法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-06-02

2枚の線画像による3次元画像再構成の自動化アルゴリズム(1)

Watanabe, Kajiro / WAKABAYASHI, Satoshi / 若林, 哲 / 渡邊, 嘉二郎

(出版者 / Publisher)
法政大学工学部
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報
(巻 / Volume)
23
(開始ページ / Start Page)
59
(終了ページ / End Page)
67
(発行年 / Year)
1987-03
(URL)
https://doi.org/10.15002/00004012

2枚の線画像による3次元画像再構成の自動化アルゴリズム
【第　1　報】

渡邊嘉二郎*・若林　哲**

Reconstruction of 3-Dimensional Image from Two 2-Dimensional Images.
[Part 1]

Kajiro WATANABE* and Satoshi WAKABAYASHI**

Abstract

An algorithm which constructs a 3-dimensional image from the anterior-posterior (AP) and lateral (LAT) 2-dimensional X-ray images is discribed, by aids of knowledge about X-ray engineering. The AP and LAT images taken by the conventional method were fed into the computer using a hand trace. From the two 2-D images, the 3-D image is reconstructed by employing geometric rules and the simple knowledge. This 3-D image was finally processed and displayed on the CRT screen. This algorithm has been found to be useful for a reconstruction of 3-D image from two 2-D images.

§1. 要　旨

医用X線写真を対象として生体の3次元構造を得るためのアルゴリズムを考察する。ここでは生体のうち対象として血管を用いることとする。これは，東京大学医学部の石井繁夫，渡辺英寿両先生の「X線CT画像および血管撮影画像からの3次元画像の再構成」[1]の中で，医師の判断により人間の頭部の正面・側面の2枚のX線血管撮影画像より血管を立体モデルの中に埋め込んでゆく部分に着目し，その部分の自動化に取り組んできた。そのX線写真とは正面からのものと，角度を90度回転した位置からの血管撮影画像である。その2枚の画像から必要とされる血管部分を線画として抽出し血管をCT画像から構成された頭部の立体モデルの中に埋め込み，3次元構造を画像表示するものである。前述の論文においては，線画の抽出から位置の対応づけまで医師の判断にたよって再構成し，3次元画像の中に埋め込んでいく方法をとっている。そこで本研究においては，2枚のX線写真を入力とし，血管部分を線画として抽出し，そのデータを用いて自動的に3次元画像を再構成させるためのアルゴリズムを求めることが最終目的である。

*工学部電気工学科計測制御専攻
**大学院電気工学専攻

現在のところ線画抽出に関しては平行して研究中であり，対象も一般のX線写真を用いている関係上，必要なだけの線画が求まるところまで達していないため本論文で発表するものは，線画を人間の手によってトレースして与えたものを用いる。ただし，先の論文のように対応を考えた線画入力ではなく連続であることが認められた場合に線画としてトレースしたものを用いる。

ここでは，実際のX線血管画像を用いた実験を行ってゆきアルゴリズムの検証を進めてゆくべきではあるが，現実的にその様な画像を手に入れることが困難であることから実験にはモデルを作成してそれを用いて行った。

今回ここに，第1報としてこの研究における中間報告を行う。

§2. 擬似X線血管影影画像作成モデル

実験の準備として，まずX線血管撮影写真を正面と側面から基準点を中心として撮影し256×256画素のデジタル画像で画像処理装置に取り込む必要がある。ただし，実験においては生体のX線写真が簡単に入手できないため，擬似X線血管撮影画像作成装置を用いて血管の擬似モデルをITVカメラ2台を用いて入力して実験を行った。擬似X線血管撮影装置の概要をFig. 2-1に示す。このモデルは上板と底板にスチロールを用いて，血管モデルには太い電線を用いてある。これは，形状を自由に設定し変更を可能にするため何度でも差し替えが出来るようスチロールを用いてある。さらに外枠を黒色に塗り，電線を白くすることによりX線写真に似せてITVカメラによって入力できるよう形成してある。なお，実際のX線写真に於ては鉛のポインターを鼻の先端と耳の一部に貼ることによって中心座標を指示しているため，同様な画像を得るためカメラの中心部分にあたるモデルの裏側にLEDを置き，中心座標として入力することで可能としてある。現段階ではその指示を持たなくとも可能な範囲で行っているため，必要に応じて使用できるよう備えてある部分である。

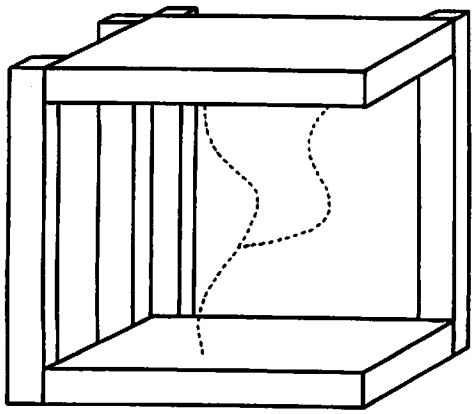

Fig.2-1 Vessel model

§3. 擬似X線血管写真撮影システム

前述のモデルを使って2枚の擬似X線写真を正面画像(AP)，側面画像(LAT)として撮影する。そのカメラの位置などの配置図をFig. 3-1を示す。このときに後述の条件が含まれてくるが，これは入力画像の入力時における条件なのでここでは省略する。カメラからの入力画像は

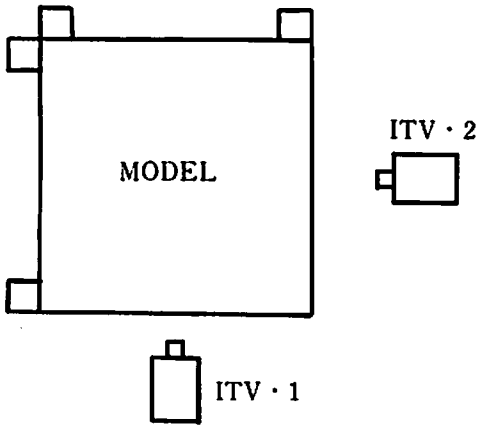

Fig.3-1　Making images system

512×512または256×256画素で入力した場合に上部が欠けてしまうため，ここでは512×512画素で入力しAPとLATから必要な部分を同一範囲で取り出し256×256画素の範囲に格納する。そして血管部分を太さ1画素の線画として抽出し，256×256画素の画像に2値線画として記憶させる。(実験では線画を人間の手によってトレースしたものを用いる。これは，先にも述べたとおり線画抽出に関しては平行して研究中であり現段階では使用可能な状態まで至っていないためである。)

ここで，入力画像に関する入力時の条件づけについて述べる。今回のアルゴリズムにおいては制約条件がかなり出てくる。それは先ず人間の目で見て簡単に判断できる画像であるということが上げられ，さらには数的に対応づけられる様に分岐点や端点の数が等しいなどの条件が上げられる。以下に箇条書に条件を上げる。

1．血管をトレースした2値の線画である。
2．線画の太さは1 pixelである。
3．分岐の形状はY字型の三又分岐である。
4．分岐点はAP，LAT共に同数である。
5．交差点は存在しない画像である。
6．端点どうしは各々対応点を持ち，AP，LAT共に同数である。

以上の条件に満たされた画像の例をFig. 3-2に示す。この画像は各々，a1，b1とa2，b2が対応しているが，逆にa1，b2とa2，b1が対応しているとも思える。しかし実際の血管撮影画像から抽出した線画であれば太さの情報も得られるので画像とは別に取り入れることにより可能である。現時点ではこの太さの情報なしに対応づけられる程度の画像に付いて実験中である。

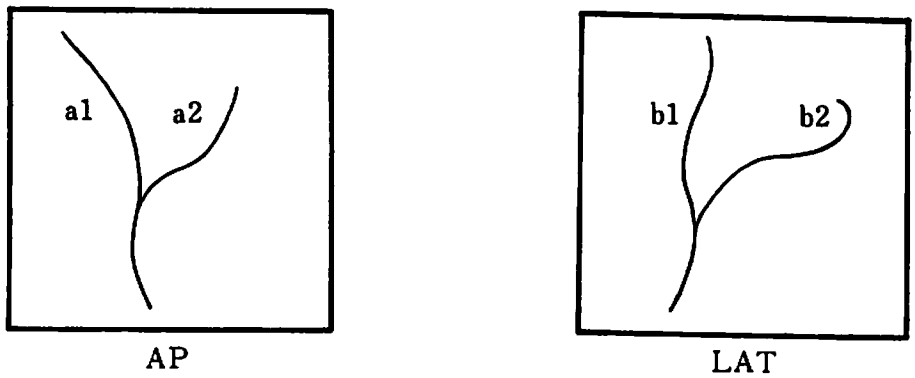

Fig.3-2　Sample of the input 2-dimensional images.

§4. 2枚の線画の対応関係

§3. で述べた条件により擬似X線血管写真または実際の血管撮影画像から作成した256×256画素の画像各々に対して端点・分岐点を検索するための線処理を行う。

これは，ある端点から点(PIXEL)の接続を検索してゆき連続である点を辿って符号づけしてゆく。終端までくると符号を辿って戻ってゆく。最初の点に戻り着くと分岐はなかったことになる。また，途中で別の連続を見つけるとそこから同様に検索してゆく。その点が分岐点である。さらに符号を辿って始点までたどり着いて初めて連続の検索を終了する。そこで端点，分岐点の位置および数が決定でき，線画の軌跡も知ることが出来るようになっている。

線処理によって知ることのできた線画の情報を基にAP，LAT各々について分岐点および端点を対応づけてゆく。基準となる画像はAPとおく。そしてAP，LATの画面に対する座標は縦方向をY，横方向を各々X，Zとおく。

まずは分岐点を対応づける。APの分岐点のY座標とLATの分岐点のY座標が一致しない場合にはLATの位置を補正する。補正方法は線形にLATの分岐点をY座標方向に平行移動するもので，端点などの位置も同様に平行移動する。

次に，端点の対応づけであるが，これはAPにおいて分岐点を中心に考えてY座標上で上下どちらに分岐しているかを調べる。端点が1点存在する部分に関してはAPの端点のY座標にLATの端点の座標を移動し，分岐点から端点の間の連続部分を線形的に伸縮してY座標の範囲をAP, LAT両者において等しくする。他の2つの端点に関してはY座標がどちらが近い存在であるかを判断して対応づける。判断条件としては両者同一座標上に存在する場合には知識ベースを与えていないので人に判断を委ねる方法を取っている。したがって，入力画像において完全なY字型の様な場合には，現段階では再構成できない画像である。対応における座標の移動の関係をFig. 4-1に示す。AP，LATの各々の端点・分岐点をa_n，l_nで表すことにする。各々の座標を(x_{an}, y_{an})，(z_{ln}, y_{ln})とおくとLATの補正の式は以下のように表すことができる。

分岐点の位置の差　$d = y_{a_3} - y_{l_3}$

l_nの移動量　$y'_{l_n} = d + y_{l_n}$

a_nとl_nの位置関係は　$y_{a_n} \ll y_{l_n}$

$y_{a_n} \gg y_{l_n}$　(＝も含む)

l_1とl_3を例にとると

$$y''_{l_{1m}} = \frac{y_{a_1} - y_{a_3}}{y'_{l_1} - y'_{l_3}} \cdot y'_{l_{1m}}$$

$$m : l_1 - l_3$$

以上の式でl_1とl_3の間の点列の線形移動を表すことができる。他も同様である。

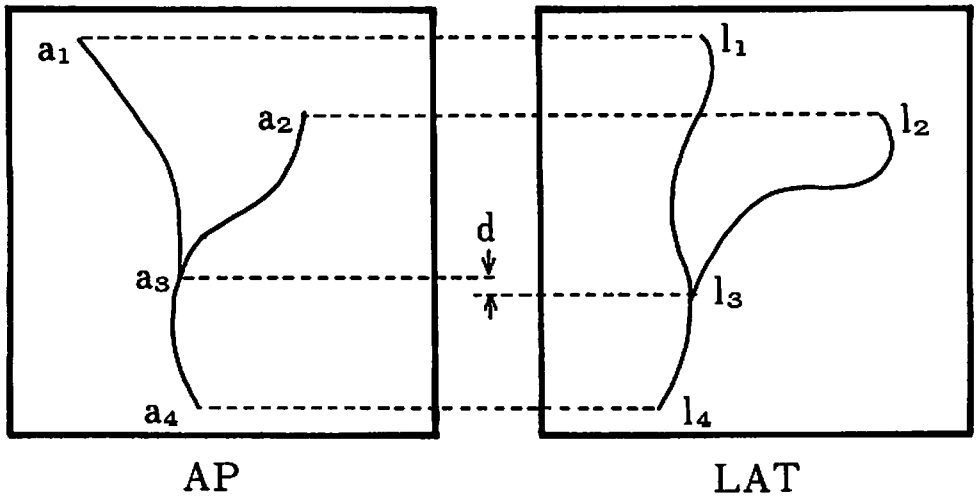

Fig.4-1　A revised method for images.

また，再構成不可能な画像もFig. 4-2に示す。

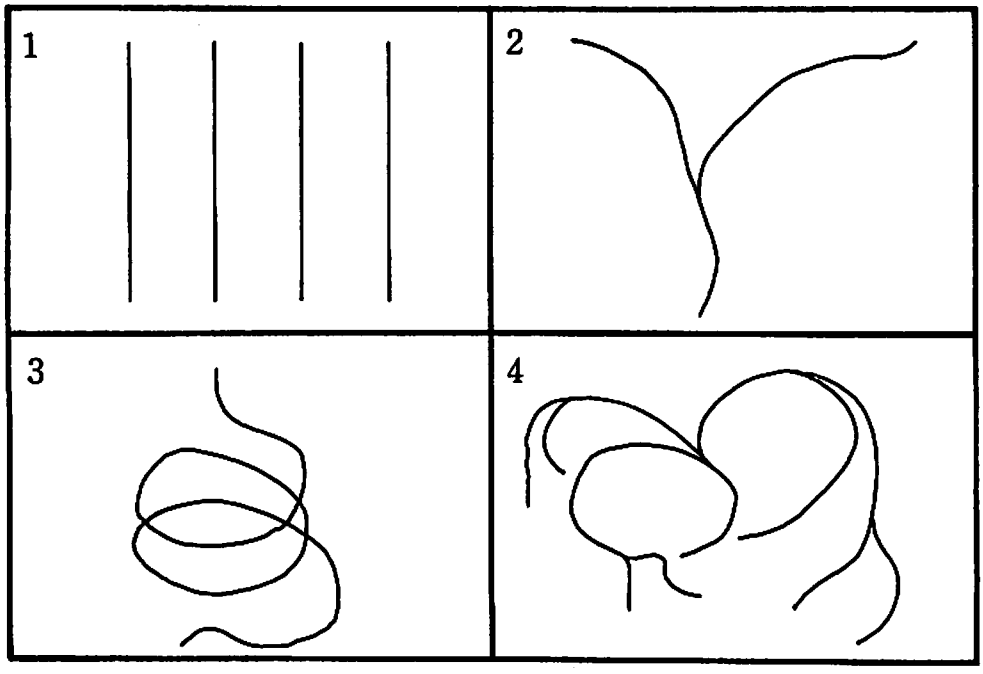

Fig.4-2　Unreconstructible images.

分岐点が存在しない場合には，端点の対応づけと同様にY座標を一致させる。両端点の位置が決定したら，そこの範囲を線形的に伸縮しAP，LATのY座標の範囲を一致させる。単一線が1本であれば問題はないが2本以上になると2点の対応同様にY座標で決定しているため，現段階では再構成できない画像の存在が出てくる。

AP，LATの対応づけができたら座標をX，Y，Z座標各々格納する。以上が2枚の線画から3次元座標上に再構成するためのアルゴリズムの核となる部分である。

§ 5. 3次元線画の表示方法

そして3次元座標化されたデータを1点透視法を用いてy軸を画面の中心の垂線方向として視点から画面までの距離とx，y，zの座標の関係より画面上の座標を求め，512×512画素の濃淡8ビットのデジタル画像で3次元モデルを表示する。

ここで1点透視法について簡単に述べる。概略をFig. 5-1に示す。図に示すように3次元座標を(x，y，z)，画面上の座標(X，Y)，始点から画面までの距離をaとおき，以下の式により画面表示座標を求める。

X座標を求めるには

$$\frac{X}{a}=\frac{x}{z+a} \qquad \therefore X=\frac{a\,x}{z+a}$$

Y座標を求めるには

$$\frac{Y}{a}=\frac{y}{z+a} \qquad \therefore Y=\frac{a\,y}{z+a}$$

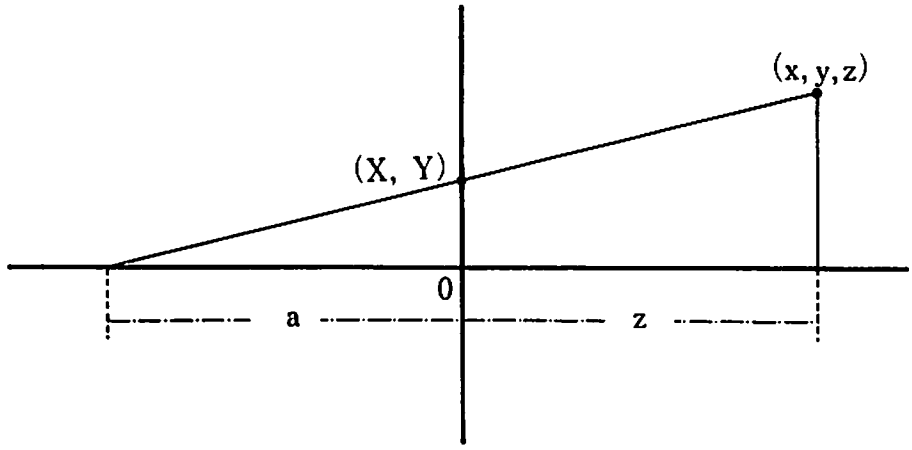

Fig.5-1 A particle perspective projection.

以上の式により変換され画面上に表された座標のpixelの濃淡値をzで表し線画の奥行きを表現している。zの値は1≦z≦256の範囲であるから－1することにより濃淡8bit内に納まるので表示可能である。。

さらに，表示するためのデータは立体上で必ずしも連続とは限らない。そこで立体画像データに置き換えるときに点と点の間を線形的に埋め込み連続的な画像として表示する方法をとっている。

§ 6. アルゴリズム

以上の事をふまえて，実験的に求められたものと比較を行いながらアルゴリズムについてまとめる。ここでは，求める画像を生体のX線血管撮影画像を元に再構成された血管立体モデル

である。フローチャートをFig. 6-1に示す。この流れは現時点のものであり，§3.に上げた条件に基づいている。

まず，入力画像を§2.に示した様にモデルまたはX線写真に設定する。次に入力画像の血管をトレースし太さ1pixelの線画像をあらたに入力する。ここで線の端点・分岐点を条件に合わせて入力するという作業が必要になってくる。またX線写真から再構成させる必要があると思われる血管をトレースし不要な血管などは入力しないものとする。これをAP, LATそれぞれについて行い，再構成の準備段階を終る。Photo 1, Photo 2に入力画像の写真を載せる。

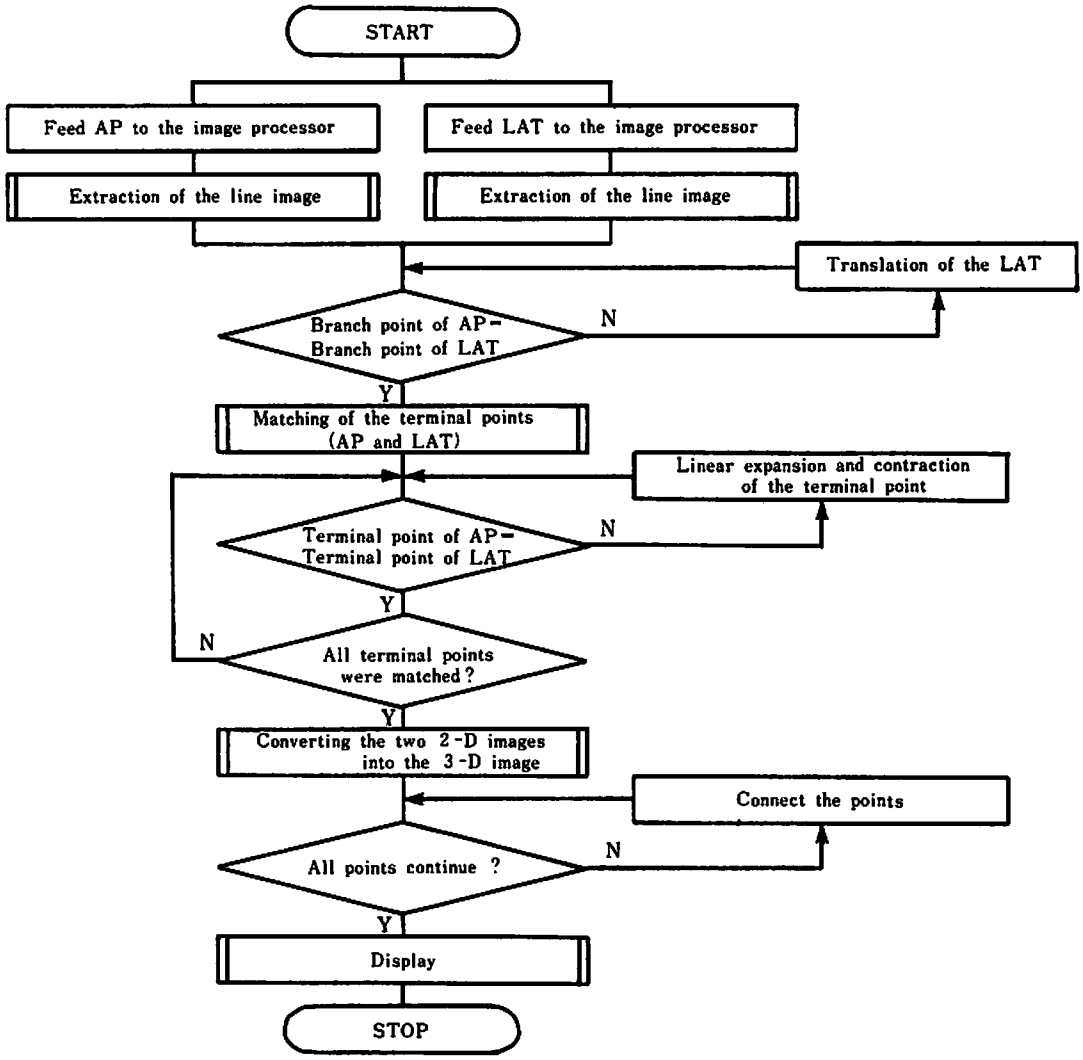

Fig.6-1　Algorithm for reconstruction image.

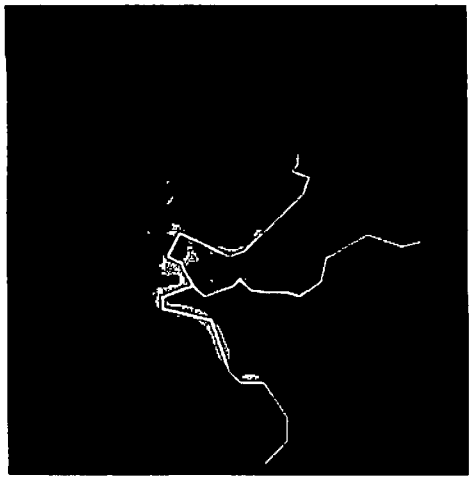

Photo 1 AP image

Photo 2 LAT image

次に，再構成に入る。§ 4. に示した様にAP，LATの両線画についてAPを基準面とおき，端点と分岐点が条件にあっているかを判断する。そしてAPの分岐点のY座標とLATの分岐点のY座標を一致させるよう線形的にLATのY座標を平行移動して分岐点のY座標を一致させる。それぞれの端点においてはAPを基準にして最もY座標の位置の近いものを対応する端点と考え，LATの端点をAPの対応する端点のY座標の位置まで平行移動し，さらにLATの端点から分岐点までのY座標の範囲をAPのそれと等しくするように線形的に伸縮し分岐点から対応する端点までの範囲を等しくする。各々の端点に対して処理し位置を決定する。簡単でかつ条件が§ 3. に示したように設定されている画像に関して，線分(分岐点から端点まで)の対応は以上のようにY座標の位置関係から求められるものが殆どである。

つづいて，各々の線分の間における各々の点の対応を求める。これは今までと同様にAPを基準におき，X座標，Z座標をY座標に対して対応づけてゆき3次元配列の中に点画として配置してゆく。この点列を配置すると同時に3次元の直線で接続していき血管の立体モデルを構成してゆく。

Photo 3 Reconstruction image

さらにこの3次元モデルを画像表示するため2次元画像の中に濃淡を持つ線画として立体を表す。ここでは1点透視法を用い§ 5. に示す方法で投影画像を作る。Photo 3 にその画像を示す。しかし，プログラムのバグのためデータとしては正しく連続的な結果が得られたが正確な画像を表示させることができなかった。

以上が今回実験に用いて使用可能であるアルゴリズムである。

§7. まとめ

以上が今回発表したところの，2枚の2次元画像から3次元立体モデルを求める自動化アルゴリズムである。現段階においては実用上相当な問題があり今後の課題がまだまだ残されている。今後条件を一つずつ減らし，さらには医師の判断によるところの知識を持たせ，より確実な自動化に近づけてゆく。その一つとしては，実際のX線写真から線画を求める時点で条件を取り入れることを無くしてゆくことである。もう一つは平行して研究中の線画抽出の自動化を組み込み完全自動化を試みてゆくことである。

参考文献

1）石井繁夫・渡辺英寿：X線CT画像および血管撮影画像からの3次元画像の再構成，医療情報学Vol.5, No.4 (December, 1985)別刷.

2）岩井伸一・谷内田正彦・辻三郎：3次元モデルを用いた冠状動脈の対応づけ，電子通信学会論文誌'85/2Vol. J68-D No.2(pp137-144).

3）渡邊嘉二郎・若林哲：知識を持つ2枚の線画像による3次元画像再構成の自動化アルゴリズム，第29回自動制御連合講演会論文集'86/11京都(pp359-360).