

Active Drag Systemの開発と泳力向上への応用

大城 敏裕 (Toshihiro Ohshiro)
濱口麻衣子 (Maiko Hamaguchi)
田口 正公 (Masahiro Taguchi)
下永田修二 (Shuji Shimonagata)
田場昭一郎 (Shouichirou Taba)

福岡大学スポーツ科学部
福岡県立三潴高校
福岡大学スポーツ科学部
千葉大学教育学部
福岡大学スポーツ科学部

【はじめに】

近年、乳酸測定装置、心拍数測定装置が簡易になり、競泳のコーチング場面に生理的指標が取り入れられるようになってきた。競泳の競技力向上を考える場合、この生理学的手法を用いてトレーニングを行うとともにフォーム、ストローク技術などを含むバイオメカニクスの指導はパフォーマンス向上のために重要である。しかし、トレーニング現場でストローク技術に関する客観的評価は、ストローク数やストローク長意外は選手、コーチの主観によるところが多い。

これまで、多くの研究者が、各選手の推進力、泳パワーや抵抗を測定する方法を考案してきた^{2,13,14,19,20}。回流水槽を用いたものから、抵抗物を引っ張りながらの測定方法まで多岐にわたるが、回流水槽がなければ測定できなかつたり、大掛かりな装置が必要であるなど、コーチングに用いるには不都合な点があり、これまで一般に普及するにいたっていなかった。

そこで、我々はNomuraの開発したReel up systemをもとに移動可能なActive Drag System牽引装置を作製した。これまでの研究では、力学的な測定をするにしても、推進力もしくは抵抗が別々の測定であったが、この装置は推進力、泳パワー、受動的抵抗、自己推進時抵抗及び側面からの映像も同時に測定することができる。

ここでは、このActive Drag Systemによる流体力学的要素の測定方法、パフォーマンスとの関係、トレーニングへの応用の仕方について、実践研究の結果を述べる。

◆キーワード：推進力、泳パワー、受動的抵抗、自己推進時抵抗

【測定方法】

測定はActive Drag System（森山製作所製MLD-G1-1型）をプールサイドに設定し、牽引ロープを泳者のベルトに装着して実施した。デジタル張力計（SHIMPO,FXG-50）から張力、速度センサー（オムロンE6B10R/P）からは牽引速度を検出し、パーソナルコンピューター（PC-9821）に取り込み、さらに動作局面と牽引張力の関係を知るために側方に水中ビデオカメラを設置し、張力変化及び速度変化を同期して撮影した（図1）。

測定試技1：受動的抵抗

グライド（けのび）姿勢での受動的抵抗（Passive Drag 以下Dp）の測定は、牽引速度範囲0.8～2.2m/secまで約8段階の速度条件で、実際のクロール泳に近似させるため水面で牽引して測定した。

測定試技2：自己推進時抵抗

自ら泳ぐことによって生じる自己推進時抵抗（Active

Drag 以下Da）の測定は、牽引速度範囲1.6～2.4m/secまで約5段階の速度条件で、牽引されながら最大努力で泳がせた。

測定試技3：泳パワー

泳パワー測定は、牽引ロープを無負荷の状態から泳者が固定された状態で泳ぐ速度0m/secまで約5段階の速度条件で、最大努力で泳がせた。

【分析方法】

パーソナルコンピューターに取り込んだデータは速度・張力ともに50Hzでサンプリングを行い、速度ゼロにおける推進力を理論上最大推進力と定義し、けのび姿勢の牽引は速度の安定した5秒間の張力を平均し、牽引泳では速度の安定した4ストロークのデータを時間平均し分析を行った。

また、これらの速度及び張力の関係は最小二乗法を用

いて指数関数に回帰し、抵抗係数、指数係数、最大推進力、最大泳速度、 D_a 、 D_p を (a) (b) (c) の式より算出した。

$$D_p = kV \dots\dots\dots (a)$$

$$Tr = T_0 \{ (1 - V/V_0) \}^n \dots\dots\dots (b)$$

$$D_a = T_0 - Tr - D_p^n \dots\dots\dots (c)$$

k : 抵抗係数 n : 指数係数
 T₀ : 最大推進力 V₀ : 最大泳速度
 V : 泳速度 Tr : 張力

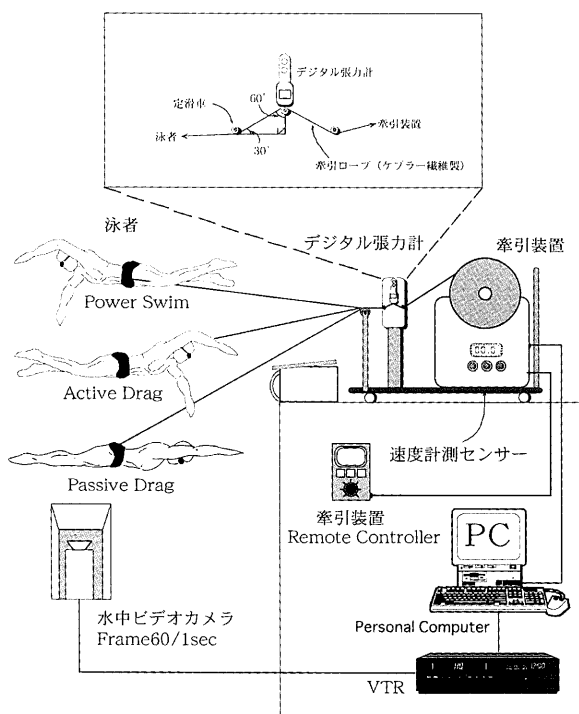


図1 実験装置 (Active Drag System) の概略図と測定姿勢

【その1 競泳への応用】

クロール泳における上肢の等速性筋力と 泳パワー及びパフォーマンスとの関係

(1) 目的

本研究は競泳種目中、最速の泳法であるクロール泳を

対象とした。筋力測定は推進力として大半を占める²³⁾上半身を試技部位とし、単関節動作である肩関節の等速性伸展筋力と、Pull泳のみに限定した水中で発揮される泳パワーを測定し、両者とクロール泳のスプリントパフォーマンスとの関係を検討した。

(2) 方法

被験者は大学水泳部に所属し、十分熟練した自由形を専門種目としている男子大学競泳選手13名を対象とした。各被験者の身体特性および競技成績を (表1) に示した。

表1 被験者の身体特性と泳特性

被験者	身長 cm	体重 kg	年齢 year	ストローク頻度 str/min	ストローク長 m/str	最大泳速度 m/sec
A	180	72	19	58.94	2.09	2.06
B	183	75	23	60.00	2.01	2.01
C	175	73	22	52.86	2.22	1.95
D	170	66	20	57.09	2.03	1.94
E	170	67	21	57.36	2.02	1.93
F	178	72	19	59.58	1.94	1.93
G	170	61	20	57.58	2.00	1.92
H	175	69	20	58.94	1.94	1.90
I	167	61	20	57.09	1.98	1.89
J	170	65	19	59.52	1.90	1.89
K	175	67	19	58.94	1.91	1.87
L	170	66	19	58.94	1.88	1.85
M	187	82	19	53.52	2.01	1.79
mean	174.62	68.92	20.0	57.72	1.99	1.92
S.D.	5.98	5.84	1.29	2.24	0.09	0.07

①最大泳速度、ストローク長、ストローク頻度測定

50m室内プールにて、被験者に50mを全力で泳ぐよう指示した。その際撮影した映像をPersonal Computerを用いてデジタイズし、得られた座標から最大泳速度 (1秒間に泳者が進む距離) およびストローク長 (1ストロークで泳者が進む距離、以下SL) , ストローク頻度 (1分間当たりのストローク回数、以下SR) を算出した。

②Pull泳パワー測定

測定は自己推進時抵抗測定装置(Active Drag System, 以下ADS)を使用し、被験者の大腿部にプルブイを挟み測定した。

③肩関節の等速性筋力測定

測定は筋力測定装置KIN-COM500H (米国Chattecx社製)を使用し、被験者を伏臥位の姿勢にて肩関節伸展時にお

ける等速性筋トルクを125deg/sec, 240deg/secの2種類の角速度条件にて行なった。その際、胸椎第2付近を回転軸とし、上肢が水平0°とした場合の20°～110°までを動作角度範囲として設定した。

(3) 結果及び考察

競泳成績の向上を主眼においた筋力・パワートレーニングでは、その時の動作や動員される筋群の収縮状態が通常泳のそれに対してどの程度特異的であるか、すなわち動作の特異性が重要になるとされている^{2,7,22,23,26}。しかし、陸上での単純動作（比較的泳動作に近似）における筋出力の改善、向上が競泳成績に好影響を与えるとする報告もなされている²¹。そこで、競泳の特異性を失うことなく測定可能な泳パワーと、陸上での単関節運動、およびパフォーマンスの3者間の関係を検討した。

ADSによるプル泳パワー測定とKIN-COMによる等速性筋力測定の両測定方法から導出されたパワー及び仕事量とパフォーマンスとの間には有意な相関関係（図2・3）が認められた。しかし、プル泳パワーと等速性筋力の間には有意な関係が見られなかった（図4）。

筋力や無酸素性パワーの向上が競技力に好影響を及ぼす点においては、競泳も例外ではない。本研究においてもそれらのことを支持する結果となった。しかし、等速性筋力とパフォーマンスの関係においては限られた条件下のみで有意な関係を示したことから、陸上で行うトレーニングによる筋力改善から、パフォーマンス向上を期待するには水泳動作の模倣性やその筋収縮特性を十分考慮して行わなければならないと考えられる。

また、泳パワーとパフォーマンスの関係では1%水準の相関関係を示した。

このことは短距離種目において、パフォーマンス向上を目的としたパワートレーニングを行うには、実際の泳動作に負荷を与え、水泳動作の特異性を失うことなく泳パワーを改善することが効果的であることを示唆している。泳中に負荷を与えるトレーニングの有用性は、その実施時には通常泳に特異的な運動が可能となることが筋電図を利用した研究により確認されていることから裏付けることができる。

しかし、単関節の等速性筋力においてもパフォーマンスと有意な関係が示されたことは無視できない。本研究における等速性筋力は、仕事量と、また240deg/secの運動速度が、最大泳速度と相関が認められ、最大筋力よりも仕事量が泳速度に結びつき、また速い速度での筋出力が泳速度に関係が深かったことが解った。

クロール泳において推進力の大半を占める上肢のストロークは、水中で複雑な運動であるが、その動作も単関節の連携からなる運動であることから陸上でのトレーニングは重要であることが本研究からも示唆された。姿勢、収縮速度、可動範囲等の水泳の特異性を十分考慮した筋力トレーニングを行い、そこで改善された単関節の筋力を泳パワーへと変換し、3つの要素を有意な関係にすることでよりレベルの高いパフォーマンスが発揮できるものと考えられる。

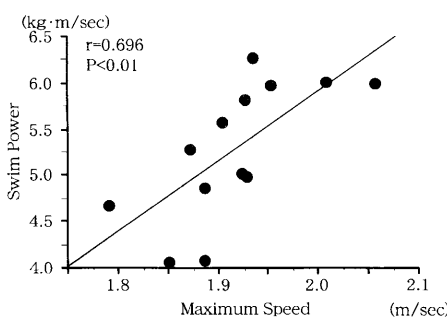


図2 最大泳速度と泳パワーの関係

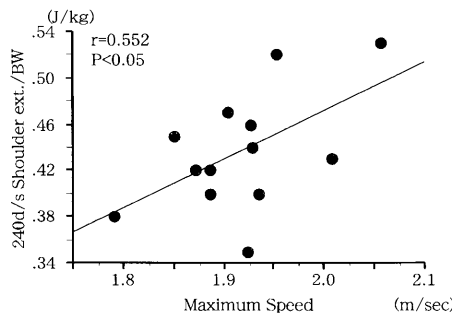


図3 最大泳速度と等速性筋力の関係

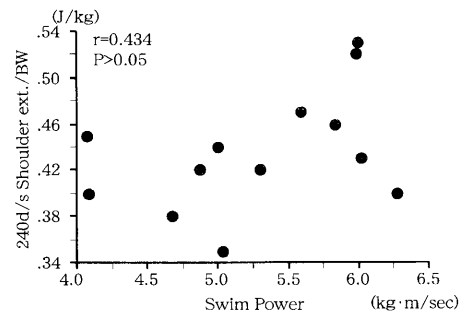


図4 泳パワーと等速性筋力の関係

[その2 授業への応用]

水泳授業における泳パワー・抵抗の変化とパフォーマンスとの関係

(1) 目的

これまでの競泳の推進力向上（筋力アップ）に関しては多くの研究^{7,8,13,14}がなされており、抵抗に関する研究はグライド姿勢などヒトが一定の速度で移動するためにかかる抵抗（受動的抵抗）、自らの動作で作出す抵抗（自己推進時抵抗）などが中心に行われてきた^{19,20,22}。しかしこれらは、競技力向上を目的とした競泳選手を対象としたものが多く、学校の授業において水泳を習得する過程の非競技者を対象とした研究はあまり行われていない。また、学習者の授業前と授業後ではどのような変容があるのかを明らかにした研究は少ない。さらに水泳の基本姿勢はけのびであるが、小学校の指導書や、中学校、高校もけのびの姿勢について重要視されておらず、けのびの練習後の記録の変化に着目した研究は少ない。本研究は、大学の水泳授業において体育を専攻する女子学生を対象にActive drag system（以下ADS）を用いてクロール泳の自己推進時抵抗（Active drag以下Da）・受動的抵抗（Passive drag以下Dp）泳パワーを算出し授業の前後の比較をした。また、水泳の基本姿勢であるけのびの練習をした後の記録の変化をみながら水泳の学習効果をバイオメカニクスの視点から明らかにすることを目的とした。

(2) 方法

被験者は、大学体育を専攻としている女子学生18名を対象とした。

実験設定は、4月の授業開始時と7月の授業終了時に50m屋内プールにおいて泳者の牽引張力・推進力・泳パワーを測定できるADSをプールサイドに固定し測定した。またその時点での泳力の指標とするために25m全力泳の記録とストローク数を測定した。25mの記録から、けのびグループと授業のみグループが均等になるように分け、けのびグループは授業の後に毎回10本のけのびの練習を行った。

測定試技は、けのび姿勢における牽引泳を牽引速度範囲0.8m/sec～2.2m/secの間で7段階測定した。クロール泳で牽引ロープに引っ張られながら泳ぐ抵抗を牽引速度範囲1.0m/sec～2.0m/secの間で4段階を測定した。クロール泳で牽引ロープを引っ張りながら泳ぐパワー泳を速

度範囲0m/sec～無負荷（最大泳速）までの4段階を測定した。

分析方法は各試技中の力・速度をデジタル張力計と速度センサーより検出した。Dpは、速度の安定した3秒間の張力・速度を平均し、Daとパワー泳は、速度の安定した4ストローク中の平均値を代表値として下永田らの方法により分析を行った¹⁹。このときの最大泳速度におけるDaの値をDao（推定最大泳速度時自己推進時抵抗）とし、そのときのDpをDpo（推定最大泳速度時受動的抵抗）とした。

(3) 結果

①授業前後の比較

全被験者におけるけのびの指数定数は授業前2.10、授業後2.04、Daoは授業前20.55N、授業後16.97Nであった。

以上の値は授業前より授業後に有意な差は見られなかったが、向上を示した値である。また25m泳速度については、全被験者が授業前1.03m/sec、授業後1.12m/secで有意な差が見られ、泳速度の向上が確認された（ $p<0.01$ ）。

ここでは、泳パワーや推進力とDaoや抵抗係数、指数定数に授業前に対して授業後の減少が見られた。

②各グループの授業前後の比較

授業前の値を100%とし授業後の変化をけのびグループと授業のみグループそれぞれ最大推進力、Dao、Dpo、最大泳パワー、25mの泳速度の5項目で比較した（図5）。けのびグループは最大推進力が91.0%、最大泳パワーが81.4%で授業前より減少していた。しかしDaoは93.5%、Dpoは93.3%、25m泳速度は109.9%で授業前より向上していた。授業のみのグループは最大推進力が93.0%、最大泳パワーが95.3%で授業前より減少していた。しかしDaoは74.8%、25m泳速度は107.5%で授業前より向上していた。

③授業前後から見た各項目の変化

25m泳速度が伸びた被験者のみを対象に授業前後の変化を授業前を100%とし、けのびグループ・授業のみグループそれぞれ棒グラフで示した（図6）。Daoの値に大幅な減少が見られ、25m泳速度の値が大幅に増加していた。どちらのグループもパワー項目の改善は見られなかった。Dpoについては、けのびグループの値が減少しているのに対し授業のみグループの値は増加し、けのびグループと授業のみグループの間に大きな差が見られた。

④25m泳速度と各項目の相関

25m泳速度と各項目の相関関係は、授業後に25m泳速度が伸びた被験者群の25m泳速度とDaoに負の相関関係(図7, $r=-0.68 \cdot p<0.01$)が認められた。しかし、授業前では、25m泳速度が向上した被験者と、そうでなかった被験者どちらにも相関関係は見られなかった。

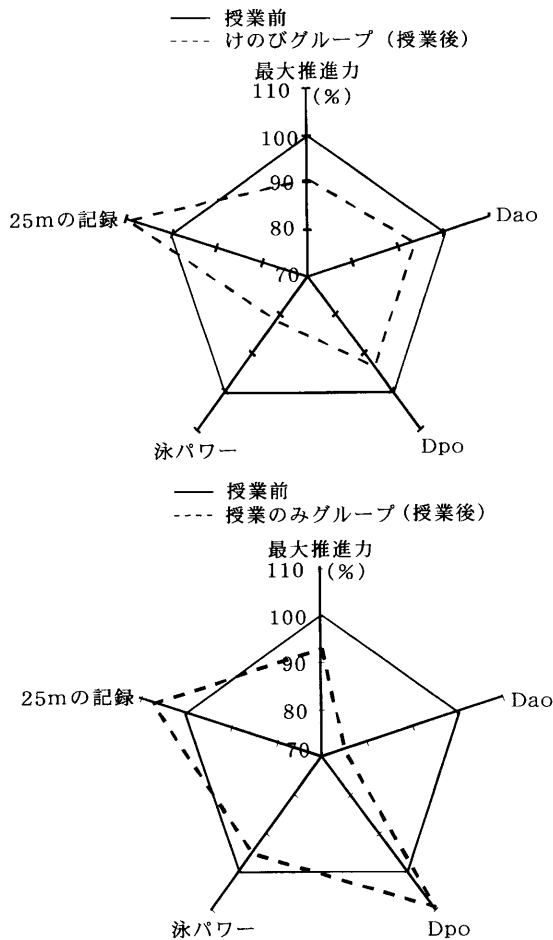


図5 各グループの授業前後の比較

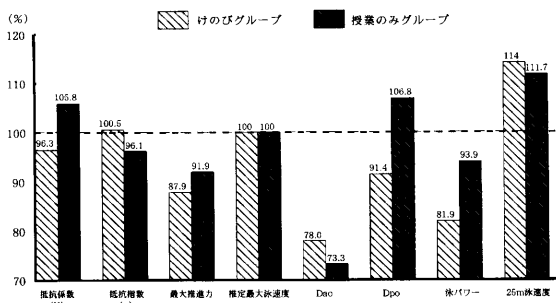


図6 授業前後の比較

(4) 考察

非競泳選手が週1回の授業を3ヶ月間行う事で、どのような学習効果があるかをADSを用いてバイオメカニクスの視点から検討した。けのびグループと授業のみグループの2つのグループに分け、けのびグループには授業とは別に水泳の基本姿勢であるけのびの学習を実施した。その結果、次の事が考察された。

①泳パワーと推進力

競泳選手は発揮されるパワー出力が高い選手ほど速い泳速を有する^{3,5,19,20,24,25,27}。このことは推進力に直接的に寄与し得ると報告されている。

本研究では授業前後の比較で全被験者、けのびグループ、授業のみグループとも泳パワー・推進力が減少していた。このことは、泳パワーと推進力に関しては授業による向上が見られないと考察される。週1回の授業による学習では、泳パワーや推進力の向上のための技術習得には効果が小さいことを示唆していた。

②抵抗

Toussaint²⁷⁾の研究によると、競技力の高い選手は水中の運動で推進エネルギーを発揮することよりも、むしろ全面から受ける水の抵抗を克服するための技術に優れていると報告している。

また、下永田ら²⁰⁾によると、クロール泳においてより速く泳ぐためには、キャッチ局面でできる限り抵抗を減らし、プル局面でなるべく大きな推進力を発揮するような動作が望ましいと報告している。

本実験でも、推進力や泳パワーの減少に比して抵抗係数や指数定数、DaoやDpoなど抵抗値に関する改善が見られた。

一つはけのびグループ、授業のみグループ共に授業後のDaoの値が減少していた。

二つ目には、けのびグループのみにDpoの減少が見られた。これは、毎回授業後に10本のけのびの練習によりボディポジションやストリームラインなど抵抗減少に関わる姿勢技術を習得したためだと考えられる。その姿勢が活かされ、抵抗の少ない泳ぎに結びついたものと推測される。

③25m泳速度

本実験で授業前後に有意な差が見られたのは25m泳速度のみであり、両グループで泳速度が速くなっていた。これは週1回の授業であっても、授業前より授業後のパフォーマンスが向上していることを示している。

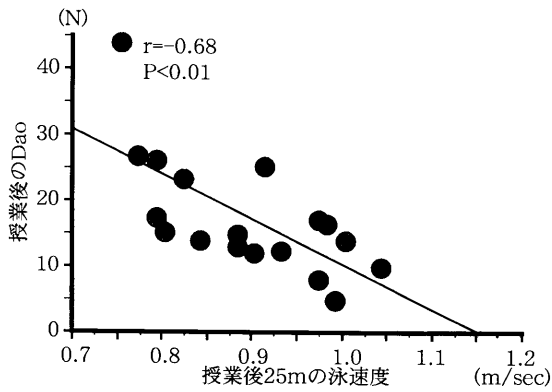


図7 授業後の25m泳速度とDaoの関係

④泳速度との相関関係

測定項目間の相関関係は、授業後に25mの泳速度が伸びた被験者群の25m泳速度とDaoに有意な負の相関関係を示していた ($r=-0.68$ $p<0.01$)。このことから、25mの泳速度向上にはDaoが関係することが分かった。水泳の学習による抵抗減少が泳速度向上に結びつくことが示唆された。

また、授業後に泳速度が向上した被験者群を、授業のみグループとけのびグループ2群で各項目の変化をみると、けのびグループのみにDpoが改善されていた。授業後にけのび姿勢での受動的抵抗が減少したことは、けのびの学習効果が通常泳の泳速度に関与していることを示唆している。非競技者である学生の授業において、けのびを学習させることで泳力向上への効果が充分期待できると考えられる。

先行研究^{4,5,9,10,19}では、姿勢の重要性が報告されている。しかし、実際の小学校・中学校・高等学校の学習指導要領¹⁰⁻¹²には、とくにけのびの重要性を指摘しているものは見られない。このことから学校の授業ではけのびの学習内容は位置づけがなされず、あまり導入されていないものと思われる。

今回のように水泳を専門としていない被験者に対しては、推進力が減少しても力を抜いて泳ぐこと、そして抵抗の少ない泳ぎを身に付けることが、泳力の向上に結びつくと考えられる。このことは、水泳の学習において、ボディポジションやストリームラインによる技術習得の必要性を示すものである。これらの学習内容を授業では重点的に実施することが重要である。本研究によりけのびの重要性が再確認された。

【これからの方向】

今回紹介した測定例のほかにも、様々な研究がこのActive Drag Systemを用いて行われてきた。その測定の有用性は競技力向上や非競技者の学習効果、選手のタイプ分け、発育段階での変化等、多くの方面で確認できた。しかしながら、このActive Drag Systemという特別な測定装置無しにはデータを得ることができず、多くの学校やクラブチームが活用することは容易でない。より多くの選手や多方面に応用していくには、どのような環境においても容易に測定できる装置が必要である。

今後このような自己推進時抵抗、受動的抵抗、泳パワーを多くの現場で測定・応用できるようさらなる簡易装置の開発を進めていくべきであろう。

【参考文献】

- 1) Costill,D.L.,et al. (1983) Sprint speed vs. swimming power, *Swimming Technique*,20(1),pp.20-22.
- 2) Costill,D.L.,et al. (1986) A computer based system for measurement of force and power during front crawl swimming, *J.Swim.Res.*,2(1),pp.16-19.
- 3) D.A.アムプスター,R.H.アレン,H.S.ピリングスレイ (訳) 江橋慎一郎・宮下充正 (1975) 水泳教程, ベースボールマガジン社.
- 4) E.マグリシオ (1995) スイムトレーニング. SWIMMING MAGAZINE:Ver.6.7.
- 5) E.Wマグリシオ (訳) 野村武男・糸山直文・椿本昇三・野村照夫 (1986) スイミングファースター, ベースボールマガジン社.
- 6) E.Wマグリシオ・(監訳) 野村武男・田口正公 (1999) スイミングイーブン・ファースター, ベースボールマガジン社.
- 7) J.A.Hawley and M.M.Williams (1991) Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance, *Int.J.SportsMed.*,vol12, No.1,pp.1-5.
- 8) J.A.Hawley.,et al. (1992) Muscle power predicts freestyle swimming performance,*Br.J.Sp.Med.*,26(3),pp.151-155.
- 9) マーティ・ハル (1995) 水泳の技術とメカニズム. SWIMMING MAGAZINE :Ver.7.8.
- 10) 文部省 (1988) 小学校指導書体育編, 東洋館出版社.
- 11) 文部省 (1988) 小学校指導書体育編, 東洋館出版社.
- 12) 文部省 (1988) 高等学校学習指導要領, 大蔵省印刷局.
- 13) 森谷暢,吉村豊,高橋雄介 (1994) 牽引泳時に発揮されるパワーの測定,中央大学保健体育研究所紀要,No.12,pp.71-83.
- 14) 森谷暢,吉村豊,高橋雄介 (1995) 競泳選手の競技力向上を目的としたSemi-tethered Swimmingの活用, トレーニング科学,vol.7,No.2,pp. 85-96.
- 15) 日本水泳連盟 (1993) 水泳コーチ教本,大修館書店:p1-54.
- 16) 野口智博 (1993) 中国選手のアムプルパワー測定データ考察, スイミングマガジン,3,pp.70-72.
- 17) Sharp,R.L.,John,P.T.,and Costill,D.L. (1982) Relationship between power and sprint freestyle swimming, *Med.Sci.Sports Exercise*,vol.14,No.1,pp.53-56.
- 18) Sharp,R.L.(1986) : Muscle strength and power as related to

- competitive swimming, J. Swimming Res. 2(2), pp.5-10.
- 19) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎 (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28-2号.
 - 20) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 大城敏裕, 濱口麻衣子 (1999) クロール泳における Active Drag定量化の検討, 日本バイオメカニクス研究概論, pp.270-275.
 - 21) Strass, D. (1988) Effects of maximal strength training on sprint performance of competitive swimmers, Int. series on Sport Sciences, vol.18, Swimming Science, pp.149-156.
 - 22) 田場昭一郎, 田口正公, 下永田修二 (1998) 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, 第2回日本水泳科学研究会抄録集, pp.10.
 - 23) 田口正公, 進藤宗洋, 古賀長善 (1972) クロール泳法における Pull Speed, Kick Speedの Dash Speedへの貢献度の研究. 福岡大学体育学研究. 2-2, pp.129-137.
 - 24) 高木英樹, 清水幸丸, 野村照夫 (1997) ドルフィンキックによる自己推進時抵抗の定量. 身体運動のバイオメカニクス: 395-400.
 - 25) 高木英樹, 坂田勇夫, 合屋十四秋 (1993) 水泳における抵抗と推進力に関する流体力学的考察, 三重大学教育学部研究紀要 44:p71-84.
 - 26) Tanaka, H., et al. (1993) Dry-land resistance training for competitive swimming, Med. Sci. Sports Exercise, vol.25, No.8, pp.952-959.
 - 27) Toussaint (1990) Differences in propelling Efficiency between Competitive and Triathlon swimmers. Med Sci Sports Exercise, vol.22.