

解説



断層像を用いた立体視†

田村進一† 田中幸吉††

1. はじめに

生体情報は本来、空間的・時間的広がりを持つものであり、三次元的に、かつ経時的にとらえられ、表示されるべきものである。実際には装置などの問題からそれらは二次元静止画像や一次元時系列データとして観察されることが多い。

しかしながら、情報処理技術の進歩により近年三次元画像や時系列画像・動画が処理の対象とされるようになってきた。

本稿では三次元処理および表示技術について概観し¹⁾、合わせて筆者らの研究を紹介する。

2. 立体表示・三次元表示方式

立体表示ないし三次元表示方式に関しては大越²⁾⁻⁶⁾、畑田⁷⁾らの成書があり、くわしく述べられている。ここでは簡単に広義三次元画像表示方式の分類を行う。

(i) 奥行き画像表示方式(単眼式)

立体視の要因のうち単眼情報だけで奥行き感を得る方式で、通常二次元画像1枚で表示される。これには透視図、広視野画像、三面図、回転表示などがある。

(ii) 立体画像表示方式(二眼式)

両眼視差の要因を利用した表示方式で、右眼画像、左眼画像の組を利用するものである。欠点は一方向から見た画像しか表示しにくく、回り込みができないか制限されることである。

(iii) 狭義の三次元画像表示方式

空間のある場所に被写体の再生像が浮び上って見えるもの。この場合、頭を動かせば回り込んだ側面の有様も見えてくる。ホログラムなどで実現される。

3. 医学・生物学への応用

医学・生物学の分野でも上述のような立体表示・三

次元表示技術は数多く使われている。古くはX線の立体写真で脳血管造影撮影などに使われ、現在でも簡単な立体表示法であるため使われている。また立体視用のX線テレビもある。さらにレンティキュラ板再生による立体写真集も市販されている⁸⁾。最近では計算機やCTが一般に使われるようになり、多様な立体・三次元処理および表示法が開発されてきた。それらを対象別に分類するとつぎのようになる。

i) 顕微鏡像

神経細胞のようなマイクロな構造を持ったものを対象に、その三次元構造を知り、神経細胞の構造や結合の状態などを明らかにする。

ii) 光学像

顕微鏡像よりもっと大きな構造をもったものを対象に普通の光学像を使ってその三次元構造を解析する。

iii) X線像

上記のほか、通常のX線写真をいろいろの方向から撮影し、観測する方向に応じその方向から撮ったX線写真を提示する光学装置や、心臓の立体構造を鋳型で調べたりX線像で調べたりするシステムが開発されている。

iv) CT像

CT (Computed Tomography) で得られた断層像を立体的な構造がよくわかるような方法で表示し直す。

v) 超音波断層像

超音波トモグラフィにより得られた超音波断層像をもとに、三次元表示、立体表示、任意断面合成、容積計測等を行うシステムを筆者らは開発している。

以下ではこれらの順にいくつかの例を紹介する。

4. 顕微鏡像

顕微鏡像のうち、神経細胞の立体視および三次元構造解析は最も盛んに研究され実用化されている分野である⁹⁾。神経細胞には数多くの樹状突起があり、シナプス結合により神経回路網を構成している。ところが小さなピラミッド細胞でも樹状突起の特徴点(分岐点および端点)は500~800に達している。神経系の形

† Three-dimensional Display Based on Section Images by Shinichi TAMURA and Kokichi TANAKA (Dept. of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering Science, Osaka University).

†† 大阪大学基礎工学部情報工学科

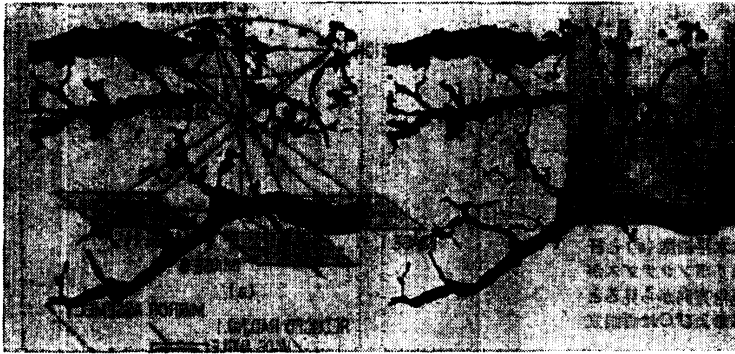


図-1 ハエの視覚系単極細胞の立体表示

態や連絡の研究にはいく枚もの連続切片像より三次元空間内に分布した特徴点を拾い出して枝の長さなどの統計解析をしたり、連絡の追跡¹⁰⁾が行われる。連続切片像から三次元像の再構成は人手による作図¹¹⁾や粘土、プレキシガラスなどによる塑像作成により以前から行われていたが最近では計算機による再構成が主流となっている。

JPL の ALMS (Automated Light Microscope System) は計算機にオンライン接続された自動顕微鏡システムである。ALMS では顕微鏡のフォーカスをいろいろな深さに設定し、得られた像にそのフォーカス位置のみを強調する処理を施すことにより、実際に切片資料を作成せずに任意の深さの断層像を作成することができる。また、このような光学的切断により切片資料作成にともなう位置ずれを避けることができ、断層像間の位置合せ (レジストレーション) が不要となる利点がある。図-1 は Golgi 鍍銀されたハエの視覚系単極細胞の 29 枚の光学的切片像より右眼画像、左眼画像を計算機で合成し、表示したものである^{12,13)}。

カリフォルニア大学生物学科の Glasser ら⁹⁾は神経細胞の連続切片像をタブレットを用いて入力し、レジストレーションの後、対応する切片像間の点を自動的に結ぶ、もし接続に誤りがあれば人間が修正を加える、というようにして神経の形態解析を行うシステムを開発した。出力部は Vector General 社の 3-D ディスプレイを用いており、回転表示などは容易に行えるようになっている。図-2 に得られた神経細胞の両眼立体表示を示す。上と下は表示角度が異なっているのみで同じ細胞である。なお、表示された樹状突起は太さ情報を持っており、断面が微小正方形で近似されている。このような表示データをもとに各種の統計解析を行うことができる。レジストレーションについては

オーバーラップ最大になるよう自動的に行う方式を試みたが小さなスポットがしばしば無視されてしまっていて結局うまく行かなかったと述べている。

ニューロン連絡の研究が進むにつれてシナプス終末およびシナプス後構造そのものを観察しようという要求が強くなってきた。

Willey ら¹⁴⁾はシナプス後構造の一つである樹状突起棘を連

続超薄切片電顕像を用いて再構成した。入力には各切片像についてタブレットより行い、切片間の接続および修正を行ったものをイラストレータに提示する。イラストレータはこれをもとにスケッチを描く。このようなシステムの導入により、回転させたものの作図も容易になるなどの利点がある。

UCLA 眼科の Stell, カリフォルニア工大の Shantz らのグループ^{15),16)}は網膜のシナプス結合を形態学的に詳細に研究するため三次元的解析システムを開発した。計算機への入力および位置決めは人手で行っている。隣り合う切片像間の接続は Fuchs ら¹⁷⁾の最小面積アルゴリズム (表面積が最小になるような立体図形を求める) を用いている。表面の陰影は光源、眼、および物体の相対位置が決まれば決定できる。このよう

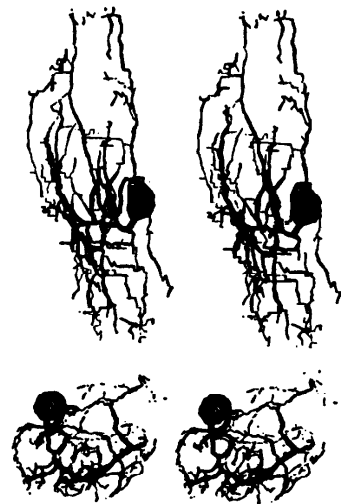


図-2 再構成された神経細胞の立体ペア (枝の太さ情報を持っている)

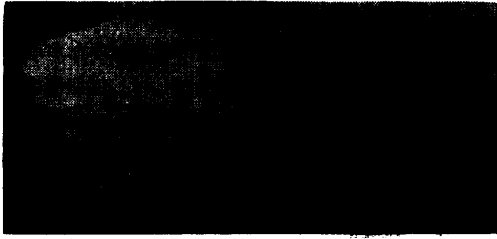


図-3 コンピュータで再構成した杆体水平細胞(d)と杆体リボンシナプス(r). Aではリボンシナプスが横に広がっているが、それを直角方向から見ると壁構造であることがわかる。BおよびCは两眼立体視用のペアにもなっている。

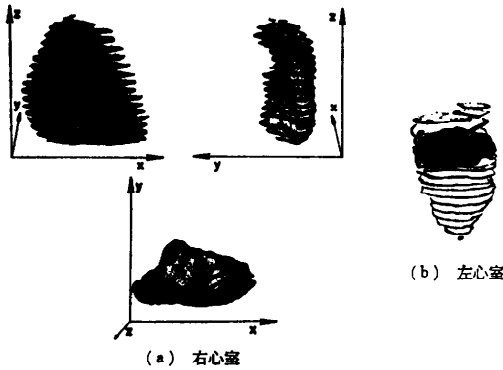


図-5 鋳型輪切り法による心室透視図

にして再構成された立体像の例を 図-3 に示す。これらの三次元データを用いると表面積、体積、シナプス面積、断面積、シナプス分布なども容易に求めることができる。

このほか、三次元データを扱うが、立体表示よりも統計解析を主体とした研究として樹状突起の構造解析^{18),19)}や胎児ザルの脳細胞の成長による形態変化の解析²⁰⁾などが行われている。

5. X線像

CT が出現する以前にもX線断層像の撮影法およびその表示法はいろいろ工夫されていた。図-4はその撮影法の一つである circular tomography と同じ方式を用いているが、フィルムは移動させずに各位置で別々の像を撮影している。すなわち、X線源を円周上のいろいろな場所に移し、各々対応した位置にN枚のフィルムを置き、その方向から撮ったX線像を得る。断層像を得るにはこれらN枚のX線像を重ね合せればよい。Grant²¹⁾は 図-4 (a) で得た N=20 枚のX線写真フィルムをそれらの相対位置を変えないで 図-4 (b) のような光学系にセットし、左より光を当てると、右側

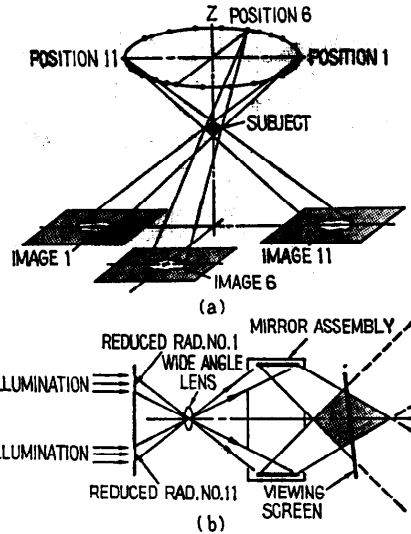


図-4 (a) 回転走査撮影法、N方向から見たN枚の写真撮る。(b) 奥行き表示のための再生法

よりその見る方向に応じたX線像(ただし断層像ではなく投影図)が見えるシステムを考案した。

Heintzen ら^{22),23)}は正面および側方心アングログラム(投影図)より心容積を求めるシステムの研究を行

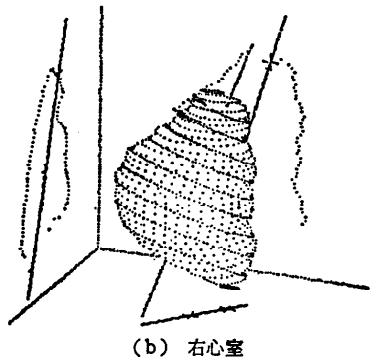
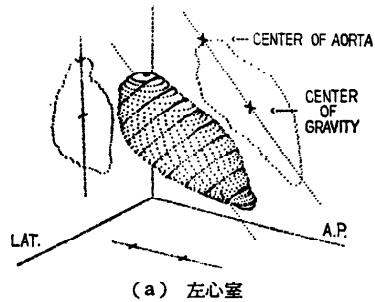


図-6 楕円近似法による心室透視図 (bipplane 法)

った。正面のみ、側方のみ、および両投影図を用いる方法について誤差評価を行うため心室の鋳型をつくり、輪切りにしてその形状を計算機に入力した。これらのデータを三面図の透視図で表示したものを 図-5 に示す。これ自身は上記対象別分類では (ii) 光学像に分類されるものである。さらに心室を楕円板の積み重ねと仮定し、正面および側面の実際の心臓の X 線画像から仮想的な楕円板の長径および短径を求めて透視図表示を行った。図-6 は 2 枚の X 線像をもとに楕円近似により求めた透視図である。これより心室の容積が求まり、それを時間的にフォローすると収縮曲線が求まり、心機能を知ることができる。一般に左心室は楕円近似がよく当てはまり、右心室はその形状が複雑である (図-5, 図-6) ので近似がよくないことが知られている。

上と同様の手法で Shiffman ら²⁴⁾は肺の近似的透視図を求め、さらに肺容積を求めている。

筆者らのグループは脳血管造影立体写真より会話的に血管を抽出し、その連続回転表示を行うシステムを開発している^{25), 26)}。

6. CT 像

CT 像の三次元処理および表示については Mayo Clinic および Georgetown University のグループで精力的に進められている。Georgetown University では THREAD (Three-Dimensional Reconstruction and Display) システム²⁷⁾を開発し、神経の連続頭微鏡画像や連続 CT 像からの立体再構成の研究を行って

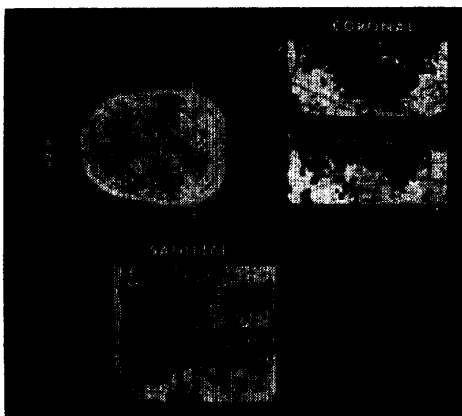


図-7 連続 CT 像より合成された sagittal および coronal plane, left cerebellar hemangioblastoma (血腫) の例

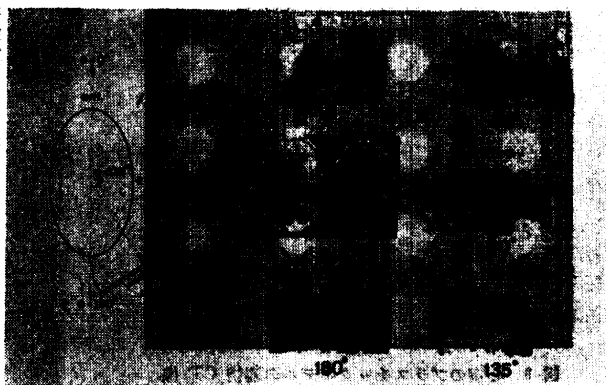


図-8 linear shading による頭部奥行き表示法

いる。

まず、CT により得られた多数の連続断層像から新しい断層像を合成する研究についてのべる。Huang ら²⁸⁾はとくに首の脊椎について 3 (mm) ごとに撮影した連続 CT 像をもとに前額面 (coronal) および矢状面 (sagittal) 断層像を合成・表示した。同様に Missouri-Columbia University の Dwyer²⁹⁾は連続した頭部 CT 像から直交する二つの面 (coronal および sagittal) 上の断層像を合成した (図-7)、現在ではこのような機能は商用 CT でも利用できるようになっている^{30)~33)}。Dwyer はさらに、図-8 に示すように対象物の表面を image plane からの距離に応じた濃度で示す linear shading を行った。

Robb ら³⁴⁾は摘出した犬の心臓の冠動脈をバリウムペーストで造影し、CT 像を撮影した。CT 像で冠動脈部分は白い点となるので識別できる。連続した CT 像より冠動脈部の座標を順次求めていくと三次元的な冠動脈構造を知ることができる。Robb らはこれをいろいろな角度を持った面に投影する回転表示により立体表示を行っている。

Liu ら^{35), 36)}は人間の肺、心臓のプラスチックモデルなどの連続 CT 像より肺の境界や左室の表面を求めた。まず、図-9 のような連続 CT 像を得る。これらを積み重ねると CT の三次元データが得られる。なお、得られた三次元空間内の画素は voxel (volume element) といわれる。三次元物体の表面を求めため breadth-first アルゴリズムで境界の追跡を行っている。結果を 図-10 に示す。

同様に Ledley ら³⁷⁾は脊椎間孔が狭くて神経を圧迫していないかどうかをみるため、脊椎の陰影表示を行った。文献 37) では第 2 および第 3 腰椎を 3 (mm) お

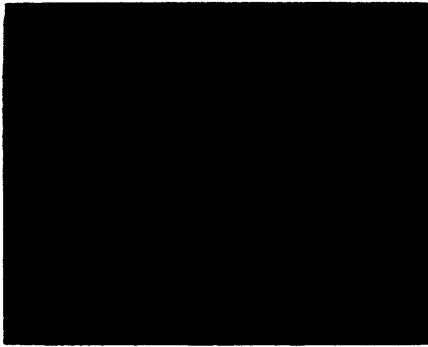


図-9 心室のプラスチックモデルの連続 CT 像

きに CT 像を 15 枚撮影し、内挿により 29 枚にした後、陰影をつけた奥行き表示像を得ている。結果は分解能が少し不足であったが臨床応用の可能性³⁸⁾を示唆している。

ホログラムによる連続 CT 像の立体視も行われている^{39), 40)}。これは狭義三次元像を表示するものである。ホログラムの撮影は CT フィルムのセットを一度に撮るのではなくて、1 枚ずつ多重記録することによりとくに後方 CT 像の視認性を向上させている。

頭部 CT 像の輪郭の動的回転表示も行われている。金田ら^{41), 42)}は連続 CT 像より抽出した脳室部の輪郭線を Vector General 社 3-D ディスプレイを用いて表示した。その機能として関心領域のみの表示や任意の断面での切断・表示なども行えるようになってい

7. 超音波像

まず、筆者らの研究^{1), 43)~49)}を紹介する。図-11に示

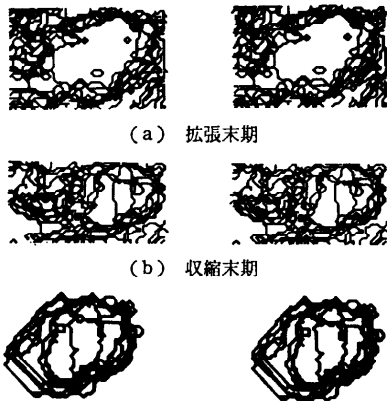


図-12 心臓の立体表示



図-10 三次元境界検出アルゴリズムにより検出された表面の表示、原データは図-9

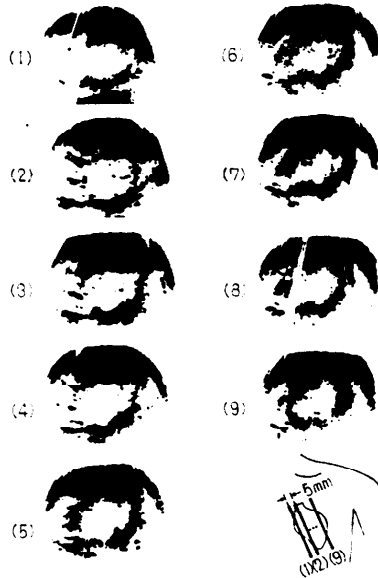
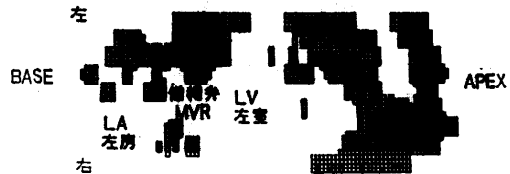


図-11 超音波断面写真 (拡張末期心臓)



(a) ジョイスティックにより直線(左)と+印(右)で指定された断面



(b) 合成された断面像 (2 値表示)

図-13 任意断面像の合成、健常例拡張末期

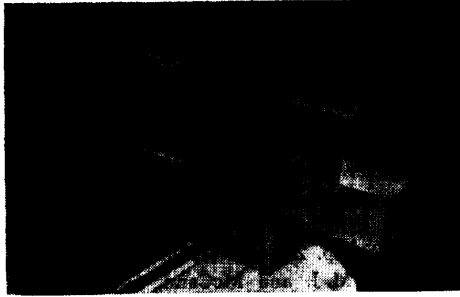


図-14 三次元表示アダプタ

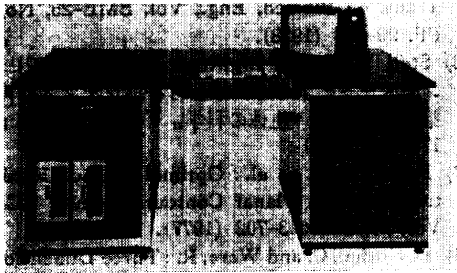


図-16 断層像立体合成・表示・計測システム

すようなたとえば5 (mm) おきの超音波連続断層像より図-12のような輪郭線による両眼立体表示を行った。また容積計測も行っている。さらに、任意断面像の合成も行っている(図-13)。任意面上の合成断層像の画素サイズはさまざまとなるが、それを分割して正方サイズとし、スムージング処理を行っている。前額面や矢状面断層像の合成はCT像や超音波像⁵⁰⁾でも行われているが、任意断面については他ではほとんど行われていない⁵¹⁾。

上記立体表示方式のほか、筆者らはオンライン(狭義)三次元表示方式として図-14および図-15に示す方式を開発している。いずれも各断層像の光学路長を少しずつ変えて三次元表示を行うものである。図-14はCRT一面のみを使用するもので簡便ではあるが開口が狭い欠点がある。図-15はその欠点を取り除いたものであるが、今のところ三層式しか完成していない⁵²⁾。

筆者らはまた上記のような機能を持った専用システム(図-16)をマルチマイクロプロセッサで構成した。図-17に、本システムによる心房中隔欠損症(ASD)患者の超音波断層像の濃淡奥行き表示(手前のものほど明るい)および合成前額面断層像を示す。合成像は丁度心房中隔欠損部をとらえている。通常、心臓の前額面断層像は肺の空気のため直接には撮影できないものである。

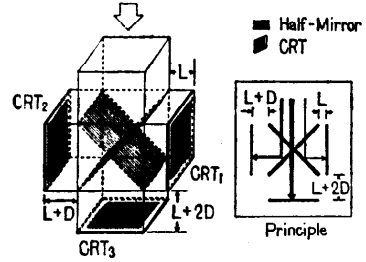
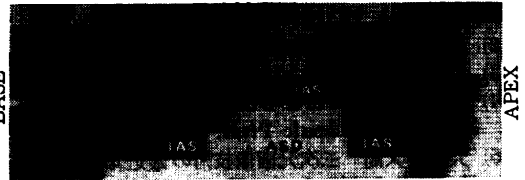
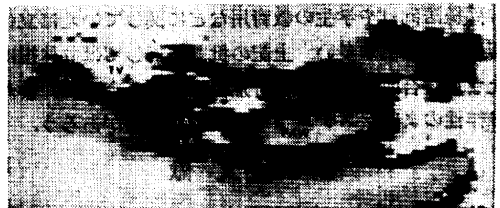


図-15 多面式三次元ディスプレイ



LSB STERNUM LSB

図-17 超音波断層像の立体表示(上)および合成前額面断層像(下)(ASD)

その他、腎容積の計測⁵³⁾、乳腺腫瘍の等高線表示⁵⁴⁾、写真合成による立体視⁵⁵⁾、また連続断層像を用いているわけではないが超音波ホログラフィによる狭義三次元像再生⁵⁶⁾⁻⁵⁸⁾などが行われている。

8. むすび

説明の都合上、対象領域別に各種立体表示技法についてのべた。しかしながら、ほとんどの立体表示技法はいずれの対象領域についても適用可能なものである。これらの技法は総じていえば、連続断層像をそのままあるいは表面を形成して立体表示する方式と、輪

郭線に直して表示する方式にわけられよう。前者は occlusion (手前のものが奥のものを隠すこと) が生じるためいろいろな工夫がなされることも多い。後者は物体の細かな情報は失われるが、構造を透視でき、occlusion は生じない。

Mayo Clinic では米レイセオン社と DSR (Dynamic Spatial Reconstructor) と称する実時間三次元走査 CT を開発しており、また超音波の分野でもファンビーム三次元スキャナやリア三次元スキャナの開発が各地で進められており、さらに北大応電研では RI 三次元センサの開発が行われている。このように、容易に三次元画像を撮影しうる時代となってきた。またベクトル心電図や逆問題解など三次元表示に関して未開拓の分野もある。これから大量の画像やデータが三次元表示ないし処理できることになろう。

しかしながら、立体視して新たに何がわかるかという疑問を持つ立体視否定派の人々がとくに熟練した専門医の間に多いことも確かである。これに関しては今後の地道なフィールドスタディが必要である。しかし非熟練医向けや学生の教育用などに関していえば立体視は有効な面が多い。上記の批判に対しては立体視に止まらず合成・計測など付加機能と組み合わせて、また操作性のよいシステムづくりを行う必要があろう。

参考文献

- 1) 田村, 田中: 立体画像表示とその医学応用, 信学技法, Vol. 77, No. 162, IE 77-59 (1977).
- 2) 大越: 三次元画像工学, 産業図書 (1972).
- 3) 大越: 画像ディスプレイ, コロナ社 (1975).
- 4) Okoshi, T.: Three-Dimensional Imaging Techniques, Academic Press, New York (1976).
- 5) 大越, 大島: 三次元画像技術の最近の動向, 光学, Vol. 6, No. 3, pp. 99-107 (1977).
- 6) 大越: 三次元ディスプレイ, 信学誌, Vol. 61, No. 11, pp. 1189-1192 (1978).
- 7) 畑田: 生理光学—眼の光学と視覚, 応用物理学会光学懇話会編, 第7章 (1975).
- 8) Sano, K. (Ed.): Atlas of Stereoscopic Neuro-radiology, Univ. of Tokyo Press (1976).
- 9) Lindsay, R. D. (Ed.): Computer Analysis of Neuronal Structures, Plenum Press, New York (1977).
- 10) 水野: 神経解剖学—ニューロン連絡の研究—, 生体の科学, Vol. 28, No. 1, pp. 12-21 (1977).
- 11) Dunn, R. F.: Graphic Three-Dimensional Representations from Serial Sections, J. of Microscopy, Vol. 96, Pt 3, pp. 301-307 (1972).
- 12) Castleman, K. R. and Weinstein, M.: Reconstructing 3-D Specimens from 2-D Section Images, Proceeding of SPIE, Vol. 26 (1972).
- 13) Handley, D. A. O' et al.: Picture Analysis Applied to Biomedicine, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 2, pp. 417-432 (1973).
- 14) Willey, T. J., Schuldz, R. L. and Gott, A. H.: Computer Graphics in Three Dimensions for Perspective Reconstruction of Brain Ultrastructure, IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-20, pp. 288-291 (1973).
- 15) Shantz, M. J. and McCann, G. D.: Computational Morphology: Three-Dimensional Computer Graphics for Electron Microscopy, IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-25, No. 1, PP. 99-103 (1978).
- 16) Stell W. K. and Lightfoot D. O. (霜田訳): コンピュータによるキンギョの杆体シナプスの再構築とその解析, 生体の科学, Vol. 30, No. 3, pp. 173-177 (1979).
- 17) Fuchs, H. X. et al.: Optimal Surface Reconstruction from Planar Contours, Comm. ACM, Vol. 20, PP. 693-702 (1977).
- 18) Levinthal, C. and Ware, R.: Three Dimensional Reconstruction from Serial Sections, Nature, Vol. 236, pp. 207-210 (1972).
- 19) Wann D. F. et al.: An On-Line Digital-Computer System for the Semiautomatic Analysis of Golgi-Impregnated Neurons, IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-20, pp. 233-247 (1973).
- 20) Rakic P. et al.: Computer-Aided Three-Dimensional Reconstruction and Quantitative Analysis of Cells from Serial Electron Microscopic Montages of Foetal Monkey Brain, Nature, Vol. 250, pp. 31-34 (1974).
- 21) Grant, D. G.: Tomosynthesis — A Three-Dimensional Radiographic Imaging Technique, IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-19, pp. 20-28 (1972).
- 22) Heintzen, P. H. et al.: Three-Dimensional Computerized Construction Pattern Analysis, Europ. J. Cardiol., Vol. 1, No. 3, pp. 229-239 (1974).
- 23) Heintzen, P. H. et al.: Automated Video-Angiocardiographic Image Analysis, Computer, Vol. 8, pp. 54-64 (1975).
- 24) Shiffman R. R.: Interactive Graphics for Lung Volume Determination, Proc. of Computer Aided Diagnosis of Medical Images, pp. 49-52 (1976).
- 25) 北橋他: 対話形 3 次元情報抽出・表示システム, 信学技報 MBE 78-4, pp. 29-35 (1978).
- 26) 西他: ステレオ写真解析における知識表現の応用, 情報処理学会第 20 回全大 (1979).
- 27) Mazziotta, J. C. and Huang, H. K.: THREAD

- (Three-Dimensional Reconstruction And Display) with Biomedical Applications in Neuron Ultrastructure and Computerized Tomography, Proc. of National Computer Conference, pp. 241-250 (1976).
- 28) Huang, H.K. and Ledley, R.S.: Three-Dimensional Image Reconstruction from *In Vivo* Consecutive Transverse Axial Sections, Comput. Biol. Med., Vol. 5, pp. 165-170 (1975).
- 29) Dwyer III, S.J.: Texture Analysis in Diagnostic Radiology, in Digital Processing of Biomedical Images, K. Preston, Jr and M. Onoe (eds.), Univ. of Tokyo Press, pp. 203-226 (1976).
- 30) 春日他: オフラインシステムによる CT 像の再構成, 映像情報 (M), Vol. 10, No. 1, pp. 37-42 (1978).
- 31) 多田, 久田, 渡辺: Whole body CT による冠状・矢状断層, 同上 pp. 43-46 (1978).
- 32) 藤井他: 頭部専用装置 Artronix CAT-N の再構成による矢状断, 前額断像の臨床上から見た有用性について, 同上 No. 5, pp. 383-391 (1978).
- 33) 多田他: CT 像による多方向再構築像, 同上 No. 12, pp. 1023-1026 (1978).
- 34) Robb, R.A. et al.: Bioimage Synthesis and Analysis from X-Ray, Gamma, Optical and Ultrasound Energy, *ibid*, pp. 203-226 (1976).
- 35) Liu, H.K.: Two-and Three-Dimensional Boundary Detection, Computer Graphics and Images Processing, Vol. 6, pp. 123-134 (1977).
- 36) Herman, G.T. and Liu, H.K.: Dynamic Boundary Surface Detection, Proc. of Computer Aided Diagnosis of Medical Images, pp. 27-32 (Nov. 11, 1976).
- 37) Ledley, R.S. et al.: Application of the ACTA-Scanner to Visualization of the Spine, Computerized Tomography, Vol. 3, pp. 57-69 (1979).
- 38) 久留: 1978 年マイアミの国際 CT シンポジウムに出席して, 映像情報, Vol. 10, No. 8, pp. 477-481 (1978).
- 39) 鈴木他: ホログラフィック・ディスプレイの応用, 信学技報, Vol. 77, No. 162, IE 77-57 (1977).
- 40) 鈴木, 斎藤, 岩田: ホログラフィック・ディスプレイの X 線画像への応用, 映像情報 (M), Vol. 10, No. 1, pp. 49-53 (1978).
- 41) Kaneda, Y. et al.: Pattern Recognition and Three Dimensional Construction from CT Images, ICCS-78 (1978).
- 42) 金田他: CT 像からの特定疾患部のパターン抽出とその三次元的立体表示, 第 18 回日本 ME 学会大会 (1979).
- 43) 田村他: 超音波立体画像処理システム—心臓の C モード表示, 信学技報, IE 76-64 (1976).
- 44) Matsumoto M. et al.: Three-Dimensional Echocardiographic Images and Two-Dimensional Echocardiograms in Desired Planes by a Computerized System, Ultrasound in Medicine, Vol. 3-A, No. 1, pp. 1-3 (1977).
- 45) Tanaka, K. and Tamura, S.: Binocular Stereoscopic Display System for Echocardiography and Computer Synthesis of Tomograms, MEDINFO 77 (1977).
- 46) Tanaka, K. and Tamura, S.: A Parallel Processing System Specialized in Three-Dimensional Display Based on Serial Tomograms, US-JAPAN Seminar on Research towards Real-Time Parallel Image Analysis and Recognition (Organizer; M. Onoe and Preston, Jr.), Tokyo, (Oct. 1978)
- 47) 田中: 超音波断層像の立体合成表示・計測システム, 臨床 ME Vol. 3, No. 9, pp. 163-169 (1979)
- 48) Nakatani, H. et al.: A Binocular Stereoscopic Display System for Echocardiography. IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-26, No. 2, pp. 65-68 (1979).
- 49) Tamura, S. et al.: Tomogram Reconstruction in Desired Plane based on Serial Tomograms, Comp. in Biol. and Med. (to appear).
- 50) Robinson, D.E.: Display of Three-Dimensional Ultrasonic Data for Medical Diagnosis, J. Acoustical Soc. Amer. Vol. 52, No. 2, pp. 673-687 (1972).
- 51) Cahan, L.D. and Trombka, B.T.: Computer Graphics-Three Dimensional Reconstruction of Thalamic Anatomy from Serial Sections, Computer Programs in Biomedicine, Vol. 5, pp. 91-98 (1975).
- 52) 姉崎, 田村, 田中: 多面多層三次元ディスプレイ, 昭 54 信学会情報部門全大 (1979).
- 53) 赤塚, 高谷, 小林: 超音波画像からの臓器体積計測, 第 17 回日本 ME 学会大会 (1978).
- 54) 赤塚, 高谷, 小林: 超音波像の画像処理とその立体表示, 第 16 回日本 ME 学会大会 (1977).
- 55) 石黒他: 電子スキャン法を利用した超音波画像の立体視, 第 18 回日本 ME 学会大会 (1979).
- 56) Stroke, G.W. et al. (Ed.): Ultrasonic Imaging and Holography-Medical, Sonar, and Optical Applications, Plenum Press, New York (1973).
- 57) 名倉他: 超音波ホログラフィの医学的応用 (第 5 報) 第 18 回日本 ME 学会大会 (1979).
- 58) 河原: 眼底ホログラム, 応用物理, Vol. 48, No. 1, pp. 70-74 (1979).

(昭和 54 年 7 月 25 日受付)