コンピュータグラフィックスを用いた腹部エコー立体表示およびエコー下肝体積測定に関する研究

新潟大学医学部第三内科教室（主任：市田文弘教授）
岸　　裕

A new ultrasound method for showing 3-dimensional images and assessing liver volume displayed by use of computer graphics and simple device

Yutaka KISHI

3rd Department of Internal Medicine, Niigata University School of Medicine
(Director: Prof. Fumihiro ICHIDA)

New ultrasound method for showing 3-dimensional (3-D) images of the liver and assessing the liver volume are described and illustrated.

The system used in this study is built of a personal computer, normal ultrasonograms, and a simple device for taking an angle of the transducer. It is made of a slant rule and attachment board.

With "Funning method", reconstructed images are given from serial sectional echograms from several angles on same position.

With "45° method", the images are reconstructed from those of the same angle of 45 degrees on several positions got by shifting transducer. On addition to giving 3-D images, the volume of the subject, such as liver and tumor, can be obtained by use of this program.

By means of this method, 59 cases with liver disease were studied. Some of interesting cases are presented.

It is suggested that to get the 3-D images and to measure the liver volume are useful for the understanding of the condition in the patients with liver disease.

Key words: 3-dimensional images of abdominal echograms, liver volume, computer graphics, slant rule, device for taking an angle of the transducer
腹部エコー立体表示，肝体積測定，コンピュータグラフィックス，匂配器，角度検出装置

Reprint requests to: Yutaka KISHI,
3rd Department of Internal Medicine,
Niigata University School of Medicine
Niigata City, 951, JAPAN.

別刷請求先：〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部第三内科教室
岸　　裕

要旨：腹部エコー立体表示及び正確な肝体積計測の新しい方法の開発を試みた．本法はごく一般的なエコー装置とパーソナルコンピュータ，およびプローブの角度を検出のための勾配器を用いた簡単な装置を使用する．“扇形合成法”は体表に置くプローブの位置を一定とし角度を変化させて撮った連続写真から合成する方法である．“45度傾斜法”は45度傾けたプローブを腹壁に添わせて移動し，その連続写真から肝の全体像の立体表示と体積計測を行なう方法である．本法は簡便でありベッドサイドで繰り返し行なうことができる．本法で得た肝体積は剖検時の肝重量と良く一致した．本法による肝体積測定は，CT のような被曝の恐れもなく，簡便でかつ CT より正確であると思われた．コンピュータグラフィクスを用いた本法による立体表示や体積計測は，各種肝疾患の病態把握に有用と考えられた．

索引用語：腹部エコー立体表示，肝体積測定，コンピュータグラフィックス，勾配器，角度検出装置

緒　　言

各種肝疾患により肝臓はその形態や重量に種々の変化をきたすことが知られており[1)2)]外形や重量を簡便に計測することが可能となれば病態の把握や予後を推測するうえで極めて有用である．現在腹部の立体合成は CT 画像による平行スライスを用いて合成する方法[3)]が一般的であり，エコーによる腹部立体合成の報告は極めて少ない．しかしエコーはその特徴として簡便であり，X線被曝を受けず，頻回の検査を行なうこともできるなどの大きな利点を有している．今回，著者は臨床に役立ち，手軽に行なえる腹部エコーの立体表示と，同時に正確なエコー下肝体積測定の方法を開発し，多くの例に使用し良好な結果を得たので報告する．

対　　象

1987年1月～12月の間に新潟大学第三内科外来あるいは入院中の各種肝疾患を有する患者42名（男25名，女17名，19歳～77歳），59例に本法による検査を行なった．

方　　法

通常エコーでは contact compound echo（U. I. Octoson etc.）などの特殊な装置を用いる場合を除き，CT のような正確な平行スライス像を得ることは容易ではない．エコーにおいてはプローブはあらゆる位置と角度をとりうる．そこで著者はコンピュータプログラムも各スライス面に種々の立体的移動，回転を加えても合成可能となるように作成した．またエコー用計測装置としては

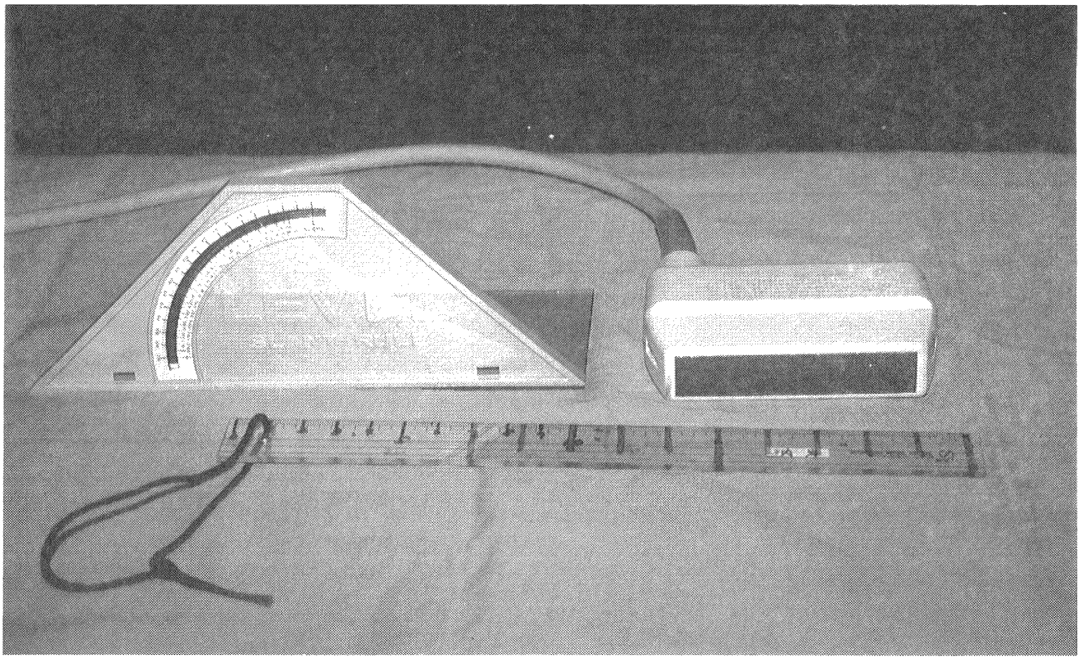


Fig. 1　The simple device for taking an angle of the transducer.

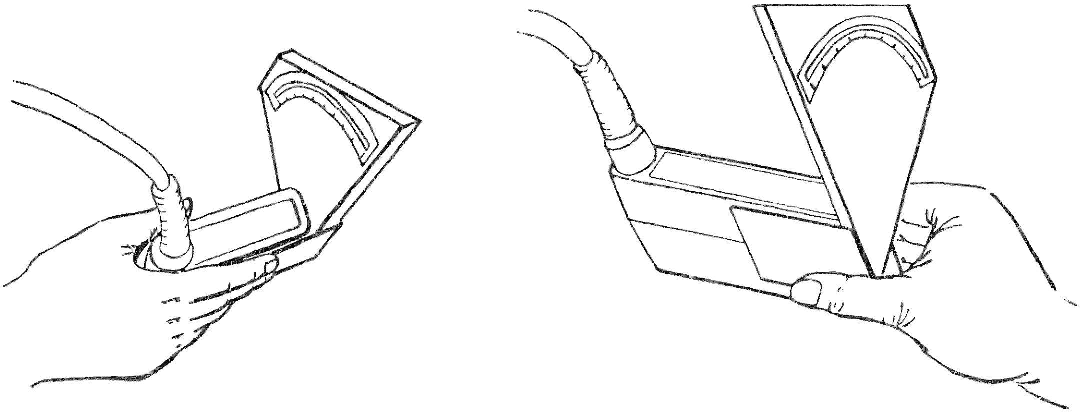


Fig. 2 Taking an angle of the transducer.

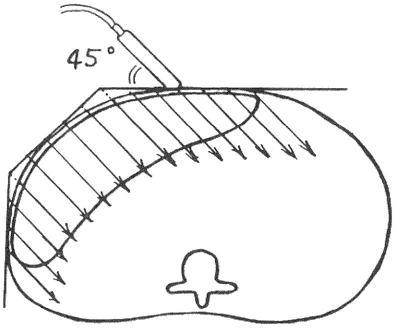
Fig. 1 のような勾配器を用いた簡単な角度計測装置を考察した．勾配器にはプラスチック板が接着されており，これを **Fig. 2** のようにプローブにはさんで使用することによりプローブの角度を検出する（**Fig. 1, 2**）．

エコー装置は横河 RT-3000，ALOKA SSD-650，東芝 SAL-50A 等を使用したが，現在の一般的腹部エコー装置のほとんどが使用可能であり，プローブもリニアー，コンベックス，セクターのいずれでも使用できる．

コンピュータ機器は，PC-9801 シリーズと入力装置にグラフテック社製デジタイザー・KD4030 を使用した．

これにより各種の立体合成法を試みたが，現在臨床的に多用している方法は“扇形合成法”と“45度傾斜法”である．

(1)“扇形合成法”は **Fig. 3** のように体表に置くプローブの位置を一定とし，角度を変化させ，いわゆる“見下



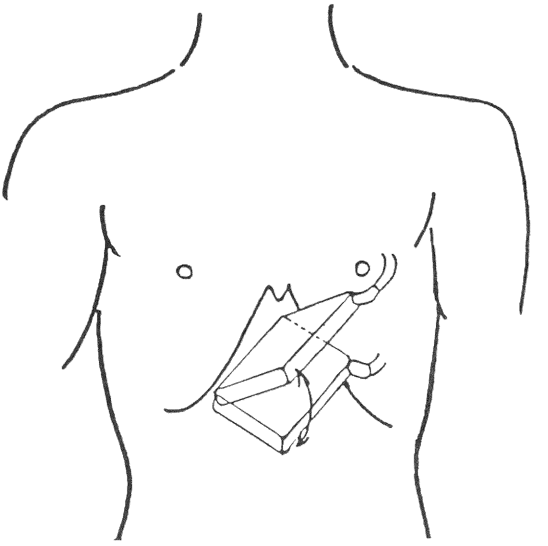


Fig. 3 Funning method.

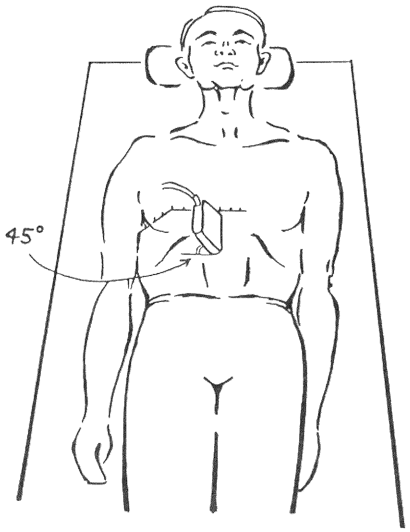


Fig. 4 45° method.

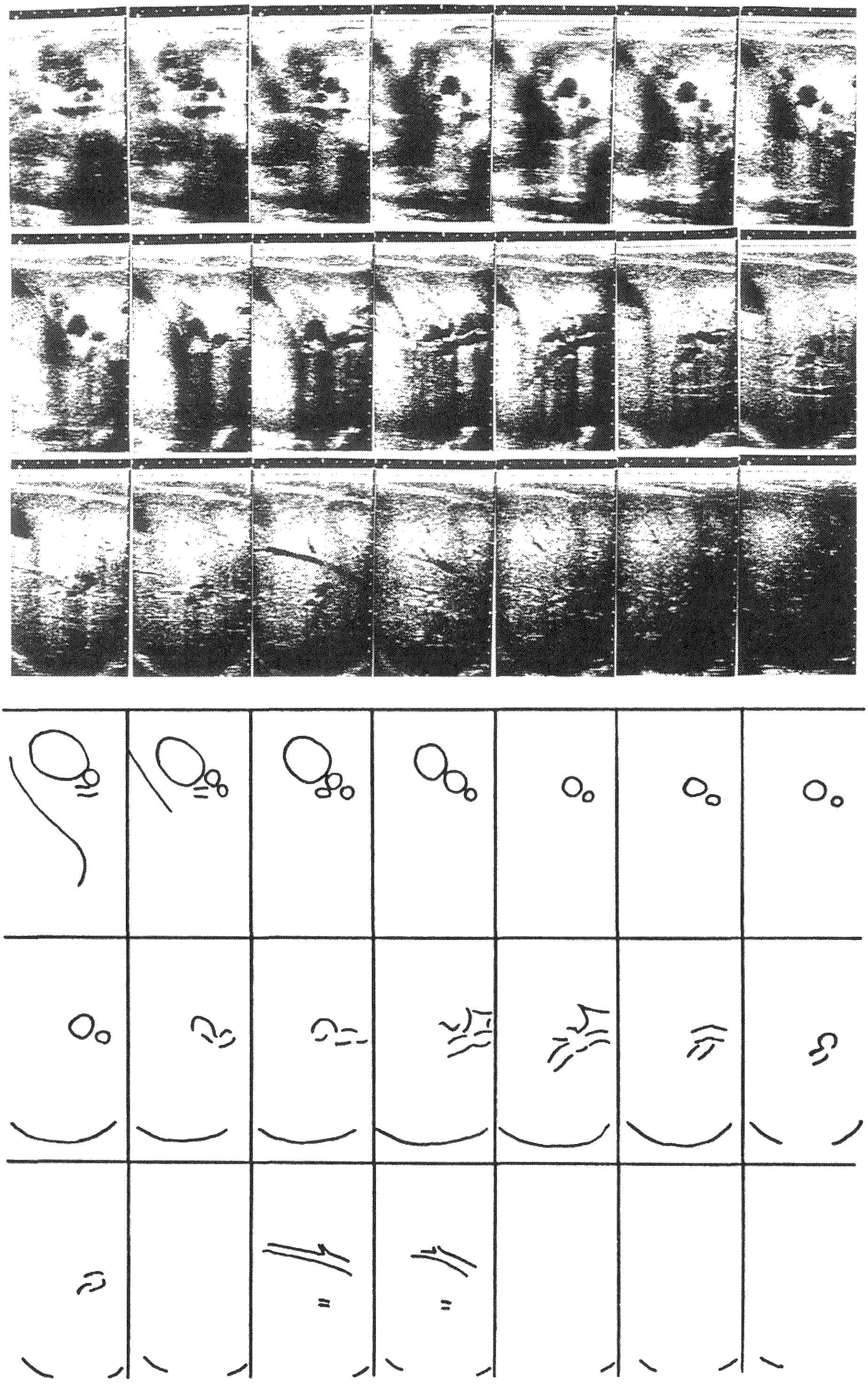


Fig. 5 Serial echograms by means of the funning method.

げ～見上げ”を行なう形で連続写真を撮りこれをコンピュータグラフィックスで合成する方法である（**Fig. 3**）．

(2)“45度傾斜法”は **Fig. 4** のように45度傾けたプローブを腹壁に添わせて移動し，その連続写真から肝臓の全体像の立体表示と肝体積計測を行なう方法である（**Fig. 4**）．

本法は本来エコーによる正確な肝体積測定を行なうために工夫した方法であり，デジタイザーにより各スライス面の肝辺縁のデータをコンピュータへ入力する（すなわち，カーソルで肝辺縁をなぞる）と，その図形のデータのディスクへの記録を行なうと同時に各スライス面の面積及びその総和が表示されるようにプログラムしてある．これにスライス巾を乗ずることにより体積を求める．

成　　績

(1) 扇形合成法（膵頭部腫瘍例）：

患者に呼吸を停止させておきプローブを20°～70°まで2.5°きざみに動かして連続撮影を行なうと，**Fig. 5** のような写真が得られる．これの模式図上段の大きな円は膵頭部腫瘍，中等度の円が拡張した胆管，小さな円が門脈，中段は胆管と門脈の交叉，下段は中肝静脈を示している．この写真をコンピュータグラフィックスにより合成した結果，**Fig. 6** に示すような図が得られた．（**Fig. 6** 左側はプリンターに打ち出した図，右側はモニターＴＶに表示した図でカラー表示である．）

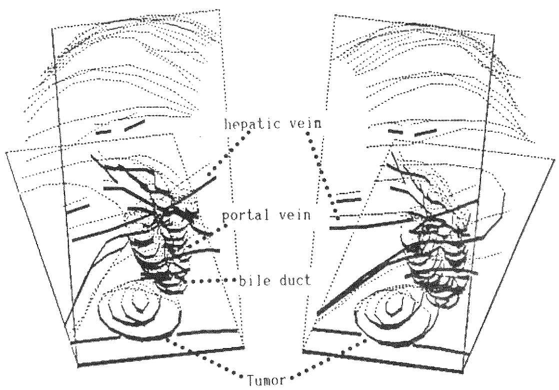
断面図（**Fig. 5**）のみでは立体関係をつかみにくいがこれを立体合成することにより膵頭部の腫瘍と門脈および拡張した胆管がねじれる様に走行する様子が明らかとなった（**Fig. 3, 5, 6**）．

(2) 45°傾斜法：

i）肝硬変例：肝硬変の萎縮した肝臓の一例を示す．45度傾斜法では写真は **Fig. 7** の様に肋骨陰影がかかりきれいな画像にはならない．しかし肝辺縁を追うには特に問題なく，またエコーではブラインドとなるとされている横隔膜下も，ほとんどの場合，辺縁を追うだけなら十分に可能であった（**Fig. 7**）．これをコンピュータグラフィックスにより立体表示すると，**Fig. 8** に示すように両葉とも小さいが特に肝体積に大きく関係する右葉の萎縮が顕著であった．また，体積計測では肝体積が $558cm^3$ と極端に小さく，臨床的にも患者は腹水，黄疸，肝性昏睡などを伴う非代償性肝硬変の状態で入院中である（**Fig. 4, 7, 8**）．

ii）肝細胞癌：肝細胞癌の一例を **Fig. 9** に示す．両葉に２個づつ（S2，S4，S5，S7）の計４個所に腫瘍結節を認めるが，これをさまざまな角度から見ることが可能である．（**Fig. 9**）

iii）劇症肝炎：Ｂ型肝炎ウイルスによる劇症肝炎の一例において，経時的に外形と肝体積の測定を行なった．本例は35歳の男性で，肝体積は入院翌日の測定では $1360 cm^3$ であったが翌々日は $1109cm^3$，入院から５日後に



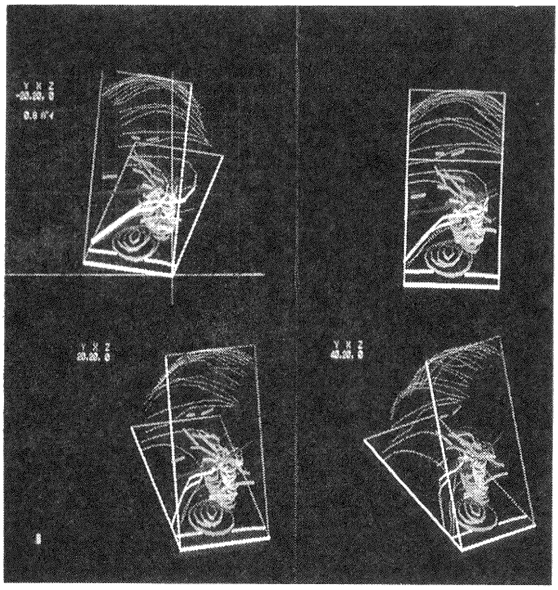


Fig. 6　3-D images reconstructed of serial echograms showed on Fig. 5 (Funning method)

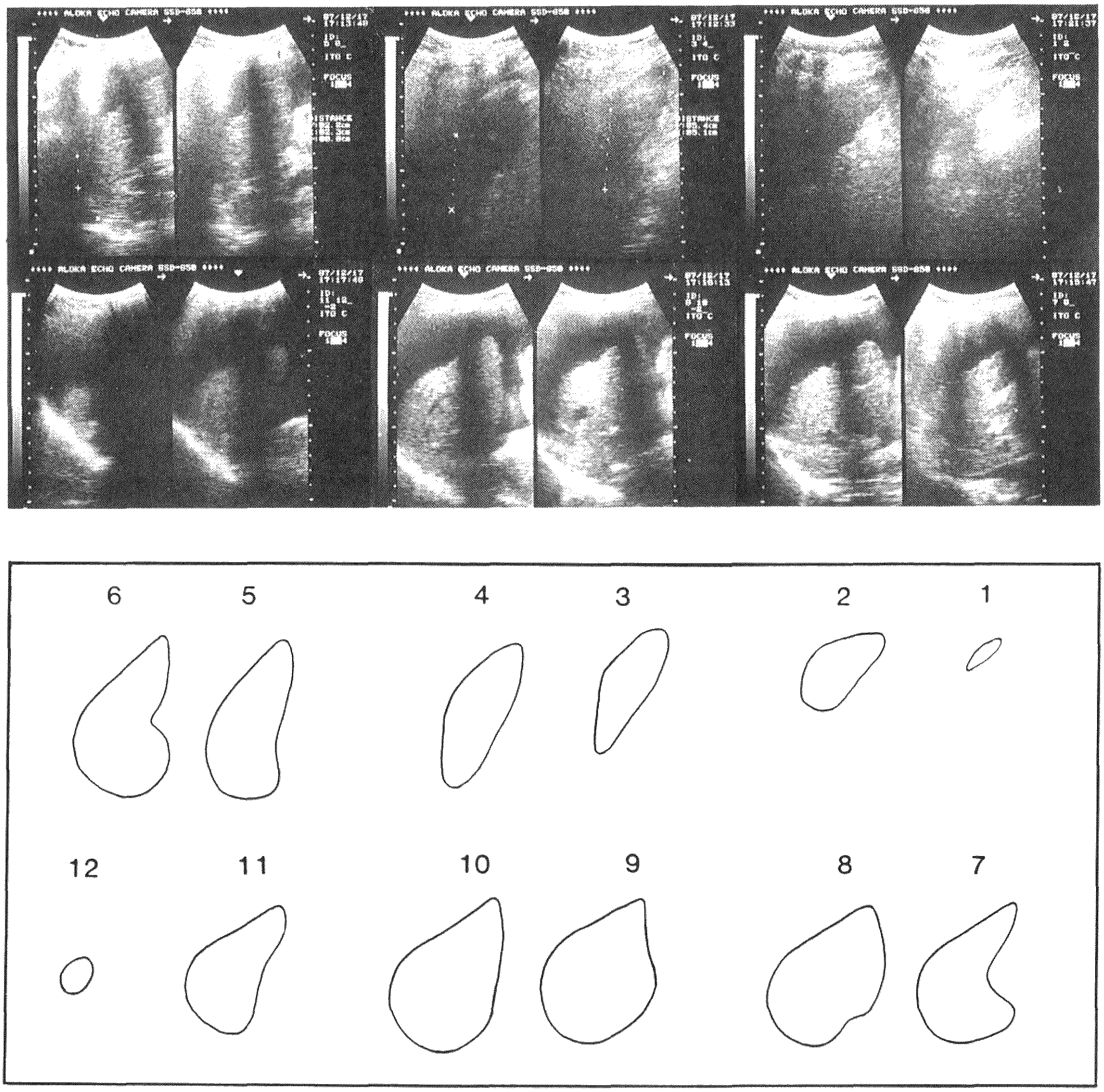


Fig. 7　2−D echograms by means of the 45° method.

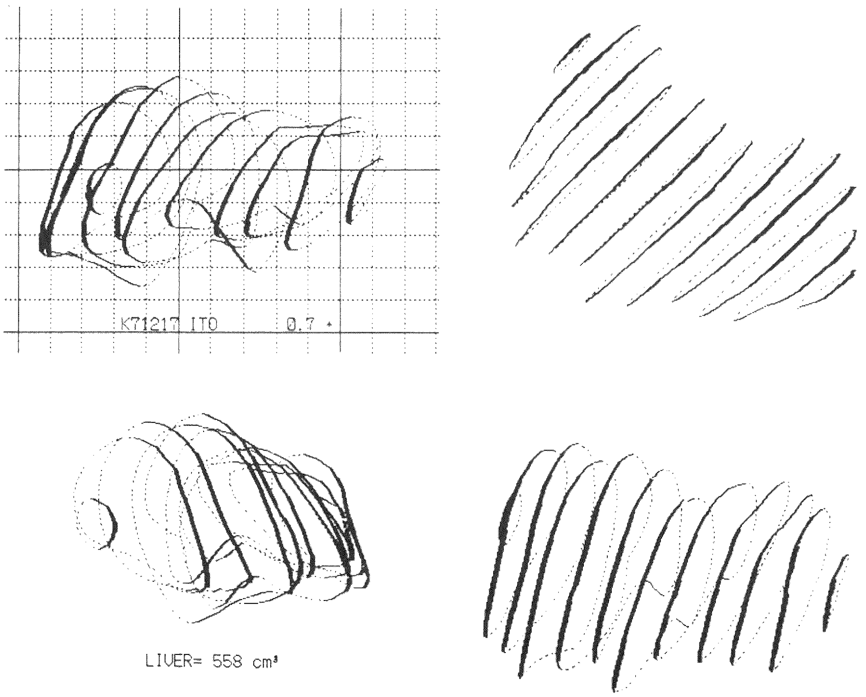


Fig. 8 3–D images of 2–D echograms showed on Fig. 7. (45° method)
(A case of the atrophic liver…liver cirrhosis)

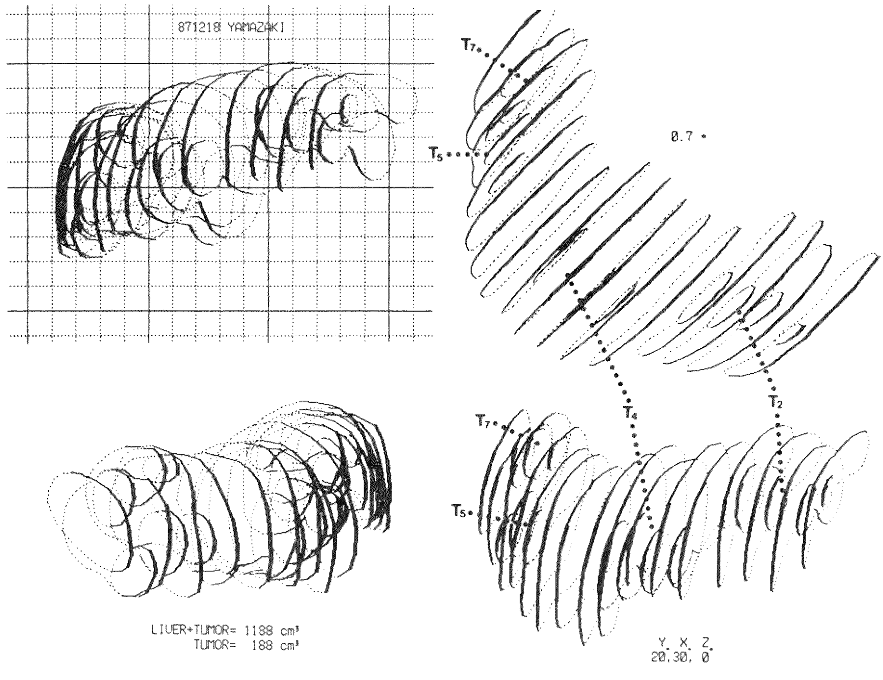


Fig. 9 A case of the liver with 4 nodules of the hepatocellular carcinoma.
(T_2: Tumor on S_2 T_4: Tumor on S_4 T_5: Tumor on S_5 T_7: Tumor on S_7)

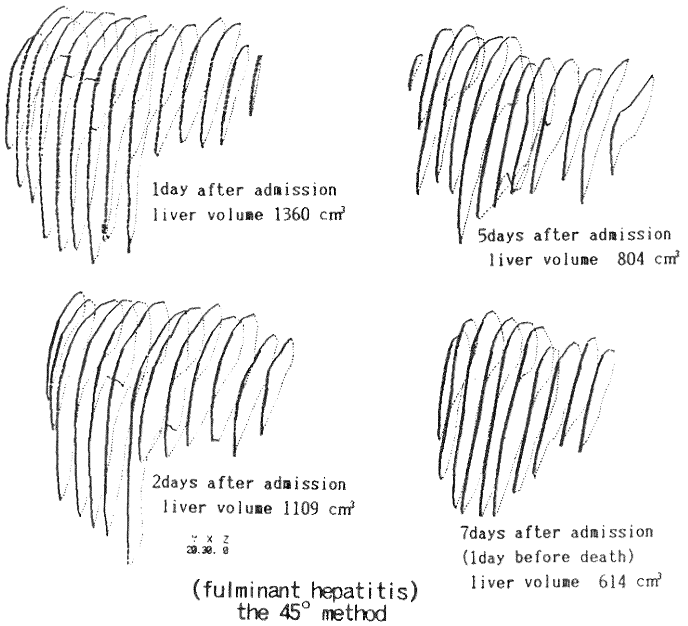


Fig. 10　A case of the fulminant hepatitis.

は 804cm³，7日後（死亡前日）には 614cm³ と急激な肝体積の減小と **Fig. 10** のような外形の変化をみた．本例は血漿交換，透析等の治療にもかかわらず救命しえなかった．剖検時の肝重量は 720g であり肝臓は急激な肝体積の縮小を伺わせる肝表面の萎縮凹と被膜の細かい皺状変化が見られた（**Fig. 10, 11**）．

(4)　肝体積測定：

今回調査を行なった59例中56例で45度傾斜法により肝体積を測定した．そのうちの肝硬変患者27人について原疾患別の平均値と95％信頼区間を **Table. 1** に示す．同一患者で2回以上の測定を行なっている場合は初回の測定値を用いた．非代償性肝硬変（LC decomp.）のグループはB型肝炎ウイルスまたは非A非B型肝炎ウイルスに起因する肝硬変で，しばしば腹水，黄疸，肝性脳症の状態となり入退院を繰り返す患者である．また肝細胞癌を伴う肝硬変（HCCc̄ LC）のグループでは肝切除後の症例は除外した（**Table 1**）．

肝細胞癌を伴う肝硬変（HCCc̄ LC）のグループの平均は 1334cm³，非代償性肝硬変（LC decomp.）のグループの平均は 595cm³，代償性肝硬変（LC comp.）の平均は 1199cm³ であった．

(5)　剖検肝重量との比較：

45度傾斜法による肝体積測定後1カ月以内に死亡し剖検した例が5例あり，その比較を **Table 2** に示した．45度傾斜法では体積（cm³）を求めているため剖検時の重量（g）とは根本的に異なるが，比重をほぼ1と仮定すると測定時から剖検まで期間がたっていないものほど良く一致した（**Table. 2**）．

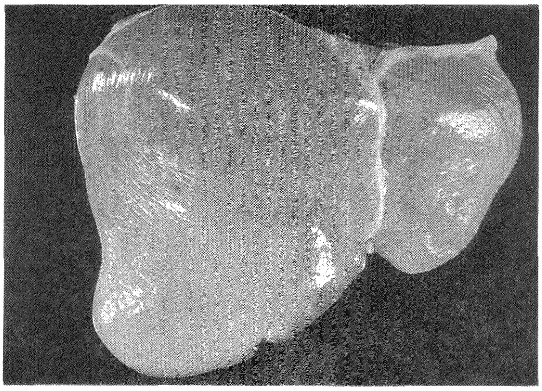


Fig. 11　Liver of the fulminant hepatitis (showed on Fig.9).

考　　察

今回考案した扇形合成法の特長として，体表に近い部分では CT よりも細かくセクションができ，CT では

Table 1 Liver volume measured by 45° merhod in 27 patients with liver cirrhosis

	n	LIVER VOLUME assessed by US(cm ^{3})	mean (cm ^{3})
HCC $\bar{c}$ LC	14	693, 697, 713, 860, 1118, 1138, 1170, 1188, 1243, 1278, 1324, 1870, 2038, 3345	1333.9 (928.8～1739.0) (95%confidence.int)
LC decomp. (viral)	5	486, 531, 536, 669, 755	595.4 (455.8～735.0) (95%confidence.int)
LC comp. (viral)	3	1043, 1141, 1414	1199.3
LC (autoimmune)	2	707, 1106	906.5
LC (PBC)	2	1382, 1480	1431.0
LC (alcohol)	1	1529	1529

HCC: hepatocellular carcinoma LC: liver cirrhosis PBC: primary biliary cirrhosis
decomp.: decompensation comp.: compensation

Table 2 Comparison between liver volume assessed by US and liver weight at autopsy

pt.	Diagnosis	age sex	LIVER VOLUME assessed by US(cm ^{3})	LIVER WEIGHT at death(g)
T.W.	HCC	62 F	1769(26days before death)	1900
T.S.	LC hematemesis	40 M	531(14days before death)	700
M.Y.	HCC $\bar{c}$ LC	58 F	1278(30days before death)	1550
K.T.	fulminant hepatitis	35 M	614(1 day before death)	720
K.Y	HCC $\bar{c}$ LC	40 M	2310(1 day before death)	2200

HCC: hepartocellular carcinoma LC: liver cirrhosis

描出できない胆管，門脈，肝静脈等の細かい立体関係を良くとらえることができる．しかし合成できる範囲はプローブの幅と，“見下げ～見上げ”のきく角度の範囲内であり，これは観察する部位にもよるが90度程度である．そのため局所的な変化の部位には適しているが大きく全体をとらえることには向かない．全体像の描出には45度傾斜法の方が適している．

これまでエコーで肝体積を求める場合には肝臓を垂直にセクションしてその総和を求めていた．しかしこの方法では体積が最も大きい右葉外側の部分を正確に撮影することが難しく，肝臓の辺縁も追いにくい．そこでプローブを正確に45度傾けることにより，最も体積の大きい左葉内側から右葉前区域の撮影条件が良好（より明瞭な映像化が可能）となるような45度傾斜法を工夫した．この45度傾斜法でも左右両端の1，2枚は撮影条件が不良となるが，その部分の面積は小さく，従って誤差も小さくなる．

また45度傾斜法は縦方向のセクションであるため，呼吸性の移動があってもその影響は CT に比べて遙かに小さい．すなわち CT 画像は横方向のスライスであるから，呼吸により縦方向に位置がずれた場合断面図や断面積は大幅に変わるが，本法で用いる縦方向のセクションは呼吸により多少移動しても断面の形状はさほど大きくは変わらないからである．

また CT では肝臓と消化管，心陰影，横隔膜などとの境界が不明瞭な場合がしばしばあり，肝臓の辺縁を正確につかむためには読影に対する熟練を必要とする．特に肝硬変のように萎縮した肝臓では呼吸による移動や横隔膜下の境界の不鮮明などの理由で正確な肝体積をつかむことは難しい．一方エコーでは静止画像では不明瞭な場合でも，プローブを細かく動かしたり，臓器の呼吸による動きなどから CT に比し数段正確にその境界を知ることができる．

以上より本法は CT に比して肝臓の全体像や体積をより正確にとらえることができると考える．

本法で用いた特別な装置は **Fig. 1** に示したような簡単な装置のみである．この装置の大きな特長の一つは，エコーのプローブの動きを全く制限しないということである．この点は日常エコー診療を行なう者にとっては極めて重要なことであり，日常のエコー診療においてはプローブの方向を変えるか少しずつ動かすことにより対象の境界をより正確に見極めているからである．この点がエコーが他の CT などの画像診断と大きく異なる点であり，この手法により術者は静止した画像よりも数段明瞭に対象の境界を見極めることが可能となる．本装置はこのような細かいプローブの動きを全く制限すること無く，かつコンパクトで携行にも便利である．また，この装置の他にも数種類の装置を試作した．しかしその中で最も simple な本装置が，一番扱いやすく画像の質を落とすことなく，そのために最も実用的であった．

腹部エコーにおける立体合成の報告は極めて少なく，本法のような簡単で実用的な装置を用いた腹部エコーの立体表示の報告は他にない．その理由の一つはエコーのプローブの位置と角度を手軽に知ることが難しかったためと考えられる．CT と同じような正確な平行スライス像を得るには contact compound echo のような特殊な装置を用いればこの問題はある程度解決する[4]．しかし CT と同様のセクションを行なう場合には前述のような呼吸性の移動による誤差の問題の他に，contact compound echo では横隔膜下がかなり大きな範囲で blind となる．そのため肝全体像の描出には向かない．また，現在の装置はかなり大きく機動性に欠ける．

2次元断面図の3次元合成に関しては工学分野では古くから様々な手法が用いられており，近年医学分野においても CT[3]，MRI，心機能測定などの分野で次第に試みられている．コンピュータグラフィックスもごく簡単なものからコンピューターアートのようなものまで様々な手法[5]がある．

本法に用いたプログラムは各種のコンピュータ用文献に見られる方法[6)7)8]を参考にして作成したオリジナルであるが，基本的には CT 用のプログラムを発展させたものである（**Fig. 12**）．このプログラムでは正面から光を当てたとして処理し，光の強弱の表現と陰線処理（裏面の辺縁を破線で現わす）をしてある．コンピュータグラフィックスには光の処理に線分の輝度を変えた方法を用いているものが多いが，輝度変調ではなく線分の太さを変えて表現する方法とした．これは通常のプリンターで結果を打ち出してカルテに貼付できるようにするためである．またコンピュータグラフィックスにはレイトレーシングといった手法を用いて実物の写真のようにリアルな表現をする方法[7]もある．しかしレイトレーシングは現在のパーソナルコンピュータではおよそ数十分から数時間を要し，時間がかかりすぎる．今回用いた方式は原則的にはワイヤーフレームと呼ばれる方式で，線描で物体を表現する．この方式は表現のリアルさには欠けるがデータの処理スピードは早く，本報告に使用している図の処理時間は一画面約2秒～20秒（データ数により異なる）程度である．

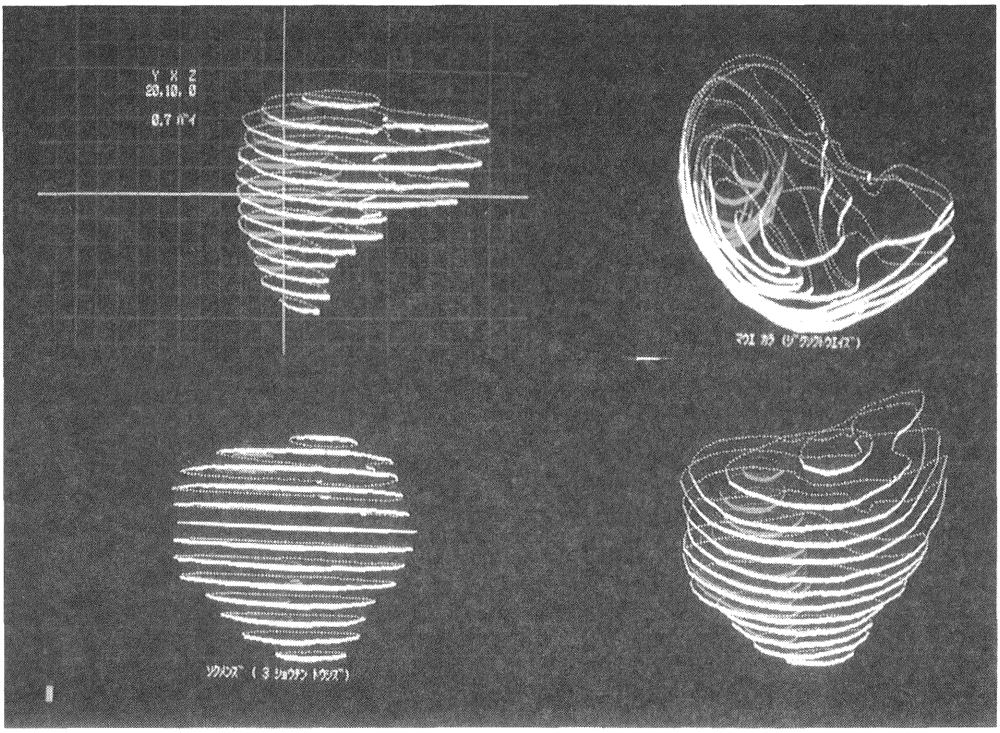


Fig. 12 3-D images reconstructed of parallel slices.

このような線描でも十分な立体感がつかめるしカルテその他への記録にも線描の方が都合が良い場合も少なくない.

また今回開発した肝体積測定法について，その精度を調べるために剖検肝との比較を試みた．生体中と死後とでは，肝臓の状態は異なり死亡時までには様々に状態が変化すると考えられる．また肝比重も脂肪肝以外は1よりやや大きい．そのため単純に比較する訳にはいかないが，**Table. 2** に示した5例を見る限り本法にはそれほど大きな誤差は無いように思われる.

本法に誤差を生ずる原因としては，一般のエコー同様，エコー下で肝臓を観察しにくく明瞭に映像化できない例は誤差が大きくなる．すなわち極度に萎縮している肝臓や肺気腫により横隔膜下が大きな blind となるような例では当然誤差は大きくなると考えられる.

剖検肝との比較結果や数例に行なった CT による肝体積測定結果との比較と考え合わせて，本法の誤差はおよそ $100cm^3$～$200cm^3$ 以内にとどまると考えられる.

また肝硬変の各種病態における肝体積を比較したが，ここで興味ある点の一つは HCC$\bar{c}$ LC のグループと LC decompensation のグループとの肝体積の分布範囲がほとんど重なり合うことがないことである．HCC$\bar{c}$ LC のグループは全例 $690cm^3$ 以上であるのに対し LC decompensation のグループではそのほとんど（5例中4例）が $690cm^3$ 未満である．HCC$\bar{c}$ LC のグループの HCC は数 cm^3 の小さなものから $1000cm^3$ 以上のものや diffuse で境不明瞭なため HCC の体積の測定はしていないものなどさまざまであり，LC decompensation のグループは各種画像診断や長期間の経過観察から HCCの発生は無いと思われるグループである．この2つのグループの肝体積の違いの原因は明らかではないが，極度に萎縮している肝臓には HCC は発生しにくいか，あるいは発生した場合には肝予備能の低下などの理由で短期間の内に死亡してしまうことも考えられる.

また，同様に肝硬変の肝体積計測の結果から，肝体積が $700cm^3$ 以下かそれに近い患者は容易に非代償期の状態に陥りやすいと判断される.

結　　語

コンピュータグラフィックスを用いた腹部エコー立体表示およびエコー下肝体積測定を行ない以下の結論を得た.

1）“扇形合成法”は，細かい部分の立体合成に適する．また CT では描出できないような胆管，門脈，肝静脈，腫瘍などの複雑な立体関係をとらえることができた．
2）“45度傾斜法”は肝全体像のような大きな対象の描出に適する．また同時に肝体積を求めることが可能であり，その精度は CT による測定より数段優れている．
3）臨床上，肝体積が手軽に求められることは病態の予後を推測する上で極めて有用であった．

稿を終わるにあたり，御指導，ご校閲を賜った恩師市田文弘教授に深甚なる感謝の意を表します．

また，貴重な肝疾患例のデータおよびコンピュータプログラミングのアドバイスを頂いた当第三内科教室の先生方，並びに超音波検査上の直接の御指導と御助言を頂いた当教室の尾崎俊彦先生，上村朝輝助教授に心より謝意を表します．

なお，本論文の要旨は昭和62年10月，第22回日本肝臓学会東部会で発表した．

参　考　文　献

1）**Aimi, S., Yasoshima, S., Nakajima, Y., Sugai, M., Sato, B., Sakai, T. and Nakajima, Y.:** Studies on the Weight and Size of Internal Organs of Normal Japanese. Acta Pathologica Japonica, **2**: 173〜200, 1952.
2）**奥平雅彦：** 形態，位置の異常．「現代病理学大系 13A」飯島宗一，石川栄世，森亘他編，中山書店，東京，p. 149〜156, 1985.
3）**柏木　徹，小泉岳夫：** 画像診断情報のコンピュータ処理と肝病理形態．肝臓，**26**: 124〜126, 1985.
4）**三谷正信，平田健一郎，荒明　洋，遠藤輝夫，那須俊一，福田守道：** パーソナルコンピュータシステムによる三次元画像処理．日超医論文集，**51**: 153〜154, 1987.
5）**鳥脇純一郎：** コンピュータグラフィックスの現況と将来．最新医学，**41**: 5〜14, 1986.
6）**永山嘉昭：** 3次元グラフィックス．「PC−9801/PC−8801 3次元グラフィックス入門」初版，日刊工業新聞社，東京，p. 17〜126, 1986.
7）**守川　穣：** レイトレーシング．「PC−9801 3次元グラフィックス入門」初版，アスキー出版局，東京，p. 74〜106, 1986.
8）**太田昌孝，竹内あきら，大口孝之：** モデリング―物体のさまざまな表現方法―．「応用グラフィックス」初版，アスキー出版局，東京，p. 47〜103, 1986.