

事例・症例報告

ボート競技におけるシングルスカルとダブルスカルの  
バイオメカニクスの相違に関する事例研究  
Biomechanical difference between single and double scull rowing on water:  
A case study of a Japanese crew

横澤俊治<sup>1)</sup>, 中村真理子<sup>1)</sup>  
Toshiharu Yokozawa<sup>1)</sup>, Mariko Nakamura<sup>1)</sup>

**Abstract :** Although the double sculling technique includes crew coordination, that indicates similar oar motion pattern between rowers, few studies have identified the difference in the oar motion between single and double sculling by the same rowers on water or investigated how to change and control the oar motion in double sculling. This study aimed to identify the control the oar motion and force between rowers during double sculling. In this study, we compared the difference in oar motion and oar force between single and double scull rowing on water using a rowing instrumentation system. Two Japanese female rowers rowed on single scull boats and a double scull boat for every 10 strokes at a pace corresponding to a 2,000 m race. The difference in each parameter at 10 strokes between single and double sculling was tested using a factorial analysis of variance. The recovery time was significantly increased and the stroke rate was significantly decreased in the bow rower during double sculling compared with those during single sculling. Additionally, the time from finish to catch during the recovery phase significantly correlated between the stroke rower and the bow rower in double sculling. The bow rower significantly decreased the oar angular displacement during the driving phase in double sculling to be closer to the value of the stroke rower. On the other hand, the oar force of the bow rower during the first half of the driving phase in double sculling was much smaller than that in single sculling, increasing the bilateral difference and the difference among strokes. It appeared to be reasonable that the bow rower controlled the oar motion adjusting to the stroke rower because the bow rower could watch the motion of the stroke rower.

Key words : rowing instrumentation system, boat velocity, oar angle–force relationship, crew coordination

キーワード : オール力計測システム, 艇速度, オール角度–オール力関係, 漕手間の同調

---

<sup>1)</sup> 国立スポーツ科学センター

<sup>1)</sup> Japan Institute of Sports Sciences

E-mail : toshiharu.yokozawa@jpnnsport.go.jp

受付日 : 2019 年 7 月 22 日

受理日 : 2019 年 12 月 25 日

## I. 緒言

ボート競技は、個人もしくは複数人で艇を一定の距離（主要な国際大会では2,000m）を進めるのに要した時間を競うというシンプルな競技である。しかし、ボート競技のパフォーマンスは、生理学、心理学、バイオメカニクス、艇のセットアップ、チームワークなどの複雑な側面を内包している<sup>6)</sup>。パフォーマンスに影響するこれら多くの側面の中で、ローイング技術に関するバイオメカニクスの研究も多く、2000年代前半にはこれらの知見がレビューとしてまとめられている<sup>1),18)</sup>。それ以降も、オールの手動とオールに作用する力との関係に関する研究<sup>11),17),19),20)</sup>、艇やオールと水とのパワーの伝達に関する研究<sup>7),9),10),14)</sup>、フットストレッチャーに作用する力に関する研究<sup>2),3)</sup>などが多く報告されている。

一方、複数人乗りのボート競技では漕手間で動作パターンを類似させる"coordination"も重要となることが指摘されている<sup>8)</sup>。したがって、複数人乗りのボート競技では漕手間のオール操作のタイミングを合わせなければならないという制約のもとで、トップ選手がどのようにオールを操作しながらパフォーマンスを最大化させようとしているかを調査することが重要と考えられる。Cuijpers et al.<sup>5)</sup>は、15組のダブルスカルクルーを対象に、5種類のストロークレートで漕がせた際の艇およびオールの挙動を調査した。まず、彼らはオールの角度と角速度との逆正接を"Phase angle"と定義し、この時系列データを各クルーのオールの動きに関する局面(phase)を示すものと考えた。そして、2人のPhase angleの標準誤差を2人のタイミングの一致度の指標とした。その結果、ストロークレートが大きくなるほど2人のタイミングの一致度は増すが、艇の前後の加速、上下の加速、左右軸まわりの角速度といった変数で評価される揺れ(fluctuations)も増加することを報告した。さらに、よりタイミングの一致度が高い組ほど艇の長軸回りの角速度で評価される左右の安定性(lateral stability)は増すが、揺れも増加することを報告している<sup>5)</sup>。

Cuijpers et al.<sup>5)</sup>の報告によりPhase angleと艇の挙動との関係が示されたが、2人の動作や力を表す変数の具体的な測定値が示されていないため、漕手間でオール操作やオールを漕ぐ力をどのように調整していたかについては不明である。また、ダブルスカルでは、1人2本のオールを使用するという点でシングルスカルと同様の漕法が用いられるため、同一選手のシングルスカルとの比較によって、ダブルスカルにおけるオール操作やオールを漕ぐ力に関する漕手間の調整の実態を明らかにできると考えられる。さらに、このような事例は、ダブルスカルにおいて世界トップ水準に達するための留意点や選手間の相性などを将来検討する際の基礎資料となるだろう。しかし、同一競技者におけるシングルスカルとダブルスカルのオールの動作を比較した研究や、ダブルスカルにおいてオールを漕ぐ力を調査した研究はこれまでにないようである。

近年ではPowerLine rowing instrumentation system (Peach Innovation 社製；以下、PowerLine)に代表されるように、オールの挙動とオールロック(オールと艇との接続部)に作用する力(以下、オール力)を計測するシステムがボート競技のトレーニング等で用いられるようになってきている。その妥当性はこれまでの研究で確認されており<sup>4),13)</sup>、ダブルスカルにおいてもこのようなデータを漕手間で同期して収集・比較できる仕様となっている。以上のことから、本研究では、ダブルスカルにおける国内一流選手を対象に、オール力計測システムを用いてオールの挙動およびオール力をシングルスカル時とダブルスカル時で比較した事例を報告する。そして、一流ダブルスカルクルーにおけるオールの操作やオール力に関する漕手間の調整の実態を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は、ダブルスカルのレースでペアを組んでおり、ダブルスカルにおける国内トップレベルの女子軽量級選手2名とした。被験者には研究の

目的および方法、測定にともなう危険性等について十分に説明し、参加に対する同意を得た。なお本研究は、「独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センターにおける人間を対象とする研究実施要綱」に定められた倫理審査委員会によって承諾を得たうえで実施した。

## 2. 計測装置概要

本研究では、PowerLine を用いて艇およびオール of 両側の挙動とオール力を算出した。PowerLine は、左右のオールそれぞれから受ける推進方向の力と回転角を検出するオールロック、ロガー、および艇速度を計測する艇底のインペラーから構成されている (図 1、図 2)。オールロックは、力センサーの軸が艇の進行方向と一致するように取り付けられた。なお、データのサンプリング周波数は 50Hz とした。

## 3. データ収集

測定は天候が安定している日にボートコース

で行われた。被験者は陸上におけるウォーミングアップを行った後、1 名ずつ PowerLine が取り付けられたシングルスカル用の艇で十分に練習した。その後、実験試技として 2,000m のレースを想定したペースで計 30 秒以上漕がせた。十分な休息の後、PowerLine が取り付けられたダブルスカル用の艇を用いて改めて練習した後、シングルスカルと同様の試技を行った。

ペースについては、被験者自身 (ダブルスカルにおいては艇尾側の被験者) がロガーに表示されている毎分のストローク数をリアルタイムで確認しながら調節した。なお、被験者が最も慣れており、再現性の高いデータの取得が期待できることから、2,000m のレースを想定したペースを実験試技として選択した。また、2,000m レースにおける毎分のストローク数がシングルスカルとダブルスカルで類似していることも<sup>21),22)</sup>、このペースを選択した理由の一つである。

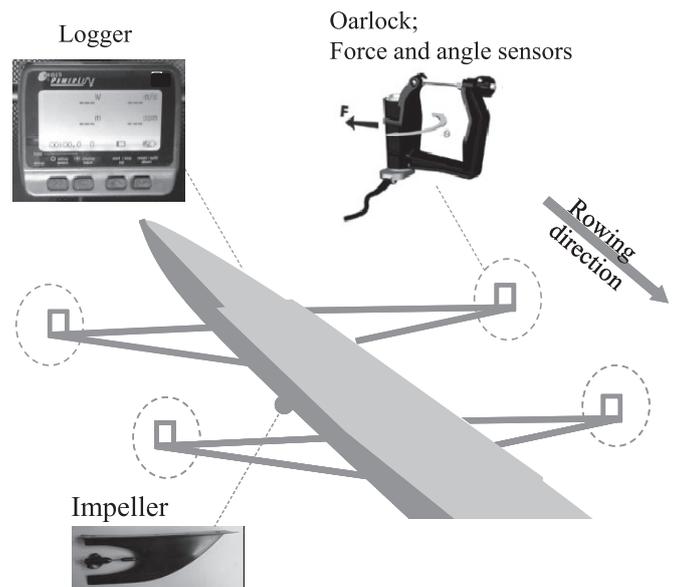


Figure 1. Set-up for the rowing instrumentation system PowerLine® on a double-scul boat.

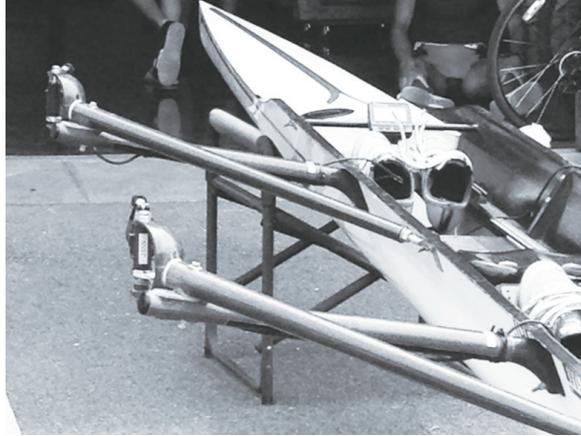


Figure 2. Attachment of oarlocks with force and angle sensors to a double-scul boat.

#### 4. 用語の定義

以下のように用語を定義した。

- ポートサイドとスターボードサイド：漕手の右手側をポートサイド（以下、Pサイド）、漕手の左手側をスターボードサイド（以下、Sサイド）とした。
- 1ストローク：PowerLineのソフトウェア上の定義に従い、いずれかのサイドのオール力が10kgwに達した時点から再び同様の時点が出現するまでを1ストロークとした。
- ドライブ局面とリカバリー局面：各サイドについてオールが最も後方（オール角度最小）の時点をクリック、オールが最も前方（オール角度最大）の時点をクリックと定義し<sup>19)</sup>、クリックからフィニッシュまでをドライブ局面、フィニッシュからクリックまでをリカバリー局面とした。

#### 5. 算出項目と算出方法

艇底にとりつけたインペラーの回転速度より艇速度を計測し、1ストロークの平均値（平均艇速度）、1ストローク内の最大値、最小値、および最大値と最小値との差（速度変化量）を算出した。さらに、艇速度については1ストロークを100%として規格化した。また、1ストロークで艇が進

んだ距離（Distance per stroke；以下、DPS）、1秒間あたりのストローク数（以下、ストロークレート）、各サイドのドライブ局面に要した時間（ドライブ時間）、リカバリー局面に要した時間（リカバリー時間）を算出した。

オール角度は、艇の長軸方向に対してオールが垂直に位置した時を0°、この位置よりもオール先端部分（以下、ブレード）が進行方向に位置した時を負、ブレードが進行方向と反対に位置した時を正と定義した。クリック時からフィニッシュ時までのオール角度の変化量をオール角変位と定義して算出した。オール力については、ドライブ局面におけるピーク値（以下、ピークオール力）と平均値（平均オール力）を算出した。また、ストローク中の各サイドのオール角度とオール力との関係を示した<sup>16), 17), 20)</sup>。

レースペースに達するまでの加速区間や漕ぎ終わる前後を除いた10ストロークのデータを分析対象とし、各変量について全ストロークで平均した。

#### 6. 統計処理

ダブルスカルにおける漕手間のオール操作のタイミングについて調査するために、被験者Bの

フィニッシュの瞬間を基準として、被験者 A がキャッチまでに要した時間と被験者 B がキャッチまでに要した時間に関してピアソンの積率相関係数を算出した。

また、シングルスカルとダブルスカルそれぞれ 10 ストロークの各変量の大小関係を調査するために、被験者 (A・B) × 艇 (シングルスカル・ダブルスカル) の対応のない二元配置の分散分析を行った。交互作用が有意だった場合には単純主効果を、交互作用が有意でなかった場合には主効果を分析した。ただし、艇速度、DPS、ストロークレートについては被験者ごとではなく艇ごとに算出される変量であるため、被験者 A のシングルスカル、被験者 B のシングルスカル、ダブルスカルの 3 群の 10 ストロークについて対応のない一元配置の分散分析を行い、F 値が有意だった場合には Tukey の方法による多重比較を行った。なお、分散分析には IBM SPSS Statistcs 24 (IBM 社製) を用いた。有意水準はいずれも 5% とした。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 艇とオール運動

表 1 は、艇とオールの運動に関する基本的変量の結果を示したものである。なお、ダブルスカルにおいては被験者 A が艇首側 (ゴール側)、被験者 B が艇尾側 (スタート側) に相当する。平均艇速度、艇速度の最大値、最小値、および DPS は、ダブルスカルのほうが両被験者のシングルスカルよりも有意に大きかった。また、艇速度の最大値については、ダブルスカルにおける標準偏差がシングルスカルと比較して大きい傾向がみられた。一方、速度変化量に関しては、シングルスカルとダブルスカルとの間に有意差はみられなかった。ストロークレートについては、ダブルスカルのほうが被験者 A のシングルスカルよりも有意に小さかった。また、P サイドのドライブ時間は両被験者ともにシングルスカルよりもダブルスカルのほうが有意に小さかった。一方、リカバリー時間については両サイドともに被験者 A ではシングルスカルよりもダブルスカルのほうが有意に大きかった。

Table 1. Temporal parameters for the boat and oar motions during single and double sculling. Symbols "a" and "b" indicate significant differences to the single scull of subject A and subject B, respectively. Symbol "\*" indicates the significant difference to the single scull for the same subject. Symbol "†" indicates the significant difference to subject A.

	Single Scull		Double Scull	
	Subj. A	Subj. B	Subj. A	Subj. B
Average boat velocity (m/s)	4.11 ±0.09	4.04 ±0.05	4.50 ±0.06 <sup>ab</sup>	
Peak of the velocity (m/s)	4.93 ±0.06	4.73 ±0.07 <sup>†</sup>	5.32 ±0.12 <sup>ab</sup>	
Bottom of the velocity (m/s)	2.88 ±0.09	2.64 ±0.07 <sup>†</sup>	3.23 ±0.05 <sup>ab</sup>	
Change in the velocity (m/s)	2.06 ±0.12	2.09 ±0.08	2.09 ±0.11	
Distance per stroke (m)	7.03 ±0.14	7.16 ±0.15	7.96 ±0.18 <sup>ab</sup>	
Stroke rate (Hz)	0.59 ±0.02	0.56 ±0.01 <sup>†</sup>	0.57 ±0.18 <sup>a</sup>	
Driving time at P side (s)	0.97 ±0.03	0.90 ±0.02 <sup>†</sup>	0.92 ±0.02 <sup>*</sup>	0.88 ±0.02 <sup>*†</sup>
Driving time at S side (s)	0.95 ±0.04	0.89 ±0.02 <sup>†</sup>	0.92 ±0.04	0.88 ±0.02 <sup>†</sup>
Recovery time at P side (s)	0.74 ±0.03	0.87 ±0.03 <sup>†</sup>	0.85 ±0.03 <sup>*</sup>	0.88 ±0.02 <sup>†</sup>
Recovery time at S side (s)	0.76 ±0.04	0.88 ±0.03 <sup>†</sup>	0.85 ±0.03 <sup>*</sup>	0.88 ±0.03 <sup>†</sup>

表2は、被験者Bのフィニッシュ時点を基準として被験者Aと被験者Bのキャッチまでに要した時間の平均値と被験者間の相関係数を示したものである。キャッチまでに要した時間は、Pサイド、Sサイドともに被験者間で有意な相関関係がみられた（Pサイド： $r=0.901$ 、 $p=0.000$ 、Sサイド： $r=0.751$ 、 $p=0.012$ ）。

図3は、ストロークごとに規格化した艇速度を全ストローク重ねて示したものである。シングルスカル、ダブルスカルともにキャッチ（規格化時間の95%付近）前後で艇速度が著しく減少し、ドライブ局面中盤から後半（10～35%付近）で増加し、リカバリー局面でも増加し続けていた。また、艇速度はストローク全体にわたってシングルスカルよりもダブルスカルの方が大きかった。

## 2. オール角度とオール力

表3は各サイドのオール角変位を示したものである。Pサイド、Sサイドともに被験者Aのオール角変位はシングルスカルよりもダブルスカルの方が有意に小さかった。

図4は、各サイドのオール角度とオール力との関係を、全ストローク重ねて示したものである。また、表4には各サイドのドライブ局面におけるピークオール力と平均オール力を示した。被験者Aのオール力は、Pサイド、Sサイドともにキャッチからオール角度が $0^\circ$ （すなわちオールが艇に垂直）になるまでシングルスカルよりもダブルスカルの方が小さく、その傾向はオール角度 $-30\text{deg}$ 前後において特に顕著であった。ピークオール力および平均オール力は、Pサイド、Sサイドともに両被験者共通してシングルスカルよ

Table 2. Relationship between subject A and subject B for the time from "finish" for subject B to "catch" of each subject in the next stroke.

(s)	Subj. A	Subj. B	Correlation
P side	$0.87 \pm 0.02$	$0.88 \pm 0.02$	$r=0.901$ , $p=0.000$
S side	$0.86 \pm 0.03$	$0.88 \pm 0.03$	$r=0.751$ , $p=0.012$

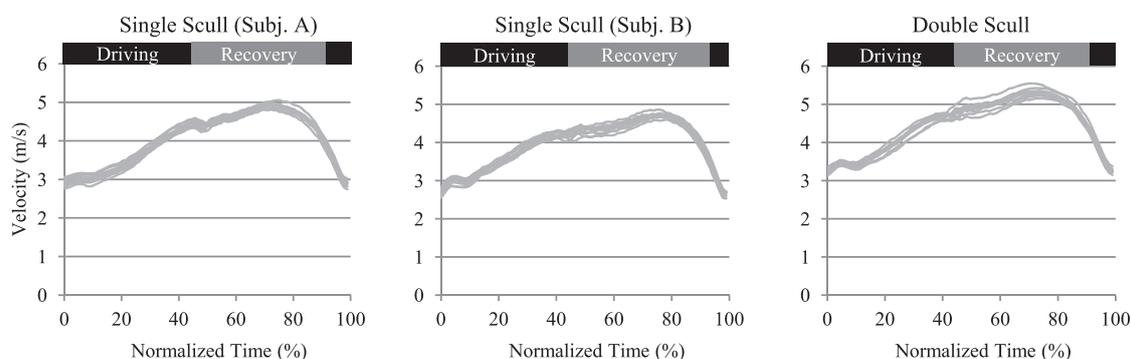


Figure 3. Boat velocity in 10 strokes during single and double sculling, normalized by each stroke time.

Table 3. Oar angular displacements ( $\Delta\theta$ ) during single and double sculling.  
 Symbol "\*" indicates the significant difference to the single scull for the same subject.  
 Symbol "†" indicates the significant difference to subject A.

(deg)	Single Scull		Double Scull	
	Subj. A	Subj. B	Subj. A	Subj. B
$\Delta\theta$ at P side	104.8 $\pm$ 2.2	97.1 $\pm$ 1.3†	101.7 $\pm$ 1.4*	98.2 $\pm$ 1.3†
$\Delta\theta$ at S side	104.8 $\pm$ 1.2	96.0 $\pm$ 1.0†	102.1 $\pm$ 0.7*	97.0 $\pm$ 1.1*†

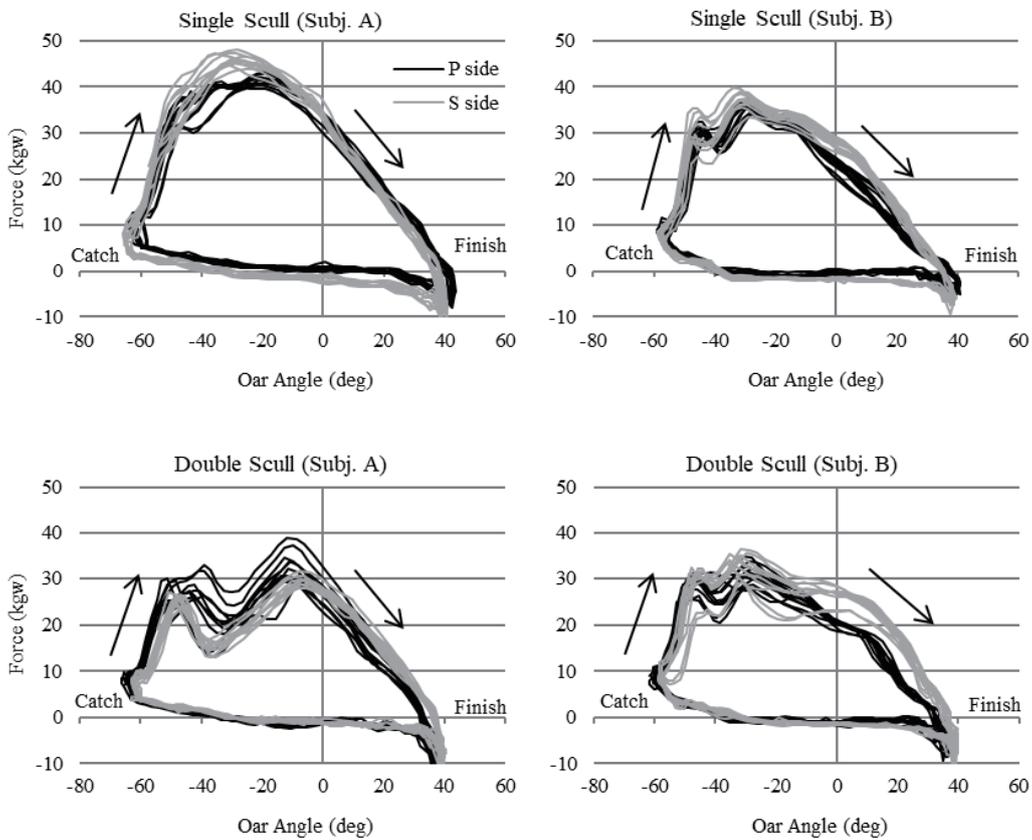


Figure 4. Oar angle-force relationship in 10 strokes during single and double sculling.

りもダブルスカルのほうが有意に小さく、その相違は被験者 A において顕著だった。また、被験者 A のダブルスカルにおけるオール力については、二峰性のパターン、左右差、ならびに P サイドのストローク間の大ききなばらつきがみられた (図 4)。表 4 から、被験者 A のダブルスカルで

は、ピークオール力と平均オール力ともに左右差と P サイドの標準偏差がシングルスカルと比べて大きかったことが分かる。一方、被験者 B のオール力に関するシングルスカルとダブルスカルとの相違は、被験者 A と比較するとわずかであった。しかし、ダブルスカルにおける被験者 B の

Table 4. Peak and mean values of the oar force during the driving phase in single and double sculling.

Symbol "\*" indicates the significant difference to the single scull for the same subject.

Symbol "†" indicates the significant difference to subject A.

Force (kgw)	Single Scull		Double Scull	
	Subj. A	Subj. B	Subj. A	Subj. B
Peak at P side	41.6 ±1.0	36.0 ±1.1†	33.0 ±3.3*	31.3 ±2.2*
Peak at S side	45.9 ±1.3	37.2 ±2.0†	29.5 ±1.1*	33.7 ±2.4*†
Mean at P side	25.4 ±0.8	19.2 ±0.9†	17.8 ±1.9*	17.4 ±0.8*
Mean at S side	25.1 ±0.9	20.6 ±1.0†	15.8 ±0.9*	19.2 ±2.1*†

Pサイドのピークオール力の標準偏差とSサイドの平均オール力の標準偏差は、シングルスカルよりも大きい傾向があった(表4)。

#### IV. 考察

ダブルスカルでは、2人のオールを操作するタイミングが一致している組ほど艇の長軸回りの角速度(Rolling)が小さくなり安定性が増すと報告されているように<sup>5)</sup>、複数人乗りの種目では全漕手間でオールの動きや入・離水のタイミングが類似している状態、すなわちオール操作の同調が重要となる。本研究の結果をみると、シングルスカルではリカバリー時間が被験者間で大きく異なっていたが、ダブルスカルでは艇首側の被験者Aのリカバリー時間が大きく増加して艇尾側の被験者Bに近い値となっていた(表1)。さらに、被験者Bのフィニッシュ時点を基準としたキャッチまでの時間には、被験者間で有意な相関関係がみられた(表2)。また、被験者Aはダブルスカルの際にシングルスカルの時よりもオール角変位を小さくし、被験者Bの値に近い値となっていた(表3)。以上の結果から、ダブルスカルでは被験者Aがオールの入・離水のタイミングを被験者Bに合わせ、オールの動きも被験者Bに近づけていたと考えられる。ダブルスカルの試技中に掛け声など漕手間の言葉によるやりとりはなかったが、艇首側の漕手は艇尾側の漕手の動作を

見ながら漕ぐことができるので、被験者Aがオール操作を被験者Bに近づけていたことは理にかなっていると考えられる。今回の被験者がダブルスカルにおける国内一流ペアであることから、艇尾側の選手が艇首側の選手にリカバリー時間やオール角変位を近づけていた点、ならびにキャッチのタイミングを艇尾側の選手が艇首側の選手に合わせてストロークごとに対応させていた点は、ダブルスカル競技者にとって参考となるものと考えられる。

艇速度の変化パターン(図3)をみると、シングルスカルに関する先行研究<sup>18)</sup>と同様にいずれの試技も入水前後で大きな減速がみられるが、この傾向はダブルスカルにおいても同様であった。さらに、1ストローク内の速度変化量は、シングルスカルとダブルスカルとの間に有意差がなかった(表1)。ダブルスカルにおいてキャッチやフィニッシュのタイミングがずれると減速が大きくなる可能性があると考えられるが、被験者Aが被験者Bの動きを確認しながらオール操作のタイミングのずれを抑えていたことがシングルスカルと同様の艇速度のパターンを示していた一因と考えられる。一方、ダブルスカルは、シングルスカルよりも艇速度の最大値のばらつき(表1)と両被験者のオール力のばらつき(表4、図4)が大きい傾向がみられた。本研究では水と艇との力学的関係や艇の揺れに関する変量は算出していない

が、ダブルスカルでは、艇の長さ、質量、艇速度などがシングルスカルと異なることや、艇に対する力の制御を独立した2人で行わなければならないことが複雑に結果に影響したと考えられる。以上のことから、ダブルスカルでは、2人のオール操作のタイミングを合わせることによってシングルスカルと類似した艇速度の変化パターンを示すことが可能であるが、ダブルスカル特有の艇に生じる力学的作用によって艇速度やオール力のばらつきが増大すると考えられる。

被験者Aは、シングルスカルとダブルスカルのオール角度-オール力曲線の形が顕著に異なっており、ダブルスカル時の全ストロークにわたってピークオール力および平均オール力が小さかった(表4, 図4)。特にオール角度-30deg前後のオール力が顕著に減少しているように、被験者Aはダブルスカルにおいてシングルスカルとは大きく異なるドライブを行っていたと考えられる。オール力は艇の加速に直接貢献するので、大きな艇速度を維持するためにはドライブ局面において大きなオール力を作用させ続ける必要がある<sup>12), 15)</sup>。一方、ダブルスカルでは2人のオール操作の局面(Phase angle)が一致するほど艇の上下の加速度や左右軸まわりの角加速度、すなわち上下方向の揺れが生じやすいことが指摘されている<sup>5)</sup>。これらのことから、ダブルスカルにおける被験者Aのオール力の減少の原因としては、①漕手間のオール操作の同調にともなって増加する艇の上下方向の揺れへの対応として、被験者Aがオール力を小さくしていた可能性、②オール操作のタイミングや可動範囲だけでなく力の大きさも2人で合わせないと艇を安定させられず、被験者Bのオール力の大きさに依存していた可能性、③被験者A自身はシングルスカル時と同等の力を発揮しようとしていたが、オール角-30deg前後で何らかの制限により効果的にオール力につなげられなかった可能性などが考えられる。本研究の結果のみでこの原因を特定することは困難であるが、国内一流のダブルスカルクルーにおいてもシングルスカルと同等のオール力が発揮できない場合が

あることが明らかになり、オール力を減少させない手段があるかどうかについては今後調査が必要である。

本研究のみでは明らかにできなかった点として、①ダブルスカルにおける艇首側の漕手のオール力減少の要因、②ダブルスカルにおける艇速度やオール力に関して、ストローク間のばらつきが大きくなった要因の2点が挙げられる。これらを解決するためには、今後ダブルスカルにおいて被験者Aがオールの操作をシングルスカルに近づけようとした場合や、被験者Bが被験者Aのシングルスカル時の動作に近づけようとした場合、艇首側の被験者と艇尾側の被験者を入れ替えた場合、シングルスカルの動作が類似している他のペアの場合などについて調査することが重要であろう。さらに、艇速度やオール力と艇の揺れに関する変量との関係をストロークごとに分析し、上記の実験条件やストロークによって艇、オール、水の3者の関係がどのように異なるかを詳細に検討することによって、ダブルスカルにおけるオール操作やオール力に関する漕手間の調整のメカニズムや留意点をより具体的に明示できるだろう。

## V. まとめ

本研究では、ダブルスカルにおける国内一流選手を対象に、オール力計測システムを用いてオールの挙動およびオール力をシングルスカル時とダブルスカル時で比較した。そして、一流ダブルスカルクルーにおけるオールの操作やオール力に関する漕手間の調整の実態を明らかにすることを目的とした。その結果をまとめると以下ようになる。

- ① ダブルスカルにおいて艇首側を担当した被験者Aは、シングルスカルの時よりもリカバリー時間を長くし、ストロークレートを小さくしていた。
- ② 被験者Aは、ダブルスカルにおいてシングルスカルよりもオール角変位を小さくし、艇尾側の被験者Bに近い値となっていた。また、被験者Bのフィニッシュ時点を基準とした次のキャッ

チまでの時間は、被験者間で有意な相関関係がみられた。

③ ダブルスカルにおける被験者 A のオール力は、ドライブ局面の前半にわたってシングルスカルよりも小さく、左右差があり、ストローク間のばらつきもみられた。

これらの結果は、ダブルスカルにおいて艇首側の漕手が艇尾側の漕手のタイミングや動きに合わせていたことを示すと考えられる。本研究の対象ペアのように相手の動きを見ることができる艇首側の漕手が艇尾側の漕手の動きに合わせていることは理にかなっていると考えられ、ダブルスカル競技者にとって参考となるものと考えられる。しかし、ダブルスカルにおける艇首側の被験者にみられたオール力減少の原因や、オール力を減少させない手段があるかどうかについては、今後の研究によって明らかにする必要がある。

#### 謝辞

本研究は澁谷顕一氏、白井祐介氏をはじめ公益社団法人日本ボート協会の多くの方々による協力や助言を戴くことによって実施された。ここに記して感謝の意を表します。

#### 文献

- 1) Baudouin A, Hawkins D. A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *Br J Sports Med*, 36(6): 396-402, 2002.
- 2) Buckeridge EM, Bull AM, McGregor AH. Foot force production and asymmetries in elite rowers. *Sports Biomech*, 13(1): 47-61, 2014.
- 3) Buckeridge EM, Weinert-Aplin RA, Bull AM, McGregor AH. Influence of foot-stretcher height on rowing technique and performance. *Sports Biomech*, 15(4): 513-526, 2016.
- 4) Coker J, Hume P, Nolte V. Validity of the PowerLine boat instrumentation system. In: Anderson R et al. (Eds.) 27th International conference on biomechanics in sports, University of Limerick, pp. 65-68, 2009.

- 5) Cuijpers LS, Passos PJM, Murgia A, Hoogerheide A, Lemmink KAPM, de Poel HJ. Rocking the boat: does perfect rowing crew synchronization reduce detrimental boat movements?. *Scand J Med Sci Sports*, 27(12): 1697-1704, 2017.
- 6) Foster T. Rowing science. In: Nolte V (Ed.) *Rowing faster*, 2nd edition, Human Kinetics, pp. 67-70, 2011.
- 7) Greidanus AJ, Delfos R, Westerweel J. Drag and power-loss in rowing due to velocity fluctuations. *Procedia Engineering*, 147: 317-323, 2016.
- 8) Hill H. Dynamics of coordination within elite rowing crews: evidence from force pattern analysis. *J Sports Sci*, 20(2): 101-117, 2002.
- 9) Hill H, Fahrig S. The impact of fluctuations in boat velocity during the rowing cycle on race time. *Scand J Med Sci Sports*, 19(4): 585-594, 2009.
- 10) Hofmijster M, De Koning J, Van Soest AJ. Estimation of the energy loss at the blades in rowing: common assumptions revisited. *J Sports Sci*, 28(10): 1093-1102, 2010.
- 11) Hofmijster MJ, Lintmeijer LL, Beek PJ, van Soest AJK. Mechanical power output in rowing should not be determined from oar forces and oar motion alone. *J Sports Sci*, 36(18): 2147-2153, 2018.
- 12) Kleshnev V. Biomechanics of rowing science. In: Nolte V (Ed.) *Rowing faster*, 2nd edition, Human Kinetics, pp. 107-124, 2011.
- 13) Laschowski B, Nolte V. Statistical analyses of unidirectional static forces on instrumented rowing oarlocks. *Procedia Engineering*, 147: 765-769, 2016.
- 14) Lintmeijer LL, Hofmijster MJ, Schulte Fishedick GA, Zijlstra PJ, Van Soest AJK. Improved determination of mechanical power output in rowing: Experimental results. *J Sports*

- Sci, 36(18): 2138-2146, 2018.
- 15) Secher, N.H. Physiological and biomechanical aspects of rowing, Implications for training. Sports Med, 15: 24-42, 1993.
  - 16) 下田学, 川上泰雄. ローイング中のボートに作用する力の検討. トレーニング科学, 14(3): 147-152, 2003.
  - 17) Smith RM, Loschner C. Biomechanics feedback for rowing. J Sports Sci, 20(10): 783-791, 2002.
  - 18) Soper C, Hume PA. Towards an ideal rowing technique for performance: the contributions from biomechanics. Sports Med, 34(12): 825-848, 2004.
  - 19) Warmenhoven J, Cobley S, Draper C, Harrison A, Bargary N, Smith R. Considerations for the use of functional principal components analysis in sports biomechanics: examples from on-water rowing. Sports Biomech, 18(3): 317-341, 2017.
  - 20) Warmenhoven J, Cobley S, Draper C, Harrison AJ, Bargary N, Smith R. Assessment of propulsive pin force and oar angle time-series using functional data analysis in on-water rowing. Scand J Med Sci Sports, 27(12): 1688-1696, 2017.
  - 21) World Rowing Federation. Race Data Lightweight, Women's Single Sculls. [http://www.worldrowing.com/assets/pdfs/WCH\\_2019\\_1/ROWWSCULL1-L-----FNL-000100--\\_C77.pdf](http://www.worldrowing.com/assets/pdfs/WCH_2019_1/ROWWSCULL1-L-----FNL-000100--_C77.pdf) (2019年11月13日)
  - 22) World Rowing Federation. Race Data Lightweight, Women's Double Sculls. [http://www.worldrowing.com/assets/pdfs/WCH\\_2019\\_1/ROWWSCULL2-L-----FNL-000100--\\_C77.pdf](http://www.worldrowing.com/assets/pdfs/WCH_2019_1/ROWWSCULL2-L-----FNL-000100--_C77.pdf) (2019年11月13日)