

現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築
2015 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

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. 研究成果の概要

サブテーマのひとつとして設定している幾何学的特徴付けのための数理モデルについては、気管支分岐構造のモデル化とその対応付けの自動化を行うとともに、種々の血流現象の数値シミュレーションとして人工透析に伴うシャント分岐の血流解析や心臓内部の血流に解する詳細な解析手法を構築した。また、血管壁の構造力学的解析を高度化する新たな計算手法を構築した。

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のサブテーマにおいては、拡散 MRI による生体の微細構造の推定を目的とした生成型 Q 空間学習に関連して、DKI(diffusional kurtosis imaging)信号値モデルにおけるパラメタ推定値のバイアスの補正や混合分布ノイズによる学習の推定への効果の検証において新たな成果があった。また、適応的ネットワーク設計の理論を用いた神経線維の追跡に関して進展があった。

熟練医の診断アルゴリズム抽出に関わるサブテーマに関しては、まず患者個人情報を含む施設間のデータ移管の枠組みの構築を行った。また、その枠組みを生かして、高精度のトモシンセシスを用いた「構築の乱れ」に関する診断についての研究をすすめた。トモシンセシスの Deep Learning による学習は、以前のマンモグラフィーのそれをはるかにしのぎ、良好な診断精度が得られることがわかった。

種々の数理モデルに対する数学的基盤の確立を目的とするサブテーマにおいては、IGA (Isogeometric analysis)の数学的正当性を保証する研究を引き続き行った。また、心血管系の血流シミュレーションにおいて 3 次元の詳細な数理モデルの他によく用いられる1次元血流モデルの基礎的な数学的性質の研究を進めた。特に、特異係数を含む空間 1 次元偏微分方程式に対して、標準的な有限要素法を用いて妥当な集中質量近似を構成した。

§ 2. 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 (東北大学大学院医学系研究科、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、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

【代表的な原著論文情報】

- 1) Masutani Y, Fujiwara T, and Sasaki K, Synthetic Q-space learning with mixture distribution noise for robust DKI parameter inference, Proc. SPIE 11792, International Forum on Medical Imaging in Asia 2021, 2021
- 2) Ohara T, Ikeda H, Sugitani Y, Suito H, et al, Artificial intelligence supported anemia control system (AISACS) to prevent anemia in maintenance hemodialysis patients, International Journal of Medical Sciences, Vol. 18, No. 8, pp. 1831–1839, DOI: 10.7150/ijms.53298, 2021
- 3) Ueda Y, Ootoguro Y, Takizawa K, Tezduyar TE: Element-splitting-invariant local-length-scale calculation in B-Spline meshes for complex geometries, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 30(11) pp.2139–2174, 2020