

令和元年6月6日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01648

研究課題名（和文）スキー競技のためのワックスおよびストラクチャの高精度計測と最適選定手法の研究

研究課題名（英文）Research on high precision measurement and optimum selection method of wax and structure for ski race

研究代表者

宮本 直人（Miyamoto, Naoto）

東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授

研究者番号：60400462

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：スキー競技において、ワックスおよびストラクチャは勝敗を決める最重要要素である。本研究では、ワックスおよびストラクチャの摩擦係数を推定するための高精度GPS装置を開発した。摩擦係数の推定はエネルギー保存の法則を用いた。本手法により、摩擦係数が0.001の精度で計測できることを確認した。スキーの滑走性能は雪面状態や気象条件に大きく依存する。競技コースの雪面状態および気象条件とワックスおよびストラクチャの摩擦係数を関連付けてデータベース化した。これにより、スキー競技における最適なワックスおよびストラクチャを選定するための基礎を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スキーは冬季スポーツを代表する競技である。しかし、スキーが雪面上でなぜよく滑るのかすら解明されていない。スキーのワックスやストラクチャーが滑走性に大きな影響を及ぼすことは経験上よく知られている。一方、スキーの滑走性を定量的および科学的に究明することはほとんど行われていない。本研究では、小型軽量でありながらmmレベルの測位を可能とする高精度GPSを開発したことにより、現場でスキーの詳細な動きを測定することを可能とした。このことはスキーのみならずスポーツ全体の発展に対して学術的、社会的に大変意義深い。

研究成果の概要（英文）：Wax and structure are the most important factors for ski race. In this study, we developed a high precision GPS device to estimate the friction coefficient of the wax and the structure. The friction coefficient was estimated using the law of energy conservation. It was confirmed that the coefficient of friction can be measured with an accuracy of 0.001 by this method. The sliding performance of ski largely depends on snow surface condition and weather conditions. The snow surface condition and the weather conditions of the race course and the coefficient of friction of the wax and the structure were correlated and databased. This established the basis for selecting the best wax and structure for ski race.

研究分野：電子工学

キーワード：スキー ワックス ストラクチャー 摩擦係数 最適選定 GPS GNSS 高精度測位

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ワックスは、雪面とスキー滑走面との間の固体潤滑剤として用いられており、スキー滑走時の雪面から受ける摩擦力を低減する効果がある。ストラクチャは、スキー滑走面にわざと傷をつけて溝を掘ることで、排水を良くし、滑走性を高める効果がある。しかしながら、これらの効果の理論的な説明には諸説あり、未だ学会で議論が続けられている重要な研究課題である。スキー競技は主に屋外のスキー場で開催される。自然に晒される雪面の状態は雪温、雪質、含水率によって大きく変化する。競技コースの雪面状態に最も適したワックスやストラクチャを選ぶためには、フィールド実験可能な小型・軽量でありながら、しかも高精度なセンサが必須である。なぜなら雪の摩擦係数は約 0.05 と非常に小さいからである。

2. 研究の目的

スキー競技において、ワックスおよびストラクチャは、勝敗を決める最重要要素である。ワックスやストラクチャの性能は雪面状態に大きく左右されるため、競技コースの雪面状態に最も適合するワックスやストラクチャを選ぶのが、最高の滑りを実現するために極めて重要となる。本研究は、(1) 実際の競技場でワックスおよびストラクチャを性能評価するための小型・軽量・高精度な GPS 装置を開発すること、(2) 計測結果をデータベース化し、最適なワックスおよびストラクチャを選定するシステムを構築することを目的とする。

その GPS 装置には、本研究分野では世界初となる後処理キネマティック測位 GPS センサを導入し、小型・軽量でありながら mm レベルの測位精度(差動 GPS の 1/100 以下)を実現する。

3. 研究の方法

(1) ワックスおよびストラクチャの性能評価のための小型・軽量・高精度な GPS 装置の開発
後処理キネマティック GPS 装置の大きさ、重さ、バッテリー容量、駆動時間、アンテナの種類、アンテナの大きさ、受信感度、サンプリング周波数、測位精度の最適化を行う。

(2) 最適なワックスおよびストラクチャを選定するシステムの構築

GPS 装置から得られたデータを元にワックスやストラクチャの摩擦係数を計算し、データベース化する。雪面状態に最も適合するワックスおよびストラクチャを選定するシステムを構築する。

4. 研究成果

スキー競技において、ワックスおよびストラクチャは勝敗を決める最重要要素である。これらの滑走性能は雪面状態や気象条件に大きく左右されるため、競技時に競技コースの雪面状態や気象条件に最も適合するワックスやストラクチャを選択することが最高の滑りを実現するために極めて重要である。そこで本研究では、ワックスおよびストラクチャを性能評価するための高精度 GPS 装置を開発した。この GPS 装置は測位精度 3cm 以下、寸法 18.5mm x 38.5mm x 78.5mm、重さ 64g である。後処理キネマティック測位方式により小型・軽量化を実現した。この GPS 装置はアンテナ、バッテリー、ロガー等を内蔵しており、他の外付け部品を必要とせず単体で高精度測位が可能である。



青葉テクノロジー AT-H-02

Kinematic GPSモード

水平方向精度: 2cm (移動時: 2DRMS)

サンプリング周波数: 10Hz

サイズ: 78.5 x 38.5 x 18.5 mm

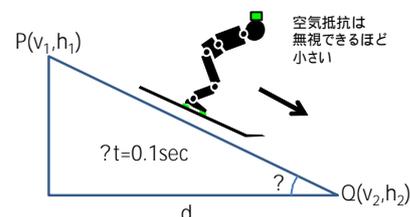
重さ: 64g

Multi-GNSS対応

(GPS, QZSS, GLONASS, BEIDOU)



図 1. 小型・軽量・高精度な GPS 装置



携帯型高精度GPSにより
現場で摩擦を計測する

摩擦係数推定

エネルギー保存則を用いる

$$\mu = \frac{h_1 - h_2}{d} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2gd}$$

・緯度経度高度はRTKLIB*で算出

・速度vはNMEAの\$GPRMCから抽出

・水平距離dは ヒュベニの式により算出

・g=9.80665m/s²

* <http://www.rtklib.com>

図 2. GPS 装置を用いた摩擦係数推定

図2に高精度GPS装置を用いた運動解析システムによる摩擦係数推定手法を示す。連続するGPS測位点(図2ではPおよびQ)間で消失した力学的エネルギー(運動エネルギーと位置エネルギーの和)がすべて摩擦エネルギーに変換されたと仮定し摩擦係数を推定した。ここで、ワックススターは滑走中クラウチング姿勢を維持している。クラウチング姿勢の抵抗面積は約0.22m²とし、風圧によるエネルギー損失の影響を考慮に入れている。

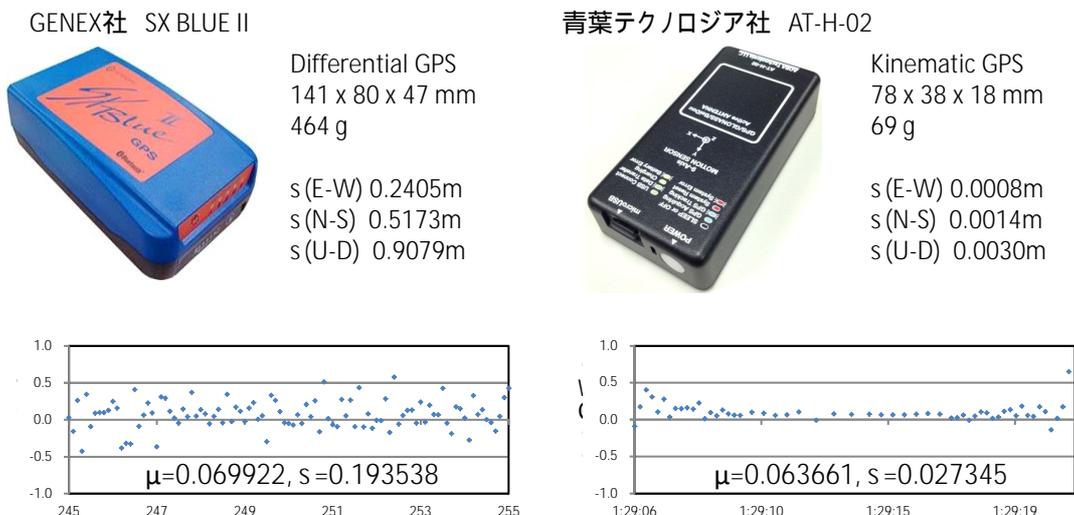
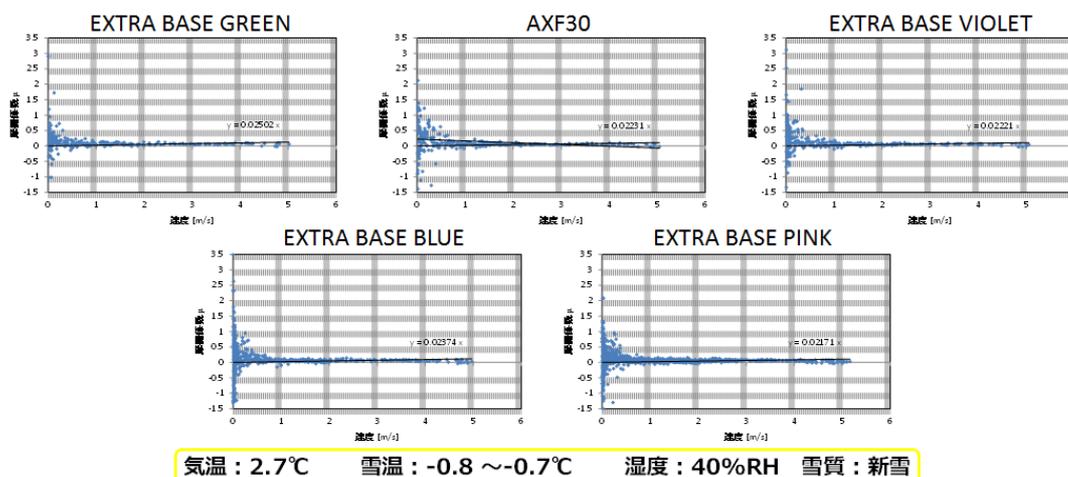


図3. GPS装置を用いた摩擦係数推定の比較

図3にGPSセンサを用いた摩擦係数推定結果を示す。図3の左側は測量用差動GPSを、右側は本研究の高精度キネマティックGPSを使った場合である。測量用差動GPSを使った場合と比べて高精度キネマティックGPSを使った場合、摩擦係数の推定誤差を約一桁小さくできていることが分かる。



	AXF30	VIOLET	PINK	BLUE	GREEN
温度帯	-4~3℃		0~10℃	-12~-3℃	-20~-10℃
摩擦指数 β	0.01452	< 0.01490	< 0.01556	< 0.01668	< 0.01759
最高速度 m/s	5.047 (3)	5.058 (2)	5.163 (1)	4.974 (5)	5.016 (4)

図4. 現場におけるスキーワックスの摩擦係数推定と最適選定結果

図4にガリウム社のベースワックス4種と高フッ素含有ワックス1種の計5種類のスキーワックスを摩擦係数推定により評価した結果を示す。スキーワックスには其々メーカーが推奨する温度帯や雪質がある。高精度GPS装置を用いた摩擦係数推定では、メーカーの推奨と合致する結果が得られた。一方、従来のタイム計測によるスキーワックス評価では、メーカーの推奨とは異なる結果が得られた。したがって、高精度GPS装置を用いた摩擦係数推定の方が従来のタイム計測よりも正確に最適ワックスを選定できた。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 15 件)

Stoggl Thomas, Ohtonen Olli, Takeda Masaki, Miyamoto Naoto, Synder Cory, Lemmettyl Teemu, Linnamo Vesa, Lindinger Stefan Josef, Comparison of Exclusive Double Poling to Classic Techniques of Cross-country Skiing, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 査読有、Vol.51, 2019, pp.760-772

DOI: 10.1249/MSS.0000000000001840

畠山望、岡島淳之介、岡部孝裕、宮本直人、スキーワックス開発を高度化する計算化学と高精度計測、*化学工学*、査読有、Vol.82、2018、pp.70-73

Miyamoto N., Morimoto T, Mori S, Miura T, Okushi K, Bonnaud P, Miura R, Suzuki A, Hatakeyama N, Isomura A, Miyamoto A, A Portable Post-Processed Kinematic GNSS Receiver for Advanced Ski Measurements, *Science and Skiing*, 査読有、Vol.7, 2017, pp-386-393

Naoto Miyamoto, Tatsuo Morimoto, Satoshi Mori, Tetsu Miura, Kotaro Okushi, Patrick Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Nozomu Hatakeyama, Akihiro Isomura, and Akira Miyamoto, A Portable Post-Processed Kinematic GNSS Receiver for Advanced Ski Measurements, Abstract of the 7th International Congress on Science and Skiing, 査読有、2016

Naoto Miyamoto, Tatsuo Morimoto, Kayako Araki, Kotaro Okushi, Patrick Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Nozomu Hatakeyama, and Akira Miyamoto, Accurate Estimation of the Coefficient of Kinetic Friction using Post-Processed Kinematic GNSS、Proceeding of the International Symposium on GNSS 2016、査読有、2016

他 10 件

[学会発表](計 38 件)

Naoto Miyamoto, Masaki Takeda, Thomas Stoggl, Olli Ohtonen, Vesa Linnamo, Tatsuo Morimoto, Ryuji Miura, Nozomu Hatakeyama, Akira Miyamoto, Masanori Hariyama, and Stefan Lindinger, Validation of Wearable Kinematic GNSS Receiver for Cross-Country Skiing, 8th International Congress on Science and Skiing, 2019

Masaki Takeda, Naoto Miyamoto, Olli Ohtonen, Stefan Lindinger, Vesa Linnamo, and Thomas Stoggl, Classical cross-country technique detection by high precision kinematic global navigation satellite system, 8th International Congress on Science and Skiing, 2019 (招待講演)

Miyamoto, N., Morimoto, T., Okushi, K., Miura, R., Suzuki, A., Hatakeyama, N., Miyamoto, A., The Analysis of Ski Friction using Kinematic GNSS, 22th Annual Congress of the European College of Sport Science, 2017

宮本直人、森本達郎、森敏、大串巧太郎、ポノー・パトリック、三浦隆治、鈴木愛、畠山望、宮本明、キネマティック GPS を用いたスキーワックスの摩擦係数推定 - ストライベック曲線の適用 - 、日本スキー学会第 27 回大会、2017

Naoto Miyamoto, Tatsuo Morimoto, Satoshi Mori, Tetsu Miura, Kotaro Okushi, Patrick Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Nozomu Hatakeyama, Akihiro Isomura, and Akira Miyamoto, A Portable Post-Processed Kinematic GNSS Receiver for Advanced Ski Measurements, 7th International Congress on Science and Skiing、2016

Naoto Miyamoto, Tatsuo Morimoto, Kayako Araki, Kotaro Okushi, Patrick Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Nozomu Hatakeyama, and Akira Miyamoto, Accurate Estimation of the Coefficient of Kinetic Friction using Post-Processed Kinematic GNSS、International Symposium on GNSS 2016

宮本直人、森本達郎、荒木佳也子、大串巧太郎、ポノー・パトリック、三浦隆治、鈴木愛、畠山望、宮本明、キネマティック GPS ロガーの小型化と測位精度評価、日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2016

Naoto Miyamoto, Tatsuo Morimoto, Kayako Araki, Kotaro Okushi, Patrick A. Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Nozomu Hatakeyama, and Akira Miyamoto, A Compact, Lightweight and Millimeter-Accurate GPS Logger, International Conference on Worldwide Leaders Meeting on Global/Local Innovations for Next Generation Automobiles、2016 (招待講演)

他 30 件

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：滑走用具およびその製造方法
発明者：森永均、石田博之、宮本直人
権利者：森永均、石田博之、宮本直人
種類：特許
番号：特願 2 0 1 6 - 1 1 6 3 9 5
取得年：2016 年
国内外の別： 国内

取得状況（計 1 件）

名称：Sliding instrument and method for manufacturing same
発明者：森永均、石田博之、宮本直人
権利者：森永均、石田博之、宮本直人
種類：特許
番号：W02017213051A1
取得年：2019 年
国内外の別： 外国

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.aki.che.tohoku.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：竹田 正樹

ローマ字氏名：(TAKEDA, masaki)

研究協力者氏名：森 敏

ローマ字氏名：(MORI, satoshi)

研究協力者氏名：宮本 明

ローマ字氏名：(MIYAMOTO, akira)

研究協力者氏名：畠山 望

ローマ字氏名：(HATAKEYAMA, nozomu)

研究協力者氏名：三浦 隆治

ローマ字氏名：(MIURA, ryuji)

研究協力者氏名：森本 達郎

ローマ字氏名：(MORIMOTO, tatsuo)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。