

先端医療シリーズ 6・脳神経外科

「脳神経外科の最先端 NO.2」

21世紀の新領域とニューテクノロジー

第6章 新しい診断・計測技術  
AMIN 三次元画像解析システムの臨床応用

医療法人社団 涼風会  
佐藤脳神経外科  
佐藤 透

平成12年5月17日



先端医療技術研究所

# 第6章 新しい診断・計測技術

## 1. AMIN 三次元画像解析システムの臨床応用

### 1.1 はじめに

三次元画像では、X軸、Y軸の二次元情報と体軸方向(Z軸)の情報をコンピューター処理することにより、目的とする領域が視覚的に立体的な画像として表示される。重なり合った臓器の前後方向を区別したり、不要な物体を除去し関心領域のみを強調して表現したり色分けしたりすることにより、従来、頭の中でイメージしていた構造物の立体的位置関係が容易に把握される。また、目的とする物体の不透明度(オパシテイ、opacity)を強くし、レファレンス的な物体の不透明度を弱くすることで、内部にある物体を透視して表現することも可能である<sup>1)</sup>。近年、MRIやヘリカルCTによる三次元情報(ボリュームデータ、volume data)の収集、転送が容易となり、MRI・CT装置本体やワークステーションでの画像再構成技術も

格段に進歩し、三次元画像は、脳神経外科臨床上、診断支援のみならず治療や患者説明においても重要な役割を担いつつある。

AMIN 画像解析システムは三次元画像再構成のための高速ワークステーションであり、高画質のボリュームデータ画像をリアルタイムに作成することが可能である。当院では、脳神経外科の日常診療に AMIN 画像解析システム、Pegasus Viewer を導入し、MRI とヘリカル CT の画像情報を DICOM 通信でネットワーク構成している。三次元画像は、外来診察卓上(デスクトップ)で元画像データから約 20 秒のリアルタイムで再構成し、液晶モニター画面上で表示説明することで、フィルムレスシステムを採用している(図 6.1.1、図 6.1.2)。本稿では、症例を提示しながら、三次元画像再構成法の現状を概説し、AMIN 三次元画像解析シス

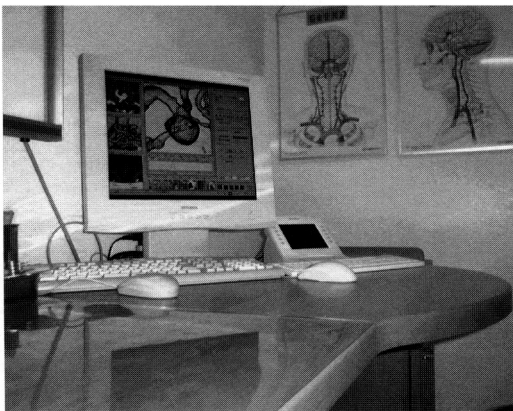


図 6.1.1 外来診察卓上(デスクトップ)写真

中央に 20 インチ液晶モニター、右手にレーザーイメジャー入力コントローラー、ワークステーション操作のキーボード・マウスが見える。左手には、切り替え画面で使用するデータファイリングパソコン操作のキーボード・マウスが見える。ワークステーションとパソコン本体は、騒音遮蔽のため隣室に設置している。

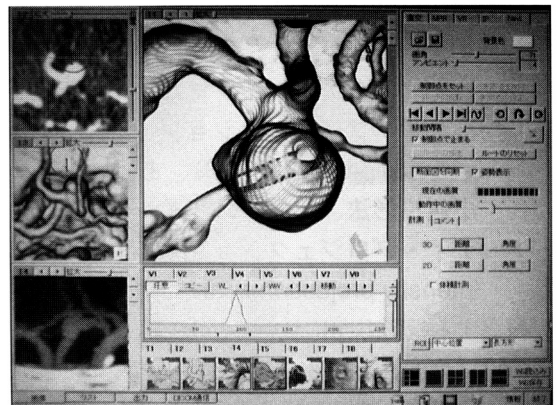


図 6.1.2 AMIN 三次元画像ワークステーションの表示画面  
中央に、脳動脈瘤の仮想内視鏡(VE)画像が表示され、その下に不透明度(オパシテイ)が表示されている。左側には、観察視点のナビゲーションとして、二次元軸位画像(上)、ボリュームレンダリング(VR)画像(中央)、最大値投影(MIP)画像(下)が表示されている。

テムの特徴を具体的に説明し、脳神経外科における臨床応用の実際を紹介する。

## 1.2 三次元画像再構成法

現在、三次元画像再構成法として、以下の再構成法が臨床使用されている<sup>2,3)</sup>。

### 1.2.1 マルチプレーナリコンストラクション (multiplaner reconstruction,MPR)

関心領域の立体的方位の指標として、軸位元画像(X軸)に加えてY軸、Z軸の直交二次元断層像が表示される。任意の直線や曲線に沿って、元画像の視点を変えた二次元断層表示も可能である。

### 1.2.2 サーフェスレンダリング (surface rendering,SR)、シェイデッド・サーフェイス・ディスプレイ (shaded surface display,SSD)

目的とする領域の閾値を設定し、その閾値の中で、観察する方向から見て最初に存在するボクセルのみを表示する三次元表面画像。立体感をつけるため、観察方向に対して手前のものは明るく、遠くのは暗くするなどの影付け処理が行われる。利点としてデータ量が少ないため画像再構成時間が短く、高画質の表面画像が得られる。欠点としては、ボクセルの内部情報がなく、設定閾値以外のボクセル情報が失われ、閾値に依存して辺縁情報が変化するため、血管など管腔径が過小・過大評価されたり動脈瘤形態が不整となり不都合をきたす。

### 1.2.3 最大値投影法、マキシマム・インテンシティ・プロジェクション (maximum intensity projection,MIP)、あるいは最小値投影法、ミニマム・インテンシティ・プロジェクション (minimum intensity projection,MinIP)

観察する投影方向において、ボクセルの最大値あるいは最小値を対応する投影面にあたえ二次元表示する。関心領域の閾値設定を必要としない利点があるが、投影線上の最大値あるいは最小値以外の情報が消えるため、一画像では奥行きが観察できない。角度を変えた画像を複数枚作成し、シネ表示や立体視することで三次元的観察が可能となる。同様に、ある投影方向のボクセルすべてを

合計した濃度で投影面に二次元表示するレイサムレンダリング (ray sum rendering) もあり、従来のX線像に類似した画像が得られる。

### 1.2.4 マルチプル・スレショルド・ディスプレイ (multiple threshold display,MTD)

ボクセルのボリュームデータを閾値によりいくつかの関心領域に分割し、それぞれの閾値の範囲で不透明度を設定して複数の関心領域を区別する三次元表示法で、以下に述べるボリュームレンダリングの制限された表示法である。

### 1.2.5 ボリューム・レンダリング (volume rendering,VR)

使用するすべての画像に対してボクセル情報をボリューム的に捉え、ボクセル個々のボリュームデータを保持したまま、目的とする領域を直接三次元画像として表示するため、質感のある柔軟性に富んだ三次元表示が可能となる。その一番の特徴は、すべてのボクセル情報から目的とする関心領域のボクセルの不透明度を連続して自由自在に重み付けすることが可能な点にある。物体表面に近いボクセルの不透明度を低く設定し、深部のボクセルの不透明度を高くすることで、表面を透視して物体内部を観察することが可能となる。また、

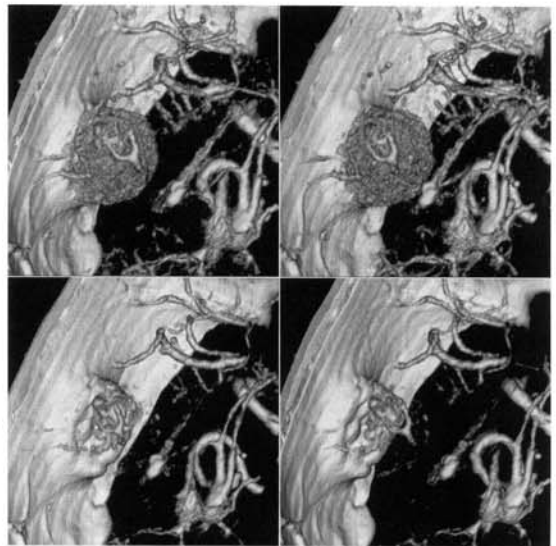


図 6.1.3 左窮隆部髄膜腫例の三次元造影 CT 画像 (ステレオ)

テンプレートを使用することにより、元画像からリアルタイムに VR 画像がカラーで作成される(上段)。不透明度を変化させることで髄膜腫の硬膜附着部と骨増生部が明瞭となる(下段)。

関心領域のボクセルの不透明度に相応した階調 (gradation) のある色付け (カラーレンダリング, color rendering) をすることが可能であり、物体をカラーで写實的に描写できる (図 6.1.3、図 6.1.4)。

これまで、VR 法はデータ量が多いため画像再構成時間が長く、不透明度の設定に作成者の意図が強く反映されるため、画像作成に熟練を要することが指摘されてきた。しかし、各ボクセル情報をすべて保持する VR 法は、選択された領域の不透明度を自在に調整することでボクセルの持つ微細な値が描出可能なため、目的とする画像を作成する上で自由度が高く、近年の画像処理の高速化にともない、今後は三次元画像再構成法の主流となると思われる。

### 1.2.6 仮想内視鏡 (virtual endoscopy, VE)

Perspective rendering と呼ばれ、仮想的な視点となる一点を三次元ボリュームデータ内に想定し、仮想的なスクリーンに向かって放射状に投影することで、物体の内側から見た状況の遠近感ある三次元画像が作成される<sup>1)</sup>。血管の内腔や動脈瘤内に入り込んでいるかのような仮想的三次元画像を連続的に表示することで、物体の内視鏡的な観察が可能であり、サーフェイス法 (SR) とボリューム法 (VR) とがある。また、血管や動脈瘤を飛び出し管腔の外側から見た仮想的三次元画像を表示

し、物体を外側から観察すること (fly-through) も可能である。VR 法を用いた VE では、不透明度を自在に調整し、色付け階調を工夫することで、物体の芸術的な三次元透視像を作成することが可能である。VR 法を用いた VE の利点として、以下の応用が挙げられる。

- (1) 管腔臓器において、血管内視鏡や気管支鏡など内視鏡検査に類似した順行性の内腔表面形態の観察が可能である。特に頸部内頸動脈や脳底部大血管の閉塞・狭窄性病変 (図 6.1.5)、脳動脈瘤内腔の観察 (図 6.1.6) において有用性が高い。
- (2) 管腔閉塞・狭窄部位を超えて、反対側から逆行性の仮想的観察が可能である。また、内視鏡が挿入不可能な実質臓器においても類似した仮想的観察が想定できる。
- (3) 管腔外壁を透視することで、内腔の表面観察のみならず、内腔から見た周辺領域の仮想的観察 (see-through) が可能である。
- (4) fly-through により、神経内視鏡に相応する視点で、管腔外からの観察が可能である。また、see-through では不透明度を微細に調整することで、動脈壁の石灰化や内膜下粥腫などの動脈硬化性病変、動脈瘤内血栓やステントな

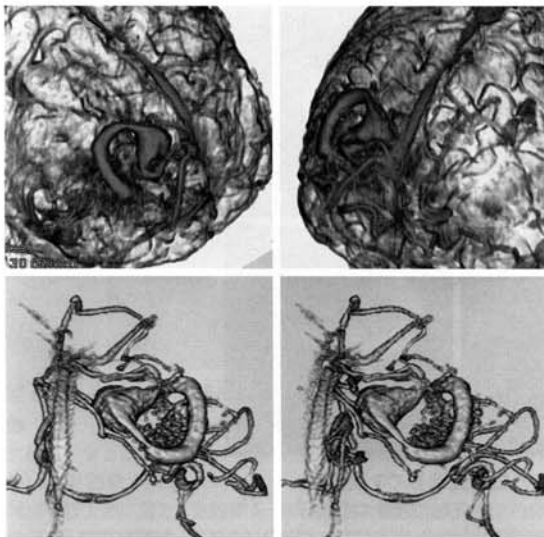


図 6.1.4 右前頭葉 AVM 例の三次元 MRA 画像

脳実質透過による AVM の VR 像 (上段) と後上方より見た AVM 構築の VR 画像・ステレオ (下段)。

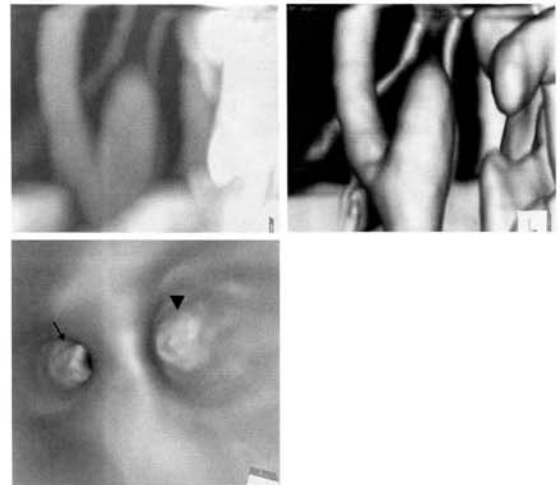


図 6.1.5 左頸部内頸動脈閉塞例の三次元造影 CT 画像 MIP 画像 (左上)、VR 画像 (右上) および仮想内視鏡 (VE) 画像 (下)

VE にて総頸動脈内腔から見た内頸動脈閉塞部のドーム状尖端 (矢頭) と外頸動脈の開開口部 (矢印) が観察される。

どの血管内治療材料など、区別されるべき異質なものを出しとして描出することが可能となってくる(図6.1.7)。

- (5) fly-through や see-through を利用した遠近感のある三次元画像表示により、関心領域に対していろいろな視点からの立体的形態観察が可能であり、手術シミュレーションに有用である。特に、手術アプローチ方向に沿った、動脈瘤、動脈瘤ネックとすべての親動脈の立体像は、これら術野構造物の三次元構成がよく把握され、仮想顕微鏡手術(virtual microsurgery)への応用が期待される(図6.1.8)。

### 1.3 AMIN 三次元画像解析システム

AMIN 画像解析システムは三次元画像再構成のための高速ワークステーションであり、VR の高画質画像をリアルタイムに作成することが可能であ

る。1999年4月に version 1.0 が発売され、2000年4月より version 2.0 となり、データの再読み出しを行うことなく、切り替え操作のみで MRA、CTA の同一画面に対して (1) Volume rendering (VR)、(2) Maximum intensity projection (MIP)、(3) Virtual endoscopy (VE) それぞれの画像への画面変換、並列表示がリアルタイムに可能となった(図6.1.2)。また、類似症例登録パターンに基づいて MR、CT の元画像データから任意角度の VR 画像、12枚が作成される自動化機能、VE 画像のシネ表示、curved MPR 表示、画像一時保管機能など細部の変更も加えられている。

#### 1.3.1 画像解析システムの特徴

AMIN 三次元画像解析システムの特徴は、1) 不透明度の自由な設定が可能な VR 三次元画像再構成。2) リアルタイム高速処理。3) 簡単操作・自動化の三点に要約される。具体的には、

- (1) 目的とする領域のボクセルに対する不透明度

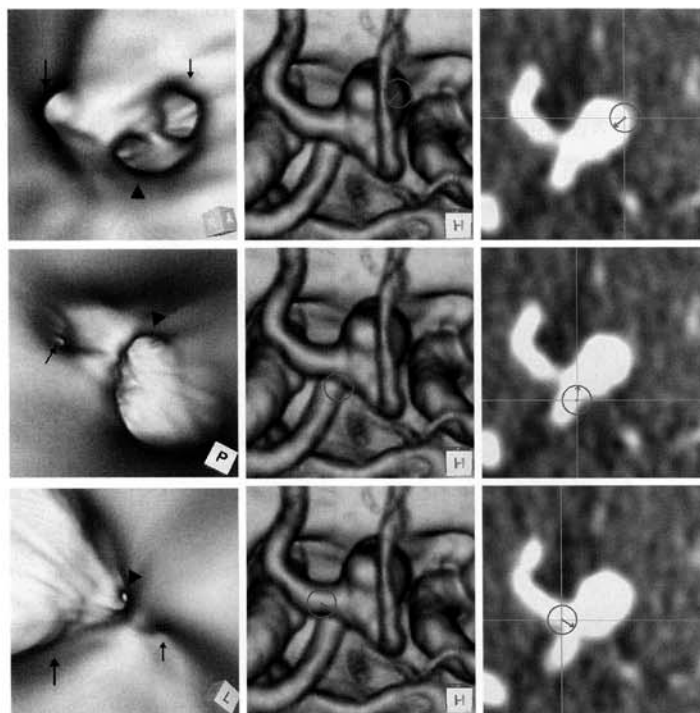


図 6.1.6 未破裂前交通動脈瘤例の三次元造影 CT 画像

仮想内視鏡 (VE) 画像 (左列)、ナビゲーションとして VR 画像 (中央列)、二次元軸位画像 (右列)

上段: 動脈瘤内腔から見た動脈瘤ネック内腔; 向かって左より右 A2 (大矢印)、左 A1 (矢頭)、左 A2 (小矢印) が観察される。

中段: 親動脈 (左 A1) より見た動脈瘤内腔; 左 A2 (矢印) と前上方向に伸展する動脈瘤の bleb (矢頭) が描出されている。

下段: 左 A2 より見た動脈瘤内腔; 動脈瘤ネック (大矢印) と右 A2 (小矢印) との間に細い右 A1 の開口部 (矢頭) が認められ、手術操作上有用な情報となる。

の設定が自由自在に可能なため、閾値内のMR信号強度やCT値への自由な重み付けをすることで質感のある画像作成が可能となり、VR・VEにおいて、血管などの物体透視画像や関心領域への色づけ階調ができる点で特異である。

- (2) 関心領域のオブジェクトが最大8個まで設定可能で、各オブジェクトごとに色づけや不透明度の条件設定ができるため、オブジェクト間の加算・減算処理を自在に行うことで、すべての関心領域を強調表示することができる。
- (3) 演算処理は外部エンジンなど特殊なハードウェアでなく、CPUのアーキテクチャーの最適化やMMX命令、SSE命令などSIMD型技術を駆使したソフトウェア上でを行い、最新のインテルプロセッサの性能を最大限に活用する

ことで高速演算処理が可能となった。たとえば、元画像データから三次元VR画像への再構成処理が約20秒、VR画像の観察角度変更は1~3秒を要するのみで、ほぼリアルタイムと言える。

- (4) 512MBの専用メモリーにより最大600スライスの元画像からリアルタイムに三次元画像が作成される。また、内臓ハードディスクの記憶容量は9GBと大きく、512×512解像度画像で約10,000画像の保管が可能である。
- (5) 日本語表示のため直感的でスムーズな操作が可能である。
- (6) 高精度スプライン補間法によるZ軸方向の自動補間処理機能により、MR・CTのX-Y二次元の画像データから各voxelのX-Y-Z辺が均等となるよう補間・スライス数が増加され、体軸方向に滑らかな三次元画像再構成が得ら



図 6.1.7 未破裂右内頸後交通動脈瘤例の三次元造影CT画像

ナビゲーションとしてのVR画像(上段)と仮想内視鏡(VE)see-through画像(下段)

視点を鞍上部に置き、管腔壁を透視して眺めることにより、内頸動脈(大矢印)、後交通動脈(小矢印)、脳動脈瘤(大矢頭)を遠近感ある立体構造として仮想的に観察可能である。不透明度を調節し色づけすることで動脈瘤頸部の石灰化像(小矢頭)が赤く描出される。

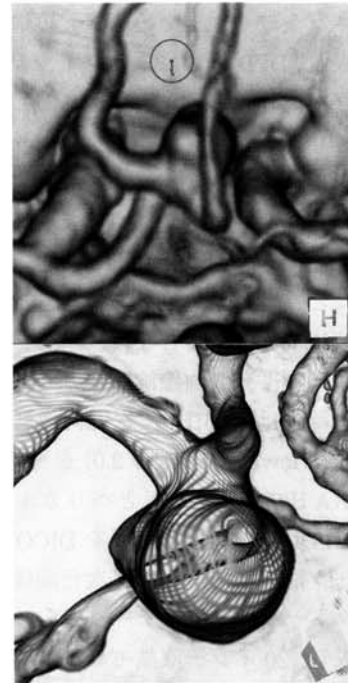


図 6.1.8 未破裂前交通動脈瘤例の三次元造影CT画像  
ナビゲーションとしてのVR画像(上段)と仮想内視鏡(VE)see-through画像(下段)

視点を鞍結節部に置き、管腔壁を透視することで、動脈瘤、動脈瘤bleb、動脈瘤ネックと左A2、左A1、右A2、右A1のすべての親動脈の立体的位置関係が把握されるため、手術シミュレーションに有用である。

れる。

- (7) 作成条件があらかじめ登録されたテンプレート(サンプル画像)を使用することで、画像作成プロトコルの自動化が可能となった。たとえば、類似症例についてテンプレートを選択することにより、不透明度、拡大率、視点角度などの設定条件を同一とした類似画像がリアルタイムに自動的に作成される。
- (8) DICOM 通信でネットワーク構成することで、MR、CT の元画像データをワークステーションに取り込み、作成した三次元画像を DVD や floppy disk などの可搬メディアに保存し、パソコンなどさまざまな端末で取り出し閲覧・保管できる。
- (9) データ保管、ファイリングをする上で、可搬メディアに大容量 5.2GB の DVD-RAM を搭載し、約 10,000 画像のデータが一枚の DVD に保存可能である。DICOM 通信によるデータ転送、ネットワーク上での三次元再構成画像の画面表示、DVD 保存によるフィルムレスが可能であり、将来的には DICOM 対応の画像ファイリングシステム (filing system) への応用が考えられる<sup>4)</sup>。

#### 1.4 脳神経外科での日常臨床の実際

臨床医にとって長年の夢であった三次元画像診断は、急速に現実のものとなり、単なる研究対象から日常臨床で役立つ画像診断法として確立しつつある。当院では、AMIN 三次元画像解析システム、Pegasus Viewer (Version 2.0) を導入し、MRI (GE SIGNA HiSpeed 1.0T) とヘリカル CT (GE-YMS Legato DUO) の画像情報を DICOM 通信でネットワーク構成している。三次元画像は、外来診察デスクトップで元画像データからリアルタイムに再構成し、20 インチ液晶モニター画面上に表示している (図 6.1.1、図 6.1.2)。また、画像データの爆発的増加に対して、MRA・CTA の画像をモニター画面上で表示・説明した後、ワークステーションから DVD へ保存することで画像データ保管・ファイリングをコンパクトに行い、フィルムレスシステムを臨床応用している。

これまでの三次元画像作成では、画像再構成処

理に時間がかかり、操作性、処理能力の点で難しさがあり、熟練した者でも相当の労力と時間を要し、多分にマニアックであった。そのため、一般臨床で使用するにあたり、三次元画像作成におけるリアルタイム処理とシンプルな操作性、さらには再構成の自動化が強く求められてきた<sup>2)</sup>。AMIN 三次元画像解析システムでは、画像再構成のプロトコルであるテンプレート(サンプル画像)をあらかじめ登録しておけば、類似症例の三次元画像が自動的にリアルタイムで作成可能であり、注目すべき有用性と考えられる。この自動化機能により、将来的に施設間で造影手技や撮影条件が統一され、CT・MR 装置の規格・設定に応じた共通のテンプレートを使用すれば、三次元再構成画像自体を客観的画像データとして共有できる可能性が開けてくる。

元来、三次元画像は、客観性のある二次元の軸位元画像と異なり、どちらかといえば主観的要素の加わった創作画像である。三次元画像作成においては、特定の閾値の設定、関心領域の抽出範囲の選択、不要な構造物の除去、VR 処理での不透明度設定などの過程で、作成者の主観や恣意が入り、完成する画像も作成者で異なり、設定を誤れば時として偽像を作ることにもなる。反面、主治医である臨床医が総合的に判断し、元画像データから三次元画像を自身で再構成すれば、意図を反映した三次元画像を作成することが可能となる。三次元画像が臨床医の手中でリアルタイムに作成可能となると、単に診断精度の向上など診断支援のみならず治療方針の決定、さらに患者・家族へのインフォームドコンセントにおいて、説明と同意を得る上でも有用なツールとなる。第一線の脳神経外科診療において、元画像データから創ってみせる主治医による三次元画像作成は、いかにわかりやすく表示し説明し易いかということだけでなく、患者・家族を取り込んだ視聴者参加番組のごとき臨場感あふれる相互作用、interaction が得られる点でも大いに寄与している。

#### 文献

- 1) 畔元将吾、平松慶博、松本和彦:Virtual endoscopy の基本原理と臨床応用領域における有用性。日本

## 第6章 新しい診断・計測技術

- 臨床 **57**: 223-231, 1999
- 2) 片田和廣: 三次元画像の臨床応用の手引き、頭部。臨床画像 **15**: 1050-1060, 1999
- 3) 小林泰之、田中修、澤田明宏他: 三次元画像の臨床応用の手引き、大血管。臨床画像 **15**: 1082-1092, 1999
- 4) 長谷川進一、岡和田健敏: DICOM network の運用経験。新医療 **25**: 123-125, 1998
- (佐藤 透)