

初心者, 熟練者及びエリート選手のけのび動作と力発揮の横断的検討

合屋十四秋* 松井敦典** 杉浦加枝子*** 高木英樹****

*保健体育講座

**鳴門教育大学学校教育学部

***岡崎市立矢作北小学校

****筑波大学大学院人間総合科学研究科

Cross Sectional Analysis on Images and Forces of Gliding Motion in Beginning, Trained and Elite Swimmers.

Toshiaki GOYA*, Atsunori MATSUI**, Kaeko SUGIURA*** and Hideki TAKAGI****

* Department of Health and Physical Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8452, Japan

** Naruto University of Education, Naruto 772-8502

*** Yahagi-Higashi elementary School, Okazaki 444-0908

**** University of Tsukuba, Tsukuba 305-8571

1. 緒 言

けのび, すなわちストリームライン姿勢はスタートやターン後の泳速度をいかに落とさずに進むかがその後の泳ぎの効率や競技成績に大きく影響する⁹⁾。また, いかに水抵抗を少なくするかが効率的に速く泳げるかに結びつくため, 初心者からトップアスリートまでの最重要課題となる所以である^{14) 16) 11)}。けのびの到達距離を大きくするのは, リリース後の前面抵抗を小さくすること²⁴⁾ や, リリース後のストリームライン, 及び壁を蹴るまでの準備動作などが関係する¹⁸⁾。これまでけのびに関する研究は, モデルによる解析³⁾, 熟練者と未熟練者との比較¹⁴⁾, 大学体育専攻学生の練習効果²¹⁾, 大学男女中等度熟練者¹⁹⁾, 同熟練者の性差²⁰⁾, 同男子競泳選手の泳力向上との関係¹³⁾, 同女子初心者の習熟過程⁸⁾, 成人男女各1名の力積, 接地時間及び初速度²⁾ などが行われている。また, Lyttle et al.^{10) 11)} は種々の泳速によるストリームライン姿勢の最適水深や, クロールのターン時のストリームライン姿勢とキックの技術の有効性を報告している。しかし, 鍛錬度の高いエリート選手のけのび動作についての報告はなされておらず, さらに, 初心者からエリート選手まで横断的に検討した研究は全く着手されていない。

そこで本研究では, 初心者, 熟練者を対象としたこれまでの研究成果に加え, エリート選手のけのびの力発揮, 画像解析を用いて, けのび動作の巧拙をどのように獲得しているのかを横断的に明らかにしようと

した。

2. 研究方法

2.1 被検者

エリート選手は, 大学生男子16名(年齢:20.4±1.0yrs, 身長:176.2±4.6cm, 体重:67.7±4.6kg, 競技歴16.0±2.1yrs)であり, 2003年度日本ランキング50位以内14名, 10位以内7名, 国際大会出場者2名であった。大学生女子20名(年齢19.4±1.3yrs, 身長163.6±3.6cm, 体重56.3±3.7kg, 競技歴11.5±1.8yrs)は, 2001年度日本ランキング50位以内12名, 5位以内2名, 国際大会出場者2名であった。なお, 初心者, 熟練者についてはこれまでの研究結果^{5) 6) 8)}を用いた。

2.2 画像撮影及び解析

VTR 画像は, Sony 社製デジタルビデオカメラ(DCR-TRV 20, 60Hz)を用い, 被検者の右側方10.7m(女子18.0m)離れた水中窓から撮影した。画像はコンピュータ画面と合成し, 身体各部の6点のリファレンスマーク(肩峰点, 肘関節中心, 手首, 大転子, 膝関節中心, 外果)及び6つの較正点の座標を読み取り, 身体各部の実長換算を行った。画像解析は, DKH 社製 Frame DIAS II ver.2.7を用いて身体各部の23点を60Hzでデジタイズし, 3点移動平均による平滑化データを算出した。解析範囲は, つま先着壁時点(以降, 接地時)の5フレーム前からつま先離壁時点(以降, リリース

時), つま先離壁後0.5s 時点 (以降, 0.5s 時) を経て, 頭頂点の 5 m ライン到達後 5 フレームまでとした。

2.3 力発揮及び分析

壁を蹴る力の測定には, 自作の水中フォースプレートが用いた (図 1)。水中フォースプレートは, 2枚のステンレス鋼板 (縦 500mm, 横 500mm, 厚さ 8 mm) で 4 個のステンレス鋼製荷重リング (幅 30mm, 外径 84mm, 厚さ 8 mm) を挟んだものである。それぞれの荷重リングには, 表裏 2 カ所, 合計 4 カ所に防水ストレインゲージ (KFW- 5 -C 1-16 L500, 共和電業製) を貼付け, 4ゲージ法によりリングに生じる圧縮歪みを検出できるようにした。これら 4つの荷重リングに生じる力の総和を, フォースプレートに生じる応力として測定した。なお, フォースプレートの性能試験を実施した結果, フォースプレートに作用する力とストレインアンプから出力される電圧との間に高い直線性が認められた (図 2)。けのびによる力発揮は十分にウォーミングアップを行わせた後, 各被検者 3~5 回行わせ, その平均値を求め代表値とした。フォースプレートからの電気信号は, ストレインアンプ (三栄測器製, 6M82) にて増幅され, MacLab / 8 s (ADI 社製) で AD 変換された。ビデオ画像と力発揮のデータ

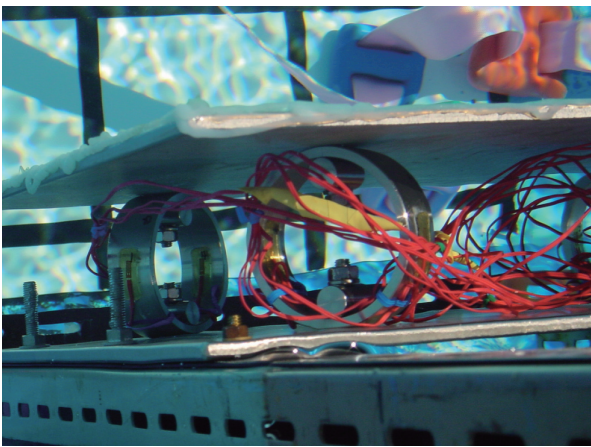


Fig. 1 Schematic view of water proof force plate.

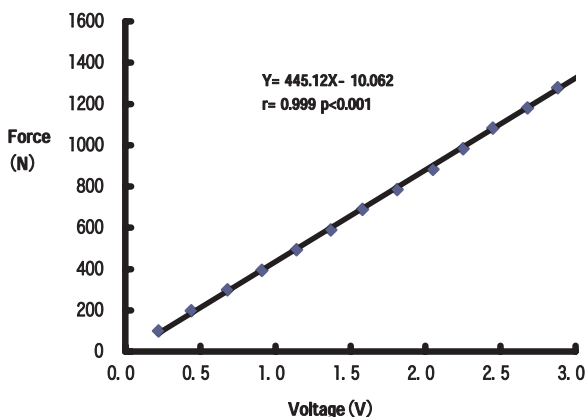


Fig. 2 Calibration for voltage and force

の同期は, 画像の支持脚接地時と力発揮のデータの立ち上がり時で行った。

分析項目は, 重心移動軌跡, リリース時の重心移動速度 (以下, 初速度), リリース後0.5s 時の重心移動速度 (以下, 0.5s 時の速度), 初速度と0.5s 時の速度比率 (以下, 減速量), 接地位置, 重心投射角度 (以下, 投射角), 接地からリリースまでの所要時間 (以下, 所要時間), ピーク値及び力積で構成された。重心移動速度はリリース時及び5コマ後の重心点までの移動距離を時間微分することによって求めた。体表面積は藤本ら⁴⁾による以下の式を用いた。

$$BSA(\text{cm}^2) = 88.83 * HT(\text{cm})^{0.663} * BW(\text{kg})^{0.444}$$

測定値はすべて平均値 ± 標準偏差とし, 相関はピアソンの相関係数を用い, 相関行列を求めた。危険率 5 % 以下を有意であるとした。

3. 結 果

3.1 けのび動作と力発揮

表 1 に初心者, 熟練者及びエリート選手の身体特性及びけのびの到達距離, 初速度, 0.5s 時の速度, 減速量, 接地位置, 投射角, 所要時間, ピーク値および力積を示した。

到達距離は男女合わせて約 6m ~ 12m, 初心者, 熟練者では男子が大きく, エリート選手は女子が大きかった。初心者のトレーニングによる変化は男女ともに約 1m 程度であった。初速度は, 男子の方が女子に比べ大きかった。しかし, 男子ではエリート選手を除き, さほど大きな差は見られなかった。初心者はトレーニングによって熟練者レベルに近づいた。所要時間は, 初心者とエリート選手とはほぼ同じであり (0.4s 強), 熟練者はそれより長かった (0.6s 弱)。また, 初心者はトレーニングによって所要時間が長くなった。接地位置は, 熟練者は深く, エリート選手は 0.3~0.4m 程度であった。投射角は, エリート選手はほぼ平行で下向きであるが, 初心者は下向きで大きく, 特に女子が大きかった。熟練者も下向きであるが, 投射角は小さく, 一部上向きもあった。ピークフォースは, 男女ともに初心者からエリート選手に至るまで大きな差はみられなかった。力積は, 男子の方が女子に比べ大きかった。しかし, 男子ではエリート選手を除き, さほど大きな差は見られず, 初心者のトレーニングによる変化もあまりみられなかった。

図 3, 図 4 に男子エリート選手のけのびの距離が大きかった上位 2 名と, 小さかった下位 2 名の重心移動軌跡を示した。下位グループの水深は 0.5~0.6m, または 0.1~0.3m と安定せず, 水面上方へと蹴り出していた。上位グループの水深は 0.4~0.5m とほぼ一定であり, わずかに下方へと蹴り出していた。一方, 女子下位グループ (図 5) の水深は 0.5~0.6m と深く, 下方へ

Table 1. Previous Studies, Means and Standard Deviations for Glide Swim Variables in Each Selected Subjects .

Subjects		N	Height (cm)	Weight (kg)	Body Mass Index Ratio	Body Surface Area (m ²)	Glide Distance (m)	Initial Velocity (m/s)	Velocity at 0.5sec (m/s)	Ratio of Velocity (%)	Contact Depth (m)	Angle of Trajectory (deg)	Contact Time (s)	Peak Force (N)	Impulse (Ns)
Takahashi et al(1983)	Male Elite	3	—	—	—	—	—	2.87~3.07	—	—	—	—	0.38~0.41	804~1205	213.1~268.8
	Male Beginners	3	—	—	—	—	—	2.67~2.80	—	—	—	—	0.31~0.45	803~1352	189.9~196.7
Goya et al(2000)	Female Beginner	pre	1	158	54.5	21.8	1.50	5.7	2.32±0.55	—	—	—	—	—	—
	// post		—	—	—	—	—	8.0	2.70±0.05	—	—	—	—	—	—
Sugiura et al(2001)	Male Trained	17	173.5±5.2	65.4±6.7	21.7±1.5	1.73±0.11	9.4±1.6	2.91±0.25	2.17±0.23	0.75±0.27	0.34±0.13	1.58±2.62	0.57±0.12	722.5±120.1	202.6±47.2
Goya et al(2002)	Male Semi-Trained	12	172.1±5.0	65.8±7.2	22.2±2.1	1.73±0.10	8.8±1.1	2.85±0.20	2.10±0.14	0.75±0.22	0.38±0.06	-2.13±2.69	0.60±0.10	845.1± 86.9	257.1±48.6
	Female Semi-Trained	7	159.9±3.1	55.4±5.2	21.7±1.8	1.67±0.68	8.1±0.6	2.51±0.24	1.82±0.15	0.69±0.21	0.44±0.05	-2.46±2.52	0.58±0.12	817.3±114.2	154.5±31.5
Goya et al(2006)	Male Beginners	pre	6	171.7±7.2	65.7±9.4	22.2±1.7	1.73±0.16	7.5±0.6	2.46±0.26	1.74±0.22	0.72±0.13	0.27±0.05	-1.87±1.98	0.38±0.10	1180.1±207.5
	// post		—	—	—	—	—	8.5±0.9	2.58±0.16	1.88±0.11	0.70±0.10	0.32±0.07	-1.85±1.83	0.44±0.08	1192.5±211.0
	Female Beginners	pre	7	158.2±5.6	53.5±8.5	21.3±2.3	1.49±0.14	6.9±0.8	2.13±0.27	1.49±0.15	0.63±0.23	0.31±0.09	-5.43±5.36	0.40±0.09	786.9±179.8
	// post		—	—	—	—	—	8.1±1.5	2.34±0.20	1.64±0.14	0.70±0.25	0.27±0.06	-4.62±5.20	0.43±0.10	883.2±194.7
Goya et al (2008)	Male Elite	16	176.2±4.6	67.7±4.5	21.8±1.2	1.78±0.74	11.5±0.7	2.99±0.11	2.26±0.08	0.73±0.08	0.37±0.08	-2.03±1.75	0.44±0.04	1170.6±116.8	271.8±34.8
	Female Elite	20	163.6±3.6	56.3±3.7	21.1±1.6	1.56±0.53	12.0±1.5	2.67±0.10	1.94±0.08	0.73±0.10	0.32±0.05	-1.63±1.84	0.47±0.06	863.1± 61.1	198.1±18.5

Ratio of Velocity: Ratio of Initial Velocity vs Velocity of 0.5sec after release.

Table 2. Correlation Matrix of the Characteristics and selected Glide Swim Variables in Male and Female Subjects.

	Ht	Weight	BMI	BSA	Distance	Initial V	V0.5	V/V0.5	Contact D	Angle Trj	Contact T	Peak Force	Impulse
Ht													
Wt	0.807**												
BMI	0.161	0.709**											
BSA	0.854**	0.950**	0.574**										
Distance	0.220*	0.166	0.030	0.133									
Initial V	0.582**	0.451**	0.072	0.468**	0.469**								
V0.5	0.646**	0.577**	0.208	0.593**	0.536**	0.918**							
V/V0.5	0.040	-0.134	-0.272	-0.129	-0.002	0.481**	0.096						
Contact D	0.130	0.222*	0.210	0.328*	-0.263**	0.271*	0.307*	0.026					
Angle Trj	0.011	0.028	0.065	0.090	0.220*	0.202	0.197	0.074	0.284*				
Contact T	-0.018	-0.042	-0.063	0.081	-0.180	0.004	0.041	-0.068	0.590**	0.206			
Peak Force	0.383**	0.487**	0.362**	0.458**	0.227*	0.146	0.225*	-0.144	-0.356**	-0.304**	-0.410**		
Impulse	0.443**	0.545**	0.380**	0.633**	0.178	0.369**	0.459**	-0.092	0.286*	-0.036	0.343*	0.582**	

* significant at 5% level, ** significant at 1% level

Distance: Distance covered by Glide Swim. Initial V: Initial Velocity. V0.5: Velocity of CG at 0.5sec after Take off. V/V0.5: Ratio of Initial Velocity and V0.5.

Contact D: Contact Depth of the feet from water surface. Angle of Trj: Angle of Trajectory for Center of Gravity against water surface level at 5fps after take off.

Contact T: Contact Time from feet touch to the wall and take off.

Table 3. Correlation Matrix of the Characteristics and selected Glide Swim Variables in Male Subjects.

	Hight	Weight	BMI	BSA	Distance	Initial V	V0.5	V/V0.5	Cntact D	AngleTrj.	Contact T	Peak Force	Impulse
Ht													
Wt	0.680**												
BMI	0.0801	0.783**											
BSA	0.8448	0.967**	0.600**										
Distance	0.563**	0.410**	0.085	0.499**									
Initial V	0.1288	0.0327	-0.0679	0.0706	0.600**								
V0.5	0.302*	0.281*	0.1306	0.313*	0.758**	0.843**							
V/V0.5	-0.2612	-0.395**	-0.334*	-0.380**	-0.1725	0.404*	-0.147						
Cntact D	-0.1307	0.0706	0.2053	0.0019	-0.1227	0.2329	0.2527	0.0417					
AngleTrj	-0.0217	-0.0228	-0.0166	-0.0243	-0.0803	0.0088	0.0076	0.0143	0.346*				
Contact T	0.1199	0.1548	0.1123	0.1494	-0.0308	0.1147	0.2027	-0.1183	0.689**	0.163			
Peak Force	0.285*	0.416**	0.334*	0.406**	0.319*	-0.0857	0.0529	-0.2648	-0.588**	-0.570**	-0.515**		
Impulse	0.421**	0.593**	0.459**	0.579**	0.360**	0.088	0.2602	-0.287*	-0.0787	-0.554**	0.2089	0.692**	

* significant at 5% level, ** significant at 1% level

Distance: Distance covered by Glide Swim. Initial V: Initial Velocity. V0.5: Velocity of CG at 0.5sec after Take off. V/V0.5: Ratio of Initial Velocity and V0.5.
 Contact D: Contact Depth of the feet from water surface. Angle of Trj: Angle of Trajectory for Center of Gravity against water surface level at 5fps after take off.
 Contact T: Contact Time from feet touch to the wall and take off.

Table 4. Correlation Matrix of the Characteristics and selected Glide Swim Variables in Female Subjects.

	Hight	Weight	BMI	BSA	Distance	Initial V	V0.5	V/V0.5	Cntact D	AngleTrj.	Contact T	Peak Force	Impulse
Ht													
Wt	0.493**												
BMI	-0.0758	0.828**											
BSA	0.487**	0.806**	0.616**										
Distance	0.395*	0.2312	0.0232	0.0354									
Initial V	0.413*	0.1793	-0.0469	0.1866	0.738**								
V0.5	0.438**	0.315	0.0943	0.3326	0.793**	0.909**							
V/V0.5	0.1284	-0.1799	-0.2852	-0.1978	0.2136	0.608**	0.2219						
Cntact D	-0.2327	-0.0488	0.1045	0.461**	-0.374*	-0.0321	0.0263	-0.1226					
AngleTrj	0.368*	0.348*	0.1833	0.495**	0.411*	0.623**	0.670**	0.1805	0.3353				
Contact T	-0.1406	-0.2783	-0.2156	0.1183	-0.2906	-0.0515	-0.056	-0.0092	0.586**	0.2328			
Peak Force	0.550**	0.713**	0.471**	0.550**	0.285	0.2808	0.3174	0.0484	-0.1697	0.2529	-0.422*		
Impulse	0.1709	0.2512	0.1871	0.629**	0.0902	0.439**	0.500**	0.0724	0.656**	0.583**	0.559**	0.1771	

* significant at 5% level, ** significant at 1% level

Distance: Distance covered by Glide Swim. Initial V: Initial Velocity. V0.5: Velocity of CG at 0.5sec after Take off. V/V0.5: Ratio of Initial Velocity and V0.5.
 Contact D: Contact Depth of the feet from water surface. Angle of Trj: Angle of Trajectory for Center of Gravity against water surface level at 5fps after take off.
 Contact T: Contact Time from feet touch to the wall and take off.

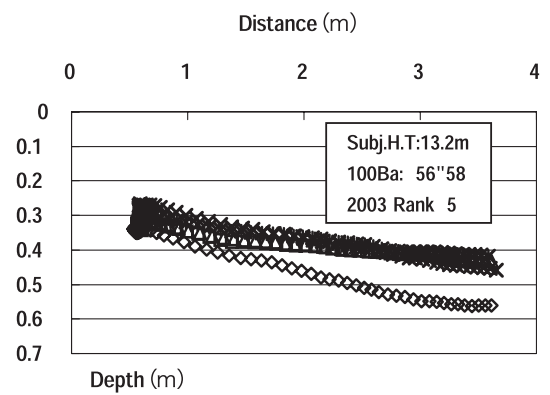
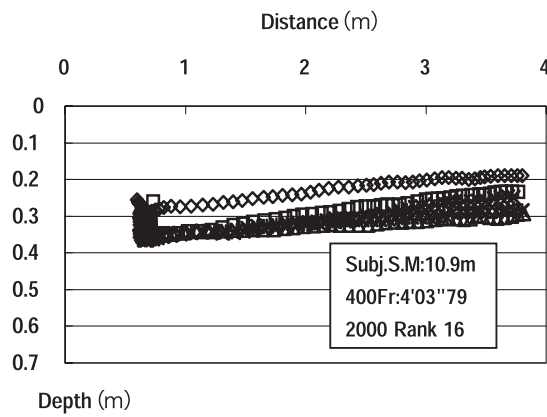
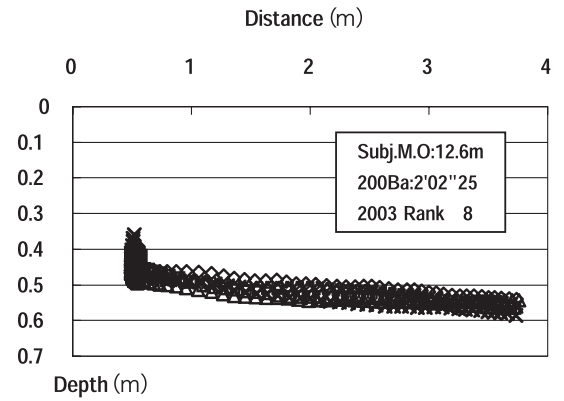
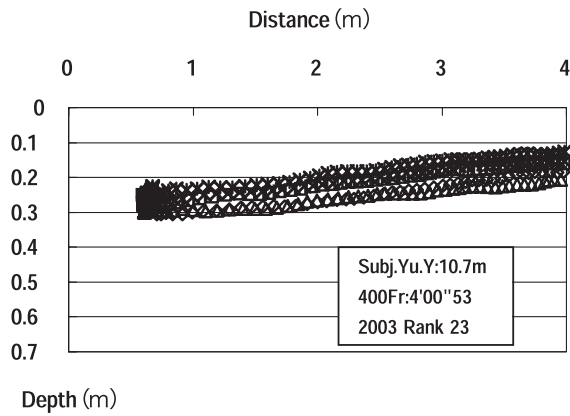
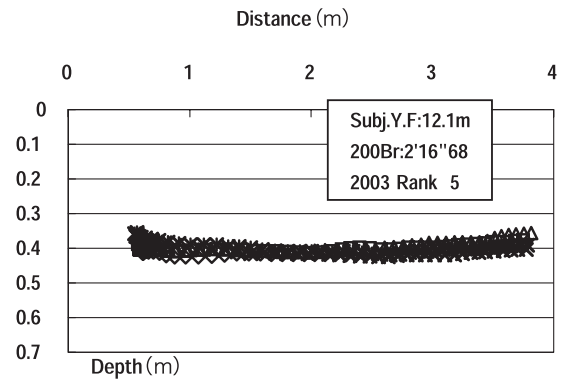
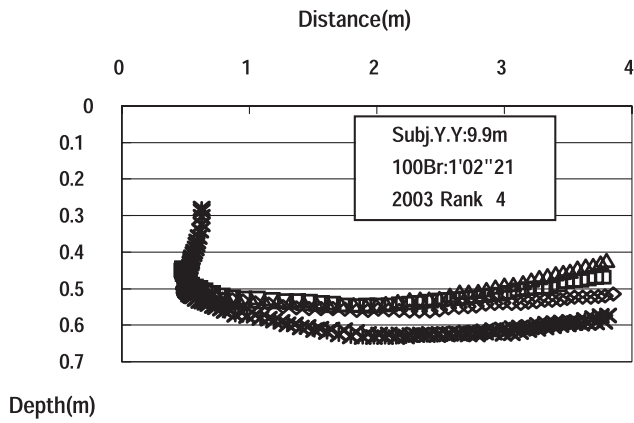


Fig. 3 Locus of center of gravity for the lower glide distance group in male.

Fig. 4 Locus of center of gravity for the higher glide distance group in male.

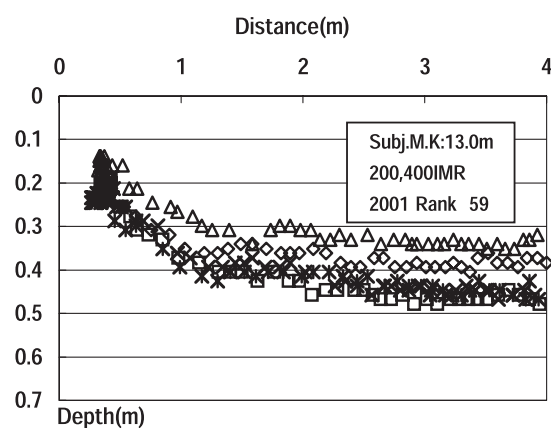
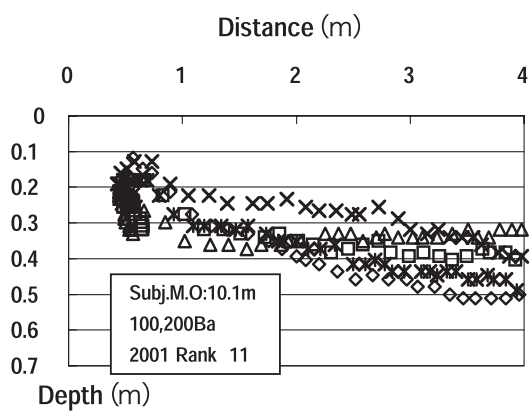
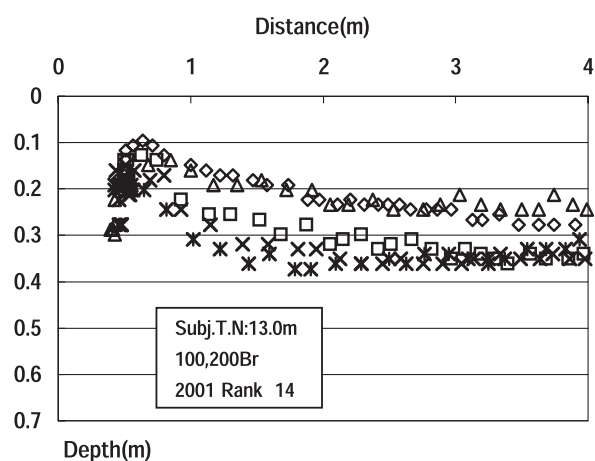
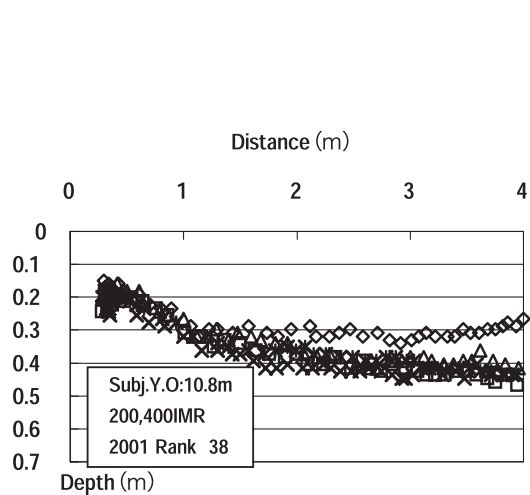
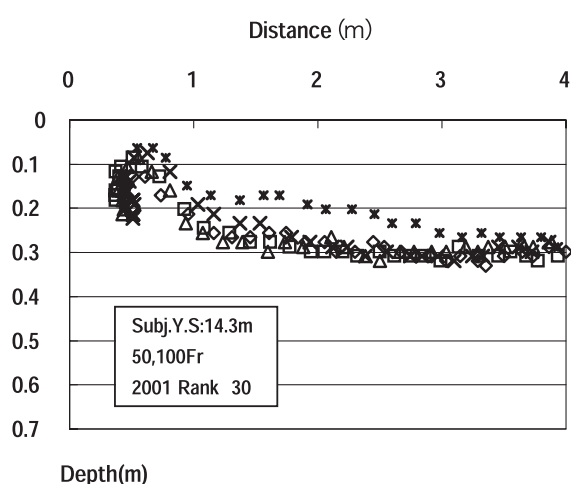
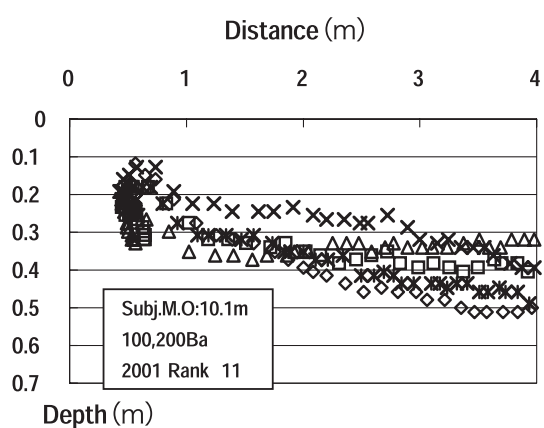


Fig. 5 Locus of center of gravity for the lower glide distance group in female.

Fig. 6 Locus of center of gravity for the higher glide distance group in female.

蹴り出していた。上位グループ（図6）の水深は0.3～0.4mであり、下方へと蹴り出していた。

3.2 相関分析

初心者からエリート選手までの身体特性及び各分析項目間の相関行列を男女全体（表2）、男子のみ（表3）、女子のみ（表4）に分けて求めた。その中から特に、けのびの到達距離と有意な相関がある項目についてそれぞれ検討した。その結果、男女全体では到達距離と相関がみられたのは身長、初速度、0.5s時の速度、減速度、接地位置、投射角、ピーク値であった。しかし、体表面積及び力積との間に有意な相関はみられなかった。男子のみでは、到達距離と身長、体重、体表面積、初速度、0.5s時の速度、減速度、ピーク値及び力積との間に有意な相関がみられた。また、女子のみでは、到達距離と身長、初速度、0.5s時の速度、接地位置及び投射角との間に有意な相関がみられたが、体表面積及び力積との間に有意な相関はみられなかった。

4. 考 察

4.1 到達距離に影響を及ぼす要因

水中で進む感覚を習得するには、けのびで7 m以上の到達距離が必要であるといわれている²⁴⁾。熟練者男子では9.4m¹⁹⁾、女子では8.1m⁶⁾と報告され、初心者男子では7.5m、女子では6.9mであり、練習によってそれぞれ8.5m、8.1mと約1 m程度の有意な増加がみられる⁸⁾。本研究のエリート選手は男子が11.5m、女子が12.0mと女子が男子を上回った。これは、水中トルクの影響により男子は有意に足先から沈みやすいこと²⁷⁾、重心と浮心との距離は男子の方が有意に長いこと¹²⁾が作用していると推測されるが、今後の検討が必要である。これらエリート選手の到達距離はほぼ初心者の1.5～1.7倍であった。初心者からエリート選手まで横断的に見た到達距離はおおよそ6～12mであり、指導・実践場面を想定し、単純化すれば、ほぼ2 m刻みで3段階、1m刻みで5段階の評価基準⁷⁾として実用の場に提供できる。

一方、けのびの到達距離と有意な相関があった項目は、男女全体では身長、初速度、0.5s時の速度、減速度、接地位置、投射角度、ピーク値であり（表2）、女子では身長、初速度、0.5s時の速度、接地位置、投射角度であった（表3）。また、双方ともに有意な相関がみられなかったのは到達距離と力積及び体表面積であった。しかし、男子で到達距離と相関がみられたのは身長、体重、初速度、0.5s時の速度、減速度、ピーク値、力積及び体表面積であった（表4）。このことから、到達距離に影響を及ぼすと考えられる身体特性及び各測定項目には性差がみられることが伺われた。特

に、男子は体重、速度、力積及び体表面積と相関があったことから、初心者からエリート選手まで、主としてけのびの到達距離は体型、速度及び力発揮との関連が大きいのではないかと思われた。女子では、到達距離と力積及び体表面積との相関がみられず、速度や接地位置、投射角など技術的な要素が関与することから、初心者からエリート選手まで体表面積や力積はけのびの到達距離に影響を及ぼさないのではないかと思われた。しかし、性差や体格及び体表面積の違いによって自己推進時抵抗に影響を与えるかどうかはいまだ明らかになっていない^{16) 17) 22)}。本研究の結果は受動抵抗による結果である。下永田ら¹⁶⁾、高木ら²²⁾との条件の違いを考慮し、さらなる詳細な検討が必要である。

4.2 Kinetic, Kinematic 評価

けのびの巧拙は壁を蹴るまでの準備動作¹⁸⁾、ドライブ期の抵抗を少なくする技術³⁾、及びリリース後の前面抵抗を小さくすること²⁵⁾などが関係すると言われている。従って、時系列で評価すると、準備動作、ドライブ期、リリース後のすべてにおいて、できるだけ抵抗を少なくしてより速く、より速くへ移動し、泳ぎだす次の準備姿勢をとる必要がある。本研究の結果、到達距離が大きかった男女エリート選手の接地位置は、0.32～0.37m、初速度は2.7～3.0m/s、投射角は-1.6～-2.0°、所要時間は0.44～0.47s、ピークフォースは863N～1170N、力積は198N・s～272N・sであった。Takahashi et al.²⁵⁾は、男子エリート及び初心者のピークフォースは約800N、初速度は2.7～3.07m/sであったと報告している。また、Daniel et al.²⁾は、けのび時の力積、所要時間及び初速度を成人男女各1名について求めた結果、男子（Ht：189cm、Wt81kg）はそれぞれ302～304N・s、0.48s、3.31m/s、女子（Ht：167cm、Wt：67kg）はそれぞれ169～194N・s、0.23～0.33s、2.65m/sであったと報告している。これらの結果には、接地位置についての先行研究は報告されていないが、初速度、投射角、所要時間、ピークフォース、力積の値は、ほぼ本研究の男女エリート選手の結果と一致した。すなわち、けのびによる避抵抗姿勢を保ち、12m以上の到達距離に達する本研究のエリート選手の値は最適水準にあると考えられた。

次に、初心者、熟練者およびエリート選手のけのびによる力発揮、力積、壁を蹴る時間、重心移動速度（0.5s時）および投射角の巧拙の変容を図7にまとめた。この結果から、初心者は壁を蹴る時間を長くして力積を大きくし、到達距離の増大を図っていた。熟練者は初心者より深い位置に接地し、長く速く壁を押して大きなパワーを得ているが、蹴る方向が上下に不安定であった。エリート選手は熟練者と同じか、若干浅い位置で接地し、短時間で壁を押して大きなパワーと

1) 力発揮

ため (なし⇒あり)

2) 力積

熟練者・エリートほぼ同じ

(性差あり)

3) 壁を蹴る時間

(短⇒長⇒短)

4) 重心移動速度 (0.5s時)

小⇒大

5) 投射角度

(下⇒上下⇒水平)

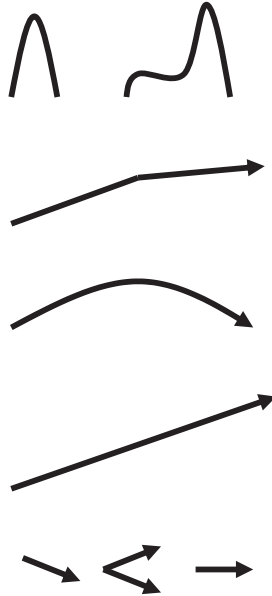


Fig. 7 Kinetic and kinematic changes for gliding in beginner, trained and elite swimmers.

スピードを得、水平よりわずかに下方に蹴り出し、0.3～0.4mの水深を安定して進んでいることがわかった。

けのびと共通するターン後のストリームライン姿勢について、Walker,²⁶⁾は、平泳ぎ及びバタフライのエイジグループ選手の壁を蹴る力とその方向を検討した結果、双方ともに前後方向へ蹴る力がほとんどであり、上下方向はごくわずかであったことから、ターン後のストリームライン姿勢と、下方へ蹴り出すことの重要性を指摘している。また、Blanksby et al.¹⁾は、男女エージグループ選手の背泳ぎロールオーバーターン（クイックターン）動作と壁を蹴る力と方向を検討した結果、十分に脚を伸ばしたストリームライン姿勢で水平方向に力強く、すばやく壁を蹴ることが5 mのターン往復タイムを短縮することにつながると提言している。以上のことから、ターン後のストリームライン姿勢、すなわち、けのび姿勢はすべての動作局面において腰や膝を十分に伸ばし、進行方向の抵抗をできるだけ小さくすることが重要である。

次に、男女エリート上位グループの水中での重心移動軌跡は、リリース後、水深0.3～0.4m付近を僅かに下方またはほぼ水平に通過していた。Shimizu et al.¹⁵⁾は、1.6mから2.0mの高速域で人体模型を曳航したときの抵抗は、水面近傍よりも深い水深（255～355mm）では造波や跳ね水現象は生じず、抵抗は小さくなると報告している、また、Lyttle et al.⁹⁾は、人体を6種類のスピードと水表面、0.2m、0.4m及び0.6mの水深を組み合わせ水中を牽引したところ、水深0.4m、牽引速度1.9m/sが最も抵抗が少なかったと報告している、本研究では、人体モデルや牽引ではなく、けのびによる

実際の試技を行わせた結果であるが、男女エリート上位グループの初速度2.7～3.0m/s、0.5s時の速度2.0～2.3m/s、水深約0.3～0.4mでの重心移動軌跡は、ほぼこれらの結果と一致した（図4、図6）。また、Takagi and Sanders²³⁾もターン後、浮き上がりを考慮し、抵抗のない姿勢を作るには0.4m位の水深を保持することを推奨している。このことから、けのびの重心移動軌跡は0.3～0.4m付近が最も最適な水深であり、低抵抗となることが示唆された。

5. ま と め

本研究では、初心者、熟練者およびエリート選手のけのび動作の巧拙を画像解析および力発揮の視点より横断的に検討した。結果は以下の通りであった。

- 1) 到達距離と身体特性及び各測定項目には性差がみられることが伺われ、男子は、身長、体重、体表面積、速度、力積など体型や力発揮の要素が、女子は接地位置や投射角度など技術的な要素が到達距離と有意な関係にあった。
- 2) 初心者は壁を蹴る時間を長くして力積を大きくし、到達距離の増大を図っていた。熟練者は初心者より深い位置に接地し、長く速く壁を押して大きなパワーを得ているが、蹴る方向が上下に不安定であった。エリート選手は熟練者と同じか、若干浅い位置で接地し、短時間で壁を押して大きなパワーとスピードを得、水平よりわずかに下方に蹴り出し、0.3～0.4mの水深を安定して進んでいることがわかった。

6. 文 献

- 1) Blanksby, B et al (2004) An analysis of the rollover backstroke turn by age-group swimmers. Journal of Sports Biomechanics .3 (1) : 1-14.
- 2) Daniel K, et al (2002) Kinematic and dynamographic research in different swimming turns, Biomechanics and Medicine in Swimming IX, J.C. Chatard (eds), Saint-Etienne, France, pp201-206.
- 3) 土居陽治郎・小林一敏 (1985) けのびのモデルによる解析. 東京体育学研究, 12 : 115-118.
- 4) 藤本薫喜ほか (1968) 日本人の体表面積に関する研究, 第18篇, 三期にまとめた算出式, 日本衛生学雑誌, 23 (5) : 7-14.
- 5) 合屋十四秋・杉浦加枝子 (2000) けのび動作の習熟過程と気づきに関する追跡研究, 水泳水中運動科学, 3 : 29-33.
- 6) Goya, T. et al (2002) Forces and image analysis on gliding motion for beginning and competitive swimmers, Biomechanics and Medicine in Swimming, IX, University of Saint-Etienne; Saint-Etienne, 37-40.
- 7) 合屋十四秋ほか (2005) 水泳基本動作「けのび」の横断的および縦断的追跡研究. 第18回日本バイオメカニクス学会

- 大会論集, トレーニングを科学するバイオメカニクス:鹿屋, pp.194-195。
- 8) 合屋十四秋ほか (2006) 大学生男女初心者のけのび動作における力発揮と認識の変容。スポーツ方法学研究, 19:31-44。
 - 9) Lyttle, A., et al (1999) Optimal depth for streamlined gliding. In : Keskinen, K., Komi, P., and Hollander, A.P. (Eds.), Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, Gummerus Printing : Jyväskylä, pp.165-170.
 - 10) Lyttle, A. et al (2000) Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. Journal of Sports Science. 18 : 801-807.
 - 11) Lyttle, A., et al (2002). Body form influences on the drag experienced by junior swimmers. In: International Research in Sports Biomechanics. (Ed. Y.Hong). Routledge Publishing, London. pp. 311-317.
 - 12) McLean SP, and Hinrichs RN (1998) Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. Res Q Exerc Sport. 71 (2) 182-189.
 - 13) 大城敏裕ほか (2000) Active Drag System の開発と泳力向上への応用。水泳水中運動科学, 3 : 47-53.
 - 14) 柴田義晴 (1992) 水泳指導についての一考察 —け伸びの指導について—。東京学芸大学紀要 5 部門, 5(44): 133-140。
 - 15) Shimizu, Y., et al (1997) Studies on fluid drag measurement and fluid drag reduction of woman athlete swimming suit. Japan Society of Mechanical Engineers, (B) 60, 616, 3921-3927.
 - 16) 下永田修二ほか (1998) クロール泳における ActiveDrag の定量化の試み, 福岡大学体育研究28 (2) : 65-79。
 - 17) 下永田修二ほか (2001) 簡易パワー計測システムの開発と検討, バイオメカニクス研究, 6 (1) 15-23。
 - 18) 杉浦加枝子・合屋十四秋 (2000) けのび動作の習熟過程と気づきに関する追跡研究—リリース時の動作と力発揮を中心に—。水泳水中運動科学, 3 : 29-34。
 - 19) 杉浦加枝子・合屋十四秋 (2001) 熟練者におけるけのび動作と力発揮との関係, 水泳水中運動科学, 4 : 11-15.
 - 20) 杉浦 加枝子・合屋十四秋 (2004) 大学熟練泳者におけるけのび動作の性差。愛知教育大学教育実践総合センター紀要, 7 : 91-95。
 - 21) 田場昭一郎 ほか (2000) 中学, 高校, 大学水泳選手における推進力・泳パワー・自己推進時抵抗の横断的研究。福岡大学スポーツ科学研究, 30 (2) : 25-36。
 - 22) 高木英樹ほか (1997) 日本人競泳選手の抵抗係数, 体育学研究, 41 (6) : 484-491。
 - 23) Takagi, H and R Sanders (2000) Hydrodynamics makes a splash, Physics World, 39-43.
 - 24) 高橋伍郎 (1983 a) 水泳における身体動作, J. J. Sports. Sci., 2 (7) 518-526。
 - 25) Takahashi, G. et al (1983b) Propulsive force generated by swimmers during a turning motion Biomechanics and Medicine in Swimming, Human Kinetics Publishers, Inc. 192-198.
 - 26) Walker, J. (1995) Turning techniques:the biomechanics of age group swim turns. World Clinic Series (Volume 27). The American Swimming Coaches Association. (pp. 129-137). Florida: Fort Lauderdale Press.
 - 27) Zamparo P, et al (1996) Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. Scand . J Med Sci Sports 6 (5) : 273-280.

(2009年 9 月17日受理)