

身体化された意識：立位姿勢動揺のダイナミクスからの探索的検討

An exploratory study of postural dynamics for understanding of embodied intentionality

児玉 謙太郎[†], 友野 貴之[‡]
Kentaro Kodama, Takayuki Tomono

[†]東京都立大学, [‡]札幌学院大学
Tokyo Metropolitan University, Sapporo Gakuin University
kodama_k@tmu.ac.jp

概要

本研究では身体性認知の考えに基づいて立位姿勢時に「どこに意識を向けるか」によって、姿勢動揺の複雑さが変わるかを探索的に調べた。特に、内的焦点化（身体に意識を向ける）について身体部位の違いや外的焦点化（環境に意識を向ける）について目の前の地面や障害物の存在、および、身体と環境の関係（アフォーダンス）の影響などを検討した。しかし、いずれの要因の影響も見られなかったため、先行研究の知見を踏まえ多角的に考察した。

キーワード：意識 (intentionality), 身体性 (embodiment), アフォーダンス (affordance), 非線形時系列解析 (nonlinear time series analysis), サンプル・エントロピー (sample entropy)

1. はじめに

認知科学の分野において、身体性ないし身体化 (embodiment) という概念が注目されるようになって久しい。ここでいう身体性とは、我々の心 (mind) や知能 (intelligence) は、身体とは切り離せないとする考えである(e.g., [1])。これまで理論的な研究に続き、実験的な研究も様々に報告されてきた(e.g., [2])。

そんな中、近年、身体性認知を巡り、実にシンプルながら興味深い実験が報告されている。Rhea らは、参加者に 30 秒間、立位姿勢を保持するよう求め、実験的に「どこに意識を向けるのか？」という要因を操作した [3]。ベースライン条件に加え、External Focus (EF: 身体外部の環境に注意を向ける条件)、Internal Focus (IF: 身体内部に注意を向ける条件) が比較された。その結果、EF 条件において、左右方向の重心動揺の複雑性が高まることが示された。姿勢のダイナミクスに見られる複雑性について、Rhea らは「運動課題中に注意を外部環境に向けることは、運動制御をより効率的・効果的に行うことに繋がり、その結果が姿勢ダイナミクスの複雑性に反映される」と解釈し、将来的に高齢者のバランス・トレーニングとして、このように認知的なレベルの介入により身体機能が向上する可能性について言及している。しかし、「意識」や「注意」

については、認知科学、および、その周辺領域においても様々な解釈がなされ、研究が広がっている。

例えば、Shaw (2001) は、意識のモードを次のように 4 つに分類している[4]。1) extero-perception (環境に対するモード)、2) exproprio-perception (自己との関係における環境へのモード)、3) proprio-perception (自己に対するモード)、4) proextero-perception (環境との関係における自己へのモード) [4]。このように考えると、我々が対象に意識を向ける際、単に Internal/External といった区分だけでなく、関係性を含む様々なモードがあり得、モードによって姿勢のダイナミクスも変化する可能性がある。

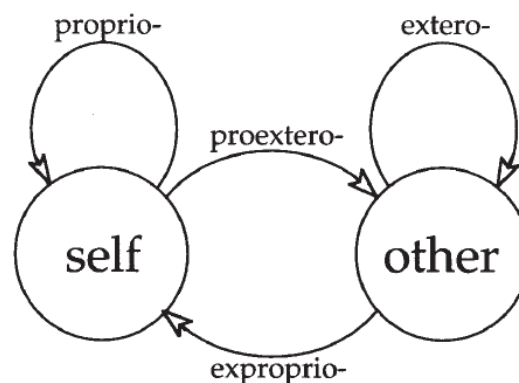


図1 意識 (intentionality) の4つのモード[4]

生態心理学では、アフォーダンスの知覚において、探索的な運動 (exploratory movement) による、自己、環境、及び、それらの関係に関する情報 (不変項) が重要だと考える。立位姿勢時の身体動揺に関しても、自己と環境との関係に関する情報の生成という側面があることが指摘されてきた [5], [6]。例えば、Stoffregen et al. (2009)による研究では、健常者を車椅子に乗せ、目の前の環境内の隙間をくぐり抜けられるかどうかを知覚判断させる際の、頭部と胴部の動きを調べている[7]。その結果、隙間の通過可能性というアフォーダンスの知覚において頭部や胴部の探索的な動きが重要であることが示唆された。

さらに、近年では、探索的な運動を評価するのに、非線形時系列解析も応用されている。例えば、

Riley et al. (2002)の研究では、手に持った物体の長さや幅といった特性を知覚させる実験で、物体を探索的に振る手の動きに対して、Recurrence Quantification Analysis (RQA) を応用している [8]. また、Palatinus et al. (2014)の研究では、頸部に取り付けた棒の長さを知覚させる実験で、静止立位時の重心動揺データに対し、フラクタル解析を応用している [9]. さらに、Lucaites et al. (2020)の研究では、前方にある隙間を通過する際の接近時の歩行データに対し、Sample Entropy を求め、アフォーダンス知覚との関係について議論している [10]. これらの先行研究においては、身体ダイナミクスの複雑性は、知覚的な探索過程や、環境からの外乱に対する適応性を示すものとして捉えられている。また、注意の外的焦点化についても、適応的な運動の調整を促すと解釈されている [11].

そこで、本研究では、以下の2つの予備実験を実施した。尚、今回の予備実験では様々な要因を探索的に検討するため、必ずしも仮説検証的な実験デザインにはなっておらず、計測機器についても以下に示すよう様々な行動データを取得した。

実験1では、先行研究の追試を含みつつ、IF、すなわち自己身体への意識といっても足と肩で異なるのか、また、目の前の障害物の存在が影響するのか、を検討することを目的とした。独立変数は、意識を向ける場所(地面、足、肩)と、障害物の有無である。よって、ベースライン (Baseline: BS)、地面 (Floor: FL)、足 (Foot: FT)、肩 (Shoulder: SH) の4条件について、障害物“あり”と“なし”の2条件(計8条件)が検討された。

実験2では、障害物は常に置いた状態で、意識のモードを比較するために、意識を向ける場所を地面、足、肩、隙間、通過可能性(アフォーダンス)で比較した。すなわち、BS条件、FL条件、FT条件、SH条件、隙間 (Aperture: AP) 条件、通過可能性 (Affordance: AF) 条件の6条件が検討された。

2. 方法

実験参加者

若年健常者8名(男女4名ずつ、平均 30.05 ± 4.8 歳)。実験手続きは、神奈川大学における人を対象とした研究に関する倫理審査委員会で承認され、参加者には同意のもと実験に参加してもらった。

実験装置

フォースプレート (CFP600YA302US, Leprino 社製)、3次元動作解析装置 (Flex13 カメラ 10 台, Natural Point 社製、頭部3点、両肩、重心付近にマーカを装着)、視線計測機 (Tobii Pro Glass3, Tobii 社製)。但し、本稿では紙幅の都合上、先行研究に準じて、フォースプレートで計測したデータの分析結果のみを報告する。

実験課題

参加者は、前方の壁の目線の高さに貼り付けられた注視点(円形の印)を見ながら静止立位姿勢を30秒間保持するよう求められた。

手続き

実験1・2ともに、どの条件も2試行ずつ行われ、最初にベースライン (BL) 条件が行われ、参加者は自然な状態で静止立位保持を求められた。続く BL 以外の条件は、ランダムな順番で行われ、それぞれ意識を向ける場所が試行前に指示された。各試行の終了後、視線と意識を向けていた場所、どれくらい強く意識を向けていたかを6件法で回答してもらった。試行間では30秒程度の休憩を入れた。尚、視線は前方の注視点に向けるよう求めた。

データ分析

本稿では、紙幅の都合、先行研究に従い、フォースプレートで取得した足圧中心 (CoP) 位置の時系列データのうち左右方向 (ML 方向) に対して、複雑性の指標である Sample entropy (SEn) [12] を求めて条件間で比較した。SEn とは、時系列の規則性、予測可能性を表す指標であり、SEn が低いほど規則的で予測可能性が高く単純な時系列であることを意味し、SEn が高いほど不規則で予測可能性が低く複雑な時系列であることを意味する。SEn の計算においては、時系列からサンプル(テンプレート)となる長さ m の時系列を取り出し、同サンプルと同じような時系列がどれくらい反復して含まれているかを調べる。その際、“同じ”または“マッチしている”と判定する基準を、閾値 r を許容範囲 (tolerance) として事前に決定する必要があるが、これら入力変数の最適化については文献を参照されたい [13]。本研究では、先行研究 [14] による最適化の手法にならない、 $m=2$, $r=0.3$ を選定した。尚、統計には R (anovakun) を用いて分散分析を行った。

3. 結果

実験1: ML方向のSEn

図2は、実験1のML方向のSEnの値について、各条件の平均値を示している。BS 障害物あり条件は平均 0.090 (SD=0.023)、BS 障害物なし条件は平均 0.091 (SD=0.020)、FL 障害物あり条件は平均 0.087 (SD=0.024)、FL 障害物なし条件は平均 0.088 (SD=0.025)、FT 障害物あり条件は平均 0.094 (SD=0.029)、FT 障害物なし条件は平均 0.085 (SD=0.014)、SH 障害物あり条件は平均 0.090 (SD=0.031)、SH 障害物なし条件は平均 0.087 (SD=0.024) であった。分散分析の結果、意識を向ける場所、障害物の有無の主効果、および、それらの交互作用は認められなかった ($F(1, 7)=0.03$, $p=0.87$, $F(3, 21)=0.37$, $p=0.77$, $F(3, 21)=0.53$, $p=0.67$)。

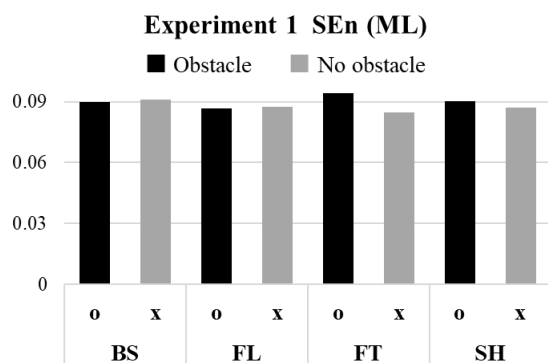


図2 実験1の結果：ML方向のSEn
(BS：ベースライン条件，FL：Floor条件，
FT：Foot条件，SH：Shoulder条件，
o：障害物あり，x：障害物なし)

実験2：ML方向のSEn

図3は、実験2のML方向のSEnの値について、各条件の平均値を示している。BS条件は平均0.093 (SD=0.034)，FL条件は平均0.097 (SD=0.027)，FT条件は平均0.099 (SD=0.031)，SH条件は平均0.091 (SD=0.032)，AP条件は平均0.091 (SD=0.022)，AF条件は平均0.097 (SD=0.023)であった。分散分析の結果、意識を向ける場所の主効果は認められなかった ($F(5, 35)=0.49, p=0.79$)。

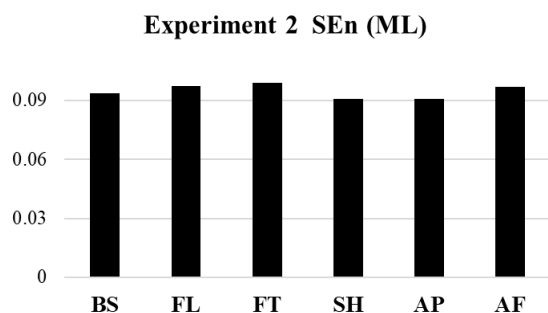


図3 実験2の結果：ML方向のSEn
(BS：ベースライン条件，FL：Floor条件，
FT：Foot条件，SH：Shoulder条件，
AP：Aperture条件，AF：Affordance条件)

4. 考察

結果の解釈：先行研究との不一致

本研究の結果、いずれの実験においても、先行研究で示された結果を再現することができなかった。その要因について、以下では「教示」「視線」「個人差」の観点から考察する。

まず、意識・注意の焦点化に関する教示について、先行研究では、“During the internal focus conditions, participants were instructed to focus on keeping their feet level.” [3]と記載されている（下線部は筆者が強調）。

これを日本語で教示する際、本研究では「足元に意識を向けて下さい」と参加者に伝えたが、実験後の参加者へのヒアリングで、具体的にどこに意識を向けていたかを確認したところ、「足の裏」「足の下の地面」など、自己身体（足の裏など）に意識を向けている参加者と、環境（足の下の地面）に意識を向けている参加者とが存在することが明らかとなった。これら外的焦点化条件でも自己身体と環境のどちらを意識していたかについて適切に統制できていなかった可能性があり、本研究の結果に影響した可能性もある。そのため、今後は教示による統制について再検討する必要がある。

また、視線の統制について、先行研究[3]では具体的な記載がなかった。よって、参加者が前方ではなく足元の地面の方向を見ていた可能性もあり、その場合、姿勢の動揺に影響する可能性もあるため、今後、視線の影響についても確認する必要がある。

また、本研究ではSEnの値について個人差も確認された。そのため、今後、個人差を踏まえた評価の方法や、SEn以外の解析についても検討したい。

今後の展望：追加データ分析

SEn以外の解析については、SEnと同じく複雑性の指標のひとつであるフラクタル解析が挙げられる[15]。具体的には、Detrended Fluctuation Analysis (DFA) という非線形時系列解析手法は、姿勢や歩行の複雑性の評価にも応用されている[16]。また、1章で述べたように、探索的な知覚・行為の特徴を抽出するのに、これらDFAやRQAとしても応用されている[8]、[9]。立位姿勢においても姿勢動揺は自己と環境との関係に関する情報の生成という探索的な運動の側面があり、今後、これらの手法も含め、様々な観点からのデータの解析が求められる。

また、本発表では報告をしていないが、今回取得したデータのうち、モーションキャプチャーやアイトラッカーなどのデータも今後は追加分析する予定である。とりわけ、上述の通り、参加者が各条件で視線をどこに向けていたか、視線データ自体の探索的な振る舞いや、通過可能性に意識を向けている際の肩の動きなども今後の追加分析によって検討していきたい。

文献

- [1] Chemero, A. (2009). *Radical Embodied Cognitive Science*. MIT Press.
- [2] Anderson, M. L., Richardson, M. J., & Chemero, A. (2012). Eroding the Boundaries of Cognition: Implications of Embodiment. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 717–730.
- [3] Rhea, C. K., Diekfuss, J. A., Fairbrother, J. T., & Raisbeck, L. D. (2019). Postural Control Entropy Is Increased When Adopting an External Focus of Attention. *Motor Control*, 23(2), 230–242.

- [4] Shaw, R. E. (2001). Processes, Acts, and Experiences: Three Stances on the Problem of Intentionality. *Ecological Psychology*, 13(4), 275–314.
- [5] Riccio, G. E. (1993). Information in movement variability. About the qualitative dynamics of posture and orientation. *Variability and Motor Control*, 317–357.
- [6] Van Emmerik, R. E. A., & Van Wegen, E. E. H. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(4), 394–406.
- [7] Stoffregen, T. A., Yang, C. M., Giveans, M. R., Flanagan, M., & Bardy, B. G. (2009). Movement in the perception of an affordance for wheelchair locomotion. *Ecological Psychology*, 21(1), 1–36.
- [8] Riley, M. A., Wagman, J. B., Santana, M.-V., Carello, C., & Turvey, M. T. (2002). Perceptual Behavior: Recurrence Analysis of a Haptic Exploratory Procedure. *Perception*, 31(4), 481–510.
- [9] Palatinus, Z., Kelty-Stephen, D. G., Kinsella-Shaw, J., Carello, C., & Turvey, M. T. (2014). Haptic perceptual intent in quiet standing affects multifractal scaling of postural fluctuations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(5), 1808–1818.
- [10] Lucaites, K. M., Venkatakrishnan, R., Bhargava, A., Venkatakrishnan, R., & Pagano, C. C. (2020). Predicting aperture crossing behavior from within-trial metrics of motor control reliability. *Human Movement Science*, 74, 102713.
- [11] Becker, K. A., & Hung, C. J. (2020). Attentional focus influences sample entropy in a balancing task. *Human Movement Science*, 72, 102631.
- [12] Ramdani, S., Seigle, B., Lagarde, J., Bouchara, F., & Louis, P. (2009). On the use of sample entropy to analyze human postural sway data. *Medical Engineering & Physics*, 31, 1023–1031.
- [13] Yentes, J. M. (2016). Entropy. In N. Stergiou (Ed.), *Nonlinear analysis for human movement variability* (pp. 173–260). CRC Press.
- [14] Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039–2049.
- [15] Lipsitz, L. A., & Goldberger, A. L. (1992). Loss of “Complexity” and Aging. *Jama*, 267(13), 1806.
- [16] Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 30(5), 869–888.