

ベルベット錯触の神経基盤



生理学研究所 心理生理学部門

助教 北田 亮

1 研究目的

仮想現実 (Virtual Reality, VR) 環境はテレビゲームにとって不可欠な環境である。より現実に近い VR 環境を実現するには、視覚・聴覚・触覚といった多感覚の入力を与えることが重要である。しかし視覚に比べて、触覚の VR 環境の開発は遅れている。VR を開発する手法として錯覚の応用があげられる。例えば画面上の映像は連続で呈示された静止画像からなっており、仮現運動という錯覚によって動きを知覚する。触覚の錯覚でよく知られたものとしてベルベット錯触がある。これはワイヤを両手でこすることでベルベット状の素材を感じる錯覚である (図 1)。仮現運動の理解とともに動画呈示技術の開発が進んできたように、錯触を VR に応用するに当たり、その機序を理解しておく必要がある。本研究は機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を活用して、ベルベット錯触に関する脳内メカニズムを特定することを目的とした。



2 仮説

ベルベット錯触の本質は、ワイヤ由来の情報と自分の皮膚由来の情報を誤って統合し、ベルベットを意識的に知覚してしまう点にある。このことから 2 つの仮説を構築した。

2.1. 視覚による物体の意識的知覚には高次視覚野から一次視覚野へのトップダウン処理が重要と考えられている (Lamme, 2001)。触覚でもベルベットの意識的知覚には、従来は初期的処理に専ら関与するとされている体性感覚野が関与すると考えた。

2.2. 知覚体制化とは、入力情報の何が一緒になり、何が

分かれるのかを示す。例えば、財布を探するためバッグの中に手を入れると、様々な物体からの刺激がさらされる。しかし我々は目を使わなくても、各皮膚部位に対する刺激がどの物体に由来しているのか (財布かバッグの布地か) を判断することができる。しかし錯触の場合は、ワイヤと皮膚の間でこの処理がうまくいっていない。そこでベルベット錯触は、知覚体制化に関わる神経基盤の活動 (Kitada et al., 2003) が変化し、意識的知覚に関わる体性感覚野を賦活させることで生じると考えた。

3 実験内容

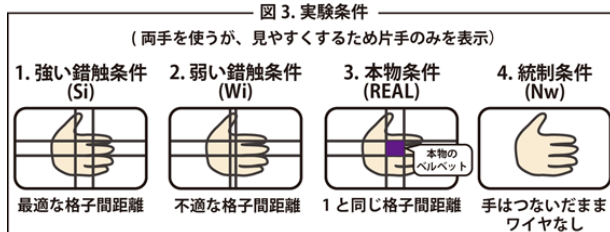
名古屋大学大岡昌博教授、Rajaei Nader 研究員、静岡理科大学宮岡徹教授と共同で、実験デザインを策定した。生理学研究所の 3 テスラ MRI 装置 (Verio Siemens 社) を使用して実験を実施した。図 2 のように MRI には空間的な束縛条件があり、さらに強磁場・一般の電子機器は持ち込めない。そのため大岡教授らが中心に刺激装置を製作した (図 2)。



3.1 実験条件

健常者 30 名 (平均 23 歳) が参加した。Rajaei 研究員や大岡教授らの研究により、ワイヤ格子の間の距離を変えるとベルベット錯触の強さが変化することが分かっている。これを応用して①強い錯触条件 (Strong illusion, Si) と②弱い錯触条件 (Weak illusion, Wi) を設定した。刺激装置 (図 2) を用いると、Si と Wi 条件での刺激速度や刺激範囲を等しくできる。さらに錯覚条件に加えて③本物のベルベットを使用する条件 (REAL)、④ワイヤに何も触れない条件 (Nw) を設定した (図 3)。上記のいずれかの刺

激が両手に呈示された後、参加者は「自分の皮膚ではない素材を格子の中ほどの程度感じたか」について、その強さを10点満点で口頭で回答した。SPM8を用いて、標準的な単変量解析を実施した。



3.2 研究結果

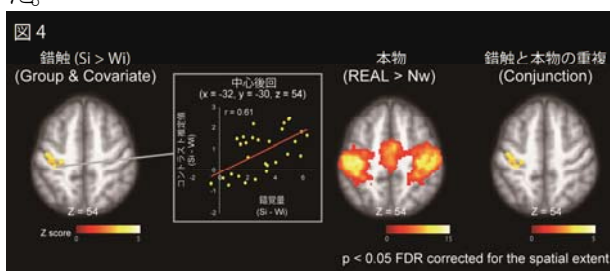
実験参加者はREAL、Si、Wi、Nwの順の強さで、素材を知覚することを報告した。

3.2.1 触覚に関する脳領域 (図4左)

Wiに対しSi条件で描出される領域を特定した。錯覚の強さには個人差が存在したため、錯覚量の差分(Si - Wi)を独立変数とした単回帰分析を行い、①全被験者で平均的にWiよりSiで強く活動する領域(Group_mean)と、②個人差を説明する活動(Covariate)を特定した。その結果、一次体性感覚野に相当する中心後回の一部がGroup_meanとしてもCovariateとしても活動することが分かった。

3.2.2 錯覚と実際のベルベット感で共通して活動する脳領域 (図4中央、右)

上記の活動が本物のベルベットに触れているときでも観察されるかどうかを検討するため、REAL条件とNw条件を比較し、その活動とSi - Wiの活動の重複を確認した。



3.2.3 錯覚特異的な活動を示す脳領域

SiとREAL条件を直接比べると、Si条件では前頭頭頂領域を中心に広範な脳活動が観察された。

4 解釈と意義

本研究から①本物であろうと錯覚であろうと、ベルベットに触れている感覚には中心後回が関与すること、②ベルベット錯覚は本物のベルベットの知覚に比べて、前頭一頭頂領域を含めた広範な活動を引き起こすこと、の2点が明らかになった。これらの結果は、概ね仮説に合致している。SiとWiの物理的な刺激は類似しており、中心後回の活動はSiとWi条件の差分で見られるため、中

心後回の活動は触覚入力 of 初期的な処理を反映しているとは考えにくい。そこで次のような解釈を考えた。触覚も視覚と同様に物体の知覚に関して階層的な処理が行われていると考えられている (Kitada, in press)。ワイヤや皮膚に関する感覚入力は、一次体性感覚野から高次体性感覚野 (後頭頂領域) へ、ボトムアップ的に処理が行われるが、その処理過程で知覚体制化に変化が生じ、トップダウン信号が一次体性感覚野を賦活させることで、ベルベットを知覚するのではないかと解釈した。ベルベット錯覚は日本だけでなく海外の博物館に展示されるほど有名であるが、その一方で惹起する脳内メカニズムは不明であった。本研究結果は、ベルベット錯覚を通じて、触覚による物体の意識的知覚に関わる脳内メカニズムを明らかにするとともに、触覚VRの開発のための基盤となる知見を提供した。

5 今後の展望

本研究結果は2015年度の第92回日本生理学会およびThe 21st Annual Meeting of Organization for Human Brain Mappingで発表した (Rajaei, Kitada et al., 2015)。当初の予定より遅れているが、早急に現在論文を海外科学雑誌に投稿する予定である。

6 引用文献

1. Lamme, V. A. (2001) Blindsight: The role of feedforward and feedback corticocortical connections. *Acta Psychologica*, 107, 209–228.
2. Kitada R, Kochiyama T, Hashimoto T, Naito E, Matsumura M (2003) Moving tactile stimuli of fingers are integrated in the intraparietal and inferior parietal cortices. *Neuroreport*, 14, 719–724.
3. Kitada R (in press) THE BRAIN NETWORK FOR HAPTIC OBJECT RECOGNITION. *Pervasive haptics* (Springer Japan).
4. Rajaei N, Kitada R, Aoki N, Takahashi HK, Miyaoka T, Ohka M, Sadato N (2015) The brain networks underlying the Velvet Hand Illusion: an fMRI Study. 第92回日本生理学会 (神戸コンベンションセンター, 神戸)
5. Rajaei N, Kitada R, Aoki N, Takahashi HK, Miyaoka T, Ohka M, Sadato N (2015) The brain network underlying the velvet hand illusion: An fMRI study. The 21st Annual Meeting of Organization for Human Brain Mapping (Hawaii Convention Center, Hawaii, US).