

仮想物体形状の擬似触力覚に対する 視覚障害者と晴眼者との脳活動の差異について

Differences in brain activity between visually impaired and sighted individuals with respect to pseudo haptic-forces of virtual object shape

異 久行⁽¹⁾ 村井 保之⁽²⁾ 堀江 則之⁽¹⁾ 宮川 正弘⁽¹⁾
Hisayuki Tatsumi Yasuyuki Murai Noriyuki Horie Masahiro Miyakawa

1. はじめに

晴眼者は視覚で瞬時に形状を理解できるが、視覚障害者に形状を理解させる場合、聴覚による一次元的な情報伝達（言葉による説明）のみでは理解が難しく、触力覚による二次元的ないしは三次元的な情報伝達の拡充が必要となる。このため、触察できる触図や模型を作って形状理解に使うことがあるが、事前準備が大変である。触力覚による感覚代行機器は計算機内で視覚の代替となる形状モデルを自由に作成できるので、対象についての実体の有無（北海道の形など）や接触の可否（臓器の形など）に関わらずに形状を理解させる上で便利なものであるが、視覚障害者が感覚代行機器を利用した際の情報伝達の評価（特に、物体形状のような空間的構成理解の評価）は多くなく、著者の知る限り脳活動に基づく評価も殆ど行われていない。

本研究は視覚障害者が感覚代行機器を用いる（仮想物体から擬似触力覚を受ける）際の脳活動を追うものである。形状理解は触察で得た感覚（特に触力覚）情報を脳で処理した結果として得られるので、触察時の脳活動を観測することは、仮想物体の形状イメージ獲得過程を分析する上で自然な方法である。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、視覚障害者の脳では聴覚や触覚などの代替感覚が視覚野（視覚情報の処理）にも影響を及ぼすことが分かってきた。触察において一次体性感覚野（触力覚情報の処理）や前頭前野（思考・学習等の処理）と共に視覚野を追跡し、視覚障害者が感覚代行機器を使用する際の脳活動を統合化できれば、触知による視覚障害者の形状理解を向上させることができ、触力覚を伴う視覚障害補償支援の有用性を確認できると考えている。

2. 触察時における脳活動の可視化

触察は体動を伴うので、体動時の脳活動をリアルタイムに観測できる光トポグラフィ装置（fNIRS と呼ばれる近赤外線分光分析を行う島津製作所社の LIGHTNIRS）を使用して、感覚代行機器による代替感覚がどのように視覚障害者の脳賦活に影響を及ぼすかを可視化する。本報告内の近赤外線光ファイバー測定位置は、一般的な脳波測定の電極配置（10-20 法）に準じて、前頭葉内の前頭前野、頭頂葉内の感覚野、後頭葉内の視覚野に、4×2 配置による 8 個の光ファイバーを設置している[1]。

また、触察から形状理解を行う脳活動を分析する際は、感覚代行機器として空間的形状表現が可能な力覚フィードバック装置（米国 CyberGlove 社の CyberGrasp）を使用して、計算機内で作成した物体形状モデルの反力（即ち、擬似触力覚）を代替感覚としている[2]。

図 1 は仮想物体(球)を OpenGL で作成すると反力となる擬似触力覚を VirtualHand SDK（米国 CyberGlove 社の開発支援ツール）が生成することで仮想物体が触知でき、その観測手段を概説したものである。即ち、同図内で触察する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、仮想物体に触れると擬似触力覚が仮想手に発生し、次に、力覚フィードバック装置を介して実手に伝わる。触察する手指に感じた擬似触力覚で脳は賦活化し、fNIRS で脳活動を計測すると共に、現実には視えない仮想物体の触知行動を追跡するために、四指（小指以外）に LED マーカーを付けて Motion Capture 装置（米国 PhaseSpace 社の Impulse X2E）で触指の追跡を行う[3]。

図 2 は空間上に作成した仮想物体(球)の触察実験であり、力覚フィードバック装置を介して、形状認識とその脳活動を測定している風景である。

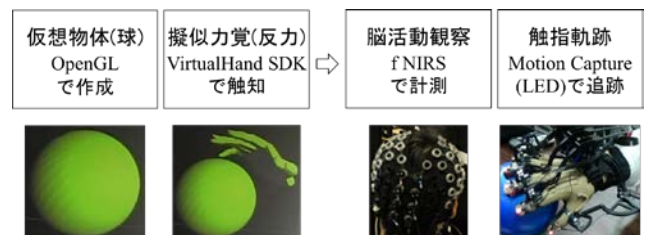


図 1. 仮想物体(球)の触知と脳活動計測・触指追跡



図 2. 仮想物体(球)の触察実験

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

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

3. 仮想物体の形状認識に対する脳活動結果

基本形状（球、錐体、多面体、柱体など）の仮想物体に対する視覚障害者の形状認識に関して、著者等がこれまで報告した結果[3]は、図3に示すように擬似物体の大きさが力覚フィードバック装置の大きさ（即ち、手指の大きさ）から相対的に離れるほど、触察時間が増加し正確率は減少する傾向が顕著になる。

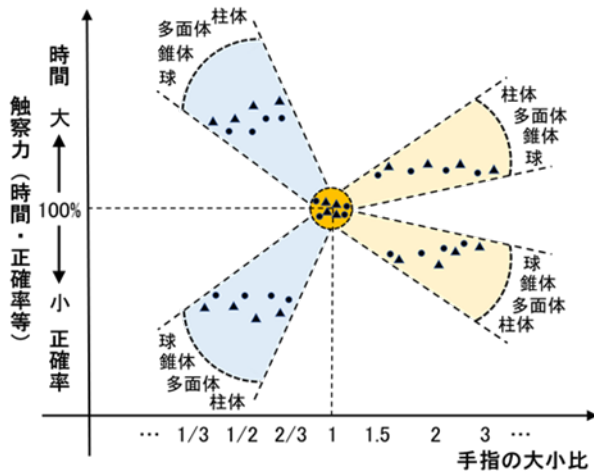


図3. 基本形状の仮想物体に対する認識傾向[3]

但し、図3において、横軸は手指を基準とした大小比で、縦軸は触知の度合い（触察に係る時間と正確率）である。同図から仮想物体の触察では、拡大時よりも縮小時に触知が困難になることが分かる。また、基本形状の仮想物体に対する形状認識では、球（楕円球も含む）、錐体（錐状の立体）、多面体、柱体（角柱や円柱など）の順で認識率が低くなる傾向にある。

最初に、仮想物体の反力（即ち、擬似触力覚）を受けた際に活性化する脳部位を示す。視覚障害者（全盲者）は、一次体性感覚野、視覚野、前頭前野の順に脳が賦活化し、一次体性感覚野と視覚野の賦活時間差は大きくない。視覚情報を断った晴眼者は、一次体性感覚野、前頭前野の順に脳が賦活化し、視覚野の活動は見られない（通常の晴眼者は、視覚野、一次体性感覚野、前頭前野の順に脳が賦活化し、一次体性感覚野と視覚野の賦活はほぼ同時である）。

そこで、全盲者と視覚情報を断った晴眼者とが共に賦活している前頭前野の脳活動時間をもとに、物体形状の違いによる脳活動を検討した。仮想物体の触察に関する脳活動計測実験は、全盲者および視覚情報を断った晴眼者の各々1名に対し、下記の4つの事例に分けて各実験をブロックデザイン法で行った。

- 事例(a)：全盲者が片手を使って仮想形状を触察する。
- 事例(b)：全盲者が両手を使って仮想形状を触察する。
- 事例(c)：晴眼者が片手を使って仮想形状を触察する。
- 事例(d)：晴眼者が両手を使って仮想形状を触察する。

仮想物体の触察（擬似触力覚による形状認識）は全盲者および視覚情報を断った晴眼者の前頭前野における脳活動時間比を評価した（認識が最も高い球の脳活動時間比を基準

としている）。仮想物体の触察は実体と比べて脳に大きなストレスを与えるので、物体形状の違いは思考を処理する前頭前野に強く現れると仮定している。図4は上記4つの事例に対して基本形状の違いによる脳活動時間比を示したもので、図3の認識率を裏付ける結果となっている。対象物体の形状が未知ないしは不確定のときに、距離場空間はファジィ空間に対応した曖昧さが現れるので[3]、物体形状が複雑になるほど形状理解が困難となる。

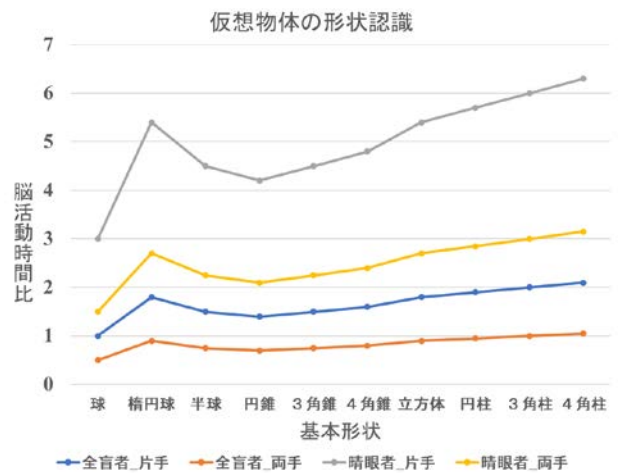


図4. 仮想物体の形状認識に関する脳活動時間比

4. まとめ

本研究は、視覚障害者に物体形状を理解した行動認識を行わせること、特に視覚障害者自身が感覚代行機器による代替の擬似触力覚を利用して物体認識を行えるような補償支援システムを開発することを目標としている。そのための準備として仮想物体の擬似触力覚が形状識別をする際の脳活動を考察した。感覚代行機器で触察する際の脳活動を正確に追跡できれば、触知による視覚障害者の形状理解を大幅に向上できると考えている。

謝辞：本研究は2021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た。ここに深く謝意を表す。

参考文献

- [1] 巽, 市川, 村田, 堀江, 村井: “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”, 情報処理学会第84回全国大会講演論文集, Vol.4, No. 4H-02, pp.529-530, 2022.
- [2] 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.
- [3] H. Tatsumi, Y. Murai, M. Kobayashi, I. Sekita, M. Miyakawa: “3D Shape Understanding for the Visually Impaired by using Virtual Haptic Senses based on Fuzzy Logic”, Proc. 2020 IEEE 50th Int. Symp. on Multiple-Valued Logic, pp.94-99, 2020.