

## 博士(文学)学位請求論文審査報告要旨

論文提出者氏名	板口 典弘
論文題目	多関節自己受容感覚課題における誤差に対して腕スティフネスが与える影響 —頭頂葉損傷患者と健常者の比較—

### 審査要旨

本論文は次の7章からなっている。第1章序論では、感覚の側面のみならず焦点が当てられてきた既存のパラダイムを感覚・運動の相互作用という点から捉え直す点、および運動制御理論において重要な変数(スティフネス)を導入する点が研究の意義として挙げられている。合わせて、神経心理学における既存の検査法に対するの妥当性および信頼性の理論的検証、および裏付けを提供することが示されている。

第2章研究史と問題提起では、本研究の基盤となる神経学的・解剖学的・実験的事実や感覚運動に関する計算理論を踏まえ、自己受容感覚の定義や脳部位対応、従来の実験的・臨床的評価法、スティフネスに関する計算理論を概観し、従来の研究や臨床検査の問題点を指摘した。

第3章目的では、多関節腕を用いた自己受容感覚課題において腕の運動要素が誤差に与える影響を明らかにすること、自己受容感覚障害の脳部位対応、および臨床・実験場面における自己受容感覚課題の妥当性についての考察の試みが記載されている。

第4章の実験1では、スティフネス楕円体におけるスティフネスの高低、および重力に抗して姿勢を水平に保つために必要な筋出力という2つの要因が、肩水平面の自己受容感覚課題の誤差に与える影響を調べている。

第5章、実験2・実験3では両腕のスティフネス楕円体が自己受容感覚課題の終点誤差に与える影響の相互作用を調べている。

第6章 総合考察では第4章、第5章における研究結果を総括し、理論的示唆や方法論的示唆を示した。

第7章、頭頂葉損傷患者と健常者の定位誤差に対する定量的比較(実験4) 頭頂葉損傷患者と健常者の定量的比較を行っている。患者と健常者の感覚運動機能の定量的比較は、従来の臨床検査法では明らかにされてこなかった患者の新たな臨床像を浮き彫りにした。本研究で得られた知見は、患者の診断評価やリハビリテーションを進めるにあたり、考慮すべき重要な基礎資料となっている。

本論文は、神経心理学の臨床場面において身体感覚の適切な評価を行うため、制御対象の器械的要素、およびその運動に付随する誤差の要素を明らかにすることを目的としている。具体的には、多関節の腕を用いた自己受容感覚課題において腕の要素あるいは運動要素が誤差に与える影響を検討している。自己受容感覚課題としては、健常者を対象に、片腕を用いた自己受容感覚定位課題(実験1)、両腕を用いた自己受容感覚定位課題(実験2、実験3)を行った。さらに、頭頂葉損傷患者を対象とし、片腕を用いた自己受容感覚定位課題(実験4)を行った。これらの解析に際して、腕の要素あるいは運動要素として、腕スティフネス特性の幾何学的表現であるスティフネス楕円体を終点誤差(終点分布とバイアス)の予測指標として用いた。

実験の結果、以下のことが明らかになった。片腕を用いた課題の結果、重力に抗して腕を水平に保つための筋出力が水平方向の終点分散およびバイアスを減少させた。また、スティフネス楕円体の短軸方向に終点分散が大きかった。両腕を用いた課題の結果、記憶処理を用いない条件では、知覚に用いる腕ではなく定位に用いる腕のスティフネス楕円体の短軸方向へ終点分散は小さかった。一方、記憶処理を必要とする条件では、このようなスティフネス楕円体の軸方向に関する終点分散の差は見られなかった。さらに、健常者と頭頂葉損傷患者の課題成績を定量的に比較した結果、臨床検査において位置感覚障害があると診断された患者においても、終点の精度および確度のみを単純に比較すると健常者の範囲内であること、および終点到達するまでの運動要因に健常者からの逸脱が多く見られることを示した。

これらの知見は、腕特性であるスティフネスが多関節腕の手先位置の内部表現、および自己受容感覚定位の終点誤差パターンに反映されることを示唆する。すなわち、制御対象の運動要素が感覚課題の成績の予測指標となることを示した。この結果は同時に、知覚する腕の自己受容感覚を反映すると仮定されてきた課題において、むしろ

る運動する腕の要素に起因する誤差が大きく課題の誤差パターンに反映されるという、方法論的な問題点を示している。実際に、健常者と頭頂葉損傷患者の課題成績を定量的に比較した結果からも、臨床検査において診断される“位置感覚”が実際はそれ以外の運動要因によって引き起こされている可能性が示唆された。

また、これらの知見を基礎に、参照肢、運動肢に起因する終点の分散とバイアスが、どちらもスティフネス楕円体の特性を反映している可能性に関する理論的な示唆についても検討している。さらに課題から得られた方法論的な示唆として、自己受容感覚課題において、運動肢の要素が誤差パターンに反映されること、および条件によってはその反映のされ方が参照肢の要素よりもむしろ大きくなりうることを示した。

理論的な議論として、本研究で提案されているモデルを用いて以下のような示唆を得た。まず、終点の分散は参照肢、運動肢由来のノイズを足しあわせたものとなっていること、それらノイズの分布はそれぞれの腕のスティフネス楕円体に反比例する形を取っていること、および、記憶保持など認知的要因によるそれらのノイズの相対的大きさの変化が最終的な終点分散の形を変化させることを示唆した。次に、同様のスティフネス楕円体と反比例する内部表現に加え、運動方向に関するバイアス(オーバーシュート)を設定することで、終点バイアスの位置および大きさが説明できることを示した。

具体的な方法論的な示唆としては、自己受容感覚課題において、運動肢の要素が誤差パターンに反映されること、および条件によってはその反映のされ方が参照肢の要素よりもむしろ大きくなりうることを示した。この結果は、自己受容感覚課題に関して暗に仮定されてきた前提を否定する。その前提とはすなわち、自己受容感覚的に提示されたターゲットに対する定位もしくはマッチング課題は、参照肢の自己受容感覚を反映するというものである。誤差パターンに運動肢の影響が含まれる可能性は最近の先行研究からも示唆されているが、参照肢よりも運動肢の影響の方が誤差パターンに反映される可能性を実際に示したのは本研究が初めてである。

上記のように、本論文では実験によってはじめて得られた知見が報告されている。この知見は従来より身体運動感覚の評価について仮定されていた内容の書き換えを主張する重要な根拠になっている。このことは広く神経心理学の臨床で使用されている従来の神経学的アプローチへの抜本的見直しにも通ずるものと考えられる。よって、本論文は博士の学位を授与するに値するものと判断する。

公開審査会開催日	2013年 3月 8日		
審査委員資格	所属機関名称・資格	博士学位名称	氏名
主任審査委員	早稲田大学文学学術院・教授	Ph.D(ノースウェスタン大学)	福澤 一吉
審査委員	早稲田大学文学学術院・教授	Ph.D(西オタワ大学)	日野 泰志
審査委員	東京工業大学・教授	博士(工学)東京工業大学	小池 康晴