

# 大学生男子トップスイマーのけのび動作と力発揮 — 泳能力別による横断的検討を中心として —

小山田早織 (保健体育専攻大学院)

合屋十四秋 (保健体育講座)

## Forces and image analysis on gliding motion from beginning to top swimmers.

Saori OYAMADA (Graduate of Health and Physical Education)

Toshiaki GOYA (Department of Health and Physical Education)

### 【要 約】

本研究では、大学生男子トップスイマー16名を対象に、けのび動作の画像解析およびフォースプレートによる力発揮の様相を従来までに検討されている先行研究との比較から、けのび動作のパフォーマンスと力発揮の巧拙を泳能力横断的に検討することを目的とした。その結果、初心者ではけのびの到達距離が短く、トップスイマーは長かった。男子トップスイマーと男子初心者の壁を蹴る力はほとんど変わらなかった。したがって、熟練者やトップスイマーに見られる「ため」動作や、抵抗を少なくするための姿勢が到達距離に大きく影響する要因になっていることがわかった。また、水面の浅いところを進むより、抵抗の少ない水深0.4mのあたりを水面に対して下向き（ほとんど平行）に進んだほうが到達距離は伸ばせると考えられた。

キーワード：大学生男子、トップスイマー、けのび動作、泳能力横断的検討、画像解析、水中フォースプレート、力発揮

### 1. 研究目的

小笠原ら (1988) は、泳ぎの中で泳速を増大させるためには、身体の体型よりもむしろ姿勢に影響される前面抵抗を極力少なくし、その一方では四肢による後方への推進力をできるだけ大きくすることが必要であると指摘している。また、奥野 (1995) は、美しい泳ぎを見るポイントは、流線型の姿勢の保持にあることを確認している。すなわち、実際の各種泳法のフォームの基本姿勢は流線型 (ストリームライン) にあることを報告している。一方、けのび動作は、水中において足を床から離し、壁を蹴ってから浮き上がるまでの一連の動作である。手先から指先までを真っ直ぐに伸ばすことにより、抵抗を受けにくい流線型の姿勢

をつくることができ、泳法を体得する上でも重要な要素となる (柴田2003)。

またけのび動作では、前面抵抗を少なくするようなストリームライン姿勢を蹴り出す前に作っておくことが到達距離を左右することも報告されている (合屋ら2000)。すなわち、けのびでは目標となる動作に対して、どの身体部分を使い、どれだけの力と時間を用いて動作を行うかが重要なのである (合屋1999)。

これまで、大学生女子初心者の習熟過程 (合屋ら2000)、同男女初心者 (合屋ら2003)、同男女中等度熟練者 (合屋ら2002)、同女子トップスイマー (合屋ら2002)、同熟練泳者の性差 (杉浦ら2004) によって報告されているが、男子トップスイマーについては検討されていない。また、初心

者からトップスイマーに至るまでの泳能力別横断的に検討されたものは皆無に等しい。

そこで本研究では、大学生男子トップスイマー16名を対象に、けのび動作の画像解析およびフォースプレートによる力発揮の様相を従来までに検討されている先行研究との比較から、けのび動作のパフォーマンスと力発揮の巧拙を泳能力横断的に検討することを目的とした。

## 2 研究方法

(1)被験者：C大学水泳部に所属する男子熟練者16名、身長 $176.2 \pm 4.8$ cm、体重 $67.7 \pm 4.6$ kg、年齢 $20.4 \pm 1.0$ 年、水泳歴 $16 \pm 2.1$ 年、競技歴 $11.6 \pm 1.7$ 年であった。16名中14名が、昨年度・本年度日本ランキング50位以内（そのうち7名が10位以内：国際大会出場者2名を含む）であった。

(2)実験試技：十分にウォーミングアップを行わせた後、全力でけのびの試技を5回連続で行わせた。

(3)実験方法：けのびの到達距離を実測し、被験者の右側方よりデジタルビデオカメラ（30 f.p.s）で撮影した。座標入力およびデータの加工はFrame-DIAS（DKH社製）を用いた。また壁を蹴る力の測定は自作の水中フォースプレート（ストレインゲージ式：防水ゲージ使用）を用い、電気信号をストレインアンプ（三栄側器製：6M82）で増幅し、MacLab/8s（ADI社製）でAD変換し、画像との同期を行った。実験終了後、自由記述を含む、けのびに関するアンケート調査を行った。質問項目は、準備局面（足が床から離れ、壁に着くまで）6項目、接地局面（壁が足に着く）7項目、主要局面（足が壁から離れる時以降の動作）6項目、自由記述欄3項目の計22項目であった。

(4)分析項目：到達距離、投射角度、接地位置、リリース後の重心移動速度（初速度）、リリース時から0.5秒後の重心移動速度、減速度、力発揮のピーク値、力積、接地時間、重心移動軌跡であった。

## 3. 結果および考察

### 3.1 自由記述を含めたアンケートによる意識の焦点

表1に50%以上の者が"はい"と答えた質問項目

の一覧を示した。"壁を蹴る時に全身が水の中に入っているか"の質問項目では、男子トップスイマーの約90%の者が、準備局面でこのことを非常に意識していた。接地局面においては、男子トップスイマーが「ため」という言葉の意味を理解し、できると感じている者が73%いた。一方、"上体と腰が安定しているか"という項目については、全局面において意識が高いことから、男子トップスイマーは特に安定性を保つことに意識の焦点を置いていることがわかった。主要局面に最も高い意識を置いていることが明らかになった。

自由記述の質問内容は、"けのび動作で一番意識した局面はどこですか"、"何故そう思ったのか"、"その他気づいたこと"の3項目であった。図1は"けのび動作で一番意識した局面はどこですか"の結果を示したものである。

表1 50%以上の者が"はい"と答えた質問項目  
(N=16) (%)

	はい	いいえ	どちらとも いえない	質問の意 味がわか意識したこ とがない	
				らない	とがない
<b>準備局面</b>					
壁を蹴る時に全身が水の中に入っているか	81	0	0	0	19
上体と腰が安定しているか	69	0	25	0	6
膝が開いていないか	56	0	13	0	31
<b>接地時</b>					
壁を蹴るために「ため」をつくらることができるか	73	0	9	0	18
上体と腰が安定しているか	62	13	25	0	0
両足の接地位置は、高さが同じか	64	9	0	0	27
両足の接地位置は、肩幅より開いていないか	50	0	19	0	31
<b>主要局面</b>					
上体と腰が安定しているか	88	6	6	0	0
膝が曲がっていないか	68	13	0	0	19
腰が落ちたり出たりしていないか	56	13	25	0	6
顎が出ていないか	56	13	25	6	25

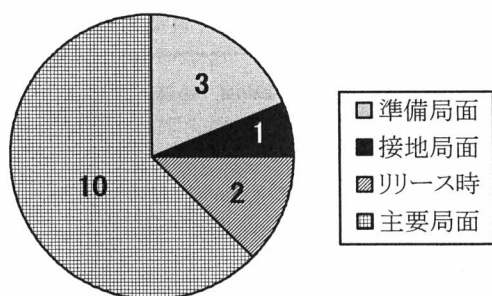


図1 けのび動作で一番意識した局面  
(図中の数字は件数)

最も意識されていたのは、主要局面で10件であった。次いで、準備局面の3件、リリース時2件、接地局面1件であった。

"何故そう思うのか"という質問項目については、記述式の文章をキーワード別に分けた。10件と最も多かった主要局面においては、"姿勢"3件、"抵抗"3件、"一番重要"2件、"力"1件、"スピード"1件であった。しかし、内容から、"姿勢"と"抵抗"については表現が違うが中身が同じであると考えた。したがって、これを"抵抗を少なくするための姿勢"6件とし、一番意識されていたと解釈した。合屋(1997)は、「水中運動での動作認識は手足の部分は高まりやすいが、体幹部分については、少し困難さが伴う」と指摘している。このことから、本研究では、男子トップスイマーは、意識しにくい"抵抗を少なくするための姿勢"について意識を集中していることが伺えた。また、準備局面で意識されていたことは、"うまく行おうとする"1件、"壁を蹴る力と方向(角度)"1件、"伸びようとした"1件、であった。リリース時では、"体を指の先から足の先まで意識して真っ直ぐにしようとした"1件、"そこが大切"1件、であった。最も少なかった接地時では、"力を抜くため"1件、であった。

"その他気づいたこと"では、7件の回答があり、"力"2件、"最後"2件、"意識"2件、"姿勢"1件であった。"力"は、力だけでは上手くいかない、と蹴る力は皆それほど変わらない、"最後"は浮き上がりも大切、"意識"は意識していない、"姿勢"は足が浮いてこないようにするという記述であった。内容を見ると、主要局面について3件であり、

最も多かった。以上のことから、男子トップスイマーは、選択肢によるアンケートと自由記述のアンケート共に、主要局面に一番意識を置いていることが明らかになった。

### 3.2 泳能力別によるけのび動作と力発揮の様相

表2に従来までの先行研究と本研究によって得られたデータの比較を示した。

#### 3.2.1 けのびの到達距離

男子トップスイマーの到達距離平均は、 $11.5 \pm 1.55$ mであった。最大到達距離はT.Hの14m、最小到達距離はY.Yの9.8mであった。T.HとY.Yともに国際大会出場者であった。しかし、この最小到達距離は、男子熟練者(2001)の到達距離平均( $9.4 \pm 1.58$ m)を上回っていた。表1より従来のデータから、初心者からトップスイマーの男女合わせて、約6~12mの範囲であった。トップスイマーは男子よりも女子の方が到達距離が長かった。これは女子の方が体脂肪率が高く、体が浮きやすいためであると考えられた。初心者は到達距離が短く、トップスイマーは到達距離が長かった。したがって、泳ぎの速い者は、けのび動作において長い距離を進むことができると考えられた。

#### 3.2.2 接地位置

男子トップスイマーの水面からの接地位置は、 $0.37 \pm 0.09$ mであった。表2より、熟練者の接地位置は0.5~0.6mであり、トップスイマーは、男女ともに0.3~0.4mのあたりに接地していることが明らかになった。これは、清水ら(1999)、Takagi, H and R Sanders (2000)、Little et al (1999)によって報告されているターン後の最適水深やけん引姿勢での最も抵抗の少ない水深とはほぼ一致した。

#### 3.2.3 接地時間

男子トップスイマーの接地時間は、 $0.44 \pm 0.11$ sであった。表2より初心者とトップスイマーはほぼ同じ0.4秒強、熟練者はそれより長い0.6秒弱であった。

表2 けのび動作時の到達距離、力積、ピークフォース、初速度、初速度、減速度、接地時間、接地位置、投射角度

	被験者	人数	到達距離	力積	ピークフォース	初速度	0.5sec時	減速度	接地時間	接地位置	投射角度	
			人	(m)	(Ns)	(N)	(m/s)	(m/s)	V2-V1	(s)	(m)	(deg)
							V1	V2	V3			
高橋ら(1983)	男子エリート	3	—	213.1~268.8	804~1205	2.87~3.07	—	—	0.38~0.41	—	—	
	男子初心者	3	—	189.9~196.7	803~1352	2.67~2.80	—	—	0.31~0.45	—	—	
合屋ら(2000)	女子初心者 pre	1	5.7	—	—	2.32±0.55	—	—	—	—	10.7±2.5	
	女子初心者 post		8.0	—	651.6±39.2	2.70±0.05	—	—	0.61±0.14	—	6.2±0.88	
合屋ら(2001)	男子熟練者	17	9.4±1.58	202.6±47.2	722.5±120.1	2.91±0.25	2.17±0.23	0.75±0.27	0.57±0.12	0.59±0.13	※投射角度は下向き 1.58±2.62	
合屋ら(2002)	男子中等熟練者	12	8.8±1.13	209.0±45.2	857.4±201.0	2.85±0.25	2.16±0.21	0.7±0.22	0.57±0.10	0.69±0.07	※投射角度は上向き 2.13±2.69	
〃	女子中等熟練者	7	8.1±0.64	154.5±31.5	817.3±114.2	2.51±0.24	1.82±0.15	0.69±0.21	0.58±0.12	0.69±0.05	2.46±2.52	
合屋ら(2003)	男子初心者 pre	6	7.5±0.64	213.2±40.9	1180.1±207.5	2.46±0.26	1.74±0.22	0.72±0.13	0.38±0.10	—	※投射角度は上向き —	
	〃 post		8.5±0.93	231.1±49.6	1192.5±211.0	2.58±0.16	1.88±0.11	0.7±0.1	0.44±0.08	—	—	
	女子初心者 pre	7	6.9±0.91	135.0±30.3	786.9±179.8	2.13±0.27	1.49±0.15	0.63±0.23	0.40±0.09	—	—	
	〃 post		8.1±1.52	136.3±36.6	883.2±194.7	2.34±0.20	1.64±0.14	0.70±0.25	0.43±0.10	—	—	
合屋ら(2003)	女子トップスイマー	20	12.0±1.55	198.2±20.0	864.1±66.0	2.67±0.20	1.94±0.14	0.73±0.23	0.47±0.07	0.32±0.06	1.6±2.1	
											※投射角度は下向き	
合屋ら(2004)	男子トップスイマー	16	11.5±1.55	271.77±5.4	1170.6±15.6	2.99±0.17	2.26±0.13	0.73±0.16	0.44±0.11	0.37±0.09	2.05±2.08	
											※投射角度は下向き	

### 3.2.4 力発揮

壁を蹴る力発揮について、男子トップスイマーの力積は271.8±5.4Nsであった。表2より、接地時間には男女初心者と大きな差は出なかった。したがって、男子トップスイマーは、力発揮のピーク値を大きくすることで力積を大きくしていることがわかった。図2にH.Yの力発揮パターンを示した。接地後、体重と同程度のところ（約800N）でため動作が見られ、その後リリースに向けてピークが出現する2峰性のパターンであった。

表1より、男子トップスイマーのピーク値は1170.60±15.6Nであり、男子初心者は1180.1±

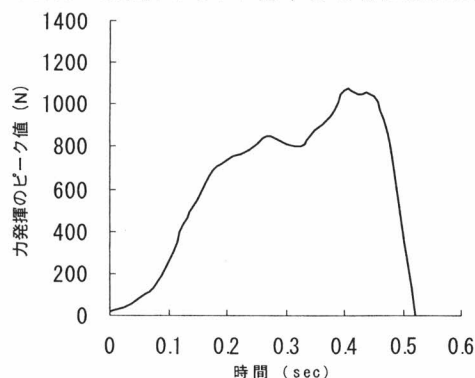


図2 男子トップスイマーH.Tの力発揮の様相

207.5Nであった。男子トップスイマーと男子初心者の壁を蹴る力とはほとんど変わらない。したがって、壁を蹴る力よりも作り出す姿勢が到達距離に大きく影響する要因になっていることがわかった。

### 3.2.5 投射角度、重心移動軌跡および水深

男子トップスイマーの投射角度は、下向きに2.05±2.08degであった。表1より、女子トップスイマーは下向きに1.6±2.1deg、初心者の投射角度は、極端に下向き、熟練者は上向きであることがわかった。男女トップスイマーは、水面に対して、下向き（ほとんど平行）に進み、抵抗を少なくすることで到達距離を伸ばしていることが明らかになった。

また、図3に男子トップスイマーのうち到達距離上位者であったY.Fの重心移動軌跡を示した。Y.Fは、全被験者の中で最も動作に再現性があり、水面に対して平行に進んでいた。また水深0.4mのあたりを進んでいた。Andrew et al (1999)は、けのび姿勢におけるけん引では、秒速1.9m以上の速度で最も抵抗を少なくするためには0.4mから0.6mの深さが泳者にとって有益であることを報告している。けん引であるため受動的に行



図3 男子トップスイマーY.Fの重心移動軌跡

われたものであり、けのび動作のように壁を蹴って進むような能動的な動きではない。到達距離上位者であるY.Fはおおよそ0.4mの最も抵抗の少ない深さであったことから、この水深が泳者にとって有益であることが確認された。これらのことから、抵抗の少ない水深0.4mのあたりを水面に対して平行か、または、下向きに進むことで到達距離を伸ばすことができると示唆された。

### 3.2.6 重心移動速度の変化

リリース時および0.5秒後の重心移動速度について、男子トップスイマーは、 $2.99 \pm 0.17 \text{ m/s}$ 、 $2.26 \pm 0.13 \text{ m/s}$ であった。表1より、女子トップスイマーは、 $2.67 \pm 0.20 \text{ m/s}$ 、 $1.94 \pm 0.14 \text{ m/s}$ であった。女子よりも男子の方が、0.5秒後までの重心移動速度が速いことが明らかになった。また、減速量は、男子トップスイマーは、 $0.73 \pm 0.16 \text{ m/s}$ 、女子トップスイマーは、 $0.73 \pm 0.23 \text{ m/s}$ であり、男女差はほとんどなかった。初心者と熟練者の減速量もおおよそ0.7m/sであった。ヒトが水から受ける抵抗は速度の2乗に比例して多くなる。トップスイマーは初心者や熟練者よりも速度が速いため、抵抗も大きくなるはずである。しかし、初心者からトップスイマーまでの減速量が同じぐらいであった。このことから、トップスイマーは抵抗を少なくするための姿勢を作ることができたため、本来なら速度が速く抵抗が増える状況であっても、減速を抑えられたと示唆された。

## 4. まとめ

本研究では、大学生男子トップスイマー16名を対象にし、けのび動作を全力で行わせ、画像解析およびフォースプレートからけのびの力発揮の様相と動作を解析した。この結果と各先行研究とのデータを比較し、初心者からトップスイマーに至る泳能力別けのびのパフォーマンスを検討することを目的とした。

その結果は、以下のとおりであった。

- (1)男子トップスイマーは、意識しにくい"抵抗を少なくするための姿勢"について意識を集中していることが伺える。選択肢によるアンケートと自由記述のアンケート共に、主要局面に一番意識を置いていることが明らかになった。
- (2)初心者は到達距離が短く、トップスイマーは到達距離が長かった。したがって、泳ぎの速い者は、けのび動作において長い距離を進むことができると考えられた。
- (3)トップスイマーは、男女ともに水面から0.3～0.4mのあたりにおおよそ0.4秒接地、また熟練者は0.5～0.6mに0.6秒弱接地していることが明らかになった。
- (4)男子は女子に比べ、壁を蹴る力が強いことが明らかになった。男子トップスイマーと男子初心者(合屋ら2003)の壁を蹴る力はほとんど変わらなかった。したがって、壁を蹴る力よりも作り出す姿勢が到達距離に大きく影響する要因になっていることがわかった。
- (5)男女トップスイマーは、水深0.4mのあたりを下向き(ほとんど平行)に進み、抵抗を少なくすることで到達距離を伸ばしていることが明らかになった。熟練者は上向き、初心者は極端に下向きに進んでいた。
- (6)初心者、熟練者、女子トップスイマーよりも男子トップスイマーの方が、0.5秒後までの重心移

動速度が速いことが明らかになった。しかし、減速量は同じぐらいであったため、本来なら速度が速く抵抗が増える状況であっても、トップスイマーは減速を抑えられたと示唆された。

## 5. 引用文献

- 1) 小笠原悦子・田口信教・辻浩幸・深代千之 (1988) バタフライのドルフィンキックにおける下肢3関節の屈伸の時相差. 鹿屋体育大学研究紀要. 3: 91-100
- 2) 奥野景介 (1995) 美しい泳ぎ・速い泳ぎ. 体育の科学 (45-8) 608-611
- 3) 合屋十四秋 (1997) 水中運動の動作認識とその変容について. 愛知教育大学教科教育センター研究45: 11-16
- 4) 合屋十四秋 (1999) クロール泳の動作認識と画像解析による泳ぎのマッチング. 水泳水中運動科学2: 26-32
- 5) 合屋十四秋・杉浦加枝子 (2000) 習熟過程におけるけのび動作とその認識の縦断的研究. 愛知教育大学研究報告. 49: 15-18
- 6) 合屋十四秋 (2000) 泳ぎの動作認識とバイオメカニクス情報とのマッチング. J. J. Sports. Sci., 4 巻 3 号, 206-213.
- 7) 合屋十四秋 (2002) 泳動作認識と画像解析による泳ぎのマッチングの縦断的研究. 科学研究費補助金研究成果報告書. 35-36
- 8) 合屋十四秋 (2003) 大学生男女初心者のけのび動作のトレーニング効果. 2003年 日本体育学会資料
- 9) 柴田義晴 (1993) 上達する! 水泳 発行者 田村正隆 なつめ出版企画株式会社: 12-13
- 10) Takahashi Goro, Yoshida. A, Tsubakimoto. S And Miyashita. M (1983) Propulsive force generated by swimmers during a turning motion Biomechanics and Medicine in Swimming, Human Kinetics Publishers, Inc.. pp. 192-198
- 11) 土居陽治郎・小林一敏 (1985) けのびのモデルによる解析. 東京体育大学研究12: 115-118
- 12) Lyttle. A. ・Brian Blanksby・Bruce Elliott and David Lloyd (1999) Optimal Depth For Streamlined Gliding. Biomechanics and medicine in swimming 8. 165-170