

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

児玉 謙太郎・安田 和弘・園田 耕平

A study on obstacle avoidance toward fall prevention : adaptability in stepping-over behavior

Kentaro Kodama・Kazuhiro Yasuda・Kouhei Sonoda

Kanagawa University・Waseda University・Ritumeikan University

【要約】 本研究では、障害物回避行動のひとつである跨ぎ越え動作のダイナミクスを明らかにするため、障害物の高さの変化に伴い、跨ぎ越え動作がどのように変化するかを検討する。本稿では、若年健常者を対象に行った予備実験の結果を報告する。跨ぎ越える際の爪先と障害物との距離であるクリアランスの標準偏差について、バー高さを要因とした1要因分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。この結果について、サンプル数の問題と、今回の実験参加者の間での個人差の問題が考察された。今後、身体特性である脚の長さについて事前の標準化、他の分析指標の導入の検討が求められる。本実験によって、跨ぎ越え動作にて行動が安定化／不安定化する条件が明らかになれば、安全な障害物回避行動について理解が深まるであろう。そのため、本研究の知見は、将来的には、高齢者や運動機能障害者の転倒予防のための効果的で安全な訓練方法の提案などにつながる。

【キーワード】 高齢社会 転倒予防 障害物回避 適応 システム論的アプローチ

目 次

- 第1章 背景と問題設定
- 第2章 方法
- 第3章 結果・考察
- 第4章 まとめ

第1章 背景と問題設定

第1節 超高齢社会と2025年問題

日本の高齢化は他の国々に比べ、類を見ないスピードで進行している。現在、65歳以上の人口は約3395万人(26.8%)、2042年の約3878万人をピークに、その後も75歳以上の人口割合は増加し続け、2055年には約2400万人(26.1%)ほどに増加することが予想されている(表1)。2025年問題とは、このような社会的状況の中、団塊の世代(約800万人)が75歳以上となる2025年以降、国民の医療や介護の需要が増加することが見込まれ、医療費・社会保障その他の課題に直面する超高齢化社会の問題のことである。

表1 今後の高齢者人口の見通し（厚生労働省：地域包括ケアシステムの実現へ向けて）

	2012年 8 月	2015年	2025年	2055年
65歳以上高齢者人口（割合）	3,058万人 (24.0%)	3,395万人 (26.8%)	3,657万人 (30.3%)	3,626万人 (39.4%)
75歳以上高齢者人口（割合）	1,511万人 (11.8%)	1,646万人 (13.0%)	2,179万人 (18.1%)	2,401万人 (26.1%)

具体的な問題として、超高齢化に伴う認知症を患う高齢者の増加、高齢者世帯の増加による介護負担、医療費・社会保障費の増大に伴う財源確保、介護を必要とする高齢者の増大に対する介護医療従事者の不足、生産年齢人口の減少などの問題が挙げられる。そのため、厚生労働省では、2025年を目途に「高齢者の尊厳の保持と自立生活の支援の目的のもとで、可能な限り住み慣れた地域で、自分らしい暮らしを人生の最期まで続けることができるよう、地域の包括的な支援・サービス提供体制（地域包括ケアシステム）の構築」を推進している。このように、我が国が抱える2025年問題は、労働力や費用の問題も孕んでおり、社会全体で取り組むべき課題として認識されている。

そして、高齢化の問題と切り離すことができないのが“健康”の問題である。1948年に設立された世界保健機構（WHO）憲章前文によると「健康とは、病気でないとか、弱っていないということではなく、肉体的にも、精神的にも、そして社会的にも、すべてが満たされた状態にあることをいう」（日本 WHO 協会訳）と定義されている。つまり、単に肉体や身体レベルで病気や虚弱、疾病や障害の有無だけでなく、心理・精神レベル、そして、地域・社会レベルでの健康状態（満たされている状態）が考慮されているのである。

また、近年、健康と類似する概念としてQOL（Quality of Life：生活・人生の質）という考え方が広まり、その重要性が強く認識されるようになってきた（土井、2004）。QOLは、身体～心理～社会のレベル、そして経済的・職業的なレベルも関わるより広いスケールから捉えた健康概念と言えるが（土井、2004）、医療の進歩により、寿命が延び、高齢化が進む現代社会において、人生という長いスパンでの健康や福祉の質が、改めて問われている。

第2節 転倒に関する研究

健康やQOLという観点からも高齢者の生活、人生を脅かすのが転倒事故である。内閣府が、全国の60歳以上の高齢者を対象に実施した「平成22年度高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査」の結果（全体版）によると、転倒経験のある人は、男性（6.8%）、女性（11.8%）、年齢別にみると、年齢が上がるほど転倒事故の割合が高くなる傾向がみられ、85歳以上では19.4%とおおよそ5人に1人の割合となっている。一方、70歳未満の転倒事故は10%未満であった。しかし、転倒した人の3人に2人が何らかのけがを負っている。

若年者と比べ、高齢者にとっての転倒事故は、骨折や脳損傷など重篤な怪我や障害につながりやすい。一度の転倒が重度の身体的な障害、場合によっては死に至るケースもあるため、深刻な問題である。また、高齢者は負傷した際の怪我の治療期間、回復に要する期間も長くなる。さらに、転倒が恐怖体験として残ってしまい、外出など様々な活動の妨げともなり得る（近藤、宮前、石橋、& 堤、1999）。活動性の低下から、そのまま寝たきりになってしまうケースも少なくない。このように高齢者にとって転倒は、QOL全般に関わる大きな問題である。そのため、転倒要因の検討、転倒予防策の考案は重要な研究課題となる。

表2 平成22年度高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査（自宅内での転倒事故）

	総 数	この1年間に一度も転んだことはない	この1年間に一度だけ転んだことがある	この1年間に何度も転んだことがある	転んだことがある（計）
【総数】	2062	90.5	5.6	3.8	9.5
【都市規模別】					
大都市	472	92.8	4.7	2.5	7.2
中都市	867	90.5	5.1	4.4	9.5
小都市	522	89.1	7.1	3.8	10.9
町村	201	89.1	6.5	4.5	10.9
【性別】					
男性	979	93.2	3.8	3.1	6.8
女性	1083	88.2	7.3	4.5	11.8
【年齢階級別】					
60～64歳	574	94.6	4.0	1.4	5.4
65～69歳	500	92.4	4.8	2.8	7.6
70～74歳	457	89.3	6.8	3.9	10.7
75～79歳	322	85.7	6.8	7.5	14.3
80～84歳	147	87.1	7.5	5.4	12.9
85歳以上	62	80.6	8.1	11.3	19.4
【健康状態別】					
良い	787	95.4	3.6	1.0	4.6
まあ良い	379	92.6	5.5	1.8	7.4
普通	533	90.1	6.8	3.2	9.9
あまり良くない	293	80.2	8.5	11.3	19.8
良くない	70	71.4	8.6	20.0	28.6
良好（計）	1166	94.5	4.2	1.3	5.5
不良（計）	363	78.5	8.5	12.9	21.5
【住宅の種類別】					
持ち家	1826	90.9	5.5	3.7	9.1
借家	236	88.1	6.8	5.1	11.9
【住宅の建て方別】					
一戸建て住宅	1770	90.1	6.0	3.8	9.9
集合住宅	286	93.0	3.1	3.8	7.0

高齢者の転倒の要因については、これまで様々な観点からの研究が行われてきた（e.g., Stuck et al., 1999；川上、加藤、& 太田、2006）。それらの先行研究の結果を鑑みると、その要因は様々であり、一般化することはできないが、例えば、環境の要因としては、敷居や階段などによる段差、傾斜や摩擦係数といった床の状態が挙げられる（内山、2004）。身体の要因としては、視力や筋力の低下など感覚・神経・筋レベルでの要因、立位安定性や重心移動能力、外乱への応答能力の低下といった運動要因が挙げられる（内山、2004）。これらは、歩行や移動といった行為を成り立たせる個別の要素と言える。

一方、近年、「知覚と行為の乖離」、すなわち環境の知覚と行為の調整というレベルでの適応不全が、転倒要因として指摘されている（Sakurai et al., 2013）。例えば、目の前にある段差（環境）が、“乗り越えることができる”と知覚され、乗り越えようとしたにもかかわらず、実際にはつまずいてしまい“乗り越える”という行為が遂行できず、転倒してしまう場合がある。このような場合を“知覚と行為が乖離している”という。これは、感覚・知覚、運動・行為といった個別の要因というよりも、それらを自身の身体と環境の間で、適切に機能させ、環境の知覚と行為の調整を適切に協調させ

るという意味で、身体－環境からなる生態学的なシステムから捉えられる要因である（児玉、安田、園田、青山、樋口、印刷中）。

障害物の跨ぎ越え課題における知覚と行為の乖離に関する先行研究である Sakurai et al. (2013) の実験では、障害物として水平に設置されたバーを跨ぎ越えることができるかについて、知覚と行為の両面から調べた。知覚については、自身が跨ぎ越えることができると知覚判断された最大の高さを推定値として求め、行為については、実際に跨ぎ越えることができる最大の高さを求めた。そして、両者の差を乖離値として求めた結果、高齢者では行為能力が低いほど自身の身体能力を過大評価する傾向がみられ、過去に転倒経験のある高齢者群のほうが過大評価者の割合が高いことが分かった。これらの結果から、高齢者の中には、加齢に伴う自身の身体能力の低下に無自覚で、自身の行為能力を過大評価しがちな高齢者が一定数いることが明らかになり、そのことが転倒のリスクを高めている可能性が指摘されている（Sakurai et al., 2013）。

第3節 生態学的／力学系アプローチ

このように、身体や環境の個別の要因に原因を還元するのではなく、身体－環境からなるシステムという観点から生物の行動を記述する枠組みに生態心理学がある（Gibson, 1966）。生態心理学では、人間をはじめとする生物を、その環境と分けずにひとつのシステムとして捉える。そして、生物の知覚や行為ないし行動を、環境との相互作用の過程で創発する現象とみなす。このことを強調するために、環境が生物に対して提供する行為の可能性や機会、生物にとっての環境の意味や価値を表す“アフォーダンス”という概念が提案されている（Gibson, 1979）。この概念には、環境の知覚には自己の知覚が含まれる、という環境と動物の相補性が含意されている。

アフォーダンスに関する研究では、生物と環境の適合を表す指標として環境側の特性（E）と生物（行為者）側の特性（A）の比からなる π 数（ $\pi=E/A$ ）が提案されている（Warren, 1984）。すなわち、生物が知覚する環境の特性は、その個体の特性に基づきスケール化され、環境と個体との関係に基づき知覚されるというわけである。例えば、階段を上る行為では、段の高さという環境特性は、それを上る行為者の脚の長さとの関係に基づき知覚され、 π 数が特定の値になるとき、環境はその個体の行動に対し特定の意味をもち、行動に質的な変化が起こると考える（Warren, 1984）。

また、生物の行動や身体運動に対し、システム論、とくに自己組織化理論に基づいて研究する枠組みに力学系アプローチがある（Haken, 1988；Kelso, 1995）。Kelso は、自己組織化理論の観点から、身体運動がミクロ・レベルでの要素間の相互作用によって、自律的にマクロ・レベルでシステム全体としての秩序が創発することを実験的に示した（Kelso, 1984）。その後、Haken らはこれらの結果に対し、シナジェティクスの観点から、マクロ・レベルで記述される秩序変数と、その変化をもたらす制御変数によって、多自由度系の身体運動の質的变化を、少数の変数で記述する数理モデルを提案した（Haken, Kelso, & Bunz, 1985）。

彼らのモデルから予測される現象の例として、臨界ゆらぎ、相転移などがある（Kelso, 1995）。臨界ゆらぎとは、制御変数の変化により秩序変数が不安定化しばらつきが増大する現象である。さらに、制御変数が変化し臨界値に達すると、運動パターンが質的に変化し新しい運動パターンが創発することがある。このマクロ・レベルでの運動パターンの変化を相転移と呼ぶ。Kelso らは、両手の協調運動課題などに関する一連の実験から、ヒトの身体運動でこれらの現象を確認した。それらの実験結果から、自然界で起こる自己組織化と同様の原理が、ヒトの行動の原理として働いているとした（Kelso, 1995）。

第4節 本研究の位置づけ

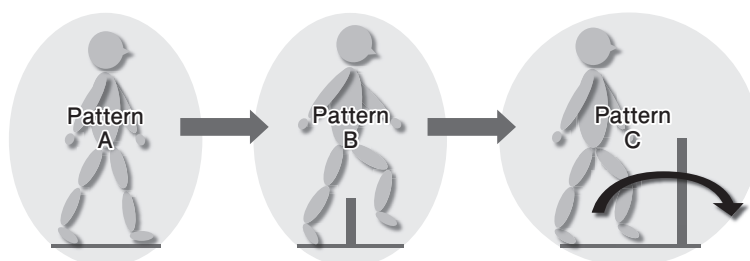
アフォーダンスの概念が含意するように、生物の行動は、自己身体と環境の特性との関係によって規定される。そのため、力学系アプローチの枠組みに、“身体-環境システム”という視点を導入し、環境の特性を変数として取り入れることで、よりマクロなスケールでのモデルの展開が期待される。

そこで、本研究では、これらのアプローチを統合すべく枠組みとして実験を計画した。障害物回避行動のひとつである障害物の跨ぎ越え課題において、障害物の高さ（環境特性）と下肢の長さ（身体特性）の比である π 数を制御変数とみなし、障害物の高さを操作し、それに伴い変化する跨ぎ越えパターン（秩序変数）の変化を記述する枠組みである（図1）。予測としては、 π 数が特定の値（臨界点）に達すると跨ぎ越え動作のパターンが質的に変化的な変化すること、臨界点付近で行動の安定性が低下すること、が考えられる。パターンA（左）は歩行と変わらない動作パターン、パターンB（中）は膝の回旋など3次元の動作が出現する動作パターン、パターンC（右）は跨ぎ越えることができずに迂回する動作パターンを想定している（図1）。

障害物の跨ぎ越えに関しては、これまで様々な研究が行われてきた。例えば、高さや奥行の異なる障害物の跨ぎ越え課題における下肢の軌道について調べた研究では、歩行から跨ぎ越えに至る過程の下肢の軌道を計測・分析している（Patla & Rietdyk, 1993）。その結果、障害物の高さによって跨ぎ越える下肢の軌道が変化すること、障害物を跨ぎ越える際の爪先と障害物の距離（クリアランス）は、障害物の高さが高い条件（26.8cm）のとき、他の低い条件（6.7cm、13.4cm）より大きくなること、実験参加者の一部は、障害物の高さに伴いクリアランスも大きくなったと報告している（Patla & Rietdyk, 1993）。その他の研究でも、障害物の高さによって、クリアランスが非線形的に変化することが報告されている（Chen, Ashton-Miller, Alexander, & Schultz, 1991）。一方、異なる高さの障害物を走行から跨ぎ越える過程について、下肢の協調という観点から分析した研究では、障害物の高さにより行動に変化が起こることを報告している（Stergiou, Jensen, Bates, Scholten, & Tzetzis, 2001 ; Stergiou, Scholten, Jensen, & Blanke, 2001）。

これらの跨ぎ越え動作に関する先行研究では、一部、アフォーダンス理論を引用したり、力学系アプローチの観点から分析を行っているものの、双方を統合するための実験的枠組みとして障害物回避課題を位置づけているわけではない。そこで、本研究では、歩行からの跨ぎ越えを実験課題と設定し、障害物の高さをより細かく設定し、障害物の高さという変数に対する行動レベルで観測される身体-環境システムの行動パターン変化を明らかにする。

図1 予測される跨ぎ越えパターンの変化



出所：児玉ら（2016）

第2章 方法

第1節 実験参加者

実験参加者は、若年健常者5名（平均年齢 22.8 ± 9.1 歳、すべて男性・右利き）であった。実験手続きは、神奈川大学における人を対象とする研究に関する倫理審査委員会で承認されており、実験参加者には、実験に参加する際、同意書に署名してもらい、謝礼として時給1,000円が支払われた。

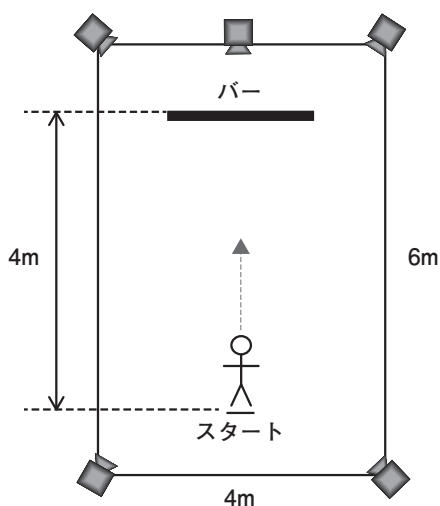
第2節 実験装置

実験は、 $4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$ （幅×奥行×高さ）の空間に、PC制御で高さを滑らかに昇降できる装置を設置して行われた（図2）。バーは、実験参加者が実験課題を開始する位置から4 m離れた地点に設置された。バーの操作は、10cm 刻みとし、最小値0 cm から、最大値は実験参加者ごとに跨ぎ越せる最大の高さまでとした。動作計測には、光学式3次元モーションキャプチャーシステム OptiTrack（Flex13, Nat-ural Point, 5台）が用いられた（図2）。反射マーカは、実験参加者の左右の爪先（第1中足指関節）、足関節（外踝）、膝関節それぞれと、腰部（大転子）の計8個が装着された（但し、本稿では利き脚の爪先のマーカのみを分析の対象として用いた）。モーションキャプチャーは、サンプリング周波数120Hzで計測された。データの処理には Motive（Natural Point）が用いられた。

第3節 実験手続き

実験は、10cm ずつバーを高くしていく上昇試行と、10cm ずつバーを低くしていく下降試行の1回ずつで1セットとし、上昇・下降の順番はランダム化され、計5セット繰り返された。各試行において、実験参加者は、スタート地点で閉眼にて待機するよう求められ、実験者がバーの設定を終え

図2 実験装置と実験環境



たら開眼するよう求められ、カメラの記録開始音を合図に試行を開始した。試行は、利き脚から歩行を開始し、バーを跨ぎ越える際も利き脚から自然なフォームで跨ぎ越えるよう教示された。但し、バーに身体が触れないよう、ジャンプをしないよう教示された。また、走り棒高跳びのようなフォームでの跨ぎ越えも禁止された。

第4節 データ分析

本稿では、障害物を跨ぎ越える際の爪先と障害物の垂直方向の距離（Toe Clearance：クリアランス）を身体と環境の関係を表す指標として分析に用いた。各試行のクリアランスを求め、実験参加者ごとにバーの高さそれぞれにおける標準偏差を求め、行動の安定性の指標とした。クリアランスの標準偏差が大きい場合、その高さでの跨ぎ越え時の爪先とバーとの距離にばらつきが大きいことを意味し、接触による転倒のリスクが上がるものとみなす。本稿では、バーの高さを要因とする1要因分散分析を行った結果を報告する。但し、すべての実験参加者が跨ぎ越えることができた範囲0～60cmまでの7水準を分析の対象とした。

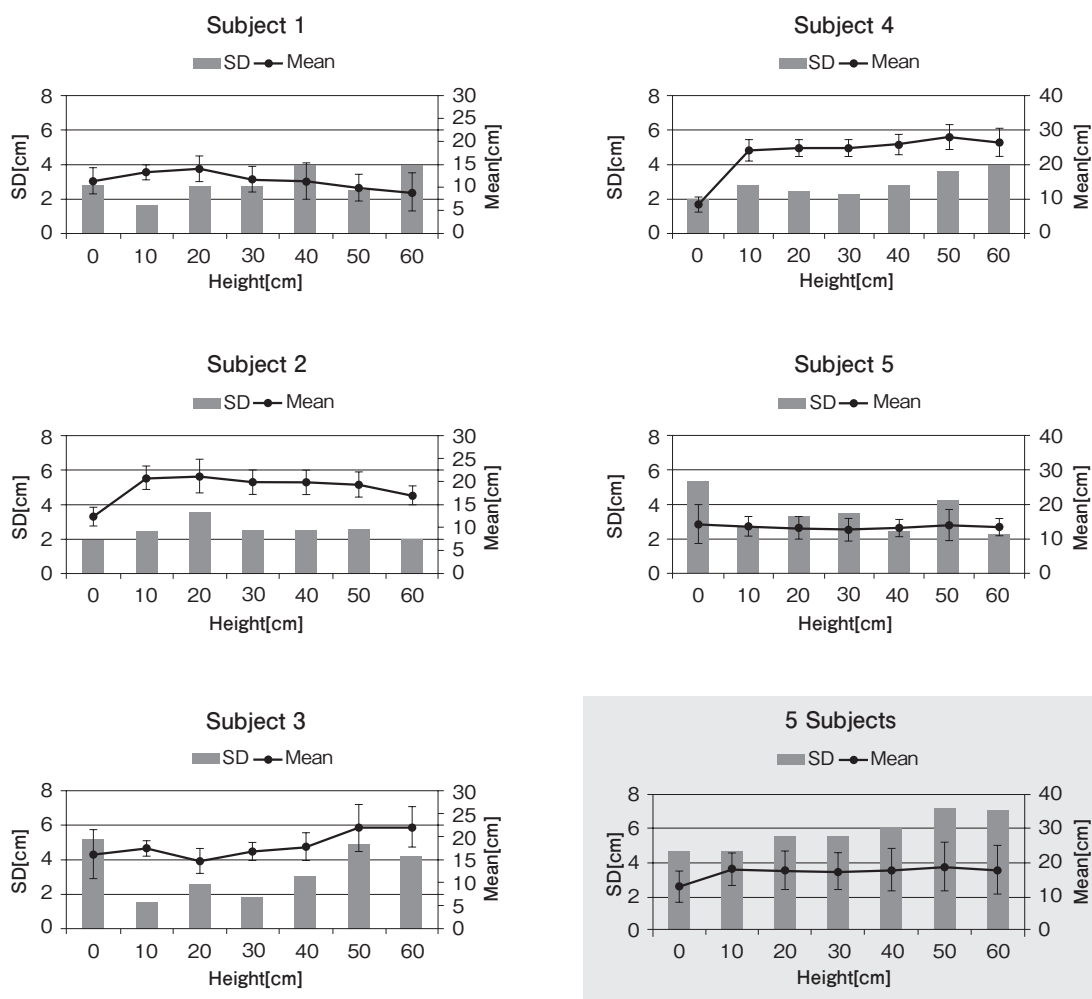
第3章 結果・考察

図3は、実験参加者ごとのバーの高さ（横軸）とクリアランスの平均（折れ線）、標準偏差（棒グラフ、エラーバー）を示している。クリアランスの平均値は、10～15cm付近の参加者（Subject1, Subject5）と、20cm付近の参加者（Subject2, Subject3）と、バーの高さが10cm以上になると25cmほどに増加する参加者（Subject4）がおり、個人差がみられる。クリアランスの標準偏差も、バーの高さに伴って単純に変化するのではなく、大きくなったり小さくなったりしているが、参加者ごとに変化のパターンは異なり、個人差がみられ、一貫したパターンは見出せない。本研究の仮説から予測される結果としては、Subject2のように、0～20cmまでは行動が不安定化（SDが増大）し、30cm以降は再び行動が安定化（SDが減少）すると考えられたが、そのようなパターンは他の参加者には見出されなかった。

図3右下は、バーの高さごとのクリアランスの平均値、標準偏差を5名の実験参加者で平均したものである。クリアランスの標準偏差（行動の安定性）について、バーの高さ（0～60cm：7水準）の1要因分散分析を行った結果、有意差はみられなかった（ $F(4) = 1.391$, $p < .259$ ）。この結果について、今回の予備実験は、5名という少ないサンプルであったこと、実験参加者の脚の長さの違いを標準化していないこと、そのことによりバーの高さごとの分散が大きかったことが影響したと考えられる。これらの結果は、障害物の高さとクリアランスの関係を調べた先行研究（Patla & Rietdyk, 1993）と必ずしも一致しない。しかし、個人差の存在や、クリアランスが非線形的に変化するという傾向は、今回の結果でも見受けられた事実であった（Chen et al., 1991；Patla & Rietdyk, 1993）。

本稿では、予備実験データとして少数サンプルでのクリアランスに関する分析の結果、個人差がバーの高さに伴うクリアランスの変化に影響し、仮説通りの結果が得られなかったと考えられた。今後、本実験にあたり、実験参加者ごとの脚の長さの違いを標準化すべく水準の設定（下肢長に対する比率によってバー高さを操作）が求められる。さらに、分析の指標としてクリアランス以外の変数も考慮に入れ、先行研究で用いられている下肢の協調性（関節間の相対位相など）（Lu, Yen, & Chen, 2008；Stergiou, Jensen, et al., 2001；Stergiou, Scholten, et al., 2001）といった観点からの分析も検討したい。

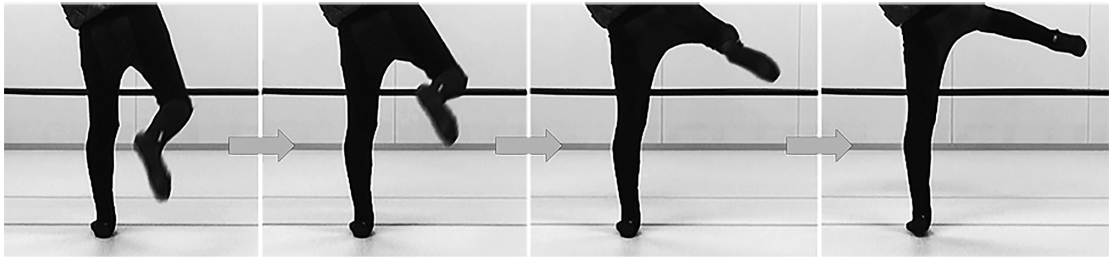
図3 クリアランス（左上段から下、右上段から下へ Subject 1～5、右下は5名の平均）



また、予備実験で得られたビデオデータを観察したところ、身長175cm、下肢長90cmの実験参加者が、高さ40cm以上のバーを跨ぐ際に、跨ぎ越える脚の膝を回旋させ、3次元の動作が現れることが確認された（図4）。この付近の高さが、跨ぎ越えパターンが質的に変化するひとつの臨界点として考えられる。今後、跨ぎ越える際の膝の回旋という観点から、跨ぎ越えパターンの変化を記述できないか、他の実験参加者でも検討したい。

分析指標の候補として、身体運動研究分野で身体の協調性（シナジー）を定量化する手法として開発された非制御多様体解析 Uncontrolled Manifold Analysis (UCM; Scholz & Schöner, 1999) で算出されるシナジー強度がある。当該分野では、運動課題（例えば、障害物を跨ぎ越える）を達成する際に、各身体部位が連携し協調することで、運動が柔軟に組織化するような機能的な構造・単位のことをシナジーと呼ぶ。UCM解析では、このシナジーを定量化するため、次のような計算手順でシナジー強度を算出する。まず、当該課題を達成するために安定化が必要な変数（タスク変数：クリアランス）と、それを安定化させるために互いに変動を吸収し柔軟に補償し合う変数（エレメンタル変数：下肢の関節角度）からモデル式（UCMモデル）を立て、反復計測したデータの試行間分散の分

図4 跨ぎ越え動作に膝の回旋が生じる高さ（バーの高さ：60cm）



析から、身体システムの協調性・柔軟性を定量化する。UCM 解析は、リハビリテーション分野でも歩行や姿勢制御、書字行為に応用されている（e. g., Hsu & Scholz, 2012；Nonaka, 2013）。

しかし、既存の UCM モデルは、2 次元での動作を仮定している（Wu, McKay, & Angulo-Barroso, 2009）。そのため、図4のように動作が3次元で展開される場合には、UCM モデルの拡張が必要である。そこで、既存のモデルを3次元に拡張すると次のようになる。今後、跨ぎ越えパターンの変化を記述する指標のひとつとして、この3次元に拡張したモデルを用いた UCM 解析によって求まる下肢のシナジー強度についても検討したい。

$$Toe_x(\theta(t), \varphi(t))$$

$$= L_1 \sin(\theta_1(t)) * \cos(\varphi_1(t)) + L_2 \sin(\theta_2(t)) * \cos(\varphi_2(t)) + L_3 \sin(\theta_3(t)) * \cos(\varphi_3(t))$$

$$Toe_y(\theta(t), \varphi(t)) = L_1 \cos(\theta_1(t)) + L_2 \cos(\theta_2(t)) + L_3 \cos(\theta_3(t))$$

$$Toe_z(\theta(t), \varphi(t))$$

$$= L_1 \sin(\theta_1(t)) * \sin(\varphi_1(t)) + L_2 \sin(\theta_2(t)) * \sin(\varphi_2(t)) + L_3 \sin(\theta_3(t)) * \cos(\varphi_3(t))$$

Toe_x ：爪先位置の x 成分（左右方向）

L_1 ：hip-knee 間の関節間距離

Toe_y ：爪先位置の y 成分（上下方向）

L_2 ：knee-ankle 間の関節間距離

Toe_z ：爪先位置の z 成分（前後方向）

L_3 ：ankle-toe 間の関節間距離

θ ：屈曲伸展角度

φ ：回旋角度

第4章 まとめ

本研究では、障害物回避行動のひとつである跨ぎ越え動作のダイナミクスを明らかにするため、障害物の高さの変化に伴い、跨ぎ越え動作がどのように変化するかを検討した。本稿では、若年健常者を対象に行った予備の実験の結果を報告した。跨ぎ越える際の爪先と障害物（バー）との距離であるクリアランスの標準偏差について、身体と環境の関係を直接指標するものとして、また行動の安定性を指標するものとして分析した結果、仮説を支持する結果は得られなかった。この結果については、今回の実験参加者の間では、脚の長さや方略に多様性がみられ、個人差が影響したためだと考察された。今後、本実験実施にあたり、身体特性である脚の長さについて事前の標準化、他の分析指標の導入の検討が求められる。本実験によって、跨ぎ越え動作にて行動が安定化／不安定化する条件が明らかになれば、安全な障害物回避行動について理解が深まる。そのため、本研究の知見は、将来的には、高齢者や運動機能障害者の転倒予防のための効果的で安全な訓練方法の提案などにつながると考

えられる。

[謝辞]

本研究は、平成27～28年度神奈川大学共同研究奨励助成金により行われた。ここに感謝の意を表す。

●引用文献

- Chen, H.-C., Ashton-Miller, J.a., Alexander, N.B., & Schultz, A.B. (1991). Stepping Over Obstacles : Gait Patterns of Healthy Young and Old Adults. *Journal of Gerontology*, 46(6), M196-M203.
- 土井由利子 (2004). 総論—qol の概念と qol 研究の重要性. *J. Natl. Inst. Public Health*, 53 (3), 176-180.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Praeger.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception : Classic Edition (Vol.20)*. Psychology Press.
- Haken, H. (1988). *Information and Self-Organization : A Macroscopic Approach to Complex Systems*. Springer Science & Business Media.
- Haken, H., Kelso, J.A.S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51 (5), 347-356.
- Hsu, W.-L., & Scholz, J.P. (2012). Motor abundance supports multitasking while standing. *Human Movement Science*, 31 (4), 844-862.
- 川上治, 加藤雄一郎, & 太田壽城 (2006). 高齢者における転倒・骨折の疫学と予防. *日本老年医学会雑誌*, 43 (1), 7-18.
- Kelso, J.A.S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 246 (6), R1000-1004.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic Patterns : The Self-organization of Brain and Behavior*. MIT Press.
- 児玉謙太郎, 安田和弘, & 園田耕平 (2016). 生態学的／力学系アプローチによる身体-環境システムの障害物回避行動モデル. *LIFE2016大会発表論文集*. pp. 1-4.
- 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平, 青山慶, & 樋口貴広 (印刷中). 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*.
- 近藤敏, 宮前珠子, 石橋陽子, & 堤文生 (1999). 高齢者における転倒恐怖. *総合リハビリテーション*, 27 (8), 775-780.
- Lu, T.-W., Yen, H.-C., & Chen, H.-L. (2008). Comparisons of the inter-joint coordination between leading and trailing limbs when crossing obstacles of different heights. *Gait & Posture*, 27 (2), 309-315.
- 厚生労働省 HP, 地域包括ケアシステム, 「今後の高齢者人口の見通し」http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/chiiki-houkatsu/ (2016年12月1日)
- 内閣府 HP, 高齢社会対策に関する調査, 「平成22年度高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果」<http://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/kenkyu.html> (2016年12月1日)
- Nonaka, T. (2013). Motor Variability but Functional Specificity : The Case of a C4Tetraplegic Mouth Calligrapher. *Ecological Psychology*, 25 (2), 131-154.
- 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. (1999). The uncontrolled manifold concept : Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126 (3), 289-306.
- Stergiou, N., Jensen, J.L., Bates, B.T., Scholten, S.D., & Tzetzis, G. (2001). A dynamical systems investigation of lower extremity coordination during running over obstacles. *Clinical Biomechanics*, 16 (3), 213-221.
- 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), 210-20.

- Stuck, A.E., Walthert, J.M., Nikolaus, T., Büla, C.J., Hohmann, C., & Beck, J.C.(1999).Risk factors for functional status decline in community-living elderly people : a systematic literature review.Social Science & Medicine, 48 (4), 445–469.
- 内山靖 (Ed.) (2004). 環境と理学療法. 医歯薬出版.
- Warren, W.H.(1984).Perceiving affordances : visual guidance of stair climbing.Journal of Experimental Psychology.Human Perception and Performance, 10 (5), 683–703.
- Wu, J., McKay, S., & Angulo-Barroso, R. (2009).Center of mass control and multi-segment coordination in children during quiet stance.Experimental Brain Research, 196(3), 329–339.