

走り幅跳びにおける助走動作の協応構造

Coordinative Structures in the approach of the long jump

中村 祥子* 山本 裕二**

Shoko NAKAMURA * Yuji YAMAMOTO **

Abstract

This study investigated how best to regulate the approach to the takeoff board in the long jump. The subject was a female long jumper, who was a member of the university track-and-field club. She was required to jump three times under four experimental conditions, which consisted of 2 movement conditions after the approach (Jump or Run-Through) \times 2 approach conditions (Takeoff Board (TB) On or Off). In the Run-Through condition, the subject had to approach the takeoff board, but not actually jump. In the TB-On condition, the subject was instructed not to step over the takeoff board, and in the TB-Off condition, to take off at any position. The approach movements were recorded using two cameras, and analyzed using the Panning DLT procedure. These approaches were analyzed from three viewpoints: 1) invariant and variant features in the step length, 2) the kinematics of trunk rotation movements, and 3) their dynamics during the approach. The analysis revealed that in the Jump/TB-On condition, the final steps were more variant and the range of the hip rotation angle was very small during the approach, as compared with the other conditions. This suggests that the movement pattern during the approach in the long jump is completely different from that while sprinting. Furthermore, the analysis of the trajectories in the state space on hip rotation angle as a dynamical system suggested that the approach consisted of three different movement patterns in the Jump/TB-On condition. It suggested that the coordinative structure changes because of task-constraints during the approach in the long jump. These results suggest that during the approach in the long jump it is necessary to coordinate these structures and to switch between them smoothly.

1. 目的

走り幅跳びは助走を伴う水平方向の跳躍であり、助走、踏切、空中動作、着地の4つの局面からなる。その中で走り幅跳びの助走における競技者の課題は、跳躍距離を伸ばすための効果的な踏切を行なうことである。跳躍距離は、踏切速度の影響を最も大きく受け、その中でも水平方向の初速度、さらには、踏切4歩前の水平速度に影響されるといわれている (Hay, Miller, & Canterne, 1986)。また、競技規則において、競技者

が、助走及び跳躍中に踏切線の先の地面に身体の一部が触れると、無効試技となる。しかしながら、踏切線に達する前に踏み切っても、無効試技とは見なされず、跳躍距離は踏切線に最も近い着地点から、踏切線への垂線距離となる。こうした力学的な制約と競技の規則から、競技者には助走において、踏切動作がコントロールできる範囲の最大速度を得ること、踏切時に踏切板に重心をしっかりとせること、踏切線にできるだけ近いところで踏み切ることが要求される。すなわち、助走は跳躍という運動課題を直接解決するような主要

* 名古屋大学大学院教育発達科学研究科

** 名古屋大学総合保健体育科学センター

* Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University

** Research Center of Health, Physical Fitness, and Sport, Nagoya University

局面を、効果的に、かつ経済的に遂行していくような、前提条件を作り出す準備局面に値する (Meinel, 1960)。この助走の準備局面について、運動のプログラム理論では、助走開始から踏切までの一連の動作を固定化することが強調されてきた。したがって、競技者は練習の中で正確な踏切を行える助走開始位置を決定し、そこから踏切板までの助走を繰り返すことにより、安定した歩幅パターンを獲得しようとする。

一方、Lee らは、走り幅跳びの助走終末段階において、顕著な歩幅のばらつきを見出し、跳躍へむけた準備局面では、歩幅の固定化ではなく歩幅の調整が行われていることを主張した。また、その歩幅調整は視覚によって発現すると考え、視覚性運動制御といわれる新たな運動制御理論を提唱している (Lee, Lishman, & Thomson, 1982)。視覚性運動制御とは、行為者と環境から生じる行為者の網膜上の光学的流動 (optical flow) が、行為の制御に直接利用されるとする、Gibson (1979) の直接知覚を背景としたものである。この光学的流動の変化から直接的に得られる情報は、予見の情報タウ (predictive information) (τ) と呼ばれるもので、行為者の動作パターンを切り換える、行為者と環境のパラメータとして定義される。

また、Lee らは、助走がこの視覚性運動制御と運動のプログラム制御によって達成されるとし、助走全体を大きく2つの相に分けて説明している。すなわち、歩幅のばらつきが小さい助走開始から踏切板手前約6mまでを、運動のプログラム制御によって固定化された歩幅が生み出される“初期加速相 (initial accelerative phase)”とし、歩幅のばらつきが大きい踏切板手前約6mから踏切板までを、視覚性運動制御によって踏切板に歩幅を調整していく“補正相 (zeroing-in phase)”とした。ここでは、初期加速相において蓄積されてきた各歩幅の誤差を、視覚性運動制御によって修正することで、正確且つ跳躍に効果的な踏切りを生み出すとしている。

しかしながら、ここでは歩幅調整によって歩幅がばらつくことを明らかにし、その歩幅調整が視覚によって制御されることを示唆したものの、その時の動作パターンについては検討していない。すなわち、視覚性運動制御によって、身体の動作パターンがどのように変化し、調整という行為を発現させているのかについて、明らかにしていない。

また、Lee らは歩幅調整の観察から、助走動作パターンを2つの相に分類しているが、走り幅跳びの助走練習では、一般に3つの相に分けることが多い。すなわち、助走開始からスピードを上げていく加速相 (acceleration phase)、加速したスピードを保ったまま

ラックスして走る惰力相 (coasting phase)、踏切準備のためのきざみ相 (gather phase) である。各相は、その求められる動作パターンの違いから、動作時における身体の協応構造が異なることが考えられる。実際に、競技者はそれら3つの相で要求される動作パターンを獲得するため、しばしば助走からそれぞれの相を切り出し、独立して練習することがある。

そこで、本研究では、まず歩幅調整が発現する課題の制約について検討する。次に、歩幅調整を含めた助走動作パターンについて、体幹部のキネマティクスから検討を加える。さらに、この助走動作パターンをダイナミカルシステムの観点から分析し、その協応構造を検討する。一般に、助走動作は複数の異なる動作パターンから成り立っていると考えられるため、助走全体を3つの相に分け、各相の協応構造とその変化を検討することにした。

2. 方法

2.1 被験者

C 大学陸上競技部に所属する女子1名 (20歳) が、被験者として実験に参加した。ベスト記録は5m54cm であり、大学女子における国内競技者の中では中級レベルの競技力であった。尚、被験者が設定した助走開始位置は、踏切り線から37mの計19歩であり、助走時のチェックポイントであるセカンドマーク位置は、踏切線から12m20cm で、助走開始から12歩目であった。

2.2 実験条件

実験は、どのような助走条件及び助走後の動作条件から成る制約が、歩幅調整の発現に影響を与えるかを検討するため、2 (助走条件) × 2 (動作条件) の2要因被験者内計画を用いた。助走条件は踏切板あり (以下 TB-On 条件) か、踏切板なし (以下 TB-Off 条件) の2水準を、助走後の動作条件は跳躍する (以下 Jump 条件) か、走り抜ける (以下 Run-through 条件) かの2水準を設定した。尚、Jump 条件は砂場がある助走路で、Run-through 条件は砂場がないトラックで実施した。トラックには、日本陸上競技連盟競技規則 (日本陸上競技連盟、2002) の規格に基づき、仮踏切板が作成され、設置された。仮踏切板は、助走路に設置された踏切板と、視覚的誤差が生じないように、忠実に再現されたものであった。TB-Off/Jump 条件時の試技は、踏切板が設置されていない助走路で行ったが、右横のコースには踏切板が設置されていた。したがって、TB-Off/Run-through 条件においても同様に、仮踏切板を右横のコースに設置した。踏切線と踏切位置の誤差を確

認するため、すべての試技において、審判員が踏切板横で、踏切位置の判定を行った。

被験者は、助走条件について、TB-On 条件では踏切線を越えないこと、TB-Off 条件では自由な場所で踏み切ることが教示され、助走後の動作条件について、Jump 条件ではベストパフォーマンスを目標に跳躍すること、Run-through 条件では走り幅跳びの助走をするが跳躍せず走り抜けることが教示された。試技は、TB-On/Jump、TB-Off/Jump、TB-On/Run-through、TB-Off/Run-through の順で、1つの実験条件を3試技繰り返した後、次の実験条件に移った。実験は1日で、4条件を3試技ずつ、試技間に十分な休憩をとりながら、計12試技行われた。表1に、Jump 条件を行った2つの

実験条件における6試技の跳躍距離及び踏切位置と踏切線との誤差と、Run-through 条件を行った2つの実験条件における6試技の踏切位置と踏切線との誤差を示す。踏切位置と踏切線の誤差 (error) は、マイナスを踏切板手前踏切り、プラスを踏み切り板を踏み越した踏切り、すなわちファールとした。また、跳躍距離は、踏切足のつま先から、踏切線に最も近い着地までの実測距離を表している。

2.3 手続き

実験は、2台のカメラによって撮影された2次元映像を3次元座標に再構築する Panning DLT 法(高松潤二・阿江通良・藤井範久、1997)を用い、全天候型陸

表1 12試技の跳躍距離及び踏切位置と踏切線との誤差

Jump		TB-On		TB-Off	
Trial	Distance of jump (m)	error (cm)	Distance of jump (m)	error (cm)	
1	5.21	+2	5.00	+37.5	
2	5.06	- 2	5.02	+25	
3	5.05	+5	5.10	+10	
Run-through		TB-On		TB-Off	
Trial	Distance of jump (m)	error (cm)	Distance of jump (m)	error (cm)	
1	-	- 38.3	-	- 81.7	
2	-	- 6.6	-	- 45.1	
3	-	- 37.2	-	- 51.3	

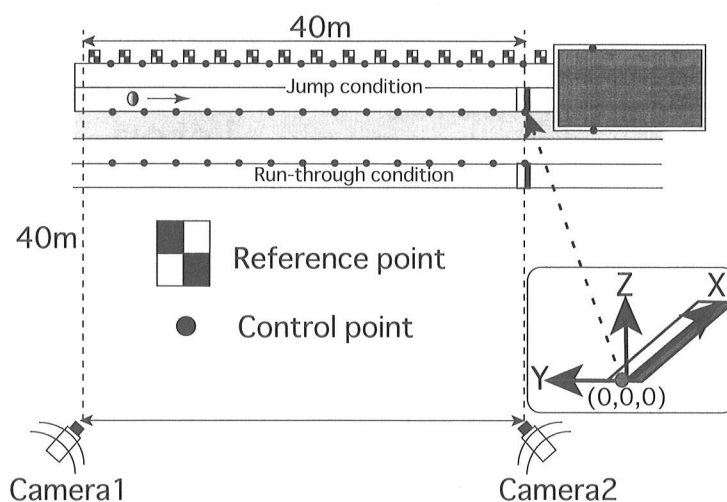


図1 撮影状況の模式図

上競技場で実施した。撮影状況を図1に示す。助走から跳躍までを十分に捉えるため、2台のカメラは助走路側面、すなわち助走開始地点及び踏切地点の延長線上約40m離れたところに設置された。カメラは、実験前に訓練をうけた熟練者2名よって、常に被験者を画面上にとらえるよう、左右に振られた。2つのカメラは同期しており、周波数60Hz、シャッタースピード1/250秒において撮影された。

2つの較正点 (control point) をつけた較正用ポールの撮影は、2台のカメラで同時に行った。カメラを左右に振ることによって、較正用ポール上のすべての較正点を映した。また後の Panning DLT 法における分析のため、図1に示したような基準点 (reference point) を、カメラ側からみて一番奥に位置する助走路の白線上に設置し、較正点と同時に撮影した。この基準点は実験中も同じ位置に固定された。

2.4 分析内容

分析に先立ち、19歩で構成される被験者の助走動作を、被験者の内省に基づき3つの相に分けた。すなわち、助走開始から5歩までをスピードを上げていく加速相、次の7歩を加速したスピードを保ったままり

ラックスして走る惰力相、最後7歩をきざみ相とした。

分析は、以下の3つの観点から行った。まず、助走動作における歩幅調整の発現を確認するため、Leeらの実験で示された助走終末段階の歩幅のばらつきについて検討した。2つ目に、歩幅調整時における助走の動作パターンを明らかにするため、キネマティクスの観点から、肩・腰回旋角度範囲の分析を行った。3つ目は、歩幅調整時における、助走動作の協応構造を明らかにするため、ダイナミクスの観点から、状態空間を用いて検討した。尚、助走のキネマティクスとダイナミクスの分析において、助走時の動作パターン及び助走動作の協応構造が、加速相、惰力相、きざみ相の各相ごとに検討された。

2.5 データ処理

撮影で得られた映像は、Frame Dias (株)ディケイエイチ) を用いてデジタイズし、それによって得られた2次元座標が3次元座標に再構築された。DLT法による再構成の標準誤差は全試行の平均で、X軸方向が0.053m、Y軸方向が0.013m、Z軸方向が0.015mであった。再構築された3次元座標をもとに、歩幅、肩・腰の回旋角度・角速度が算出された。デジタイズ

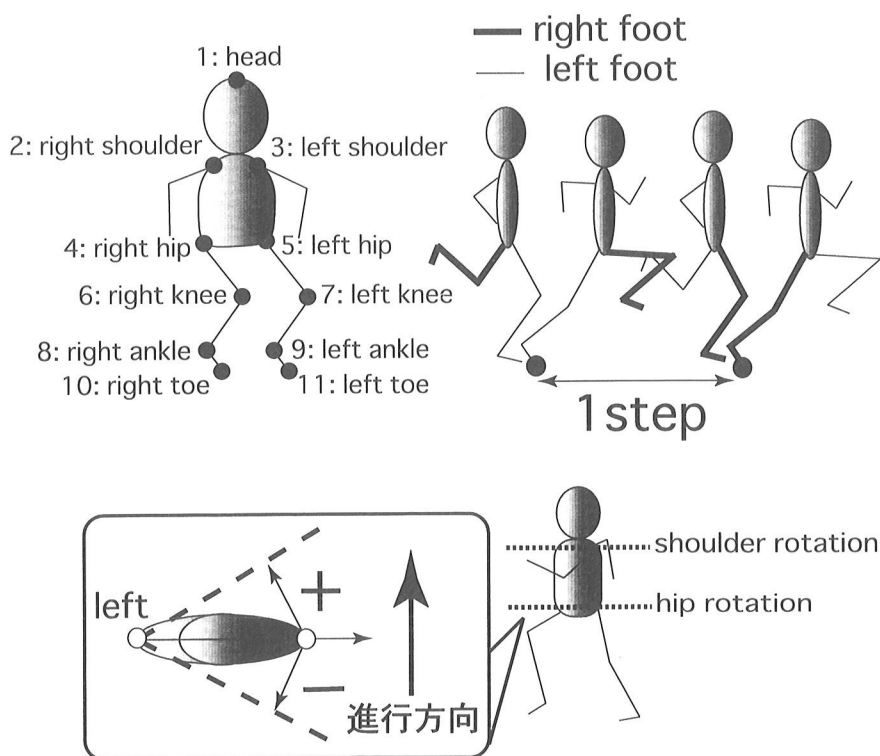


図2 デジタイズした点と歩幅・角度定義

点及び回旋角度の定義は、図2に示す通りである。デジタイズ点は頭頂、左右肩、左右大転子、左右膝、左右足首、左右つま先の計11点とした。歩幅は、離地寸前の左つま先から、着地・キックを経た離地寸前の右つま先までの距離（逆も同様）と定義した。また、肩回旋角度は、左肩を通る進行方向に垂直なベクトルを基線に、左肩-右肩を結ぶベクトルが左肩を中心として前後に回旋する角度と定義し、腰回旋角度は、左大転子を通る進行方向に垂直なベクトルを基線に、左大転子-右大転子を結ぶベクトルが左大転子を中心として前後に回旋する角度と定義した。両回旋角度ともに、基線と進行方向側に成す角度をプラス、進行方向逆側に成す角度をマイナスとした。算出された角度・角速度データは、遮断周波数4 HzのBryant型フィルタを用いて平滑化された。

3. 結果と考察

3.1 助走終末段階にみられる歩幅のばらつき

ここでは、助走動作における歩幅調整の発現を確認するため、Leeらの実験で示された助走終末段階に見られる歩幅のばらつきについて検討した。

図3は、各実験条件の3試技における歩幅の平均と標準偏差 (SD) を示している。SDは歩幅のばらつきを表し、平均値を中心としてプラス及びマイナス方向へ1 SDずつ表示されている。また、各図中の星印は助走時のチェックポイントであるセカンドマーク位置を示している。

分析の結果、踏切板及び仮踏切板ありの実験条件、すなわち図中AのTB-On/Jump条件と図中CのTB-On/Run-through条件において、助走終末段階の顕著な歩幅のばらつきが見られた。この結果は、Leeらの実験結果と一致しており、踏切線を越えないという課題の制約が、歩幅調整の発現に影響したことが考えられる。また、2つの実験条件に見られたばらつきは、Jump条件では4歩前、Run-through条件では1歩前に顕著になることが分かった。この結果も、Leeらの実験結果と一致しており、助走後の課題の制約、すなわち、跳躍するか、走り抜けるかという動作条件が歩幅調整の発現時期に影響することが示唆される。

3.2 助走のキネマティクス

ここでは、歩幅調整時における助走の動作パターンを明らかにするため、キネマティクスの観点から、全

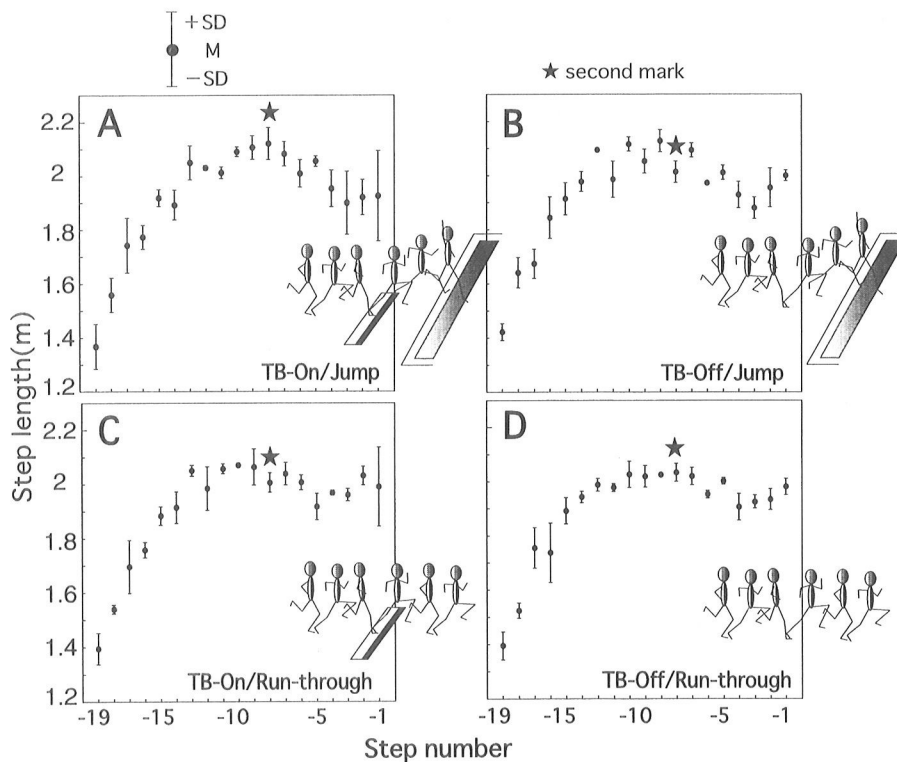


図3 各実験条件の助走における歩幅の平均と標準偏差の変化

試技において一步毎の肩・腰回旋角度範囲を分析した。

図4は、助走条件と助走後の動作条件によって分けられた各実験条件の3試技分について、各歩毎に歩幅、肩・腰回旋角度範囲を平均して、その時間変化を比較したものである。図4には、助走の相分けに従い、区切り線が挿入されている。すなわち、助走開始(左端)から順に、加速相・惰力相・きざみ相を表している。また、図4には実験条件ごとに、歩幅、肩・腰回旋角度範囲の各相における平均値も示してある。図4より、腰回旋角度範囲の時間変化だけが、各実験条件において異なっていた。また、腰回旋角度範囲について、実験条件間の平均値を比較してみると、2つのJump条件は、2つのRun-through条件に対して、助走全体で小さくなっていることが分かった。特に、TB-On/Jump条件については、助走開始から一貫して小さい値をとっていることが分かる。

表2に、各実験条件における、助走全体の歩幅と肩・腰回旋角度範囲の平均値を示す。それを図示したものが、図5である。この平均は、まず、各実験条件の試技毎に、全歩の腰回旋角度範囲を平均し、それによって得られた3試技分の平均値を、平均して求められた。表2と図5より、腰回旋角度範囲について、TB-On/Jump条件時が一番小さく、続いてTB-Off/Jump、TB-

On/Run-through、TB-Off/Run-throughの順に大きくなることが見られた。この傾向は、肩回旋角度範囲においても見られたが、それらの実験条件間の差は小さかった。一方、歩幅については、実験条件間に差が見られなかった。

以上の結果から、Jump条件においては、腰回旋角度範囲が小さいにもかかわらず、角度範囲の大きいRun-through条件と等しい歩幅を生み出すような助走動作を行っていることが示唆される。また、走り幅跳びの正規の課題の制約である、TB-On/Jump条件が、他の実験条件と比べ助走開始から腰回旋角度範囲を小さくしていることから、踏切線を越えないように跳ぶという課題の制約(TB-On条件)が、助走全体の動作パターンに影響していると考えられる。また、このことから、走り幅跳びの助走の動作パターンが3つの相に区分でき、それぞれが異なる動作パターンであるとするならば、複数の動作パターンとその切り換えが要求されるような助走と、単一の動作パターンが要求されるような走動作とは、全く異なる動きをしていることが考えられる。

3.3 助走のダイナミクス

歩幅調整時における、助走動作の協応構造を明らか

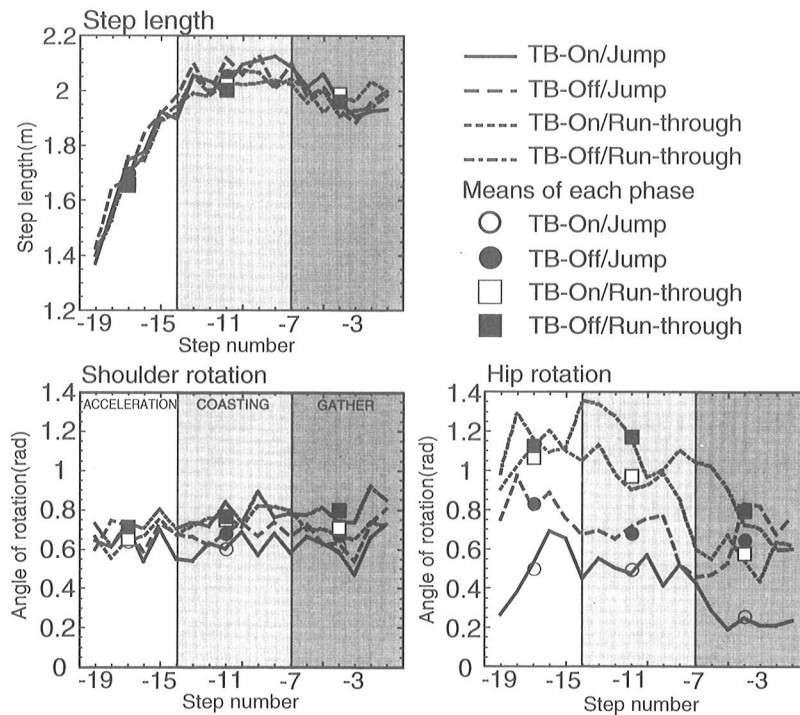


図4 各実験条件の歩幅と肩・腰回旋角度における一步毎の変化と各相の平均

表2 助走全体の歩幅、腰・肩回旋角度範囲の平均と標準偏差

Movement	Jump		Run-through	
	Approach	TB-On	TB-Off	TB-On
Step length (m)	1.898 (0.029)	1.910 (0.017)	1.888 (0.021)	1.874 (0.023)
Shoulder rotation (rad)	0.619 (0.037)	0.674 (0.054)	0.703 (0.049)	0.759 (0.093)
Hip rotation (rad)	0.417 (0.078)	0.719 (0.215)	0.872 (0.070)	1.031 (0.109)

()内は標準偏差を示す

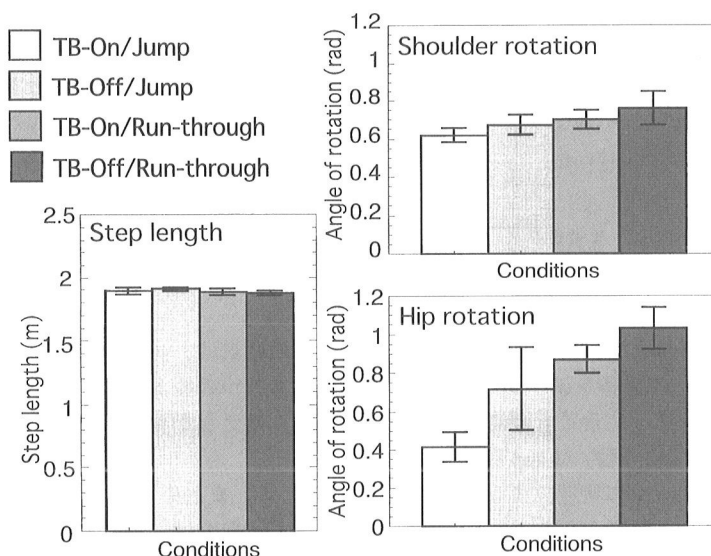


図5 助走全体の歩幅、肩・腰回旋角度範囲

にするため、ダイナミカルシステムの観点から、各実験条件で示された助走時の腰回旋角度と角速度を、状態空間上の軌道として表し比較した。

ダイナミカルシステムとは、「変化を記述する体系」または「変化する系」そのものであり、生物の行為や運動を、時間とともに変化するシステムとみなし、そのシステムの機能的な特性を数学的に記述するものである。状態空間は、そのシステムの状態を記述する数学的空間である（日本認知学会、2002）。ここでは身体を一つのシステムとみなし、その身体システムの振る舞いをみるため、腰回旋角度と角速度を用いて状態空間を描いた。腰回旋角度と角速度を取り上げたのは、腰が体幹部に位置しており、助走のキネマティクスの分析においても、走り幅跳びにおける助走の運動パターンを強く反映していると判断したためである。

図6は、各実験条件の中の1試技について、腰回旋

角度と角速度によって描かれた状態空間である。図の上段は各実験条件での状態空間を、腰回旋角度・角速度によって2次元で表したものであり、下段はその2次元で描かれた状態空間に、時間軸を加え3次元的に表したものである。この2種類の状態空間から、各実験条件において次のような周期軌道の性質がみられた。まず、図中AのTB-On/Jump条件において、加速相で小さい周期軌道から徐々に大きい軌道を描きはじめ、惰力相ではほぼ一定の周期軌道を描き、きざみ相では安定していた軌道が徐々に小さな周期軌道を描く様子がみられた。また、図中CのTB-On/Run-through条件では、加速相からすでにほぼ一定した周期軌道がみられたものの、きざみ相においては、TB-On/Jump条件同様に、軌道が徐々に小さくなっていく様子がみられた。一方、図中B、Dの2つのTB-Off条件では、どの相においてもほぼ一定の周期軌道を描いていた。

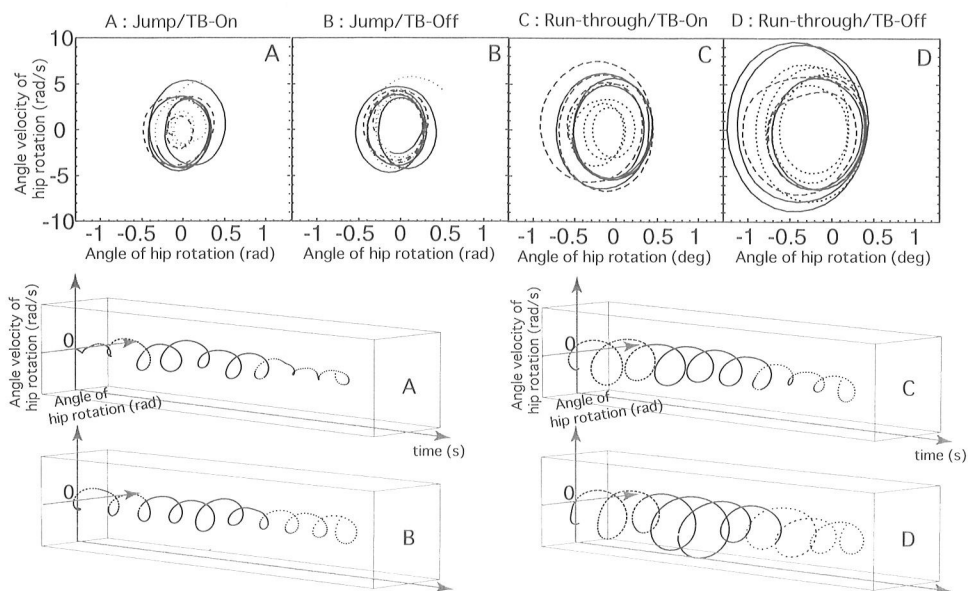


図6 各実験条件における腰回旋角度と腰回旋角速度の状態空間

以上の結果から、踏切線を越えないという課題の制約 (TB-On 条件) がきざみ相の身体システムの状態、すなわちその協応構造に影響を与えることが考えられる。また、跳躍するという課題の制約 (Jump 条件) については、加速相の身体システムの状態、すなわちその協応構造に影響を与えることが考えられる。

ここで、TB-On/Jump 条件を、状態空間における代表的なアトラクタによって表現してみる。アトラクタとは、ある初期状態から出発した一本の軌道が、十分に時間が経った後に行き着く集合のことを意味し、アトラクタが点の場合にはポイントアトラクタ、周期軌道を描く場合にはリミットサイクルアトラクタと呼ばれている (郷原, 1996)。これらのアトラクタをもとに、TB-On/Jump 条件の状態空間に描かれた軌道を検討してみると、加速相を静止からリミットサイクルへ向かう相、惰力相を安定した軌道を描くりミットサイクルの相、きざみ相を一点に向かうポイントアトラクタの相と表現できることが示唆される。これは、助走開始から徐々に全身を使って加速していき (加速相)、一定のスピードに到達すると、そのスピードを保ちながらリラックスした大きな走りを繰り返し (惰力相)、踏切板に近づくと、力強い踏切を行なえるよう、踏切板に両腰がしっかり乗った状態をつくるために、腰回旋角度を小さくしていきながら向かっていく (きざみ相) ような、走り幅跳びの助走における運動パターンを、反映していると考えられる。すなわち、走り幅跳

びの助走は、身体システムの振る舞いとして、少なくとも3つの振る舞い、いいかえれば3つの協応構造を切り換えながら行われているといえる。

3.4 まとめ

本研究では、走り幅跳びの助走動作パターンの協応構造を明らかにするため、助走条件と助走後の動作条件を操作することによって、助走の動作パターンを3つの観点から分析した。

まず、助走動作における歩幅調整の発現を確認するため、Lee らの実験で示された助走終末段階の歩幅のばらつきを検討した。その結果、踏切線を越えないように跳躍する条件においては踏切り4歩前に、仮踏切線を越えないように走り抜ける条件においては踏切り1歩前に、顕著な歩幅のばらつきが見られた。これは Lee らの実験結果と一致しており、踏切線を越えないという課題の制約 (TB-On 条件) が、歩幅調整の発現に影響するとともに、助走後の課題の制約 (Jump 条件) が、歩幅調整の発現時期に影響することが示唆される。しかしながら、踏切線を越えないように跳躍する条件 (TB-On/Jump 条件) の歩幅調整時期の発現について、Hay (1988) は Lee らの結果 (6 m 手前) よりも手前、すなわち男子では12.5 m、女子は9.7 m 手前で歩幅調整が始まっていることを示している。そして、このような歩幅調整時期のちがいを、競技レベルの高低によるものだと考察していることから、今後、歩幅調整の発

現時期に与える影響について、助走後の課題とともに競技レベルを考慮し検討していく必要がある。

次に、歩幅調整時における助走の動作パターンを明らかにするため、キネマティクスの観点から、一步毎の肩・腰回旋角度範囲の分析を行った。その結果、Jump条件がRun-through条件に比べて、腰回旋角度範囲が小さくなっているのに対し、各実験条件間での歩幅の大きさは変わらなかった。また、腰回旋角度範囲と歩幅の時間変化においても、類似性が見られなかった。よって、Jump条件では、腰回旋角度範囲が小さいにもかかわらず、腰回旋角度範囲の大きいRun-through条件と等しい歩幅を生み出すような助走動作を行っていることが示唆される。特に、Jump条件において踏切板を越えないような課題の制約が加わると、助走開始からすでに腰回旋角度範囲が小さくなっていることから、複数の動作パターンとその切り換えが要求されるような助走が行われており、単一の動作パターンが要求されるような走動作とは異なる動きをしていることが考えられる。

最後に、歩幅調整時における助走動作の協応構造を明らかにするため、ダイナミクスの観点から、腰回旋角度と角速度を用いて状態空間を描き、その軌道の分析を行った。その結果、正規の走り幅跳びにおける課題の制約、すなわちTB-On/Jump条件において、加速相で小さい周期軌道から徐々に大きい軌道を描きはじめ、惰力相ではほぼ一定の周期軌道を描き、きざみ相では安定していた軌道が徐々に小さな周期軌道を描く様子が見られた。その様子を状態空間における代表的なアトラクタによって表現してみると、加速相を静止からリミットサイクルへ向かう相、惰力相を安定した軌道を描くりミットサイクルの相、きざみ相を一点に向かうポイントアトラクタの相として表せることが示唆される。これは、助走開始から全身を徐々に大きく動かして加速していき（加速相）、一定のスピードに到達すると、そのスピードを保ちながらリラックスした大きな走りを繰り返す（惰力相）、踏切板に近づくと、踏切板において両腰がしっかり乗った状態をつくるために、腰回旋角度を小さくしていきながら向かっていく（きざみ相）ような、走り幅跳びの助走における運動パターンを反映していると思われる。

以上3つの分析から、トラックでの一般的な走運動

は、単一の協応構造の反復であると考えられるが、走り幅跳びの助走における動作パターンは、複数の協応構造の切り換えが要求されるような走運動であると考えられる。つまり、走り幅跳びの助走では、短い距離の中で要求されるいくつかの課題の制約に対し、複数の協応構造を切り換え、その協応構造をなめらかにつなげていくような運動の制御機構が必要であることが考えられる。この切り換え時期に影響を及ぼすと考えられる視覚性運動制御については、今後さらに検討を要する。

謝 辞

実験にご協力頂いた、名古屋大学の池上康男先生、中京大学の桜井伸二先生、名古屋大学大学院の佐野真也氏、トミー・アプリアントノ氏、濱嶋優徳氏、中京大学大学院の笹川慶氏、および被験者の方に深く感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Milton. (古崎 敬・古崎 愛子・辻 敬一郎・村瀬 旻 共訳 (1985). 生態学的知覚論. 東京: サイエンス社.).
- 郷原 一寿 (1988). ダイナミカルシステムとしての生物. *Bio Medical Engineering*, 10 (4), 3-10.
- Hay, J. G. (1988). Approach strategies in the long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, 114-129
- Hay, J. G., Miller, J. A., & Canterne, R. W. (1986). The techniques of elite male long jumpers. *Journal of Biomechanics*, 19 (10), 855-866
- Lee, D. N., Lishman, J. R., Thomson, J. A. (1982). Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8 (3), 448-459
- Meinel, K. (1960). *Bewegungslehre*. Berlin: Volk und Wissen Volkseigener. (金子 明友 訳 (1981). スポーツ運動学. 東京: 大修館書店.).
- 日本認知学会 (2002). 認知科学事典. 東京: 共立出版株式会社.
- 日本陸上競技連盟 (2002). 陸上競技ルールブック. 東京: あい出版.
- 高松 潤二・阿江通良・藤井範久 (1997). 大きな計測範囲のためのパンニング DLT 法の開発. *体育学研究*, 42, 19-29

(2003年1月11日受付)

