

医療分野研究成果展開事業/産学共創基礎基盤研究プログラム（産学共創）

平成 27 年度成果報告書（公開）

研究代表者 （所属機関・氏名）	浜松医科大学 光先端医学教育研究センター フォトニクス医学研究部 生体医用光学研究室 星 詳子
参加機関	慶應義塾大学、産業技術総合研究所、徳島大学、北海道大学、 防衛医科大学校
研究開発課題	バイオメディカル光イメージングにおける数値モデルと画像再構成

1. 研究開発の目的

ヒト頭頸部を対象とした、輻射輸送方程式に基づく 3 次元近赤外拡散光トモグラフィの画像再構成アルゴリズム構築と、甲状腺再構成画像の取得を目的とする。

2. 研究開発の概要

拡散光トモグラフィは、ダイナミック・マルチレベル生体イメージングを可能にする技術である。生体内光伝播の解明は、拡散光トモグラフィのみならず、光生体イメージング技術開発に共通した基盤となる課題であり、生体組織の光学特性値を決定し、高精度コンピュータ計算技術・シミュレーション技術を開発して、生体内光伝播を厳密に再現する数値モデルを構築する。さらに高速・高精度画像再構成アルゴリズムを開発して、ヒトを対象とした拡散光トモグラフィ画像の取得を目指す。

3. 研究開発の成果（平成 27 年度）

(1) 生体の光学特性値推定【浜松医科大学】

前年度までにラットとサル脳の光学特性値をモンテカルロシミュレーション（MC）で作成したルックアップテーブルを用いて決定した。輻射輸送法方程式解析解を用いても MC の結果と一致することを確認した。さらに、コントロール実験として、吸収体を含むラテックス粒子溶液をフェムト秒レーザーで時間分解計測し、解析方法の検証を行った。

(2) 8 チャンネル時間分解計測システムの試作とヒト甲状腺計測環境の整備【浜松医科大学】

市販されている TRS-20 をベースにして、8 ch TRS 計測システム (TRS-80) を構築した。トリガーユニットと制御ソフトの製作が残して、4 チャンネルは稼働できる状態で装置関数モジュールを用いて性能チェックを行った。また、検出された光強度の絶対値を求めるために、検出器側の感度とモジュールの影響を考慮した補正式を作成した。

(3) 磁気共鳴画像に基づいた頸部光伝播解析モデルの構築【慶應義塾大学】

頸部の磁気共鳴（MR）画像から、甲状腺の拡散光トモグラフィ（DOT）に必要な頸部の光伝播を正確に模擬するシミュレーションモデルを構築した。MR 画像の撮像は、時間分解計測システムの測定時における頸部の形状とプローブ装着位置の再現性を高めるため、3D プリンタで作成したプローブホルダを装着した状態で行った。MR 画像を、背景組織（脂肪）、筋肉、甲状腺、動脈、静脈、気管、などの 12 領域に分割することで、3 次元頸部モデルを構築した。光伝播解析に必要な光学特性値（吸収係数、等方換算散乱係数）は、基本的に文献値を用いることとしたが、比較的体積の大きい背景組織と筋肉については、実

測した時間分解波形にモンテカルロシミュレーションで計算した波形をフィッティングすることで求めた。この頸部モデルは、シミュレーションによる DOT 画像再構成アルゴリズムの評価、および実測時の画像再構成における初期値画像として用いる。

(4) ヒト頸部内の光伝播の数値解析【北海道大学】

ヒト頸部における光伝播を輻射輸送方程式に基づいて解析した。気管境界面における光の反射・屈折がヒト頸部表面での検出光に大きく影響していることを明らかにした。

(5) 輻射輸送方程式の数値計算手法の高度化【北海道大学】

輻射輸送方程式に基づいた逆解析を用いて光学特性値を算出するためには、計算効率と計算精度の優れた数値計算手法が必須である。位相関数を再規格化する手法を提案し、計算精度を保ったまま、計算負荷を下げる事が出来た。

(6) 実測条件を用いた画像再構成アルゴリズムの改良【防衛医科大学校】

三次元画像再構成のアルゴリズムを高速化・小記憶容量化して計算プログラムとして実装し、ヒト頸部リアルサイズモデルを用いた数値実験を行ってその有効性を検証した。

(7) 実測条件を考慮した光伝播計算【防衛医科大学校】

生体の滑らかな形状における光伝播計算に適している有限要素法を用いた光ふく射輸送方程式計算プログラムを作成し、計算結果の妥当性等を検証している。

(8) 高速・高精度 3 次元画像再構成アルゴリズムの開発【徳島大学】

高精度な画像を高速に演算できる光トモグラフィ画像再構成アルゴリズムを開発するため、トモグラフィ逆問題の最適化法を新規に提案した。研究目標の達成に有効性が確認された成果として次が明らかとなった。① 測定データのブロック (サブセット) 化により収束性能が向上すること、② 離散トモグラフィの技術を併用して画像濃度値の先験情報を活用することにより画像の高品質化が可能であること、③ 信頼性の不確かな観測データを最適化原理に基づき動的に補間する方法を考案し、適用により再構成画像のアーチファクト削減に高い効果が得られること、など。

(9) 生体組織の光学的非均質性を反映した形態情報の生成【産業技術総合研究所】

ヒト頸部の形態 MR 画像の撮像を行い、領域分割をすることで組織の光学的非均質を反映した形態情報を取得した。

(10) 輻射輸送方程式数値解の検証【産業技術総合研究所】

生体の光学特性値を模擬した液体ファントムを対象に、数値解の妥当性の検証を目的として、フェムト秒時間分解計測システムを用いて計測を行った。

(11) DOT アルゴリズムの評価 (ファントム, ヒト計測)【産業技術総合研究所】

既存のマルチチャンネルピコ秒時間分解計測装置を用い、ヒト頸部を対象とした時間分解計測を行い、頸部計測方法の検討を行うと共に画像再構成アルゴリズム検証のための基礎データを取得した。

(12) 8chTRS 構築・計測【産業技術総合研究所】

頸部形状に忠実に合わせた光ファイバホルダおよびその治具開発を行った。