

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：30108  
研究種目：若手研究  
研究期間：2020～2021  
課題番号：20K19573  
研究課題名(和文)カヌーパドリングを上達させる関節運動の解明：機械学習を用いた指導システムへの展開

研究課題名(英文)Elucidating Joint Motions to Improve Canoe Paddling: Application of Machine Learning to an Instructional System

研究代表者  
野村 知広 (Nomura, Tomohiro)  
北海道科学大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：90593492  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：元カヌースプリント・カヤック日本代表選手のパドリング動作を3次元動作解析装置で計測、解析した。その結果から、パフォーマンスに大きな影響を及ぼすと考えられる新たな局面及び指標を定義した。その確認のため、カヤック経験者5名のデータを計測・解析した結果、競技タイムと定義した指標の間には強い相関があることが分かった。  
この指標を用いた、パドリング動作教示システムを開発した。カヌーオーシャンレーシング選手一名に対して、3日間システムを使用して練習してもらった結果、7kmのタイムが25分縮むという大変良好な結果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
カヤックのパフォーマンス評価について、いくつか指標が作られているが、実際の競技タイムと適合しない場合が多々存在する。本研究では、パドリング動作に着目して、新たな評価指標を提案し、その有用性を確認した。また、この指標を組み込んだ教示システムを開発し、短期間で競技タイムを大きく縮めることに成功した。今後は、この指標及びシステムを併用して練習していくことで、課題の可視化によるモチベーション向上や、効率的なパフォーマンスの向上に役立つものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We measured and analyzed the paddling behavior of a former Japanese national canoe sprint kayaker using a three-dimensional motion analyzer. From the results, we defined new phases and indices that were considered to have a significant effect on performance. To confirm this, we measured and analyzed data from five experienced kayakers, and found that there was a strong correlation between the competition time and the defined indices. We developed a paddling motion teaching system using this index. One canoe ocean racer practiced using the system for three days, and the results were very good: his 7-km time was reduced by 25 minutes.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：カヤック パドリング カヌー 教示システム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本はカヌー競技、特にカヌースプリント・カヤック（以降カヌースプリント）においては未だオリンピックメダル取得者は出ていない。国内において、カヌースプリント競技者のパドリングについて筋電図学的解析や漕パワー解析を行うことで、初級者と熟練者の筋活動の違い、漕パワーの左右差等などが明らかにされてきた。また、パドル先端の軌跡を解析することで、効率的なパドリングが提案されてきた。しかし、競技者の複数関節にまたがった総合的なパドリング動作解析は行われておらず、どのような関節運動が効率的なパドリングを引き起こすのかは明らかにされていない。

そこで、5年前からカヌースプリントにおけるパドリング動作の解析を行ってきた結果、これまでに熟練者（日本代表選手）と中級者（競技暦8年選手）のパドリング動作において、肘関節に特徴的な違いがあることを明らかにした。また、手関節撓尺屈角度において、撓尺屈どちらも競技に大きな影響を及ぼしていることを示してきた。しかし、熟練者の関節運動とパドリング動作の関係性については解明されておらず、初・中級者に対して行われる指導に熟練者の動作データを生かすことは出来ていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、カヌースプリント熟練者のパドリング動作が、肘関節や肩関節、体幹などどのような関節運動で引き起こされているのかを明らかにして、そのデータを利用し、初・中級者の動作と熟練者データを比較し、違いを指摘するカヌースプリント教示システムの開発を行う。これにより、今まで知られてこなかった熟練者の関節運動について知識を共有することが出来る。また、経験に基づいたパドリング動作指導から、科学的根拠に基づいた最適な指導が可能となり、指導効率を向上させることが出来る。さらに、全国で統一した教示システムを用いることが出来れば、指導者間で行われた議論の結果をシステムに反映させることで、国内全体のカヌースプリント競技者に最新知識を用いた指導が可能となり、オリンピック等世界大会でのメダル獲得に近づくことができる。

### 3. 研究の方法

本研究は、カヌースプリント熟練者が、パドリングのある局面においてどのような関節運動を行っているか明らかにするために行った。動作計測は、トレーニングマシンまたは水上で実艇を用いてパドリングを行っていただき、肩・肘・手関節及び体幹の運動を計測し、データ解析プログラムにより関節角度等を算出した。1試行につき10パドリングを計測し、1度の計測で3試行、計30パドリングのデータを計測する予定である。その後、パターン化を行うためにパドリング動作を複数の重要局面で分割した。パドリングは、主に

- ・キャッチ（パドル入水の瞬間）
- ・ミドル（矢状面から見てパドルが水面に対して垂直）
- ・フィニッシュ（パドル離水の瞬間）

が重要な局面とされている。特にミドルは、最も推進力を生むことの出来る局面であるため重要性が高い。実際にパドルが垂直になるのは一瞬であるため、本研究ではミドルを、パドルが水面に対して80度～100度の間と定義し、それぞれミドル開始・ミドル終了という局面として扱い、計4局面において関節運動をパターン化した。学習用データセットは、コロナウィルスの関係で予定した人数を集めることができず、1人30パドリング×3人の90セットとなった。パターン化においては、例えば「キャッチ局面での肘関節角度は60度～70度」のように幅を持たせた。これにより、重要な4局面において熟練者がどのような関節運動を行っているかを明らかにした。

最後に、得られた局面毎のパターンを教師信号とした教示システムの開発を行った。熟練者のパターンと違った動作を行った場合、その箇所を指摘するシステムである。その指摘を元に指導者による指導を受けることで、被教示者は自身の問題点を明確に把握でき、練習へのモチベーションアップに繋がると考えられるため、システム使用前と使用后でタイム計測を行い、本システムの効果を確認した。

### 4. 研究成果

#### (1)パターン化

①キャッチ：肩関節外転70～90度、肘関節屈曲130～150度程度であることが分かった。熟練者と中・初級者を比較すると、中・初級者は肩の外転が大きく、肘関節は伸展傾向であった。これは、熟練者は体幹でパドルを引くのに対して、中・初級者は上肢でパドルを引こうとするためであると考えられる。上肢は操作しやすい部位であるが、筋肉が細く筋力・持久力共に低いため、体幹筋、主に腹斜筋や僧帽筋を使用してパドルを引く方が強く、疲労も抑えられると考えた。

②ミドル：熟練者は、ミドル開始位置がキャッチ位置とほぼ同時であり、そしてミドル終了が骨

盤から 50~60 cm 前方であることが分かった。つまり、ミドル開始時の関節角度はキャッチ時と同様であった。これにより、熟練者は非常に効率的なパドリングを実現していると考えた。現在でも行われている指導方針の一つとして、「キャッチ位置はできるだけ前方にする」というものがある。しかし、この方法ではキャッチからミドル開始までの間、矢状面から見てパドルは水面に対して寝たような状態となり、効率的に漕げない又はブレーキとなってしまい、無駄にエネルギーを消費することになってしまう。熟練者は、キャッチと同時にミドルを開始し、ミドル終了後素早くフィニッシュに移行しているため、パドルが水中に入っている時間が短く、エネルギー効率的にも高いパドリングを行っていると言えることがわかった。

これらを数値化するため、Stroke-Middle Ratio という評価指標を提案した。これは、キャッチからフィニッシュまでにパドル先端が移動した距離と、ミドル開始から終了までにパドル先端が移動した距離の比である。これまでの研究では、評価指標として Stroke rate が有用とされてきていた(参考文献①)が、本研究における被験者 5 名については正しく評価できていたとは言えず、また指導においても具体性が薄いため、うまく役立てられていなかった。本提案指標は、カヌースプリント 200m のタイムと強い相関 ( $r=0.965$ ) を示しており(表 1)、またそれを実現するためのフォームも具体化されているため、今後の指導において有用な指標であると考えた。

表 1. 被験者 5 名のカヌースプリント 200m タイムと Stroke rate 及び Stroke-Middle Ratio

	Subject					
	Advance	Intermediate 1	Intermediate 2	intermediate 3	Elementary(2017)	Elementary(2021)
200m time	41"352	54"918	55"574	52"331	1'23"56	1'00"217
Stroke rate(stroke per min)	67.2	46.2*	41.4*	33.6*	42.6*	41.5*
Stroke length(mm)	387±76	349±93	417±57	417±77	880±62	465.3±42
Middle length(mm)	173±19	138±16	159±19	146±14	227±12	165.3±9.2
Stroke-Middle ratio	2.21	2.49*	2.61*	2.81*	3.87**	2.82*
*p<0.05, **p<0.01, compared with the Advance						

③フィニッシュ：肩関節外転 10~20 度、肘関節屈曲 60~80 度程度であることが分かった。また、できるだけ前方(20 cm 程度)で行うことが重要と考えられた。肩の外転を大きくするとパドルが艇から離れ、大きな抵抗力になってしまうため外転角度は小さくする必要がある。そして、フィニッシュを体幹の横で行ってしまうと、非常に窮屈なフォームとなってしまい、パドルの回転速度が落ちてしまう。中・初級者はフィニッシュが体幹の横で行われることが多く、そこで大きなロスが生じていることが明らかとなった。

④その他：熟練者は、パドリングを通して肩外転角度が 180 度を超えることがほぼなかった。対して中・初級者はパドルを前に押す際(例：右ミドル時の左肩)に 180 度を超えることが多かった。これは、できるだけパドルを水面に対して垂直にするための運動であると考えた。また、熟練者は、肩外転の代わりに手関節の回内外を行っていることが分かった。これまでの指導方針では、手関節は動かさずに固めるとされてきていたが、実際には大きく動いており、パフォーマンス向上において重要な関節運動であることが明らかとなった。

## (2) 指導システム

これまでのデータを利用した指導システムを、Matlab で構築し、コロナウィルスの関係で 3 名の被験者にシステムを利用してもらった。熟練者のデータと違うところを指摘し、どの局面でどのように関節を動かすのか、詳細な指導を行った。指導は休憩をはさみつつ行い、1 名で約 1 時間であった。結果、システム仕様前と使用後で、2 名はカヌースプリント 500m タイムが約 12 秒縮まり、1 名はサーフスキー 7km のタイムが 25 分縮まった。いずれも劇的な変化であり、被験者から「これまでの練習はいったい何だったのか」とのコメントをいただいた。この結果について現在論文執筆中である。

## (3) 今後の展望

今回は定常状態でのパドリング動作に着目したが、レースにおいてはスタートダッシュも重要な要素であるため、スタートに重きを置いた解析を進め、指導システムに実装していきたい。また、多くの熟練者のデータ計測を行うことで、各局面における重要な関節運動がさらに明らかになると考えられる。

## <参考文献>

①Gomes, Beatriz B., et al. "Paddling time parameters and paddling efficiency with the increase in stroke rate in kayaking." Sports biomechanics (2020): 1-9.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tomohiro Nomura, Takeshi Tsuruga	4. 巻 8
2. 論文標題 The Relationship between Increasing Middle Range Length and Kayak Performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of New Technology and Research	6. 最初と最後の頁 38-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31871/IJNTR.8.2.8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------