

幼児期における対象イメージの操作と不器用さとの関連性

野田 満*

要 約

本研究では、対象のイメージの回転と身体的不器用さにおける身体のあり方とを比較検討した。3歳から5歳の幼児 ($n=74$) を対象にメンタルローテーション課題を実行し、回転の適合性から3群 (MR レベル) に分けた。一方で不器用さの尺度 (野田・落合, 2020) を用いて主成分分析を行い、メンタルローテーション課題と比較する方法を取った。結果は、不器用さが年齢とともに減少することが示された。またMR レベルが下がるに従い不器用さが強くなり、また別に設けた符号化までの時間と不器用さも関連することが見いだされた。身体や姿勢の情報制御ではなく、身体のぎこちなさの程度を変数とした場合でも、対象の運動イメージの生成や操作された可能性が示された。不器用さのないスムーズな動きが、対象のイメージ操作と関連することについて議論した。

Key words: メンタルローテーション, 不器用さ, 身体的ぎこちなさ, 運動成分, イメージ, エファレンスコピー

幼児期において保育の場面で「気になる子ども」が問題になっている。保育者にとって保育上の困難や不安を感じる子どもを指す言葉であるが、木村・松本 (2011) が指摘しているように、発達障害の特性を持つ子どもの場合と、全般的な発達の遅れがある子どもを指す場合の2通りがあることを明らかにしている。また、幼稚園教諭及び保育士に対して「気になる子ども」について調査したところ、「気になる」という言葉が、発達障害を想定されるものから、保護者の協力が得られない、アレルギー症状を持っている、など多様に解釈されていることがわかった (久保山・斉藤・西牧・當島・藤井・滝川, 2009)。実際、特別な支援が必要な子どもの行動特徴 ($n=113$) を検討した古市 (2009) は、明らかな知的な障害がない子どもが8割近くいることを明らかにしている。本郷・飯島・平川・杉村 (2007) も、「気になる子ども」に発達障害とされる子どももいるが、全てがそうした障害の判定をされるというわけで

はないことを述べていて、本郷 (2019) は DSM-5 のデータから発達性協調運動障害 (DCD) の有病率が5~11歳児で5~6%であることを紹介している。こうした中で、渋谷 (2011) は、不器用さという語の意味構造を分析したところ、不器用さが動作の技能的側面と関係しているものの、身体の一部を用いた動作を示す場合が多く、いわゆる DCD とは異なった言葉のニュアンスが想定され用いられていることを指摘している。

不器用さ (clumsy) は、気になる子どもの特性の一つとされてきた。しかし類似した表現として、認知心理学の領域では身体的ぎこちなさ (physical awkwardness; Cooper & Shepard, 1975, p.54) という用語が特殊な状況下で使われることがある。メンタルローテーションの研究文脈で、傾いた対象と傾ける前の対象とが同じかどうか判断させる課題があるが、身体の一部である手の写真刺激を用いたことで興味深い結果が得られている。刺激として提示された手の見え方が、今の自分の手の空間位置からすると、そのような手の姿勢を取ることが物理的には難しい提示のされ方と容易に真似のできる提示がなされた。結果

2021年11月30日受付

* 江戸川大学 人間心理学科教授 空間認知発達

は容易に真似のできる提示の方が早く反応が来て、成績が良かった。この手刺激の特性に早くから注目した Sekiyama (1982) も、心的表象の運動面から検討している。提示された刺激が左右どちらの手なのか足なのかを判断する課題を用いた Parsons (1987) は、提示された身体の部分が、自分の身体からみて自然な向きであるとイメージも扱いやすいことを見出している。さらに脳内イメージング研究で、Kosslyn, Digirolamo, Thompson, & Alpert (1998) は、手の刺激が用いられる場合は、一次運動野 (primary motor area) や高次運動野 (higher order motor area) が賦活されるが、幾何図形のような Shepard & Metzler (1971) で用いられたような積み木型の対象図形では、頭頂葉 (parietal lobe) を中心に賦活し、2つの異なる処理プロセスの存在を指摘している。同様にしてフォローアップ研究でも、メンタルローテーションの際の実際に回転運動が提示された場合と、実際に手で回転させた場合とを比較したところ、手での回転操作を行った場合に運動野 (MI: 一次運動野を含む) での賦活が確認されている (Kosslyn, Thompson, Wraga, & Alpert, 2001)。また、Vingerhoets, de Lange, Vandemaele, Deblaere, & Achten (2002) は、手刺激と把握可能性 (graspability) という観点から日常の道具 (鉛筆削り等) を用いて検討したところ、手刺激の場合は両側の運動前野 (bilateral premotor) が活性化し、道具の場合は左運動前野 (left premotor) のみが活性化したことを報告している。

手の刺激や参加者の姿勢が、イメージ操作の運動プロセスへ影響することについて、Funk, Brugger, & Wilkening (2005) は、成人と5,6歳の子どもの違いを検討している。メンタルローテーションの枠組みで実験を行ったが、提示された刺激の異同判断をする際に、反応ボタンへの手の姿勢を工夫している。また、手のひらと手の甲の写真がそれぞれ提示刺激として用意された。手のひらを下にして (通常の姿で) ボタンを押す場合と、手のひらを上にして上に付けたボタンを押す場合の効果を検討している。結果は子どもの時

だけ、姿勢と手の刺激とのあいだで交互作用が認められた。通常の手のひらを下にしてボタンを押す姿勢の場合は、手の甲の刺激の方が手のひら刺激よりも早く反応でき、手のひらを上にした姿勢での反応は、その逆の関係となった。Funk et al. (2005) はこの姿勢バイアスについて、手の視覚認識における固有受容感覚 (proprioception) の役割を考えている。

運動イメージが運動プロセスにより誘導されることについては、空間変換を求める際に行動レベルでの関連研究において確認されてきているが (Frick, Daum, Walser, & Mast, 2009; Noda, 2010; Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998), 実際に実行される行為とイメージされた行為とのあいだには、何らかの共通した実態があるのではないかという指摘がある (Prinz, 1997)。その Prinz (1997) の共通符号化モデル (common-coding model) では、知覚された出来事とプランされた行為とのあいだで共通した表象が仮定されている。さらに知覚と行為が共通の神経基盤を共有しているという点については、Goodale & Milner (2004/2008) の2つの神経経路の捉え方が重要になってくる。その一つの腹側経路 (ventral pathway) では対象の再認をする上での動きと関連し、もう一方の背側経路 (dorsal pathway) が今行っている行為のために、主体者と関連させて刺激を位置づける役割を果たしているとされている。しかし2つの経路は完全に分離されておらず、上側頭部における多感覚領域 (polysensory area) において、両経路からの情報を受け取り、形や動きが統合されるという考えが示されている (Decety & Grèzes, 1999)。

子どもの運動イメージの発達を調べるために、Caeyenberghs, Tsoupas, Wilson, & Smits-Engelsman (2009) は、7~12歳の子どもに対して、運動イメージ課題と手や文字のメンタルローテーション課題を行い、運動スキルの発達の評定 (MAND: Hand, Larkin, & Rose, 2013) と比較検討している。運動イメージ課題は視覚と行為のあいだで生じるフィッツの法則に従うかたちで課題設定された。また、メンタルローテーション課題

では手と文字の2種類用意されたが、手は運動イメージを捉えるであろうと仮定され、文字の場合は対象に関連したイメージ (object-related imagery) を捉えていると仮定された。結果は運動イメージを測定した課題や、手のローテーション課題と運動スキル評定尺度との間で高い相関を得られたが、文字のローテーション課題と運動スキル評定との間では相関が無かった。このことから、運動イメージが行為のなんらかの内的モデルを生成し、モニターする能力と関連しているだろうと想定され、視覚イメージが運動スキルの獲得とは関連が無いとしている。

しかしながら、文字ではないが、身体ではなく対象に関連したイメージの回転を求めると、メンタルローテーション中に頻繁に生じる手の動きが存在し (野田, 2015)、対象と身体とが一体となった特別な働きのあることが示されてきている (野田, 2019)。

Wilson, Maruff, Butson, Williams, Lum, & Thomas (2004) は、10歳児のDCDの子どもと定型発達と同じ年齢の子どもとを、手のメンタルローテーション課題を用いて比較した。彼らは、実際の動きが制限されることで直接の遠心性信号ではなく別経路を迂回するエファレンス・コピーが運動イメージとしての役割を生じているのではないかという考え (Jeannerod, 1995) から、運動イメージをエファレンス・コピーが表しているのではないかと考えている。つまり、協応の問題がエファレンス・コピーのフォワードモデルにより説明できるのではないかとしている。

そこで、本研究は不器用さを協応の問題と捉え、イメージ操作との関連を検討することとした。Funk et al. (2005) のような固有受容感覚が大きく関与しているとするなら、幼児期は、まだ身体利用が充分には出来ない時期でもあり、Cooper & Shepard (1975) がいうような、身体的ぎこちなさという感覚が伴っているのではないかと考えられる。また、気になる子どもの中には、発達途上で現れる不自然な動きがクローズアップされすぎている懸念もある。そこで、本研究では、運動イメージの生成とは関連が無いとされ

てきた、対象に関連した (object-related) 刺激をあえて用いることにし、イメージ操作と不器用さとの比較を行うことを目的とした。仮に Wilson et al. (2004) がいうようなエファレンス・コピーが運動イメージであるならば、身体の一部を刺激として用いてイメージ変換に制限をかけなくとも、メンタルローテーションのレベルと、協調運動の程度を表す「不器用さ尺度」との間に関係が見いだされるであろうと考えた。

方法

参加児者：私立保育園に在籍する3歳児から5歳児クラスの子ども74名 (3歳児14名、男児8名、女児6名、平均月齢50.1、4歳児28名、男児19名、女児9名、平均月齢60.4、5歳児32名、男児18名、女児14名、平均月齢70.0) および不器用項目の評定者として保育士6名。

手続き

メンタルローテーション課題：反応時間とエラー率を求めるメンタルローテーション課題を行った。ディスプレイのサイズは20 inch (対角49.5 cm, 解像度, 1600×900)、水平に提示した。プログラム言語はHSPを用いた。基準試行、練習試行、本検査の順に実施した。基準試行では、左右に並んだ円形枠内に示されるクマ刺激を用いた。ともに傾きは無く左右の違いのみで、クマがリングを持っている手は、同じ側の手か異なる側の手かを尋ねる試行を行った。その際に検査者は子どもに刺激をイメージしやすくするためにプラスチック製の模造リングを実際に提示して見せ、ディスプレイ内のリングと対応付けた。異同の反応には別に用意した反応ボタン用のキーを用いた。全10試行中8試行以上正しければ次の段階である練習試行へと進めた。異同に関する解答のフィードバックも行った。練習試行では基準試行で用いたものと同じ刺激を用いて、対刺激の異同判断を求めた。左側の円形枠内には0度直立の標準刺激、右側には0,45,90,135,180°の比較刺激をランダムに

提示した。誤刺激は正刺激の鏡映像を用いた。

本検査では、練習試行と基本的には同じであるが、全ての角度について正誤の組み合わせを、練習とは別の刺激を用いて実施した。すなわち、左に0度で直立した標準刺激、右側には0,45, 90, 135, 180°の角度にランダムに提示される比較刺激を提示した。ペンギン刺激条件とフクロウ条件(Fig.1)を用いたが、条件の順序は参加児ごとに交互に実施した。手掛かりは、動物がどちらの手でモノを持っているかである。ディスプレイ中央の凝視点(星印)に注意を向けるように求め、注意を持続できたと検査者が判断した後に標準刺激と比較刺激を同時に提示した。反応キーが押されてから100msで提示刺激は消失し、更に100ms後に次の刺激が提示された。5方位×異同×2セッション×2刺激条件を行ったので、本検査では40試行となった。

不器用さの質問項目：保育士に担当する個々の子どもの状態について尋ねた。質問項目は18項目から成り、7件法で行った。事前に各項目の尺度の中央は3歳から5歳の発達からみて概ね4歳児に対応することに注意して評定をお願いした。尚、これらの質問紙項目は、水野・平野・別府(2013)で見いだされた「気になる」子どもの不器用さに関する項目に基づき、追加修正した18

の不器用さ項目(野田・落合, 2020)を用いた。保育園等で動きが気になる子どもの姿を捉えたものであるため、より日常的な動きが多く含まれている。

整 理

メンタルローテーションの成績により子どもを3群に分けた。群分けの指標として角度と反応時間との適合性を表す決定係数を用いた。具体的にはEstesの基準(Estes, 1998)に従い決定係数が.44以上を示した子どもをメンタルローテーターとして区分したが、両方の刺激条件でその基準を満たした子どもをH群、どちらか片方の条件で基準を満たした場合はM群、どちらの条件でも基準を満たさなかった場合はL群とした。すなわち、H群は勾配に従い回転移動の操作が出来た子どもたちを指し、M群は刺激により出来る場合であり、L群は勾配に従って回転しているとは言えないグループを意味するものと捉えた。以上によりMRレベルを確定した。Estes基準により区分されたH群は14名(平均月齢64ヶ月)、M群29名(66ヶ月)、L群27名(62ヶ月)となり暦年齢の差は無かった。



ペンギン条件

フクロウ条件

Figure 1. メンタルローテーション課題で用いた2種類の標準刺激。

倫理的配慮

保護者には研究協力の任意性と個人情報保護について文章で説明し、同意を得た。また江戸川大学倫理審査委員会「人対象とする研究」倫理審査の審査・承認を受けた。

結果

1. メンタルローテーションの反応時間・誤反応

反応時間について、MR レベル(3)×刺激条件(2)×角度(5)の混合型分散分析を実施した。MR レベルや刺激条件の主効果は認められなかったが、角度の主効果が認められ ($F(2, 67) = 15.728, p < .01$), MR レベルと角度とのあいだに交互作用が認められた ($F(8, 268) = 3.970, p < .01$)。単純主効果を求めたところ、 0° と 45° でMR レベル間の差が認められ ($p < .05$)、Ryanの多重比較の結果、 0° ではL群がM群より有意に時間がかかり ($p < .05$)、 45° ではL群がH群やM群より有意に時間がかかっていた ($p < .05$)。Fig.2と3に示されるようにH, M群は勾配に従って増大するプロフィールとなったが ($p < .01$)、L群では差が無くフラットであった。

誤反応の比率を指標として反応時間と同じく3要因の混合型分散分析を行ったところ、MR レベルの主効果が認められ ($F(2, 67) = 4.659, p < .05$)、刺激条件と角度との間に交互作用があった ($F(4, 268) = 4.685, p < .01$)。MR レベルについてRyan法による多重比較を行ったところ、L群 ($M = .407$) がH群 ($M = .204$) やM群 ($M = .205$) に比べてエラーの割合が多く現れた ($p < .05$)。また、刺激条件と角度の単純主効果をみたところ、 180° を除く他の4角度全てでペンギン条件の方がフクロウ条件よりも高い値を示し ($p < .01$)、ペンギンの方が異同判断をする上で困難であったことが示された (Fig. 2と3)。角度間の成績の違いではフクロウ刺激で有意差がみられ ($p < .01$)、Fig. 3に示されるように反応時間のプロフィールと類似したパターンを描いた。ペンギンでは有意

傾向にとどまるものであった。

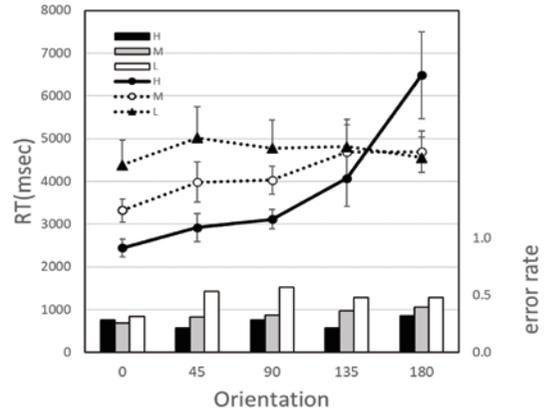


Figure 2. MR レベル別のペンギン条件の場合のプロフィール。反応時間は折れ線、誤反応は棒グラフで示した。反応時間の棒は標準誤差。

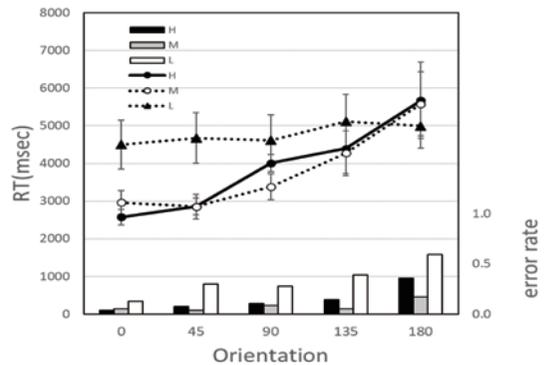


Figure 3. MR レベル別のフクロウ条件の場合のプロフィール

2. MR レベルと年齢との関連性

MR レベルと年齢群との関連性を見る上で、カイ二乗検定を実施したところ有意差が認められ ($\chi^2(4) = 10.798, p < .05$)、連関係数 (Cramer's V) は .278 であった。残差分析の結果、Tab. 1に示したように4歳児でM群が少なく ($n = 5, 18.5\%$, 残差 = $-3.083, p < .01$)、L群が多かった ($n = 16, 59.3\%$, 残差 = $2.818, p < .01$)。また5歳児でM群が多く ($n = 17, 56.7\%$, 残差 = $2.241, p < .05$)、L群で少なかった ($n = 7, 23.3\%$, 残差 = $-2.268, p < .05$)。4歳から5歳にかけてL群の減少とM群の増加がみられた。また、各MR レベル

Table 1
年齢群別に整理した MR レベルの頻度

	H	M	L	計
3歳児	2 (15.4)	7 (53.8)	4 (30.7)	13 (100)
4歳児	6 (22.2)	5 (18.5)	16 (59.3)	27 (100)
5歳児	6 (20.0)	17 (56.7)	7 (23.3)	30 (100)

注：数値は人数，カッコ内は%

に含まれる子どもの月齢に違いがあるかどうかを検討するために、月齢を指標とする1要因の分散分析を行ったところ、有意差は認められなかった ($F(2, 67) = 1.189, ns$)。よって年齢による偏りは認められなかった。

3. 不器用さ尺度

不器用さの18項目について方向を揃え、素点をZ変換し、信頼性係数を求めたところ $\alpha = .928$

と高い値を示した。さらに主成分分析を行ったところ、全分散のうち第1主成分では47.13%で、第2主成分まで合わせると61.28%となった。正規性の検定 (Kolmogorov-Smirnov test) では、第1、第2主成分得点ともに正規分布に従うものであった。

主成分1と2について：前研究 (野田・落合, 2020) では、不器用さ一般として第1主成分の因子得点を用いたが、ここでは探索的に主成分1と2の合成得点を用いて分析することにした。Tab. 2には第1主成分と第2主成分の主成分得点を示した。第1主成分は最大値が0.88、最小値は0.38となり、いずれの項目も高い値を示した。第2主成分得点を値の小さな項目から順番に並べ替え、第2主成分得点が第1主成分得点を越えたところで、表内に区切りを示す枠組みを設けた。ただし項目番号C18やC15、C3では、予測的な運動やリズム動作に関するものが含まれ、第2主成分得点

Table 2
主成分分析

項目番号	質問項目	主成分	
		1	2
C8	はさみをうまく使えない。	.56899	-.62096
C7	丸と四角を描き分ける。	.59761	-.60007
C9	指先でつまむことが不得手である。	.50128	-.48517
C2	洋服の前後を間違えて着る。	.71177	-.24662
C5	お菓子の袋を破れない。	.64735	-.23019
C10	手の動きにぎこちなさが目立つ。	.83289	-.15389
C11	ぎこちない走り方をする。	.83285	-.1251
C13	気を取られてまっすぐ走れない。	.87695	-.04438
C1	着替えなどに時間がかかる。	.54934	-.01841
C14	次の行動に移る際にスムーズでない。	.79385	-.00396
C12	階段を一步一步、足を交差させて下りられない。	.79156	-.00373
C4	手に持ったものをよく落とす。	.37649	.07988
C17	スキップが出来ない。	.85158	.12287
C16	連続ジャンプ (ケンパー) ができない。	.84613	.21081
C18	皆と一緒にするリズム打ちが苦手である。	.75117	.42014
C6	作品を作るのに時間がかかる。	.44175	.49829
C15	ボールつきがうまくできない。	.59074	.67775
C3	水道の蛇口を調整できない。	.46919	.67775

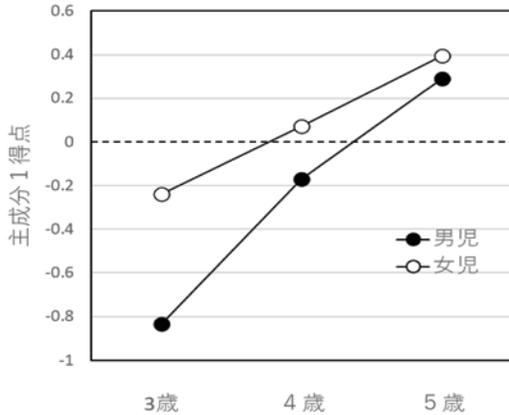


Figure 4. 不器用さの年齢変化

内では比較的高い値が示されていた。

年齢と主成分の変化：主成分1を指標として、年齢×性別の2要因参加者間の分散分析を実施した。年齢の主効果のみ有意差が見られた ($F(2, 68) = 4.34, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .113, \text{effect size } f = .357$)。LSD法による多重比較の結果、5歳児 ($M = .342$) が3歳児 ($M = -.538$) に比べ有意に高い値を示した。4歳児群 ($M = -.051$) では多年齢群との差は無かった。主成分1は年齢とともに高くなることが示された (Fig. 4)。

4. MRレベルと不器用さ

決定係数は最小二乗のモデルに基づく。勾配に従い反応時間が増加するという前提で、一次関数上に集約されるという考えに基づいている。両条件ともに決定係数が0.44以上の場合、H群のローテーターとして区分けし、片方だけならばM群、どちらも0.44未満の場合はL群として3種類のMRレベルを確定した。MRレベル(3)×主成分(2)の分散分析を行ったところ有意差は得られなかった。そこで、主成分1のみを用いてMRレベルの違いを検討するために、1要因の分散分析を行ったところ、有意傾向が示され ($F(2, 71) = 2.51, p < 1.0, \text{effect size} = .266$)、LSD法による多重比較の結果、Fig. 5に示すように、M群 ($M = .302$) がL群 ($M = -.271$) に比べて有意に高い値を示した ($MSe = .960, p < .05$)。H群とM群と

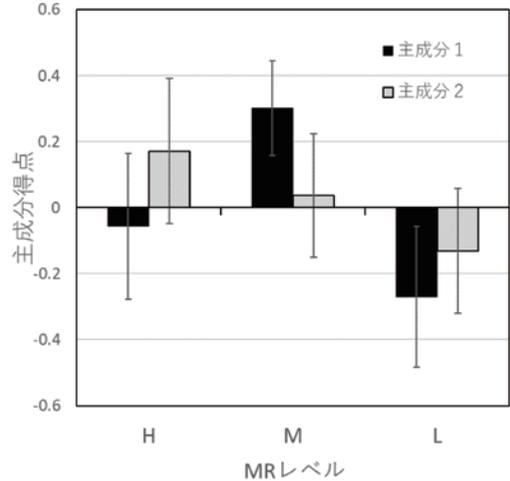


Figure 5. 不器用さをMRレベル別にみた相違

の間には差が無かった。

5. y切片の違いと不器用さ

符号化に要する値として、参加児ごとに1次関数式のあてはめを行った上で得られるy切片の値を用いた。実際に0度で要した反応時間よりも理論的な期待値の意味がある。言い換えれば、他の角度で得られた反応時間との関係の中で予想された値となる。データのあり方をみると、参加児を3等分するのにy切片が3秒以上か未満かで区切ることが妥当であると捉えられ、ここでは便宜的に3秒を基準として用いることにした。両刺激条件とも3秒未満をy切片3秒未満群、どちらかの刺激条件でのみ3秒以上となった場合は混在群、両刺激条件ともに3秒以上の場合は3秒以上群とした。

y切片(3群)×主成分(第1及び第2主成分)の混合型分散分析を行った。y切片の主効果がみられ ($F(2, 69) = 5.33, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .134, \text{effect size} = .393$)、またy切片と主成分とのあいだに交互作用の傾向がみられた ($F(2, 69) = 2.69, p > .10, \text{partial } \eta^2 = .070, \text{effect size} = .275$)。Fig. 6に示されるように、第1主成分ではy切片のレベルが3秒未満群から3秒以上群になるに従い低下していったが、第2主成分では中間のy切片レベルが混在群で高い値を示し、3秒以上群と3秒

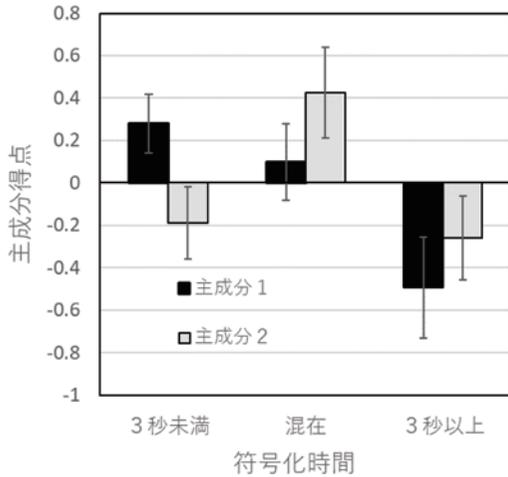


Figure 6. 不器用さを符号化時間でみた相違

未満群で低く現れた。単純効果を分析した結果、Tab. 3の分散分析表に示すようになった。すなわち、y切片の要因は主成分1, 2において有意であった。一方、主成分はy切片が3秒未満の群でのみ有意傾向が認められた。LSD法による多重比較の結果、主成分1では、y切片3秒未満群や混在群が3秒以上群に比べて有意に高い得点を示し ($MSe = .801, p < .05$)、主成分2ではy切片の

混在群が3秒以上群や3秒未満群に比べて高い値を示した ($MSe = .928, p < .05$)。

考 察

本研究はイメージの操作レベルと不器用さとの関連性を検討することが目的であった。メンタルローテーション課題で用いた刺激は、身体の一部ではなく対象に関連した (object-related) 刺激を用いた。実際には幼児期の子どもにもなじみのある、ペンギンやフクロウのキャラクターを用いたので、複雑な空間関係からなる幾何図形に比べればイメージ化はしやすかったと考えられる。メンタルローテーション課題の反応時間は勾配に従い増加する傾向が認められた。たが、 0° と 45° でMRレベルによる反応時間の違いが認められた。決定係数という反応時間と角度との適合性に基づきMRのレベルを分けたが、回転する前の符号化の段階で違いが生じていたことが推測される。メンタルローテーション課題の場合の反応時間は、符号化と回転処理の2層から成るので、 0° やわずかな傾きである 45° で差がみられたことは、符号化そのもので差がついた可能性が高いと推察され

Table 3
y切片×主成分の分散分析表

要因	SS	df	MS	F
y切片	9.6324	2	4.8162	5.33 **
個人差	62.3028	69	0.9029	
主成分1のy切片 (主成分1の個人差)	7.4545 55.2488	2 69	3.7272 .8007	4.65 *
主成分2のy切片 (主成分2の個人差)	6.4891 63.9972	2 69	3.2445 .9275	3.5 *
主成分	0.0344	1	0.0344	.04 ns
y切片3秒未満群の主成分	2.4914	1	2.4914	3.02 †
y切片混在群の主成分	1.2274	1	1.2274	1.49 ns
y切片3秒以上群の主成分 (個人差×主成分)	0.6267 56.9432	1 69	0.6267 .8253	.76 ns
y切片 x 主成分	4.3112	2	2.1556	2.61 †
個人差 x 主成分	56.9432	69	0.8253	
全体	133.2240	143		

†: $.05 < p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$

る。そもそもが反応時間と角度との適合性でもある決定係数で群分けし比較したので、高い適合性を示した子どもとそうではなかった子どもとの差が、限られた角度で現れたという点で、符号化という形の認識になんらかの負荷がかかっていたのかもしれない。また誤反応の結果から、ペンギン刺激の方がふくろう刺激よりも課題の困難度が高かった。言いかえれば刺激構造の違いが、表象化のプロセスに影響し、差となって現れたものと捉えられる。

MR レベルと年齢との関連については、年齢が3歳、4歳、5歳と上がるにつれMRレベルもそれに伴って上昇する傾向が認められた。決定係数や、角度と反応時間から導かれる一次関数式の傾きを扱ってきたそれまでの研究結果を支持するものであり(野田, 2019)、本研究で用いたMRレベルの確定の仕方に無理は無いことが示されていると考えられる。

そこで不器用さについてだが、主成分分析の結果から、不器用さの指標として第1主成分と第2主成分を取り出した。第1主成分で説明される割合は47.13%とやや低いが、信頼性係数では0.928であった。第1主成分を指標とし、年齢と性別の分散分析の結果から、年齢とともに主成分得点が高くなっていった。このことから年齢とともに不器用さ尺度で尋ねた内容が改善されていったことがわかる。さらに性差がなかったことは、重要と考える。Fig. 4からは見た目では女兒の方が男児より得点が高い(不器用さが低い)ように映るが差は無い。分析において、不器用さの第1主成分だけを取り扱うべきだったかもしれないが、第2主成分得点で高い値を示した項目群には、リズムやタイミングなどの内容に結びつく行為が含まれていた。おそらく、不器用さを測ろうとした18項目には、2つの成分が重なりながら存在していて、微細なあるいは粗大な運動の不器用さだけでなく、ある動きでの緩急の流れにうまくのれない、不器用な面も捉えていたのではないかと考えられる。

MR レベルによる第1主成分得点の違いを検討した結果、MR レベルの群間に有意傾向が認めら

れ、最も低いMRレベル(L群)では中間のMRレベル(M群)に比べて、主成分得点がかかなり低い値となった。第2主成分ではそうした有意な傾向は読み取れなかったが、成分を構成する得点の違いに起因していたと想定される。MRレベルは、イメージを適切に回転させていく処理の程度(イメージ変換の程度)を示していた。本研究での結果は、MRレベルの低いL群であると、H群やM群に比べて不器用さの主成分得点が下がっていた。つまり、イメージ変換のできない子どもであると、不器用さの度合いが強くなることが示された。このことは、それまで言われていた、身体の一部の刺激でないと、運動関連の成分とのつながりが見いだされなかったとした研究と異なるものとなった。つまり、イメージ上で操作する対象が幾何図形の場合と、身体の一部の場合では、脳内の活性部位が異なる、という脳内イメージングの研究(Kosslyn et al., 1998, 2001)や、手と文字刺激では異なる処理がなされることを支持する研究結果(Caeyenberghs et al., 2009)からすると、身体の一部である手の刺激を用いなければ、運動に関連した成分を取り出すことは難しいのではないかという予測があった。しかしながら、本研究の不器用さの尺度は、道具利用や自らの身体利用で行われる行為の不自然さを測っており、まさに運動成分と直接的につながる内容であった。すなわち、対象に関連した刺激のイメージの回転をする場合であっても、運動成分と関連していたことが示されたといえる。ただし、ここで言う運動成分はCooper & Shepard (1975)がいう身体的なぎこちなさ(physical awkwardness)と全く同一というわけではない。Cooperらの用語は、あくまで提示された手刺激の空間位置が、自らの身体位置と非対応で、一致しない位置にあるために生じる感覚に起因していた。Sekiyama (1982)やParsons (1995)の研究もいずれもが、手という自分の一部と同じものを、対面するディスプレイにおいて判断する際に生じる不一致の効果に由来する。姿勢をコントロールしたFunk et al. (2005)が示したイメージ操作の低下は、自らの固有受容感覚(proprioception)の制限を感じ、

不自然さに由来するものであった。本研究で測定した不器用 (clumsy) さは、子どもの日常生活の中で次第に改善されていくものがほとんどであり、そのことは年齢とともにMRレベルが改善されていった結果を見ても明らかである。ただ日常という点で、例えば「はさみをうまく使えない」とか「丸と四角を描き分ける」といった項目は、はさみや筆記具といった道具の利用に長けているかを問うものであり、そうした道具利用を前提にしている質問項目は18項目中10項目を占める。その他の8項目は、自らの直接的な身体の動きのぎこちなさ (例えば「手の動きにぎこちなさが目立つ」等) から構成されていた。道具利用の場合は、道具という対象に自らがどう向かうか、という自らの身体的行為に、対象を位置づけることになる (Decety & Grèzes, 1999)。これは Goodale & Milner (2004/2008) が言うところの背側経路の役割に対応すると考えられる。さらに、メンタルローテーション中の手を回す等の手の動き「ひきうつし」行為がMRレベルの上昇につれ消失していくという研究結果がある (野田, 2015)。これは、対象のイメージへの手による行為と解釈され、上記の背側経路で生じている対象への関わりと関連する内容として読み取れる。

Wilson et al. (2004) や Decety & Jannerod (1994) は、動きや身体的な制限を受けても、それを乗り越えるために、予測してエファレンス・コピーが迂回して生じ、同じ動きの意識的な認識へと到らせると考えている。そして、そのコピー信号が運動イメージの本体ではないかと解釈する説明を展開した。不器用さの質問項目では、身体的制限の感覚などについて直接は尋ねていないが、日常行為の中で現れている身体的な不自然さについては尋ねていた。ただしその不自然さに、身体利用や道具利用におけるなんらかの難しさの感覚を伴っているとしたら、それは身体的制限と同義であると捉えられる。その意味で、不器用さを身体・道具利用のなんらかの難しさと捉えるなら、Wilson et al. (2004) や Decety & Jannerod (1994) がいうような、エファレンス・コピーと実際の動きとの差異により生じる感覚が不器用さ

なのではないかと思われる。

一方で、先に少し触れた符号化に関してであるが、本研究では、提示された刺激をイメージ化して、対象がどのようなものであるかを捉えるまでの時間に、各児の一次関数の y 切片で表される 0 度での時間を用いた。つまり y 切片を符号化指標としている。ここでの分析結果では、符号化される (y 切片までの) 時間が増大するに従い、明確に不器用さの指標である第1主成分得点が、低下していくことを示した (Fig. 6)。つまり、符号化に時間を要すれば要するほど、子どもの不器用さの割合は高くなることが示された。対象を心内で回転する前段階の符号化では、言いかえれば対象がどのような特徴を持つかという、形のイメージ化いわば形の認識がなされていることになる。ここでも Goodale & Milner (2004/2008) の見方を参考にするならば、腹側経路を通じて、標準刺激と同じ刺激であるという再認のプロセスが想定できる。そして、不器用さの程度が大きいと、符号化に時間がかかっていたという本研究の結果から、不器用さがイメージ生成とかかわっていたことが示唆される。一つの解釈として、身体的な不自然さが運動イメージの生成を不十分なものにし、同時に対象の再認の段階においても、処理に手間取ってしまうという結果を導いたのではないかとこの考えが成り立つ。言いかえると、行為を介して対象と関わろうとする場合において、どちらが先かはわからないが、身体の動きのイメージ生成と対象のイメージ化とが繋がっている可能性がある。今後は、こうした身体的ぎこちなさを解消するために、能動的な働きかけ、例えば「ひきうつし」 (野田, 2015, 2019) などが、運動イメージを誘導している可能性について検討する必要があると考える。

引用文献

- Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Motor imagery development in primary school children. *Developmental neuropsychology*, 34 (1), 103-121.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1975). Mental transformation in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental psychology: Human*

- perception and performance*, 1 (1), 48-56.
- Decety, J., & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in cognitive sciences*, 3 (5), 172-178.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: The case of mental rotation. *Child Development*, 69 (5), 1345-1360.
- Frick, A., Daum, M. M., Walser, S., & Mast, F. W. (2009). Motor processes in children's mental rotation. *Journal of cognition and development*, 10 (1-2), 18-40.
- 古市真智子 (2009). 保育者からみた特別な支援が必要な子どもの行動特徴——明らかかな知的障害のない子どもについて. 現代教育学部紀要, 1, 157-164.
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: The case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8 (5), 402-408.
- Goodale, M. & Milner, D. (2004). Sight and unseen. Oxford: Oxford University Press. (グッデイル, M & ミルナー, D. 鈴木光太郎・工藤信雄 (訳) (2008). もうひとつの視覚. 新曜社)
- Hands, B., Larkin, D., & Rose, E. (2013). The psychometric properties of the McCarron Assessment of Neuromuscular Development as a longitudinal measure with Australian youth. *Human movement science*, 32 (3), 485-497.
- 本郷一夫 (2019). 発達性協調運動障害の理解と支援の方向性. 辻井正次・宮原資英 (監修) 澤江幸則・増田貴人・七木田敦 (編) 発達性協調運動障害 (pp.1-11) 金子書房
- 本郷一夫・飯島典子・平川久美子・杉村僚子 (2007). 保育の場における「気になる」子どもの理解と対応に関するコンサルテーションの効果. LD 研究, 16, 254-264.
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33 (11), 1419-1432.
- 木村明子, & 松本秀彦. (2011). 保育者が「気になる子」の発達と行動特性. 作大論集, (1), 209-225.
- Kosslyn, S. M., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35 (2), 151-161.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., & Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: Distinct neural mechanisms. *NeuroReport*, 12 (11), 2519-2525.
- 久保山茂樹, 齊藤由美子, 西牧謙吾, 當島茂登, 藤井茂樹, & 滝川国芳 (2009). 「気になる子ども」「気になる保護者」についての保育者の意識と対応に関する調査. 国立特別支援教育総合研究所 研究紀要, 36, 55-76.
- Noda, M. (2010). Manipulative strategies prepare for mental rotation in young children. *European Journal of Developmental Psychology*, 7 (6), 746-762.
- 野田満 (2015). 身体性とイメージ「ひきうつし」という手操作方略のイメージにおける役割—イメージ心理学研究, 13, 29-33.
- 野田満 (2019). 傾いた図形の同一性認知の発達の研究. 風間書房
- 野田満・落合洋子 (2020). 幼児期の対象の系列的な運動変化の理解にかかわる身体行為・自己制御・不器用さのあり方. 江戸川大学紀要, 30, 301-316.
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive psychology*, 19 (2), 178-241.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European journal of cognitive psychology*, 9 (2), 129-154.
- Sekiyama, K. (1982). Kinesthetic aspects of mental representations in the identification of left and right hands. *Perception & psychophysics*, 32 (2), 89-95.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171 (3972), 701-703.
- 渋谷郁子 (2011). 「不器用」という語の用いられ方：子どもの動作不全を記述する用語としての検討. 特殊教育研究, 48 (5), 361-370.
- Vingerhoets, G., De Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor imagery in mental rotation: an fMRI study. *Neuroimage*, 17 (3), 1623-1633.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68 (1), 77-94.
- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental medicine and child neurology*, 46 (11), 754-759.

The relationship between manipulation of object images and clumsiness in early childhood

Mitsuru Noda

In this study, we compared the subject's image rotation with the body's way of being in physical clumsiness. 3 to 5-year-old infants ($n = 74$) performed a mental rotation task and were divided into three groups (MR levels) based on the compatibility of the rotation. On the other hand, a principal component analysis was conducted using the clumsiness scale (Noda and Ochiai, 2020) and compared with the mental rotation task. The results showed that clumsiness decreased with age. It was also found that clumsiness increased with decreasing MR level, and that clumsiness was related to time to encoding, which was established separately. It was also found that the clumsiness was related to the time to encode and the clumsiness. The relevance of smooth movements without clumsiness to the manipulation of the object's image is discussed.

Key words: mental rotation, clumsiness, physical awkwardness, motor components, images, efference copy