

氏 名	井手 正和
学位の種類	博士(心理学)
報告番号	甲第374号
学位授与年月日	2014年3月31日
学位授与の要件	学位規則(昭和28年4月1日 文部省令第9号) 第4条第1項該当
学位論文題目	自己身体表象によって媒介される視触覚情報の統合過程に関する 実験心理学的検討
審査委員	(主査) 日高 聡太 大石 幸二 和田 真(国立障害者リハビリテーションセンター研究所 脳機能系 障害研究部発達障害研究室 室長)

I. 論文の構成と内容要旨

(1) 論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。

論文要旨

第1章 自己身体表象の基盤となる異種感覚間統合

- 1.1 自己身体表象の定義
- 1.2 視覚と体性感覚間の統合
 - 1.2.1 体性感覚野における身体地図
 - 1.2.2 体性感覚に視覚が与える影響
- 1.3 視覚と触覚間の統合
 - 1.3.1 身体の視覚提示が触覚に与える影響
 - 1.3.2 視覚刺激の提示位置への触覚の移動
 - 1.3.3 自己身体表象の神経基盤
- 1.4 本論文の目的

第2章 自己身体表象が保持する解剖学的構造に関する情報との照合（研究1）

- 2.1 目的
- 2.2 方法
- 2.3 結果：実験Ⅰ
- 2.4 考察

第3章 自己身体表象との照合が視触覚間の時間順序判断に与える影響（研究2）

- 3.1 目的
- 3.2 方法の概要
- 3.3 結果
 - 3.3.1 視触覚間の時間順序判断：実験Ⅱ
 - 3.3.2 視聴覚間の時間順序判断：実験Ⅲ
- 3.4 総合考察

第4章 触覚刺激による視知覚抑制効果（研究3）

- 4.1 目的
- 4.2 方法の概要

4.3 結果

4.3.1 触覚と聴覚が視知覚抑制に及ぼす影響の比較：実験IV

4.3.2 身体上の触覚刺激の提示位置の影響：実験V

4.3.3 手の交差による影響：実験VI

4.3.4 視触覚刺激提示の時間窓：実験VII

4.3.5 視覚マスキングとの比較：実験VIII

4.4 総合考察

第5章 自己身体表象が媒介する視触覚情報の処理様式

5.1 自己身体表象の媒介による視触覚間の統合の促進

5.2 視触覚からの入力による神経活動間の相互作用

5.3 視触覚間の相互作用の機能的側面

5.4 今後の展望と応用可能性

5.4.1 触覚刺激による視知覚抑制効果の神経科学的検討

5.4.2 自閉症スペクトラム障害の神経基盤解明と治療的アプローチの開発

5.5 まとめ

文献

(2) 論文内容の要旨

我々は“自分の身体が自分そのものである”という自己身体表象を脳内に形成している。そこでは、身体の位置や姿勢など体性感覚に関する情報だけではなく、他の感覚情報、例えば視覚情報も利用されていることが一貫して示されてきた。本研究の主要な目的は、視触覚情報の統合過程が、単に時間や空間などの物理的な一致性のみに規定されるのではなく、身体の解剖学的情報によって媒介されることを解明することである。さらに、視触覚情報間で知覚的な抑制効果が生じることを新たに示し、現象を詳細に検討することで、自己身体表象の形成過程を支える視触覚間相互作用の基本的な特性を明らかにすることを目指した。

第1章では、先行研究のレビューを通じて、自己身体表象の定義を明確にした。そして、自己身体表象の形成過程に関する実証的な知見を整理した。従来、自己身体表象に寄与する情報は体性感覚が主であると考えられてきたが、視覚情報もまた重要な役割を果たしていることを紹介した。視覚情報と体性感覚情報、とりわけ触覚情報の統合に関わる代表的な現象の知見として、視覚的に提示されたラバーハンド上からあたかも自身の触覚が生起しているように感じるラバーハンド錯覚 (rubber hand illusion: RHI) を取り上げた。そして、RHIの生起要因に関する従来の研究では、主に視触覚情報の空間的一致性のみに焦点を当てていたことを問題点として指摘した、経験的に獲得された身体の解剖学的構造に関する情報もまた視触覚情報の統合過程に寄与し、RHIの生起要因となる可能性を検証することが必要であると説明した。また、空間的な側面のみならず、時間的な側面についても検討する必要があると指摘した。さらに、視触覚情報の統合に関する神経科学的な知見として、両情報を受けとる bimodal neuron 群の存在を取り上げた。従来、このような細胞群では、視触覚情報の促進的な統合処理のみが行われるとされてきた。本研究において、視触覚間で知覚的な抑制効果もまた生じることを新たに実証することで、神経活動レベルにおいて視触覚情報が直接的に相互作用することを支持する知見になり得ると考えた。

第2章では、視触覚間統合に基づく RHIの生起過程には自己身体表象との照合が介在することを検証した。実験では、ラバーハンドの角度を段階的に変化させ、RHIが生起する範囲を精緻に検討した。その結果、ラバーハンドと実際の手との角度差が関節可動範囲内 (0° から 90° , 315°) であった時のみ、選択的に RHIが生起することが示された。このことは、身体の解剖学的構造に関する情報が、視触覚間統合過程に関与することを示唆する。

第3章では、自己身体表象との照合過程が、視触覚情報の時間的な統合過程に影響を及ぼすことを検証した。具体的には、自己身体を投影し得る視覚対象 (手画像) の提示が、視触覚情報間の時間順序づけ判断に及ぼす影響を検討した。順序づけを行う対象である触覚情報と視覚図形と共に、自分の手に対して順方向の手画像を画面に提示した場合、逆方向の手画像や矢印画像を提示した時よりも判断が不正確になることが示された。

このことは、自己の手と解剖学的構造が一致する手画像の提示によって、視触覚情報間の統合が促進され、両者を時間的に区別することが困難になることを示唆する。

第4章では、視触覚情報間で知覚的な抑制効果が生じることを実証した。実験では、視覚図形が持つ傾き方向の判断を行う課題において、触覚情報として手の指先に振動を与えた。その結果、特に視触覚情報が空間的に一致して提示された時、また両情報が一定の時間範囲内で提示された時に、触覚情報によって視覚判断が阻害されることが示された。単一感覚内で生じる知覚抑制効果の神経メカニズムと照らし合わせて考えると、この知見は、視触覚情報を司る bimodal neuron 群において、両情報が直接的に相互作用することを示唆していると考えられる。

第5章では、本研究で得られた知見に基づき、自己身体表象が視触覚情報の統合に介在するプロセスとメカニズムについて詳細に議論した。さらに、自己身体表象の形成過程において、視触覚情報を司る bimodal neuron 群が果たす機能的役割についても論じた。さらに、今後の展望として、神経科学的アプローチによる解明の必要性や、自閉症スペクトラム障害への支援可能性についても論じた。

II. 論文審査の結果の要旨

本論文は、近年盛んに研究が行われている異種感覚間相互作用に関して、複数感覚情報の統合が時空間一致性という物理的特性によって規定されるという既存の理論的枠組みに加えて、新たに自己身体表象の媒介過程を想定したメカニズムを提案し、実証的に研究している。さらに、従来示されてきた異種感覚間相互作用による知覚的促進効果とは逆の、知覚的な抑制効果を実証し、異種感覚統合の神経メカニズムの検討を試みている。

本論文は以下の点で評価できる。

第1に、異種感覚間の統合に関して、物理的特性の一致に基づくボトムアップ的な情報処理過程だけではなく、情報の統合によって形成された自己身体表象が、トップダウン的に異種感覚情報の統合に関与するプロセスとメカニズムを新たに提言し、それを実験的に明らかにしている。

第2に、従来の研究で指摘されていた時空間一致性についても考慮にいれ、自己身体表象による感覚情報統合への媒介効果が、身体解剖学的特性という空間的な側面と、時間順序づけという時間的な側面の両方に及ぶことまでを示している。

第3に、異種感覚間においても知覚的な抑制効果が生じることを世界に先駆けて実証した。また、時空間一致性が関与することのみならず、視覚において生じる知覚抑制効果と似たような現象特性を持つことまでをも実証している。これにより、単一感覚内における神経メカニズムを考慮に入れた形で、異種感覚統合の神経メカニズムについて議論を行うことを可能にしている。

第4に、論文全体を通じて、心理物理学的手法を用いた精緻な実験を行い、また適切な統計分析を行うことで、信頼性の高い実証的なデータを示している。

以上、本論文は申請者の異種感覚間相互作用、特に視触覚間相互作用に関する広範な知識と独自の発想、着実なデータ収集に基づく、精力的な研究であるといえる。しかしながら、本論文には不十分な箇所や問題点も含まれている。まとめて指摘すると、次のようになる。

第1に、自己身体表象そのものが視触覚情報の統合により形成されていることと、自己身体表象が視触覚間相互作用に関与することについて、体系だった説明が不十分であり、整理がなされていないと受け取れる記述が散見される。上記2点を包括的かつ体系的に整理した説明とモデル、およびそれに基づく実証データを示すことが今後の研究活動において必要であろう。

第2に、自己身体表象のプロセスとメカニズムの検証を試みているものの、実験においては手という一部の身体部位のみを扱っている。論文内で、手が生体にとって特に重

要な身体部位であることの説明はなされているものの、自己身体表象という大きな枠組みを考えるのであれば、やはり今後は手以外の身体部位が果たす役割と機能についても実験的に検証することが必要であろう。

第3に、神経生理学的・脳機能的メカニズムについて言及し、またその一端を明らかにすることを目的としているが、行われた研究はいずれも心理物理学的手法を用いた行動的アプローチに基づくものである。したがって、申請者自身も今後の展望で述べたように、神経生理学的・脳機能的手法を用いて、想定される脳内プロセスとメカニズムを実際に検証することが今後必要不可欠であると考えられる。

しかしながら、本論文は申請者が取り組んできた、自己身体表象が果たす生態学的妥当性のあるプロセスとメカニズムの検証を行う研究の集大成であり、得られた成果は上述のように高く評価できるものである。また、本論文に含まれる研究は、いずれも国際査読誌に原著論文として公表済みである。申請者は着実に研究成果を上げており、上述の課題も順次解明されることが期待できる。

以上のことを総合的に判断し、本審査委員会は本論文が期待される要求水準を十分に満たしたものであり、博士学位論文に値すると判断する。