

## 可動式ミラー錯覚装置を用いた身体移動感覚の変調要因の同定

Indentification of visual factors affecting kinesthetic mirror illusion using movable mirror box

2187002



研究代表者 (助成金受領者)	名古屋市立大学 芸術工学研究科 博士後期課程	石原由貴
共同研究者	名古屋市立大学 芸術工学研究科 准教授	小鷹研理

### [研究の目的]

VR空間内での身体情報の提示は、移動や動作を反映することに留まり、現実と異なる身体イメージ(=心理的に感じている身体の形状・位置・運動)の提示には消極的である。身体についても環境同様、現実と異なる任意の動作・形状へと置き換え可能となれば、物理的制約から解放された全く新しい身体を所有する体験が可能となると考えられる。また、VRをリハビリへと応用する事例も増えているが、麻痺等で身体が動かすことができない場合であっても、任意の移動感覚を得ることが可能となればより効果的なりハビリシステムの開発が期待できる。このようなVR空間を設計するためには、身体イメージの変調を引き起こす認知科学的要因を蓄積することが重要である。本研究ではその足がかりとして、特に応用度が高いと考えられる移動感覚に着目し、その誘起要因・特性について調査を行う。

### [研究手法]

実身体との形態的差異によって引き起こされる錯覚感の低下を防ぐため、CGモデルの提示ではなく、より実身体に形態に近い、鏡像を用いた仮想身体の提示を検討する。そこで認知科学において手の仮想的な移動感覚を作り出

すことで知られる「Mirror Visual Feedback (MVF)」の知見をベースに、移動感覚の変調を誘起するための要因の同定を行った。

MVFでは両腕の間に鏡を立てることで、鏡面裏側に配置した手(以下、「裏側の手」)が本来存在するはずの位置に鏡面の手前側に配置した手(以下、「手前側の手」)の像が提示され鏡像が「裏側の手」そのものであるかのような感覚を得ることができる。この時、「手前側の手」を動かすことによって、実際には動かしていないはずの「裏側の手」に仮想的な移動感覚が誘起される。これは「Kinesthetic Mirror Illusion (KMI)」と呼ばれ、〈視覚〉、〈「裏側の手」の筋運動感覚〉、〈「手前側の手」の筋運動感覚〉の三者間の感覚間統合の結果であることが知られている。つまり、手の移動感覚に影響を与える要因の重み付けについて調査する場合には、両腕の筋固有感覚のカップリング現象(Interlimb Coupling)による「手前側の手」の影響を考慮する必要があるが、観察対象となる腕単一での単純な比較を行うことができない。〈「手前の手」の筋運動感覚〉の影響を取り除くためには「手前の手」を一切動かさずとも、鏡像が動く仕組みが必要であるが、従来の装置では構造上、鏡像の動きのために「手前側の手」の動きが不可欠であった。そこで本研究では、鏡自体を左右に動かすことによって「手前側の手」の運動を必要とせず鏡像の動きを作り出

すことのできる、可動式ミラーボックスを制作し、「手前側の手」を全く動かさない状態下での「鏡面裏側の手」の移動感覚について観察を行った。

### [研究の内容, 成果]

#### ① 鏡像の移動による移動感覚の変調

申請者らは鏡と「裏側の手」が把持する持ち手をそれぞれ独立に機械的に動かすことのできる可動式ミラーボックス装置(図1)を作成した。この装置は鏡を左右に動かすことのできる機構を持つため、「手前側の手」を動かすことなく、鏡像を左右任意の方向へと動かすことが可能である。〈視覚〉が「裏側の手」の移動感覚に与える影響について調査するため、この装置を用いて、鏡と「裏側の手」を様々な速度で同時に動かし、実験参加者に「裏側の手」が左右どちらの方向に動いたか回答してもらう実験を行った。このとき、手の姿勢条件として、左右の手の姿勢が同じ場合(Congruent条件)、異なる場合(Incongruent条件)を作成し、身体の姿勢の一致が移動感覚の誘起においてどの

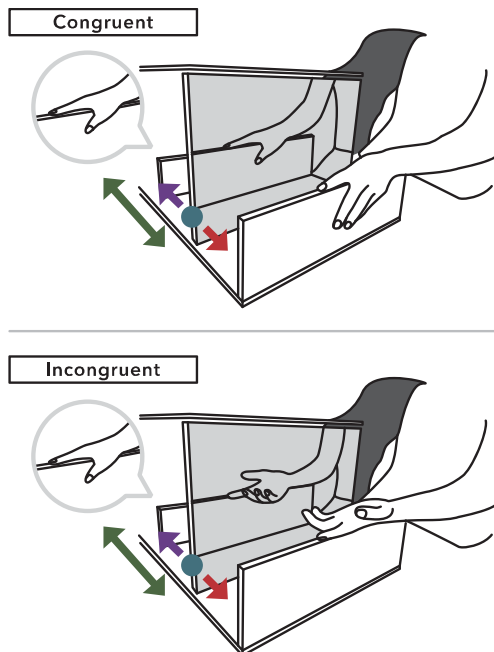


図1 可動式ミラーボックス

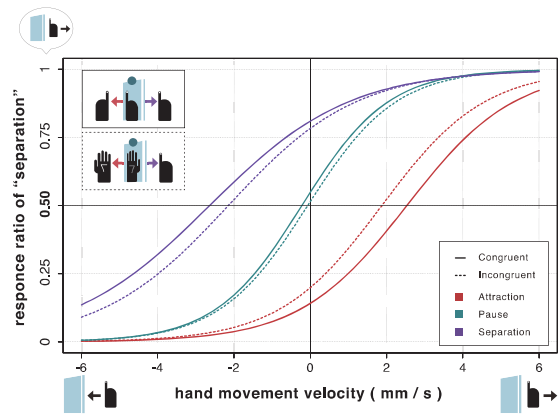


図2 実験結果

程度影響を及ぼすのかについても調査を行った。

その結果をプロットしたものが図2である。これは被験者が「裏側の手が右側(身体から離れる方向)に動いた」と回答した割合を縦軸に、「裏側の手」の持ち手の実際の速度を横軸に取っている。曲線は回答の近似曲線であり、各鏡の移動速度別に示されている。鏡が移動していない場合(緑色)に対し、鏡が近づく動きをする場合(赤色)はS字曲線が右寄りに、鏡が遠く動きをする場合(紫色)は左寄りへと回答の位相がずれていることが全体の概形からも読み取ることができる。これについてより詳しく調査するため、被験者の回答が左右どちらとも取れない回答50%の場合に各曲線が取る値(PSS: Point of Subjective Stationary)を抽出し、対応のある1要因分散分析を行ったところ、各鏡の移動方向に応じたPSSの差異が観察された。これは、「手前側の手」の運動が無くとも、鏡像単独の移動で「裏側の手」の移動感覚の変調が起こったことを示している。また、「裏側の手」の筋運動感覚と〈視覚〉が移動感覚に与える影響のバランスを比較すると、〈視覚〉が与える影響は〈裏側の手〉の筋運動感覚の約0.28倍であることも、PSSの比較から示された(図3上)。つまり、「裏側の手」の移動速度が一定の割合を超えない場合、鏡と逆方向に動く「裏側の手」の動きが鏡像と同じ方向に動いたように錯覚すること、すなわち〈視覚〉が単独でKMIを誘発することができ

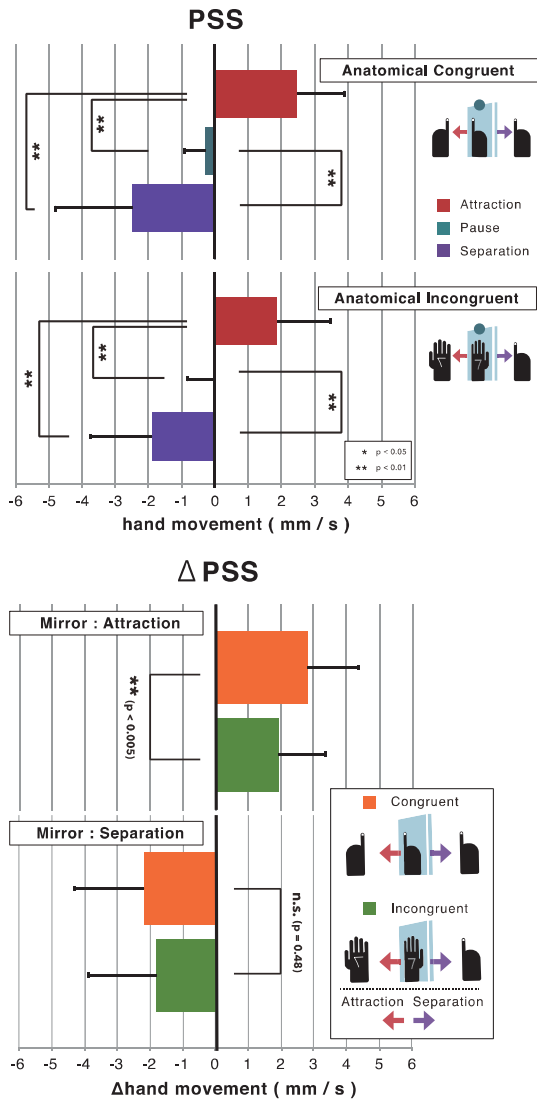


図3 PSS (上), ΔPSS (下) の比較

ることをはじめて示した。

さらに、姿勢の一致がKMIに与える影響について比較するため、鏡が移動する場合 (Attraction, Separation) のPSSと鏡が移動しない場合 (Pause) のPSSの差分を算出し、これらを比較した (図3下)。鏡像が近づいてくるAttraction条件においては、両手の姿勢が一致しているCongruent条件の方が一致していないIncongruent条件よりも有意に大きなKMIの誘起が確認された一方、鏡像が遠くSeparation条件においては有意な差異は見られなかった。(これらの結果はi-Perceptionにて報告されている [1])。

通常、身体性の錯覚では実身体と投射先となる身体の形態的・位置的差異が大きな影響を及ぼすが、この可動式MVF装置を用いて行った今回の実験においては、左右の手の姿勢が異なる場合にも一定のレベルのKMIが誘発される結果が得られた。そのため具体的にどのような視覚情報 (身体, 背景, 持ち手などの特徴的物体) がKMIの誘起に寄与したのかについては詳しくは分からなかった。

## ② 〈手のイメージの想起性〉による影響

先の実験において、姿勢が異なる場合であってもKMIの誘起が確認できた理由として、「手前側の手」と「裏側の手」の持ち手の形状が同じであったために、「裏側の手」の存在を喚起する触覚的な手がかりが鏡面内の持ち手に与えられ、「裏側の手」のイメージを鏡面内に保つことができた可能性がある。その場合、鏡面内に具体的な手のイメージが提示されない場合であったとしても、「裏側の手」のイメージを暗黙的に立ち上げること (=手のイメージの想起) ができるのではないかと考えた。そこで、本稿では左右の持ち手の組み合わせによって作り出す〈手のイメージの想起性〉がKMIに与える影響を調査することを目的として、手や持ち手の提示条件の異なる環境下におけるKMIの強度を調査した。

今回の実験では図4のような5条件からなる環境条件を用意した。これらは鏡の左右に手を配置する条件、「手前側の手」が持ち手を保持せず、鏡面上に手のイメージを提示しない条件、鏡を用いない条件を組み合わせで作成した。鏡面内に手のイメージを提示しない条件においては、鏡面に提示される持ち手と「裏側の手」が保持する持ち手が同じ場合/異なる場合を用意することで、〈手のイメージの想起性〉がKMIに及ぼす影響について比較を行う。

上記の条件を用いて、前回同様、鏡と「裏側の手」の持ち手がそれぞれ独立して同時に動作した場合の実験参加者の「裏側の手」の移動感

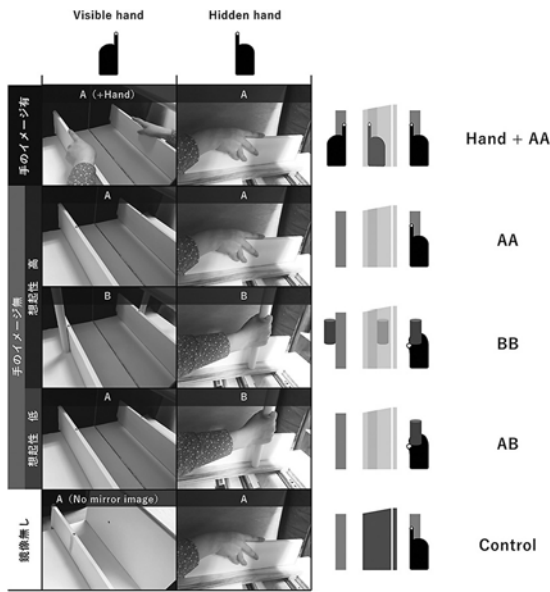


図4 持ち手の条件

覚について計測を行った。この実験では前回の実験では分からなかった実験参加者が実際に感じている移動速度の程度を計測するため、予め基準となる速度を覚えてもらい、それと比較して「裏側の手」がどの程度の速度で移動していたのかについて回答してもらった。

その結果が図5のグラフである。真ん中の「裏側の手」が停止している場合のグラフでは、概形からも鏡の移動方向に応じて移動速度感が誘起されていることが分かる。これを被験者内2要因分散分析で比較すると、左右の持ち手の形状が異なる場合には、有意なKMIの誘起が確認されなかったため、〈手のイメージの想起性〉がKMIの誘起要因の1つであることが示唆された。(これらの結果は認知科学等で報告されている [2][3])

[今後の研究の方向, 課題]

この研究により、身体の直接的な提示が無くとも、身体が提示されている環境を変化させることによって、イメージの投射元である身体の移動感覚を変調させることができることが分かった。今回の実験と類似した状況として、手に握ったコントローラをVR空間内に提示する

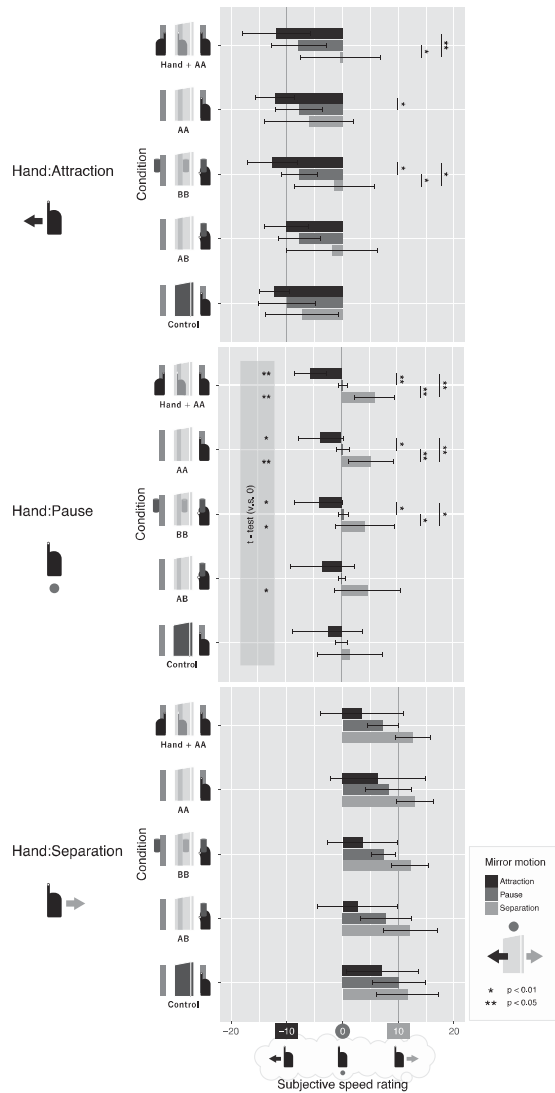


図5 持ち手の条件

ことで身体動作を伝えるVR環境のUIがある。この手法は一般的にユーザの能動的な動きに対し使用されるが、今回の結果からは「手のイメージの想起性」を担保することで、ユーザが意図しない動きに対しても、手の移動感覚を仮想的に引き起こすことができる可能性を示している。今後はユーザの運動意思も含めたKMIの観察を行いたい。

また、左右の持ち手が異なる〈手のイメージの想起性〉が低い状態においても、部分的に鏡の移動要因による有意な効果が見られたことから、KMIの誘発が少なからずあったと考えられる。鏡像に映る空間的な変位がKMIを誘発していた可能性を調査するためには、鏡に特定

の物を写さない，空間の変位のみを提示する条件を作成するなどして，改めて実験を行う必要があると考える。

[成果の発表，論文等]

[1] Yuki Ishihara, Kenri Kodaka: “Vision-Driven

Kinesthetic Illusion in Mirror Visual Feedback.”, *I-Perception*, 9(3), 1-11, 2018

[2] 石原由貴, 小鷹研理: “Kinesthetic mirror illusion における「手のイメージの想起性」の影響”, *認知科学*, 26(1), 72-85, 2019

[3] 石原由貴, 小鷹研理: 「kinesthetic illusion の誘発において鏡面上の手のイメージが単独で果たす役割」, 日本認知科学会第 35 回大会, 2018 年 8 月