

熟練者におけるけのび動作と力発揮との関係

The relationship between force and image analysis on gliding motion in trained swimmers

杉浦加枝子 (Kaeko Sugiura)
合屋十四秋 (Toshiaki Goya)
鶴峰 治 (Osamu Turumine)
高橋 繁浩 (Shigehiro Takahashi)
小粥由美子 (Yumiko Ogai)

岡崎東高等学校非常勤講師
愛知教育大学教育学部
中京大学
中京大学
中京大学

【要旨】

Seventeen-trained varsity swimmers employed as the subjects measuring forces by use of custom made force plate and analyzing images of gliding motion in swimming. The results were obtained as follows; There were no significant differences between peak forces during push off and the distances covered by gliding. However, The relationship between impulses and the distances covered by gliding were significant difference. The depth of wall contact effects the distances covered by gliding. Therefore, It could be suggested that swimmer's feet should contact the wall around under 1.0m and swimmer should assume the streamlined position after push off the wall..

◆キーワード：熟練者、けのび動作、画像解析、力発揮

1. 研究

けのび動作は、プールの壁または床を蹴る時に発した力のみで水中を進むことから、水中での基本姿勢を習得する為に、初心者のみでなく熟練者においても、大切な技術である。けのび動作における研究は、ターンと比較したもの^{1,11)}、姿勢および流速の異なる条件下で牽引したもの^{2,6,7,9)}が多く、けのび動作そのものに着目したものは数少ない。

高橋⁹⁾は、けのび動作の到達距離を長くするためには、前面抵抗を小さくすることが有効であると指摘している。一方、合屋・杉浦^{5,8)}は、初心者にけのび動作の練習を行わせ、その後2年間の追跡を行った結果、壁を蹴った後の姿勢のみではなく、壁を蹴るまでの動作がその後の結果に大きく影響することを報告している。

けのび動作は、スタート・ターン局面などで数多く出現する。しかし、力発揮の様相に着目した研究がほとんどであり^{1,3,9,11)}、動作と力発揮の様相を関連づけた報告^{5,8)}や、力発揮パターン、重心移動、腰及び膝関節角度の変化などの詳細な研究は未だ見あたらない。

そこで本研究では、熟練者17名にけのび動作を10試技

づつ行わせ、同時にVTR画像及び水中フォースプレートによる動作解析を行った。本報告では、全被験者の中で、到達距離の最も長い被験者と短い被験者の壁を蹴る力の様相と動きの特徴について比較検討し、けのび動作の巧拙をより詳細に明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

被験者は、C大学水泳部員男子17名（年齢 19.4 ± 0.9 age、身長 173.5 ± 5.2 cm、体重 65.4 ± 6.7 kg、競技歴 10.8 ± 2.5 years）であった。また被験者の運動成績は、全国レベルの大会に出場または、それに準ずる成績であった。

実験試技は、十分にウォーミングアップを行わせた後、全力でのけのび動作を10試技行わせた。けのび動作は、壁を蹴ってから止まるまでとし、前半5試技を行わせた後に、疲れによるパフォーマンスの変化を防ぐための休憩を十分にとり、残りの5試技を行わせた。

VTR画像は、SONY社製デジタルビデオカメラ(30f.p.s)により、被験者の右側方から撮影した。被験者には、リファレンスポイント（左右手指先点、左右手関節中心点、左右肘関節中心点、左右肩峰点、左右爪先点、左右足関

節中心点、左右膝関節中心点、左右大転子点、頭頂点、耳珠点、胸骨上縁点)をつけて画像解析のマーカーとした。画像解析は、DKH社製FDWを用いて、つま先が壁に着いた時(以降、接地時)から、壁からつま先が離れ(以降、リリース時)、0.5sec後(以降、0.5時)までと、その後5コマの解析を行った。分析項目は、重心移動速度、重心位置、重心の投射角度、つま先の接地位置、腰関節角度および膝関節角度であった。けのび動作は、接地時からリリース時前までを準備局面とした。

壁を蹴る力の測定は、水中用フォースプレート(ストレーンゲージ式:防水ゲージ使用)を用いた。フォースプレートからの電気信号は、ストレーンアンプ(三栄測器製:6M82)で増幅し、MacLab/8s(ADI社製)でAD変換した。分析項目は、力発揮のピーク値、体重あたりのピーク値及び所要時間であった。体重あたりのピーク値は、力発揮のピーク値を9.8Nで除して算出した。

水中の映像とフォースプレートからの電気信号は同期した。

3. 結果

3.1 到達距離と壁を蹴る力について

けのび動作における到達距離の測定は、壁を蹴ってから立つまでの距離とした。全被験者(17名)の平均到達距離は、 $9.41 \pm 1.58\text{m}$ であった。到達距離の最大値はT.Hの14.35m、最小値はT.Mの6.90mであった。

全被験者における壁を蹴る力発揮は、ピーク値が $724.21 \pm 118.90\text{N}$ 、体重あたりのピーク値が 73.70 ± 12.22 、所要時間が $0.56 \pm 0.12\text{sec}$ であった。図1に、全被験者の到達距離と力発揮のピーク値の関係を示した。

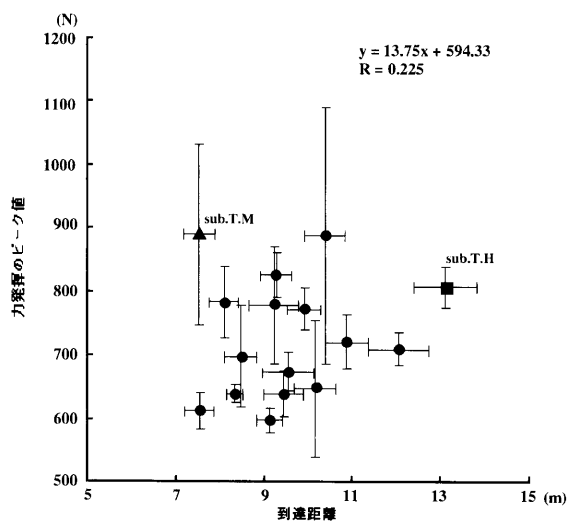


図1 けのび動作における到達距離と力発揮のピーク値の関係

今回は、全被験者の中で最も到達距離の長かったT.Hと、最も短かったT.Mの2名に着目した。

10回の到達距離平均値は、T.Hが $13.09 \pm 0.71\text{m}$ でT.Mが $7.52 \pm 0.35\text{m}$ であった。力発揮のピーク値、体重あたりのピーク値、所要時間の平均値は、T.Hがそれぞれ $807.60 \pm 33.38\text{N}$ 、 82.41 ± 3.41 、 $0.65 \pm 0.10\text{sec}$ 、T.Mが $890.94 \pm 142.59\text{N}$ 、 90.91 ± 14.55 、 $0.44 \pm 0.06\text{sec}$ であった。図2及び図3に、T.HとT.Mの10試技の力発揮の様相を示した。

3.2 重心移動速度の変化について

全被験者のリリース時及び0.5秒時の重心移動速度は、それぞれ $2.91 \pm 0.25\text{m/sec}$ 、 $2.17 \pm 0.23\text{m/sec}$ であった。またリリース時と0.5秒時の重心移動速度を引いて求めた減少量は $0.75 \pm 0.27\text{m/sec}$ であった。T.Hのリリース時及び0.5秒時における重心移動速度は、それぞれ $2.99 \pm 0.44\text{m/sec}$ 、 $2.01 \pm 0.09\text{m/sec}$ であった。減少量については、T.Hが $0.62 \pm 0.20\text{m/sec}$ 、T.Mが $0.83 \pm 0.34\text{m/sec}$ であった。

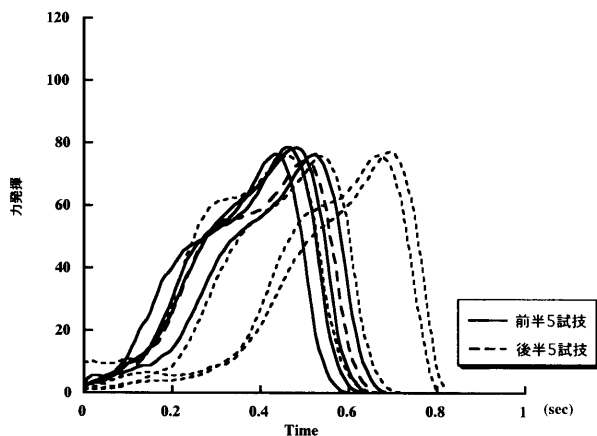


図2 けのび動作における力発揮の様相 -sub.T.H-

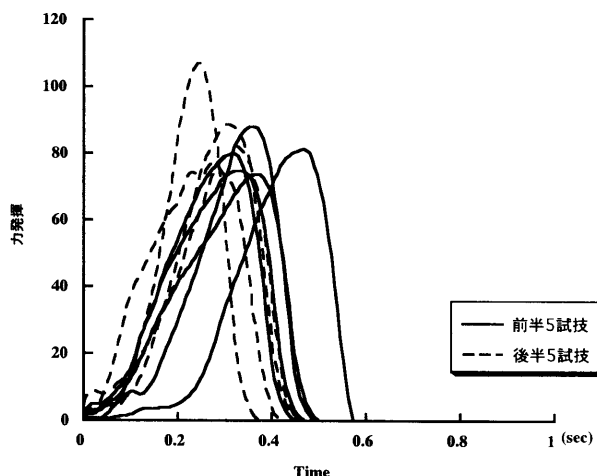


図3 けのび動作における力発揮の様相 -sub.T.M-

3.3 重心位置の変化について

全被験者のリリース時及び0.5秒時における重心位置は、それぞれ水面から $0.58 \pm 0.09\text{m}$ 、 $0.62 \pm 0.12\text{m}$ であった。T.Hのリリース時及び0.5秒時における重心位置は、それぞれ $0.66 \pm 0.12\text{m}$ 、 0.69 ± 0.16 、T.Mにおいては、 $0.50 \pm 0.06\text{m}$ 、 $0.55 \pm 0.07\text{m}$ であった。

3.4 重心の投射角度について

重心投射角度は、リリース時と0.5秒時の重心点のなす角度とした。水面に対して下向きをプラスとし、上向きをマイナスと定義した。全被験者の重心投射角度は、下向きに $1.58 \pm 2.62\text{deg}$ であった。T.HとT.Mにおける重心投射角度は、それぞれ $1.26 \pm 0.60\text{deg}$ 、 $2.18 \pm 1.19\text{deg}$ であった。

3.5 接地位置について

全被験者における接地位置の平均値は、水面から $0.59 \pm 0.13\text{m}$ であった。T.HとT.Mにおける接地位置は、それぞれ $0.91 \pm 0.18\text{m}$ 、 $0.54 \pm 0.08\text{m}$ であった。

3.6 腰・膝関節角度の変化について

全被験者における接地時の腰関節角度および膝関節角度は、それぞれ $112.2 \pm 17.3\text{deg}$ 、 $47.5 \pm 14.8\text{deg}$ 、力発揮のピーク時が $127.2 \pm 15.3\text{deg}$ 、 $98.3 \pm 21.2\text{deg}$ 、リリース時が $153.6 \pm 11.8\text{deg}$ 、 $147.5 \pm 15.2\text{deg}$ であった。表1に、T.HとT.Mにおける接地時、力発揮のピーク時、リリース時の腰関節角度及び膝関節角度を示した。

表1 各局面における腰関節角度及び膝関節角度

	接地時		力発揮のピーク時		リリース時	
	腰関節角度 (deg)	膝関節角度 (deg)	腰関節角度 (deg)	膝関節角度 (deg)	腰関節角度 (deg)	膝関節角度 (deg)
Sub.T.H	104.3 ± 19.9	47.5 ± 6.3	122.8 ± 13.4	99.9 ± 19.5	161.7 ± 13.1	152.6 ± 14.8
Sub.T.M	107.0 ± 15.4	49.2 ± 13.2	123.4 ± 13.6	95.1 ± 24.8	150.5 ± 8.6	141.9 ± 13.3

図4に、T.HとT.Mにおける到達距離の最も大きい試技の姿勢を示した。

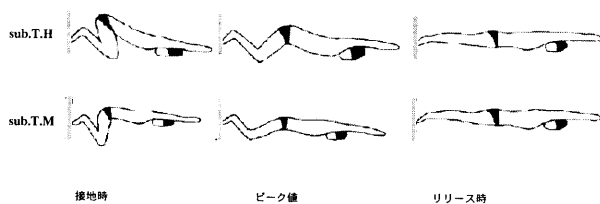


図4 準備局面における姿勢の変化について

4. 考察

4.1 到達距離と力発揮の関係

けのび動作の目的は、壁を蹴ることにより、大きな推進力を得て、長く進むことである⁹⁾。高橋¹⁰⁾は、到達距離が7m以上であれば、水中での進む感覚を習得できることも指摘している。今回の全被験者の到達距離は $9.43 \pm 1.58\text{m}$ 、最も短かった被験者の到達距離は $7.52 \pm 0.35\text{m}$ であったことから、けのび動作を十分に習得したレベルにあることがわかる。到達距離と壁を蹴る力のピーク値との間には、有意な相関関係が認められなかった。しかし、到達距離の長い被験者の方が到達距離の短い被験者に比べてピーク値が小さい傾向が見られた。従って、到達距離を左右する準備局面の力発揮と動作に注目する必要があると考えられた。

4.2 リリース前の力発揮パターンについて

到達距離は、T.HがT.Mより約5.53m長く($P < 0.001$)、力発揮のピーク値ではT.Mが約8.50($P < 0.001$)、所要時間ではT.Hが約0.20sec($p < 0.001$)大きい値を示した。

また到達距離が短かったT.Mのピーク値には、ばらつきが見られた。パターンは、接地からピーク値までの立ち上がりT.Hより急であり、特に後半5試技は、ピーク値のばらつきが大きく、立ちあがり急であった。これは、準備局面における動作が不安定であったと考えられた。

それに対してT.Hのピーク値は、ほぼ一定であった。パターンは、T.Mに比べ立ち上がりがゆるやかであり、ピーク値に達するまでに一度横這いとなる局面が10試技のすべてに見ることができた。熟練者における力発揮の様相は、立ち上がりにおいて、泳者の体重と同程度の力を発揮するところで一度横這いとなり、リリースに向けて再び力の発揮が大きくなることが報告されている⁹⁾。従って、本研究の被験者T.Hも同様に、能率のよい力発揮のパターンであったことが示唆された。

4.3 重心移動速度と到達距離について

初心者にけのび動作のトレーニングを行なわせた結果、壁を蹴った後の姿勢のみではなく、壁を蹴るまでの動作に着目する必要性が報告されている^{5,8)}。また、けのび動作の到達距離の長短は、「ため」動作が、大きなカギとなることも指摘されている⁹⁾。そこで、リリース前後の重心移動速度の変化と到達距離との関係を検討した。

到達距離の最も大きいT.Hと最も小さいT.Mの重心移動速度は、リリース時では、ほとんど差がみられないのに対し、0.5秒時では、T.Hの方が0.47m/sec大きかった($p<0.05$)。また、減少量においてもT.Hの方が0.21m/sec小さかった。熟練者の重心移動速度は初心者に比べ、リリースから0.5秒後までゆるやかに減少していく⁴⁾。従って、重心移動速度の減少量は、水中での前面抵抗に左右されることになる。これらのことから、本研究の被験者T.Hは、T.Mに比べて、前面抵抗を極力小さくした姿勢を保持していたことがわかる。

4.4 重心位置、投射角度及び接地位置と到達距離について

到達距離及び重心移動速度の減少は、リリース前の動作、投射角度ならびにリリース後の姿勢が大きく影響を及ぼす⁸⁾。また、Lyttle, et al.⁶⁾は牽引によるグライド泳では、水深0.4~0.6mの場所が最も水の抵抗を受けずに進むことができることを報告していることから、水中の重心位置の深さが、けのび動作の到達距離に大きく影響を与えらると思われる。合屋・杉浦^{4,5,8)}は、初心者の重心投射角度について、初めは下向きに10.7度であったのが、トレーニング後が6.2度、2年後が 5.85 ± 0.89 度と水面に対して平行に近づくと報告している。さらに初心者のリリース時の重心位置は、トレーニングによって0.37mが0.41mへと深くなったことも明らかにしている⁴⁾。

本研究における全被験者の投射角度は、水面に対して上下両方向が示されたが、平均値では水面に対して下向きに 1.58 ± 2.62 度であり、ほぼ水面に対して平行に投射していた。T.HとT.Mについては、下向きで有意な差は認められなかった。

一方、T.Hの重心位置は、T.Mに比べリリース時が0.15m($p<0.001$)、リリース後0.5秒時が0.14m($p<0.05$)と有意に深い位置であった。このリリース後の重心位置の深さは、足を接地する位置に大きく影響されと考えられる。T.Hの接地位置は、T.Mに比べ0.38m有意($p<0.001$)に水面から深い位置に接地しており、他の被験者に比べてもかなり深い位置であった。以上のことから、T.Hは動作を習得していく中で、水の抵抗の少ない場所を認知し、結果的に水深0.9mあたりに接地していたのだといえる。それに対してT.Mは、T.Hより浅い0.5m付近に接地したため、リリース時の重心位置が初心者のトレーニング後の0.43m⁴⁾と同程度の位置となり、到達距離が伸びなかったのだと考えられる。

4.5 腰・膝関節角度と到達距離について

土居・小林⁹⁾は、けのび動作において発揮する力は、下肢動作の伸展力が主であることを指摘している。本研究の準備局面におけるT.HとT.Mの下肢動作は、接地時ならびに力発揮のピーク値時には、ほとんど差がみられなかった。しかし、リリース時における下肢動作は、T.Hの方が有意に伸展していた($p<0.01$)。これは、T.Hの方がT.Mより力発揮のピーク値時からリリース時の間に下肢動作を素早く伸展させて壁を蹴る動作をしていたといえる。このT.Hにおける下肢動作は、力発揮パターンの体重と同程度で横這いとなる「ため」を利用していることが示唆できた。

以上のことから、熟練者における到達距離の長短は、リリース後の上体を前面抵抗の少ない姿勢に保つのみでなく、接地位置及び、準備局面における力発揮時の様相、すなわち、一端力を「ため」てから、大きな力をタイミングよく発揮することが、けのび動作の巧拙を決定する要因であると思われる。しかし、今回は、1例のみのデータであるため到達距離の同程度の者と比較検討し、接地位置が同様の傾向を示すかを明らかにしていく必要がある。

5. まとめ

本研究では、熟練者17名にけのび動作を10試技づつ行わせ、同時にVTR画像及び水中フォースプレートによる動作解析を行った。本報告では、全被験者の中で、到達距離の最も長い被験者と短い被験者の壁を蹴る力の様相と動きの特徴について比較検討し、けのび動作の巧拙をより詳細に明らかにすることを目的とした。

- 1.到達距離の長いT.Hは、力発揮のピーク値にばらつきがほとんどみられず、ピーク値に達するまでに体重と同程度で一度横這いとなる局面がみられた。それに対しT.Mはピーク値にばらつきがみられ、接地からの立ち上がり急であった。
- 2.重心移動速度の減少量は、T.Hの方が小さいことから、T.Mに比べて、リリース後の姿勢が前面抵抗の小さい姿勢に保持していることが示唆された。
- 3.T.Hの重心位置は、T.Mに比べリリース時が0.15m($p<0.001$)、0.5秒時が0.14m($p<0.05$)と有意に深い位置であった。重心位置の深さは、リリース前の接地位置と密接な関係にあると考えられた。
- 4.T.Hの接地位置は、T.Mに比べ0.38m有意に水面から深

い位置に接地していた ($p<0.001$) .他の被験者より極端に深い位置であった。

5.下肢動作は、T.Hがリリース時において、有意($p<0.01$)に伸展していた。

以上のことから、けのび動作の巧拙を決定する要因は、リリース後の姿勢のみでなく、準備局面において、水深1m付近の壁に足を接地することと、力を「ため」てからタイミングよく発揮することである。

【引用文献】

- 1) 土居陽治郎・小林一敏・高橋伍郎(1983)競泳におけるフリップ・ターン技術の力学的考察. 東京体育学研究10:43-44
- 2) 土居陽治郎・小林一敏・松井敦典 (1984) 水流における流速の測定. Japanese Journal of Sports Sciences 3 (9):694-699
- 3) 土居陽治郎・小林一敏 (1985) けのびのモデルによる解析.東京体育学研究12 : 115-118.
- 4) 合屋十四秋・杉浦加枝子 (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) Lyttle, A., Blanksby, B., Elliott, B. and Lloyd, D. (1999) Optimal Depth For Streamlined Gliding. Biomechanics and medicine in swimming 8 : 165-170
- 7) 佐藤進・出村慎一・中田征克・北林保・元祐謙吾・池本幸雄・高橋繁浩 (2000) 牽引装置を用いたグライド泳テストの信頼性及び客観性の検討. 水泳水中運動科学3: 17-21
- 8) 杉浦加枝子・合屋十四秋 (2000) けのび動作の習熟過程と気づきに関する追跡研究 -リリース前の動作と力発揮を中心に-. 水泳水中運動科学3: 29-34
- 9) 高橋伍郎(1983)水泳における身体動作 Japanese Journal of Sports Sciences.2. (7) : 518-526.
- 10) 高橋伍郎・古橋廣之進 (1984)NHK趣味講座ベストスイミング. 日本放送協会編. 日本放送出版協会:東京. 34-105.
- 11) Takahasi.G. 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 : 192-198