

令和元年6月14日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01825

研究課題名(和文) 体工連携によるスポーツ科学イノベーション - 革新的な用具・コーチング法の開発 -

研究課題名(英文) An innovation of sports science by a collaboration of sports and engineering

研究代表者

高木 英樹 (Takagi, Hideki)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：80226753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,400,000円

研究成果の概要(和文)：体育学と工学の研究者が連携して、双方が培ってきた先端技術を活用することで、これまで解決が困難と考えられてきた課題に取り組み、新たな研究方法論の開発に努め、イノベーションを実現することを目的とした。

その結果、水泳競技において自己推進する泳者の動的抵抗(自己推進時抵抗)を定量、評価する方法論の開発に成功し、従来は泳速度の2乗に比例して増加すると考えられていた抵抗が、実は速度の約3乗に比例して増加することが初めて明らかとなり、世界的にも大きな注目を集めるに至った。さらに泳者周りの三次元的な流れの可視化にも成功し、これまで明らかにされていなかった流体力の発揮メカニズムの解明が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義として、自分の四肢を駆動させて自己推進する泳者に作用する動的抵抗(自己推進時抵抗)を泳法や泳速度に制限を加えることなく、精度良く計測可能なシステムの開発に成功した意義は大きい。これによって、自己推進時抵抗が泳速度の3乗に比例して増加することが明らかとなった。

また社会的意義として、体育学と工学を専門とする研究者が緊密に連携することで、これまでの方法論では解決できなかった研究課題について、新たな解決策を提示できた意義は大きく、今後はこのような体工連携により、さまざまな課題解決の促進が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research project, researchers involved in sports sciences and engineering cooperate together and aim to achieve an innovation through tackling an intractable problem and developing a new methodology.

As results, we were successful in developing a new methodology to evaluate dynamic drag precisely while a swimmer was propelling by himself, so-called 'active drag'. It revealed that the active drag did not increase proportional to square of the swimming velocity but cube of it. This finding potentially defies the common wisdom about the active drag and caught international attention. In addition, we succeeded in visualizing the three-dimensional flow field around a self-propelling swimmer for the first time in the world. It is expected that these innovations will further our understanding of the mechanism of generation the propulsive force.

研究分野：スポーツ流体力学

キーワード：体工連携 スポーツ工学 水泳水中運動 流体力 自己推進時抵抗 流れの可視化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スポーツ科学の分野においては、コンピューターの発達や新たな光学計測システム、あるいはセンサー等の開発により、従来より簡便に詳細な動作分析データを手に入れるようになっては来たが、本質的には 20 年前とさほど変わっていない。よって、さらなるイノベーションを起こすためには、従来の方法論にとられない新たな研究手法の開発が待たれる。その際、有望な手立てとして考えられるのが、工学分野との連携である。これまでも体育学研究者が工学的手法を用いて、スポーツ・運動を解析してきた経緯はあるが、さらに踏み込んで、体育学研究者と工学研究者が緊密に連携し、共通の研究課題を解決するために新たな研究方法論を開発できれば、より革新的な研究成果が期待できる。一方、スポーツ用具等を研究対象としてきた工学研究者にとっても、体育学研究者と連携することで、スポーツ遂行現場で要求される最適スペックや使い勝手などの感性評価等も加味した用具開発が可能となり、体工連携は双方の研究者にとってメリットがあり、スポーツ科学のイノベーションに資すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究課題では、体育学研究者 4 名と工学 3 名が連携し、複数の異なる研究テーマについて同時展開で取り組んだ。紙面の制約からすべての研究テーマについて、記載することができないため、ここでは、泳者が四肢を駆動させて自己推進する場合の動的抵抗(自己推進時抵抗: Active drag)を定量する方法論の開発プロジェクトについて記載する。本プロジェクトでは、新たな抵抗計測システム(MRT法)を開発して、自己推進時抵抗とストリームライン姿勢を維持したままの静的抵抗(受動抵抗: Passive drag)を計測し、比較検討することで、泳者に作用する流体抵抗発生メカニズムを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、競泳競技を専門とし、大学水泳部に所属する男性泳者 7 名を対象とした。まず泳者に対し、任意の流速(U_1)に設定された回流水槽内で、一定の位置に留まってクロール泳を行うよう指示し、その際の腕の回転頻度(テンポ)を記憶させる(図 1)。その後、前後方向からワイヤーによって固定された状態で、先に

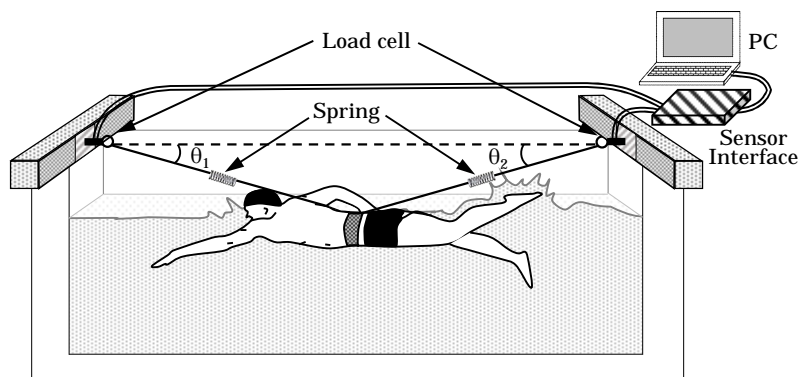


図 1 測定システムの概要

記憶させたテンポを再現、維持しながらクロール泳を行わせる。次に回流水槽の流速(U)を U_1 より速くしたり、遅くしたり変化させながら、前後のワイヤーに生じる張力(Residual thrust)を測定する。この時、流速が $U < U_1$ の場合には、スイマーが発揮する推進力は受ける抵抗を上回るため、前方に進もうとする力が生じ、後のワイヤーに張力がかかる。一方、流速が $U > U_1$ の場合には、逆にスイマーが発揮する推進力は受ける抵抗を下回るため、後方に押し戻される力が生じ、前のワイヤーに張力がかかる。流速 U を 8~9 段階で増減させ、それぞれの段階における前後のワイヤーにかかる張力の平均値を求め、その回帰曲線から独自に考案した推定式を用いることで U_1 で泳いた時の自己推進時抵抗を推定し、この方法論を Measuring Residual Thrust 法(MRT法)と命名した。

4. 研究成果

本来、自己推進時抵抗を正確に実測しようとするなら、スイマーの体表面に作用する圧力と摩擦力の全分布を計測する必要があるが、実際にスイマーの泳ぎを妨げないで、それらの測定を実行するのはほぼ不可能と考えられる。そこで本研究ではMRT法を用いることにより、通常のクロールで泳ぎながら、速度を向上させた時の抵抗の変化を世界で初めて明らかにした。図 2 に泳速度の変化に伴う、自己推進時抵抗(●)と受動抵抗(▲)の変化を示す。図 2 より、受動抵抗は定説通り速度の 2 乗に比例して抵抗が増加していたが、自己推進時抵抗は受動抵抗とは異なり、泳速度の約 3 乗に比例して増加することが明らかとなった。つまり、泳速度を 1

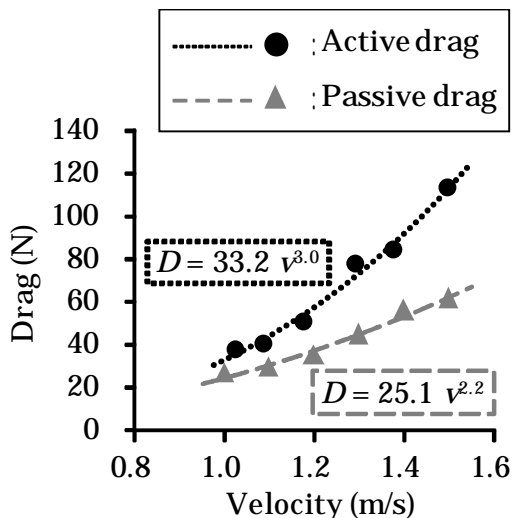


図 2 自己推進時抵抗と受動抵抗の動態

0%向上(1.1倍)させようとした時,従来の2乗をベースにした試算では21%($1.1 \times 1.1 = 1.21$)抵抗が増加すると考えられていたものが,実際には33%($1.1 \times 1.1 \times 1.1 = 1.331$)も抵抗が増加することが判明し,この数値からも競泳が抵抗との闘いであることが改めて認識された.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

- 1) Tsunokawa Takaaki, Mankyu Hirotooshi, Takagi Hideki, Ogita Futoshi: The effect of using paddles on hand propulsive forces and Froude efficiency in arm-stroke-only front-crawl swimming at various velocities. *Human Movement Science*, 64, 378-388, 2019, DOI: 10.1016/j.humov.2019.03.007, 査読有
- 2) Kawai Eisuke, Tsunokawa Takaaki, Takagi Hideki: Estimating the hydrodynamic forces during eggbeater kicking by pressure distribution analysis. *Heliyon*, 4, e01095-e01095, DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e01095, 査読有
- 3) Narita Kenzo, Nakashima Motomu, Takagi Hideki: Effect of leg kick on active drag in front-crawl swimming: Comparison of whole stroke and arms-only stroke during front-crawl and the streamlined position. *Journal of Biomechanics*, 76, 197-203, 2018, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.05.027, 査読有
- 4) Kenzo Narita, Motomu Nakashima and Hideki Takagi: Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities. *Journal of Biomechanics*, 54, 123-128, 2017, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.01.037, 査読有
- 5) 羽二生稔大, 長谷川裕晃, 高木英樹: モノフィン振動時の中心角の違いが推進力に与える影響. *可視化情報学会論文集*, 37, 32-39, 2017, DOI: 10.3154/tvsj.37.32, 査読有
- 6) Takeshi Asai, Sungchan Hong and Koichi Ijuin: Flow visualisation of downhill skiers using the lattice Boltzmann method. *European Journal of Physics*, 38, 1-11, 2017, DOI: 10.1088/1361-6404/38/2/024002, 査読有
- 7) Tsunokawa, T., Tsuno, T., Mankyu, H., Takagi, H. and Ogita, F.: The effect of paddles on pressure and force generation at the hand during front crawl. *Human Movement Science*, 57, 409-416, 2017, DOI: 10.1016/j.humov.2017.10.002, 査読有
- 8) Takeda, T., Sakai, S., Takagi, H., Okuno, K. and Tsubakimoto, S.: Contribution of hand and foot force to take-off velocity for the kick-start in competitive swimming. *Journal of Sports Sciences*, 35, 565-571, 2016, DOI: 10.1080/02640414.2016.1180417, 査読有

[学会発表](計20件)

- 1) Hideki Takagi: The Latest Research Trend of Hydrodynamic Studies in Swimming. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 2) Tsunokawa, T., Narita, K., Mankyu, H., Ogita, F., Takagi, H.: Estimation of propulsive forces acting on a hand using pressure measurement and underwater motion capture during front crawl. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 3) Kawai, E., Takagi, H.: Estimation of fluid forces around the feet during eggbeater kicking in water polo players. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 4) Yamakawa, K. K., Takagi, H., & Sengoku, Y.: Three-dimensional analysis of hip and knee joint movements during dolphin kicking and butterfly swimming. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 5) Shimojo, H., Ebihara, R., Narita, K., Gonjo, T., Sengoku, Y., Tsubakimoto, S., Takagi, T.: Three-dimensional analysis of hip and knee joint movements during dolphin kicking and butterfly swimming. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 6) Sakai, S., Koike, S., Takeda, T., Takagi, H.: How does relative centre of mass position affect the four limbs' joint torques on the starting block?. 13th

International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018

- 7) Narita, K., Ogita, F., Nakashima, M., Gonjo, T., Takagi, T.: The relationship between active drag and swimming velocity during front crawl swimming. 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Tsukuba (Japan), Sep 2018
- 8) 積田貴幸, 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成: 競泳プール映像における泳者位置とストローク数の推定. メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会, 北海道大学(札幌), 2018年10月
- 9) Hideki Takagi: The generating mechanism of fluid forces acting on a swimmer and its flow field during swimming. Global Foot and Ankle Congress 2017, Chongqing (China), Dec 2017
- 10) 佐藤広樹, 松田昭博, 島名孝次: スポーツ用スパッツが人体に与える力学的影響の実験的評価. 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2017, 金沢, 2017年11月
- 11) 名久井基歩, 松田昭博, 橋口友洋, 大友隆行: テニスラケットのストリングベッドの剛性 評価と有限要素法を用いた数値シミュレーション. 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2017, 金沢, 2017年11月
- 12) Shimojo, H., Murakawa, R., Nara, R., Baba, Y., Sengoku, Y., Sakakibara, J., Shimoyama, Y., Tsubakimoto, S., & Takagi, H.: Three-dimensional flow field and leg motion during undulatory underwater swimming. 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Cologne (Germany), June 2017
- 13) Takagi, H., Tatsumoto, T., & Sakai, S.: A method of improving the measurement of kinematic parameters above and under water in swimming start. 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Cologne (Germany), June 2017
- 14) 廣川暢一, 高木英樹, 鈴木健嗣: 水泳における四肢の協働状態を計測する着用型センサスーツの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 福島, 2017年5月
- 15) 積田貴幸, 北原格, 高木英樹, 亀田能成: 競泳プール映像における色情報分布を用いた泳者領域抽出. 電子情報通信学会, 九州大学(福岡県福岡市), 2017年3月
- 16) 成田健造, 仙石泰雄, 椿本昇三, 高木英樹: クロール泳における泳速度の違いが自己推進時抵抗とストローク変数に及ぼす影響について. 日本体育学会第67回大会, 大阪体育大学(大阪府泉南郡), 2016年8月
- 17) Cesar Daniel, Rojas Ferrer Itaru Kitahara Yoshinari Kameda Yuichi Ohta: Players Displacement based on Captured Data in a VR Soccer Training Simulation. 電子情報通信学会総合大会, 九州大学(福岡県福岡市), 2016年3月
- 18) 張欣博, 北原格, 亀田能成, 大田友一: サッカー選手軌跡記録からの試合のVR再体験. 電子情報通信学会総合大会, 九州大学(福岡県福岡市), 2016年3月
- 19) 修行雄大, 松田昭博, 高木英樹: 競泳飛び込み動作における水着の筋骨格シミュレーションによる力学的影響評価. 日本水泳・水中運動学会 2015年次大会, 日本女子体育大学(東京都世田谷), 2015年10月
- 20) 小池関也, 酒井 紳, 永井 悠樹, 高木 英樹: 競泳スタート台上動作における身体推進メカニズム. スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, 立命館大学(滋賀県草津市), 2015年10月

〔図書〕(計1件)

- 1) Takagi, H., Ohgi, Y., Sengoku, Y., Gonjo, T.: XIII th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on BIOMECHANICS and MEDICINE in SWIMMING PROCEEDINGS. インプレス R&D, TOKYO, 2018
- 2) Ross Sanders, Jordan Andersen and Hideki Takagi: Handbook of Human Motion. Springer International Publishing, 2017

〔その他〕

- 1) 高木英樹, 成田健造: 筑波大学注目の研究、クロール泳中のスイマーに働く抵抗に関する新たな知見 独自開発した抵抗測定方法により、速く泳ぐための鍵にせまる , <http://www.tsukuba.ac.jp/attention-research/p201806291400.html>

- 2) 高木英樹、成田健造：筑波大学注目の研究、遊泳中のスイマーにかかる抵抗を推定する方法を開発 スイマーの抵抗は泳速の3乗に比例する ,
<http://www.tsukuba.ac.jp/attention-research/p201702171400.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：浅井 武
ローマ字氏名：(ASAI, Takeshi)
所属研究機関名：筑波大学
部局名：体育系
職名：教授
研究者番号(8桁)：00167868

研究分担者氏名：中島 求
ローマ字氏名：(NAKASHIMA, Motomu)
所属研究機関名：東京工業大学
部局名：工学院
職名：教授
研究者番号(8桁)：20272669

研究分担者氏名：松田 昭博
ローマ字氏名：(MATSUDA, Akihiro)
所属研究機関名：筑波大学
部局名：システム情報系
職名：准教授
研究者番号(8桁)：20371437

研究分担者氏名：小池 関也
ローマ字氏名：(KOIKE, Sekiya)
所属研究機関名：筑波大学
部局名：体育系
職名：准教授
研究者番号(8桁)：50272670

研究分担者氏名：下門 洋文
ローマ字氏名：(SHIMOJO, Hirofumi)
所属研究機関名：新潟医療福祉大学
部局名：健康科学部
職名：講師
研究者番号(8桁)：50757911

研究分担者氏名：亀田 能成
ローマ字氏名：(KAMEDA, Yoshinari)
所属研究機関名：筑波大学
部局名：計算科学研究センター
職名：教授
研究者番号(8桁)：70283637

(2)研究協力者

研究協力者氏名：成田 健造
ローマ字氏名：(NARITA, Kenzo)