

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月12日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700609

研究課題名（和文） 競泳新型スタート台に合わせた新型スタート技術の開発

研究課題名（英文） Development of swim-start technique on starting block with a back plate.

研究代表者

武田 剛（TAKEDA TSUYOSHI）

早稲田大学・スポーツ科学学術院・助手

研究者番号：20508840

研究成果の概要（和文）：2008年以降の競技会で使用される新型スタート台上のスタート動作の動力学的解析を行った。成人競泳選手男子12名を対象に高速度カメラを用いた動作分析と、両手、前足、後足の反力を計測した。この結果から次の知見が得られた。後足は跳び出し水平速度獲得に大きく貢献し、頭が下がる前回りのモーメントを生じさせる。前足は重力に抗して、上向きの垂直速度獲得に大きく貢献する。両手は、跳び出し速度と重心回りのモーメントへ貢献は小さい。

研究成果の概要（英文）：A swimming start motion on a starting block with a back plate was investigated by motion analysis and force measurements of front-leg, rear-leg and hands. Adult male competitive swimmers participated in this study. The findings based on this study were as follows; Rear-legs contributes the generation of horizontal take-off velocity and head-sinking moment, front-legs force generation acts against gravity and the direct contributions of horizontal velocity and head-sinking moment by hands are small.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23年度	500,000	150,000	650,000
22年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス、パフォーマンス向上

1. 研究開始当初の背景

競泳競技において2008年北京オリンピック以降、競技会で使用されるスタート台に関する規定に変更があった。従来のスタート台に陸上競技で使用されるスターティングブロックに似た「バックプレート（Back Plate）」が付加されることが認められた。これに伴い、2008年以降の国際競技会におい

てこの新型スタート台の導入が進み、このバックプレートのパフォーマンスへの影響が現場のコーチや選手、そして研究者の間で議論されている。

このバックプレートのスタート台への付加によってスタート局面（0-15m区間）のパフォーマンス向上を予期される。しかしながら、これまでにこのバックプレート導入によ

る劇的なパフォーマンス改善を報告した研究は見当たらない。したがって、この競泳新型スタート台に適応させた新しいスタート技術の開発する必要がある。

競泳競技は、背泳ぎ以外の種目はプールサイドに設置された高さ 0.5~0.7m のスタート台の上からプールに飛び込んで競技を開始する。競泳のスタートは両足をスタート台の上に載せ（片足をスタート台先端、後足をバックプレートに載せる）、さらに両手でスタート台先端を握って飛び出す「トラックスタート」が一般的なスタート技術として知られている。スタート台から両手と足が受ける力によってスタート動作がなされるため、この力をそれぞれ別々に計測する必要がある。これまでに前足と後足が受ける力を別々に計測した先行研究は存在するが、両手、前足、後足を別々に計測した研究は見られない。運動のメカニズムの解明には身体が受ける力をすべて把握する必要があるため、これらの力の計測は必須となる。

2. 研究の目的

本研究は、競泳新型スタート台に適応させた新しいスタート技術の開発を目指す。新型スタート台上の選手が受ける力を計測し、競泳スタート技術の動力学を調査することが本研究の目的である。選手が受ける反力計測から競泳スタートパフォーマンスに関連の強い飛び出し速度（並進運動速度）と飛び出し時の前方回転のモーメント（回転）に対する両手、前足、後足の貢献を明らかにすることで新しいスタート技術開発へ貴重な情報を提供できる。

3. 研究の方法

(1) 被験者

成年男子競泳選手 12 名に実験への協力を依頼した。参加者の平均身長は 177.8 ± 4.8cm、平均体重は 70.7 ± 5.3Kg、平均年齢は 20.6 ± 1.3 歳であった。参加者の競技レベルは日本選手権出場レベルから上位入賞レベルであった。実験に先立ち、被験者には研究の趣旨、実験に際する危険性の有無に関するインフォームドコンセントを実施した。なお本実験は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認の元に実施した（申請番号 2011-158）。

(2) 実験試技

参加者には反力測定器が設置されたスタート台からトラックスタートで飛び込み、10m までストリームライン姿勢を保持する試技を最大努力で 3 回実施してもらった。入水後には推進につながるいかなる動作も行わないよう参加者に指示をした。スタート台上動作パフォーマンスに関連が強い 5m 通

過時間が一番短い試技を分析対象とした。

(3) 反力測定

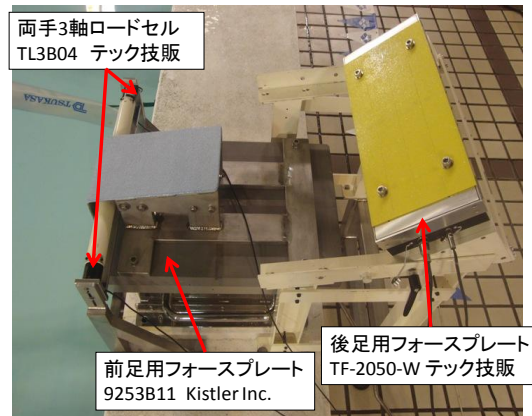


図1. トラックスタート反力測定システム

競泳新型スタート台に適応させたフォースプラットフォームシステムを 3 つの反力計測システムを組み合わせることによって構築した。防水型フォースプレート (9253B11、Kistler 社製) の上に前足用の傾斜板を設置し、前足によって発揮される力を計測した。小型防水フォースプレート (TF-2050-W、テック技販) をバックプレートと同じ傾斜角 40 度で設置し、後足によって発揮される力を計測した。前足用の傾斜板の下を貫通する円柱バーの両脇に 3 分力ロードセル (TL3B04、テック技販) を設置し、これにより両手によって発揮される力を計測した。本計測システムの概略を図 1 に示す。

(4) 動作分析

4 台の高速度カメラを使用し、参加者の入水までの動作を 100fps のカメラスピードで撮影した。撮影した映像から 3 次元 DLT 法を用いて泳者の実空間上の座標を取得した。阿江 (1992) の身体部分慣性係数を使用し、身体重心位置を求めた。

(5) 分析項目

①反力

フォースプラットフォームで計測した力データから泳者に働く反力を求めた。本研究では水平方向と垂直方向の 2 成分を分析対象とし、進行方向と上向きをそれぞれ正と定義した。得られた力のデータは泳者の体重 (BW) で標準化した (N/BW)。

②飛び出し速度

飛び出し時の身体重心速度 (m/s) とした。水平方向は進行方向が正、垂直方向は上向きが正となるように定義した。動作分析にて得られた身体重心位置の時間微分と、フォースプラットフォームから得られた反力データを積分し、泳者の質量で除すことで求めた。

③重心回りのモーメント

泳者の身体重心回りモーメント(Nm)を両手、前足、後足から受ける反力によるモーメントとの総和として求めた。また、これら3つ部位によってモーメントは作用しないと仮定した。両手反力の作用点は両手センサの円柱の中心軸上と仮定した。前足と後足はそれぞれ圧力中心点を算出し、これを作用点とした。なお重心回りのモーメントは反時計回りを正と定義した。

(6) データ処理

動作分析によって得られた身体各部の運動情報はバターワース型のデジタルローパスフィルターを用いて遮断周波数 6 Hz で平滑化を行った。フォースプラットフォームから得られた力のデータは遮断周波数 20 Hz で平滑化を行った。

本研究で構築したフォースプラットフォームシステムから得られた力データの妥当性を検討するために、動作分析から求められる身体重心速度と反力データから求められる速度のデータの関係をピアソンの相関係数によって検討した。有意水準は 5% 未満とした。

4. 研究成果

(1) 反力データ

泳者の平均反力データの推移を図 2 に、横軸を離台までの時間を 100%とした規格化時間で示した。

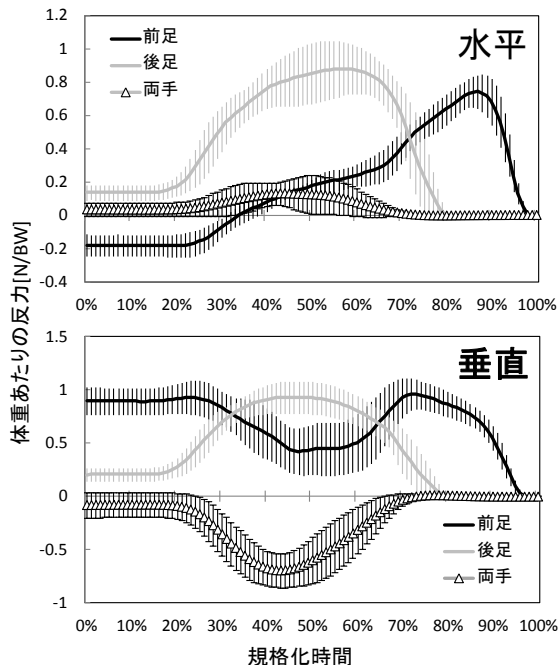


図2. 平均反力データの推移

水平方向は後足の反力が大きく、両手の反力は小さかった。垂直方向は、両手は負の値を示し、この値の変化に対応して後足の正の

増加が確認された。また前足の抜重は確認されたが、後足の抜重は確認されなかった。これまで競泳スタート動作において両手の反力測定を行った研究はきわめて少なく、両手の力発揮が明らかにされていなかった。本研究の結果から、競泳スタートでは両手による推進方向の速度獲得の直接的な貢献は大きくないことが明らかとなった。

(2) 飛び出し速度

表 1 に飛び出し速度と両手、前足、後足の反力によって獲得される飛び出し速度を示した。飛び出し速度の水平方向に関しては後足の速度獲得が最も大きく、両手の貢献は小さかった。垂直方向に関しては前足の正の速度獲得が大きく、両手は負の速度獲得に貢献をしていた。

動作分析(画像分析)と反力分析で算出した飛び出し速度の相関係数は、水平速度で $r = 0.91$ ($p < 0.01$)、垂直速度で $r = 0.95$ ($p < 0.01$) であった。

表1. 飛び出し水平速度と垂直速度の前足、後足、両手、重力による獲得

項目	単位	動作分析		反力測定	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
飛び出し水平速度		4.46	0.18	4.42	0.24
前足成分	[m/s]			1.18	0.27
後足成分				2.89	0.26
両手成分				0.35	0.14
飛び出し垂直速度		-0.92	0.35	-0.72	0.37
前足成分	[m/s]			4.98	0.58
後足成分				3.14	0.28
両手成分				-1.58	0.52
重力				-7.23	0.36

(3) 重心回りのモーメント

泳者の重心回りの全身のモーメントの平均値の推移を離台までの時間を 100%とした規格化時間を横軸として図 3 に示した。図 4 には両手、後足と前足による重心回りの平均モーメントの推移を示した。

本研究では重心回りのモーメントを求めたが、静止状態でこれらのモーメントの釣り合いが確認できなかった。これは本研究で組み合わせた3つの反力測定器の精度や、画像分析にて推定した身体重心位置の精度、そして両手の作用点の仮定が問題となった結果であった。今後の研究において重心位置の精度の高い推定や、反力測定器の精度向上が課題として挙げられた。

しかしながら、大まかなモーメントの推移を明らかにすることができた。競泳スタート台上動作では泳者の頭が下がる方向の負のモーメントが優位に働いていることがわかった。また図 4 から負のモーメントには後足によるモーメントが大きく貢献していることがわかった。前足によるモーメントは台上動作序盤では正のモーメント、終盤では負のモーメントが働いていた。両手によるモーメントは両足によるモーメントより小さかった。

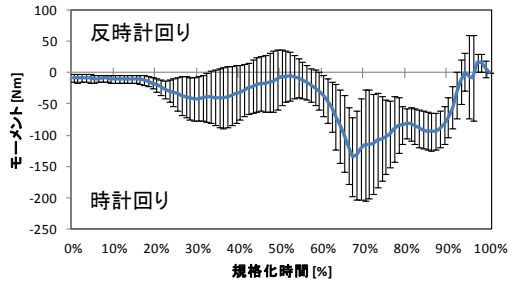


図3. 重心回りモーメントの推移

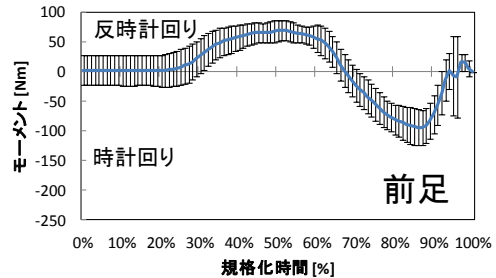
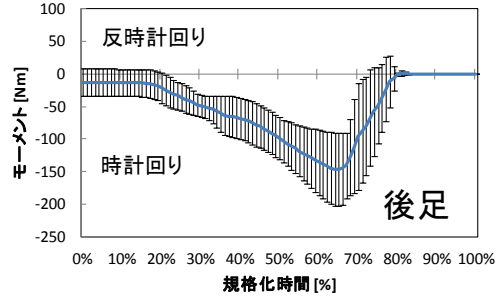
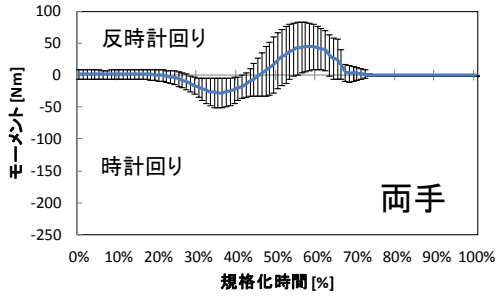


図4. 両手、後足、前足による重心回りの平均モーメント

(4) 両手両足の役割

飛び出し速度と重心回りのモーメントへの貢献という点で本研究から次の知見が示唆された。

- ① 両手の飛び出し水平速度への直接的な貢献は小さい
- ② 飛び出し水平速度への直接的な貢献は大部分を後足が果たしている。
- ③ 前足の貢献は飛び出し垂直速度の正の速度獲得が大きい。
- ④ 後足反力のモーメントは終始、頭が下がる方向のモーメントとして作用している。

本研究から得られた知見は競泳スタート台上動作の力学的に記述を行ったという点で極めて価値の高いものとなった。これまでスタート動作に関する四肢の役割が曖昧に認識されてきた。本研究の知見が競泳スタートの指導の際に、運動の理解を助けるという点で貢献できるものと考えられる。

今後は新しい競泳スタート技術開発を目指して、速度の最大化や角運動量の制御といった観点からこれらのデータを活用する必要性があげられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 剛 (TAKEDA TSUYOSHI)

早稲田大学スポーツ科学学術院・助手

研究者番号：20508840