

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

合屋十四秋

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

合屋十四秋

はじめに

シドニーオリンピックを前に、水泳界では斬新なアイデア？（先鋭的な流体力学の研究成果？）として「鯨肌水着」が登場した。恐らく、これは水棲動物の中で最も速く水中を移動すると考えられているイルカ、マグロなどの皮膚表面の構造が水抵抗を少なくする「層流」を引き起こすことに起因するのであろう。ヒトもこれと同じように水中を移動するときの水の流れを感知し泳ぎ方を変化、対応することができるのであろうか？われわれはこのような研ぎ澄まされた感覚的情報やエピソード例を知っている。私信ではあるが、高橋繁浩氏（現中京大学：ソウルオリンピック平泳ぎ代表選手）は自身の最も調子がよかった時の泳ぎの状態を「水がコロコロと腹の下を流れていく」というように表現している。

1. 感覚情報は数量化できるのか？

鯨肌水着の登場は水棲動物の感覚、すなわち1/10または1/100 sec 単位の皮膚感覚？や1/10または1/100 g 単位の？の水抵抗をわれわれ人間が感じとれる範囲内であるとの前提であろう。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？前述の高橋氏は、VTRでの観察的評価で林 亮選手（中京大大学院、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をした鶴峯氏（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う。

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究している研究がみられる。

水泳運動では宮下ら（1978）による主観的運動強度と生理学的パラメーターとの対応関係やNomura et al（1995）による泳速度と主観的運動強度の関係が報告されているが、生理学的側面からの検討に留まっている。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の関係を村川ら（1987）は質問紙法によって行っている。

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

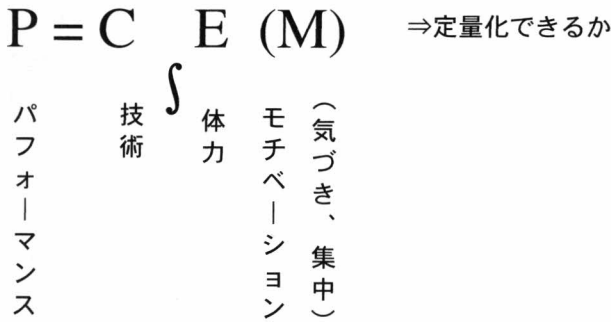


図1 猪飼によるパフォーマンスを左右する要因

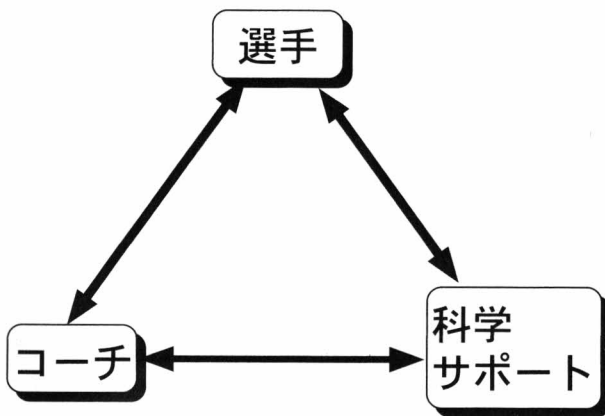


図2 選手、コーチおよび科学サポートの Triangle Interaction

(スキーマ) レベルまでと考えられている (工藤 1989) .
 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、単にアスリートのスポーツ技術の習得のみならず、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 (星野 1997) .

2. バイオメカニクス的研究手法の限界と挑戦？

図1に猪飼 (1966) の $P=C \int E (M)$ 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分野の学際

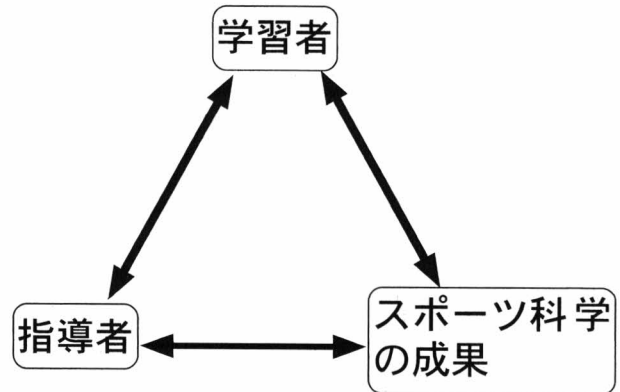


図3 学習者、指導者およびスポーツ科学の成果の Triangle Interaction

的な研究が関与すると述べている。しかし、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およ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、わずか1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のは少ない。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、コーチおよ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考えたい (図2 参照) .
 また、これを、体育の学習場面に当てはめると図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技能の到達目標に対して、指導者およびバイオメカニクス研究によって得られた知見や成果の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。つまり、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」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).

3. チェックリストによる泳ぐ動作の感覚情報

競泳4種目のチェックリストによる動作と気づきの関係を紹介しよう。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を実施した(合屋 1997)。質問紙は、高橋(1984)による自己診断項目による方法を参考にし、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)である。そこで、動作認識が「しやすい項目」や「しにくい項目」を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?を調べた結果、通常授業、集中授業ともに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。すなわち、意識の集中は、各泳法で最も大きな推進力を生み出すと考えられる身体部位に移行するようである。また、「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、「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。このことから、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ようである。陸上運動で

も同様の結果(星野 1982)が報告されている。つまり、「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」と述べている。

以上のことから、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予測される。しかし、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明らかにすることが課題となった。

4. クロール泳における出力調整の様相と動作との関係

水泳のインターバルトレーニング、特に短い距離の場合では、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。そこで、クロール泳において「自分の感覚だけでどれぐ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実験を行った(合屋ら 1999)。すなわち、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努力度(理論値)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?速度調節はどのような動きによって補正しているのか?を、動作分析と合わせて分析してみた。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して、計2セット行なった。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、平均年齢 14.1 ± 2.6 years、平均身長 155.5 ± 8.3 cm、平均体重 47.3 ± 8.2 kg、水泳経験年数 9.1 ± 2.5 yearsである。VTRの記録は、左側方から高速度ビデオカメラ(Nac社製 HSV-400:200 fps)で撮影し、画像はMathmaticaを

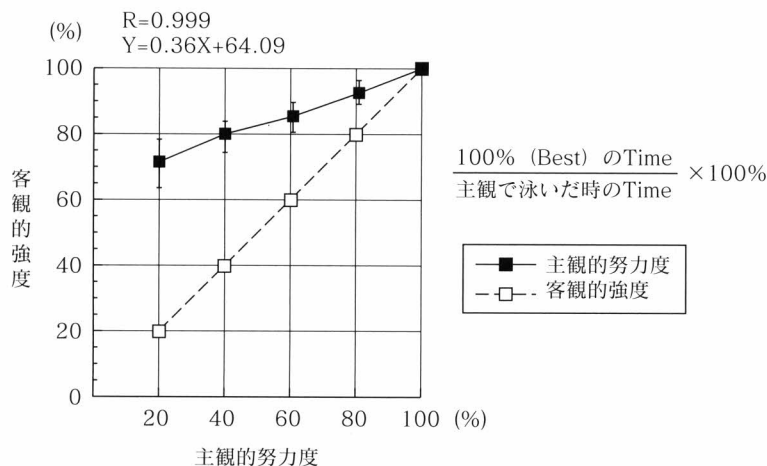


図4 主観的努力度と客観的強度との対応

用いてデジタイズした。その結果、5段階の主観的努力度は、それらに対応する客観的努力度とほぼ直線的な関係にあったが(図4)、全ての主観的努力度が客観的努力度を上回り、低い値の主観的努力度ほどの客観的努力度との誤差が大きい傾向を示した。これは従来の各種運動種目による報告、競技者の跳躍運動(加藤ら1995)、(村木ら1996)、走・跳・投・動作(伊藤ら1997)、スプリント走(村木ら1999)とほぼ一致するものであった。しかし、水中では抵抗は速度の二乗に比例することから、水の抵抗を考慮した主観的努力度と客観的努力度との関

係を見たところ有意な相関がみられ、主観的努力度と客観的努力度との差が近づく傾向にあった(図5)。これは、陸上の運動よりも主観的努力度の精度が高いということになる。

従って、短距離であれば、水中運動での主観的努力度を示す指標は、妥当性と実用性があることがわかった。一方、主観的努力度の低下に伴う泳速度(SV)の減少は、主にピッチ(SR)との有意な相関がみられた。しかし、同じピッチで出力調整している泳者の中には、1かきで進む距離(SL)に違いがみられた。つまり、グライド局面を増加させるパターン(図6の62.3%)と減少させるパターン(図7の39.9%)が存在しているようであり、水中のストロークテクニクも泳ぐスピードを調整するひとつの要因と考えられる。

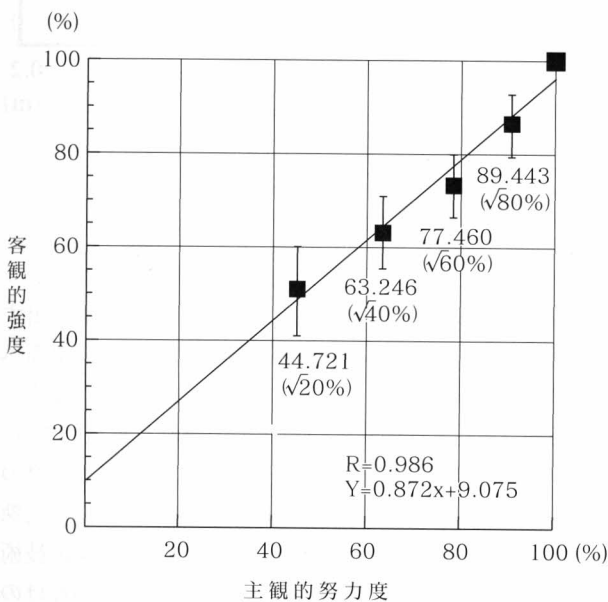


図5 泳強度と主観的努力度との対応

5. 「けのび」の動作認識と泳ぎのマッチング

動作の学習の場合、頭でわかっていても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、我々は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。そこで、初心者1名を対象として一定期間けのびの練習を行なわせ、その前後の動きや感覚への「気づき」の変化をVTR画像解析および質問紙によって、それらのMatchingの度合いを縦断的に調べてみた。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し、質問紙は前述

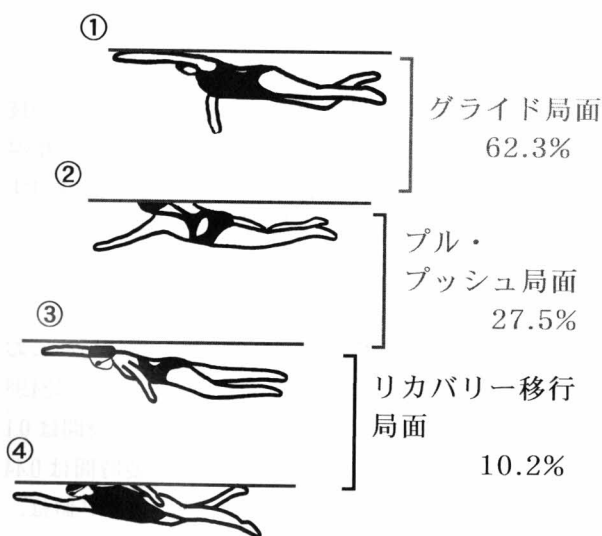
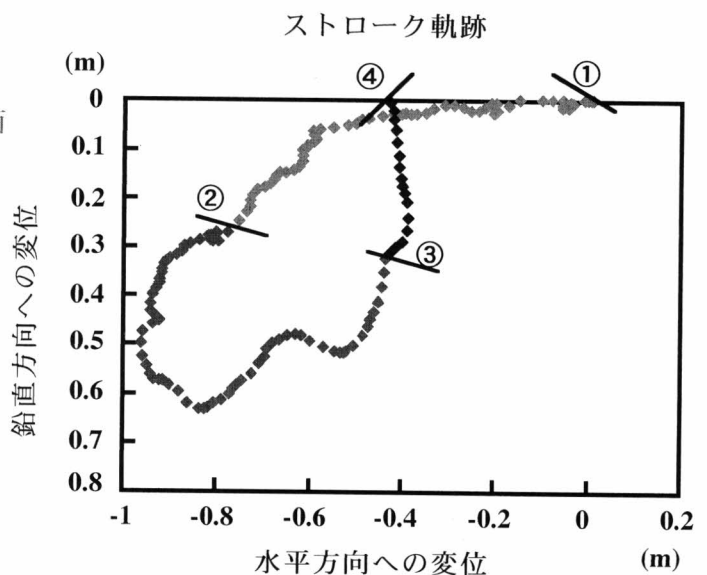


図6 主観的努力度20%時のストロークパターン(グライド増加型)



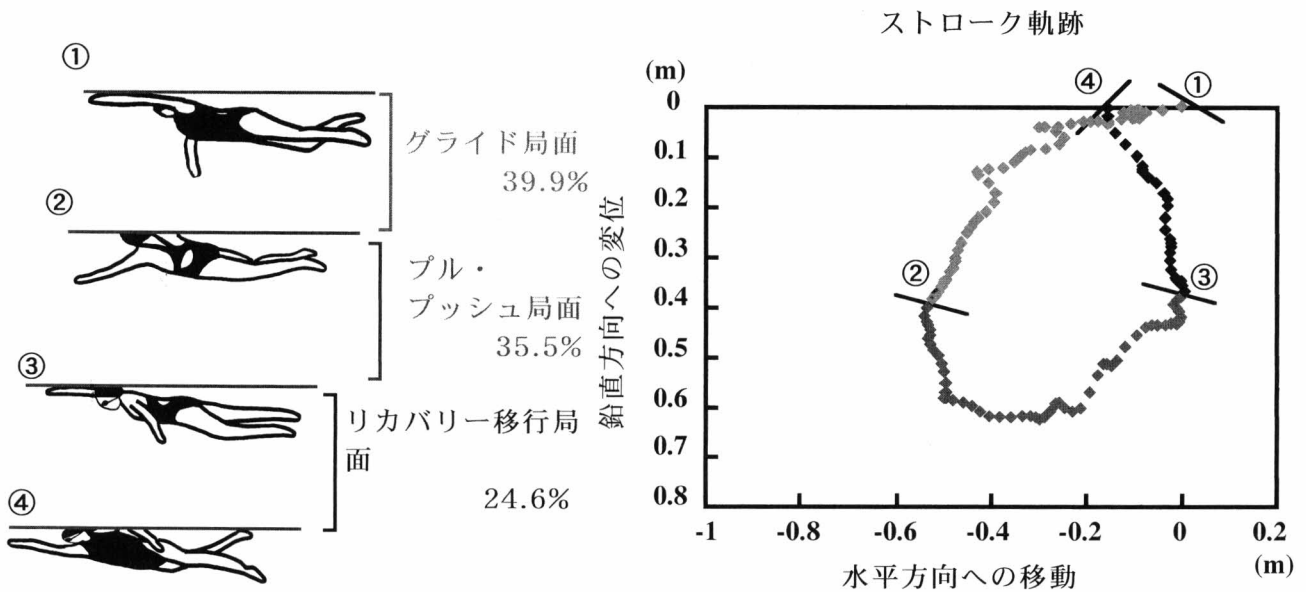


図7 主観的努力度20%時のストロークパターン（グライド減少型）

表1 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/sec)	重心投射角度 (deg)
練習前	2.32±0.55	10.67±2.50
練習後	2.68±0.08	6.19±0.88
1年後	2.70±0.05	10.55±1.57
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

のチェックリストを転用した。その後さらに追跡調査を1年後と2年後の2回行い、壁を蹴る力の変化も追加測定した。

2-1. けのびの到達距離の変化

練習によって、けのびの到達距離は、5.7 m から 8.0 m と 2.3 m 増加した。一方、熟練者は、10.1 m と初心者の練習後に比べ2.1 m 大きかった。しかし、練習後1年では、初心者のけのびの到達距離は 10.5 m, 2年では 10.9 m と大きくなった。

2-2. 重心移動速度と投射角度との関係

表1に重心移動速度および投射角度の変化を示した。初心者のリリース時の速度は 2.32±0.55 m/sec から 2.77±0.10 m/sec と大きくなった。重心の投射角度は、10.67±2.50 度から 5.85±0.89 度と水面に対して下向きであったが、熟練者は上向きに 2.42±1.64 度であった。熟練者

に比べ速度が小さく、投射角度に安定性がみられなかった。動作の「ゆらぎ」が存在するようである。蹴り出す方向が全く違うのは、熟練者が、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結果の現れと解釈できる。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化が必要とされる。言い換えれば、初心者は個々の技術が体系化されていないレベルと考えられる。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(土居ら1985)。すなわち全面抵抗を極力少なくするようなストリームライン姿勢を蹴り出す前に作っておくことが大切である。図8に示した様に準備局面、特に①から③までの姿勢づくりの意図的、意識的な練習が技能向上の大きなポイントであり、学習者のみならず指導者も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。

2-3. 「けのび」動作と力発揮

図9にけのびの力発揮の様子を示した。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 124.98 N 増加した。接地時からリリース時までの所要時間は 0.1 sec 減少し、接地時からピーク値までの所要時間は 0.44 sec 減少した (P<0.01)。しかし、熟練者のピーク値は、初心者の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年後の値より短い傾向を示した。これ

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

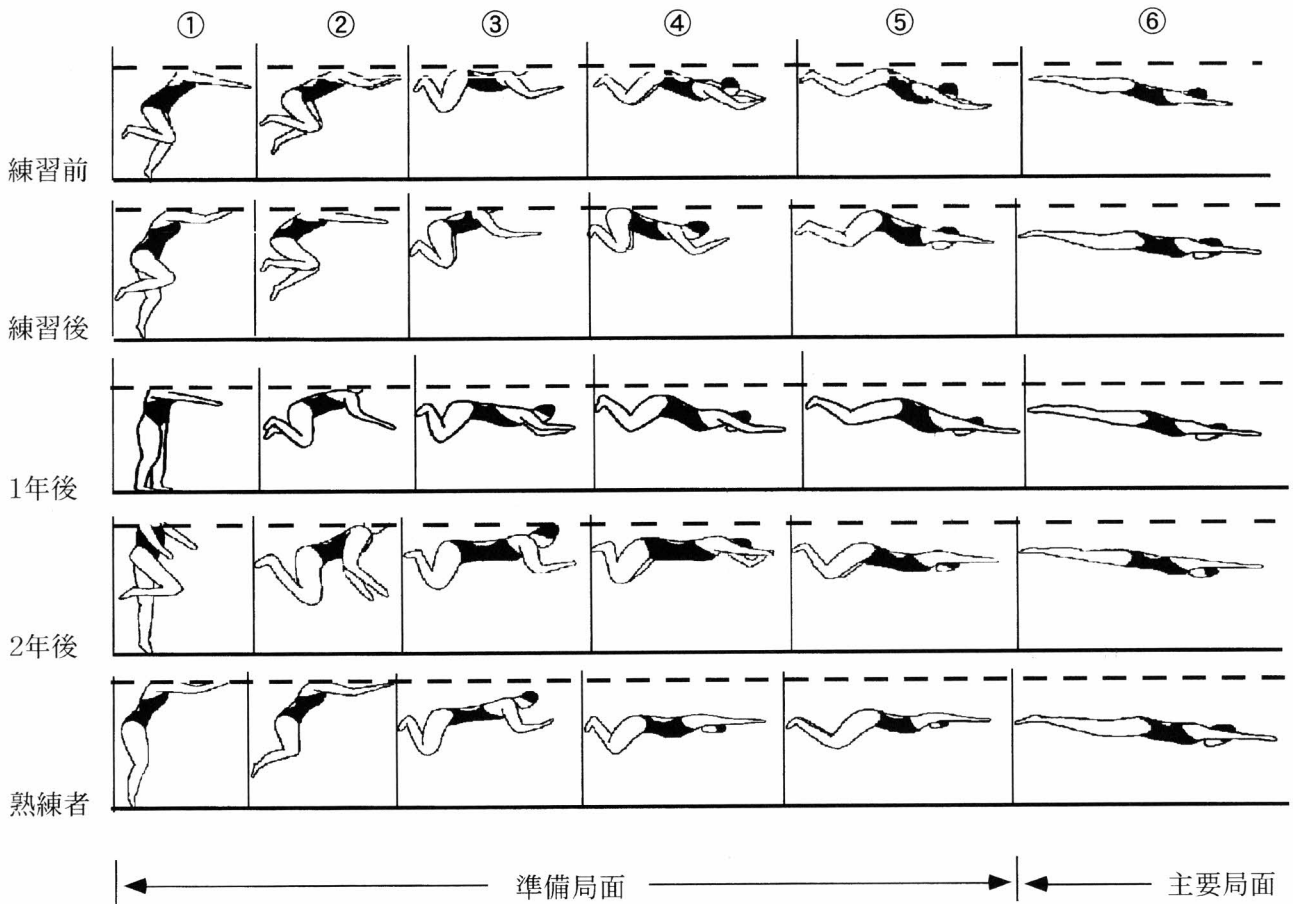


図8 けのび動作の変化

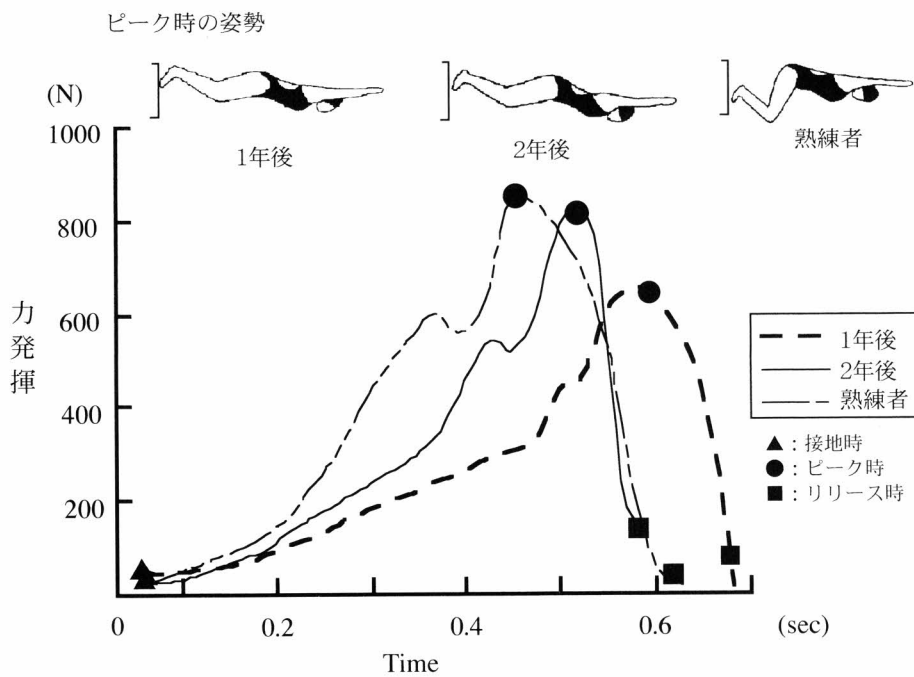


図9 壁に対する力発揮の変化—接地時からリリース時まで—

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っていた。それに対し、初心者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。熟練者は、初めから立ち上がりが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 (Takahashi et al., 1983) ことがわかっており、いわゆる「ため」の動作が結果の成否を大きく左右している。

2-4. 動きと認識の関係—「できる」と「わかる」

認識をとらえるための質問内容は下記の6項目とした。

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。

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」という認識の表れと解釈した。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. どらともいえない」が1/6項目となった。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いえる。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) が「いいえ」であり、1年後の、質問項目2. (腰と首の力が抜けているか)、質問項目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していなかった。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。そこで、何故そのように回答したのかの質問に、「練習を重ねたり、上手な人の泳ぎをみた結果、自分がまだできていないか」と答えた。このことから、単に回答が変わったのではなく、「気づき」のレベルの質的な変化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完成されたある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関わり合って形成されていくのかを体系的に類型化する

必要がある。

おわりに

本稿では「スキル指導とバイオメカニクス」というタイトルで、水泳におけるバイオメカニクス情報をどのように活かしているのか? これからの方向性について論述せよとのことであつた。今後、残されている課題を挙げるとすれば以下の3点に集約される。

1) 初心者から上級者およびトップアスリートまでを見通した「動き」の習得プロセスの学際的追跡研究 2) これらの事例研究の積み重ねによる一般的なパターン傾向と特異なケースなどを類型化、モデル化すること 3) そして、これらの知見や実践、応用研究が体育、スポーツ現場の指導、コーチングへの学際的支援、アプローチの一助になり Triangle Interaction がシステマティックに機能することである。

文 献

- 天野義裕 (1987) : 陸上運動の方法, 道話書院, 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
 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
 Duane V. Knudson and Craig S. Morrison, : Qualitative analysis of humen movement, Human Kinetics Publisher, 1997
 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 (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, 牧野克紀 (1999) : クロール泳におけるグレーディングの様相と動作との関係, トレーニング科学研究会発表資料より。
 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 48:2,114-118
 猪飼道夫 (1966) : 生理学から見た Coordination, 体育の科学 16:558-560
 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 (1) : 17-24
 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

- 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 (1): 25-32
- 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 23:4, 18-24
- 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
- マイネルK 著, 金子明友訳 (1981): マイネル・スポーツ運動学, 大修館書店, 東京.
- 三木四郎 (1997): 動きのアナログン, 学校体育, 50 (9): 42
- 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
- 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 9:1, 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 (1): 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
- Nomura T and T Shono (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
- 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. 8:10, 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
- 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 2:4, 215-229
- Takahashi G, Yoshida A, tsubakimoto S, Miyashita M, (1983): Propulsive Force Generated by Swimmers during a Turning Motion, B.M. in Swimming: 192-198
- 高橋伍郎 (1984): ベストスイミング, 古橋廣之進編著, 34-105, 日本放送出版協会.
- 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