

令和元年6月19日現在

機関番号：31101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01705

研究課題名(和文) アルペンスキーにおける高速ターン技術の実滑走計測・解析と定量的評価

研究課題名(英文) Measurement and analysis of actual skiing and quantitative evaluation of alpine ski technique for faster skiing

研究代表者

吉川 昌則 (YOSHIKAWA, MASANORI)

青森大学・総合経営学部・教授

研究者番号：60305977

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)：本研究では、計測環境が厳しいアルペンスキーの実滑走運動解析システムの開発を行った。システムは、小型3軸力センサ、小型9軸ワイヤレスモーションセンサとGPSセンサを使用し、雪上での実滑走計測を行うことができる。これにより、ハイスキルスキーヤーが実践する速く滑走するためのターン技術を定量的に示すことができた。また、得られたデータの解析より、滑走速度に関わる要因の一つにスキーヤーが行う雪面への働きかけが重要であることが定量的に示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アルペンスキーにて実践される技術は、広大な雪山という過酷な環境で行われるため、実際の滑走を直接計測することは難しい。アルペンスキー技術はその実践環境から非常に複雑で多様であり、その研究は写真や映像などの2次元情報から得られたデータからが多い。また、計測タイムを利用した技術評価も実際の指導現場では行われるが、どちらもそれらの評価は定性的評価となることがほとんどである。本研究によって、ハイスキルスキーヤーが行う高速ターン滑走技術を雪上での実滑走計測にて定量的に示すことが可能となり、有効なアルペンスキー技術を定量的に提示することができ、アルペンスキーにおけるコーチングに役立つことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a real sliding motion analysis system for alpine skis restricted measurement environment is severe. The system can use 3-axis compact force sensors, small 9-axis motion sensors and a GPS sensor to make actual gliding measurements on snow. This has allowed us to quantitatively show the turn skill to slide quickly that high-skill skiers practice. In addition, analysis of the obtained data showed quantitatively that it is important for the skier to work on the snow surface as one of the factors related to the sliding speed.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：アルペンスキー 技術 定量的評価 加速度 高速ターン コーチング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

アルペンスキーは、重力を利用して雪面を滑走するスポーツであり、アルペンスキー競技においては、スタートからゴールまでの滑走速度を、1/100秒単位で競い合うスポーツである。運動のメカニズムを適切に定量化するためには、実際の雪面を滑走するスキーマーの運動計測・解析が必要不可欠である。

これまでの研究では、ウェアラブルセンサシステムを利用した実滑走運動計測により、実滑走における運動の特徴を示すことが主とされているが、ハイスキルスキーマーが実際に行う高速での実滑走計測までは行われておらず、1/100秒を競うアルペンスキー競技において重要となる技術要因を定量的に示すまでには至っていない。

そこで、ハイスキルスキーマーの実滑走計測が可能なウェアラブルセンサシステムとそこで行われている技術要因を明らかにすることができるシステムを開発し、その計測・解析から、速く滑るための技術要因を特定することにより、アルペンスキーにおける速く滑るためのターン技術論や指導論、コーチングに役立つことが期待される。

### 2. 研究の目的

本研究では、ウェアラブルセンサシステムをベースとしたアルペンスキーの実滑走運動解析システムの開発とハイスキルアルペンスキーマーの運動計測・解析を行い、速く滑走するためのターン技術要因を特定し、技術的評価を定量的に行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

- (1) スキーマー用ウェアラブルモーションセンサシステムの開発。
- (2) スキーマー用ウェアラブル操作力・反力計測システムの開発。
- (3) 開発したスキーマー用ウェアラブルモーションセンサシステム及びスキーマー用ウェアラブル操作力・反力計測システムによる技術解析法の検証。
- (4) 実滑走におけるハイスキルスキーマーの運動計測と解析。
- (5) 滑走速度に関わる技術要因の検証と評価方法の開発。

### 4. 研究成果

(1) アルペンスキー技術は、その実施環境から DLT 法や地面設置型フォースプレートなどでの計測が難しい。本研究では計測範囲によって精度が変化しないハイスキルアルペンスキーマー用ウェアラブルモーションセンサシステムを開発した（図1）。モーションセンサは市販されているものを使用し、雪山の厳しい環境による影響に耐え、スキーマーへの拘束を最大限回避するための取り付け位置、方法等を考慮し、適切に制御、計測情報の収集を行うシステムとした。また、滑走軌跡を計測するために GPS レシーバを頭部に取り付け、モーションセンサと同期可能なシステムとした。

(2) アルペンスキー用雪面反力計測システムを開発した（図2）。歩行解析用に開発されている小型かつ計量な力センサを取り付け可能なアルミ製のプレートを開発、作製した。アルミプレートの形状や取り付け位置は、スキー板の性能や操作性に大きな影響を与えることから、スキーメーカーが使用している競技用プレートを参考にした。作製したアルミプレートは下部パーツと上部パーツからなり、下部パーツがスキー板に、上部パーツがビンディングシステムに取り付け可能である。上部パーツと下部パーツの間に、4個の小型3軸力センサが取り付けられている。

(3) これらの開発したシステムと技術解析法の検証のために、ハイスキルアルペンスキーマーによる実滑走計測実験を行った。本実験は、ウェアラブルモーションセンサシステム、アルペンスキー用雪面反力計測システムと GPS レシーバを同期させて行った。技術解析のために、高速ターン技術としてハイスキルスキーマーが定性的に用いている滑走技術を3分類して比較実験を実施した。  
(A) ターン前半は外脚へ加重、ターン後半は外脚において減圧操作を行う。  
(B) ターン前半は外脚へ加重、ターン後半においても外脚へ加重操作を行う。  
(C) 意図的な加重、減圧操作は



Fig. 1 An arrangement of experimental equipment.

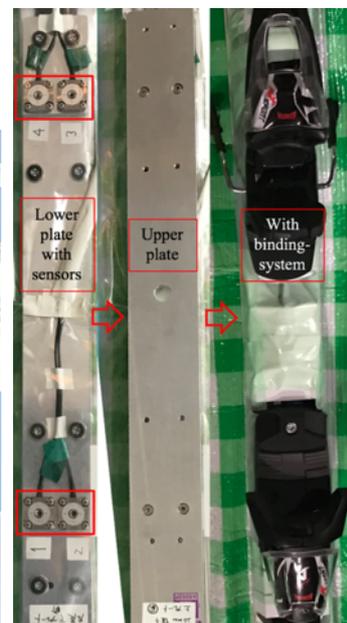


Fig. 2 Measurement systems of applied forces and arrangement of force sensors.

行わない。

これら3種類の技術を用いた滑走をズレのないカービング中回りターンを中斜面にて滑走した。定性的に最も高速滑走に適した技術として行われるのは、A技術である。

(4) 雪面反力計測システムから得られたデータを図3、図4に示す。力の結果より、y軸の結果に多く特徴が現れており、条件(C)においては、力の発生は小さく、平坦なグラフを示したが、条件(A)、(B)においては、切り替え前後にまたがって大きな山なりの力の変化を示した。本結果は、ターンの始動期から中盤、後半にかけて加重が移動したことを示している。さらに条件(A)、(B)において、ターン始動時における力の大きさとターン終了時における力の大きさが異なり、条件(A)においてはターン終了時の大きさがターン始動時の大きさよりも高い力を示した。条件(B)において、ターン始動時と終了時における力の大きさは、ほぼ同様の傾向を示した。また、z軸、x軸成分においても、若干ではあるが条件(A)における力よりも条件(B)における力の方がターン終了時まで大きくなっていった。以上より、定性的な操作によって発生する雪面反力に違いが現れていることを示すことができた。

モーションセンサより得られた加速度の結果から、条件(A)の加速度は、条件(B)の加速度よりも大きいピーク値が得られた(図5)。また、ターン切り替え直前においても条件(A)の加速度は条件(B)の加速度よりも大きい値を示した。本結果は、滑走後半になるほどより顕著に現れた。以上より、滑走全体においては、条件(A)における滑走が最も速く滑走していることを表しており、定性的な加圧操作及び減圧操作が加速に対して有効に働いていることを示すことができた。

(5) 力の結果から行われた技術によって雪面に働く力に違いが生じて、加速度にも違いが生じた。身体運動を定量的に捉えるためには、実際にハイスキルスキーヤーがそれぞれの技術において、どのような運動を行ったのかを検証する必要がある。そこで、モーションセンサから得られたデータを基に、膝関節の動きを図6に示す。Aでは切り替え直後から膝関節の伸長が行われ、ターン後半に向けて屈曲が行われている。Bでは、切り替え直後からターン終了時まで一貫して伸長動作が行われている。Cでは切り替え直後からターン後半までほぼ一定の膝関節角度が保たれている。これらのことから、運動要因としては膝関節を中心とした下肢の運動によって技術に違いが生じていることが定量的に示すことができた。

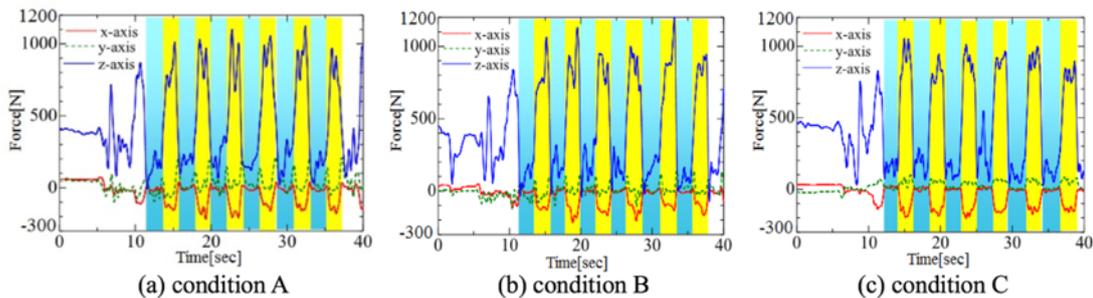


Fig. 3 Results for forces in each condition.

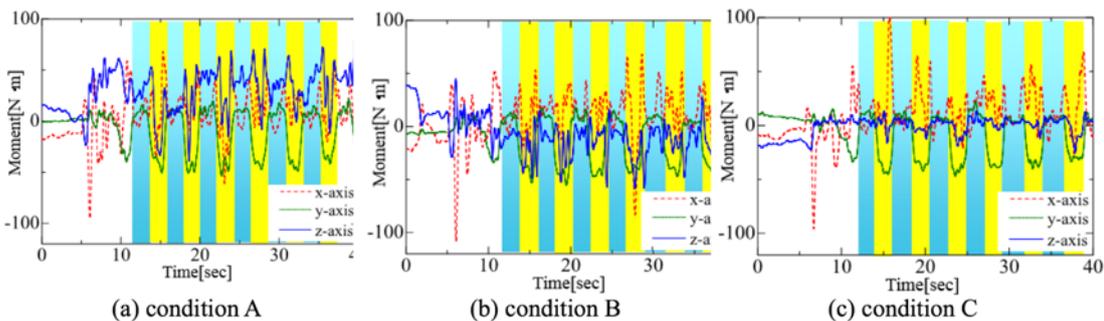


Fig. 4 Results for moments in each condition.

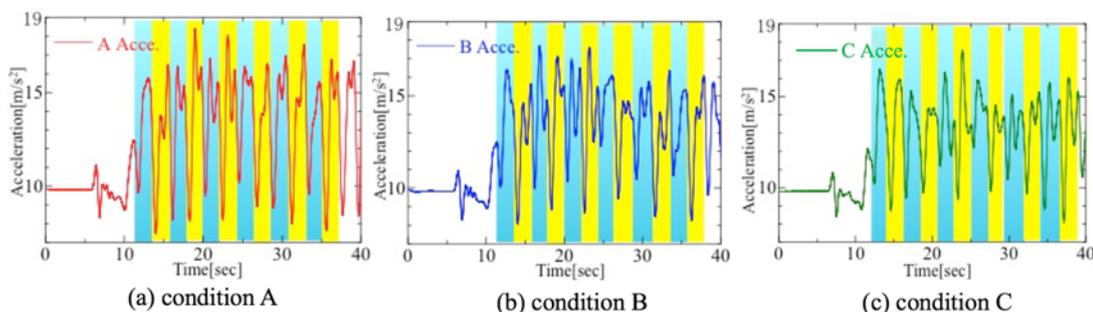


Fig. 5 Results for combining accelerations in each condition.

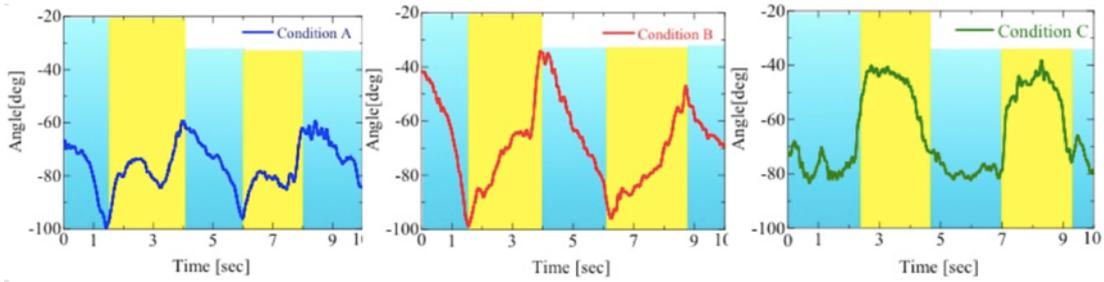


Fig. 6 Results for knee angle in each condition in 10 sec.

(6) 膝関節の動きの違いによって、雪面に対してかかる力に違いが生じ、それによって加速度に違いが生じることが定量的に示すことができた。しかし、実験にて行った3種類のターン弧が一定のサイズであることを検証する必要がある。同じ斜面を同じ技術で滑走していても、ターン弧の大きさに違いがあると加速度に違いが生じる。また、力センサのデータから、ターンの切り替え期を特定することはできるが、フォールラインの位置までは特定できない。これらのことを検証するためには、GPS データからの

検証が必要になる。GPS データからの検証によって、フォールラインの位置が推定できる。また、このデータとモーションセンサから得られた加速度データを併せてデータ表示できるプログラムを作成、実行することによって、PC 上で表示して直感的にターン位置と加速度の関係が提示できれば、指導現場でも役立つことが期待される。

このためのプログラムを Processing にて作成した (図 7)。GPS データから得られた軌跡を3試行と比較するとほぼ同様の滑走軌跡、ターン弧を描いていることが示され、フォールラインの位置を特定することができた。また、3試行とも時間軸を合わせることで、それぞれの技術間の加速度の推移、違いとターン位置を直感的に確認することができる。このプログラムから、同じターン軌跡を描いているが、行われる技術によって加速度に違いが生じていることを見取ることができる。

また、このデータに関しては、GPS センサとモーションセンサからのデータのみで提示することができるため、実験が比較的容易であり、より指導現場での利用に有意なシステムであるといえる。

(7) 本研究においては、3種類の滑走技術を用いた実滑走計測をハイスキルスキーヤーを非験者として実施した。被験者は EURO Speed Test (Eurotest) をパスしたフランス国家検定スキー教師資格所有者であるので、十分なアルペンスキー競技技術と指導技術を有しているといえる。しかしながら、実際のアルペンスキーレースにおいては、様々な斜面状況での滑走技術が要求されるので、本実験にて実施した3技術だけの検討では不十分である可能性がある。本研究にて示された下肢の運動によるスキーへの働きかけが加速度、すなわち滑走速度に影響を与えることは、速い滑走を行うための基本的な技術だと考えられるが、これら以外の技術要因についても今後検討する必要がある。そのための研究の糸口として、アルペンスキーワールドカップ SL 競技における競技成績と完走率について統計的検討を

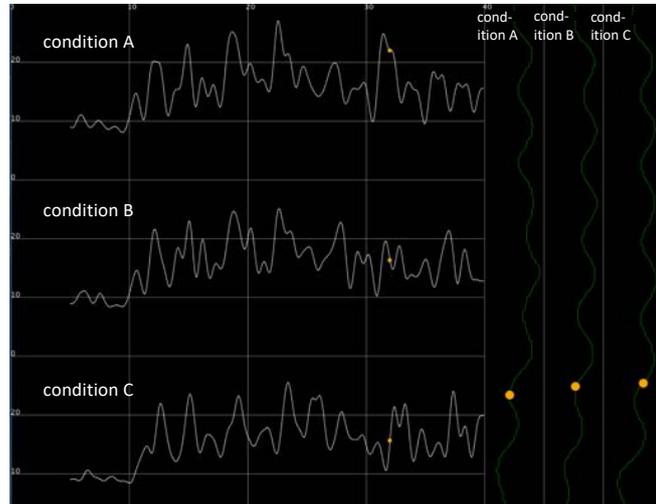


Fig. 7 Indicating turn figure from GPS sensor and acceleration from motion sensor. The points can move by 0.1 seconds.

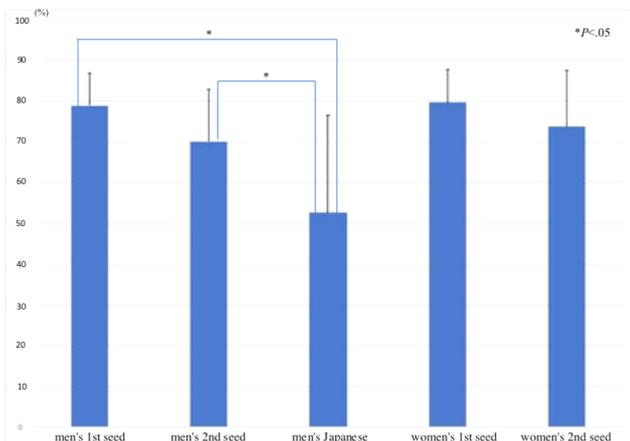


Fig. 8 Completion rate among the groups, men's 1st seed, men's 2nd seed, men's Japanese, women's 1st seed and women's 2nd seed racers in WCSL 2017/18 season.

行った。SL 競技は、その競技特性から技術系種目と言われ、最も完走率が低くなる傾向にある。そのため、技術力を示す一つの指標になり得ると考えた。結果、男子選手に関しては競技成績と完走率に有意差がみられた。女子では有意差が見られなかった。日本人選手のデータ数は少ないが、男子日本人選手の完走率は約 50%ほどで有意に低い値となっている。完走できないと言うことは、それだけ技術力が低いとも考えられ、何かに問題があると言わざるを得ない。これらは今後の研究課題である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

吉川昌則、土岐仁、廣瀬圭、アルペンスキーターンにおける技術定量化に関する研究-スキー操作と加速度に着目した定量的解析-、青森大学学術研究会研究紀要、査読有、40 巻、2017、51-63

〔学会発表〕(計 4 件)

- ①吉川昌則、廣瀬圭、近藤亜希子、千葉遥、土岐仁、アルペンスキーターンにおける技術定量化に関する研究-並進・回転運動に着目した定量的解析-、日本スキー学会 2016 年度秋季大会、2016
- ②吉川昌則、廣瀬圭、近藤亜希子、千葉遥、土岐仁、アルペンスキーターンにおける高速ターン技術の実滑走計測・解析と定量的評価-実滑走計測と加速度に着目した定量的評価-、日本スキー学会第 27 回大会、2017
- ③吉川昌則、アルペンスキー競技における技術要因の検討に関する一考察-ワールドカップスラロームにおける完走率から-、日本スキー学会 2018 年度秋季大会、2018
- ④MASANORI YOSHIKAWA, A STUDY FOR QUANTIFICATION OF ALPINE SKIING TECHNIQUE RELATED TO FASTER SKIING USING SENSOR SYSTEMS, 8TH INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENCE AND SKIING, 2019.

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 (2016 年度～2017 年度)

研究分担者氏名：土岐 仁

ローマ字氏名：Doki Hitoshi

所属研究機関名：秋田大学

部局名：名誉教授

職名：名誉教授

研究者番号 (8 桁)：80134055

研究分担者氏名：廣瀬 圭 (2016 年度～2017 年度)

ローマ字氏名：Hirose Kiyoshi

所属研究機関名：信州大学

部局名：繊維学部

職名：特任准教授

研究者番号 (8 桁)：50455870

研究分担者氏名：坂井 雄介 (2018 年度)

ローマ字氏名：Sakai Yusuke

所属研究機関名：青森大学

部局名：ソフトウェア情報学部

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：10265134

※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。