

平成 21 年 6 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560223  
 研究課題名（和文）スノーボード・ターンの運動力学解析と生体負荷の定量的評価に関する研究  
 研究課題名（英文）Studies on the dynamics analysis and biomechanical evaluation of the snowboarding turn.  
 研究代表者  
 土岐 仁（DOKI HITOSHI）  
 秋田大学・工学資源学部・教授  
 研究者番号：80134055

研究成果の概要：スノーボーダーの運動と生体負荷を計測するための計測システムを開発し、スノーボーダーによるフィールド実験を行うことにより、これまでほとんど明らかにされなかった、スノーボード・ターン中の身体運動および生体負荷を明らかにするとともに、得られた実験結果からスノーボーダーの運動の主な特徴を定量的に解析、評価することができた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：運動力学，スポーツ工学

## 1. 研究開始当初の背景

スノーボードに関する研究には、安全性や快適性に関する研究、用具の特性に関する研究、用具を扱う人間に関する研究などがある。しかし、実際の雪面を滑走するスノーボードの作用力や操作力を考慮していない仮想的な解析に限定されてしまうため、科学的根拠が乏しい。スノーボーダーの怪我の予防、新しい用具の開発・評価等には科学的な解析を欠かすことができない。そこで、実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動計測および解析を行うことができれば、定量的なスキル評価やターンのメカニズムの解明に貢献することができる。

## 2. 研究の目的

- (1) スノーボーダーの運動、生体内力を計測するために、屋外での実験環境に耐え、広範囲な滑走範囲においても使用可能な計測システムを開発する。
- (2) 計測システムから得られた情報から、身体運動情報、力学情報を定量的に表すための解析手法を確立する。
- (3) 実際の雪山において、スノーボーダーによる連続ターンの計測実験、解析を行い、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．

### 3．研究の方法

- (1) スノーボーダーの運動力学解析を行うためには，身体運動だけではなく，外力を計測する必要がある．滑走中のスノーボーダーにかかる外力は主に空気抵抗や雪面反力が挙げられ，特に雪面反力がスノーボーダーに大きな影響を与える．そこで，外力計測のために，6軸力センサを用いた雪面反力計測システムを構築し，雪面反力を計測する．一方，身体運動を計測するための計測システムとして，デジタルビデオカメラを用いた方法や磁気式位置センサを用いた方法，ジャイロセンサを用いた方法などが挙げられる．しかし，スノーボード滑走は計測範囲が広大に及ぶことから，デジタルビデオカメラを用いた方法は不適であり，磁気式位置センサは高重量であることからスノーボーダーの運動計測に適しているとはいえない．ジャイロセンサを用いた方法は小型，軽量のシステムで計測可能であるが，ドリフトによる誤差が存在するため，精度に不安が残る．以上より，新しい計測システムとして，ジャイロセンサを用いた計測システムをベースとして，ドリフトによる誤差を回避するために，加速度センサ，地磁気センサを搭載した計測システムを開発する．
- (2) 計測システムから得られる運動情報から，身体運動（関節角度）や生体内力（関節トルク）を算出するための解析手法を確立した．ジャイロセンサのドリフトによる誤差を除去するために，加速度センサから得られる重力加速度と地磁気センサから得られる方位を組み合わせて，拡張カルマンフィルタによるセンサ・フュージョンを構築する．そして，逆運動学を用いた身体運動（関節角度）算出法を確立する．さらに，雪面反力情報と組み合わせ，逆動力学解析を用いた，生体内力（関節トルク）算出法を確立する．
- (3) 開発した計測システムを各身体部位に装着したスノーボーダーによる屋外の雪面滑走時の計測実験を行う．各身体部位の3次元角速度，加速度，磁場，そして，6軸の雪面反力を同時に計測し，確立した解析手法を適用することで，スノーボード・ターン中の身体運動と生体内力を算出する．そして，スノーボード・ターンを定量的に解析，評価

する．

### 4．研究成果

- (1) ジャイロセンサをベースとし，ジャイロセンサから得ることができない，初期姿勢を取得することができ，さらにジャイロセンサによる姿勢計測に含まれるドリフトによる蓄積誤差を回避する計測システムとして，3次元ジャイロセンサ，3軸加速度センサ，3軸地磁気センサを搭載した運動計測システムを開発した．この計測システムは各身体部位に直接取り付けすることで，3次元の角速度，加速度，磁場を同時に計測することができる．計測信号は運動計測システム内に搭載されている PIC マイコンによって集約され，レシーバユニットを介してシリアル通信に変換し，直接ノート PC 等で計測することができる．また，最大 8 個まで同時に計測することができ，スノーボーダーの胴体（上部部）と下肢（腰部，大腿部，下腿部，足部）にそれぞれ取り付けることで，ターン中の身体運動を詳細に捉えることができる．そして，雪面反力を計測するために，スノーボードとビンディングの間に 6 軸力センサを搭載することで雪面反力を計測することができる雪面反力計測システムを用い，さらに，運動計測システムと雪面反力計測システムが同時に計測を行えるように開発を行った．図 1 に運動計測システムを，図 2 に雪面反力計測システムを示す．本研究で開発した計測システムを用いることで，スノーボーダーの身体運動と雪面反力を同時に捉えることができ，詳細な解析を行うことができる．



図 1 運動計測システム



図2 雪面反力計測システム

- (2) 計測システムから得られる情報から身体運動情報(関節角度)を精度良く得るために、拡張カルマンフィルタによるセンサ・フュージョンを構築し、加速度センサから得られる重力加速度と地磁気センサから得られる方位からジャイロセンサから得られる角速度に含まれるドリフトによる誤差を除去することで、精度を向上させた関節角度を得る方法を確立した。ロータリーエンコーダより得られた角度の結果とジャイロセンサのみを用いて算出した角度の結果、センサ・フュージョンを用いて算出した角度の結果の比較を図1に示す。ジャイロセンサから得られた角度はドリフトによる蓄積誤差の影響で計測時間が長くなるにつれて精度が大幅に低下していることがわかる。しかし、センサ・フュージョンを用いて算出した角度はそのような精度の低下はみられず、ロータリーエンコーダからの角度と良く一致しており、高い精度が得られた。

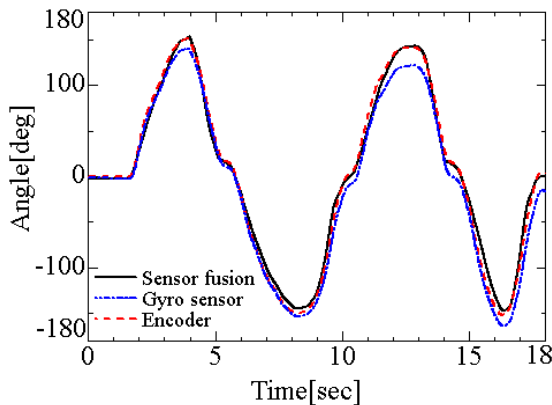


図1 角度比較

- (3) スノーボード運動計測システムと雪面反力計測システムを取り付け、屋外

におけるカービングターンの計測実験を行った。まず、得られた運動情報を用いて、スノーボードの身体運動(関節角度)を算出した。フロントサイドターンとバックサイドターンにおいての姿勢の取り方の違いなどの運動の特徴を詳細に表すことができた。さらに、雪面反力情報と組み合わせて逆動力学解析を行い、生体内力(関節トルク)を算出した。右股関節の関節トルク結果を図2に示す。フロントサイドターンとバックサイドターンで、股関節の内外旋の力の使い分けが詳細に表れており、スノーボード・ターン中の身体運動と生体内力を定量的に示し、評価を行うことができた。

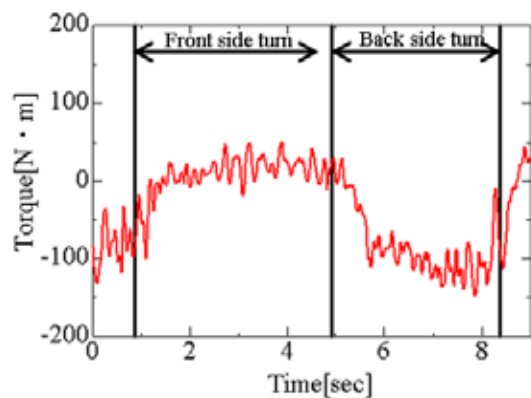


図2 右股関節の生体内力(関節トルク)

- (4) 本計測システムの角速度、加速度、磁場を同時に計測できることを利用して、スノーボードの身体運動と生体内力を計測、解析するためではなく、スノーボード・ターンにおいて最も重要な要素ともいえるエッジング量の計測について計測、解析を行った。また、よりスノーボードの状態を把握するために、加速度センサから得られる重力加速度を用いて、計測開始時の雪面斜度を計測した。さらに、スノーボードがどのタイミングでエッジを立てている、戻しているなどを把握するために、地磁気センサから得られる方位を用いて、滑走状態の推定を行った。

以上より、身体運動以外の要素である、滑走開始時の雪面斜度、エッジング量、滑走状況(方位)を同時に得ることができ、詳細な滑走の特徴を把握することができる。

加速度を斜度に変換した結果を図3以下に示す。滑走が開始すると、

加速度センサが重力加速度以外の成分を検出してしまうため、正確な斜度を計測することはできない、しかし、計測開始時は、雪面斜度を正確に計測することができた。

エッジング量と方位（滑走状態）を重ね合わせた結果を図4に示す。方位が最大値、最小値を示す時はターン切り替え位置になる時を表し、方位が0°になる時、ターン弧最大位置となる時を表している。本結果より、ターン切り替え期にむかってエッジを戻す動作をとっていること、ターン弧最大位置に向かうにつれてエッジを立てている動作を行っていることがわかる。また、フロントサイドターンではターン中はエッジング量を保持しているのに対して、バックサイドターン中はエッジング量がスムーズに変化しており、ターンの違いによるエッジング量の違いについても詳細に把握することができた。

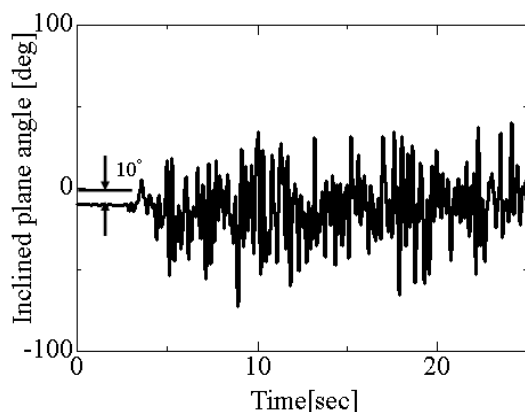


図3 雪面斜度（初期状態）

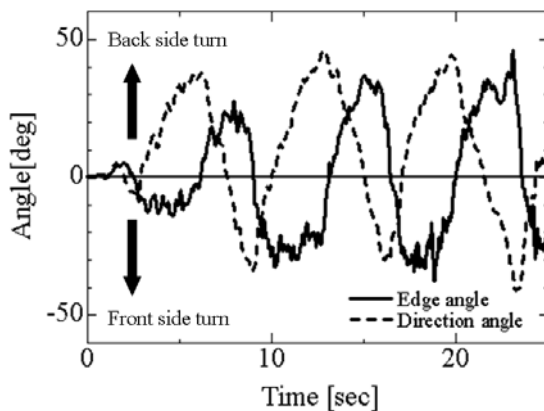


図4 エッジング量と方位

## 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, 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, 6-1, 27-32, 2009, 査読有

〔学会発表〕(計 3件)

廣瀬圭, 土岐仁, 小田紳介, 横山祐大, スノーボード・ターンの運動解析に関する研究(スノーボード・ターンの関節トルク推定の一試み), 日本スキー学会第19回大会, 平成21年3月31日, ホテルリステル猪苗代

廣瀬圭, 土岐仁, スノーボード・ターンの運動解析に関する研究, 日本機械学会 ジョイント・シンポジウム2008, 平成20年11月7日, 秋田県生涯学習センター分館ジョイナス

廣瀬圭, 土岐仁, 北之口俊輔, 横山祐大 スノーボード・ターンの運動解析に関する研究(カービングターンの運動計測), 日本スキー学会第18回大会, 2008, 平成20年3月25日, NASPA ニューオータニ

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

土岐 仁 (DOKI HITOSHI)

秋田大学・工学資源学部・教授

研究者番号：80134055

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

穂苅 真樹 (HOKARI MASAKI)

秋田大学・工学資源学部・講師

研究者番号：20375223