

令和 2 年 5 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13139

研究課題名(和文) モーションキャプチャを用いた泳動作中の流体力解析システムの構築

研究課題名(英文) Development of fluid force measurement system using motion capture and pressure measurement in swimming

研究代表者

角川 隆明 (Tsunokawa, Takaaki)

筑波大学・体育系・助教

研究者番号：00740078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水中モーションキャプチャと手部表面の圧力分布計測を併用した泳動作中の手部に働く流体力の解析手法を構築した。その結果、競泳競技の4泳法において手部で発揮される推進力を問題なく推定でき、泳者の特徴を定量的に評価することや、泳速度との関係を明らかにすることができた。また、クロール泳中の手部推進力と疲労との関係を分析し、疲労によって平均推進力や、泳者が水に対して発揮する機械的パワーが低下することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水泳は水中で行われる運動であるため、身体が水から受ける抵抗力や、泳者が水に対して発揮する推進力といった流体力によって泳速度が決定する。しかしながら、水泳運動中の身体周りの水は非定常な挙動をするため、流体力を定量的に評価することは難しく、重要な課題とされてきた。本研究では、水中モーションキャプチャという新しい手法を応用し、水泳運動中の身体に働く流体力と身体の動きとの関係を定量的に評価できる手法を構築した。この分析手法を用いることで、それぞれの泳者の動作特徴を定量的に評価できるようになり、競技力向上に資する客観的データが取得可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a method for analyzing the fluid forces acting on the hand during swimming using both underwater motion capture and pressure distribution measurement. As a result, it was possible to estimate the propulsive forces generated by the hand in 4 swimming styles without any problems. Using this method, we were able to quantitatively evaluate the characteristics of each swimmer, and clarify the relationship between propulsive forces and swimming velocity. In addition we analyzed the relationship between fatigue and hand propulsive forces in front crawl swimming. As a result, it was possible to quantitatively evaluate the average propulsive forces and mechanical power that decrease due to fatigue.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：水泳 抵抗力 推進力 圧力 モーションキャプチャ 競泳競技

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水泳は水中で行う運動のため、泳者の身体は常に水から抵抗力を受け、推進することを妨げられることとなる。反対に、泳者が四肢を動かすことで水に力を伝え、身体を推進させるための推進力を得ることとなる。このような抵抗力や推進力といった水の力は流体力と呼ばれ、泳速度を決定する重要な要因と考えられている。競泳競技は決められた距離をより速く泳ぐことを競う競技であるため、抵抗力の削減と推進力の増大によって泳速度を高めることが求められることとなる。

しかしながら、水泳運動中の身体周りの水は非定常な挙動をするため、抵抗力や推進力といった流体力を定量的に評価することは困難であった。そのような中で、近年水中環境での様々な分析手法が発達し、水泳に関する研究にも応用されつつある。特に、水中モーションキャプチャは水泳運動中の身体の動きを自動で認識できるため、泳者がどのような動きをしているか定量的に分析することができる。さらに、圧力分布計測といった流体力の計測手法と組み合わせることで、身体に働く推進力や抵抗力を定量化し、泳動作の評価にも応用することが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、水中モーションキャプチャによる身体の 3 次元動作分析と、圧力分布計測による流体力分析を併用した手部推進力の定量化手法を構築することを目的とした。まず、競泳の 4 泳法における手部での推進力を定量化する分析手法を構築し、構築した手法を用いてクロール泳における泳速度と推進力との関係や、疲労と推進力との関係を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 水中モーションキャプチャと圧力分布計測を併用した手部推進力定量化手法の構築

大学水泳部に所属する男子競泳選手 4 名を対象をとって、競泳の 4 泳法における手部推進力の推定を実施した。それぞれの対象者は 25 m を 4 泳法にて全力で 1 回ずつ泳いだ。

試技中は、泳者の左右の手部それぞれ 3 点の手掌側と手背側、計 12 点に防水加工を施した小型圧力センサ (PS-05KC, 共和電業) を貼付し、手部表面の圧力分布を計測した (図 1)。なお、本研究では有線の圧力センサを用いたため、計測機器一式を台車に搭載して対象者の動きに合わせて移動させた。本研究では、先行研究を参考として手掌側の圧力値から手背側の圧力値を差し引いて手掌側と手背側の圧力差を算出し、圧力差に手部平面積を乗じて手部に働く流体力を算出した。

さらに、水中に 15 台の水中モーションキャプチャ用カメラ (Opus Underwater, Qualisys) 設置し、試技中の泳者の手部の 3 次元座標を取得した。泳者の左右の手部それぞれ 5 点にはモーションキャプチャ用反射マーカを貼付した。取得した手部 5 点の座標から、手部平面に対して垂直な法線ベクトルを算出し、手部平面に作用する流体力の作用方向を明らかにした。本研究では、推進方向に働き、泳者の推進に貢献する流体力を推進力として定義し、上肢の 1 ストローク動作中の平均値を算出した。図 2 に実験設定の概略を示す。

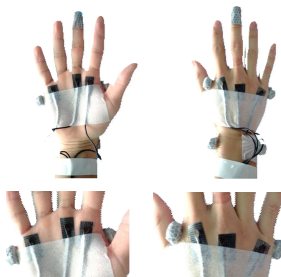


図1
圧力センサと反射マーカを貼付した手部

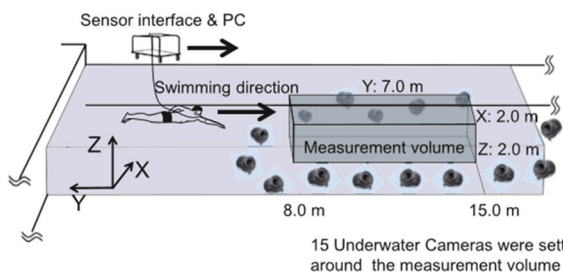


図2
実験設定の概略

(2) クロール泳における泳速度と手部推進力との関係

大学水泳部に所属する男子競泳選手 8 名が本研究に参加した。手部推進力と泳速度との関係を明らかにするため、対象者は可能な限り定常速度で 16m をクロールで泳ぐ試技を 10 回繰り返した。課題 (1) にて構築した分析手法を用い、それぞれの試技における平均手部推進力を算出した。その後、各対象者の各試技における平均泳速度と平均推進力との関係を示す回帰式を最小二乗法によって求め、回帰式の比例定数から泳速度と手部推進力の関係を検討した。

(3) クロール泳における疲労と手部推進力との関係

大学水泳部に所属する男子競泳選手 12 名が本研究に参加した。疲労の影響を分析するため、対象者は 25 m の全力クロール泳を 4 回反復し、試技間の休息は次の試技に向かう反転時も含めて 5 秒程度とした。また呼吸動作の影響によるストローク動作の変化を制限するために、分析区間内は呼吸動作をしないように指示した。課題 (1) にて構築した分析手法を用い、それぞれ

の試技における平均手部推進力を算出した。また、疲労が泳動作のキネマティクスに与える影響を明らかにするため、水中モーションキャプチャで取得した手部の3次元座標値かストローク長、ストローク頻度、手部速度を算出した。さらに、対象者が水に対して発揮した機械的パワーを手部に働く流体力に手部速度を乗じて算出した。

4. 研究成果

(1) 水中モーションキャプチャと圧力分布計測を併用した手部推進力定量化手法の構築

水中モーションキャプチャによる身体の3次元動作分析と、圧力分布計測による流体力分析を併用し、競泳の4泳法における手部での推進力発揮に関する分析を実施した。これら2つの手法を併用した4泳法の分析は初めての試みであったが、いずれの泳法であっても問題なく手部推進力を定量化できることが確認された。分析の結果、手部で発揮される推進力には泳者間で差が見られ、泳技能の低い泳者が高い推進力発揮をするケースや、泳技能の高い泳者が低い推進力発揮をするケースも見られた。泳動作では、泳者の身体に働く抵抗力と、泳者が発揮する推進力の差によって泳速度が決定すると考えられてきたが、本研究の結果はこの考えを支持するものとなり、より高い泳速度を達成するには高い推進力発揮だけでなく抵抗力の削減も重要であることが再確認された。また、推進力を定量的に評価することで、それぞれの泳者の課題が推進力を増加させることなのか、抵抗力を削減することなのか、客観的な指標に基づいて考察することができた。図3にそれぞれの泳法において最も高い泳速度を示した泳者の手部推進力の変動を示す。

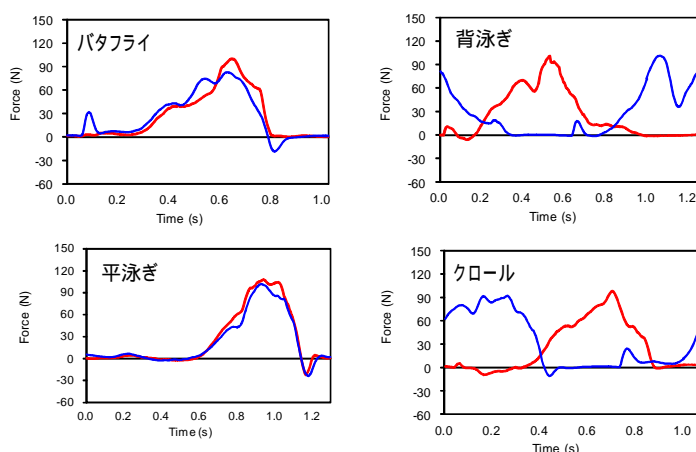


図3 4泳法における手部推進力の変動
赤：右手 青：左手

(2) クロール泳における泳速度と手部推進力との関係

課題(2)では、課題(1)にて構築した手部流体力の分析手法を用い、クロール泳における泳速度と手部推進力の関係を調査した。その結果、泳速度の増加に伴って手部推進力がどのように増加するかを示す推進力指数 n は平均で 2.62 ± 0.51 を示し、泳速度の増加とともに手部推進力が指数関数的に増加することが明らかとなった。さらに、泳速度が 1.3 m/s を超えると手部推進力が大きく増加し始める傾向が確認され、高い泳速度では造波抵抗によって増大した抵抗力に打ち勝つためにより大きな手部推進力を発揮していることが示唆された。また、泳動作中の全身に働く抵抗力を推定した様々な先行研究と比較すると、本研究で推定した手部推進力は小さな値を示した。これは、泳者は手部以外の部位でも推進力を発揮していることを示唆しており、本分析手法では泳者が発揮する全ての推進力は定量化できていないことが明らかとなった。図4に、全ての試技における泳速度と手部推進力の関係を示す。

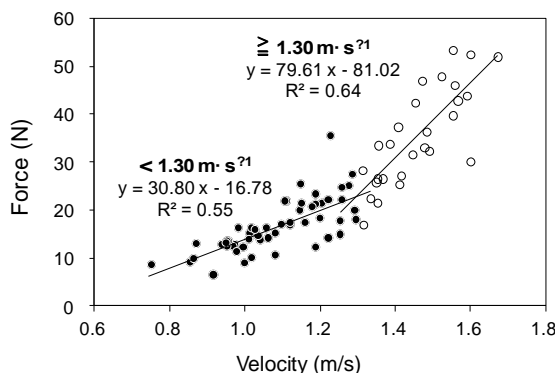


図4 クロール泳における泳速度と手部推進力との関係

(3) クロール泳における疲労と手部推進力との関係

課題 (3) では、課題 (1) にて構築した手部流体力の分析手法を用い、クロール泳における疲労と手部推進力との関係を調査した。その結果、試技を重ねて疲労が生じると、平均泳速度とストローク頻度は有意に低下したが、ストローク長には変化が見られなかった。さらに、ストローク動作中の平均手部推進力と平均手部スピードは、試技を重ねる毎に有意な低下が認められた。また、水中モーションキャプチャによって取得した手部の 3 次元座標から試技中の手部の動作を分析すると、ストローク頻度の低下は推進力を発揮しない非推進局面であるグライド局面の延長に起因するものであることが明らかとなった。また、水を後方へ押し出す局面であるプル局面とプッシュ局面での推進力の低下は、主に手部スピードの低下に起因するものであることが明らかとなった。図 5 に、疲労していない条件の 1 試技目と疲労した条件の 4 試技目における手部推進力の変動を示す。

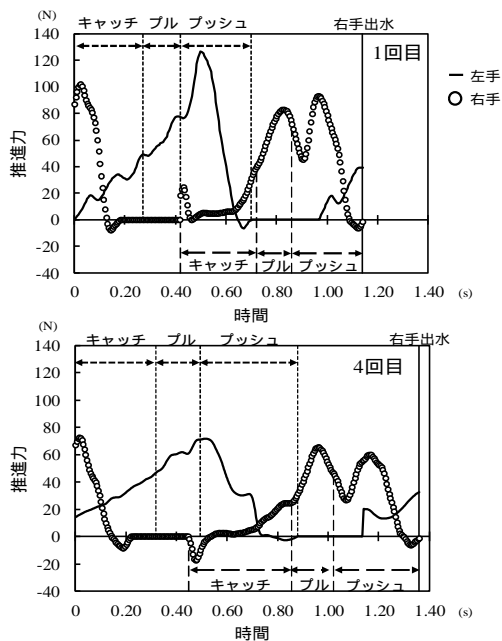


図5 クロールのストローク動作1周期における手部推進力
上：1試技目（疲労なし） 下：4試技目（疲労あり）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 角川隆明、岩下幸平	4. 巻 12
2. 論文標題 クロールにおけるキック頻度の違いと手部推進力との関係	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツパフォーマンス研究	6. 最初と最後の頁 180 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 角川隆明、萬久博敏、萩田太	4. 巻 64
2. 論文標題 クロールにおける泳速度的変化とストロークパラメーターの関係：圧力分布計測と水中モーションキャプチャを用いた分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 385 ~ 400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5432/jjpehss.18053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsunokawa Takaaki, Mankyu Hirotohi, Takagi Hideki, Ogita Futoshi	4. 巻 64
2. 論文標題 The effect of using paddles on hand propulsive forces and Froude efficiency in arm-stroke-only front-crawl swimming at various velocities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 378 ~ 388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.03.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsunokawa, T., Narita, K., Mankyu, H., Ogita, F., Takagi, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimation of propulsive forces acting on a hand using pressure measurement and underwater motion capture during front crawl	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming	6. 最初と最後の頁 166 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsunokawa Takaaki, Tsuno Tempei, Mankyu Hirotooshi, Takagi Hideki, Ogita Futoshi	4. 巻 57
2. 論文標題 The effect of paddles on pressure and force generation at the hand during front crawl	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 409 ~ 416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 角川隆明、萬久博敏、荻田太	4. 巻 55
2. 論文標題 水中モーションキャプチャと圧力分布計測を用いたクロール中に発揮される推進力の分析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 鹿屋体育大学学術研究紀要	6. 最初と最後の頁 113 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 加地智哉、角川隆明、萬久博敏、荻田太
2. 発表標題 間欠的全力クロール泳時の泳動作と手にはたらく流体力の変化
3. 学会等名 2019年日本水泳・水中運動学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsunokaawa, T., Kaji, T., Mankyu, H., Ogita, F.
2. 発表標題 Estimation of hand propulsive forces at four swimming technique using pressure measurement and underwater motion capture
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsunokawa, T., Narita, K., Mankyu, H., Ogita, F., Takagi, H.
2. 発表標題 Estimation of propulsive forces acting on a hand using pressure measurement and underwater motion capture during front crawl
3. 学会等名 13th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩下幸平、角川隆明、荻田太、萬久博敏、金高宏文
2. 発表標題 競泳の長距離種目におけるキック動作の違いと手部の推進力との関係
3. 学会等名 九州体育・スポーツ学会第67回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角川隆明、萬久博敏、成田健造、高木英樹、荻田太
2. 発表標題 クロール泳における泳速度の変化と上肢動作で発揮される推進力との関係
3. 学会等名 日本水泳・水中運動学会2017年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsunokawa Takaaki, Narita Kenzo, Mankyu Hirotooshi, Ogita Futoshi, Takagi Hideki
2. 発表標題 Estimation of propulsive forces acting on a hand using pressure measurement and underwater motion capture during front crawl
3. 学会等名 Biomechanics and Medicine in Swimming 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----