

# 医用画像における管状組織を対象とした管径可視化システムの開発 Development of Visualization System for Diameter of Tubular Tissue in Medical Images

上田 満<sup>1)</sup>  
Mitsuru UEDA

近藤 真史<sup>2)</sup>  
Masafumi KONDO

茅野 功<sup>2)</sup>  
Isao KAYANO

瀬島 吉裕<sup>1)</sup>  
Yoshihiro SEJIMA

佐藤 洋一郎<sup>1)</sup>  
Yoichiro SATO

杉原 雄策<sup>3)</sup>  
Yuusaku SUGIHARA

松本 和幸<sup>3)</sup>  
Kazuyuki MATSUMOTO

## 1 まえがき

近年、低侵襲性に優れる内視鏡による診断・治療が広く普及しており、全手術件数の半数以上が内視鏡下で実施されている [1]。この種の内視鏡診断では、消化器系に代表される管状組織の径やその走行異常、狭窄形態に基づいて病変の特定や進行度の判定を行っている。しかし、これら管状組織における径の計測は、造影画像等を基に行われる医師の主観的な評価に委ねられているのが現状である。この問題に対して筆者らは、コンピュータを用いた画像処理により、冠動脈動画像を対象とした血管径可視化システム [2]、膵管造影画像を対象とした管径の分布算出システム [3] をそれぞれ開発し、その有効性を示している。しかし、これらのシステムは各医用画像固有の画像処理アルゴリズムを以って実装されている上に、あくまでも試作システムであるため実用面を考慮したインタフェースは備えられていない。そこで本研究では、上述の医用画像に小腸造影画像を加えた種々の管状組織画像を対象を広げ、これらを一括してシームレスに解析可能な管径可視化システムを開発する。

## 2 管径の算出と可視化手法

管径可視化手法の適用に当たっては、種々の画像処理を併用し、対象とする管状組織像のみが抽出されていることが前提となる。通常この種の医用画像における管状組織像は二次元の情報しか有していないが、管状組織を円筒形と仮定すると、その直径を以って管径を求めることができる。本研究で扱う管径可視化手法の概要を図1に示す。まず、管状組織部において任意の注目画素を設定し、これを基点とする管径を求める。ここで、管径の定義を「注目画素を通過する」かつ「管壁と交わる二点間の距離が最短となる線分の長さ」とすると、注目画素における管径は以下の手順で算出することができる。

手順 1. 複数の角度  $\theta$  について直線 (探索線) を求める。

手順 2. 注目画素から探索線に沿って画素を走査し、管状組織外に到達するまでの線分の長さを求める。

手順 3. 手順 2 で求めた線分の内、最小の線分をその注目画素における管径とする。

以上の手順を管状組織像の全画素に施すことで、管状組織像の任意の位置における管径を得ることができる。

続いて、算出された管径の長さに応じて疑似カラー (pseudo color) をマッピングすることにより管径の可視化を図る。まず、上記手順で得られた管径を 0~255 の整数値に正規化し、管径の長短に応じたグレースケール画像を生成する。次に、各画素値を RGB カラーそれぞれ

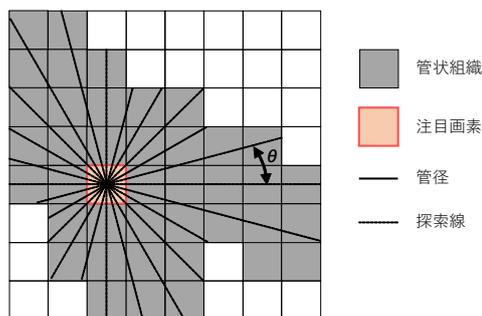


図 1: 管径の算出法

れに対応した排他的な sin 曲線で変換してカラー画像を得る。これにより、各画素はその管径が長い順に赤～緑～青に着色がなされ、管径の長さとその分布を直感的に視認できる。

## 3 対象とする医用画像とその解析法

膵管の画像診断には、内視鏡と X 線造影を併用した内視鏡的逆行性胆管膵管造影 (ERCP)、MRI を用いて膵液を強調する核磁気共鳴胆管膵管造影 (MRCP) が広く利用されている。また、小腸の画像診断においては、バルーン内視鏡の開発が進み、深部小腸を含めた小腸全域が内視鏡検査の対象となっている。以降本研究では、これら ERCP、MRCP および小腸内視鏡造影検査を対象とした可視化手法について検討する。

### 3.1 対象臓器の抽出

先述したように 2 章の可視化手法を適用するためには、対象とする医用画像から管状組織像のみを抽出しておく必要がある。例えば、冠動脈動画像を対象とした文献 [2] であれば、血管像が赤系色である点を利用し、色相 (H 値) に基づいた二値化処理により血管像を直接的に抽出できる (その後のノイズ除去処理を含む)。一方、文献 [3] が対象としている膵管造影画像はグレースケール画像として得られるため、明度 (V 値) に基づいて二値化処理を施す必要がある。特にこれらの管状組織は固有の色情報を持たないため閾値を限定できず、その二値化結果には対象とする管状組織以外の周辺臓器や内視鏡 (ERCP、小腸内視鏡造影検査の場合) が含まれることとなる。これについて文献 [3] では、領域拡張法とラベリング処理を併用することにより、周辺臓器や内視鏡像を除去して対象臓器のみを抽出する方法を採用している。

この内視鏡の映り込みに係る問題は、本研究が新たに対象とする小腸造影画像でも同様に生じることとなる。しかし、小腸造影画像は、膵管造影画像に比して管状組織像と内視鏡像の明度が極めて近く連続しており、上述の領域拡張法およびラベリング処理では小腸像のみを適切に抽出することは困難である。この問題に対して本研究では、画像処理における領域分割手法の一つであるグ

1) 岡山県立大学, Okayama Prefectural Univ.

2) 川崎医療福祉大学, Kawasaki Univ. of Medical Welfare

3) 岡山大学病院, Okayama Univ. Hospital

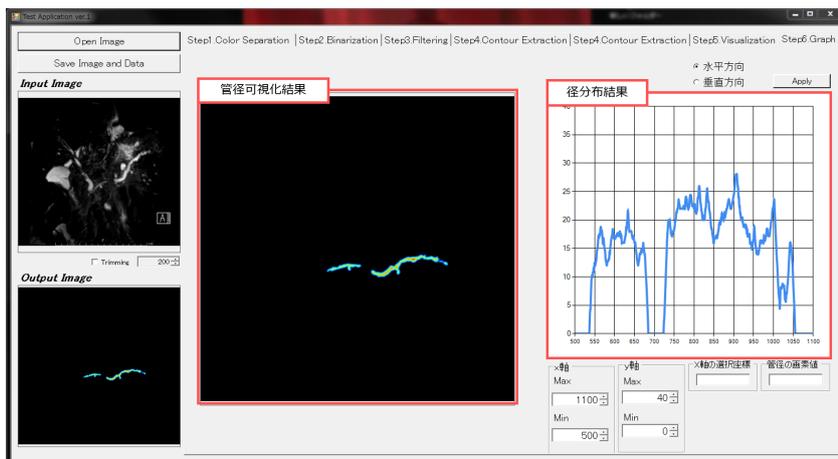


図2: 管径可視化システム (膵管画像の解析結果)

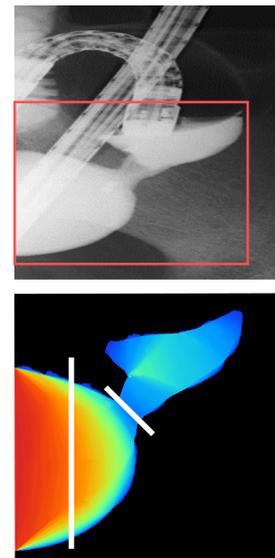


図3: 小腸造影画像の解析結果

ラフカット法 [4] により小腸像と内視鏡像の分離を図る。グラフカット法は、抽出領域と背景領域を定めたマスク画像を基に、入力画像の隣接関係を表すグラフに重みを付し、グラフの最小カットで画像を分割する手法である。特に、抽出領域 (小腸像) と背景領域 (内視鏡像) として指定された画素に大きな重みを付すことで、各領域が極力維持された分割を求めることができる。

### 3.2 径分布と狭窄率の導出

3.1 の各管状組織像に対して 2 章の可視化手法を適用すると、各画素で求められた径は、画像サイズに対応した浮動小数点型の二次元配列に順次格納される。ここで、対象とする管状組織が垂直または水平に撮影されていると仮定すると、径配列の垂直または水平方向の最大値を逐次算出することにより径の変動分布を得ることができる。なお、この仮定を満たすため、画像変形手法の一つであるアフィン変換を施して管状組織の傾きを適宜補正する必要がある点に注意する。さらに、径分布に対して微分を施す (差分をとる) ことにより分布のピークとディップを導出し、これを基に狭窄率を算出する。

## 4 実装と評価

### 4.1 インタフェース

以上に基づいた管径可視化システムの開発を行った。開発環境は Microsoft Visual Studio 2017、開発言語は C++/CLI であり、二値化などの汎用的な画像処理には OpenCV 2.4.10 を用いた。システムのインターフェースを図 2 に示す。本システムはユーザビリティを考慮して解析手順に応じたタブウィンドウとして実装しており、以下、各タブの処理と機能について概説する。

**Step1. 色情報の分離**：解析に適した色情報を選定するため、入力画像を RGB および HSV 形式に分離・表示する。

**Step2. 二値化**：単一の閾値による二値化処理の他、適用品型二値化およびレベルスライス二値化をサポートする。

**Step3. ノイズ除去**：各種モルフォロジー演算フィルタ (構造要素・反復回数は可変) によりノイズを除去する。

**Step4. 領域分割**：領域拡張法、ラベリング処理およびグラフカット法により管状組織を抽出する。なお、グラフカット法で用いるマスク画像の描画機能も備えている。

**Step5. 可視化**：2 章に基づいて可視化画像を生成する。

**Step6. 分布解析**：径分布を折れ線グラフとして表示し、任意の位置における狭窄率を算出する。

### 4.2 解析例

図 2 は、膵体部癌 (stageI) の MRCP 画像に対する管径の可視化結果と径分布を併せて示している。図 2 の径分布より水平座標 680~730 付近で著しい狭窄が生じており、膵癌の診断所見である「強い狭窄と尾側の拡張」を視覚的・数値的に確認できる。また、クローン病の小腸造影画像の解析結果を図 3 に示す。クローン病では小腸の狭窄および狭窄率が重要な所見となるが、得られた径分布から図中に白線で示した口側の正常部と狭窄部の径を算出すると、それぞれ 346.39 および 62.482 ピクセルであり、その狭窄率は 5.54 であった。これにより、クローン病において重要な所見となる小腸の狭窄率を客観的指標として算出できることが示唆された。

## 5 あとがき

本研究では、種々の検査から得られる医用画像に適した管状組織像の抽出法を検討するとともに、それに基づいた管径可視化システムの開発を行った。これを用いて画像解析を行った結果、各症例の特徴を視覚的・数値的に算出できることを確認した。今後の課題としては、症例数を増やして解析を行い、各症例特有の径分布を導出することが挙げられる。

### 謝辞

本研究で用いた医用画像は岡山大学病院倫理委員会の承認 (課題番号:1707-008) を経て提供されたものである。

### 参考文献

- [1] 山梨高広, 他, “日本における内視鏡外科手術の現状と今後の展望,” 臨床外科, Vol.72, No.1, pp.6-11 (Jan. 2017)
- [2] 若宮由衣, 近藤真史, 他, “冠動脈動画像における血管径可視化システムの開発,” 第 67 回電気・情報関連学会中国支部連合大会論文集, No.R16-14-05 (Oct. 2016)
- [3] 岡野直緒, 近藤真史, 他, “内視鏡を用いた医用画像における膵管径の可視化,” 第 68 回電気・情報関連学会中国支部連合大会論文集, No.R17-14-03 (Oct. 2017)
- [4] C.Rother, et al., “GrabCut: Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts,” ACM Trans. Graph, Vol.23, No.3, pp.309-314 (Aug. 2004)