

空間的視点取得と心的回転に現れる身体性の差異^{*1}

渡部 雅之

Differences in Embodiment between Spatial Perspective-Taking and Mental Rotation

Masayuki WATANABE

Abstract

Embodiment in spatial cognition means the influence of one's body into their own cognition. It was hypothesized that spatial perspective-taking and mental rotation are heterogeneous systems of embodiment, with the former characterized by the coincidence of body representation and somatic sensation, and the latter by the ability to mentally visualize the objects in relation to one's own body. To verify this hypothesis, either a spatial perspective-taking task or a mental rotation task was presented to 30 university students in both stable and unstable conditions. There was a significant difference between these two conditions in the spatial perspective-taking task, with participants responding faster in the unstable condition. Furthermore, for the spatial perspective-taking task, there was a positive correlation between the discrepancy in response times between the stable and unstable conditions, and response times on the Controllability of Motor Imagery test, while there was a negative correlation for the mental rotation task. These results introduce two kinds of hypotheses, and showed that it was necessary to consider spatial cognition in a framework of embodiment.

キーワード：空間的視点取得 spatial perspective taking、心的回転 mental rotation、身体性 embodiment、反応時間 response time

空間認知研究において、人と空間は二元論的に区分され、主体である人が客体としての空間を理解するという図式で捉えられてきた。しかし近年、身体と空間は不可分の関係にあり、身体が空間認知に及ぼす影響（身体性；embodiment）の重要性が主張されるようになった（Kessler & Thomson, 2010）。身体状況の変化に即応できる人の空間認知システムは、進化の上で適応的であるとの指摘（Lādavās & Farné, 2006）も、この考えを支持している。

身体性の現れが多く報告されてきた空間認知活動の1つに、外的対象の見えの変換操作がある。その方略は主に2つあり、1つは現在の位置から別の位置に自分自身が移動すると想像して対象の見え方を予想する空間的視点取得（以後“視点取得”とする）であり、もう1つは自分自身の

視点は固定したまま対象だけを心的に操作する心的回転である。両者の違いは、心的操作の対象となる表象にあるとされてきた（渡部, 2000）。視点取得では自己の身体表象が空間内を移動するイメージが形成される（渡部, 2006）が、心的回転方略では現実に対象を回転・移動させるのと同様の操作が対象表象に対して行われる（Shepard & Metzler, 1971）。一方で、表象に対して連続的な心的操作が実行されるという意味では、両者は共通している。そのため、特定の状況下において優位性を持つ方が選択的に使用される（Noda, 2010）だけなのだとする見解があった。これに対し本研究は、視点取得と心的回転における身体性の現れ方の違いを明らかにすることで、両者の機構に存在する本質的な差異について考察する。

視点取得には、自らの身体表象を心的に移動

1 本研究の結果の一部は、日本心理学会第77回大会（2013年9月、北海道医療大学）にて発表した。

する操作が不可欠である。それは仮想的な行為であるため、運動感覚や体性感覚は本来生起しないはずであるにもかかわらず、実際には期待される感覚が伴い、それを処理する脳領域が活性化される。例えば、人が空間内を移動したりある動きを模倣するとイメージした際に、体性感覚野の活動が高まったとの報告がある (Jackson, Meltzoff, & Decety, 2006)。また、自己視点から対象の動きを観察していると考えた時の脳活動を fMRI を用いて測定すると、静止状態であったにもかかわらず、感覚と運動の協調を司る頭頂間溝近傍の活性化が認められた (Kockler, Scheef, Tepest, David, Bewernick, Newen, Schild, May, & Vogeley, 2010)。すなわち、視点取得に身体性が現れる場合には、身体表象の操作に運動感覚や体性感覚が伴っている。

こうした視点取得の身体性が個人内空間 (personal space) において現れるのに対して、心的回転の身体性は、身体近傍空間 (peripersonal space) における外的対象との関わりの中で現れる。例えば、心的回転では反応時間と回転角度とが一次関数関係を示すが、刺激に手の画像を用いたり (Sekiyama, 1982)、心的回転と同時にジョイスティックを回す作業を課したりすると (Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998)、手の可動域や運動方向を反映した歪みが反応時間に生じることが知られている。また、刺激対象の回転を被験者自身が行うと想像した時にのみ、脳の運動関連領域が活性化したとの報告がある (Kosslyn, Thompson, Wraga, & Alpert, 2001)。このように、心的回転に身体性が現れる場合は、外的対象に働きかける行為が²内在化して作られた表象において生じる。

こうした視点取得と心的回転に現れる身体性の違いは、視点取得と心的回転という2つの空間認知活動に存在する本質的な差異を反映していると考えられる。そこで、身体状況が空間認知に影響すると予想される場面を設定して、視点取得と心的回転に現れる身体性の差異を実証的に示し、これに基づいて視点取得ならびに心的回転の機構について考察することを目的とする。

身体性を生み出すのに有効な場面として、本研究では体性感覚への刺激効果を取り上げる。

体性感覚刺激は注意の分散に関係する (畠山・相原・神谷・下田・金村・佐田・中澤, 1998) ため、一般的にその増加は視点取得課題ならびに心的回転課題のいずれにおいても成績低下を生じさせると予想される。しかし視点取得においては、体性感覚への刺激が身体表象を活性化し、他視点への身体表象移動が促進されることで、注意の分散による低下を上回って課題成績の向上が見られる可能性がある。一方、心的回転では外的対象を取り込む働きが肝要であるため、体性感覚刺激による身体表象の活性化は必ずしも成績の向上にはつながらない。そのため、身体バランスを維持しようとして注意の分散が生じ、その影響分の成績低下が生じると予想される。この仮説を検証することも、本研究の目的の1つである。なお、体性感覚刺激を増加させる方法には、弱電による末梢神経刺激 (Conforto, Ferreiro, Tomasi, Santos, Moreira, Marie, Baltieri, Scaff, & Cohen, 2010) や、触刺激等の機械的刺激 (Cramer, Moore, Finklestein, & Rosen, 2000) が用いられてきたが、バランスボード上での立位が体性感覚を増加させるとの報告 (板谷・長谷川, 2009) に基づき、今回は不安定な足場の上に立たせるという簡便な手段を用いることにした。

さらに、視点取得能力は成人期にも緩やかに変化することや (Watanabe & Takamatsu, 2014)、心的回転の使用方略が幼児期以降も変化すること (野田, 2009) などから、体性感覚への刺激が身体性に与える影響は、身体表象の操作能力と関係するのではないかと予想した。すなわち、視点取得において身体表象の操作能力がもともと低い者は仮想的な視点移動を苦手とするため、体性感覚を刺激してこれを助けることによる効果が、能力の高い者よりも大きく現れるであろう。一方、身体表象全体の活性化を必要としない心的回転では、体性感覚への刺激は身体表象の処理能力が低い者にとって、かえって妨害的に働く可能性がある。この第二の仮説の検証も目的に加える。なお、ここでの身体表象操作能力は、「想起した身体表象を思い通り正確に変換できる能力 (Richardson, 1967, 以後“制御性 (controllability)”) とする」と定義する。

² 野田 (2009) は、幼い子ども達に心的回転課題を課した際、標準刺激の特徴を手で捉えて (例えば手で対象の輪郭を囲む) 比較刺激に移し直そうとする行為を報告し、それを“ひきうつじ”と呼んでいる。

方法

実験参加者

運動機能と視力に自覚的な異常のない大学生・大学院生 60 名が実験に参加した（平均年齢は 22.52 歳, SD=7.02）。参加者には実験に先だって必要な説明を行い、文書にてインフォームドコンセントを得た。³ 実験の中途離脱を希望した者はいなかった。視点取得課題を課す群（以後“視点取得群”とする）と心的回転課題を課す群（以後“心的回転群”とする）を設けるため、この 60 名をランダムに 30 名ずつ 2 群に振り分けた。視点取得を課した群の平均年齢は 22.40 歳（SD=6.34; 男性 9 名, 女性 11 名）、心的回転を課した群の平均年齢は 22.63 歳（SD=7.75; 男性 7 名, 女性 13 名）であった。また、右手が利き手である者が視点取得群では 28 名、心的回転群では 27 名であった。

実験計画

視点取得群と心的回転群のそれぞれにおいて、不安定な足場の上に立って課題を実行する条件（以後“不安定条件”とする）と椅子に座って課題を実行する条件（以後“安定条件”とする）を設け、体性感覚への刺激の有無に関する実験参加者内要因とした。さらに、制御性を測定する課題（以後“制御性課題”とする）を両群に課した。視点取得課題もしくは心的回転課題の不安定ならびに安定条件の実施の間に制御性課題を挿入した。不安定条件と安定条件の実施順序は、視点取得群と心的回転群の各群内でカウンターバランスをとった。

実験装置

視点取得課題の装置は、渡部・高松（2014）や Watanabe & Takamatsu（2014）において使用されたものと同じゲーム機であった。コントローラ（新世代社製 XaviX PORT）に付属したカメラがプレーヤーの掌に巻かれた専用バ

ンドの位置を感知して、眼前におかれた 14 インチ液晶画面内の相当位置に仮想掌を映し出した。仮想掌は、プレーヤーの手の動きに合わせて画面上を滑らかに移動し、これを指定範囲に 2 秒以上静止することで入力操作を行うことができた（“もどる”“はい/いいえ”や画面上の位置情報など）。心的回転課題は、12 型ノートパソコン（NEC 社製 VersaPro VJ10M）に組み込んだ Cedrus 社製 Superlab Pro 2.02 を用いて、刺激提示と反応計測を行った。視点取得課題ならびに心的回転課題の不安定条件では、課題実施中に足下を不安定に保つため、バランス感覚トレーニング用器具（リージェント・ファースト社製 バランスバルーン）を使用した。この時、ゲームコントローラー（実験参加者の頭部からの距離は約 40cm）と液晶画面（距離約 60cm）ならびにノートパソコン（距離約 40cm）はビデオカメラ用三脚の上部に固定し、起立した各実験参加者の胸部の高さに附属カメラもしくはそれぞれの画面がくるようにその都度高さを調整した。一方、視点取得課題ならびに心的回転課題の安定条件では、縦横 55cm、高さ 77cm、座面高 42cm の事務用肘掛け椅子に実験参加者を着席させ、3.5cm 幅の肘掛け部に非利き手をゴムバンドで固定した。この時も、ゲームコントローラー（距離は約 40cm）と液晶画面（距離約 60cm）ならびにノートパソコン（距離約 40cm）は、床面から 70cm の高さにあるテーブル面上に置かれた。制御性課題の実施にも安定条件と同じ肘掛け椅子を使用し、非利き手を肘掛け部に固定した。刺激提示と反応の記録には、15 型ノートパソコン（Dell 社製 Inspiron 1501）とそこに組み込んだ Cedrus 社製 Superlab Pro 2.02 を使用した。ノートパソコンはテーブル面上に置かれ、実験参加者の頭部から 50cm ほど離れていた。

実験手続き

実験協力者ごとに個別に実験を行った。インフォームドコンセントを得た後、実験参加者に固有の参加者番号が割り振られた。全てのデー

3 所属機関（滋賀大学）の倫理委員会は平成 23 年 4 月 19 日に発足したが、本研究の実験の一部は、それ以前に開始されていた。当時は、研究参加者に対し実験内容の十分な説明を行った後でインフォームドコンセントを得ることとし、さらにデータの収集と管理を整理番号のみで行うことでプライバシーに配慮した。倫理委員会の発足後に残りの実験を行ったが、一貫した研究が継続中であることに鑑み、インフォームドコンセントの取得と個人情報への配慮を従前通り続けることで十分な倫理的対応が可能であると判断し、倫理委員会への申請は行わなかった。

タは、この参加者番号で記録・保存された。最初に、年齢と性別、運動障害の有無について書面で尋ね、次いで3種の課題が被験者番号ごとに定められた順序で実施された。視点取得課題ならびに心的回転課題の不安定条件では、裸足でバランス感覚トレーニング用器具の上に立って課題を実施するように求められた。一方、安定条件ならびに制御性課題では、肘掛け椅子に深く着席し、両腕を肘掛けの上に置いたまま、体を動かさないで課題を実施するように求められた。なお、こうした差異の他は2条件間に課題内容等の違いはないため、後で実施した条件においては課題内容の詳細な説明を省略した。最後に、不安定条件と安定条件のそれぞれで課題を実施して感じた違いについて、文章での内省報告が求められた。

視点取得課題 渡部・高松(2014)やWatanabe & Takamatsu(2014)で使用された隠れん坊を模したゲーム課題を採用した。実験参加者は鬼の役になって隠れている子どものキャラクターを見つけ出すように求められた。まず子どもの姿のキャラクター9人が、2つの窓を持つ左右対称な家の中に一度に入り、次いでその中の1人だけが左右いずれかの窓から顔をのぞかせた後に、すぐに窓枠の後ろに隠れた。

“3, 2, 1”のカウントダウンの後に、“スタート”の合図が画面中央の文字提示と女声によって示された。“スタート”の直前に、子どもの隠れた家の画像が、二次元平面上で0度から360度まで45度刻みでランダムにすばやく回転した(反時計回り、以後“回転角度”とする)。回転に要した時間は、最大1秒(180度位置)であった。“スタート”の合図と同時に、子どもが隠れているのは家の中の左右どちらの窓であるのかを、仮想掌を用いてなるべく早く示すように求められた(Figure 1)。“スタート”の合図から解答終了までの時間(1/1000秒単位)と反応の正誤が、コントローラによって自動的に計測・記録された。1人の実験参加者につき、各回転角度の問いを1回ずつ(0度は360度としても実施したので2回、合計9問)実施した。

心的回転課題 3種類のアルファベット(F,L,R)について、画面上に提示された文字が正しい文字であるか鏡文字であるかを、マウスを用いて解答することが求められた。アルファベットは、ノートパソコン画面の白色背景上に黒色で提示され、大きさは約7cm(視角約8度)であった。正しい文字ならば左側を、鏡文字ならば右側をクリックするように指示された。実験参加者の手に軽くマウスを握らせた後に、抜

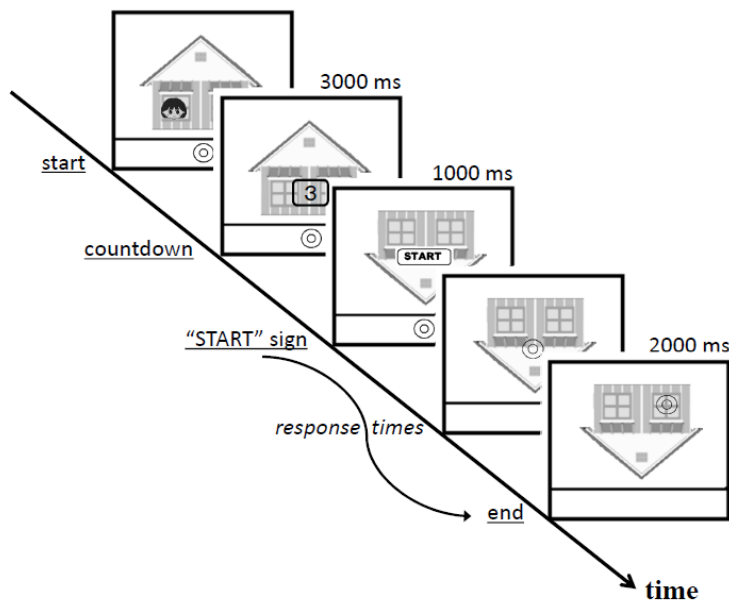


Figure1 視点取得課題の刺激提示の流れ

け落ちないようにその手を筒状のエアマットで固定した。課題開始のキーが押された直後に、3種類のアルファベットのいずれか1つが、二次元平面上で0度から330度まで30度刻みでランダムに回転して現れた(反時計回り、以後“回転角度”とする)。マウスがクリックされると直ちに提示画像が消え、次の刺激が提示された。1人の実験参加者につき、回転角度(12)×文字の正誤(2)×文字の種類(3)の72問が実施された。画像の提示からマウスがクリックされるまでの反応時間(1/1000秒単位)と反応の正誤が自動的に計測・記録された。

制御性課題 西田・勝部・猪俣・岡沢・伊藤・小山・鶴原・吉沢(1986)の自己運動イメージの統御可能性課題を参考に、パソコン上で自動で実施できる課題を作成した。まず、身体部位の動きを指示する6段階の教示(“右腕を前に出さない”など)が、画面上の5秒間の文字提示とそれを読み上げる女声によって示された。これらの教示に沿って順次身体イメージを変化させていった時に、最後はどのような姿勢になるのかをイメージし、それを選択画面の5枚の写真の中からなるべく早く選んで、テンキーから該当番号を入力するように求められた。4枚の誤った姿勢の写真は、頭と腕、胴体と足のように、必ず2箇所の間違いを含んだ。また、最終イメージが5枚のいずれにも当てはまらないと考えた場合には“その他の姿勢”を、最終イメージがぼんやりとしていて選択できない場合には“はっきりしない”を、教示の途中でイメージがわからなくなった場合には“途中でわからなくなった”を選択するよう求められた。選択画面の提示からキー入力となされるまでの反応時間(1/1000秒単位)と反応の正誤が自動的に計測・記録された。内容の異なる問題が合計3問実施された。なお、課題の実施に先立って、教示中は身体を動かさないこと、自分自身が動くイメージを持つこと、姿勢の変化はそのつどイメージ化すること、が口頭で指示された。

結果

分析指標

視点取得課題、心的回転課題、制御性課題の正答率がいずれも天井効果を示したため(平均正答率は視点取得課題不安定条件99.3%、同安定条件97.8%、心的回転課題不安定条件96.9%、同安定条件97.3%、制御性課題100%)、分析は各々の反応時間に関して行った。

視点取得や心的回転の一般的な課題では、反応時間と回転角度との間に一次関数関係が成立することが明らかになっている(Watanabe, 2011; Wraga, Creem, & Profitt, 2000)。この時得られる一次方程式の傾きは表象操作の速さを意味し、切片はそれ以外の処理に要した時間を意味する。視点取得課題と心的回転課題のそれぞれについて、条件別に回転角度ごとの平均反応時間を算出したところ(Figure 2, Figure 3)、いずれも概ね一次関数関係が認められるようであったので、それを前提に実施された渡部・高松(2014)ならびにWatanabe & Takamatsu(2014)やBerg, Hertzog, & Hunt(1982)で用いられた解析法を用いた。まず、180度より大きい回転角度における反応時間を、実験参加者の正中線に対して対称となる180度より小さい位置の反応時間に組み込んだ。次いで、視点取得課題と心的回転課題のそれぞれについて、条件別に0度位置以外の回転角度ごとの平均反応時間を算出し、この値と回転角度との間で最小二乗法により回帰直線 $y = ax + b$ (x は回転角度、 y は反応時間)を求めた。いずれも5%水準で有意な回帰直線が得られ、それぞれの決定係数は0.783(視点取得課題の不安定条件)から0.934(心的回転課題の安定条件)の間であったことから、反応時間と回転角度との間の一次関数関係が認められると判断した。そこで、最小二乗法により回帰直線を個人ごとに求めた。決定係数の平均値と標準偏差は、視点取得課題の不安定条件で $X=0.480(s=0.296)$ 、安定条件で $X=0.470(s=0.291)$ 、心的回転課題の不安定条件で $X=0.557(s=0.230)$ 、安定条件で $X=0.526(s=0.203)$ であった。各自の回帰直線の傾き a を180倍し、180度位置までの視点移動

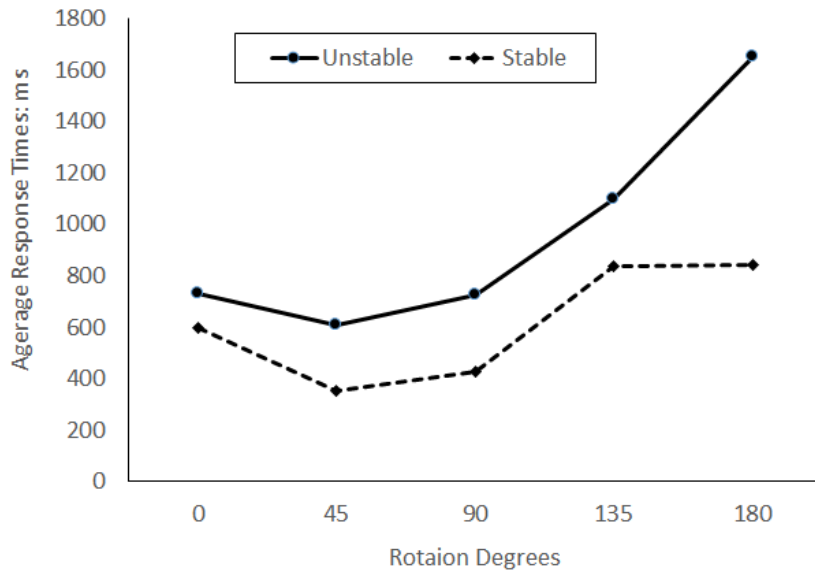


Figure2 視点取得課題における回転角度ごとの平均反応時間

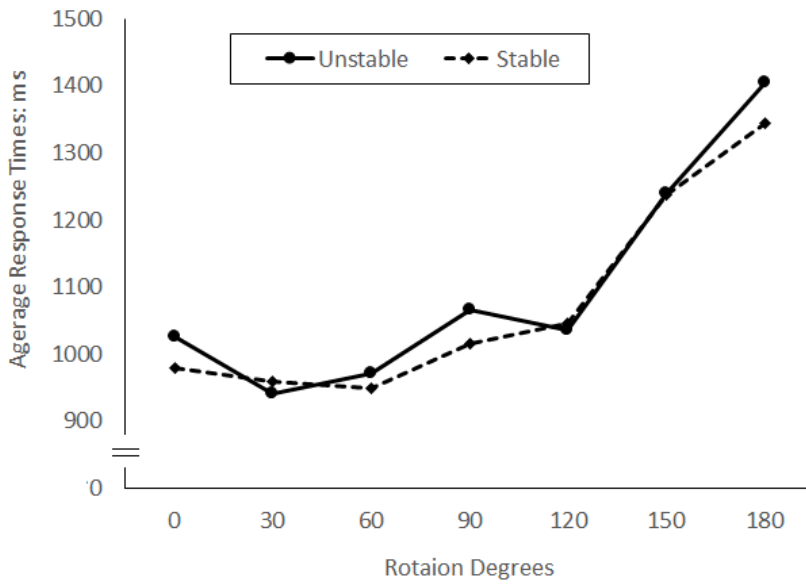


Figure3 心的回転課題における回転角度ごとの平均反応時間

や対象表象の回転操作に要した理論的な反応時間とした（以後それぞれの“回転操作時間”とする）。また切片 b は、視点移動や対象回転以外に課題解決のために必要とされた基礎的な処理時間を意味する指標とした（以後“基礎的処理時間”とする）。

制御性課題は、課題に含まれた3問の平均反応時間を算出した（以後“制御性反応時間”とする）。

条件間の差と課題間の関連

視点取得課題と心的回転課題のそれぞれにおいて、回転操作時間ならびに基礎的処理時間に不安定と安定の条件間で差があるのかを調べるため、対応のある t 検定を行った（Figure 4）。視点取得課題の回転操作時間においてのみ有意差が示され（ $t=4.809$, $df=29$, $p<.01$ ）、不安定条件（ $X=750.3$, $SD=290.7$ ）の方が安定条件（ $X=914.7$, $SD=422.1$ ）よりも速かった。

次に、回転操作時間ならびに基礎的処理時間に関して、個人ごとに安定条件から不安定条

件の値を減じ、これと制御性反応時間との間で Pearson の積率相関係数を算出した。視点取得課題の回転操作時間において制御性反応時間との間に有意な正の相関が示された（ $r=.367$, $t=2.09$, $df=28$, $p<.05$ ）。これは、身体表象の操作を制御する能力が低い者ほど（制御性反応時間が大きい者ほど）、体性感覚を刺激することによって視点の回転操作が速くなる効果が大きかった（安定条件の回転操作時間から不安定条件の回転操作時間を減じた値が大きかった）ことを意味している（Figure 5）。一方、心的回転課題の回転操作時間において制御性反応時間との間に有意な負の相関が示された（ $r=-.467$, $t=3.03$, $df=28$, $p<.01$ ）。これは、視点取得の場合とは逆に、身体表象の操作を制御する能力が高い者ほど（制御性反応時間が小さい者ほど）、体性感覚を刺激することによって対象の回転操作が速くなる効果が大きかった（安定条件の回転操作時間から不安定条件の回転操作時間を減じた値が大きかった）ことを意味している（Figure 6）。基礎的処理時間に関しては、有意な相関は示されなかった。

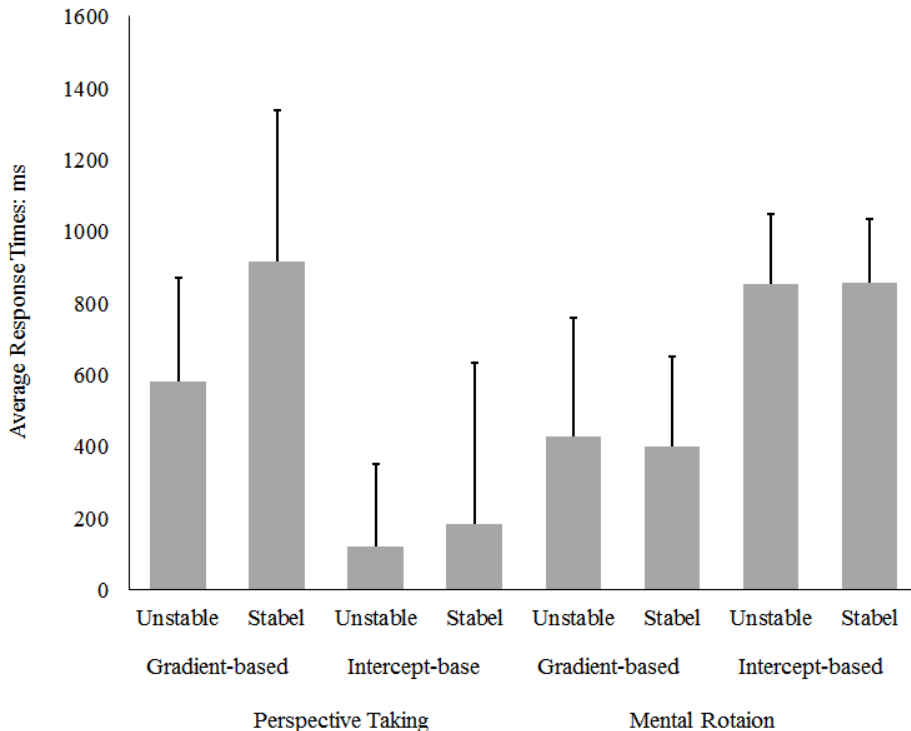


Figure3 心的回転課題における回転角度ごとの平均反応時間

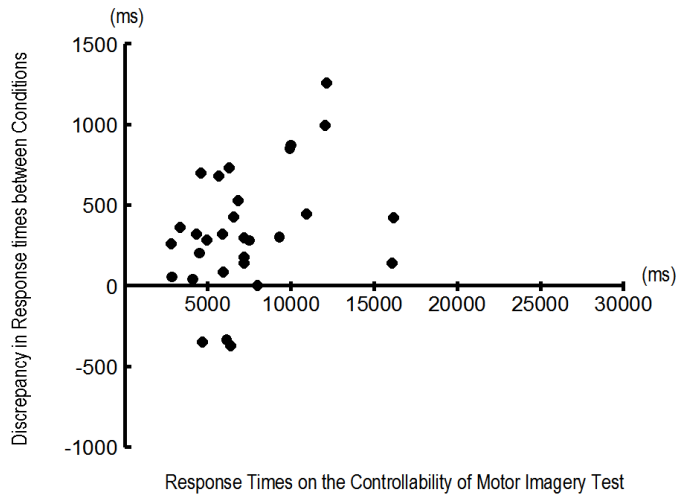


Figure5 視点取得課題の回転操作時間における安定条件と不安定条件の差分値と制御性反応時間との間の関連

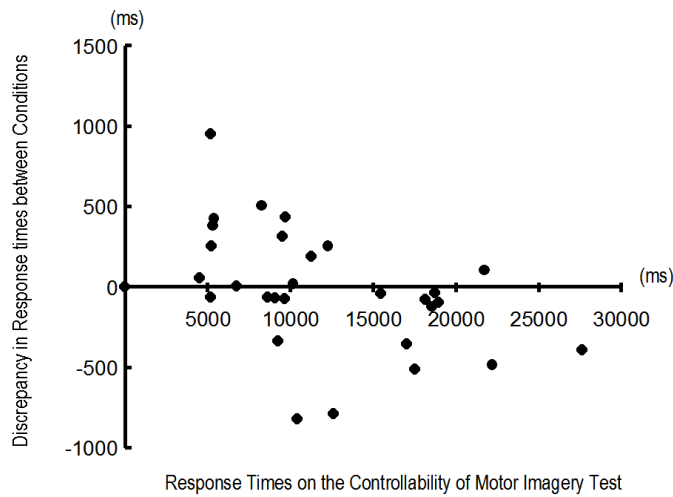


Figure6 心的回転課題の回転操作時間における安定条件と不安定条件の差分値と制御性反応時間との間の関連

考察

体性感覚への刺激は視点取得課題の実行に影響し、不安定条件において安定条件よりも反応時間が短くなった。一方、心的回転課題では条件間の差が示されなかった。視点取得課題で成績の向上を、心的回転課題で成績の低下を予想した第一の仮説は、その前半部のみが検証されたことになる。その理由として、体性感覚への刺激が課題成績に影響するほどの注意分散を引き起こさなかった可能性が考えられる。事実、

注意の要素を含む指標であった基礎的処理時間に関し、条件間の違いが示されていない。故に、今回使用した体性感覚刺激は、課題遂行に影響するほどの注意分散を引き起こすものではなく、むしろ視点取得においては身体表象が活性化され、他視点への身体表象移動が促進されることで、反応時間が速くなったと結論づけることができる。

次いで、身体性の現れ方には、身体表象の操作能力における個人差が関与するとした第二の仮説の検証のために、回転操作時間における条

件間の差分と制御性反応時間との間の相関を求めたところ、視点取得課題と心的回転課題の両方でともに有意であった。しかも、視点取得課題では正の相関が示されたのに対し、心的回転課題では負の相関が示された。すなわち、視点取得課題では、体性感覚を刺激することによる身体表象の活性化の恩恵が、身体表象の操作を制御する能力の低い者においてより大きかったが、逆に心的回転課題では、身体表象の活性化の恩恵は身体表象の操作を制御する能力の高い者において大きかった。さらに、Figure 6 に示された心的回転課題と制御性課題の反応時間の関連を詳しく検討すると、心的回転課題で安定条件より不安定条件の回転操作時間が速い者が30名中13名おり（図中の縦軸に関して正の値をとる者）、これらの者の制御性反応時間が短いことから、身体表象の操作を制御する能力が高い（制御性反応時間が短い）場合には体性感覚の刺激による恩恵を得るが、逆にこの能力が低い場合には体性感覚への刺激は妨害的に働いたことがわかった。このように、身体表象操作能力の高低によって体性感覚の刺激効果が反転することまでは、第二の仮説では想定されていなかった。

以上の結果を整合的に説明しつつ、視点取得ならびに心的回転の機構の差異を記述するために、2つの異なる仮説が考えられる。1つは、想起される身体表象の部位の違いに着目したものである。体性感覚への刺激によって活性化するのは全身的な身体表象であり、対して心的回転で対象の取り込みに多く用いられるのは、手や腕の部分的な身体表象である。全身的な身体表象が活性化された後に、その効果が手や腕の表象にも波及することは、Vogt, Taylor, & Hopkins (2003) などによって報告されている。しかし、身体表象上に生じた活性化の拡散は、常に円滑に生じるとは限らない。その時に鍵となるのが、身体表象の操作を制御する能力であったと考えることができる。この能力が十分に高ければ、全身的な身体表象が活性化されている最中も、手や腕の部分的な身体表象を円滑に操作することが可能だろう。例えば菱谷(2005)は、イメージ操作に長けた高イメージ能力者が、イメージに対応していない動作を同

時に求められても、その妨害を受けにくいことを報告している。一方、能力が低いと身体表象の切り替えがうまくゆかず、活性化した全身的な身体表象によって部分的な身体表象の操作が妨害され、対象の取り込みが困難になると予想される。こうして、心的回転課題において体性感覚の刺激が相反する効果を生じたことを説明することができる。

体性感覚と身体表象が一体であることを前提とした先の仮説に対し、両者の分離を想定すると異なる仮説が導かれる。空間認知の発達研究では、幼い子ども達が自分自身の視点に固執する自己中心的反応を示したり、空間定位において自己身体を基準とする自己中心的参照系へ依存することが観察されてきた。渡部(2013)は、この原因を脳内機序の観点から考察し、視点取得では体性感覚から仮想的な身体表象を分離することが重要であると指摘して、その働きを“引き剥がし (detachment)”と呼んだ。本研究においても、身体表象の操作を制御する能力が低い者は、身体がリアルタイムに生み出し続ける体性感覚に身体表象が縛り付けられてしまい、身体表象の操作を素早く行うことができなかつたと考えられる。こうした者に身体表象の活性化効果がより大きく現れたのは、体性感覚を刺激することで苦手とする引き剥がしが促進され、もともと引き剥がしにさほどの困難を感じなかつた高能力者との差が縮まったためであると説明できる。一方、体性感覚を伴ったまま手や腕の動きをイメージして対象の取り込みを行おうとする心的回転では、引き剥がしによって体性感覚が分離されて表象がより形式的なものになることで、操作に要する認知的負荷が増した可能性がある。身体表象の操作を制御する能力が低い者は、具体的な運動イメージに頼りがちであるため、認知的負荷の増大が妨害的に働き、逆に能力が高ければ認知的負荷の増大による影響は相対的に小さくてすみ、むしろ体性感覚に縛られずに対象表象を操作するという恩恵を享受することで成績が向上したと解釈できる。

これら2つの仮説のいずれが妥当であるのかを検証する作業は、課題として残されているが、本研究は、人がアプリアリ空間をいかに

理解するかを問うてきた従来の理論に対し、身体と空間の関係性を重視する枠組みは、空間認知過程を解明するための新たな有効性を持つことを示した。今後、身体と空間の多様な関係性とそれが生み出す特徴を詳細に検討していくことで、よりダイナミックで生態学的妥当性に富んだ空間認知理論を構築することができるだろう。

引用文献

- Berg, C., Hertzog, C., & Hunt, E. (1982). Age differences in the speed of mental rotation. *Developmental Psychology*, **18**, 95-107.
- Conforto, A. B., Ferreiro, K. N., Tomasi, C., Santos, R. L., Moreira, V. L., Marie, S. K. N., Baltieri, S. C., Scaff, M., & Cohen, L. G. (2010). Effects of somatosensory stimulation on motor function after subacute stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **24**, 263-272.
- Cramer, S. C., Moore, C. I., Finklestein, S. P., & Rosen, B. R. A. (2000). A pilot study of somatotopic mapping after cortical infarct. *Stroke*, **31**, 668-671.
- 畠山和男・相原正男・神谷裕子・下田智佳子・金村英秋・佐田佳美・中澤眞平 (1998). 受動的および能動的注意機能に関する研究—I. 体性感覚事象関連電位の等電位分布図による検討—脳と発達, **30**, 30-37.
- 菱谷晋介 (2005). 聴覚イメージ質問紙に基づくイメージ能力の推定 イメージ心理学研究, **3**, 1-12.
- 板谷 厚・長谷川聖修 (2009). G ボールを用いたバランス運動が姿勢の予測的な調節に及ぼす効果 日本体育学会体育方法専門分科会会報, **35**, 199-202.
- Jackson, P. L., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2006). Neural circuits involved in imitation and perspective-taking. *Neuroimage*, **15**, 429-439.
- Kessler, K., & Thomson, L. A. (2010). The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, **114**, 72-88.
- Kockler, H., Scheef, L., Tepest, R., David, N., Bewernick, B. H., Newen, A., Schild, H. H., May, M., & Vogeley, K. (2010). Visuospatial perspective taking in a dynamic environment: Perceiving moving objects from a first-person-perspective induces a disposition to act. *Consciousness and Cognition*, **19**, 690-701.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., & Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: Distinct neural mechanisms. *NeuroReport*, **12**, 2519-2525.
- Làdavias, E., & Farné, A. (2006). Multisensory representation of peripersonal space. In G. Knoblich, I.M. Thornton, M. Grosjean, & M. Shiffrar (Eds.), *Human body perception from the inside out*. New York, MA: Oxford University Press. pp.89-104.
- 西田 保・勝部篤美・猪俣公宏・岡沢祥訓・伊藤政展・小山哲・鶴原清志・吉沢洋二. (1986). 運動イメージの統御可能性テスト作成の試み 体育学研究, **31**, 13-22.
- 野田 満 (2009). ひきうつしの構造—みたての役割— 江戸川学園人間科学研究紀要, **25**, 1-25.
- Noda, M. (2010). Manipulative strategies prepare for mental rotation in young children. *Journal of European developmental Psychology*, **7**, 746-762.
- Richardson, A. (1967). Mental practice: A review and discussion Part I. *Research Quarterly*, **38**, 95-107.
- Sekiyama, K. (1982). Kinesthetic aspects of mental representations in the identification of left and right hands. *Perception & Psychophysics*, **32**, 89-95.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- Vogt, S., Taylor, P., & Hopkins, B. (2003). Visuomotor priming by pictures of

hand postures: Perspective matters.
Neuropsychologia, **41**, 941-951.

渡部雅之 (2000). 3歳児に空間的視点取得は可能か？—顔回転課題による測定の試み—
心理学研究, **71**, 26-33.

渡部雅之 (2006). 空間的視点取得の生涯発達に関する研究 風間書房

Watanabe, M. (2011). Distinctive features of spatial perspective-taking in the elderly.
International Journal of Aging and Human Development, **72**, 225-241.

渡部雅之 (2013). 空間的視点取得の脳内機序と生涯発達 心理学評論, **56**, 357-375.

渡部雅之・高松みどり (2014). 空間的視点取得における仮想的身体移動の幼児期から成人期に至る変化 発達心理学研究, **25**, 111-120.

Watanabe, M., & Takamatsu, M. (2014). Spatial perspective taking is robust in later life.
International Journal of Aging and Human Development, **78**, 279-299.

Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation.
Cognition, **68**, 77-94.

Wraga, M., Creem, S.H., & Profitt, D.R. (2000). Updating displays after imagined object and viewer rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **26**, 151-168.

