

光トポグラフィの原理

株式会社 日立メディコ

光トポグラフィ装置のあらまし

光トポグラフィの世界について、以下ご説明いたします。



手を太陽にかざすと、指のあいだの肉が薄くなっているところが赤く見えますが、これは太陽光線に含まれる可視光の中で、人体に対する透過性の高い赤い光が透過するからです。光トポグラフィの原理もこれと類似しています。この装置では、透過性の高い近赤外光を使用しています。



近赤外光とは、可視光より波長の長い領域の電磁波で、最近暖房器具などによく利用されている遠赤外光よりは、波長の短い光線です。

この装置は、簡便に脳の働きを観察するものです。頭皮上から光ファイバを通して照射される近赤外光を使って、大脳の表面付近の血液量の変化を計測し、それを2次元的なマップに表わします。計測と演算処理にかかる時間は0.1秒程度でできるので、リアルタイムの連続測定が可能です。脳のある部位が活動をする、それに伴って、その部位に酸素を送る為の血液量が増大します。この血液中のヘモグロビンによる近赤外光の散乱を利用して、酸素化および還元ヘモグロビン、またこれらの合計である、総ヘモグロビン——これは血液量に対応しますが——の変化を求めるものです。これによって、大脳皮質の血液量の変化を観察できます。トポグラフィとは「地形」とか「地図作り」とかいった意味ですが、ここでは、2次元的な画像計測・表示法という意味です。

この計測方法の特徴は、無侵襲に計測でき、被検者への拘束性も低く、繰返し、また、長時間の計測が可能なことなどを挙げることができます。以下に順を追って解説してゆきます。

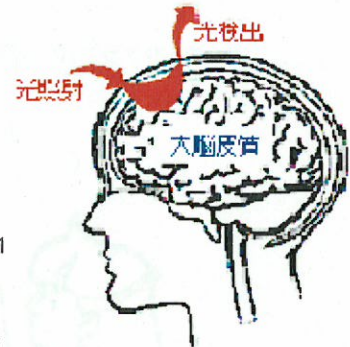
計測の原理-近赤外光による計測

頭皮上から頭蓋内に向けて、約 2mW の弱い近赤外光を照射しますと、光は組織内で散乱・吸収を繰り返して、深部まで侵入し、一部は頭皮上に戻ってきます。本装置はこの戻って来た光—反射光—を検出します。

近赤外光照射位置から 30mm 離れた位置で検出される光は、頭皮下 25~30mm の大脳皮質を通ってくるため、この部分の組織中の血液量の変化によって影響を受けます。

成人の場合、検出光の強度は入射光に対して1億分の~10億分の1になります。

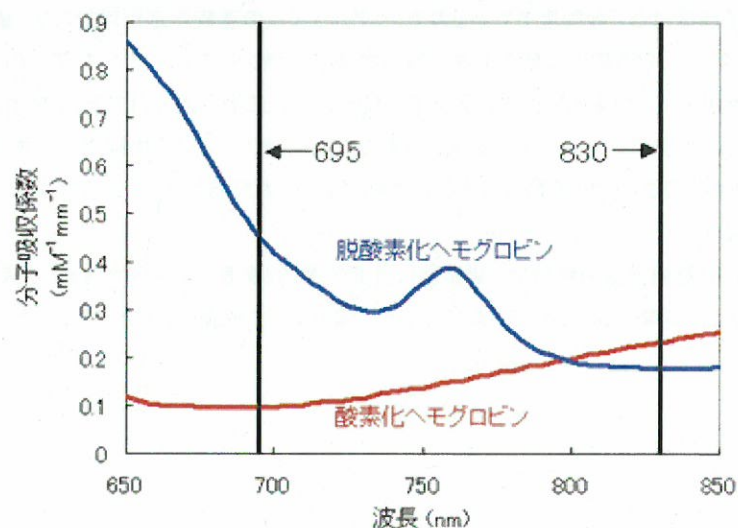
この近赤外光の光源には半導体レーザを用い、光の検出にはアバランシェフォトダイオードを用います。頭皮と半導体レーザまたはアバランシェフォトダイオードの間は光ファイバによって結合します。



下の図は、酸素化したヘモグロビンと、還元ヘモグロビンの赤外領域での分子吸収係数を示しています。

さらに、ヘモグロビンの種類によって吸光特性が異なる点を利用します。波長の違う2つの近赤外光(695nm、830nm)を用いて、酸素化及び還元ヘモグロビンの濃度変化、そしてその総和であり血液量に対応する総ヘモグロビン濃度変化を計測します。

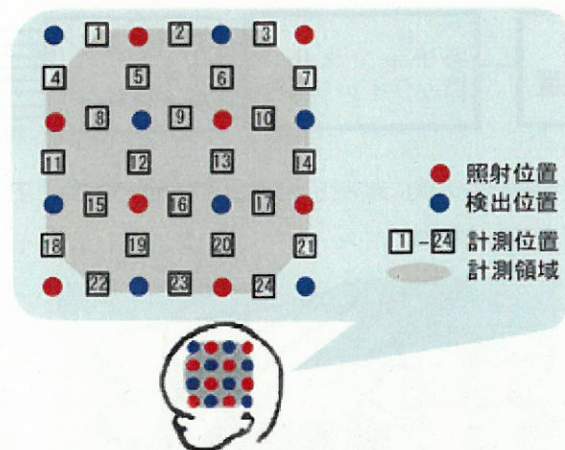
この3つのパラメータを使うことで、より多角的で緻密な計測が可能になりました。



NEXT>>

計測の原理-位置決め

地図づくり(トポグラフィ)は、ある場所(緯度と経度)に何があるかのデータを求める事から始まります。図の赤い点は近赤外光の照射位置、青い点は検出点を示します。これは 30mm 間隔の正方格子の交点上に配置されます。四角で囲んだ数値は、赤点と青点の間接点ですが、ここを、前節『計測の原理—近赤外光』で示した方法で酸素化および還元ヘモグロビン濃度の変化を測定した点と定義します。こうして決定された8照射点、8検出点から構成される24計測点のデータを、補間法を用いて2次元マップとしてモニタ上に動画として表示します。これがトポグラフィ表示です。



[NEXT>>](#)

システム構成

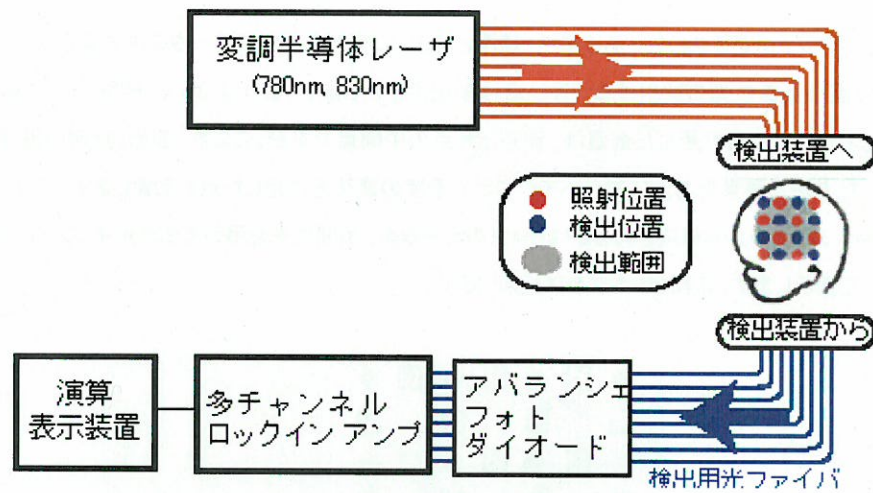
実際のシステムを見てみましょう。装置は3つの部分から構成されています。

第一は照射装置です。ここでは780nmと830nmの近赤外半導体レーザから照射される光を変調し、2波長を混合して光ファイバに送ります。

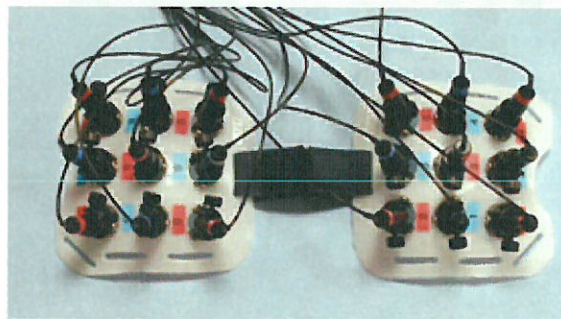
第二は照射検出装置(プローブ)です。下図を見ていただくとお分かりのように、照射用ファイバと検出用ファイバを決められた位置に配置するためにプローブを用いて頭皮上に固定します。

頭部から反射した光は検出用ファイバーを通り、アバランシェフォトダイオードに入り、電気信号に変換されます。

第三は検出された光信号を処理し演算・表示する計算機部分です。この信号はロックインアンプで復調され、どの照射点から到達した光かが判別されます。各計測点に対応した検出光強度データを基に、ヘモグロビン濃度変化を演算し、トポグラフィ画像が作成されます。



プローブは、柔軟なプラスチックの板に光ファイバを取り付けたものです。下の写真は、側頭部の左右を同時に計測できるタイプのプローブです。



従来技術との比較と将来展望

さて、ここで脳機能を計測する従来技術と、この光トポグラフィ法との比較をしてみましょう。

	PET	fMRI	脳磁計	光トポグラフィ
低拘束計測 ・任意環境 ・長時間測定	×	×	×	◎
空間分解能	△(～15mm)	○(～2mm)	○(5～15mm)	△(～20mm)
脳深部計測	○	○	△	×
計測対象	血液 代謝物質	還元 ヘモグロビン	神経電流	酸素化・還元 ヘモグロビン

このように光トポグラフィ装置は大腦皮質における血液量変化に伴うヘモグロビン量の変化を、2次元的に、かつリアルタイムに計測できることが特徴です。

さらに、臨床応用上の利点は、安全な低エネルギーの近赤外光を用いるため、長時間計測や繰り返し計測も可能で、患者の経過観察にも応用できます。

また、この装置は、柔軟な光ファイバーを使っているので、被検者が動いても対応でき、子供や乳幼児の診断や、安静の難しい症状の被検者にも適用できます。

さらに、装置は小型で、移動可能なため、診療室でもベッドサイドでも使用可能です。また、電氣的ノイズや外来光の影響を受けにくいために、EEG や MRI との併用も可能です。

また、計測用光ファイバの位置を3次元計測することによって、MRI や CT で計測した3次元画像に光トポグラフィ動画像を精度よく貼り付ける事が可能ですので、脳活性化が局在していることの確認に活用が期待されます。(現在開発中です。)

現在までに、言語優位半球の判定、てんかん焦点等の診断の可能性が示唆されています。また、新たな応用例も多数報告されています。[\(関連文献リスト\)](#)

さらに計測領域が拡大できれば、複数の脳活性化領域を同時に計測することで、複数の機能分野の相互関係が明確になるものと予想され、光計測の応用分野は大きく前進するものと期待されます。

