

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700754

研究課題名(和文) スキー動作分析のための広範囲動作計測システムの構築

研究課題名(英文) Motion capture system using MEMS inertia sensors for Alpine skiing

研究代表者

吉岡 伸輔 (Yoshioka, Shinsuke)

東京大学・総合文化研究科・准教授

研究者番号：20512312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：慣性センサ(加速度・角速度・地磁気センサを組み合わせたセンサ)を用いた新たな動作計測システムが近年開発され、普及してきている。本システムは広範囲動作計測を可能にする一方、遠心力環境下や地磁気が乱れている環境下では使用できない短所をもつ。スキーは、このような環境におかれるため、計測できない。そこで、スキーの動作計測が可能な広範囲動作計測システムを構築することを目的として研究を実施した。本研究ではジャイロセンサのみの計測システムを開発し、遠心力や磁場の乱れに影響されないシステムを構築した。本手法はスキーのみならず動作計測の幅を広げるものであり、スポーツ研究の発展に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a motion capture system with MEMS inertia sensors which we can use under the environment affected by centrifugal force such as alpine skiing. Many previous studies have developed it with gyroscope, accelerometer and magnetometer. However, those systems have the problem that the measured data is disturbed by centrifugal force and/or magnetic field distortion. In order to prevent it, we developed the measurement method in which accelerometer and magnetometer are not used, in other words, only gyroscopes is used. The accuracy of this method was similar to those of other studies.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：ジャイロセンサ モーションキャプチャ 遠心力

1. 研究開始当初の背景

スキーは世界中で広く楽しまれている冬の代表的なスポーツである。また、冬季オリンピックでは男女合わせて5競技34種目(スノーボード競技は除く)もの種目が正式種目として採用されており、水泳や陸上競技などと同様に多様性のある競技スポーツと言える。この様に一般的なスポーツでありながら、他の陸上スポーツに比して、研究例が非常に少ない。その主たる理由が動作範囲の広さに起因する動作計測の難しさに起因する技術的問題のためである。

一般的に、身体運動の動作分析では、動作データ取得のためにビデオカメラが多く用いられる。近年の画像処理技術およびコンピュータの計算能力の目覚ましい発展に伴い、多数のビデオカメラを用いた高性能な動作計測システムが開発、販売されてきた。最新のシステムでは位置同定の精度が1mm以下、時間分解能が2msec以下まで性能向上が図られ、身体運動の分析として十分な性能を有するまでになった。しかし一方で、ビデオカメラを用いた動作計測システムには計測範囲が狭いという問題がある。通常のカメラ台数(10~15台程度)の場合、計測範囲は最大でも50平方メートル程度である。本研究の対象とするアルペンスキーの場合、動作範囲が山全体に及ぶこともあるため、ビデオカメラで動作を追うこと、ましてやビデオカメラを用いて動作計測を行うことには本質的に限界があると言える状況であった。

その様な状況の中、ビデオカメラと原理が異なる慣性センサ(図4)およびセンサフュージョンアルゴリズムを用いた新たな動作計測手法がRoetenbergら(2005)の研究を発端として実用化された。この手法は、加速度、角速度、地磁気センサなどの複数の信号をカルマンフィルタによりフュージョン(融合)することによって、センサの姿勢角を高精度かつ安定的に求めるものである。また、ビデオカメラの手法のように、動作が“見える”必要はなく、動作領域の制限がないことが大きな特長といえ、スキー動作の計測に適していると考えられた。しかしながら、スキーに本手法を適用することを考えた場合、本質的な問題が存在する。すなわち、動作中に遠心力が働く動作については考慮されておらず、アルペンスキーの様な遠心力が働く動作は

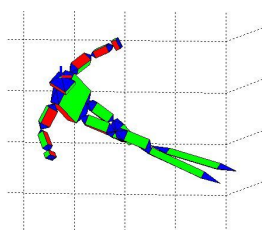


図1 結果がおかしな例
(遠心力環境下での結果例)

計測できない(図1)。この様な背景から、遠心力環境下でも動作計測可能な計測システムの構築が求められた。

2. 研究の目的

スキー動作分析のための広範囲動作計測システムを構築すること

3. 研究の方法

遠心力環境下において測定可能なシステムの構築を考えた場合、下記2通りの方法に大別可能である。

- 遠心力を計測し、遠心力を差し引いてデータ処理を行う方法
- 測定原理において遠心力の影響を受けない測定システムとする方法

Roetenberg らの手法は、その後の慣性センサシステムの普及に大きな影響をもたらした素晴らしいものであるが、加速度センサが必須であるという測定原理の面で遠心力の影響が不可避なものであった。 の手法はRoetenberg らの手法を改良するものであり、GPS等を追加して遠心力成分を差し引くことで遠心力に対応する方法となる。 の手法は加速度センサを使用しない手法を開発することで、原理的に遠心力の影響を受けないようにするものである。

の手法は、すでに近年研究発表がなされ、測定可能であることが示されている。ただし、ジャイロセンサ、加速度センサ、地磁気センサ、GPSの4種類のセンサを用いる必要があり、とりわけ、一般的なGPSに比較して高精度の位置精度が必要なGPSにおいて機器が大きく、システム全体の機器サイズが動作の制約になるようなサイズとなってしまう問題が生じている。さらに、Roetenbergらの手法は、地磁気センサ(いわゆる、デジタルコンパス)を用いるという点で測定結果が不安定になりやすい問題を抱える(de Vries et al., 2009)。研究代表者も各種のテスト中に地磁気の乱れに起因すると考えられる問題に悩まされた。これらの背景から、本研究では最終的に の方法にて、動作計測システムを構築することとした。

なお、 の両手法の本質的な共通点は慣性システムの歴史的課題である積分ドリフトへの対策であるという点であり、当然ながら、本研究においてもその点が主要な問題となった。

本研究を通して開発した測定システムの概要は最終的に以下の通りとなった。

- ・遠心力の影響下、磁場の乱れた環境下においても測定可能となるよう、ジャイロデータの積分のみで運動を計測
- ・測定前後に同一姿勢を取り、積分ドリフトの主因である各センサのDCオフセットを正確に算出
- ・慣性センサと身体セグメントの相対的な位置関係は光学式モーションキャプチャシステム(もしくは複数台のデジタルカメラを用いた3次元DLT法)により計測

実際の測定および解析の流れは次の通りである。

- ・センサと身体セグメントの相対的位置関係を測定（全体を通して1回のみ）（図2）（狭いスペースにてデジカメ4台で計測可能であることが特長）（赤外線式のMOCAPシステムでも代用可能）

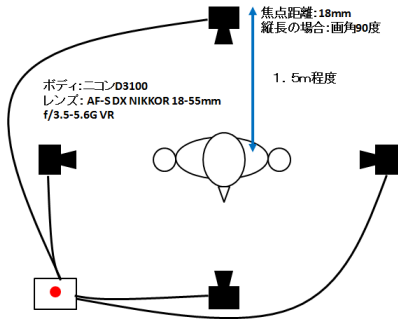


図2 計測の概要図

- ・動作の実施（計測）（図3）
既定の姿勢 動作 既定の姿勢
（既定の姿勢は、動作前後に毎回行う）

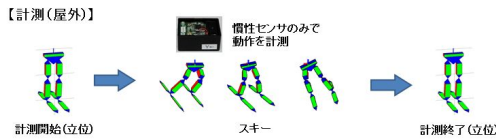


図3 屋外測定の流れ

- ・データ処理
 - ・ジャイロデータを積分し、測定後の既定の姿勢との差分からDCオフセットを算出
 - ・DCオフセット補正後、再度積分

4. 研究成果

(1) 精度検証

本測定手法の精度を光学式モーションキャプチャシステムを基準として検証した。光学式モーションキャプチャシステムとして、Motion analysis 社製の Raptor-E Digital Real Time System を用いた。慣性センサ（3軸ジャイロセンサ）としてロジカルプロダクト社製の小型9軸ワイヤレスモーションセンサ（5G/1500dps仕様）（LP-WS1104）を用いた。なお、慣性センサにはジャイロセンサのほか、3軸加速度センサおよび3軸地磁気センサも



図4 慣性センサに反射マーカを貼付した様子

組み込まれているが本研究では使用していない。サンプリング周波数は両機器ともに100Hzとし、ロジカルプロダクト社製の同期パルス発生装置（LP-WSY11）を用いて同期した。慣性センサにはセンサ

上面の3か所の角に反射マーカを貼付して計測した（図4）。

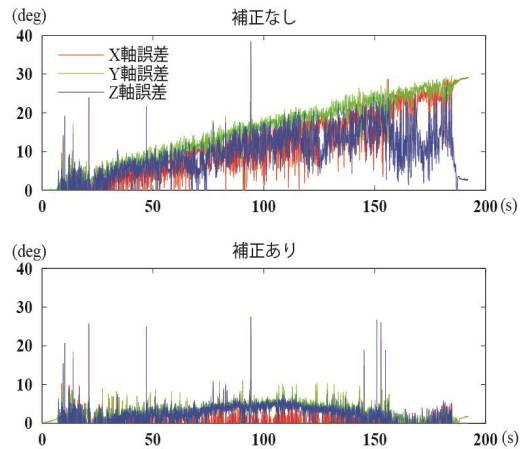


図5 積分ドリフトの補正の有無と誤差の関係

結果の典型例を図5に示した。本手法を用いてDCオフセットを補正することで測定時刻後半において20deg程度まで上昇していた積分ドリフトが、2.8deg（動作時間での平均値）まで減少した。この値はRoetenbergらの結果（2.6deg（RMS））と同様の水準であった。なお、時折出現する棘状のデータは光学式モーションキャプチャデータの乱れに起因するものであり、誤差が大きくなっているわけではない。

(2) アルペンスキーにおける動作計測

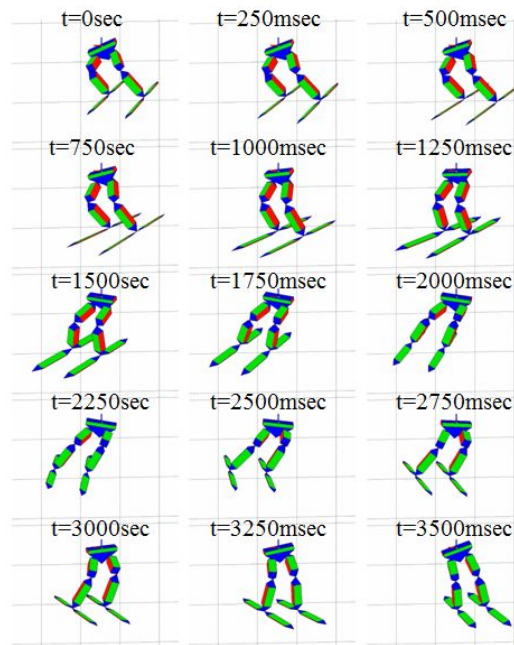


図6 大回りターンにおける動作計測例

精度検証の後、開発したシステムを用いてアルペンスキーの大回りターンを雪上において計測した。図6に結果例を示した。大回りターンでは遠心力が働くため、これまでのカルマンフィルタを用いたシステムでは測定困難であったが、測定原理の面から影響を受

けない本システムでは問題なく計測でき、研究目的であった測定システムの構築を達成することができた。なお、現在は精度向上および加速度センサを用いた力推定の課題に取り組んでいるところである（若手研究 A：26702024）。

（3）補足事項

機器重量

本計測システムでは最大（全身計測の場合）で 15 個のセンサを用いる。センサ 1 個の重量が 23 グラムであることから、全身で約 350 グラムとなる。既存の慣性センサ式のモーションキャプチャシステムを使用してスキー動作を計測する場合、1 キログラムを超えることが一般的であることを踏まえると非常に軽量と言えるシステムを構成できた。

リアルタイム処理

既存のシステムはリアルタイム処理が可能であることが一般的であるが、本システムではリアルタイム処理は原理上出来ない。その点は短所である。ただし、我々が目指すスキー研究においてはリアルタイム処理の必要性がないため、この点は問題とならない。研究の方法の項の、で述べたどちらの手法が良いかは、使用者の目的次第である。すなわち、それぞれに長所・短所があり、排他的な関係ではないことを申し添える。

位置計測

本システムの特長はジャイロセンサだけで姿勢計測をする点である。身体運動の解析では姿勢だけではなく、位置情報も用いることでより深い解析が可能となる。本手法では位置計測はできない。この点は GPS を併用することで達成可能である。現在の汎用的 GPS では数メートルの誤差を持つ。ハンディタイプの基地局を置くなどの対策を取ることが可能である。しかしながら、機器サイズ・利便性等を考慮するとアルペンスキーの計測に利用できる GPS では精度は数十センチメートルが限度である。この点は準天頂衛星の運用や GPS 関連機器の小型化など、GPS 関連の研究に期待したい。

コスト

本システムで用いるセンサはジャイロセンサのみであり、また、センサと身体セグメントの相対的位置関係の計測も一般的なデジタルカメラが 4 台あれば良いシステム構成となっている。ハードウェアの面でコストが低いことも特長である。

他のスポーツ動作の計測

本研究ではアルペンスキー動作の計測に先立ち、エアロバイクの漕ぎ動作（自転車漕ぎ動作）の計測を試験的に行った。その結果についても参考データとして記載しておく（図 7）。自転車漕ぎ動作では、ペダルを継続的に回転させることから足部に遠心力が発生する。遠心力環境下でも測定可能であることを確認するために実施した研究である。遠心力のかかる足部においても、問題なく計測で

きることが分かる。

（4）成果のまとめ

本研究で開発した動作計測システムを使用することで、これまで困難であった遠心力の働く環境下でのスキー動作の計測が可能となった。また、本手法は地磁気センサを併用していないため磁場の乱れに影響を受けない。加えて、動作に仮定を置くものではないため適用動作の範囲が広い。このようなことから、本手法はスキーのみならずスポーツ動作計測の幅を広げるものであり、スポーツ研究の発展に寄与するものである。

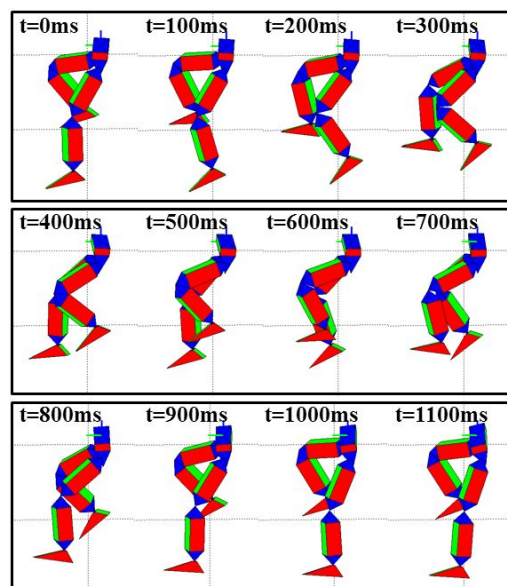


図 7 自転車漕ぎ動作の結果例

< 引用文献 >

D. Roetenberg, H. J. Luinge, C. T. M. Baten and P. H. Veltink: Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation; IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 395-405 (2005)

de Vries WH1, Veeger HE, Baten CT, van der Helm FC.; Magnetic distortion in motion labs, implications for validating inertial magnetic sensors.; Gait & Posture, Vol. 29, No. 4, pp.535-541 (2009)

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕(計 2 件)

吉岡伸輔、スキー研究へのチャレンジ、第 22 回東京大学身体運動科学シンポジウム、東京大学（東京都目黒区）2014.7.12

吉岡伸輔、藤田善也、深代千之、長野明

紀、石毛勇介、MEMS 慣性センサを用いた
モーションキャプチャシステムの開発 ~
遠心力の働く環境下での測定方法について
~、第 57 回システム制御情報学会研究発
表講演会 (SCI'13) 兵庫県民会館 (兵庫
県神戸市) 2013.5.17、口頭発表

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 伸輔 (YOSHIOKA, Shinsuke)

(東京大学・総合文化研究科・准教授)

研究者番号: 20512312

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし