

身体の視覚フィードバックの変調が視触覚処理に与える影響

峯 大典¹
鳴海 拓志

東京大学大学院情報理工学系研究科
東京大学大学院情報理工学系研究科

身体に提示される触覚刺激の処理は、その近辺に提示された視覚刺激や聴覚刺激によって促進されることが知られている。このような身体の周辺に特異的に見られる多感覚処理システムは、身体と外環境のインタラクションを支える基盤的メカニズムの一種であると考えられている。他方、このような処理における身体の情報は統一的な表象を持つわけではなく、各モダリティについて構成された表象を参照しあって構成されると考えられるが、各モダリティにおける身体表象が多感覚処理においてどのような役割を果たしているかは不明である。本研究では、バーチャルリアリティを用いた身体情報や運動情報の視覚フィードバックの操作が視触覚刺激の処理にどのような影響を及ぼすかを調べた。その結果、身体の表象を構成する主要素である視覚表象と自己受容感覚表象のどちらも支配的な役割を果たしておらず、身体周辺での多感覚処理において両者が同程度に機能している可能性が示唆された。

Keywords: crossmodal congruency, body representation, spatial perception, multi-sensory process.

問題・目的

ヒトは外空間からの感覚情報をもとに、自身の理想的な運動を計画し、外界とのインタラクションを行っている。理想的な運動の実現のためには、自身の身体情報と外界の情報に加えて、その両者を結びつけた処理が必要である。本研究ではその一例として、身体の近傍で特異的に見られる視触覚刺激の多感覚的処理プロセスに注目した。

Spence, Pavani, & Driver (2004) は触覚刺激の位置判断課題において、触覚刺激の提示と同時に視覚刺激が整合する位置に提示された場合に、不整合な位置に提示される場合と比べて位置判断が素早くなることを明らかにした。これは感覚間整合性効果 (Crossmodal Congruency Effect) と呼ばれ、さらに感覚間整合性効果は触覚刺激が提示された近辺に視覚刺激が提示された場合に選択的に発生することがわかっている。これは、特定の身体部位 (多くの場合手) を中心とした座標系における視覚情報の処理、およびその視覚刺激と触覚刺激とを、身体表象を介する形で結びつけて処理していることを示唆しており、身体と外空間を結ぶメカニズムの一種であると考えられている。

ただし、身体に関する情報はさまざまなモダリティを介して取得されており、身体表象は決して画一的な表象を持っているわけではない。本研究ではバーチャルリアリティ (VR) を用いて、手の視覚情報を操作することにより、それぞれ視覚と自己受容感覚に基づく手表象を大きく乖離させることにより、視触覚刺激の処理における手の表象が果たす役割を検証した。

方法

実験参加者 実験参加者は44名で、それぞれ実験1に20名 (M = 25.8歳)、実験2に12名 (M = 23.0歳)、実験3に12名 (M = 23.4歳) であった。

刺激・装置 触覚刺激は振動子 (HAPTIC Reactor AFT14、ALPS ALPINE Co., Ltd.) を用いて提示され、それぞれ参加者の右手親指と小指に装着されていた。触覚刺激は、50 msの振動を3回のバースト刺激 (振動の間隔は50 ms) であった。視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ (HMD : HTC VIVE Pro; 両眼解像度2,880 × 1,600、視野角110°) から提示され、VR環境はUnity3Dで作成されていた。実験プログラムはWindows PC (Alienware M15 R4; Intel Core i7-10870H、16 GB RAM、NVIDIA GeForce RTX 3080) を用いて実行された。

手続き VR環境内では、参加者は椅子に座った状態で、机の上に提示される様々な刺激を用いた課題をおこなった。

実験は二つの課題に分かれており、リーチング課題 (順応課題) と、感覚間整合性課題の二つであった。順応課題ではVR環境内で、机上の前方のランダムな位置にターゲットが繰り返し出現し、それらに対して手アバターで触れるという課題であった。実験1の反転条件では、手アバターの見た目や運動は参加者の見た目や運動を正中線を軸に左右反転させたものとなっていた。正転条件では手アバターの見た目や運動は参加者の右手の見た目や運動と一致していた。実験2では見た目のみ反転、実験3では運動のみ反転していた条件でそれぞれ同一の課題をおこなった。順応課題は40分ほどであった。

感覚間整合性課題では、右手の手のひらを下に向け中指が正面を向く形で右手を配置しており、正中線に対して右手親指が左、小指が右側に配置されていた (図1)。各試行のはじめに一度だけリーチング課題をおこない、その後右手を自身の正中線上に配置し、感覚間整合性課題をおこなった。感覚間整合性課題は、右手の親指もしくは小指に振動刺激が提示され、それらの提示位置を左手の人差し指と薬指のキー押しで回

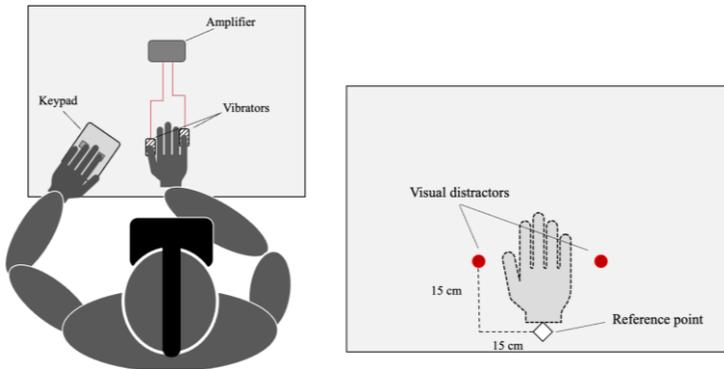


図 1：感覚間整合性課題の概略図

答するというものであった。VR内では、振動刺激と同時に手アバターの左右いずれかに課題非関連の視覚刺激が提示された。外空間座標系で同一方向に提示された刺激ペアを整合 (e.g., 親指への振動刺激と左側の視覚刺激)、反対方向に提示されたペアを不整合とし、整合性による触覚刺激への反応時間の差を検証した。

結果

実験1 実験1の結果を図2に示す。反転の有無と整合性の二要因分散分析を行ったところ、交互作用が有意であった ($F(1, 19) = 10.38, p = .0045$)。下位検定の結果、先行研究と同じく正転条件では整合試行の方が不整合試行と比べて有意に反応時間が短い一方で ($t(19) = 7.08, p < .001$)、反転条件では整合性の効果は見られなかった ($t(19) = 0.21, p = .834$)。すなわち、手の視覚情報が反転して提示されることによって、感覚間整合性効果は確認できなくなった。エラー率においてはいずれも有意差が見られなかった。

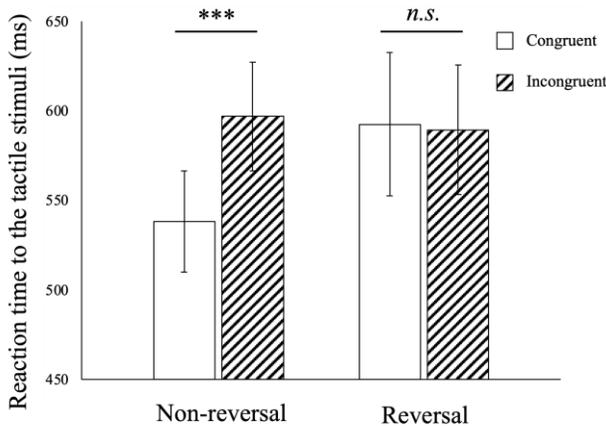


図 2：実験 1 の結果

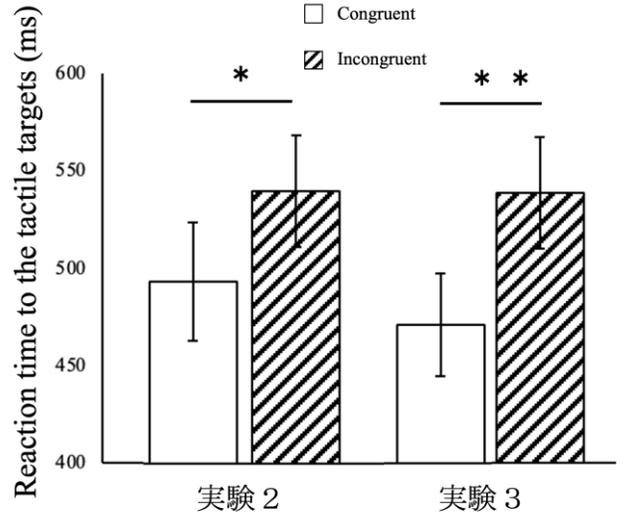


図 3：実験 2・実験 3 の結果

実験2・実験3 実験2および実験3の結果を図3に示す。t検定の結果、実験2、実験3ともに整合試行の方が不整合試行に比べて有意に反応時間が短かった (実験2: $t(11) = 3.05, p = .011$; 実験3: $t(11) = 4.48, p = .0012$)。すなわち、見た目のみ反転、あるいは運動のみ反転させた場合は、感覚間整合性効果は消失しないと言える。エラー率においてはいずれも有意差が見られなかった。

考察

三つの実験の結果、右手の見た目と運動の両方を左右反転させた場合にのみ、感覚間整合性効果は確認されなかった。この結果は、身体表象を介した視覚触覚情報の結びつけにおいて、身体の視覚表象と自己受容感覚表象の両方が影響しており、さらに視覚表象の静的情報である見た目と動的情報である運動情報のいずれも影響していることを示している。さらに見た目と運動の片方のみを反転させた場合は、整合性効果が消失しなかったことから、いずれかの情報が支配的な影響力を持っているわけではないことも示唆される。

本研究の結果から、身体を中心とした感覚入力処理は、複数の表象に基づいた多層的な処理プロセスが存在していることが示唆される。さらに各表象の中で静的な情報と動的な情報がそれぞれ異なる位置判断の手掛かりとして機能しており、多種多様な情報の統合によって感覚間の整合性を判断していると考えられる。

引用文献

- Spence, C., Pavani, F., & Driver, J. (2004). Spatial constraints on visual-tactile cross-modal distractor congruency effects. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience, 4*(2), 148–169. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.2.148>