

手の左右判断課題における男女差の検討¹

下木戸 隆司*・赤池 美里**・阿部 将大**・西依 朱莉**・林 華佳**・吉村 菜月**

(2021年10月20日 受理)

Gender Differences in a Hand Laterality Task.

SHIMOKIDO Takashi, AKAIKE Misato, ABE Masahiro, NISHIYORI Akari, HAYASHI Haruka,
YOSHIMURA Natsuki

要 約

手の左右判断課題では、身体の外側方向に回転した刺激の方が、内側方向に回転した刺激よりも反応が遅くなることが知られている。これは手の左右判断を行う際に、心のなかで自分の手を回転させているため、生体力学的に無理な姿勢となる場合に運動イメージの操作が困難になるためと考えられている。また自分の手を刺激として用いた場合、他者の手を刺激としたときより、反応がはやくなることが報じられている（自己優越効果）。

このような効果には、男女差が見られるのだろうか。この疑問を検討するため、本研究では実験を行った。57名の右利きの参加者（女性31名）が実験に参加した。その結果は以下のとおりである。(1)男性の方が女性よりも反応がはやかった。(2)内側方向に回転された刺激よりも、外側方向に回転された刺激の方が反応が遅くなり、とくに手掌側の刺激で顕著であった。(3)この傾向は男性よりも、女性の方が強かった。(3)自己優越効果は認められなかった。以上の結果から、女性は、男性と比べると、運動イメージを用いる課題解決を行いやすいという可能性が推察された。

キーワード : mental rotation, hand laterality task, gender difference, self-advantage effect

¹ 本研究は、令和2年度鹿児島大学教育学部の授業として行われた実験研究を再分析し、再構成したものである。実験に快くご協力いただいた皆様に感謝いたします。

* 鹿児島大学 法文教育学域 教育学系 准教授

** 鹿児島大学 教育学部

平面に描かれた図形や三次元の物体などの対象物を、頭のなかで自在に回転させることを心的回転 (mental rotation) という。Shepard & Metzler (1971) は、2枚の立体図形の一方を様々な角度に回転させて呈示し、両者が同一図形かどうかの判断を実験参加者に求めた。その結果、0°、すなわち図形が正立しているときの反応時間が最も短く、そこから180°まで回転角度が増すのに比例して反応時間が長くなった。その後の研究では、180°のとき最も反応時間が長く、回転角度が180°を超えると反応時間が減少に転じることが見いだされている (Cooper & Shepard, 1973)。つまり刺激の回転角度を横軸にとり、反応時間を縦軸にとったグラフを描くと、180°のときを頂点とした左右対称の形状となっていたのである。これは回転角度が0°から180°までのときは反時計回りに、180°から360°までのときは時計回りに頭のなかで刺激を回転させ、正立した状態に戻すことで正否の判断をしていたためと解釈された。いわば心的回転は、対象を知覚しているものとは異なる角度で見たらどうなるかを考えるために、参加者が行っていたものといえよう。以来、心的回転とは、視たものを回転させたらどうなるかをイメージする、空間情報処理能力を構成する一要素として理解され、数多くの研究で利用されている。

一方、抽象的な図形や物体のかわりに、人体の画像を刺激とした心的回転についても研究が行われてきた。なかでも手の画像や線画を様々な角度に回転させた刺激を用いて、それが左手か右手かの判断を求める、いわゆる手の左右判断課題 (hand laterality task) が実施されることも多い。手を刺激とするときには、中指が真上を向く角度を0°とし、そこから時計回りに回転させたものを用いるのが一般的である。このような実験の結果、刺激を身体を中心よりに、内側方向 (medial) に回転させた場合と、身体の側面、外側方向 (lateral) に回転させた場合とでは、前者の方が反応がはやくなることが見いだされている (Bläsing, Brugger, Weigelt, & Schack, 2013; Conson et al., 2020; Parsons, 1987, 1994; Sekiyama, 1982; ter Horst, van Lier, & Steenbergen, 2010; Zapparoli et al., 2014)。

生体力学的に、手を身体の外側方向に動かすよりも、内側方向に動かす方が容易である。180°のときを頂点として左右対称のグラフが描かれる平面画像や立体図形の反応時間とは異なり、手の刺激については、生体力学的に動かすにくい回転角度での反応時間が遅くなるという、左右非対称の形状になることが多い。この結果は、刺激の左右判断は自らの手を動かすようにイメージしながら行っているため、実際に手を動かすにくい、無理な姿勢になる回転角度の刺激に対して、反応が遅れると考えられている (Parsons, 1987, 1994)。これらのことから、手を刺激とした左右判断課題は視覚イメージの操作だけでなく、運動イメージの操作に関連する測度としても考えられている (Bläsing et al., 2013; Parsons, 1987, 1994; Sekiyama, 1982; ter Horst et al., 2010; Zapparoli et al., 2014)。

手の刺激の反応時間における回転角度の左右非対称性は、手掌側の画像を刺激としたときの方が、手背側の画像を刺激としたときよりも顕著であることが報じられている (Bläsing et al., 2013; Conson et al., 2020; Parsons, 1987, 1994; Zapparoli et al., 2014)。手背側の画像を刺激としたときには、手掌側の画像と比べ、平面図形や立体図形を刺激としたときに見られる左右対称に近い形状の反応時間のグラフとなったのである。普段、自分の目から手を見下ろした (egocentric) とき、手掌側よりも手背

側の映像を見ることが多い。この結果は、見慣れている手背側は視覚イメージの操作が行われやすかったのに対し、手掌側は見慣れていない分、運動イメージの操作が行われやすかったことによるものと考えられる (Bläsing et al., 2013; Conson et al., 2020; ter Horst et al., 2010)。

また一般的に、心的回転課題には男女差が認められており、男性の方が女性よりも成績が優れることが知られている (Maeda & Yoon, 2013; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995; Yuan et al., 2019)。この差異は脳などの生物学的要因に帰属されることもあれば、空間能力を用いる経験量の違いや、自信、性ステレオタイプの違い、課題遂行条件にその原因を求めるものなど、様々な解釈が提案されている (Maeda & Yoon, 2013)。しかしながら、男女差は研究によって変動が大きく、男性よりも反応がはやい女性も少なからず存在するなど、個人差が大きいことにも留意すべきである。

手の左右判断課題における男女差を検討した近年の研究によれば、男性の方が女性よりも素早く判断できることが示されている (Conson et al., 2020; Mochizuki et al., 2019)。それに加えて、性別と刺激の交互作用も確認された。すなわち手掌側の刺激に関しては、男性の方が女性よりもはやく判断していたのに対し、手背側の刺激に関しては、逆に女性の方が男性よりも判断がはやくなっていた (Conson et al., 2020)。その一方で、このような男女差が見られない研究も報じられていることから (Seurinck, Vingerhoets, de Lange, & Achten, 2004)、手の左右判断課題における男女差については、さらなる検討が必要である。

ところで左右判断画面を行う際、刺激として実験参加者自身の手の画像を用いると、他者の手の画像を刺激として用いたときより、反応がはやくなることが知られ (Conson et al., 2015; Ferri, Frassinetti, Costantini, & Gallese, 2011)、自己優越効果 (self-advantage effect) と呼ばれている。人間は自身の身体に関する様々な知識を保持しているため、左右判断を行う際にそれらの情報を利用できるので、手を回転させる運動イメージを頭のなかで思い浮かべやすくなるためと考えられている。実際、神経機能画像法を用いた研究では、右利きの実験参加者自身の右手が刺激として呈示されたときは、他者の右手が呈示されたときと比べ、左運動前野の賦活化が認められた (Ferri, Frassinetti, Ardizzi, Costantini, & Gallese, 2012)。運動前野は運動の計画や準備、実行に加え、運動イメージとも密接に関連することが知られている。このことから、頭のなかで自らの手を回転させ、手の左右判断を行う際に、自己の手に関する知識が利用されたことで自己優越効果が生じたものと考えられる。

自己優越効果は、刺激の左右判断が難しくなり、感覚運動情報の処理負荷が高まる条件で認められたことを踏まえると (Conson et al., 2015)、内側方向に回転された手の刺激と比べ、外側方向に回転された刺激に対して、自己優越効果はより顕著になることが予想される。同様に、手掌側の刺激は、手背側の刺激よりも左右判断が難しくなることから、運動イメージに基づく課題解決が行われ、自己優越効果が現れやすくなると考えられる。これまでの自己優越効果の研究は手背側の画像刺激を用いたものが多く (Conson et al., 2015; Ferri et al., 2011; Kuroki & Fukui, 2020)、手掌側の刺激を交えた検討が必要である。

本研究では、手の左右判断課題における男女差について、手背側と手掌側の異なった視点から撮

影された刺激を用い、改めて検討を行う。加えて、実験参加者の性別によって自己優越効果が異なるのかについても吟味する。その際、実験参加者自身の手の画像に加えて、参加者と同性他者の手の画像と異性他者の手の画像を含めて分析する。これは手の形状における男女差を考慮するためである。例えば、人差し指と薬指の長さの比（示指環指比）を取ると、一般的に男性は比値が小さくなり、女性は大きくなることが知られている（Manning, Churchill, & Peters, 2007; Manning, Scutt, Wilson, & Lewis-Jones, 1998）。手の左右判断を行う際に、自己の手の形状とよく似たものは、そうでないものに比べ、反応がはやくなることが考えられる。つまり、参加者と同性の手の刺激は、異性の手の刺激よりも素早く判断できるかもしれない。本研究ではこれらの研究視点の下で検討を行う。

方 法

実験参加者 事前に実験の趣旨を説明し、合意を得た大学生 57名（男性 26名、女性 31名）が実験に参加した。参加者の平均年齢は 20.9 歳（ $SD = 0.58$ ）であり、日本語版 FLANDERS 利き手検査（大久保・鈴木・Nicholls, 2014）によると、全員が右利きであった。

実験刺激 実験参加者自身の手に対して、左右×手背側・手掌側の計 4 種類の写真を撮影し、それらを画像編集ソフトによって背景を除去し、適宜大きさや位置、色合い等を調整し、六つの回転角度条件（ $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$ ）に合致するように編集加工したものを自己条件の画像刺激として用いた。また実験に参加しなかった男女各 1 名の手に対しても、同様の手続きを行い、他者条件の画像刺激として用いた。

画像はすべて 450×450 ピクセルの大きさに統一され、グレースケールに変換された。これは観察距離を 60 cm としたとき、13.3 インチの解像度 $1,280 \times 800$ の画面の下、視角で約 $9.9^\circ \times 9.9^\circ$ となる大きさであった。

自己条件で使用される 24 枚の画像刺激は参加者ごとに異なっていた。他者条件における 48 枚（他者男で 24 枚、他者女で 24 枚）の画像刺激はすべての参加者に対して同じであった。

手続き 実験は Web サーバーを介して遠隔形式で行われ、実験制御には jsPsych (de Leeuw, 2015) を用いた。参加者は自身の所有するノートパソコンを用いて自宅から参加した。ノートパソコンの画面サイズの最頻値は 13.3 インチであり、その範囲は 12.5 インチから 15.6 インチであった²。

最初に利き手や実験環境調査など、いくつかの質問への回答を求め、その後 24 試行分の練習試行を経て、本試行を行った。その際、自身の手を目視できないように布等で覆うことや、画面からの観察距離を約 60 cm に保つように教示した。

各試行ではまず注視点が画面中央に 500 ms 呈示された後、画像刺激が画面中央に呈示された。参加者はこの刺激が右手であればキーボードの J キーを、左手であれば F キーをできるだけはやく、

² 画面サイズが判明しなかった者が 8 名いたものの、感度分析でこれらの参加者のデータを削除しても、分散分析の結果はほとんど変わらなかった。

正確に押すように求められた。参加者がいずれかのキーを押すと、画像刺激は消え、1秒後に次の試行に移った。本試行では144試行を1ブロックとして、それを4回分繰り返すことで構成された。一つのブロックでは72枚の画像刺激が2回ずつ呈示されるよう、毎回ランダムに呈示順序が並び替えられた。

結 果

反応時間については、平均から ± 3 標準偏差の範囲を超えたものや、誤反応を示したものを分析から除外した。その際に測定値がなくなって欠損セルが生じた1名を除き、56名のデータに対して分析が行われた。誤反応が見られた試行は全体の7.3%であり、ほとんどの試行が正答であったため、以後は反応時間の分析に限定して論ずる。

性別、手、視点、人物、回転角度を要因とした分散分析を行ったところ、性別の主効果 ($F(1, 54) = 7.00, p < .05, \eta_p^2 = .12$)、手の主効果 ($F(1, 54) = 23.75, p < .001, \eta_p^2 = .31$)、視点の主効果 ($F(1, 54) = 12.36, p < .001, \eta_p^2 = .19$)、回転角度の主効果 ($F(5, 270) = 218.66, \epsilon = 0.41, p < .001, \eta_p^2 = .80$) が認められた³。すなわち、男性は女性よりも、右手は左手よりも、手背側は手掌側よりも反応がはやかった。回転角度について Shaffer 法による多重比較を行ったところ、反応時間は $0^\circ, 60^\circ, 300^\circ < 240^\circ < 120^\circ < 180^\circ$ となっていた。人物の主効果 ($F(2, 108) = 3.45, \epsilon = 0.99, p < .05, \eta_p^2 = .06$) は有意であったが、Shaffer 法による多重比較を行ったところ、水準間に有意差は見られなかった。図1に男女別の各条件の下での反応時間の平均値を示す。

性別×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 5.49, \epsilon = 0.41, p < .01, \eta_p^2 = .09$)、手×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 23.22, \epsilon = 0.55, p < .001, \eta_p^2 = .30$)、視点×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 48.24, \epsilon = 0.40, p < .001, \eta_p^2 = .47$)、性別×手×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 5.40, \epsilon = 0.55, p < .01, \eta_p^2 = .09$)、手×視点×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 35.32, \epsilon = 0.64, p < .001, \eta_p^2 = .40$) が有意であった。

性別×手×視点×回転角度の交互作用 ($F(5, 270) = 2.73, \epsilon = 0.64, p < .05, \eta_p^2 = .05$) が認められたので、性別ごとに層別して分散分析を行った。その結果、手×視点×回転角度の交互作用が男性 ($F(5, 120) = 13.91, \epsilon = 0.55, p < .001, \eta_p^2 = .37$) においても、女性 ($F(5, 150) = 27.84, \epsilon = 0.73, p < .001, \eta_p^2 = .48$) においても確認された。それぞれについて手×視点の単純交互作用の検定を行ったところ、男性では $60^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ が有意であり、女性では $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ$ が有意であった ($ps < .05$)。

次に、回転角度における反応時間の左右対称性を検討するため、 180° よりも小さい劣角の反応時間の和から、 180° よりも大きい優角の反応時間の和を減じた差分を求め、2で割ったものを従属変数として分析を試みた。表1に各条件の下での差分値を示す。この差分値に対して、母平均を0と仮定した1標本の t 検定を実行したところ、男性の左手背側と右手背側を除けば、すべて有意であ

³ 自由度が1より大きい反復測定の F 値の検定には、球面性仮定の逸脱を考慮して Greenhouse-Geisser 法による自由度修正を行っている。以下の分析も同様である。

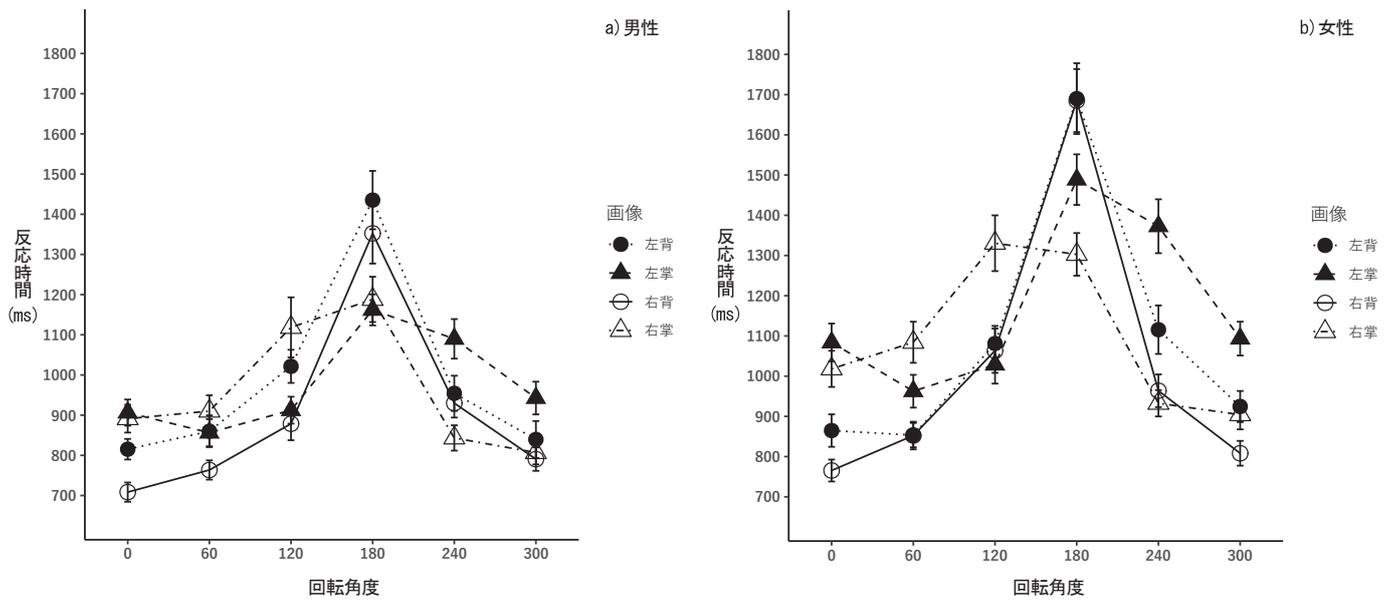


図1 各条件における反応時間の平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

った ($p < .05$)。

続いて性別×手×視点の分散分析を行った結果、手の主効果 ($F(1, 54) = 52.58, p < .001, \eta_p^2 = .49$) が認められた。すなわち、左手は劣角と優角の反応時間の差分が負値になっていたのに対し、右手ではそれが正値を示した。性別×手の交互作用 ($F(1, 54) = 11.35, p < .01, \eta_p^2 = .17$) が見られたので、単純主効果の検定を行ったところ、左手では、女性の方が男性よりも差分値が小さかった ($F(1, 54) = 11.00, p < .01, \eta_p^2 = .17$)。右手では、女性の方が男性よりも差分値が大きくなっていった ($F(1, 54) = 8.66, p < .01, \eta_p^2 = .14$)。いずれにせよ女性の方が男性よりも、劣角と優角の差分の絶対値が大きかった。手×視点の交互作用 ($F(1, 54) = 90.41, p < .001, \eta_p^2 = .63$) も有意であったので、単純主効果の検定を

表1
各条件における差分値の平均, 標準偏差, 標準誤差

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
男	左背	43.78	148.67	29.73
	左掌	-131.86 ***	107.19	21.44
	右背	-39.20	110.66	22.13
	右掌	189.18 ***	189.52	37.90
女	左背	-52.79 *	130.77	23.49
	左掌	-237.45 ***	191.86	34.46
	右背	71.82 *	148.74	26.71
	右掌	289.00 ***	198.18	35.59

注) 差分値は劣角の反応時間の和から優角の反応時間の和を減じ、2で除したものを示す。

*** $p < .001$, * $p < .05$

行った。左手では、手掌側の方が手背側よりも劣角と優角の反応時間の差分値が小さかった ($F(1, 54) = 46.84, p < .001, \eta_p^2 = .46$)。右手では、手掌側の方が手背側よりも差分値が大きくなっていた ($F(1, 54) = 68.68, p < .001, \eta_p^2 = .56$)。

考 察

手の左右判断課題に取り組んだ実験参加者は全員が右利きであり、右手の刺激の方が左手よりも反応がはやかった。これは多くの先行研究とも一致する (Jones et al., 2021)。また手掌側の刺激の方が、手背側よりも反応が遅くなっていた。回転角度が身体の内側方向の刺激と、外側方向の刺激の反応時間を比べると、後者の方が長くなっており、手掌側の刺激でとくに顕著であった。これらの傾向も先行研究と整合的である (Bläsing et al., 2013; Conson et al., 2020; Parsons, 1987, 1994; Zapparoli et al., 2014)。

男女差については、Conson et al. (2020) や Mochizuki et al. (2019) で見られたように、男性の方が女性よりも反応がはやかった。男性の手背側の刺激における反応時間は、身体の内側方向に回転された刺激と、外側方向に回転された刺激がほぼ同程度の値を示し、平面図形や立体図形の心的回転によく見られる、 180° を頂点とした左右対称の形状を示すグラフとなっていた。それに対し、女性の手背側では 180° を頂点とする左右非対称の形状を示し、外側方向の刺激の方が内側方向の刺激よりも反応時間が長くなっていた。手掌側の刺激については、男女とも内側方向の刺激よりも外側方向の刺激の方が反応が遅くなっていた。上記の結果における左右の手の違いは認められなかった。

手の左右判断課題では、刺激の視覚イメージを回転させて判断するやり方と、自分の手を回転させる運動イメージを用いて判断するやり方があると考えられている (Bläsing et al., 2013; Parsons, 1987, 1994; Sekiyama, 1982; ter Horst et al., 2010; Zapparoli et al., 2014)。左右判断が難しくなる条件ほど、運動イメージを用いた課題解決が行われやすくなるという指摘を踏まえると (Conson et al., 2020)、本研究で認められた男女差は、手の左右判断課題に取り組む際の方略の違いを示していると解釈することが可能である。つまり男性は、外側方向に手を回転させにくい手掌側の刺激については、頭のなかで自身の手を回転させて判断していた可能性が考えられる。一方で見慣れた手背側の刺激については、運動イメージに頼らず、手の視覚イメージを回転させて左右を判断していたと推察される。それに対し女性は、手背側も手掌側も同じように頭のなかで自分の手を回転させるという、運動イメージを用いるやり方で左右判断を行っていたと考えられる。

女性の方が、男性よりも運動イメージを用いて課題解決を行いやすい点については、Yuan et al. (2019) の指摘と一致するところである。Yuan et al. (2019) は、脳機能画像法を用いた研究のメタ分析から、心的回転のような空間能力を必要とする課題において、女性の方が男性より成績が低下するのは、女性が自己中心的 (egocentric) な解決方略を用いることが多いためと論じた。また女性は、心的回転のように空間能力を必要とする課題のもとでは不安が高じやすいことが報じられてい

る (Alvarez-Vargas, Abad, & Pruden, 2020; Gabriel, Hong, Chandra, Lonborg, & Barkley, 2011)。以上を踏まえて考察するに、女性にとって判断が難しいと感じられる条件の下で、少しでも解決しやすくしようとして、自己中心的方略、すなわち自分の手を頭のなかで回転させる運動イメージに基づく方略が行われやすくなったものと解釈できる。こうした解決方略の男女差についても、今後さらなる検討が必要であろう。

また本研究では、人物の主効果や他の要因との交互作用はすべて有意ではなく、自分自身の手が呈示されると判断がはやくなるという、自己優越効果は確認されなかった。この結果は Kuroki & Fukui (2020) と一致している。Kuroki & Fukui (2020) では、刺激の回転角度が 0° と 180° だけであったのに対して、本研究では 0° , 60° , 120° , 180° , 240° , 300° の回転角度を設け、自身の手を頭のなかで回転させて左右判断を行いやすい状況を設定していたと考えられる。それにもかかわらず、自己優越効果が認められなかったのはどうしてだろうか。実は、本研究での自己条件の反応時間 ($M = 1,021$ ms) は、他者男条件の反応時間 ($M = 1,009$ ms), 他者女条件の反応時間 ($M = 1,022$ ms) とほとんど同じ値になっていた。統計的には有意ではなかったものの、とくに自身の左手が 180° 回転されて呈示される条件で反応が他者条件より遅くなっていた。見慣れているはずの自分自身の手であっても、倒立像として呈示されると情報処理における優位性が活かされなくなる可能性が考えられる。つまり自己の手の画像については、他者の手の画像よりも素早く処理が行われるものの、かえってそれが左右の判断を行う際に逡巡を生じさせてしまうので、反応時間に差が出なくなるのかもしれない。

本研究では、コロナ禍の下、遠隔形式で実験を行った。そこで得られた結果のほとんどは、対面形式で行われてきたものと同じような傾向を示した。自己優越効果は認められなかったが、これについては除去しきれなかった剰余変数が足枷となって、検定力を下げてしまっていた可能性も考えられる。剰余変数の統制に関して、遠隔形式はどうしても対面形式の実験に劣るのは避けられないからである。今後は、誤差を大きくしている要因を特定して除去する、実験参加者の人数をさらに増やすなど、検定力をより一層高めた検討が必要であろう。

手の左右判断課題は、運動イメージに基づくリハビリテーションとしての臨床的応用だけでなく (Moseley, 2004; Polli et al., 2017), 他者視点取得能力や心の理論の発達との関連など (Böckler, Knoblich, & Sebanz, 2011), 従来の空間能力や表象に焦点をあてた研究を越えて様々な観点から検討が行われ、拡がりを見せている。心的回転の過程や機序の解明に向け、本研究で認められた結果が再現されるかを含め、さらなる検討が求められる。

引用文献

- Alvarez-Vargas, D., Abad, C., & Pruden, S. M. (2020). Spatial anxiety mediates the sex difference in adult mental rotation test performance. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5, 31. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00231-8>
- Bläsing, B., Brugger, P., Weigelt, M., & Schack, T. (2013). Does thumb posture influence the mental rotation of hands? *Neuroscience Letters*, 534, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.11.034>
- Böckler, A., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2011). Giving a helping hand: Effects of joint attention on mental rotation of body parts. *Experimental Brain Research*, 211, 531–545. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2625-z>
- Conson M., De Bellis F., Baiano C., Zappullo I., Raimo G., Finelli, ... Trojano, L. (2020). Sex differences in implicit motor imagery: Evidence from the hand laterality task. *Acta Psychologica*, 203, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2020.103010>
- Conson, M., Errico, D., Mazzarella, E., De Bellis, F., Grossi, D., & Trojano, L. (2015). Impact of body posture on laterality judgement and explicit recognition tasks performed on self and others' hands. *Experimental Brain Research*, 233, 1331–1338. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4210-3>
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory & Cognition*, 1, 246–250. <https://doi.org/10.3758/BF03198104>
- de Leeuw, J. R. (2015). jsPsych: A JavaScript library for creating behavioral experiments in a web browser. *Behavior Research Methods*, 47, 1-12. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0458-y>.
- Ferri, F., Frassinetti, F., Ardizzi, M., Costantini, M., & Gallese, V. (2012). A sensorimotor network for the bodily self. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 1584–1595. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00230
- Ferri, F., Frassinetti, F., Costantini, M., & Gallese, V. (2011). Motor simulation and the bodily self. *PLoS One*, 6, e17927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017927>
- Gabriel, K. I., Hong, S. M., Chandra, M., Lonborg, S. D., & Barkley, C. L. (2011). Gender differences in the effects of acute stress on spatial ability. *Sex Roles: A Journal of Research*, 64, 81–89. <https://doi.org/10.1007/s11199-010-9877-0>
- Jones, H. G., Braithwaite, F. A., Edwards, L. M., Causby, R. S., Conson, M., & Stanton, T. R. (2021). The effect of handedness on mental rotation of hands: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Research*, 85, 2829–2881. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01444-8>
- Kuroki, M., & Fukui, T. (2020) Visual hand recognition in hand laterality and self–other discrimination tasks: Relationships to autistic traits and positive body image. *Frontiers in Psychology*, 11, 587080. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.587080>
- Maeda, Y., & Yoon, S. Y. (2013). A meta-analysis on gender differences in mental rotation ability measured by the Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations (PSVT:R). *Educational Psychology Review*, 25, 69–94. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9215-x>

- Manning, J. T., Churchill, A. J. G. & Peters, M. (2007). The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior*, *36*, 223–233.
<https://doi.org/10.1007/s10508-007-9171-6>
- Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction (Oxford, England)*, *13*, 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Mochizuki, H., Takeda, K., Sato, Y., Nagashima, I., Harada, Y., & Shimoda, N. (2019). Response time differences between men and women during hand mental rotation. *PLoS One*, *14*, e0220414.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220414>
- Moseley G. L. (2004). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: A randomised controlled trial. *Pain*, *108*, 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.01.006>
- 大久保 街亜・鈴木 玄・Nicholls, M. E. R. (2014) 日本語版 FLANDERS 利き手テスト——信頼性と妥当性の検討—— 心理学研究, *85*, 474–481. <https://doi.org/10.4992/jjpsy.85.13235>
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, *19*, 178–241. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90011-9)
- Parsons, L. M. (1994) Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 709–730.
<https://doi.org/10.1037//0096-1523.20.4.709>
- Polli A., Moseley G. L., Gioia E., Beames T., Baba A., Agostini M., ... Turolla, A. (2017). Graded motor imagery for patients with stroke: A non-randomized controlled trial of a new approach. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, *53*, 14–23. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04215-5>
- Sekiyama, K. (1982). Kinesthetic aspects of mental representations in the identification of left and right hands. *Perception & Psychophysics*, *32*, 89–95. <https://doi.org/10.3758/bf03204268>
- Seurinck, R., Vingerhoets, G., de Lange, F. P., & Achten, E. (2004). Does egocentric mental rotation elicit sex differences? *Neuroimage*, *23*, 1440–1449. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.08.010>
- Shepard, N. R., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, *171*, 701–703.
<https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>
- ter Horst, A. C., van Lier, R., & Steenbergen, B. (2010). Mental rotation task of hands: Differential influence number of rotational axes. *Experimental Brain Research*, *203*, 347–354. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2235-1>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial ability: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, *117*, 250–270.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>

- Yuan, L., Kong, F., Luo, Y., Zeng, S., Lan, J., & You, X. (2019). Gender differences in large-scale and small-scale spatial ability: A systematic review based on behavioral and neuroimaging research. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 13*, 128. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00128>
- Zapparoli, L., Invernizzi, P., Gandola, M., Berlingeri, M., De Santis, A., Zerbi, A., ... Paulesu, E. (2014). Like the back of the (right) hand?: A new fMRI look on the hand laterality task. *Experimental Brain Research, 232*, 3873–3895. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4065-z>