

回転物体の停止動作において先行刺激が Sense of Agency に与える影響の計測

○濱崎 峻資 (東京大学), 村林 正堂 (アクセンチュア株式会社), 前田 貴記 (慶應義塾大学), 加藤 元一郎 (慶應義塾大学), 山川 博司 (東京大学), 高草木 薫 (旭川医科大学), 山下 淳 (東京大学), 浅間 一 (東京大学)

Evaluation of the Effect of Priming Stimulus on Sense of Agency in Stop Operation of Rotating Object

○ Shunsuke HAMASAKI (The University of Tokyo), Masataka MURABAYASHI (Accenture Japan Ltd), Takaki MAEDA (Keio University), Motoichiro KATO (Keio University), Hiroshi YAMAKAWA (The University of Tokyo), Kaoru TAKAKUSAKI (Asahikawa Medical University), Atsushi YAMASHITA (The University of Tokyo), and Hajime ASAMA (The University of Tokyo)

Abstract: Opportunities for human to contact with the computer or machine in a variety of situations is increasing. Under these circumstances, human cognitive mechanisms have been studied for designing user-friendly interface. One of the key issues is the attribution of own actions to the intention of self or others. It is called Sense of Agency (SoA). SoA is one of the most important issues when we want to operate mobile robot by means such as remote control. To operate remote-controlled robot, occurrence of delay in data communication is inevitable problem. Then, it is difficult to have SoA for the operator. Therefore, method for altering perception of SoA with some kind of factor is needed. In this research, we evaluate the effect of prime stimulus on SoA by experiment with subject.

Keywords: Sense of Agency (SoA), Prime stimulus, Human interface

1 序論

近年の科学技術の進歩に伴い、ノートパソコン等の従来の端末のみならずスマートフォンやタブレットなどの携帯端末が広く人間社会に普及するようになり、人間は日常的に機械と接するようになってきた。また、生活や介護など人間と共存する状況において移動ロボットなどの需要が増していくことが予想されているなど、今後も人間と機械とが接する機会は増え続けていくと考えられる。しかし、このような状況において、機械の高性能化が進み操作の複雑化が見られる場合が多く、人間にとって使いやすいヒューマンインタフェースの開発が求められている。

よりよいヒューマンインタフェースを開発する上で、インタフェースに接しそれを操作する人間について深く知る必要があるのは自明である。近年、脳に関する生理学的な研究が進み、脳の生理学的状態や構造を考慮にいたしたインタフェースの可能性が示唆されており、その中で、人間の認知特性などを解明し設計の中に取り込むアプローチが提案されている。本研究では、インタフェース操作に影響を与える認知特性として、Sense of Agency に注目する。

1.1 Sense of Agency

Gallager は人間の自己意識を Narrative self と Minimal self の 2 つに分け考察し、Narrative self を「物語

的な自己」、Minimal Self を「身体的な自己」と捉えた [1]。Minimal Self は身体の自己帰属感を意味する Sense of Ownership, 行為の自己帰属感を意味する Sense of Agency に分けられ、前節で述べた Sense of Agency (以下 SoA) は、「行為を行っているのはまさに自分自身であるという感覚」と定義されている。人間がインタフェースを操作する際に SoA を感じにくい場合、つまり操作に対応して起きた反応が「自分が引き起こしたものでない」と感じにくい場合、インタフェースの使いやすさという視点からは不十分なインタフェースであると言える。

SoA を変化させる要因として、フィードバックのズレや時間的な遅延などが挙げられる。例えば、Franck らは実験において、被験者にジョイスティックを操作させ、モニタ上に動作の結果としてジョイスティックの画像を見せた。この際、モニタ上のジョイスティックの動きに角度のズレや時間遅れを生じさせた場合、SoA を感じにくくなることを報告している [2]。同様に村林らは、仮想空間上のオブジェクトを触覚/力覚インタフェースデバイスによって操作させ、オブジェクトの動作時間を変化させることによる SoA への影響を調査した。実験結果より、時間遅れが大きくなると SoA を感じにくくなることを確かめている [3]。

このように動作の結果に遅延やズレが生じることで SoA は低下することが確かめられているが、実際に移動ロボットを遠隔操作する場合などを考えると、人間の操作と実際のロボット動作に遅延やズレが生じる場合、あるいは通信遅れやエラーなどから完全なモニタリングが

できない場合も存在する。この場合、SoAの低下によりロボットの操作に支障が生じる可能性がある。逆に、自身の操作以外の要素がロボットの動作に影響して操作と実際の動作に齟齬が生じているのにも関わらず、操縦者がSoAを感じ続け、違和感に気づくことができずに事故につながり可能性も考えられる。

以上のことより、人間にとって使いやすいインタフェースを設計するため、動作のフィードバックとは別の要素を用いて、人為的にSoAの感じ方を変化させるシステムが必要である。

1.2 研究の目的

動作の結果とは別の要素によってSoAに影響を与えるシステムについて考える上で、認知心理学の研究において頻繁に用いられる「プライミング効果」に着目した。プライミング効果とは「先行刺激が後に続く刺激に対して、何かの影響を与える効果」を指す。プライム刺激とSoAに関する研究はいくつか行われており、フィードバック以前に的確な先行刺激を与えることによってSoAが増すことが報告されている[4][5]。しかし、Linserらの研究では、「自分が結果をコントロールしているか」といコントロール感について調査しており、SoAへの影響を検討しているとはいえない。また、Aartsらの研究においてはプライミング効果がSoAに与える負の影響についての検証が十分ではない。

本研究においては、インタフェース設計において操作者へのフィードバックに欠落が生じる場合を想定し、人間が操作中に行う予測との関係性を考慮に入れ、先行刺激がSoAに与える影響を実験によって計測する。

2 提案実験

2.1 実験の概要

被験者に、等速円運動を行う物体を操作によって止めさせ、その物体を停止させた主体が自分であるかどうか、つまりSoAを感じたかどうかを判断させる課題を与える。Fig. 1に実験の流れを示す。

- a). 課題開始 赤い円が回転を開始する
- b). 等速円運動 ある期間、等速円運動を続ける
- c). 消去 一定時間、円が見えなくなる
- d). 先行刺激を表示 極短時間、先行刺激を表示
- e). 停止動作 被験者が、停止動作を行う
- f). 結果表示 結果を表示させる

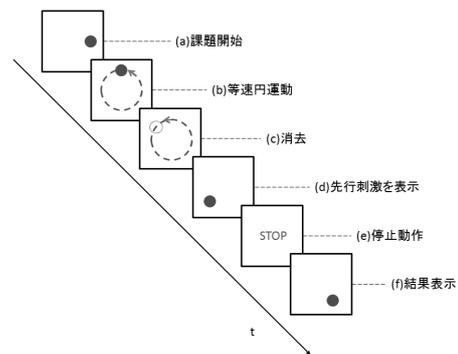


Fig. 1 The flow of experimental subject

実験の流れについて詳細に述べる。等速円運動を停止させる、という動作が被験者に求められている動作であり、この動作に対してSoAを感じるかどうかを調査する。(a), (b)に示す通り赤い円形の物体が画面の中で一定の速さで回転し、物体がランダムなタイミング(1~2周)で消える。(c)において円形物体が見えない間、被験者はその動きを予測することとなり、消去フェーズ中に(d)に示す通り極短時間先行刺激が表示される。(e)において画面中央に「STOP」の文字が表示されると、被験者は可能な限り直ちにEnterキーを打鍵し、物体を停止させることを求められる。その後、(f)において画面には停止した円形物体が表示される。被験者には、物体が見えていないときも動いていることを伝えるとともに、「被験者のキー操作によって物体が止まる」ときと「PCが別な場所に物体を止める」ときがあると伝え、物体を停止させたのが自分だと思えるか、そうでないか、つまりSoAを感じるか否かをキー操作によって回答させる。

円形物体の移動速度は、2通り設定する。実際のインタフェースを想定し、結果が予測しにくい操作を想定した高速の実験(1.2 s/周)、結果が予測しやすい動作を想定した低速のパターン(2.0 s/周)である。また、遠隔操作などにおける通信エラーによるフィードバック情報の欠落を想定した「消去」のフェーズについても、2通り設定する。短時間の欠落しか生じなかった場合(100 ms)と、より長時間の欠落が生じた場合(600 ms)である。

2.2 フィードバックと先行刺激

停止位置は、3つの条件から1つを与える。実際に被験者がキーを押した時の物体の位置、そこから120度、240度ズレた位置、の3条件である。

先行刺激は、Congruent条件(一致条件)、Incongruent条件(不一致条件)、Neutral条件(中立条件)の3条件を与える。Congruent条件においては、実際に被験者がキーを押した時の物体の位置をあらかじめ予測して表

Table 1 List of experiment

	回転速度	計測内容	試行回数
A1	高速	反応速度	練習 4, 計測 50
A2	高速	SoA	練習 4 以上, 計測 90
B1	低速	反応速度	練習 4, 計測 50
B2	低速	SoA	練習 4 以上, 計測 90

示させる。予測のために、事前にその被験者に対し、同様の実験系を用いて反応時間（STOP が表示されてから実際にキーを押すまでの時間）を計測しておく。実験プログラムが STOP を表示する時間にこの反応時間を加算することで、被験者がキーを押して止める位置を予測することができる。Incongruent 条件は Congruent 条件から 180 度ズレた位置、Neutral 条件はこれらの比較対象として先行刺激を与えない条件とする。

以上に述べたように、回転速度 2 条件、消去時間 2 条件、先行刺激 3 条件、フィードバック 3 条件、合計して 36 条件について実験を行い、検証する。回転速度や消去時間などのパラメータについては、予備実験を行い決定する。

3 被験者実験

3.1 実験の流れ

実験は、4 つのフェーズに分かれている。A1. 低速回転反応速度計測実験、A2. 低速回転 SoA 検証実験、B1. 高速回転反応速度計測実験、B2. 高速回転 SoA 検証実験、とする。

Table 1 に実験条件の一覧を示す。まず、先行刺激の生成に必要な被験者の反応時間を求めるため、低速回転条件、高速回転条件について反応速度計測実験を行った (A1, B1)。Fig. 1 と同様の実験だが、反応速度計測実験においてはフィードバックを表示していないことのみが異なっている。4 回の操作練習の後に 50 回の計測を行い、その被験者の反応速度を求めた。

続けて、低速回転条件、高速回転条件、それぞれにおける SoA 検証実験を行った (A2, B2)。消去時間 2 条件、先行刺激 3 条件、フィードバック 3 条件についてそれぞれ 5 回ずつ、計 90 回の課題をランダムな順序で与えた。実験の順序は A1, A2, B1, B2 の順であり、A2 と B1 の間に休憩を与えた。

被験者は 20 代の健康な男性 8 名である。尚、本計測は東京大学工学系研究科倫理委員会の承認を得ており、被験者全員からインフォームドコンセントを得て実施された。

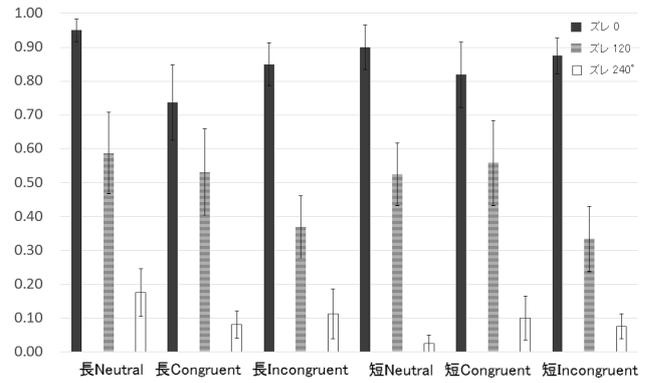


Fig. 2 The results of low-speed experiment

3.2 結果と考察

3.2.1 低速回転条件

まず、B1, B2 において行った低速回転条件実験について述べる。結果を、Fig. 2 に示す。縦軸が SoA を感じた割合、横軸は実験条件を表す。

消去時間条件、先行刺激条件、フィードバック条件、の 3 要因の分散分析を行ったところ、2 次の交互作用は見られなかった。また、先行刺激条件 ($F(2, 14) = 12.186, p = 0.0009 < 0.05$)、フィードバック条件 ($F(2, 14) = 25.618, p = 0.00002 < 0.05$) のそれぞれについて主効果が認められ、交互作用が確認された ($F(4, 28) = 3.612, p = 0.017 < 0.05$)。消去時間条件については主効果が確認されなかった。この回転速度においては、消去時間が長時間であろうと短時間であろうと予測が容易であったことが分かる。先行刺激、フィードバック条件の交互作用について単純主効果を分析したところ、全ての先行刺激においてフィードバックの単純主効果が確認され、ズレなし ($F(2, 42) = 4.125, p = 0.0231 < 0.05$)、ズレ 120 度 ($F(2, 42) = 10.085, p = 0.0003 < 0.05$) において先行刺激の単純主効果が確認された。

ここで、下位検定として Ryan の手法を用い多重比較検定を行ったところ、ズレなしの時は Neutral 条件と Congruent 条件の間に ($p = 0.0065 < 0.05$)、ズレ 120 度の時は Neutral 条件と Incongruent 条件 ($p = 0.00026 < 0.05$)、Congruent 条件と Incongruent 条件 ($p = 0.0005 < 0.05$) の間にそれぞれ有意な差が確認された。

Neutral 条件においては、従来の SoA に関する研究で得られている知見と同様、ズレなしにおいて最も強く SoA が感じられ、正しい位置から離れるにしたがって感じにくくなると妥当な結果が表れている。Congruent 条件においてはズレなしの時のみ Neutral 条件と差が生じているが、これは打鍵の直前に正位置の先行刺激が与えられることにより、そこから少し進んだ位置を予測するように脳内で予測が更新されたのではないかと推測でき

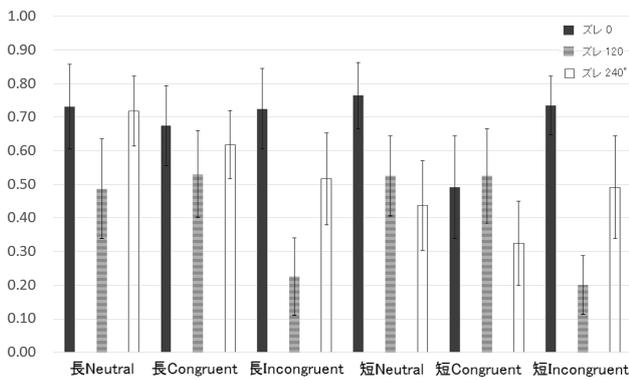


Fig. 3 The results of high-speed experiment

る。この考察から Incongruent 条件において、ズレ 240 度条件で SoA が感じやすくなるのではないかと予測できるが、実際は有意差はなかった。むしろ、Neutral 条件、Congruent 条件においてはある程度 SoA が感じられていた 120 度ズレ条件において、有意に SoA を感じにくくなっており、このことから Incongruent 条件、つまり正解とかけ離れた先行刺激を与えることによって、SoA を感じ得る幅が狭くなる効果があるのではないかと考察できる。

3.2.2 高速回転条件

A 1, A2 において行った、低速回転条件における結果を、Fig. 3 に示す。縦軸が SoA を感じた割合、横軸は実験条件を表す。

消去時間条件、先行刺激条件、フィードバック条件、の 3 要因の分散分析を行ったところ、2 次の交互作用は見られなかった。また、先行刺激条件、フィードバック条件について交互作用が確認されたが ($F(4, 28) = 3.018, p = 0.035 < 0.05$)、主効果については先行刺激条件 ($F(2, 14) = 3.371, p = 0.064 < 0.10$)、フィードバック条件 ($F(2, 14) = 2.846, p = 0.092 < 0.10$) 共に傾向を示しただけだった。個別の結果を見ても、特に消去時間が長時間である条件においては個人差によるデータのばらつきが大きく、考察に不十分であると考えられる。

消去時間が短時間である条件下での Neutral 条件の結果を見ると、低速回転条件と同様に、従来の SoA 研究から予測できる結果を示している。先行刺激、フィードバック条件の交互作用について単純主効果を分析したところ、120 度ズレ条件における先行刺激条件 ($F(2, 42) = 6.890, p = 0.0026 < 0.05$)、Incongruent 条件におけるフィードバック条件 ($F(2, 42) = 4.609, p = 0.0155 < 0.05$) にそれぞれ単純主効果が確認された。下位検定として Ryan の手法を用い多重比較検定を行ったところ、ズレ 120 度の時は Neutral 条件と Incongruent 条件 ($p = 0.0035 < 0.05$)、Congruent 条件と Incongruent 条件

($p = 0.0018 < 0.05$) の間にそれぞれ有意な差が確認され、Incongruent 条件においてズレなし条件とズレ 120 度条件との間に有意差が認められた ($p = 0.0042 < 0.05$)。これらは、Incongruent 条件の先行刺激を与えることによって、SoA を感じる範囲が狭くなるという低速回転条件における考察を裏付ける結果となっている。

4 結論と今後の課題

被験者実験を通して先行刺激が SoA に与える影響を計測し、得られた結果から、先行刺激がその特徴によって SoA に異なる影響を与えることを見出した。これらの結果は、工夫された先行刺激を与えることによって人間の SoA の感じ方を変化させることが可能であることを示唆しており、インタフェース設計への貢献が期待できる。

今後の課題として、被験者数の拡充、などを予定している。また、キーボード入力処理、画像表示の処理時間などのハード面における実験系の限界について考慮し、実験系のさらなる改善をしていかなければならない。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究 (B)24300198 の助成を受け実施された。

参考文献

- [1] Gallagher S. : Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 4, 14/21, (2000)
- [2] Franck N., Farrer C., and Georgieff N. et al. : Defective recognition of one's own actions in patients with schizo-phrenia, Am J Psychiatry, Vol. 158, 454/459, (2001)
- [3] 村林 正堂, 池本 有助, 大武 美保子, 前田 貴記, 加藤 元一郎, 浅間 一 : 触感覚有無が自他帰属性に与える影響に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P2-I23(1)/2P2-I23(4), (2008)
- [4] Linser, K., and Goschke, T. : Unconscious modulation of the conscious experience of voluntary control, Cognition, 104, 459/475,(2007)
- [5] Aarts, H., Custers, R., and Wegner, D. M. : On the inference of personal authorship: Enhancing experienced agency by priming effect information, Consciousness and Cognition, 14, 439/458, (2005).