

技術ノート 超音波診断装置での超音波三次元表示の現状と将来

赤羽 陸弘

アロカ株式会社 研究所

1. はじめに

放射線を使用できない産婦人科領域¹⁾ やリアルタイム性を要求される循環器領域²⁾ など、観察が難しい領域では三次元表示が強く要望されていた。三次元装置は非常に高価で、操作が煩雑、画像が得られるまでに長時間を要するなどの問題があり、超音波診断装置での三次元表示は、広く普及するには至っていないのが現状である。しかしながら近年のコンピュータ技術の進歩により安価で高速な装置が容易に入手でき、三次元表示を行う環境がようやく整備されつつある。

本稿では、超音波領域における三次元データの収集方法、代表的な表示法、最近開発されたリアルタイム画像構築法について我々の研究内容も含めて紹介する。

2. 三次元データの収集

超音波探触子を三次元空間で走査しながら連続した断層像を収集することにより、三次元データを得ることが可能である。例としてリニア型の探触子による各種の走査方法、および得られるデータ空間の説明をFig.1に示す。

比較的動きの少ない対象物、例えば胎児などのデータを収集する³⁾ 場合は、上記の方法で十分な三次元

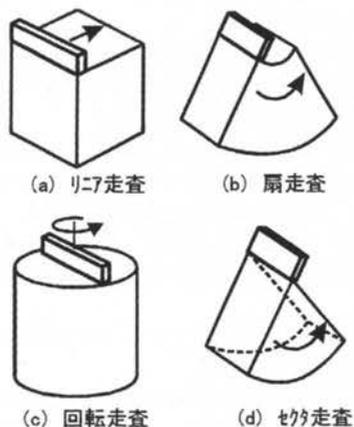


Fig.1 代表的な探触子走査方法および三次元データ空間

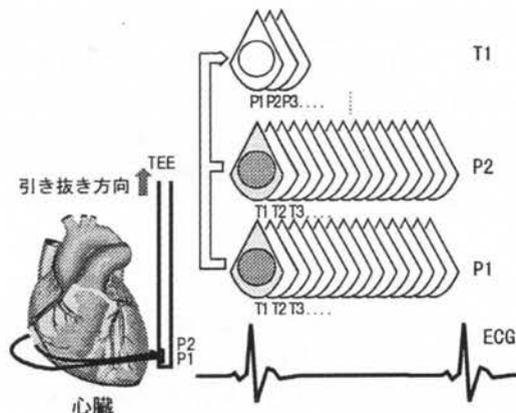


Fig.2 循環器の場合のデータ収集操作

元データが得られる。ところが、心臓のように絶えず動いている組織を対象とした場合には、探触子が移動している間に対象物が動いてしまう。そこでこの様な場合にはFig.2に示すように、探触子を心電に同期して、一定間隔で移動する⁴⁾ 必要がある。この図は経食道探触子を平行に引きながらデータを収集する場合を示している。各位置毎に収集した1心拍分の断層像から、同じ時相、例えば心電波形でR波の位置の画像を選び出し、集合を作る。それらの同時相データから、対応する各時相の三次元画像を作成し、切り替えて表示することで、拍動したような心臓の動画が得られる。

3. 表示法

コンピュータグラフィックスの分野では様々な表示法が研究、開発されており、そのうちのいくつかが超音波三次元表示に適用されている。それらの主なものは大別して、①テクスチャマッピング法②サーフェスレンダリング法③ポリウムレンダリング法の3つに分類される。

3-1. テクスチャマッピング法

この方法は三次元空間上に置かれた仮想立体の各面に、対応した超音波断層像を張り付ける方法⁵⁾ である。この方法により、本来探触子を当てられずに観

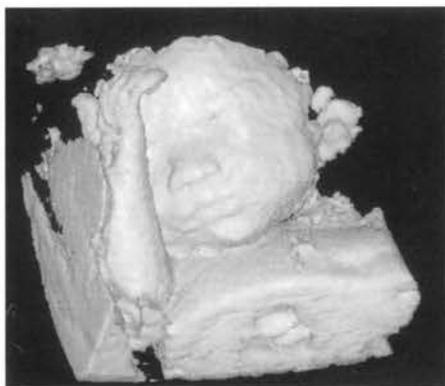


Fig.3 サーフェスレンダリング表示例
30週 正常胎児
愛育病院 岡井 崇先生 御提供

察できなかった断層像を、任意の角度より観察できるようになる。また複数の断面を設定することで、不要な部分を取り除き、観察したい部分のみを表示することが出来る。

3-2.サーフェスレンダリング法

この方法は対象物の表面を抽出し、微小な面付けを行った後、仮想光源より光を当てて、陰影付け(シェーディング)を行う方法である。表面表示と呼ばれ、三次元表示の代表的な表示法である⁶⁻⁷⁾。

サーフェスレンダリング法は、表面を滑らかにするフィルタ処理、表面(たくさんの微小面の集まり)に様々な情報--微小面一つ一つの面の傾き、透過度、面属性の付加など、複雑な処理、大量なメモリ、膨大な計算時間を必要とする。しかし、光源の色や強さ、表面の反射具合を調整することができ、その結果非常にリ

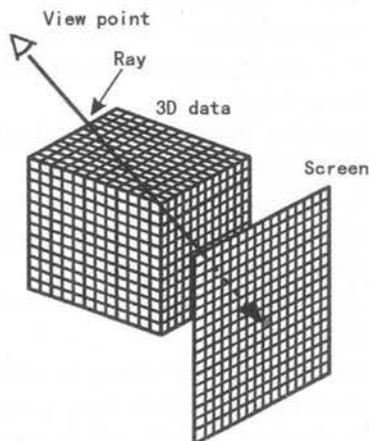


Fig.4 ボリュームレンダリング法の原理

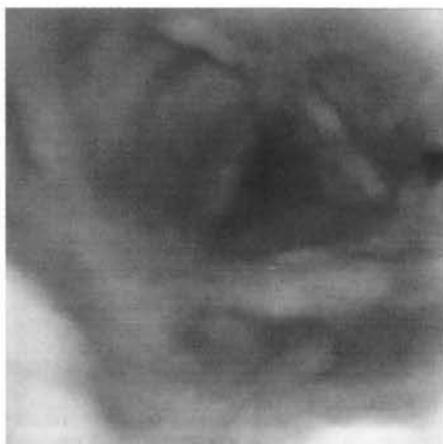


Fig.5 ボリュームレンダリング表示例
大動脈弁
埼玉医科大学 尾本良三先生
松村 誠先生 御提供

アルな画像を生成することができる。表示例をFig.3に示す。

3-3.ボリュームレンダリング法

先のサーフェスレンダリング法は、対象物の表面に対してのみ処理を行う表示法であったのに対し、ボリュームレンダリング法は対象物内部の情報も加味して処理を行う方法である。

本法の原理図をFig.4に示す。仮想空間上に視点、スクリーン、三次元データを配置し、視点より三次元データに対して視線を出す。この視線上のデータを逐次処理し、結果をスクリーンと視線が交わる点にプロットする。この操作は三次元データを貫くすべての視線に対して行う。処理には積算⁸⁾、最大値⁹⁾、最小値¹⁰⁾、ボリュームレンダリング処理¹¹⁻¹⁴⁾ などがある。表示例をFig.5に示す。

4. リアルタイム三次元表示

今まで紹介してきた表示方法は、一旦三次元データをコンピュータに取り込み、処理を行う方法であり、画像が表示されるまでに数分から数時間の時間を要するので、臨床の場で使うことは難しい。そこで我々は、臨床の場で使用することを目的とし、高速に三次元表示する方法¹⁵⁾を開発した。

この方法は視点を超音波探触子の位置に、視線を超音波ビームに一致させ、エコーデータが得られると同時に処理を実行する。アルゴリズムは先のボリューム



Fig.6 リアルタイム表示 表示例
28週 羊水過多症 胎児
愛育病院 岡井 崇先生 御提供

ムレンダリング処理を用いている。視点を固定し、処理を単純化し、ハードウェアで実現することで、リアルタイムに処理を行うことを可能にした。処理時間は超音波断層像を100枚程度とすれば4~5秒となる。ただし、この間に作られる画像を逐次リアルタイムに観察することが可能である。さらに、この表示法では、不透明度というパラメータを定義し、変化させることで表面表示に近い画像やレントゲン写真のような透過像を同一のアルゴリズムで実現できる。表示例をFig.6に示す。

5. 今後の展望

三次元処理は膨大なデータを扱い、複雑な処理を行うために、大量のメモリ、高速な演算装置を必要とする。従来では演算装置、メモリが非常に高価であったことから装置のコストアップは避けられなかった。しかしながら近年のコンピュータ技術のめざましい進歩により高速かつ安価な演算装置、メモリが提供されるようになった。この傾向は今後ますます加速されることが予想され、安価でリアルタイムに三次元画像を構築する装置が近い将来得られるであろう。

三次元構造を持つ対象組織を、二次元断層像から医師は自らが頭の中で三次元構築し診断を行っている限り、医師の熟練度合いにより認識に差が生じる危険性は大きい。三次元表示はこのような認識の違いをなくし、より精度の高い診断に寄与できるものと信じている。また患者の理解できる三次元画像は病状、検査結果等の患者への説明に対して十分に有用であると思われる。今後、三次元表示装置が普及し、

多くの医師に使用頂くことにより新たな臨床的意義の発見に期待したい。

6. 謝辞

臨床データをご提供頂いた愛育病院 岡井 崇先生、埼玉医科大学 尾本良三先生、松村 誠先生に感謝いたします。

7. 参考文献

- 1) 馬場一憲,"3次元超音波と胎児診断", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol.14, No.5, pp531-535, Sep.1996
- 2) A.Salustri, J.Roelandt, "Ultrasonic Three-dimensional Reconstruction of the Heart", Ultrasound in Med. & Biol, Vol. 21, No.3, pp.281-293, 1995
- 3) K.Baba, K.Satoh, et al., "Development of an ultrasonic system for three-dimensional reconstruction of the fetus", J.Perinat.Med, Vol.17, pp.19-24, 1989
- 4) 三神大世, 寺西純一, 他, "経食道心エコー図縦方向断層像を用いた三次元動画の再構成: 僧帽弁と左房の観察", 日超医論文集 Vol.61, pp617-618, 1992
- 5) 福島祐一, 高田悦雄, 他, "乳腺超音波の三次元表示", 日超医論文集 Vol.52, pp373-374, 1988
- 6) B.T.Phong, "Illumination for Computer Generated Pictures ", Communications of the ACM Vol.18 No.6, pp311-317, 1975
- 7) 鈴木直樹, 岡村哲夫, 他, "コンピュータグラフィックスによる頸動脈病変の三次元診断法の開発", Jpn J Med Ultrasonics Vol.14 No.5, pp15-26, 1987
- 8) 伊東紘一, 谷口信行, 他, "三次元超音波診断装置の開発と臨床応用 -ビーム積算の臨床的意義について-", 日超医論文集 Vol.61, pp543-544, 1992
- 9) 笠原英司, 望月剛, "超音波ビーム方向に最大値エコー検出処理を行う3次元超音波画像の表示法", 日超医論文集, Vol.60, pp485-486, 1992
- 10) 橋本浩, 竹内康人, "画像投影法による超音波画像処理", 日超医論文集 Vol.63, pp241-242, 1993
- 11) M.Levoy, "Volume rendering :Display of surfaces from volume data", IEEE Computer Graphics and Applications, pp29-37, May, 1988
- 12) 藤代一成, "ボリューム・ビジュアルライゼーションの本質", PIXEL, '92 5月号
- 13) Erik Steen, Bjorn Olstad, "Volume Rendering of 3D Medical Ultrasound Data Using Direct Feature Mapping", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, Vol

13.No.3,pp.517-525,Sep.1994

- 14) 鈴木雅隆,周藤安造,"ボリュームレンダリング-医用画像を例として-",可視化情報,Vol.13,No.49,pp.26-30,4月,1993
- 15) 望月剛,赤羽睦弘,他,"超音波データに適したリアルタイム投影表示(Vol-mode)の開発",医用電子と生体工学 Vol.34,pp113,1996

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあつては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619