

## 線の識別と大局的論理を考慮した 胃 X 線二重造影の胃部抽出†

中 村 鎮 雄†† 宮 崎 修††

本論文は画像処理の手法を用いた胃 X 線二重造影の胃部領域抽出方法について述べている。胃二重造影法は胃内部の粘膜ひだや病変を見るもので胃 X 線検査のなかでは非常に重要であるが、胃内部と外部の濃度差が小さく胃部と複雑な背景が重なるため、計算機処理の対象とするには困難な画像と考えられていた。しかしながら、胃 X 線集団検診のスクリーニングの自動化を行う上で必須の画像であるため、その処理方法の開発が望まれている。当面する処理目的として、複雑な背景から観察すべき胃部領域を正確に抽出する必要がある。従来のヒューリスティックな方法では背景雑音の影響を受けやすく、また、線の局所的情報のみで連結処理を行うことによりエラーの危険性が高かった。本論文ではこれらの弱点を改善するために開発した線近傍の濃度変化を利用した線の識別、形状を利用した脊椎陰影の識別と除去、大局的線連結処理などの方法について説明する。この結果、従来の方法では困難な画像に対しても胃部の抽出が可能となったことが示されている。

### 1. ま え が き

胃集団検診で撮影した間接 X 線フィルムの自動スクリーニングを行うための研究がある。集団検診では 6~8 枚ほどの異なる撮影法を組み合わせる専門医が総合的に判断するが、従来画像処理の対象になっているのはバリウム充満像が主であった。これは胃の辺縁にある病変や形の異常を見る撮影法で胃内部の状態を見ることはできない。一方、二重造影法<sup>1)</sup>は胃壁に少量のバリウムを付着させ炭酸ガスで胃を充満するため胃内部の病変やひだを鮮明に見ることができる。しかしながら、胃内部と背景との濃度差がほとんどなく、脊椎や腸陰影が胃と重なって画像が複雑になるため胃 X 線検査の重要な撮影法にもかかわらず二重造影の工学的研究はきわめて少ない。従来の研究には低コントラスト画像のエッジを強調する空間フィルタ<sup>2)</sup>や複雑な背景から検査の対象となる胃領域を抽出する方法<sup>3), 4)</sup>がある。この胃領域抽出問題は当面する最も重要で困難な課題であるが、弛緩法を用いた線の接続法<sup>3)</sup>は得られる線が粗く、しかも最終的な胃の認識処理は含まれていない。一方、ヒューリスティックな方法<sup>4)</sup>は認識処理を含むので胃領域をかなり正確に抽出できる。しかしながら、(i)線画中に胃の線と類似した脊椎陰影が残っているためその影響を受けやすい、

(ii)線の追跡が一方方向なので分岐点などでは追跡方向によって結果が変わることがある、(iii)局所的な線情報(長さ、方向)のみを用いているためエラーが起りやすい、(iv)長い線だけを胃の候補線にしているため断絶距離が長く、それだけ連結時のエラーの可能性が大きくなる、などの問題があった。

本論文では上記のヒューリスティックな方法の問題を解決するために新たに開発した、(1)線の近傍における濃度情報を用いた線の分類、(2)脊椎陰影の除去、(3)分岐処理の改良、(4)大局的な線連結処理と双方向追跡、などの方法と実験結果について述べる。これにより従来の方法ではうまくいかない二重造影の処理が可能になったことを示す。

### 2. 方法の概要と前処理

#### 2.1 方法の概要

二重造影の処理に際し、画像の特徴を処理に利用することが考えられる。筆者らは濃度ヒストグラムやフィルムの観察から二重造影を、(I)バリウムが流入した領域(穹窿部や腸など)と、(II)それ以外の領域(胃輪郭線、胃内部ひだ、脊椎や肋骨陰影、背景の軟組織からなる)に分けて処理することを提案した<sup>4)</sup>。これはバリウム領域が胃と部分的に接しているため胃の観察領域が性質の異なる輪郭線によって作られることに着目したものである。そこで本論文では胃部領域を解剖学的な意味ではなく、人間が観察するときに見える領域という意味に定義する。したがって胃輪郭線に次のような仮定を設けた。

† Extraction of Stomach Region for Double Contrast Radiograph by Line Discrimination and Macro-Line Connecting Algorithm by SHIZUO NAKAMURA and OSAMU MIYAZAKI (Research Institute of Applied Electricity, Hokkaido University).

†† 北海道大学応用電気研究所

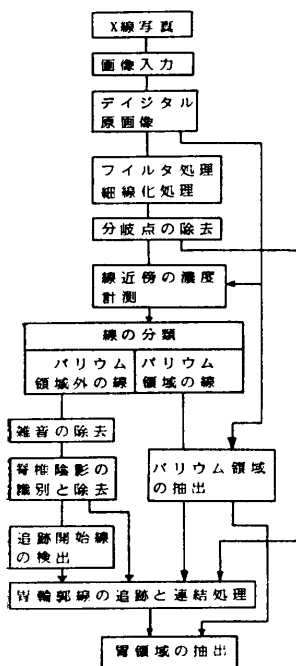
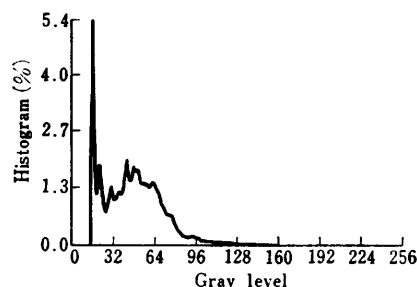


図1 本方法の流れ図

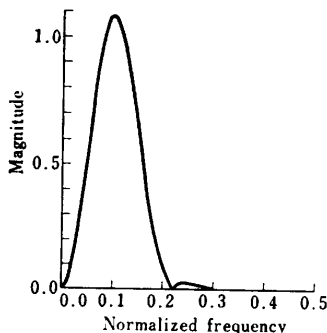
Fig. Flow chart of the image processing.



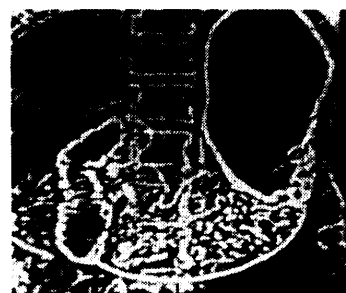
(a)



(b)



(c)



(d)

図2 二重造影像とエッジ強調フィルタ

(a)原画像, (b)濃度ヒストグラム, (c)フィルタの1次元周波数特性, (d)フィルタ出力像  
Fig.2 A double contrast radiograph and the edge enhancement filter.

【仮定】 胃部領域を形成する輪郭線は、(A)胃壁に付着した少量のバリウムで作られる薄い線と、(B)胃穹窿部や腸に流入したバリウムが胃と接する境界線の2種類の線（これを仮に胃輪郭線A、Bと呼ぶことにする）からなる。

本方法はバリウム領域の濃度範囲が比較的限定しやすく、胃輪郭線Bのコントラストがよいことに着目して、これらを先に抽出し、その情報をもとに胃輪郭線Aを検出する。最後に胃輪郭線AとBで作られる閉領域を合成して、合成領域からバリウム領域を除去したものを胃領域とするものである。図1に本方法の流れ図を示す。以下、これについて説明する。

2.2 前処理

X線写真は約25×25cm四方のフィルムを500μφのスポットでサンプリングして標本点512×512、濃度256段階のデジタル画像を得た。これに3×3のマスクでスムージング処理したものを処理の原画像とした。フィルタおよび細線化処理は前と変わらないが、画像の大きさや入力装置が異なるためにフィルタのサイズや振幅は変化している。図2に原画像と濃度ヒストグラム（濃度値の高いほうが原画像では明るい）、サイズ15×15のフィルタの1次元周波数特性お

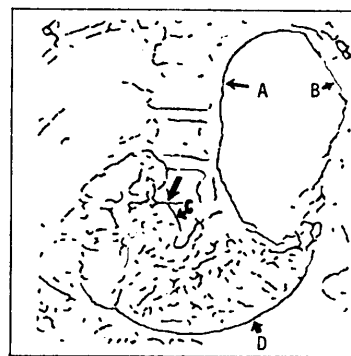


図3 細線化像

Fig.3 Line image after thinning process.

よびフィルタ出力像（2値化して表示）を示す。この画像は従来の方法では成功しなかった例である。図3に細線化像を示す。細線化処理<sup>5)</sup>のパラメータは距離のしきい値を2、濃度勾配のしきい値を0.8にした。これらの値はできるだけ胃輪郭線の欠落を防ぎ、背景雑音は後処理で除去するという観点からパラメータの組合せ試行の結果選ばれた。

次に分岐点の除去について説明する。図3の細線化像の矢印で示す個所に脊椎の線と胃輪郭線との交差がある。これを模式的に示したのが図4である。いま、

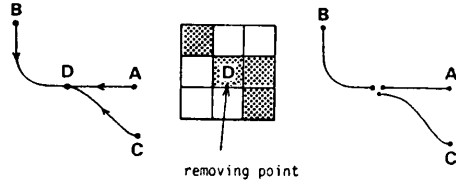


図4 分岐点の除去

Fig. 4 Removal of the bifurcation points of lines.

脊椎陰影 DA との接続関係を見ると BD-DA 間の接続関係が最も滑らかであるため、従来の局所的な情報による選択では BD-DA を接続する。この結果、胃輪郭線の正しい追跡が行われず骨を含めた曲線を抽出する可能性があった。また、分岐点を含む線では追跡開始線が一義的に決まらず、しかも異なる種類の線が結合するため線の分類が不正確になるなどの問題が生ずる。このため図4に示すように分岐点の座標データを除去し、各分岐を独立した線に分けて扱うようにした。

### 3. 線の分類

2.1 節で述べたように二重造影の構造は二つに大別される。しかしながら、細線化像の線を形状で識別することはむずかしいため、線の位置情報と原画像を用いて線の近傍における明るさの変化を計り、それにより線を分類する。

#### 3.1 濃度情報の計測

曲面体のシーンでは各面の明るさの変化のモデルを作り、これを利用してエッジ検出が行われている<sup>6)</sup>。二重造影では図5に示すように二つの濃度変化モデルを作った。図の(a)はバリウム領域の境界線近傍のモデル、(b)はバリウム領域以外の線近傍のモデル。濃度計測は細線化像の長さ  $l_1 (3 \leq l_1 \leq 5)$  以上の線を対象にして、 $l_1$  以下は雑音とみなす。この例では  $l_1=4$  にした。いま、この条件を満足する線の集合を  $L$ 、線要素を  $l, l$  の長さを  $n$ 、線  $l$  上の点  $P_m$  の座標を  $(x_m, y_m)$  と表す。ただし、 $m=1, 2, \dots, n$ 。このとき  $P_m$  の

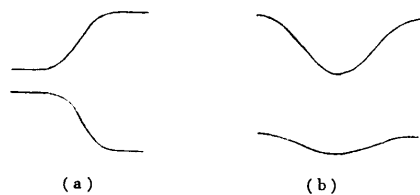


図5 線近傍の濃度変化モデル

(a)バリウム領域の境界線、(b)バリウム領域以外の線  
Fig.5 Two models of gray level changes around lines.

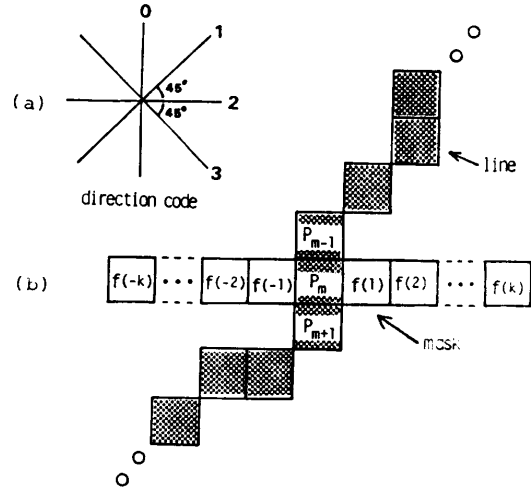


図6 線近傍の濃度情報の計測

Fig.6 Measurements of gray level information around lines.

前後の点  $P_{m-1}, P_m$  の座標を用いて  $P_m$  における方向角  $\theta$  を定義する。

$$\theta = \tan^{-1}(y_{m+1} - y_{m-1}) / (x_{m+1} - x_{m-1}) \quad (1)$$

また、 $\theta$  の値により4個の方向コード (0, 1, 2, 3) を図6(a)のように定義する。このとき、線の端点(はじの点)では値が定義できないため、実際には  $P_2$  から  $P_{n-1}$  点までしか計測できない。また、 $\theta$  の値が4方向の間になる場合は斜め方向 (1または3) に含める。いま、線  $l$  の近傍における濃度変化を図6(b)に示す方法で計測する。すなわち、 $l$  上の各点で求めた方向に直角な方向で原画像に1次元マスク(計測範囲)をかけて、このマスク内の原画像の濃度  $f(i)$  を計測する。ただし、 $i$  は  $P_m$  点 ( $i=0$  とする) からの相対的な位置を表す整数でマスクの長さを  $2K+1$  とすれば  $-K \leq i \leq K$  の範囲である。 $K$  の値は4以下では線の特徴が十分反映されないことを実験的に確かめ、さらにフィルタサイズ(15)を考慮して  $K=7$  にした。次にスムージングした方向差分  $D_m$  を次式<sup>7)</sup>で定義する。

$$D_m(i) = \frac{1}{2h} \left\{ \sum_{d=1}^2 f(i+d) - \sum_{d=1}^2 f(i-d) \right\} \quad (2)$$

ただし、

$$h = \begin{cases} 1 & \text{(方向コード0, 2のとき)} \\ \sqrt{2} & \text{(方向コード1, 3のとき)} \end{cases}$$

このように線の向きと直角方向に濃度変化を調べる。

次に図3の細線化像に対し濃度情報を実測した結果を図7に示す。図7(a)はA, Bで示されるバリウム領域の境界線近傍における濃度変化(上)とその差分

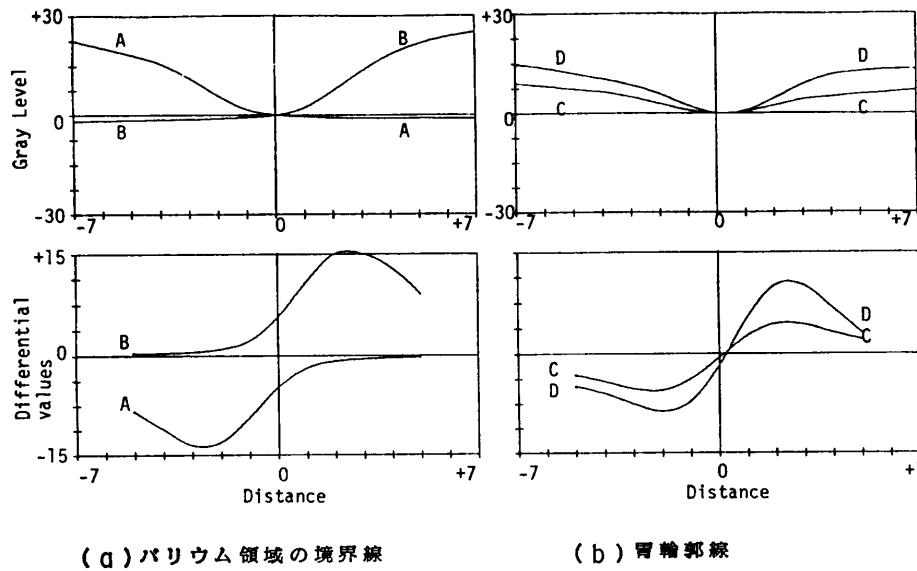


図7 濃度変化の測定結果  
Fig. 7 Experimental results of gray level measurement.

(下)を示す。図7(b)は図3のC、Dで示す胃輪郭線近傍における測定結果である。グラフの縦軸の数値は各線の長さ(画素数)で平均化した値であり、横軸は線の中心からの相対的距離を示す。差分値はスムージング(サイズ2)しているため、 $-5 \leq i \leq 5$ の範囲で得られている。明らかにバリウム境界線と胃輪郭線では濃度変化に差があり、モデルで仮定した濃度波形に近いことがわかる。また、脊椎陰影や胃内部のひだも胃輪郭線と同様な波形を示すことを実験的に確かめている。

### 3.2 線の識別と分離

図7に示す差分波形を見ると、胃輪郭線の場合は波形が線の中心に対して左右対称になっている。一方、バリウム境界線は波形が非対称で差分値の符号は同一である。そこで2種類の線の差分波形を積分してその絶対値をとると、胃輪郭線を含むバリウム以外の線では値が小さく、バリウム領域の境界線では大きくなること予想される。そこで次のような識別関数を作る。線 $l$ の $P_m$ 点における差分値の総和の絶対値を $S_m$ とする。

$$S_m = \left| \sum_{i=-K+2}^{K-2} D_m(i) \right| \quad (3)$$

$S_m$ を線 $l$ 上の両端を除く画素について平均したものを線 $l$ の特徴量 $S_l$ と定義する。

$$S_l = \frac{1}{n-2} \sum_{m=2}^{n-1} S_m \quad (4)$$

また、線の集合 $L$ のすべての画素に対して $S_m$ の和を

求め、線上の全画素数で割った平均値を $S_w$ とすると

$$\begin{aligned} S_l \geq S_w & \text{ならば 線 } l \text{ はバリウム境界線} \\ S_l < S_w & \text{ならば 線 } l \text{ はバリウム領域以外の線} \end{aligned} \quad (5)$$

と定義する。この方法は一つの線の全画素あるいは線画全体から特徴量を得るため、線上の濃度変化や雑音に対して強いという利点がある。図8は図3の細線化像に対して上記の識別処理を行ったもので、図8(a)はバリウム領域の線、(b)はバリウム領域以外の線を示す。これを見ると(a)図では穹窿部(右上)や腸(左下)がよく抽出され、それ以外の線が少ない。逆に(b)図ではバリウムの線が非常に少なく、本方法が有効であることがわかる。

### 3.3 バリウム領域の抽出

本方法ではバリウム領域の情報を使って胃輪郭線を求めるためバリウム領域を正確に抽出する必要がある。バリウム領域は穹窿部や腸陰影から構成されるが、領域の境界線を図8(a)の線画だけから滑らかに抽出することはむずかしい。そのため原画像の濃度ヒストグラムから濃度しきい値を決め原画像で線追跡を行う方法を提案した<sup>4)</sup>。しかしながら、バリウム領域の周辺ではバリウムの付着が不均一なために濃度が大きく変化して、単純なしきい値処理では正確な検出がむずかしい。また、画像全体の濃度ヒストグラムよりは対象物の線上の濃度ヒストグラムのほうがより正確なし

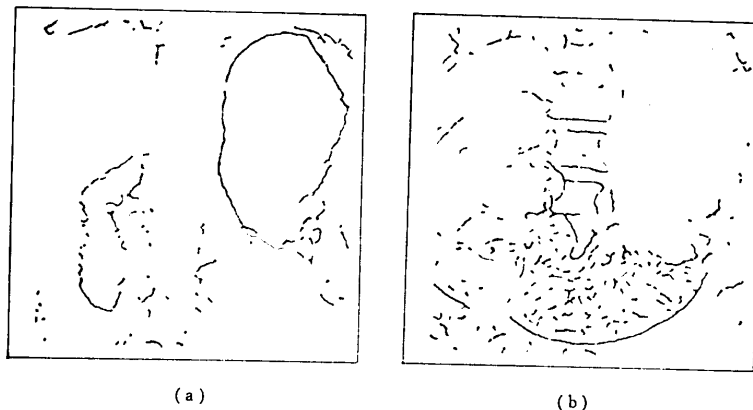


図8 細線化像に対する線の識別  
(a)バリウム領域の線, (b)バリウム領域以外の線  
Fig.8 Line discrimination of the line thinning image.

きい値を求めることができる。ここでは図8 (a)のバリウム領域の線上の濃度ヒストグラムから複数のしきい値を求め、それぞれの値で原画像に対し線追跡を行い、得られる領域の和をバリウム領域とした。しきい値の選び方は濃度の低いほうから1~5個のピークを選び、その濃度値をしきい値とする。これらの結果を図9に示す。図9 (a)は図8 (a)のすべての線上の濃度ヒストグラムを示す。この例では3個のしきい値(17, 24, 27)を選んだ。この値を使って原画像で線追跡を行い、3領域を重ねたものが図9 (b)である。図9 (c)は三つの和領域を求めたもので、図9 (d)は従来の方法で図2のヒストグラムの谷(濃度 29)をしきい値に選んだ結果である。

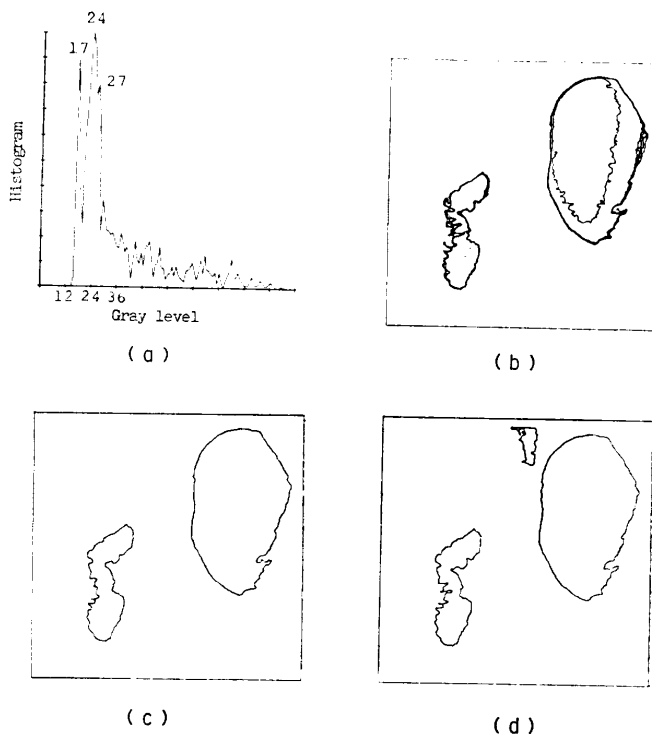


図9 バリウム領域の抽出  
(a)バリウム領域の境界線上の濃度ヒストグラム, (b)三つのしきい値による輪郭追跡, (c)合成領域, (d)単一しきい値で抽出したバリウム領域  
Fig.9 Extraction of the barium regions.

**3.4 雑音となる線の除去**  
図8 (b)には胃輪郭線のほかにまだ脊椎や胃内部ひだ、その他の背景雑音が含まれている。ここではこれらの雑音除去方法について述べる。

**3.4.1 濃度情報による識別**  
図8 (b)の線画において胃輪郭線は次の2条件を満足するものと仮定する。すなわち  
(1) 線近傍のコントラストが大きいこと  
(2) 図5 (b)の濃度変化モデルを満足する  
この条件を使った識別関数を次式で与える。

$$T_m = \frac{1}{4} \{f(-K) + f(-K+1) + f(K) + f(K-1) - 4f(0)\} G_m \quad (6)$$

ただし、 $G_m$  は  $P_m$  点のフィルタ出力値、 $f$  は原画像の濃度値、 $K$  はマスクのサイズ ( $K=7$ ) である。

いま、線  $l$  を図8 (b)の線要素とすると、 $T_m$  は線  $l$  上の1点  $P_m$  を中心として原画像に対し1次元マスクをかけ、マスク内の4点の濃度値と  $P_m$  点におけるフィルタ出力像の値によって決まる。次に線  $l$  の特徴量を次式で定義する。

$$T_l = \frac{1}{n-2} \sum_{m=2}^{n-1} T_m \quad (7)$$

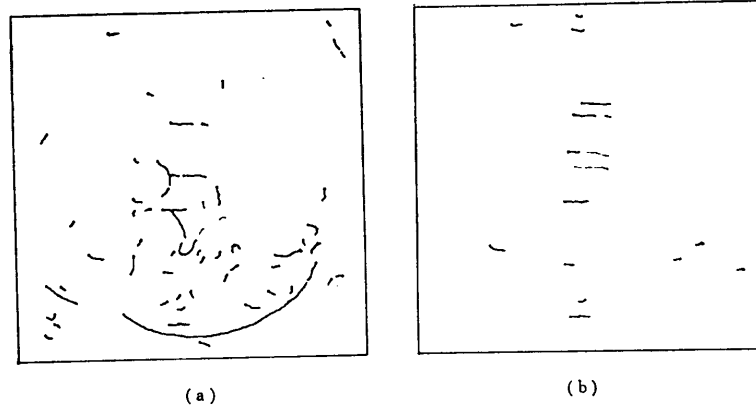


図10 雑音の除去  
(a)胃輪郭線の候補, (b)抽出した脊椎陰影  
Fig. 10 Removal of noise lines.

また, 図8(b)のすべての線の画素に対し $T_m$ の和を計算し, 総画素数で割った平均値を $T_w$ とすると, 次のように線を識別する.

$$T_i \geq T_w/3 \text{ ならば胃輪郭線の候補} \quad (8)$$

$$T_i < T_w/3 \text{ ならば雑音}$$

この方法で図8(b)の線画から検出した胃輪郭線の候補を図10(a)に示す.

### 3.4.2 脊椎陰影の除去

脊椎陰影は線近傍の濃度変化が胃輪郭線と似ているため上述の処理でも残る. ここでは形状を利用した脊椎陰影の除去について述べる. 脊椎陰影は形が規則的であることから線の長さや傾きを限定して検出を行う. すなわち, 線の長さが $c_1 \leq n \leq c_2$ ならば最小二乗法により直線近似の方程式を求める.  $c_1$ と $c_2$ は極端に短い線や長い胃輪郭線を対象から除くためのものであり, 実験的に $c_1=20$ ,  $c_2=100$ とした. 処理は図8(b)に対して行う. この理由は後で述べる線連結処理が図8(b)を対象にしている, 脊椎陰影の情報を使うからである.

いま, 長さ $n$ の線の座標列を $\{x_m, y_m\}$ ,  $m=1, \dots, n$ と表し,  $x_m$ には誤差がなく $y_m$ だけに誤差がある簡単な直線近似を考える. 推定値を $\hat{y}_m$ , 誤差を $\varepsilon$ とすれば次のように書ける.

$$\hat{y}_m = a \cdot x_m + b \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (\hat{y}_m - y_m)^2 \quad (10)$$

ただし,  $b$ は線の片方の端点の $y$ 座標とする.

ここで次の条件を満足するとき, その線を脊椎陰影とみなす.

$$|a| < 0.3 \text{ かつ } \varepsilon < 1 \quad (11)$$

この方法は線が水平であれば脊椎陰影とみなす単純な論理であるが脊椎陰影は水平成分が多いということや前処理で線を切り離しているため, 大部分の脊椎陰影は除去できる. さらに, 胃輪郭線の一部が脊椎陰影と誤認識されても後処理で救済が考慮されている. 図10(b)に脊椎陰影の抽出結果を示す.

### 3.5 追跡開始線の決定

次章で述べる胃輪郭追跡をする際, 追跡を開始する線は胃輪郭線としての可能性が最も高いものでなければならぬ. これを追跡開始線と呼ぶ. 追跡開始線を求めるためには図8(b)の線図形に対して濃度計測による雑音除去と脊椎陰影の除去を併用する. 具体的には図10(b)の線で図10(a)と一致するものだけを図10(a)から除く. その結果残る線に対して線同士の端点間の距離が小さい(5画素以内)ものを連結する. さらに連結処理後の線図形に対し長さ $n_2$ 以上( $n_2$ は15程度)の線を追跡開始線とする. このように求めた線図形を図11に示す.

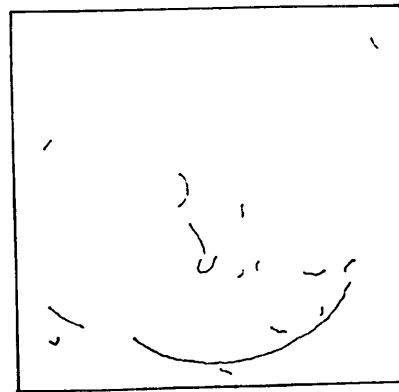


図11 追跡開始線  
Fig. 11 Starting lines for line connecting process.

## 4. 胃部領域の認識

### 4.1 大局的線連結処理

前章までの処理でバリウム領域、バリウム境界線、脊椎陰影および追跡開始線に関する情報が得られている。これらの情報を使って図8(b)の線図形に対して線追跡と連結処理を行い胃輪郭線Aを求める。線連結方法の基礎として次の仮定と大局的判定基準を設ける。

【仮定】 胃輪郭線Aはバリウム領域に接続する。

【判定基準】 バリウム領域に最短経路で接続する線を選ぶ。

これは最適経路の探索問題になる。既知の探索法を適用する上で二重造影像に対し拘束できる条件は非常に少ない。本論文では最も単純な網羅的探索として縦型探索法<sup>8)</sup>を用いた。この方法は探索木が非常に多くなると実行できなくなるので、二重造影像の場合には探索木の深さ(接続する線の数)に制限( $t_3$ )を設けた。 $t_3$ は実験的に $7 \leq t_3 \leq 15$ の範囲とした。線の追跡は追跡開始線の両端点から行うので探索木のモデルは図12のようになる。ここでノードとは連結する線の端点、目標とはバリウム領域を意味する。線連結アルゴリズムは次のようになる。

【線連結アルゴリズム】

- (1) 追跡開始線を長いものから順に処理する。1本の線の処理に先だって接続数をゼロにする。すべての追跡開始線の処理が終ればアルゴリズムは終了する。
- (2) 線の端点で扇形探索<sup>4)</sup>を行い、連結候補があれば(3)へ、なければ(5)へ行く。
- (3) 既知の情報を参照して発見した線を調べる。
  - 1) 線がバリウム境界線であれば経路がバリウム領域に接続したので(7)へ行く。
  - 2) 線が脊椎陰影であれば経路に脊椎の線を含むこ

とを記録して(4)へ行く。

- 3) バリウム境界線や脊椎陰影でなければ(4)へ行く。

(4) 接続数を一つ増やす。その値が  $t_3$  を越えたときにはこの経路を誤りとして(1)へ行く。値が  $t_3$  以下であればその線のもう一つの端点を探す。

(5) 図13に示すように追跡終了点とバリウム領域との位置を調べ、接続可能ならば直線でつなぎ(7)へ行く。可能でなければ(6)へ行く。

(6) 接続数を一つ減らす。その結果、ゼロでなければ一つ前の線の端点で他のルートを探すため(2)へ行く。結果がゼロならば開始線の片方の端点はバリウム領域に接続していないので、この経路を除外して再び(1)へ行く。

(7) すでに同じバリウム領域に接続したものでより接続数の少ない経路があるかどうか調べる。もしもあれば接続数の少ないほうを取る。

(8) 選択した経路に脊椎陰影の線が含まれるならば、それは胃輪郭線の一部を誤って脊椎陰影としたものとみなして脊椎陰影から除く。

(9) 追跡開始線の両端で処理が終了したかどうか調べる。片方のみならばもう一方の端点から処理を行うため(1)へ行く。経路の両端点がバリウム領域に接続するならば、その経路を胃輪郭線とみなし、線と線の間を直線的に補間して(1)へ行く。

上述のアルゴリズムでステップ(2)の扇形探索パラメータは中心角  $60^\circ$ 、半径30画素、端点から重心までの距離を10画素とした。

図13に追跡経路がバリウム領域の近傍で終了した場合の処理について説明する。バリウム領域の周辺では濃度が不均一に変化するため、本来バリウム領域に接続すべき輪郭線が接続しない状態がしばしば起こる。いま、このような経路の端点を  $P_0$ 、 $P_0$  から  $d_1$  画素前までの線分の重心を  $P_g$ 、 $P_0$  からバリウム領域(図9(c)に相当する)までを最短距離で結ぶ点を  $P_b$ 、 $P_0$

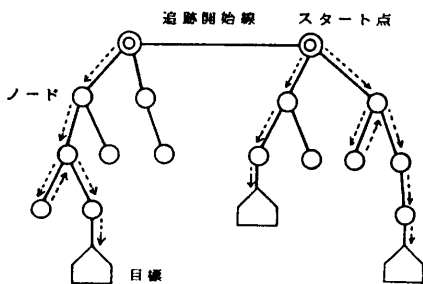


図12 縦型探索木のモデル

Fig.12 Model of sequential search.

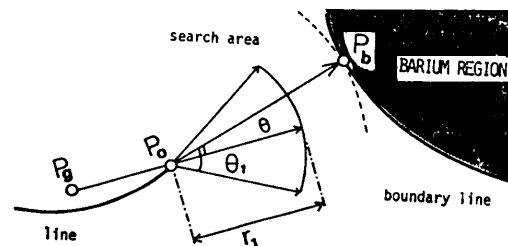


図13 追跡経路がバリウム領域の近くで終了した場合  
Fig.13 Illustration of the case that a course of the chase ends near the barium region.

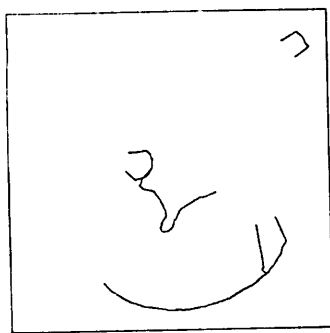


図 14 連結処理結果  
Fig. 14 A result obtained by the line connecting process.

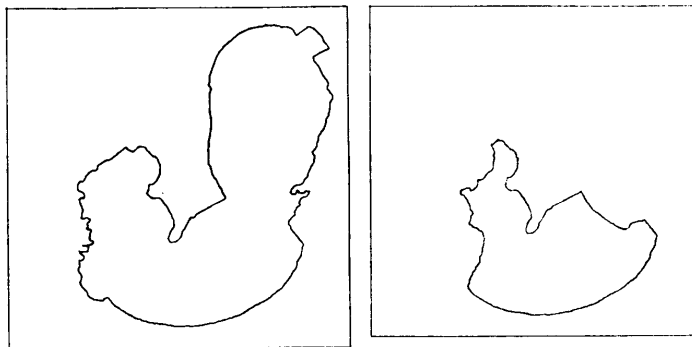


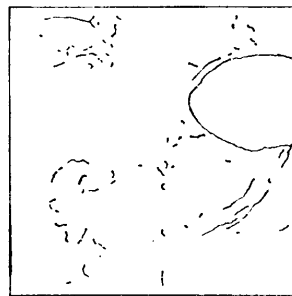
図 15 胃部領域の抽出  
(a)図 9 (c)と図 14 を合成して輪郭追跡をしたもの、(b)バリウム領域を除去して得られた胃部領域  
Fig. 15 Extraction of stomach region.



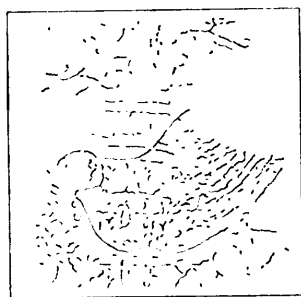
(a)



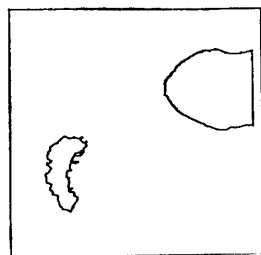
(b)



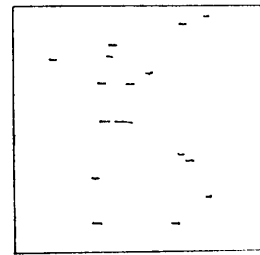
(c)



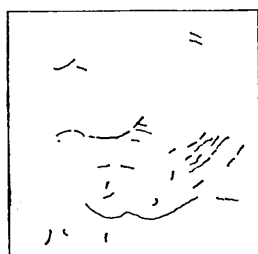
(d)



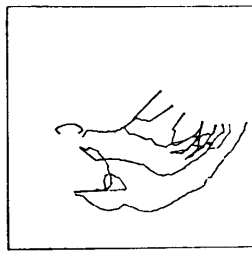
(e)



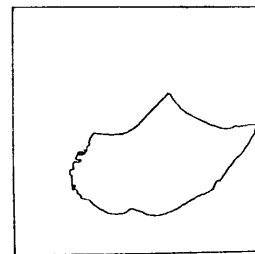
(f)



(g)



(h)



(i)

図 16 2 番目の例  
(a)原画像、(b)細線化像、(c)バリウム領域の線、(d)バリウム領域以外の線、(e)バリウム領域、  
(f)脊椎陰影、(g)追跡開始線、(h)線の連結結果、(i)胃部領域

Fig. 16 The second example.



から扇形探索するときの半径  $r_1$ , 中心角を  $2\theta_1$ , ベクトル  $\vec{P_0P_b}$  とベクトル  $\vec{P_gP_0}$  との間の角度を  $\theta$  と表すならば, 次の条件を満足する場合のみ  $P_0$  と  $P_b$  点をつなぐ.

$$\theta < 2\theta_1 \text{ で } \vec{P_0P_b} < t_4 \quad (12)$$

使用したパラメータは  $d_1=10$ ,  $r_1=30$ ,  $\theta_1=30^\circ$ ,  $t_4=60$  とした. とくに断わらない限り以後の実験でもこの値を用いている.

上述の線連結アルゴリズムにより得られた輪郭線を図14に示す. この例では接続数  $t_3$  を  $t_3=10$  にした. この線図形は雑音の多い胃角部や小彎などが正しく検出されているが, 誤った経路もか2か所ある. これらはバリウム領域の近傍で生じたもので(12)式の方法が

必ずしも適当ではないことを示す. しかしながら, 次節に述べる方法で除くことができる.

#### 4.2 胃部領域の抽出

この節で述べる方法は基本的には前の論文<sup>4)</sup>と同じである. しかしながら, より一般的に扱うために追跡開始点を穹窿部の上にはとっていない. まず, バリウム領域の線図形(図9(c))と連結処理後の線図形(図14)を重ね合わせる. この合成した線図形に対してラスタ走査を行い, 線と最初に交わる点を輪郭追跡の開始点にとる. 開始点より反時計回りに8連結の輪郭追跡を行い, 合成線図形の外周の輪郭線を得る. 図15(a)はこれを示したものである. この閉曲線の内部をぬりつぶして<sup>9)</sup> 閉領域を作る. この閉領域からバリウ

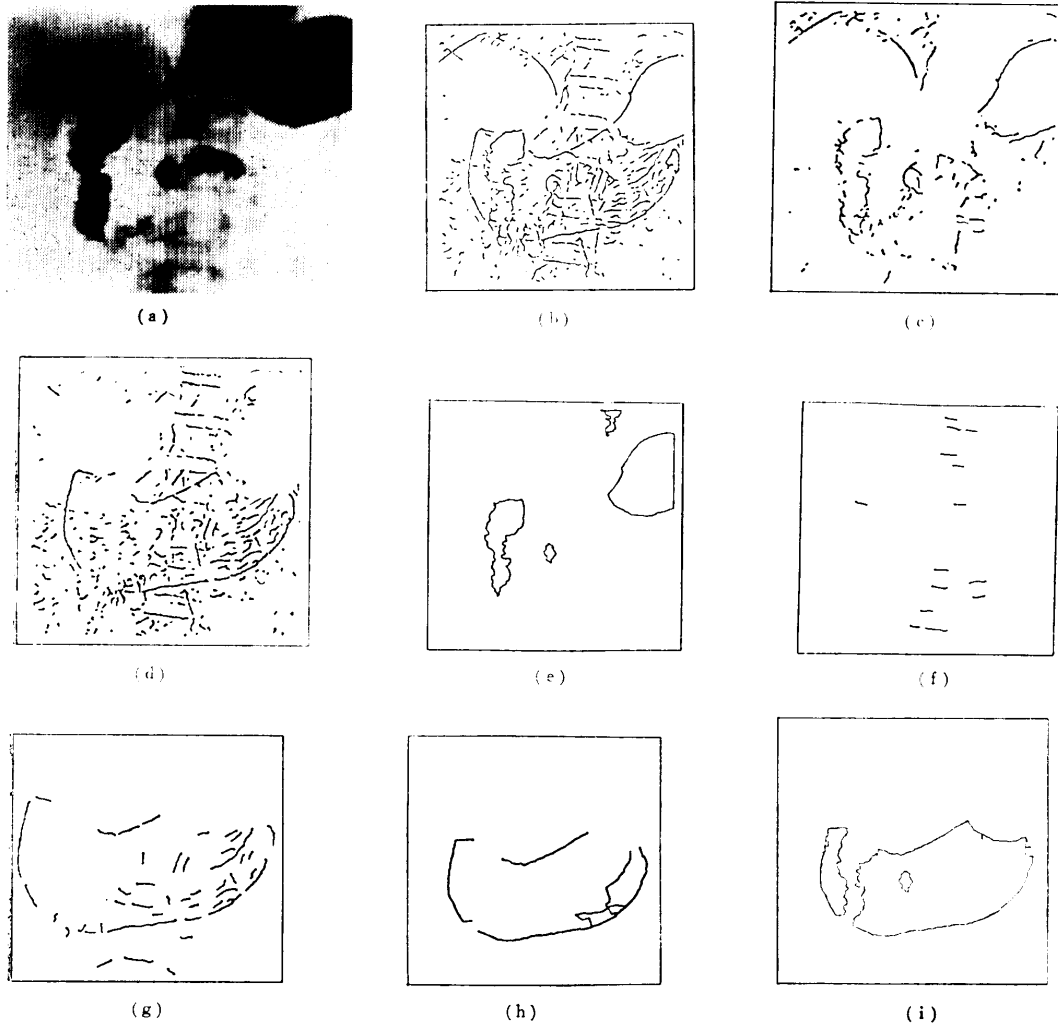


図17 3番目の例

(a)原画像, (b)細線化像, (c)バリウム領域の線, (d)バリウム領域以外の線, (e)バリウム領域, (f)脊椎陰影, (g)追跡開始線, (h)線の連結結果, (i)胃部領域

Fig. 17 The third example.

ム領域 (図9(c)の内部) を除去した領域の中で面積が最大のもを胃部領域と定義する。これにより図14に現れた連結誤りによって生ずる小領域を除くことができる。この胃領域を輪郭追跡することにより胃の輪郭図形 (図15(b)) が得られる。

## 5. 実験結果

この章では従来のわれわれの方法では困難であった他の例について実験結果を示す。処理に用いたパラメータは前述の例と異なる場合のみ説明する。図16と図17において(a)は原画像, (b)細線化像, (c)バリウム領域の線, (d)バリウム領域以外の線, (e)バリウム領域, (f)脊椎陰影, (g)追跡開始線, (h)線の連結結果, (i)抽出した胃部領域, を示す。図16は胃内部の粘膜ひだが太いためにバリウムによる陰影が強くて, その一部がバリウムの線とみなされたり (c図), (d), (g)には胃の候補線として残っている。このため(h)では胃内部の連結経路が複雑になっている。このことは線連結の判定基準が各追跡開始線に対する最短経路であるため, 必ずしも最終的な胃輪郭線を決定するものではないことを示している。しかしながら, 胃の外壁の輪郭線が明瞭であれば4.2節の処理で内部の複雑な線は除去できる。図(e)のバリウム領域の抽出には四つの濃度しきい値(29, 31, 33, 34)を用いた。

図17は腸陰影が胃に大きく重なった例である。腸はひだが多いために画像の濃度は変化しやすく処理がむずかしい。図17(c)をみるとバリウムの線はかなりよく検出されており, 線近傍の濃度変化を利用して識別する方法が有効であることがわかる。しかしながら, 図(e)のバリウム領域の抽出は不十分である。複数の濃度しきい値を用いてもバリウム領域の抽出はむずかしいことを示している。この例では四つのしきい値(28, 29, 30, 32)を用いた。図17(i)では腸陰影のために胃領域が2分割されている。大きい領域には内部に小さなバリウム領域の穴を含む。領域内部に穴を含む場合の胃領域の認識は今後に残された問題である。

## 6. むすび

本論文は胃X線二重造影の画像処理におけるヒューリスティックな手法の欠点を改善する方法について述べた。そのおもなものは線近傍の濃度情報によ

る線の識別, 脊椎陰影の除去, 大局的な線連結処理などである。本方法は従来のものに比べかなり有効ではあるがまだ次のような課題が残されている。

今後の課題

- (1) バリウム領域の抽出が不十分である。複数の濃度しきい値を用いても抽出が不完全であったり, しきい値の選び方に多くの試行が必要である。
- (2) 二重造影の構造を精密に調べてより正確な線の分類を行う必要がある。
- (3) 網羅的探索ではなくもっと効率のよい線連結処理方法の開発。

胃二重造影は胃の写真の一つではあるが, 医用X線写真の処理に共通する問題を含んでおり, その処理方法の開発は意義があると考えられる。

**謝辞** 胃X線フィルムを提供していただき医学的助言をして下さった北海道対がん協会検診センターの田村浩一センター長に感謝申し上げます。なお, 本研究は文部省科学研究費の援助を受けて行ったことを付記する。

## 参考文献

- 1) 市川, 山田, 土井: 胃X線診断の実際, pp. 60-83, 文光堂, 東京(1977).
- 2) 板垣, 西村, 中村, 吉本: 胃X線二重造影の画像処理, 日本ME学会大会, 1-C-32(1979).
- 3) 瀧, 羽鳥, 田部: 胃部二重造影における胃部領域の切り出し, 信学技報, MBE78-112(1978).
- 4) 中村, 板垣: 胃X線二重造影に対する胃部領域抽出の一方法, 信学論, Vol. J64-D, No. 11, pp. 1045-1052(1981).
- 5) 鹿野, 鳥脇, 福村: 濃淡図形を線図形に変換する一方法, 信学論, Vol. 55-D, No. 10, pp. 668-675(1972).
- 6) 白井良明: 濃淡画像から複雑物体を認識する一手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 17, No. 7, pp. 611-617(1976).
- 7) 白井良明: コンピュータビジョン, 昭晃堂, 東京(1980).
- 8) Winston, P. H. 長尾, 白井共訳: 人工知能, pp. 86-130, 培風館, 東京(1981).
- 9) 長谷川, 他: 図形のぬりつぶし方式, 情報処理全大, 4G-2(1978).

(昭和57年6月7日受付)

(昭和57年9月6日採録)