

# 三次元動作解析を用いた疾走動作コーチングの基礎的分析

## Basic analysis of coaching in sprint motion using three dimensional motion capture data

長山真洋\* , 高橋隆行\*\* ,

Masahiro Nagayama\* , Takayuki Takahashi \*\*

\*福島大学大学院, \*\*福島大学

\*Graduate School Fukushima University, \*\*Fukushima University

キーワード： コーチング分析 (analysis of coaching) , 起こし回転 (bouncing rod dynamics) , 400m ハードル走 (400 meters hurdles) , 短距離走 (sprint) , モーションキャプチャ (motion capture)

連絡先： 〒 960-1296 福島県福島市金谷川 1 福島大学 共生システム理工学類 高橋研究室  
長山真洋, Tel.: (024)548-5259, Fax.: (024)548-5259, E-mail: masahiro@fukushima-u.ac.jp

### 1. 緒 言

従来のスポーツ科学は一流競技者に共通する動作やフォームなどの特徴を見出すことが目的であったため<sup>1)</sup>, その結果を個人への指導や練習へ適応しても, 一流競技者の場合には競技能力の向上は困難であった。これは, スポーツは様々な要因が複雑に関係しているからであると考えられる。しかし, 一流の指導者は, 感覚的にそれぞれの要因を判断し, 競技者個人に最適な指導をおこなうことができる。そのため, 一流の指導者が競技者のどのような部分に着目して指導をおこなっているのか解明できれば, 曖昧な言葉による指導ではなく, 具体的な改善策を提示し, 効率的に練習をすることが可能となる。さらに, 一流の指導者の指導内容をデータ化することで, 指導者の引退による競技レベルの低下といった国家的な損失を防ぐことが可能となる。

本研究ではオリンピック競技者を多く輩出し

ている一流指導者による競技者の評価と, 計測機器を用いた計測により得られた競技者の特徴を比較することによって, 指導者が競技者のどの部分に着目しているかの検証をおこなう。これにより, 曖昧な言葉ではなく, 客観的なデータの提示によって, 各競技者に効率の良い練習方法を提供することのできるシステムの構築を目指している。

本研究ではこれまでに多数のオリンピック競技者や, 日本記録保持者を輩出した実績があり, 共同研究者である川本和久 (福島大学陸上部監督) を研究の対象とした。また競技者は川本の指導内容を的確に反映することのできる実力を有する女子短距離走者を対象とした。

本論文では川本の疾走理論と「起こし回転」と呼ばれる跳躍技法との関連性を検証した。

## 2. 起こし回転と川本の理論

本章では、陸上競技における跳躍技法のひとつである起こし回転と、指導者である川本の疾走理論の関連性について述べる。

### 2.1 起こし回転

起こし回転とは走高跳および、走幅跳で用いられている跳躍技法である。棒を適切な接地角度になるように地面に向けて投射すると、水平方向のエネルギーが上昇方向のエネルギーに変換され、棒が跳ね上がる。これを人間の跳躍運動に応用し、跳躍時のエネルギーを脚の伸展運動ではなく、並進運動中に急激なブレーキをかけることで生み出す技法である。

名工大の佐野らは起こし回転の接地角度を鉛直に近づけることで、上昇ではなく、水平方向に進むことを発見し、それを応用した起こし回転型受動走行ロボットを開発している<sup>2, 3)</sup>。これによって走行動作に必要なエネルギーを脚の伸展運動ではなく、ロボット自身のダイナミクスと重力エネルギーから生み出している。

### 2.2 川本の疾走理論

川本は疾走動作における意識として

- 膝や足首の関節を曲げず、カラダを一本の棒とする
- 短距離において最も重要なのは中間疾走局面であり、加速局面で得たスピードを落とさずにゴールする
- 中間疾走局面ではカラダの真下で着地する

と指導する<sup>4, 5)</sup>。以上のことから、起こし回転と川本の疾走理論は関連性が高いと予想される。そこで川本に棒を用いた連続起こし回転運動の動画<sup>2)</sup>を見せたところ『この動きが自分のイメージする疾走動作である』との評価を受けた。

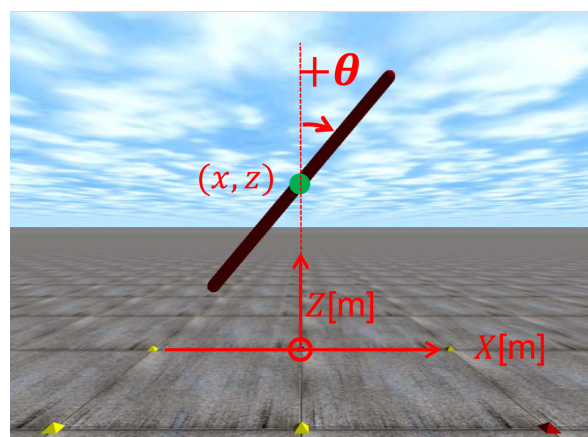


Fig. 1 Image of simulation

size [m]	mass[g]	radius[mm]
1.1	620	2.6

## 3. 起こし回転シミュレーション

起こし回転と川本の疾走理論の関連性を検証するため、Open Dynamics Engine (ODE) を用いて起こし回転運動のシミュレーションをおこない、接地角度によって起こし回転運動がどのように変化するか検証した。

### 3.1 シミュレーション内容

シミュレーションに用いたモデルは佐野らがおこなった起こし回転用バーの投射実験<sup>2)</sup>を参考とした。初期位置、初期速度は一定とし、初期角度  $\theta$  のみを  $-40 \sim +40[\text{deg}]$  の範囲で  $10[\text{deg}]$  ずつ変化させ、棒を投射した際の跳躍の高さを求めた。Fig. 1 にシミュレーションモデルを、Table 1 に今回設定したモデルのパラメータを示す。

Fig. 2 に示すように、棒の接地点  $N$  での重心高さとして、跳躍後に重心高さが最大値となった際の差を  $+H_{\text{max}}$  と定義した。また、棒が跳ね上がらなかった場合は、接地点  $N$  での重心高さとして、次の接地点  $N + 1$  での重心高さの差を  $-H_{\text{max}}$  とした。

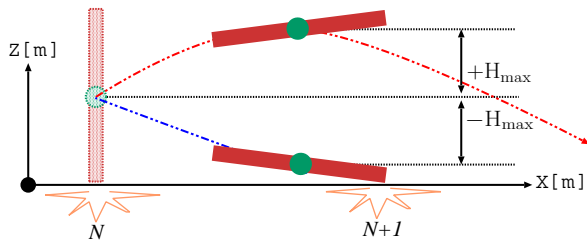


Fig. 2 Definition of  $H_{\max}$

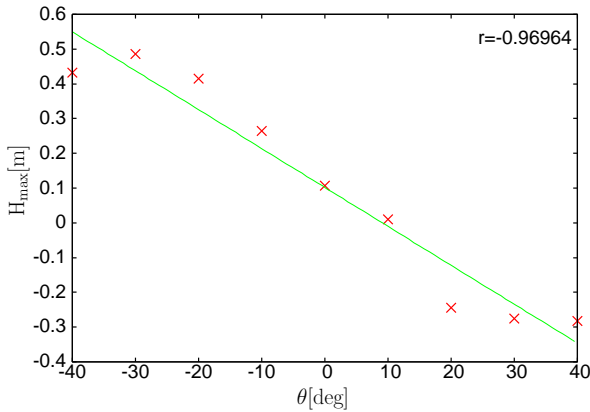


Fig. 3 Relationship between  $\theta$  and  $H_{\max}$

### 3.2 初期角度の変化による跳躍の高さの変化

初期角度  $\theta$  を変化させた際の跳躍の高さ  $H_{\max}$  の変化を、Fig. 3 に示す。この時の相関係数は  $r = -0.96964$  である。以上の結果から、起こし回転は後傾で接地すると跳躍の高さが増加し、鉛直に近い角度で接地するほど跳躍の高さは減少する。さらに前傾で接地すると跳躍しなくなることがわかる。

### 3.3 連続起こし回転

3.1 節の実験と同様の条件で初期角度  $\theta$  のみを変化させ、最も跳躍回数が多くなるような初期角度  $\theta$  を見つける。シミュレーションの結果、Fig. 4 に示すように 5 回の連続起こし回転に成功した。この時の初期角度は  $\theta = -1[\text{deg}]$  である。Fig. 4 に、他の連続起こし回転の例として 2 回転の例を示す。また、このときの初期角度は  $\theta = 0$  である。それぞれの初期角度における、接地角度と跳躍の高さを Table 2 に示す。Table 2

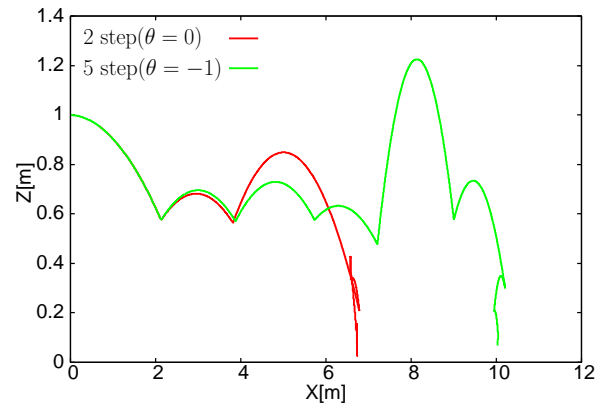


Fig. 4 Position of center of gravity

より接地角度が鉛直に近いとき、連続的な跳躍が起こる。一方、接地角度が後傾になるほど上昇してしまい、進行方向の速度が減少するため次の跳躍を生み出せなくなっていると考えられる。この結果より川本の疾走理論の一つである『中間疾走局面ではカラダの真下で着地する』とは、進行方向の速度を維持することが目的であると考えられる。

## 4. 疾走動作と起こし回転の関連性

シミュレーションで得た結果を人間の動作に当てはめると、跳躍時には上昇する力を生み出すために後傾になり。疾走動作中では身体の上昇によるエネルギーのロスを抑えるために、接地角度は鉛直に近くなると予想される。そこで跳躍動作と疾走動作の 2 つの動作をモーションキャプチャシステム MAC3D(Motion Analysis 株式会社) を用いて計測し、接地角度と跳躍の高さの関係から、人間の疾走動作と起こし回転の関連性を検証した。

今回は「人間の疾走動作は棒であり、起こし回転をおこなっている」と仮定し、着地した際の衝撃に対する身体の緩衝動作は考慮しなかった。

### 4.1 「接地」と「接地角度」の定義

起こし回転シミュレーションの結果と人間の疾走動作を比較するために、疾走動作中の「接

Table 2 Simulation results

step	1	2	3	4	5
2 step $\theta$ [deg]	0	-12.9	-	-	-
2 step $H_{\max}$ [m]	0.107	0.287	-	-	-
5 step $\theta$ [deg]	-1.0	-7.4	-1.5	-34.7	-3.0
5 step $H_{\max}$ [m]	0.118	0.169	0.057	0.747	0.159

地」と「接地角度」を定義した．これは棒の接地時間が 0.001[s] であるのに対し，人間の接地時間は約 0.1[s] と長いため接地中に重心位置も角度も変化するためである．

#### 4.1.1 「接地」の定義

棒の接地時間は一瞬であり，その接地の瞬間に棒が下降から上昇へと運動が変化する．同様にして，人間の重心が下降から上昇へ変わる局面，すなわち重心が一番低くなった時間を「接地」と定義した．重心はモーションキャプチャデータを基に動作解析ソフトウェア nMotion Musculous(ナックイメージテクノロジー株式会社)を用いて導出した．

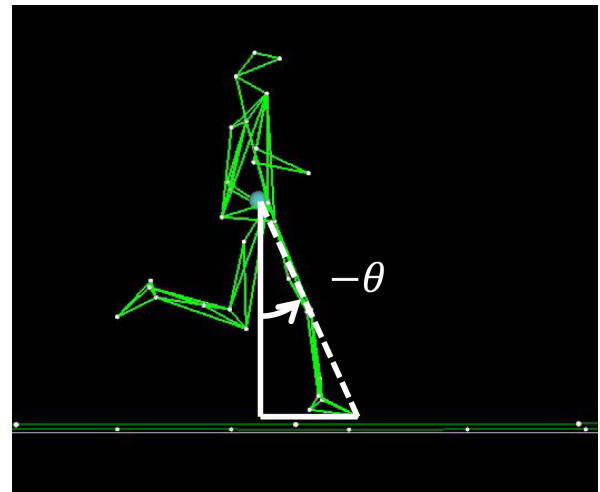


Fig. 5 Definition of  $\theta$

#### 4.1.2 「接地角度」の定義

棒の起こし回転運動は接地点を原点とする回転運動とみなすことができる．人間の疾走動作においては Fig. 5 に示すように支持脚のつま先と重心からなる角度を「接地角度」と定義した．なお，跳躍の高さに関しては，Fig. 6 に示すように，シミュレーションと同様，接地時の重心高さ，跳躍後の重心高さの最大値との差を  $H_{\max}$  と定義した．

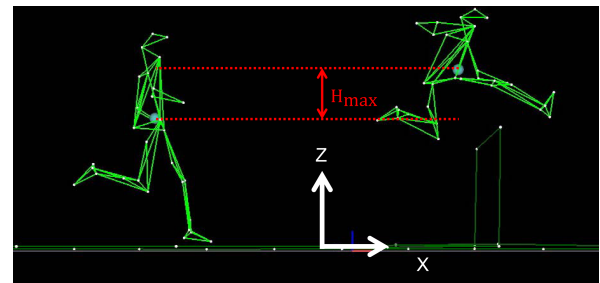


Fig. 6 Definition of  $H_{\max}$  in sprint

#### 4.2 跳躍動作を含む疾走動作

人間の疾走動作および跳躍動作と起こし回転の関連性を検証するため，それぞれの動作が含まれるハードル走を計測の対象とした．400mハードル走を専門とする被験者 A, B, C の 3 人のカーブ疾走時のハードル跳躍の計測をおこ

Table 3  $\theta$  and  $H_{\max}$  of sprint with hurdle

	A Left	A Right	B Left	B Right	C Left	C Right
$\theta$ [deg]	-17.8	-24.6	-25.3	-19.3	-23.7	-23.1
$H_{\max}$ [m]	0.242	0.285	0.339	0.307	0.343	0.327

Table 4  $\theta$  and  $H_{\max}$  of sprint with hurdle

	A Left	A Right	B Left	B Right	C Left	C Right
$\theta$ [deg]	0.5	-3.0	-1.2	3.8	1.1	3.3
$H_{\max}$ [m]	0.063	0.077	0.077	0.051	0.050	0.058

なった．その際，以下に示す 3 つの条件で計測をおこなった．

- 1) 左脚踏切でのハードル跳躍
- 2) 右脚踏切でのハードル跳躍
- 3) ハードルなしでの疾走

なお，計測時のサンプリングレートは 250[Hz]でおこなった．

ハードル跳躍の接地角度  $\theta$  と跳躍の高さ  $H_{\max}$  の値を Table 3 に，ハードルなしでの疾走時の接地角度  $\theta$  と跳躍の高さ  $H_{\max}$  の値を Table 4 に示す．またそれぞれの場合の相関関係のグラフを Fig. 7 と Fig. 8 に示す．この時の相関係数はハードル跳躍時の相関係数が  $r = -0.68858$  であり，ハードルなしの疾走時での相関係数は  $r = -0.85372$  であった．ハードル跳躍はハードルのない疾走動作と比べて，接地角度が負方向に大きくなっている．またそれに伴い，跳躍の高さも高くなっていることがわかる．これよりハードル走と起こし回転との関連性が示唆されている．

### 4.3 中間疾走局面

短距離を専門とする被験者 D の中間疾走局面をモーションキャプチャを用いて計 5 回の計測をおこなった．なお計測時のサンプリングレートは 250[Hz] である．4.2 節の実験と同様の手順で重心を導出し，接地角度と跳躍の高さを求めた．接地角度  $\theta$  と跳躍の高さ  $H_{\max}$  の値を Table 5 に，

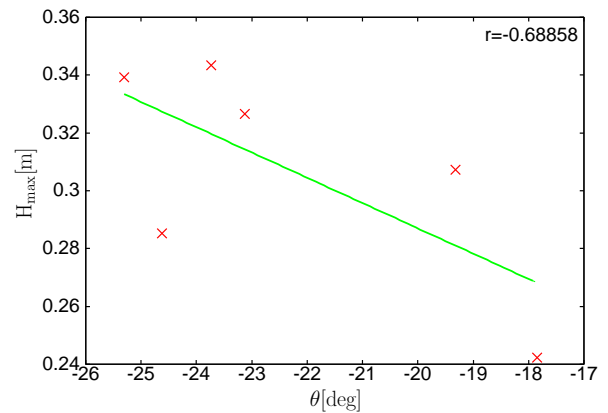


Fig. 7 Relationship of  $\theta$  and  $H_{\max}$  in sprint with hurdle

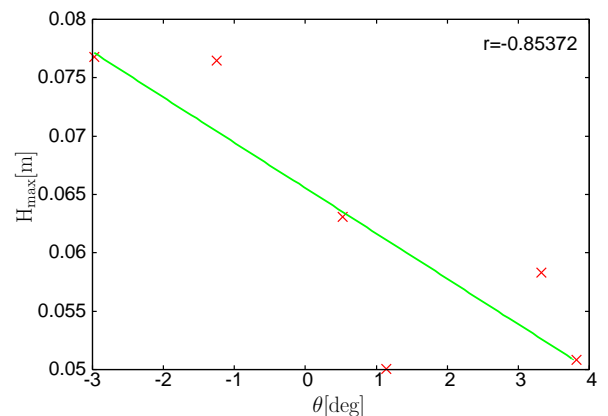


Fig. 8 Relationship of  $\theta$  and  $H_{\max}$  in sprint without hurdle

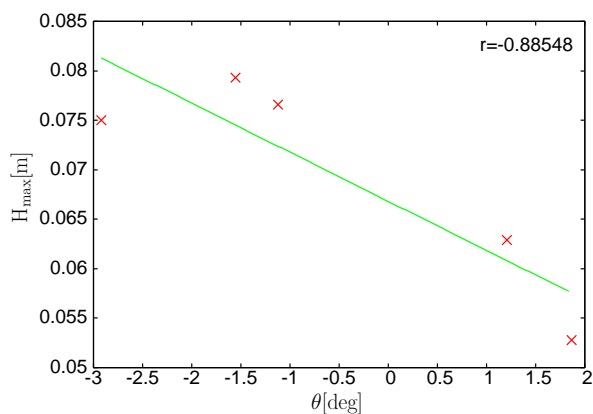


Fig. 9 Relationship of  $\theta$  and  $H_{\max}$  in sprint at full speed phase

Table 5  $\theta$  and  $H_{\max}$  in sprint at full speed phase

	1st	2nd	3rd	4th	5th
$\theta$ [deg]	1.9	1.2	-2.9	3.8	1.1
$H_{\max}$ [m]	0.053	0.063	0.075	0.077	0.079

相関関係のグラフを Fig. 9 に示す．この時の相関係数は  $r = -0.885448$  であった．結果より中間疾走局面では連続起こし回転と同様に，接地角度が鉛直に近い角度で接地していることがわかった．また，接地角度  $\theta$  と跳躍の高さ  $H_{\max}$  の相関係数が高いことから，疾走動作と起こし回転は関連性が高いことが示唆されている．

## 5. 結 言

本論文では，川本の疾走理論と起こし回転の関連性について検証するために，ODE を用いた起こし回転のシミュレーションとハードル走および中間疾走動作の計測をおこなった．その結果，シミュレーション結果と実際の跳躍動作および疾走動作には高い関連性があると考えられる．これより，川本の疾走理論は起こし回転の理論を用いて説明できる可能性が示唆された．しかし，今回提案した疾走動作と起こし回転の評価方法は上肢の傾きや関節の角度を考慮していない．そのため，それらを考慮した評価をおこな

う必要がある．今後は多数の計測データを集積し本研究の信頼性を向上させると同時に，さらなる川本のコーチング分析をおこなう．

## 参考文献

- 1) 貴嶋 孝太, 福田 厚治, 伊藤 章, 堀 尚, 末松 大喜, 大宮 真一, 川端 浩一, 山田 彩, 村木 有也, 淵本 隆文, 田邊 智: 世界と日本の一流短距離走者のスタートダッシュ動作に関するバイオメカニクス分析 - 特にキック脚に着目して -, 陸上競技研究紀要, 第 4 巻, 56-66(2008)
- 2) 佐野 明人, 丸山 信太郎, 池俣 吉人, 宮本 裕貴, 藤本 英雄: 受動走行を目指した起こし回転運動の研究, システムインテグレーション部門講演会 (2008)
- 3) 小島 瑞貴, 佐野 明人, 桑迫 真広, 池俣 吉人, 藤本 英雄: 膝有り 2 脚走行機の運動制御に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2011)
- 4) 川本和久 (著): 2 時間で足が速くなる, 54-73, ダイヤモンド社 (2008)
- 5) 川本和久 (著): 足が速くなる「ポン・ピュン走法」DVD ブック, 10-40, マキノ出版 (2010)