

2011年度 修士論文

競泳自由形種目におけるスタート局面で用いる  
ストローク技術の特異性について

An Analysis of the Stroke technique for  
Starting phase in Front crawl.

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科  
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5010A010-8

伊藤 秀兵  
Shuhei Ito

研究指導教員： 奥野 景介 教授

# 目次

<b>第1章 緒言</b> .....	1
1-1. はじめに ～日本の自由形種目の現状～ .....	2
1-2. クロール泳のストローク動作 .....	3
1-3. 競泳競技におけるスタート局面 .....	7
1-4. 浮き上がり動作 .....	12
1-5. スタート局面で用いるストロークについての先行研究 .....	15
1-6. 研究目的 .....	17
<b>第2章 実験方法</b> .....	18
2-1. 被験者 .....	19
2-2. 試技 .....	20
2-3. 実験設定 .....	21
2-4. 測定項目 .....	23
2-4-1. 分析の対象となるストローク動作 .....	23
2-4-2. 座標系の定義 .....	24
2-4-3. 測定項目および変数の定義 .....	24
2-5. 解析方法 .....	26
2-6. 統計処理 .....	26
<b>第3章 結果</b> .....	27
3-1. 試技における泳パフォーマンス .....	28
3-2. スタート局面で用いるストロークとストローク局面で用いるストロークの比較 .....	31
3-3. 各変数の相関関係 .....	37
<b>第4章 考察</b> .....	39
4-1. スタート局面で用いるストロークが行われる時の大転子速度 .....	40
4-2. スタート局面で用いるストロークの特異性 .....	42
4-2-1. ストローク前半局面における特異性 .....	42
4-2-2. ストローク後半局面における特異性 .....	47
4-3. スタート局面で用いるストロークのパフォーマンス決定因子 .....	48
4-4. 浮き上がり動作におけるパフォーマンス向上への示唆 .....	49

4-5. 今後の課題.....	51
4-6. 結論 .....	53
<b>参考引用文献.....</b>	<b>55</b>
<b>謝辞.....</b>	<b>61</b>

## 図表一覧

表 1 競泳 100m 種目における 2011 年度世界ランキングトップ 16 に占める各国の人数 .....	2
図 1 クロール泳を横から撮影した水中映像写真.....	4
図 2 クロール泳におけるストロークの局面分け .....	5
表 2 近年の世界大会における 100m 自由形の結果.....	8
図 3 スタート局面速度 とレース平均速度 との関係.....	9
図 4 (a) スタート局面の模式図 (b) 身体重心の位置変化.....	12
図 5 Changes in swimming speed during maximal-effort dives of swimmers A and B ...	13
図 6 入水から水中動作への一連の動作 .....	15
表 3 各泳者の身体特性と競技水準 .....	19
図 7 実験のセットアップ図.....	21
図 8 (左): ストローク半径の定義図 (右): 手掌部角度の設定 .....	25
表 4 泳者別の泳パフォーマンス一覧.....	28
図 9 全泳者の PS, FS, CS の大転子速度の平均的な推移パターン .....	29
図 10 泳者別の PS, FS, CS の大転子速度の比較.....	30
表 5 FS と CS の各変数比較 .....	31
図 11 FS と CS の肩峰に対する平均的な指尖部の軌跡 .....	32
図 12 FS と CS の解析開始地点を原点とした時の平均的な指尖部の軌跡 .....	33
図 13 FS と CS の時間経過に伴うストローク半径の平均的な変化パターン .....	34
表 6 FS と CS におけるストローク半径の比較.....	35
図 14 FS と CS の手掌部角度の平均的な変化パターン .....	36
表 7 FS における相関マトリックス .....	37
表 8 各泳パフォーマンスにおける相関マトリックス.....	38
図 15 泳者 C および泳者 F の大転子速度変化.....	40
表 9 FS 前半と CS 前半における肘関節と肩峰の距離および肘関節と指尖部の距離 .....	42
図 16 FS 前半と CS 前半の肘関節と肩峰間距離の平均的な変化パターン .....	43
図 17 バルセロナ五輪選考会における 400m 自由形決勝進出者 M の指尖部の移動軌跡 .....	44
図 18 FS と CS の大転子鉛直成分の平均的な変化パターン .....	46
図 19 手掌部角度の最大値の比較.....	47
図 20 分析開始地点を原点とした時の泳者 D, 泳者 J, 泳者 K の指尖部軌跡の比較 .....	50

# 第 1 章 緒言

## 1. 緒言

### 1-1. はじめに ～日本の自由形種目の現状～

競泳4種目の中で自由形と呼ばれる種目では、その泳法に制限がなく、ルール上はどのような泳ぎ方をしても良い。しかし、自由形種目に出場する競技者はクロール泳を採用するのがほとんどであり、自由形種目はクロール泳を指すのが一般的である。他の3種目と比較して、クロール泳は力学的に最も合理的で、かつ生理学的にみて最も効率が良い泳法であるからである（宮下，1994）。

さて、日本の自由形短距離種目は世界から最も遅れを取っている種目でもある。現在、オリンピックや世界選手権といった国際大会では予選競技の16位以上が準決勝に進出できるシステムを採用していることから、世界ランキング16位は世界的な競技力を図るひとつの指標として用いる事ができる。表1は各100m種目における2011年度の世界ランキング上位16位にランクインした人数を表したものである。

表1 競泳100m種目における2011年度世界ランキングトップ16に占める各国の人数

MEN							
100m 自由形		100m 背泳ぎ		100m 平泳ぎ		100m バタフライ	
USA	3	USA	4	JPN	3	USA	4
FRA	3	FRA	2	USA	2	GER	2
AUS	2	JPN	2	AUS	2	POL	1
ITA	2	AUS	2	BRA	2	KEN	1
CAN	1	GER	1	NOR	1	JPN	1
BRA	1	GBR	1	ITA	1	RUS	1
RSA	1	NZL	1	RSA	1	AUS	1
GER	1	ESP	1	HZL	1	NED	1
NED	1	RUS	1	HUN	1	HUN	1
POL	1	NED	1	LTU	1	SRB	1
				FRA	1	BRA	1
						GBR	1

WOMEN							
100m 自由形		100m 背泳ぎ		100m 平泳ぎ		100m バタフライ	
USA	5	USA	3	USA	3	USA	3
AUS	2	AUS	2	AUS	3	AUS	3
NED	2	CHN	2	CHN	2	CHN	3
DEN	1	JPN	2	JPN	2	GBR	3
BLR	1	GBR	2	RUS	1	SWE	1
GBR	1	NED	2	DEN	1	NED	1
FRA	1	RUS	1	CAN	1	JPN	1
CHN	1	CAN	1	GER	1	CAN	1
GER	1	UKR	1	NED	1		
RUS	1			ITA	1		

※国際水泳連盟(FINA)公式ホームページ(<http://www.fina.org/>)より作成。  
 ※国名はIOCコードを参照。  
 ※ランキングは2011年9月27日現在のものとした。

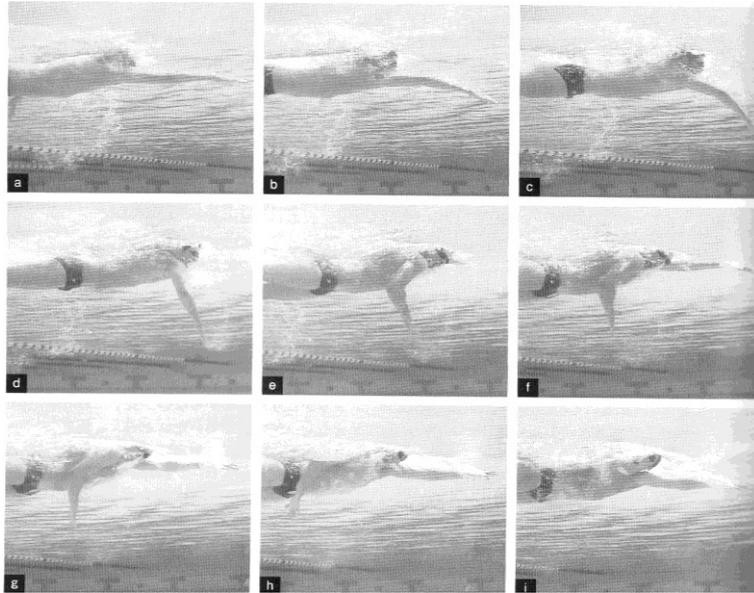
表 1 から、米国（ USA ）や豪州（ AUS ）はほぼ全ての種目で複数名の選手がランクインしていることがわかり、高いレベルでの選手層の厚さがうかがえる。また、日本は自由形を除く全ての種目でランクインしており、背泳ぎと平泳ぎでは世界トップレベルの選手を複数名輩出していることが見てとれる。

しかしながら、自由形種目に関しては男女共に米国や豪州の他、その他欧州諸国の国がランキングを占めており、日本からのランクインは皆無であった。100m 自由形の競技力はフリーリレーやメドレーリレーの順位にも大きく関わってくる。従って、この種目の強化が日本の水泳界にとっては急務であるといえる。

## 1-2. クロール泳のストローク動作

クロール泳における推進力は上肢によるストローク動作と、下肢によるキック動作によるものであるが、キック動作は主に下肢を持ち上げる為に用いられるものであり（中島，2004）、クロール泳においては全体の 7~8 割以上が上肢のストローク動作によって発揮されている（Deschodt et al, 1999）。ゆえに、クロール泳における競技力には、ストローク動作の貢献度が非常に大きいといえる。

マグリシオ（2005）によると、クロール泳のストローク動作は、泳者が前方へと移動する身体重心速度とストローク動作の指尖部の動きの移動速度が描く波状曲線が類似していることから、ストローク周期と同調した身体重心速度の変動に基づき、（i）入水と前伸び、（ii）ダウンスweep、（iii）キャッチ、（iv）インスweep、（v）アップスweep、（vi）リリースとリカバリー、という 6 つの局面に分割できるとされている（図 1）。



- (a) 右腕はダウンスイープを開始. 左腕はアップスイープを終了
- (b) 右腕はダウンスイープの最中. 左腕はリカバリー
- (c) 右腕はキャッチの瞬間. 左腕はリカバリー
- (d) 右腕はインスイープの中間部分. 左腕はリカバリー
- (e) 右腕はインスイープを終了. 左手は入水
- (f) 右腕はインスイープからアップスイープへ移行する瞬間. 左腕は前伸び
- (g) 右腕はアップスイープ. 左腕は前伸び
- (h) 右腕はアップスイープを終了. 左腕は前伸び
- (i) 前腕リカバリー. 左腕はダウンスイープを開始

図 1 クロール泳を横から撮影した水中映像写真（マグリシオ，2005）

また，市川ら（2000）は泳動作中の手首部の加速度に関する分析から

- ( i ) ストレッチ局面：水中で腕を前方に伸ばす局面
  - ( ii ) 推進局面：腕による掻き動作によって推進力を得られると考えられる局面
  - ( iii ) リカバリー局面：水中での動作が終了し再度掻きを行うために次のエントリー動作まで腕部が空中を移動する局面
- の 3 つに分類しており，マグリシオ（2005）が報告したものよりも大きく局面分けを行っている（図 2）。

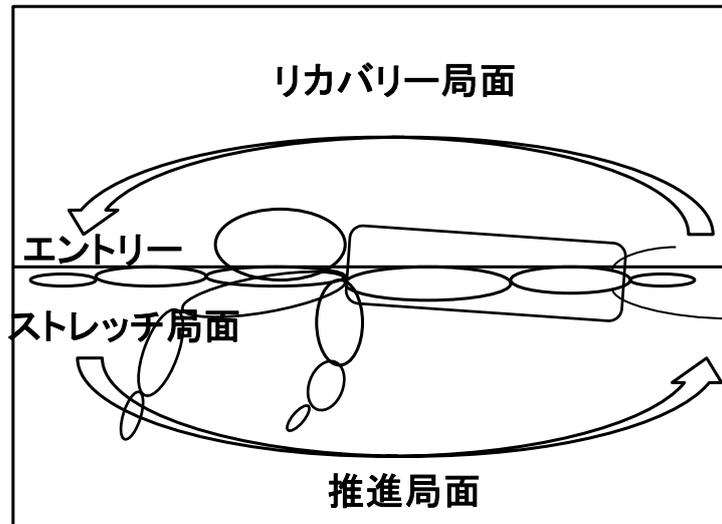


図 2 クロール泳におけるストロークの局面分け（市川ら，2000 を基に作成）

なお，市川ら（2000）は 1 ストローク中における各局面の時間比率を調整する事によって泳速度の調整が行われている事を同時に報告している。

さて，この 3 つの局面の中で一番大きな推進力を生み出す局面は推進局面であるため，この局面における先行研究が数多く存在する。

Counsilman（1969）は熟練された水泳選手が泳者を下方向から観察した時，指尖部が S 字型の軌跡を描いてストロークを行っていることを発見し，S 字型プル泳法を考案した。S 字プル泳法では，推進方向に対して水を斜めに切るように動かす（スイープ動作）ことで揚力を得られることができるとし，揚力および抗力の合力を推進力として使っていると報告された。Schleihauf（1974）は，手掌部の石膏モデルを用いた抵抗測定実験を実施し，水流に対する手掌面の傾き（迎え角）と手掌部に流入する水流の角度（流入角）を変化させた際の抗力および揚力の測定を行い，その結果泳者は泳いている際にスイープ動作により迎え角が揚力を生み出し，それが推進力として作用しているとし，Counsilman

の理論を支持した。

しかしながら、近年では伊藤（2007）により、手掌部から発生する揚抗力を計算すると大きく最大推力モード、最大効率モードに分ける事が可能であり、その結果従来の S 字プル泳法が最大効率モード、最大推力モードは手掌部を真っ直ぐに掻く I 字プル泳法であるということが報告されている。それ故、現在では国内外の一流泳者の多くが I 字プル泳法を採用している（伊藤，2007）。

その他、泳者が手部で発揮する流体力は推進力に大きく貢献することから、流体力学を利用してストローク動作中に手掌部と前腕部から生じる推進力の比率を求めたもの（伊藤，2007）や、非定常流体力を考慮した数値流体シミュレーションモデルを開発したもの（中島ら，2005）、ストロークの動作分析と PIV（Particle Image Velocimetry）計測法を組み合わせ動作と渦の関係を解明したもの（松内ら，2007）などが先行研究として存在し、現在までに多種多様なアプローチ、方法でストローク動作の研究が展開されている。

ただし、国内外を問わずトップレベルのクロール泳者を被験者とした研究は比較的数量が少なく、競技力の高い選手の実際の動作が解明されていないのが現状である。その事から、佐藤ら（2008）は国内トップレベルのクロール泳者を対象としてクロール泳におけるストロークの動作形態を分析した。この研究は被験者全員が日本選手権に出場したクロール泳者であり、試技の身体重心速度を基準にそれらの被験者を Fast 群と Slow 群に分類し、2 群間にけるストローク動作の差異を比較検討してしたものである。解析項目は、試技の映像からクロール泳における両腕 1 ストロークを抽出し、その動作時間、軌跡長、平均動速度といったストローク変数を 3 次元 DLT 法により算出、それらのストロークパラメータ

と試泳時平均泳速度および身体重心平均速度との相関関係を求めた研究である。

その結果、Fast 群の被験者はストローク前半局面の動速度が速く、ストローク後半局面の動作を短時間で行っていることが解り、また、それを実現させるためにストローク後半局面までのストローク動作を深い位置で行うことが関係している事が推察された。しかしながら、Slow 群の被験者ではその関連性が見られず、ストローク後半局面まで深い位置でストロークを行うことで、ストローク後半局面の動作に要する時間が長くなっていた。これらのことから、ストローク前半局面の動きの速度を高め、その加速性を活かしつつ、より多くの水を遠く後方へ押し出すストローク動作を行う事が必要であるとしている。

### 1-3. 競泳競技におけるスタート局面

競泳競技はピストルの号砲が鳴ってから選手が壁にタッチするまでの時間により勝敗が決定される。競泳のレースは、スタートしてから15m までの区間をスタート局面、ターン前 5m からターン後 7.5m まで（背泳ぎと平泳ぎはターン前 5m からターン後 10m まで）の区間をターン局面、最後の 5m をフィニッシュ局面、それ以外の区間をストローク局面と分類できるが（若吉ら、2003）、レース全体を占める時間としてみると実際に水から推進力を得て水中を進むストローク局面が大部分となるため競技力への貢献度が高く、これまでの先行研究ではストローク局面の動作に関する技術や体力を扱ったものがほとんどであった（窪、2005）。

しかしながら、競泳競技は 1/10 秒ないしは 1/100 秒で勝敗が決まる事も多い。表 2 は 2005 年から 2011 年に行われた世界選手権および五輪

の 100m 自由形の決勝レースの結果を示したものである。

表 2 近年の世界大会における 100m 自由形の結果

世界選手権 (2005)			世界選手権 (2007)		
順位	記録	1位とのタイム差	順位	記録	1位とのタイム差
1	48.12		1	48.43	
2	48.28	0.16	1	48.43	
3	48.34	0.22	3	48.47	0.04
4	48.74	0.62	4	48.51	0.08
5	48.89	0.77	5	48.52	0.09
6	48.92	0.80	6	48.63	0.20
7	48.99	0.87	7	48.72	0.29
8	49.55	1.43	8	48.81	0.38

北京五輪 (2008)			世界選手権 (2009)			世界選手権 (2011)		
順位	記録	1位とのタイム差	順位	記録	1位とのタイム差	順位	記録	1位とのタイム差
1	47.21		1	46.91		1	47.63	
2	47.32	0.11	2	47.12	0.21	2	47.95	0.32
3	47.67	0.46	3	47.25	0.34	3	48.00	0.37
3	47.67	0.46	4	47.27	0.36	4	48.01	0.38
5	47.75	0.54	5	47.33	0.42	5	48.13	0.50
6	48.04	0.83	6	47.37	0.46	6	48.23	0.60
7	48.20	0.99	7	47.94	1.03	7	48.24	0.61
8	48.33	1.12	8	48.01	1.10	8	48.27	0.64

※OMEGA Timing ( <http://www.omegatiming.com/> ) より作成

世界大会の決勝レースとなると 1 位から 8 位までの差はわずか 1 秒前後と競技記録が伯仲しており、1/100 秒の差がレースの勝敗を左右していることは明白である。その為、近年ではストローク局面のみならず、スタート局面やターン局面といった周辺技術に焦点を当てた研究も数多くなされている。

その中でも、スタート局面は陸上からスタート動作を開始し、スターティングブロックに力を加えて推進するため、競泳のレースの中で最も高い速度を獲得する事ができる局面である。そして、その貢献度は高いと考えられている ( Arellano et al, 1996 ; Mason and Cossor, 2000 ) 。スタート局面のパフォーマンスは一般的にピストルの号砲が鳴ってから 10m または 15m における選手の頭部通過時間で評価することができる

( 若吉ら, 1991 ).

若吉ら ( 1991 ) は 100m 自由形のレースに出場した一流競泳選手を対象にしてスタート局面 ( 0~10m 区間 ) の平均泳速度とレース全体の平均泳速度との関係を検討し、男女ともにスタートの平均速度とレース全体の平均泳速度との間に高い正の相関が見られ、高い競技レベルを有する選手は、スタート局面速度が高く、その技術やそれに求められる体力に優れていると述べている ( 図 3 ).

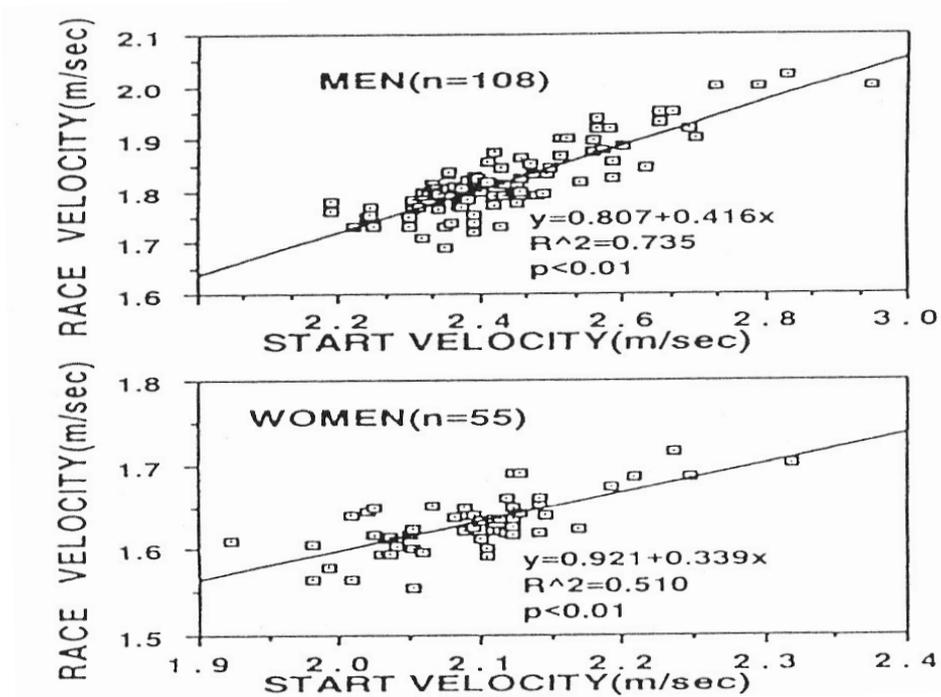


図 3 スタート局面速度 とレース平均速度 との関係 ( 若吉ら, 1991 )

このことからスタート局面のパフォーマンス向上は特に短距離種目に対して有効であり、この区間の泳速度をいかにして高めるかが重要であるといえる。

Vantorre et al (2010) はスタート局面を以下の 6 つに分類している。

(a) Block 局面 : 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局面。

(b) Flight 局面 : 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。

(c) Entry 局面 : 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。

(d) Glide 局面 : 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。

(e) Leg Kicking 局面 : キック動作が開始されてから、ストローク動作が開始されるまでの時間。

(f) Swimming 局面 : 最初のストローク動作が開始された時間から、頭頂部が 15m に達した時間。

スタート局面においては、それぞれの局面ごとに先行研究が存在する。例を挙げると、Block 局面においては、武田ら (2006) が台上動をキネマティック的に分析し、飛び出し角度の減少に伴い飛び出し速度が増加するため、飛び出し角度は  $0^\circ$  付近が望ましいと報告している。Glide 局面においては、窪ら (2005) は泳者がキック動作を開始するのは 2.3m/s を下回った時が望ましいと報告しており、Elipot et al (2009) はスタート地点から身体重心が 5.63m から 6.01m、頭頂部が 6.02m から 6.51m に到達した地点がその条件に該当すると述べている。さらに、Leg Kicking 局面で用いられる水中ドルフィンキックの動作解析に焦点をあてたものも多く存在し、杉本ら (2008) はシミュレーション解析によ

り水中ドルフィンキック時の足関節角度の増加が泳速度の向上をもたらすことを報告している。また、武田ら（2011）は大学競泳選手のドルフィンキックを2次元解析し、ドルフィンキック1周期には蹴り下げと蹴り上げによって2回の加速局面が存在し、蹴り下げから蹴り上げへの移行局面における減速を小さくすることが平均泳速度を高くする点で重要であると述べている。

しかしながら、**Leg Kicking** 局面から **Swimming** 局面への移行期、すなわち浮き上がり動作に言及した先行研究は非常に少ない。

#### 1-4. 浮き上がり動作

国際水泳連盟（FINA）が定める競技規則によると、「自由形スタートおよび折返しの後，身体が完全に水没していてもよい距離 15m を除き，競技中は泳者の身体の一部が水面上に出ていなければならない．壁から 15m 地点までに頭は水面上に出なければならない．」とある．図 6（a）はスタート局面における泳者のフォームを模式的に示したものであり，（b）は身体重心位置の変化をスタート台端壁と水面の考查する地点を座標原点として示したものである．

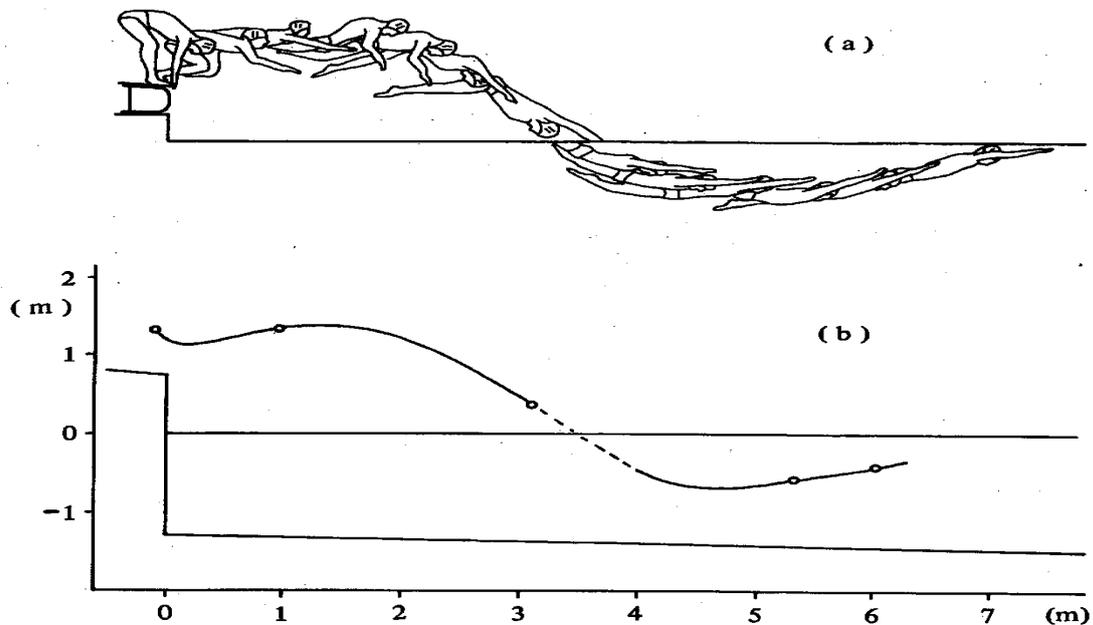


図 4 (a) スタート局面の模式図 (b) 身体重心の位置変化 (吉田, 1981)

指先から入水した泳者は一度身体全体を水没させ，その後水面に向かって浮上してきている様子が見てとれる．Hay (1985) は 15m の到達時間との間に最も顕著な関係が認められている局面は，入水してから水上へと浮上してくるまでの局面であるとしていることから，泳者が水面へと浮き上がってくる動作は非常に重要な局面であると考えられる．

Takeda et al (2009) は、個人内でのスタート時の力発揮を 3 段階に分け、初速度の大きさがストローク局面の泳速度に及ぼす影響を調査した。その結果、スタート時の初速の大きさはストローク局面の泳速度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった。Takeda et al (2009) はその要因を特定する為、スタートから 6 秒程の泳者の泳速度の変化を追っている ( 図 7 ) 。

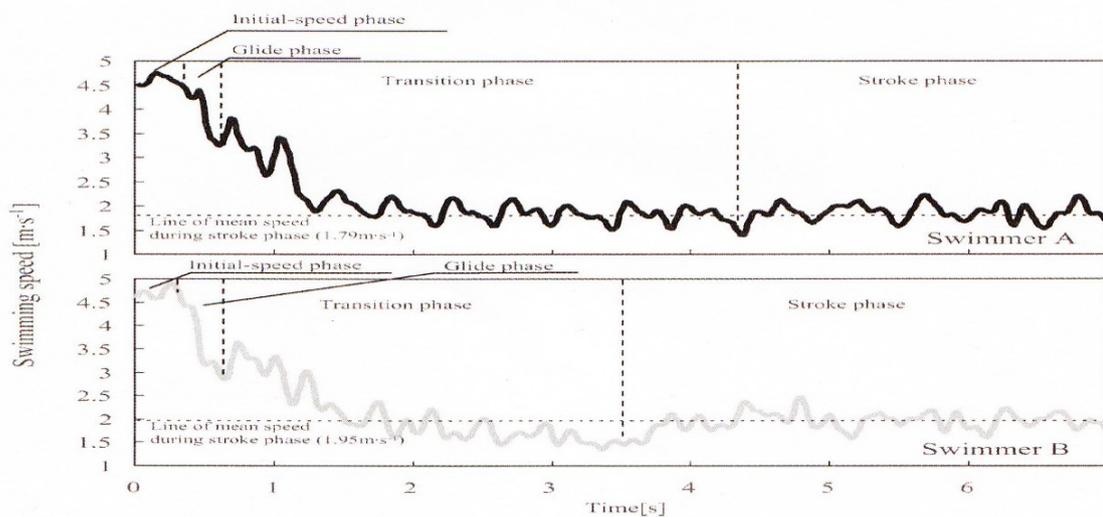


図 5 Changes in swimming speed during maximal-effort dives of swimmers A and B.

( Takeda et al , 2009 )

スターティングブロックから飛び出した際に泳速度のピークを迎え、その後 Glide 局面, Leg Kicking 局面 ( 図 7 では Transition phase と記載 ) で減速が生じ, Stroke 局面で平均泳速度に回復していることがわかる。競泳競技ではスタート時に最大速度が達成されるが、そこで達成された速度を高い水準で維持してストロークを開始することが理想である。図 7 の Swimmer A の泳速度変化のパターンがそれに該当する。逆に Swimmer B の速度変化のパターンは、平均泳速度よりも低い泳速度でストロークを開始しているため、減速している区間を短縮し、より早い

段階でストローク動作を開始する必要がある。このことから、ストロークを開始するタイミングを変えるだけでもパフォーマンスを改善できる可能性があるということが示唆された。

しかしながら、泳者はプールの水深やスターティングブロックの形状によって入水角度や水中で行うドルフィンキックの回数を調整するケースが多く、Block局面やLeg Kicking局面のみに焦点を充てた先行研究の成果だけでは全ての条件で適応できるとは限らない。

そこで、本研究では浮き上がり動作において用いられるストローク動作に焦点を充てた。スタート局面ではキック動作のみならず、水中から水上へと浮き上がる際にはストローク動作も用いられるのが一般的であり、「スタートして15m以内に浮き上がってこなければならない」というルールがある以上、全ての泳者が共通して行う技術だからである。

ストローク局面において泳者は左右の腕で絶えず推進力を発揮しているため（Chollet et al, 1999；Seifert et al, 2004）、局面変化による泳速度の増減は他の3種目よりも小さいものである。つまり、泳速度はほぼ等速であるといえ、泳者は等速を維持するストロークを行っているといえる。しかしながら、スタート局面ではスタートで達成された泳速度を高い水準で保ちながらストロークを開始することが理想であるといえるため、泳者は等速を維持するというよりは、むしろ減速を抑えるストロークを行っているのではないかと考えられる。

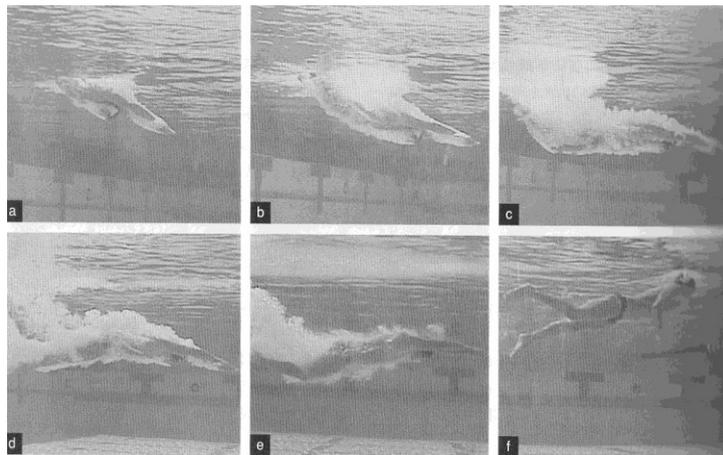
また、ストローク局面で用いるストロークは左右の腕で交互にストローク動作を行っているが、スタート局面で用いるストロークにおいてはレースで行う最初のストローク動作であることから、ストローク動作を行う条件下も全く異なる。

以上のことから、スタート局面で用いるストロークには何らかの特異

性が存在するのではないかという仮説を立てる事ができる。

#### 1-5. スタート局面で用いるストロークについての先行研究

マグリシオ（2005）はその著書の中でクロール泳における浮き上がりの際に用いるストロークについて、水中から水面へと浮上する時は水面へ向かって斜め上にキックを打ち、浮き上がる直前に第1ストロークを開始すると述べている。また、重要なのは第1ストロークが終了する前に頭も水面上に出るようにし、頭が水面上に浮き上がったことを自覚するまでは前を向かないようにすること、そして適切なストロークリズムをできるだけ早く確立することであるとしている。



- (a) 入水し下前方に向かう
- (b) 入水中に背中を反らし、下方への軌道を前方に変更する
- (c) ドルフィンキックの準備
- (d) 第1ドルフィンキックを終了した直後
- (e) その後のドルフィンキックを終了
- (f) フラッターキックとストロークを開始する

図 6 入水から水中動作への一連の動作（マグリシオ，2005）

Hannula (1998) は指導する上で重要な点は、フィニッシュまでずっと手を加速させること、最初の 1 ストロークが終わった後に頭を上げ水面に浮上することであるとしている。また、その際にできるだけストリームラインを保つために、浮上してから最初のストロークではストロークしていない方の腕は前方に伸ばしておくといった動作を推奨している。

さらに、Armbruster ら (1973) は、減速の要因となる呼吸動作を制限する為、最初のストロークは呼吸をする反対側の腕で行うことが望ましいとしている。また、最初のストロークは身体がまだ水面下 8~12inc の間にある時から始め、その時の腕の動きは肘を曲げて手で水を押さえ、下への押さえをあまり強くせずに腕を後方に引っ張る、といった動作を推奨している。

しかしながら、それらの指導書内で推奨されている動作を裏付けるような実験データは見当たらず、泳者や指導者の感覚に依存しているのが現状である。

## 1-6. 研究目的

競泳のスタート技術の良否については従来スタート合図からの反応時間の長短，スタート台から離れる瞬間の初速度，入水後の水中時間等によって決定されてきたが，本質的には一連のスタート動作からストローク局面への移行期までを含めて考察されるべきであると考えられる．

先述したように水面から水上へ浮き上がる際に使用するスタート局面で用いるストロークは，ストローク局面で用いるストロークとは異なった動作をしていると考えられる．しかしながら，ストローク局面におけるストローク動作に関する研究は多く存在するものの，スタート局面で用いるストローク動作に焦点をあてた研究は見当たらない．そのため，スタート局面で用いるストロークの動作形態を明らかにし，泳技術の現状を把握する事が，スタート局面のパフォーマンスを向上させる一つの要因となる可能性がある．

本研究では競泳自由形種目において，スタート局面で泳者が水中から水上へと浮き上がってくる際に用いる最初の1ストロークと，スタートやターンに影響を受けないストローク局面での1ストロークを抽出し，先行研究等で採用されているストローク変数を用いて両者のストローク動作を比較検討した上で，前者のストローク動作の特異性を明らかにすることを目的とする．

本研究で得られた知見は今後の研究への一助となり，同時に現場のコーチングへの基礎的情報となることが期待される．

## 第 2 章 実験方法

## 2. 実験方法

### 2-1. 被験者

実験に参加した被験者は心身共に健康な週 10 回の練習を定期的に行っている大学男子競泳選手 12 名（ $175.5 \pm 2.63\text{cm}$ ,  $70.8 \pm 3.75\text{Kg}$ ,  $20.4 \pm 1.08$  歳）とした（表 3）。被験者の競技レベルは日本選手権決勝進出から日本学生選手権出場レベルであった。

被験者の専門種目はそれぞれ異なり、かつ自由形短距離種目のベストタイムが定かでない被験者が多かったことから、競技水準を評価するのにそれぞれの泳者の最も得意な種目、およびその距離のベストタイムを FINA ポイント化して表した。FINA ポイントとは、対象種目の世界記録を基準として、国際的な競技力を測るのに世界的に使用されている指標である。なお、本研究に参加した被験者の平均は  $789.25 \pm 49.64$  であった。さらに、算出されたポイントを 100m 自由形のタイムに換算することで、全ての被験者の相対的な競技水準を表した。なお、被験者の平均は  $50.80 \pm 1.11$  秒であった。

表 3 各泳者の身体特性と競技水準

泳者	身長(m)	体重(Kg)	年齢(歳)	専門種目	FINA ポイント	100m自由形換算タイム(s)
A	175.5	74.0	22	自由形 (200m)	805	50.42
B	178.8	76.6	22	自由形 (200m)	799	50.55
C	176.0	72.0	22	バタフライ (100m)	803	50.46
D	177.0	74.0	20	自由形 (1500m)	816	50.19
E	176.0	70.0	20	自由形 (1500m)	791	50.72
F	171.5	69.0	19	自由形 (400m)	706	52.68
G	179.0	73.0	19	平泳ぎ (100m)	813	50.26
H	173.0	67.7	21	バタフライ (200m)	852	49.48
I	171.2	62.0	20	個人メドレー (400m)	823	50.05
J	178.2	70.8	20	バタフライ (200m)	728	52.14
K	175.5	69.0	20	バタフライ (200m)	833	49.85
L	174.0	71.5	20	個人メドレー (400m)	702	52.78
Mean	175.5	70.8	20.4		789.25	50.80
SD	2.63	3.75	1.08		49.64	1.11

これらの泳者には事前に問診を行い、肩関節や周囲の筋群において重篤な外傷既往歴を持つ者や、現在障害がある者は被験者として対象

としなかった。

本研究は早稲田大学「人を対象とした研究」倫理指針を遵守して行われ、各被験者に対し実験の説明をした上で、自主的に参加する事の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学「人を対象とした研究」倫理委員会の承認（承認番号：2011-166）を得ている。

## 2-2. 試技

早稲田大学所沢キャンパス内アクアアリーナにおいて 25m 自由形全力泳を 2 回行わせ、15m および 25m の通過時間を測定した。

泳者には十分な準備運動とウォーミングアップを行わせた後、25m 自由形全力泳を行わせた。スターティングブロックから飛び出して入水した泳者は、ストリームラインと呼ばれる、両腕を前方に伸ばして両手を組んだ姿勢を維持したままキックを打ち、ストローク動作を開始しながら水面へと浮上する。その際に用いられるストロークを開始する地点をスタート地点から 7m から 10m ほどの区間で指定し、泳者にはその区間でストロークを開始してもらうようにウォーミングアップの際に調節してもらった。また、泳者の右腕のストロークを分析対象とした為、水中高速度カメラを泳者から向かって右側に設置した。したがって、全ての泳者が右手でストロークを開始しなければならないので、その調節も同時に行ってもらうよう指示した。

1 回目と 2 回目の試技の間には十分な休息時間を設定して、被験者が全力で運動課題をおこなえるよう配慮した。

試技は日本水泳連盟競技規則に則って行われ、泳者は実験補助者の笛の合図でスターティングブロックからスタートした。泳者の頭頂が 15m および 25m 地点を通過した時間をストップウォッチ（SVAS003、

SEIKO 社製 ) を用いて測定した。なお、実験補助者は日常的に時間計測の経験を有する者に依頼した。

### 2-3. 実験設定

実験のセットアップ図を以下に示す。

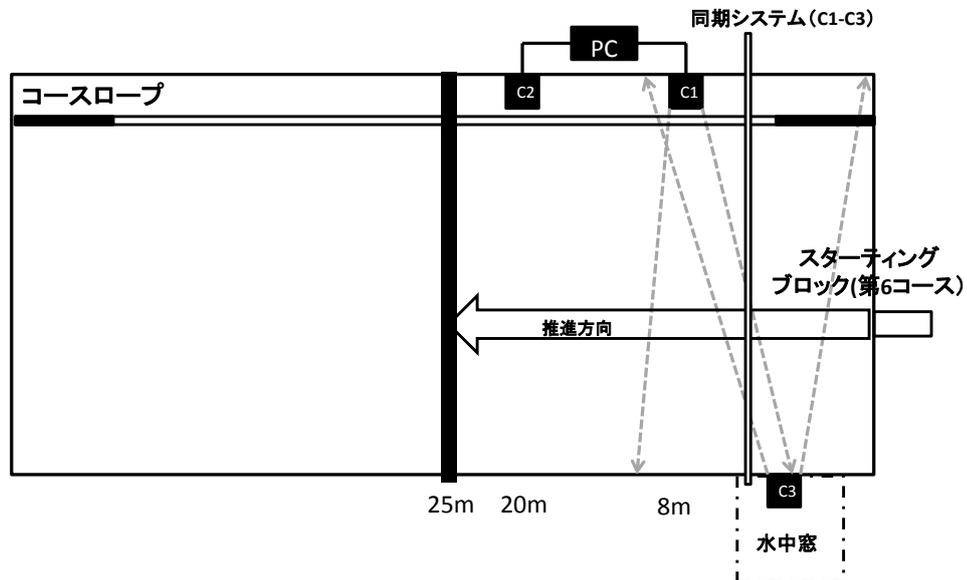


図 7 実験のセットアップ図。カメラ 1 (C1) はスタート地点から 8m、カメラ 2 (C2) は 20m 離れた地点の、いずれも水面から 1m 沈めた地点に設置した。C1, C2 は PC によって同期されている。波の影響による C1 と C2 の揺れを防ぐ為、C1 と C2 の前に波消し用のコースロープを張った。水中窓にはカメラ 3 (C3) を設置。手製の同期システムにより、C1 と C3 の時間的同期を図った。泳者は第 6 コースのスターティングブロックよりスタートし、矢印の方向に推進した。

早稲田大学所沢キャンパス内アクアアリーナ（50m×9コース）において、同期された2台の水中高速度カメラ（Sports Corder Duo：DITECT社製）でシャッタースピード1/250秒、撮影スピードは200フレーム/秒に設定し泳者のストロークを撮影した。水中高速度カメラはスタート地点から8mの箇所（水深1.3m）（以下、カメラ1）と、一般的にストローク局面と定義づけられる20m付近（水深2.0m）（以下、カメラ2）に設置した。カメラ1、カメラ2共に水面から1m沈めた地点に設置した。波によるカメラ1およびカメラ2の揺れを防ぐ為、波消し用のコースロープをプールの第1コースに張った。さらに、スタート直後の泳速度を測定する為、プール内に設置されている水中窓から家庭用ビデオカメラ（以下、カメラ3）（AG-HMC45, Panasonic社製）でシャッタースピード1/200秒、撮影スピードは30フレーム/秒に設定し撮影した。

カメラ1とカメラ3は手製の同期システムを構築して時間的同期を図った。泳者がカメラ1を通過した後に、カメラ1とカメラ3の画角で共通して捉えることのできる地点に、鉄製の棒を十分な速度を持たせて空中から落下させ双方のカメラに写し込んだ。これにより、異なる2台のカメラで同一時間に同一の被写体が写り込む状況を作り出すことができ、そのフレームを特定する事で時間的同期を行った。

試技は第6レーンで行わせ、カメラ1およびカメラ2との距離は15m、またカメラ3との距離は10mとしている。

キャリブレーションは試技前に1.6m×4.8mの長方形格子を用いて行った。

身体各部の目印とするため泳者の右半身の中指指尖部、手根骨、肩峰をビニールテープで、また両側大転子をマジックテープで水着に貼付

しマーキングを施した。

## 2-4. 測定項目

### 2-4-1. 分析の対象となるストローク動作

本研究で分析の対象となる箇所は、より推進力を発揮している局面であると市川ら（2000）が定義した推進局面としている。本研究ではスタート局面で用いるストロークとストローク局面で用いるストロークの動作形態を比較するが、両者の定義を以下の通りに定める。なお、ストローク動作については右上肢のみを分析対象とした。

- スタート局面で用いるストローク

スターティングブロックから飛び出して入水した泳者は、ストリームラインと呼ばれる、両腕を前方に伸ばして両手を組んだ姿勢を維持したままキックを打ち、右腕でストロークを開始しながら水面へと浮上する。撮影した映像から、ストリームラインを組んでいる手が離れた瞬間から、右指尖部が出水するまでの区間を分析対象とし、スタート局面で用いるストロークと定義する。（以下、FS：First Stroke）

- ストローク局面で用いるストローク

右指尖部が入水してから出水するまでの区間を分析対象とし、ストローク局面で用いるストロークと定義する。先行研究等で解析されているストロークは主にこの局面である。（以下、CS：Continuous Stroke）

#### 2-4-2. 座標系の定義

キャリブレーションで用いた格子と水面位置が直交する地点を原点とし、泳者が推進方向に対して前方に動いている場合は  $x$  軸の正の値、後方に動いている場合は負の値を示し、水面に向かって動いている場合は  $y$  軸の正の値、プールの底に向かって動いている場合は負の値を示す。

#### 2-4-3. 測定項目および変数の定義

以上のストローク動作において、指尖部が最も深い位置に到達した地点を基準とし、分析が開始されてから指尖部が最深点に到達するまでの局面（以下、ストローク前半）と、指尖部が最深部から出水するまでの局面（以下、ストローク後半）に分け、それぞれの局面における指尖部の動作時間、軌跡長、推進方向の速度、鉛直方向の速度、ストローク半径、手掌部角度を算出した。

変数の定義を以下に示す。

- 指尖部最深点：分析開始地点の指尖部の座標を原点とした時、指尖部の  $y$  軸変位が最小値を示した地点。単位は「m」。
- ストローク軌跡長：分析開始地点の指尖部の座標を原点とした時、指尖部の  $x$  軸、 $y$  軸合成の移動距離。単位は「m」。
- ストローク平均動速度：分析開始地点の指尖部の座標を原点とした時、肩峰に対する指尖部の相対的な動速度。推進方向の指尖部速度と、鉛直方向の指尖部速度をそれぞれ算出する。 $x$  軸方向の動速度は指尖部の推進方向の動速度として扱い、値が正の場合は推進方向に、負の場合は推進方向に対して後方に指尖部が動いていることを示している。 $y$  軸方向の動速度は指尖部の鉛直方向の動速度として扱い、値が正の場合は水面方向に、負の場合はプールの底へ指尖部が動い

ていることを示している．単位は「m/s」．

- ストローク半径：肩峰と指尖部間の距離をストローク半径として定義する．「指尖部の x 軸座標と肩峰の x 軸座標の差の 2 乗」と「指尖部の y 軸座標と肩峰の y 軸座標の差の 2 乗」の和の平方根．単位は「m」．
- 手掌部角度：手根骨と中指指尖部を結んだ線分と x 軸のなす角度．単位は「°」．

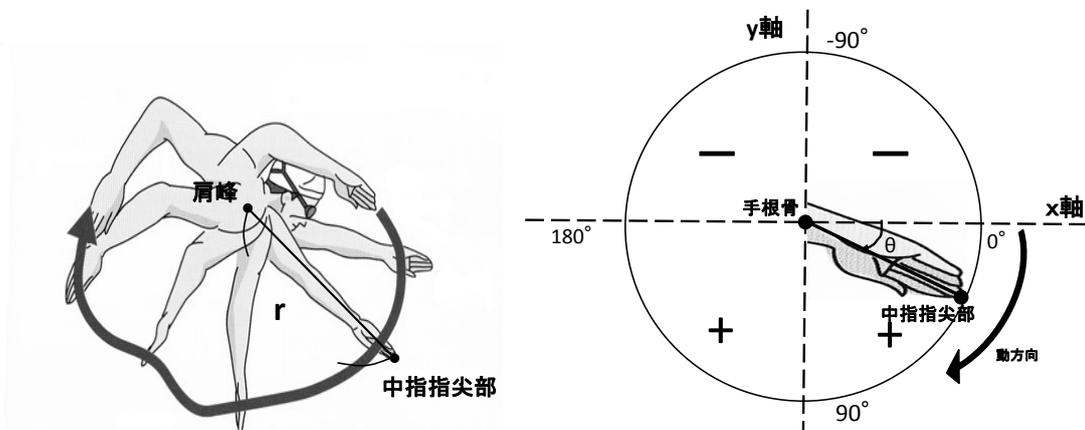


図 8 (左)：ストローク半径の定義図 (右)：手掌部角度の設定

泳パフォーマンスは以下の変数を用いて評価する．

- 15m (25m) 通過時間：泳者の頭頂部が 15m (25m) を通過した時の記録．単位は「s」．
- 大転子速度：市川ら (2009) の先行研究を参考に，ストローク中の推進方向の大転子速度を推進方向の泳速度と仮定した．なお，泳者がストロークを開始する直前(以下，PS：Pre Stroke)の泳速度は，ストローク開始から 0.1 秒前までの平均大転子速度とした．単位は「m/s」．

## 2-5. 解析方法

撮影した映像はパーソナルコンピュータ（Thinkpad T400. lenovo 社製）に取り込まれた。この映像は動作解析ソフト（Frame-Dias II version III. DKH 社製）によって、手動デジタイズで得られた画像上の座標値から 2次元 DLT法を用いて被験者のマーキングポイントの実座標を算出した。

画像分析で得られた実座標データはフィルタ処理を行い、データの平滑化を図った。本研究では、Bryant の Butterworth 型の Low-Pass デジタルフィルタを使用し、遮断周波数を 6Hz に設定した。

## 2-6. 統計処理

各変数の平均値の差の検定には統計解析ソフト SPSS Statistics 19.0（SPSS Inc.）を用いて、FS と CS の各々の変数比較について対応のある t 検定を行った。

また、各ストロークの変数と泳パフォーマンスの関係を Pearson の積率相関係数を用いて分析した。

いずれも有意水準は危険率 5% 未満とした。

## 第 3 章 結果

### 3. 結果

#### 3-1. 試技における泳パフォーマンス

表 4 に泳者別の泳パフォーマンスを示す。

表 4 泳者別の泳パフォーマンス一覧

泳者	大転子速度(m/s)			15m通過時間(s)	25m通過時間(s)
	PS	FS	CS		
A	1.78	1.91	1.96	6.20	11.50
B	1.61	1.81	1.89	6.45	12.05
C	1.86	1.89	1.97	6.07	11.51
D	1.90	1.71	1.88	6.76	12.36
E	1.44	1.73	1.85	6.64	12.23
F	1.41	1.77	1.86	6.88	12.83
G	1.61	1.70	1.89	6.35	11.73
H	1.85	1.86	1.96	6.17	11.65
I	1.66	1.78	1.90	6.94	12.62
J	1.86	1.80	1.85	6.57	12.21
K	1.70	1.94	1.89	6.11	11.77
L	1.66	1.74	1.83	6.62	12.26
Mean	1.70	1.80	1.89	6.48	12.06
SD	0.16	0.08	0.05	0.30	0.43

大転子速度については、PS の平均が  $1.70 \pm 0.16 \text{m/s}$ 、FS の平均が  $1.80 \text{m/s}$ 、CS の平均が  $1.89 \pm 0.05 \text{m/s}$  であった。泳記録については、15m 通過時間の平均が  $6.48 \pm 0.30 \text{s}$ 、25m 通過時間の平均が  $12.06 \pm 0.43 \text{s}$  であった。

図 9 に PS, SS, CS の大転子速度の全泳者の平均的な推移パターンを示す。

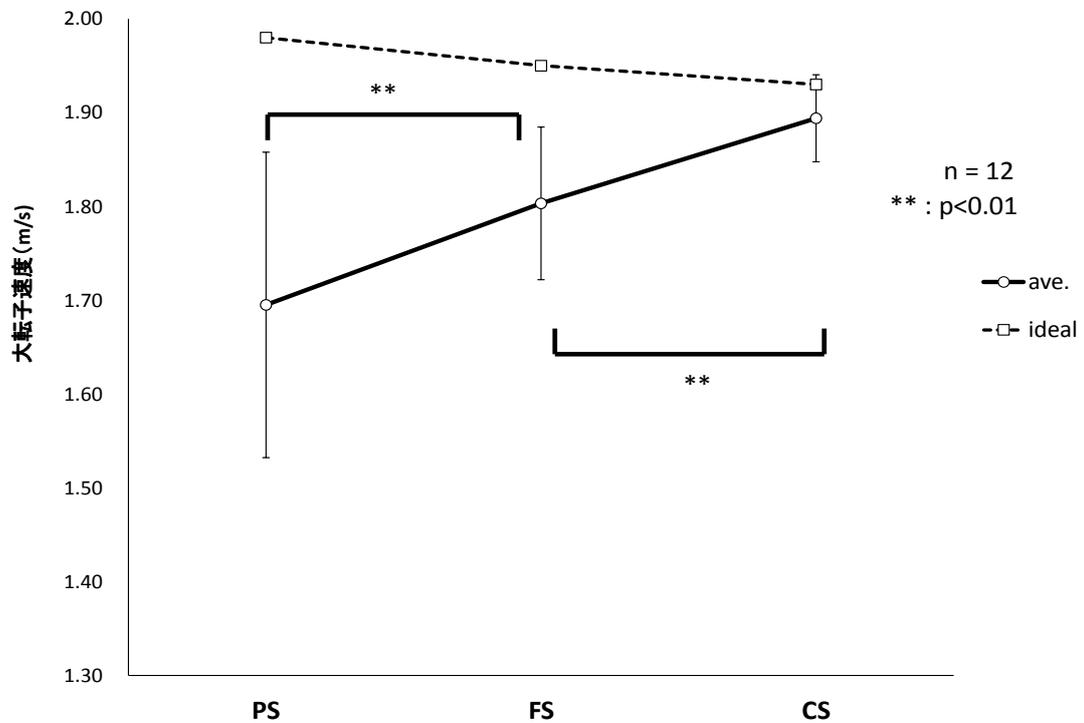


図 9 全泳者の PS, FS, CS の大転子速度の平均的な推移パターン。なお、破線で PS, FS, CS の理想的な推移パターンを示している。

全泳者の PS, FS, CS の大転子速度の平均値を比較すると、その全てにおいて有意差が認められ、FS は PS より有意に高く、FS は CS より有意に低かった (  $p < 0.01$  )。

図 10 に泳者別の PS, FS, CS の大転子速度の変位を示す。

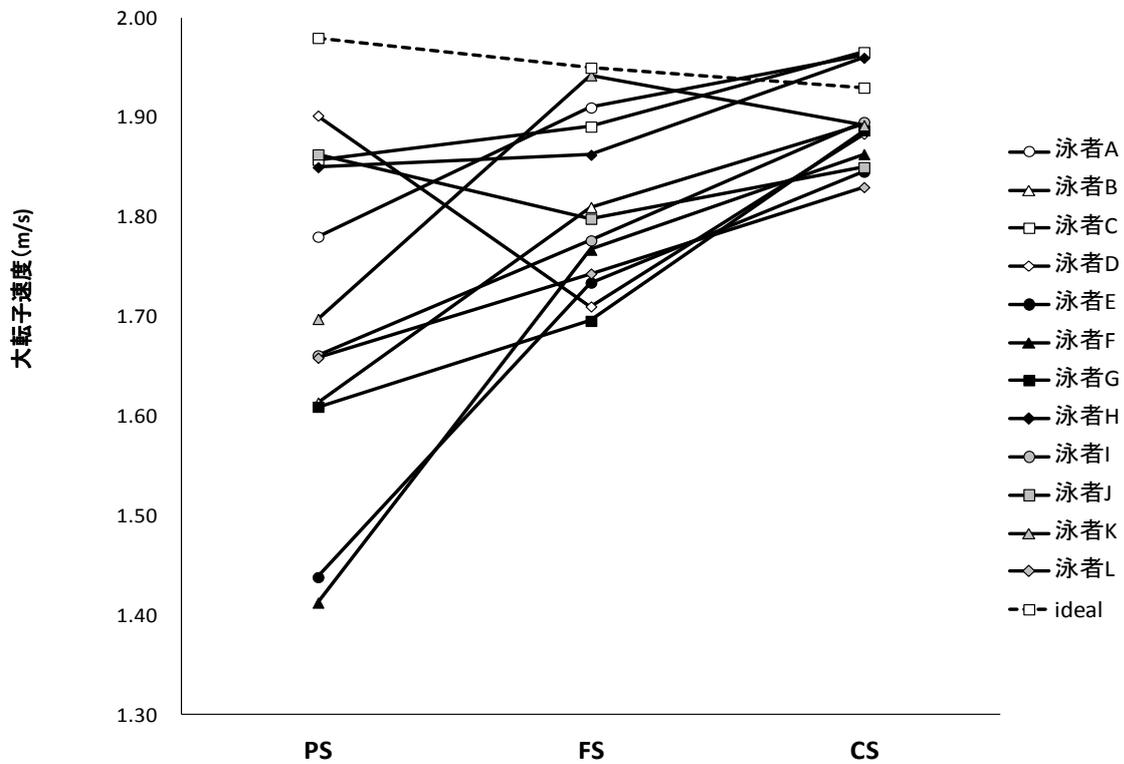


図 10 泳者別の PS, FS, CS の大転子速度の比較. 図 9 同様破線で PS, FS, CS の理想的な推移パターンを示している。

FS は PS よりも大転子速度が高く、かつ CS よりは大転子速度が低い泳者がほとんどであったが、FS の大転子速度が PS よりも低くなっている泳者（泳者 D, 泳者 J）や、FS の大転子速度が CS よりも高くなっている泳者（泳者 K）も見られた。

### 3-2. スタート局面で用いるストロークとストローク局面で用いるストロークの比較

表 5 に FS と CS のそれぞれのストローク変数の平均値を示す。なお、標準偏差はカッコ内に示した。

表 5 FS と CS の各変数比較

		FS	CS	t
ストローク全体	動作時間(s)	0.64 (0.09)	0.78 (0.09)	-3.508*
	軌跡長(m)	1.37 (0.18)	1.78 (0.16)	-7.395**
	推進方向の指尖部速度(m/s)	-2.18 (0.22)	-1.66 (0.14)	-6.257**
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)	-0.14 (0.06)	-0.11 (0.05)	-2.206
ストローク前半	動作時間(s)	0.36 (0.07)	0.50 (0.08)	-4.352**
	軌跡長(m)	0.65 (0.14)	1.03 (0.13)	-8.115**
	推進方向の指尖部速度(m/s)	-1.78 (0.52)	-1.05 (0.28)	-5.415**
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)	-1.54 (0.32)	-1.13 (0.17)	-4.971**
	最深部(m)	0.72 (0.06)	0.67 (0.05)	-0.475
ストローク後半	動作時間(s)	0.28 (0.06)	0.28 (0.03)	-0.167
	軌跡長(m)	0.72 (0.08)	0.74 (0.08)	-0.467
	推進方向の指尖部速度(m/s)	-2.76 (0.33)	-2.83 (0.18)	0.548
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)	1.87 (0.29)	1.67 (0.13)	2.595*

\* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

ストローク全体については、FS の動作時間および軌跡長は CS と比較して有意に短かった ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ )。FS の推進方向の指尖部速度は CS と比較して有意に低かった ( $p < 0.01$ )。

ストローク前半については、FS の動作時間および軌跡長は CS と比較して有意に短かった ( $p < 0.01$ )。FS の推進方向の指尖部速度および鉛直方向の指尖部速度は CS のものと比較して有意に低かった ( $p < 0.01$ )。

ストローク後半については、FS の鉛直方向の指尖部速度は CS と比較して有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

図 11 に FS および CS の肩峰に対する平均的な指尖部の軌跡を表した。

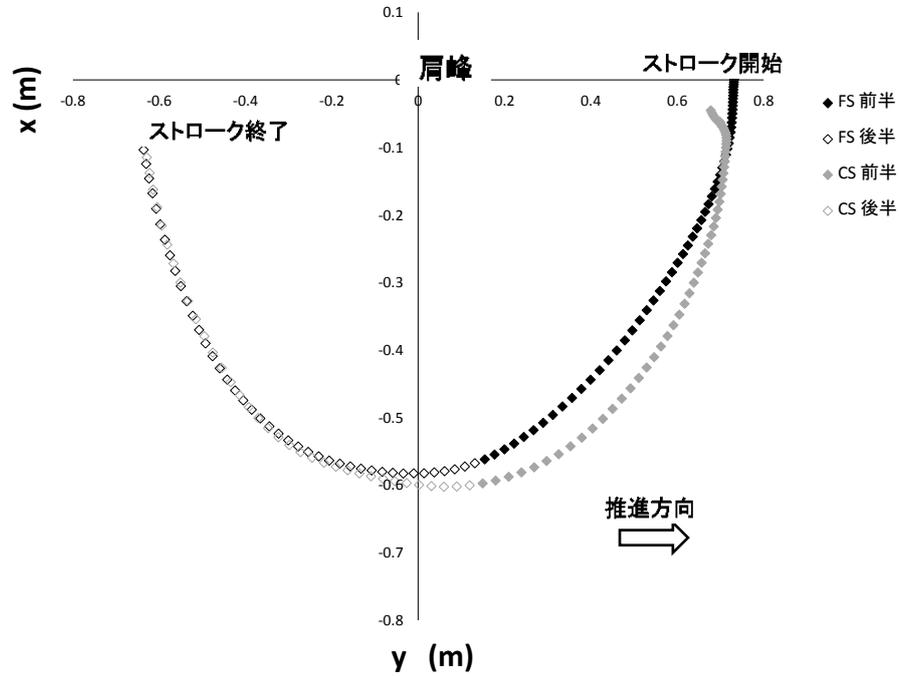


図 11 FS と CS の肩峰に対する平均的な指尖部の軌跡。全泳者のデータをそれぞれの動作時間で規格化しデータの数を 101 個に揃えた。その上で、FS と CS それぞれの平均的な軌跡を示した。原点は肩峰の位置に設定した。

全ての泳者で FS の前半は CS の前半と比較して身体に近い場所で手が動いており、後半では FS と CS の間に大きな差は見られなかった。

図 12 に分析を開始した地点を原点とした時の，平均的な FS と CS の指尖部の軌跡を表した．

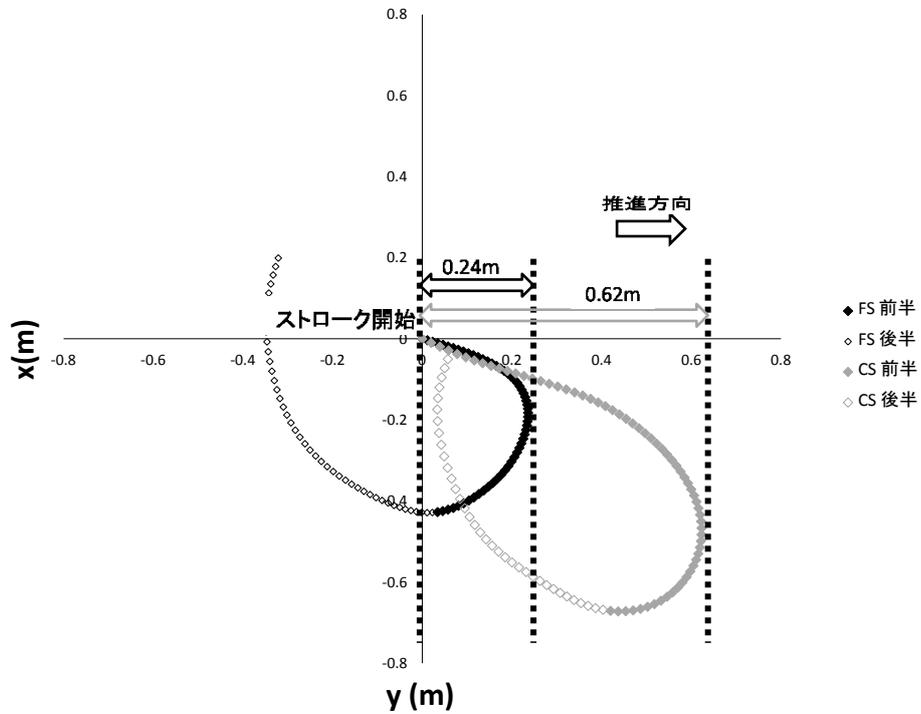


図 12 FS と CS の解析開始地点を原点とした時の平均的な指尖部の軌跡．全泳者のデータをそれぞれの動作時間で規格化しデータの数を 101 個に揃えた．その上で，FS と CS それぞれの平均的な軌跡を示した．原点は分析を開始した時の指尖部の位置に設定した．なお，図には FS, CS それぞれの指尖部の推進方向への最大移動距離（ $x$  座標の最大値）を示した．

指尖部の推進方向への最大移動距離は，CS が 0.62m であるのに対して，FS では 0.24m と短かった．ストローク終了地点は FS が CS よりも高い位置にあった．

また、FS と CS の平均的なストローク半径の時間経過に伴う変化パターンを図 13 に表した。

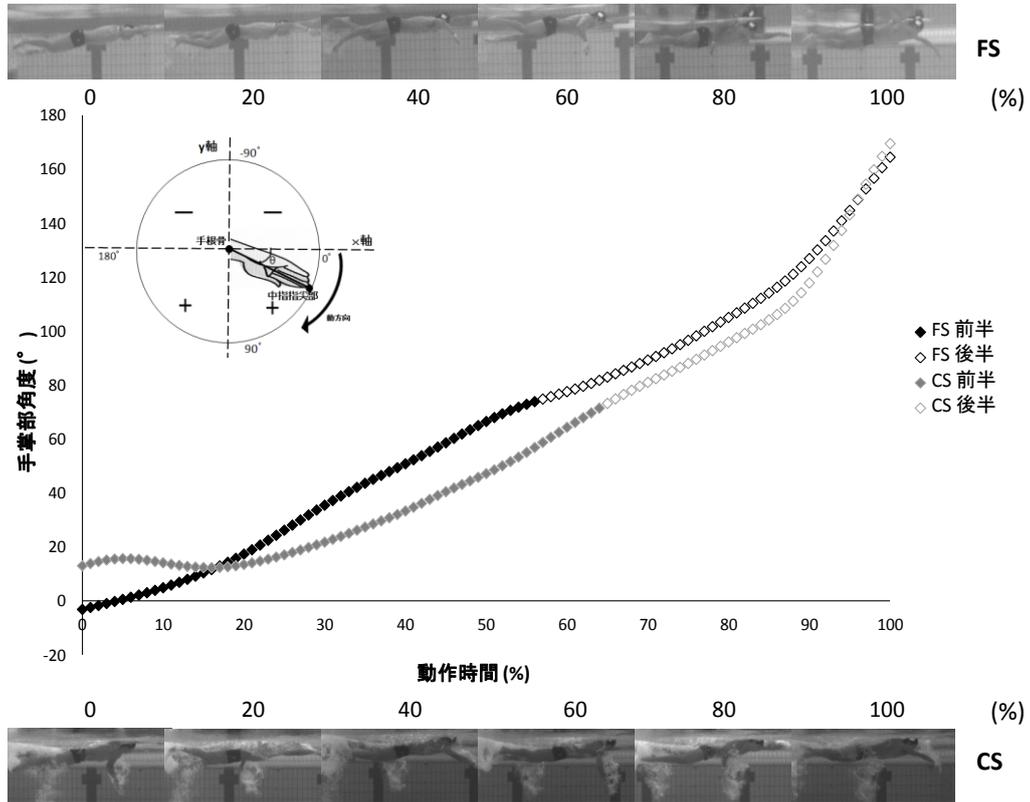


図 13 FS と CS の時間経過に伴うストローク半径の平均的な変化パターン。全泳者のデータは動作時間で規格化し、データの数をも 101 個に揃えた。その上で、FS と CS それぞれの平均的な変化パターンを示した。縦軸にストローク半径 (m)、横軸にストローク全体の動作時間を 100% とした時の相対的な時間の割合 (%) を示した。

表 6 は全泳者の肩峰と指尖部間の距離の平均値を示したものである。  
 なお、標準偏差はカッコ内に示した。

表 6 FS と CS におけるストローク半径の比較

		FS	CS	t
ストローク半径 (m)	ストローク全体	0.65 (0.03)	0.67 (0.02)	-2.354*
	ストローク前半	0.67 (0.04)	0.70 (0.02)	-2.384*
	ストローク後半	0.62 (0.04)	0.62 (0.03)	-0.355

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01

ストローク全体およびストローク前半で有意差が認められ ( p<0.05 ) ,  
 FS は CS と比較して、ストローク全体で 0.02m, ストローク前半では  
 0.03m ストローク半径は短くなっていた。

図 14 に FS および CS の，1 ストローク中の平均的な手掌部角度の変化パターンを示した。

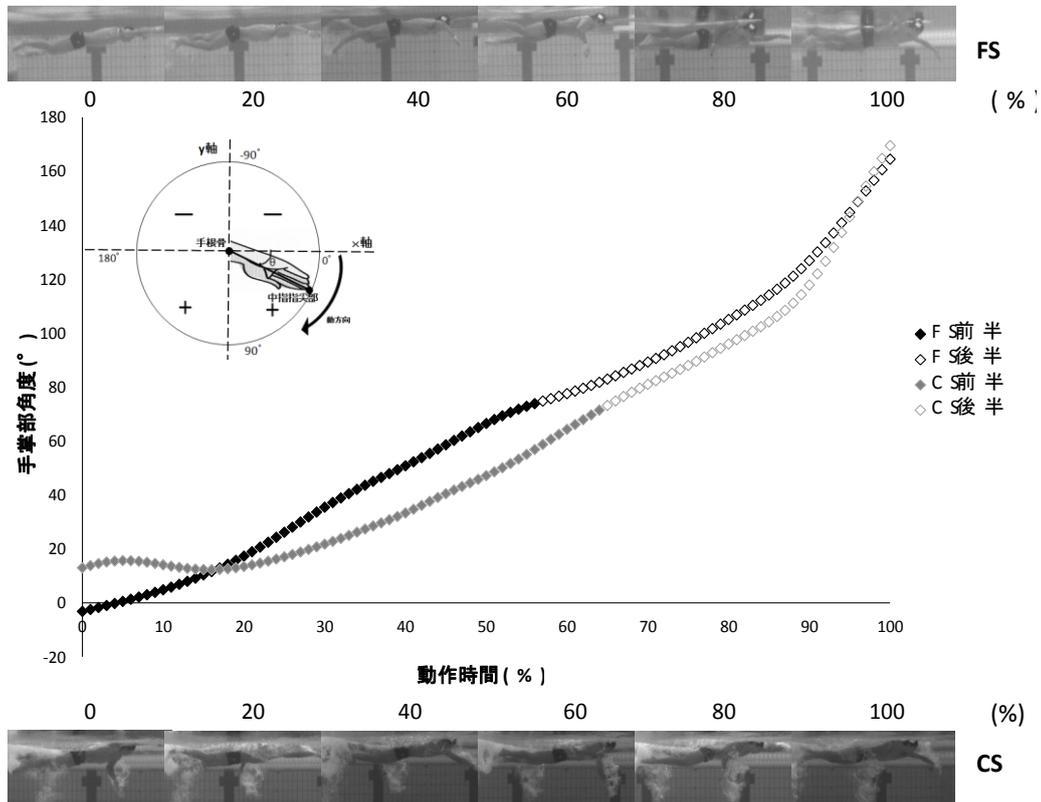


図 14 FS と CS の手掌部角度の平均的な変化パターン。全泳者のデータは動作時間で規格化し，データの数を 101 個に揃えた。その上で，FS と CS それぞれの平均的な変化パターンを示した。縦軸に手掌部角度（°），横軸にストローク全体の動作時間を 100% とした時の相対的な時間の割合（%）を示した。

ストローク開始時の手掌角度は泳者によって異なるが，ストロークが進行していくに連れて手掌角度は増加していき，動作の終了時に最大値となっていた。

ストローク前半では FS の手掌部角度が CS と比較すると早い段階で増加していたこと，また，動作時間の 90% を超えた辺りで FS の手掌部

角度の増加量が CS と比較して少なくなっていたことが見てとれる。

### 3-3. 各変数の相関関係

表 7 に FS における各変数の相関関係を示す。

表 7 FS における相関マトリックス

	ストローク全体			ストローク前半				最深部(m)	ストローク後半				大転子速度(m/s)	
	軌跡長(m)	推進方向の指尖部速度(m/s)	鉛直方向の指尖部速度(m/s)	動作時間(s)	軌跡長(m)	推進方向の指尖部速度(m/s)	鉛直方向の指尖部速度(m/s)		動作時間(s)	軌跡長(m)	推進方向の指尖部速度(m/s)	鉛直方向の指尖部速度(m/s)		
ストローク全体	動作時間(s)	0.66*	0.76**	0.36	0.81**	0.74**	0.60*	0.55	-0.13	0.66*	0.19	-0.30	0.06	-0.22
	軌跡長(m)		0.71**	0.21	0.76**	0.91**	0.71**	0.31	-0.31	0.14	0.67*	-0.55	-0.08	-0.54
	推進方向の指尖部速度(m/s)			0.44	0.85**	0.78**	0.82**	0.57	0.02	0.20	0.24	-0.37	-0.06	-0.58*
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)				0.54	0.34	0.27	0.92**	0.18	-0.08	-0.13	-0.13	-0.13	-0.05
ストローク前半	動作時間(s)				0.93**	0.60*	0.64*	0.03	0.10	0.07	-0.32	0.20	-0.39	
	軌跡長(m)					0.62*	0.44	-0.11	0.06	0.30	-0.41	0.16	-0.45	
	推進方向の指尖部速度(m/s)						0.30	-0.17	0.25	0.53	-0.80**	-0.25	-0.43	
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)							0.07	0.12	-0.06	0.02	-0.20	-0.10	
最深部(m)									-0.25	-0.52	0.23	0.35	0.04	
ストローク後半	動作時間(s)									0.23	-0.09	-0.15	0.13	
	軌跡長(m)										-0.52	-0.46	-0.43	
	推進方向の指尖部速度(m/s)											0.13	0.13	
	鉛直方向の指尖部速度(m/s)												-0.23	

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

FS においては、ストローク全体とストローク前半の変数間でより多くの相関関係が認められたことが見てとれる。

ストローク全体の動作時間については、ストローク前半の動作時間 ( $r=0.81$ ,  $p<0.01$ ), ストローク前半の軌跡長 ( $r=0.71$ ,  $p<0.01$ ), ストローク前半の推進方向の指尖部速度 ( $r=0.60$ ,  $p<0.05$ ) との間に有意な相関が認められた。

ストローク全体の軌跡長については、ストローク前半の動作時間 ( $r=0.76$ ,  $p<0.01$ ), ストローク前半の軌跡長 ( $r=0.91$ ,  $p<0.01$ ), ストローク前半の推進方向の指尖部速度 ( $r=0.71$ ,  $p<0.01$ ) との間に有意な相関が認められた。

ストローク全体の推進方向の指尖部速度については、ストローク前半の動作時間 ( $r=0.85$ ,  $p<0.01$ ), ストローク前半の軌跡長 ( $r=0.78$ ,  $p<0.01$ ),

ストローク前半の指尖部速度（ $r=0.82$ ,  $p<0.01$ ）との間に有意な相関が認められた。

ストローク全体の鉛直方向の指尖部速度については，ストローク前半の鉛直方向の指尖部速度（ $r=0.92$ ,  $p<0.01$ ）との間に有意な相関が認められた。

大転子速度との間に有意な相関が認められたのは，ストローク全体の指尖部速度（ $r=-0.58$ ,  $p<0.05$ ）のみであった。

また，表 8 に泳パフォーマンスの相関関係を示す。

表 8 各泳パフォーマンスにおける相関マトリックス

		大転子速度(m/s)		15m通過時間 (s)	25m通過時間(s)
		FS	CS		
大転子速度 (m/s)	FS	-	0.66*	-0.72**	-0.60*
	CS	0.66*	-	-0.67*	-0.70*
15m通過時間(s)		-0.72**	-0.67*	-	0.96**
25m通過時間(s)		-0.60*	-0.70*	0.96**	-

\*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$

それぞれの変数間に 5%水準で有意な相関が認められた（ $p<0.05$ ）。

## 第 4 章 考察

#### 4. 考察

##### 4-1. スタート局面で用いるストロークが行われる時の大転子速度

表 4 および図 9 から，全泳者の PS, FS, CS の大転子速度の平均値を比較すると，PS は CS よりも有意に低い値を示した ( $p < 0.01$ ) .

図 15 は，泳者の大転子速度の変移を捉えるため，便宜上 FS が開始された時点をも 0 秒とし，その 1 秒前から FS が終了するまでの泳者 C，泳者 F の大転子速度の変化を示したものである。

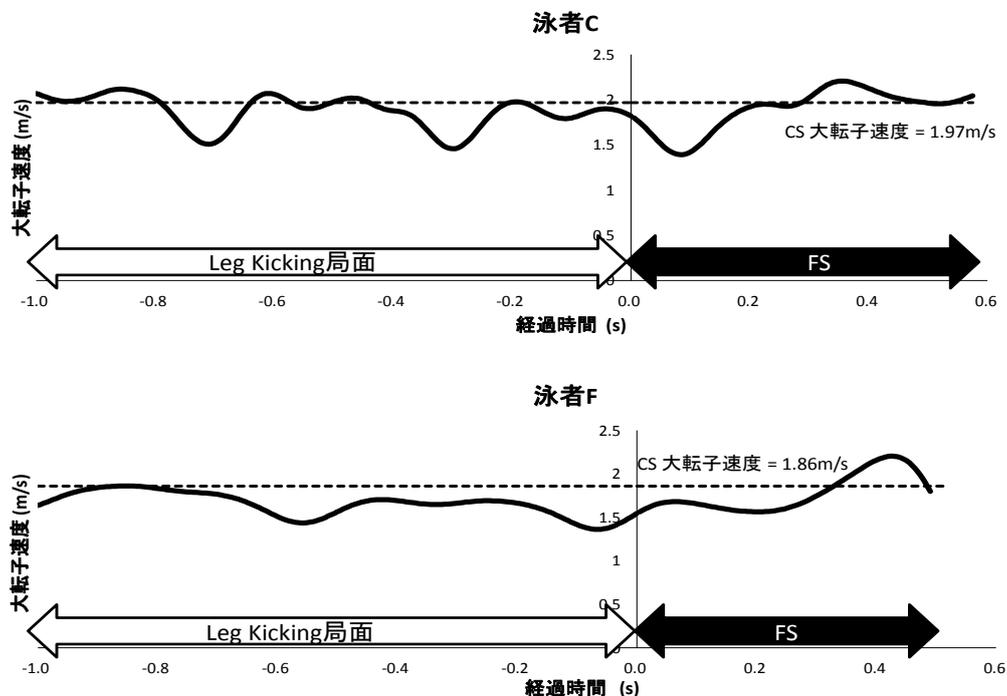


図 15 泳者 C および泳者 F の大転子速度変化. FS が開始された時点をも 0 秒とし，その 1 秒前から FS 終了までの大転子速度の変化を示した. 破線で CS の大転子速度を示した.

泳者 C は PS, FS, CS の大転子速度が比較的高い水準で行われている泳者であり，泳者 F は PS の大転子速度が CS の大転子速度と比較して著しく低い値を示した泳者である. なお，CS はストローク局面で用いられるストロークである為，その大転子速度は泳者の平均泳速度として仮定

する事ができる。

Takeda et al (2009) の先行研究によると、日本選手権出場レベルの男子競泳選手の最大努力時の Block 局面における速度は 4.59m/s 程度であるとしている。本研究で対象とした泳者の競技水準も同等であることから、両泳者共に Block 局面における速度は平均泳速度の 2 倍強の速度を発揮していたと推察される。その後 Leg Kicking 局面で平均泳速度を下回り、その状態から FS が開始され、FS を用いて加速していることがわかる。

本研究は、スタート局面ではスタートで達成された泳速度を高い水準で保ちながらストロークを開始することが理想であるといえることから、泳者は減速を抑えるストロークを行っているのではないかという仮定の下で行われたが、対象とした泳者は平均泳速度よりも減速した状態で FS を開始する傾向が見られた。

したがって、本研究で扱うスタート局面で用いるストロークは、減速を抑えるストロークではなく、減速した状態から加速する為のストロークであるといえ、それを前提に論を展開する。

## 4-2. スタート局面で用いるストロークの特異性

### 4-2-1. ストローク前半局面における特異性

FS と CS の平均値を比較した時、FS はストローク全体の動作時間、軌跡長が短く、さらに推進方向の指尖部速度が優位に低かった。また、ストローク後半での変数が鉛直方向の指尖部速度を除いて有意差が認められなかったのにも関わらず、ストローク前半で全ての変数で有意差が認められたことから、ストローク全体の変数の有意差は主にストローク前半の差によって生じたものであるといえる。

図 11 の肩峰に対する軌跡を見ると、FS の前半は CS の前半と比較して身体に近い箇所を手が動いている事がわかる。また、図 13 および表 9 から FS の前半のストローク半径は CS の前半と比較して有意に短くなっていったことから、ストローク半径の短縮が図 9 のような軌跡を描いた要因であると考えられる。

また、ストローク半径が短縮された要因を特定する為、全泳者の FS 前半と CS 前半における肘関節と肩峰間距離および肘関節と指尖部間距離の平均値をそれぞれ算出した。以下の表 9 にその結果を示す。

表 9 FS 前半と CS 前半における肘関節と肩峰の距離および肘関節と指尖部の距離

	FS	CS	t
肘関節-肩峰間距離 (m)	0.28	0.30	-2.837*
肘関節-指尖部間距離 (m)	0.41	0.40	0.797

\* :  $p < 0.05$

肘関節と指尖部間距離については FS 前半と CS 前半に有意差は認められなかったが、肘関節と肩峰間距離については FS 前半が CS 前半と比較して有意に短かった ( $p < 0.05$ )。

以下の図 16 に FS 前半と CS 前半の肘関節と肩峰間距離の平均的な変化パターンを示す。

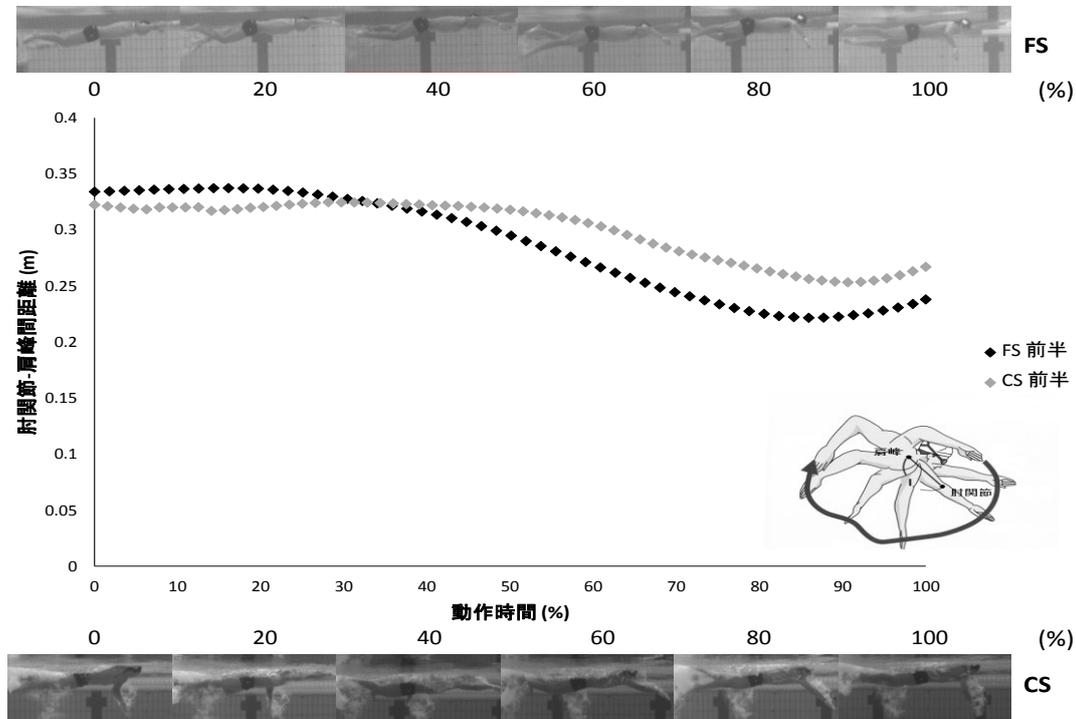


図 16 FS 前半と CS 前半の肘関節と肩峰間距離の平均的な変化パターン。全泳者のデータはストローク前半の動作時間で規格化し、データの数を 100 個に揃えた。その上で、FS 前半と CS 前半の平均的な変化パターンを示した。縦軸に肘関節と肩峰間距離 (°)，横軸にストローク前半の動作時間を 100%とした時の相対的な時間の割合 (%) を示した。

本研究は泳者に対して水平に撮影し、2次元で分析を行っている。そのため、肘関節と肩峰間距離が短くなっていることは、肘関節が肩峰よりも外側に位置していたことを示す。そのため、FS 前半では CS 前半よりも指尖部が外側を動いていたこと、あるいは肘関節を屈曲させ、その位置を手首よりも高く保つハイエルボーと呼ばれる技術が FS 前半では CS 前半よりも顕著に行われていたと推察される。

以上のことから、FS 前半では CS 前半よりも指尖部が身体の外側を動いているか、あるいはハイエルボーと呼ばれる技術をより顕著に行っていることでストローク半径が短縮されていると考えられる。

また、ストローク半径の短縮により、ストロークの軌跡長も短縮されていると推察される。FS 前半の軌跡長は FS 前半の動作時間との間に有意な相関 ( $r=0.93, p<0.01$ ) が認められたことから、FS 前半での軌跡長の短縮が FS 前半動作時間の短縮に繋がっていると考えられる。同時に、FS 前半の軌跡長は FS 前半の推進方向の指尖部速度との間に有意な相関 ( $r=0.62, p<0.05$ ) が認められたが、その要因を特定することはできなかった。

図 12 では分析開始地点を原点とした時の FS と CS の指尖部の軌跡を比較している。CS の軌跡は推進方向に横長の軌跡を描いており、入水してから推進方向により長い距離を指尖部が移動していることが見てとれる。しかしながら、FS の軌跡は CS の軌跡と比較すると進行方向への指尖部の移動距離は著しく短かった。図 17 は高木ら (1993) が報告した、ある一流クロール泳者の指尖部の軌跡である。

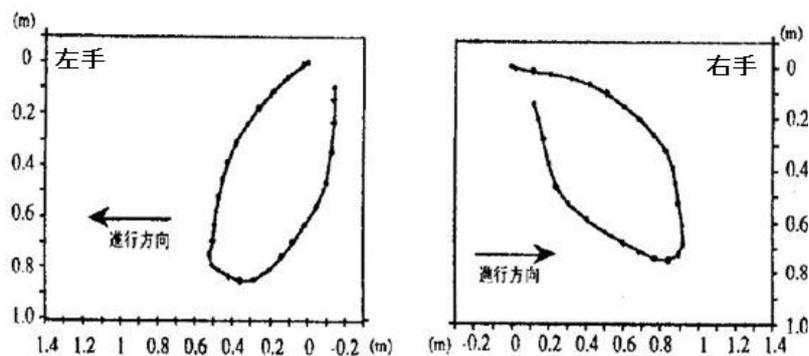


図 17 バルセロナ五輪選考会における 400m 自由形決勝進出者 M の指尖部の移動軌跡。

(高木ら, 1993 を一部改変)

左手指尖部に関しては、推進方向に対して短く、深く、縦長の軌跡を示していることから、入水後にしっかり水を捉えてストローク動作が行えており効率の良いストローク動作であるとしている。それに対して、右手指尖部はやや横長の楕円を描いており、それは入水から水を捉えるまでにストレッチ動作を長く行っていることを示すとしている（高木ら、1993）。それを本研究のFS、CSに置き換えると、FSは水を捉えるまでの時間が短く、CSは入水してからのストレッチ動作が長く水を捉えるまでの時間が長いといえる。

しかしながら、FSは分析開始地点とストローク終了地点が離れているのに対して、CSはほぼ同じ地点にあることから、FSの推進効率はCSより劣るといえる。その要因として、CSを行う際は推進方向に対して身体をほぼ水平にして推進しているのに対して、FSを行う際、泳者は身体を水面へと上昇させている為（図18）、推進方向への速度が相殺されている可能性が考えられる。ストローク終了地点が、CSのものよりも上の位置にあるのも同様の理由であると考えられる。

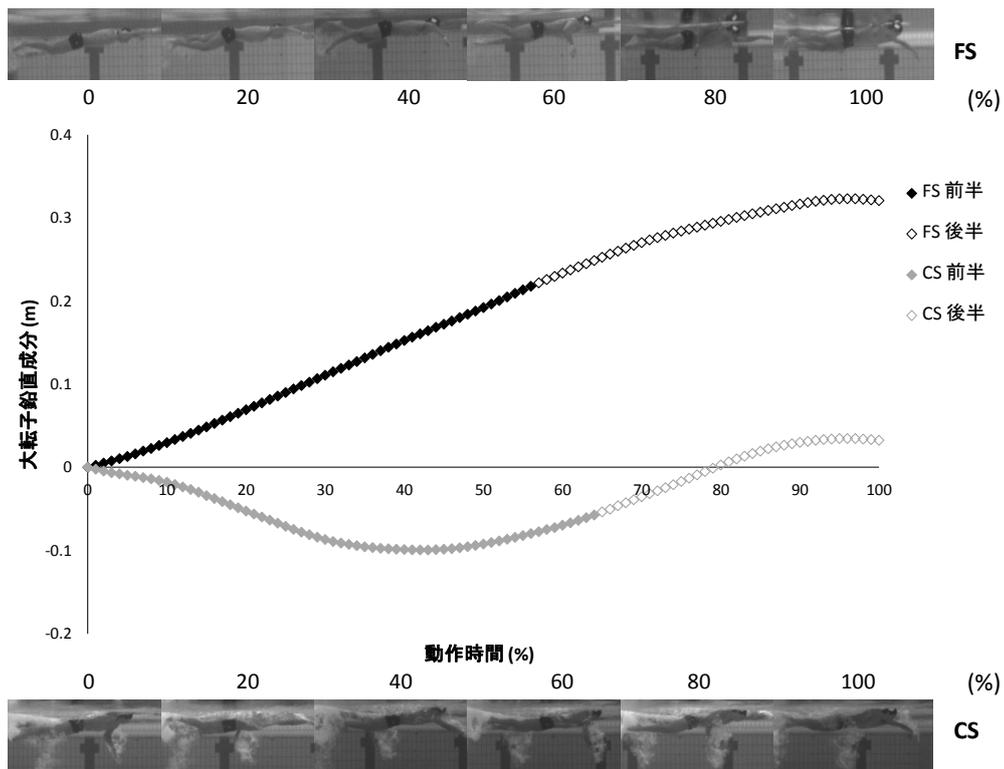


図 18 FS と CS の大転子鉛直成分の平均的な変化パターン。全泳者のデータをそれぞれの動作時間で規格化し、データの数 を 101 個に揃えた。その上で、FS と CS の平均的な変化パターンを示した。縦軸に大転子鉛直成分 ( m )、横軸にストローク全体の動作時間を 100% とした時の相対的な時間の割合 ( % ) を示した。原点は分析を開始した地点の大転子の位置とした。

以上のことから、FS は CS と比較するとより早い段階で水を捉られるような動作をしているが、身体を水面へと浮上させることでその推進効率は相殺されているといえる。

#### 4-2-2. ストローク後半局面における特異性

図 13 および表 9 から、ストローク半径がストローク前半と比較して短縮されていたことから、ストロークの後半でも肘は伸展していないことが推察される。

また、手掌部角度はストローク動作が進むに連れて増加していくが、ストローク動作時間の 90% を超えた辺りで FS の手掌部角度の増加量が CS と比較して少なくなっていたことが見てとれる。

以下の図 19 は FS と CS の手掌角度の最大値を比較したものである。

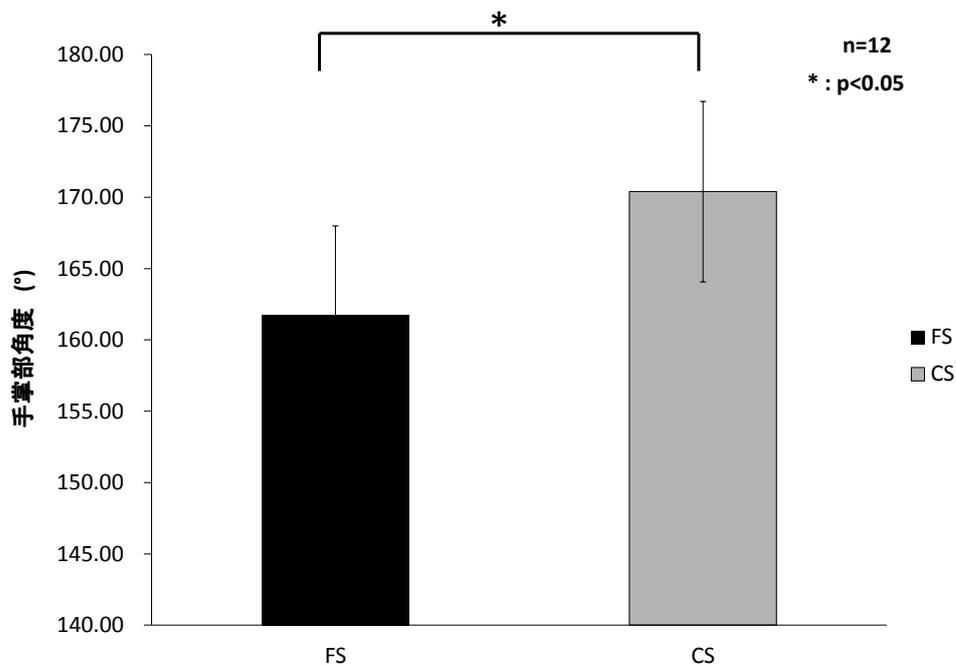


図 19 手掌部角度の最大値の比較

全ての泳者で手掌部角度の最大値は FS の方が CS よりも小さく、平均値を見ても FS は CS よりも有意に小さかった ( $p < 0.05$ )。これはストロークが終了する地点では FS よりも CS の方が手掌部は水面に向いていることを意味する。

ストローク後半の平均値を比較した時、FS と CS の間に唯一有意差が認められた変数は鉛直方向の指尖部速度であり、FS の鉛直方向の指尖部速度は CS よりも有意に高かった。このことから、手掌部で水を捉えている面積が FS は CS に比べて少なく、あまり水を捉えずに水面へと手を移動させているという状態が推察できる。

以上のことから、FS の後半では指尖部を鉛直方向へと抜き上げる動作が CS と比較して顕著に表れていたといえる。

#### 4-3. スタート局面で用いるストロークのパフォーマンス決定因子

表 7 において FS の大転子速度と唯一有意な相関が認められたのはストローク全体の推進方向の指尖部速度であった ( $r=-0.58, p<0.05$ )。FS の大転子速度を増加させるためには、ストローク全体を通して指尖部をより速く推進方向に対して後方に動かすことが必要であることがわかる。

また、ストローク全体の推進方向の指尖部速度は ストローク全体の動作時間 ( $r=0.76, p<0.01$ )、ストローク全体の軌跡長 ( $r=0.71, p<0.01$ )、ストローク前半の動作時間 ( $r=0.85, p<0.01$ )、ストローク前半の軌跡長 ( $r=0.78, p<0.01$ )、ストローク前半の推進方向の指尖部速度 ( $r=0.82, p<0.01$ ) との間に有意な相関が認められた。しかし、ストローク後半の変数とは有意な相関が認められなかったことから、ストローク全体の推進方向の指尖部速度はストローク前半での動作が大きく影響しているといえる。

生田ら (1999) は、100m および 200m 自由形のレース分析の結果から泳速度はストロークの動作時間に依存していると報告している。また、松田ら (2011) らは、泳者はストロークの動作時間を短くすることに

より、推進力を得ていない期間を短縮することにより平均泳速度を向上させていると報告している。加えて、先述したように 高木ら（1993）は一流選手の指尖部の軌跡を分析し、ストレッチ動作の減少が効率の良いストロークにつながると考察している。これらの先行研究の結果を踏まえて考察すると、ストレッチ動作の割合を減少させることで動作時間を短縮し、推進局面の割合を増加させることが、推進方向に対して後方への指尖部速度を増加させ、結果的に泳速度の増加につながると考えられる。

しかし、FSは泳者が Leg Kicking 局面まで形成しているストリームライン姿勢を崩しながらストロークを開始するので、ストレッチ動作は存在しないと推測できる。そこで、ストリームライン姿勢を組んでいる手を崩した後、指尖部を可能な限り早い時間帯で推進方向に対して後方へ動かす事で、FSの泳速度を増加させることができる可能性がある。

以上のことから、推進方向への指尖部の移動を減少させることでストローク前半の動作時間、軌跡長が減少させることが、推進方向への指尖部速度を増加させ、大転子速度の増加につながるということがいえる。

#### 4-4. 浮き上がり動作におけるパフォーマンス向上への示唆

先述したように、スタート局面ではスタートで達成された泳速度を高い水準で保ちながら FS を開始することが理想であるといえる。しかしながら、本研究で対象とした泳者は平均泳速度よりも減速した地点で FS を開始している傾向があった。この場合、FS で可能な限り早く平均泳速度、またはそれ以上の速度へ復帰させることで、全体のパフォーマンスが向上する可能性がある。

図 10 を見ると、FS は PS よりも大転子速度が高く、かつ CS よりは

大転子速度が低い泳者がほとんどであった。しかしながら，中には PS の大転子速度が比較的高いものの，FS で減速が生じている泳者（泳者 D，泳者 J）も確認された。これらの泳者は FS の技術を改善する事で浮き上がり動作のパフォーマンスが向上する可能性があると考えられる。

以下の図 20 は泳者 D，泳者 J，そして FS で最も高い大転子速度を獲得した泳者 K の指尖部の軌跡を表したものである。

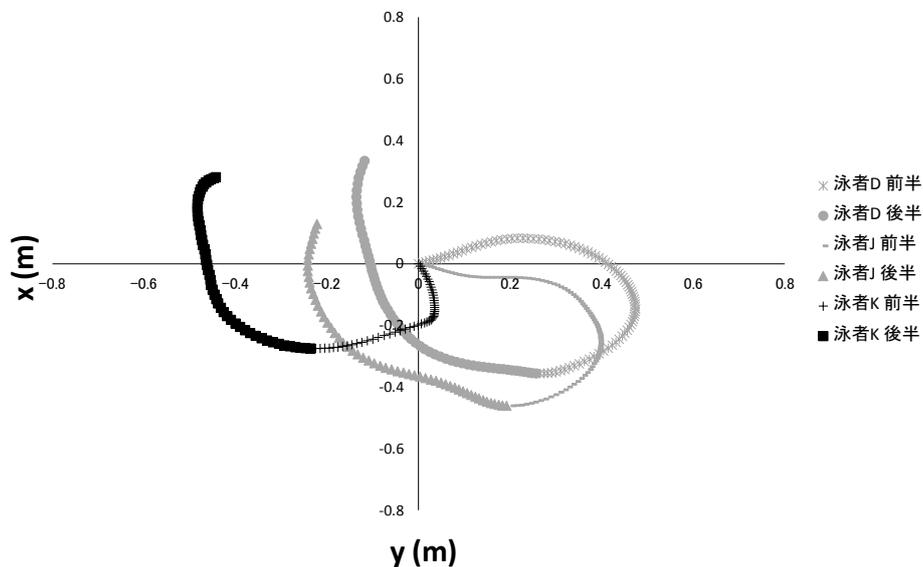


図 20 分析開始地点を原点とした時の泳者 D，泳者 J，泳者 K の指尖部軌跡の比較。

原点は分析を開始した時の指尖部の位置に設定した。

泳者 D，泳者 J のストローク前半局面は推進方向に対して横長の楕円を描いているが，泳者 K は推進方向への指尖部の移動が著しく少ないということ見てとれる。つまり，泳者 D，泳者 J の FS の大転子速度が PS の大転子速度よりも低い値を示していた理由は，水を捉えて後方に動かすまでの時間が長く，その時間で減速が生じていたと推察される。

逆に泳者 K は指尖部を即座に推進方向に対して後方に動かしたために、より早い段階で水を捉えることができ、その結果 1 ストローク中の推進局面の割合が増加していたと推察される。

以上のことから、ストローク前半で確認された FS の特異性を活かしたストロークをすることで、FS で加速できると考えられる。

なお、PS が著しく低い値を示していた泳者 E、泳者 F は FS での加速はできているが、スタートしてから非常に大きな減速をした時点でストロークを開始していることがわかる。そのため、Leg Kicking 局面の時間を短縮し、減速が生じる前にストロークを開始することでスタート局面におけるパフォーマンスの向上が実現される可能性が示唆された。

また、表 11 において CS の大転子速度が高い泳者は FS の大転子速度も高かったことがわかる。本研究でその因果関係を明らかにすることはできなかったが、FS の大転子速度を増加させることでその後の泳パフォーマンスにも好影響を与えられる可能性が示唆された。本研究において FS と CS ではストロークの動作形態が異なることが明らかになったことから、浮き上がり動作に特化したトレーニングを積極的に取り入れる必要があると思われる。

#### 4-5. 今後の課題

身体重心は全身の表わす代表点と考えられることから（阿江ら、1992）、一般的に泳速度は泳者全身の身体重心の推進方向の速度と定義できる（市川ら、2010）。しかしながら、阿江ら（1992）によるモデルを用いた場合、14 セグメントを時々刻々計測しなければならない上、空中と水中の両域でのカメラ撮影が必要となるため、かなりの労力を要する。そのため、多少の精度を犠牲にしてもデータ収集の効率化を優先

させ 1 点のみをデジタル化する手法が広く用いられているが、データの精度は身体重心をデジタル化したものに比べて低い（市川ら，2010）。したがって、各泳者の身体重心を算出し、その速度をデジタル化することでデータの精度が向上すると考えられる。

実験設定上で生じた課題も見受けられた。本研究で対象とした泳者はスタート後、平均泳速度よりも減速した状態で FS を開始していた。泳者の浮き上がる地点を短縮する、泳者毎に浮き上がりの地点を自己申告させるなどして、泳者がスタートで達成された速度を高水準で保ったまま FS を開始できるような実験設定を検討していく必要がある。同時に、本研究では全ての泳者の右手のストロークを解析しているが、泳者によって FS を行う手が左右で異なる為、泳者本来の動きが制限されてしまった可能性がある。これらの課題を踏まえて、今後は泳者にかかる制限を極力減らした実験設定を検討していく必要がある。

また、本研究ではストリームライン姿勢を組んだ際に下に位置する手で FS を開始した泳者と、上に位置する手で FS を開始した泳者が映像から確認された。本研究において、推進方向への指尖部の移動を減少させ、即座に推進方向に対して後方に指尖部を動かすことで FS の大転子速度は増加することが明らかになったことから、ストリームライン姿勢を組んだ際に下に位置する手で FS を開始することが望ましいと推察される。しかしながら、本研究においてそれを立証する事はできなかった。

そして、本研究では FS の際に用いたキック動作との関連を分析していない。映像から FS の際にバタフライキックを用いている泳者とフラッターキックを用いている泳者が確認されたが、それぞれのキック動作が FS に与える影響は特定できていない。

したがって、今後は FS と泳者のストリームライン姿勢の組み方、お

よびキックの動作形態と合わせた詳細な分析を行っていく必要があり、そこで得られた知見は浮き上がり動作におけるパフォーマンス向上へのさらなる一助となることが期待できる。

#### 4-6. 結論

本研究では競泳自由形種目のスタート局面における浮き上がり動作に着目し、スタート局面で用いるストロークとストローク局面で用いるストロークの動作形態を比較し、その特異性を明らかにする事を目的とした。

スタート局面ではスタートで達成された泳速度を高い水準で保ちながらストロークを開始することが理想であるといえることから、泳者は減速を抑えるストロークを行っているのではないかという仮定の下で検討したが、実際には対象とした泳者は平均泳速度よりも減速した状態でストロークを開始する傾向が見られた。それはすなわち、減速した状態から加速を生むストロークであることを意味する。

それを踏まえて、本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) スタート局面で用いるストロークはストローク局面で用いるストロークと比較して、ストローク全体の動作時間および軌跡長が短く、推進方向に対して後方への指尖部速度が高かった。なお、その差は主にストローク前半の動作の違いによって生じたものである。
- 2) スタート局面で用いるストロークの前半ではストローク半径が短縮されていた。ストローク局面で用いるストロークと比較して、指尖部が身体の外側を動いているか、あるいはハイエルボーと呼ばれる技術をより顕著に行っていることが要因として挙げられる。
- 3) スタート局面で用いるストロークはストローク局面で用いるストロ

ークと比較して、より早い段階で水を捉られるような動作をしているが、身体を水面へと浮上させることでその推進効率は相殺されている。

- 4) スタート局面で用いるストロークの後半においては指尖部を鉛直方向へと抜き上げる動作が、ストローク局面で用いるストロークと比較して顕著に表れていた。
- 5) スタート局面で用いるストロークの前半の動作時間および軌跡長を短縮させることが、推進方向への指尖部の移動を減少させ、その結果として推進方向への指尖部速度を増加させることで、浮き上がり動作のパフォーマンス向上につながる可能性が示唆された。

## 参考引用文献

阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 ( 1992 ) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム ( 11 ) : 23-33

Arellano, R., Moreno, F.J., Martinez, M., Ona, A. ( 1996 ) A device for quantitative measurement of starting time in swimming. In : Troup, J.P., Hollander, A.P., Strasse, D., Trappe, S.W., Cappaert, J.M., Trappe, T.A. ( Eds. ), Biomechanics and Medicine in Swimming VII : pp 195-200. New York : Taylor & Francis.

Counsilman, J.E. ( 1968 ) Science of Swimming, Prentice-Hall, N.J

Chollet, D., Chalies, S., Chatard, J.C. ( 2000 ) A New Index of Coordination for the Crawl : Description and Usefulness. International journal of sports medicine 21 : 54-59

David A. Armbruster, Robert H. Allen, Hobert Sherwood Billingsley, 江橋慎四郎, 宮下充正 共訳 ( 1975 ) 水泳教程 swimming & Diving. ベースボールマガジン社, 東京

Deschodt, V.J., Arsac, L.M., Rouard, A.H. ( 1999 ) Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. European Journal of Applied Physiology 80 : 192-199

Dick Hannula 著，野村武男，田口正公 監訳（1998）競泳 勝利へのコーチング．大修館書店，東京

Elipot, M., Hellard, P., Tailar, R., Boissiere, E., Rey, J.L., Lecat, S., Houel, N. (2009) Analysis of swimmer's velocity during the underwater gliding motion following grab start. *Journal of Biomechanics*, 42 : 1367-1370

Hay, J.G. (1985) A Mechanical Analysis of the Grab Starting Technique in Swimming. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1 : 25-35

市川浩，三輪飛寛，下門洋文，下山好充，大庭昌昭（2010）肘・膝・大転子の3点デジタイズによる平泳ぎの全身重心速度推定．日本水泳・水中運動学会 2010 年次大会論文集 : 76-77

市川浩，三輪飛寛，武田剛，高木英樹，椿本昇三（2009）圧力計測と画像分析から推定したクロール泳 1 ストローク中の抵抗力推移．日本水泳・水中運動学会 2009 年次大会論文集 : 44-45

市川浩，仰木裕嗣，宮地力，野村武男（2000）加速度計を用いた自由形泳の腕動作分析．日本機械学会（No.00-38）シンポジウム講演論文集 : 199-203

生田泰志，奥野景介，松井健，寺田昌裕，本部洋介，石川昌紀，若吉浩二，野村照夫（1999）泳速度のコントロールとストローク頻度の関係-100m および 200m 自由形のレース分析結果より-．スポーツ方法学研究 12（1）：1-8

伊藤慎一郎（2007）競泳自由形の水中フォーム解析．日本機械学会論文集（B編）73：86-89

伊藤慎一郎（2007）手のひらと前腕部から発生する水泳自由形における推進力比率．日本機械学会論文集（B編）73：73-78

窪康之（2005）競泳のスタートおよびターン局面の動作に関するバイオメカニクス的研究．バイオメカニクス研究 9：259-265

マグリシオ EW，高橋繁浩，鈴木大地 監訳（2005）スイミングファステスト．ベースボールマガジン社，東京

Mason, B., Cossor, J. (2000) What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships?. In Proceedings of XVIII Symposium on Biomechanics in Sports : pp 75-82. Hong Kong. The Chinese University of Hong Kong

松田有司，山田陽介，生田泰志，野村照夫，小田伸午（2011）クロール泳における1ストローク中の最小・最大速度にストローク頻度の増加が与える影響．日本水泳水中運動学会2011年次大会抄録論文集：22-23

松内一雄，山田圭一，野村武男，榊原潤，新谷治樹，三輪飛寛（2007）  
クロール泳者の手の動作分析と PIV 計測法による流れ場の可視化．日本  
機械学会論文集（B 編）73：55-60

中島求（2005）水泳人体シミュレーションモデルによる標準的 6 ビート  
クロール泳の力学的考察．日本機械学会論文集（B 編）71：1370-1376

中島求，佐藤憲，三浦康郎（2005）全身の剛体動力学と非定常流体力  
を考慮した人体シミュレーションモデルの開発．日本機械学会論文集  
（B 編）71：1361-1369

佐藤淳一，野口智博，杉本誠二，鈴木淳也，久保木優，吉本俊明  
（2008）国内トップレベルにおけるクロール泳者の泳動作に関する研究．  
桜門体育学研究 43（2）：36-44

Schleihau R.E.（1979）A hydrodynamic analysis of swimming  
propulsion. Swimming III, University Park Press, Baltimore：70-109

Seifert, L., Chollet, D., and Bardy, B.G.（2004）Effect of swimming  
velocity on arm coordination in the front crawl：a dynamic analysis.  
Journal of Sports Sciences 22：651-660

杉本誠二，中島求，市川浩，三輪飛寛，武田剛，野村武男（2008）シミ  
ュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増  
加がパフォーマンスに与える影響．体育学研究 53：51-60

高木英樹，野村照夫，若吉浩二，小堀優子，生田泰志（1993）一流競泳選手のスロークパターン-バルセロナ五輪選考会における400m自由形出場選手の水中動作について-．日本体育学会大会号 44B：743

武田剛，市川浩，杉本誠二，野村武男（2006）競泳スタートにおける飛び出し角度の変化が飛び出し速度，飛距離とブロックタイムに与える影響．体育学研究 51：515-524

Takeda. T, Ichikawa. H, Takagi. H & Tsubakimoto. S（2009）Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming?. *Journal of sports sciences* 27（13）：1449-1454

武田剛，伊藤秀兵，奥野景介（2011）大学男子競泳選手における水中ドルフィンキックのキネマティクスの特徴．日本水泳水中運動学会2011年次大会抄録論文集：76-79

Vantorre, J., Seifert, L., Fernanders, R. J., Boas, J. P., Chollet, D.（2010）Kinematical Profiling of the Front Crawl Start. *International journal of sports medicine* 31：16-21

若吉浩二（1994）クロール泳の科学．クロール泳に関する調査研究報告書．財団法人日本水泳連盟，東京：pp 15-22

若吉浩二，生田泰志，黒野剛弘（2003）競泳のレース分析プロジェクトの現状と今後の課題．バイオメカニクス研究 7（1）：72-81

若吉浩二，河合正治，野村照夫，奥野景介，小粥由美子（1991）競泳におけるスタートの分析．平成2年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，No2 競技種目別競技力向上に関する研究 14：39-43

吉田章，斉藤慎一（1981）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

## 謝辞

本論文の作成にあたり，御多忙にも関わらず，終始懇切丁寧に御指導頂きました主査の奥野景介先生に，心より御礼申し上げます．奥野先生には学部在籍時より御指導頂きましたが，その間学内外で様々な活動機会を与えて下さり，そのどれもが私を成長させてくれる貴重なものでした．今後は，奥野先生のような立派な指導者を目指し，日々精進致します．

副査の磯繁雄先生，金岡恒治先生にはお忙しい中副査を快諾して頂き，御指導頂きました．この場をお借りして感謝の意を表します．

また，本学助手の武田剛先生からは実験設定から論文の構成まで多大な助言を賜りました．武田先生のお力無しでは本論文を完成させることは到底できませんでした．深く御礼申し上げます．

そして，実験を遂行するにあたり，早稲田大学水泳部の選手，マネージャーに御協力頂きました．深く謝意を表します．

最後に，大学院進学を快諾して下さい，研究およびコーチング活動を温かく支援して下さい両親に深く感謝の意を表します．

2012年1月13日

伊藤 秀兵