

領域略称名： 計算解剖学 領域番号： 2102

平成26年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「医用画像に基づく計算解剖学の創成と
診断・治療支援の高度化」

(領域設定期間)

平成21年度～平成25年度

平成26年6月

領域代表者 (東京農工大学・工学研究院・名誉教授・小畑秀文)

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究領域の設定目的の達成度	6
4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	9
5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	10
6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	11
7. 総括班評価者による評価	12
8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	14
9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	17
10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	23

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

学術的背景

本申請グループ内の主要メンバーは、平成15～18年度の4年間にわたる文科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」（領域代表者は本申請代表者に同じ）を実施した。この研究の狙いは、従来の医用画像診断支援システムが特定の一つの臓器の特定の疾病（悪性腫瘍の検出が主）を対象とした単機能システムであるのに対して、画像内の各臓器の主要な疾病の診断支援を行なう多臓器・多疾病診断支援システムの開発に必要な基盤技術の開発を目的としたものである。結果として、世界にも類を見ない多臓器・多疾病診断支援システムのプロトタイプを開発できた。本特定領域の事後評価は「A+」であった。

現在の医用画像撮影技術は極めて高度化しており、0.5mm程度の分解能で高精細かつ高速に、3次元画像あるいはその時系列画像として人体画像が得られるようになった。生きた人体が計算機内に存在する時代となっている。しかし、データが膨大すぎて医師の読影可能な範囲の限界を超え、画像の持つ豊富な情報の一部しか活用されていない、という状況を生み出している。この現状を打破し、画像が持つ情報を最大限に活用できるようにする計算機支援技術は極めて重要なものであり、その実現にチャレンジした特定領域の成果は大いに評価できるものの、複雑かつ多様な解剖構造を持つ医用画像の計算機による理解が不十分で、細部まで理解するのに必要な基盤ができていないことが、多臓器・多疾病診断支援システムの精度に限界を与えることが判明した。その解決には、医用画像の完全理解を達成すること、すなわち、本申請の中心課題である“計算解剖学”の創成が全てに優先して重要であり、しかも計算解剖学の他分野への波及効果も極めて大きいこともあり、早急な取組が必要であることから、新学術領域の申請に至った。

研究領域の目的

本申請「計算解剖学」では、情報学の成果と高精細化した人体イメージング技術に立脚し、主要な対象を個体差が極めて大きな胸部および腹部の臓器とし、

- (1) 臓器などの解剖学的構造を数理的に記述した“計算解剖モデル”を構築し、
- (2) その計算解剖モデルを利用し、計算機による“医用画像完全理解”を追究し、
- (3) 上記(1)、(2)に基づいて画像診断・治療支援の高度化をはかる、

ことを目的としている。いわば、人体を解剖して得られる臓器構造に関する情報と等価なものを、医用画像を計算機で処理して得るための基盤技術を開発し、それに立脚した臨床応用技術を開発することである。

学術的な意義と我が国の学術水準の向上・強化につながる点

医用画像解析に基づく診断支援・治療支援分野においては、NA-MIC（全米医用画像解析連合）やERC-CISST（計算機統合手術システム研究センター）、経産省NEDO「インテリジェント手術機器研究開発」などが代表的なものであるが、いずれも計算解剖モデルの開発（医用画像の理解につながるもの）を主眼としてはいない。

一方、医用画像理解を直接的な目的にしている人体解剖・生理機能の計算機モデル分野においては、米国UCLA・LONI（脳画像研究所）や東北大学加齢医学研究所などで脳を対象にした取組がなされているが、本申請のように、個体差の極めて大きい胸部・腹部を中心に全身をその対象としたものはない。本申請が狙いとしているような医用画像を理解し、その上で個人固有の解剖構造を獲得することについては、その重要性にもかかわらず十分な研究が行われていない。本研究はこの分野の先駆的なものといえる。

本領域は、複雑な形状かつ個体差の大きな臓器形状を数理統計的に表現する基礎的手法の開発を進め、数理統計モデルに基づく画像理解の手法を開発し、計算機による解剖構造理解の基礎を確立する。医師による観察・記録に基づく旧来の定性的な解剖学を、情報学の視点から新しい定量化された解剖学として再構築する側面も持つ。また、それに立脚して多様な疾病の診断・治療の飛躍的高度支援を実現するものである。その結果の学術的意義や我が国の学術水準の向上・強化につながる点は以下のようにまとめられる。

- ・ **生きた人体の解剖**：計算解剖学は、原理的には全人類の人体を生きたまま扱うことが可能であり、空間・時間軸を含めた多次元かつ多数の個体数の統計解析結果は、従来の解剖学・画像診断学・外科学などの医学の諸分野を飛躍的に進化させる潜在力を持つ。
- ・ **医用画像完全理解の追究と臨床応用**：計算解剖モデルと画像の間の最適写像により得られる解剖構

造理解は、多臓器・多疾病の診断・治療支援における論理、ひいてはその技術水準を質的に転換・向上させる。さらに計算解剖モデルを精密化・詳細化することによる完全画像理解の追究と臨床応用を並行して進めることで、大きな相乗効果が得られる。

このように、本取組は数理的・情報学的にも解剖学および診断治療医学の側面からも大きな寄与が期待される。

研究領域の概要

放射線科医や外科医が臨床的に扱う範囲に焦点を当て、全身のCT像およびMR像などの医用画像に対して、それらに含まれる主要臓器の解剖構造を対象として、以下の取組を行う。

(1) 計算解剖学の学理構築

管腔臓器から実質臓器までの形状表現法、大局構造から微細構造に至る階層的表現法、および個体間の多様性の統計的表現法などを含む基礎理論を確立する。

(2) 医用画像完全理解のプロトタイプシステム構築

計算解剖モデルを統計的に表現された多様性の範囲内で変形させるなど、入力画像への最適写像を求めることにより、臓器構造を高精度に認識するシステムを開発する。

(3) 計算解剖モデルの革新的臨床応用の開発

多疾病の早期診断支援、診断・治療の融合的支援、死因究明のためのAi（オートプシー・イメージング；死亡時画像（病理）診断）支援のためのシステムを開発し、従来技術とは質的に異なる高精度化をはかり、臨床に応用する。

研究項目

本学術領域は、上記の(1)～(3)に示すように、人体の構造や機能に関する知識を、体系的かつ数理的に記述する概念および方法論としての「計算解剖学」の創成を行うと同時に、医療における診断・治療支援の高度化を実現する。そのためには、以下に示す3研究項目、すなわち、

A01. 計算解剖学基礎：計算解剖学のバックボーンとなる数理的基礎や基盤技術の確立

A02. 計算解剖学応用：臨床展開に堪えうる計算機支援技術の開発と医工融合基盤の整備

A03. 計算解剖学の臨床展開：臨床展開で得られた知見に基づく臨床応用論の確立

を設定する。

A01 では数理的基礎理論の研究を行うが、基礎理論の成果は計算解剖モデルによって具体化され、そのモデルの有効性は医用画像完全理解によって検証される。A02 では、計算解剖学の応用面の重要な目的である診断・治療支援技術の開発に取り組む。特に、超早期診断、診断・治療融合、死因究明をキーワードとする3つの最先端の計画研究を設定し、新しい診断と治療の分野を切り拓くことを重視する。A03 は、A02 の成果を実際の臨床の現場で利用して、日常的に検証を続ける。そのため、A03 の各計画研究は、計算解剖学を真に安全・安心な医療の構築に資する学問へと展開させる重要な役割を担っている。

これら3つの研究項目は、基本的には基礎から応用へとA01→A02→A03の依存関係にあり、さらにその適用結果の評価に基づき、A03→A02→A01の逆向きのフィードバックによる更なる見直しや高度化をはかる必要がある。本領域においては、上記3つの研究項目を設定し、8つの計画班を中心に計算解剖学とその応用技術を分担して研究・開発を行うこととした。それぞれの研究課題は互いに相互依存の関係にあり、研究成果の共有やそれらの統合が必須である。この点で領域内における研究の有機的結合が極めて重要であり、それを実質化する総括班の役割は大きく、それを確実に果たすことにより、はじめて本領域が目指す計算解剖学という新しい学問領域の創成とその臨床応用技術を確立することができる。

国家戦略との関係

平成25年6月7日閣議決定された「科学技術イノベーション総合戦略」の中における重点的な取組として、(2-1) がんの革新的予防・診断・治療法の開発と、(4) 医薬品、医療機器分野の産業競争力強化（最先端の技術の実用化研究の推進を含む）が記載されている。この内容としては「非侵襲・低侵襲の検査・早期診断技術、放射線治療技術、ナノバイオデバイス、手術支援ロボット、診断支援等に用いる医療用ソフトウェア等、医療機器の開発を進めるとともに、バイオ医薬品等の革新的医薬品の創出に向けた研究開発や支援体制の構築を進める。」とあり、これはまさに本学術領域における研究に一致する。

2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

計算解剖学の創成とその応用技術の確立には、医学者ならびに工学者が協調して領域を推進できる環境を整備し、計画研究および公募研究の密な連携と相互調整により領域全体の研究の遅滞のない進展を図る必要がある。本領域はA01. 計算解剖学基礎、A02. 計算解剖学応用、A03. 計算解剖学の臨床展開の3研究項目から成る。基本的には基礎から応用、臨床展開へとA01→A02→A03の依存関係にあるが、各項目がフィードバックや相互連携を行うことで、全体のレベルアップがはかれる関係でもある。また、計画班ではカバーしきれないが将来的に重要となる研究テーマに関して公募を行った。計画班の研究とは相補的なテーマを扱う公募班が計画班と連携しつつ領域全体の研究推進の一翼を担った。また、各研究班の研究成果を共有・統合し、それぞれの立場から得られたフィードバックを各研究班に還元できる体制を維持できて初めて計算解剖学が創成できる。この任に総括班が中心になってあたりつつ、諮問委員会からの意見を活かす運営ができるよう研究組織・管理運営体制を構築した（図2-1）。

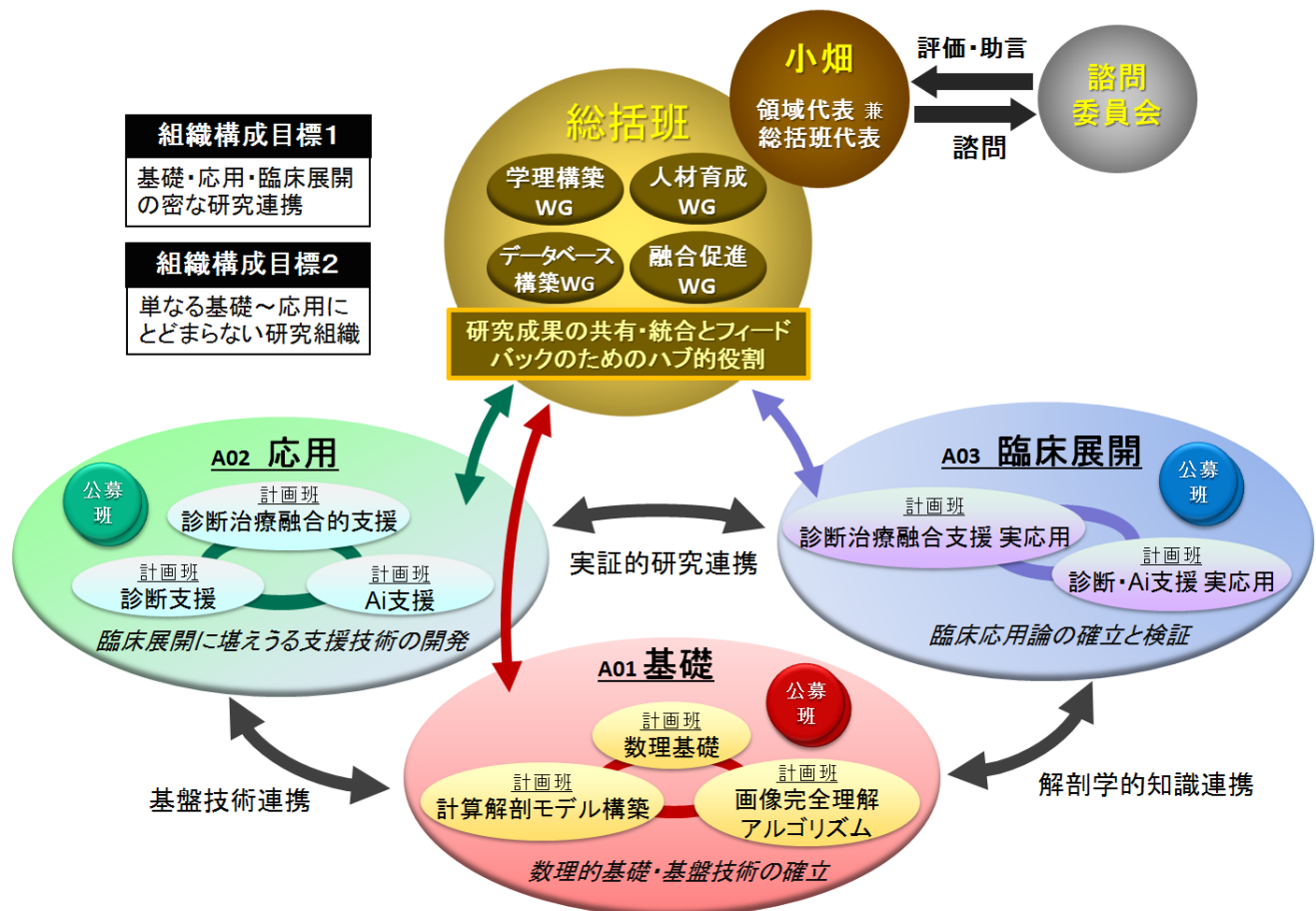


図2-1 研究組織・管理運営体制

総括班

総括班は各研究項目の研究方針の決定と企画調整を行うとともに、全般的な進捗状況を把握した上で公募班を含めた領域全体が調和のとれた進展がはかられ、研究者相互の有機的連携の保持に役立つように運営した。そのため、次のようなワーキンググループ（WG）を組織して運営にあたった。

- (1) データベース構築WG：200症例のX線CT画像に対してマニュアル操作による臓器抽出を行い、開発目的とする画像理解システムのゴールドスタンダードとなるデータベースを構築し、領域内に配布、共有した。
- (2) 融合促進WG：研究成果の共有と統合化により、工学的および臨床的融合連携支援を主な任務としたものである。各研究班における研究を促進するために、医用画像処理共通基盤プラットフォーム（PLUTO）の整備、臓器抽出、計算解剖モデルを用いた臓器ラベル作成支援ツールなど汎用的なプラグイン14個を開発し、領域内で共有した。また、PLUTOプラグイン開発支援のための開発講習会を開催するとともに、本領域のホームページを通じて公開した。

研究項目間で共有するデータベースおよび研究成果は、臓器マーク画像として表現される場合が多い。これらを共有し円滑な情報交換、利用促進を行うため、頭頸部、胸部、腹部、上肢、下肢、およびそれらに含まれる臓器の細分類に至るまで、利便性の高い標準臓器マーク値を決定し、本領域のホームページを通じて公開した。

(3) **人材育成WG**：研究連携強化と人材育成を目的とした合宿形式の領域内ワークショップを、総括班が中心となり2年目より4回開催した。この活動を通して、大学の壁を越えて計画班、公募班の若手研究者・学生が自発的に若手集団を形成し、独自の若手ワークショップを2回企画し、グループ討論などで問題意識を共有した（延べ65人参加）。また、異なる班への研究インターンシップも実施した。これらの活動により若手の連携が強化され、“全身CT画像の完全理解とその診断・治療支援への応用”という領域内成果統合を必要とする最終目標を円滑に達成することができた。

(4) **学理構築WG**：計算解剖学の学理構築への方向性と研究の現状とを対比しつつ、領域外関連分野（数学・コンピュータビジョンなど）の研究者を研究討論会に招くなど、学術的課題の議論を定期的に行い、その結果を学理構築へ向けての領域運営に活かしてきた。計算解剖学の学理は、2冊の英文教科書という形で実を結びつつある（Springer社より発刊予定で、現時点で第一巻の約50%が脱稿済み）。

諮問委員会

上記の運用が第三者的にも正しい方向に運営されていることを担保するため、著名な内外の研究者からなる諮問委員会を組織した。領域全体の進捗状況の把握・点検・評価、および研究項目間に及ぶ課題につき、忌憚のない意見を拝聴した。研究の進捗状況を開示するための国際シンポジウムを毎年度末に開催し、それに基づいて研究の進捗状況の評価や研究の方向性に関して諮問委員から意見を募り、次年度には指摘事項に沿った領域の運用を行った。

計画班・公募班など研究組織間の連携

以下に示すとおり連携研究は、計画研究と公募研究の調和に配慮しつつ、研究開始当初より活発かつ効率的に行われ、研究組織や研究者相互の有機的連携が保たれてきた。

(1) システム・ソフトウェア・モデル・データ等の提供

- ・解剖学的ランドマーク検出システム：【A01-1 増谷班】→【A01-2 佐藤班】【A02-3 清水班】【A03-1 木戸班】
- ・臓器形状の位置と形状に関する計算解剖モデル：【A01-3 藤田班】→【A01-2 佐藤班】【A02-2 森班】
- ・明確化された臨床的要求仕様および工学的課題：【A03-2 橋爪班】→【A02-2 森班】
- ・臨床例の3D-CTデータ：【A03-KB3 岩野班】→【各計画班】

(2) 共同研究プロジェクト

- ・融合型診断治療ナビゲーションシステム：【A02-2 森班】、【A03-2 橋爪班】、【A03-7 三澤班】
- ・肺、肝臓の統計アトラスの構築：【A01-3 藤田班】、【A03-1 木戸班】
- ・オートプシー・イメージングのための診断支援システムの開発：【A02-3 清水班】、【A03-1 木戸班】
- ・統合システムの臨床データへの適用に関する融合的研究：
【A01-3 藤田班】、【A02-2 森班】、【A03-2 橋爪班】
- ・肝臓領域抽出・形態解析による肝硬変症支援診断：【A01-2 佐藤班】、【A01-7・A01-KB4 陳班】
- ・先端機械学習による計算機支援診断（CAD）：【A01-3 藤田班】、【A01-7・A01-KB4 陳班】
- ・一般化N次元主成分分析を用いた4次元医用画像解析：
【A01-7・A01-KB4 陳班】、【A02-6・A02-KB2 羽石班】
- ・呼吸性横隔膜運動の統計モデル：【A02-6・A02-KB2 羽石班】、【A01-7・A01-KB4 陳班】、【A03-1 木戸班】
- ・手術工程解析法の臨床およびトレーニングへの応用：【A03-KB1 中村班】、【A03-2 橋爪班】
- ・実時間有限要素解析法を利用した手術ナビゲーションシステム：
【A03-5・A03-KB4 諸岡班】、【A03-2 橋爪班】

(3) その他・助言など

- ・確率アトラス作成に関して：【A01-1 増谷班】【A02-3 清水班】→【A01-KB1 工藤班】
- ・解析・計算手法に関して：【工学系各班】→【A02-4・A02-KB1 福田班】

3. 研究領域の設定目的の達成度（3 ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目毎の状況も記述してください。

●研究領域の設定目的と研究対象

申請時において、本領域では個体差が極めて大きな胸部および腹部の臓器の3次元X線CT画像を対象とし、研究目的として、

- (1) 臓器などの解剖学的構造を数理的に記述した“計算解剖モデル”の構築
- (2) 計算解剖モデルを利用した医用画像完全理解の迫及
- (3) 診断治療を高度化する計算解剖モデルの革新的臨床応用の開発

の3つを設定した。

(1)では、多様な形状・トポロジーを含む管腔臓器から実質臓器までの形状表現法、臓器の動態や機能の表現法、個体間の多様性の統計的表現法などを含む基礎理論を確立することを目指した。

(2)では、計算解剖モデルを統計的に表現された多様性の範囲内で変形させるなど、入力画像への最適写像を求めることにより、臓器構造を高精度に認識するシステムを中心として開発することを目指した。

(3)では、多疾病の超早期診断支援、診断・治療の融合的支援、死亡時画像診断支援のためのシステムを開発し、従来技術とは質的にも異なる高精度化をはかり、臨床に応用することを目指した。

●設定目的と研究対象に対する達成度

上述の研究目的に対して、以下の結果を得た。本領域最終シンポジウムでは、実画像を利用した具体的なデモを行い、これらの目的が達成されたことをアピールした。

(1) 計算解剖学の学理構築

個人差の大きな臓器位置・形状に対応するために、まず、体型や臓器位置の大局的な正規化を行い、次に、各部位・臓器毎に臓器形状の個人差を削減する計算解剖モデルの表現法を開発するという方針をとった。A01-1により、解剖学的ランドマークに基づく人体空間（体型）の正規化法が開発された。A01-3により、臓器位置の検出法が開発された。以上により、体型・臓器位置の正規化が可能になった。A01-2により、複数臓器間関係に基づく予測を利用し、個人差による形状の統計的変動幅を大幅に削減する計算解剖モデルが開発された。以上の成果は、次に述べる医用画像完全理解システムとして統合された。よって、当初の目標を達成できたと考える。

(2) 医用画像完全理解のプロトタイプシステム構築

A01-1の“解剖学的ランドマーク検出システム”およびA01-3の“臓器の位置検出”を、A01-2で開発された人体の部位毎の計算解剖モデルと組み合わせ、全身あるいは撮像範囲未知のCT画像において、自動的に、計算解剖モデルで表現された臓器や血管などの画像理解を行える枠組みを確立した。最終的に、A01-2の腹部と股関節筋骨格、A02-1の胸部臓器と体幹部骨格、A02-2の血管の解剖モデル等を統合して、体幹部をほぼ網羅する画像理解が可能になった。よって、当初の目標を達成できたと考える。

(3) 診断治療を高度化する計算解剖モデルの革新的臨床応用の開発

1) **診断応用** 肺がん、肝臓がんなどの診断支援技術の高レベル化を実現した。総括班で収集したデータベースやA01で開発された数理統計手法を基にして高度な臓器抽出法、臓器・疾患表現法、認識法を開発した。また、A02-1が肺がん、肺気腫、および肝臓疾患を対象とする計算機支援診断のプロトタイプを実現し、大規模データベース評価やA03を含む領域内外の臨床研究により高度化することで、革新的臨床システムを開発する目標が達成された。

2) **融合応用** 高い精度で得られる解剖構造情報を活用して、A02-2で安全で確度の高い手術支援・手術ナビゲーション手法を実現し、A03では臨床的な有効性も確認した。領域内において連携研究を推進し、A01での臓器構造自動認識理解結果に加え、血管解剖学的名称自動認識結果、腫大リンパ節自動検出結果を利用することで、高度な解剖構造理解に基づき診断治療を融合的に支援するシステムの実現がなされた。また、A03の研究者が中心となってここで開発されたシステムを評価し、解剖構造理解に基づいたこれまでとは質的にも異なるシステムの実現が達成された。

3) **死亡時画像診断支援** 死後の臓器変形過程の解析を進め、変形著しい臓器の新しいモデリング手法の開発と画像認識、その活用による死因推定と死後経過時間推定に大幅な進展をみた。特に、死因推定と死後経過時間推定においては、A02-3とA03-1が共同で取り組んだ成果であり、A02-3で作成した死体の臓器認

識アルゴリズムを、A03-1 で開発した臓器内のテクスチャ解析と機械学習に基づくアルゴリズムと組み合わせることにより、世界初の死因推定と死後経過時間予測を行うシステムを構築した。

これらの研究成果は、応募時に設定した研究目的に十分にかなうものであり、後掲の「7. 総括班評価者による評価」に示す結果からも、**研究領域としての設定目的は十分に達成できたと自己評価した。**

●研究項目ごとにおける目的達成度

上述の研究成果は、領域内における研究が融合されて生み出されたものであるが、これらは、各研究項目における研究が礎となっている。以下に、研究項目毎に、また、計画班の内容を中心に具体的に示す。

【研究項目 A01】

A01 では、上記研究目標 1 および 2 を中心にして研究を行い、計算解剖モデルの構築と医用画像完全理解を実現し、その達成に成功した。その成果は A02, A03 で利用されている。以下に具体的項目を示す。

1. 計画班

A01-1 計算解剖学の基礎数理：具体的な研究目標を (1) 計算解剖モデルにおける解剖学的知識表現、(2) 解剖学的ランドマークと画像特徴、(3) 人体空間正規化とモデル更新、として設定した。解剖学的ランドマークを埋め込んだ臓器形状表現による計算解剖モデル、および画像特徴に基づく解剖学的ランドマークのモデリングと自動検出、臓器領域抽出を含む医用画像理解の手法は、(1)、(2)、および (3) の一部 (モデル更新) に関して重要な成果を得た。また、(3) の人体空間正規化に関しても体幹部において約 200 点に及ぶ解剖学的ランドマークの自動検出法を確立したことは、人体空間の正規化を行う上での基礎が固められ、設定目標を十二分に達成した。

A01-2 計算解剖学の基盤技術：全身解剖を扱う複数臓器の計算解剖モデルの表現と構築、その医用画像理解と診断・治療支援への応用の基盤技術開発を目指した。多数の臓器形状データ統計解析により、“臓器間相関”と“階層性”の 2 つの観点に着目した計算解剖モデル表現法を開発し、これをベイズ推定と組み合わせた臓器自動認識法を開発した。CT 画像からの腹部臓器と筋骨格の認識に適用し、上記 2 つの観点の導入により、臓器認識性能が有意に向上した。さらに、臓器形状に加えて診断・治療情報を組み込んだ計算解剖モデルを構築し、ベイズ推定・機械学習と組み合わせることにより、肝線維化自動診断、人工股関節自動手術計画立案を高精度に行えることを確かめた。設定目標を十二分に達成した。

A01-3 計算解剖モデルの構築：(1) 千症例以上の体幹部 CT データベースの構築、(2) 臓器・組織の位置と形状に基づく計算解剖モデルの構築、および (3) 実用的なコンピュータ支援診断 (CAD) システムへのモデル応用、を研究目標として設定した。これらに対して、(1) 約三千症例の体幹部 CT 画像を含むモデル構築用のデータベースを構築し、(2) 人体の主要な臓器・組織を含む 18 種類の臓器・組織の位置モデルと 6 臓器・組織の形状モデルを構築し、また (3) 構築したモデルを複数の CAD システムの開発に応用して性能を確認した。よって、本班が設定した初期の目標を十二分に達成したと考える。

2. 公募班

計画班の研究を補完する研究テーマを中心に研究を実施した。具体的には、計算解剖学を応用した新しい医用イメージング枠組みの構築、治療計画のための計算解剖モデルの構築、高階エネルギー最小化アルゴリズムの医用画像処理 (特に 3 次元多臓器セグメンテーション) への応用、肝臓形状解剖モデルによる肝硬変診断支援と計算解剖モデルを構築するための先進的な数理手法の開発、肝線維化の力学モデル構築と超音波組織弾性像に基づく肝疾患の定量的診断法の研究、肺の虚脱シミュレーションの統計的数理モデルの構築と腫瘍ナビゲーションへの応用研究などを行った。設定された目標に対して、概ね達成することができたと自己評価する。

【研究項目 A02】

A02 では上記研究目標 2 および 3 を中心にして計算解剖モデルを活用した医用画像完全理解を追求し、A01 との連携による高精度・高確度の画像診断・治療支援システムの実現と A03 との連携による有用性の検証を行いその目標を達成した。以下に具体的項目を示す。

1. 計画班

A02-1 計算解剖モデルを活用したコンピュータ支援診断システム：小型肺がん候補 (径 5mm 以上の陰影) の検出能 99.3%、拾いすぎ個数は 1 症例当り 5.61 個以下の肺がん検出能を示す技術や胸水・胸膜病変などを検出する技術開発に成功した。肺気腫が疑われる低 CT 値領域といった異常部位検出および椎体骨折や脊椎側弯症を含めた骨粗鬆症検出のコア技術の開発に成功した。経時拡大 CT 画像を用いて肺がんの病態を時空間で解析する定量解析法の開発に成功し、肺がん候補の悪性度や予後予測への応用に期待

できることを示した。これらを統合したプロトタイプシステム構築とその実用化に向けて臨床評価を国立がん研究センター東病院の PACS に接続して臨床研究を実施することに成功し、研究項目の目標達成を果たした。

A02-2 計算解剖モデルを活用したナビゲーション型診断治療融合的支援システム：種々のがんの診断・治療に関連した解剖学的構造情報が提示可能な手法の実現とそれに基づく「ナビゲーション型診断治療融合的支援システム」の実現を研究目標として設定した。その結果、臓器領域、解剖学的名称、腫大リンパ節等の自動認識を行う手法の開発に成功した。位置センサから得られる情報と手術前に撮影される画像情報から内視鏡や鉗子の動きを追跡し、先述の自動認識情報に基づいてナビゲーション画像を生成する診断治療融合的支援システムの開発に成功し、目標達成を十二分に果たした。支援情報の新たな提示法として術野における 3D プリンタで造形された臓器モデルの利用を試み、その成果は朝日新聞夕刊 1 面で紹介された。

A02-3 計算解剖モデルを活用した死亡時画像診断支援：死体を対象とした世界初の計算解剖学の研究分野を立ち上げ、変形著しい死体の臓器の新しい計算解剖モデルの構築法を提案した。続いて、そのモデルを用いた死体の臓器の認識アルゴリズムの開発、および死体の CT 像からの肋骨の骨折検出支援システムの構築に成功した。さらに、臓器の認識結果は A03-1 に提供し、死因の推定と死後経過時間の予測を行うアルゴリズムの共同開発に世界で初めて成功した。これらのことから、当初の目標は十分に達成できたと考えている。

2. 公募班

多数脳 MRI からの脳形態標準化と疾患脳 MRI との形態差自動診断アルゴリズムの開発、空間統計解析に基づく臓器モデル法の開発、4D-MRI 撮影法の高速度化、呼吸性体動のモデル化と胸腹部の放射線治療への応用、完全連続脳標本による計算解剖モデル構築と脳表や脳室など形状全体を基準とした高精度 3D 変形法の開発が実施され、各々の研究項目に関する要素技術の開発に成功し、目標達成を果たしている。

【研究項目 A03】

A03 では上記研究目標 3 を中心とし、A01, A02 と連携し、臨床応用の側面から計算解剖モデルを用いた診断治療の高度化を目指し、その目標を達成した。以下に具体的項目を示す。

1. 計画班

A03-1 計算解剖モデルの診断支援とオートプシー・イメージング支援応用：生前と死後の画像診断支援に関して、計算解剖モデルに基づいた診断支援アルゴリズムの開発を行い、臨床的な観点からの評価を行うことを目的とした。生前画像の診断支援に関しては、びまん性肺疾患や肺機能評価のアルゴリズムの開発および臨床評価や、A01-3 と共同での基礎的なアルゴリズムの開発など十分に目的を達成できた。死亡時画像診断に関しては、死亡時画像診断支援のためのレジストレーション法の開発やミニプタを用いた基礎的データの収集が行われ、A02-3 と共同で死亡時刻や死亡原因推定手法の開発などを行い、設定された目標を達成できた。

A03-2 計算解剖モデルの診断・治療の融合的支援応用：計算解剖学の臨床展開・臨床応用論を担当し、医療支援技術の現状分析と各種支援技術の評価を行うことを目標とした。具体的には A02-2 と共同で開発をすすめた各種システムを臨床応用した。リンパ節自動診断システムを消化管がんの臨床例数例に応用したのをはじめ、仮想内視鏡と実内視鏡像の重畳表示システムを実際の内視鏡外科手術 9 例に応用した。トレーニング・リハーサルについては、腹腔鏡手術時の気腹シミュレーションシステムを開発し、その精度を検証した。さらに、外科手術・術者の計算モデルに関して、臨床的要求条件および工学的課題の検討を行った。これらのシステムは臨床の場に有益であるとの結論に至った。よって、設定された目標を十分に達成できたと考える。

2. 公募班

公募班は、計画班が実施した臨床展開を補うように研究を実施した。腹腔鏡下手術における計算解剖モデルと手術工程分析アルゴリズムの構築、仮想マージン法を用いた肺区域切除術計画の臨床的有用性・安全性についての検討、実時間で有限要素解析ができるシステムを核とした低侵襲手術を支援するシステムの開発、計算解剖による線維追跡画像の電気生理学的な検証、ロボット遠隔手術システムの導入、フレームレートを考慮した単眼のモーションステレオ法による 3 次元計測の検討、臨床画像データの収集・解剖診断・データベース構築などを行った。設定された目標を達成することができた。

4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1 ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

中間評価での指摘事項も含め、研究推進時に対応が必要と判断される課題は以下の4点であった。順にそれらに対する対応策とその効果について示すが、研究推進時に生じた問題への対応は適切であったと自己判断した。

1. 学理構築について

学理構築 WG は本領域採択時から活動を開始し、これまでの新学術領域の報告書などを参考に新しい学問の学理がどのように構築されているかを調査してきた。しかし、明示的に学理を述べている学問領域は皆無であり、学理の構築および明文化の困難さが浮き彫りとなった。一方、中間評価においても計算解剖学の学理が明確でないとの指摘を受け、領域内部での議論のみでなく外部の意見を取り入れることとした。すなわち、学理構築 WG の活動として学術的課題に関する議論を継続的に進めると同時に、外部の研究者を迎え学際的な討論を定期的に行う機会を設け、学術的課題の整理や方法論の体系化を進めた。その結果として学理の基礎部分が固まり、これらの成果を教科書の形でとりまとめることとした。現在は第二巻までの内容構成が決定されており、第一巻は2014年度中に出版予定である。これらに加えて、領域終了後の継続的な研究および議論に基づく続巻の編纂を通じて計算解剖学の学理が完成に近づくと考えている。

2. 数学の専門家不足について

研究を推進する過程において、数学的な見地からの計算解剖モデルの記述に関する検討が必要であることの重要性が認識された。特に、この点は、本領域の中間評価においても指摘がなされ、当該部分の強化が必要であるとの認識を領域全体として持つに至った。そこで、次の対応を行った。(1) 5年間の研究期間の後半4年目と5年目の公募にあたって、特に数学的基礎の部分を重視する、との趣旨で募集を行った。最適化や計算数学を専門とする研究班を選定することができ、計算解剖モデル構築に一定の寄与が認められた。(2) 数学を専門とする研究者を計画班に分担者として配置し、本分野における数理的モデルの構築法やその利用法に関しての研究を進めるようにした。具体的には、2つの計画班 A01-1 および A02-2 において、臓器形状の数理的表現やそのモデル化、血管などのグラフ・トポロジカル表現に関する数学研究者を配置し、研究を遂行した。(3) その他、数学者の研究室を直接訪問し、数度にわたり研究討論を行った。その結果、最新の数学が計算解剖学にどのように貢献するかを見極めるのは極めて難しく、計算解剖学と数学の両分野に精通するような研究者の育成を行い、議論をする場の構築がまず必要であるとの認識を持つに至った。今後は継続的に交流を続け、計算解剖学における問題を数学者に提示した上で、数学のどの分野が問題解決に最も貢献するかを見極める活動が重要である、との結論に至った。

3. データベース整備遅延について

(1) 研究期間の最初の2年間（平成23年3月まで）、領域内の全ての計画班と公募班で共通に利用する予定であった体幹部のCT画像データベース用の臨床画像の入手に、わずかながら当初の予定からの遅れが生じた。これは、データベース化に際して、被検者の個人情報保護を最優先するため、被検者から郵送により同意書を得ることとしたが、予想以上の時間が必要であったためである。しかし、平成23年6月時点では、領域内の全ての計画班と公募班に対して、166症例分のデータの配布を完了し、同年度中に当初予定していた200症例の配布を完了した。

(2) 計算解剖モデルのための臓器領域のラベル画像の作成も平行して進め、200症例に対して撮影された541ボリュームの3次元CT画像に対して、学習用と評価用となる19臓器ラベルの配布を予定通り完了した。その結果、ラベル画像を用いた計算解剖モデルの構築や、それに基づく診断支援システムや治療支援システムの研究・開発も予定通り進めることができた。

4. 共同研究の促進について

中間評価の段階において、共同研究がより進むことを期待する、とのコメントをいただいた。これを受け、総括班内の融合促進 WG の活動を強化し、各研究班の研究成果を共有できるようにし、ソフトウェアの配布を行うなど、環境の整備を強化した。これに加え、基礎数理の発展→応用システム開発の促進→臨床への適用→その結果のフィードバック、という循環がスムーズに機能するようになり、最終年度においては中間評価段階と比較して共同研究論文数は倍増するなど、領域として一体となつての取組ができたといえる。本領域の最終シンポジウムにおいても、領域内連携研究の成果を実画像に基づく具体的なデモとして発表した。

5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

1. 博士後期課程進学・修了者の状況・進路

本領域内全体での研究期間内（H21～H25年度）5年間の博士後期課程修了者数は33名であった。これは、直前の5年間（H16～H20年度）と比べて12名増であった。研究期間内の修士課程修了者は162名であった。博士：修士の比は、約1：5であり、博士進学率は依然として高いとは言えないが、博士修了者数は30%以上増加した。なお、現在の博士課程在学者数は29名である。博士修了者の主な就職先は、大学教員10名、公的研究機関5名、ポスドク8名、企業6名であった。

2. 研究領域内での若手研究者育成の取組

本領域では、(1) 国際的な最高水準を目指し、(2) (研究班の枠を超えた) 連携研究を推進できる人材の育成を目指した。総括班は、研究連携・若手の意欲向上を目的とした領域内ワークショップ（計6回、うち2回は若手が自主的に企画）、主に海外の一流研究者による計算解剖学セミナー（計22回）を行った。さらに、領域内研究班間の交流に加えて、海外の連携研究機関での若手研究者の滞在を奨励し、欧州（仏INRIA、英インペリアルカレッジロンドン、独ミュンヘン工科大、スイスベルン大等）、米国（ハーバード大、南加大、NIH等）の連携研究室に、延べ19名の若手が長期・短期滞在を行い、国際性と連携研究の両面からの育成を促進した。一方、これらの海外機関からの研究者も多数、本領域の研究班に滞在した。2013年9月には、医用画像解析のトップ国際会議であるMICCAI (www.miccai.org) を本領域のメンバーが中心となって（大会長、プログラム委員長等を担当）、日本（名古屋）で開催した。この会議では一流研究者が一堂に会し、若手にとって大きな刺激となった。以上のような取組の結果、期間内に、40歳以下の若手研究者の筆頭著者論文が、トップ論文誌（IEEE-TMI、IEEE-TIP、MedIA、MedPhys）に16本、トップ国際会議（MICCAI、CVPR、ICCV）に18本採択されるという成果を得た（トップ論文誌、トップ国際会議：医用画像・画像解析の分野で国際的に真にトップと認められるものだけを厳選）。国際的な賞も、医用画像系のRadiological Physics and Technology最優秀論文賞、手術支援系のCAOS-International最優秀技術論文賞、医学シミュレーション系のIMSH準最優秀技術革新賞など、若手により21件獲得された。

3. 若手研究者の研究終了後の動向

(1) **特徴的な活動**：領域内ワークショップを通して、自発的に若手研究者集団が形成された。この集団は研究期間終了後も継続的かつ発展的な「計算解剖学」の推進を行っている。また、日本生体医工学会と連携した計算解剖学サマースクール（H26年8月開催予定）や計算解剖学・医用画像解析のウェブ辞典の作成を企画するなど、広く生体医工学領域に活動の幅を広げている。

(2) **特徴的な進路**：本領域に参画した若手による**融合領域の開拓、海外機関への進路**の事例を以下に挙げる。(a) 医師であるが工学研究に強い興味をもつ若手が、A01-1のポスドクとして本領域に参加し、海外での滞を経験し、トップ国際会議での論文採択を達成した。研究終了後、医学部の助教になる一方、領域内の別の研究班（A02-3）の工学系博士課程に社会人入学し、現在、さらに高い水準での医学・工学融合を目指している。(b) 工学系若手が、A01-2のポスドクとして、海外機関とも共同で計算解剖学に基づく医用画像完全理解に取組、トップ国際会議での論文採択を達成した。研究終了後、本領域の公募班が関与している仮想手術シミュレーションプロジェクトに助教として参画し、本領域で磨いた技術を“患者固有”シミュレーションに応用している。(c) 工学部出身で医学系大学院に所属する学生がA03-2に参画し、国際会議でも高い評価（準最優秀技術革新賞）を得て、博士を修了した。研究期間終了後は、JSPS日仏学術共同研究において、特任助教として手術トレーニング定量化研究の中心的研究者として活躍している。(d) 工学系若手が大学院生としてA02-2に参画し、トップ論文誌・トップ国際会議で複数の論文が採択された。終了後、カナダの先進医工学研究機関 (<http://www.robarts.ca/>) で研究を継続している。

本領域を経験した若手研究者は、関連する国内のベンチャー企業や大企業へ就職・転職し、それぞれの企業で本分野に関連する学術性の高い研究開発を行っている。また、その成果を積極的に学術発表するとともに、国際論文誌採択などの成果もあげている。海外の代表的な医用画像系大企業では、製品開発と学術研究の双方が相乗効果をもたらしているが、本領域で育成された若手は、我が国の企業に対しても同様の相乗効果促進に貢献している。以上のことから、本領域は、若手研究者育成へも大きく貢献したといえる。

6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

総括班研究課題の活動状況、あるいは、領域内連携研究推進の観点から、研究費の効果的使用状況に関して、設備、人材、旅費のそれぞれについて列挙する。

1. 領域内共通設備の確保と研究特性に応じた研究設備の整備

膨大な個体数の画像データに基づく計算解剖モデルの表現と構築、そのモデルを利用した頑健かつ精密な画像理解と人体構造知識の抽出という中心課題に対して、データ取得、データ解析、現場で利用する装置などの設備や備品を整備した。

(1) 計算環境ならびにデータ蓄積環境の整備

総括班における領域内連携の一環として、計算解剖モデルデータベース、基盤ソフトウェアの提供を目標に掲げ、そのための設備整備を行ってきた。そのために、共通データベース作成用のコンピュータ、磁気ディスク装置、タブレット装置、基盤ソフトウェア利活用講習会で利用するラップトップ PC などを購入し、これらを領域内共有設備として供することで領域内研究の推進を図るとともに、設備の有効活用に徹した。なお、機関を跨いで医用画像をネットワーク的に常時共有することは個人情報保護やネットワークトラフィックの観点からも困難である。そのため、各班における計算解剖学研究を進めるための計算機、データ蓄積環境については、各班での研究の性格も考慮しながら、それぞれにおいて必要最低限な量を手配することとして、研究費の有効活用に努めた。

(2) 特殊装置

計算解剖学の応用システム開発や臨床展開を担う研究項目 A02、A03 を中心に、診断・治療の現場に必要な内視鏡、手術エネルギーデバイスといった実験機器を購入し、領域内で連携を進めながら研究を行うための環境を整えた。A02 で導入した内視鏡装置を利用することで構築された診断支援融合的支援ソフトウェアは、A03 での臨床実験に利用された。日常臨床で利用されている診断治療機器は、手術室外に持ち出すことは難しいこと、滅菌の問題、利用可能時間が非常に限られることなどの理由により各班で実験用器材として導入した。A03 に属す臨床医は、A02 の研究班に赴き、そこで整備された診断治療機器を用いて、診断支援融合的支援ソフトウェアの実験手順の確認、実物を前にした議論などを行うことで、設備の共有と有効活用を図った。また、A02 の研究班で導入された 3D プリンタはアウトリーチ活動でも利用された。

2. 連携研究を加速する人的資源確保

先述のように、総括班内研究課題における中心課題として、計算解剖データベース、基盤ソフトウェアの開発・配布・利活用促進を掲げ領域内融合研究を加速させた。これを実現するために、データベース作成（特にコンテンツ生成）を担う人材、基盤ソフトウェア開発を担う人材の双方が必要となる。そこで、総括班において 2 名のポスドク相当の研究者、ならびに、研究補佐員を雇用し、データベース構築、基盤ソフトウェア構築を加速させた。

なお、計画研究の各班においては単年度当たり 1 ないし 2 名のポスドクを配し研究を進めた。これらのポスドクは、各班における研究課題を遂行するのみでなく、領域内の融合研究加速の一役を担った。本領域では、ワークショップ、若手ワークショップを開催し、領域内における諸問題について領域参加者全員で考える機会を設けた。これらには、各班で雇用されたポスドクが積極的に関与し、新たな問題設定、基盤ソフトウェアの普及、データベースのブラッシュアップ活動などを進めた。このように、各班におけるポスドク雇用は総括班活動にも深く貢献しており、領域内融合の観点からしても効果的に人件費を活用できているといえる。

3. 評価・広報を兼ねた国際シンポジウム開催に関わる旅費

計算解剖学は、国際的に見ても極めて新しい研究領域であり、その成果を世界に発信し、また、適切な評価を得ることは極めて重要である。そのために、本領域では、5 年間の研究期間全体にわたり毎年度末に国際シンポジウムを開催した。ここでは、国内の諮問委員はもちろん海外の諮問委員 2 名を招聘した。またこのシンポジウムでは、2 名の招待講演者も招聘し、計算解剖学に関する海外の研究動向について講演いただくとともに、評価者と並んで領域内の研究活動に関する率直な評価を行っていただいた。これらに要する費用は総括班から支出を行った。後の 7. 総括班評価者による評価でも述べるが、ここで得られた評価コメントは極めて有益なものであり、毎年度の研究方針・計画に多大な影響を及ぼした。以上から、毎年の国際シンポジウム開催に関わる招聘旅費は、本領域の研究促進に有効に活用できたといえる。

7. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

1. 諮問委員会の構成

計算解剖学プロジェクトの計画に沿う順調な研究の進展をはかるため、以下に示す6名：計算解剖学の始祖ともいえる Karl Heinz Hoehne 教授、計算解剖学の世界的リーダーである Nicholas Ayache 教授、および国内の放射線診断学、医用物理学、解剖学、およびコンピュータビジョンの分野の第一人者からなる諮問委員会を組織した。

氏名	所属	職名
Karl Heinz Hoehne	University of Hamburg, Germany	Professor Emeritus
Nicholas Ayache	INRIA, France	Research Director
Takahiro Kozuka	Osaka University	Professor Emeritus
Takeshi Iinuma	National Institute of Radiological Sciences	Honorary Researcher
Koichiro Deguchi	Tohoku University	Professor Emeritus
Yoshimasa Kurumi	Shiga University of Medical Science	Professor

2. 諮問委員への依頼事項

研究期間の各年度末に計算解剖学の国際シンポジウムを開催した。ここでは、海外から著名な研究者2名の特別講演のほか、計画班と公募班の研究の進捗状況を発表し、個々の諮問委員から批評・進言を受け、それに対応するように努めてきた。最終年度のシンポジウムにおいては、口頭での評価に加え、文書によるプロジェクト全体の評価を受けた。以下に、各諮問委員に評価を依頼したときの依頼文の一部と評価基準を示す。

We have spent about 1.3 billion yen (about 13 million USD or 9.3 million EUR) in total. Considering the research period and the budget scale, please evaluate our research activities and performances according to the following criteria.

Score 4: Excellent and produced better-than-expected research results

Score 3: Performance was as good as expected.

Score 2: On the whole, research groups could not have performed up to expectation, but they contributed to a certain measure of advancement in the area of computational anatomy.

Score 1: The performance is unsatisfactory and the research groups, on the whole, failed to make substantial progress in computational anatomy.

Evaluation by the advisory committee members is essential. Evaluation results will be included in the final report on the Computational Anatomy Research, which will be compiled in the next fiscal year and submitted to MEXT, Japan. Unrestrained criticism is, of course, welcome. As spaces for free description are provided, please write whatever is on your mind.

3. 評価結果

5年で10億円を超える予算を費やしたことも踏まえ、領域全体の評価、計画班の個別評価、総括班の領域運営に対する忌憚のない率直な評価を求めた結果は、以下のものであった。

領域全体に対する諮問委員の評価値： 平均 3.6（4段階評価）

各計画班に対する諮問委員の評価値： 平均 3.5（4段階評価）

総括班の管理運営に対する評価値： 平均 3.5（4段階評価）

以上より、5年間の研究の取組は、総じて期待値通りかそれを上回るものであったと評価された。

4. 諮問委員による主なコメント

上記評価値の他に文章による意見も求め、率直な意見がそれぞれの諮問委員より寄せられた。主要なものを抜粋して以下に示す。5名の委員からは英文により評価意見が寄せられたため、そのまま掲載する。

- (1) *The project Computational Anatomy has produced excellent research results, exceeding the original expectations. It gives Japan an excellent international position in the rapidly growing field of Computational Anatomy, at the end of this 5-year project. Indeed, there has been a huge progress during the second half of the project, in part thanks to the excellent collaborations between the research groups: the exchange of methods, the sharing of databases, and the production of collaborative results involving several complementary teams is exemplar. It makes the project value much more than the sum of the individual research teams.*（領域全体に対しては同様の講評

が全員から示された)

- (2) *The level of the publications has significantly improved, involving top-level highly selective international venues like the conferences MICCAI, CVPR and the journals IEEE Trans. on Medical Imaging and Medical Image Analysis journals (to cite a few).*
- (3) *The coordination between the teams has been very effective, and the coordinating members also have to be applauded, as well as the principal investigator of the project.*
- (4) *Although I cannot completely understand the basic mathematics of computational anatomy, I notice that a great improvement has been made in the areas of A-02 and A-03 since last meeting. I am impressed with computer-assisted surgery which is presented by Dr. Hashizume and computer-assisted diagnosis which is presented by Dr. Niki.*
- (5) *Dr. Sato developed automatically multi-organ modeling and segmentation framework and applied to the major upper abdominal organs. The approaches will be useful for diagnosis of the liver diseases and surgical treatment of the joints.*
- (6) *A-01 group highly improved accuracy of making basic organ model based on foundation study during research period. Patient-specific anatomy model presented by Dr.Sato was made automatically from various fundamental research of computational anatomy. I think this model is entirely different from particular anatomy model and is possible to be easily applied to clinical medicine. A-02 group conduct CAD and foundational CAS study based on computational anatomy. The progress of study for morphology change of living or autopsy imaging data about thoraco-abdominal region was presented. Dr. Mori presented automatic segmentation system, anatomical labeling system of abdominal vessels, lymph node detection system, surgical simulation system, endoscope tracking system and anatomical name display system. This kind of automatic tool has been desired in surgical operation. A-03 group researched clinical application of computational anatomy. In CAS region, though experimental application was executed by Dr. Hashizume, it needs more validation about safety and usefulness.*
- (7) 諮問委員会のメンバーとして、計算解剖学プロジェクトが多大な成果を生み出していることに満足をしており、今回のシンポジウムを十分に楽しませて頂いた。プロジェクトに参加したすべての研究メンバーの努力に敬意を表したい。その上で、本プロジェクトおよび今後の発展について、若干の感想を述べさせて頂く。新学術領域としての計算解剖学の独自の位置の確立に資することになれば幸いである。

当初から、それぞれの研究テーマ間の協調と全体の統合・システム化が、本プロジェクトにとって最も重要であることが強調され続けてきた。最終段階を迎え、研究グループ間での協働作業が見られ、良い方向に進んで来ていると評価できる。ただ、ここでもう一度、本プロジェクトの目指すところ、すなわち、単にいわゆる Computer Aided Medicine, Diagnosis or Surgery のための技術の集合 (ライブラリ) を提供することではなく、それをもう一步越えた「新学術領域」の開拓という視点で、最後のまとめ上げと将来に向けた方向づけを行って欲しいと考える。また、それとともに、もう一つは、本プロジェクトで開発した技術を社会に確実に埋め込み実装することが新学術領域の存在意義であるということを確認しておきたい。

一般には個々の科学技術は、いかに優れたものであっても、それ単体では社会に埋め込まれ実用化されることはなく、システムとシステム化が必要である。システムの構築には、次の3つのフェーズを必要とする。必要な要素技術とその妥当性を検討するためのモデル化と検証プラットフォーム構築のフェーズ、実現可能性、社会受容性、費用対効果の健全性の評価に基づく個別システムの設計のフェーズ、そして、システムの実装と運用・管理のフェーズである。これらは研究の進行の順番を示すのではなく、研究開発の形態に即して、行き来する。問題を一般的に定式化し、より高い視点からシステム構築の意義を確認することためには、この3つのフェーズを併せ持つことが重要である。

すなわち、全体を統合するモデル化、プラットフォームの構成と提供、組織化された運用が洗練されたコンセプトのもとでなされることが重要であり、それによって、新しい学術領域の開拓というイノベーションの道が開かれる。今回のシンポジウムで、これらを指向した研究開発や組織化の動きがそれなりに浸透してきたことを見て取れた。しかし、全体としては、まだ不十分である。本研究プロジェクトの期間を完了するに際して、フィロソフィカルなコンセプトに基づいて、上記を戦略的にまとめ上げることを期待したい。

8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）〔研究項目毎または計画研究毎に整理する〕

（3 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在から順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

主な研究成果

以下に研究項目ごとの主たる研究成果を示す。研究領域の設定目的に照らして、研究領域全体で十分な成果をあげた。なお、論文リストや特許の詳細は「9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況」に示した。

●研究項目 A01

臨床において実効力のある診断・治療支援を行うことを目的とした計算解剖モデルおよびこれを用いた医用画像完全理解アルゴリズムの完成のため、モデル表現などの基礎理論の構築、実際のモデル構築、ならびにアルゴリズム等基盤技術の開発を中心とした研究を行った。計画班、公募班の成果の概要を図8-1で示す。

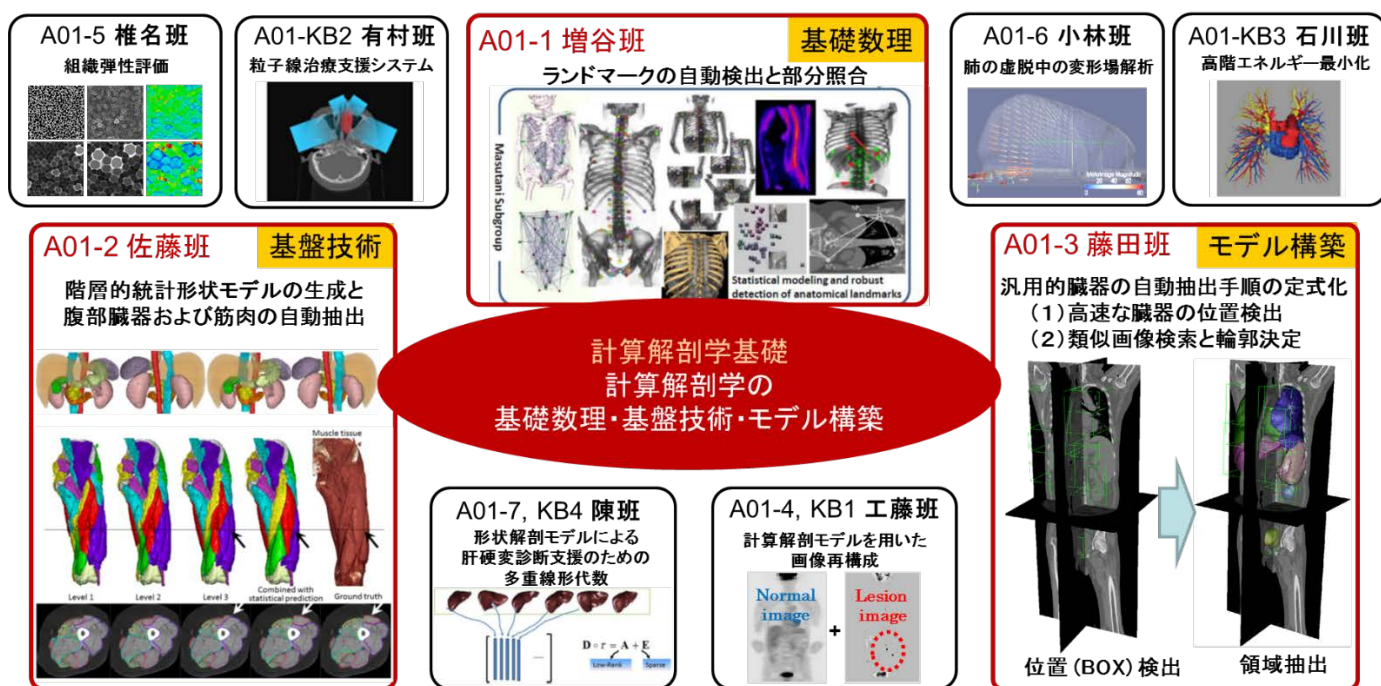


図8-1 研究項目 A01 の研究成果

計画班

臨床 X 線 CT 画像の理解を前提とした計算解剖モデルに必要な、解剖学的特徴点（ランドマーク）、および臓器矩形領域（バウンディングボックス）、ならびに臓器形状の統計表現を含む計算解剖モデル表現法を構築した。実際にモデル構築を行うとともに、これを利用した医用画像完全理解アルゴリズムの構築と臨床画像データを用いた評価を行った。以下では各計画班の主要な成果を個別に述べる。これらの成果は領域内で利用された。

【A01-1 増谷班】計算解剖モデル表現として解剖学的ランドマークを埋め込んだ点群による統計的な臓器形状モデルを提案し、ランドマークの自動検出法[A01J_根本 13][A01J_Nemoto10]、点群モデルのレジストレーションによる臓器領域抽出法[A01J_澤田 12]に関する基礎理論の検討と臨床画像による検証を行った。また、ランドマークの持つ位置のあいまい性、特徴抽出演算子が獲得する情報量、ならびに変分原理に基づく形状平均の計算に関する基礎理論についての研究も行った。

【A01-2 佐藤班】腹部領域の複数の臓器の統計的形状モデルを統合した計算解剖モデルを構築するための新しい基盤技術を提案した[A01I_Okada13]。同モデルにより各臓器が形状や位置の依存度に応じて階層化され、精度の高い医用画像理解を行うことができた。また、同基盤技術を股関節付近の複数の筋組織に応用し、その有用性を検証した研究成果を国際学会にて発表し、Best Technical Paper Awardを受賞している[A01I_Yokota12]。

【A01-3 藤田班】多数の症例データから計算解剖モデル構築の枠組みを提案し、実際に数千例の CT 画像データに適用した。また、機械学習による特徴量の自動選択と冗長性を持つ多方向投票による多数決の枠組みを導入して、対象に依存しない臓器の自動的位置検出手法[A01J_Zhou12]を提案して臨床画像で評価を行った。その結果、撮影条件や病変の種類による影響を受けずに CT 画像から精度良く様々な臓器位置の検出が可能であった。

公募班

公募班においては、計画班がカバーしていない研究テーマとして、数理、イメージング、治療に関する新しい手法の基礎検討を行った。具体的には、計算解剖モデルを事前情報とする CT 画像再構成法 (A01-4, KB1 工藤班)、計算解剖モデルに基づく粒子線治療計画 [A01P-3] (A01-KB2 有村班)、高階エネルギー最適化によるグラフカットの応用 (A01-KB3 石川班)、基礎理論 (A01-7, KB4 陳班)、計算解剖モデルへ導入可能な物性としての組織弾性の超音波イメージングによる評価 (A01-5 椎名班)、肺の変形場解析 (A01-6 小林班)、などについて重要な成果を得た。

●研究項目 A02



図 8-2 研究項目 A02 の研究成果

生体の画像診断支援や治療支援、死亡時画像診断支援を目的とし、それらのための計算解剖モデルや具体的な臨床課題と結びつけた応用システムを開発した。以下ではその中の代表的な成果を挙げる。計画班、公募班の成果を図 8-2 に示す。

計画班

【A02-1 仁木班】画像診断や治療支援を行う上で、計算解剖モデルに基づいた医用画像からの解剖構造認識が必要となる。そこで医用画像からの肝臓領域抽出手法 [A02J_Mak1ad13] を提案した。血管造影を行った CT 像から肝臓付近の血管を抽出し、血管の構造に基づいて高精度に肝臓領域を得た。本手法は高い抽出精度を持ち、MICCAI の評価機構において世界第 1 位の性能であった。

【A02-2 森班】複数臓器の自動抽出手法 [A02J_Wo1z13] を提案した。この手法では、多数の学習用画像データベースから臓器の位置・形状情報を集め、臓器存在尤度アトラスとしてこれらの情報を表現した。さらに、臓器の位置・形状の個人差に対応するため、多段階のアトラスを用いた高精度な臓器抽出処理を開発した。また、A01 による結果も含めた臓器抽出結果と病変検出結果 [A02J_Feuerstein12] を利用し、解剖学的名称も表示可能 [A02J_Jiang13] な診断治療融合的支援システム [A02P-1] を開発し、A03 とも協力しながら臨床現場での運用を行った。

【A02-3 清水班】死体の臓器の計算解剖モデルの構築アルゴリズム [A02J_Saito14] を開発した。死体は生体と比べて臓器形状の多様性が高いが、形状学習のために多数の画像を入手するのが困難である。そこで、生体の臓器ラベルデータを死体の臓器ラベルデータに変換する手法を提案し、これを用いて死体の臓器の計算解剖モデルを構築した。また、その結果を用いて死亡時画像の認識のための新しいアルゴリズムを開発した。さらに A03-1 と共同で、世界初の死亡時画像のための診断支援システムを開発した。

公募班

診断と治療支援システムに求められる機能をより充実させるため、公募班では脳の診断支援や、治療支援のた

めの可視化の研究などを行った。具体的には、(A02-KB1 福田班)において脳 MRI 画像から正常脳構造モデルを作成し、これとの差異を求めることで異常発見につながる情報を得た。(A02-KB2 羽石班)では呼吸に伴う横隔膜の運動解析を行った。(A02-5 滝沢班)ではCT 画像から肺結節の候補陰影を検出し、機械学習を利用して誤検出を大幅に削減した。また、(A02-7 廖班)では、手術中に利用可能な治療支援情報の可視化装置を開発した。(A02-8 蜂谷班)では病変組織の音響構造モデルを構築した。(A02-9 宮城班)ではレーザースキャンによりヒト脳標本をデジタル化する方法を開発した。

●研究項目 A03



図 8-3 研究項目 A03 の研究成果

A03 では、主として A01、A02 で開発された診断治療融合的支援システムや死亡時画像診断(オートプシーイメージング)を臨床に応用し、その有用性を検討した。以下に代表的な成果について概説する。計画班、公募班の成果を図 8-3 に示す。

計画班

【A03-1 木戸班】生前と死後の画像診断支援に関して、計算解剖モデルに基づいた診断支援アルゴリズムを用い、臨床的な観点からの評価を行った。特に生前画像の診断支援に関しては、びまん性肺疾患の CAD を実現するために、その陰影パターンを 6 つのカテゴリーに分類するアルゴリズムを提案した。また、このアルゴリズムが既に発表されているアルゴリズムより高い識別率を有することを示した[A03J_Xu13b]。

【A03-2 橋爪班】計算解剖学の臨床展開・臨床応用論を担当し、医療支援技術の現状分析と各種支援技術の評価を行った。A02-2 森班と共同で開発を進めたリンパ節自動診断システムを消化管がんの数例の臨床例に応用したのをはじめ、仮想内視鏡を用いた術前計画に基づき、治療経路をリアルタイムに表示する fly-through ナビゲーションを内視鏡カテーテル治療に応用した[A03I_Tomikawa13]。また、手術中にナビゲーション対象が変形を伴う乳がんの手術症例に対して、Open MRI を用いることによってその変形をリアルタイムに捉え、ナビゲーションに反映させた世界で初めての治療法を確立した[A03J_Tomikawa10]。

公募班

公募班は、計画班が実施した臨床展開を補うように研究を実施した。腹腔鏡下手術における計算解剖モデルと手術工程分析アルゴリズムの構築(A03-KB1 中村班)、仮想マージン法を用いた肺区域切除術計画の臨床的有用性・安全性についての検討(A03-KB3 岩野班)、実時間で有限要素解析ができるシステムを核とした低侵襲手術を支援するシステムの開発(A03-KB4 諸岡班)、計算解剖による線維追跡画像の電気生理学的な検証(A03-3 橋本班)、組織変化定量化(A03-KB2 蜂谷班)、内視鏡診断支援(A03-6 長倉班)、A02-2 森班と共同で臨床画像データの収集・解剖診断・データベース構築と手術ナビゲーション評価(A03-7 三澤班)などを行った。さらに計算解剖モデルを元に作成された医用画像を用い、医学部生に臨床教育を行った(A03-4 杉本班)。

9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、現在から順に発表年次をさかのぼり、計画研究・公募研究毎に順に記載し、**研究代表者には二重下線**、**研究分担者には一重下線**、**連携研究者には点線の下線を付し**、**corresponding author には左に*印を付してください**。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

1. 研究成果発表の推移

以下に原著論文、国際会議のそれぞれの数について、年度ごと、研究項目ごとの推移のグラフを示す。ただし、H26 は 5 月末時点の数である。図 9-1 の原著論文のグラフからは、年度ごとに論文の総数が増加し、研究が加速していることがわかる。また、図 9-2 の国際会議論文数は前半に多く、後半はほぼ一定に近いことが読み取れる。これらの二つのグラフの傾向は、本研究領域の特徴、すなわち、国際会議において速報的な発表をし、それに新しい成果を加えて原著論文としてまとめるスタイルが反映されていると考えられる。さらに、領域内共同研究による口頭発表を含む成果論文数も、前半の約 20 件/年から後半には約 30 件/年まで増加した。以上のことから、**共同研究を含めた研究領域全体の研究成果を効果的に取りまとめることができた**と判断した。また、書籍による発表、ホームページによる公開、アウトリーチ活動の実施を進め、**研究成果の積極的な公表・普及に努めた**。

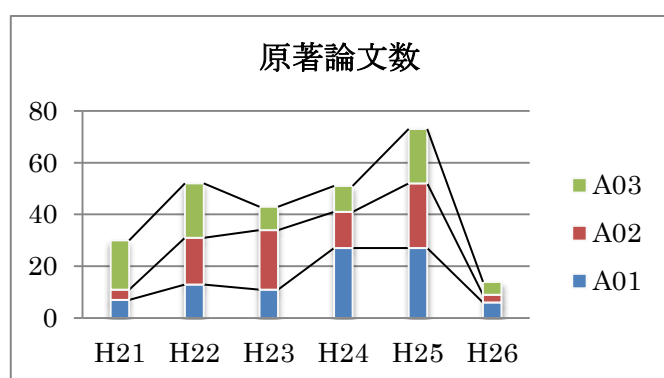


図 9-1 原著論文 (総数: 263 編)

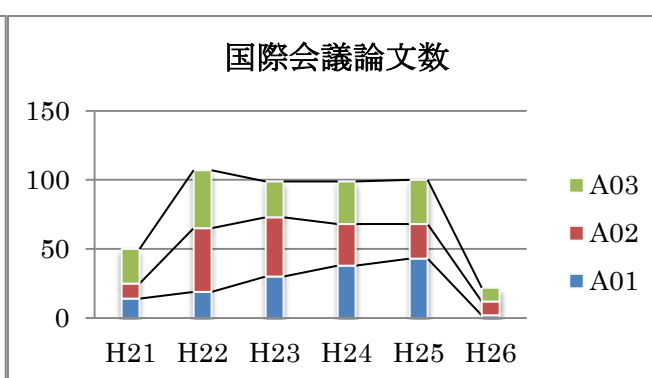


図 9-2 国際会議論文 (総数: 477 編)

2. 主な論文等一覧など

■領域全体での発表論文数

学術論文 263 編 国際会議論文 477 編 口頭発表・その他論文 732 件

以下に研究項目ごとに主要論文に限定したリストを示す。

●研究項目 A01

□計画研究

原著論文 42 件 国際会議論文 68 件 口頭発表・その他論文 85 件

[A01J_Masutani14] *Y. Masutani and S. Aoki, "Fast and Robust Estimation of Diffusional Kurtosis Imaging (DKI) Parameters by General Closed-form Expressions and their Extensions," Magn Reson Med Sci. 2014. [Epub ahead of print]

[A01J_Teramoto14] *A. Teramoto, H. Fujita, K. Takahashi, O. Yamamuro, T. Tamaki, M. Nishio, and T. Kobayashi, "Hybrid method for the detection of pulmonary nodules using positron emission tomography/computed tomography: A preliminary study," Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 9, pp. 59-69, 2014.

[A01J_Goto13]H. Goto and *H. Hontani, "A weighted Integral Method for Parametrically Describing Local Image Appearance," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA), vol. 5, pp. 70-74, 2013.

[A01J_根本 13] *根本充貴, 増谷佳孝, 花岡昇平, 野村行弘, 三木聡一郎, 林真人, 大友邦, "新しいパラメータ最適化法による解剖学的ランドマーク検出処理の性能改善—教師ラベル設定基準のパラメータ化と新しい評価関数の導入—," 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J96-D, no. 4, pp. 853-866, 2013.

[A01J_Kamiya13] *N. Kamiya, X. Zhou, H. Chen, C. Muramatsu, T. Hara, and H. Fujita, "Model-based approach to recognize the rectus abdominis muscle in CT images," IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E-96-D, no.4, pp. 869-871, 2013.

[A01J_Muramatsu13] *C. Muramatsu, T. Matsumoto, T. Hayashi, T. Hara, A. Katsumata, X. Zhou, Y. Iida, M. Matsuoka, T. Wakisaka, and H. Fujita, "Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs," Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.8, no.6, pp. 877-885, 2013.

[A01I_Okada13] *T. Okada, M. G. Linguraru, M. Hori, R. M. Summers, N. Tomiyama, and Y. Sato, "Abdominal Multi-organ CT Segmentation Using Organ Correlation Graph and Prediction-Based Shape and Location Priors," Lecture Notes in Computer Science 8151 (Proc. MICCAI 2013, Part III), pp. 275-282, 2013.

[A01J_酒井 13] *酒井智弥, 井宮淳, "スペクトラルクラスタリングのランダム算法と画像・動画分割への応用," 電子情報通

信学会和文論文誌 D, vol. J93-D, no. 8, pp. 1256-1266, 2010.

- [A01J_澤田 12] 澤田好秀, *本谷秀堅, “グラフィカルモデルの構造推定と確率推論法の違いによる Point Distribution Model と医用画像の非剛体位置合わせの精度比較,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J95-D, no. 8, pp. 1541-1553, 2012.
- [A01J_Kamiya12] *N. Kamiya, X. Zhou, H. Chen, C. Muramatsu, T. Hara, R. Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, and H. Fujita, “Automated segmentation of psoas major muscle in X-ray CT images by use of a shape model: Preliminary study,” Radiological Physics and Technology, vol.5, no.1, 5-14, 2012. [優秀論文土井賞受賞]
- [A01J_Otomaru12] I. Otomaru, M. Nakamoto, Y. Kagiya, M. Takao, N. Sugano, N. Tomiyama, Y. Tada, and *Y. Sato, “Automated pre-operative planning of femoral stem in total hip arthroplasty from 3D CT data: Atlas-based approach and comparative study,” Medical Image Analysis, vol. 16, no. 2, pp. 415-26, 2012.
- [A01J_横田 12] *横田 太, 岡田 俊之, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 多田 幸生, 富山 憲幸, 佐藤 嘉伸, “統計アトラスを用いた股関節三次元 CT 画像からの骨盤解剖学的座標系の自動設定,” Medical Imaging Technology, vol. 30, no. 1, pp. 43-52, 2012.
- [A01J_Zhou12] *X. Zhou, S. Wang, H. Chen, T. Hara, R. Yokoyama, M. Kanematsu, and H. Fujita, “Automatic localization of solid organs on 3D CT images by a collaborative majority voting decision based on ensemble learning,” Computerized Medical Imaging and Graphics, vol.36, no.4, pp. 304-313, 2012.
- [A01J_Yokota12] *F. Yokota, M. Takaya, T. Okada, M. Takao, N. Sugano, Y. Tada, N. Tomiyama, and Y. Sato, “Automated muscle segmentation from 3D CT data of the hip using hierarchical multi-atlas method,” Proc. 12th Annual Meeting of CAOS-International, 30, 2012. [Best Technical Paper Award 受賞]
- [A01J_Nemoto10] *M. Nemoto, Y. Nomura, S. Hanaoka, Y. Masutani, T. Yoshikawa, N. Hayashi, N. Yoshioka, and K. Ohtomo, “Preliminary study of automatic detection method for anatomical landmarks in body trunk CT images,” Lecture Notes on Computer Science 6357, pp. 174-181, 2010.
- [A01J_Kashu10] *K. Kashu, A. Imiya, and T. Sakai, “Multiscale Analysis of Volumetric Motion Field Using General Order Prior,” Lecture Notes on Computer Science 6453, pp. 561-570, 2010.
- [A01J_Hanaoka10] *S. Hanaoka, Y. Nomura, M. Nemoto, Y. Masutani, E. Maeda, T. Yoshikawa, N. Hayashi, N. Yoshioka, and K. Ohtomo, “Automated segmentation method for spinal column based on dual elliptic column model and its application for virtual spinal straightening,” J. Comp. Assist. Tomogr, vol. 34, no. 1, pp. 156-162, 2010.

□公募研究

原著論文 49 件 国際会議論文 78 件 口頭発表・その他論文 35 件

- [A01J_Foruzan14] *A. H. Foruzan, Y. Chen, M. Hori, Y. Sato and N. Tomiyama, “Capturing Large Shape Variations of Liver Using Population-Based Statistical Shape Models,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2014. (Epub first)
- [A01J_Kudo13] *H. Kudo, T. Suzuki, and E. A. Rashed, “Image reconstruction for sparse-view CT and interior CT: introduction to compressed sensing and differentiated backprojection,” Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, vol. 3, no. 3, pp. 147-161, 2013.
- [A01J_Magome13] *T. Magome, H. Arimura, Y. Shioyama, A. Mizoguchi, C. Tokunaga, K. Nakamura, H. Honda, M. Ohki, F. Toyofuku, and H. Hirata, “Computer-aided beam arrangement based on similar cases in radiation treatment planning databases for stereotactic lung radiation therapy,” Journal of Radiation Research, vol. 54, no. 3, pp. 569-577, 2013.
- [A01J_Chen13] *Y. Chen, J. Luo, C. Dong, X. Han, T. Tateyama, A. Furukawa, S. Kanasaki, “Computer-Aided Diagnosis and Quantification of Cirrhotic Livers Based on Morphological Analysis and Machine Learning,” Computational and Mathematical Methods in Medicine, vol. 2013, article ID 264809, 2013.
- [A01J_Kudo13] *M. Kudo, T. Shiina, F. Moriyasu, H. Iijima, R. Tateishi, N. Yada, “JSUM ultrasound elastography practice guidelines: liver, J. of Medical Ultrasonics,” J. of Medical Ultrasonics, vol. 40, no. 4, pp. 325-357, 2013.
- [A01J_Shiina13] *T. Shiina, T. Maki, M. Yamakawa, T. Mitake, M. Kudo, K. Fujimoto, “Mechanical Model Analysis for Quantitative Evaluation of Liver Fibrosis Based on Ultrasound Tissue Elasticity Imaging,” J Journal of Applied Physics, 51, 07GF11-1-8, 2012.
- [A01J_Wang12] *Z. Wang and H. Kudo, “Interior reconstruction in computed tomography using a priori knowledge outside the region of interest,” 日本医用画像工学会誌 Medical Imaging Technology, vol. 31, no. 2, pp. 113-120, 2013.
- [A01JW_Tatsumi10] *C. Tatsumi, M. Kudo, K. Ueshima, S. Kitai, E. Ishikawa, N. Yada, S. Hagiwara, T. Inoue, Y. Minami, H. Chung, K. Maekawa, K. Fujimoto, M. Kato, A. Tonomura, T. Mitake, T. Shiina, “Non-invasive Evaluation of Hepatic Fibrosis for Type C Chronic Hepatitis,” Intervirology, vol. 53, pp. 76-81, 2010.

●研究項目 A02

□計画研究

原著論文 46 件 国際会議論文 135 件 口頭発表・その他論文 266 件

- [A02J_Ishihara14] T. Ishihara, T. Kobayashi, N. Ikeno, T. Hayashi, M. Sakakibara, *N. Niki, M. Satake, and N. Moriyama, “Evaluation of a near-infrared-type contrast medium extravasation detection system using a swine model,” J Comput Assist Tomogr, vol.38, no.2, pp.285-292, 2014.
- [A02J_Luo14b] *X. Luo and K. Mori, “Robust endoscope motion estimation via an animated particle filter for electromagnetically navigated endoscopy,” IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol.61, no.1, pp.85-95, 2014.
- [A02J_Luo14a] *X. Luo and K. Mori, “A discriminative structural similarity measure and its application to video-volume registration for endoscope three-dimensional motion tracking,” IEEE Transactions on Medical Imaging, vol.33, no.6, pp.1248-1261, 2014.
- [A02J_Saito14] *A. Saito, A. Shimizu, H. Watanabe, S. Yamamoto, S. Nawano and H. Kobatake, “Statistical Shape Model of a Liver for Autopsy Imaging,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.9, no.2, pp.269-281, 2014.
- [A02J_Maklad13] AS. Maklad, M. Matsuhiro, H. Suzuki, Y. Kawata, *N. Niki, M. Satake, N. Moriyama, T. Utsunomiya, and M. Shimada, “Blood vessel-based liver segmentation using the portal phase of an abdominal CT dataset,” Medical Physics, vol.40, no.11, 113501(17pp), 2013.
- [A02J_豊田 13] 豊田修一, 片貝智恵, *仁木登, “保健医療分野における情報視覚化, 情報処理学会デジタルプラクティス,” vol.4, no.3, pp.251-259, 2013.

- [A02J_高橋 13] 高橋英治, 鈴木秀宣, 河田佳樹, *仁木登, 中野恭幸, 上野淳二, 原田雅史, 森山紀之, “胸部マルチスライス CT 画像を用いた骨粗鬆症診断支援システム,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J.96-D, no.4, pp.892-900, 2013.
- [A02J_松廣 13] 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 河田佳樹, *仁木登, 上野淳二, 中野恭幸, 小川恵美子, 室繁郎, 大松広伸, 森山紀之, “胸部マルチスライス CT 画像における葉間裂抽出法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J.96-D, no.4, pp.834-843, 2013.
- [A02J_Oda13] *M. Oda, T. Kitasaka, K. Furukawa, O. Watanabe, T. Ando, H. Goto, and K. Mori, “Automated Ulcer Detection Method From CT Images for Computer Aided Diagnosis of Crohn's Disease,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E96-D, no.4, pp.808-818, 2013.
- [A02J_Jiang13] *Z. Jiang, Y. Nimura, Y. Hayashi, T. Kitasaka, K. Misawa, M. Fujiwara, Y. Kajita, T. Wakabayashi, and K. Mori, “Anatomical annotation on vascular structure in volume rendered images,” Comp. Medical Imaging and Graphics, vol.37, no.2, pp.131-141, 2013.
- [A02J_Luo13] *X. Luo, T. Kitasaka, and K. Mori, “Externally Navigated bronchoscopy using 2-D motion sensors: Dynamic phantom validation,” IEEE Transactions on Medical Imaging, vol.32, no.10, pp.1745-1764, 2013.
- [A02J_Nimura13] *Y. Nimura, T. Kitasaka, H. Honma, H. Takabatake, M. Mori, H. Natori, and K. Mori, “Assessment of COPD severity by combining pulmonary function tests and chest CT images,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.8, no.3, pp.353-363, 2013.
- [A02J_Wolz13] *R. Wolz, C. Chu, K. Misawa, M. Fujiwara, K. Mori, and D. Rueckert, “Automated Abdominal Multi-Organ Segmentation With Subject-Specific Atlas Generation” IEEE Transactions on Medical Imaging, vol.32, no.9, pp.1723-1730, 2013.
- [A02J_Tomoshige13] *S. Tomoshige, E. Oost, A. Shimizu, H. Watanabe, and S. Nawano, “A conditional statistical shape model with integrated error estimation of the conditions; application to liver segmentation in non-contrast CT images,” Medical Image Analysis, vol.18, no.1, pp.130-143, 2014.
- [A02J_Nakagomi13] *K. Nakagomi, A. Shimizu, H. Kobatake, M. Yakami, K. Fujimoto, and K. Togashi, “Multi-shape graph cuts with neighbor prior constraints and its application to lung segmentation from a chest CT volume,” Medical Image Analysis, vol.17, no.1, pp.62-77, 2013.
- [A02J_Shimizu13] *A. Shimizu, T. Narihira, D. Furukawa, H. Kobatake, S. Nawano, and K. Shinozaki, “Ensemble learning based segmentation of metastatic liver tumours in contrast-enhanced computed tomography,” IEICE TRANSACTIONS on INF & SYST, vol.E96-D, no.4, pp. 864-868, 2013.
- [A02J_Nakaya12] Y. Nakaya, Y. Kawata, *N. Niki, K. Umetani, H. Ohmatsu, and N. Moriyama, “A method for determining the modulation transfer function from thick microwire profiles measured with x-ray microcomputed tomography,” Medical Physics, vol.39, no.7, pp.4347-4364, 2012.
- [A02J_Kawata12] Y. Kawata, *N. Niki, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, T. Tsuchida, K. Eguchi, M. Kaneko, and N. Moriyama, “Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival,” Medical Physics, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [A02J_Feuerstein12] *M. Feuerstein, B. Glocker, T. Kitasaka, Y. Nakamura, S. Iwano, and K. 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, pp.63-74, 2012.
- [A02J_Deguchi12] *D. Deguchi, M. Feuerstein, T. Kitasaka, Y. Suenaga, I. Ide, H. Murase, K. Imaizumi, Y. Hasegawa, and K. Mori, “Real-time marker-free patient registration for electromagnetic navigated bronchoscopy: a phantom study,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.359-369, 2012.
- [A02_Luo 12a] *X. Luo, M. Feuerstein, T. Kitasaka, and K. Mori, “Robust bronchoscope motion tracking using sequential Monte Carlo methods in navigated bronchoscopy: dynamic phantom and patient validation,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.371-387, 2012.
- [A02J_Luo12b] *X. Luo, M. Feuerstein, D. Deguchi, T. Kitasaka, H. Takabatake, and K. Mori, “Development and comparison of new hybrid motion tracking for bronchoscopic navigation,” Medical Image Analysis, vol.16, no.3, pp.577-596, 2012.
- [A02J_Chen12] *B. Chen, T. Kitasaka, H. Honma, H. Takabatake, M. Mori, H. Natori, and K. Mori, “Automatic segmentation of pulmonary blood vessels and nodules based on local intensity structure analysis and surface propagation in 3D chest CT images,” Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.465-482, 2012.
- [A02J_Tominaga11] M. Tominaga, Y. Kawata, *N. Niki, N. Moriyama, K. Yamada, J. Ueno, and H. Nishitani, “Measurements of multidetector CT surface dose distributions using a film dosimeter and chest phantom,” Medical Physics, vol.38, no.5, pp.2467-2478, 2011.
- [A02J_Sinsuat11] M. Sinsuat, S. Saita, Y. Kawata, *N. Niki, H. Ohmatsu, T. Tsuchida, R. Kakinuma, M. Kusumoto, K. Eguchi, M. Kaneko, H. Morikubo, and N. Moriyama, “Influence of slice thickness on diagnoses of pulmonary nodules using low-dose CT: potential dependence of detection and diagnostic agreement on features and location of nodule,” Academic Radiology, vol.18, no.5, pp.594-604, 2011.
- [A02J_Furukawa11] *K. Furukawa, R. Miyahara, A. Itoh, N. Ohmiya, Y. Hirooka, K. Mori, and H. Goto, “Diagnosis of the Invasion Depth of Gastric Cancer Using MDCT With Virtual Gastroscopy: Comparison With Staging With Endoscopic Ultrasound,” American Journal of Roentgenology, vol.197, no.4, pp.867-875, 2011.
- [A02J_鈴木 10] 鈴木秀宣, 財田伸介, 河田佳樹, *仁木登, 西谷弘, 大松広伸, 土田敬明, 江口研二, 金子昌弘, 森山紀之, “肺がん CT 検診のための画像選別法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J93-D, no.4, pp.522-534, 2010.
- [A02J_久保 10] 久保満, 鈴木秀宣, 財田伸介, 河田佳樹, *仁木登, 大松広伸, 江口研二, 金子昌弘, 森山紀之, “肺がん CT 検診の比較読影支援システム,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J93-D, no.1, pp.47-58, 2010.
- [A02J_Bashar10] *MK. Bashar, T. Kitasaka, Y. Suenaga, Y. Mekada, and K. Mori, “Automatic detection of informative frames from wireless capsule endoscopy images,” Medical Image Analysis, vol.14, no.3, pp.449-470, 2010.

□公募研究

原著論文 41 件 国際会議論文 30 件 口頭発表・その他論文 22 件

- [A02J_Wu13a] *K. Wu, Y. Taki, K. Sato, H. Hashizume, Y. Sassa, H. Takeuchi, B. Thyreau, Y. He, AC. Evans, X. Li, R. Kawashima, and H. Fukuda, “Topological organization of functional brain networks in healthy children: Differences in relation to age, sex, and intelligence,” PLoS ONE, vol.8, no.2, e55347, 2013.
- [A02J_Wu13b] *K. Wu, Y. Taki, K. Sato, H. Qi, R. Kawashima, and H. Fukuda, “A longitudinal study of structural brain network with normal aging,” Fron Hum Neruosci, vol.7, 113, 2013.
- [A02J_Taki13] *Y. Taki, B. Thyreau, H. Hashizume, Y. Sassa, H. Takeuchi, K. Wu, Y. Kotozaki, R. Nouchi, M. Asano, K. Asano, H. Fukuda, R. Kawashima, “Linear and curvilinear correlations of brain white matter volume, fractional anisotropy, and mean diffusivity with age

- using voxel-based and region-of-interest analyses in 246 healthy children,” *Human Brain Mapping*, vol.34, no.8, pp.1842-1856, 2013.
- [A02J_Swastika13] *W. Swastika, Y. Masuda, R. Xu, S. Kido, Y-W Chen, and H. Haneishi, “GND-PCA Based Statistical Modeling of Diaphragm Motion Extracted from 4D-MRI,” *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2013, Article ID 482941, 9 pages, 2013.
- [A02J_石井 12] 石井茂如, *滝沢穂高, “統計解剖学的モデルに基づく胸部 X 線 CT 画像からの肺病巣陰影の検出,” *情報処理学会論文誌*, vol.53, no.1, pp.412 - 420, 2012.
- [A02J_Takizawa11] *H. Takizawa, and H. Nishizako, “Lung Cancer Detection from X-ray CT Scans Using Discriminant Filters and View-based Support Vector Machine,” *The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan*, vol.40, no.1, pp.59-66, 2011.
- [A02J_廖 11] *廖洪恩, 山下紘正, 正宗賢, 佐久間一郎, 土肥健純, “三次元画像技術を活用した低侵襲高精度診断治療用手術支援システム,” *生体医工学*, vol.49, no.5, pp.641-646, 2011.
- [A02J_Takizawa11] *H. Takizawa and H. Nishizako, “Lung Cancer Detection from X-ray CT Scans Using Discriminant Filters and View-based Support Vector Machine,” *The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan*, vol.40, no.1, pp.59-66, 2011.
- [A02J_Fukuda10] *T. Fukuda, K. Morooka, and Y. Miyagi, “A simple but accurate method for histological reconstruction of the large-sized brain tissue of the human that is applicable to construction of digitized brain database,” *Neurosci Res*, vol.67, no.3 pp.260-265, 2010.
- [A02J_宮城 10] *宮城靖, 福田孝二, 諸岡健二, 陳献, 早見武人, 岡本剛, 砂川賢二, 飛松省三, 吉浦敬, 佐々木富男, “デジタル画像処理技術を用いた脳座標アトラス作成法,” *機能的脳神経外科*, vol.49, no.1, pp.82-83, 2010.
- [A02J_宮城10] *宮城靖, 福田孝二, 諸岡健二, 陳献, 早見武人, 岡本剛, 砂川賢二, 飛松省三, 吉浦敬, “ヒト脳座標アトラス作成におけるデジタル画像技術の応用,” *機能的脳神経外科*, vol.49, no.2, pp.136-141, 2010.
- [A02J_澁谷 10] *澁谷倫子, 杉浦彰彦, 滝沢穂高, 奥村俊昭, 山本眞司, “可変 N-Quoit とベクトル集中度の併用による肺結節陰影の検出,” *電子情報通信学会論文誌*, vol.J93-D, no.8, pp.1491-1501, 2010.

●研究項目 A03

□計画研究

原著論文 65 件 国際会議論文 142 件 口頭発表・その他論文 305 件

- [A03J_Zhou14] X. Zhou, R. Xu, T. Hara, Y. Hirano, R. Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, S. Kido, and *H. Fujita, “Developments and evaluation of the statistical shape modeling for principal inner organs on torso CT images,” *Radiological Physics and Technology*, 2014.
- [A03J_Tomikawa13] M. Tomikawa, T. Akahoshi, M. Oda, R. Kumashiro, M Uemura, S. Jeiri, K. Mori, and M. Hashizume, “Catheterization for balloon-occluded retrograde transvenous obliteration guided by fly-through module of New Virtual Endoscopic System,” *Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.8, Sup.1, pp.S332-S333, 2013/06/27
- [A03J_Xu13a] R. Xu, X. Zhou, Y. Hirano, R. Tachibana, T. Hara, *S. Kido, and H. Fujita, “Particle-System Based Adaptive Sampling on Spherical Parameter Space to Improve the MDL Method for Construction of Statistical Shape Models,” *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol.2013, Article ID 196259, 9 pages, 2013.
- [A03J_平野 13] *平野靖, 徐睿, 橋理恵, 木戸尚治, “一般化空洞強調フィルタによる胸部 CT 像からの気管支領域抽出手法の開発,” *電子情報通信学会論文誌 D*, vol.J96-D, no.4, pp.824-833, 2013.
- [A03J_Xu13b] R. Xu, Y. Hirano, R. Tachibana and *S. Kido, “A Bag-of-Features Approach to Classify Six Types of Pulmonary Textures on High-Resolution Computed Tomography,” *IEICE Trans. Inf. & Syst.* vol.E96-D, no.4, pp.845-855, 2013.
- [A03J_Tsutsumi13] N. Tsutsumi, M. Tomikawa, M. Uemura, T. Akahoshi, Y. Nagao, K. Konishi, S. Jeiri, J. Hong, Y. Maehara, and *M. Hashizume, “Image-guided laparoscopic surgery in an open MRI operating theater,” *Surg Endosc*, vol.27, no.6, pp.2178-84, 2013.
- [A03J_Zhao13] W. Zhao, R. Xu, Y. Hirano, R. Tachibana, *S. Kido, and N. Sugauma, “Classification of Pneumoconiosis on HRCT Images for Computer-Aided Diagnosis,” *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol.E96-D, no.4, pp.836-844, 2013.
- [A03J_平野 12] *平野靖, 徐睿, 橋理恵, 木戸尚治, “空洞強調フィルタとその気管支領域抽出手法への応,” *Med Imag Tech*, vol.30, no.1, pp.33-42, 2012.
- [A03J_Jeiri12] S. Jeiri, M. Uemura, K. Konishi, R. Souzaiki, Y. Nagao, N. Tsutsumi, T. Akahoshi, K. Ohuchida, T. Ohdaira, M. Tomikawa, K. Tanoue, *M. Hashizume, and T. Taguchi, “Augmented reality navigation system for laparoscopic splenectomy in children based on pre-operative CT image using optical tracking device,” *Pediatr Surg Int*, vol.28, no.4, pp.341-346, 2012.
- [A03J_渡辺 11] 渡部優樹, 平野靖, *木戸尚治, 岡田宗正, 菅一能, “呼吸と吸気の CT 画像を用いた肺呼吸機能の解析と SPECT 画像の対比検討,” *生体医工学*, vol.49, no.1, pp.76-83, 2011.
- [A03J_Tomikawa10] M. Tomikawa, J. Hong, S. Shiotani, E. Tokunaga, K. Konishi, S. Jeiri, K. Tanoue, T. Akahoshi, Y. Maehara, and *M. Hashizume, “Real-Time 3-Dimensional Virtual Reality Navigation System with Open MRI for Breast-Conserving Surgery,” *J Am Coll Surg*, vol.210, no.6, pp.927-933, 2010.
- [A03J_Hong10] J. Hong and *M. Hashizume, “An effective point-based registration tool for surgical navigation,” *Surg Endosc*, vol.24, no.4, pp.944-948, 2010.

□公募研究

原著論文 20 件 国際会議論文 24 件 口頭発表・その他論文 19 件

- [A03J_宮内 14] *宮内翔子, 諸岡健一, 宮城靖, 福田孝二, 辻徳生, 倉爪亮, “幾何情報を保存する自己組織化可変モデルに基づく目標曲面への人体組織表面モデルの写像,” *電子情報通信学会和文論文誌 D*, vol.J97-D, no.3, pp.381-392, 2014.
- [A03J_小林 14] *小林薫樹, 諸岡健一, 宮城靖, 福田孝二, 辻徳生, 倉爪亮, “標準脳図譜変形による患者指向脳図譜の構築のためのランドマーク選択,” *生体医工学*, vol.51, no.6, pp.390-396, 2014.
- [A03J_Sugino14] T. Sugino, H. Kawahira, and *R. Nakamura, “Surgical task analysis of simulated laparoscopic cholecystectomy with a navigation system,” *Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2014. (Epub first)

- [A03J_Yoshimoto14] *K. Yoshimoto, K. Yamada, K. Watabe, M. Takeda, T. Nishimura, M. Kido, T. Nagakura, H. Takahashi, T. Nishida, H. Iijima, M. Tsujii, T. Takehara, and Y. Ohno, "Gastric contraction imaging system using a three-dimensional endoscope," IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine, vol.2, 2014. (Epub first)
- [A03J_Kobayashi13] M. Kobayashi, I. Sato, and *R. Nakamura, "Surgical Navigation with Distance Sensation Using Force Feedback for Robotic Surgery," Journal of Medical Imaging and Healthcare Informatics, vol.3, no.1, pp.120-124, 2013.
- [A03J_Higuchi13] T. Higuchi, S. Hirata, T. Yamaguchi, and *H. Hachiya, "Quantitative Evaluation of Liver Fibrosis Using Multi-Rayleigh Model with Hypoechoic Component," Japanese Journal of Applied Physics, vol.52, no.7, pp.07HF19-1-6, 2013.
- [A03J_Iwano13] *S. Iwano, K. Yokoi, T. Taniguchi, K. Kawaguchi, T. Fukui, and S. Naganawa, "Planning of segmentectomy using three-dimensional computed tomography angiography with a virtual safety margin: technique and initial experience," Lung Cancer, vol.81, no.3, pp.410-415, 2013.
- [A03J_Morooka13] *K. Morooka, M. Nakamoto, and Y. Sato, "A survey on statistical modeling and machine learning approaches to computer assisted medical intervention: Intraoperative anatomy modeling and optimization of interventional procedures," IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E96-D, no.4, pp.784-797, 2013.
- [A03J_Kinoshita12] M. Kinoshita, H. Arita, T. Goto, Y. Okita, K. Isohashi, T. Watabe, N. Kagawa, Y. Fujimoto, H. Kishima, E. Shimosegawa, J. Hatazawa, N. Hashimoto, and T. Yoshimine, "A novel PET index, 18F-FDG-11C-methionine uptake decoupling score, reflects glioma cell infiltration," J Nucl Med, vol.53, no.11, pp.1701-1708, 2012.
- [A03J_Chiba12] Y. Chiba, M. Kinoshita, Y. Okita, A. Tsuboi, K. Isohashi, N. Kagawa, Y. Fujimoto, Y. Oji, Y. Oka, E. Shimosegawa, S. Morita, J. Hatazawa, H. Sugiyama, N. Hashimoto, and T. Yoshimine, "Use of (11)C-methionine PET parametric response map for monitoring WT1 immunotherapy response in recurrent malignant glioma," J Neurosurg, vol.116, no.4, pp.835-842, 2012.
- [A03J_Hashimoto12] *N. Hashimoto, CS. Rabo, Y. Okita, M. Kinoshita, N. Kagawa, Y. Fujimoto, E. Morii, H. Kishima, M. Maruno, A. Kato, and T. Yoshimine, "Slower growth of skull base meningiomas compared with non-skull base meningiomas based on volumetric and biological studies," J Neurosurg, vol.116, no.3, pp.574-580, 2012.
- [A03J_Nakamura12] *R. Nakamura, T. Aizawa, Y. Muragaki, T. Maruyama, and H. Iseki, "Automatic surgical workflow estimation method for brain tumor resection using surgical navigation information," Journal of Robotics and Mechatronics, vol.24, no.5, pp.791-801, 2012.
- [A03J_Igarashi10] Y. Igarashi, E. Hiroshi, T. Yamaguchi, and *H. Hachiya, "Quantitative Estimation Method for Liver Fibrosis Based on Combination of Rayleigh Distributions," Jpn. J. Appl. Phys., vol.49, no.7, pp.07HF06-07HF06-6, 2010.
- [A03J_諸岡 10] *諸岡健一, 陳獻, 倉爪亮, 内田誠一, 原健二, 砂川賢二, 橋爪誠, "非線形有限要素解析を模したニューラルネットワークを用いた軟性臓器ボリュームモデルの変形シミュレータ," 電子情報通信学会誌 D, vol.J93-D, no.3, pp.365-376, 2010.

2. 書籍

研究成果のうち書籍は計 37 件であったが、以下に主要書籍に限定したリストを示す。

- [A02B_Oost14] *E. Oost, S. Tomoshige, and A. Shimizu, "Condition Relaxation in Conditional Statistical Shape Models" In : Subspace Methods for Pattern Recognition in Intelligent Environment; Eds. Y. Chen, Lakhmi Jain, Springer-Verlag, 2014.
- [A01B_青木 13] 青木茂樹, 阿部修, 増谷佳孝, 高原太郎 (編) : これでわかる拡散MR 1 第3版, 秀潤社, 2013.
- [A03B_橋本 13] 橋本直哉, 吉峰俊樹 : 髄膜腫:今日の臨床サポート:エルゼビア・ジャパン株式会社, 2013.
- [A01B_工藤 12] 工藤博幸, 本谷秀堅 : チュートリアル DVD 「医用画像工学における統計的推定・機械学習の基礎と最新動向」, 日本医用画像工学会, 2012.
- [A01B_尾川 12] 尾川浩一, 工藤博幸, 清水昭伸他 (編集), 医用画像工学ハンドブック, 日本医用画像工学会, 2012.
- [A01B_藤田 12] 藤田廣志, 石田隆行, 桂川茂彦 (監修) ; 藤田廣志, 石田隆行, 桂川茂彦, 原 武史, 目加田慶人, 加野亜紀子, 羽石秀昭 (共編) : 実践 医用画像解析ハンドブック, オーム社, 2012.
- [A01B_石田 10] 石田隆行, 桂川茂彦, 藤田廣志 (監修) : 医用画像ハンドブック, オーム社, 2010.
- [A01B_藤田 10] 藤田廣志 (編集) : 医用画像工学, 新医用放射線科学講座, 医歯薬出版, 2010.
- [A03B_Suzuki09] N. Suzuki, A. Hattori, M. Hashizume, et al. : "Medicine Meets Virtual Reality 17," IOS Press 6, 2009.

3. 特許

研究期間全体における出願件数は計画班 7 件、公募班 5 件であった。

公開特許

【研究項目 A01】

- [A01P-1] 名称 : Biometric apparatus and image-generating method, 出願番号:国際特許 WO/2013/005635, 出願人 : Hamamatsu Photonics, 発明者:Hiroyuki Kudo, Naoya Saito, Yukio Ueda, Kenji Yoshimoto, Yutaka Yamashita
- [A01P-2] 名称 : Measurement data selection method for biometric device, light exit position determination method for biometric device, and biometric device, 出願番号:国際特許 WO/2014/003133/A1, 発明人 : Hiroyuki Kudo, Naoya Saito, Yukio Ueda, Kenji Yoshimoto, Yutaka Yamashita, 出願人 : University of Tsukuba, Hamamatsu Photonics
- [A01P-3] 名称 : 粒子線ビーム方向決定システム、粒子線ビーム方向決定方法及び粒子線ビーム方向決定コンピュータ用プログラム、出願番号:特願 2012-41569、発明者 : 有村秀孝、垣内玄雄、塩山善之、中村和正、出願人 : 国立大学法人九州大学

【研究項目 A02】

- [A02P-1] 名称 : 医用画像観察支援装置, 出願番号:特願 2009-180787, 発明者 : 森健策、小田昌宏, 出願人 : 国立大学法人名古屋大学

4. ホームページ

計算解剖学のホームページ (<http://www.comp-anatomy.org>) では、本研究領域の概要、各研究班・公募班の研究テーマとその概要を掲載し、研究成果や業績一覧、国際シンポジウム、セミナーなどの活動実績を随時更新している。対外向け情報としては、5 回の国際シンポジウム、22 回の計算解剖学セミナー、2 回の PLUTO プラグイン開発講習会に関する情報を公開した。一部の計算解剖学セミナーでは、本学術領域の活動を広く世間へ発信

するために、ストリーミング配信も実施した。また、小中高生向け講座「3Dプリンターで臓器モデルを作ろう！」の開催を告知し、本学術領域の未来を担う世代への情報発信も行った。

本ホームページでは、計算解剖モデルの標準化のために整備した、「標準マーク値」(各臓器や病変のID)を公開している。これは、複数の研究施設間でのデータのやり取りを円滑にするために必要不可欠なものであり、本学術領域が担う重要な役割の1つである。

2014年6月3日現在、研究開始後の本ホームページへのアクセス総数は1,773,844である。国別のアクセス数では、日本が681,427でトップ、次いで米国の486,766、オーストラリア28,487、中国18,471、ドイツ11,839、フランス9,529の順に続く。海外の中では米国からのアクセス数が他の国よりも1桁以上多く、本学術領域への関心の高さが窺える。

5. アウトリーチ活動

本分野を将来担うであろう小中高生に本領域における研究内容を紹介するために、2013年8月27、28日に名古屋大学にて小中高生向け講座「3Dプリンターを使って臓器モデルを作ろう！」を開催し、合計12名の参加を得た(12名は3Dプリンターの制限に由来する本講座の最大受け入れ人数)。ここでは、医用画像からの臓器セグメンテーションを実際に体験し、その結果を3Dプリンターで出力することを行った。また、国際会議MICCAI 2013の協力も得て、2013年9月22日に計算解剖学を紹介する市民公開講座を開催した。

6. 新聞報道等

計算解剖学に関連して、マスメディアにより以下の報道があった。

[A02M_1] 朝日新聞DIGITAL:「3Dプリンター、医療現場へ オーダーメイドで臓器模型」(2014/3/12)

[A02M_2] FNN 東海テレビスーパーニュース(東海テレビ):「3Dプリンターで“臓器模型”作り - 名大で小中学生らが挑戦 - 」(2013/8/28)

[A02M_3] スタイルプラス(東海テレビ):「東海ふしぎファイル No.4 - 新活用! 3Dプリンターで手術? - 」(2014/4/13)

7. その他(学術雑誌における計算解剖学特集号企画、主催シンポジウム等)

日本医用画像工学会学会誌において、2010年、ならびに、2013年に計算解剖学に関する特集号を企画し、本領域における研究成果の紹介を行った。また、毎年度末に国際シンポジウムを開催し、領域内外の参加者との意見交換を行うとともに、諮問委員および海外からの招待講演者の講評を受けた。国際シンポジウムとは別に国内外の学会において、ワークショップ、特別セッション等を企画した。国際会議における本領域の企画は以下のとおりである。

- Workshop on Whole-Body Computational Anatomy and its Application to Computer Aided Diagnosis and Therapy, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2013), Osaka, Japan, July 3, 2013.
- Special Session on Computational Anatomy in Asia, Computer Assisted Radiology and Surgery: 27th International Symposium and Exhibition (CARS 2013), Heidelberg, Germany, June 26, 2013.
- Special Session on Computational Anatomy, Computer Assisted Radiology and Surgery: 24th International Symposium and Exhibition (CARS 2010), Geneva, Switzerland, June 26, 2010.

これらの企画では、領域代表者、計画研究代表者が、司会進行、招待講演を行い、参加者と意見を交わした。国内では、日本生体医工学会大会(2012年)、電子情報通信学会医用画像研究会(2010年)において、本領域の特別セッション、パネル討論を行った。

10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1 ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

計算解剖学の成果が当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果としては以下のものがある。

(1) これまで対応策が無かった不連続な多様性への対応と医用画像完全理解への寄与

従来の統計的形状モデルは、基本的に連続的な多様性のみを表現するものであった。本領域では、椎骨の個数の個体差のような解剖学上の離散的な多様性も前提にし、その概念を明示的にモデルに取り入れ、解剖学的ランドマークの高精度な自動検出、それに基づく頑健な臓器領域抽出、などを可能とした。その結果、医用画像完全理解への基礎固めに大きく貢献した。

(2) 撮像範囲を想定しない画像理解

従来の医用画像処理手法は、撮像範囲などがほぼ固定されたデータ群に対してのみ機能するのが一般的であった。これに対し、本領域で開発した撮像範囲を高精度に自動推定する手法は、医用画像処理手法の汎用性を担保する標準的アプローチになると考えられる。

(3) 患者固有医療へのインパクト

本領域では、「医用画像完全理解」という達成目標を掲げ、自動的、詳細、かつ高精度に、体幹部の臓器、脈管、筋骨格の3次元像を再構築した。これにより、従来は多大な手間を要していた医用3次元画像からの患者固有の人体解剖の復元が、画像撮影後すぐに手間をかけず行うことが可能になった。その結果、計算解剖学の臨床応用も着実に広がり、“患者固有”の手術シミュレーションも現在は日常診療において不可欠な技術に成長し、例えば、肝がん手術や大腸検査などの保険診療の実現に大きく貢献した。

(4) 存在診断支援から質的診断支援への展開

本領域で開発した肺がん診断支援システムでは、CT値分布の詳細解析に基づき、いわゆる“がんの進行度”に相当する指標の導出に成功しており、画像に基づく質的診断支援への可能性を示すことができた。

(5) 死亡時画像診断支援の萌芽

死亡後の人体の画像診断に対する計算解剖学や画像解析の研究は、本研究が開始するまでは皆無であった。本研究は、死体の臓器の計算解剖モデル構築に関する世界初の研究であった。また、その成果を利用した死体の臓器認識や画像からの死因推定のアルゴリズムも世界で初めて構築した。これらの成果は、死亡時画像診断支援という新しい分野を切り拓いた。

(6) 診断支援と治療支援のシームレスな融合

従来は診断支援技術と治療支援技術とは個別・独自に開発されてきた。本来、両者は連続したものであり、本領域ではその基盤となるシステム開発を達成し、今後の支援技術のあるべき姿を方向付けた。

(7) 精確・安全な低侵襲治療の実現と社会へのインパクト

本領域で開発された種々の臨床応用システムは、たとえ治療の経験が浅い医師であっても、熟練者と同様に、精確・安全な低侵襲治療を可能にする。さらに、遠隔医療にも応用できる可能性を秘め、地域医療格差の是正に貢献するとともに、低侵襲であるがゆえの入院日数の短縮や早期回復により患者の早期社会復帰を支援し、医療経済的にも多大な効果が期待できる。

(8) 共通基盤整備による関連分野への波及効果

本領域では、これまでに類例が無い計算解剖モデル開発の基礎となるデータベースや共通プラットフォームの整備を進め、従来と比較してより広範な臓器・疾患をカバーしたロバストな診断・治療支援アプリケーションの開発を行うことができた。共通プラットフォームは本領域のWebページを通じて公開しており、そのダウンロード数も着実に増加している。本領域は関連分野へ大きな波及効果を及ぼしている。

(9) 新たな分野の開拓

本領域の実施後は、その成果を見た他分野の研究者（例えば、病理、細胞マニピュレーション、薬理学、化石解析）からの共同研究の申し出が格段に増加している。これは、画像としてイメージングされた構造物を数理的に認識理解し、また、可視化する計算解剖学の成果が高く評価されたためと考える。計算解剖学が他学問分野へ波及しつつある現れとも考えることができ、これらの分野との融合研究を推進することで、計算解剖学のさらなる発展や新たな学問分野の開拓が期待できる。