



短距離走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からみたブロッククリアランス動作に関する研究

篠原, 康男

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2014-09-25

(Date of Publication)

2015-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6254号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006254>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

短距離走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
力発揮からみたブロッククリアランス動作に関する研究

平成 26 年 7 月

神戸大学大学院人間発達環境学研究科
人間行動専攻 人間行動論講座 身体行動論教育研究分野

篠 原 康 男

本論文は以下の主論文および参考論文を基に構成されている。

【主論文】

- ①篠原康男，前田正登．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，80：44-50，2010
- ②篠原康男，前田正登．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（2）：585-597，2013
- ③篠原康男，前田正登．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，体育学研究，59（2）：2014（印刷中）
- ④篠原康男，前田正登．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に関する研究，体育学研究に投稿・審査中

【参考論文】

- ①篠原康男，前田正登．短距離走におけるスターティングブロックの配置と加えられる力の関係，スポーツ産業学研究，21（2）：217-228，2011
- ②Yasuo SHINOHARA, Masato MAEDA. Relation between block spacing and forces applied to starting blocks by a sprinter. *5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology*, 154-160, Melbourne, August, 2011
- ③篠原康男，前田正登．短距離走スタートにおけるブロッククリアランス時の力発揮に関する研究．身体行動研究，2：31-38，2013

用語の定義	1
略号と記号	3
第1章 緒論	8
1-1. 研究の背景	8
1-2. 文献研究	13
1-3. 研究の目的	20
第2章 研究Ⅰ 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に加えられた力の測定	23
2-1. 本章の目的	23
2-2. 方法	24
2-3. 結果と考察	31
2-4. 本章のまとめ	40
第3章 研究Ⅱ 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とブロッククリアランスの関係	41
3-1. 本章の目的	41
3-2. 方法	42
3-3. 結果	46
3-4. 考察	53
3-5. 本章のまとめ	58
第4章 研究Ⅲ 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とブロッククリアランス動作の関係	59
4-1. 本章の目的	59
4-2. 方法	60
4-3. 結果	68
4-4. 考察	75
4-5. 本章のまとめ	82

第5章 研究VI スターティングブロックを用いないことがクラウチングスタートに及ぼす影響に関する研究	83
5-1. 本章の目的	83
5-2. 方法	84
5-3. 結果	93
5-4. 考察	105
5-5. 本章のまとめ	112
第6章 総合考察	113
6-1. クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス技術とスターティングブロックの役割（課題②，③，⑥の解決）	114
6-2. クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス後の接地動作（課題④，⑤の解決）	116
6-3. 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とブロッククリアランス動作の関係	117
第7章 総括	119
参考文献	123
謝辞	129

用語の定義

本研究で用いられている用語の定義は以下のとおりである。

スターティングブロック：

陸上競技の短距離走において用いられるスポーツ用具のこと。足をセットする 2 枚のフットプレートと 1 つの堅固なフレームから構成される。2 枚のフットプレートについては、設置した位置によって前ブロックまたは後ブロックと呼ばれる。

前ブロック：

スターティングブロックを構成する 2 枚のフットプレートのうち、スタートラインに対してより近い位置に配置されたフットプレートを指す。

後ブロック：

スターティングブロックを構成する 2 枚のフットプレートのうち、スタートラインに対してより遠い位置に配置されたフットプレートを指す。

ブロッククリアランス：

スターティングブロックのうち、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れるまでの一連の動作の機序を指す。または、スターティングブロックのうち、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れて、発走し終えたことを指す。

ブロッククリアランス動作：

スターティングブロックのうち、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れるまでの一連の動作を指す。

ブロッククリアランス技術：

スターティングブロックのうち、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れるまでの一連の動作の技術を指す。

ブロッククリアランス局面：

スターティングブロックのうち、前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れるまでの一連の動作を行う局面を指す。

ブロッククリアランス時：

前足が前ブロックから離れる瞬間を指す。

ブロッククリアランスタイム：

スターティングブロックに力が加えられ始めてから、前足が前ブロックから離れる瞬間まで（ブロッククリアランス）に要した時間のこと。

クリアランス：

スターティングブロックから発走すること。またはその動作。

スタート音：

Set で静止した姿勢から発走する合図。またはその音。

両足局面：

前後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の局面を指す。

片足局面：

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の局面を指す。

逆振り子モデル：

走動作や跳躍の踏切動作などにおける接地中の身体の動きを、身体重心と足部支持点を結んだ仮想の線分にモデル化したもの（Jacob and Schenau, 1992）。このモデルでは、身体重心と足部支持点を結んだ仮想の線分が、支持点を中心に前方に回転しながら縮伸するとみなし、身体の回転運動と伸展運動に分けて検討することができる。

Set：

短距離走スタートの合図のひとつで、この合図とともに選手はスタート音に備え、発走姿勢をとる。本研究では、発走姿勢をとっている局面のことを指す。

第1歩目：

ブロッククリアランス後、接地足（Set 時の後足）が地面に接地してから離地するまでを第1歩目とした。

第2歩目：

第1歩目の離地後、接地足（Set 時の前足）が地面に接地してから離地するまでを第2歩目とした。

略号と記号

本研究で用いられている略号と記号は以下の通りである。

I_{cv}	: スタートディングブロックに加えられた力積 またはブロッククリアランス局面全体でに加えられた力積
I_h	: スタートディングブロックに加えられた力積の水平成分 またはブロッククリアランス局面全体でに加えられた力積の水平成分
I_v	: スタートディングブロックに加えられた力積の鉛直成分 またはブロッククリアランス局面全体でに加えられた力積の鉛直成分
I_{Fcv}	: 前ブロックに加えられた力積または前脚でに加えられた力積
I_{Fh}	: 前ブロックに加えられた力積の水平成分 または前脚でに加えられた力積の水平成分
I_{Fv}	: 前ブロックに加えられた力積の鉛直成分 または前脚でに加えられた力積の鉛直成分
I_{Fcv_d}	: 両足局面で前ブロックに加えられた力積または前脚でに加えられた力積
I_{Fh_d}	: 両足局面で前ブロックに加えられた力積の水平成分 または両足局面で前脚によりに加えられた力積の水平成分
I_{Fv_d}	: 両足局面で前ブロックに加えられた力積の鉛直成分 または両足局面で前脚によりに加えられた力積の鉛直成分
I_{Fcv_s}	: 片足局面で前ブロックに加えられた力積または前脚でに加えられた力積
I_{Fh_s}	: 片足局面で前ブロックに加えられた力積の水平成分 または片足局面で前脚によりに加えられた力積の水平成分
I_{Fv_s}	: 片足局面で前ブロックに加えられた力積の鉛直成分 または片足局面で前脚によりに加えられた力積の鉛直成分

I_{Rev}	: 後ブロックに加えられた力積または後脚で加えられた力積
I_{Rh}	: 後ブロックに加えられた力積の水平成分 または後脚で加えられた力積の水平成分
I_{Rv}	: 後ブロックに加えられた力積の鉛直成分 または後脚で加えられた力積の鉛直成分
I_{cv_d}	: 両足局面でスターティングブロックに加えられた力積 または両足局面で加えられた力積
I_{h_d}	: 両足局面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 または両足局面で加えられた力積の水平成分
I_{v_d}	: 両足局面でスターティングブロックに加えられた力積の鉛直成分 または両足局面で加えられた力積の鉛直成分
I_{cv_s}	: 片足局面でスターティングブロックに加えられた力積 または片足局面で加えられた力積
I_{h_s}	: 片足局面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 または片足局面で加えられた力積の水平成分
I_{v_s}	: 片足局面でスターティングブロックに加えられた力積の鉛直成分 または片足局面で加えられた力積の鉛直成分
I_{1Gh}	: 第 1 歩目で加えられた力積の水平成分
I_{1Gv}	: 第 1 歩目で加えられた力積の鉛直成分
I_{2Gh}	: 第 2 歩目で加えられた力積の水平成分
I_{2Gv}	: 第 2 歩目で加えられた力積の鉛直成分
T_{start_fb}	: 前脚で力が加えられ始めた時点
T_{start_rb}	: 後脚で力が加えられ始めた時点
$T_{clearance_fb}$: 地面に接地している前足が地面から離れた時点

$T_{clearance_rb}$: 地面に接地している後足が地面から離れた時点
T_{touch_1st}	: 第1歩目で接地足が地面に接地した時点
T_{touch_2nd}	: 第2歩目で接地足が地面に接地した時点
$T_{release_1st}$: 第1歩目で接地足が地面から離地した時点
$T_{release_2nd}$: 第2歩目で接地足が地面から離地した時点
F_{fb}	: 前脚で加えられた力
F_{fb_y}	: 前脚で加えられた力の水平成分
F_{fb_z}	: 前脚で加えられた力の鉛直成分
F_{rb}	: 後脚で加えられた力
F_{rb_y}	: 後脚で加えられた力の水平成分
F_{rb_z}	: 後脚で加えられた力の鉛直成分
F_{1st_y}	: 第1歩目で加えられた力の水平成分
F_{2nd_y}	: 第2歩目で加えられた力の水平成分
F_{1st_z}	: 第1歩目で加えられた力の鉛直成分
F_{2nd_z}	: 第2歩目で加えられた力の鉛直成分
PFF_{cv}	: 前ブロックに加えられた力の最大値
PFF_h	: 前ブロックに加えられた力の水平成分の最大値
PFF_v	: 前ブロックに加えられた力の鉛直成分の最大値
PFR_{cv}	: 後ブロックに加えられた力の最大値
PFR_h	: 後ブロックに加えられた力の水平成分の最大値
PFR_v	: 後ブロックに加えられた力の鉛直成分の最大値

PF1_h	: 第 1 歩目で加えられた力の水平成分の最大値
PF1_v	: 第 1 歩目で加えられた力の鉛直成分の最大値
AFF_{cv}	: 前ブロックに加えられた力の平均値
AFF_h	: 前ブロックに加えられた力の水平成分の平均値
AFF_v	: 前ブロックに加えられた力の鉛直成分の平均値
AFR_{cv}	: 後ブロックに加えられた力の平均値
AFR_h	: 後ブロックに加えられた力の水平成分の平均値
AFR_v	: 後ブロックに加えられた力の鉛直成分の平均値
AF1_h	: 第 1 歩目で加えられた力の水平成分の平均値
AF1_v	: 第 1 歩目で加えられた力の鉛直成分の平均値
AF2_h	: 第 2 歩目で加えられた力の水平成分の平均値
AF2_v	: 第 2 歩目で加えられた力の鉛直成分の平均値
FA_h	: Set 時に手で支える力の水平成分
FA_v	: Set 時に手で支える力の鉛直成分
LF_h	: Set 時の前ブロックへの荷重の水平成分
LF_v	: Set 時の前ブロックへの荷重の鉛直成分
LR_h	: Set 時の後ブロックへの荷重の水平成分
LR_v	: Set 時の後ブロックへの荷重の鉛直成分
θ_{Hf}	: 前脚の股関節角度
θ_{Kf}	: 前脚の膝関節角度
θ_{Af}	: 前脚の足関節角度

θ_{Hr}	: 後脚の股関節角度
θ_{Kr}	: 後脚の膝関節角度
θ_{Ar}	: 後脚の足関節角度
θ_T	: 体幹角度
θ_L	: 支持脚の脚角度
l	: スタートラインから身体重心までの水平距離
h	: 身体重心高
r	: 逆振り子の長さ
θ_{CG}	: 逆振り子の回転角度
V_r	: 逆振り子の伸展速度
ω	: 逆振り子の回転角速度
D_{CG}	: 前足つま先から身体重心までの水平距離
V_y	: 身体重心の水平速度
V_z	: 身体重心の鉛直速度

第1章 緒 論

1-1. 研究の背景

陸上競技における短距離走種目は、定められた距離（競走距離）を可能な限り短い時間で走りきることが目的となる競技である。特に 100m 走は、短距離走種目の中で最も競走距離が短い種目である。また、他の短距離走種目（200m, 400m など）とは異なり、直走路での競走となることから、遠心力などの外力を考慮しなくて済むため、「世界で最も速い者は誰か？」を決める種目として、広く人々に認識されている。

陸上競技の短距離走は、スタートから始まり、加速局面、トップスピード局面、減速局面といった局面 (Fig.1-1) に分けられ (Mero et al., 1992; 土江, 2008; 安部・深代, 1998), これらの局面の中でも、トップスピード局面における最大疾走速度とゴールタイムの間には非常に強い相関関係がある (松尾ほか, 2008) ことが明らかになっている。一方、加速局面はトップスピード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えると、加速局面の役割は極めて高いと考えられる (土江, 2008; 田口ほか, 2010)。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でのブロッククリアランスが影響すると述べている (Fig.1-2)。これらのことから、短距離走におけるスタートは、それ以降の局面に大きな影響を及ぼすといえ、レースパフォーマンスを考える上で非常に重要な要因であるといえる。

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当時は現在のようなスターティングブロックではなく、地面に穴を掘ってクラウチング姿勢をとっていた (Fig.1-3)。現在用いられているスターティングブロック (Fig.1-4) 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いる。フットプレートの位置や角度は段階的に調節でき、選手はレース前にスターティングブロックの配置を調整し、スタート音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、スタート音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 (Fig.1-5) 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、力積

が不可欠である。Bender (1934) は、短距離走スタートにおける速度獲得要因にスターティングブロックの使用を挙げており、Henry (1952) によると、スターティングブロックに加えられた力に着目することはスタート技術の検討や指導を行う上で有用であるとされている。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 (Fig.1-6) を疾走に生かせるかどうかは、筋力に起因するのではなく、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、ブロッククリアランス局面でスターティングブロックに加えられる力に着目することは、クラウチングスタートを検討する上で不可欠なものといえる。

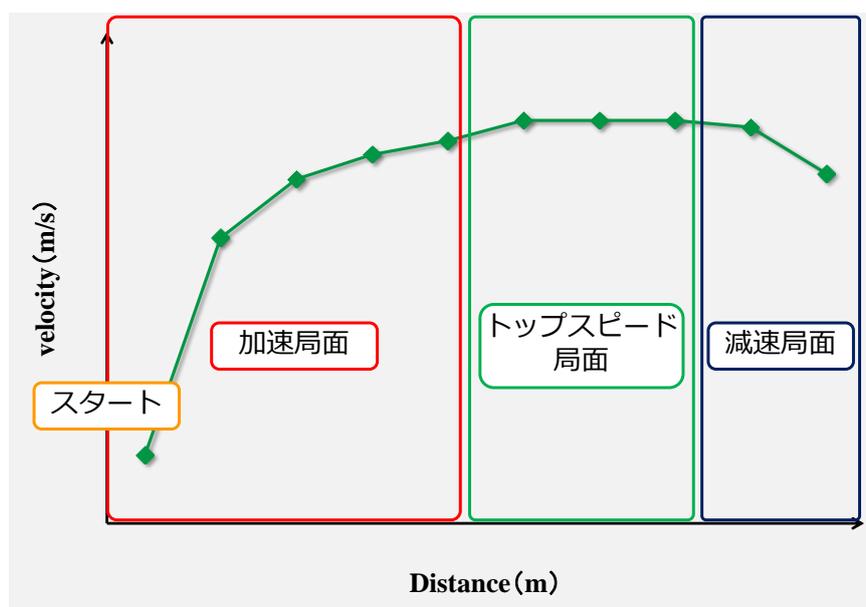


Fig.1-1 100m走における疾走速度変化と各局面
(安部・深代 (1998) および土江 (2008) をもとに改変)

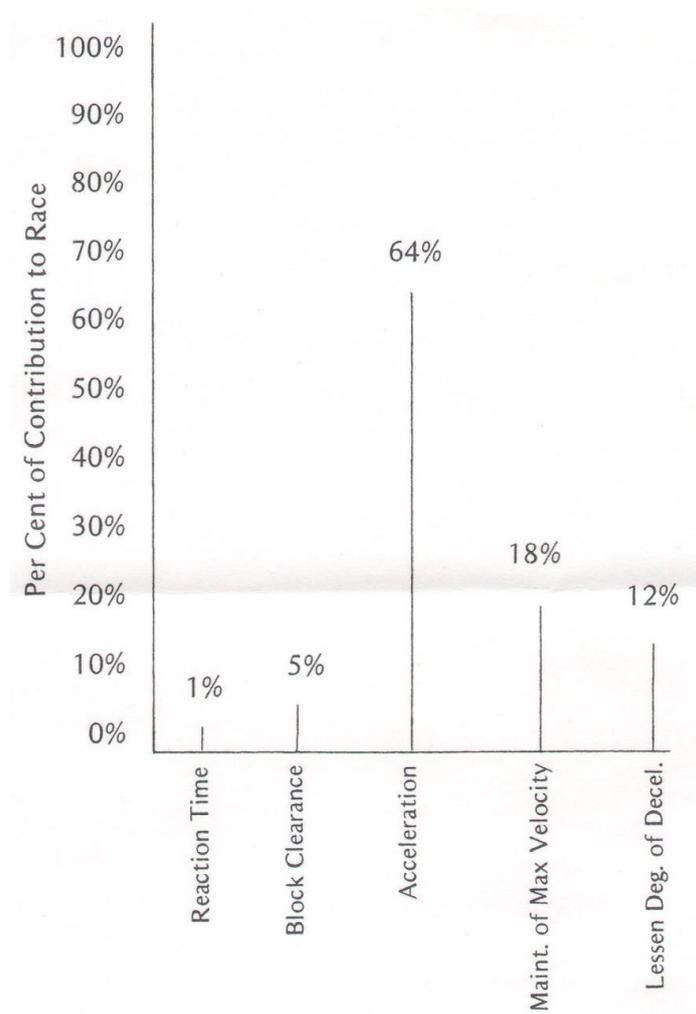


Fig.1-2 レースにおける各要因の貢献度 (Tellez and Doolittle, 1984)

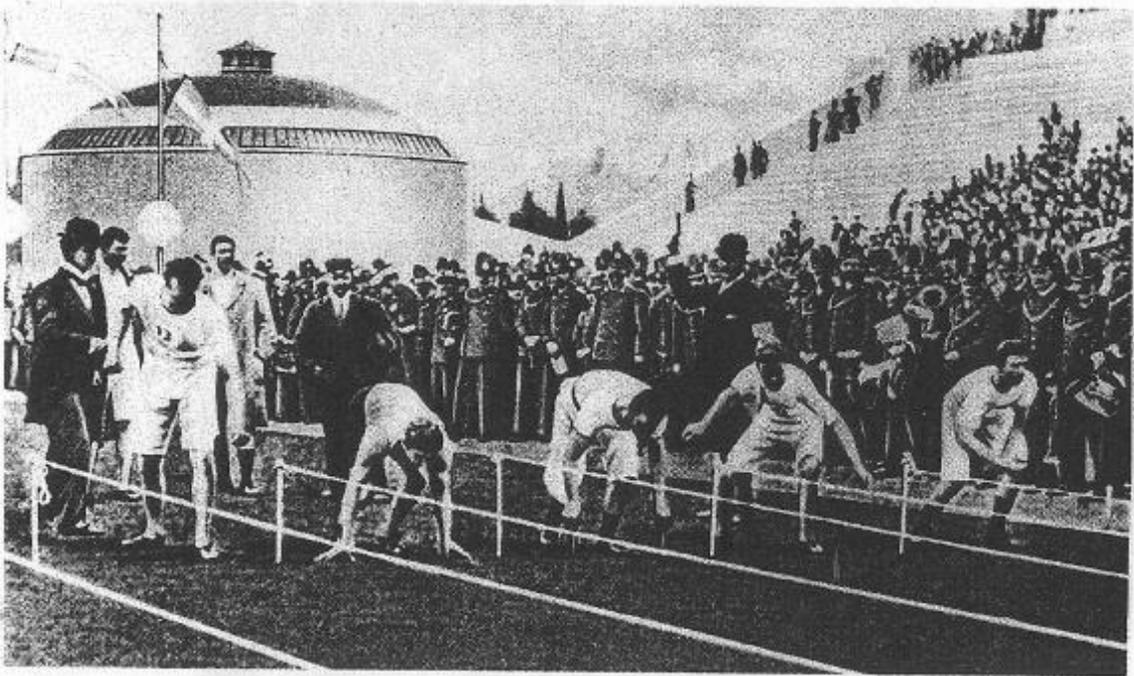


Fig.1-3 1896年に行われたアテネオリンピックの100m走スタートにおける構え(天野, 1987)

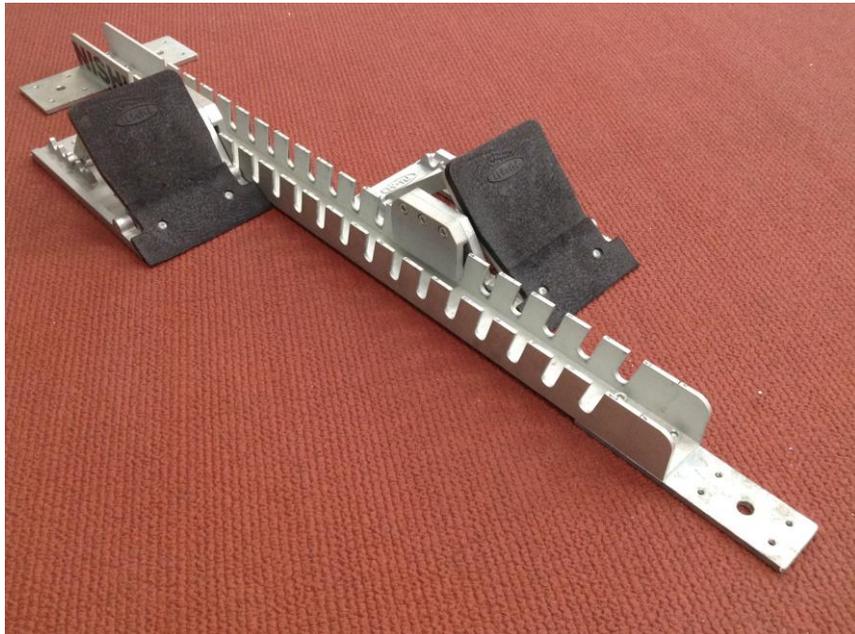


Fig.1-4 現在のスターティングブロック



Fig.1-5 クラウチングスタート時の「Set」の姿勢

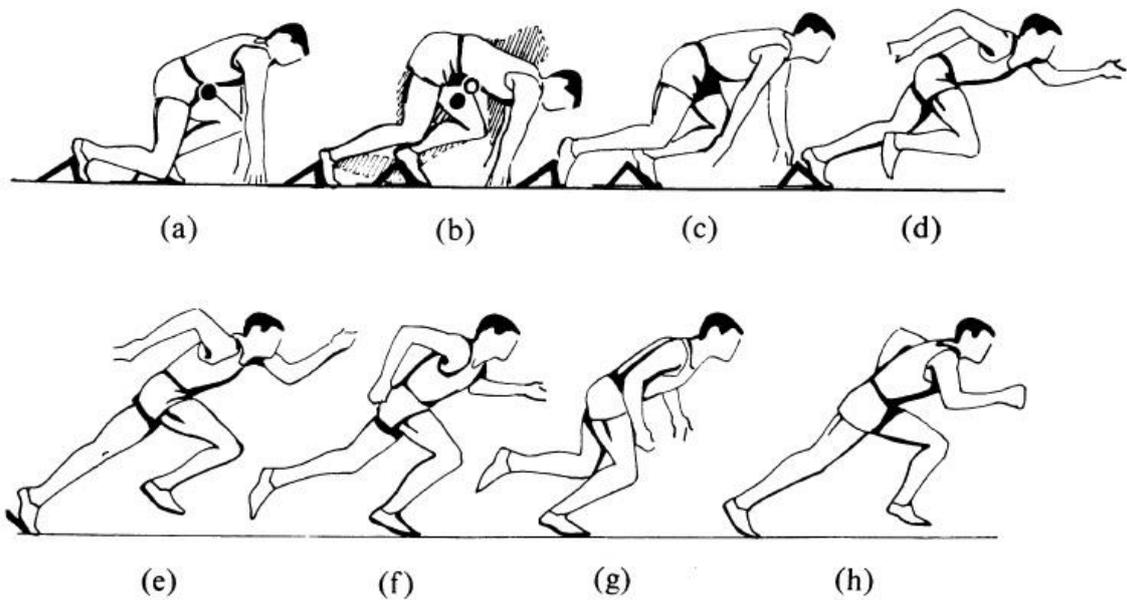


Fig.1-6 クラウチング姿勢からのスタート (Hay, 1978) : (a) 「Set」,
 (b) 「On your marks」, (c) ~ (e) ブロッククリアランス,
 (f) 第1歩目接地, (g) 第1歩目接地中, (h) 第1歩目離地

1-2. 文献研究

短距離走におけるスタートでの力発揮について、競技力およびレースパフォーマンスの向上を目的として、これまでに様々な研究が行われてきた。ここでは、短距離走におけるスタートでの力発揮について、これまでの研究を概観し、問題点および課題を整理する。

1-2-1. スターティングブロックに加えられた力やその発揮様態の測定

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おり (Henry, 1952 ; Fig.1-7), 左右のスターティングブロックにストレインゲージを貼付することで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 (Fig.1-8) が用いられていた (Guissard and Duchateau, 1990 ; Guissard et al., 1992 ; 金子ほか, 1976 ; 小林ほか, 1975 ; Payne and Blader, 1971 ; 佐久間・小林, 1980 ; 袖山ほか, 1969)。しかし、ストレインゲージによる測定では、ブロックにストレインゲージを貼付することで、加えられた力によるブロックの歪みが測定できるものの、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。

このことについて、野原ほか (1977) は、スターティングブロックの下にフォースプレートを設置して、スターティングブロック全体に加えられた力を測定し、スタート時の力発揮について検討を行った。その結果、ブロックの配置設定によってブロックに加えられた力の波形が異なっていたことや、エロンゲートッドスタートでは水平分力の力積が大きくなるがブロックからの飛び出しが遅れること、バンチスタートでは力積の水平成分が小さくなるがブロックからの飛び出しは早くなることを述べている。また、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ている (Fig.1-9)。しかし、これらの研究では前後のブロックに加えられた力をそれぞれ分けて測定しているわけではなく、スターティングブロック全体への力発揮が、前後それぞれのブロックに対する力発揮とどのように関係するのかについては、ほとんど議論されていない。

さらに、スタート時の力発揮を力積の観点から論じたものも少ない。野原ほか (1977) は、ブロッククリアランス時の速度はブロックに加えられた一時点の力の大小よりも、加えられた力のトータルである力積に支配されると述べている。Fortier et al. (2005) は、前後のブロックに加えられた力の波形や力の最大値、力を加えた時間などの測定データを選手にフィードバックすることでスタート動作のスキル改善を試みたが、フィードバック後の改善はみられなかったことを報告している。これらのことから、ある一時点の力の大き

きさよりも、力と時間の積である力積を観点とした方が、スタート時の力発揮を検討することに則しているといえる。

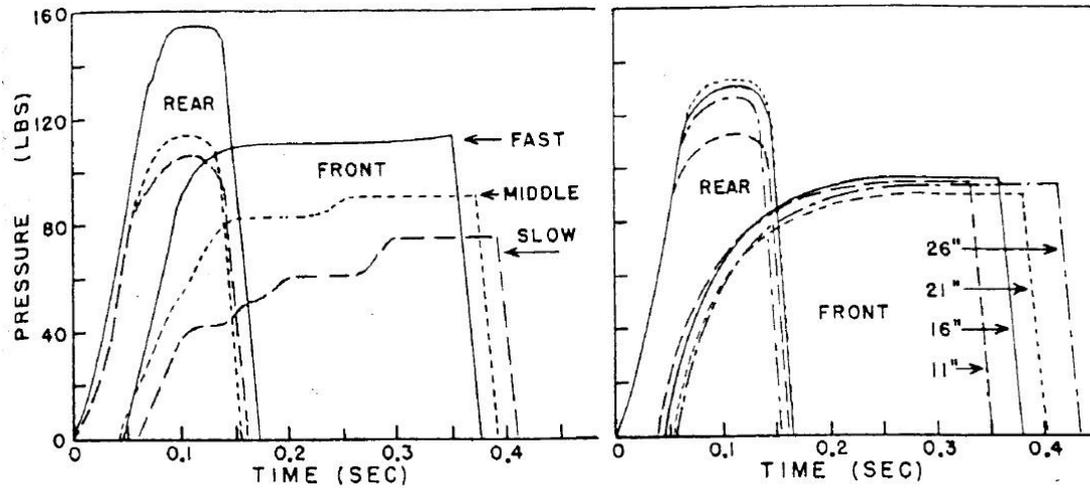


Fig.1-7 スタートブロックに加えられた力の時間変化 (Henry, 1952)

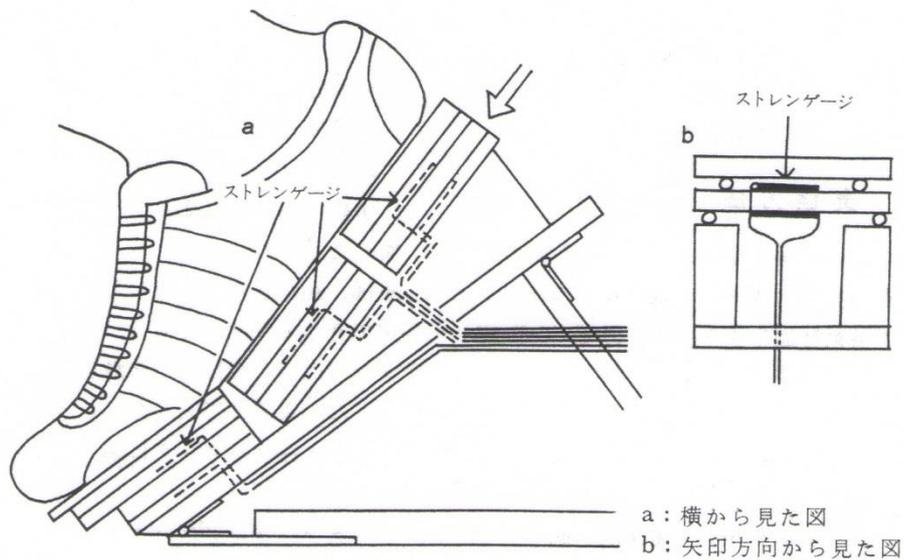


Fig.1-8 ストレインゲージを用いた力の測定 (佐久間・小林, 1980)

1-2-2. スタートブロックに加えられた力とブロッククリアランス後の関係

クラウチングスタートでは、スタートブロックへの力発揮のみを考えればよいというわけではない。Harland and Steele (1997)によると、ブロッククリアランス技術を考える上で、ブロックに対して大きな水平成分の力を加えることと疾走動作への移行の2点が重要であると言われている。Tellez and Doolittle (1984)は、レース全体に対し、最も貢献度の高いとされる加速局面にはブロッククリアランスが影響すると述べている (Fig.1-2)。さらに、Mero et al. (1983)は、スタートブロックへの力発揮が、スタート後の加速局面における疾走速度に影響することを述べている。陸上競技短距離走の指導書 (Gambetta et al., 1989)においても、よいスタートを行うために選手が意識しなければならない点の一つに、ブロッククリアランスでは飛び出すのではなく、走るようにスタートブロックからクリアランスすることを挙げている。これらのことを踏まえると、ブロッククリアランスは短距離走におけるスタートの一部であり、スタートブロックへの力発揮はブロッククリアランス中だけでなく、ブロッククリアランス後も踏まえたものとなる必要がある。したがって、ブロッククリアランス後のステップに対して与える影響も含めて検討を行う必要がある。Slawinski et al. (2010)は、後ブロックおよび第1歩目と第2歩目において、一流スプリンターは準一流スプリンターと比べて加えた力積が大きいことを報告しており、「On your marks」から第2歩目を終えるまでのスタート動作について総合的に考察を行っている。しかし、スタートブロックへの力発揮の大きさがブロッククリアランス後の力発揮や動作とどのように関係するのかについては、ほとんど議論されていない。Tellez and Doolittle (1984)の報告を踏まえると、レース全体のパフォーマンス向上にはブロッククリアランスを含めた加速局面が重要であるといえ、スタートブロックへの力発揮とブロッククリアランス後の力発揮や動作との関係を明らかにすることはレースパフォーマンスの向上に対して有用であると考えられる。

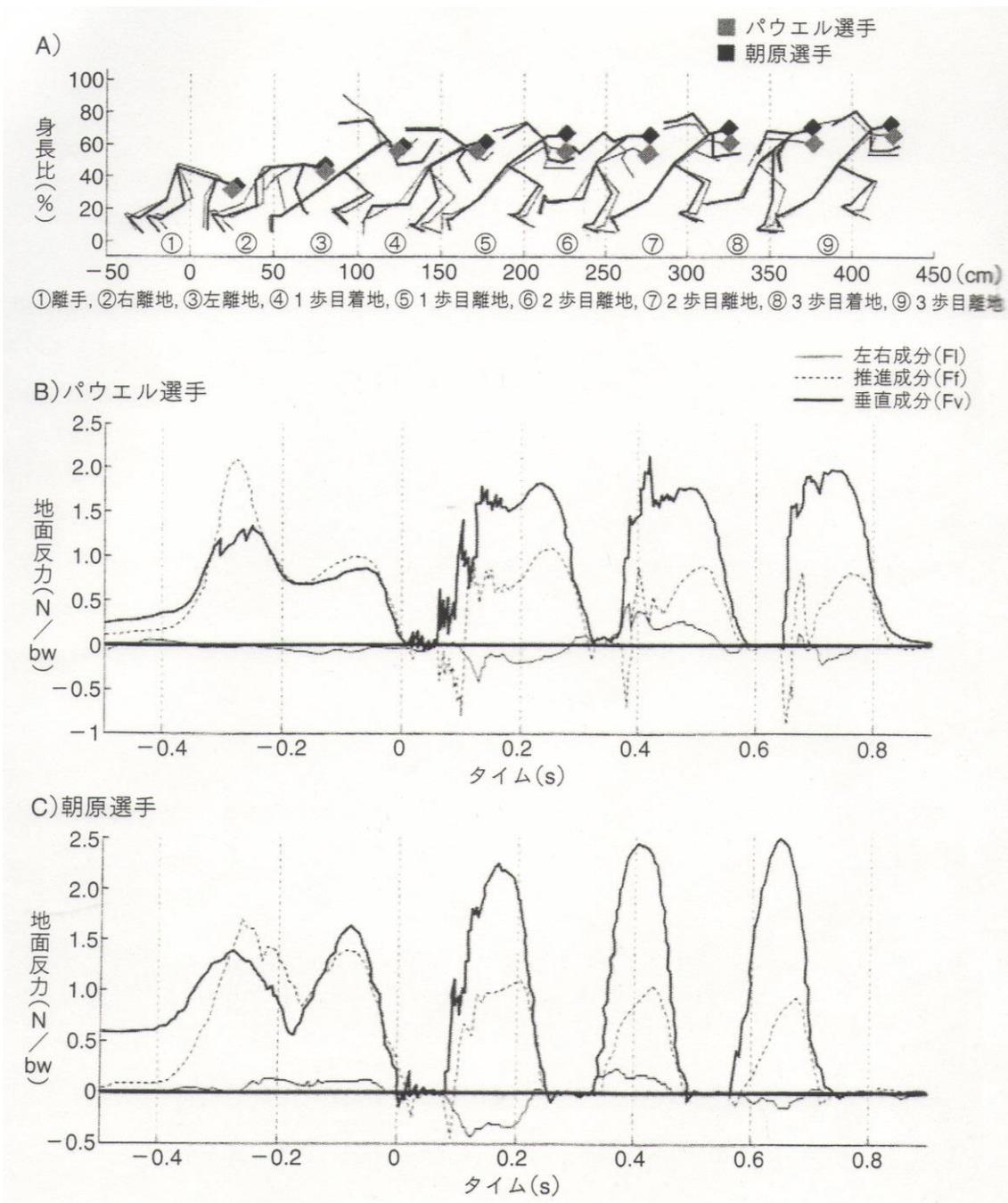


Fig.1-9 世界一流および日本一流スプリンターのスタートダッシュ時の動作と地面反力 (松尾, 2008)

1-2-3. スタートブロックに加えられた力と動作およびその技術の関係

ブロッククリアランスにおける力発揮技術について、特に後ブロックについては、力の水平成分を大きくするために時間がかかっても後足でブロックを押す技術（シュモリンスキー，1982；遠藤；1980）と、できるだけ早く疾走へと移行するために後足を引きつける技術（湯浅，1976；エッカー，1979）の2種類があると言われている。これら2種類の技術については、その優劣から比較検討した研究はみられておらず、どちらを採用するかは選手によって異なると言われている（Harland and Steele, 1997）。一方、前ブロックについても、後ブロックに比べて力を加えている時間が長いことから、前ブロックへの力発揮も重要である（エッカー，1979）と言われている。さらに、戸倉・佐藤（2009）は、クラウチングスタートの指導で多く使われている「押す」と「蹴る」という言葉に着目して、選手が抱くスタートの運動感覚について調査を行い、選手によってそのイメージが異なることを報告している。このように、ブロッククリアランスにおける前後のブロックそれぞれへの力発揮技術は選手によって異なることが予想されるが、前後のブロックそれぞれへの力発揮様態とこれらの技術との関係について、検討を行った研究は少ない。

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。近年では、Debaere et al. (2013) が、スタートブロックを用いた最大努力での 10m スタート短距離選手に行わせ、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ことを報告している。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。また、選手が行うスタート動作は、スターティングブロックに力を加えた結果として生じるものと考えられることや、選手によってスタートの運動感覚やイメージが異なるという報告 (戸倉・佐藤, 2009) もみられることから、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の「倒れ込み」である回転運動や「伸び上がり」である伸展運動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。

1-2-4. 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

クラウチングスタートは 1884 年に考案され (Quercetani, 1964)、その後 1888 年に、初めて競技会における短距離走で用いられたとされている (Suryanarayana, 1972)。クラウチングスタートが用いられ始めた初期のころは、現在のようなスターティングブロックはなく、選手達は地面に穴を掘ってクラウチング姿勢をとっていた (三沢, 1972; 天野, 1987)。その後、1927 年にスターティングブロックが考案され (Quercetani, 1964; Tuttle, 1933)、1948 年に競技会でスターティングブロックが導入されて以来 (日本陸上競技連盟七十年史編集委員会, 1995)、数多くの短距離走のレースに用いられている。

クラウチングスタートでは Set の静止した状態から加速を開始することから、速度を獲得して出発するには力積が不可欠である。Bender (1934) は、短距離走スタートにおける速度獲得要因にスターティングブロックの使用を挙げており、Henry (1952) によると、スターティングブロックに加えられた力に着目することはスタート技術の検討や指導を行う上で有用であるとされている。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器具であるといえる。しかしながら、現在ではスターティングブロックは、むしろ、不正スタートの判定や反応時間の計測が求められる用器具として認識されつつある (横倉ほか, 1996)。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発走を援助する役割を担うものであるともいえよう。しかし、スターティングブロックがクラウチングスタートに及ぼす影響については、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関する検討 (Henry, 1952; 野原ほか, 1977; Slawinski et al., 2012) やブロックの角度設定に関する検討 (Guissard et al., 1992) がなされているものの、スターティングブロックそのものがスタートに及ぼす影響についてはほとんど検討されていない。Hayden and Walker (1933) 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スターティングブロックの影響を検討しているが、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を使用することの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。

したがって、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使用が Set からのブロッククリアランスおよびその後のステップの踏み出しに及ぼす影響について明らかにすることで、静止した Set の状態からの加速において、より有用なブロッククリアランス動作技術の検討や改善に役立つものと考えられる。

1-3. 研究の目的

クラウチングスタートにおける力発揮と動作について、先行研究を検討した結果、未解明となっている課題は以下の通りである。

課題①：スターティングブロックに加えられる力の正確な測定方法の確立

課題②：前後それぞれのブロックに対する力発揮とスターティングブロックへの力発揮との関係の解明

課題③：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における身体の回転および伸展動作との関係の解明

課題④：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後の力発揮との関係の解明

課題⑤：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後の動作との関係の解明

課題⑥：スターティングブロックを使用することがクラウチングスタートにおける力発揮に及ぼす影響の解明

これらの課題を解決し、明らかにすることができれば、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とブロッククリアランスでの動作やブロッククリアランス後の動作との関係、さらには、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力学的役割について明らかにすることが可能になるものと考えられる。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の解明は、クラウチングスタートにおける静止状態からのよりよい加速技術の検討やその究明には必要不可欠なものであると考えられる。また、これらの関係が詳細に明らかになれば、レースパフォーマンスの向上に向けたスタートでの力発揮や動作の改善方針を提示することにもつながることが期待できる。したがって本研究では、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への力発揮とブロッククリアランス動作との関係を解明し、クラウチングスタートの動作機序を明らかにすることを目的として、研究を進める。

本研究では目的を達成するために、4つの研究を行う。

第2章となる研究Iでは、課題①が該当し、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に加えられた力とブロッククリアランス後の地面反力の測定について、その

測定環境の整備を行う。測定により得られたデータと先行研究で報告されているデータを照らし合わせることで測定環境および方法の妥当性を確認する。

第3章となる研究Ⅱでは、課題②と課題④が該当し、クラウチングスタートにおいて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での力発揮との関係を検討する。特にスターティングブロックへの力発揮が前後のブロックへの力発揮とどのように関係するのか、また、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後の第1歩目での力発揮とどのように関係するのかの2点について、主に検討する。

第4章となる研究Ⅲでは、課題③と課題⑤が該当し、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とブロッククリアランス動作の関係を検討する。ブロッククリアランス動作については、身体重心の挙動に注目し、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における「倒れ込み」である回転動作や「伸び上がり」である伸展動作とどのように関係するのかを検討する。また、ブロッククリアランス後の第1歩目の接地動作との関係についても検討する。

第5章となる研究Ⅳでは、課題②、③、④、⑤、⑥が該当し、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使用がSetからのブロッククリアランスおよびその後のステップの踏み出しに及ぼす影響について明らかにする。クラウチングスタートにはスターティングブロックの使用が不可欠であるが、スターティングブロックの有無がクラウチングスタートにおける力発揮と動作に及ぼす影響について検討する。

そして、第6章ではこれらの研究を総合的に考察し、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とブロッククリアランス動作との関係を検討する。

第7章では、各章で得られた成果をまとめ、本研究の総括を行う。

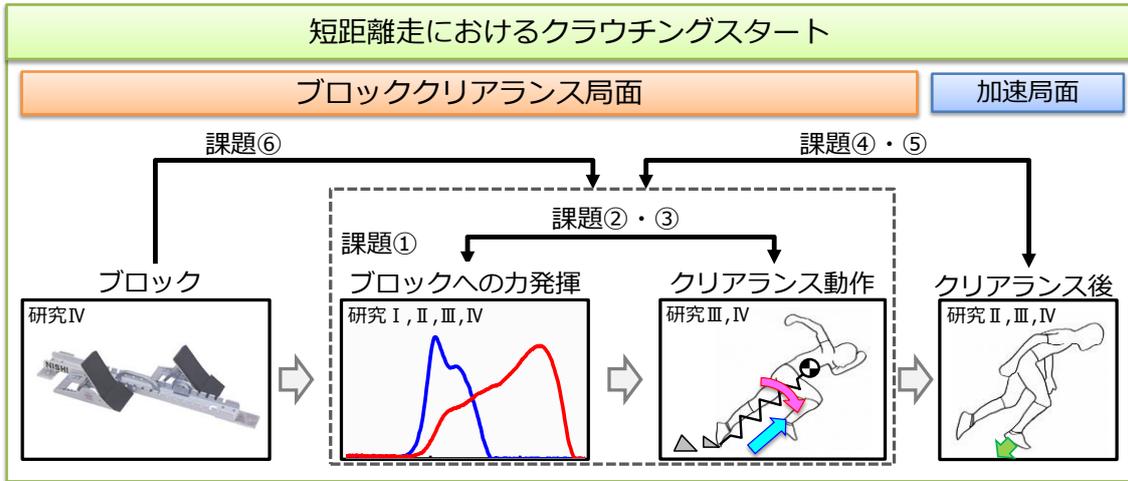


Fig.1-10 本研究の概要

第2章 研究 I

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に加えられた力の測定

2-1. 本章の目的

陸上競技の短距離走では、選手は Set の合図の後、クラウチング姿勢で静止し、スタート音の合図とともに出発する。この時、選手はスターティングブロックに力を加えることで、身体を加速させる。これまでもスタート時に加えられた力の測定が行われてきているが、ほとんどがストレインゲージによるものであり、正確かつ詳細な検討はできていない。また、フォースプレートを用いた測定もみられているが、スターティングブロック全体に加えられた力の計測であり、前後それぞれに加えられた力を正確に測定した上で、ブロッククリアランス全体への力発揮とどのように関係するか、詳細な検討はなされていない。本章では、短距離走スタートにおける力発揮について、その測定環境を整備し、得られたデータを先行研究におけるデータと照らし合わせることで、測定環境および方法の妥当性を確認する。

2-2. 方法

2-2-1. 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する男子短距離選手 8 名とした。被験者の身長、体重、競技歴及び 100m 走の最高記録は Table 2-1 に示した。なお、被験者には実験前に研究の目的、実験方法及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。

Table 2-1 被験者の身体特性

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	競技歴 (yrs)	100m 走の自己記録 (s)
A	171.1	66.9	9	10.73
B	174.5	67.3	6	10.76
C	177.0	77.7	10	11.02
D	169.0	66.1	7	10.52
E	180.0	73.0	13	10.72
F	174.0	70.1	13	11.12
G	180.0	75.3	13	10.70
H	172.4	59.7	10	10.71
平均	174.8	69.5	10.1	10.79
標準偏差	4.0	5.8	2.7	0.19

2-2-2. 実験方法

1) 測定機器の設定

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, テック技販社製) 上にそれぞれボルトで完全に固定した (Fig.2-1 参照, ①と②が該当)。左右のフォースプレート上に固定した左右のブロック間の距離は、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 3.5cm 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。

また、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 (Fig.2-1 参照, ③が該当)。さらに、本研究ではスタート後の第 1 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 (Fig.2-1 参照, ④が該当)。

これらのフォースプレートの軸設定は、Fig.2-2 に示す通りである。

2) 実験試技

被験者には、スターティングブロックからのスタートダッシュを行わせた (Fig.2-3)。その際、被験者には競技会の意識でスタートするように指示した。試技前にはフォースプレートの位置を調節し、各選手の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。試技は 3~4 本とし、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。各試技の後ブロックと前ブロックに加えられた力、「Set」時に手で支える力及び第 1 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。なお、被験者のスタートダッシュの合図には 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を収録する際の外部トリガーとしても用いた。

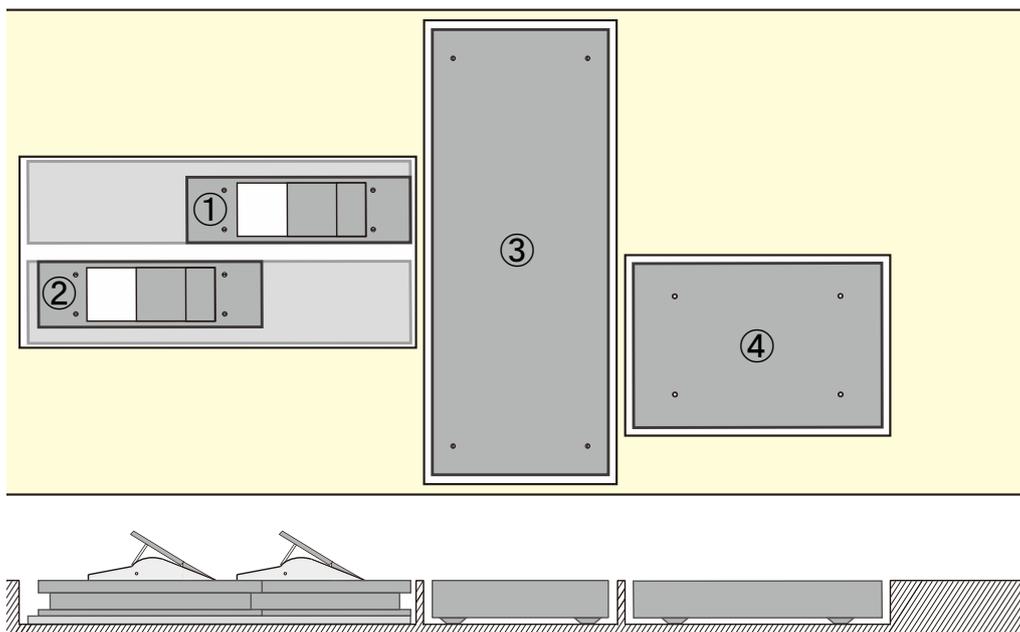


Fig.2-1 各フォースプレートの配置設定

Start dash

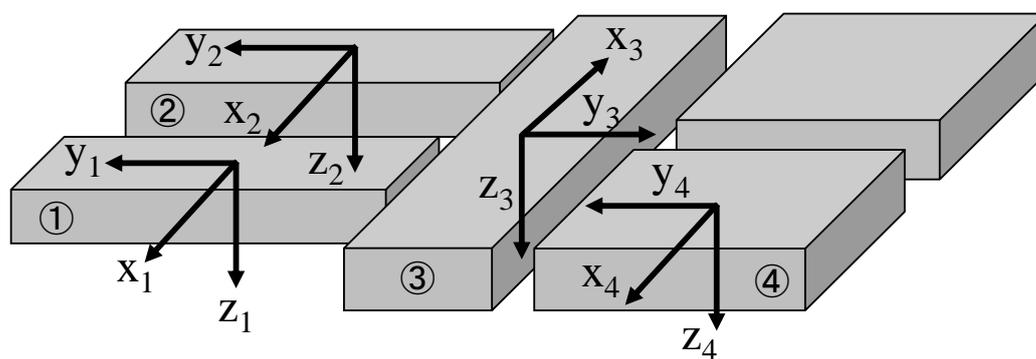
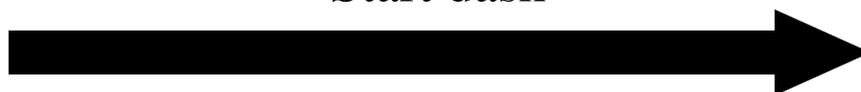


Fig.2-2 各フォースプレートの軸設定



Fig.2-3 実験試技

2-2-3. 試技分析

本研究では、測定したスタートの中で被験者の内省が最も良かった試技を分析対象とした。分析は、スタート音に反応してから第1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における力発揮様態を分析した。

収録された各試技における前後のブロックに加えられた力と Set 時に手で支える力、第1歩目で加えられた力の時系列データを用いて、以下の分析項目を算出した。

①スタート音が鳴った時点を基準とした力の時間変化

スタート音が鳴った時点を基準として、前後のブロックに加えられた力と Set 時に手で支える力、第1歩目で加えられた力の時間変化を水平成分と鉛直成分に分けてそれぞれ示した。また、各ブロックについては、加えられた力の大きさ（水平成分と鉛直成分の力の合ベクトルの絶対値）の時間変化も算出した。

②Set 時の手にかかる力と前後のブロックへの荷重 (N/kg)

Set 時に手で支える力について、フォースプレートから算出した（以下、手で支える力（水平成分： FA_h 、鉛直成分： FA_v ）と略す）。また Set 時の前後のブロックへの荷重について、フォースプレートから算出した（以下、前ブロックへの荷重（水平成分： LF_h 、鉛直成分： LF_v ）および後ブロックへの荷重（水平成分： LR_h 、鉛直成分： LR_v ）とする）。また、手で支える力の鉛直成分（ FA_v ）と前ブロックへの荷重の鉛直成分（ LF_v ）、後ブロックへの荷重の鉛直成分（ LR_v ）から、Set 時の構えにおける荷重配分もそれぞれ算出した。

③前後のブロックと第1歩目に加えられた力の最大値 (N/kg)

前後のブロックおよび第1歩目の接地中に加えられた力の水平成分と鉛直成分の最大値について、それぞれフォースプレートから算出した（以下、前ブロックへの最大力（水平成分 PFF_h 、鉛直成分 PFF_v ）、後ブロックへの最大力（水平成分 PFR_h 、鉛直成分 PFR_v ）、第1歩目での最大力（水平成分 $PF1_h$ 、鉛直成分 $PF1_v$ ）と略す）。また、これらに加えて、前ブロックと後ブロックについては、加えられた力の最大値（以下、前ブロックへの力の最大値（ PFF_{cv} ）、後ブロックへの力の最大値（ PFR_{cv} ）と略す）も求めた。

④前後のブロックと第1歩目に力が加えられた時間および滞空時間 (s)

Set の構え時に各ブロックに加わる水平成分と鉛直成分の合成力を基準（Baseline）とした。そして、スタート音が鳴って以降、合成力が Baseline を 100%とした時の 105%を上回った時点をブロックに力が加えられ始めた時点とした。また、ブロックに力が加えられ始めた時点から足がブロックを離地するまでの時間を前後のブロック別にそれぞれ求め、ブロックに力が加えられた時間とした（以下、後ブロック時間 t_1 および前ブロック時間 t_2 と略す、Fig.2-4 参照）。また、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 t_3 と略す）も求めた。これらの分析項目は Čoh et al. (1998) や Fortier et al. (2005) の報告を参考に算出した。

さらに、ブロッククリアランス（前ブロックを離地）してから、第 1 歩目を接地するまでに要した時間（以下、滞空時間 t_4 と略す）、第 1 歩目を接地してから離地するまでの時間（以下、第 1 歩目の接地時間 t_5 と略す）についても、それぞれ算出した。

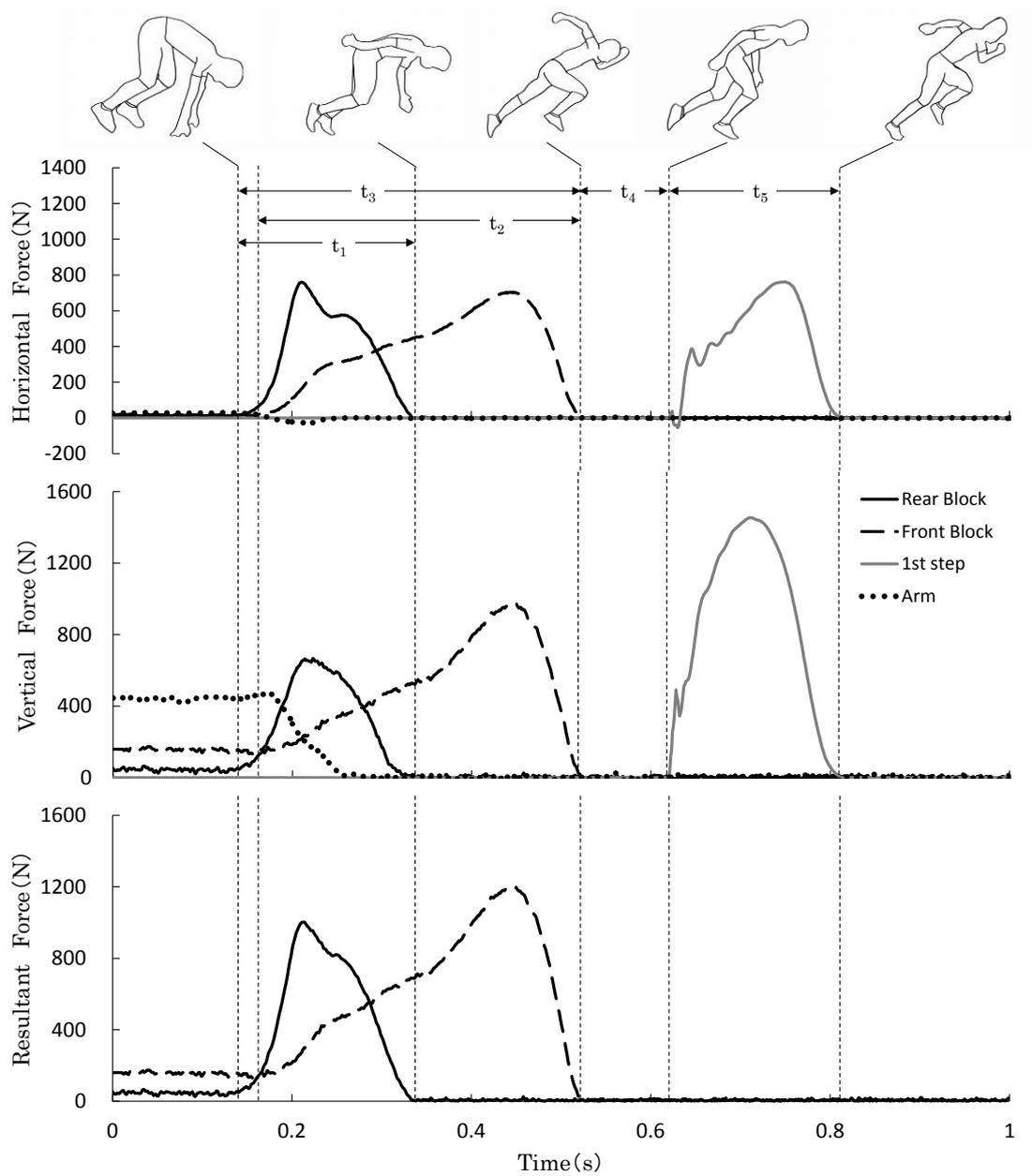


Fig.2-4 本研究における時間に関する分析項目の定義

(t_1 : 後ブロック時間, t_2 : 前ブロック時間, t_3 : ブロッククリアランスタイム,
 t_4 : 滞空時間, t_5 : 第1歩目の接地時間)

2-3. 結果と考察

2-3-1. 号砲から第1歩目離地までのスタート中に加えられた力の時間変化

スタート音が鳴ってから第1歩目離地までのスタート中に加えられた力の時間変化の一例として、Fig.2-5～Fig.2-7に被験者3名分の時間変化をそれぞれ示す。図の上段がスタート音が鳴ってから第1歩目離地までのスタート中に加えられた力の水平成分，中段はスタート音が鳴ってから第1歩目離地までのスタート中に加えられた力の鉛直成分，下段はスターティングブロックに加えられた力の大きさを前後のブロック別に示している。前後のブロックともに，被験者によって力の時間変化パターンは異なっていることがわかる。前後のブロック別にみても，まず，後ブロックでは，力の時間変化について，力が加えられ始めてから最大値に至るまで単調に増加し，全体的に一峰性の波形となっていた。一方，加えられた力の最大値の大きさは選手によって大きく異なっていることがわかる。Payne and Blader (1970) はスターティングブロックに加えられた力の時間変化は選手に特有のものであったことを報告している。また，Payne and Blader (1971) はスターティングブロックに加えられる力について，後ブロックに加えられた力には個人差があり，力の最大値が大きい者ほどよいスタートをしていると報告している。Fig.2-5～Fig.2-7で示されるように，加えられた力の最大値に個人差があることは本研究の結果と一致するものの，最大値が大きいことがよいスタートをしているかは，本研究の結果からは判別できない。本研究の結果では，後ブロックに加えられた力の最大値が大きいと，力の立ち上がり早く，ブロックから離れるのも早いようであり，Payne and Blader (1971) が報告したよいスタートとは，このように大きな力を加え，かつ素早くブロックから離れるスタートのことなのかもしれない。また，このことにはブロッククリアランスにおける後足の引き付け方の違いが影響しているものと推察される。Harland and Steele (1997) は，Setの構えから疾走動作に早く移るためには，できる限り早く後足を前方へ引き上げなければならないと，その際に後ブロックを押した反作用で足を引き上げる方法と，後ブロックを押さずに後足を引きつけることで足を引き上げる方法があるとしている。これらの技法のうち，どちらを用いるかは選手によって異なることが先行研究（西内，1979；片尾，1973）で報告されていることから，本研究で対象とした選手の中でも後足の引き付け技法が選手によって異なったために，加えられた力の最大値が異なったものと推察される。

一方，前ブロックでは，加えられた力の最大値よりも力の時間変化の方が被験者によって異なっており，特に後ブロックに力が加えられている間の時間変化が，被験者によって異なっていることがわかる。前ブロックについては，後ブロックよりも接触している時間

が長く、前足がブロックに加える力によって身体の加速の大部分を生み出すことから、前ブロックに加えられる力は、そのピーク値よりも加えられる力の時間変化の方が重要であるとされている (Payne and Blader, 1971)。また、指導書 (エッカー, 1979) によると、短距離走のスタートダッシュでは前ブロックに作用させる力が強いほど、ブロックから跳ね返る反発力が強くなり速いスタートができることとされている。本研究では、被験者 8 名の力の時間変化から、①力が加えられ始めてから最大値に至るまで単調に増大するパターン (例: 被験者 A) と、②力が加えられ始めてから一旦小さなピークを迎えた後に力が減少し、その後は最大値に至るまで力が増大し続けるパターン (例: 被験者 E)、③力が加えられ始めるタイミングと力の大きさが後ブロックとほぼ同じで、小さなピークを迎えた後はほとんど減少せずに最大値に至るまで増大し続けるパターン (例: 被験者 H) の、大きく分けて 3 種類の力の時間変化が確認できた。このことから、加えられた力の時間変化では、後ブロックに比べて前ブロックの方が個人差の現れ方が大きいものと推察された。

2-3-2. Set 時の手にかかる力と前後のブロックへの荷重

Table 2-2 に被験者 8 名の Set 時の手にかかる力と前後のブロックへの荷重を示す。また、これらの平均値および標準偏差は、手で支える力については、水平成分 (FA_h): 33.21 ± 30.12 N, 鉛直成分 (FA_v): 513.33 ± 44.82 N であった。前ブロックへの荷重については、水平成分 (LF_h): 18.97 ± 18.20 N, 鉛直成分 (LF_v): 104.82 ± 60.33 N であった。後ブロックへの荷重については、水平成分 (LR_h): 13.67 ± 16.52 N, 鉛直成分 (LR_v): 81.64 ± 27.83 N であった。このうち、荷重の水平成分については、Harland and Steele (1997) によると、ブロッククリアランス中により強力な求心性収縮を行うための「Pre-Tention」(Guissard et al., 1992) とされ、男子一流選手を対象に測定した際には、前ブロックでは 20-88 N, 後ブロックでは 80-102 N 程度 (Coppennolle et al., 1989) であったと報告されている。本研究においても、先行研究の報告にある値と同程度の値となる傾向であった。

一方、荷重の鉛直成分については、参考になる先行研究が荷重配分としての値を報告していたことから、Table 2-3 に示した、被験者 8 名の Set 時の構えにおける荷重配分から検討する。野原ほか (1977) によると、ブロック配置によって荷重配分は異なるものの、男子学生選手を対象とした測定において、両腕では 50.5-65.1%, 前足では 29.8%-41.9%, 後足では 5.1%-7.6% であったことが報告されている。本研究で対象とした被験者の平均値および標準偏差は、両腕が 75.7 ± 7.7 %, 前足が 15.1 ± 8.4 %, 後足が 12.0 ± 3.9 % であった。野原ほか (1977) の報告と比べると、本研究で対象とした被験者は両腕にかかる荷重配分

が高く、前後の足の荷重配分にあまり差がみられない傾向にあることがわかる。

2-3-3. 前後のブロックと第1歩目に加えられた力の最大値

Table2-4 に被験者 8 名の前後のブロックと第 1 歩目に加えられた力の最大値を示す。また、これらの平均値と標準偏差は、前ブロックへの最大力では、力の最大値 (PFF_{cv}) : 1289.58±192.75 N, 水平成分 (PFF_h) : 818.80±112.45 N, 鉛直成分 (PFF_v) : 1000.77±163.43 N であった。後ブロックへの最大力では、力の最大値 (PFR_{cv}) : 1023.33±239.88 N, 水平成分 (PFR_h) : 773.81±173.47 N, 鉛直成分 (PFR_v) : 685.10±177.60 N であった。第 1 歩目での最大力については、水平成分 (PF1_h) : 748.81±125.35 N, 鉛直成分 (PF1_v) : 1362.64±224.91 N であった。先行研究では前後のブロックに分けた上で成分ごとに加えられた力の最大値について報告しているものは見当たらなかったため、前後のブロックに分けて測定し、加えられた力の最大値について報告しているものとの比較から検討する。Harland and Steele (1997) によると、熟練した男子選手では前ブロックへの最大力は 874-1230N であり、後ブロックでは 535-1785N であったことが報告されている。また、Fortier et al. (2005) の報告では、一流男子選手では前ブロックへの最大力は 1685±490N であり、後ブロックでは 1430±431N であったことが報告されている。本研究で対象とした被験者は、Fortier et al. (2005) の報告にあった値とは若干の差があったものの、Harland and Steele (1997) の報告にあった値の範囲と同程度であった。したがって、本研究で対象とした選手は、Harland and Steele (1997) の報告で対象としていた熟練した選手と同程度の最大力が前後のブロックに加えられていたと考えられる。また、第 1 歩目での最大力については、Mero (1988) の報告では熟練した男子選手を測定した際、水平成分が 788±96 N, 鉛直成分が 739±194 N であったことが報告されている。水平成分については、本研究においても同程度の値となっていた。一方、鉛直成分については、本研究では体重分を差し引かず算出しており、体重分を考慮していた Mero (1988) の報告の値とは単純に比較できない。ただ、Mero (1988) の報告で対象としていた被験者の平均体重は 73.7kg≒722.3 N であったことから、本研究の算出方法に合わせると約 1500 N になり、本研究と同程度の値となっていた。このことから、本研究で対象とした被験者は、水平・鉛直成分ともに、Mero (1988) の報告で対象としていた熟練した男子選手と同程度の力発揮であったものと推察される。

2-3-4. 前後のブロックと第1歩目に力が加えられた時間および滞空時間

Table2-5 に被験者 8 名の前後のブロックと第 1 歩目に力が加えられた時間および滞空時

間を示す。これらの平均値と標準偏差は、後ブロック時間 (t_1) が 0.201 ± 0.033 s, 前ブロック時間 (t_2) が 0.353 ± 0.022 s, ブロッククリアランスタイム (t_3) が 0.365 ± 0.027 s, 滞空時間 (t_4) が 0.070 ± 0.022 s, 第1歩目の接地時間 (t_5) が 0.202 ± 0.021 s であった。

Harland and Steele (1997) によると、熟練した男子選手では後ブロック時間は 0.120 - 0.180 s, 前ブロック時間は 0.310 - 0.370 s であったことが報告されている。また、ブロッククリアランスタイムについては、Mero (1988) によると、熟練した男子選手を測定した際は 0.342 ± 0.022 s であったことが報告されている。滞空時間については、Harland and Steele (1997) によると、一流男子選手を測定した際は 0.060 - 0.070 s であったことが報告されている。第1歩目の接地時間については、Harland and Steele (1997) によると、一流男子選手を測定した際は 0.160 - 0.194 s であったことが報告されている。これらの先行研究と本研究の被験者を比較すると、本研究の被験者は後ブロック時間が若干長い傾向にあったものの、その他の項目についてはほぼ同程度の範囲に値があったといえる。

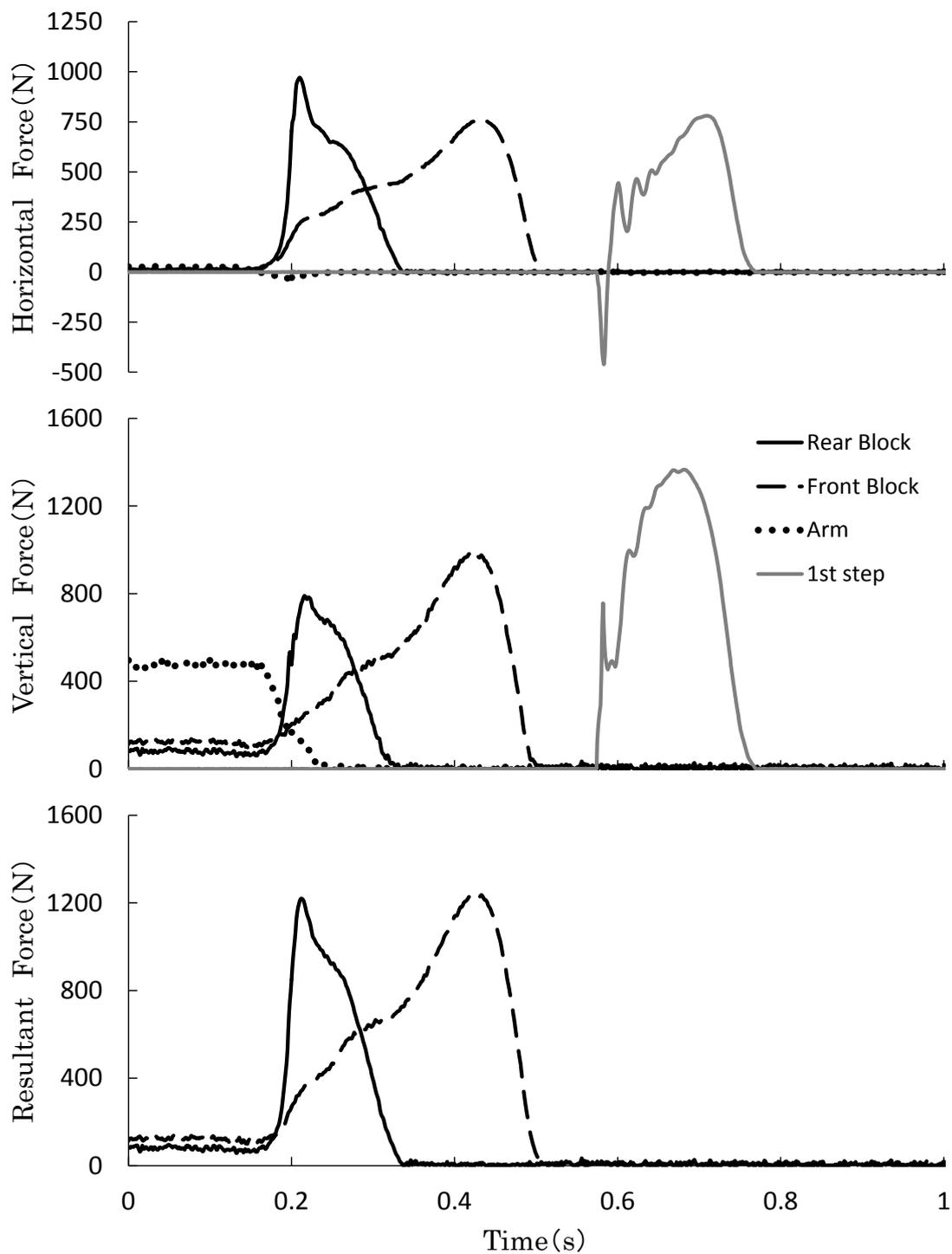


Fig.2-5 号砲から第1歩目離地までのスタート中に加えられた時間変化 (被験者 A)

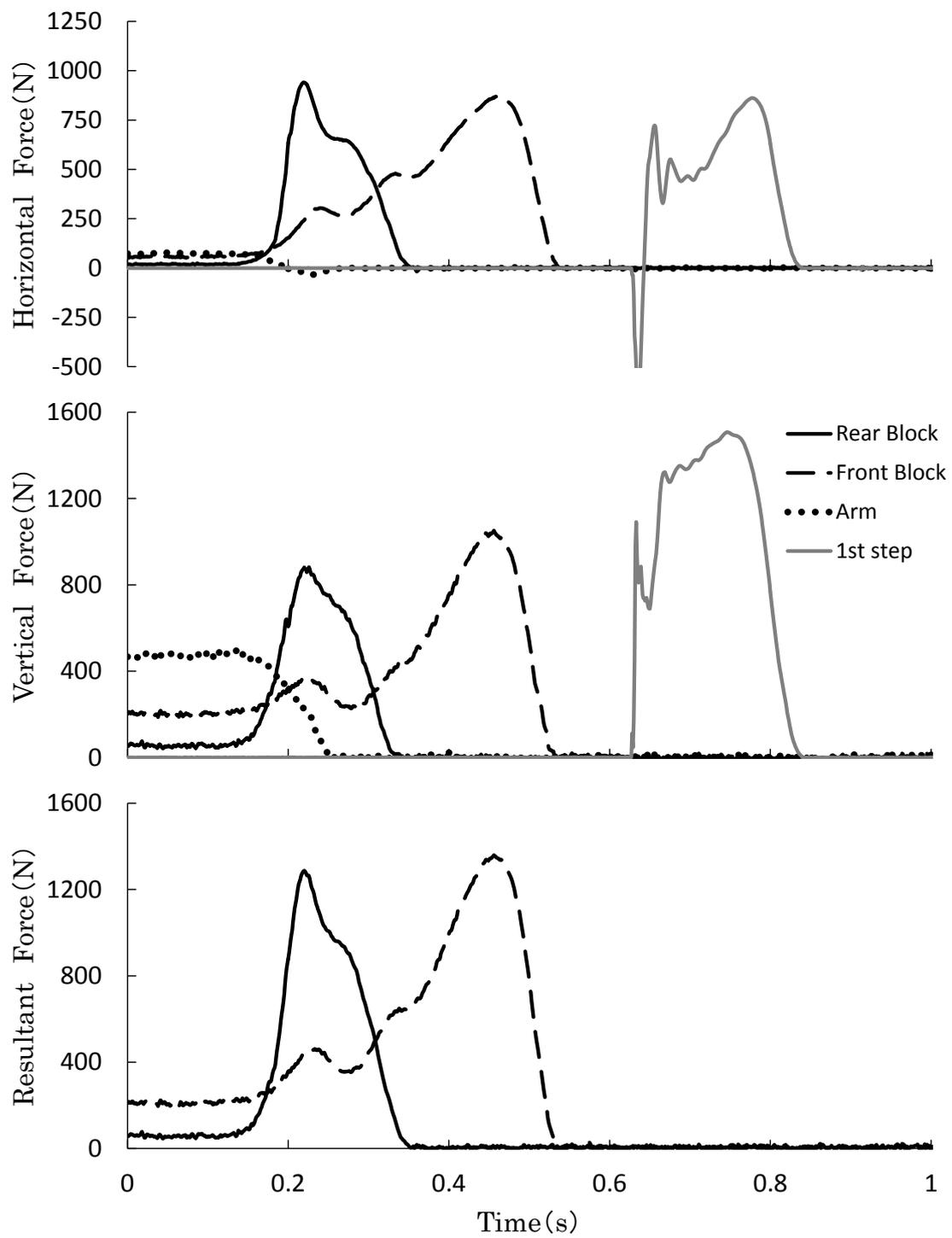


Fig.2-6 号砲から第1歩目離地までのスタート中に加えられた時間変化 (被験者 E)

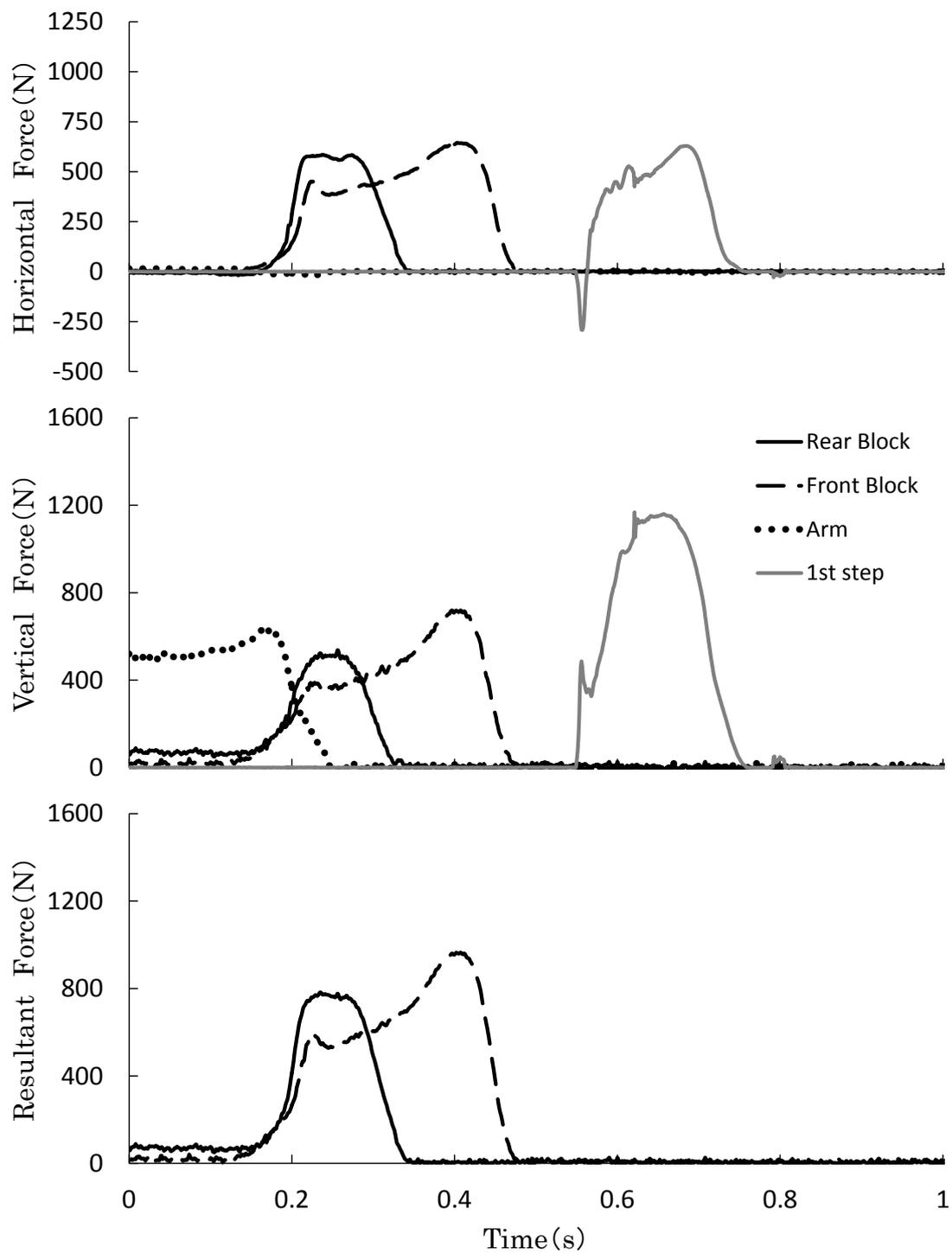


Fig.2-7 号砲から第1歩目離地までのスタート中に加えられた時間変化 (被験者 C)

Table 2-2 Set 時の手にかかる力と前後のブロックへの荷重

被験者	FA _h (N)	FA _v (N)	LF _h (N)	LF _v (N)	LR _h (N)	LR _v (N)
A	26.81	475.55	13.09	122.78	9.00	82.31
B	-3.61	484.91	8.70	138.92	12.38	49.69
C	30.99	571.03	26.36	116.84	15.13	106.29
D	56.07	495.76	17.73	49.05	44.74	117.48
E	73.42	471.93	56.63	203.04	18.98	55.53
F	-0.61	593.18	-0.69	51.88	-7.24	55.32
G	68.98	503.58	26.94	136.57	22.22	114.04
H	13.61	510.69	2.99	19.48	-5.86	72.49
平均値	33.21	513.33	18.97	104.82	13.67	81.64
標準偏差	30.12	44.82	18.20	60.33	16.52	27.83

Table 2-3 Set 時の構えにおける荷重配分

被験者	両腕 (%)	前足 (%)	後足 (%)
A	72.5	18.7	12.6
B	73.5	21.1	7.5
C	75.0	15.3	14.0
D	76.5	7.6	18.1
E	66.0	28.4	7.8
F	86.3	7.6	8.1
G	68.2	18.5	15.5
H	87.3	3.3	12.4
平均値	75.7	15.1	12.0
標準偏差	7.7	8.4	3.9

Table 2-4 前後のブロックと第1歩目に加えられた力の最大値

被験者	PPF _h (N)	PPF _v (N)	PPF _{cv} (N)	PFR _h (N)	PFR _v (N)	PFR _{cv} (N)	PF1 _h (N)	PF1 _v (N)
A	760.27	986.95	1243.39	971.67	790.02	1220.28	780.38	1366.40
B	810.69	937.98	1231.95	789.07	637.14	1001.69	587.77	1134.56
C	933.52	1232.02	1540.93	974.91	968.39	1355.74	899.24	1721.58
D	695.91	852.07	1100.14	720.47	653.03	968.95	614.03	1245.94
E	870.50	1052.04	1359.77	941.55	881.79	1287.84	862.15	1508.21
F	964.47	1107.02	1460.37	546.88	475.38	720.10	745.33	1154.15
G	870.14	1119.01	1415.48	660.61	538.16	849.40	872.03	1601.87
H	644.93	719.09	964.60	585.34	536.95	782.68	629.58	1168.41
平均値	818.80	1000.77	1289.58	773.81	685.10	1023.33	748.81	1362.64
標準偏差	112.45	163.43	192.75	173.47	177.60	239.88	125.35	224.91

Table 2-5 前後のブロックと第1歩目に力が加えられた時間および滞空時間

被験者	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)
A	0.164	0.333	0.334	0.070	0.193
B	0.187	0.328	0.357	0.042	0.229
C	0.199	0.345	0.361	0.089	0.179
D	0.274	0.391	0.414	0.073	0.188
E	0.213	0.383	0.399	0.092	0.211
F	0.188	0.345	0.351	0.032	0.233
G	0.201	0.353	0.353	0.088	0.177
H	0.181	0.347	0.347	0.072	0.207
平均値	0.201	0.353	0.365	0.070	0.202
標準偏差	0.033	0.022	0.027	0.022	0.021

2-4. 本章のまとめ

本研究では、クラウチングスタートにおいて、スタート音が鳴ってからスターティングブロックを離地するまでの間にスターティングブロックに加えられた力を前後のブロック別にフォースプレートを用いて行った。また、第1歩目が接地してから離地するまでの間の地面反力の測定も別にフォースプレートを用いて行った。そこから、短距離走のクラウチングスタートにおける第1歩目離地までの力の発揮について分析を行った。本研究によって得られた結果から以下のことが示唆された。

- 1) 後ブロックに加えられた力は、被験者によって力の大きさは異なるものの、力の時間変化に大きな違いは見られなかった。このことには、ブロッククリアランスにおける後足の引き付け方が選手によって異なっていることが影響していることが推察された。
- 2) 前ブロックに加えられた力の時間変化には被験者によって違いが見られた。このことには、力が加えられる時間が長いことにより、加えられる力の最大値よりも力の時間変化の方が加速に影響するため、後ブロックに比べて前ブロックの方が力の時間変化に個人差が現れたものと推察された。
- 3) スターティングブロックに加えられた力と第1歩目が接地してから離地するまでの間の地面反力に関する分析項目について、本研究で整備した測定環境で計測した値および対象とした被験者と、先行研究で報告された値および対象とされた被験者とを比較した結果、両方で力発揮は大きく異なっていないかった。

以上のことから、本研究で設定した測定環境は、クラウチングスタートにおける力発揮を測定する上で、正確に測定ができる環境にあるものといえる。また、クラウチングスタートにおける力発揮に関する先行研究において、特にスターティングブロックに加えられた力の測定では、前後のブロック別に計測できない、もしくは、加えられた力の水平成分と鉛直成分のそれぞれを計測することができないかのいずれかであった。これらを同時に満たす測定環境はこれまでの先行研究にはなく、本研究で整備した測定環境でクラウチングスタートの力発揮と動作を検討することは、これまでの測定手法に比べて、スタートを一連の流れとして分析および検討することを可能にするものであるといえる。

第3章 研究Ⅱ

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とブロッククリアランスの関係

3-1. 本章の目的

陸上競技における短距離走のスタートダッシュでは、選手は前後のスターティングブロックに力を加えることで、静止した身体を前方に押し出し、第1歩目の接地を迎える。したがって、スタートダッシュ時においてスターティングブロックに加えられる力を検討することは、静止状態からの速度獲得と第1歩目への踏み出し動作を考える上で重要である。しかし、前後それぞれのブロックやスターティングブロック全体への力発揮はどのような関係にあるのか、また、ブロッククリアランスにおける力発揮とブロッククリアランス後の第1歩目の力発揮の関係については、ほとんど議論されておらず、詳細な検討が必要である。

本章では、短距離走クラウチングスタートにおいて前後のブロック及びスターティングブロック全体に加えられた力積をもとに、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との関係について明らかにすることを目的とした。

3-2. 方法

3-2-1. 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する男子短距離選手 19 名（身長； 172.8 ± 5.3 cm，体重； 64.4 ± 4.5 kg，100m 走自己記録； 11.18 ± 0.30 秒：記録の範囲は 10.62～11.75 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。

3-2-2. 実験方法

1) 測定機器の設定

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左右のブロックを固定するフレームを取り外し，左右のブロックを独立させて 2 台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（Fig.3-1 参照，①と②が該当）。左右のフォースプレート間は，フレーム幅と同じ距離に設定した。左右のブロックは，それぞれフォースプレートに取り付けたまま 3.5cm 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。また，本研究ではスタート後の第 1 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 社製）を用いて測定を行った（Fig.3-1 参照，③が該当）。

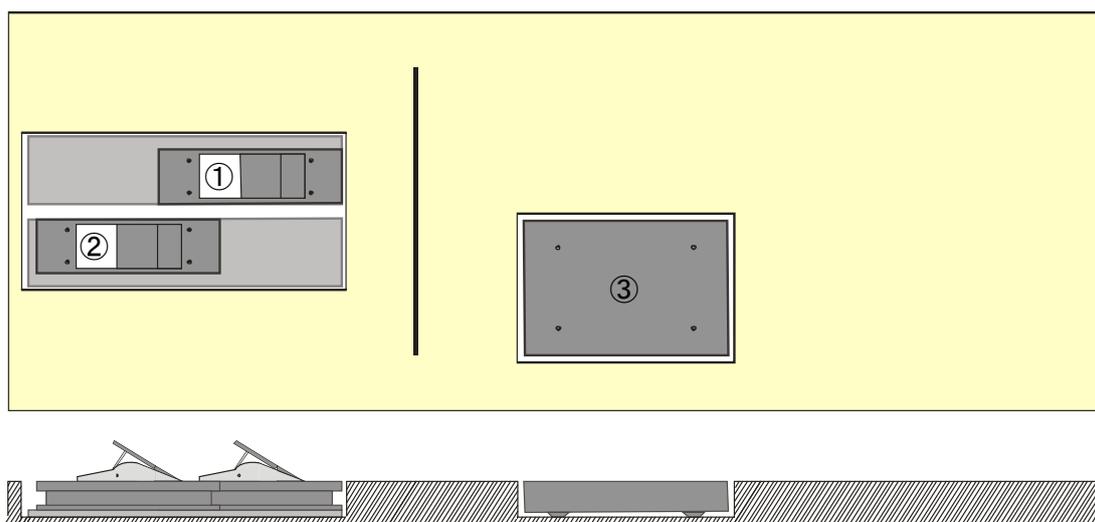


Fig.3-1 各フォースプレートの配置設定

2) 実験試技

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スタートダッシュを行わせた。その際、被験者には第4歩目までは競技会の意識でスタートするように指示し、7m程度以上を疾走させた。また、試技を行う前に、普段と同じブロック配置となるようフォースプレートの位置を調節した。なお、各ブロックの角度および足の着き方については、普段と同様の設定にするように被験者に指示した。試技回数は10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。被験者の各試技における後ブロックと前ブロックに加えられた力および第1歩目の地面反力を測定した。3つのフォースプレートにおけるサンプリングレートは全て1kHzであり、被験者のスタートダッシュの合図には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を収録する際の外部トリガーとしても用いた。

3-2-3. 試技分析

本研究では、前後のブロックに加えられた力及び第1歩目の地面反力について、スタート音が鳴る0.1秒前から第1歩目を離地するまでを分析対象とした。

1) 分析項目

①力積 (N・s/kg)

ブロッククリアランス中に前後のブロックに加えられる力の向きは、主に進行方向と逆方向及び鉛直下向き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及び鉛直成分を前後のブロック別にそれぞれ求めた（以下、「前ブロックへの力積（水平成分： I_{Fh} 、鉛直成分： I_{Fv} ）」と「後ブロックへの力積（水平成分： I_{Rh} 、鉛直成分： I_{Rv} ）」と略す）。そして、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及び鉛直成分をそれぞれ算出した（以下、「スターティングブロックへの力積（水平成分： I_h 、鉛直成分： I_v ）」と略す）。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時に前ブロック及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、スタート音が鳴って以降、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。

また、第1歩目については、第1歩目の接地中に加えられた力積を水平成分及び鉛直成分にそれぞれ分けて算出した（以下、「第1歩目の力積（水平成分： I_{1Gh} 、鉛直成分： I_{1Gv} ）」と略す）。なお、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力を加えた時間 (s)

Set の構え時における水平成分と鉛直成分の合成力を基準 (Baseline) とし、スタート音が鳴って以降、合成力が Baseline から 5% 上回った時点 (ブロックに力が加えられ始めた時点) からブロックが離地するまでの時間を前後のブロック別にそれぞれ求め、ブロックに力が加えられた時間とした (以下、「後ブロック時間: t_1 」および「前ブロック時間: t_2 」と略す, Fig.3-2 参照)。また、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: t_3 」と略す) も求めた。なお、これらの分析項目は Čoh et al. (1998) や Fortier et al. (2005) の報告を参考に算出した。さらに、第 1 歩目については、第 1 歩目を接地してから離地するまでの時間を求めた (以下、「第 1 歩目の接地時間: t_5 」と略す)。

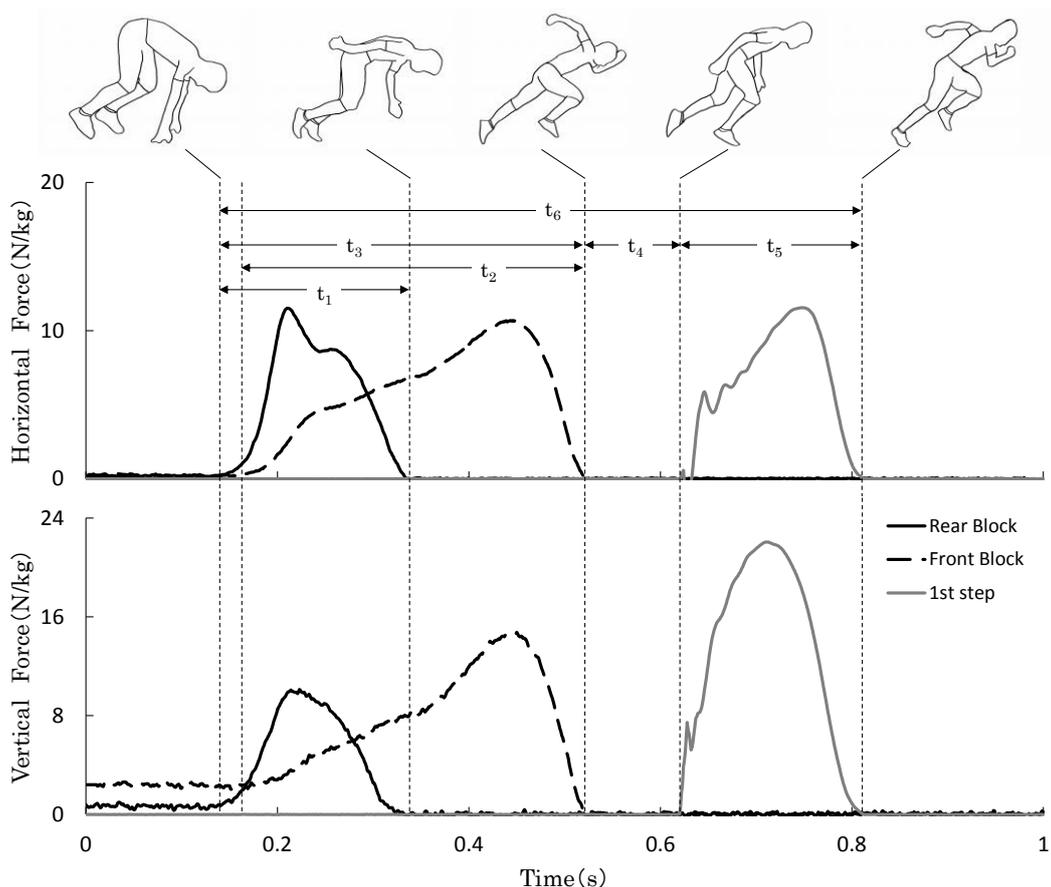


Fig.3-2 時間に関する分析項目の定義

(t_1 : 後ブロック時間, t_2 : 前ブロック時間, t_3 : ブロッククリアランスタイム, t_4 : 滞空時間, t_5 : 第 1 歩目の接地時間, t_6 : 第 1 歩目離地までの時間)

③滞空時間 (s)

ブロッククリアランス（前ブロックを離地）してから，第 1 歩目を接地するまでに要した時間を滞空時間： t_4 として求めた。

④第 1 歩目を離地するまでの時間 (s)

前後どちらかのブロックに力が加えられ始めてから，第 1 歩目を離地するまでの時間を求めた（以下，「第 1 歩目離地までの時間： t_6 」と略す）。

⑤平均力 (N/kg)

ブロッククリアランス中に加えられた力積（①を参照）と力を加えた時間（②を参照）を用いて，ブロッククリアランス中に加えられた力の平均値を平均力（以下，「後ブロック平均力」，「前ブロック平均力」および「スターティングブロック平均力」と略す）として算出した。

⑥前後のブロック配置 (cm)

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。

2) 統計処理

各試技の分析により得られた各データは，10 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について，それぞれピアソンの積率相関係数を用いて検討し，有意水準を 5%未満とした。また，各被験者の代表値を用いた平均値の比較には，対応のある t 検定を用いて，有意水準 5%で検定を行った。

3-3. 結果

Table 3-1 に、ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分と鉛直成分の平均値と標準偏差を示す。スターティングブロックへの力積の水平成分 (I_h) と鉛直成分 (I_v) との間には有意な差が認められ、水平成分 (I_h) の方が有意に大きい値を示していた ($p<0.01$)。また、後ブロックおよび前ブロックへの力積においても、水平成分 (I_{Rh} と I_{Fh}) の方が鉛直成分 (I_{Rv} と I_{Fv}) に比べて、それぞれ有意に大きい値を示していた ($p<0.01$)。

Table 3-2 にブロッククリアランス中に前後のブロックに加えられた力積の水平成分の平均値と標準偏差、最大値および最小値を示す。なお、最大値および最小値は、対象としたそれぞれの被験者ごとの値である。後ブロックへの力積 (I_{Rh}) と前ブロックへの力積 (I_{Fh}) との間には有意な差が認められ ($p<0.01$)、前ブロックへの力積 (I_{Fh}) の方が有意に大きい値を示していた。また、最大値と最小値ともに前ブロックの方が後ブロックよりも加えられた力積は大きかった。さらに、後ブロックへの力積の最大値は、前ブロックへの力積の最小値を上回ることはなかった。

Fig.3-3 に、ブロッククリアランス中に加えられた各水平成分力積の関係を示す。後ブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh}) 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 ($r=0.473$, $p<0.05$) が認められた。しかし、前ブロックへの力積の水平成分 (I_{Fh}) 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、有意な相関関係は認められなかった。

ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス中に力が加えられた時間との相関係数を Table 3-3 に示す。後ブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh}) と後ブロック時間 (t_1) との間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.569$, $p<0.05$)。また、スターティングブロックへの力積の水平成分 (I_h) と後ブロック時間 (t_1) 及びブロッククリアランスタイム (t_3) との間にも有意な正の相関関係が認められた (後ブロック時間 : $r=0.467$, $p<0.05$; ブロッククリアランスタイム : $r=0.497$, $p<0.05$)。さらに、有意な相関関係ではなかったものの、スターティングブロックへの力積の水平成分 (I_h) と前ブロック時間 (t_2) との間には有意となる傾向 (力積 : $r=0.448$, $p=0.055$) がみられた。その他の項目間の関係については、いずれも有意な相関関係は認められなかった。

ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス中の平均力との相関係数を Table 3-4 に示す。後ブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh}) と後ブロック平均力および前ブロック平均力との間に有意な相関関係が認められた (後ブロック平均力 : $r=0.819$, $p<0.01$; 前ブロック平均力 : $r=-0.708$, $p<0.01$)。また、前ブロックへの

力積の水平成分 (I_{Fh}) と後ブロック平均力および前ブロック平均力の間にもそれぞれ有意な相関関係が認められた (後ブロック平均力: $r=-0.742$, $p<0.01$; 前ブロック平均力: $r=0.637$, $p<0.01$)。一方, スタートブロックへの力積の水平成分 (I_h) と後ブロック平均力, 前ブロック平均力, スタートブロック平均力との間には, いずれも有意な相関関係は認められなかった。

ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロック配置の相関係数を Table 3-5 に示す。後ブロック, 前ブロックおよびスタートブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh} , I_{Fh} , I_h) とブロック間距離, 前距離及び後距離との間には, いずれも有意な相関関係は認められなかった。

Fig.3-4 に, ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分と第 1 歩目の力積の水平成分との関係を示した。後ブロックおよび前ブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh} , I_{Fh}) と第 1 歩目の力積の水平成分 (I_{1Gh}) との間には有意な相関関係は認められなかったが, スタートブロックへの力積の水平成分 (I_h) と第 1 歩目の力積の水平成分 (I_{1Gh}) との間には有意な負の相関関係が認められた ($r=-0.646$, $p<0.01$)。

Fig.3-5 に, ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分と第 1 歩目の力積の鉛直成分との関係を示す。後ブロック, 前ブロックおよびスタートブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh} , I_{Fh} , I_h) と第 1 歩目の力積の鉛直成分 (I_{1Gv}) との間には, いずれも有意な相関関係は認められなかった。

ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス後の各時間との相関係数を Table 3-6 に示す。後ブロックおよび前ブロックへの力積の水平成分 (I_{Rh} , I_{Fh}) と滞空時間 (t_4) との間には, 後ブロックでは正の, 前ブロックでは負の有意な相関関係が認められた (後ブロック: $r=0.560$, $p<0.05$; 前ブロック: $r=-0.643$, $p<0.01$)。その他の項目間の関係については, いずれも有意な相関関係は認められなかった。

Fig.3-6 に, ブロッククリアランス中に加えられた力積と 100m 走自己記録の関係を示す。スタートブロックへの力積の水平成分 (I_h) と 100m 走自己記録の間には有意な相関関係が認められた ($r=-0.547$, $p<0.05$)。一方, スタートブロックへの力積の鉛直成分 (I_v) と 100m 走自己記録の間には有意な相関関係は認められなかった。

Table 3-1 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分および鉛直成分の比較

	力積 (N·s/kg)	
	水平成分	鉛直成分
スターティングブロック	3.04±0.14**	2.68±0.11
後ブロック	0.92±0.24**	0.69±0.20
前ブロック	2.13±0.21**	1.99±0.21

水平>鉛直 : ** p < 0.01

Table 3-2 ブロッククリアランス中に前後のブロックに加えられた力積の水平成分の比較

	力積 (N·s/kg)	
	後ブロック (<i>I_{Rh}</i>)	前ブロック (<i>I_{Fh}</i>)
平均値	0.92±0.24	2.13±0.21**
最大値	1.34	2.63
最小値	0.38	1.78

後ブロック<前ブロック : ** p < 0.01

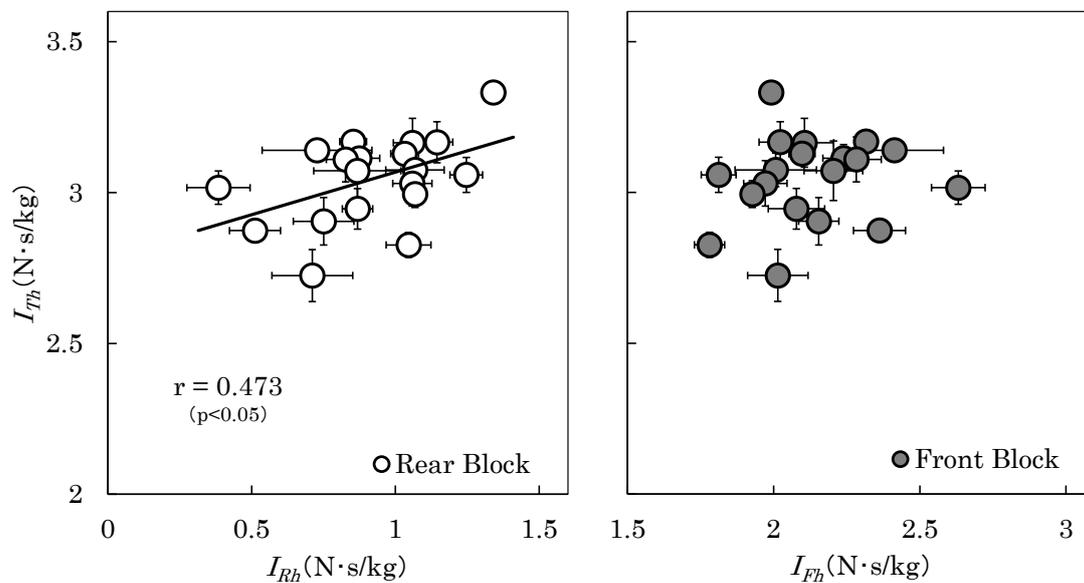


Fig.3-3 ブロッククリアランス中に加えられた各水平成分力積の関係

Table 3-3 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス中に力が加えられた時間との相関係数

加えられた力積の水平成分	後ブロック時間 (t_1)	前ブロック時間 (t_2)	ブロッククリアランス タイム (t_3)
スターティングブロック (I_h)	0.467*	0.448 [†]	0.497*
後ブロック (I_{Rh})	0.569*	0.111 ^{n.s}	0.057 ^{n.s}
前ブロック (I_{Fh})	-0.326 ^{n.s}	0.176 ^{n.s}	0.269 ^{n.s}

* $p < 0.05$, [†] $p = 0.055$, n.s. no significant

Table 3-4 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス中の平均力との相関係数

加えられた力積の水平成分	後ブロック平均力	後ブロック平均力	スターティングブロック平均力
スターティングブロック (I_h)	0.267 ^{n.s.}	-0.237 ^{n.s.}	0.005 ^{n.s.}
後ブロック (I_{Rh})	0.819 ^{**}	-0.708 ^{**}	0.199 ^{n.s.}
前ブロック (I_{Fh})	-0.742 ^{**}	0.637 ^{**}	-0.220 ^{n.s.}

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

Table 3-5 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロック配置の相関係数

加えられた力積の水平成分	ブロック間距離	前距離	後距離
スターティングブロック (I_h)	0.077 ^{n.s.}	-0.285 ^{n.s.}	-0.125 ^{n.s.}
後ブロック (I_{Rh})	-0.095 ^{n.s.}	-0.273 ^{n.s.}	-0.329 ^{n.s.}
前ブロック (I_{Fh})	0.158 ^{n.s.}	0.116 ^{n.s.}	0.286 ^{n.s.}

n.s. no significant

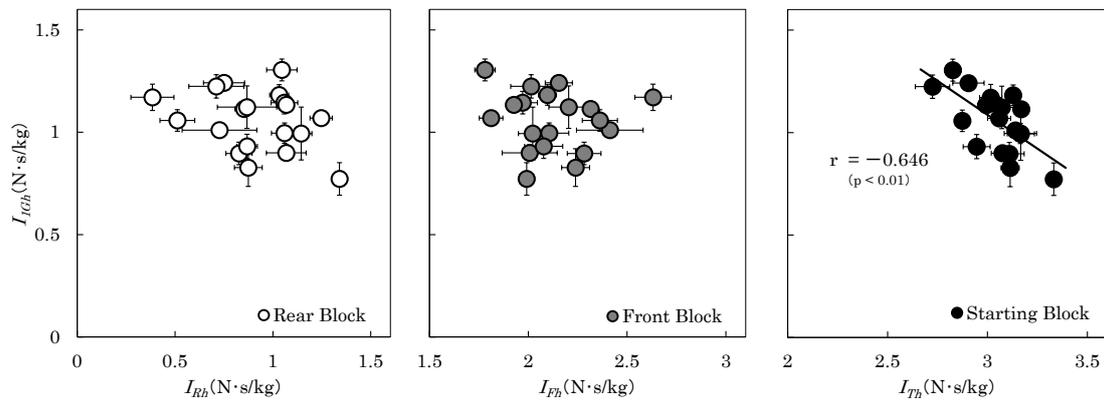


Fig.3-4 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分と第 1 歩目の力積の水平成分の関係

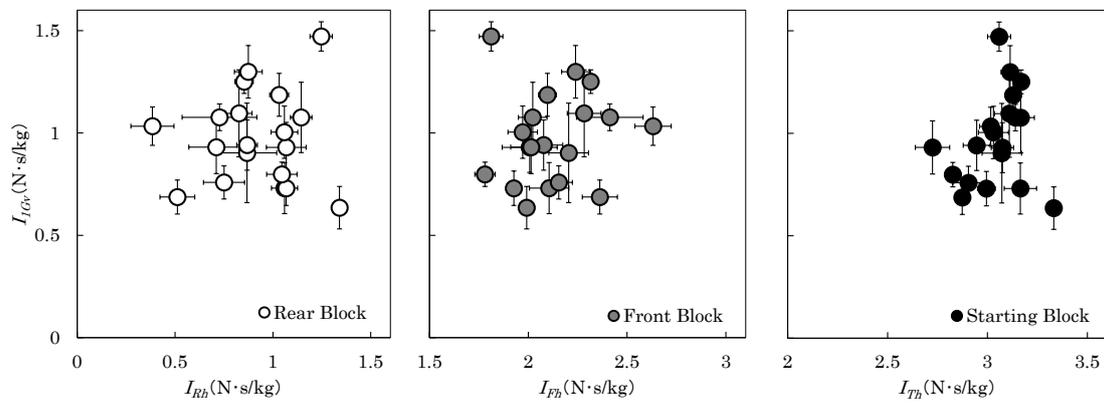


Fig.3-5 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分と第 1 歩目の力積の鉛直成分の関係

Table 3-6 ブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス後の各時間との相関係数

加えられた力積の 水平成分	滞空時間 (t_4)	第1歩目の 接地時間 (t_5)	第1歩目離地 までの時間 (t_6)
スターティングブロック (I_h)	-0.020 ^{n.s}	0.049 ^{n.s}	0.398 ^{n.s}
後ブロック (I_{Rh})	0.560 [*]	-0.261 ^{n.s}	0.170 ^{n.s}
前ブロック (I_{Fh})	-0.643 ^{**}	0.326 ^{n.s}	0.076 ^{n.s}

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

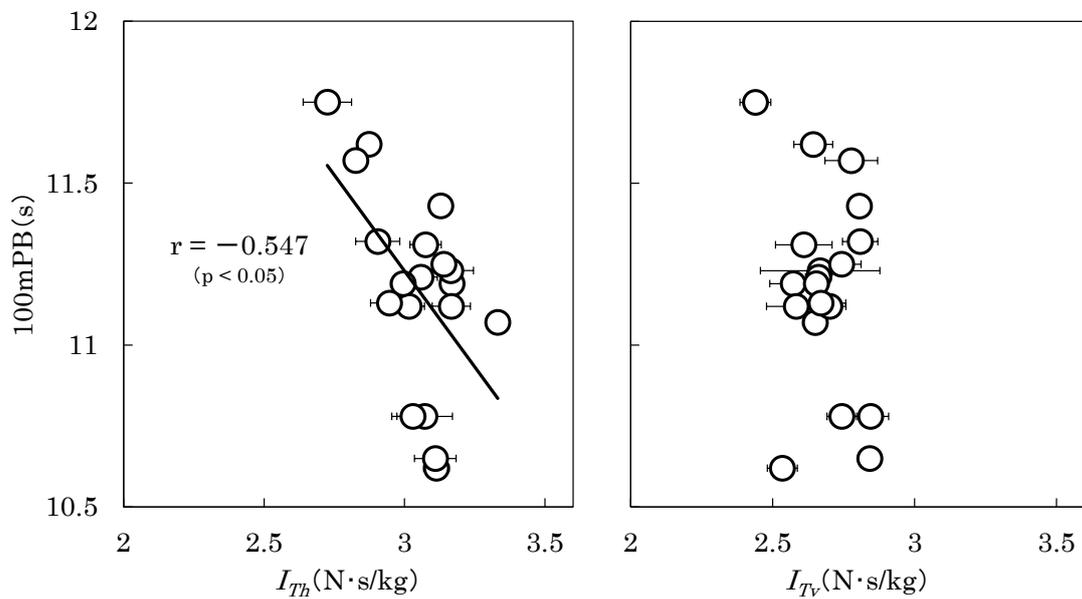


Fig.3-6 ブロッククリアランス中に加えられた力積と 100m 走自己記録の関係
(左：水平成分，右：鉛直成分)

3-4. 考察

3-4-1. スタートブロックへの力発揮成分

Table 3-1 より、スタートブロックへの力積の水平成分は鉛直成分よりも有意に大きかった。これは、後ブロックおよび前ブロックでも同様の結果であった。Baumann (1976) は、短距離走スタートにおいて、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と述べている。野原ほか (1977) も、ブロックに加えられた力の水平成分がスタートの飛び出しに大きく影響するものと捉えている。Coppenolle et al. (1990) や Čoh et al. (1998) の先行研究でも、ブロックに加えられた力の水平成分（進行方向の成分）に着目して分析を行っている。本研究の結果をみても、ブロッククリアランスにおける力発揮では水平成分は鉛直成分よりも有意に大きかった。また、Coppenolle et al. (1990) はクリアランス時点での疾走速度をスタートブロックへ加えた力積により生じたものと捉えている。これらのことを踏まえると、ブロッククリアランスにおける力発揮は水平成分の力積によって特徴づけられるものと考えられる。

3-4-2. スタートブロックに加えられた力積とブロッククリアランスの関係

Table 3-2 より、いずれの選手においても、前ブロックへの力積の水平成分は、後ブロックへの力積の水平成分より大きかった。Guissard and Duchateau (1990) の報告でも、スタートブロックへの力積に占める割合は前ブロックの方が高かったことを報告している。本研究の結果からも、スタートブロックへの力積の大きさに対する割合は前ブロックの方が高いといえる。また、スタートブロックへの力積は、クリアランス速度の大きさにほぼ直結する (Coppenolle et al., 1990) と言われている。Kistler (1934) は、スタート時の前後のブロックへの力発揮の配分から、スタート時の推進力の大部分は前脚によるものであったと報告し、Henry (1952) も、クリアランス速度には前脚の方がより貢献するとしている。しかし、前ブロックへの力積の水平成分とスタートブロックへの力積の水平成分との間には、有意な相関関係が認められなかった (Fig.3-3)。一方、後ブロックでは、スタートブロックへの力積の水平成分との間に有意な相関関係が認められた ($r=0.473$, $p<0.05$)。スタートブロックへの力積の大きさに対する割合は前ブロックの方が高いものの、後ブロックへの力積の方が、スタートブロックへの力積の大きさに影響していた。このような関係がみられた背景には、ブロッククリアランスで前後のブロックをどのように用いるかというクリアランス技法が関係しているものと考えられる。

クラウチングスタートにおけるブロッククリアランスでの力発揮に関する技術指導では、力を加える時間が長い前ブロックへの力発揮が特に重要である（エッカー，1979）とされている。一方、後ブロックについては、スタート音とともにブロックを押す方がよい（シュモリンスキー，1982；遠藤，1980）とする見解の一方で、ほとんど押さずに後足を素早く前方に引き付ける（湯浅，1976；エッカー，1979；Mach，1985）方がよいという見解もあり、指導書によってその見解は異なっている。このように異なる見解がみられることについて、Harland and Steele（1997）は、Setの構えから疾走動作に早く移るためには、できる限り早く後足を前方へ引き上げなければならず、その際に後ブロックを押した反作用で足を引き上げる方法と、後ブロック押さずに後足を引きつけることで足を引き上げる方法があるとしている。後ブロックのクリアランス技法に関しては、西内（1979）は、短距離走のスタートでは多くの選手が後ブロックを強く蹴る方法をとっていると述べているが、他方で、片尾（1973）は、スタートの際に短距離選手は出発動作と前足に意識を集中している傾向があることを報告しており、後ブロックを強く蹴ることがない選手もいる可能性を示唆している。後ブロックを押す、あるいはほとんど押さずに後足を素早く前方に引き付けるといった2つの技法について、それらを加えられた力積の大小として捉えると、本研究の被験者の後ブロックのクリアランスは、2種類の技法に明確に分かれるものではなく、被験者によってクリアランスが様々であったと考えられる。これらのことで、後ブロックへの力積の大きさの大小が被験者によって異なり、スターティングブロックへの力積の大きさの大小に影響したものと考えられる。

また、Table 3-3 よりスターティングブロックへの力積の水平成分は後ブロック時間と有意な正の相関関係（ $r=0.467$, $p<0.05$ ）であった。Guissard and Duchateau（1990）は、彼らの研究で対象とした選手達での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、Baumann（1976）の報告した値に比べて低かったのは、Baumann（1976）が対象とした選手達の方が後ブロックに力を加える時間が長かったことによるものであると述べている。これらのことを踏まえると、スターティングブロックへの力積の大小は、後ブロックを押す時間の長さによって影響を受けるものと考えられる。さらに、スターティングブロックへの力積の水平成分は、ブロッククリアランスタイムとも有意な正の相関関係（ $r=0.497$, $p<0.05$ ）があり、前ブロック時間とも有意となる傾向（ $r=0.448$, $p=0.055$ ）を示した。また、Table 3-4 より、スターティングブロックへの力積の水平成分は、前後のブロックおよびスターティングブロックの平均力のいずれとも有意な相関関係が認められなかった。したがって、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への力積の大きさの大小は、スターティングブロックに加えられた力の大小よりも力を加える時

間の長さにより影響を受けるものであると考えられる。

3-4-3. スターティングブロックに加えられた力積と Set 時のブロック配置の関係

短距離競走の発走では、選手は静止した状態からスタート音とともにブロックへと力を加え、クリアランスを行うことになる。したがって、ブロックへの力発揮には、ブロック配置が少なからず関係するものと考えられる。しかし、スターティングブロックに加えられた力積の水平成分とブロック配置の間には、有意な相関関係は認められなかった (Table 3-5)。ブロックへの力発揮とブロック配置の関係に関する研究 (Kistler, 1934 ; Henry, 1952 ; 野原ほか, 1977) によると、ブロック配置によってはブロックへの力発揮が変わることが報告されている。このことについては、先行研究ではブロック配置をバンチ、ミディアム、エロンゲートドといったように、配置を数種類に分類した上でそれらの間で比較検討しているものが多い。一方、本研究では、スターティングブロックに加えられた力積の大きさをを用いてブロック配置との関係を検討しており、先行研究と本研究では検討方法が異なっている。

また、前後のブロック配置の仕方により、Set 時の構えの姿勢はおおよそ決まるといえるが、スタートラインに手をついた時の腕の角度 (Schot and Knutzen, 1992) や各ブロックへの荷重配分によって、同じブロック配置でも構えの姿勢は異なることが考えられる。このことについて、一川ほか (2006) は、スターティングブロックの配置は選手自身の構えやすさに任せて設定されている傾向が強いことを報告している。本研究で対象とした被験者のブロック間距離の設定は 20cm 前後が比較的多く、Table 3-5 の結果と合わせて考えると、選手によって前後のブロックと身体との相対的な位置関係をそれぞれに調整し、個々の選手にとってブロックに力を加えやすい姿勢を取っていたものと推察される。その結果、ブロッククリアランスにおいて加えられる力積とブロック配置との間に相関関係がみられなかったものと考えられる。

3-4-4. スターティングブロックに加えられた力積がクリアランス後に及ぼす影響

Fig.3-4 より、スターティングブロックへの力積の水平成分と第 1 歩目の力積の水平成分の間には有意な負の相関関係 ($r=-0.646$, $p<0.01$) が認められた。しかし、第 1 歩目の力積の鉛直成分との間には有意な相関関係は認められなかった (Fig.3-5)。また、表 6 よりブロッククリアランス中に加えられた力積の水平成分とブロッククリアランス後の各時間との間には、後ブロックおよび前ブロックへの力積の水平成分と滞空時間 (後ブロック : $r=0.560$, $p<0.05$; 前ブロック $r=-0.643$, $p<0.05$) との間に有意な相関関係が認め

られたのみで、第1歩目の接地時間および第1歩目離地までの時間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。これらの結果から、ブロッククリアランス中に加えられた力積の大きさは、第1歩目を接地するまでとは関係するものの、第1歩目の接地以降には大きく関係しないと考えられる。しかし、スターティングブロックへの力積に限ってみると、第1歩目の力積の水平成分と有意な負の相関関係が認められており、ブロッククリアランス中に加えられた力積がクリアランス後と全く関係しないとは言いきれない。

スターティングブロックへの力積の水平成分と第1歩目の力積の水平成分との間に負の相関関係がみられたことにより、スターティングブロックへの力積の水平成分と、第1歩目の力積の水平成分はどちらも大きくなる関係ではなかったことになる。中野ほか(1993)は、両足のブロックが揃ったジャンプスタートに関する研究を行い、ブロッククリアランス時の速度は低いものの、第1歩目から大きく加速ができるスタートであることを明らかにしている。このことは、「ジャンプスタート」がブロッククリアランスでの速度獲得を大きくするものではなく、ブロッククリアランス後の第1歩目での速度獲得に重点を置いたスタートとなっていたことを示すものであると考えられる。本研究では両足のブロックが揃ったブロック配置であった者はおらず、中野ほか(1993)がいう「ジャンプスタート」を行っていた者はいなかった。そのため、中野ほか(1993)の報告と本研究の結果は単純に比較できないが、クリアランス時点での疾走速度をスターティングブロックへ加えた力積により生じたものと捉える(Coppinolle et al., 1990)と、スターティングブロックへの力積の水平成分と第1歩目の力積の水平成分との間に負の相関関係がみられたことは、ブロッククリアランスで大きく速度を獲得して出発するか、ブロッククリアランス後の第1歩目で獲得する速度を高めるか、その割合が被験者によって異なっていたことを示す結果であったと考えられる。また、スターティングブロックへの力積の大きさは時間の長さによるものであったこと(Table 3-3)から、ブロックから離れるまでの時間が長くなっても、ブロッククリアランスでの速度獲得を大きくするか、早くブロックから離れて、第1歩目での加速を大きくするか、というスタートでの加速方略が影響していたものと考えられる。

このように、スターティングブロックへの力積の水平成分と第1歩目の力積の水平成分の関係から、ブロッククリアランスでの力発揮と第1歩目での力発揮は関係すると考えられるが、一方で、第1歩目の力積の鉛直成分には有意な相関関係が認められなかった(Fig.3-4, Fig.3-5)。このことには、個々の選手の第1歩目の接地スキルが関係するものと推察される。藤光・青山(2009)によると、ブロッククリアランス後の第1歩目では足関節の角度変化における変動係数が大きく、動作の個人差が大きかったことが報告されて

いる。さらに、この結果の背景については、キック動作の技術的レベルが個人差として現れたものとしている。また、金子・佐藤（1999）によると、疾走動作接地中の地面反力の鉛直成分について、足関節で発揮された関節トルクの貢献が他の関節に比べて大きいという。つまり、足関節での動作は加えられる力の鉛直成分に影響するものと考えられる。これらの報告を踏まえると、第1歩目の接地中において、主に足関節の動作の技術的レベルが選手によって異なったことにより、第1歩目に加えられる力の鉛直成分に影響を及ぼしたことが考えられる。その結果、第1歩目の力積の水平成分と鉛直成分では、ブロッククリアランス中に加えられた力積との相関関係の有無がそれぞれで異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における力発揮の大きさは、ブロッククリアランス後の第1歩目の力発揮と関係し、中でも水平速度の獲得に影響すると考えられる。したがって、第1歩目を含めたスタートでの加速方略に合わせて、ブロッククリアランスでの力発揮を考える必要があるといえる。

3-4-5. スタートブロックに加えられた力積とパフォーマンスレベルの関係

Fig.3-6 より、スタートブロックへの力積の水平成分と 100m 走自己記録との間には有意な相関関係が認められた ($r=-0.547$, $p<0.05$)。しかし、Fig.3-6 をみると、スタートブロックへの力積の水平成分が最も大きい者が、最もパフォーマンスレベルが高いというわけではなかった。このことには第1歩目での力発揮が関係していると考えられる。Fig.3-4 より、スタートブロックに加えられる力積が大きくなると、第1歩目での水平方向への力積は小さかった ($r=-0.646$, $p<0.01$)。このことについては、前節でも述べたように、ブロッククリアランスで大きく速度を獲得して出発するか、ブロッククリアランス後の第1歩目で獲得する速度を高めるか、選手自身の加速方略に合わせてスタートしていることが影響しているものと考えられる。したがって、パフォーマンスレベルの高い者は、スタートブロックへの力積を大きくして、ブロッククリアランスで獲得する速度を高めながらも、続く第1歩目での力発揮も含めた「スタート全体としてのパフォーマンス」が高まるようにスタートブロックへの力発揮を行って、スタートしているものと考えられる。

3-5. 本章のまとめ

本研究では、短距離走スタートにおいてスターティングブロックに加えられた力積をもとに、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およびその後の第1歩目との関係について検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) スターティングブロックへの力積の大きさから、ブロッククリアランスにおける力発揮は水平成分（進行方向の成分）の力積によって特徴づけられるものと考えられた。
- 2) スターティングブロックへの力積の大きさは、前ブロックへの力積の方が高い割合を占めるものの、その大きさの大小に影響するのは後ブロックへの力積であった。
- 3) スターティングブロックへの力積の大きさは、スターティングブロックに加えられた力の大小よりも力を加える時間の長さにより影響を受けるものであると考えられた。
- 4) スターティングブロックへの力積の大きさとブロック配置は大きく関係せず、選手と前後のブロックとの相対的な位置関係が影響しているものと考えられた。
- 5) スターティングブロックへの力積の大きさは、ブロッククリアランス後の第1歩目での水平方向への力発揮と関係していた。したがって、第1歩目を含めたスタートでの加速方略に合わせて、ブロッククリアランスでの力発揮を考える必要があると考えられた。

第4章 研究Ⅲ

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とブロッククリアランス動作の関係

4-1. 本章の目的

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義務づけられており、選手はSetの合図の後、クラウチング姿勢で静止し、スタート音の合図とともに出発する。この時、選手はブロックク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。土江（2011）は身体重心の移動に注目すると、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。スタート指導の際には、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いが、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客観的な数量から検討したものは見当たらない。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の「倒れ込み」や「伸び上がり」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。

本章では、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、特に、身体重心の挙動に着目して検討することとした。

4-2. 方法

4-2-1. 被験者

被験者は、男子学生短距離選手 8 名（被験者の身長； $173.0 \pm 3.6\text{cm}$ ，体重； $68.0 \pm 4.2\text{kg}$ ，100m 走の自己記録； 11.17 ± 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。

4-2-2. 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た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）上にそれぞれ固定した（Fig.4-1 参照）。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 3.5cm 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（Fig.4-1 参照）。

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 20m 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 30cm 以下であり，バ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 1kHz 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 60fps で撮影した（Fig.4-2）。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。

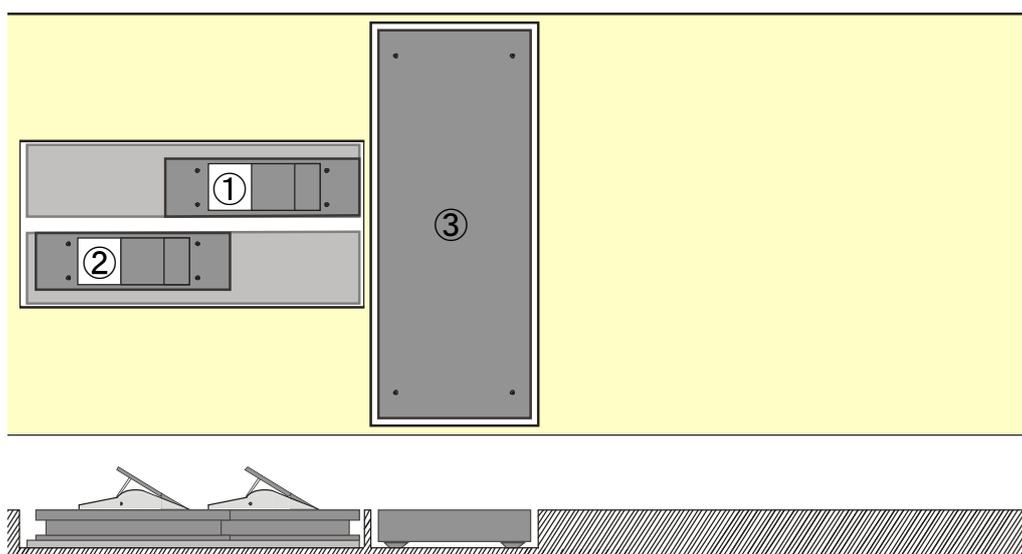


Fig.4-1 各フォースプレートの配置設定

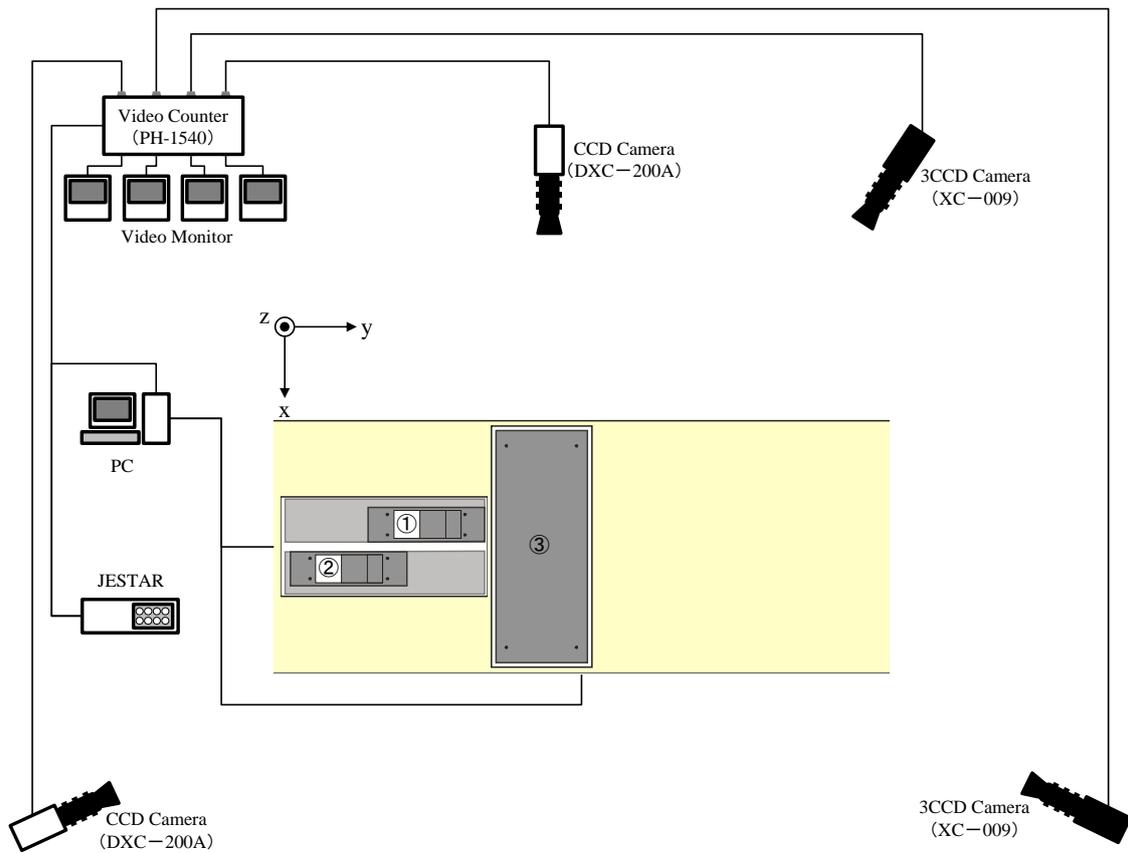


Fig.4-2 実験構成

4-2-3. 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加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%を上回った時点をスターティングブロックに力が加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-DIASIV, 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 点をデジタル化し、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 6Hz 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 0.19cm, Y 軸が 0.30cm, Z 軸が 0.29cm であり、いずれの方向も 0.5cm 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」とする) を次式により算出した。

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

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 (s)

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（スタート音への反応時点）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」とする）を算出した。

③Set 時に手で支える力 (N/kg)

Set 時に手で支える力の鉛直成分（以下、「手で支える力」とする）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 (cm)

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」とする）と前後のブロックの間隔（以下、「ブロック間距離」とする）をそれぞれ実測した。

⑤身体各部位の角度および角変位 (deg.)

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 (Fig.4-3 参照)。なお、Set 時とブロッククリアランス時の身体の各角度は先行研究 (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 (m または m/height)

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」とする）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」とする）をそれぞれ算出した (Fig.4-3 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 (m/s)

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 」とする）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 (Fig.4-3 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 (θ_{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 (ω) 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。

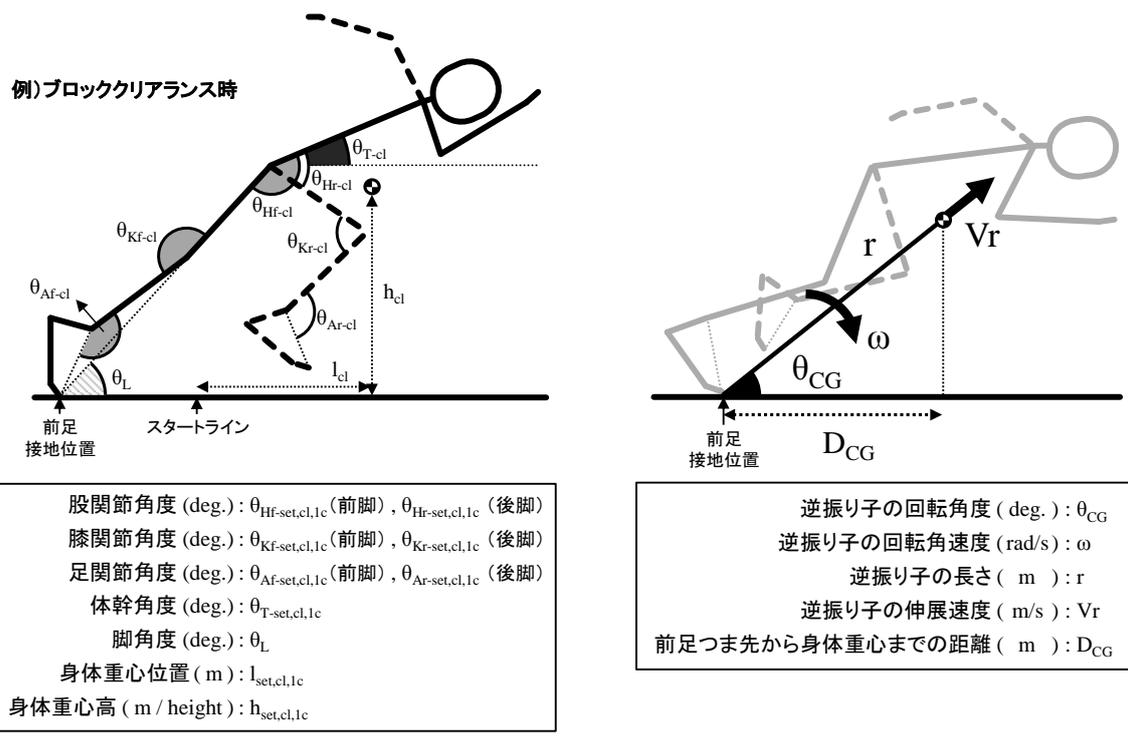


Fig.4-3 身体各部位の角度と逆振り子モデルに関する分析項目

4-3. 結果

Fig.4-4 に、BLC とスターティングブロックへの力積およびその成分、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。

Table 4-1 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: $r=0.827$, $p<0.05$; 上体角度: $r=-0.782$, $p<0.05$; 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。

Table 4-2 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。

Table 4-3 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 Fig.4-5 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 (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、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 (BLC=0.828) は、BLC の小さい被験者 (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こし続けていた。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。

Fig.4-6 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 Fig.4-7 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。Fig.4-5 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。

Table 4-4 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。

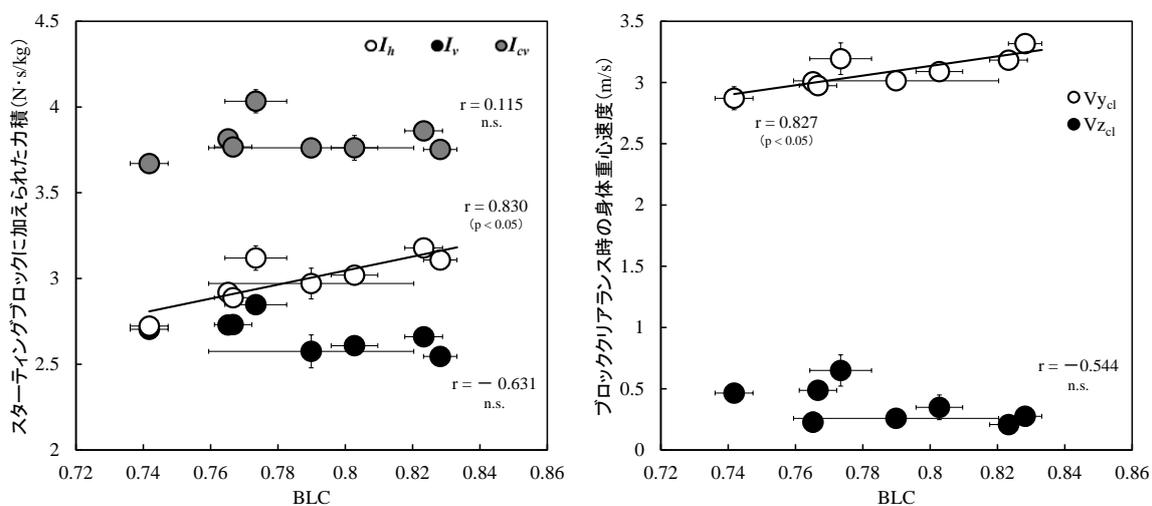


Fig.4-4 BLC とスターティングブロックへの力積およびブロッククリアランス時の身体重心速度との関係

Table 4-1 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.)	θ_{Hf-set}	51.18 ± 4.13	-0.391
前脚の膝関節角度 (deg.)	θ_{Kf-set}	108.59 ± 7.76	-0.021
前脚の足関節角度 (deg.)	θ_{Af-set}	96.41 ± 4.98	0.289
後脚の股関節角度 (deg.)	θ_{Hr-set}	70.98 ± 4.40	-0.179
後脚の膝関節角度 (deg.)	θ_{Kr-set}	122.68 ± 8.77	-0.013
後脚の足関節角度 (deg.)	θ_{Ar-set}	96.06 ± 4.24	0.650
上体角度 (deg.)	θ_{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.)	θ_{Hf-cl}	151.14 ± 6.18	-0.767*
前脚の膝関節角度 (deg.)	θ_{Kf-cl}	164.62 ± 5.02	-0.135
前脚の足関節角度 (deg.)	θ_{Af-cl}	132.93 ± 5.22	-0.326
後脚の股関節角度 (deg.)	θ_{Hr-cl}	83.11 ± 7.18	-0.692
後脚の膝関節角度 (deg.)	θ_{Kr-cl}	85.05 ± 11.81	0.827*
後脚の足関節角度 (deg.)	θ_{Ar-cl}	89.38 ± 7.52	-0.086
体幹角度 (deg.)	θ_{T-cl}	25.05 ± 6.02	-0.782*
脚角度 (deg.)	θ_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

Table 4-2 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_{set}	0.63±0.02	0.069
逆振り子モデルの回転角度(deg.)	θ_{CG_set}	63.99±1.88	0.356
前足つま先から身体重心までの距離(m)	D_{CG_set}	0.28±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_{cl}	1.12±0.04	0.131
逆振り子モデルの回転角度(deg.)	θ_{CG_cl}	41.28±1.86	-0.827**
前足つま先から身体重心までの距離(m)	D_{CG_cl}	0.85±0.04	0.617

**p < 0.01

Table 4-3 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，上体角度の変化量，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)	Δr_{set-cl}	0.49±0.03	0.118
逆振り子モデルの角変位(deg.)	$\Delta\theta_{CG_set-cl}$	22.71±3.14	0.701†
身体重心の水平変位(m)	Δl_{set-cl}	0.56±0.05	0.638
身体重心の鉛直変位(m/height)	Δh_{set-cl}	0.10±0.02	-0.682
体幹角度の角変位(deg.)	$\Delta\theta_{T_set-cl}$	45.93±6.52	-0.770*
ブロッククリアランスタイム(s)		0.37±0.01	-0.342

*p < 0.05, †p = 0.053

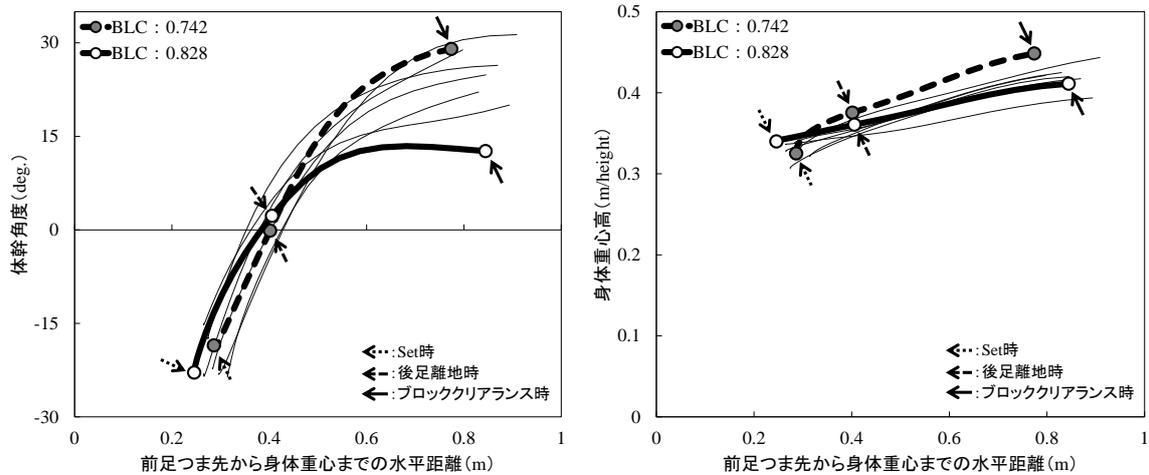


Fig.4-5 Set 時からブロッククリアランス時までの上体角度の推移と身体重心の軌道の一例

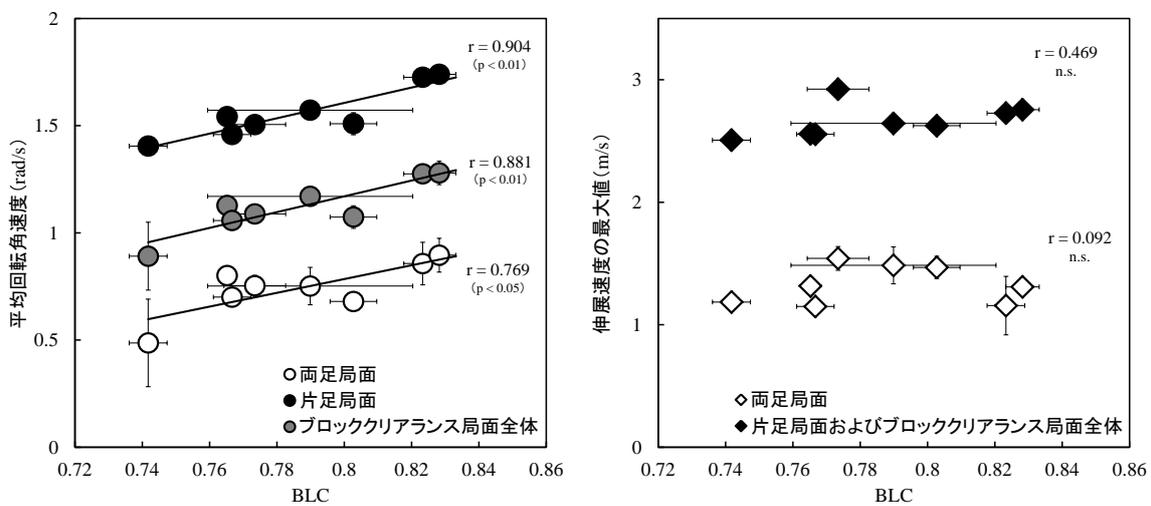


Fig.4-6 BLC と逆振り子モデルにおける回転角速度および伸展速度との関係

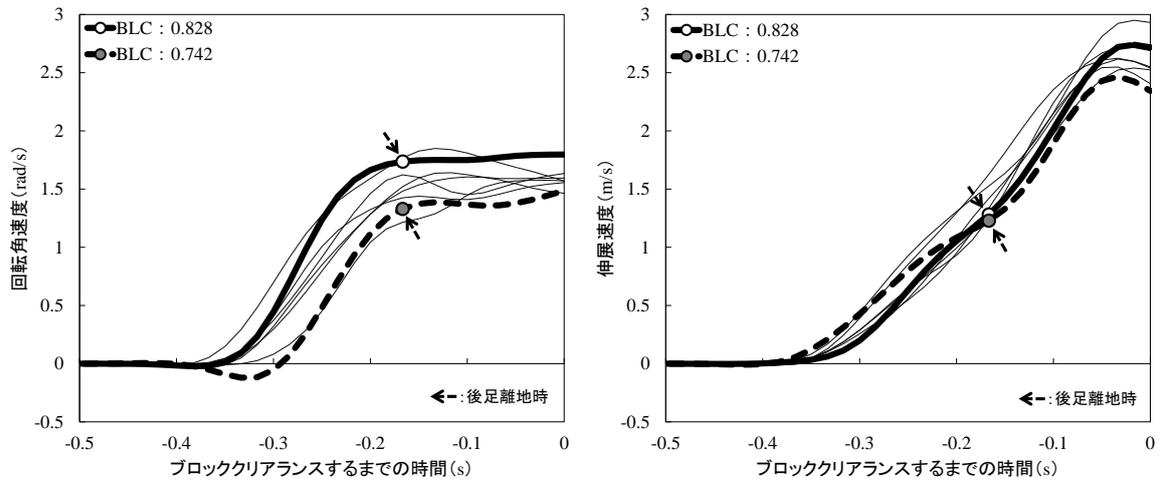


Fig.4-7 逆振り子モデルの回転角速度および伸展速度の時間変化の一例

Table 4-4 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.)	θ_{Hf-1c}	140.15±7.99	0.132
前脚の膝関節角度(deg.)	θ_{Kf-1c}	122.65±22.01	0.508
前脚の足関節角度(deg.)	θ_{Af-1c}	138.08±12.33	0.090
後脚の股関節角度(deg.)	θ_{Hr-1c}	94.59±8.61	-0.758*
後脚の膝関節角度(deg.)	θ_{Kr-1c}	112.28±4.65	0.203
後脚の足関節角度(deg.)	θ_{Ar-1c}	84.42±6.18	0.137
体幹角度(deg.)	θ_{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

4-4. 考察

4-4-1. ブロッククリアランスにおける力発揮の評価

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 (Fig.4-4)。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 (Fig.4-4)。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か）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 (Coppinolle 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。

4-4-2. 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定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。

1) Set 時

Table 4-2 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、Table 4-1 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 ± 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）の間には有意な相関関係が認められなかった（Table 4-1）。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（30cm 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) 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 ($r=-0.827$, $p<0.01$) (Table 4-2)。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 (Table 4-1)。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ないで、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。Table 4-2 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ただけでなく、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，1982）が、他方で、股関節を完全に伸ばしきらない（コロブコフほか，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（Table 4-1）。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（100m 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（Table 4-1）。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。

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（Table 4-3）。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（Fig.4-5）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 時からブロッククリアランス時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（Table 4-3）、Fig.4-5 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 (Table 4-1) 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 (Table 4-2)、回転運動の動作範囲は大きくなる傾向にあった (Table 4-3) 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 (Table 4-3)。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、Fig.4-6 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 (Fig.4-7)。

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 (Fig.4-6) 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 (Fig.4-7)。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 (Fig.4-7)、身体重心の推移が上向きになっていた (Fig.4-5)。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、伸び上がりと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 (Fig.4-5)、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 (Table 4-3)。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。

4-4-3. 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

Table 4-4 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。

4-5. 本章のまとめ

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 値の大きさは、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。

これらのブロッククリアランス局面での力発揮の方向と動作の関係の結果から、スタートでの加速の仕方に合わせて、ブロッククリアランス動作を考えていく必要があると考えられた。

第5章 研究VI

スターティングブロックを用いないことがクラウチングスタートに及ぼす影響に関する研究

5-1. 本章の目的

クラウチングスタートでは Set の姿勢から加速を開始することから、静止した状態から速度を獲得して出発するには力積が不可欠である。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よう。しかしながら、現在ではスターティングブロックは、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り（野崎ほか，1995；横倉ほか，1996），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についてはほとんど明らかになっていない。

本研究では、スターティングブロックの有無が Set からのスタートに及ぼす影響に着目し、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。

5-2. 方法

5-2-1. 被験者

被験者は、男子学生短距離選手 9 名（身長； 174.8 ± 3.7 cm，体重； 69.0 ± 4.5 kg，100m 走の自己記録； 10.89 ± 0.34 秒；記録の範囲は 10.46 から 11.47 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。

5-2-2. 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（Fig.5-1 参照，①と②が該当）。左右のフォースプレート上に固定した左右のブロック間の距離は，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 3.5cm 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。

さらに，本研究ではスタート後の第 1 歩目及び第 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 社製）を用いて測定を行った（Fig.5-1 参照，③と④が該当）。

2) 実験試技

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。その際，被験者にはスタートラインから 20m 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。なお，BS の試技前には，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。また，CS の試技前には，フォースプレートからそれぞれブロックを取り外し，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させた。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または後足の接した地面と前ブロックまたは前足の接した地面に加えられた力、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社製）を計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、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、4台のフォースプレートからの信号出力および4台の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た上で実験試技を行わせた。両スタートの試技は各3~4本ずつとし、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。

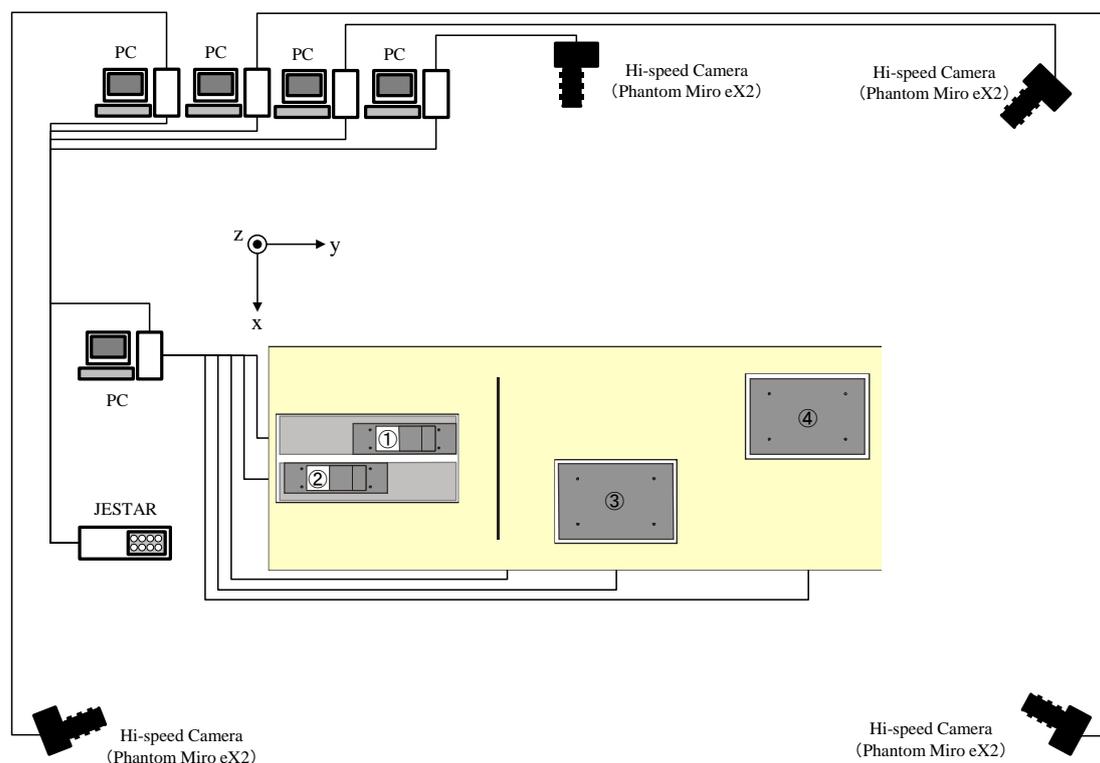


Fig.5-1 実験構成

5-2-3. 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、計測員により手動で計測した 10m 地点の疾走タイムが最も良かった試技を分析対象とした。対象とした被験者 9 名のうち、1 名については、第 2 歩目の地面反力の測定データに欠損がみられたため、第 2 歩目の地面反力に関する分析は行わなかった。分析対象区間は JESTAR のスタート音に反応してから第 2 歩目の離地直後までとし、ブロッククリアランス動作を含めたスタート動作を分析した。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または地面に力が加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または前後それぞれの足が接する地面に加わる力を基準 (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または前後それぞれの足が接する地面に加わる力が Baseline を 100%とした時の 105%を上回った時点をスターティングブロックまたは地面に力が加えられ始めた時点 (以下、「スタート音の反応時点」とする) とした。なお、スタート音への反応時点から前足が前ブロックまたは地面から離れるまでをブロッククリアランスとし、前ブロックまたは前足が接する地面から前足が離れた時点をブロッククリアランス時とした。また、スタート音の反応時点から後足が後ブロックまたは後足が接する地面から離れた時点 (以下、「後足離地時」とする) までを両足局面、後足離地から、ブロッククリアランス時までを片足局面として、ブロッククリアランスを 2 つの局面に分けての検討も行った。さらに、ブロッククリアランス時から第 1 歩目を接地するまでを滞空期①、第 1 歩目を離地してから第 2 歩目を接地するまでを滞空期②とした。

ブロッククリアランス動作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 社製) 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。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最大で X 軸が 0.49cm, Y 軸が 0.77cm, Z 軸が 0.49cm であった。

1) 分析項目

①各局面の時間 (s)

JESTAR のスタート音が鳴った時点から、スターティングブロックまたは地面に力が加えられ始めた時点（スタート音の反応時点）までを反応時間とした。また、前後のブロックまたは足が接する地面別に力が加えられ始めた時点から足がブロックまたは地面を離地するまでの時間をそれぞれ求め、ブロックまたは地面に力が加えられた時間とした（以下、「後足時間」および「前足時間」とする）。さらに、スタート音の反応時点からブロッククリアランス時までのブロッククリアランスに要した時間（以下、「ブロッククリアランスタイム」とする）も求めた。これらの分析項目は Čoh et al. (1998) や Fortier et al. (2005) の報告を参考に算出した。

そして、ブロッククリアランス時から、第 1 歩目を接地するまでに要した時間（以下、「滞空時間①」とする）、第 1 歩目を接地してから離地するまでの時間（以下、「第 1 歩目の接地時間」とする）、第 1 歩目を離地してから第 2 歩目を接地するまでの滞空時間（以下、「滞空時間②」とする）、第 2 歩目を接地してから離地するまでの時間（以下、「第 2 歩目の接地時間」とする）、JESTAR のスタート音が鳴った時点から第 2 歩目を離地するまでの時間（以下、「第 2 歩目離地時刻」とする）についても、それぞれ算出した。

これらとは別に、両足局面に要した時間（以下、「両足局面時間」とする）、片足局面に要した時間（以下、「片足局面時間」とする）についても算出した。さらに、第 1 歩目と第 2 歩目については、先行研究（福田・伊藤，2004）を参考に、接地中の地面反力の水平成分の変化から減速局面の時間（以下、「減速時間」とする）と加速局面の時間（以下、「加速時間」とする）を算出した。

②身体重心の位置および変位 (m)

Set 時と第 2 歩目の離地時の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、「身体重心の水平位置」とする）を、鉛直方向については地面からの高さを（以下、「身体重心の鉛直位置」とする）をそれぞれ算出した。また、Set 時とブロッククリアランス時、および第 1 歩目と第 2 歩目の接地・離地時の身体重心の水平および鉛直位置を用いて、ブロッククリアランス、滞空期①、第 1 歩目、滞空期②、第 2 歩目における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。

③身体重心の速度 (m/s)

身体重心の水平速度と鉛直速度（以下、それぞれ水平速度、鉛直速度とする）について、後足離地時とブロッククリアランス時、第 1 歩目離地時、第 2 歩目離地時の速度をそれぞれ算出した。

④加えられた力の平均 (N/kg)

前後のブロックまたは前後の足が接する地面および第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力およびそれらの水平成分と鉛直成分について、それぞれ平均値を算出した(以下、後ブロックまたは後脚については「後脚での力」、「後脚での力の水平成分」、「後脚での力の鉛直成分」とし、前ブロックまたは前脚については「前脚での力」、「前脚での力の水平成分」、「前脚での力の鉛直成分」とし、第1歩目については「第1歩目での力の水平成分」、「第1歩目での力の鉛直成分」とし、第2歩目については「第2歩目での力の水平成分」、「第2歩目での力の鉛直成分」とする)。なお、第1歩目と第2歩目での力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。

また、第1歩目と第2歩目については、先行研究(福田・伊藤, 2004)を参考に、接地中に加えられた力の水平成分を減速成分と加速成分に分け、それぞれの成分での力の平均値(以下、「力の減速成分(第1歩目, 第2歩目)」、「力の加速成分(第1歩目, 第2歩目)」とする)を算出した。なお、力の減速成分および力の加速成分ともに正の値で示した。

全ての力は被験者の体重で除した値とした。

⑤加えられた力積 (N·s/kg)

ブロッククリアランスにおいてスターティングブロックまたは地面に加えられた力積とその水平成分および鉛直成分について、以下の式を用いて前後の脚ごとにそれぞれ求めた(以下、「前脚での力積(力積: I_{Fcv} , 力積の水平成分: I_{Fh} , 力積の鉛直成分: I_{Fv})」と「後脚での力積(力積: I_{Rcv} , 力積の水平成分: I_{Rh} , 力積の鉛直成分: I_{Rv})」とする)。

$$I_{Fcv} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb} \cdot dt$$

$$I_{Fh} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb_y} \cdot dt$$

$$I_{Fv} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb_z} \cdot dt$$

$$I_{Rcv} = \int_{T_{start_rb}}^{T_{clearance_rb}} F_{rb} \cdot dt$$

$$I_{Rh} = \int_{T_{start_rb}}^{T_{clearance_rb}} F_{rb_y} \cdot dt$$

$$I_{Rv} = \int_{T_{start_rb}}^{T_{clearance_rb}} F_{rb_z} \cdot dt$$

前後の脚それぞれについて、力が加えられ始めた時点（後脚： T_{start_rb} 、前脚： T_{start_fb} ）から接地している足が離れた時点（後脚： $T_{clearance_rb}$ 、前脚： $T_{clearance_fb}$ ）までにブロックまたは地面に加えられた力（ F_{fb} ：前脚で加えられた力、 F_{fb_y} ：前脚で加えられた力の水平成分、 F_{fb_z} ：前脚で加えられた力の鉛直成分、 F_{rb} ：後脚で加えられた力、 F_{rb_y} ：後脚で加えられた力の水平成分、 F_{rb_z} ：後脚で加えられた力の鉛直成分）を用いて力積を算出した。なお、前後の脚それぞれでの力積および力積の鉛直成分の算出にあたっては、Set 時に前ブロックまたは前足の接した地面および後ブロックまたは後足の接した地面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、加えられた力または加えられた力の鉛直成分から Baseline 分を差し引いた値を用いて算出した。

そして算出後、前後の脚それぞれで加えられた力積および力積の水平成分、鉛直成分を足し合わせることで、ブロッククリアランス全体で加えられた力積（以下、「ブロッククリアランス全体での力積： I_{cv} 」とする）とブロッククリアランス全体で加えられた力積の水平成分（以下、「ブロッククリアランス全体での力積の水平成分： I_h 」とする）およびブロッククリアランス全体で加えられた力積の鉛直成分（以下、「ブロッククリアランス全体での力積の鉛直成分： I_v 」とする）を以下の式を用いて算出した。

$$I_{cv} = I_{Fcv} + I_{Rcv}$$

$$I_h = I_{Fh} + I_{Rh}$$

$$I_v = I_{Fv} + I_{Rv}$$

さらに、前脚での力積（力積、力積の水平成分、力積の鉛直成分）については、後足離地時を境にして、両足局面に前脚で加えられた力積（力積： I_{Fcv_d} 、力積の水平成分： I_{Fh_d} 、力積の鉛直成分： I_{Fv_d} ）と片足局面に前脚で加えられた力積（力積： I_{Fcv_s} 、力積の水平成分： I_{Fh_s} 、力積の鉛直成分： I_{Fv_s} ）を以下の式を用いて算出した。

$$I_{Fcv_d} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_rb}} F_{fb} \cdot dt$$

$$I_{Fh_d} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_rb}} F_{fb_y} \cdot dt$$

$$I_{Fv_d} = \int_{T_{start_fb}}^{T_{clearance_rb}} F_{fb_z} \cdot dt$$

$$I_{Fcv_s} = \int_{T_{clearance_rb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb} \cdot dt$$

$$I_{Fh_s} = \int_{T_{clearance_rb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb_y} \cdot dt$$

$$I_{Fv_s} = \int_{T_{clearance_rb}}^{T_{clearance_fb}} F_{fb_z} \cdot dt$$

そして算出後、両足局面に前脚で加えられた力積および力積の水平成分、鉛直成分と後脚での力積および力積の水平成分、鉛直成分をそれぞれ足し合わせることで、両足局面で加えられた力積（以下、「両足局面での力積： I_{cv_d} 」とする）と両足局面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（以下、「両足局面での力積の水平成分： I_{h_d} 」とする）および両足局面で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、「両足局面での力積の鉛直成分： I_{v_d} 」とする）を以下の式を用いて算出した。

$$I_{cv_d} = I_{Fcv_d} + I_{Rcv}$$

$$I_{h_d} = I_{Fh_d} + I_{Rh}$$

$$I_{v_d} = I_{Fv_d} + I_{Rv}$$

なお、片足局面に前脚で加えられた力積（力積： I_{Fcv_s} 、力積の水平成分： I_{Fh_s} 、力積の鉛直成分： I_{Fv_s} ）は、そのまま片足局面で加えられた力積（以下、「片足局面での力積： I_{cv_s} 」とする）と片足局面で加えられた力積の水平成分（以下、「片足局面での力積の水平成分： I_{h_s} 」とする）および片足局面で加えられた力積の鉛直成分（以下、「片足局面での力積の鉛直成分： I_{v_s} 」とする）とした。

また、第1歩目と第2歩目の接地中に加えられた力積の水平成分および鉛直成分について

て、以下の式を用いて算出した（以下、「第 1 歩目の力積（水平成分： I_{1Gh} 、鉛直成分： I_{1Gv} ）」、「第 2 歩目の力積（水平成分： I_{2Gh} 、鉛直成分： I_{2Gv} ）」とする）。

$$I_{1Gh} = \int_{T_{release_1st}}^{T_{touch_1st}} F_{1st_y} \cdot dt$$

$$I_{1Gv} = \int_{T_{release_1st}}^{T_{touch_1st}} F_{1st_z} \cdot dt$$

$$I_{2Gh} = \int_{T_{release_2nd}}^{T_{touch_2nd}} F_{2nd_y} \cdot dt$$

$$I_{2Gv} = \int_{T_{release_2nd}}^{T_{touch_2nd}} F_{2nd_z} \cdot dt$$

第 1 歩目および第 2 歩目それぞれについて、足が接地した時点（第 1 歩目： T_{touch_1st} 、第 2 歩目： T_{touch_2nd} ）から足が離地した時点（第 1 歩目： $T_{release_1st}$ 、第 2 歩目： $T_{release_2nd}$ ）までに地面に加えられた力（ F_{1st_y} ：第 1 歩目で加えられた力の水平成分、 F_{1st_z} ：第 1 歩目で加えられた力の鉛直成分、 F_{2nd_y} ：第 2 歩目で加えられた力の水平成分、 F_{2nd_z} ：第 2 歩目で加えられた力の鉛直成分）を用いて力積を算出した。なお、第 1 歩目と第 2 歩目の接地中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。

さらに、第 1 歩目と第 2 歩目については、先行研究（福田・伊藤，2004）を参考に、接地中に加えられた力積の水平成分を減速成分と加速成分に分け、それぞれの成分の力積についても算出した（以下、「減速力積（第 1 歩目、第 2 歩目）」、「加速力積（第 1 歩目、第 2 歩目）」とする）。なお、力と同様に、減速力積および加速力積ともに正の値で示した。

全ての力積は被験者の体重で除した値とした。

⑥ブロッククリアランス局面および第 1 歩目と第 2 歩目での仕事率（W/kg）

ブロッククリアランスおよび第 1 歩目と第 2 歩目での仕事率について、それぞれの局面で水平方向と鉛直方向に分けてそれぞれ算出した。

ブロッククリアランスにおける仕事率は、ブロッククリアランスでの身体重心の水平変位と力の水平成分、身体重心の鉛直変位と力の鉛直成分の積により求めた仕事をブロッククリアランスタイムで除すことにより求めた。なお、ブロッククリアランスの力の水平成分および鉛直成分については、スターティングブロックへの力積の水平成分および鉛直成分をブロッククリアランスタイムで除すことにより算出した。

また、第1歩目と第2歩目での仕事率は、第1歩目および第2歩目での身体重心の水平変位と力の水平成分、身体重心の鉛直変位と力の鉛直成分の積によりそれぞれ求めた仕事を第1歩目および第2歩目の接地時間で除すことによりそれぞれ求めた。

全ての仕事率は被験者の体重で除した値とした。

⑦逆振り子モデルに関する各変量 (Fig.5-2 参照)

本研究では、ブロッククリアランス中の動作について、先行研究(金高ほか, 2005; 金高ほか, 2009; 三井ほか, 2003)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 (Fig.5-2 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 (θ_{CG}) については、両足局面では Set 時の値と後足離地時の値の差分から、片足局面では後足離地時の値とブロッククリアランス時の値の差分から、ブロッククリアランスでは Set 時の値とブロッククリアランス時の値の差分から、長さの変化量および回転角度の角変位をそれぞれ算出した。逆振り子の伸展速度 (V_r) と逆振り子の回転角速度 (ω) については、両足局面、片足局面およびブロッククリアランスでの逆振り子の長さの変化量と逆振り子の回転角度の角変位を、それぞれ両足局面時間、片足局面時間およびブロッククリアランスタイムで除すことによって、各局面の平均値をそれぞれ求めた。また、前足つま先から身体重心までの水平距離については、Set 時と後足離地時、ブロッククリアランス時の値をそれぞれ算出した。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

BS および CS の試技ごとに各項目の平均値及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。

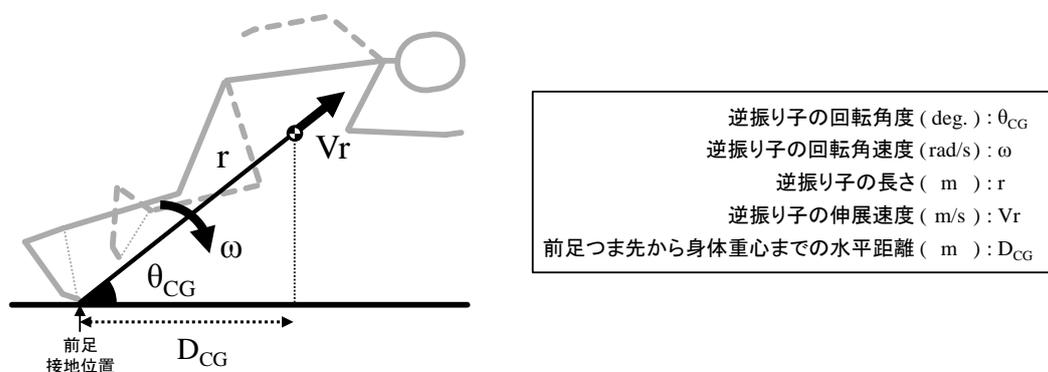


Fig.5-2 逆振り子モデルに関する各変量

5-3. 結果

Table 5-1 は BS と CS における Set 時と第 2 歩目離地時の身体重心の水平位置と鉛直位置および第 2 歩目離地時刻を示したものである。Set 時の身体重心の水平位置と身体重心の鉛直位置は、BS と CS で有意な差が認められ、CS の方が BS に比べて身体重心の水平位置がスタートラインから遠く、身体重心の鉛直位置が低かった（身体重心の水平位置： $p<0.01$ ，身体重心の鉛直位置： $p<0.01$ ）。一方、第 2 歩目離地時の身体重心の水平位置と身体重心の鉛直位置は、BS と CS で有意な差は認められなかった。また、第 2 歩目離地時刻には BS と CS で有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に遅かった ($p<0.01$)。なお、計測員によって手動で測定された 10m タイムについても示したが、BS と CS で有意な差は認められなかった。

Fig.5-3 は BS と CS における Set から第 2 歩目離地までの身体重心の水平変位と鉛直変位を示したものである。水平変位について、滞空期①のみ BS と CS で有意差が認められ、CS の方が BS よりも水平変位が小さかった ($p<0.01$)。ブロッククリアランス、第 1 歩目、滞空期②および第 2 歩目では、BS と CS の間には有意差は認められなかった。一方、鉛直変位についてはいずれの局面においても BS と CS で有意な差は認められなかったが、ブロッククリアランスと第 1 歩目では CS が BS より鉛直変位が大きい傾向を示していた（ブロッククリアランス： $p=0.0649$ ，第 1 歩目： $p=0.0792$ ）。また、第 2 歩目では、BS が CS より鉛直変位が大きい傾向を示していた（第 2 歩目： $p=0.0765$ ）。

Fig.5-4 は BS と CS における Set から第 2 歩目離地までの各局面の時間を示したものである。反応時間、ブロッククリアランスタイム、滞空時間①、第 1 歩目の接地時間にそれぞれ有意差が認められ、CS の方が BS に比べて、反応時間とブロッククリアランスタイム、および第 1 歩目の接地時間は長く、滞空時間①は短かった（反応時間： $p<0.01$ ，ブロッククリアランスタイム： $p<0.05$ ，滞空時間①： $p<0.05$ ，第 1 歩目の接地時間： $p<0.01$ ）。一方、滞空時間②と第 2 歩目の接地時間には有意差が認められなかった。

Fig.5-5 は BS と CS における後足離地時から第 2 歩目離地時までの水平速度および鉛直速度を示したものである。後足離地時とブロッククリアランス時、第 1 歩目離地時の水平速度において、BS と CS の間にそれぞれ有意な差が認められ、いずれにおいても CS の方が BS よりも速度が小さかった（後足離地時： $p<0.01$ ，ブロッククリアランス時： $p<0.01$ ，第 1 歩目離地時： $p<0.05$ ）。一方、鉛直速度では、第 2 歩目離地時において BS と CS の間に有意差が認められ、CS の方が BS よりも鉛直上向きの速度が大きかった ($p<0.05$)。

Table 5-2 は、BS と CS におけるブロッククリアランスでの力積および加えられた力と

力が加えられた時間について示したものである。力積について、ブロッククリアランス全体では、加えられた力積 (I_{cv}) には BS と CS で有意差が認められなかったものの、加えられた力積の水平成分 (I_h) と加えられた力積の鉛直成分 (I_v) にはそれぞれ有意差が認められた。加えられた力積の水平成分 (I_h) では、CS の方が BS よりも有意に小さい値を示しており ($p<0.01$)、加えられた力積の鉛直成分 (I_v) では CS の方が BS よりも有意に大きい値を示していた ($p<0.05$)。また、後脚では、加えられた力積 (I_{Rev}) とその水平成分 (I_{Rh}) および鉛直成分 (I_{Rv}) のいずれにおいても有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に小さい値を示していた (加えられた力積: $p<0.01$, 加えられた力積の水平成分: $p<0.01$, 加えられた力積の鉛直成分: $p<0.01$)。前脚においても、加えられた力積 (I_{Fev}) と加えられた力積のその水平成分 (I_{Fh}) および加えられた力積の鉛直成分 (I_{Fv}) のいずれにおいても有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に大きい値を示していた (加えられた力積: $p<0.01$, 加えられた力積の水平成分: $p<0.01$, 加えられた力積の鉛直成分: $p<0.01$)。

ブロッククリアランス全体での力積について、両足局面と片足局面別に検討すると、両足局面では、加えられた力積 (I_{cv_d}) と加えられた力積の水平成分 (I_{h_d}) および加えられた力積の鉛直成分 (I_{v_d}) のいずれにおいても有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に小さい値を示していた (力積: $p<0.01$, 力積の水平成分: $p<0.01$, 力積の鉛直成分: $p<0.01$)。また、片足局面においても、加えられた力積 (I_{cv_s}) と加えられた力積の水平成分 (I_{h_s}) および加えられた力積の鉛直成分 (I_{v_s}) のいずれにおいても有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に大きい値を示していた (加えられた力積: $p<0.01$, 加えられた力積の水平成分: $p<0.01$, 加えられた力積の鉛直成分: $p<0.01$)。

加えられた力については、後脚での力と力の水平成分および力の鉛直成分のいずれにおいても BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS に比べて有意に小さい値を示していた (後脚での力: $p<0.01$, 後脚での力の水平成分: $p<0.01$, 後脚での力の鉛直成分: $p<0.01$)。一方、前脚での力と力の水平成分および力の鉛直成分では、いずれにおいても BS と CS の間には有意差が認められなかった。

力が加えられた時間については、後足時間には BS と CS の間に有意な差は認められなかったが、前足時間は CS の方が BS よりも有意に時間が長かった ($p<0.05$)。また、両足局面時間と片足局面時間では、両足局面時間には有意な差は認められなかったものの、片足局面時間に有意差が認められ、CS の方が BS より時間が長かった ($p<0.01$)。

Table 5-3 は BS と CS における第 1 歩目の力積および加えられた力と接地時間について示したものである。力積の水平成分 (I_{Gh}) において、BS と CS の間には有意な差が認め

られ、CSの方がBSより有意に値が大きかった ($p<0.01$)。また、力積の水平成分を減速力積と加速力積に分けて検討したところ、どちらの項目ともBSとCSの間に有意な差が認められ、CSの方がBSより減速力積が小さく ($p<0.01$)、加速力積は大きかった ($p<0.05$)。力積の鉛直成分 (I_{Gv}) については、有意な差は認められなかった。加えられた力については、力の減速成分のみBSとCSの間に有意な差が認められ、CSの方がBSより力の減速成分は小さかった ($p<0.01$)。接地時間については、第1歩目の接地時間、減速時間および加速時間のいずれにおいても有意な差が認められ、CSの方がBSより第1歩目の接地時間が長く ($p<0.01$)、減速時間が短く ($p<0.05$)、加速時間が長かった ($p<0.01$)。

Table 5-4はBSとCSにおける第2歩目の力積および加えられた力と接地時間について示したものである。力積の水平成分 (I_{2Gh}) において、BSとCSの間には有意な差が認められ、CSの方がBSより有意に値が大きかった ($p<0.01$)。力積のその他の項目および平均力と接地時間の項目では、BSとCSの間にはいずれも有意差は認められなかった。

Fig.5-6はBSとCSにおける各局面での水平および鉛直方向への仕事率を示したものである。ブロッククリアランスでの水平方向への仕事率において、BSとCSの間には有意な差が認められ、CSの方がBSより有意に値が小さかった ($p<0.01$)。鉛直方向への仕事率は、いずれの局面においても、BSとCSの間には有意な差が認められなかった。

Table 5-5に、BSとCSにおけるブロッククリアランスでの逆振り子モデルの各変量を示す。逆振り子モデルの長さはSet時、後足離地時およびブロッククリアランス時のいずれにおいてもCSの方がBSより有意に短かった (set : $p<0.01$, 後足離地時 : $p<0.05$, ブロッククリアランス時 : $p<0.05$)。一方、逆振り子モデルの回転角度は後足離地時のみBSとCSの間に有意差が認められ、CSの方がBSより角度が大きかった ($p<0.01$)。また、前足つま先から身体重心までの水平距離はSet時ではBSとCSで有意な差は認められなかったが、後足離地時とブロッククリアランス時のどちらにおいてもBSとCSの間に有意差が認められ、いずれもCSの方がBSより有意に水平距離が短かった (後足離地時 : $p<0.01$, ブロッククリアランス時 : $p<0.01$)。

これらの値をもとに算出した各局面での逆振り子モデルの長さの変化量および角変位をみると、逆振り子モデルの長さの変化量は、両足局面と片足局面ともにBSとCSの間に有意差が認められ、両足局面ではCSの方がBSより変化量が有意に小さく ($p<0.01$)、片足局面ではCSの方がBSより変化量が有意に大きかった ($p<0.01$)。また、逆振り子モデルの角変位についても、両足局面と片足局面ともにBSとCSの間に有意差が認められ、両足局面ではCSの方がBSより角変位が有意に小さく ($p<0.01$)、片足局面ではCSの方がBSより角変位が有意に大きかった ($p<0.01$)。さらに、身体重心の水平変位についても、

両足局面と片足局面ともに BS と CS の間に有意差が認められ、両足局面では CS の方が BS より水平変位が有意に小さく ($p<0.01$)、片足局面では CS の方が BS より水平変位が有意に大きかった ($p<0.01$)。しかし、ブロッククリアランス全体では逆振り子モデルの長さの変化量および角変位ともに、BS と CS で有意な差は認められなかった。

Table 5-5 の両足局面での伸展速度および回転角速度の平均値をみると、逆振り子の伸展速度において、BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも速度が小さかった ($p<0.01$)。また、逆振り子の回転角速度においても BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも角速度が小さかった ($p<0.01$)。そして、片足局面での伸展速度および回転角速度の平均値をみると、逆振り子の伸展速度において、BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも速度が小さかった ($p<0.01$)。また、逆振り子の回転角速度においても BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも角速度が小さかった ($p<0.05$)。さらに、ブロッククリアランス中の伸展速度および回転角速度の平均値をみると、逆振り子の伸展速度において、BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも速度が小さかった ($p<0.01$)。また、逆振り子の回転角速度においても BS と CS の間には有意差が認められ、CS の方が BS よりも角速度が小さかった ($p<0.05$)。

Fig.5-7 は BS と CS におけるブロッククリアランスでの逆振り子モデルの挙動を示したものである。なお、これらは Set 時と後足離地時、ブロッククリアランス時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の各時点がわかるように、それぞれ系列のマークを変えて示した。

Table 5-1 BS と CS における Set 時と第 2 歩目離地時の身体重心の水平位置と鉛直位置および第 2 歩目離地時刻

	BS	CS	BS vs CS
Set 時の身体重心の水平位置 (m)	-0.18±0.05	-0.22±0.05	BS > CS **
Set 時の身体重心の鉛直位置 (m)	0.33±0.02	0.32±0.01	BS > CS **
第 2 歩目離地時の身体重心の水平位置(m)	2.56±0.16	2.52±0.18	n.s.
第 2 歩目離地時の身体重心の鉛直位置(m)	0.48±0.01	0.48±0.02	n.s.
第 2 歩目離地時刻 (s)	0.96±0.08	1.05±0.10	BS < CS **
10m time (s) ※	1.87±0.07	1.94±0.09	n.s.

※計測員の手動による測定

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

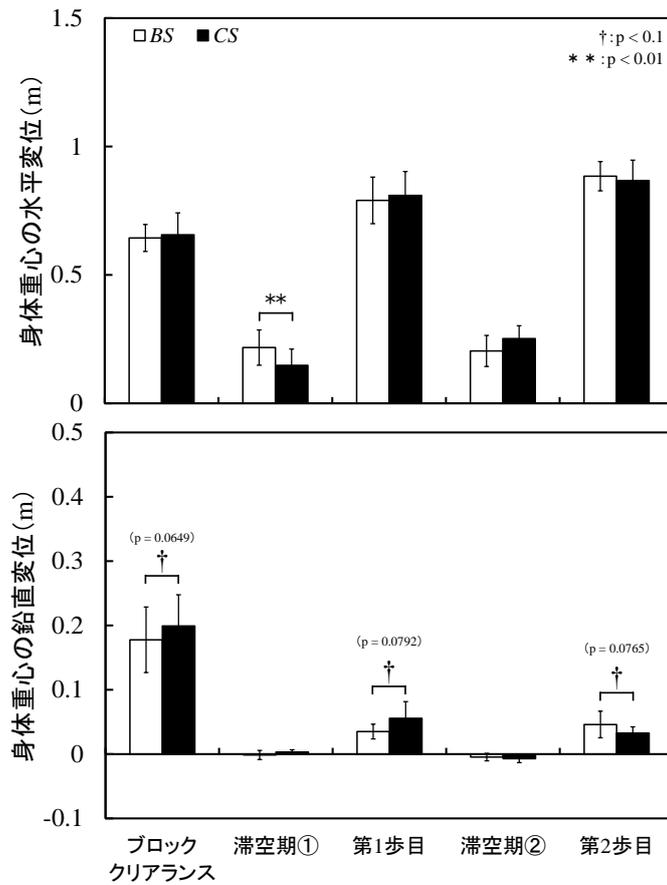


Fig.5-3 BS と CS における Set から第 2 歩目離地までの身体重心の水平変位と鉛直変位

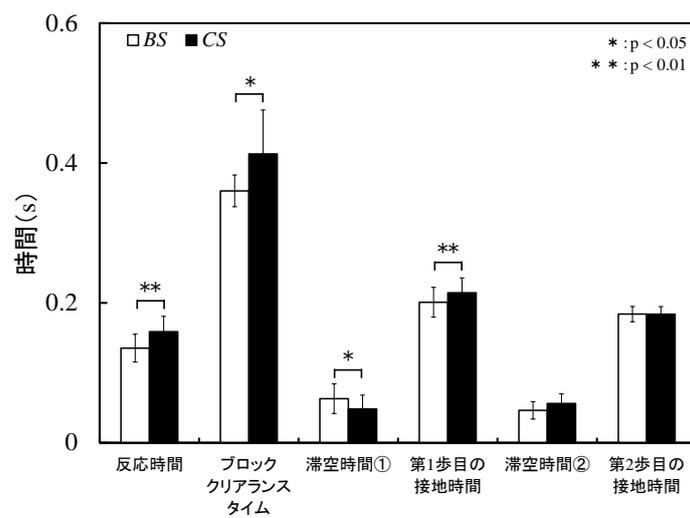


Fig.5-4 BS と CS における Set から第 2 歩目離地までの各局面の時間

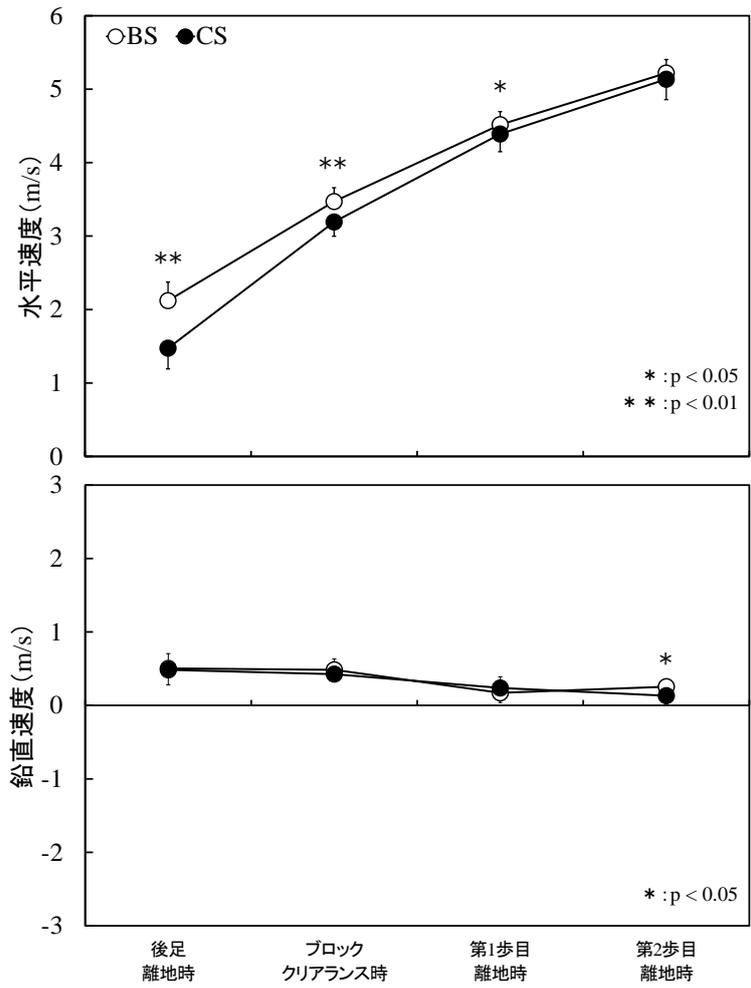


Fig.5-5 BS と CS における水平速度および鉛直速度

Table 5-2 BS と CS におけるブロッククリアランスでの力積および加えられた力と力が加えられた時間

	BS	CS	BS vs CS
力積 (N·s/kg)			
ブロッククリアランス全体			
力積 (I_{ev})	4.28±0.18	4.09±0.26	n.s.
力積の水平成分 (I_h)	3.44±0.18	3.13±0.21	BS > CS **
力積の鉛直成分 (I_v)	2.88±0.13	3.05±0.26	BS < CS *
後脚			
力積 (I_{Rev})	1.28±0.36	0.76±0.47	BS > CS **
力積の水平成分 (I_{Rh})	1.13±0.29	0.63±0.33	BS > CS **
力積の鉛直成分 (I_{Rv})	0.77±0.25	0.53±0.36	BS > CS **
前脚			
力積 (I_{Fev})	3.00±0.35	3.33±0.39	BS < CS **
力積の水平成分 (I_{Fh})	2.31±0.22	2.50±0.20	BS < CS **
力積の鉛直成分 (I_{Fv})	2.11±0.27	2.52±0.34	BS < CS **
両足局面			
力積 (I_{ev_d})	2.31±0.30	1.67±0.40	BS > CS **
力積の水平成分 (I_{h_d})	2.02±0.28	1.37±0.34	BS > CS **
力積の鉛直成分 (I_{v_d})	1.44±0.21	1.23±0.29	BS > CS **
片足局面			
力積 (I_{ev_s})	1.97±0.25	2.42±0.36	BS < CS **
力積の水平成分 (I_{h_s})	1.43±0.17	1.76±0.24	BS < CS **
力積の鉛直成分 (I_{v_s})	1.44±0.19	1.83±0.30	BS < CS **
加えられた力 (N/kg)			
後脚			
加えられた力	6.91±1.47	4.25±2.33	BS > CS **
加えられた力の水平成分	5.73±1.00	3.31±1.59	BS > CS **
加えられた力の鉛直成分	4.39±1.15	3.07±1.80	BS > CS **
前脚			
加えられた力	8.80±1.14	8.75±1.72	n.s.
加えられた力の水平成分	6.62±0.81	6.30±0.95	n.s.
加えられた力の鉛直成分	6.46±0.74	6.88±1.02	n.s.
力が加えられた時間 (s)			
後足時間	0.20±0.03	0.18±0.05	n.s.
前足時間	0.35±0.02	0.40±0.06	BS < CS *
両足局面時間	0.20±0.03	0.19±0.05	n.s.
片足局面時間	0.16±0.01	0.22±0.02	BS < CS **

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

Table 5-3 BS と CS における第 1 歩目の力積および加えられた力と接地時間

	BS	CS	BS vs CS
力積 (N·s/kg)			
水平成分 (I_{Gh})	1.12±0.08	1.28±0.12	BS < CS **
減速力積	0.07±0.02	0.02±0.02	BS > CS **
加速力積	1.19±0.08	1.30±0.11	BS < CS *
鉛直成分 (I_{Gv})	0.77±0.14	0.69±0.10	n.s.
加えられた力 (N/kg)			
加えられた力の水平成分	5.62±0.71	5.95±0.42	n.s.
加えられた力の減速成分	4.17±1.29	1.28±1.29	BS > CS **
加えられた力の加速成分	6.55±0.84	6.43±0.67	n.s.
加えられた力の鉛直成分	5.73±1.54	5.15±1.01	n.s.
接地時間 (s)			
第 1 歩目の接地時間	0.20±0.02	0.21±0.02	BS < CS **
減速時間	0.02±0.00	0.01±0.01	BS > CS *
加速時間	0.18±0.02	0.20±0.02	BS < CS **

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

Table 5-4 BS と CS における第 2 歩目の力積および加えられた力と接地時間

	BS	CS	BS vs CS
力積 (N·s/kg)			
水平成分 (I_{2Gh})	0.91±0.06	0.97±0.09	BS < CS *
減速力積	0.03±0.03	0.02±0.02	n.s.
加速力積	0.94±0.08	0.99±0.09	n.s.
鉛直成分 (I_{2Gv})	0.70±0.13	0.71±0.17	n.s.
加えられた力 (N/kg)			
加えられた力の水平成分	4.93±0.46	5.24±0.47	n.s.
加えられた力の減速成分	0.85±0.76	0.63±0.40	n.s.
加えられた力の加速成分	5.46±0.57	5.75±0.52	n.s.
加えられた力の鉛直成分	5.37±0.99	5.86±1.64	n.s.
接地時間 (s)	0.18±0.01	0.18±0.01	n.s.
第 2 歩目の接地時間	0.18±0.01	0.18±0.01	n.s.
減速時間	0.01±0.01	0.01±0.00	n.s.
加速時間	0.17±0.01	0.17±0.01	n.s.

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

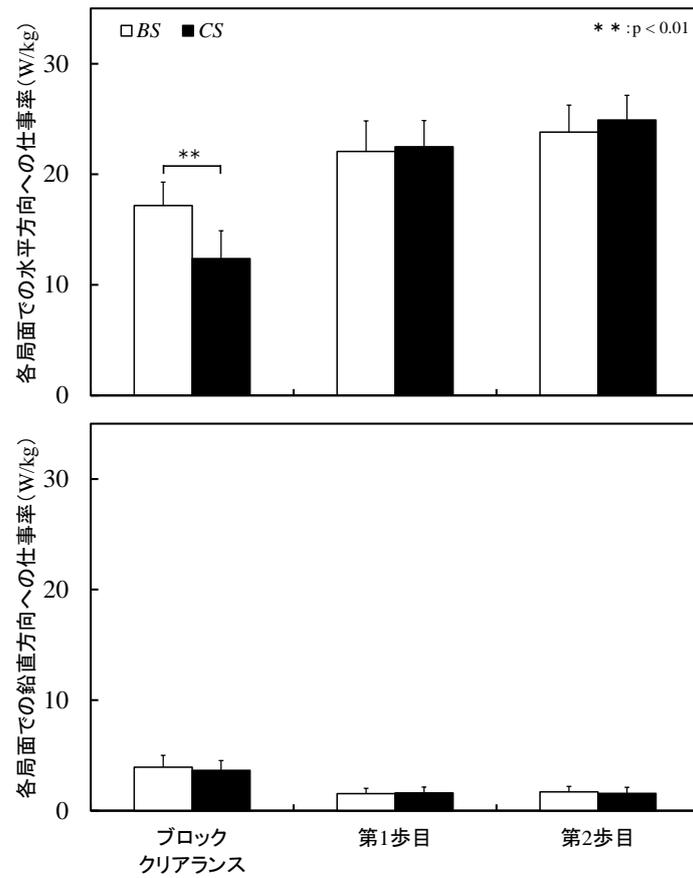


Fig.5-6 BS と CS における各局面での水平および鉛直方向への仕事率

Table 5-5 BS と CS におけるブロッククリアランスでの逆振り子モデルの各変量

	BS	CS	BS vs CS
Set 時			
逆振り子モデルの長さ(m)	0.63±0.04	0.60±0.05	BS > CS **
逆振り子モデルの回転角度(deg.)	64.96±4.58	67.13±8.72	n.s.
前足つま先から身体重心までの距離(m)	0.27±0.06	0.24±0.10	n.s.
後足離地時			
逆振り子モデルの長さ(m)	0.77±0.03	0.68±0.05	BS > CS *
逆振り子モデルの回転角度(deg.)	54.97±2.37	59.51±5.17	BS < CS **
前足つま先から身体重心までの距離(m)	0.44±0.04	0.35±0.07	BS > CS **
ブロッククリアランス時			
逆振り子モデルの長さ(m)	1.18±0.04	1.17±0.04	BS > CS *
逆振り子モデルの回転角度(deg.)	39.33±1.90	39.91±1.94	n.s.
前足つま先から身体重心までの距離(m)	0.91±0.03	0.89±0.03	BS > CS **
両足局面での変化量および角変位			
逆振り子モデルの長さの変化量(m)	0.14±0.04	0.08±0.04	BS > CS **
逆振り子モデルの角変位(deg.)	9.99±3.60	7.62±3.96	BS > CS **
身体重心の水平変位(m)	0.18±0.04	0.11±0.04	BS > CS **
片足局面での変化量および角変位			
逆振り子モデルの長さの変化量(m)	0.41±0.02	0.48±0.04	BS < CS **
逆振り子モデルの角変位(deg.)	15.64±2.48	19.60±5.00	BS < CS **
身体重心の水平変位(m)	0.47±0.04	0.55±0.07	BS < CS **
ブロッククリアランスでの変化量および角変位			
逆振り子モデルの長さの変化量(m)	0.55±0.04	0.56±0.04	n.s.
逆振り子モデルの角変位(deg.)	25.63±5.28	27.22±8.49	n.s.
両足局面での			
伸展速度および回転角速度の平均値			
逆振り子の伸展速度 (m/s)	0.70±0.14	0.42±0.17	BS > CS **
逆振り子の回転角速度 (rad/s)	0.87±0.22	0.66±0.22	BS > CS **
片足局面での			
伸展速度および回転角速度の平均値			
逆振り子の伸展速度 (m/s)	2.53±0.15	2.21±0.13	BS > CS **
逆振り子の回転角速度 (rad/s)	1.69±0.25	1.56±0.32	BS > CS *
ブロッククリアランス中の			
伸展速度および回転角速度の平均値			
逆振り子の伸展速度 (m/s)	1.52±0.10	1.38±0.13	BS > CS **
逆振り子の回転角速度 (rad/s)	1.24±0.22	1.14±0.23	BS > CS *

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

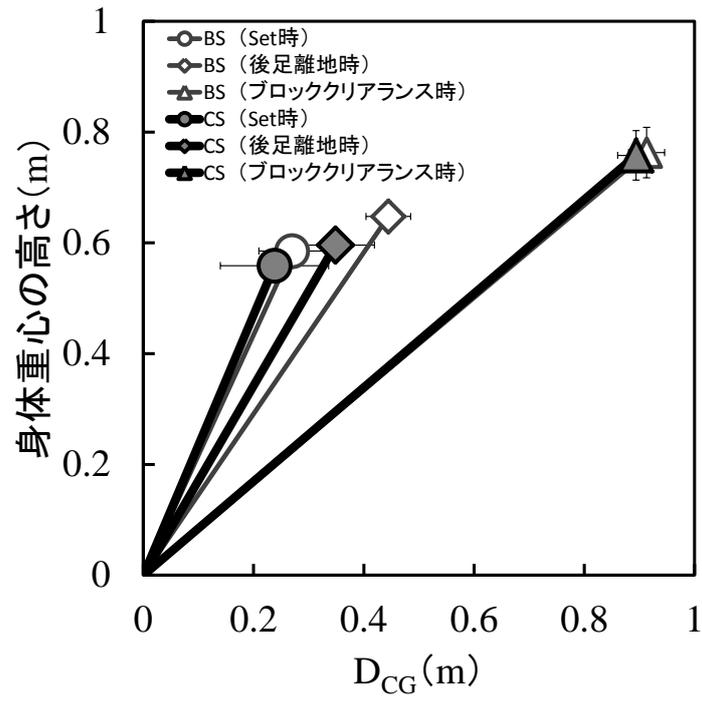


Fig.5-7 BS と CS におけるブロッククリアランスでの逆振り子モデルの挙動

5-4. 考察

5-4-1. スターティングブロックを用いないことがクラウチングスタートに及ぼす影響

Table 5-1 より，CS の Set 時の身体重心の水平位置は BS に比べてスタートラインから有意により後方にあり，鉛直位置は有意に低かった（身体重心の水平位置： $p<0.01$ ，身体重心の鉛直位置： $p<0.01$ ）。しかし，第 2 歩目離地時では，身体重心の水平位置および鉛直位置ともに BS と CS で有意差はみられなかった。また，Set 時から第 2 歩目離地時までの各局面での身体重心の水平変位および鉛直変位をみると，BS と CS で有意差がみられた箇所は滞空期①の水平変位（ $p<0.01$ ）のみであった（Fig.5-3）。これらのことから，スターティングブロックは Set 時やブロッククリアランス直後には影響を及ぼすものの，スターティングブロックを用いなくても，第 2 歩目の離地まででは同程度の位置まで疾走することができていたといえる。

一方，第 2 歩目離地時刻についてみる（Table 5-1）と，CS の第 2 歩目離地時刻は BS より有意に遅かった（ $p<0.01$ ）。また，Fig.5-4 より，スタート音が鳴ってから第 1 歩目を離地するまでの各局面での時間にそれぞれ有意差がみられ，滞空時間①を除いて，CS の反応時間とブロッククリアランスタイム，第 1 歩目の接地時間はいずれも BS よりも有意に長かった（反応時間： $p<0.01$ ，ブロッククリアランスタイム： $p<0.05$ ，第 1 歩目の接地時間： $p<0.01$ ）。したがって，第 2 歩目の離地時を基準にすると，スターティングブロックを用いないことで，同程度の距離を疾走するのに長い時間を要し，それらは主に第 1 歩目の離地までに要する時間が増大したことによるものと考えられる。また，Fig.5-5 の後足離地時から第 2 歩目離地時までの速度をみると，後足離地時から第 1 歩目の離地時までの各時点の水平速度には有意な差が認められ，いずれも CS の方が BS よりも水平速度が小さかった（後足離地時： $p<0.01$ ，ブロッククリアランス時： $p<0.01$ ，第 1 歩目離地時： $p<0.05$ ）。つまり，スターティングブロックを用いなかった CS は BS に比べて，第 1 歩目離地時までの水平速度を大きくすることができなかったことにより，身体重心を前方へ進ませることに要する時間が長くなったものと考えられる。しかし，第 2 歩目離地時の水平速度には有意な差は認められず，後足離地時から第 2 歩目離地時へと BS と CS の速度差は小さくなっていた（Fig.5-5）。つまり，スターティングブロックを用いなかった CS は BS に比べて，後足が離地するまでに大きな水平速度を獲得できず，ブロッククリアランス時に大きな水平速度で発走することができなかったものの，第 1 歩目と第 2 歩目でより加速し，第 2 歩目離地時には身体重心の水平速度の差が小さくなっていったものと推察される。

続いて、ブロッククリアランス全体で加えられた力積 (Table 5-2) をみると、加えられた力積 (I_{cv}) は BS と CS で有意な差が認められなかった。このことから、スターティングブロックを用いなくても、ブロッククリアランスでの力積の大きさには大きく影響しないものと考えられる。しかし、スターティングブロックを用いていない CS の方が BS よりもブロッククリアランスタイムが長かった (Fig.5-4) を考えると、スターティングブロックを用いないと、同程度の力積を加えるのにより時間が長くかかっていたということになる。さらに、ブロッククリアランス全体で加えられた力積をその成分別にみると、CS の水平成分は BS に比べて有意に小さく ($p<0.01$)、鉛直成分は、CS の方が BS に比べて有意に大きかった ($p<0.05$)。つまり、スターティングブロックを用いないと、ブロッククリアランスにおける力発揮の向きが水平方向に近くなかったことになる。したがって、スターティングブロックを用いることは力を発揮する方向に影響を及ぼすものであり、ブロッククリアランス時の水平速度 (Fig.5-5) に影響したものと考えられる。また、ブロッククリアランスにおける水平方向への仕事率 (Fig.5-6) では、CS は BS に比べて水平方向への仕事率が有意に低かった ($p<0.01$)。このことから、スターティングブロックを用いないとブロッククリアランスにおける仕事率を高めることができないものと考えられる。天野 (1978) は、クラウチングスタートの有利性として前進に有効な水平方向に力を発揮しやすいことを挙げており、本研究の結果と合わせて考えると、スターティングブロックを用いないと、クラウチングスタートの有利性を高めることができないものと考えられる。したがって、スターティングブロックを用いない場合、ブロッククリアランスにおける仕事率を高めることができないために、短時間での水平方向への大きな力発揮ができず、身体重心を水平方向へ大きく加速させることができなくなるものと考えられる。

ブロッククリアランスにおける前後の脚での力発揮に着目すると、Table 5-2 より、CS の方が BS に比べて、後脚での力積と加えられた力ともにいずれの項目も有意に小さかった (力積: $p<0.01$, 力積の水平成分: $p<0.01$, 力積の鉛直成分: $p<0.01$, 加えられた力: $p<0.01$, 加えられた力の水平成分: $p<0.01$, 加えられた力の鉛直成分: $p<0.01$)。さらに、後足時間には BS と CS で有意差が認められなかった。これらのことから、後脚ではスターティングブロックを用いなくても力を加える時間は変わらないが、大きな力を水平方向に発揮できず、大きな力積を加えることができなかったものと考えられる。このことに関して、篠原・前田 (2013) はスターティングブロックへの力発揮の大きさの大小には後ブロックへの力発揮が関係することを報告しており、本研究の結果とも合致するものであった。したがって、スターティングブロックを用いないと、後脚での力発揮が小さくなることにより、ブロッククリアランス全体での水平方向への力発揮を大きくすることができな

いものと考えられる。

一方、前脚では CS の方が BS に比べて、前脚での力積とその水平成分および鉛直成分がいずれも有意に大きかった（力積： $p<0.01$ 、力積の水平成分： $p<0.01$ 、力積の鉛直成分： $p<0.01$ ）。また、前脚で加えられた力とその水平成分および鉛直成分は、いずれも BS と CS で有意な差は認められなかったが、前足時間については、CS の方が BS より有意に長かった（ $p<0.01$ ）。つまり、スターティングブロックを用いない CS では後脚での力発揮が小さくなっていたが、前脚では逆に力積とその水平成分および鉛直成分のいずれも大きく、力を加える時間が長い力発揮となっていた（Table 5-2）といえる。このことに関して、Table 5-2 より、両足局面時間には有意差は認められないものの、CS と BS で片足局面時間には有意な差が認められ、CS の片足局面時間の方が BS より長かった（ $p<0.01$ ）。片足局面では前脚のみで力を加えることになるため、片足局面時間の増大が、前足時間の増大につながったものと考えられる。このような結果の背景には、両足局面での力発揮が関係していると考えられる。Table 5-2 より、CS の両足局面での力積およびその水平・鉛直成分はいずれも BS に比べて有意に小さかった。さらに、後脚での力発揮のみに着目すると、両足局面の結果と同様に、CS の後脚での力積およびその水平・鉛直成分はいずれも BS に比べて有意に小さかった。つまり、スターティングブロックを用いない CS では、後脚で加えられる力積の減少により、両足局面での大きな力発揮ができていなかったと考えられる。また、両足局面は Set の静止状態から始まることから、加えられる力積の大きさは両足局面の終了時となる後足離地時の速度に大きく影響すると考えられる。CS の両足局面での力積の水平成分および後脚での力積の水平成分は BS に比べていずれも有意に小さく（Table 5-2）、後足離地時の水平速度についても CS の方が BS より有意に速度が遅かった（Fig.5-5）。したがって、スターティングブロックを用いないと両足局面での水平方向への速度が獲得し難くなるといえる。その結果、両足局面時間は同程度であったにも関わらず（Table 5-2）、CS では Set 時から身体重心をより前方に進ませることができず、CS の身体重心の水平変位が BS よりも有意に小さくなった（Table 5-5）ものと考えられる。また、ブロッククリアランスにおける身体重心の水平変位は CS と BS で有意な差は認められなかったことから（Fig.5-3）、両足局面での身体重心の水平変位は CS が有意に小さくなっていたが、片足局面での身体重心の水平変位は CS が BS よりも有意に大きくなっていった（Table 5-5）。これらの結果を踏まえると、スターティングブロックを用いない CS において、片足局面時間の増大が起きたのは、両足局面で大きな力発揮ができず身体重心を前方へとあまり進ませることができなかつたために、片足局面で身体重心を移動させる距離が増大したこと、それに加えて、後足離地時の身体重心の水平速度が小さかったこと

が要因であろうと考えられる。

このようにして、スターティングブロックを用いない CS の片足局面時間は増大したと考えられるが、CS の片足局面での力積とその水平成分および鉛直成分は BS に比べて有意に大きかった (Table 5-2) のはその結果であろうと考えられる。力積は加えられた力と力が加えられた時間の積であることから、力を加える時間が長いことで力積も大きくなった (篠原・前田, 2013) ものと推察される。また、スターティングブロックを用いていない CS では、前脚での力積が増大してもブロッククリアランス全体では力積の大きさに有意な差は認められず、力発揮の方向が BS よりも鉛直方向に近づいていた (Fig.5-4, Table 5-2)。これらのことから、スターティングブロックを用いないと、ブロッククリアランスにおける力発揮では前脚が貢献する割合が相対的に大きくなり、後脚での力発揮を利用したクラウチングスタートになり難しく、水平方向への加速が小さい発走となることが考えられる。

第 1 歩目での力発揮については、Table 5-3 より、第 1 歩目での力積の水平成分に有意な差がみられ、CS の方が BS よりも大きな値となっていた ($p<0.01$)。また、その力積の水平成分については、CS の方が BS に比べて有意に減速力積が小さく ($p<0.01$)、加速力積が有意に大きかった ($p<0.05$)。そして、CS は BS に比べて有意に加えられた力の減速成分が小さく ($p<0.01$)、減速時間も有意に短い ($p<0.05$) 結果であった。さらに、加速時間も CS は BS より有意に長く ($p<0.01$)、第 1 歩目の接地時間も有意に長くなっていた。したがって、スターティングブロックを用いない CS における第 1 歩目の力発揮では、BS のそれに比べて、第 1 歩目での接地中の減速成分を減らし、加速するための力発揮の時間を長くすることで力積の水平成分の増大を図っていたと考えられる。また Table 5-4 より、第 2 歩目においても第 1 歩目と同様に CS の力積の水平成分は BS よりも有意に大きい値となっており ($p<0.05$)、第 2 歩目の離地時の身体重心の水平速度には有意な差はみられなかった (Fig.5-5)。第 2 歩目の離地時の身体重心の水平位置が BS と CS で同程度であったこと (Table 5-1) を踏まえると、スターティングブロックの有無に関わらず、第 2 歩目で到達する位置までに加速して獲得できる水平速度の大きさは変わらないものと考えられる。Salo and Bezodis (2004) は、スタンディングスタートとクラウチングスタートの 10m 地点および 25m 地点での水平速度を比較した結果、有意な差は認められなかったことを報告している。本研究の結果とは単純に比較できないが、到達した速度に有意な差がみられないという結果を踏まえると、スターティングブロックの有無やスターティングスタイルは、スタートから加速していきながら到達できる疾走速度に対しては大きく影響しないものと考えられる。むしろ、スターティングブロックの有無は、第 2 歩目を終えるまでの水

平速度の上げ方（水平方向への加速）に対して影響するものと考えられる。

一方、鉛直速度については、有意な差がみられたのは第 2 歩目の離地時のみ ($p<0.05$) であり、CSの方がBSより速度が小さかった (Fig.5-5)。このことについて、身体重心の鉛直変位をみると (Fig.5-3)、有意な差ではなかったものの、ブロッククリアランスおよび第 1 歩目ではCSの方がBSに比べて鉛直変位が大きい傾向であり、第 2 歩目ではBSの方がCSに比べて鉛直変位が大きい傾向にあった。これらの結果を踏まえると、BSはCSに比べて、ブロッククリアランスから第 1 歩目、第 2 歩目へと進むにつれて、徐々に鉛直方向に身体重心を上昇させているものと考えられる。一方で、CSはBSに比べて、ブロッククリアランスでの身体重心の上方への変位が大きい傾向にあっただけでなく、第 1 歩目においても身体重心の上方への変位が大きい傾向にあり、早期に身体重心の上昇が完了したものと推察される。したがって、身体重心を徐々に上昇させていたBSの方が、CSよりも第 2 歩目での鉛直変位が大きかったことで、第 2 歩目離地時の鉛直速度に影響したものと推察される。したがって、スターティングブロックの有無は、鉛直方向への身体重心の上昇の仕方にも少なからず影響していると推察される。

5-4-2. スターティングブロックがブロッククリアランスに及ぼす影響

スターティングブロックを使用しないで発走することの影響は各局面の中でも、特にブロッククリアランスに現れていた (Fig.5-4, Fig.5-5, Fig.5-6, Table 5-2)。そこで、スターティングブロックを用いないことがブロッククリアランス動作に及ぼす影響について、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) を用いて検討する。

Table 5-5 より、ブロッククリアランスにおける逆振り子モデルの長さの変化量および角変位をみると、BSとCSの間にはいずれも有意な差は認められず、身体重心の水平変位にも有意な差は認められなかった (Fig.5-3)。つまり、スターティングブロックを用いなくてもブロッククリアランスにおける逆振り子モデルの動作範囲は変わらず、身体重心の進行方向への移動距離にも差はないといえる。しかし、後足離地時を基準にブロッククリアランスを両足局面と片足局面に分けてみると、スターティングブロックの有無によって、これらの局面でのそれぞれの動作範囲は異なっていた。Table 5-5 の後足離地時の値をみると、BSに比べてCSの逆振り子モデルの長さは有意に短く ($p<0.05$)、回転角度は有意に大きく ($p<0.01$)、前足つま先から身体重心までの距離はCSの方がBSより有意に短かった ($p<0.01$)。また、両足局面におけるCSの逆振り子モデルの変化量と角変位および身体重心の水平変位 (Table 5-5) は、BSに比べていずれも有意に小さかった (長さの変化

量： $p<0.01$ ，角変位： $p<0.01$ ，水平変位： $p<0.01$ ）。つまり，スターティングブロックを用いない CS は BS に比べて，Set から後足離地時までの両足局面で身体重心をより進行方向に進めることができなかつたものと考えられる。一方，Table 5-5 のブロッククリアランス時の値をみると，CS の逆振り子モデルの長さは BS に比べて有意に短く ($p<0.05$)，前足つま先から身体重心までの距離も CS の方が BS より有意に短かつた ($p<0.01$)。このことから，後足離地時と同様にブロッククリアランス時においても，CS は BS に比べて身体重心を進行方向に進めることができていなかつたといえる。しかし，片足局面における逆振り子モデルの長さの変化量と角変位 (Table 5-5) は，CS の方が BS に比べて有意に大きく (長さの変化量： $p<0.01$ ，角変位： $p<0.01$)，身体重心の水平変位も CS の方が有意に大きかつた ($p<0.01$)。これらのことから，スターティングブロックを用いないと，片足局面において前脚のみで身体重心を進行方向に移動させる量が大きく，片足局面での逆振り子モデルの動作範囲も大きくなるものと考えられる (Fig.5-7 参照)。これらのことには，スターティングブロックを用いない CS では，後脚での力発揮が小さくなつていた (Table 5-2) ことで，後足が地面から離地するまでの両足局面で身体重心を進行方向へとより移動させることができず，片足局面での身体重心の水平変位量が増大したことが影響したものと推察される。その結果，両足局面と片足局面における逆振り子モデルの長さの変化量や角変位にも影響したものと推察される。したがって，スターティングブロックの有無は，両足局面と片足局面での動作範囲および水平変位の大きさに影響を及ぼすものと考えられる。

また Table 5-5 より，ブロッククリアランス中の逆振り子の伸展速度および回転角速度ともに CS の方が BS より有意に値が小さかつた (伸展速度： $p<0.01$ ，回転角速度： $p<0.05$)。ブロッククリアランスでの逆振り子モデルの長さの変化量および角変位には有意な差がみられず (Table 5-5)，CS のブロッククリアランスタイムは BS より有意に長かつたこと (Fig.5-4) から，スターティングブロックを用いないと，伸展運動と回転運動を短時間で行うことが困難となるものと考えられる。このことに関して，金高ほか (2009) は，本研究の CS に相当するスターティングブロックなしのクラウチングスタートとスタンディングスタートを比較し，クラウチングスタートではスタート開始から速度獲得率が 50%に達するまでの回転範囲 (約 9deg.) で，前方への回転角速度をいかに増大できるかが重要になると述べている。金高ほか (2009) の報告にある回転範囲は，本研究の両足局面での回転角度の角変位に相当し (BS：約 10 度，CS：約 8 度)，両足局面での逆振り子モデルの回転角速度は BS の方が CS に比べて有意に値が大きかつたこと (Table 5-5) から，スターティングブロックを用いることで，クラウチングスタートにおける回転運動をより高め

ることができるものと考えられる。

ブロッククリアランスにおける逆振り子モデルの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（土江，2011）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されている（金高ほか，2009）。また，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，このようなタイプ別のブロッククリアランス技法は，ブロッククリアランスにおける逆振り子モデルの伸展運動および回転運動に対応する技法であると考えられる。したがって，本研究の結果を踏まえると，クラウチングスタートにおけるタイプ別のブロッククリアランス技法はスターティングブロックを用いることによって成り立つものであると考えることができる。

5-5. 本章のまとめ

本研究では、スターティングブロックの有無の比較から、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使用が Set からのブロッククリアランスおよびその後のステップの踏み出しに及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) スターティングブロックを用いることで、同程度の距離をより速く疾走することができていた。
- 2) スターティングブロックの有無は、Set から第 2 歩目を離地するまでの水平速度の上げ方に影響していた。
- 3) スターティングブロックは、ブロッククリアランス局面での水平方向への仕事率を高め、ブロッククリアランスにおいて短時間での水平方向への大きな力発揮を可能としていた。
- 4) スターティングブロックの有無によって、後ブロックへの力発揮の大きさが変化し、両足局面での力発揮に影響していた。その結果、ブロッククリアランスにおける両足局面と片足局面での動作範囲および水平変位の割合が異なっていた。また、ブロッククリアランスにおける回転運動と伸展運動にも影響していた。
- 5) スターティングブロックの有無によって、特に第 1 歩目での力発揮に影響を及ぼし、減速成分と加速成分の大きさに差異が生じていた。

以上のことから、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では、ブロッククリアランスでの水平方向への仕事率を高めることができず、短時間での水平方向への力発揮ができなかったものと考えられる。これらのことから、クラウチングスタートはスターティングブロックと合わせて用いることで前進に有効な水平方向に力を発揮しやすいという有利性（天野，1978）を発揮するものと考えられる。したがって、スターティングブロックは、クラウチングスタートがもつ有利性を高め、短距離走スタートとして機能させる役割を持つものであると考えられる。

第6章 総合考察

本研究では、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への力発揮とブロッククリアランス動作の関係を解明するために、以下に挙げる課題を設定し、研究Ⅰ～Ⅳとして4つの研究を行った。

課題①：スターティングブロックに加えられた力の正確な測定方法

課題②：前後それぞれのブロックに対する力発揮とスターティングブロックへの力発揮との関係の解明

課題③：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における身体の回転および伸展動作との関係の解明

課題④：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後の力発揮との関係の解明

課題⑤：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後の動作との関係の解明

課題⑥：スターティングブロックへの力発揮を含めた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使用が及ぼす影響の解明

本章では、課題②～⑥とこれらを解決するための研究Ⅱ～Ⅳを中心に、それぞれの研究で得られた知見をもとに、スターティングブロックへの力発揮からみたクラウチングスタートの動作について総合的に考察を行う。なお、課題①に対する解決は、研究Ⅰにより、前後のブロック別にフォースプレートを用いてそれぞれ計測を行うことで、スターティングブロックに加えられる力の正確な測定を可能にした。

6-1. クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス技術とスターティングブロックの役割（課題②，③，⑥の解決）

研究ⅡおよびⅢより，ブロッククリアランスでの力発揮ではその水平成分の大きさ，すなわち力を発揮する方向を水平方向に近づけることが重要であると考えられた。これは，研究Ⅲにより得られたブロッククリアランスにおける力発揮の方向がブロッククリアランス時の水平速度と有意な正の相関関係にあったことや，ブロッククリアランスでの力発揮の大きさそのものとブロッククリアランス時の水平速度との間には有意な相関関係がみられなかったこと，また，研究Ⅳにより得られたスターティングブロックの有無によってブロッククリアランスでの力発揮の大きさには有意な差がみられなかったことから示唆されたことである。したがって，クラウチングスタートのブロッククリアランスでは，できる限り水平方向に近い力発揮を行うことで，水平速度を高めて発走することが選手に求められるものと考えられる。このことについて，天野（1978）はクラウチングスタートの有利性として，前進に有効な水平方向に力を発揮しやすいことを挙げている。また，研究Ⅳの結果から，スターティングブロックは水平方向への仕事率を大きくし，短時間での水平方向への大きな力発揮を可能とする役割を持つものと考えられた。さらに，スターティングブロックを用いることで後脚での力発揮が大きくなっていったことから，水平方向への仕事率を大きくし短時間に水平方向へ大きな力発揮するには，後脚での力発揮が重要となると考えられた。研究Ⅱにおいても，スターティングブロックへの力発揮の大きさには後ブロックへの力発揮の大きさが関係することがわかった。したがって，クラウチングスタートのブロッククリアランスにおいて水平方向への大きな力発揮を行うには，後脚での大きな力発揮が重要であることが示唆された。そして，そのような力発揮を可能にするスターティングブロックは，クラウチングスタートの有利性を高めるために欠かせない用器具であることが示唆された。

さらに，研究Ⅲより，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になっていた者ほど，体幹をあまり起こさず，身体の回転運動に合わせた伸展運動を行っていた。このことから，ブロッククリアランス局面での力発揮をより水平方向に近づけて，高い水平速度で発走するには，回転（倒れ込み）を活かしたブロッククリアランス動作が不可欠な技術になるものと考えられる（Fig.6-1）。また，研究Ⅳより，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では，回転運動と伸展運動が小さいブロッククリアランス動作となっており，両足局面における回転運動の範囲や回転角速度の低下を引き起こしていた。したがって，クラウチングスタートにおける回転（倒れ込み）の要素を高めたブ

ロッククリアランス動作は、スターティングブロックを用いることで可能となる動作技法であると考えられ、スターティングブロックは身体の回転運動が大きいブロッククリアランスを可能にする役割をもつものと考えられる。

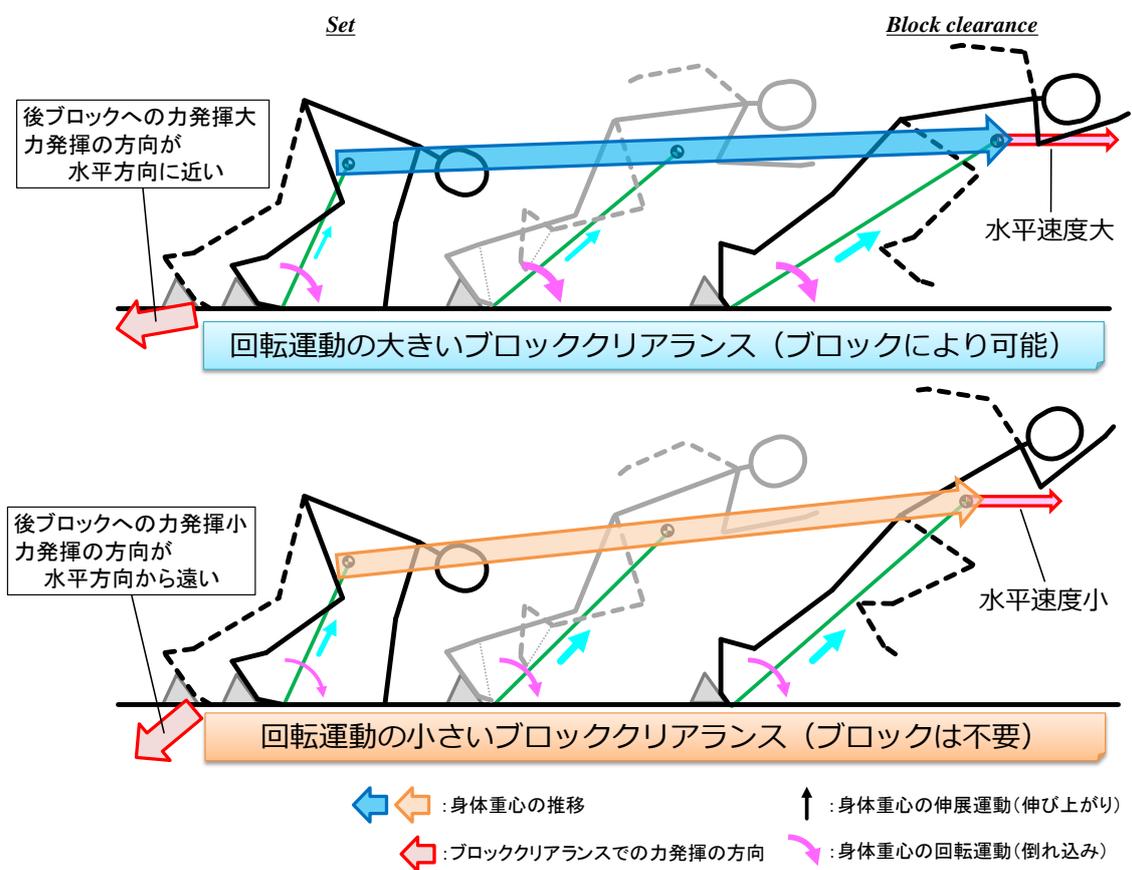


Fig.6-1 クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス技術

6-2. クラウチングスタートにおけるブロッククリアランス後の接地動作（課題④， ⑤の解決）

研究Ⅱよりスターティングブロックへの力積の水平成分の大きさは第1歩目での力積の水平成分と有意な負の相関関係にあり，ブロッククリアランスでの力積の水平成分が大きいほど，第1歩目での力積の水平成分は小さく，逆にブロッククリアランスでの力積の水平成分が小さいほど，第1歩目での力積の水平成分は大きい結果であった。また，スターティングブロックの有無による影響を検討した研究Ⅳにおいても同様の傾向がみられており，ブロッククリアランス全体での力積の水平成分が小さいと，続く第1歩目および第2歩目で加えられる力積の水平成分は大きくなっていった。さらに，研究Ⅲにおいて，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，第1歩目においてクラウチングスタートで推奨される姿勢となっていた。これらのことから，ブロッククリアランスでの力発揮の大きさは，その後のステップでの力発揮や身体の姿勢に影響を及ぼすことが推察される。クラウチングスタートでは，ブロッククリアランスと第1歩目を完全に区分することなく，一連の動作として捉える必要があるといえよう。

6-3. 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とブロッククリアランス動作の関係

研究Ⅳでみられたように、スターティングブロックの有無によって、ブロッククリアランス動作だけでなく、クラウチングスタートとしての動作にも影響を及ぼしていた。このことには、スターティングブロックへの力発揮として、特に後脚での力発揮に変化が生じることによって、両足局面での力発揮、片足局面での力発揮、さらには、ブロッククリアランス後の第1歩目へとスターティングブロックを用いないことが、続く局面での力発揮に影響していったように、発走開始直後にスターティングブロックに後脚で大きな力発揮をできるかどうかクラウチングスタートの水平速度の上げ方やそれに伴う動作の機序に影響を与えられられる。また、研究Ⅱより、スターティングブロックへの力発揮の大きさには、後ブロックへの力発揮の大小が関係していたことを踏まえると、ブロッククリアランス局面において後脚で大きな水平方向への力発揮を行うことは、スターティングブロック全体への水平方向への力発揮を高めること、および水平方向への仕事率の増大に寄与していると考えられ、そのような力発揮を行った結果として、身体の回転運動を活かしたブロッククリアランス動作を行うことができ、ブロッククリアランス時に高い水平速度で発走することを可能にしているものと考えられる。

スターティングブロックへの力発揮は、クラウチングスタート動作の成否を左右する重要な要因であると考えられる。特に、後脚での水平方向への大きな力発揮は、「前進に有効な水平方向に力を発揮しやすい」というクラウチングスタートの有利性（天野，1978）を高め、短時間での発走を可能としていたことから、クラウチングスタートを短距離走スタートとして成り立たせるには、ブロッククリアランスにおける後脚での水平方向への大きな力発揮が必要不可欠であると考えられる（Fig.6-2）。

第7章 総括

陸上競技の短距離走種目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義務づけられている。短距離走種目は静止した状態から始まるため、速度を獲得して出発するには、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への力発揮が重要となる。そこで本論文では、クラウチングスタートにおける力発揮と動作を対象に、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の解明を目的として、両者の関係について検討を進めた。

本論文は4つの研究（研究Ⅰ，研究Ⅱ，研究Ⅲ，研究Ⅳ）をもとに構成され、得られた成果を各章ごとにまとめた。以下が本論文における各章のまとめである。

第1章では、短距離走におけるスタートでの力発揮について先行研究を概観し、問題点および課題を整理した。その結果、6つの課題が挙げられた。これらの課題をもとに、各研究を進めた。

第2章は、研究Ⅰが該当する。本章では、クラウチングスタートにおいて、スタート音が鳴ってからスターティングブロックを離地するまでの間にスターティングブロックに加えられた力を前後のブロック別にフォースプレートを用いて行った。また、第1歩目が接地してから離地するまでの間の地面反力の測定も別にフォースプレートを用いて行った。そこから、短距離走のクラウチングスタートにおける第1歩目離地までの力の発揮について分析を行った。得られた結果より、後ブロックに加えられた力は、被験者によって力の大きさは異なるものの、力の時間変化に大きな違いは見られなかった。このことには、ブロッククリアランスにおける後足の引き付け方が選手によって異なっていることが影響していることが推察された。また、前ブロックに加えられた力の時間変化には被験者によって違いがみられた。このことには、力が加えられる時間が長いことにより、加えられる力の最大値よりも力の時間変化の方が加速に影響するため、後ブロックに比べて前ブロックの方が力の時間変化に個人差が現れたものと推察された。さらに、スターティングブロックに加えられた力と第1歩目が接地してから離地するまでの間の地面反力に関する分析項目について、本研究で整備した測定環境で計測した値および対象とした被験者と、先行研究で報告された値および対象とされた被験者とを比較した結果、両者で力発揮は大きく異なっていた。したがって、クラウチングスタートにおける力発揮を測定する上で、本研究で設定した測定環境において、正確な測定ができるものと考えられた。また、これまでの先行研究では検討できなかった点についても、本研究で整備した測定環境で測定す

ることにより、クラウチングスタートの力発揮と動作をより詳細に分析・検討することが可能になるものと考えられた。

第3章は、研究Ⅱが該当する。本章では、短距離走スタートにおいてスターティングブロックに加えられた力積をもとに、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およびその後の第1歩目との関係について検討を行った。その結果、スターティングブロックへの力積の大きさから、ブロッククリアランスにおける力発揮は水平成分（進行方向の成分）の力積によって特徴づけられるものと考えられた。また、スターティングブロックへの力積の大きさは、前ブロックへの力積の方が高い割合を占めるものの、その大きさの大小に影響するのは後ブロックへの力積であったことがわかった。さらに、スターティングブロックへの力積の大きさは、ブロッククリアランス後の第1歩目の水平方向への力発揮と関係していた。したがって、第1歩目を含めたスタートでの加速方略に合わせて、ブロッククリアランスでの力発揮を考える必要があると考えられた。

第4章は、研究Ⅲが該当する。本章では、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、特に身体重心の挙動に着目して検討した。その結果、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。また、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。さらに、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。これらのブロッククリアランス局面での力発揮の方向と動作の関係の結果から、スタートでの加速の仕方に合わせて、ブロッククリアランス動作を考えていく必要があると考えられた。

第5章は、研究Ⅳが該当する。本章では、スターティングブロックの有無の比較から、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使用がSetからのブロッククリアランス局面およびその後のステップの踏み出しに及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、検討を進めた。その結果、スターティングブロックを用いることで、同程度の距離をより速く疾走することができていた。また、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局面での水平方向への仕事率を高め、ブロッククリアランスにおいて短時間での水平方向への大きな力発揮を可能としていた。さらに、スターティン

グブロックの有無によって、後ブロックへの力発揮の大きさが変化し、両足局面での力発揮に影響していた。その結果、ブロッククリアランス局面における両足局面と片足局面での動作範囲および水平変位の割合が異なり、ブロッククリアランス局面における回転運動と伸展運動にも影響していた。そして、スターティングブロックの有無は、第1歩目での力発揮にも影響を及ぼし、減速成分と加速成分の大きさに差異が生じていた。したがって、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では、ブロッククリアランスでの水平方向への仕事率を高めることができず、短時間での水平方向への力発揮ができなかったことから、クラウチングスタートはスターティングブロックと合わせて用いることでその有利性を発揮するものと考えられた。スターティングブロックは、クラウチングスタートがもつ有利性を高め、短距離走スタートとして機能させる役割を持つものであると考えられた。

第6章では、総合考察を行った。これまでに得られた結果や示唆から以下のことが考えられた。

- (1) クラウチングスタートにおける回転（倒れ込み）の要素を高めたブロッククリアランス動作は、スターティングブロックを用いることで可能となる動作技法であると考えられ、スターティングブロックは身体の回転運動が大きいブロッククリアランスを可能にする役割をもつものと考えられた。
- (2) ブロッククリアランスでの力発揮の大きさは、その後のステップでの力発揮や身体の姿勢に影響を及ぼすことが推察された。クラウチングスタートでは、ブロッククリアランスと第1歩目を完全に区分することなく、一連の動作として捉える必要があるといえた。
- (3) ブロッククリアランス局面において後脚で大きな水平方向への力発揮を行うことは、スターティングブロック全体への水平方向への力発揮を高めること、および水平方向への仕事率の増大に寄与していると考えられ、そのような力発揮を行った結果として、身体の回転運動を活かしたブロッククリアランス動作を行うことができ、ブロッククリアランス時に高い水平速度で発走することを可能にしているものと考えられた。さらに、ブロッククリアランス後の第1歩目での力発揮との関係から、発走直後にスターティングブロックに後脚で大きな力発揮をできるかどうかクラウチングスタートの水平速度の上げ方やそれに伴う動作の機序に影響を与えるものと考えられた。

以上のことから、本研究をまとめると、スターティングブロックへの力発揮は、ブロッククリアランスだけでなくクラウチングスタートにおける動作の成否も左右する重要な要因であると考えられた。特に、後脚での水平方向への大きな力発揮は、「前進に有効な水平

方向に力を発揮しやすい」というクラウチングスタートの有利性を高め、短時間での発走を可能としていたことから、クラウチングスタートを短距離走スタートとして成り立たせるには、ブロッククリアランスにおける後脚での水平方向への大きな力発揮が必要不可欠であると考えられた。

参考文献

- 安部孝・深代千之（1998）スプリント走における各局面の主要体力要素の研究．バイオメカニクス研究，2（4）：316-317.
- 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（3）：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*，31（12）：131-135.
- 天野義裕（1987）第二章 リレー・短距離走 III. リレー・短距離走の技術構造と特性 1. 短距離走の技術構造と特性．関岡康雄編著 陸上運動の方法．道和書院：東京，pp.30-60.
- 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 Dolenc, 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., Bohets, W. and Vanden Eynde, E. (1989) Technology and development of speed: evaluation of the start, sprint and body composition of Pavoni, Cooman and Desruelles. *Athletics coach*, 23 (1) : 82-90.
- 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・トム：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.
- 福田厚治・伊藤章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. 体育学研究, 49 : 29-39.
- 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.
- 藤光謙司・青山清英 (2009) スタートダッシュにおける疾走動作の変動特性に関する研究. 陸上競技研究, 76 : 52-55.
- Gambetta, V., Winckler, G., Rogers, J., Orognen, 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.
- Guissard, N. and Duchateau, J. (1990) Electromyography of the sprint start. *Journal of Human Movement Studies*, 18 : 97-106.
- Guissard N., Duchateau J. and 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.
- Harland M.J. and Steele J.R. (1997) Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23 (1) : 11-20.
- Hay J.G. (1978) *The biomechanics of sports techniques*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J., pp.389-394.
- 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.
- 一川大輔・安井年文・高畠瑠依 (2006) スタートイングブロック設置方法に関する基礎的研究. 陸上競技研究, 67 : 13-21.
- Jacobs, R. and Schenau, G.J.I. (1992) Intermuscular coordination in a sprint push-off.

Journal of Biomechanics, 25 (9) : 953-965.

金子今朝秋・小林一敏・勝亦紘一 (1976) 短距離スタートにおけるキックと加速度. 日本体育学会大会号, 27 : 315.

片尾周造 (1973) 走運動に関する研究 (技術指導面からみたスタート動作について). 横浜市立大学紀要体力医学編, 2 (1) : 1-11.

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るための踏切動作 : 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.

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.

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.

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.

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.

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.

Mero, A. (1988) Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59 (2) : 94-98.

- Mero, A. and Komi, P.V. (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*, 61 : 73-80.
- Mero, A., Komi P.V. and Gregor R.J. (1992) Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13 (6) : 376-392.
- 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.
- 三沢光男 (1972) 陸上競技の技術史. 岸野雄三ほか編 スポーツの技術史. 大修館書店 : 東京, pp.90-93.
- 三井孝・岡子浩二・瓜田吉久 (2003) 逆振り子運動からみたスプリントにおける加速走の特性. 第17回日本バイオメカニクス学会大会論集 : 34-35.
- 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.
- 中野正英・尾縣貢・阪口妙子・真野功太郎 (1993) ジャンプスタートの特徴に関する実験的研究. *陸上競技研究*, 14 : 22-29.
- 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.
- 日本陸上競技連盟七十年史編集委員会 (1995) 日本陸上競技連盟七十年史. 日本陸上競技連盟 : 東京, pp.430.
- 西内文夫 (1979) 陸上競技の技術 (短距離) に関する一考察. *体育研究*, 13 : 95-101.
- 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*, 46 : 387.
- 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. (1970) A preliminary investigation into the mechanics of the sprint start. *Bulletin of Physical Education*, VIII : 21-30.
- Payne A.H. and Blader F.B. (1971) The mechanics of the sprint start. *Medicine and Sport vol.6, Biomechanics II* : 225-231.
- Quercetani, R. L. (1964) *A World History of Track and Field Athletics 1864-1964*. Oxford University Press : London, pp.1-46.

- 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ックス的研究. 順天堂大学保健体育紀要, 23 : 16-24.
- 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.
- Salo, A. and Bezodis, I. (2004) Which starting style is faster in sprint running - standing or crouch start? Sports Biomechanics, 3 (1) : 43-53.
- Schot, P.K. and Knutzen, K.M. (1992) A biomechanical analysis of four sprint start positions. Research Quarterly for Exercise and Sports, 63 (2) : 137-147.
- シュモリンスキーほか : 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., Bonnefoy, A., Levêque, J.M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R. and Chêze, L. (2010) Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start., Journal of Strength and Conditioning Research, 24 (4) : 896-905.
- 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.
- 袖山紘・浅川正一・金原勇・小佐文雄 (1969) クラウチングスタートの構えに関する基礎的研究. 体育学研究, 13(5) : 168.
- 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.
- Suryanarayana, V. (1972) The surya standing start. Track Technique, 50 : 1595-1596.
- Sven Michel (2001) Der Start ist (fast) alles. Leichtathletik, 35 : 27-28.
- 田口貞善・矢部京之助・伊坂忠夫 (2010) スポーツサイエンス入門. 丸善出版 : 125-133
- 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(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.
- Tuttle, W.W. (1933) Studies in the start of the sprint. *Research Quarterly*, 4(2):110-130.
- 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.
- 湯浅徹平(1976) 短距離; 陸上競技入門シリーズ①. ベースボール・マガジン社:東京, pp.40-51.
- 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. *Japanese Journal of Sports Science*, 15(1):23-27.

謝 辞

本研究は、神戸大学大学院人間発達環境学研究科前田正登教授の御指導のもとに行われました。前田先生には、学部3回生から博士後期課程を修了するまでの7年半、終始懇切なる御指導ならびに御鞭撻を賜りました。特に、博士前期課程から博士後期課程に進学するかどうかでは、進学に対する不安がなかなか拭えず、何度も御相談させていただきました。そして、博士後期課程に進学後も、数多くのことを学ばせていただきました。研究の進め方や論文作成だけでなく、ものの考え方や人としての生き方、心のあり方を御教示いただきました。それらすべてが、前田先生の「スポーツ技術論」、「身体運動技術論」につながっているのだと思います。また、博士後期課程への進学は、前田先生にとって私が初めてだったこともあり、私にとっても、前田先生にとっても、何もかもが初めてでした。構想諮問会、基礎論文作成、2度の日本学術振興会特別研究員への申請、2度の予備審査論文作成と中間審査、最終提出、最終審査…、その他にも、博士後期課程に進学してから今までの間には様々なことがありました。これらの全てがすべて、うまくいったことばかりではありませんでしたが、前田先生のもとで本研究を遂行し、「身体運動技術論」を土台とした博士論文を作成することができて、私は本当に幸せでした。ここに深く御礼申し上げます。

また、本論文の作成にあたり、神戸大学大学院人間発達環境学研究科平川和文教授、神戸大学名誉教授柳田泰義先生、神戸大学大学院人間発達環境学研究科岡田修一教授ならびに神戸大学大学院人間発達環境学研究科矢野澄雄教授には、御多忙中にもかかわらず御指導ならびに御高閲を賜りました。平川先生には博士後期課程に進学する前から、本研究に関する結果の解釈や考察の方向性について終始懇切に御指導いただきました。柳田先生には本論文を完成させる上で必要な視点や着眼点について、幾度となく御指導いただきました。岡田先生には、本論文の構成や各章の関係、目的と結論の整合性をより高める上で、多大なる御指摘と御助言を頂戴しました。矢野先生には、人間工学の視点から、本論文の完成度を高める上で貴重な御助言を頂戴しました。先生方から頂戴した御教示ならびに御支援により、本論文を完成させることができました。ここに厚く御礼申し上げます。その他にも、神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間行動専攻の先生方には、学部に入学してから博士前期課程、そして博士後期課程に至るまで、大変お世話になりました。心から感謝いたしますとともに、御礼申し上げます。

本研究に関するすべての実験や測定、論文作成には、神戸大学スポーツ技術研究室の諸

先輩方や同期、後輩の方々の多大なる御支援や御協力を賜りました。皆さまに助けていただいたおかげで、円滑に実験や測定を行うことができました。特に、博士後期課程に進学して以降の後輩達には、私が未熟だったために、迷惑をかけてしまった場面は少なくなかったと思います。にもかかわらず、普段の学生生活の中でいつも気さくに接してくれたことで、私はずいぶんと救われました。また、先輩の丹松由美子氏には、先輩が卒業後も研究室の運営や進路についての悩みを何かと御相談させていただきました。厳しくも暖かいアドバイスをいただき、その度に自身の至らない点に気づくことで、自信を持って歩みを進めることができました。後輩の清水雄一氏には、研究の話から将来の話まで、多岐にわたって意見交換させていただきました。様々な場面、場所での語り合いを通じて、私は自身に欠けていた視点やものの捉え方に気づくことができました。この気づきは、博士後期課程での日々や博士論文の作成に対して、私には不可欠なものでした。そして、他研究室ではありますが、博士前期課程の同期である曾谷英之氏には、博士論文の作成に行き詰った時や悩んでいる時、冗談を交えながらも何かと励ましていただきました。博士後期課程の同期であり先輩でもある天野達郎氏には、研究や博士論文に関して、いつも刺激を与えていただきました。その他にも、学部や博士前期課程、博士後期課程で出会った数多くの諸先輩方や同期、後輩の方々の支えがあり、ここまで来ることができました。皆さまには本当に感謝しております。ありがとうございました。

また、本研究の実験で被験者となってくださった神戸大学陸上競技部をはじめとする学生選手ならびに実業団選手のみなさま、本当にありがとうございました。特に、神戸大学陸上競技部の内賀嶋雄大氏、横山賢太郎氏、森本克貴氏、茂原哲也氏、田中諒氏には被験者として協力していただいただけでなく、短距離走におけるスタートの考え方や捉え方、あり方について、本研究で得られた結果をもとに幾度となく意見交換させていただきました。みなさんとの意見交換で得られた「短距離走選手のスタート観」は、競技力の低かった私には大変貴重であり、本研究の完成にはなくてはならないものでありました。また、ニューモードの馬越興平選手、花谷昂選手には、短距離走を含めた陸上競技の「本質」について、時にはグラウンドで、時には飲み会で、時には夜を徹して、意見交換させていただきました。そのどれもが、私にとっては大変得難く、かけがえのないものであり、本研究を遂行する原動力となっていました。そして、私を陸上競技の世界に引き入れて下さった山本基二先生には、陸上競技の指導者からみた短距離走におけるスタートについて、幾度となく御教示を賜りました。山本先生に陸上競技を教わらなければ、私はここまで深く陸上競技にのめり込むことはなかったと思います。選手や指導者の皆さまとの出会いの中で形作られた「陸上競技観」、「短距離走におけるスタート観」なくしては、本研究の完成

はありえませんでした。本当にありがとうございました。

最後になりましたが、学部に入學してから、博士前期・後期課程に進學し、今に至るまで、いつも暖かく見守ってくれた両親に御礼申し上げます。両親の支えがなければ、私はここまで辿り着くことはできませんでした。私の進學に対する考えが甘く、私自身も未熟だったせいで、博士前期課程に進學する頃から、両親には何かと心配をかけ続けてきたことと思います。進學してみて、両親が進學する前に本当に言いたかったこと、伝えたかったことが分かった時には、自分の愚かさを恥じるとともに、やり遂げなければならないと決意を新たに、研究に取り組み続けることができました。父さん、母さん、本当にありがとうございます。

これまでに会ったすべての人が、今の私を形作っていて、誰ひとり欠けても、今の私は存在しません。これまでに数多くの出会いがあったからこそ、私は今の私になることができました。この博士論文を完成させることができたのは、これまでに会ったすべての人が私を形作ってくれたからです。心から感謝いたしますとともに、厚く御礼申し上げます。