

4H-02

触察での形状理解における晴眼者と視覚障害者との脳活動の差異について

巽 久行^{†1} 市川 涼介^{†1} 村田 勇樹^{†1} 堀江 則之^{†1} 村井 保之^{†2}
 筑波技術大学^{†1} 日本薬科大学^{†2}

1. はじめに

強度の視覚障害（全盲）では視覚を代替する聴覚や触覚の感覚代行で行動認識を引き起こすことが多い。人の脳は発達段階や障害回復時に可塑性や機能補填を起こす能力があり、近年、視覚障害者の脳における可塑性と機能補填に関する研究が行われているが、最近では視覚情報のみの領域と見なされていた視覚野でも聴覚や触覚などの代替感覚に影響を受けることが分かってきた。著者等も先の報告[1]において、物の触察（触力覚による形状認識）は視覚障害者の視覚野を賦活化する、特に仮想物体（触力覚 VR）の際は実物体よりも顕著に現れる、ことを指摘した。その理由として、仮想物体の触察の方が脳に大きなストレスを与えている（言い換えれば、仮想物体の形状認識は実物体より難しい）と考えている。

本報告では視覚障害者が触察で形状を判断する際の脳活動の追跡を、オセロゲームの盤面を理解する過程を通して考察し、活性化する脳部位と賦活状況を分析する。さらに、晴眼者との脳活動の違いについても検討する。

2. 脳賦活状況の観察

本研究では、体動時の脳賦活状況を観察するために、光トポグラフィ（fNIRS と呼ばれる近赤外線分光法）を用いて、触察がどのように脳活動に影響を及ぼすかを可視化する。図1は本報告の実験概要を示しており、近赤外線光ファイバーの測定位置は脳波測定 of 電極配置（10-20 法）に準じて、

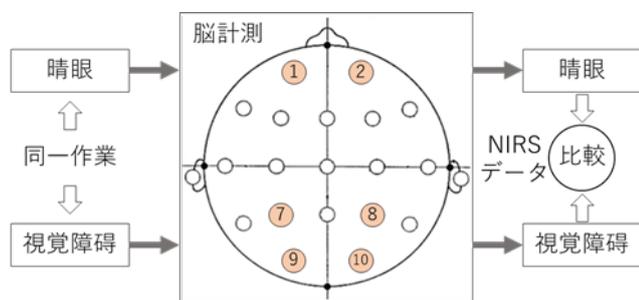


図1. 脳計測の実験概要

前頭葉内の前頭前野（図内の1番と2番の近辺を追跡するために4×2配置による8個の光ファイバーで観察）、頭頂葉内の感覚野（7番と8番の近辺を追跡する4×2配置）、後頭葉内の視覚野（9番と10番の近辺を追跡する4×2配置）に、それぞれ設置した。図1内の同一作業は視覚障害者用オセロ（盤のマス目仕切りが凸状でコマがマス目から移動せず、コマの黒面は凸線が施されて、コマの表裏の識別は触感で分かる）による対局である。

オセロでの触察による形状理解を用いた理由は、光トポグラフィの実験はブロックデザイン法で設定され、計測者の脳にストレスがかかるタスクブロック（90秒間で自分の手番を着手）と、脳にストレスがかからないレストブロック（相手の手番は60秒間休止する）を交互に組み合わせることができる。これを1サイクルとして多数回（ここでは32サイクル）繰り返して、タスクとレストとの間の脳血流を光トポグラフィで捉えることで脳活動状態を分析した。なお、データ分析は適当な10サイクル分の加算平均を取っている（但し、スパイクが酷い場合は移動平均で平滑化を行っている）。図2に脳測定実験の様子を示す。



図2. 脳測定実験の様子

ここで、測定データの分析方法を述べるために、図3に示すような簡単な脳内伝達モデルを使用する。同図から、任意の2つの感覚情報処理に特化した領域（ p 野と q 野）において、各野の入力、出力、入出力関数、および、隣接野

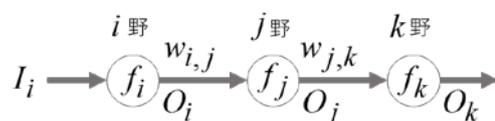


図3. 脳内伝達モデル

Differences in brain activity between sighted and visually impaired individuals with regard to shape understanding by touch
^{†1} Hisayuki Tatsumi, Tsukuba University of Technology
^{†1} Ryosuke Ichikawa, Tsukuba University of Technology
^{†1} Yuki Murata, Tsukuba University of Technology
^{†1} Noriyuki Horie, Tsukuba University of Technology
^{†2} Yasuyuki Murai, Nihon Pharmaceutical University

の重みと隣接野間の伝達関数を、それぞれ I, O, f , および、 $w_{p,q}$ と g で表すと、次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} \partial O_p / \partial I_p &\approx f_p(\Delta c_{oxy}, \Delta c_{deoxy}) \\ w_{p,q} &\approx g(\partial O_p / \partial I_p, \partial O_q / \partial I_q) \end{aligned}$$

上記の式内において、 Δc_{oxy} および Δc_{deoxy} は、それぞれ酸素化ヘモグロビン濃度変化量および脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量である[2]。

3. 脳計測実験結果

本報告では、触察でオセロゲームの盤面形状を理解する全盲者の脳活動を追跡し、活性化する脳部位の賦活状況を分析した。また、晴眼者との脳活動の違いについても検討した。脳計測実験は、全盲者1名と晴眼者1名に対して、下記の2つの事例に分けて行った。

事例(a)：全盲者が触察で着手する（コマを打つ）。

事例(b)：晴眼者が触察で着手する（但し、視覚の許否を区別した）。

3.1 事例(a)について

この場合は、図4のような脳内伝達モデルを使用した。図5に各感覚領域の測定結果を示す。ここで、縦軸はヘモグロビン濃度（表示倍率は適当に調整）、横軸は時間である。同図において、酸素化ヘモグロビン濃度 (c_{oxy}) が赤色、脱酸素化ヘモグロビン濃度 (c_{deoxy}) が青色である。



図4. 事例(a)の脳内伝達モデル

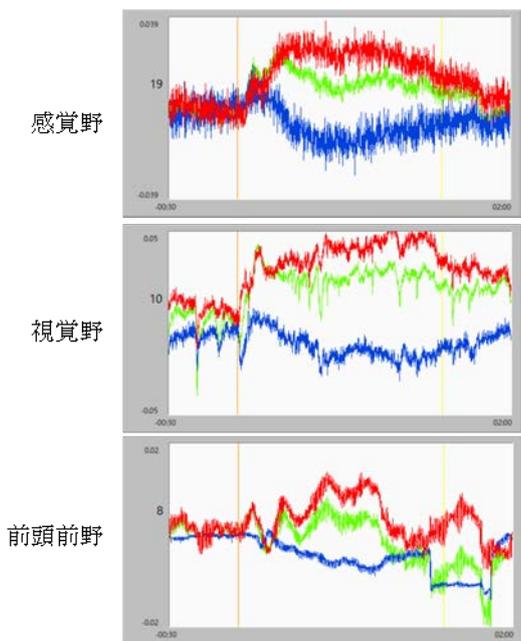


図5. 事例(a)の測定結果

図5において、各感覚領域では酸素化ヘモグロビン濃度はタスク（自分のターン）開始後に少し低下してから着手が終了するまで濃度が増加している。一方、脱酸素化ヘモグロビン濃度はタスク開始後に少し増加してから減少しており、脳が賦活化して酸素が消費されているのが分かる。

3.2 事例(b)について

この場合は、図6のような脳内伝達モデルを使用した。晴眼者の視覚を許可した場合、各感覚領域でのストレスが無くなったことから脳が明確に賦活する兆候は観察できなかった。また、視覚を許可しなかった場合、図7のように感覚野は不安定となって、前頭前野の賦活化もあまり活発ではなかった。晴眼者は実験後、コマの斜め方向の認識は特に困難であったと述べている。

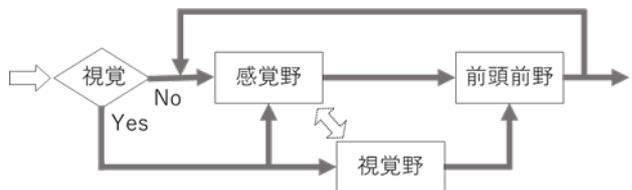


図6. 事例(b)の脳内伝達モデル

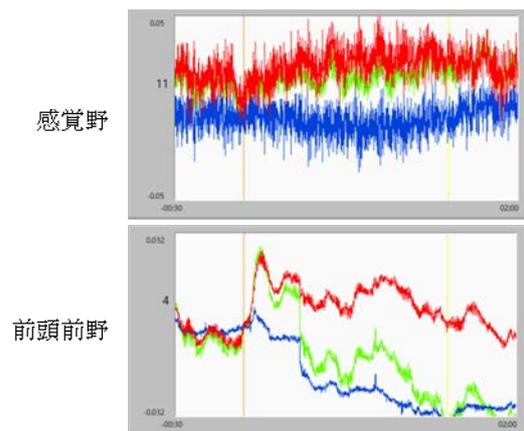


図7. 事例(b)の測定結果

4. おわりに

全盲者が触察でオセロ盤面のコマ形状を判断する場合、感覚野・視覚野・前頭前野は共に活性化するが、晴眼者から視覚を奪った場合、視覚野のみならず感覚野も機能しないために前頭前野が殆ど活性化していないことが分かった。

謝辞

本研究は2021年度科研費18H03656の助成を受けて行われている。ここに深く謝意を表す。

参考文献

- [1] 巽, 市川, 小林, 関田, 村井: “触力覚を伴う擬似仮想オブジェクトの触察による形状認識での視覚障害者の脳活動について”, 第20回情報科学技術フォーラム(FIT2021)講演論文集, Vol.3, No. K-016, pp.365-366, 2021.
- [2] 小野弓絵: “MATLAB で学ぶ生体信号処理”, コロナ社, ISBN978-4-339-07245-7, 2018.