

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 9 日現在

機関番号：3 2 6 1 2

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：2 2 3 0 0 2 1 9

研究課題名（和文） スポーツ流体力学における新たな計測・解析方法の開発

研究課題名（英文） Development of the measurement and analysis methods on the sports fluid dynamics

研究代表者

仰木 裕嗣（OHGI YUJI）

慶應義塾大学・政策・メディア研究科・准教授

研究者番号：90317313

研究成果の概要（和文）：

本研究では、スポーツにおいて飛翔する競技者や、ボールなどの飛翔体に作用した流体力を推定することを目的としている。研究対象としてはフライングディスク、円盤投における円盤、および野球ボールなどをとりあげた。飛翔運動解析については、風洞実験、光学式モーションキャプチャーシステムを用いた実飛翔実験を行った。風洞実験によって得られた円盤、フライングディスク等の空力特性、すなわち抗力・揚力・横力、およびモーメントは飛翔の最適化シミュレーションに使用された。また実飛翔実験において得た飛翔体の位置から流体力を同定する逆動力学手法を確立した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of our research was to estimate the fluid dynamics forces on the sports projectiles by using the kinematics data, which was obtained by the embedded inertial sensors on the sports projectiles. The authors have investigated the fluid dynamics on the sports projectiles such as a ski jumper, baseball, discus, flying disc, etc.. As for the flying disc, the authors conducted the wind tunnel test to identify its fluid dynamics properties. In addition, we also conducted real throwing test with optical motion capture system. According to both the wind tunnel test and the motion capture test, the authors estimate the fluid force acting on the disc by the inverse dynamics method. Simultaneously, we examined forward dynamics computer simulation on the flying disc using its initial take off properties. For the discus throw, the authors conducted real throwing experiment using embedded sensor discus. For the validation of its initial conditions, we conducted three dimensional image analysis method. As a result, we could get initial conditions of the disc such as velocity, angle of attack, orientation angle of the disc. Then, optimal flight trajectory of the disc was proposed with this real flight conditions and the results of the wind tunnel data, such as drag, lift and side force. For the baseball, the authors conducted the motion capture experiment with an optical motion capture system. The obtained ball trajectories and its rotation axis were reconstructed on the global and local reference frames. The fluid dynamics forces were estimated by using this ball trajectory. For our study, the authors would like to validate this optical motion capture data and the embedded inertial sensor data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：スポーツ流体力学、慣性センサ

1. 研究開始当初の背景

スポーツ流体力学には、航空機や船舶等と異なり形状変化による影響や乱流の発生メカニズム等が未解明なものが数多い。なかでも野球における変化球のメカニズムやスキージャンプなどは、流体力学的特性が競技パフォーマンスに直接結びつき流体力学者のみならず競技者・コーチの興味が高い。理化学研究所の姫野らは CFD によるボール周り流れのシミュレーションを行っている。しかしながら、その検証では投球後の限られた区間におけるボールの運動を画像分析によって同定しているのみであり、飛翔中全期間にわたる解析は実験的手法・シミュレーション的手法共に国内外研究は非常に少ない。野球を含む多くのボールゲームにおいて飛翔中に臨界レイノルズ数をまたぐ速度域があることも報告されているが、飛翔中のどの地点でそれが生じるのかを特定するのは従来の映像解析法では被写体の高速さ、画角の広さなどから困難である。ボール以外の飛翔体の代表として円盤投げが挙げられるが、投射時の円盤迎え角はマイナス 10 度からマイナス 5 度を有するべきであるとされている (Dyson ら, 1986)。しかし宮西ら(1995)によるトップアスリートを対象にした映像解析結果では正の迎え角の場合もあり、その優劣は定かではない。円盤における飛翔期の流体力学的研究がこれまで風洞実験以外には例がなく、流体力によるモーメントが引きおこすジャイロ効果によって円盤の回転軸が倒れる挙動を見せることなど、パフォーマンスの評価には今後の研究が待たれている。従って、スポーツ用具の飛翔現象を実際に捉えるには飛翔中を連続して計測可能な手法が必要不可欠である。これに対して、ヒト自身の流体力学問題としては水泳やスキージャンプが挙げられる。130m 強を時速 90 Km を超えるスピードで移動するスキージャンプの空力特性を調べる場合も同様にカメラによる映像撮影法は画角・解像度・時間分解能の面で不利である。さらにスキージャンプでは、飛翔するヒトの身体姿勢が踏切後のわずか 0.4 秒間の間に急激に変化するために、風洞実験での V 字変化追試実験は不可能である、といった問題を抱えている。

そこで本研究は映像解析法に代わる新たな運動解析方法として飛翔する物体、すなわちヒトやスポーツにおける投射物に取り付けた慣性センサの情報から飛翔中の物体の挙動、すなわち速度・回転角速度や流体力を

推定する手法を提案する。ここでは慣性センサとして加速度センサやジャイロセンサ、磁気方位センサを用いる。スポーツ科学において慣性センサを用いた物理量計測は近年のセンサ素子の小型化により採用されつつある手法の一つであり、代表者の仰木は 1996 年から慣性センサを用いた運動解析を進めてきており、本科研費申請時点において、豪グリフィス大学工学部無線計測応用研究所客員准教授としてスポーツ無線計測研究者らとセンサの開発やセンサ計測プラットフォームの開発に取り組んできた。

2. 研究の目的

本研究では、スキージャンプに代表される飛翔する競技者や野球ボールに代表される飛翔体そのものに加速度センサやジャイロセンサなどの慣性センサを内蔵し、センサから得られる信号から飛翔中にヒトやモノに作用した流体力を推定することを目的とする。こうしたスポーツ流体力学と呼ばれる分野はまだまだ発展途上であるが、飛翔中に時々刻々体の形や姿勢を変える、あるいはボール競技においてはその競技がおよそ臨界レイノルズ数付近で行われているため、飛翔中のヒトや用具の挙動は極めて複雑である。映像を基礎とした従前の計測手法では飛翔全体の期間にわたって撮影や分析を行うことが困難であったスポーツ流体力学の未解明問題に挑戦することが本研究の課題である。且つ、新たな手法が新たなスポーツトレーニング法を生み出すことも期待している。

3. 研究の方法

本研究はスポーツ流体力学における飛翔中全体にわたる運動計測の手法として飛翔する物体・ヒトに慣性センサを内蔵・装着して得られるセンサデータからの動力学問題推定に取り組む。スポーツ飛翔体の用具の実例としてフライングディスク・円盤、および野球ボールの飛翔における運動学的変数 (速度・回転角速度・回転軸等) 流体力の推定に取り組む。飛翔するヒトの運動として、スキージャンプを対象とし、運動学的変数 (姿勢角・飛行角・迎え角・前傾角速度等) の計測と流体力の推定に取り組む。慣性センサデータの精度と信頼性の評価としては全ての研究に共通して映像解析やコンピュータシミュレーションによる手法を適用して本提案方法との比較、および本研究の有用性とその限界について評価する。

スキージャンプにおいては飛翔するスキージャンパーの身体、およびスキーに加速度センサ・ジャイロセンサ・地磁気センサを内蔵する無線慣性センサを装着し、実ジャンプにおける運動学情報を取得し、得られる慣性センサデータから、身体各部およびスキー板の挙動を明らかにする。円盤投、およびフライングディスクについては、飛翔体としての円盤、フライングディスクの空力特性を知るために風洞実験を行う。風洞実験には山形大学が保有する開放型風洞を用いる。速度、迎え角を飛翔状態にあわせた条件に設定したうえで、定常流における抗力、揚力、横力および、3軸まわりのモーメントを実測する。得られた3分力、3方向モーメントは、実際に飛翔する円盤、フライングディスクの運動をモーションキャプチャー、高速度カメラによって観測し、得られる運動学情報を検証するための順動力学シミュレーションに用いる。

4. 研究成果

円盤投においては、風洞実験データによって得られた空力特性を用いた投げ出し時の最適条件の推定を行った。これを検証するため、高速度カメラによる3次元映像解析を用いて円盤投選手の投擲の撮影実験を実施した。フライングディスクの飛翔についても風洞実験を実施した。フライングディスクの実飛翔については、光学式モーションキャプチャー装置を用いて飛翔するフライングディスクの撮影を行い、飛翔中のディスクの位置計測を実施した。モーションキャプチャーによって得られた位置座標からディスクの重心座標を算出し、さらにこれからディスクに作用した力を逆動力学によって求めた。この逆動力学によって求められたディスクに作用する力は、風洞実験によって得た空力特性と比較してその整合性を検証した。また、投げ出し時の速度、迎え角を初期条件とした順運動学シミュレーションを、風洞実験結果を用いて実施し、その後の実際の軌道との比較検証を行った。このように円盤投およびフライングディスクの飛翔についての実験においては、精密な風洞実験によって空力特性を測定した後に、実飛翔を映像観測することでその妥当性を検証するという方法を提案できたといえる。フライングディスクにおいては、その翼面荷重が小さいことから、空気力の影響が大きいことがわかっているが、ディスク自体が上下非対称構造であることから、風洞実験時に上面/下面に装着する治具の位置によって、得られる空気力、空気力モーメントの値が著しく異なることも今回の研究で明らかになった。

内蔵した慣性センサ情報との比較検証に関して、野球ボールについては、円盤投、フ

ライングディスク同様に内部に慣性センサを内蔵した試作品を研究期間内に完成させた。内蔵した慣性センサの運動学情報と、モーションキャプチャーや高速度カメラによる三次元映像解析結果との比較は、現在も進行中である。

スキージャンプについての研究は飛翔するスキージャンパーの身体複数箇所およびスキー板に装着した慣性センサからの運動学情報の取得実験を行った。最適飛翔についての研究報告は2010年にも行ったが、慣性センサデータの検証に用いる手法のひとつである映像解析はスキージャンプの場合には、その範囲が広いことが主たる要因で、研究期間内に十分な精度検証が完了していない。映像でどうしても捕捉することができない飛翔中盤域の観測には今後レーダー追尾装置などの観測装置が必要である、という結論に至った。これについては今後検討、実施して行く予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Koyanagi R., Seo K., Ohta K., Ohgi Y., A computer simulation of the flying disc based on the wind tunnel test data, The Conference Proceedings of The Engineering of Sport 9, 2012 Conference of the International Sports Engineering Association, Edited by Patrick Drane and James Sherwood, Procedia Engineering Volume 34, pp.80-85. 2012. 査読有

Seo K., Shimoyama K., Ohta K., Ohgi Y., Jimura Y., Aerodynamic behavior of a discus, , The Conference Proceedings of The Engineering of Sport 9, 2012 Conference of the International Sports Engineering Association, Edited by Patrick Drane and James Sherwood, Procedia Engineering Volume 34, pp.92-97., 2012. 査読有

Seo K., Shimoyama K., Ohta K., Ohgi Y., Kimura Y., Optimization of the moment of inertia and the release conditions of a discus, , The Conference Proceedings of The Engineering of Sport 9, 2012 Conference of the International Sports Engineering Association, Edited by Patrick Drane and James Sherwood, Procedia Engineering Volume 34, pp.170-175, 2012. 査読有

Reno Koyanagi, Yuji Ohgi, Measurement of kinematics of a flying disc using an おき nVolume 2, Issue 2, pp. 3411-3416, 2010. 査読有

Masahide Murakami, Masato Iwase, Kazuya Seo, Yuji Ohgi, Reno Koyanagi, Ski

jumping flight skill analysis based on high-speed video image, Procedia Engineering, Vol. 2, Issue 2, pp. 2381-2386, 2010. 査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

瀬尾和哉, 下山幸治, 太田憲, 仰木裕嗣, 円盤投げ用円盤の空力特性と最適投げ出し条件, スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス2011, pp.542-547, 2011年11月2日. 京都市

太田憲, 仰木裕嗣, 澁谷和宏, 二重振子モデルによるゴルフスイングの数理解析, スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス2011, pp.447-452, 2011年10月31日, 京都市

瀬尾和哉, 下山幸治, 太田憲, 仰木裕嗣, 円盤投げの投げ出し条件の最適化, 日本流体力学会年次大会, 日本流体力学会年会2011CD-ROM 講演要旨集, 全4頁, 2011年9月8日, 東京都

瀬尾和哉, 下山幸治, 仰木裕嗣, 村上正秀, スキージャンプ飛翔の最適制御空間探査, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2010 講演論文集, pp.1-6, 2010年11月4日, 東京都

小柳玲乃, 仰木裕嗣, 慣性センサを使用したフライングディスクの運動力学推定, 第88期流体力学部門講演会抄録集, pp.202-203, 2010年10月30日, 米沢市

〔図書〕(計 1 件)

佐藤光監修(編著), 東京電機大学出版局, ワイヤレスセンサシステム, (第4章担当), pp.161-175., 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仰木裕嗣 (YUJI OHGI)

慶應義塾大学・政策・メディア研究科・准教授

研究者番号: 90317313

(2) 研究分担者

太田憲 (OHTA KEN)

慶應義塾大学・政策・メディア研究科・特任准教授

研究者番号: 10281635

瀬尾和哉 (SEO KAZUYA)

山形大学・地域教育文化学部・教授

研究者番号: 60292405

(3) 連携研究者

なし