

# 深さ選択性拡散光イメージングの三角形センサ配置への適用

岩田 勇樹<sup>†</sup> 福田 恵子<sup>†</sup> 藤井 麻美子<sup>††</sup>

<sup>†</sup>東京都立産業技術高等専門学校 <sup>††</sup>上智大学

## 1. はじめに

拡散光イメージングは無侵襲・低拘束な脳機能計測法として広く知られ、認知科学、教育学など様々な分野での活用が期待されている。測定は近赤外光の体表への照射と、生体組織から拡散反射される光の検出から行われ、検出光の減衰量から血液量変化を算出し脳機能を推定する。さらに、複数の照射-検出の組み合わせで測定し、推定された信号をそれぞれの中点に投影・補間することで2次元分布を得る。しかし、皮膚直下に生ずる血液量変化(以下、表層信号)がノイズとなることで、測定対象であり深部に存在する大脳皮質での血液量変化(以下、深部信号)をマスクしてしまうという問題がある。そこで、表層信号の影響を抑制して深部信号を抽出する深さ選択性拡散光イメージングが提案され、その効果が検証されている<sup>[1]</sup>。本手法では表層信号を選択的に取得するための検出点の配置が必要とされる。そこで本研究では高密度なセンサ配置に適した正三角形の頂点と重心にセンサを配置した形状<sup>[2]</sup>に本手法を適用し、その効果をシミュレーションにより確認する。

## 2. 深さ選択性拡散光イメージング

生体が近赤外光に対して強い散乱性を持つことから光拡散方程式にて生体における光の拡散現象を近似できる。ここで生体を均質で半無限媒質とする。この手法では光拡散方程式に基づいて観測値と血液量変化との順問題をたて、その逆問題を解くことで表層信号と深部信号との分離を図る。i 番目の照射-検出の組み合わせで得られる観測値を $b_i$ 、空間内をボクセルとして離散化し、j 個目のボクセルでの血液量変化を表す吸収係数変化を $x_j$ とする。ここで各ボクセルに対し光拡散方程式に基づいて $b_i$ と $x_j$ の感度比 $A_{i,j}$ を設けると、 $b_i$ は $A_{i,j}$ を重みとした $x_j$ の総和となり、(1)式のように順問題として近似できる。

$$b_i = \sum_j A_{i,j} x_j \quad (1)$$

また、(1)式についてマトリクス形式を用いて表現しなおし、(2)式のムーア-ペンローズ型一般逆行列を求めることで逆問題解 $\mathbf{x}_R$ を推定し2次元分布を得る。

$$\mathbf{x}_R = \mathbf{A}^T (\mathbf{A}\mathbf{A}^T + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{b} \quad (2)$$

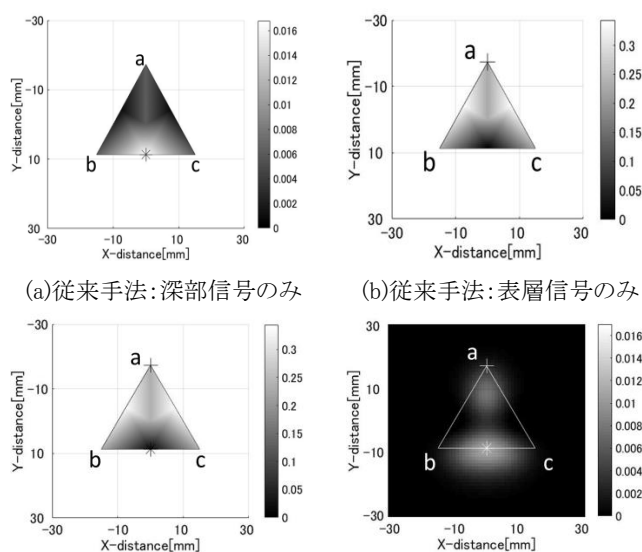
ここで $\lambda$ は Tikhonov 正則化パラメータである。

## 3. シミュレーション

深さ選択性拡散光イメージングの効果をシミュレーションで比較する。従来手法と深さ選択性拡散光イメージングを比較した結果を図1に示す。シミュレーション条件として、センサ配置は1辺が30[mm]の正三角形の頂点 a、b、c にて光の照射と検出を行い、重心で表層信号を選択的に検出するものとする。この配置

は照射-検出間距離が測定深度に依存することを利用して、また血液量変化位置としてノイズとなる表層信号(+)を深さ2[mm]に、深部信号(\*)を深さ12[mm]に配置し、従来手法は(a)深部信号のみ(b)表層信号のみ(c)表層+深部信号の3条件であり、深さ選択性拡散光イメージングは(d)表層+深部信号の1条件である。

従来手法によると、深部信号のみでは位置(\*)に信号が検出されるが、表層信号が照射点直下にある場合、a-b間及びa-c間に(a)の約20倍の大きな信号が検出されている。さらに、(c)に示すように表層信号と深部信号が存在する場合、(b)とほぼ同様の結果となり、表層信号に深部信号が埋もれてしまい検出できない。深さ選択性拡散光イメージングでは、表層信号と深部信号が存在しても深部信号の位置に信号が検出され、その強度も従来手法の深部信号のみの場合(a)とほぼ一致していることが確認できる。



(a)従来手法:深部信号のみ (b)従来手法:表層信号のみ  
(c)従来手法:表層+深部信号 (d)深さ選択性イメージング  
図1. シミュレーション結果( $\mu_a=0.02[\text{mm}^{-1}]$ 、 $\mu'_s=1.00[\text{mm}^{-1}]$ )

## 4. まとめ

表層信号と深部信号の混在下において深部信号を分離抽出する深さ選択性拡散光イメージング法を三角形センサ配置に適用し、シミュレーションによりその効果を確認した。今後生体計測へむけて異なる信号配置パターンへの適用やファントム実験による効果検証を進める。

## 参考文献

- [1] 藤井麻美子, 遠藤玲子, 中山淑, 生体医工学 48 巻 4 号, pp.383-395, 2010.  
[2] K. Fukuda, K. Koishi, and T. Murayama, Jpn. J. Appl. Phys. 52, 077001, 2013.