

# [B08]脳内における近赤外光の光伝播

機械制御工学科 山田研究室

9 8 2 3 0 1 8 鈴木 裕

## 1 概要

近年、無侵襲の脳機能計測法において、種々の優れた脳機能イメージング法の出現により、脳機能に関する研究は飛躍的に進歩した。しかし、これらの方法による計測では、長時間にわたって体動が制限され、また測定環境が被検者の不安感や緊張感を招くことがあり、小児などでは検査の協力を得ることがしばしば困難である。一方、新しい脳機能イメージング法として近赤外分光法を利用した光トポグラフィーは上記の計測法に比べ、空間分解能や脳深部計測などで及ばないものの、特殊な検査室を必要とせず、被検者を拘束することなく自然な状態で測定を行うことができる無侵襲計測法である。

## 2 研究の目的

光トポグラフィーは計測の際、頭部に計測装置を装着するが、装着した際に毛髪によって光が遮られ計測ができないこともある。本研究は毛髪が頭部での光計測の際にどのような影響を与えるかを定量的に調べることを目的とする。

## 3 近赤外分光法と時間分解計測法

近赤外光(700~3000nm)は生体組織に対し比較的高い透過性を有する。近赤外領域を用いた生体の計測では、主に酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)及び脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)が計測対象の物質である。oxy-Hb及びdeoxy-Hbのモル吸光係数の分光スペクトルは異なるため、生体に対する近赤外光の透過率(または反射率)を分光的に計測すれば、各Hb濃度やその濃度変化を求めることができる。こういった方法を一般的に近赤外分光法という。

近赤外分光法の測定手法としては主に連続光による計測法と時間分解計測法の2種類の計測法がある。連続光型は長時間にわたリアルタイムで測定できるが、光路長や光学特性値を求めることができないので変化の絶対値を求

めることができない。一方、時間分解計測法ではリアルタイムの連続測定は難しいが、平均光路長や光学特性値を求めることができ定量化が可能になる。本研究では時間分解計測法を用いた。

時間分解計測法ではピコ秒オーダーの極短パルス光を照射し、ピコ秒オーダーの時間分解能を持つ光検出器により生体を伝播したパルス光を検出する。図1はパルス光を生体に照射し検出された光の時間に対する強度分布を示している。比較的散乱を受けなかった光子は早い時間成分になり、散乱を強く受けた光子は遅い時間成分となる。

実験で得られた時間分解波形に対し、光拡散方程式を用いた解析解をフィッティングさせる計算により平均的な生体組織の光学特性値、等価散乱係数 $\mu_s'$ と吸収係数 $\mu_a$ を求めることができる。

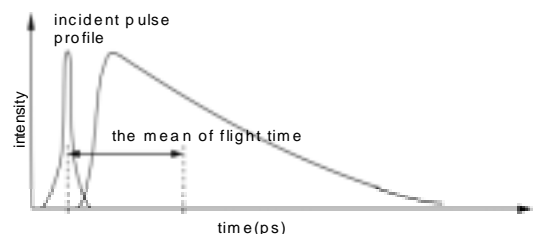


図1 時間分解計測で得られた検出光強度分布

次に時間分解計測装置の概要を述べる。この装置は照射ライトガイドから760・800・830nmの3種類の波長で各々パルス幅100psの近赤外レーザーが繰り返し周波数5MHzで発射され、受光ライトガイドで微小時間(50ps程度)に受ける光子の数をカウントすることで、時間分解波形をとることができる。

照射・受光ライトガイドは直径約2.9mmで照射ライトガイドの照射ファイバーは直径約200μm、受光ライトガイドの受光部は2.5mmである。

## 4 実験結果と考察

### 4-1 ヒト頭部を用いた計測実験

被検者の額にライトガイドを装着し、毛髪のない部分、毛髪の生え際、毛髪のある部分で照射ライトガイドと受光ライトガイドを数パターンで固定した。被検者の頭部に暗幕をかぶせ暗室で検出光強度と等価散乱係数と吸収係数を計測した。

結果においては一部の計測パターンで光学特性値が異常に低いものが見られた。これは額に固定したライトガイドが実験中にわずかにずれたことが原因と考えられる。ずれたライトガイドは頭皮から離れ、照射側では照射光が生体内を伝播せず直接光として受光側のライトガイド向かう。これにより、散乱を受けない光子が早い時間成分に多数現れ、等価散乱係数の低下を示したものと考えられる。このため、毛髪の影響をより正確に安定して計測することを目的として生体模擬試料を用いた実験を行った。

### 4-2 生体模擬試料を用いた計測実験

図2のようにライトガイドをファイバーホルダーに固定し、それを光学ベンチ上のXYZステージに固定した。一方、光学ベンチ上に固定した生体模擬試料(ジュラコン製ファントム)に毛髪を1本貼り付けた。一方のライトガイドをファントムに接触させ、毛髪の下からライトガイドを5 $\mu\text{m}$ ずつ上げ、毛髪の上を通過させる。そのときの検出光強度と等価散乱係数、吸収係数の変化を計測した。

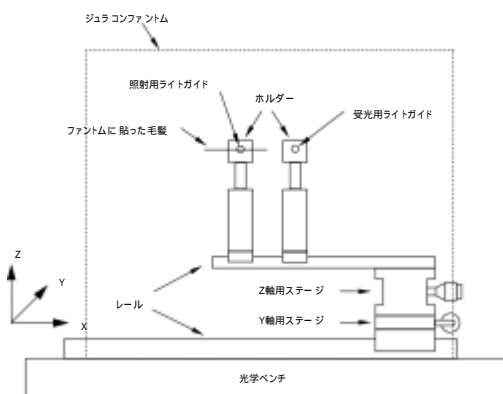


図2 実験装置の模式図

図3に直径79 $\mu\text{m}$ の黒い毛髪に対する実験結果を示す。照射用ライトガイドの移動による検出光強度の変化を見ると、毛髪にあたっていない時の検出光強度を100%としたときの各位置での検出光強度の割合は、照射ファイバーに毛髪がかかっていくにしたがって低下している。最大で約50%

の低下が見られる。また、ファントムの光学特性値の変化を見ると、各波長の光で検出光強度が減少する位置で値の低下が見られる。白い毛髪を用いた実験結果では検出光強度の低下は10%程度であり、光学特性値に与える影響はほとんどなかった。また受光ライトガイド側に毛髪を置いた場合では検出光強度の低下は5%程度であり、光学特性値に与える影響はほとんどなかった。

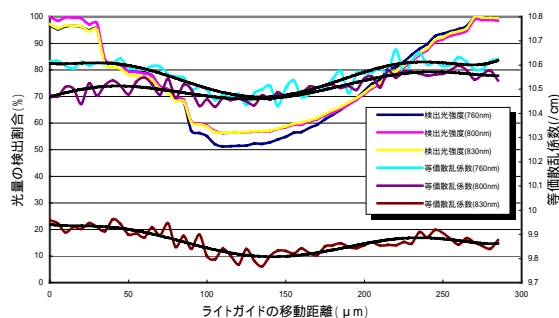


図3 黒い毛髪上に照射用ライトガイドが移動したことによる検出光強度と光学特性値の変化

## 5 結論と今後の課題

頭部における光計測に対し、特に黒い毛髪による影響が強いことが確認された。白い毛髪では黒い毛髪ほどではないが若干の影響を与える。また、照射ライトガイド側での影響が顕著であることも確認された。ただし、受光ライトガイド側でも複数本等、状況の変化で影響が出てくるものと考えられる。

照射ファイバーに毛髪がかかっていると発射された光は毛髪に吸収され、吸収されずにジュラコンファントムに伝播した光は検出されるまでその他の影響を受けないので、得られる光学特性値はジュラコンファントムのそれと同一のはずである。しかし、本研究では毛髪による光強度の低下と共に光学特性値も影響を受けて低下する結果となった。光学特性値がなぜ毛髪の影響で低下するのかを解明する必要がある。

### 参考文献

- [1]山田幸生、高橋ゆかり:「医学・生物学における光と生体組織の相互作用および光におけるイメージング」機械技術研究所報 Vol.49 No.1, pp.1-32 (1995)
- [2]田村守、星詳子:「光を用いた脳活動の無侵襲計測」応用物理 第63巻 第3号, pp.232-239 (1994)
- [3]星詳子:「近赤外線脳機能計測」光学 30巻 10号, pp.651-657 (2001)