

## 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

### On the brain activity of visually impaired in shape recognition by touching pseudo virtual objects with haptic sensing

巽 久行<sup>(1)</sup> 市川 涼介<sup>(1)</sup> 小林 真<sup>(1)</sup> 関田 巖<sup>(1)</sup> 村井 保之<sup>(2)</sup>  
Hisayuki Tatsumi Ryosuke Ichikawa Makoto Kobayashi Iwao Sekita Yasuyuki Murai

#### 1. はじめに

視覚障害者の行動認識を引き起こす主たる情報源は、弱視者は残存視力であり、全盲者は視覚を代替しようとする聴覚や触覚の感覚代行であり、盲聾者の代行手段は触覚のみである。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。本研究は視覚障害者が代替感覚で行動認識を行う際に見られる体動時での感覚代行による脳活動を追うものである。特に、触力覚を伴う感覚代行機器の使用有無で、オブジェクトを認識する際の脳活動に変化が見られるか否かを可視化することで、視覚障害者の代替感覚による形状理解への有効性を検討し、脳を賦活化する視覚障害補償支援技術の有用性を考察する。一般に、形状情報は言語化が難しく、聴覚のような一次元的な情報伝達のみで視覚障害者に形状を理解させるのは困難である。それ故に全盲者と共創しながら、触力覚による感覚代行を使用したオブジェクト認識意識の拡充が要求されている。

#### 2. 感覚代行における脳活動の可視化

脳には、視覚、聴覚、触覚などの様々な感覚情報処理に特化した領域（感覚野）があり、それぞれの感覚野は互いに他の感覚刺激の影響は受けないと考えられてきた。しかしながら近年の脳の可塑性研究から、視覚障害者は触覚や聴覚に係わる機能を視覚野でも担うことが分かってきた。このことは、先天性視覚障害で脳発達の臨界期に視経験が不足して視覚皮質のシナプス刈り込みが減じられても、脳の可塑性により、視覚情報の補填となる代替の触覚情報を後天性視覚障害よりも多く視覚野で担うことが予想できる。

本研究は、脳活動の観点から視覚障害特有の脳賦活過程を考察するために、体動時の脳活動をリアルタイムに観察できる光トポグラフィ（fNIRS と呼ばれる近赤外線分光法）を使用して、感覚代行機器による感覚刺激がどのように脳活動に影響を及ぼすかを可視化する。視覚障害者の脳内における可塑性と機能補填による痕跡は様々な感覚野で現れることから、体動時の感覚代行が脳全体にどのような賦活を起こすかを分析する必要があると考えている。

指を曲げる屈筋群と指を伸ばす伸筋群が反対方向に運動する（筋の拮抗作用による）ことで物を握る感覚が生ずる。本研究では手の各指を引っ張る力覚フィードバック装置（米国 CyberGlove 社の CyberGrasp）を使用して、仮想オブジェクトの反力（即ち、仮想触力覚）を得ることで生じた把持感を代替感覚として、仮想オブジェクトの形状理解を行う脳活動を分析する。図 1 は仮想オブジェクト（仮想球）を OpenGL で作成して、その反力となる力覚を VirtualHand SDK（米国 CyberGlove 社の開発支援ツール）で生成している。即ち、同図の仮想手は力覚フィードバック装置を装着した実手に重ねられており、触察動作は先ず触力覚として仮想手に発生し、次に、力覚フィードバック装置を介して実手に伝わる。図 2 は仮想オブジェクトの触察実験であり、同図左が力覚フィードバック装置を介して仮想オブジェクト（仮想球）の形状認識を行っている風景で、同図右は光トポグラフィで力覚フィードバックの反力（感覚刺激）がどのように脳活動に影響するかを測定している風景である。

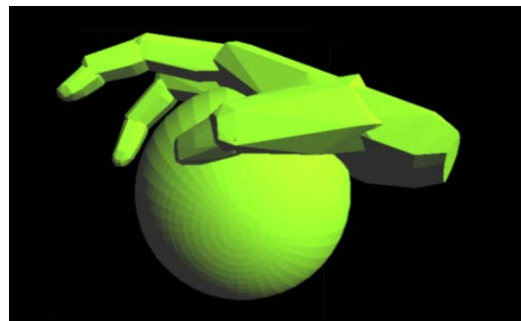


図 1. 仮想オブジェクト（仮想球）を触察する仮想手

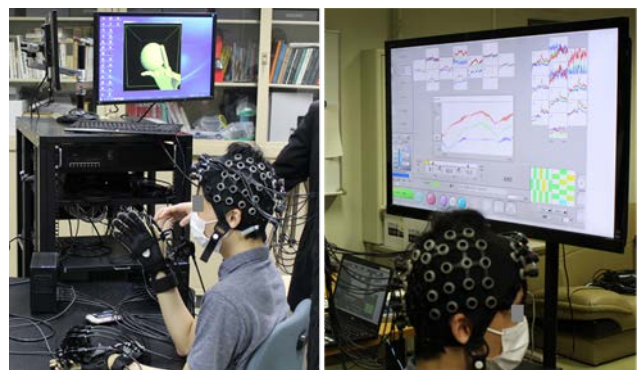


図 2. 仮想オブジェクト（仮想球）の触察実験  
（左：仮想オブジェクトの形状認識，右：脳活動の測定）

(1) 筑波技術大学, Tsukuba University of Technology

(2) 日本薬科大学, Nihon Pharmaceutical University

### 3. 仮想オブジェクトによる脳賦活実験

本報告では仮想オブジェクトの把持感が生じる感覚代行機器（力覚フィードバック装置）の使用有無で、オブジェクトを認識する際の脳活動に変化が見られるか否かを検討した。脳賦活実験は視覚障害者（全盲者）1名および晴眼者1名に対して、下記の3つの事例に分けて行った。

- 事例(a)：全盲者が力覚フィードバック装置を使って仮想オブジェクト（仮想球）を触察する。  
 事例(b)：全盲者が力覚フィードバック装置を使わずに実オブジェクト（実球）を触察する。  
 事例(c)：晴眼者が力覚フィードバック装置を使って仮想オブジェクト（仮想球）を触察する。  
 （但し、仮想オブジェクトの描画は非表示）

上記の3つの事例に対して、各実験をブロックデザインで設定した。これはタスクブロック（60秒課題を行う）とレストブロック（15秒休止する）を交互に合わせたものを1サイクルとして多数回（ここでは10サイクル）繰り返し、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、各実験に対する脳活動状態を分析できる。なお、脳の測定部位は、前頭葉の前頭前野と後頭葉の視覚野で、データ分析は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）。

実験結果であるが、すべての事例に対して（即ち、全盲者と晴眼者の両者共に）前頭前野は賦活しなかった。また、事例(a)の場合（即ち、全盲者が仮想オブジェクトを触察）のみで視覚野の賦活が認められた。図3に、全事例での代表的な視覚野の光トポグラフィ波形を示す。

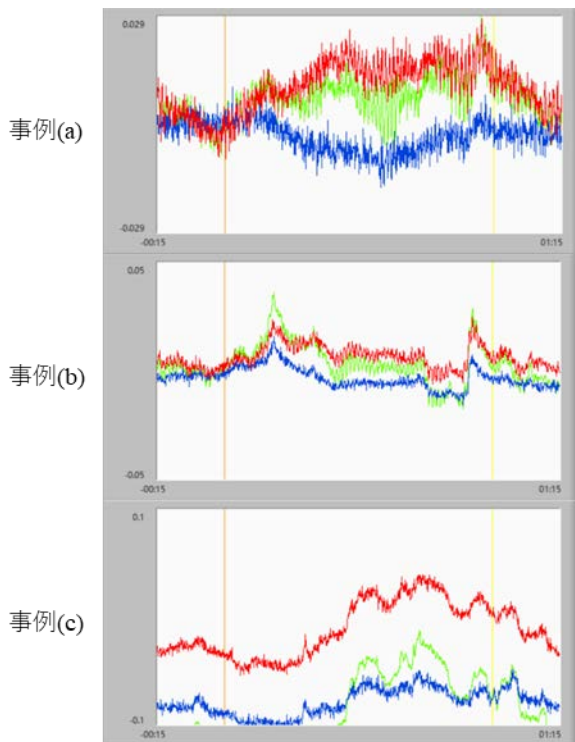


図3. 視覚野の光トポグラフィ波形

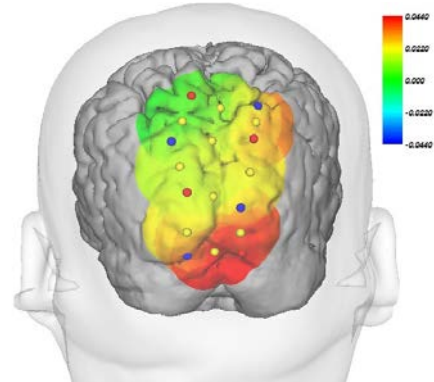


図4. 脳画面上での脳賦活状態

図3の縦軸はヘモグロビン濃度、横軸は時間で、縦軸の表示倍率は適宜に調整している。同図において事例(a)は、酸素化ヘモグロビン濃度（赤色）は課題開始後に少し低下してから課題終了まで濃度が増加しており、一方、脱酸素化ヘモグロビン濃度（青色）は課題開始後に少し増加してから減少しており、脳が賦活して酸素が消費されているのが分かる。事例(b)および事例(c)については脳が賦活する兆候が見られない。図4に、典型的脳画に光トポグラフィの脳賦活状態を重ね合わせたものを示す。ここで、赤丸点および青丸点はそれぞれ光ファイバーの送光点および受光点であり、その中間点（黄丸点）が酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの変化が計測された位置である（なお、光ファイバーの装着位置は磁気式三次元位置計測装置で同定している）。同図から視覚野のうち、特に一次視覚野が賦活されているのが分かる。これは早期失明者の点字読みにみられる先行研究[2]と同様であり、脳の可塑性が触覚に係わる機能を視覚野でも担っていると推測される。

### 4. まとめ

本研究は、視覚障害者が認識を望んでいる環境内のオブジェクトから形状生成した仮想の擬似オブジェクトによる新たな触知手法を確立することを目的としている。その際、触察時の脳活動を可視化することで、擬似オブジェクトの形状理解に対する正確性や効率性に基いた情報獲得過程の向上を目指している。最終的には視覚障害者自身でオブジェクトの形状イメージを獲得して、環境内の認識理解が行える視覚障害補償支援の構築が目標である。

謝辞：本研究は2020年度科研費18H03656（触知の向上による視覚障害者のオブジェクト認識意識の拡充）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] 小野弓絵：“MATLAB で学ぶ生体信号処理”，コロナ社，ISBN978-4-339-07245-7，2018。  
 [2] 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 生理学研究所 システム脳科学研究領域 心理生理学部門 定藤研究室：“脳賦活検査の総論”，<https://www.nips.ac.jp/fmritms/contents/brain-activation-inspection.html>，(参照 2021-6-18)。