

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

合屋 十四秋* 野村 照夫** 松井 敦典***

*保健体育講座

**京都工芸繊維大学繊維学部

***鳴門教育大学学校教育学部

The relationship between forces during glide swim and passive drag generated by towing

Toshiaki GOYA (Dept. of Health and Physical Education)
Teruo NOMURA (Kyoto Institute of Technology)
Atsunori MATSUI (Naruto University of Education)

【要約】

本研究では、大学生男女9名の被検者にけのび動作およ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、力発揮および抵抗値を基に、自己推進による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。その結果、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た。

キーワード：けのび 力発揮 前方牽引 受動抵抗 画像解析

I. 研究目的

水泳の基本動作「けのび」は初心者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2004)。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)。実際に、アテネオリンピック金メダリスト北島康介選手のコーチである平井伯昌氏は泳ぎの中の「けのび」、すなわちスタートやターン後のストリームライン姿勢の良し悪しが競技成績に多大な影響を及ぼすことを指摘している。(2003年日本体育学会体育方法シンポジウムより)。下永田ら(1999)は大学水泳選手では、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できると報告している。従って、泳速度を向上させるには、推進力を増大することと共に、抵抗の少ない姿勢で泳ぐ技術が必要であると言える。すなわち、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)。これまで、けのび動作に関して、動きの巧拙および力発揮についての研究(合屋ら：2000, 2001, 2002, 2003)や、牽引による受動抵抗、およ

び自己推進時抵抗についての研究(Nomura et.al., 1993, 下永田ら：1999。)が行われているが、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、大学生男女9名の被検者にけのび動作およ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、力発揮および抵抗値を基に、自己推進による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。

II. 研究方法

被検者は、大学生水泳選手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。前方牽引速度は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。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1)。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

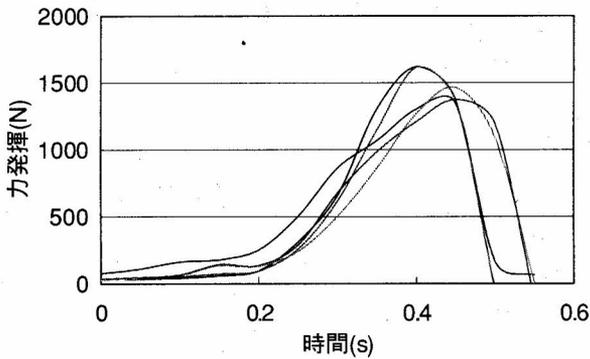


図1. けのびによる力発揮の様相 (Sub.A.I)

ーを用いて同期した。画像解析は、DKH社製FrameDIAS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）、0.5sec後（以降、0.5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（SHINPO DFG-50T）およびフォトセンサー（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（以後、初速度）、リリース後0.5秒時の重心移動速度（以後、0.5sec時の重心速度）、初速度-0.5sec時の重心移動速度（以後、重心移動速度率）を算出した。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（以後、所要時間）、最も大きな値（以後、ピーク値）およ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、および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）。

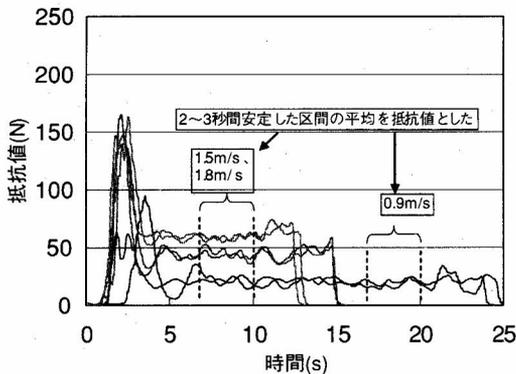


図2. 牽引による受動抵抗値の算出例

Ⅲ. 結果および考察

1) 到達距離と重心速度

到達距離は、Aグループが $11.7 \pm 1.0\text{m}$ (n=10), Bグループが $9.4 \pm 0.6\text{m}$ (n=19), Cグループが $10.8 \pm 1.7\text{m}$ (n=13)であった。大学生男子トップ選手が $11.5 \pm 1.55\text{m}$, 女子が $12.0 \pm 1.55\text{m}$, 大学生初心者男子が $7.5 \pm 0.6\text{m}$, 女子が $6.9 \pm 0.9\text{m}$ であった（杉浦ら2004, 合屋ら2005）ことから本研究の被検者はほぼ熟練者に相当すると思われる。

初速度は、A, BおよびCグループそれぞれ $2.47 \pm 0.11\text{m/s}$ (n=10), $2.32 \pm 0.2\text{m/s}$ (n=19), $2.10 \pm 0.17\text{m/s}$ (n=13)であった。Blanksby et al (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る。

到達距離と0.5sec時の重心速度には、 $P < 0.05$ の有意な相関が認められた（図3）。初速度と0.5sec時の重心速度には、 $P < 0.01$ の有意な相関が認められた（図4）。また、初速度と0.5sec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。

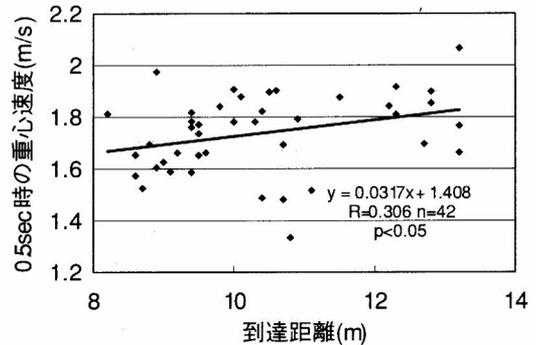


図3. 到達距離と0.5sec時の重心速度

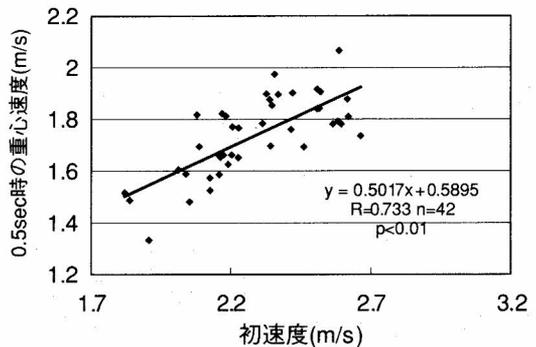


図4. 初速度と0.5sec時の重心速度

以上のことより、初速度が大きい被検者は減速量が大きく、0.5sec時の重心速度も大きかった。リリース後の抵抗は大きくなるが、結果として、到達距離を大

きくすることにつながると考えられた。

2) 接地位置と重心投射角度

Aグループの接地位置はそれぞれ $0.32 \pm 0.02\text{m}$ 、重心投射角度は $1.7 \pm 0.9\text{deg}$ 、Bグループはそれぞれ、 $0.26 \pm 0.06\text{m}$ 、 $0.5 \pm 3.1\text{deg}$ 、Cグループはそれぞれ $0.29 \pm 0.06\text{m}$ 、 $-1.1 \pm 2.6\text{deg}$ であった。重心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。重心投射角度は、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。

初心者の重心投射角度は斜め下方向へ約10度、中等度熟練者は下方向へ約5度であった（合屋ら2001）こと、およびトップスイマーはほぼ水面と平行、約0度であった（合屋ら2005）ことから、けのびの蹴り出す方向はほとんど水面と平行に行うことが最適であろう。

一方、Lyttle et al (1999)は、秒速1.9mを越え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 et al 1999）、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45cmの方が小さかったとの報告（清水ら1997）より、このあたりの深さが潜行する場合の最適値であることが伺われる。

3) 力発揮と重心移動速度

壁をけ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およびCグループそれぞれ、 $0.44 \pm 0.11\text{s}$ (n=10)、 $0.53 \pm 0.16\text{s}$ (n=19)、 $0.47 \pm 0.13\text{s}$ (n=13)であった。ピーク値はそれぞれ、 $1559.3 \pm 158.9\text{N}$ (n=10)、 $1083.4 \pm 154.5\text{N}$ (n=19)、 $838.6 \pm 86.6\text{N}$ (n=13)であった。また、力積はそれぞれ、 $280.4 \pm 22.1\text{N}\cdot\text{s}$ (n=10)、 $234.6 \pm 46.1\text{N}\cdot\text{s}$ (n=19)、 $154.5 \pm 27.3\text{N}\cdot\text{s}$ (n=13)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。

熟練者は、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て、初心者は、所要時間が長く、ゆるやかに立ち上がると合屋ら（2000）は報告しているが、初心者とトップスイマーはほぼ同じ0.4sec強、熟練者はそれより長い0.6sec弱であったとの報告（2005 合屋ら）もある。これは、初心者が動作の再現性が低いことが考えられ、熟練するにつれて一定した時間、0.4sec付近に収束すると思われた。一方、力積と初速度および力積と0.5sec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5）

（図6）。また、0.5sec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。

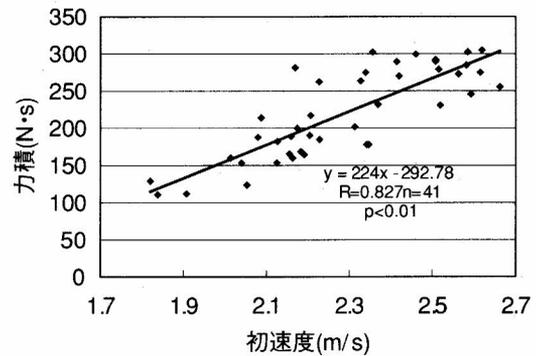


図5. 力積と初速度

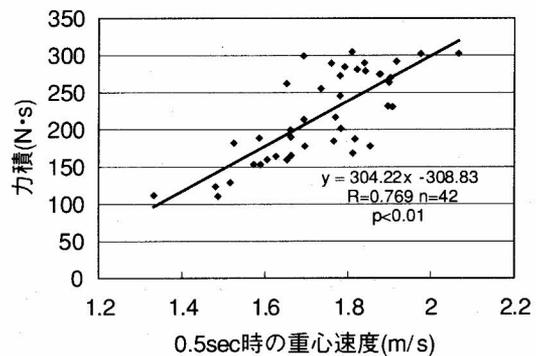


図6. 力積と0.5sec時の重心速度

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）が、本研究の結果より、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したと考えられた。

4) 関節角度と前方牽引における受動抵抗値

A、Bおよび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 $177 \pm 3.6\text{deg}$ (n=10)、 $169.4 \pm 5.4\text{deg}$ (n=19)、 $178.1 \pm 4\text{deg}$ (n=13)であった。また、膝関節角度はそれぞれ $173.3 \pm 5.2\text{deg}$ (n=10)、 $168.2 \pm 5.9\text{deg}$ (n=19)、 $172.4 \pm 5.4\text{deg}$ (n=13)であった。そこで、リリース時と0.5sec時の腰および膝関節角度と、前方牽引における受動抵抗値の関係を検討した。なお、関節角度は180度を0度とし、絶対値で評価した。

その結果、リリース時の腰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、 $P < 0.05$ の、また、1.5m/sにおいて、 $P < 0.01$ の相関が認められた（図7）。さらに、0.5sec時の腰関節角度と受動抵抗値は、牽引速度0.9m/sにおいては、 $P < 0.01$ の、1.5m/sと1.8m/sにおいては、 $P < 0.05$ の負の相関が

認められた (図8)。これは、0.5sec時の状態とは、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。

次に、リリース時と0.5sec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、0.5sec時の膝関節角度と受動抵抗値は、牽引速度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9)。

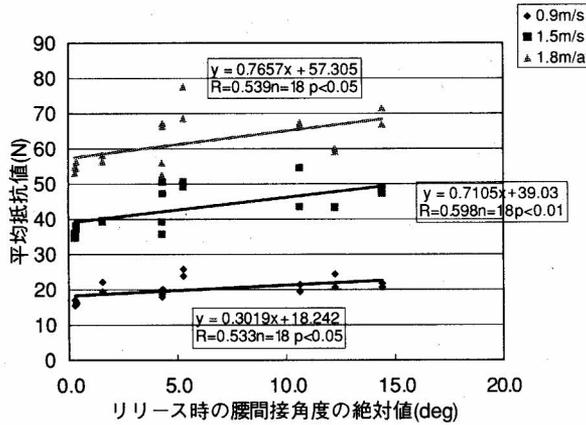


図7. 受動抵抗とリリース時の腰関節角度

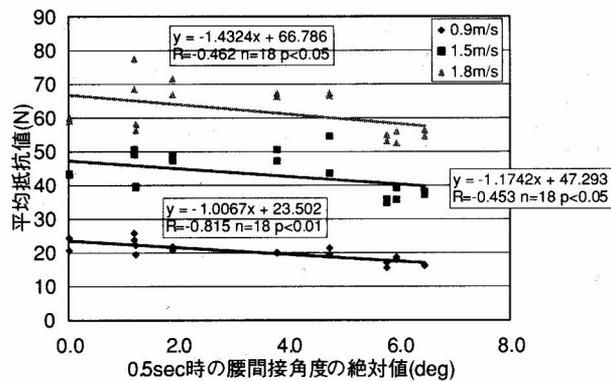


図8. 受動抵抗と0.5sec時の腰関節角度

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、および膝関節角度の絶対値が小さいという傾向がみられた。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, 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。以上のことより、本研究の結果から、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ていると考えられた。

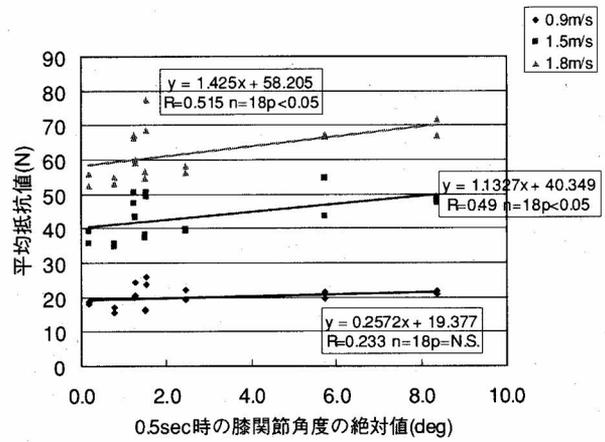


図9. 受動抵抗と0.5sec時の膝関節角度

5) 受動抵抗値と0.5sec時の重心移動速度率

牽引速度0.9m/s、1.5m/sおよび1.8m/sの前方牽引における受動抵抗値と0.5sec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10)。

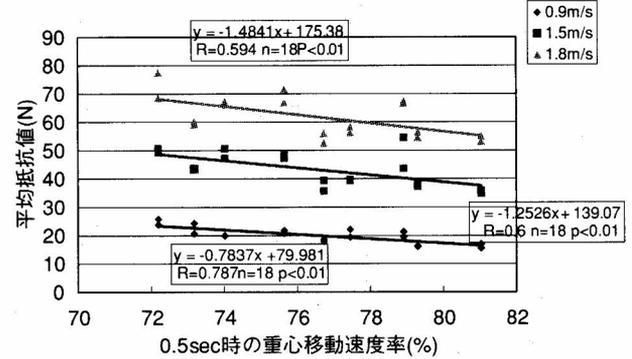


図10. 受動抵抗と0.5sec時の重心速度率

図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) は、振幅の幅が小さく、体が揺れる回数も少ない様相をみることができ。特に、到達距離が短かった被検者は、低速の牽引速度0.9m/sでは振幅が大きく、姿勢の保持が不十分であると思われた。しかし、1.5m/sおよび1.8m/sの高速になると姿勢の保持が容易になり、その差が小さくなるのが観測された。

前方牽引は、泳者を前方から牽引させて姿勢を保持するという、受動的な動きである、しかし、けのび動作は、自己が生み出した推進力の中で姿勢を保持するという、能動的な動きである。同一被検者でこの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示唆された。

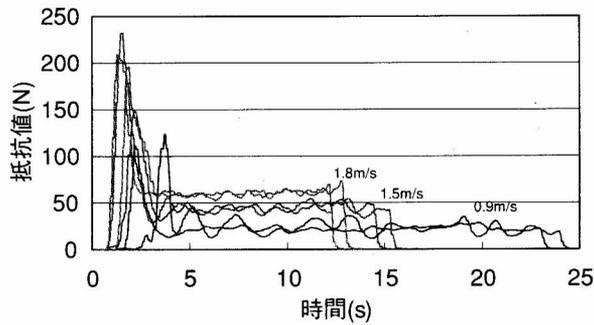


図11. 到達距離の短い被検者の受動抵抗値

IV. 結 論

本研究では、大学生男女9名の被検者にけのび動作およ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、力発揮および抵抗値を基に、自己推進による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。その結果は以下のとおりであった。

- 1) 初速度が大きい被検者は減速量が大きく、0.5sec時の重心速度も大きかった。また、リリース後の抵抗は大きくなるが、結果として、到達距離を大きくすることにつながると考えられた。
- 2) 熟練者の場合、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したと考えられた。
- 3) けのびの蹴り出す方向はほとんど水面と平行に行うことと、けのびで潜行する場合は0.35mから0.60m付近の深さが適切と思われた。
- 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作ることができていると考えられた。
- 5) けのび動作と前方牽引を同一被検者に行わせた結果、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、抵抗を少なくし、重心移動速度の減少を抑えることができた。

V. 文献

- Blanksby, B (1999) Gaining on turns. ISBS Coaches Information Service, <http://www.education.ed.ac.uk/swim/paper99/bb.html>.
 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。
 合屋十四秋・杉浦加枝子 (2000a) 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。
 合屋十四秋・杉浦加枝子 (2000b) けのび動作の習熟過程と気づきに関する追跡研究, 水泳水中運動科学3.29-34。
 合屋十四秋ほか (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。
 Goya.t., et al (2002) Forces and Image Analysis on Gliding Motion for Beginning and Competitive Swimmers, Biomechanics and Medicine in Swimming, IX, 37-40。
 合屋十四秋, ほか (2005) 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論集, 40-41。
 Lyttle.A., et al (1999) Optimal Depth for Streamlined Gliding, Biomechanics and Medicine in Swimming, 8.165-170。
 Nomura. T., et al (1993) Determination of Active Drag during Swimming. Medicine and Science in Aquatic Sports. 131-136。
 野村照夫 (2004) 水泳時の水抵抗を計測するリア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, 40-45。
 野村照夫 (2004) 子どもとスイミング, 子どもと発育発達, 2(1)8-12。
 下永田修二ほか (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)65-79。
 下永田修二ほか (1999) クロール泳における Active Drag 定量化法の検討, バイオメカニクス研究概論, 270-275。
 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。
 高木英樹ほか (1997) 日本人競泳選手の抵抗係数, 体育学研究 41(6)484-491。
 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。

(平成17年9月20日受理)