

平成 29 年度 博士論文（要約）



身体所有感及び運動主体感に基づく脳内身体表現の
変容のモデル化

Modeling of the Changes in the Body Representation based on
Sense of Ownership and Sense of Agency

指導教員 浅間 一 教授

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

学生証番号 37-137234

濱崎 峻資

近年、多くの先進国の中で高齢化が進んでおり、その中でも日本は2007年に高齢化率が21%を超える超高齢社会を迎え2015年には高齢化率が26.7%となるなど、非常に深刻な問題となっている。このような高齢化に伴い、加齢を原因とした運動器の障害や、脳卒中などの脳血管疾患が増加している。これらの疾患は死亡することがなくとも片麻痺など生活に支障をもたらす後遺症が残存することが多く、たとえば脳血管障害は要介護者における原因疾患として24.1%と最多となっている。医療費も増加の一途をたどる昨今、高齢患者のQOLの観点からも、有効なリハビリテーションの確立が求められている。

片麻痺とは脳の運動関連領域の障害を原因として生じる一側性の運動麻痺であり、約半年の回復期を過ぎると機能回復が見られにくくなることが知られている。このような機能障害が定着してしまう背景には、脳内身体表現の不全や実際の身体との間と一致しない脳内進退表現（人間の脳内の自己の身体表象）の定着に原因があると解釈することができる。

たとえば、加齢による運動障害は脳内身体表現が加齢による運動機能の低下に適応していない、あるいは逆に加齢によって脳内身体表現が変化してしまったと説明することができる。また、片麻痺であれば、運動麻痺のため患肢をうまく動かすことができない状態が続くことによって、麻痺した患肢が上手く動かないということを脳が学習してしまうと言われている（学習性不使用）。つまり、脳内身体表現が麻痺した状態に適応してしまい、かえってリハビリテーションを妨げていると考えられる。

このように、脳内身体表現とは脳内における自己の身体表象であると同時に、現実世界とインタラクションを行う身体と脳との間の仲立ちをする重要な概念である。脳は高い可塑性を持つ器官であり、上記のように加齢や疾患などによって脳内身体表現は変容してしまうこともあるが、逆にリハビリテーションによって脳内身体表現に介入し、変容を促すこともでき、ミラーセラピーや模倣療法など実際に施行され一定の効果が確認されている。しかし、現状では経験則に基づいて行われており、より効果的、効率的なリハビリテーションのため、脳内身体表現変容メカニズムの解明が重要となっている。

本研究では、脳内身体表現について、被験者実験を通じてその変容メカニズムのモデル化することを目的とした。脳内身体表現とは脳内の自己の身体表象であり、人間は脳内身体表現を介して外界を認識している。動作を行う際、感覚器を通じて得られる感覚情報が脳内身体表現によって修飾され、身体所有感や運動主体感といった“身体意識”を知覚する。一方で、脳内身体表現は運動し、フィードバックを知覚するという

過程の中で身体意識を知覚し、その知覚経験に基づいて更新、変容していくと考えられる。本研究では、身体所有感及び運動主体感に基づく脳内身体表現の変容のモデル化を行った。また、脳内身体表現が身体所有感や運動主体感といった身体意識の知覚経験を元に変容していくとすれば、リハビリテーションにおいて脳内身体表現に対して介入を行うという観点から、身体所有感や運動主体感の知覚に対する介入が必要になることが予想される。そこで、モデル化と関連して運動主体感への介入に関して検証を行った。

まず、人間の上肢に着目し、被験者実験を通じて脳内身体表現の変容を検証した。第3章において、身体所有感、運動主体感に関する複数の条件のもとに実験を行い、条件間で脳内身体表現の変容について比較することで、身体所有感及び運動主体感が脳内身体表現変容に与える影響について検証を行った。その結果として、知覚位置の変容には運動主体感、身体所有感のいずれかが必要であり、上肢全体の脳内身体表現の変容には運動主体感、身体所有感の双方が必要であることを確認した。

第4章において、上肢における脳内身体表現変化に関してモデル化を行った。本モデル化の特色は、被験者実験を通じて脳内身体表現変容を定量的に検証した点にある。第3章で行ったモーションキャプチャを用いた実験系によって、人間が知覚している脳内身体表現の測定を行った。このとき、基礎的なモデル化のため、より小さい単位でありミラーリハなどリハビリテーションがある程度行われている手に着目した。そして、同時に測定した身体所有感、運動主体感、及び各条件下における脳内身体表現変化を分析し、指の知覚位置に関する脳内身体表現のモデル化を行った。モデル化は、脳内身体表現へと介入し変容させるリハビリテーションにおいてその改善に繋がる有効な手法であると考えられることから、大きな意義を持つ。

第3章、4章において得られた知見によって、脳内身体表現の変容には運動主体感、身体所有感が重要であり、提案モデルにもこれらの身体意識が密接にかかわっていることがわかった。これらの知見を脳内身体表現の変容を促すリハビリテーションへと応用する際、実際に人間が感じる運動主体感を制御する必要があると考えられる。そこで第5章において、運動主体感を人為的に制御する手法に関する研究を行った。本研究においては運動主体感を変化させる要素として先行刺激に着目した。被験者実験の結果から、先行刺激はその与え方によって、人間が運動主体感を感じる許容幅に影響を与えることを明らかとした。

脳内身体表現の変容を促すリハビリテーションは、脳内身体表現と関係していると考えられる疾患に対して極めて重要な意味を持つ。しかし、現在行われているリハビリテーションは、いまだに経験則による所が大きい。本論文では実際に定量的に脳内身体表現を計測することを試み、得られた結果からモデル化を行った。