

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：33903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21650037

研究課題名（和文） 次世代医用画像処理技術基盤としての「ダイナミック人体アトラス」の実現

研究課題名（英文） Development of Dynamic human body atlas as next generation technical base of medical image processing

研究代表者

末永 康仁（SUENAGA YASUHIITO）

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：60293643

研究成果の概要（和文）：「臓器の動き情報」を持つ人体計算解剖アトラスである「ダイナミック人体アトラス」の構築に関して以下の成果を得た。(1)アトラス入力システムを作成して胸部や腹部のアトラスを作成、(2)アトラスを利用して胸部および腹部領域の非剛体画像間位置合わせへの応用、(3)経時画像における結節の対応付けなどのアトラスを利用した画像診断支援・手術ナビゲーションシステムの高度化、(4)臨床的見地からのアトラスの評価を行った。

研究成果の概要（英文）：We investigated in the development of “dynamic human body atlas” which contains the information of organs’ movement. We obtained the following outcomes: (1) creation of atlases of chest and abdominal parts using an atlas generation system we developed, (2) application to non-rigid image registration of chest and abdominal images utilizing the atlases, (3) improvement of systems for aiding image diagnosis and surgical navigation, (4) evaluation of the atlases we created from a clinical point of view.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	0	1,300,000
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	210,000	3,310,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像データベース，画像認識，医用画像処理，知覚情報処理，画像情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

医学分野において「アトラス」とは、人体の解剖学的構造を図、およびテキストの形で表わしたものであり、一般的には「解剖図」として知られている。医師は、このアトラスと医用画像とを頭の中で照合することで、医用画像中の各臓器が何であるかを理解し、病変の存在位置、治療方法などを判断する。最近では、これを計算機で模し、人体の解剖学的構造に関する情報を「画像」の形で表現し

た「人体アトラス」を、2次元・3次元医用画像の認識・理解へと利用する研究が盛んに行われている。例えば、入力された人体の3次元画像を人体アトラスに基づいて各臓器領域に分割（セグメンテーション）するための代表的手法として知られているアトラスベーストセグメンテーション法では、まず「人体アトラス」を何らかの手法によって入力画像に適合するように変形させ、変形後の「人体アトラス」を参照することで、医用画

像中に含まれる臓器領域を認識している。しかしながら、これは各時点での臓器の形状変形のみに着目した、いわば静的な手法である。各臓器の絶対的位置・臓器間の相対的位置関係は心拍動・呼吸動等により刻々と変化し、臓器自身の変形、臓器相互作用による変形も存在する。さらに、個人間でも臓器の形状と変形の程度、相対的位置関係に差がある。このように一般的な状況下では、従来の静的な「人体アトラス」を利用する手法は著しく精度が低下する。そのため、これらの変動を考慮した動的な「人体アトラス」である「ダイナミック人体アトラス」の考えに至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、(1)呼吸動による臓器の絶対的・相対的位置の変動、(2)個人差による臓器の絶対的・相対的位置の変動、双方を記述可能な「ダイナミック人体アトラス」の実現とそれに伴う基礎的研究を行う。「ダイナミック人体アトラス」を医用画像認識・理解の高度化へと応用するため、計算機が理解可能な形での実装を目指す。対象領域を胸部領域、ならびに、胃、肝臓、膵臓を中心とした上腹部領域に絞り、この領域での「ダイナミック人体アトラス」を構築する。さらにこの「ダイナミック人体アトラス」を利用した医用画像処理手法を開発し、「ダイナミック人体アトラス」を評価する。

## 3. 研究の方法

本研究は次世代医用画像処理基盤としての「ダイナミック人体アトラス」の実現である。そこで、研究全体を(1)アトラス構築フェーズ、(2)臓器領域抽出や異常検出、手術ナビゲーションといった診断・治療支援への応用フェーズ、(3)臨床的見地からの評価フェーズの3段階に分けて研究を行った。萌芽研究という限られた期間・予算であるので、対象とする部位を胸部領域と上腹部領域に限定して研究開発を進めた。

### (1)アトラス構築

名古屋大学が有している胸部3次元CT像データベースに対して胸部における各臓器のセグメンテーション(領域分割)処理を行い、画像による胸部臓器解剖アトラスを構築する。肺領域・心臓領域・気管支領域・肋骨領域・体表面のセグメンテーション処理を実行し、画像による胸部臓器解剖アトラスを構築する。また、腹部臓器セグメンテーションデータベース(3次元CT像から体表面・骨格を含む各臓器を半自動的に領域分割(セグメンテーション)した結果のデータベース)を用い、画像による腹部臓器解剖アトラスを構築する。呼吸動・心拍動による胸部腹部臓器の動きを画像として取得する。得られたデータに対してセグメンテーション処理を施

し、各臓器が呼吸動・心拍動によってどのように動くかを解析する。

### (2)アトラスの診断・治療支援への応用

アトラスを利用した非剛体画像間位置合わせ手法を開発する。これまでに報告されている非剛体画像間レジストレーションでは、臓器相互作用による変形動作は考慮されておらず、相対的な臓器の位置ずれがあるような画像に対しては正しく動作しない。そこで、「ダイナミック人体アトラス」を用いてこの位置ずれを補正し、複数の非剛体画像間の位置合わせが正しく行われるような手法を実現する。位置合わせされた画像に対して、アトラスを用いて臓器領域、病変領域を検出する手法を開発する。また、手術ナビゲーションシステムにおける「ダイナミック人体アトラス」の利用方法を検討し、実際のシステム上に実装する。特に、内視鏡下手術ナビゲーションシステムにおいて、呼吸動による対象部位の動きを「ダイナミック人体アトラス」により補正し、高精度なナビゲーションを可能とする手法を実現する。

### (3)臨床的見地からの評価

臨床的見地から「ダイナミック人体アトラス」の評価を行う。評価結果は工学系研究者へとフィードバックされ、アトラスの改善に利用する。

## 4. 研究成果

### (1)アトラス構築

アトラスの構築に必要な、人体臓器領域や構造情報等を入力するためのシステムを構築した。このシステムは2値画像処理などの基本的処理ルーチンからグラフカットといった高度処理ルーチンまで有したものであり、半自動で極力入力負荷を軽減したシステムである。このシステムを用いて、肺や気管支といった胸部の主要臓器、肝臓や膵臓といった腹部の主要臓器をセグメンテーションし、臓器存在確率マップなどのアトラスを作成した。なお、用いた画像は、造影剤を注入後に時間をおいて複数回撮影した呼吸動などの動きのあるもの、数カ月置きに撮影した経時画像である。そのため、構築したアトラスには呼吸動などの動き情報が組み込まれている。

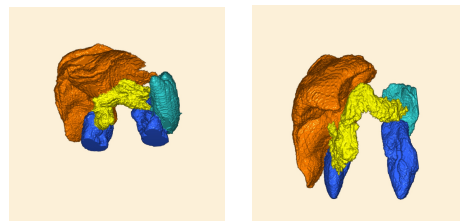


図1 腹部臓器のアトラス例

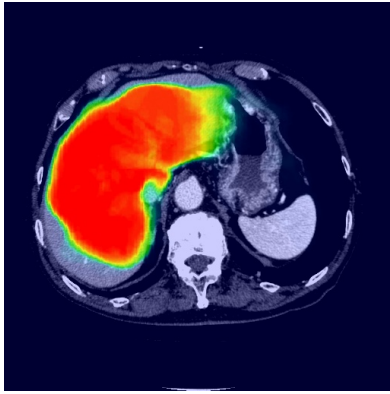


図2 臓器存在確率アトラスの例

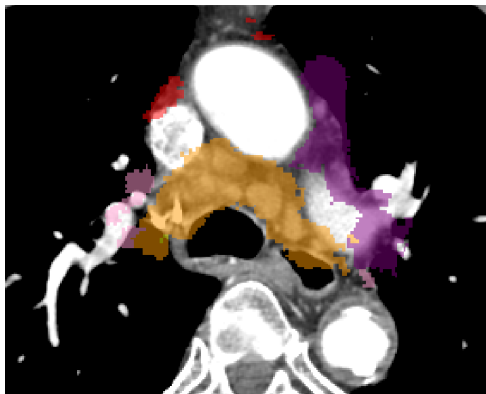


図3 胸部リンパ節のアトラス例．リンパ節番号ごとに存在しうる領域が示されている．

(2) アトラスの診断・治療支援への応用  
複数アトラスを利用した腹部臓器領域抽出

腹部臓器の相対的位置、形状の多様性のため、単一のアトラス（例えば、全サンプルの平均など）では臓器を精度よく抽出することは難しい。そこで、サンプルデータを自動的にクラスタリングし、そこから複数の異なるアトラスを生成することにより、上記問題点の解決を図った。画像類似尺度には画像間ユークリッド距離 IMED を用い、クラスタリングには Affinity Propagation を用いた。その結果、4つのアトラスを自動生成することに成功した（図1）。これらのアトラスを利用して腹部臓器（肝臓、脾臓、膵臓腎臓）のセグメンテーションをしたところ、抽出精度が向上したことを確認した。

アトラスを利用した胸部リンパ節認識

肺がんの手術において、がん病巣の摘出はもちろん、がんが転移したリンパ節の摘出も重要なタスクである。どのリンパ節に転移があるか手術前に判断できれば手術計画立案の支援になる。リンパ節は基本的に楕円体状

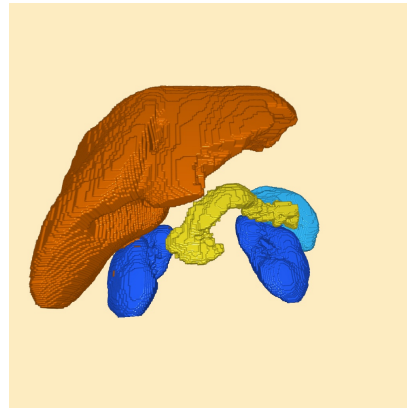


図4 腹部臓器抽出結果の例

の領域を呈する。しかし、縦隔（左右肺の間の大血管や心臓のある領域）は血管等が密集しているため楕円体状物体を検出すると多くの広い過ぎが発生する。そこで、リンパ節が存在しうる範囲を大動脈や気管支といった周辺構造情報を利用して絞り込む手法を開発した。まず、非剛体レジストレーションにより学習画像を全て位置合わせする。別途作成したリンパ節正解領域（リンパ節番号ラベルを付与済み）も同じレジストレーション処理で合わせこむ（図3）。楕円体状構造を強調するフィルタを適用してリンパ節候補領域を抽出した後、得られたリンパ節アトラスを利用して、候補を絞り込む。胸部CT像40例に対する実験の結果、正検出率が78.5%のとき拾い過ぎが27.8%という結果を得た。正検出率は世界的に見ても高いが、拾い過ぎが少し多い。今後は、正検出率のさらなる向上に加えて拾い過ぎの削減に力を入れていく予定である。

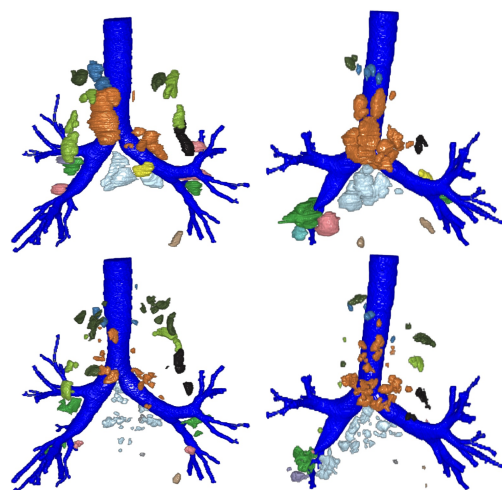


図5 リンパ節抽出結果の例．リンパ節バンクごとに色分けして表示．

### 経時画像間の肺結節自動対応付け

多発性の肺結節症例では、外科的に病巣を取り除くことはできないため、理学療法がとられる。その効果を評価するために、時間を置いて(数カ月置き)CT像を撮る(経時画像)。治療効果を判定するには、個々の結節がどう変化したかを全て調べなければならないため、計算機で自動的に経時画像中の結節を対応付ける手法を開発した。非剛体レジストレーションにより経時画像を位置合わせし、結節を対応づけた。経時画像組3例に対する実験の結果、約95%と高精度の対応付けを実現した。

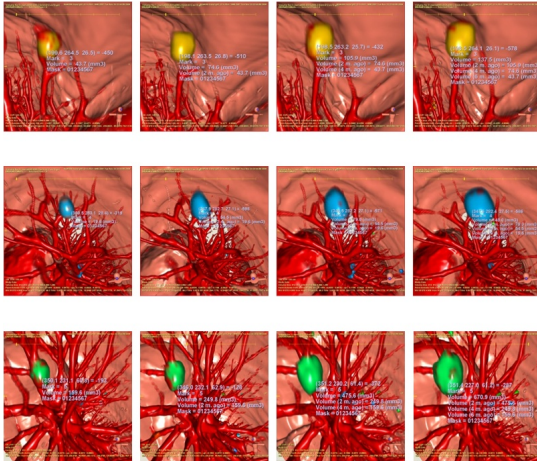


図6 結節対応付け結果の例。左から右に時間が経過している。

### 呼吸動を考慮した気管支鏡トラッキング

気管支鏡検査・手術では、気管支鏡先端の体内の正確な位置を把握することが重要である。しかし、気管支は分岐を繰り返す樹状構造をしており、似たような映像が表れるため、現在位置を見失うことがある。計算機による現在位置推定手法として、画像照合と磁気式位置センサを利用した方法を提案してきたが、呼吸動等の実際の人体で発生する動きに対応した手法ではなかった。そこで、呼吸動を模した仮想呼吸動をモデルに組み込み精度向上を図った。呼吸動を付加したモデルに対する実験の結果、呼吸動対応なし手法と比べて約13%精度が向上し、位置推定誤差は約1.5mmという結果を得た。これは、現在報告されているものの中でトップクラスの成果である。今後は生体に対する実験を進め、臨床試験へ繋げていく予定である。

### (3) 臨床的知見からの評価

臨床的見地から胸部リンパ節アトラスの評価を行った。リンパ節の解剖学的部位が作成したアトラスにて適切に表現されていることを確認した。また、経時画像間の結節対応付けでは、高精度に結節を対応付けられており、また体積変化などの付加情報もあり、

臨床上有用であるとの評価を得た。腹部臓器認識に関する臨床評価は今後継続して取り組む予定である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

陳 斌, 中村 嘉彦, 北坂 孝幸, 本間 裕敏, 高島 博嗣, 森 雅樹, 名取 博, 森 健策, ``3次元胸部CT像群からの経時変化を考慮した多発性小肺結節対応付け手法," *Medical Imaging Technology*, Vol. 29, No. 4, 査読有, 2011, pp.191-199

Xiongbiao Luo, Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, ``Robust bronchoscope motion tracking using sequential Monte Carlo methods in navigated bronchoscopy: dynamic phantom and patient validation," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.7, No.3, 査読有, 2012, pp.371-387

Marco Feuerstein, Ben Glocker, Takayuki Kitasaka, Yoshihiko Nakamura, Shingo Iwano, and Kensaku Mori, ``Mediastinal atlas creation from 3-D chest computed tomography images: application to automated detection and station mapping of lymph nodes," *Medical Image Analysis*, Vol.16, No.1, 査読有, 2012, pp.63-74

Masahiro Oda, Teruhisa Nakaoka, Takayuki Kitasaka, Kazuhiro Furukawa, Kazunari Misawa, Michitaka Fujiwara, and Kensaku Mori, ``Organ segmentation from 3D abdominal CT images based on atlas selection and graph cut," *Proceedings of MICCAI 2011 Workshop: Computational and Clinical Applications in Abdominal Imaging*, LNCS 7029, 査読有, 2011, pp.181-188

Bin Chen, Takayuki Kitasaka, Hirotoishi Honma, Hirotsugu Takabatake, Masaki Mori, Hiroshi Natori, and Kensaku Mori, ``Pulmonary blood vessel bifurcation enhancement filter with application to reduce false positive of nodule detection in 3D chest CT data," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.5,

Suppl.1, 査読有, 2010, pp.S95-S96  
Yukitaka Nimura, Takayuki Kitasaka,  
and Kensaku Mori, "Blood Vessel  
Segmentation using Line-Direction  
Vector based on Hessian Analysis,"  
Proceedings of SPIE, Medical Imaging  
2010, Vol.7623, 査読有, 2010  
pp.76233Q-7-9

Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka,  
and Kensaku Mori, "Adaptive Model  
Based Pulmonary Artery Segmentation  
in 3D Chest CT," Proceedings of SPIE  
Medical Imaging 2010, Vol.7623, 査読  
有, 2010, pp.76234S-1-76234S-9

Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka,  
Kensaku Mori, "Adaptive Branch  
Tracing and Image Sharpening for  
Airway Tree Extraction in 3-D Chest  
CT," The Second International  
Workshop on Pulmonary Image  
Analysis EXACT'09, MICCAI 2009, 査  
読有, 2009, pp.273-284

[学会発表](計 14 件)

岸本 充博, "2 時相 3 次元胸部 CT 像から  
のリンパ節自動抽出手法に関する検  
討," 電子情報通信学会技術報告書,  
PRMU2011-237, 2012 年 2 月 10 日, 東北  
大学

褚 成文, "3 次元 CT 像からの複数臓器  
抽出における Affinity Propagation を用  
いた臓器存在尤度アトラス構築に関する  
検討," 電子情報通信学会技術報告書,  
MI2011-73, 2011 年 11 月 29 日, 兵庫県  
立大学

褚 成文, "腹部 3 次元 CT 像からの複数  
臓器抽出における臓器存在尤度アトラス  
作成のための Affinity Propagation を用  
いたクラスタリング手法の検討," 第 20  
回日本コンピュータ外科学会大会,  
Vol.13, No.3, 11(XIX)-90, pp.350-351,  
2011 年 11 月 24 日, 慶應義塾大学理工学  
部

陳 斌, "3 次元胸部 CT 像群からの経時  
変化を考慮した多発性小肺結節対応付け  
手法," 第 30 回日本医用画像工学会大会,  
OP5-3, 2011 年 8 月 6 日, 国際医療福祉  
大学(栃木県)

Kensaku Mori, "Mediastinal  
Lymph-CAD: A CAD System for Assisting  
Mediastinal Lymph Nodes Diagnosis  
Based on Automated Lymph Node  
Detection from Chest CT Volumes,"  
RSNA (Radiological Society of North  
America) Scientific Assembly and  
Annual Meeting Program 2010, p.554,  
2010 年 11 月 12 日, Chicago

Yukitaka Nimura, "Emphysema CAD: A  
CAD System for Real-Time Quantifying  
Emphysema Severity Based on  
Integration of the CT Scans and  
Spirometry," RSNA (Radiological  
Society of North America) Scientific  
Assembly and Annual Meeting Program  
2010, p.551, 2010 年 11 月 12 日, Chicago  
Hirotoshi Honma, "Three-dimensional  
Demonstration of Peripheral Lung  
Structures Using Micro CT Images of  
Inflated Fixed Lung Specimens," RSNA  
(Radiological Society of North  
America) Scientific Assembly and  
Annual Meeting Program 2010, p.472,  
2010 年 11 月 12 日, Chicago

陳 斌, "非剛体レジストレーションを  
用いた三次元胸部 CT 像からの小結節経  
過診断および治療支援," 第 19 回日本コ  
ンピュータ外科学会大会, Vol.12, No.3,  
25-124, pp.450-451, 2010 年 11 月 2 日,  
福岡

本間 裕敏, "マイクロ CT による肺末梢  
構造の観察," 第 29 回日本医用画像工学  
学会大会, OP6-2, 2010 年 7 月 29 日, 神奈  
川

本間 裕敏, "マイクロ CT による肺末梢  
構造の観察," 第 33 回日本呼吸器内視鏡  
学会学術集会, p.S160, 2010 年 6 月 9 日,  
神奈川

森 浩起, "腹部 3 次元 CT 像データベ  
ースを用いた類似画像検索と画像位置合  
わせに基づく臓器自動抽出手法," 電子情  
報通信学会技術報告書, MI2009-116,  
2010 年 1 月 28 日, 沖縄ぶんかテンプス  
館

二村 幸孝, "球面調和関数展開による  
濃淡構造解析に基づく血管領域抽出に関  
する検討," 電子情報通信学会技術報告  
書, MI2009-120, 2010 年 1 月 28 日, 沖  
縄ぶんかテンプス館

森 浩起, "腹部 3 次元 CT 像データベ  
ースからの類似画像検索に基づく臓器自動  
抽出手法," 第 28 回日本医用画像工学会  
大会, OP2-10, 2009 年 8 月 4 日, 中京大  
学

中岡 輝久, "臓器存在尤度マップを用  
いた 3 次元腹部 CT 像からの脾臓領域抽出  
手法の検討," 第 28 回日本医用画像工学  
学会大会, P16, 2009 年 8 月 4 日, 中京大  
学

6 . 研究組織

(1)研究代表者

末永 康仁 (SUENAGA YASUHITO)  
愛知工業大学・情報科学部・教授  
研究者番号：60293643

(2)研究分担者

森 健策 (MORI KENSAKU)  
名古屋大学・情報連携統括本部・教授  
研究者番号：10293664  
北坂 孝幸 (KITASAKA TAKAYUKI)  
愛知工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号：00362294  
縄野 繁 (NAWANO SHIGERU)  
国際医療福祉大学・保健医療学部・教授  
研究者番号：40156005

(3)連携研究者

( )

研究者番号：