

## 日本代表選手と全国大会出場選手における背泳ぎの抵抗力と泳動作の特徴 - 手部動作と体幹の傾きに注目して

成田健造<sup>1)</sup>, 仙石泰雄<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

<sup>2)</sup>筑波大学体育系

キーワード: MRT 法, 抵抗係数, 3次元動作分析, ストローク頻度, 手部スピード

### 【要約】

本研究の目的は、競技レベルの異なる 2 名の泳者を対象に、背泳ぎの抵抗力と泳動作について調査することであった。対象者は背泳ぎを専門種目とし、日本代表経験を有する選手と、全国大会出場経験を有する選手の 1 名ずつであった。泳速度は 1.20 m/s とし、実験は全て実験用回流水槽にて実施した。抵抗力は MRT 法を用いて評価し、抵抗力を身体表面積で除して抵抗係数を算出した。泳動作は 3 次元モーションキャプチャシステムを用いて分析した。体幹の傾きを評価する指標として、第一胸椎棘突起と大転子の位置関係の評価し、手部の動作スピードは 3 次元方向と推進方向のそれぞれを分析した。結果として、抵抗力と抵抗係数の両方で競技レベルの高い泳者が大きな値を示したが、身体表面積で除した抵抗係数では両者の差が小さくなっており、体格の違いが背泳ぎでの抵抗力に影響したことが示唆された。泳動作について、ストローク頻度と手部の動作スピードでは競技力の低い泳者が高い値を示し、一方で体幹の傾きではわずかに競技力の高い泳者が高い値を示した。これらのことから、背泳ぎにおける抵抗力は、競技レベルが高い泳者の抵抗力が必ずしも低くなるわけではないことが示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 1-13, 2020 年, 受付日: 2019 年 5 月 20 日, 受理日: 2020 年 1 月 9 日

責任著者: 成田健造 252-0882 藤沢市遠藤 5322 湘南藤沢キャンパス ninzen7@sfc.keio.ac.jp

\*\*\*

### **Characteristics of resistive force and swimming motion in the backstroke of an international-level swimmer and a national-level swimmer: hand movements and inclination of the trunk**

Kenzo Narita<sup>1)</sup>, Yasuo Sengoku<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School, Keio University

<sup>2)</sup> Tsukuba University

Key words: MRT (measuring residual thrust) method, resistance coefficient, three-dimensional motion analysis, stroke frequency, hand speed

**[Abstract]**

The present study compared the resistive force and swimming motion of two swimmers who were at different competitive performance levels. Both swimmers specialized in the backstroke; one of them had been selected as a member of Japan's national team, the other had participated in a national tournament. The study was conducted in a swimming flume at a swimming speed of 1.20 m/s. Resistive force was measured using the method of measuring residual thrust (MRT method); the resistance coefficient was calculated by dividing the resistive force by the surface area of the swimmer's body. Swimming movements were analyzed with a three-dimensional motion capture system. In order to determine the index of inclination of the trunk, the relationship between the position of the acantha of the first thoracic vertebra and the greater trochanter was analyzed. The speed of movement of the hands was measured in three dimensions and in the direction of propulsion. The results showed that the international-level swimmer had higher values both in resistive force and resistance coefficient, although the difference between the two participants in the resistance coefficient was rather small. This suggests that the difference in the physical size of their bodies may have been reflected in the resistance force. The national-level swimmer had a higher stroke frequency and faster hand movements, whereas the international-level swimmer had a slightly higher inclination of the trunk of his body. These results suggest that the resistive force when swimming backstroke may not necessarily be less in swimmers who are at a higher competitive level.

## I. 背景

水泳では、泳者が身体を動かすことで水から力を受ける。それらの力の中で、推進方向前方への移動に利用された力が推進力であり、一方でその泳者の推進を妨げる方向に働く力が抵抗力である。泳者の推進前後方向に対となって働くこれら 2 つの力の関係性が泳者の加減速に影響し、泳速度を左右する。泳者が速く泳ぐためには推進力を大きくすること、抵抗力を小さくすること、もしくはその両方が必要である。水泳では、泳者が全身を動作させることで推進力を生み出しているが、一方で動作そのものが抵抗力の要因にもなる。さらに、抵抗力は泳速度の 2 乗 (Chatard et al., 1990; Toussaint et al., 1988) や 3 乗 (Narita et al., 2017; 成田ほか, 2018) に比例して大きくなるため、泳者が高い泳速度の達成を目指す上で、推進力を大きくしつつも抵抗力を削減することができる技術の習得が必須の課題となる。

水泳のコーチング現場において、「抵抗力の小さい泳ぎの獲得」を多くのコーチや選手が目指しており、その重要性は指導書や専門書にも記述されている (Maglischo, 2003; 日本水泳連盟, 2014)。先行研究において、水泳中の泳者に働く抵抗力の主要素とされる圧力抵抗 (Pendergast et al., 2005) に着目し、泳者の進行方向に対する身体の傾きから抵抗力が評価されている (Zamparo et al., 2009)。しかしながら、水泳中の身体の傾きと抵抗力の関係について定量的に評価した研究はない。水泳中の抵抗力を評価する方法として、MAD-System を用いた方法 (Hollander et al., 1986; Toussaint et al., 1988) がある。この方法では、水面下に設置された固定板を押して推進する泳者に働く抵抗力を評価するという特性上、計測対象となる泳法が上肢動作のクロール泳に限られ、その時の泳ぎは水を押し進むという実際の泳者の自然な泳動作を再現できないという課題がある。例えば、競技力の高い泳者は競技力の低い泳者と比較してストローク長が長くなると報告されているが (Craig and Pendergast, 1979; Seifert et al., 2010)、MAD-system では固定板間の距離によってストローク長は一様に決定され、競技レベルや体格の異なる泳者間でもストローク長は同じになる。また、Seifert et al. (2010) が競技レベルの異なる泳者を対象に、同一泳速度での抵抗力を MAD-system で評価した結果、双方の泳者で抵抗力は同等であったと報告している。このように、ストローク長や泳動作が各泳者で異なるにもかかわらず、MAD-system を用いた実験時にはその影響が反映されず、泳者に働く抵抗力が同様になったと推察される。一方で、近年開発された MRT (Measured values of Residual Thrust) 法 (Narita et al., 2017) は、泳法や泳速度に関する測定上の制限を有さず、MAD-system とは異なり泳者は水を押し推進する。そのため、MRT 法での抵抗力の評価に併せて、その時の泳動作や体幹の傾きとの関係について検証できれば、「抵抗力の小さい泳ぎ」の特徴を見出すことに貢献できるだろう。さらに、競技パフォーマンスを高める上での抵抗力を削減する技術の獲得が重要であると考えられているが、競技レベルの異なる泳者を対象に抵抗力を評価し、比較した研究はない。もし競技レベルの高い泳者ほど抵抗力が低くなるとすれば、泳動作や体幹の傾きの観点から低抵抗技術の習得について有用な情報を指導現場へ提供できるだろう。

そこで本研究では、背泳ぎを専門とする競技レベルの異なる泳者に対して、MRT 法を用いた抵抗力計測と 3 次元動作分析を行い、背泳ぎにおける抵抗力と泳動作について調査することを目的とした。本研究の仮説として、競技レベルの異なる選手が同一速度で泳ぐ場合、競技レベルの高い選手の抵抗力は小さく、それにはストローク頻度が少ないことや水平姿勢の保持が影響していると考えられる。

## II. 方法

### 1.1 対象者

背泳ぎを専門とし、日ごろから競泳トレーニングを積んでいる成人競泳選手 2 名が本研究に参加した。各泳者の身体特性と長水路での 200 m 背泳ぎのベスト記録を表 1 に掲載した。さらに、対象者の 200 m 背泳ぎのベスト記録を FINA ポイントで換算すると、泳者 A は 887、泳者 B は 720 であった。FINA ポイントとは、国際水泳連盟 (FINA) が競技レベルの指標として定めている数値であり、競技レベルが高い選手ほど数値も高い値を示す。また、泳者 B は日本学生選手権水泳競技大会への出場経験を有している一方で、泳者 A は競泳日本代表へ選出された経験を有していることから、泳者 A の競技レベルが高いことがわかる。なお、泳者の身体表面積については、Shuter and Aslani (2000) の式を用いて算出した。

表 1. 対象者の身体特性と 200m 背泳ぎ自己最高記録(長水路)

泳者	身長 (m)	体重 (kg)	身体表面積 (m <sup>2</sup> )	200m背泳ぎ自己最高記録 (分'秒")
A	1.82	75.0	1.93	1'56"5
B	1.71	66.0	1.75	2'04"9

### 1.2 測定試技及び分析方法

泳速度が 1.20 m/s での背泳ぎを対象に実験した。すべての実験を実験用たて型回流水槽(五十嵐工業, 水温 28 ° C)で実施し, MRT 法 (Narita et al., 2017) を用いた抵抗力の評価と, モーションキャプチャシステムを用いた泳者の 3 次元動作分析をおこなった。

#### 1.2.1 MRT 法を用いた抵抗力評価

泳者は初めに、流速 1.20 m/s に設定された水槽内の中心位置を保持して泳いだ。その後、泳者はこの時の泳ぎを維持しながら異なる流速でも泳ぐが、1.20 m/s よりも高い流速では泳者は水槽内後方へと後退し、反対に 1.20 m/s よりも低い流速では水槽内前方へと前進しようとする。このように、1.20 m/s の泳ぎ(以下、基準泳ぎ)を維持した泳者が、流速の変化により前進したり後退したりする力、つまり余剰推進力を計測することで、1.20 m/s 時の泳者に働く抵抗力を導出するのが MRT 法の概略である。

回流水槽の前方と後方にロードセル (LUX-B-2KN-ID, 共和電業) を設置し、そのロードセルと泳者の腰部に巻いたベルトをワイヤーで接続することで、余剰推進力を計測した(図 1 下図)。余剰推進力は 1.20 m/s の ±0.20 m/s の範囲内を 0.05 m/s ずつ流速を変化させることで計測され、回流水槽後方のロードセルで計測された値から前方で計測された値を差し引くことによって算出された。計 8 つの流速で計測された 10 秒間の余剰推進力の平均値に最も近似するように回帰曲線を導出し、その回帰曲線から抵抗力を算出した(図 1 上図)(詳細は Narita et al. (2017) を参照)。なお、MRT 法の前提として「泳者が異なる流速でも基準泳ぎを維持していること」がある。その前提を満たすために、1.20 m/s で基準泳ぎをしている時に計測されたストロークテンポを防水小型メトロノーム(テンポトレーナープロ、

FINIS)に設定し、その機器を泳者の頭部に装着した。そして、泳者は自身の主観に加え、その音を参考にして一定のストロークテンポで泳ぐことで、全ての流速で基準泳ぎと同様の泳動作、ストロークテンポを維持できるよう努めた。なお、泳者もしくは観測者が、余剰推進力計測時に基準泳ぎをしていないと判断した時は、その流速の測定をやり直した。

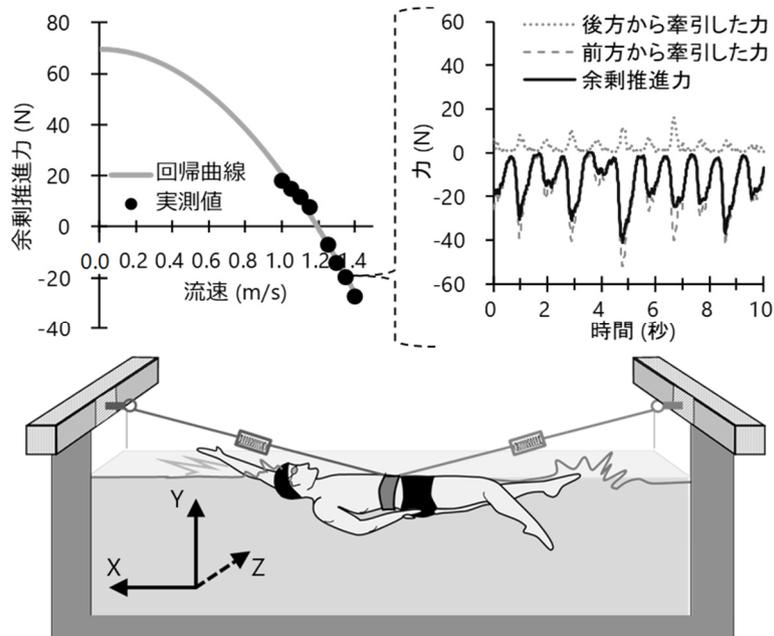


図1. 実験風景概要図(上左図:余剰推進力の実測値と回帰曲線の関係, 上右図:前後からの牽引計測データと余剰推進力, 下図:牽引測定時の環境と座標軸)

抵抗力は泳者の身体サイズや水の密度、泳速度に影響を受ける。それらの影響を除外して抵抗力の大小関係を調査する際に、流体力学分野では抵抗係数が広く用いられている。本研究では泳速度が同じであるものの、泳者の身体サイズは異なるため、泳者の身体サイズによる影響を除外して泳者間の抵抗力を比較するために以下の式を用いて抵抗係数( $C_D$ )を算出した。

$$C_D = \frac{2D}{\rho A V^2}$$

$\rho$ は水の密度(水温 28 度の場合, 996.2 kg/m<sup>3</sup>),  $V$ は泳速度(m/s),  $D$ は MRT 法にて評価された抵抗力(N)を表し, 身体代表面積を表す  $A$  には泳者の身体表面積(m<sup>2</sup>)を採用した。

### 1.2.2 モーションキャプチャシステムを用いた動作解析

泳者の 3 次元動作解析をおこなうために、モーションキャプチャシステム(VENUS 3D, ノビテック)を用いて泳動作を撮影した。本研究で利用した回流水槽は左右側方と下方にガラス窓を有しており、モーションキャプチャカメラ(VNS-SP-P13, Optitrack)を回流水槽側方に左右 5 台ずつ、下方に 6 台の計 16 台を設置し、ガラス窓越しに泳者を撮影した。なお、ガラス窓の屈折による影響を考慮し、各カメ

ラの光軸をガラス窓に対して直交するように設置した。サンプリング周波数は 100 Hz とし、1.20 m/s での基準泳ぎをする泳者を撮影した。座標軸は右手座標系とし、回流水槽の長軸方向を X 軸、鉛直方向を Y 軸、泳者の左右方向を Z 軸とした(軸の定義を図 1 に掲載)。

本研究では泳者のストローク動作に着目し、ストローク頻度、ストローク長、手部スピードを分析した。それらの項目を評価する際の代表点として、泳者の両上肢の尺骨茎状突起に有線 LED マーカーを貼付した。ストローク頻度(Hz)は、右上肢が入水してから再度入水するまでに要した時間の逆数から算出し、それを泳速度で除することによりストローク長(m/stroke)を算出した。手部の動作スピード(m/s)は水中局面のみを対象とし、三次元での手部スピード(以下、手部スピード)に加え、X 軸(推進方向)における手部スピード(以下、手部 X 速度)を評価対象とした。なお、本研究では泳者の推進方向(上流側)を X 軸の正方向としているため、推進力を生み出すために回流水槽内下流方向へ手部を移動させた時の手部 X 速度は負の値となり、その絶対値が大きいほど速く動作させていることを表す。また、泳者はストローク周期全体で考えると回流水槽内の同じ位置を維持して泳いていたが、ストローク周期内では前後へ移動していた。そのため、第一胸椎棘突起と左右大転子で形成される三角形の重心を仮想身体中心点と定義し、その座標との相対的な位置座標を求めることで各評価項目を算出した。

泳者の進行方向に対する体幹の傾きを調査するために、第一胸椎棘突起と左右の大転子に有線 LED マーカーを貼付し、第一胸椎棘突起から左右の大転子の位置座標の midpoint(以下、大転子 midpoint)を結ぶ線分を体幹と定義した。本研究では身長異なる泳者を対象としているため、体幹の傾きを角度ではなく、第一胸椎棘突起から見た大転子 midpoint の相対位置を評価対象とした。そこで、進行方向である X 軸に直交する Y 座標と Z 座標における、第一胸椎棘突起の位置座標から大転子 midpoint の位置座標を減じることで、2 点間の距離を算出した。Y 座標について、第一胸椎棘突起が大転子 midpoint よりも高い位置にある場合は正の値を示し、第一胸椎棘突起が低い位置にある場合は負の値を示す。一方で Z 座標について、第一胸椎棘突起が大転子 midpoint よりも左手側にある場合は正の値を示し、第一胸椎棘突起が右手側にある場合は負の値を示す。Y 座標と Z 座標において絶対値が大きいほど進行方向に対する体幹の傾きが大きいことを示し、値が 0 の場合は水平であるとして、本研究では定義した。

全ての分析項目は左右のストローク 3 周期分を対象とし、平均値と標準偏差を求めた。なお、尺骨茎状突起に添付した有線 LED マーカーが入水してから再度入水するまでをストローク 1 周期として定義した。

### III. 結果

本研究で得られた結果の一覧を表 2 に掲載した。競技レベルの高い泳者 A の抵抗力は泳者 B よりも高い値が示された。また、泳者の身体サイズによる影響を除外した抵抗係数においても泳者 A は泳者 B よりわずかに高い値が示された。

表 2. 2 名の対象者における各分析項目の結果一覧

項目	単位	泳者A		泳者B	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
抵抗力	N	79.5		69.5	
抵抗係数		0.059		0.056	
ストローク頻度	Hz	0.49	0.01	0.54	0.01
ストローク長	m/stroke	2.44	0.03	2.24	0.02
右上肢の手部スピード					
平均値	m/s	1.66	0.02	1.76	0.02
最高値	m/s	3.24	0.05	3.13	0.13
最低値	m/s	0.21	0.05	0.50	0.04
左上肢の手部スピード					
平均値	m/s	1.58	0.02	1.80	0.02
最高値	m/s	3.14	0.02	3.21	0.1
最低値	m/s	0.35	0.04	0.40	0.04
右上肢の手部X速度					
平均値	m/s	-0.85	0.01	-0.94	0.01
最高値	m/s	0.25	0.00	0.15	0.02
最低値	m/s	-2.86	0.04	-2.84	0.11
左上肢の手部X速度					
平均値	m/s	-0.89	0.02	-0.98	0.00
最高値	m/s	0.13	0.00	0.13	0.01
最低値	m/s	-2.83	0.05	-3.07	0.12
Y座標における第一胸椎棘突起と大転子中点の相対位置					
平均値	m	0.05	0.00	0.01	0.00
最大値	m	0.08	0.01	0.04	0.00
最小値	m	0.01	0.00	-0.02	0.00
Z座標における第一胸椎棘突起と大転子中点の相対位置					
平均値	m	0.00	0.00	0.00	0.01
最大値	m	0.07	0.00	0.08	0.01
最小値	m	-0.07	0.00	-0.07	0.01

ストローク頻度は泳者 A が泳者 B よりも低い値を示し、ストローク長は泳者 A が泳者 B よりも高い値を示した。ストローク動作スピードについて、手部スピードの平均値は泳者 B が泳者 A より左右それぞれで高い値を示し、推進方向における手部 X 速度についても泳者 B が泳者 A よりも絶対値において高い値を示した（絶対値が大きいほど速く動作していることを意味する）。また、第一胸椎棘突起と大転子中点の相対位置について、Y 座標ではわずかに高い値が示された一方で、Z 座標では両泳者で同様の値が示された。

図 2～図 4 には、手部入水地点を原点とした時の各泳者の手部軌跡を示しており、図 2 は X-Y 平面、図 3 は Z-Y 平面、図 4 は X-Z 平面を表している。なお、図形に色がついている箇所は、手部 X 速度の絶対値が本研究での泳速度に対応する 1.20 m/s 以上の局面を示している。

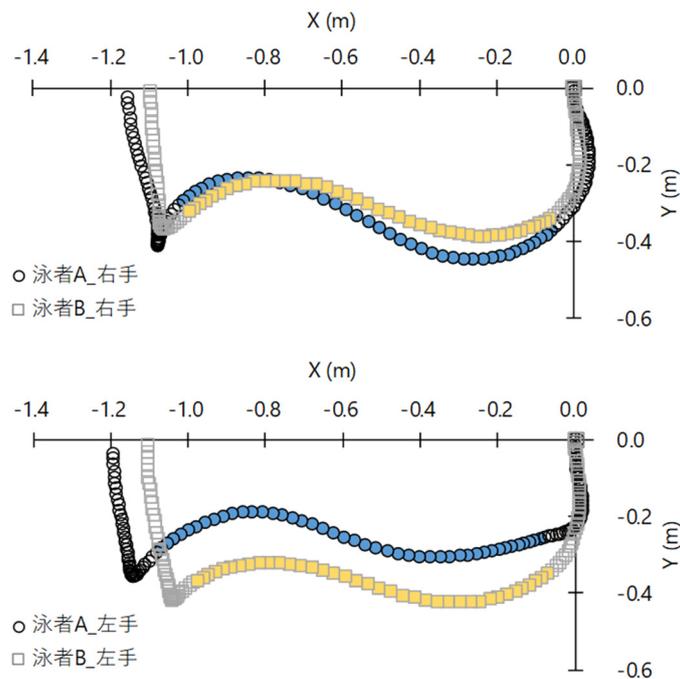


図2. 各泳者(黒丸及び青塗:泳者A, グレー四角及び黄塗:泳者B)のX-Y平面における手部軌跡(上図:右手部, 下図:左手部). 原点は手部入水時とし, 図形に色がついている箇所は手部X速度の絶対値が1.20 m/s以上の局面を表している.

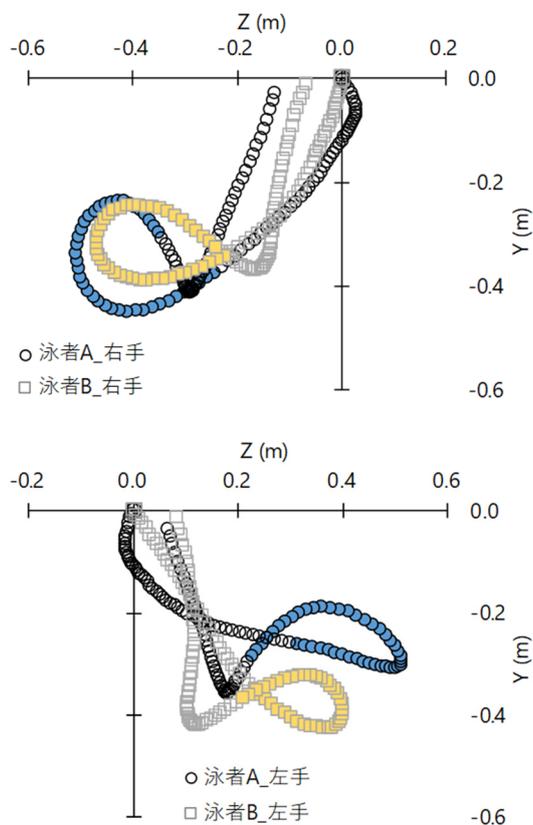


図3. 各泳者(黒丸及び青塗:泳者A, グレー四角及び黄塗:泳者B)のZ-Y平面における手部軌跡(上図:右手部, 下図:左手部). 原点は手部入水時とし, 図形に色がついている箇所は手部X速度の絶対値が1.20 m/s以上の局面を表している.

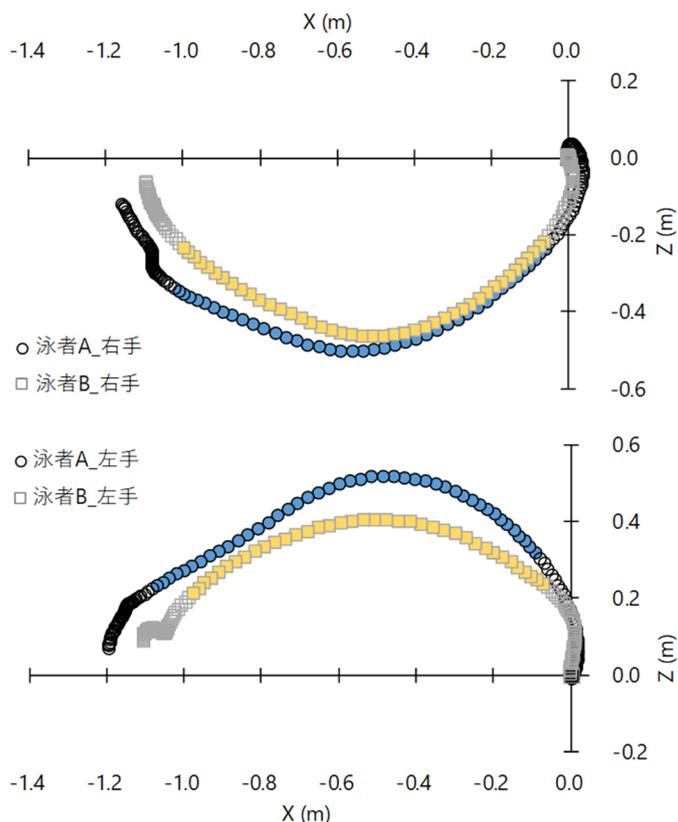


図 4. 各泳者 (黒丸及び青塗: 泳者 A, グレー四角及び黄塗: 泳者 B) の X-Z 平面における手部軌跡 (上図: 右手部, 下図: 左手部). 原点は手部入水時とし, 図形に色がついている箇所は手部 X 速度の絶対値が 1.20 m/s 以上の局面を表している.

#### IV. 考察

本研究では, 競技レベルの異なる 2 名の泳者を対象に, 背泳ぎでの抵抗力と泳動作について調査した. その結果, 競技レベルの高い泳者 A の抵抗力が泳者 B よりも高い値を示し, 抵抗係数においても泳者 A がわずかに高い値を示した. これは, 競技レベルの高い選手は抵抗力が小さい, という本研究の仮説に反する結果であった. 一方でストローク頻度や手部動作スピードは低い値を示した. 泳速度はストローク頻度とストローク長の積で表され, 競技レベルの高い泳者は同一泳速度でのストローク頻度が低く, ストローク長が長いと報告されている (Craig and Pendergast, 1979; Seifert et al., 2010). 本研究においても競技レベルの高い泳者 A のストローク頻度は低く, 泳者 B と比較してストローク長は高い値を示し, 先行研究の結果や本研究の仮説に沿う結果となった.

泳者に働く抵抗力が, 泳者の身体の大きさや体幹の傾きに関係することがストリームライン姿勢を対象とした先行研究において報告されている (Havriluk, 2005; Zamparo et al., 2009). 本研究においても, 体格の大きい泳者 A は泳者 B よりも抵抗力が約 14% 大きい値を示した一方で, 抵抗力を身体表面積で除して算出された抵抗係数では泳者 A が約 5% 高い値を示した. ストリームライン姿勢中の受動抵抗について評価した先行研究において, 競技レベルの高い泳者は身体が大きいため受動抵抗も大きくなるが, 抵抗係数では競技レベルの高い泳者ほど低くなると報告されている (Chatard et al., 1990; Havriluk, 2005). 以上のことから, ストリームライン姿勢時の受動抵抗と同様に, 背泳ぎでの抵抗力も体格が大きく, 競技レベルの高い泳者の方が大きくなることが観察された. 一方で, 身体サイズによる影

響を考慮した抵抗係数では、ストリームライン姿勢では競技レベルの高い泳者の方が低くなる一方で、本研究における背泳ぎでは競技レベルの高い泳者が高い値を示した。これは本研究の仮説に反する結果であることに加え、競技レベルの高い泳者が必ずしも低抵抗技術を有しているわけではない可能性を指摘している。

水泳中の泳者に働く全抵抗力のうち圧力抵抗は大きな割合を占めることから、泳者を進行方向前方から見た時の面積である前面投影面積に着目して抵抗力を評価した研究が報告されている (Gatta et al., 2015)。前面投影面積の観点において、体幹の傾きの増加は前面投影面積の増大に影響し、結果的に抵抗力の増大を導くと推察される。本研究において、体幹の傾きを第一胸椎棘突起と大転子中点の相対位置の観点から評価した結果、Y座標において泳者 A が泳者 B よりも平均して約 4 cm 大きい値を示した。そのため、泳者 A は泳者 B よりも体幹の前面投影面積が大きく、それが大きな抵抗力の要因になった可能性が考えられる。さらに、抵抗力は泳者の体幹のみならず泳者の全身に働くため、体幹以外の影響についても考える必要がある。図 2~4 は各平面における泳者の手部の軌跡を表しており、泳者間で手部の軌跡が異なることがわかる。図 3 は Z-Y 平面での手部の軌跡を表しており、泳者の進行方向前方から見た時の軌跡となる。図 3 下段の左手部の軌跡について、泳者 A は泳者 B と比較すると浅い位置を横に大きく動作している様子が見られる。さらにそれらのグラフにおいて、図形内が塗られている箇所は手部 X 速度の絶対値が本研究の泳速度 1.20 m/s よりも高いことを表しており、抵抗力の観点で考えると泳者の手部 X 速度の絶対値が 1.20 m/s より高いストローク動作中盤では推進力を生み出していると考えられる。一方で、手部の入水後や出水前には手部 X 速度が絶対値 1.20 m/s 未満となっているが、その局面では手部は推進力ではなく抵抗力を受けていると推測される。このように、水泳中の泳者は動き続けているため、泳者に働く推進力と抵抗力のバランスが時々刻々と変化している。そのため、泳者に働く抵抗力を考えるうえで、体幹の傾きのみならず、上肢や下肢の動作速度や姿勢についても分析する必要があるだろう。

泳者が一定の泳速度を維持している場合、泳者に働く推進力と抵抗力はストローク周期全体で考えると等しくなるため、泳者 B が大きな推進力を発揮しているのであれば同様に抵抗力も大きくなるはずである。本研究において、左右上肢の手部スピードと手部 X 速度の平均値のすべてで泳者 B の絶対値が高い値を示した。流体力は動作スピードと比例関係にあるため、手部スピードの高い泳者 B は泳者 A よりも手部で大きな流体力を発揮していたと考えられる。さらに、推進方向への手部 X 速度が高いことから、泳者 B は手部で大きな推進力を発揮していたと推察される。しかしながら、MRT 法を用いて抵抗力を評価した結果、泳者 B の抵抗力が泳者 A よりも低い値を示した。その理由の 1 つに、下肢動作による影響が考えられる。背泳ぎでは上肢と下肢を動作させることで推進力を生成する。クロール泳での下肢動作の利用は推進力を向上させるとともに抵抗力の増大も導くと報告した先行研究 (Narita et al., 2018) を踏まえると、泳者 A は泳者 B と比較して下肢動作により発揮された推進力が大きい一方で、その動作が抵抗力増大の起因となった可能性が考えられる。そのため、上肢動作に加えて下肢動作の評価をすることで、背泳ぎ中の抵抗力に影響する要因についての理解を深められるだろう。

本研究は、背泳ぎの抵抗力と動作を併せて評価した初めての研究であった。成田ほか (2018) は、MRT 法で評価されたクロール泳の抵抗力が 1.2 m/s で約 50-60 N であり、その時のストローク頻度は約 0.50 Hz であったと報告している。一方で、本研究で計測された背泳ぎの抵抗力とストローク頻度は、

泳者 A で 79.5 N と 0.49 Hz, 泳者 B では 69.5 N と 0.54 Hz であった. このように, クロール泳と背泳ぎで泳速度とストローク頻度が同等であったとしても, 抵抗力は背泳ぎが高い値を示すことが先行研究との比較より示唆された. 今後, 泳法内に加え泳法間での比較を MRT 法で実施することにより, 各泳法の特徴や課題点を見出すことにも貢献できるだろう.

## V. 今後の課題とスポーツ現場への応用

泳速度 1.20 m/s を対象に実験したが, 実際のレースでの泳速度はもっと高く, 泳速度が異なると泳者の泳動作も変化し, その変化が抵抗力にも反映すると考えられる. 本研究で用いた有線 LED マーカーの身体への貼付や, MRT 法での抵抗力評価時の前提条件である流速間での泳動作の維持について考慮すると, 競技会でのレースと同じ泳速度での実験は困難であると考えられるが, 可能な限り実際のレースに近い環境での評価を試みるのが今後の課題である.

本研究では競技レベルの異なる 2 名の泳者を対象としたが, 競技レベルに加えて身体の大きさが異なっていた. 抵抗力を身体表面積で除することで抵抗係数を算出したが, 後は身体サイズが同じで競技レベルの異なる泳者を対象とすることで, 身体サイズによる影響を除外した中での競技レベルの違いによる抵抗力への影響について評価できるだろう. さらに, 体幹の傾きの指標として第一胸椎棘突起と大転子中点の相対位置を調査したところ, 競技レベルの高い泳者 A ではわずかに大きい値が示され, 抵抗力も泳者 A が高い値を示した. しかしながら, 本研究では 2 名のみでの比較であったため, それらの結果が泳者の個性によるものか, それとも競技レベルの高い泳者共通の特徴なのかは明らかにできなかった. ただし, 競技レベルの高い泳者が背泳ぎにおいて必ずしも低抵抗技術を有しているわけではないことは, 泳速度を高める上で「抵抗力の小さい泳ぎ」を重要とする競技現場への新たな提言になるだろう.

泳速度は推進力と抵抗力の関係によって決められるため, 抵抗力を抑える技術獲得と同様に, 推進力を大きくするための技術やパワーの獲得も重要となる. 本研究では手部 X 速度を計測し, 抗力に焦点を当てて推進力の考察をしたが, 手部で発揮される推進力を考える上で揚力についても考慮する必要がある (Berger et al., 1995). そのため, 手部周りの圧力分布分析法 (角川ほか, 2012; Tsunokawa et al., 2019; 角川ほか, 2019) を用いることで, 泳者が手部で発揮した推進力をより正確に評価することができるだろう. さらに, 泳者は全身を常に動作させて泳いているため, 体幹の傾きに加えて上肢や下肢の姿勢や動作速度も併せて評価する必要がある. MRT 法で評価される抵抗力はストローク 1 周期の平均値であるが, Assisted towing method (Formosa et al., 2014) を参考に推進前後方向への力変動を計測することで, 泳者の進退動作とストローク周期内の力変動の関係について評価できるだろう. 推進力や抵抗力は泳ぎを見るだけではわからないため, 推進力や抵抗力と泳動作の関係について評価することは, 実際に目で確認できる泳動作の観点から, 競技パフォーマンスの向上を目指す上での指標をコーチや選手に提供できるだろう. 以上の科学的アプローチによって, 競技レベルの高い泳者の泳動作を正しいとするのではなく, 抵抗力や推進力の観点から各選手の個性を活かすことのできる泳ぎ方の改善や, トレーニング法の開発に貢献できると考えられる.

## VI. 結論

本研究では背泳ぎを対象に、競技レベルの異なる泳者に対してMRT法を用いた抵抗力計測と3次元動作分析を実施した。その結果、競技レベルの高い泳者Aは抵抗力と抵抗係数の両方で高い値を示した。しかしながら、身体表面積で除した抵抗係数では両者の差が小さくなっており、体格の違いが背泳ぎでの抵抗力に影響したことが示唆された。泳動作について、泳者Aはストローク頻度と手部の動作スピードが低い値を示し、第一胸椎棘突起と大転子の位置関係から分析した体幹の傾きではわずかに泳者Aが高い値を示した。これらのことから、背泳ぎを対象とした際に、競技レベルが高い泳者の抵抗力が必ずしも低くなるわけではないことが示唆され、今後対象者や分析項目を増やすことで、背泳ぎでの抵抗力に影響する因子について明らかにし、背泳ぎでの泳パフォーマンスの向上に貢献することが期待される。

## VII. 参考文献

- Berger, M. A., de Groot, G., & Hollander, A. P. (1995). Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *Journal of biomechanics*, 28(2), 125-133.
- Chatard, J., Lavoie, J., Bourgoin, B., & Lacour, J. (1990). The contribution of passive drag as a determinant of swimming performance. *International journal of sports medicine*, 11(05), 367-372.
- Craig, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11(3), 278-283.
- Formosa, D. P., Sayers, M. G., & Burkett, B. (2014). Stroke-coordination and symmetry of elite backstroke swimmers using a comparison between net drag force and timing protocols. *Journal of sports sciences*, 32(3), 220-228.
- Gatta, G., Cortesi, M., Fantozzi, S., & Zamparo, P. (2015). Planimetric frontal area in the four swimming strokes: Implications for drag, energetics and speed. *Human movement science*, 39, 41-54.
- Gonjo, T., McCabe, C., Sousa, A., Ribeiro, J., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Sanders, R. (2018). Differences in kinematics and energy cost between front crawl and backstroke below the anaerobic threshold. *European journal of applied physiology*, 118(6), 1107-1118.
- Havriluk, R. (2005). Performance level differences in swimming: a meta-analysis of passive drag force. *Research quarterly for exercise and sport*, 76(2), 112-118.
- Hollander, A. P., De Groot, G., van Ingen Schenau, G., Toussaint, H. M., De Best, H., Peeters, W., Meulemans, A., Schreurs, A. W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, 4(1), 21-30.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest: Human Kinetics*.
- 成田健造, 中島求, 仙石泰雄, 本間三和子, 椿本昇三, 高木英樹. (2018). 多段階の泳速度に

- おけるクロール泳中の自己推進時抵抗とストリームライン姿勢中の受動抵抗の比較. 体育学研究, 63(2), 505-515.
- Narita, K., Nakashima, M., & Takagi, H. (2017). Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities. *Journal of biomechanics*, 54, 123-128.
  - Narita, K., Nakashima, M., & Takagi, H. (2018). Effect of leg kick on active drag in front-crawl swimming: Comparison of whole stroke and arms-only stroke during front-crawl and the streamlined position. *Journal of biomechanics*, 76, 197-203.
  - 日本水泳連盟. (2014). 水泳コーチ教本 第3版: 大修館書店.
  - Pendergast, D., Mollendorf, J., Zamparo, P., Termin 2nd, A., Bushnell, D., & Paschke, D. (2005). The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea & hyperbaric medicine*, 32(1), 45-58.
  - Seifert, L., Toussaint, H., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Human movement science*, 29(3), 426-439.
  - Shuter, B., & Aslani, A. (2000). Body surface area: Du bois and Du bois revisited. *European journal of applied physiology*, 82(3), 250-254.
  - Toussaint, H. M., De Groot, G., Savelberg, H., Vervoorn, K., Hollander, A. P., & van Ingen Schenau, G. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, 21(5), 435-438.
  - Tsunokawa, T., Mankyu, H., Takagi, H., & Ogita, F. (2019). The effect of using paddles on hand propulsive forces and Froude efficiency in arm-stroke-only front-crawl swimming at various velocities. *Human movement science*, 64, 378-388.
  - Tsunokawa, T., Nakashima, M., & Takagi, H. (2015). Use of pressure distribution analysis to estimate fluid forces around a foot during breaststroke kicking. *Sports Engineering*, 18(3), 149-156.
  - 角川隆明, 高木英樹, 仙石泰雄, 樺本昇三. (2012). 平泳ぎ泳パフォーマンスと圧力分布から推定した足部流体力との関係. 体育学研究, 12003.
  - Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European journal of applied physiology*, 106(2), 195-205.