

12．三次元画像表示

超音波診断装置による三次元画像表示は、CT、MRIなどの装置と同様、複数の断層像から立体的な三次元画像を再構成し、さらにこれをフィルム、モニタなどの二次元画像として表示するものである。最近の4D/リアルタイム3D画像表示といわれる表示法は、この三次元表示に時間軸を付加し動画として表示させたものであり、産科領域（胎児の観察、計測）で主に利用されている（図12-1）¹⁾。

12-1 三次元データの収集

従来より、三次元画像の構築は多数の二次元画像による断層面を収集し、それをもとにして行われていたが、手動操作のため、探触子（プローブ）の移動方向や位置の精度は低かった。しかし最近では、三次元画像表示専用プローブ（図12-2）によるデータ収集が一般的となり、容易にリアルタイムの三次元表示が得られるようになった。この専用プローブには、振動子とそれを機械的に移動させる機構が一体化されているものと、平面状（二次元）に配列された振動子に電気的な遅延時間を与えることによって複数の断層像を収集するものがある。

12-2 画像表示

「レンダリング（rendering）」とは得られた複数の断層像データから、領域抽出、マッピング、ビューイング、シェイディングなどの行程を経て最終出力を作成するプロセスのことであり、最近ではハード、ソフト両面の進歩により良質な画像を構築できるようになった（図12-3）。三次元データの構築は、その対象データの取り扱い方によって次の2つに分けられる。1つは三次元データから対象となるデータを抽出してモデルを構築し、これをもとに三次元画像表示するもので、もう1つは領域抽出によるモデルを構築せず、三次元データから直接三次元画像を作成するものである。前者の代表的な手法にはサーフェスレンダリング（surface rendering）があり、後者は一般的にボリュームレンダリング（volume rendering）と呼ばれる。次にそれぞれの代表的な手法について述べる。

12-2-1 サーフェスレンダリング

サーフェスレンダリング（surface rendering）（図12-4）は、対象とするものの表面情報のみを抽出して三次元画像を再構築する方法である。

具体的には設定した関心領域（region of interest：ROI）を、輝度の差によって周囲より抽出し、コンピューターグラフィックスの技法で三次元立体をポリゴン（polygon）と呼ばれる多角形に置き換える（図12-5）。多角形の面の集合で表現する計算の容易さから、ほとんどの場合に三角形が使われ、物体表面を微小な三角形のポリゴンに分割して数値データ化することで、



図12-1 胎児の三次元画像

つむった両目や鼻、口、手の一部が観察できる。



図12-2 電子式三次元専用プローブ

GE横河メディカルシステム

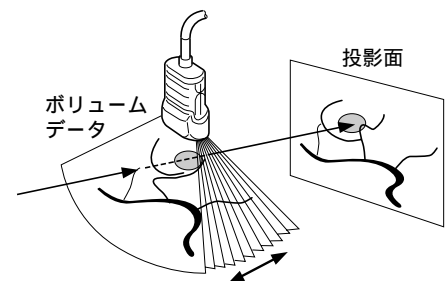


図12-3 三次元画像表示

得られた三次元データを二次元平面に投影する¹⁾。



図12-4 子宮内胎児のサーフェスレンダリング

Bモード画像（左）データから3D/4D画像を構築、さらに⇒の方向から光が当たるシェイディング処理を行い、胎児を立体的に描出している（右）。



図12-5 ポリゴン
球体を多角形で表現する。

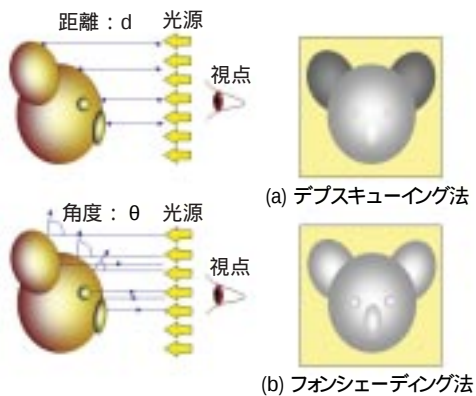


図12-6 仮想光源による shading 法

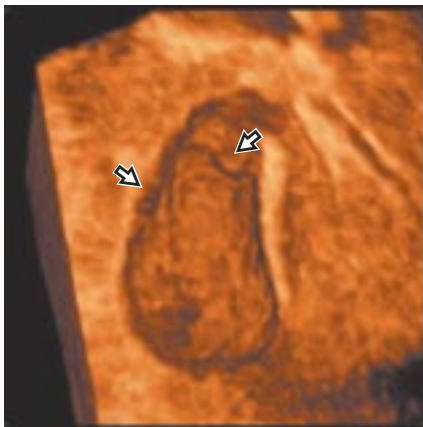


図12-7 胆嚢のポリウムレンダリング
胆嚢頸部と体部にある polyp (⇒) が内側に突出している様子が明瞭に描出されている。



図12-8 胎児のあくび
胎児が閉眼のまま、あくびの様子、舌の動きがよく観察される。

さまざまな視点による物体の見え方を計算によって生成し、画像として描画する。ポリゴンの数を増やせば増やすほど表現が精細になっていくが、計算量が増えるため、描画に時間がかかる。

さらに、ある一点から仮想光源の光をあて陰影を付ける (shading) ことによって、よりリアルな立体感が表現される。この方法には、光源から近い部分を明るくし、遠い部分を暗く表示するデプスクューイング法 (depth cueing) や、光源との角度によってできる明暗を表示することで三次元表示を行うフォンシェイディング法 (phong shading) (図12-6) がある。サーフェスレンダリングは、表面の形状がはっきりしているデータには効果的であるが、形状の曖昧なデータには不向きであることや、ポリゴンの生成により、データの精度が落ちるなどの欠点がある。

12-2-2 ポリウムレンダリング

ポリウムレンダリング (volume rendering) (図12-7) は、ある視点より対象物を貫き、その線上の範囲にある輝度 (ボクセル値) を収集したものを多数抽出することにより三次元処理を行う方法である。サーフェスレンダリングが表面だけのデータであるのに対し、ポリウムレンダリングでは対象物の内部の情報も加味した処理を行っている。MIP法 (maximum intensity projection; 最大値投影法) は、各視線上で得られた輝度の中の最大値をとったもので表示し、高エコー部分の三次元表示が得られる。超音波検査のドブラ法における血流の三次元表示ではこの方法が用いられている。MinIP法 (minimum intensity projection; 最小値投影法) は逆に最低値をとった方法で、血管や嚢胞状のものなど、低エコー部分の三次元表示が得られる。MPR法 (multiplanar reconstruction; 多断面再構成法) は、三次元の輝度データの中から任意の断面のデータのみを抽出して表示する方法である。ポリウムレンダリングでは、サーフェスを生成しないのであまり精度が落ちないことや、曖昧なデータでも表現可能なこと、内部の様子が理解しやすく全体像の把握が容易である点などが特徴としてあげられる。

12-3 4D / リアルタイム3D 画像表示

4D (四次元)、もしくはリアルタイム3D (実時間三次元) と呼ばれる表示法は、本章で述べた手法に時間の要素を付加したもので、画像構築や表示法自体は三次元画像表示となんら変わりはない。最近では、コンピュータの処理速度の向上や記録媒体 (メモリ、ハードディスク) の容量増大により、三次元画像を動画として経時的に表示することができるようになった。この画像表示は、産科領域において胎児の動きや表情の観察および記録に頻繁に利用されている (図12-8)。

12-4 代表的な3D / 4D アプリケーション

12-4-1 Fusion3D : 東芝メディカルシステムズ

Fusion3Dと呼ばれる表示法は、3Dプローブを使用せず、通常の2次元画像が得られるプローブを体表で1回スキャンするもので、そこから得られた臓器の3Dと血流の3D画像を重ねて表示する方法である。検査中にプローブを替えることなく3D画像の作成が行え、縦・横・斜めに任意のカット断面表示が可能。直行3断面のMPR表示を使用する事で体表に平行な断面も容易に可能となる(図12-9)。

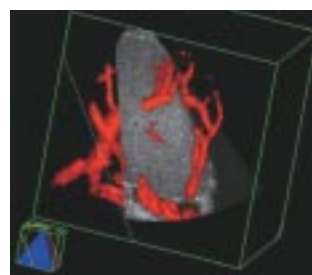


図12-9 肝臓のFusion3D

12-4-2 Volume Contrast Imaging : GE 横河メディカルシステム

ボリウムデータを用いて、プローブと平行の断面(C-Plane)に厚みを持たせてリアルタイムに表示するモード。厚みを持たせることによりスペックルノイズが軽減され、コントラスト分解能が向上する。乳房超音波検査で今まで観察不可能だったC-Planeが観察可能となり、構造異常の評価などに威力を発揮する(図12-10)。

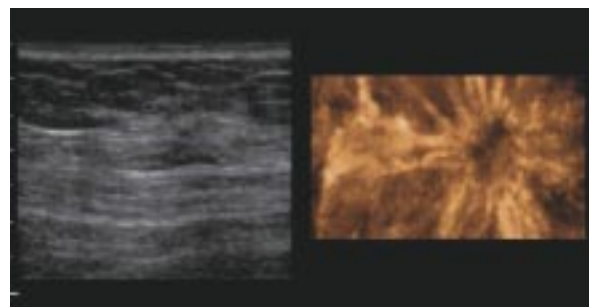


図12-10
Volume Contrast Imaging
(VCI C-Plane)

Retractionパターンが明瞭に描出されている。

12-4-3 Spatio-Temporal Image Correlation (STIC) : GE 横河メディカルシステム

胎児や新生児の心臓を対象にした4D収集法として開発された機能。約10秒のスーブスキャンで得たボリウムデータから心拍数を推定し、1心拍分の動画を再構築して、直行3断面やレンダリング画像を表示する。Bモード・カラー(パワー)ドプラモードで可能なので血流の評価にも利用でる。また、ボリウムデータとしてハードディスクなどに保存することにより、検査終了後もデータを読み出して任意の断面を再構築し、観察・計測が可能である。さらに最新アプリケーションとして、このアルゴリズムを使用して腫瘍などの血管構築像を1心拍分の3D動画として描出する技術も開発されてきている(図12-11)。

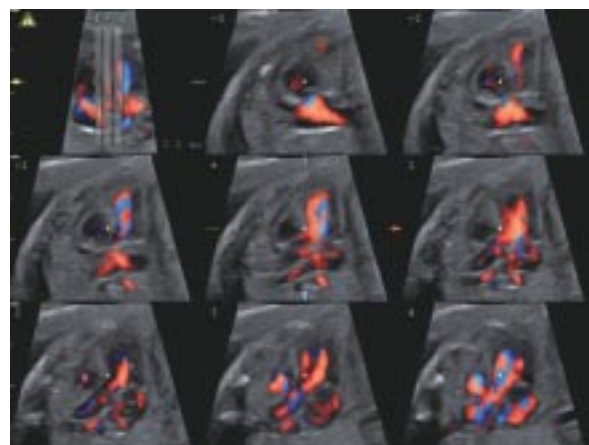


図12-11 STIC
1心拍分の胎児心臓の動画。

12-4-4 3D自動体積計測 (Automated Volume Measurement : AVM) : アロカ

AVMは、胆嚢や嚢胞などの内膜、あるいは周辺組織より輝度の高い腫瘍などの境界を自動的に検出し、体積を瞬時に計測する機能である(図12-12)。この機能に用いられている境界抽出アルゴリズムは、超音波画像に対し二値化・ノイズ除去処理などを施し、電氣的ノイズや対象物境界付近の必要のない信号を処理・除去している。さらに、境界の孤立性・連続性の認識、対象物の形状認識を行い実際の形状に忠実な抽出を行っており、構造物に忠実な境界抽出が可能で、精度の高い体積値が得られる。正確な腫瘍の体積値計測は薬剤投与による治療の効果判定、薬剤投与量の判断などにも有用な機能である。



図12-12
胆嚢の3D自動体積計測