

超音波撮像における三次元表示法の検討

和田 憲明*、吉澤 重則*、小関 克也*、田村 安孝*

Noriaki Wada、Shigenori Yoshizawa、Katsuya Koseki、Yasutaka Tamura

*山形大学工学部

*Yamagata University

キーワード：超音波(ultrasonic)、3次元画像(3-D imaging)、ポリウムレンダリング(volume rendering)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南4丁目3番16号 山形大学 工学部 電子情報工学科 田村研究室
和田 憲明、：(0238)26-3321、Fax：(0238)26-3329、E-mail：wada@eat72.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

超音波医用画像は非侵襲、無観血的に体内の形態情報を簡便に得られるという利点がある。我々は、超音波の反射波(エコー)を用いて人体内部の3次元形態を高速に観察することを目的とした撮像システムの開発を進めている。

超音波の波長は、X線や光などに比べて長いため、空間分解能が低い。また、必要とされる対象は、腫瘍などのように、反射エコー強度の周囲との差異がわずかであり、境界もはっきりしないことが多い。そのため、超音波を用いて得られた画像は、表面形状を検出してから行なう3次元画像表示法では表示するのが困難と予想される。

また、医療用データの可視化においては、モデルの外見だけでなく、内部の構造も何らかの形で表示しなければならない。しかし、手軽に3次元リアルタイム撮像が可能なシステムが存在しなかったことも原因で、超音波3次元像の表示方式の標準的な方法は確立されていない。

そこで、動態観測が可能な三次元超音波撮像システムの性質を十分に生かせる表示法について検討を始めた。今回は、ポリウムレンダリング[1]を用いた3次元表示方式の検討と、市販の機械走査式の超音波3次元診断装置を用いた3次元ファントムの撮像実験を行なった。

2. 3次元画像表示の原理

2.1 ポリウムレンダリングとは

ポリウムレンダリングは従来の2値化理論などのしきい値処理による、表面形状のみの可視化法ではなく、なんらかの方法によってボクセルデータに対し不透明度や色情報を与えてレンダリングを行う手法である。そのため、対象内部の情報があるがままの自然な状態で詳細かつ正確、また多様に表現することができる。また、従来のCGの技法と異なり、すべてのポリウムデータが可視化の対象となるため、各ボクセルに対する不透明度、色情報の与えかたにより多様な可視化への発展が可能となった。

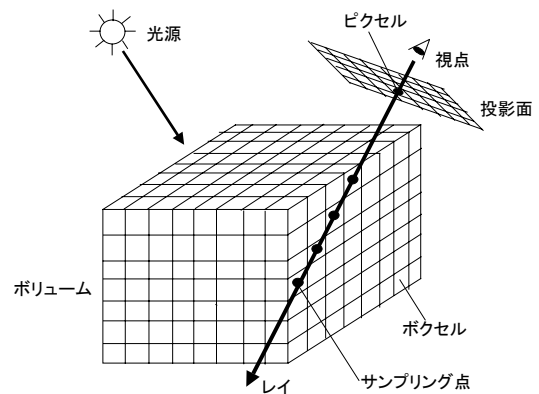


図1. ポリウムレンダリングの概念

ポリウムレンダリングでは、3次元空間内に分布しているボクセルデータを、任意の視点から一定間隔でサンプリングし、その値を加算していくことで最終的に半透明な画像を生成することで(レイキ

ヤスティング) 組織間の境界面のみならず内部の情報構造も多重に透かして可視化する(図1)

$$C_{out} = C_{in}(1-\alpha) + c\alpha \quad (1)$$

ここで、現在のサンプル位置での輝度値と不透明度がそれぞれ c 、 α 、視線に沿って並んだサンプル点に入射した積算輝度値が C_{in} 、サンプル点を抜けた時の積算輝度値が C_{out} である。

各ボクセルの輝度値 c は、隣接するボクセルの値からの勾配より補間される法線ベクトル N を用いて、次式のように計算される。

$$c = c_p k_\alpha + \frac{c_p}{k_1 + k_2 d} [k_d(N \cdot L) + k_s(N \cdot H)] \quad (2)$$

ここで、 c_p は光源強度を、 k_a 、 k_d 、 k_s はそれぞれ環境光、拡散光、鏡面反射光成分の割合を表す。 N は隣接するボクセル値からの勾配により推定される法線ベクトルで、 L はボクセルから光源への単位方向ベクトルを表す。 d は投影面からボクセルまでの距離を表し、 k_1 および k_2 は投影面に近いものほど明るく表示するデプスコーディング法のパラメータである。また H は正反射光を求めるためのベクトルである。

2.2 超音波三次元画像に特化したボリュームレンダリングの検討

超音波画像は、ノイズが多く、光学的な外観と異なる印象を与えるという欠点がある。特に、スペックル雑音という粒状の点が多く混入し、不鮮明さを一層増大させている。従って、組織の形態などを重要視する医用画像への実用化にはさらに画質を改善する必要がある。

この問題については、限られた個数のトランスデューサを用いても十分な画質を得るためのアレイ配置について検討している。[2]

このシステムは、3次元画像を構築できるデータを高いフレームレートで収集できるという特徴を持つ。しかし、従来のレイキャストでは、視線はボクセルに対し、一般に任意角で入射するため、常にボクセル面に対し垂直に入射するように、各ステップにおいて、ボクセル格子点の配置換えが必要であった。一方、超音波診断では、高速に3次元像を計算して表示する必要がある。

そこで今回、ボクセルデータを図2のようなセクタ状の空間に配置することを考えた。現在開発中のシステムでは、このようなセクタ状配置のデータは容易に得られる。こうすることで、視点とアレイ中心が一致している場合は、同一方向に並んでいるボクセル値への演算データを加算するだけで良く、ア

ルゴリズムの簡略化と処理を低減できる事が確認できた。

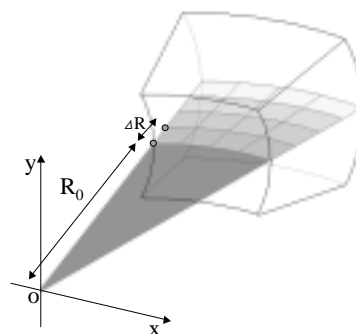


図2. セクタ状構成空間

3. 実験結果

3.1 データ収集

リニア型超音波診断装置のプロープを機械走査することで3次元撮像を行なうシステムを用いて、音響的に半透明な対象の3次元画像データを収集し表示する実験を行なった。本多電子製の超音波診断装置(HS-1201、素子数80ch)を用いて撮像した3次元超音波像(128画素×320画素×150スライス、周波数5.0MHz・7.5MHz)を用いた。データの収集は、Windows上で動作するSSB社の3次元データ収集/表示ソフトウェアを用いた。エコーデータの収集は、プロープを簡易型機械走査装置によりアレイ配列方向と直交する方向に移動しながら、150枚の二次元断層像を得る。

3.2 測定対象

120mm×120mm×100mmの容器の中に寒天を流し固めた中に直径約40mmの寒天製の球体が埋め込まれたものを対象とした。寒天製の球体は半球2つを接合したものである。このファントムを水を満たした水槽に沈め、プロープ先端を水面に浸して画像を収集した。

3.3 断層像

図3-1は、周波数5.0MHzでファントムを撮像して得られた断層像の1つである。断層像の最下部にある水平の輝線は容器の底面からのエコーによる。球体内部や背景の寒天の接合面からのエコーによる像も観察される。また、球体の上部には、混入した気泡で発生したエコーによると考えられる領域が認められる。図3-2は、周波数7.5MHzで撮像して得られた断層像である。

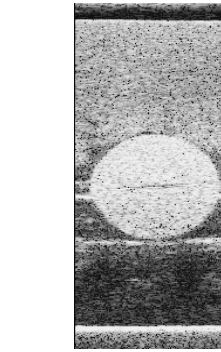
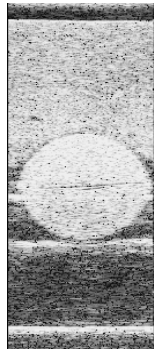


図 3-1 . 断面像(5.0MHz) 図 3-2 . 断面像(7.5MHz)

3.4 3次元像

150枚の断層像をスケール変換した後にボリュームレンダリングにより3次元表示した。

医用分野での使用を主な目的としているため、生体の鏡面反射成分については無視し、不透明度はボクセルの値そのものを用いた。また、光源の位置は視点位置と一致させ、環境光成分と拡散光成分のパラメータおよびデプスコーディング法のパラメータは全て1とした。

図 4-1、4-2 は各々、周波数 5.0MHz および 7.5MHz で撮像したファントムをボリュームレンダリング表示した画像である。

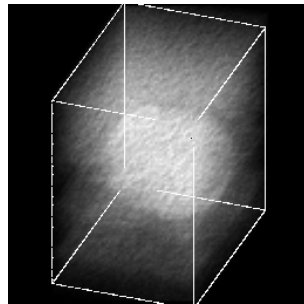
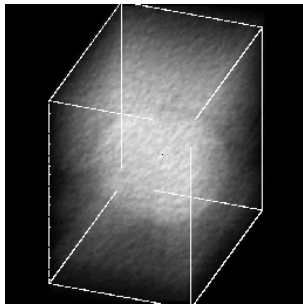


図 4-1 . 周波数 5MHz 図 4-2 . 周波数 7.5MHz

球体の上部にある不均一層を通して、球体の形状を認識することができる。

3.5 その他の試料の3次元像

図 5-1 はゼラチンの中にぶどうを混入したものを固め、それを水中に沈めて撮像したデータの断層像である。図 5-2 は、このデータを基にボリュームレンダリング表示したものであり、二枚の画像はこの物体を回転させながらボリュームレンダリング表示したものである。図 6-1 は皮を剥いたみかんを水中に沈めて撮像したものの断層像である。図 6-2 はこのデータを基にボリュームレンダリング表示したものであり、二枚の画像はこの物体を回転させながらボリュームレンダリング表示したものである。



図 5-1 断面像(7.5MHz)

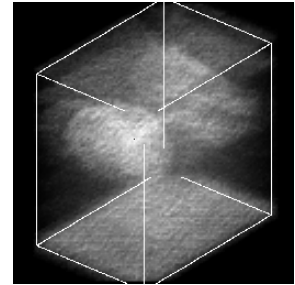
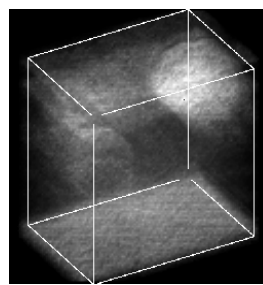


図 5-2 周波数7.5MHz

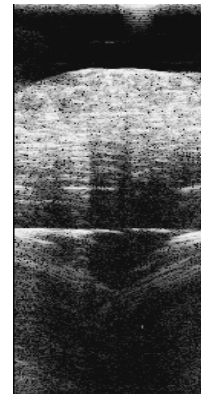


図 6-1 断面像(7.5MHz)

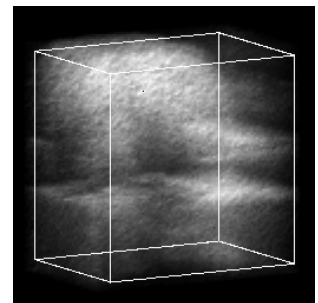
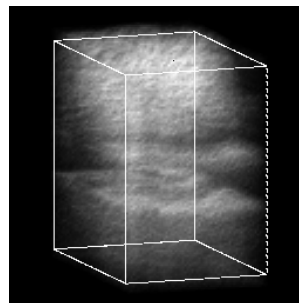


図 6-2 周波数 7.5MHz

4. おわりに

本研究では、超音波を用いた三次元医用診断システムの表示方式の検討を行なっている。

今回は、ポリリュームレンダリングの検討を行ない、2次元アレイの中心に視点を置いたセクタ状のボクセル配置にすることで、計算の高速化が可能な方法を提案した。また、リニア型超音波診断用プローブの機械走査により3次元画像を収集する実験を行ない、ポリリュームレンダリングにより音響的に半透明な対象の3次元表示が可能なことを確認した。

今後、超音波3次元像の統計的性質について調べ、最適な3次元表示方式の検討を進めたい。その他、超音波3次元画像をリアルタイムで観察するための高速化などが課題として挙げられる。

超音波診断装置は本多電子株式会社の、3元データ収集用の制御ソフトウェアは株式会社SSBの御好意により貸していただいた。両社に深く感謝する。

参考文献

- [1] Levoy, M : " Display of Surfaces from Volume Data " ,IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.8, No.3, pp.29-37(1988)
- [2] Y. Tamura, T. Ito, N. Wada, S. Fuwa and S. Yoshizawa : " Three-Dimensional Imaging System Using Ultrasonic Encoded Wavefront -High Speed Computation and Array Geometry " Jpn. J. Appl. Phys. Vol.38, pp.3399-3402(1999)