

モーションセンサを用いたオール動きを可視化する試み ～ローイング運動時のブレードワークに着目して～

一箭フェルナンドヒロシ, 堀内匡
松江工業高等専門学校

キーワード: オールの3次元的な動き, ブレードの回転, ブレードの操作技術

【要 旨】

本研究では, ボート競技におけるローイング運動時の練習を支援するために, 小型モーションセンサを艇とオールに取り付け, オールの先端部分であるブレードの動かし方を可視化するシステムを構築することとした.

本システムでは艇の加速度, ブレードの回転・軌跡, オールの振り角を計測し, 選手にオールの動かし方を3Dアニメーションで提示できるフィードバックシステムを構築した. 選手の内省報告では, 陸上のトレーニング装置(エルゴメータ)を用いても似たようなことは分かるが, 実際のオールの動かし方の感覚とは違う. その点, このシステムは実際のオールの動かし方やオールの動きを見ることができて技術を獲得する上で有益な情報となるといった感想がみられた. これらのことから, 本システムを用いることにより, ブレードの操作技術向上に有用性が期待できることを確認できた.

スポーツパフォーマンス研究, 13, 418-427, 2021 年, 受付日: 2021 年 2 月 1 日, 受理日: 2021 年 7 月 5 日

責任著者: 一箭フェルナンドヒロシ 690-8518 松江市西生馬町, 松江工業高等専門学校
ichiya@matsue-ct.jp

Effects of training with a motion sensor that enables visualization of the movement of oars: blade movements in rowing

Fernando Hiroshi Ichiya, Tadashi Horiuchi
National Institute of Technology, Matsue College

Key words: 3D oar movements, blade locus, skill of operating the blade of the oar

【Abstract】

The aim of the present study was to develop a system for visualizing how to move the blade that is at the end of an oar. The system involved attaching a small motion sensor to the boat and the oars during rowing training.

The system measures acceleration of the boat, rotation of the blades, locus of the blades, and oar angle. It gives the crew 3D animated feedback on how the oars were moved. The participants reported that using an ergometer for field training gave them a sensation resembling that produced by moving an oar, but, even so, the sensation felt different from the sensation of actually moving an oar. In that respect, the new system provides useful information for acquiring technique, because it enables the crew to see how the oar should actually be moved and to visualize the oar's motion. The above results suggest that this system may be useful for improving blade operation technique.

I. 緒言

近年、様々なウェアラブルセンサや小型モーションセンサ(以下;センサと略す)が開発され、スポーツへの応用は盛んに行われている。ボート競技においても、各種のセンサの活用が始まっており(Worsey et al., 2019), 艇に加速度センサ(中村, 2007), ジャイロセンサやGPSセンサ(Smith and Hopkins, 2012)を取り付け、艇の動きを計測し、技術向上を支援する研究が報告されている。また、スマートフォンに内蔵されている加速度センサから艇速度や1分あたりに漕ぐ頻度を表示できるアプリケーションも実用化しており、簡易的に艇の動きを計測・評価できるようになった。

ボート競技では選手が発揮したエネルギーをいかにしてオールを介して水に伝えるか重要である。近年、オールの支点であるローロックに装着できるEmpower oarlock(Nielsen kellerman社製)が開発され、オールの振り角(オールの水平方向の角度)をフィードバックできるようになったが、オールの先端部分であるブレード(水をかく部分)の動かし方(ブレードの回転, 垂直方向の動き, 水平方向の動き; まとめてこれらの3つを表示する場合をブレードワークと呼ぶ)を評価できるシステムはない。

オールの動かし方を計測し、時系列におけるブレードワークを提示できるシステムを構築することにより、オールが深くもぐる(水面に対してブレードが深い位置で漕ぐこと), ブレードを回転させるタイミング(ブレードを垂直や水平方向に回転させる)の改善につながり、オールの操作技術向上に向けた有益な情報になりうる。

そこで本研究では、センサを艇とオールに取り付け、艇の動きとオールの動かし方を計測し、ローイング運動時のブレードワークの可視化システムを構築することを目的とした。

なお、本研究の目的を達成するために、実験1では艇の加速度とブレードの回転の関係を明らかにした後、実験2ではブレードの垂直・水平方向の動きの軌跡を表示し、対象者間におけるブレードの動かし方の特徴を検討した。

II. オールの可視化システムの構築

1. システムの構築

乗艇中におけるオールの動かし方の計測にはセンサ(ATR-Promotions社製, TSND151, 大きさ; 40mm × 50mm × 14mm, 重さ;27g)を用いた。センサには、加速度センサ, ジャイロセンサおよび地磁気センサが搭載されており、拡張カルマンフィルタを用いて、姿勢角の推定を行った。

センサは艇と左手(バウサイド)のオール(Concept II社製, 全長:288cm, インボード:88 cm, ブレードの形状:スムーシー)にそれぞれ一つずつ取り付けた(図1)。サンプリングレートは100Hzに設定し、3軸(x;y;z)の加速度, 角速度, 姿勢角(クォータニオン)を計測した。なお、データの前処理では、データを種類別(加速度・角速度・姿勢角)に分けた。

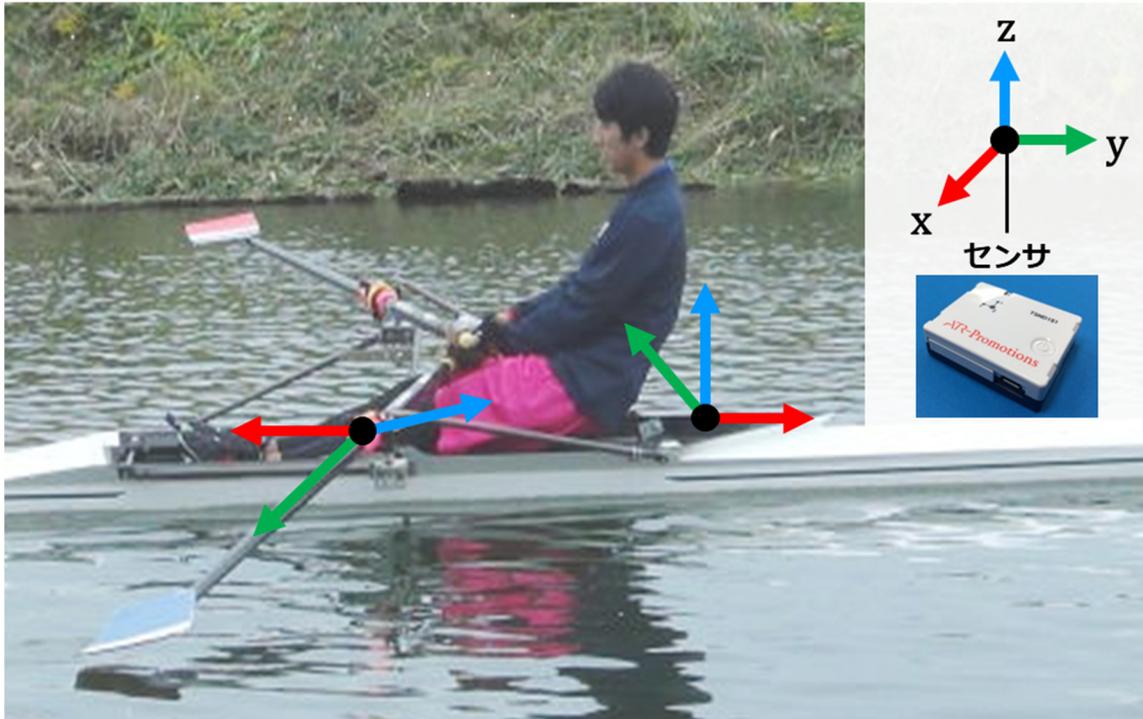


図1. 艇とオールへのセンサ装着位置

オールの支点は艇のリガー部分に備え付けてあるローロックとし、オールの支点を中心とした回転運動となる(図2). センサから時系列データとして得られるクォータニオンは、計測を開始した時点のオールの先端座標(ブレードに対して、シャフトの延長線上の位置)から、軸回りの回転やブレードの姿勢(角度)を求めた.

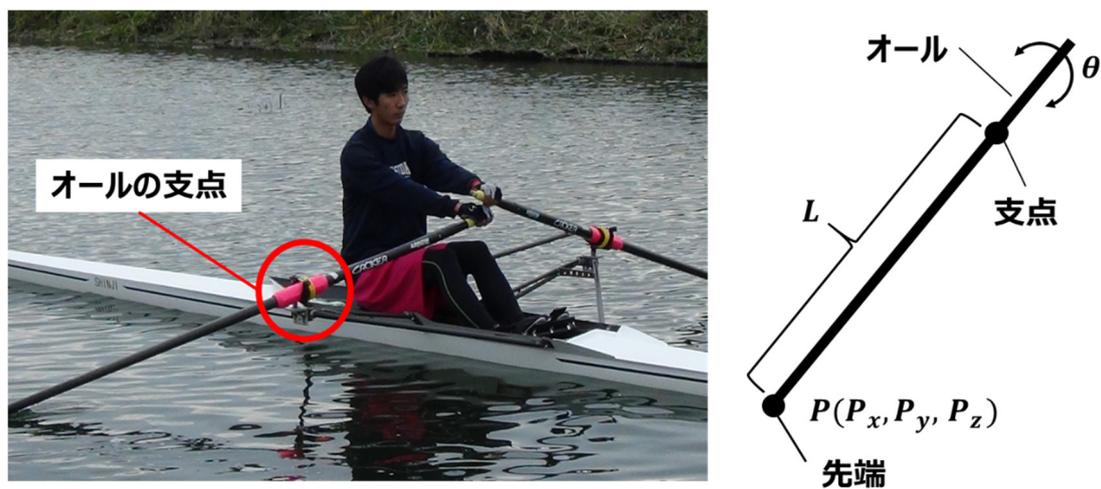


図2. オールの先端座標と軸回りの回転

計測開始時のオールの先端座標(オールの初期座標)から現在時刻のオールの先端座標へ変換するためには回転行列を用いた. クォータニオン q から回転行列 $R(q)$ への変換は、ロドリゲスの式を用いた. なお、式の内容は下記の通りである.

$$R = \begin{pmatrix} 1 - 2(q_y^2 + q_z^2) & 2(q_x q_y - q_w q_z) & 2(q_x q_z + q_w q_y) \\ 2(q_x q_y + q_w q_z) & 1 - 2(q_x^2 + q_z^2) & 2(q_y q_z - q_w q_x) \\ 2(q_x q_z - q_w q_y) & 2(q_y q_z + q_w q_x) & 1 - 2(q_x^2 + q_y^2) \end{pmatrix}$$

時刻(t)のオール先端座標 $P = (P_x; P_y; P_z)$ は、オールの先端座標の初期値を $P_0 = (P_{x0}; P_{y0}; P_{z0})$ とすると、時刻(t)における回転行列 $R(q)$ とオールの先端座標の初期位置 P_0 を掛け合わせて算出した。

オールに取り付けたセンサのy軸方向はオールの軸方向と一致するように取り付けた(図1)。オールの先端座標の初期位置 P_0 は、オールが静止している時点のオールの軸方向、つまりオールに取り付けたセンサのy軸方向に長さ L だけ伸びるベクトル $P_0 = (0; L; 0)$ となる(図2)。したがって、時系列でのオールの先端座標は以下の式で表した。

$$P = R(q)P_0 = R(q) \begin{pmatrix} 0 \\ L \\ 0 \end{pmatrix}$$

2. ローイング動作の特徴およびブレードワークの定義

ローイング動作は、ブレードを水に入れる動作(キャッチ)、ブレードで水を漕ぐ動作(ドライブ)、水からブレードを出す動作(フィニッシュ)およびフィニッシュからキャッチに移るための動作(リカバリー)の4つの局面の繰り返しであり、この一連のサイクルをストロークという。

ブレードワークの評価は、艇を真横から見た時のブレードの回転、垂直方向(深さ)、水平方向(長さ)およびオールの振り角とした。

図3の(a)にブレードの回転の定義を示した。ブレードがフェザーの状態にある場合を10度とし、ノーフェザーの状態である場合を90度とした。

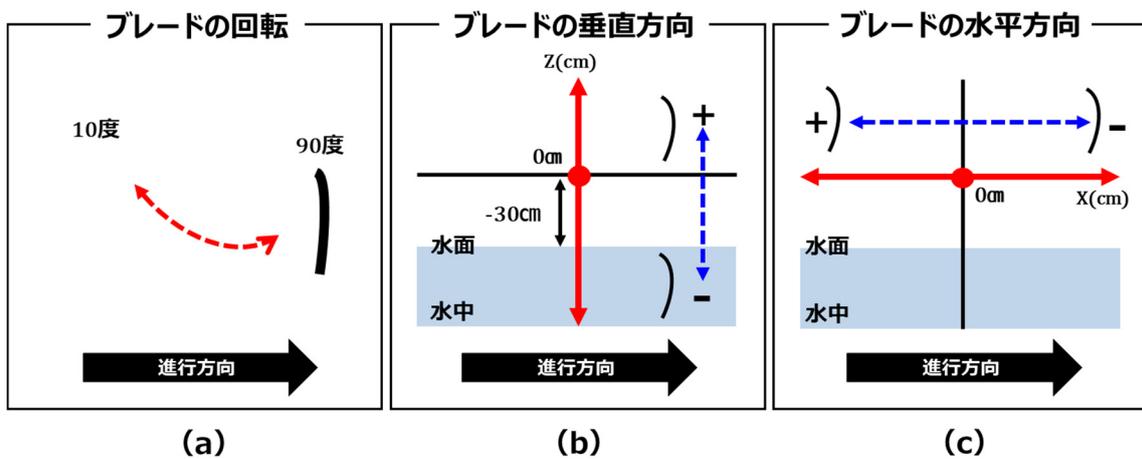


図3. ブレードワークの指標

図3の(b)にブレードの垂直方向(水面に対する深さ, z軸)の定義を示した. ブレードの位置がローロックに対して水平にある状態を0 cmとし, ブレードの高さがローロックより低い場合をマイナス(-), 高い場合をプラス(+)とした. なお, ローロックから水面までの長さは-30 cmとした.

図3の(c)にブレードの水平方向(水面に対する長さ, x軸)の定義を示した. ブレードの位置がローロックに対して水平にある状態を0 cmとし, 艇の進行方向側にブレードがある場合をマイナス(-)とし, 進行方向の逆方向にブレードがある場合をプラス(+)とした.

オールの振り角は, オールがローロックに対して水平の状態を0度とし, オールが入水する時点の角度をキャッチ角度(+として表示)とした. また, オールが水に力を加え終える時点の角度をフィニッシュ角度(+として表示)とし, キャッチ角度とフィニッシュ角度の和をトータル角度(図4)とした.

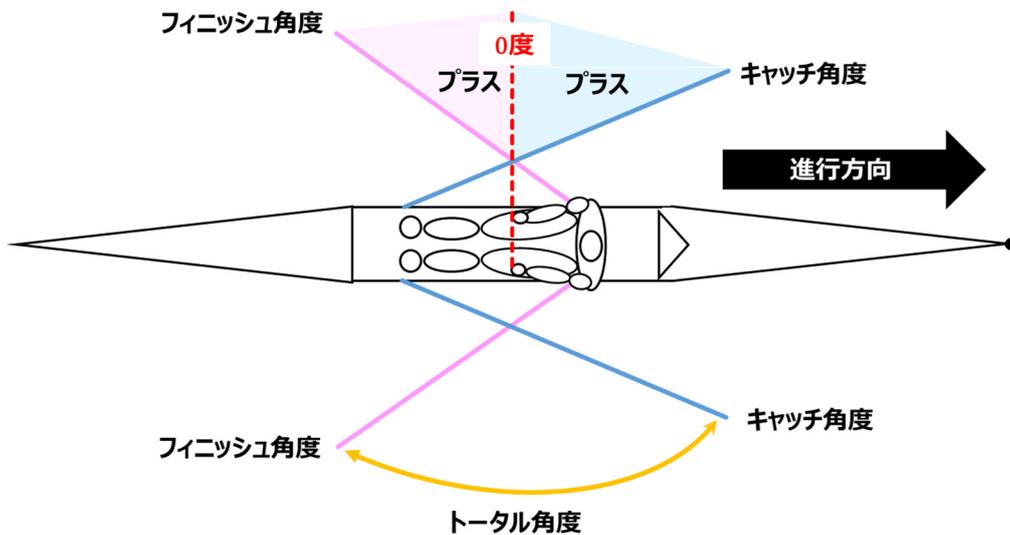


図4. オールの振り角

3. 可視化システムの検討

3.1 可視化システムを用いた実験

実験1:艇の加速度とオールの回転の可視化

(1)方法

本システムを用いて, 艇の加速度とオールの回転角度を可視化することとした. 対象者は, 高等専門学校(以下;高専と略す)のボート競技部の男子選手1名(身長;175cm, 体重;63kg, 年齢;18歳, 競技歴;3年)であった. オールを艇の真横に置いた状態で20秒間の静止を行ってから測定を開始した. 対象者には全力で10ストロークを漕ぐように指示し, 8ストローク目を分析の対象とした.

(2)結果

図5は1ストロークあたりの艇の加速度とオールの回転角度の値を経時的に示したものである. 青色の実線は艇の進行方向に対する加速度, 茶色の点線はオールの回転角度である. 艇の加速度の曲線はキャッチの直前で最も小さくなったときにブレードは水平な状態から垂直な状態に回転することが確

認できた。また、ドライブ区間では加速度の曲線は上昇し、ブレードは垂直な状態であることが確認できた。フィニッシュ後、加速度は小さくなり垂直な状態にあるブレードは水平状態に回転することを確認できた。このようにブレードが艇の加速度に対して、どのタイミングでどのくらいの回転があったのかを示すことができた。すなわち、艇速度とブレードの回転角度の情報の両方を用いることにより、キャッチのタイミングおよびドライブ区間、フィニッシュのタイミング、リカバリー区間をおおよそ推定できると考えられる。

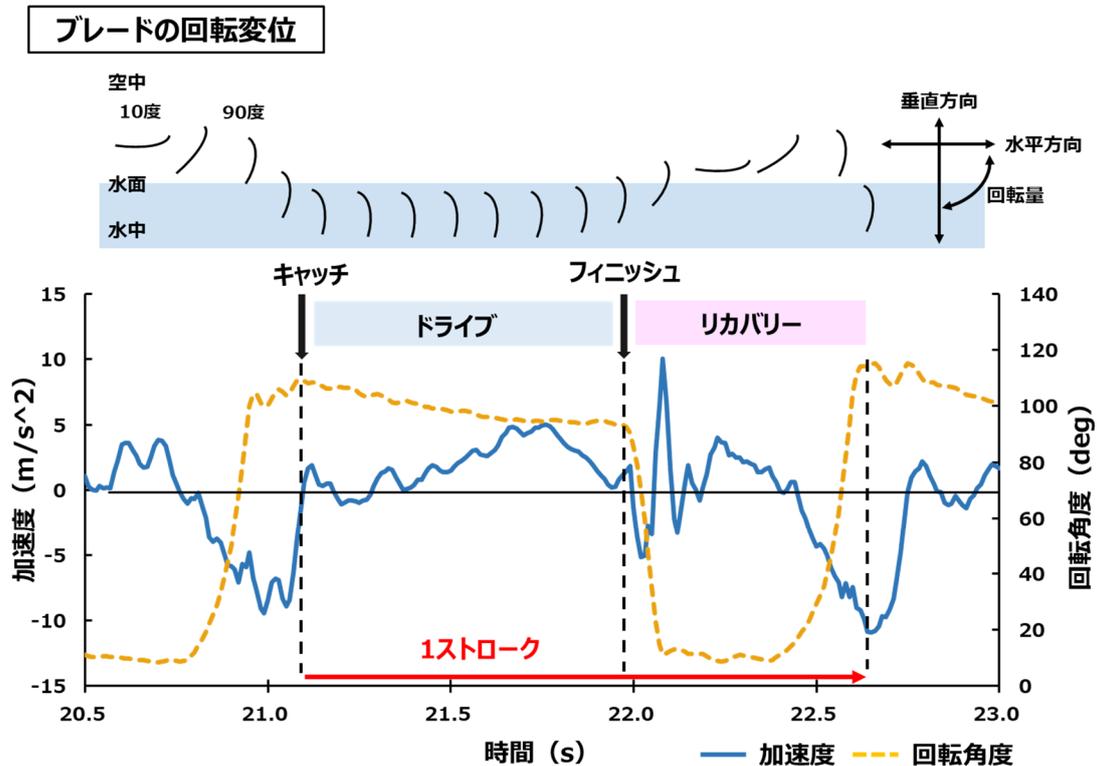


図5. 1ストロークあたりの艇の加速度とブレードの回転角度

実験2:ブレードの垂直・水平方向および回転角度の可視化

(1) 方法

本システムを用いて、ブレードの垂直・水平方向および回転角度の変位を可視化し、対象者間におけるブレードワークの特徴を検討した。対象者は、高専のボート競技部に所属する男子選手2名であった。対象者1は(身長;169cm, 体重;65kg, 年齢;18歳, 競技歴;3年), 県大会で優勝した経験があった。対象者2は(身長;180cm, 体重;72kg, 年齢;19歳, 競技歴;4年), 全国大会で上位に入賞できた者であった。対象者1は実験1とは異なる選手だった。オールを艇の真横に置いた状態で20秒間の静止を行ってから測定を開始した。対象者には全力で10ストロークを漕ぐように指示した。なお、本研究では各対象者の8ストローク目を分析の対象とした。

(2) 結果

図6は1ストロークあたりのブレードワーク軌跡(ブレードの垂直・水平方向・回転角度)を示したものである。図6(a)は対象者1, 図6(b)は対象者2である。青色の丸印の点はブレードの回転角度が(フェザ

一)10度, 橙色の三角形の点はブレードの回転角度(ノーフェザー)が90度の状態を示した.

ブレードを入水する際に, ブレードが水面に対して垂直に動いている様子を確認できた. また, 入水した後のキャッチ局面ではブレードが水平に動く様子を示すことができた. 水中にあるブレードはフィニッシュが近づくにつれて, ブレードは90度の状態から10度に回転する変位がみられた. フィニッシュした後, 空中にあるブレードは水平(10度)の状態から回転して, 垂直(90度)の状態になって, キャッチの準備をしている様子を示すことができた. また, 空中や水中でブレードがどれくらいの深さや高さになっているのかを数値化して, 表示することができた. 水平方向のブレードワークを示すことで, 1ストロークの長さも確認することができた.

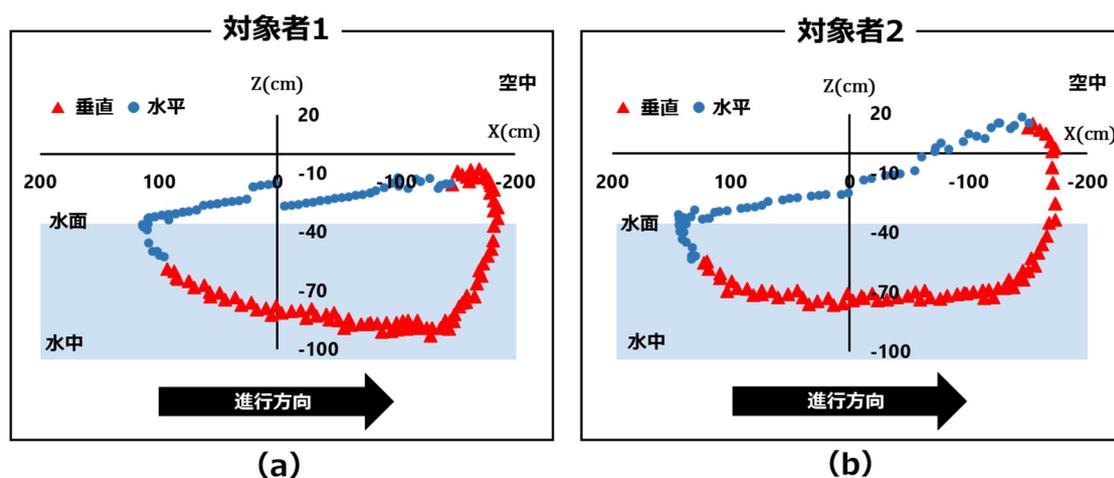


図6. 1ストロークあたりのブレードワークの軌跡

3.2 可視化システムを用いた各対象者のブレードワークの特性

リカバリーの区間のブレードの動きは, フィニッシュした後にオールを高い位置で保ち, 次のキャッチへ向かうとされている(Kleshnev, 2011). 対象者1はフィニッシュしてから, リカバリーの区間ではオールは常に水面に近い状態にあり, ブレードを垂直状態にするための空間はほとんどなく, キャッチの直前で, ブレードを高く上げている(図6). 一方で, 対象者2をみるとローロック(0cm)を過ぎてからキャッチの直前(x = - 50cm ~ -150cm付近)までオールは水面に対して徐々に上がっており, 水平状態にあるブレードを垂直状態に回転するための空間がつけられている(図6). これは対象者1と比較して, 対象者2は, リカバリーの区間にブレードを高く維持して, キャッチの準備をしていることがいえる.

ドライブ区間のブレードの動きを比較すると対象者1はブレードが入水してから, 深く入り左斜め下に向かって漕いでいることがわかる(図6). 一方で, 対象者2をみると, 対象者1と比較してブレードは浅い位置で入水しており, その後, 同じ深さのままでブレードを水平に漕いでいる様子がみられた(図6). ブレードを水平に漕ぐことで, ブレードの押し出す水の量が多くなり, 進行方向に対して艇を押し出す力が大きくなることから, より高い推進力を得ることができると考えられ, 本システムを用いることにより水中にあるブレードの動きを評価することができる.

3.3 本システムの有用性と対象者の内省報告

本システムではブレードが空中および水中でどのように動いているのかを可視化することでできた。ブレードの軌跡を示すことで、ブレードワークを定量的に確認できた。また、本システムを用いることによってオール軸回りの回転とブレードの深さの関係を表示し、ブレードがどのような角度と深さで水を捉えているのかを提示できた。

本システムを選手自身が簡便にフィードバックできるように簡易的なアプリケーションを作成し、試用した。アプリケーションのフィードバック画面の左上には艇の加速度、右上はブレードの垂直および水平の状態、中央にはセンサから得られた姿勢角を用いて計算したブレードワークを3Dアニメーション(艇の進行方向は右向き)で表示した。左下にはオールの振り角(キャッチ角度、フィニッシュ角度、トータル角度)を示した(動画1)。

本システムの有用性を検証するため、3名の選手が2週間のトレーニングで利用したところ、「自分でも感覚的にオールの深さなどは分かるが、実際にブレードワークを画面で見ることができるのはとても良い」、「陸上のトレーニング装置(エルゴメータ)を用いても同じようなことは分かるが、実際のオールの動かし方の感覚とは違う。その点、このシステムは実際のオールの動かし方やブレードの動きを見ることができて技術を獲得する上で有益な情報となる」、「このシステムをシングルスカルでしか使っていないが、ダブルスカルで使ったら、お互いのオールの動かし方がわかって、具体的にどこをあわせればいいのかを明確に把握することができるかもしれない」といった感想がみられた。

以上のことから、本システムはブレードワークを可視化することができたといえる。また、本システムをトレーニングで使用するにより、選手自身が感覚的にしかわからなかった水中におけるブレードワークをアニメーションでフィードバックすることで、オールを動かす技術の獲得につながる可能性が示唆された。

3.4 本システムの課題および今後の展望

本システムは、艇やオールから得られたデータをセンサ内に記録し、それらの記録を取り出して、選手にフィードバックをするためには、艇を岸にあげる必要があった。つまり、選手は本システムで得られたデータを確認するために、艇を陸上に上げる必要があり、時間を要することに加え、リアルタイムで確認できないことが問題点と考えられる。今後は選手が乗艇中にリアルタイムで確認できるようにシステムの構築する必要がある。

また、本システムは水中および空中のブレードワークの可視化をすることはできたが、ボート競技の重要な指標である艇速度との関係を明らかにすることはできなかった。今後は、GPSシステムを使って艇速度を計測し、艇速度とブレードワークを同時に表示できるようにシステムの改良を行う必要がある。ブレードワークと艇速度の影響を数値化することで、指導現場にとって役に立つ基礎的な知見になる可能性がある。

III. まとめ

ボート競技はオールを使って、艇を進める競技であり、オールの動かし方は艇速度に影響を及ぼすといわれている。本研究ではセンサを艇とオールに取り付け、計測した姿勢角を用いてオールの動きを

算出し、オールの3次元空間内での動きを可視化するシステムを構築した。

本システムでは、オールの3次元的な動きを計測できるとともに、選手自身が簡易的にブレードワークを確認するためのフィードバック画面を作成した。

本システムを利用した指導者から、「水中でのオールの動きを見ることができて、非常に参考になった」といった感想がみられ、本システムを利用することにより、ローイング運動時の技術向上に向けた有用性が期待できることを確認できた。

謝辞

本システムの構築にご協力いただいた松江工業高等専門学校の卒業生の飯島直也氏に深く感謝いたします。

引用文献

- ・ Kleshnev, V. (2011) Rowing biomechanics. Rowing Faster: Second edition. Human Kinetics, pp.107-124.
- ・ 中村夏実(2007) 加速度計を用いた水上競技のパフォーマンス評価の可能性. バイオメカニクス研究, 11:113-123.
- ・ Smith, T. B. and Hopkins, W. G. (2012) Measures of rowing performance. Sports Med., 42:343-358.
- ・ Worsey, T. O. M., Espinosa, H. G., Shepherd, J. B. and Thiel, D. V. (2019) A Systematic Review of Performance Analysis in Rowing Using Inertial Sensors. Electronics, 8 (11), 1304, doi:10.3390/electronics8111304