

ハプティックデバイス操作時の随伴性の違いが 運動主体感に与える影響

伊藤 彰俊* 加納 政芳
Akitoshi Ito and Masayoshi Kanoh

中京大学
Chukyo University

Abstract: ユーザがデバイスを操作している際に、「その運動を引き起こしているのは自分である」という感覚「運動主体感」が重要であると考えられる。しかし、運動主体感に関連した従来研究では、操作対象の随伴性による影響を検討した研究は少ない。そこで本稿では、ハプティックデバイスを用いて、随伴性の異なる状況で書字学習を行い、主観的評価方法により運動主体感に与える影響と書字学習に対する印象を調査する。

1 はじめに

近年、科学技術の発達により、手術支援ロボットやパワーアシストスーツなどの開発が行われている。これらはユーザの動作を反映した直感的な機械の操作が可能である。例えば、医療の現場では、術者が手術支援ロボットをマスタ・スレーブ方式で操作して手術が行われている。操作時には、術者の動作のスケールを変えることで患部の切除や縫合のような微細な動きを実現している。しかし、医師に触力覚フィードバックが返ってこない欠点が存在し [1]、力加減の難しさに起因する事故が報告されている。また、パワーアシストスーツは労働従事者、介護者および要介護者の身体に装着することで負担軽減や動作の補助を目的として開発が行われているが、装着時の力加減による安全性が懸念されている [2]。このようにユーザが機械を操作する際、自分自身が操作していることを認識する感覚「運動主体感」が重要視されつつある。

哲学者の Gallagher は人が自己を認識する感覚の一つとして、「ある行為を引き起こしているのは自分自身である」という感覚を運動主体感 (Sense of Agency) と定義した [3]。この運動主体感が生起するメカニズムは、モーターコントロールに関する計算論的モデル [4, 5] に基づくものである。同モデルによると、人の脳内には運動制御を最適化するために、順モデルと逆モデルの2種類の内部モデルが存在する。人が身体である行為を実行する場合、まず、逆モデルによって目標とする状態になるために必要な運動指令が推定される。この推定された運動指令を運動システムに送り動作を行う

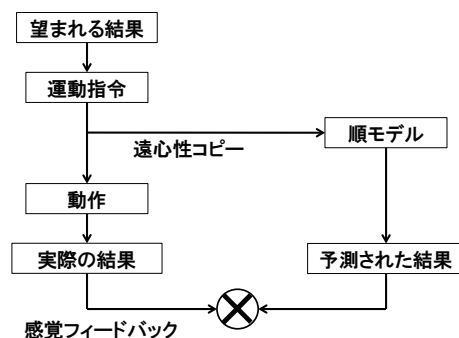


図 1: 運動制御の内部モデル (Frith et al.(2000)[5]を改変)

が、それと同時に、運動指令のコピーである遠心性コピー (effence copy) が順モデルに送られる。順モデルではその行為から得られる感覚フィードバックが予測される。この順モデルによる予測と実際の感覚フィードバックが比較され、一致する場合、行為主は自己に帰属し、運動主体感が生起される (図 1)。

その後、Synofzikらは、「Feeling of Agency」と「Judgement of Agency」の2段階からなるモデルを提唱した [6]。まず、「Feeling of Agency」では、順モデルによる予測と実際の感覚フィードバックが比較される。このとき、情報間に不一致がなければ、それ以上の処理はなされず自分が行為主であると判別される。しかし、不一致がある場合、もしくは順モデルが構築されていない場合、「Judgement of Agency」では行為主の判別に 関する概念的推論の処理がなされる。この段階では、意図や信念や文脈手がかりなどの外在の手がかりに基づき誰が行為主であるかが判断される (図 2)。

本研究では、順モデルがすでに構築されている日常

*連絡先: 中京大学 情報科学研究科 情報科学専攻
〒466-8666 愛知県名古屋市中昭和区八事本町101-2
E-mail: h11501m@st.chukyo-u.ac.jp

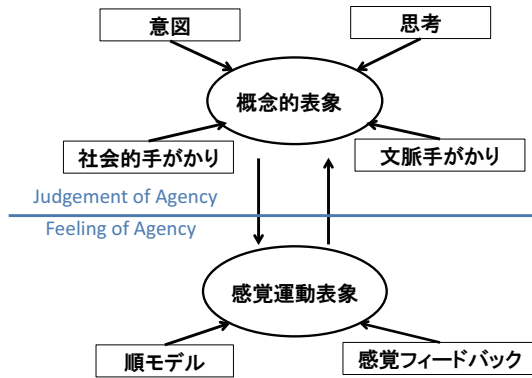


図 2: 運動主体感の 2 段階モデル (Synofzik et al.(2008)[6] を改変)

動作の一つである書字動作に対して、感覚フィードバックの予測と実際の行動の結果が一致しない状況を意図的に作り、運動主体感への影響を調査する。

2 関連研究

運動主体感についてはこれまで多くの研究がなされている。例えば、前田らにより行われた研究では、被験者がボタンを押すとモニタ上の映像が変化する状況で、ボタンを押すという動作から映像が変化する視覚フィードバックまでの時間を変えた際の運動主体感の有無を調査した。調査の結果、動作に対して視覚フィードバックの遅れが約 300ms までなら被験者の 8 割が運動主体感を感じた [7]。また、van den Bos らの研究では、被験者と実験者の手をテーブルを挟んで対称に置きランダムに 4 パターンの角度 (0, 90, 180, 270deg) で回転させた映像を表示し、自分の手がどちらかを判断させる実験を行った。その結果、実際の被験者と同じ向きに被験者の手が見える映像が表示された場合 (0deg 条件)、他の回転角度の映像より被験者は自分の手を正しく認識できた。また映像を 180deg 回転させ、被験者の手が見えるべき位置に実験者の手がある映像を見せたときに誤答が最も多くなった [8]。このように運動主体感に関連した研究の多くが、予測と実際の感覚フィードバックとの間に時間的および空間的に不一致な状況を作り運動主体感への影響を調査している。それらは機械やロボットの遠隔操作時の通信障害や視野が限られた場面において運動主体感が喪失しないかを想定している。しかし、これらの研究は常に感覚フィードバックの予測と実際の行動の結果が一致しており、感覚フィードバックの予測と実際の行動の結果の不一致が運動主体感に与える影響を検討した研究はあまり行われておらず、未だに解明されていない事柄も多い。



図 3: GeomagicPhantom の外観

3 実験

3.1 システム

実験装置として、把持型のハプティックデバイスである SensableTechnologies 社製の GeomagicPhantom を用いる。図 3 に GeomagicPhantom の外観を示す。このハプティックデバイスで、ユーザがペンを動かす進行方向に働く力 (推力) と進行方向とは逆に働く力 (抗力) を実装する。本研究では、ハプティックデバイスの随伴性が低くなる方向、すなわち抗力が働いたときに運動主体感が強くなるという仮説を立てる。その根拠は、Demagnet らによる研究において、心理的努力が大きい方がより強い運動主体感が得られることが分かっており [8]、運動の出力が大きくなる場合には、出力が小さい場合よりも大きな心理的努力が働くことと推定されるからである。

3.2 評価項目

運動主体感の評価方法の一つとして、「自分で動かしているように感じたか」について主観をもとに評価するものがある [7]。本研究では、さらに「装置に動かされているように感じたか」という客観的な立場から運動主体感について問う項目を加える。また、独自に作成した書字学習の印象に対する質問項目「練習の過程に疲労を感じたか」、「字が上達したと感じたか」を加え、7 件法で回答を求める。

3.3 実験方法

被験者は大学生および大学院生 80 名 (右利き 78 名、左利き 2 名)、男女比は男性 40 名、女性 40 名とした。ハプティックデバイスの設定は推力 (Thrust) を 2 段階 ($T \cdot 0.6N$, $T \cdot 0.3N$) と抗力 (Drag) を 2 段階 ($D \cdot 0.6N$, $D \cdot 0.3N$) と外的な力を与えない $0N$ の 5 段階用意した。

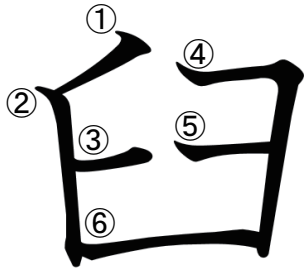


図 4: 実験に使用した手本

T・0.6N 群, T・0.3N 群, 0N 群, D・0.3N 群, D・0.6N 群として, 各群に 16 名 (男性 8 名, 女性 8 名) ずつ振り分けた. 課題は書字学習とし, 学習効果が見やすいように, 普段書き慣れない字である「白」という漢字を手本 (図 4) を見ながら書字させた.

実験手順は次の通りである. まず, 被験者は椅子に座り, 事前課題として鉛筆を用いて 5cm 四方のマスに「白」の字を 3 回書き, 最も上手く書けたもの一つを選択する. 次に, 各群ごとのハプティックデバイスのパラメータを設定し, 鉛筆をハプティックデバイスに持ち替え, ハプティックデバイスに慣れる. その後, 「白」の字の手本を見ながら 20 回練習する. そして, 鉛筆に持ち替え, 事前課題と同様に事後課題として「白」の字を 3 回書き, 最も上手く書けたもの一つを選択する. 最後に, 質問用紙に回答する.

4 結果

図 5~ 8 に主観的評価の結果を示す. 図 5 は「自分で動かしているように感じた」, 図 6 は「装置に動かされているように感じた」, 図 7 は「練習の過程に疲労を感じた」, 図 8 は, 事前課題と事後課題を比較して「字が上達したと感じた」の結果である. 各質問項目の結果について Kruskal-Wallis 検定を用いて, Steel-Dwas の対比較による多重比較で有意差検定を行った結果, 「装置に動かされているように感じた」の項目で, T・0.6N 群と T・0.3N 群, T・0.6N 群と D・0.3N 群の間に有意水準 5% で有意差が認められた. また, 「字が上達したと感じた」の項目で, D・0.3N 群と D・0.6N 群の間に有意水準 5% で有意差が認められた.

5 考察

順モデルの予測と実際の行動の感覚フィードバックにずれを作り, 運動主体感の変化と書字学習の印象を主観的評価方法で測定した. 「自分で動かしているように感じた」の項目では, 有意差は見られなかった. これは, 本研究では被験者に書字学習をさせたが, 全て

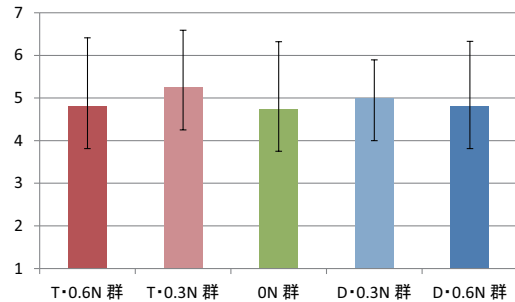


図 5: 「自分で動かしているように感じた」の結果

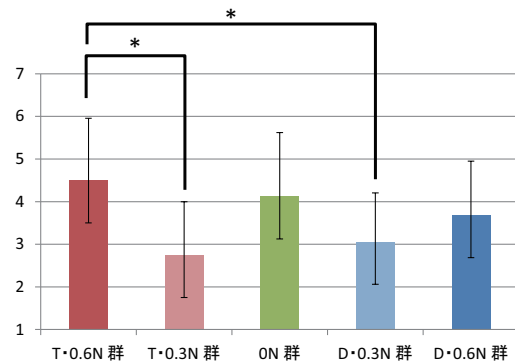


図 6: 「装置に動かされているように感じた」の結果

の群において自力で操作をしているため, 全体的に主体的な操作感が強まるのに伴い, 評点が高止まりして差が見られなかったことが要因と考えられる. 「装置に動かされているように感じた」の項目では一部の群間に有意差が認められた. 推力を働かせた T・0.6N 群と T・0.3N 群の間に有意差が見られたことは, T・0.6N 群の方がハプティックデバイスから与えられた推力が大きかったためだと推察される. また, T・0.6N 群と D・0.3N 群の間の有意差も同様の理由と考えられる. また, 有意差は見られなかったが「練習の過程に疲労を感じた」のグラフの形状が「装置に動かされているように感じた」と対称形であり, 仮説で述べた心理的努力が装置に動かされているという感覚に影響を及ぼす可能性が示唆される. 字の上達度について, 被験者に主観で事前課題と事後課題を比較させた結果は, 抗力を与えた D・0.3N 群と D・0.6N 群の間に有意差が見られたが, これは, 重量感により手元が安定したため手本を見ながら書く視写によって学習効果が主体的に感じられたためと考えられる.

6 おわりに

本研究では, 順モデルの予測と実際の行動の感覚フィードバックが異なる状況での運動主体感の影響をみ

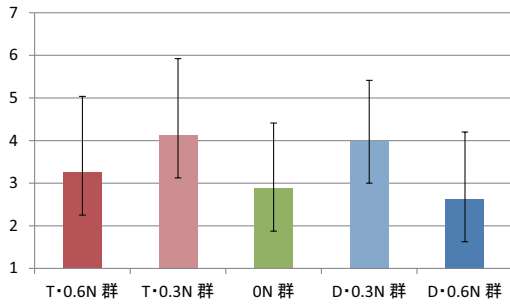


図 7: 「練習の過程に疲労を感じた」の結果

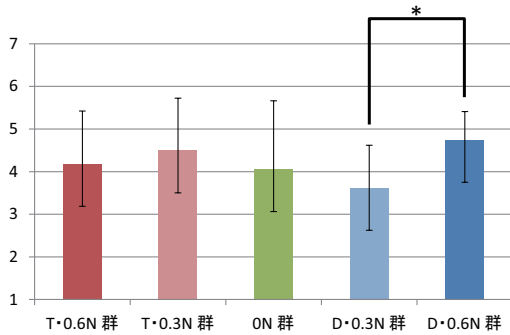


図 8: 「字が上達したと感じた」の結果

るため、先行研究から仮説を立て、ハプティックデバイスに推力と抗力を実装し、随伴性が異なる状況を作った。そして、書字学習において、随伴性が運動主体感に及ぼす影響を主観的に評価した。その結果、装置から与えられる力が大きと感じられるほど客観的な運動主体感は弱まるため、心理的努力が運動主体感に影響していることが示唆された。

今後の展望としては、推力や抗力の種類を増やし、どの程度が運動主体感が感じられやすいのか、また、事前課題と事後課題の客観的評価など、より詳細な検証が挙げられる。

参考文献

- [1] Ballantyne, G.H. (2002): Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telementoring. Review of early clinical results. *Surg. Endosc*, 16 (10), 1389-402.
- [2] 杉原健治 (2009): パワーアシストロボットの安全理論に関する研究, 明治大学大学院理工学研究科博士論文.
- [3] Gallagher, S. (2000): Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, 14-21.
- [4] Wolpert, D.M. (1997): Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 209-216.
- [5] Frith, C.D., Blakemore, S.J., and Wolpert, D.M. (2000): Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 355 (1404), 1771-1788.
- [6] Synofzik, M., Vosgerau, G., and Newen, A. (2008): Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and Cognition*, 17 (1), 219-239.
- [7] Maeda, T., Takahata, K., Muramatsu, T., Koreki, A., Iwashita, S., Mimura, M., and Kato, M. (2013): Reduced sense of agency in chronic schizophrenia with predominant negative symptoms. *Psychiatry Research*, 209 (3), 386-392.
- [8] van den Bos, E., and Jeannerod, M. (2002): Sense of body and sense of action both contribute to self-recognition. *Cognition*, 85, 177-187.