

博士学位論文

水泳の基本動作「けのび」の巧拙と習熟過程  
に関するバイオメカニクス的研究

合屋 十四秋

# 目次

## 第1章 緒言

第1節	本研究の背景	1
第2節	バイオメカニクス的研究手法の限界	2
第3節	動作認識に関する先行研究	3
第4節	けのびと牽引抵抗に関する先行研究	5
第5節	ターン動作と力発揮に関する先行研究	7
第6節	泳ぎの動作認識	9
第7節	本研究の目的	11

## 第2章 けのび動作の力発揮の様相と前方牽引による受動抵抗との関係

第1節	けのびの到達距離の差による力発揮と受動抵抗の違い	12
第2節	熟練者及び未熟練者の力発揮と受動抵抗の違い	24
第3節	総合考察	43

## 第3章 けのび動作の画像解析と力発揮の横断的検討

第1節	熟練者のけのび動作と力発揮との関係	44
第2節	熟練者におけるけのび動作の性差	51
第3節	初心者、熟練者およびエリート選手のけのび動作の力発揮と認識	61
第4節	総合考察	82

## 第4章 けのび動作の力発揮と認識の縦断的検討

第1節	初心者におけるけのび動作とその認識の変容	83
第2節	けのび動作の習熟過程と認識に関する追跡研究	91
第3節	男女初心者のけのび動作における力発揮と認識の変容	100
第4節	総合考察	120

## 第5章 各種ターン動作の巧拙と力発揮

第1節	クロールフリップターン動作と力発揮の習熟過程	121
第2節	平泳ぎのターン動作と力発揮の習熟過程	133
第3節	背泳ぎフリップターン動作の巧拙と力発揮	142
第4節	総合考察	151

第6章	水泳の動作認識および速度出力調整との関係	
第1節	水中運動の動作認識とその変容について	153
第2節	けのび及びクロール泳の画像解析と動作認識の変容	161
第3節	男子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作認識との関係	173
第4節	女子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作認識との関係	187
第5節	総合考察	201
第7章	総括	
第1節	全体的考察	203
第2節	要約と本研究の意義	207
第3節	今後の課題	208
引用文献		209
謝辞		218

## 第1章 緒言

### 第1節 本研究の背景

水泳の基本動作「けのび」は初心者の段階から一流選手に至るまで、共に共通した能力評価基準として位置づけることができる(野村, 2004a)。この技術は、体を浮かすことや進みやすい姿勢を身につけるため、あるいはスタート及びターン後の水中でのストリームライン(けのび姿勢)を作るために用いられる重要かつ基本的な動作である(高木, 1993; 下永田ら, 1998; 田場ら, 2000)。これまで、けのび動作については、モデルによる解析(土居ら, 1985)、熟練者と未熟練者の画像解析による動作比較(柴田, 1992)、大学女子初心者の習熟過程(杉浦・合屋, 2000, Goya et al., 2002)、大学男女中等度熟練者(杉浦ら, 2001)、最適水深について(合屋ら, 2002)、大学熟練泳者の性差(杉浦・合屋, 2004)などが報告されている。また、大城ら(2000)は、大学生女子の受動抵抗と体育授業による練習効果との関係を報告している。

しかし、けのび姿勢による受動抵抗は、水泳技能レベルによって結果が異なるのか否か明確ではない。また、けのび姿勢の巧拙と牽引による受動抵抗値の大小とは関係があるのかも明らかにする必要がある。さらに、男女を含めた初心者から熟練者及びエリート選手に至るまでのけのび動作の巧拙や力発揮の様相を明らかにした研究はほとんど見受けられない。技能レベルを横断的に検討することは、その習熟過程を明確にすることができるため、実際の指導場面で貴重な手がかりや指導内容を与えるための判断材料となり得る。例えば、蹴るまでの準備動作(杉浦・合屋2000)、リリース後の前面抵抗を小さくすること(高橋, 1983)やストリームライン姿勢の保持(柴田, 1992)などが、けのびの到達距離を大きくすることにつながる。

一方、複数の初心者に一定期間の練習を行わせ、その前後のけのび動作やそれに対する気づきの変化を検討したものはほとんど見られない。これは縦断的アプローチによって、初心者が陥りやすい動きや、経験則だけによる技術情報の偏り、及び誤った認識による無駄な力発揮の是正などが可能となるからである。水泳運動のできばえは、年齢や種目にかかわらず、学習経験量の大小によって左右される(高橋, 1983)。従って、研究方法として集中的に練習させた場合、その習熟過程を縦断的な見方として捉えることができる。このように、運動技術の習熟過程を的確に捉えるには、横断的な研究手法と、個々の変化を追跡評価していく縦断的研究手法を、並行して進めることによって解明される研究成果が期待されている(合屋ら, 1993; 加藤, 1998)。

けのびの発展系であるターン動作の後半部分には、けのびの要素が含まれるが、その巧拙と習熟過程はいまだに十分検討されているとは言い難い(Thayer and Hay 1984; Walker, 1995; Lyttle et al., 2000a; Sanders, 2003)。これは、泳ぎの技術に興味の関心が多いことか



ら報告例が少ないためである(高橋ら, 1983). ターン後, どのようなストリームライン姿勢, 投射角度がよいのか, また, どれくらいの泳速度で泳ぎ出したらよいのか, けのびとの比較検討を行う必要がある(Blanksby et al., 2004 ; Lyttle et al., 2007).

次に, 意識性, 意図性の認識「わかる」はスポーツパフォーマンスを左右するともいわれている(マイネル, 1981). 常により高いパフォーマンスが求められるスポーツスキルの場合, ある時点で自分の動きの欠点に気づかなければならないし, それに対する適切な指導は不可欠である(工藤, 2002). 従って, このようなスポーツ場面における感覚情報の数量化を実際の動作と合わせて検討する必要がある(大築, 2005). すなわち, この感覚は自分の手や足がどの位置にあるのか, どのような方向にどのくらいの速度で動いているのかなど, 筋紡錘や圧受容器, 皮膚受容器などの感覚器より脳に送られる複合的な情報である(内藤・定藤, 2002). 本研究では, これらの感覚情報(感覚的気づき, または動作認識)によって, 学習者がどのように動きや運動の構造を理解し, 技術を向上させていくのかを明らかにしていく必要がある. さらに, 水泳のコーチングや指導の場面では, 泳速度調節(感覚的気づき=グレーディング)は経験的にトレーニングの手段として日常的に用いられ, ペース配分の戦略に貢献している. 水中でのグレーディングがどのように行われているのか, また性差の影響が果たして出現するか否かを画像解析による動作と比較検討し, その仕組みを明らかにする必要がある.

以上のことから, 本研究では, 水泳の基本動作「けのび」の1) 受動牽引抵抗との関係, 2) 横断的検討, 3) 縦断的検討, 4) 各種ターン動作との関係, 及び5) クロール泳速度調節と感覚的気づきなどの関係を総合的に考察する. そして, ヒトは水泳の基本動作「けのび」を獲得し, 泳ぎへと発展させていく過程において, 何を手がかりとしながら自己の身体操作能力を高めるかを, 画像と力発揮及び感覚的気づき等のバイオメカニクスの視点から検討し, 論議するものである.

## 第2節 バイオメカニクスの研究手法の限界

図1-1に猪飼(1966)の $P=C \int E (M)$ (M)というパフォーマンスの発現に関する式を示した. ここで, Mはすなわち「気づき」, 「意識」, 「集中」といった内容と解釈できる. 麓(1989)はCはバイオメカニクス, Eは運動生理学, Mは体育心理学のそれぞれの学問分野に関係すると説明し, 身体運動の理解にはこれら3

$$P = C \int E (M) \Rightarrow \text{定量化できるか}$$

P	=	C	∫	E	(	M	)	⇒	定	量	化	で	き	る	か	
パ フ ォ ー マ ン ス				技 術		体 力	モ チ ベ ー シ ョ ン									
							( 気 づ き 、 集 中 )									

図1-1 猪飼(1966)によるパフォーマンスを左右する要因

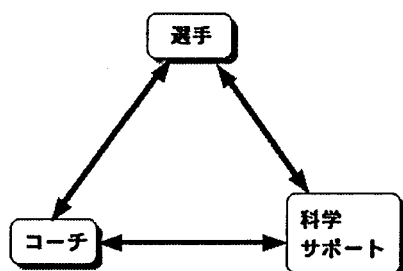


図1-2 選手、コーチ及び科学サポートの関係

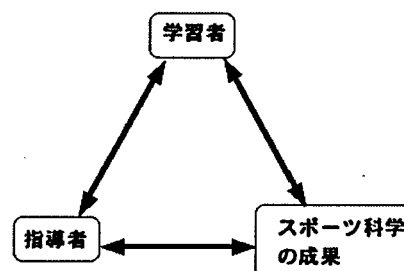


図1-3 学習者、指導者及び科学サポートの関係

分野の学際的な研究が関与すると述べている。それによれば、バイオメカニクス的研究手法の中心となる動作分析が熟練者及び初心者のそれぞれ1名ずつの代表例のみがほとんどで、個人差や動作の再現性への配慮に欠けるとも指摘されている。すなわち学習曲線とパフォーマンス曲線、言い換えれば横断的手法と縦断的研手法の組み合わせによって動作の習熟、習得過程の全容が明らかになるのであろうが、1つの研究例ではそれらの曲線の1点にスポットを当て、動作の代表例と解釈しているというのである。しかし、心理学の分野ではヒトの動きそのものの変化や評価をバイオメカニクスの観点から論述している研究は少ない。一方、結城(1999)は、コーチングの科学的サポートシステムを構築するには、これら3分野以外にスポーツ医学や栄養学までも含めたサポートスタッフと現場の指導者、選手との密接な関係の構築をバイオメカニクスの立場から提唱している。これは選手、コーチ及びスポーツ科学的サポートのそれぞれ三者間の情報のフィードバック、フィードフォワードすなわちTriangle Interactionが円滑に行われる関係式と解釈できる(図1-2)。また、これを、体育の学習場面に当てはめると図1-3のような模式図の関係として示すことができよう。すなわち、初、中級者レベルの学習者がある一定の運動技能の到達目標を実行する時に、指導者及びバイオメカニクス研究によって得られた知見や成果が学習者に還元され、かつ、これら三者間の情報がスムーズに往来することではないかと考える。これは、研究と実践との双方向の密接な関係式が未だ確立されていないことの証ではないだろうか。しかし、「運動指導で最も難しいことは、個人が動きを覚えるということがきわめて主観的な体験世界による感覚的な動きの感じ方によって左右されることと、動きの感じをなかなか言葉で伝えることができない」ことであるともいわれている(三木, 1997)。やはり、運動は力学的に理解し、感覚的に覚えるのであろうか?(天野, 1987)。

従って、この両者を補完する研究やコーチング及び方法論の実際を今後推進する必要性がある。

### 第3節 動作認識に関する先行研究

我々の動作には自分自身のもつ動作感覚というものがある(小林, 2002)。また、運動技術の遂行においては、バイオメカニカルに表現される客観的動作と、自分が意識する主

観的動作との間にずれが生じている場合がある。すなわち、つもりと実際のズレである(大築, 2005)。良い動作を獲得するためには、まずそのこと自体を認識し、修正していかなければならない(工藤, 2002)。一方、「できる」「できない」という、その基準をいかに設定していくかが指導方法論を創出していく上で重要である。例えば、ワンポイント指導で得られた効果を客観的に記述しておくことの必要性も指摘されている(大道, 2002)。また、ただ単にできればよいという日常動作であれば、「気づき」や指導はいらない(工藤, 2002)。しかし常により高いパフォーマンスが求められるスポーツスキルの場合は、ある時点で自分の動きの欠点に気づかなければならないし、それに対する適切な指導は不可欠である。果たしてこのようなスポーツ場面における感覚情報は数量化できるのだろうか？

陸上運動では、加藤ら(1995)、村木ら(1996)の跳躍運動における主観的努力度と客観的出力との対応関係、定本ら(1977)による跳躍の出力制御の正確性やスプリント走における主観的努力度の精度(村木ら, 1999)の検討がなされている。また、意志による運動の制御(大築, 1986)、力発揮のグレーディング(大築, 1989)、タイミング動作と予測の制御(大築, 1998)についても報告されている。さらに、投動作の主観的努力度と客観的達成度(金子ら, 1999)や走、跳、投動作のグレーディング能力(伊藤ら, 1997)など、数多くの感覚的な情報と動作の関連を追及している研究がみられる。このような視覚的に目標動作が客観的に提示され、練習者が運動感覚的の手がかりを頼りに主観的に再現させる研究手法は近年では「クロスモダルマッチング」と定義されている(工藤, 1987)。また、自分が意識する運動と客観的に表現される運動との間にはずれが存在し、このずれは運動感覚情報ではなく視覚情報に基づいて認知されることも報告されている(工藤, 2002)。しかし、視覚情報は目標の正確な位置の同定に用いられ、正確な動作は筋骨格系からの情報である固有受容器感覚によることも知られている(征矢, 2004)。すなわち、この感覚は自分の手や足がどの位置にあるのか、どういう方向にどのくらいの速度で動いているのかなどの情報で、筋紡錘や圧受容器、皮膚受容器などの感覚器より脳に送られる複合的な情報とされている(内藤・定藤, 2002)。このような複雑な情報を元に脳によって作成され、自分の身体の大きさや四肢の位置関係などを統合した内的表象は身体図式(ボディスキーマ)といわれている。つまり、運動イメージは2つのシステムからなる。1つはどの筋を選択し、どの方向に運動を行うのかの計画システム、2つ目は運動イメージ中の運動感覚のシミュレーションである。さらに、脳科学の分野では、クオリア、すなわち意識にある状態で感じる様々な質感の解明にチャレンジしている(茂木, 1997)。Heightened state of awarenessと表現されるように、脳と身体が一体となった複雑系制御のダイナミクス、「相互作用同時性」である。相互作用同時性とは、あるニューロンの発火と別のニューロンの発火が相互作用(活動電位の伝播と、シナプスにおける神経伝達物質の放出)によって結ばれる時、それらの発火は、「同時」であると見なされなければならないという原理である(茂木, 1997)。運動技術の遂行における動作感覚は、視覚、聴覚、触覚及び筋紡錘や圧受容器、皮膚受容

器などの感覚器のそれぞれの感覚を司るニューロンの集合の発火の時空間的なパターンの特性から導かれると解釈できよう。

スポーツ運動学の分野では、自分の動きを知ることは指導、学習にとって重要であり、意識性、意図性の認識「わかる」はスポーツパフォーマンスを左右するともいわれ、指導者と学習者の双方が作り上げるのが前提となっている(マイネル, 1981)。また、朝岡(1998)はこれらの研究手法として学際的総合科学的なアプローチの必要性を説いており、諸外国でも、特に運動の量的分析のみならず、質的分析などの視点(Knudson and Morrison, 1997)をもって指導、実践すべきとしている。

スポーツ心理学分野では、高次の認知過程を形成するのは「記憶」と定義されている(荒木, 1989)。その構造は「超短期記憶」→「短期記憶」→「中期記憶」→「長期記憶」へと階層構造化しているといわれ、感覚的で短期間のレベルから系統的かつ組織的な運動プログラム(スキーマ)レベル(工藤, 1989)までと考えられている。このように感覚的情報は論理的、包括的に枠組みがモデリングされているようであるが、各運動種目ごとに体系的に例示、蓄積された研究は見あたらないようである。星野(1998)は「動作法」を個人が自分の心理状態や身体の動きをより適切なものに「できるようにする」ことを狙った臨床心理学的研究法として位置づけ、人間の主体的、能動的活動を基盤として、動作、動作体験が心理的変容を引き起こすとの見解は、単にアスリーのスポーツ技術の習得(星野1982)のみならず、初心者から上級者に至るまでに適用できると提言している。

以上のことから、各運動種目ごとに体系的に「できる」「できない」という、その基準をより明確に設定していく指導方法論を検討する必要がある。

#### 第4節 けのびと牽引抵抗に関する先行研究

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(タイム)に大きく影響する(Lyttle et al., 2000b)。従って、近年では世界のトップクラスの選手やコーチは、この姿勢の保持いかんによってメダルの色が一変することを知り抜いている。事実、アテネオリンピックでの北島康介選手とブレンダン・ハンセン選手との金メダル争いは、ターン後から浮き上がりまでの駆け引きの中に集約されたといっても過言ではない(第10回水泳科学研究会シンポジウム:平井伯昌コーチVTR談より)。一方、けのびは、初心者が水泳を習う時の必須の技術であり、かつ、指導者が初心者を教える時、必ず取り入れる技術でもある。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。

これまで、けのび動作については、モデルによる解析(土居ら, 1985)、熟練者と非熟練者の画像解析による動作比較(柴田, 1992)、大学生女子初心者の習熟過程(合屋・杉浦, 2000b)、大学生女子初心者の追跡研究(杉浦・合屋, 2000)、大学生男女中等度熟練者(杉

浦ら, 2001), 同熟練泳者の性差(杉浦・合屋, 2004)などが報告されている。また, 大城ら(2000)は, 大学生女子の体育授業による受動抵抗の練習効果を報告している。

けのびに関する研究は, けのび動作そのものよりも牽引による人体水抵抗がどの程度であるのかが古くからの関心事であった。従って, 多くの研究者たちが牽引による人体水抵抗値を測定している。宮下(1970)は, 伏臥姿勢及び仰臥姿勢と頭部水中及び頭部水上の4つの条件下で測定した結果, 伏臥姿勢, 仰臥姿勢ともに低いスピードでは頭部水中の方が頭部水上より抵抗が少なく, 牽引スピードが2.0m/sを超えると頭部水上姿勢と頭部水中姿勢の間の差がなくなると報告している。それに対して, Jiscot and Claris(1975)は, 水面上と水中60cmでの抵抗をそれぞれ1.5から1.9m/sの速度で調べた結果, すべての条件において水中の方が水面上に比べ, 抵抗が大きかったと報告している。従って, どのくらいの牽引速度で, また, その時の人体が水表面上か水表面下かによって水抵抗が変わるかは定かではなく, 検討の余地が残されていた。そこで, Claris and Jiscot(1975)は, 牽引中の姿勢の違い(伏臥及び横向き)によって人体水抵抗が異なるのかどうかを検討した。その結果, 1.5m/sと1.6m/sの流速では伏臥姿勢の抵抗が有意に大きく, 1.7m/sと1.8m/sの流速では双方の間に有意差はみられなかった。しかし, 1.9m/sでは横向きの姿勢の抵抗が大きかったと報告している(有意差なし)。また, Manen and Rijken(1975)は, 船舶ドックを用いた牽引装置による抵抗及び推進力測定実験から, 水着を着た時と無しの時の水抵抗は, 無しの時がすべての流速(1.2~2.0m/s)において大きかったと報告している。また, 泳能力別の牽引抵抗は世界のトップクラス選手, 国内トップ選手, 国内平均レベル選手の順に小さいことがわかった。同様に, Larsen et al.(1981)は, 造波抵抗の減少によって水中の方が水表面よりも抵抗が少なくなることを報告し, Macillo et al.(1998)も水中よりも水面上の方が人体水抵抗は大きいことを明らかにしている。また, Shimizu et al.(1997)は, 1.6mから2.0mの高速域で人体模型を曳航したとき, 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, 抵抗は小さくなることを明らかにしている。さらに, Lyttle et al.(1999)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て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。同様に, Lyttle et al.(2000b)は, 5種類の牽引姿勢(伏臥, 横臥のけのび, クロールキック, 伏臥ドルフィンキック, 横臥ドルフィンキック)では1.9m/sと2.2m/sが最も抵抗の少ない最適な速度であり, いずれの姿勢であっても有意差は見られなかった。また, エリート選手では, ドルフィンキックの方がよい結果が得られる傾向にあったが, ドルフィンキックの内容については再検討の余地があると結論づけている。これに対して, Blanksby et al.(1999)は, 実際のレース分析から, オリンピック選手のターン局面での水深は0.35~0.45mであったと報告し, Takagi and Sanders(2000)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。従って, 水表面を進むよりも水中を移動した方が抵抗が少ないことが明らかにさ

れているが、実際、けのびでは一体どのくらいの水深が最適水深であるのかはいまだ検討されていない。

一方、Miyashita and Tsunoda. (1978) は、けのび牽引姿勢での体表面積と水抵抗との間には差はみられず、日本人選手とアメリカ人選手との間にも関係がみられなかったと報告している。また、船体中央部断面積と人体横断面積とは、それぞれが受ける抵抗と密接な関係が指摘されている (Claris, 1979)。人体が水中を移動する場合に、最も効率的に推進するにはストリームライン姿勢 (けのび姿勢) での水抵抗が大きな鍵を握っている (高木ら, 1997, 高木, 2001)。この場合、牽引によって引っ張られるときの水抵抗である受動抵抗と、泳者が自らの推進力で進む場合の水抵抗である自己推進時抵抗の2つに大別される (下永田ら, 2001)。近年では、自己推進時の受動抵抗は体表面積に影響されるとの報告 (高木ら, 1997, 高木, 2001) があるが、けのび姿勢による受動抵抗は、下永田ら (1998) によれば、ある程度競泳に精通した選手間の違いは、体格の差よりも姿勢の違いによる抵抗係数、指数定数の変化が大きいと報告している。

従って、けのび姿勢による受動抵抗は、水泳技能レベルによって結果が異なるのか否か明確ではない。また、けのび姿勢の巧拙と牽引による受動抵抗値の大小とは関係があるのかも明らかにする必要がある。

さらに、質問紙法を用いて、初心者からエリート選手のけのび動作が、どのような動きと感覚を獲得しているのか、変化していくのかを検討する必要がある。

## 第5節 ターン動作と力発揮に関する先行研究

けのびの発展系であるターン動作は、後半部分がほぼけのびの要素と一致する。とくに、壁を蹴った後のけのび姿勢の良し悪しによって時間の短縮や、その後の泳ぎに大きく影響する。アテネオリンピック平泳ぎ決勝の北島康介選手とブレンダン・ハンセン選手とのレース戦術では、ターンの巧拙がメダルの色を決めたといっても過言ではない。北島選手のコーチである平井氏は、この一点に絞ってレース展開を北島選手に指示したといわれている (水泳水中運動学会シンポジウム: VTR 出演画像より)。ストリームライン姿勢 (けのび姿勢) の重要性が再確認された場面でもあった。すなわち、改めて水泳の基本動作「けのび」の発展系であるターン動作を研究する必要性がここにある。

これまで、ターン動作に関する研究は、泳ぎの技術に興味の関心が多いことからこれまであまり報告されることがなかった。Nicol and Kruger (1979) は、クロールのフリップターン (クイックターン) とオープンターン (通常のターン) を大学熟練男子4名、女子1名を対象に、水中フォースプラットフォーム及び時間測定装置を用いて計測した。その結果、力発揮の最大値は600~1000Nであり、2つのターンは、ターンイン時間のみに有意差がみられたが、水平成分の力積、接地時間及びターンアウト時間には差がみられなかったと報告している。近年ではスタートなどと合わせてトータルパフォーマンスとして注目さ

れ、熟練者と未熟練者のフリップターン時の力発揮の比較 (Takahashi et al., 1983 ; 土居ら, 1983), 水泳ターン技能の実用的評価法 (高橋ら, 1983), 及びけのびモデルによる力及び動作解析 (土居ら, 1985) などが研究されている。Thayer and Hay (1984) は、スタート後、水中でのストリームライン姿勢 (けのび) のごくわずかな変化が非常に大きな抵抗に直結することを指摘している。また、Walker (1995) は、エイジグループの平泳ぎとバタフライの壁を蹴る力とその方向を検出した結果、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と報告している。このことから、ターン後のストリームライン姿勢と、わずかに下方へ蹴り出すことの重要性を指摘している。さらに、Blanksby et al. (1996) は、エイジグループの自由形タンブルターン (クイックターン) における力発揮と動作解析から、男女の性差はみられず、むしろ壁を蹴るタイミングや方向が問題であると報告している。

Lytle et al. (2000a) はターン後、どのようなストリームライン姿勢がよいのか、また、どれくらいの泳速度で泳ぎ出したらよいのかを検討した。その結果、3つのいずれの水中ストリームライン姿勢に抵抗の有意差は見られず、ターン後の泳速度が1.9m/sから2.2m/sの時にキックを開始するのが最適であり、Sanders (2003) は、その開始時期はターン後1秒あたりが適切であると報告している。さらに、Lytle et al. (2007) は、ターン局面を5つに分け、それぞれアプローチ、回転、接地、グライド及びストローク準備局面に類型化し、壁を蹴る時の力発揮及び方向を検討した。その結果、効果的なターンは、脚が壁から離れる時に平行に蹴り出し、ストリームライン姿勢を保って抵抗を少なくすることであると指摘している。また、Blanksby et al. (2004) は、男女エイ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5m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。

一方、Daniel et al. (2002) は、けのび時の力積、接地時間及び初速度を成人男女各1名の泳者について測定した結果、男子 (Ht:189cm, Wt:81kg) はそれぞれ302~304Ns, 0.48s, 3.31m/s, 女子 (Ht:167cm, Wt:67kg) はそれぞれ169~194Ns, 0.23~0.33s, 2.65m/s であったと報告している。しかし、体重あたりの壁を蹴る力には性差はみられなかったとしている。同様に、Klauck (2002) は、コンピューターモデリングによる推進力と泳速のシミュレーションより、ターン後のけり出しの力は約1400Nであり、グライドに移行するのは泳速が平均速度 (約1.7m/s) に近づいたときであると報告している。さらに、Roesler (2002) は、ターン時の力の大きさを計測した結果、ハイレベルの選手が約1800N, 中レベルの選手が約1400N, 低レベルの選手が約700N であったと報告している。その結果、よいターンをするには、大きな力とすばやい動作が重要であるが、力積はその指標とならない。これは、力強いターンをしようとするため、時間の浪費をする傾向にあるためとしている。

さらに、Pendergast et al. (1977) は、16~24才までの競泳選手男子42名、女子22名を対

象として、0.4m/s～1.2m/s の泳速でクロールを泳いだときの酸素消費量と水抵抗の関係及び水中トルクを測定した。その結果、0.5m/s の抵抗は男子が 3.4kg、女子が 1.9kg、1.2m/s ではそれぞれ 8.2kg、7.0kg であり、女子は男子に比べ有意に抵抗が少ないことがわかった。また、エネルギー効率はいずれの速度においても女子が有意に高かった。また、Zamparo et al. (1996) によれば、体表面積と身体密度は水中トルクの約 85%を説明することができ ( $p<0.05$ )、男子 (1.44kg・m) より女子 (0.77kg・m) が有意に低値を示し、男子は足先から沈みやすいことがわかった。すなわち、ターン後のけのびの到達距離は男子よりも女子の方が優位になる傾向が伺える。これは、身体密度との関係から水中トルクは年齢とともに成人まで有意に増加し、男子の増加率は女子の3倍であり、男女の水中トルク比は年齢とともに増大し、13才では 1.69、16才では 2.04 となったという報告からも理解できる (McLean et al., 1998a)。また、重心と浮心との距離  $d$  は、男子が  $0.79\pm 0.43\text{cm}$ 、女子が  $0.16\pm 0.34\text{cm}$  と、男子が有意に長く、水中トルクに身体密度が影響を及ぼしていることがわかる (McLean et al 1998b)。

このように、ターン後のけのび動作には、性差、体表面積、力発揮、投射角、姿勢及び水中トルクなどが影響することが明らかになっているが、実際のけのびの到達距離、避抵抗姿勢などと密接な関係にあるか否かを検討する必要がある。

## 第6節 泳ぎの動作認識

体育学習においては、よい動きが「できる」だけでは十分でなく、意識性、意図性の認識「わかる」が必要であるが、技能習得の過程では意識面での理解と、動作そのものの合理性が必ずしも一致していないことが報告されている(天野, 1987)。一方、心理学分野では「わかっているのにできない」という現象は、正確な認知が成立しているにもかかわらず、作成された運動プログラムが不適切であることに起因するという(伊藤, 1989)。また、工藤 (1989) は、外界の変化と自己の動きとの対応は、感覚的で短期間のレベルから系統的かつ組織的な運動プログラム (スキーマ) レベルが構築されることにあると報告している。このことは、運動プログラムのパラメーター、すなわち、目標となる動作に対して、どの身体部分を使い、どれだけの力と時間をかけて動作を行うかの指標であるスペーシング、グレーディング、タイミング (猪飼, 1966 ; 大築, 1998) に置き換えることができよう。しかし、実際の様々な動作がどのような処理過程でどのように組み合わせられ、適切に出力調整されてくるのかは未だに明確になっていない。近年では、一流選手がもつ運動認識やコツの意識と構造を種目毎にモデリング、検討する研究 (阿江, 2004) が着手され、ジュニアから成人に至るまでの競技力向上に役立てようとする試みが報告されている。

走運動における動作の制御と身体への気づきについて星野 (1982) は興味ある報告をしている。技術の向上には「動作そのものに対する気づき」と、「運動感覚に対する気づき」があると指摘し、走運動の動きそのものへの気づきは比較的容易であるが、感覚的な気づ



きは困難な傾向が見られることを示唆している。これらのことを体育の授業に当てはめた場合、学習者が「どの程度の認識を持って運動の学習を行うか」、または指導者が「どのように意識をさせるのか」によってその成果が大いに異なってくることが考えられる。スポーツ種目は特殊な身体の機能や動きが要求されるので、動作に伴う感覚を鋭敏化し、それを手がかりとしながら自己の身体をより正確に操作することは運動学習の基礎であろう。しかし、このようなアプローチは体育・スポーツ科学の分野ではほとんど手がけられていない。

ところで、鮫肌水着の登場は水棲動物の感覚、すなわち 1/10 または 1/100s 単位の皮膚感覚や 1/10 または 1/100g 単位の水抵抗をわれわれ人間が感じ取れる範囲内であるとの前提で製作されたのであろう。高橋繁浩氏（中京大学）は、VTR での観察的評価で林亨選手（中京大、元シドニーオリンピック代表選手）の好調時、不調時を見分けるポイントをコーチングの立場から具体的に指摘している（第 11 回トレーニング科学研究会シンポジウムより）。この指摘も彼の師でありコーチであった鶴峯治氏（元中京大学：元東京、メキシコオリンピック代表選手）の VTR 観察による「気づき」によって判明したのである。我々はこれらのことを経験的に納得させられる素地を持ち合わせているように思われる。

水泳運動ではフォームのチェックリストとして二者択一（Yes, No）方式でコーチングに用いられてはいるが、そこに至るまで（例えば初心者から中、上級及び競技者までも含めた）の認識の変化を系統的に位置づけたり、学習及び授業の場で繰り返し練習することによってどこまで高められるかの検証は全くなされていない。わずかに、競泳選手のコツや動き方の意識調査（野村, 2004b）や、オリンピック出場選手のコツ・動き方の意識に関する聞き取り調査（野村, 2004d）によって、記述的解釈を試みている程度である。同様に他のスポーツ種目においてもこのような研究例は皆無に近い。運動能力の向上、すなわちその多くの部分を占める技術の向上は、見方を変えれば身体の自己制御能力の向上であり、練習（トレーニング）を通してヒトは何を手がかりとしながら自己の身体操作能力を高めるかについて綿密な検討が必要である（大築, 2005）。これが俗に言われる「わかる」と「できる」の統合であろう。

一方、水泳の主観的運動強度と生理学的パラメーターとの対応関係は、宮下・小野寺（1978）、Ueda and Kurokawa（1995）、Nomura and Shono（1995）によって泳速度と主観的運動強度を指標とした生理学的側面から検討されている。また、経験則による泳速度の主観的努力度の指標として末光（1989）の提唱がコーチングの場に提示されているだけである。しかし、コーチングの立場からチェックリストによる泳ぐ動作の認識を高める手法（高橋, 1984）や、速く泳ぐことと感覚的言語は質問紙法によって村川ら（1987）が行っている。しかし、出原（1986）が「動作認識(わかる)は運動の習熟度(できる)に大きく左右される」と指摘するように、水泳能力レベルによって結果が左右されることを考慮する必要がある。

このように、動作認識の高まりと、実際の動きがマッチングしているのかどうか(合屋, 1997), また、動作と感覚的気づきを対応させて分析するバイオメカニクスの研究手法は有効であるか(合屋, 2000), さらに、選手が動きを改善しようとするとき、感覚的事実の中でなにか新しい「気づき」を生みだしているのかどうか(結城, 1999)を映像解析などと合わせて解明することが課題として残されている。

## 第7節 本研究の目的

上記先行研究の背景より、本論文の主要研究課題を次の通りとした。

まず、けのびと類似した受動牽引動作との比較において、けのびの特質を明らかにする(第2章)。次に、けのびの巧拙の原因を明らかにするため、初心者から熟練者、エリート選手までを対象に、画像と力発揮及び感覚的気づき等の視点から、けのびの特質を横断的に検討する。あわせて、性差も明らかにする(第3章)。第3に、けのびの技術がどのような経過を経て獲得されていくかを明らかにするため、初心者を対象にしたけのびの習熟過程を画像と力発揮及び感覚的気づき等の視点から縦断的に検討する(第4章)。第4に、けのびの発展系であるターン動作を取り上げ、けのびが含まれるターン後半部分の巧拙と習熟過程を、けのびとの比較で検討する(第5章)。最後に、けのびを基本とするクロール泳を取り上げ、クロール泳の巧拙と習熟過程を速度出力調節と動作認識の視点から検討する(第6章)。

### 研究の目的

水泳の基本動作「けのび」は、初心者からオリンピック選手に至るまで、重要課題となっている。それは、けのびで抵抗を小さくする技術は各種泳法やターン動作の基礎であるため、その巧拙が泳法の習熟速度や競技成績に直結するためである。本研究は、画像と力発揮、感覚的気づき等のバイオメカニクスの視点から、けのびの巧拙の原因と習熟過程を検討することにより、水泳指導に有用な知見を得ることを目的とする。

本研究の特色は以下の通りである。

- 1) 初心者から上級者及びエリート選手までを見通した「動き」の習得プロセスをバイオメカニクス研究手法を中心とした分野横断的アプローチによって解明すること。
- 2) けのびを中心とした水泳基本動作の実際のパフォーマンスと、それらの動作認識とが一致するのか否かを横断的かつ縦断的に検討すること。
- 3) 以上の知見や実践、応用研究を体育、スポーツ現場の指導、コーチングへの学際的支援及びアプローチの一助とし、Triangle Interaction,すなわち、研究者、指導者、学習者の三者間の情報の流れのシステムに貢献することである。

## 第2章 けのび動作の力発揮の様相と前方牽引による受動抵抗との関係

### 第1節 けのびの到達距離の差による力発揮と受動抵抗の違い

#### 1. 緒言

水泳の基本動作「けのび」は初心者の段階から一流選手に至るまで、共に共通した能力評価基準として位置づけることができる(野村, 2004a)。この技術は、水からの抵抗を皮膚感覚でとらえたり、抵抗を小さくするための姿勢のとり方、あるいは体のコントロールなど各種泳法の動作と大きく関連している(土居ら, 1985)。人体水抵抗は、牽引によって引っ張られるときの受動抵抗と、泳者が自らの推進力で進む時の自己推進時抵抗の2つに大別される(下永田ら, 1998)。大学水泳選手では、泳速度を向上させるために、推進力を大きくするタイプと、抵抗を減少させるタイプに分類されている(下永田ら, 1999)。従って、水泳競技では、いかに水中での抵抗を減らすことができるかがメダル獲得を左右すると言っても過言ではない(高木, 2002)。一方、受動抵抗に位置づけられるけのび動作の巧拙及び力発揮についての研究(合屋; 2000; 合屋・杉浦, 2000, 杉浦ほか 2001; Goya et al., 2002) や、牽引による受動抵抗及び自己推進時抵抗についての研究(Nomura et al., 1993; 下永田ら, 1999; 野村, 2004b) が数多く行われているが、両者を同時に、かつ同一被検者を対象とした研究は行われていない。

そこで本研究では、大学水泳選手男女9名の被検者にけのび動作及びグライド姿勢での受動的牽引泳を行わせ、到達距離、画像解析、力発揮及び抵抗値を基に、けのび動作の巧拙と牽引による受動抵抗の大きさとの関係を明らかにすることを目的とした。

#### 2. 研究方法

被検者は、大学水泳部に所属し、競技経験のある選手9名(男子6名, 女子3名)を対象として、全力でけのび動作を5試技行わせた。本研究の目的や方法などを事前に被検者に十分説明し、実験への参加の同意を得た。また、実施にあたって、被検者の安全や人権擁護に注意を払った(第3章～第6章省略)。前方牽引による速度は0.9m/s, 1.5m/s, 1.8m/sの3段階に設定し、20mの距離を各速度2試技ずつ行わせた。画像は、被写体から12.6m離れた水中窓よりSONY社製デジタルビデオカメラ(DCR-TRV20, 30fps)で撮影した。壁を蹴る力の測定は、水中用フォースプレート(ストレインゲージ式:防水ゲージ使用)を用いた。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8mm)で4個のステンレス鋼製荷重リング(幅30mm, 外径84mm, 厚さ8mm)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(共和電業製KFW-5-C1-16L500)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。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）で増幅し、MacLab/8s（ADI社製）でAD変換した（図2-1）。また、水中の映像とフォースプレートからの電気信号はトリガーをHSV-400内蔵のWave Inserterにて同期した。画像解析は、DKH社製Frame-DIASII ver.2.7を用いて、つま先が壁に着いた時（以降、接地時）から、壁からつま先が離れ（以降、リリース時）、0.5s後（以降、0.5s時）までの解析を行った。

前方牽引で用いた、リールアップシステムは、漁船用電動リール（森山製作所製MLD-G1-1）、デジタル力量計（日本電産製SHINPO-DFG-50T）及びフォトセンサー（日本電産製SHINPO-SE-R）によるデジタル回転計で構成され、パーソナルコンピュータを介して経過時間、牽引張力、牽引速度を記録した。グループ分けは、到達距離の大きかった男子2名をAグループ、小さかった男子4名をBグループ、女子3名をCグループとした。

VTR画像から重心の投射角度、リリース時の重心移動速度（以降、初速度）、リリース後0.5sの重心移動速度（以降、0.5s時の重心速度）、初速度-0.5s時の重心移動速度/初速度（以降、重心移動速度率）を算出した。重心投射角度（以下、投射角度）は、下方向をプラス、上方向をマイナスとした。またフォースプレートからは、接地からリリースするまでの時間（以降、所要時間）、最も大きな値（以降、ピーク値）及び所要時間と力発揮から求めた力積を算出した。

前方牽引における受動抵抗値は0.9m/s、1.5m/s、及び1.8m/sにおける平均抵抗値（2~3秒程度の抵抗値が安定した区間の平均）を求めた（図2-2）。

### 3. 結果

#### 3.1 到達距離と重心速度

到達距離は、Aグループが $11.7 \pm 1.0\text{m}$ 、Bグループが $9.4 \pm 0.6\text{m}$ 、Cグループが $10.8 \pm 1.7\text{m}$ であった。初速度は、A、B及びCグループそれぞれ $2.47 \pm 0.11\text{m/s}$ 、 $2.32 \pm 0.2\text{m/s}$ 、 $2.10 \pm 0.17\text{m/s}$ であった。到達距離と0.5s時の重心速度には、 $p < 0.05$ の有意な相関が認められた（図2-3）。初速度と0.5s時の重心速度には、 $p < 0.01$ の有意な相関が認められた（図2-4）。また、初速度と0.5s時の重心移動速度率には、 $p < 0.01$ の負の有意な相関が認められた。

#### 3.2 接地位置と重心投射角度

Aグループの接地位置は $0.32 \pm 0.02\text{m}$ 、投射角度は $1.7 \pm 0.9^\circ$ 、Bグループはそれぞれ、 $0.26 \pm 0.06\text{m}$ 、 $0.5 \pm 3.1^\circ$ 、Cグループはそれぞれ $0.29 \pm 0.06\text{m}$ 、 $-1.1 \pm 2.6^\circ$ であった。投射角度の平均値は、全てのグループ間において、有意な差はみられなかった。投射角度は、Aグループの全員が全試技、下向きであった。Bグループは、一名が全試技下向きであったが、他の被検者は上下両方向に分散し、Cグループは、全被検者が上下両方向であった。

### 3.3 力発揮と重心移動速度

壁を蹴ってリリースするまでの接地時間、すなわち所要時間は、A、B及びCグループそれぞれ、 $0.44 \pm 0.11s$ 、 $0.53 \pm 0.16s$ 、 $0.47 \pm 0.13s$ であった。ピーク値はそれぞれ、 $1559.3 \pm 158.9N$ 、 $1083.4 \pm 154.5N$ 、 $838.6 \pm 86.6N$ であった。また、力積はそれぞれ、 $280.4 \pm 22.1N \cdot s$ 、 $234.6 \pm 46.1N \cdot s$ 、 $154.5 \pm 27.3N \cdot s$ であった。ピーク値、力積の平均値は、全てのグループ間において、 $p < 0.01$ の有意な差が認められた。一方、力積と初速度及び力積と0.5s時の重心移動速度との間に $p < 0.01$ で有意な相関が認められた(図2-5, 図2-6)。また、0.5s時の重心移動速度と到達距離との間にも $p < 0.01$ と有意な相関が認められた。

### 3.4 関節角度と前方牽引における受動抵抗値

A、B及びCグループのリリース時における腰関節角度はそれぞれ $177 \pm 3.6^\circ$ 、 $169.4 \pm 5.4^\circ$ 、 $178.1 \pm 4^\circ$ であった。また、膝関節角度はそれぞれ $173.3 \pm 5.2^\circ$ 、 $168.2 \pm 5.9^\circ$ 、 $172.4 \pm 5.4^\circ$ であった。

リリース時の腰関節角度と受動抵抗値は、3種類の牽引速度と有意な相関が認められた(図2-7)。また、0.5s時の腰関節角度と受動抵抗値は、3種類の牽引速度と負の有意な相関が認められた(図2-8)。

次に、リリース時と0.5s時の膝関節角度と前方牽引における受動抵抗値の関係を検討した。リリース時の膝関節角度と受動抵抗値は、牽引速度0.9m/sと1.8m/sにおいては、有意な相関はみられなかった。一方、0.5s時の膝関節角度と受動抵抗値は、牽引速0.9m/sにおいては、有意な相関はみられなかったが、1.5m/sと1.8m/sにおいては、 $P < 0.05$ の有意な相関が認められた(図2-9)。全体として、前方牽引において、受動抵抗値が小さかった被検者は、けのび動作における、腰、及び膝関節角度の絶対値が小さいという傾向がみられた。

### 3.5 受動抵抗値と0.5s時の重心移動速度率

牽引速度0.9m/s、1.5m/s及び1.8m/sの前方牽引における受動抵抗値と0.5s時の重心移動速度率は、 $p < 0.01$ で負の有意な相関が認められた(図2-10)。図2-11は、到達距離が短かった被検者の前方牽引の受動抵抗値を時系列でみたものである。これに対して、到達距離が長かった被検者(図2-2)は、振幅の幅が小さく、体が揺れる回数も少ない様相が観察された。

## 4. 考察

### 4.1 到達距離と重心速度

杉浦ら(2004)、合屋ら(2004)によれば、到達距離は大学男子エリート選手が $11.5 \pm 1.55m$ 、同女子が $12.0 \pm 1.55m$ 、大学初心者男子が $7.5 \pm 0.6m$ 、同女子が $6.9 \pm 0.9m$ であった

と報告している。本研究の被検者の値はほぼ中間に位置していたことから、熟練者に相当すると思われた。けのびの初速度はA, B及びCグループそれぞれ $2.47 \pm 0.11 \text{m/s}$ ,  $2.32 \pm 0.2 \text{m/s}$ ,  $2.10 \pm 0.17 \text{m/s}$ であった。Blanksby et al. (1999)によれば、オリンピック選手のターン局面の速度はおおよそ $2.5 \text{m/s}$ であった。このことから、けのびによる初速度はターン局面の速度と同程度であることがわかった。

一方、初速度と0.5s時の重心速度には正の、初速度と0.5s時の重心移動速度率には、負の有意な相関が認められた。これは、初速度が大きい被検者は0.5s時の重心速度も大きいことを示している。すなわち、熟練者は初速度を大きくして、到達距離を長くしていることがわかった。

#### 4.2 重心投射角度と接地位置

これまでけのびの投射角度については全く報告されていない。本研究の結果、投射角度は斜め下方向及び上下に不安定な蹴り出しであった。大学生初心者は斜め下方向へ約 $10^\circ$ 、同中等度熟練者は下方向へ約 $5^\circ$ （杉浦・合屋ら, 2001）、同エリート選手はほぼ水面と平行で約 $0^\circ$ （合屋ら, 2004）であったと報告されている。このことから、初心者は大きく下方へ、中等度熟練者はやや下方へ、本研究の被検者は $1.1 \sim 1.7^\circ$ と上下方向にけり出していた。従って、けのびの蹴り出す方向は、初心者から技能レベルが上がるに従って不安定になるが、エリートレベルになるとほぼ水面と平行なることが示唆された。

一方、接地位置は到達距離が長かった男子が $0.32 \pm 0.02 \text{m}$ 、女子が $0.29 \pm 0.06 \text{m}$ であった。Lytle et al. (1999)は、秒速 $1.9 \text{m}$ を越えるけのび姿勢で最も牽引抵抗を少なくできる水深は $0.4 \text{m}$ 近傍であると報告している。また、オリンピック選手のターン局面での水深は $0.35 \sim 0.45 \text{m}$ が最適であり（Blanksby et al., 1999）、 $1.6 \text{m}$ から $2.0 \text{m}$ の高速域で人体模型を曳航したときの抵抗は、水面近傍よりも水深 $0.255 \sim 0.355 \text{m}$ の方が小さかったと報告されている（Shimizu et al., 1997）。以上のことから、人体が水中を進む水深と壁に足がつく接地位置とがほぼ同じと仮定すれば、けのび及びターン後の潜行していく抵抗のない最適水深は $0.3 \text{m} \sim 0.4 \text{m}$ 付近にあることが推測された。

#### 4.3 力発揮と重心移動速度

壁をけてリリースするまでの所要時間は、熟練者が短く、ピーク値まで素早く立ち上がるのに対して、初心者は、所要時間が長く、ゆるやかに立ち上がる（合屋ら, 2000）。しかし、初心者とエリート選手はほぼ同じ $0.4 \text{s}$ 強、熟練者はそれより長い $0.6 \text{s}$ 弱であったとの報告もある（合屋ら, 2004）。本研究の被検者はおおよそ $0.4 \sim 0.5 \text{s}$ であった。このことから、初心者の所要時間は再現性が低く、熟練するにつれて一定した所要時間、すなわち $0.4 \text{s}$ 付近に収束すると思われた。

初心者のけのびの力発揮は、熟練者と同じピーク値、力積を示すが、必ずしも、到達距

離と結びつくとは限らない(合屋ら, 2000)。しかし, 本研究の被検者の場合, 到達距離の大きかった順に力積が大きかった。従って, 力積を大きくすることが, 重心移動速度を大きくすることにつながり, 到達距離の増大をもたらすと考えられた。

#### 4.4 関節角度と前方牽引における受動抵抗値

リリース時と0.5s時の腰及び膝関節角度と, 前方牽引における受動抵抗値の関係を検討し, 絶対値で評価した。これは, 投射角度が上向きと下向きがみられたためである。180°の水平の状態から体を反らせばプラス, 屈めればマイナスとなる。その結果, リリース時の腰関節角度と受動抵抗値は, 3種類の牽引速度すべてで有意な相関が認められた(図2-7)。これは, リリース時に腰を伸ばして水平位に近くなれば受動抵抗は少なくなることを示す。また, 0.5s時の腰関節角度と受動抵抗値は, 3種類の牽引速度と有意な負の相関が認められた(図2-8)。これは, 0.5s時の状態は水面上方に向かっていく局面に相当するので, 腰をそらした姿勢となる。従って, 前方牽引における受動抵抗値が小さい泳者は, けのび動作のリリース時においても, 下肢を十分に伸展し, 抵抗の少ない姿勢をつくることができると考えられた。

一方, 自己推進時の受動抵抗は体表面積に影響されるとの報告があるが(高木ら, 1997; 高木, 2001), 下永田ら(1998)によれば, ある程度競泳に精通した選手間の前方牽引における受動抵抗値の違いは, 体格の差よりも姿勢の違いによる抵抗係数, 指数定数の変化が大きいと報告している。本研究の結果, 全体として, 前方牽引の受動抵抗値が小さかった被検者は, けのび動作における, 腰, 及び膝関節角度の絶対値が小さいという傾向がみられた。よって, 前方牽引における受動抵抗値が小さい泳者は, けのび動作のリリース時においても下肢を水平位近くに保ち, 抵抗の少ない姿勢をつくることができていると考えられた。

#### 4.5 受動抵抗値と0.5s時の重心移動速度率

3つの牽引速度条件での前方牽引における受動抵抗値と, 0.5s時のけのびの重心移動速度率には負の有意な相関が認められた(図2-10)。よって, リリース後の重心速度の低下が少ない被検者は, 前方牽引における受動抵抗が小さいということがわかった。以上のことから, 同一被検者における2つの姿勢について検討した結果, 前方牽引時に抵抗の少ない姿勢を作ることができる泳者は, けのび動作時にも, 抵抗を少なくし, 重心移動速度の減少を抑えることができると考えられた。

### 5. 結論

本研究では, 大学水泳選手男女9名の被検者に, けのび動作及びグライド姿勢での受動的牽引泳を行わせ, 到達距離, 画像解析, 力発揮及び抵抗値を基に, けのびの到達距離の

差と牽引による受動抵抗の大きさとの関係を明らかにすることを目的とした。

その結果は以下のとおりであった。

- 1) けのびの初速度が大きい被検者は減速量が大きく、0.5s 時の重心速度も大きかった。その結果、到達距離の増大につながると考えられた。
- 2) 力積の大きさは、到達距離の大きかった順であった。従って、力積を大きくすることが重心移動速度を大きくすることにつながり、到達距離の増大をもたらすと考えられた。
- 3) けのびの投射角度は水平面に対してわずかに上下し、その後に潜行する水深は0.3m から0.4m 付近であった。
- 4) 前方牽引における受動抵抗値が小さい泳者は、けのびのリリース時及びリリース後も下肢を十分に伸展し、重心移動速度の減少を抑えた抵抗の少ない姿勢であった。



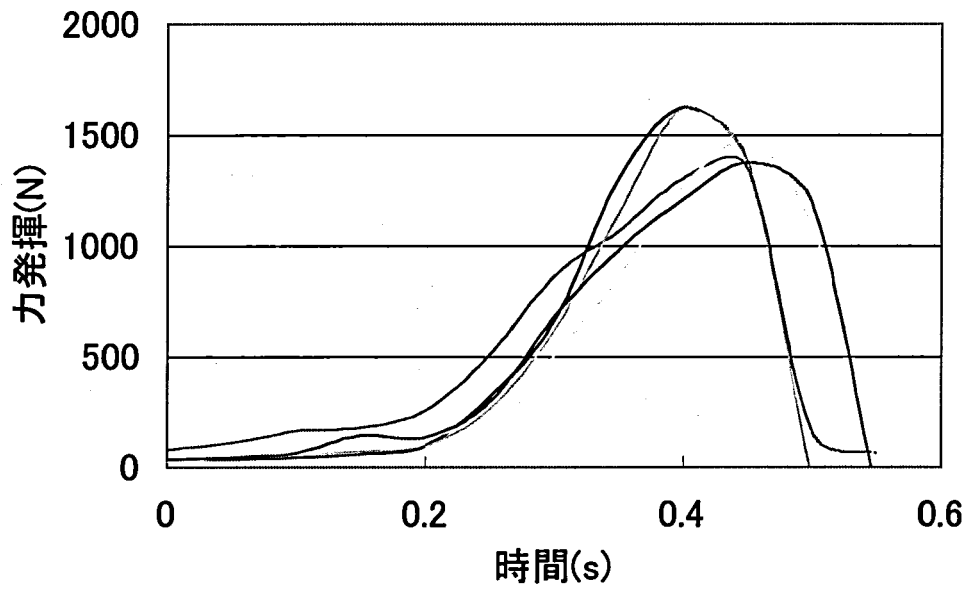


図 2-1 けのびによる力発揮の様相 (Sub.A.I)

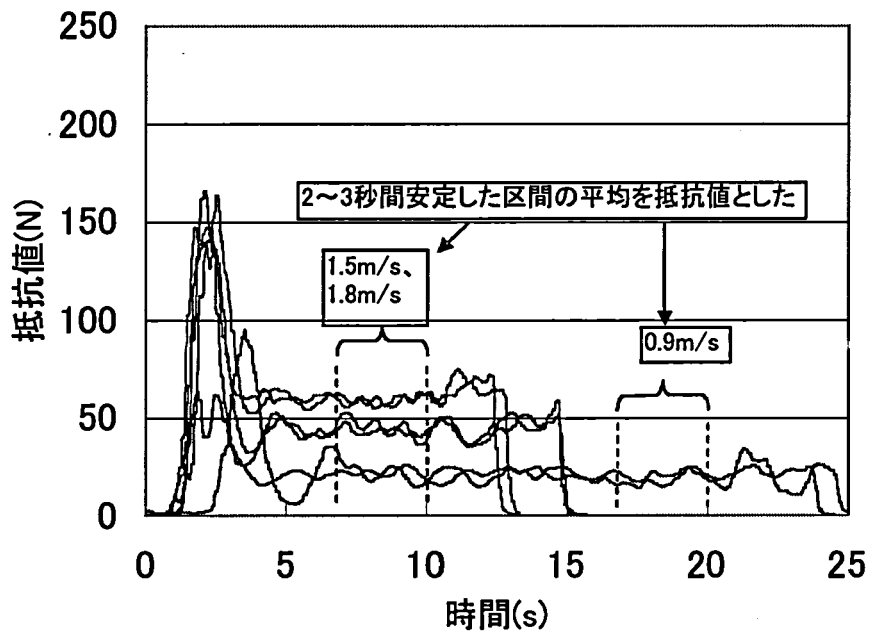


図 2-2 牽引による受動抵抗値の算出例

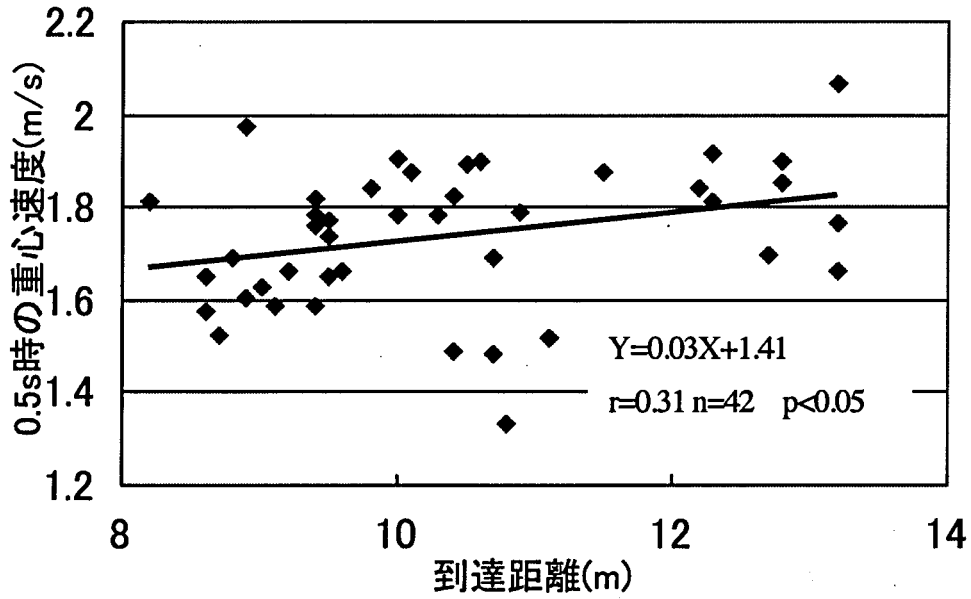


図2-3 到達距離と0.5s時の重心速度

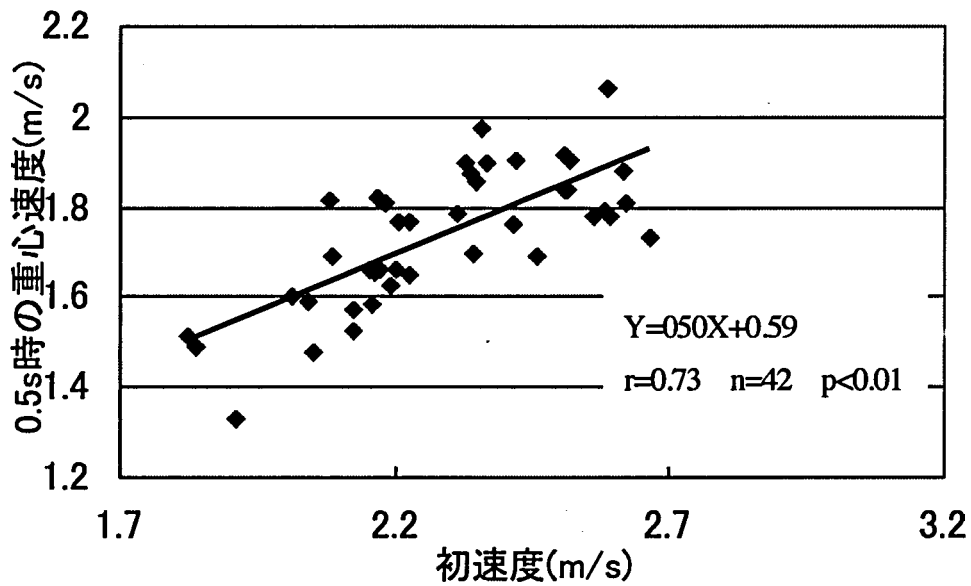


図2-4 初速度と0.5s時の重心速度

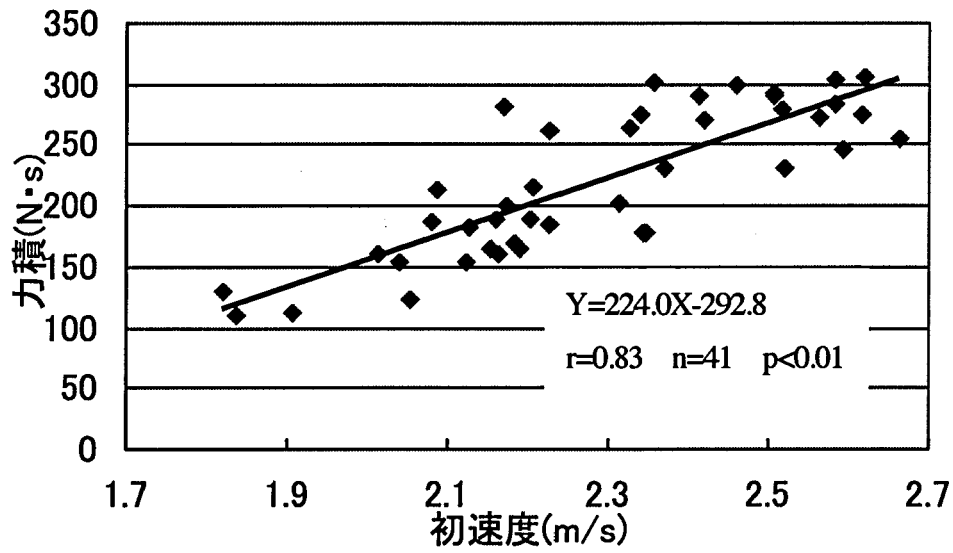


図2-5 力積と初速度

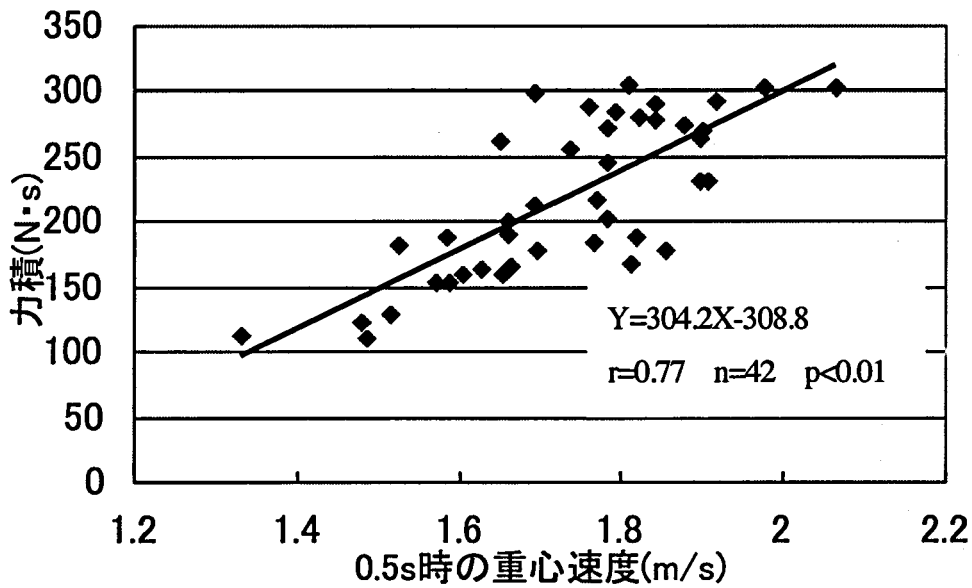


図2-6 力積と0.5s時の重心速度

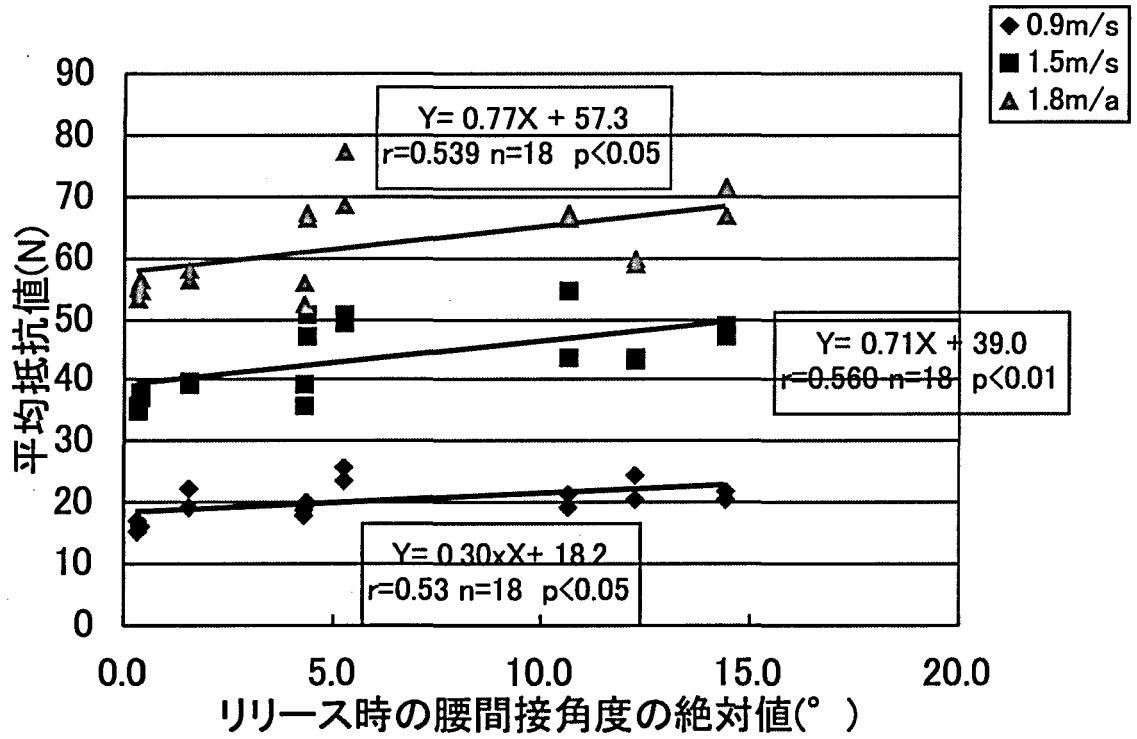


図2-7 受動抵抗とリリース時の腰関節角度

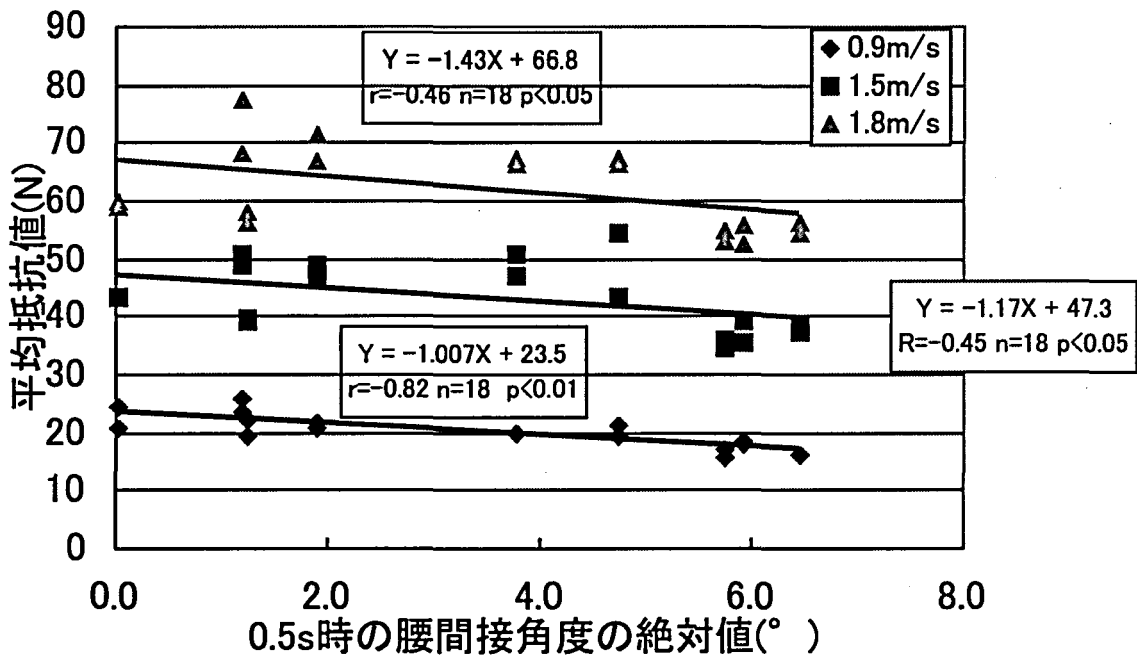


図2-8 受動抵抗と0.5s時の腰関節角度

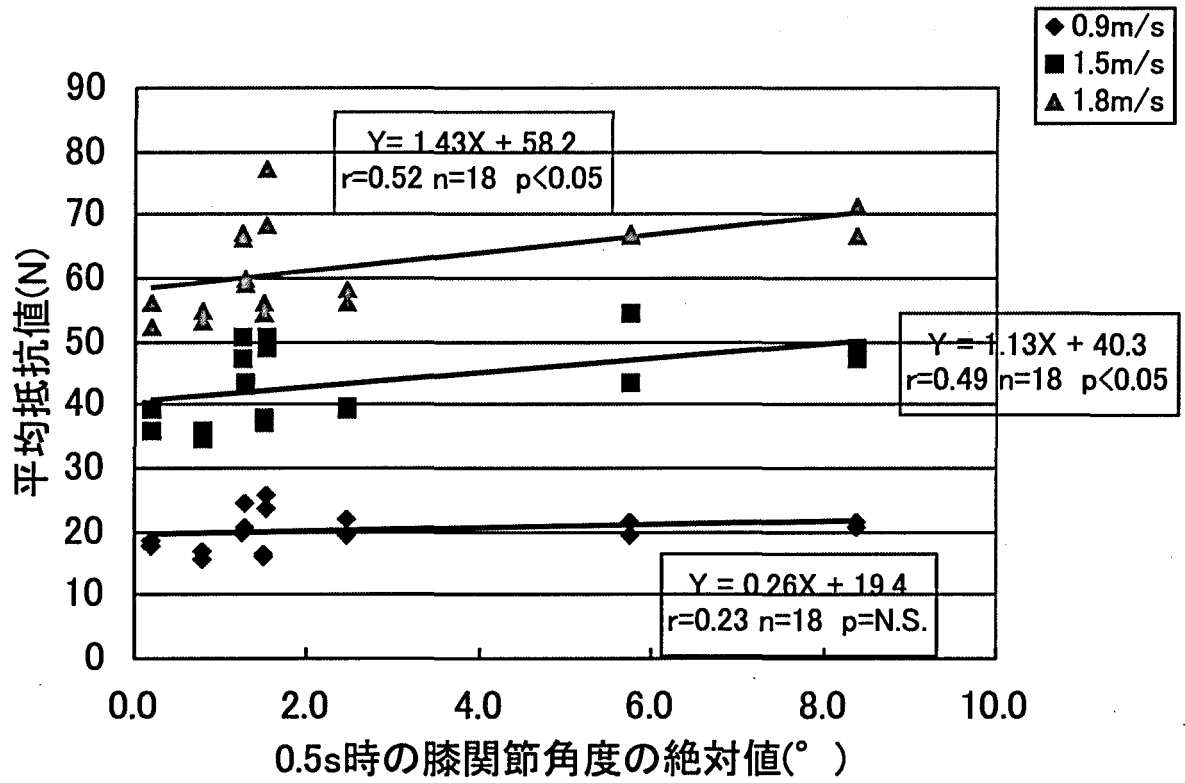


図2-9 受動抵抗と0.5s時の膝関節角度

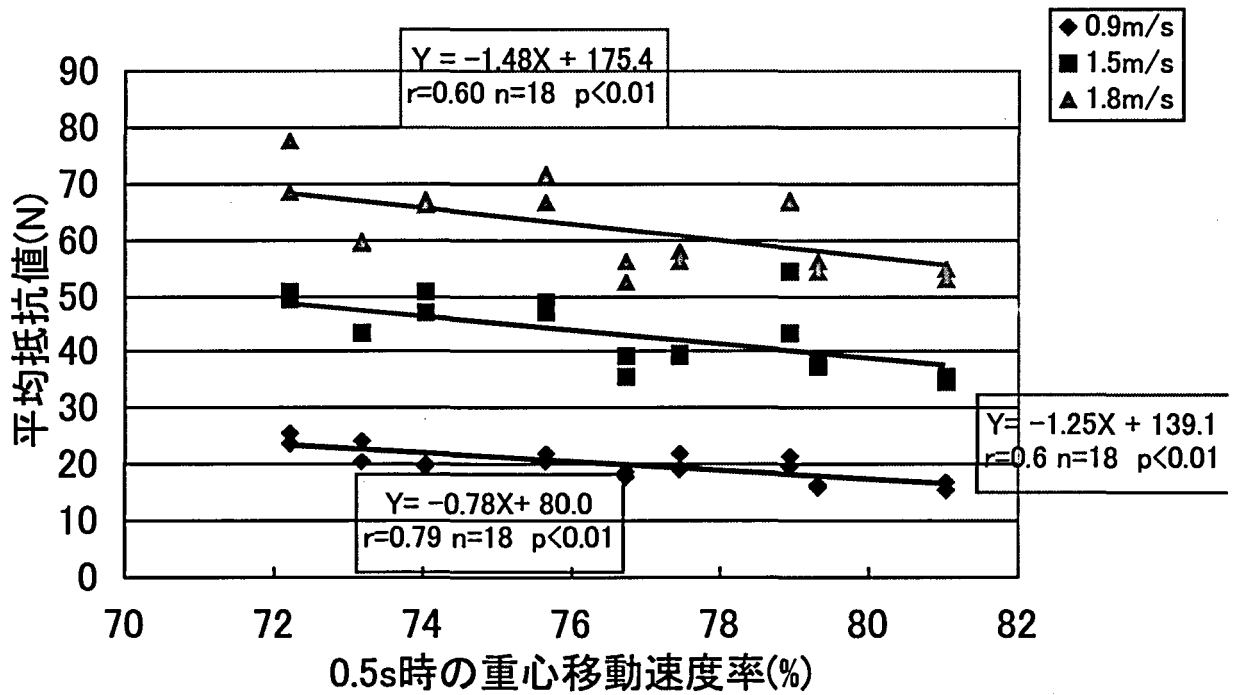


図2-10 受動抵抗と0.5s時の重心移動速度率

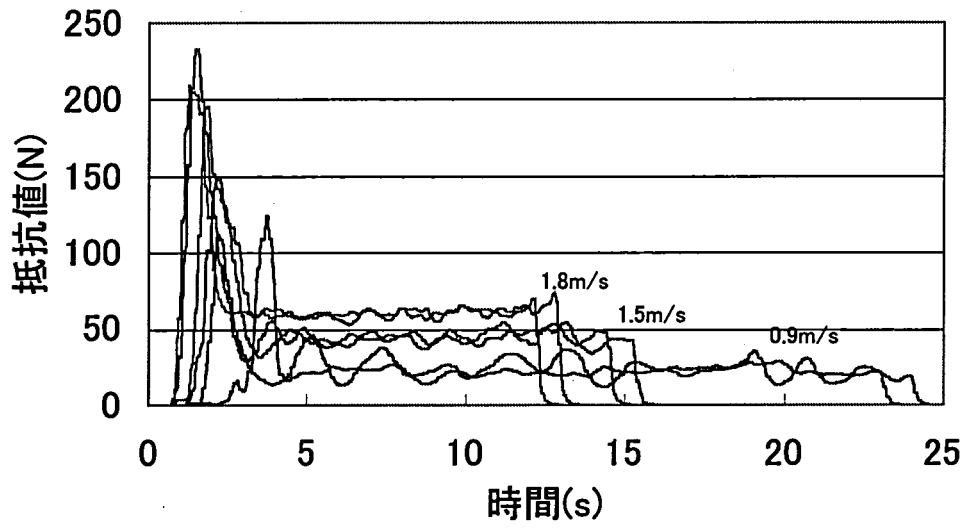


図 2-11 到達距離の短い被検者の受動抵抗値

## 第2節 熟練者及び未熟練者の力発揮と受動抵抗の違い

### 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(タイム)に大きく影響する(土居ら, 1985; Lytle et al., 2002). 従って, 近年では世界のトップクラスの選手やコーチは, この姿勢の保持いかんによってメダルの色が一変することを知り抜いている. すなわち, 泳速度を向上させるには, 最も効率的と考えられるけのび姿勢での抵抗の大小が大きな鍵を握っている(高木, 2001; 2002). 特に, 初心者レベルでは, この技術のできばえがその後のパフォーマンスに大きな影響を与える(合屋ら, 2000, 2002, 2006a, 2006b; 杉浦・合屋, 2000; 野村, 2004).

一方, けのび姿勢による受動抵抗は, 下永田ら(2001)は, ある程度競泳に精通した選手間では, 体格の差よりも姿勢の違いによる抵抗係数, 指数定数の変化が大きいと報告している. しかし, 高木ら(1997; Takagi et al., 2001)は受動抵抗の違いは被検者の体格差によるものが大きく, 体表面積が関与することを示唆している. 従って, けのび姿勢による受動抵抗は, 水泳技能レベルや体格などによって結果が異なるのか否か明確ではない. また, けのび姿勢の巧拙が牽引による受動抵抗値の大小に反映されるかどうかは, 競技における泳時間短縮のみならず, 各種泳法習得に際し重要な意味を持つと思われる. 合屋ら(2006b, 2008)は, けのび動作及び牽引による受動抵抗の両者を同一被検者で測定した結果, 前方牽引時に抵抗の少ない姿勢を作ることができる泳者は, けのび動作時も抵抗の低減ができると報告している. しかし, 熟練者と未熟練者の比較検討は未だ着手されていない.

けのびは3秒程度の短時間で一過性の姿勢保持であるが, 牽引によるグライド姿勢は, 安定した姿勢保持を20秒程度保持しなければならない. 効率よく泳ぐためには, この2つの姿勢保持能力(いわゆるストリームライン)の優劣が結果として泳タイムに少なからず影響すると考えられる. このような双方の基本的かつ重要な技術の関連性を検討することが今後の水泳指導やコーチングに大いに貢献できると思われる.

そこで本研究では, 大学女子熟練者及び未熟練者各9名を対象として, けのび動作及び受動的牽引泳を行わせ, 到達距離, 画像解析, 力発揮及び抵抗値を基に, けのび動作の巧拙と牽引による受動抵抗の大きさとの関係を比較, 検討することを目的とした.

### 2. 研究方法

被検者は, 大学女子水泳部に所属し, 競技経験のある熟練者及び競技経験のない未熟練者各9名を対象とした. 表1に被検者の身体特性を示した. 体表面積は藤本ら(1968)による以下の式を用いた.

$$BSA = \text{体重}^{0.444} \times \text{身長}^{0.663} \times 88.83$$

けのび姿勢での前方牽引はリールアップシステム (Nomura et al., 1993) を用いた (図 2-12). 牽引速度を 0.9m/s, 1.5m/s, 1.8m/s の 3 段階に設定し, 20m の距離を各速度 1 試技ずつ行わせた. リールアップシステムは, 漁船用電動リール (森山製作所製 MLD-G1-1), デジタル力量計 (日本電産製 SHIMPO-DFG-50) 及びフォトセンサー (日本電産製 SHINPO-SE-R) によるデジタル回転計で構成され, パーソナルコンピューターを介して経過時間, 牽引張力, 牽引速度を記録した.

けのびは, 壁を蹴って身体が停止するまでとし, その時の指先の位置までを到達距離として実測した (図 2-13). 同時に, 右側方の水中窓より, SONY 社製デジタルビデオカメラ (DCR-TRV20, 30fps) で撮影した. 画像解析は, DKH 社製 FrameDIAS II ver2.7 を用いて身体各部の 23 点を 60Hz でデジタルイズし, 身体各部の実長換算を行った.

壁を蹴る力の測定は, 自作の水中用フォースプレートを用いた. 4ヶ所に防水ストレインゲージ (共和電業製 KFW-5-CL-16 L500) を貼付け, 4ゲージ法によりリングが生じる圧縮歪みを検出できるようにした. 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) で増幅し, MacLab/8s (ADI社製) で AD 変換した. 水中の映像とフォースプレートからの電気信号はトリガーを用いて同期した.

分析項目は, ①到達距離 (m), 接地位置 (cm), 重心投射角度 ( $^{\circ}$ ), 重心位置 (m), 力発揮 (所要時間 (s), 力積 (N/s)), 初速度 (リリース時の重心移動速度 (m/s)), リリース後 0.5s 時の重心移動速度 (m/s), 関節角度 (腰, 膝 ( $^{\circ}$ )), ②3種類の牽引速度における抵抗値 (N) であった.

測定値はすべて平均値  $\pm$  標準偏差とし, 平均値の比較には t 検定を用いた. 相関分析にはピアソンの相関係数を用いた. これらの有意水準はすべて 5% 以下とした.

### 3. 結果

#### 3.1 受動抵抗と到達距離

図 2-14 に熟練者と未熟練者の 1.8m/s 時の受動抵抗 (以降,  $D_p$ ) 曲線を例示した. いずれの牽引速度においても同様のパターンを示し, 熟練者が低値であった. 熟練者の 0.9m/s 及び 1.5m/s 時の  $D_p$  はそれぞれ  $24.4 \pm 2.6\text{N}$ ,  $51.3 \pm 3.5\text{N}$  であった. 未熟練者の 0.9m/s 及び 1.5m/s 時の  $D_p$  はそれぞれ  $29.3 \pm 5.4\text{N}$ ,  $59.8 \pm 7.9\text{N}$  であった. いずれの牽引速度においても熟練者は未熟練者よりも有意に低値を示した.

次に, 図 2-15, 図 2-16, 図 2-17 に熟練者と未熟練者の各牽引速度における  $D_p$  とけのびの到達距離の関係を示した. 到達距離と  $D_p$  の関係は, 双方ともに有意な相関が認められなかった. しかし, 3種類の牽引速度それぞれにおいて,  $D_p$  は, 未熟練者より熟練者の方が小さい傾向にあった.



### 3.2 受動抵抗と体表面積

図2-18, 図2-19, 図2-20に熟練者と未熟練者の各牽引速度におけるDpと体表面積の関係を示した。本研究では, 体表面積とDp (0.9m/s, 1.5m/s, 1.8m/s)の関係は, それぞれ, 未熟練者が $r=0.65$  ( $p<0.01$ ),  $r=0.89$  ( $p<0.01$ ),  $r=0.76$  ( $p<0.01$ )であり, 有意な相関が認められた。一方, 熟練者はそれぞれ,  $r=-0.01$ ,  $r=0.23$ ,  $r=0.29$ であり, 有意な相関が認められなかった。

### 3.3 けのびの到達距離

未熟練者の到達距離は $8.2\pm 1.1$ m, 熟練者は $10.7\pm 1.5$ mであった。未熟練者の最高到達距離はNKの11.0m, 最短到達距離はMKの6.7m, 熟練者の最高到達距離はYSの14.0m, 最短到達距離はMMの8.0mであった。未熟練者と熟練者の到達距離における平均値の間に, 有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。

### 3.4 接地位置, 重心投射角度及び重心移動軌跡

図2-21にけのびの接地位置と重心投射角度を示した。熟練者の接地位置は $0.30\pm 0.08$ m, 未熟練者は $0.31\pm 0.08$ mであった。投射角度は熟練者が $-6.2\pm 2.2^\circ$  (下向き), 未熟練者は $1.6\pm 4.6^\circ$  (上向き)であった。熟練者と未熟練者の投射角度には有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。

図2-22, 図2-23に到達距離の長い熟練者の, 図2-24, 図2-25に到達距離の短い未熟練者の重心移動軌跡を示した。熟練者は, 接地からリリース後まで水深0.3~0.4mを, 未熟練者は, およそ水深0.2mを移動していた。

### 3.5 力発揮及び重心移動速度と到達距離

熟練者の力積は $171.0\pm 28.2$ N·s, 未熟練者は $167.8\pm 36.7$ N·sであり, 熟練者の所要時間は $0.46\pm 0.11$ s, 未熟練者は $0.44\pm 0.14$ sであった。一方, 熟練者の初速度は $2.33\pm 0.15$ m/s, 未熟練者は $2.29\pm 0.26$ m/sであった。また, 熟練者の0.5s時の重心移動速度は $1.68\pm 0.15$ m/s, 未熟練者は $1.57\pm 0.17$ m/sであった。初速度と0.5s時の重心移動速度の双方とも, 熟練者と未熟練者との間に, 有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。

到達距離と初速度の関係では, 未熟練者が $r=0.41$  ( $p<0.05$ ), 熟練者が $r=0.60$  ( $p<0.01$ )と, それぞれ有意な相関が認められた。

### 3.6 腰, 膝関節角度の変位とけのび動作

熟練者の接地時における腰関節角度は $118.8\pm 13.2^\circ$ , 未熟練者は $112.4\pm 22.6^\circ$ であった。リリース時では, 熟練者が $167.7\pm 6.4^\circ$ , 未熟練者が $163.3\pm 8.4^\circ$ , また, 0.5s時では, 熟練者が $179.3\pm 4.7^\circ$ , 未熟練者が $180.7\pm 5.9^\circ$ であった。熟練者と未熟練者との間に,

有意な差が認められたのはリリース時だけであった ( $p<0.05$ )。一方、接地時における膝関節角度は熟練者が  $68.5\pm 17.7^\circ$ 、未熟練者が  $59.7\pm 15.5^\circ$ 、リリース時では熟練者が  $167.8\pm 9.3^\circ$ 、未熟練者が  $161.9\pm 5.8^\circ$ 、0.5s 時では、熟練者が  $179.5\pm 4.6^\circ$ 、未熟練者が  $177.1\pm 5.2^\circ$  であった。すべての局面において、熟練者と未熟練者との間に、有意差が認められた ( $p<0.05$ )。

#### 4. 考察

##### 4.1 受動抵抗と到達距離

下永田ら (1998) は、熟練者の牽引速度  $2.2\text{m/s}$  では周期的な振幅がみられるが、遅い牽引速度ではこれらの変動はみられなかったと報告している。一方、合屋ら (2006b) は、到達距離が短かった被検者は、低速の牽引速度  $0.9\text{m/s}$  では振幅が大きく、姿勢の保持が不十分であったことを報告している。

到達距離と  $D_p$  の関係は、双方ともに有意な相関が認められなかった。しかし、3種類の牽引速度それぞれにおいて、 $D_p$  は、未熟練者より熟練者の方が小さい傾向にあった。すなわち、 $1.5\text{m/s}$ 、 $1.8\text{m/s}$  の速度では、到達距離が長い熟練者にその傾向が強く見られた。一方、未熟練者は到達距離が短く、かつ  $D_p$  が熟練者に比べ大きかった。これは、熟練者の方が、抵抗を小さくする姿勢を作り出すことに優れ、結果として牽引装置で引っ張られた時の  $D_p$  が小さくなったと考えられる。

##### 4.2 受動抵抗と体表面積

高木ら (1997) は、 $D_p$  の違いは体型 (体表面積) が大きく関与すると報告しているが、下永田ら (1999) は、ある程度競泳に精通した選手間のけのびによる  $D_p$  の違いは、体型の差よりも抵抗係数、指数定数の変化が大きかったと報告している。本研究の結果、熟練者は下永田ら (1999) の報告と一致を見たが、未熟練者は体表面積と受動抵抗とに有意な相関がみられた。このことから、ある一定のトレーニングを積んだ競技者は体型よりも姿勢の変化によって  $D_p$  の低減を図っていることが示唆された。一方、未熟練者は姿勢の変化の影響よりも体型が大きく関与することが考えられた。すなわち、初心者レベルでは避抵抗姿勢を作り出す技術が習得されておらず、体型 (体表面積) に大きく影響される結果を導いたと考えられる。

##### 4.3 接地位置、重心投射角度及び重心移動軌跡

大学生男女水泳選手の接地位置と重心投射角度はそれぞれ  $0.26\sim 0.32\text{m}$ 、 $-1.1\sim 1.7^\circ$  であり (合屋ら, 2006a)、中等度熟練者、熟練者の接地位置は約  $0.60\text{m}$ 、エリート選手は約  $0.30\sim 0.40\text{m}$ 、初心者の投射角度は約  $-10^\circ$ 、中等度熟練者約  $-5^\circ$  (合屋ら, 2000b, 2002)、エリート選手はほぼ水面と平行で約  $0^\circ$  (合屋ら, 2004) と報告されている。エリート選

手の到達距離が最も大きいことから、けのびの蹴り出す方向はほぼ水面と平行に行うことが最適であり、接地位置は水面下0.30mあたりが適切と考えられた。

重心投射角度の変位と合わせてみると、熟練者は水底方向に0.3~0.4mの範囲を一定の軌跡を描いていた。一方、未熟練者は水面上方または下方に不安定な軌跡を描いていた。合屋ら(2006a)によれば、初心者の重心移動軌跡は、練習によってほぼ0.3~0.4mの水深に達すると報告している。また、Lyttle et al. (1999)は、秒速1.9mを越える牽引によるグライドで最も抵抗を少なくできるのは、0.4m~0.6mの深さであると報告している。さらに、オリンピック選手のターン局面での水深は0.35~0.45mが最適であり(Blanksby et al., 1999; Takagi et al., 2000)、1.6m~2.0mの高速域で人体模型を曳航したときの抵抗は、水面近傍よりも水深0.45mの方が小さかったと報告されている(Shimizu et al., 1997)。従って、より良いけのび動作は、0.3~0.4mあたりの水深に接地し、水底面下方または平行に蹴り出して重心の移動軌跡がおおよそ0.3~0.6m近傍を通過することが望ましい。

#### 4.4 力発揮及び重心移動速度と到達距離

初心者女子の力積は、練習前(以下、pre)が $135.0 \pm 30.3 \text{N} \cdot \text{s}$ 、練習後(以下、post)が $136.3 \pm 36.6 \text{N} \cdot \text{s}$ と若干の増加を示したと報告されている(合屋ら, 2006a)。本研究の結果、熟練者は $171.0 \pm 28.2 \text{N} \cdot \text{s}$ 、未熟練者は $167.8 \pm 36.7 \text{N} \cdot \text{s}$ であり、初心者よりも大きかった。一方、男子エリートスイマーの所要時間は0.38~0.41s、同初心者は0.31~0.45s(Takahashi et al., 1983)、また、男子熟練者では $0.58 \pm 0.12 \text{s}$ 、女子熟練者では $0.47 \pm 0.07 \text{s}$ (杉浦ら, 2001)、女子初心者1名では0.61sであったと報告されている。本研究の結果、熟練者の所要時間は $0.46 \pm 0.11 \text{s}$ 、未熟練者は $0.44 \pm 0.14 \text{s}$ であった。従って、本研究の力積及び所要時間の結果はほぼ妥当な値を示している。

次に、到達距離と初速度及び初速度と0.5s時の重心移動速度は熟練者の方が未熟練者よりも有意に大きかった。よって、熟練者は未熟練者に比べ、蹴り出しの速度も大きく、かつ、水中での速度低下が少ないことが考えられる。柴田(1992)によれば、熟練者、未熟練者の身体各部の速度を時系列で比較した結果、熟練者に大きな低下は見られなかったが、未熟練者の速度は大きく低下したことを認めている。このことは、到達距離と0.5s時の重心移動速度との関係では、未熟練者が $r=0.18$ と有意な相関がなく、熟練者は $r=0.66$ ( $p<0.01$ )と相関が有意であったことと関連すると思われる。さらに、合屋ら(2004)は、力積と到達距離との関係は、初心者及び中等度熟練者では有意な関連が見られず、熟練者及びエリート選手ではその傾向または有意な関連性が見られたと報告している。初心者の力積は、熟練者とほぼ同じ値を示すが、必ずしも、到達距離と結びつくとは限らない(Goya et al., 2002)。しかし、本研究及び先行研究の結果より、ある一定の水泳能力レベルに達した泳者では、力積を大きくすることが、重心移動速度を大きくすることにつながり、到達距離の増大をもたらすと考えられる。

#### 4.5 腰、膝関節角度の変位とけのび動作

熟練者と未熟練者の接地時、リリース時及び0.5s時の腰関節角度に有意な差が認められた。このことから、進行方向に対する腰関節角度の大小が重心移動速度に影響を与えることが推察された。一方、膝関節角度は、すべての局面において、熟練者と未熟練者との間に、有意差が認められた ( $p<0.05$ )。合屋ら (2006b) は、前方牽引において、受動抵抗値が小さかった被検者は、けのび動作における、腰、及び膝関節角度の絶対値が小さいという傾向がみられたと報告している。本研究でも、接地時では、熟練者は未熟練者に比べ、深く膝を曲げていることがわかった。また、リリース時、0.5s時ともに、未熟練者より熟練者の方が膝関節角度は  $180^\circ$  に近かった。したがって、未熟練者はリリース時と0.5s時において、膝を曲げた姿勢でのけのび動作を行っているため、受動抵抗が大きくなることが考えられた。

### 5. 結論

大学女子熟練者及び未熟練者各9名を対象として、受動抵抗によって示される避抵抗姿勢を作り出す技術の有無が、到達距離によって示されるけのび技術の巧拙に反映するの否かを検討した。結果は以下のものであった。

- 1) 3種類の牽引速度それぞれにおいて、 $D_p$ は、未熟練者より熟練者の方が小さい傾向にあった。また、未熟練者は到達距離が短く、かつ $D_p$ が熟練者に比べ大きかった。
- 2) 未熟練者は体表面積と受動抵抗とに有意な相関がみられたが、熟練者は体型よりも姿勢の変化によって $D_p$ の低減を図っていると考えられた。
- 3) 前方牽引において、受動抵抗値が小さかった被検者は、けのび動作のリリースおよび0.5s時の、腰、及び膝関節角度が小さいという傾向がみられた。
- 4) 未熟練者の力積は、熟練者とはほぼ同じ値を示すが、必ずしも、到達距離と結びつくとは限らない。しかし、ある一定の水泳能力レベルに達した泳者では、力積を大きくすることが、重心移動速度を大きくすることにつながり、到達距離の増大をもたらす。
- 5) より良いけのび動作は、0.3~0.4mあたりの水深に接地し、水底面下方または平行に蹴り出して重心の移動軌跡がおおよそ0.3~0.6m近傍を通過することが望ましい。

表2-1 被検者特性

Trained	Age	Career(yrs)	Style	Record(s)	Ht(cm)	Wt(kg)	BSA(m <sup>2</sup> )*
M.K	18	9	50Fly	31.66	157	58	1.54
A.H	20	14	100Fr	60.20	156	50	1.43
Y.K	20	5	50Fr	36.41	149	51	1.40
M.M	18	6	100Br	90.00	157	42	1.33
N.Y	21	12	800Fr	540.26	168	55	1.57
M.H	20	13	100Ba	69.10	158	53	1.48
A.I	19	5	50Fr	33.60	164	55	1.54
H.N	19	7	50Fr	29.11	172	59	1.65
Y.S	18	11	50Fr	27.73	165	56	1.57
Mean	19.2	9.1			160.5	53.2	1.50
S.D.	1.1	3.5			7.1	5.3	0.10
Untrained	Age	Career(yrs)	Style	Record(s)	Ht(cm)	Wt(kg)	BSA(m <sup>2</sup> )*
N.K	18				172	64	1.71
E.T	19				172	68	1.75
S.S	20				168	67	1.71
R.K	20				161	52	1.49
M.W	21				160	53	1.52
M.Y	20				158	56	1.52
M.K	23				162	56	1.55
C.S	24				163	50	1.48
M.S	22				157	50	1.44
Mean	20.8				163.7	57.2	1.57
S.D.	1.9				5.6	7.1	0.12

\*Body Surface Area

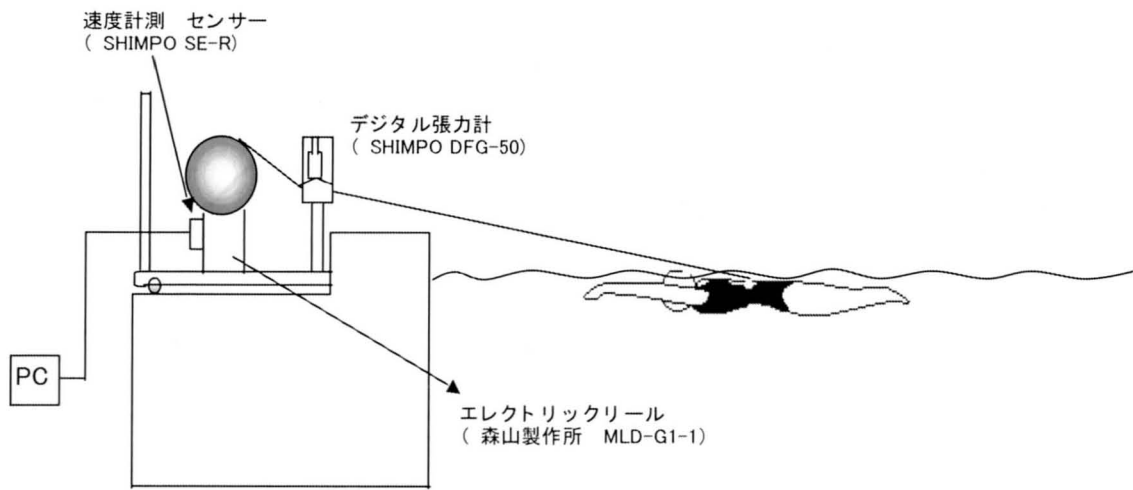


図2-12 リールアップシステム

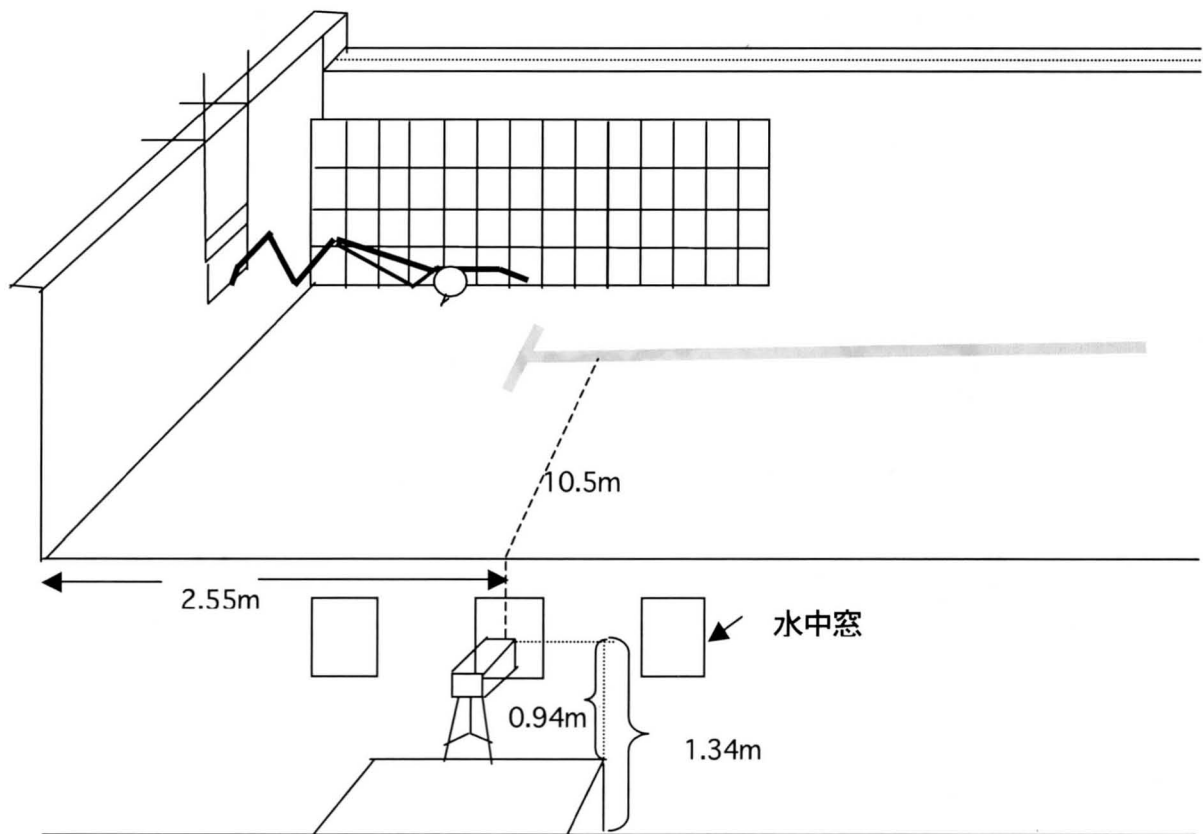


図 2-13 実験概略図

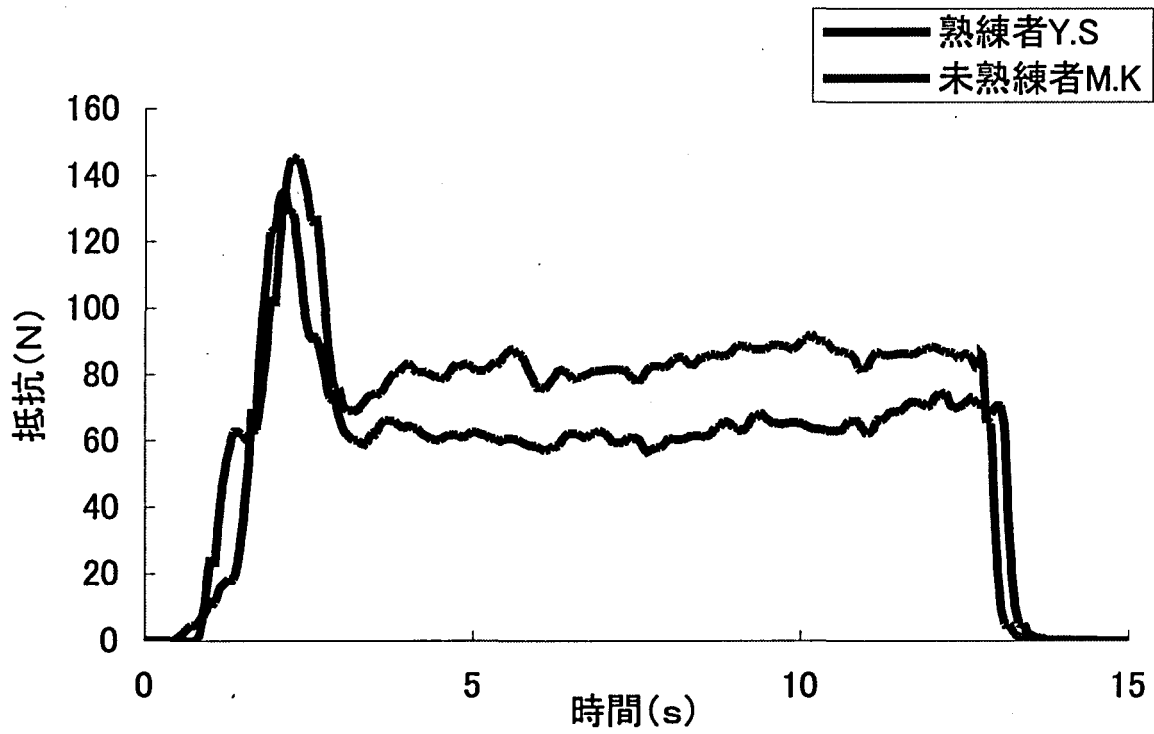


図2-14 未熟練者M.Kと熟練者Y.Sの1.8m/s時の抵抗



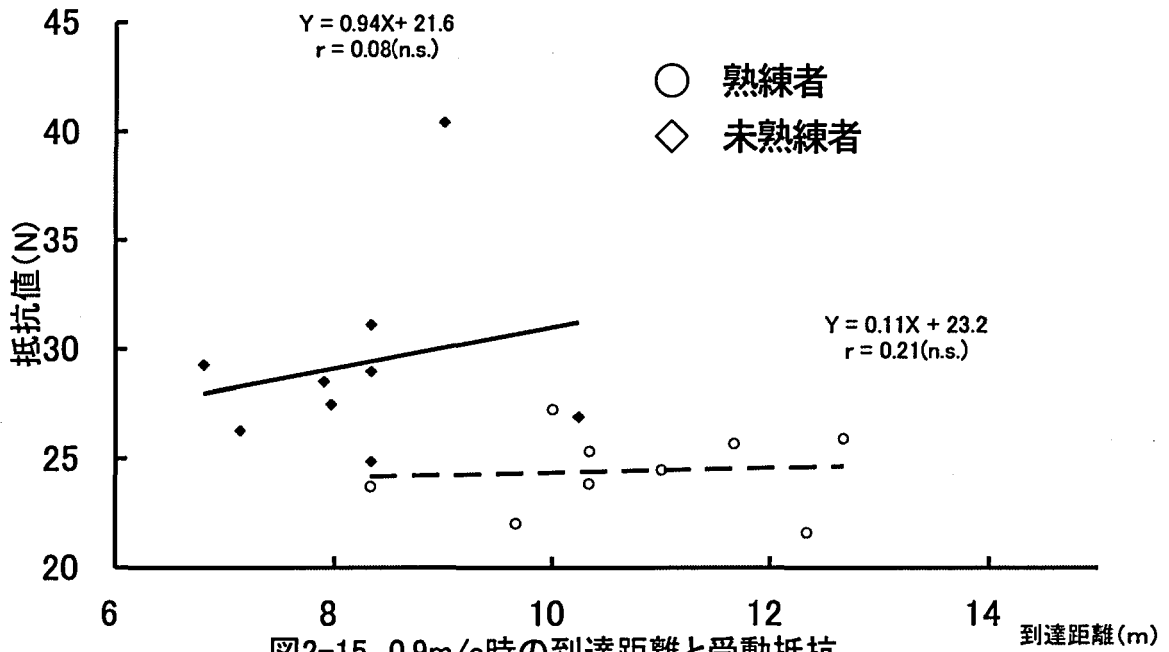
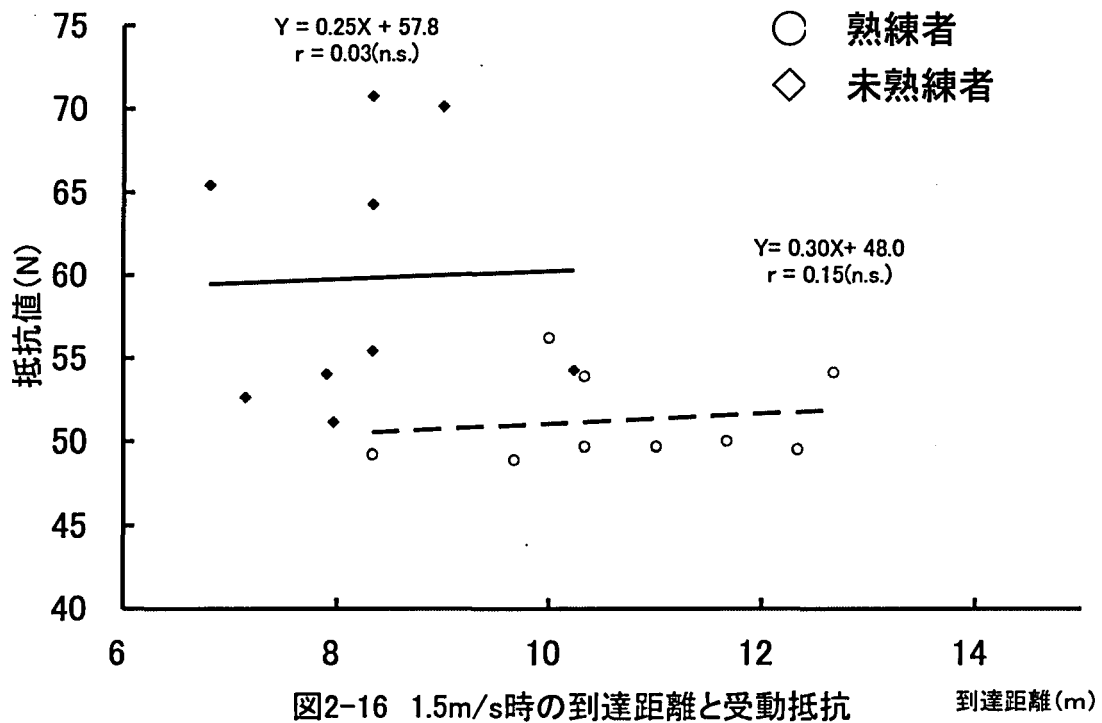


図2-15 0.9m/s時の到達距離と受動抵抗



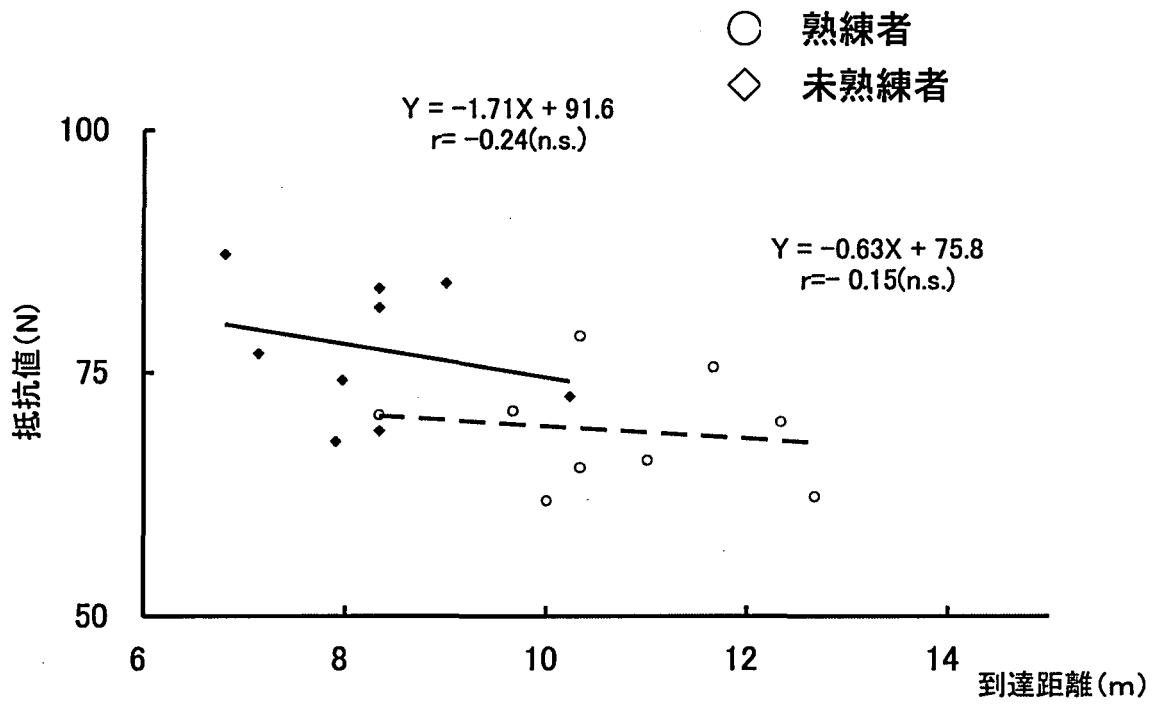


図2-17 1.8m/s時の到達距離と受動抵抗

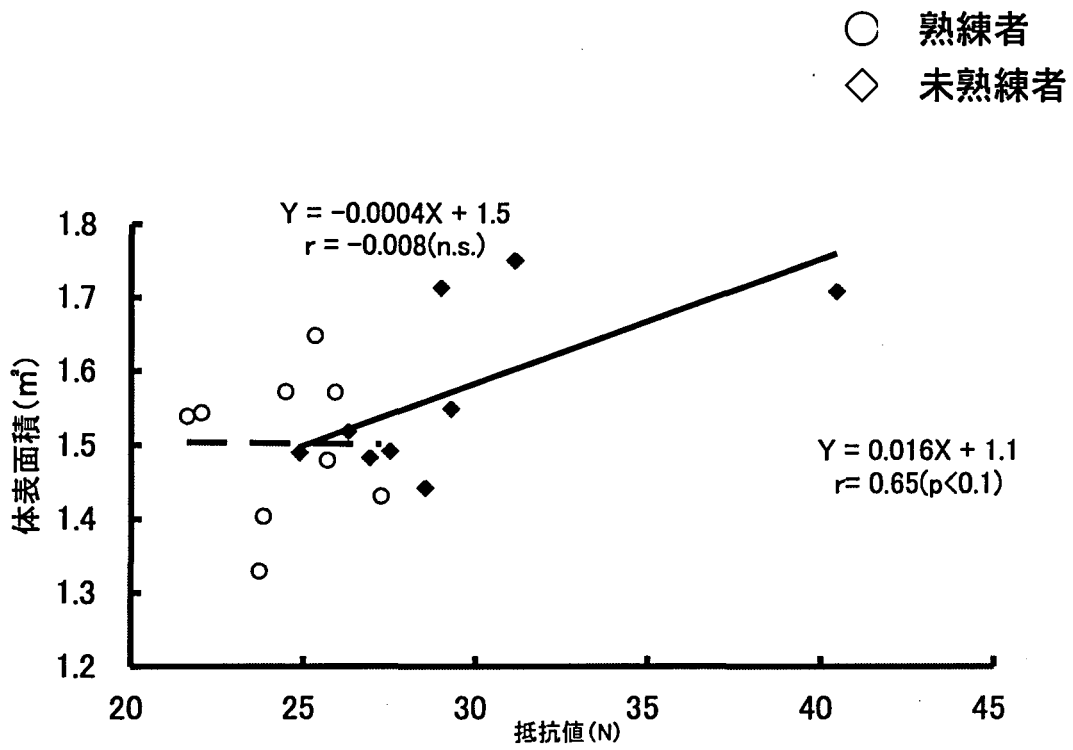


図2-18 0.9m/s時の受動抵抗と体表面積

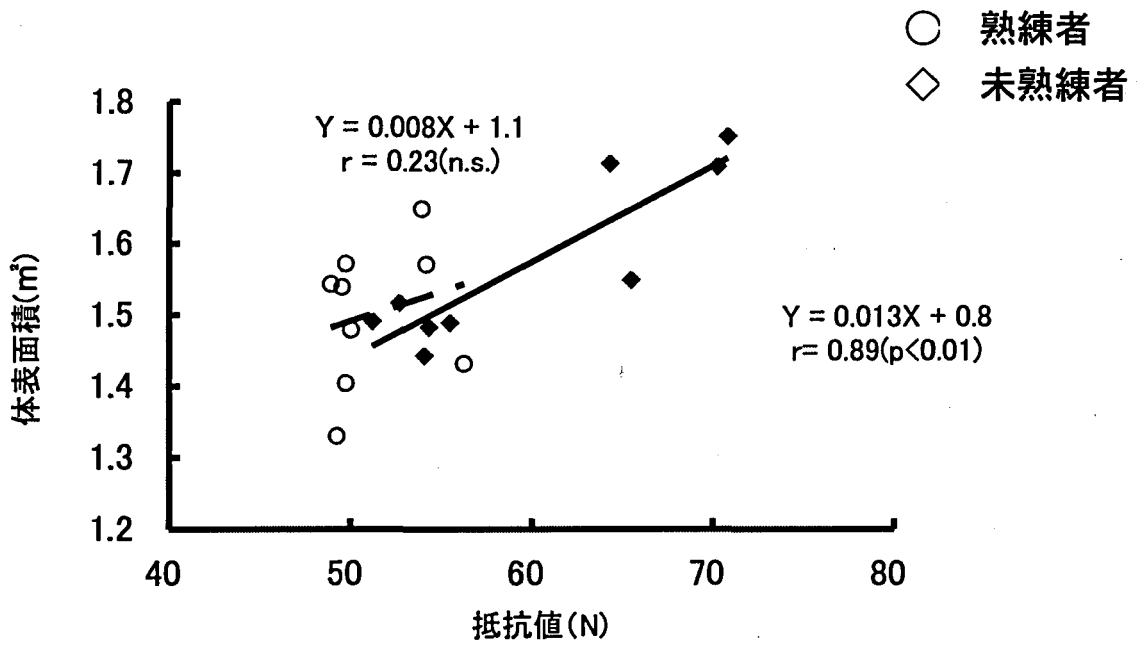


図2-19 1.5m/s時の受動抵抗と体表面積

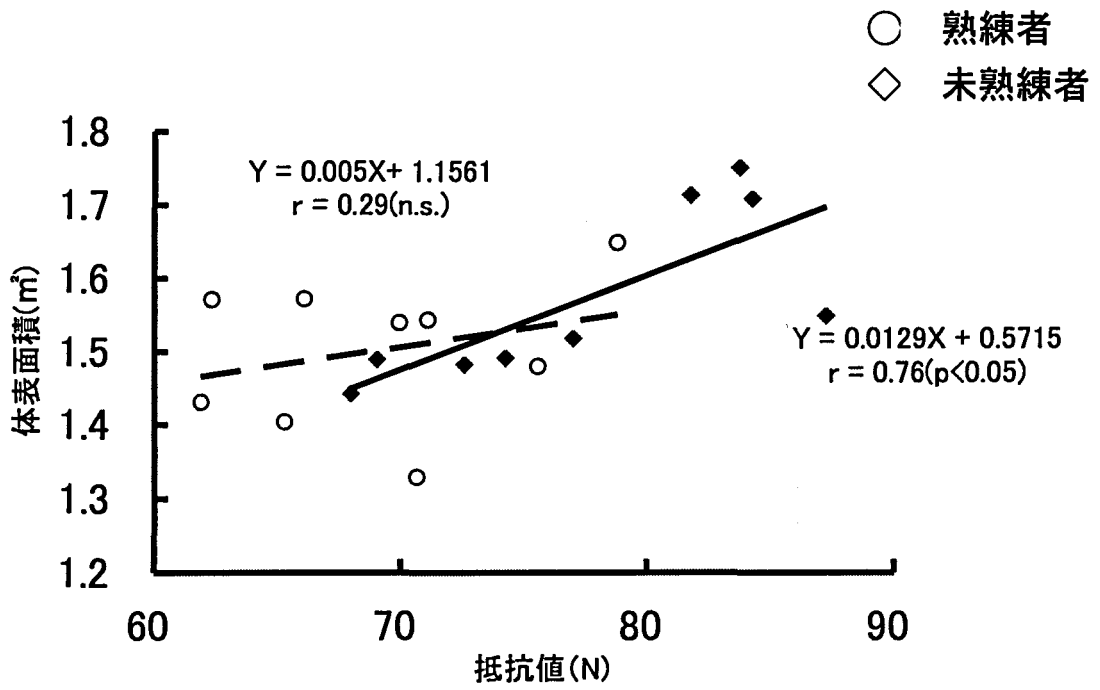


図2-20 1.8m/s時の受動抵抗と体表面積

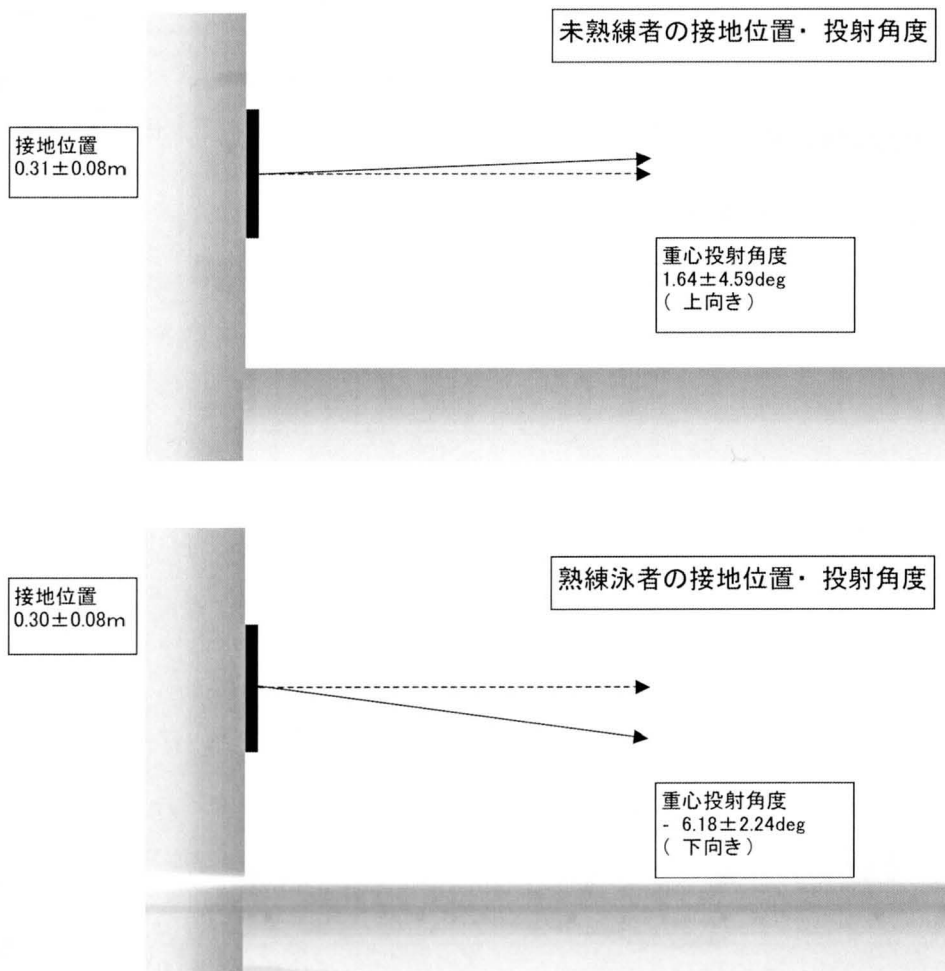


図2-21 接地位置と重心投射角

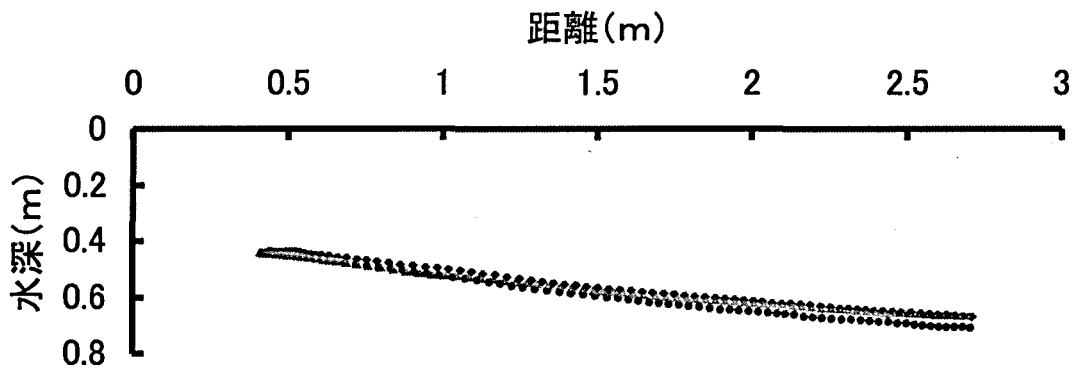


図2-22 重心移動軌跡(熟練者Y.S:12.7m)

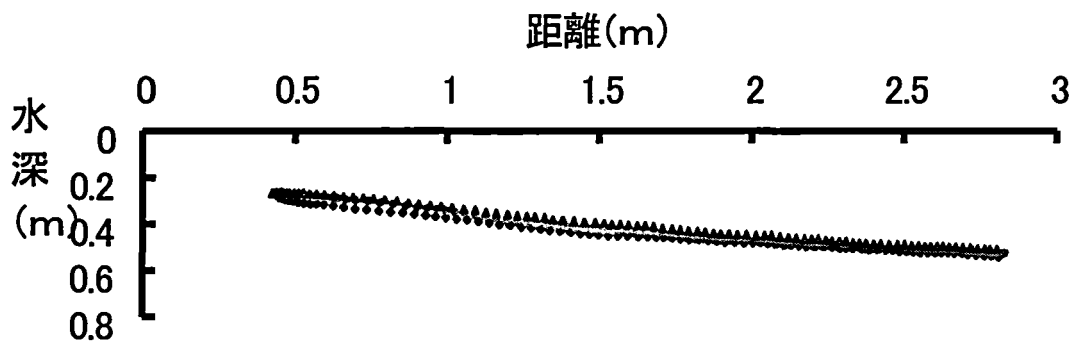


図2-23 重心移動軌跡(熟練者Y.K:12.3m)



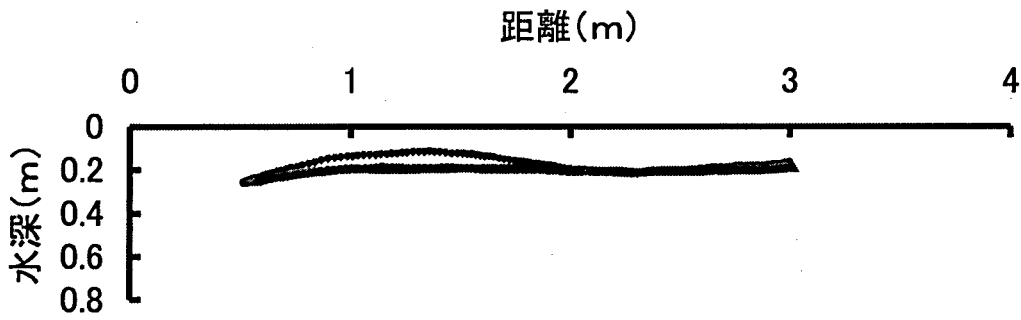


図2-24 重心移動軌跡(未熟練者M.Y:7.1m)

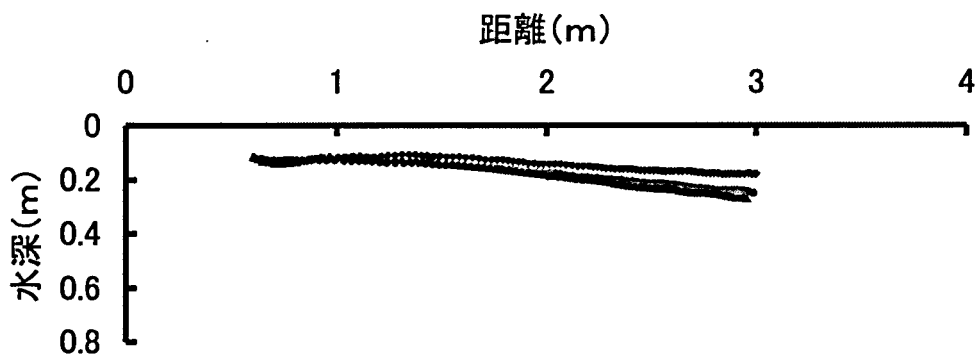


図2-25 重心移動軌跡(未熟練者M.K:6.8m)

### 第3節 総合考察

第2章では、けのびと類似した受動牽引動作との比較において、けのびの特質を明らかにすることを目的とした。そのため、第1節では、同一被検者（熟練水泳選手男子6名、女子3名）によるけのびの到達距離の大小と、受動牽引による抵抗の大小とに関係があるかを検討した。その結果、前方牽引での受動抵抗値が小さい泳者は、力積、重心速度及び到達距離も大きかった。また、けのびの投射角度はわずかに上下に蹴っていたが、その後は腰、膝を伸ばした姿勢であることがわかった。

第2節では、大学女子熟練水泳選手及び未熟練者各9名を対象としてび動作の巧拙と、受動牽引による抵抗の大小とに関係があるかを検討した。その結果、3種類の牽引速度すべての受動抵抗は、未熟練者より熟練者の方が小さく、到達距離は熟練者の方が大きかった。このことから、同一被検者でけのびと受動牽引を行った場合、熟練者はいずれの牽引速度においても未熟練者より受動抵抗が少なく、到達距離が大きいことがわかった。

以上のことから、前方牽引による  $D_p$  には避抵抗姿勢の技術の巧拙が関係するが、けのびの到達距離には避抵抗姿勢に加えて蹴り出しのパワーも関係することが明らかになった。

## 第3章 けのび動作の画像解析と力発揮の横断的検討

### 第1節 熟練者のけのび動作と力発揮との関係

#### 1. 緒言

けのび動作は、プールの壁または床を蹴る時に発した力のみで水中を進むため、水中での基本姿勢（ストリームライン姿勢）を習得するのに、初心者のみでなく熟練者においても、大切な技術である。けのび動作における研究は、ターンとの比較（土居ら, 1983; Takahashi et al., 1983）、姿勢及び流速の異なる条件下での牽引（高橋ら, 1983; 土居ら, 1984; 佐藤ら, 2000）などであり、けのび動作そのものに着目したものは数少ない。高橋（1983）はけのび動作の到達距離を長くするには、抵抗力を小さくすることが有効であると指摘している。杉浦・合屋（2000）は、初心者に一定期間の練習を行わせ、けのび動作を検討した結果、壁を蹴った後のストリームライン姿勢のみではなく、壁を蹴るまでの動作に着目する必要性を説いている。しかし、力発揮の様相及びそのときの動作の特徴を比較検討したものはほとんどない。そこで本研究では、熟練者のけのび動作のVTR画像及び水中フォースプレートによる動作解析を用いて、壁を蹴る力の様相と動作の特徴について検討することを目的とした。

#### 2. 研究方法

被検者は、大学水泳部所属の男子17名（年齢  $19.4 \pm 0.9$  yrs, 身長  $173.5 \pm 5.2$  cm, 体重  $65.4 \pm 6.7$  kg, 競技歴  $10.8 \pm 2.5$  yrs）であった。また被検者の運動成績は全国レベルの大会に出場または、それに準ずる成績であった。

実験試技は、十分にウォーミングアップを行わせた後、全力のけのび動作を10試技行わせた。けのび動作は壁を蹴ってから止まるまでとし、前半5回行わせた後、疲れによるパフォーマンスの変化を防ぐために休憩を十分にとり、残りの5回を行わせた。

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8mm）で4個のステンレス鋼製荷重リング（幅30mm, 外径84mm, 厚さ8mm）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（共和電業製, KFW-5-C1-16L500）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。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/8s（ADI社製）でAD変換された。ビデオ画像と力発揮のデータの同期は、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。

VTR画像は、SONY社製デジタルビデオカメラ（DCR-TRV20, 30fps）により、被検者の右側方から撮影した。被検者には、抽出すべき点（左右手指先点, 左右手関節中心点,

左右肘関節中心点, 左右肩峰点, 左右つま先点, 左右足関節中心点, 左右膝関節中心点, 左右大転子点, 頭頂点, 耳珠点, 胸骨上縁点) に目印をつけて画像解析のマーカースとした。解析は, DKH 社製 Frame DIAS II ver.2.7 を用いて行った。解析の範囲は, つま先が壁に着く時 (以降, 接地時) から, 壁からつま先が離れ (以降, リリース時), 0.5s 後までと, その前後5コマであった。分析項目は, 重心移動速度, 重心の投射角度, つま先の接地位置, 腰関節角度及び膝関節角度であった。

### 3. 結果

#### 3.1 到達距離と力発揮

けのびの到達距離の測定は, 壁から立つまでの手先の距離とした。被検者17名の平均到達距離は,  $9.41 \pm 1.58\text{m}$  であった。到達距離の最大値は sub.TH の  $14.35\text{m}$ , 最小値は sub.TM の  $6.90\text{m}$  であった。被検者17名における壁を蹴る力発揮は, ピーク値が  $724.21 \pm 118.90\text{N}$ , 体重あたりのピーク値が  $11.12 \pm 1.64\text{N/Kgw}$ , 所要時間が  $0.56 \pm 0.12\text{s}$  であった。図3-1に, 被検者17名の到達距離と力発揮のピーク値の関係を示した。今回は, 被検者17名の中で最も到達距離の長かった sub.TH と最も短かった sub.TM を抽出し着目した。それぞれの被検者における到達距離の平均は, sub.TH が  $13.09 \pm 0.71\text{m}$  で sub.TM が  $7.52 \pm 0.35\text{m}$  であった。力発揮のピーク値, 体重あたりのピーク値, 所要時間の平均値は, sub.TH がそれぞれ  $807.6 \pm 33.4\text{N}$ ,  $10.12 \pm 0.42\text{N/Kgw}$ ,  $0.65 \pm 0.10\text{s}$ , sub.TM が  $890.9 \pm 142.6\text{N}$ ,  $13.58 \pm 2.17\text{N/Kgw}$ ,  $0.44 \pm 0.06\text{s}$  であった。図3-2, 図3-3に, sub.TH と sub.TM の10試技の力発揮の様相を示した。

#### 3.2 画像解析

被検者17名のリリース時の重心移動速度及び0.5s後の重心移動速度は, それぞれ  $2.91 \pm 0.25\text{m/s}$ ,  $2.17 \pm 0.23\text{m/s}$  であった。重心投射角度は, リリース時と0.5s時の重心点のなす角度とした。水面に対して下向きをプラスとし, 上向きをマイナスと定義した。被検者17名の重心投射角度は, 下向きに  $1.58 \pm 2.62^\circ$  であった。また接地位置は, 水面から  $0.34 \pm 0.13\text{m}$  であった。表3-1は, sub.TH と sub.TM のリリース時及び0.5s後の重心移動速度, リリース時の重心投射角度, 接地位置を示している。

一方, 被検者17名の接地時の腰関節角度及び膝関節角度は, それぞれ  $112.2 \pm 17.4^\circ$ ,  $47.5 \pm 14.9^\circ$  であり, 力発揮のピーク時がそれぞれ  $127.2 \pm 15.3^\circ$ ,  $98.3 \pm 21.2^\circ$ , リリース時がそれぞれ  $153.6 \pm 11.8^\circ$ ,  $147.5 \pm 15.2^\circ$  であった。表2に, sub.TH と sub.TM の接地時, 力発揮のピーク時, リリース時の腰関節角度及び膝関節角度を示した。図3-4に, sub.TH と sub.TM における到達距離の最も大きい試技の姿勢の変化を示した。

## 4. 考察

### 4.1 到達距離と力発揮の関係

けのび動作について、高橋（1983）は、壁を蹴ることにより、より大きな推進力を得ることができ、7m 以上到達すれば水中での進む感覚を習得できると報告している。被検者17名の到達距離は  $9.43 \pm 1.58\text{m}$ 、最も短かった被検者で  $7.52 \pm 0.35\text{m}$  であった。到達距離と壁を蹴る力発揮のピーク値との間には相関関係は認められなかった。しかし、到達距離の長い被検者の方が到達距離の短い被検者に比べて力発揮のピーク値が小さい傾向が見られた。本研究では、被検者の中で最も到達距離の長かった sub.T.H と最も短かった sub.T.M を抽出し、力発揮の様相及び動作の相違点に着目した。

到達距離は、sub.T.H が sub.T.M より約 5.53m 長く、力発揮のピーク値では sub.T.M が約 3.39N/kgw、所要時間では sub.T.H が約 0.20s 大きい値を示した。到達距離の短かった sub.T.M の力発揮の様相は、10 試技のピーク値にばらつきがみられ、接地からの立ち上がり之急であった。それに対して sub.T.H はピーク値にばらつきがほとんどみられず、ピーク値に達するまでに体重と同程度で一度横這いとなる二峰性がみられた。Takahashi et al., (1983) は、熟練者は立ち上がり之急で、泳者の体重と同程度の力を発揮するところで一度横這いとなり、リリースに向けて再び力の発揮が大きくなると報告している。本研究の被検者 sub.T.H は、高橋（1983）の報告と一致し、再現性の高い力発揮がなされているが、sub.T.M は、力発揮の様相に「ばらつき」がみられた（図3-3）。

### 4.2 けのび動作と重心移動速度、投射角度、接地位置

杉浦・合屋（2000）は、初心者にはけのび動作の練習を行った結果、壁を蹴った後のストリームライン姿勢のみではなく、壁を蹴るまでの準備動作に着目する必要性を認めている。また、けのび動作の到達距離の長短は、力発揮の大きさと「ため」動作がカギとなることが報告されている（高橋，1983）。さらに、土居・小林（1985）によれば、けのび動作において発揮する力は、下肢動作の伸展力が主であることが明らかにされている。

到達距離の最も大きい sub.T.H と最も小さい sub.T.M の重心移動速度は、リリース時では、ほとんど差がみられないのに対し、0.5s 後では、sub.T.H の方が 0.47m/s 大きかった。また、リリースから 0.5s 後の重心移動速度の減速量においても sub.T.H の方が 0.21m/s 小さかった。これはリリース後の重心移動速度が低減していないことを示している。従って、到達距離の長い sub.T.H はリリース後の避抵抗姿勢に優れていることが推察された。このことは、摩擦抵抗・圧力抵抗の減少は、上体のストリームライン姿勢の影響を受けるといふ報告と一致する（高橋，1983）。また、杉浦ら（2001）によれば、熟練者の重心移動速度は初心者に比べ、リリースから 0.5s 後までゆるやかに減少していくことが明らかにされている。以上のことから、到達距離の大きい被検者は、小さい被検者に比べてリリース後、抵抗の少ないストリームライン姿勢を維持していると考えられた。

到達距離及び重心移動速度の減少は、リリース後の姿勢、リリース前の動作ならびに投射角度の影響が大きく、けのび動作が習熟していくに従って、投射角度は水面に対して平行に近づく(杉浦・合屋, 2000)。本研究の熟練者は、水面に対して $1.6 \pm 2.6^\circ$  とほぼ水面に対して平行に蹴り出しており、sub.T.H と sub.T.M には差がほとんどみられなかった。しかし、接地位置において sub.T.H は sub.T.M に比べ、かなり深い位置に接地していた(表 3-1)。Lytle et al. (1999) は、牽引姿勢で人体が水中を進む時、水深 0.4~0.6m が最も水の抵抗を受けずに進むことができると報告している。よって、到達距離の長い熟練者の接地位置は、深い位置に接地するのではないかと思われるが、本研究では約  $1.6^\circ$  であったことから、被検者を増やし、さらなる検討が必要とされる。

次に、準備局面における sub.T.H と sub.T.M の下肢動作は、接地時ならびに力発揮のピーク値時にはほとんど差がみられなかった。しかし、リリース時における下肢動作は、sub.T.H の方が有意に伸展していた。これは、sub.T.H の方が sub.T.M より準備局面においてより抵抗の少ない姿勢を作って壁を蹴っていることが考えられる。以上のことから、熟練者における到達距離の長短は、リリース後、上体をストリームライン姿勢に保つのみでなく、準備局面における避抵抗姿勢、投射角度、接地位置がその後の重心移動速度に大きく影響を与えることが示唆された。

## 5. 結論

本研究では、熟練者のけのび動作を VTR 画像及び水中フォースプレートを用いて、その動作の特徴と壁を蹴る力の様相について検討した。結果は、以下のようにまとめることができた。

- 1) 到達距離と準備局面における力発揮のピーク値には、有意な相関は認められなかった。しかし、到達距離の長い被検者の方が、ピーク値が小さい傾向にあった。
- 2) 到達距離の長い被検者は、ピーク値にばらつきがほとんどみられず、ピーク値に達するまでに体重と同程度で一度横這いとなる二峰性がみられた。それに対し、到達距離の短い被検者はピーク値にばらつきがみられ、接地からの立ち上がりが急であった。
- 3) 重心投射角度は、わずかに水面下方(約  $1.6^\circ$ ) であり、接地位置は水面から約 0.3m 近傍に接地していた。
- 4) 重心移動速度の減速量は、到達距離の長い被検者の方が大きかった。これは、リリース局面及びその後のストリームライン姿勢が影響していると考えられた。

以上のことから、熟練者における到達距離の長短は、接地位置、投射角度、及びリリース後の上体のストリームライン姿勢がその後の重心移動速度に大きく影響を与えることが示唆された。

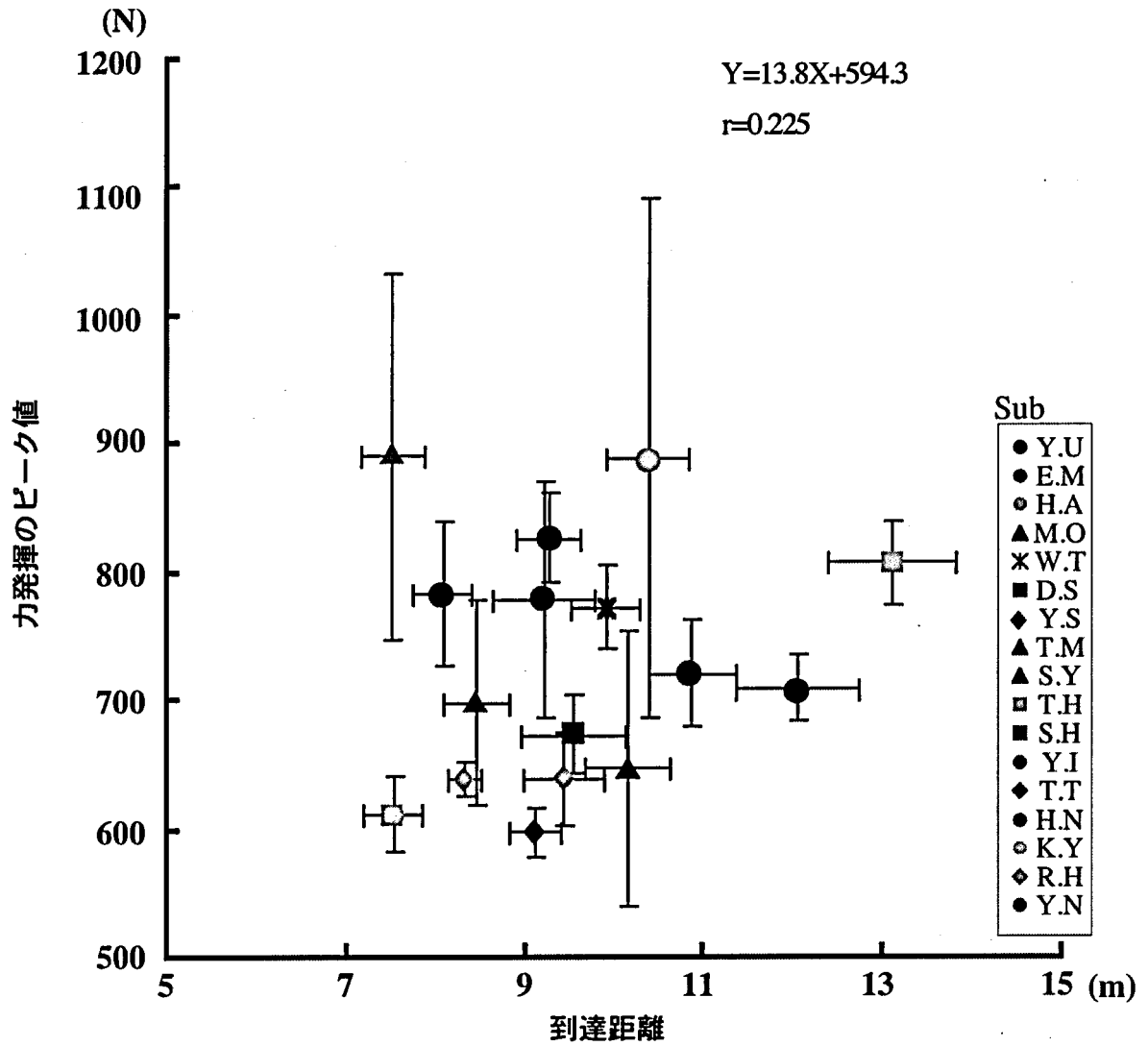


図 3-1 けのび動作における到達距離と力発揮のピーク値の関係

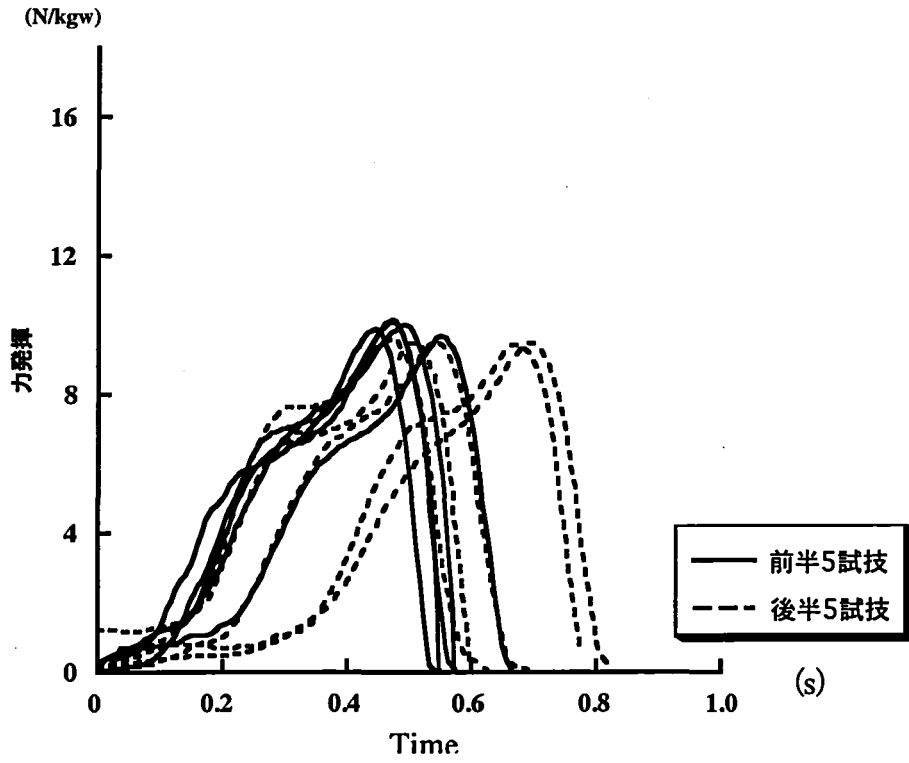


図 3-2 けのび動作における力発揮の様相 -sub.T.H.-

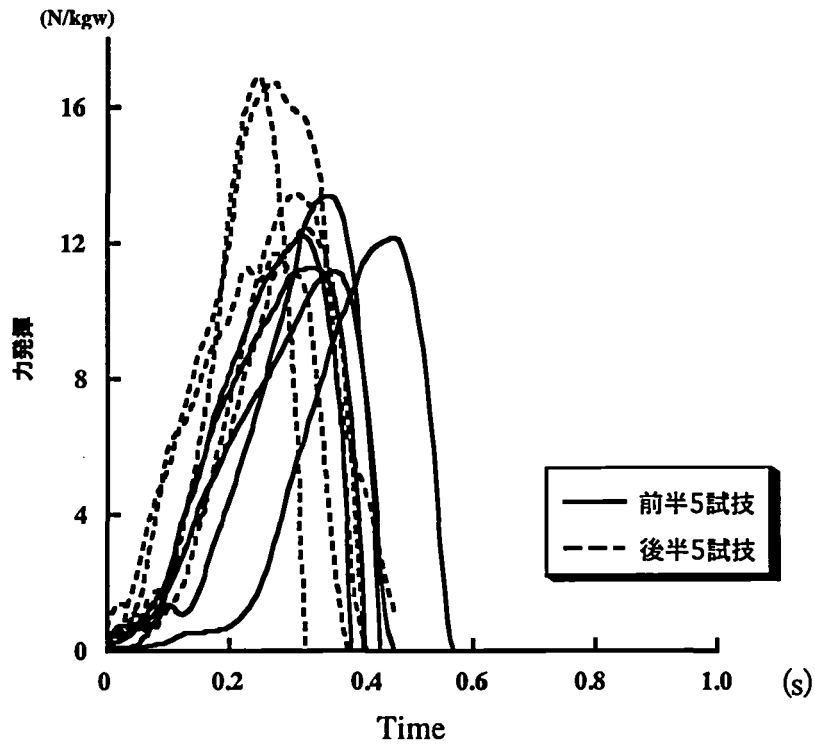


図 3-3 けのび動作における力発揮の様相 -sub.T.M.-



表 3-1 重心移動速度, 投射角度, 接地位置

項目 単位	重心移動速度			重心投射角度 (°)	接地位置 (cm)
	リリース時 (m/s)	0.5s後 (m/s)	減少量 (m/s)		
被検者					
Sub.T.H	2.99±0.44	2.47±0.49	0.62±0.20	1.26±0.60	0.91±0.18
Sub.T.M	2.84±0.30	2.01±0.09	0.83±0.34	2.18±1.19	0.54±0.08

表 3-2 各局面における腰関節角度及び膝関節角度

項目 被検者	接地時		力発揮のピーク値時		リリース時	
	腰関節角度 (°)	膝関節角度 (°)	腰関節角度 (°)	膝関節角度 (°)	腰関節角度 (°)	膝関節角度 (°)
Sub.T.H	104.3±19.9	47.5±6.3	122.8±13.4	99.9±19.5	161.7±13.1	152.6±14.8
Sub.T.M	107.0±15.4	49.2±13.2	123.4±13.6	95.1±24.8	150.5±8.6	141.9±13.3

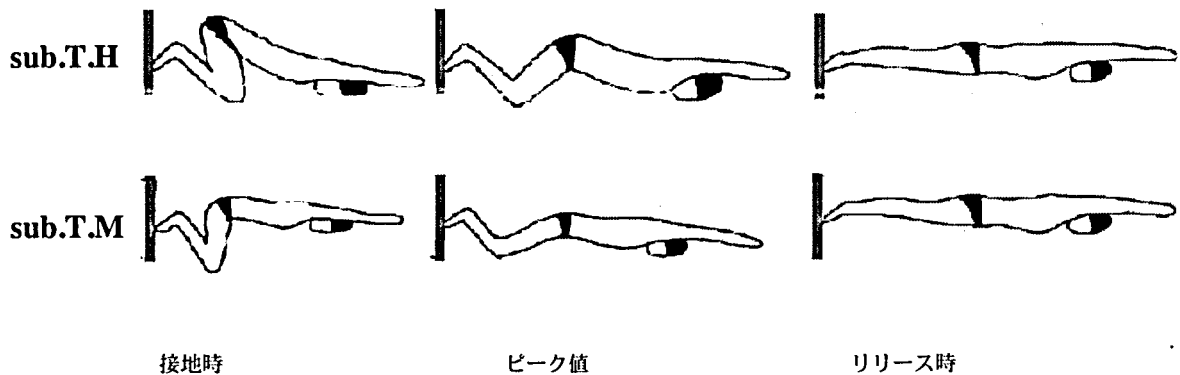


図 3-4 力発揮時の姿勢の変化

## 第2節 熟練者におけるけのび動作の性差

### 1. 緒言

けのび動作は、初心者のみでなく熟練者においても、大切な技術だと言われている。すなわち、壁または床を蹴った時に生み出されるスピードを体験するのみでなく、速度維持のための姿勢、いわゆるストリームライン姿勢を保持することが各泳法を習得し、技術を高めていくときに重要だからである。けのび動作における研究は、ターンとの比較（土居ら, 1983 ; 高橋ら, 1983）, 姿勢及び流速の異なる条件下での牽引（Takahashi et al., 1983 ; 土居ら, 1984 ; Lytle et al., 1999 ; 佐藤ら, 2000）が多い。土居ら（1983）はターンアウト、いわゆるターンをした後にいかにストリームライン姿勢をつくり、浮き上がっていくかが重要であると指摘している。また Lytle et al. (1999) は、造波抵抗や形状抵抗など水中の抵抗をより小さくすることの重要性を認めている。これらのことから、水中での姿勢の良し悪しはその後の泳ぎの速度維持のカギとなる。

一方、けのび動作のみに注目した研究は、初心者の練習効果（合屋・杉浦, 2000 ; Goya et al., 2002）, 初心者の一定期間の練習、及び等間隔で練習を追跡した研究（杉浦・合屋, 2000）, 熟練者の特徴（杉浦・合屋, 2001）や、初心者から熟練者における特徴（合屋ら, 2002）について報告されている。また壁を蹴る力発揮の様相に着目した研究（土居ら, 1985 ; 杉浦ら, 2001）や、動作と力発揮の様相の関係（合屋ら, 2004）についても報告されている。しかし、けのび動作における性差に関する研究は、ほとんど報告されておらず、明らかにされていない。

そこで本研究では、大学生女子熟練者を対象にけのび動作を行わせ、VTR 画像とフォースプレートを用いて動作及び力発揮の様相を解析し、男子熟練者との比較より性差を明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究方法

#### 2.1 被検者

被検者は、大学水泳部所属の女子 20 名（身長  $163.6 \pm 3.6$ cm, 体重  $56.3 \pm 3.7$ kg, 競技歴  $11.5 \pm 1.8$  yrs）であり、日本ランキング 100 位以内の競泳選手であった。男子熟練者は、大学水泳部所属の 17 名（身長  $173.5 \pm 5.2$ cm, 体重  $65.4 \pm 6.7$ kg, 競技歴  $10.8 \pm 2.5$  yrs）であった。男子熟練者は、競泳における日本選手権及び日本学生選手権出場者であった。

#### 2.2 実験方法

実験試技は、十分なウォーミングアップを行わせた後、全力でけのび動作を 5 試技行わせた。VTR 画像は、SONY 社製デジタルビデオカメラ（DCR-TRV20, 30fps）により、被検者の右側方から撮影した。被検者には、リファレンスポイント（左右手指先端点, 左右手

関節中心点, 左右肘関節中心点, 左右肩峰点, 左右つま先点, 左右足関節中心点, 左右膝関節中心点, 左右大転子点, 頭頂点, 耳珠点, 胸骨上縁点) をつけて画像解析のマーカーとした。画像解析は, DKH 社製 Frame-DIASIIver.2.7 を用いて, つま先が壁に着いた時 (以降, 接地時) から, 壁からつま先が離れ (以降, リリース時), リリースから 0.5s 後までの解析を行った。自作の水中フォースプレートの形状, 防水ストレインゲージ, 測定精度, キャリブレーションデータ変換方式, 画像解析方法等は, 第3章第1節の記述と同じであるので省略する。なお, ビデオ画像と力発揮のデータの同期は, 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。

### 2.3 分析項目

VTR 画像から接地位置, 重心の投射角度, リリース時, 初速度, 0.5s 時, 初速度-0.5s 時の重心移動速度 (以降, , 減速量) を算出した。投射角度は下向きの角度をプラスとした。またフォースプレートからは, 力発揮をしている時間 (以降, 所要時間), 最も大きな値 (以後, ピーク値), 所要時間と力発揮から求めた力積を算出した。男子熟練者 17 名は, 同じ方法で解析を行った杉浦ら (2001), 合屋ら (2002) の結果を用いた。

## 3. 結果

### 3.1 初速度, 投射角度及び接地位置

表 3-3 より, 到達距離を除き, 接地位置, 初速度, 0.5s 時の速度において男子の方が有意に大きな値を示した ( $p<0.05$ )。しかし, 減速量, 投射角度, リリース時及び 0.5s 時の重心位置では男女間に有意な差はみられなかった。一方, 力発揮の所要時間及び力積では, 男子の方が有意に大きな値を示した ( $p<0.05$ , 表 3-4)。

女子の到達距離と投射角度の関係は,  $r=0.51$  ( $p<0.05$ ), 投射角度と減速量は,  $r=-0.49$  ( $p<0.05$ ) と有意な相関が認められた。しかし, 男子においては, 双方ともに有意な相関が認められなかった。

図 3-5 に到達距離と 0.5s 時の速度及び減速量の関係を示した。男子は, 到達距離と 0.5s 時の速度及び減速量に有意な相関が認められた。女子は, 到達距離と 0.5s 時の速度にその傾向がみられた。しかし, 到達距離と初速度においては男女とも有意な関係がみられなかった。

図 3-6 に初速度と 0.5s 時及び減速量の関係を示した。男子は 0.5s 時において, 女子は減速量において有意な相関が認められた。また, 男子は減速量において, 女子は 0.5s 時においてその傾向がみられた。

### 3.2 壁を蹴る力について

図3-7に、0.5s時の速度と力積の関係について示した。男女、それぞれにおいて有意な相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。男子は、到達距離と力積、力積と所要時間のそれぞれにおいて  $r = 0.78$  ( $p < 0.001$ )、 $r = 0.72$  ( $p < 0.001$ ) と有意な相関が認められたが、女子においては認められなかった。しかし、女子は、所要時間とピーク値の間に  $r = 0.52$  ( $p < 0.05$ ) と有意な相関関係が認められた。

図3-8に男子、図3-9に女子熟練者の到達距離が双方ともに12m以上であった被検者の力発揮の様相を示した。男女ともに、体重と同程度のところで一度横ばいとなり、その後、一気にピークに向けて加速をしていた。双方ともに、ほぼ再現性のある力発揮を行っていた。

## 4. 考察

### 4.1 速度、投射角度及び接地位置

到達距離の長短には、壁を蹴る力及び壁を蹴った後の水中の姿勢のみでなく、体脂肪などの身体組成や肺活量などの要因が関係すると考えられる。実際のけのび動作において、男子は浮き上がったから、足が沈み到達距離が伸びにくい様子がみられるのに対し、女子は、浮き上がったから足が沈まず浮き身を保持していられる様子が観察された。これは、身体組成との関連、特に体脂肪と水中トルク (Zamparo et al., 1996) などと密接に関係すると思われる、今後、詳細な検討を要する。

けのびの速度変化について高橋 (1983) は、速度回帰曲線及び回帰式を算出した結果、人体速度は初めの1秒間に大きく減少し、その後はゆるやかに減衰すると報告している。従って、最初の1秒間にできるだけ減衰しないような姿勢をとる必要がある。本研究の結果、男女の0.5s時の速度はリリース時の約75%であった。また、到達距離と0.5s時の速度及び減速量との間に有意な相関またはその傾向がみられたことから、男女ともに、リリース後の速度低減率をいかに抑えるかが到達距離を左右すると思われる。

一方、高木 (1993) によれば、水中で発生する造波抵抗は、物体が全て水に沈み、身体の上部が水面と接しているときに最大となり、水深が深くなるにつれて減少すると報告している。また、Lytle et al. (1999) は、グライド姿勢の牽引において、秒速1.9mを越える場合、最も抵抗を少なくできるのは、0.4mから0.6mの深さであると報告している。従って、造波抵抗を減らすには波を発生させない水中を進行することである。本研究の男女熟練者の接地位置は水面下約0.3m強であり、投射角度が下方へ約 $1.6^\circ$ であったことから、移動水深はLytle et al. (1999) と同程度であることが推察された。本研究の男女熟練者は競技経験が10年以上であることを鑑みると、経験的に適切な接地位置と水深を身につけていると考えられた。

### 4.2 壁を蹴る力について

男女熟練者の力発揮曲線のパターンは、男女ともに、体重と同程度のところで一度横ばいとなり、その後、一気にピークに向けて加速をし、双方ともに、ほぼ再現性のある様相を呈していた。この結果は、高橋（1983）の報告と同様の結果を示し、泳者が体重と同程度のところで「ため動作」を作ることの重要性が示唆された。同様に、合屋ら（2004）も、初心者が上達するにつれて、十分な「ため」の姿勢によって到達距離が増大することを報告している。

一方、男子が女子を有意に上回ったのは初速度、0.5s 時の速度、力積、所要時間及び接地位置であった。特に、男子は、力積と到達距離、到達距離と 0.5s 時の速度及び減速量に有意な相関が認められたことから、到達距離を左右するのは力発揮の要素によるのではないかと考えられた。女子は到達距離と投射角度、投射角度と減速量に有意な相関がみられた。このことから、力積とともに壁を蹴る方向の技術も到達距離に影響を与えていると考えられた。しかし、力を発揮している時の動作、すなわち、頭や上肢及び下肢の動きや姿勢変化によって、けのびの到達距離に影響を及ぼすかどうかを検証する必要がある。特に、腰関節、膝関節及び足関節における屈曲と伸展のつながりを解明しなければならない。被検者の対象や人数を加えた上で、力発揮と動作の関連を明らかにすることが今後の課題である。

## 5. 結論

本研究では、大学生女子熟練者にけのび動作を行わせ、VTR 画像とフォースプレートを用いて動作及び力発揮の様相を解析し、男子熟練者との比較より性差を明らかにすることを目的とした。その結果は以下の通りであった。

- 1) 男女の力発揮のパターンは双方ともに、体重と同程度のところで一度横ばいとなり、その後、一気にピークに向けて加速し、再現性のある様相を呈していた。
- 2) 男女熟練者における到達距離の大小は、接地位置、力積、投射角度、及びリリース後の上体のストリームライン姿勢がその後の重心移動速度に大きく影響を与えることが示唆された。
- 3) 男子は、力積と到達距離、到達距離と 0.5s 時の速度及び減速量に有意な相関が認められたことから、到達距離を左右するのは力発揮及び速度要因によるのではないかと考えられた。
- 4) 女子は到達距離と投射角度、投射角度と減速量に有意な相関がみられたことから、力積とともに壁を蹴る方向の技術的要素も到達距離に影響を与えていると思われた。

表3-3 けのび動作における分析項目の各平均値

被検者		男子(n=17)	女子(n=20)	
項目				
到達距離		9.41±1.58m	12.04±1.55m	*
重心移動速度	初速度	2.91±0.25m/s	2.67±0.20m/s	*
	0.5s時	2.17±0.25m/s	1.94±0.14m/s	*
	減速度	0.75±0.27m/s	0.73±0.23m/s	
投射角度		1.58±2.62°	1.6±2.1°	
接地位置		0.34±0.13m	0.32±0.06m	*
重心位置	リリース時	0.33±0.09m	0.34±0.07m	
	0.5s時	0.37±0.12m	0.37±0.09m	

表3-4 けのび動作における分析項目の各平均値

被検者		男子(n=17)	女子(n=20)	
項目				
力発揮	所要時間	0.58±0.12s	0.47±0.07s	*
	ピーク値	722.5±120.1N	864.1±66.0N	*
	力積	202.6±47.2N・s	198.2±19.5N・s	*

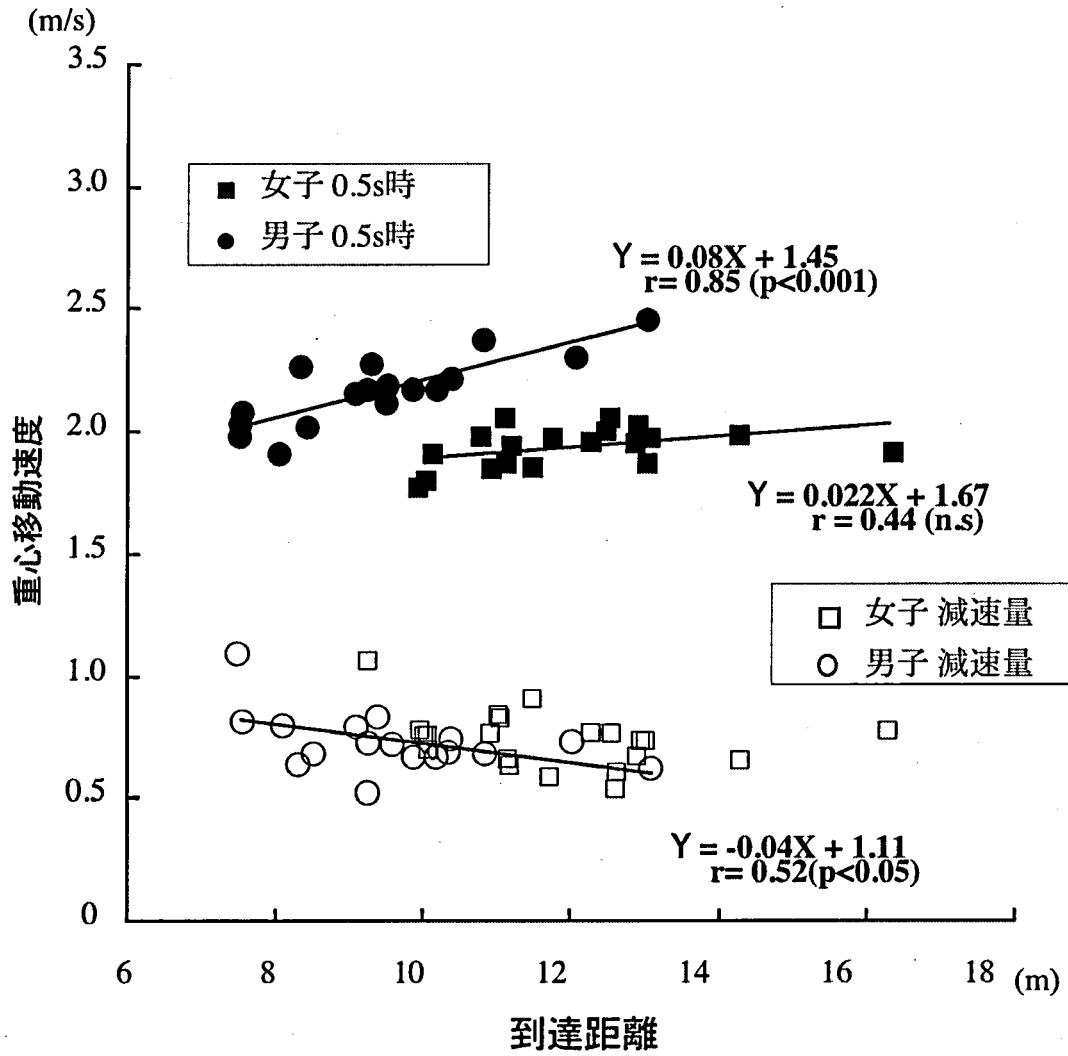


図3-5 到達距離と重心移動速度の関係

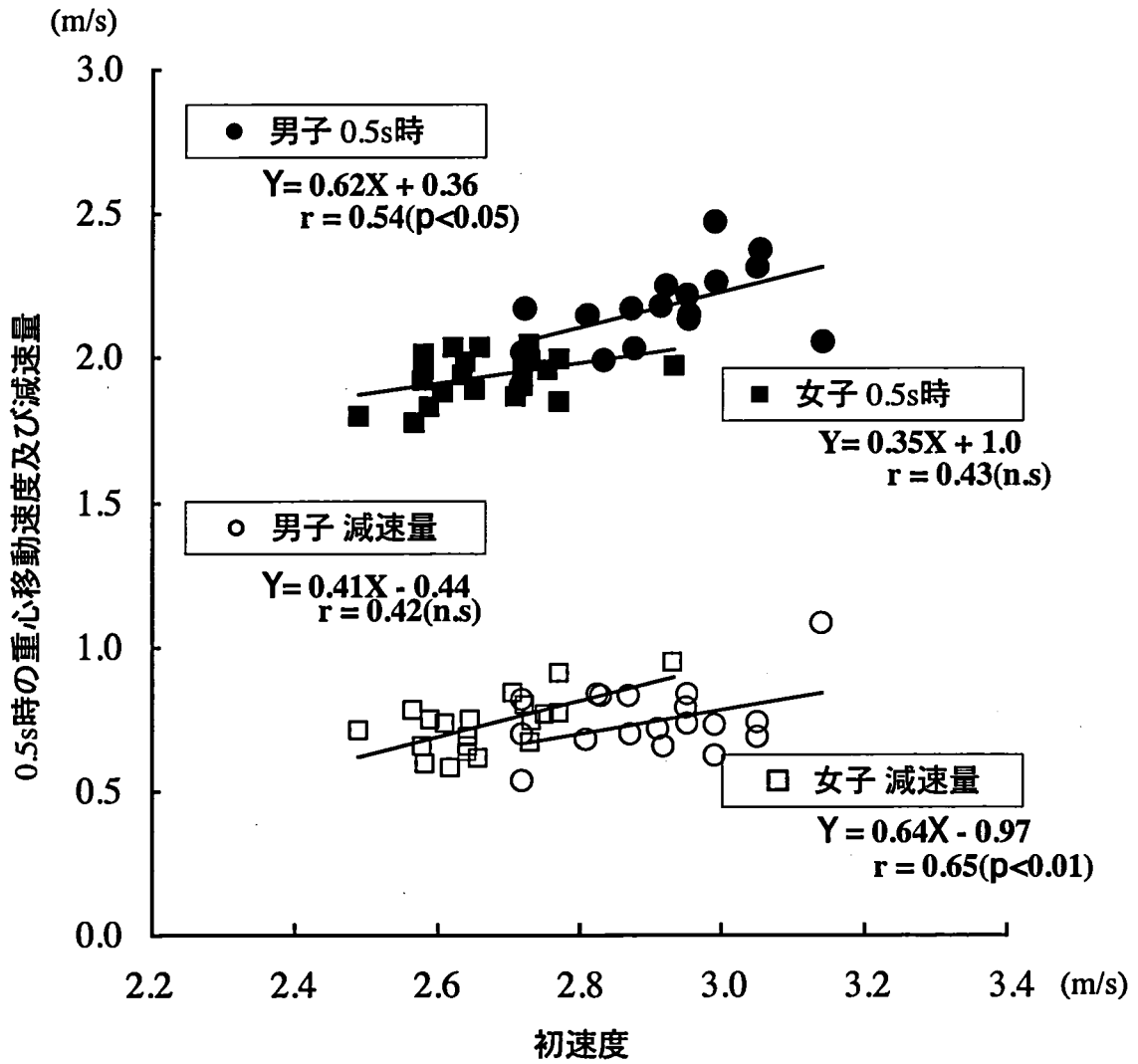


図3-6 重心移動速度の関係



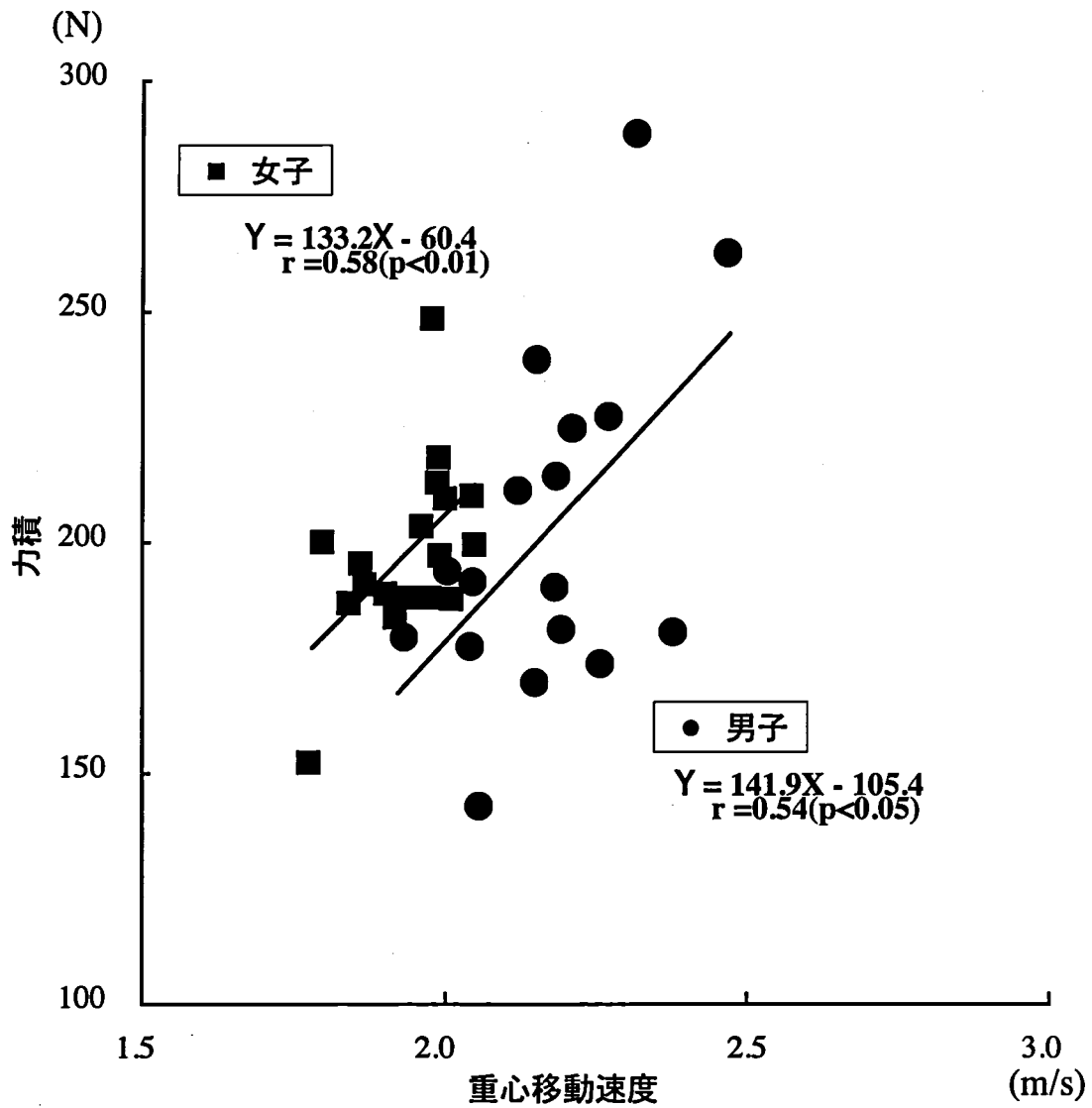


図3-7 0.5sec時の重心移動速度と力積の関係

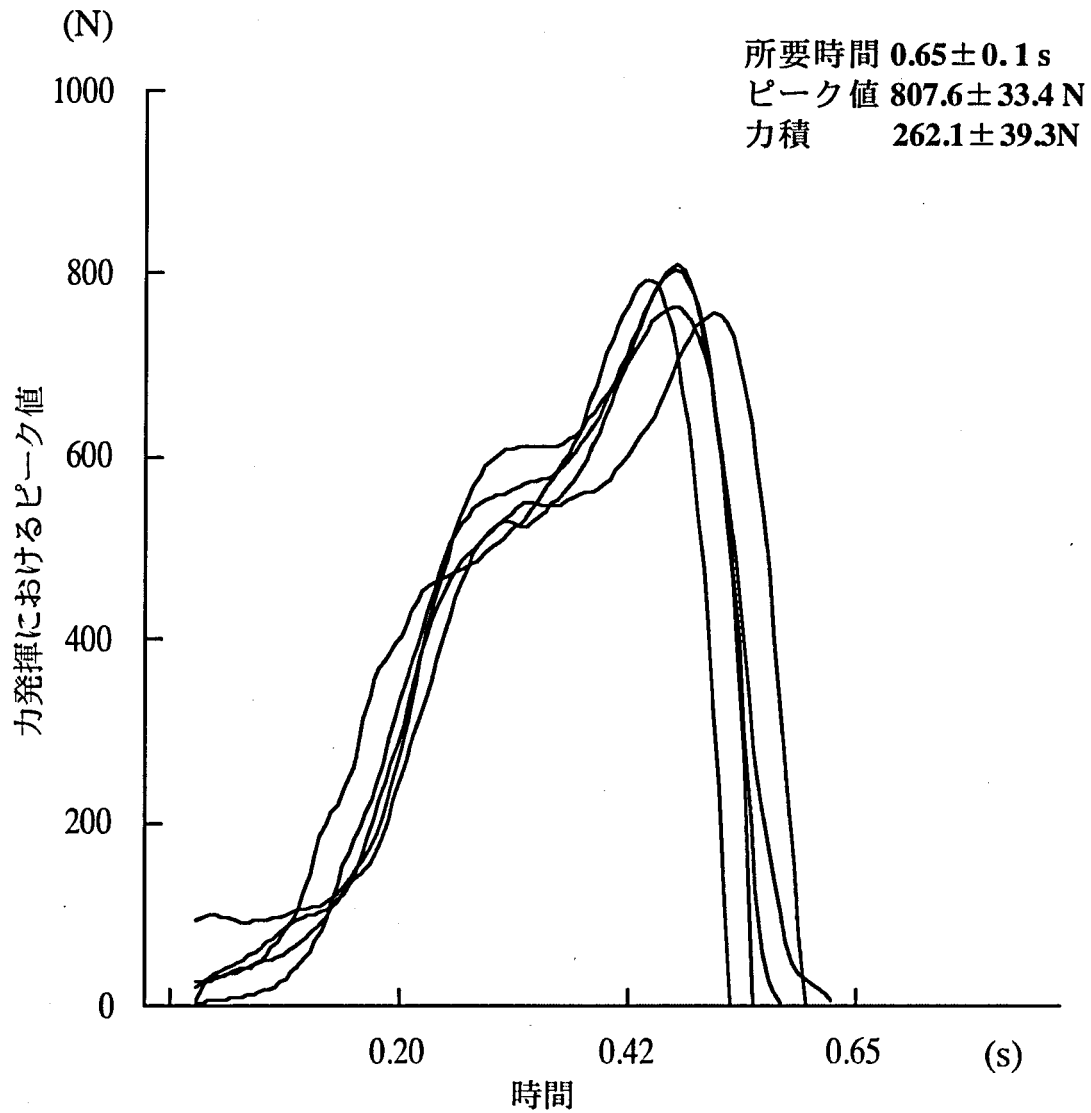


図3-8男子熟練泳者における力発揮の様相

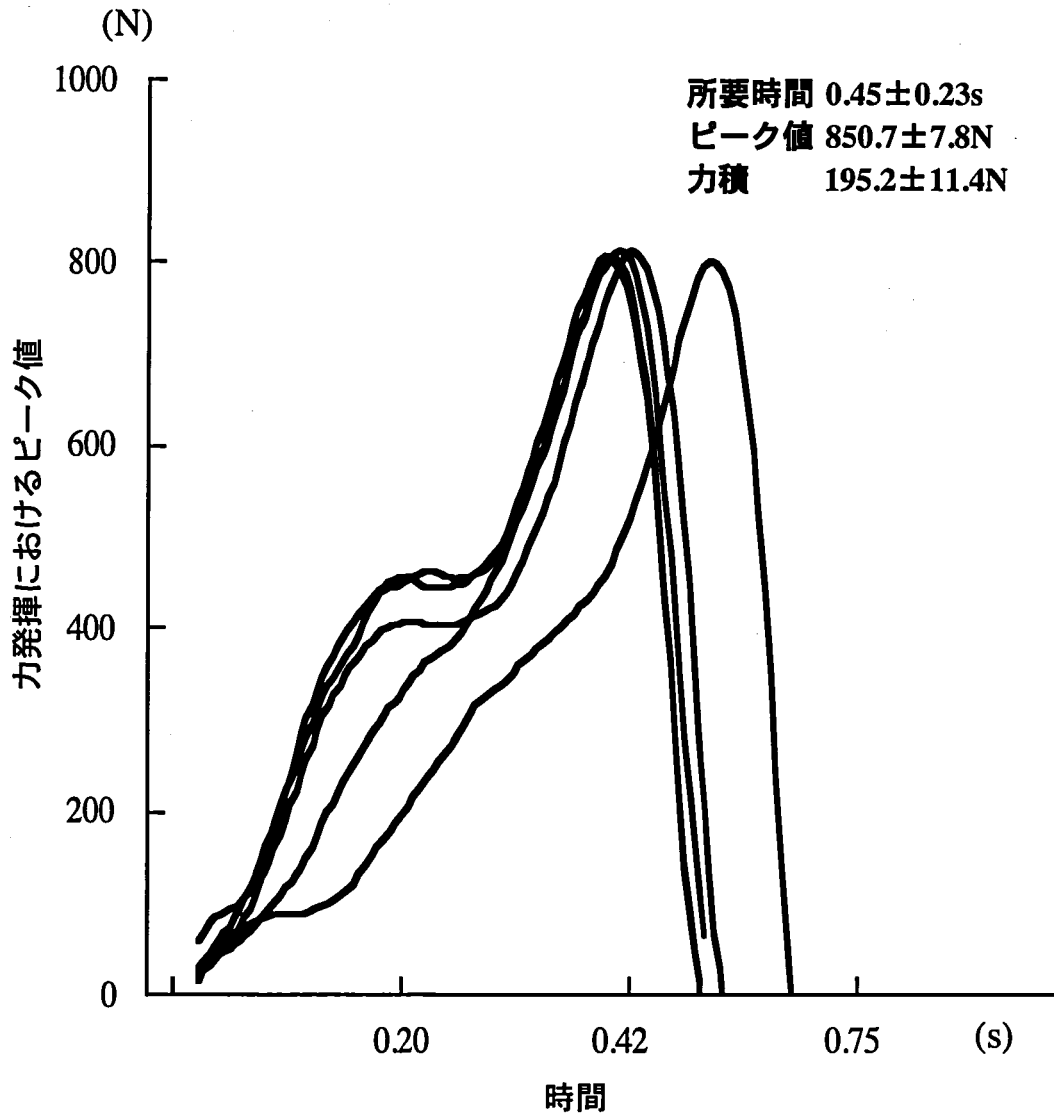


図3-9 女子熟練泳者における力発揮の様相

### 第3節 初心者、熟練者及びエリート選手のけのび動作の力発揮と認識

#### 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 (Lyttle and Blanksby, 2000a). また、けのびは、初心者が水泳を習う時の必須の技術であり、かつ、指導者が初心者を教える時、必ず取り入れる技術でもある。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 (柴田, 1992; 高木ら, 1997; 下永田, 1998; Lyttle et al., 2002). 水上及び水中での頭部・体幹・四肢のわずかな屈曲,あるいは伸展の度合い, ローリング, ピッチング等によって人体水抵抗値を左右する (宮下, 1970). 従って, 水泳研究のほとんどが牽引や流水プールでのけのび姿勢の人体水抵抗に関心が向けられてきた (Jiscot and Claris, 1975; Claris and Jiscot, 1979; Larsen et al., 1981; Manen and Rijken, 1975; Shimizu et al., 1997; Maiello et al., 1998; Lyttle and Benjanuvatra, 2007). 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 (高橋, 1983) 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 (杉浦・合屋, 2000). これまでけのびに関する研究は, モデルによる解析 (土居・小林, 1985), 熟練者と未熟練者との比較 (柴田, 1992), 大学体育専攻学生の練習効果 (田場ら, 2000), 大学男女中等度熟練者 (杉浦・合屋, 2001), 同熟練者の性差 (杉浦・合屋, 2004), 同男子競泳選手の泳力向上との関係 (大城ら, 2000), 同女子初心者の習熟過程 (合屋ら, 2006a), 成人男女各1名の力積, 接地時間及び初速度 (Daniel et al., 2002) などが行われている。また, Lyttle et al. (1999, 2002) 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 (Blanksby, 1999; Lyttle and Blanksby, 2000a; Lyttle et al., 2000b). 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。

一方, 動きの獲得や習熟は技術のトレーニングと合わせて, 気づきや知覚及びイメージトレーニングの関与によって効果的に促進されることが指摘されている (工藤, 2002; 大道, 2002; 大築, 2005). つまり, 運動イメージは2つのシステムからなり, 1つはどの筋を選択し, どの方向に運動を行うのかの計画システム, 2つ目は運動イメージ中の運動感覚のシミュレーションである (内藤・定藤, 2002). 動きと感覚や認識に関する研究では, スケートの感覚的事実からの気づき (結城, 1999), 選手の内的状態を読み取る洞察力 (阿江, 1999), 力学及び知覚—運動制御研究の必要性 (木島, 2006), 身体練習とメンタルトレーニングの組み合わせによる効果的な運動学習の促進 (高橋, 2006) などが行われている。水泳では, 一般学生における4泳法の練習前後の動作認識の変容 (合

屋, 1997), 及び速く泳ぐための感覚的言語の検討(村川ら, 1987)などが報告されている。しかし, 実際の動きと認識をマッチングさせて解明することの重要性も指摘され(合屋, 2000a), 初心者のけのび動作と認識の練習効果が明らかにされている(合屋ら, 2006a)。それによれば, 3つの動作局面それぞれに抵抗を少なくする動きの認識の高まりが見られたと報告されている。しかし, エリート選手のけのびの習熟の度合いと認識の度合いがどの程度一致しているのかは明らかではない。わずかに, エリート選手が持ち合わせているコツや勘に関するインタビュー報告のみである(野村, 2004c)。このような運動イメージ中の運動感覚のシミュレーションを動作分析とともに明らかにし, コーチングや感覚的気づきの指導に有力な手がかりとすることの意義は大きい。

そこで本研究では, 大学男子エリート選手16名及び女子20名を対象とし, けのびの力発揮, 画像解析及び質問紙法を用いた分析によって, 彼らがどのような動きと感覚を獲得しているのかを初心者, 熟練者との比較を基に明らかにすることを目的とする。

## 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:  $20.4 \pm 1.0$  yrs, 身長:  $176.2 \pm 4$  cm, 体重:  $67.7 \pm 4.6$  kg, 競技歴  $16.0 \pm 2.1$  yrs)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  $19.4 \pm 1.3$  yrs, 身長  $163.6 \pm 3.6$  cm, 体重  $56.3 \pm 3.7$  kg, 競技歴  $11.5 \pm 1.8$  yrs)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。また, 本研究との比較のため, 初心者, 熟練者の研究結果(合屋・杉浦, 2000; Goya et al., 2002; 合屋ら, 2006a)も合わせて示した。表3-5に各被検者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, ピーク値を示した。

### 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された。撮影したVTR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5m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られた (図 3-10)。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8mm) で4個のステンレス鋼製荷重リング (幅30mm, 外径84mm, 厚さ8mm) 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-C1-16 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 3-11)。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/8s (ADI 社製) でAD変換された。ビデオ画像と力発揮のデータの同期は、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 (1968) による以下の式を用いた。

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

### 2.4 認識のアンケート調査

アンケート調査は、チェックリストによる泳ぐ動作の認識を高める手法 (高橋, 1984)、村川ら (1987) の速く泳ぐことと感覚的言語に関する質問紙法及び競泳4種目のチェックリストによる動作と気づきの質問紙法 (合屋, 1997) を参考にして作成された。アンケートでは、けのび動作を1) 接地局面 (7項目): 壁に足が着いた時, 2) 準備局面 (6項目): 接地から足が離れるまで, 3) 主要局面 (6項目): 足が離れ、ストリームライン姿勢をとるまでの3つの局面に分類した。各局面のアンケート内容を本節の終わりに資料として添付した。アンケートの回答方法は下記のとおり、5段階とし主観的に回答させた。

- 「5. はい」 → 被検者が質問の「内容を理解でき動作ができている」
- 「4. いいえ」 → 「内容を理解できているが動作ができない」
- 「3. どちらともいえない」 → 「動作ができるかもしれない」
- 「2. 意味がわからない」 → 「質問自体を理解できない」

「1. 意識したことがない」→「質問の内容は理解できるが、意識したことがない」

また、男子エリート選手のみではあるが、自由記述欄に1) “けのび動作で一番意識した局面はどこか”, 2) “何故そう思うのが”, 3) “その他気づいたこと” という質問項目を設け、記述式の回答を求めた。結果は、記述文章をキーワード別に分類し、分析した。

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

初心者、熟練者及びエリート選手までの測定値の結果の概要は以下の通りであった。

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3-11, 3-12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3-13)の水深は0.5~0.6mと深く、下方へと蹴り出していた。上位グループ(図3-14)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1) 男女全体(表3-6), 2) 男子のみ(表3-7), 3) 女子のみ(表3-8)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、減速量、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、減速量、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。

### 3.3 アンケート分析

エリート選手の質問紙によるアンケートの結果、「5. はい」と答えた割合が50%近くになった項目一覧を男女それぞれ表3-9及び表3-10に示した。19項目中、男子が10項目、女子が13項目であった。接地局面、準備局面、主要局面で最も高い値を示したのは、男子がそれぞれ「壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか」、「壁を蹴るために“ため”をつくることができるか」、「上体と腰が安定しているか」であった。一方、女子ではそれぞれ「壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか」、「両足の接地位置は、肩幅より開いていないか」、「顎が出ていないか・膝が曲がっていないか」であった。

自由記述の“けのび動作で一番意識した局面はどこですか”の質問項目に対しては、それぞれ、主要局面10件、準備局面3件、リリース時2件、接地局面1件の回答が得られた。“何故そう思うのか”という質問項目に対して、記述式の記事を以下のキーワード別に分けた。その結果、主要局面では、“姿勢”3件、“抵抗”3件、“一番重要”2件、“力”1件、“スピード”1件であった。準備局面では、“うまく行おうとする”1件、“壁を蹴る力と方向(角度)”1件、“伸びようとした”1件、であった。リリース時では、“体を指の先から足の先まで意識して真っ直ぐにしようとした”1件、“そこが大切”1件、であった。接地時では、“力を抜くため”1件、であった。“その他気づいたこと”では、7件の回答があり、“力”2件、“最後”2件、“意識”2件、“姿勢”1件であった。

## 4. 考察

### 4.1 到達距離とそれ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7m以上の到達距離が必要であるといわれている(高橋, 1983)。熟練者男子では9.4m(杉浦ら, 2001)、女子では8.1m(Goya et al., 2002)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1m程度の有意な増加がみられる(合屋ら, 2006a)。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(Zampero et al., 1996)、重心と浮心との距離は男子の方が有意に長いこと(McLean and Hinrichs, 1998a)が作用していると推測されるが、詳細な検討が必要である。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2m刻みで3段階、1m刻み



で5段階の評価基準（合屋ら，2004）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、減速量、接地位置、投射角度、ピーク値であり（表3-6）、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3-7）。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、減速量、ピーク値、力積及び体表面積であった（表3-8）。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考えられた。Roesler（2002）は、力強いターンは時間の浪費を招くため、力積はその指標とはならないと報告している。本研究の女子では、到達距離と力積及び体表面積との相関がみられなかった。従って、女子の到達距離に影響を及ぼすのは速度や接地位置、投射角など技術的な要素が関与すると解釈された。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（下永田ら，1998，2001；高木ら，1997）。本研究の結果は受動抵抗による結果である。下永田ら（1998）、高木ら（1997）との条件の違いを考慮する必要はあるが、女子では、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考えられた。性差及び体格や体表面積と人体水抵抗との関係が明らかにされることが望まれる。

#### 4.2 Kinetic, Kinematic 評価

豊島（1982）は、オーバーハンドスローによる投距離を決定する要因は1）リリース位置、2）初速度、3）投射角度であると報告している。これを1）発射位置の高さ、2）火薬の量、3）砲台の角度に例え、ねらったところへ着弾させる大砲をイメージさせている。同様に、けのびでは1）接地位置、2）初速度、3）投射角、4）所要時間、5）力積、及び人体水抵抗などの組み合わせによって到達距離が決まると考えられる。これまでの報告では、けのびは壁を蹴るまでの準備動作（杉浦・合屋，2000）、ドライブ期の抵抗を少なくする技術（土居・小林，1985）、及びリリース後の前面抵抗を小さくすること（Takahashi et al., 1983）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（Lyttle and Benjanuvatra, 2007）、より遠くへ移動し、泳ぎだす次の準備姿勢をとる必要がある（Thayer and Hay, 1984）。到達距離が大きかった男女エリート選手の1）接地位置は、0.32～0.37m、2）初速度は2.7～3.0m/s、3）投射角は-1.6～-2.0°、4）所要時間は0.44～0.47s、5）ピークフォースは863N～1170N、6）力積は198N・s～272N・sであった。Daniel et al.（2002）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, Wt: 81kg) はそれぞれ  $302\sim 304\text{N}\cdot\text{s}$ ,  $0.48\text{s}$ ,  $3.31\text{m/s}$ , 女子 (Ht: 167cm, Wt: 67kg) はそれぞれ  $169\sim 194\text{N}\cdot\text{s}$ ,  $0.23\sim 0.33\text{s}$ ,  $2.65\text{m/s}$  であったと報告している。一方, Nicol and Kruger (1979) は, 大学熟練男子4名, 女子1名のターン時のピークフォースは  $600\sim 1000\text{N}$  であり, Klauck (2002) は, コンピューターモデリングによるターン時のピークフォースは約  $1400\text{N}$  であったと報告している。また, Roesler (2002) によれば, ハイレベルの選手が約  $1800\text{N}$ , 中レベルの選手が約  $1400\text{N}$ , 低レベルの選手が約  $700\text{N}$  であった。さらに, Takahashi et al. (1983) は, 男子エリート及び初心者のピークフォースは約  $800\text{N}$ , 初速度は  $2.7\sim 3.07\text{m/s}$  であったと報告している。以上, これらの報告は, 日本人選手と体格の差や年代の差が若干見受けられ, 接地位置についての先行研究は報告されていないが, 1) 初速度, 2) 投射角, 3) 所要時間, 4) ピークフォース, 5) 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。これらのことから, 本研究より, けのびによる避抵抗姿勢を保ち,  $12\text{m}$  以上の到達距離に達する至適動作範囲を示すことができた。

一方, Thayer and Hay (1984) によれば, けのびと共通するターン後のストリームライン姿勢は, ごくわずかな変化が非常に大きな抵抗に直結すると報告している。また, Lytle and Benjanuvatra (2007) は, ターン局面を5つに分け, 壁を蹴る時の力発揮及び方向を検討した。その結果, 効果的なターンは, 平行に蹴り出し, ストリームライン姿勢を保って抵抗を少なくすることであると指摘している。同様に, Walker, (1995) は, 平泳ぎ及びバタフライのエッ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, わずかに下方へ蹴り出すことの重要性を指摘している。さらに, Blanksby et al. (2004) は, 男女エッ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  $5\text{m}$  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。同様に, 合屋ら (2006b, 2008) は, 前方牽引において, 受動抵抗値が小さかった熟練男女では, けのび動作でのリリース時及び  $0.5\text{s}$  時の腰, 及び膝関節角度は  $180^\circ$  に近く, ほぼ水平姿勢であったと報告している。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, 進行方向の抵抗面積をできるだけ小さくすることが重要である (下永田ら, 1998; 高木ら, 1997; Takagi and Sanders, 2000)。

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  $0.3\sim 0.4\text{m}$  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. (1997) は,  $1.6\text{m}$  から  $2.0\text{m}$  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 ( $255\sim 355\text{mm}$ ) 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, Lytle et al. (1999) は, 人体を6種類のスピードと水表面,  $0.2\text{m}$ ,  $0.4\text{m}$  及び  $0.6\text{m}$  の水深

を組み合わせて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。さらに、Blanksby et al. (1999)は、実際のレース分析から、オリンピック選手のターン局面での水深は0.35~0.45mであったと報告し、Takagi and Sanders (2000)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。つまり、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。

以上のことから、時系列での低抵抗姿勢が確保されると仮定した場合、けのびで12m近くの距離に到達するには、接地位置、初速度、投射角、所要時間、ピークフォース、力積及び重心移動軌跡の値は少なくとも男女エリート選手の範囲に収まる必要がある。

### 4.3 動作局面と認識内容

我々の動作には自分自身のもつ動作感覚というものがある(小林, 2002)。また、運動技術の遂行においては、バイオメカニカルに表現される(客観的)動作と、自分が意識する(主観的)動作との間にずれが生じている場合がある。すなわち、つもりと実際のズレである(大築, 2005)。よい動作を獲得するためには、まずそのこと自体を認識し、修正していかなければならない(工藤, 2002)。また、「できる」「できない」という、その基準をいかに設定していくかが指導方法論を創出していく上で大切である(合屋ら, 2006a)。さらに、ワンポイント指導などで得られた効果を客観的に記述しておくことも必要である(大道, 2002)。しかし、ただ単にできればよいという日常動作であれば、「気づき」や指導はいらない(工藤, 2002)。同様に、常により高いパフォーマンスが求められるスポーツスキルの場合は、ある時点で自分の動きの欠点に気づかなければならないし、それに対する適切な認識や指導は不可欠である(小林, 2002)。水泳運動ではフォームのチェックリストとして二者択一(Yes, No)方式でコーチングに用いられてはいるが(高橋, 1984)、そこに至るまで(例えば初心者から中、上級及び競技者までも含めた)の認識の変化を系統的に位置づけたり、学習及びトレーニングの場で繰り返し練習することによってどこまで高められるかの検証は全くなされていない(合屋, 2000)。これまで、一般学生における4泳法の練習前後の動作認識の変容(合屋, 1997)、及び速く泳ぐための感覚的言語の検討(村川, 1987)や、実際の動きと画像解析とのマッチング(杉浦・合屋, 2001)、オリンピック出場選手のコツ・動き方の意識に関する聞き取り調査(野村, 2004d)などによって記述的解釈が行われている。

本研究の結果、男女とも50%近くの者が「内容を理解し、動作ができている」と答えた質問項目はほとんど同じであった(表3-9及び3-10)。女子だけに出現した項目は1)

準備局面の「肩で耳を挟むようにしているか」、2) 接地局面の「離地時から接地時まで、手で水を押さえ体を水平にしているか」、「膝が開いていないか」3) 主要局面の「肩で耳を挟むようにしているか」であった。同じアンケートによる初心者への認識の変化(合屋ら, 2006a)は、男子に比べ女子は「内容を理解し、動作ができている」と答えた割合は低値を示し、認識の度合いに性差が存在することが指摘されている。本研究でも女子だけに出現した項目がみられたことから、エリート選手のけのび動作に対する認識にも性差が現れることが示唆された。

一方、男女ともに一致した各局面の項目をまとめてみると、準備局面では項目1), 2), 3) すなわち、「全身を水の中に沈め、上体と腰を安定させ、膝を開かない」であり、接地局面では項目2), 5), 6) すなわち、「両足の接地は肩幅位で、上体と腰を安定させ、“ため”をつくる」であり、主要局面では項目1), 4), 5) すなわち、「上体と腰を安定させ、顎を出したり、膝を曲げない」であった。つまり、時系列の動作順に並べ変えると、「全身を水中に沈め、“ため”を作って顎を引き、膝を曲げない」ことを男女共に意識して行っていると解釈できた。正確な動作は筋骨格系からの情報である固有受容器感覚による(征矢, 2004)といわれているが、自分の手や足がどの位置にあるのか、どういう方向にどのくらいの速度で動いているのかなどの複合的な情報(内藤・定藤, 2002)を適切に統合する能力をエリート選手は持ち合わせていると考えられた。

また、自由記述の、“けのび動作で一番意識した局面はどこですか”では主要局面が10件、“何故そう思うのか”では“姿勢”3件、“抵抗”3件、“一番重要”2件であった。すなわち、男子エリート選手は主要局面に最も意識を集中させ、特に、抵抗のない姿勢を重要視していることがわかる。以上のことから、木島(2006)や高橋(2006)が指摘するように、動きの獲得や習熟は技術のトレーニングと合わせて、時系列での動作局面の認識や気づきによって効果的に促進され、主要局面に意識の集中が高まることが推察された。

## 5. 結論

本研究では、大学生エリートスイマー男子16名及び女子20名を対象とし、けのびの力発揮、画像解析及び質問紙法を用いて、上級者がどのような動きと感覚を獲得しているのかを初心者、熟練者との比較も合わせて検討した。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に相関していた。
- 2) 男女エリート選手のけのびは、接地位置0.32~0.37m、初速度2.7~3.0m/s、投射角-1.6~-2.0deg、所要時間0.44s~0.47s、水深約0.3~0.4mの範囲であった。

- 3) アンケートによる動作局面と認識内容を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することを認識していた。特に、けのびの主要局面に最も意識を集中させ、抵抗のない姿勢を重要視していることがわかった。

#### アンケート内容一覧

##### 1) 接地局面

- 1 離地時から接地時まで水を押さえ体を水平にしているか。
- 2 両足の接地位置は、肩幅より開いていないか。
- 3 両足の接地位置は、高さが同じか。
- 4 膝が開いていないか。
- 5 壁を蹴るために「ため」をつくることができるか。
- 6 上体と腰が安定しているか。
- 7 肩で耳を挟むようにしているか。

##### 2) 準備局面

- 1 膝が開いていないか。
- 2 壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか。
- 3 上体と腰が安定しているか。
- 4 肩で耳を挟むようにしているか。
- 5 腰と首の力は抜けているか。
- 6 腰が落ちたり、出たりしていないか。

##### 3) 主要局面

- 1 上体と腰が安定しているか。
- 2 腰と首の力は抜けているか。
- 3 腰が落ちたり、出たりしていないか。
- 4 膝が曲がっていないか。
- 5 顎が出ていないか。
- 6 肩で耳を挟むようにしているか。

表3-5 先行研究と本研究の被検者特性とけのび動作分析および力発揮測定結果比較一覧

Subjects	N	Height (cm)	Weight (kg)	Body Mass Index Ratio	Surface Area (m <sup>2</sup> )	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)	3	—	—	—	—	—	2.87~3.07	—	—	—	—	0.38~0.41	804~1205	213.1~268.8
Male Elite	3	—	—	—	—	—	2.67~2.80	—	—	—	—	0.31~0.45	803~1352	189.9~196.7
Male Beginners	1	158	54.5	21.8	1.50	5.7	2.32±0.55	—	—	—	-10.7±2.5	—	—	—
Goya et al(2000)	1	158	54.5	21.8	1.50	5.7	2.32±0.55	—	—	—	-10.7±2.5	—	—	—
Female Beginner pre	1	158	54.5	21.8	1.50	5.7	2.32±0.55	—	—	—	-10.7±2.5	—	—	—
post	1	—	—	—	—	8.0	2.70±0.05	—	—	—	-6.2±0.88	0.61±0.14	651.6±39.2	—
Sugura et al(2001)	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
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)	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
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
Goya et al(2006)	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
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)	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	213.2±40.9
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	213.2±40.9
post	6	—	—	—	—	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	231.1±49.6
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	135.0±30.3
post	7	—	—	—	—	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	136.3±36.6
Goya et al(2008)	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
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	56.5±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.

表3-6 男女の身体特性およびけのび動作、力発揮の相関行列

	Hight	Weight	BMI	BSA	Distance	Initial V	VO.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**								
VO.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. VO.5: Velocity of CG at 0.5sec after Take off. V/V0.5: Ratio of Initial Velocity and VO.5.

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

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

表3-7 男子の身体特性およびけのび動作、力発揮の相関行列

	Hight	Weight	BMI	BSA	Distance	Initial V	V0.5	V/V0.5	Contact D	AngleTrij	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						
Contact D	-0.1307	0.0706	0.2053	0.0019	-0.1227	0.2329	0.2527	0.0417					
AngleTrij	-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 Trij: 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.



表3-8 女子の身体特性およびけのび動作、力発揮の相関行列

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

\* 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 Trij: Angle of Trajectory for Center of Gravity against water surface label at 5fps after take off.

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

表 3-9 50%以上の者が“はい”と答えた質問項目(男子N=16)

(%)

準備局面	はい	いいえ	どちらともいえ		意識したこと がない
			ない	わからない	
壁を蹴る時に全身が水の中に入っているか	81	0	0	0	19
上体と腰が安定しているか	69	0	25	0	6
膝が開いていないか	56	0	13	0	31
接地局面					
壁を蹴るために「ため」をつくることができるか	73	0	9	0	18
上体と腰が安定しているか	62	13	25	0	0
両足の接地位置は、高さが同じか	64	9	0	0	27
両足の接地位置は、肩幅より開いていないか	50	0	19	0	31
主要局面					
上体と腰が安定しているか	88	6	6	0	0
膝が曲がっていないか	68	13	0	0	19
腰が落ちたり出たりしていないか	56	13	25	0	6
顎が出ていないか	56	13	25	6	25

表 3-10 50%近くの者が“はい”と答えた質問項目(女子N=20)

(%)

(準備局面)	はい	いいえ	どちらともいえ		意識したこと がない
			ない	わからない	
壁を蹴る時に全身が水の中に入っているか	90	5	0	0	5
上体と腰が安定しているか	55	10	30	0	5
膝が開いていないか	45	15	15	15	10
肩で耳を扶むようにしているか	45	30	5	0	20
(接地局面)					
両足の接地位置は、肩幅より開いていないか	70	10	5	10	5
壁を蹴るために「ため」をつくることができるか	50	0	20	5	25
離地時から接地時まで水を押さえ体を水平にしているか	45	15	20	0	20
膝が開いていないか	45	5	30	0	20
上体と腰が安定しているか	45	15	25	0	15
(主要局面)					
膝が曲がっていないか	70	5	5	0	20
顎が出ていないか	70	10	5	0	15
上体と腰が安定しているか	55	15	15	0	15
肩で耳を扶むようにしているか	50	25	5	0	20



図 3-10 水中フォースプレートの測定風景

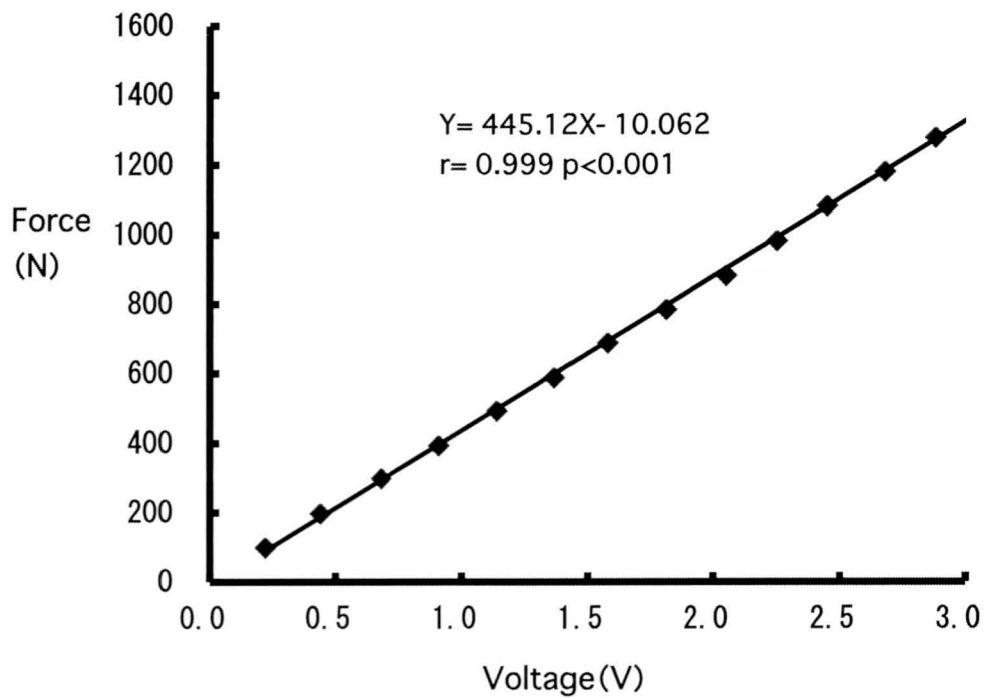


図 3-11 フォースのキャリブレーション

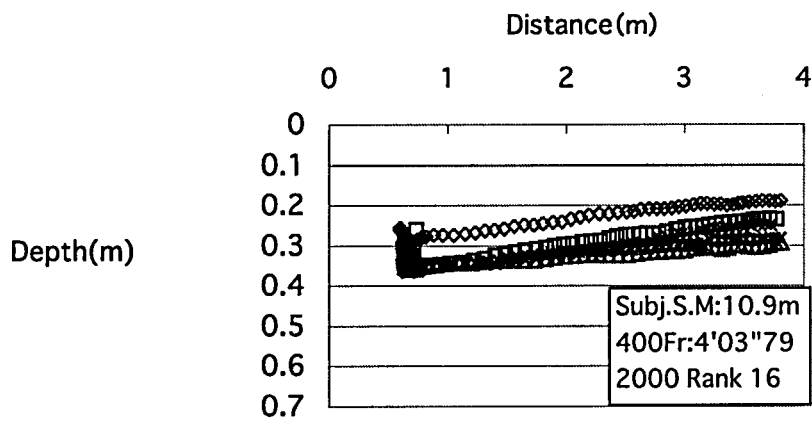
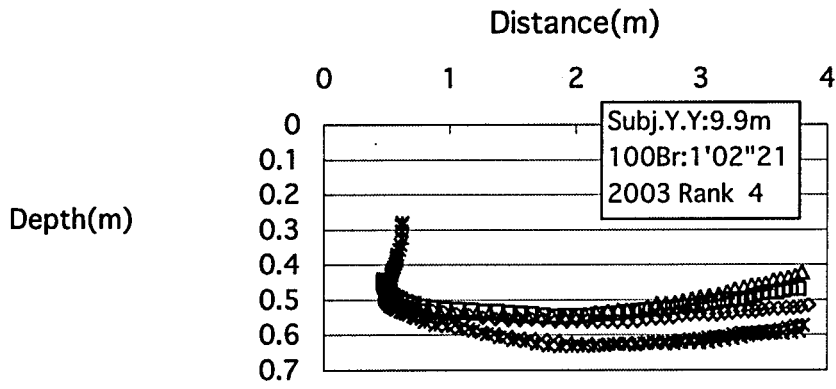


図 3-12 到達距離が小さかった男子の重心移動軌跡.

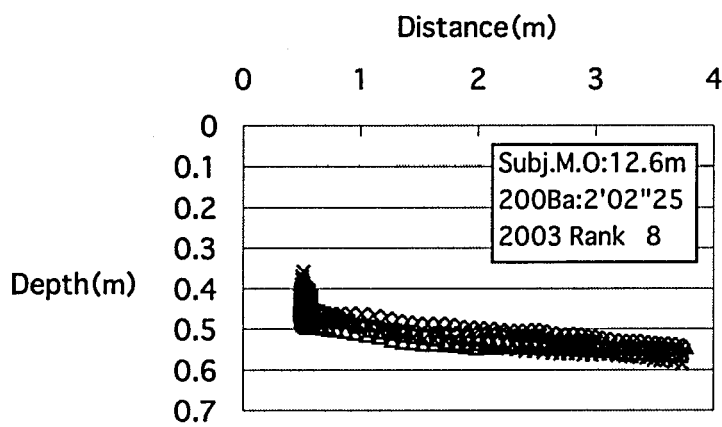
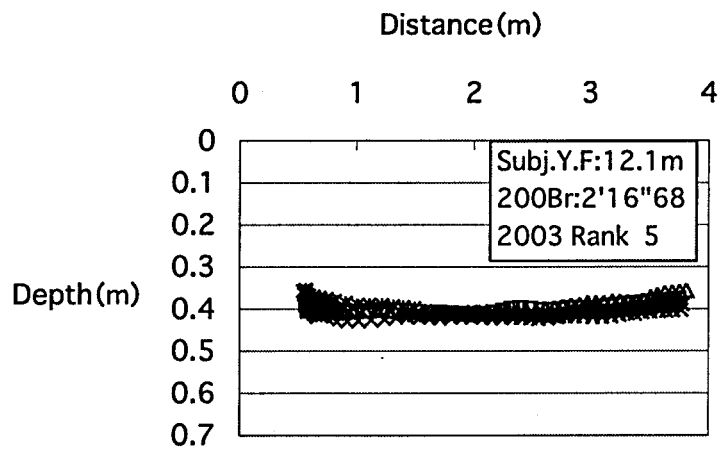


図 3-13 到達距離が大きかった男子の重心移動軌跡

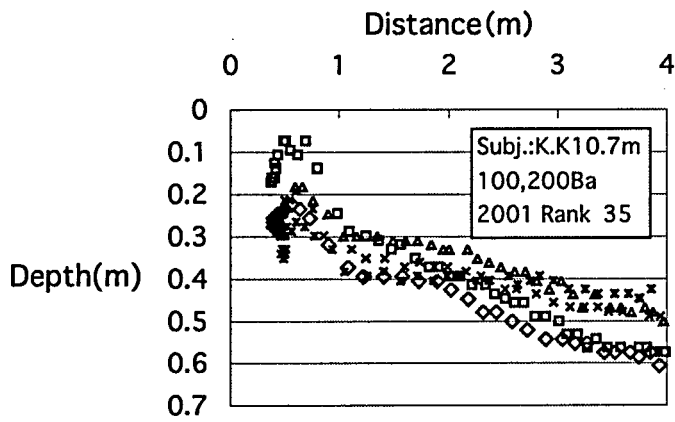
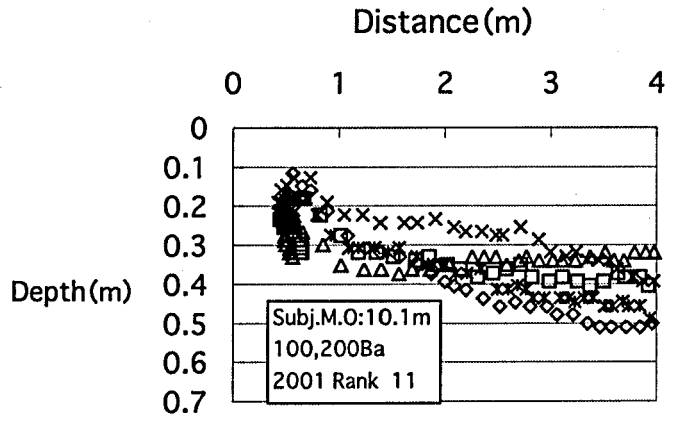


図 3-14 到達距離が小さかった女子の重心移動軌跡

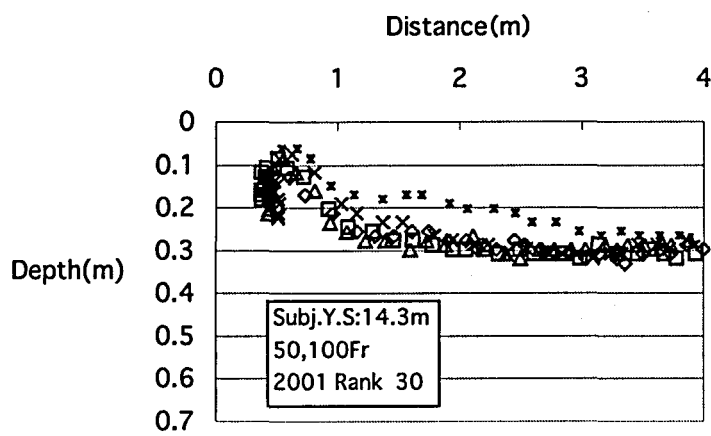
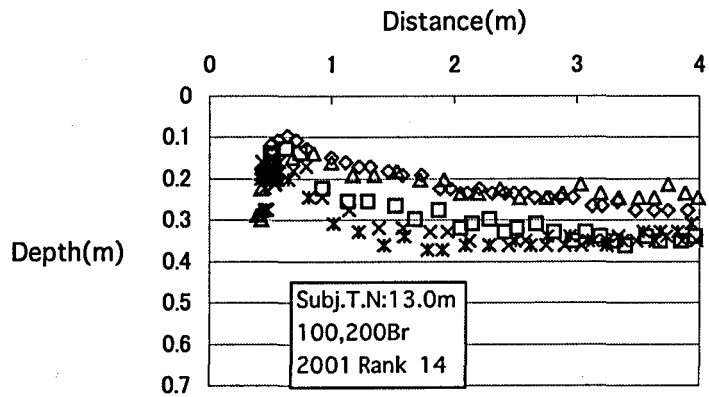


図 3-15 到達距離の大きかった女子の重心移動軌跡

## 第4節 総合考察

第3章では、未熟練者から熟練者、エリート選手までを対象に、けのびの画像と力発揮、感覚的気づき等の視点から性差を含めて横断的に検討した。まず、第1節では、大学男子熟練水泳選手17名のけのび動作をVTR画像及び水中フォースプレートを用いて、その動作の特徴と壁を蹴る力の様相について検討した。その結果、到達距離が大きい被検者の力発揮パターンは、接地から一旦、体重と同程度で横這いとなり、ピーク値を迎える二峰性を示した。それに対して、到達距離が小さい被検者は接地からの立ち上がり之急な一峰性を示し、ピーク値にばらつきがみられた。

第2節では、大学女子熟練水泳選手20名のけのび動作及び力発揮の様相を解析し、第1節の結果との比較により性差を明らかにすることを目的とした。その結果、到達距離は女子の方が有意に大きかった。これには、身体組成、特に女子の体脂肪に由来する水中トルク（重心と浮心によるローテーション）などと密接に関係すると思われた。一方、減速量（初速度-0.5s時の重心移動速度）、投射角度、リリース時及び0.5s時の重心位置は男女間に有意な差がみられなかった。これは、壁を蹴り出す前後の姿勢及び速度変化に差がないことを示すものである。力発揮の所要時間、ピーク値及び力積では、男子の方が有意に大きな値を示した。このことより、男子は女子に比べ力の大きさや壁を押し続けている時間を長くし、到達距離を大きくしていることが伺われた。

第3節では、大学男子エリート選手16名、女子20名を対象とし、けのびの力発揮、画像解析を行い、男子初心者6名、女子7名（第4章）、熟練者（第2及び第3節）の結果と合わせて考察した。その結果、初心者、熟練者及びエリート選手が、①どのくらいの水深で、②どの方向に、③どのくらいの時間壁を押し、④どのくらいの速さで蹴り出し、⑤どのくらいのパワーを発揮したかを、男子（女子）の初心者、熟練者及びエリート選手の順序で示すと、①接地位置：0.30 (0.29) m, 0.36 (0.44) m, 0.37 (0.32) m, ②投射角度：-1.86 (-5.0) °, 1.58 ~ -2.13 (-2.46) °, -2.05 (-1.63) °, ③所要時間：0.41 (0.42) s, 0.59 (0.58) s, 0.44 (0.47) s, ④初速度：2.5 (2.2) m/s, 2.9 (2.5) m/s, 3.0 (2.7) m/s, ⑤力積：210~230 (135) N·s, 250 (155) N·s, 270 (200) N·sであった。以上のことから、熟練者は男女とも初心者に比べ、投射角度を除いて全ての値が大きかったことから、初心者より深い位置に接地し、長く速く壁を押しして大きなパワーを得ていることがわかった。しかし、蹴る方向が上下に不安定であった。また、エリート選手は男女とも熟練者より同じか、若干浅い位置で接地し、短く速く壁を押しして大きなパワーを発揮し、蹴る方向はわずかに下方で安定していた。従って、けのびでは全身を沈め、壁を蹴る方向をわずかに下方へ、すばやく蹴って大きなパワーを得ることが重要であることが示唆された。

次に、男女全体でけのびの到達距離と有意な相関があった項目は、身長、初速度、0.5s



時の速度、減速量、接地位置、投射角度であり、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。このことから、けのびの到達距離には、体長、各移動速度、接地位置及び投射角度の要因が関係すると考えられるが、壁を蹴るパワーは到達距離に影響しないと思われた。

一方、アンケートによる動作局面と認識内容を時系列で評価すると、エリート選手は、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することを認識していた。すなわち、男女ともに一致したけのびの各動作局面の認識を時系列の順に並べると、「全身を水中に沈め、“ため”を作って顎を引き、蹴った後、膝を曲げない」となり、感覚的気づきは避抵抗姿勢と密接な関係にあると考えられた。

## 第4章 けのび動作の力発揮と認識の縦断的検討

### 第1節 初心者におけるけのび動作とその認識の変容

#### 1. 緒言

体育・スポーツの指導では、指導者は学習者が「できる」ようになるのと同時に、「わかる」内容や方法を用意すべきである。動作の学習の場合、頭でわかっているにもかかわらず、いざやってみるとまったくできないというように、「わかる」ことが必ずしも「できる」ことに結びつかない(伊藤, 1989)。認識の高まりと動作の習得は切り離して考えることはできない(星野, 1997)。歩, 走, 跳, 投動作などの陸上運動では、動作の発育発達パターンの研究が行われ(深代ら, 1982)、水中運動でも、児童のクロール泳(合屋ら, 1992)及び平泳ぎ(合屋, 1995)の発達パターンの分類が行われている。

一方、星野(1982)は、走動作への気づきについてアンケート方式を用いて調査を行った結果、「動きへの気づき」は「感覚への気づき」より認識しやすいと指摘している。また、合屋(1997)は、授業形態の違いによって各泳法による動作認識の差について検討した結果、各泳法とも推進力を得る手・足の動きについては意識の集中が高まるが、体幹への気づきは難しいと指摘している。しかし、水泳の初心者から中級、上級者において、そこに至るまでの動作の変化とそれに対する認識の変化について言及されていない。

そこで本研究では、初心者1名に水中での基本姿勢であるけのび動作を一定期間練習させ、その前後の動きや感覚への気づきの変化を質問紙による調査及びVTR画像による動作を同時に分析することによって、それらの習熟過程を検討することを目的とした。

#### 2. 研究方法

被検者は、初心者として競技歴のない大学水泳部員女子1名(身長158.0m, 体重54.5kg)とした。練習は、週3回(1日2時間)を5週間行った。練習内容は表4-1に示した。言語教示方法は、村川ら(1987)の感覚的言語を参考に行った。実験は、練習前、中、後の3回実施した。実験試技は、十分にウォーミングアップを行わせた後、全力でけのび動作を行わせた。水中ビデオ撮影は、nac社製ハイスピードビデオシステムHSV-400を用いて200fpsで行った。撮影方法は、プール側面に壁から2.5mの位置に備えつけられた水中窓から、左側方の動作を撮影した。被検者には、画像分析のためのリファレンスマークをつけた。画像分析は、Wolfram Research社製Mathematica 2.2.2を用いて行った。ビデオ撮影時にあらかじめ付けておいた身体各部のリファレンスマーク(頭頂点, 耳珠点, 手指先点, 手関節中心, 肘関節中点, 肩峰点, つま先点, 足関節中心, 膝関節中点の9点)を50fpsでデジタル化し、実座標に換算し、分析項目に必要なデータをパーソナルコンピューター(Apple社, Macintosh Power PCG3)を用いて算出した。けのび動作は、つま先が底面から

離れる時（以降、リリース時）から1.0sまで分析した。分析項目は、重心移動軌跡、重心移動速度、重心の投射角度、腰関節角度、膝関節角度であった。なお、動作の比較対照のため熟練者1名（大学女子水泳部員）の画像分析を行った。認識を調査するために質問紙法を用いた。質問紙は、合屋（1997）による4泳法の泳法別自己診断項目を参考にし、下記の6項目を作成した。

1. 上体と腰が安定しているか。
2. 腰と首の力が抜けているか。
3. 腰が落ちたり出たりしていないか。
4. 膝が曲がっていないか。
5. 顎が出ていないか。
6. 肩で耳を挟むようにしているか。

被検者は、各実験後に質問紙の各項目について、「5：はい」、「4：いいえ」、「3：どちらともいえない」、「2：意識したことがない」、「1：質問の意味がわからない」のいずれかを回答させ、動作が実際にできているかに関わらず、動作を認識しているかどうかという観点から、被検者の主観の変容を調べた。すなわち「はい」は、自分の動きや動きに対する感覚をはっきりと「認識できている」と解釈した。「いいえ」については、自分の動きが「できていない」とはっきりと認識していると解釈した。また「どちらともいえない、意識したことがない、質問の意味がわからない」は、自分の動きや動きに対する感覚を「認識できていない」と解釈した。

### 3. 結果

#### 3.1 重心移動軌跡の変化

図4-1, 4-2, に練習前後、及び図4-3に熟練者のリリース時から1.0sまでの重心移動軌跡を示した。トレース図は、それぞれリリース時、リリース時から0.5s後、1.0s後の姿勢を示した。けのび動作の到達距離は、練習前が5.8m、練習後が8.0mであった。熟練者のけのび動作の到達距離は、10.1mであった。

重心移動軌跡の投射角度は、水面とリリースから0.5s地点のなす角度とした。投射角度は、練習前が下向きに $10.7^\circ$ 、練習後が $6.2^\circ$ であった。しかし熟練者の投射角度は上向きに $3.7^\circ$ であった。

#### 3.2 重心移動速度の変化

図4-4に、リリース時から1.0s後までの重心移動速度を示した。リリース時は練習前が2.32m/s、練習後が2.68m/sであった。1.0s後は練習前が1.40m/s、練習後が1.60m/sであった。熟練者は、リリース時が2.9m/s、1.0s後が1.9m/sであった。

### 3.3 腰関節角度・膝関節角度の変化

腰関節角度は肩関節中心点, 大転子点, 膝関節中点のなす角度とし, 膝関節角度は大転子点, 膝関節中点, 足関節中点のなす角度とした. 0.5s 後の腰関節角度は, 練習前が  $170.5^{\circ}$ , 練習後が  $172.1^{\circ}$  であった. また, 膝関節角度は, 練習前が  $165.5^{\circ}$ , 練習後が  $176.5^{\circ}$  であった. 熟練者は, 腰関節角度が  $175.4^{\circ}$ , 膝関節角度が  $178.9^{\circ}$  であった.

### 3.4 質問紙による認識の変化

表4-2に, 練習前後の質問の結果を示した. 練習前では, すべての項目において「2: 意識したことがない」と回答し, 認識できていなかった. 練習後では「5: はい」, 「4: いいえ」と回答していた

図4-5に, 質問紙の各項目に対する練習前後の回答を示した. 練習前では全ての項目において「2: 意識したことがない」と回答していたのが, 練習後では, 「2. 腰と首の力が抜けているか」に対して「4: いいえ」と回答している以外は, 全ての項目において「5: はい」と回答していた.

## 4. 考察

### 4.1 けのび動作の変化について

けのび動作終了時の到達距離は, 練習前の 5.8m から練習後の 8.0m と 2.2m 増加した. 投射角度は, 下向きに  $10.7^{\circ}$  から  $62^{\circ}$  と  $45^{\circ}$  小さくなった. 従って, 練習後は練習前に比べてストリームライン姿勢に近づき, 水面とほぼ平行に移動できるようになった. しかし, 熟練者と比較してみると, 到達距離は, 熟練者が 10.1m と本被検者の練習後に比べ 2.1m 大きかった. また投射角度は方向が全く異なっていた. すなわち, 本被検者の投射角度が, 練習前と練習後もプールの底に向かう下方であったのに対して, 熟練者は水面上方であった. 動作の改善が練習によってなされたものの, より高度のレベルに達するには, この程度の練習では不足であると考えられた. また, 熟練者は, けのび動作を水面への浮き上がりから泳ぎへのストローク局面へとつなぐ一連の動作として学習していることが推察され, 結果として重心の投射角度が上向きになったと思われる.

一方, 重心の移動速度は, 練習によって  $0.36\text{m/s}$  増大し, その値は熟練者に比べ  $0.22\text{m/s}$  小さかった. 土居ら (1985) の報告によれば, 熟練者は壁に対して力を発揮し始めるまでに上体を水平に保ち, あごをひいて両腕で耳をはさみつける姿勢であったが, 未熟練者は顎が上り, 両腕による頭のはさみつけも十分でなかった. そのため, 結果的に前面抵抗が大きくなったと指摘している. 本研究の初心者もけのび姿勢が十分でないために前面抵抗が大きくなり, 重心の速度が小さくなったと思われる.

### 4.2 けのび動作と動作認識について

マイネル (1981) は、新しい運動を習得するとき、粗協調、精協調、最高精協調の3つの位相を発展段階で通過すると報告している。また海野・西迫 (1984) は、「コトバ」を用いた水泳の初心者指導に技能習熟と技術認識の両面からアプローチしている。同様に、体育学習においては、よい動きが「できる」だけでは十分でなく、意識性、意図性の認識「わかる」が必要であるが、技能習得の過程では意識面での理解と、動作そのものの合理性が必ずしも一致していないことも報告されている (天野, 1987)。一方、猪飼 (1966) は生理学的側面からイメージと運動のズレが生じるのは、受容器と生体の奏効器の働きかたが異なるためであると指摘している。また伊藤 (1989) は認知心理学の側面から「わかっているのにできない」のは再スキーマが確立していないか、スキーマの精度が低いために状況に適した反応明細が選択されなかったと報告している。

本研究では、水泳運動の基本である「けのび動作」について、それらの認識と動作のマッチングの度合いについて焦点をあててみた。質問紙の結果から練習前では、すべての項目において「2:意識したことがない」と回答し、認識できてなかった。練習後では「5:はい」、「4:いいえ」と回答していた (表4-2)。従って練習によって全体的にはけのび動作に対する認識が高まったようである。しかし、練習後の質問項目「2.腰・首の力が抜けているか」については、他の項目では「5:はい」と回答しているのに対し「4:いいえ」と回答していた (表4-2)。これは「力が抜けているか」という「感覚的な気づき」に対する認識が他の推進力に関わる手や足の「動き」に対する認識より困難なためであると考えられた。走動作では「動きへの気づき」より「感覚への気づき」の方が難しいという報告 (星野, 1982) や、水中運動では「腕や足は比較的容易に認識することができるが、体幹への気づきは難しい」という結果 (合屋ら, 1997) と一致した。

## 5. 結論

本研究では、初心者1名を対象として一定期間けのび動作を練習させ、その前後に動きや感覚への気づきの変化を、VTR画像による動作解析と質問紙による追跡調査によって明らかにすることを目的とした。結果は、以下のようにまとめることができた。

- 1) リリース時の重心速度は2.32m/sから2.68m/sへ増加、投射角度は、下向きに10.7°から62°とやや上向きになった。けのび姿勢の腰関節角度は170.2°から172.1°、膝関節角度は165.5°から176.5°とより水平な姿勢へ近づいた。
- 2) 推進力に関わる手や足の「動き」に対する認識は比較的容易に捉えていたが、「腰・首の力が抜けているか」などの「感覚的気づき」に対する認識は困難であった。

表4-1 練習内容

練習項目	内 容	実施期間				
		1	2	3	4	5
水慣れ	・水中歩行	○	○			
	・ポビング	○	○	○		
けのび動作	・陸上での姿勢の確認	○	○			
	・水中での姿勢の確認		○	○		
	・壁を蹴り，素早くストリームラインをつくる	○	○	○	○	○
	・潜って壁に足をつく		○	○	○	○
	・膝を曲げて力をためる			○	○	○

表4-2 質問用紙に対する解答

質問紙の内容	練習前	練習後
(1) 上体と腰が安定しているか.	2	5
(2) 腰，首の力が抜けているか.	2	4
(3) 腰が，落ちたり出たりしていないか.	2	5
(4) 膝が曲がっていないか.	2	5
(5) 顎がでていないか.	2	5
(6) 肩で耳を挟むようにしているか.	2	5

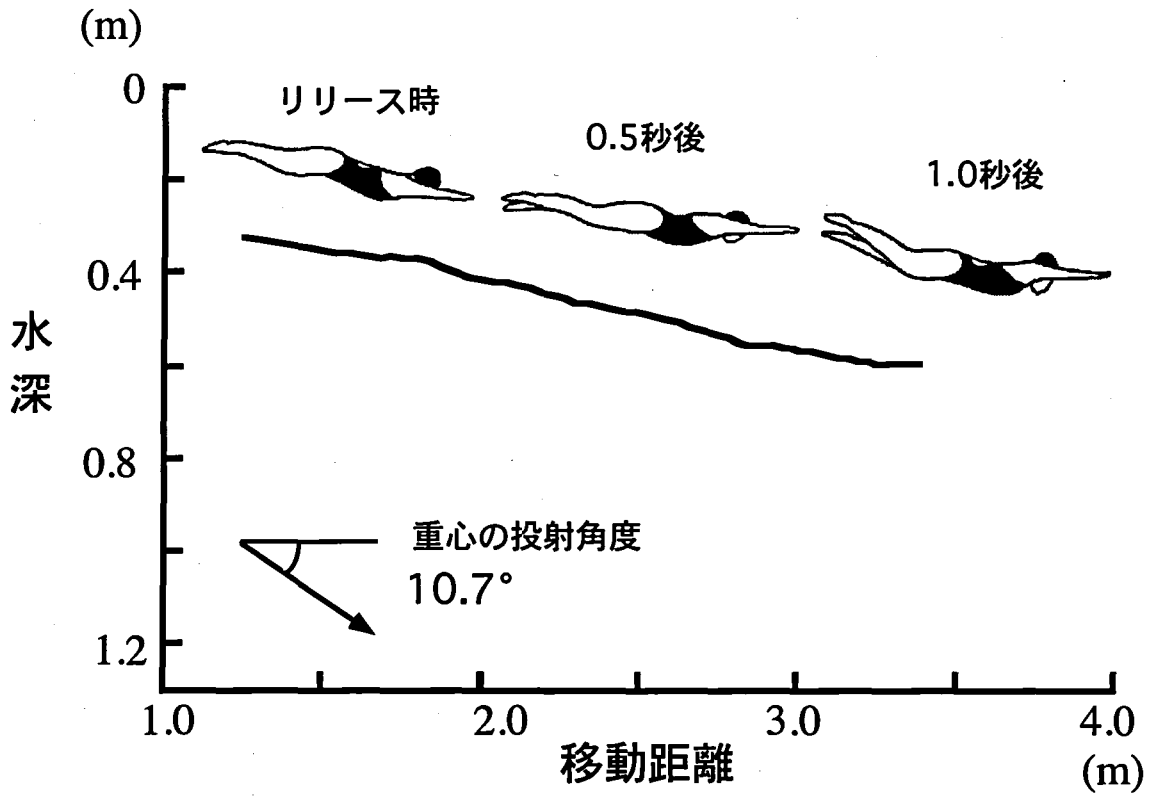


図 4-1 練習前の重心移動軌跡

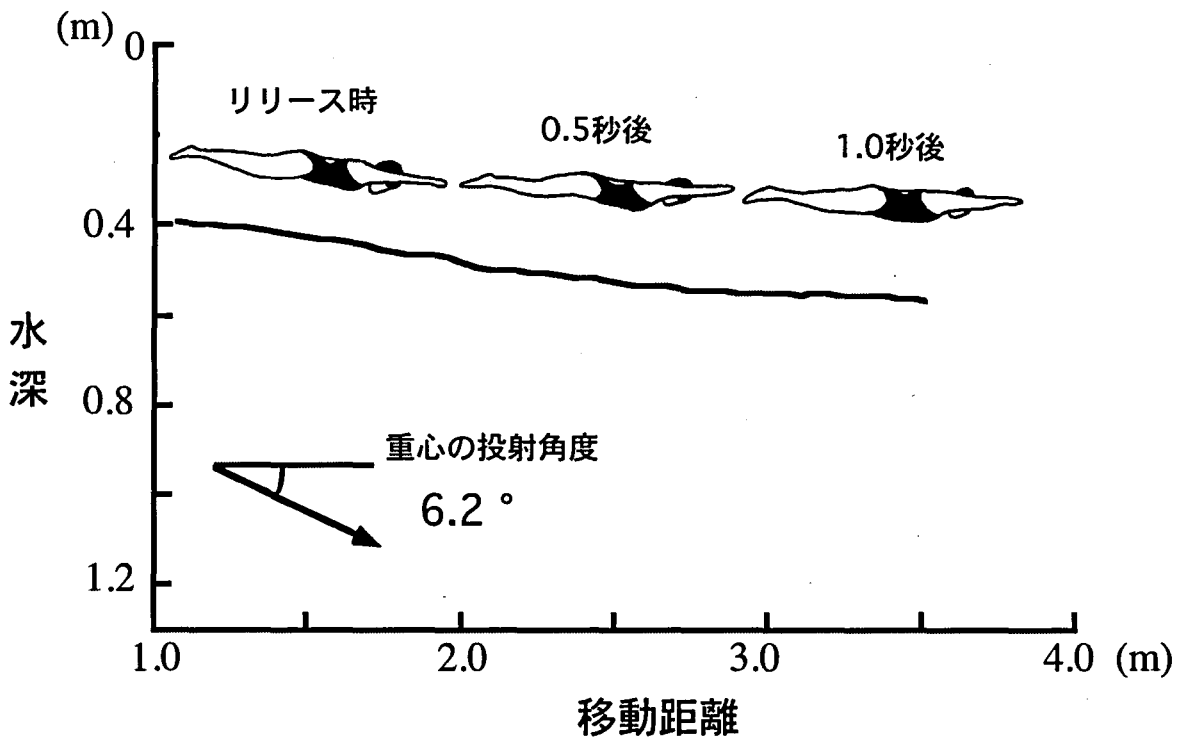


図 4-2 練習後の重心移動軌跡

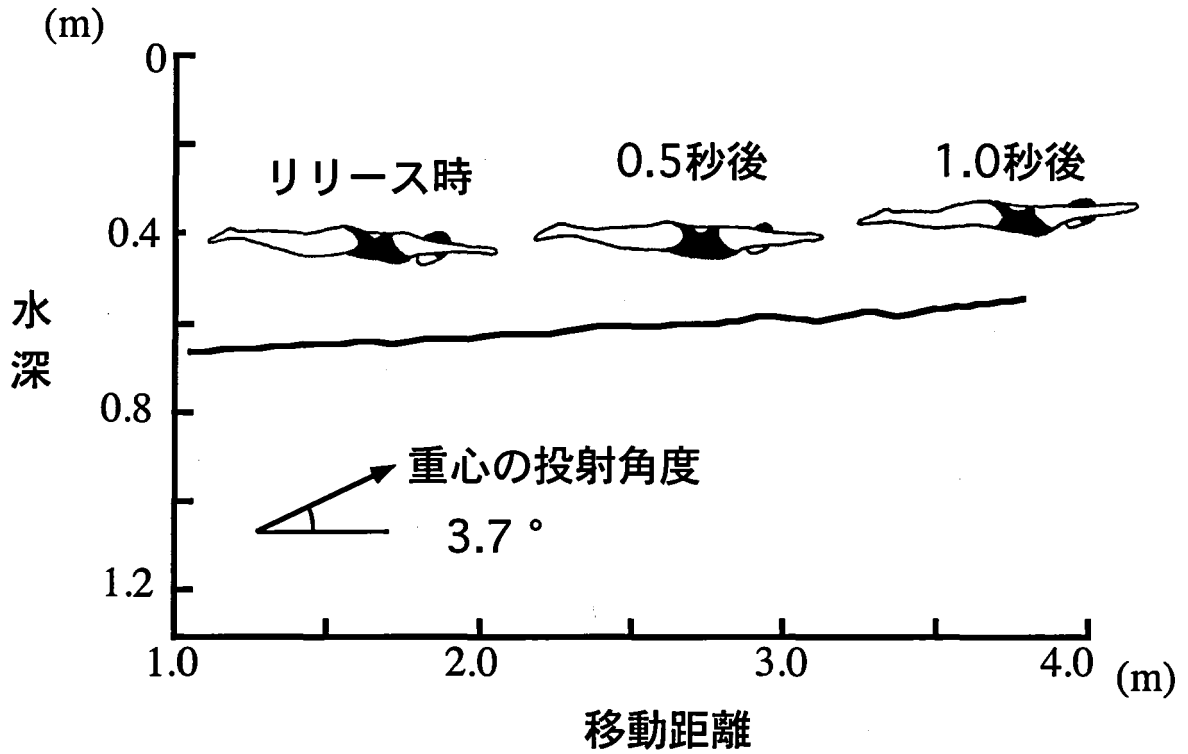


図 4-3 熟練者の重心移動軌跡

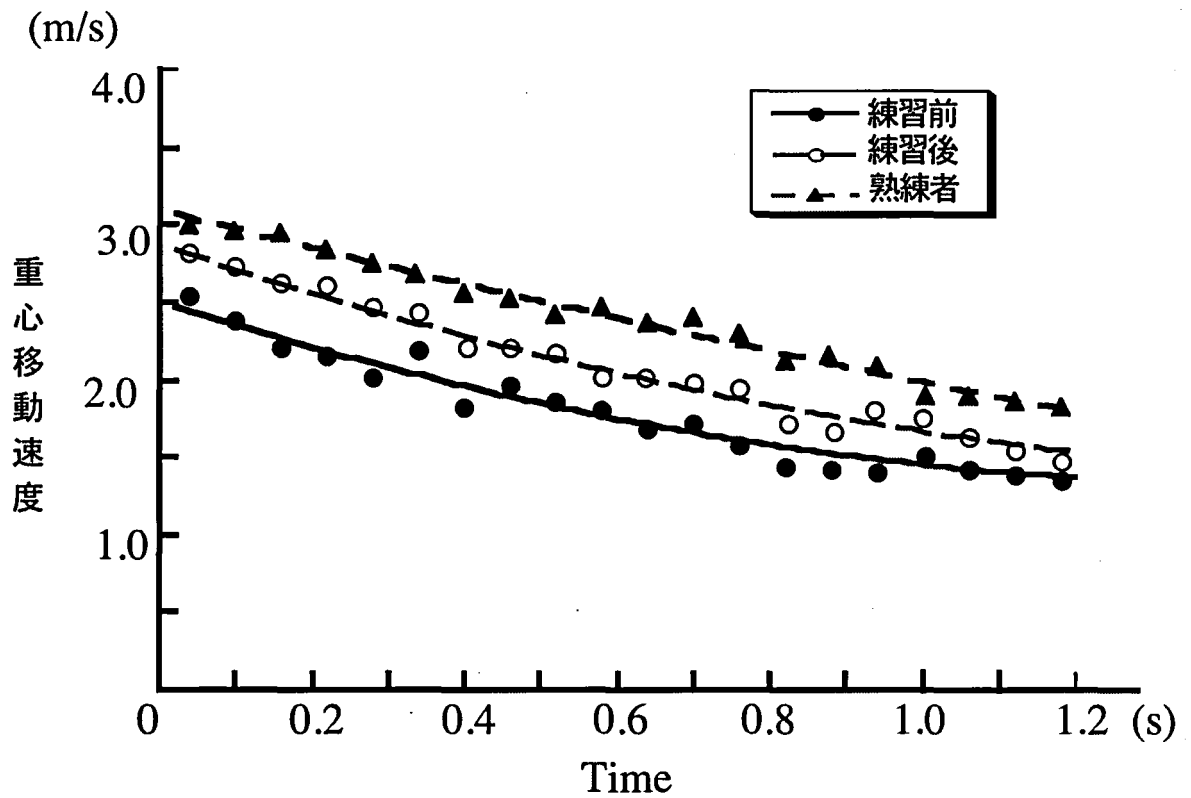


図 4-4 重心移動速度の変化



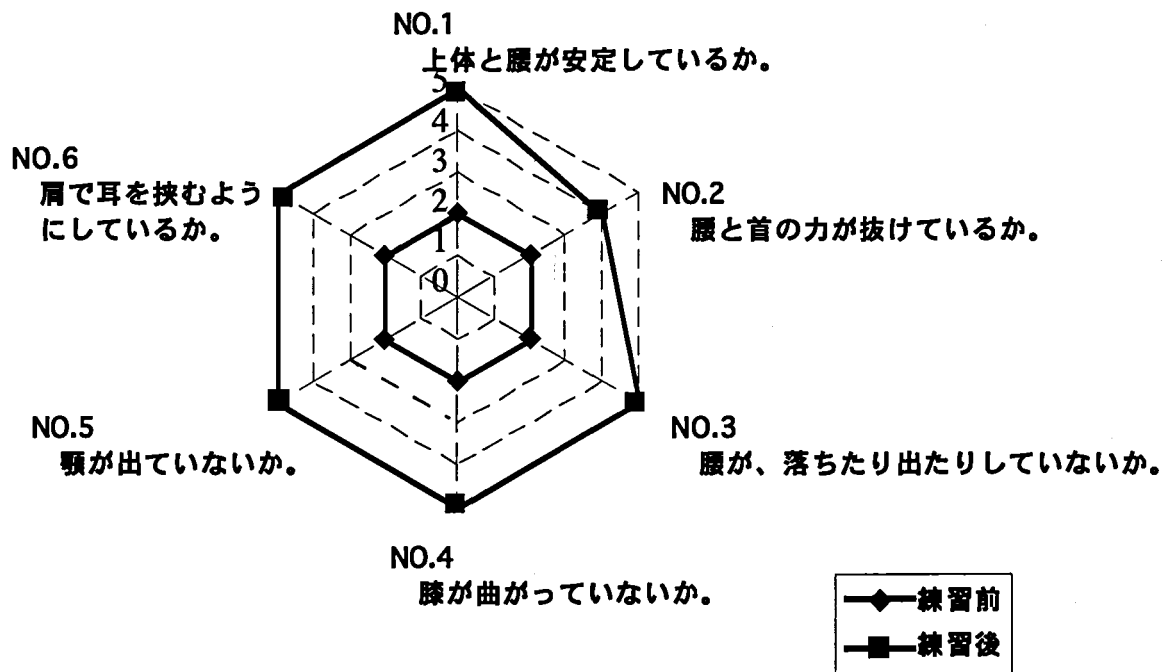


図 4-5 質問紙に対する回答の変容

## 第2節 けのび動作の習熟過程と認識に関する追跡研究

### 1. 緒言

近年、スポーツ現場では、科学的データの活用が不可欠になってきており、一流コーチは科学的データの活用から選手の内的な状況を読みとり、洞察できる能力の必要性が指摘されている(阿江, 1999)。また、結城(1999)は、選手のパフォーマンスには、物理的な事実と感覚的な事実の2つの側面が存在し、動きを改善しようとするとき、感覚的事実の中で何か新しい気づきを生みだし、動きを修正していくことを示唆している。これらのことから、パフォーマンスの向上には技術のみでなく、気づきへのアプローチも重要だと考えられる。

これまでわれわれは、初心者に一定期間の練習を行わせ、その前後のけのび動作に対する気づきと動作の変化を検討した(杉浦・合屋, 2000)。その結果、壁を蹴った後のストリームラインのみでなく、壁を蹴るまでの動作に着目する必要性を指摘した。けのび動作に関する研究(Takahashi et al., 1983; 高橋, 1983; 土居・小林, 1985)では、熟練者及び初心者の力発揮、膝関節角度等を検討したものはあるが、追跡研究をしたものはほとんどない。また、認識の度合いと実際の泳ぎそのものとのマッチングがどのような様相を呈しているのかも、ほとんどわかっていない。

そこで本研究では、縦断的に追跡している初心者1名の、練習後2年間の動きや感覚への気づきの変化を、VTR画像、水中フォースプレートによる力発揮及び質問紙による調査によって明らかにすることを目的とした。今回は、特にけのび動作のリリース前の動作と力発揮に着目した。

### 2. 研究方法

被検者は、初心者として競技歴のない大学水泳部員女子1名(身長158.0m, 体重54.5kg)であった。実験期日は、練習前が5月、練習後が同年8月、1年後が翌年8月、2年後が翌々年8月であった。実験試技は、十分にウォーミングアップを行かせた後、全力でけのび動作をそれぞれ10回ずつ行かせた。また、比較対象として熟練者1名(大学女子水泳部員)のけのび動作解析も行った。

VTR画像は、nac社製ハイスピードビデオシステムHSV-400(200fps)により、被検者の右側方の動作を撮影し、DKH社製Frame DIAS II Ver.2.7を用いて解析を行った。けのび動作は、床からつま先が離れ(以降、離地時)、壁からつま先点が離れる時(以降、リリース時)から0.5秒後(以降、0.5s時)までと、その前後5コマであった。分析項目は、重心移動速度、重心の投射角度、腰及び膝関節角度であった。壁を蹴る力の測定は、水中用フォースプレート(ストレインゲージ式:防水ゲージ使用)を用いて行った。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)で増幅し、Maclab/8s(ADI

社製)でAD変換した。水中の映像とフォースプレートからの電気信号は、トリガーをHSV-400内蔵のWave Inserterにより同期した。

認識をとらえるための質問紙は、高橋(1984)、合屋(1997)による4泳法の泳法別自己診断項目を参考にし、下記の6項目を作成した。

1. 上体と腰が安定しているか
2. 腰と首の力が抜けているか
3. 腰が、落ちたり出たりしていないか
4. 膝が曲がっていないか
5. 顎が出ていないか
6. 肩で耳を挟むようにしているか

被検者には、各実験後に質問紙の各項目について、「5:はい」、「4:いいえ」、「3:どちらともいえない」、「2:意識したことがない」、「1:質問の意味がわからない」のいずれかで回答させた。5, 4は、「自分の動作や感覚をはっきりと認識している」とし、3, 2, 1は、「認識していない」と解釈した。これは、動作が実際にできているか否かに関わらず、動作を認識しているかどうかという観点から評価した。

練習は、1日2時間の練習を週に3回のペースで5週間実施した。練習内容は表4-3に示した。言語指示方法は、村川ら(1987)の感覚的言語を参考に行った。1年目は週2回、約3000mの水泳部の練習を行ったが、2年目は、前年の練習量を保持できなかった。

### 3. 結果

#### 3.1 パフォーマンスの変化

泳力の変化を測定するために、デッドスタートでの50mクロール全力泳を測定した。練習前では50mを完泳できず、36.8mを38.9s、平均泳速度が0.95m/s、ストローク長が1.84m/stroke、ストローク頻度が0.51stroke/sであった。練習後はそれぞれ50mを46.6s、1.07m/s、1.56m/stroke、0.69stroke/s、1年後では39.3s、1.27m/s、1.67m/stroke、0.76stroke/s、2年後では39.0s、1.28m/s、1.85m/stroke、0.69stroke/sであった。けのび動作の到達距離は、練習前が5.8m、練習後が8.0m、1年後が10.5m、2年後が10.9mであった。一方、比較対象とした熟練者のけのび動作の到達距離は10.1mであった。

#### 3.2 重心移動速度及び投射角度の変化

図4-6に練習前から2年後までと熟練者のけのび動作の姿勢の変化を示した。①は離地時、③は足が壁に着いたとき(以降、接地時)、⑥はリリース時の姿勢である。①の離地時から⑤までの動作を準備局面とし、⑥のリリース時からを主要局面とした。その結果、練習前後の③の接地時では、頭が水面から出ていたが、1年後以降は頭が水中に入っていた。

表4-4に、重心移動速度及び投射角度の変化を示した。重心移動速度は、2.33~2.77m/s

と増加した。重心移動軌跡の投射角度は、水面とリリース時から0.5s時の重心位置とのなす角度とした。初心者は、水面に対して下向き(10.1~5.9°)であったのに対し、熟練者は上向き(2.4°)であった。

### 3.3 準備局面における力発揮の変化

図4-7に、初心者の1, 2年後及び熟練者の壁を蹴る力発揮の変化の1例を示した。接地時からリリース時までをプロットした。1年後は、力発揮のピーク値が $651.6 \pm 39.2\text{N}$ 、接地からリリースまでの所要時間が $0.61 \pm 0.14\text{s}$ 、接地時からピーク時までの所要時間が、 $0.55 \pm 0.13\text{s}$ であった。2年後は、それぞれ $776.6 \pm 89.2\text{N}$ 、 $0.69 \pm 0.16\text{s}$ 、 $0.60 \pm 0.10\text{s}$ であった。熟練者は $891.1 \pm 83.3\text{N}$ 、 $0.60 \pm 0.12\text{s}$ 、 $0.47 \pm 0.16\text{s}$ であった。

図4-8, 4-9に図4-7と同試技の接地時からリリース時までの腰・膝関節角度の変化を示した。腰関節角度は膝関節、大転子、肩関節のなす角度とし、膝関節角度は、大転子、膝関節、足関節のなす角度とした。その結果、接地時の腰関節角度は、1年後が $122.6 \pm 12.0^\circ$ 、2年後が $104.1 \pm 8.8^\circ$ 、熟練者が $110.8 \pm 16.7^\circ$ であった。ピーク時では、1年後が $141.5 \pm 3.5^\circ$ 、2年後が $124.3 \pm 9.5^\circ$ 、熟練者が $100.1 \pm 17.3^\circ$ であった。接地時の膝関節角度は、1年後が $40.1 \pm 9.9^\circ$ 、2年後が $56.3 \pm 15.5^\circ$ 、熟練者が $33.6 \pm 3.8^\circ$ であった。ピーク時では、1年後が $109.9 \pm 10.5^\circ$ 、2年後が $38.8 \pm 7.9^\circ$ 、熟練者が $54.4 \pm 21.2^\circ$ であった。腰、膝関節ともに熟練者が大きく屈曲していた。

### 3.4 質問紙による認識の変化

質問紙の各項目に対する回答は、練習前では全ての項目において「2:意識したことがない」と回答していたが、練習後では、項目2の「腰と首の力が抜けているか」に対して「4:いいえ」と回答した以外は、全ての項目において「5:はい」と回答していた。1年後では、項目1の「上体と腰が安定しているか」と項目3の「腰が出たり落ちたりしていないか」に対して「3:どちらともいえない」と回答した以外は、すべて「5:はい」と回答していた。また2年後では、項目2「腰や首の力が抜けているか」に対して「3:どちらともいえない」と回答した以外は、すべて「5:はい」と回答していた。

## 4. 考察

### 4.1 パフォーマンスの変化について

デッドスタートでの50mクロール全力泳は、練習前は50mを完泳泳できず、練習後は50mを46.6sから2年後の39.0sへと7.6s向上した。本研究の初心者は、ストローク頻度は変わらず、ストローク長を0.29m/stroke大きくすることで、平均泳速度を0.21m/s向上させた。また、けのび動作の到達距離は、5.7mから10.9mへと5.2m大きくなった。

## 4.2 リリース前の力発揮について

けのび動作は初心者から一流選手にいたるまでの重要な技術である(高橋, 1983)。初心者におけるけのび動作の練習前後の動きと気づきの変化を検討した結果(杉浦・合屋, 2000)によれば、壁を蹴った後のストリームラインのみでなく、壁を蹴るまでの動作に着目する必要性が指摘されている。そこで本研究では、けのび動作における、リリース前の準備局面の動作と力発揮に着目した。準備局面における力発揮のピーク値は、2年後の方が1年後より125.0N増加した。接地時からリリース時までの所要時間は0.1s減少し、接地時からピーク値までの所要時間は0.44s減少した( $p<0.01$ )。しかし、熟練者と比較してみると、ピーク値は2年後の値に比べ有意に大きく( $p<0.01$ )、力発揮の所要時間は、2年後の値より減少傾向を示した。これらのことから、熟練者は接地時からリリース時までの所要時間が短く、ピーク値まで素早く立ち上がるのに対し、初心者では接地時からリリース時までの所要時間が長く、ピーク値までゆるやかに立ち上がっていることがわかった。高橋(1983)は、「熟練者は、初めから立ち上がり急で泳者の体重と同程度の力を発揮するところで一度横這いとなり、リリースに向けて再び力の発揮が大きくなる」と報告している。この一度横這いとなるのは、リリースに備えた、いわゆる「ため」の部分である。すなわち、ストリームラインづくりに相当すると考えられる。本被検者は熟練者に比べて、1年後は緩やかな立ち上がりを示したが、2年後では一度横這いとなる「ため」の出現が若干みられ、ピークに達していた。従って、重心の移動速度が異なるのは、リリースまでの動作の違い、「ため」がリリース後の前面抵抗に大きく影響を与えることが示唆された。

一方、準備局面における力発揮時の動作をみると、初心者の接地時からピーク値までの腰関節角度は、1年後及び2年後ともに十分な屈曲動作がみられなかった。膝関節角度は、1年後及び2年後でもほとんど屈曲させた状態がみられず、伸展した状態で蹴り出していた。それに対して熟練者は、リリース前の腰、膝関節の十分な屈曲姿勢から、リリース時には双方ともに伸展した状態であった。これは、接地時からピーク値までの間に、腰、膝関節の屈曲を保持することで、力発揮が横這いとなる「ため」を作り出していることを示している。これらのことから、初心者は、力発揮のピーク値まで腰関節を伸展させているため、十分な「ため」動作を作り出すことができないまま蹴り出していることがわかった。

以上のことより、指導者及び学習者ともに、上手なけのび動作の習得には、壁を蹴った後のストリームラインではなく、その結果を導く準備局面の動作に焦点をあてるべきである。

## 4.3 動作認識について

体育学習では、よい動作が「できる」だけでは十分でなく、意識性、意図性の認識「わかる」が必要であるが、技能習得の過程では意識面での理解と、動作そのものの合理性が

必ずしも一致していないことが報告されている(マイネル, 1981;天野, 1987;金子, 1988). しかし, 感覚的事実からの気づき(結城, 1999)や, 選手の内的状況を読みとる洞察力の必要性(阿江, 1999)を見逃すことはできない. 動作認識に関する先行研究では, 星野(1982)が競技者及び非競技者における走動作の身体への気づきについて, 松下・阿江(1984)が未経験者における空手の前蹴り動作の運動観察について, 松下・山田(1987)が初心者における空手前蹴りの自己評価について, 香田ら(1989)は初心者の剣道の打ち返し動作と意識について報告している. また水泳では, 合屋(1997)が一般学生における4泳法の練習前後の動作認識の変容について報告し, 水中運動の動作認識と実際の動きを合わせて検討すべきであると指摘している. そこで本研究では, けのび動作の認識と動作のマッチングの度合いが縦断的にどのように変容するかに焦点をあててみた. 「けのび」動作に関する質問項目全体を見てみると, 練習前では, 全ての項目において「2:意識したことがない」と解答していた. これは, 「気づき」のレベルが「できていない」か「わからない」という認識の表れだと考えられる. 練習後では「5:はい」が5/6項目, 「4:いいえ」が1/6項目であった. また1年後では, 「5:はい」が4/6項目, 「3:どちらともいえない」が2/6項目であり, 2年後では, 「5:はい」が5/6項目, 「3:どちらともいえない」が1/6項目であった. 従って, けのび動作に対する認識は, 全体的には高まったと言える. しかしながら, 練習後から2年後までの質問項目1「上体と腰が安定しているか」, 2「腰と首の力が抜けているか」, 3「腰が落ちたり, 出たりしていないか」に対する答えは一定ではなかった. すなわち, 練習後では質問項目2が「いいえ」であり, 1年後と2年後では質問項目1と3が「どちらともいえない」, 2年後では質問項目2が「どちらともいえない」というように, 回答に明確な判断がなされていなかった. 星野(1982)が指摘するように体幹まわりの動作認識や力感の認識などは困難であることが示唆された. そこで, 1年後及び2年後の質問紙に対する回答の後, 何故そのように回答したか口答で質問したところ, 被検者は, 「練習を重ねたり, 上手な人の泳ぎをみていたら, 自分はまだできているとは言えない。」と回答した. これらのことから, 単に回答が変容したのみではなく, 「気づき」のレベルの質的な変容が生じたのではないかと思われた. 従って, 基本的な技術を手がかりとして, 初歩的なレベルからある完成された一定のレベルに達するまでの「動き」と「気づき」の関係がどのようにかわり合って, 形成されていくのかを体系的に検討する必要がある.

## 5. 結論

本研究では, 初心者1名の練習後2年間におけるけのび動作の動きや感覚への気づきの変化を, リリース前の動作及び力発揮に着目し, VTR画像, 水中フォースプレート及び質問紙を用いて明らかにすることを目的とした.

結果は以下の通りであった.

- 1) 重心の投射角度は、水面に対して下向きで水平に近づいた。また、リリース時の重心速度も練習によって増加した。
- 2) 力発揮のピーク値は増加し、所要時間は減少したが、接地時の腰・膝関節の屈曲が十分でなく、力発揮が体重と同程度の横這いとなる「ため」動作がみられなかった。
- 3) けのび動作に対する認識は、「上体と腰が安定しているか」「腰と首の力が抜けているか」「腰が落ちたり、出たりしていないか」については、練習後から2年後までの回答が一定ではなく、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいと思われた。

表4-3 練習内容

練習項目	内 容	実施期間				
		1	2	3	4	5
水慣れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水中歩行</li> <li>・ポビング</li> </ul>	○	○			
けのび動作	・陸上での姿勢の確認	○	○			
	・水中での姿勢の確認		○	○		
	・壁を蹴り、素早くストリームラインをつくる	○	○	○	○	○
	・潜って壁に足をつく		○	○	○	○
	・膝を曲げて力をためる			○	○	○

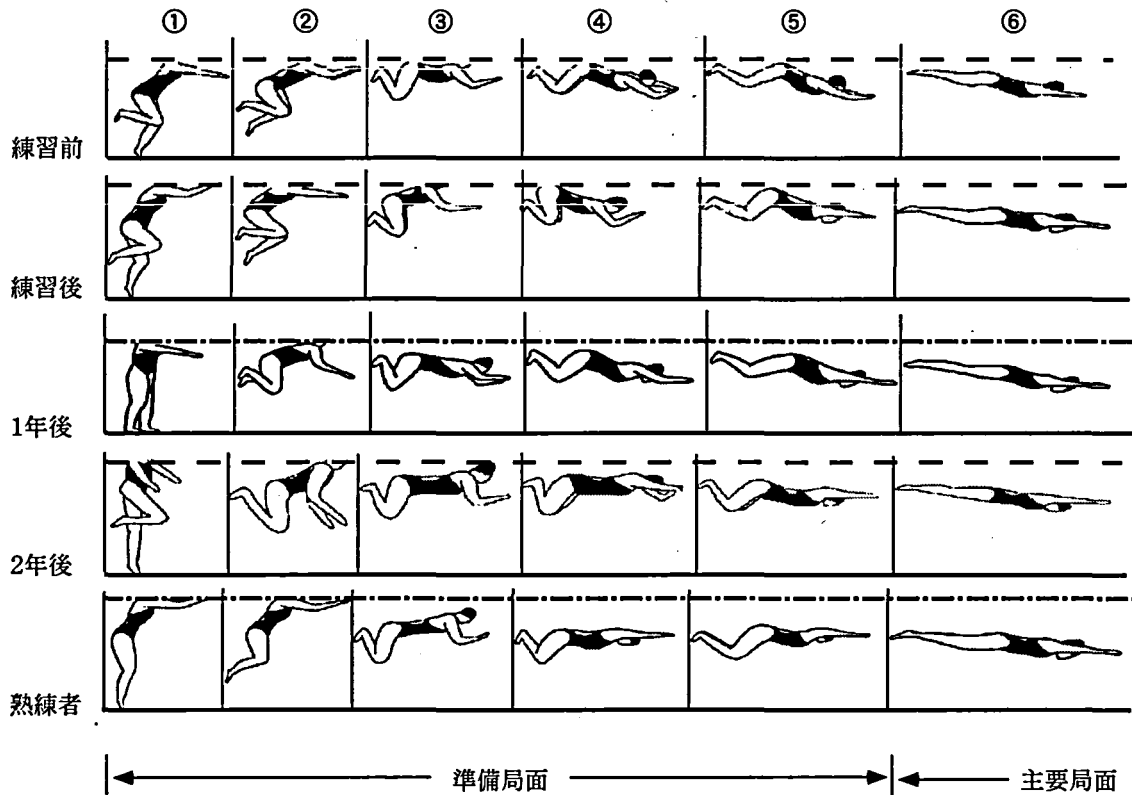


図4-6 けのびの動作の変化



表4-4 重心移動速度と投射角度の変化

	重心移動速度 リリース時(m/s)	重心投射角度 (°)
練習前	2.33 ± 0.06	10.11 ± 2.59
練習後	2.66 ± 0.09	7.07 ± 1.28
1年後	2.70 ± 0.06	10.37 ± 1.40
2年後	2.77 ± 0.10	5.85 ± 0.89
熟練者	2.80 ± 0.15	2.42 ± 1.64

\* p<0.05    \*\* p<0.01    \*\*\* p<0.001

注) 初心者の重心投射角度は下向き、熟練者は上向き。

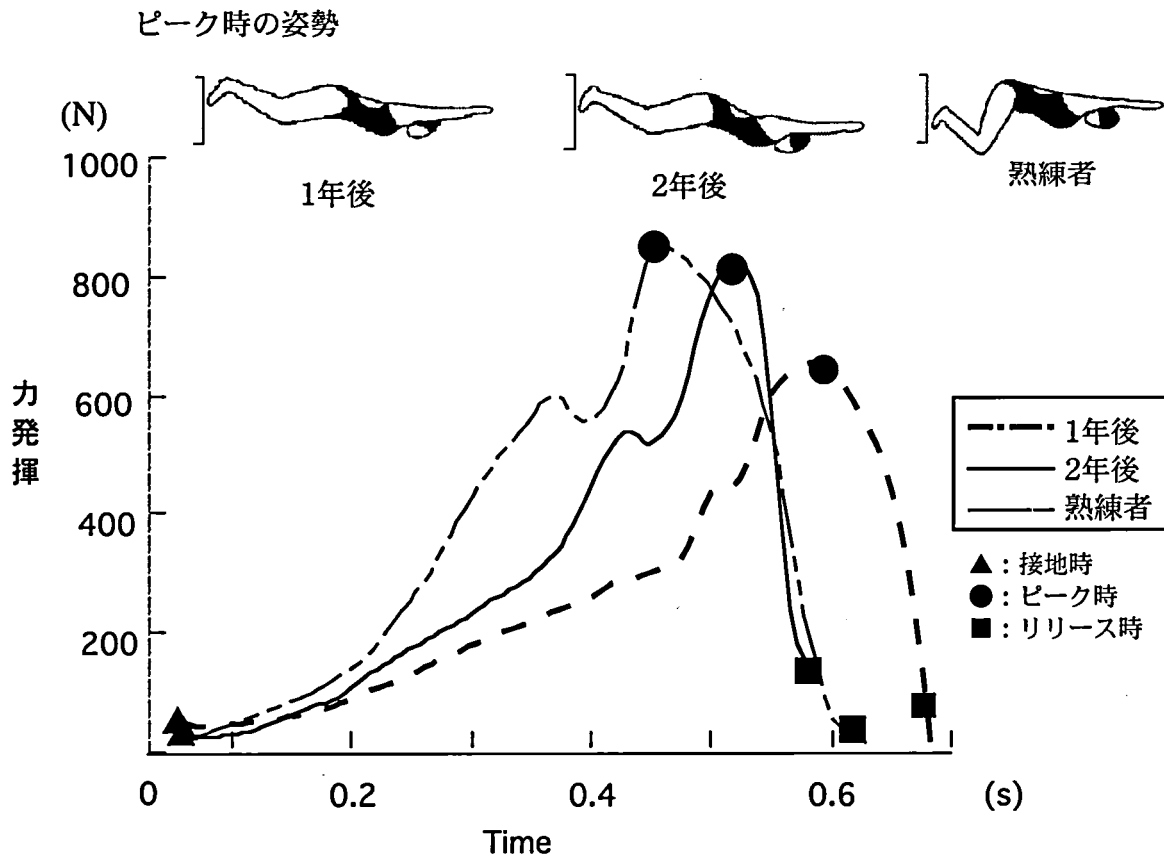


図4-7 壁に対する力発揮の変化-接地時からリリース時まで-

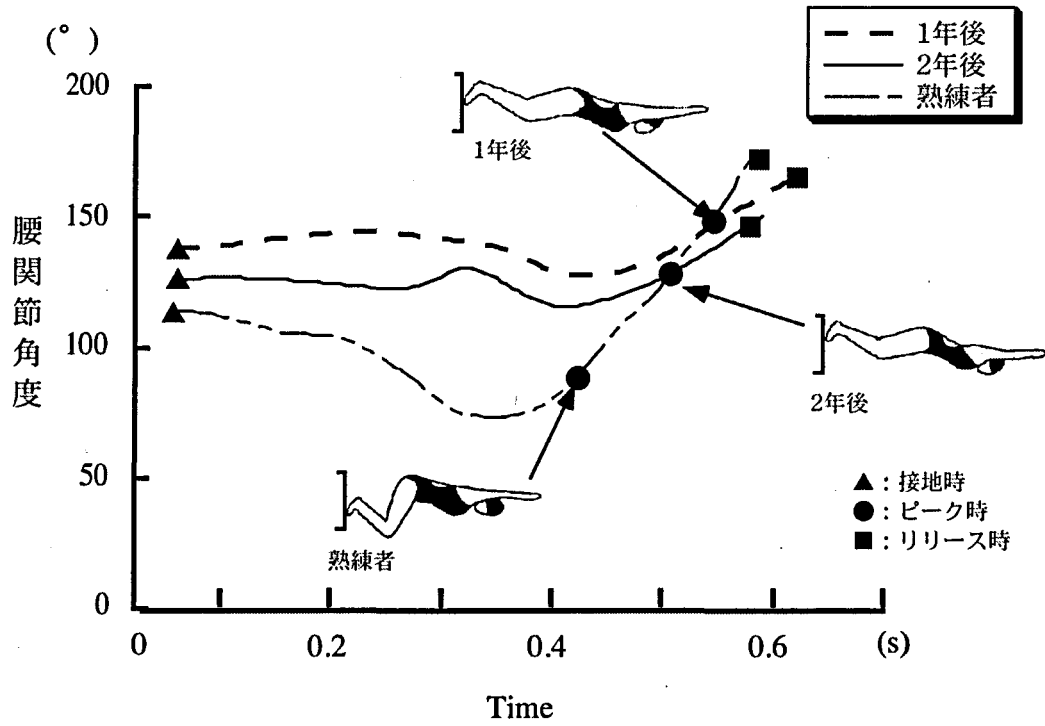


図 4-8 腰関節角度の変化—接地からリリース時まで—

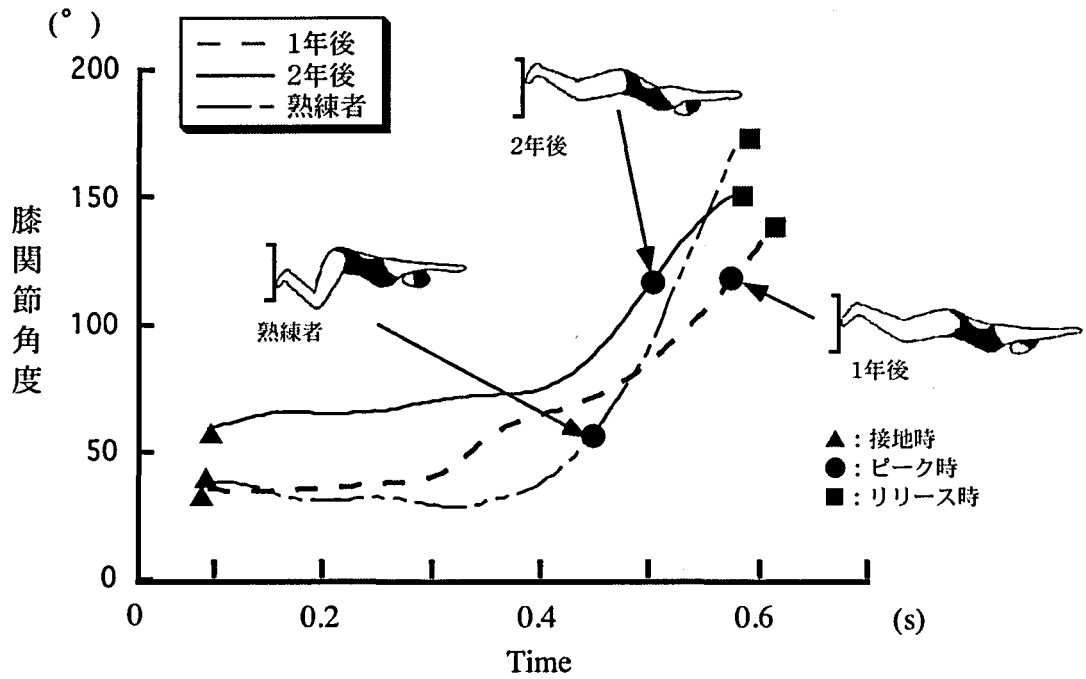


図 4-9 膝関節角度の変化—接地からリリース時まで—

### 第3節 男女初心者のけのび動作における力発揮と認識の変容

#### 1. 緒言

けのびは体を浮かすことや進みやすい姿勢を身につけるため、あるいはスタート及びターン後の水中でのストリームラインを作るために用いられる重要かつ基本的な動作である(高木, 1993; 下永田ら, 1998; 田場ら, 2000)。これまで、けのび動作については、モデルによる解析(土居ら, 1985)、大学生女子初心者の習熟過程(合屋ら, 2000b; Goya et al., 2002)、同男女中等度熟練者(杉浦ら, 2001)、同熟練泳者の性差(杉浦・合屋, 2004)などが報告されている。また、大城ら(2000)は、体育専攻の大学生女子18名を対象として授業の内容にけのびの練習を取り入れた結果、受動抵抗の減少や泳速度の向上に効果がみられたと報告している。しかし、初心者については、大学生女子1名のみを対象としているため、事例研究の域にとどまっている。従って、初心者のけのび動作の実態を明らかにし、練習によるけのび動作の変化や認識の変容を明らかにすることは、水泳指導及びコーチングのための貴重な判断材料となり得る。

一方、牽引による受動抵抗及び自己推進時抵抗についての研究は、従来より数多く報告されてきた(Nomura et al., 1993; 下永田ら, 1998, 1999; 田場ら, 2000)。これは、人体が水中を移動する場合に、最も効率的に推進するにはけのび姿勢(ストリームライン姿勢)での水抵抗が大きな鍵を握っているためである(高木ら, 1997, 高木, 2001)。この場合、牽引によって引っ張られるときの水抵抗である受動抵抗と、泳者が自らの推進力で進む場合の水抵抗である自己推進時抵抗の2つに大別される(下永田ら, 2001)。本研究でのけのび動作は前者の場合に匹敵するが、この動作は、初心者からトップスイマーに至るまで、共に共通した能力評価基準として位置づけることができる(野村, 2004a)。すなわち、この動作ひとつだけ見ればその泳者がどれくらいの技術レベルであるかを一瞬にして見抜けるからである(高木, 2002)。

けのび動作は、水中において足を床から離し、壁を蹴ってから浮き上がるまでの一連の動作である。手先から指先までを真っ直ぐに伸ばすことにより、抵抗を受けにくい流線型の姿勢をつくることができ、泳法を体得する上でも重要な要素となる(土居ら, 1985)。高橋(1983)は、けのび動作の到達距離を長くするためには、リリース後の前面抵抗を小さくすることが有効であると指摘している。また、柴田(1992)は、熟練者と未熟練者にけのび動作を行わせた結果、熟練者はグライド時の身体各部の関節角度が一直線であり、蹴り出し時から蹴り出し後の足関節部の速度が大きく低下しなかったと報告している。このことから、水面を進むグライド姿勢だけでなく、それまでに至る蹴り出し時の動作に着目する必要性が示唆された。同様に、杉浦・合屋(2000)もリリース後のストリームラインのみでなく、壁を蹴るまでの準備動作にも着目する必要性を説いている。しかし、複数名に一定期間の練習を行わせ、その前後のけのび動作やそれに対する気づきの変化を検討し

た研究はほとんど見られない。また、4泳法の練習前後の動作認識の変容について水中運動の動作認識(合屋, 1997)や、実際の動きとのマッチングを解明することの重要性(合屋, 2000a)も指摘されている。

そこで本研究では、大学男子初心者7名及び女子初心者6名を対象とし、けのびの練習によって動きや感覚の気づきなどがどのように変容していくのかを練習前(以降, pre)と練習後(以降, post)の変化を画像解析、力発揮及び質問紙法を用いて検討し、実践的な指導やコーチングの指針を提示することを目的とした。

## 2. 研究方法

被検者は、初心者として競技歴のない大学男子6名(年齢:  $19.9 \pm 1.0$  yrs, 身長:  $172.1 \pm 7.2$  cm, 体重:  $67.3 \pm 9.4$  kg), 女子7名(年齢  $20.4 \pm 1.2$  yrs, 身長  $158.2 \pm 5.6$  cm, 体重  $53.5 \pm 7.8$  kg)を対象とした。本研究の目的や方法などを事前に被検者に十分説明し、実験への参加の同意を得た。また、実施にあたって、被検者の安全や人権擁護に注意を払った。練習の効果を見るためにpre及びpost実験を行った。期間は7日間とした。VTR画像は、Sony社製デジタルビデオカメラ(DCR-TRV20, 60Hz)を用い、被検者の右側方14.5m離れた水中窓から撮影された。表4.5に練習の内容を示した。けのびの練習を主として、その結果が反映される平泳ぎの初歩までとした。練習は、1日1時間とした。また、毎回練習終了時には、ゴムチューブを用いたSprint Assisted Methodでストリームライン姿勢の牽引を行った。基本練習は、平泳ぎの練習を部分練習、全体練習に分けて行った。部分練習は「けのび動作」「上肢動作(プル動作, 呼吸動作)」「肢動作(キック)」であり、全体練習は「コンビネーション」であった。

撮影したVTR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でデジタル化し、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5mライン到達後5フレームまでとした。これは先行研究(合屋・杉浦, 2000)と同一条件であり、比較検討することができるようにするためである。

壁を蹴る力の測定は、自作の水中用フォースプレートを用いた(図4.10)。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8mm)で4個のステンレス鋼製荷重リング(幅30mm, 外径84mm, 厚さ8mm)を挟んだものである。それぞれの荷重リングには、表裏それぞれ2カ所, 合計4カ所に防水ストレインゲージ(共和電業製KFW-5-C1-16L500)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4-11)。けのびによる力発揮の実験試技は各被検者5回とし、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/8s(ADI社製)でAD変換された。ビデオ画像と力発揮のデータの同期は、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、リリース時の重心初速度(以下、初速度)、0.5s時の重心速度、初速度-0.5s時の速度(以下、減速度)、腰関節角度(肩峰点-大転子点-膝関節中点がなす角)、接地からリリースまでの所要時間、ピーク値、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。

アンケート調査は、チェックリストによる泳ぐ動作の認識を高める手法(高橋, 1984)、村川ら(1987)の速く泳ぐことと感覚的言語に関する質問紙法及び競泳4種目のチェックリストによる動作と気づきの質問紙法(合屋, 1997)を参考にして作成された。アンケートはPre及びPost実験にてそれぞれで実施された。アンケートでは、けのび動作を1) 接地局面(7項目): 壁に足が着いた時、2) 準備局面(6項目): 接地から足が離れるまで3) 主要局面(6項目): 足が離れ、ストリームライン姿勢をとるまでの3つの局面に分類した。各局面のアンケート内容を文末に資料として添付した。アンケートの回答方法は下記のとおり、5段階とし主観的に回答させた。

- 「5: はい」→被検者が質問の「内容を理解でき動作ができている」
- 「4: いいえ」→「内容を理解できているが動作できていない」
- 「3: どちらともいえない」→「動作ができるかもしれない」
- 「2: 意味がわからない」→「質問自体を理解できない」
- 「1: 意識したことがない」→「質問の内容は理解できるが、意識したことがない」

測定値はすべて平均値±標準偏差とし、平均値の差の検定には対応のあるt検定を用い、危険率5%以下を有意差ありとした。

### 3. 結果

#### 3.1 けのび動作の変化

男子の到達距離はpreでは $7.50 \pm 0.64\text{m}$ , postでは $8.50 \pm 0.93\text{m}$ , 女子ではそれぞれ, pre $6.9 \pm 0.91\text{m}$ , post $8.1 \pm 1.52\text{m}$ であった。pre, postとの間には、男女ともに有意な差がみられた( $p < 0.05$ )。男子のリリース時の初速度は、preが $2.46 \pm 0.26\text{m/s}$ , postが $2.58 \pm 0.16\text{m/s}$ であり、女子は、preが $2.13 \pm 0.27\text{m/s}$ , postが $2.34 \pm 0.20\text{m/s}$ であった。男女ともにpre, post間に有意な差がみられた( $p < 0.01$ )。男子の0.5s時の速度は、preが $1.74 \pm 0.22\text{m/s}$ , postが

1.88±0.11m/sであった。女子では pre が 1.49±0.15m/s, post が 1.64±0.14m/s であった。男女ともに pre, post 間に有意な差が認められた ( $p<0.01$ )。また, リリース時と 0.5s 時の速度を引いて求めた減速量は男子の pre が 0.72±0.27m/s, post が 0.70±0.19m/s であった。女子は pre が 0.63±0.23m/s, post が 0.70±0.25m/s であった。減速量においては男女ともに有意な差は認められなかった。

図4-12に男子, 図4-13に女子の pre, post における重心移動軌跡(接地時から0.5s時まで)を示した。上段に到達距離が最も伸びた被検者, 下段に伸びなかった被検者をそれぞれ示した。男子の被検者 D.U は, pre より post の方が, リリース時, 0.5s 時ともにより深い位置での移動を行っていた。しかし, 被検者 K.K は, pre と post で比較すると, ほぼ同じ深さの位置を移動していた。女子の被検者 T.M も男子被検者 K.K と同様の傾向であった。しかし, 被検者 S.M は男子被検者 D.U と異なり, post のほうが浅い位置であった。

男子の接地時の腰関節角度は, pre, post それぞれ  $102.5\pm 11.7^\circ$ ,  $76.9\pm 19.1^\circ$  であった。女子は, それぞれ  $118.5\pm 33.6^\circ$ ,  $101.7\pm 32.8^\circ$  であった。男女ともに pre, post 間の腰関節角度に有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。

男子のリリース時の腰関節角度は, pre ( $153.1\pm 3.7^\circ$ ) より post ( $155.5\pm 1.6^\circ$ ) のほうが大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった。また, 女子のリリース時の腰関節角度も pre ( $161.1\pm 7.6^\circ$ ) より post ( $164.9\pm 4.4^\circ$ ) のほうが大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった。

男子の0.5s時の腰関節角度は, pre ( $168.5\pm 4.8^\circ$ ) より post ( $171.9\pm 5.1^\circ$ ) のほうが大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった。また, 女子のリリース時の腰関節角度も pre ( $173.1\pm 4.4^\circ$ ) より post ( $177.4\pm 2.2^\circ$ ) のほうが大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった。

### 3.2 力発揮の変化

図4-14に到達距離が最も伸びた女子被検者 S.M, 図4-15に伸びなかった女子被検者 T.M の力発揮曲線を示した。双方ともに練習後は, ピーク値には大きな変化はなく, 徐々に力を加えてピークを迎えていた。しかし, 力発揮パターンの再現性が増し, 作用時間が長くなる傾向にあった。男子もそれぞれ, 同様な傾向を示した。接地時からリリース時までの男子の所要時間は, pre が  $0.4\pm 0.1s$ , post が  $0.6\pm 0.2s$  であり, pre, post の間に有意な差が認められた ( $p<0.01$ )。女子では pre が  $0.40\pm 0.09s$ , post が  $0.43\pm 0.10s$  であり, pre, post の間に有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。

男子の力発揮のピーク値は, pre が  $1132.1\pm 220.8N$ , post が  $1151.6\pm 210.5N$  と pre, post の間に有意な差は見られなかった。女子では, pre が  $786.9\pm 179.8N$ , post が  $883.2\pm 194.7N$  であり, pre, post の間に有意な差が認められた ( $p<0.01$ )。男子の力積は pre が  $241.4\pm 57.4N\cdot s$ , post が  $261.5\pm 95.1N\cdot s$  であり, pre, post の間に有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。女子

では pre が  $135.0 \pm 30.3 \text{ N} \cdot \text{s}$ , post が  $136.3 \pm 36.6 \text{ N} \cdot \text{s}$  と若干の増加がみられた。pre, post 間の力積には有意な差は認められなかった。

図 4-16 に、女子の力積と到達距離 (pre) の関係を示した。その結果、有意な相関関係が認められ、同様に、post では  $r=0.68$  ( $p<0.01$ )  $Y=16.3X+4.5$  と、到達距離が大きいほど力積も大きかった。男子の力積と到達距離 (pre) では  $r=0.62$  ( $p<0.01$ )  $Y=26.4X+23.6$ , 及び post では  $r=0.64$  ( $p<0.01$ )  $Y=24.5X+19.8$  と有意な相関がみられ、女子と同じ結果を示した。

### 3.3 動作認識の変化

表 4-6 に男子の、表 4-7 に女子の練習前後のアンケート結果を示した。本研究では、アンケートの回答を「はい」と答えた場合、「内容を理解でき動作ができる」とし、「いいえ」と答えた場合、「内容を理解できているが動作ができない」とした。また、「どちらともいえない」と答えた場合、「動作ができるかもしれない」とした。以上の様に、質問に対する回答が明確に「はい」、「いいえ」と答えた場合と、明確ではないがどちらか一方であると答えている場合を「わかる」と解釈した。その結果、男子の練習前後の認識の変化は、図 4-17 に示した。男子の pre では、「わかる」の構成比が 79%であったのに対して、post では 100%となった。また、「できる」との構成比が pre では 46%であったのに対して、post では 75%と全体的に認識の度合いが高まった。同様に、女子では「わかる」が 55.6%から 82.7%、「できる」が 20.3%から 42.9%へと変化した。男子に比べ若干、低値を示したが、認識の高まりがみられた。図 4-18 に、女子の変化が大きかった項目、すなわち全員が「わかる」と答え、「意味がわからない」、「意識したことがない」に答えていない項目をまとめた。その内容としては、接地局面の「壁を蹴るために「ため」をつくることができるか」、準備局面の「肩で耳を挟むようにしているか」、主要局面の「膝が曲がっていないか」、「顎が出ていないか」の 4 項目であった。それに対して、男子ではすべての項目において「わかる」と答えていた。また、「どちらでもない」と答えた項目が少なく、「いいえ」と答えた項目がほとんどみられず、「はい」が非常に多かった。

## 4. 考察

### 4.1 けのび動作の変化

けのび動作の目的は、プールの壁を蹴ることにより大きな推進力を得て、遠くへ、速く進むことであり、7m 以上進むことができれば、水中で進む感覚を習得することができるといわれている (高橋, 1984)。合屋ら (2004) によれば、初心者からトップスイマーまでの到達距離はおよそ 6~12m であり、ほぼ 2m 刻みで 3 段階、1m 刻みで 5 段階の評価基準として実践の場に提供できるとしている。また、杉浦ら (2004) によれば、男子中等度熟練者は 9.4m、同じく女子は 12.0m であったと報告されている。本研究の結果、男子では 7.5m~8.5m、女子では 6.9m~8.1m と双方ともに練習によって有意に増加した。これは、従

来までの研究報告と比較すると、おおよそ初心者の上位レベルから中級者の下位レベルに変化したことがうかがえる。

次に、重心移動速度について Takahashi et al (1983) は、男子エリートスイマーのけのびによるリリース後の初速は、2.87~3.07m/s、大学男子初心者は2.67~2.80m/sであり、リリース時から1.0s時まで大きく減少し、その後はゆるやかに減少し、進む距離は約10m (20.0s)に及ぶと報告している。また、大学熟練泳者では男子が2.91m/s、女子が2.67m/s (杉浦ら, 2004)、大学初心者女子1名の練習では2.32~2.70m/sであったと報告されている (合屋・杉浦, 2000b)。本研究では、男子ではpreが $2.46 \pm 0.26$ m/s、postが $2.58 \pm 0.16$ m/sであり、女子は、preが $2.13 \pm 0.27$ m/s、postが $2.34 \pm 0.20$ m/sであった。このことから、いずれの技能レベルにおいても熟練者、女子よりも男子の値が上回っていることがわかる。Blanksby (1999) の報告によれば、オリンピック選手のターン局面の速度はおおよそ2.5m/sであったことから、初心者のけのびによる初速度はターン局面の速度と同程度であることが明らかになった。

一方、到達距離、リリース時の初速度は男女ともに有意に増加したが、到達距離の差が最も小さかった男子K.Kはpreが7.2m、postが7.2mとまったく変化がなかった。同様に、女子T.Mはpreが6.4m、postが6.9mとその差0.5mであった。そこで、到達距離の最も伸びた被検者と、最も伸びなかった被検者のリリース時及び0.5s時の重心移動速度の差、すなわち減速量に着目した。減速量をみると、最も伸びた男子D.Uの減速量は、preが0.78m/s、postが0.58m/s、女子S.M.はpreが0.93m/s、postが0.62m/s、とpostの方の減速量が小さくなっているのに対し、最も伸びなかった男子K.Kの減速量はpreが0.85m/s、postが0.81m/s、また、女子T.Mの減速量はpreが0.35m/s、postが0.32m/sと、pre、postにあまり変化がみられなかった。柴田 (1992) によれば、熟練者、未熟練者の身体各部の速度を時系列で比較した結果、熟練者に大きな低下は見られなかったが、未熟練者の速度は大きく低下したことを認めている。従って、本研究で到達距離が伸びた被検者は、postで減速量が小さくなったことから、練習によって重心速度の低下をおさえることができたと考えられる。このことから、壁を蹴った後の速度をいかに落とさないで推進することが重要であるかが確認できた。

この時の重心移動軌跡をそれぞれ図3、図4に示した。その結果、男子D.Uは、preよりpostの方が、リリース時、0.5s時ともに、より深い位置 (おおよそ0.30m付近) での移動を行っていた。しかし、K.Kは、preとpostで比較すると、ほぼ同じ深さ (おおよそ0.20m付近) の位置を移動していた。女子の被検者T.Mも男子被検者K.Kと同様の傾向であった。女子では若干その差が明らかではなかったが、ほとんどの被検者が水深0.30~0.40m付近での移動を行っていた。Lytle et al. (1999) は、秒速1.9mを越える牽引によるグライドで最も抵抗を少なくできるのは、0.4mから0.6mの深さであると報告している。また、オリンピック選手のターン局面での水深は0.35~0.45mが最適であり (Blanksby, 1999; Takagi et



al., 2000), 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, 水面近傍よりも水深 0.45m の方が小さかったとの報告 (Shimizu et al., 1997) より, このあたりの深さ (0.30~0.40m) が潜行する場合の最適値であることが示唆された (合屋ら, 2004, 2006a).

壁を蹴った後の速度をいかに落とさずに推進するかは, 言い換えれば, いかに抵抗の少ない姿勢を作れるかである. そこで, 接地時, リリース時の腰関節角度の変化をみてみた. 男子の接地時の腰関節角度は, pre が  $102.5 \pm 11.7^\circ$ , post が  $76.9 \pm 19.1^\circ$  であった. 女子は, それぞれ  $118.5 \pm 33.6^\circ$ ,  $101.7 \pm 32.8^\circ$  であり, 共に pre, post 間に有意な差がみられた. リリース時は, 男子 pre が  $153.1 \pm 3.7^\circ$ , post が  $155.5 \pm 1.6^\circ$ , 女子 pre が  $161.1 \pm 7.6^\circ$ , post が  $164.9 \pm 4.4^\circ$  と post の方が大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった. 同様に, 0.5s 時の腰関節角度は, 男子 pre が  $168.5 \pm 4.8^\circ$ , post が  $171.9 \pm 5.1^\circ$ , 女子 pre が  $173.1 \pm 4.4^\circ$ , post が  $177.4 \pm 2.2^\circ$  と post の方が大きくなる傾向がみられたが, 有意差はみられなかった. 以上のことから, 男女ともに接地時に腰関節角度が練習前よりも深く曲げられるようになり, 脚伸展力を高めることに貢献していると思われた (土居ら, 1985). また, リリース後及び 0.5s 時には有意差はみられなかったが, より水平姿勢に近づける傾向がみられたことから, 壁を蹴った後の重心移動速度の減速量を抑える結果につながったと思われた. これは, 熟練者 (杉浦・合屋, 2004) や, トップスイマー (合屋ら, 2006a) が 180 度近くであることから推察できる.

## 4.2 力発揮の変化

けのびによる力発揮は, 男女ともに練習後はピーク値に有意な変化はなく, 徐々に力を加えてピークを迎えていた. しかし, 力発揮パターンの再現性が増し, 所要時間は有意に増加した (図 4-14, 図 4-15). 男子エリートスイマーの所要時間は 0.38~0.41s, 同初心者では 0.31~0.45s (Takahashi et al., 1983), また, 男子熟練者では  $0.58 \pm 0.12s$ , 女子熟練者では  $0.47 \pm 0.07s$  (杉浦・合屋, 2004), 女子初心者 1 名では 0.61s であったと報告されている (合屋・杉浦, 2000b). 本研究の結果, 男子 pre が  $0.4 \pm 0.1s$ , post が  $0.6 \pm 0.2s$  であり, 女子 pre が  $0.40 \pm 0.09s$ , post が  $0.43 \pm 0.10s$  と, pre, post の間に有意な差が認められた. 以上のことから, 男子は女子に比べ所要時間が短く, 男女初心者は練習によって所要時間を増大させていた. また, 初心者から熟練者にかけて所要時間は長くなり, 熟練者からエリートスイマーにかけて所要時間は短くなることが伺われた.

一方, 到達距離と力積との間には男女ともに練習前後に有意な相関がみられた. したがって, 力積を大きくすることがけのびの到達距離を増大させることにつながる. ここで, 力積は力×時間であることから, ピーク値に有意差がなかった初心者の力積の増大は, 主に所要時間を大きくすることによって獲得していることが明らかになった. したがって, 初心者の到達距離を増大させるためには, 接地してからリリースするまでの所要時間を大きくすることにポイントを置く指導が大切であろう. しかし, 力発揮は大きさや所要時間

のみでなく、蹴る方向によっても決定されるため、今後は接地位置と合わせて重心の投射角度を検討することが課題として残された。

### 4.3 認識の変化

マイネル (1981), 天野 (1987), 金子 (1988) は, 体育学習では, よい動作が「できる」だけでは十分でなく, 意識的, 意図的な認識「わかる」が必要であるが, 技能習得の過程では意識面での理解と, 動作との合理性が必ずしも一致していないことを報告している。しかし, 結城 (1999) による感覚的事実からの気づきや阿江 (1999) による選手の内的状態を読み取る洞察力の必要性を見逃すことはできない。さらに, 星野 (1997) はこれらの研究手法として学際的, 総合科学的なアプローチの必要性を説いている。動作認識に関する先行研究は, 水泳では, 一般学生における4泳法の練習前後の動作認識の変容 (合屋, 1997), 及び速く泳ぐための感覚的言語の検討 (村川ら 1987) などが報告されている。また, 実際の動きと画像解析とをマッチングさせて解明することの重要性 (合屋, 2000a) も指摘されている。

本研究では, けのび動作の認識及び習熟の度合いが練習でどのように変容しているかに着目した。その結果, 男子の pre では, 「わかる」が79%であったのに対して, post では100%となった。また, pre では「できる」が46%であったのに対して, post では75%と全体的に習熟の度合いが高まった。同様に, 女子では「わかる」が55.6%から82.7%, 「できる」が20.3%から42.9%へと変化した。男子に比べ若干, 低値を示し, 認識及び習熟の度合いに性差が存在することが伺われた。同様に, 全員が「わかる」と答えた項目をまとめた結果, 女子では4項目のみであったのが, 男子ではすべての項目に対して「わかる」と答えていたことから認識に対する評価に性差が存在すると思われた。従って, コーチングや指導の場面ではこれらのことを考慮して動作改善やアドバイスをすべきであろう。一方, 男子6名全員がpostで「はい」と答えた項目は, 準備局面の「壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか」と, 主要局面の「腰が落ちたり, 出たりしていないか」の2項目であった。女子では全員が「わかる」と答え, 「意味がわからない」, 「意識したことがない」に答えていない項目をまとめると, 準備局面の「肩で耳を挟むようにしているか」, 接地局面の「壁を蹴るために「ため」をつくることができるか」, 主要局面の「膝が曲がっていないか」, 「顎が出ていないか」となった。このことから, 壁を蹴る前の姿勢や, 蹴る時のいわゆる「ため動作」及び抵抗を少なくするストリームライン姿勢を強く意識する重要性が示唆された。これは田場ら (2000), 下永田ら (1998, 1999), 大城ら (2000) による動作分析の結果を動作認識のレベルでも支持するものである。

## 5. 結論

本研究は, 大学男女初心者13名を対象とし, けのびの練習前後の動き, 力発揮及び感覚

の気づきなどがどのように変容していくのかを明らかにすることを目的とした。結果は以下のようにまとめることができた。

- 1) けのびによる到達距離は男子 pre が  $7.50 \pm 0.64\text{m}$  から  $8.50 \pm 0.93\text{m}$ 、女子 pre が  $6.9 \pm 0.91\text{m}$  から  $8.1 \pm 1.52\text{m}$  と有意に増加した。初速度は、男子 pre が  $2.46 \pm 0.26\text{m/s}$  から  $2.58 \pm 0.16\text{m/s}$ 、女子 pre が  $2.13 \pm 0.27\text{m/s}$  から  $2.34 \pm 0.20\text{m/s}$  と有意に増大した。
- 2) 到達距離が最も大きかった男女の被検者は、リリース時と 0.5s 時の重心移動速度の差を少なくし、水深 30cm~40cm 付近を潜行していた。
- 3) 接地時の腰関節角度は pre よりも post の方が小さくなり、0.5s 時の腰関節角度は、pre よりも post の方が大きくなる傾向がみられた。すなわち、練習後は腰を深く曲げて接地し、壁を蹴った後にストリームライン姿勢をとって、重心移動速度の低下を抑えていると思われた。
- 4) 壁を蹴ってからリリースするまでの所要時間は、男女ともに pre より post の方が有意に増加した。また、到達距離と力積との間には、男女ともに練習前後に有意な相関がみられた。従って、初心者は所要時間を長くすることによって、到達距離を増大させていることがわかった。
- 5) けのびの練習後、認識の「わかる」及び習熟の「できる」の構成比は、男女ともに全体的に度合いが高まった。特に、変化が大きかった項目は、男子では、準備局面の「壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか」と、主要局面の「腰が落ちたり、出たりしていないか」、女子では、準備局面の「肩で耳を挟むようにしているか」、接地局面の「壁を蹴るために「ため」をつくることができるか」、主要局面の「膝が曲がっていないか」、「顎が出ていないか」となった。

以上のことから、男女初心者の練習によるけのび動作の上達は、1) 壁を蹴る時間を長くする、2) 力積を大きくする、3) 接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、重心移動速度を大きくする、4) 水深 0.3~0.4m の潜行によって達成されることがわかった。また、壁を蹴る前の姿勢や、蹴る時の「ため動作」及び抵抗を少なくする姿勢を意識するようになった。

#### アンケート内容一覧

##### 1) 接地局面

- 1 離地時から接地時まで水を押さえ体を水平にしているか。
- 2 両足の接地位置は、肩幅より開いていないか。
- 3 両足の接地位置は、高さが同じか。
- 4 膝が開いていないか。

- 5 壁を蹴るために「ため」をつくることができるか。
- 6 上体と腰が安定しているか。
- 7 肩で耳を挟むようにしているか。

2) 準備局面

- 1 膝が開いていないか。
- 2 壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか。
- 3 上体と腰が安定しているか。
- 4 肩で耳を挟むようにしているか。
- 5 腰と首の力は抜けているか。
- 6 腰が落ちたり、出たりしていないか。

3) 主要局面

- 1 上体と腰が安定しているか。
- 2 腰と首の力は抜けているか。
- 3 腰が落ちたり、出たりしていないか。
- 4 膝が曲がっていないか。
- 5 顎が出ていないか。
- 6 肩で耳を挟むようにしているか。



図 4-10 けのびと力発揮の測定

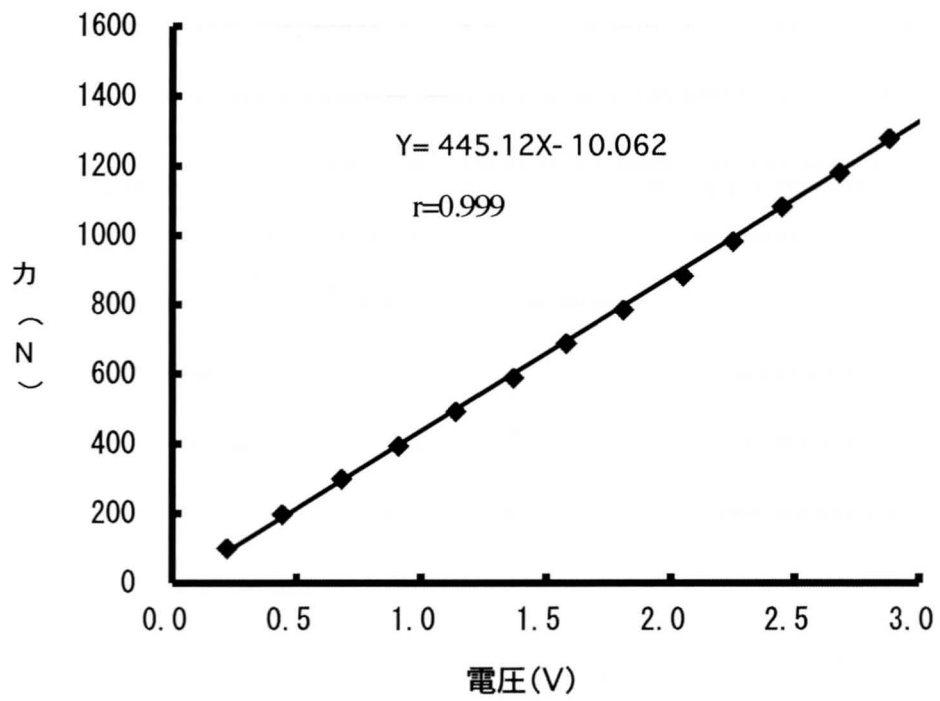


図 4-11 フォースプレートのキャリブレーション

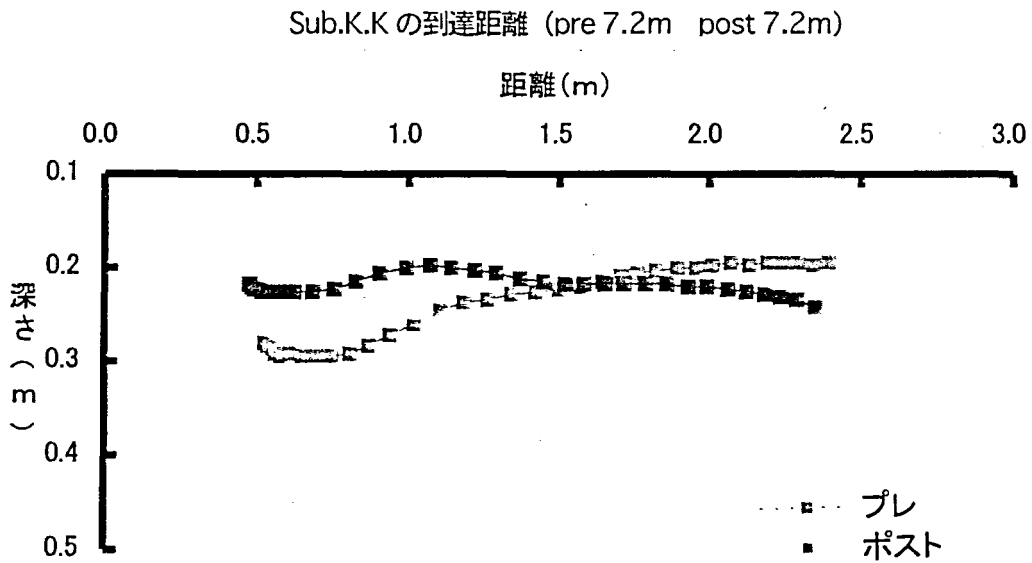
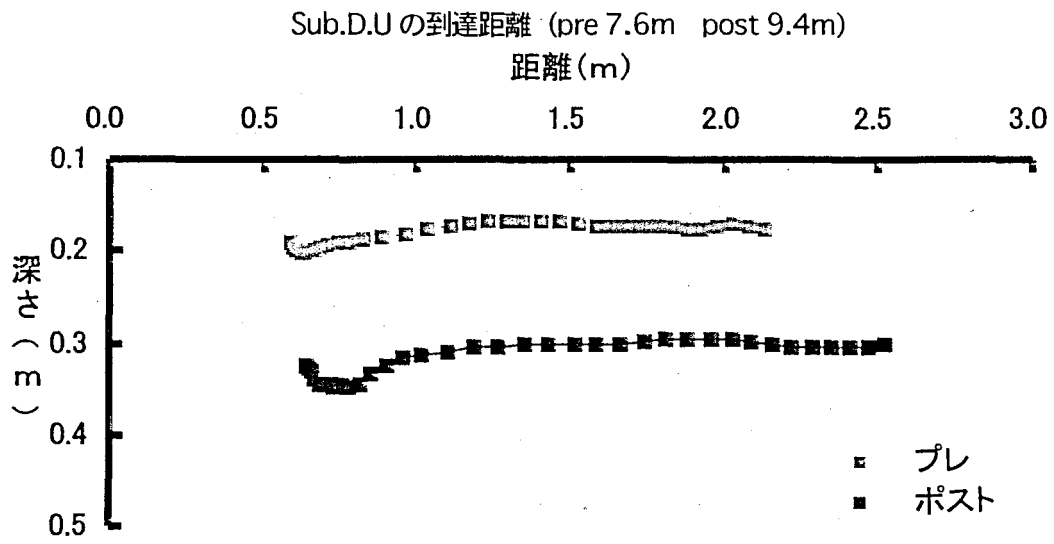


図4-12 男子の重心移動軌跡(接地時から0.5s時)

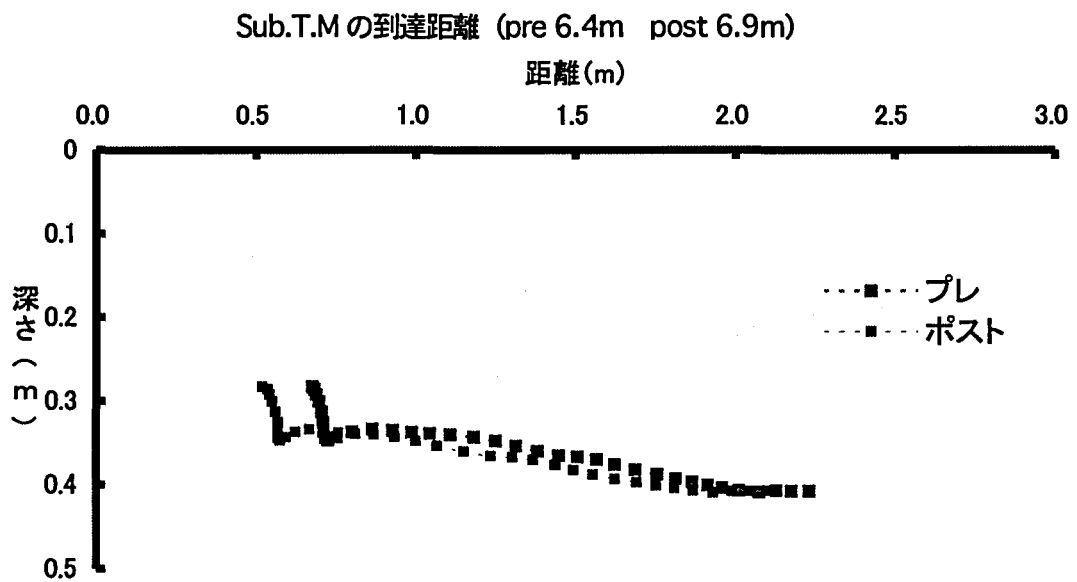
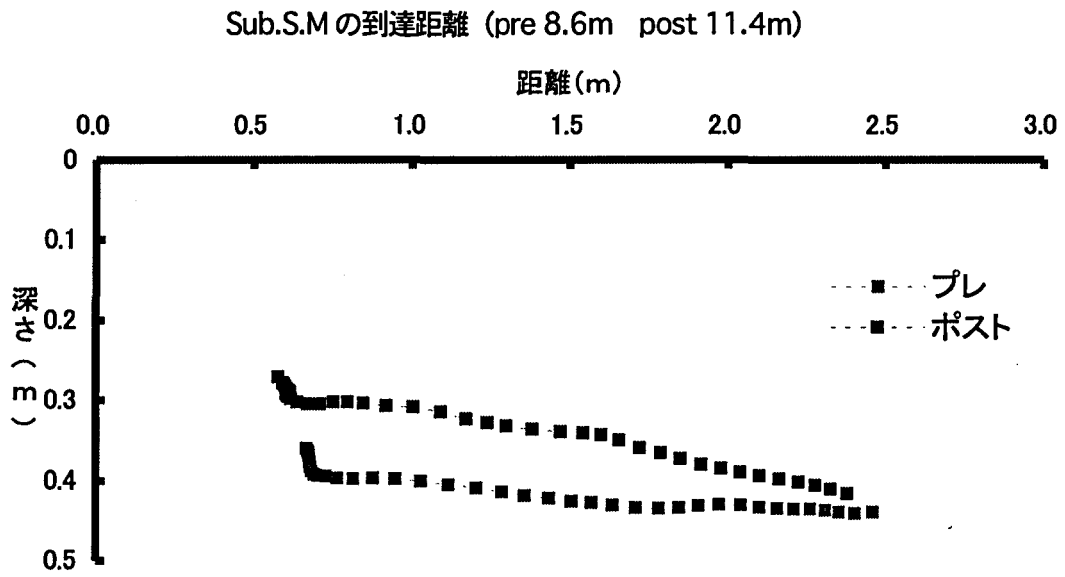


図4-13 女子の重心移動軌跡(接地時から0.5s時)

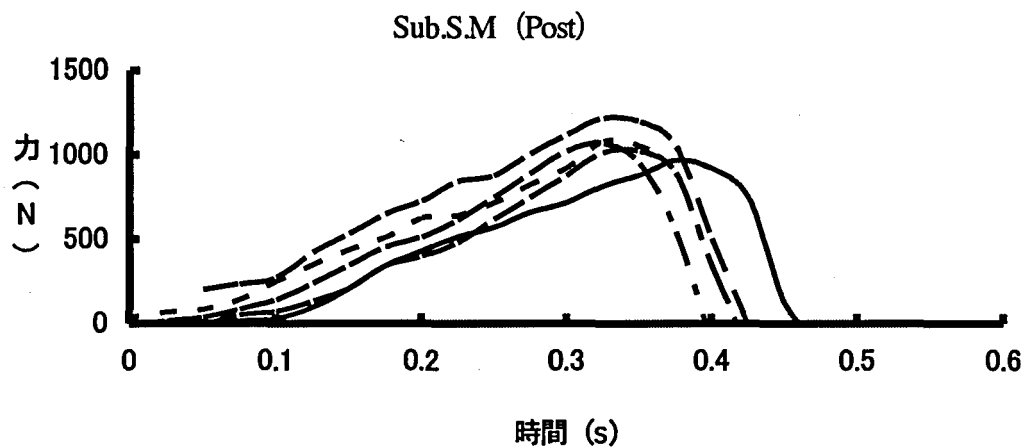
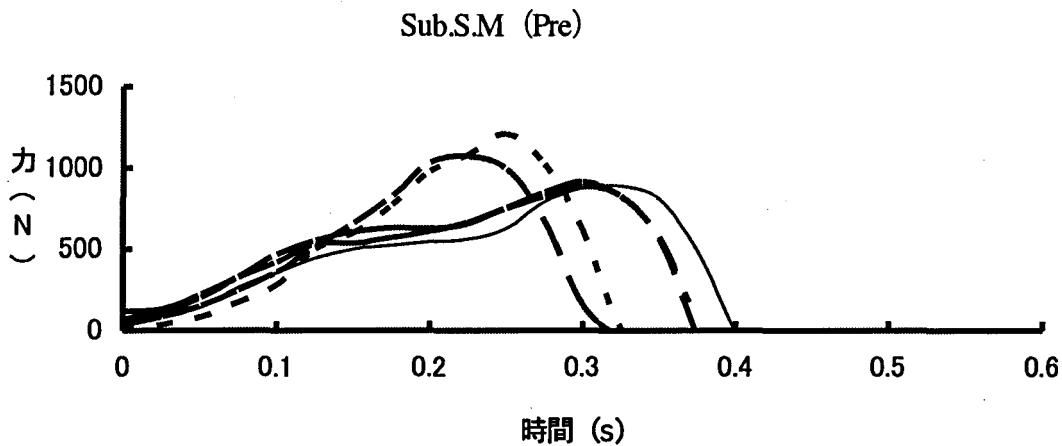


図5 到達距離が最も伸びた被検者 S.M



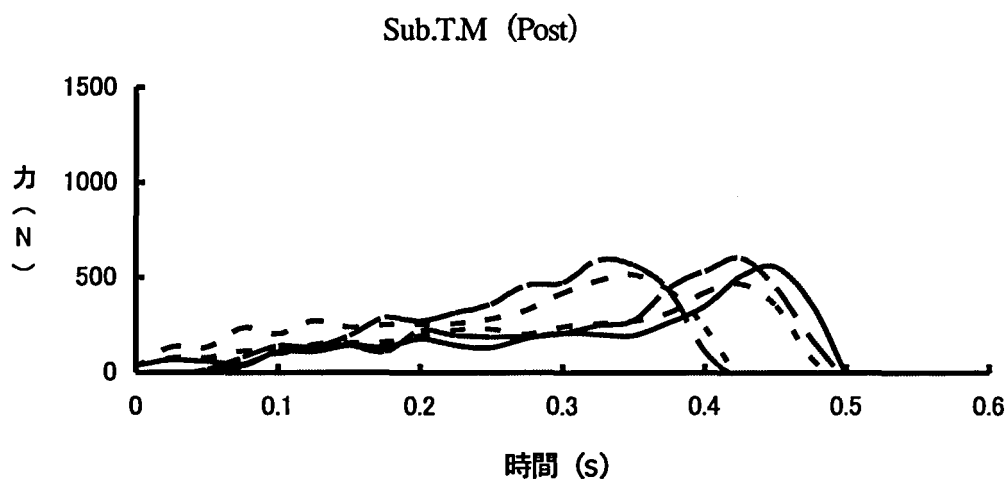
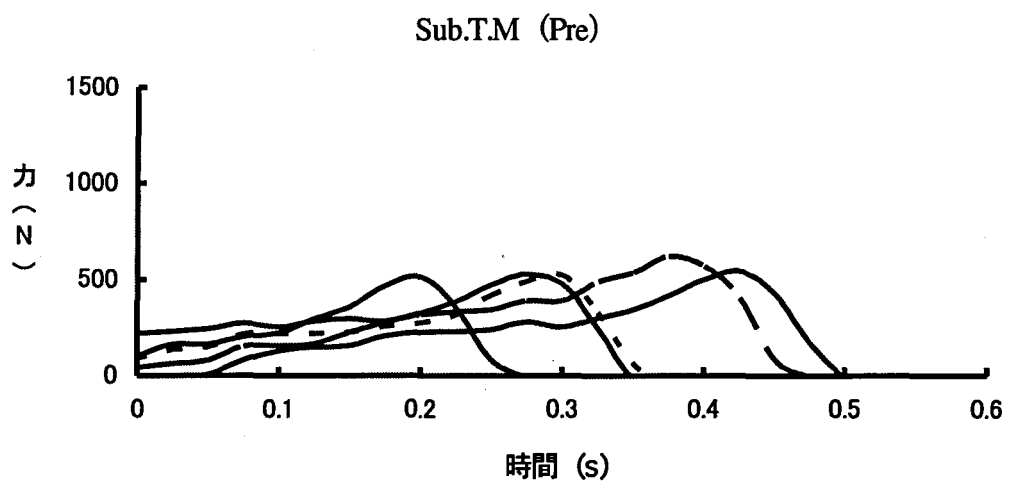


図 4-15 到達距離が伸びなかった被検者 T.M

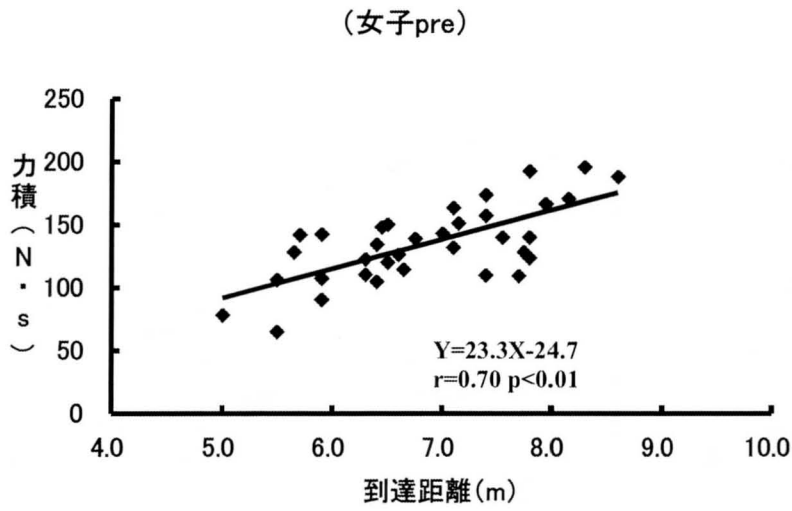


図 4-16 到達距離と力積

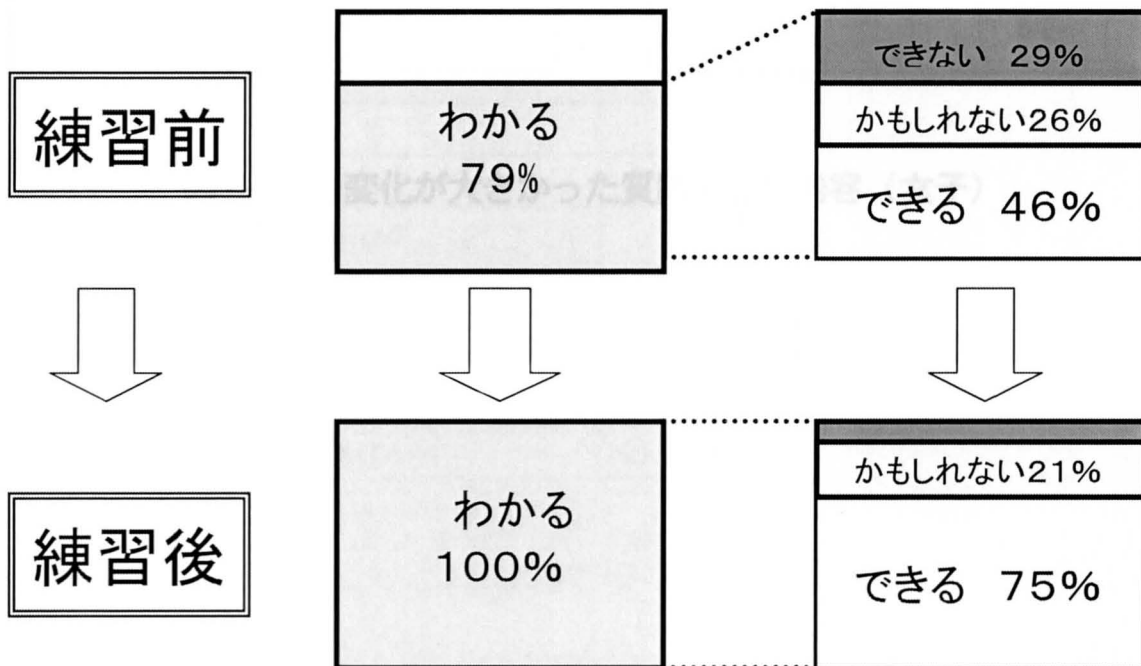


図 4-17 男子の認識の変化

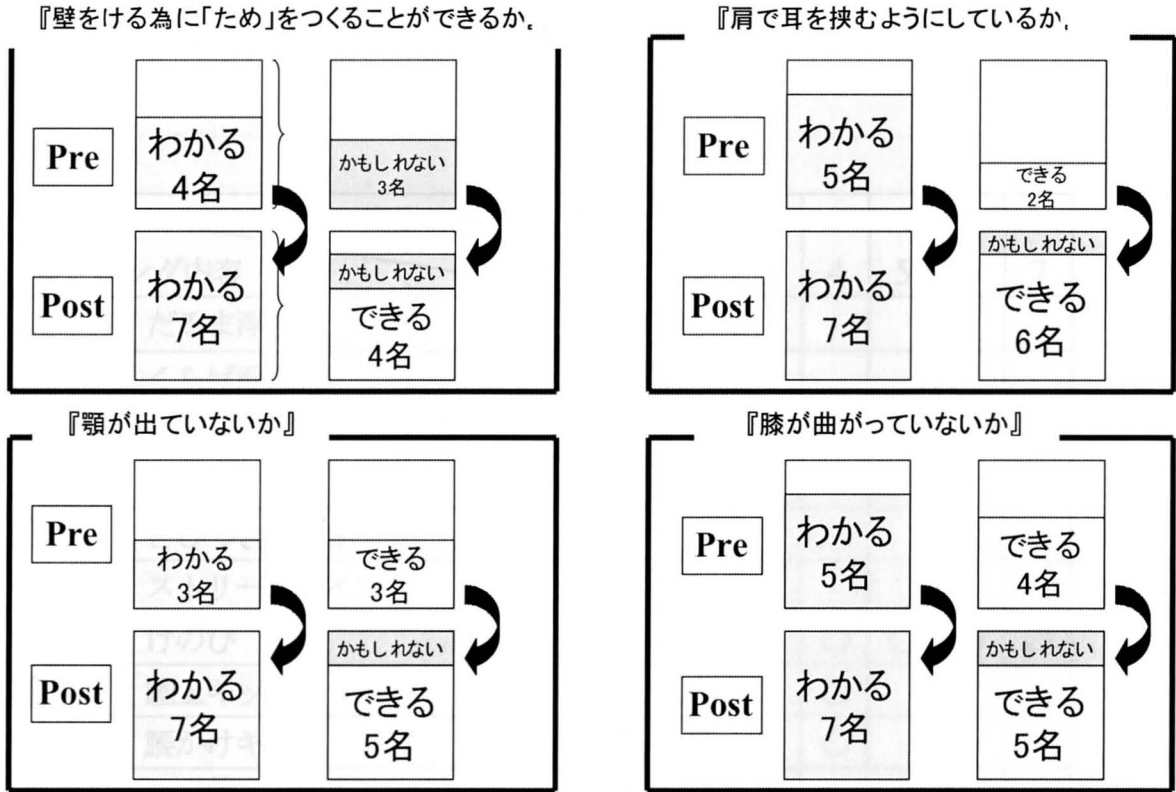


図 4-18 変化が大きかった質問項目の内容 (女子)

表4-5 練習内容

トレーニング内容		実施日数						
		1	2	3	4	5	6	7
水慣れ	・ だるま浮き	○						
	・ くらげ浮き	○						
	・ 伏し浮き	○						
	・ 背浮き	○						
	・ とびつきけのび	○						
	・ ストリームライン	○						
	・ けのび	○	○	○	○	○	○	○
平泳ぎキック	・ 陸上キック		○	○	○			
	・ 腰かけキック		○	○	○			
	・ 壁つきキック		○	○	○	○	○	○
	・ 板キック			○	○	○	○	○
	・ 板つき上向きキック					○	○	○
	・ 板なし上向きキック					○	○	○
平泳ぎ	・ 歩行しながらプル				○	○	○	○
	・ スイム					○	○	○
	・ チューブによるけん引	○	○	○	○	○	○	○

表 4-6 男子アンケート結果

質問項目	Pre					Post				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
<b>準備局面</b>										
1 膝が開いていないか。	2	1	1	0	2	5	0	1	0	0
2 壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか。	3	0	2	0	1	6	0	0	0	0
3 上体と腰が安定しているか。	0	3	2	0	1	5	0	1	0	0
4 肩で耳を挟むようにしているか。	2	2	2	0	0	5	0	1	0	0
5 腰と首の力は抜けているか。	1	2	1	0	2	3	1	2	0	0
6 腰が落ちたり、出たりしていないか。	1	2	2	0	1	4	1	1	0	0
<b>接地時</b>										
1 離地時から接地時まで水を押さえ体を水平にしているか。	2	0	2	1	1	4	0	2	0	0
2 両足の接地位置は、肩幅より開いていないか。	3	0	1	0	2	4	0	2	0	0
3 両足の接地位置は、高さが同じか。	3	0	2	1	0	4	0	2	0	0
4 膝が開いていないか。	4	0	0	0	2	5	0	1	0	0
5 壁を蹴るために「ため」をつくることができるか。	3	1	1	0	1	5	0	1	0	0
6 上体と腰が安定しているか。	1	2	2	0	1	5	0	1	0	0
7 肩で耳を挟むようにしているか。	2	2	2	0	0	5	0	1	0	0
<b>主要局面</b>										
1 上体と腰が安定しているか。	2	3	0	0	1	3	1	2	0	0
2 腰と首の力は抜けているか。	1	4	0	0	1	5	0	1	0	0
3 腰が落ちたり、出たりしていないか。	1	2	2	0	1	6	0	0	0	0
4 膝が曲がっていないか。	3	1	0	0	2	4	1	1	0	0
5 顎が出ていないか。	3	1	0	0	2	3	0	3	0	0
6 肩で耳を挟むようにしているか。	4	0	1	0	1	5	0	1	0	0

\*表の数字は、回答人数(x/7)

表4-7 女子アンケート結果

質問項目	Pre					Post				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
<b>準備局面</b>										
1 膝が開いていないか。	2	4	0	0	1	2	1	3	0	1
2 壁を蹴るときに全身が水の中に入っているか。	4	1	1	0	1	4	2	0	0	1
3 上体と腰が安定しているか。	0	2	3	0	2	2	1	4	0	0
4 肩で耳を挟むようにしているか。	2	3	0	0	2	6	0	1	0	0
5 腰と首の力は抜けているか。	0	3	2	0	2	0	1	4	0	2
6 腰が落ちたり、出たりしていないか。	1	2	1	0	3	1	1	3	0	2
<b>接地時</b>										
1 離地時から接地時まで水を押さえ体を水平にしているか。	2	0	1	0	4	2	0	4	0	1
2 両足の接地位置は、肩幅より開いていないか。	2	1	0	1	3	4	0	0	0	3
3 両足の接地位置は、高さが同じか。	1	1	1	0	4	2	0	3	0	2
4 膝が開いていないか。	1	1	1	0	4	3	0	2	0	2
5 壁を蹴るために「ため」をつることができるか。	0	0	3	0	4	4	1	2	0	0
6 上体と腰が安定しているか。	0	1	3	0	3	1	0	5	0	1
7 肩で耳を挟むようにしているか。	2	1	1	0	3	6	0	0	0	1
<b>主要局面</b>										
1 上体と腰が安定しているか。	0	1	2	0	4	1	0	5	0	1
2 腰と首の力は抜けているか。	0	2	1	0	4	2	1	1	0	3
3 腰が落ちたり、出たりしていないか。	1	1	0	0	5	1	1	3	0	2
4 膝が曲がっていないか。	4	0	1	0	2	5	0	2	0	0
5 顎が出ていないか。	3	0	0	0	4	5	0	2	0	0
6 肩で耳を挟むようにしているか。	2	1	1	0	3	6	0	0	0	1

\*表の数字は、回答人数(x/7)

## 第4節 総合考察

初心者を対象に、けのびの練習を一定期間練習させた場合、上達していく過程で何が変わるのかを画像と力発揮、動作認識などの視点から、縦断的に検討した。

第1節では、初心者1名を対象として一定期間けのび動作の練習（週3回、1回2時間を5週間）の変化を、第2節では、初心者1名の練習後2年間におけるけのび動作の動きや感覚への気づきの変化を動作解析と質問紙による追跡調査の両面から追跡した。その結果、重心速度、壁を蹴る時間の増大、投射角度が水平に近づくなどの効果がみられたが、接地時の腰・膝関節の屈曲が十分でなく、力発揮が接地から一旦、体重と同程度の横這いとなる「ため」動作がみられなかった。このことから、土居ら（1985）、高橋（1983）が指摘するように、壁を蹴るときに十分な「ため」動作の重要性が認められた。

第3節では、大学男子初心者6名、女子7名を対象としてけのびの練習（1日1時間を7日間）を行わせ、その前後の動き、力発揮及び感覚の気づきなどがどのように変容していくのかを明らかにすることを目的とした。その結果、壁を蹴る時間は、男女ともに有意に増大し、到達距離と力積との間には有意な相関がみられた。このことから、初心者は壁を蹴る時間を長くし、力積を大きくして到達距離の増大を図っていることが明らかになった。しかし、初心者、熟練者及びエリート選手男女全体では、到達距離と力積に有意な相関がみられなかった（第3章）。従って、力積が大きくても必ずしも到達距離の増大に結びつかないと考えられた。

一方、アンケートによるけのび動作に対する認識では、推進力に関わる手や足の「動き」は比較的容易であるが、「腰と首の力が抜けているか」「腰が落ちたり、出たりしていないか」など、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいようであった。また、けのびの練習後、準備局面の「壁を蹴るときに全身が水の中に入っている」、接地局面の「壁を蹴る「ため」をつくることができる」、主要局面の「膝が曲がっていない」などを認識できるようになった。

以上のことから、男女初心者の練習によるけのび動作の上達及び効果は、1) 壁を蹴る時間を長くする、2) 力積を大きくする、3) 接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、4) 重心移動速度を大きくすることによって達成されることがわかった。しかし、男女全体では力積と到達距離の間に有意な相関が見られなかったことから、力積が大きくても必ずしも到達距離の増大に結びつかないことが示唆された。

## 第5章 各種ターン動作の巧拙と力発揮

### 第1節 クロールフリップターン動作と力発揮の習熟過程

#### 1. 緒言

水泳のターンに関する研究はスタートやストローク分析に関する研究に比較して希有である (Nicol and Kruger, 1979; 土居ら, 1983, 1985; Chow and Hay, 1984; Hueelhorst et al., 1988). この理由としては, 1) ターンが泳ぎの技術という範疇に入りにくく, 研究者や指導者及び競技者の興味をひきにくいこと, 2) ターンの構成に関する共通理解が得られるような解釈がなされていないことなどが考えられる (高橋ら, 1983). また, 水泳の基本動作「けのび」の発展系であるターン動作は, 壁を蹴った後の姿勢の良し悪しによって時間の短縮や, その後の泳ぎに大きく影響する.

一方, これまでのバイオメカニクスの研究は, 競技スポーツの熟練者と一般の未熟練者を比較検討する記述的なものがほとんどであり, 習熟過程を追跡した実験的な研究は皆無である. そこで本研究ではクロール泳のターン動作の習熟過程を明らかにするために, 大学生女子の未熟練者1名にフリップターン (いわゆるクイックターン) を約1ヶ月間トレーニングさせた. そのトレーニング前, 中, 後の動作をハイスピードビデオシステムを用いて撮影, 分析し, 泳フォームの変化と重心の移動軌跡を求めた. 同時に, 水中フォースプレートを用いて壁を蹴った時の電気信号を記録し, 練習によるターン動作及び力発揮の様相がどのように変化していくのかを, けのび姿勢との関連や泳法指導の観点から検討することを目的とした.

#### 2. 研究方法

被検者は大学女子1名 (20歳) であり, 身長152cm, 体重50kg, 競泳の競技歴は2年と4カ月であった. また, 比較の対象として熟練者 (大学生水泳部女子: 21歳) 1名も被検者とした. 壁を蹴る力の測定は, 水中用フォースプレート (ストレインゲージ式: 防水ゲージ使用) を自作し, フックでプールの壁に設置した. 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8mm) で4個のステンレス鋼製荷重リング (幅30mm, 外径84mm, 厚さ8mm) 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 (共和電業製 KFW-5-C1-16 L500) 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. 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) で増幅し, MacLab 8s (ADI社製) でAD変換し, Apple Computer (LC630) に入力した. 映像は nac 社製ハイス



ピードビデオシステム HSV-400 (200fps) で水上の動きと水中観察窓からの水中の動きを同時に毎秒200コマで撮影した。この時、フォースプレートからの電気信号と映像を付属のウェーブインサーター (nac 社製 HSV-400 組み込み) により同期した (図5-1を参照)。被検者には肩, 肘, 手関節及び腰, 膝, 大転子にリファレンスマークをつけ, 映像分析のマーカースとした。VTR 映像から, 全身23点の座標を nac 社製映像解析システムにより, 0.025s おきの軌跡及び速度変化を算出した。

練習期間は2日に1回, 1日1時間, 計11回であった。練習内容は, おおよそ3段階に分け, 回転準備, 回転動作, プッシュオフの順に組み合わせて行った。

実験は, 練習前, 練習期間中, 練習後の3回行った。被検者に壁前10mよりフリップターンを10回行わせ, 映像撮影と衝撃の記録はTurn-in 5m と Turn-out 5m の計10m (以下10mターン区間) の範囲をカバーした。10mターン区間を次の5つの局面に分け, 頭の先端が各地点を通過した時間を割り出した。

#### 〈ターン準備期〉

ターン前5mからターン前3mまで

#### 〈ターン開始期〉

ターン前3mから足先が壁に着地するまで

#### 〈ドライブ期〉

足先が壁に着地してから離れるまで

#### 〈グライド期〉

足先が壁から離れてからターン後3mまで

#### 〈ストローク開始期〉

ターン後3mから5mまで

### 3. 結果

#### 3.1 ターン動作の所要時間

図5-2に被検者A.Kの10mターン区間における練習前, 練習期間中, 練習後の所要時間の平均と標準偏差及び各局面の所要時間の平均を示した。図3に熟練者C.Kとの比較を示した。A.Kの練習前の10mターン区間タイムは7.74s, 練習期間中は7.92s, 練習後は7.54sであった。練習前と練習後では0.2s速くなり, 5%水準で有意な差がみられた。各局面毎に見ると, 平均でターン準備期は1.57sから1.49s, ドライブ期は0.46sから0.37s, グライド期は0.82sから0.79s, ストローク開始期は1.40sから1.35sとそれぞれ短縮された。熟練者C.Kの10mターン区間タイムは, 5.56sであり, 壁前3mからターン後3mまで (以下, 実質ターン区間タイム) は3.36sであった。被検者A.Kの練習後の実質ターン区間タイムは4.70sであった。熟練者とA.Kの間で大きな差はターン開始期であった。その時間は熟練者が2.30s, A.Kの練習後が3.54sであり, その差は1.24sであった。

### 3.2 重心移動速度

被検者 A.K の練習前の重心移動速度と圧力変化を図 5-4 (練習前), 図 5-5 (練習後) に示した。練習前の速度曲線は回転中に幾つかのピークがみられ, 足が壁に着く時にかなりの低下を示した。その後, 壁を蹴る時点で再び増加し, 壁を蹴った後に最高速度を示した。最高速度は 2.36m/s であった。蹴り出す時の加速度は  $4.20\text{m/s}^2$  であった。

一方, 練習後の重心移動速度は, 回転中にはっきりとした 3 つのピークがあらわれた。足が壁に着いた後は練習前とほぼ同様な傾向を示した。最高速度は 2.32m/s であった。蹴り出すときの加速度は  $6.66\text{m/s}^2$  であった。熟練者 C.K の重心移動速度は, 被検者 A.K の練習後とほぼ同様な波形を示したが, 熟練者の方が速度変化が大きかった。最高速度は 2.18m/s であり, 蹴り出すときの加速度は  $6.6\text{m/s}^2$  であった。

### 3.3 圧力変化

被検者 A.K の練習前, 練習後の圧力曲線は, 着地後ともに 2 つのピークを持つ変動を示した。1 つ目のピークは回転を終え足が壁に着地するまでで, 非常に短時間であった。このときの圧力は練習前が 167.5N, 練習後が 595.9N, 熟練者が 583.2N であった。その後, 僅かに減少し, 壁を蹴る地点で最大のピークを示した。このときの圧力は練習前が 532.0N, 練習後が 827.6N, 熟練者が 830.0N であった。壁を蹴っている時間は, 練習前が 0.7s, 練習後が 0.4s, 熟練者は 0.37s であった。

### 3.4 力積・蹴り出し速度

被検者 A.K の練習前, 練習後の力積は  $157.4\text{N}\cdot\text{s}$ ,  $183.4\text{N}\cdot\text{s}$  であった。また, 抵抗がないと仮定した時, 足が壁から離れるときの速度 (力積を被検者の体重で除して得られた速度) は練習前が 3.21m/s, 練習後は 3.74m/s であった。力積はともに練習前から練習後にかけて若干増大した。プッシュオフ時の重心の最高速度 (以降, 蹴り出し速度) は練習前が 2.36m/s, 練習後が 2.32m/s と大きな変化はみられなかった。一方, 熟練者の力積は  $154.8\text{N}\cdot\text{s}$ , 蹴り出し速度は 2.18m/s であり, 被検者 A.K とさほど大きな差はみられなかった。

### 3.5 重心移動の軌跡と泳フォームの変化

図 5-6 に被検者 A.K の練習前, 図 5-7 に練習後, 図 5-8 に熟練者の軌跡と動作のトレースを示した。軌跡は, A.K の練習前では回転中に下方への落ち込みがみられ, 水面近くの最高点から垂直方向に最も離れた最低点まで (以降, 重心落下高) の距離は 38.9cm であった。壁から足が離れた後の軌跡は, 壁と水面とのなす角度を  $90^\circ$  とすると, 壁と軌跡とのなす角度 (以降, 重心投射角) は  $65.0^\circ$  であり, プールの底に向かって斜め下方へ移動していた。それに対して, 練習後, 回転中の下方への落ち込みが若干みられ, 重心落下高は

23.5cmと練習前に比べ低値を示した。重心投射角は $97.0^\circ$ であり、水面に向かって斜め上方への移動と変わった。熟練者の重心落下高は183cm、重心投射角は $95.0^\circ$ であったことから、被検者A.Kは、練習後ほぼ熟練者の値に近づき、着地後、体幹の回転に伴うひねり動作がみられるようになった。

## 4. 考察

### 4.1 ターン所要時間

競泳のレース、特に短距離ではスタートやターン、フィニッシュ局面の重要性が指摘されている(若吉, 1992)。また、高橋ら(1983)はターン準備期、ターン開始期、ドライブ期、グライド期、ストローク開始期の各区分に10mターン時間を分割し、各期の所要時間を計測することによってターンを構成する要素を明らかにしている。

本被検者A.Kの練習前と練習後の10mターン所要時間は0.2s有意に短縮され、練習の効果が表れた。実質ターン区間タイムは、本被検者が4.70s、熟練者が3.36sとターン技術の習熟度にはまだかなりの差があることがわかった。一方、練習期間中頃には若干タイムが増加したが、これは技術の習熟過程での変動が大きくなることを示唆しており、いわゆる「できる」時と「できない」時の不安定さが出現すると考えられる。これ以降、技術の定着が進み、その変動幅を縮めていくことが予想された。各動作局面毎に見てみると、全体的に僅かずつ短縮されていることが伺えた。しかし、熟練者と比較すると、ターン開始期のタイム差は1.2sもあり、練習によって縮めた時間の6倍にもなった。これは、フリップターンの練習過程でキーポイントとなるのはターンの前半部分であり(高橋ら, 1983)、この局面の改善内容や練習時間の重みづけを考慮する必要があることを示すものであろう。実際、ターンの後半部分の回転動作に練習のウェイトが置かれるようであるが、指導の手続きからすればターンに入る前の動作を安定させ、確実に回転できる体勢をとらせることが効果的であると考えられる。

### 4.2 壁を蹴る力とターン動作

本研究の結果、壁を蹴るとき力は被検者A.Kの練習前(532.0N)から練習後(827.6N)にかけて大きく、壁を蹴っている時間は短くなった(0.7~0.4s)。また、蹴り出し速度は練習後にはほとんど増加はみられなかったが、蹴り出すときの最高速度に達するまでの時間は短く、加速度は大きくなった( $4.20\text{m/s}^2 \sim 6.66\text{m/s}^2$ )。このことは、回転動作の改善に伴い、素速い蹴りが行えるようになったと考えられる。熟練者の力は830.0Nであったが、Takahashi et al. (1983)の報告に比べるとおよそ1/3に匹敵する値であった。これは本被検者(女子)の熟練度が中等度であり、後者の被検者が男子エリート選手であったこと、及び蹴り方の差異によるものと考えられた。

身体を身体重心に代表される質点に単純化して考えると、ターンは泳者の運動方向の変

換である。泳者は壁に向かって泳ぎ、ターンを行い、壁を蹴ってまた元の位置に戻ることを考えると、理論的にはターン前とターン後の軌跡が一直線になると移動距離が短くなり、理想的であるといえる（高橋ら, 1983）。本研究の結果、被検者 A.K の練習前の重心落下高は 38.9cm, 重心投射角が  $65.0^\circ$  , 蹴り出すときの力は 532.0N であったが、練習後にはそれぞれ、23.5cm,  $97^\circ$  , 827.6N とターン後の重心落下高が小さくなり、ほぼ水面と平行に移動したことが確認された。壁を蹴る力が大きいことと、その蹴り出す方向がうまくマッチングされて始めて効率的な蹴る動作が完成されると思われるが、この動作以前の回転技術が洗練、高度化されるのが前提である。一方、練習前と練習後の蹴り出し速度とには、一定の傾向がみられないようであった。土居・小林（1985）は速度の差からドライブ期の水抵抗を知ることができ、けのび動作の評価を行なえると指摘している。しかし、双方の速度差には一元的な関係はみられなかったと報告している。これは、プッシュオフの瞬間のみだけでなく、それ以降のストリームライン姿勢のとり方如何によって、進行方向に対する身体の横断面積が変わると考えられる。言い換えれば、泳者がターン後、下方又は上方へ移動すれば抵抗が増大し、すぐに失速してしまうからである。従って、壁を蹴る力と速度のみでなく、蹴り出す方向も評価していくべきであろう。さらに、回転中に身体の長軸まわりの捻りを用いることもフリップターン技術に関して重要である（土居ら, 1983）。すなわち、回転中に蹴り出す準備を始め、壁に足が着地した時点で、けのびに近い体勢にすることがよいターンを行うには必要なのである。つまり、ターン開始期では非常に短い時間に、方向を変えながら上体を捻り、着地した時には適切なストリームライン姿勢をとっていることが要求される。

## 5. 結論

本研究では、未熟練者 1 名を対象にフリップターン動作を水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて検討し、壁を蹴る力及びターン動作の巧拙を縦断的に追跡することによってその習熟過程を明らかにすることを目的とした。結果は以下のようであった。

- 1) 10m ターン区間の所要時間は、被検者 A.K の練習前では 7.74s, 練習後は 7.54s と有意な短縮がみられた。
- 2) 壁を蹴る力の最大値は、練習前が 532.0N, 練習後が 827.6N であり、壁を蹴っている時間は、練習前が 0.7s, 練習後は 0.4s であった。練習前、練習後の力積は  $157.4\text{N}\cdot\text{s}$  ,  $183.4\text{N}\cdot\text{s}$  であった。熟練者の力積は  $154.8\text{N}\cdot\text{s}$  , と未熟練者とほぼ同じであった。
- 3) 壁を蹴るときの重心の加速度は、練習前が  $4.20\text{m/s}^2$  , 練習後が  $6.66\text{m/s}^2$  であり練習前から練習後にかけて短い時間で大きな加速を得て、素速い蹴りが行えるようになった。

った。

- 4) 重心落下高は練習前が 38.9cm, 練習後が 23.5cm であり, 垂直方向の重心移動が小さくなり, 蹴り出す方向は斜め下方からやや斜め上方に変わった。

以上のことから, クロールのフリップターンは, 非常に短い時間に方向を変えながら上体を捻り, 着地した時には適切なストリームライン姿勢をとることが重要である。

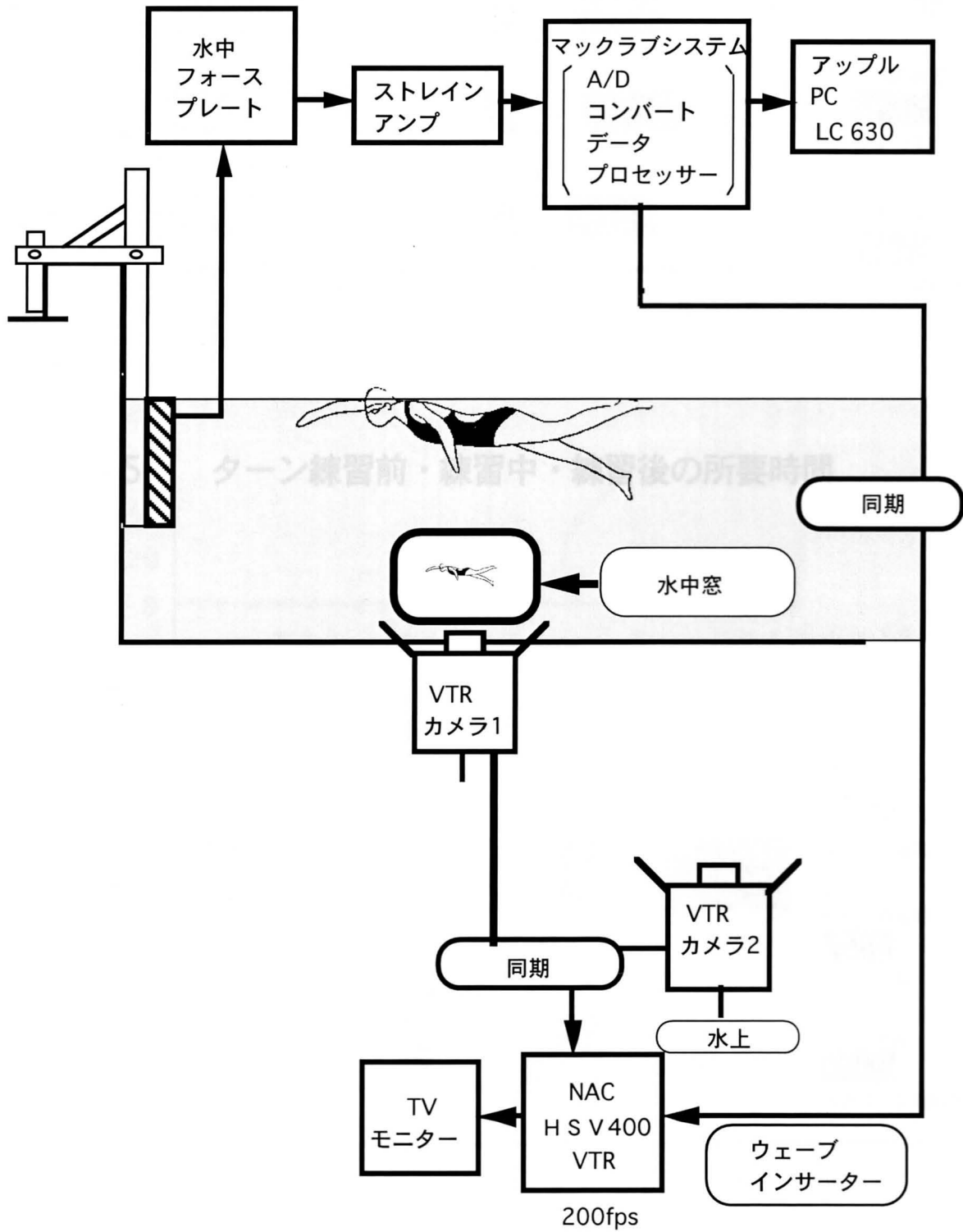


図 5-1 本実験のセットアップ概略

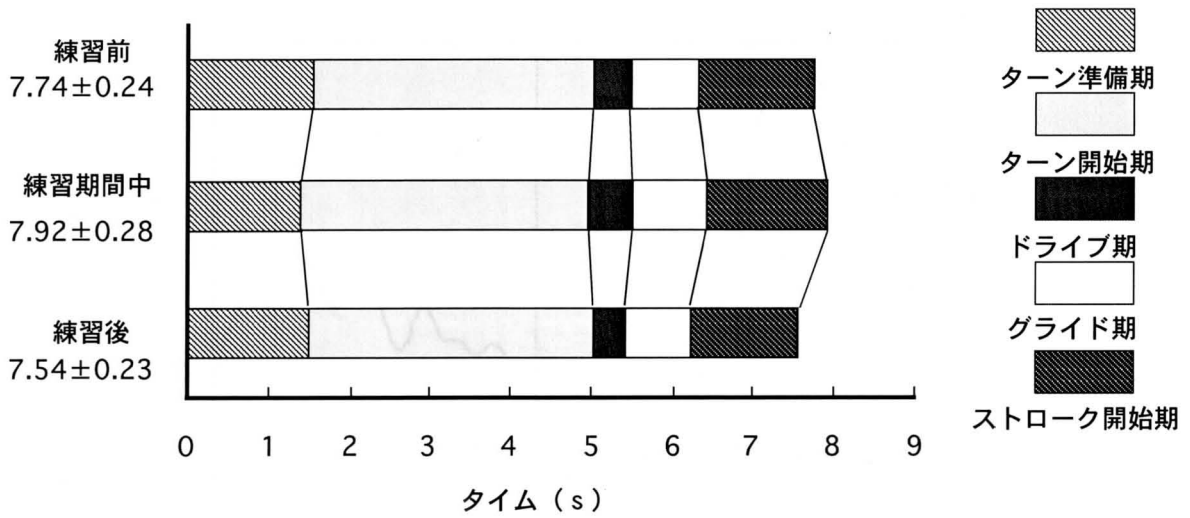


図 5-2 ターン練習前・練習中・練習後の所要時間

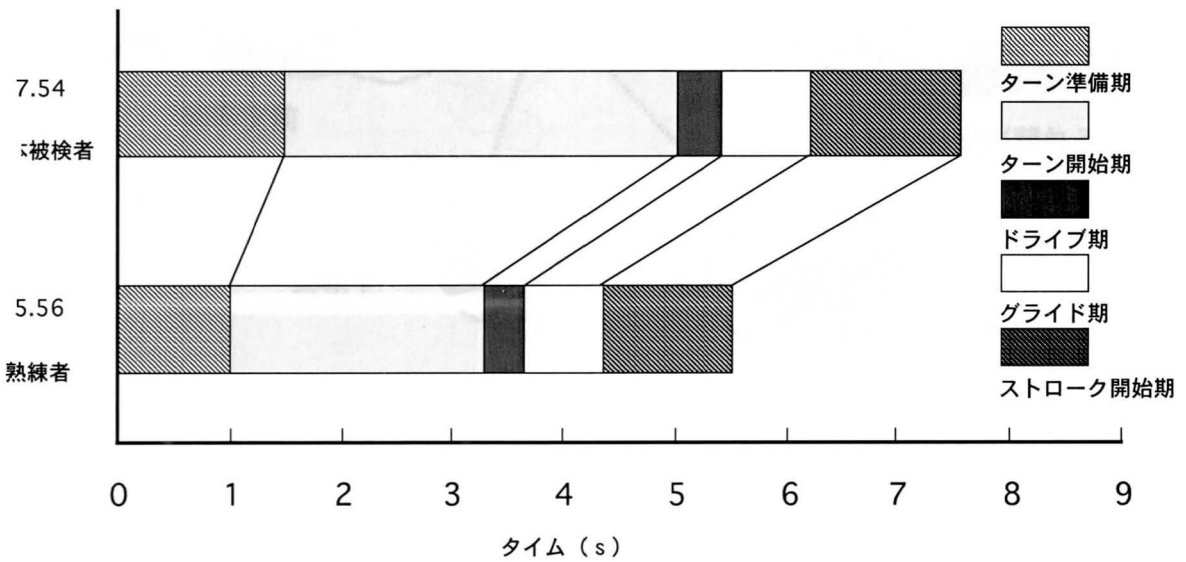


図 5-3 フリップターンの所要時間の比較

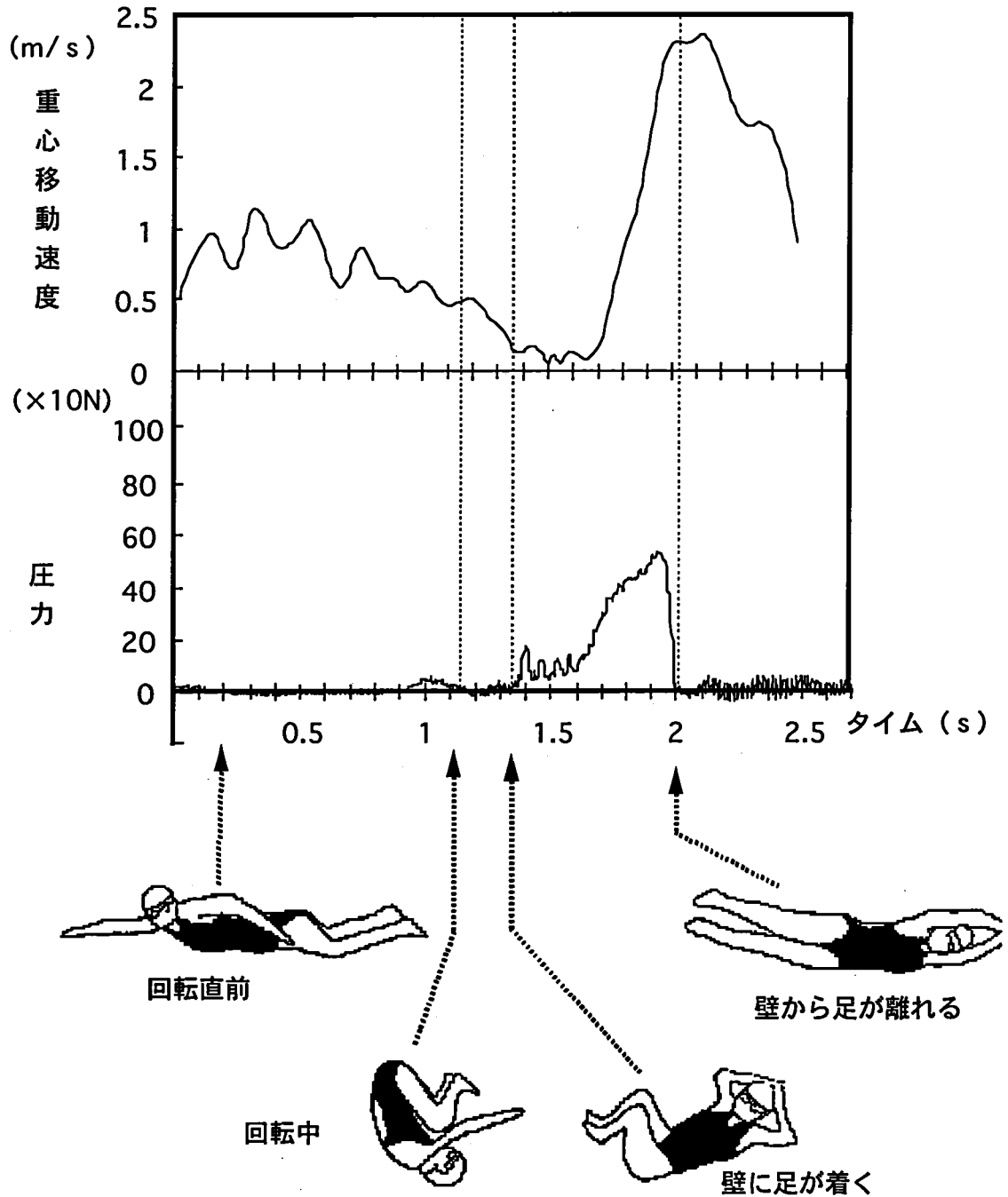


図 5-4 練習前の重心移動速度及び圧力変化



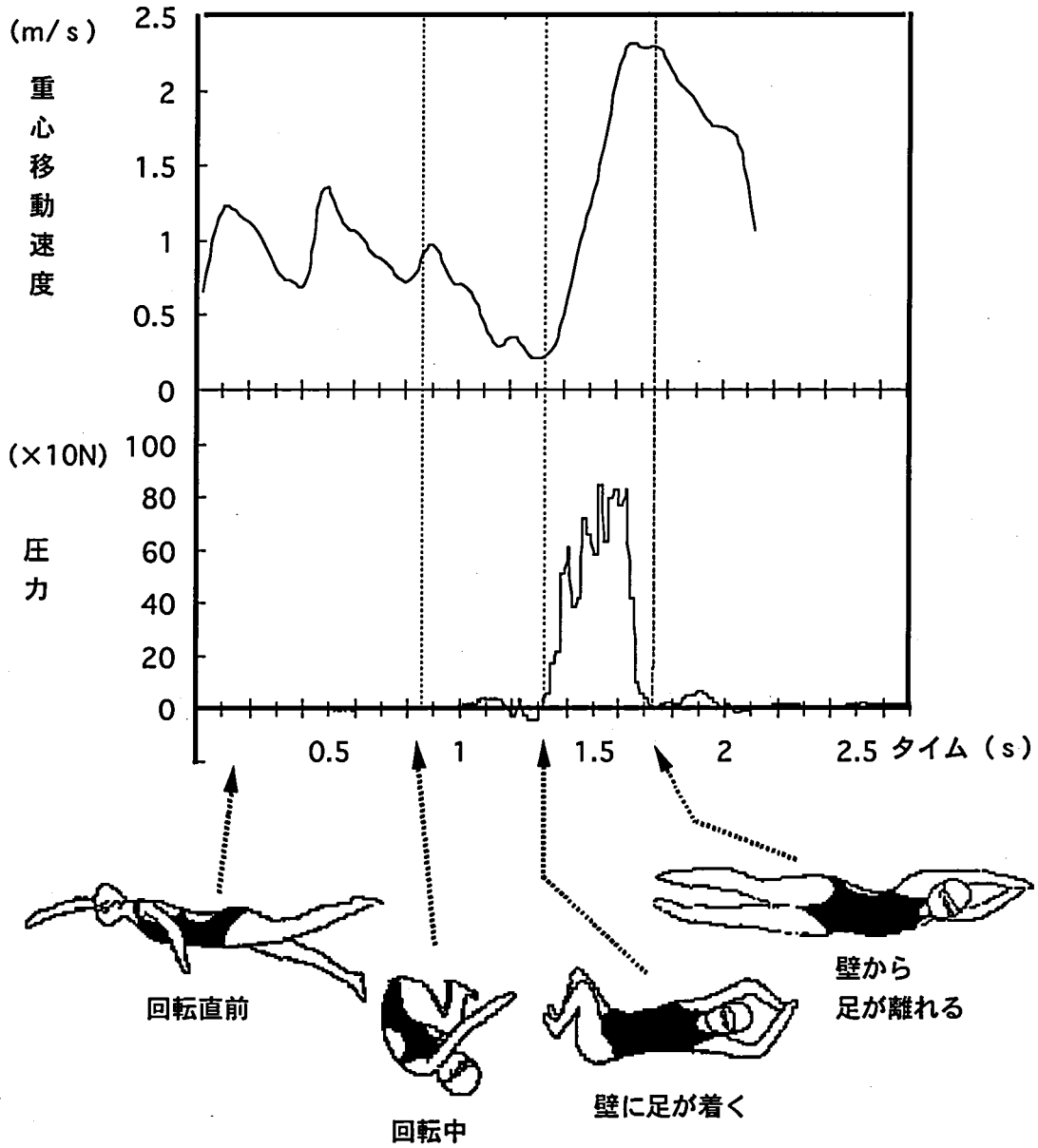


図 5-5 練習後の重心移動速度及び圧力変化

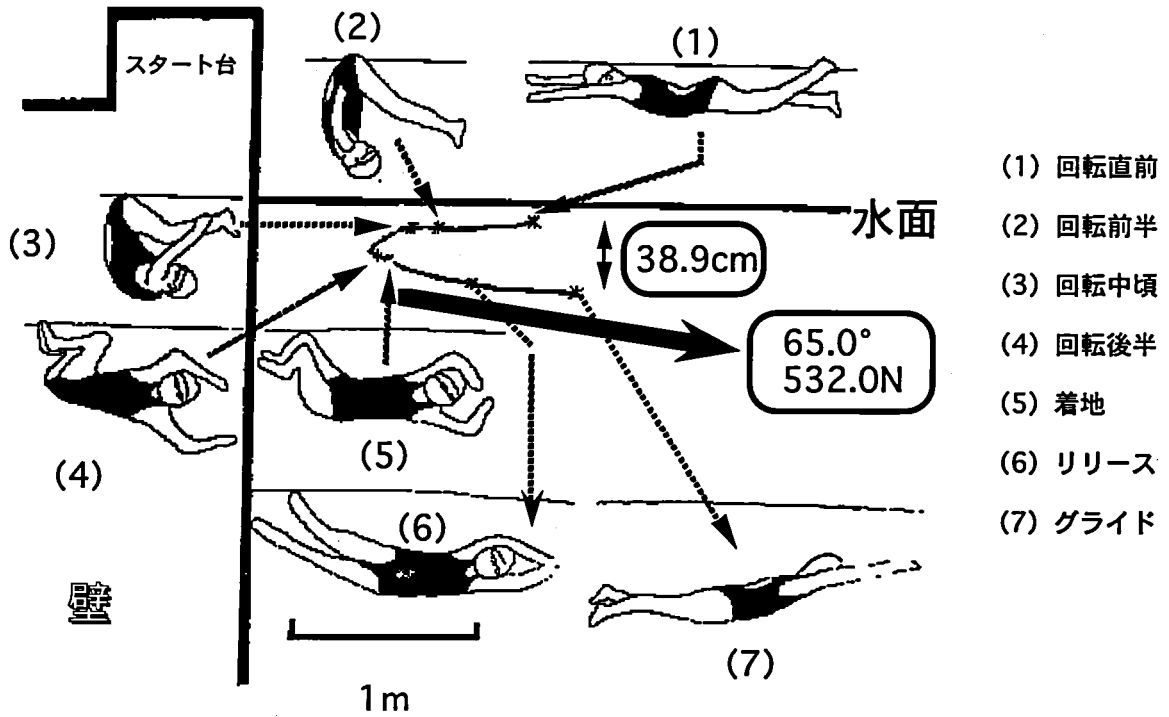


図 5-6 練習前の重心移動軌跡と泳フォーム

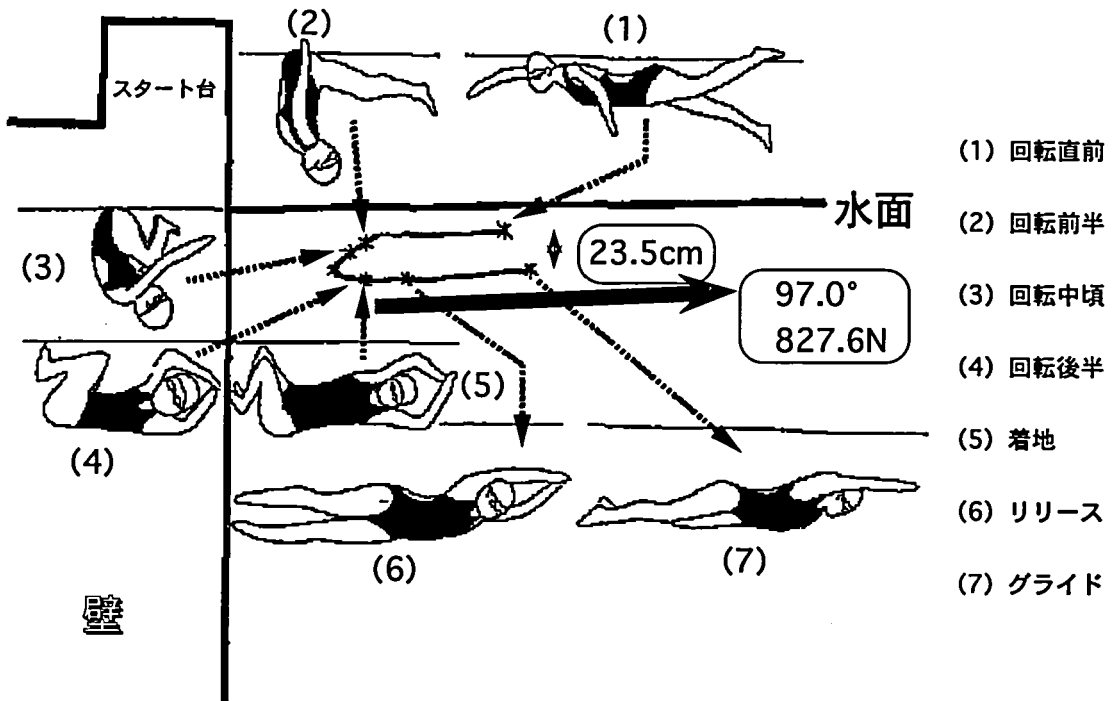


図 5-7 練習後の重心移動軌跡と泳フォーム

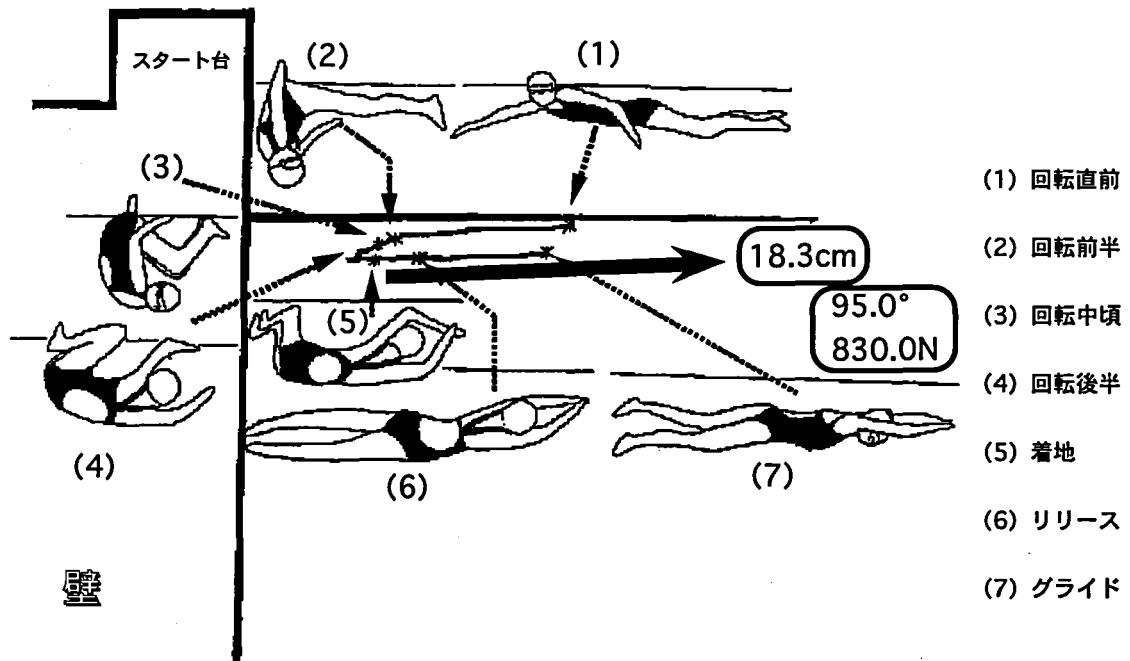


図 5-8 熟練者の重心移動軌跡と泳フォーム

## 第2節 平泳ぎのターン動作と力発揮の習熟過程

### 1. 緒言

競泳のレースには泳ぐといった要素だけでなく、スタート局面、ターン局面、フィニッシュ局面が存在する。昨今の競技会において、100分の1秒差で順位が入れ替わる場面を目にすることがある。このことから、競泳における勝敗の決定要因は、スタート、ターン、フィニッシュの出来不出来にかかっている (Hay, 1988)。世界及び日本のトップスイマーの100m平泳ぎのレース分析結果によれば (若吉, 1992)、ストローク局面では日本のトップスイマーが0.84s上回っているが、スタート局面では0.46s、ターン局面では0.37s、フィニッシュ局面では0.13s、トータル時間は0.12s下回っていた。このように日本のトップスイマーにおいてもターン局面は競技成績に大きな影響を与えている。また、ターン動作は泳ぎの中にはない特殊な動きが必要になる (高橋ら, 1983)。さらに、Thayer and Hay (1984) は、ターン後、水中でのけのび姿勢 (ストリームライン姿勢) のごくわずかな変化が非常に大きな抵抗に直結することを指摘している。

スタートやストローク分析に関する研究に比較してターンに関する研究は、画像解析による動作分析 (Huecellhorst, et al., 1988; Chow and Hay, 1984)、ターン時の力発揮や動作分析 (Nicol and Kruger, 1979; Takahashi et al., 1983; 土居ら, 1983; Goya et al., 1999; Klauck (2002)) 及びエージグループのターン動作と力発揮 (Blanksby et al., 1996) などが行われている。一方、Huecellhorst, et al. (1988) は、平泳ぎのタッチターンをアプローチ期、ターン期、プッシュオフ期、グライド期とに分類し、その所要時間や重心の軌跡から、ターンと技術の評価法を確立している。しかし、平泳ぎのタッチターンでは映像分析及び壁を蹴る力との関係は十分に検討されているとは言い難い。また、従来の研究は熟練者と未熟練者を比較、検討する横断的研究がほとんどであり、被検者の習熟過程を追跡した研究は皆無である。

そこで本研究では、未熟練者1名を対象とし、平泳ぎのタッチターン動作を水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて記録し、壁を蹴る力及びターン動作の巧拙とその習熟過程を明らかにし、水泳の基本動作「けのび」や泳法指導の方法論的資料を得ることを目的とした。

### 2. 研究方法

被検者は水泳経験のある大学生男子1名 (身長162cm, 体重56kg, 競技歴2.3年) であった。被検者に約1ヶ月、1日1時間の練習を計13日間行わせた。また、比較の対象として熟練者 (大学生水泳部男子: 21歳) 1名も被検者とした。練習法は、習熟状況に応じて決定し、その練習メニューは、アプローチ、ターン初期、接地からの蹴り出し、グライド姿勢、ストロークのかき始めのそれぞれの段階に分けて行った。壁を蹴る力の測定と画像

撮影及び解析は第1節と同様であったので、ここでは省略する。

ターンの局面分けは、プールの壁から5mの地点よりターンを行って再び頭が水面にでてくるまで（以降、ターン区間とする）を次の6つの局面に分け、映像より所要時間を割り出した（図5-9）。5m及び3m地点通過時間は頭の先端が各地点を通過した時間を、プールの壁に指先と足先が着く地点、及び足先が離れる地点は、足先が各地点を通過した時間を割り出した。

#### <ターン準備期>

ターン前5mからターン前3mまでの区間で定常水泳速度が得られると考えられる区間

#### <アプローチ期>

ターン前3mから手が壁につくまでの区間

#### <ターン期>

手が壁についてから足先が壁に着地するまでの区間

#### <プッシュオフ期>

足先が壁に着地してから離れるまでの区間

#### <グライド期>

足先が壁から離れてからターン後3mまでの区間で、グライドの初期であり、スタート時を除いては水泳中にもっとも速い速度が得られると考えられる区間

#### <ストローク開始期>

ターン後3mから頭が水面にでてくるまでの区間で、一かき一蹴りを行い、浮き上がりの技術や泳法移行への技術が含まれる区間

### 3. 結果

#### 3.1 壁を蹴る力とターン動作

表5-1に被検者D.Sの練習前、練習後と熟練者のターン区間、ターン準備期、アプローチ期、ターン期、プッシュオフ期、グライド期、ストローク開始期の所要時間の平均を示した。ターン準備期では0.51s、プッシュオフ期では0.11s、ストローク開始期では0.43sとそれぞれ速くなっており、ターン準備期とプッシュオフ期で、それぞれ1%水準で有意差がみられたが、ストローク開始期では有意差はみられなかった。また、アプローチ期では0.36s、ターン期では0.01s、グライド期では0.2sとそれぞれ遅くなったが、いずれも有意差はみられなかった。

図5-10に被検者D.Sの練習前、後、及び熟練者の圧力曲線のグラフを示した。練習前、後の圧力曲線は3つのピークを示した。それに対応する動作として、1つ目のピークは壁に手がタッチする動作、2つ目のピークはターン動作を終えて足が壁に着地する動作、3つ目の動作は壁を蹴り出す動作であった。熟練者には2つ目のピークが現れなかった。圧

力は手が壁にタッチする地点で小さいピークを示した。このときの圧力の平均は被検者 D.S の練習前が 46.7N, 練習後が 126.0N, 熟練者が 304.8N であり, 被検者 D.S の練習前と後とでは 5%水準で, 練習前と熟練者, 練習後と熟練者ではそれぞれ 1%水準で有意差がみられた。最大ピークはプッシュオフ期であり, このときの圧力は練習前が 851.1N, 練習後が 944.3N, 熟練者が 2087.4N であった。練習前と後とでは有意差はみられなかったが, 練習前と熟練者, 練習後と熟練者とでは 1%水準で有意差がみられた。

壁を蹴っている時間は, 被検者 D.S の練習前は 0.45s, 練習後は 0.36s, 熟練者は 0.18s であり, 練習前より練習後や熟練者の方が短かった。

力積は被検者 D.S の練習前が 243.8N・s, 練習後が 222.4N・s, 熟練者が 202.9N・s であった。また, 抵抗がないと仮定したときの速度は練習前が 4.35m/s, 練習後が 3.97m/s, 熟練者が 2.90m/s であり, 実際の蹴り出し速度は練習前は 2.92m/s, 練習後は 2.71m/s, 熟練者は 2.53m/s であった。抵抗がないと仮定したときの速度と実際の蹴り出し速度との差は練習前が 1.43m/s, 練習後が 1.26m/s, 熟練者が 0.37m/s であり, 練習前と後とではわずかに差が縮まっていた。熟練者はいずれも最小値を示したが, 壁に足をついている時間が短く, 抵抗がないと仮定したときの速度と実際の蹴り出し速度との差は, 未熟練者よりもかなり小さな値であった。

### 3.2 重心移動軌跡・速度及び投射角度

図 5-11 に被検者 D.S の練習前, 練習後, 及び熟練者の重心移動軌跡 (以降, 軌跡) 及び投射角度を示した。D.S の練習前ではアプローチ期の段階で下に落ち込むのが早い時期に始まり, 水平方向に 63.3cm, 垂直方向に 8.4cm の移動距離であった。軌跡の最も低い地点の差は, 30.0cm であり, 最も高い地点はターン期であった。壁から足が離れた後の軌跡は, 壁と水面とのなす角度を  $90^\circ$  とすると, 壁と軌跡とのなす角度 (以降,  $\theta$  AOP) は  $80^\circ$  と, 斜め下方へ移動していた。

練習後は, アプローチ期の段階での下への落ち込みは練習前よりも遅い時期に始まり, 水平方向に 32.5cm, 垂直方向に 8.4cm の移動距離であり, 練習前よりも短かった。重心移動のもっとも高い地点と低い地点との差は 22.1cm であったが, 最も高い地点は練習前と異なり, アプローチ期の下に落ち込む前であった。壁に足が着いてから足が離れるまでの重心の垂直方向への移動距離は練習前が 13.7cm, 練習後が 4.2cm, 熟練者が 3.7cm であり, 練習前と練習後の差は 9.5cm, 被検者 D.S の練習後と熟練者との差は 0.5cm であった。 $\theta$  AOP は  $80^\circ$  であり, 練習前と同じ角度で斜め下方へ移動していた。熟練者の軌跡は被検者 D.S の練習後の軌跡とほぼ同じであったが,  $\theta$  AOP は  $89^\circ$  で水面と平行であった。

被検者 D.S の練習前の重心移動速度は 2.92m/s, 最低速度は 0.11m/s, 蹴り出すときの加速度は  $9.33\text{m/s}^2$  であった。練習後の重心移動速度は 2.71m/s, 最低速度は 0.19m/s, 蹴り出すときの加速度は  $9.19\text{m/s}^2$  であった。一方, 熟練者の重心移動速度は 2.53m/s, 最低速度は

0.11m/s, 蹴り出すときの加速度  $10.2\text{m/s}^2$  であった。いずれの最高速度もプッシュオフ時の速度で、練習前が最も大きな値を示した。

## 4. 考察

### 4.1 ターンの所要時間

水泳ターンの技能はターン前5mからターン後5mまでの所要時間を計ることや、ターン局面の所要時間を計測することによってターンを構成する要素をうかがい知ることができる(高橋ら, 1983)。本研究は平泳ぎのタッチターンであるため、ターン前5mからターン後1かき1蹴りを行い、水面に出てくるまでをターン区間とし、それを各局面に分けて考察する。

本研究の結果、被検者 D.S の練習前と練習後のターン区間に要する時間と比較すると、練習後のほうが有意に0.3s速く、練習効果がみられた(表5-1)。しかし、被検者 D.S の練習後と熟練者との間には0.87sの差がみられ、双方のターン技術にはまだかなりの隔りがあることがわかった。各局面でターンを速く行うためには壁から手が触れてプッシュオフをするまでの動作を短時間に行う必要がある(Huecellhorst et al., 1988)。本研究の結果、プッシュオフタイムは練習前と後とでは0.09sと有意な差がみられ、特にプッシュオフ期において有意な( $p < 0.01$ )短縮がみられた。また、ターン準備期にも有意な短縮がみられ、その結果、すばやいターンができるようになったと考えられた。しかし、被検者 D.S の練習後と熟練者を比較すると、タッチからプッシュオフまでは0.27sの差があり、プッシュオフ期では0.18sの差がみられたことから、この区間におけるターン動作の習熟とタイムの短縮がさらに必要と思われる。

### 4.2 重心移動軌跡・速度及び投射角度

泳者は壁に向かって泳ぎ、ターンを行い、壁を蹴ってまた元の位置へ戻ることを考えると、理論的にはターン前とターン後の軌跡が一直線になり、移動距離が短くなる(高橋ら, 1983)。しかし、Huecellhorst, et al. (1988)は、平泳ぎのターンはターン後1かき1蹴りを行うので、水平方向に蹴り出せなくてもその後に軌道を修正すればタイムをほとんどロスすることはないと報告している。

本研究の結果、被検者 D.S の練習前と練習後の軌跡を比較すると、壁に足が着いてから離れるまでの垂直方向下方への落ち込みは練習前と練習後との差は9.5cmであり、練習後は減少した。初心者のクロールのフリップターンでは、練習前の重心落下高は38.9cm、練習後は23.5cmと減少し、ほぼ水面と平行に移動した(合屋ら, 1996)。一方、 $\theta$ AOPは $80^\circ$ であり、練習前と同じ角度で斜め下方へ移動していたが、熟練者の $\theta$ AOPは $89^\circ$ でほぼ水面と平行であった。すなわち、本研究の初心者は、練習によって重心の落下を押さえることができるようになった。しかし、ターン期のタイムは、重心の上方への移動が少

ない練習後が遅かった(表5-1)。これは、壁に手をタッチしてから蹴り出すまでの引きつけと、ため動作が結果として重心の上方への移動の減少とタイムの遅延に影響したのではないかと思われる。

次に、圧力曲線を見ると、壁を蹴る力の最大値が練習前より練習後のほうが大きかった。Nicol and Kruger (1979)によれば、クロールのフリップターンの力発揮の最大値は600~1000Nであり、合屋ら(1996)もクロールのフリップターンでは練習前が532.0N、練習後が827.6Nであったと報告している。双方ともに本研究の初心者とほぼ同程度の結果であるが、本研究の平泳ぎ熟練者は約2倍の2000Nにも達していた。このことより、平泳ぎのターンは、両手によるタッチと引き寄せによってクロールより大きな力を発揮していることがわかった。

一方、力積は被検者D.Sの練習前が243.8N・s、練習後が222.4N・s、熟練者が202.9N・sとほぼ同じであった。練習前のほうが練習後より若干大きく、熟練者の値も初心者の練習後の値より僅かに大きかった。クロールのフリップターンでは、練習前、練習後の力積は157.4N・s、183.4N・s、熟練者の力積は154.8N・sであり、初心者、練習前後及び熟練者間の力積の差はあまりなかったと報告されている(合屋ら, 1996)。Daniel et al. (2002)は、成人各1名のけのびの力積は、男子が302~304Ns、女子が169~194Nsであったと報告している。従って、クロールのターンによる力積は、けのびより低値であることがわかった。力積は力の大きさと作用時間の積で表されるので、いずれかの値の差が力積を左右すると思われる。しかし、ターン技術の評価について、Blanksby et al. (1996)は、エージグループの自由形クイックターンにおける力発揮と動作解析から、男女の性差はみられず、むしろ壁を蹴るタイミングや方向が問題であることや、壁を蹴った後、水中でのストリームライン姿勢(けのび)のごくわずかな変化が非常に大きな抵抗に直結すると指摘されている(Thayer and Hay, 1984)。このことから、力積だけでターン技術の評価するには不十分であり、ターン動作の時系列分析を合わせた総合的な見地から論議する必要があると思われる。

## 5. 結論

本研究では、未熟練者1名を対象とし、平泳ぎのタッチターン動作を水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて記録し、壁を蹴る力及びターン動作の巧拙を縦断的に追跡、検討して、その習熟過程を明らかにしようとした。結果は、以下の通りであった。

- 1) 練習前と練習後のターン区間に要する時間は、0.3s有意に短縮され、練習の効果がみられた。しかし、熟練者との間には0.87sの差がみられ、ターン技術の習熟度にはまだ差があった。



- 2) 各局面では、ターン準備期及びプッシュオフ期に有意な短縮がみられ、ターンの所要時間の短縮は、この局面でのテクニックの向上が影響すると考えられた。
- 3) 壁を蹴る力の最大値は、練習前が 851.1N, 練習後が 944.3N, 熟練者が 2087.4Nであった。
- 4) ターン準備期及びプッシュオフ期の垂直方向下方への重心の落ち込みの差は9.5cm 短くなり、練習前に比べ水面と平行に近く蹴り出すことができた。

以上のことから、初心者の平泳ぎのタッチターンは、ターン準備期及びプッシュオフ期のターン技術の改善と蹴り出す方向の修正によってタイム短縮が期待できることがわかった。しかし、力積だけでターン技術を評価するには不十分であり、ターン動作の時系列分析を合わせた総合的な検討が課題として残された。

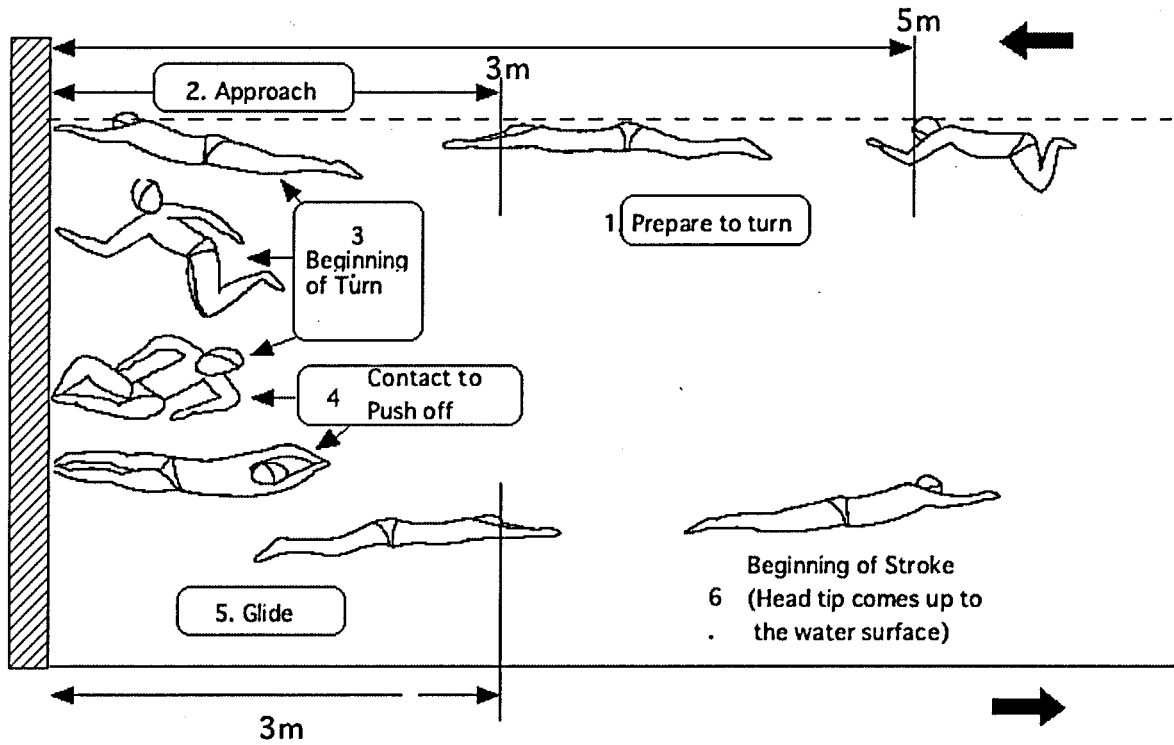


図 5-9 ターン局面の定義

表 5-1 練習前後と熟練者の各ターン局面の所要時間 (s)

	Turn Time	1.Preparation	2.Approach	3.Turn	4.Push off	5.Glide	6.Stroke
Pre	9.49 (±0.57)	1.67	2.23	0.82	0.45	0.57	3.74
Post	9.19 (±0.46)	1.16	2.59	0.83	0.34	0.77	3.31
TrainedSubj.	8.32 (±0.36)	1.02	2.16	0.74	0.16	0.76	3.40

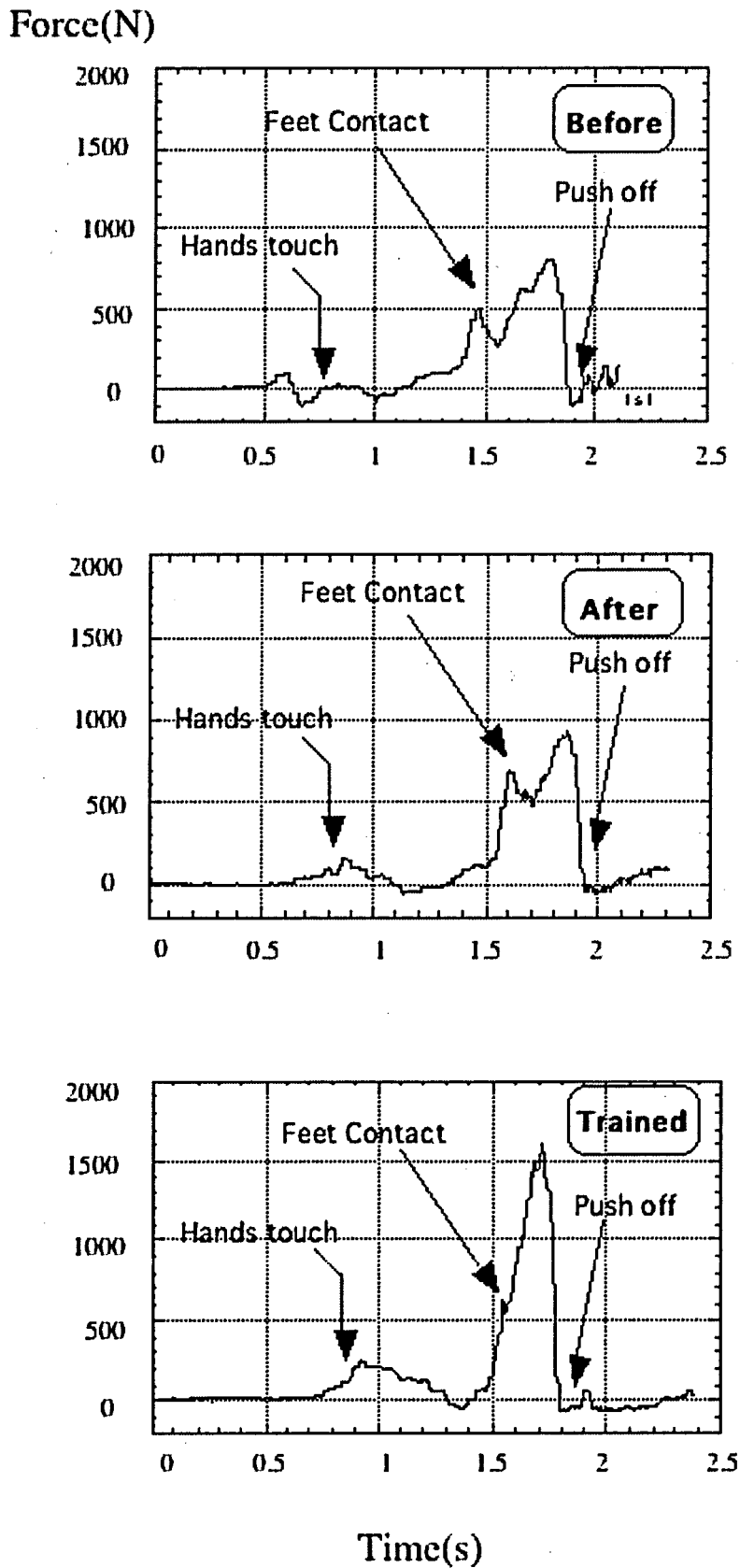


図 5-10 練習前, 練習後及び熟練者の力発揮の様相

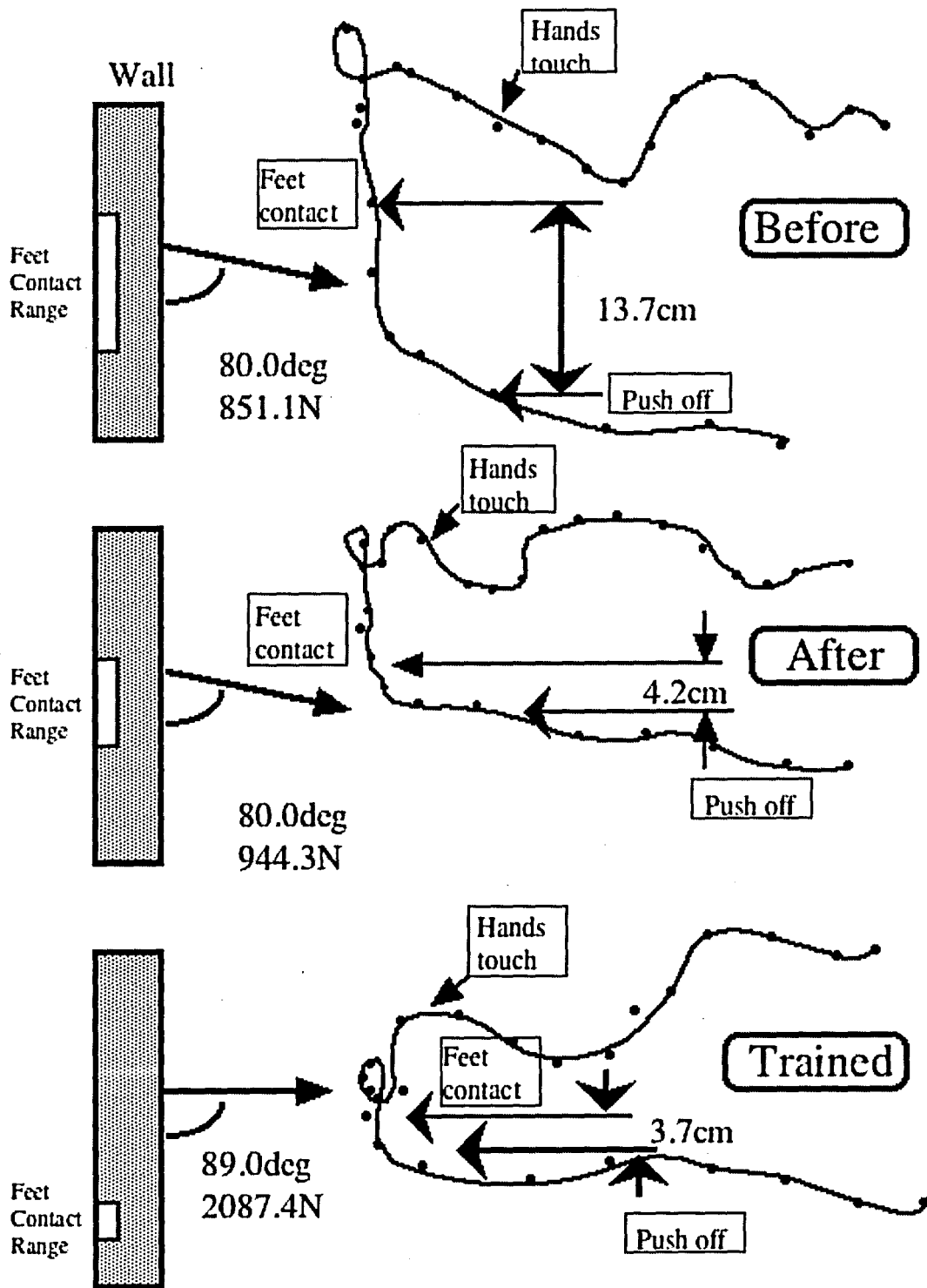


図 5-11 重心の移動軌跡及び投射角度の変化

### 第3節 背泳ぎフリップターン動作の巧拙と力発揮

#### 1. 緒言

水泳のターンは泳法やスタートに関する研究よりも注目されず、数少ないことが指摘されている (Nicol and Kruger, 1979; Chow and Hay, 1984; Hueelhorst et al., 1988). これは、ターンは水泳の技能として扱われにくく、指導者や研究者の注目を集めにくいからである (Thayer and Hay, 1984). このことから、Hay (1988) は、最新の技術や方法を用いてターンの分析や研究を進める必要性を説いている。若吉 (1992) は、競泳のレースを4つの局面に分類し、各局面の所要時間の差によりスタート、ターン、フィニッシュの重要性を明らかにしている。これまでターンに関する研究は、クロールのフリップターン (土居ら, 1983; 合屋ら, 1996), エージグループのターン (Blanksby et al., 1996), 平泳ぎのターン (Goya et al., 1999) など、動作の善し悪しを決定する要因を映像及びフォースプレートを用いて明らかにしてきている。また、エイジグループの平泳ぎとバタフライの壁を蹴る力とその方向についても報告されている (Walker, 1995). しかし、背泳ぎのターンはルール改正によりクロールと同じフリップターンになり、どのようにターンをするのかが皆目検討されていない。わずかに、Blanksby et al. (2004) によって男女エイジグループ選手の背泳ぎロールオーバーターン (フリップターン) 動作と壁を蹴る力及び方向が研究されているが、対象としている被検者は未だ限られた範囲にしか及んでいない。また、ターン後、どのようなストリームライン姿勢がよいのか、また、どれくらいの泳速度で泳ぎ出したらよいのか、けのび動作とどの程度関連するのかは明らかにされていない (Lyttle et al., 2000b).

そこで、本研究では、背泳ぎフリップターンについて、水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いてターン動作や壁を蹴る力を解析することによって、熟練者、未熟練者の特徴や巧拙を明らかにし、けのび動作との共通点、相違点など実践的評価や泳法指導の基礎的資料を得ることを目的とした。

#### 2. 研究方法

被検者は競技経験のある男子6名 (平均年齢 12.8yrs, 身長  $150.3 \pm 14.3$ cm, 体重  $40.8 \pm 9.5$ kg, 競技歴  $3.0 \pm 1.1$ yrs, 内訳は熟練者4名, 未熟練者2名) と、女子6名 (平均年齢 14.0yrs, 身長  $154.1 \pm 12.8$ cm, 体重  $47.0 \pm 14.1$ kg, 競技歴  $2.9 \pm 1.8$ yrs, 内訳は熟練者4名, 未熟練者2名) の合計12名であった。

壁を蹴る力の測定と画像撮影及び解析は第2節と同様であったので、ここでは省略する。図5-12, 図5-13に本実験で用いた水中フォースプレートとその測定のセットアップを示した。被検者には壁前10mより全力で泳ぐように指示し、ターン動作を3回繰り返して、壁を蹴る力を検出した。ターン前5mの地点から、折り返しの2.5m地点を通過するまでの区間を以下の4つの局面に分け、映像よりそれぞれの所要時間を算出した。

#### 〈ターン準備期〉

ターン前5m からターン前2.5m まで

#### 〈アプローチ期〉

ターン前2.5m から足先が壁に着地するまで

#### 〈ドライブ期〉

足先が壁に着地してから離れるまで

#### 〈グライド期〉

足先が壁を離れてからターン後2.5m まで

また、ターン準備期とアプローチ期の合算タイムをターンインタイム、ドライブ期とグライド期の合算タイムをターンアウトタイムとして算出した。このターンインタイムを、全日本選手権 100M 背泳ぎレースの 45~50m 通過タイム分析結果（野村，1996）と比較した。また、腰の移動軌跡とターンの巧拙の関係をみるために「ターンイン」、「ターンアウト」、着地及び着地 0.2s 後の重心位置と水面とのなす角度（以降、投射角度）を求めた。

### 3. 結果

#### 3.1 ターン動作と所要時間

表 5-2 にターンの各局面の所要時間を示した。ターンインタイムとターンアウトタイムを合算したトータルタイムは、男子熟練者 4.25s、同未熟練者 5.48s、女子熟練者 4.45s、同未熟練者 6.31s と各グループ間に有意な差が認められた。ターン準備期では、回転動作を始めるまでの移動時間の違いに大きな差がみられた。ドライブ期の所要時間は、男子熟練者 0.29s、未熟練者 0.25s、女子熟練者 0.34s、未熟練者 0.59s であった。男子では未熟練者の所要時間が最も短く、壁を蹴る力が小さいのに対して、女子では熟練者が短い時間で大きな力を発揮していた。

#### 3.2 壁を蹴る力の大きさ

図 5-14 に女子熟練者及び同未熟練者の背泳ぎターン中の力発揮を示した。未熟練者の力発揮パターンは所要時間が長く、ピークフォースは約 200N であった。それに対して熟練者はいったん体重付近まで力を加えた後、一気に 600N あたりまでのピークを迎えていた。

表 5-3 にターンのピークフォースと体重あたりの値を示した。また、クロール及び平泳ぎによる先行研究結果も合わせて示した。種目間の差の特徴がそれぞれ見受けられるが、背泳ぎの壁を蹴る力はクロール及び平泳ぎに比べて全体的に小さかった。

壁を蹴る力の平均は男子熟練者  $575.3 \pm 12.3\text{N}$ 、未熟練者  $363.3 \pm 12.7\text{N}$ 、女子熟練者  $596.6 \pm 11.0\text{N}$ 、未熟練者  $227.7 \pm 7.0\text{N}$  であった。熟練者のそれはクロールの約 50% (Takahashi et

al., 1983) ~100% (合屋ら, 1996), 平泳ぎの約50%弱 (Goya et al., 1999) 程度であった。壁を蹴る力を体重で除した値は男子熟練者 15.4N/kgw, 未熟練者 14.7N/kgw, 女子熟練者 20.9N/kgw, 未熟練者 11.6N/kgw であった。先行研究との比較 (29.8N/kgw~10.6N/kgw) からも、競技レベルの高い被検者の方が大きな値を示した。

### 3.3 重心軌跡と投射角度

図5-15に女子熟練者, 同未熟練者の各局面における軌跡の代表例を示した。ターン動作は, 熟練者が膝を曲げながら回転動作に入っているのに対して, 未熟練者は膝が伸びた状態でのターンが行われていた。男子の未熟練者はストリームラインを作る前に足先が壁に着地し, 女子の未熟練者の着地は, 水面に対して平行ではなく, 両腕が斜め上方向に向いた姿勢で着地していた。ドライブ期における重心落下高は男子熟練者 6.8cm, 未熟練者 8.3cm, 女子熟練者 2.2cm, 未熟練者 3.9cm であった。投射角度は男子熟練者  $91.0^\circ$ , 未熟練者  $66.0^\circ$ , 女子熟練者  $89.0^\circ$ , 未熟練者  $94.0^\circ$  であった。熟練者は未熟練者に比べてターン後の重心落下高が小さく, ほぼ水面と平行に移動していた。リリース後の重心の投射角度は熟練者が  $89\sim 91^\circ$ , 未熟練者が  $66\sim 94^\circ$  であった。熟練者がほぼ水面と平行であるのに対して, 未熟練者は上向きまたは下向きと不安定であった。また, ドライブ期の重心移動の最高速度 (以下, 蹴り出し速度) は男子熟練者 3.26m/s, 同未熟練者 3.88m/s, 女子熟練者 3.14m/s, 同未熟練者 2.70m/s であった。

## 4. 考察

ターンは代表的な質点に単純化して考えると, 泳者の運動方向の変換である (高橋ら, 1983)。従って, 運動方向の変換がどのような身体部分の運動からなるかを知ることは, ターン運動を考える上で重要である。一方, 野村 (1996) は背泳ぎレース分析の結果より男子はスタート局面が, 女子はターン局面が競技力向上に影響すると指摘している。背泳ぎのターン動作は, 通常の仰向けの姿勢からうつ伏せの姿勢に移行した後, ストロークとリカバリー動作をひねり運動に変えながら回転動作に入る。このことから, 回転準備にどれだけ時間がかかるか, またその間にいかに進入速度を落とさないで回転するかがターン技術のコツである (高橋ら, 1983)。本研究の結果, とくに女子熟練者の接地前タイムの平均が 3.72s と, 全日本選手権出場選手と比較 (野村, 1996) してもほぼ同タイム (予選  $3.70 \pm 0.15$ s, 準決勝  $3.6 \pm 0.09$ s, 決勝  $3.56 \pm 0.11$ s) であることから, ターンの時間短縮が必要なことがわかる。一方, Blanksby et al. (2004) は, 背泳ぎの 5m ターン往復タイムは足のリリース後, 最初の腕のかきまでの時間と有意な相関があったことを報告している。これは, 対象とした被検者がエージグループの上位であったことから, ターン技術のみならず, 浮き上がりまでのテクニックも要求されていることを示唆している。従って, ターンインからターンアウトまで各局面毎にそれぞれの技能が存在すると思われる。本研究では, ター

ン動作は男女熟練者が膝を曲げながら回転動作に入っているのに対して、男女未熟練者は膝が伸びた状態でのターンが行われていた。また、男子未熟練者はストリームラインを作る前に足先が壁に着地し、女子未熟練者の着地は、水面に対して平行ではなく、両腕が斜め上方向に向いた姿勢で着地していた。一方、グライド期の動作は、熟練者が水面に対してほぼ平行であったのに対して、男子未熟練者は上向き、女子未熟練者は下向きであった。このことから、ターンアウトタイムは蹴り出し角度及びストリームライン姿勢の適否によってタイムが変化することが示唆された。すなわち、1) 水の抵抗を少なくすること、2) バサロ動作への移行、3) 浮き上がりから泳ぎへつなげるための十分なストリームライン作り、4) 水面に対してほぼ平行な姿勢で蹴り出すことなどの要素が存在する。

一方、高橋ら (1983) はターンは重心回りの回転、泳者の抵抗など他の要因が影響を及ぼすので、壁に対して大きな力を発揮した方がそうでないより有利であると述べている。本研究の結果、熟練者の壁を蹴る力は (575.3~596.6N)、Takakashi et al. (1983) のクロールターン (1712N) に比べると値は小さかった。これは本研究の被検者の熟練度が中等度であり、Takakashi et al. (1983) の被検者が男子エリート選手であったことによるものと考えられる。先行研究の他種目のターンと比較してみると、上級レベルである被検者のほうが大きい値を示している (表 5-3)。また、Nicol and Kruger (1979) は、クロールのターンのピークフォースは 600~1100N、Klauck (2002) は、コンピューターモデリングによるターン後のけり出しの力は約 1400N、Roesler (2002) は、ターン時の力の大きさを計測した結果、ハイレベルの選手が約 1800N、中レベルの選手が約 1400N、低レベルの選手が約 700N であったと報告している。本研究の結果、壁を蹴る力は、男子では 575.3N~363.3N、女子では 596.6N~227.7N の範囲を示し、熟練者のそれはクロールの値の約 50% (Takahashi et al., 1983) ~100% (合屋ら, 1996)、平泳ぎの値の約 50% 弱 (Goya et al., 1999) 程度であった。体重で除した値は男子熟練者 12.3N/kgw、未熟練者 12.7N/kgw、女子熟練者 11.0N/kgw、未熟練者 7.0N/kgw であった。同様に、先行研究との比較 (29.8N/kgw~10.6N/kgw) から、競技レベルの高い被検者の方が大きな値を示す傾向にあった。これは、壁を蹴る力を体重で除した値が壁を蹴る動作のひとつの評価基準として有効であることを示唆している。異なる被検者で行った別種目のターンでも、これらの値を比べることによって、ターン時の壁を蹴る動作の優劣を論じることができると考える。しかし、被検者数や能力レベル、性差についてのさらなる検討も必要である。

また、軌跡と投射角度の結果より、熟練者はターン後の重心落下高が小さく、ほぼ水面と平行に移動するのに対して、未熟練者は重心落下高が大きく、上向きまたは下向きと不安定であった (図 5-15)。結果、未熟練者の回転移動距離が長くなり、重心移動速度の低下を招き、さらには蹴り出し角度の不安定からターンアウトタイムのロスにつながる事が考えられた。

以上のことから、1) 着地前の膝の素速い抱え込み、2) 壁を蹴る力の大きさと方向、及



び3) 着地時の適切なストリームライン姿勢の保持が背泳ぎのターンの巧拙を決定すると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、背泳ぎフリップターン動作の画像解析及び壁を蹴る力の分析に基づいて、熟練者、未熟練者を対象としてその特徴や巧拙を明らかにし、けのび動作との共通点、相違点など実践的評価や指導方法論の基礎的資料を得ようとした。その結果は以下のものであった。

- 1) 壁を蹴る力は、男子では575.3N~363.3N、女子では596.6N~227.7N、壁を蹴る時間は、それぞれ0.29s~0.34s、及び0.25s~0.59sであった。熟練者の壁を蹴る力は、クロールの値の約50%~100%、平泳ぎの値の約50%弱程度であった。
- 2) 未熟練者では、アプローチ局面における回転技術及びドライブ局面の壁を蹴る力の大きさと蹴り出す方向が適切に行われること、また、熟練者ではドライブ期からグライド期にかけての蹴り出す方向と低抵抗姿勢が適切に行われることがターンのできばえとタイム短縮につながると思われた。
- 3) 背泳ぎのターンの巧拙は、1) 着地前の膝の素早い抱え込み、2) 壁を蹴る力の大きさと方向、及び3) 着地時の適切なストリームライン姿勢の保持によって決定されると考えられた。

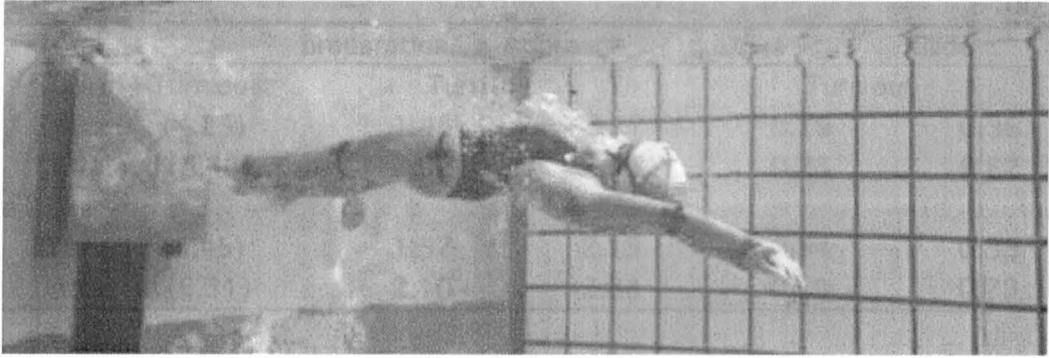


図5-12 背泳ぎのターンの力発揮測定

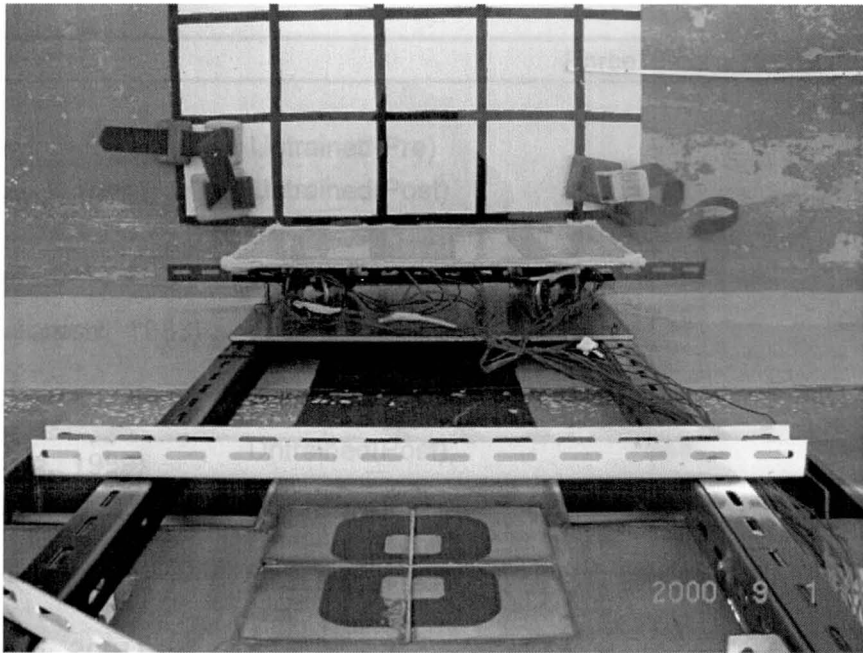


図5-13 上方からみた水中フォースプレート

表 5-2 男女熟練者と未熟練者のターン各局面の所要時間

(s)

Total		preparation	Approach	Drive	Glide
Turn in+Turn out		Turn in		Turn out	
Male	Trained (4.25)	1.48	2.11	0.29	0.36
	Untrained (5.48)	2.02	2.55	0.25	0.62
Female					
	Trained (4.45)	1.57	2.15	0.34	0.38
	Untrained (6.31)	2.10	2.88	0.59	0.73

表 5-3 背泳ぎターン時の壁を蹴る力と多種目との比較

		Force	Force/Wt
		(N)	(N/Kgw)
Crawl (Goya, 1996)	Untrained(Pre)	532	10.6
	Untrained(Post)	827	16.5
Crawl (Takahashi, 1983)	Untrained	1068	15.1
	Trained	1712	24.2
Breast (Goya, 1999)	Untrained(Pre)	851	15.2
	Untrained(Post)	944	16.9
	Trained	2087	29.8
Back (Goya, 2001)	Male Untrained	363.3	12.7
	Male Trained	575.3	12.3
	Female Untrained	227.7	7.0
	Female Trained	596.6	11.0

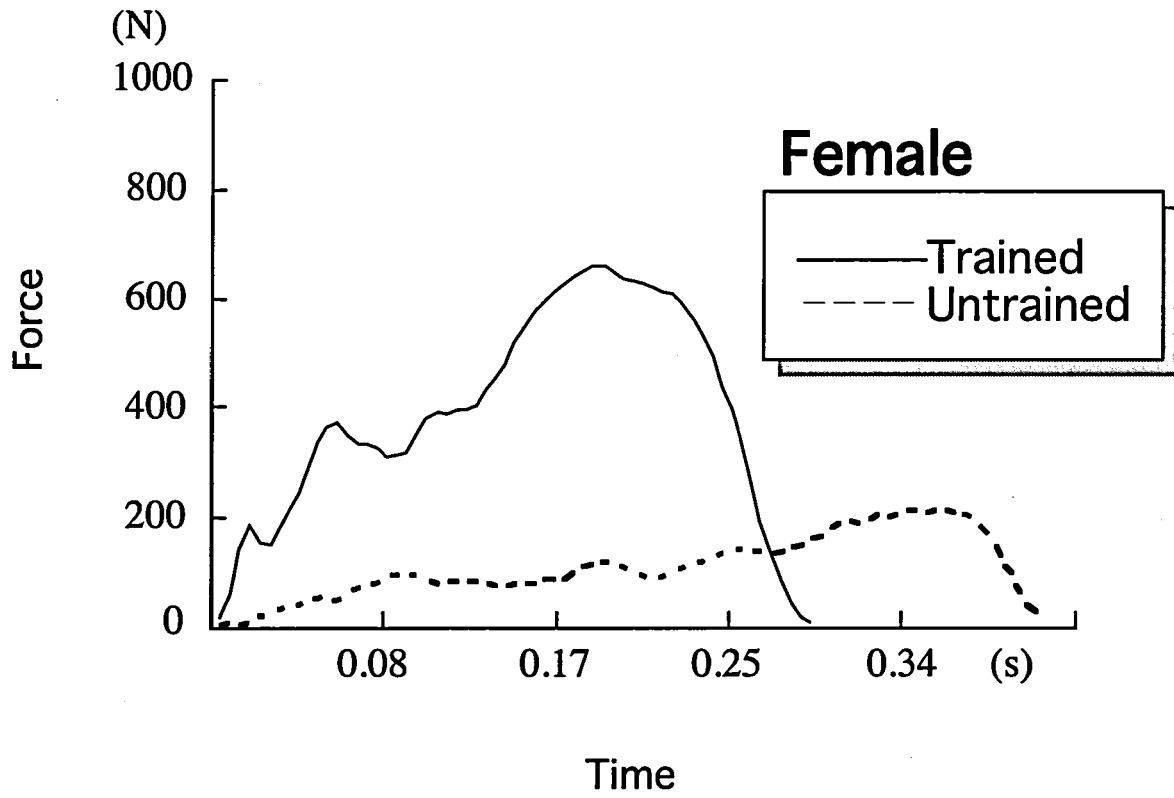


図 5-14 熟練者と未熟練者の力発揮パターン

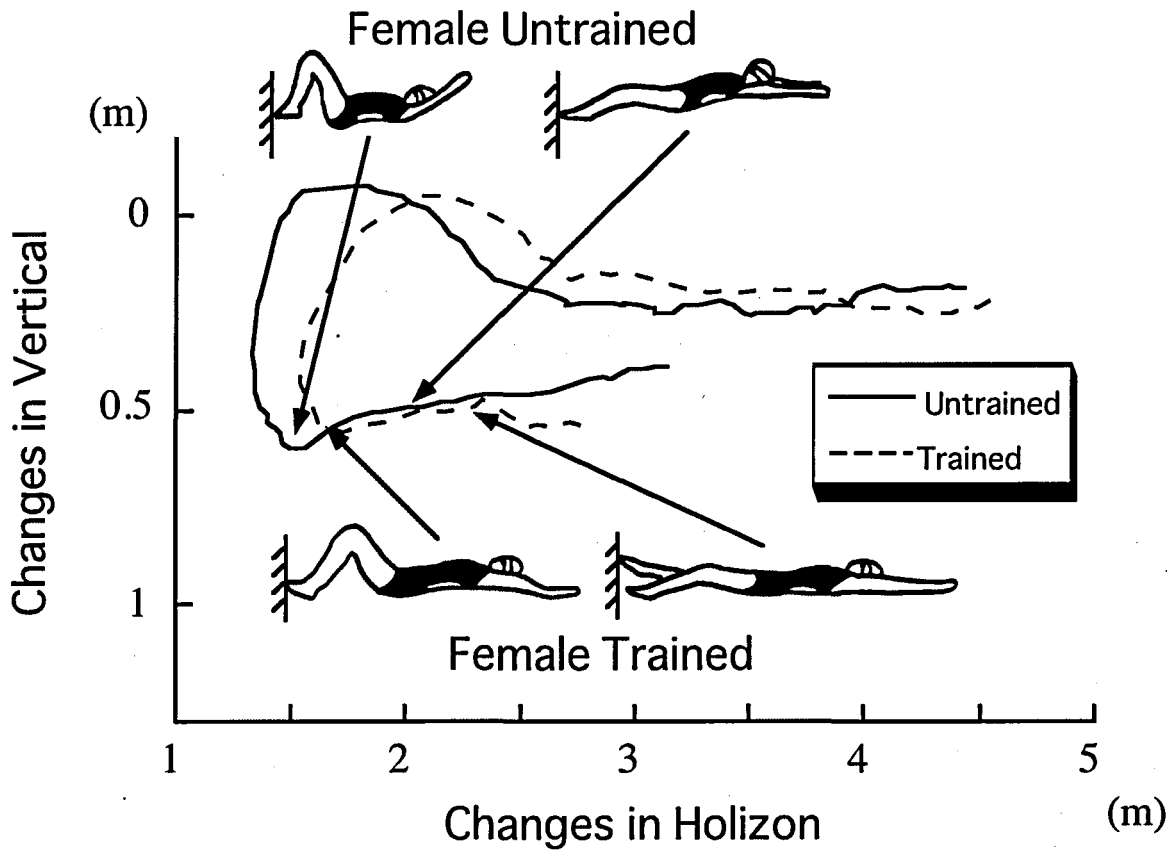


図 5-15 ターン時の重心移動軌跡の変化

## 第4節 総合考察

第5章では、けのびの発展系であるターン動作を取り上げ、けのびが含まれるターン後半部分の巧拙と習熟過程をけのびとの比較で検討した。

第1節では、未熟練者1名を対象にクロールのターン動作について水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて、壁を蹴る力及び動作の巧拙と習熟過程を明らかにすることを目的とした。その結果、壁を蹴る力は、練習により 532.0N から 827.6N へと増加、壁を蹴る時間は、0.70s から 0.40s へと短縮、重心の加速度は  $4.20\text{m/s}^2$  から  $6.66\text{m/s}^2$  へと増加、蹴り出す方向は斜め下方からやや斜め上方に変わった。力積は  $157.4\text{N}\cdot\text{s}$  から  $183.4\text{N}\cdot\text{s}$  へと増加した。熟練者は  $154.8\text{N}\cdot\text{s}$  とほぼ未熟練者と同じであった。このことから、クロールのターンは、壁を蹴る力の増加、蹴る時間の短縮、重心加速度と力積の増加、蹴り出す方向の改善及び重心の落下高の減少によって上達したことがわかった。

第2節では、第1節と同様、平泳ぎターン動作の習熟過程を検討した。その結果、壁を蹴る力は、練習により 851.1N から 944.3N へと増加、壁を蹴る時間は、0.45s から 0.34s へと短縮、重心の落ち込みの差は 9.5cm 短縮、蹴り出す方向は斜め下方からやや斜め上方に変わった。従って、平泳ぎのターンも、クロールと同様の要因によって上達すると考えられた。力積は練習前が  $243.8\text{N}\cdot\text{s}$ 、練習後が  $222.4\text{N}\cdot\text{s}$ 、熟練者が  $202.9\text{N}\cdot\text{s}$  とほぼ同じであった。力積は力の大きさと作用時間の積で表されるので、いずれかの値の差が力積を左右すると思われる。しかし、ターン技術の評価について、Blanksby et al. (1996) は、エージグループの自由形クイックターンにおける力発揮と動作解析から、男女の性差はみられず、むしろ壁を蹴るタイミングや方向が問題であることや、壁を蹴った後、水中でのけのび姿勢のごくわずかな変化が非常に大きな抵抗に直結すること (Thayer and Hay, 1984) が指摘されている。初心者のけのびでは、力積と到達距離とに有意な関係がみられた (第4章) そこで、ターン動作と力積の関係を検討した結果、クロール及び平泳ぎの力積は、初心者と熟練者との間にあまり差がみられなかった。従って、力積だけでターン技術の評価するのは不十分であり、ターン動作の時系列分析を合わせた総合的な見地から論議する必要があると思われた。

第3節では、熟練者、未熟練者の背泳ぎターン動作の特徴や巧拙を明らかにし、けのび動作との共通点、相違点など実践的評価や泳法指導の基礎的資料を得ることを目的とした。その結果、壁を蹴る力は、熟練者が 575.3N~596.6N、未熟練者が 363.3N~227.7N、壁を蹴る時間は、それぞれ 0.29s~0.34s、及び 0.25s~0.59s であった。熟練者の壁を蹴る力はクロールの値の約 50%~100%、平泳ぎの値の約 50%弱程度であった。熟練者はターン後の重心落下高が小さく、ほぼ水面と平行に移動するのに対して、未熟練者は重心落下高が大きく、上向きまたは下向きと不安定であった。このことから、背泳ぎのターンの巧拙は、クロールや平泳ぎと同様の要因によって上達することがわかった。

以上のことから、初心者のターンは練習により、壁を蹴る力の増加、蹴る時間の短縮、重心加速度の増加、蹴り出す方向の改善及び重心の落下高の減少によって上達した。これは、初心者のけのびの到達距離の増大の要因とほぼ一致していた(第2章)。従って、ターンの後半は、けのび動作の巧拙と一致することがわかった。しかし、クロール及び平泳ぎターンの力積は、初心者と熟練者との間にあまり差がみられなかったことから、力積だけでターン技術を評価するのは不十分であり、けのび姿勢に入る前のターン動作の時系列分析を合わせた、総合的な見地から論議する必要がある。

## 第6章 水泳の動作認識及び速度出力調整との関係

### 第1節 水中運動の動作認識とその変容について

#### 1. 緒言

運動は力学的に理解し、感覚的に覚えることが重要である(天野, 1987)。体育・スポーツの指導においては、学習者が「できる」ようになると同時に「わかる」内容や方法を用意すべきである。すなわち、学習者がどのように動きや運動の構造を理解し、技術を向上させていくのかを明らかにしていく必要がある。しかし、このような研究は方法論的にはあまり確立されていないようである。

そこで、本研究では大学生男女83名を対象として、水泳の授業前後に4泳法(クロール、平泳ぎ、背泳ぎ、バタフライ)の動作認識に関するアンケート調査を実施し、動作認識がしやすい項目や、しにくい項目について、1) 通常授業と集中授業の授業形態によってその差異が現れるのか、2) 身体部位別に差が見られるかの2点を明らかにし、水泳の授業及び指導プログラムを組み立てる際の基礎的資料を得ることを目的とした。

#### 2. 研究方法

被検者は大学2年生男女83名(集中39名, 通常44名)であった。授業目標は①ゆっくり、長く、楽に泳ぐことをめざして、②溺れないためのサバイバル技術(着衣泳)と知識を習得する。③平泳ぎ(Br)、クロール(Cr)、背泳ぎ(Ba)、バタフライ(Bu)、横泳ぎ、立ち泳ぎの基本と泳法矯正ドリル、④水球、シンクロ、スキндаイビング入門、⑤水中での身体コントロールと動きづくりなどであった。

アンケート用紙は、高橋(1984)による4泳法の泳法別自己診断項目を参考にして作成した。各泳法とも「姿勢」「手の動き」「キック」「コンビネーション」の4つの項目で構成され、それぞれのアンケートの項目数はクロール26(姿勢6, 手の動き12, キック3, コンビネーション5)、平泳ぎ22(姿勢6, 手の動き5, キック7, コンビネーション4)、背泳ぎ27(姿勢6, 手の動き11, キック6, コンビネーション4)、バタフライ26(姿勢4, 手の動き14, キック4, コンビネーション4)であった。なお、アンケートの内容は全文節末に掲載した。授業の前後に4泳法のアンケート用紙の各項目について、イ. はい、ロ. いいえ、ハ. どちらともいえない、ニ. 質問の意味がわからない、ホ. 意識したことがない、のいずれかを回答させ、実際に動作ができていないにもかかわらず、はっきりと認識しているかどうかという観点からそれぞれに得点を与え、集計した。すなわち、「はい、いいえ、どちらともいえない」は回答者が質問内容について気づいており、「はい、いいえ」は自分の動きや動きに伴う感覚をはっきりと、「どちらともいえない」はある程度気づいていると考え、それぞれ5, 4, 3とした。「質問の意味がわからない、意識したことがない」



は質問内容に気づいていないと考え、それぞれ2, 1とした。よって結果の平均値は認識の高低を示している。すなわち、数値が減少すると認識が高まると解釈した。

通常授業は4月-11月に週1回90分(含む理論)、集中授業は7月下旬、8月下旬の8日間(1日3時間、含む理論)を実施した。双方の授業はともに2人1組(バディ)を基本とし、互いに観察、助言をさせながら授業を行った。指導者は同一教官が双方の授業を担当した。

### 3. 結果

#### 3.1 通常授業前、後の変化

クロールの平均は、授業前に比べ授業後は、26項目すべてに減少傾向がみられた。平均値の有意差検定を行った結果、26項目中16項目に1%水準、4項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：水中時」ではすべての項目に有意な差がみられた。平泳ぎの平均は、授業後に、22項目すべてに減少傾向がみられ、11項目に1%水準、5項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では、「キック動作」「姿勢」に1%水準での高い有意差がみられた。

背泳ぎの平均は、授業後に27項目すべてに減少傾向がみられ、13項目に1%水準、8項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：水中時」「手の動き：リカバリー」「コンビネーション」ではすべての項目に有意な差がみられた。

バタフライの平均は、授業後に26項目すべてに減少傾向がみられた。26項目中5項目に1%水準、10項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：水中時」「キック」のほとんどに有意差がみられた。

クロール、平泳ぎと同様に、背泳ぎ及びバタフライについても推進力と大いに関係する手のかきや、脚のけり動作に認識の高まりが見られた。

#### 3.2 集中授業前、後の変化

クロールの授業前後の平均値の有意差検定を行なった結果、26項目中9項目に1%水準、6項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：水中時」にほとんどの有意差が見られた。

平泳ぎの授業前後の平均は、22項目中13項目に1%水準、6項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「キック：けり」「コンビネーション」ではすべての項目に有意な差がみられた。クロールの授業前後の平均は、授業後に27項目すべてに減少傾向がみられた。27項目中12項目に1%水準、5項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：水中時」「キック」ではすべての項目に有意な差がみられた。

バタフライの授業前後の平均は、26項目すべてに減少傾向がみられた。26項目中15項目に1%水準、5項目に5%水準で有意な差がみられた。部位別では「手の動き：入水時」

「キック」ではすべての項目に有意な差がみられた。

#### 4. 考察

通常授業の4種目のすべての質問項目を100%とした時、5%以下の有意差が見られた項目の割合は、クロールが76.9%、平泳ぎが72.7%、背泳ぎが77.8%、バタフライが57.7%であり、4種目の平均では71.3%となり、全体のほぼ7割近くの項目に認識の高まりが見られた。一方、集中授業での4種目のすべての質問項目を100%とした時、5%以下の有意差が見られた項目の割合は、クロールが57.7%、平泳ぎが86.4%、背泳ぎが63.0%、バタフライが76.9%であり、4種目の平均では71.0%となり、通常授業と同様に全体のほぼ7割近くの項目に認識の高まりが見られた。

以上のことから、各泳法とも通常授業、集中授業後ともに、ほぼ同じ質問項目に70%前後の動作認識の高まりがみられた。すなわち、クロール、背泳ぎ、バタフライでは主に「手のかき」に、平泳ぎは「足のけり」に有意に認識の高まる項目が共通していた。このことは、共通する身体部位が各泳法において最も大きな推進力を得る動きと関連するため、意識の集中がそれらの部位に移行すると考えられた。また、出原(1986)が「動作認識(わかる)は運動の習熟度(できる)に大きく左右される」と指摘するように、水泳能力の差異によって結果が左右されることを考慮する必要がある。さらに、動作認識の高まりと、実際の動きがマッチングしているのかどうかを、映像解析などと合わせて解明することが課題としてあげることができる。

一方、「姿勢」を体、「手の動き」を腕、「キック」を足というように身体部位に置き換えると、本研究では「姿勢」に関する項目にはほとんど有意な差は見られなかった。これは星野(1982)が陸上運動の動作認識の報告で「走動作をとらえる際、着目している身体部位で、腕や足については比較的容易にとらえることができるが、体(体幹)への気づきは難しい」と指摘するように、水泳運動においても全く同様のことが確認された。言い換えれば、ヒトの運動中の動作認識は手足の部分は高まりやすいが、体幹部分については少し困難さが伴うことが示唆された。

#### 5. 結論

本研究では大学生男女83名を対象として、水泳の授業前後に4泳法(クロール、平泳ぎ、背泳ぎ、バタフライ)の動作認識に関するアンケート調査を実施し、動作認識の変容を明らかにし、水泳の授業及び指導プログラムを組み立てる際の基礎的資料を得ることを目的とした。その結果は以下のようにまとめることができた。

- 1) クロールでは水中時の手の動きに、平泳ぎではキックに、背泳、バタフライでは手の動きに最も有意な差がみられた。これらの項目は各泳法において最も大きな推進力を得

る動きであった。

- 2) 腕や足は比較的容易にとらえる（認識する）ことができるが、体（体幹）への気づきは難しい。

## アンケート全文

### 《クロール》

#### 〈姿勢〉

1. 頭の毛の生え際で水を切っているか？
2. 上体と腰が安定しているか？
3. 膝が曲がりすぎていないか？
4. 息つぎをする時に、頭や上体が起きていないか？
5. 肩、首の力は抜けているか？
6. 肩で耳をはさむようにしているか？

#### 〈手の動き：入水時〉

7. 指先から入水しているか？
8. 肘が落ちていないか？
9. 指先をしっかりと見ているか？
10. 肘、肩を前方にしっかりと伸ばしているか？

#### 〈手の動き：水中時〉

11. 入水後、手(肘)を1) 伸ばして、2) 曲げて、3) 伸ばしての順にかいているか？
12. 水をかくときに、手のひらをおなかの方へ向けているか？
13. 手のひらに水の抵抗を感じるか？
14. 脚の太腿にさわる位まで水をかいているか？
15. 手のひらで水を足先の方まで押しているか？

#### 〈手の動き：水上時〉

16. 肘を高く抜きあげているか？
17. 手の甲は進行方向を向いているか？
18. 肘、手首に力が入りすぎていないか？

#### 〈キック〉

19. 膝を伸ばしっぱなしでキックしていないか？

20. 蹴るときに足首の力を抜いているか?
21. キックした時に水がズボッ、ズボッという音をたてているか?

<コンビネーション>

22. 左右の手のかきのタイミングが合っているか?
23. 手のかきと呼吸のタイミングが合っているか?
24. ローリングを使っているか?
25. 水の中で息を少しずつ吐いているか?
26. 息つぎの時パツと強く吐いてから息を吸っているか?

《平泳ぎ》

<姿勢>

1. 腰が反りすぎていないか?
2. 呼吸で上体が立ちすぎていないか?
3. 指先が水面に出ているか?
4. 肩、首の力は抜けているか?
5. 肩で耳をはさむようにしているか?
6. 手を伸ばしたとき足裏が水面と平行になっているか?

<手の動き>

7. 肘を伸ばしたままかいていないか?
8. 肘から先に引いて水をかいていないか?
9. 肩の後ろまで壬をかいていないか?
10. かきの最後に脇をしめるようにしているか?
11. 手のひらで水をしっかりキャッチしているか?

<キック:ひきつけ>

12. 膝を引きすぎて腰おれの姿勢になっていないか?
13. キックをする特に足首の返しをしっかりとやっているか?
14. 膝の曲げが遠すぎないか?

<キック:けり>

15. アオリ足になっていないか?
16. 足のつま先の方へスリップしながらけっていないか?
17. 両ももを進行方向と直角にして足裏でけっていないか?

18. けた後、両足先をしっかりと捕えているか?

<コンビネーション>

19. 足のけりが終わる前に手をかきはじめ腕を広げすぎているか?

20. 手のかき始めに呼吸をしていないか?

21. 手と足を同時に動かしていないか?

22. 十分グライド(けのび)の状態(姿勢)をとっているか?

23. 今、平泳ぎでどのくらい泳げますか?(可泳距離 m)

《背泳》

<姿勢>

1. 腰が沈んでいないか?
2. 背筋を伸ばしているか?
3. 肩、首の力は抜けているか?
4. あごを軽く引いているか?
5. 頭が起きていないか?
6. 上体と腰が安定しているか?

<手の動き:リカバリー時>

7. 小指から入水しているか?
8. 頭より上に入水しているか?
9. 肘、肩を前方にしっかりとのぼしているか?
10. 手のひらが体の外側を向いているか?

<手の動き:水中時>

11. 入水後、手(肘)を1) 伸ばして、2) 曲げて、3) 伸ばしての順にかいているか?
12. 手のひらに水の抵抗を感じるか?
13. 前腕を内旋させる腕相撲のような感覚でかいているか?
14. この時に脇をしめているか?
15. 脚のふとももにさわる位まで水をかいているか?
16. フィニッシュの時、手首を返して手の甲が上を向くか?
17. 手のひらで水を足先の方まで押しているか?

<キック>

18. 膝が伸びたままでキックしていないか?

19. 脚の甲で水を後ろ上方に蹴り上げているか?
20. 蹴るときに足首の力を抜いているか?
21. 足先の少し遠くに水の盛り上がりができるような感覚で蹴れているか?
22. 足の親指同士がさわるようにキックしているか?
23. ダウンキックの時、膝は十分に曲げているか?

<コンビネーション>

24. 左右の手のかきのタイミングが合っているか?
25. 手のかきと呼吸のタイミングを合わせているか?
26. 口から息を吸って、鼻から吐いているか?
27. ローリングを使っているか?

《バタフライ》

<姿勢>

1. 体全体がしなやかにうねっているか?
2. 腰が沈んでいないか?
3. 呼吸で上体が立ちすぎているか?
4. 肩、首、腰の力は抜けているか?

<手の動き:入水時>

5. 左右の腕を同時に入水しているか?
6. 指先から入水しているか?
7. 肘が落ちていないか?
8. 肘、肩を前方にしっかりと伸ばしているか?
9. 肩の幅ぐらいに入水しているか?

<手の動き:水中時>

10. 入水後、手(肘)を1) 伸ばして、2) 曲げて、3) 伸ばしての順にかいているか?
11. 左右の腕を同時にかいているか?
12. 水をかくときに、おなかの下をかいているか?
13. 手のひらに水の抵抗を感じるか?
14. 足のふとももにさわる位まで水をかいているか?
15. 手のひらで水を足先の方まで押しているか?

<手の動き:水上時>

16. 水中から手を抜くとき、小指から抜いているか?
17. 手先が水面近くを通っているか?
18. 肩で耳をはさむようにしているか?

<キック>

19. 腰からのくねるようなキックをしているか?
20. 両足同時にキックしているか?
21. 蹴るときに、足首の力を抜いているか?
22. 足の親指同士がさわるようにキックしているか?

<コンビネーション>

23. 手のかきとキックのタイミングがあっているか?
24. リズムよく泳げているか?
25. 手のかき初めに呼吸をしていないか?
26. あごを水面からはなさずに、突き出すように呼吸しているか?

## 第2節 けのび及びクロール泳の画像解析と動作認識の変容

### 1. 緒言

動作の学習の場合、頭でわかっているにもかかわらず、いざやってみると巧くできないというように、「わかる」ことが必ずしも「できる」ことに結びつかない(伊藤, 1989)。従って、体育・スポーツの指導者は学習者が「できる」ようになるのと同時に、「わかる」内容や方法を考慮すべきであろう。すなわち、学習者がどのように動きや運動の構造を理解し、技術を向上させていくかを明らかにしていく必要がある(星野, 1998)。しかし、それらの運動プログラムの改良と動作の再現性の双方がどのように関連し合って形成されていくのか、そのモデルさえもわかっていないようである。

星野(1982)は、走動作の「動きへの気づき」は「感覚への気づき」より認識しやすいと指摘している。われわれは、泳動作の推進部分(手や足)への「動きや感覚的気づき」は練習によって高まるが、「体幹への気づき」は難しいことを明らかにしてきた(合屋, 1997)。しかし、泳動作に対するこのような認識の度合と実際の泳ぎそのものとのマッチングがどのような様相を呈しているのかは、全くわかっていない。また、初心者から中、上級者に至るまでのそれらの変化についてもほとんど言及されていない。

そこで本研究では、初心者1名に水中での基本姿勢であるけのび動作及びクロール泳を一定期間練習させ、その前後の動きや感覚への気づきの変化をVTR画像解析と質問紙による追跡調査によって、明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究方法

被検者は、競技歴のない大学生女子の初心者1名(身長158.0cm, 体重54.5kg)であった。練習は、週3回(1日2時間)を5週間行った。言語指示方法は、村川ら(1987)の感覚的言語を参考に行った。実験は練習前、中、後の3回実施した。VTR画像撮影は、水中窓からNAC社製HSV-400(200fps)により被検者の左側方を撮影した。画像分析は、Wolfram Research社製Mathematica 2.2.2を用いてデジタイズ、解析した。けのび動作は、つま先がプール底面から離れる瞬間(以降リリース時)から12秒後までを分析し、重心移動軌跡、速度、及び投射角度、腰及び膝関節角度変化を見た。クロール泳では、練習前後の平均泳速度、ストローク長、ストローク頻度、水中ストローク局面比、水中での手先の軌跡、水中側面及び正面のトレース図などによりそれらの変化を比較、検討した。

質問紙法は、高橋(1984)による方法を参考にし、合屋(1997)による自己診断項目を用いた(表6-1)。動作に対する認識の質問は、「5. はい」、「4. いいえ」、「3. どちらともいえない」、「2. 質問の意味がわからない」、「1. 意識したことがない」であった。「5.」「4.」は「自分の動作や感覚をはっきりと認識している」とし、「3.」「2.」「1.」は「認識していない」とした。



### 3. 結果

#### 3.1 パフォーマンスの変化

リリース時から立つまでのけのび動作の到達距離は、練習前が 5.7m、練習後が 8.0m と大きくなった。熟練者のけのび動作の到達距離は、10.1m であった。

クロール泳は当初 36.8m を 38.9s でしか泳げなかったのが、練習後は 50m を 46.6s、ストローク数 32, 0.69stroke/s, 1.56m/stroke, 平均速度 1.07m/s へと変化した。また、1 サイクルに要した時間 (以降, CT), 水中ストローク時間 (以降, UST) 及び水中ストローク比率 (UST/CT\*100) は練習前がそれぞれ 1.81s, 1.13s, 61.7%, 練習後が 1.28s, 0.99s, 77.3% であった。

#### 3.2 重心移動軌跡及び速度

重心移動軌跡の投射角度は、水面とリリースから 0.5s 地点のなす角度とした、投射角度は、練習前が下向きに  $10.7^\circ$  , 練習後が  $6.2^\circ$  であった。しかし熟練者の投射角度は上向きに  $3.7^\circ$  であった。

重心移動速度は、練習前のリリース時が 2.32m/s, 練習後が 2.68m/s であった。1.0s 後は練習前が 1.40m/s, 練習後が 1.60m/s であった。熟練者はリリース時が 2.9m/s, 1.0s 後が 1.9m/s であった。

#### 3.3 腰及び膝関節角度

腰関節角度は肩関節中心点, 大転子点, 膝関節中点のなす角度とし、膝関節角度は大転子点, 膝関節中点, 足関節中点のなす角度とした。0.5s 後の腰関節角度は、練習前が  $170.5^\circ$  , 練習後が  $172.1^\circ$  であった。また、膝関節角度は、練習前が  $165.5^\circ$  , 練習後が  $176.5^\circ$  であった。熟練者は、腰関節角度が  $175.4^\circ$  , 膝関節角度が  $178.9^\circ$  であった。

#### 3.4 水中側面及び正面のトレース図

図 6-1, 6-2, 6-3 に練習前後、熟練者のクロール泳のトレース図を、図 6-4 に水中正面の写真を示した。練習前では肘が伸びたストレートアームプルであり、腰が浮いた状態であることがわかる。練習後では練習前に比べ肘が少し曲がり、手のかき出し時に指先が揃うキャッチアッププルになっていた。それに対して熟練者では、図 4 からわかるように肘が十分曲げられ、腰が落ちた安定したストリームライン姿勢がとれていた。また、手のかきの後半にあたるプッシュオフ時には手のひらで水を押ししている様子が見受けられた。

#### 3.5 水中での手先の軌跡

図 6-5 に練習前後、熟練者の水中での手先の軌跡を示した。練習前はグライド局面が

20.2%、実際の推進力に関与する手先の水平成分もほとんど見られず、水中ストローク比率も69.7%であった。練習後は、グライド局面が33.3%、水中ストローク比率77.8%と手先の水平成分の若干の増加がみられた。一方、熟練者はそれぞれ40.3%、77.9%とさらに多くの手先の水平成分の動きが見られた。

### 3.6 質問紙による認識の変化

表6-1に、質問紙の各項目に対する練習前後の回答を示した。練習前では「2. 意識したことがない」が70%以上を占め、あとは「4. いいえ」がほとんどであった。練習後では「5. はい」が最も多く65%以上、次に「4. いいえ」が30%弱であった。図6-6は、大項目である「姿勢」、「手、入水時」、「手、水中時」、「手、水上時」、「キック、呼吸」、「コンビネーション」に関する代表例の回答を示した。ほとんどの項目で練習前に比べて「気づき」の度合いが向上していた。

## 4. 考察

### 4.1 動作の変化について

けのび動作の到達距離は、5.7mから8.0mと2.3m増加した。投射角度は、下向きに10.7°から6.2°と4.5°小さくなった。しかし熟練者の到達距離は、10.1mと初心者の練習後に比べ2.1m大きく、重心の投射角度は方向が全く異なっていた。すなわち、初心者の投射角度が、練習前と練習後もプールの底に向かう下方であったのに対して、熟練者のそれは水面に向かう上方であった。動作の改善が練習によってなされたものの、より高度のレベルに達するには、より多くの試行錯誤と動作の洗練が必要であると考えられた。また、熟練者はけのび動作を、水面への浮き上がりから泳ぎへのストローク局面へとつなぐ一連の動作として学習していることが推察され、その結果の現れとして重心の投射角度が上向きになったと解釈できる。

一方、リリース時のけのびの重心移動速度は、練習によって0.36m/s増大したが、その値は熟練者に比べ0.22m/s小さかった。土居・小林(1985)によれば、未熟練者は顎が上り、両腕による頭のはさみつけが十分でないため結果的に前面抵抗が大きくなったと報告している。本研究の被検者もほぼ同様の傾向がみられた。従って、上手なけのび姿勢を習得するには、壁を蹴り出す前に上体を水平に保ち、顎をひいて両腕で耳をはさみつけることが重要である。指導者及び学習者は、壁に対して力を発揮し始める前までの動作に注目する必要がある。

クロール泳における水中の手のかきは、練習前では肘が伸びたストレートアームプルであったが、練習後では肘が少し曲がり、手のかき出し時に指先が揃うキャッチアッププルになっていた(図6-1, 6-2)。一方、水中での手先の軌跡は、練習前のグライド局面が20.2%、水中ストローク比率69.7%に比べ、練習後はそれぞれ33.3%、77.8%とグライドを使って

進行方向前方の水を掴もうとしており、特に実際の推進力に關与する指先の水平成分、すなわちプッシュ局面がみられるようになっていた。しかし、熟練者のプッシュ局面ほど多くはなかった(図6-5)。

#### 4.2 動作認識の変化について

体育学習においては、よい動きが「できる」だけでは十分でなく、意識性、意図性の認識「わかる」が必要であるが、技能習得の過程では意識面での理解と、動作そのものの合理性が必ずしも一致していないことが報告されている(天野, 1987)。一方、心理学分野では「わかっているのにできない」という現象は、正確な認知が成立しているにもかかわらず、作成された運動プログラムが不適切であることに起因するという(伊藤, 1989)。また、工藤(1989)によれば、外界の変化と自己の動きとの対応は、感覚的で短期間のレベルから系統的かつ組織的な運動プログラム(スキーマ)レベルが構築されることにある。このことは、運動プログラムのパラメーター、すなわち、目標となる動作に対して、どの身体部位を使い、どれだけの力と時間をかけて動作を行うかの指標であるスペーシング、グレーディング、タイミング(猪飼, 1966; 大築, 1998)に置き換えることができよう。しかし、実際の様々な動作がどのような処理過程でどのように組み合わせられ、適切に出力調整されてくるのかは未だに明確になっていない(荒木, 1989)。

結城(1999)は、バイオメカニクスによる知見が競技力向上に役立つ過程のモデルを提示しているが、これによれば「選手のパフォーマンスには筋が骨を動かす物理的な事実と水の滑りやキックの反力を感じるといった感覚的な事実の2つの面がある。」と言及している。具体的には、「選手は、動きを改善しようとするとき、感覚的事実の中でなにか新しい「気づき」を生みだし、これによって新しい指令を筋に送る」のである。運動は力学的に理解し、感覚的に覚えることが重要である(天野, 1987)。麓(1989)は、 $P=C \int E(M)$ というパフォーマンスの発現に関する式(猪飼, 1966)についてCはバイオメカニクス、Eは運動生理学、Mは体育心理学のそれぞれの学問分野に關係すると説明している。したがって、身体運動の理解にはこれら3分野の学際的な研究が必要と思われる。

筆者は、水中運動の動作認識の高まりと、実際の動きがマッチングしているのかどうかを映像解析などと合わせて解明することの重要性を指摘してきた(合屋, 1997)。その結果、クロール、背泳ぎ、バタフライでは主に「手のかき」に、平泳ぎは「足のけり」に有意な認識の高まりが認められたことから、各泳法において最も大きな推進力を得る動きに密接に關連する意識の集中がそれらの部位に移行すると解釈した。

本研究では、水泳運動の基本である「けのび動作」と「クロール泳」について、それらの認識と動作のマッチングの度合いについて焦点をあててみた。表6-1の「けのび動作」に関する「姿勢」の項目全体を見ると、練習前ではすべての項目において「意識したことがない」と答えていた。これは、「気づき」のレベルが「わからない」か「できていない」

という認識の表れと考えられる。しかし、練習後では「はい」が65%以上、次に「いいえ」が30%弱であり、「できている」、「できていない」の認識が明確になり、「気づき」の度合いが向上していることが読み取れる。それに対して、「腰、首の力が抜けているか」については「いいえ」と回答していた。これは「力が抜けているか」という「感覚的な気づき」に対する認識が他の「動き」に対する認識より困難であることを示唆している。同様の結果が走運動（星野，1982）でも観察されており、「気づき」のレベルには質的な相違が存在するように思われる。

一方、クロール泳の「手、入水時」、「手、水中時」、「手、水上時」、「キック」、「呼吸」、「コンビネーション」に関する項目では、ほぼ、「はい」と「いいえ」と答えており、はっきりと自覚していることが伺えた。しかし、「いいえ」と答えた内容をまとめてみると、1) 手足の水圧を感じる（質問項目16, 24）、2) リラックスする（同4, 20）、3) 速度の調節（同16）、4) 柔軟な動き（同8, 21）となり、「けのび動作」と同様に感覚的な「気づき」や力感及び速度調節に関する認識は困難であり、階層構造化されていることが推察された。麓（1989）は、人間にはよいものへの「ゆらぎ」があり、再現性が高まるとともにその「ゆらぎ」への感覚も鋭敏になり、たまたま再現性ある動作から外れた試行がより効果的だったという発見をして、それが判断基準となり新しいより上位へのフォームへの変換に向かうと報告している。従って、基本的な技術を手がかりとして、初歩的なレベルからある完成された一定レベルに達するまでの「動き」と「気づき」が、どのようにかかわり合って階層構造が形成されるのかを検討する必要がある（星野，1998）。

## 5. 結論

本研究では、大学生女子の初心者1名を対象として一定期間けのび及びクロール泳動作を練習させ、その前後の動きや感覚への気づきの変化を記録し、VTR画像による動作解析と質問紙による追跡調査によって、実際の動きと認識が一致するかを明らかにしようとした。結果は以下の通りであった。

- 1) けのび動作の到達距離は5.7mから8.0mへと大きくなり、リリース時の重心移動速度も2.32m/sから2.68m/sと大きくなった。重心の投射角度は練習前、後ともに水面に対し下向きで減少（ $10.7^\circ$ から $6.2^\circ$ ）した。一方、熟練者の到達距離は、10.1m、重心移動速度は2.9m/sであった。重心の投射角度は上向きに $3.7^\circ$ であった。
- 2) クロール泳は当初36.8mを38.9s、ストローク数20、0.51stroke/s、1.84m/stroke、平均泳速度0.95m/sであったが、練習後は50mを46.6s、ストローク数32、0.69stroke/s、1.56m/stroke、平均泳速度1.07m/sと変化し、動作認識も高まった。
- 3) けのびの重心移動速度は練習によって0.36m/s増大したが、その値は熟練者に比べ0.22m/s小さかった。動作フォームの比較より、上手なけのび姿勢を習得するには、

壁を蹴り出す前に上体を水平に保ち、顎をひいて両腕で耳をはさみつけることが重要である。

- 4) 水中での手先の軌跡は、練習前のグライド局面が20.2%、水中ストローク比率69.7%に比べ、練習後はそれぞれ33.3%、77.8%とグライドを使って進行方向前方の水を掴もうとしており、特に実際の推進力に関与する指先の水平成分、すなわちプッシュ局面がみられるようになっていた。
- 5) 動きや感覚への「気づき」は、けのびでは比較的動きへの「気づき」が容易であったのに対し、クロール泳では、力を抜くなどの感覚的な「気づき」や力感及び速度調節に関する認識が非常に困難なレベルにあり、階層構造化されていることが推察された。

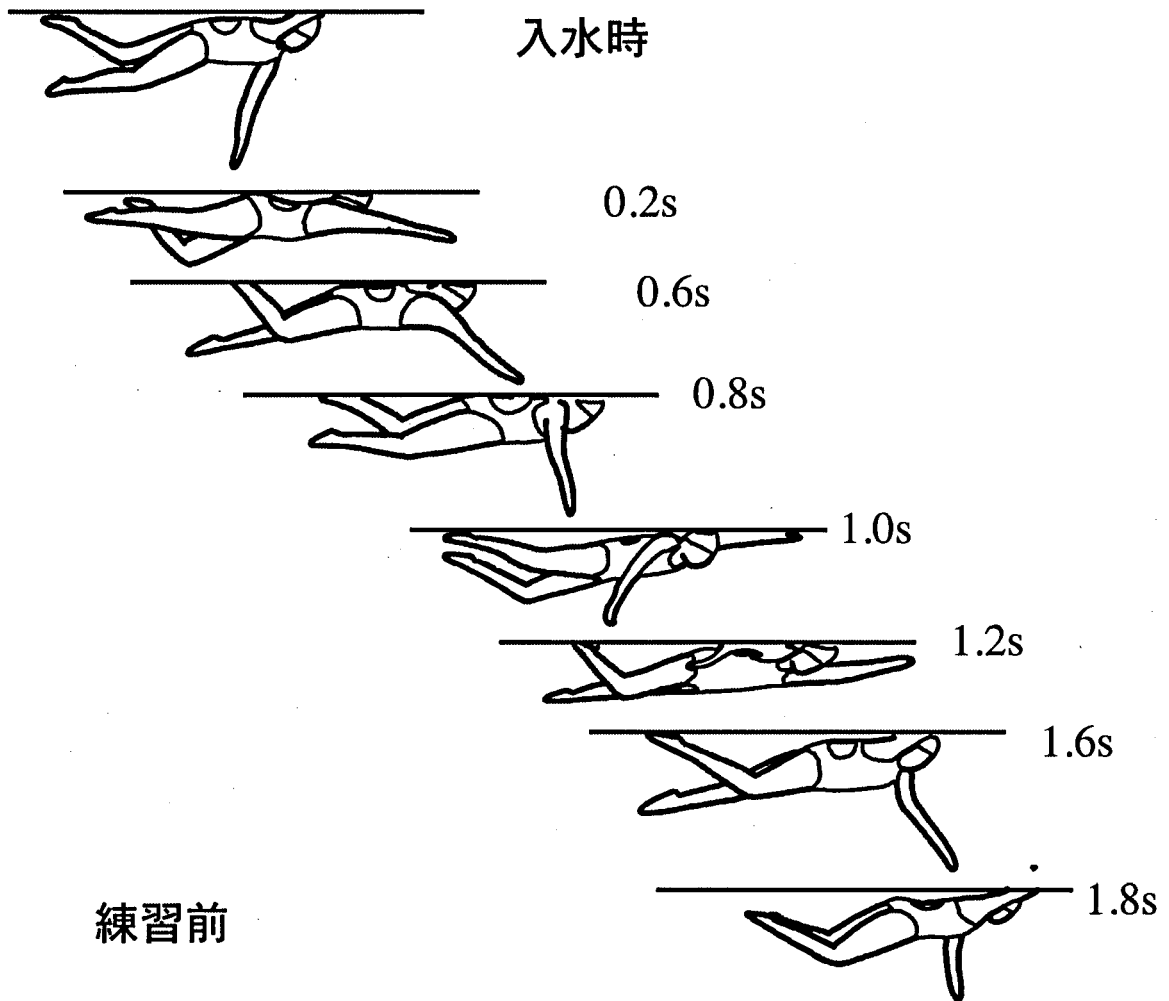


図 6-1 練習前の泳フォーム

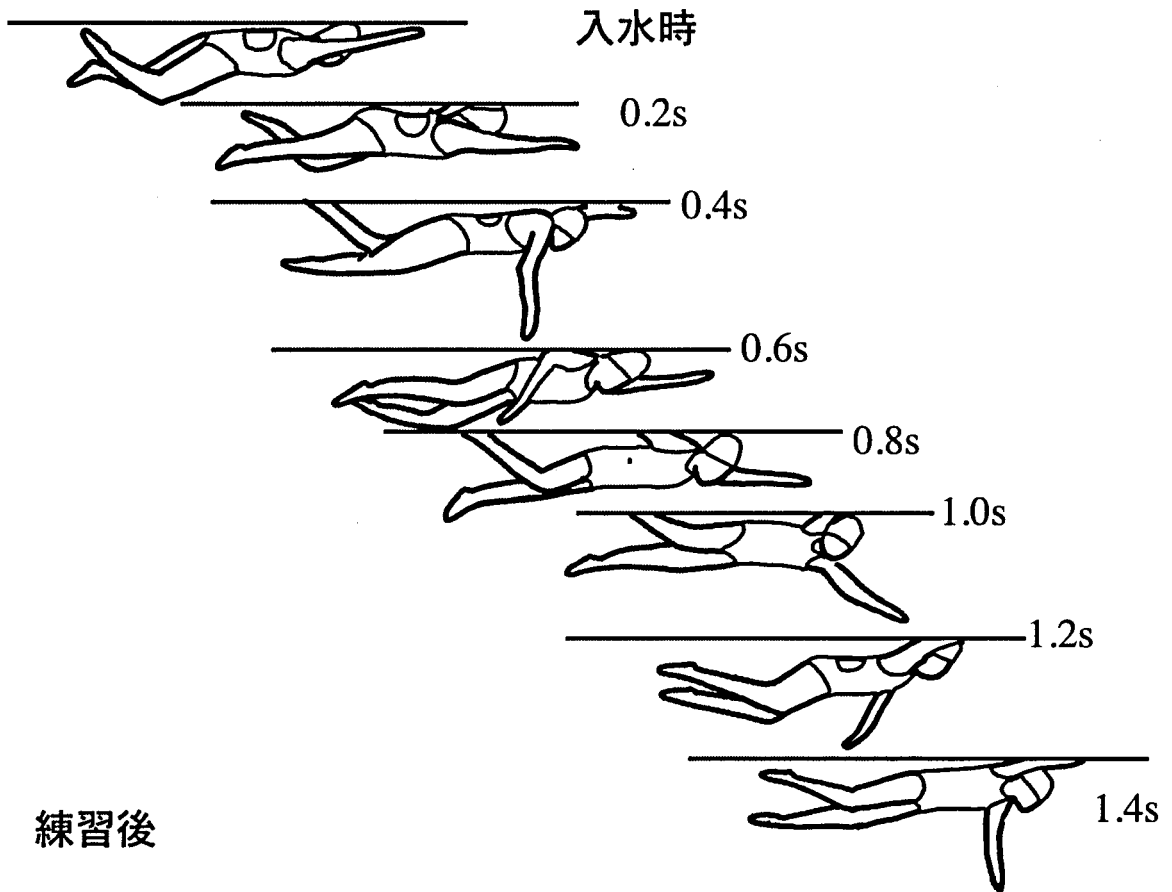


図 6-2 練習後の泳フォーム

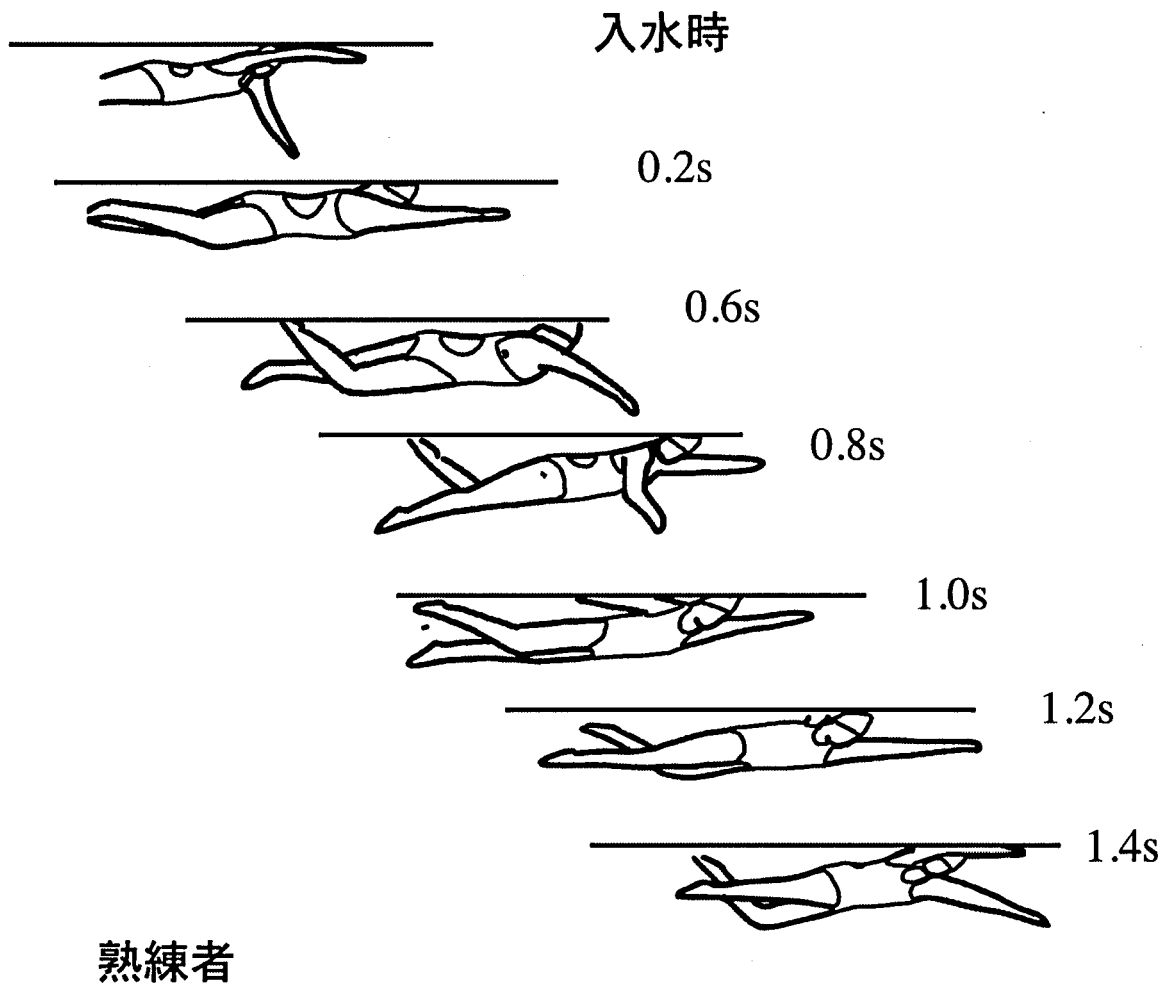


図 6-3 熟練者の泳フォーム



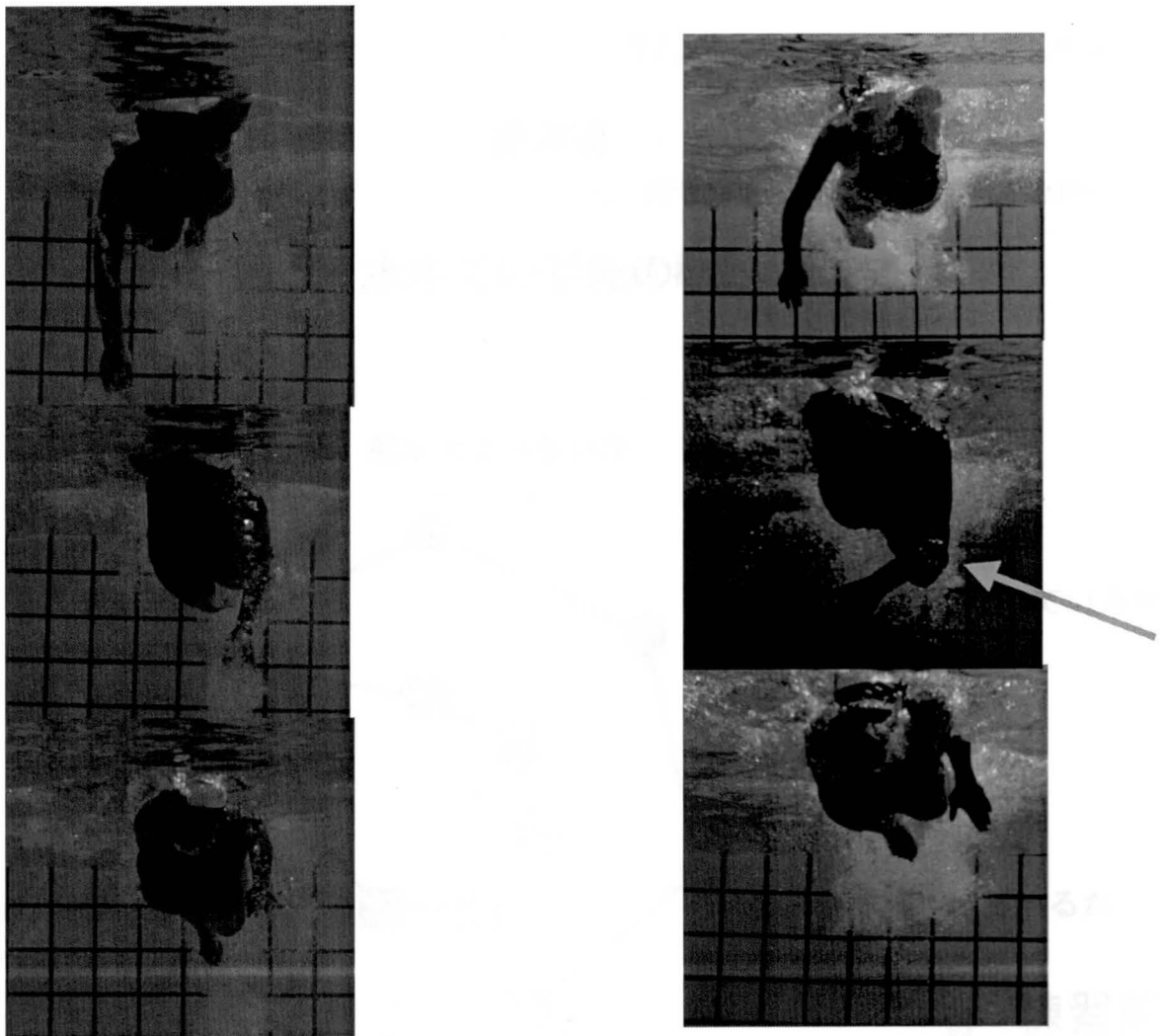


図 6-4 水中正面から見た泳フォーム

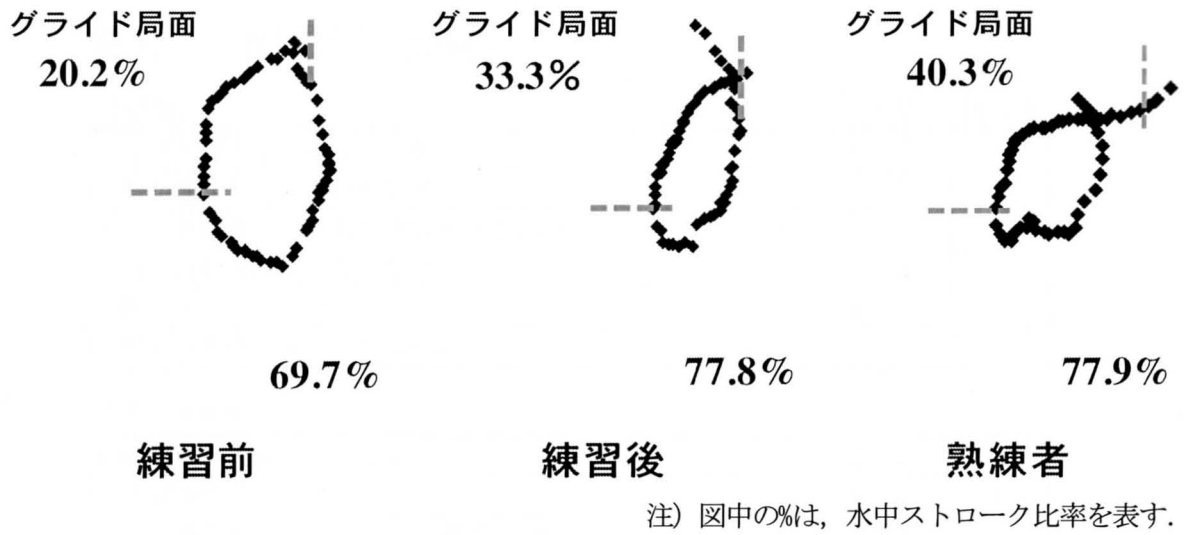


図5 水中での手先の軌跡

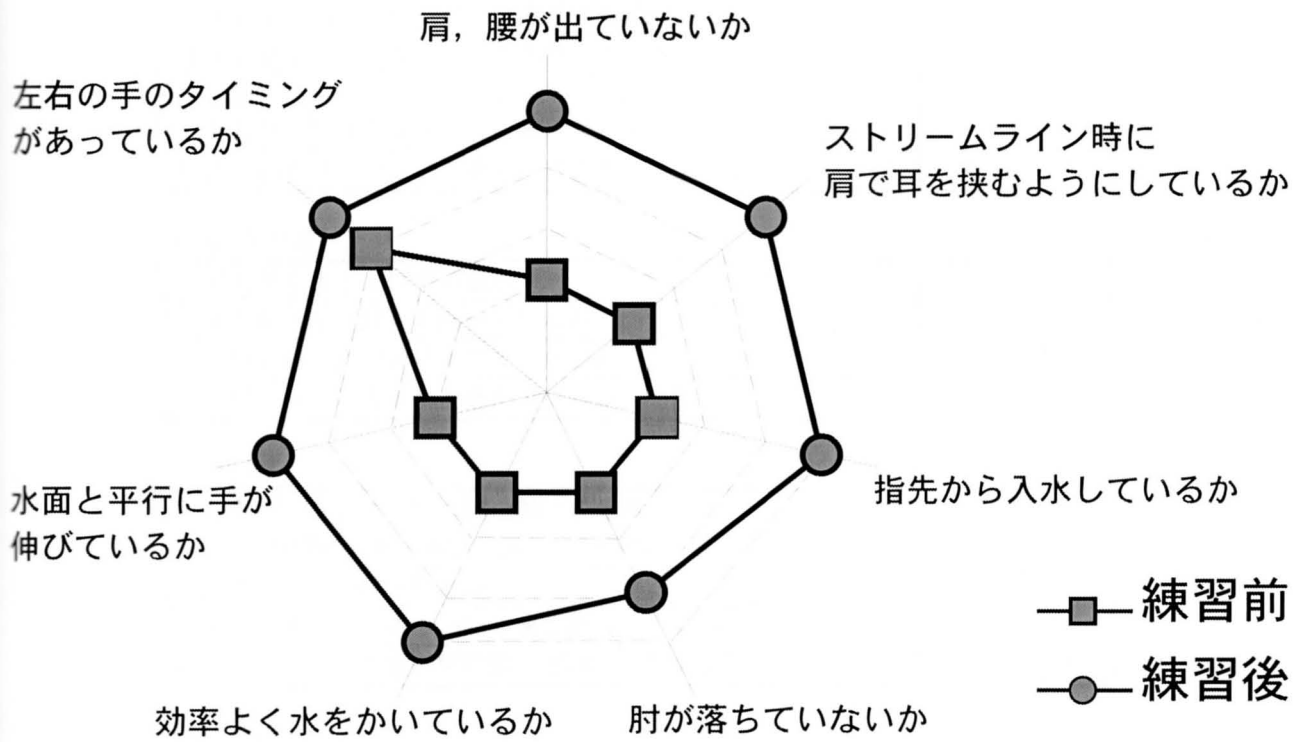


図6-6 質問紙による認識の変化

表 6-1 質問項目と回答

	練習前	練習後
<b>【姿勢】</b>		
1. 上体と腰が安定しているか	2	5
2. 膝が曲がりすぎていないか	2	5
3. 腰, 肩が落ちたり出たりしていないか	2	5
4. 腰, 首の力は抜けているか	2	4
5. 顎が出ていないか	2	5
6. 肩で耳を挟むようにしているか	2	5
<b>【手, 入水時】</b>		
7. 指先から入水しているか	2	5
8. 肘が落ちていないか	2	4
9. 肘, 肩を前方にしっかりと伸ばしているか	2	5
10. 視線は前方又は下方を見ているか	2	5
<b>【手, 水中時】</b>		
11. 入水後, 手(肘)を伸ばして体の中心の方へ曲げ, 足の方へ伸ばしての順にかいているか	2	5
12. 水をかくとき, 手のひらは進行方向を向いているか	2	5
13. 手のひら(又は指先)に水を感じているか	2	5
14. 大腿に触れる位まで水をかいているか	2	5
15. 手のひらで水を足先の方へ押しているか	2	5
16. 入水からプッシュまで徐々に速くなっているか	4	4
<b>【手, 水上時】</b>		
17. 肘を高く抜き上げているか	2	4
18. 手の甲は進行方向を向いているか	2	5
19. 肘や手首に力が入りすぎていないか	2	4
20. 肘がリードし入水へと進んでいるか	2	4
<b>【キック】</b>		
21. むちがしなるように大腿→膝→くるぶしの関節と順に伸びて蹴れているか	2	4
22. 足首の力が抜けているか	2	5
23. 水がズポツ, ズポツという音をたてているか	4	3
24. しっかりと水を足の甲に感じて蹴り下げているか	4	4
<b>【呼吸】</b>		
25. 前方で伸びている手が水面上部で平行になっているか	2	5
26. 呼吸時に顔は水面から出過ぎていないか	4	4
27. 水中で息を少しずつ吐いているか	3	5
<b>【コンビネーション】</b>		
28. 左右の手のかきのタイミングがあっているか	4	5
29. 手のかきと呼吸のタイミングがあっているか	4	5
30. ローリングをしっかりと使っているか	1	5
31. 手と足のタイミングは意識しているか	2	5

### 第3節 男子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作認識との関係

#### 1. 緒言

スポーツ種目の特性や競技中の状況などにより、出力を制御し、調節しながら競技をすることが多い。自分ではうまくやっているつもりでも、他者から見るとそうは見えないとか、ビデオなどで自分の動きを見てイメージとの違いに驚くことも少なくない。つもりと実際の対応化関係、すなわちグレーディングである(大築, 2005)。これまで走, 跳, 投などのグレーディング能力の検討が数多くなされている(阿江, 1990; 村木・稲岡, 1996; 伊藤・村木, 1997; 金子ら, 1999; 村木ら, 1999)。また, 性差の影響については, 男子に比べ女子の方が同等の努力度に対し有意に高い速度の達成率を示すことが報告され(伊藤・村木, 2005), 努力度の範囲は異なるが, 太田・有川(1998)も同様な結果を報告している。しかし, 性差を十分に検討した研究結果とは言い難い。

一方, 水泳に関連する研究として, 宮下・小野寺(1978)の生理学的アプローチによる主観的努力度の測定, 主観的運動強度の有用性(Ueda and Kurokawa, 1995), 村川ら(1987)の速く泳ぐための感覚用語のアンケート調査, Nomura et al.(1995)の異なる泳速度と生理的, 主観的努力度の報告, 末光(1989)の経験則による泳速度の主観的努力度の提唱式, 野村(2004d)による一流選手のもつコツの意識と感覚調査などがある。水泳のコーチングや指導の場面では, グレーディングは経験的にトレーニングの手段として日常的に用いられ, よりよいペース配分の戦略に貢献している。また, 主観的努力度と客観的出力の手がかりが, トレーニングや運動実践でのよい動きの獲得に貢献できる可能性が大きい。このような経験則が理論的背景と一致するか否かについて検討したものは, 水泳競技では女子50mクロール泳を対象とした研究(合屋ら, 2005)だけであり, 男子をも含めた性差についての報告はなされていない。一般に, 水泳の技術は学習による成果が大きく, 性差はあまり影響しないといわれている(合屋ら, 1993)。つまり, 水泳は, 体力的要素が関与する成人以前であれば, 泳タイムでは男子が女子にいと簡単に負けてしまうことがある。また, 泳ぎを習い始めたその年齢が初心者であり, 泳タイムは練習した経験量に大きく左右され, 年齢と必ずしも一致しない(合屋, 1999b)。成人以降の泳タイムは当然ながら性差が見受けられるが, グレーディングは最大努力下の速度調節能力であるため, 体力的要素よりも技術的な要素が関与する可能性が大きい。また, 前節ではクロール泳において, 速度の調節などの感覚への認識は難しいことが指摘された。したがって, 水中でのグレーディングがどのように行われているのか, また, 性差の影響が果たして出現するか否か, 主観による速度調節は可能か否かを検討し, 種目特性を明らかにする意義は大きい。

そこで, 本研究では小学生から大学生の男子水泳選手を対象とし, クロール泳において「自分の感覚だけでどれくらい出力を調整できるのか?」というグレーディングの様相を明らかにするために, 1) 50mクロール泳の主観的努力度(20%~100%までの5段階)

と客観的出力との対応関係, 2) 男女の性差の影響が果たして出現するか否か, 3) それらの調整がどのようなストローク変数及びストローク動作によって行われているのか, 以上3点を検討することとした。

## 2. 研究方法

### 2.1 被検者

被検者は競泳のトレーニングを行っている小学生から大学生までの男子16名(日本選手権出場2名, インターカレッジ出場2名, インターハイスクール出場3名, 全国ジュニアオリンピック出場1名を含む)であった。年齢  $17.3 \pm 3.7$  yrs, 身長  $168.8 \pm 10.9$  cm, 体重  $61.6 \pm 12.5$  kg, 水泳経験年数  $11.9 \pm 5.3$  yrs であった。なお, 本実験に当たり被検者の参加の任意性及び実験の趣旨や個人情報の保護を事前に説明し, 承諾を得た。

### 2.2 実験の手順

泳動作としてクロール泳を用い, 距離は長水路50mとした。これは, 先行研究(合屋ら, 2005)と比較するために選択した。また, スタートの巧拙による泳タイムへの影響がでないよう水中壁けりスタートとした。泳タイムは, 競技歴のある2人の検者によって手動ストップウォッチで測定し, 2人の検者の平均タイムを採用した。手動計測による測定誤差を解消するため, 10ms以下を切り捨てとした。各試技はそれぞれ1回とした。ストローク数は左右の腕のかきをそれぞれ1回とし, 50mの総ストローク数として計測した。試技は先行研究(合屋ら, 2005)と同様に, 全力を100%とし, 20%から100%までの20%毎の5段階とした。これは陸上での走, 跳, 投, 打運動を対象とした研究(村木・稲岡, 1996; 伊藤・村木, 1997; 村木ら, 1999; 金子ら, 1999; 伊藤・村木, 2005), 及び泳運動の報告(合屋ら, 2005)とあわせて比較, 検討する上でも同じ条件の5段階とした。疲労の影響を考慮し, 最大努力度の100%を最終試技に行い, その他4段階の主観的努力度は乱数表を用いてランダムな順序で行わせた。試技数は, 各努力度1試技, 計5回行わせた。各試技間は全員が1条件の試技を1セット終了後, 次試技を同じ順序で合計5セット行わせた。1条件の試技は約2分, 1セット約30分と十分な休息をとり, 疲労や前後の試技の影響が出ないようにした。被検者には主観的努力度100%を全力で泳がせ, それ以外は自己の感覚のみを頼りに出力を段階づけるよう指示した。この感覚はトータルな力及び速度調整とした。また, 出力結果, すなわち泳タイム情報は被検者に一切与えないようにした。

### 2.3 撮影及び分析

試技は被検者の右側方10mから水中ハウジングカメラ(Sony社製DCR-TRV20)と, その延長線上から5m離れた陸上のデジタルビデオカメラ(Panasonic社製VDR-D250)を用いて撮影した。水中画像はフォーアシスト社製Silicon Coach Pro 6を用いて解析した。デジ

サイズは右手の指先点と大転子の2点とした。その範囲は、指先の入水から、指先の出水地点までの水中1ストロークとした。平均泳速度（以下、AV）は50mを泳タイムで除した速度とした。

先行研究（若吉，1992；松井ら，1998；奥野ら，1998；生田ら，1999；若吉ら，2000）を参考に、平均ストローク長（以降、SL）は、50mを総ストローク数で除して算出した。平均ストローク頻度（以降、SR）は、総ストローク数を50mタイムで除し、60を乗じて回/分として算出した。ストローク平均速度（以降、SV）は、SLを1ストローク所要時間で除し、m/sとして算出した。ストローク軌跡は、右手の手先の軌跡を各主観的努力度毎に求め、ストロークパターンの違いを分析した。

ストロークの局面分けは、グライド局面及びプル・プッシュ局面に分けた。右手の指先が入水後、その水平成分の速度がプラスからマイナスに変わるまでをグライド局面とし、以降、水平成分の速度がプラスからマイナスになった後、指先が水中から出るまでをプル・プッシュ局面とした。

## 2.4 主観的努力度（泳強度）の決定

水泳は水中運動であることから、人体が水中を進む時、抵抗は速度のほぼ二乗に比例する（高木ら，1997）。従って、水中での主観的努力度（泳強度）は泳速度の調節に対応する（荻田ら，2004）ので、 $R=KV^2$ の式より  $V=K'\sqrt{R}$  となる（図6-7）。Kは定数であるので任意と考えると、主観的努力度は抵抗の平方根として求めることができる。末光（1989）は泳強度を求める式を提唱したが、実証されたのは、女子50mクロールによる報告（合屋ら，2005）のみである。

$$\text{提唱式 } X(\%) \text{ Time} = \frac{\text{Best}(100\%) \text{ Time}(\text{sec})}{\sqrt{\frac{X\%}{100}}} \quad (\text{末光, 1989})$$

本研究では、この提唱式によって補正された主観的努力度と客観的出力を用いて評価した。

## 2.5 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差とし、各変数の関係をみるためにピアソンの相関係数を算出した。これらの有意水準はすべて5%以下とした。

## 3. 結果

### 3.1 泳タイムと平均泳速度（AV）

図6-8は、各主観的努力度において実際に計測された泳タイムと平均泳速度（AV）との対応関係を示す。泳タイムは約46sから26s、AVは約1.0m/sから1.9m/sの間に収束した。

それぞれ、主観的努力度が高くなるにつれて、泳タイムが速くなり、AVも上昇した。

### 3.2 泳強度

図6-9より、水の抵抗を考慮して補正した主観的努力度と客観的出力との間には有意な相関 ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.95X+3.54$ ) が認められ、回帰式の傾きは補正前 ( $r=0.99$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.39X+62.3$ ) より大きくなった。その結果、5段階の主観的努力度はかなりの確度でそれぞれの客観的出力に近づいた。補正後の主観的努力度の対応関係は20%、40%、60%及び80%に対して、それぞれ、44.7%、63.2%、77.5%及び89.4%となった。また、実際に発揮された客観的出力を補正すると、それぞれ、49.7%、59.7%、72.4%及び90.9%であった。また、得られた回帰式より、主観的努力度20、40、60、80、85、90及び95%のそれぞれに対応する主観的努力度と客観的出力を求めた(表6-2)。

### 3.3 平均ストローク長、平均ストローク頻度、ストローク平均速度の変化

ストローク数は左右の腕のかきをそれぞれ1回とし、50mの総ストローク数を求め、平均ストローク長、平均ストローク頻度、ストローク平均速度を算出した。

#### 1) 平均ストローク長 (以降, SL)

各主観的努力度とSLとの間には有意な負の相関が認められた ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.54X+166.7$ )。SLは、主観的努力度が高くなると短くなり、主観的努力度が低いと長くなることが認められた。しかし、主観的努力度が変化しても、SLの値が変化しない被検者もみられた。

#### 2) 平均ストローク頻度 (以降, SR)

各主観的努力度とSRとの間には有意な相関が認められた ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.61X+34.4$ )。SRは主観的努力度が高くなると上がり、主観的努力度が低いと下がるということが認められた。

#### 3) ストローク平均速度 (以降, SV)

各主観的努力度SVとの間には有意な相関が認められた ( $r=0.99$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.39X+62.0$ )。また、SVと平均泳速度 (以降, AV) との間には有意な ( $r=0.99$ ,  $p<0.01$ ) 相関が得られた。

#### 4) SL, SR, SVの関係

SVとSLとの間には有意な負の相関が得られた ( $r=-0.98$ ,  $p<0.01$ )。SVとSRの間には有意な正の相関が得られた ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ )。また、SLとSRの間にも、有意な負の相関が得られた ( $r=-0.99$ ,  $p<0.01$ )。

### 3.4 泳速度のグレーディングによる動作の変化

泳速度はSL×SRによって決定される(若吉, 1992)。本研究の結果、SV, SL, SRの関係から泳速度はSRによって調整されていることがわかった。しかし、本被検者の中には、SRの上昇に伴ってSLの値が短くなるパターンと変わらないパターンの2種類がみられた。

そこで、SRの上昇とともにSLの値が短くなる被検者M(50m, 100%:26.98s)と、SLの値が変化しない被検者I(50m, 100%:30.43s)の水中ストローク動作を分析した。その結果、各主観的努力度に対応するストローク中の各局面の割合の変化は表6-3のようになった。ストローク局面分けは、グライド局面、プル・プッシュ局面の2局面である。手先の入水から出水までの所要時間を100%とし、それぞれの局面ごとの比率を示した。また、被検者Iと被検者Mの主観的努力度の違いによる動作の変化をそれぞれ図6-10及び図6-11に示した。なお、図中、水中ストローク動作はリカバリー局面を加え、より詳細に示した。表6-3及び図6-10、6-11に示したように被検者Iは、主観的努力度20%から100%時までほぼ同様のストローク軌跡を描き、各局面の時間比率も同程度の割合であった。主観的努力度60%時のグライド局面は35.5%と最も高く、主観的努力度80%の時には26.5%と最も低かった。各主観的努力度のプル・プッシュ局面の比率は、いずれの段階でも65%前後を示した。一方、被検者Mは、主観的努力度20%の時にグライド局面の比率が54.7%と最も高く、主観的努力度100%時に21.4%と最も低かった。プル・プッシュ局面は、主観的努力度100%時に78.6%と最も比率が高く、主観的努力度20%時に45.3%と最も低かった(表6-3及び図6-10、6-11)。

#### 4. 考察

##### 4.1 水中での主観的努力度と客観的出力との対応

競泳では、4つの泳法があり、なかでもクロールは、50mから1500mまで5種目の競技が行われる。我々は、ある一定の水泳トレーニングを積んだ時、特に50m位の短い距離であれば、自分自身の感覚によって指定された時間内に泳いで帰ってくることを経験的に知っている(末光, 1989)。このように、グレーディングはトレーニングの手段として日常的に用いられ、よりよいペース配分の戦略に貢献している。水中運動における主観的努力度と客観的出力との対応関係について検討したのは、女子50mクロール泳による報告のみである(合屋ら, 2005)。そこで、男子50mクロール泳の主観的努力度(20%~100%までの5段階)によるタイムと客観的出力との対応関係をトレーニング指標として使えるかどうかを、動作分析も合わせて検討した。本研究では、試技順序をランダムに設定した。従って、各被検者間及び各主観的努力度の試技順序が異なるため、自己の経験に基づく感覚のみで出力を決定したと考えた。一方、水泳は水中運動であることから、人体が水中を進む時、抵抗は速度のほぼ二乗に比例する。このような理由から、本研究では水中での主観的努力度は抵抗を考慮し、補正した客観的出力として用いた。その結果、主観的努力度と客観的出力との間に有意な相関関係( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ )が認められ、回帰係数は0.95となった。補正前の傾きは0.39であったことから、補正後の主観的努力度と客観的出力の対応はかなりの確度で一致した。伊藤・村木(1997)は走動作が0.45、跳動作が0.57、投動作が0.50であったと報告している。この報告によれば、客観的出力が全ての主観的努力度を上回る



傾向が見られ、主観的努力度が低いほどその傾向が顕著であった。しかし、スプリント走では、80%以上の高い努力度ではその一致度は高く、コーチングへの実用可能性も指摘されている(村木ら, 1999)。本研究では表6-2に示されるように、補正後の主観的努力度とそれに対応する客観的出力は、陸上の運動に比べ、どの段階においてもかなりの精度で一致することがわかった。女子50mクロール泳を対象とした結果からは、ほぼ同様な有意な相関( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.87X+9.08$ )が認められている(合屋ら, 2005)。若干、男子の方が一致度が高いように思われるが、他の陸上における運動と比較すると回帰係数の傾きはほぼ1.0に近くなった。この結果より、水中では男女ともにグレーディング能力に差はなく、50mクロール泳では実際のトレーニングの指標として十分利用可能な範囲と思われる。従って、クロールの短距離泳では、スプリント走(村木ら, 1999)に比べ、主観的努力度とそれに対応する客観的出力がかなりの確度で一致することがわかる。つまり、ある程度の競技経験があれば、50mクロール泳には、男女ともに感覚的に泳速度をかなりの確度で調整できる競技特性があると考えられる。

#### 4.2 泳速度の調節とストローク変数との関係

水泳における泳速度は、SLとSRの積によって構成される。従って、泳速度を高めるためには、SLとSRのどちらかまたは双方を大きくする必要がある(若吉, 1992)。松井ら(1998)は、100m及び200m自由形では男子はSLに、女子はSRに主眼を置いていると報告している。また、生田ら(1999)、奥野ら(1998, 1999)は、短距離の泳速度はSRに因るところが大きく、トレーニング効果は、最大泳速度と最大下泳速度の2つの変化パターンに収束することを確認している。いずれにしても、短距離自由形では、性別、競技レベル別に関係なく、泳速度の低下傾向とSRの低下傾向は有意な関係にあることを明らかにしている(若吉ら, 2001)。本研究では、泳速度とSVとの間に高い相関関係( $r=0.99$ ,  $p<0.01$ )が認められたことから、泳速度の調節にはSVが関係していることが確認された。これは女子50mクロールの報告(合屋ら, 2005)と一致した。従って、50mの距離であればAV及びSVのいずれを用いても問題ない。しかし、時系列情報を得るにはSVのほうがより詳細な評価が可能と思われる。より正確を期すため、先行研究(若吉, 1992; 松井ら, 1998; 奥野ら, 1998; 生田ら, 1999; 若吉ら, 2000)と同様に泳速度はSVを採用した。また、SL, SR, SVのそれぞれに主観的努力度との高い相関関係が認められた。SL, SR, SVのそれぞれの関係も高い相関関係が認められ、SLとSRに高い負の相関関係が認められた。さらに、SVとSRに高い正の相関関係が認められたことから、SVを上げるとSRが上がるということがわかった。

このことから、短距離での泳速度(SV)の調節は、男女ともに最大努力及び最大下のいずれにおいてもほとんどがストローク変数のSRによって行われていることが再確認できた。

### 4.3 水中ストローク動作中の泳速度調節

本研究の結果、50m クロール泳での泳速度 (SV) の調節は、男女ともに最大努力及び最大下のいずれにおいてもほとんどがストローク変数の SR によって行われていることがわかった。泳速度=SR×SL であることから (若吉, 1992), SL の値が短くなるパターンがほとんどを占める。しかし、水中ストローク動作 (1 ストロークサイクル) を動作分析した結果、被検者の中には、SR の上昇に伴って SL の値が短くなるパターンと変わらないパターンがみられた。そこで、SR の上昇とともに SL の値が短くなる被検者 I と、SL の値が変化しない被検者 M を抽出し、水中ストローク動作を分析した。結果は表 6-3 のようになった。主観的努力度を 20% から 100% へ上げるに従って、被検者 M はグライド局面の割合を変化させている (57.4%→21.4%, 図 6-10) のに対し、被検者 I はほとんど変化が見られなかった (30.2%→33.4%, 図 6-9)。すなわち、被検者 M はゆっくりとした速度で泳ぐ場合は、グライド局面の割合を大きくすると同時にプル・プッシュ局面の割合を少なくし、速く泳ぐ場合には、グライド局面の割合を小さくすると同時にプル・プッシュ局面の割合を大きくするストローク動作を行っていた。従って、SR を上昇させる水中ストローク動作は、ほとんどの被検者がグライド局面を少なくして調整していると考えられた。

一方、被検者 I は両局面においてあまり変化が見られなかったことから、グライド局面の調節ではなく、手先の左右のスクーリング動作 (いわゆるジグザグプル) などによって調整していることが考えられた。これは、ある頻度でストロークを行う場合、左右への曲線的なストロークを行う方が手の移動速度が速くなり、大きな推進力が得られると指摘されていることから理解できる (矢内, 2005)。しかし、本研究の動作の評価は 1 ストロークサイクルのみの分析であることから、すべてのストローク分析により詳細な情報を得る必要がある。また、専門種目、競技成績レベルに加え、泳者の水中動作を 2 台以上のカメラを用いた 3 次元解析によってストローク動作の移動速度なども検討すべき課題である (Takagi and Wilson, 1999)。

## 5. 結論

本研究では、競泳男子水泳選手を対象とし、50m クロール泳の主観的努力度 (20%~100% までの 5 段階) と客観的出力との対応関係を明らかにするとともに、それらの調整がどのようなストローク変数及びストローク動作によって行われているのかを検討することを目的とした。結果は以下の通りであった。

- 1) 主観的努力度と客観的出力との間に有意な相関 ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.95X+3.54$ ) が認められた。これは、女子の結果とほぼ一致し、性差は認められなかった。また、他の陸上における運動と比較すると、回帰直線の傾きはほぼ 1.0 に近く、かなりの精

度で実用に供することができると思われた。

- 2) ストローク変数それぞれの関係から、男女ともに、泳速度の調節は最大努力及び最大下のいずれにおいてもストローク頻度 (SR) によって行われていた。
- 3) 水中のストローク分析より、ほとんどの被検者がグライド局面を少なくしSRを上昇させていた。しかし、グライド局面の調節ではなく、手先の左右のスカーリング動作などによって行っている被検者もみられた。

以上のことから、50mクロール泳では性別に関係なく、水抵抗を考慮した主観的努力度とそれに対応する客観的出力は、どの段階においてもかなりの精度で一致した。すなわち、ある程度の競技経験があれば、50mクロール泳では、男女ともに感覚的に泳速度をかなりの確度で調整できると考えられた。これは走、跳、投運動でのグレーディングに比べ、かなり実用に供することができる尺度と思われた。

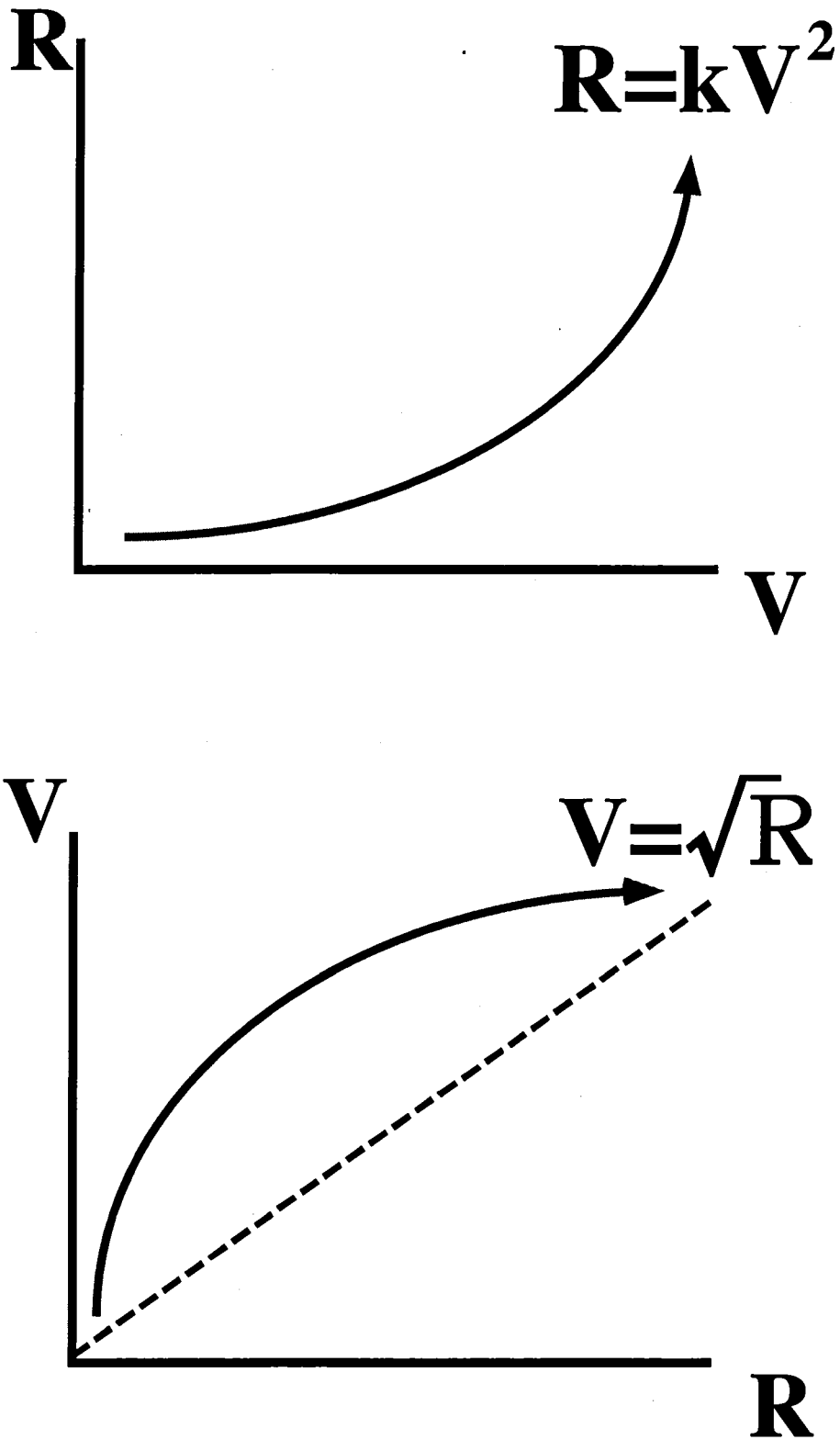


図 6-7 泳速度と抵抗との関係 (合屋, 1999)

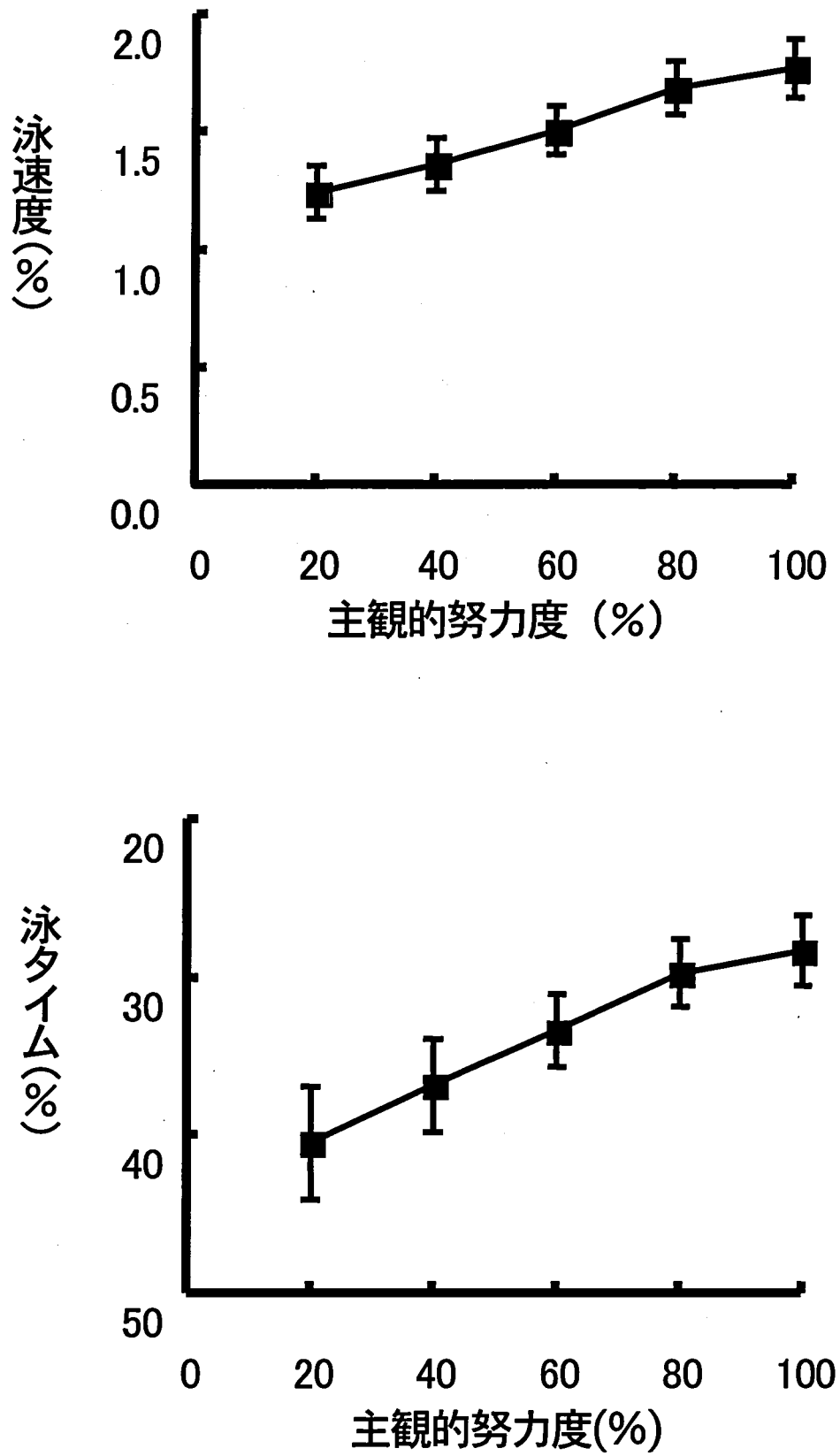


図 6-8 主観的努力度別の泳タイムと泳速度

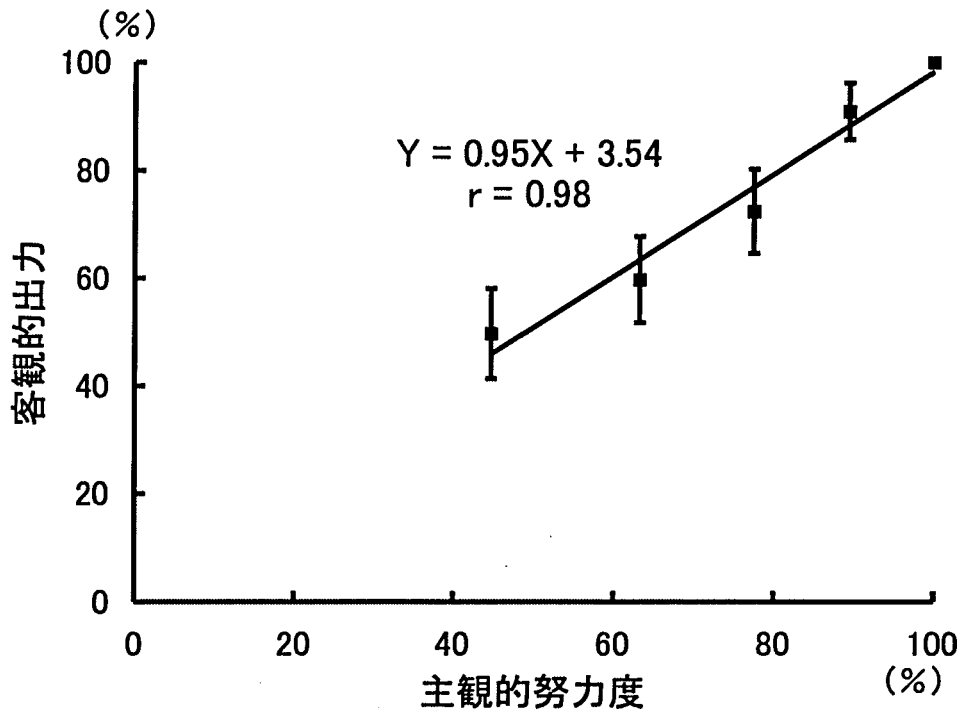
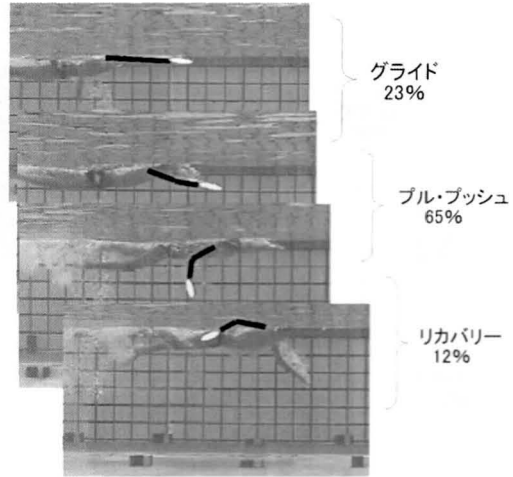
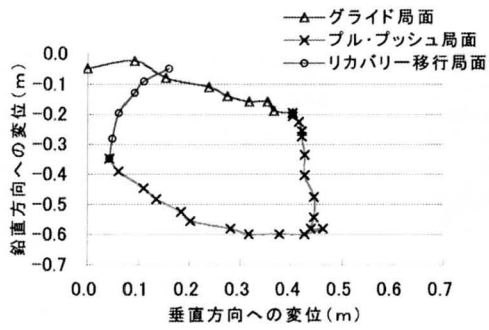
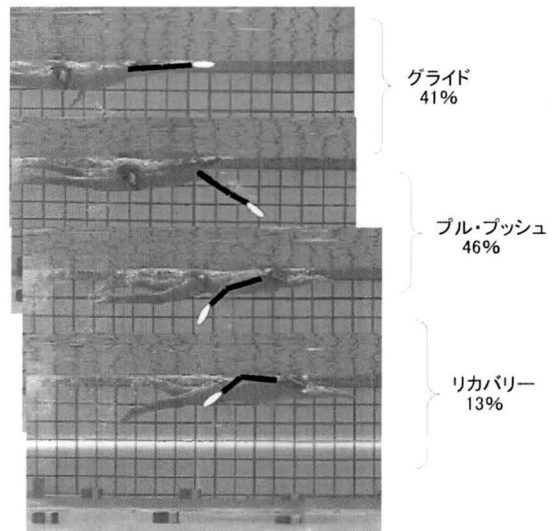
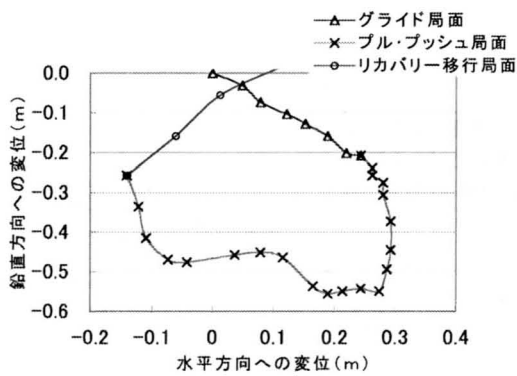


図 6-9 補正した主観的努力度と客観的出力



100%



20%

図 6-10 被検者 I の 100% 及び 20% 時のストロークパターン

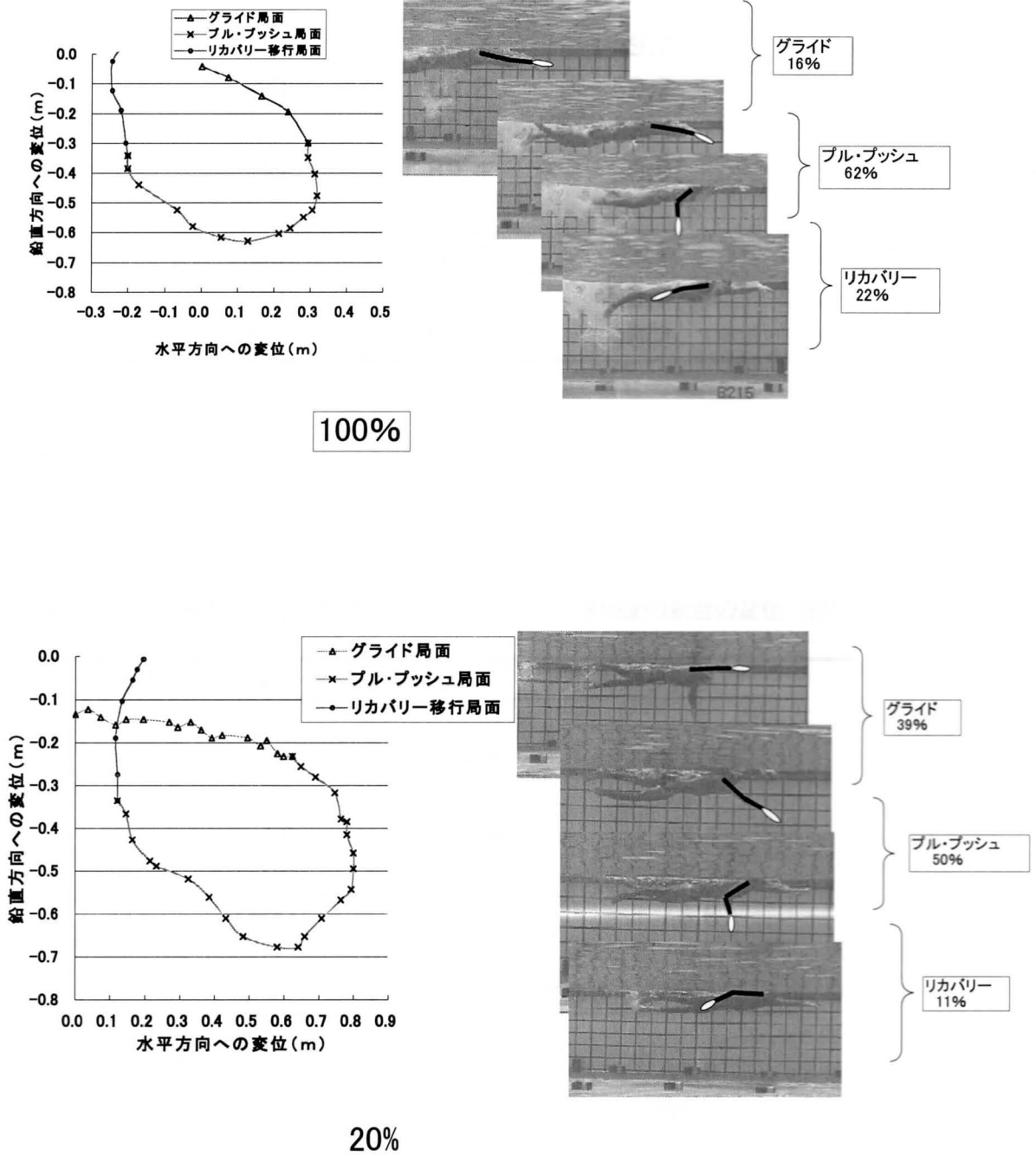


図 6-11 被検者 M の 100%及び 20%時のストロークパターン



表 6-2 補正後の主観的努力度と客観的出力 (%)

主観的 努力度	補正後の 主観的努力度	補正後の 客観的出力
20	44.7	49.7
40	63.2	59.7
60	77.5	72.4
80	89.4	90.9
85	92.2	91.1
90	94.9	93.7
95	97.5	96.2

表 6-3 各主観的努力度に対する1ストローク中の各局面の割合の変化 (%)

被験者	%	グライド	プル&プッシュ
M	20	54.7	45.3
	40	51.5	48.5
	60	46.6	53.4
	80	41.8	58.2
	100	21.4	78.6
I	20	30.2	69.8
	40	33.9	66.1
	60	35.5	64.5
	80	26.5	73.5
	100	33.4	66.6

## 第4節 女子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作認識との関係

### 1. 緒言

競技でよい成績を修めるためには、レースペースは非常に重要である。従って、適切かつ自分に合ったストラテジーでのレースペースで泳ぐためには、出力の調整が必要となる。その調整の仕方如何によってレース結果は大きく左右される。水泳のインターバルトレーニング、特に短い距離では、設定されたタイムに計ったように泳いで帰ってくるのが経験的に知られている。「何割の強度で」、「何%のスピードで」といった具体的な主観的努力度がトレーニング場面で頻繁に用いられ、現象の空時的、力学的変化の分析に加え、運動者の感覚といった主観と客観的な出力との対応関係を検討することは非常に意義深い(村木ら, 1999)。スポーツ運動学の分野では自分の動きを知ることは指導、学習にとって重要であり、意識性、意図性の認識はスポーツパフォーマンスを左右するともいわれている。特に運動の量的分析のみならず、質的分析などの視点(Knudson and Morrison, 1997)をもって指導、実践すべきとの指摘もある。さらに、スポーツ心理学分野では、高次の認知過程を形成する「記憶」の構造は、感覚的で短期間のレベルから系統的かつ組織的な運動プログラムレベルまでと考えられている(工藤, 1989)。しかし、感覚的情報は論理的、包括的に枠組みがモデリングされているようであるが、各運動種目ごとに体系的に例示、蓄積された研究は見あたらないようである。

これまで走、跳、投などのグレーディング能力の検討が数多くなされている(定本・大築, 1977; 阿江, 1990; 村木・稲岡, 1996; 伊藤・村木, 1997; 金子ら, 1999; 村木ら, 1999)。また、意志による運動の制御(大築, 1986)、力発揮のグレーディング(大築, 1989)、タイミング動作と予測の制御(大築, 1998)についても報告されている。しかしながら、水泳によるこのような研究はまったく皆無に近い。わずかに、宮下・小野寺(1978)の生理学的アプローチによる主観的努力度の測定、高橋(1984)のチェックリストを用いた動きの評価、村川ら(1987)の速く泳ぐための感覚用語のアンケート調査、Nomura et al.(1995)の異なる泳速度と生理学的、主観的努力度の検討などが報告されているにすぎない。また、経験則による泳速度の主観的努力度の指標として末光(1989)の提唱式がコーチングの場に提示されているだけである。いずれもアンケート調査や生理学的な視点及び経験則にとどまっており、これらの感覚的な指標を動きと合わせたスポーツ方法学的観点からの研究はほとんど見受けられない。すなわち、コーチングやスポーツの指導場面では主観的努力度と客観的出力の手がかりが、トレーニングや運動実践において日常的に用いられ、よりよい動きの獲得に貢献できる可能性が大きい。水中運動は陸上運動に比べ、年齢による経年的パフォーマンスの向上(泳速度など)は学習経験量に左右される要素が強いことから、性差や被検者の年齢が広がっていてもそれらへの影響度はさほど大きくないと考えられる。

そこで、本研究では小学生から大学生の女子水泳選手を対象とし、クロール泳において「自分の感覚だけでどれくらい出力を調整できるのか？」というグレーディングの様相を明らかにするために、50m クロール泳の主観的努力度（20%～100%までの5段階）と客観的出力との対応関係を明らかにするとともに、それらの調整がどのようなストロークメカニズムによってなされているのかを検討することとした。

## 2. 研究方法

### 2.1 被検者

被検者は競泳のトレーニングをしている小学生から大学生までの女子39名（日本選手権出場1名、インカレ出場3名、インターハイ出場2名、全国中学出場2名、全国ジュニアオリンピック出場9名を含む）であった。平均年齢  $14.1 \pm 2.6$  yrs, 平均身長  $155.5 \pm 8.3$  cm, 平均体重  $47.3 \pm 8.2$  kg, 水泳経験年数  $9.1 \pm 2.5$  yrs であった。

なお、本実験に当たり被検者の参加の任意性及び実験の趣旨や個人情報保護を事前に説明し、承諾を得た。

### 2.2 実験の手順

泳動作は最も一般的な種目としてクロール泳を用いた。スタートの影響を取り除くため、スタート台からの飛び込みではなく、水中の壁からけり出すスタート（以下、水中壁けりスタート）とした。泳ぐ距離は50mとし、競技経験のある3人の検者による手動ストップウォッチで測定した。計測タイムの採用は、1/100を切り捨て、10msまでとし、3人の測定タイムの中間を採用した。ストローク数は同一検者によって1ストロークサイクル（左右1回ずつ）を2回としてカウントした。

試技は5段階の主観的努力度を乱数表の順序によって行わせ、試技の前後の影響が出ないように、計2セット行なった。努力度の幅は、先行研究（定本・大築, 1977; 阿江, 1990; 村木・稲岡, 1996; 伊藤・村木, 1997; 村木ら, 1999; 金子ら, 1999）の報告をもとに20%から100%までの5段階とした。これらは陸上での走、跳、投、打運動を対象としており、泳運動の報告がみられないため、比較、検討する上でも同じ条件の5段階とした。被検者には、出力に関する結果のフィードバック情報は一切与えず、各自の感覚のみを頼りに、出力を段階づけさせた。

### 2.3 撮影及び分析

VTR 画像は、被写体から10m離れた、左側方より高速度ビデオカメラ（nac社製 HSV-400: 200fps）で撮影し、A/D変換した画像はMathmatica2.2.2を用いて身体各部の座標を求めた。デジタイズは左手の指先と腰の2点とし、その範囲は、左手の指先の入水から同指先が出水するまでの1ストロークサイクルとした。

平均ストローク長 (SL) は, 50m を総ストローク数で除して算出した. 平均ストローク頻度 (SR) は, 泳タイムを総ストローク数で除し, 逆数にして 60 を掛け, 回/分とした. すなわち単位時間あたりのストローク数として定義した. 平均ストローク速度 (SV) は, SL を 1 ストローク所要時間で除して算出した. 平均泳速度は 50m を泳タイムで除した速度 (AV) とした.

ストロークの局面分けは Ohgi and Ichikawa (2003) の報告をもとに次のように行った. 左手の指先が入水後, その水平成分の速度がマイナスからプラスに変わるまでをグライド局面, 同様に, 水平成分の速度がプラスからマイナスになった後, 指先が水中から出るまでをリカバリー局面とした.

手及び腰の速度は, 指先及び大転子の水平成分の速度を求め, 1 ストロークの水中部分のプル・プッシュ局面の速度を算出した.

## 2.4 泳強度の決定

水中では, 泳者が一定の速度で泳んでいる場合の推進力はそれと相応の抵抗に等しく, その時の人体に働く水抵抗は, 主要因である圧力抵抗を考える場合, 泳ぐ速度の二乗にほぼ比例する (Karpovich, 1933). 従って, 水中での主観的努力度 (泳強度) は泳速度の調節に対応する (荻田ら, 2004) ので,  $R=KV^2$  の式より  $V=K'\sqrt{R}$  となる.  $K$  は定数であるので任意と考えると, 主観的努力度は抵抗の平方根として求めることができる. このことから末光 (1989) は以下の提唱式を提示した.

$$\text{提唱式 } X\% \text{Time} = \frac{\text{Best}(100\%) \text{ Time}(\text{sec})}{\sqrt{\frac{X\%}{100}}} \quad (\text{末光, 1989})$$

本研究では, この提唱式によって補正された主観的努力度と客観的出力を用いて評価することにした.

## 2.5 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差とし, 各変数の関係をみるためにピアソンの相関係数を算出した. これらの有意水準はすべて5%以下とした.

# 3. 結果

## 3.1 泳タイムと泳速度

図 6-12 に, 各主観的努力度によって実際に計測された 50m 泳タイムと泳速度の対応関係を示した. 泳タイムは, 約 48s から 34s, 泳速度は約 1.0m/s から 1.5m/s の間に収束した. それぞれ, 主観的努力度が高くなるにつれて, 泳タイムが速くなり, 泳速度も上昇した.

### 3.2 泳強度

補正前の主観的努力度とSVとの間には有意な ( $p<0.01$ ) 相関 ( $r=0.999$ ,  $Y=0.36X+64.09$ ) が認められた。次に、末光 (1989) の提唱式によって補正された主観的努力度と客観的出力 (SV) の関係を図6-13に示した。その結果、有意な ( $p<0.01$ ) 相関 ( $r=0.986$ ,  $Y=0.87X+9.08$ ) が認められた。

補正後の対応関係は、主観的努力度20%、40%、60%及び80%に対して、客観的出力はそれぞれ、44.7%、63.2%、77.5%及び89.4%となった。また、得られた回帰式より、主観的努力度20、40、60、80、85、90及び95%のそれぞれに対応する主観的努力度と客観的出力を求めた (表6-4)。

### 3.3 平均ストローク長, 平均ストローク頻度, ストローク平均速度の変化

1ストローク・サイクルを2回として、総ストローク数を求め、SL, SR及びSVを算出した。

#### 1) ストローク長 (以降, SL)

各主観的努力度に対応するSLとの間には有意な ( $p<0.01$ ) 相関が認められた ( $r=0.992$ ,  $Y=0.18X+119.16$ )。SLは、主観的努力度が高くなると短くなり、主観的努力度が低いと長くなることが認められた。しかし、主観的努力度に変化してSLの値が変化しない被検者もみられた。

#### 2) ストローク頻度 (以降, SR)

各主観的努力度とSRとの間には有意な ( $p<0.01$ ) 相関が認められた ( $r=0.996$ ,  $Y=0.46X+52.79$ )。SRは主観的努力度が高くなると上がり、主観的努力度が低くなると下がるということが認められた。

#### 3) ストローク速度 (以降, SV)

各主観的努力度とSVとの間には有意な ( $p<0.01$ ) 相関が認められた ( $r=0.999$ ,  $Y=0.36X+64.18$ ) また、SVと平均泳速度 (AV) との間にも有意な ( $r=0.999$ ,  $p<0.01$ ) 相関が得られた。

#### 4) SL, SR及びSVの関係

SVとSLの間には、負の相関が得られた ( $r=0.987$ ,  $p<0.01$ )。SVとSRの間には、正の相関関係が得られた ( $r=0.996$ ,  $p<0.01$ )。また、SLとSRの間にも、負の相関が得られた ( $r=0.997$ ,  $p<0.01$ )。

### 3.4 泳速度のグレーディングによる動作の変化

SV, SL及びSRの関係からSVの値が上がるとSRの値が上がるという結果が得られた。しかし、被検者を個別にみるとSVが大きくなるとSRの値が高くなり、SLが変化する被検者とあまり変化しない被検者がみられた。変化しない被検者は全体の4分の1程度

であった。そこで、それぞれの代表的な被検者、S.T と MI の主観的努力度の違いによる動作の変化を図 6-14 及び図 6-15 に示した。局面分けは、グライド局面、プル・プッシュ局面、リカバリー局面の3局面である。手先の入水から出水までの所要時間を 100% とし、それぞれの局面ごとの比率を示した。

#### 1) ストロークパターンと各局面の時間比率

図 6-15 に示したように被検者 MI は、20%及び100%時の主観的努力度のストローク軌跡がほぼ同様のパターンを示し、各局面の時間比率も同程度の割合であった。主観的努力度 60%時に水中の1ストロークにおけるグライド局面の比率の値が最も高く、主観的努力度 40%時に最も低かった。また、各主観的努力度のプル・プッシュ局面の比率は、35%前後を示した。リカバリー移行局面では、主観的努力度 40%時に比率が最も高く、主観的努力度 60%時に最も低かった (表 6-5)。

一方、被検者 S.T は、20%時の主観的努力度のストローク軌跡及びグライド局面の時間比率は、100%時のそれに比べて移動軌跡が長く、時間比率も大きな差が見られた (図 3)。主観的努力度 20%時に水中の1ストロークにおけるグライド局面の比率が最も高く、主観的努力度 100%時に最も低かった。また、プル・プッシュ局面は、主観的努力度 100%時に最も比率が高く、主観的努力度 20%時に最も比率が低かった。リカバリー移行局面は、主観的努力度 20%の時に比率が最も高く、主観的努力度 80%時に最も低かった (表 6-5)。

## 4. 考察

### 4.1 水中での主観的努力度と客観的出力との対応

陸上運動での主観的努力度と客観的出力の対応関係については、村木 (1983) や、村木ら (1999) によるスプリント走、定本・大築 (1977)、加藤ら (1995) 及び村木・稲岡 (1996) による跳躍動作、伊藤・村木 (1997) の走・跳・投動作、大築 (1989) の力のグレーディング等の検討がなされている。これらの報告によれば、主観による出力調整は数段階に分けて段階付けができることがほぼ認められている。しかし、一定の対応関係が認められるものの、いくらかのずれがあることや動作の質的な変化が努力度 80%付近及びそれ以上の高強度領域に出現することも指摘されている (村木ら, 1999)。

本研究では、主観的努力度をランダムに並べた試技順序とした。すなわち、各被検者間で各主観的努力度の試技順序も異なるため、被検者は全力を基準とした出力ではなく、自己の蓄積された経験に基づき、感覚のみによる出力を決定したと考えられる。その結果、主観的努力度と客観的出力との間に高い相関関係が認められた。このことは、人は環境の違い、すなわち水中の運動であっても、自己の感覚のみで出力を一定の間隔で調節が可能であることを示唆している。しかし、水中では陸上運動と異なり、人体が水中を進む時、抵抗は速度のほぼ2乗に比例する。このような理由から、本研究では水中での主観的努力

度は抵抗を考慮した提唱式(末光, 1989)によって補正した値を用いた。その結果, 主観的努力度と客観的出力との間に有意な相関( $r=0.986$ ,  $p<0.01$ )が認められ, 回帰係数は0.87であった。この傾きの係数に注目すると, 補正前では主観的努力度と客観的出力との回帰直線の傾きは0.36であった。伊藤・村木(1997)によれば, 走動作0.45, 跳動作0.57, 投動作0.50と報告されている。これらの対応関係は低い努力度(20~60%)ではかなりのずれが認められ, 80%以上の高い努力度のみ実用性があると指摘されている(村木ら, 1999)。本研究では表6.4に示されるように, 補正後の主観的強度とそれに対応する客観的出力はどの段階においてもかなりの精度で一致することがわかった。従って, 限定された条件下ではあるが, 実際の水泳のコーチングや指導場面において, 選手や学習者に感覚的な強度で伝える有効な指標として適用可能な範囲と考えられた。また, 得られた回帰直線式によって求めた高強度領域85%, 90%, 95%の主観的及び客観的出力はそれぞれ, 92.2%, 94.9%, 97.5%及び89.5%, 91.8%, 94.1%となり, 簡便で利便性の高い結果が得られることも確認された。

#### 4.2 泳速度の調節とストローク変数との関係

泳速度とストローク変数は, 競泳のレース内容や選手の競技力を評価するためのパラメーターとして用いられ,  $\text{泳速度} = \text{SL} \times \text{SR}$ , すなわちストローク長とストローク頻度の積で構成される(Kennedy et al., 1990)。従って, 泳速度を高めるためにはSLとSRのいずれかまたは双方を大きくする必要性が指摘されている(Wakayoshi et al., 1990)。国内トップレベルの200m自由形のレースでは, 男子はSLを, 女子はSRを増大することが競技成績の向上につながると推察されている(松井ら, 1998)。また, 生田ら(1999)は短距離の泳速度の変化パターンはSLよりもSRの変化パターンに類似していることから, 泳速度はSRの操作によってコントロールされること, またトレーニング効果によって現れる変化は, 最大泳速度と最大下泳速度の2つの変化パターンに収束することを確認している。同様に, 100mでは, 男子予選敗退群はSRの, 同女子ではSLのそれぞれを増大させることがパフォーマンスの向上につながること指摘している(若吉ら, 2001)。50m自由形男女のレースでは, SLとSRは有意な負の相関関係がみられたことが報告されている(奥野ら, 1998)。また, 若吉ら(2000)は, 50m自由形レースの5m毎のストローク分析から, 性別, 競技レベル別に関係なく, 泳速度の低下傾向とSRの低下傾向は有意な関係にあることを明らかにしている。

以上のことから, レースペースの戦術要素を除外すれば, 短距離自由形での泳速度調節は, 最大努力及び最大下のいずれにおいてもほとんどがストローク変数のSRによって行われていることがわかった。

#### 4.3 ストローク頻度(SR)と水中ストローク動作との関係

前節において泳速度調節は、最大下の主観的努力度ではストローク変数の SR によって行われていることが確認された。本研究でも SR と SL との間には高い負の相関が認められた。しかし、その中には、SL の値が短くなる被検者と変わらない被検者がみられた。そこで、SL が変化する代表的な被検者 S.T と、SL が変化しない代表的な被検者 MI を抽出し、両被検者の主観的努力度の違いによる水中ストローク動作の変化をそれぞれ図 6-14 (被検者 S.T) 及び図 6-15 (被検者 MI) に示した。その結果、被検者 S.T がグライド局面の割合を減少させている (62.3%→33.3%) のに対し、被検者 MI はほぼ変化がみられなかった (39.9%→45.9%) (表 6-5)。従って、被検者 S.T はゆっくりした速度で泳ぐ場合は、グライド局面の割合を大きくすると同時に、プル・プッシュ局面の割合を少なくして調整していることがわかる。また、速く泳ぐ場合は、全く逆のストローク動作の調整が行われている。このことから、本研究の被検者のほとんどがグライドとプル・プッシュ局面を相反する比率で調整していることが伺える。Ohgi and Ichikawa (2003) によれば、本研究のクロール泳のグライド局面に相当するエントリーとストレッチ局面はほぼ 30%、プル・プッシュ局面に相当するダウンスウィープ、インスウィープ、アップスウィープ局面はほぼ 40% 以上であることが報告されている。これは、SL が変化するパターンの代表例 (被検者 S.T) の 100% 努力度におけるグライド局面の割合とほぼ一致した (表 6-5)。一方、被検者 MI はどの速度においてもグライド局面及びプル・プッシュ局面の割合が変わらないことから (表 6-5)、水中でのストロークの速さやスカーリング動作によって調整していると考えられる。

以上のことから、水中でのストロークの調節は指先が入水してからかき始めまでの「グライド局面」の割合の増減と「プル・プッシュ局面」でのストロークの速さ及びスカーリング動作でほとんどなされていると思われる。実際、手先のストローク軌跡はプル・プッシュ局面において大きく内側にカーブを描くように動いていることが推察されるが、このような軌跡については、3次元解析におけるストローク動作における Z 軸方向 (奥行き) の評価が行われ、解明されていくことが期待される (高木, 2000)。また、性差、技術レベル、他の 3 種目への適用、及び 100m, 200m の泳距離についても SV, SL 及び SR と水中ストローク動作との関連を明らかにする課題も残されている。

## 5. 結論

本研究は、50m クロール泳の主観的努力度と客観的出力との対応関係を明らかにするとともに、それらの調整がどのような水中ストローク動作によってなされているのかを検討することが目的であった。結果は以下の通りであった。

- 1) 抵抗を考慮し、補正した主観的努力度と客観的出力との間に有意な相関 ( $r=0.986$ ,  $p<0.01$ ,  $Y=0.872X+9.08$ ) が認められ、5 段階の主観的努力度は、かなりの確度でそ



それぞれの客観的強度に近づき、簡便で利便性の高い結果が得られた。

- 2) 50m 自由形での泳速度調節は、最大努力及び最大下のいずれにおいてもストローク変数のSRによって行われていることが確認された。
- 3) 水中のストローク動作分析より、泳速度が大きくなるとSRの値が高くなり、SLが変化するストロークパターンと変化しないパターンがみられた。
- 4) この場合、SLの変化するパターンの要因として、水中ストロークにおけるグライド局面の割合の増減、プル・プッシュ局面でのストロークの速さ及びスカーリング動作などによるものが考えられた。

以上のことから、水の抵抗を考慮した補正後の主観的強度と、それに対応する客観的出力はどの段階においてもかなりの精度で一致し、限定された条件下ではあるが、実際の水泳のコーチングや指導場面において、選手や学習者に感覚的な強度で伝える有効な指標として適用可能な範囲と考えられた。

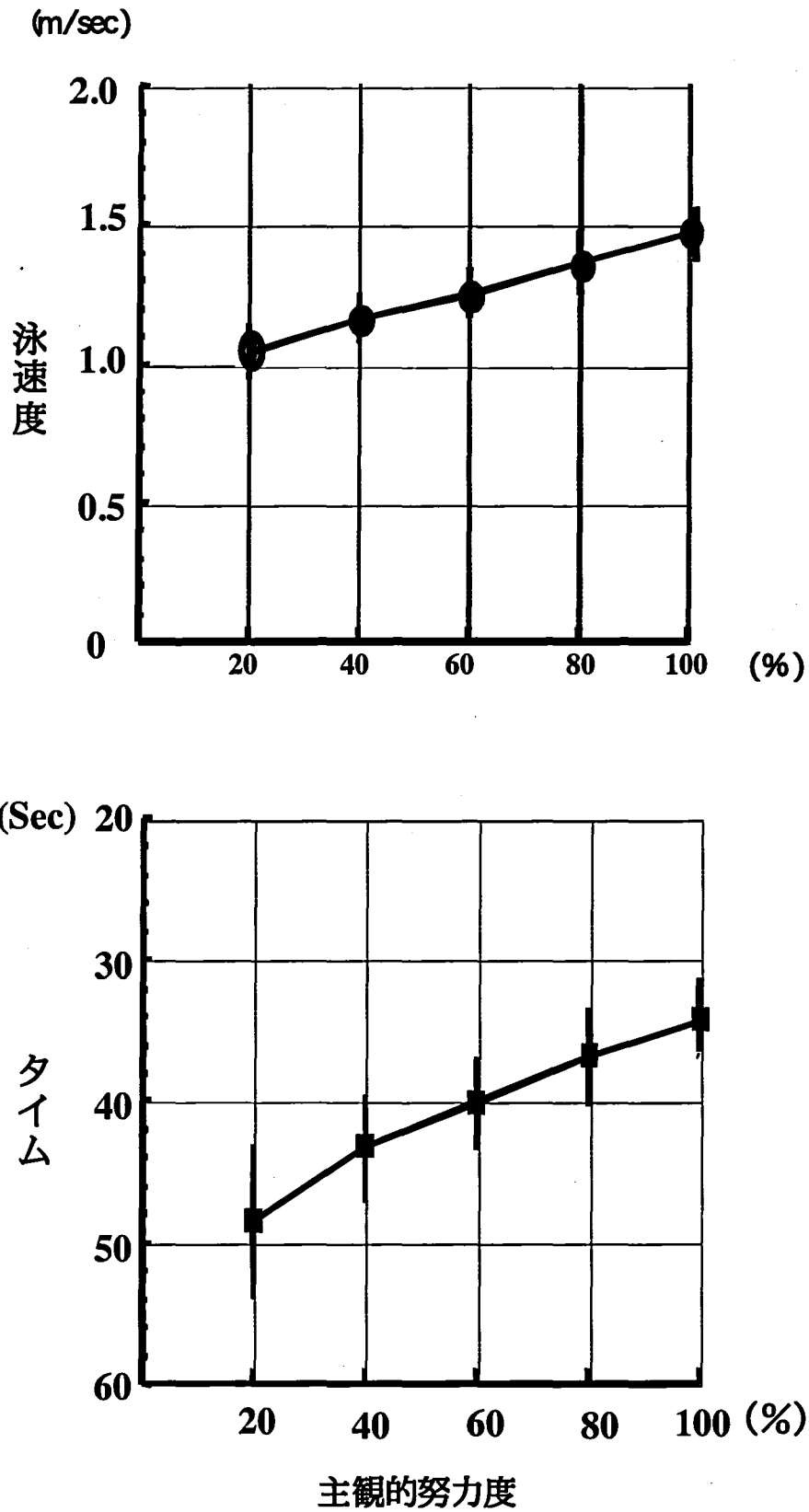


図 6-12 各主観的努力度別の泳タイムと泳速度

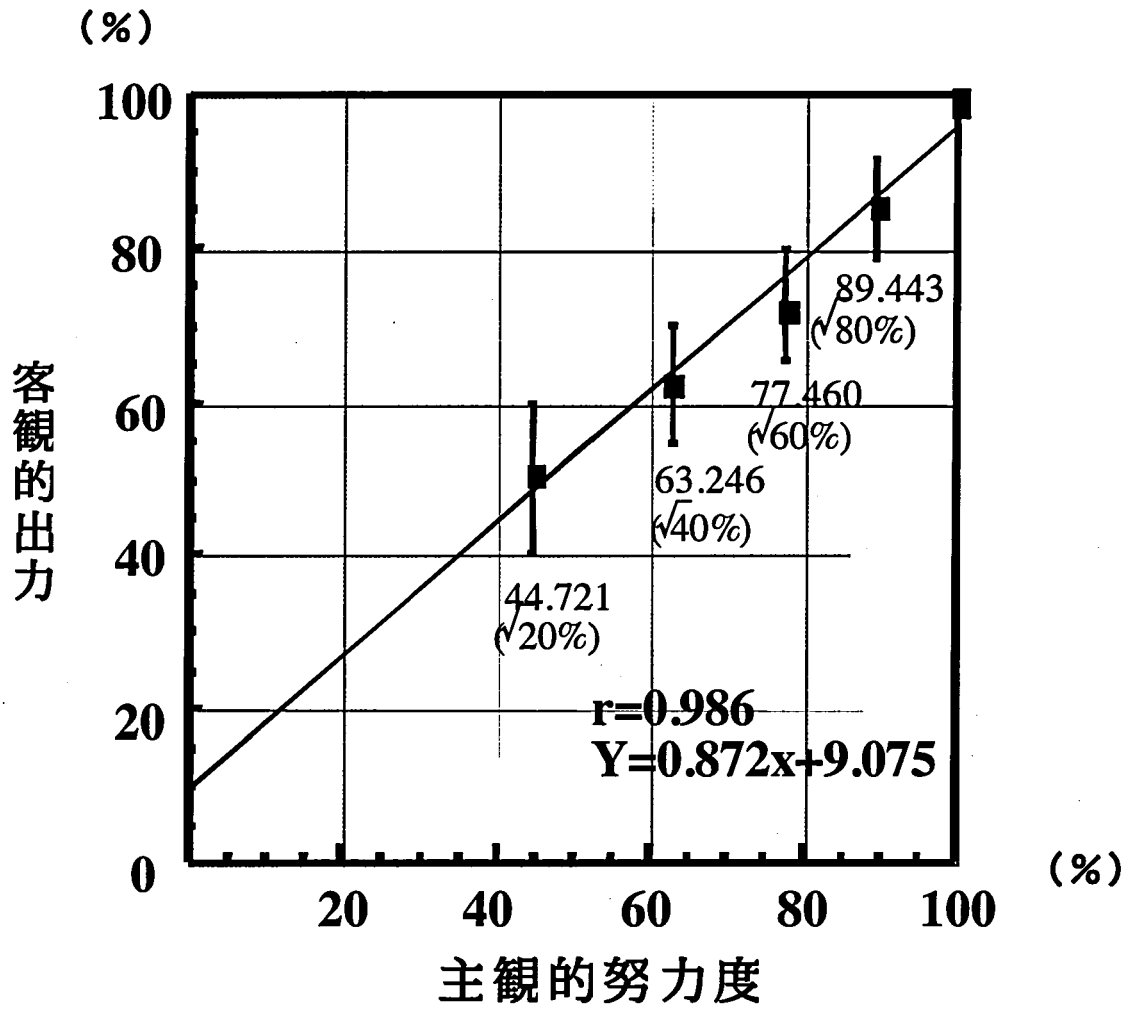
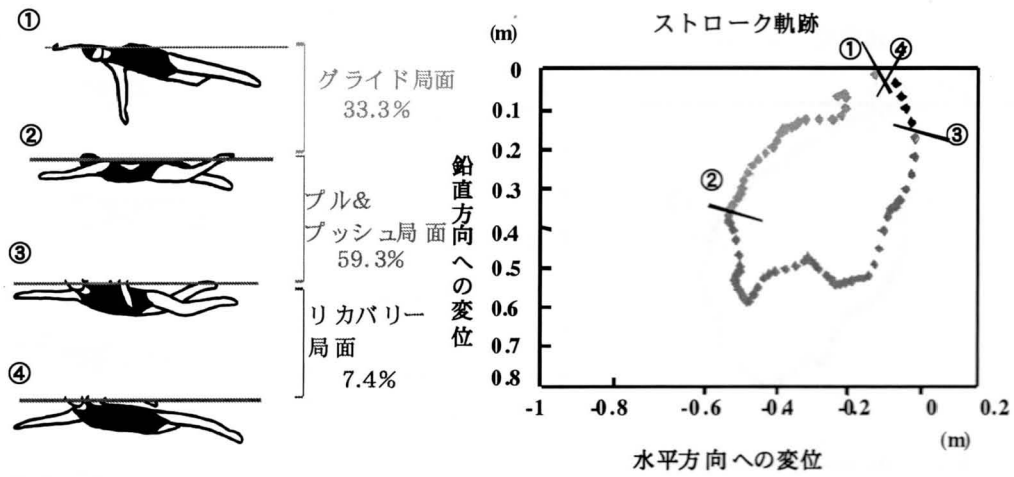
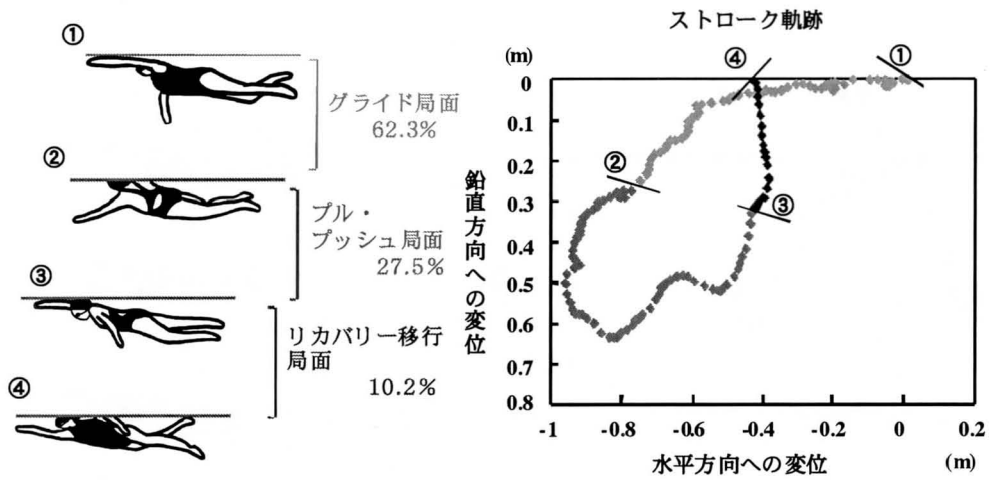


図 6-13 補正した主観的努力度と客観的出力



100%



20%

図 6-14 被検者 S.T の 20%及び 100%時のストロークパターン

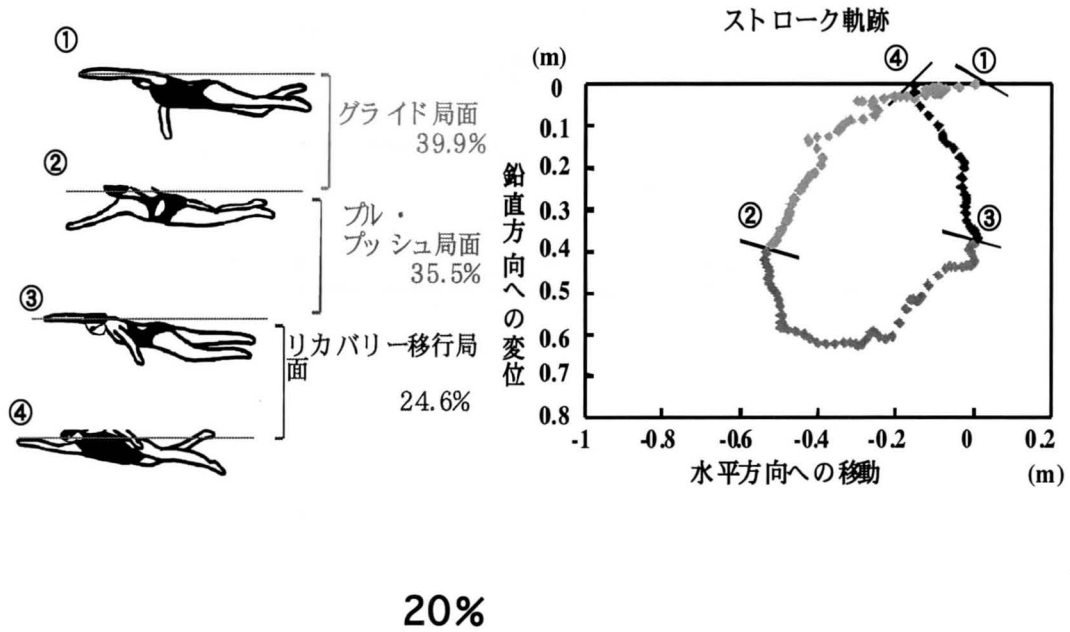
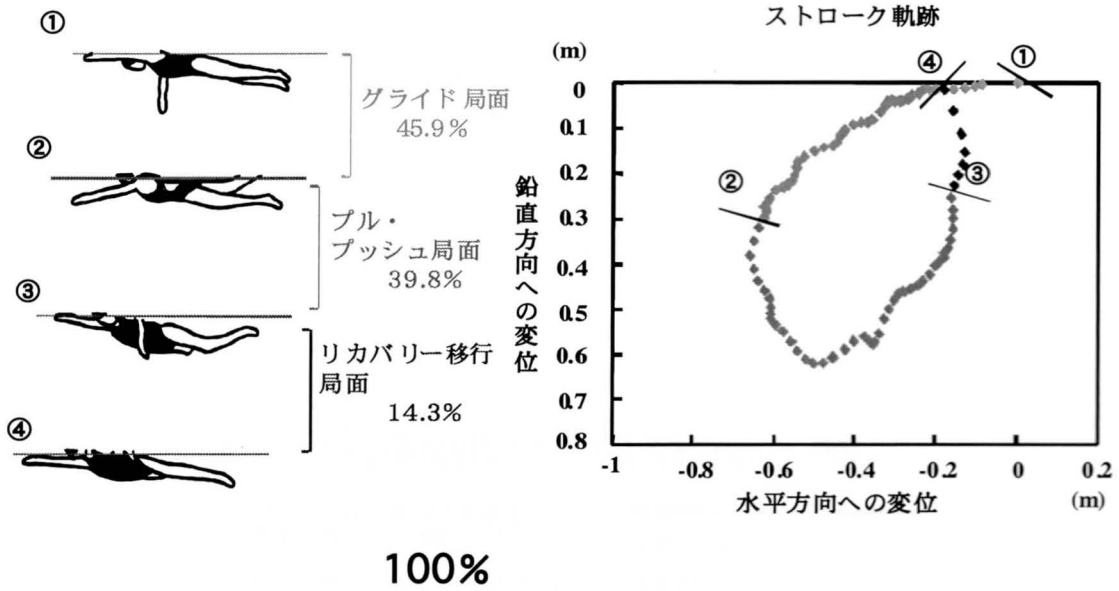


図 6-15 被検者 M.I の 20%及び 100%時のストロークパターン

表6-4 補正後の主観的努力度と客観的出力 (%)

主観的 努力度	補正後の 主観的努力度	補正後の 客観的出力
20	44.7	48.1
40	63.2	64.2
60	77.5	76.6
80	89.4	87.4
85	92.2	89.5
90	94.9	91.8
95	97.5	94.1

表 6-5 各主観的努力度に対応する1ストローク中の各局面の割合の変化 (%)

被験者	%	グライド	プル&プッシュ	リカバリー
S.T	20	62.3	27.5	10.2
	40	47.2	48.1	4.7
	60	51.2	40.5	8.3
	80	42.2	52.9	4.7
	100	33.3	59.3	7.4
		グライド	プル&プッシュ	リカバリー
M.I	20	39.9	35.5	24.6
	40	34.3	35.0	30.7
	60	51.9	35.6	12.6
	80	41.9	36.2	21.9
	100	45.9	39.8	14.3

## 第5節 総合考察

第6章では、けのびを基本とするクロール泳の巧拙と習熟過程を速度出力調節と動作認識の視点から検討した。

第1節では、大学生男女83名（男子49名、女子34名）を対象として、水泳の授業前後に4泳法（クロール、平泳ぎ、背泳ぎ、バタフライ）の動作認識に関するアンケート調査を実施し、動作認識の変容を明らかにしようとした。その結果、各泳法とも通常授業、集中授業後ともに、ほぼ同じ質問項目に70%前後の動作認識の高まりがみられた。すなわち、クロールでは水中時の手の動きに、平泳ぎではキックに、背泳、バタフライでは手の動きに最も大きな差がみられた。これらの項目は各泳法において最も大きな推進力を得る動きであった。また、腕や足は比較的容易にとらえる（認識する）ことができるが、体（体幹）への気づきは難しかった。

そこで、第2節では、大学女子初心者1名にけのび動作及びクロール泳を一定期間練習させ、その前後の動きや感覚への気づきの変化を画像解析と質問紙による追跡調査によって測定し、実際の動きと認識が一致するかを検討した。その結果、けのびの到達距離、重心移動速度は増大し、投射角度が上向き、腰と膝は伸展した姿勢になった。クロール泳では、平均泳速度0.95m/s～1.07m/s、ストローク数0.51stroke/s～0.69stroke/sへと増大、水中ストローク比率69.7%～77.8%と、推進力に直結する手のかきの技術が向上した。

一方、けのびの「姿勢」の認識は「意識したことがない」から「できている」が65%以上、「できていない」が30%弱へと変容した。しかし、「腰、首の力が抜けているか」など感覚的な気づきに対する認識は低かった。クロール泳の「手のかき」、「足のキック」及び「コンビネーション」に関する項目では、ほぼ「できている」と答えていた。しかし、「できていない」と答えた項目は、「手足の水圧」、「リラックス」、「速度の調節」、「柔軟な動き」などであり、力を抜く、速度の調節などの感覚的な気づきに対する認識は低かった。

そこで、第3節では全国大会出場経験のある男子競泳選手16名を、第4節では同女子競泳選手39名を対象として難易度の高い感覚への認識、すなわち50mクロール泳の「速度の調節」の主観と客観の一致度について検討した。その結果、男女ともに主観的努力度と客観的出力との間に有意な相関が認められ、性差は認められなかった。この時の回帰直線の傾きは、女子0.87、男子0.95とほぼ1.0に近く、他の陸上における運動と比較すると、これらの対応関係の精度は高かった。

以上のことから、けのび及び4泳法の推進力に大きく関わる腕や足の認識は容易であるが、クロールの「手足の水圧」、「リラックス」、「速度の調節」、「柔軟な動き」など感覚的な気づきや力感などに対する認識は低かった。また、「速度の調節」の主観と客観



の一致度を検討した結果、50mクロール泳では性別に関係なく、水抵抗を考慮した主観的  
努力度とそれに対応する客観的出力は、どの段階においてもかなりの精度で一致した。こ  
の時の回帰直線の傾きはほぼ 1.0 に近く、陸上における運動と比較すると非常に精度が高  
かった。すなわち、10年程度の競技経験があれば、感覚的に泳速度をかなりの確度で調整  
できると考えられた。

## 第7章 総括

### 第1節 全体的考察

ここでは、第2章から第6章をまとめて全体的考察をする。

第2章から第4章までが、1) けのび動作と前方牽引による受動抵抗との関係、2) けのび動作の画像解析と力発揮の横断的検討、及び3) けのび動作の画像解析と力発揮の縦断的検討の3つである。第5章から第6章までが、1) ターン動作の巧拙と習熟過程、2) けのびとクロール泳の巧拙、速度調整及び動作認識である。

第2章では、同一被検者（熟練水泳選手男子6名、女子3名）によるけのびの到達距離の大小と、受動牽引による抵抗（ $D_p$ ）の大小とに關係があるかを検討した。その結果、けのびの到達距離が大きい泳者は $D_p$ が小さいことがわかった。けのびの到達距離には、蹴り出しの初速度、リリースから0.5s時の速度、力積が關係した。また、けのびの投射角度はわずかに上下に蹴っていたが、その後は腰、膝を伸ばした姿勢であることがわかった。

（第1節）次に、前方牽引による避抵抗姿勢の技術の有無が、けのび技術の巧拙に反映するか否かを、大学女子熟練水泳選手及び未熟練者各9名を対象として検討した。その結果、未熟練者は到達距離が短く、かつ $D_p$ が熟練水泳選手に比べ大きかった。また、未熟練者の力積は、熟練水泳選手とほぼ同じ値を示したが、必ずしも到達距離と結びつかなかった。この原因として、未熟練者はけのびのリリース時及びリリース後に下肢を十分に伸展し、重心移動速度の減少を抑えた抵抗の少ない姿勢の保持が未熟であることが考えられた（第2節）。

以上のことから、前方牽引による $D_p$ には避抵抗姿勢の技術の巧拙が關係するが、けのびの到達距離には避抵抗姿勢に加えて蹴り出しのパワーも關係することが明らかになった。

第3章では、熟練度の違いによるけのびの巧拙をみるために、未熟練者から熟練者、エリート選手までを対象に、画像と力発揮及び動作認識の視点から性差を含めて横断的に検討した。まず、第1節では、大学男子熟練水泳選手17名のけのび動作をVTR画像及び水中フォースプレートを用いて、その動作の特徴と壁を蹴る力の様相について検討した。その結果、到達距離が大きい被検者の力発揮パターンは、接地から一旦、体重と同程度で横這いとなり、ピーク値を迎える二峰性を示した。それに対して、到達距離が小さい被検者は接地からの立ち上がりが急な一峰性を示し、ピーク値にばらつきがみられた。

次に、第2節では、大学女子熟練水泳選手20名のけのび動作及び力発揮の様相を解析し、第1節の結果との比較により性差を明らかにすることを目的とした。その結果、到達距離は女子の方が有意に大きかった。これには、身体組成、特に女子の体脂肪に由来する水中トルク（重心と浮心によるローテーション）などと密接に關係すると思われた。一方、減速量（初速度－0.5s時の重心移動速度）、投射角度、リリース時及び0.5s時の重心位置は男

女間に有意な差がみられなかった。これは、壁を蹴り出す前後の姿勢及び速度変化に差がないことを示すものである。力発揮の所要時間、ピーク値及び力積では、男子の方が有意に大きな値を示した。このことより、男子は女子に比べ力の大きさや壁を押している時間を長くし、到達距離を大きくしていることが伺われた。

第3節では、大学男子エリート選手16名、女子20名を対象とし、けのびの力発揮、画像解析を行い、男子初心者6名、女子7名(第4章)、熟練者(本章;第2節及び第3節)の結果と合わせて考察した。その結果、初心者、熟練者及びエリート選手が、①どのくらいの水深で、②どの方向に、③どのくらいの時間壁を押し、④どのくらいの速さで蹴り出し、⑤どのくらいのパワーを発揮したかを男子(女子)の初心者、熟練者及びエリート選手の順序で示すと、①接地位置: 0.30 (0.29) m, 0.36 (0.44) m, 0.37 (0.32) m, ②投射角度:  $-1.86 (-5.0)^\circ$ ,  $1.58 \sim -2.13 (-2.46)^\circ$ ,  $-2.05 (-1.63)^\circ$ , ③所要時間: 0.41 (0.42) s, 0.59 (0.58) s, 0.44 (0.47) s, ④初速度: 2.5 (2.2) m/s, 2.9 (2.5) m/s, 3.0 (2.7) m/s, ⑤力積: 210 ~ 230 (135) N·s, 250 (155) N·s, 270 (200) N·sであった。以上のことから、熟練者は男女とも初心者に比べ、投射角度を除いて全ての値が大きかったことから、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ことがわかった。しかし、蹴る方向が上下に不安定であった。また、エリート選手は男女とも熟練者より同じか、若干浅い位置で接地し、短く速く壁を押して大きなパワーを発揮し、蹴る方向はわずかに下方で安定していた。従って、けのびでは全身を沈め、壁を蹴る方向をわずかに下方へ、すばやく蹴って大きなパワーを得る重要性が示唆された。

次に、男女全体でけのびの到達距離と有意な相関があった項目は、身長、初速度、0.5s時の速度、減速度、接地位置、投射角度であり、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。このことから、けのびの到達距離には、身長、各移動速度、接地位置及び投射角度の要因が関係すると考えられるが、壁を蹴るパワーは到達距離に影響しないと考えられた。

一方、動作認識では、男女ともに一致したけのびの各動作局面の認識を時系列の順に並べると、「全身を水中に沈め、“ため”を作って顎を引き、蹴った後膝を曲げない」となり、感覚的気づきは避抵抗姿勢と密接な関係にあると考えられた。

第4章では、初心者を対象に、けのびの練習を一定期間練習させた場合、上達していく過程で何が変わるのかを画像と力発揮、動作認識などの視点から、縦断的に検討した。

第1節では、大学女子初心者1名を対象にけのび動作の練習(週3回、1回2時間を5週間)による変化を、第2節では、大学女子初心者1名を対象に2年間の練習前後における変化を、けのびの動作解析及び動作認識に関する質問紙調査の両面から追跡した。その結果、重心速度、壁を蹴る時間の増大、投射角度が水平に近づくなどの効果がみられたが、接地時の腰・膝関節の屈曲が十分でなく、力発揮が接地から一旦、体重と同程度の横這いとなる「ため」動作がみられなかった。このことから、土居・小林(1985)、高橋(1983)

が指摘するように、壁を蹴るときの十分な「ため」動作の重要性が認められた。

第3節では、大学男子初心者6名、女子7名を対象としてけのびの練習（1日1時間を7日間）を行わせ、その前後の動き、力発揮及び感覚の気づきの変容過程を検討した。その結果、壁を蹴る時間は、男女ともに有意に増大し、到達距離と力積との間には有意な相関がみられた。このことから、初心者は壁を蹴る時間を長くし、力積を大きくして到達距離の増大を図っていることが明らかになった。しかし、受動抵抗の大きい初心者や未熟練者の力積は熟練者と同程度であり、初心者、熟練者及びエリート選手全体では、到達距離と力積に有意な相関がみられなかった（第3章）。従って、力積が大きくても必ずしも到達距離の増大に結びつかないことが示唆された。

アンケートによるけのび動作に対する認識では、推進力に関わる手や足の「動き」は比較的容易であるが、「腰が落ちたり、出たりしていないか」「腰と首の力が抜けているか」など、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいようであった。

以上のことから、男女初心者の練習によるけのび動作の上達及び効果は、1) 壁を蹴る時間を長くする 2) 力積を大きくする 3) 接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、4) 重心移動速度を大きくすることによって達成されることがわかった。しかし、男女全体では力積と到達距離の間に有意な相関が見られなかったことから、力積が大きくても必ずしも到達距離の増大に結びつかないと考えられた。

第5章では、けのびの発展系であるターン動作を取り上げ、けのびが含まれるターン後半部分の巧拙と習熟過程をけのびとの比較で検討した。第1節では、大学女子未熟練者1名を対象にクロールのフリップターン動作を1日1時間、計11日間練習させ、第2節では、大学男子未熟練者1名を対象に平泳ぎのタッチターン動作を1日1時間、計13日間練習させた。水中フォースプレート及びハイスピードビデオシステムを用いて、けのびが含まれるターンの特徴や習熟過程をけのびとの比較でそれぞれ検討した。また、第3節では、大学男子熟練者6名、大学女子未熟練者6名を対象として、画像解析及び壁を蹴る力の分析より、背泳ぎフリップターン動作の特徴や巧拙をけのびとの比較で検討した。その結果、初心者がターンで壁を蹴る力は、背泳ぎ、クロール、平泳ぎの練習前後で、それぞれ230~360N、530~830N、850~940Nであり、熟練者ではそれぞれ580~600N、580~830N、2000~2100Nであった。けのびとターンで壁を蹴る力を比較した結果、けのびはクロールと平泳ぎのターンに相当することが明らかになった。

初心者のターンは練習により、壁を蹴る力の増加、蹴る時間の短縮、重心加速度、力積の増加、蹴り出す方向の改善及び重心の落下高の減少によって上達した。これは、初心者のけのびの到達距離の増大の要因とほぼ一致していた。従って、ターンの後半は、けのび動作の巧拙と一致することがわかった。

一方、初心者のけのびでは力積と到達距離とに有意な関係がみられた（第4章）。そこで、ターン動作と力積の関係を検討した結果、クロール及び平泳ぎの力積は、初心者と熟

練者間にあまり差がみられなかった。これは、壁を蹴るタイミングや方向 (Blanksby et al., 1996), けのび姿勢の変化 (Thayer and Hay, 1984) によって影響されることが考えられた。従って、力積だけでターン技術を評価するのは不十分であり、ターン動作の時系列分析を合わせた、総合的な見地から論議する必要がある。

第6章では、けのびを基本とするクロール泳の巧拙と習熟過程を速度出力調節と動作認識の視点から検討した。

第1節では、一般大学生男女83名(男子49名, 女子34名)を対象として、水泳の授業前後(通常及び集中)に4泳法(クロール, 平泳ぎ, 背泳ぎ, バタフライ)の動作認識に関するアンケート調査を実施し, それらの変容を明らかにした。その結果, 各泳法とも通常授業, 集中授業後ともに, ほぼ同じ質問項目に70%前後の動作認識の高まりがみられた。すなわち, クロール, 背泳ぎ, バタフライでは主に「手のかき」に, 平泳ぎは「足のけり」に有意に認識が高まった。しかし, どの泳法でも体幹や力を抜くなどの感覚への認識は難しいことがわかった。

そこで, 第2節では水泳の基本「けのび」及び, 最も一般的なクロール泳動作を取り上げた。大学女子初心者1名を対象とし, 1日2時間, 週3回を5週間練習させ, その前後の動きや感覚への気づきの変化を動作解析と質問紙によって測定し, 実際の動きと認識が一致するかを検討した。その結果, けのびの到達距離は重心移動速度の増大, 投射角度の上昇, 腰と膝角度の伸展によって増大した。クロール泳では, 平均泳速度  $0.95\text{m/s} \sim 1.07\text{m/s}$ , ストローク数  $0.51\text{stroke/s} \sim 0.69\text{stroke/s}$  へと増大, 水中ストローク比率  $69.7\% \sim 77.8\%$  と, 推進力に直結する手のかきの技術が向上した。一方, 動作認識は, けのびでは比較的動きへの認識が容易であったのに対し, クロール泳では, 力を抜く, 速度の調節などの感覚への認識は難しいことがわかった。

そこで, 第3節では全国大会出場経験のある男子競泳選手16名を, 第4節では同女子競泳選手39名を対象として難易度の高い感覚への認識, すなわち50mクロール泳の「速度調節」の主観と客観の一致度について検討した。その結果, 男女ともに水抵抗を考慮した5段階の主観的努力度(泳速度)と客観的出力との間に有意な相関がみられた。この時の回帰直線の傾きは, 女子0.87, 男0.95とほぼ1.0に近く, 陸上における運動と比較すると非常に精度が高かった。

以上のことから, けのび及び4泳法の推進力に大きく関わる腕や足の認識は容易であるが, クロールの「手足の水圧」, 「リラックス」, 「速度の調節」, 「柔軟な動き」など感覚的な気づきや力感などに対する認識は低かった。また, 「速度の調節」の主観と客観の一致度を検討した結果, 50mクロール泳では性別に関係なく, 水抵抗を考慮した主観的努力度とそれに対応する客観的出力は, どの段階においてもかなりの精度で一致した。従って, 感覚量として認識が難しい泳速度は, 性別に関係なく10年程度の競技経験があれば, かなりの確度で調節できると考えられた。

## 要約と本研究の意義

本研究では、水泳の基本動作「けのび」、けのびの発展系であるターン、けのびを基礎とする各種泳法について、その巧拙と習熟過程を、画像と力発揮、感覚的気づき等のバイオメカニクス的研究手法によって検討し、水泳指導に有用な知見を得ることを目指した。

その結果は以下のようにまとめることができた。

1. けのびと受動牽引抵抗との比較によって、前方牽引による受動抵抗には避抵抗姿勢の技術の巧拙が関係するが、けのびの到達距離には避抵抗姿勢に加えて蹴り出しの技術とパワーも関係することが明らかになった。

2. 初心者から熟練者、エリート選手までを対象に、けのびの巧拙を横断的に検討した結果、

(1) 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く、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た。このことから、けのびでは全身を水中に沈め、壁を蹴る方向を水平よりわずかに下方へ、すばやく蹴って大きなパワーを得ることが重要であることが示唆された。(2) 同一技能水準の熟練水泳選手を男女で比較した結果、壁を蹴り出す前後の姿勢及び速度変化には性差がなく、力発揮の所要時間、ピーク値及び力積では男子の方が大きかった。しかし、到達距離は女子の方が大きかった。これは、男子に有利な力発揮要因よりも、女子に有利な体脂肪に由来する水中トルクが作用するためと考えられた。(3) 動作認識では、けのびの各動作局面の認識を時系列の順に並べると、「全身を水中に沈め、“ため”を作って顎を引き、蹴った後、膝を曲げない」となり、感覚的気づきは避抵抗姿勢と密接な関係にあると考えられた。

3. 初心者を対象にけのびの習熟過程を7日間から2年間縦断的に追跡した結果、(1) けのび動作の上達は、①壁を蹴る時間を長くする、②力積を大きくする、③接地時に腰を曲げ、リリース時に腰を伸ばし、④重心移動速度を大きくすることによって達成されることがわかった。(2) 動作認識については、推進力に関わる手や足の「動き」に関する認識は比較的容易であるが、「腰が落ちたり、出たりしていないか」「腰と首の力が抜けているか」など、体幹回りの動作認識や力感の認識は難しいことがわかった。

4. ターンの巧拙と習熟過程をけのびとの比較で検討した結果、(1) 熟練者がけのびで壁を蹴る力はクロールと平泳ぎのターンに相当した。初心者がターンの練習で到達距離を増大させる要因は、けのびで増大させる要因とほぼ一致し、ターン後半はけのび動作の巧拙と一致することがわかった。(2) しかし、ターン動作は壁を蹴るタイミングや方向、姿勢変化も影響するため、力積だけでターン技術を評価するのは不十分であり、けのび姿勢に入

る前のターン動作を合わせた総合的な見地から論議する必要があることも明らかになった。5.クロール泳を主とする各種泳法の巧拙と習熟過程を動作認識と速度出力調節から検討した結果、初心者の段階においても、動作の単純なけのびでは動きへの認識は比較的容易であるが、力を抜くことは困難であった。また、各種泳法では、推進力を生み出す動作に意識が集中するが、泳速の調節は困難であった。しかし、泳力の向上とともに、各種泳法では力を抜き要所で力を入れることを習得し、10年程度の競技経験があれば、感覚量として認識が難しい泳速度の調節も回帰直線の傾きがほぼ1.0に近く、かなりの確度で可能になった。

以上の知見は本研究により初めて明らかにされた。水泳指導への実践的示唆としては、けのびの力発揮の仕方や壁を蹴る方向などには性差を考慮し、水中に全身を沈め、膝を曲げて抵抗のない「ため」姿勢を作り、水面と平行に蹴り出すパワーが重要である。また、水中では手足の動きは認識しやすいが、感覚的な気づきや力感などに対する認識は難しいため、難易度を考慮した助言、アドバイスが肝要である。しかし、泳ぐスピードの主観的調節は、性別に関係なく競技水準が一定以上あれば可能となる。これらの実践的示唆は、一般の児童、生徒、学生及び成人などの水中運動や競泳のトレーニングの目的に応じた指標として適用できるものである。

## 今後の課題

残された研究課題としては被検者が主として大学生に限られたため、一般化するには発育発達を視野に入れた取り組みとして小学生、中学生及び高校生を対象に調査、実験を行う必要がある。また、縦断的な追跡対象として人数を増やすことや、練習（トレーニング）期間を長くすることが課題として残っている。

## 引用文献

- 阿江通良 (1990) 垂直跳びの踏切における努力度が下肢各部の貢献度に及ぼす影響. ジャンプ研究, 日本バイオメカニクス学会編, メディカルプレス:東京, pp.40-45.
- 阿江通良 (1999) バイオメカニクスデータを現場にどう活かすか. トレーニング科学, 10 : 139-144.
- 阿江道良編 (2004) ジュニア期の効果的スポーツ指導法の確立に関する基礎的研究. —第4報—平成15年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, (財)日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会. 東京, pp.2-30.
- 天野義裕 (1987) 陸上運動の方法, 関岡康雄編. 動作におけるの気づきの評価. 逍遥書院:東京, pp.77-81.
- 荒木雅信 (1989) 身体運動の発現に関わる認知的側面. 体育の科学, 39 : 615-620.
- 朝岡正雄 (1998) スポーツ運動学に求められる研究方法. 第11回スポーツ運動学会大会抄録集, 2-4.
- Blanksby, B., Gathercole, D.G., Marshall, R.N.(1996) Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers, *The Journal of Swimming Research*, 11: 40-45.
- Blanksby, B.(1999) Gaining on turns. ISBS Coaches Information Service, [http://cis.squirring.net/category/papers\\_and\\_abstracts\\_from\\_conference\\_proceedings\\_and\\_sports\\_science\\_journals/161/](http://cis.squirring.net/category/papers_and_abstracts_from_conference_proceedings_and_sports_science_journals/161/)
- Blanksby, B., Skender, S., Elliott, B.C., McElroy, G.K., and Landers, G.J.(2004) An analysis of the rollover backstroke turn by age-group swimmers. *Journal of Sports Biomechanics*, 3:1-14.
- Chow, W., and Hay, J.G. (1984) Turning Techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Science*, 2 : 241-255.
- Claris, J.P., and Jiskoot, J. (1975) Total resistance of selected body positions in the front crawl. In : J.P.Claris and Lewille, L.(Eds.), *Swimming II*, University Park Press, Baltimore, pp.109-117.
- Claris, J.P. (1979) Human morphology and hydrodynamics. In : Trauds, J., and W, Bedingfield. (Eds.), *Swimming III*, University Park Press, Baltimore, pp.3-19.
- Daniel, K, Klauck, J, Bieder, A. (2002) Kinematic and dynamographic research in different swimming turns. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, J. C. Chatard (ed), Saint-Etienne, Saint-Etienne, pp.201-206.
- 土居陽治郎・小林一敏・高橋伍郎 (1983) 競泳におけるフリップ・ターン技術の力学的考察. 東京体育学研究 10 : 43-44.
- 土居陽治郎・小林一敏・松井敦典 (1984) 水流における流速の測定. *J.J.SPORTS.SCI.*, 3 : 694-699.



- 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.
- Daniel, K., Klauck, J., Bieder, A. (2002) Kinematic and dynamographic research in different swimming turns. In : J. C. Chatard(Ed.), Biomechanics and Medicine in Swimming IX , University of Saint-Etienne , Saint-Etienne, pp.201-206.
- 深代千之・稲葉勝弘・小林規・宮下充正 (1982) 幼児にみられる投能力の発達. J.J.SPORTS.SCI., 1 : 231-236.
- 藤本薫喜・渡邊孟・坂本淳・湯川幸一・森本和枝 (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 : 7-14.
- 麓信義 (1989) 身体運動における学習効果の確認. 体育の科学 39 : 598-605.
- 合屋十四秋・野村照夫・松井敦典・高木英樹 (1992) クロール泳動作の発達. 第11回日本バイオメカニクス学会大会論集, 北川薫編, 動きとスポーツの科学, :名古屋, pp.286-291.
- 合屋十四秋・天野義裕・星川保・松井秀治 (1993) 発育発達にともなうスポーツパフォーマンスの変容に関する縦断的研究. —卵性および二卵性双生児—組ずつの事例—, デザントスポーツ科学, 14 : 151-168.
- 合屋十四秋 (1995) 平泳ぎ泳動作の発達とその評価について. 愛知教育大学研究報告, 45 : 11-16.
- 合屋十四秋・松井敦典・高木英樹 (1996) クロール泳におけるフリップターンの習熟過程. 第13回日本バイオメカニクス学会大会委員会編集・発行, 第13回日本バイオメカニクス学会大会論集, 身体運動のバイオメカニクス : 筑波, pp.390-394.
- 合屋十四秋 (1997) 水中運動の動作認識とその変容について. 愛知教育大学教科教育センター研究報告, 21 : 253-260.
- 合屋十四秋・杉浦加枝子 (1999) クロール泳の動作認識と画像解析による泳ぎのマッチング. 水泳水中運動科学, 2 : 26-32.
- 合屋十四秋 (1999) 子どもの泳ぐ動作. 体育の科学, 49 : 115-122.
- Goya .T., Takagi, H., Nomura, T. (1999) Training effects on forces and turning motion during breast stroke turn. In : Keskinen, K. et al., (Eds) Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, Gummerus Printing : Jyväskylä, , pp.47-52.
- 合屋十四秋 (2000) 泳ぎの動作認識とバイオメカニクス情報とのマッチング. バイオメカニクス研究, 4 : 206-213.
- 合屋十四秋・杉浦加枝子 (2000) 習熟過程におけるけのび動作とその認識の縦断的研究, 愛知教育大学研究報告, 49 : 15-18.
- Goya, T., Takagi, H., Nomura, T. (2001) The turning motion and forces involved in the backstroke flip turn. In : Blackwell, J.R. and Sanders, R.H. (eds.), Proceedings of swim sessions, XIX International Symposium on Biomechanics in Sports, University of San-Francisco : San-Francisco, pp.87-90.

- Goya, T., Sugiura, K., Takagi, H., Nomura, T., Matsui, A., Tsurumine, O., Takahashi, S., Ogai, Y. (2002) Forces and Image Analysis on Gliding Motion for Beginning and Competitive Swimmers. In : J.C. Chatard (Ed.), Biomechanics and Medicine in Swimming, IX, University of Saint-Etienne, Saint-Etienne, pp. 127-132.
- 合屋十四秋・野村照夫・松井敦典・高木英樹 (2002) けのび動作の最適水深はどの位がよいか? 第17回日本バイオメカニクス学会大会実行委員会編集・発行: 第17回日本バイオメカニクス学会大会論集, 名古屋, pp.40-41.
- 合屋十四秋・杉浦加枝子・松井敦典, 野村照夫・高木英樹 (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委員会編集・発行, 第18回日本バイオメカニクス学会大会論集, 鹿児島, pp.194-195.
- 合屋十四秋・野村照夫・杉浦加枝子 (2005) 女子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作との関係. スポーツ方法学研究, 18 : 175-83.
- 合屋十四秋・松井敦典・杉浦加枝子 (2006a) 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.
- 合屋十四秋・野村照夫・松井敦典 (2006b) けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗との関係. 愛知教育大学研究報告, 55 : 21-25.
- 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典, 高木英樹, 下永田修二, 小山田早織 (2008a) けのび動作の力発揮と前方牽引による受動抵抗との関係—大学女子熟練者と非熟練者の比較—. 愛知教育大学研究報告, 57 : 11-16.
- 合屋十四秋・野村照夫・松井敦典 (2008b) 男子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作との関係. トレーニング科学, 20 : 31-40.
- Hay, J. (1988) The status of research on the biomechanics on swimming. In : Ungerechts, B. E. et al. (Eds.) Swimming science V. Human Kinetics Publishers, Champaign, pp.3-14.
- 星野公夫 (1982) 走動作における身体への気づき. 順天堂大学保健体育紀要, 25:78-87.
- 星野公夫 (1997) 動作法からみたスポーツ選手の心身の自己コントロール. 体育学研究, 42:205-214.
- 星野公夫 (1998) 心身の自己コントロールを図る—動作法動作の体験様式の変化が心のありようを変える—体育の科学, 48 : 114-118.
- Hueelhorst, U., Bodo, U and Klaus, W. (1988) Displacement and speed characteristics of the breaststroke turn - a cinematographic analysis. In : Bodo, U et al. (Eds.) , Swimming science V, Human Kinetics Publishers, USA, pp.93-98.
- 猪飼道夫 (1966) 生理学から見た Coordination. 体育の科学, 16 : 558-560.
- 生田泰志・奥野景介・松井健・寺田晶裕・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 : 1-8.

- 伊藤浩志・村木征人 (1997) 走・跳・投・動作のグレーディング能力に関する研究. スポーツ方法学研究, 10 : 17-24.
- 伊藤浩志・村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度, ピッチ, ストライド, 下肢動作に及ぼす影響. スポーツ方法学研究, 18 : 61-73.
- 伊藤政展(1989)身体運動の制御と学習における運動プログラムとスキーマの役割. 体育の科学, 39 : 609-614.
- 出原泰明 (1986) 体育の学習集団論, 明治図書出版 : 東京, pp22-56.
- Jiscot J and Claris, J.P. (1975) Body resistance on and under water surface. In : J.P.Claris (Eds.), *Swimming II*, University Park Press, Baltimore, pp.105-109.
- 海野勇三・西迫貴美代 (1984) 水泳の初心者指導に関する研究 (1). 鹿児島大学教育学部研究紀要, 人文社会科学稿 36 : 117-160.
- 金子明友 (1988) 体育・保健科教育論. 島崎仁ほか編. 体育学習のスポーツ運動的視座. 東信堂 : 東京, pp.55-65.
- 金子元彦・村木征人・伊藤浩志・成万祥 (1999) 打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係. スポーツ方法学研究, 12 : 25-32.
- Karpovich, P.V. (1933) Water Resistance in Swimming. *Res. Quart.*, 4 : 21-28.
- 加藤史夫・小山祐三・濱松亜紀・小倉幸雄・五十嵐聰・澤井博 (1995) スポーツ競技者の跳躍運動における主観的努力度と客観的達成度の対応関係に関する一考察. 陸上競技研究, 23 : 18-24.
- 加藤謙一 (1998) 発育期における走動作の発達. バイオメカニクス研究, 2 : 99-108.
- Kennedy, P.K., Brown, P.L., Chengalur, S.N., Nelson, R.C. (1990) Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6 : 187-197.
- 木島章文 (2006) 眼球運動と前進移動運動との対応からフェイント動作を再考する. 第19回日本バイオメカニクス学会大会論集, 31.
- Klauck, J. (2002) Swimming speed estimation based on forward dynamics model. In : J.C. Chatard(Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, University of Saint-Etienne, Saint-Etienne, pp.75-80.
- 香田郡秀・長尾進・吉田恭将 (1989) 剣道の初心者指導に関する一考察—初心者の打ち返し分析と自己の動作の意識について—. 筑波大学体育研究, 11 : 29-37.
- 小林寛道 (2002) スポーツ現場に活かすバイオメカニクス. 体育の科学, 52 : 673.
- Knudson D, V. and Craig S. Morrison (1997) *Qualitative analysis of human movement*, Human Kinetics, Champaign.
- 工藤孝幾 (1987) 視覚と運動感覚のクロスモダルマッチングにおけるアンダーシュートとオーバーシュート. 体育学研究, 32 : 67-76.

- 工藤考幾 (1989) 発達と運動反応スキーマの形成. 体育の科学, 39 : 621-626.
- 工藤考幾 (2002) 意識の焦点と動作の焦点, 体育の科学 52 : 687-691.
- Larsen, O.W., Yancher, R.P., & Baer, C.L.H. (1981) Boat Design and swimming performance. *Swimming Technique*, Aug-Oct, 38-44.
- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliott, B., Lloyd, D.(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.
- Lyttle, A and Blanksby, B (2000a) A Look at Gliding & Underwater Kicking in the SwimTurn. [http://cis.squirming.net/category/papers\\_and\\_abstracts\\_from\\_conference\\_proceedings\\_and\\_sports\\_science\\_journals/157/](http://cis.squirming.net/category/papers_and_abstracts_from_conference_proceedings_and_sports_science_journals/157/)
- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliott, C., Lloyd, D.(2000b) Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sports Science*, 18:801-807.
- Lyttle, A., Benjanuvatra, N. Blanksby, B., Elliott., B.(2002) Body form influences on the drag experienced by junior swimmers. In : Y.Hong (Ed.), *International Research in Sports Biomechanics*, Routledge Publishing, London, pp.311-317.
- Lyttle A and Benjanuvatra , N. ( 2007 ) Optimising Swim Turn Performance, <http://cis.squirming.net/category/swimming/281/>
- マイネル : 金子明友訳 (1981) マイネルスポーツ運動学. 大修館書店 : 東京, pp.374-400.
- Maiello, D., Sabatini, A., Demarie, S., Sardella, F., and Dal Monte, A. (1998). Passive drag on and under the water surface. *Journal of Sports Sciences*, 16 : 420-421.
- Manen J.D and Rijken, H. (1975) Dynamic measurement techniques on swimming bodies at the Netherlands ship model basin. In : J.P.Claris (Eds.), *Swimming II*, University Park Press, Baltimore, pp.70-79.
- 松井健・寺田晶裕・立貞栄司・本部洋介・生田泰志・若吉浩二・野村照夫 (1998) 競泳レースにおける 5m 毎の泳速度とストローク変数の変化—日本選手権 200m 自由形種目における泳力別比較—. *スポーツ方法学研究*, 11 : 88-93.
- 松下雅雄・阿江通良 (1984) 未経験者の運動観察に関する研究—空手の前蹴りを例として—. *筑波大学体育科学系紀要* : 93-105.
- 松下雅雄・山田幸雄 (1987) 初心者における動作の自己評価について—空手の前蹴りを用いて—. *筑波大学体育研究*, 111-116.
- McLean, P., Hinrichs, N (1998a) Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. *J. Sports Sci*, 16 : 378-383.
- McLean, SP., and Hinrichs RN. (1998b) Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Res .Q. Exerc. Sport*. 71 : 182-189.

- 三木四郎 (1997) 動きのアナログン. 学校体育, 50 : 42.
- 宮下充正 (1970) 水泳の科学. 杏林書院, 東京, pp.72-84.
- 宮下充正・小野寺孝一 (1978) 水泳における Rating of Perceived Exertion. 体育科学, 6 : 96-99.
- Miyashita, M and Tsunoda, T (1978) Water resistance in relation to body size. In : Eriksson and B, Furberg (Eds.), Swimming IV, University Park Press, Baltimore, pp.395-401.
- 茂木健一郎 (1997) 脳とクオリア, <http://www.qualia-manifesto.com/kenmogi.html>
- 村木征人 (1983) スプリント走における速度強度および歩幅と歩数に関する研究—スプリント走の各種客観速度と主観速度および歩幅との関係—. 日本バイオメカニクス学会 (編) 「身体運動の科学6」, 杏林書院 : 東京, pp.76-83.
- 村木征人・稲岡純史 (1996) 跳躍運動における主観的強度 (努力度合) と客観的出力との対応関係. スポーツ方法学研究, 9 : 73-79.
- 村木征人・伊藤浩志・半田佳之・金子元彦・成万祥 (1999) 高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響. スポーツ方法学研究, 12 : 59-67.
- 村川俊彦・今村義正・山田秀樹・新出昌明 (1987) 水泳指導における感覚的言語に関する研究—「速く泳ぐ」ために—. 東海大学体育学部紀要, 17: 37-49.
- 内藤栄一・定藤規弘 (2002) 身体図式 (ボディスキーマ) と運動イメージ. 体育の科学, 52 : 921-928.
- 中村敏雄 (1989) 教師のための体育教材論. 創文企画 : 東京, pp.212-213.
- Nicol K and Kruger, F. (1979) Impulses exerted in performing several kinds of turns. In: Terauds, J., and Bedingfield, E. (Eds.), Swimming III, University Park Press, Baltimore, pp.222-232.
- Nomura, T., Goya, T., Matsui, A., Takagi, H. (1993) Determination of Active Drag during Swimming. In : Miyashita, M., et al. (Eds.), Medicine and Science in Aquatic Sports, pp.131-136.
- Nomura, T and Shono, T. (1995) The relationship between rating of perceived exertion and physiological exertion at different swimming speeds. Bull. Inst. Sport Sci., Univ. of Tsukuba, 18: 99-107.
- 野村照夫 (1996) 100m 背泳ぎレースにおけるスタート、ターン、フィニッシュの分析. 第13回日本バイオメカニクス学会大会論集, 身体運動のバイメカニクス : 385-389.
- 野村照夫 (2004a) 子どもとスイミング. 子どもと発育発達, 2 : 8-12.
- 野村照夫 (2004b) 水泳時の水抵抗を計測するリールアップシステムの開発と応用. 水泳パフォーマンスの多面的評価, 京都工芸繊維大学博士論文, 40-45.
- 野村照夫 (2004c) 競泳選手のコツ・動き方の意識に関するアンケート調査結果. ジュニア期の効果的スポーツ指導法の確立に関する基礎的研究—第4報—, 平成15年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, (財) 日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会, 東京, pp.31-40.
- 野村照夫 (2004d) 一流選手のもつコツの意識と感覚の構造化, ジュニア期の効果的スポー

- ツ指導法の確立に関する基礎的研究—第4報—,平成15年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告,(財)日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会,東京,pp.63-74.
- Ohgi, Y. and Ichikawa, H. (2003) Fatigue evaluation by using Microcomputer-based acceleration data logger for swimming research. *Biomechanics and Medicine in Swimming*, IX : 463-468.
- 大道等 (2002) 運動指導と言葉かけ—サッカー指導を中心に—. *体育の科学*, 52 : 681-686.
- 太田涼・有川秀之 (1998) 短距離走における主観的強度と客観的強度の対応関係に関する研究—小学生から大学生を対象に—. *陸上競技研究*, 32 : 2-14.
- 荻田太・田巻弘之・前田明・我妻玲 (2004) 競泳パフォーマンスの限界要因に関する検討—MADシステムを用いた力学的・代謝的解析より—. *デサントスポーツ科学*, 23 : 122-130.
- 奥野景介・若吉浩二・生田泰志・松井健・野村照夫 (1998) 1996年度および1997年度日本選手権大会50m自由形における競泳のレース分析. *スポーツ方法学研究*, 11 : 123-130.
- 大城敏裕・濱口麻衣子・田口正公・下永田修二・田場昭一郎 (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.
- 大築立志 (1986) スペーシング・グレーディング・タイミング—意志による運動の制御—. *体育の科学*, 36 : 104-109.
- 大築立志 (1989) 力のグレーディング. *JJ.Sports Sci.*, 8 : 663-667.
- 大築立志 (1998) 予測とタイミングからみたヒトの随意運動制御. *体育学研究*, 43 : 137-149.
- 大築立志 (2005) 主観による物理的出力の制御特性—つもりと実際の対応関係—. *バイオメカニクス研究*, 9 : 149~160
- Pendergast, DR., di Pranpero, PE., Craig, BR Jr., Wilson, D., and Rennie, W.(1977) Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J. Appl. Pysiol.*, 43: 475-479.
- Roesler, H. (2002) Turning force measurement in swimming using underwater force platforms., In : J.C. Chatard(Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, University of Saint-Etienne , Saint-Etienne, pp.243-248.
- 定本朋子・大築立志 (1977) 跳躍動作における出力制御の正確性—距離の grading および再現の特性—. *体育学研究*, 22 : 215-229.
- Sanders, R. (2003) Do your swimmers kick too soon in turns? *Coaches' InfoService*. <http://cis.squirming.net/category/swimming/114/>
- 佐藤進, 出村慎一, 中田征克, 北林保, 元祐謙吾, 池本幸雄, 高橋繁浩 (2000) 牽引装置を用いたグライド泳テストの信頼性及び客観性の検討. *水泳水中運動科学*, 3 : 17-21.
- 柴田義晴 (1992) 水泳指導についての—考察—け伸びの指導について—. *東京学芸大学紀要5部門*, 5 : 133-140.
- Shimizu, Y., Suzuki, T., Suzuki, K., Kiyokawa, H. (1997) Studies on fluid drag measurement and fluid drag reduction of woman athlete swimming suit. *Japan Society of Mechanical Engineers*, (B) 60 : 3921-3927.

- 下永田修二・田口正公・田場昭一郎・青柳美由季(1998)クロール泳における Active Drag の定量化の試み. 福岡大学体育研究, 28 : 65-79.
- 下永田修二・田口正公・田場昭一郎・大城敏裕・浜口麻衣子 (1999) クロール泳における Active Drag 定量法の検討. 第 14 回日本バイオメカニクス学会大会編集・発行: バイオメカニクス研究概論. 山梨, pp.270-275.
- 下永田修二・田口正公・田場昭一郎・大城敏裕・三浦望慶 (2001) 簡易泳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 : 15-23.
- 征矢秀昭 (2004) 感覚と運動. 体育の科学, 54 : 513.
- 末光智宏 (1989) How to swim faster. 実戦で生きるスイミング・テクニク. 別冊 Swimming & Water polo Magazine, ベースボールマガジン社: 東京, pp.72-76.
- 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.
- 杉浦加枝子・合屋十四秋・鶴峯治・高橋繁裕・小粥由美子 (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.
- 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.
- 田場昭一郎・田口正公・下永田修二・大城敏裕・浜口麻衣子 (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 : 25-36.
- 高木隆司 (1993) 水泳におけるフォームとパフォーマンス. JJ.SPORTS.SCI., 12 : 285-290.
- 高木英樹・野村照夫・松井敦典・南隆尚 (1997) 日本人競泳選手の抵抗係数. 体育学研究, 41 : 484-491.
- Takagi, H., Wilson, B. (1999) Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. In: Keskinen KL et al. (Eds) Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Gummerus Printing : Jyväskylä, pp.101-106.
- Takagi, H and Sanders, R.(2000) Hydrodynamics makes a splash. Physics World, 13 : 39-43.
- 高木英樹 (2000) 流体力学的視点からみた水泳に関する諸問題. 三重大学教育学部研究紀要, 51, 自然科学, 33-44.
- 高木英樹 (2001) 抵抗を制する者, 勝負を制す. 水泳水中運動科学, 4 : 1-6.
- 高木英樹 (2002) 人はどこまで速く泳げるのか. 岩波書店, 東京.
- Takahashi, G., Yoshida, A., Tsubakimoto, S., Miyashita, M.(1983) Propulsive Force Generated by Swimmers during a Turning Motion. Biomechanics and Medicine in Swimming. In : Hollander, A., Huijing and, A., Groot, G (Eds.), Human Kinetics, Champaign, pp.192-198.
- 高橋伍郎 (1983) 水泳における身体運動. JJ.SPORTS.SCI., 2 : 518-526.
- 高橋伍郎・坂田勇夫・椿本昇三・阿江通良 (1983) 運動構造にもとづく水泳ターン技能の

- 実用的評価法. 筑波大学体育科学系紀要, 6 : 65-72.
- 高橋伍郎 (1984) ベストスイミング. 古橋廣之進編著, 日本放送出版協会, 東京, pp.34-105.
- Thayer, A.L. and Hay, J.G. (1984). Motivating start and turn improvement. *Swimming Technique*, 20 : 17-20.
- 高橋真 (2006) 運動イメージとスポーツトレーニング効果との相互関係. 第19回日本バイオメカニクス学会大会論集 : 32.
- 豊島進太郎 (1982) ボールの的当て. *J.J.SPORTS.SCI.*, 1 : 91-98.
- Ueda.T and T.Kurokawa (1995) Relationship between perceived exertion and physiological variables while swimming, *Int. J of Sports Medicine*, 16 : 387-391.
- Wakayoshi, K., Nomura, Te., Takahashi, G., Sakata, I., Nomura, Ta., Tsubakimoto, S. (1990) Swimming techniques of Japanese elite swimmers. 1988 Seoul Olympic Scientific Congress Proceedings : 521-530.
- 若吉浩二 (1992) 競泳のレース分析. *体育の科学*, 42 : 420-425.
- 若吉浩二・劉華・森弘暢・若宮知子・小野桂一 (2000) 競泳短距離自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化について. *スポーツ方法学研究*, 13 : 31-41.
- 若吉浩二・劉華・森弘暢・福本隆行・小野桂一 (2001) 日本選手権における競泳100m自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化に関する研究. *スポーツ方法学研究*, 14 : 31-40.
- Walker, J. (1995) Turning techniques: the biomechanics of age group swim turns. *World Clinic Series (Volume 27)*, The American Swimming Coaches Association, Florida: Fort Lauderdale Press. pp.129-137.
- 矢内利政 (2005) 水泳におけるバイオメカニクス研究の流れ. *バイオメカニクス研究*, 9 : 218-241.
- 結城匡啓 (1999) 長野オリンピックのメダル獲得に向けたバイオメカニクスのサポート活動. 日本スピードスケートチームのスラップスケート対策, *体育学研究*, 44 : 33-41.
- Zamparo, P., Antonutto, G., Capeli, C., Francescato, MP., Girardis, M., Sangori, R., Soule, RG., Pendergast, DR. (1996) Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 6:273-280.



## 謝辞

本研究は、これまでの長年にわたる研究成果を体系的にまとめるべく、学位論文として公表、完成させたものです。この論文の構想およびまとめにあたっては、広島大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学系の黒川隆志教授のご指導・助言により達成することができました。先生の暖かく、辛抱強い忍耐なしには到達できなかったことは勿論のこと、多くの叱咤激励を受けて成就できました。ここに深く感謝の意を表したいと思います。

また、本論文をまとめるにあたり、広島大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学系の松岡重信教授、松尾千秋教授、東川安雄教授、心理学系の宮谷真人教授には貴重な助言とアドバイスを受けました。ここに重ねて深謝致します。

さらに、当初より本研究の共同研究者として協力頂いた鳴門教育大学准教授の松井敦典先生、京都工芸繊維大学大学院教授の野村照夫先生、筑波大学大学院人間総合科学研究科准教授の高木英樹先生、ならびに並々ならぬ協力と示唆を頂きました元愛知教育大学体育教室教授の天野義裕先生、岡崎市立矢作東小学校の杉浦加枝子先生にも深く感謝申し上げます。

実際の研究の遂行にあたっては愛知教育大学大学院生、卒業研究生および本学水泳部員の方々の多大なる労力と時間を費やして達成することができました。また、実験のデータ収集にあたっては被検者として数多くの方々や選手の貴重な時間を割いて参加、協力を頂きました。ここに合わせて敬意を表し、重ねて感謝致します。

最後に、ここにたどり着くまで我が研究・教育活動を献身的に支えてくれた妻、そして家族に心から感謝する次第です。