別紙２

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名　戸松彩花

論文題目：Effects of manipulating visual information on execution and learning of bimanual coordination
（視覚操作が両手協応動作の遂行および学習に及ぼす影響）

ヒトの動作はそのほとんどが多肢協調動作であり、特に両手を協調させて目的を達成する動作は重要である。我々が左右の手を動かすとき、最も安定し、高い動作周波数で長時間継続できる運動パターンは左右対称パターンである。この現象の背後には「運動系に内在する生理学的制約」があると言われてきた。しかし近年、自己の行う運動を左右対称のような単純なパターンとして知覚できれば、その動作が簡単に遂行できる、つまり「知覚」もまた制約として働きうることが示された (Mechsner et al. 2001)。人間の視覚には、複数の物体が空間的に近接した配置をもつ、共通の色や形をもつ、移動の方向や速度が等しいなどの場合、それらの物体をひとまとまりのパターンとして知覚しやすいという性質がある。左右対称パターンも明示的なまとまりであるため、左右でひとつの運動パターンとして知覚されやすく、それが動作のしやすさにつながる可能性があると考えられる。

本論文は、以上の観点から、視覚情報を実験的に操作することにより、知覚パターンが両手協応動作の遂行および学習に与える影響について検討した申請者の研究を、第１章に先行研究のレビューおよび研究目的、第２章から５章に研究結果を、第６章に総括論議を加えてまとめたものである。

第２章（実験１：視覚操作が難易度の異なる両手協応動作の遂行に及ぼす影響）では、左右非対称動作を左右対称パターンとして見せる視覚変換という知覚情報操作が、様々な難易度の左右非対称動作の遂行に及ぼす影響を検討した。被験者に両手による円盤水平回転動作を左右の位相ずれ 0 度、90 度、180 度、270 度で行わせ、左右動作の位相ずれがそのまま表示される Normal vision 条件と、左右手のずれが教示通りの時に画面上に左右対称パターンが形成される Transformation 条件で、動作をコンピュータ画面にオンラインで呈示した。その結果、左右対称パターンへの視覚変換は、左右非対称動作の正確性を高めること、その効果は難度の高い左右非対称動作に対して特に大きいことが明らかとなった。

第３章（実験２：視覚操作が両手協応動作の学習に及ぼす影響）では、実験１で用いた視覚条件の運動学習への効果を検討した。視覚変換を受けて左右非対称動作を練習する群と、視覚変換のない練習群の上達の様子および成績を比較した結果、左右対称パターンへの視覚

変換は、左右非対称動作の上達を促進することが示された。しかし、練習終了後１週間を経て、視覚情報なしで動作の再現を求めると、動作が不正確になった被験者が存在した。特に、視覚変換を受けて動作を練習した被験者の一部は、視覚情報なしで行う左右対称動作の正確性が低く、その成績が練習動作の再現成績と強い相関関係にあり、視覚情報なしに行う両手協応動作が位相ずれによらず不正確であったことから、視覚変換が、動作遂行中の固有受容感覚フィードバック利用を低下させた可能性が示唆された。

第４章（実験３：視覚操作が運動の長期的保持に及ぼす影響）では、第３章の実験で見られた練習効果が長期間の練習休止後にも残存するかを検討した。その結果、練習終了から１週間後と２ヶ月後の、視覚情報なしでの動作再現成績はほぼ等しく、獲得した動作が長期間定着していたことが示された。また、低下した左右対称動作の正確性は、２ヶ月後も低下したままであった。さらに視覚情報が与えられると、練習した動作を再現できなかった者も含めて全ての被験者が、動作を正確に遂行することができた。

第５章（実験４：視覚操作が運動遂行にかかわる脳活動に及ぼす影響）では、第２章から第４章にかけて検討した「左右対称パターンとして知覚される左右非対称動作の遂行」がいかなる脳活動によるものであるかを、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いて検証した。その結果、動作が左右対称パターンに見える時は、そうでない時に比べて、特に、「多数の感覚モダリティ統合の場」である島（insula）皮質の活動強度が有意に低かったことから、左右対称パターンに変換して運動を遂行する場合は、固有受容感覚情報と視覚情報を統合する脳内過程における処理負荷が減少すると考えられる。

第６章（総括論議）では、全ての実験結果を概観し、両手協応動作に左右対称な視覚パターンが及ぼす影響について論じている。すなわち、左右対称パターンへの視覚変換が左右非対称動作の正確性を向上させたことから、左右対称パターンが「知覚しやすい」ために動作のフィードバックとしての精度が高く、動作の正確性向上および上達の早さに貢献したと考えられる。この性質は視覚情報への依存度を高め、同時に固有受容感覚情報の必要性を低下させたため、多数の感覚情報を統合するための複雑な処理が減少し、複数の感覚モダリティを統合する脳領域の活動が減少したと考えられる。しかしながら、視覚変換条件下で左右非対称動作を練習すると上達が早まる一方、練習した動作が視覚情報なしには再現できなくなる被験者がいるなど、効果の個人差が大きいことや、練習中に起こった動作の変化は、良いものも悪いものも長期間にわたり継続することなどから、視覚操作は運動に対して極めて強い影響力をもっており、それを実際の運動学習に応用する際には、個人の特性や運動課題の特性などを考慮して利用することが必要である。

これらの研究成果は全て申請者のオリジナルな発見であり、その一部はすでに国際学術専門誌に公表されているなど、学術業績として極めて有意義であると認められる。よって、本審査委員会は、本論文は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。