

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500251

研究課題名(和文) 異種感覚情報の統合による手の自己所有感覚生成機構の解明とモデル化

研究課題名(英文) Investigating and modeling mechanisms underlying sense of hand ownership induced by multisensory integration

研究代表者

松宮 一道 (Matsumiya, Kazumichi)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：90395103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,500,000円、(間接経費) 1,350,000円

研究成果の概要(和文)：人間は手を使った巧みな作業をどのように実現しているのか？ 過去の研究は、手の周囲の空間に特化した知覚機能が巧みな手作業において重要であることを示唆していたが、そのような知覚機能がどのような仕組みで働くのかは証明されていなかった。本研究では、手が見えているときに誘発される視覚的な動きの錯視を発見し、この錯視は見えている手に対して位置の選択性を持つことが明らかにされた。さらに、この錯視は、自己所有感覚が誘発された手を能動的に動かしたときだけ生じた。この現象は、自分の手に対する空間位置の認識機構が脳内に存在することを示唆し、巧みな手作業を実現する上で身体性自己意識の機能的な役割を示している。

研究成果の概要(英文)：How do humans make their own hands successfully interact with objects? Previous studies have suggested that the ability to perceive the space around one's own hand is essential for successful interactions with objects. However, it remains unknown how this perceptual ability works. The present study shows an illusion of visual motion that is induced by seeing one's own hand. Importantly, this illusion had spatial selectivity in hand-centered coordinates, and occurred only when participants actively moved the hand that was felt to be their own. These findings reveal that the brain has the special mechanism underlying spatial recognition relative to one's own hand, suggesting that bodily self-consciousness plays a functional role in guiding movements of one's own hand.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：認知科学 パーチャルリアリティ マルチモーダルインターフェース 実験系心理学 行動学

1. 研究開始当初の背景

我々は、日常の中で手を使って様々な作業を行っている。もし、見えている自分の手を自分の手と認識できないなら、手作業を上手く実行することができないことは容易に想像がつくだろう。実際に、前頭葉や頭頂葉に損傷を受けた患者は見えている自分の手が自分のものでないと感じることが報告されており、この手の自己所有感覚を失うと日常の手作業に重大な支障をきたすことが指摘されている。しかし、これまで手の自己所有感覚に関する研究は、単に手を見せるだけで手作業を伴わない状況で研究が行われてきたため、手作業時に手の自己所有感覚がどのように生成され、その感覚が手の行動制御においてどのような役割を持つのかに関する説明はほとんど進んでいない。そこで本研究では、手作業時の視覚と体性感覚（触覚・自己受容感覚）のマルチモーダル感覚知覚処理による手の自己所有感覚生成のダイナミックなメカニズムを心理物理実験により明らかにする。

2. 研究の目的

視覚、聴覚、体性感覚などのマルチモーダル感覚情報による外界の知覚に関しては、脳の高次レベルでマルチモーダル感覚情報の統合過程が存在すると考えられており、本研究の代表者はこれまで運動視における視覚-触覚情報の統合機構に関する研究に取り組んできた。一方、人が物体操作を行う際の知覚・行動プロセスに関しては、身体性を加味した視覚-触覚情報の統合が関与することは指摘されているが、その詳細なメカニズムは未だによくわかっていない。そこで本研究では、(1) 手による物体操作時の手の見えが物体の運動知覚にどのような影響を与えるのか、(2) 見えている手が自分の手であるという認識（手の自己所有感覚）がどのように生成されるのか、(3) 手の自己所有感覚がどのように物体操作に貢献するのかを明らかにし、(4) 手の自己所有感覚における知覚モデルを構築する。

3. 研究の方法

ロボットアーム（製品名：PHANTOM）により力覚を提示した。この装置により、被験者は、アームの先端をペンを持つように手でつかむ、もしくは、アームの先端に取り付けられた指サックに指を挿入することで仮想物体の体性感覚（触覚・自己受容感覚）を得ることができた。また、視覚と体性感覚で得られる刺激の3次元空間位置を一致させるためのディスプレイ環境を構築した。視覚刺激は手で操作するための仮想物体（縞模様の円盤）と、被験者自身の手、あるいは、コンピュータグラフィックスにより描画された手（CGハンド）であった。そして、視覚刺激と

同じ平面内に力覚装置を用いて触覚面を提示し、被験者は触覚面上で円を描くように手を動かすことで縞模様の円盤を回転させた。本研究では、被験者自身の手もしくはCGハンドによる手の視覚像を見ながら、回転している円盤の動きに順応した後に生じる運動残効と呼ばれる知覚残効の強度を心理物理学的な実験手法を用いて測定した。

また、CGハンドは、手の自己所有感覚を実験的に制御するために用いられた。過去の研究により、手の自己所有感覚は、視覚情報と体性感覚情報の統合過程が関与することが知られており、このような統合を誘発できれば、CGハンドのような偽の手を使っても自己所有感覚を誘発できることが知られている（ラバーハンド錯覚）。

4. 研究成果

被験者が自己の手で回転させる縞模様の円盤の動きに順応し、順応後に提示されるテスト刺激の運動残効強度を測定した。このとき、被験者自身の手は見え、その代わりに被験者はCGハンドを見ることができた。CGハンドには、被験者の手の姿勢と一致する姿勢と、被験者の手からずれた姿勢（ずれ方が3段階ある）の合計4つの姿勢があった。順応後に提示されるテスト刺激に加えて、CGハンドを提示すると、CGハンドの姿勢が被験者の手と一致する場合に運動残効が強く起こり、CGハンドの姿勢が被験者の手を一致しなくなると運動残効が弱くなることを見出された。これが、手を見ることが、操作している物体の動きから生じる視覚的な動き信号を増大させることを示しており、見かけ上関連のないように思える手の視覚像が物体の視覚運動知覚に寄与していることを示唆している。

では、手の視覚像による視覚運動知覚への影響の背後にあるメカニズムは何なのであるか。物体操作を行う上で重要なことは、手から物体までの空間関係を知ることである。したがって、手の視覚像による影響は、自己の手に対して視覚的な動きを相対的に分析する処理機構の存在を示しているのかもしれない。そこで、次の実験では、この仮説を検証するために、縞模様の円盤と手の相対的な位置関係を実験的に操作した。その結果、縞模様の円盤が手に対して同じ位置に提示されていれば運動残効が生じることがわかった。特に重要なこととして、運動残効は、通常、順応刺激とテスト刺激の位置が網膜上で一致するときに生じるが、これらの刺激が網膜上で一致しなくても手に対して同じ位置にあれば生じた。さらに、この手に対して位置選択性をもつ運動残効は、順応時に自分自身の手が見え、かつ、能動的に動かされているときだけ生じた。これらの結果は、手中心座標系で視覚的な動きを分析する運動視

処理機構の存在を示唆している。

なぜ、手に特化した運動視処理機構を働かせるために、能動的に動いた自分自身の手を見る必要があったのだろうか。自分自身の手を見ると手の自己所有感覚が生起するため、この感覚が手に特化した運動視処理機構の起動に必要なものかもしれない。この仮説を検証するために、CG ハンドを用いて手の自己所有感覚を実験的に制御することを試みた。

これまでの研究の多くは、手の自己所有感覚を誘発する際に静止した手を使っており、能動的に手を動かしたときの手の自己所有感覚の制御方法は確立されていなかった。そこで本研究では、力覚装置で提示される触覚面上で被験者が能動的に手を動かし、被験者自身の手の動きと同期して CG ハンドが動くようにすることで能動的な手の動きによって自己所有感覚が誘発される方法を確立した。この方法を用いて、縞模様の円盤と CG ハンドの相対的な位置関係を変えて、手の自己所有感覚に有無に応じて、CG ハンドに対して同じ位置に提示される円盤刺激の運動残効がどのような影響を受けるかを調べた。その結果、CG ハンドに対して自己所有感覚が誘発される時だけ、CG ハンドに対して位置選択性をもつ運動残効が生じた。さらに、本研究により、手に対する位置選択性をもつ運動残効は、CG ハンドに対する自己所有感覚のみならず、CG ハンドが能動的に動かされていることも必要であった。さらなる調査により、この手の能動的な動きにより、運動主体感覚が誘発されていることが明らかにされた。したがって、手に対する位置選択性をもつ運動残効の誘発には、見ている手に対して自己所有感覚と運動主体感覚の両方が必要であることが明らかになった。手の自己所有感覚と運動主体感覚は、身体性自己意識の異なる様相であることが哲学的な概念として知られている。このことから、本研究の結果は、身体性自己意識が手を中心とした座標系で符号化された空間知覚表象を立ち上げていることを示している。このような空間知覚表象は物体に手を動かす際に効率的な表象となっていることから、物体操作における身体性自己意識の機能的な役割を示唆している。

手の自己所有感覚を生起する視覚-体性感覚の統合過程がどのようなモデルで説明できるのか。手の自己所有感覚の生成機構に関する過去の研究は、視覚情報と体性感覚情報の統合により生成されることを示しているが、この統合過程は視覚が体性感覚を捕捉するモデルを仮定している。しかし、この仮定は実験的に検証されていない。近年の研究より、多感覚情報は、脳内でベイズモデルに従った統計的な方法で統合されていることが指摘されており、自己所有感覚における視覚

-体性感覚統合も、体性感覚の視覚補足ではなく、ベイズモデルによる統計的な方法で統合されているのかもしれない。そこで、ラバーハンド錯覚を利用して、手の自己所有感覚を生成する際に視覚と体性感覚がどのように統合されるのかを調べた。その結果、CG ハンドが視覚的に明瞭に見える場合は、手の自己所有感覚の生成の際に視覚が体性感覚を強く捕捉し、視覚が優位になった。しかし、CG ハンドの視覚的な見えを劣化させると、視覚による体性感覚の捕捉は劇的に弱まり、体性感覚が優位になった。また、CG ハンドの見えを中程度にすると、視覚も体性感覚も優位になることはなく、両感覚が同程度に寄与した。そして本研究は、これらの結果をベイズモデルでうまく説明できることを見出した。これは、脳が、手の自己所有感覚生成のために視覚情報と体性感覚情報を統計的に最適な方法で統合していることを示唆している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. Matsumiya, K.: Retinotopy of facial expression adaptation. *Multisensory Research*, 査読有, in press, 2014.
2. Matsumiya, K., Shioiri, S.: Moving one's own body part induces a motion aftereffect anchored to the body part. *Current Biology*, 査読有, 24(2), 165-169, 2014.
doi:10.1016/j.cub.2013.11.034
3. Tsuchiai, T., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S.: Implicit learning of viewpoint-independent spatial layouts. *Frontiers in Psychology*, 査読有, 3:207, 1-10, 2012.
doi:10.3389/fpsyg.2012.00207

[学会発表](計10件)

1. 松宮一道, 塩入 諭: 自己の手によって誘発される視覚運動残効, 日本視覚学会 2014 年冬季大会, 東京都・工学院大学, 2014 年 1 月 22-24 日
2. 松宮一道: 顔と手の認知における視覚と触覚の相互作用, 第 5 回多感覚研究会, 神奈川県・NTT CS 研究所, 2013 年 11 月 21, 22 日(招待講演)
3. 松宮一道: 身体性自己意識と身体近傍の空間知覚, 東北大学医学部肢体不自由学分野研究会, 宮城県・東北大学, 2013 年 10 月 10 日(招待講演)
4. 松宮一道: 3 次元視環境に含まれる両眼視野闘争, 日本視覚学会 2013 年夏季大

- 会，北海道・札幌市立大学，2013年7月24-26日
5. 松宮一道：身体性自己意識と視覚-体性感覚統合機構，「人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究」研究会，宮城県・東北大学，2013年3月1，2日（招待講演）
 6. 松宮一道：身体の認知と視触覚統合，第5回ブレインウェア研究会，宮城県・東北大学，2012年12月25日（招待講演）
 7. Matsumiya, K., Shioiri, S.: Influence of active manipulation of an object on visual motion perception, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.（招待講演）
 8. Shioiri, S., Yamazaki, T., Matsumiya, K., Kuriki, I.: Visual and haptic mental rotation, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.
 9. Takahashi, M., Matsumiya, K., Kuriki, I., Rumi Tokunaga, R., Shioiri, S.: Similarity and difference in symmetry between the visual and haptic motional representations, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011.
 10. 松宮一道，塩入 諭：アクティブな動きによって誘発される手の自己所有感覚，日本視覚学会2011年夏季大会，福岡県・九州大学，2011年8月3，4日

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕
 ホームページ等
<http://www.riec.tohoku.ac.jp/~kmat>

6. 研究組織
 (1)研究代表者
 松宮 一道 (MATSUMIYA KAZUMICHI)
 東北大学・電気通信研究所・助教
 研究者番号：90395103

(2)研究分担者
 ()

研究者番号：

(3)連携研究者
 ()

研究者番号：