

ラスタ型GDによる頭部CT像の3次元表示(2)

萬淳一 横井茂樹 鶴岡信治 三宅康二
 (三重大学 工学部)

1. まえがき

X線CTスキャナー発明以来各種断層像の計測装置の発展は目ざましいものがある。これらの断層像計測装置により連続した断層像群を撮影すれば3次元情報の入力が可能であるが、これらの断層像群から3次元情報の推定は現在のところ医師が頭の中で行っている。医師の正確な診断・治療のためには、よりわかり易くするための3次元情報の表示技術の開発が要請されている。従来、各種の3次元表示方法が開発されているが、⁽¹⁾単独でどんな場合にも十分満足いく3次元表示を行えるものはない。著者らは、従来個別に行われていた、断面像の表示と抽出成分図形(疾患部、臓器等)の表面表示と組み合わせることにより、信頼性の高い3次元表示を行う方式を開発中である。本システムは頭部の仮想切断像を得るのであり、その基本システムについては既に本研究会で報告済である。

本文では、より3次元情報を見易くするためいくつかの追加・拡張機能を付加し、かつ、動画表示を試みたので報告する。具体的には、頭骨表面の滑らかな陰影づけ(スムーズシェーディング)と半透明表示、及び血腫像の立体表面表示、縫合線の付加表示、の諸機能を加え、切断面の位置を順次変えて表示する動画表示を試みた。

2. CT像3次元表示のシステム構成と処理手順

2.1 システムの構成

本システムの構成は図1に示すようにCT像撮影装置に付属する磁気テープ装置により記録された各断面の頭部CT像の磁気テープを入力としてミニコンピュータ(OKITAC システム 50/40:128KW)で処理を行う。3次元表示像は線画形式でXYプロッタに表示するが、あるいは(カラー)濃淡陰影画形式でラスタ型GD装置(グラフィカ M305S, RGB各5ビット 512 x 320ドット)に表示する。

2.2 処理手順の概略

処理手順の概略は図2に示す。入力画像は9~22スライスの頭部CT像である。実際部分は既に報告した仮想切断表示の基本システムであり、本システムの中核となる。(詳細は文献(2),(3)参照)

本文で述べるのは新たに開発した点線部分のシステムについてである。

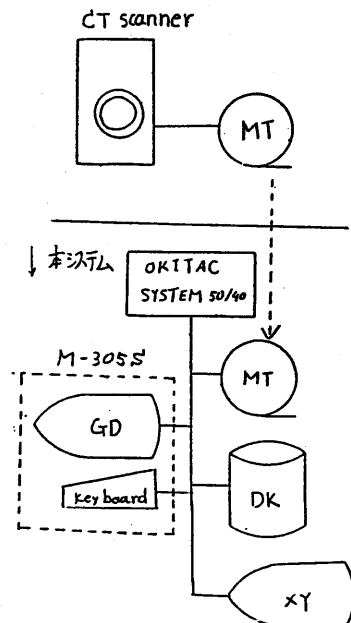


図1. 3次元表示のためのシステム構成

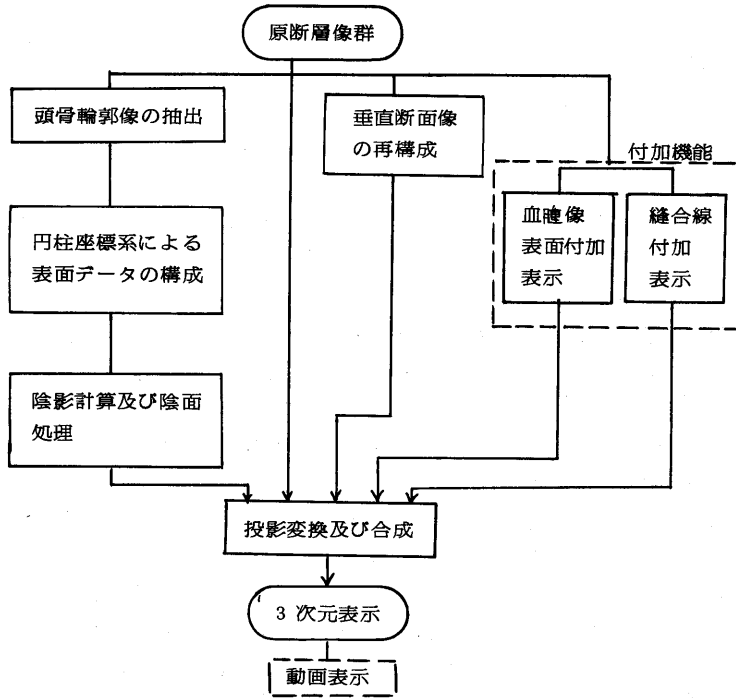


図2. 処理手順の概略

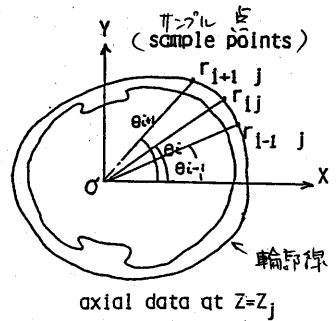


図3. 円柱座標系
 $\theta = \theta_i$

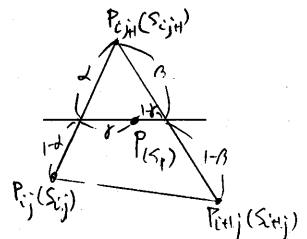


図4. スムーズシェーディング
 における陰影値の補間

3. 頭骨表面表示機能の拡張

3.1 スムーズシェーディング表示

先の報告で述べた頭骨表面の表示法は、円柱座標系データ構造に変換された頭骨表面像に対して、2種類の三角形タイル(面素) $[P_{i,j} = (r_{i,j}, \theta_{i,j}, z_j), P_{i+1,j} = (r_{i+1,j}, \theta_{i+1,j}, z_j), P_{i,j+1} = (r_{i,j+1}, \theta_{i,j+1}, z_{j+1})]$ 及び $[P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1} = (r_{i+1,j+1}, \theta_{i+1,j+1}, z_{j+1})]$ の身合で頭骨表面全体を近似し、これをそのまま陰影画表示する方法であった。この方法によると、面素と面素の境界で陰影値が急激に変化するため、境界が目立ち滑らかな表面像が表示できないという欠点がある。Gouraudの方法⁽⁴⁾を利用することにより、滑らかな陰影づけ(スムーズシェーディング)を試みた。対象とする三角形面素の3頂点 $(P_{i,j}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1})$ の陰影値 $(S_{i,j}, S_{i+1,j}, S_{i,j+1})$ とすると、この3頂点を表示画面上に投影した図を図4に示す。三角形面素は走査線(スキャンライン)単位に表示されるが、このとき、走査線上の任意の点Pの陰影値を次のようにして補間により求めた。まず、走査線と面素の境界の交点の陰影値 S_a, S_b とこれと $S_{i,j}, S_{i+1,j}, S_{i,j+1}$ から線形補間を求めた。次に、点

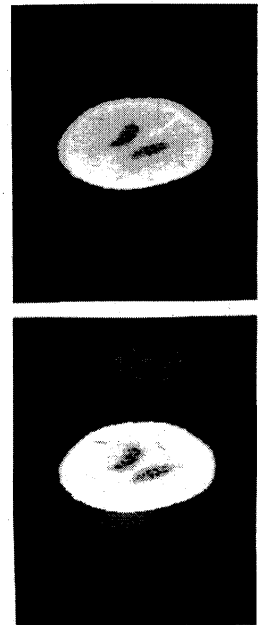


図5. スムーズシェーディング表示例
 (上段:処理前,下段:処理後)

Pの陰影値は S_a, S_b から線形補間して求める。つまり、

$$S_a = \alpha S_{i,j} + (1-\alpha) S_{i,j+1}$$

$$S_b = \beta S_{i,j+1} + (1-\beta) S_{i+1,j}$$

$$S_p = \gamma S_b + (1-\gamma) S_a$$

本方法による表示結果を図5に示す。

3.2 半透明表示

頭部の仮想切断表示を行うと、頭骨表面の一部が隠れるので、切断面の位置関係がわかりにくくなる欠点があった。これに対して、半透明表示技術を利用して切断された頭骨表面を半透明にして残しておけば、位置関係の把握に有効であると考えられる。半透明表示法として最も簡単に行える方法として Nowell の方法⁽⁵⁾ を用いた。これは次の式によって陰影値 I を定めるものである。

$$I = t I_b + (1-t) I_t$$

但し、 I_t : 半透明物体表面の陰影値

I_b : すでに表示されている(半透明物体の後ろにある)物体の陰影値

t : 透明度

($t=0$, 完全不透明, $t=1$, 完全透明)

本方法による表示例を図6に示す。

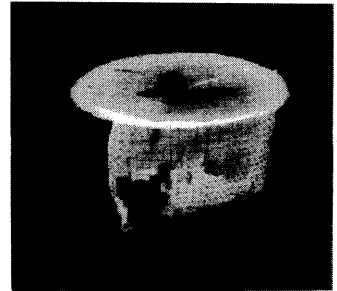


図6. 頭骨表面
半透明表示例

4. 疾患部の立体表面表示機能と適合標表示機能の付加

4.1 疾患部の立体表面表示機能

放射状に撮った物体は、頭骨表面と同様な方法で3次元表面の記述データを得ることが可能である。疾患部をこの方法で表現し表示すれば、その形状把握に有効であろう。ここでは、一例として血腫像に就いて、その立体表面を仮想切断表示像に加えて表示するシステムを開発した。

血腫像は、頭骨像と同様な方法で円柱座標系データに変換される。但し、円柱座標系の中軸は、頭骨の場合と変じ、血腫のほぼ中心位置に置く。この円柱座標系表現データから、頭骨像と同様に、三角形面素ごとに陰影計算・投影変換を行い表示される。ここで、仮想切断像と合成表示するために、血腫像は再構成面に関し、頭骨表面と反対側にある部分のみが表示される。これは、各三角形面素の投影に際し、面素の頂点が再構成面に関し、頭骨表面の反対側にあるときのみ投影・表示し、それ以外の場合は表示しないことにより容易に行える。また、血腫像をより見易くするために、頭骨像と色を変えて表示する。

本方法は、腫瘍像の他の成分にもある程度適用可能と考えられる。但し、骨以外の成分は周囲の組織との間にCT値の差が少なく、画像処理による完全な自動抽出が難しく、医師らによって、

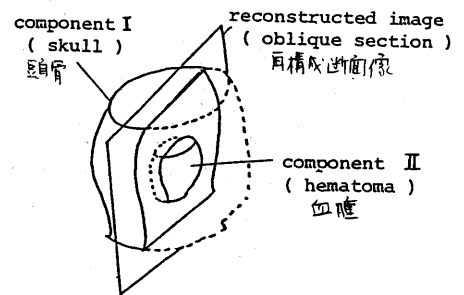


図7. 血腫表面像の付加

会誌的に抽出像を修正するが、あるいは、すべて人手によりトレースすることはより輪郭線を入力する必要もあるかもしれない。また、これらの成分図形がとくに複雑な形状をもつ場合には、円柱座標系データ構造への変換のときに実際の形より単純化される可能性があることを注意しておく。したがって、本方法を頭骨像以外の成分に適用する場合はその大きめの形状と与えるものと考えた方がよい。表示例を図8に示す。

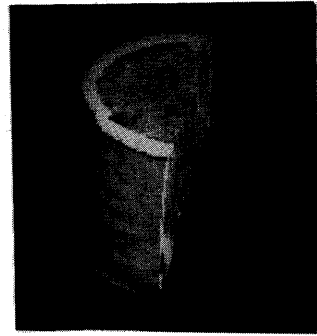


図8. 血腫表面像
付加表示例

4.2 縫合線の付加機能

疾患部の空間的な位置情報を与える上で縫合線は非常に重要な基準となると述べている。縫合線には図9に示すようなものが存在するが、本文では冠状縫合線 (coronal suture) を表示するシステムを開発した。

縫合線は画像処理手法により自動的に抽出することは極めて困難であるので、各断面をディスプレイ上に表示して、2点ずつクロスヘアカーソルで人手により (医師らに) 入力する方法をとった。ここで、縫合線部分は、頭の前方に位置し、断面像中で、頭骨の幅がやや狭くなり、CT値もやや低い値をとる部分と考えられる。したがって断面像の表示の場合に、頭骨の標度 (CT) レベ

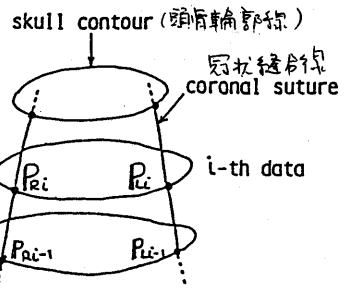


図9 縫合線の検出

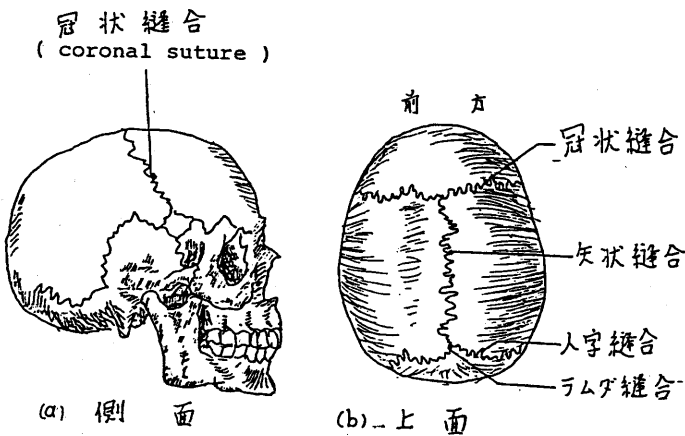


図9. 頭骨縫合線の図解

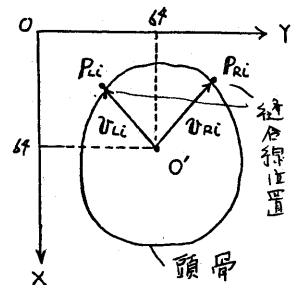


図10. 縫合線のための可視判定

ル付近を拡大し、頭骨のCT値の変化を強調して表示してやる。

上の方法で、各断面に入力された左右1点ずつの縫合線と断面間に線分で接続することにより、縫合線データが得られる。ここで、頭骨表面に縫合線を重ねて表示する場合、縫合線の可視判定を行う必要があるが、これは図10のような可視判定ベクトル U_{RL} , U_{LI} を定め、視線方向ベクトル U との内積を求めて簡単に判定できる。

$$U \cdot U_{RL} > 0 \quad \dots \quad \text{可視}$$

$$U \cdot U_{LI} \leq 0 \quad \dots \quad \text{不可視}$$

また、再構成像を含む仮想切断像を重ねて表示する場合は、再構成面に関し、頭骨表面と同じ側に存在する部分のみを表示する。

この縫合線を表示する試みは従来全くなく、外科手術において重要な位置情報を与えることから、本機能は医師により高く評価されている。

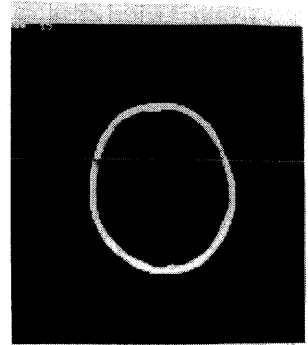
縫合線を加した表示例を図11に示す。

5. 動画表示

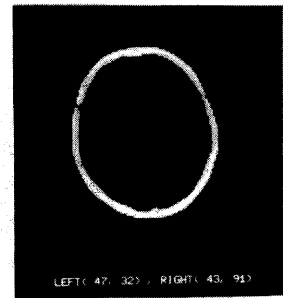
頭骨と原断層像の合成像において原断層像の位置を順次変化させたか、あるいは、仮想切断表示像で、再構成像の位置、角度を順次変化させて動画表示することにより、内部構造の把握がより容易になると考えられる。本研究では、磁気テープに順次記録した表示画像を1枚ずつ読み出し、8mmフィルムに撮影することにより動画撮影を行った。動画の各コマの例を図12に示す。

6. おわりに

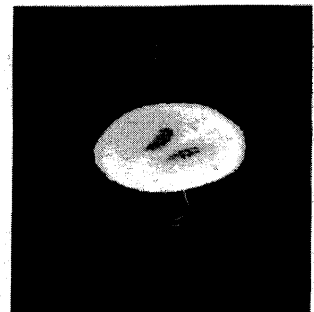
本文では、我々の開発している頭部CT像の3次元表示システムのいくつかの拡張機能について述べた。すなわち、頭骨表面表示のためのスムースシェーディング・半透明表示、および、血腫表面像・縫合線への付加機能について述べた。また、断面の位置を順次変えて表示した動画表示も試みた。頭部の疾患は様々な形をとり得るので、疾患の種類に対応して色々な方式の表示ができれば望ましいと考えられ、本文で述べた諸機能の追加により、医師の診断・治療により有用になると考えられる。最後に、日頃有益な御助言を頂く名古屋大学福村夏夫教授、豊橋技術科学大学野崎純一郎教授、並びに医師の立場から御助言・資料



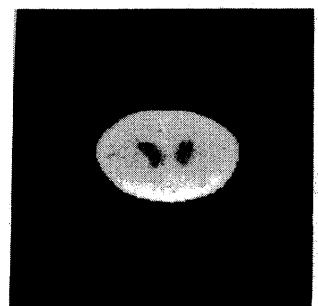
(a) カーソルによる入力



(b) 左右1点ずつの入力結果



(c) 縫合線付加表示例(1)



(d) 縫合線付加表示例

図11. 縫合線入力表示例

の提供を頂いた名古屋保健衛生大学片田和広博士に感謝了

文献

- (1) 橋本, 与脇, 橋村: "X線CT像の3次元表示に関する一ページ", 情報処理学会コンピュータビジョン研査, 18-5 (1982).
- (2) 高橋, 橋本, 藤岡, 三宅: "ラスタ型グラフィックディスプレイによる頭部CT像の3次元表示の方法", 情報処理学会コンピュータビジョン研査, 14-1 (1981)
- (3) 高橋一: "電子計算機による頭部CT像の3次元表示", 三重大学修士論文 (1982)
- (4) Gouraud, H.: "Continuous shading of curved surfaces", IEEE Trans. Computer, Vol. C-20, pp. 623-627 (1971).
- (5) Newell, M.E., Newell, R.G., Sanchez, T.L.: "A solution to the hidden surface problem", Proc. ACM Ann. Conf., 1972 pp 443-450 (1972)

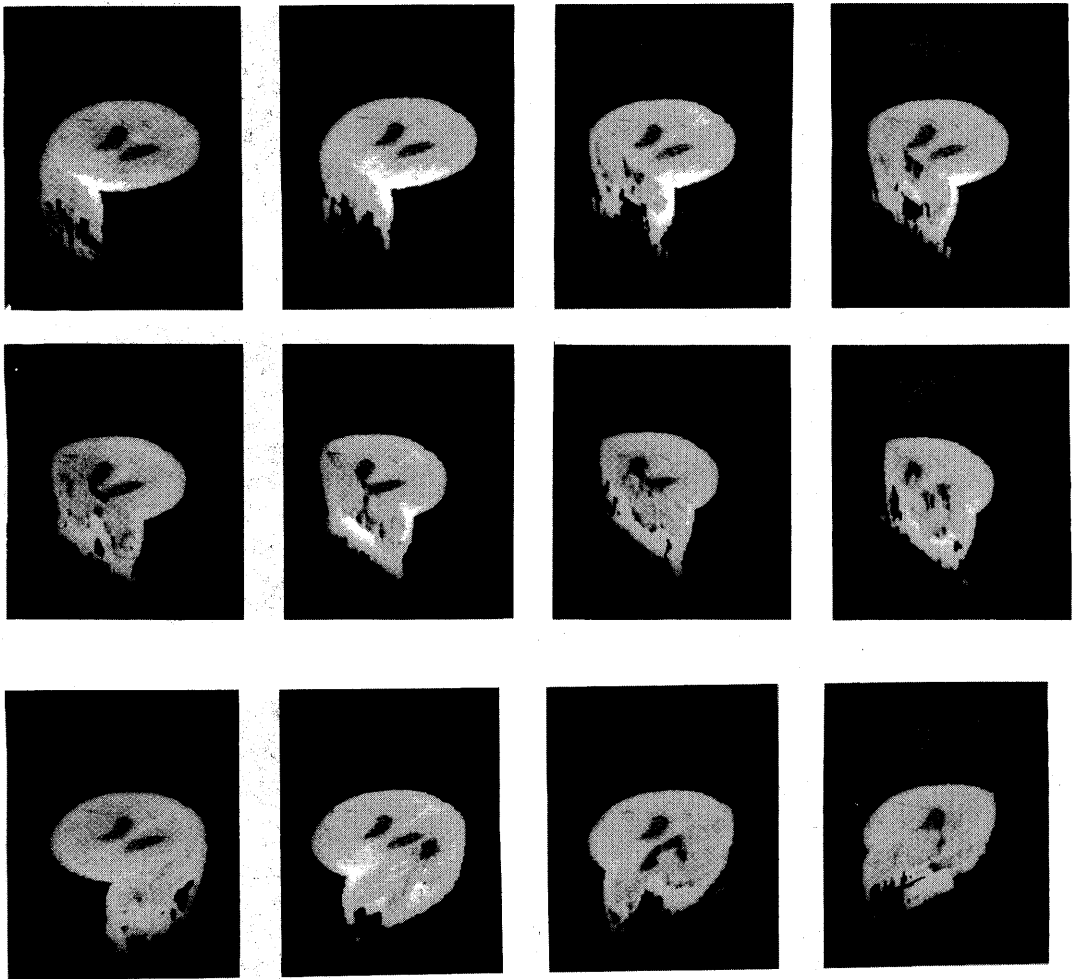


図12 仮想切面表示像の動画表示のコマの例 (上中段: 冠状断位置の変化) (下段: 矢状断位置の変化)