

2015年度 修士論文

ボブスレー競技のスタートにおける
バイオメカニクスの分析

Biomechanical analysis of the start motion in
Bobsleigh

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 エリートコーチングコース

5015A325-6

鈴木 寛

研究指導教員： 磯 繁 雄 教授

目 次

I	緒言	1
1.	ボブスレーの競技説明	1
2.	ボブスレーのゴールタイムを決定づける要因	2
3.	日本ボブスレー界の現状把握	5
4.	ボブスレー選手への適性	7
5.	スタート方式	7
6.	研究の目的	8
II	方法	9
1.	被検者	9
2.	介入トレーニング	10
3.	実験内容	11
4.	統計解析	14
III	結果	15
1.	プッシュボブスレーTOTAL タイムと 100mBEST タイムとの相関関係	15
2.	プッシュボブスレー区間タイム	16
3.	プッシュボブスレー区間速度	17
4.	そり速度	20
5.	各関節最大角度・最小角度・角変位	21
6.	身体重心	23
7.	各地点速度と身体重心変位との相関	24

8. 身体前傾角度	2 5
IV 考察	2 7
1. プッシュボブスレー区間タイムならび区間速度	2 7
2. 身体重心位置・身体前傾角度との関連性	2 8
V 結論	3 0
VI 参考文献	3 1
VII 基礎資料	3 4
謝辞	3 6

I 緒言

ボブスレー競技は、1897年スイス・サンモリッツで裕福な人たちによる冒険的な遊びとして発祥した。昔のレース用のそりは木製であったが、すぐに鋼鉄製に変更され、現在はカーボン製のそりが主流となっている。

ボブスレー競技は1924年、第1回冬季オリンピック競技会（France・Chamonix）から正式種目として4人乗りが実施されており、1932年第3回冬季オリンピック競技会（USA・Lake Placid）から2人乗りも正式種目として追加された⁵⁾。

1. ボブスレーの競技説明（2015_International_Rules_BOBSLEIGH より）

ボブスレー競技は、全長1,200m～1,650mの人工凍結トラックをそりで滑走してゴールまでの所要時間を競う冬季スポーツである。

所要時間は1/100秒まで計測される。競技種目は、男子2人乗り、女子2人乗り、4人乗り（男女混合）がある。そり重量および選手とそり重量の総重量には制限があり、基準（表1）をクリアしていなければ失格となる。

そりの先頭に乗り込みそりの操縦をする選手をパイロットといい、そりの最後方から乗込み、ゴールライン通過後にブレーキをかける選手をブレーカーまたはブレーキマンという。4人乗りの両サイドからそりを押して乗り込む選手をそれぞれセカンドプッシャー、サードプッシャーといい、スタート区間でそりを押した後、素早く乗込み滑走中は動かないように体を固定させる。

表1. ボブスレーの総重量とそり重量

	男子2人乗り	女子2人乗り	4人乗り
そり重量	170kg以上	165kg以上	210kg以上
総重量	390kg以下	325kg以下	630kg以下

オリンピックや世界選手権、ワールドカップには参加資格が設けられており、各大会に出場するには一定の大会出場数をクリアしなくてはならない。大会は2本の合計タイムで

順位を競う2Heat Racesと4本の合計タイムで順位を競う4Heat Racesがある（表2）。

表2. 2HEAT RACESと4HEAT RACESとの違い

	2HEAT RACES	4HEAT RACES
大会	ワールドカップ ヨーロッパカップなど	世界選手権 オリンピック
年齢制限	最低年齢は15歳以上	
順位決定	1本目の順位20位以内のチームのみ2本目を滑走し、順位を競う。（1本目21位以下のチームは1本目の順位で確定）	3本目までの順位20位以内のチームのみ4本目を滑走し、順位を競う。（3本合計タイムで21位以下のチームは3本目終了時点の順位で確定）

2. ボブスレーのゴールタイムを決定づける要因

ボブスレーのゴールタイムを決定づける要因として、鈴木ら¹⁹⁾はスタート時にそりを加速させる選手のスプリント能力、高速走行中にそりを操作するパイロットの正確な操縦技術、道具の性能が重要であると報告している。また、Michaelら⁹⁾は氷温ならびに滑走順番がゴールタイムに大きく影響していると報告しており、高い氷温よりも低い氷温のほうがゴールタイムは速くなるとされている。

1) スタート時にそりを加速させる選手のスプリント能力

スタート区間のうち、スタートブロックからファーストフォトセル（以下、スタートライン）までの15mの距離が助走区間となる。助走区間は2%の勾配となっている。スタート区間はスタートラインを通過後、スタートしたボブスレーが35km/hのスピードに達するまで直線でなければならない。スタートラインから50mがスタートタイムの計測区間となっている。スタート区間はボブスレー競技の中で唯一選手がそりに加速を与える局面であり、Leonardiら⁸⁾はスタート時のタイムロスがフィニッシュ時には3倍

に達すると述べており、Bruggemann ら²⁾ はスタートタイムとゴールタイムの分析で、ゴールタイムの相違のおよそ 77% がスタートタイムによって説明されると報告していることから、スタートタイムはボブスレー競技において重要な要因であるといえる。鈴木ら¹⁵⁾ は競技能力を向上させるための要因に、スタート時に 200kg のそりを押し出すパワー、押し出したそりに加速をつけるスプリント能力および、加速をつけてそりに跳び乗る敏捷性およびたくみさが重要であると報告している。スタートタイムと身体能力の関連について佐藤ら¹⁴⁾ は、20m 走およびベンチプレスが、スタートタイムと高い相関関係があると報告している。すなわち、短時間で最大パワーを出力できる上肢の筋力がボブスレー選手には必要であるといえよう。また、堀切川ら³⁾ はそりの乗込みの際に「蹴り乗り」の方がはるかに乗り込み後の速度が速く、またタイムも短縮できると報告しているように、選手自身の最高スピードに達する 2, 3 歩前の速度に余裕のあるタイミングで蹴り乗ることが重要である。

2) 高速走行中にそりを操作するパイロットの正確な操縦技術

ボブスレー競技は、最高速度 150km/h にも達する競技であり、パイロットは高速走行中の一瞬の判断力が必要である。操作方法を誤ると側壁にそりが衝突して大きなタイムロスとなり、そりが転倒した場合失格となる。

鈴木ら¹⁷⁾ は、パイロットにはレーシングドライバー同様恐怖心を克服する強い精神力・冷静な判断力および高度な神経 - 筋の協調性が要求されると報告しており、自動車のようにアクセルやブレーキでスピード調節できないボブスレーの操縦は非常に高度な技術を要すると考えられている。Morlock ら¹¹⁾ は、氷温、初速、各コーナーの入口と出口のスピード、区間タイムと競技成績を比較検討した結果、各カーブ内の通過タイムが重要であると述べており、パイロットが選択する滑走ラインによってタイム差が生じると予測できる。また、鈴木ら¹⁶⁾ は同一コースにおける滑走回数がゴールタイムに大きく影響を及ぼすとしており、滑走回数を増やしてコースへの習熟度を高めることがパイロットの技術向上にも繋がると報告している。

過去 5 年間（2015～2016 年シーズンを含む）のワールドカップならび世界選手権が行われた開催地を表 3 に示した．表を確認すると毎年開催されているコースが 5 か所あり，その他のコースも複数回開催されている．同一コースで大会が毎年開催されることでパイロットはコースへの習熟度が高まるため，現在世界のトップチームのパイロット技術には違いが少なくなってきたと考えられる．

表 3. 過去 5 年間のワールドカップおよび世界選手権の開催地

Season	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
ワ ー ル ド カ ッ プ	1st	Igls (AUT)	Lake Placid(USA)	Calgary(CAN)	Lake Placid(USA) Altenberg(GER)
	2nd	La Plagne(FRA)	Park City(USA)	Park City(USA)	Calgary(CAN) Winterberg(GER)
	3rd	Winterberg(GER)	Whistler(CAN)	Lake Placid(USA)	Altenberg(GER) Königssee(GER)
	4th	Altenberg(GER)	Winterberg(GER)	Winterberg(GER)	Königssee(GER) Lake Placid(USA)
	5th	Königssee(GER)	La Plagne(FRA)	St. Moritz(SUI)	St. Moritz(SUI) Park City(USA)
	6th	St. Moritz(SUI)	Altenberg(GER)	Igls (AUT)	La Plagne(FRA) Whistler(CAN)
	7th	Whistler(CAN)	Königssee(GER)	Königssee(GER)	Igls (AUT) St. Moritz(SUI)
	8th	Calgary(CAN)	Igls (AUT)	Sochi(RUS)	Königssee(GER)
	9th	Sochi(RUS)			
世界選手権	Lake Placid(USA)	St. Moritz(SUI)	Sochi(RUS)	Winterberg(GER)	Igls (AUT)

3) 道具の性能

そりやランナー（氷上に接している刃にあたるもの）の開発に関しては，各国しのぎを削っており，ワールドカップの上位にランクする強豪国は，自国でそりやランナーを開発している．そりでは，自動車メーカーと共同開発するケースが多く，イタリアはフェラーリ社，アメリカは BMW 社，イギリスではマクラーレン社が技術提供をしている．また，2014 年におこなわれたソチオリンピックでは，ロシアがオーストリアのボブスレーメーカーと独占契約をし，他国に一切そりを売買しなかった．Mont ら¹⁰⁾ は，そりデザインすべての面（空力，操作に対する反応の早さ，振動感度がないこと，最適なプッシュ効

率への人間工学的特色など) がそりの性能を決めると報告している。ランナーにおいては日本でも研究が進み、堀切川ら³⁾が低摩擦ランナーの開発をおこない、日本国内でもオリンピック等の規定を通過し使用できる技術を有すると考えられる。

3. 日本ボブスレーの現状把握

過去の日本代表の最高成績は、初出場した札幌オリンピックの12位である(4人乗り)。2014年に開催されたソチオリンピックは男子日本代表が出場したが、スタートタイム、パイロットの操縦技術ともに低調であった。その要因としては、ブレーカー陣のそりを押す技術・経験不足であると考えられる。選手の身体能力について、ソチオリンピックの日本代表ブレーカー陣は、全員100mを10秒台で走る選手であった。ブレーカーのM選手は2002年の陸上全日本選手権の200mに出場し優勝、2003年パリでおこなわれた世界陸上では400mRで6位入賞を果たしている日本のトップスプリンターであった。また、S選手は2004年におこなわれた国民体育大会において成年100mで優勝しており、スプリント能力では他国にも引けをとらない選手構成であった。こういった選手構成となった理由として、日本ボブスレー界では、ソチオリンピックまでボブスレーに対応できる可能性のある選手を個別にリクルーティングしていたことが挙げられる。過去にオリンピックに出場したスプリンター2名もリクルーティングされ、オリンピックシーズンにボブスレーを始めた選手もいる。過去を見ても、陸上競技のスプリンターもしくは投擲選手を多くリクルーティングしてきた経緯があり、ボブスレー競技を始めて1~2年でオリンピックに出場する選手も珍しくない。そのため、選手に技術や経験が不足していたと考えられる。

ソチオリンピック以降、日本ボブスレー・リュージュ・スケルトン連盟(以下、JBLSF)は若手パイロットの育成、新人ブレーカーの発掘などの強化活動を展開しているが、世界水準の選手は育成されていないと考えられる。

特に国内のパイロットはまだ経験が浅く、操作技術に改善の余地のある選手が大半な

ため、数年間はトップレベルの操作技術を修得するためにトレーニングおよび大会で経験を積むことが必要であると考えられる。

フィジカル面は JBLSF が USA Bobsleigh Skeleton Federation (以下, USA Bobsled) を参考にして作成した **Combine Test** を選手の身体能力のパフォーマンス評価として用いている。Combine Test の競技種目は 15m, 30m, 45m (USA 男子は 60m), 30mfly (30m 加速走), Broad Jump (立幅跳び), Shot Toss (砲丸フロント投げ), Clean, Squat (3RM) の 8 種目である。

表 4. 日本選手とアメリカ選手の **Combine Test** の比較

	15m	30m	45m	30mfly	Broad Jump	Shot Toss	Clean	Squat (3RM)
USAA	2.06	3.56	—	3.01	3.23	16.16	—	—
USAB	2.17	3.74	—	3.02	3.00	17.00	—	—
JPN A	2.13	3.79	5.37	3.24	2.92	13.91	112.5	170
JPN B	2.18	3.82	5.40	3.22	2.89	13.67	120	195

表 4 は 2015～2016 シーズンに実施された **Combine Test** (男子) の結果の一部である。天候条件やグラウンドコンディションなどの違いはあるが、日本選手はスプリント能力、ジャンプ能力ともに USA 選手と比較して劣っており、スタートタイムに差が生じる一つの要因と考えられる。

4. ボブスレー競技への適性

ソチオリンピックの USA 女子チームには、アテネオリンピック女子 100m で銀メダルを獲得した Lauryn Williams 選手，ロンドンオリンピック女子 100m ハードルで 4 位に入賞した Lolo Jones 選手が出場しており，Lauryn Williams 選手が女子 2 人乗りで銀メダルを獲得した。

日本では男子 100m 元日本記録保持者や 1997 年に行われた陸上全日本選手権において 110m ハードルで優勝した選手が長野オリンピックに出場していることから，ボブスレーの競技特性に適しているのは陸上競技の短距離選手および障害選手のような高い走速度を有しているスプリンターと考えられる。

5. スタート方式

日本では初心者にはボブスレーのスタートを習得させる際は，まず，一般的な押し方を指導する。しかし，世界ではさまざまなスタート方式が存在し，大きく分類すると 3 種類になると考えられる。

- ①スタート時にそり方向に身体を素早く前傾させ全体重をそりにかけ，全身のパワーでそりを押し出す方式（以下，START1）（図 1）



図 1. スタート動作（START1）

- ②スタートする際，肘関節が伸展する位置まで身体をゆっくりと前傾させ，その姿勢から股関節，膝関節の伸展でそりを押し出す方式（以下，START2）（図 2）



図 2. スタート動作 (START2)

③そりを前方方向へスライドさせることにより助走区間を作りだし、そりの重さを軽減させて押し出す方式 (以下, START3) (図 3)



図 3. スタート動作 (START3)

6. 研究の目的

Sarah ら¹³⁾は、ボブスレーにはスタート区間が重要であるにもかかわらず、バイオメカニクスの観点からスタート区間のプッシュ技術を報告したものがないと述べている。また、3通りのスタート方式でそれぞれ動作に相違があると予測されるが、スタート方式について述べられた先行研究はない。

そこで本研究は、3通りのスタート方式のうち、どの押し方がボブスレーの競技特性に適している陸上競技のスプリンターを用いた場合、有効なスタート方式であるのかを明らかにする。さらに、各スタート方式で動作の違いによるパフォーマンスをバイオメカニクスの観点から明らかにすることを目的とした。

Ⅱ 方法

1. 被験者

対象は、W 大学陸上競技部で短距離および障害競技を行っている男子選手 9 名であった。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」で審議・承認されている。研究実施に先立ち、各被験者に研究目的、その概要および測定内容を説明し、いつでも中止できることを文書および口頭で説明し、研究の参加の同意を得た。被験者の身長、体重、100mBEST タイムを表 5 に示す。

表 5 被験者の身体特性

	身長 (cm)	体重 (kg)	100m BEST (s)
被験者 A	177	68	10.50
被験者 B	175	66	10.29
被験者 C	183	77	10.71
被験者 D	174	72	10.52
被験者 E	184	79	10.84
被験者 F	179	72	10.60
被験者 G	180	73	10.58
被験者 H	173	76	10.46
被験者 I	184	76	10.85
平均	179	73	10.59
標準偏差	4.05	4.02	0.17

2. 介入トレーニング

被験者は、陸上競技が専門でボブスレーの知識や経験がなかったため、各スタート方式の動作習得を目的とし、計測実施日までに全 7 回（実施時間 23 時間）の介入トレーニングをおこなった。トレーニングは、大学内陸上競技場および実験会場である長野市ボブスレー・リュージュパーク（以下、スパイラル）で実施した。

介入トレーニングには、陸上競技場でトレーニングができるタイヤの装着された簡易的なプッシュボブスレーを用いた（図 4）。被験者にはまず、そのグリップの握り方やそりと身体の距離について指導した。次に、実験でおこなう 3 種類のスタート方式の見本を筆者がおこない、各スタート方式の相違点、ポイントを指導した。介入トレーニングでは、いずれの被験者においても **START1** の習得が早かったのに対し、**START2** および **START3** の進捗度合が遅かったためにトレーニングを集中的におこない、技術を習得させた。

全 7 回の介入トレーニングにより、各スタート方式の習熟度がほぼ同等となり、実験を実施可能なレベルまで到達したと選手の動きを見て筆者が判断した。



図 4 介入トレーニング風景

3. 実験内容

実験は、スパイラルに設備されている夏季にスタートトレーニングが可能な全天候型プッシュボブスレーコースを使用して実施した。レール上にローラーが装着された全長約 3m、重量約 120kg のプッシュボブスレー専用のそりを用いて、被験者には 3 通りのスタート方式によるスタート試技を行わせた。試技をするスタート方式の順番によってタイムの偏りが出ないように、スタート方式をランダムに選択させ、測定を実施した。

各試技の間には十分に休息できる時間を設け、体力低下による記録への影響がないよう試行した。

1) 区間タイム

スタートブロックから 4m を助走区間とし、以降 3m 間隔で 9 区間のタイムおよび全長 27m を TOTAL タイムとして計測した。計測には光電管（TC-Timing System BROWER 社製）を使用した。測定は各スタート方式を 2 回（計 6 本）行い各スタート方式の最高タイムを代表値とし、記録は 0.01 秒単位で記録した（図 5）。



図 5 区間タイムの記録方法

2) 動作解析

スタート試技中の動作をハイスピードカメラ (EX-F1, CASIO 社製) を用いて被験者の側方より 300Hz で撮影した。得られた映像は、動作分析ソフト (Frame-DIASIV DKH 社製) を用いて身体分析点 (24 点) ならびにそり分析点 (1 点) の二次元座標値を得た。身体分析点 24 点は以下の通りである。頭頂・右耳・左耳・胸骨上縁・右肩・左肩・右肘・左肘・右手首・左手首・右手・左手・右大転子・左大転子・右膝・左膝・右足首・左足首・右踵・左踵・右第 5 中足骨・左第 5 中足骨・右つま先・左つま先。二次元座標は図 6 に示す通り、そりの進行方向を X, 鉛直方向を Y と定義した。得られた身体分析点 (24 点) ならびにそり分析点 (1 点) の二次元座標は較正マークをもとに実長換算し, Wells and Winter²¹⁾ の方法に基づいて最適遮断周波数 (6Hz) を決定し, Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。得られた座標データより、そりの動き出しを起点に前脚接地時までの各関節最大角度・最小角度・角変位を算出した。それぞれの各関節角度は図 7-1 および図 7-2 に定義したとおりである。身体前傾角度・体幹角度・後脚膝関節前傾角・後脚足関節前傾角を算出した。それぞれの角度は図 7-3 および図 7-4 に定義したとおりである。身体前傾角度は, X 軸に対して後脚つま先から後脚側肩峰を結んだベクトルの成す角度と定義した。体幹角度は左右大転子中心から左右肩峰中心を結んだベクトルの成す角度と定義した。後脚膝関節前傾角は X 軸に対して後脚膝から後脚大転子を結んだベクトルの成す角度, 後脚足関節前傾角は X 軸に対して後脚外果から後脚膝を結んだベクトルの成す角度とそれぞれ定義した。また, 得られた二次元座標をもとに, 阿江¹⁾ の身体部分慣性係数を用いて全身の重心位置を算出した。

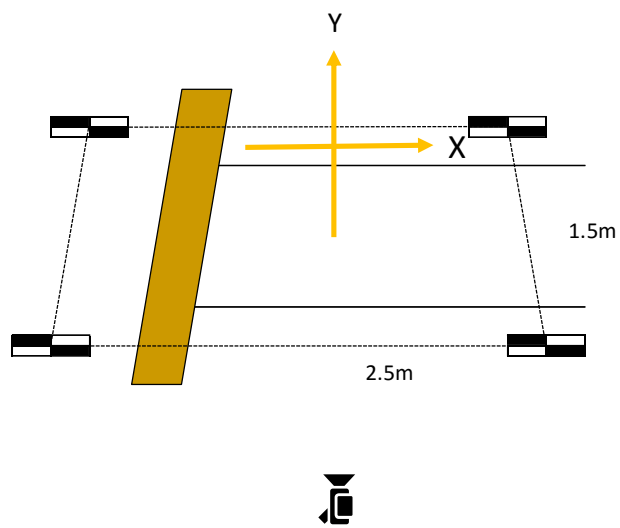


図 6 試技エリアの座標定義

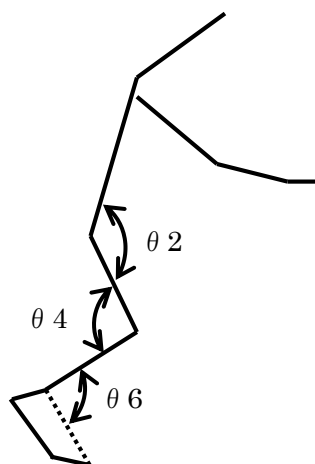


図 7-1 関節角度の定義（後脚）

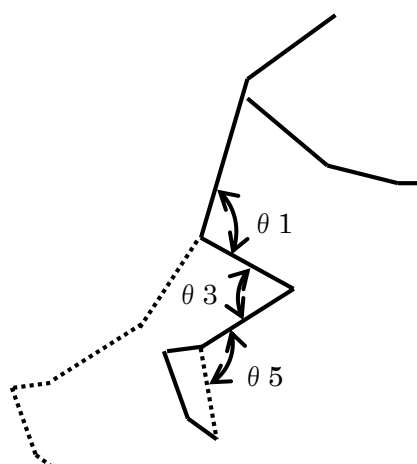


図 7-2 関節角度の定義（前脚）

- $\theta 1$: 前脚股関節
- $\theta 2$: 後脚股関節
- $\theta 3$: 前脚膝関節
- $\theta 4$: 後脚膝関節
- $\theta 5$: 前脚足関節
- $\theta 6$: 後脚足関節

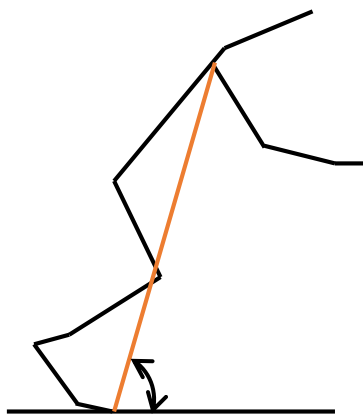


図 7-3 身体前傾角度

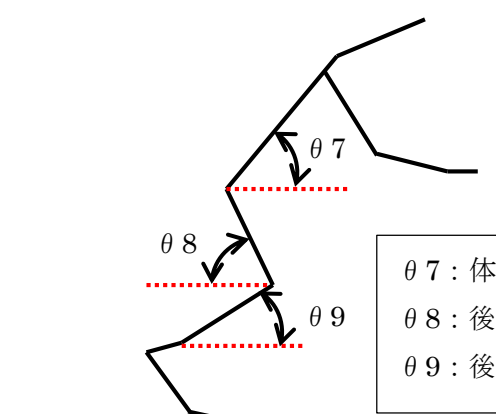


図 7-4 身体部位前傾角度

- $\theta 7$: 体幹前傾角度
- $\theta 8$: 後脚膝関節前傾角度
- $\theta 9$: 後脚足関節前傾角度

4. 統計解析

プッシュボブスレーTOTAL タイムと 100mBEST タイム，0m 地点速度，1 歩目接地時速度，0～3m 区間速度と身体重心変位の各関係をピアソンの積率相関係数を用いて分析した．有意確率は 5%未満とした．各スタート方式の最高速度，各関節角度を，一元配置分散分析を用いて分析した．有意確率は 5%未満とした．各スタート方式の区間タイム，区間速度，そり速度，身体重心変位を対応のある t 検定を用いて分析した．有意確率は 5%未満とした．

III 結果

1. プッシュボブスレーTOTAL タイムと 100mBEST タイムとの相関関係

図 8 にプッシュボブスレーTOTAL タイムと 100mBEST タイムとの相関関係を示した。

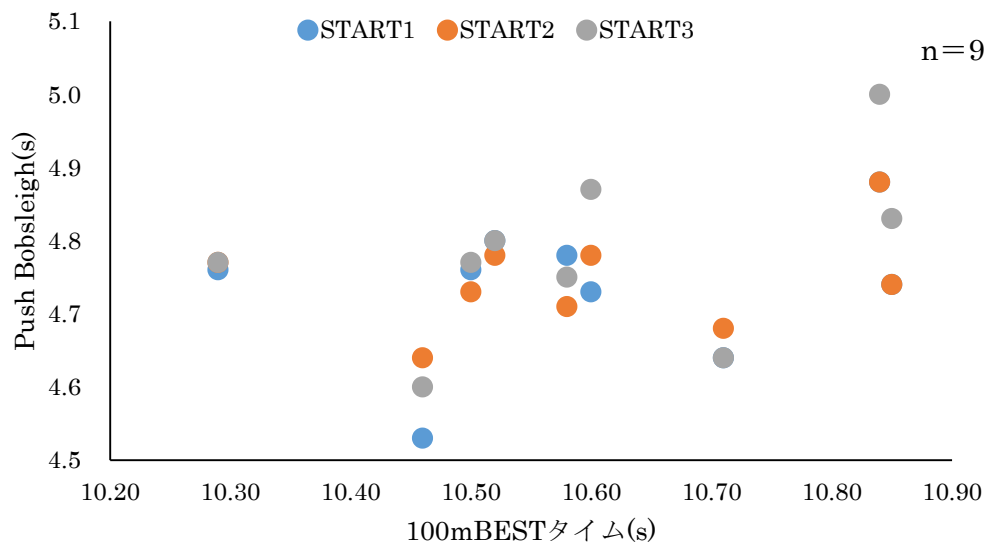


図 8 プッシュボブスレーTOTAL タイムと 100BEST タイムとの相関関係

各スタート方式のプッシュボブスレーTOTAL タイムと各選手の 100mBEST タイムには有意な相関関係は見られなかった。

2. プッシュボブスレー区間タイム

表 6 にプッシュボブスレー各区間タイムを示す。スタートから 27m の区間での 3 通りのスタート方式を比較した結果、統計上は各スタート方式で有意差が認められなかったが、タイムでは違いがあった。

3 通りのスタート方式の 0~3m, 3~6m 区間を比較した結果、スタート方式による有意差が認められた。0~3m 区間では START1 が START3 に対して有意に速かった ($p<0.05$) (図 9-1)。また、3 通りのスタート方式を比較した結果、3~6m 区間では START1 が START3 に対して有意に区間タイムが速く ($p<0.05$)、START2 が START3 に対して有意に区間タイムが速かった ($p<0.01$) (図 9-2)。

表 6 プッシュボブスレー各区間タイム

n = 9											
		0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m	TOTAL
START1	平均	0.85	0.64	0.57	0.51	0.48	0.45	0.42	0.41	0.40	4.74
	標準偏差	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
START2	平均	0.86	0.65	0.57	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.40	4.75
	標準偏差	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
START3	平均	0.88	0.66	0.57	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	4.78
	標準偏差	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
単位：s											

単位 : s

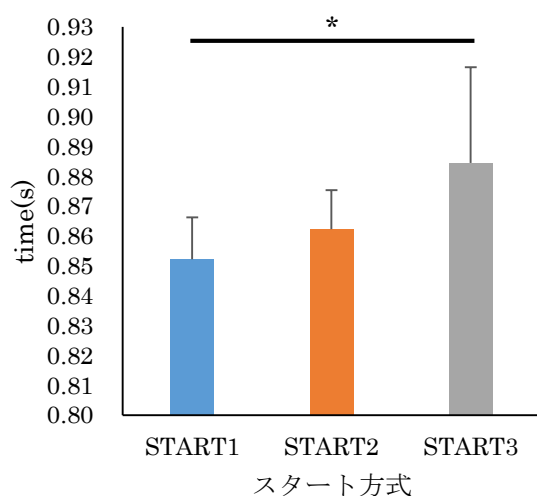


図 9-1 0~3m 区間タイム

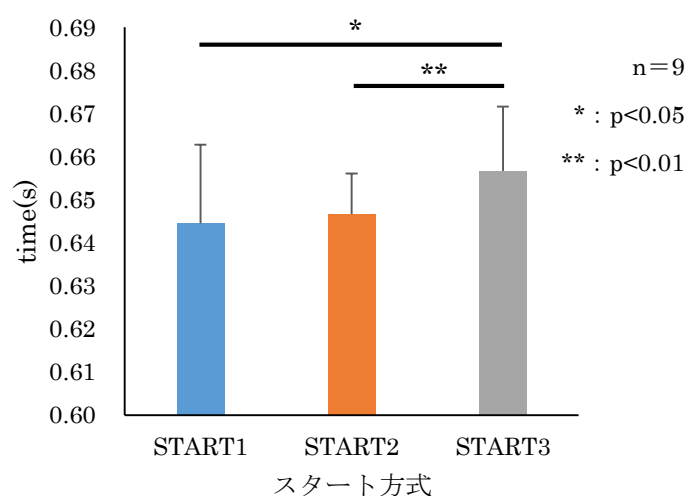


図 9-2 3~6m 区間タイム

3. プッシュボブスレー区間速度

図 10 に区間タイムを用いて算出したプッシュボブスレー区間速度を示した。スタートから 27m の区間での 3 通りのスタート方式を比較した結果、各スタート方式で有意差が認められなかった。しかしながら、0m 地点通過速度、0～3m、3～6m 地点での区間速度にはスタート方式によって有意差が認められた。

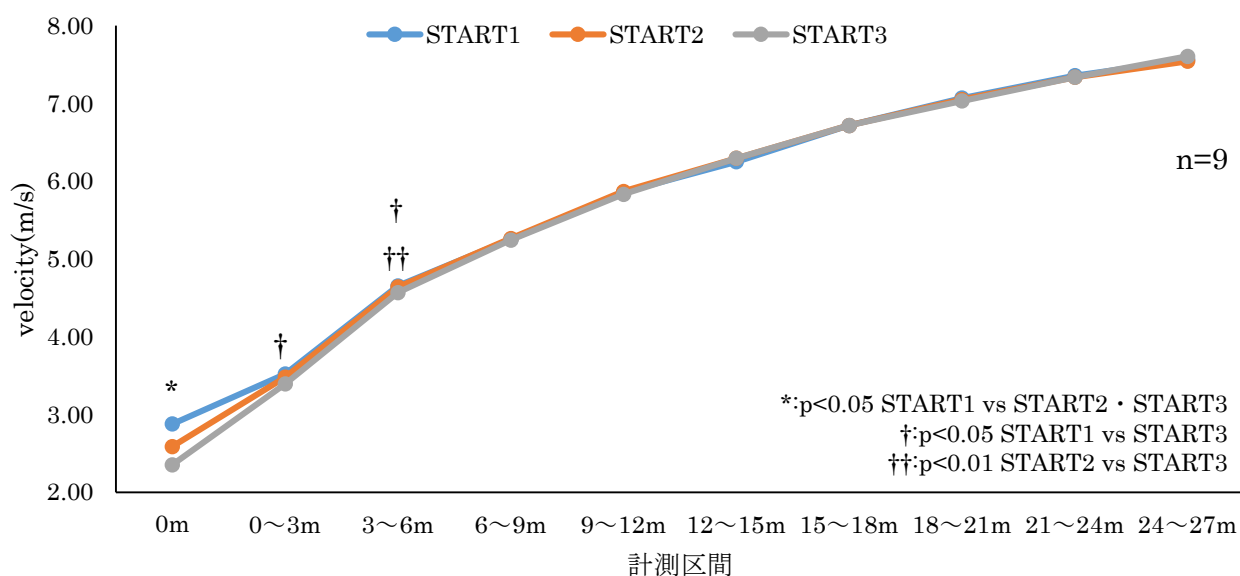


図 10 プッシュボブスレー区間速度の変化

図 11 に 0m 地点通過速度を示した．3 通りのスタート方式の 0m 地点通過速度を比較した結果，スタート方式による有意差が認められた．START1 が START2 と START3 に対して，0m 地点通過速度が有意に速かった ($p<0.05$)．

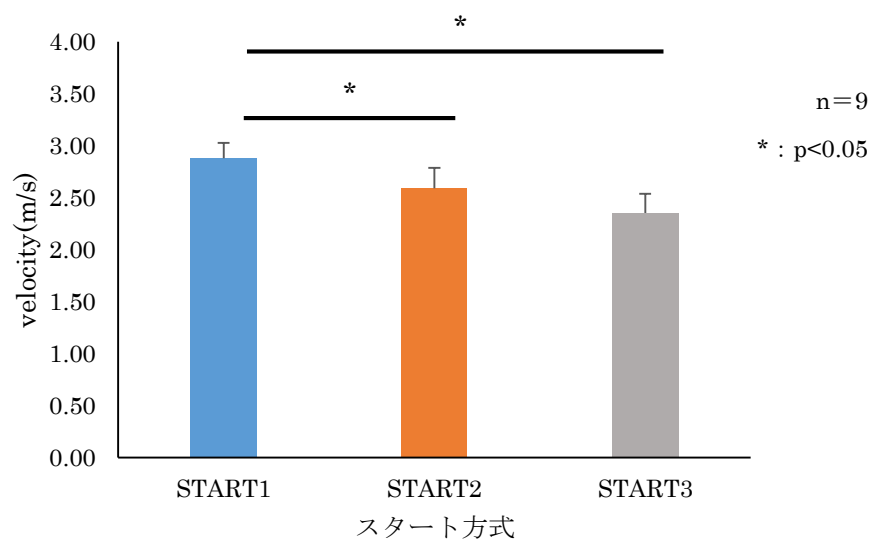


図 11 0m 地点通過速度

図 12-1 に 0~3m 区間速度を示した．3 通りのスタート方式を比較した結果，0~3m 区間で有意差が認められた．0~3m 区間では，START1 が START3 に対して有意に区間速度が速かった ($p<0.05$)．

図 12-2 に 3~6m 区間速度を示した．3 通りのスタート方式を比較した結果，3~6m 区間では，START1 が START3 に対して有意に区間速度が速く ($p<0.05$)，START2 が START3 に対して有意に区間速度が速かった ($p<0.01$)．

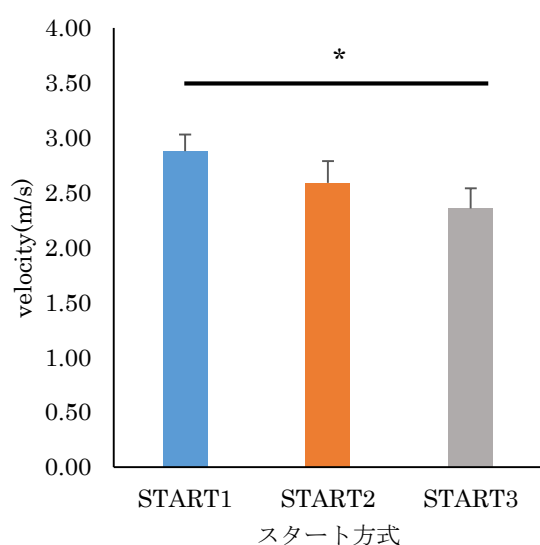


図 12-1 0~3m 区間速度

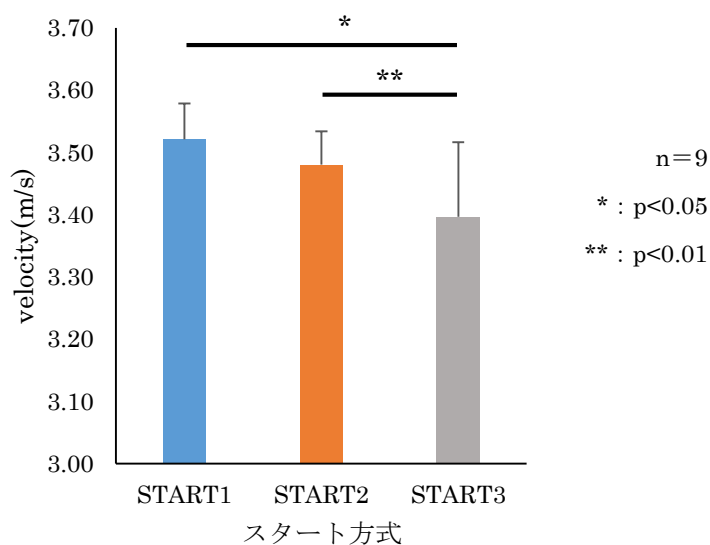


図 12-2 3~6m 区間速度

4. そり速度

図 13-1 にそりの動き出しを起点に前脚接地時までのそり速度変化を示した。前脚接地時のそり速度は、START1 が 2.68m/s, START2 が 2.64m/s, START3 が 2.55m/s となった。各スタート方式の前脚接地時速度を比較した結果、START1 が START3 に対して有意に速かった ($p<0.05$) (図 13-2)。

また、そりが動き出してから前脚接地までに要する時間が、START1 は 1.07 秒, START2 は 1.28 秒, START3 は 1.55 秒と各スタート方式でタイム差があった。

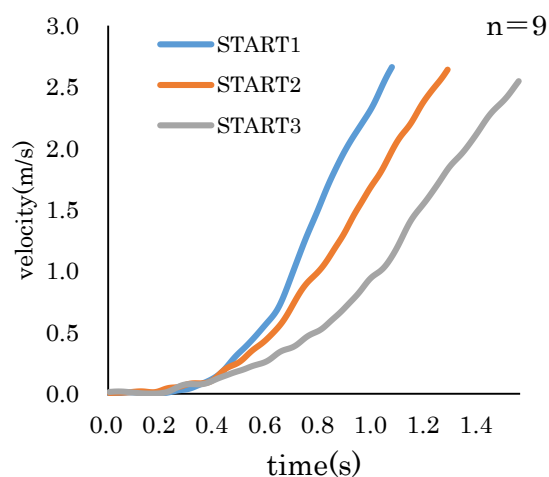


図 13-1 そり速度変化

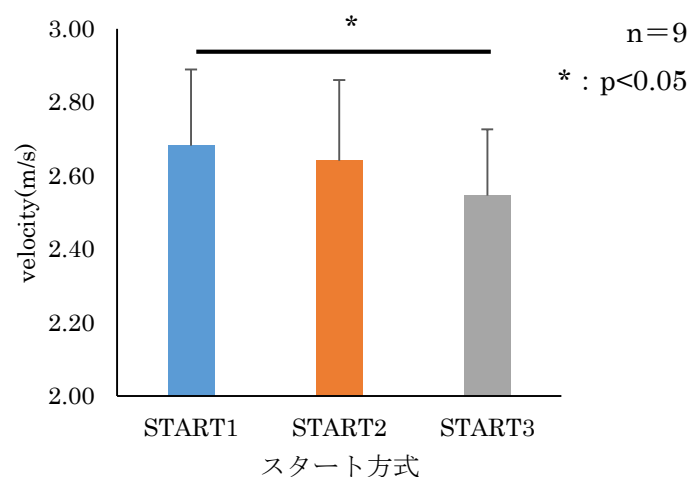


図 13-2 前脚接地時速度

5. 各関節最大角度・最小角度・角変位

表 7 にそりの動き出しを起点に前脚接地時までの各関節最大角度・最小角度・角変位を示した。各関節角度を比較した結果、最大角度では前脚膝関節，後脚膝関節，後脚足関節，最小角度では前脚膝関節，後脚膝関節，各変位では前脚足関節，後脚足関節で有意差が認められた。具体的には以下のとおりである。

最大角度

前脚膝関節では START1 および START2 が START3 に対して有意に関節角度が大きかった ($p<0.01$)。後脚膝関節では START1 および START2 が START3 に対して有意に関節角度が大きかった ($p<0.01$)。後脚足関節では START3 が START2 に対して有意に関節角度が大きかった ($p<0.01$)。

最小角度

前脚膝関節では START3 が START1 および START2 に対して有意に関節角度が小さかった ($p<0.01$)。後脚膝関節では START3 が START1 および START2 に対して有意に関節角度が小さかった ($p<0.01$)。

角変位

前脚膝関節では START2 が START3 に対して有意に角変位が大きかった ($p<0.01$)。後脚膝関節では START3 が START1 および START2 に対して有意に角変位が大きかった ($p<0.01$)。

表 7 各關節最大角度・最小角度・角変位

最大角度		n=9					
		θ 1	θ 2	θ 3	θ 4	θ 5	θ 6
START1	平均	109.04	155.31	124.80 *	156.78 *	97.98	115.56
	標準偏差	6.25	4.55	9.00	2.93	6.22	8.89
START2	平均	124.34	146.92	131.38 *	157.44 *	105.16	106.94†
	標準偏差	17.00	21.87	9.21	6.47	9.86	10.71
START3	平均	115.98	160.26	90.89 *	132.60 *	103.85	122.69†
	標準偏差	8.44	6.51	12.23	9.79	6.12	11.79
最小角度		θ 1	θ 2	θ 3	θ 4	θ 5	θ 6
START1	平均	77.08	85.48	69.67**	98.68**	68.04	62.06
	標準偏差	2.83	8.43	5.80	5.30	4.07	6.09
START2	平均	76.73	78.45	72.23**	94.22**	65.99	57.35
	標準偏差	8.08	10.01	6.60	11.03	9.28	8.34
START3	平均	77.85	81.17	46.39**	51.81**	70.16	64.36
	標準偏差	5.36	7.23	10.85	15.97	5.00	13.11
角変位		θ 1	θ 2	θ 3	θ 4	θ 5	θ 6
START1	平均	31.96	69.83	55.13	58.10**	29.94	53.50
	標準偏差	6.15	9.78	13.27	7.86	4.79	10.10
START2	平均	47.61	68.48	59.15††	63.22**	39.16	49.59
	標準偏差	18.13	21.89	9.92	11.27	12.43	13.96
START3	平均	38.13	79.08	45.30††	80.79**	36.74	58.33
	標準偏差	9.25	11.34	6.72	9.55	10.94	17.15

単位:deg

6. 身体重心

図 14 にそりの動き出しを起点に前脚接地までの身体重心の変位を示した．各被験者の身体重心を算出し，身長で除した値を身体重心高とした．

START1 は身体重心変位が大きく，START3 は身体重心高が大きく変化しない傾向が見られた．START2 は身体重心が低くなった後，直ちに高くなる傾向が見られた．

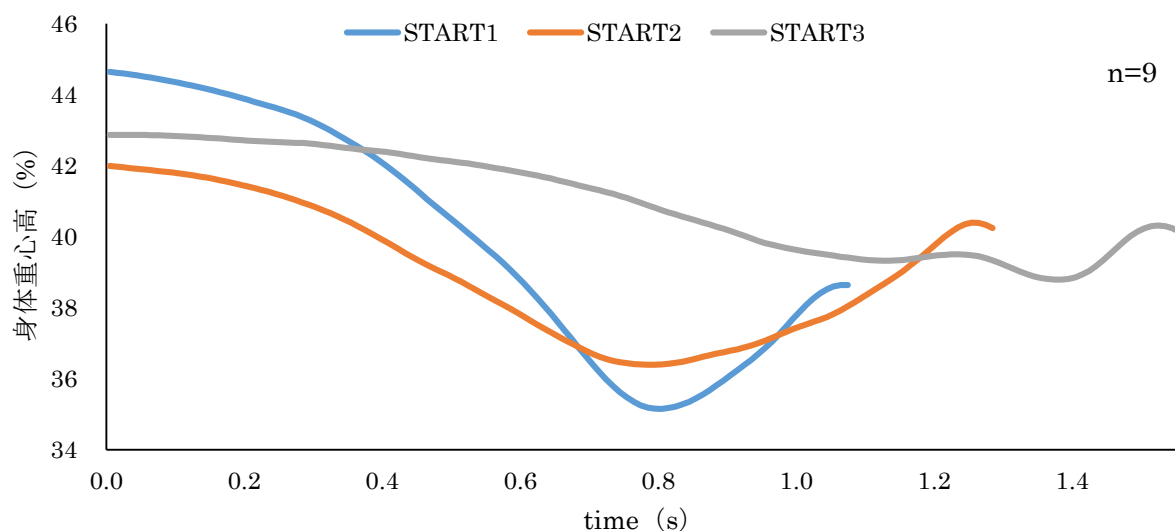


図 14 スタート動作中の身体重心の変化

図 15 に身体重心の変位量を示した．身体重心高の最大値と最小値の差分を身体重心変位量とし各スタート方式で変位量を比較した．その結果，START1 が START3 に対して有意差が認められた ($p<0.05$)．

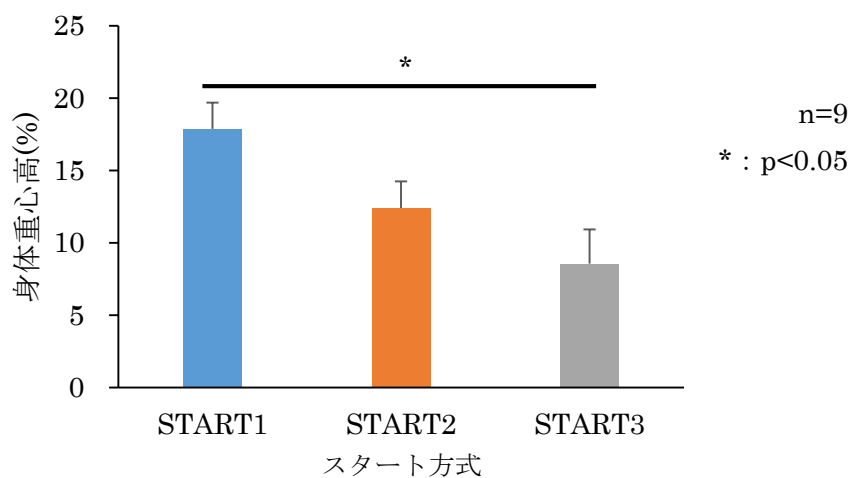


図 15 身体重心変位量

7. 各地点速度と身体重心変位との相関

0m 通過地点速度，前脚接地時速度，0～3m 地点区間速度と身体重心変位との相関関係をそれぞれ図 16-1，図 16-2，図 16-3 に示した．

前脚接地速度と重心変位との相関関係は認められなかった．0m 地点速度と重心変位の相関関係は START1 と START3 に正の相関関係が認められた．0～3m 区間速度と重心変位の相関関係は START1 に正の相関関係が認められた．

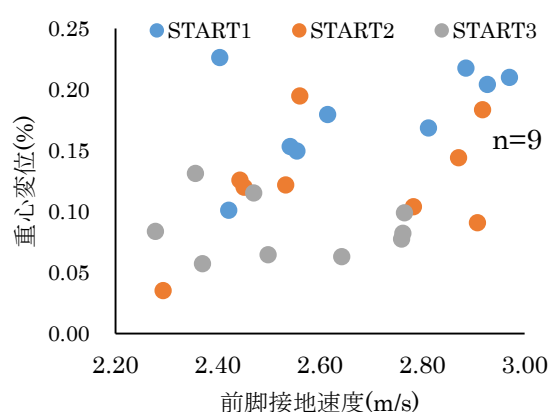


図 16-1 前脚接地速度との相関

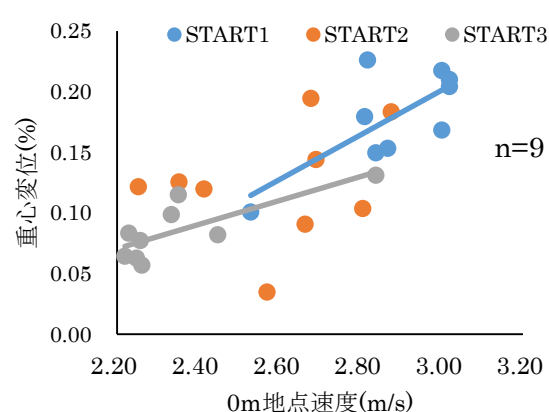


図 16-2 0m 地点速度との相関

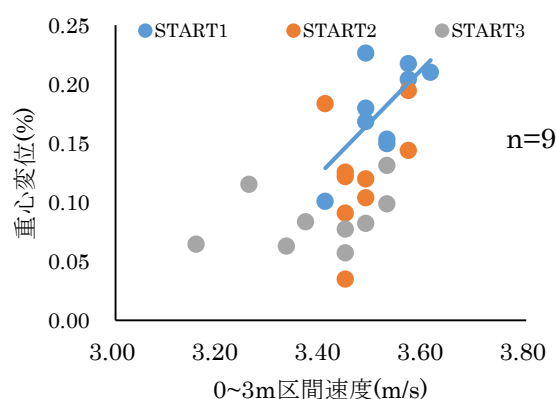


図 16-3 0～3m 区間速度との相関

8. 身体前傾角度

図 17 に各動作時における身体前傾角度の変化を示した。

START 動作の際，START3 の身体前傾角度が約 80° となっており前傾が弱い，前脚離地，前脚接地にかけて前傾している．対して START1 および START2 は START 動作時から身体前傾しており，前脚接地時まで前傾を深めている．

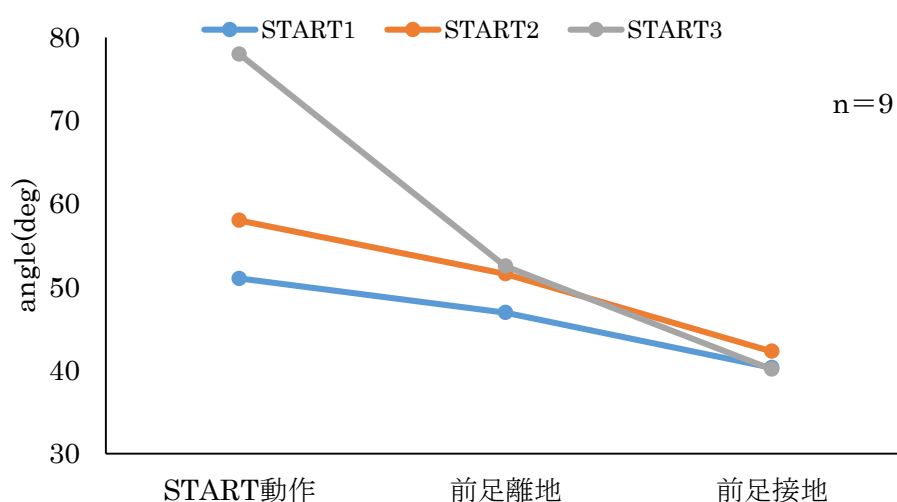


図 17 各動作時での身体前傾角度

表 8 にそりの動き出しから前脚接地までの体幹角度，後脚膝関節，後脚足関節の前傾角度を動作時ごとに示した． START1 は START 動作時，前脚離地に体幹角度と後脚足関節の前傾が大きく後脚膝関節の角度も大きかった． START2 は START 動作時の体幹角度が約 11° と大きいものの，前脚離地で体幹角度が約 30° と前傾が弱まっていた．

START3 は，体幹角度は各動作時でもほぼ変わらないが，前脚離地の後脚膝関節，後脚足関節の変位が大きかった．

表 8 各動作時の身体部位前傾角度

START動作				n=9
	$\theta 7$	$\theta 8$	$\theta 9$	
START1	15.78	82.30	23.65	
START2	11.08	71.90	30.09	
START3	30.41	58.69	55.53	
前脚離地				
	$\theta 7$	$\theta 8$	$\theta 9$	
START1	23.89	95.38	11.91	
START2	29.84	91.48	17.38	
START3	32.83	91.05	17.40	
前脚接地				
	$\theta 7$	$\theta 8$	$\theta 9$	
START1	28.92	124.81	24.71	
START2	34.41	125.53	27.71	
START3	33.98	125.66	23.97	
				単位: deg

IV 考察

本研究で3通りのスタート方式のうち、最も有効なボブスレースタートがどのスタート方式であるかが次の通り明らかになった。

1. プッシュボブスレー区間タイムならびに区間速度

TOTAL タイムでは、START1 が 4.74 ± 0.09 秒、START2 が 4.75 ± 0.06 秒、START3 が 4.80 ± 0.11 秒と統計上は各スタート方式間に有意な差はなかったが、タイムの順位差はあり START1 が速かった。

区間速度を3通りのスタート方式で比較した結果、0m 地点通過速度、0～3m、3～6m での区間速度にはスタート方式間に有意な差があった。しかし、6m 以降の区間速度にはスタート方式間に有意な差はなかった。このことは、プッシュ動作の動き出しの部分において START1 の技術が他の2つの技術にくらべ有利な方法であるということを示唆している。

0m 地点通過速度であった速度差は6m 以降の区間速度でほぼ同等となり、その後速度の差が各スタート方式で見られなくなったということは、ある一定の速度に達すると同様の速度曲線で推移していくということであろう。つまり、6m 以降のスプリント能力も重要ではあるが、タイムや速度に有意差があったスタートの動き出し部分の身体動作がプッシュボブスレーでは重要であると考えられた。また、選手個々でスタート方式による6m までの区間速度に相違があることから、より速いスタート方式を選択することも重要な戦略のひとつになると予測できる。

各被験者では、0～3m 区間速度が最も速かった被験者 H の速度は START1 で 3.61m/s であり、START2 では 3.45m/s、START3 では 3.53m/s であった。TOTAL タイムにおいても START1 が最も速かった。一方で、START2 で 0～3m 区間速度が最も高かった被験者 C の速度は、3.57m/s であり、START1 では同様の 3.57m/s、START3 では 3.49m/s であった。TOTAL タイムでは START2 が 4.71 秒、START1 では 4.78 秒と

0~3m 区間速度が同様に問わず大きなタイム差がついたことから、選手それぞれに得手不得手のスタート方式が存在すると考えられる。今後の課題として介入トレーニング導入の方法と期間を再考する必要があるだろう。

2. 身体重心位置・身体前傾角度との関連性

1) 身体重心位置

身体重心高の最大値と最小値の差分を身体重心変位量と定め、算出した数値を比較した結果、START1 が START3 に対して身体重心変位量が有意に大きいことが明らかになった。

START1 においては、重心位置はそりの動き出し時では高いが START 動作中に急激に下降し、前脚接地時まで低い重心を保ちながらそりを押し出す動作をしていた。すなわち、重心を前下方へ変位させることにより大きなそりの推進力を獲得していると考えられる。

START2 は、そりの動き出し時では 3 通りのスタート方式の中で最も身体重心が低く位置し、START 動作中に重心位置はさらに低くなる。しかし、前脚接地にかけて低い位置にあった身体重心がそりの動き出し時点とほぼ同等となる。すなわち START2 では前脚接地をする際に体が起き上がってしまい、そりの進行方向と推進力の方向のベクトルが一致していなかったのではないかと推察できる。

START3 は、そりの動き出し時から身体重心高がほぼ変化せずに前脚を接地させている。このことから、そりを押し出すという動作ではなく、身体重心を上下方向へ変動させることなく走り出す動作に移行しているのではないかと考えられる。これまでのところ、陸上競技の先行研究において身体重心高の変位が大きいとスタートが速くなるという報告は見当たらない。このように身体重心高を大きく変化させることにより、0m 地点速度ならびに 0~3m 区間速度が速くなるという結果はボブスレー競技独自の位置変化と考えられ、重い物体を素早く移動させるに必要な動きではないかと推察できる。ただし、そり

を速く押し出すには身体重心とそりの重心位置との適切なバランスが重要と考えられるが、本研究ではそりの重心位置を算出することができなかったため、今後の研究の課題としたい。

2) 身体前傾角度

START 動作時の身体前傾角度は START1 が約 50° , START2 が約 60° , START3 が約 80° と START1 が大きく前傾しており, START3 は前傾角度が小さい。START 動作時の各身体部位の前傾角度を見ても, 後脚足関節角度 ($\theta 9$) が START1 は約 24° , START2 は約 30° , START3 は約 56° と START1 が大きく前傾していることが分かる。START1 は足関節角度が小さく, 後脚膝関節角度 ($\theta 8$) が大きくなっているということは, 上体を進行方向に大きく投げ出しているということであろう。

前脚離地時では START1 は後脚足関節角度 ($\theta 9$) が約 12° , 後脚膝関節角度 ($\theta 8$) が約 95° となり, さらに前傾角度が深くなっているのに対し, START2 ならび START3 は後脚足関節角度 ($\theta 9$) が約 17° , 後脚膝関節角度 ($\theta 8$) が約 91° と START1 と比較すると前傾角度が浅く, そりに推進力を十分に伝えきれていないと推測される。

前脚接地時では START2 の体幹角度 ($\theta 7$) が約 34° , 後脚足関節角度 ($\theta 9$) が約 28° と大きく, START1 ならび START3 よりも身体前傾が小さくなっており, 推進力のベクトルの方向が進行方向よりも斜め上方にずれている可能性があると考えた。

トレーニング現場において START 動作のコーチングをする際, 「体幹を前傾させて進行方向に身体を投げ出す」, 「静止状態から膝関節を進行方向に倒していき, 低い姿勢で体をそりにぶつける」など, いかにして身体前傾角度を作りださせるかをアドバイスすることがある。また, 推進力のベクトルの方向性についても斜め上方ではなく, 進行方向に向かって推進力にロスがないようアドバイスをする。本研究での身体前傾角度の結果により, コーチングの際に選手に伝えていた内容がバイオメカニクスの的にも理にかなうものであることが示唆された。

V 結論

本研究の結果，3通りのスタート方式のうち，どの押し方がボブスレーの競技特性に適している陸上競技のスプリンターでは有効なスタート方式であるのか，さらに各スタート方式で動作の違いによるパフォーマンスをバイオメカニクスの観点からみた結果，以下のことが示唆された．

1. 3通りのスタート方式間で最高速度，TOTAL タイムともに有意差は認められなかったが，0m 通過地点，前脚接地時速度，0~3m 区間速度，3~6m 区間速度では，スタート方式間で有意差が認められ，プッシュ動作の動き出しの部分において START1 の技術が他の2つの技術と比較して有効な方法であるということを示唆している．
2. 各スタート方式で身体重心変位の相違が見られた．身体重心変位が最も大きい START1 が 6m 地点までの区間タイムが速い結果となったということは，重い物体を素早く移動させるには身体重心変位は必要な動きであると考えられる．
3. START 動作時に，START1 は上体を進行方向に大きく投げ出して身体を前傾させているのに対し，START2 および START3 は START1 と比較をすると前傾角度が小さく，それに十分な推進力を与えられていないのではないかと考えられる．
4. コーチングの際に身体前傾角度について選手にアドバイスをするが，本研究での身体前傾角度の結果により，コーチングの際に選手に伝えていた内容がバイオメカニクスの理にかなうものであることが示唆された．

VI 参考文献

- 1) 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 SCIENCES.,15,155-162.
- 2) Bruggemann,G.P., Morlock, M., & Zatsiorsky, V.M. (1997).Analysis of the
bobsled and men's luge events at the XVII Olympic Winter Games in
Lillehammer,Journal of Applied Biomechanics,13, 98-108.
- 3) 堀切川一男・山口健 (2005) . ボブスレー競技における低摩擦ランナーの開発と
新しいスタートテクニックの提案. 表面科学,26,12,762-765.
- 4) IBSF 国際競技規則(2015 年度版) .International Bobsleigh & Skeleton Federation.
- 5) International Bobsleigh & Skeleton Federation. IBSF HISTORY
<http://www.ibsf.org/en/ibsf-history>
- 6) International Bobsleigh & Skeleton Federation. RACES & RESULTS
<http://www.ibsf.org/en/races-results>
- 7) 公益社団法人 日本ボブスレー・リュージュ・スケルトン連盟
<http://www.jblsf.jp/>
- 8) Leonardi,L.M.Komor,A.and Monte,A.(1987).An interactive
computer simulation of bobsled push- off phase with a
multimember crew.In:Jonsoson,B.(Ed.),Biomechanics X,761-766.

- 9) Michael M. Morlock and Vladimir M. Zatsiorsky. (1989) .Factors Influencing Performance in Bobsledding: I: Influences of the Bobsled Crew and the Environment.,208-221.

- 10) Mont Hubbard, Michael Kallay, and Payam Rowhani. (1989) .Three-Dimensional Bobsled Turning Dynamics. International Journal Of Sport Biomechanics, 222-237.

- 11) Morlock,M.M. and V.M. Zasiorsky. (1989) .Factors infuencingperformance in Bobsleding.Int. J. Sport Biomech.,5,20,8-221.

- 12) Osbeck,J.,Maiorc,S.,and Rundell,K.(1996)Validity of field testing to bobsled start performance.J.Strength and Cond.,Res10(4),239-245.

- 13) Sarah L. Smith, Derek M. R. Kivi, Heidi Camus,Robert Pickels,William A. Sands(2006).KINEMATIC ANALYSIS OF MEN BOBSLED PUSH STARTS. International Symposium on Biomechanics in Sports.1,297-300.

- 14) 佐藤 真太郎・只隈 伸也・琉子 友男・春日 芳美・鹿島 丈博・田中 博史・川本 竜史・石井 和男・鈴木 寛・宮崎 久・黒岩 俊喜・小林 竜一 (2015) .ソチオリンピックボブスレー日本代表のトレーニングにおける事例的研究 -ラトビア合同合宿におけるプランニングを分析して-.大東文化大学紀要,第 53 号,39-48.

- 15) 佐藤祐・鈴木省三 (1983) .ボブスレー競技選手の体格と体力. Japanese Society of Physical Education.,34,321.

- 16) 佐藤佑・鈴木省三（1986）.ボブスレー競技パイロットの滑走本数と心拍数.
Japanese Society of Physical Education.,34B,573.
- 17) 佐藤佑・鈴木省三・藤井邦夫（1994）.ボブスレー競技日本チームの競技力の分析.
Japan Society of Physical Education.,45,577.
- 18) 佐藤佑・鈴木省三（1996）.ラップタイム計測によるボブスレー競技の
分析.Japanese Journal of SPORTS SCIENCES.,15-1,35-41.
- 19) 鈴木省三（1995）. ボブスレー競技のトレーニングと評価.
Japanese Society of Physical Education.,46,104.
- 20) USA Bobsleigh Skeleton Federation
<http://www.teamusa.org/USA-Bobsled-Skeleton-Federation>
- 21) Wells, R. P., and Winter, D. A.（1980）.Assessment of signal and noise in the
kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion., 92-
93.

VII 基礎資料

個人データ（プッシュボブスレー区間タイム）

START1										
	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m	TOTAL
A	0.85	0.66	0.58	0.52	0.48	0.45	0.42	0.41	0.39	4.76
B	0.88	0.64	0.57	0.52	0.48	0.44	0.43	0.40	0.40	4.76
C	0.85	0.62	0.56	0.50	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	4.64
D	0.86	0.66	0.58	0.52	0.48	0.45	0.43	0.42	0.40	4.80
E	0.86	0.67	0.59	0.53	0.49	0.47	0.44	0.42	0.41	4.88
F	0.84	0.65	0.58	0.51	0.48	0.45	0.42	0.41	0.39	4.73
G	0.84	0.65	0.57	0.52	0.50	0.45	0.43	0.41	0.41	4.78
H	0.83	0.61	0.54	0.48	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38	4.53
I	0.86	0.64	0.57	0.51	0.48	0.44	0.43	0.41	0.40	4.74

START2										
	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m	TOTAL
A	0.86	0.65	0.57	0.51	0.47	0.45	0.43	0.40	0.39	4.73
B	0.87	0.64	0.57	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.41	4.77
C	0.87	0.63	0.57	0.50	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	4.68
D	0.87	0.65	0.57	0.52	0.47	0.45	0.43	0.41	0.41	4.78
E	0.86	0.66	0.59	0.53	0.50	0.46	0.44	0.43	0.41	4.88
F	0.84	0.66	0.58	0.52	0.49	0.45	0.43	0.41	0.40	4.78
G	0.84	0.64	0.57	0.51	0.48	0.44	0.42	0.41	0.40	4.71
H	0.87	0.64	0.54	0.50	0.46	0.44	0.41	0.40	0.38	4.64
I	0.88	0.65	0.57	0.50	0.47	0.44	0.43	0.41	0.39	4.74

START3										
	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m	TOTAL
A	0.85	0.66	0.58	0.52	0.49	0.45	0.42	0.41	0.39	4.77
B	0.87	0.65	0.57	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.40	4.77
C	0.87	0.64	0.55	0.50	0.46	0.43	0.41	0.40	0.38	4.64
D	0.89	0.66	0.57	0.52	0.48	0.44	0.43	0.41	0.40	4.80
E	0.95	0.68	0.59	0.54	0.49	0.47	0.44	0.43	0.41	5.00
F	0.90	0.67	0.59	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.40	4.87
G	0.86	0.65	0.57	0.52	0.47	0.44	0.43	0.41	0.40	4.75
H	0.85	0.63	0.55	0.49	0.46	0.43	0.42	0.39	0.38	4.60
I	0.92	0.67	0.58	0.51	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	4.83

個人データ（プッシュボブスレー区間速度）

START1

	0m	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m
A	2.87	3.53	4.55	5.17	5.77	6.25	6.67	7.14	7.32	7.69
B	2.53	3.41	4.69	5.26	5.77	6.25	6.82	6.98	7.50	7.50
C	2.84	3.53	4.84	5.36	6.00	6.38	6.82	7.32	7.50	7.69
D	2.82	3.49	4.55	5.17	5.77	6.25	6.67	6.98	7.14	7.50
E	3.00	3.49	4.48	5.08	5.66	6.12	6.38	6.82	7.14	7.32
F	3.02	3.57	4.62	5.17	5.88	6.25	6.67	7.14	7.32	7.69
G	3.00	3.57	4.62	5.26	5.77	6.00	6.67	6.98	7.32	7.32
H	3.02	3.61	4.92	5.56	6.25	6.52	6.98	7.32	7.69	7.89
I	2.81	3.49	4.69	5.26	5.88	6.25	6.82	6.98	7.32	7.50

START2

	0m	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m
A	2.41	3.49	4.62	5.26	5.88	6.38	6.67	6.98	7.50	7.69
B	2.35	3.45	4.69	5.26	5.88	6.25	6.67	6.98	7.32	7.32
C	2.66	3.45	4.76	5.26	6.00	6.38	6.82	7.32	7.50	7.69
D	2.57	3.45	4.62	5.26	5.77	6.38	6.67	6.98	7.32	7.32
E	2.81	3.49	4.55	5.08	5.66	6.00	6.52	6.82	6.98	7.32
F	2.69	3.57	4.55	5.17	5.77	6.12	6.67	6.98	7.32	7.50
G	2.68	3.57	4.69	5.26	5.88	6.25	6.82	7.14	7.32	7.50
H	2.25	3.45	4.69	5.56	6.00	6.52	6.82	7.32	7.50	7.89
I	2.88	3.41	4.62	5.26	6.00	6.38	6.82	6.98	7.32	7.69

START3

	0m	0～3m	3～6m	6～9m	9～12m	12～15m	15～18m	18～21m	21～24m	24～27m
A	2.84	3.53	4.55	5.17	5.77	6.12	6.67	7.14	7.32	7.69
B	2.26	3.45	4.62	5.26	5.88	6.25	6.67	6.98	7.32	7.50
C	2.26	3.45	4.69	5.45	6.00	6.52	6.98	7.32	7.50	7.89
D	2.23	3.37	4.55	5.26	5.77	6.25	6.82	6.98	7.32	7.50
E	2.22	3.16	4.41	5.08	5.56	6.12	6.38	6.82	6.98	7.32
F	2.25	3.33	4.48	5.08	5.77	6.12	6.52	6.98	7.32	7.50
G	2.45	3.49	4.62	5.26	5.77	6.38	6.82	6.98	7.32	7.50
H	2.33	3.53	4.76	5.45	6.12	6.52	6.98	7.14	7.69	7.89
I	2.35	3.26	4.48	5.17	5.88	6.38	6.67	6.98	7.32	7.69

謝 辞

本研究をおこなうにあたり，主査である早稲田大学スポーツ科学学術院の礪繁雄教授には多大なるご指導，ご鞭撻を賜り心から感謝の意を表します．

また，ご多忙の中，副査を快く引き受けてくださいました土屋純教授，彼末一之教授をはじめ，エリートコーチングの先生方にも適切なご指導，助言を賜り厚く御礼申し上げます．

深野真子助教には，データ分析や論文推敲など多岐に渡りご尽力いただき心から感謝および御礼申し上げます．

さらに修士課程 2 年福田一樹さん，修士課程 1 年早川恭平さん，欠畑岳さんには実験やデータ分析においてご協力をいただき心から感謝いたします．

最後に本研究をおこなうにあたり，被験者としてご協力いただいた早稲田大学競走部の部員の皆様には心から御礼申し上げます．

今後，早稲田大学大学院スポーツ科学研究科で学んだことを日本ボブスレー界の発展，さらには日本スポーツ界の発展に貢献できるよう尽力していく次第です．