

近赤外光脳機能計測における頭部モデルを用いた複数活動位置推定法

田中敏幸¹・谷中恵美¹・滝沢茂男²・武藤佳恭³

¹慶應義塾大学 理工学部物理情報工学科 (E-mail:tanaka@appi.keio.ac.jp)

²バイオフィリア研究所 ³慶應義塾大学大学院 環境情報学部

キーワード：脳卒中・リハビリ・fNIRS・NIRFAST・順問題・逆問題

要旨

近年、社会の高齢化に伴い脳卒中患者が増加している。脳を損傷するとその損傷部位に応じた後遺症が残るが、損傷部位周辺を活性化することによって新たな神経回路の構築や機能回復が見込めると報告されている。損傷部位周辺の活性化にはリハビリが不可欠であり、そのリハビリが効果的であるか否かを脳機能計測装置により診断する方法が提案されている¹。脳の活動状態を非侵襲的に調べるにはNIRS (Near Infrared Spectroscopy)による計測が適しており、操作が簡便であることから様々な分野での応用が期待されている。しかし、空間解像度が悪く脳が活性化した位置を正確に推定することができないことが、応用研究への妨げとなっている。この問題に対し、頭部における光の伝播を考え、NIRSの計測データから脳活動位置を推定し、空間解像度の改善を目指す研究が行われてきた²。推定を行うには、膨大な計算負荷がかかるために簡易的なモデルでの推定が主であった。これは実用性を考慮すると必ずしも適していると言えない³。本研究では、実用性を考慮して頭部モデルを正確に再現し、最小ノルム法を用い計算負荷の削減をした上での推定を行う。最小ノルムにより得られる解は広がりを持っているがその解に対して適切に処理を行うことで、複数の活性における活動位置推定の精度向上を目指す。

方法

2.1 頭部モデルの作製と活動位置推定

Figure 1に示す頭部モデルは一辺が1 mmの四面体で構成され、頭皮・頭蓋骨・脳脊髄液・大脳皮質の構造である。また、大脳皮質における吸収係数の10%増加させた値を持つ吸収体を置き局所的な活動を再現した。

NIRSにおいて、脳内の吸収係数変化を X 、観測結果を Y とすると、活動位置の推定解は次式より計算される。

$$\bar{X} = A^T(AA^T + \alpha I)^{-1}Y \quad (1)$$

I は単位行列、 A は感度行列で脳内における光伝播

を表現する。光伝播シミュレーションソフト(NIRFAST: Near Infrared Fluorescence and Spectral Tomography Software)を用いて求めた Y と A から(1)式を計算し \bar{X} の算出を行う。

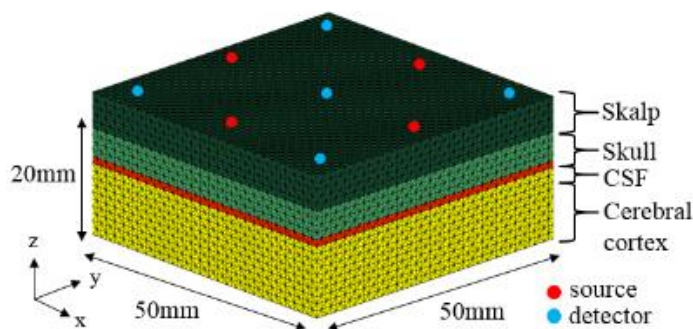


Fig. 1 Experimental model

過程

2.2 提案手法1

複数の活性の情報が含まれた解 \bar{X} に対し、大津のしきい値選定法を用いて解を2つの領域に分け、それぞれの領域に最大値の85%以下を不活性であるとする処理を行う。

2.3 提案手法2

NIRSのプロブ配置と活性位置の感度の特徴から活性位置3点における推定解データを学習させ、その3点から最も近い位置のデータを用いることで解を2つに分け、各々に最大値の85%以下を不活性であるとする処理を行う。

結果

結果をFig. 2に示す。(a)は真値であり、(b)は推定解 \bar{X} に対して単純に最大値の85%以下を不活性としたとき、(c)、(d)は手法1、手法2をそれぞれ行ったときの大脳皮質表層における断面図である。

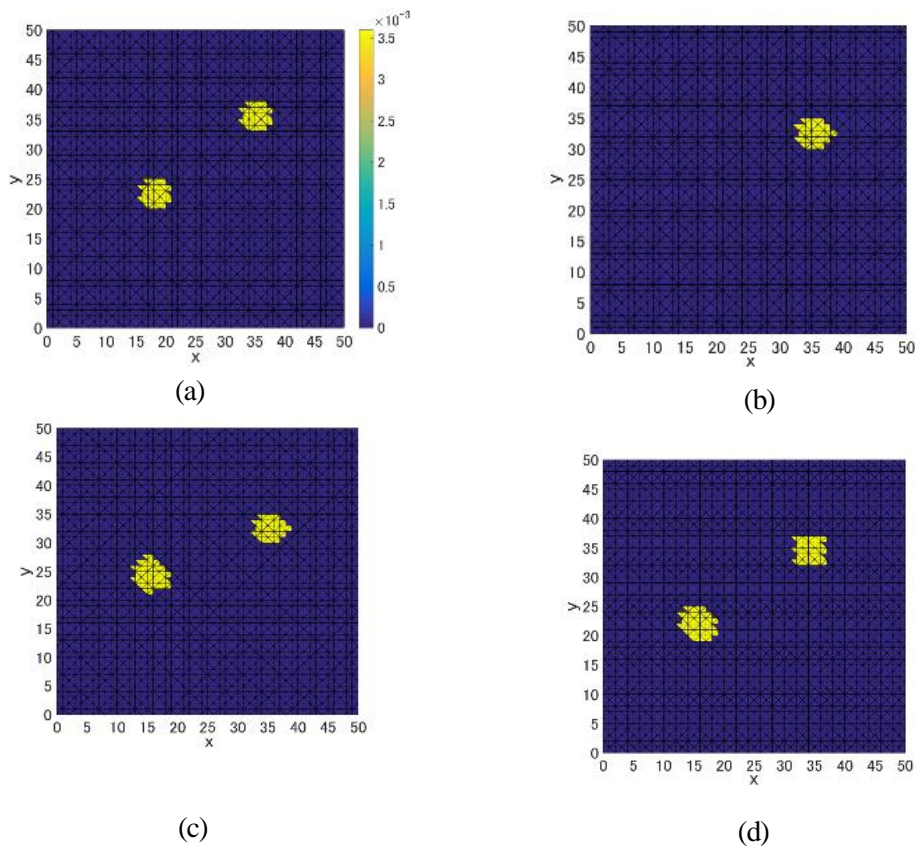


Fig. 2 Cross section of the layer of cerebral cortex

結論

計算負荷を最低限に抑え2つの活性を特定することができたが、活性の大きさまでは正確とは言えない。本研究では、2つの活性について特定を行ったが、数を増やして検討する必要がある。また深さ方向については考慮していないため、今後深さ方向についても検討する必要がある。

参考文献

[1] 加藤宏之, “脳機能再構築に関する脳機能画像診断の実際”, 理学療法学科, vol. 22 7-12 (2007)
 [2] 宮本敦史, 渡辺一帆, 池田和司, 佐藤雅昭, “階層変分ベイズ法によるNIRS - DOTの逆問題解法”, IEICE Technical Report, NC2009-137, 2010.
 [3] Estimation of activation site using cephalic sensitive distribution in brain function measurement with near-infrared light, IBRC2016 (2016)
 [4] 岡田英史, “脳内光伝播シミュレーション”, The Laser Society of Japan, 30, 630 (2002)