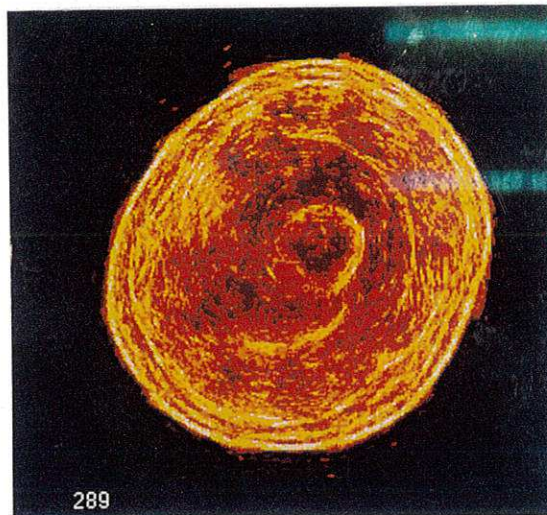
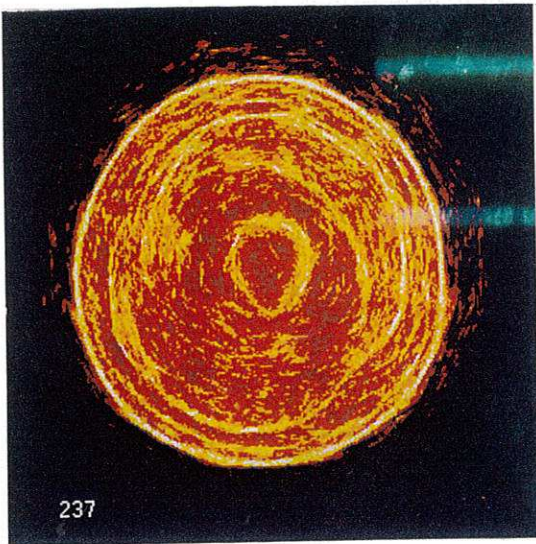


- ☆誠鋼社製 超音波皮脂厚計 SM-206 に標準対応
  - ☆超音波法により、安全性、簡便性、可搬性に秀逸！
  - ☆脂肪、筋肉、骨の断面積を容易に計測！
- MRI による計測値と高い相関性

- 特徴／1) 簡易測定 測定面を決定後、僅か1分で測定終了。画像処理時間も約30秒。  
短時間測定で多人数にも対応！
- 2) 簡単操作 画像合成は専用ソフト処理。特別ノウハウは不必要。
- 3) 省スペース コンパクト設計により、畳一枚のスペースで設置可能。  
自動車でも移動でき、フィールド調査にも活用可能！



システム構成／超音波皮脂厚計 SM-206、測定水槽装置、制御装置、パソコン

価格／ A、フルセット（超音波皮脂厚計 SM-206 含む） 495万円  
B、測定水槽装置セットのみ 400万円

詳細お問い合わせ先／（株）誠鋼社 企画営業部 田中寿志  
東京都千代田区三崎町2-15-5 TEL 03-3234-1039  
E-mail tanaka@seikosha-net.co.in

## 超音波体肢横断面画像撮影システムの開発\*

佐藤広徳\*\*, 福田 修\*\*\*, 辻 敏夫\*\*\*, 三浦 朗\*\*\*\*  
久野譜也\*\*\*\*\*, 佐藤陽彦\*\*\*\*\*, 福場良之\*\*\*\*

We constructed the conventional measuring system to visualize the complete cross-sectional image of human extremities using a hand-made water tank with commercial-base ultrasonographic device (3.5 MHz transducer) connected to PC for graphical processing. The water tank in which the subjects can insert and fix their leg or arm, was specially designed to be able to turn and scan the ultrasound probe once around the targeted extremity every arbitrary angle to get several fragmentary graphical images of one cross-sectional plane. To assess the reproducibility of the cross-sectional image using this system, we measured the same plane of thigh in 21 subjects twice on the different days, and compared each body compositional area. There were no substantial difference or bias and the high reproducibility was confirmed. Secondly, in order to assess the system's validity, the cross-sectional images of a thigh by MRI and our developed system were compared in 10 subjects. There was a high correlation between each body compositional area as determined by both systems. It is concluded that our developed ultrasonographic system, in many respects, is superior to other imaging devices, because it is portable, safe, and inexpensive. Our system can exert these advantages in the field survey.

市販の超音波診断装置、自作の水槽およびパソコンを用いてヒトの体肢の周りから任意の角度ごとに横断面画像（断片画像）を撮影し、得られた画像に画像処理を加え、完全な体肢の横断面画像を得る方法を開発した。自作の水槽は、同一平面上でプローブの回転操作が可能で、測定部位（脚または腕）の周りから任意の角度ごとの断片画像が撮影できるように設計されている。

本システムの再現性を確認するために、被検者21名の大腿の同一部位を1日以上の間隔を置いて2度撮影を行い、皮下脂肪、筋および骨のそれぞれの横断面積について比較検討をした結果、本システムの高い再現性が確認された。妥当性に関しては、10名の被検者を対象に本システムとMRIで大腿の同一部位の撮影を行い、各組織横断面積について比較した結果、MRIによる計測値と高い相関性が認められた。

本システムは、可搬性があり、安全でしかも安価なものであるため、フィールドにおける調査的研究に有効であると考えられる。

（キーワード：超音波法、横断面画像）

\* 1997年9月22日受付

\*\* 広島工業大学  
Hiroshima Institute of Technology.  
\*\*\* 広島大学  
Hiroshima University.

\*\*\*\* 広島女子大学  
Hiroshima Women's University.  
\*\*\*\*\* 筑波大学  
University of Tsukuba.  
\*\*\*\*\* 九州芸術工科大学  
Kyushu Institute of Design.

## 1. はじめに

人間工学、医学、体育学など、ヒトを対象とした学問分野においては、しばしば体肢組成を問題にすることがあるが、ヒトの身体組成は、古くは遺体を解剖することが唯一の方法であり、生体の組成を解明することは長い間非常に困難なことであった。

レントゲンの発明でようやく生体の内部構造情報が入手できるようになり、近年、X線を利用したCT (Computerized Tomography)が開発され<sup>1-3)</sup>、生体のさまざまな部位の横断面画像が撮影できるようになった。MRI (Magnetic Resonance Imaging) もまた、生体の横断面情報を入手する方法<sup>4,5)</sup>としてCT同様、臨床医学や診断医学の領域で頻りに使用されているが、CTやMRIは、生体の鮮明な横断面画像情報が得られるものの、両者とも非常に高価であるため、大規模な施設にしか設置することができず、しかもCTはX線照射に伴う身体への悪影響をぬぐいきれない。

最近では、ごく波長の短い音波を利用して生体の内部が観察できる超音波診断装置が臨床診断や皮下脂肪厚測定などに利用されている<sup>6-8)</sup>。この装置は音波を用いたものなので身体に対して無害であり、また、安価でコンパクトなため、持ち運びが簡単であるという利点を有する。

しかし、市販の超音波診断装置は体肢の一部を撮影することは可能であるが、完全な横断面画像を撮影することはできない。そこで、既製の超音波診断装置を

用いて測定部位を決定した後、その部位の周りから任意の角度ごとに数回撮影し、得られた横断面画像に対してパソコンによる画像処理を施し、体肢の横断面を合成する方法を開発したので報告する。

## 2. 体肢横断面撮影システムの構成

### 2-1. システムの全体構成

本システムは超音波診断装置、円筒形の水槽およびパソコンで構成されている。本研究で使用した超音波診断装置は、市販の廉価な超音波診断装置 (誠鋼社製 SM-206, 外形寸法: 230 mm×380 mm×250 mm, 重量: 7 kg) で、超音波の発現周波数は 3.5 MHz であった (図1)。市販の超音波診断装置は、いずれの機種も1回の撮影では限られた範囲の画像しか得ることができず、体肢の全体像をとらえることができない。本機種の場合も1回の撮影では、縦9 cm、横7 cmの長方形の画像しか撮影できない。そこで、同一平面上でプロープの回転操作が可能な水槽を自作し (図1, 2)、任意の角度ごとの体肢の横断面画像の撮影を行い、得られた各画像 (断片的な画像) に対して、パソコンを用いた画像処理を施すことで、体肢の横断面を合成することを試みた。

本システムは、コンパクトな構成になっており総重量が約 35 kg で運搬が可能なので、実験室のみならず、フィールド調査においても体肢横断面画像が容易に入手できるという特徴を有している。

### 2-2. 水槽

図1の筒 (図2は断面概略図) は、同一平面上でプ

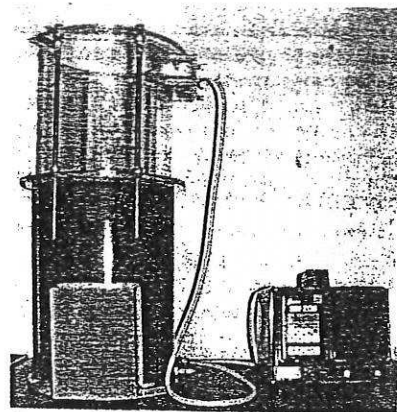


図1 超音波診断装置と自作の水槽  
Fig. 1 Ultrasound apparatus and water tank.

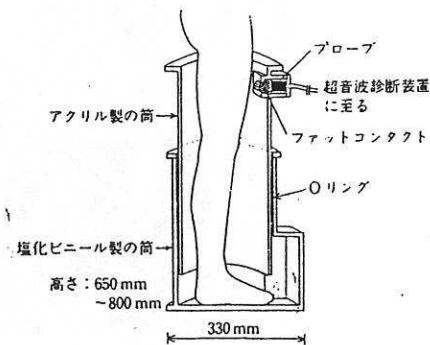


図2 水槽の断面の概略図  
Fig. 2 Illustrated outline of the water tank.

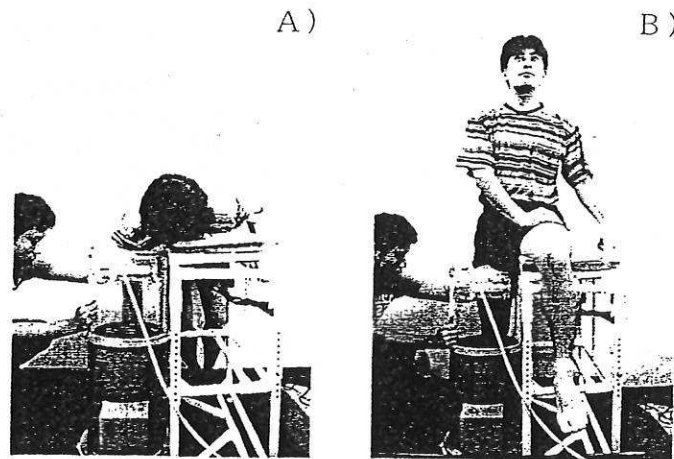


図3 撮影中の姿勢 (A: 上肢, B: 下肢)  
Fig. 3 Posture on scanning (A: Upper extremity, B: Lower extremity).

ロープの回転操作が可能な水槽である。この水槽は2層からなる筒状のもので、内側 (上部) の筒はアクリル製、外側 (下部) の筒は塩化ビニール製である。アクリルで透明な内側の筒は、自由に上下動し、任意の高さでステンレスのボルトとナットで簡単に固定できるようになっている。さらに固定された高さで自由に回転することができ、同一平面上でプロープの回転操作が可能となっている。

アクリル製の筒には、プロープを水平に固定するためのボックスが取り付けられている。ボックスが筒に接する部分には、縦 29 mm、横 80 mm の開口部があり、ここを超音波が通過するようになっている。撮影時には、この開口部とプロープとの間にファットコンタクト (誠鋼社製) とよばれるアタッチメントを装着し、水槽からの水漏れを防止している。ボックスの両側のボルトは、プロープの固定の微調整に使用するものである。アクリルの筒の側面には、30° と 45° ごとにラインが引かれており、撮影時の角度を設定するためのマーカーとなっている。アクリルの筒と塩化ビニールの筒の間には、水漏れ防止、ならびに滑らかな回転操作のためにパッキン (Oリング) が埋め込まれている。塩化ビニールの筒の下部には、下肢の横断面を撮影する際に、撮影部位が筒の中央に置かれるように足先を入れるボックスが設置してある。

### 2-3. 体肢横断面画像撮影の手順

まず最初に、生体計測によって撮影したい部位の平

面の位置を決定する。例えば我々の場合、大腿部は、大腿長の転子点から 50% の位置、上腕部は、上腕長の肩峰点から 60% の位置を撮影部位としている。これらのポイントは、それぞれの部位のほぼ最大囲を示す部位である。

次に被検者には、水を満たした水槽の中に撮影体肢を挿入させて固定するように指示し (図3)、実験者はアクリル製の上部の筒を手動で回転させながら任意の角度ごとに横断面画像を撮影していく。撮影部位の大きい大腿部は 30° ごとに、そのほかの部位 (上腕、前腕および下腿) は 45° ごとに撮影を行う。この回転角度は任意に設定可能で、測定する部位の太さに応じて設定することが望ましい。撮影時の姿勢は、上肢は図3-Aのように台上に胸部を乗せ、上肢を水槽内に下垂させる。水槽の底には、取っ手を設置しておき被検者にこの取っ手を軽く握らせ、水槽内での上肢の動揺を最小限にする。下肢は図3-Bのように立位で行い、このとき、撮影しない側の臀部を台の上に置き、身体の動揺をできるだけ軽減させるようにしている。

撮影は、プロープを取り付けている水槽の上部の筒を1回転させるだけなので、短時間 (約 1~2 分) で終了する。

### 2-4. 体肢横断面画像合成のソフトウェア

画像処理手順は、1) 断片画像を取り込む処理、2) 取り込んだ断片画像に対し階調/色調補正や強調処理を施す前処理、3) 断片画像を全体画像に戻す再現処理の

3段階に分けて行った。

まず、体肢横断面撮影装置により前述のように体肢の横断面をその中心に対して等間隔角度ごとに撮影する。撮影はモニター画面で確認しながら行い、各角度ごとに撮影した断片的な体肢横断面画像は、コンピュータ付属のAVボードを介してハードディスクに取り込み、その後、この画像データをオフラインで処理して全体像を合成する。画像のキャプチャリングにはVideo Shop Version 3.0 (Avid社)を使用した。このときキャプチャする画像の明るさやコントラストをリアルタイムで調節して、より鮮明な画像を24 bit, 1677万色で記録する。

次に、この画像データに対し、筋膜や骨などの特徴を抽出するための前処理を行う。この前処理にはフォトタッチソフトであるPhoto shop 3.0 J (Adobe社)を使用した。キャプチャリングされた画像データには、なんらかのノイズが混入してしまったものがあるため、必要に応じてノイズ除去のためのフィルタリングを施すことが可能である。また、筋膜や骨などの特徴は、白い色調となって画像中に表れるので、その特徴が観察し難い場合は白い色調が強調されるような補正も可能である。そして、次に行う合成処理で用いるソフトウェアの仕様上の都合により、最後に画像を8 bit, 256色のグレースケール画像に変換する。

体肢横断面画像の合成処理には、MacintoshのフリーソフトウェアであるNIH Imageを利用した<sup>9)</sup>。このソフトウェアは米国のNational Institutes of Healthの研究者であるWayne Rasband氏が医学・生物学領域の画像処理、画像解析のニーズに合わせて開発したものである。特徴として強力なマクロ機能を兼ね備え

ており処理のほとんどを自動化し、処理にかかる時間を大幅に削減することができる。

体肢横断面画像は断面の中心に対して等間隔角度ごとに撮影されているので、それに合わせた画像の回転変換を行い各画像を重ね合わせる。このとき、複数の画像データが重複する箇所が存在する。それらの箇所に関しては、ピクセル同士の色調を比較して色調の低いほうのピクセルを生かすように重ね合わせる。これにより、色調の低い筋膜や骨などの特徴が合成画像上で観察可能となる。また、合成に使用した断片画像を必要に応じて差し替えることや同一部位の画像を複数枚重ね合わせて特徴を強調することなども可能である。さらに、このNIH Imageは面積などを計測する機能も兼ね備えており、本システムでの各組織の横断面面積計測にもこの機能を利用した。

本システムによって撮影された大腿部(右側)の超音波横断面画像の1例を図4-A (図4-Bは、同じ部位のMRI画像)に示す。画像からは、皮下脂肪、筋および骨の各組織をはっきりと識別することができる。

### 3. 再現性・妥当性の検討

#### 3-1. 再現性の実験

##### (1) 実験方法

同一被検者の同じ部位を1日以上の間隔を置いて2度撮影し、皮下脂肪、筋および骨の各組織横断面面積測定の見直しについて検討を行った。被検者は、大学生男女21名(男性18名、女性3名)で、年齢は21~23歳であった。撮影部位は、転子点から脛骨点までの距

離の50%の位置で大腿部のほぼ中央とし、右脚のみについて行った。撮影時の姿勢は、立位とした。

##### (2) 結果

図5は、1回目と2回目に撮影された大腿部横断面画像より計測された各組織の横断面面積をプロットしたものである。1回目と2回目の各組織の横断面面積の相関係数は、それぞれ皮下脂肪(0.966)、筋(0.985)、骨(0.957)と非常に高く、1回目と2回目の計測値はほぼ一致した。

#### 3-2. 妥当性の実験

##### (1) 実験方法

本システムとMRIで体肢の同じ部位を同一日に撮影し、それぞれの各組織横断面面積画像について検討した。被検者は、成人男女10名(男性7名、女性3名)で、年齢は22~34歳であった。撮影部位は、再現性の実験と同じ部位で、この場合も右脚のみについて行った。MRIの撮影には1.5Tの超電導MR装置(Signa, GE社製)を用いた。撮影時の姿勢は、本システムは立位、MRIは仰臥位であった。

##### (2) 結果

図6-Aは、本システムとMRIで撮影された大腿部横断面画像より計測された各組織の横断面面積をプロットしたものである。本システムによる各横断面面積はMRIより全横断面積で7.34±4.97%(平均±標準偏差)、皮下脂肪で5.24±7.51%、筋で8.41±5.09%、骨で6.48±4.64%、全体の平均では約7%大きかつ

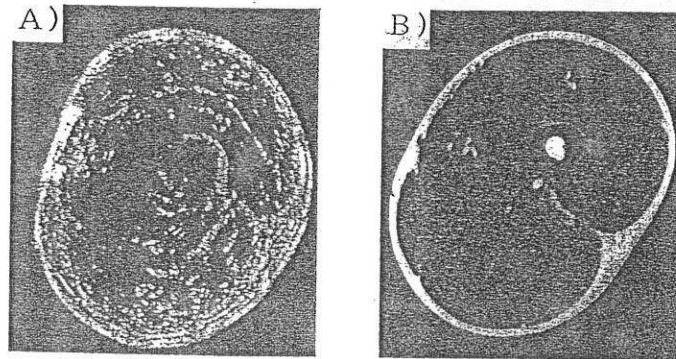


図4 大腿部の横断面画像(A:本システムによる画像, B: MRI画像)  
Fig.4 Cross-sectional image of right thigh (A: Ultrasound, B: MRI).

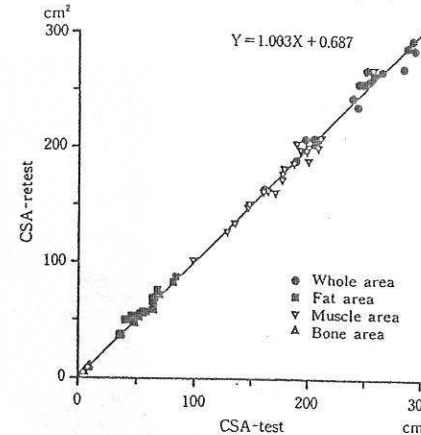


図5 本システムの再現性の検討  
Fig.5 Reproducibility of the system (CSA: Cross-sectional area).

た。しかし、図6-Bのように大腿部全横断面面積に対する各組織横断面面積の比率の相関係数は、皮下脂肪、筋、および骨ともそれぞれ0.993, 0.994, 0.949でidentity line上に分布し、本システムとMRIの差は、皮下脂肪で0.97±0.73%、筋で1.00±0.73%、骨で0.08±0.04%と両者はほぼ一致していた。

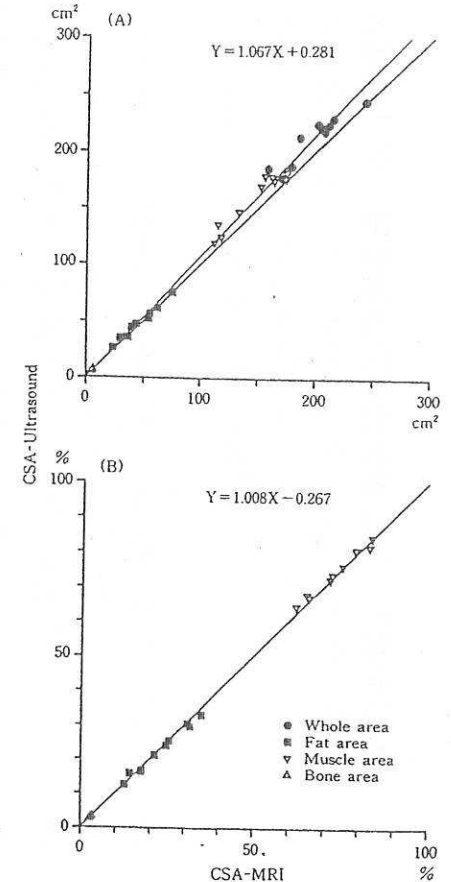


図6 本システムとMRIとの比較(A:面積の絶対値(cm²), B:全横断面面積に対する各組織横断面面積の比率(%))  
Fig.6 Comparison of fat, muscle, bone and whole cross-sectional area (CSA) of the thigh between ultrasound and MRI methods (A: Absolute area (cm²), B: Relative percentage of each tissue area to the whole area (%)).