

審査の結果の要旨

氏名 横井 惇

我々が日常的に行う身体運動は、複数の身体部位の運動を時間的・空間的に複雑に組み合わせることによって実行される。本論文は、その中でも特に、両腕を同時に動かす運動を制御する神経機構を、計算論的な視点から明らかにしようとしたものである。

第1章では、従来の研究が、単一関節の運動から多関節運動へと射程を拡げつつ進められてきたこと、その制御機構の理解が、脳神経細胞の活動を用いてロボットアームを動かせる程度まで進んでいることが概観される。その一方、単一の腕の制御機構に比べると、複数の身体部位の制御機構の理解は不十分であると指摘されている。これを踏まえて、両腕到達運動の制御機構の解明を目指し、特に、両腕間の力学的相互作用の補償機序、両腕運動における各腕の役割分担の起源、の2点を明らかにするという本論文の方針が示される。第2章では、本論文の理解に必要な「内部モデル」の概念が説明される。また、両腕運動制御を扱った先行研究と対比させながら、本論文の着眼点の独自性が主張されている。

第3章では、両腕を同時に前方に動かしながら、一方の腕のみを新奇な力学的環境に適応させる運動訓練実験の結果が述べられている。十分な訓練後、両腕の運動方向を様々に変化させたときの学習効果の汎化度合いを詳細に調べることにより、内部モデルの構成素子が両腕の運動情報を乗算的に統合している可能性が示された。先行研究の理論を参照し、このような乗算的統合素子の存在下で運動学習が進むことにより、反対側の腕から作用しうる任意の力学的影響を補償した腕運動が実行できる、という本論文独自の両腕運動制御機構が提唱された。さらに、この両腕制御機構を裏付ける証拠として、加算的統合を行う素子では適応しえない力学的相互作用が両腕間に存在する環境にも、被験者は両腕運動を容易に適応させることができたという実験結果が示された。

第4章では、非利き手である左腕の素子の方が、反対側の腕運動方向の変化に高い感受性を持つことが明らかにされた。また、この結果から導かれる、反対側の腕運動に応じて変化する力学的環境には、左腕の方が適応する能力が高いという理論的予測が実験的に確かめられた。道具を両手で操作するような場合によく見られる非利き手の支持的な役割は、巧みな運動制御能力の欠如というよりもむしろ、利き手である右腕の運動に柔軟に対応した制御が可能であるという左腕の優位性に起因していると議論されている。

第5章の総合論議では、素子における両腕運動情報の統合や素子の出力自体の統合が、脳神経系でどのように実装されているか推測されている。また、本論文で明らかにされた制御機構を、両腕の運動に時差がある場合や、より一般的な身体複合運動の制御機構にどのように敷衍させられるかについても議論されている。本論文は、以上のように、柔軟な両腕運動の新しい制御機構を明らかにし、複数身体部位の制御機構解明に向けての大きな示唆をもたらした点で、博士（教育学）の学位を授与するに相応しいものと判断された。