

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

本 CREST 研究では、次の 4 つのテーマを設定し、数理科学と臨床医学の協働を推進している。2019 年度の主な成果は以下の通りである。

[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

間質性肺炎の診断に関わる気管支走行の自動抽出と評価に用いるアルゴリズムを完成させた。また、新たに開始した人工透析に関わる動静脈シャントの血流解析に加え、研究開始当初から続けている血流と血管の運動の連成解析に関しては、大動脈内の流れに左心室および心臓弁の挙動によって作られる流れがどのように影響しているのかを詳しく調べる成果があった。

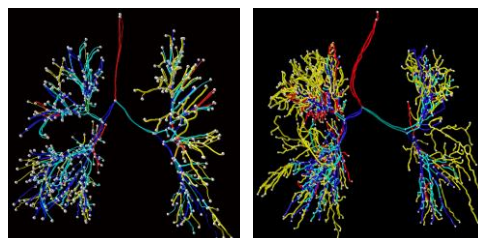


図 1: 気管支対応付け

[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 による生体の微細構造の推定を目的とした生成型 Q 空間学習の研究が進展し、関連分野のトップカンファレンスで発表した。またその成果として拡散 MRI 解析ソフトウェア(diMaRIA)を公開した。また、適応的ネットワーク設計の理論(フィザルムソルバ)を用いた神経線維の追跡に関して、前年度までに開発したソフトウェアの改良ならびに各種の実験を行なった。

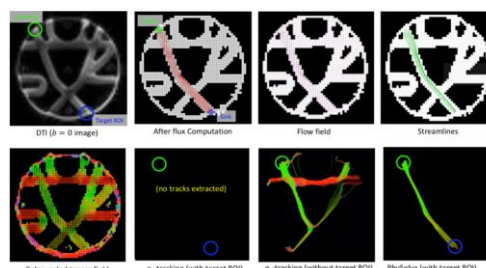


図 2: 適応的ネットワーク設計理論の神経線維追跡への応用

[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

臨床データに数理モデル解析を適用するには、医用データの管理や医療施設間の移動について慎重な管理が必要である。日常的な医療活動に影響を与えない形で適切にデータの取り出しを

行うためのシステムを構築できたことは 2019 年度の大きな成果である。次年度以降にこのシステムを用いて乳腺画像に対する時系列変化数理モデリングに対する深層学習を適用した研究を推進していく。

[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

血流解析等でしばしば用いられる Iso-geometric Analysis (IGA)の数学的正当性を保証する上において重要な役割を果たす楕円型射影作用素についての研究を進めた。また、心血管系の血流シミュレーションでは、3次元の詳細な数理モデルの他に1次元血流モデルがよく用いられるが、2019年度は空間1次元の場合に問題を限定して T. Kato 理論の離散版の構築に成功した。ここでは離散偏導関数法で用いられる様々な恒等式や不等式を活用することができ、離散偏導関数法の新たな応用先を見出すことができた。

【代表的な原著論文】

T. Terahara, K. Takizawa, T.E. Tezduyar, “Ventricle-valve-aorta flow analysis with the Space-Time Isogeometric Discretization and Topology Change”, Computational Mechanics, vol. 65, pp.1343-1363, 2020

§ 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