

## 競泳スタート台の規格変更がスタートパフォーマンスに与える影響

武田 剛・高木英樹・小山宏之

### Effect of changes in regulations of starting block on start performance in competitive swimming.

TAKEDA Tsuyoshi, TAKAGI Hideki, KOYAMA Hiroyuki

**Keywords** : track start, grab start, swim-start, inclination angle

#### 緒言

国際水泳連盟 (FINA) の施設規則 (FR2.7) においては、競泳におけるスタート台の台座の前方傾斜角度は 10deg 以下と設定されている。これまで財団法人日本水泳連盟は日本国内主要大会におけるスタート傾斜角度を 7.5deg に設定してきた。しかしながら、最近の主要国際大会では、スタート台傾斜角度を 10deg に設定するのが一般的になりつつある。

過去の研究において、競泳スタート台の傾斜の影響は、Tuttle et al.<sup>4)</sup>、Elliot and Sinclair<sup>2)</sup>、Stevenson and Morehouse<sup>3)</sup> によって傾斜角度が 0deg、10deg、15deg、20deg、30deg の範囲で調査されている。しかしながら、これらの研究ではスタート台の傾斜がパフォーマンス差を生じさせた理論的背景が十分に説明されておらず、またトラックスタート (以下「TS」と略す) が対象の研究が実施されていない。

本研究ではスタート台傾斜 (7.5deg と 10deg) とスタート技術 (GS と TS) の 2 要因の主効果と交互作用の有無から、スタート台の傾斜角度が、異なるスタート技術のパフォーマンスにどのように影響を及ぼすかを検討することを目的とした。

#### 方法

被験者はバタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、自由形、個人メドレーを専門とする大学男子競泳選手 10 名とした。被験者の平均身長は 176.6 ±

4.1cm、平均体重は 69.3 ± 6.3kg であった。全ての被験者に事前に実験の趣旨と内容、および危険性について説明し、書面にて参加の同意を得た。

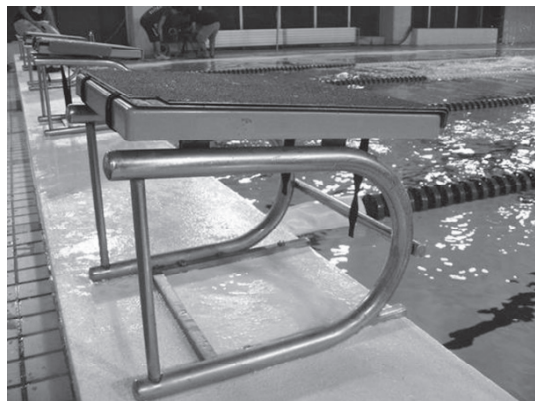
#### 実験試技

スタート台の傾斜角度が 7.5deg と 10deg スタート台 (図 1) を用いて、GS と TS のそれぞれで 4 種類の試技を実施した (傾斜角度 7.5degGS : GS7.5、傾斜角度 10degGS : GS10、傾斜角度 7.5degTS : TS7.5、傾斜角度 10degTS : TS10)。

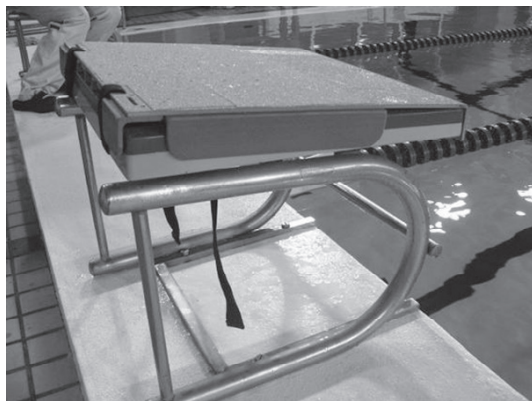
#### データ分析

高速度カメラ (FASTCAM-PCI, Photron 社製) をカメラスピード 125 フレーム毎秒、露光時間 1/500 秒に設定し、泳者の試技を側方から撮影した。撮影した映像から、画像分析ソフト (Frame DIAS II version 3, DKH 社製) を用いて身体各部を手動でデジタイズし、二次元 DLT 法にて泳者の身体各部 二次元実座標値を算出した。得られた実座標データは、Butterworth low-pass Digital Filter により遮断周波数 6Hz で平滑化し、身体重心は阿江ほか<sup>1)</sup> の身体部分慣性係数を用いて算出した。

統計処理は、統計ソフト SPSS (for windows, version 11.0.1, SPSS Inc) を用いスタート台傾斜 (7.5deg と 10deg) とスタート技術 (GS と TS) の 2 つの要因について繰り返しのある二元配置



傾斜 7.5deg のスタート台



傾斜 10deg のスタート台

図 1. 本研究で用いた傾斜角度 2 種類のスタート台

分散分析 (ANOVA) を行った。

#### 変数の定義

本研究で測定した変数の定義は次の通りである。ブロックタイムは泳者の足がスタート台から離れるまでの時間とした。跳び出し水平速度 ( $Vx_0$ )・垂直速度 ( $Vy_0$ )・合成速度 ( $V_0$ ) は泳者の足がスタート台から離れた最初のフレーム (跳び出し時) における身体重心の速度とした。跳び出し角度 ( $\phi_0$ ) は跳び出し速度ベクトルが水平面となす角とした。飛距離は跳び出し水平速度 ( $Vx_0$ ) と跳び出し垂直速度 ( $Vy_0$ )、跳び出し時の身体重心位置 ( $x_0, y_0$ ) から投射運動した場合の運動方程式 (1)、(2) をたて、身体重心が水面位置 ( $y = 0$ ) に達する時刻  $t$  におけるスタート台先端からの水平距離 ( $x$ ) を求めた。ここで  $g$  は重力加速度である。

$$x = Vx_0 \cdot t + x_0 \quad (1)$$

$$y = Vy_0 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 + y_0 \quad (2)$$

入水角度 ( $\phi_e$ ) : 身体重心が水面位置に達する時刻  $t$  における身体重心速度ベクトルが水平面となす角とした。

#### 結果

表 1 に各試技における各変数の平均値と標準偏差を示し、表 2 には二元配置分散分析における F 値を示した。スタート台傾斜に関する有意な主効果は、跳び出し水平速度 ( $P < 0.01$ )、跳び出し合成速度 ( $P < 0.05$ )、そして入水角度 ( $P < 0.05$ ) に認められた。跳び出し水平速度と

表 1. 各試技における分析変数の平均値

		グラブスタート:GS (n=10)		トラックスタート:TS (n=10)	
		7.5deg	10deg	7.5deg	10deg
ブロックタイム	[s]	0.88 ± 0.04	0.88 ± 0.06	0.80 ± 0.03	0.80 ± 0.05
跳び出し水平速度	[m/s]	4.15 ± 0.18	4.21 ± 0.20	4.11 ± 0.17	4.18 ± 0.17
跳び出し垂直速度	[m/s]	-0.41 ± 0.53	-0.47 ± 0.59	-0.35 ± 0.48	-0.40 ± 0.46
跳び出し合成速度	[m/s]	4.20 ± 0.21	4.27 ± 0.23	4.15 ± 0.20	4.23 ± 0.21
跳び出し角度	[deg]	-5.44 ± 7.04	-6.14 ± 7.76	-4.72 ± 6.35	-5.33 ± 5.93
身体角度	[deg]	18.41 ± 6.22	17.66 ± 6.84	27.26 ± 7.53	25.36 ± 7.74
入水角度	[deg]	-47.46 ± 1.99	-47.00 ± 2.19	-49.57 ± 1.89	-48.79 ± 1.94
飛距離	[m]	2.71 ± 0.23	2.71 ± 0.25	2.76 ± 0.20	2.77 ± 0.17

値は平均値±標準偏差で示している。

表 2. 二元配置分散分析による各分析変数の F 値

	主効果		交互作用
	傾斜角度	スタート技術	傾斜角度 × スタート技術
ブロックタイム	0.06	<b>69.23</b> †† (GS > TS)	0.03
跳び出し水平速度	<b>8.67</b> ** (7.5deg < 10deg)	2.24	0.33
跳び出し垂直速度	0.75	0.90	0.01
跳び出し合成速度	<b>7.78</b> * (7.5deg < 10deg)	3.57	0.04
跳び出し角度	0.53	0.73	0.00
身体角度	2.99	<b>116.21</b> †† (GS < TS)	0.56
入水角度	<b>7.34</b> * (7.5deg < 10deg)	<b>71.57</b> †† (GS < TS)	0.47
飛距離	0.01	3.93	0.08

\* P<0.05 傾斜角度主効果 (7.5deg vs. 10deg)

\*\* P<0.01 傾斜角度主効果 (7.5deg vs. 10deg)

† P<0.05 スタート技術主効果 (GS vs. TS)

†† P<0.01 スタート技術主効果 (GS vs. TS)

合成速度は 10deg が 7.5deg よりも有意に大きな値を示した。入水角度は 10deg が 7.5deg よりも有意に水平面に対して浅い角度となる値を示した。なお交互作用はいずれの変数にも認められなかった。スタート技術に関する有意な主効果は、ブロックタイム (P<0.01)、跳び出し時の水平位置 (P<0.01) と垂直位置 (P<0.01)、身体角度 (P<0.01)、そして入水角度 (P<0.01) に認められた。ブロックタイムは TS が GS よりも有意に短くなった。跳び出し時の水平位置は GS が TS よりも有意に大きな値を示し、跳び出し時の垂直位置は TS が GS よりも有意に大きな値を示した。身体角度は TS が GS よりも有意に大きな値を示し、入水角度は GS が TS よりも有意に水平面に対して浅い角度となる値を示した。

### 考察

#### スタート台傾斜角度の影響

二元配置分散分析の結果より、スタート台傾斜角度の影響は、GS と TS の両方に及ぶものであることが明らかとなった。一方、跳び出し角度についてはスタート技術とスタート台傾斜角度の主効果を認めなかった。

傾斜角度の違いによる GS の跳び出し水平速度と合成速度の平均値の差に関しては、跳び出し水平速度と合成速度は傾斜角度 10deg の方が速くなっていた (表 1 参照)。スタート台の傾斜角度の増加により 10deg 時の GS では、7.5deg の時に比べて、構え時の踵の位置が高くなる。これにより水平面に対する足部セグメントの角

度が大きくなった状態で蹴り出した結果、水平反力の割合が増加したと推察される。この傾斜角度 10deg 時の跳び出し水平速度の増加がそのまま入水時の合成速度に反映され、入水角度が浅くなったと考えられた。

TS における傾斜角度の違いによる平均値の差に関しては、跳び出し水平速度と合成速度は傾斜角度 10deg の方が速くなっていた (表 2 参照)。TS も GS と同様にスタート台傾斜角度の増加によって構え時のスタート台先端に掛けた足の踵の位置が高くなる。よって前足が受ける水平反力の割合が増加した結果、跳び出し水平速度と合成速度が増加したためと推察される。さらに図 2 を見ると、跳び出しまでの TS の身体重心水平速度の平均値の推移は、規格化時間 80% 付近の増加割合が大きくなり、速度差が生じ始めていることが確認できる。この規格化時間におけるスティックピクチャを見ると TS の後足がスタート台から離れる直前である。武田ほか<sup>5)</sup>は、TS の地面反力を計測し、TS の後足の離台の直前に水平反力のピークが見られることを報告している。これにより TS の跳び出し速度の増加は後足の蹴り出しによる貢献も示唆される。本研究の結果から、スタート台の傾斜角度が両スタート技術のスタートパフォーマンスに影響を与えることが明らかになった。しかしながら、本研究ではキネマティクスデータ分析にとどまっており、その原因については推測の域を超えず、さらに詳細に検討するためには、両手、両足に作用する地面反力データからのキネマティクスデータを収集する必要がある。

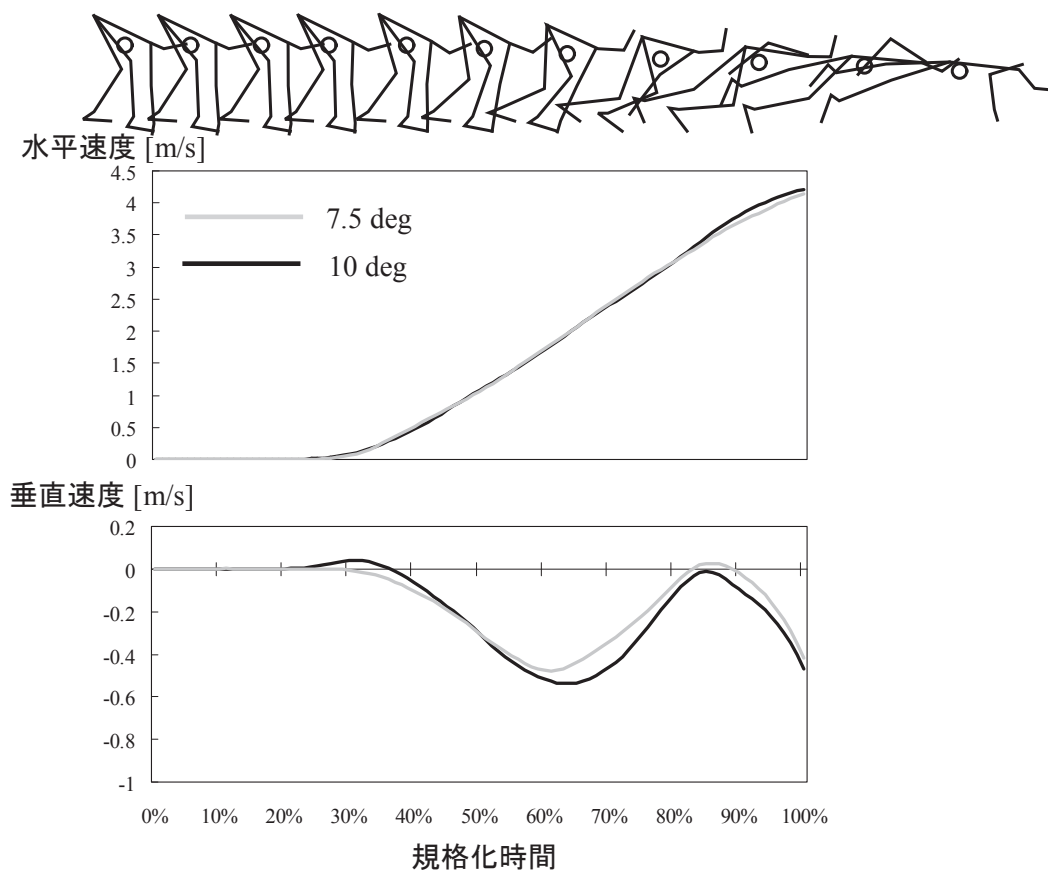


図2. トラックスタート試技における平均重心速度の推移各試技のブロックタイムを100%とした規格時間で示し、規格化時間10%ごとのスティックピクチャを上部に時間軸に沿って配置している。

#### 参考文献

1. 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1992): 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム 11, pp. 22-33. 東京大学出版会, 東京.
2. Elliot G, and Sinclair H (1970): The influence of block angle on swimming start. In: L. Lewille and J.P. Clarys (eds.), Proceedings of the First International Symposium on Biomechanics in Swimming. Universite Libre de Bruxelles, Brussels, pp. 183-189.
3. Stevenson JR and Morehouse CA (1979): Influence of starting block angle on the grab start in competitive swimming. International Series on Sport Science, 8 SWIMMING III. Terauds J and Bedingfield EW, pp. 207-214
4. Tuttle W, Morehouse L and Armbruster D (1939): Two studies in swimming start. Res. Q. 10: 211-217
5. 武田剛, 椿本昇三, 野村武男 (2007): 地面反力から見た競泳スタート台上動作, ジョイントシンポジウム 2007, 講演論文集, pp. 284-286