

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01548

研究課題名(和文) ウェアラブルセンサシステムによるスノースポーツ用運動解析システムの開発と評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of motion analysis system for snow sports using wearable sensor system

研究代表者

廣瀬 圭 (HIROSE, KIYOSHI)

信州大学・繊維学部・特任准教授

研究者番号：50455870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、計測範囲が広大かつ計測条件の厳しいスノースポーツにおける運動計測・解析を行うためのシステムとして、慣性センサ・地磁気センサを搭載したモーションセンサと複数の小型力センサを搭載した操作力・雪面反力計測システムを用いたシステムを開発し、操作力・雪面反力を用いたスノーボード・ターンの運動解析、滑走速度と反力を用いたスキー・ターンにおけるターンモデルの構築、そしてターンモデルを用いた進行方向に関する加速度解析を行い、スノースポーツにおける新しい要素を定量的に示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed the wearable sensor system using the motion sensor installing inertial and magnetic field sensors and the measurement system of control and reaction forces installing compact force sensors. We analyzed the snowboarding turns using control and reaction forces, and we established the turn model using gliding velocity and reaction force in ski turns, and we conducted the acceleration analysis in traveling direction component using turn model. We indicated quantitative new factors in snow sports.

研究分野：計測工学

キーワード：スノースポーツ 慣性センサ スポーツ工学

1. 研究開始当初の背景

スノースポーツ (スキー、スノーボード) は、重力を利用して雪面を滑走するスポーツであり、スキーは主に2枚のスキー板、スノーボードは1本のスノーボード板を用いて滑走を行うことから、他のスポーツとは運動のメカニズムが大きく異なる。スノースポーツに関する研究として、これまでにスキーロボット、スノーボードロボットの開発やスキー板、スノーボード板に関する研究、ターンのシミュレーションに関する研究、等が行われているが、屋内環境における限定的な研究であり、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ヤー、スノーボーダーの運動計測・解析が必要不可欠である。しかし、スキーヤー、スノーボーダーは専用のウェアを着ていることや雪面を高速で滑走すること、計測環境が斜度を有した屋外であり計測範囲が広大であること、氷点下であり雪の影響もあることから、マーカの追従等が難しく、スポーツの運動計測に主として使用されているモーションキャプチャやビデオカメラを用いた DLT 法 (Direct Linear Transformation Method) の使用は難しい。これまでに研究代表者らは、計測が難しい実滑走におけるスキー・ターン、スノーボード・ターンの運動計測を行い、運動学的解析や動力的解析を展開している。しかし、これまでの研究は実滑走における運動の大まかな特徴を表すために行われており、使用してきたシステムもスノースポーツの運動計測に適したシステムではないため、スキル評価等に使用することが難しいのが現状である。そこで、ウェアラブルセンサシステムを用いてスキーヤー、スノーボーダーの運動を簡易に計測でき、スキル評価が可能なシステムの開発が必要である。また、本システムを用いることにより、先行研究よりもより詳細解析が可能となり、ターンのメカニズム解明への利用が期待される。

2. 研究の目的

計測範囲に左右されず、簡易な計測が可能な小型慣性センサ (ジャイロセンサ、加速度センサ) をベースとし、スキーヤー、スノーボーダーに簡易に取り付けができ、氷点下等に対応したシステム、スキーヤー、スノーボーダーが板に加えている操作力、雪面から受ける反力を計測するために、ブーツと板の間にかかる6分力 (力・モーメント) を簡易に計測可能なシステムを開発し、ウェアラブルセンサの計測情報から身体情報 (センサから関節までの距離、各身体部位の質量、慣性モーメント、重心位置等) を簡易に推定する方法を開発することにより、解析性能を向上させる。その上で、実滑走におけるスキーヤー、スノーボーダーの3次元姿勢情報、関節トルク等を高精度に推定するための方法を開発し、それらを組み合わせることによって、スノースポーツにおいてスキーヤー、スノーボ

ーダーの運動を定量化するためのウェアラブルセンサシステムを開発する。

3. 研究の方法

本研究では、システムの開発と解析方法の開発を行う。スノースポーツ用ウェアラブルモーションセンサシステムの開発として、慣性センサ (ジャイロセンサ、加速度センサ)・地磁気センサをスキーヤー、スノーボーダーの身体に直接取り付けることにより、計測範囲によって精度が変化しないスノースポーツ用ウェアラブルモーションセンサシステムを開発する。モーションセンサシステムはすでに市販されているが、雪山の厳しい環境は想定していないため、環境による影響に耐え、かつスノーボーダー全身の運動を長時間計測するためには、専用のシステムを開発する必要がある。そこで、ワイヤレスモーションセンサシステムのようなバッテリーを個々のシステムに搭載している形式ではなく、氷点下による影響を回避するための熱源等を有し、かつ計測に必要な容量を持つバッテリーや最大限小型化したデータロガーを開発する。これらを専用のポシェットやポケットに収納し、スキーヤー、スノーボーダーへの拘束を最大限回避するために最小限の配線を用いて全身に取り付けられたセンサシステムの制御、計測情報の収集を行うシステムとする。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ることにより、モーションセンサと同期可能なシステムとする。

スノースポーツ用ウェアラブル操作力・反力計測システムの開発として、スノースポーツにおける運動は、スキーヤー、スノーボーダーが発生させる作用力と雪面からの反作用力による雪面状態の変化とスキー板、スノーボード板の変形によって行われることから、雪面反力を計測することは非常に重要である。しかし、すべての雪面反力 (6分力:6軸の力・モーメント) を計測するためには、比較的大型かつ高重量の力センサを搭載する必要がある。そこで、歩行解析用に開発されている小型かつ軽量のウェアラブルフォースプレートに専用のアタッチメントを取り付けることによって、拘束を最小限に抑えつつ6分力の操作力・雪面反力を計測可能なシステムとして開発する。

スノースポーツにおける運動計測を簡易化・高精度化するための方法の開発として、ウェアラブルセンサを用いた運動計測・解析において、高精度な姿勢推定や動力的解析を行うためには、センサの装着位置情報や傾斜情報が重要であり、予め別の方法を用いて関節間距離やセンサから関節までの距離や傾斜を測定しておく必要があるが、スノースポーツにおいてはウェアを着ていることや専用のブーツを履いていることから、モーションセンサを装着後にこれらを測定することは難しい。そこで、モーションセンサから

得られる計測情報を用いてセンサから関節までの距離や傾斜を推定する方法を開発する。

実滑走におけるスキーヤー、スノーボードの運動解析法の開発として、ウェアラブルセンサシステムから得られる計測情報から3次元姿勢情報を推定し、3次元剛体リンクモデルを適用することによって可能となる運動学的解析やモーションセンサの計測情報と操作力・雪面反力計測を併用することによって可能となる動力学的解析法を開発を行う。また、GPSレシーバより得られる位置情報を併用することによる滑走軌跡・速度推定法を開発を行う。

実滑走におけるスノーボードによる計測実験・解析として、計測システムをスキーヤー、スノーボードにそれぞれ取り付け、実際の雪面（屋外スキー場）における滑走実験を行い、得られた計測情報に開発した解析法を適用することによってスキーヤー、スノーボードの運動を定量化するとともに、本システムと解析法の有効性について検証を行う。さらに、スキルの違いによってどのように滑走フォームや力の使い方が異なるかを解析できるかについて調べるため、初級者から上級者までのスキーヤー、スノーボードについての運動計測・解析を行い、スキルの違いによるターンのメカニズムの違いを明らかにする。

4. 研究成果

慣性センサ・地磁気センサを搭載したウェアラブルモーションセンサと小型力センサを搭載した操作力・雪面反力計測システムを開発し、スキーヤー、スノーボードによるターンの計測実験・解析を行った。スノーボードにおけるターンの計測実験において、操作力・雪面反力計測システムより得られた力・モーメントを用いた解析を行った結果、初級者と上級者によって力の使い方が大きく異なることが明らかとなった。

雪面反力の比較結果を Fig. 1~Fig. 4 に示す。なお、スノーボードによってターンを行う時間が異なるため、バックサイドターンを 0~50%、フロントサイドターンを 50%~100%として正規化した結果を示している。

力の結果 (Fig. 1, Fig. 2) に着目すると、先行研究における左足の Z 軸力成分は本研究の結果よりも小さく、右足の Z 軸成分は大きくなっており、全体的に後ろ足荷重になっていることを示している。また、バックサイドターン中において Z 軸力成分の差はより大きいため、より後ろ足荷重が顕著に現れている。モーメントの結果 (Fig. 3, Fig. 4) に着目すると、Y 軸モーメント成分が最も大きく変化しており、両結果ともに同様の傾向を示した。一方、Z 軸モーメント成分に着目すると、先行研究の結果において、左足に Z 軸モーメントが変化しており、スノーボードを回転させるように力を発生させていた。X 軸モーメン

ト成分に着目すると、本研究の結果においては、右足において X 軸モーメントが変化しており、スノーボードをたわませるように力を発生させていた。以上より、スキルの違いによる雪面反力の違いについてまとめると、前足荷重と後足荷重、スノーボードを回転させる力、スノーボードをたわませるための力が顕著に表れていた。

雪面を滑走している状態においては、常に空気抵抗や雪面からの摩擦を受けていることから、滑走方向に対して前傾姿勢を保持する必要がある。本研究における結果は、先行研究の結果と比べて前足荷重となっており、滑走方向に対して前傾姿勢を保持している。スノーボード・ターンにおいて、スノーボード板の横ずれが少ないカービングターンと横ずれを行うことによってターンを行うドリフトターンが挙げられるが、ドリフトターンにおいては、横ずれを発生させるためにスノーボード板を回転させるための力が必要となる。先行研究の結果では、ターンを行うためにスノーボード板に回転させるための力を発生させていることから、ドリフトターンに近いターンを行っていることを示しており、カービングターンを行うためのスキルの違いが表れている。

カービングターンにおいては、スノーボードのサイドカーブやたわみを用いてターンを行っていることから、スノーボードをたわませる力が重要である。そこで、スノーボード全体にかかるモーメントの合力（たわみ、ひねり）を算出した。

本研究、先行研究において得られた計測情報より算出したモーメントの合力の結果を Fig. 5, Fig. 6 にそれぞれ示す。Y 軸モーメント、Z 軸モーメントの結果に着目すると、本研究の計測実験より得られたモーメントの変化は、先行研究の計測実験より得られたモーメントよりも小さい。本結果は、カービングターンを行うためには、Y 軸、Z 軸におけるひねりに関するモーメントの発生を抑える必要があることを示している。X 軸モーメントに着目すると、本研究の計測実験より得られたモーメントは、ターン切替期付近において一時的に変化した後、ターン中は比較的一定に発生している。また、バックサイドターンとフロントサイドターンとでは、モーメントの大きさが異なり、バックサイドターン時のモーメントはフロントサイドターン時のモーメントよりも大きい。一方、先行研究の計測実験より得られた X 軸モーメントには、ターン切替期における変化はなく、ターン中の変化も不規則である。これらの結果において、ターン切替期付近におけるモーメントの変化は、ターンを切り替えるための重要な技術である抜重を示しており、抜重を行うことによりターンの切り替えを効率よく行っていることを示している。また、バックサイドターンとフロントサイドターンにおけるモーメントの違いは、ターンの状況に応じ

てスノーボードのたわみを変化させていることを示しており、本研究において得られた結果より、スノーボード板にたわみを発生させることによりターンを行っていることを示している。

以上より、先行研究における結果との比較、モーメントの合力を用いた解析を行うことにより、スキルの違いによるカービングターンを行うための雪面反力を示すことができた。

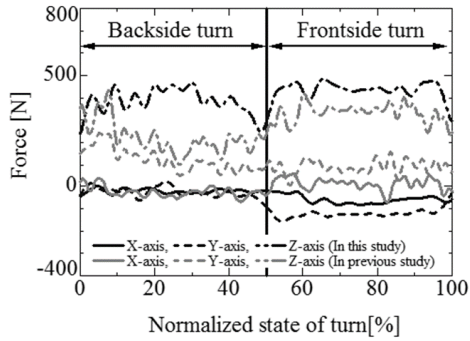


Fig. 1 Results for the forces component of left foot

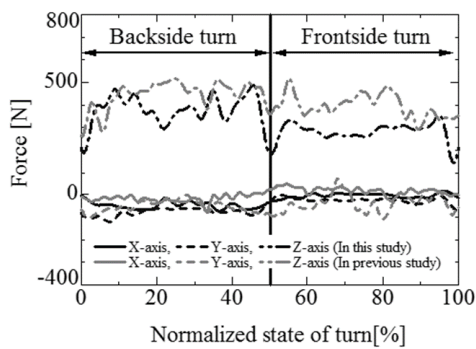


Fig. 2 Results for the forces component of right foot

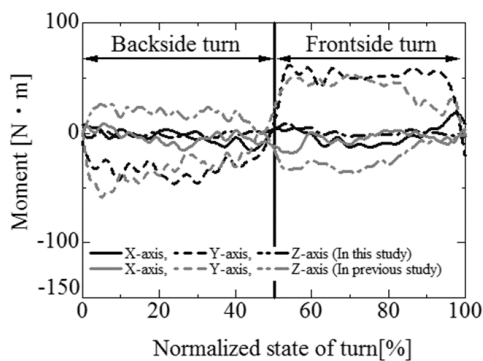


Fig. 3 Results for the moments component of left foot

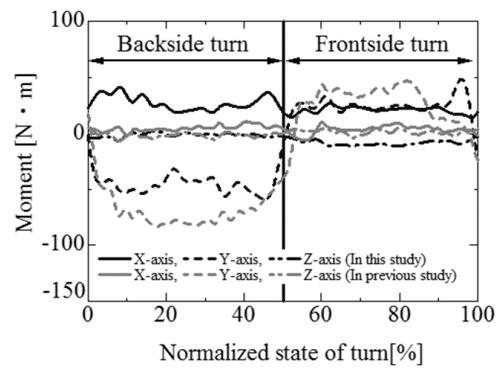


Fig. 4 Results for the moments component of right foot

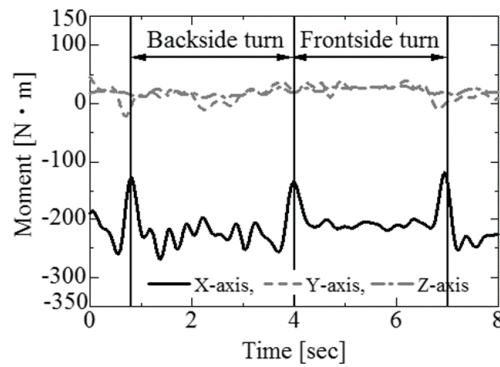


Fig. 5 Results for the moments component about torsion and deflection of left foot

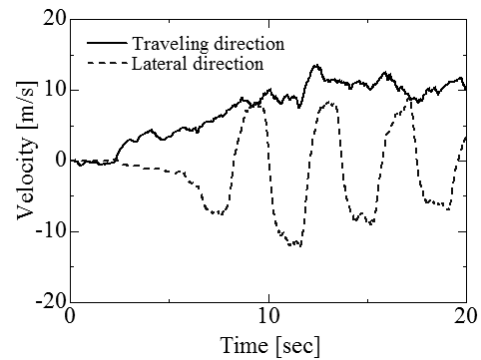


Fig.6 Gliding velocity in carving turn

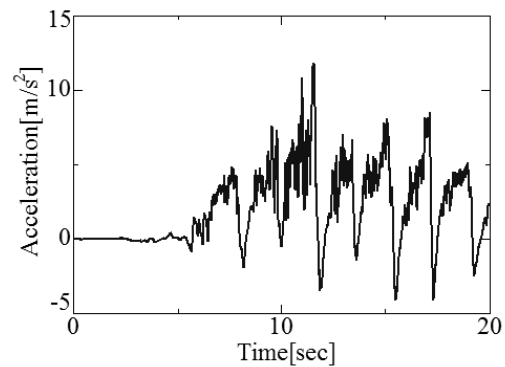


Fig.7 Traveling direction component of acceleration in carving turn

スキーにおけるターンの解析において、得られた計測情報を用いたスキー・ターンのメカニズム解析を行い、雪面反力と滑走速度（スキーヤーの横方向成分）に関係があることを見出し、次式に示すターンモデルを提案した。

$$V_y = aF_y(F_z + b) + c \quad (1)$$

ここで、 V_y は滑走速度の左右方向成分、 F_y は作用力の横方向成分、 F_z は作用力の垂直方向成分であり、 a 、 b 、 c はスキー板の特性を表すパラメータである。

さらに、ターンモデルの解析として、加速度の回転成分に着目し、回転方向の角速度と滑走速度（横方向成分）（Fig. 6）の関係に着目した解析を行い、これらの成分が発生することにより、ターン中においてこれらの角速度・速度が進行方向の加速度（Fig. 7）に変換されていることが示された。

さらに、スノーボードにおけるオーリー動作の運動計測・解析にも開発したシステムを使用した結果、計測情報を得ることができた。

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）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

1. 廣瀬圭, 近藤亜希子, ウェアラブルセンシングを用いた実滑走時のスキー動作計測・解析法について, 化学工学, 82-2, 88-91, 2018, 査読無
2. 廣瀬圭, 千葉遥, 近藤亜希子, 齊藤亜由子, 伏見知何子, 土岐仁, 雪面反力計測によるスノーボードにおけるカービングターンの運動解析に関する研究, スポーツ産業学研究, 26-2, 233-242, 2016, 査読有

〔学会発表〕（計 3 件）

1. 廣瀬圭, 近藤亜希子, 千葉遥, 実滑走情報に基づくターンモデルを用いた滑走速度・加速度解析に関する研究, 日本スキー学会第 28 回大会, 2018
2. 近藤亜希子, 廣瀬圭, 千葉遥, 土岐仁, ターンの回転半径に着目したスキーヤーの運動解析に関する研究, 日本スキー学会第 26 回大会, 2016
3. 廣瀬圭, 近藤亜希子, 土屋陽太郎, 千葉遥, 土岐仁, ウェアラブルフォースプレートを用いた関節トルク推定法に関する研究, シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 圭 (HIROSE KIYOSHI)
信州大学・繊維学部・特任准教授
研究者番号: 50455870

(2) 研究分担者

土岐 仁 (DOKI HITOSHI)
秋田大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 80134055

(3) 連携研究者

近藤 亜希子 (KONDO AKIKO)
秋田大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 00734972