

光トポグラフィを用いたストループ効果における脳活動の調査

福原 理宏

1 はじめに

光トポグラフィは、非侵襲性を持つ近赤外光を頭皮に照射することで血中のヘモグロビン濃度の変化量を計測する脳機能計測装置である。

本報告では、光トポグラフィを用いたストループ効果における血流量の変化について実験を行った。先行研究では、左前頭部において顕著なストループ干渉の影響が見られることが分かっている^{?)}。ある行動における脳活動は、様々な部分において活動が見られることが一般的であり、他の部位においても検討が必要であると考えられる。

本報告では、左側頭部だけでなく、ストループ効果における前頭部・右側頭部の活動について報告する。

2 光トポグラフィ

光トポグラフィは、近赤外光を照射することで、酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、トータルヘモグロビンの相対的变化量を測定することができる医療機器である。

近赤外光を脳に照射すると、大脳皮質において、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンに吸収・散乱される。一方で、その他の脳を構成する組織からは大きな影響を受けないという性質を持つ。頭皮から照射された近赤外光はバナナ型で光路を通り、約 3cm はなれた頭皮上からヘモグロビンの影響で減衰した反射光が検出される (Fig. ??)。その際、反射光から血中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度を計算することができる。光トポグラフィでは、この性質を用いて、脳内の各ヘモグロビンの変化量を計測する。

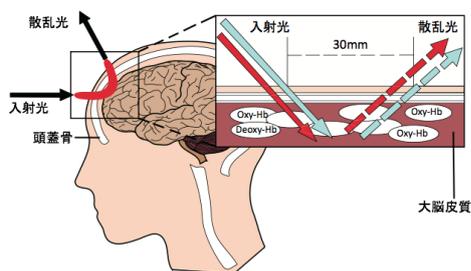


Fig.1 近赤外光の動き

3 大脳皮質

大脳皮質は、大脳の表面に広がる、厚さ 1.5 ~ 4.0mm 程度の神経細胞の灰白質の薄い層である。

光トポグラフィの計測では、近赤外光を照射した位置から頭皮下の脳皮質を通るため、この部分の血流量の変化により計測値が変化する。

大脳皮質では、機能局在性 (部位によって行う処理が異なる) があることが知られている^{?)}。

従って、血流量が変化した部位を特定することにより、どのような脳機能が働いているか推測することが可能となる。

4 ストループ効果

ストループ効果とは、ある 2 つ以上の情報を知覚したときにそれぞれの情報が互いに干渉しあう現象のことである。例えば、文字色と文字意味が一致している文字 (例えば赤色で書かれた「赤」という文字) と、文字色と文字意味が不一致の文字 (例えば赤色で書かれた「青」という文字) それぞれにおいて、文字のインクの色を答えるという課題を考える。このとき、文字色と文字意味が不一致の場合、一致しているときと比較して、提示されてから正しく反応するまでの時間が長くなる傾向がある。これは、色名 (感覚情報) でなく文字 (言語情報) を声に出す反応を抑制しているため反応潜時が長くなると考えられている^{?)}。

ストループ効果は、主に神経心理学における前頭葉の機能テストとして、臨床実験などに用いられている。

fMRI や PET など盛んに研究されており、ストループ干渉において、特に前頭葉左下部の皮質付近での活動が活発となることが報告されている^{?)}。

5 実験

5.1 実験目的

光トポグラフィを用いたストループ効果に関する先行研究として、前頭葉左下部における活動が認められている^{?)}。しかし、脳血流量の変化は様々な要因が組み合わさって生じるものであり、他の部位においても変化が認められる可能性がある。

従って本実験では他の部位の脳血流の変化を調査し、ストループ効果による脳活動についてさらに明確する。これにより、光トポグラフィを用いた臨床実験などにおいて役立てることができると考えられる。

5.2 実験内容

ストループ効果に関する課題を被験者に対して行った。被験者は、21 歳の男性 3 名である。

5.3 実験環境

本実験では、日立メディコの ETG-7100 を使用して計測を行った (Fig. ??)。その際、室温 26 °C ~ 26.8 °C、湿度 58% ~ 64% という環境で行った。

プローブは、前頭部、側頭部それぞれに計 3 箇所設置



Fig.2 ETG-7100(日立メディコ)

した。設置の際には脳波電極配置の国際基準である国際10-20法を用いて厳密に行なった。国際10-20法では、Fig. ??に示すようなT3、T4と呼ばれる点と、Fpzと呼ばれる点の3点を基準として設置を行う。

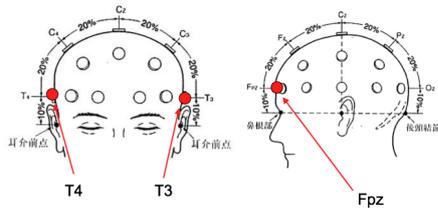


Fig.3 国際10-20法

今回使用したプローブホルダをFig. ??, Fig. ??に示す。前頭部には、Fig. ??のプローブホルダ(22ch)をFig. ??のように設置した。また、側頭部には、Fig. ??のプローブホルダ(24ch)をFig. ??のように設置した。



Fig.4 3×5プローブ

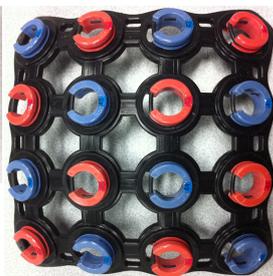


Fig.5 4×4プローブ

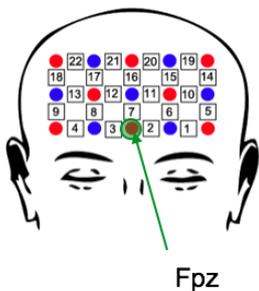


Fig.6 プローブの設置(前頭部)

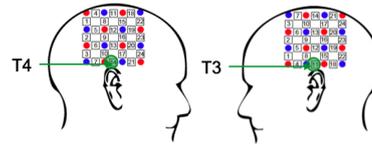


Fig.7 プローブの設置(側頭部)

5.4 ブロックデザインの設定

5.4.1 ブロックデザインとは

光トポグラフィの計測では、レスト時間とタスク時間を設けて計測を行う。レスト時間とタスク時間を組み合わせた実験の設計をブロックデザインと呼ぶ。効果的な実験の設計のために、タスクによる反応を効果的に引き出すようなレストを検討する必要がある。

5.4.2 レスト時間

被験者は目を開けて椅子に座ったまま、「あ・い・う・え・お」を繰り返し唱える。本実験ではストループ効果における脳血流の変化のみを検出する。そのため、発声による影響を取り除く単純な発声作業を行うよう設定した。

5.4.3 タスク時間

ストループ課題を行う。被験者は椅子に座ったまま、Fig. ??のように画面にランダムに提示される文字のインクの色を発声して答える。



Fig.8 タスク時に表示される画面

被験者が色を答える度に、文字を切り替える。この作業を制限時間が終了するまで繰り返す。画面の文字の種類は、「青・赤・黄・緑」の4文字を用いる。本実験では、文字色と文字意味が一致する場合(一致課題)と、文字色と文字意味が異なる場合(不一致課題)の2つのタスクを用意する。以下に、2つタスクについて説明を加える。

- 一致課題
文字色と文字意味が一致している文字のインクの色を答える。
- 不一致課題
文字色と文字意味が異なる文字のインクの色を答える。文字の種類は、「青・赤・黄・緑」の文字意味と文字色を組み合わせ合わせた計24種類がランダムに表示される。

5.4.4 実験の流れ

本実験では、以下の手順で実験を行なった。

1. 被験者に対して実験内容についての教示を行なった。
2. Fig. ??に示したブロックデザインに従い、レスト・

タスクを 30 秒ずつ実施した。

3. 2. の実験を 3 回繰り返した。

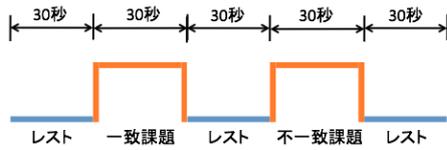


Fig.9 ブロックデザイン

5.5 データの処理方法

光トポグラフィから出力されたデータは、ノイズの影響を取り除くため 10 秒間の幅で移動平均処理を行った。

それぞれのタスクにおいて、タスク開始前の 10 秒間を加算平均した値と、タスク終了後 20 秒経過した後の 10 秒間 (レストの最後 10 秒間) を加算平均した値を用いて、ベースライン処理を行った。ベースライン処理とは、求めた 2 点を結んだ直線が、x 軸と平行になるよう線形変換を行う処理である。光トポグラフィで計測する脳血流量は、実験作業以外でも変化 (体の傾きの変化、皮膚とプローブの接触状況の変化など) し、信号がドリフトしてしまう場合がある。そのため、ベースライン処理を行うことで、それぞれのタスク間において同一条件での解析を行うことができる。

また、解析を行った全被験者の実験データを、一致課題、不一致課題それぞれにおいて平均をとり、検討を行う。

6 結果

6.1 回答数

各被験者の一致課題と不一致課題における文字の正誤数をそれぞれ Table ??, Table ??, Table ?? に示す。

Table1 被験者 A の正誤数

	一致 1	不 2	一致 1	不 2	一致 3	不 3
正 [回]	25	14	25	17	28	17
誤 [回]	0	3	0	2	0	3

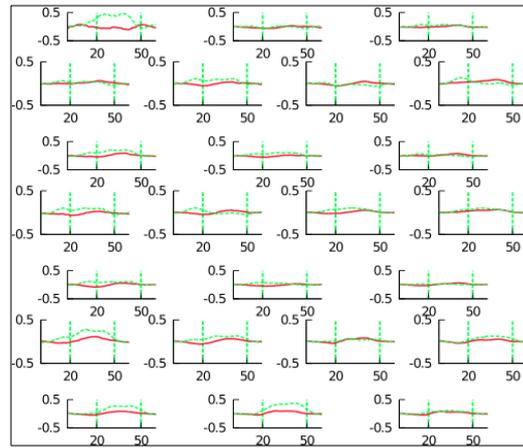
Table2 被験者 B の正誤数

	一致 1	不 2	一致 1	不 2	一致 3	不 3
正 [回]	27	27	29	28	33	26
誤 [回]	0	0	0	1	0	0

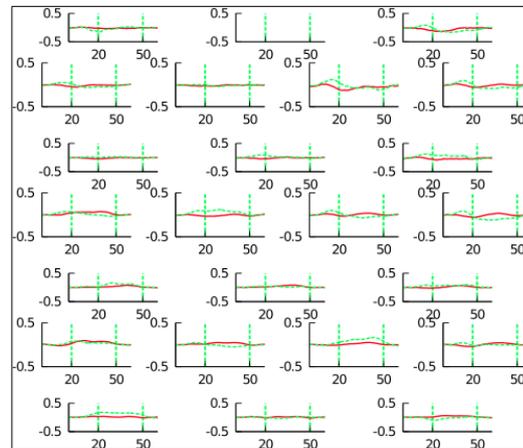
Table3 被験者 C の正誤数

	一致 1	不 2	一致 1	不 2	一致 3	不 3
正 [回]	27	26	29	28	33	26
誤 [回]	0	1	0	0	0	0

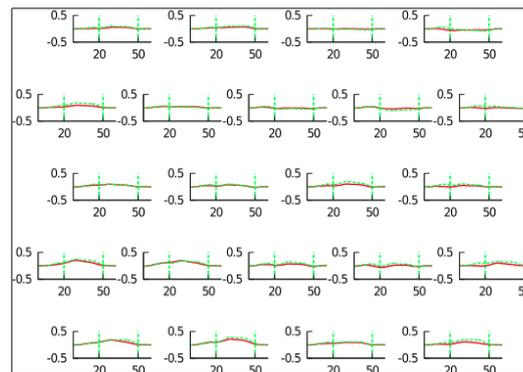
一致課題の平均回答数は、約 28.4 回となった。不一致課題の平均回答数は、約 24.4 回となった。また、不一致課題においては誤答してしまう場合が少なからず見受け



(a) 右側頭部の血流量変化



(b) 左側頭部の血流量変化



(c) 前頭部の血流量変化

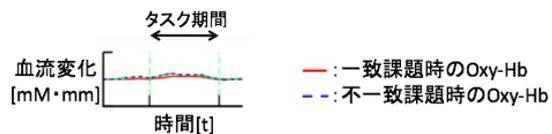


Fig.10 光トポグラフィによる酸素化ヘモグロビンの濃度変化量の結果

られた。3人の被験者は回答数に多少のばらつきがあるものの、一致課題と比較して、不一致課題の回答数が減少する傾向がみられた。

6.2 光トポグラフィによる結果

4.5節で述べた処理で解析し、グラフ化を行った結果を、Fig. ??に示す。Fig. ??では、前頭部、側頭部における、一致課題と不一致課題の酸素化ヘモグロビンの変化量を示している。グラフの配置位置は、頭部への配置位置と対応するようにマッピングを行った。実線は、一致課題時の酸素化ヘモグロビンの変化量、点線は不一致課題時の酸素化ヘモグロビンの変化量である。酸素化ヘモグロビンの変化量は、タスクに伴う脳血流変化を反映していると考えられている^{?)}。横軸の20～50の間が、それぞれのタスク時間である。グラフが書かれていない部分は、実験の際にデータを取得できなかった部分を表している。

前頭部では、上部と比較して下部において、一致課題、不一致課題のどちらにおいても大きな活動が見られた。

左側頭部では、左下のチャンネルで、一致課題と比較して不一致課題において大きな反応が見られた。

右側頭部では、後頭部側において一致課題と比べて不一致課題において大きな反応が見られた。

7 考察

左側頭部の左下部において、反応差がみられたため、先行文献とおりの結果を得ることができた。前頭部の左下部、左側頭部の左下部あたりには、言語理解、言語発声の機能を司る言語野があるといわれている^{?)}。そのため、ストループ効果では言語的刺激の葛藤を抑制するために、言語野が働いているといわれている。以上より、左側頭部の左下部の活動が活発になったと考えられる。

右側頭部では、後方において、大きな反応が見られた。右側の脳では、視覚性の表象を司る神経基盤として重要であるといわれている^{?)}。従って、一致課題と比較して、不一致課題において色名(感覚情報)をより意識して回答するため、右側頭部で活動が活発になったと考えられる。

また、2つの領域から血流量の変化がみられたことから、ストループ効果という2つの情報を処理しなければいけないタスクでは、脳の2つの領域で処理が行われていたと考えられる。

8 まとめ

本報告では、光トポグラフィを用いたストループ効果に関する実験を行った。その結果、先行研究にあった前頭部の左下部での血流の増加の他に、右脳の後方にも血流量の増加が見られた。よって、脳では2つの領域で情報処理が行われていたと推測できる。しかし、右脳では機能局在についてまだ未知な部分が多く、さらに調査が必要である。今後は、今回の結果を基として、さらなる検討が必要となる。

参考文献

- 1) A-C. Ehlis . Multi-channel near-infrared spectroscopy detects specific inferior-frontal activation during incongruent Stroop trials , Biological Psychology , 315-331 . 2005
- 2) 有田 秀穂, 原田 玲子. 人体の構造と機能. 朝倉書店
- 3) 後藤 昇. 脳機能局在. リハビリテーション医学. 2001
- 4) 渡辺 静代. 成人用数のストループ課題の作成-サビタ イジング情報処理過程の検討のために-
- 5) Gruber , S.A e.t . Stroop performance in normal control subjects . 2002
- 6) Taylor , S.F . Isolation of specific interference processing into the Stroop task . 1997
- 7) 灰田 宗考. 光トポグラフィを用いた学会発表・論文作成のポイント. 光トポグラフィ・ユーザ会資料
- 8) 小森 憲治郎 他. 意味記憶における右側頭葉の役割. 日本高次脳機能障害学会誌