

短距離走のクラウチングスタートにおけるスターティングブロックの有効性の究明
～日本人選手に適したブロッククリアランスを求めて～

篠原 康男

目 次

要約	1
I. 緒言	2
II. 測定環境の設定	3
III. スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランス動作の関係	4
IV. ブロッククリアランスにおけるスターティングブロックの有効性	9
V. 日本人選手に適したブロッククリアランス技法の探求	14
文献	16

短距離走のクラウチングスタートにおけるスターティングブロックの有効性の究明 ～日本人選手に適したブロッククリアランスを求めて～

篠原 康男 前田 正登

要約

本研究は、短距離走のクラウチングスタートにおけるブロッククリアランスについて、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、およびスターティングブロックの使用が及ぼす影響とその役割について検討を行い、得られた結果から短距離走のクラウチングスタートにおけるスターティングブロックの有効性を究明するとともに、日本人選手に適したスタート技術を探求するものである。

本研究では、スターティングブロックに加えられた力の大きさや方向について、正確かつ詳細な検討を行うために、スターティングブロックの左右のフットプレートを独立させて 2 つのフォースプレート上にそれぞれボルトで完全に固定した。さらに、スタート後の第 1 歩目および第 2 歩目の接地位置にもフォースプレートを設置し、地面反力を測定できるように設定した。このような測定環境で、以下の実験を行った。

まず、スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランス動作の関係について検討を行うために、男子学生短距離選手 10 名に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。その結果、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分が大きい者ほど、ブロッククリアランス時の水平速度は大きいことがわかった。一方、スターティングブロックに加えられた合力積とブロッククリアランス時の水平速度の間には有意な相関関係が認められなかった。したがって、加えられる合力積(体力)を増大させなくても、力発揮の方向をより水平方向に近づける(技能を高める)ことで、ブロッククリアランス時の水平速度の増大を図ることが可能なものと考えられた。また、スターティングブロックに加えられた力積とブロッククリアランス動作の関係について、身体重心の逆振り子モデルを用いて検討したところ、ブロッククリアランスにおける力発揮をより水平方向に近づけることで、回転(倒れ込み)を活かしたブロッククリアランス動作になると考えられた。

続いて、スターティングブロックの使用がクラウチングスタートの力発揮および動作に及ぼす影響とその役割について検討を行った。男子学生短距離選手 6 名にスターティングブロックの有無の異なる 2 種類のスタートを行わせた。その結果、スターティングブロックを用いることで、ブロッククリアランスにおける力発揮の方向はより水平方向になり、ブロッククリアランス時の水平速度は有意に大きくなっていた。また、ブロッククリアランス動作への影響について、逆振り子モデルを用いて検討したところ、スターティングブロックを用いることで、逆振り子の平均回転角速度は有意に高くなり、前方への倒れ込みを活かすブロッククリアランスとなっていたものと推察された。

これらの結果から、日本人選手は、ブロッククリアランスの技能レベルを高めることで、自身の体力を最大限活かせるように力の加え方を変え、力積の水平成分を大きくする方策が必要不可欠なものと考えられた。また、そのような力の加え方には、倒れ込みを活かしたブロッククリアランス動作が重要となることから、日本人選手に適したブロッククリアランス技法は、身体の倒れ込みを利用した回転運動の大きいブロッククリアランスであると考えられた。さらに、スターティングブロックの使用がブロッククリアランス動作に与える影響から、スターティングブロックは、力発揮の方向をより水平方向に近づけさせ、前方への倒れ込みを活かすブロッククリアランスを可能とする役割があるものと考えられた。したがって、日本人選手はクラウチングスタートでスターティングブロックを用いる際、スターティングブロックを「水平方向に力を発揮し、身体を前方に運ぶ」ための用具として捉える必要があるといえるであろう。

代表者所属:神戸大学大学院人間発達環境学研究科 人間行動専攻 博士課程後期課程

I. 緒言

陸上競技の短距離走は、スタートを含めた加速局面、中間疾走局面、減速局面の 3 つの局面に分けられ (Mero et al.,1992), 中でも中間疾走局面における最大疾走速度と疾走タイムの間には有意な相関関係がある (松尾ほか, 2008) ことが明らかになっている。一方、加速局面は中間疾走局面につながる局面であり、身体を加速させた結果として最大疾走速度に至るものと考え、加速局面は極めて重要な局面であるといえる。また、Tellez and Doolittle (1984) は、スタート(スターティングブロックから離れるまでの時間)はレース全体に要する時間の約 5% であるとしながらも、レースパフォーマンスに対し最も貢献度の高いとされる加速局面にはスタート時のブロッククリアランスが影響すると述べている。これらのことから、短距離走におけるスタートでは、レース全体のパフォーマンスを踏まえ、ブロッククリアランス動作によって、静止状態からどのように加速していくかが、パフォーマンス向上の鍵になると考えられる。

短距離走におけるスタートでは、クラウチングスタートでの出発とスターティングブロックの使用が規則によって義務づけられている。クラウチングスタートが短距離走で用いられ始めたのは、1896 年のアテネ五輪からといわれている (Mach, G., 1985; Majumdar and Robergs, 2011)。その当時は、地面に穴を掘ってクラウチング姿勢をとっていたが、現在ではスターティングブロックを用いて発走することが規則で義務付けられている。スターティングブロックは、左右の足を置くための 2 枚のフットプレートとそれらを固定する堅固なフレームで構成されており、フットプレートの位置や角度は段階的に調節可能となっている。選手はレース前にスターティングブロックの設定を調整し、号砲に備えることになる。その後、選手は静止した状態から、スターティングブロックに力を加え、号砲とともに前方へ身体を移動させる。このように、短距離走の加速局面は静止した状態であるクラウチング姿勢から始まるため、静止した状態から速度を獲得して出発するには、スターティングブロックへの力発揮が不可欠である。スターティングブロックへの力発揮については、古くから研究が行われているが (Henry, 1952), 選手がスターティングブロックに対して力を加え、どのようなブロッククリアランス動作を行って発走したのかについてはほとんど検討されておらず、不明であった。一方、クラウチングスタートにおけるブロッククリアランスの技術指導では、「倒れこむ」や「伸びあがる」などの表現が多くみられている (土江, 2011)。これらの表現は、身体重心の移動に注目したものであり、ブロッククリアランス動作のタイプについて、「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」といった、3 つのタイプに分けられるといわれている。しかし、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の検討はほとんど見当たらない。

また、山根ほか (1986) のスタート方法に関する報告によると、クラウチング姿勢からのスタートを疾走に生かせるかどうかは、ブロックへの力の加え方が要因になるという。したがって、短距離走スタートにおける Set からの加速、特にブロッククリアランス時の力発揮には、スターティングブロックは欠かせない用具であるといえるが、現在ではスターティングブロックには、不正スタートの判定や反応時間の計測が求められる用具として認識されつつある (野崎ほか, 1995)。クラウチングスタートが導入された初期には、スターティングブロックを用いたスタートではなかったことを踏まえると、スターティングブロックは選手の加速を援助する役割を担うものであるといえよう。しかし、スターティングブロックそのものがブロッククリアランスを含めたスタートに及ぼす影響やその役割についてはほとんど検討されていない。

さらに、世界一流競技者と日本一流競技者でスタート時の力の加え方がそれぞれ異なっていたという報告 (松尾, 2008) から、土江 (2008) は、加速局面における技術的な部分の重要性を指摘している。これは、世界一流選手の動きや技術の獲得を目指すことが、日本人選手にとって適したものであるとは必ずしもいえない一つの事例であろう。したがって、諸外国の選手に体格で劣る日本人選手がさらなる競技力向上を図るには、日本

人選手に適した技術が不可欠であると考えられる。

そこで本研究では、短距離走のクラウチングスタートにおけるブロッククリアランスについて、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、およびスターティングブロックの使用が及ぼす影響とその役割について検討を行う。これらの検討により得られた結果から、短距離走のクラウチングスタートにおけるスターティングブロックの有効性を究明するとともに、日本人選手に適したスタート技術を探求するものである。

Ⅱ. 測定環境の設定

スターティングブロックへの力発揮については、左右のフットプレートにストレインゲージを貼付することでスターティングブロックに加えられた力の時間変化を測定するという手法が主に用いられていた(Henry, 1952; Guissard and Duchateau, 1990; Guissard et al., 1992; 小林ほか, 1975; Payne and Blader, 1971; 佐久間・小林, 1980)。しかし、ストレインゲージによる測定では、加えられた力によるフットプレートの歪みが測定できるものの、スターティングブロックに加えられた力の大きさや方向について、正確かつ詳細な検討をすることはできない。

そこで本研究では、スターティングブロックに加えられる力を測定するために左右のフットプレートを固定するフレームを取り外し、左右のフットプレートを独立させて2つのフォースプレート(TP803-5416-5KN, テック技販)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、左右のフットプレートはフォースプレートに取り付けたままで、それぞれ3.5cm間隔で前後に移設することができ、通常のス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。さらに、本研究ではスタート後の第1歩目および第2歩目の地面反力についても、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(9281C, Kistler)を用いて測定を行った(図1参照, ③と④が該当)。

なお、図2は、本測定環境におけるSetから第2歩目を離地するまでのスタート時に加えられた力の時間変化の一例について、号砲を基準として示したものである。

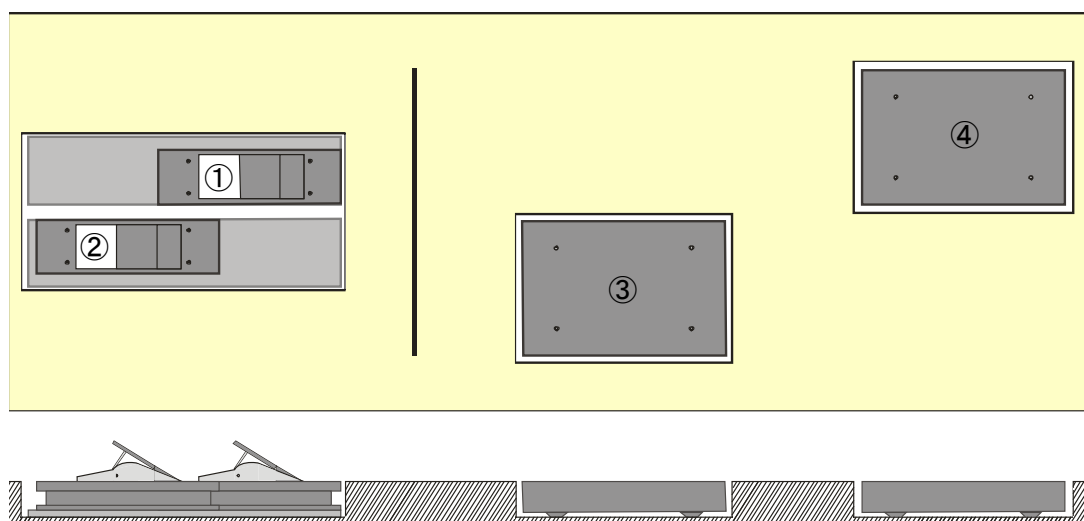


図1 各フォースプレートの配置設定

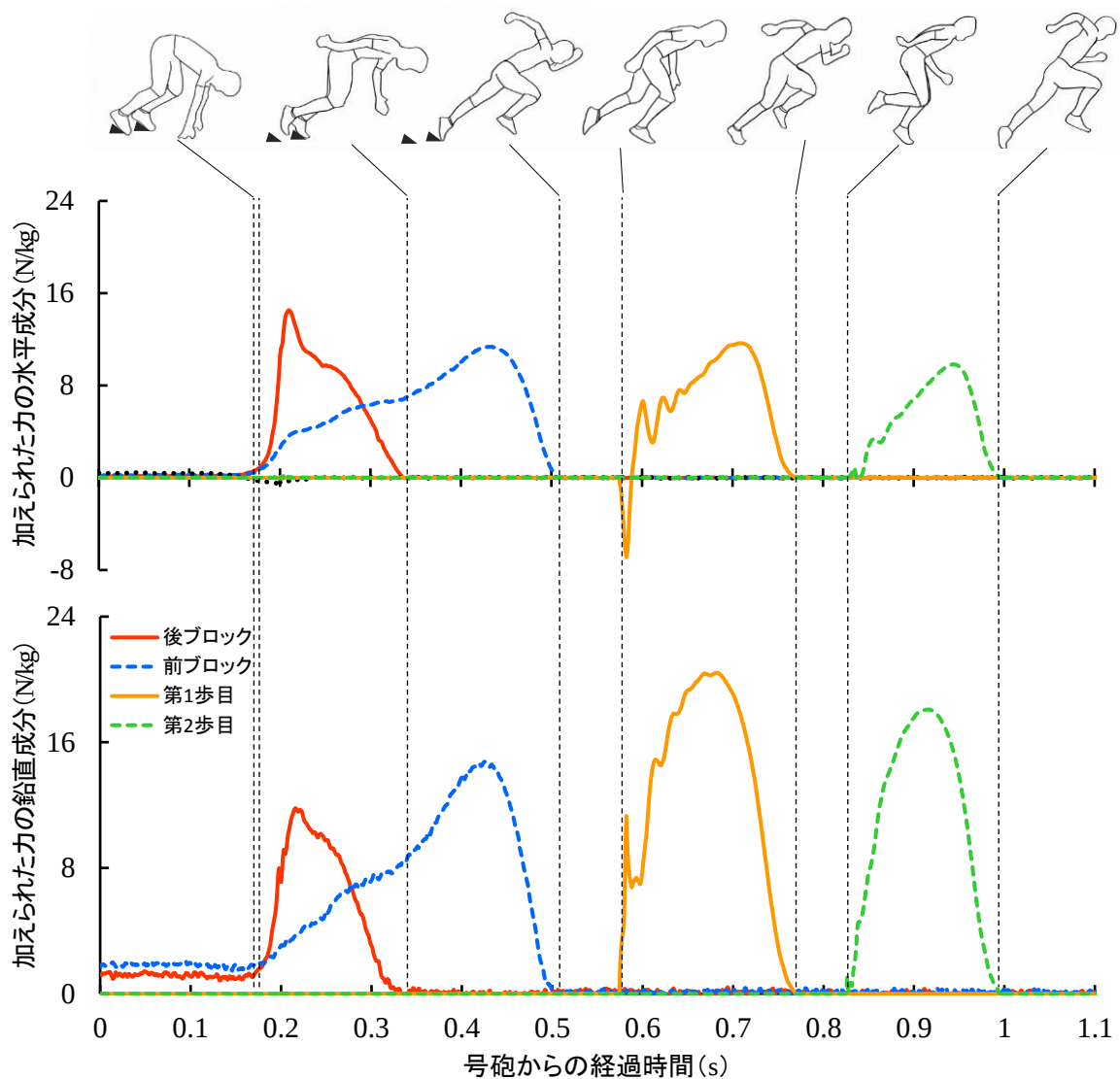


図 2 クラウチングスタートにおけるスターティングブロックおよび地面に加えられた力の時間変化の一例

Ⅲ. スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランス動作の関係

1. 目的

クラウチングスタートにおけるスターティングブロックへの力発揮については、これまでに多くの研究が行われている (Baumann, 1976; Čoh et al., 1998; Fortier et al., 2005; Guissard and Duchateau, 1990; Henry, 1952; 小林ほか, 1975; 松尾, 2008; 野原ほか, 1977; Payne and Blader, 1971; 篠原・前田, 2010; 篠原・前田, 2013)ものの、その際のブロッククリアランス動作については、あまり検討されていない。金高ほか(2005)は、接地脚の足先を支点とした身体重心の逆振り子モデル (Jacobs and Schenau, 1992)を用いて、クラウチングスタートの水平速度獲得のタイプの検討を行っているが、スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランス動作の関係については、ほとんど明らかになっていない。そこで本章では、スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランス動作の関係について、逆振り子モデルの挙動に着目して検討する。

2.実験方法

(1) 被験者

被験者は、男子学生短距離選手 10 名(被験者の身長; 173.8 ± 3.7 , 体重; 67.6 ± 4.0 , 100m 走自己記録; 11.17 ± 0.49 秒:記録の範囲は 10.49 から 11.85 秒)とした。なお、被験者には実験内容を十分に説明し、同意を得た上で実験を実施した。

(2) 実験プロトコル

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、被験者には競技会と同様の意識でスタートするように指示し、20m 程度を疾走させた。試技前には、フォースプレート の位置を調節し、各被験者の普段のブロック配置と同じ位置に設定した。各試技の後ブロックと前ブロックに加えられた力について、フォースプレートを用いてそれぞれ 1kHz で測定した。また、被験者の側方と斜め前方(DXC-200A:SONY)に各 1 台、斜め後方に 2 台(XC-009:SONY)の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 60fps で撮影した。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:DKH)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には JESTAR(ニシ・スポーツ)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も用いた。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

本章では、スターティングブロックへの力発揮の大きさとブロッククリアランスの関係を検討することから、分析は静止した Set の状態から前ブロックを離地するまでとし、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。号砲への反応は、Set の構え時に各ブロックに加わる力の水平成分と鉛直成分の合成力を基準(Baseline)とし、号砲後、前後どちらかのブロックに加わる合成力が Baseline から 5%上回った時点を号砲への反応時点とした。また、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間(号砲への反応時点)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、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。

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-DIASIV, DKH)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)を参考に 6Hz とした。なお、本章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。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。

(4) 分析項目

①スターティングブロックに加えられた力積(Ns/kg)

ブロッククリアランス局面で前後のブロックに加えられる力は、主に進行方向と逆方向および鉛直下向きの力と考えることができる。そこで、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分および鉛直成分を前後のブロック別にそれぞれ求めた後、成分ごとに加算し、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)および鉛直成分(I_v)をそれぞれ算出した。なお、ブロッククリアランス局面で加えられた力積の鉛直成分については、

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、号砲後、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。また、これらに加えて、力の水平成分と力の鉛直成分の合力による力積を前後のブロック別に求めた後、両者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合力による力積 (以下、「スターティングブロックに加えられた合力積: I_{cv} 」とする) についても求めた。全ての力積は被験者の体重で除した値とした。

②身体重心の水平速度 (m/s)

ブロッククリアランス局面の身体重心の水平速度 (以下、「水平速度」とする) を算出した。

③逆振り子モデルに関する各変量

本章では、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、前足つま先を支点に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 3 参照)。

図 3 に示す分析項目のうち、逆振り子の長さ (r) と逆振り子の回転角度 ($\theta_{C.G.}$) 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 (Δr , $\Delta \theta_{C.G.}$) をそれぞれ算出した。また、逆振り子の伸展速度 (Vr) については、ブロッククリアランス局面全体での最大値 (以下、「最大伸展速度: Vr_{max} 」とする) を求めた。逆振り子の回転角速度 (ω) については、ブロッククリアランス局面全体での平均値 (以下、「平均回転角速度: $\bar{\omega}$ 」とする) 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。

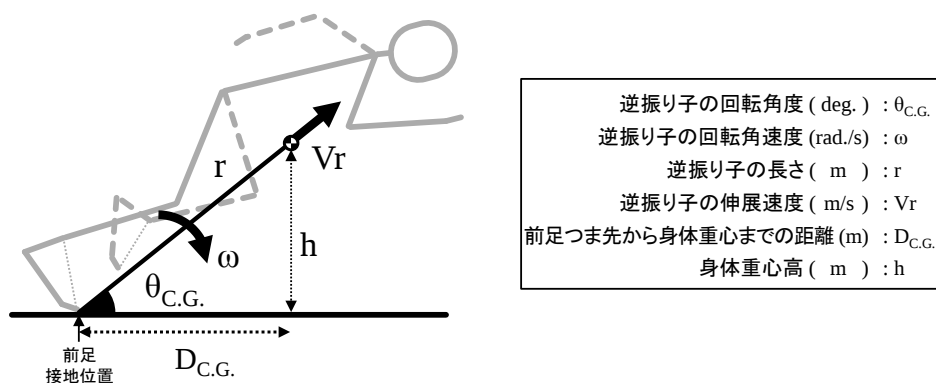


図 3 逆振り子モデルに関する分析項目

(5) 統計処理

各試技の分析により得られた各データは、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。

3. 結果と考察

図 4 は、スターティングブロックに加えられた力積とブロッククリアランス時の水平速度の関係を示したものである。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ブロッククリアランス時の水平速度は、有意な正の相関関係 ($r=0.891$, $p<0.01$) を示しており、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分が大きい者ほど、ブロッククリアランス時の水平速度は大きいことがわかる。ブロッククリアランス時の水平速度は、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分によるものと考えられており (Coppennolle et al., 1990), 本章の結果と合致す

るものであった。したがって、ブロッククリアランス時の水平速度の増大を図るには、ブロッククリアランス局面で加えられる力積の水平成分を大きくする必要がある。ブロッククリアランス局面で加えられる力積の水平成分を大きくするには、加えられる合力積の方向を水平方向に近づけることで水平成分の割合を大きくするか、合力積の大きさそのものを大きくすることで水平成分の力積も大きくするかのいずれかになる。しかし、スターティングブロックに加えられた合力積とブロッククリアランス時の水平速度の間には有意な相関関係が認められなかった(図4)。このことについて、対象とした被験者中、被験者 A と被験者 B に着目する(図4)と、スターティングブロックに加えられた合力積の大きさには差がみられるものの、力積の水平成分およびブロッククリアランス時の水平速度はほぼ同程度の大きさとなっていた。被験者 A は加えられる合力積の大きさによって力積の水平成分も大きくなっていると推察されるが、一方で被験者 B は、被験者 A に比べて加えられる合力積は小さくとも、合力積の加えられる方向が水平方向に近づいていたことで、力積の水平成分の割合が大きくなったものと推察される。Morin et al. (2011) は、短距離走の加速局面における力発揮では、合力の大きさは選手の「physical capabilities」、力発揮の方向は選手の「technical ability」によるものと捉えており、合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るとしている。Morin et al. (2011) の報告を踏まえると、被験者 A と被験者 B ではブロッククリアランスにおける力発揮のタイプは異なっていると考えられ、被験者 A に比べて被験者 B の方が技能レベルの高い力発揮となっていたものと推察される。したがって、加えられる合力積(体力)を増大させなくても、力積の水平成分を大きくする、すなわち、力発揮の方向をより水平方向に近づける(技能を高める)ことで、ブロッククリアランス時の水平速度の増大を図ることが可能なものと考えられる。

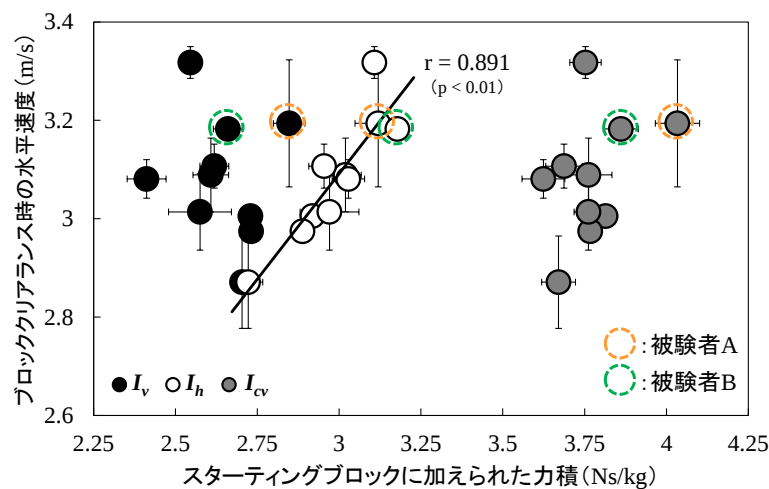


図 4 スターティングブロックに加えられた力積とブロッククリアランス時の水平速度の関係

それでは、被験者 A と被験者 B では、ブロッククリアランス動作がどのように異なっているのでしょうか。図5に、被験者 A と被験者 B のブロッククリアランスにおける身体重心の挙動を示す。被験者 A と被験者 B で、水平速度および逆振り子の伸展速度の推移は大きく変わらないものの、逆振り子の回転角速度と身体重心の推移には違いがみられた。被験者 A は被験者 B に比べて、ブロッククリアランス中の逆振り子の回転角速度は小さく、ブロッククリアランス中の身体重心の推移をみると斜め上方に推移していることがわかる。一方、被験者 B は被験者 A に比べて、ブロッククリアランス中の逆振り子の回転角速度が大きい傾向であり、ブロッククリアランス中の身体重心の推移は、被験者 A に比べてより水平方向に近づく傾向であった。土江(2011)は、身体重心の移動の仕方 で分けたブロッククリアランス動作のタイプの中でも、伸びあがり と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(遠藤, 1980)には、回転(倒れ込み)を活かしてブロッククリアランスする必要があるためであると考えられる。被験者 A と被験者 B の力発揮のタイプを踏まえると、力発揮の方向が水平方向に近い(技能レベルが高い)者は、回転(倒れ込み)を活かしたブロッククリアランスを行っているものと考えられる。そこで、スターティングブロックに加えられた力積と逆振り子モデルに関するパラメータとの関係を検討(表 1)したところ、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逆振り子の平均回転角速度は、有意な正の相関関係($r=0.713$, $p<0.05$)を示していた。つまり、ブロッククリアランスにおける力発揮をより水平方向に近づけることで、回転(倒れ込み)を活かしたブロッククリアランス動作になると考えられる。したがって、ブロッククリアランス時の水平速度について、体力ではなく技能レベルの向上によってその増大を図るには、倒れ込みを活かしたブロッククリアランスが重要になるものと考えられる。

また、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、逆振り子の最大伸展速度とも有意な正の相関関係($r=0.833$, $p<0.01$)を示していた。このことから、ブロッククリアランスの技能レベルを高めていくと、前述の倒れ込みに加え、伸び上がりの要素も兼ね備えた「中間式スタート」(土江, 2011)に近くなっていくものと推察され、土江(2011)の見解にも合致するものであるといえる。

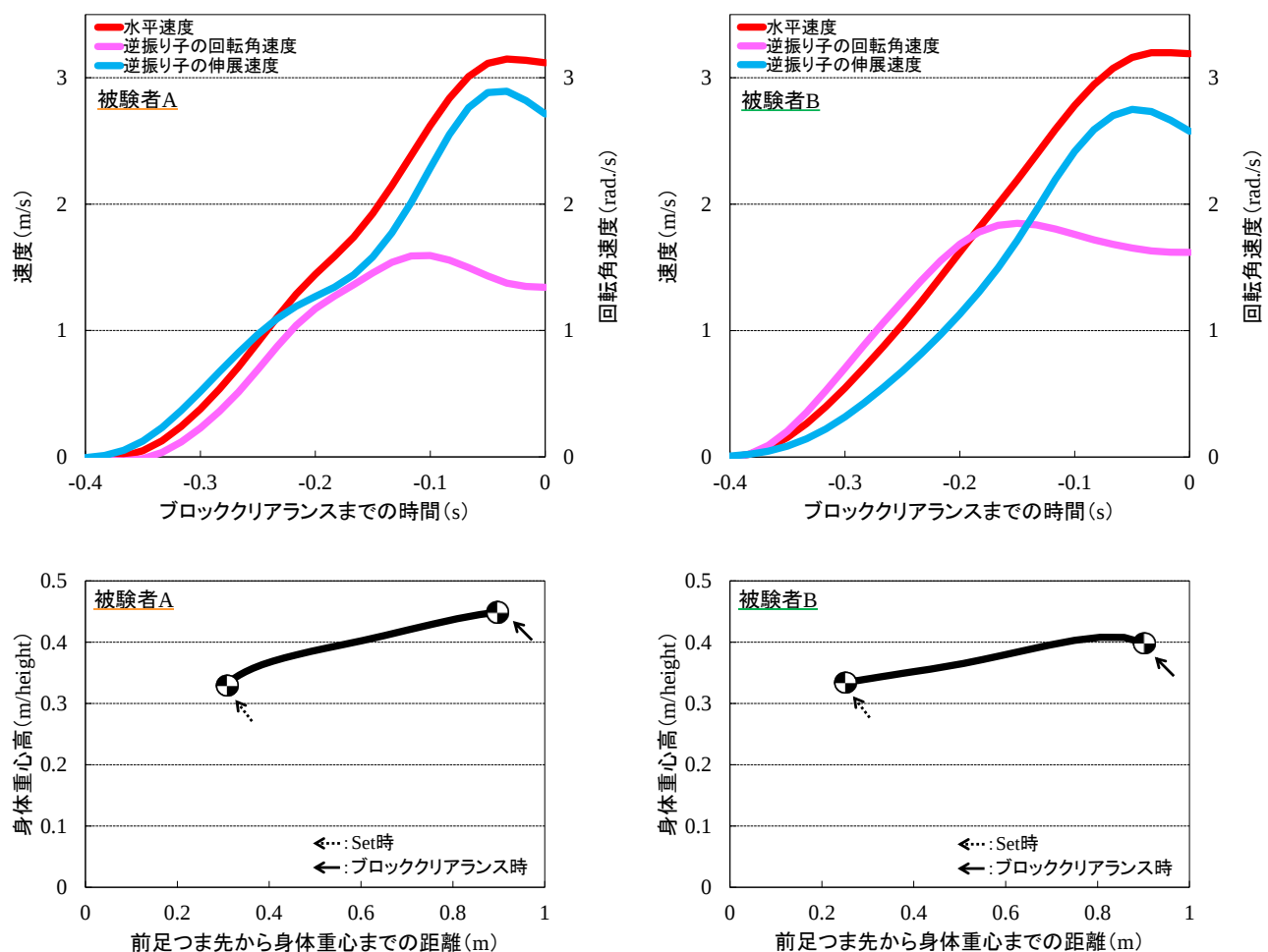


図 5 スターティングブロックへの力発揮が異なる被験者のブロッククリアランスにおける身体重心の挙動
(左:被験者 A, 右:被験者 B)

表 1 スターティングブロックに加えられた力積と逆振り子モデルに関する各パラメータとの関係

スターティングブロックに加えられた力積	逆振り子の平均回転角速度 (ω)	逆振り子の最大伸展速度 ($V_{r_{max}}$)	逆振り子の回転角度変化量 ($\Delta\theta_{C.G.}$)	逆振り子の長さの変化量 (Δr)
水平成分 (I_h)	0.713*	0.833**	0.414 n.s	0.586 n.s
鉛直成分 (I_v)	-0.329 n.s	-0.075 n.s	0.128 n.s	-0.123 n.s
合力積 (I_{cv})	0.150 n.s	0.498 n.s	0.518 n.s	0.200 n.s

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, n.s. no significant

IV. ブロッククリアランスにおけるスターティングブロックの有効性

1. 目的

スターティングブロックは 1927 年に Bresnahan と Tuttle によって考案され、2 年後の 1929 年には主要な競技会に導入されたといわれている (Quercetani, 1964)。導入されて以降、現在では短距離走の発走には使用が義務付けられており、不正出発の判定にも使われている (横倉ほか, 1996)。しかし、スターティングブロックがスタートに及ぼす影響については、スターティングブロックの導入初期に、地面に穴を掘ってスタートする場合とスターティングブロックを用いてスタートする場合の比較から検討されている (Hayden and Walker, 1933)ものの、ブロッククリアランスにおける力発揮や動作に関する検討ではなく、スターティングブロックそのものがクラウチングスタートに及ぼす影響やその役割についてはほとんど明らかになっていない。

そこで本章では、スターティングブロックの使用がクラウチングスタートの力発揮および動作に及ぼす影響から、クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの役割を検討することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 被験者

被験者は、男子学生短距離選手 6 名とした (身長; 175.8 ± 5.0 cm, 体重; 69.2 ± 4.0 kg, 100m 走の自己記録; 10.63 ± 0.11 秒: 記録の範囲は 10.46 から 10.72 秒)。なお、被験者には実験内容を十分に説明し、同意を得た上で実験を実施した。

(2) 実験プロトコル

被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後、①スターティングブロックを用いたクラウチングスタート (以降、BS とする)、②スターティングブロックを用いないクラウチングスタート (以降、CS とする) の 2 種類のスタートを行わせた (図 6)。両スタートの試技は各 3~4 本ずつとした。なお、BS の試技前には、普段のブロック配置と同じ位置に前後のブロックを設定した。また、CS の試技前には、選手が Set で構えやすい姿勢を取れるよう、足を置く位置を自由に調整させた。調整後、決定した位置にマークをつけ、足を置く位置が試行回で変わらないようにした。両スタートとも、試技前には十分に練習を行わせて実施した。

各試技の後ブロックと前ブロックに加えられた力、および第 1 歩目と第 2 歩目の地面反力について、4 台のフォースプレートを用いてそれぞれ 1kHz で測定した。また、被験者の側方、斜め前方および斜め後方に高速度ビ

デオカメラ(Phantom Miro eX2, Vision Research)を4台設置し、被験者のブロッククリアランスおよびスタート動作を250Hzで撮影し収録した。なお、各フォースプレートと高速ビデオカメラは完全同期し、それぞれ測定を行った。被験者のスタートダッシュの合図にはスタート合図器(JESTAR, NISHI)を用い、各フォースプレートと高速ビデオカメラの外部トリガーとしても用いた。さらに、スタートラインから10m地点の疾走タイムについても計測員を配置し計測した。

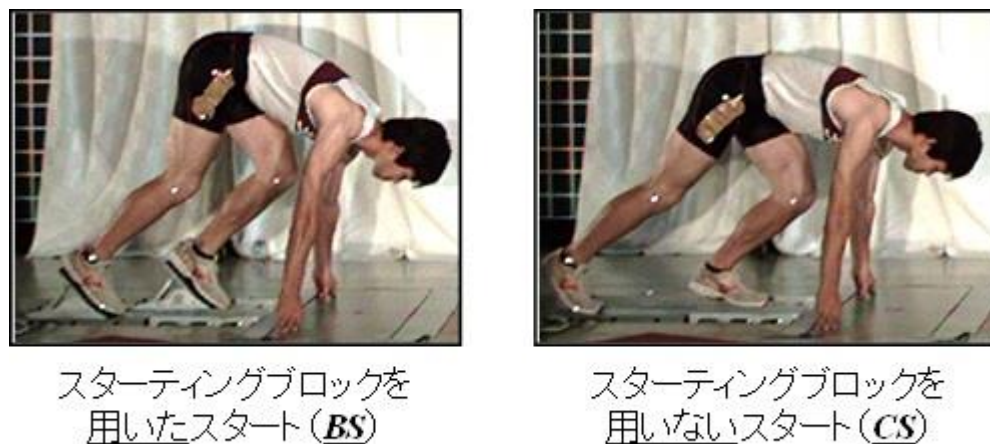


図 6 実験試技の条件設定

(3) 試技分析

BS および CS のいずれのスタートについても、測定したスタートの中で被験者の内省が良く、計測した疾走タイムが最も早かった試技を分析対象とした。分析は、号砲に反応してから第2歩目の離地直後までとし、ブロッククリアランスを含めたスタート動作を分析した。号砲への反応は、Set の構え時に各ブロックに加わる力の水平成分と鉛直成分の合成力を基準(Baseline)とし、号砲後、前後どちらかのブロックに加わる合成力が Baseline から5%上回った時点を号砲への反応時点とした。なお、本章も前章と同じく、どちらかのブロックに力を加え始めた瞬間(号砲への反応時点)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とし、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。ブロッククリアランスおよびスタート動作の分析には、3次元動作解析ソフトウェア(Frame-DIASIV, DKH)を用いて、身体23点をデジタイズし、3次元DLT法による分析を行った。デジタイズにより得られた3次元座標から、進行方向と鉛直方向の2次元座標を得た。得られた座標データは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(金高ほか, 2009)を参考に8Hzとした。平滑化した座標値を用いて、身体重心の位置座標を求めた。算出には阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いた。

(4) 分析項目

①スターティングブロックに加えられた力積(Ns/kg)

ブロッククリアランス中にスターティングブロックに加えられた力積の水平成分および鉛直成分を前後のブロック別にそれぞれ求めた後、成分ごとに加算し、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)および鉛直成分(I_v)をそれぞれ算出した。なお、ブロッククリアランス中に加えられた力積の鉛直成分については、Set時に前ブロックおよび後ブロックに加えられる鉛直成分の力の平均値を基準(Baseline)とし、号砲後、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。また、これらに加えて、力の水平成分と

力の鉛直成分の合力による力積を前後のブロック別に求めた後、両者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合力による力積(以下、「スターティングブロックに加えられた合力積: I_{cv} 」とする)についても求めた。

また、第1歩目および第2歩目については、第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力積を水平成分および鉛直成分にそれぞれ分けて算出した(以下、第1歩目に加えられた力積(水平成分 $IG1_h$ 、鉛直成分 $IG1_v$)、第2歩目に加えられた力積(水平成分 $IG2_h$ 、鉛直成分 $IG2_v$)と略す)。なお、第1歩目と第2歩目に加えられた力積の鉛直成分については、体重分を差し引いた値として算出した。全ての力積は被験者の体重で除した値とした。

②ブロッククリアランスタイムおよび第2歩目離地までの時間(s)

前後どちらかのブロックに力が加えられ始めた時点から前ブロックを離地するまでのブロッククリアランス全体に要した時間(以下、ブロッククリアランスタイムと略す)を求めた。また、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、第2歩目を離地するまでの時間(以下、第2歩目離地までの時間と略す)についても算出した。

③身体重心の水平速度(m/s)

ブロッククリアランス時および第1歩目と第2歩目の離地時における身体重心の水平速度(以下、「水平速度」とする)を算出した。

④逆振り子モデルに関する各変量

前章と同様に、Setからのブロッククリアランス動作について、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、前足つま先を支点に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3参照)。

図3に示す分析項目のうち、逆振り子の長さ(r)と逆振り子の回転角度($\theta_{c.g}$)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(Δr 、 $\Delta \theta_{c.g}$)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、ブロッククリアランス局面全体での最大値(以下、「最大伸展速度: $V_{r_{max}}$ 」とする)を求めた。逆振り子の回転角速度(ω)については、ブロッククリアランス局面全体での平均値(以下、「平均回転角速度: $\bar{\omega}$ 」とする)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。

(5)統計処理

BSおよびCSの試技ごとに各項目の平均値および標準偏差を算出し、BSとCSの比較には、対応のあるt検定を用いて有意水準5%未満で検定した。

3.結果と考察

図7はBSとCSにおけるスターティングブロックに加えられた力積を示したものである。図7より、BSはCSに比べて、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分が有意に大きく($p<0.05$)、力積の鉛直成分は有意に小さかった($p<0.05$)。また、スターティングブロックに加えられた合力積には有意差は認められなかった。これらのことから、スターティングブロックを用いることは、ブロッククリアランスにおける力発揮を大きくするのではなく、力発揮の方向をより水平方向に近づけることを可能にするものと考えられる。その結果、BSとCSにおけるブロッククリアランス時の水平速度にも有意差($p<0.01$)がみられ(表2)、スターティングブロックを用いたBSの方が、大きな水平速度での発走になったものと考えられる。さらに、表3より、BSとCSではブロッククリアランスタイムに有

意差がみられ、BSの方がCSよりブロッククリアランスタイムが短かった($p<0.05$)ことから、スターティングブロックを用いることで、このような力発揮を短時間でを行うことを可能にするものと考えられる。

一方、ブロッククリアランスして以降の第1歩目離地時と第2歩目離地時の水平速度には有意差がみられず(表2)、第1歩目および第2歩目で加えられた力積にも有意な差は認められなかった(図8, 図9)。また、第2歩目離地までの時間および10m地点の疾走タイムにおけるBSとCSの時間差は、ブロッククリアランスタイムの時間差と同程度であり、有意ではなかったがBSの方がCSに比べて時間が短かった(表2)。これらのことから、スターティングブロックを用いるかどうかの影響は、ブロッククリアランスタイムの時間差分がほぼそのまま、ブロッククリアランス以降の通過時間に影響するものの、ブロッククリアランスして以降に大きく影響するものではないと考えられる。

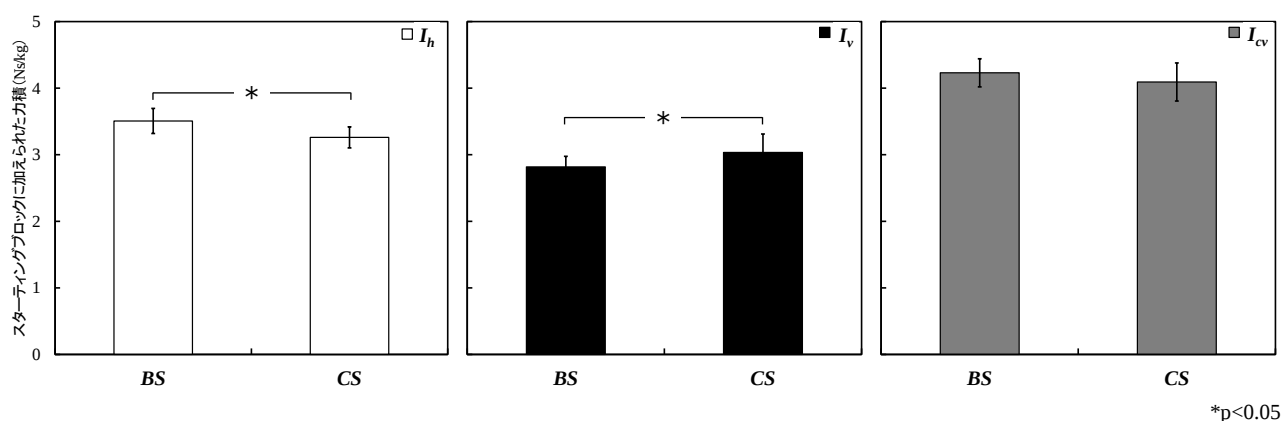


図 7 BS と CS におけるスターティングブロックに加えられた力積

表 2 BS と CS における水平速度

	水平速度 (m/s)		BS vs CS
	BS	CS	
ブロッククリアランス時	3.52±0.19	3.29±0.15	BS > CS **
第1歩目離地時	4.58±0.16	4.52±0.21	n.s.
第2歩目離地時	5.38±0.14	5.33±0.20	n.s.

** $p < 0.01$, n.s. no significant

表 3 BS と CS におけるブロッククリアランスタイムと第2歩目離地までの時間および10m地点の疾走タイム

	時間 (s)		BS vs CS
	BS	CS	
ブロッククリアランスタイム	0.37±0.03	0.44±0.07	BS < CS *
第2歩目離地までの時間	0.87±0.04	0.95±0.09	n.s.
※10m time	1.85±0.06	1.91±0.10	n.s.

※計測員による測定

* $p < 0.05$, n.s. no significant

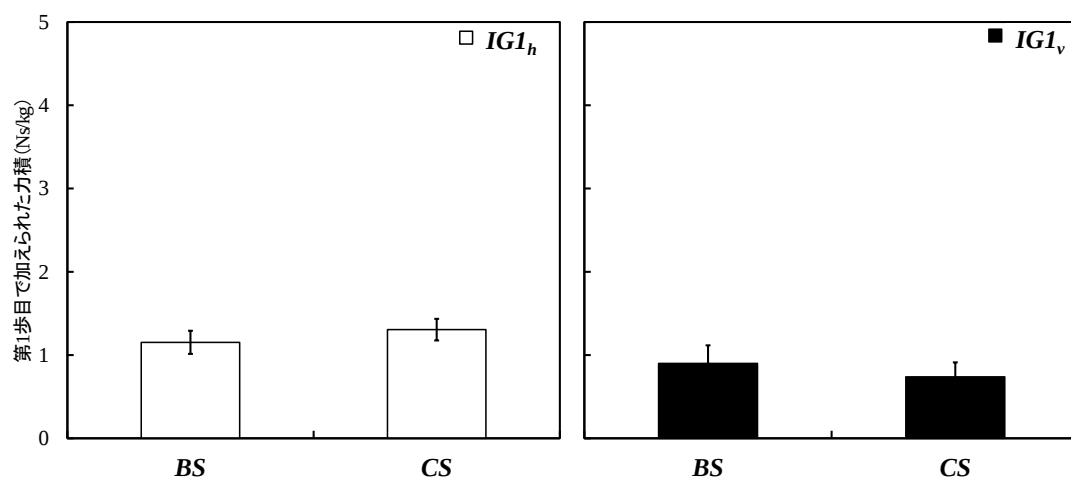


図 8 BS と CS における第 1 歩目で加えられた力積

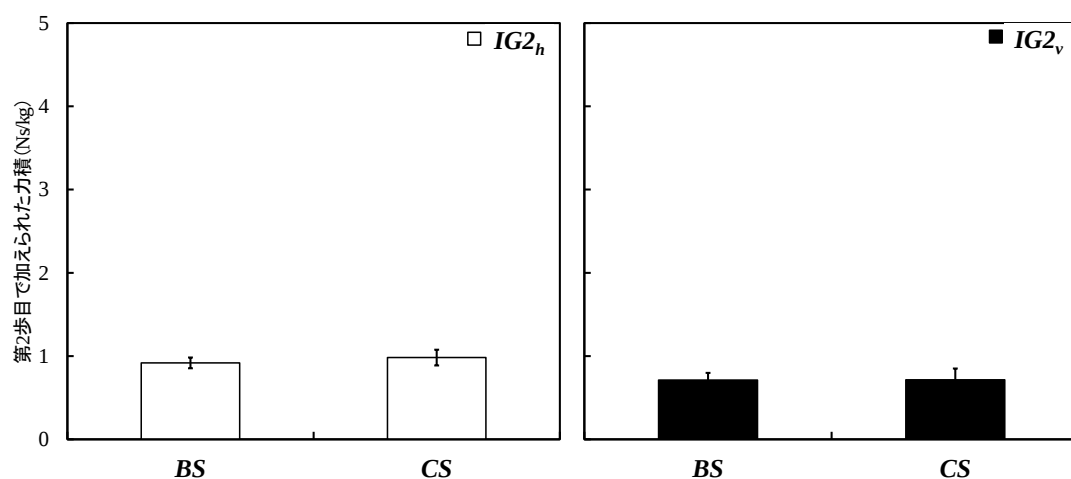


図 9 BS と CS における第 2 歩目で加えられた力積

これまでの結果から、スターティングブロックの有無は主にブロッククリアランス局面に影響すると考えられるが、ブロッククリアランス動作への影響について、逆振り子モデルを用いて検討する。表 4 に BS と CS における逆振り子モデルに関する各パラメータを示す。表 4 より、BS と CS では逆振り子の平均回転角速度に有意差が認められ、BS の方が CS に比べて平均回転角速度が大きかった ($p < 0.05$)。一方、逆振り子の最大伸展速度および逆振り子の長さの変化量には有意な差は認められなかった。これらのことから、スターティングブロックを用いるかどうかの影響は、ブロッククリアランス動作においては、伸び上がり(伸展)ではなく倒れ込み(回転)の要素に影響するといえよう。ただ、表 4 より、逆振り子の回転角度変化量は、BS よりも CS の方が有意に大きかった ($p < 0.05$)。そこで、BS と CS における Set 時およびブロッククリアランス時の身体重心位置をみる(図 10)と、CS の方が BS に比べて Set 時に身体重心位置が有意に後方に位置しており ($p < 0.05$)、身体重心高も有意に低かった ($p < 0.01$)。また、ブロッククリアランス時では、BS の方が CS に比べて有意に前方に位置していた ($p < 0.01$)。天野 (1978) は、クラウチングスタートの有利性について、Set の姿勢から手を離れた瞬間に前向きエネルギーを生ずることを挙げているが、構え方によっては必ずしも有利なものとはならないことを指摘している。本研究の結果を踏まえると、CS は動作範囲が大きいものの、前方への倒れ込みが生じにくいような Set の姿勢になっていたも

のと推察される。一方で、スターティングブロックを用いたBSはCSに比べて動作範囲が小さかったものの、身体重心がCSに比べて前足つま先から離れており、かつ高い位置にあったことから、天野(1978)がいう前方への倒れ込みを活かすブロッククリアランスとなっていたものと推察される。したがって、前方への回転を活かしたブロッククリアランスは、スターティングブロックを用いることで可能となるものと考えられる。

表 4 BS と CS における逆振り子モデルに関する各パラメータ

			BS	CS	BS vs CS
逆振り子の平均回転角速度	(rad./s)	$\bar{\omega}$	1.44 ± 0.26	1.27 ± 0.27	BS > CS *
逆振り子の最大伸展速度	(m/s)	$V_{r_{\max}}$	3.16 ± 0.12	3.02 ± 0.16	n.s.
逆振り子の回転角度変化量	(deg.)	$\Delta\theta_{C,G}$	26.85 ± 6.31	30.18 ± 9.01	BS < CS *
逆振り子の長さの変化量	(m)	Δr	0.58 ± 0.03	0.59 ± 0.04	n.s.

* $p < 0.05$, n.s. no significant

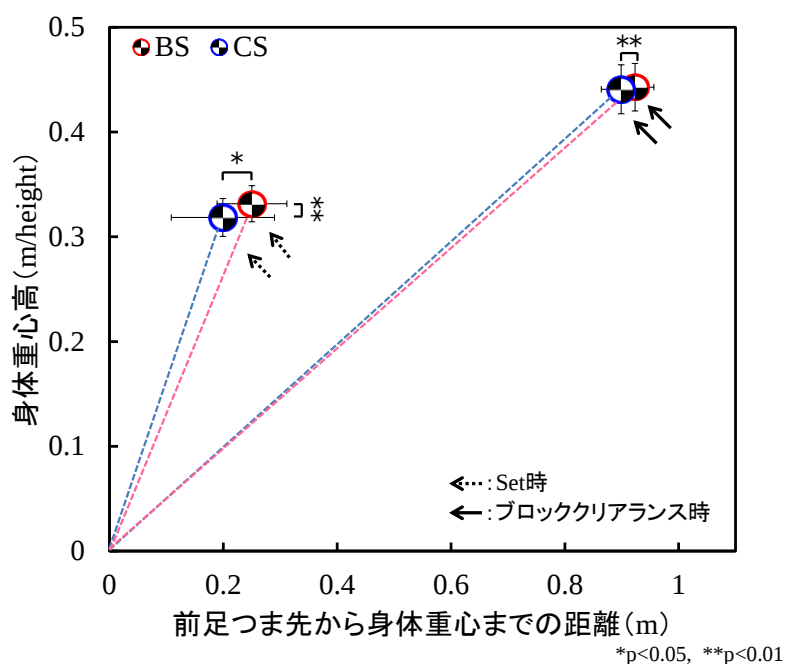


図 10 BS と CS における Set 時およびブロッククリアランス時の身体重心位置

IV. 日本人選手に適したブロッククリアランス技法の探求

本研究は、クラウチングスタートにおけるスターティングブロックの有効性を究明するとともに、日本人選手に適したスタート技術を探求するものである。この課題を達成するために、まず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を検討した。その結果、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ブロッククリアランス時の水平速度と有意に関係しており、ブロッククリアランス時の水平速度の増大を図る際には、

スターティングブロックに加えられる合力積(体力)を増大させなくても、力発揮の方向をより水平方向に近づける(技能を高める)ことで、ブロッククリアランス時の水平速度の増大を図ることが可能であると考えられた。また、ブロッククリアランスにおける力発揮をより水平方向に近づけることで、回転(倒れ込み)を活かしたブロッククリアランス動作となると考えられた。したがって、技能レベルの向上によってブロッククリアランス時の水平速度の増大を図るには、倒れ込みを活かしたブロッククリアランスが重要になるものと考えられた。これらの結果から、海外の選手に体格的に劣る日本人選手は、ブロッククリアランスにおいて、体力を向上させることで加えられる合力積の増大を図るだけでなく、技能レベルを高めることで、自身の体力を最大限活かせるように力の加え方を変え、力積の水平成分を大きくする方策も必要不可欠なものと考えられる。また、そのような力の加え方には、倒れ込みを活かしたブロッククリアランス動作が重要となる。したがって、日本人選手に適したブロッククリアランス技法は、身体の倒れ込みを利用した回転運動の大きいブロッククリアランスであるといえるであろう(図 11 の上)。

また、スターティングブロックの使用がブロッククリアランス動作に与える影響について検討を行った結果、スターティングブロックは、力発揮の方向をより水平方向に近づけさせ、前方への倒れ込みを活かすブロッククリアランスを可能とする役割があるものと考えられた。したがって、回転運動の大きいブロッククリアランス技法を行うには、スターティングブロックは必要不可欠な用具であるといえる。さらに、スターティングブロックを用いても、合力積の大きさには有意な変化がみられなかった。つまり、日本人選手はクラウチングスタートでスターティングブロックを用いる際、スターティングブロックを「大きな力発揮を行う」ための用具と捉えるのではなく、「水平方向に力を発揮し、身体を前方に運ぶ」ための用具として捉える必要があるといえるであろう。

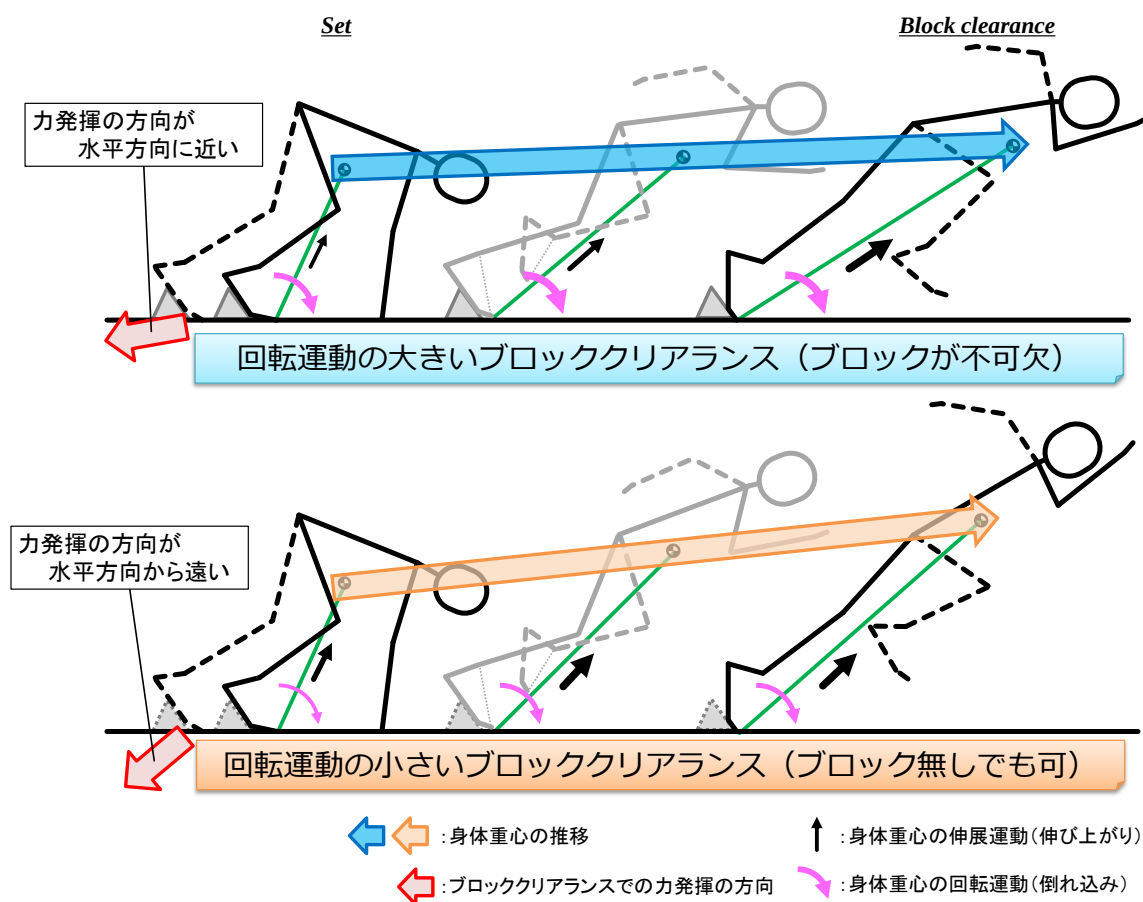


図 11 スターティングブロックへの力発揮とブロッククリアランス技法

参考文献

- 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.
- 天野義裕 (1978) 短距離走のスターティングフォーム. *学校体育*, Vol. 31 (12), 131-135.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fortier, S., Basset, F.A., Mbourou, G.A., Favérial, J. and Teasdale, N. (2005) Starting block performance in sprinters: A statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4: 134-143.
- Guissard, N., and Duchateau, J. (1990) Electromyography of the sprint start. *Journal of Human Movement Studies*, 18: 97-106.
- Guissard, N., Duchateau, J., Hainaut, K. (1992) EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (11): 1257-1263.
- Hayden, T.C. and Walker, G.A. (1933) A comparison of the starting time of runners using holes in the track and starting blocks. *Research Quarterly of the American Physical Education Association*, 4 (2): 117-123.
- 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.
- 小林一敏・勝亦紘一・金子今朝秋・菅原秀二 (1975) スターティング・ブロックのキネシオロジー的研究. *順天堂大学保健体育紀要*, 18: 17-23.
- Mach, G. (1985) The individual sprint events. In: Payne, H. (Ed.) *Athletes in action: the official International*

- Amateur Athletic Federation book on track and field techniques. Pelham Book: London, pp.12-34.
- Majumdar, A.S. and Robergs, R.A. (2011) The Science of Speed: Determinants of Performance in the 100 m Sprint., *International Journal of Sports Science and Coaching*, 6 (3) : 479-494.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008) 男女 100m レースのスピード変化. *バイオメカニクス研究*, 12 (2) : 74-83.
- 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., Komi, P.V. and Gregor, R.J. (1992) Biomechanics of Sprint Running, *Sports Medicine*, 13 (6) : 376-392
- 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.
- 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.
- 野崎忠信・金子敬二・横倉三郎・鈴木昇 (1995) 改良型陸上競技用不正出発発見装置の動作特性. *日本体育学会大会号*, Vol. 46 : 387.
- 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.
- Quercetani, R.L. (1964) *Track and Field Athletics 1864-1964*. Oxford University Press: London.
- 佐久間和彦・小林一敏 (1980) : かかと浮きブロックとかかと着きブロックを用いた場合のスタート動作に関するバイオメカニクスの研究. *順天堂大学保健体育紀要*, 23 : 16-24.
- 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.
- Tellez, T. and Doolittle, D. (1984) Sprinting from start to finish. *Track technique*, 88 : 2802-2805.
- 土江寛裕 (2008) スプリント走の各局面に影響をおよぼす体力と技術, *陸上競技研究*, 75 : 2-11
- 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.
- 横倉三郎・鈴木昇・野崎忠信・金子敬二 (1996) 陸上競技の不正出発を計測する, *バイオメカニクス研究*, 15 (1) : 23-27.