

身体的自己を中心とした情動経験の神経メカニズム

Neural mechanisms of emotions experienced in egocentric space centered on the bodily self

所属機関：カロリンスカ研究所 代表研究者氏名：大畑 龍

研究期間：2022年4月1日～2023年3月31日

滞在研究機関： Department of Neuroscience, Karolinska Institutet, 171 77 Stockholm, Sweden

共同研究者等： Prof. H. Henrik Ehrsson

All living organisms exhibit emotional responses according to the distance between one's body and potential threats. Previous fear research has investigated defensive fear elicited by proximal threats, simulating the distance between threats and the body in a task environment. However, the fundamental question of how humans perceive threats in proximity to one's body is not fully understood. Furthermore, the neural mechanisms of how the brain represents threat locations in the egocentric space, reflecting threat proximity in our emotions, remain unclear. This project sought to characterize the functional role of the sense of bodily self in the link between experienced fear and threat proximity. In the first study, I manipulated participants' sense of bodily self by the full-body ownership illusion and investigated the effect of bodily self on fear elicited by proximal threats. The first-study findings suggest two aspects of how the sense of bodily self influences human fear: enhancing sensitivity to margin-of-safety violations and amplifying anxiety in response to threat appearance. The second study investigates egocentric spatial representation by translating the full-body illusion paradigm into neuroimaging. Ultimately, my project aims to elucidate the neural mechanism of how the brain reflects egocentric spatial information in human emotional experiences.

研究目的

人を含む全ての生物は、捕食者などの脅威との距離に応じて柔軟に防御反応を切り替える必要がある[1]。特に身体を取り囲む空間は身体近傍空間と呼ばれ、脅威と直接的な相互作用が必要となる点で、生態学的に重要な意味を持つ[2]。このように、我々は身体を中心とした空間で脅威との位置関係を知覚し、身体との距離に応じた感情を経験する。

人の恐怖経験を調べた先行研究では、2次元画面上のアバターに脅威刺激が迫るような実験系を採用することで、脅威の近接による恐怖反応のメカニズムが調べられてきた[3]。近年では、生態学的妥当性を高めるため、バーチャルリアリティ（VR）の利用に大きな注目が集まっており、2次元の実験系よりも効果的に恐怖反応を引きこせることが分かって

いる[4]。しかし、物理的な身体が実験環境には存在しないにもかかわらず、なぜ人は自分に脅威が迫っていることを感じ、強い恐怖反応を示すのだろうか。

我々は、身体を中心として周囲に広がる世界を認識している。身体が意識的経験の中心であるというこの感覚は、身体的自己と呼ばれる[4]。VRを用いた実験では、被験者はアバターの位置に身体感覚を感じとり、その身体を所有する主体として身体的自己を経験する。この身体を基礎とする自己意識が、自己と脅威との位置関係を強く意識させ、それに応じた感情を喚起するのではないかと考えた。本研究は、心理実験や脳機能イメージング実験を通して、感情経験における身体的自己の機能的役割を明らかにすることを目的としている。

研究経過

助成期間の前半では、感情経験における身体的自己の効果を調べる2つの心理実験を実施した(研究1)。次のステップとして、身体的自己を中心とした空間における物体位置の知覚メカニズムを機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging, fMRI)によって調べる予定であった(研究2)。しかし、倫理審査やトレーニングコースの受講などに想定以上の期間を要したこと、加えて、MRI用のヘッドマウントディスプレイを利用できるシステム構築に多くの時間を費やした。そのため、現時点では研究2は予備実験の段階である。以下では、研究1の内容を中心に得られた成果と今後の展望を報告する。

【研究1】身体錯覚を用いた心理実験

研究1では、身体的自己が感情経験にもたらす効果を2つの心理実験を実施することで探った。滞在先研究機関の共同研究責任者であるHenrik Ehrsson教授は、物理的な身体から抜け出して、あたかも人工的な身体に自己が位置しているように感じられる身体錯覚(フルボディー錯覚)を発見した[5]。ここでは、フルボディー錯覚により身体的自己を実験的に操作し、脅威刺激に対する恐怖の主観評価や生理指標への影響を調べた。

最初の実験では、42名の参加者を募り、フルボディー錯覚を誘導した。参加者はヘッドマウントディスプレイをつけ、ベッドに横になった。ディスプレイには、マネキンがベッドに横になっている第一人称視点の映像が映し出される。実験が始まると、そのマネキンの腹部や左右の太ももを、棒で撫でられる映像を見る。参加者は、その映像と同じ身体部位を、同じタイミングで、実験者に棒で撫でられる。この同期した視触覚刺激を10秒程度繰り返すと、参加者は徐々にマネキンの身体が自分のもののように感じられてくる。重要なこととして、撫でるタイミングをずらす(i.e., 非同期)と、この錯覚は生じず、マネキンの位置に身体的自己を感じることはない。このフルボディー錯覚を誘導した後に、マネキンに対して近い位置(腹部の真上)に、もしくは遠い位置(手を伸ばしても届かない距離)に刺激を呈示した。脅威刺激として蜘蛛の3Dアニメーションを、中立刺激として蝶の3Dアニメーションを用いた。刺激呈示後に、どの程度怖さを感じたかを0(全く怖くない)から5(最上級に怖い)までの6段階で評定してもらった。また、恐怖反応の指標として皮

膚伝導反応を計測した。

同期条件と非同期条件の時に得られた恐怖評定値と皮膚伝導反応を比較することで、身体的自己の恐怖感情への効果を調べた。その結果、マネキンの近くに呈示された脅威刺激に対する評定値は、同期条件の方が非同期条件よりも高いことが分かった。また、刺激位置の効果(近い位置に呈示された脅威刺激への評定値から遠い位置の評定値を引いた差分)も、同期条件の方が非同期条件よりも大きくなった。一方、中立刺激への評定値は、いずれの位置に呈示された場合でも、同期・非同期で違いは見られなかった。皮膚伝導反応に関しては、蜘蛛のアニメーションが必ずしもかなり強い恐怖を与えるものではなかったためか、条件間で有意な差はみられなかった。

実験1では、刺激は近くと遠くの2点にしか呈示されなかった。そのため、マネキンから刺激までの距離に応じて恐怖評定値がどのように変化するか、またその変化に身体的自己の感覚がいかに関わってくるかは明らかではない。そのため、実験2では、5つの異なる位置に脅威刺激を呈示し、41名の参加者から恐怖評定値を得た。その結果、実験1から想定される予想に反し、同期・非同期条件と刺激位置の条件との間で交互作用はみられなかった。実験2では実験1よりも脅威刺激を高頻度で呈示せざるを得なかった。そのため、脅威刺激に馴化してしまい、条件間の違いとして現れるほど強い恐怖を喚起できなかったのではないかと推測している。一方、刺激位置に関係なく全体として同期条件の方が非同期条件より有意に高い評定値となっていた。また、実験1の結果も加え、フルボディー錯覚の強さとその相関関係を調べたところ、錯覚を強く感じている人ほど、同期条件でより高い恐怖評定値を報告したことが明らかとなった。

【研究2】身体的自己を中心とする空間での刺激位置の脳内表象

研究1では、身体的自己と脅威刺激との距離に応じて、主観的恐怖のレベルが敏感に変化することが明らかとなった。では、脳はいかに自己と(脅威も含めた)刺激との空間関係を表現しているのだろうか。自己中心座標系は身体上に原点を置く座標系で、対象となる刺激と身体との空間関係はこの座標系に基づいて知覚される。研究2では、その原点が物理的な身体の上に位置していた自己中心座標系が、身体的自己を経験している位置にマッピングしなおさ

れることで、自己を中心とした空間関係を正確に知覚できると考えた。この仮説を検証するため、フルボディー錯覚のパラダイムをfMRI実験に応用する。研究2は予備実験の段階であるため、その実験内容、解析方法のみを以下に示す。

実験参加者は、MRI用のヘッドマウントディスプレイ (Visual System HD, NordicNeuroLab) を着用し、スキャナ内で研究1と同様のフルボディー錯覚を体験する。その後、マネキンの腹部から様々な距離に3Dキューブを呈示する。研究2でも、身体的自己を実験的に操作するため、視触覚刺激を同期して与える条件と非同期して与える条件の2つの条件を用意する。解析では、脳情報デコーディング[6]を用いて、マネキンと刺激との距離を脳活動パターンから予測するモデルを構築する。マネキンの位置に身体的自己を感じる同期条件でのみ、この距離が予測できる脳領域を同定する。これにより、身体的自己を中心とした空間表象の可能性を検討する。

考察

本研究は、感情経験における身体的自己の機能的役割を明らかにすること、またそれを支える神経メカニズムの解明を目的としていた。研究1では、身体的自己を経験することで、脅威との空間関係に主観的な恐怖が敏感に反応することが明らかとなった。加えて、脅威の位置に関係なく、身体的自己を感じることで主観的な恐怖を高めることも判明した。この結果は、当初想定していた刺激位置特異的な身体的自己の効果だけではなく、刺激位置に関わらず恐怖経験に作用する効果もあることを示唆している。前者は、身体近傍空間への脅威の侵入に対する感度の高まりを、後者は、自分が存在する空間で脅威に遭遇してしまったことによる不安感の高まりを示していると考えられる。

次のステップとして、研究2では、身体的自己を中心とした空間で、刺激の位置情報を保持する脳内表象の同定を目指す。これにより、脅威が自己に迫っているという空間情報が、扁桃体を始めとする恐怖関連領域にいかにか反映されるのか、その詳細な神経メカニズムの解明につながる。VRアバターの近傍に呈示された3D刺激に反応する神経基盤を調べたfMRI研究はあるものの[6]、身体的自己の感覚が喚起される恐怖や神経活動にいかにか作用しているのかはよく分かっていない。身体的自己を実験的に操

作できる身体錯覚を利用し、それをfMRI実験と組み合わせる本研究は、この重要な問いに答えることのできる最適な手法だと考えられる。

コロナ禍を経験し、リモートワークやバーチャル空間でのコミュニケーションが以前よりも一般的になってきた。しかし、我々は自分の身体を通して経験するからこそ得られる感覚や感情があることを本研究は示唆している。身体的自己の機能的役割を理解することは、何が我々を自己たらしめるのかという哲学的な問いに答える重要なアプローチであり、より快適で効率的なコミュニケーション技術の開発につながる研究になると期待している。

参考文献

- [1] Fanselow, M. S., & Lester, L. S. (1988). A functional behavioristic approach to aversively motivated behavior: Predatory imminence as a determinant of the topography of defensive behavior. In *Evolution and learning*. (pp. 185-212). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [2] Graziano, M. S., & Cooke, D. F. (2006). Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia*, 44(13), 2621-2635. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.09.011>
- [3] Mobbs, D., Petrovic, P., Marchant, J. L., Hassabis, D., Weiskopf, N., Seymour, B., et al. (2007). When Fear Is Near: Threat Imminence Elicits Prefrontal-Periaqueductal Gray Shifts in Humans. *Science*, 317(5841), 1079-1083.
- [4] Rosen, J., Kastrati, G., Reppling, A., Bergkvist, K., & Ahs, F. (2019). The effect of immersive virtual reality on proximal and conditioned threat. *Scientific Reports*, 9(1), 17407. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53971-z>
- [5] Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PLoS One*, 3(12), e3832.
- [6] Kamitani, Y., & Tong, F. (2005). Decoding the visual and subjective contents of the human brain. *Nature Neuroscience*, 8(5), 679-685.
- [7] Fourcade, A., Schmidt, T. T., Nierhaus, T., & Blankenburg, F. (2022). Enhanced processing of

aversive stimuli on embodied artificial limbs by the human amygdala. *Scientific Reports*, 12(1), 5778.

the experienced self. The 26th Annual Meeting of The Association for Scientific Study of Consciousness (ASSC 26), New York, USA, 2023.

研究の発表

口頭発表

1. R. Ohata, H. Ehrsson, Bodily illusion enhances subjective fear by margin-of-safety violation around

誌上発表

1. なし