

# 水泳の基本動作「けのび」の巧拙と習熟過程の バイオメカニクス

合屋 十四秋

\*保健体育講座

## Biomechanical analysis for the streamlined position in swimming by using of the cross sectional and longitudinal design.

Toshiaki GOYA

Department of Health and Physical Education, Kariya 448-8542, Japan

キーワード： けのび, 水中フォースプレート, 画像解析, 習熟過程, 横断的・縦断的検討

Key Words : biomechanical analysis, streamlined position, underwater force plate, image analysis, cross sectional and longitudinal design, skill acquisition.

### はじめに

本小論は、主として科学研究費の研究課題と海外学会発表、投稿論文を体系的にまとめ、公表、完成させた学位論文の要旨である。今後のさらなる研究課題に何らかの寄与、貢献ができればと願って止まない。

### 1. 研究の目的

水泳の「けのび」は、体を浮かすことや進みやすい姿勢を身につけるため、あるいはスタートやターン後に水抵抗の少ないストリームラインを作るために用いられる重要かつ基本的な動作である。このため、けのびは、初心者が水泳を習う時の必須の技術であるとともに、トップアスリートにおいても重要課題となっている (Lyttle et al., 2002)。

このけのびの技術を習得し、泳ぎへと発展させていく過程において、ヒトは何を手がかりとしながら自己の身体操作能力を高めているのであろうか。このような運動技術の習熟過程を的確に捉えるには横断的研究手法と、個々人の変化を追跡評価していく縦断的研究手法を並行して進めることの必要性が指摘されている (加藤, 1998)。

ヒトの動作を評価するにあたっては、画像や力発揮の分析とともに、動作と感覚的気づきを対応させて分析するバイオメカニクスの研究手法が有効である。この研究手法を用いて、運動場面における動作認識には、「動作そのものに対する気づき」と「運動感覚に対する気づき」があることが明らかにされている (星野, 1982; 天野, 1987)。しかし、この知見は陸上運動を対象として得られたものである。

一方、運動指導の効果を上げるためには、熟練者と未熟練者の動作の巧拙の原因を明らかにするとともに、動作の発達と運動感覚を結びつけた運動発達に関する知見を蓄積しておく必要がある。そして、選手 (学習者)、コーチ (指導者) 及び研究成果の三者間の情報のフィードバックとフィードフォワード、すなわち Triangle Interaction が円滑に行われる必要がある。しかし、水中運動ではこの点についてほとんど検討されていない。

水泳の基本動作「けのび」は運動学上及び体育学上のきわめて重要な素材であるが、これまでにバイオメカニクスの側面からほとんど検討されていない。このため、けのびの特質とその習熟過程を解明するために横断的及び縦断的手法による検討が必要である。また、けのびの発展系であるター

ン動作には、後半部分にけのびの要素が含まれるが、その巧拙と習熟過程はいまだに十分検討されているとは言い難い (Walker, 1995)。ターン後のけのび動作には、力発揮、投射角度、姿勢などが影響すると考えられるが、実際のけのびにおける避抵抗姿勢などと密接な関係にあるか否かを検討する必要がある。一方、運動技術の遂行には、物理的に表現される客観的動作と、自分が意識する主観的動作との間にずれが生じる場合がある (大築, 2005)。また、動作認識は運動の習熟度に左右されるのか (出原, 1986)、水中での実際の動きと一致するのか (結城, 1999) を映像解析と合わせて解明することが課題として残されている。この点において、けのびやクロール泳の動きと動作認識が実際の到達距離や泳速度にどのように影響するかを検討する必要がある。

以上のように、水泳の基本動作「けのび」は、初心者からオリンピック選手に至るまで、重要課題となっている。それは、けのびで抵抗を小さくする技術は各種泳法やターン動作の基礎であるため、その巧拙が泳法の習熟速度や競技成績に直結するためである。本研究は、画像と力発揮、感覚的気づき等のバイオメカニクスの視点から、けのびの巧拙の原因と泳ぎへと発展させていく動作の習熟過程を検討することにより、水泳指導に有用な知見を得ることを目的とした。

この目的を達成するため、本論文では以下の5つの研究課題を設定した。まず、けのびと類似した受動牽引動作との比較において、けのびの特質を検討した。次に、けのびの巧拙の原因を明らかにするため、初心者から熟練者、エリート選手までを対象に、画像と力発揮、感覚的気づき等の視点から、けのびの特質を横断的に検討した。あわせて、性差についても検討した。第3に、けのびの技術がどのような経過を経て獲得されていくかを明らかにするため、初心者を対象にしたけのびの習熟過程を画像と力発揮、感覚的気づき等の視点から縦断的に検討した。第4に、けのびの発展系であるターン動作を取り上げ、ターンの巧拙と習熟過程を、けのびとの比較で検討した。最後に、けのびを基本とするクロール泳を主に取り上げ、クロール泳の巧拙と習熟過程を動作認識と速度出

力調節の視点から検討した。

## II. けのび動作の力発揮の様相と前方牽引による受動抵抗との関係

けのびの到達距離と前方牽引による受動抵抗値 ( $D_p$ ) との間に関係があるか否かを大学男子熟練水泳選手6名、女子3名を対象として検討した。その結果、けのびの到達距離が大きい泳者は  $D_p$  が小さいことがわかった。また、けのびの到達距離には、蹴り出しの初速度、リリースから0.5s時の速度、力積が関係した。

次に、前方牽引による避抵抗姿勢の技術の有無が、けのび技術の巧拙に反映するか否かを、大学女子熟練水泳選手及び未熟練者各9名を対象として検討した。その結果、未熟練者は熟練水泳選手に比べ到達距離が短く、かつ  $D_p$  が大きかった。また、未熟練者の力積は、熟練水泳選手とほぼ同じ値を示したが、必ずしも到達距離と結びつかなかった。この原因として、未熟練者は、けのびのリリース時及びリリース後に下肢を十分に伸展し、重心移動速度の減少を抑える抵抗の少ない姿勢の保持が未熟であることが考えられた。

以上のことから、前方牽引による  $D_p$  には避抵抗姿勢の技術の巧拙が関係するが、けのびの到達距離には避抵抗姿勢に加えて蹴り出しの技術とパワーも関係することが明らかになった。

## III. けのび動作の画像解析と力発揮の横断的検討

大学男子熟練水泳選手17名のけのび動作の特徴と壁を蹴る力の様相について、VTR画像及び水中フォースプレートを用いて検討した。その結果、到達距離が大きい被検者の力発揮パターンは、接地から一旦、体重と同程度で横這いとなり、ピーク値を迎える二峰性を示した。それに対して、到達距離が小さい被検者は接地からの立ち上がりが急な一峰性を示し、ピーク値にばらつきがみられた。

次に、大学女子熟練水泳選手20名を対象とし、けのび動作の特徴と壁を蹴る力の様相を大学男子

熟練水泳選手との比較により性差を検討した。その結果、到達距離は女子の方が有意に大きかった。しかし、減速量(初速度-0.5s時の重心移動速度)、投射角度、リリース時及び0.5s時の重心位置には男女間に有意差がみられなかった。これは、壁を蹴り出す前後の姿勢及び速度変化に差がないことを示すものである。一方、力発揮の所要時間、ピーク値及び力積では、男子の方が有意に大きな値を示した。このことから、男子は女子に比べ力の大きさや壁を押ししている時間を長くし、到達距離を大きくしていることが伺われた。しかし、男子に有利なこれらの要因よりも、身体組成、特に女子の体脂肪に由来する水中トルク(重心と浮心によるローテーション)が女子に有利に作用するため、到達距離では女子の方が大きくなったと考えられた。

さらに、大学男子エリート選手16名、女子20名を対象とし、初心者、熟練者の結果と合わせて、①どのくらいの水深で、②どの方向に、③どのくらいの時間壁を押し、④どのくらいの速さで蹴り出し、⑤どのくらいのパワーを発揮したかを考察した。その結果、熟練者は男女とも初心者に比べ、投射角度を除いて全ての値が大きかったことから、初心者より深い位置に接地し、長く速く壁を押しして大きなパワーを得ていることがわかった。しかし、蹴る方向が上下に不安定であった。また、エリート選手は男女とも熟練者と同じか、若干浅い位置で接地し、短く速く壁を押しして大きなパワーを発揮し、蹴る方向は水平よりわずかに下方で安定していた。つまり、けのびでは全身を沈め、壁を蹴る方向を水平よりわずかに下方へ、すばやく蹴って大きなパワーを得る重要性が示唆された。

男女全体でけのびの到達距離と有意な相関があった項目は、身長、初速度、0.5s時の速度、減速量、接地位置、投射角度であり、男女双方ともにけのびの到達距離と有意な相関がみられなかった項目は力積及び体表面積であった。このことから、けのびの到達距離には、体長、各移動速度、接地位置及び投射角度の要因が関係すると考えられるが、壁を蹴るパワーは到達距離に影響しないと考えられた。

一方、動作認識では、男女ともに一致したけの

びの各動作局面の認識を時系列の順に並べると、「全身を水中に沈め、「ため」を作って顎を引き、蹴った後、膝を曲げない」となり、感覚的気づきは避抵抗姿勢と密接な関係にあると考えられた。

#### IV. けのび動作の力発揮と認識の縦断的検討

最初に、大学女子初心者1名を対象にけのび動作の練習(週3回、1回2時間を5週間)による変化、次に、大学女子初心者1名を対象に2年間の練習前後における変化をけのびの動作解析及び動作認識に関する質問紙調査の両面から追跡した。その結果、重心速度と壁を蹴る時間の増大、投射角度が水平に近づくなどの効果がみられたが、接地時の腰・膝関節の屈曲が十分でなく、力発揮が接地から一旦、体重と同程度の横這いとなる「ため」動作がみられなかった。

また、大学男子初心者6名、女子7名を対象としてけのびの練習(1日1時間を7日間)を行わせ、その前後の動き、力発揮及び感覚的気づきの変容過程を検討した。その結果、壁を蹴る時間は男女ともに有意に増大し、到達距離と力積との間には有意な相関がみられた。このことから、初心者は壁を蹴る時間を長くし、力積を大きくして到達距離の増大を図っていることが明らかになった。しかし、初心者、熟練者及びエリート選手全体では、到達距離と力積の間に有意な相関がみられなかった。従って、力積が大きくても必ずしも到達距離の増大に結びつかないと考えられた。

一方、動作認識については、推進力に関わる手や足の「動き」に関する認識は比較的容易であるが、「腰が落ちたり、出たりしていないか」「腰と首の力が抜けているか」など、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいことがわかった。

以上のことから、男女初心者の練習によるけのび動作の上達は、1) 壁を蹴る時間を長くする、2) 力積を大きくする、3) 接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、4) 重心移動速度を大きくすることによって達成されることがわかった。しかし、初心者、熟練者及びエリート選手全体では力積と到達距離の間に有意な相関がみられなかったことから、力積が大きくても必ずしも到達距離の

増大に結びつかず、その後の避抵抗姿勢による技術的要因が関与すると思われた。

## V. 各種ターン動作の巧拙と力発揮

まず、大学女子未熟練者1名を対象にクロールのフリップターン動作を1日1時間、計11日間練習させ、次に、大学男子未熟練者1名を対象に平泳ぎのタッチターン動作を1日1時間、計13日間練習させた。力発揮と画像解析は水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて、ターンの特徴や習熟過程をけのびとの比較でそれぞれ検討した。また、大学男子熟練者6名、大学女子未熟練者6名を対象として、画像解析及び壁を蹴る力の分析より、背泳ぎフリップターン動作の特徴や巧拙をけのびとの比較で検討した。

その結果、初心者がターンで壁を蹴る力は、背泳ぎ、クロール、平泳ぎの練習前後で、それぞれ230～360N、530～830N、850～940Nであり、熟練者ではそれぞれ580～600N、580～830N、2000～2100Nであった。けのびとターンで壁を蹴る力を比較した結果、けのびはクロールと平泳ぎのターンに相当することが明らかになった。

初心者のターンは練習により、壁を蹴る力の増加、蹴る時間の短縮、重心加速度と力積の増加、蹴り出す方向の改善及び重心の落下高の減少によって上達した。これらは、壁を蹴る時間を除き、初心者のけのびの到達距離の増大の要因とほぼ一致していた。従って、ターンの後半は、けのび動作の巧拙と一致することがわかった。

一方、初心者のけのびでは、力積と到達距離とに有意な関係がみられた。そこで、ターン動作と力積の関係を検討した結果、クロール及び平泳ぎの力積は、初心者と熟練者との間にあまり差がみられなかった。このことから、ターン動作は壁を蹴るタイミングや方向 (Blanksby et al., 1996)、けのび姿勢の変化 (Thayer and Hay, 1984) にも影響されることが考えられた。従って、力積だけでターン技術を評価するのは不十分であり、けのび姿勢に入る前のターン動作の時系列分析を合わせた、総合的な見地から論議する必要がある。

## VI. 水泳の動作認識及び速度出力調整との関係

一般大学生男女83名 (男子49名、女子34名) を対象に、水泳の授業前後に4泳法 (クロール、平泳ぎ、背泳ぎ、バタフライ) の動作認識に関するアンケート調査を実施し、それらの変容を検討した。その結果、各泳法において推進力を生み出す動作に認識の高まりがみられた。すなわち、クロール、背泳ぎ、バタフライでは主に「手のかき」に、平泳ぎでは「足のけり」に有意に認識が高まった。しかし、どの泳法でも体幹や力を抜くなどの感覚への認識は難しいことがわかった。

そこで、けのびとけのびを基本とするクロールを取り上げ、大学女子初心者1名を対象に、1日2時間、週3回を5週間練習させ、その前後の動きや感覚への気づきの変化を動作解析と質問紙によって検討した。その結果、けのびの到達距離は重心移動速度の増大、投射角度の上昇、腰と膝関節角度の伸展によって増大した。クロール泳では、平均泳速度が0.95m/sから1.07m/sへと増大、ストローク数が0.51stroke/sから0.69stroke/sへと増大、水中ストローク比率が69.7%から77.8%へと増大し、推進力に直結する手のかきの技術が向上した。一方、動作認識は、けのびでは動きへの認識が比較的容易であったのに対し、クロール泳では、力を抜くことや速度の調節などの感覚への認識は難しいことがわかった。

次に、中学と高校の全国大会出場経験のある泳力の高い男子競泳選手16名、同女子競泳選手39名を対象に、難易度の高い感覚への認識、すなわち「速度調節」の主観と客観の一致度について、50mクロール泳で検討した。その結果、水抵抗を考慮した5段階の主観的努力度 (泳速度) と客観的出力との間に有意な相関が男女ともにみられた。この時の回帰直線の傾きは女子0.87、男子0.95とほぼ1.0に近く、陸上における運動と比較すると非常に精度が高かった。

## まとめ

本研究では、水泳の基本動作「けのび」、けの

びの発展系であるターン、けのびを基礎とする各種泳法について、その巧拙と習熟過程を画像と力発揮、感覚的気づき等のバイオメカニクスの研究手法によって検討し、水泳指導に有用な知見を得ることを目的とした。

その結果は以下の通りであった。

1. けのびと受動牽引抵抗との比較によって、前方牽引による受動抵抗には避抵抗姿勢の技術の巧拙が関係するが、けのびの到達距離には避抵抗姿勢に加えて蹴り出しの技術とパワーも関係することが明らかになった。
2. 初心者から熟練者、エリート選手までを対象に、けのびの巧拙を横断的に検討した結果、(1) 初心者は壁を蹴る時間を長くして力積を大きくし、到達距離の増大を図っていた。熟練者は初心者より深い位置に接地し、長く速く壁を押して大きなパワーを得ているが、蹴る方向が上下に不安定であった。エリート選手は熟練者と同じか、若干浅い位置で接地し、短時間で壁を押して大きなパワーとスピードを得、水平よりわずかに下方に蹴り出し、0.3～0.4mの水深を安定して進んでいた。このことから、けのびでは全身を水中に沈め、壁を蹴る方向を水平よりわずかに下方へ、すばやく蹴って大きなパワーを得ることが重要であることが示唆された。(2) 同一技能水準の熟練水泳選手を男女で比較した結果、壁を蹴り出す前後の姿勢及び速度変化には性差がなく、力発揮の所要時間、ピーク値及び力積では男子の方が大きかった。しかし、到達距離は女子の方が大きかった。これは、男子に有利な力発揮要因よりも、女子に有利な体脂肪に由来する水中トルクが作用するためと考えられた。(3) 動作認識では、けのびの各動作局面の認識を時系列の順に並べると、「全身を水中に沈め、“ため”を作って顎を引き、蹴った後、膝を曲げない」となり、感覚的気づきは避抵抗姿勢と密接な関係にあると考えられた。
3. 初心者を対象にけのびの習熟過程を7日間から2年間縦断的に追跡した結果、(1) けのび動作の上達は、①壁を蹴る時間を長くする、②力積を大きくする、③接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、④重心移動速度を大きくす

ることによって達成されることがわかった。(2) 動作認識については、推進力に関わる手や足の「動き」に関する認識は比較的容易であるが、「腰が落ちたり、出たりしていないか」、「腰と首の力が抜けているか」など、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいことがわかった。

4. ターンの巧拙と習熟過程をけのびとの比較で検討した結果、(1) 熟練者がけのびで壁を蹴る力はクロールと平泳ぎのターンに相当した。初心者がターンの練習で到達距離を増大させる要因は、けのびで増大させる要因とほぼ一致し、ターン後半はけのび動作の巧拙と一致することがわかった。(2) しかし、ターン動作は壁を蹴るタイミングや方向、姿勢変化も影響するため、力積だけでターン技術を評価するのは不十分であり、けのび姿勢に入る前のターン動作を合わせた総合的な見地から論議する必要があることも明らかになった。
5. クロール泳を主とする各種泳法の巧拙と習熟過程をけのび、動作認識および速度出力調節から検討した結果、初心者の段階においても、動作の単純なけのびでは動きへの認識は比較的容易であるが、力を抜くことは困難であった。また、各種泳法では、推進力を生み出す動作に意識が集中するが、泳速の調節は困難であった。このことから、泳力の向上とともに、各種泳法では力を抜き要所で力を入れることを習得し、10年程度の競技経験があれば、感覚量と認識が難しい泳速の調節も回帰直線の傾きが1.0に近く、かなりの確度で直線的な関係となり、双方が一致する傾向にあった。

以上の総合的知見は本研究により初めて明らかにされた。水泳指導への実践的示唆としては、けのびの力発揮の仕方や壁を蹴る方向などには性差を考慮し、水中に全身を沈め、膝を曲げて抵抗のない「ため」姿勢を作り、水面と平行に蹴り出すパワーが必要である。また、水中では手足の動きは認識しやすいが、感覚的な気づきや力感などに対する認識は難しいため、難易度、技術レベルを考慮した段階的な助言、アドバイスが肝要である。しかし、泳ぐスピードの主観的調節は、性別に関係なく競技水準が一定以上あれば可能となり、

コーチングや水泳指導の実践的場面で有用であることがわかった。これらの実践的示唆は、一般の児童、生徒、学生及び成人などの水中運動や競泳のトレーニングの目的に応じた指標として適用できるものである。

残された研究課題としては被検者が主として大学生に限られたため、より一般化するには発育発達を視野に入れた取り組みとして小学生、中学生及び高校生を対象に調査、実験を行う必要がある。また、縦断的な追跡対象として人数を増やすことや、練習（トレーニング）期間を長くすることが課題として残っている。さらに、近年では水泳のバイオメカニクスと認知心理学との接点を探る研究が着手されつつある（合屋ら 2012）。新たな枠組みでの学際的な研究手法が確立されることを期待している。

- 8) 結城匡啓 (1999) 長野オリンピックのメダル獲得に向けたバイオメカニクスのサポート活動。日本スピードスケートチームのスラップスケート対策, 体育学研究, 44 : 33-41.
- 9) Blanksby, B., Gathercole, D.G., Marshall, R.N. (1996) Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers, The Journal of Swimming Research, 11: 40-45.
- 10) Thayer, A.L. and Hay, J.G. (1984) Motivating start and turn improvement. Swimming Technique, 20 : 17-20.
- 11) 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典 (2012) 双対尺度法によるけのびの感覚情報と力発揮情報との関係, 愛知教育大学研究報告, 芸術・保健体育・家政・技術科学・創作編, 61 : 27-35.

## 文献

- 1) Lyttle, A., Benjanuvatra, N. Blanksby, B., Elliott, B. (2002) Body form influences on the drag experienced by junior swimmers. In : Y. Hong (Ed.), International Research in Sports Biomechanics, Routledge Publishing, London, pp.311-317.
- 2) 加藤謙一 (1998) 発育期における走動作の発達。バイオメカニクス研究, 2 : 99-108.
- 3) 星野公夫 (1982) 走動作における身体への気づき。順天堂大学保健体育紀要, 25 : 78-87.
- 4) 天野義裕 (1987) 陸上運動の方法。関岡康雄編, 動作における気づきの評価, 逍遥書院 : 東京, pp.77-81.
- 5) Walker, J. (1995) Turning techniques: the biomechanics of age group swim turns. World Clinic Series (Volume 27), The American Swimming Coaches Association, Florida: Fort Lauderdale Press. pp.129-137.
- 6) 大築立志 (2005) 主観による物理的出力の制御特性一つもりと実際の対応関係一。バイオメカニクス研究, 9 : 149-160.
- 7) 出原泰明 (1986) 体育の学習集団論, 明治図書出版 : 東京, pp22-56.