

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

#### 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

気管支拡張症などの診断の効率化や客観化に有用であると考えられている気管支走行の幾何学的特徴付けのために、同一患者の異なる時期の気管支形状をグラフ構

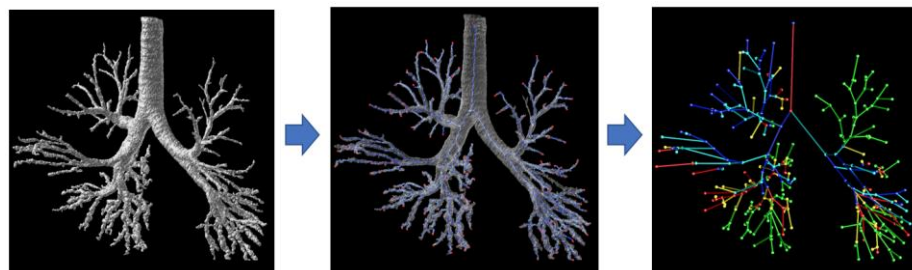


図 1 気管支の CT 画像から 3D 構築、中心線の抽出、グラフ構造化に至る過程

造化して比較する手法を構築した。また、血管壁の構造力学的解析では、ゼロ応力状態の推定に際して埋め込み座標系におけるメトリックテンソル係数に着目し、ゼロ応力状態を効率的に求める手法を構築した。

#### 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

拡散 MRI の Q 空間に分布する複数の拡散強調像のボクセル値を入力とし、神経線維の方位分散指標などの生体の微細構造パラメータを出力とする深層ニューラルネットワーク

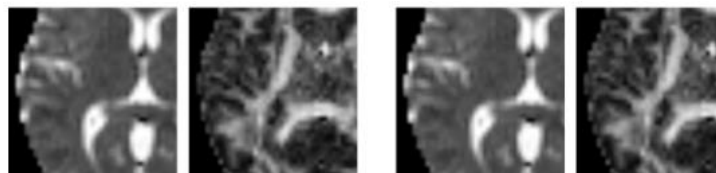


図 2 : 深層学習による拡散 MRI パラメータの推定

ワークを設計・合成データのみで学習したところ、極めて良好な結果を得た。これを生成型 Q

空間学習と呼ぶ。この手法は神経線維方向の推定など他のモデルにも適用できると考えられる。

- 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  
人工透析における投薬管理に関する研究において、専門医の投薬履歴を学習し血液検査値から投薬量の増減を提案するシステムを構築した。これは、少ない投薬量で血中ヘモグロビン濃度の変動を抑えることを実現し、透析医療の質を高めるのみならず医療費の削減にも繋がることが期待される。
- 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  
血流解析にしばしば用いられる Isogeometric Analysis (IGA)における非斉次 Dirichlet 境界条件の取り込み方法としてよく採用される Nitsche の方法について、非定常移流拡散問題の空間離散化スキームに対する安定性・誤差解析を行った。また、標準的な有限要素法と IGA を含む広い範囲の離散化手法について解析を行い、時間発展を含む問題の IGA に対して一般的な解析手法を確立することに成功した。

#### 【代表的な原著論文】

1. T. Ueda, H. Suit, H. Ota, K. Takase, "Computational Fluid Dynamics Modeling in Aortic Diseases", Cardiovascular Imaging Asia, Vol. 2, No. 2, pp. 58-64, 2018.
2. K. Takizawa, T.E. Tezduyar, and T. Sasaki, "Isogeometric hyperelastic shell analysis with out-of-plane deformation mapping", Computational Mechanics, Vol. 63, pp. 681-700, 2018.
3. 増谷佳孝, "拡散 MRI の発展と近年の動向", 画像電子学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 177-180, 2018.

## §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