

# フルカラー生体断面画像からの特徴部位の自動抽出に関する検討

竹本智子<sup>\*†</sup>, 横田秀夫<sup>†</sup>, 三島健稔<sup>\*†</sup>, 姫野 龍太郎<sup>†</sup>, 牧野内 昭武<sup>#</sup>

<sup>\*</sup> 埼玉大学大学院 理工学研究科  
埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5  
e-mail: (satoko, mishima)@me.ics.saitama-u.ac.jp

<sup>†</sup> 理化学研究所 情報環境室  
埼玉県和光市広沢 2 - 1  
e-mail: (hyokota, himeno)@postman.riken.go.jp

<sup>#</sup> 理化学研究所 もの作り V - C A D  
埼玉県和光市広沢 2 - 1  
e-mail: akitake@postman.riken.go.jp

## 要旨

X 線 CT や MRI による生体内断層画像列からの領域抽出手法は多く提案されているが、近年開発された 3D-ISM による生体内のフルカラーかつ大量な画像列に対応した抽出手法は未だ確立されていない。そこで本研究では、リージョングロウイング法における恣意的な拡張条件や閾値をなくし、生体内カラー画像に対応可能な適応的領域判別手法を提案した。さらに、領域判別結果を多段化することで連続断面間に生じる予想外の変化に対してロバストな判別を可能にするアルゴリズムを提案した。これにより、従来は難しかった生体軟組織の連続自動抽出を行ったのでその結果を報告する。

## 1. はじめに

本研究が目指すものは、限りなく実物に近い人体デジタルモデルの構築である。それは 3 次元可視化されているだけでなく、生体組織の力学的、生理学的挙動を示すモデルを指す。これが実現できれば、自由な視点から生体内を 3 次元的に観察できるだけでなく、医療現場においては予め治療や手術の事前シミュレーションが可能になるなど、その有用性は計り知れない。

このようなモデルの構築には大別して 3 つの行程が必要である。まず生体内の 3 次元情報を収集し、次にそれらに対し「何の組織がどこにあるのか」の情報を付加する（構造化）必要がある[1]。その後、各組織の力学的特性や生理学特性の付加を行うことで意図したようなモデルが実現する。各行程で多くの研究が進められているが、その主なものは生体内 3 次元情報の収集に X 線 CT (Computed Topography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) からの連続画像を利用している。しかし、それらの画像データは実物に近いデジタルモデルを構築出来るほどに解像度が十分であるとは言えず、生体内組織の詳細な情報を収集することが難しい。

一方、近年開発された三次元内部構造顕微鏡 (3D-ISM) [2-4]は、生体内を詳細に撮影したフルカラー連続画像の入手を可能にした。これにより意図したモデルの実現に大きく近づいたが、次に構造化において新たな問題が生じた。一般に、構造化には

画像から各組織の領域をセグメンテーション（抽出）する必要がある。しかし、その難しさゆえに X 線 CT や MRI による従来画像でも未だに様々な論議がなされている。3D-ISM 画像は従来画像と画像特徴が大きく異なることや、情報量が飛躍的に増加したことでセグメンテーションがさらに困難になった。現在では高度な解剖学的知識を持った人の手作業によるセグメンテーションが行われているが、全データが数千枚に及ぶためその作業は困難で、一つの組織だけでも数週間を要しているのが現状である。

本研究は以上の背景に基づいて、生体内のデジタルモデル構築に必要な画像からの領域セグメンテーション手法を検討したものである。

## 2. 方法

画像からの領域抽出手法はこれまでに多く提案されている。そのうち、特に生体画像からの領域抽出に多用されるリージョングロウイング法[5-8]は、抽出結果がまとまった領域として与えられるため画像の大局的な構造を理解しやすいなど、構造が複雑な生体画像にとっては有利な点が多い。この手法は「同一組織の領域内は色変化が少ない」、「異種組織間では色特徴量に変化が生じる」ことを利用して、注目する組織の領域（ROI：Region Of Interest）を抽出する。しかし、領域の判定に固定パラメータや終了条件を必要とするため、情報が複雑になった生体フルカラー画像では有効な結果を示さなかった。そこで本研究では、それらの恣意的なパラメータや条件を排除し、状況に対して適応的に判別条件を変化することが出来る手法を提案した。以下から詳述する。

### 2.1. 色の取り扱い

カラー画像は各画素に色濃度値を持つ。それらの色濃度値を表現するための適切な色空間の選択は、セグメンテーション結果にかかわる重要な決定事項である。色空間とは、色を表現するための 3 つの成分を軸とする 3 次元の空間を指す。通常、コンピュータの内部で色は赤（Red）、緑（Green）、青（Blue）を 3 軸とする RGB 色空間で表される。そして様々な色は各軸で設定した輝度を組み合わせることで表現する。この他にも、代表的なものとして HSV 表色法、ULCS 表色系の  $L^*U^*V^*$  モデルや  $L^*a^*b^*$  モデル、線形変換モデルの YIQ モデルなどが挙げられる。セグメンテーションに適した色空間の比較評価を行った研究[9-10]によると、セグメンテーションには色の配置の均等性、凝集性、分離性が重要になる。これらは以下を意味する。

- ・ **均等性**：人間が同じ距離と考える色間の距離は、同じ程度に離れている
- ・ **凝集性**：人間が同じ色と考える画素の集合は、色空間でよく凝集している
- ・ **分離性**：人間が別の色と考える画素の集合は、色空間で分離している

[9-10]では先に述べた各色空間について、この 3 つの特徴の性能評価を行っている。また同時に、画像の局所領域における色分布の比較を行い、どの色空間が画像中から対象物の境界を正しく判別し、対象物を効率よくセグメンテーションできるかについて検討している。それらの研究では、上記 3 つのすべてにおいて平均して高い評価を得たのが HSV 色空間であると結論づけられている。そこで本研究ではセグメンテーションの性能を高めるため、HSV 色空間で表現した画素値を用いた領域判別を行っ

た。HSV 空間とは、色を色相 (Hue)、色彩 (Saturation)、明度 (Value) の 3 軸で表現したもので、それらの軸は図 1 のような空間を生成する。特定組織の領域を抽出するためには、各画素が持つ色濃度値に注目し組織境界を判別するが、本研究ではこの HSV 空間で表現された画素値を用いて判別を実行する。

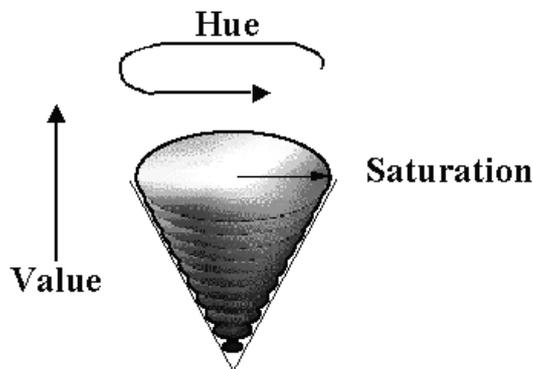


図 1 HSV 色空間

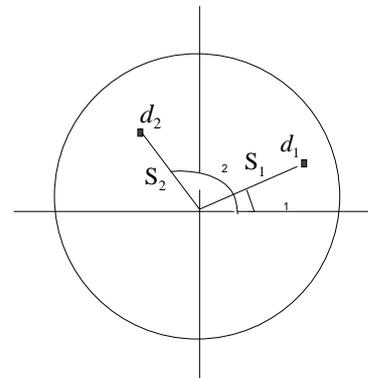


図 2 H,S による 2 点間濃度差の計算

また、領域判別の際には隣接画素間の画素値変化量に注目する必要がある。そのために画素間濃度差を計算する必要があるが、HSV 色空間は図 1 に示したように各軸の成分 ( $h, s, v$ ) が互いに等価ではなく特殊な形状の空間を生成している。そこで図 2 に示すような H,S による極座標上の 2 点間距離を計算することで、色の特徴を損なわない濃度差計算の実現を提案した。具体的には、ある 2 点の画素  $d_1, d_2$  の画素値をそれぞれ  $d_1 = (h_1, s_1, v_1)$ ,  $d_2 = (h_0, s_0, v_0)$  としたとき、画素  $d_1, d_2$  間の濃度差  $\delta$  は以下の式 (1) ~ (3) で定義した。

$$y_1 = (s_{d_1} \cos(2\pi h_{d_1}) - s_{d_2} \cos(2\pi h_{d_2}))^2 \quad (1)$$

$$y_2 = (s_{d_1} \sin(2\pi h_{d_1}) - s_{d_2} \sin(2\pi h_{d_2}))^2 \quad (2)$$

$$\delta(d_1, d_2) = \sqrt{y_1 + y_2} \quad (3)$$

## 2.2. 拡張リージョングロウイング法

本研究で使用する画像は、上下に連続する断面の間隔が極小である。そのため連続する断面間での画像間変化量も極小である。その特徴を利用し、従来リージョングロウイング法にあった固定パラメータや終了条件の撤廃を行う。最初に、断面  $N$  での特定組織領域の抽出には断面  $N-1$  での抽出領域と同座標領域を仮領域と設定する。次に領域判別を行い断面  $N$  での正しい特定組織領域を抽出する。図 3 はその処理の概要を示している。

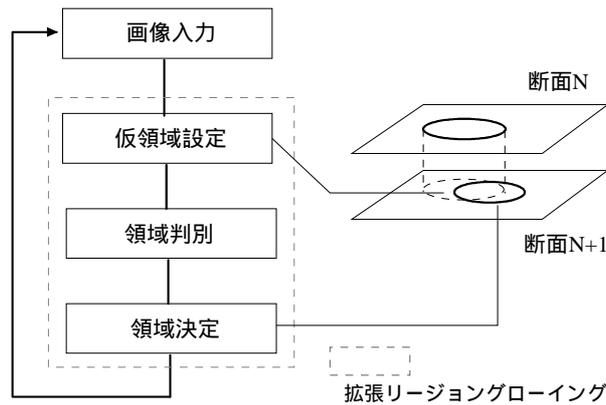


図 3 拡張リージョングロウイングの概要

具体的な処理は以下である。

- (a) 仮領域の境界に隣接する領域外画素すべてを、キュー(FIFO: First In First Out)を用いた一時データ配列 A に保管する。
- (b) 一時データ配列 A から 1 画素取り出し注目画素とする。その画素を中心とした局所領域  $W$  のうち、現在までに仮領域内である画素の濃度特徴量、及び領域外の濃度特徴量を求める。
- (c) 断面  $N$  とその隣接断面間での局所的な濃度変化量を求める。この値と上記(b)で求めた 2 つの特徴量により領域判定基準を生成する。その結果、注目画素を仮領域内に取り込む(拡張)かどうか判定する。さらにその場合、注目画素の隣接画素のうち、現在までに未評価で仮領域外の画素は一時データ配列 A に保管する。一方、判定により仮領域外とする場合は、仮領域内の境界隣接画素を一時データ配列 B に保管する。一時データ配列 B から取り出した画素には領域を削る(縮退)の判定を行う。
- (d) 一時データ配列 A、B 両方が空になるまで領域の拡張、縮退を繰り返すことで、断面  $N$  での抽出領域を決定する。

### 2.3. 状態遷移アルゴリズム

2.2 で提案した拡張リージョングロウイング法は、隣接する上下断面間での濃度変化量が極小であることが前提となる。しかし実際の生体画像では、生体活動などの影響により予想出来ない突然の変化(ノイズ)が生じることがある。また、組織構造の急変にも対応しなくてはならない。

そこで本研究では、拡張リージョングロウイングで領域判別を行った後、連続断面間で特に変化が特に大きかった画素(例外値)を検出する。さらに、判別結果は一般に行われる 2 値判別ではなく、中間状態 2 つを含む 4 段階の状態値設定へと拡張する。これにより、関心領域中央部での他組織領域への変化(構造変化)の検出や、領域判別エラーの拡大の抑制が期待できる。例外値の検出には、ロバスト統計の手法[11]を利用する。これは 2 枚の画像中である領域がほぼ同じであると仮定した場合、それら

の画像間濃度差の標準偏差をあらかじめ推定することで、実際には例外的な値を示した画素を検出できる手法である。例えば、例外値検出を行いたい領域の画素数を  $M$  とし、その領域内で  $i$  番目の画素の濃度値を  $x_i$ 、連続する画像での  $i$  番目の画素の濃度値を  $y_i$  としたとき、

$$d^2 = \text{med}|x_i - y_i|^2 \quad (4)$$

を計算する。これは、 $|x_i - y_i|^2$  で計算される値のメディアン値を求めることに相当する。次に、

$$\bar{\sigma} = 1.4826 \left( 1 + \frac{5}{M-1} \right) \sqrt{d^2} \quad (5)$$

から画像間濃度差の標準偏差の推定値を計算する。この標準偏差の推定値から、 $2.5\bar{\sigma}$  よりも大きな誤差  $|x_i - y_i|$  を持つ画素を例外値として判定することができる。この例外値検出処理を組み込んだ全体の処理の流れを図 4 に示す。

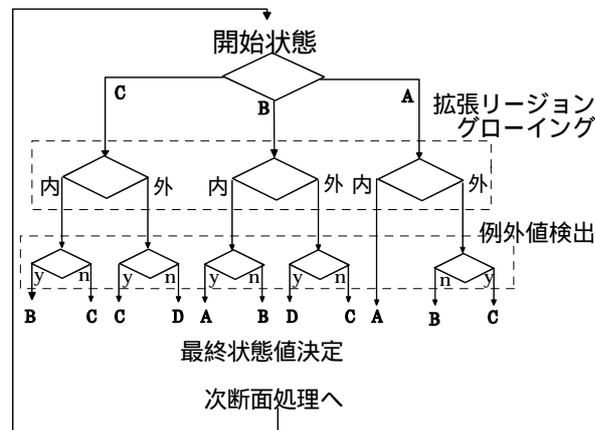


図 4 状態遷移アルゴリズムの流れ

図 4 は A ~ D の 4 つの状態値が判別処理中で遷移する様子を示している。A は対象領域の内側状態、D は対象領域の外側状態、B と C はそれぞれ中間状態を意味する。また、開始状態とは仮領域を設定した段階を意味し、各画素は前断面での状態値を引き継ぐ。つまり、前断面での状態値が判別結果に大きく関わり、状況に応じた適応的判別を実現できる。以上の処理をすべての連続画像で実行することで連続自動抽出を行った。

### 3. 実験

実験には 3D-ISM からのマウスの連続断面画像を使用する。撮影した断面画像のサイズは  $640 \times 480$  pixel ( $212 \mu\text{m}/\text{pix}$ )、マウス全体では 3033 枚 ( $30 \mu\text{m}/\text{枚}$ ) に及ぶが、そのうち胃が撮影されている 150 枚、画像サイズ  $320 \times 240$  pixel ( $212 \mu\text{m}/\text{pix}$ ) を使用し胃領域の抽出を目的とした。巻頭カラー図を参照して頂きたい。1 段目の図

はマウス断面画像と、本実験で関心組織とした胃の領域の拡大図である。2段目の図はそれから連続50枚目の画像を示している。拡大図に注目したとき、領域の下半分では他組織との境界が判別しにくいことがわかる。また、2つの拡大図を比較すると、50枚の間に領域が変化していることも確認できる。このような連続断面画像に対し、提案手法による領域抽出を行った結果が巻頭カラー下段の図である。ここでは5枚おきの結果を表示している。また、その抽出正解率を以下の図5に示す。

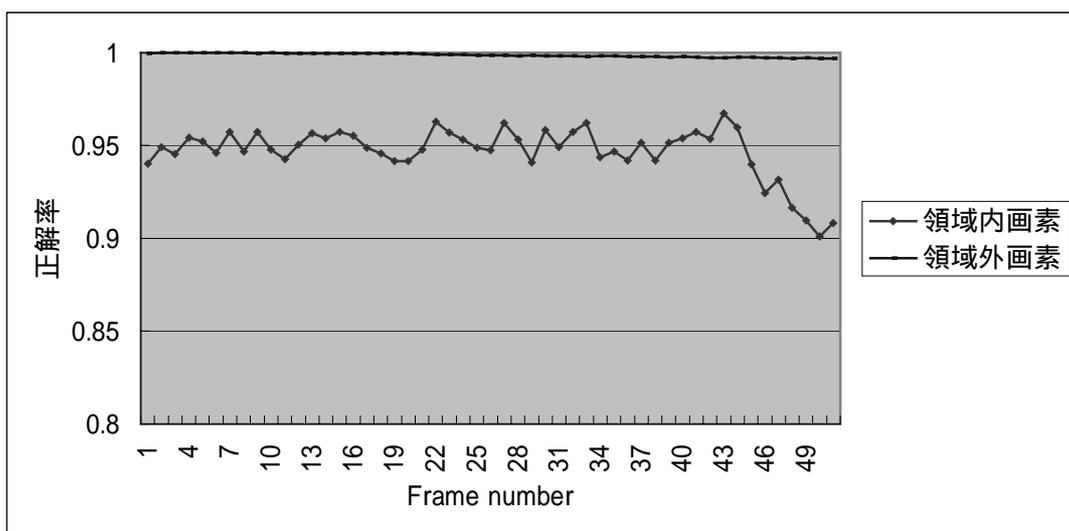


図5 提案手法の抽出正解率

図5では、約45枚目付近までは95%近い正解率をあげている。しかし、45枚目以降では急激に正解率が低下した。実際には抽出領域の外側を領域内として抽出する「あふれ」が起きていた。このように現状では枚数の限界があるものの、従来手法では難しかった複雑な色変化が存在する連続断面画像からの自動抽出に対し、提案手法は有効であることが示された。

#### 4. まとめ

本稿では、生体フルカラー連続断面画像から対象とする組織の領域を抽出する手法を検討した。複雑な内部情報の画像から領域判別を行うとき、判別に恣意的なパラメータや条件を利用した手法は有効な結果を示さない。そこで我々は従来のリージョングロウイング法を拡張し、従来法にあった固定パラメータや条件を撤廃した。

さらに、実画像では考慮しなくてはならないノイズへの対応のため、例外値の検出を行いその判別結果を通常の2値化から4状態とした。これは、各画素で状況に応じて判別の厳しさを変化させられる抽出アルゴリズムであった。

今後は、拡張リージョングロウイングの領域判別部に多変量解析手法を適用することを考えている。これにより、判別結果の信頼性の向上を図り、抽出可能枚数を増加させていきたい。

## 参考文献

- [1] 鳥脇純一郎：3次元デジタル画像処理：昭晃堂，2002，pp.22-27
- [2] 横田秀夫，中村佐紀子，川口龍平 他，“3次元内部構造顕微鏡による生体の侵襲的イメージング，” *Med Imag Tech* **20**(6)，pp.660-665，2002
- [3] 横田秀夫，工藤謙一，樋口俊郎 他，“発現遺伝子観察用3次元内部構造顕微鏡の開発，” *医用電子と生体工学*，**36**(3)，pp.244-251，1998
- [4] 林賢知，樋口俊郎，青木勇 他，“3次元内部構造顕微鏡の開発，” *精密工学学会誌*，**61**(1)，pp.100-106，1995
- [5] Alain Tremeau et al.: A Region Growing and Merging Algorithm to color segmentation, *Pattern Recognition*, Vol.30, No.7, pp.1191-1203, 1997
- [6] 佐野耕一，及川道雄，磯部義明，“リージョンローイング法による軟部組織の抽出と3次元表示，” *Med Imag Tech*，**13**(3)，1995
- [7] 江 弘 他，“領域情報とエッジ情報を併用したセグメンテーションの一手法，” *信学論 D-*，**J74-2-D-** (12)，pp.1651-1660，1991
- [8] 関口博之，佐野耕一，横山哲夫，“リージョンローイングをベースにした対話型3次元領域抽出法，” *信学論 D-*，**J76-D-** (2)，pp.350-358，
- [9] 高橋圭子，松浦正樹，杉山岳弘，阿部圭一，“人間による画像の色分割結果と領域分割結果に基づいた色空間の比較評価，” *信学論 D-*，**84-7**，pp.1378-1388，2001
- [10] 高橋圭子，阿部圭一，“ISODATA クラスタリング法を用いたカラー画像の領域分割，” *信学論 D-*，**82-4**，pp.751-762，1999
- [11] 栗田多喜夫，“ロバスト統計に基づく画像解析，” *信学誌*，**76**(23)，pp.1293-1297，1993