

入水時に発生する気泡が競泳スタート局面に与える効果

寺本 圭輔¹⁾ 半田 将也²⁾ 小鷹 慎³⁾
家崎 仁成⁴⁾ 村松愛梨奈⁵⁾

1) 愛知教育大学 2) 小牧市立桃陵中学校 3) 三重県立川越高等学校
4) 紀北健康センター 5) 鈴鹿工業高等専門学校

Effects of air bubble formation on start performance during the start phase of swimming

Keisuke TERAMOTO¹⁾ Masaya HANDA²⁾ Shin KOTAKA³⁾
Kiminari IEZAKI⁴⁾ Erina MURAMATSU⁵⁾

1) Aichi University of Education 2) Toryo Junior High School, Komaki City
3) Mie Prefectural Kawagoe High School 4) Kihoku Kenkou Center
5) National Institute of Technology, Suzuka College

キーワード：水泳, スタート局面, 気泡

Key Words : Swimming, Start phase, Air bubble

The aims of this study were to evaluate the relationship between air bubbles and underwater stroking during the start phase of swimming, and their relationship to swimmer physique. The amounts of air bubbles produced at entry and during the glide period of the start phase were analyzed by the binalization method and their kinetic parameters were measured. All of the subjects performed a streamline posture for up to about 10 m after entry into the water. It was found that transit time (at the 5- and 7-m points) became significantly shorter and the deceleration rate significant reduced as the amount of air bubbles increased. Moreover, transit time was found to be related to the physique index. However, after adjustment for the influence of physique, air bubble production was no longer related to transit time, and in fact showed a significant negative correlation with the deceleration rate. In conclusion, these results suggest that both frictional resistance and the deceleration rate can be reduced by swimming in air bubbles from entry to the glide period at the start of swimming.

I 研究目的

競泳のレース局面構造は、「スタート局面」、「ストローク局面」、「ターン局面」、「フィニッシュ局面」に分類される。スタート局面は、スタートしてから15m通過するまでの区間であり、スタートシグナル後、陸上から水中に向かって飛び込むため、スタートからゴールタッチするまでの間で最も高い速度を得る区間である。このスタート局面がレースに占める割合を第96回競泳日本選手権の男子の決勝レース出場者8名の平均タイ

ムと比較すると、競泳種目の中で最も距離が長い種目である1500m自由形のスタート局面の割合はトータルタイム15分19秒35のうち0.71% (6秒51)であるのに対し、短距離種目である50m自由形では22秒40のうち24.18% (5.42秒)、100m自由形では49秒25のうち11.39% (5.61秒)であった¹⁾。当然ながら、距離としての割合も1500m自由形が1%に対して50m自由形では30%を占める。従って、短距離種目のスタート局面は時間及び距離の占める割合が大きく、その高い速度をストローク局面まで維持し、その区間を

いかに速く通過するかがゴールタイムに大きく影響すると言える。先行研究においても、Counsilman et al.²⁾は10yard通過タイムと100yardの自由形の記録に高い相関関係が見られることや若吉ほか³⁾も100m自由形の平均泳速とスタート局面の平均泳速との間に男女とも有意な相関がみられたと報告しており、特に短距離種目においてスタート局面の重要性が明示されている。

スタート局面は、スタートシグナルが鳴ってから泳者の足先がスタート台から離れるまでの時間の「ブロック期」、足先がスタート台を離れてから指先が入水するまでの時間の「フライト期」、指先が入水してから足先まで完全に入水するまでの時間の「エントリー期」、足先が入水してからキック動作が開始されるまでの時間の「グライド期」の4つに分けられる⁴⁾。競泳スタートの研究は様々な視点から行われているが、主にブロック期に着目した研究が多い。なぜなら、レース中に最も速い速度が得られるのはスタート台から離台した瞬間であり、その跳び出し水平速度はその後の通過時間と高い関係があるとされるからであろう^{5, 6)}。つまり、スタートパフォーマンスにおけるブロック期の重要性はきわめて高いと言える。しかしながら、競泳のスタートにおいて空中に飛び出すブロック期からフライト期はレース中で最も高い推進力を獲得することができるが、身体が入水するエントリー期には空気よりも高い密度である水に接し身体を覆うため、水から受ける抵抗を軽減する技術を工夫できなければ大幅に減速してしまう。Takeda et al.⁷⁾は、初速度がグライド局面に影響することから初速度を可能な限り長く維持することが重要であること、堀畑ほか⁸⁾もスタートで得られた速度を維持するために入水して抵抗が増加するエントリー局面及び推進動作のないグライド局面が重要であると述べている。従って、レース中の最大速度からの減速をいかに抑えるかがエントリー期からグライド期における重要な課題となる。谷川ほか⁹⁾は、入水後の摩擦抵抗の低減のために、船舶や魚雷のような高速で水中を航走する物体の先端でスーパーキャビテーションを発生させて航走体全体を気層

で覆う現象に着目した。スーパーキャビテーション現象とは、液体中において物体の速度上昇した際に発生するキャビテーション（気泡）が物体全体を覆うまで発達した状態のことである¹⁰⁾。つまり、入水時に発生する気泡の中を推進することができれば水との摩擦抵抗が軽減されてタイムの短縮に繋がると考え、着水後の速度と気泡の関係を検討した。その結果、水平方向の速度と身体周辺の気泡量の間に有意な相関関係が認められ、水平方向の速度が速い場合、身体が気泡の中を推進している可能性を示唆した。この研究に基づけば、入水時に必ず生み出す気泡に着目することで、新たな視点からのスタート動作改善の示唆が得られるかもしれない。しかしながら、入水時の気泡の発生や泳速度に影響するであろう体格との関係は未だ検討されていない。

本研究では、空中から水中への身体の移行が起こるエントリー期からグライド期に着目し、入水後の気泡と潜行指標との関係について画像処理手法を用いて分析するとともに、それらに関わる体格の影響を検討し、スタート改善のための新たな指標となり得るか検討することを目的とした。

II 研究方法

1. 被験者特性

被験者は、大学水泳部に所属する19名（男子10名、女子9名）であり、全ての選手は大学の全国大会に出場経験を有するレベルであった。被験者には、事前に研究主旨および内容を十分に説明し、研究への参加同意が得られた者のみを対象とした。また、測定はトレーニング等による疲労の影響を受けない期間に設定した。

2. 測定方法

被験者の体格特性について、Komiyama et al.¹¹⁾に従い身長は0.1cm単位、体重は0.1kg単位で測定し、Body Mass Index (BMI, kg/m^2)は体重(kg)／身長(m)²から算出した。体表面積はDuBois et al.¹²⁾の式により算出した。

スタート測定は、OMEGA社製の移動式バックプレート付きスタート台が設置されている屋内25m×6レーンのプールを利用した。被験者に

は任意のウォーミングアップを十分に行わせた後、実際のレース同様の水着、スイムキャップ着用スタート試技を行わせた。試技回数は1回とし、明らかな失敗試技の場合は十分な休息の後、再度同様のスタート試技を行わせた。今回の測定では、泳力差及びキックによる推進力を考慮しないために着水後は10m程度グライド姿勢を維持するよう指示した。

撮影は、スタート台より験者の合図でスタートしてから潜行10m程度までの区間を被験者の左側から行った。被験者のスタート台上動作から入水までを撮影できる地点に陸上ビデオカメラ(HDR-CX900, SONY社製)を、また水中には全身の入水から大転子が7.0m地点を通過するまでの区間を撮影できる位置に画角を設定した水中ビデオカメラ(GZ-RX600, JVCケンウッド社製)をそれぞれ光軸と試技面が直交するようにプールの5.0m地点に三脚を用いて固定した。また、カメラは解析度1920×1080p、フレーム数は60fpsで設定した。

二次元動作分析のキャリブレーションには2mの棒にカラーテープ(赤色、白色)で10cm毎が分かるように目盛りをマークしたものをを用いて、撮影の前後にスタート台上、陸上5m地点、被験者が入水し潜行するレーンライン上の3m、5mおよび7m地点で垂直・水平方向に験者が棒を持って撮影し、実長換算を行った。

被験者の身体部位の座標を算出するために、動作分析用のマーカーとして綿粘着包帯およびカラービニルテープを使用した。マーカー点は被験者の飛び込みから泳動作中の各骨格位置を確定するために使用し、中手指節関節、肘関節、肩峰、肋骨下端、大転子、膝関節、外踝のそれぞれ左側、合計7箇所にした。肩峰はけのび姿勢をとった際に側面から見える位置にマーキングをした。なお、マーカー点は水中の動作分析を行うにあたり、被験者の泳動作中の各骨格位置を動作分析時に確定するために有効であった。

測定項目は、飛距離(cm)は壁から指尖の入水位置の距離とし、指尖入水時に指尖と大転子を結ぶ線分が水面となす角度を入水姿勢角(deg)、肘関節と肩峰を結ぶ線分と肩峰と肋骨下端を結ぶ

線分がなす角度を肩関節角度(deg)、肩峰と肋骨下端を結ぶ線分と肋骨下端と大転子を結ぶ線分がなす角度を腰関節角度(deg)、指尖と大転子を結ぶ線分と大転子と膝関節が結ぶ線分がなす角度を体幹角度(deg)、大転子と膝関節を結ぶ線分と膝関節と外踝を結ぶ線分がなす角度を下腿角度(deg)とした。また、肩峰入水時に肩峰と肋骨下端を結ぶ線分が水面となす角度を肩入水角度(deg)、大転子入水時に大転子と膝関節を結ぶ線分が水面となす角度を大転子入水角度(deg)、膝関節入水時に膝関節と外踝を結ぶ線分が水面となす角度を膝入水角度(deg)とした。さらに、指尖入水時から大転子が壁から5.0m及び7.0m地点を通過する時間(sec)、大転子入水後3.0mから5.0m地点の区間を潜行する速度に対する5.0mから7.0m地点の区間の速度の減速率(%)を算出した。

3. 分析方法

撮影した映像はDARTFISH 8.0(ダートフッシュジャパン社製)を用いて、撮影時に行ったキャリブレーションから実測値を算出し、飛距離、5.0m及び7.0m地点通過速度を算出した。また、試技前に被験者に施した身体部位の座標から各関節角度、水面を基準面として各身体部分の入水角度の分析を行った。気泡の評価は画像分析ソフトAdobe Photoshop Elements 11(Adobe社製)を用いて、全身入水時の身体を含めた身体周辺の気泡を選択範囲ツールで切り取り、身体及び身体周辺の気泡以外の部分を二値化した(図1)。頻度のヒストグラム分析を用いて全ピクセル数及びレベル0のピクセル数(pixel)を算出し、式Aより全ピクセル数からレベル0のピクセル数を引いた値を求めた。足部まで完全入水した瞬間の画像より身体と気泡を合わせたピクセル数を「身体気泡量」、グライド姿勢での潜行中に身体周辺から

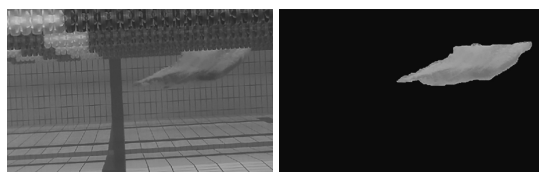


図1. 気泡量の分析の前後の画像

気泡がなくなった際の身体のみを切り取ったピクセル数を「身体量」とした。「身体気泡量」から「身体量」を引いたものを「気泡量」とし(式B),「気泡量」を「身体量」で除した値を「気泡身体比」とした(式C).

統計分析的検討には、統計分析プログラムSPSS Statistics Version 24 (IBM社製)を用いた。各測定項目の結果は平均値と標準偏差で示し、男女差は対応のないt検定を、各測定値と身体気泡量、気泡量及び気泡身体比との関係はピアソンの相関係数により評価した。なお、危険率は5%未満とした。

身体気泡量(pixel)：全身入水の瞬間

身体量(pixel)：潜行中身体周辺から気泡がなくなった時

= 全ピクセル数(pixel)

- 頻度レベル0のピクセル数(pixel) ……式A

気泡量(pixel)

= 身体気泡量(pixel) - 身体量(pixel) ……式B

気泡身体比(pixel)

= 気泡量(pixel) / 身体量(pixel) ……式C

表1. 被験者の体格における性差

	男子	女子	性差
n	19	10	
年齢	19.3 ±0.9	19.3 ±1.4	n.s.
身長, cm	177.6 ±4.0	161.8 ±5.3	p<0.001
体重, kg	68.6 ±6.4	55.9 ±6.8	p<0.01
Body Mass Index, kg/m ²	21.7 ±1.4	21.3 ±1.7	n.s.
体表面積, m ²	1.85 ±0.10	1.59 ±0.11	p<0.001
平均±標準偏差	n.s. : non significant		

表2. 運動学的指標と気泡量に関する指標における性差

	男子	女子	性差
飛距離, cm	253.1 ±174.0	186.6 ±141.5	n.s.
入水姿勢角, deg	36.7 ±4.6	45.2 ±10.4	<0.05
肩関節角度, deg	158.7 ±7.6	153.0 ±12.4	n.s.
腰関節角度, deg	160.3 ±32.2	155.6 ±19.0	n.s.
体幹角度, deg	172.4 ±7.6	160.6 ±12.9	n.s.
下腿角度, deg	173.0 ±11.2	173.1 ±5.5	n.s.
肩入水角度, deg	26.3 ±9.8	32.1 ±13.3	n.s.
大転子入水角度, deg	43.7 ±11.9	48.4 ±11.4	n.s.
膝入水角度, deg	55.0 ±16.4	72.6 ±16.1	p<0.05
5.0m大転子通過時間, sec	0.76 ±0.13	1.13 ±0.27	p<0.01
7.0m大転子通過時間, sec	1.86 ±0.22	2.49 ±0.48	p<0.01
減速率, %	39.3 ±13.9	53.8 ±8.5	p<0.05
身体気泡量, pixel	73725.1 ±10712.8	53700.8 ±9108.1	p<0.001
気泡量, pixel	42620.6 ±7207.7	31345.8 ±7662.9	p<0.01
身体量, pixel	31104.5 ±5210.3	22355.0 ±2439.0	p<0.001
気泡身体比	1.39 ±0.23	1.40 ±0.30	n.s.
平均±標準偏差	n.s. : non significant		

Ⅲ. 結果

表1には被験者の身体特性を示した。身長は男子 177.6 ± 4.0cm, 女子 161.8 ± 5.3cm (p<0.001), 体重は 68.6 ± 6.4kg, 女子 55.9 ± 6.8kg (p<0.01), 体表面積は 1.85 ± 0.10m², 女子 1.59 ± 0.11m² (p<0.001) と男子が有意に体格が大きい結果を示した。BMIには性差は見られなかった。

映像分析から得られた運動学的指標及び気泡量に関する指標を表2に示した。飛距離は男子 253.1 ± 174.0cm, 女子 186.6 ± 141.5cmであったが、有意差が見られなかった。指尖入水開始時の入水姿勢角は、男子 36.7 ± 4.6deg, 女子 45.2 ± 10.4deg と男子が有意に鋭角に入水する結果であったが (p<0.05), その他の身体角に有意差は見られなかった。また、肩関節・大転子・膝関節

の入水時の身体と水面となす角度については、膝関節で男子 55.0 ± 16.4deg, 女子 72.6 ± 16.1deg と女子が有意に身体が起きた状態で入水する結果を示した (p<0.05)。

5.0m 大転子通過タイムは男子 0.76 ± 0.13sec, 女子 1.13 ± 0.27sec (p<0.01), 7.0m 大転子通過タイムは男子 1.86 ± 0.22sec, 女子 2.49 ± 0.48sec (p<0.01) と男子が有意に速い結果を示し、減速率も男子 39.3 ± 13.9%, 女子 53.8 ± 8.5% と男子が有意に低かった (p<0.05)。

また、画像分析より算出した身体量は男子 31104.5 ± 5210.3pixel, 女子 22355.0 ± 2439.0pixel (p<0.001) と表1の結果と同様に男子の体格が有意に大きい結果を示した。気泡量の項目については、身体気泡量は男子 73725.1 ± 10712.8pixel, 女子 53700.8 ± 9108.1pixel (p<0.001), 身体気泡量

表3. 気泡量に関する指標と運動学的指標との相関関係

	飛距離	入水姿勢角	肩関節角度	腰関節角度	体幹角度	下腿角度	肩入水角度	大転子入水角度	膝入水角度	5m大転子通過時間	7m大転子通過時間	減速率
身体気泡量	0.558 <i>p</i> <0.05	-0.449 <i>n.s.</i>	0.336 <i>n.s.</i>	-0.269 <i>n.s.</i>	0.499 <i>p</i> <0.05	0.215 <i>n.s.</i>	-0.336 <i>n.s.</i>	-0.090 <i>n.s.</i>	-0.179 <i>n.s.</i>	-0.691 <i>p</i> <0.01	-0.633 <i>p</i> <0.01	-0.620 <i>p</i> <0.01
気泡量	0.565 <i>p</i> <0.05	-0.378 <i>n.s.</i>	0.374 <i>n.s.</i>	-0.284 <i>n.s.</i>	0.461 <i>p</i> <0.05	0.158 <i>n.s.</i>	-0.404 <i>n.s.</i>	-0.033 <i>n.s.</i>	-0.104 <i>n.s.</i>	-0.609 <i>p</i> <0.01	-0.548 <i>p</i> <0.05	-0.549 <i>p</i> <0.05
気泡身体比	0.271 <i>n.s.</i>	0.107 <i>n.s.</i>	0.147 <i>n.s.</i>	-0.176 <i>n.s.</i>	0.062 <i>n.s.</i>	-0.047 <i>n.s.</i>	-0.297 <i>n.s.</i>	0.187 <i>n.s.</i>	0.204 <i>n.s.</i>	0.005 <i>n.s.</i>	0.043 <i>n.s.</i>	0.001 <i>n.s.</i>

上段：相関係数, 下段：統計学的検討 n.s.: non significant

表4. 体格と気泡量に関する指標との相関関係

	身体気泡量	気泡量	気泡身体比	5m大転子通過時間	7m大転子通過時間	減速率
身長	0.724 <i>p</i> <0.001	0.690 <i>p</i> <0.001	0.114 <i>n.s.</i>	-0.730 <i>p</i> <0.001	-0.757 <i>p</i> <0.001	-0.415 <i>n.s.</i>
体重	0.592 <i>p</i> <0.01	0.514 <i>p</i> <0.05	-0.044 <i>n.s.</i>	-0.620 <i>p</i> <0.01	-0.667 <i>p</i> <0.01	-0.245 <i>n.s.</i>
体表面積	0.669 <i>p</i> <0.01	0.599 <i>p</i> <0.01	0.019 <i>n.s.</i>	-0.679 <i>p</i> <0.01	-0.719 <i>p</i> <0.01	-0.319 <i>n.s.</i>

上段：相関係数, 下段：統計学的検討 n.s.: non significant

表5. 体格を調整した気泡量指標と大転子通過時間及び減速率との関係

制御変数	5m大転子 通過時間	7m大転子 通過時間	減速率
身体気泡量	-0.434	-0.294	-0.576
	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>p<0.05</i>
体表面積	-0.344	-0.210	-0.472
	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>p<0.05</i>
気泡身体比	0.024	0.082	0.007
	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

上段：相関係数，下段：統計学的検討 *n.s.*：non significant

から身体量を減じた気泡量は男子 42620.6 ± 7207.7 pixel, 女子 31345.8 ± 7662.9 pixel ($p<0.001$) と共に男子が有意に高い結果を示したが、気泡量を身体量で除した気泡身体比には性差が認められなかった。

表3は、気泡量に関する指標と運動学的指標及び通過時間との相関関係を全被験者で示している。身体気泡量及び気泡量と飛距離（ともに $p<0.05$ ）、体幹角度（ともに $p<0.05$ ）は有意な正の関係を示した。また、身体気泡量及び気泡量が多くなると、5m大転子通過時間（ともに $p<0.01$ ）、7m大転子通過時間（それぞれ $p<0.01$, $p<0.05$ ）は短くなり、減速率（それぞれ $p<0.01$, $p<0.05$ ）も低下する有意な負の関係を示した。しかし、気泡身体比と各項目には有意な関係性は認められなかった。

表4は、人体計測による体格と気泡の指標との関係を示している。身長、体重、体表面積が大きいほど身体気泡量（それぞれ $p<0.001$, $p<0.01$, $p<0.01$ ）、気泡量（それぞれ $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$ ）は有意に多い関係を示した。しかしながら、気泡身体比及び減速率とは有意な関係を示さなかった。

気泡量及び体格ともに大転子通過時間及び減速率と有意な関係性を示すため、偏相関分析により体格（体表面積）の影響を除去し、気泡量と大転子通過時間及び減速率との関係を表5に示した。その結果、身体気泡量及び気泡量は5m及び7

m大転子通過時間との間に関係性が見られなくなったが、減速率とは有意な負の相関関係を示した（ともに $p<0.05$ ）。気泡身体比はいずれも有意な関係を示さなかった。

IV. 考察

本研究は、スタート局面のエントリー期からグライド期に着目し、入水後の気泡量が潜行能力に影響するかを性差及び体格を含めて検討することを目的とした。谷川ほか⁹⁾は水平方向の推進速度と気泡量、そして鉛直方向の速度変動と気泡量の相関関係を明らかにし、キャビテーションにより推進時の摩擦抵抗を低減する可能性を示した。本研究では、性別にスタート局面の動作及び気泡量について評価したが、入水姿勢角及び膝入水角度に動作の違いがあったものの気泡量指標との関係性はなく、また、気泡量指標にも有意差があったが身体量の影響を除いた気泡身体比に差はなく、通過速度の性差は体格によるものの可能性が考えられた。そこで、全被験者を対象に身体気泡量、気泡量及び気泡身体比と運動学的指標との関係を見たところ、飛距離が大きく、指尖入水時の体幹角度が大きい（直線に近い）方が入水時気泡量が多くなり、5m及び7m大転子通過時間が短くなる関係を示した。つまり、気泡を多く纏う方が潜行速度が速くなる結果と見える。しかし、身長、体重、体表面積といった体格と気泡量の指標との関係を見ると、体格が大きい方が明らかに気

気泡量は多くなる関係を示し、さらに体格が大きい方が5m及び7m大転子通過時間が短くなる結果を示した。つまり、本結果では身体近辺に気泡量を多く纏っている者が潜在能力が高いこととは直結せず、5m及び7m時点の潜行速度には体格の大きさの影響がある可能性が示された。そこで、身長と体重から算出した体表面積により体格の影響を調整して、気泡量の指標と5m及び7m大転子通過時間、減速率との関係を見ると、気泡量が通過時間を短縮する可能性はなかったが、気泡量が多いほど減速率は低くなる結果を示した。この気泡量と減速率の関係は、体格を調整する前よりも後が $r = 0.04 \sim 0.08$ 程度しか関係性が薄くならず、つまり、スーパーキャビテーション現象¹⁰⁾により摩擦抵抗が低減され、減速率を低下させる可能性が考えられた。このことは、スタート局面において気泡をスタート技術改善の指標として検討することがグライド期の時間を短縮に繋がる示唆となるかもしれない。図2は被験者のうち7m大転子通過速度が最も低かった選手と最も高かった選手の入水後0.25sec後の画像である。一例ではあるが、最も高かった者は気泡の中を入水し気泡を身体に纏っている様に見える摩擦抵抗を減らしている可能性があり、逆に最も低かった者は気泡が身体に纏わず気泡下を潜行しているように見える。このことが通過時間へ影響していることが推察できる。

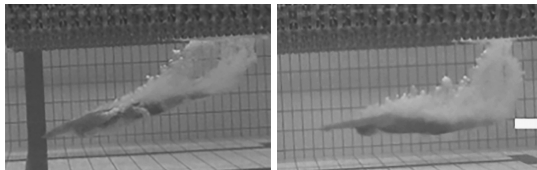


図2. 7m大転子通過時間が最も高かった者(左図)と最も低かった者(右図)の身体に纏う気泡の違い

以上のことから、スタートのエントリー期からグライド期の技術について気泡に着目すると、気泡を多く纏って潜行することにより摩擦抵抗の軽減を導き、潜行時の減速率を低下させる可能性が考えられ、また、体幹角度を大きくし飛距離を高めることが気泡量を高めることに繋がるかもしれない。近年では、水中映像を手軽に撮影できる機器も身近にあり、気泡に着目することがスタート

技術改善の新たな視点の1つとなるかもしれない。

しかしながら、本研究の限界として、分析は二次元動作分析を用いており、側面からの気泡量に限定して検討せざるを得なかった。また、谷川ほか⁹⁾は指尖と臀部を結ぶ背中のラインが直線に近いことが身体近辺に気泡を多く纏い、それが曲線に近いと気泡が少ないことを示しているが、本研究では入水後の姿勢には言及できていない。さらに、本研究では身体近辺の全気泡量を提示しているため、身体の上部と下部に起こる気泡を分割して分析することが気泡の中を潜行できているかを示す材料となるであろう。今後、映像分析の方法を再検討、詳細にすることにより競泳のスタート技術向上の新たな指標を提示できるのではないかと考える。

本研究は、平成30年および令和元年度愛知教育大学卒業論文(提出者:半田将也,小鷹慎,小久保紗由佳)の内容を再検討し、データの再分析等を行って執筆されたものである。

V. 引用・参考文献

- 1) 日本水泳連盟科学委員会: レース分析プロジェクト. 第96回日本選手権水泳競技大会. <http://kizahashi.co.jp/JASF/PDF/>. (最終閲覧日: 2021年1月14日)
- 2) Councilman JE, Councilman BE, Nomura T, et al.: Three types of grab starts for competitive swimming. International Series on Sport Sciences, VIII SWIMMING V: 81-91, 1988.
- 3) 若吉浩二, 宮下充正, 河合正治, ほか: 競泳におけるスタートの分析. 第9版日本体育協会スポーツ科学委員会編(日本体育協会スポーツ医・科学研究報告競技種目別競技力向上に関する研究): 39-43, 1996.
- 4) 奥野景介, 生田泰志: 競泳の科学. 競泳のレース分析. 日本水泳連盟編, 水泳コーチ教本第2版: pp173-176, 2005.
- 5) 吉田章, 齊藤慎一: 競泳におけるスタート動作の分析. 筑波大学体育科学系紀要4: 49-

54, 1981.

- 6) 本間正信, 生田泰志, 宮地力: 競泳スタートの水中動作分析. 第13回日本バイオメカニクス学会編, 身体運動のバイオメカニクス: pp379-384, 1997.
- 7) Takeda T, Ichikawa H, Takagi H, et al.: Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl. *Journal of Sports Science* 27 (13) : 1449-1454, 2009.
- 8) 堀畑裕也, 仁木康浩, 柏木悠, ほか: 男子競泳選手におけるスタート局面のタイムに影響を与える要因-エントリー局面からグライド局面に着目して-. 星薬科大学一般教育論集 32 : 45-57, 2014.
- 9) 谷川哲郎, 来田宣幸, 野村照夫: 気泡はスタート技術を向上させるか? 日本体育学会第61回大会, 09. 体育方法, 一般発表抄録: 217, 2010.
- 10) 土屋繁樹, 内堀洋, 大島明, ほか: スーパーキャピテーションによる水中高速航走に関する基礎研究. 三菱重工技法 50 (3) : 78-82, 2013.
- 11) Komiya S, Eto C, Otoki K, et al.: Gender differences in body fat of low- and high-body-mass children: relationship with body mass index. *Eur J Appl Physiol* 82 : 16-23, 2000.
- 12) DuBois D, DuBois EF: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med* 17 : 863-871, 1916.