

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

— Computational Anatomy for Computer-aided Diagnosis and Therapy —

(文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究より)

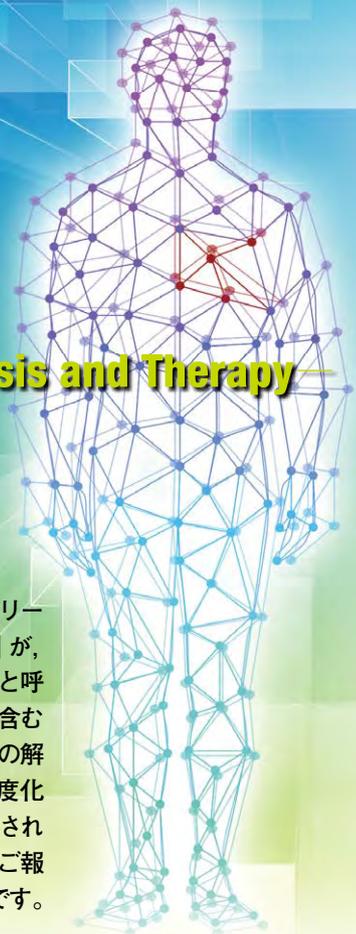
企画協力：小畑秀文 独立行政法人 国立高等専門学校機構

藤田広志 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻再生工学講座

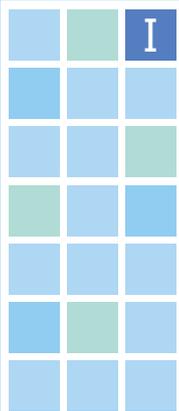
文部科学省科学研究費補助金で約5年前の2009年にスタートした医工連携研究で世界を大きくリードする大型プロジェクト「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」が、2014年3月末に成功裏に終了しました。これは通称「計算解剖学 (Computational Anatomy)」と呼ばれ、新しい学術領域を創成するものです。具体的には、オートプシー・イメージング (Ai) を含む体幹部領域のCT画像を主な対象とし、医用画像を完全理解する手段として、人体臓器・組織の解剖構造を数的に記述した「計算解剖モデル」を構築しました。さらに、医用画像情報理解の高度化に応用する技術を開発し、また、診断支援・手術支援への臨床支援技術の高度化の一端も達成されています。本特集では、このプロジェクトに携わった諸先生方に、最先端の研究成果の一部をご報告いただきます。本特集が計算解剖学への入口となり、今後の展開の一助となることを願うものです。

(注：本特集のほとんどは研究代表者からの報告になっています。各研究課題メンバー等の詳細はホームページでご確認ください。 ホームページアドレス <http://www.comp-anatomy.org/>)

*本特集における用字・用語表記については、各研究課題に準じます。



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



序 論

小畑秀文 独立行政法人国立高等専門学校機構

現在の医用画像撮影技術は、きわめて高度化し、X線CT装置であれば人体構造が高精細に撮影される。人体を解剖したときに肉眼で得られる情報に匹敵する情報が、画像処理により得られる可能性があると言ってよい。文部科学省科学研

究費補助金新学術領域研究「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」(以下、計算解剖学)は、人体を解剖したときに得られる情報と等価な人体構造情報を医用画像から頑健かつ精密に得られるようにする手法の開発、さ

らにその高度臨床応用を目的にしたものである。2009(平成21)～2013(平成25)年度の5年間に、直接経費だけで約10億円が費やされた大型研究プロジェクトである。本稿では、計算解剖学の目的や成果の概要などについて示す。

表1 計算解剖学における計画班の構成(所属は当時のもの)

領域代表：小畑 秀文(東京農工大学)	
研究項目	計画研究課題と研究代表者
A01 【計算解剖学 基礎】	「計算解剖学の基礎数理」 増谷佳孝(東京大学)
	「計算解剖学の基盤技術」 佐藤嘉伸(大阪大学)
	「計算解剖モデルの構築」 藤田広志(岐阜大学)
A02 【計算解剖学 応用システム 開発】	「計算解剖モデルに基づく診断支援」 仁木 登(徳島大学)
	「計算解剖モデルに基づく診断・治療の融合的支援」 森 健策(名古屋大学)
	「計算解剖モデルに基づくオートプシー・イメージング支援」 清水昭伸(東京農工大学)
A03 【計算解剖学 臨床展開】	「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」 木戸尚治(山口大学)
	「計算解剖モデルの診断・治療の融合的支援応用」 橋爪 誠(九州大学)

プロジェクトの目的と 推進体制

1. 目的

本プロジェクトの申請検討段階においては、脳の領域での計算解剖学は進展が著しい状況にあった。これに比して、体幹部(胸部および腹部)における計算解剖学は大きく遅れていた。体幹部には多数の臓器が存在し、臓器の形状、大きさ、あるいはその位置は多様性に富み、きわめて広い範囲で変動する。このような多様性に富む体幹部にも適用できる計算解剖学の構築なくして、真の計算解剖学の確立はあり得ないことは明白であった。さらに、計算解剖学に先行して行われた2003(平成15)～2006(平成18)年度の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」の結果も、われわれを計算解剖学の申請へと強く駆り立てた理由である。このプロジェクトでは、人体の解剖構造に関する知識データベースである“電体新書”を開発し、それに基づい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の開発に成功したが、開発された電体新書は医用画像を完全に理解するには十分なものではなく、多臓器・多疾病診断支援システムの診断精度と汎用性にも限界があった。解剖構造を計算機で完全に理解できるようにすることこそ、多様な疾病の診断・治療支援に必須の基盤であることが改めて明らかとなった。

このような経験と当時の現状を踏まえ、主として技術的な挑戦である次の3点を目的に設定した。

- ① 個体差がきわめて大きい解剖構造を統計数理的に記述できる計算解剖モデルの表現方法や、膨大な個体数の画像データからモデルを構築する方法の開発
- ② そのモデルに基づき、人体を解剖して得られる情報と等価な人体構造情報を医用画像から頑健かつ精密に得られるようにする手法の開発
- ③ その技術に基づき診断や治療を高度に支援できる応用技術の開発

そして、それを支える基礎的な学術の確立と、高度な臨床応用を可能にすることを狙いとされたのが計算解剖学である。

2. 研究推進体制

この目的達成のために、基礎から応用までをカバーするA01【計算解剖学基礎】、A02【計算解剖学応用システム開発】、A03【計算解剖学臨床展開】の3つの研究項目を設定し、モデリングに必要な基礎数理から画像理解に基づく支援システムの開発、さらには臨床展開を通じた評価とフィードバックにより、基礎から応用までが一体となって進展できる体制とした。

研究組織は、計画班と公募班に大別される。計画班の代表者や研究課題を表1に示す。後者は本プロジェクト開始から2年目と4年目にいずれも研究期間2年の研究班として公募により選定されたもので、2010(平成22)年度に15の、2012(平成24)年度に10の公募班が選定された。

研究成果の概要

1. 研究成果の概要

医用画像の個々のボクセルがどの臓器のどの部分に対応するかをコンピュータにより正しく判断することが“画像理解”である。計算解剖学では、単独の臓器モデルを用意するのではなく、まず中間表現の導入により臓器存在範囲のあいまい性の大幅な圧縮を図り、多臓器を階層的にモデリングする手法を採用した。その結果、撮像範囲が未知であっても飛躍的に高精度な画像理解が可能となった。

図1に、撮像範囲未知の非造影臨床CT画像から全自動で得られた体幹部での三次元アトラス(画像理解結果)を示す。主要臓器が精度良く得られていることが理解されよう。主要臓器に関しては“VOXEL-MAN”(http://www.voxel-man.de/)での成果に近いものが得られており、海外でもこのような例はなく、先進的成果と言ってよい。なお、この図は計画班の研究成果を統合して得たものであり、領域全体の成果を示す象徴的な図である。

死亡時画像診断(オートプシー・イメージング)の分野においては、死後の臓器形状の変形が著しく、生体におけるモデ



図1 全自動で得られた臓器アトラス

ルをそのままでは適用することはできない。しかし、両者は一定の数式で関連付けられることを見だし、世界に先駆けて死亡時画像理解、さらには死因の推定や死後経過時間の推定法を開発し、これまでにない新しい分野の創成を達成した。

2. 支援技術の高度化と臨床展開

高精度な画像理解に基づく診断支援技術も大幅に進展し、病巣の存在診断の確度の向上だけでなく、質的診断の可能性まで視野に入れた成果も生まれている。また、診断と治療とをシームレスに融合させた診断治療融合支援システムの開発も進展した。さらに、術中の術具の移動に適応して支援画像を追従させる方法や、オープンMRIを用いて術中

の臓器の変形をリアルタイムで補正する試みを行うなど、大きな進展が見られた。

◎

医用画像の完全理解の基盤の確立とその臨床への高度利用までを狙いにした本プロジェクトは、当初の目的を達成し、成功裏に終了することができた。

われわれが本プロジェクトで対象にした画像は主にCT画像であり、臓器構造を中心に見たときには最も理想的な画像であると言ってよい。しかし、日常の医療現場においては、多様な画像が用いられている。例えば超音波画像を考えると、撮像範囲は一般的には狭く、かつきわめて雑音の多い画像である。これら2つの側面だけを考えても、新たな画像理解のアプローチが要求されよう。さらに、実際の医療においては、1つの画像所見だ

けでなく、多様な画像情報やほかの検査データ、それらの過去のデータなどを総合したものが医師の判断となっている。計算機による理解がそれに迫るためには、医師の判断過程全体のモデリングが必要であり、基盤となる数理的側面からも新たな進展が必須であろう。

本研究プロジェクトを通して、われわれは体幹部の計算解剖学において世界をリードし、若手研究者の育成を併せて進めたことにより、計算解剖学における確固とした地位を築き、かつそれを持続する基盤を確立できたと考えている。しかし、本分野の行く手は広く、かつゴールは遠いところにある。関係各位のこれまで以上のご支援をお願いしたい。