

Title	巻き足動作の強さと巧みさとの関連について：大学水球部員による3次元動作分析から
Sub Title	Kinematic analysis of eggbeater kicks with and without fatigue (from male college water polo players)
Author	烏海, 崇(Toriumi, Takashi) 森下, 愛子(Morishita, Aiko) 渡辺, 一仁(Watanabe, Kazuhito)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2013
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.52, No.1 (2013. 1) ,p.33- 37
Abstract	The purpose of this study was to investigate the technique of eggbeater kicks and to identify the factors that help players maintain height above water. The lower limb movements during eggbeater kicks of 14 male water polo players, who were in the college team, were analyzed using three-dimensional motion analysis. The characteristic results for eggbeater kicks in the case of 14 college water polo players were as follows : the duration of performing eggbeater kicks while holding a 15-kg weight ranged from 14.4 to 45.0s, the number of cyclic operations with the knee ranged from 33 to 78, and the time length of one cyclic operation with the knee was 0.43 to 0.65s/cycle. This duration correlated positively with the time length of one cyclic operation.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00520001-0033

巻き足動作の強さと巧みさとの関連について

～ 大学水球部員による 3次元動作分析から ～

鳥海 崇* 森下 愛子** 渡辺 一仁***

Kinematic analysis of eggbeater kicks with and without fatigue (from male college water polo players)

Takashi Toriumi¹⁾, Aiko Morishita²⁾, Kazuhito Watanabe³⁾

The purpose of this study was to investigate the technique of eggbeater kicks and to identify the factors that help players maintain height above water. The lower limb movements during eggbeater kicks of 14 male water polo players, who were in the college team, were analyzed using three-dimensional motion analysis. The characteristic results for eggbeater kicks in the case of 14 college water polo players were as follows: the duration of performing eggbeater kicks while holding a 15-kg weight ranged from 14.4 to 45.0 s, the number of cyclic operations with the knee ranged from 33 to 78, and the time length of one cyclic operation with the knee was 0.43 to 0.65 s/cycle. This duration correlated positively with the time length of one cyclic operation.

キーワード：3次元動作分析，巻き足，疲労の有無

Key words：3D motion analysis, eggbeater kicks, with and without fatigue

I. 緒 言

水球競技は足のつかないプールで相手のゴールにボールを投げ入れるゲームである。この水球競技においてパスを受ける際やシュートを打つ際、選手は体を水面上から高く保持することで有利な状況を作り出すことができる。その際に必要となる技術が巻き足と呼ばれる、両下肢を交互に回旋させることで上向きの力を発生させ、選手の体を水面上から上昇させる技術 (Sanders, 1999) であり、水球競技において極めて基礎的かつ重要な技術である。

15kg や 20kg といった重りを保持した状態で巻き足を実施し浮いていられる時間が長ければ長いほど水球競技

において巻き足が強いと認められており、実際に日本代表の選考基準に採用されている (榎本, 2005)。このように水球の現場では支重による巻き足の継続時間で巻き足の強さを推し量っている。本論文でも巻き足の支重時間の長さを強さとして表記する。

また近年、測定器の開発などにより水球競技やシンクロナイズドスイミング競技において、3次元動作分析により両下肢の動きから巻き足の巧みさについて測定されている。例えば、巻き足動作中の膝と踝の位置が高ければ、そして膝の上下動の範囲が大きければ、より巧みな巻き足動作であると認められている (本間ら, 2005; Sanders, 2008; Alexander & Taylor, 2008; 鳥海ら, 2011)。これは膝を引き上げることで踝を引き付け、

* 慶應義塾大学体育研究所専任講師

** 慶應義塾大学体育研究所助教

*** 慶應義塾大学体育研究所非常勤講師

1) Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University

2) Research Associate, Institute of Physical Education, Keio University

3) Part-time Lecturer, Institute of Physical Education, Keio University

足を大きく回してキックの面積を増やす動きが容易になるためである。巧みな巻き足に習熟し膝を引き上げるためには股関節を中心に柔軟性を向上させることが重要であると考えられている（鳥海ら，2010）。また，水球の現場では試合終盤など両下肢に筋肉疲労が蓄積した状態では巻き足動作時に膝を十分に引き付けることができず，膝の位置が下がると考えられている。膝が下がることで巻き足の巧みさが低下し，選手の体が水面上から高く上昇できなかつたり，相手選手との位置争いに競り負けたりすることがあると考えられている。

このように水球の代表選考などに用いられる巻き足の強さについては，両下肢の筋力のほかに特に巧みさが影響を与えていると考えられているが，巻き足の強さと巧みさとの関連についての研究は少なく，また，その巧みさが筋肉疲労によりどのように変化するかはわかっていない。そこで本研究では3次元動作分析を用いて重りを保持した状態での巻き足動作を実施し，巻き足の強さと巧みさとの関連，そして筋肉疲労の有無による巻き足の巧みさの変化について調べることを目的とした。

II. 方 法

日頃から水球の練習を専門的に実施している男子大学水球部員14名を被験者とした（年齢 20.3 ± 1.2 歳，身長 175.1 ± 5.3 cm，体重 69.1 ± 8.3 kg，競技歴 4.2 ± 2.2 年）。被験者のうち9名が過去の競技記録から全国大会の出場歴を有していた。いずれの被験者も十分に高い水球技能及び立ち泳ぎ技能を有しており，再現性を含め立ち泳ぎ技能に関する安定したデータ抽出が行われた。また，本実験の前に実験の目的，内容，データの利用について被験者の了解を得た。

実験は慶應義塾大学プール（縦50m×横25m×深さ2m）にて実施した。巻き足の強さの測定は，日本水泳連盟水球委員会（2003）に準拠した。15kgの重りを両手で保持して浮上し巻き足を開始した。頭頂部が水面から出てきた段階でストップウォッチによる測定を開始し，被験者が重さに耐えきれず再び頭頂部を含めた体の全体が水没するまでの継続時間を測定した。本研究ではこれを巻き足の強さとした。このときの巻き足の様子をビデオで撮影し，画像分析を行った。巻き足動作の画像分析のために，2台のビデオカメラ（フレームレート30枚/秒，シャッタースピード1/100）を用いた。1台のビデオカメラは水深2m，選手正面から12mの距離に設置した。もう1台のカメラは水深1m，選手正面から

水平に60度，14mの距離に設置した。2台のビデオカメラはフレームカウンターを用いることで同期させた。各選手のデジタイズポイントは選手の両大転子と両膝とした。撮影した映像上において被験者身体の分析対象点の視認性をより良好にするため，黒色マーカを被験者の大転子，膝に装着した。三次元DLT法による3次元実座標変換のために既知の空間座標を得る校正作業を実施した。これは縦1.8m×横1.8m×高さ2.0mで12点のコントロールポイントを有したパイプで組み立てた構造物をキャリブレーションフレームとして用い，事前に2台のカメラで撮影した。この校正用映像と試技を撮影した映像から，動作解析ソフトウェア（DKH社製Frame DIAS IV）により下肢各部の三次元座標を算出した。

本研究では巻き足の巧みさを示す情報として，3次元動作分析から得られる大転子と膝の座標から，両者の高さ（Y軸の値）の差および膝の上下動の範囲を算出した。本間ら（2005）の定義に従い，膝の高さについて最大値を膝max，最小値を膝minとし，上下動の範囲として膝max-膝min（最大値と最小値の差）を算出した（図1）。また，これらの値について，巻き足開始直後動作が安定する4回旋後から5回旋分の平均値を疲労なしの状態，巻き足終了直前から数えて9回旋前から4回旋前までの平均値を疲労ありの状態として比較を行った。

III. 結 果

図2は15kgの重りを保持した状態で巻き足を実施した際の継続時間を全14名の被験者について示したものである。記録の長い方から1,2,3…と番号をつけて並べて示している。継続時間の範囲は最長で45.0秒から最短で14.4秒であり，平均値は29.7秒，標準偏差は8.69であった。図3は膝maxと継続時間との相関を調べたものである。疲労なしの状態では膝maxと継続時間との間に相関は見られなかった（ $R^2=0.002$ ）。しかしながら疲労ありの状態では保持時間と膝maxとの間に疲労なしの場合に比べると強い関連がうかがえた（ $R^2=0.26$ ）。また，図4は膝minと継続時間との相関を調べたものである。膝minに関しては疲労なしの状態と疲労ありの状態のどちらにおいても継続時間との間に相関はみられなかった。図5は巻き足一回旋中に膝がどれだけ上下に動くかを調べる目的で，膝max-膝minと巻き足の継続時間について疲労の有無による違いを調べたものである。巻き足動作中における膝max-膝minについては最小二乗法による近似直線の傾きが疲労なしでは0.25であ

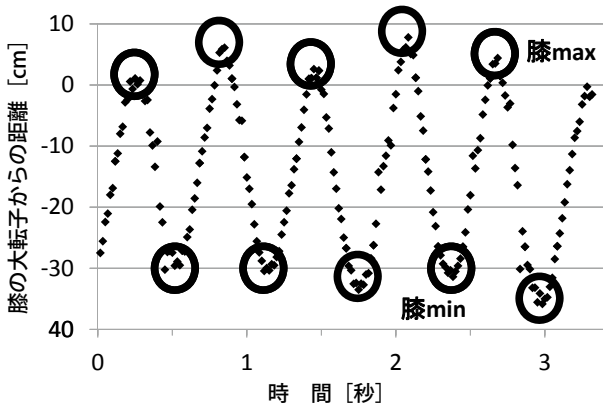


図1. 3次元動作分析から得られる膝と大転子との高さ (Y軸の値) の時間変化

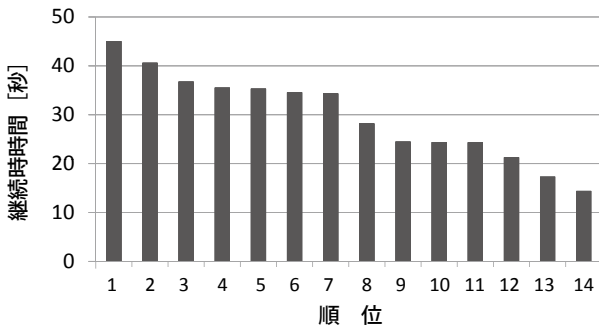


図2. 被験者全14名の15kgを保持した状態での巻き足の継続時間の継続時間

り、疲労ありでは0.24であり、その傾向に大きな差は認められなかった。また、y軸との切片が疲労なしが16.1に対して疲労なしが17.6であり、その大きさにも大きな差は認められなかった。これらのことから膝max-膝minと継続時間の関係において疲労の有無による違いはなかったが、継続時間が長いほど膝max-膝minが大きい関係が示された。被験者らの継続時間中の膝の回旋回数は33回から78回であった。1回の回旋動作にかかる時間は0.43秒から0.65秒であった。図6は被験者ごとの巻き足の継続時間と1回の回旋動作にかかる時間の平均値の関係を示した。継続時間と回旋動作にかかる平均時間には正の相関 ($R^2 = 0.53$, $P < 0.01$) が見られた。図7に疲労なしの状態と疲労ありの状態の巻き足動作5回旋分にかかる時間の関係を示した。すべての被験者で疲労なしよりも疲労ありの状態の方が回旋動作に時間がかかっていることがわかった。また、図8に疲労なしの状態における巻き足動作5回旋分にかかる時間と継続時間との関係を、図9に疲労ありの状態における巻き足動作5回旋分にかかる時間と継続時間との関係示した。

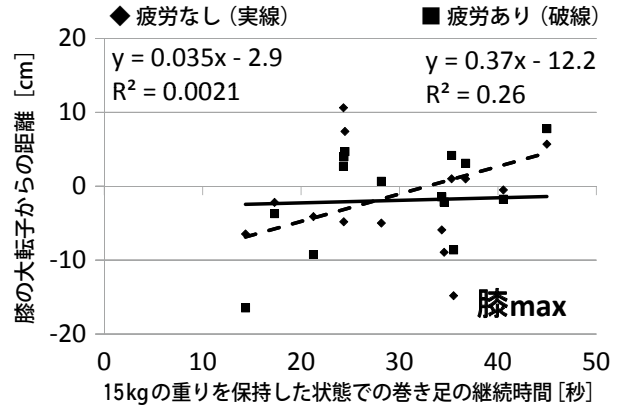


図3. 疲労の有無について、膝maxと15kgの重りを保持した状態での巻き足の継続時間との関係

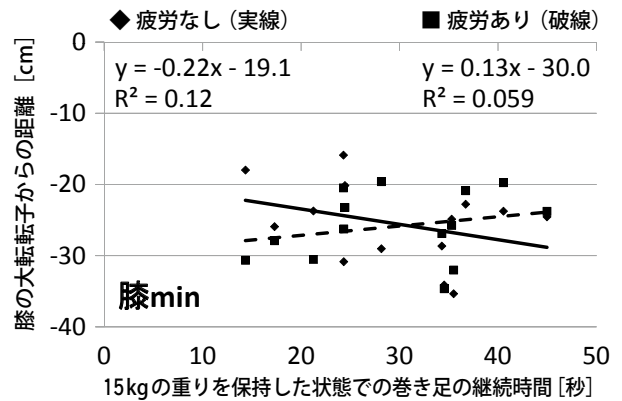


図4. 疲労の有無について、膝minと15kgの重りを保持した状態での巻き足の継続時間との関係

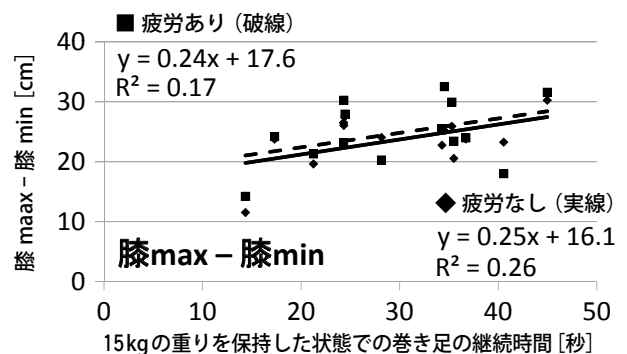


図5. 疲労の有無による膝max-膝minと15kgの重りを保持した状態での巻き足の継続時間との関係

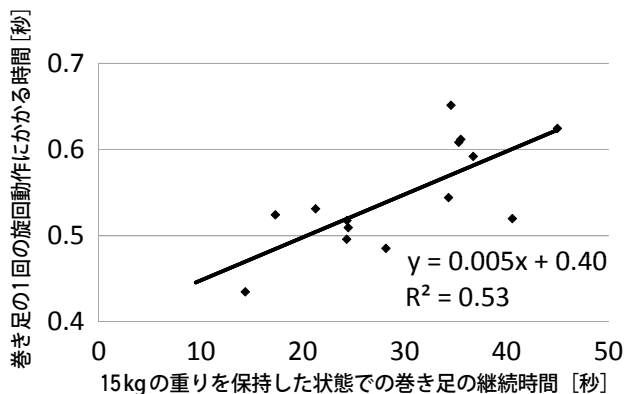


図6. 巻き足の1回の旋回動作にかかる時間と15kgの重りを保持した状態での巻き足の継続時間との関係

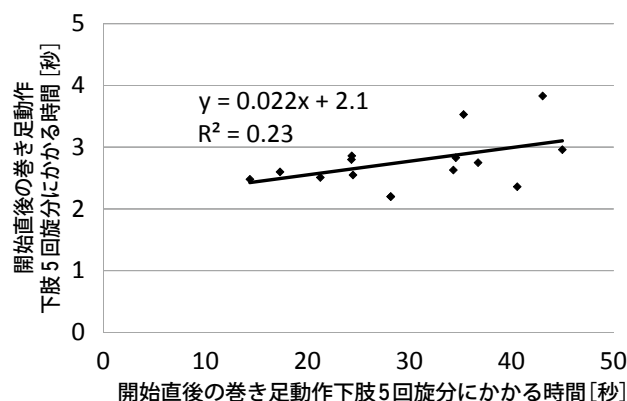


図8. 開始直後の巻き足動作5回旋分にかかる時間と15kg支重巻き足の継続時間との関係

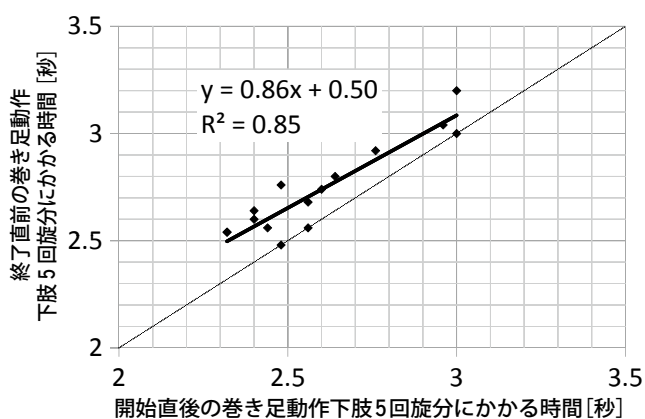


図7. 開始直後と終了直前の巻き足動作5回旋分にかかる時間の関係

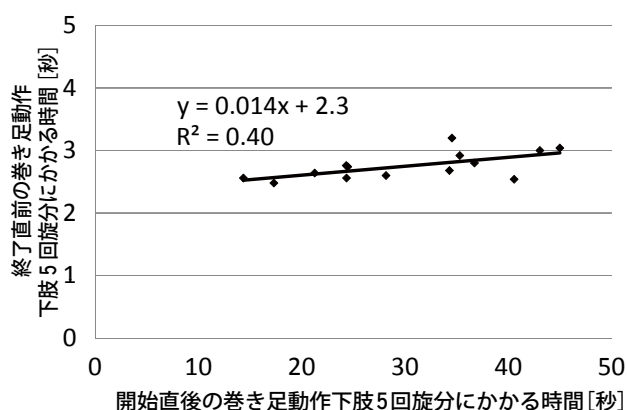


図9. 終了直前の巻き足動作5回旋分にかかる時間と15kg支重巻き足の継続時間との関係

図6から推察された通り、開始直後と終了直前ともに継続時間が大きいほど回旋動作にかかる時間も大きくなる傾向がうかがえる。

IV. 考 察

本間ら（2005）は膝maxの値が高いほど巻き足が巧みであることを明らかにしている。本研究の結果では膝maxと継続時間について筋肉疲労がない状態では相関はなかったが、筋肉疲労がある状態ではより強い関係性がみられた。筋肉疲労がない状態で巻き足の巧みさと継続時間に相関関係がみられなかったことは巻き足の巧みさよりも筋パワーや力みといった他の要因が強く影響を及ぼすためと考えられる。一方、筋パワーなどが

低下してくる筋肉疲労状態では、膝maxの値を高く維持し、巧みな巻き足が維持できる方が、継続時間が長く強い巻き足を実現したことを示唆している。つまり、支重巻き足開始直後の巻き足の様子からは、その選手の継続時間の長短を推定することはできないが、支重巻き足終了直前では、その巻き足の様子に変化しており、継続時間が長い選手ほど、巻き足技術が巧みであることがうかがえる。

本研究の結果からは巻き足技術の巧みさは筋肉疲労が生じる支重巻き足終了直前でなければ推定することができなかった。しかし本間ら（2005）の結果は被験者の疲労の有無は記載せずに巻き足技術の巧みさを測定し、議論している。これは本間ら（2005）の被験者が五輪代表選手や世界選手権代表選手など巻き足の巧みに極めて

習熟しており力みも少ないこと、そして被験者が女性であるため男性に比べて筋パワーの出力が低いことなどから、筋肉疲労の有無に関わらず巻き足の巧みさを判定できたものと考えられる。

図5の膝max-膝minの結果から、巻き足が強い者ほど膝の上下動の幅は大きいことがわかった。この結果は先行研究の結果（Alexander, 2008; 本間ら, 2005; Sanders, 1999; Sanders, 2008）と調和的である。さらにこの膝の上下動の幅は筋肉疲労の有無では変化しないことがわかった。これらのことから巻き足の巧みさの指標である膝maxと膝max-膝minについて、本研究の被験者である男子大学生の場合は異なる性格を有することがわかる。つまり膝maxは筋肉疲労なしの場合は継続時間との相関がみられず、筋肉疲労ありの場合のみ相関がみられる一方、膝max-膝minは筋肉疲労の有無に関わらず継続時間との相関がみられるものである。

このように膝maxは筋肉疲労がない場合には継続時間との相関がみられないのは、巻き足の巧みさだけでなく下肢の筋力などの他の要素が影響があると考えた。しかしながら、同じ場合に膝max-膝minでは相関がみられた。従って、下肢の筋量が大きい成人男子の水球競技においては、その影響が小さいと考えられる膝max-膝minの方が膝maxよりも巧みさの推定のためには測定しやすい指標かもしれない。

図6に示した、巻き足の継続時間と回旋動作にかかる平均時間とでは正の相関が認められたことから、継続時間が長い、すなわち強い巻き足は1回の回旋動作にかかる平均時間が長いことがわかる。図7から被験者は総じて終了直前の方が開始直後よりも回旋により多くの時間を要することがわかる。これは疲労ありの状態では下肢の筋肉疲労が影響して回旋速度が低下し、回旋動作に時間がかかっているものと考えられる。さらに近似線の傾きから疲労なしと疲労ありとの回旋動作にかかる時間の差は、継続時間が長くなるにつれてその差が小さくなっている。つまり巻き足の巧みさに優れている方が継続時間の長短に関わらず疲労ありと疲労なしとの回旋動作にかかる時間の差が小さいと推察される。これらの図から疲労なしでも疲労ありでも、継続時間が長い方が回旋動作にかかる時間も大きいことがうかがえる。また、この継続時間と回旋動作にかかる時間との関係は疲労ありの方が疲労なしに比べて相関が強い。これは開始直後は筋パワーや力みといった巧みさ以外の要因が回旋動作に影響を与えている一方、終了直前では筋パワーや力みと

いった巧みさ以外の要因の影響が小さくなり、巧みさと継続時間との関係がより強く表れているのだと考えられる。ただしこれらの点についてもより多くのデータ数による裏付けなど議論が必要である。

V. 結 論

14名の男子大学水球選手を被験者として巻き足動作の3次元動作分析を実施し、巻き足の強さと巧みさとの関連、および筋肉疲労の有無による巧みさの変化について調べた。筋肉疲労なしの状態では膝maxは巻き足の継続時間と相関がない一方、筋肉疲労ありの状態では膝maxは継続時間との相関が認められた。また、膝max-膝minは疲労の有無による違いがなく、筋肉疲労による巧みさの変化は認められなかった。筋肉疲労なしの状態では巻き足動作においては巧みさよりも両下肢の筋力の影響が強いが、筋肉疲労ありの状態では両下肢の筋出力が低下するため、巧みさの違いが継続時間に強く影響することが示唆された。

引用文献

- Alexander, M. and Taylor, C. The Technique of the Eggbeater Kick. www.coachesinfo.com/, 2008.
- 榎本至, 水球競技のノーティカルチャート—世界の潮流と日本の競技者育成システムの課題—, 2003月, 水泳水中運動科学第8号
- Homma, M. and Homma, M. Coaching Points for the Technique of the Eggbeater Kick in Synchronized Swimming Based on Three-Dimensional Motion Analysis. *Sports Biomechanics*, 4: 73-88, 2005.
- 日本水泳連盟, http://www.swim.or.jp/11_committee/03_polo/0703241_3.html, 2003.
- Sanders, R. H. Analysis of the Eggbeater Kick Used to Maintain Height in Water Polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 15: 284-291, 1999.
- Sanders, R. H. Strength, Flexibility and Timing in the Eggbeater Kick. www.coachesinfo.com/, 2008.
- Toriumi, T. and Morishita, A. Kinematic Analysis of Eggbeater Kicks of Junior Water Polo Players. *Proceedings of the 12th International Scientific Conference of Sport Kinetics*, 12: 121-122, 2011.