

【目的】 近赤外光を用いた脳機能評価法はその非侵襲性から着目されている。しかしながら、その評価には被験者の頭部形状の影響や複数の組織による拡散、遅れを解析しなければならない。本研究では遅延フィードバックを含んだレーザダイナミクスの数理モデルである Lang-Kobayashi 方程式のモード分解を行い、遅延光学系を活用することで近赤外レーザの入力光をデザインする方法を進展させる。さらに、被験者の解剖学的な脳構造を模したモデルを構築し、頭部モデルシミュレーションおよび被験者に近赤外光を照射する実験から、頭部の解剖学的な構造と吸収散乱特性評価の関係を解析する。

【方法】 レーザ光源に関する解析として Lang-Kobayashi 方程式の縮約を行い、解析的な見通しのよい位相方程式の導出を行った。さらに複雑に不安定化したレーザの制御理論を構築する目的で、理想化された問題に対して位相振幅方程式の解析を行った。また、磁気共鳴画像 (MRI : Magnetic Resonance Imaging) によって得られた被験者の頭部解剖画像から頭皮、頭蓋骨、脳脊髄液、灰白質・白質の 4 層を抽出した頭部モデルを作成し、数理解析で得られた GHz 帯域での周期変調レーザ光源およびパルス光を用いたシミュレーションを行った。さらに、近赤外パルス光を用いた頭部計測実験から解剖学的構造に起因する吸収散乱特性の評価を行った。

【結果】 はじめに、Lang-Kobayashi 方程式に対して時間遅れ系の位相縮約理論を適用し、時間遅れフィードバックによってレーザ強度が変調する状態において、周期外力によって振動周期を制御できることを示した。次に、被験者の頭部 4 層構造モデルを構築し、そのシミュレーションを行った。その結果、周期変調レーザに対する位相差を検出することで、頭部の構造に起因する微細な吸収散乱特性の評価が可能であることを示した。さらにパルス光を入射したシミュレーションでは、算出された平均吸収係数はプローブ間隔 20 mm (1ch) の場合よりも 4 mm (2ch) の方が高く、またともに配置 A (大脳縦裂を跨くプローブ配置) に比べて配置 B (側頭部の配置) の方が高いという結果が得られた。さらに、実際の被験者に近赤外パルス光の照射と複数プローブによる受光実験を行った結果、頭部シミュレーションと同様の特徴が得られた。

被験者の頭部構造の 4 層モデルを用いたシミュレーションと近赤外光照射実験による吸収係数の比較

