

## ジュニア競泳選手のパフォーマンスに影響する要因の年齢変化

渡邊 将 司<sup>1)</sup> 高井 省 三<sup>2)</sup>

## AGE-RELATED CHANGE OF THE FACTORS AFFECTING SWIMMING PERFORMANCE IN JUNIOR SWIMMERS

MASASHI WATANABE and SHOZO TAKAI

## Abstract

This study was intended to clarify factors that contribute to swimming performance, and to determine the extent to which these factors change with respect to junior swimmers' development. Participants were 114 boys and 130 girls, 8-18 years old, who belonged to swimming clubs. They were classified into four groups: 8-10 years, 11-12 years, 13-14 years, and 15-18 years. We selected four factors - body size, muscle strength, flexibility, and stroke efficiency - which are putatively related to swimming performance. Swimming performance was identified as standardized 50 m records. We applied simultaneous analysis of multiple groups to multiple regression models and thereby examined the relationship between those four factors and swimming performance with respect to age and sex.

Stroke efficiency was the salient explanatory factor for swimming performance of swimmers of both sexes under 14 years. For the over-15 age group, muscle strength was the most effective parameter in boys, whereas body size was the most influential factor of swimming performance in girls. The influence of swimming career was small. These results suggest that stroke efficiency contributes strongly to the swimming performance in subjects who are less than 14-years-old, but that body size and muscle strength do not. For swimmers over 15-years-old, stroke efficiency was less important, but muscle strength was an important explanatory factor of swimming performance.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2005, 54 : 353~362)

**key word** : swimming performance, junior swimmer, body size, muscle strength, stroke efficiency

## I. 緒 言

競泳は低年齢から専門的なトレーニングが行なわれているスポーツであり、それに合わせた競技会が開催されている。10歳以下区分の泳距離はおもに50~100 mで、11~12歳区分になると200 mの種目が、13歳からは400 m以上の種目が加わる。茨城県内の競技会の各泳距離の出場者数を見ると、13歳以上でも50~100 mの種目に出場する選手の数はいくらよりも長い距離を泳ぐ選手よりも多い<sup>1)</sup>。このように短距離種目は多くのジュニア選手が好んで出場する種目であるので、短距離泳パフォーマンスに影響する要因を明確にすることは、より多くの選手

のパフォーマンスを効果的に向上させたり、記録が伸び悩む選手のドロップアウトの防止に役立つであろう。

パフォーマンスには、体格、筋力、柔軟性といった身体的資質が強く影響する<sup>2)</sup>。体格、つまり身長、四肢の大きい選手は長いストローク長を得ることができる<sup>3)</sup>。エリート選手の身長は一般の子どもや競技レベルの低い選手に比べて高い<sup>4,5)</sup>。筋力は、水中を進むための力学的エネルギーを生み出すので、推進力に直接影響する<sup>6)</sup>。11~21歳の選手を対象に100 m泳タイムと上肢・下肢の等速性筋力との関係について調べた研究は、両者の間の高い負の相関関係( $r = -0.5 \sim -0.7$ )を報告している<sup>7)</sup>。肩の柔軟

<sup>1)</sup>筑波大学大学院博士課程  
人間総合科学研究科体育科学専攻  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2)</sup>筑波大学大学院 人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral Program of Health and Sport Sciences, Graduate School of  
Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

性は、水をかいた後のリカバリー動作をスムーズにすることや水中ストロークで肘が下がらずに高い推進力を生み出すのに役立つ。また足の柔軟性は長い時間水を後方に押し出すのに役立つ<sup>8)</sup>。肩や足の柔軟性は、中学・高校生ではエリート選手は一般の子どもに比べ、また、男子大学生についてもエリート選手は非エリート選手に比べ優れている<sup>9,10)</sup>。パフォーマンスには上記の身体的資質の他に、泳ぎの技術もまた強く影響する<sup>6,11)</sup>。泳ぎの技術はストロークの効率に強く依存する。ストロークの効率が高ければ、身体が生み出した力学的エネルギーをより多く推進のために利用できる。さらにストロークの効率は推進方向に対して水から逆方向に受ける圧力抵抗や推進中、体表まわりの波によって生じる造波抵抗などを減らすことでも高めることができる<sup>12)</sup>。

これらパフォーマンスに影響する要因はジュニア期に著しく変化する。身長は成長速度は女子では11歳前後、男子では13歳前後でピークを迎える<sup>13)</sup>。一方、筋力の発達ピーク年齢は身長発達ピーク年齢の約1年後に現れる<sup>14)</sup>。競泳選手の肩の柔軟性は年齢とともに低下するが、足の柔軟性は変化がない<sup>15)</sup>。ストローク効率は専門的なトレーニングを始めて間もない低年齢期で著しく発達する<sup>11)</sup>。パフォーマンスに影響する要因は発育中に変化しているので、年齢によってパフォーマンスに影響する各要因の重みが変わる可能性があるが、この点は未だ明らかにされていない。現在、多くの競技会が採用している発育時期の年齢区分は10歳以下、11～12歳、13～14歳、15歳以上である。したがって、各年齢区分でどのような特徴を持った選手が高いパフォーマンスをあげているのかが明らかになると、ジュニア期のトレーニング計画を立てる際にも有効な情報となるであろう。

本研究の目的は、ジュニア競泳選手において、体格、筋力、柔軟性、ストローク効率の短距離泳パフォーマンスへの影響の強さを定量化し、その影響の強さの年齢変化を分析することである。

## II. 被験者と方法

### A. 被験者

研究の対象者は、茨城県水戸市とつくば市およびその周辺にある7ヶ所のスイミングクラブに所属

する8～18歳の競泳選手、244名(男子114名、女子130名)である。被験者を日本水泳連盟の水泳資格基準<sup>16)</sup>に基づき8～10歳、11～12歳、13～14歳、15～18歳の4群に分類した。いずれの被験者も週3回以上の定期的なトレーニングを実施していた。参加した被験者の競技レベルを日本水泳連盟の水泳資格基準<sup>16)</sup>11級以上のAA級、6級から10級のA級、5級以下のB・C級で評価したところ、AA級は5%(11名)、A級は51%(125名)、B・C級は44%(108名)であった。

被験者の実験への参加に先立ち、保護者に対して事前に本研究の目的と内容について文書で説明をした後、本人と保護者から研究への参加の同意を得た。なお本研究は筑波大学体育科学系研究審査委員会に研究審査申請書を提出し、承認を受けた。

### B. 測定項目

#### 1. パフォーマンス

測定日から過去2ヶ月以内の50m泳のベストタイムを調査した(表1)。しかしパフォーマンスの指標を被験者の得意種目の50m泳のベストタイムとすると、個人によって種目が異なるため個人間のパフォーマンスの高低を直接50m泳のタイムで比較することはできない。そこで本研究は、パフォーマンスを日本水泳連盟の水泳資格表<sup>16)</sup>の18歳における各種目の10級のタイムを基準にし、ベストタイムの達成率として相対値で表した(パフォーマンス=基準タイム/個人のベストタイム)。この値が大きいほどパフォーマンスが高いとみなされる。

#### 2. 形態

計測項目は、身長、上肢長、下肢長、手長、足長、体脂肪率であった。測定にあたってはMartin式人体計測器を用いて立位で計測した<sup>17)</sup>。四肢の項目は右側を計測した。上肢長は中指先端から肩峰、下肢長は床から上前腸骨棘、足長は最も前方に突出している指先と踵の最後方突出点との直線距離、手長は内・外側の茎状突起を結ぶ線分の中点と中指先端との直線距離とした。体脂肪率はインピーダンス法(タニタ社製体組成計BC-100)で推定した。

#### 3. 筋力

等速性最大伸展筋力を右側の肘関節、膝関節で測定した。肘関節での筋力は角速度60°/秒で3回、240°/秒で5回測定し、膝関節での筋力は角速度

Table 1. 50 m swim records in each event and ageclass.

	8-10 years		11-12 years		13-14 years		15-18 years	
	N	Mean±S.D.	N	Mean±S.D.	N	Mean±S.D.	N	Mean±S.D.
<i>Boys</i>								
Butterfly	3	37.7±4.59	3	34.0±3.38	9	31.5±2.82	4	28.0±1.71
Backstroke	1	34.7	7	37.8±2.48	2	31.6±0.28	5	30.4±3.12
Breaststroke	2	44.8±3.18	8	42.1±4.48	9	35.0±2.54	3	32.3±1.50
Freestyle	10	37.7±3.08	12	32.3±2.09	23	28.6±1.84	13	27.2±1.79
<i>Girls</i>								
Butterfly	1	35.8	4	33.2±2.95	3	32.9±0.67	1	32.4
Backstroke	2	41.4±6.05	9	36.7±2.85	5	33.3±1.70	1	32.2
Breaststroke	3	43.2±2.80	9	41.5±2.81	9	40.4±3.12	3	37.5±2.17
Freestyle	16	38.3±4.05	27	32.7±2.69	24	31.6±2.69	13	29.5±1.89

60°/秒で3回, 300°/秒で5回測定した。3回あるいは5回の試技のうちの最大値を等速性最大伸展筋力とした。筋力は身体の大きさ, 特に体重の影響を受けるので, 体重あたりの筋力として評価して体格の影響を取り除いた。

測定装置は, Biodex 社製の Biodex II(つくば市およびその周辺の被験者)と Lumix 社製の Cybex II(水戸市の被験者)を使用した。2社の測定装置は出力値が異なるため, Cybex II の数値を Biodex II の数値に置き換える式を作成してデータを変換した( $y$ : Biodex II,  $x$ : Cybex II)<sup>18)</sup>: 肘伸展60°/秒:  $y=0.80x+7.00$ , 肘伸展240°/秒:  $y=1.15x+1.78$ , 膝伸展60°/秒:  $y=0.99x+6.05$ , 膝伸展300°/秒:  $y=1.21x-8.73$ 。

#### 4. 柔軟性

肩と足の柔軟性を測定した。ここでの肩は肩甲骨腕関節, 肩鎖関節, 胸鎖関節, 肩甲骨胸郭連結を含む複合体であり, また, 足は距腿関節, 足根間関節, 足根中足関節を含む複合体である。肩の柔軟性は肘を伸ばした状態で棒を握り, 頭上を越えて身体の後ろに腕を回させて測った。試技ごとに握り幅を適宜狭めていき, 上記の動作ができる最小の握り幅を求めた。肩幅の影響を除外するために, 肩幅に対する握り幅を肩の柔軟性として評価した。足の柔軟性は随意的最大底屈, 随意的最大背屈の間の可動域から評価した。すなわち可動域の測定は, 腓骨頭, 外果, 第5中足骨頭に体表から印を付け, 外果と腓骨頭を結ぶ線分と外果と第5中足骨頭とを結ぶ線分がなす角を分度器で計測した。

#### 5. ストローク効率

ストローク効率を表す指標には Stroke Index (Stroke Index=泳速度×ストローク長)を用いた。Stroke Index はストロークの効率を表す指標として広く用いられており, 一般に速い選手は高い値を示す<sup>19)</sup>。被験者の50m泳のベストタイム時の85%の速度の流速を屋内プールの回流水槽(460cm×200cm×150cm; 五十嵐製作所)を用いてつくり出した。その中で被験者を20秒間泳がせ, 様子を泳者の横3m地点からデジタルビデオカメラ(SONY DCR-TRV950)で撮影した。ストローク長は, 平泳ぎでは呼吸中最も頭が高くなった時点から次の同じ時点間の距離とし, 他の3種目は手が入水した時点から同側の手が再び入水した時点間の距離とした。まず3回のストローク時間を動画編集ソフトウェア(iMovie 4.0.1, Apple Computer Inc.)上で計測し, 泳速度で除することによって3回のストローク長を求めた。その値から1回のストロークの平均の長さを算出し, それをストローク長とした。Stroke Index は身体の大きさの影響を受ける<sup>20)</sup>ので身長に対する相対値で表した。さらに, 種目間の影響をなくすため種目ごとにzスコア化した。

#### C. 統計処理

測定項目の年齢区分間の差は分散分析で検定した。検定結果が有意であった場合には, Tukey-Kramer の HSD 検定で多重比較を行なった。次に体脂肪率を除く形態5項目, 体重当たりの最大筋力4項目, 柔軟性2項目の相関行列に対して, 男女別

に主成分分析にかけ、固有値が1以上の主成分に対して基準バリマックス回転を施し因子を抽出した。

抽出した因子とストローク効率がパフォーマンスに及ぼす影響を分析するために、男女別、年齢区分ごとに重回帰分析を行なった。年齢区分間の標準化偏回帰係数の比較は Amos 5.0<sup>21)</sup> の多母集団の同時分析を用いて行なった<sup>22,23)</sup>。統計的検定の有意水準はいずれも5%とした。

### Ⅲ. 結 果

各年齢群の測定項目の基本統計値を表2, 3に示した。男女ともパフォーマンスは年齢が上がるにつれて有意に大きくなった。形態項目は13~14歳区分まで有意に大きくなった。男子の身長と上肢長は15~18歳区分まで有意に大きくなった。体重当たりの筋力項目は男子では11~12歳区分から年齢とともに有意に大きくなった。一方、女子では11~12歳区分以降は年齢に伴って有意に変化しなかった。柔軟性項目は男女とも年齢に伴って有意に変化しなかつ

Table 2. Physical characteristics in boys.

	8-10 years (N=16)	11-12 years (N=30)	13-14 years (N=42)	15-18 years (N=25)
	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
Age (years)	10.1±0.52 <sup>a</sup>	12.1±0.59 <sup>b</sup>	14.0±0.67 <sup>c</sup>	16.1±0.84 <sup>d</sup>
Career (years)	2.1±0.98 <sup>a</sup>	2.9±1.55 <sup>a</sup>	3.9±1.75 <sup>b</sup>	5.2±1.72 <sup>c</sup>
<i>Performance (relative)</i>				
50m swim	0.65±0.07 <sup>a</sup>	0.71±0.05 <sup>b</sup>	0.81±0.06 <sup>c</sup>	0.87±0.06 <sup>d</sup>
<i>Anthropometry</i>				
Height (cm)	135.4±6.68 <sup>a</sup>	151.4±8.41 <sup>b</sup>	162.5±6.50 <sup>c</sup>	168.2±5.72 <sup>d</sup>
Arm length (cm)	58.7±3.54 <sup>a</sup>	66.3±4.20 <sup>b</sup>	71.8±3.50 <sup>c</sup>	74.2±2.94 <sup>d</sup>
Leg length (cm)	72.7±4.73 <sup>a</sup>	82.4±4.77 <sup>b</sup>	88.2±4.01 <sup>c</sup>	90.3±4.41 <sup>c</sup>
Hand length (cm)	15.5±0.77 <sup>a</sup>	17.3±1.27 <sup>b</sup>	18.8±1.08 <sup>c</sup>	18.9±0.80 <sup>c</sup>
Foot length (cm)	21.0±1.10 <sup>a</sup>	23.0±1.47 <sup>b</sup>	24.2±1.04 <sup>c</sup>	24.5±1.10 <sup>c</sup>
Percent fat (%)	16.3±5.04 <sup>a</sup>	13.9±6.18 <sup>a</sup>	12.9±4.34 <sup>a</sup>	13.5±4.45 <sup>a</sup>
<i>Muscle strength (Nm)</i>				
Knee extension 60°/sec.	66.7±16.5 <sup>a</sup>	101.5±24.9 <sup>b</sup>	139.6±24.2 <sup>c</sup>	171.0±33.1 <sup>d</sup>
Knee extension 300°/sec.	37.8±10.3 <sup>a</sup>	57.9±13.6 <sup>b</sup>	83.6±18.0 <sup>c</sup>	97.9±15.6 <sup>d</sup>
Elbow extension 60°/sec.	20.0±4.13 <sup>a</sup>	26.1±7.52 <sup>a</sup>	40.5±10.1 <sup>b</sup>	51.0±8.04 <sup>c</sup>
Elbow extension 240°/sec.	14.3±3.71 <sup>a</sup>	19.1±4.95 <sup>a</sup>	29.8±7.80 <sup>b</sup>	38.4±6.96 <sup>c</sup>
<i>Muscle strength per weight (Nm/weight)</i>				
Knee extension 60°/sec.	2.06±0.31 <sup>a</sup>	2.38±0.38 <sup>a</sup>	2.61±0.35 <sup>b</sup>	2.90±0.52 <sup>c</sup>
Knee extension 300°/sec.	1.16±0.19 <sup>a</sup>	1.35±0.21 <sup>a</sup>	1.55±0.24 <sup>b</sup>	1.66±0.25 <sup>c</sup>
Elbow extension 60°/sec.	0.62±0.12 <sup>a</sup>	0.61±0.12 <sup>a</sup>	0.75±0.14 <sup>b</sup>	0.87±0.13 <sup>c</sup>
Elbow extension 240°/sec.	0.45±0.12 <sup>a</sup>	0.45±0.07 <sup>a</sup>	0.55±0.09 <sup>b</sup>	0.65±0.11 <sup>c</sup>
<i>Flexibility</i>				
Shoulder (relative)	1.84±0.36 <sup>a</sup>	1.80±0.39 <sup>a</sup>	1.80±0.50 <sup>a</sup>	1.74±0.43 <sup>a</sup>
Ankle (degree)	76.9±10.0 <sup>a</sup>	74.2±9.28 <sup>a</sup>	76.5±7.82 <sup>a</sup>	79.5±11.1 <sup>a</sup>
<i>Propulsive efficiency (z-score)</i>				
Stroke Index / height	-0.99±0.69 <sup>a</sup>	-0.37±0.92 <sup>b</sup>	0.60±0.78 <sup>c</sup>	1.21±0.81 <sup>d</sup>

The different marks (*a, b, c, d*) show the significant statistical difference among groups ( $p=0.05$ ). *a, b, c* shows the significant difference between 8-10 years, 11-12 years and 13-14 years, but not between 13-14 years and 15-18 years. *a, a, a* shows no difference among groups.

Table. 3. Physical characteristics in girls.

	8-10 years (N=22)	11-12 years (N=49)	13-14 years (N=41)	15-18 years (N=18)
	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
Age (years)	10.0±0.85 <sup>a</sup>	11.9±0.57 <sup>b</sup>	13.9±0.63 <sup>c</sup>	16.2±0.77 <sup>d</sup>
Career (years)	1.5±1.18 <sup>a</sup>	2.2±1.11 <sup>a</sup>	3.6±1.55 <sup>b</sup>	6.6±1.93 <sup>c</sup>
<i>Performance (relative)</i>				
50m swim	0.71±0.08 <sup>a</sup>	0.81±0.06 <sup>b</sup>	0.84±0.06 <sup>c</sup>	0.88±0.06 <sup>d</sup>
<i>Anthropometry</i>				
Height (cm)	137.2±6.59 <sup>a</sup>	150.4±5.95 <sup>b</sup>	156.2±4.61 <sup>c</sup>	159.2±6.12 <sup>c</sup>
Arm length (cm)	59.3±3.28 <sup>a</sup>	65.5±2.90 <sup>b</sup>	68.1±2.75 <sup>c</sup>	69.0±3.73 <sup>c</sup>
Leg length (cm)	75.0±3.82 <sup>a</sup>	81.9±3.41 <sup>b</sup>	84.4±3.26 <sup>c</sup>	84.8±4.49 <sup>c</sup>
Hand length (cm)	15.8±1.18 <sup>a</sup>	17.2±0.97 <sup>b</sup>	17.7±0.85 <sup>c</sup>	17.8±0.83 <sup>c</sup>
Foot length (cm)	21.3±1.08 <sup>a</sup>	22.5±1.02 <sup>b</sup>	23.0±0.93 <sup>b</sup>	22.9±0.97 <sup>b</sup>
Percent fat (%)	18.1±5.07 <sup>a</sup>	18.5±4.43 <sup>a</sup>	21.0±3.81 <sup>b</sup>	25.7±4.62 <sup>c</sup>
<i>Muscle strength (Nm)</i>				
Knee extension 60°/sec.	67.4±12.7 <sup>a</sup>	93.5±17.5 <sup>b</sup>	111.3±18.4 <sup>c</sup>	129.2±31.0 <sup>d</sup>
Knee extension 300°/sec.	36.1±9.14 <sup>a</sup>	47.1±10.3 <sup>b</sup>	52.3±13.5 <sup>c</sup>	63.0±18.1 <sup>d</sup>
Elbow extension 60°/sec.	17.8±2.98 <sup>a</sup>	25.4±5.53 <sup>b</sup>	28.6±4.54 <sup>b</sup>	36.3±9.14 <sup>c</sup>
Elbow extension 240°/sec.	12.5±2.93 <sup>a</sup>	18.3±4.18 <sup>b</sup>	20.7±4.03 <sup>b</sup>	24.8±5.76 <sup>c</sup>
<i>Muscle strength per weight (Nm/weight)</i>				
Knee extension 60°/sec.	2.12±0.31 <sup>a</sup>	2.32±0.30 <sup>ab</sup>	2.42±0.34 <sup>b</sup>	2.44±0.46 <sup>b</sup>
Knee extension 300°/sec.	1.14±0.24 <sup>a</sup>	1.17±0.21 <sup>a</sup>	1.13±0.26 <sup>a</sup>	1.19±0.30 <sup>a</sup>
Elbow extension 60°/sec.	0.56±0.08 <sup>a</sup>	0.63±0.08 <sup>ab</sup>	0.62±0.09 <sup>b</sup>	0.68±0.13 <sup>b</sup>
Elbow extension 240°/sec.	0.39±0.08 <sup>a</sup>	0.45±0.06 <sup>b</sup>	0.45±0.08 <sup>b</sup>	0.47±0.08 <sup>b</sup>
<i>Flexibility</i>				
Shoulder (relative)	1.61±0.40 <sup>a</sup>	1.64±0.46 <sup>a</sup>	1.58±0.56 <sup>a</sup>	1.30±0.42 <sup>a</sup>
Ankle (degree)	79.5±8.92 <sup>a</sup>	79.5±8.30 <sup>a</sup>	81.2±9.58 <sup>a</sup>	80.8±8.83 <sup>a</sup>
<i>Propulsive efficiency (z-score)</i>				
Stroke Index / height	-1.19±0.76 <sup>a</sup>	-0.28±0.69 <sup>b</sup>	0.21±0.77 <sup>c</sup>	0.25±0.69 <sup>c</sup>

The different marks (*a, b, c, d*) show the significant statistical difference among groups ( $p=0.05$ ). *a, b, c, c* shows the significant difference between 8-10 years, 11-12 years and 13-14 years, but not between 13-14 years and 15-18 years. *a, a, a, a* shows no difference among groups. *a, ab, b, b* shows no significant difference between 8-10 years, 11-12 years, 11-12 years and 13-14 years.

た。ストローク効率は男女とも年齢とともに有意に大きくなった。

形態、筋力、柔軟性に関する11項目の測定値の因子分析の結果を表4に示した。男女とも、第1因子には形態項目が大きな因子負荷量(表4に太字で示す)を持っていたので、これを身体の大きさを反映する体格因子とした。第2因子は筋力項目に大きな因子負荷量が表れたので筋力因子とした。第3因子は柔軟性項目が大きな因子負荷量を示したので柔軟性因子とした。

パフォーマンスを説明する重回帰モデルの多母集団の同時分析の結果を表5に示した。隣り合う年齢群間で各因子の標準化偏回帰係数の比較を行なった。不等号は隣り合う標準化偏回帰係数に有意差があることを示す。8~10歳群から11~12歳群にかけて、男女とも体格因子、筋力因子は有意に大きくなり、女子ではストローク効率は有意に低下した。11~12歳群から13~14歳群にかけて、男子は筋力因子、女子は体格因子が有意に高くなった。男子はストローク効率が低下した。13~14歳群から15~18歳

Table 4. Factor loading matrix of 11 parameters.

	Boys				Girls			
	Factor1	Factor2	Factor3	commonality	Factor1	Factor2	Factor3	commonality
Height	<b>0.919</b>	-0.302	0.012	0.936	<b>0.939</b>	0.178	-0.039	0.914
Arm length	<b>0.934</b>	-0.304	0.017	0.966	<b>0.934</b>	0.227	-0.094	0.932
Leg length	<b>0.941</b>	-0.229	0.036	0.939	<b>0.906</b>	0.171	0.074	0.856
Hand length	<b>0.903</b>	-0.274	-0.010	0.890	<b>0.889</b>	0.068	-0.085	0.802
Foot length	<b>0.910</b>	-0.233	0.034	0.884	<b>0.894</b>	0.043	-0.090	0.809
Knee extension 60°/sec. / weight	0.307	<b>-0.790</b>	0.020	0.718	0.195	<b>0.770</b>	0.149	0.654
Knee extension 300°/sec. / weight	0.452	<b>-0.689</b>	0.033	0.681	-0.051	<b>0.776</b>	0.114	0.618
Elbow extension 60°/sec. / weight	0.190	<b>-0.880</b>	-0.086	0.818	0.172	<b>0.824</b>	-0.174	0.740
Elbow extension 240°/sec. / weight	0.220	<b>-0.832</b>	-0.130	0.757	0.215	<b>0.764</b>	-0.100	0.640
Shoulder flexibility	0.089	0.156	<b>0.796</b>	0.665	-0.046	-0.022	<b>0.771</b>	0.597
Ankle flexibility	0.039	0.042	<b>-0.830</b>	0.692	0.056	-0.032	<b>-0.768</b>	0.594
Proportion (%)	42.2	26.9	12.3		39.0	23.5	11.7	
Cumulative proportion (%)	42.3	69.1	81.4		38.2	62.5	74.2	

Table 5. Change of the contribution (standardized regression coefficient) 4 factors to performance.

	8-10 years		11-12 years		13-14 years		15-18 years
<i>Boys</i>							
Body size	-0.25	<	0.17	=	0.22	<	0.33 *
Muscle strength	-0.26	<	0.24	<	0.40 *	=	0.55 *
Flexibility	0.24	=	0.19	=	0.20	=	0.14
Propulsive efficiency	0.84 *	=	0.72 *	>	0.51 *	=	0.42 *
Comparison of 4 factors	S>F>B=M		S>M=F=B		S=M>B=F		M=S>B>F
R <sup>2</sup>	0.75		0.57		0.57		0.65
<i>Girls</i>							
Body size	0.09	<	0.33 *	<	0.48 *	=	0.38 *
Muscle strength	0.06	<	0.33 *	=	0.25 *	=	0.27 *
Flexibility	0.18	=	0.16	=	0.23	=	0.13
Propulsive efficiency	0.87 *	>	0.53 *	=	0.59 *	>	0.39 *
Comparison of 4 factors	S>F>B=M		S>M=B>F		S=B>M=F		B=S=M=F
R <sup>2</sup>	0.69		0.62		0.77		0.74

Asterisk (\*) shows that the coefficient is significant ( $p=0.05$ ).

Inequality sign (<or>) shows that the successive coefficient is different statistically.

B, M, F and S mean body size, muscle strength, flexibility and stroke technique, respectively.

群にかけては、男子は体格因子が有意に大きくなり、女子はストローク効率が有意に低下した。次に、各年齢群で4因子の標準化偏回帰係数の比較を行なった。値の大きい順に並べ、隣り合う標準化偏回帰係数の間に有意差がある場合には不等号で示した。男女とも8~10歳群、11~12歳群ではストローク効率が他の因子よりも有意に大きかった。13~14歳群では男子は筋力因子、女子は体格因子がスト

ローク効率と有意な差がなくなった。15~18歳群ではそれら2つの因子が最も大きくなった。柔軟性因子は女子の13~14歳群で有意であった。重回帰式の重相関係数( $R^2$ )は0.57~0.77であった。

#### IV. 考 察

体格因子、筋力因子、柔軟性因子、ストローク効率のパフォーマンスへの影響とその年齢変化につい

て重回帰分析を行なった。本研究は先行研究<sup>2,6,11)</sup> にならって短距離泳パフォーマンスに強く影響する要因を選び出した。本研究で扱った4因子でパフォーマンスを57~77%説明できることがわかった。パフォーマンスに影響する他の要因として持久力が考えられるが、短距離泳種目への持久性能力の影響は弱いので<sup>24)</sup>、本研究ではパフォーマンスに影響する因子に含めなかった。

各因子の標準化偏回帰係数の年齢変化を見ると、男子は体格因子と筋力因子、女子は体格因子のパフォーマンスへの影響は低年齢で弱く、年齢が上がるにつれて強くなったが、一方で、ストローク効率のパフォーマンスへの影響は低年齢で強く、年齢が上がるにつれて弱くなった。この結果は、泳スピードは10歳未満までは水泳技術の改善、すなわち、おもに技術の向上によってもたらされ、その後は体力の増強によってもたらされる、という宮下の考え方<sup>11)</sup>と一致している。本研究は、男女とも14歳までストローク効率の影響は他の因子よりも大きいことから、水泳の技術的な要因が宮下の示した年齢よりも高い年齢まで強く影響していることを示している。

#### A. 体格のパフォーマンスへの影響

男女とも年齢の増加とともに体格因子の影響は強まった。競泳において短距離選手が長距離選手よりも高身長である<sup>25)</sup>のは、身体のサイズがストローク長に有利に働くからである<sup>3)</sup>。低年齢では専門的に競技を初めて間もないため、プルやキックで生み出した力を効率よく推進力に利用できたり、水から受ける抵抗が少なくなるような姿勢で泳ぐといった水泳の技術の習得具合が影響していると考えられる。しかし年齢とともにある程度の水泳技術を習得すると体格の大きい選手ほど長いストローク長を得ることができるようになり、パフォーマンスへの影響が強まるのであろう。

#### B. 筋力のパフォーマンスへの影響

Miyashita & Kanehisa<sup>7)</sup>は膝関節と肩関節の伸展筋力を測定している。本研究で用いた等速性筋力測定器は体格の小さな子どもに十分に対応していないため、肩関節の伸展筋力の測定が困難であった。そこでそれに替わる測定項目として肘関節の伸展筋力

を選んだ。肘関節の主伸展筋である上腕三頭筋は、ストローク中、大胸筋や広背筋と同様の筋活動量を示すことから<sup>26)</sup>、肘関節の伸展筋力は肩関節の伸展筋力の指標となり得ると考えられる。

男子の筋力は13歳からパフォーマンスに影響し始め、年齢とともにその影響は強まった。男子は思春期のアンドロゲン分泌の増加によって、筋量と全筋線維に対する速筋線維の割合が増加し、筋力の急激な発達が起こる<sup>27)</sup>。事実、調査した7ヶ所のクラブのうち3ヶ所で、中学3年生から高校生の選手はトレーニングマシンを使ったレジスタンストレーニングを行っており、具体的にはベンチプレス、プルダウンといった上半身の筋を対象にしたトレーニングが3ヶ所のクラブで、またレッグエクステンション、レッグプレスといった下半身の筋を対象にしたトレーニングが2ヶ所のクラブで行なわれていた。子ども期においてもレジスタンストレーニングによって筋力が増加することが報告されている<sup>28)</sup>。このことから、推進力を生み出す筋力の強化によってストローク長を伸ばすことができ、パフォーマンスに影響を及ぼしていると考えられる。

一方、女子の筋力因子のパフォーマンスへの影響は12歳以降変化しなかった。女子もレジスタンストレーニングによって筋力は増加することが知られている<sup>28)</sup>。本研究においても最大筋力は年齢とともに増加した。しかしながら、体重あたりの最大筋力は有意な増加を示さなかった。13歳から体脂肪率が有意に上昇していることから、体脂肪の増加にともなう体重の増大が体重あたりの最大筋力の上昇に結びつかなかったと考えられる(表3)。女子の場合は、体重あたりの筋力よりも最大筋力がパフォーマンスに影響しているであろう。

#### C. 柔軟性のパフォーマンスへの影響

柔軟性のパフォーマンスへの影響は弱く、年齢にともなう変化もなかった。柔軟性のパフォーマンスへの影響に関するいくつかの研究は、見解が一致していない<sup>10,29)</sup>。12~14歳の自由形泳選手を対象に、本研究と同じ肩の柔軟性と足の底屈可動域と100 m 泳タイムとの関係について調べた研究では、肩の柔軟性は女子でのみ有意な相関( $r = -0.22$ )を認めたが、足の底屈可動域は男女とも有意な相関がなかった( $r = -0.08 \sim -0.09$ )<sup>29)</sup>。一方、男子大学

生では, 優秀選手群(日本水泳連盟水泳資格A A級)は非優秀選手(日本水泳連盟水泳資格B級)よりも肩や足の柔軟性が有意に優れていた<sup>10)</sup>. 本研究の被験者はA A級が5%, A級が51%, B・C級が44%と, 大学生に比べて競技レベルが低い. すなわち, 競技レベルの高い選手は高い柔軟性を生かしたハイエルポーのプル動作やできるだけ長く水をプッシュするキック動作を行なうことができるが, 競技レベルが低い選手は柔軟性を十分に生かした動作を習得していないのかもしれない.

#### D. ストローク効率のパフォーマンスへの影響

ストローク効率のパフォーマンスへの影響は低年齢で強く, 年齢とともに弱くなっていくが, 他の因子と比べると, その影響は年齢が高くなっても強い. 競泳は発揮した力を効果的に水に伝え, 水から受ける圧力抵抗や造波抵抗を少なくする姿勢で泳ぐなどの高い技術を必要とする<sup>12,30)</sup>. 競技を始めてまだ間もない低年齢では水泳技術の習得度合いがストローク効率に反映される. そのためにストローク効率がパフォーマンスに強く影響する. その後, 成長に伴って水泳技術がある程度定着し, 他の要因の影響が強まることで, ストローク効率のパフォーマンスへの影響が低下するのであろう. しかし, ストローク効率は競技歴の影響を受けている可能性がある. そこで男女別, 年齢群ごとにパフォーマンスとストローク効率の相関関係とその関係から競技歴の影響を取り除いた関係について調べた(表6). その結果, パフォーマンスとストローク効率の相関係数と競技歴の影響を取り除いた偏相関係数とはほとんど差はなく, 競技歴はストローク効率とパフォーマンスとの関係に影響しないとみなすことができる. 選手になる子どもは, まずスクールコースで4泳法の基礎を習得し, 次に競技会には出場しない選手コースの下部スクールを経て, 選手コースに加入

する. つまり, 選手コースに加入する前にある程度のトレーニングを行なっているため, その段階ですでに高い技術を習得し, 選手コースに加入する子どもが存在していることが競技歴の影響が小さい原因であると考えられる.

## V. 要 約

本研究の目的はジュニア競泳選手の短距離泳パフォーマンスに影響を及ぼす要因を分析するとともに, それらが年齢に伴ってどのように変化するかを明らかにすることである. 被験者は8~10歳, 11~12歳, 13~14歳, 15~18歳の4グループに区分された8~18歳の男子114名, 女子130名である. パフォーマンス(個人の50m泳のベストタイム)には体格, 筋力, 柔軟性, ストローク効率が強く影響していると仮定した. 11項目の測定値に因子分析を実施し, 体格因子, 筋力因子, そして柔軟性因子を抽出した. 因子分析から抽出された3因子とストローク効率で構成される重回帰モデルに多母集団の同時分析を性別, 年齢群別に実施した. 男女とも14歳以下では, ストローク効率のパフォーマンスへの影響が最も強かった. 15歳以上では, 男子は筋力因子のパフォーマンスへの影響が最も強くなり, 女子では体格因子が最も強くなった. 競技歴がストローク効率に及ぼす影響は小さかった. この結果, ストローク効率のパフォーマンスへの影響は低年齢で強く, 年齢とともに弱まるが, 反面, 体格因子と筋力因子は低年齢で影響が弱く, 年齢とともに強まることを示唆している.

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり, 筑波大学の野村武男教授, 西嶋尚彦助教授, 白木 仁助教授, 茨城大学の服部恒明教授には実験手法, 統計解析方法などについて多くの有益な助言をいただいた. また, 本研究に協力してくださったスイミングクラブのコーチには測定で手を煩わせた. ここで深く感謝の意を表したい.

(受理日 平成17年8月31日)

Table 6. Correlations (in roman) of stroke efficiency to performance and partial correlation (in italic) after adjusting career variable.

	8-10 years	11-12 years	13-14 years	15-18 years
Boys	0.75	0.71	0.68	0.67
	<i>0.60</i>	<i>0.67</i>	<i>0.65</i>	<i>0.65</i>
Girls	0.86	0.71	0.75	0.72
	<i>0.81</i>	<i>0.70</i>	<i>0.61</i>	<i>0.75</i>

## 参 考 文 献

- 1) 日本水泳連盟ホームページ. 加盟団体情報, [http://www.swim.or.jp/03\\_chihou/index.html](http://www.swim.or.jp/03_chihou/index.html)
- 2) 出村慎一, 中学生水泳選手の形態, 筋力, 及び柔軟性の性差・学年差の検討, 体力科学, (1983), 32,



- 8-16.
- 3) Grimston, S. K., & Hay, J. G. Relationship among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1986), **18**, 60-68.
  - 4) Meleski, B. W., Shoup, R. F., & Malina, R. M. Size, physique and body composition of competitive female swimmers 11 through 20 years of age. *Hum. Biol.*, (1982), **54**, 609-625.
  - 5) Malina, R. M. Physical growth and biological maturation of young athlete. *Exer. Sport Sci. Rev.*, (1994), **22**, 389-433.
  - 6) 日本水泳連盟. 水泳コーチ教本, 大修館書店, 東京, (1993), 165-191.
  - 7) Miyashita, M., & Kanehisa, H. Dynamic peak torque related to age, sex, and performance. *Res. Quart.*, (1979), **50**, 249-255.
  - 8) マグリシオ, E. W., (野村武男, 田口正公 監訳). *スイミング・オープン・ファースター*, ベースボールマガジン社, 東京, (1999).
  - 9) 出村慎一, 松沢甚三郎, 中 比呂志, 北 一郎, 中学・高校競泳選手の身体特性, *体力科学*, (1991), **40**, 278-287.
  - 10) 出村慎一, 松浦義行, 大学男子水泳選手のための柔軟性組みテスト, *体力科学*, (1982), **31**, 94-102.
  - 11) 宮下充正. 子どものスポーツと才能教育, 大修館書店, 東京. (2002), 63-91.
  - 12) 高木英樹. 人はどこまで速く泳げるのか, 岩波書店, 東京. (2002), 82-102.
  - 13) 高井省三, 篠田謙一. スプライン平滑化成長曲線による小児期・思春期スパートの解析, 筑波大学体育科学系紀要, (1991), **14**, 119-130.
  - 14) De Ste Croix, M. B. A., Armstrong, N., Welsman, J. R. & Sharpe, P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-old. *Ann. Hum. Biol.*, (2002), **29**, 50-62.
  - 15) 室岡隆之, 出村慎一, 北林 保, 野口雄慶, 若年競泳選手の柔軟性の因子構造と構成因子の加齢にともなう発達及び性差, *教育医学*, (2003), **49**, 146-154.
  - 16) 日本水泳連盟. 水泳資格表, フットマーク株式会社, 東京, (2001).
  - 17) 保志 宏. 生体の線計測法, てらべいあ, 東京, (1989).
  - 18) 渡邊將司, 白木 仁, 服部恒明, 高井省三, *Biodex2 と Cybex2 の互換性*, *体力科学*, (2004), **53**, 898.
  - 19) Costill, D. L., Maglischo, E. W., & Richardson, A. B. *Swimming*, Blackwell Scientific Publications, London, (1992), 169-185.
  - 20) Keskinen, K. L., Tilli, L. J., & Komi, P., *Maximal velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables*. *Scand. J. Sports Sci.* (1989), **11**, 87-92.
  - 21) Arbuckle, J. L. & Wothke, W. *Amos 4.0 User's Guide*, SPSS Inc., Chicago.
  - 22) 狩野 裕, 三浦麻子. *グラフィカル多変量解析(増補版)*, 現代数学者, 京都, (2003), 183-220.
  - 23) 涌井良幸, 涌井貞美. *図解でわかる共分散構造分析*, 日本実業出版, 東京, (2003), 152-159.
  - 24) 平野裕一, 加賀谷淳子. *トレーニングによるからだの適応*, 杏林書院, 東京, (2002), 164-172.
  - 25) Avlonitou, E. *Somatometric variables for preadolescent swimmers*. *J. Sport Med. Phys. Fitness*, (1994), **34**, 185-191.
  - 26) 宮下充正. *水泳の科学: キネシオロジーと指導への応用*, 杏林書院, 東京, (1970), 26-106.
  - 27) 吉岡利忠, 後藤勝正, 石井直方. *筋力をデザインする*. 杏林書院, 東京, (2003), 127-136.
  - 28) 福永哲夫. *ヒトの絶対筋力 - 超音波による体肢組成・筋力の分析 -*, 杏林書院, 東京, (1978), 182-227.
  - 29) Geladas, N. D., Nassis, G. P. & Pavlicevic, S. *Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers*. *Int. J Sports Med.* (2005), **26**, 139-144.
  - 30) Cappaert, J. M., Pease, D. L., & Troup, J. P. *Biomechanical highlights of World Champion and Olympic swimmers*. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. E & FN Spon, London, (1996), 76-80.