

インナービジョン

第22巻 第12号(通巻261号)

2007年12月号抜き刷り

〈特集〉CAD最前線 2007 次世代CADシステムへの挑戦
多臓器・多疾病CADシステム開発プロジェクトの成果

II 計画研究の成果

2. CADの汎用化と高度化

正常構造の理解に基づく 知的CAD

周 向栄/原 武史/藤田 広志

岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野

II 計画研究の成果

2. CADの汎用化と高度化

正常構造の理解に基づく 知的CAD

周 向栄/原 武史/藤田 広志 岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野

計算機支援診断 (computer-aided diagnosis: CAD) システムでは、医用画像から病変の検出や鑑別を行うが、それを実現するためには、計算機による人体の解剖学的構造の理解や病変部の特徴量の把握が必要不可欠である。多臓器・多疾病に柔軟に対応できるCADシステムの開発には、すべての病変部の特徴量を事前に把握することが必要である。しかしこれは、現時点では困難であるので、その代わりに人体の解剖学的な正常構造を把握できれば (解剖学的構造を細部まで高精度に認識すること)、この“正常人体構造から外れる部位を異常とする方法”が解決策の1つとして挙げることができる^{1)~5)}。

以上のことから、多臓器・多疾病に対応する次世代のCADシステムを実現するために、人体の解剖学的構造の理解と正常人体の把握 (本研究では、この2つを合わせて正常構造と略称する) が計算機により自動的に行われることが、何よりも重要な要件であると考えることが本研究の動機となっている。

研究の目的

本研究は、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」プロジェクトにおける計画研究班の1つとして、医用画像から解剖学的な人体の正常構造を計算機で自動的に認識する画像処理手順の開発を目的としている。そして、大量の画像データベースを用いて、人体の正常構造の確率的変動を測定し、これにより人体の正常構造モデルの構築を行う。最終的には、人体の正常構造の理解に基づいて異常部位を自動的に検出できるCADシステムの実現をめざす。

体幹部CT画像に基づく 人体正常構造の理解 — 開発手順と成果

本研究では、人体の臓器・組織が集中的に分布している体幹部CT画像を主要な対象とし、以下の4つの段階で研究開発を行った。

- ① 大量のCT画像の収集と病変による分類
- ② 多臓器・多組織の自動認識手順の開発
- ③ 各臓器内および異なる臓器間の特徴 (濃度、位置、形状など) の分布の調査と人体の正常構造モデルの構築
- ④ 正常構造モデルに基づく異常検出の試み

以下では、①~③について、最新の研究成果の現状を概説する。また、④に

ついては、救急医療のCT画像から出血部位の自動検出を行った研究成果を、次章で紹介する。

1. 画像データベースの構築

人体の正常構造モデルを構築するためには、大量な学習サンプル画像が必要である。よって、本研究では、高精度な体幹部CT画像を持つ大規模な画像データベース (DB) の構築が最も重要となる。本研究で対象としているCT画像は、空間分解能が約0.6mmの等方性ボクセルで、濃度 (CT値) 分解能が12ビットである。これらは、精密検査のために撮影された非造影のCT画像であり、頭部を除く人体の主要な臓器をすべて含んでいる。

これまでに、本研究では1000を超える症例の画像を収集して、画像と医師の診断レポート付きのDBの作成を行った。具体的には、DICOM形式のデータから画像とそれ以外の情報を分離し、それぞれの情報を独立に扱う方針をとった。また、医師の診断レポートに基づいて、すべての症例を病名ごとに整理し (主要な臓器は19項目に分類、さらに各臓器に諸症状によって4~31項目に分ける)、異常症例のDBの作成を進めた。

さらに、relational data base management system (RDBMS) に基づいて、より高度なDBの構築を行うことも進めた (図1)。これによって、CT画像、撮影パラメータ、患者情報、診断レポート、および実験結果を含むすべての情報が電子化され、計算機で容易に検索ができるようになった³⁾。

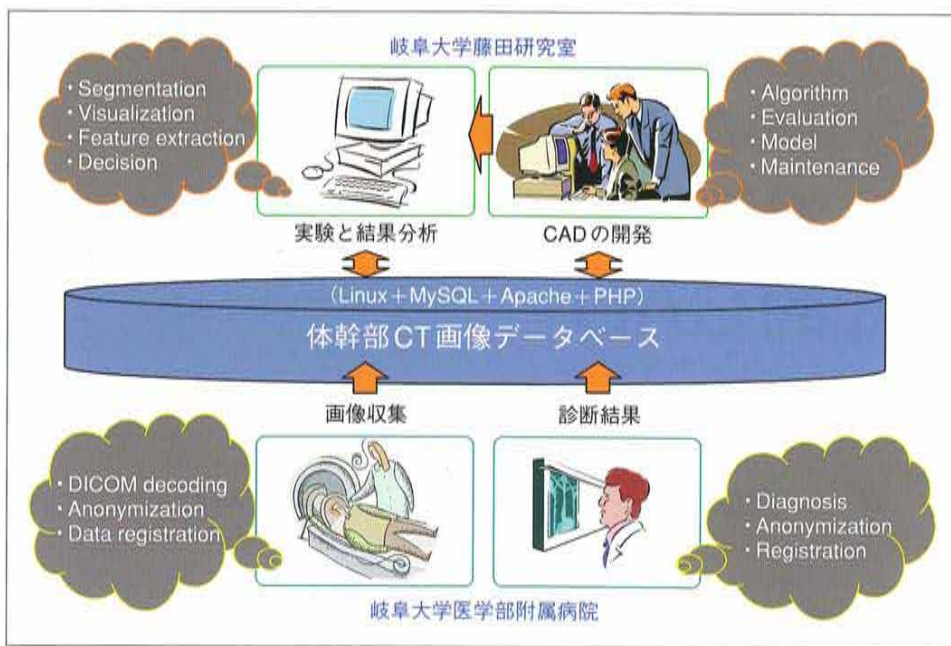


図1 体幹部CT画像データベース

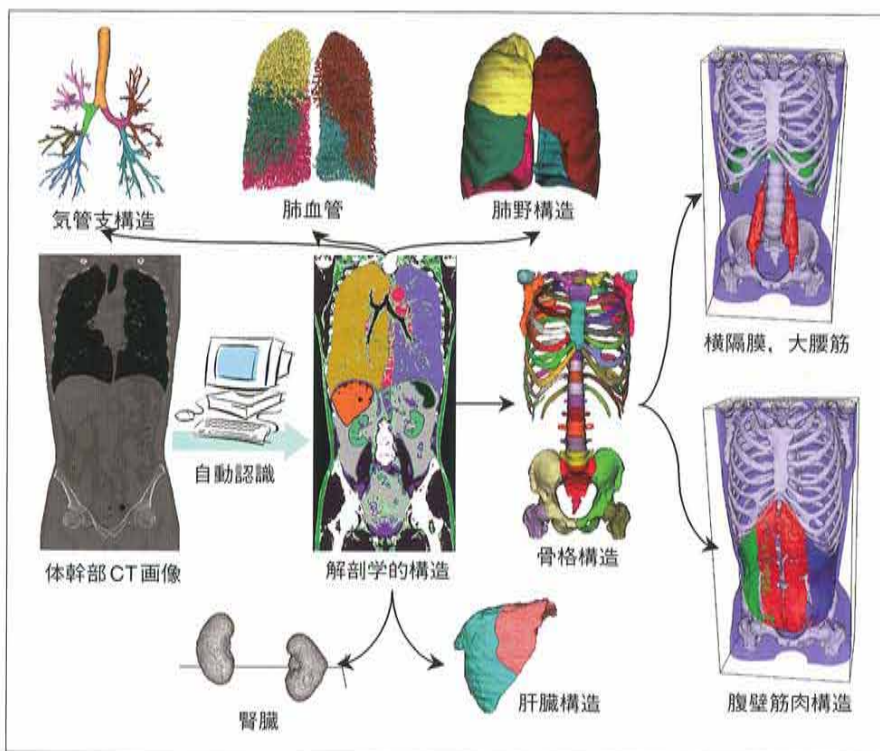


図2 体幹部CT画像から多臓器・多組織を完全自動認識した結果の例

2. 多臓器・多組織の自動抽出手順の開発

体幹部CT画像の構造認識は、基本的にCT画像からの多臓器・多組織の自動抽出問題である。本研究では、人体の解剖学知識に基づいて、画像内のすべての領域の空間的な関係（包含・隣接・独立）と濃度情報の関係によって、人体の

解剖学的な構造を1つの木構造で表す方法を提案した。そして、元画像から、定義されている木構造に沿って、各臓器・組織を空間情報と濃度情報により逐次的に決定する方法を用いた⁹⁾。

1) 大まかな解剖学的構造の認識

332症例の体幹部CT画像に適用した結果、開発されたシステムは約70%の症例に対して、人体の大まかな構造（皮

膚、皮下脂肪、筋肉、骨格、内臓脂肪、肺野、気管、縦隔、横隔膜、肝臓など）の完全自動抽出に成功した^{7)~10)}。また、肺野については、肺葉構造まで自動的に認識する手順を開発し^{11)~12)}、良好な結果が得られていることを共同研究の医師が確認している。

図2に、完全自動認識結果例を示す。特に、体幹部CT画像から、臓器が存在

している体腔領域の特定、横隔膜の抽出、および骨格情報による体腔領域の構造認識(胸腔、腹腔、骨盤腔の特定)は、われわれにより世界で初めて実現化されたもので、人体の内臓領域の可視化と自動分類の目標に一步前進したと言える。

2) 骨格と骨格筋の構造認識と応用

本研究では、これまでに注目されていない骨格・骨格筋の構造を自動認識する手順についても開発した。具体的には、体表面を基準面にして、三次元である解剖学的人体構造を平面上に展開する方法を提案した^{13), 14)}。本手法によって、三次元空間においては複雑な筋肉や骨格構造を、二次元平面上で分析することが可能となった。

上記の人体の展開手法を利用して、腹部筋肉の抽出と分類を試みた。その結果、腹腔外科手術の際に注目している人体左右の腹直筋、腹斜筋、乳がんの自動抽出に関連している胸筋領域の自動抽出と分類を初めて実現した¹⁵⁾。

また、体幹部CT画像内の骨格領域が117種類の部分(脊柱、肋骨、肩甲骨、鎖骨、胸骨、寛骨、仙骨など)から構成されると定義し、その中で63種類の領域の自動認識に成功した^{16), 17)}。その結果を利用して、解剖学的に重要とされている人体の胸郭上口(頭部と胸部の連結部)、胸郭下口(胸部と腹部の連結部)と単径靭帯、腸骨前縁(下腹部と大腿部の連結部)、骨盤下口的位置を自動的に認識する手順を開発した¹⁸⁾。さらに、骨格表面の最短距離およびスプライン補間を利用して、胸郭上口と腸骨前縁に通っている血管の自動認識¹⁹⁾、骨盤下口に関連している直腸および膀胱の自動抽出を試みた¹⁹⁾。これらの臓器・組織の自動認識はこれまでに報告されたことがなく、本研究によって初めて自動抽出の可能性が示された。

3) 肝臓血管の認識

肝臓血管は、肝臓の精密診断における重要な解剖学構造である。一般的には、肝臓内部に存在する血管を観察するためには造影剤を用いることが必要であるが、その使用には一定の危険性を伴う。そこで本研究では、非造影のCT画像において、肝臓血管を自動的に強調・抽出する手順を開発した²⁰⁾。これによって、非造影のCT画像上で観察しにくい肝臓の

血管領域も明瞭に提示することができるようになった。そして、同一患者の血管造影画像と比較した結果から、主要な肝臓血管が正しく強調されていることを確認した^{21), 22)}。

このような非造影のCT画像からの血管抽出もこれまでに報告されたことがなく、本研究で初めて実現したものである。今後は、医師による“正解画像”を用いて定量性の高い性能評価を行う予定である。

4) 問題点

本システムの認識失敗の原因は、CT画像の中にある人体領域に病変が存在したり、造影あるいは金属性の人工物の影響を受け、事前に計算機の中に想定されている正常な構造から大きく外れているためであることを確認した。よって、人体の正常構造の定義では、このような“異常の発生”を考慮して進める必要がある。今後は、正常構造モデルの充実と改善を行い、より多くの臓器領域と詳細な人体の構造の自動認識手順を開発予定である。

3. 正常構造モデルの構築に関する検討

人体の構造認識結果を学習サンプルとして利用し、人体の正常構造モデルの構築について検討した。具体的に前項で定義した木構造にある各臓器において、濃度・位置・形状に関する確率分布を測定した。個人差や呼吸運動によって、人体の各臓器・組織の形状と存在位置のばらつきが存在することが多く、直接的にモデル化することが難しい。

そこで本研究では、人体の大まかな構造を認識した上で、骨格と横隔膜の形状・位置を事前に準備した標準モデルに変形して、人体の解剖学的構造(臓器・組織の形状と位置)を正規化した。そして、大量の学習サンプル画像を用いて、対象臓器・組織の空間的な存在位置に関するアトラスの作成を試みた。

1) 肝臓アトラスの構築

上記の方法を用いて肝臓領域のアトラスを構築した。この肝臓アトラスに基づいて、症例ごとに肝臓の位置における確率と、濃淡における確率を自動的に推定する方法を提案し、CT画像の各画素に肝臓である確率を自動的に計算する方法

を開発した^{23), 24)}。この方法を、従来法では抽出に失敗した異常肝臓(脂肪肝)20症例にも適用し、19症例の画像から肝臓領域の抽出に成功した²⁵⁾。以上のことから、高精度なモデルの構築は、臓器の抽出手順の汎用性を向上させる鍵であることを確信した²⁴⁾。

2) 体腔アトラスの構築

肝臓の位置における確率と濃淡における確率を自動的に推定する方法を利用して、内臓以外の人体組織についてもモデル化の構築を試みた。本研究では、骨格と人体の体腔領域の相対関係に注目し、体腔の輪郭面を確率的にモデリングする試みを行った²⁶⁾。

具体的には、まず人体の骨格構造認識の結果から、44個の特徴点を抽出する。次に、それらの特徴点を事前に決めた位置に移動することによって、CT画像上にある人体(体腔領域の表面も含む)位置と形状を正規化する。最後に、複数の症例から正規化された体腔領域の表面を空間的に加算することによって、人体の体腔領域の表面の形状と存在位置を確率的に表すアトラスを構築した。構築されたアトラスに基づいて、CT画像から体腔の自動抽出手順を開発し、一定の精度で体腔領域の抽出に成功したことを確認した²⁶⁾。骨格を囲んでいない腹腔領域について構築したアトラスの精度がまだ不十分であったが、全体的に満足できる抽出結果が得られた。今後は、アトラスの構築および体腔領域の自動抽出手法を改善する必要がある。

3) 乳腺領域のアトラスの構築

CT装置を用いた胸部検査では肺領域を主な検査対象とするが、同時に撮影される乳房や甲状腺などもこれらにかかわる病気が発生しうる部位であり、副次的にそれらを自動的にCADによって検出することができれば、検査時や読影時の見落としを減少させる意味で重要と言える。ここでは、胸部CT検診を想定し、非造影胸部CT画像から乳房に存在する腫瘍陰影を検出することを目標とし、その基礎研究として、乳頭位置の同定および乳腺構造の領域分割を行った。

CT画像上の乳腺領域の大きさや形状は、患者の年齢と個人差によって大きく変化するので、一般的な画像処理手順では乳腺領域を自動的に抽出することが困

難であった。この問題を解決するために、本研究では、人体の表面形状、乳頭位置、胸筋領域、乳腺領域の存在位置を総合的にモデル化した²⁶⁾。具体的には、人体の位置の正規化を行い、複数の症例から乳頭位置、胸筋領域、乳腺領域の存在位置をそれぞれ測定し、複数の確率的アトラスを生成した。それらの確率的アトラスを未知の対象画像にマッピングするによって、乳腺、胸筋領域を同時に認識するアプローチを開発した。この方法を66症例（正常の女性）に適用し、leave-one-out法によって生成したアトラスの正確性を評価した結果、乳腺領域の自動抽出に十分な精度を持つ情報を提供できることを確認した。また、本手法による乳腺の自動抽出結果は、専門医から得た“正解画像”との一致度が平均82%、標準偏差8.8（66症例）であった。これによって、非造影体幹部CT画像からの乳腺領域の自動抽出が可能であることが示された。

さらに本研究では、年齢ごとに女性の乳腺量を測定し、乳腺の正常構造モデルを構築する研究に発展している。これは、CT画像から自動的に乳腺量を計測し、正常構造モデルとの比較によって乳がんの発生率を予測（リスク評価）しようとするものである。

4) 今後の課題

正常構造モデルを参考とすることによって、解剖学的構造の自動認識の精度を向上させ得ることを確認した。従来の方法で認識困難となる臓器・組織に対して、高精度な正常構造モデルがあれば認識可能であると考えられる。また、正常モデルから離れる程度に基づいて病変のリスクを予測する可能性も、乳腺と肝臓の実験結果に示されている。臓器に病変がある場合には、特徴がどの程度、正常なモデルから離れているかを調査することで、正常構造に基づく異常候補の検出に期待ができる。その例として、本研究では、異なる年齢と性別の136症例のCT画像から、椎体海綿骨の骨密度値の分布と測定し、それらの相関性を調査した²⁷⁾。その結果を利用して、現在開発中の骨粗鬆症CADシステム²⁸⁾の性能向上を図っている。

成果の応用

— 正常構造モデルに基づく異常部位の診断

一次・二次の救急医療の現実では、当直医などの当番制で行うことが多く、専門医が不在となることがある。そのため、重篤な所見を見落とす可能性があり、均質な医療を行うことができない場合もある。最も頻繁に起こりうる交通事故などの外傷では、意識レベルや外観からは判断できない重篤な障害が、脳や腹部臓器に発生している可能性がある。その診断は、高次救急救命に携わっている医師らには判別は容易であっても、専門外の医師が読影を行う場合には判別に時間がかかる場合がある。特に、外観からは判断できない腹腔内や頭部の出血は、致命的となることもあり、そのため救急医療のCT画像から、頭部と腹部の出血部位を特定するアルゴリズムの開発が望まれている。

1. 腹部の出血部位検出システムの開発

外傷などが原因で出血する場合には、出血部位と出血量によって、人体内に存在する出血領域の範囲と形状が異なる。よって、事前に出血パターンを用意し、画像上から類似パターンを探すという従来型のアプローチが適用できない。そこで本研究では、人体の正常構造モデルを参考にして異常（出血部位）を検出するアプローチを適用した。

腹部診断領域においては、肝臓内の活動性出血部の自動検出処理を、正常肝臓モデルとの差異により同定する手法を開発した²⁹⁾。22領域の活動性出血を含む30症例について実験を行った結果、21領域を正しく検出することができ、偽陽性数は症例あたり2.5か所であった。また、正常な体腔構造を参考にしながら腹腔内に貯留する血液を自動的に検出し、その出血量を推定する手法も開発した³⁰⁾。予備的に、腹腔内に異常貯留がある2症例を用いて実験を行ったところ、おおむね良好に出血領域が検出できた。

2. 脳モデルの構築と出血部位検出システムの開発

頭部診断領域においては、CT画像を

用いた脳モデルの作成を行った³¹⁾。ここでは、10症例の正常脳を用いて、CT値の濃度分布と分散分布の正常脳モデルを構築した。そして、正常モデルと比較して、入力画像から硬膜下血腫・硬膜外血腫の識別システムを開発した。異常例8症例、正常例12症例を用いて評価を行った結果、すべての血腫領域を正しく抽出することができた。図3に結果例を示す。スコアの絶対値が大きい領域が、脳領域周辺に多く見られるが、これは領域の位置合わせの精度不足によるものである。しかし、内部の血腫領域は、高いスコア値を示していることが確認できる。

◎

本研究では、人体の正常な解剖学構造の理解に基づき異常を検出する新しいタイプのCADシステムの開発方針を提案し、計算機による人体の解剖学的な構造を認識する手順の開発を中心に研究を進めた。特に、開発手順を大量の体幹部CT画像に適用した結果、病変の自動抽出率約70%という良好な認識結果を得ている。

また、人体の体幹部モデルの構築に関して、特定の臓器に対して、濃度・位置における臓器領域の尤度画像の生成法を提案した。生成された尤度画像は、臓器の自動抽出と病変の判断に有用な情報が提供できると期待できる。さらに、異常領域の自動検出（救急のCT画像における出血領域の抽出）への適用例を示した。

今後は、これらの精度向上に努めるとともに、多くの画像診断領域において、正常構造の理解に基づいた高度なCADシステムへの応用を検討していきたい。

〈謝辞〉

本研究は、研究室内外の多くの共同研究者や研究室の学生諸氏との共同研究の成果の賜であり、これらの方々に深くお礼申し上げます。なお、本研究は、文部科学省科学研究費補助金（特定領域研究）に基づいており、また、その一部は日本学術振興会科学研究費補助金、および厚生労働省がん研究助成金（縄野班、長谷川班）による。

●参考文献

- 1) 藤田広志, 原 武史, 周 向栄・他: 正常構造の理解に基づく知的CAD — その狙いと計画. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」第1回シンポジウム, 69~74, 2004.
- 2) 藤田広志, 原 武史, 周 向栄・他: 正常構造の理解に基づく知的CAD — 研究成果概要. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元

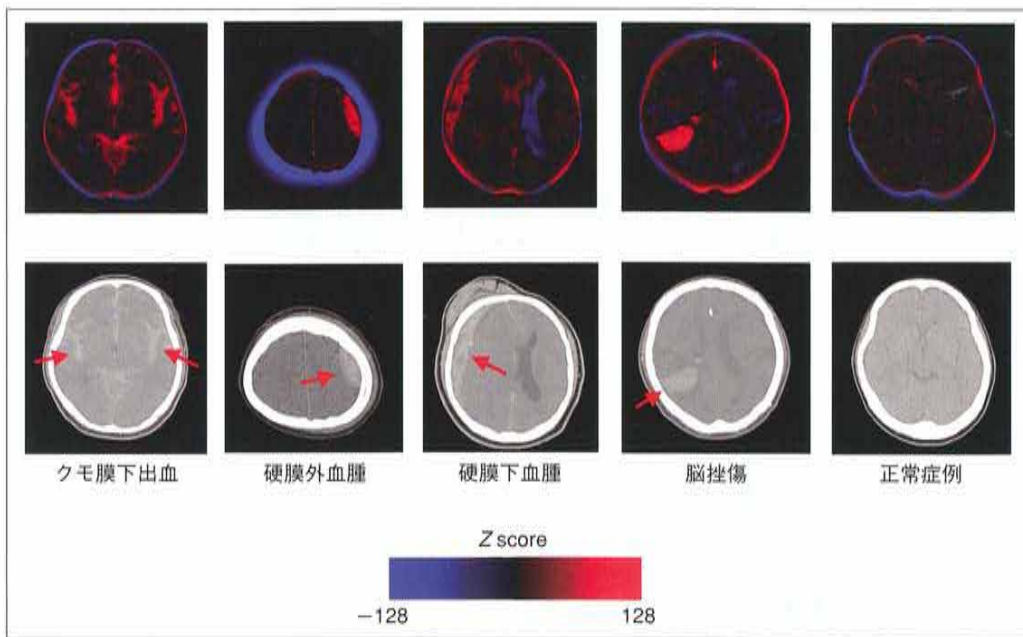


図3 正常脳モデルに基づく硬膜下血腫・硬膜外血腫のスコア画像表示例

医用画像の知的診断支援」第2回シンポジウム, part II, II 62~II 69, 2005.

- 3) 藤田広志, 原 武史, 周 向栄・他: 正常構造の理解に基づく知的CAD — 研究成果概要. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」第3回シンポジウム, 39~44, 2006.
- 4) Fujita, H., Zhou, X., Hara, T., et al.: Digital representation of diagnostic knowledge; Anatomical structures in human torso region. Proc. of the 2nd International Symposium on Intelligent Assistance in Diagnosis of Multi-dimensional Medical Images, 50~56, 2006.
- 5) 藤田広志, 周 向栄, 原 武史・他: 正常構造の理解に基づく知的CAD. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」第4回シンポジウム, 55~62, 2007.
- 6) 周 向栄, 藤田広志: 体幹部領域の単純CT画像における解剖学的正常構造の認識. *Medical Imaging Technology*, **24**・3, 167~172, 2006.
- 7) Zhou, X., Hara, T., Fujita, H., et al.: Automated segmentations of skin, soft-tissue, and skeleton from torso CT images. *Proc. SPIE*, **5370**, 1634~1639, 2004.
- 8) Zhou, X., Hara, T., Fujita, H., et al.: Preliminary study for automated recognition of anatomical structure from torso CT images. Proc. of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, 340, 2005.
- 9) 周 向栄, 小林晋士, 原 武史・他: 胸部骨格情報を利用した3次元体幹部マルチスライスCT画像からの胸郭の抽出. 電子情報通信学会論文誌D-II, **J88-DII**・9, 1999~2002, 2005.
- 10) Zhou, X., Ninomiya, H., Hara, T., et al.: Automated identification of diaphragm in non-contrast torso CT images and its application to computer-aided diagnosis systems. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **1** (Suppl.1), 366~367, 2006.
- 11) 林 達郎, 周 向栄, 原 武史・他: 気管支情報をを用いた胸部マルチスライスCT画像における肺野区間の分類. 電子情報通信学会論文誌D-II, **J87-DII**・1, 357~360, 2004.
- 12) Zhou, X., Hayashi, T., Hara, T., et al.: Automatic segmentation and recognition of anatomical lung structures from high-resolution chest CT

images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **30**・5, 299~313, 2006.

- 13) 神谷直希, 小島慎平, 周 向栄・他: 体幹部X線CT画像の展開に基づく骨格と骨格筋の構造認識. 電子情報通信学会技術研究報告, **106**・74, 77~81, 2006.
- 14) Kamiya, N., Zhou, X., Hara, T., et al.: A method for stretching the torso region in X-ray CT images and its application for automated recognition of skeletal muscle. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **1** (Suppl.1), 523, 2006.
- 15) Zhou, X., Kamiya, N., Hara, T., et al.: Automated segmentation and recognition of abdominal wall muscles in X-ray torso CT images and its application in abdominal CAD. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **2** (Suppl.1), S389~S390, 2007.
- 16) Hayashi, T., Zhou, X., Hara, T., et al.: Automated segmentation of the skeleton in torso X-ray volumetric CT images. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **1** (Suppl.1), 522~523, 2006.
- 17) Kojima, S., Kamiya, N., Zhou, X., et al.: Automated recognition of the bone structure in torso X-ray CT images. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **1** (Suppl.1), 523~524, 2006.
- 18) 小島慎平, 周 向栄, 原 武史・他: 体幹部X線CT画像における人体の解剖学的構造認識を目的とした骨格構造の自動解析. 電子情報通信学会技術研究報告, **106**・343, 43~48, 2006.
- 19) 奈良村五十志, 林 達郎, 周 向栄・他: 体幹部X線CT画像における骨盤腔の自動抽出と構造認識に関する初期的な検討. 第15回日本コンピュータ外科学会大会・第16回コンピュータ支援画像診断学会合同論文集, 279~280, 2006.
- 20) 川尻 傑, 周 向栄, 原 武史・他: 単純X線CT画像における肝臓血管の自動抽出手法の開発と性能評価. 電子情報通信学会技術研究報告, **106**・75, 31~36, 2006.
- 21) Kawajiri, S., Zhou, X., Zhang, X., et al.: Automated segmentation of hepatic vessel trees in non-contrast X-ray CT images. *Proc. SPIE*, **6512**, 65123A-1~65123A-8, 2007.
- 22) 川尻 傑, 周 向栄, 張 学軍・他: 単純X線

CT画像における肝臓血管の自動抽出法の初期検討. 医用画像情報学会雑誌, **23**・5, 141~144, 2006.

- 23) Kitagawa, T., Zhou, X., Hara, T., et al.: Liver atlas construction and evaluation using non-contrast torso CT images. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **1** (Suppl.1), 524, 2006.
- 24) Zhou, X., Kitagawa, T., Hara, T., et al.: Constructing a probabilistic model for automated liver region segmentation using non-contrast X-ray torso CT images. *Proc. of 9th International Conference for Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2006, Part II*, **4191**, 856~863, 2006.
- 25) 奥尾一将, 周 向栄, 原 武史・他: 骨格の変形による3次元体幹部CT画像の正規化と体腔の形状モデルの生成に関する研究. 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2005-85), 77~80, 2006.
- 26) Zhou, X., Kan, M., Hara, T., et al.: Automated segmentation of mammary gland regions in non-contrast CT images based on probabilistic atlas. *Proc. SPIE*, **6512**, 65123O-1~65123O-8, 2007.
- 27) 林 達郎, 周 向栄, 陳 華岳・他: X線CT画像における脊椎椎体部の骨密度の調査. 生体医学工学, 2007 (in press).
- 28) Nishihara, S., Fujita, H., Iida, T., et al.: Evaluation of osteoporosis in X-ray CT examination; A preliminary study for an automatic recognition algorithm for the central part of a vertebral body using abdominal X-ray CT images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **29**・4, 259~266, 2005.
- 29) 相澤宏明, 横井慎也, 原 武史・他: 救急医療腹部CT画像における造影効果を利用した肝臓内活動性出血の自動検出. 電子情報通信学会技術研究報告, **106**・343, 31~36, 2006.
- 30) 横井慎也, 相澤宏明, 原 武史・他: 救急医療腹部CT画像における血腫領域の自動検出と出血量推定法の検討. 電子情報通信学会技術研究報告, **106**・343, 37~42, 2006.
- 31) Hara, T., Matoba, N., Zhou, X., et al.: Automated detection of extradural and subdural hematoma for contrast-enhanced CT images in emergency medical care. *Proc. SPIE*, **6514**, 651432-1~651432-4, 2007.