

複数種胃 X 線画像の統合解析のための画像間の胃領域対応付け

正 員 喜多 泰代[†]

Matching of Stomach Regions Among Several Types of X-Ray Images

Yasuyo KITA[†], Member

あらまし 胃の集団検診で撮影される複数種 X 線画像の統合解析のために、画像間の胃領域を対応づける手法について述べる。胃は柔らかい組織で撮影条件によりその形状が変化するので、X 線画像間の胃領域対応付けは、画像間で変形する柔軟物体像の対応問題となる。ここでは、対象(胃)の3次元柔軟モデルを介して対象像(胃領域)を対応づける手法を提案する。胃形状は個体差によっても大きく異なるため、まず、1枚の X 線画像の解析結果から胃のモデルを個人別に自動生成する。この個別柔軟モデルを用いて、撮影条件に応じた胃の見え方、すなわち胃領域形状を予測し、その予測をもとに各 X 線画像上にモデルとの対応部位を見つけ、モデルを介して画像間の胃領域を対応づける。この手法を実際の X 線画像に適用した対応付け結果を示し、その検討を行う。また、本手法の核である胃輪郭予測手法をもとにした、画像撮影までを包含する新しい統合解析の枠組みも付記する。

キーワード 医用画像解析, 複数画像統合解析, 柔軟モデル, 胃 X 線画像, 自動診断

1. まえがき

胃の X 線画像による集団検診の普及に伴い、計算機による X 線画像の自動診断が期待されている。胃 X 線画像による集団検診では、被検者に造影剤であるバリウム溶液を飲ませ、被検者の姿勢を変えることで、胃の中のバリウムの充満状態や、胃のカメラに対する角度等を変えて、胃を多角的にとらえた異種 X 線画像(図 1: バリウム溶液の存在する所が明るく現れる)を撮影する⁽¹⁾。診断は、熟練した医師がこれらの X 線画像を見比べながら読影することにより行われる。計算機による自動診断手法の開発では、立位充満正面像や、2 重造影正面像など各画像ごとの解析手法^{(2)~(10)}が開発されてきている。しかし、信頼性の高い診断のためには、1枚の画像で検出された異常候補を他の画像の対応箇所を確認するなど、医師と同様にこれら複数 X 線画像を統合的に解析する必要がある。このためには、異なる条件で撮影された X 線画像間で胃領域の対応を見つけねばならない。

胃は柔軟な組織で、撮影条件の違いにより変形する

ため、これは画像間で変形する物体の対応付け問題となる。対象上に各部位を識別する特徴(表面の模様または多面体のエッジなど)がある場合には、画像間で特徴間の対応を見つけることにより各部位の対応位置を求めることができ、結果として対象を対応づけることが可能である。しかし、胃 X 線画像では、バリウムの状態により、同じ部位が画像間で同じ画像特徴として現れず、直接対応付けに利用できる特徴は存在しない。

このような状態において、どの X 線画像上でも検出可能な特徴は胃領域の輪郭線(具体的には明領域の淵か白線として現れる)だけである。そこで、胃の輪郭線を対応の手掛りとして考える。変形する柔軟物体を対象とする動画像解析の研究においては、柔軟物体の輪郭線の対応付けがフレーム間で行われている^{(11)~(13)}。しかし、いずれも画像間での対象の変形は小さく、ここで扱うような大きく変形する場合にそのまま適用することはできない。また、これらの研究では撮影方向は不変であるが、胃 X 線画像の場合、画像間で撮影方向が大きく異なるため、各画像の輪郭が対象の異なる部位に対応することを考慮しなければならない。すなわち、撮影方向が異なる画像間の輪郭線は直接対応づけることはできない。但し、胃 X 線画像では各画像の撮影方向が既知であるため、各画像における

[†] 電子技術総合研究所知能システム部, つくば市
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba-shi, 305 Japan

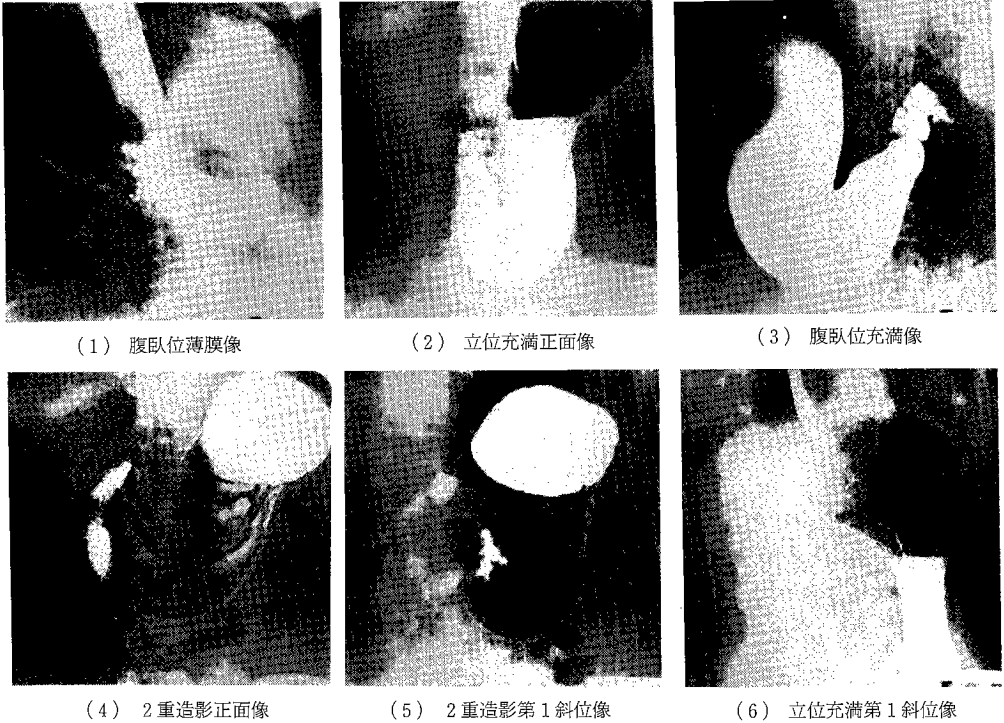


図1 同一胃の異種 X 線画像 (番号は撮影順序を示す)

Fig. 1 Several types of X-ray images of the same stomach (number shows X-raying order): (1) prone view of single contrast method; (2) upright view with barium filling technique; (3) prone view with barium filling technique; (4) supine view with double contrast technique; (5) supine LPO view with double contrast technique; (6) upright LPO view.

胃の輪郭が胃のどの部分に対応するかを予測できる。そこで、対応付けの中心として対象である胃の3次元モデルを構築し、各画像上の輪郭がこのモデルのどこに対応するかを求め、モデルを介して画像間の胃領域の対応付けを行うことが可能である。但し、先にも述べたように胃は撮影条件により変形するので、共通のモデルですべての画像の胃領域との対応付けを行うためには、胃の物理的な変形のシミュレーションにより、各画像撮影時の胃の形状を表せる柔軟(弾性)モデルとする必要がある。

筆者は2重造影正面像からの胃領域抽出⁽¹⁰⁾において、胃領域輪郭を表す2次元柔軟モデルを提案し、同方向から撮影されたX線画像間の胃領域の変形をシミュレーションしている。本論文では、このモデルを3次元に拡張した3次元柔軟モデルを用いて胃の変形をシミュレーションし、撮影方向から投影することにより、任意の撮影条件における胃領域形状の予測を行う。そし

て、これにより得られる予測形を用いて、モデルと各種X線画像との対応を求め、モデルを介して画像間の対応付けを行う手法を提案し、実画像を用いた実験により手法を検討する。

以下、2.で3次元柔軟モデルの構造とその自動生成について述べ、3.では3種類の型のX線画像を例として、X線画像間の対応付け手法を具体的に示す。4.では5人のX線画像について本手法を用いて実験を行った結果を検討する。5.で本手法を有効に活用する統合解析手法の新しい枠組みについて述べ、最後に6.にまとめを述べる。

2. 胃の3次元柔軟モデルの自動生成

胃の形状は個人差が大きいので、まず、1枚のX線画像の解析結果を利用して、対象の胃形状を近似的に復元し、個人別の3次元モデルを自動生成する。図2(a)の立位充満正面像は、胃の形状を最も自然に表して

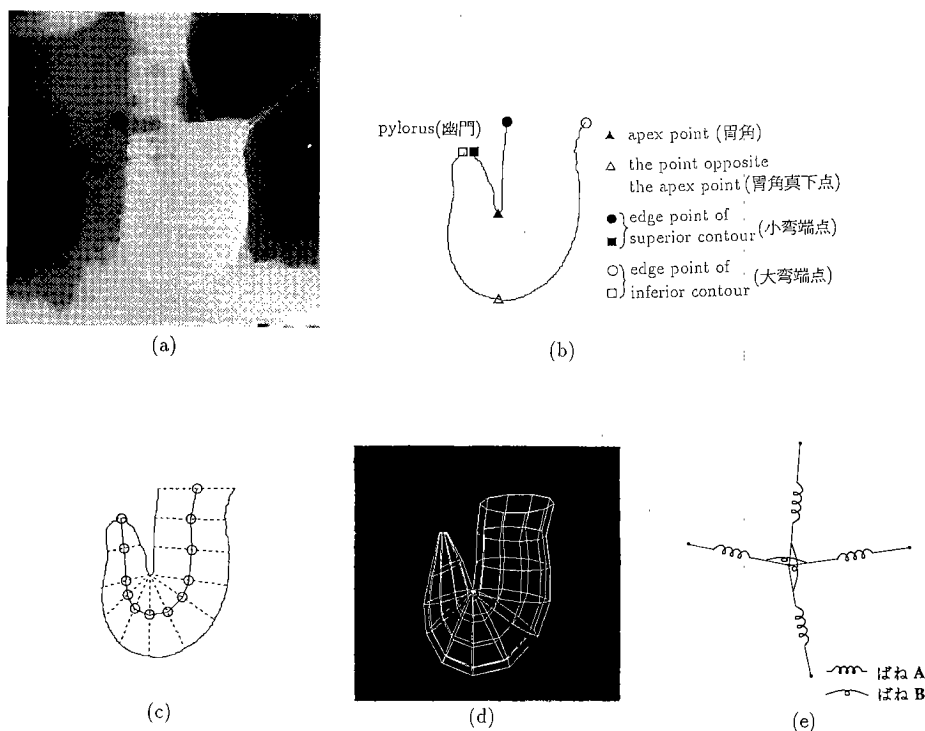


図2 個人別3次元胃モデルの構築
 Fig. 2 Construction of individual three-dimensional stomach model: (a) upright view with barium filling technique (b) the stomach contour and six characteristic points; (c) central axis of stomach region; (d) individual three-dimensional stomach model; (e) organization of springs.

いる X 線画像で、胃領域がバリウムの充満した明るい領域として現れるため、他の X 線画像に比べると胃輪郭抽出が容易である。我々は既にこの画像から胃領域輪郭を抽出し、異常候補を検出する手法を開発しており⁽⁸⁾、ここでは、その結果得られる輪郭線と特徴的な部位の位置(図2(b))から、胃の3次元形状を復元することを考える。福島ら⁽¹⁴⁾は、立位充満正面像の胃領域輪郭からその中心軸を厳密に求め、胃を円断面をもつ筒状と仮定して立体形状の復元を行っている。しかし、本研究では胃の変形の近似的なシミュレーションに用いるモデルの構築が目的であるため、正確な形状は必ずしも必要でなく、次のように簡潔な処理で形状を復元する。まず、立位充満正面像の小弯^{こまぎ}と大弯(図2(b)参照)を直線近似し、両者の節点間で対応を求め⁽¹⁰⁾、対応する節点を結ぶ線分の中点を連結して胃の中心軸とする(図2(c))。後は円断面をもつ筒状と仮定して図2(d)の3次元形状を得る。

胃の物理的変形をシミュレーションするために、図2(d)の各格子点間に図2(e)に示すようにばねを導入

し、胃壁の弾性を表現できる柔軟モデルとする。ばね A は胃壁の弾性を表し、ばね B は胃壁の滑らかさを表す。この柔軟モデルによる変形のシミュレーションは文献(10)の2次元の胃領域モデルを用いた方法の拡張となる。拡張による主な変更点は次の二つである。

(1) X, Y 座標の漸化式と同様な Z 方向の漸化式を追加する。

(2) 小弯と大弯の独立した2系であったものを、経線に沿った個々の輪郭を一つの系として、緯線方向に1周する n 個の独立系(本研究においては $n=10$ を用いた)とする。これに伴い、小弯、大弯の変形を2個の系の逐次近似の繰返して算出していたのに対し、ここでは、 n 個の系の逐次近似を緯線方向に順番に繰り返すことにより、全体の変形を算出する。

算出方法は基本的に変わらないので、詳細は割愛する。

3. 複数種画像間の胃領域対応付け

画像間での胃領域の対応付けを、胃の3次元モデル

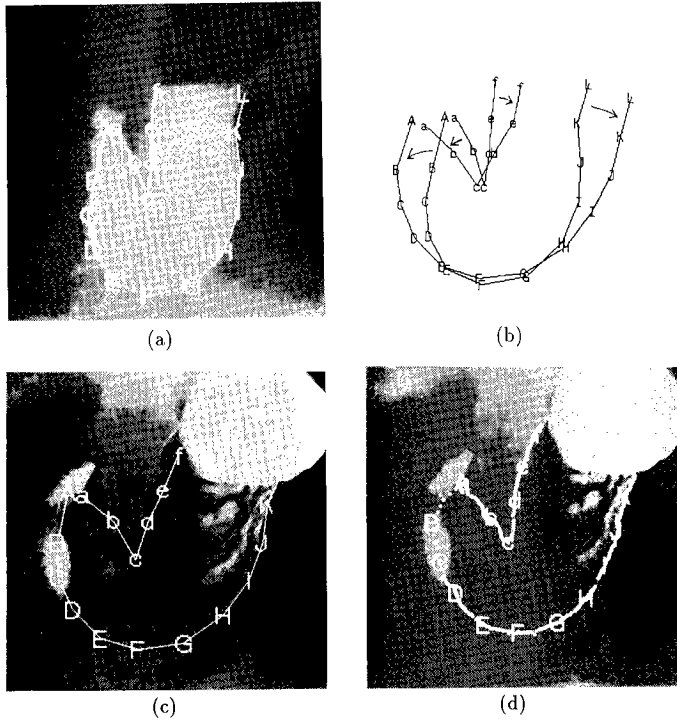


図3 同方向から撮影された X 線画像間の胃領域の対応付け
 Fig. 3 Correspondence of stomach regions between X-ray images taken from the same direction: (a) stomach contour in upright view with barium filling technique; (b) simulation of physical transformation of stomach; (c) coarse correspondence; (d) refined correspondence.

を介して行う。画像上の胃領域と 3 次元モデルとの対応付けは、モデルを画像撮影時の胃の形状に変形し、その投影により胃領域の予測輪郭を求めて、これを画像に位置させて行う。但し、実際の胃の変形には他の臓器との接触状態、被検者の正確な姿勢移動など個人差のある複雑な要因が絡んでおり、これらの要因をすべて胃領域予測に組み入れることは不可能である。そこで、主要因(撮影方向、バリウムの状態、大まかな姿勢移動)だけを用い、近似的なシミュレーションにより予測輪郭を求め、画像に位置合せすることによりまず大まかな対応付けを行う。次に、予測輪郭をもとに画像から精度良く輪郭を求め直すことにより、対応の精度を上げる。

以降、画像間の撮影条件の差異を代表する 3 種類の組合せについて、画像間の胃領域の対応付けを行う手順を、実際の X 線画像を処理した例を用いて示す。

3.1 同方向から撮影された X 線画像間の対応

同方向から撮影されており、両画像の胃領域輪郭が胃のモデル上の同じ部位に対応する場合[†]、画像間での胃領域輪郭の変形を 2 次元の柔軟モデルを用いて直接シミュレーションすることが可能である。文献(10)では、同方向から撮影された代表的な二つの正面像、立位充滿正面像と 2 重造影正面像間での胃領域の変形をシミュレーションした(図 3 (b))。ここでは両胃領域の対応問題について触れなかったが、充滿像胃領域から作成した胃領域モデルを変形後、2 重造影像に位置合せした段階で図 3 (c)のアルファベットで示すように大まかな対応が得られる。更に、この予測をもとにトップダウンに輪郭を抽出すると、図 3 (d)のようにより正確な対応を求めることができる。

[†] 同方向から撮影されている画像間でも胃が回転やねじれの変形を起こしている場合は同じ部位に対応しない

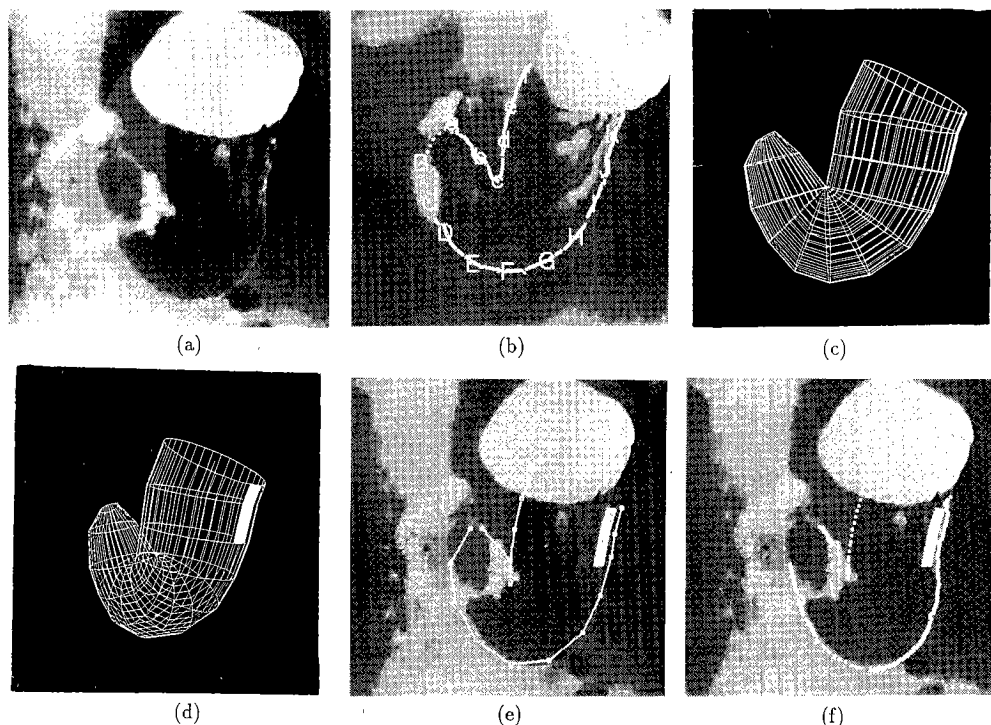


図4 異なる方向から撮影された X 線画像間の胃領域の対応付け(胃の変形がない場合)
Fig. 4 Correspondence of stomach regions between X-ray images taken from different directions (without the transformation of stomach): (a) supine LPO view with double contrast technique; (b) stomach contour in the supine view with double contrast technique; (c) three-dimensional model at taking X-ray image of (b); (d) predicted view by simulation of camera direction; (e) coarse correspondence; (f) refined correspondence.

3.2 異なる方向から撮影された X 線画像間の対応 (胃の変形がない場合)

2重造影第1斜位像(図4(a))は、正面から2重造影正面像を撮影した後、被験者をカメラに対して斜めに向けて、胃を斜め方向から撮影する。このため、胃に対するカメラの方向は異なるが、胃の形状はほぼ同じである。両画像における胃の部位を対応づけるために、まず、図2(d)のモデルと2重造影正面像との対応をもとに、2重造影撮影時の3次元形状(図4(c))を再現する。これをカメラ方向を変えて投影することにより(図4(d))、2重造影第1斜位像での胃領域輪郭を予測する。

2重造影像であるので、文献(10)で2重造影正面像に用いた手法により、この予測形を画像に位置合わせすることができ、図4(e)のように大まかな両画像間の部位の対応付けが得られる。この段階では、図4(b)の正面像の輪郭 JK の部分は、図4(e)の白塗り部分に対応づ

けられる。この例では胃腹部(胃領域上部の明るい領域に相当する)内部のバリウムの重みの影響によるわずかな変形を考慮しなかったため、予測形が実際の胃領域と多少ずれており、JKも斜位像における輪郭位置付近に対応づけられている。しかし、この予測形を利用してトップダウンに胃領域輪郭を抽出すれば(図4(f):点線部は輪郭が確実には決定できなかった推定輪郭を示す)、より正確な対応位置を知ることができ、図4(f)の白塗り部分への対応が推定できる。

3.3 異なる方向から撮影された X 線画像間の対応 (胃の変形がある場合)

図5(a)の腹臥位^が充満像は、立位充満正面像を撮影後、被検者をあおむけに寝かせ、その後左回りにうつむかせて背中方向から撮影する。この姿勢回転時、左半身が右半身より下になるとき、胃は内部のバリウムの重みにより左半身方向へ引かれる。更に、うつぶせ時に胃が腹膜に押し付けられることにより、立位充満

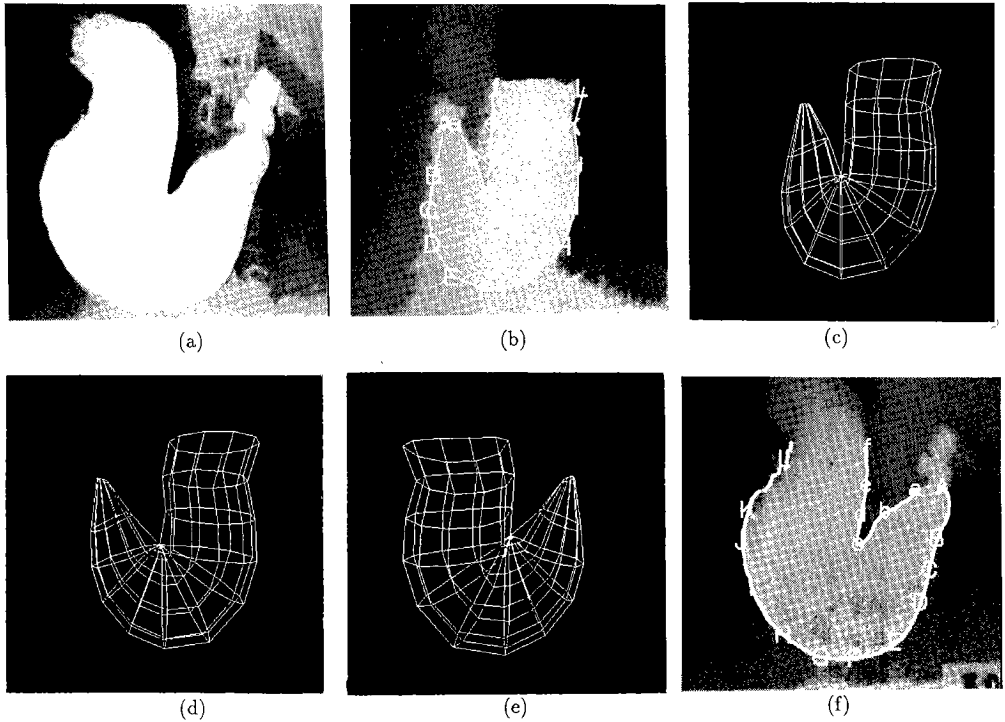


図5 異なる方向から撮影された X 線画像間の胃領域の対応付け (胃の変形がある場合)
 Fig. 5 Correspondence of stomach regions between X-ray images taken from different directions (with the transformation of stomach): (a) prone view with barium filling technique; (b) stomach contour in the upright view with barium filling technique; (c) three-dimensional model based on the contour of (b); (d) simulation for posture change; (e) simulation for contact with peritoneum; (f) correspondence of stomach parts.

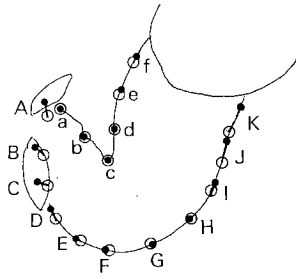
正面像で円状だった断面がだ円状につぶれるように変形する。両画像間で胃の部位を対応づけるために、立位充滿正面像の胃形状を初期形とする 3次元柔軟モデル (図5(c)) でこの変形を次のように近似的にシミュレーションする。まず姿勢回転時の変形のために、モデル上の各点に左半身方向にバリウムの重みによる力を加えて変形させ、図5(d)の形状を得る。このとき、幽門 (図2(b)参照) が固定点となることを考慮し、胃のモデルの左上端点を固定する。加える力の大きさは、その点における円筒断面が大きいほど強く引かれるとして、断面積に比例した力を加える。次にうつぶせの姿勢での重力方向にバリウムの重みによる力を加え、平板と仮定する腹膜との接触をシミュレーションし、腹臥位充滿像撮影時の胃の形状を予測する (図5(e))。平板により胃壁が押されて、胃の断面積が小さくなることに対して発生する内部圧力を、すべての点に外側法線方向の力を加えることによりシミュレーションしている。

シミュレーションに必要な定数は次のように定めた。胃のモデルの長さばね、角度ばねのばね定数は、胃壁の弾性、滑らかさの程度を表すもので、文献(10)で用いたばね (各々ばね A, B に相当する) と同じ値を用いた。このばね定数の値とモデルの変形量の期待値から、バリウム溶液の重みによる力や内部圧力などモデルに加える力の大きさの適切な範囲が推定される。これらの具体的な数値は予測形の変形量を決定するが、本研究では 2 人の X 線画像に対して最も良い予測を与える値を実験的に求め、すべての胃に共通の値とする。予測形に基づく大まかな対応付けはこの後の処理で腹臥位充滿像の画像情報により修正されるため、これらの値の変更による多少の予測形状変化は、最終的な対応付けにはほとんど影響を与えない。

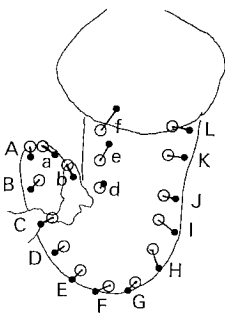
変形シミュレーション後の 3次元モデルを、背中方向から投影して胃領域輪郭を予測する。2重造影像では輪郭特徴が白線であったのに対し、充滿像では胃領域輪郭は明るい胃領域と暗い背景との境界、すなわち、



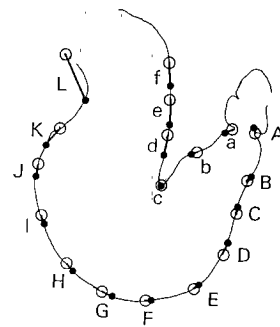
(a) Upright view with barium filling technique (立位充満正面像)



(b) Supine view with double contrast technique (2重造影正面像)



(c) Supine LPO view with double contrast technique (2重造影第1斜位像)



(d) Prone view with barium filling technique (腹臥位充満像)

図6 本手法による画像間の胃領域対応付け結果と医師による対応付けの比較例(○が医師による対応点, ●が本手法による対応点, 同じ点に対応する組を線で接続して示す)

Fig. 6 Comparison between the corresponding points obtained by our method and ones by Physician.

明るさの微分値が大きい点である。よって、文献(10)の手法において、白線の代わりに明るさの微分値が大きい点を画像特徴として用いることにより、全く同じ手法が適用できる。すなわち、予測形を画像中の明るさの微分値が大きい画素によりよく重なるように画像に位置合せすることにより、胃の大まかな部位の対応付けが得られ、この予測形を参照して輪郭を抽出することにより、図5(f)に示すように、精度の良い対応付けが得られる。ここでは、投影方向の変化が180°であるため、輪郭同士が図のように対応する。

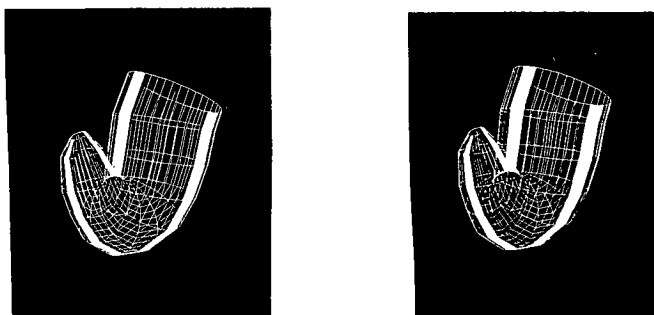
4. 対応付け結果の検討

3.で述べた対応付け手法を用い、5人のX線画像について実験を行った結果を、医師の対応付け結果と比較し検討する。医師は、立位充満正面像にアルファベッ

トをふったもの(例:図6(a))を見て、同一胃の2重造影正面像、2重造影第1斜位像、腹臥位充満像上に、対応すると思われる箇所に印を付けた。図6は、3.で説明に用いた例に対する医師との比較結果である。図中、○が医師の結果、●が本手法の結果で、同じ点に対応する組を線で結んであり、この長さがずれに相当する。各人に対して同様な図を作成し、それぞれの平均ずれおよび最大ずれを求めた結果を表1にまとめる。ずれは、512×512画像中の画素数で表してある。図6の胃は表中の胃Aに対応する。明るい腸領域が重なり胃領域を隠しているなどの理由で、医師や本手法が対応箇所を決定できない場合があるため、両者とも対応付けが行えた点のみを評価する。以下、各種X線画像ごとに対応付け結果の検討を行う。

表 1 本手法による画像間の胃領域対応付け結果と医師による対応付けの比較(ずれの単位は画素 (512×512 画像))

胃	(1) 二重造影正面像		(2) 二重造影第一斜位像		(3) 腹臥位充満像	
	平均ずれ	最大ずれ	平均ずれ	最大ずれ	平均ずれ	最大ずれ
A	9	38	15	32	14	63
B	7	19	5	19	17	50
C	10	32	9	25	9	25
D	8	25	11	25	23	57
E	7	19	15	44	14	44



(a) Difference in camera direction : 37.5° (b) Difference in camera direction : 45°

図 7 二重造影第一斜位像に対する胃の3次元モデル投影図
(太い白線が立体充満正面像における胃の輪郭に対応する)

Fig. 7 Projection of stomach model on the image plane of supine LPO view with double contrast technique (Thick white lines correspond to the stomach contour in the upright view with barium filling technique).

(1) 二重造影正面像

図 6 (b) に二重造影正面像の対応付けの比較結果を示す。J, K は胃の輪郭方向にずれているが、ほかはよく一致している。二重造影正面像の画像情報を利用して対応点を決定し直していることが、輪郭に垂直方向のずれを 0 としている。輪郭方向のずれは、胃壁の伸縮のシミュレーションと実際の値とのずれが原因と思われる。医師が対応点を決定する場合、輪郭上の特徴点(端点や急曲点)の対応点をまず探し、それ以外の点(例えば、特徴点 A, F 間の B, C, D, E)は、特徴点対応の関係から内挿している。医師に見せた画像上で胃の輪郭 AE が 4, 5 cm であったため、目分量で内挿する際に、3 mm 程度、画素数にして 20 画素前後のずれは起こり得る。実際の診断時にも、医師はこの程度のずれは見越した近傍領域を対応候補として調べたことを考慮し、この範囲のずれを許容範囲として扱おうと、

本手法における対応付け結果はほとんどの点において良好である。表 1 の(1)列目において平均ずれ、最大ずれがすべての胃でほぼ胃 A と同様、若しくはそれ以下の値となっていることが示すように、残りの 4 人の胃でも良好な対応付け結果が得られた。

(2) 二重造影第一斜位像

立位充満正面像における輪郭近傍は、図 7 (a) の胃のモデルの太線部に対応し、二重造影第一斜位像では胃領域内部の点となる。この投影図の輪郭を斜位像に位置合せした後、斜位像の輪郭情報を利用して対応付けを修正するため、その際の修正差分に基づいて太線部も移動させ対応点を決定した。図 6 (c) が表の胃 A の結果である。d, e, f に対応する部分は、斜位像からの輪郭情報の抽出がうまくいかず対応がずれている。それ以外のほとんどの点が医師の結果より外側へずれているが、これは、撮影時のカメラ方向の変化量が、実

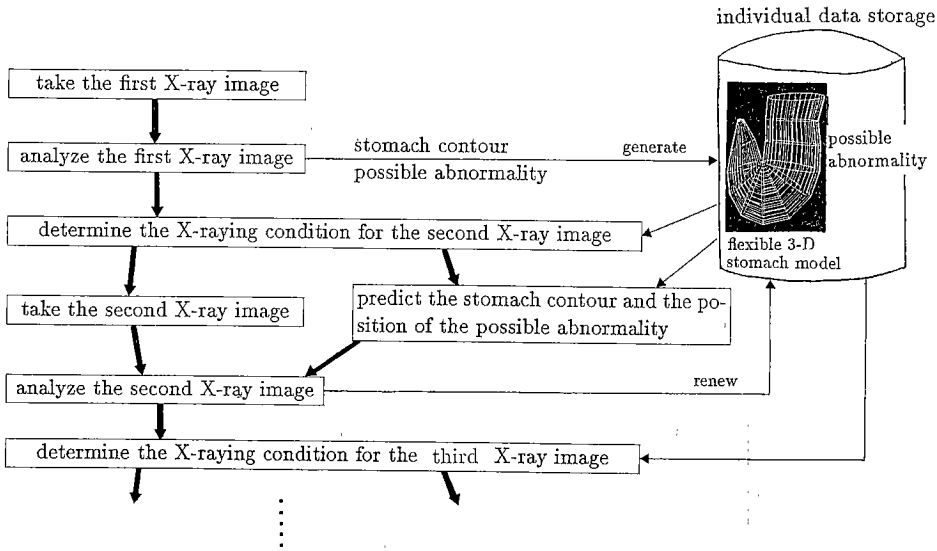


図8 自動撮影・解析の流れ図
Fig. 8 Scheme of automatic analysis of X-ray images during the taking for stomach mass screening.

際には想定したものより大きかったことが原因である。斜位像は、カメラ方向を、正面像撮影時より各個人に応じておよそ $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 変えて撮影するが、本実験では、一律に中間値の 37.5° を用いてシミュレーションを行った。医師は、胃領域のしわの状態の比較や、胃角部(図2(b)参照)の角度から、カメラ方向の変化角度が大きかったことを推定できる。図7(b)は、カメラ方向を 45° 変えた場合の胃領域モデル投影図であるが、太線部がより内側となっている。これを用いて対応付けを行った結果、カメラ方向の違いの影響が顕著に現れる大弯部のA~Lに関する平均ずれが、 37.5° のカメラ方向変化時の15画素から8画素に半減した(残り8画素のずれは、F~Iの輪郭方向に沿ったずれである)。従って、撮影時にカメラ方向の変化量を情報として残し、正しい角度でシミュレーションを行えば、対応付けが良好に行えることがわかる。胃B、Cの場合には、このような外側へのずれが観測されず、表1の(2)列目に示すように、ずれの大きさが小さい。このことより、撮影時のカメラ方向の変化が、シミュレーション値 37.5° に近かったことが推定される。

(3) 腹臥位充滿像

図6(d)の例に現れているように、腹臥位充滿像では、胃領域の左側上部の墳門(図2(b)参照)近傍で大きなずれが生じた。これは、腹臥位充滿像において、この部分が局所的に大きく伸びているためである。この傾

向は、胃C以外のすべての例で共通に起こり、表1(3)列目に示すように、いずれも最大ずれが大きい。このように一般的に起こる現象に関しては、その変形を現在行っているシミュレーションに付加することにより、ずれを解決することが望ましいと思われる。平均ずれが大きいのはこの部分のずれによるもので、それ以外では、図6(d)の例でもわかるように、良好に対応付けされている。

5. 本手法を有効に活用する統合解析の枠組み

本対応付け手法の核である3次元柔軟モデルによる胃輪郭の予測は、本論文で述べた画像間の対応付け、および文献(10)で述べた画像のトップダウン解析を通じて自動診断に貢献するが、ほかに撮影の支援や自動化への活用も可能である。X線画像の撮影は、着目すべき部位が画像上にすべて現れているか、異常特徴が鮮明に表れているか等の点において、診断の精度や信頼性を大きく左右するが、良質な撮影のためには、個人形状差が大きくしかも柔らかく変形する胃を対象にリアルタイムに適切な撮影条件を決定せねばならず、熟練した技術が必要とされる。本手法の柔軟モデルを用いて撮影のシミュレーションを行えば、撮影する画像で注目すべき部位を画像中央にとらえるための撮影条件を個人別に決定することが原理的に可能であり、撮

影を補助できる。本章では、本手法のこうした多様な効用を十分に活用するため、柔軟モデルを中心に撮影と診断を同時に進行する新しい統合解析の枠組みについて考える。この枠組みの基本思想は、先に入力した画像から得られる胃の形状情報や、異常候補情報を中心となる柔軟モデルに蓄積し、以降の画像の撮影や解析にこれらの情報を有効に活用することである。

この枠組みにおける画像撮影および解析の具体的な流れは図 8 のようになる。1 枚目の X 線画像の撮影後、この画像の解析により得た胃領域輪郭から個人別の胃の 3 次元モデルを作成し、このモデル上に異常候補情報を記録する。2 枚目以降の X 線画像の撮影においては、個人別モデルによる撮影のシミュレーションにより、注目すべき部位、既に検出されている異常候補などが鮮明に現れる撮影条件を決定する。2 枚目以降では、撮影と並行して胃領域形状の予測を行い、これを利用したトップダウン解析を行うことで、胃の輪郭の探索、決定の効率や信頼性を高める。同時進行により撮影のパラメータが正確に得られるので、4. で述べた斜位像のカメラ方向のような予測算出時における撮影条件のあいまい性の問題は解決される。また、異常候補検出処理においては、既に得られている異常候補の推定位置で集中的な解析を行うことが可能である。各画像の解析の結果得られる、胃領域形状や異常候補に関する新たな情報を、胃のモデルに統合することにより蓄積するが、先に胃領域予測形を通じてモデルとの対応がとれているので、統合が容易に行える。これらの逐次的な撮影・解析処理の繰返しの結果として、それまでの画像で検出された異常箇所が記録された胃のモデルが得られ、これが診断結果となる。

6. むすび

異種 X 線画像間で胃領域の対応付けを行うために、胃の 3 次元柔軟モデルで画像間の胃の変形をシミュレーションし、モデルを介して対応付けを行う手法について述べた。モデルの形状や、変形を左右する条件などが正確には得られない状況に対処するために、まず、近似形状モデルで変形を近似的にシミュレーションし、画像間の対応を大まかに見つけ、この結果を用いてトップダウンに画像を処理することにより対応の精度を上げる 2 段階法を提案した。この手法では、各人の X 線画像から個別に胃の柔軟モデルを自動作成し、胃壁の弾性などシミュレーションに用いる定数はすべての人に共通の値を使って処理を行うため、完全な自動化が

達成される。画像間の撮影条件の差異により、シミュレーションの内容が異なるが、撮影条件の差異を代表する 3 組の X 線画像間における対応付け手順を具体的に示した。5 人の胃 X 線画像を対象に実験を行った結果を、医師の対応付け結果と比較評価し、胃の大部分の部位で、医師と一致する良好な結果が得られている。

また、柔軟モデルによる X 線画像上での胃領域予測が、各画像の解析や適切な撮影条件の設定にも活用できることに着目し、これらの側面を十分に活用する新しい統合解析の枠組みについても述べた。現行の集団検診では、撮影技師が検診現場で撮影を行い、焼付け後の X 線フィルムを医師が診断する。これは、医師の数がすべての検診現場に立ち会うには、不足していることに起因しており、結果として撮影と診断は完全に分離されている。提案する枠組みでは、胃の柔軟モデルを核として、X 線画像の撮影・画像解析・診断を同時に進行することにより、他の画像から得られる対象(胃)に関する情報をすべての処理に有効に活用することを可能とする。但し、この枠組みにおいて、有用な撮影条件を算出するためには、胃領域内部のバリウム溶液の動きのシミュレーションなど、更に高度なシミュレーション技術が必要である。

本論文では、胃の形状が個人差により多様であるのに対して、はじめに入力した X 線画像から個人モデルを作成すると想定したが、検診は毎年行うので、1 度作成した個人モデルは保管し、次の年度からはそれを初期モデルとして用いることも可能である。これは、経年変化の検査も可能とし、現状より情報が多岐にわたる診断につながる。

柔軟物体を複数画像を用いて解析するためには、本論文で提案したように、柔軟な対象モデルを用いて対象の変形を予測することにより、起こり得る変形を考慮しながらトップダウン的に解析を進める戦略が、一般的に有効であると思われる。

謝辞 胃 X 線画像読影に関して御指導頂いた筑波大学医学部福富久之教授、小林浩子医師、井上夏子医師、筑波学園病院の伊藤葉子医師、藤倉 X 線撮影技師および茨城県総合検診協会古川洋一集検管理課長に、また有益な御助言を頂いた大阪大学の白井良明教授、東京商船大学の太田正毅教授に深謝いたします。特に、伊藤葉子医師には、実験結果の評価を行うにあたって、多大な御示唆を頂きました。電子技術総合研究所高瀬国克知能システム部長には研究の機会を与えて頂き、富田文明視覚情報研究室長はじめ視覚情報研究室の皆様

様には日頃の有益な討論および、良好な研究環境を提供くださり、感謝いたします。喜多伸之主任研究官には適切なアドバイスおよび多くの援助を受け、心より感謝しています。本研究の一部は厚生省がん研究助成金(1-49)による。

文 献

- (1) 山形徹一, 大柴三郎, 望月福治, 北川正伸, 久道 茂: “胃間接撮影の実際”, 中外医学社(1978).
- (2) 森 英雄, 二木 弘, 中込栄長, 大関誠信: “計算機による胃 X 線立体充満像のスクリーニングの試み”, 医用電子と生体工学, **15**, 7, pp. 457-464 (1977).
- (3) 福島重広, 宇都宮俊二, 相馬敬司: “胃 X 線像の辺縁抽出”, 医用電子と生体工学, **15**, 6, pp. 7-12 (1977).
- (4) 羽鳥光俊: “胃 X 線像の自動読影”, 電学誌, **98**, 11, pp. 1048-1052 (1978).
- (5) 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 (1983).
- (6) 羽鳥光俊, 佐野幸男: “胃部二重造影像からの輪郭抽出”, 信学技報, **PRU79-95** (1980).
- (7) 中村鎮雄, 宮崎 修: “線の識別と大局的論理を考慮した胃 X 線二重造影像の胃部抽出”, 情処論, **24**, 2, pp. 165-174 (1983).
- (8) 喜多泰代, 白井良明: “胃 X 線立体充満像からの異常候補の検出”, 信学論(D-II), **J71-D-II**, 11, pp. 2370-2380 (1988-11).
- (9) 長谷川純一, 筒井武敏, 鳥脇純一郎: “胃 X 線 2 重造影像におけるひだ集中を伴うがん病変部の自動抽出”, 信学論(D-II), **J73-D-II**, 4, pp. 661-669 (1990-04).
- (10) 喜多泰代: “立位充満正面像からの予測形を利用する 2 重造影正面像の胃領域輪郭抽出”, 信学論(D-II), **J74-D-II**, 7, pp. 873-886 (1991-07).
- (11) 光本浩士, 岡崎耕三, 梶見直樹, 田村進一, 河合秀夫, 副井 裕: “エネルギー関数とオプティカルフローを用いた口唇輪郭の抽出・補充と追跡”, 情処論, **31**, 3, pp. 444-453 (1990).
- (12) Horowitz B. and Pentland A. P.: “Recovery of non-rigid motion and structure”, In Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition '91, pp. 325-330 (1991).
- (13) Metaxas D. and Terzopoulos D.: “Constrained deformable superquadrics and nonrigid motion tracking”, In Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition '91, pp. 337-343 (1991).
- (14) 福島重広, 奥村武志: “対称性検出による影絵からの立体形状モデリング”, 信学論(D-II), **J74-D-II**, 12, pp. 1697-1705 (1991-12).

(平成 4 年 6 月 29 日受付, 10 月 12 日再受付)



喜多 泰代

昭 57 筑波大・第三学群・基礎工卒, 同年電子技術総合研究所入所, 現在, 同所知能システム部視覚情報研究室主任研究員, 工博, コンピュータビジョンの研究に従事, 情報処理学会会員。