

仮想化胃内視鏡システムにおける ストマップを用いた観察部位提示手法

河野 良輔[†] 目加田 慶人[‡] 森 健策[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†] 長谷川純一[‡]

[†]名古屋大学情報科学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町
[‡]中京大学生命システム工学部 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101
E-mail: [†]rkono@murase.nuie.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本論文では、腹部 X 線 CT 像をもとに計算機による胃壁面の自動区分を行う手法について述べる。胃壁面の区分が実現できれば、仮想化内視鏡システムによる診断時に観察部位情報の提示が可能になり、またその観察経路の作成や、評価の 1 つとして観察部位情報を用いることができる。本論文では提案手法により自動区分された情報を用い、観察経路の評価の一例として部位ごとに表示回数の取得を行った。その結果、表示回数の分布から観察経路の特徴を読みとることができ、観察経路に対する評価尺度として利用できることを示した。

キーワード コンピュータ診断支援、腹部 X 線 CT 像、ストマップ、仮想化内視鏡システム

The Method for Presentation of Observed Regions Using Stomap in Virtualized Endoscope System

Ryosuke KONO[†] Yoshito MEKADA[‡] Kensaku MORI[†]

Ichiro IDE[†] Hiroshi MURASE[†] Jun-ichi Hasegawa[‡]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan

[‡] Life System Science and Technology, Chukyo University, 101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota-shi, 470-0393 Japan

E-mail: [†]rkono@murase.nuie.nagoya-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method for automated segmentation of gastric segment named Stomap from 3D abdominal X-ray CT images and its application for the navigation-based diagnosis system. The gastric segment enables us to recognize the position in stomach while diagnosing stomach using virtualized endoscope system. It can also be utilized as a criterion of the appropriateness of navigation path. The number of observed time for each segment based on the gastric segment is proposed for the evaluation of navigation path. The result showed that the distribution of observation time and the shape of navigation path correlated each other.

Keyword Computer-Aided Diagnosis, 3D abdominal X-ray CT images, Gastric Segment(Stomap), Virtualized Endoscope System

1. はじめに

日本では胃がんの発症率が他の国に比べ高く、その死亡率は近年減少しつつあるもののがんによる死因の上位となっている。また、胃がんの治療に関しては早期発見、早期治療が第一であり集団検診が重要な役割を持つ。集団検診や人間ドックにおいて、被験者の負担が軽い診断方法であることから、仮想化内視鏡システム(Virtualized Endoscope System : VES)を用いた診断が注目を集めている。

VES とは 3 次元医用画像に基づく仮想人体内部の自由な観察環境を提供するシステムであり、観察者は仮想的な人体内において視点位置を自由に変更しながら臓器の形状などを観察することができる。しかし、複雑な形状の臓器を効率良く観察することは難しく、観察者の負担の増加が問題となっている。観察者の負担を軽減し、かつ、十分な観察環境を提供する目的で様々

な研究が行われてきた[1]。VES による診断の際に求められる機能として、計算機による観察経路の自動生成機能の他にも、観察部位情報の提示、計算機による自動診断結果の提示などが考えられる。本研究では、観察部位情報の提示に注目する。実際の内視鏡診断と異なり、自由に観察パラメータを変更できる仮想化内視鏡像では、現在の観察位置がどの部位にあたるかを知ることが困難である。そのため、VES での診断時に観察部位の解剖学的な情報を提示することにより、観察者を支援することができると考えられる。また、胃の区分情報は計算機診断支援(Computer Aided Diagnosis:CAD)システムによる病変候補領域の部位を名称で示すような実時間診断支援や、観察経路の自動生成において作成する経路の評価尺度の 1 つとしての利用、実内視鏡で標準的に観察される部位を考慮した VES での経路生成などで有効となる[2,3]。

本研究では、CT像をもとに胃の区分を実現し、観察者への位置情報提示法に関する検討を行う。以下、ストマップを用いた計算機による胃の自動区分手法について提案し、その区分情報を用いた観察経路の評価について提案、検討する。

2. 胃の区分とストマップ

2.1 胃の位置と区分

胃は、口に始まり肛門に終わる長い消化管の一部で、食道と十二指腸の間にある。診断や手術を行う場合、便宜上、胃をいくつかの部位に分ける。その名称や区分には様々なものが採用されている。一般的には図1左のように穹窿部、胃体部、前庭部、噴門部に区分し、また図2のように胃を輪切りにしその断面を大彎、小彎、前壁、後壁に区分することが多い。X線検査、内視鏡検査においては、図1右のようにさらに詳細に分類されたものが用いられることが多い。また、それらの区分の境界については明瞭には定義されていない[3-7]。

2.2 ストマップ

ストマップとは、数多く存在する胃の区分の1つであり、図3のような胃の展開像上で区分を行ったものである。中央の横線が小彎に対応し、上側で最外部に位置する領域が大彎に対応している。縦、横の境界線により胃を77の部位に区分し、それぞれ「体中部後壁大彎より」、「前庭部小彎線上」といったように名称付けられている。

3次元的な構造の理解を向上させることを目的として、胃ファントムに対して3次元的にストマップをマッピングさせるという研究も行われている[8]。その研究においては穹窿部より足側の大彎、小彎を7等分しそれぞれを結ぶことでストマップでの縦線と対応させている。

3. ストマップに基づいた胃の自動区分手法

3次元CT画像から抽出した胃領域に対して、ストマップに基づき、その壁面に対する自動区分する手法を提案する。以下で具体的な手順について説明する。

3.1 入力情報

3次元腹部X線CT像から領域拡張処理によって抽出した胃内部空気領域(以下胃領域)の3次元2値画像を入力とする(図4左)。また、ストマップの上端、下端に対応する2点 P_1 、 P_2 および大彎、小彎線上での穹窿部との境界 P_3 、 P_4 を手入力で与えた(図3,4左)。

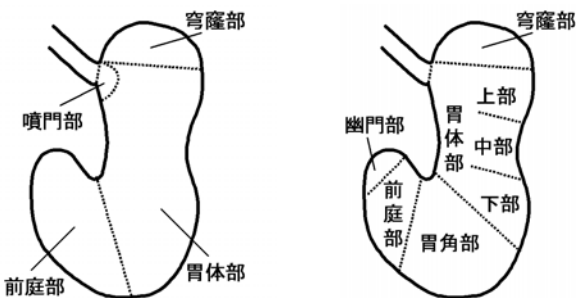


図1 胃の区分(左：一般的な区分,右：詳細な区分)[6]

3.2 大彎,小彎と垂直な方向の境界線の作成

大彎、小彎に垂直な方向の境界線(図6左)は、それぞれを穹窿部との境界 P_3 、 P_4 と下端 P_2 との間を大彎、小彎に沿う方向に $7 \times S$ 個に分割するような点を含みかつ、Y軸(腹から背中側)に平行な平面と定める。ここで S は、各区分が胃の境界面に沿って滑らかに定義されるように各境界線を分割する個数である。

- 1) 入力胃領域 F をY軸に投影し、2次元2値画像 G を得る(図4右)。
- 2) 1)で得られた画像 G において4近傍内に背景画素を持たない図形画素を背景画素とし、また画像 F において26近傍内に背景画素を持たない図形画素を背景画素とすることで、それぞれにおける境界画素を抽出する。
- 3) 画像 Y においてストマップの穹窿部との境界 P_3 、 P_4 とストマップの下端 P_2 で定義される曲線 P_3P_2 、 P_4P_2 をそれぞれ $7 \times S$ 等分し、大彎側と小彎側を線分 L_n で結ぶ。ただし、穹窿部から下端側に順に $L_1, L_2, L_3, \dots, L_{6 \times S + 1}$ とする。
- 4) 3)で得られた線分 L_n を3次元画像 F に逆投影し、大彎と、小彎を結ぶ閉曲線 Z_n を得る(図5右)。

3.3 大彎,小彎に沿う方向の境界線の作成

大彎、小彎に沿う方向の境界線(図6左)は、3.2で得た大彎、小彎に垂直な方向の境界線を一定の比率で分割しそれぞれを直線で結び、胃領域境界面の法線の近似方向に投影することで得る。

- 1) 閉曲線 Z_n 上の点のうち最も頭側の点の位置ベクトルを f'_n 、足側の点の位置ベクトルを g'_n とするとき、大彎線、小彎線上の点の位置ベクトル f_n, g_n は隣接する2点間の極端な位置のずれを抑えるため以下の式(1),(2)によって補正を行い定める。

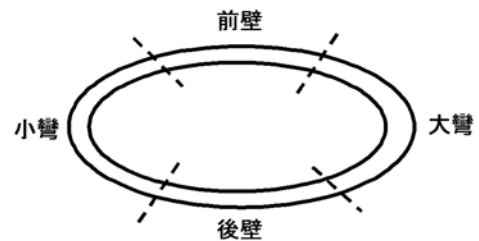


図2. 横断面の区分

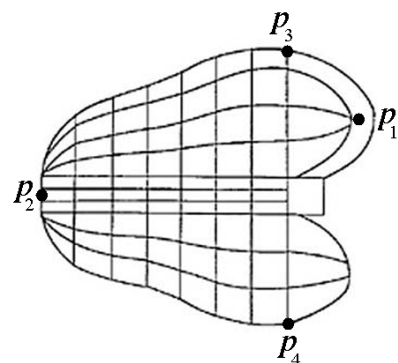


図3 ストマップ

(P_1, P_2 はストマップの上端, 下端の点を示し, P_3, P_4 は大彎,小彎線上での穹窿部との境界を示す)

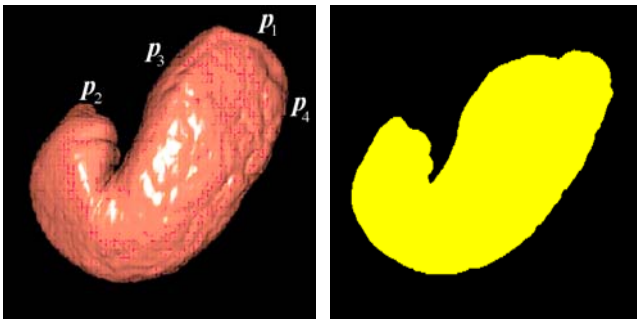


図 4. 入力図形(左: 入力図形 右: Y 軸方向への投影図)
(左図の P_1, P_2 はストマップの上端, 下端の点を示し,
 P_3, P_4 は大彎, 小彎線上での穹窿部との境界を示す)

$$f_n = T \times f_{n-1} + (1-T) \times f'_n \quad (1)$$

$$g_n = T \times g_{n-1} + (1-T) \times g'_n \quad (2)$$

ここで T は補正を行う強度を示すパラメータであり,
0 から 1 の間の値をとる.

- 閉曲線 Z_n 上において f_n, g_n の 2 点間の距離を測定し, その間をストマップの区分に従って, 大彎側から (3:6:6:2:1) の比率に分割するような点を求める. ここで得た閉曲線 Z_n の m 番目の分割点を $D(n, m)$ とする.
- $D(n, m)$ と $D(n+1, m)$ を結ぶ線分を, 以下の式(3)で定める胃境界面の法線の近似方向 $N_{n, m}$ の方向へ投影し, 大彎, 小彎に沿う方向の境界線を得る(図 6 右).

$$N_{n, m} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}{4} \quad (3)$$

ここで $H_i (i=1, 2, 3, 4)$ は, 点 $D(n, m)$ と $D(n+1, m)$ を結ぶ線分と, それと接続する 4 つの線分との外積を表す.

3.4 穹窿部, 幽門部の境界線の作成

穹窿部, 幽門部の境界線(図 8 左)は, 3.2 で求めた大彎, 小彎に垂直な方向の境界線を一定の比率で分割する点と, 上端部 P_1 , 下端部 P_2 を結ぶ直線をその法線の近似方向に投影することで得る.

- 穹窿部の境界線は $D(S, n)$ と P_1 を結ぶ線分を, 以下の式(4), (5)で定める法線の近似方向 $N_{n, m}$ の方向へ投影し得る(図 7 右).

$$N_m = \frac{H_{S, m, S, m+1, P_1} - H_{S, m, S, m-1, P_1}}{2} \quad (4)$$

$$H_{n_1, m_1, n_2, m_2, P} = (P - D(n_1, m_1)) \times (D(n_1, m_1) - D(n_2, m_2)) \quad (5)$$

ここで H は点 P と $D(n_1, m_1)$, $D(n_1, m_1)$ と $D(n_2, m_2)$ を結ぶ線分との外積を表し, 点 P は上端の点を表す.

- 幽門部付近の境界線は穹窿部と同様の手順で得る.

3.5 領域の対応付け

上記で定めた境界線によって定義されるストマップの各区分に, 胃領域境界面の各画素を分類する.

- 境界線で区分された各領域の中心 U_i を周囲 4 つまたは 3 つの分割点 D の重心を基に求める.
- 3 次元画像 F において境界線を背景画素とし, 6 連結のラベリング処理を行う.
- 2) でラベル付けされた領域 l に対して, それぞれ重心 C_l を計算する.

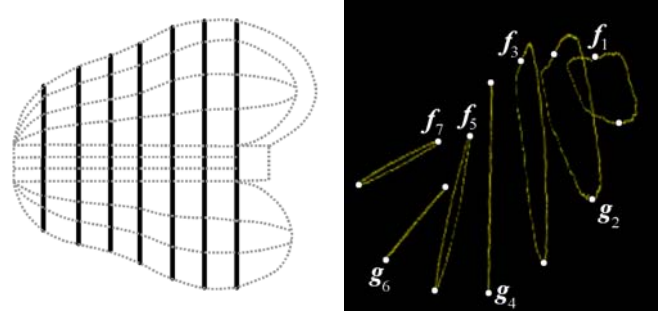


図 5. 大彎, 小彎と垂直な方向の境界線
(左: ストマップ上の境界線(実線), 右: 作成結果)

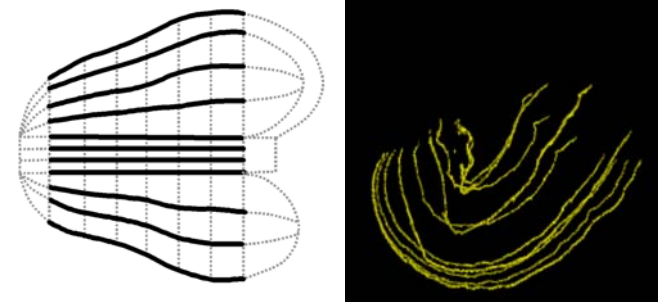


図 6. 大彎, 小彎に沿う方向の境界線
(左: ストマップ上の境界線(実線), 右: 作成結果)

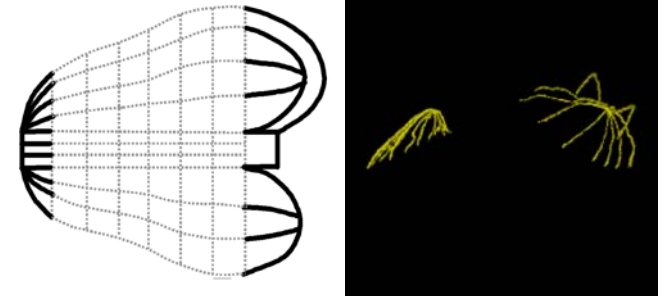


図 7. 穹窿部, 幽門部の境界線
(左: ストマップ上の境界線(実線), 右: 作成結果)

- 重心 C_l に対して U_i との距離値が最も小さくなる i を求め, 領域 l に含まれる全ての画素に対して i に対応するラベルを付加する.

3.6 後処理

境界線上の画素に対してもストマップの領域を割り当てる. 具体的には境界線上の注目画素の 26 近傍内に最も多く存在する領域に割り当てる.

以上の処理により, ストマップ画像とは, 胃領域境界面の各画素に区分を表す領域番号, それ以外の画素には 0 が与えられた画像として実現されることとなる. 以下では, 得られた結果を単にストマップ画像と呼ぶ.

4. 仮想化内視鏡システム

VES では観察パラメータとして, 視点位置 v , 視線方向 d , 投影面上向き方向 u の 3 つのベクトルを定めることにより一意に仮想化内視鏡像を作成できる. 従って観察経路情報を生成するには時系列順にこの観

察パラメータを生成することになり，観察経路情報は $Q_i = (v_i, d_i, u_i)$ の集合で表されることとなる．以下，胃の区分情報を用いた VES での診断支援について述べる．

4.1 観察区分情報の取得

視点位置 v ，視線方向 d と視野角 θ の時，観察部位の区分情報を以下のような手順により取得できる．

ここで，仮想化内視鏡像において観察している区分は，視点位置から視線方向に対して垂直，水平方向に $\pm \theta$ の範囲に含まれる全ての区分とする．具体的には，視野内の全ての方向に対して，視点位置からその方向に対応するストマップ画像上の画素を取得していき，はじめて 0 でない値を取得したとき，その値を対応する区分とする．

4.2 観察経路の評価

VES による診断では，病変の見落としを少なくするために，観察頻度が極端に少ない部位を減らすことが望まれる．また，病変の発生しやすい部位をより良く観察することも望まれる．観察経路全体に対して観察部位の情報を取得することで，このような観点で観察経路を定量的に評価することができると考えられる．

5. 実験および結果

提案手法による胃の区分を行い，その結果の区分情報を用いた観察経路の評価に対する検討を行った．以下 5.1 において胃の自動区分，5.2 において観察経路の評価に関して述べる．

5.1 胃の自動区分

CT 画像から胃の空気領域を抽出した画像 4 症例に対して本手法による胃の自動区分を行った．縦方向の分割数のパラメータは $S=5$ とし，大彎，小彎の位置の補正パラメータは $T=0.8$ とした．また，作成された胃の区分情報の評価としては，目視と分割された区分ごとの画素数により行った．また，計算時間は 1 症例あたりおよそ 2 分程度であった．区分結果を図 8 に示す．

症例 1 においては，画素数が極端に少ない領域がなく，また目視においても異常と見られる箇所は見つからずおよそ正確な区分ができたと思われる．

症例 2 においては，微小領域において多少誤区分と見られる箇所があったが，症例 1 と同様におおよそ正確な区分ができたと思われる．

症例 3 においては，画素数が極端に少ない領域は存在しなかったが，幽門部付近の領域において領域境界の

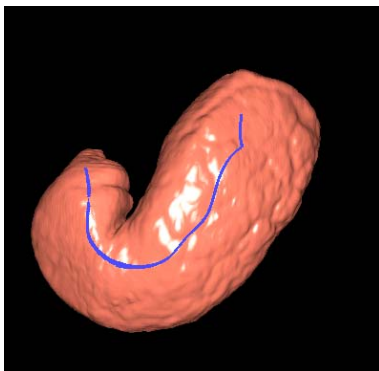


図 11. 実験に用いた観察経路

連続性が保たれていない箇所があり，それにより区分が誤っていると思われる箇所が存在した(図 9)．

症例 4 においては，幽門部付近において画素数が極端に少ない領域が存在した．また，大彎側の領域において，区分が不正確である箇所が確認できた(図 10)．

5.2 観察経路の評価

VES における観察経路の評価に対する初期的な検討として，VES により観察した胃内壁面の部位ごとの表示頻度の測定を行った．実験に用いた経路は，症例 1 の胃の空気領域の芯線にスプライン補間を行った曲線に沿うように穹窿部側から幽門側へ観察位置および視線方向を定めた合計 280 フレームの 1 経路である(図 11)．

視野角を 60 度としたときの部位ごとの表示回数を図 12 上に示す．視点位置と観察点の距離が離れているときは，画面上に表示されていたとしてもその詳細を評価することは難しく，観察部位とみなせないため，観察点のうち視点位置から 50mm 以内の区分のみを表示したと判定したときの結果を図 12 下に示す．穹窿部から胃体上部にかけての表示回数が多く，小彎側にくらべ大彎側の表示回数が多いことが確認できる．また，

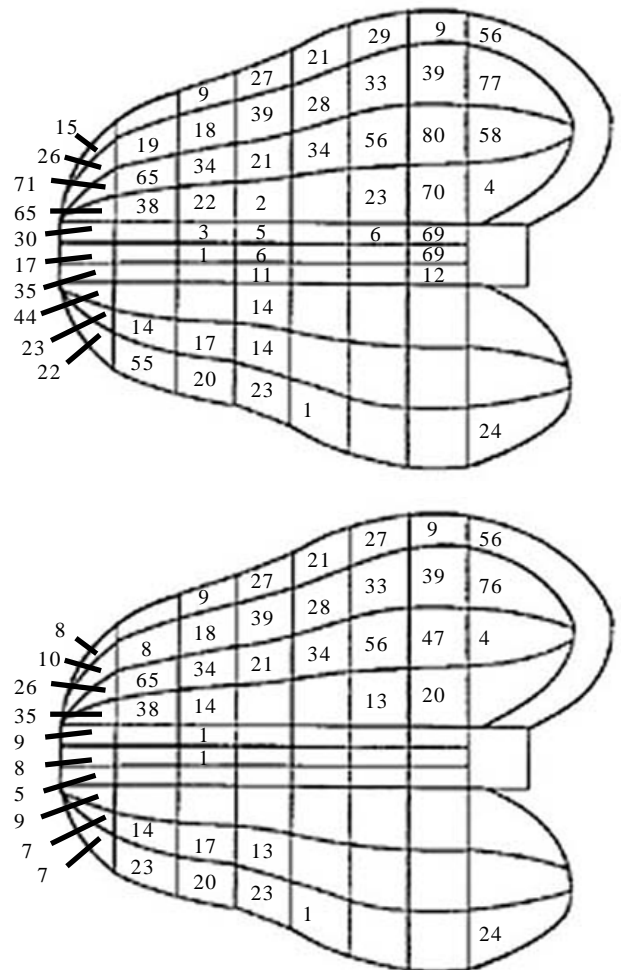


図 12. 部位ごとの表示回数の分布(単位：フレーム)
(視点との距離は上：考慮なし 下：距離 50mm 以内)

前壁に比べ後壁側の表示回数が少なく、胃体上部付近の後壁では1度も観察が行われていないことが確認できる。

6. 考 察

胃の自動区分に関して、症例1、症例2では形状が単純で、また本手法で想定していた胃の形状に近かったためうまく区分できたと考えられる。症例3においては、幽門部付近で表面の構造が複雑になっており、その影響により幽門部での法線(投影方向)の推定が上手くいかず、図9のような領域において前庭部との境界の連続性が保てなかったと考えられる。本手法では穹窿部より足側の大彎、小彎を7等分しそれぞれを結ぶことでストマップでの縦線を形成しているが、症例4では、幽門付近で胃内壁が急激に湾曲しており、内壁面から適当な間隔でサンプリングした点を結んだ線分を内壁面に投影することでは、適切な境界を定めることができなかった。そのため境界線が正確に引けず、他の領域と結合してしまい、結果、画素数の極端に少ない領域が形成されたと考えられる。また同様の理由により図10の幽門よりの大彎付近で正確な境界が引けなかった。今回の症例では、ひだがあり存在しない症例を扱ったが、ひだによって胃領域表面が入り組んでいる場合、ストマップの縦線に対応する直線を投影する際に、ひだの凹凸によってストマップの境界線が単純な閉曲線とならないことが予想される。ひだは症例により数や大きさが異なり、またそれによる形状の変化も大きいため、ひだ領域の情報を含んだまま胃の区分を行うことは難しいと考えられる。そのため胃の外部の壁面領域を入力とするなど、前処理によってひだの情報が含まれていない胃領域形状を用意する必要がある。また、今回、入力が空気領域であるため、穹窿部にたまった胃液領域が胃領域外として扱われている。この観点からも、入力に関して再度検討を行う必要がある。その他に問題点として考えられることは、分割点を決める際に1度Y軸方向に投影を行っている。そのためY軸方向に重なりを持つような形状をしている症例に関しては、正しく区分できないことが考えられる。

観察経路の評価において、部位の表示回数が大彎側に偏っていたことに関しては、実験に用いた経路において、仮想化内視鏡の視線方向を経路の接線方向としたため、経路の内側を視線が向くことが少なくなっていたためである。また、穹窿部付近において前壁側の表示回数が多かったことに関しては、経路の始点が後壁よりあり、そこから中心の方向へ向かう際に視線が前壁の方を向くためであると考えられる。幽門部において前壁、後壁、大彎、小彎すべての部位を観察できたことに関しては、幽門部では各部位が1点に集まる形状をしており、経路の終点はその付近に存在するため、1度にすべての区分を観察可能であるためである。視点と区分との距離に関して、50mm以下の距離の部位のみを測定した図12下の方が上記で述べた特徴をより鮮明に示していることが確認できる。これは、遠方から観察した部位を未観察とみなしたことで、この部位の過大な評価を抑制できるためである。また、図12上と図12下との比較より、小彎に近い部位で表示

回数の差が大きいことから、小彎の領域は芯線のぶれなどによって遠方から観察される場合が多いと推測できる。以上のように、観察部位の表示回数から読みとれる経路の特徴は多く、観察経路の評価の1つとして有効であると考えられる。

7. む す び

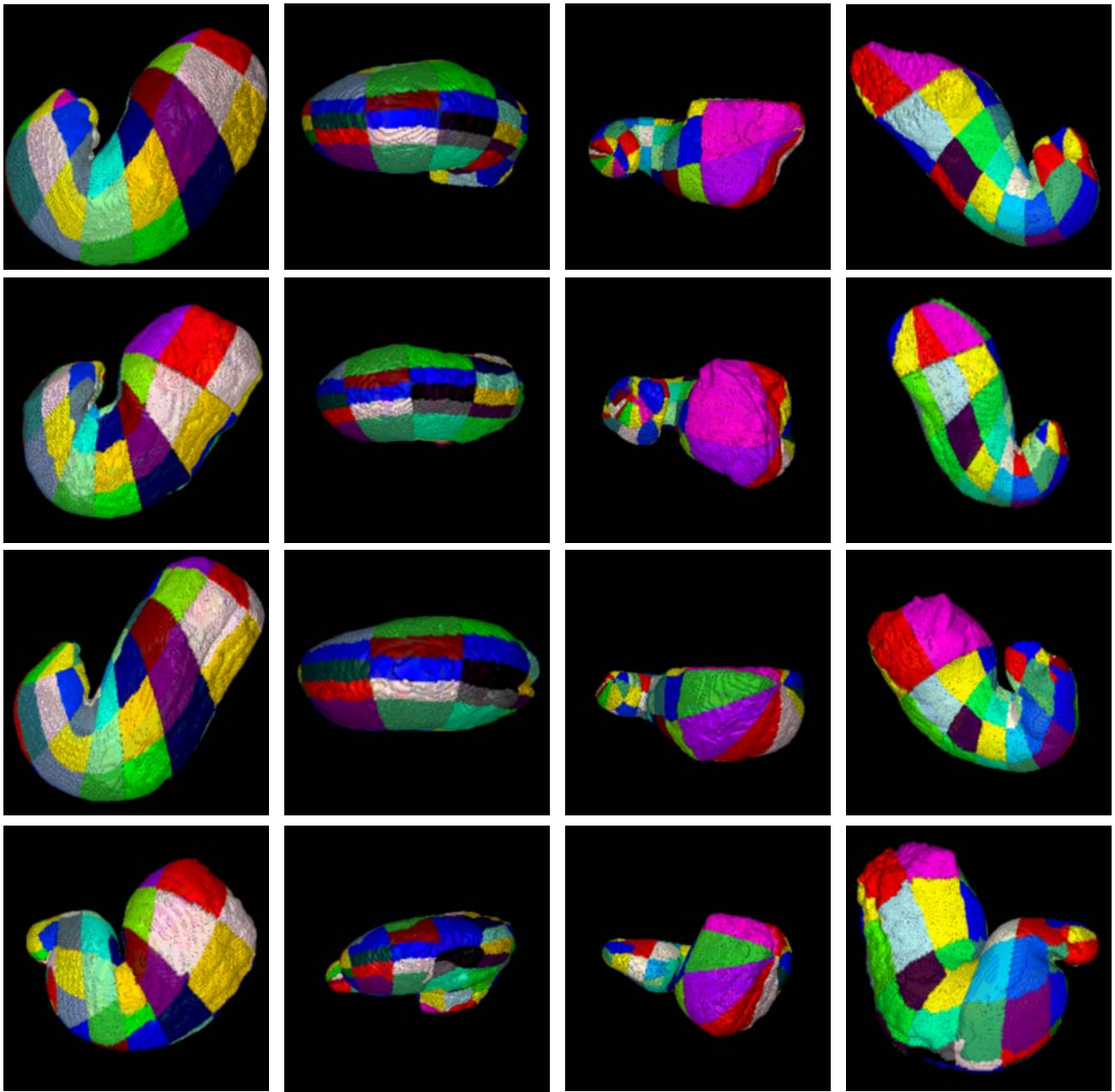
本論文では、ストマップを用いた胃の自動区分手法を提案し、その情報のVESへの応用の初期的検討として、観察経路に対して部位ごとの表示回数による評価を行った。自動区分に関しては、おおよそ正確な区分が実現できたが、複雑な胃内壁形状をしている部位において明らかな区分誤りがみられた。観察経路の評価では、表示回数から観察経路の特徴を確認することができ、評価尺度の1つとして利用可能であると考えられる。

今後の課題として、胃の自動区分手法では、胃内壁面の凹凸情報に影響されない区分方法の検討、手入力の削減、また医師による評価が考えられ、区分情報のVESへの応用としては、VESによる観察時に観察中の区分情報のリアルタイム表示、斜視内視鏡の実現、観察経路の自動生成手法に区分情報を反映させることなどが考えられる。

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く村瀬研諸氏に感謝する。本研究の一部は日本学術振興会科研費、21世紀COEプログラム「社会情報基盤のための音声・映像の知的統合」、厚生労働省がん研究助成金、私学HRC助成金による。

文 献

- [1] 林雄一郎, 森健策, 斎藤豊文, 長谷川純一, 鳥脇純一郎 仮想化内視鏡システムにおける自動探索機能と未観察領域提示によるナビゲーション診断の高度化, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2000)講演論文集II, pp.II-331~II-336
- [2] 渡辺恵人, 長谷川純一, 目加田慶人, 森健策, 縄野繁 “腹部X線CT像を用いた胃壁ひだパターンの集中性解析” Vol.I87-D2 No.1 pp.155-163 January 2004.
- [3] 竜田正晴, 飯石浩康, 中泉明彦, 島崎淑子共著 “消化器内視鏡テクニックマニュアル” 南江堂
- [4] 胃X線二重造影像データベース解説書 コンピュータ支援画像診断学会編
- [5] 吉田裕司, 市川平三郎著 “胃X線造影の基本と実際” 医学書院
- [6] 榊原宣著 “胃がんと大腸がん” 岩波新書
- [7] 西元寺克礼著 “胃腸病の危険信号” 講談社
- [8] 西本尚樹, 堀田賢治, 細井智宏 “ストマップ理解のためのトレーニング用胃ファントム” JAPANESE JOURNAL OF RADIOLOGICAL TECHNOLOGY Vol.59 No.10 OCTOBER 2003



(a) (b) (c) (d)
 図 8 胃の区分結果 (a)正面 (b)下方 (c)上方 (d)裏面から観察した画像
 上段から、症例 1、症例 2、症例 3、症例 4 の結果を示す

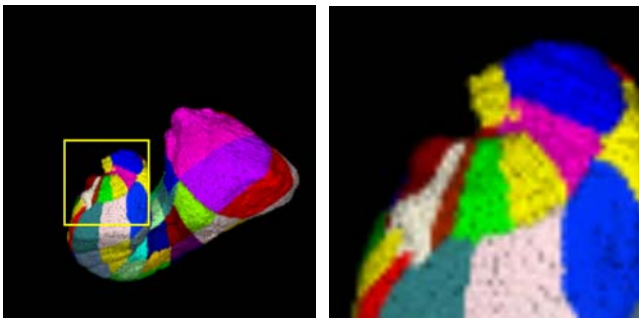


図 9 症例 3 において区分が失敗した箇所
 (幽門部大彎側)(右:拡大図)

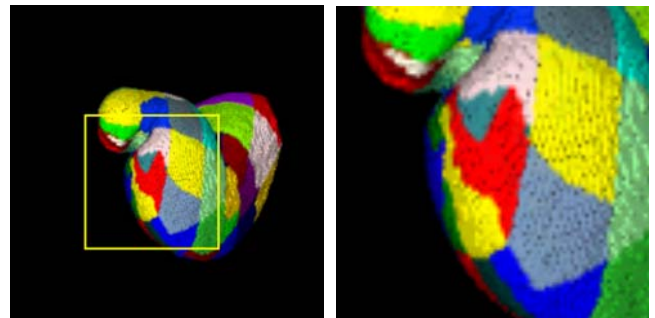


図 10 症例 4 において区分が失敗した箇所
 (幽門部大彎側)(右:拡大図)