

水藤 寛

東北大学材料科学高等研究所
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 (東北大学材料科学高等研究所 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 (東北大学病院放射線診断科 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-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 (東京大学大学院数理科学研究科 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 (早稲田大学理工学術院 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 (広島市立大学大学院情報科学研究科 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

大動脈における血流に対して、その基礎的な理解のために重要となる流れ場の周期性、及び血管壁の変形を考慮したエネルギー損失についての検討を行った。また、その流れに重要な影響を及ぼしている大動脈弁の高精度な解析手法を適用するために必要な新たな格子生成手法[1]を開発し、血管壁の構造力学的解析手法についても研究を進めた。その他、様々な形状の大動脈における血流の構造に対して詳細な解析を行い、エネルギー損失量とその分布の解析を実施した。



大動脈における旋回流領域

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

拡散 MRI による脳白質神経を中心とした形態・機能の情報の抽出とその解析を目的として、Q 空間データの計算に関わる様々な手法の検証を行うとともに、特定方向の拡散係数の計算に基づく **glymphatic system** の評価によるアルツハイマー病診断への応用を行った[2]。また、これまでに開発した腸間膜形状の抽出のための手法に基づいてソフトウェアの開発を行い、マルチタッチディスプレイを用いて腸間膜を構成する点群入力 of 効率性を高めた。

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

既に開発した胆道閉鎖症の判別アプリケーションソフトウェアの精度向上と安定化を実現した。また、分類木とリサンプリングに基づく熟練医の適切な診断論理を抽出する手法の一部を実装した。この手法を単施設後ろ向き研究におけるデータに適用した結果、臨床的に有用なマーカーを安定的に検出できる可能性があることが示唆された。

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 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 法の数学的な解析を進めた。また、生体膜など流体内を運動する弾性体の振る舞いを解析する際にしばしば応用される埋め込み境界法及び 1 次元血流モデルについて、新たな数学的基礎付けを行った[3]。これらは、応用における視点と必要性から、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] Y. Otaguro, K. Takizawa and T.E. Tezduyar, "Space-time VMS computational flow analysis with isogeometric discretization and a general-purpose NURBS mesh generation method", *Comput. Fluids*, **158**, 24, 189–200, 2017.

[2] T. Taoka, Y. Masutani, et al, "Evaluation of glymphatic system activity with the diffusion MR technique: diffusion tensor image analysis along the perivascular space (DTI-ALPS) in Alzheimer's disease cases.", *Jpn. J. Radiol.*, **35**, 4, 172–178, 2017.

- [3] Y. Sugitani, "Numerical analysis of a Stokes interface problem based on formulation using the characteristic function", *Appl. Math-Czech*, **62**, 5, 459–476, 2017.