

スノーボード・ターンの運動解析に関する研究

Studies on the Dynamic Analysis of Snowboarding Turn

山田 知明*, 土岐 仁**, 長井 力**

Tomoaki Yamada*, Hitoshi Doki**, Chikara Nagai**

*秋田大学大学院, **秋田大学

*Graduate School of Akita University, ** Akita University

キーワード: スノーボード(snowboard), 雪面反力(reaction force from snow), 関節トルク(joint torque), 動作解析(motion analysis)

連絡先: 〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 工学資源学部 機械工学科
土岐 仁, Tel.:(018)889-2347, Fax.:(018)-837-0405, E-mail:doki@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

近年, スノーボードは急速に普及し, 幅広い年齢層から多くの支持を受け, 代表的なウィンタースポーツの一つとなっており, ボード, ブーツ等の用具や滑走, ターン等の技術も飛躍的な発展を続けている. 一方, スノーボードに関する研究としては, 主に(1)用具の設計・開発, (2)ターン運動中のスノーボーダーのバイオメカニクス解析に分けられる. 用具の設計・開発では, ボードの材質・形状・運動性能等の研究が進められている. スノーボーダーの運動解析に関しては, 屋内におけるスノーボード操作の計測が行なわれている^{1,2)}. また, スノーボードのターンのメカニズムを解明するために, ターン動作のシミュレーション³⁾, 解析用スノーボードロボットの開発も進められている⁴⁾. しかし, これらの研究では, 実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動や生体負荷の情報が含まれて

おらず, 用具の設計・開発やバイオメカニクス解析には十分ではないように思われる. 実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動や生体負荷を計測するためには, 冬山での厳しい自然環境のなかで広範囲にわたって計測を行わなければならない.

そこで, 本研究ではまず, 屋外で広範囲のスノーボーダーの運動と生体負荷を計測できるシステムを開発し, 実際に雪面でのターン動作中の上体・下肢の身体運動と雪面反力を測定することにより, ターンの各局面における身体運動を定量的に解析・評価することを試みる. これらの計測システム及び解析手法は, スノーボード・ターン運動の特徴を明らかにすると共に, 障害・怪我の予防, 新しい用具の開発・評価に有用となることが期待される.

2. 計測システム

スノーボードのターン動作を運動力学解析するためには、各関節の角度変位だけではなく、身体にかかる外力も同時に計測しなければならない。ターン動作の特徴を解析するには、雪面反力、各関節位置座標を計測し上体・下肢関節の動きを定量的に示す必要がある。

滑走中のスノーボーダーにかかる主な外力として、重力、空気抵抗、そしてボードを介して足部に作用する雪面からの反力の3つが挙げられる。この中でも、雪面反力は下肢が発生する力と等しくなる。本研究では、空気抵抗は無視できるものとし、雪面反力と反力作用点位置を求めるために6軸力センサ(IFS-105M50A220-I63, Nitta Co.)を両足のバイディング底部に取り付けた。センサ取り付け方法として、ボードとバイディングに特殊な加工をする必要がなく、またバイディングとボードを自由に交換して測定することが可能な専用のアダプタを作成した。ボードとブーツの間に働く3軸方向の力 F_x , F_y , F_z , および各軸周りのモーメント M_x , M_y , M_z をセンサで検出する。これにより、図1に示すように、反力ベクトルを求めることができる。また、6軸力センサの中心から反力作用点までの距離 a_x , a_y は、次式で与えられる。

$$a_x = \frac{-F_x a_z - M_y}{F_z} \quad (1)$$

$$a_y = \frac{-F_y a_z + M_x}{F_z} \quad (2)$$

ここで、 a_z はセンサ中心までの z 方向の距離で

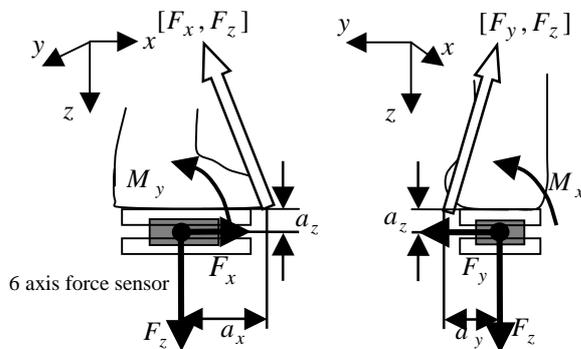


Fig. 1 6 axis force sensor installed in the boots

ある。

一方、滑走中の身体運動計測を行なうために磁気式3次元位置センサ (FASTRAK, Polhemus Inc.) を用いた。磁気式3次元位置センサは、コントロールユニット、トランスミッタ、複数のレシーバから構成されており、トランスミッタが発生した電磁場をレシーバで検出することにより、トランスミッタを基準座標系原点とする複数のレシーバの相対座標を求める装置である。実験では、被験者が非磁性体フレームを背負い、フレームと上体が一体であると見なし、トランスミッタをフレーム底部に取り付けた。また、レシーバを被験者の両大腿側面、バイディング後方の4箇所に着装した。これにより腰部を基準とした滑走中の高精度な姿勢の計測が可能となった。この磁気式3次元位置センサから得られるデータと6軸力センサから得られるデータをもとに関節モーメントを算出する。本研究で用いた計測システムの構成を図2に示す。計測システムの総重量は約10kgであるが、被験者への拘束を減らすため、センサ以外の計測機器はスキーヤーが背負い並走することにした。

磁気式3次元位置センサでは基準座標が被験者と共に移動してしまい、ターンの軌跡やターンがどの局面にあるのかを知ることはできない。

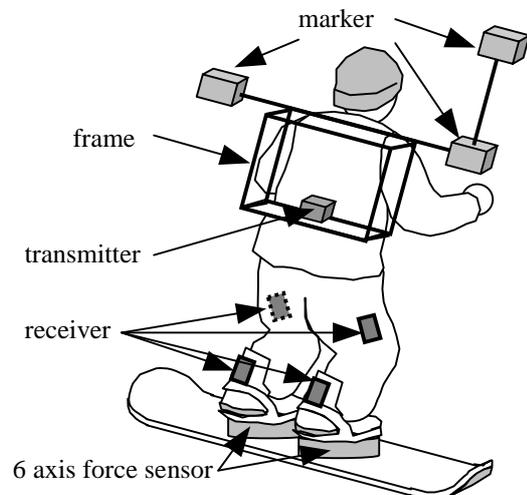


Fig. 2 Measurement system using magnetic position sensor and 6-axis force sensor

そこで、本研究では画像処理式運動計測システムと磁気式3次元位置センサを併用し、絶対座標系における被験者の運動を求めた。画像処理式運動計測システムとは、複数のビデオカメラで同時に撮影された映像から反射マーカの空間座標を算出するシステムである。利点としては、被験者に機械的な装置を装着する必要が無いため、基本的に無拘束計測が可能となる。またカメラを設置した雪面に基準座標系があるためスノーボードの滑走軌跡や運動の局面が非常に分かりやすいということが挙げられる。その反面、計測範囲が広がると分解能が落ちるといった欠点を持つ。実験では体幹の姿勢を調べるための非磁性体フレームに3箇所マーカを貼り付け、絶対座標系における腰部の位置と姿勢を算出する。そして得られた姿勢と磁気センサから得られる腰部の姿勢から、腰部を基準とする座標系を絶対座標系に変換することにより、滑走軌跡やターンの局面の可視化を行なった。

3. 計測実験

3.1 実験条件

開発した実験装置を用いて実験を行った。実験にはフリースタイル用のボード(サロモン社製, 155cm)を用い、滑走実験は整地された平均斜度12度の緩斜面の中で実施した。

被験者はスノーボード中級レベル(23歳, 男性, 身長175cm, 体重63kg)であり、今回の実験において十分な技術を持っている。ボードのセッティングは、バインディングの角度を、時計

回りを正として左足を15度、右足を-6度でつま先を外側に向けた。またセットバックは0cmとした(図3)。

計測範囲を10×7×2.5mとし、被験者が範囲内を自然な滑り方で、フロントサイドターン、バックサイドターンを行ない範囲内で止まるようにした。また他にフロントサイドからバックサイドに移行するギルランデと、バックサイドからフロントサイドへ移行するギルランデの計4種類のターンを行った。

Table 1 Experimental condition

Case1	Toe-side turn
Case2	Heel-side turn
Case3	Toe-side turn to heel-side turn
Case4	Heel-side turn to toe-side turn

3.2 ターン中の雪面反力の視覚化

図4に、フロントサイドターンの計測結果をスティックピクチャーと共に連続的に示す。

3.3 関節トルク

関節トルクの一例として、図5にフロントサイドターンにおける両脚の足関節の関節トルクを示す。

4. 結言

本研究では、屋外において滑走中のスノーボーダーの運動と生体負荷を広範囲にわたって精度よく計測することを目標とし、6軸力センサ、磁気式3次元位置センサと画像処理システムを用いたスノーボードの運動計測システムを開発した。実際にフィールド実験を行ない、滑走中のスノーボーダーの姿勢と雪面からの反力を同時に計測し、ターンにおける作用力の変化をカベクトルの形で示した。また、計測したスノーボーダーの運動データから、人体の力学モデルを用いて各関節に作用するモーメントを算出した。

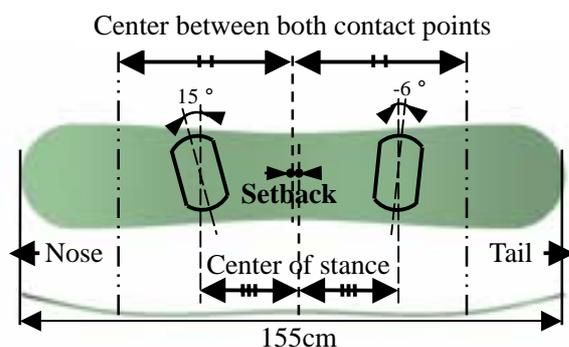


Fig. 3 Setting of snowboard

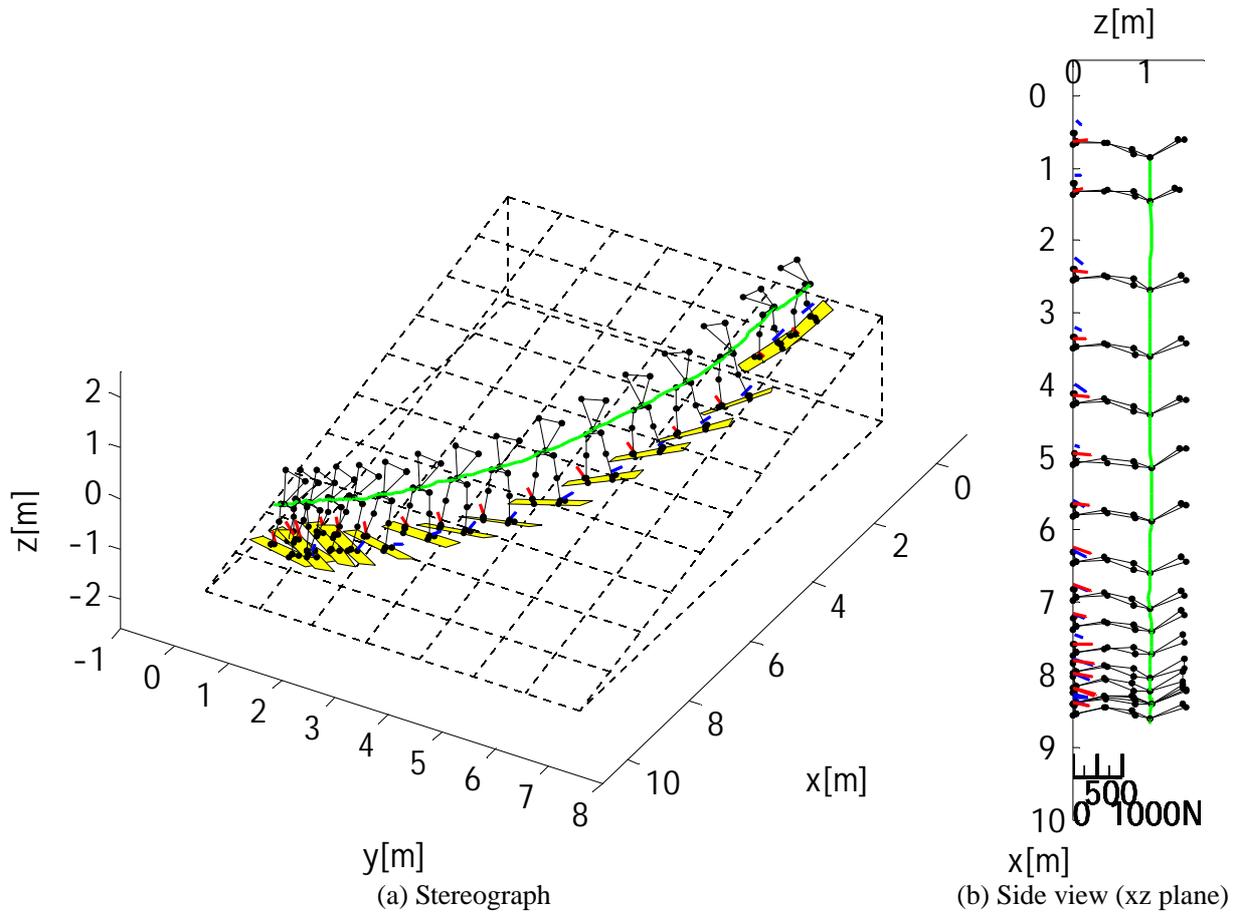


Fig. 4 Result of front-side turn (Case 1)

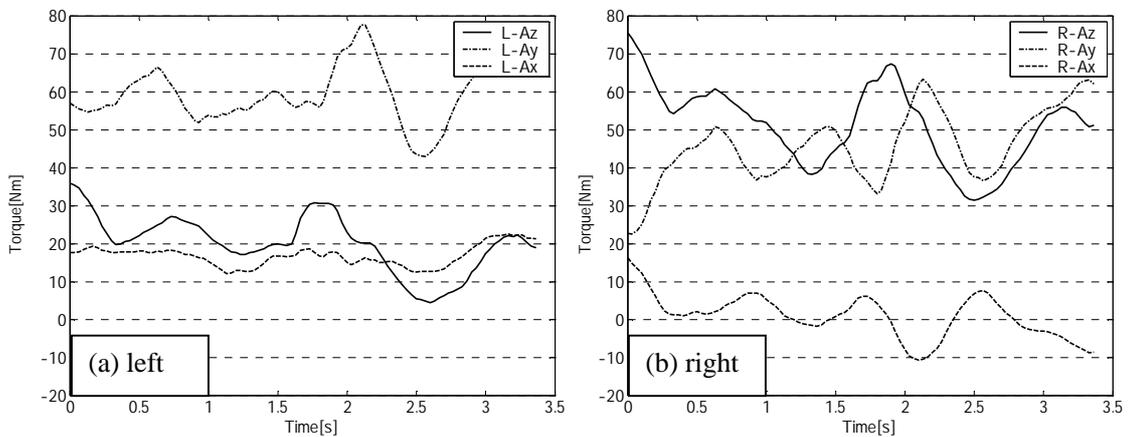


Fig. 5 Ankle joint torque (Case 1)

参考文献

- 1) 坂田敏行：スキーボード操作の測定，日本スキー学会誌，**10-1**，45/52 (2000)
- 2) 坂田敏行，谷本垣，細川健治：スキーボードと滑走平面領域に関する実験的研究，スポーツ産業学研究，**11-1**，235/246 (2001)

- 3) 坂田敏行，月山雅晴，細川健治：スキーボード・ターンのシミュレーションに関する研究，日本機械学会論文集，**65-639**，4431/4437 (1999)
- 4) 清水史郎，長谷川健治：スキーボードロボットの開発～足関節の底屈・背屈モデル～，スキー研究，**1-1**，9/13 (2003)