクタル次元, 骨梁像, 踵骨X線画像

### 概 要

骨粗鬆症患者を含む計16例を対象として、その踵骨側面X線画像をデジタル化して、得られた骨梁像に対してフラクタル次元解析による画像処理を適用した。そして、算出された解析値と、同例の超音波およびX線を使用した踵骨骨密度測定装置で得られた各骨量指標との比較検討を行った。

その結果、踵骨のデジタル画像解析から算出されたフラクタル次元解析値と骨密度測定装置から得られた各骨量指標との間には有意な正の相関性が認められた ( $r = 0.608 \sim 0.820$ )。

これにより、フラクタル次元解析法は、骨強度の評価が可能な画像解析法であると考えられた。

### 1. はじめに

高齢化社会の到来とともに加齢に伴う退行性疾患の増加が医療面のみならず社会的にも問題となっているが、なかでも骨の退行性疾患の一つである骨粗鬆症の患者数の増加には顕著なものがある<sup>1)</sup>。骨粗鬆症は、骨量の減少と骨の微細構造の劣化により骨強度が脆弱化して骨折を起こし易くなった状態と定義される<sup>2)</sup>。したがって、

骨粗鬆症の診断、予防および治療の適正な導入を行うためには、骨強度の定量的判定が臨床上重要となる。

骨強度は骨量と骨の3次元的構造などに依存するといわれている<sup>3)</sup>。骨量の定量については、dual energy X-ray absorptiometry (DXA) 装置や quantitative computed tomography (QCT) 装置などのX線を用いた骨塩定量装置による骨密度の測定が行われている<sup>4)</sup>。他方、骨

の構造の定量は、組織学的に骨形態計測を行う侵襲的な技法<sup>5)</sup>が一般に行われているが、非侵襲的な手法については未だ確立されていない。X線画像から骨梁の構造解析を行う手法は非侵襲的な手法の一つであり、フラクタル次元解析<sup>6-8)</sup>、空間周波数解析<sup>9)</sup>および数理形態学フィルタによる骨格特徴抽出<sup>10)</sup>などの試みがなされている。

今回我々は、X線画像から骨強度の定量を行うことを目的に、まず他部位に比して骨梁の描出能に優れた踵骨側面X線画像を対象に用い、これにフラクタル次元解析を適用して解析値を算出した。次いで、得られた解析値と、骨の弾性や骨梁の3次元分布に関係した指標の取得が可能とされている<sup>11)</sup>定量的超音波法 (quantitative ultrasound, QUS) および QUS と単一エネルギーX線吸収法 (single energy X-ray absorptiometry, SXA) を併用した装置から得られた各骨量指標との比較を行った。そして、フラクタル次元解析法の骨強度評価法としての可能性について検討した。

## 2. 対象および方法

対象は、骨粗鬆症と診断された6例を含む女性14例 (24~61歳, 平均年齢:  $49.4 \pm 10.7$ 歳) と男性2例 (29歳と44歳) の計16例である。

これらの対象に対して、QUS装置 (Achilles, Lunar) および QUS と SXA の併用装置 (UXA-300, Aloka) を用いて踵骨の骨量測定を行った。そして、Achilles では超音波伝播速度 (speed of sound, SOS: m/sec), 超音波減衰係数 (broadband ultrasound attenuation, BUA: dB/MHz) および Stiffness を、UXA-300では骨密度 (bone mineral density, BMD: g/cm<sup>3</sup>) と弾性指標 (elastic index: N/m<sup>2</sup>) の各骨量指標を取得した。

Fig. 1に今回検討した踵骨X線像のフラクタル次元解析の手順を示す。まず、対象全例に対して同一の受像系 (増感紙: LT-II (化成オプトニクス), フィルム: RX (富士メディカルシステム)) を用いて、同一撮影条件 (管電圧: 50 kV, 管電流: 100 mA, 撮影時間: 0.1 sec, 撮影距離: 1 m) で踵骨側面X線写真を撮影し、自動現像機 (CEPROS S, 富士メディカルシステム) による現像処理を行った。

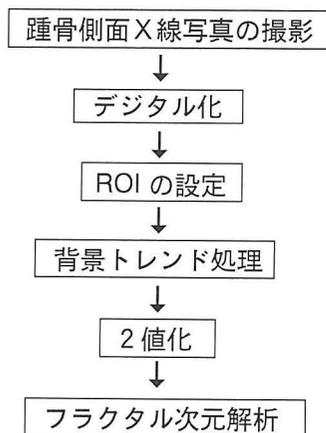


Fig. 1 Flow chart of fractal dimension analysis of calcaneal radiographs.

得られたX線画像をフィルムディジタイザ (LD-4500, コニカ) を用いてデジタル化 (標本化 85 $\mu$ m, 量子化 8 bits (256階調)) を行い、パーソナルコンピュータ (Macintosh II fx, Apple) に記憶した。そして、取得した踵骨側面像の中央部に11 $\times$ 11mm (128 $\times$ 128 pixels) の正方形関心領域 (region of interest, ROI) をコンピュータのモニタ上で設定し、これを切り出して解析の対象とした。ここで、踵骨側面像の中央とは、踵骨結節最下端と踵骨隆起最下端を直線で結び、これに後距骨関節面後縁から垂線を下ろし、この2線とこの2線に平行で踵骨上縁および後縁をそれぞれ通る2線とで形成される矩形の中央である。

フラクタル次元解析を実施するための前処理として、切り出した画像から被写体厚の変化やX線管球のヒール効果などに起因する大きな濃度変化 (背景トレンド) を除去した。なお、背景トレンド処理には、骨梁による微細な濃度変化だけを抽出するためにパブリックドメインソフト NIH Image (Ver, 1.57) の2次元ローリングボール法を用いた。

フラクタル次元解析は、背景トレンド処理のなされた画像を2値化し、それを対象として NIH Image Fractal (Ver, 1.57) のグリッド法を用いて行った。2値化の閾値は、すべての画像の骨梁がモニタ上で明瞭に描出されるような値に設定した。

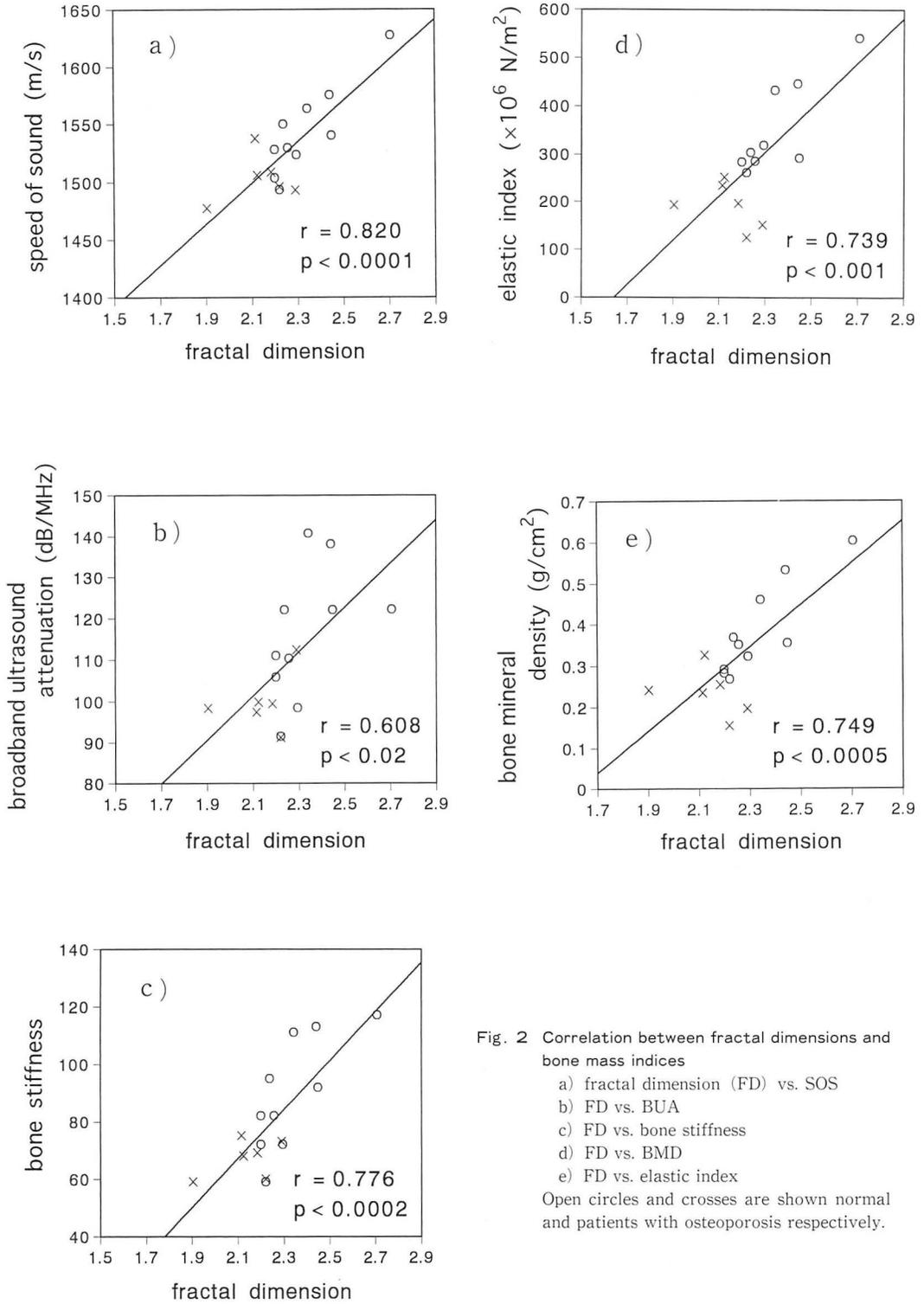


Fig. 2 Correlation between fractal dimensions and bone mass indices

- a) fractal dimension (FD) vs. SOS
- b) FD vs. BUA
- c) FD vs. bone stiffness
- d) FD vs. BMD
- e) FD vs. elastic index

Open circles and crosses are shown normal and patients with osteoporosis respectively.

算出されたフラクタル次元解析値と、骨量測定装置で取得された5つの骨量指標(SOS, BUA, stiffness, BMD, elastic index)を比較した。

### 3. 結 果

算出されたフラクタル次元解析値と骨量測定装置で取得された5つの骨量指標値との相関をFig. 2に示す。横軸はフラクタル次元解析値であり、縦軸は5つの骨量指標値である。Fig. 中の○印と×印は、各症例の腰椎BMD値を基準として判定された正常例と骨粗鬆症例をそれぞれ示す。

フラクタル次元解析値と骨量測定装置で取得された5つの骨量指標値との間にはすべての組み合わせにおいて有意な正の相関性が認められた( $r=0.608\sim 0.820$ )。また、これらのうちSOSとの相関性が最も優れていた( $r=0.820$ )。

### 4. 考 察

Achilles で得られるSOSは物質の弾性を表すヤング率と密度によって規定される値であり、骨密度の指標と考えられる。他方、BUAは、超音波の水における透過スペクトルから踵骨透過後スペクトルを差し引いた値で得られるスペクトルの傾きであり、骨梁の3次元分布や骨質を表す指標とされている。また、stiffnessは、SOSとBUAの米国白人健常者データに対する% of age-matched control 値から算出された数学的な骨強度指標である。

一方、UXA-300で得られるBMDは、X線の軟部組織と骨とにおける減弱率の違いから算出される平面密度であり、elastic indexはSOSと密度( $g/cm^3$ )から算出される弾性指標である。

今回の画像解析に使用したフラクタル次元解析法は、対象とする図形の複雑さを定量的に測定する手法である。検討の結果、踵骨X線像のフラクタル次元解析値と、骨量測定装置で測定された各指標との間に良好な正の相関性が認められたことは、X線像のフラクタル次元解析により骨強度の評価が可能なることを示唆するもの

と考えられた。

今後は、今回の踵骨の結果を踏まえて、骨折の予防やリスクを持った症例の早期発見を目的として、骨粗鬆症の臨床においてより重要な腰椎あるいは大腿骨頸部のX線画像にフラクタル次元解析を使用して骨強度評価の可能性を検討する予定である。

### 文 献

- 1) 福永仁夫, 大塚信昭, 曾根照喜: 骨粗鬆症の定量的評価. 画像診断, 14(12), 35-41, 1994.
- 2) 山本逸雄: 骨粗鬆症の定量診断, CLINICAL CALCIUM 5(11), 7, 1995.
- 3) 福永仁夫: 骨質の評価法 - 特集にあたって -, THE BONE 10(4), 17-18, 1996.
- 4) 森田陸司, 福永仁夫, 山本逸雄: 骨ミネラル量の測定の臨床的意義, 日放技学誌 46(7), 903-910, 1990.
- 5) 内山 徹, 谷澤龍彦: 骨形態計測法, THE BONE 10(4), 51-60, 1996.
- 6) 曾根照喜, 友光達志, 北山 彰, 武田直人, 三宅真理子, 今井弘子, 福永仁夫: フラクタル次元を用いたX線骨梁像の解析, Osteoporosis 4(2), 47-50, 1996.
- 7) Ishida T., Yamashita K., Takigawa A., et al : Trabecular Pattern Analysis Using Fractal Dimension, Jpn. J. Appl. Phys. 32, 1867-1871, 1993.
- 8) Benhamou C. L., Lespessailles E., Jacquet G., et al : Fractal Organization of Trabecular Bone Images on Calcaneus Radiographs, J. Bone Miner. Res. 9, 1909-1918, 1994.
- 9) Ishida T., Takigawa A., Yamashita K. : Spectral Analysis of Trabecular Patterns, IMECO TC7 Int'l Symp. on AIMaC'91, 199-204, 1991.
- 10) 鹿島 勇, 熊坂さつき, 松木貴彦: 数理形態学による骨構造の骨格特徴抽出 - コンピューテッドラジオグラフィへの応用 -, THE BONE 10(4), 67-75, 1996.
- 11) 武田直人, 三宅真理子, 唐井一成, 北 昭一, 友光達志, 福永仁夫: 低周波超音波による踵骨の骨強度の評価, 川崎医学会誌 19(2), 77-81, 1993.