

II 計算解剖学基礎：計画班からの報告

1. 計算解剖学の基礎数理

増谷佳孝 広島市立大学大学院情報科学研究科(前・東京大学医学部附属病院)
 本谷秀堅 / 松添 博 名古屋工業大学大学情報工学専攻
 井宮 淳 千葉大学大学院工学研究科

「計算解剖学 (Computational Anatomy)」は、従来の解剖学に対して X 線 CT, MRI など近年の高度な医用イメージング技術に基づく高分解能かつ大規模データの定量的な解析や、モデリングおよび統計的予測などを導入するため、計算機科学、コンピュータビジョンを含む情報学を融合して創成されつつある新しい学問分野である¹⁾。その応用は基礎ならびに臨床医学であり、より緻密な人体の解剖情報に基づいたコンピュータ支援診断やコンピュータ支援治療が実現されると期待される。その主な目的は、① 個体内および個体間において多様に富む解剖構造を統計的に記述し、② 臨床画像データを計算機が自動的に理解し、患者の解剖構造などを含む最大限の情報を抽出すること、そして③ 抽出した情報を実際の医療や医学研究に活用することである。①は大量のデータおよびその解析結果(領域抽出結果など)からの「計算解剖モデル」の構築であり、同モデルは②の画像理解における前駆知識となる。②において画像に含まれる情報を余すことなく抽出することは、特に「医用画像完全理解」と呼び、その結果である診断や治療に有用な情報を医師に提供することで、③においてより高度な診断や治療に結びつけることが目的である。

解剖構造の統計的な解析および記述を大量の画像データを用いてより大規模かつ緻密に行うことが「計算解剖モデル」の大きな特徴であるが、同時に臨床の現場で役に立つ「画像理解」への応用を念頭に置いた情報の獲得と表現を行う必要がある。これらは計算解剖モデルの表現および構築、さらに画像理解すなわちモデルのパラメタ推定における最適化に関する方法論であり、数理的な手法群がその中心となる。解剖学的知識や臓器形状などをいかに数理的に表現するかという問題は、医用画像処理・可視化の分野で古くから議論されており、その目的によって最適な表現形式は大きく異なる^{2)~4)}。それぞれの表現法は目的に応じて一定の成果を得ているが、実際の臨床現場で使用される画像を頑健に理解することを目的とした場合、さまざまな数理的課題が残されている。

本稿では、医用画像理解を目的とした計算解剖モデルの構成要素としての解剖学的ランドマークのモデリングと自動検出法、統計的形状モデルを導入した非剛体 ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムによる臓器領域抽出、濃淡画像により表現される形状の平均の変分原理に基づく計算法について述べる。

解剖学的ランドマークの
モデリングと自動検出

解剖学的ランドマークとは、個体間の対応を取る上で有用な特徴点、あるいはそれら周辺の微小領域であり、解剖学的にも名称が与えられていることが多い¹⁾。これは、臓器のバウンディングボックス⁵⁾などと同様、臓器形状を明示的に示しておらず「中間表現」とも呼ばれるが、臨床画像の計算機による理解を実現する上で非常に重要な情報となる。例えば、与えられた臨床画像がどのような撮像範囲であり特定の構造物が含まれているかどうかは、固定された撮像条件のデータベースの学習に基づくこれまでの医用画像解析のアルゴリズムでは、撮像範囲は前提条件であり考慮の対象とされてこなかった。そこで、いかなる入力画像であっても計算機が頑健に解剖構造を認識できるようにするため、解剖学的知識を構成する最小単位であるランドマークに着目した。全身を網羅する多くの解剖学的ランドマーク群が抽出できれば、部分的にしか含まれない臓器形状であっても、これに属する解剖学的ランドマークを利用することで全体形状の位置や姿勢の推定などに利用することができる。以下において、X線 CT 画像を対象とした具体的なモデリング法、自動検出法について概説する。

本研究では、骨構造の先端などの形状あるいは画像信号上の特徴のある点を全身において、網羅的に定義した(図1)。