

## C-2-1

### 実滑走情報を用いたスノーボードターンにおける エッジング・たわみ・ねじり解析に関する研究

#### A Study on analysis of analysis component and edging, deflection and torsion in snowboard turns using actual gliding information

○正 廣瀬 圭<sup>\*1\*3</sup>, 近藤 亜希子<sup>\*1\*3</sup>, 伏見知何子<sup>\*2</sup>, 宮本 直人<sup>\*3</sup>

清水 大智<sup>\*4</sup>, 中野 紘志<sup>\*3</sup>, 梶原 和子<sup>\*3</sup>, 竹田 正樹<sup>\*3</sup>

Kiyoshi HIROSE<sup>\*1\*3</sup>, Akiko KONDO<sup>\*1\*3</sup>, Chikako FUSHIMI<sup>\*2</sup>, Naoto MIYAMOTO<sup>\*3</sup>  
Daichi SHIMIZU<sup>\*4</sup>, Hiroshi NAKANO<sup>\*3</sup>, Wako KAJIWARA<sup>\*3</sup> and Masaki TAKEDA<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> 久留米工業大学 Kurume Institute of Technology

<sup>\*2</sup> 有限会社 Area51s Area51s Ltd.

<sup>\*3</sup> 同志社大学スポーツセンシング研究センター Research Center for Sports Sensing, Doshisha University

<sup>\*4</sup> 同志社大学 Doshisha University

This paper proposes the estimation method of edging angle, torsion angle and deflection angle in snowboarding. The edging angle is represented as the Roll angle in global coordinate system, and the torsion and deflection angles are represented as the Roll and Pitch angles in local coordinate. The angle is estimated by using the Extended Kalman filter. We conducted the motion analysis using the actual gliding information obtained by the Expert and beginner snowboarders. The major characteristics was indicated in frontside turns and backside turns by this analysis.

**Key Words** : Inertial sensor, Posture, Edging angle, Torsion angle, Deflection angle

### 1. 結 言

スノーボードは、1枚の板を用いて滑走を行うスノースポーツであり、両足が固定されていることから、スキーとは板のたわませ方やねじらせ方に対する自由度が多く存在することが考えられる。そのため、スキーとは操作力を含めた運動のメカニズムが大きくことなるため、これらのメカニズムを解明することができれば、適切な指導への利用等が期待できる。

これまでに筆者らは、スノーボードターンの運動解析として、エッジング量の計測<sup>(1)</sup>や身体運動の解析<sup>(2)</sup>や雪面反力<sup>(3)</sup>に着目した解析を行ってきた。しかし、エッジング量の計測では、たわみに関する成分は推定しておらず、そのためにエッジングに含まれる誤差については考慮していないこと、左右差についても考慮していない。また、たわみやねじりについての傾向を把握するためには、相対的な角度情報を3次元的に得る必要があるが、これらの解析については行われていなかった。そこで、これらの情報を得ることができれば、スノーボードのメカニズム解明に利用することができる。そこで本研究では、拡張カルマンフィルタを用いることにより、エッジング量とたわみ・ねじりを推定するための方法を提案し、実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動情報に適用することにより、その有効性を示すことを目的とする。

### 2. 計測システム

本研究では、角速度、加速度、磁場を得るために小型ワイヤレスモーションセンサ（ロジカルプロダクト）を用いている。計測システムを図1に示す。小型ワイヤレスモーションセンサは、スノーボード板に近い運動情報を得るために左右ビンディングに取り付け、本研究では左右足のビンディングに取り付けたセンサの計測情報を用いた。



Fig. 1 Measurement system

### 3. 実験条件

本研究では、平均斜度 14 度のコースをカービングターンしながら滑走した実滑走情報を用いる。スノーボーダーは、スノーボード歴 20 名の上級者の 1 名およびスノーボード歴 2 年の初級者 1 名であり、慣性センサのサンプリング周波数は 1000Hz である。

### 4. 解析法

本研究では、エッジングおよびたわみに関する成分をスノーボード板の前後についてそれぞれ推定し、前後における違いを推定する方法と、前後における相対座標系におけるたわみ、ねじりを推定する方法について提案する。座標系定義として、スノーボーダー正面方向を X 軸とした右手座標系で表現しており、Y 軸周りのピッチ角がエッジング、X 軸周りのロール角がたわみに関する成分に相当する。

それぞれの情報を推定するために、拡張カルマンフィルタを用いる。エッジングとたわみに関する成分を推定するために、角速度からの変換・積分について、重力加速度を用いて補正する方法を用いる。式(1)、式(2)に示す非線形状態方程式、非線形観測方程式を構築し、拡張カルマンフィルタアルゴリズムに適用することによって推定する。しかし、滑走中はスノーボード板につねに動的な加速度が生じていることから、合成加速度から重力加速度を引いた情報を用いて算出した動的加速度が大きい場合は角速度からの変換・積分の要素を使用する、動的加速度が小さい場合は重力加速度を用いて補正を行うことができるように、共分散行列の調整を行っている。

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

$$y_t = H(x_t) + v_t \quad (2)$$

$$F_t = \begin{bmatrix} \theta_t + (\cos \varphi_t \cdot \omega_{y,t} - \sin \varphi_t \cdot \omega_{z,t}) \cdot Ts \\ \varphi_t + (\omega_{x,t} + \sin \varphi_t \tan \theta_t \cdot \omega_{y,t} + \cos \varphi_t \tan \theta_t \cdot \omega_{z,t}) \cdot Ts \end{bmatrix}$$

$$x_t = \begin{bmatrix} \theta_t \\ \varphi_t \end{bmatrix}, \quad y_t = \begin{bmatrix} a_{x,t} \\ a_{y,t} \\ a_{z,t} \end{bmatrix}, \quad H_t = {}^0R_t \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

ここで、 $\varphi$  はロール角、 $\theta$  はピッチ角であり、 ${}^0R_t$  はセンサ座標系から絶対座標系に変換する回転行列、 $a$  は加速度センサ出力、 $\omega$  は角速度 (ジャイロセンサ出力)、 $g$  は重力加速度、 $Ts$  はサンプリング周期である。本方法を前後足のビンディングに取り付けている慣性センサから得られる計測情報に適用する。

次にたわみとねじりについての要素を推定するために、相対座標系における情報に着目する。式(3)、式(4)に示す非線形状態方程式、非線形観測方程式を構築し、同様に拡張カルマンフィルタアルゴリズムに適用する。

$$x_{t+1} = F(x_t) + w_t \quad (3)$$

$$y_t = H(x_t) + v_t \quad (4)$$

$$x_t = \begin{bmatrix} {}^i\varphi_{i+1} \\ {}^i\theta_{i+1} \\ {}^i\psi_{i+1} \end{bmatrix}, F(x_t) = \begin{bmatrix} q_x \cdot Ts + \sin {}^i\varphi_{i+1} \tan {}^i\theta_{i+1} q_y \cdot Ts + \cos {}^i\varphi_{i+1} \tan {}^i\theta_{i+1} q_z \cdot Ts \\ \cos {}^i\varphi_{i+1} q_y \cdot Ts - \sin {}^i\varphi_{i+1} q_z \cdot Ts \\ \sin {}^i\varphi_{i+1} \sec {}^i\theta_{i+1} q_y \cdot Ts + \cos {}^i\varphi_{i+1} \sec {}^i\theta_{i+1} q_z \cdot Ts \end{bmatrix}$$

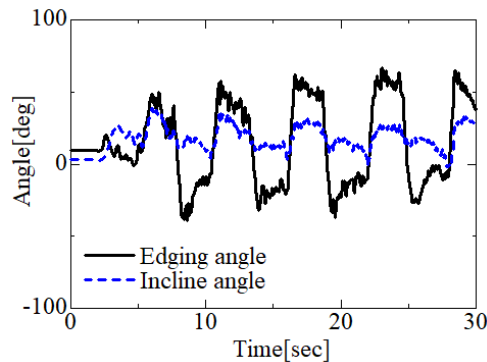
$$y_t = \begin{bmatrix} A_{p_t} + A_{c_t} \\ A_{p_{t+1}} - A_{c_{t+1}} \end{bmatrix}, H(x_t) = \begin{bmatrix} {}^iC_{i+1}(A_{p_{t+1}} - A_{c_{t+1}}) \\ {}^iC_{i+1}^T(A_{p_t} + A_{c_t}) \end{bmatrix}$$

ここで、 $A$ は加速度センサ出力（3軸成分）、 ${}^iC_{i+1}$ は相対座標系における回転行列（座標系  $i$  から座標系  $i+1$ ）であり、 $q$ は関節角速度である。

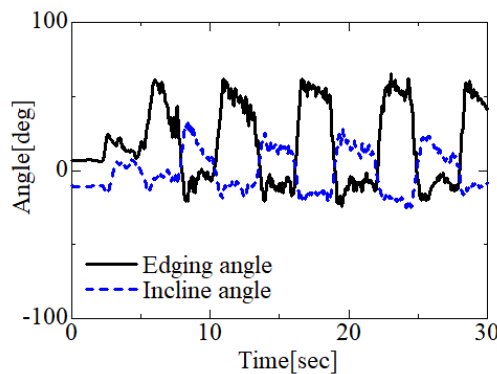
## 5. 解析結果

両足部のビンディングに取り付けた慣性センサから推定したエッジング量（ピッチ角）とたわみ方向の回転角度（ロール角）の結果について、上級者の結果を図2に、初級者の結果を図3に示す。

本結果より、上級者のスノーボーダーはバックサイドターンとフロントサイドにおいて周期的なエッジング量の変化が見られており、前足と後ろ足の結果において連動した結果が得られている。また、前足のたわみに関する角度についてエッジング量と連動しており、積極的に前足の操作が行われていることがわかる。

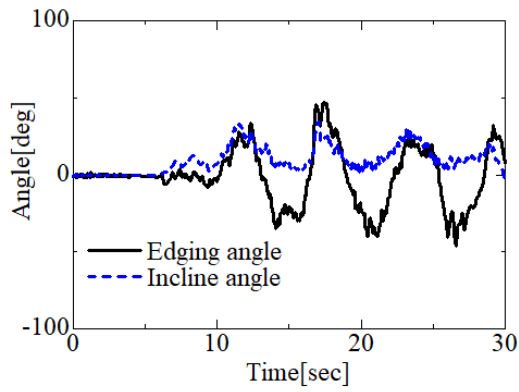


(a) Fore foot

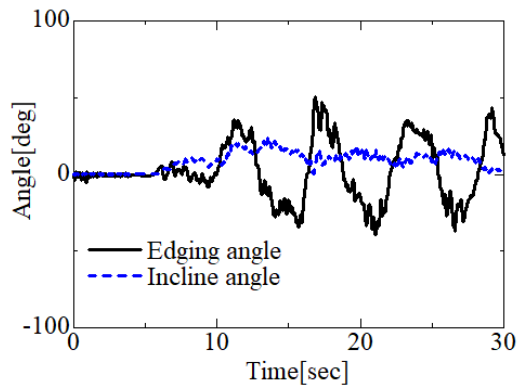


(b) Hind foot

Fig. 2 Results for edging angle and deflection direction angle in an expert snowboarder

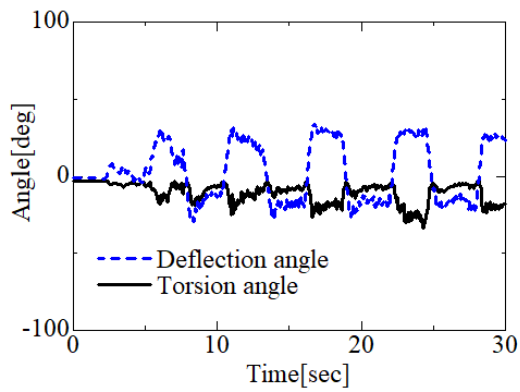


(a) Fore foot

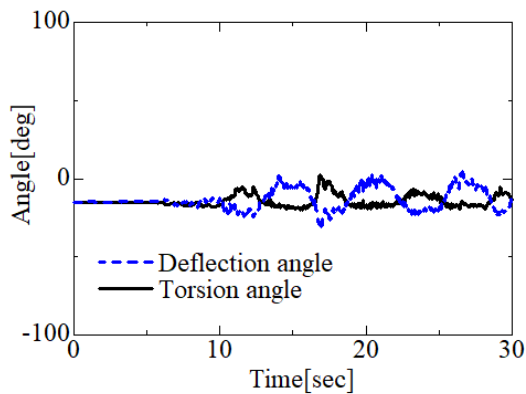


(b) Hind foot

Fig. 3 Results for edging angle and deflection direction angle in a beginner snowboarder



(a) Expert snowboarder



(b) Beginner snowboarder

Fig. 4 Results for edging angle and deflection direction angle

しかし、初級者スノーボーダーにおいては、ターン中においてもエッジング量が常に変化しており、全体的に不安定である。また、たわみに関する角度については、前足の角度変化が小さいことから、前足の操作が行えていないことを示している。

相対座標系に着目することによって推定した、たわみ・ねじりの結果を図4に示す。上級者スノーボーダーにおいてはフロントサイドターン中にたわみを発生させており、ターンを行うために積極的に操作を行っていることがより顕著に表れている。初級者スノーボーダーにおいては、若干の変化は見られるが非常に小さく、能動的な操作が行われているとは判断が難しい結果であった。以上より、エッジングとたわみ・ねじりを用いることによって運動の特徴の違いについて示した。

## 6. 結 言

本研究では、スキルの異なるスノーボーダーのターンに着目し、エッジング量およびたわみに関する角度の推定と相対座標系を用いた、たわみ量を推定することによってその特徴を示した。本方法を用いることによってねじりについても推定することができる。また、他の異なるスノーボーダーのスキル解析も併用することによって、さらなる運動の特徴やターンを行うために重要な技術の定量化を行うことが期待できる。

## 文 献

- (1) 廣瀬圭, 土岐仁, 小田紳介, 慣性センサを用いたスノーボード滑走におけるエッジング量計測法, スキー研究, Vol. 7, No. 1(2009), pp.27-32.
- (2) 廣瀬圭, 土岐仁, スノーボード・ターンの運動計測と解析に関する研究, スキー研究, Vol. 7, No. 1(2010), pp.27-37.
- (3) 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, Vol. 26, No.2 (2016), pp. 2\_233-2\_242.