

# 非制御多様体解析による跨ぎ越え動作の下肢協調性の定量評価

所属： 神奈川大学 経済学部

助成対象者： 児玉 謙太郎

## 概要

本研究の目的は、下肢の協調性という観点から、高さの異なる障害物を跨ぎ越える動作を定量評価し、転倒リスクの予測などに応用することであった。そこで、本研究期間内では、大学生 15 名を対象とした実験を行った。実験では、水平のバー（障害物）を実験参加者の下肢の長さの 0～90% の高さ（15%刻み、7 水準）で変化させ、歩いて跨ぎ越える課題を各条件 10 回ずつ行ってもらった。動作は 3 次元動作解析装置で計測・分析された。また、既存モデルの拡張、及び、データ解析プログラムの開発、事例データへの応用を行った。実験の結果、バーの高さや跨ぎ方（方略）により動作の安定性が変わる可能性が示唆された。今後、下肢協調性という観点を多角的に評価する分析の追加が求められる。

## abstract

The present study aimed to assess stepping-over behavior in terms of lower-limb coordination. We conducted a stepping-over experiment, in which participants (N=15) were asked to walk and step-over the horizontal bar (height: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90% of each participant's leg length). The 3D motion capture system measured and analyzed lower-limb motion of stepping-over. We also extended the existing model and developed the program for calculating the lower-limb coordination. As a result, we found changes of behavioral stability in some cases. We plan to apply such analytical methods to our data from multiple viewpoints.

## 研究内容

### 目的

本研究の目的は、下肢の協調性（シナジー）という観点から、高さの異なる障害物を乗り越える動作を定量評価し、転倒リスクの予測などに応用することであった。具体的には、非制御多様体解析（Uncontrolled Manifold Analysis：UCM 解析）を応用し、水平のバーを乗り越える動作を定量的に分析・評価することであった。

### 背景

つまずきによる転倒は、高齢者や身体障害者にとって深刻の問題であり、リスクの予測や予防は重要な研究課題として、これまで様々な研究が行われてきた（Sakurai et al., 2013 など）。しかし、先行研究の多くは、爪先位置など身体の一部を分析の対象としており（Patla & Rietdyk, 1993 など）、身体部位間の協調（シナジー：Latash, Scholz, & Schöner, 2002 など）、また身体と環境の関係（身体-環境システム）という観点からの研究（児玉, 安田, 園田, 青山, 樋口, 2017 など）は不足していた。身体の協調は、歩行や跨ぎなど様々な行為の基礎にあり（Bernstein, 1996）、そのバランスが崩れることで動作や行動の安定性が低下し、転倒につながるリスクがある。そこで、本研究では、身体部位間シナジーを定量評価できる非制御多様体解析を障害物を跨ぐ際の下肢の運動データに適用し、下肢協調性の観点から運動安定性と転倒リスクとの関係を調べ、転倒リスクの高まる条件を明らかにすることを目標に設定した。

### 結果

研究助成期間内で得られた成果としては、

- 1) データの収集
- 2) 既存モデルの拡張
- 3) データ解析プログラムの開発
- 4) 事例データへの解析プログラムの応用

が挙げられる。

## 1) データの収集

まず、本研究の目的を達成するためのデータ収集として、以下の実験を実施した。

**実験課題：**前方に設置された水平のバー（障害物）を跨ぎ越える課題（図 1）

**実験計画：**1 要因被験者内計画（独立変数：バーの高さ 9 水準、下肢長 15% 刻み）

**参加者：**大学生を中心に若年健常者 15 名（神奈川大学の倫理審査委員会で承認済み）

**装置：**自動バー昇降機、光学式 3 次元モーションキャプチャシステム（OptiTrack）

**手続き：**バーの高さを参加者の下肢長の 0% から 15% 刻みで段々と高くしていく上昇試行を行い、参加者ごとに跨げる最大の高さを求める。続いて最大高から 15% 刻みで段々と低くしていく下降試行を行う。以降、上昇・下降の順はランダム化し、計 5 セットずつ繰り返す（各条件について計 10 回ずつ反復）。

**分析：**行動安定性の指標としてシナジー強度  $S$ （UCM 解析；Scholz & Schöner, 1999）やクリアランスの標準偏差を求める。

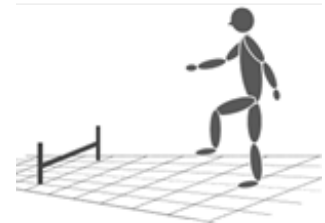


図 1. 跨ぎ越え課題

## 2) 既存モデルの拡張

まず、UCM 解析は、身体部位間の協調性（シナジー）に焦点を当てるものが多く、環境との関係で分析したものは少ない。そこで、本研究では、アフォーダンス理論（Gibson, 1979）の枠組みに基づく実験系（Warren, 1984 など）を応用し、障害物回避行動として跨ぎ越え動作を対象とした。しかし、障害物が高くなると、次第に動作は 3 次元化する（図 2）。

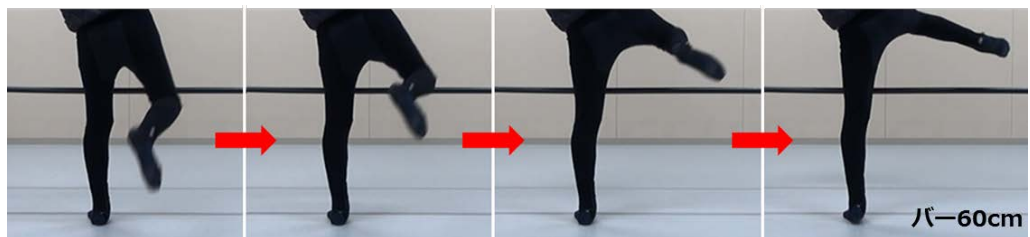


図 2. 3 次元動作

既存の UCM モデルは 2 次元のモデルしか対応していないため、既存モデルを 3 次元に拡張した（児玉，安田，園田，2017）。

### 3) データ解析プログラムの開発

現在、プログラミングソフトで 2 次元の UCM モデルを今回のデータ( 跨ぎ越え動作の下肢) に応用したデータ解析プログラムを作成し、3 次元バージョンを開発中である。

### 4) 事例データへの解析プログラムの応用

2 次元 UCM モデルのプログラムについては、すでに今回のデータの一部に応用して確認をしている。今後、他のデータについても応用し、統計分析まで行い、論文としてまとめる計画である。

### 今後

今後さらに収集したデータに対して、以下の分析を追加していく計画である。

#### ・ UCM2 次元モデルによる解析

残りのデータについても今回のデータ解析プログラムを応用し、障害物の高さによって、シナジー強度  $S$  がどのように変化するかを明らかにする。

#### ・ UCM3 次元モデルによる解析

同様のデータに対して、拡張した 3 次元 UCM モデルを応用し、2 次元 UCM モデルの結果と比較する。

#### ・ 相対位相による下肢協調の安定性評価

下肢の協調性について位相差という観点から分析した先行研究 (Stergiou, Scholten, Jensen, & Blanke, 2001) と比較するため、同様に相対位相による安定性評価も行う予定である。

## 引用文献

- Bernstein, N. A. (1996). *Dexterity and Its Development*. Psychology Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition* (Vol. 20). Psychology Press.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2002). Motor Control Strategies Revealed in the Structure of Motor Variability. *Exerc. Sport Sci. Rev*, 30(1), 26-31.
- Patla, A., & Rietdyk, S. (1993). Visual control of limb trajectory over obstacles during locomotion: effect of obstacle height and width. *Gait & Posture*, 1(1), 45-60.
- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Ishihara, M., Higuchi, T., Uchida, H., & Imanaka, K. (2013). Age-related self-overestimation of step-over ability in healthy older adults and its relationship to fall risk. *BMC Geriatrics*, 13(1), 44.
- Scholz, J. P., & Schöner, G. H. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126(3), 289-306.
- Stergiou, N., Scholten, S. D., Jensen, J. L., & Blanke, D. (2001). Intralimb coordination following obstacle clearance during running: the effect of obstacle height. *Gait & Posture*, 13(3), 210-220.
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 10(5), 683-703.
- 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平. (2017). 転倒予防のための障害物回避行動に関する基礎研究: 障害物の跨ぎ越えにみられる適応性. *経済貿易研究*, 43, 97-107.
- 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平, 青山慶, 樋口貴広. (2017). 知覚と行為の乖離の実験的構成: 下肢加重による跨ぎ越え課題での検討. *認知科学*, 24(2), 169-184.

本助成に関わる成果物

[論文発表]

- 児玉謙太郎・安田和弘・園田耕平「身体でスケール化された高さの障害物の跨ぎ越え：行為安定性の変化に関する予備的検討」, *日本認知科学会第34回大会発表論文集*, pp. 1030-1034, 2017.
- 児玉謙太郎・安田和弘・園田耕平 「転倒予防のための障害物回避行動に関する基礎研究：障害物の跨ぎ越えにみられる適応性」, 43号, *経済貿易研究*, pp.97-107, 2017.

[ポスター発表]

- K. Kodama, K. Yasuda & K. Sonoda, "How does stepping-over behavior change depending on the obstacle height?", *2017 ISPGR world congress*, 2017.
- 児玉謙太郎・安田和弘・園田耕平「身体でスケール化された高さの障害物の跨ぎ越え：行為安定性の変化に関する予備的検討」, *日本認知科学会第34回大会*, 2017.
- K. Kodama, K. Yasuda & K. Sonoda, "Behavioral strategy of stepping-over: differences in obstacle's height and individuals", *Fourth International Workshop on Skill Science*, 2017.