

歩行動作のシミュレーションが空間的視点取得に果たす役割

武藤拓之^{†1, †2} 松下戦具^{†1} 森川和則^{†1}

概要: 空間的視点取得とは、自分とは異なる視点に立って物の位置関係を判断する認知過程のことである。本研究は、空間的視点取得の際に歩行動作のシミュレーションが行われる可能性を5つの行動実験で検証した。実験1では、左足・右足のいずれかを前に出す動作が空間的視点取得に及ぼす影響を検証した。実験の結果、取得する視点の位置までの移動方向と一致した方向への動作を行った時に、一致しない方向への動作を行った時よりも、空間的視点取得に要する反応時間が短縮することが示された。この一致・不一致の関係は、実際の歩行時に最初に前に出る足と移動方向との関係と整合していた(実験2)。また、足ではなく手を前に出す動作でも同様の結果が得られた(実験3)。一方、移動とは無関連な指の動作は空間的視点取得の反応時間に影響しなかった(実験5)。加えて、足と手の反応時間を比較したところ、空間的視点取得を必要としない単純な課題では手の反応が足よりも速いのに対し、空間的視点取得中には足の反応が手よりも速くなることが示された(実験1, 3, 4)。これらの結果は、空間的視点取得の際に歩行動作のシミュレーションが行われるという仮説を支持するものである。

キーワード: 視点取得, 空間認知, 身体化認知, 歩行, 運動シミュレーション

The role of simulated walking motion in spatial perspective taking

HIROYUKI MUTO^{†1, †2} SOYOGU MATSUSHITA^{†1}
KAZUNORI MORIKAWA^{†1}

1. 問題

人は、自分の視点とは異なる視点から見た物の位置関係を判断することができる。例えば、自分と向かい合っている人が片手を挙げている時に、その手が左手か右手のどちらであるのかをその人の視点に立って判断することができる。このような認知過程は空間的視点取得と呼ばれており、心理学では古くから研究が行われてきた[1]。しかし、その認知的なメカニズムは未だ十分に解明されていない。

近年、認知心理学の研究において身体化認知(embodied cognition)と呼ばれる考え方が広まりつつある。身体化認知とは、人間の複雑な認知活動が運動能力のような原初的な身体機能に深く根ざしていると考えられる立場である[2]。この考え方は、身体性が人間の認知過程に果たす役割を強調するものである。その一例として、高次認知のひとつである言語理解も身体性に根ざしていると主張する研究者もいる(レビューとして[3])。

先に述べた空間的視点取得にも身体性が関与しているという報告がなされている。Kessler and Thomson[4]は行動実験で、空間的視点取得を行っている時の実験参加者の身体の向きを操作した。その結果、取得する視点の向きに近づくように身体を傾けることで、空間的視点取得を行うのに要する時間(反応時間)が短縮することが示された。この結果は、空間的視点取得を行っている時に、取得する視点の位置まで頭の中で自分の身体を移動させるイメージが

用いられている可能性を示唆している。

本研究の目的は、空間的視点取得中に用いられる身体移動イメージの詳細を明らかにすることである。そこで本研究では、空間的視点取得の際に歩行動作のシミュレーションが行われるという仮説を立て、5つの行動実験でこれを検証した。Kessler and Thomson[4]が想定したような、円卓の縁に沿って移動するような場面では、反時計回り(右方向)に移動する際には右半身、時計回り(左方向)に移動する際には左半身を最初に前に出す必要がある。したがって、もし空間的視点取得中に歩行動作のシミュレーションが行われるのであれば、移動方向と一致した方向への動作(e.g., 右方向に移動する時に右足を前に出す)を行った時に、移動方向と一致しない方向への動作(e.g., 右方向に移動する時に左足を前に出す)を行った時と比べて空間的視点取得の反応時間が短くなるはずである。そこで、実験1では左足と右足を前に出す動作が空間的視点取得の反応時間に及ぼす影響を検証した。

2. 実験1

実験1では足を前に出す動作が空間的視点取得の反応時間に影響を与えるかどうかを検証した。もし空間的視点取得中に歩行動作のシミュレーションが行われるのであれば、移動方向と一致した方向への動作は不一致の方向への動作と比べて空間的視点取得を促進し、反応時間を短縮させると考えられる。

†1 大阪大学大学院人間科学研究科
Graduate School of Human Sciences, Osaka University
†2 日本学術振興会
Japan Society for the Promotion of Science

2.1 方法

2.1.1 実験参加者

大学生 24 名（女性 12 名）が実験に参加した。

2.1.2 刺激

円卓の風景画像を作成した（図 1）。円卓の最も手前側（0 度）または ± 40 度・ ± 80 度・ ± 120 度・ ± 160 度のいずれかの位置に椅子が置かれており、椅子の前には花と刀が左右に並んで置かれていた。

2.1.3 手続き

刺激は観察距離約 80 cm のディスプレイ上に提示された。実験の各試行では、反応すべきターゲット刺激（花または刀）が提示された後で、円卓の風景画像が提示された（図 1）。実験参加者は、風景画像の椅子の位置からの見え方を想像し、ターゲット刺激が左右どちらにあるのかをなるべく速く正確に回答した。回答は、足で左右のフットペダルを踏むことによって行われた。どの参加者も、左足で左右のペダルを踏む左足セッションと、右足で左右のペダルを踏む右足セッションを 108 試行ずつ行った。セッションの順序は参加者間でカウンターバランスした。また、刺激の提示順序は参加者ごとにランダムとした。

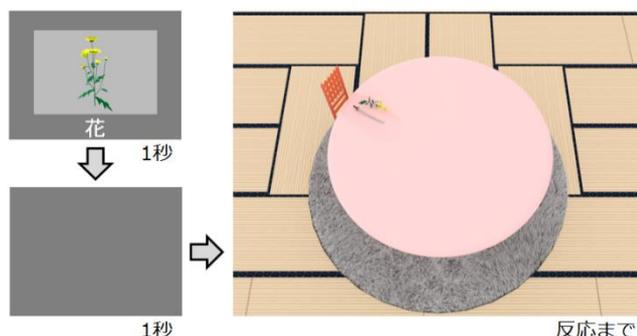


図 1 実験 1, 3, 5 で用いた刺激の例（120 度・時計回り）と 1 試行の流れ。実験参加者は、ターゲット刺激（花または刀）が風景画像の椅子の位置から左右どちらに見えるのかを回答した。この場合、左が正解である。

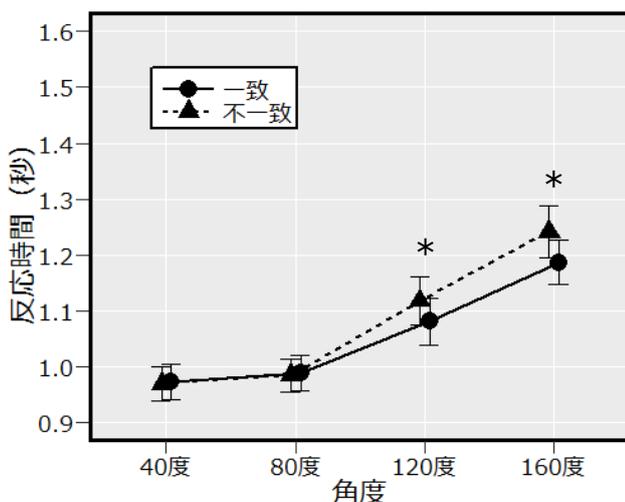


図 2 実験 1 ($N=24$) の結果。エラーバーは標準誤差を表す。一致条件と不一致条件との間に有意差が認められた角度をアスタリスクで示した（* $p < .05$; Holm 法で修正した p 値を用いた）。

2.1.4 データの集計方法

左足セッションでは時計回り（左方向）の試行を一致試行、反時計回り（右方向）の試行を不一致試行とし、右足セッションでは反時計回り（右方向）の試行を一致試行、時計回り（左方向）の試行を不一致試行とした。不正解試行および反応時間が $M + 4 SD$ を越えた試行を除外した上で、一致性（一致・不一致） \times 角度（40 度・80 度・120 度・160 度）の組み合わせから成る計 8 条件の平均反応時間を参加者ごとに算出した。なお、一致と不一致のいずれにも分類することができない 0 度条件の結果については本稿では報告しなかった。

2.2 結果と考察

各条件の平均反応時間を図 2 に示した。分析の結果、高角度条件（120 度条件・160 度条件）において、一致条件の反応時間が不一致条件の反応時間よりも短かった（Holm-corrected $ps < .024$ ）。一方、低角度条件（40 度・80 度）では一致条件と不一致条件の反応時間に差が認められなかった（ $ps > .600$ ）。これは、低角度条件では視点を変換しなくても左右の判断が可能であったためであると考えられる[4,5]。

3. 実験 2

実験 1 の結果から、取得する視点の位置までの移動方向と方向が一致した動作が不一致の動作よりも空間的視点取得を促進することが明らかになった。この反応一致性効果が歩行動作のシミュレーションによって説明できることを裏付けるために、実験 2 では、実際の歩行場面において左右どちらの足が最初に前に出るのかを検証した。

3.1 方法

3.1.1 実験参加者

大学生 10 名（女性 5 名）が実験に参加した。

3.1.2 装置

高さ 70 cm、直径 180 cm の実物の円卓を講義室の中央に設置し、実験 1 の風景画像と似た環境を再現した（図 3）。試行ごとに、パイプ椅子が ± 40 度・ ± 80 度・ ± 120 度・ ± 160 度のいずれかの位置に設置された。円卓の縁と椅子の前部との距離は 40 cm であった。歩行の開始位置（0 度の位置）は、円卓の縁から 50 cm（近条件）または 100 cm（遠条件）離れた位置の床に引かれた白線で示された。実験参加者の行動は、歩行の開始位置の背後に設置されたビデオカメラで撮影された。

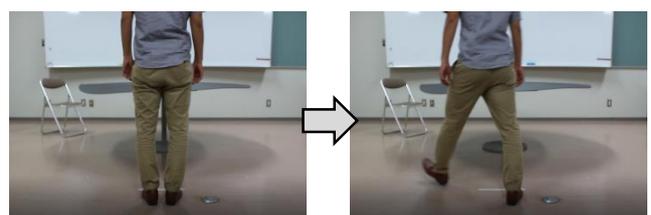


図 3 実験 2 で用いた装置と手続き。実験参加者は、椅子の位置まで最短距離で移動し座ることを求められた。

3.1.3 手続き

実験参加者は、各試行が始まる前に開始位置（白線の手前）に立って目を閉じ、試行開始の合図とともに目を開けて椅子に向かって最短距離で歩き出し、その椅子に座るように求められた。開始位置（近・遠）×移動方向（時計回り・反時計回り）×角度（40度・80度・120度・160度）の組み合わせから成る16条件を1試行ずつ実施した。開始位置（近・遠）については前半と後半のセッションに分けて実施し、順序は参加者間でカウンターバランスした。方向と角度の実施順序は参加者ごとにランダムとした。

3.1.4 データの集計方法

ビデオカメラで撮影した映像を見て、各試行で最初に床から離れた足が左足であったか右足であったかを記録した。

3.2 結果と考察

実験の各条件において最初に左足が床から離れた参加者の割合を表1に示した。分析の結果、時計回り（左方向）に移動する際には左足、反時計回り（右方向）に移動する際には右足が先に出る傾向が認められた ($p < .001$)。この結果は、実験1で報告された反応一致性効果が実際の歩行動作の特徴を反映したものであるという見解を支持するものである。

表1 実験2 ($N=10$) の結果。最初に左足が床から離れた参加者の割合を条件ごとに示した。

	40度	80度	120度	160度
近条件				
時計回り	90%	90%	90%	90%
反時計回り	0%	0%	0%	0%
遠条件				
時計回り	60%	90%	90%	90%
反時計回り	0%	0%	10%	10%

4. 実験3

これまでの実験で、足の動作が空間的視点取得の反応時間に影響を与えることが示された。では、足以外の身体部位の動作は空間的視点取得に影響するのだろうか。Kessler and Thomson[4]は、空間的視点取得中に用いられる身体表象は、特定の身体部位（e.g., 手, 足）ではなく全身の表象であると主張している。また、ヒトの進化史の大部分において手が前肢として四足歩行に用いられていたことや、乳児が手を使ってハイハイで移動することを考慮すると、足だけでなく手も移動と密接に関連していると言える。そこで実験3では、足を反応に使えない状況において手を前に出す動作が空間的視点取得に影響を与えるかどうかを検証した。

4.1 方法

4.1.1 実験参加者

大学生25名（女性12名）が実験に参加した。参加者のうち男性1名は全体的な反応時間が著しく長かったため

($M+3SD$ を超過)、分析から除外した。

4.1.2 手続き

基本的な手続きは実験1と同様であったが、実験3の参加者は、机の上に置かれた左右のフットペダルを手で押すことによって左右を回答した。左手で回答するセッションと右手で回答するセッションを108試行ずつ実施した。

4.2 結果と考察

各条件の平均反応時間を図4に示した。実験1と同様の分析を行ったところ、高角度条件（120度・160度）において一致条件の反応時間が不一致条件よりも短いことが示された (Holm-corrected $ps < .049$)。この結果は、足を反応に用いた実験1の結果と同様のパターンを示しており、全身の身体表象が空間的視点取得で用いられるという見解を支持するものである。また、人間の高次認知が原初的な身体機能から進化したものであるとみなす身体化認知の考え方[2]とも整合している。

空間的視点取得中の足の反応と手の反応の違いを検証するために実験1と実験3の結果を比較したところ、どの角度でも足の反応が手の反応よりも速いことが明らかになった ($p = .008$)。この結果は、生理学的・解剖学的事実から予想される結果[6]とは異なる。この足の優位性について、実験4で更に詳しく検討する。

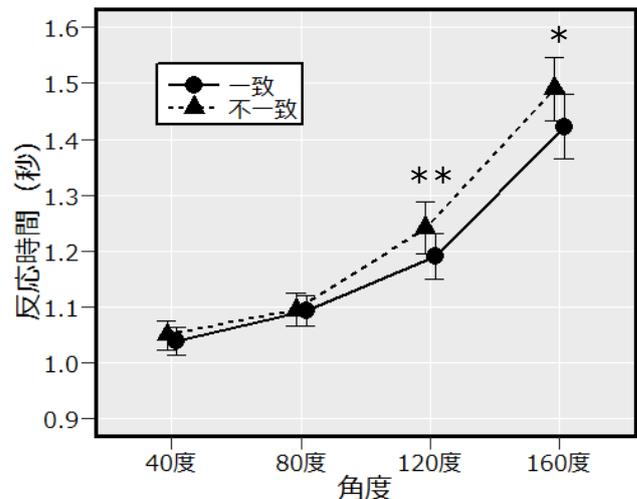


図4 実験3 ($N=24$) の結果。一致条件と不一致条件との間に有意差が認められた角度をアスタリスクで示した ($*p < .05$, $**p < .01$; Holm法で修正した p 値を用いた)。

5. 実験4

実験1と実験3の結果の比較から、空間的視点取得課題中には足の反応が手の反応よりも速くなることが示された。この足の優位性が空間的視点取得に特有の現象であるかどうかを検証するために、実験4では空間的視点取得を必要としない課題に対する手足の反応時間を比較した。

5.1 方法

5.1.1 実験参加者

大学生16名（女性8名）が実験に参加した。

5.1.2 刺激と手続き

基本的な試行の流れは実験1および実験3と同様であったが、実験4では円卓の風景画像の代わりに花と刀が横に並んだ画面を提示した。参加者は、自分の視点から見てターゲットが左右どちらにあるのかを回答した。反応にはフットペダルを用いた(実験1, 3と同様)。左足セッション・右足セッション・左手セッション・右手セッションを48試行ずつ実施し、セッションの順序は参加者間でカウンターバランスした。

5.1.3 データの集計方法

足セッションと手セッションの平均反応時間を参加者ごとに算出した。

5.2 結果と考察

手の反応時間(601ミリ秒)は足の反応時間(658ミリ秒)よりも短かった($p = .007$)。この結果は生理学的・解剖学的事実から予想される結果[6]と一致しており、実験1・実験3で観察された足の優位性が空間的視点取得に特有の現象である可能性を示唆している。

6. 実験5

実験1と実験3では、移動に関連した動作(i.e., 足または手を前に出す)が反応一致性効果を生じさせることを明らかにした。もし歩行動作のシミュレーションがこの反応一致性効果の原因であるならば、移動とは無関連な動作は反応一致性効果を生じさせないはずである。そこで実験5では、移動と無関連な人差し指の動作を用いた時に反応一致性効果が生じるかどうかを検証した。

6.1 方法

6.1.1 実験参加者

大学生・研究生24名(女性12名)が実験に参加した。

6.1.2 手続き

基本的な手続きは実験1および実験3と同様であったが、

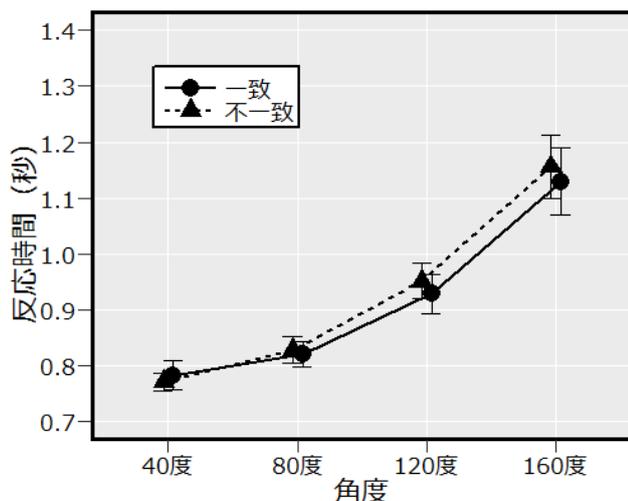


図5 実験5 ($N=24$)の結果。エラーバーは標準誤差を表す。どの角度でも一致条件と不一致条件との間に有意差は認められなかった($ps > .667$)。

実験4の参加者は、机の上に置かれたキーボードの方向キー(「←」または「→」)を人差し指で押すことによって左右を回答した。左手で回答するセッションと右手で回答するセッションを108試行ずつ実施した。

6.2 結果と考察

各条件の平均反応時間を図5に示した。分析の結果、実験1および実験3の結果とは異なり、一致条件と不一致条件の差はどの角度でも認められなかった($ps > .667$)。この結果は、移動と関連した動作を用いた時のみ反応一致性効果が生じるという見解を支持し、空間的視点取得中に歩行動作のシミュレーションが行われるという仮説を裏付けるものである。

7. 総合考察

本研究は、空間的視点取得の際に歩行動作のシミュレーションが行われるという仮説を支持する2つの現象を報告した。1つ目は、取得する視点の位置までの移動方向と一致した方向への歩行動作が空間的視点取得を促進するという反応一致性効果である。この現象は、空間的視点取得が歩行のシミュレーションと処理を共有している可能性を示唆している。この解釈は、運動に関連した脳活動が空間的視点取得中に生じるという先行研究の知見[7-9]とも整合している。

2つ目の現象は、空間的視点取得中に足の反応が手の反応よりも速くなるという足の優位性である。直立二足歩行を行う人間にとって、足は手よりも重要な歩行器官である。また、実際に足を動かすことで歩行のシミュレーションが促進するということが知られている[10]。これらの事実を考慮すると、足の優位性は、空間的視点取得中に歩行動作のシミュレーションが行われることを示す証拠であると考えられる。

足の優位性には人間工学的な意義もあると考えられる。例えば、自動車はアクセルとブレーキを足で踏むことによって移動を制御できるように設計されているが、このような足による操作が、視空間情報に基づく危険予測や速度調整を容易にしている可能性がある。

今後の研究で解決すべき問題のひとつは、空間的視点取得中に使われるイメージがどのように獲得されるかについてである。ある種の空間的思考は、道具の経験的使用を経て心の中に形成されるイメージ(道具のメンタルモデル)を利用することによって容易に行われることがある[11]。もし歩行動作のシミュレーションが実際の歩行経験を介して空間的視点取得の認知過程に組み込まれるとすれば、例えばバーチャルリアリティ等を用いた訓練によって、空間的視点取得に用いられる新たなイメージを形成できる可能性がある。このようなアプローチは、人間の思考の柔軟性に関する理解を深めるだけでなく、空間認知能力を向上させる手法の開発の糸口にもなり得る。人間が道具を作り、

その道具が人間の思考を作るという、人間と道具のインタラクティブな関係を考慮した研究を行うことが今後の課題である。

謝辞 本研究は JSPS 特別研究員奨励費（研究課題番号：16J00012）の助成を受けた。

参考文献

- [1] Piaget, J. and Inhelder, B. *The Child's Conception of Space*. (F. J. Langdon and J. L. Lunzer, Trans.). New York: Norton, 1963. (Original work published 1948)
- [2] Waller, D. Embodiment as a framework for understanding environmental cognition. (D. R. Montello, K. Grossner, and D. G. Janelle, Eds.). *Space in Mind: Concepts for Spatial Learning and Education*. Cambridge, MA: MIT Press, 2014, pp. 139–157.
- [3] 望月正哉. 身体化された認知は言語理解にどの程度重要なのか. *心理学評論*, 2015, vol. 58, no. 4, pp. 485–505.
- [4] Kessler, K. and Thomson, L. A. The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, 2010, vol. 114, no. 1, pp. 72–88.
- [5] 武藤拓之, 松下戦具, 森川和則. 空間的視点取得に必要なスキルは認知的スキルと知覚的スキルに分離できる——反応時間データに対する探索的因子分析の適用——. *日本行動計量学会第44回大会抄録集*, 2016, pp. 376–377.
- [6] Pfister, M., Lue, J.-C. L., Stefanini, F. R., Falabella, P., Dustin, L., Koss, M. J., and Humayun, M. S. Comparison of reaction response time between hand and foot controlled devices in simulated microsurgical testing. *BioMed Research International*, 2014, vol. 2014, 769296.
- [7] Creem, S. H., Downs, T. H., Wraga, M., Harrington, G. S., Proffitt, D. R., and Downs, J. H. An fMRI study of imagined self-rotation. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 2001, vol. 1, no. 3, pp. 239–249.
- [8] Schwabe, L., Lenggenhager, B., and Blanke, O. The timing of temporoparietal and frontal activations during mental own body transformations from different visuospatial perspectives. *Human Brain Mapping*, 2009, vol. 30, no. 6, pp. 1801–1812.
- [9] Wraga, M., Shephard, J. M., Church, J. A., Inati, S., and Kosslyn, S. M. Imagined rotations of self versus objects: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 2005, vol. 43, no. 9, pp. 1351–1361.
- [10] Kunz, B. R., Creem-Regehr, S. H., and Thompson, W. B. Evidence for motor simulation in imagined locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2009, vol. 35, no. 5, pp. 1458–1471.
- [11] Schwartz, D. L. and Holton, D. L. Tool use and the effect of action on the imagination. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2000, vol. 26, no. 6, pp. 1655–1665.