

水藤 寛

岡山大学大学院環境生命科学研究科
教授

臨床医療における数理モデリングの新たな展開

§ 1. 研究実施体制

(1)「水藤」グループ

- ① 研究代表者:水藤 寛 (岡山大学、教授)
- ② 研究項目
 - [A] 病態メカニズムの数理モデル化と診断・治療に適した形状表現の数理モデル構築
 - [A-a] 幾何学的特徴付けのための数理モデル
 - [A-b] 種々の血流現象の数値シミュレーション
 - [C] 統計的手法を用いた診断アルゴリズムの抽出及び臨床現場に適した統計モデルの構築
 - [C-a] スクリーニング検査に対する統計数理モデル
 - [C-b] 熟練医の診断アルゴリズム抽出
 - [D] 臨床現場に適用する種々の数理モデルに対する数学的基盤の確立
 - [D-b] 埋め込み境界法の解析

(2)「植田」グループ

- ① 主たる共同研究者:植田琢也 (誠馨会千葉メディカルセンター、部長)
- ② 研究項目
 - [A] 病態メカニズムの数理モデル化と診断・治療に適した形状表現の数理モデル構築
 - [A-a] 幾何学的特徴付けのための数理モデル
 - [B] 医用画像のイメージングと解析処理による情報抽出に関する数理モデル構築
 - [B-a] 画像診断のための形態・機能に関する特徴量抽出
 - [B-b] 画像誘導治療のための解剖学的構造情報の抽出
 - [C] 統計的手法を用いた診断アルゴリズムの抽出及び臨床現場に適した統計モデルの構築
 - [C-b] 熟練医の診断アルゴリズム抽出

(3)「齊藤」グループ

① 主たる共同研究者:齊藤宣一 (東京大学、准教授)

② 研究項目

[D] 臨床現場に適用する種々の数理モデルに対する数学的基盤の確立

[D-a] IGA 法の解析

[D-b] 埋め込み境界法の解析

(4)「滝沢」グループ

① 主たる共同研究者:滝沢研二 (早稲田大学、准教授)

② 研究項目

[A] 病態メカニズムの数理モデル化と診断・治療に適した形状表現の数理モデル構築

[A-b] 種々の血流現象の数値シミュレーション

[A-c] 血管壁の構造力学的解析

[D] 臨床現場に適用する種々の数理モデルに対する数学的基盤の確立

[D-a] IGA 法の解析

(5)「増谷」グループ

① 主たる共同研究者:増谷佳孝 (広島市立大学、教授)

② 研究項目

[B] 医用画像のイメージングと解析処理による情報抽出に関する数理モデル構築

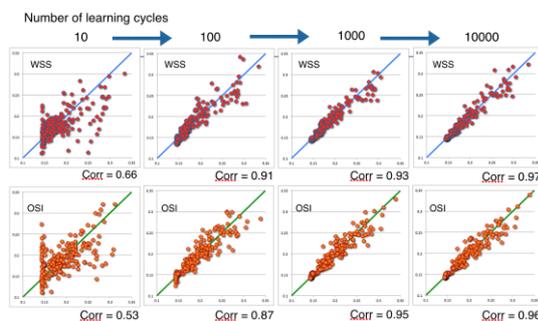
[B-a] 画像診断のための形態・機能に関する特徴量抽出

[B-b] 画像誘導治療のための解剖学的構造情報の抽出

§ 2. 研究実施の概要

A. 病態メカニズムの数理モデル化と診断・治療に適した形状表現の数理モデル構築

大動脈中心軸の曲率と振率分布を用いた機械学習を実施した。その結果、各部位における壁面剪断応力と振動剪断指数を、過学習することなしに精度よく推定することができることがわかった。これは解剖学的部位で考えた曲率と振率が、壁面剪断応力と振動剪断指数を推定するための幾何学的特徴として適切な記述子になっていることを示



していると考えられる。また、流体解析に対する信頼性の研究として、格子解像度による計算結果の違い、及び大動脈弁に関する研究を進めた。血管壁の構造力学的解析については、初期応力を推定する手法の構築において大きな進展があった。

B. 医用画像のイメージングと解析処理による情報抽出に関する数理モデル構築

脳白質神経の軸索径の推定など、拡散 MRI の信号モデルの計算方法やデータ解析に対する研究として、軸索径などの定量情報を Tractography へマッピングして表示する手法の開発等を行った。同時に、拡散 MRI データを表現する「Q 空間データ」の新しい計算手法を開発した。これは今後の脳白質線維に関連した解析において非常に重要な成果で、様々な応用が期待される。

C. 統計的手法を用いた診断アルゴリズムの抽出及び臨床現場に適した統計モデルの構築

既に提案している影響スコアに基づく変化点検出手法の安定化を図るために、平滑化した影響スコアのピークを検出する際に利用する閾値の誤差をブートストラップ法に基づき計算し、信頼限界を求めた。また、本年度から新たに開始した胆道閉鎖症のスクリーニングに関する研究において、新たな診断アルゴリズムの開発を行った。ここでは、パターン認識手法とサンプリング手法を併用したアルゴリズムを提案し、胆道閉鎖症の有無の判別精度の向上と結果の安定化を図った。このアルゴリズムに基づくアプリケーションを開発し、「Baby うんち」としてリリースした。

D. 臨床現場に適用する種々の数理モデルに対する数学的基盤の確立

NURBS (B-spline 基底関数の一般化) を用いて時間方向にも滑らかな近似解を得る離散化手法である ST-C-DCT (space-time continuous representation in time with direct computation technique) の数学的な解析を行うために、実際に手法を実装し試験的な計算を行った。また NURBS 基底関数に基づく数値計算手法である Isogeometric Analysis (IGA) について、とくに境界条件の実現の仕方について調査を行った。埋込境界法は、流体構造連成問題の数値解法としてかなりポピュラーであるが、これまでその収束性はおろか、

well-posedness できえもあまりよくわかっていなかった。本年度は、この埋込境界法の数学解析について大きな進展があった。これは、応用の立場から、解析学への問題提供ができたという意味でも、大きな成果である。

1. K. Takizawa, T.E. Tezduyar, T. Terahara, and T. Sasaki, "Heart valve flow computation with the integrated Space–Time VMS, Slip Interface, Topology Change and Isogeometric Discretization methods", *Computers & Fluids*, published online, 2016.
2. K. Takizawa, T.E. Tezduyar, and T. Sasaki, "Aorta modeling with the element-based zero-stress state and isogeometric discretization", *Computational Mechanics*, Vol. 58, No. 2, pp. 265–280, 2017.
3. 増谷佳孝, "拡散 MRI 解析における数理的基礎と応用 ", *医用画像情報学会雑誌*, published online, Vol. 33, No. 2, pp. 22-27, 2016.