

水中動作と陸上動作の関連性の考察

東京 YMCA 社会体育・保育専門学校

奥玉 南

他 2 名

I. 序論

水泳はクロール、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライの4泳法が代表的な泳法である。この泳法を習得する時、水の特性を体得しながら、段階的な習熟過程を経てようやく一つの泳法が習得できる。その習熟において、最も基本的かつ共通する動作が「けのび」である。

上手な「けのび」の客観的な評価方法はその到達距離である。小山田・合屋(2004)は、「けのび」動作のパフォーマンスとされる到達距離に関して「初心者(未熟練者)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。従って、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。」と述べている。また、土居・小林(1985)は、「けのび」の技術は、自らの抵抗を皮膚感覚でとらえたり、抵抗を小さくするための姿勢の取り方、あるいは体のコントロールなど各種泳法の動作と大きく関連していると述べている。このことは、「けのび」の到達距離は泳者の水泳能力(以下泳力)を表しているとも言える。

「けのび」は一般的には、流線型の姿勢(以下ストリームライン)を作り、水中に水平の姿勢を保つことが重要であると考えられているが、実際には壁を蹴ることが重要である。先行研究では到達距離を伸長させるためには、壁を蹴るまでの準備局面に焦点を当てて、練習することが重要と指摘されている(柴田, 1992; 杉浦・合屋, 2000)。具体的には、壁に対して発揮する力積(力×時間)を大きくする必要があり、壁に両足を接してから離壁までの間で一旦動作を停止し、「ため」を作ってからしっかり壁を蹴ること、さらに、準備局面での「低抵抗姿勢」をとることが重要であると指摘している(中島・高木, 2016)。ここでいう「ため」とは、立位姿勢から体勢を変換し、不安定な水の中で、上半身は抵抗の少ない水平姿勢を保持し、下半身は股関節および膝関節を屈曲させ、両足で壁を蹴るための準備動作を行う時間をさす(杉浦・合屋, 2000)。さらに、中島・高木(2017)は、「けのび」動作の習熟について「『壁を蹴る時一旦停止する』、『壁を蹴る時反動をつけて蹴り出す』の動作が確実に実行できるか否かが「けのび」動作のパフォーマンスを左右する最も重要な要素であることが明らかとなった。」と報告している。このようなことから、「けのび」習得には「壁をしっかり蹴ること」が非常に重要であることが示唆されている。

一方、「壁をしっかり蹴る」という動作を陸上で考えた時、陸上では身体は垂直ではあるが、ドロップジャンプが「けのび」の壁を蹴る動作と類似していると考えられる。

ドロップジャンプとはある高さの台上から跳び降りた後、すぐに最大跳躍を行わせる運

動のことであり、飛び降りた直後に比較的短い踏切時間での跳躍が求められる運動である。この時、筋腱はゴムのように引き伸ばされた後に、その弾性要素を利用して短縮している(1)とされ、筋腱の性質は **Stretch shortening cycle**(以下 **SSC**)と呼ばれている(深代, 2000)。スポーツパフォーマンスを向上させるためには、下肢の **SSC** 運動の遂行能力を高めることが重要な一要因になることが指摘されている(図子・高松, 1995)

このドロップジャンプは、陸上競技や球技スポーツにおいては、走行や跳躍時に足をばねのように一度曲げてから瞬時に地面を蹴り出すというような動作が当てはまる(佐久間, 西村, 大畑, 市橋, 2009)。

「けのび」とドロップジャンプは壁、床を強く蹴るという点で共通点がある。また、「けのび」においては水中に浮かんでから壁を蹴る動作が、垂直ではあるが台から落下するという点で水中あるいは空中に浮遊する動作が見られ、着地点が不安定であるという点でも共通点があると考えられる。水中と陸上の2つの類似する動作に共通点を見出すことは、水泳の最も基本的である「けのび」動作は、陸上の類似している動作(ここではドロップジャンプ)を用いて上手な「けのび」動作の習得ができる可能性があると考えられる。しかしながら、「けのび」とドロップジャンプの関係を探る研究はない。

本研究の目的は「けのび」とドロップジャンプの関係を明らかにすることである。

II. 研究の方法

1. 対象者

対象者は、東京 YMCA 社会体育・保育専門学校社会体育課程男子学生 8 名(平均年齢 19.5 ± 0.5 歳)とした。体格については、表 1 に示した(表 1)。対象者は全員、全員幼少の時にスイミングクラブで水泳を習得し、100m 個人メドレーは平均 90.8 ± 20.4 秒、200m クロールは平均 204.2 ± 53.2 秒であった。これは、日本水泳連盟が認定する泳力検定基準に照らして、ある程度熟練しているレベルに相当する。また、表 1 に対象者の競泳選手経験を含んだプロフィールを示した(表 1)。

表 1 対象者のプロフィール

対象者	年齢(歳)	体格		泳力		
		身長(cm)	体重(kg)	選手経験	100m個人メドレー(秒)	200mクロール泳(秒)
A	20	174	79	有	68.0	138.1
B	20	162	61	有	70.7	146.8
C	20	167	61		100.0	240.0
D	19	167	57	有	72.7	151.9
E	19	170	55		118.3	285.2
F	19	167	61		90.9	221.0
G	20	170	65		120.0	240.0
H	19	168	61		85.9	211.0
平均	19.5	168.1	62.5		90.8	204.2
SD	0.5	3.4	7.3		20.6	53.2

本研究に参加するに先立って、対象者には実験の趣旨とその危険性を事前に説明し同意を得た。

2. 測定および評価方法

1) 「けのび」の測定について

「けのび」の測定を行う際には、プール(縦 25m, 横 11m, 深さ 1.2m)を使用した。対象者に対しては最大努力で「けのび」動作を行って出来る限り遠くまで到達するよう指示した。この時「けのび」動作開始から推進が停止し足を付くまでの区間を陸上 1 台, 水中 1 台, 計 2 台のビデオカメラ (Xacti DMX-WH1E, SANYO 社製) を用いて撮影した。陸上カメラは、対象者が「けのび」動作を行うレーンの反対側のプールサイド上で、スタート地点から 7m 地点付近までを撮影可能な位置に設置し、到達距離を測定するのに用いた。一方水中カメラは、スタート地点から 1.25m 離れ、水底から 1.0m の地点に設置し、準備局面および壁蹴り後の動作を左側方から撮影し、水中動作を分析するのに用いた。なお対象者には画像分析用マーカーとして左大転子, 左膝関節中央点, 外踝, つま先の 4 箇所マージングを行った。試技は 2 回実施し, どちらか良い方の記録を用いた。その際対象者には「全力で到達距離が長い『けのび』を目指す」ことを指示した。

(1) 「けのび」到達距離

プールに 5m~15m まで 2m 毎に 5 点のキャリブレーションポイントを設け, キャリブレーション用のロープを張り, あらかじめ陸上カメラ映像の較正作業を行った。画像分析ソフト(フォーアシスト社製 G-Dig)を用いて, 「けのび」動作開始から推進が停止し足を付いた時の頭頂部の位置座標を取得し, スタート地点からの距離に換算した。

(2) 壁を蹴る瞬間の初速度(以下速度)

速度は、対象者が「けのび」動作を行う地点で、対象者の矢状面方向にキャリブレーションフレーム（縦 0.8m，横 2.0m）を設置し、較正作業を行った後、画像分析ソフト（フォーアシスト社製 G-Dig）にて、身体各部位の二次元座標を取得し、大転子の位置座標を時間微分することによって速度を算出した。

2) ドロップジャンプ(以下, DJ)の測定について

台高 0.3 m からの DJ とし、腕の振り込みによる影響が無いように手を腰に当てた姿勢で行わせた。試技回数は、2~3 回行わせ、跳躍高が一番高かったものを分析した。被験者には、試技を行う際にできるだけ短い接地時間で高く跳び上がるように指示し、試技を正確に遂行できるようにするために、いずれの被験者にも事前に練習を行わせた。測定項目は、跳躍高、接地時間、滞空時間とした。分析はスマートフォンアプリケーション「My Jump2」を使用し、高速カメラでジャンプを撮影した映像からフレームを使って時間を算出した。滞空時間は、手作業で動画のフレームを選択することによって、被験者が地面を離れた第 1 フレーム(離地)と再び地面に接触した第 2 フレーム(着地)を選択することにより、その間の時間を測定した。接地時間も同様に、着地した瞬間から離地した瞬間に要した時間とした。跳躍高は $h = t^2 \times 1.22625$ または $h = (g \cdot t^2) / 8$ の式を用いて計算した。ここで h は重心の総変位(m)(跳躍高)であり、 t は総滞空時間(秒)、 g は重力加速度(9.81 m/s²)とした。

3. 統計処理

「けのび」については、到達距離、速度を前記の方法で分析し、平均と標準偏差(SD)を算出した。ドロップジャンプについては、跳躍高、滞空時間、接地時間を前記の方法で分析し、平均と標準偏差(SD)を算出した。

「けのび」の到達距離と速度およびドロップジャンプの跳躍高との相関については、PEARSON の関数係数を用いて算出し、その後 T 値ならびに P 値を計算して、有意差の検定を実施した。統計処理はマイクロソフト社エクセル 2021 を使用した。

Ⅲ. 結果

1. 「けのび」および DJ の測定値

「けのび」および DJ の測定値を表 2 に示した。

表 2 「けのび」およびドロップジャンプの測定値

対象者	泳力			けのび		ドロップジャンプ		
	選手経験	100m個人メドレー(秒)	200mクロール泳(秒)	けのび到達距離 (m)	速度 (m/秒)	跳躍高(cm)	滞空時間(秒)	接地時間(秒)
A	有	68.0	138.1	15.0	3.8	10.14	0.287	0.195
B	有	70.7	146.8	8.8	3.2	13.59	0.332	0.258
C		100.0	240.0	6.6	2.8	17.24	0.375	0.187
D	有	72.7	151.9	8.1	3.1	18.02	0.383	0.191
E		118.3	285.2	6.3	2.6	23.92	0.441	0.216
F		90.9	221.0	6.9	2.1	25.25	0.453	0.187
G		120.0	240.0	7.0	3.2	26.18	0.462	0.225
H		85.9	211.0	7.0	3.2	30.66	0.5	0.249
平均		90.8	204.2	8.2	3.0	20.63	0.404	0.214
SD		20.6	53.2	2.9	0.5	6.98	0.072	0.028

2. 「けのび」到達距離および速度と跳躍高の相関

「けのび」到達距離と跳躍高の相関について、PEARSON の関率係数を用いて算出した結果、 $r=-0.72$ 、 $t=-2.73$ 、 $p=0.01$ で有意な相関が認められた(図 1)。

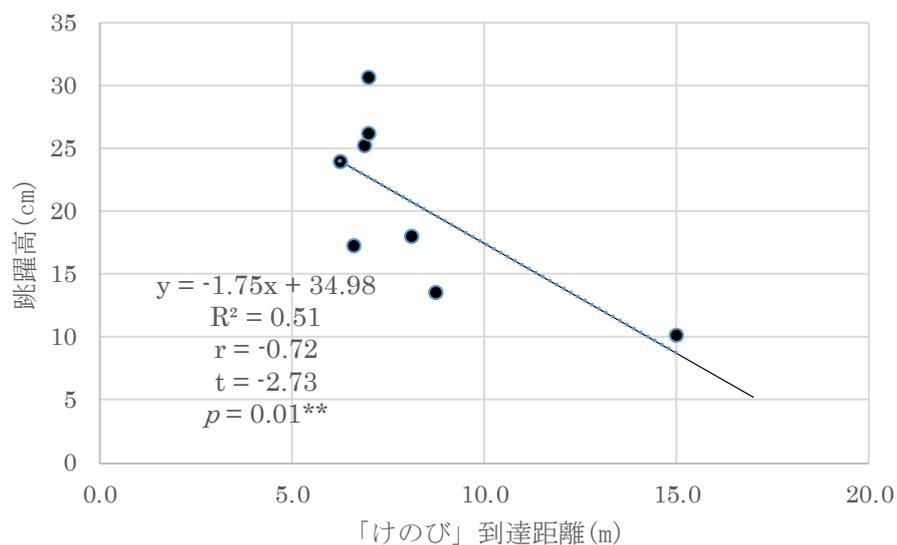


図 1 「けのび」到達距離と跳躍高の相関

3. 速度と跳躍高の相関(図 2)

「けのび」到達距離と跳躍高の相関について、PEARSONの相関係数を用いて算出した結果、 $r=-0.48$ 、 $t=-1.46$ 、 $p=0.09$ で有意な相関が認められた。

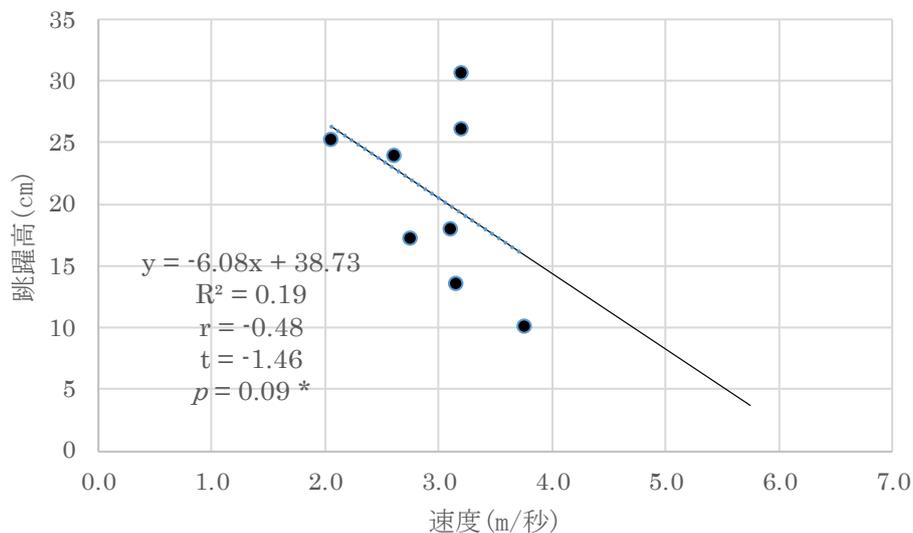


図 2 速度と跳躍高の相関

3. 跳躍高における上位群と下位群の比較

1) 跳躍高の比較(表 3)

跳躍高の平均値を基準に、上位群(n=4)と下位群(n=4)の 2 群に分け、両群の平均値を t 検定で検定した結果、両群に有意差が認められた($p=0.01$)。

表 3 跳躍高:上位群と下位群の差の検定(n=4)

跳躍高(cm)	平均±SD	検定
上位群	14.75±3.63	$p=0.01^{**}$
下位群	26.50±2.92	

2) 「けのび」到達距離の比較(表 4)

跳躍高の平均値を基準に、上位群(n=4)と下位群(n=4)の 2 群に分け、両群の「けのび」到達距離の平均値を t 検定で検定した結果、両群には有意差が認められなかった($p=0.22$)。

表 4 跳躍高上下位群における「けのび」到達距離の差の検定(n=4)

「けのび」到達距離(m)	平均±SD	検定
上位群	9.6±3.7	$p=0.22$ ns
下位群	6.8±0.4	

4. 「けのび」動作と DJ の同じ局面の動作比較(図 3・4, 表 5)

「けのび」動作と DJ の同じ局面の動作を画像で比較した(図 3-1~4, 図 4-1~4)。また、

各局面の動作を表 5 に示した.



図 3-1 「けのび」①



図 3-2 「けのび」②



図 3-3 「けのび」③



図 3-4 「けのび」④



図 4-1 DJ①



図 4-1 DJ②



図 4-1 DJ③



図 4-1 DJ④

表 5 「けのび」および DJ における同じ局面の動作

①	②	③	④
動作を始める前	両足が壁あるいは床に接地した時	膝関節が最大に屈折した時	蹴り出す瞬間

IV. 考察

「けのび」到達距離と跳躍高の相関をみてみると有意な負の相関関係が認められた(図 1)。しかし、跳躍高の平均値を基準に上位群に下位群を分けた場合、「けのび」の到達距離に両群の有意差は認められなかった。このことから、けのびと DJ の関係性は極めて低い事が考えられる。さらに、けのび動作と DJ 動作を比較した場合、けのびと DJ の接地の瞬間(図 3-2 「けのび」② 図 4-1 DJ②,)とけのびと DJ の接地時(図 3-3 「けのび」③, 図 4-1 DJ③)は、膝関節の屈曲が相違していることから、けのびと DJ の動作は異なる構造である事が考えられる。中島・高木(2017)は、水中では支持点がなく、浮心と重心のずれによって立位から水平位へと姿勢を変換する動作について短時間で習得することの困難さを挙げているが、「けのび」の壁を蹴る動作は水中に浮くということが前提となり、陸上動作の「蹴る」という動作とは異なることが示唆された。

一方で、けのびと DJ の接地から離地までの動作をみてみると(図 3-2 「けのび」②, 図 3-3 「けのび」③, 図 3-4 「けのび」④, 図 4-1 DJ②, 図 4-1 DJ③, 図 4-1 DJ④), いずれもかかとから壁、もしくは地面から離れ、足関節が屈曲・伸展している動作が見られる。これは、DJ は SSC 運動を遂行しているが、けのびも SSC 運動に似た動作を行っていると考えられる。DJ は目的のある段差から飛び降りることでその強い衝撃を受け止める。DJ を上達させるためには、固いバネをつくり、地面からの反発を効率よくもらう必要があると考えられ(スプリントアカデミーHP, 2023), これが DJ の SSC 運動であるが、けのびを上達させるためには壁をける意識をし、浮く力と壁を蹴るタイミングを自然と合わせられるようにする。壁を蹴るタイミングはほんの一瞬なので、タイミングが必要となるが(中島・高木, 2017), この動作を行うために、けのびについても SSC に近い動作を行っている可能性があることが考えられる。中島・高木(2017)の研究の中でも SSC について「SSC をうまく利用できれば『けのび』動作において壁に対し大きな力を発揮することが可能となる。」と述べている。

V. 結論

本研究では水泳の最も基本的である「けのび」動作と、陸上の類似している動作である「ドロップジャンプ」の関係性を明らかにすることを目的とした。対象者は、東京 YMCA 社会体育・保育専門学校社会体育課程男子学生 8 名(平均年齢 19.5±0.5 歳)とした。

結果は以下の通りとなった。

①「けのび」到達距離と跳躍高には有意な負の相関関係が認められた。しかし跳躍高の平均値を基準とした上位群と下位群の2群に分けた結果、けのびの到達距離に両群に有意な差は認められなかった。このことから、跳躍高が高い能力とけのびの到達距離に関係性は低い事が考えられる。

②DJ とけのびの動作を比較すると、接地から離地にかけて膝関節の動作に違いはあったものの、足関節の屈曲・伸展動作は類似していることから、けのびはSSC運動に近い動きをしている事が考えられる。

以上のことから、けのびとドロップジャンプはそれぞれの能力の関係性は低いですが、動作は類似している点があった。今後の課題として、けのびとDJの類似点であった足関節の動作であるSSC運動を用いた介入的な実験をすることで、DJがけのびに及ぼす影響についても検討していきたい。

VII. 文献

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.

深代千之(2000): 反動動作のバイオメカニクス: 伸張-短縮サイクルにおける筋-腱複合体の動態. 体育学研究, 2000, 45: 457-471.

合屋十四秋 (2009) 水泳の基本動作「けのび」の巧拙と習熟過程に関するバイオメカニクスの研究. 広島大学博士学位論文.

クルト・マイネル (1981) マイネル・スポーツ運動学. 大修館書店, pp. 125.

Lyttle, A., Benjanuvatra, N., Blanksby, B., and Elliott, B. (2002) Body from influences on the drag experienced by junior swimmers. In: Hong, Y. (ed.) International Research in Sports Biomechanics. Routledge, pp. 310-317.

中島きよ・高木英樹 (2016) 「けのび」動作指導法の違いによる学習効果の検証: 壁に着壁するまでの姿勢変換に着目して. 体育学研究, 61(1): 229-243.

中島きよ・高木英樹 (2017) 「けのび」動作における準備局面の姿勢変換に着目した指導法に関する実証的研究. 体育学研究, 62(2): 465-474.

小山田早織・合屋十四秋 (2004) 大学生男子トップスイマーの「けのび」動作と力発揮. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 29: 1-6.

佐久間 香, 西村 純, 大畑 光司, 市橋 則明(2009), ドロップジャンプ跳躍高向上に影響する運動学的要素の検討, 理学療法科学, 24(2):263-267

柴田義晴 (1992) 水泳指導についての一考察-け伸び指導について-. 東京学芸大学紀要, 44: 133-140.

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.
水泳水中運動科学, 3 : 29-34.

杉浦加枝子・合屋十四秋 (2004) 大学熟練者における「けのび」動作の性差, 愛知教育大
学実践総合センター紀要, 7 : 91-95.

スプリントアカデミーHP(2023) <https://sprintacademyshizuoka.com/dropjump/>

関子浩二, 高松 薫(1995). バリスティックな伸張-短縮サイ クル運動の遂行能力を決定
する要因-筋力および瞬発 力に着目して-, 体力科学, 44: 147-154

高橋伍郎 (1983) 水泳における身体動作. Japanese Journal of Sports Sciences 2(7) :
518-526.

若吉浩二 (1992) 競泳のレース分析～レース分析とその現場への応用～. バイオメカニズ
ム学会誌, 16(2) : 93-100.

共同研究者

(代表) 奥玉 南

中島 きよ

渡邊 夏海