



複数分身身体における聴覚刺激に対する感覚減衰

Sensory Attenuation on Auditory Stimuli in Multi-Avatar Embodiment

杉本 麻樹¹⁾, 飯塚 創太¹⁾, 近藤 亮太²⁾, 中村 文彦³⁾, 上田 祥代⁴⁾, 北崎 充晃⁵⁾

Maki SUGIMOTO, Sota IIZUKA, Ryota KONDO, Fumihiko NAKAMURA,

Sachiyo UEDA and Michiteru KITAZAKI

1) 慶應義塾大学 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, sugimoto@ics.keio.ac.jp, iizuka0912@keio.jp)

2) 東京大学 (〒 113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1, ryota.kondo@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 立命館大学 (〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, f-naka@fc.ritsumei.ac.jp)

4) 津田塾大学 (〒 187-8577 東京都小平市津田町 2-1-1, sachiyo.ueda@tsuda.ac.jp)

5) 豊橋技術科学大学 (〒 441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

概要: 本研究は、バーチャル環境で複数のアバターを同時操作した際の身体認知と感覚減衰を解析するものである。従来研究では、自己と他者の中間に位置する分身身体が感覚減衰に及ぼす影響や、身体数に応じた影響は十分に明らかにされていなかった。そこで本研究では、バーチャル環境上でアバターの数や運動条件を変化させ、ボタン押下による聴覚刺激の比較課題を実施し、PSE や JND といった心理物理学的指標および主観評価から、身体認知の変化と感覚減衰量の関係を分析することを提案する。

キーワード: 人間拡張, 感覚減衰, 分身, 評価指標

1. はじめに

身体拡張の一種として、複数のアバターを同時に操作して感覚情報を受け取る複数分身身体がある。三浦らの研究では、同時に制御するアバターの数が1体、2体、4体の場合でタスクを行った際の身体認知を調べたところ、身体数が多いほど各身体を自己のものとする感覚が弱くなる傾向があることを明らかにした [1]。しかし、自己と他者の中間に存在する分身身体が引き起こした刺激が、感覚減衰に与える影響は検証されていない。人間は複数の感覚器に一貫した刺激を与えることで、自己ではないダミーの身体を自己の身体と認識する錯覚を引き起こす。よく知られている例としては、ラバーハンドイリュージョンという現象がある。これは、実際の手を隠して代わりに自然に見える位置にゴム製の手を配置し、実際の手とゴム製の手に同時に同様な触覚刺激を与えると、ゴム製の手を自分の手と感じてしまう錯覚である。このような身体認知の変容は、バーチャルアバターや、生来の身体と同期したロボットアームなどの拡張された身体でも観察される。

2. 関連研究

感覚減衰とは、人間が自発的に刺激を発生させたとき、その刺激を他者が発生させたものと比べて弱く知覚するという現象である。Blakemore らは、脳が運動指令を実行する際にそのコピーを作成し、順方向モデルの予測値を実際の感覚入力から差し引くことで感覚減衰が発生する [2] ことを明らかにした。

これまでの研究から、自発的な行動と他者や機械が発生させた行動で感覚減衰を観察し、触覚刺激及び聴覚刺激で自発的な行動のときに強い感覚減衰が発生することが確認されている [3, 4]。また、視覚刺激においても同様に感覚減衰が起こることが示唆 [5] されている。

Kiltner らは、自発的な行動から触覚刺激が発生するまでの間に一定の時間間隔を設け、感覚減衰の様子を観察した。その結果、試行回数が多くなるほど感覚減衰量も大きくなり、およそ 200 試行で減衰量が最大に達することを確認した [6]。これは、運動指令から作られた順方向モデルが書き換えられ、遅延する刺激発生に適応していったことを示している。福岡らは、バーチャル環境を用いて、アバターを生得的な身体と異なるマッピングで操作した場合でも感覚減衰が発生し、その大きさは身体所有感及び行為主体感と関連を持つ [7] ことを報告した。同様に、義手などの人工手においても、身体所有感と感覚減衰の関連 [8] が報告されている。

感覚減衰と身体認知の関連は十分に検討されておらず、自己と他者の中間のような位置に存在する複数分身身体が感覚減衰にどのような影響を及ぼすのかということや、拡張された身体への身体認知と感覚減衰の相関はまだ検証されていない。

3. 複数身体と感覚減衰

複数のアバター身体を同時に操作する場合、感覚減衰の現れ方には従来の単一身体操作とは異なる特徴が生じると考えられる。順モデル理論によれば、感覚減衰は自己の運動

により生じる感覚を脳が事前に予測し、その予測と実際の感覚入力との差分を減弱させることで生じる。しかし、複数のアバターを同時に操作する場合、身体所有感や行為主体感がそれぞれのアバター間で分散し、個々のアバターへの自己帰属感が曖昧になることが指摘されている。そのため、脳内の順モデルによる感覚予測も各アバターに対して不明瞭または弱まる可能性がある。この結果、自己として強く認識されるアバターでは従来通りの感覚減衰が見られる一方、自己帰属感の低いアバターに対しては感覚減衰が弱まり、他者による刺激と近い知覚が生じる可能性がある。

4. 感覚減衰の測定方法

身体認知の主観的尺度を測定する際に、しばしば主観的平等点 (Point of Subjective Equality : PSE) と丁度可知差異 (Just Noticeable Difference : JND) という 2 つの指標が用いられる。PSE とは、2 つの感覚入力为主観的に等しいと感じられる点 [9] である。JND は、標準的な刺激から明確に区別できる刺激の最小差異 [10] である。「感覚減衰が発生する」とは PSE が有意に減少することを示し、JND には影響が出ないことが先行研究で確認されている。

本研究における PSE と JND は、先行研究 [7, 6] に基づき次のような方法で測定する。実験参加者は、2 つの聴覚刺激を提示され、どちらの刺激が強いかを回答する。この刺激の内、一方の刺激 (標準刺激) は常に同じ強度を持ち、もう一方の刺激 (比較刺激) は試行ごとに強度が変化する。比較刺激の大きさを x 、実験参加者の反応 (0 か 1 の 2 値データ) を y とし、データを記録する。心理量を変化させるのに必要な物理量の大きさはスロープとして表されるため、測定結果は、心理測定関数と呼ばれるシグモイド曲線または S 字曲線にフィッティングされる。フィッティングには、プロビット関数 (標準正規分布の累積分布関数の逆関数) を用いた二値データの回帰モデルであるプロビット回帰を使用する。プロビット関数を z 、 x と y の線形回帰で推定された係数を a 、定数項を b とすると、次の回帰式が定義される。

$$z = \Phi^{-1}(x) = ax + b$$

この式より、 $\Phi(z) = 0.5$ となる x の値が、実験参加者の反応が丁度 50% に分かれる値で、PSE と求められる。同様に、PSE と $\Phi(z) = 0.75$ または $\Phi(z) = 0.25$ となる x の値の差から JND を求められる。

5. おわりに

本研究では、複数のアバター身体を同時に操作する際の身体認知の客観指標として感覚減衰を解析することを提案した。行為主体感や身体所有感の低い条件においては感覚減衰が弱まることが予想され、複数身体操作時の順モデルによる感覚予測の曖昧化が感覚減衰として客観指標で観測できるのではないかと考えられる。

謝辞 本研究は、科研費 23K17460 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Reiji Miura, Shunichi Kasahara, Michiteru Kitazaki, Adrien Verhulst, Masahiko Inami, and Maki Sugimoto. Multisoma: Distributed embodiment with synchronized behavior and perception. *Augmented Humans Conference 2021*, pp. 1–9, 2021.
- [2] Sarah-J Blakemore, Daniel Wolpert, and Chris Frith. Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature neuroscience*, Vol. 1, pp. 635–40, 12 1998.
- [3] Atsushi Sato. Action observation modulates auditory perception of the consequence of others' actions. *Conscious Cognition*, Vol. 17, No. 4, pp. 1219–1227, 5 2008.
- [4] Maike D Hesse, Nobuyuki Nishitani, Gereon R Fink, Veikko Jousmäki, and Riitta Hari. Attenuation of somatosensory responses to self-produced tactile stimulation. *Cerebral Cortex*, Vol. 20, No. 2, pp. 425–432, 2 2010.
- [5] Pedro Cardoso Leite, Pascal Mamassian, Simone Schütz Bosbach, and Florian Waszak. A new look at sensory attenuation. action-effect anticipation affects sensitivity, not response bias. *Psychological Science*, Vol. 21, No. 12, pp. 1740–1745, 12 2010.
- [6] Konstantina Kilteni, Christian Houborg, and H Henrik Ehrsson. Rapid learning and unlearning of predicted sensory delays in self-generated touch. *elife*, Vol. 8, p. e42888, 11 2018.
- [7] Masaaki Fukuoka, Fumihiko Nakamura, Adrien Verhulst, Masahiko Inami, Michiteru Kitazaki, and Maki Sugimoto. Sensory attenuation with a virtual robotic arm controlled using facial movements. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2 2023.
- [8] Maria Pyasik, Irene Ronga, Dalila Burin, Adriana Salatino, Pietro Sarasso, Francesca Garbarini, Raffaella Ricci, and Lorenzo Pia. I 'm a believer: Illusory self-generated touch elicits sensory attenuation and somatosensory evoked potentials similar to the real self-touch,. *NeuroImage*, Vol. 229, p. 117727, 1 2021.
- [9] R Darrell Bock and Lyle V Jones. The measurement and prediction of judgment and choice. 1968.
- [10] Carmen Weiss, Arvid Herwig, and Simone Schütz-Bosbach. The self in action effects: selective attenuation of self-generated sounds. *Cognition*, Vol. 121, No. 2, pp. 207–218, 2011.