

力積を基にした競泳技術の評価指標

山田 悟 史

1. はじめに
 2. ストローク頻度とストローク長
 3. 力積を基にした評価指標
 4. ストロークインパルス抗力係数モデル
 5. ストロークインパルス n 乗モデル
 6. ストロークインパルスの指導現場での利用法
 7. その他の技術指標について
 8. おわりに
- 参考文献

1. はじめに

スポーツにおいては心技体の3つがパフォーマンスを決定する大きな要素であることはよく言われている。それは競泳のパフォーマンスにおいても同様である。ただ心技体の3つが全て同じレベルで重要かというとはそうではなく、それぞれの種目の特性によって重要度は違ってくる。ゴルフは「メンタルなスポーツ」とも言われるように、他の種目と比べると「心」の要素の重要性が高いと思われる。その他に弓道やアーチェリー、ライフル競技なども同じく「心」の要素が高い競技であろう。一方、ウエイトリフティングは「体」の要素が高い種目と思われる。その他に「体」の重要性の高い種目と言えば、砲丸投げや自転車のスプリント競技などであろう。そういう観点からすれば競泳は「技」の重要性が高いスポーツだと言えるだろう。

筋肉隆々でいかにも力のありそうな男性が力一杯泳いでいるにも関わらず、水しぶきが大きくたっただけで全く前に進んでいない。その傍らで、体も細く小さな子どもがスイスイと泳いでいく。スポーツクラブや市民プールなどでそういう光景を見つけることはそう難しくない。この光景は、競泳にとって「技」が重要であることを示している一つの例と言える。

また、競泳は低年齢から競技として行われるスポーツの一つでもある。したがって、トレーニングをしている間に成長も著しく、大

きく体力も向上する。その成長著しい時期にパフォーマンスが改善された時、それは体力的な改善・向上によるものなのか、それとも技術の向上によるものなのかを見極めることは、長期的な視野に立てば極めて重要なことである。例えばある選手のタイムが良くなった時、それは明らかに体格が良くなったことや力がついたことによるもので、力任せの泳ぎになってしまっており、泳ぎ方は崩れてしまっていることがある。その時普通のコーチであれば、タイムが良くなったからそれで「よし」とする事はない。このように見た目には明らかの場合もあるが、実際には、パフォーマンスの向上に対してフォームの改善がプラスに働いたのか、マイナスに働いたのかを見た目だけで判断するのは難しい事の方が多い。とくに体力的な向上が著しい成長期の選手であればなおさらである。

以上のことから競泳において、客観的に技術評価できる指標が重要であることがわかる。しかしながら、現在日本水泳連盟が使用している「1ストローク¹⁾の長さ²⁾」や「ストロークの頻度³⁾」などの指標だけでは十分とは言えないのが実情である。そこで本論では、競泳の技術評価の指標の一つとして、力積を基

1) ひと掻きのこと。片腕の1周期を1ストロークという。

2) 1ストロークで進む距離のこと。例えば右手が入水してから、次に入水するまでに進む距離。

3) 1秒間に何ストロークしているかを示す。1ストロークにかかる時間の逆数になる。

にした技術指標であるストロークインパルスについて、その実用性とモデルの改良、利用法について検討する。

2. ストローク頻度とストローク長

日本水泳連盟は1987年頃から、日本選手権等の大会において、VTRを用いてレース分析を行い、ストローク頻度 (S_R) やストローク長 (S_L) の分析結果を技術評価の資として、選手やコーチに提供している。走運動に当てはめれば、ストローク長はストライド、ストローク頻度はピッチに相当する。ストローク頻度 (S_R)、ストローク長 (S_L) と泳速度 (v) の関係は、

$$v = S_L \times S_R \quad (\text{式1})$$

で表される。一般的にはストローク頻度は力要素、ストローク長は技術要素であると認識され、それは傾向としては間違いない。しかし、力を上げればストローク頻度だけが向上し、技術を良くすればストローク長だけが長くなるということはない。ストローク頻度とストローク長はそれぞれ独立した要素ではなく、トレードオフ的な関係を持っているからである。これは指導現場でも良く勘違いされていることである。

図1・図2に示すように、泳速度を上げていくと、ある速度まではストローク頻度もストローク長も大きくなっていくが、ある速度を境にストローク長は短くなっていく。図1・2では、1.4m/sがその境となっている。図1・2を見ると、0.8~1.4m/sまではストローク頻度は緩やかに上がりつつ、ストローク長も長くなっている。これは速く泳ぐという事に対して、泳ぎの効率も良くなっていると言って間違いはない。問題は1.4m/sより高い速度に対するストローク頻度とストローク長の変化である。競泳では水を掻く手に抵抗を発生させた抗力が主な推進力である。速く泳ぐためには水に対して相対的に速く水を掻かねばならず、なおかつ身体は高速で前方へ移動するため、どうしてもストローク長は短くなり⁴⁾、ストロークの頻度が高くなっていく。したがって、ストローク長の低下をすなわち技術低下と評価することはできない。しかし、

多くの選手は泳速度が最大に近くなると、ストロークの効率が落ち、空回りのことを感じている。すなわち、ストローク長の低下の大きさが水の特性から生じる自然な低下量を超えるかどうか重要な鍵になると思われる。それを見極めるのは、ストローク頻度とストローク長の指標だけでは難しいのは明らかである。これは、パフォーマンスが改善された時に、変動したストローク頻度とストローク長のみから、それが技術要素によるのかそれとも体力要素によるのかを見極めることが同様に難しい事を意味している。当然パフォーマンスが低下した時も同様である。

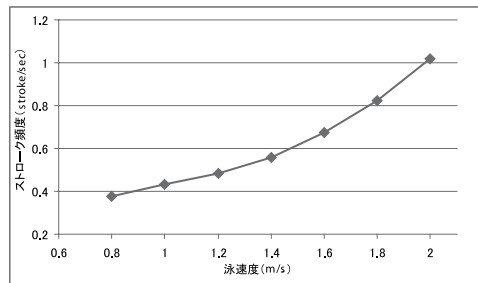


図1 ストローク頻度

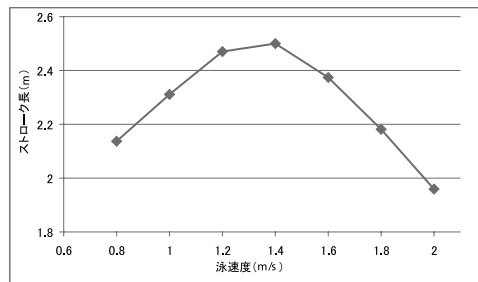


図2 ストローク長

4) 身体の前方向への移動が速くなり、水を後へ押す手の動きが速くなれば、手は前方から後方まで短い時間で動くことになる。

3. 力積を基にした評価指標

山田 (2004)⁵⁾は、泳技術を評価するために、1 ストローク中の力積を基にした「ストロークインパルス」という新たな指標を提案した。ストロークインパルス (S_i) は、泳速度を v とおいて、

$$S_i = v^2 t \quad (\text{式 2})$$

と定義される。 t は 1 ストロークにかかる時間である。図 1・2 のストローク頻度、ストローク長に対応するストロークインパルスが図 3 である。ストロークインパルスのピークは 1.8m/s の時であり、泳者も一番効率的に泳げたと報告している。

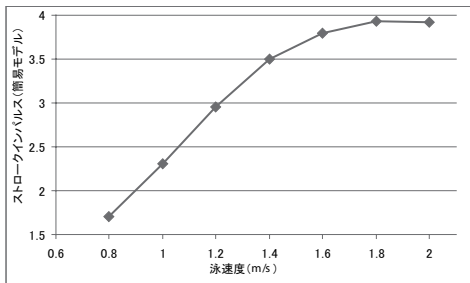


図 3 ストロークインパルス (簡易モデル)

図 2・3 を見ると、泳速度が 1.4m/s を超えると、ストローク長は短くなっていくが、ストロークインパルスは増加している。つまり 1 ストローク中に推進力になった総量は増えたということであり、泳効率が良くなっている事を示している。そして、1.8m/s を境にストロークインパルスはわずかに低下する。これは、2.0m/s の泳速度は、泳者が水を最も上手に搔ける状態で達成するのは難しく、多少泳ぎが乱れてもストローク頻度を上げることによって、泳速度を達成したと考えられる。実際泳者も 2.0m/s では効率が落ちたと報告しており、ストロークインパルスは、泳技術を評価する指標として有効であると示唆される。

5) 山田悟史「競泳の技術評価のための新しい指標の開発—ストロークの力積からの可能性—」『中京大学体育学論叢』(中京大学) 第45巻第2号、2004年、pp71-75

このストロークインパルスの良い点は、現在用いられているストローク頻度とストローク長の 2 つから求めることができる点にある。式 2 を、ストローク頻度とストローク長を用いて書きかえると、

$$S_i = S_L^2 \times S_R \quad (\text{式 3})$$

となり、非常に簡便に用いることができる。

ではこのストロークインパルスはどのように利用できるかを考える。式 3 を更に変形させると、

$$S_i = v \times S_L \quad (\text{式 4})$$

となる。式 4 からわかるように、同じ速度で泳ぐならばストローク長が長い方が S_i が大きくなり、力積の側面から考えれば技術が高いことになる。しかしそれだけならばストローク長を見るだけで足りる。

技術評価の指標として利用できると思われる方法は 3 つ考えられる。1 つ目は、最大泳速度のストローク頻度とストローク長の目標の目安とする事である。例えば、表 1 を見るとこの選手は 1.8m/s でストロークインパルスがピークになり、その値は 3.93 である。しかし、泳速度 2.0m/s ではわずかに低下し、3.92 でありストローク長は 1.96m である。それに対し、泳速度 2.0m/s の時にストロークインパルスが最大値の 3.93 となるように目標を定めるのである。つまりこの場合、ストローク長を 1.965m にする事を目標にするのである。ストローク長の目標が定めれば同時にストローク頻度の目標値も決まる。

泳速度 (m/s)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
ストロークインパルス (簡易モデル)	1.71	2.31	2.96	3.5	3.8	3.93	3.92

表 1 ストロークインパルス (簡易モデル)

2 つ目の方法は、ストロークインパルスの最大値を、レース速度でのストロークインパルスの目標値とし、ストローク頻度とストローク長の目標値を決めるものである。但しこれは、レース速度がストロークインパルスのピーク速度よりも低い場合や近い場合、あるいは

ストロークインパルスのピーク速度そのものが低い場合には、ストローク長を助長しすぎて、速度変動を大きくし、エネルギーのロスを引き起こす可能性がある。速度変動が大きくならないことに注意して用いる必要があるだろう。

そして3つ目の方法として、ストロークインパルスのピーク速度より高くして行くことである。ストロークインパルスのピークをなるべく高い速度に持って行くことで最大泳速度を高められる可能性が大きくなると考えられる。

以上のことをトレーニング計画やレースのフィードバックとして用いることで、パフォーマンスの向上に寄与できると考える。しかしながら、このストロークインパルスにもモデルの改良余地がある。それは抗力係数の設定と累乗項の改良である。それぞれについて第4節、第5節で説明する。

4. ストロークインパルス抗力係数モデル

従来のストロークインパルス（以後、「簡易モデル」と呼ぶ）では、抵抗係数を定めていないため、身長や体重、体表面積などが変化した場合には当てはめられない可能性がある。すなわち、簡易モデルではある程度成長が無視できるような短い期間での利用には問題ないが、長期に渡って利用するには、頻繁にストロークインパルスの再測定が必要となり煩雑となる可能性が高い。したがって、今後以下のような抗力係数を含めたモデル（式5、抗力係数モデル）を用いてストロークインパルスを評価していく必要がある。

$$S_{ic} = cp v^2 t \quad (\text{式5})$$

$$cp = f(x_1, x_2, \dots) \quad (\text{式6})$$

cpは「けのび姿勢⁶⁾」の時の抵抗係数である。本来ならば時々刻々と変化する姿勢に対し、抵抗係数を変化させるのであるが、測定も困難であり、指導現場で用いるのは複雑で現実的ではない。しかしながら、最も抵抗が少ないと言われているけのび姿勢時の値を抵

6) ストリームラインとも言われ、最も抵抗の少ない姿勢とされる。壁を蹴って伸びる（水中を進む）時に用いられる姿勢である。

抗係数の代用としても実用上は差し支えないと思われる。スイマーはけのび姿勢が一番抵抗が少ないにもかかわらず、手足を動かし、それによって増える抵抗よりも大きな推進力を生み出すことによって泳ぎ続けている。手足の動かし方が下手で抵抗が大きくなれば、ストローク長は低下し、ストロークインパルスは小さく現れる。つまり、ストロークインパルスにはそういうものも反映されるのである。したがって、けのび姿勢時の抵抗係数を身長や体重、体表面積⁷⁾などのパラメータをもとに抵抗係数(cp)を定めれば良い。ここで x_1 や x_2 はcpを決める変数のことである。cpを求めるには、牽引泳などでけのび姿勢の抵抗値を計測し、統計的にパラメータの決定とその同定を行う必要がある。一度同定すれば、後はパラメータである身長や体重などに数値を当てはめれば良いので、指導現場でも十分に利用できるはずである。

5. ストロークインパルスn乗モデル

簡易モデルでは泳中の抵抗が泳速度の2乗に比例すると仮定しているが、抵抗は必ずしも2乗に比例するわけではない。2乗に比例するのは流れに乱れない定常流の場合でかつある速度の範囲⁸⁾の時だけである。空気と水の境目を泳ぐ競泳では波が立ち流れが乱れている。そのため2乗に比例しない可能性も高い。

しかしながら、ストロークインパルスの先行研究では簡易モデルによるピークと、泳者が最も効率的だと感じた速度は一致している。一方で泳者は、真のピークはグラフのピークよりやや遅い所にありそうだと報告している。その原因としては2つ考えられる。1つ目は、2乗に比例するという仮定が誤りで、累乗項が2より小さい⁹⁾可能性である。そし

7) 抗力係数は一般的に、推進方向からの投影面積や表面積などに影響される。

8) 臨界レイノルズ数の範囲では2乗に比例する。レイノルズ数とは流体の動粘度と物体の大きさによって定められる値。

9) 累乗項が2より大きいとピーク値は泳速度の高い方（グラフ右方）へシフトするため、泳者の感覚と一致しない

てもう1つは、先行研究で行った泳速度の設定段階の間隔（0.2m/s間隔）が大きいために見かけのピークが真のピークとずれた可能性である。

原因が前者であるならば、前節と同様に牽引時の抵抗係数を計測し、統計的に以下のモデルの同定を行う必要がある。

$$S_{in} = cp \nu^n t \quad (\text{式7})$$

参考に、累乗項 n を変化させた時のストロークインパルスを図4に示す。累乗項 n を2, 1.86, 1.72にした場合のグラフである。 $n=1.86$ では $n=2$ でピークとなった1.8m/sの両隣である1.6m/sと2.0m/sの時のストロークインパルスがほぼ同じである。 $n=1.72$ では $n=2$ でピークとなった1.8m/sとそれより1段階遅い1.6m/sのストロークインパルスがほぼ同じになっている。累乗項 n を1.72より小さくすると、ストロークインパルスは1.6m/sの方が大きくなり、選手の報告と矛盾することになる。つまり累乗項 n は2より小さいとしても、1.8前後である事が推察されるが、確認が必要である。原因が後者（測定間隔の大きさの問題）であるならば、測定間隔を小さくする事により解決できる。原因が2つの内いずれなのか明らかにすることは今後の課題である。また、現時点で n がいくつなのかは明らかでないため、このモデル（式7）を「 n 乗モデル」とする。

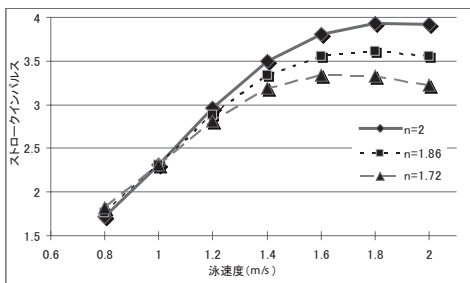


図4 異なる累乗項のストロークインパルス

6. ストロークインパルスの指導現場での利用法

指導現場で一番使いやすいと考えられるのは、抵抗係数モデルのストロークインパルス

である。 n 乗モデルはモデルの同定の結果、累乗根が $n=2$ となれば良いが、2でなければ計算が多少複雑になるからである。 $n=2$ と仮定する抵抗係数モデルでは、式5のように計算がシンプルで使い勝手が良い。ここで式4の簡易モデルの変形式と、式5の抗力係数モデルを組み合わせると、

$$S_{ic} = cp \times \nu \times S_L \quad (\text{式8})$$

となる。

そこで例えば、選手に一番効率的だと思える泳ぎをさせ、その時のストロークインパルスを最大値と仮定する。そうすれば式8により、任意の泳速度に対応するストローク長を、ストロークインパルスの最大値となるように、目標値として定めることが可能である。この方法であればほとんどの指導現場で用いられることのできる範囲であろう。また簡易モデルでも、選手に一番効率的だと思える泳ぎをさせる計測の頻度を増やすだけで可能になる。

累乗項 n の値が2以外になると、指標としての精度は向上するが、式8は成り立たず、もう少し複雑になる。例えば $n=1.8$ になると式8の代わりに、

$$S_{in} = cp \times \nu \times S_L^{0.8} \times S_R^{-0.2}$$

となり、計算も多少複雑になり、 S_R も求める必要が出てくる。そして一般の電卓だけでは計算ができず、関数電卓などが必要になる。

以上のことから、抗力係数モデルと n 乗モデルの同定が行われるまでは簡易モデルを上述のように用いるのが良いと思われる。抗力係数モデルと n 乗モデルの同定後は、各現場の状況により、簡便な抗力係数モデルと精度の良い n 乗モデルを使い分けると良いだろう。

7. その他の技術指標について

前節まで力積の考えに基づくストロークインパルスについて検討してきた。しかし水泳の技術評価はそれだけで全て可能になるわけではない。例えば、ゆっくり泳いでいる時にストロークインパルスをムリに大きくしようとすると、ストローク長が長くなりすぎることがある。そうなると速度変動が大きくなり、エネルギーのロスを生むことになる。エネルギー

ギーは通常速度の2乗に比例するため、同じ平均速度で泳いでいても、一定の速度で泳ぐより速度変動の大きい泳ぎの方がエネルギーが大きく必要となる。これは車で一定の速度で走った方が燃費が良く、加減速を繰り返す走りの方が燃費が悪くなるのと似ている。したがって速度変動の大きさをマイナスの要素として評価することも1つの方法である。

また、泳ぎに伴って生じた波、水しぶき、音は全てエネルギーのロスとなる。とくに波や水しぶきは高さ的比例して膨大なエネルギーを消費する。したがって、それらを経験することは大事であるが、これらを定量的に評価することは極めて困難である。元中京大学水泳部監督の鶴峯治氏から、『平泳ぎの選手の下あたりに発生する渦を見て泳ぎの善し悪しを判断していた』と聞いた事がある。また有名な画家の絵にはカルマンの渦列のようなものが書かれており、彼らは観察によって空気や水の流れが見えていたのではないかと言われてもいる。波や水しぶきに関してはそういった指導者の眼力に期待したい。

その他に、ストロークとキックのタイミングやバタ足の振り幅などバイオメカニクスの分析を元にした指標や、上腕三頭筋¹⁰⁾の利用率など生理学的な知見に基づく指標なども考えられ、今後の研究に期待したいところである。

8. おわりに

競泳においてパフォーマンスの向上のためには技術評価は重要なファクターである。本論では、泳技術の評価のために力積に着目した指標であるストロークインパルスの実用性とモデルの改良、利用法について検討した。

その結果、従来のモデルでも指導現場において利用可能であるが、モデルの改良によりさらに実用的な指標となることが示唆された。その改良モデルである抗力係数モデル、n乗モデルの同定が今後の課題となる。

参考文献

1. 池上康夫「水泳のバイオメカニクスと競技力向上」『JSSJ』(日本バイオメカニクス学会) 7-2、1988年、pp105-112
2. 甲斐美和子「水泳に見る最新のスポーツ科学」『体育の科学』第41巻、1991年、pp938-941
3. 角田俊幸、小島武次、宮下充正、岡本恒、増永公明「報告その2 人体水抵抗に関する研究」『昭和50年度体協報告書』1975年、pp3-13
4. 山田悟史「競泳の技術評価のための新しい指標の開発-ストロークの力積からの可能性-」『中京大学体育学論叢』(中京大学) 第45巻第2号、2004年、pp71-75
5. 若吉浩二、吉田敬義、小堀優子「泳速度増加に伴うストローク長と頻度の変化」『日本バイオメカニクス学会第11回大会論集』1991年、pp534-538
6. 若吉浩二「競泳のレース分析データの具体的活用法」『体育の科学』Vol.52-No.9、2002年、pp711-714

10) ストローク長を伸ばすために、上腕三頭筋を使いすぎると疲れやすいといわれている。