

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16441

研究課題名(和文)実滑走におけるスノーボーダーの運動と板の状態計測を併用したターンのメカニズム解析

研究課題名(英文) Mechanism analysis of snowboard turns by combining motion and state measurement of snowboarding

研究代表者

近藤 亜希子 (KONDO, AKIKO)

秋田大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00734972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スノーボーダーの運動計測と板の状態計測を併用し、ターンのメカニズムを解析するために、実滑走においてスキルの異なるスノーボーダーの運動計測を行った。カービングターンを行う際にスノーボーダーが発生させる操作力及びスノーボード板の状態を表す要素としてスノーボード板のたわみ・ひねりに関するモーメントを示した。さらに、スノーボード・ターンの運動を定量化するために、雪面反力情報を用いたターン・モデルの構築を行い、操作力と板のたわみの関係について示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study deals with the mechanism analysis of snowboard turns by combining the motion and state measurement of snowboarding. We conducted the motion measurement by different skill levels of snowboarders on the actual snow field. The results indicated the snow reaction force generated by the motion of snowboarder and the moments related to torsion and deflection as the important factors representing the state of snowboard during carving turns. Furthermore, the model for snowboard turns representing the relationship of snow reaction force and snowboard deflection was established for quantifying the mechanism of snowboard turns.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スノーボード カセンサ モーメント カービングターン

1. 研究開始当初の背景

(1) スノーボード・ターンはスノーボーダーがスノーボード板に適切な操作力を与えることによって行われるが、スノーボード・ターンの運動計測・解析に関する研究は、スノーボーダーの運動に限定した解析が行われているのが現状である。ターンのメカニズムを解明するためには、スノーボーダーの運動だけでなく、スノーボード板の状態を把握し、スノーボーダーがどのように操作力を加え、スノーボード板にどのような影響(外力、変形等)が作用した結果、どのようなターン(エッジング量、ターン弧等)を行ったかについて明らかにする必要がある。

(2) 実滑走において、スノーボーダーは高速で広範囲を移動するため、スポーツの運動計測に主に用いられているモーションキャプチャやフォースプレートを利用することは難しい。また、スノーボード板等の材料の状態(応力等)を計測するための方法として、ひずみゲージを用いる方法が考えられるが、アンプ等によって全体のシステムが大規模になることや環境による温度特性が問題となるため、雪山等の環境に耐えかつ簡単にスノーボーダーの運動やスノーボード板の状態を計測する必要がある。そこで、スノーボード板の状態を含むスノーボード・ターンにおける運動を定量化し、詳細なメカニズム解析を行うことにより、安全にターンを行うための指導方法の構築や怪我の予防法の開発への利用が期待される。

2. 研究の目的

(1) これまでに、複数の小型 3 軸力センサを用いた片足、両足の雪面反力を計測可能なシステムを開発し、実滑走におけるスノーボーダーによる雪面反力を示しているが、スノーボード・ターンのメカニズムを明らかにするためには、実滑走の雪面反力情報からターンを行うために必要な要素について詳細に解析する必要がある。そこで、本研究ではスキルの異なるスノーボーダーによる雪面反力計測・解析とターンを行うために重要とされる要素に着目した運動解析を行い、スノーボード・ターンのメカニズムを解明するために必要な運動情報を定量的に示す。

(2) 運動のメカニズムを解明するためには、実際の運動を計測した結果を用いて、どのような運動がどのようなターンを生じるかを明らかにする必要がある。本研究では運動情報の定量化に加えて、スノーボード・ターンのメカニズムを定量化するため、雪面反力情報を用いたターンのモデル構築を行う。

3. 研究の方法

(1) 本研究では実滑走におけるスノーボーダーの運動を計測するために、図1に示す雪面反力計測システムを使用する。両足に雪面

本システムには、プレートの間に複数の小型 3 軸力センサ(テック技販社,USL06-H6-2kN)を搭載することができ、片足に対して3個以上の力センサを搭載することにより、6 分力(3 軸の力と 3 軸のモーメント)を計測することができる。

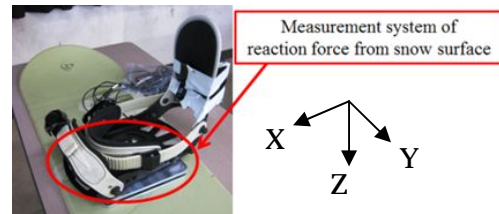


図1 雪面反力計測システム

(2) 力センサの計測情報から、式(1), (2)を用いて力、モーメントを得る。

$$f = \sum_{i=1}^k F_i \tag{1}$$

$$n = \sum_{i=1}^k ({}^0p_i \times F_i) \tag{2}$$

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}, F_i = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}, n = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}, {}^0p_i = \begin{bmatrix} {}^0p_{ix} \\ {}^0p_{iy} \\ {}^0p_{iz} \end{bmatrix}$$

ここで、 f は力、 n はモーメントであり、 0p_i は原点から力センサまでの位置ベクトル、 F_i は力センサの出力、 k は力センサの個数である。本研究ではターンのメカニズムについて解析するために、両足にかかる雪面反力からスノーボード板にかかるたわみとひねりに関するモーメントを算出する。たわみ、ひねりに関するモーメントの計算式を式(3)に示す。

$$N = n_{left} - n_{right} + f_{left} \times d_{left} - f_{right} \times d_{right} \tag{3}$$

$$N = \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix}, d_{left} = \begin{bmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{bmatrix}, d_{right} = \begin{bmatrix} 0 \\ -d \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここで、 N はたわみ、ひねりに関するモーメント、 f_{right}, n_{right} は右足に、 f_{left}, n_{left} は左足にかかる雪面反力(力、モーメント)、 d_{right}, d_{left} はスノーボードの中心から雪面反力計測システムの原点までの位置ベクトルであり、 d はスノーボードの中心から雪面反力計測システムの原点までの距離である。

(3) スノーボード・ターンにおける雪面反力情報より、雪面反力の進行方向成分の変化が他の成分と比べて小さいことを考慮すると、静止時の力情報 $F_x(0), F_y(0), F_z(0)$ と運動中の力情報 $F_x(t), F_y(t), F_z(t)$ を用いると外力

F_{ext} は式(4)を用いて表すことができる。

$$F_{ext} = \sqrt{F_{x(t)}^2 + F_{z(t)}^2} - \sqrt{F_{x(0)}^2 + F_{z(0)}^2} \quad (4)$$

本研究では、スノーボード板が元々有するサイドカーブとモーメントによってスノーボードがたわむ要素の和によってサイドカーブが決まり、そのサイドカーブを雪面に押さえつけることによってターンが行われていることと、ターンを行うことによって遠心力が発生していることを考慮し、ターンモデルを構築した。構築したターンモデルを式(5)に示す。

$$F_{ext} = |M_y| \left((a|M_{tor}| + b) + c \right) \quad (5)$$

ここで、 a, b, c はモデルパラメータを示す係数である。なお、外力には符号情報がないため、右辺も符号が変化しないようにモーメントの絶対値を使用している。

$$x_{t+1} = F(x_t) + w_t \quad (6)$$

$$y_t = H(x_t) + v_t \quad (7)$$

$$x_t = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \cdot F(x_t) = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

$$y_t = [F_{ext}] , H(x_t) = [|M_y| \left((a|M_{tor}| + b) + c \right)]$$

構築した方程式を用いて拡張カルマンフィルタアルゴリズムを繰り返し実行することによって、パラメータ推定を行う。

4. 研究成果

(1) 両足に雪面反力計測システムを、頭部にGPS レシーバを装着したスノーボーダーによる実際の雪面における計測実験を実施した。雪面反力計測システムのサンプリング周波数は100Hz、GPS レシーバのサンプリング周波数は10Hzであり、計測時間は30秒である。被験者Aは身長154cm、体重50kg、スノーボード歴19年、スタイルはレギュラースタンスのプロスノーボーダーであり、トリノオリンピックハーフパイプ日本代表選手である。異なるスキルのスノーボーダーによる雪面反力の違いからターンのメカニズムについて解析を行うため、先行研究にて実験を行った被験者Bと被験者Aとの運動を比較、解析を行った。被験者Bは身長178cm、体重66kg、スノーボード歴3年であり、スタイルはレギュラースタンスである。スノーボーダーは、数秒静止した後に、フロントサイドターン、バックサイドターンを繰り返し行った。

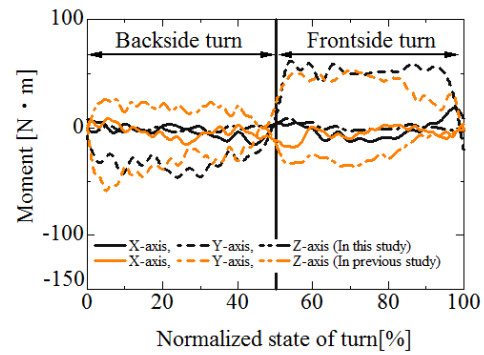


図2 モーメント (左足)

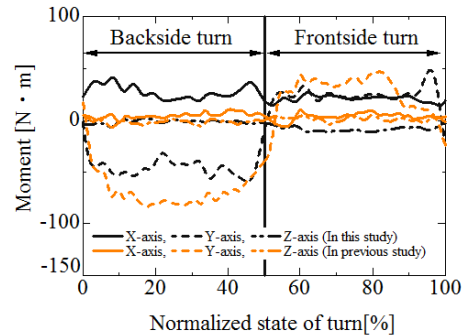


図3 モーメント (右足)

モーメントの比較結果を図2, 3に示す。なお、スノーボーダー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。

モーメントの結果に着目すると、Y軸モーメント成分が最も大きく変化しており、タイミングは異なっているが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。

(2) カービングターンでは、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、式(3)を用いてスノーボード全体にかかるモーメントの合力(ねじれ、たわみ)を算出した。

本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図4に示す。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、小さく、カービングターンを行うためには、Y軸、Z軸におけるねじり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は、モーメントの大きさが異なり、フロントサイドターン時のモーメントはバックサイドターン時のモーメントよりも大きい。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。さらに、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、サイドカーブだけでなく、スノーボード板に任意でたわみを生じさせることによりターンを行っていることがわかった。

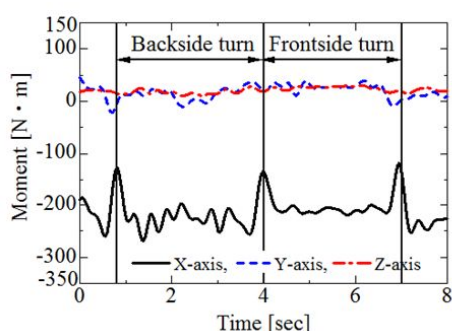


図4 ねじれ、たわみに関するモーメント

(3) ターンモデル構築について、実験によって得られた雪面反力を用いて推定したパラメータは、 $a = 0.0376$, $b = -5.2279$, $c = -15.1393$ であった。本結果は、ターンを行うためにはスノーボード板が元々有しているサイドカーブが非常に重要であること、ターンを行うためにはモーメントによってスノーボードをたわませる要素も必要であることを示しており、スノーボード板をたわませるモーメントはターンの微調整を行うために有効であることが考えられる。

推定したパラメータの有効性を検証するために、推定したパラメータを用いて計算した式(5)の右辺の結果と、左辺の結果 (F_{ext}) との比較を図5に示す。

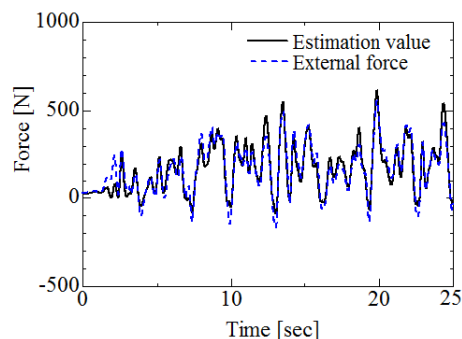


図5 外力と推定結果

推定結果と、外力の結果は、計測開始時の助走からターン開始時においては誤差が発生しているが、その後については全区間においてとても良く一致しており、本方法にて推定したパラメータが有効であることを示すことができた。

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 1件)

廣瀬圭, 千葉遥, 近藤亜希子, 齋藤亜由子, 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, 査読有, 第26巻, 第2号, 2016, pp.233-242

[学会発表](計 4件)

千葉遥, 近藤亜希子, 伏見知何子, 廣瀬圭, 土岐仁, 雪面反力情報を用いたスノーボードにおけるターン・モデル構築に関する研究, 日本スキー学会 2016年度秋季大会, 2016年9月3日, 中央大学(東京都・文京区)

千葉遥, 近藤亜希子, 土岐仁, 伏見知何子, スノーボードにおけるモーメントと圧力中心を用いたカービングターンの運動解析に関する研究, 日本スキー学会第26回大会, 2016年3月13~16日, 蔵王温泉スキー場(山形県・山形市)

千葉遥, 廣瀬圭, 近藤亜希子, 齋藤亜由子, 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, スポーツ工学・ヒューマン・ダイナミクス 2015, 2015年10月30日~11月1日, 立命館大学(滋賀県・草津市)

千葉遥, 廣瀬圭, 近藤亜希子, 齋藤亜由子, 伏見知何子, 土岐仁, 雪面反力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, 日本スキー学会 2015年度研究会, 2015年9月12日, 中央大学(東京都・文京区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 亜希子 (AKIKO KONDO)

秋田大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 00734972