

胃 X 線 立 位 充 満 像 か ら の 局 所 的 異 常 の 候 補 の 検 出

喜多 泰代

白井 良明

電子技術総合研究所

胃の集団検診で撮影された X 線の立位充満像から高精度に胃の輪郭を抽出し、それを用いて局所的な微小異常を抽出する方法について述べる。胃や背景の形状や明るさは人によっても時間によっても変化するため、種々の対象に対して高精度に胃の輪郭を抽出する有効な手法はなかった。ここで提案する方法は、初めに大まかな領域を抽出し、その形をモデルとして参照しながら細かな分解能で輪郭追跡を行う。これによって、背景によるノイズが存在する所や、あまり特徴が明瞭でない所でも、全体の領域の形状を考慮する事により輪郭を決定できる。こうして抽出した輪郭を用いて、局所的な微小異常の検出を行った結果、実際の読影で医師が読み取れるのとほぼ同じほど小さな異常まで検出が可能となった。

Detection of Small Local Abnormality Candidates
from X-ray Images of Barium Filled Stomachs

Yasuyo Kita

Yoshiaki Shirai

Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki, 305 Japan

Extraction of an exact stomach contour from radiograms for mass screening and detection of small abnormality candidates are described. An approximate region is obtained based on the light intensity and two-dimensional difference of the image. This region is used as a stomach model. In order to get an exact stomach contour, the local maxima of the two-dimensional difference are tracked. When the contrast is too small, such that the tracking process cannot find a local maxima, the model gives the reference direction for the tracking, and the tracking can be continued. Finally, parameters are computed from the contour in order to detect small cavities and angular points on the stomach edge. The size of abnormalities detected is practically satisfactory.

§ 1 はじめに

胃の集団検診の普及に伴って撮影されるX線写真の数も大量になり、胃X線写真の自動読影が可能となれば集団検診の省力化に非常に有用である。また、対象である胃が柔らかい組織で形が変化するうえ個体差も大きいので、パターン認識の課題としても興味深いものである。

胃の集団検診では条件を変えて数枚のX線写真が撮影されるが、このうち胃X線立位充満像は胃の形状を最も自然に表す診断の要となる画像である。この画像は胃にバリウムを充満させて撮影するので、胃領域はバリウムが充満した明るい領域となる。診断はこの領域の辺縁から胃壁の状態を読み取って行われる。胃X線立位充満像から胃領域を抽出する手法はいくつか研究されている^{1), 2), 3)}が、多様な対象に対して有効な手法は得られていない。胃の輪郭を正しく決定するためには局部ごとの処理を行わなければならないが、全画面でこれらの処理を行ってはい他の紛らわしい背景に惑わされやすいうえ効率も悪い。そこで、筆者の一人が既に発表した手法では初めにグローバルな情報を用いて大まかな胃領域を抽出し、その辺縁で局所的に少しずつ領域を広げる手法を用いた⁴⁾。この手法は大まかな胃領域を抽出する段階で胃領域として適当なものが得られるまでフィードバック処理を行うので、実際のX線写真からの胃領域抽出に頑健な良い結果を示した。しかし、多くの回数の繰り返し処理を行っており、小さな異常の検出が可能のように画像の分解能をあげると急激にその繰り返し回数が増大するので、処理時間がかかる。

この問題を避けるため、初めに低分解能の画像で領域を求め、その領域をモデルとしてより高分解能の画像で輪郭を決定することが考えられる。Kelly⁵⁾はこのような方法で輪郭追跡部分を限定することにより人間の頭部の輪郭の抽出を行った。ここでは初めにグローバルな処理で大まかな領域を抽出したあと、次のように輪郭を追跡する手法を提案する。基本的には高分解能で小さな近傍の微分値を用いて輪郭点の決定を試みるが、小さな近傍だけで決定できないときには、分解能を少し粗くして視野を広げて決定を試みる。しかし、背景とのコントラストが弱い、背景のノイズがあるかでそれでも決定できないときには輪郭の前後の流れをより広い範囲で考慮する必要がある。そこで、この

場合には、初めに得た大まかな領域の形状から輪郭の進行方向を参照することとする。こうして輪郭追跡を行うことにより、繰り返し処理を用いずに効率よく高精度な胃の輪郭を抽出することが可能となった。さらに、この手法で得た結果を用いて胃の輪郭に表れる小さな異常を検出する手法も開発したのでその実験結果もあわせて述べる。

§ 2 処理の概要

図1に処理の流れを示す。高精度に胃の輪郭を決定する部分と、局所的異常を見つける部分からなる。胃の輪郭の決定では初めに胃領域を大まかに抽出し(以後この領域を近似的胃領域と呼ぶ)、その辺縁付近で近似的胃領域の概形の情報を参照しながら局所的に微分最大の点を追跡する手法を取る。具体的手順は、1) . グローバルな処理による近似的胃領域抽出、2) . 輪郭探索領域決定、3) . 胃輪郭追跡の三段階に分かれる。局所的異常の検出はこうして得られた胃の輪郭線の曲率の変化を調べて滑らかでない輪郭を探すことにより行う。以下、§ 3で近似的胃領域の抽出、§ 4で輪郭探索領域決定、§ 5で胃輪郭追跡、§ 6で局所的異常の検出を述べる。

§ 3 近似的胃領域抽出

3. 1 明るさとその微分による胃領域候補の抽出

胃X線立位充満像では、基本的に胃領域は明るい領域となる。ただし、背景も明るい場合があること、胃領域の明るさにも幅があることにより、背景との分離は難しい。ここでは胃の内部領域の候補と背景との境界領域の候補を求め、両者を組み合わせて胃領域候補を得る手法を用いる⁴⁾。

まず原画像の明るさのヒストグラムを用いて、胃内部領域を抽出するための明るさのしきい値と境界領域を抽出するための微分のしきい値を定める。ただし、両方の結果が補いあうので、どちらも厳密に求める必要はない。明るさのしきい値は、明るい領域の面積が妥当な値となるようなところに明らかな谷がある場合はそれを用い、なければ面積下限の条件からしきい値を定める。微分のしきい値は経験的な初期値を決めておき、背景が明るくコントラストが小さいと予測される場合には小さくなるように変動させる。

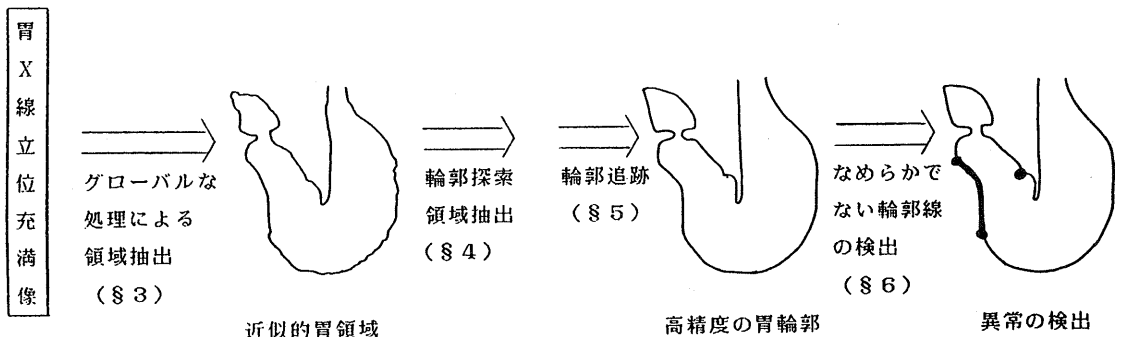


図1 処理の流れ図

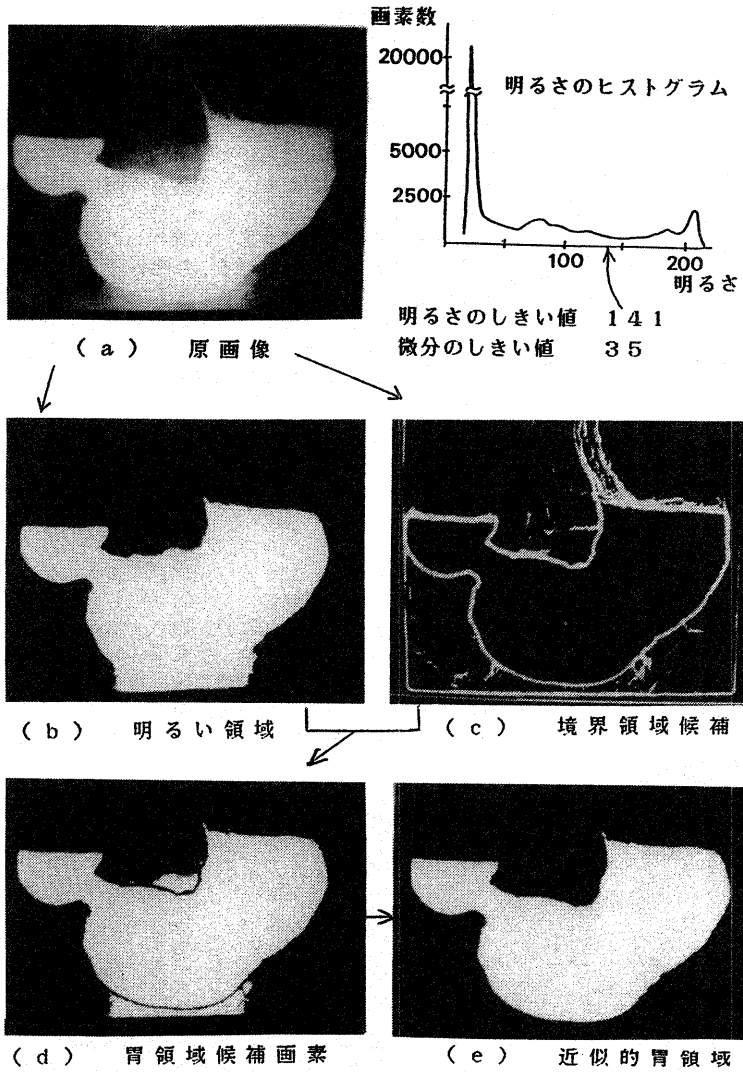


図2 近似的胃領域抽出例

つぎに、図2の例にそって胃領域候補を得る手順を示す。まず、図2(a)の原画像から、明るさがしきい値以上の明るい領域(図2(b))と、微分がしきい値以上の境界領域候補(図2(c))をそれぞれ抽出する。明るい領域から境界領域候補を取り除いて図2(d)に示すような胃領域候補を得る。こうして得られた2値画像の連結領域の中から重心や面積に基づいて近似的胃領域を一つに決定する。図2(e)に結果例を示す。

3. 2 分離不十分な箇所の検出と再分離

3. 1の処理によって胃領域に接する背景がしきい値より暗いか、また明るい背景領域があっても接している胃領域との明るさの差が大きく境界における微分値が大ならば分離ができる。しかし背景がかなり明るく胃領域の境界における明るさの差も少ないところがあればこれでも分離できない。そこで、一度胃領域を抽出した後、背景との分離が行われていないところを検査し、あればそこだけ局所的にしきい値を変えて分離し直すという手法をとる。

明るさと微分の両方を用いた前述の領域抽出法で分離できなかった場所では、図3に示すように、領域内②より領域外①の方が明るいという状況が起こりやすい。正しくは明るさは胃領域から外に向かって減少するは

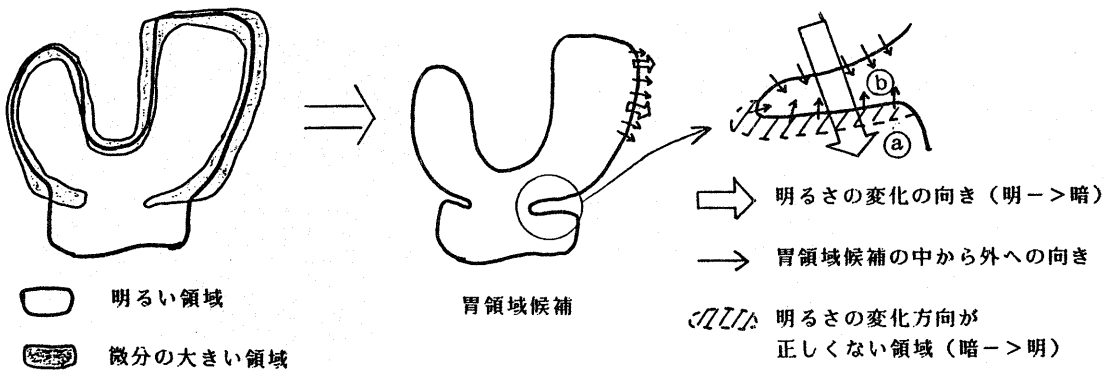


図3 辺縁における明るさ変化の向き

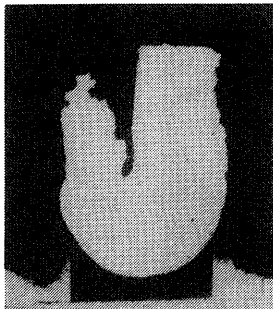
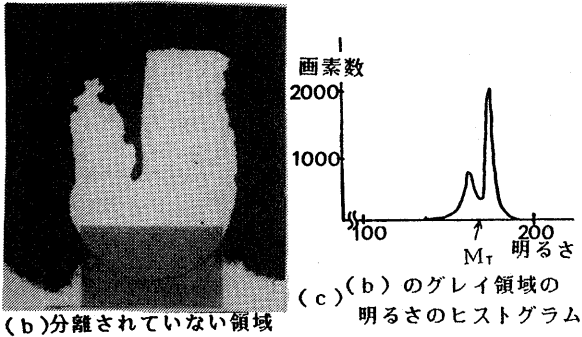
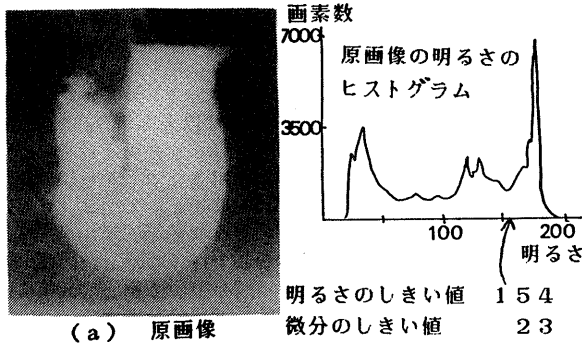


図4 分離不十分領域の検出と再分離

ずであるが、この場合には逆向きの明るさ変化となる。そこで得られた領域の辺縁で明るさ方向を検出し方向が正しくない辺縁付近領域を抽出する。この領域における適切な明るさのしきい値を求めて、そこだけさらに2値化しなおして背景との分離を行う。図4にこの例を示す。図4(b)の白い領域は図4(a)の原画像に3.1の処理をした結果で、背景が明るいために分離できていない。この辺縁で明るさの変化方向を調べると、グレイで示される部分で背景との分離が正しく行われていないことが検出される。図4(c)は図4(b)のグレイの四角い局所領域内のヒストグラムで、図中に示す M_T をこの領域の新たな明るさのしきい値とする。図4(d)はこの結果得られた新しい胃領域の結果である。

§4 輪郭探索領域の決定

高精度に胃の輪郭を決定する時に余分な背景の明るさ変化に煩わされないように、§3で求めた近似的胃領域を基に輪郭の探索領域を限定する。近似的胃領域を求めたときに背景との境界付近は胃領域ではないとしたので、基本的にはこの幅分外へ広げた領域を輪郭探索領域とする。ただし、近似的胃領域の辺縁のうち明るさが暗い部分においては、①徐々に明るさが変わっているため境界領域が広い、②初めの明るさのしきい値で胃領域が削られている、場合があるので明るい辺縁部分より多めに拡張する。

具体的には、まず近似的胃領域の背景との境界を点列として求め、 k 番目の点の明るさを $I(k)$ とする。各点における法線方向に次式で決定される幅 N_w ずつ拡張する。

$$N_w(k) = (I_{AVE}(k) - I_0) / I_1 + N_0$$

$$I_{AVE}(k) = \sum_{j=k-n}^{k+n} (I(j)) / (2n+1)$$

ここで、 I_0 、 I_1 、 N_0 は定数で、それぞれ基本の明るさ、明るさの差と拡張幅の比率、基本拡張幅である。ただし§3で背景が明るくて明るさのしきい値を決めた部分では上記の式にかかわらず拡張幅を小さくする。図5がこの結果例で、図5(a)は微分画像を示し、図5(b)が輪郭探索領域の微分だけを残しそれ以外は0としたものである。輪郭追跡には図5(b)のデータを用いるので、余分な背景の微分値には影響されない。

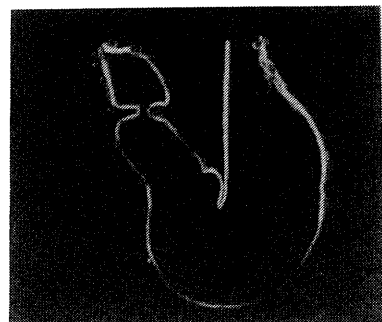
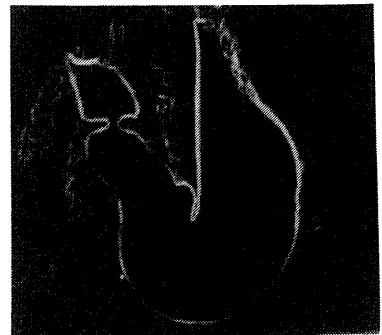


図5 輪郭探索領域抽出

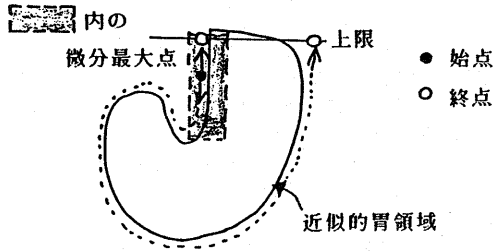


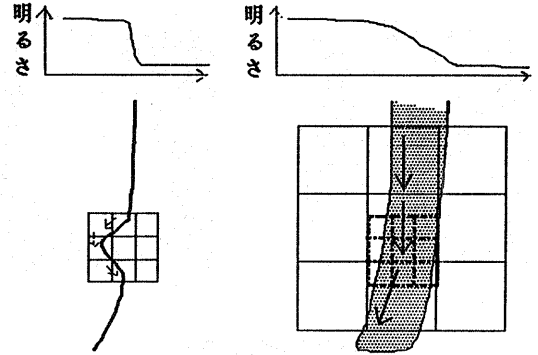
図6 輪郭追跡の始点と終点

§5 輪郭追跡

胃領域の輪郭は基本的には微分値の大きい点を追跡して決定する。図6に示すように近似的胃領域の中央上部付近で微分最大の点から上下2方向に向かって輪郭追跡を始め、どちらも近似的胃領域の位置より定められた上限に到達するまで行う。図7(a)に示すような細かい辺縁の凹凸も検出したいので、始めは高分解能で微小近傍を探索して微分最大の点の追跡を試みる。しかし図7(b)のように、微分最大の点を決定できないときは少し分解能の粗いデータで一回り大きい近傍を調べて追跡方向の決定を試みる。決定できたら高分解能データに戻ってその方向に輪郭追跡を行う。できなければ、さらに分解能の粗いデータでもう一回り大きい近傍を調べて追跡方向の決定を試みる。こうして、次の輪郭点が確定するまで、分解能を粗くして視野の大きさをひろげていく。

各分解能のデータは探索の前に作っておく。小さな輪郭の変動を追跡するうちは原画像の微分値を、大まかな追跡方向を決定するときには近似的胃領域の形を参照するために次のようなデータにする。512×512、256×256の分解能では§4で得た輪郭探索領域に限った微分値を記録しておく、追跡時に進行方向を算出する。128×128の分解能では近似的胃領域をもとに輪郭の方向指示データを作っておく。具体的には128×128の分解能で近似的胃領域の輪郭を追跡して、輪郭近傍の画素に輪郭の進行方向を示す符号を記録しておく。さらに、そのデータを64×64に分割してその1区画内の2×2画素の一部だけに方向が記録されている場合には、その方向を平均した値を残りの空いている画素にも記録する。この操作は64×64の分解能で近似的胃領域の輪郭の参照方向を求めるのと同じ意味となる。このあと32×32に分割して4×4画素に対して同様な処理を行う。これにより、輪郭方向を示唆する画素の範囲が広がり、近似的胃領域の輪郭から離れた画素ほど大きな視野で決定した大まかな方向を示すこととなる。

次に追跡の方法を述べる。高分解能のうちは微分データを用いて、輪郭追跡は8近傍の8方向のうち進行方向前方の5方向の方向別の微分値の大きさの和を調べ、1番大きい方向の点へ行う。この点が微分データで定まらない場合には方向指示データをもとに参照方向を得る。そして高分解能の微分データに戻り、参



(a) 明るさの変化が急な場合 (b) 明るさの変化が緩やかな場合

図7 輪郭点決定に必要な視野の大きさ

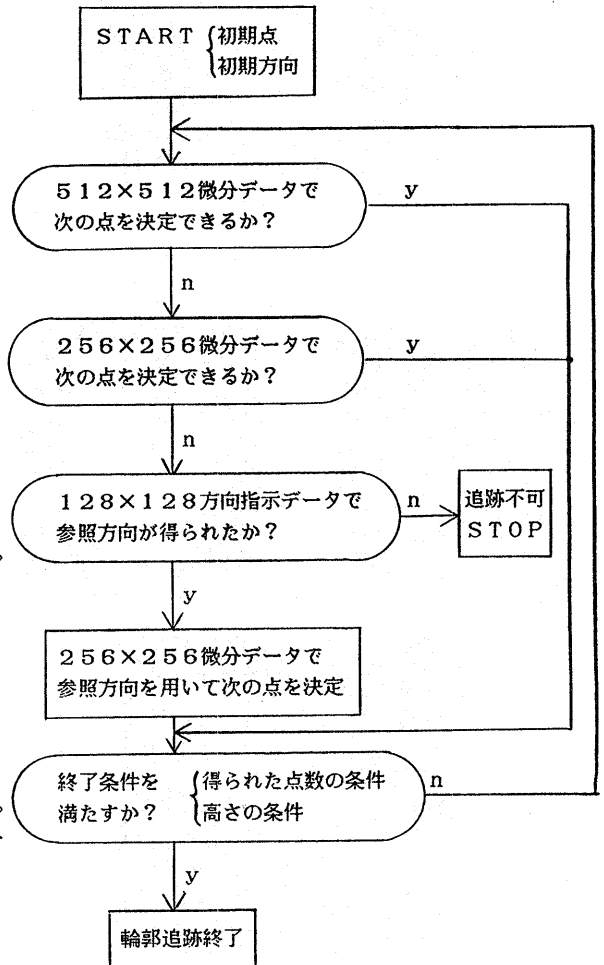
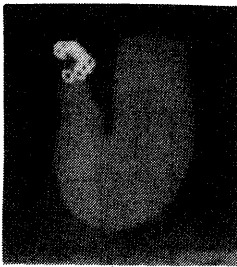
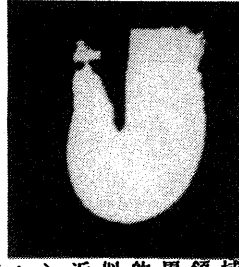


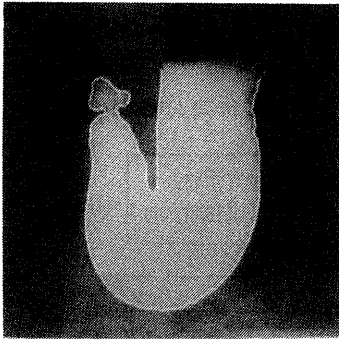
図8 輪郭追跡の手順



(a) 参照点

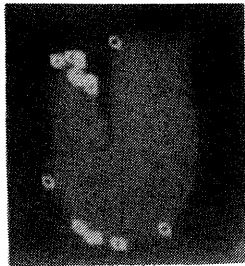


(b) 近似的胃領域

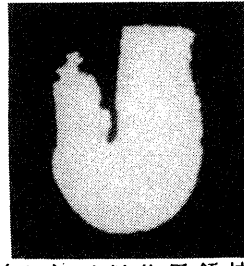


(c) 結果

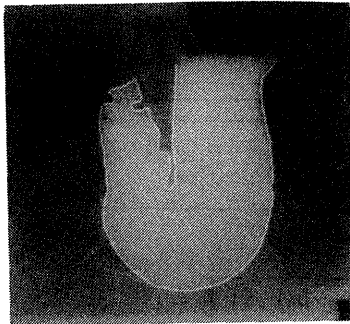
図9 輪郭抽出例(1)



(a) 参照点



(b) 近似的胃領域



(c) 結果

図10 輪郭抽出例(2)

照方向を中心とする3方向に候補方向をしぼってその中で最大の微分値を持つ方向の点へと追跡を行う。輪郭追跡の具体的な手順を図8に示す。

図9に輪郭追跡結果の例を示す。(b)は近似的胃領域で、(c)が輪郭抽出の結果である。(a)図中の○が微分だけでは輪郭を決定できず、(b)のモデルを参照した位置を示す。背景の骨の線が紛らわしい所では、微分だけでは決定できないが近似的胃領域の形を参照することにより、望ましい結果が得られている。図10は図4で近似的胃領域を示した画像の輪郭追跡結果である。背景がかなり明るく胃との境界が明白でない例であるが、近似的胃領域の形を多く参照することにより良い結果を得ている。

§6 局所的異常の検出

6.1 局所的異常検出の前処理

前にも述べたように、異常は胃壁の状態をあらわす胃領域の輪郭に現れるので、今後の処理は得られた胃の輪郭点を対象にする。そこで、まず胃領域の右上端部の点から時計回りに輪郭を追跡して、番号づけをしておく。また異常を検出する際に胃領域のどの部分なのかを知っていることが必要なので、各部位の決定を前もって行う。この処理は輪郭上に現れる特徴点を基に、胃の形をいくつかの代表的な型に分類しながら行う⁶⁾。部位の結果は図11に示すように、輪郭上の点を用いて記述する。

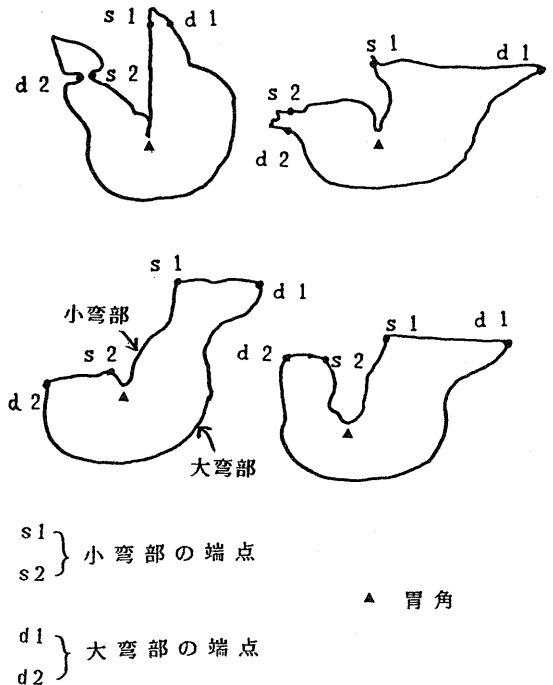


図11 部位抽出結果例

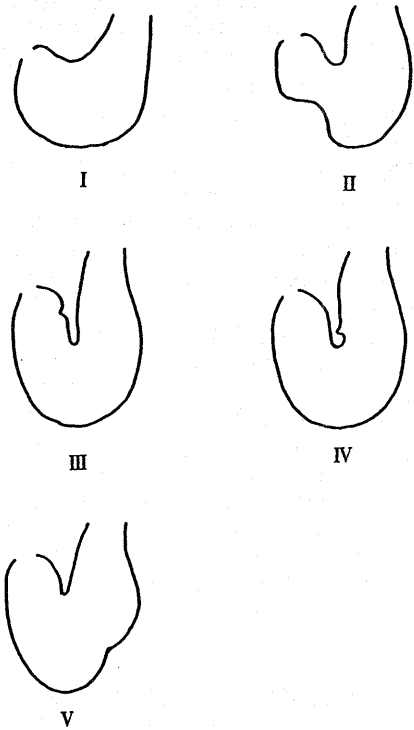


図 1 2 異常例

図 1 2 に典型的な異常例を挙げる。このうち I の小弯短縮と II の湾入は胃領域の形状に大きく変化が出る大局的な異常であり、256×256 の分解能で抽出した胃領域を用いて既に検出済みである⁷⁾。しかし、III、IV、V の場合には小さな辺縁の凹凸であるので、その分解能では検出が不可能であった。そこで、§ 5 までで得た高精度な胃の輪郭を用いて、これら局所的で、微小な異常の抽出を行う。

6. 2 局所的異常検出手法

III、IV、V はいずれも潰瘍などが原因で胃の組織が一部硬くなっているため、バリウム充満時に胃壁が均一に押し上げられず硬い部分がひきつれた形状となっている。III、IV の場合には、ごく小さな箇所極端にひきつれたような急曲点を見つければ良い。しかし、V の場合には、ごくその近傍だけを取り出してみても異常かどうかの判別は難しく、むしろ本来大きく傾きが変わっていくべき大弯下部にほぼ直線な小さなへこみがあるから異常といえる。したがってこの異常の検出では、全体的な胃の輪郭の傾きの変化を調べる。

* III、IV の異常の検出

基本的な戦法としては輪郭線の曲率を調べて急曲点を検出する。曲率は図 1 3 (a) に示す n 点曲率を用いる。ただし、 θ は時計回りを正とする。図 1 3 (b) は輪郭を画素レベルで表したものであるが、①、②、③の輪郭のうち①だけが抽出したい形状である。そこで、n 点曲率を n の値を小さい範囲で変えて計算し、そのうちもっとも小さい値をその点の曲率とすることにより、②、③を取り除く。この曲率から急曲点を検出する際、次のような部位の考慮を行う。

- ・胃角部 正常で曲率は絶対値の大きな負の値となるので、正で曲率が大きい点だけを検出する。
- ・大弯部 正常で曲率が正の値となるので、曲率が正の場合は値が大きいものだけを検出する。

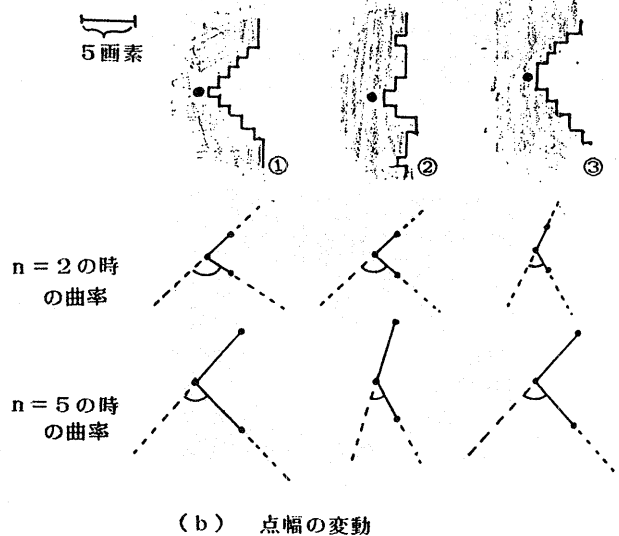
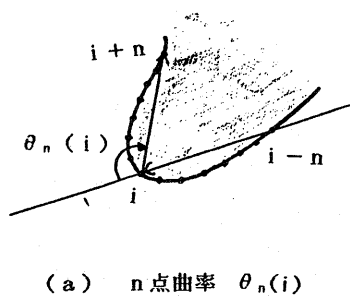


図 1 3 . 各点の曲率の定義

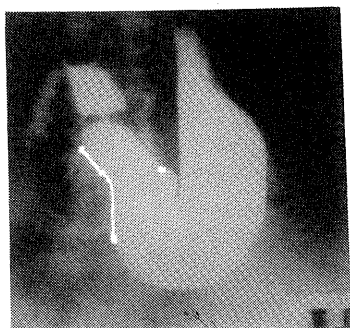
*** V の検出**

輪郭上の各点 i における傾きの目安として、輪郭上の $(i-m)$ 点から $(i+m)$ 点に引いたベクトルが水平線となす角度 $K(i)$ を用いる (ただし反時計回りを正とする)。輪郭の全体的な傾きの変化を調べるため、 m は大きい値とする。もし正常であるなら、輪郭線の傾きは少しずつ滑らかに増加して行くが、V の異常箇所では傾きが減少する。この傾きの減少を見つけるために、次の値 S を算出する。

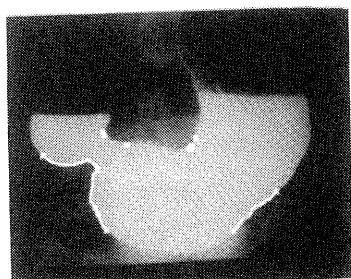
$$S = 2K(i) - K(i-m) - K(i+m)$$

S が正の大きな値となる極大点を検出する。もし、存在したらその点より手前で極大の傾きを持つ点から、その点より後方で極小の傾きを持つ点までの間を異常区間とする。

図 14 に異常検出の例を二つ示す。図 14 (a) の白線と図 14 (b) の左側の白線は II の型の湾入として粗い分解能でも検出可能だが、図 14 (b) の右側の白線部は高分解能の輪郭を用いなければ検出は難しい。ここでは V の型の異常検査によって検出された。白点で示したのが、III、IV の型の微小なひきつれである。図 14 (b) の胃は胃壁全体に異常が検出され、全体的に病変に犯されていることがわかる。



(a)



(b)

図 14 異常検出例

§ 7 おわりに

初めに大まかな領域を抽出し、その形をモデルとして参照しながら細かな分解能で輪郭追跡を行うことにより、胃 X 線立位充満像から胃領域の高精度な輪郭を抽出した。この手法だと背景によるノイズが存在する所や、あまり特徴が明瞭でない所でも、全体の領域の形状を考慮する事により輪郭を決定できる。この手法は胃のように多様な形が存在してあらかじめその形が予測できないような対象を取り扱う場合に有効であると思われる。また、高精度に抽出した輪郭を用いて、 256×256 の分解能では検出できなかった局所的な微小異常の検出を行った。この結果、実際の読影で医師が読み取れるのとほぼ同じほど小さな異常まで抽出が可能となった。

胃 X 線自動読影の今後の課題は、患者の姿勢を変えて撮影された数枚の写真を組み合わせて全体的な診断を行うことである。このためには画像間の胃の対応付けが不可欠であるが、胃は柔らかな組織である上に固定された器官ではないため形がかなり変化するので、これはかなり難しい問題である。この問題を解決するには、その変形を考慮した柔らかなモデルを構築することが有効であると思われる。また、このような柔らかなモデルで胃を表せば、胃輪郭上の変形を、正常な変形と病変による変形とに識別する良い指標を得ることも可能であると思われる。

<謝辞>

胃 X 線像読影に関して御指導いただき、また胃 X 線写真を提供して下さった山梨医大藤野雅之教授 (当時東大医学部)、筑波大医学部福富久之教授、伊藤葉子医師に感謝いたします。実験システムの設計、基本ソフトウェアの作成および X 線フィルムの入力にお世話になり、また日頃有益な助言をしていただいている視覚システム研究室の皆様にも感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 福島, 宇都宮, 相馬: "胃 X 線像の辺縁抽出", 医用電子と生体工学, 15, 6, pp.7-12 (1977).
- 2) 羽鳥光稔: "胃 X 線像の自動読影", 電気学会誌, 98, 11, pp.1048-1052 (1978).
- 3) 中村鎮雄: "一次元照合法による胃 X 線バリウム充満像のエッジ検出", 信学論 (D), J66-D, 3, pp.235-242 (昭58-03).
- 4) 白井良明: "フィードバック法による胃 X 線充満像の胃領域抽出", 信学論 (D), J68-D, 3, pp.269-276 (昭60-03).
- 5) M.D.Kelly, "Edge detection in pictures by computer using planning", Machine Intelligence Vol.6, B.Meltzer and D.Michie, eds. Edinburgh University Press, Edinburgh, pp.397-409(1971).
- 6) 白井, 喜多: "胃 X 線立位充満像からの胃領域抽出と部位の認識", 電総研彙報、発表予定.
- 7) 寺師, 白井: "胃 X 線写真からの大局的異常の候補の検出", 情処会コンピュータビジョン研資, CV33-3(1984).