

# 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 Moving invisible-hand-image induces kinesthesia on mirror visual feedback.

石原 由貴<sup>†</sup>, 小鷹 研理<sup>†</sup>  
Yuki Ishihara, Kenri Kodaka

<sup>†</sup>名古屋市立大学  
Nagoya City University  
haraishihara@gmail.com

## Abstract

Mirror Visual Feedback において発生する手の位置・筋運動感覚の錯覚は Kinesthetic Mirror Illusion (KMI) と呼ばれている。本研究では鏡面に裏側の手のイメージを暗黙的に立ち上げることのできる状態（手のイメージの想起性）が KMI に与える影響を調査するため、手や持ち手の有無などを組み合わせた条件を用いて、鏡と裏側の手を同時に移動させた際の速度を報告してもらう実験を行なったところ、手のイメージの想起性が高いほど KMI の誘起が起りやすいこと、具体的な手のイメージを使用しなくとも KMI を誘起することは可能であるという結果が得られた。

**Keywords** — Mirror Visual Feedback, Body image, Multisensory integration, Kinesthetic illusion, Body perception

## 1. 背景

Mirror Visual Feedback (MVF) は幻肢痛や知覚運動障害、半側不全麻痺などのリハビリテーションに利用される錯覚である[1]。この錯覚では両腕の間に鏡を立てることにより、鏡面裏側に配置した手 (Invisible hand) 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 (Visible hand) の像 (鏡像) を提示する。その鏡像を観察することによって、被験者はあたかも鏡像が Invisible hand として存在しているかのような感覚が得られる。この時、Visible hand を動かすと、本当は動いていないはずの Invisible hand が、動いているかのように感じることができる。この MVF によって引き起こされる位置・筋運動感覚の錯覚は Kinesthetic Mirror Illusion (KMI) と呼ばれ、健康な被験者に対して行った場合にも起こることが知られている。KMI の錯覚強度には、鏡像に対する身体所有感 (Body Ownership) が大きく関与することが分かっている。例えば Holmes らの研究[2]では、木や姿勢の異なる手を鏡像として用いた MVF を体験した後、指定の位置へと指を動かすリーチングタスクの精度が、実際の手を用いた場合よりも下がることを報告している。また、

Medina らが行った、MVF 下での Invisible hand の位置を報告する課題[3]では、両手の動きが同期する場合、同期しない場合よりも Invisible hand の位置感覚が鏡像の位置に引き寄せられることを報告している。これらは、鏡像に対して身体所有感を誘起する要因である、Invisible hand と鏡像の形態的な類似と姿勢の合致が、KMI の錯覚強度に直結することを示している。では、KMI が<鏡像 (視覚)>と<Invisible hand の筋固有感覚>との二者間の単純な感覚間統合の結果であるかという、そうではない。実際、Guerraz らのグループが行った研究[4]では、MVF 中の Visible hand の筋固有感覚を振動によってマスクした際、マスクしない場合と比べ、Invisible hand の移動感覚が抑えられることを報告した。また同グループが行なった、MVF を行っている途中で視覚を遮る実験[5]においては、動いていないはずの Invisible hand が見えないはずの Visible hand の動きにつられ、KMI が持続したことも報告している。これらの研究は、KMI には両肢の筋固有感覚のカップリング現象 (Interlimb Coupling) が重要な役割を果たすことを示している。よって、KMI の要因について考える上では、<鏡像 (視覚)>、<Invisible hand の筋固有感覚>、<Visible hand の筋固有感覚>の3者間の感覚間統合を考える必要がある。それでは、KMI において<視覚 (鏡像)>は具体的に、どのような影響を有するのだろうか。実は、これまでの MVF の装置は、鏡像の動きを作り出すために Visible hand を動かさねばならないという重要な制約が存在していたため、<Visible hand の筋固有感覚>の影響を完全に取り去った状態で KMI を観察することができなかった。

そこで我々は、鏡と Invisible hand を置く台をそれぞれ独立に機械的に動かすことのできる Movable Ramachandran's Mirror Box (MRMB) 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、Visible hand を動かさずとも鏡像を左右任意の方向

へと動かすことができる。〈視覚（鏡像）〉が KMI に単独で与える影響について調査するため、MRMB を用いて、鏡と Invisible hand を様々な速度で同時に動かした際に、Invisible hand がどちらの方向に動いたのかについて被験者に回答してもらう実験を行ったところ、鏡と逆方向に動く Invisible hand の移動速度が一定の割合を超えない場合、Invisible hand 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（鏡像）〉が単独で KMI を誘発することができることをはじめて示した[6]。一方で、この実験では左右の手の姿勢が異なる場合にも十分なレベルの KMI が誘発されるという結果も得られており、どのような視覚情報（身体、背景、持ち手などの特徴的物体）が具体的に KMI に寄与したかについては、十分に明らかとされなかった。この理由として、Visible hand と Invisible hand の持ち手の形状が同じであったために、Invisible hand の存在を喚起する触覚的な手がかりが視覚的に与えられ、手の鏡像が一致しない場合でも、鏡面の中に、Invisible hand のイメージを暗黙的に立ち上げることのできる状態、すなわち、「手のイメージの想起性」が高い状態が作り出されていたことが挙げられる。

そこで、本稿ではこの「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いて、鏡と Invisible hand を同時に様々な速度で移動させた際に感じた速度を報告してもらう実験を行なった。

## 2. 装置

使用した MRMB (図 1) には左右に動くことのできる 30×45 cm の鏡と、2つの持ち手（厚み 1.2cm）が取り付けられている。これらの持ち手は鏡から左右 15cm ずつ離れた位置を基準に配置され、注視点として手前から 30cm の位置に赤いシリコンの突起を取り付けられている。また、Invisible hand の持ち手の外側には、円柱（直径 2.4cm）が取り付けられ、持ち手の移動とともに移動するようになっている。鏡とその裏側にある Invisible hand の持ち手は可動式で、それぞれが独立して左右に動かすことができる。鏡は装置の構造上、床面と一緒に動くようになっているが、床面及び持ち手の表面を白い紙で覆うことにより、鏡のみが動いているように見せている。さらに、鏡への映り込みの影響を抑えるため、実験は鏡面側に白い壁面が映るようにして行われた。また、Invisible hand の持ち手は固定され、動

かない構造となっている。

鏡と Invisible hand の台は、リニアアクチュエータ (Firgelli : L16-P Miniature Linear Actuator 140mm 150:1) を Arduino と Processing で制御することによって動作する。この時に起こるモーター音の影響を抑えるため、実験内の試行では、被験者はヘッドホンを装着し、ホワイトノイズを聞かされた。

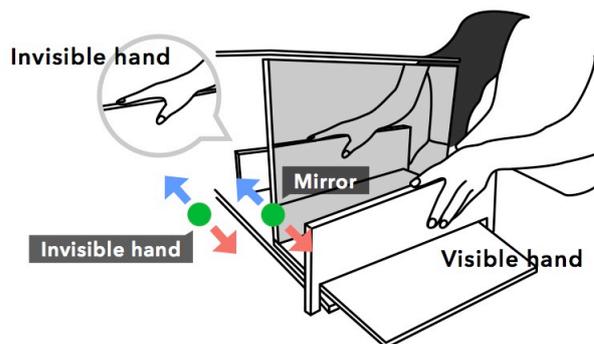


図 1 使用した Movable Ramachandran's Mirror Box

## 3. 実験

### 3.1. 被験者

本実験では計 12 名（男性 6 名、女性 6 名）の大学生の被験者に協力してもらった。その内、左利きが 3 名（内 2 名が女性）であり、他は全員右利きであった。ただし、左利きの女性 1 名のデータは結果にて述べる理由により、今回の結果には反映しなかった。

### 3.2. 移動刺激

実験中提示する刺激として、“鏡の移動条件”と“手の移動条件”の組み合わせ 9 種を用意した。1 試行の提示時間は 3s であるが、実際に移動する時間はノイズ音が鳴らしてから 0.5s 後の 2.5s 間である。右の動きを正の動きとすると、鏡は 4 (Attraction), 0 (Pause), -4 (Separation) mm/s の 3 種いずれかの速度で移動する。Invisible hand の持ち手については 3 (Attraction), 0 (Pause), -3 (Separation) mm/s の 3 種の内、いずれかの速度で移動を行う。鏡と Invisible hand の持ち手の移動は同時に提示され、移動時間が終わると流れていたノイズ音と共に停止した。その後、被験者は刺激提示中の Invisible hand の速度感覚について、口頭で回答を行なった。

### 3.3. 環境条件

今回の実験では手の像の提示の他、鏡像として提示

される持ち手と Invisible hand が接する持ち手と同じ場合／異なる場合を比較することで、KMI の誘起にどのような要因が重要となるのかについて詳細に検討する。用いた2種類の持ち手 AB は全くタイプの異なる持ち手である。持ち手 A は板状をしており、被験者は赤いシリコンの突起に人差し指の先を合わせ、他の指で板を握り込んで使用する。持ち手 B は赤い突起の横に配置された丸棒を握りこんで使用する。本実験ではこの持ち手を使用した5種の“環境条件”を作成し、KMI に対する「手のイメージの想起性」の影響を調査する (図2) :

1. 手を鏡像に写した上で、鏡に Invisible hand の持ち手 A と同じ持ち手 A を提示する場合 (OCA)
2. 手の鏡像は写さず、鏡に Invisible hand の持ち手 A と同じ持ち手 A を提示する場合 (TCA)
3. 手の鏡像は写さず、鏡に Invisible hand の持ち手 B と異なる持ち手 A を提示する場合 (TI)
4. 3 の状況に Invisible hand の持ち手 B と同じ形状の物体を提示する場合 (TCB)
5. 鏡を不透明な白い紙で覆い、Invisible hand が持ち手 A を使用した場合 (NA).

1-4 の条件では鏡面に映る持ち手 A の赤い突起もしくは人差し指の先端を注視点としたが、5.NA に関しては白い紙に、持ち手 A の赤い突起と同じ高さ・奥行き

座標に赤い突起を取り付け、注視点とした。また、この 5.NA 条件は Visible hand の動きが如実に分かる条件であることが予想されたため、他の条件への影響を抑えるため、1-4 の条件を終えた後、使用した。

### 3.4. アンケート

本実験では“環境条件”によって生じた身体所有感に対する影響についても合わせて観察するため、下記のアンケート2項目を作成した:

- A) 手を鏡像鏡の中の赤い点に右手の指が乗っている様子をイメージすることができた。
  - B) 透明な右手を持っているように感じた。
- これらについて -3 (全くそう思わない) から 3 (とてもそう思う) までの7段階評価を、各環境条件に対して回答してもらった。

### 3.5. 基準の速度

回答する速度の基準となる Invisible hand の動きを被験者に覚えてもらうため、被験者は実験を受ける前に、目を閉じ、Invisible hand の持ち手を握った状態で、右、左の順にそれぞれ 3s 間移動する感覚を、連続して体験する。この時提示された速度は、移動刺激と同様、3mm/s である。被験者にはこの時の右の動き (Separation) を 10、左の動き (Attraction) を -10 として、刺激提示時に感じた Invisible hand の速度についてレーティングするように指示した。この際、回答の例示として、基準よりも半分の速度に感じた場合には 5、倍の速度に感じた場合には 20、全く動いていないと感じた場合には 0 と述べることを、左の動きにはマイナスを付けることを伝えた。

### 3.6. 手続き

被験者は装置に対して鏡面が左側となるように座り、Invisible hand の様子が見えないように、鏡から右肩にかけて黒の布で覆われた。実験者は被験者が鏡の裏側を見る事が無いよう、人差し指の先が持ち手 A の赤い突起の位置にくるように被験者の両手を誘導した (1.OCA の状態)。そして被験者は左側から鏡をしっかりと覗き込み、実験中は鏡面内の Visible hand の人差し指先端もしくは赤い突起を見つめるよう、実験者から指示を受けた。その後、被験者には目を閉じて基準の速度を体感してもらい、回答の方法について実験者から教わった上で、実際の試行を数度体験した。

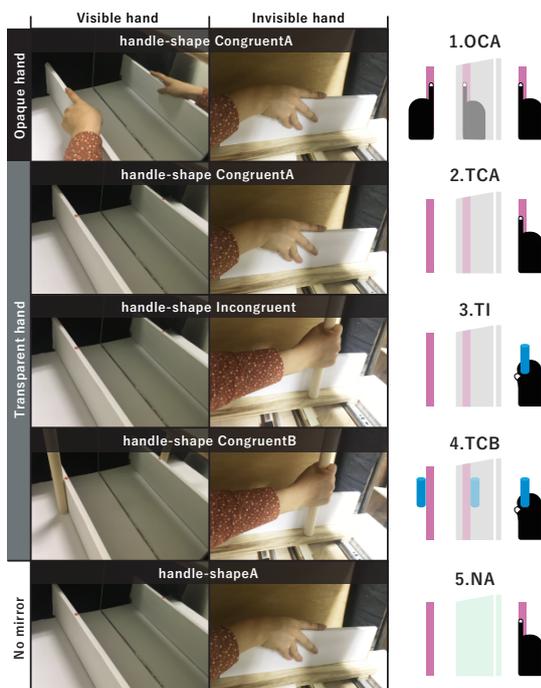


図2 環境条件

実験では基準の速度を提示した後、鏡の移動刺激 3 種×手の移動刺激 3 種を組み合わせた 9 試行をランダムに提示する。その後、機材のノイズによる持ち手と鏡の位置の基準の位置のズレを修正するため、持ち手と鏡を基準の位置に戻した上で、基準の速度の提示を再度行ない、再び移動刺激 9 種をランダムに提示する試行を行った（ここまでの計 18 試行を 1 セットとする）。被験者は 1 セットを終える毎にアンケート 2 項目を回答し、“環境条件”を 1 セット毎に変えて計 4 セットを行う操作を、2 周行う。“環境条件”の提示順は被験者毎にランダムであったが、4 セットの提示順は 5 セット目以降と同様であった。これら計 8 セットを終えた後、鏡を白い紙で覆い、Visible hand を置かない 5.NA 条件を 1 セット行った。

#### 4. 結果

被験者毎のデータを確認したところ、Invisible hand が移動する場合に、鏡の移動方向が同じ方向に動いたとしても、半数以上の“環境条件”内において、強く逆向きの方向に速度感覚の回答 (Subjective rating) をした被験者が 1 名存在していた (Hand:Attraction × Mirror:Attraction で 10 以上, Hand:Separation × Mirror:Separation で -10 以下を回答)。今回の報告ではこの被験者 1 名を除いた 11 名から得られた結果について報告する。

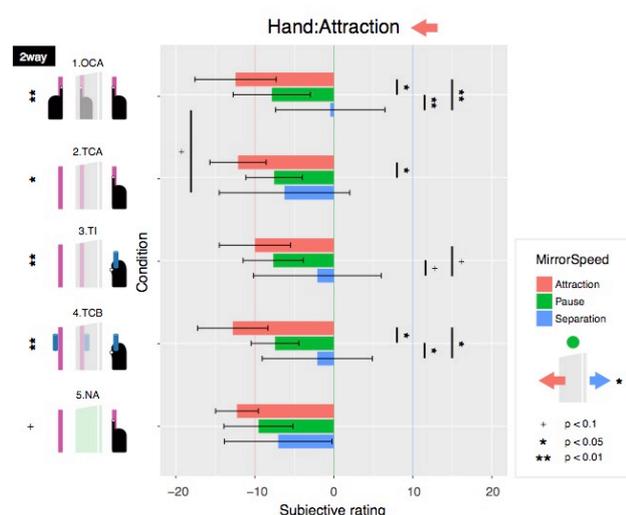


図 3 手が近づく場合

図 3 は Invisible hand が左側に近づく場合 (Hand:Attraction) の Subjective rating の被験者平均について、“環境条件”、“鏡の移動条件”別に掲載したグラフである。Hand:Attraction 時には手は -10 (負の基準の速

度) で動くため、全体的なグラフの概形も負の方向に寄っていることが分かる。“鏡の移動条件”と“環境条件”が KMI に与える影響を比較するため、2 要因被験者内分散分析を行なったところ、“鏡の移動条件”×“環境条件”の有意な交互作用が見られた ( $F(8, 80) = 2.37, p < .05, \eta^2 = 0.034$ )。さらに、“環境条件”における“鏡の移動条件”の単純主効果検定の結果、5.NA を除く全ての“環境条件”内において“鏡の移動条件”による効果が有意であることが示された (Mirror Speed×1.OCA:  $F(2, 20) = 16.66, p < .01, \eta^2 = 0.427$ ; Mirror Speed×2.TCA:  $F(2, 20) = 3.70, p < .05, \eta^2 = 0.169$ ; Mirror Speed×3.TI:  $F(2, 20) = 6.21, p < .01, \eta^2 = 0.247$ ; Mirror Speed×4.TCB:  $F(2, 20) = 10.39, p < .01, \eta^2 = 0.424$ )。また、5.NA については  $p < .1$  の有意傾向がみられた (Mirror Speed×5.NA:  $F(2, 20) = 3.41, p = .05, \eta^2 = 0.158$ )。また、“鏡の移動条件”における“環境条件”の単純主効果検定の結果、Mirror:Separation 条件においては“環境条件”による効果が有意であった ( $F(4, 40) = 3.50, p < .05, \eta^2 = 0.107$ )。この他の条件に関しては、有意な主効果は見られなかった (Condition × Mirror:Attraction:  $F(4, 40) = 1.81, p = 0.15, \eta^2 = 0.054$ ; Condition × Mirror:Pause:  $F(4, 40) = 0.840, p = .51, \eta^2 = 0.036$ )。主効果が見られたものについて、より具体的に調査するため、Holm 法による多重比較を行なったところ、1.OCA, 4.TCB 条件においては全ての“鏡の移動条件”間において有意な差を観察することができた (1.OCA:Mirror:Attraction - Mirror:Separation, 1.OCA:Mirror:Separation - Mirror:Pause において  $p < .01$ ; 他は  $p < .05$ )。また、2.TCA 条件においては Mirror:Attraction 条件よりも Mirror:Pause 条件の方が  $p < .05$  で有意に大きかった。また、3.TI 条件においては Mirror:Separation と他の鏡の移動条件間で有意傾向が見られた (双方  $p = .07$ )。これらは Invisible hand が実際には Attraction 方向に動いているにも関わらず、速度感覚が鏡の移動応じて変調を引き起こしていること、つまり KMI が起こっていることを示唆している。また、Mirror:Separation における“環境条件”の多重比較では、1.OCA よりも 2.TCA の方が低い Subjective rating をとる有意傾向が見られた ( $p = .08$ )。

次に、Invisible hand が停止している場合 (Hand:Pause) の Subjective rating の被験者平均を図 4 に示す。Hand:Pause の状態では実際の Invisible hand は動いていないため、Subjective rating も 0 に近い回答のものが多くことがグラフの概形から分かる。これについても 2 要因被験者内分散分析を行なったところ、“鏡の移動条

件” × “環境条件” の交互作用が有意であった ( $F(8, 80)=2.15, p<.05, \eta^2 = 0.034$ ). さらに, “環境条件”における“鏡の移動条件”の単純主効果検定の結果, 1-4の鏡を用いた“環境条件”において, “鏡の移動条件”による効果が有意であることが示された (Mirror Speed × 1.OCA :  $F(2, 20) = 36.54, p<.01, \eta^2 = 0.753$ ; Mirror Speed × 2.TCA :  $F(2, 20) = 13.38, p<.01, \eta^2 = 0.550$ ; Mirror Speed × 3.TI :  $F(2, 20) = 4.68, p<.05, \eta^2 = 0.304$ ; Mirror Speed × 4.TCB :  $F(2, 20) = 6.69, p<.01, \eta^2 = 0.388$ ). また, Mirror:Separation においては“環境条件”に対する有意傾向が見られた ( $F(4, 40)=2.56, p=.05, \eta^2=0.081$ ). この他の条件においては有意な主効果は見られなかった (Mirror Speed × 5.NA :  $F(2, 20) = 1.46, p = .26, \eta^2 = 0.100$ ; Condition × Mirror:Attraction :  $F(4, 40) = 1.21, p = .32, \eta^2 = 0.042$ ; Condition × Mirror:Pause :  $F(4, 40) = 0.46, p<.76, \eta^2 = 0.020$ ). 主効果が見られたものについて Holm 法による多重比較を行なったところ, 1.OCA, 2.TCA 条件において全ての“鏡の移動条件”間で鏡の移動方向に応じた有意な差を観察することができた (2.TCA:Mirror:Attraction - Mirror:Pause のみ  $p<.05$ , 他は  $p<.01$ ). また, 4.TCB 条件においては全ての鏡の移動条件間で有意傾向が見られた (全て  $p=.06$ ). さらに Mirror:Separation においても多重比較を行なったが, いずれの条件間にも有意な差はなかった. さらに, 鏡単独で KMI が誘起されたかどうかについて調査するため, 全く動いていないと感じた状況 (回答が全て 0 であった場合) と, 鏡のみが動いている条件において得られた Subjective rating で, 対応のない t 検定を用いて比較した. すると, 5.NA を除く全ての“環境条件”において,

Mirror:Separation で KMI の誘起が有意であった (1.OCA:  $t(10)= 5.21, p<.01, d_D = 1.57$ ; 2.TCA:  $t(10)= 4.29, p<.01, d_D = 1.29$ ; 3.TI:  $t(10)= 2.48, p<.05, d_D = 0.749$ ; 4.TCB:  $t(10)= 2.52, p<.05, d_D = 0.758$ ; 5.NA:  $t(10)= -1.24, p = .24, d_D = 0.37$ ). また, Mirror:Attraction においては 3.TI, 5.NA を除いた条件で有意であった (1.OCA:  $t(10)= -6.14, p<.01, d_D = 1.851$ ; 2.TCA:  $t(10)= -2.812, p<.05, d_D = 0.848$ ; 4.TCB:  $t(10)= -2.55, p<.05, d_D = 0.769$ ). これらの他は有意な KMI の誘起は確認できなかった (Mirror:Attraction × 3.TI :  $t(10)= -1.68, p = .12, d_D = 0.505$ ; Mirror:Attraction × 5.NA :  $t(10)= -1.24, p = .24, d_D = 0.374$ ; Mirror:Separation × 5.NA :  $t(10)= 0.85, p = .42, d_D = 0.255$ ).

また, 図 4 は Invisible hand が右側に近づく場合 (Hand:Separation) の Subjective rating の被験者平均である. Hand:Separation 時には手は 10 (正の基準の速度) で動くため, 全体的なグラフの概形も正の方向に寄っていることが分かる. Hand:Separation においても 2 要因参加者内分散分析を行なったが, “鏡の移動条件” × “環境条件” の交互作用は有意ではなかった ( $F(8, 80)= 1.56, p=.15, \eta^2=0.017$ ). そこで, 各“環境条件”内の“鏡の移動条件”について 1 要因被験者内分散分析を行なったところ, 5.NA を除いた鏡を用いた全ての“環境条件”が有意であった (1.OCA :  $F(2, 20) = 10.74, p<.01, \eta^2=0.348$ ; 2.TCA :  $F(2, 20) = 4.84, p<.05, \eta^2 = 0.192$ ; 3.TI :  $F(2, 20) = 7.28, p<.01, \eta^2=0.316$ ; 4.TCB :  $F(2, 20) = 11.231, p<.01, \eta^2 = 0.403$ ; 5.NA :  $F(2, 20) = 2.484, p = .11, \eta^2 = 0.102$ ). そこで 5.NA 以外の条件に対し, Holm 法による多重比較を行なったところ, Mirror:Separation と他の鏡の移動条件との間に, 鏡の移動方向に応じた Subjective rating の有意な差が見られた

( 1.OCA: Mirror:Pause, 4.TCB: Mirror:Pause, 4.TCB: Mirror:Attraction で  $p<.01$ , 1.OCA: Mirror:Attraction, 2.TCA: Mirror:Pause, 3.TI: Mirror:Attraction で  $p<.05$  ). また, Mirror:Pause に対し, 有意傾向のある鏡の移動条件も見られた ( 1.OCA: Mirror:Attraction, 3.TI: Mirror:Separation, 4.TCB: Mirror:Attraction に対し,  $p<.1$  ). さらに, “環境条件”間の KMI の強度について調査するため, “鏡の移動条件”毎に 1 要因被験者内分散分析を行なったところ, 鏡が Attraction 方向に動く場合のみ“環境条件”の有意な効果が見られた ( $F(4, 40) = 2.86, p<.05, \eta^2 = 0.054$ ; ). これについて Holm 法による多重比較を行なったところ, 4TCB と 5.NA 間で有意傾向が見られた ( $p=.05$  ).

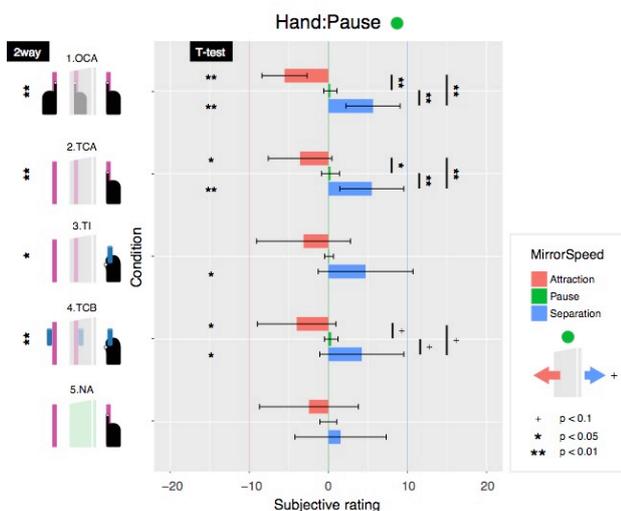


図 4 手が停止している場合

また、鏡が動かない条件においての分散分析の結果は有意傾向であった ( $F(4, 40) = 2.20, p = .09, \eta^2 = 0.070$ ). 鏡が Separation 方向に動く場合には有意な効果は見られなかった ( $F(4, 40) = 0.46, p = .77, \eta^2 = 0.012$ ).

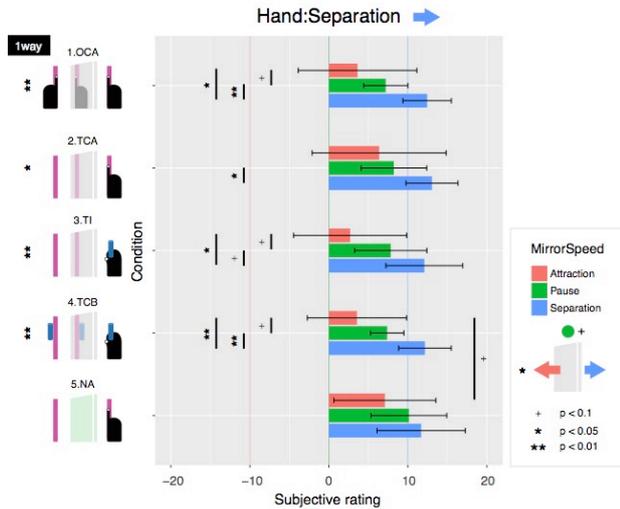


図5 手が離れていく場合

これら Subjective rating の他、各“環境条件”間における身体所有感の影響を調査するためアンケート A, B において 1 要因被験者内分散分析を行なったが、A に有意傾向が見られたものの、共に有意な効果は見られなかった (A:  $F(4, 40) = 2.39, p = .07, \eta^2 = 0.109$ ; B:  $F(4, 40) = 1.44, p = .24, \eta^2 = 0.020$ ).

## 5. 考察

いずれの手の動き条件においても、鏡を用いていない 5.NA 条件においては、鏡の移動に応じた Invisible hand の移動感覚の変調が確認できなかった。これは MRMB によって誘起される移動感覚の変調が、単なる目の前の物体の移動によるものではなく、鏡による擬似的な空間情報の提示によって引き起こされるものであることを示している。対照的に、手のイメージが具体的に提示されていた 1.OCA においては、ほぼ全ての移動条件の組み合わせで KMI の誘発が観察された。1.OCA は鏡像に手のイメージそのものを提示するため、今回用意した“環境条件”の中で「手のイメージの想起性」が最も高いと思われる条件である。また、手のイメージを提示しなかった 3 つの条件においても、部分的な KMI の誘起を確認できた。身体の具体的なイメージを提示しない場合であったとしても、その空間に身体所有感を抱くことができることは Rubber hand illusion

や Full body illusion などの心理実験において報告されている[7,8]. 2-4 の条件において KMI を誘起できたのも、これらの報告同様、被験者が鏡の中に「透明な手のイメージ」を持つことができたためと考えられる。

今回、鏡像を使用しつつも実際の手のイメージを使用しない 2-4 の条件では、Invisible hand の持ち手と鏡面に提示する持ち手の組み合わせによって「手のイメージの想起性」に変化をつけていた。中でも 3.TI だけが Invisible hand が握っている持ち手と、視覚的に提示されている持ち手が異なり、Invisible hand が受ける触覚的な手がかりが視覚情報として提示されない、「手のイメージの想起性」の低い条件であった。各“移動条件”別に“環境条件”を直接比較した結果では、“環境条件”毎の錯覚強度の差は部分的にしか見られなかったものの、Hand:Attraction 時の 3.TI 条件において鏡の移動による効果が有意傾向にとどまっていたこと、Hand:Pause 時における、全く手が動いていない感覚との比較において 3.TI と 5.NA のみが Hand:Attraction 時に移動感覚の誘起が確認できなかったことから、3.TI 条件は Hand:Attraction 時において KMI の誘起が困難であったことが推測される。3.TI は何もない空間をゴムの手の代わりに使用した Invisible hand illusion の研究においても、透明な手が遠くにある場合などの実際の身体に対して不調和な条件、つまり「手のイメージの想起性」が低い条件においては錯覚強度が下がることを報告していた[7]。この報告と 3.TI の KMI の誘起が他の条件に比べ低下することは共通性がある。さらに、以前我々が報告した実験においては、鏡が近づいてくる条件においてのみ、左右の手の姿勢が異なる場合の Invisible hand の移動感覚の変調強度が、姿勢が一致する場合よりも下がるという結果が得られている[6]。鏡が近づく Mirror:Attraction において、左右の持ち手が異なる 3.TI における KMI の誘起が難しかったことは、興味深い結果である。視触覚を用いた身体性の錯覚は、擬似的な身体が身体近傍空間 (peripersonal space) から離れるにつれて錯覚強度が下がるとされている [9]。今回の結果はこれに反するもののように思われるが、光点検出課題の研究によれば、人は身体近傍空間内の物体に対して過敏になることが示されている[10]。今回の結果は身体近傍空間内に鏡像が近づくことで、身体性を強めるのではなく、擬似的な身体 (鏡像) と実際の身体との差異が大きく強調されてしまい、錯覚を引き起こしづらかったのではないかと推測する。また、Hand:Separation 条件において交互作用が見られなかったことも、身体近

傍空間による影響であると考えられる。手が身体から離れる方向に向かうことで、手に対する注意が小さくなり、各々の「環境条件」間の差がより曖昧になった可能性がある。

また、今回の結果では被験者毎の回答の分散が大きく、同じ移動条件内において環境条件の効果を比較しても、ごく部分的にしか出てこなかった。これは被験者毎の回答のばらつきが大きかったことに起因する。また、結果にて述べた通り、Invisible hand と鏡の双方と逆の動きを回答した被験者も見られたことから、この鏡による空間の変化の受け取り方は個人間の差が大きかったことが考えられる。

今回の結果からは KMI の誘起には「手のイメージの想起性」が関わることが分かった。ただし、手のイメージが明確に提示されている場合以外にも、手のイメージを想起しやすい場合であれば KMI の誘起が可能であることが確かめられた。さらに、3.TI のように手のイメージが想起しづらいと考えられる条件においても部分的な KMI が確認されたことは、鏡による空間的な歪み自体が移動感覚を誘起している可能性がある。今後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、この部分を明らかにしていきたい。こうした身体を明示しない場合においても実際と異なる移動錯覚を作り出すことのできる要因を特定することは、VR などの疑似空間内においても実在感を持って操作や運動を行うことのできるコンテンツを作成する上で重要になってくると考えられる。

## 参考文献

- [1] Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., & Cobb, S. (1995) "Touching the phantom limb." *Nature*, 377(6549), 489–490.
- [2] Holmes, N. P., Snijders, H. J., & Spence, C. (2006) "Reaching with alien limbs: visual exposure to prosthetic hands in a mirror biases proprioception without accompanying illusions of ownership." *Perception & Psychophysics*, 68(4), 685–701.
- [3] Medina, J., Khurana, P., & Branch Coslett, H. (2015) "The influence of embodiment on multisensory integration using the mirror box illusion." *Consciousness and Cognition*, 37, 71–82.
- [4] Chancel, M., Brun, C., Kavounoudias, A., & Guerraz, M. (2016). "The kinaesthetic mirror illusion: How much does the mirror matter?" *Experimental Brain Research*, 234(6), 1459–1468.
- [5] Chancel, M., Kavounoudias, A., & Guerraz, M. (2017) "What's left of the mirror illusion when the mirror can no longer be seen?" *Bilateral integration of proprioceptive afferents!* *Neuroscience*, 362, 118–126.
- [6] Ishihara, Y., & Kodaka, K. (2018) "Vision-Driven Kinesthetic Illusion in Mirror Visual Feedback." *I-Perception*, 9(3), 204166951878299.
- [7] Guterstam, A., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2013) "The Invisible Hand Illusion: Multisensory Integration Leads to the Embodiment of a Discrete Volume of Empty Space." *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(7), 1078–1099.
- [8] Guterstam, A., Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2015) "Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses." *Scientific Reports*, 5(1), 9831.
- [9] Lloyd, D. M. (2007) "Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand." *Brain and Cognition*, 64(1), 104–109.
- [10] Reed, C. L., Grubb, J. D., & Steele, C. (2006) "Hands up: Attentional prioritization of space near the hand." *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(1) 166–177.