



# クラウドングスタートのブロッククリアランスにおける力発揮と動作の関係

篠原, 康男  
前田, 正登

---

(Citation)

体育学研究, 59(2):887-904

(Issue Date)

2014-12

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©一般社団法人 日本体育学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002681>



## クラウチングスタートのブロッククリアランスにおける 力発揮と動作の関係

篠原 康男<sup>1)</sup> 前田 正登<sup>2)</sup>

Yasuo Shinohara<sup>1</sup> and Masato Maeda<sup>2</sup>: Relationship between the force applied to the starting block and movement during the block clearance phase in a crouching start. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 59: 887-904, December, 2014

**Abstract** : Block clearance at the start of a sprint is a crucial phase of the race. However, the relationship between the force applied during the block clearance phase and the block clearance movement from the set position has not been entirely clarified. In this study, we examined this relationship by focusing on the behavior of the center of gravity of the whole body during the block clearance phase in a crouching start. Eight sprinters performed a starting dash from a starting block, as would occur in a sprint race. During the block clearance phase, the forces applied to the front and rear starting blocks were measured, and the block clearance movements were analyzed. The force applied during the block clearance phase was evaluated for whether it was close to the horizontal direction on the basis of the BLC (BLC = horizontal component of the impulse applied to the starting blocks/impulse applied to the starting blocks). There was a significant relationship ( $p < 0.05$ ) between the BLC and the angular displacement of the angle of the trunk during the block clearance phase. Also, the BLC was related to the rotational movement in the block clearance phase. In the entire block clearance phase for a high-BLC subject, the extensional movement occurred after the rotational movement. These sequences in movement of the whole body resulted in the center of gravity of the whole body being close to the horizontal direction. Furthermore, there was a significant relationship ( $p < 0.05$ ) between the BLC and the trunk angle at foot strike on the first step. Thus, during the block clearance phase in a crouching start, it is important for sprinters to accelerate their whole body close to the horizontal, applying their force to the starting block. This acceleration may result in horizontal movement of the body with lowering of the torso.

**Key words** : sprint start, impulse, applied force index, behavior of center of gravity, block clearance movement

キーワード : 短距離走スタート, 力積, 力発揮指数, 身体重心の挙動, ブロッククリアランス動作

### I. 緒 言

陸上競技の短距離走では、クラウチングスター

トでの出発が規則で義務づけられている（日本陸上競技連盟, 2013）。選手は「Set」の合図の後、クラウチング姿勢で静止し、信号器の発射音の合図とともに出発する。この時、選手はブロックク

1) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科・日本学術振興会特別研究員

〒657-8501 神戸市灘区鶴甲 3-11

2) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科

〒657-8501 神戸市灘区鶴甲 3-11

連絡先 篠原康男

1. Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

3-11 Tsurukabuto Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501

2. Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

3-11 Tsurukabuto Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501

Corresponding author yakkuru1986@gmail.com

リアランス動作を行うことで、スターティングブロックに力を加え、身体を加速させる。Tellez and Doolittle (1984) は、ブロッククリアランス局面はレース全体に占める割合が5%程度ではあるものの、レースに対して最も貢献度の高い加速局面に影響することから、その貢献度は5%以上にもなるとしている。また、短距離走の指導書 (Gambetta et al., 1989) においても、ブロッククリアランス局面では、飛び出すのではなく走るようにクリアランスすることが、良いスタートを行うためのポイントとして挙げられている。これらのことを踏まえると、ブロッククリアランス局面は短距離走におけるレースでの加速を左右する重要な局面 (Tellez and Doolittle, 1984) であるといえる。

ブロッククリアランス局面では、選手はスターティングブロックに力を加えることで身体を加速させていくことから、スターティングブロックへの力発揮に関する研究がこれまで以下のように行われてきている。スターティングブロックの配置に関する研究 (Henry, 1952; 野原ほか, 1977) では、バンチスタート・ミディアムスタート・エロンゲートッドスタートといったブロックの配置設定によって力発揮様態は異なり、バンチスタートではブロックからの離地が早い、エロンゲートッドスタートでは力積の増大によってクリアランス時の速度が高い、そしてミディアムスタートはこれら2つの配置設定の中間的な傾向であったことが報告されている。また、パフォーマンスレベルの比較からスターティングブロックへの力発揮を検討した研究では、ブロックへの力発揮がブロッククリアランス後の加速に影響すること (Mero et al., 1983) や、パフォーマンスレベルによってブロックに加えられた力積の水平成分の大きさが異なっていたことから、良いスタートは水平方向への力発揮によって特徴づけられること (Baumann, 1976) が報告されている。さらに、松尾 (2008) は、世界一流競技者2名のスタート時の力波形を示し、進行方向と鉛直方向への力の加え方が2名でそれぞれ異なっていたことを報告し、Payne and Blader (1971) は、前後のブ

ロックで加えられた力波形は異なっており、後ブロックはピーク値を基準に左右対称であったのに対して、前ブロックには2つのピークがあり前ブロック離地直前のピーク値の方が大きかったことを報告している。また篠原・前田 (2010) は、前ブロックに加えられた力の大きさの時間変化パターンが選手によって異なり、スタート後の第1歩目と関係する可能性があることを報告している。

これらのように、スターティングブロックへの力発揮については多くの研究がなされているものの、ブロッククリアランスにおける力発揮について、選手の動作技術を踏まえた検討はなされていない。ブロッククリアランス局面での力発揮については、スタートの飛び出しはある一時点の力の大小よりもトータルである力積に支配され (野原ほか, 1977), スターティングブロックに加えられた力積はブロッククリアランス時の速度と同義である (Coppennolle et al., 1990) とされており、スターティングブロックに加えられる力積は重要な観点であるといえる。このような背景から、先行研究 (篠原・前田, 2013) では、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分 (進行方向の成分) からブロッククリアランス局面の検討がなされているが、選手はスターティングブロックに対して水平または鉛直方向に別々に力を加えるのではなく、スターティングブロックへの力の大きさと方向を調節して力発揮を行っているものと考えられる。このような力発揮の方向に関して、Morin et al. (2011) は、接地中に加えられた力の水平成分の大きさを加えられた力の大きさで除したものを指標に用いて検討し、短距離走の加速局面での力の加え方がパフォーマンスに影響することを報告している。したがって、ブロッククリアランスにおける力発揮を検討する上では、単に力積の大きさをを用いるのではなく、その方向を踏まえた指標を用いる方が、実際の選手の動きを反映できるものと考えられる。

また、ブロッククリアランス局面の動作については、パフォーマンスレベルによる Set 時の姿勢の違い (Mero et al., 1983) や男子スプリンターと女子スプリンターにおける Set 時およびブロッ

ククリアランス時の動作の違い（坂田ほか，1996）に関する検討が行われている．また，前足の足先と身体重心を仮想の線分で結んだ逆振り子モデル(Jacobs and Schenau, 1992)を用いて，対象とする動作を「回転運動」と「伸展運動」から検討している研究もみられている．金高ほか(2005)は，クラウチングスタートの水平速度獲得には伸展運動による速度獲得が大きい「伸展型」と回転運動と伸展運動を効果的に連動させて速度獲得を行う「回転＋伸展型」の2つのタイプがあることを報告している．さらに金高ほか(2009)は，クラウチングスタートとスタンディングスタートでは水平速度獲得要因に違いがあることを明らかにしており，このような「回転運動」と「伸展運動」は，ブロッククリアランス動作の指導に用いられる観点である「倒れ込み」や「伸び上がり」の運動にそれぞれ対応すると考えられている．土江(2011)は，ブロッククリアランス時の身体重心の移動に注目し，ブロッククリアランス動作のタイプが「伸び上がり式スタート」，「倒れ込み式スタート」，伸び上がりと倒れ込みの両方を兼ね備えた「中間式スタート」の3つのタイプに分けられるとしている．選手への指導の際には，これらのタイプに基づいてブロッククリアランス動作の指導が行われることも多く，「倒れ込み」である「回転運動」と「伸び上がり」である「伸展運動」は，ブロッククリアランス動作の検討には重要な観点であるといえる．しかし，スターティングブロックへの力発揮が，Set時の姿勢からスターティングブロックを離れるまでの一連のブロッククリアランス動作とどのように関係するのか，ほとんど議論されていない．スターティングブロックは，静止した状態から加速していくためには不可欠な用具であり（Bender, 1934），クラウチングスタート法を疾走に活かせるかどうかはブロックへの力発揮による（山根ほか，1986）とされている．したがって，スターティングブロックへの力発揮がブロッククリアランス動作とどのように関係するのかを検討することで，より有効なブロッククリアランスの動作技術が明らかになると考えられる．

本研究では，クラウチングスタートのブロッククリアランス局面において，特に身体重心の挙動に着目し，スターティングブロックへの力発揮がブロッククリアランス動作とどのように関係するかについて検討することを目的とした．

## Ⅱ．方 法

### 1. 被験者

被験者は，男子学生短距離選手8名（身長： $173.0 \pm 3.6$  cm；体重： $68.0 \pm 4.2$  kg，100 m 走の自己記録： $11.17 \pm 0.53$ 秒，記録の範囲は10.49から11.85秒）とした．なお，被験者には実験前に研究の目的，実験方法および測定時の危険性などについて十分に説明を行った後，実験参加の了解を得た．実験は，「神戸大学大学院人間発達環境学研究科における人を直接の対象とする研究に関する規程」に則り行われた．

### 2. 実験方法

#### 1) 測定機器の設定

スターティングブロックは，足をセットする2枚のフットプレートとそれらを固定する1つのフレームによって構成されている．本研究では左右それぞれのブロックに加えられる力を測定するためにフレームを取り外し，左右のブロックを独立させて2つのフォースプレート（TP803-5416-5KN，テック技販社製）上にそれぞれボルトで完全に固定した（図1参照，①と②が該当）．左右のフォースプレート間の距離は，フレーム幅と同じに設定した．また，左右のブロックはフォースプレートに取り付けたままで，それぞれ3.5 cm 間隔で前後に移設することができ，通常のスターティングブロックと変わらない配置設定ができるようにした．

本研究ではSet時の手にかかる力についても，スターティングブロックに加えられた力とは別にフォースプレート（TP804-10040-5KN，テック技販社製）を用いて測定を行った（図1参照，③が該当）．

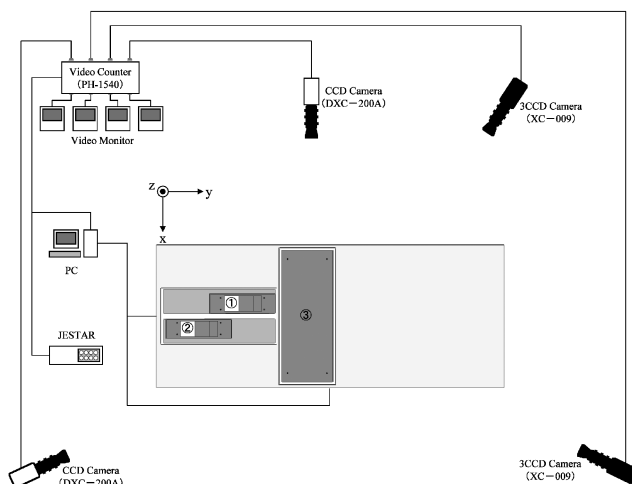


図1 実験構成

## 2) 実験方法

被験者には競技会を想定したスターティングブロックからのクラウチングスタートを行わせた。その際、被験者にはスタートラインから20 m地点までは競技会と同様の意識で疾走するよう指示した。実験は実験室内（表面はビニル床シート張り）で行い、被験者には室内用シューズを履かせて試技を行わせた。試技前にはフォースプレートの位置を調節し、各被験者が競技会および日常のトレーニングで通常用いているブロック配置と同じ位置に設定した。なお、本研究で対象とした被験者のブロック間距離は、いずれの選手も30 cm以下であり、パンチスタートの配置（Harland and Steele, 1997；Slawinski et al., 2012）となっていた。各試技の後ブロックと前ブロックに加えられた力、およびSet時の手にかかる力について、フォースプレートを用いてそれぞれ1 kHzで測定した。また、被験者の左側方（DXC-200A, SONY社製）と左右の斜め前方（XC-009, SONY社製）、および右斜め後方（DXC-200A, SONY社製）にそれぞれビデオカメラを設置し、被験者のブロッククリアランス動作を60 fpsで撮影した（図1）。この時のシャッタースピードは1/1000秒であり、これら4台のビデオカメラは、ビデオカウンター（PH-1540, ディケイエイチ社製）により完全に同期して撮影し

た。なお、被験者の発走の合図は日本陸上競技連盟競技会規則第162条に準拠（「On your marks」と「Set」）し、信号器にはJESTAR（ニシ・スポーツ社製）を用い、フォースプレートからの信号出力とビデオカメラの映像を同期して収録する際の外部トリガーとして用いた。被験者には発走のスタート音がピストル音とは異なることを説明し、十分に練習して発走の合図に慣れさせ、通常のスタートが行えることを確認した上で実験試技を行わせた。試技回数は3回とし、試技間は疲労の影響が出ないように選手に確認をとってから次の試技に移ることとした。

## 3. 試技分析

分析は静止したSetの状態から第1歩目を接地するまでとし、クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス局面を中心に分析した。本研究ではJESTARのスタート音に反応後、スターティングブロックに力が増えられ始めた時点について、先行研究（Mero and Komi, 1990；篠原・前田, 2013）を参考に、Setの構え時に各ブロックに加わる力を基準（Baseline）とし、JESTARのトリガー信号が検出されて以降、前後どちらかのブロックに加わる力がBaselineを100%とした時の105%を上回った時点スターティングブロックに力が増えられ始めた時点とした。なお、本

研究では、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間（スターティングブロックに力が加えられ始めた時点）から前足が前ブロックから離れる瞬間までをブロッククリアランス局面とし、後ブロックから後足が離れる瞬間を後足離地時、その後、前ブロックから前足が離れる瞬間をブロッククリアランス時とした。また、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間から後足が後ブロックから離れるまでを両足局面、後足が後ブロックから離れた後、前ブロックから前足が離れるまでを片足局面として、ブロッククリアランス局面を2つの局面に分けての検討も行った。

ブロッククリアランス動作の分析には、3次元動作解析ソフトウェア（Frame-DIASN、ディケイエイチ社製）を用いた。コンピュータに取り込んだ画像を元に、身体23点をデジタイズし、これらの3次元位置座標を得た。得られた位置座標データはButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化を行った。このときの遮断周波数は先行研究（堀ほか、2011；加藤・三村、2010；杉本・前田、2013）を参考に6 Hzとした。平滑化した座標から、進行方向と鉛直方向の2次元座標を得た後、身体重心位置を求めた。身体重心位置の算出には、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いた。なお、本研究では選手の左右方向をX軸（被験者の右方向を正）、選手の前後方向をY軸（被験者の進行方向を正）、鉛直方向をZ軸（被験者の鉛直上向きを正）とした。本測定におけるキャリブレーションの標準誤差はX軸が0.19 cm、Y軸が0.30 cm、Z軸が0.29 cmであり、いずれの方向も0.5 cm未満であったことから、良好なキャリブレーションであったと考えられる。

#### 1) 分析項目

①ブロッククリアランス局面における力発揮指数  
本研究では、Morin et al. (2011) の報告を参考に、ブロッククリアランス局面での力発揮指数（以下「BLC」と略す）を次式により算出した。

$$BLC = \frac{\text{スターティングブロックに加えられた力積の水平成分 } I_h}{\text{スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成 } I_{cv}}$$

BLCの算出にあたり、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成（ $I_{cv}$ ）とスターティングブロックに加えられた力積の水平成分（以下、「スターティングブロックへの力積の水平成分： $I_h$ 」とする）を以下の式を用いてそれぞれ算出した。

$$I_{cv} = \int_{T_{start\_rb}}^{T_{clearance\_rb}} F_{rb} \cdot dt + \int_{T_{start\_fb}}^{T_{clearance\_fb}} F_{fb} \cdot dt$$

$$I_h = \int_{T_{start\_rb}}^{T_{clearance\_rb}} F_{rb\_y} \cdot dt + \int_{T_{start\_fb}}^{T_{clearance\_fb}} F_{fb\_y} \cdot dt$$

前後のブロックそれぞれについて、力が加えられ始めた時点（後ブロック： $T_{start\_rb}$ 、前ブロック： $T_{start\_fb}$ ）から接地している足が離れた時点（後ブロック： $T_{clearance\_rb}$ 、前ブロック： $T_{clearance\_fb}$ ）までにブロックに加えられた力（ $F_{rb}$ ：後ブロックに加えられた力、 $F_{fb}$ ：前ブロックに加えられた力、 $F_{rb\_y}$ ：後ブロックに加えられた力の水平成分、 $F_{fb\_y}$ ：前ブロックに加えられた力の水平成分）を用いて力積を算出した。その後、前後のブロックに加えられた力積を足し合わせることで、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成とスターティングブロックへの力積の水平成分を算出した。なお、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成の算出にあたっては、Set時に前ブロックおよび後ブロックに加えられている力の平均値を基準（Baseline）とし、JESTARのトリガー信号が検出されて以降、加えられた力からBaseline分を差し引いた値を用いて算出した。また、スターティングブロックに加えられた力積の鉛直成分（以下、「スターティングブロックへの力積の鉛直成分： $I_v$ 」とする）についてもBLCとの関係を検討する上で次式により算出を行った。

$$I_v = \int_{T_{start\_rb}}^{T_{clearance\_rb}} F_{rb\_z} \cdot dt + \int_{T_{start\_fb}}^{T_{clearance\_fb}} F_{fb\_z} \cdot dt$$

式中の $F_{rb\_z}$ および $F_{fb\_z}$ はそれぞれ後ブロックまたは前ブロックに加えられた力の鉛直成分を表

している。なお、スターティングブロックへの力積の鉛直成分の算出にあたっては、Set 時に前ブロックおよび後ブロックに加えられている鉛直成分の力の平均値を基準 (Baseline) とし、JESTAR のトリガー信号が検出されて以降、鉛直成分に加えられた力から Baseline 分を差し引いた値を用いて算出した。全ての力積は被験者の体重で除した値とした。

算出した BLC はスターティングブロックへの力積の水平成分をスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成で除したものであることから、BLC が大きいほど、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成がより水平方向に加えられていることになる。逆に、BLC が小さいほど、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成があまり水平方向に加えられていないことになる。例えば BLC の値が 1 になれば、スターティングブロックへの力積の水平成分の大きさとスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成の大きさが一致することになり、選手はスターティングブロックに対して水平方向にのみ力発揮していたと捉えることができる。

#### ②ブロッククリアランス局面の時間

ブロッククリアランス局面における時間について、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間 (スターティングブロックに力が加えられ始めた時点) から前足が前ブロックから離れる瞬間までの、ブロッククリアランス動作全体に要した時間 (以下「ブロッククリアランスタイム」と略す) を算出した。

#### ③Set 時に手で支える力

Set 時に手で支える力の鉛直成分 (以下「手で支える力」と略す) を算出した。力は被験者の体重で除した値とした。

#### ④Set 時における前後の足の位置

スタートラインから前後のブロック位置までの距離 (以下「前距離」および「後距離」と略す) と前後のブロックの間隔 (以下「ブロック間距離」と略す) をそれぞれ実測した。

#### ⑤身体各部位の角度および角変位

Set 時とブロッククリアランス時、および第 1 歩目接地時の各身体部位の角度について、進行方向と鉛直方向の座標値を用いて算出した (図 2 参照)。なお、Set 時とブロッククリアランス時の身体各角度は先行研究 (Čoh et al., 1998; Mero et al., 1983; 坂田ほか, 1996) を参考に算出した。また、体幹角度については、Set 時からブロッククリアランス時にかけての角変位も算出した。

#### ⑥身体重心の位置および変位

身体重心の位置について、進行方向についてはスタートラインからの水平距離 (以下「身体重心位置:  $l$ 」と略す) を、鉛直方向については地面からの高さ (以下「身体重心高:  $h$ 」と略す) をそれぞれ算出した (図 2 参照)。なお、身体重心高については被験者間での体格差を考慮して、被験者の身長で除した値とした。

また、これらの Set 時およびブロッククリアランス時の値を用いて、ブロッククリアランス局面での身体重心の水平変位および鉛直変位をそれぞれ算出した。

#### ⑦身体重心の速度

ブロッククリアランス局面の身体重心の水平速度と鉛直速度 (以下「水平速度:  $V_y$ 」, 「鉛直速度:  $V_z$ 」と略す) をそれぞれ算出した。

#### ⑧逆振り子モデルに関する各変量

本研究では、Set からのブロッククリアランス動作を、金高ほか (2009) の先行研究を参考に、前足つま先と身体重心を結ぶ仮想の線分が、前足つま先を中心として前方に回転しながら縮伸する逆振り子モデル (Jacobs and Schenau, 1992) を用いて検討した (図 2 参照)。

分析項目のうち、逆振り子の長さ ( $r$ ) と逆振り子の回転角度 ( $\theta_{CG}$ ) については、ブロッククリアランス時の値から Set 時の値を差し引くことで、ブロッククリアランス局面での変化量および角変位をそれぞれ算出した。また、逆振り子の伸展速度 ( $V_r$ ) については、両足局面と片足局面およびブロッククリアランス局面全体での最大値を求めた。逆振り子の回転角速度 ( $\omega$ ) について

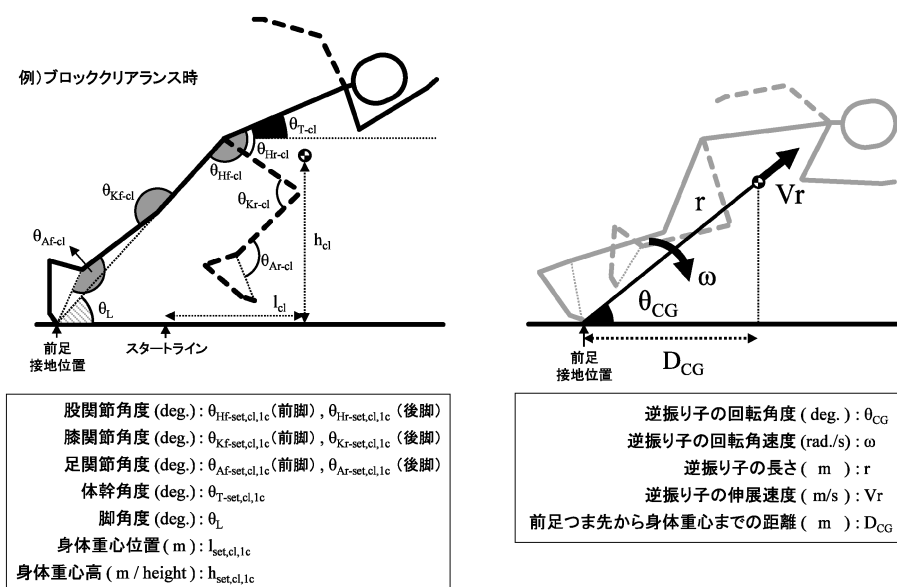


図2 身体各部位の角度と逆振り子モデルに関する分析項目

は、両足局面と片足局面およびブロッククリアランス局面全体での平均値をそれぞれ求めた。なお、逆振り子の回転角速度は時計回り（前方への回転）を正とした（木野村ほか，2012）。

## 2) 統計処理

本研究では、被験者の力発揮を含めた動作技術と動きの関係を検討するために、被験者の標準的な値を用いることとした。そこで、各試技の分析により得られた各データについては、3試技分を加算平均したものを被験者の代表値とした。各分析項目間の関係は、ピアソンの積率相関係数を用いて検討した。なお、有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ. 結 果

図3に、BLCとスターティングブロックへの力積およびブロッククリアランス時の身体重心速度との関係を示す。BLCとスターティングブロックへの力積の水平成分 ( $I_h$ ) との間には、有意な正の相関関係 ( $r=0.830, p<0.05$ ) が認められた。また、BLCとスターティングブロックへの力積の鉛直成分 ( $I_v$ ) およびスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合

成 ( $I_{cv}$ ) との間には有意な相関関係は認められなかった。一方、BLCとブロッククリアランス時の身体重心速度については、BLCと水平速度 ( $V_{ycl}$ ) との間に有意な正の相関関係 ( $r=0.827, p<0.05$ ) が認められた。BLCと鉛直速度 ( $V_{zcl}$ ) との間には有意な相関関係は認められなかった。

表1にSet時とブロッククリアランス時における身体の姿勢パラメータ、身体重心位置およびBLCと各分析項目との相関係数を示す。Set時では、いずれの項目においてもBLCとの間には有意な相関関係は認められなかった。一方、ブロッククリアランス時では、BLCと前脚の股関節角度、後脚の膝関節角度、体幹角度、身体重心高の間に有意な相関関係（前脚の股関節角度： $r=-0.767, p<0.05$ ；後脚の膝関節角度： $r=0.827, p<0.05$ ；体幹角度： $r=-0.782, p<0.05$ ；身体重心高： $r=-0.761, p<0.05$ ）が認められた。その他の項目については、いずれも有意な相関関係は認められなかった。

表2にSet時とブロッククリアランス時における逆振り子モデルに関する各パラメータおよびBLCと各分析項目との相関係数を示す。Set時では、いずれの項目においても、BLCとの間に



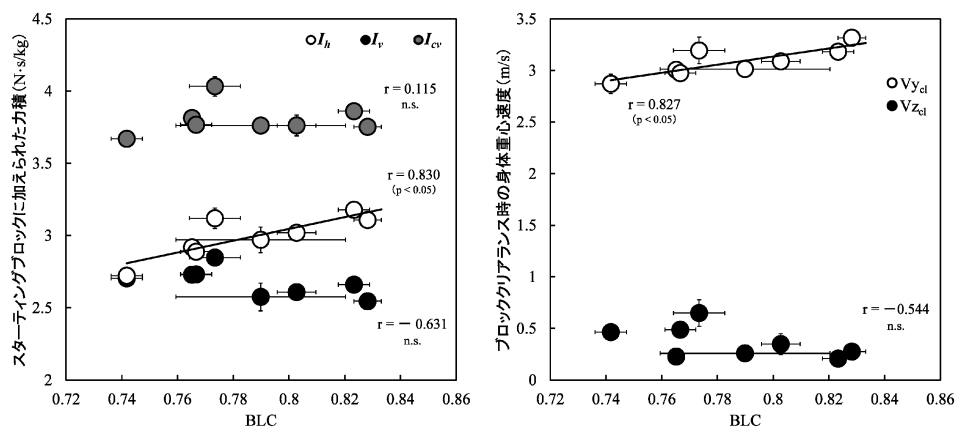


図3 BLC とスターティングブロックへの力積およびブロッククリアランス時の身体重心速度との関係

表1 Set 時とブロッククリアランス時における身体の姿勢パラメータ, 身体重心位置, および BLC と各分析項目との相関係数

分析項目		平均値±標準偏差	BLC との相関係数
Set 時			
前脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hf-set}$	51.18 ± 4.13	-0.391
前脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kf-set}$	108.59 ± 7.76	-0.021
前脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Af-set}$	96.41 ± 4.98	0.289
後脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hr-set}$	70.98 ± 4.40	-0.179
後脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kr-set}$	122.68 ± 8.77	-0.013
後脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Ar-set}$	96.06 ± 4.24	0.650
体幹角度 (deg.)	$\theta_{T-set}$	-20.88 ± 3.08	0.103
Set 時に手で支える力 (N/kg)		7.22 ± 0.39	-0.357
前距離 (cm)		49.00 ± 3.74	0.059
後距離 (cm)		68.25 ± 2.65	0.118
ブロック間距離 (cm)		19.25 ± 5.29	0.017
身体重心位置 (m)	$l_{set}$	-0.21 ± 0.05	-0.226
身体重心高 (m/height)	$h_{set}$	0.34 ± 0.01	0.165
ブロッククリアランス時			
前脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hf-cl}$	151.14 ± 6.18	-0.767*
前脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kf-cl}$	164.62 ± 5.02	-0.135
前脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Af-cl}$	132.93 ± 5.22	-0.326
後脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hr-cl}$	83.11 ± 7.18	-0.692
後脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kr-cl}$	85.05 ± 11.81	0.827*
後脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Ar-cl}$	89.38 ± 7.52	-0.086
体幹角度 (deg.)	$\theta_{T-cl}$	25.05 ± 6.02	-0.782*
脚角度 (deg.)	$\theta_L$	48.56 ± 1.53	-0.522
身体重心位置 (m)	$l_{cl}$	0.35 ± 0.07	0.277
身体重心高 (m/height)	$h_{cl}$	0.43 ± 0.02	-0.761*

\*  $p < 0.05$

表2 Set時とブロッククリアランス時における逆振り子モデルに関する各パラメータ, および BLC と各分析項目との相関係数

分 析 項 目		平均値±標準偏差	BLC との相関係数
Set 時			
逆振り子モデルの長さ (m)	$r_{\text{set}}$	$0.63 \pm 0.02$	0.069
逆振り子モデルの回転角度 (deg.)	$\theta_{\text{CG\_set}}$	$63.99 \pm 1.88$	0.356
前足つま先から身体重心までの距離 (m)	$D_{\text{CG\_set}}$	$0.28 \pm 0.02$	-0.262
ブロッククリアランス時			
逆振り子モデルの長さ (m)	$r_{\text{cl}}$	$1.12 \pm 0.04$	0.131
逆振り子モデルの回転角度 (deg.)	$\theta_{\text{CG\_cl}}$	$41.28 \pm 1.86$	-0.827**
前足つま先から身体重心までの距離 (m)	$D_{\text{CG\_cl}}$	$0.85 \pm 0.04$	0.617

\*\*  $p < 0.01$

表3 ブロッククリアランス局面における逆振り子と身体重心の挙動に関する各パラメータ, 体幹角度の角変位, ブロッククリアランスタイム, および BLC と各分析項目との相関係数

分 析 項 目		平均値±標準偏差	BLC との相関係数
逆振り子モデルの長さの変化量 (m)	$\Delta r_{\text{set-cl}}$	$0.49 \pm 0.03$	0.118
逆振り子モデルの角変位 (deg.)	$\Delta \theta_{\text{CG\_set-cl}}$	$22.71 \pm 3.14$	0.701†
身体重心の水平変位 (m)	$\Delta l_{\text{set-cl}}$	$0.56 \pm 0.05$	0.638
身体重心の鉛直変位 (m/height)	$\Delta h_{\text{set-cl}}$	$0.10 \pm 0.02$	-0.682
体幹角度の角変位 (deg.)	$\Delta \theta_{\text{T\_set-cl}}$	$45.93 \pm 6.52$	-0.770*
ブロッククリアランスタイム (s)		$0.37 \pm 0.01$	-0.342

\*  $p < 0.05$ , †  $p = 0.053$

は有意な相関関係は認められなかった。一方、ブロッククリアランス時では、BLC と逆振り子モデルの回転角度との間に有意な負の相関関係 ( $r = -0.827$ ,  $p < 0.01$ ) が認められた。BLC と逆振り子モデルの長さおよび前足つま先から身体重心までの距離の間には有意な相関関係は認められなかった。

表3にブロッククリアランス局面における逆振り子と身体重心の挙動に関する各パラメータ, 体幹角度の角変位, ブロッククリアランスタイムおよび BLC と各分析項目との相関係数を示す。BLC と体幹角度の角変位との間には有意な負の相関関係が認められた ( $r = -0.770$ ,  $p < 0.05$ )。また, 有意な相関関係ではなかったものの, BLC と逆振り子モデルの角変位との間には有意となる傾向 ( $r = 0.701$ ,  $p = 0.053$ ) がみられた。BLC と逆振り子モデルの長さの変化量, 身体重心の水平・鉛直変位およびブロッククリアランス

タイムとの間には有意な相関関係は認められなかった。

Set時からブロッククリアランス時までの体幹角度と身体重心の推移を図4に示す。対象とした被験者の中で BLC が最も大きかった被験者 ( $\text{BLC} = 0.828$ ) を実線で, BLC が最も小さかった被験者 ( $\text{BLC} = 0.742$ ) を破線で, その他の被験者を細線でそれぞれ示した。なお, これらは Set時からブロッククリアランス時に至るまでの前足つま先から身体重心までの水平距離に対する体幹角度および身体重心高の推移を時々刻々の値をプロットして示したものである。図中には Set時, 後足離地時, およびブロッククリアランス時の各時点がわかるように, それぞれ矢印を用いて示した。BLC の大きい被験者 ( $\text{BLC} = 0.828$ ) は, BLC の小さい被験者 ( $\text{BLC} = 0.742$ ) に比べて体幹角度の推移が比較的緩やかで, ブロッククリアランス局面後半では体幹の起こしはほとんどみら

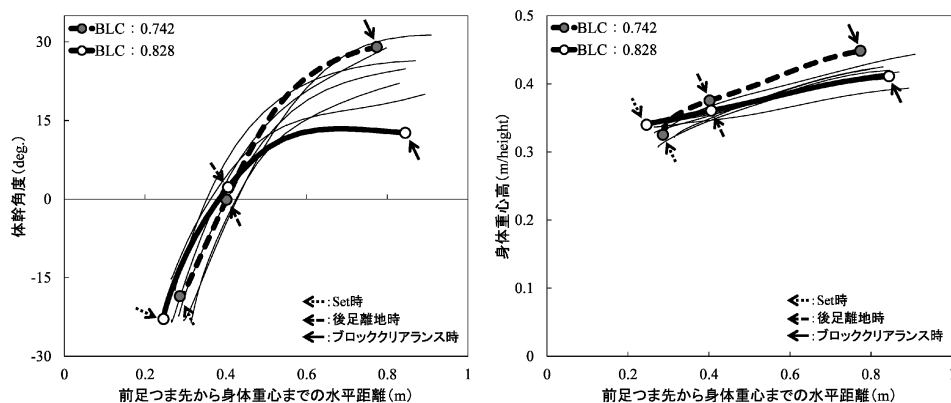


図4 Set時からブロッククリアランス時までの体幹角度の推移と身体重心の推移

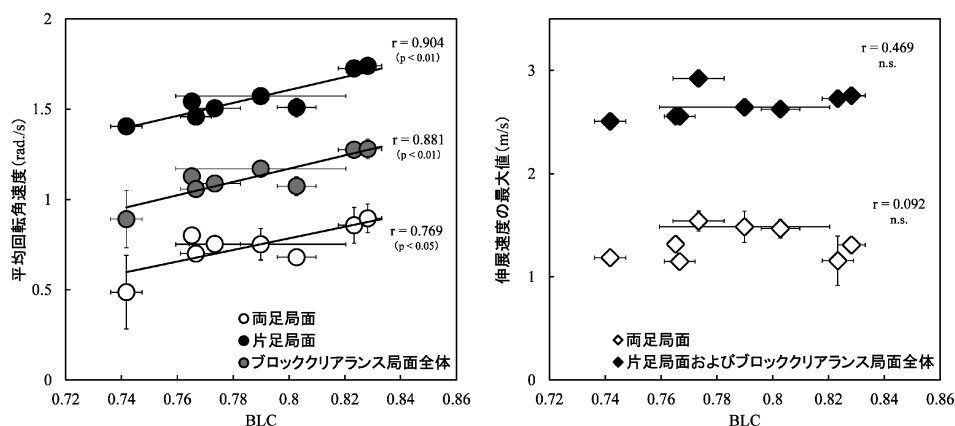


図5 BLCと逆振り子モデルにおける回転角速度および伸展速度との関係

れなかった．また，Set時からブロッククリアランス時にかけての身体重心の推移も，BLCが小さい被験者と比べて，より水平方向に近づいた推移を示していた．一方，BLCの小さい被験者はBLCの大きい被験者に比べて，体幹角度の増加が急で，ブロッククリアランス時まで体幹を起し続けていた．また，Set時からブロッククリアランス時における身体重心の推移も，BLCの大きい被験者に比べて，斜め上方に向かう推移を示していた．

図5に，BLCと逆振り子モデルにおける回転角速度および伸展速度との関係を示す．BLCとブロッククリアランスの各局面における平均回転角速度との間には，いずれの局面においてもそれぞれ有意な正の相関関係（両足局面： $r=0.769$ ,

$p<0.05$ ；片足局面： $r=0.904$ ,  $p<0.01$ ；ブロッククリアランス局面全体： $r=0.881$ ,  $p<0.01$ ）が認められた．一方，BLCと伸展速度の最大値との間には，いずれの局面においても有意な相関関係は認められなかった．なお，片足局面での伸展速度の最大値は，ブロッククリアランス局面全体での最大値となっていた．

逆振り子モデルの回転角速度および伸展速度の時間変化を図6に示す．これらの時間変化はブロッククリアランス時を基準としている．図4と同様に，対象とした被験者の中でBLCが最も大きかった被験者（ $BLC=0.828$ ）を実線で，BLCが最も小さかった被験者（ $BLC=0.742$ ）を破線で，その他の被験者を細線でそれぞれ示した．なお，図中の矢印は後足離地時を示してお

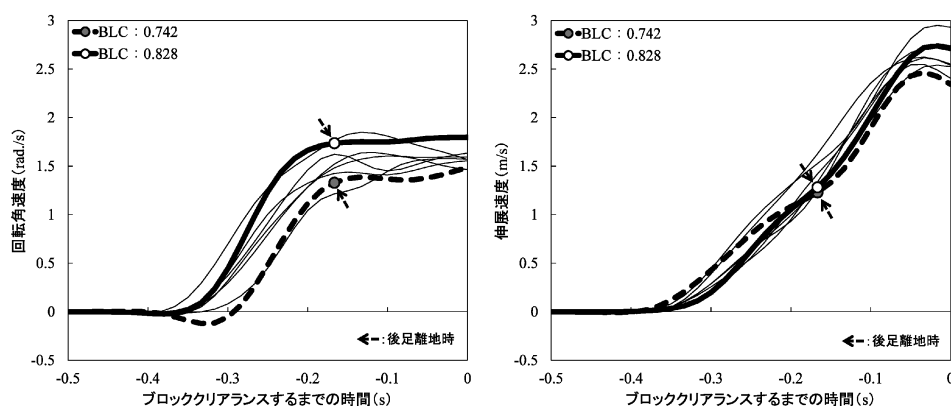


図6 逆振り子モデルの回転角速度および伸展速度の時間変化

表4 第1歩目接地時の身体の姿勢パラメータ，身体重心位置，およびBLCと各分析項目との相関係数

分析項目		平均値±標準偏差	BLCとの相関係数
第1歩目接地時			
前脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hf-1c}$	140.15 ± 7.99	0.132
前脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kf-1c}$	122.65 ± 22.01	0.508
前脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Af-1c}$	138.08 ± 12.33	0.090
後脚の股関節角度 (deg.)	$\theta_{Hr-1c}$	94.59 ± 8.61	-0.758*
後脚の膝関節角度 (deg.)	$\theta_{Kr-1c}$	112.28 ± 4.65	0.203
後脚の足関節角度 (deg.)	$\theta_{Ar-1c}$	84.42 ± 6.18	0.137
体幹角度 (deg.)	$\theta_{T-1c}$	27.52 ± 6.55	-0.800*
身体重心位置 (m)	$l_{1c}$	0.56 ± 0.10	-0.218
身体重心高 (m/height)	$h_{1c}$	0.43 ± 0.02	-0.688

\*  $p < 0.05$

り，ブロッククリアランス時を基準とした時の2名の被験者の後足離地時は同じタイミングであった。回転角速度は，BLCの大きい被験者（BLC = 0.828）がBLCの小さい被験者（BLC = 0.742）に比べて，ブロッククリアランス局面全体を通じて大きかった。一方，伸展速度については，後足離地前まではBLCの小さい被験者がBLCの大きい被験者を上回っていた。その後，後足離地時付近を境にして，BLCの大きい被験者がBLCの小さい被験者をわずかに上回っていた。また，伸展速度と回転角速度では，時間変化に伴う大きさの差は，回転角速度の方が大きかった。

表4に第1歩目接地時の身体の姿勢パラメータ，身体重心位置およびBLCと各分析項目との相関係数を示す。BLCと後脚（接地脚）の股関

節角度および体幹角度との間にそれぞれ有意な負の相関関係が認められた（後脚の股関節角度： $r = -0.758$ ,  $p < 0.05$ ；体幹角度： $r = -0.800$ ,  $p < 0.05$ ）。その他の項目については，いずれも有意な相関関係は認められなかった。

## Ⅳ．論 議

### 1. ブロッククリアランス時の力発揮の評価

本研究では，ブロッククリアランス局面における力発揮の評価および検討にBLCを提案した。BLCはスターティングブロックへの力積の水平成分をスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成で除したものであり，BLCが大きいほど（1に近づくほど），選手はス

ターティングブロックに対して水平方向に近い方向で力発揮していたと捉えることができる。また、BLCは、スターティングブロックへの水平力積が大きくなればBLCも大きくなるが、算出式の関係上、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成の大きさによってもBLCは変わり得る。例えば、スターティングブロックへの力積の水平成分の大きさが同程度であったとしても、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成の大きさも同程度であるとは限らず、選手によってBLCは変わり得る。そこで、BLCとスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成およびスターティングブロックへの力積の水平・鉛直成分との関係を検討したところ、BLCはスターティングブロックへの力積の水平成分と有意な正の相関関係が認められ ( $r = 0.830$ ,  $p < 0.05$ )、BLCが大きい者ほどスターティングブロックに加えられた力積の水平成分は大きかった (図3)。一方、BLCとスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成の間には有意な相関関係が認められなかった (図3)。これらのことから、選手によってBLCの大きさが異なっていたのは、スターティングブロックへの力発揮の大きさによるものではなく、力発揮の向き (力を発揮する方向がどの程度水平方向に近い) によるものといえる。

また、BLCとブロッククリアランス時の水平速度との間に有意な正の相関関係が認められ ( $r = 0.827$ ,  $p < 0.05$ )、BLCが大きい者ほど水平速度は高かった。ブロッククリアランス時の疾走速度は、スターティングブロックに加えられた力積により生じるとされており (Coppenolle et al., 1990)、BLCとスターティングブロックへの力積の水平成分との間に有意な正の相関関係がみられていたことも合致する結果である。ただ、BLCとスターティングブロックに加えられた力積の水平成分と鉛直成分の合成との間には有意な相関関係が認められなかったことを踏まえると、BLCを大きくする、つまり、ブロッククリアランス局面における力発揮の大きさは変えずにその

向きをより水平方向に近づけることで、ブロッククリアランス時の水平速度を高めることができるものと考えられる。したがって、ブロッククリアランス局面の力発揮においては、大きさよりもその方向が重要となることが推察される。このことについて、Morin et al. (2011) は、短距離走の加速局面における力発揮においては、力の大きさよりも力発揮の方向がパフォーマンスに重要であり、その力発揮の方向は選手の「technical ability」によるものと捉えている。また、短距離走スタートでは、良いスタートは水平方向への力発揮によって特徴づけられる (Baumann, 1976) といわれている。したがって、本研究で提案したBLCの大きさは、ブロッククリアランス局面における力発揮について、選手のスキルレベルを示す指標となり得るものと考えられる。

## 2. ブロッククリアランス局面における力発揮と姿勢および身体重心の挙動との関係

本研究では、ブロッククリアランス動作の分析に、前足つま先と身体重心を仮想の線分で結んだ逆振り子モデル (Jacobs and Schenau, 1992) を用いた。このモデルを用いることで、身体重心の挙動を、前足つま先を中心とした逆振り子の伸展運動と前方への回転運動として表現することができる。伸展運動と前方への回転運動は、ブロッククリアランスの動作技術の観点である「伸び上がり」と「倒れ込み」 (土江, 2011) にそれぞれ対応すると考えられることから、BLCの大きさと逆振り子の伸展運動および回転運動との関係を検討した。

### 2.1 Set時

表2に示されるように、Set時では、逆振り子モデルに関するいずれの項目についてもBLCと有意な相関関係は認められなかった。また、表1より、BLCとSet時の身体の姿勢パラメータの間においても有意な相関関係は認められず、相関係数もほとんどが $\pm 0.2$ 以下と小さい値であった。本研究では、ブロックへの力発揮と動作の関係について、Set時の構え方も含めて検討するた

めに、被験者には競技会および日常のトレーニングで通常用いているブロック配置で試技を行わせていた。先行研究 (Kistler, J. W., 1934 ; Henry, 1952 ; 野原ほか, 1977) によると、ブロック配置によってブロッククリアランス局面における力発揮は変わると報告されており、異なる選手間では力発揮が変わることが予想される。しかし、本研究では BLC とブロック配置 (前距離、後距離およびブロック間距離) との間には有意な相関関係が認められなかった (表 1)。これは、本研究で対象とした被験者はいずれもバンチスタートに相当するブロック間距離 (30 cm 以下) となる配置 (Harland and Steele, 1997) であったことにより、各被験者のブロック配置が極端にばらつくことがなかったからであると推察される。その結果、ブロックの配置が Set の構え方に大きく影響することなく、BLC と Set 時の逆振り子モデルおよび身体の姿勢に関するパラメータとの間に有意な相関関係がみられなかったものと考えられる。したがって、本研究の被験者においては、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向かどうかは Set 時の姿勢とほとんど関係していなかったといえる。

## 2.2 ブロッククリアランス時

一方、ブロッククリアランス時についてみると、逆振り子モデルに関する項目では、回転角度のみ BLC と有意な負の相関関係が認められた ( $r = -0.827$ ,  $p < 0.01$ ) (表 2)。つまり、BLC が大きい者ほど、前足つま先を中心とした身体重心の前傾がより深く、ブロッククリアランス時に身体全体を前方に倒し込んでいたといえる。また、BLC とブロッククリアランス時の姿勢パラメータの関係では、BLC と前脚の股関節角度 ( $r = -0.767$ ,  $p < 0.05$ )、後脚の膝関節角度 ( $r = 0.827$ ,  $p < 0.05$ )、体幹角度 ( $r = -0.782$ ,  $p < 0.05$ )、および身体重心高 ( $r = -0.761$ ,  $p < 0.05$ ) との間に有意な相関関係が認められた (表 1)。これらは、クラウチングスタートで要求される技術 (Sven, 2001) や重要な要素 (浅川・古藤, 1964) とされるものの中でも、ブロッククリア

ランス局面における「後脚の引き出し」と「身体の前傾」に関係する項目であると考えられる。まず、「後脚の引き出し」に関して、BLC と後脚の膝関節角度の間には正の相関関係が認められた。つまり、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、引き出した後脚の膝関節角度が屈曲していなかったといえる。ブロッククリアランス局面で後脚を引き出す際には、踵を臀部に引き付けずに、地面に沿うように引き出すこと (Sven, 2001) が要求される技術的なポイントといわれている。踵を臀部に引き付けたブロッククリアランス動作は、未熟練者にみられる「巻き込み動作」であり (戸倉・佐藤, 2009)、ブロッククリアランス時には過度に膝関節が屈曲することが予想される。したがって、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、推奨される後脚の引き出し動作ができていたと考えられる。

また、ブロッククリアランス局面における「身体の前傾」に関係する項目では、BLC と前脚の股関節角度、体幹角度、および身体重心高に、いずれも負の相関関係が認められた。つまり、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、前脚の股関節角度は小さく、体幹がより前傾し、身体重心高が低い姿勢であったといえる。このうち、体幹角度については、短距離走の指導書 (ダイソン, 1972 ; 丸山ほか, 1971 ; 宮丸・宮丸, 1978) によると、短距離走スタートでは上体の深い前傾が求められるとされている。また、先行研究においても Debaere et al. (2013) が、選手はスタート時の水平速度を高めるために、積極的に体幹をより前傾させようとしていると報告している。ただ、身体の前傾については、上体の前傾のみを指すのではなく、前足つま先と身体重心を結ぶ仮想の線分の前傾度合いをも含める (エッカー, 1979) ものといわれている。表 2 より、BLC と逆振り子モデルの回転角度 (ブロッククリアランス時) に有意な負の相関関係がみられていたことを合わせて考えると、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、ブロック

クリアランス時に推奨される体幹の姿勢になってだけでなく、身体全体を前傾させることができていたといえる。

さらに、ブロッククリアランス時には、伸ばした前脚と上体はほぼ直線でなければならないとされている（シュモリンスキー編，1982）が、他方で、股関節を完全に伸ばしきらない（コロボフほか，1969）ともいわれている。これは伸ばした前脚と地面がなす角度をできるだけ小さくした上で、さらに体幹角度を小さくすることにより、身体重心が低くなり、地面に対してより水平方向に力を加えることができるからであろうと考えられる。本研究の結果をみると、ブロッククリアランス時において、BLCと前脚の股関節角度および体幹角度との間には有意な負の相関関係が認められていたが、BLCと脚角度との間には有意な相関関係は認められなかった（表1）。ただ、本研究で対象とした被験者の脚角度の平均値は、Čoh et al. (1998) の報告にある男子短距離選手（100 m 走の自己記録：10.73 ± 0.2 秒）の値（49.54 ± 2.91 deg.）と同程度の値を示していた（表1）。したがって、本研究の被験者は、単に腰が折れ曲がった姿勢となるような脚角度になっていたとは考えにくく、標準偏差の大きさからみて、BLCの大きさに関わらず脚角度はばらつかなかったものと推察される。これらのことから、BLCと体幹角度が有意な負の相関関係にあったことで、BLCが大きい者ほどブロッククリアランス時の前脚の股関節角度は小さく、身体重心が低くなったものと考えられる。

以上のことから、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、前足つま先を中心とした身体全体を前方に倒し込む姿勢となっていたものと考えられる。

### 2.3 ブロッククリアランス中

ブロッククリアランス局面におけるBLCと逆振り子モデルの角変位との間には相関関係が有意となる傾向（ $r=0.701$ ,  $p=0.053$ ）がみられていた（表3）。つまり、BLCが大きい者ほど、ブロッククリアランス局面での角変位（身体を前方に

倒し込んだ度合）が大きいブロッククリアランス動作となる傾向にあったものと推察される。そこで、本研究で対象とした被験者の中でBLCが最も大きかった被験者（ $BLC=0.828$ ）と最も小さかった被験者（ $BLC=0.742$ ）の身体重心の推移を比較（図4）すると、BLCが大きい被験者は、BLCが小さい被験者に比べて身体重心高の変化は小さく、Setからブロッククリアランスまでの推移がより水平方向に近づいていた。また、BLCと体幹角度の角変位との間には有意な負の相関関係が認められていた（ $r=-0.770$ ,  $p<0.05$ ）ことから（表3）、図4の体幹角度の推移に着目すると、BLCが大きい被験者は体幹角度の変化が小さく、クリアランス後半では体幹の起こしがほとんどみられなかった。BLCとブロッククリアランス時の体幹角度および身体重心高の関係（表1）と合わせて考えると、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、体幹はあまり起こさず深く前傾させることで、身体重心の推移がより水平方向に近づくようにブロッククリアランス動作を行っていたといえるであろう。

これまでのBLCの大きさと逆振り子モデルの回転運動の関係から、BLCが大きい者ほど、逆振り子モデルの前方への倒し込みが深く（表2）、回転運動の動作範囲は大きくなる傾向にあった（表3）ことが明らかになった。したがって、BLCが大きい者ほど、ブロッククリアランスにかかる時間は長くなることが予想されるが、BLCとブロッククリアランスタイムの間には有意な相関関係は認められなかった（表3）。そこで、逆振り子モデルにおけるブロッククリアランス局面での伸展速度と回転角速度を用いて、BLCと身体重心の挙動の速度との関係について検討した。その結果、図5より、BLCと平均回転角速度の間には、両足局面、片足局面、およびブロッククリアランス局面全体のいずれの局面においても有意な正の相関関係が認められた（両足局面： $r=0.769$ ,  $p<0.05$ ；片足局面： $r=0.904$ ,  $p<0.01$ ；ブロッククリアランス局面全体： $r=0.881$ ,  $p<0.01$ ）。つまり、ブロッククリアラン

局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、ブロッククリアランス局面全体を通じて回転角速度が大きい動作を行っていたといえる。これは、BLC が異なる被験者の回転角速度の時間変化を比較した実例とも一致していた（図 6）。

一方、伸展速度の最大値については、いずれの局面でも有意な相関関係は認められなかった（図 5）が、BLC の大小に関わらず、伸展速度は動作開始時から増加し、ブロッククリアランス直前に最大速度となる変化であった（図 6）。先行研究によると、クラウチングスタートのブロッククリアランス局面後半では、選手は主に逆振り子モデルの伸展速度の増加によって身体重心の水平速度を増加させていたことが報告されている（金高ほか、2009）。これらのことを踏まえると、ブロッククリアランス動作では逆振り子モデルの回転運動のみが強調されるべきものではないと考えられる。短距離走のスタートでは、進行方向にできるだけ真っ直ぐにスターティングブロックから発走することが重要な点（遠藤、1980）として挙げられており、土江（2011）は伸びあがり倒れ込みの両方を兼ね備えた「中間式スタート」を推奨している。これは、クラウチングスタートでは動作開始時から倒れ込みによって速度獲得できる状態にあり（金高ほか、2009）、進行方向へと真っ直ぐに身体重心を移動させるには、回転運動に合わせた伸展運動が必要となるからであると考えられる。本研究の実例を見ると、BLC が最も小さかった被験者（ $BLC = 0.742$ ）は BLC が最も大きかった被験者（ $BLC = 0.828$ ）と比べて、動作開始時の伸展速度が高く（図 6）、身体重心の推移が上向きになっていた（図 4）。この結果を踏まえると、逆振り子モデルにおいて伸展運動が回転運動以上に強調されると、身体重心を斜め前上方に向かって過度に移動させてしまうことになると考えられる。また、金高ほか（2005）は、クラウチングスタートの水平速度獲得のタイプの中でも、動作開始時は回転要素の貢献度が高く、離地時には伸展要素の貢献度が高い「回転＋伸展型」について、身体の前方への回転と伸展を効果

的に連動させるタイプであると述べている。したがって、本研究の BLC が大きい者ほど、金高ほか（2005）がいう「回転＋伸展型」に近く、伸び上がり倒れ込みの両方を用いたスタートとなっていたものと考えられる。つまり、本研究の BLC が大きい者ほど、身体重心の推移がより水平方向に近づくように、逆振り子モデルの回転運動に合わせた伸展運動を行っていたものと考えられる。

逆振り子モデルの伸展運動は、前足つま先と身体重心とを結んだ線分の相対的な長さの変化により生じることから、下肢関節の伸展だけでなく体幹を起こす動作もこの長さの変化に影響する。短距離走のスタートでは、前傾した体幹を起こす動作は徐々に行わなければならない（Barrett, 2010）とされており、本研究の結果からも BLC が大きい者は小さい者に比べて体幹角度の変化は緩やかで（図 4）、BLC の大小と Set からの体幹角度の角変位との間にも負の相関関係が認められていた（表 3）。したがって、BLC の大きいものほど、回転運動に合わせた伸展運動を行うために、体幹の起こしを抑えているものと推察される。

以上のことから、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、体幹の起こしを抑え、身体の前方への回転運動に伸展運動を合わせたブロッククリアランス動作を行っていたといえるであろう。

### 3. ブロッククリアランス局面における力発揮と第 1 歩目の接地姿勢との関係

表 4 より、第 1 歩目の接地時において、BLC と後脚（接地脚）の股関節角度および体幹角度との間に有意な負の相関関係が認められた（後脚の股関節角度： $r = -0.758$ ,  $p < 0.05$ ；体幹角度： $r = -0.800$ ,  $p < 0.05$ ）。これら BLC と身体の姿勢パラメータとの関係の結果から、ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど、ブロッククリアランス時だけでなく、第 1 歩目接地時においても体幹がより前傾した姿勢となっていたといえる。第 1 歩目では、できるだけ前傾を保つこと（浅川・古藤、



1964; 遠藤, 1980; 丸山ほか, 1971) が重要であるといわれていることから, ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど, 第1歩目においてもスタートで推奨される姿勢となっていたといえる. また, ブロッククリアランス局面における力発揮は第1歩目での力発揮と関係することが報告されている(篠原・前田, 2013). 本研究の結果と合わせて考えると, 短距離走におけるスタートでは, ブロッククリアランス局面と第1歩目をそれぞれの動作として区分して考えるのではなく, 一連の動作として捉える方がよいといえよう. このことは, ブロッククリアランス局面がその後の加速の成否に影響するという, Tellez and Doolittle (1984) の見解にも合致するものであろう. したがって, ブロッククリアランス局面での力発揮や動作を検討する際には, Set からのスタートでの加速をどのように行うべきかを念頭に置いた上で, ブロッククリアランス動作の望ましい方法を考えていく必要があると考えられる.

## V. 総 括

本研究では, クラウチングスタートのブロッククリアランス局面において, スターティングブロックへの力発揮とブロッククリアランス動作の関係について, 身体重心の挙動に着目して検討した. 主な結果は以下の通りである.

- 1) ブロッククリアランス局面における力発揮の評価について, BLC の大きさは, 力発揮の方向を表すものであり, 選手のスキルレベルを示す指標となり得るものと考えられた.
- 2) ブロッククリアランス局面における力発揮の方向と Set の構えの姿勢との関係は非常に小さかった.
- 3) ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど, ブロッククリアランス動作では体幹の角度の変化を抑え, 身体の回転運動に合わせた伸展運動を行っており, 身体重心の推移がよ

り水平方向に近づくように動作していた. そして, ブロッククリアランス時には, 後脚の前方への引き出しや体幹の前傾にみられるようなブロッククリアランス時に推奨される姿勢をとっており, 水平速度も大きかった.

- 4) 第1歩目の接地時の姿勢においても, ブロッククリアランス局面における力発揮がより水平方向となっていた者ほど, ブロッククリアランス後も体幹が引き続き前傾していた.

## 文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Science*, 15: 155-162.
- 浅川正一・古藤高良 (1964) 写真と図解による陸上競技 新訂版 (第23版). 大修館書店: 東京, pp. 10-12.
- Barrett, P. (2010) Sprint start. *Modern athlete and coach*, 48(1): 10-12.
- Baumann, W. (1976) Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start. In: Komi, P.V. (Ed.) *Biomechanics V-B*. University Park Press: Baltimore, MD, pp. 194-199.
- Bender, W.R.G. (1934) Factors contributing to speed in the start of a race and characteristics of trained sprinters: A summary of experimental investigations. *Research Quarterly*, 5: 72-78.
- Čoh, M., Jošt, B., Škof, B., Tomažin, K. and Dolenec, A. (1998) Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters. *Gymnica*, 28: 33-42.
- Coppenolle, H., Delecluse, C., Goris, M., Diels, R. and Kraayenhof, H. (1990) An evaluation of the starting action of world class female sprinters. *Track Technique*, 90: 3581-3582.
- Debaere, S., Delecluse, C., Aerenhouts, D., Hagman, F. and Jonkers, I. (2013) From block clearance to sprint running: characteristics underlying an effective transition. *Journal of Sports Sciences*, 31(2): 137-149.
- ダイソン: 金原勇ほか訳 (1972) 陸上競技の力学. 大修館書店: 東京, pp. 128-131.
- エッカー: 佐々木秀幸・井街悠訳 (1979) 運動力学から見た陸上競技の種目別最新技術. ベースボール・

- マガジン社：東京，pp. 27-41.
- 遠藤辰雄（1980）新体育学大系 第49巻：コーチ学 陸上競技編。逍遙書院：東京，pp. 30-37.
- Gambetta, V., Winckler, G., Rogers, J., Orogren, J., Seagrave, L. and Jolly, S. (1989) Sprint and Relays. In: Athletics Congress, Gambetta, V. (Eds.) The Athletics Congress's Track and Field Coaching Manual. Leisure Press: Champaign, pp. 58-60.
- Harland, M.J. and Steele, J.R. (1997) Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23(1): 11-20.
- Henry, F.M. (1952) Force-time characteristics of the sprint start. *Research Quarterly*, 23(3): 301-318.
- 堀 尚・浦田達也・伊藤 章（2011）コーナー進入後の疾走速度は直線より低下するのか？. *バイオメカニクス研究*, 15(4): 134-142.
- Jacobs, R. and Schenau, G.J.I. (1992) Intermuscular coordination in a sprint push-off. *Journal of Biomechanics*, 25(9): 953-965.
- 加藤謙一・三村達也（2010）短距離走におけるクラウチングスタートとスタンディングスタートの比較研究. *陸上競技研究*, 81(2): 17-27.
- 金高宏文・瓜田吉久・図子浩二（2005）逆振り子モデルからみたクラウチングスタートの特性. 第18回日本バイオメカニクス学会大会論集：102-103.
- 金高宏文・松村 勲・瓜田吉久（2009）逆振り子モデルからみたクラウチングスタートとスタンディングスタートの水平速度獲得要因の違い. *スプリント研究*, 19: 19-28.
- 木野村嘉則・村木征人・図子浩二（2012）走り幅跳びにおける助走歩数を増やして踏切のための踏切動作：短助走跳躍から長助走跳躍に至る踏切動作等の変化率に着目して. *体育学研究*, 57: 71-82.
- Kistler, J.W. (1934) A study of the distribution of the force exerted upon the blocks in starting from various starting positions. *Research Quarterly Supplement*, 5: 27-32.
- コロブコフ・フィーリン・フルクトフ（1969）競走（1）短距離. オゾーリン編著：岡本正巳訳，コーチのための陸上競技. 講談社：東京，pp. 134-140.
- 丸山吉五郎・古藤高良・佐々木秀幸（1971）スポーツ V コース 陸上競技教室（第21版）. 大修館書店：東京，pp. 74-79.
- 松尾彰文（2008）最大下スピード練習の効果を高めるための提案—ランニングパフォーマンスへの応用—. *体育の科学*, 58(11): 756-764.
- Mero, A., Luhtanen, P. and Komi, P.V. (1983) A biomechanical study of the sprint start. *Scandinavian Journal of sports sciences*, 5(1): 20-28.
- Mero, A., and Komi, P.V. (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*, 61: 73-80.
- 宮丸凱史・宮丸郁子（1978）短距離走. 金原勇編，陸上競技のコーチング（I）. 大修館書店：東京，pp. 193-200.
- Morin, J.B., Edouard, P. and Samozino, P. (2011) Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9): 1680-1688.
- 日本陸上競技連盟（2013）陸上競技ルールブック（2013年度版）. ベースボールマガジン社：東京，pp. 150-155.
- 野原弘嗣・花田 登・安里重則・山岡誠一（1977）クラウチングスタートの研究. *京都教育大学紀要*, 50-B: 36-49.
- Payne, A.H. and Blader, F.B. (1971) The mechanics of the sprint start. In: Vredenburg, J., Wartenweiler, J. (Eds.) *Biomechanics II. Medicine and Sport Vol. 6*. Karger: Basel, pp. 225-231.
- 坂田洋満・宮下 憲・小倉幸雄・永井 純・尾縣 貢・関岡康雄（1996）女子スプリンターのスタート動作の特徴. *陸上競技研究*, 26: 2-9.
- シュモリンスキー編：成田十次郎・関岡康雄訳（1982）ドイツ民主共和国の陸上競技教程. ベースボール・マガジン社：東京，pp. 163-169.
- 篠原康男・前田正登（2010）短距離走におけるスターティングブロックに加わる力の測定. *陸上競技研究*, 80: 44-50.
- 篠原康男・前田正登（2013）短距離走スタートにおけるスターティングブロックに加えられた力とブロッククリアランスの関係. *体育学研究*, 58: 585-597.
- Slawinski, J., Dumas, R., Cheze, L., Ontanon, G., Miller, C. and Mazure-Bonnefoy, A. (2012) 3D kinematic of bunched, medium and elongated sprint start. *International Journal of Sports Medicine*, 33(7): 555-560.
- 杉本祐太・前田正登（2013）パフォーマンスレベルの違いが主観的努力度と疾走動作の関連性に及ぼす影響. *コーチング学研究*, 26(2): 145-154.
- Sven Michel (2001) Der Start ist (fast) alles. *Leichtathletik*, 35: 27-28.
- Tellez, T. and Doolittle, D. (1984) Sprinting from start to finish. *Track technique*, 88: 2802-2805.
- 戸倉広昌・佐藤 徹（2009）運動指導における運動感覚の言語表現と動作共鳴—陸上競技のクラウチング

スタートについて一. 北海道教育大学紀要（教育科学編），60(1): 203-213.

土江寛裕(2011)陸上競技入門ブック 短距離・リレー.  
ベースボール・マガジン社：東京，pp. 38-41.

山根文隆・後藤幸弘・辻野 昭・梅野圭史・藤田定彦・田中 譲（1986）クラウチングスタート法の適時性に関する基礎的研究—クラウチングスタート法

による効果の年齢差—. 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集：14-20.

（平成26年1月28日受付）  
（平成26年8月29日受理）

Advance Publication by J-STAGE

Published online 2014/10/1