

博士論文

センサシステムを用いた  
スノーボード動作の計測・解析に関する研究

2018年

飯泉 知何子



博士論文

**センサシステムを用いた  
スノーボード動作の計測・解析に関する研究**

2018年

飯泉 知何子

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	4
1.3	参考文献	5
<b>第2章</b>	<b>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</b>	<b>8</b>
2.1	緒言	9
2.2	実験装置	10
2.3	計測実験	13
2.4	解析方法	17
2.5	計測結果	19
2.6	雪面反力の比較解析	23
2.7	モーメントの合力（ひねり・たわみ成分）の結果	27
2.8	ひねり・たわみ成分の解析結果	30
2.9	結言	31
2.10	参考文献	32
<b>第3章</b>	<b>スノーボード・オーリー動作における操作力・雪面反力計測</b>	<b>34</b>
3.1	緒言	35
3.2	実験装置	36
3.3	計測実験	38
3.4	座標系	39
3.5	力・モーメントの計算式	40
3.6	実験結果	41
3.7	考察	45
3.8	結言	46
3.9	参考文献	47

<b>第4章</b>	<b>雪面反力情報に基づくスノーボード・オーリー動作の運動解析</b>	<b>48</b>
4.1	緒言	49
4.2	実験装置	50
4.3	計測実験	52
4.4	座標系	53
4.5	力・モーメントの計算式	54
4.6	実験結果	55
4.7	比較解析	60
4.8	考察	63
4.9	結言	64
4.10	参考文献	65
<b>第5章</b>	<b>スノーボード・オーリー動作における運動学的解析</b>	<b>66</b>
5.1	緒言	67
5.2	実験装置	68
5.3	3次元姿勢推定法	71
5.4	計測方法	72
5.5	実験条件	74
5.6	解析結果	75
5.7	考察	85
5.8	考察（全体）	88
5.9	結言	89
5.10	参考文献	91
<b>第6章</b>	<b>結論</b>	<b>93</b>
	<b>発表論文一覧</b>	<b>95</b>
	<b>謝辞</b>	<b>99</b>

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景と目的

スノーボードは、スキーと比較すると比較的歴史の浅いスノースポーツであり、1965年にスキー板をつないで1枚の板にしてサーフィンのように滑ったことが始まりといわれている。スノーサーフィンとしての開発が進み、初期型のスノーボードは圧雪されたゲレンデでの滑走ができるように改良され、さらにエッジが付いたことで、雪を削った抵抗で曲がるという原理に基づくターンが可能となり、これによりスノーボードの曲がる、止まるといった性能は飛躍的に向上した。

1990年代に入り、当時の若者に人気があったスケートボードのイメージと重なって、爆発的ブームとなり産業として育っていく。スケートボードのトリックをスノーボードで再現しようと、ツインチップとよばれる前後共に同じ形状をしたスノーボードが開発され、ゲレンデをターンして滑り降りるだけでなく、ジャンプやスピンなど多彩なトリックを交えるライディングスタイルが可能となった。スケートボード文化を取り入れたスノーボード業界のニーズに応えるように、スノーリゾートは雪上にスケートボードパークのようなアイテムを設置したスノーボードパークを開発し、キッカーと呼ばれる大きなジャンプ台や手すりのような形状のレールやボックスとよばれる箱型の人工物が配置された。しかし、キッカーでジャンプし着地に失敗して負傷する事故は、スノーボードパークにおけるキッカー設置と共に急増し、後遺症の残る重症事故や死亡事故も発生して、調査と共にキッカーにおけるジャンプの傷害を対象とした研究<sup>1),2)</sup>も行われ、対策や問題点も指摘された。

若者の流行スポーツとして捉えられていた時期もあったが、1998年の長野オリンピックよりアルペンスタイルの平行大回転、フリースタイルのハーフパイプが正式種目として採用された。また、トリノオリンピックよりスノーボードクロス、ソチオリンピックから平行回転、フリースタイルのスロープスタイルが新種目として加わり、さらに2018年平昌オリンピックよりビッグエアーが正式種目となった。スノーボードがオリンピック正式競技となったことによって、国を代表するスノーボーダーを目指す子供達が数多く生まれ、新しいスノーボードの歴史に名前を刻んでいる。

スノーボードのフリースタイル競技では、ジャンプを中心とした競技が実施されており、ターン技術はもちろんのことジャンプ技術も非常に重要である。さまざまなターン技術は教程に記載しており、スキルアップのためにスキルチェックを行い、滑走レベルに合った指導方法<sup>3)</sup>が作成されている。しかし、スノーボード・ジャンプに関する指導環境、指導要領は十分とは言えないため、指導の基礎となるスノーボーダーのスキル評価が難しく、多くのスノーボーダーは独学でジャンプ技術を習得しているのが現状であ

るため、スノーボードに関する科学的知見が不足し、必要とされている。

これまでのスノーボードに関する研究として、スノーボード競技者に関する研究<sup>4),5)</sup>やスノーボード外傷予防に関する研究<sup>6),7)</sup>、スノーボードの指導法に関する研究<sup>8),9)</sup>、等様々な分野での研究が行われている。工学分野においては、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、スノーボードロボットの開発<sup>10)</sup>、スノーボード・ターンのシミュレーションに関する研究<sup>11)</sup>が行われているが、実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動計測・解析を行い、運動メカニズムを定量化することが必要不可欠である。

そこで廣瀬らは、慣性センサ・地磁気センサを搭載した運動計測システムを用いた運動計測、解析法および6軸力センサやGPSレシーバを併用した運動計測法、解析法からターンの特徴を定量的に示している<sup>12),13),14),15),16)</sup>。しかし、上級レベルのスノーボーダーを含むスキルの異なるスノーボーダーによるターンの解析は少なく、さらにスノーボード・ターンの運動解析において重要な要素である、力に着目した研究は非常に少ないのが現状である。

また、スノーボード・ジャンプに着目した研究はさらに少なく、筋電センサを用いたジャンプ動作の運動計測・解析の研究<sup>17)</sup>が行われているが、ジャンプ技術に関する学術的見識は大幅に不足している。そこで、スノーボーダーのスキルに応じた効果的なジャンプに関する指導方法を構築するためには、ジャンプのメカニズムを解明する必要がある。スノーボーダーがジャンプを行うためにどのように運動し、どのような操作力を与えているのかを明らかにする必要がある。

本論文では、スノーボード・ターン、スノーボード・ジャンプの運動計測・解析として、以下の計測・解析法を行う。

1. 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
2. スノーボード・オーリー動作における操作力・雪面反力計測
3. 雪面反力情報に基づくスノーボード・オーリー動作の運動解析
4. スノーボード・オーリー動作における運動学的解析

1. 「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」では、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て、スノーボード・ターンの運動計測・解析を行い、スキルの異なる上級・初級レベルのスノーボーダーにおける雪面反力の違いやカービングターンを行うために、必要な要素であるスノーボードのたわみ成分を定量的に評価し、本システムを用いることによってスノーボーダーの

スキル評価を行うことが可能であることを示す。

2. 「スノーボード・オーリー動作における操作力・雪面反力計測」では、第1章において用いた操作力・雪面反力計測システムを、スノーボードにおいて重要なジャンプ技術であるオーリーの運動計測に適用し、オーリーにおける力・モーメントを用いた解析を行う。上級レベルのスノーボーダーによる緩やかな斜面上でオーリーを行った際の、力・モーメントを計測・解析することによって、オーリー動作を行う際の力のかけ方やタイミング等、これまでに明らかにされていなかったオーリーを行う際の操作力を定量的に示す。

3. 「雪面反力情報に基づくスノーボード・オーリー動作の運動解析」では、ジャンプ台にて行うオーリー動作において、上級レベルのスノーボーダーによる力・モーメント計測を行い、さらにスノーボード全体に関するモーメントを計算して解析を行った。緩やかな斜面上での力・モーメント計測の結果と比較して、斜面上とジャンプ台における運動の違いを定量的に示す。この定量的な違いを指導書等に明記することにより、緩やかな斜面上で練習するオーリーと実際のジャンプ台で行うオーリーの違いを考慮した指導を行うことが期待できる。

4. 「スノーボード・オーリー動作における運動学的解析」では、オーリーの指標となる運動学的な特徴について明らかにするため、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた上級・中級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作の計測・運動学的解析を行う。本解析により、オーリー動作を行うことによる各関節の運動とオーリー動作の有無による運動の違いを示し、これまで明らかにされていなかったオーリーの運動のメカニズムを解明するための指標となる情報を定量的に示すだけでなく、指導方法の構築への利用が期待される。

## 1.2 本論文の構成

[第 1 章] 序論では、本論文の背景および従来の研究について概説し、本研究の目的および意義について述べる。

[第 2 章] 第 2 章では、スノーボードとビンディングの間に複数の小型力センサを搭載した雪面反力計測システムを取り付け、頭部に GPS レシーバを装着した上級・初級レベルのスノーボーダーによる実際の雪面におけるカービングターンの計測実験を行い、スキルの異なるスノーボーダーにおける雪面反力の違いやカービングターンを行うために必要な要素であるたわみ成分を定量的に表し、評価した結果について述べる。

[第 3 章] 第 3 章では、第 2 章にて用いた計測システムを適用し、上級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作の操作力・雪面反力計測実験を行う。緩やかな斜面上でオーリーを行った際の力・モーメントを計測し、解析によって得られた結果について述べる。

[第 4 章] 第 4 章では、実際のジャンプ台にて行うオーリー動作において上級レベルのスノーボーダーによる力・モーメント計測を行い、さらにスノーボード全体に関するモーメントを計算して解析を行った結果と、第 3 章にて示した緩やかな斜面上での力・モーメント計測の結果を比較して、斜面上とジャンプ台におけるオーリー動作の運動の違いを定量的に表した結果について述べる。

[第 5 章] 第 5 章では、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた上級・中級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作の計測実験・運動学的解析を行った結果、オーリー動作を行うことによる各関節の運動とオーリー動作の有無による運動の違いを定量的に表した結果について述べる。

[第 6 章] 結論では、本論文の第 2 章から第 5 章までの総括を行う。

### 1.3 参考文献

- 1) 水沢利栄.  
スキー・スノーボードのワンメイクにおける傷害の発生状況.  
-2000年～2002年の全国37スキー場について-  
日本スキー学会誌, 2004年, 14(1), 83頁～93頁.
- 2) 萩原あいか, 入江一憲.  
スノーボードのワンメイクジャンプ着地時における転倒パターンの分析.  
体力科学, 2001年, 50(6), 990頁.
- 3) 日本スノーボード協会.  
JSBA スノーボード教程.  
山と溪谷社, 2008年, 160頁～167頁.
- 4) 渡辺裕人, 中島武文, 山田哲.  
スノーボード選手の体力的特性.  
日本体育学会第49回大会, 1998年, 514頁.
- 5) 平野貴也, 柳敏晴, 谷健二.  
スノーボードの競技者特性に関する研究.  
-スポーツ経験との関連から-  
日本体育学会第46回大会, 1995年, 180頁.
- 6) 中口博, 藤巻高光, 保谷克巳, 桐野高明, 吉田裕俊, 高橋誠, 鎌田實.  
スノーボードによる頭部外傷.  
脳外誌, 1997年, 6巻4号, 256頁～260頁.
- 7) 千葉義信, 山内賢.  
スキー場における傷害についての調査.  
-スノーボード専用パーク開設に着目して-  
日本体育学会第48回大会, 1997年, 514頁.
- 8) 森田啓, 林容市, 谷合哲行.  
スノーボードを用いた教養教育.  
大学教育学会誌, 2007年, Vol 29, No2, 154頁～150頁.

- 9) 外川重信.  
大学体育におけるスノーボードの指導方法・指導体系について.  
-安全で効果的な実施方法を考える-  
人間文化研究 / 田園調布学園大学短期大学部人間文化学科紀要編集委員会 編,  
2002年, 1号, 65頁~76頁.
  
- 10) 清水史郎, 長谷川健二.  
スノーボードロボットの開発.  
-膝関節の屈曲・伸展モデルと股関節の屈曲・伸展モデル-  
スキー研究, 2005年, 3-1, 1頁~9頁.
  
- 11) 坂田敏行, 月山雅晴, 細川健治.  
スノーボード・ターンのシミュレーションに関する研究.  
-膝関節の屈曲・伸展モデルと股関節の屈曲・伸展モデル-  
日本機械学会論文集, 1999年, 65巻, 639号, 193頁~199頁.
  
- 12) 土岐仁, 山田知明, 長井力, 穂苅真樹.  
スノーボード・ターンの運動解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2006年, Vol.72, No.713, 190頁~196頁.
  
- 13) Hirose, K.; Doki, H.; Kondo, A.  
Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and  
reaction force from snow surface.  
The Engineering of Sport 9, 2012, p.754-759.
  
- 14) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
実滑走計測によるスノーボード・ターンの運動力学解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2013年, Vol.79, No.800, p.897-907.
  
- 15) Kondo, A.; Doki, H.; Hirose, K.  
An attempt for measuring snowboarding performance using compact force sensors.  
The Engineering of Sport 10, 2014, p. 86-91.

- 16) 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 西川太朗, 土岐仁.  
小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究.  
スキー研究, 2014年, Vol.11, No.1, 51頁～57頁.
  
- 17) 稗島利明, 山本敬三, 川初清典, 清水孝一.  
スノーボードジャンプにおける空中回転動作の分析.  
電子情報通信学会 信学技報, 2011年, 3, 135頁～140頁.

## 第2章

# 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

The purpose of this study is to propose a measurement system and analysis method to reveal characteristics of snowboard turn. This measurement system that consists of 3D gyro sensor, 3-axis acceleration sensor, 3-axis magnetic direction sensor and PIC microcomputer is able to measure angular velocity, acceleration and magnetic field through the digital communication. We can simply conduct the experiment because this system is directly attached to the binding on snowboard, even if a measurement range is very large like skiing ground. The analysis method provides initial condition (slope) from gravity acceleration, edging angle from angular velocity and gliding state (direction angle) from magnetic field.

As a result of experimental trial on the carving turn by the snowboarder in a skiing ground, we could obtain the gliding information quantitatively. Furthermore, this proposed system could catch a personal habit such as the difference of edging angle in the front side turn and back side turn because edging angle and gliding state indicate the characteristic of the snowboard turn at length.

Therefore, we can prove the effectiveness and the validity of this proposed system. This measurement system can analyze the major features of snowboard turn and this analysis method may be able to quantitatively evaluate the skill of snowboarders.

## 2.1 緒言

スノーボードは、若者を中心に人気であり、1枚の板を用いて滑走するスノースポーツである。スノーボーダーは、板にビンディングを用いて両足を横向きになるように固定した状態で雪面を滑走していることから、ターンを行うための操作力等はスキーとは大きく異なる。これまでに、スノーボード・ターンの解析に関する研究として、スノーボード操作の測定に関する研究<sup>1)</sup>やスノーボード板の特性に関する研究<sup>2)</sup>、スノーボードロボットの開発<sup>3)</sup>やスノーボード・ターンのシミュレーション<sup>4)</sup>に関する研究等が行われているが、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、実際にターンを行いながら滑走するスノーボーダーがスノーボード板に伝えている操作力またはその反作用力によって得られる雪面反力を計測・解析する必要がある。しかし、スノーボーダーは雪面を高速で滑走していることから、実際のスノーボード・ターンにおける計測は難しい。実際に雪面を滑走するスノーボーダーの運動計測、解析に関する研究として、GPS レシーバ、慣性センサ、インソールシステムを用いたスノーボーダーの運動解析に関する研究<sup>5)</sup>やビデオカメラとモバイルフォースプレートを用いた片足の関節トルク計測に関する研究<sup>6)</sup>が行われている。これまでに廣瀬らは、実滑走における雪面反力を計測するために、6軸力センサを用いた雪面反力計測システムを開発し、磁気式位置センサや慣性センサ・地磁気を用いたスノーボーダーの運動計測を併用することによる、スノーボード・ターンの運動力学解析<sup>7), 8), 9)</sup>を行っている。しかし、モバイルフォースプレートや6軸力センサは若干の大きさ・重量を有しており、スノーボーダーに対して拘束感を与えてしまうため、スノーボーダーが雪面反力計測においても本来の運動ができるようにシステムの小型化・軽量化を行う必要があった。そこで、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とするシステムを開発し、実滑走におけるスノーボーダーによる雪面反力を示した<sup>10), 11)</sup>。しかし、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。先行研究の結果だけでは計測情報が不十分である。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の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。

## 2.2 実験装置

本研究では、スノーボードとビンディングの間に雪面反力計測システムを取り付け、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カービングターン計測実験を行う。

### 2.2.1 計測システム

本研究において使用する雪面反力計測システムを Fig.2.1 に示す。本システムにはプレートの上に複数の小型 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。本研究での実験では、雪面反力計測システムには片足に対して 4 個、両足にて合計 8 個の力センサを搭載しており、力センサを多く使用することによって計測レンジを拡大することができる。

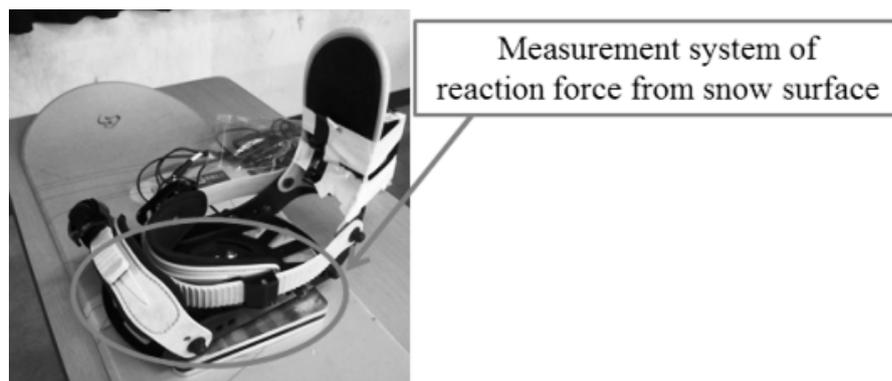


Fig.2.1 The measurement system of reaction force from snow surface

## 2.2.2 取り付け位置

計測システムの取り付け位置を Fig.2.2 に示す。操作力・雪面反力計測システムを両足のビンディング下に取り付けており、バックパックにレシーバーユニット、計測用 PC を搭載して計測実験を行う。



Fig.2.2 Experimental system overview

### 2.2.3 計測信号のシグナルフローチャート

計測信号のシグナルフローチャートを Fig.2.3 に示す。雪面反力計測システムに搭載している力センサからの計測信号は、専用アンプ（テック技販社，DPA-03A）によって増幅された後にマイクロコントローラ（Cypress 社，PSoc5LP）によって A/D 変換（分解能：16bit）され、F-RAM（Cypress 社，FM25W256）に一時的に記録される。そして計測実験終了後に自動的にマイクロ SD カードに保存される。なお、本システムは GPS レシーバや慣性センサを併用して用いることが可能であり、本研究では GPS レシーバ（Arduino 社，LS20031）を用いて滑走軌跡を計測している。

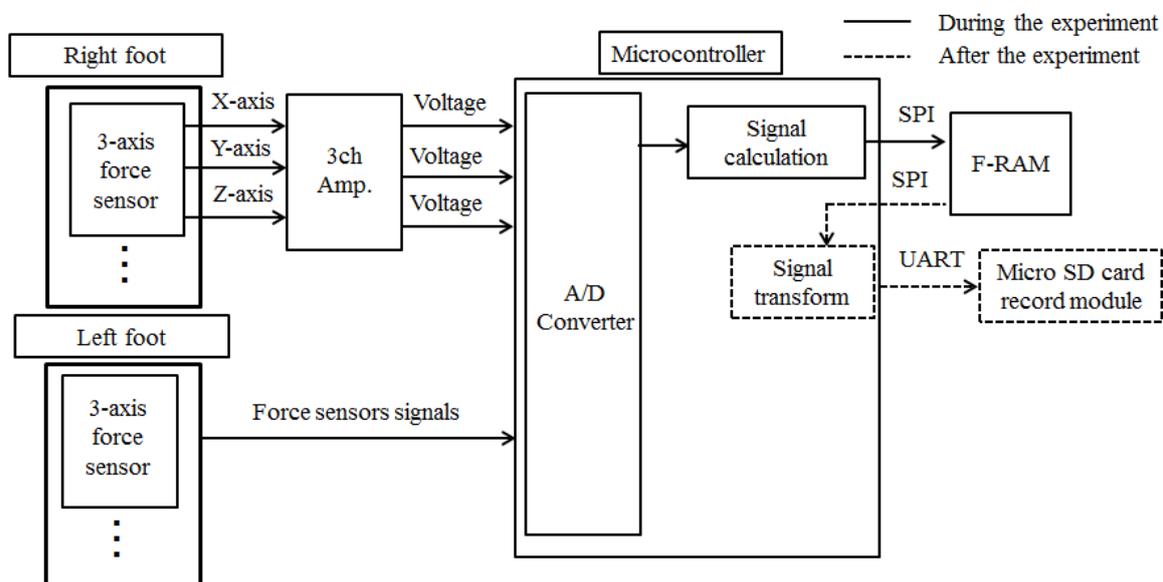


Fig. 2.3 Signal flow chart for the measurement system in the experiment

## 2.3. 計測実験

構築した実験装置を用いて被験者に滑走してもらい、カービングターンの計測実験を行った。

### 2.3.1 実験条件

被験者は2名。女性、身長 154cm、体重 50kg、レギュラースタンス、スノーボード歴 20 年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。以下、上級レベルのスノーボーダーと表記する。もう1名は男性、身長 178cm、体重 66kg、レギュラースタンス、スノーボード歴 3 年の初級レベルのスノーボーダーである。計測実験は太平山スキー場 OPAS スキー場にて実施した。実験条件として、数秒間静止した後に Fig.2.4 に示すように複数回のカービングターンを行いながら滑走してもらった。

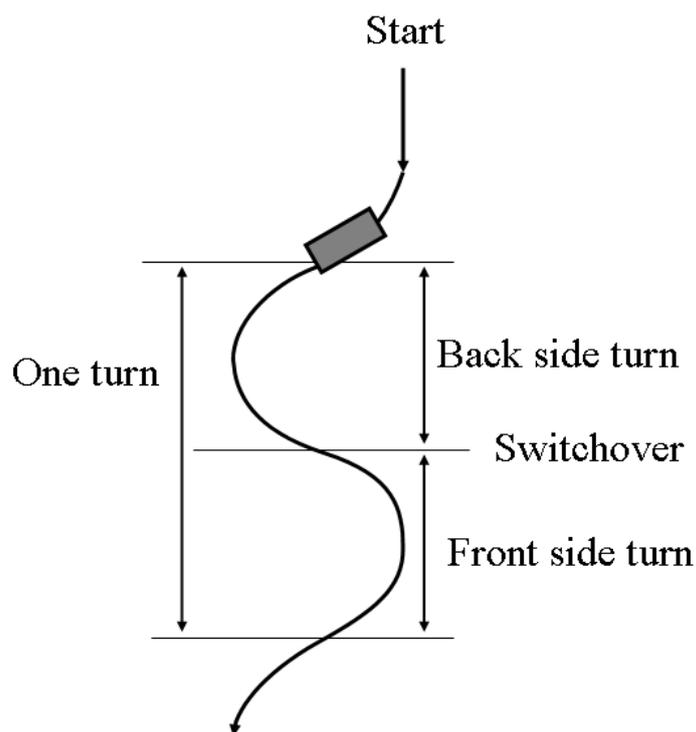


Fig.2.4 Gliding trajectory

### 2.3.2 滑走軌跡

Fig.2.4 における結果は GPS レシーバから得られた位置情報を用いて Fig.2.5 に示すターン切替期を推定し、1 ターン分（バックサイドターン→フロントサイドターン）を抽出した結果を示している。なお、ターン切替期は、滑走軌跡が直線となる部分を抽出することによって推定している。

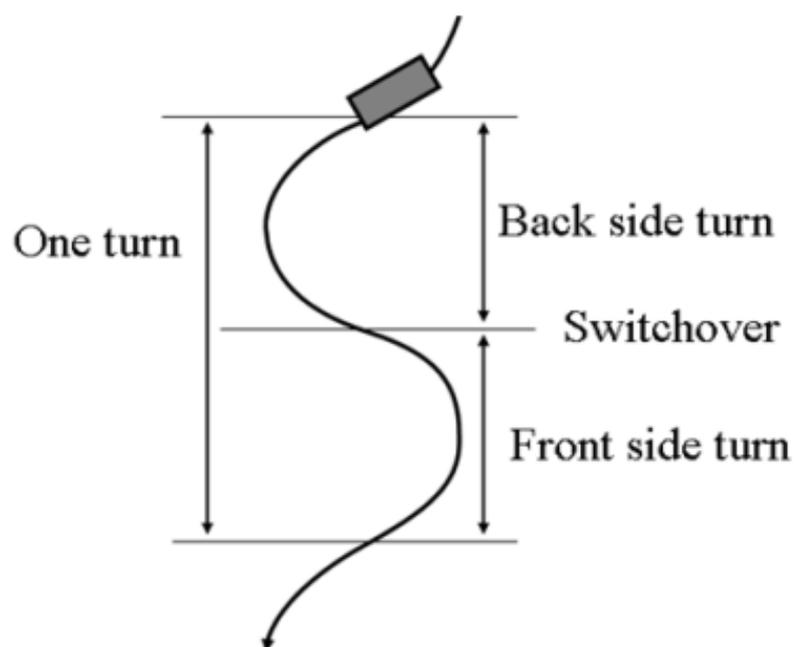


Fig. 2.5 Definition of one turn and switchover

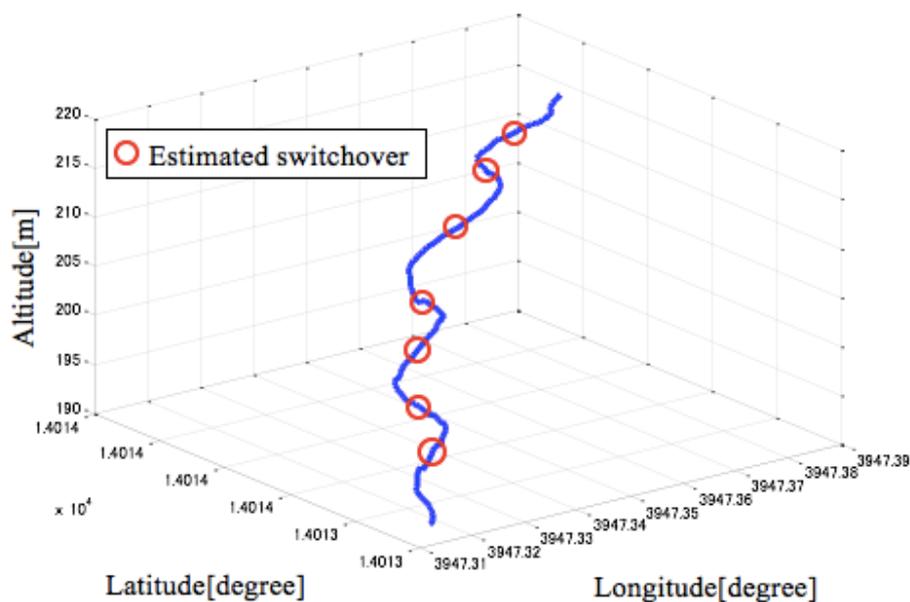


Fig.2.6 Gliding trajectory and estimated switchover

滑走軌跡と推定したターン切替期を Fig.2.6 に示す。また、本結果におけるターン切替間の滑走距離は、バックサイドターン：34.8m，フロントサイドターン：30.9m である。

ただし、初期状態を計測するために、計測開始時にボードは斜面に対して平行になるようにしており、ターン開始時を詳細に把握するために、計滑走開始から約 20m 程度助走した後にターンを行っている。なお、本計測における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 とし、計測時間は 30 秒とした。

### 2.3.3 座標系

座標系の定義を Fig.2.7 に示す．本システムの座標系は，スノーボードの中心を原点としており，スノーボードの長軸方向を Y 軸，スノーボード板に対して垂直下向き方向を Z 軸，スノーボード長軸方向に対して直交方向（スノーボーダーがレギュラースタンスの場合）を X 軸と定義しており，回転方向は，反時計まわりを正としている．



Fig.2.7 Definition of coordinate system

## 2.4. 解析方法

### 2.4.1 カ・モーメントの計算式

力センサの計測情報から力，モーメントを得るための計算式を式(1), (2)に示す.

$$f = \sum_{i=1}^m F_i \quad (1)$$

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}, F_i = \begin{bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{iz} \end{bmatrix}$$

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

$$n = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}, {}^0 p_i = \begin{bmatrix} {}^0 p_{ix} \\ {}^0 p_{iy} \\ {}^0 p_{iz} \end{bmatrix}, F_i = \begin{bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{iz} \end{bmatrix}$$

ここで,  $f$  は力,  $n$  はモーメントであり,  ${}^0 p_i$  は原点から力センサまでの位置ベクトル,  $F_i$  は力センサの出力である.  $m$  は力センサの個数であり, 力センサを多く使用することにより計測レンジを拡大することができる. この実験では, 力センサの個数は各足 4 個ずつである.

## 2.4.2 ひねり・たわみ成分に関するモーメントの計算式

ターンのメカニズムについてより詳しく解析するために、両足にかかる雪面反力からスノーボード板にかかるひねり成分（Y 軸，Z 軸）とたわみ成分（X 軸）に関するモーメントを算出する。ひねり，たわみ成分に関するモーメントの計算式を式(3)に示す。

$$N = N_{left} - N_{right} = n_{left} + f_{left} \times d_{left} - n_{right} - f_{right} \times d_{right} \quad (3)$$

$$N = \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix}, N_{left} = \begin{bmatrix} N_{left(x)} \\ N_{left(y)} \\ N_{left(z)} \end{bmatrix}, N_{right} = \begin{bmatrix} N_{right(x)} \\ N_{right(y)} \\ N_{right(z)} \end{bmatrix}, d_{left} = \begin{bmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{bmatrix}, d_{right} = \begin{bmatrix} 0 \\ -d \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここで、 $N$  はひねり，たわみ成分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。スノーボード上での位置ベクトルを示す図を Fig.2.8 に示す。



Fig.2.8 Position vectors from the original point of snowboarding to the one of the measurement systems

### 2.4.3 ひねり・たわみ成分に関するモーメントの座標系定義

ひねり，たわみ成分に関するモーメントの座標系定義を Fig.2.9 に示す．

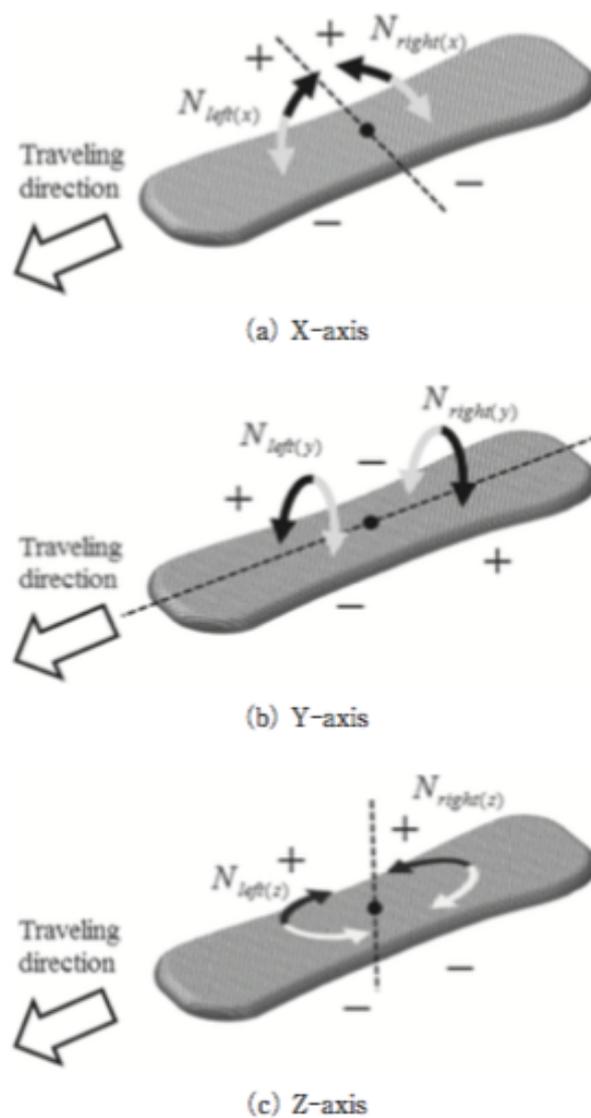


Fig.2.9 Definition of the coordinate system in the moments about torsion and deflection of snowboard

## 2.5. 計測結果

実験によって得られた計測情報より算出した力・モーメントの結果を Fig.2.10～Fig.2.13 に示す．

### 2.5.1 上級レベルのスノーボーダーにおける力の結果

上級レベルのスノーボーダーにおける力の結果に着目すると、左足においてはフロントサイドターン中のZ軸力成分  $F_{left(z)}$  がバックサイドターン中よりも大きい値を示しているが、右足においてはバックサイドターン中のZ軸力成分  $F_{right(z)}$  がフロントサイドターン中よりも大きい結果となっており、バックサイドターンを行うために、若干右足の後方に荷重を変化させていた。

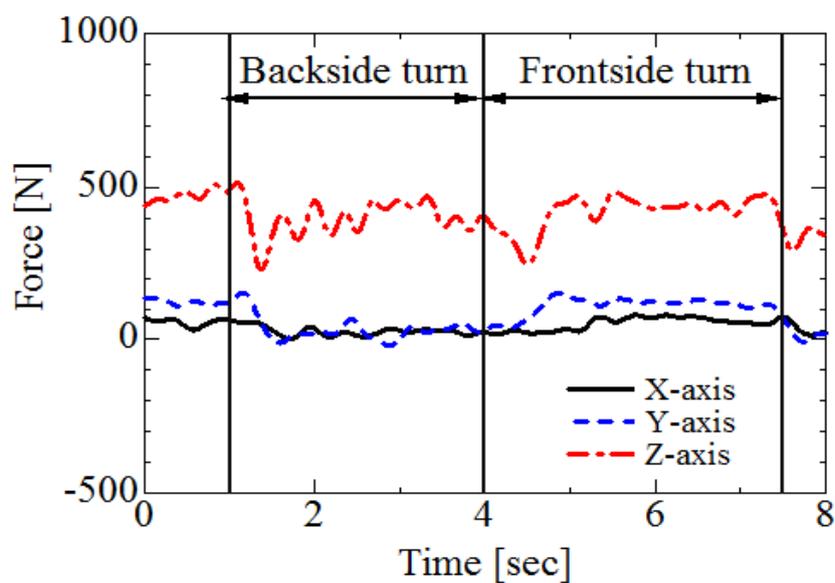


Fig.2.10 Results for the forces component in left foot

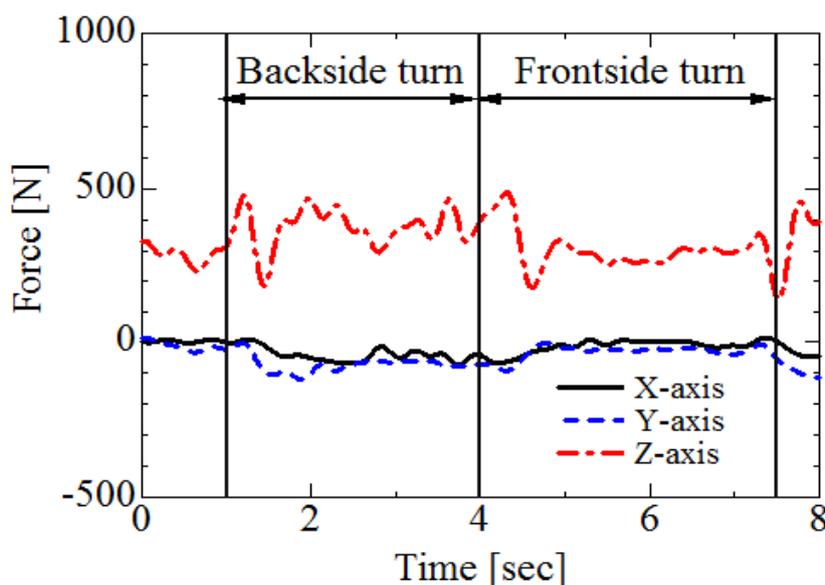


Fig.2.11 Results for the forces component in right foot

## 2.5.2 上級者レベルのスノーボーダーにおけるモーメントの結果

上級レベルのスノーボーダーにおけるモーメントの結果に着目すると、両足ともに Y 軸モーメント  $N_{left(y)}$ ,  $N_{right(y)}$  が大きく変化しており、その後にモーメントを保持していた。本結果は、ターンを行うために発生させたエッジング量を保持するためにモーメントを発生させていたことを示している。また、右足の Y 軸モーメント  $N_{right(y)}$  においてターン切替期付近にモーメントが逆方向に大きく変化している。本結果は、ターンを行う前に一時的に反対方向にモーメントを発生させることにより力を溜め、その反動を用いることにより、ターンし易くしていることを示している。

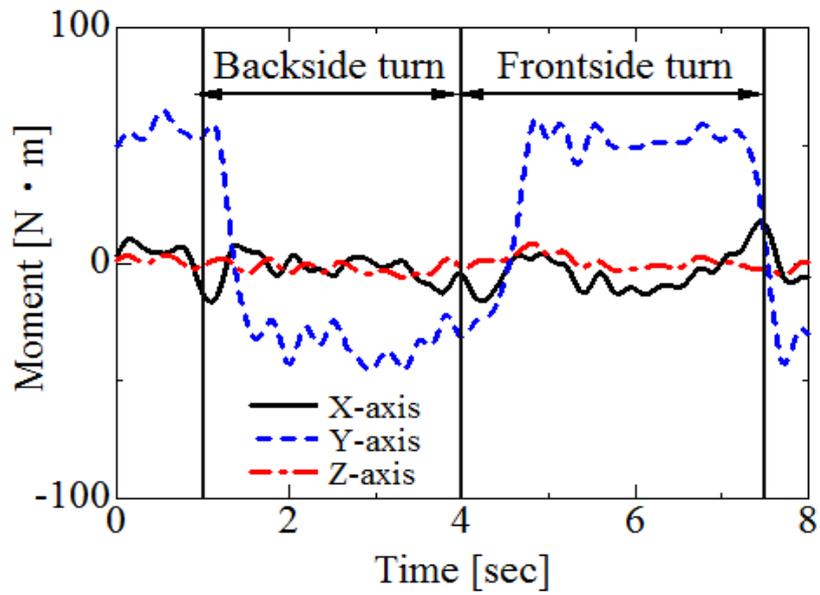


Fig.2.12 Results for the moments component in left foot

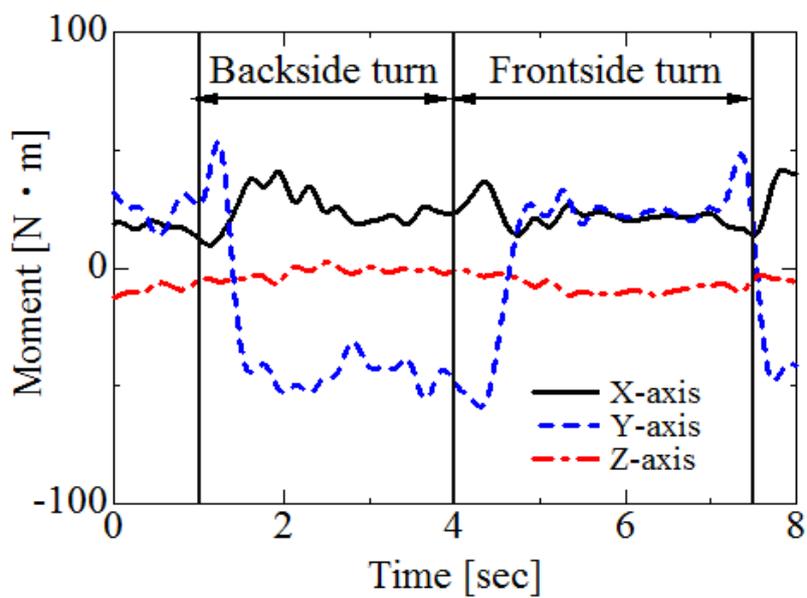


Fig.2.13 Results for the moments component in right foot

## 2.6 雪面反力の比較解析

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に、先行研究<sup>12)</sup>において得られた初級レベルのスノーボーダーの結果との比較、解析を行った。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。雪面反力の比較結果を Fig.2.14～Fig.2.15 に示す。

### 2.6.1 力の比較解析

力の結果 (Fig.2.14, Fig.2.15) に着目すると、初級レベルのスノーボーダーにおける左足の Z 軸力成分  $F_{left(z)}$  は上級レベルのスノーボーダーの結果よりも小さく、右足の Z 軸成分  $F_{right(z)}$  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、初級レベルのスノーボーダーのバックサイドターン中において両足の Z 軸力成分  $F_{left(z)}$ ,  $F_{right(z)}$  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。

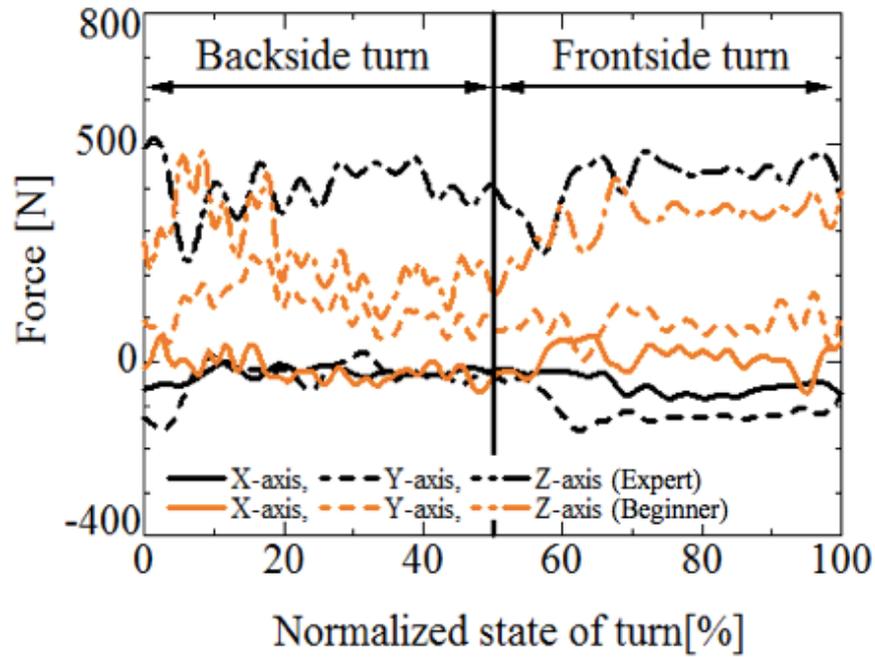


Fig.2.14 Results for normalized force components of left foot in Expert and Beginner

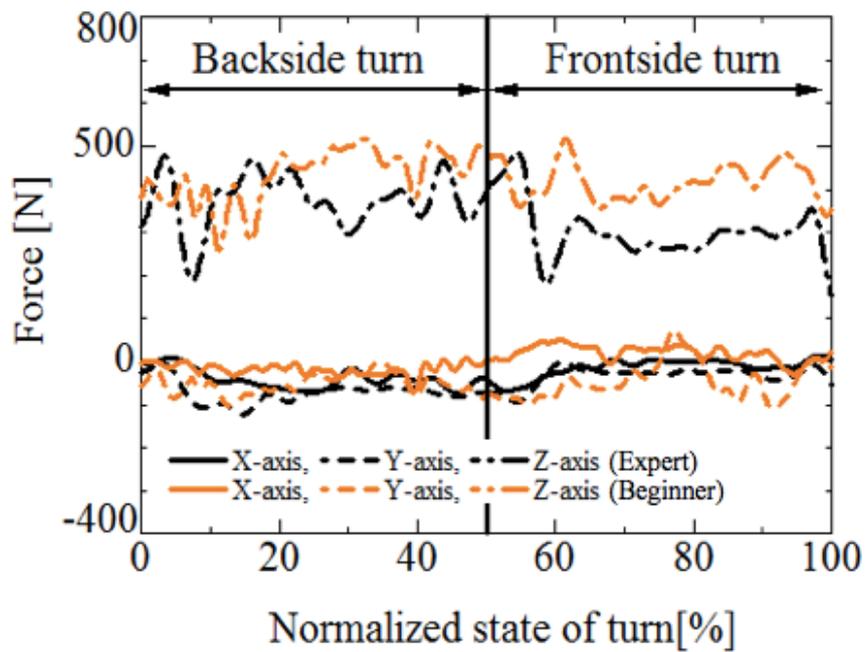


Fig.2.15 Results for normalized force components of right foot in Expert and Beginner

## 2.6.2 モーメントの比較解析

モーメントの結果 (Fig.2.16, Fig.2.17) 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, ターンを行うために発生させたエッジング量を保持するためにモーメントを発生させていた. 一方, Z 軸モーメント成分に着目すると, 初級レベルのスノーボーダーにおける左足において 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, 上級レベルのスノーボーダーにおける右足において 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.

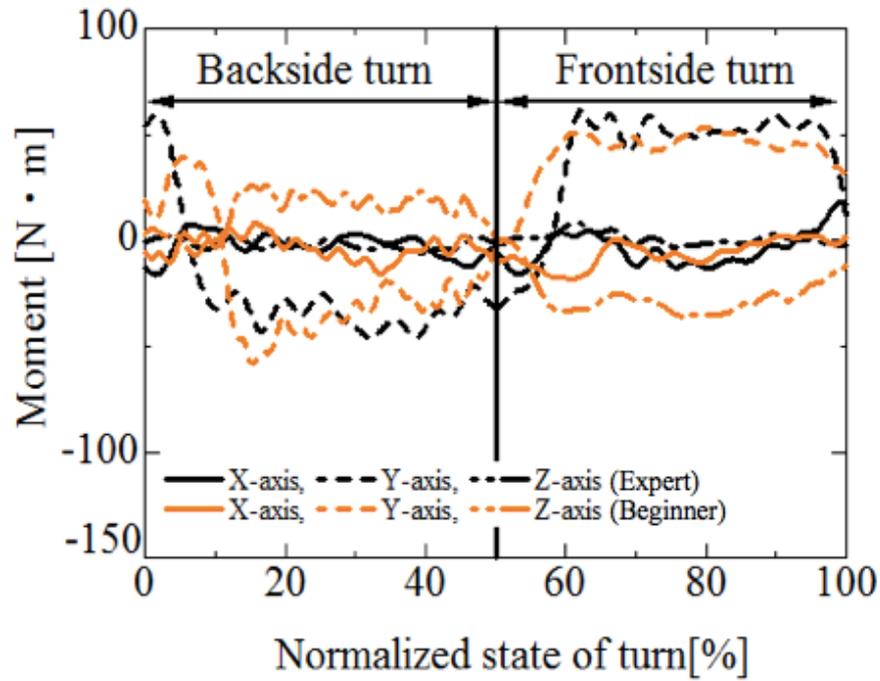


Fig.2.16 Results for normalized moments components of left foot in Expert and Beginner

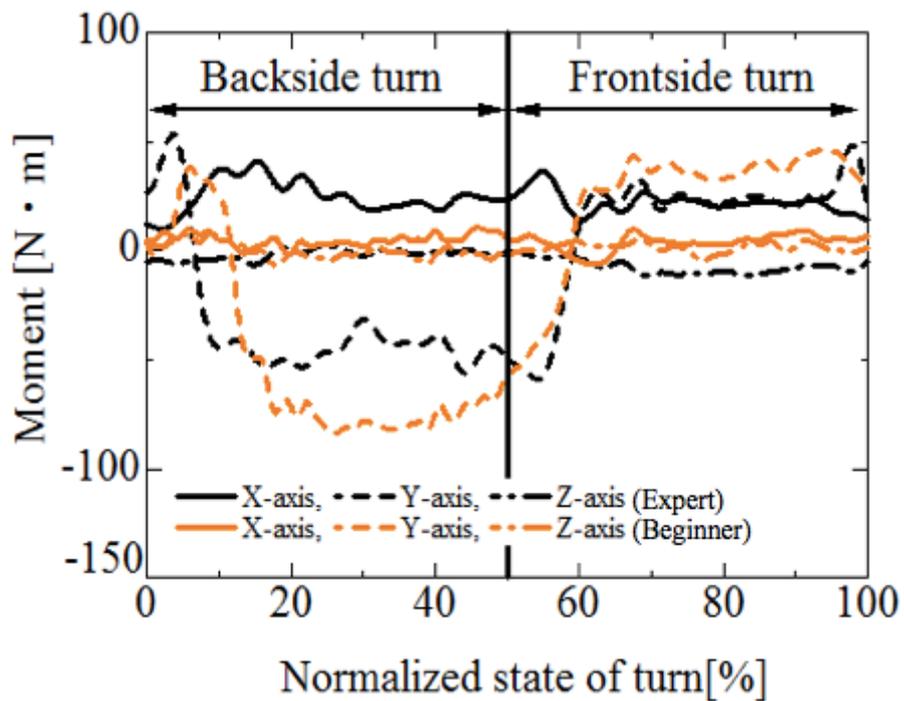


Fig.2.17 Results for normalized moments components of right foot in Expert and Beginner

### 2.6.3 比較解析の考察

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。上級レベルのスノーボーダーにおける結果は、初級レベルのスノーボーダーにおける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。初級レベルのスノーボーダーにおける結果では、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。

## 2.7 モーメントの合力（ひねり・たわみ成分）の結果

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、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（ひねり、たわみ成分）を算出した。上級、初級レベルのスノーボーダー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.2.18, Fig.2.19 にそれぞれ示す。

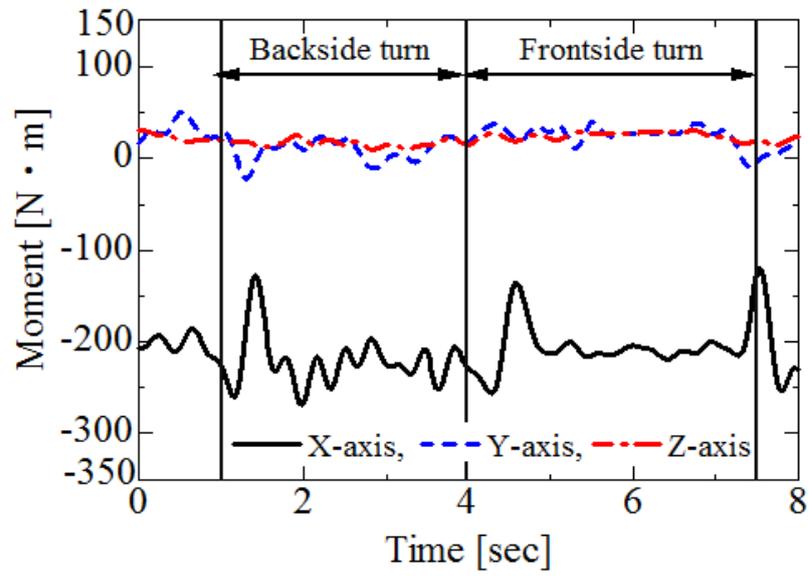


Fig.2.18 Results for the moments component about torsion and deflection of left foot (Expert)

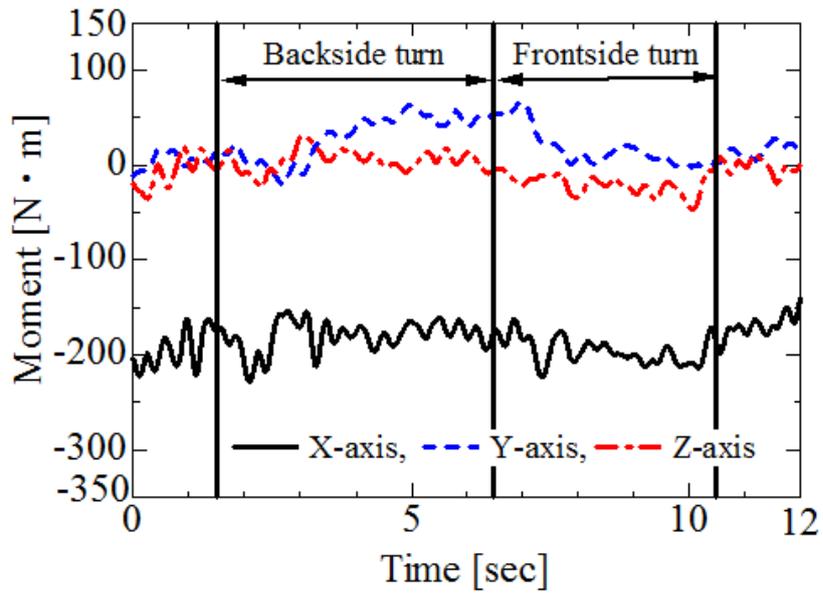


Fig.2.19 Results for the moments component about torsion and deflection of right foot (Beginner)

### 2.7.1 ひねり成分（Y 軸モーメント・Z 軸モーメント）の結果

ひねり成分（Y 軸モーメント，Z 軸モーメント）の結果に着目すると，上級レベルのスノーボーダーの計測実験より得られたモーメントの変化は，初級レベルのスノーボーダーにおける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 軸におけるひねり成分に関するモーメント  $N_y$ ， $N_z$  の発生を抑える必要があることを示している．

### 2.7.2 たわみ成分（X 軸モーメント）の結果

たわみ成分を示す X 軸モーメント  $N_x$  に着目すると，上級レベルのスノーボーダーにおける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，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，初級レベルのスノーボーダーにおける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．

### 2.7.3 考察

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成分を変化させていることを示しており，上級レベルのスノーボーダーにおける結果から，スノーボード板にたわみ成分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．

## 2.8 ひねり・たわみ成分の解析結果

上級、初級レベルのスノーボーダーにおける実験によって得られた各 6 ターン分におけるターン中の雪面反力、ひねり・たわみ成分に関するモーメントについて算出し、バックサイドターン、フロントサイドターン中における力の Z 軸成分の左右差 ( $F_{left(z)}-F_{right(z)}$ ) の平均値、モーメントの Y 軸成分  $n_y$ , X 軸成分  $n_x$ , Z 軸成分  $n_z$  の平均値、1 ターン中におけるひねり・たわみ成分に関するモーメントの Y 軸成分  $N_y$ , Z 軸成分  $N_z$  の平均値をまとめた結果を Table.2.1 に示す. ここで平均値は、バックサイドターン、フロントサイドターンにおける 1 秒間の値を抽出し平均した結果を用いた.

Table.2.1 Mean value of Force and moment in snowboard turns

	Expert				Beginner			
	Back side turn		Front side turn		Back side turn		Front side turn	
	Left foot	Right foot	Left foot	Right foot	Left foot	Right foot	Left foot	Right foot
Difference values of Z-axis force of left and right feet in turns $F_{left(z)}-F_{right(z)}$ (N)	109.6		-90.8		-229.7		-48.4	
Y-axis moment in turns $n_y$ (N·m)	-45.3	-26.8	33.7	46.2	-34.5	-74.6	43.9	36.8
Z-axis moment in turns $n_z$ (N·m)	-6.0	-7.5	-8.2	1.2	23.0	-4.53	-19.7	0.6
X-axis moment in turns $n_x$ (N·m)	7.8	-20.7	10.6	-20.5	-1.9	4.0	1.6	8.3
Y-axis moment (torsion) in turns $N_y$ (N·m)	44.4				59.8			
Z-axis moment (deflection) in turns $N_z$ (N·m)	48.9				62.9			

本結果より、初級レベルのスノーボーダーは常に後ろ足荷重であり、バックサイドターン中はさらにその傾向が大きいこと、両スノーボーダーともにターンを行うためにモーメントの Y 軸成分を発生させていること、初級レベルのスノーボーダーにおける左足モーメントの Z 軸成分の値が大きく、回転させるようにモーメントが発生していること、上級レベルのスノーボーダーはスノーボードをたわませるために X 軸モーメントを使用していること、上級レベルのスノーボーダーは初級レベルのスノーボーダーよりもひねり成分に関するモーメントの Y 軸成分、Z 軸成分が小さいことから、比較結果と平均した結果は、同様の傾向が得られていることを示した. また、上級レベルのスノーボーダーにおける解析によって得られた運動の特徴について映像確認を行った結果、ターンを行うためにこれらの操作を行っていることを確認した.

以上より、上級・初級レベルのスノーボーダーとの比較、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.

## 2.9 結言

本研究では、複数の小型力センサを搭載したスノーボード用雪面反力計測システムを用いて上級レベルのスノーボーダーによるカービングターンの計測実験・解析を行った。さらに、先行研究<sup>12)</sup>において得られた初級レベルのスノーボーダーにおける結果との比較やスノーボードにかかるモーメントの合力成分を用いたさらなる解析を行うことにより、スキルの異なるスノーボーダーにおける雪面反力の違いやカービングターンを行うために必要な要素（滑走方向に対する前傾姿勢の保持、抜重、スノーボード板のたわみ等）を定量的に示すことができた。本研究によって得られた結果より、本システムを用いることによってスノーボーダーがターンを行った際の雪面反力を計測できることから、本研究における解析において得られた特徴と比較することによって、スノーボーダーのスキル評価を行うことが可能であることを示すことができた。また、スノーボードにおけるカービングターンを適切に行うための指導要領の構築や他の情報（滑走軌跡・速度等）を併用した解析を行うことにより、スノーボード板の開発への利用やスノーボード・ターンのメカニズム解明が期待できる。今後の課題として、より多くの被験者や異なる実験条件（コース、雪面状況）による計測実験・解析を行い、スノーボード・ターンの特徴についてのさらなる明確化が必要である。

本研究では、スノーボード滑走を定量的に表現するための計測装置を開発し、解析手法の確立を行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 複数の小型力センサを搭載したスノーボード用雪面反力計測システムを用いて、上級レベルのスノーボーダーによるカービングターンの計測実験を行い、力・モーメントの解析によって上級レベルのスノーボーダーにおけるカービングターンの特徴を明らかにした。
- (2) 初級レベルのスノーボーダーにおける力・モーメントの比較結果によって、スキルの異なるスノーボーダーにおける雪面反力の違いを明らかにした。
- (3) スノーボードにかかるモーメントの合力成分を用いたさらなる解析を行うことにより、スキルの異なるスノーボーダーにおけるカービングターンを行うために必要な要素（滑走方向に対する前傾姿勢の保持、抜重、スノーボード板のたわみ等）を定量的に示すことができた。
- (4) 本システムを用いることによってスノーボーダーのスキル評価を行うことが可能であることを示すことができた。

以上より本研究にて開発した計測装置、解析手法を用いることでスノーボーダーのスキル評価を行うことが可能であることを示すことができた。また、スノーボードにおけるカービングターンを適切に行うための指導要領の構築や他の情報（滑走軌跡・速度等）を併用した解析を行うことにより、スノーボード板の開発への利用やスノーボード・ターンのメカニズム解明が期待できる。

## 2.10 参考文献

- 1) 坂田敏行.  
スノーボード操作の測定.  
日本スキー学会誌, 2000年, Vol.10, No.1, 45頁～52頁.
- 2) 坂田敏行, 谷本垣, 細川健治.  
スノ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, 2001年, Vol.11, No.1, 235頁～246頁.
- 3) 清水史郎, 長谷川健二.  
スノ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, 2003年, Vol.1, No.1, 9頁～13頁.
- 4) 坂田敏行, 月山雅晴, 細川健治.  
スノーボード・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 C 編, 1999年, Vol.65, No.639, 4431頁～4437頁.
- 5) A, Kru<sup>g</sup>ger. ; J,Edelmann-Nusser.  
Biomechanical analysis in freestyle snowboarding:application of a full-body inertial measurement system and a bilateral insole measurement system.  
Sports Technology, Vol. 2, No. 1-2, p.17-23.
- 6) Klous, M. ; Erich M. ; Hermann.S.  
Three-dimensional lower extremity joint loading in a carved ski and snowboard turn.  
A pilot study, 2011, Vol. 45, No. 16, p. 1303-1309.
- 7) 土岐仁, 山田知明, 長井力, 穂苺真樹.  
スノーボード・ターンの運動解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2006年, Vol.72, No.713, 190頁～196頁.
- 8) Hirose, K. ; Doki, H.; Kondo, A.  
Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and reaction force from snow surface. The Engineering of Sport 9, 2012, p. 754-759.

- 9) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
実滑走計測によるスノーボード・ターンの運動力学解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2013 年, Vol.79, No.800, 897 頁～907 頁.
  
- 10) Kondo, A. ; Doki,H. ; Hirose,K.  
An attempt for measuring snowboarding performance using compact force sensors.  
The Engineering of Sport 10, 2014, p. 86-91.
  
- 11) 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 西川太朗, 土岐仁.  
小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究.  
スキー研究, 2014 年, Vol.11, No.1, 51 頁～57 頁.
  
- 12) 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, 2016年, 第26巻 第2号, 233頁～242頁.

## 第3章

# スノーボード・オーリー動作における 操作力・雪面反力計測

The purpose of this study, we conducted the measurement experiment of Ollie motion by expert snowboarder using the measurement system of control force by snowboarder and reaction force from snow surface on the gentle slope, and we analyzed the Ollie motion using the measurement information. We used the measurement system for applied force (3-axis force and 3-axis moment) of snowboarder in the previous studies. The measurement system installs the four 3-axis compact force sensors on the sole of feet (total 8 devices for both feet).

We indicated quantitatively the control force of the snowboarder in Ollie motion by the measurement and analysis of Ollie motion on the gentle slope. The results can be used to a milestone leads to clarify Ollie motion in mechanism of exercise.

### 3.1 緒言

スノーボードは、若者を中心として人気があるスノースポーツであり、1998年の長野オリンピックより競技として採用されている。また、ソチオリンピックからスロープスタイルが新種目として加わり、ハーフパイプを含めジャンプを中心とした競技が実施されていることから、ジャンプ技術が非常に重要である。しかし、スノーボード・ジャンプに関する指導環境、指導要領は十分とは言えない<sup>1),2)</sup>ため、指導の基礎となるスノーボーダーのスキル評価が難しく、多くのスノーボーダーは独学でジャンプ技術を習得しているのが現状である。

そこで、スノーボーダーのスキルに応じた効果的なジャンプに関する指導方法を構築するためには、ジャンプのメカニズムを解明する必要がある。スノーボーダーがジャンプを行うためにどのような操作力を与えているのかを明らかにする必要がある。

これまでのスノーボードに関する研究として、磁気式位置センサや慣性センサを用いたスノーボード・ターンの運動解析に着目した研究<sup>3),4),5)</sup>が行われているが、スノーボード・ジャンプに着目した研究は非常に少ない。先行研究において、筋電センサを用いたジャンプ動作の運動計測・解析<sup>6)</sup>が行われているが、スノーボード・ジャンプにおいて重要な技術であるオーリーを使用した運動の違い等は分析されていないため、オーリーの有無によるジャンプの違いについて明らかにする必要がある。

オーリーとは、スノーボード板にたわみを発生させ、その反発力を使って空中に跳び上がる、スノーボードにおいて重要なジャンプ技術である。スノーボーダーは、スノーボード板の引き上げ・送り出し動作を前足と後足において時間差で行い、テール（スノーボード板の後端部）に発生する反発（反作用力）を使うことによって、高いジャンプ高度を実現できる。ジャンプ台（キッカー）や斜面においてオーリーを使用すると、無操作な場合よりも高くジャンプすることができることから、ジャンプ台などのエアやグラウンドトリックに使われている。また、着地時の衝撃緩和にも優れていることから、障害物の回避や斜度変化への対応にも使用可能な技術である<sup>2)</sup>。

以上のことから、オーリー技術について科学的に明らかにし、定量的な情報に基づく指導指標やそれぞれのスノーボーダーに適合した指導方法を確立することができれば、スノーボーダーのスキル習得の効率化へ利用することができる。そこで本研究では、スノーボードのジャンプにおいて重要なスキルであるオーリー技術に着目した解析を行う。

まず、オーリーを行うためにスノーボーダーがどのような操作力を与えているのかを明らかにするため、前章において開発した雪面反力計測システムを用いて緩やかな斜面上にてオーリーを行った際の操作力（力・モーメント）を計測する。緩やかな斜面（以下、斜面）上にて計測を行うことにより、オーリーを行う際の操作力を明らかにするだけでなく、斜面上におけるオーリー動作の指導指標としても活用することができる。本

研究では、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装着したスノーボーダーによる斜面上における操作力・雪面反力計測実験・解析を行うことにより、オーリーにおける運動のメカニズムを解明するための指標となる情報を示す。

## 3.2 実験装置

本研究では、スノーボードとビンディングの間に、操作力・雪面反力計測システムを取り付け、斜面上において実際にオーリー動作を行った際に発生する力・モーメントを計測する。

### 3.2.1 計測システム

本計測装置は、第2章で用いた計測システムと同様のものを用いて操作力・雪面反力を計測する。本研究において使用する雪面反力計測システムを Fig.3.1 に示す。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。本研究の実験では、雪面反力計測システムには片足に対して4個、両足にて合計8個の力センサを搭載しており、力センサを多く使用することによって計測レンジを拡大することができる。

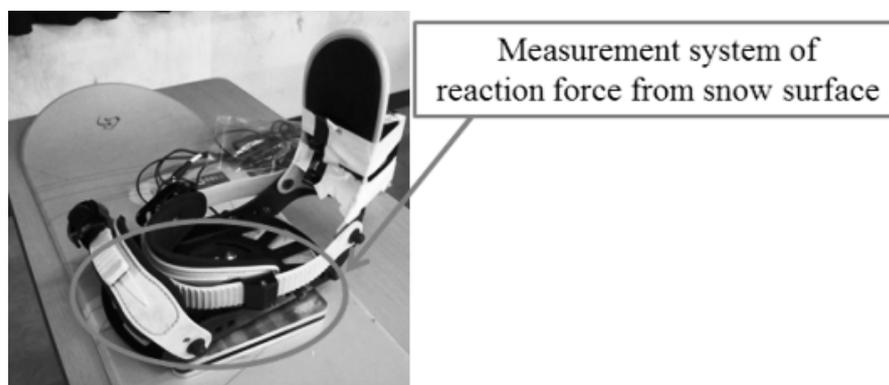


Fig.3.1 The measurement system of reaction force from snow surface

### 3.2.2 取り付け位置

計測システムの取り付け位置を Fig.3.2 に示す。操作力・雪面反力計測システムを両足のビンディング下に取り付けており、バックパックにレシーバーユニット、計測用 PC を搭載して計測実験を行う。



Fig.3.2 Experimental system overview

### 3.3 計測実験

雪面反力計測システムを装着したスノーボーダーによるオーリーの計測実験を行う。斜面上におけるオーリーの計測実験は太平山スキー場 OPAS スキー場にて実施した。また、センサからの計測情報の収集において、斜面上における計測実験では先行研究<sup>7,8)</sup>と同様のシステムを用いた。斜面上における実験のサンプリング周波数は 100Hz, 計測時間は 30 秒である。

#### 3.3.1 実験条件

被験者は 1 名。女性, 身長 154cm, 体重 50kg, レギュラースタンス, スノーボード歴 20 年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。左足を前足とするレギュラースタンスで, アングルはスタンス幅 48cm 前足 18° 後ろ足 -6° である。斜面上における計測実験では, 若干の助走後に複数回のオーリー動作を行った。

### 3.4 座標系

座標系の定義を Fig.3.3 に示す. 第 2 章と同様に, 本システムの座標系は, スノーボードの中心を原点としており, スノーボードの長軸方向を Y 軸, スノーボード板に対して垂直下向き方向を Z 軸, スノーボード長軸方向に対して直交方向 (スノーボーダーがレギュラースタンスの場合) を X 軸と定義しており, 回転方向は, 反時計まわりを正としている.



Fig.3.3 Definition of coordinate system

### 3.5 力・モーメントの計算式

本システムには、片足に 4 個、両足で 8 個の小型 3 軸力センサ（テック技販，USL06-H6-2kN）が搭載されており，式(1)，式(2)を用いることにより，それぞれの力センサ出力より 6 分力（力，モーメント）を得ることができる．また，式(3)を用いることにより，スノーボード板の中心を原点としたスノーボードに関するモーメントを得ることができる．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， $m$  は力センサの個数であり，本研究では  $m=4$  で，各足 4 個ずつである． $N$  はスノーボード全体にかかるモーメント， $f_{right}$ ,  $n_{right}$  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．スノーボード上での位置ベクトルを示す図を Fig.3.4 に示す．

$$f = \sum_{i=1}^m F_i \quad (1)$$

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}, F_i = \begin{bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{iz} \end{bmatrix}$$

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

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

$$N = n_{left} + n_{right} + f_{left} \times d_{left} + f_{right} \times d_{right} \quad (3)$$



Fig.3.4 Position vectors from the original point of snowboarding to the one of the measurement systems

## 3.6. 実験結果

斜面上におけるオーリー動作の計測実験の結果よりオーリー動作 1 回分を抽出し、得られた力の結果を、Fig.3.5, Fig.3.6 に、モーメントの結果を図 Fig.3.7, Fig.3.8 に、スノーボード全体にかかるモーメントの結果を Fig.3.9 に示す。なお、Fig.3.5～Fig.3.9 のジャンプに関する「踏み切り」は前足である左足の力の値が変化した時、「着地」は地面に接地した時（着地によって力の Z 軸成分の値が増加した時）を定義している。

### 3.6.1 力の結果

力の結果 Fig.3.5, Fig.3.6 に着目すると、左右ともに Z 軸の力が大きく変化しており、左足における力は増加した後に減少しているが、左足の力の減少に伴って右足の力が増加している。

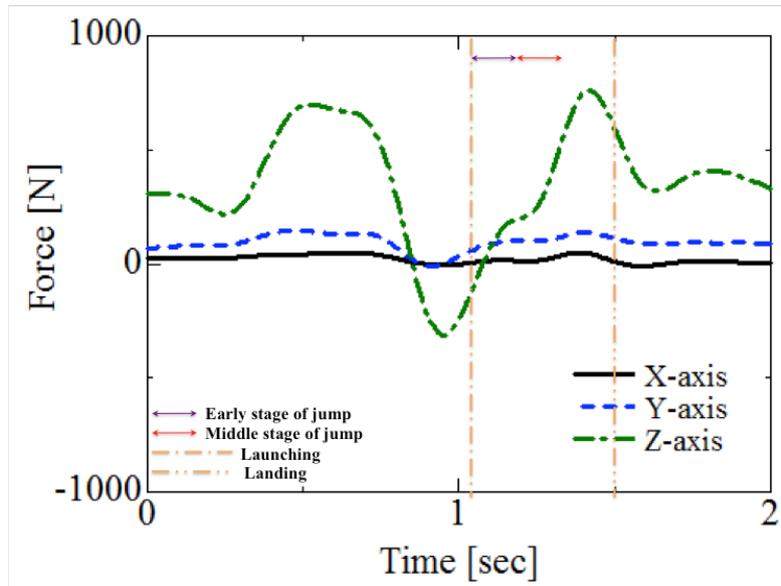


Fig.3.5 Results for the force of the left foot at the slope

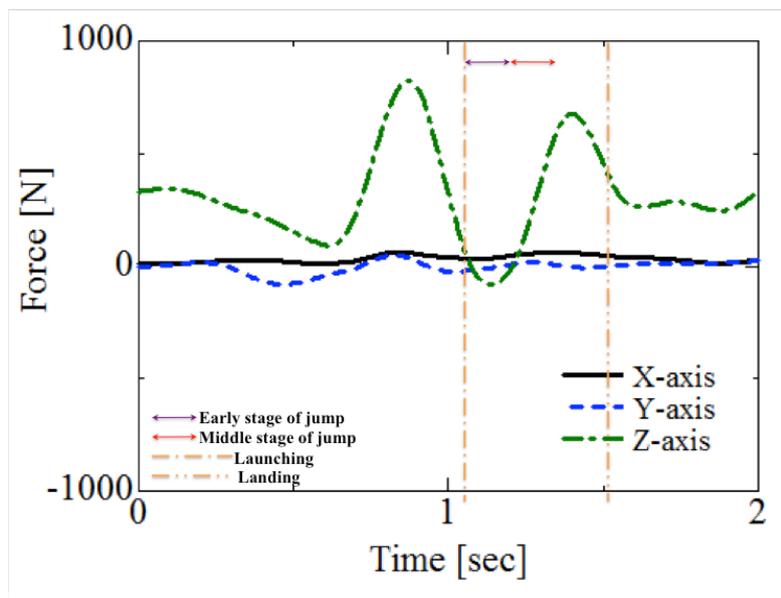


Fig.3.6 Results for the force of the right foot at the slope

### 3.6.2 モーメントの結果

モーメントの結果 Fig.3.7, Fig.3.8 に着目すると、力の結果と同様に左足のモーメントが先に変化しており、左足の X 軸モーメントがマイナス方向（スノーボードの後端部・テール側を引き上げる方向）にピークを示した後に Y 軸モーメントがプラス方向（つま先側）にピークを示し、その後両足の X 軸モーメントがプラス方向（スノーボードの先端部・ノーズ側を引き上げる方向）へと共に増加した。

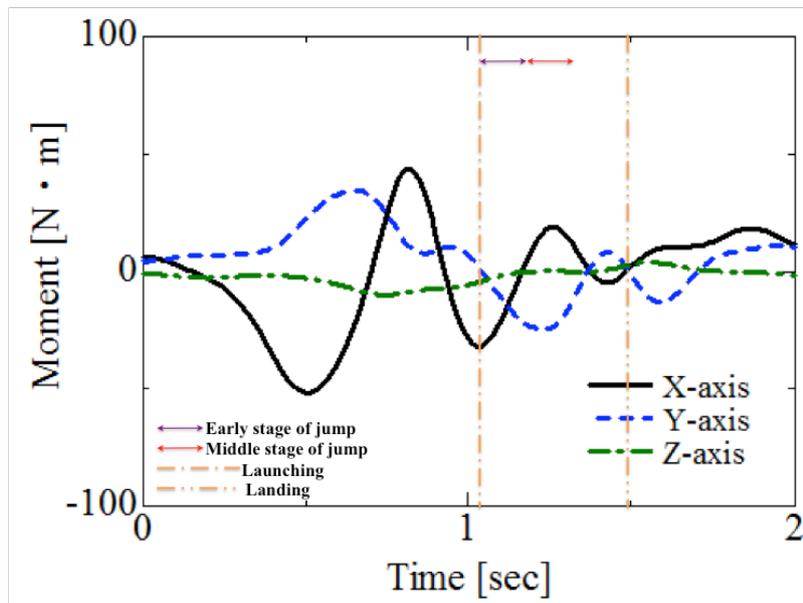


Fig.3.7 Results for the moment of the left foot at the slope

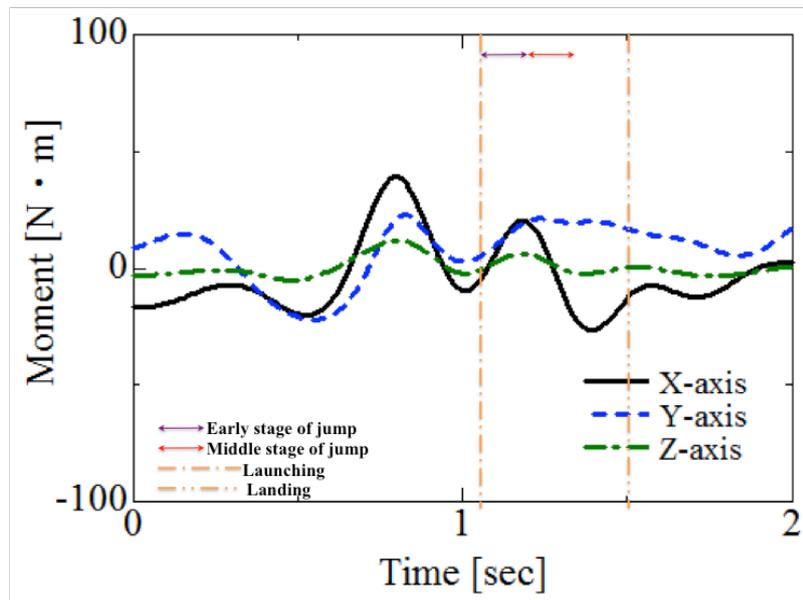


Fig.3.8 Results for the moment of the right foot at the slope

### 3.6.3 スノーボード全体に関するモーメントの結果

スノーボード全体に関するモーメントの結果 Fig.3.9 に着目すると、X 軸モーメントにおいては、ジャンプを行うために左足でスノーボードを引き上げる方向（スノーボードの先端部・ノーズ側を引き上げる方向）へモーメントを発生させた後、スノーボードを逆方向（スノーボードの後端部・テール側を引き上げる方向）へと回転させるようにモーメントを発生させていることを示している。Y 軸モーメントにおいては、踏み切り後はマイナス方向（かかと側）へモーメントが発生している。

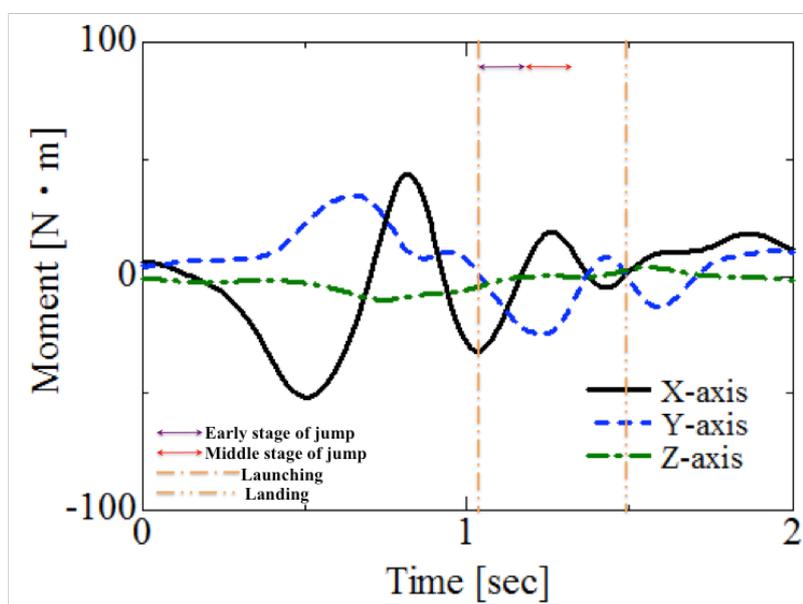


Fig.3.9 Results for the combined force of moment at the slope

### 3.7 考察

力のZ軸の結果、X軸モーメントの結果では、左足から先に変化して、次に右足が変化して両足をテール方向に引き上げていた。これらは、前足に力を溜めてその力を後ろ足へと送り出して、テールに発生する反発により高いジャンプを可能とするオーリー動作と同じ結果を示した。Y軸モーメントの結果では、踏み切る前はつま先、踏み切った後はかかと方向へ変化している結果となった。

### 3.8 結言

ジャンプの運動計測を可能とするシステムと解析手法の提案を行い, 実際の緩やかな斜面上にて, オーリーを行う際のスノーボーダーの身体運動を計測した. そして, 得られた結果からジャンプ中のオーリー動作を定量的に表し, 運動の特徴を定量的に評価した. 結果をまとめると以下のようなになる.

- (1) 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装着した上級レベルのスノーボーダーによる緩やかな斜面上における操作力・雪面反力計測実験・解析を行った.
- (2) ジャンプ中のオーリー動作の運動のメカニズムを解明するための定量的な情報を示した.
- (3) 初級レベルのスノーボーダーがオーリーを行うために, 緩やかな斜面上におけるオーリー動作の指導指標としても活用することができる.

### 3.9 参考文献

- 1) 全日本スキー連盟教育本部.  
SAJ スノーボード教程 SANUK.  
スキージャーナル, 2009 年, 110 頁.
- 2) 日本スノーボード協会.  
JSBA スノーボード教程.  
山と溪谷社, 2008 年, 130 頁~131 頁, 140 頁~141 頁.
- 3) 土岐仁, 山田知明, 長井力, 穂苅真樹.  
スノーボード・ターンの運動解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2006 年, 72(713), 190 頁~196 頁.
- 4) Hirose, K.; Doki, H.; Kondo, A.  
Dynamic Motion Analysis of Snowboard Turns by the Measurement of Motion and Reaction Force from Snow Surface. The Engineering of Sport 9. 2012, p.754-759.
- 5) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
実滑走計測によるスノーボード・ターンの運動力学解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編. 2013 年, 79(800), 897 頁~907 頁.
- 6) 稗島利明, 山本敬三, 川初清典, 清水孝一.  
スノーボードジャンプにおける空中回転動作の分析.  
電子情報通信学会, 信学技報, 2011 年, 3, 135 頁~140 頁.
- 7) 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 西川太朗, 土岐仁.  
小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究.  
スキー研究. 2014 年, 11(1), 51 頁~57 頁.
- 8) Kondo, A.; Doki, H.; Hirose, K.  
An Attempt for Measuring Snowboarding Performance Using Compact Force Sensors.  
The Engineering of sport 10, 2014, (72), p.86-91.

## 第4章

# 雪面反力情報に基づく スノーボード・オーリー動作の運動解析

In this study, we conducted the measurement experiment and analysis of control force and reaction force from snow surface of Ollie motion of expert snowboarder on the snowboard jump kicker by using small device installing force sensors. This system was improved as simply measurement system by using the compact data logger for the jump kicker experiment. We conducted the motion measurement of snowboarder on the gentle snow slope and the snowboard jump kicker using the measurement system, and we analyzed by focusing the force and moment of right and left feet and total force of moment. These analytical results indicated the difference of the Ollie motion conducted on the gentle snow slope and the snowboard jump kicker, and the importance of Ollie motion was represented.

The analytical results indicated the quantitative information in Ollie motion by comparing the difference the result of the slope and the jump kicker, and we represented the further information to clarify the Ollie motion mechanism by comparing the result of the slope. It is expected to establish analysis of Ollie motion mechanism and coaching indicator. These results can be used for clarifying the mechanism of Ollie motion and the teaching of snowboard jump.

## 4.1 緒言

スノーボードは一枚の板を用いて滑走するスノースポーツであり、滑走フォームも横向きであることから、スキーとは運動のメカニズムは大きく異なる<sup>1)</sup>。また、スノーボードはアルペン競技の他にハーフパイプやスロープスタイル等のフリースタイル競技があり、フリースタイル競技においてはターン技術だけでなく、ジャンプ技術が非常に重要である。多くのスキー場ではジャンプ台（キッカー）が設置されており、多くのスノーボーダーらがジャンプの練習等を行っている。しかし、多くのスノーボーダーが独学でジャンプ技術を習得しているのが現状であり、指導書においてもジャンプ技術に関する学術的見識が大幅に不足しているために、ジャンプに関する指導環境・指導要領<sup>2)</sup>は不十分である。

これまでのスノーボードに関する研究として、慣性センサ・地磁気を用いたターンの運動解析に関する研究<sup>4)</sup><sup>5)</sup>や、ジャンプに着目した研究としては筋電センサを用いたジャンプ動作の運動計測・解析<sup>6)</sup>が行われているが、ターンに関する研究と比べてジャンプに関する研究は非常に少ないのが現状であり、スノーボードのジャンプにおいて重要な技術であるオーリーを使用した運動の解析は行われていなかった。

オーリーとは、スノーボード板にたわみを発生させ、その反発力を使って空中に跳び上がる、スノーボードにおいて重要なジャンプ技術であり、スノーボーダーは、スノーボード板の引き上げ・送り出し動作を前足と後足において時間差で行い、テール（スノーボード板の後端部）に発生する反発（反作用力）を使うことによって、高いジャンプ高度を実現できる。ジャンプ台や斜面においてオーリーを使用すると、無操作な場合よりも高くジャンプすることができることから、ジャンプ台などのエアやグラントトリックに使われている。また、着地時の衝撃緩和にも優れていることから、障害物の回避や斜度変化への対応にも使用可能な技術である<sup>3)</sup>。

第3章では、ジャンプの運動計測を可能とするシステムと解析手法の提案を行い、実際の緩やかな斜面上にて、オーリーを行う際のスノーボーダーの身体運動を計測した。そして、得られた結果からジャンプ中のオーリー動作を定量的に表し、運動の特徴を定量的に評価した。

次に第4章では、実際のジャンプ台にて計測を行い、斜面上における結果と比較する。オーリー動作の多くは実際のジャンプ台にて行われ、慣性力等が発生している環境下であることから、斜面上とは力の使い方が異なってくる可能性があるため、ジャンプ台における操作力を計測することは非常に重要である。さらに、斜面上における結果とジャンプ台における結果を比較することによって、斜面上での運動と実際のジャンプ台での運動との違いを明らかにすることができれば、オーリー動作のメカニズム解析、指導指標の確立へ役立てることが期待できる。

本研究では、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装着したスノ

ーボーダーによる実際のジャンプ台における操作力・雪面反力計測実験・解析を行うことにより、オーリーにおける運動のメカニズムを解明するための指標となる情報を示す。

## 4.2 実験装置

本研究では、スノーボードとビンディングの間に、操作力・雪面反力計測システムを取り付け、実際のジャンプ台においてオーリー動作を行った際に発生する力・モーメントを計測する。

### 4.2.1 計測システム

本計測装置は、第2章・第3章で用いた計測システムと同様のものを用いて、操作力・雪面反力を計測する。本研究において使用する雪面反力計測システムをFig.4.1に示す。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。本研究での実験では、雪面反力計測システムには片足に対して4個、両足にて合計8個の力センサを搭載しており、力センサを多く使用することによって計測レンジを拡大することができる。

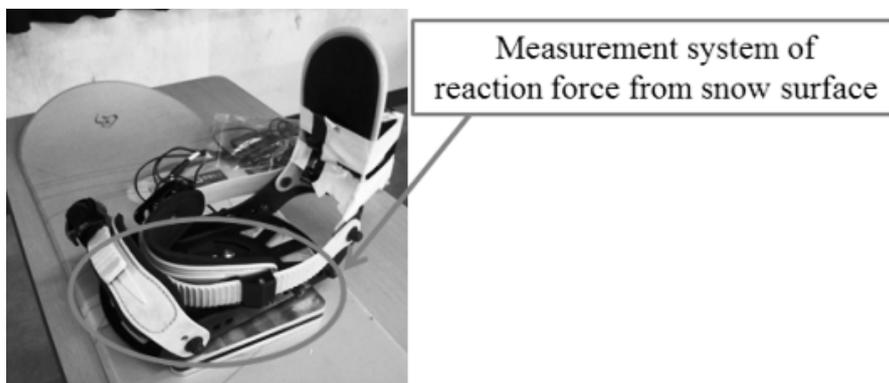


Fig.4.1 The measurement system of reaction force from snow surface

## 4.2.2 取り付け位置

計測システムの取り付け位置を Fig.4.2 に示す。操作力・雪面反力計測システムを両足のビンディング下に取り付けており、バックパックにレシーバーユニット、計測用 PC を搭載して計測実験を行う。



Fig.4.2 Experimental system overview

### 4.3 計測実験

雪面反力計測システムを装着したスノーボーダーによるオーリーの計測実験を行う。実際のジャンプ台におけるオーリーの計測実験は、かぐらスキー場にて実施した。ジャンプ台の詳細は Fig.4.3 に示す。また、センサからの計測情報の収集において、実際のジャンプ台における計測実験では、システムのさらなる小型化・軽量化が必要であったため、小型専用アンプ内蔵データロガー（テック技販，HDL-30A）を用いた。ジャンプ台における実験のサンプリング周波数は 1000Hz，計測時間は 30 秒である。斜面上における実験のサンプリング周波数は 100Hz であったが、ジャンプ台においてはより高速な運動となることが予想されたため、サンプリング周波数は 1000Hz とした。また、ジャンプの状態を確認するために、デジタルビデオカメラを用いてスノーボーダーのジャンプの状態をジャンプ台の側方（約 5m 離れた位置）から記録した。

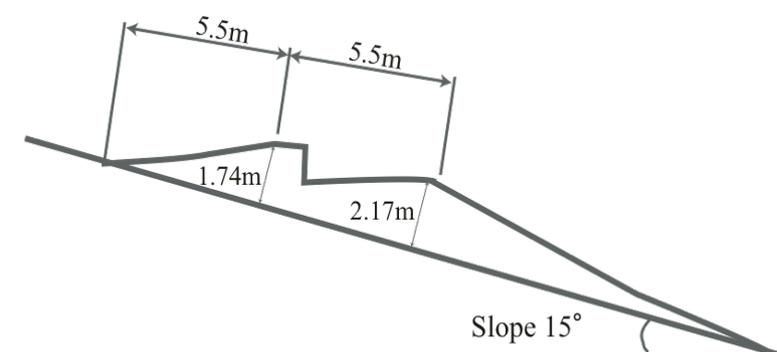


Fig.4.3 Schema of kicker in the experiment

#### 4.3.1 実験条件

被験者は女性 1 名。身長 154cm，体重 50kg，レギュラースタンス，スノーボード歴 20 年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。左足を前足とするレギュラースタンスで，アングルはスタンス幅 48cm 前足 18° 後ろ足 -6° である。実際のジャンプ台における計測実験では，約 15 度の斜面を約 20 メートル助走した後に，ジャンプ台にてオーリー動作を使用したジャンプを行った。

#### 4.4 座標系

座標系の定義を Fig.4.4 に示す. 第 2 章, 第 3 章と同様に, 本システムの座標系はスノーボードの中心を原点としており, スノーボードの長軸方向を Y 軸, スノーボード板に対して垂直下向き方向を Z 軸, スノーボード長軸方向に対して直交方向 (スノーボーダーがレギュラースタンスの場合) を X 軸と定義しており, 回転方向は, 反時計まわりを正としている.



Fig.4.4 Definition of coordinate system

#### 4.5 力・モーメントの計算式

本システムには、片足に 4 個、両足で 8 個の小型 3 軸力センサ（テック技販，USL06-H6-2kN）が搭載されており，式(1)，式(2)を用いることにより，それぞれの力センサ出力より 6 分力（力，モーメント）を得ることができる．また，式(3)を用いることにより，スノーボード板の中心を原点としたスノーボードに関するモーメントを得ることができる．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， $m$  は力センサの個数であり，本研究では  $m=4$  で，各足 4 個ずつである． $N$  はスノーボード全体にかかるモーメント， $f_{right}$ ,  $n_{right}$  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．スノーボード上での位置ベクトルを示す図を Fig.4.5 に示す．

$$f = \sum_{i=1}^m F_i \quad (1)$$

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}, F_i = \begin{bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{iz} \end{bmatrix}$$

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

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

$$N = n_{left} + n_{right} + f_{left} \times d_{left} + f_{right} \times d_{right} \quad (3)$$



Fig.4.5 Position vectors from the original point of snowboarding to the one of the measurement systems

## 4.6 実験結果

ジャンプ台におけるオーリーを用いたジャンプの計測実験によって得られた力の結果を Fig.4.6, Fig.4.7 に、モーメントの結果を Fig.4.8, Fig.4.9 に、スノーボード全体に関するモーメントの結果を Fig.4.10 に示す。なお、Fig.4.6～Fig.4.10 のジャンプに関する「踏み切り」は前足である左足の力の値が変化した時、「着地」は地面に接地した時（着地によって力の Z 軸成分の値が増加した時）を定義している。

### 4.6.1 力の結果

力の結果 Fig.4.6, Fig.4.7 に着目すると、踏み切る前では、力の変化が左右ほぼ同じタイミングでおこなっており、後ろ足である右足では力の発生期間が斜面上における結果と比較して長くなる傾向を示した。また、踏み切りでは前足である左足の引き上げから行われており、斜面上と同様な傾向を示したが、後ろ足である右足は Z 軸方向のマイナスの力が発生し、さらにその力が保持されている時間が長いことから、空中で体勢を保持している結果を示した。

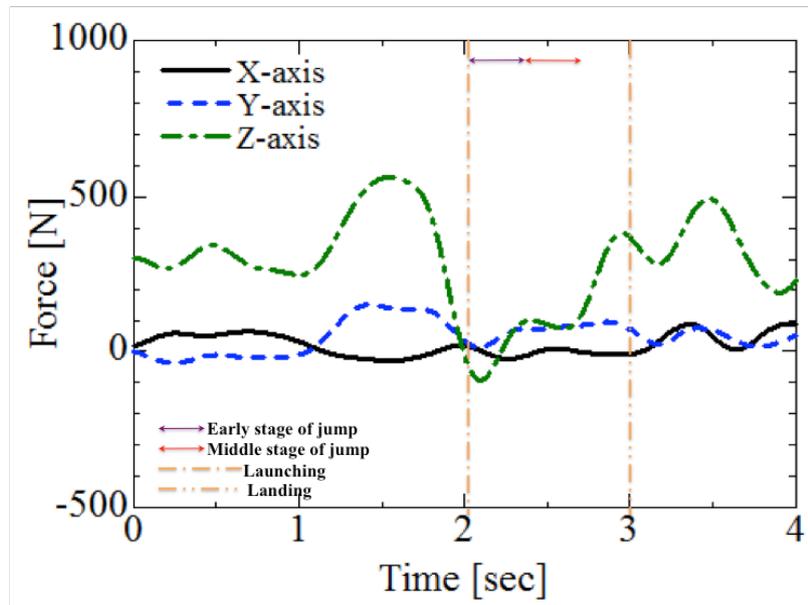


Fig.4.6 Results for the left foot of force at snowboard jump kicker

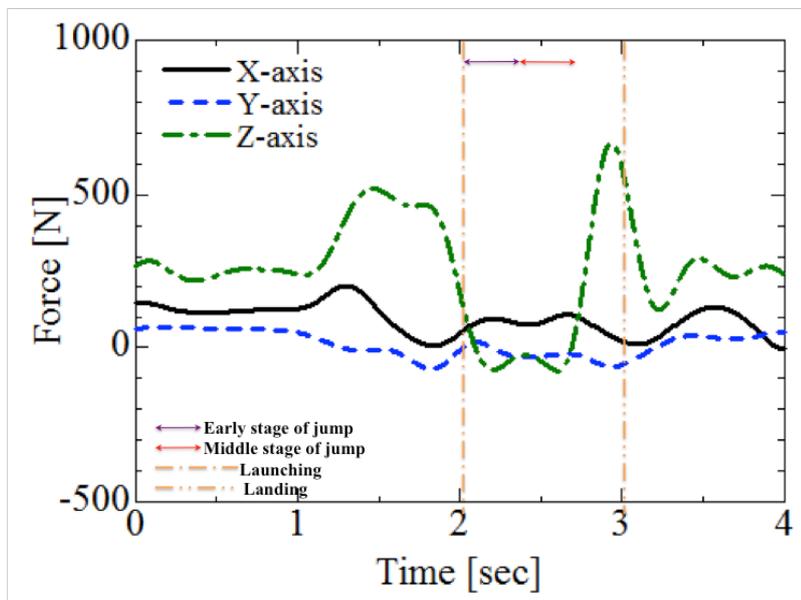


Fig.4.7 Results for the right foot of force at snowboard jump kicker

#### 4.6.2 モーメントの結果

モーメントの結果 Fig.4.8, Fig.4.9 に着目すると、X 軸モーメントは斜面上における動作と比べて小さく、ジャンプ台におけるオーリー動作においては Y 軸モーメントが発生している。X 軸モーメントに着目すると、斜面上においてはジャンプする前の力を溜める動作によって大きく発生していることに対し、ジャンプ台における力を溜める動作においての X 軸モーメントは小さくなっている。これは、スノーボーダーがジャンプ台に移動する際には、雪面の斜度が変化することによる垂直抗力の増加に対応するためにモーメントを発生させていると考えられる。Y 軸モーメントは、ジャンプ台におけるオーリー動作においてジャンプする前に右足のつま先方向にモーメントが発生しているが、本結果は本実験にて使用したジャンプ台への助走区間が若干片斜面であったため、スノーボーダーがバランスを取るために発生させていることを示している。

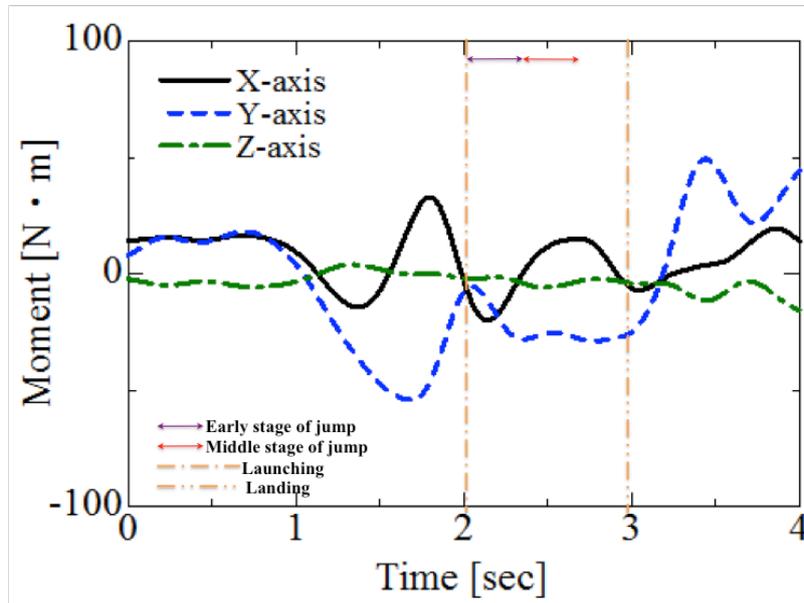


Fig.4.8 Results for the left moment of force at snowboard jump kicker

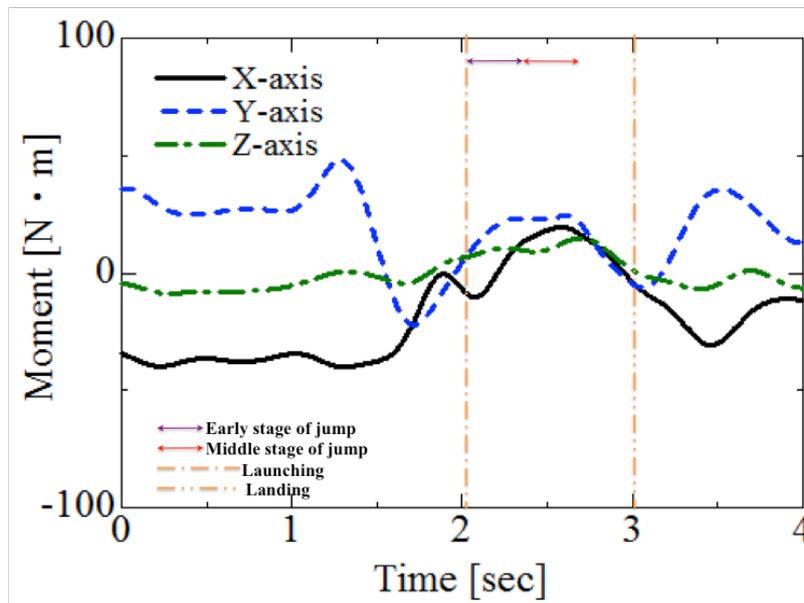


Fig.4.9 Results for the right moment of force at snowboard jump kicker

### 4.6.3 スノーボード全体に関するモーメントの結果

スノーボード全体に関するモーメントの結果 Fig.4.10 に着目すると、X 軸モーメントの結果においては、踏み切り前においてマイナス方向（ノーズ側）にモーメントが発生しており、踏み切り時においてはプラス方向（テール側）にモーメントが発生している。踏み切り後においては、マイナス方向（ノーズ側）にモーメントが発生している。これは斜面上での結果と同じ傾向を示した。Y 軸モーメントの結果においては、斜面上における動作では踏み切り前に若干マイナス方向（かかと側）へモーメントが発生し、踏み切り時にプラス方向（つま先側）へモーメントが発生していたが、ジャンプ台においては、踏み切り直前に大きくマイナス方向（かかと側）のモーメントが発生し、X 軸モーメントが増加するとともに減少している。また、踏み切り後において斜面上ではマイナス方向（かかと側）にモーメントが発生しているが、ジャンプ台における動作においてはゼロ近辺を示した。

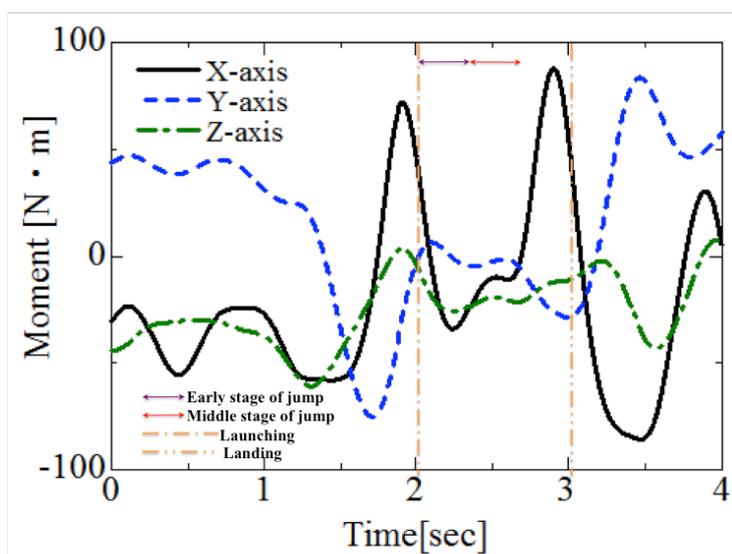


Fig.4.10 Results for the combined forces of the moment at snowboard jump kicker

## 4.7 比較解析

斜面上におけるオーリー動作と、ジャンプ台におけるオーリー動作の違いについて明らかにするために、特徴のある左右における Z 軸の力とスノーボード全体に関するモーメントに着目する。左足における Z 軸の力の比較結果を Fig.4.11 に、右足における Z 軸の力の比較結果を Fig.4.12 に、スノーボード全体に関するモーメントの X 軸方向の比較結果 Fig.4.13 に、スノーボード全体に関するモーメントの Y 軸方向の比較結果 Fig. 4.14 に示す。これらの結果は比較しやすくするために、時間軸はジャンプ動作開始時を 20%、着地時を 80%となるように正規化している。

### 4.7.1 力の Z 軸方向の比較結果

力の Z 軸方向の比較結果 Fig.4.11, Fig.4.12 に着目すると、斜面上においてはジャンプする前の Z 軸方向の力の発生に左右で時間差があるが、ジャンプ台においては時間差が非常に短い結果となり、その後の力の減少については同様の傾向を示した。本結果は、斜面上においては Z 軸方向にプラスの力が発生し、かつ発生している時間が長いことから、スノーボーダーがスノーボードの反力を生み出すために前足に力を溜めていることを示しているが、ジャンプ台においてはオーリーする前に斜面に対してアプローチ（ジャンプ前の助走区間）の斜度が増加することによって、前足の力の溜めよりも後ろ足の溜めの力の発生時間が長いことを示している。その後の Z 軸方向の力の減少は同様の結果を示し、斜面上・ジャンプ台の両方において、オーリーを行うために踏み切り動作を行っていることを示している。また、ジャンプ台において Z 軸方向の力の発生に左右での時間差が非常に短くなっているが、本結果は速度を有する状態で素早く踏み切りに関する操作を行う必要があり、さらに準備時間が短いため、オーリーのために力を溜める準備動作を短時間で示している。

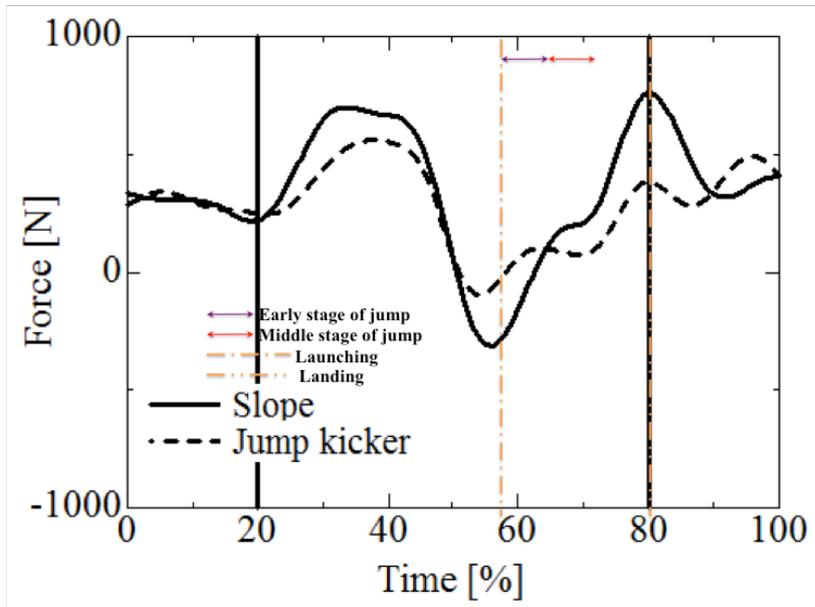


Fig. 4.11 Results for the comparison of Z-axis left force

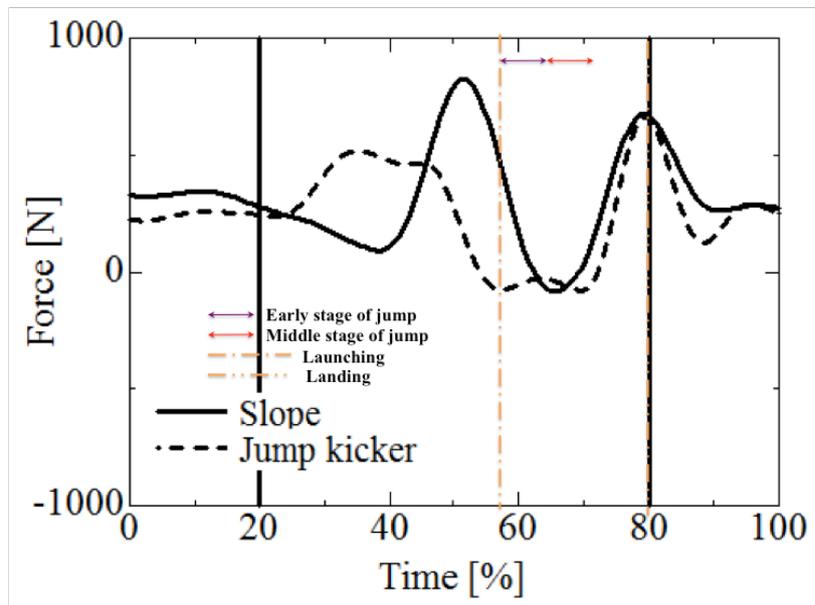


Fig.4.12 Results for the comparison of Z-axis right force

#### 4.7.2 スノーボード全体に関するモーメントの X 軸方向の比較結果

スノーボード全体に関するモーメントの X 軸方向の比較結果 Fig.4.13 に着目すると、ジャンプする前にテール側を引き上げるノーズ方向に、モーメントが発生しており、その後、反対方向にモーメントが発生している。本結果は斜面上と同様の傾向を示しており、ジャンプ台のアプローチ（ジャンプ前の助走区間）の斜面によって前足荷重になっていること、ジャンプ開始時にスノーボード板を引き上げる動作を行っていたことを示している。

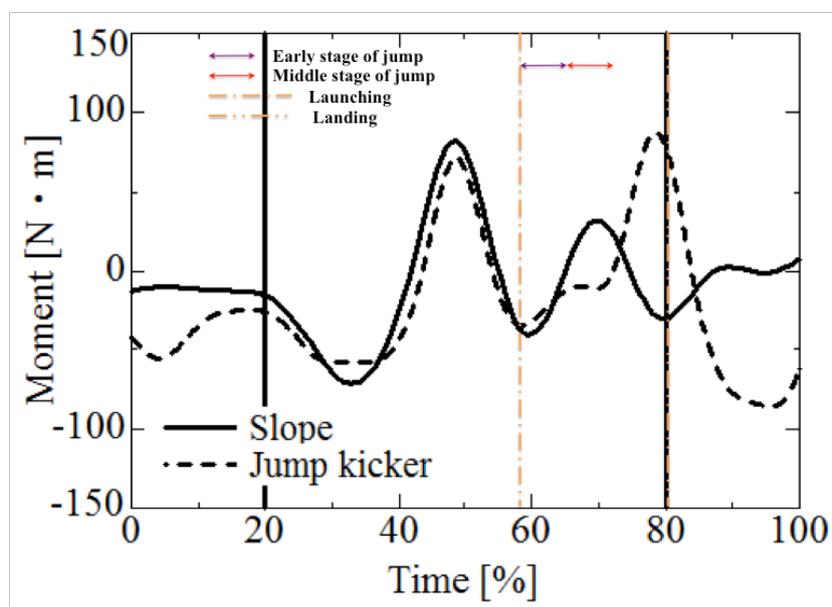


Fig. 4.13 Results for the combined force of X-axis

### 4.7.3 スノーボード全体に関するモーメントの Y 軸方向の比較結果

スノーボード全体に関するモーメントの Y 軸方向の比較結果 Fig. 4.14 に着目すると、ジャンプする前においては、斜面上では大きな変化はないが、ジャンプ台では変化した結果が得られた。本結果は、斜度の形状や変化に対応し、バランスを保持するためにモーメントを発生させていることを示している。

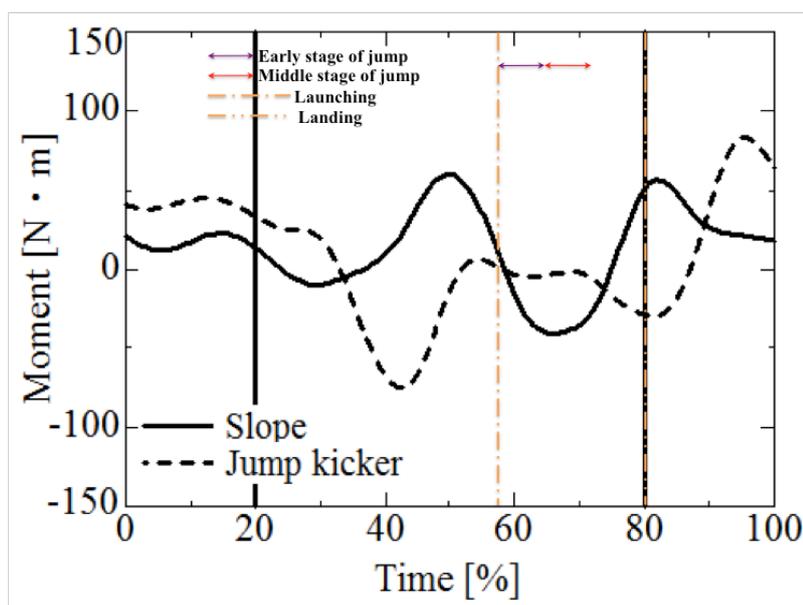


Fig. 4.14 Results for the combined force of Y-axis

## 4.8 考察

スノーボード全体に関するモーメントの X 軸成分と Y 軸成分の両方において、ジャンプ序盤では、斜面上・ジャンプ台の両方においてスノーボードを回転させるモーメントが発生している。また、ジャンプ中盤以降では、斜面上においてはモーメントが変化しているのに対し、ジャンプ台ではモーメントの変化が小さい結果が得られている。本結果は、ジャンプ序盤においてはスノーボード板の傾きを調整するためにモーメントを発生させていることと、ジャンプ中ではスノーボード板を安定させるために不要なモーメントを発生させていないことを示している。

以上より、斜面上およびジャンプ台においてスノーボーダーによるオーリー動作の力計測・スノーボード全体に関するモーメントに着目することによって運動の違いを示すことができた。

## 4.9 結言

本研究では、スノーボードのジャンプにおいて重要なスキルであるオーリー技術に着目した解析を行った。実際のジャンプ台において上級レベルのスノーボーダーがオーリー動作を行う際にスノーボード板に発生させている力計測を行い、さらにスノーボード全体に関するモーメントを計算し、比較・解析を行った結果、緩やかな斜面上とジャンプ台における運動の違いを明確化することができた。

本結果は、これまでに明らかにされていなかったオーリーの運動のメカニズム解明だけでなく、緩やかな斜面上で行うオーリーと実際のジャンプ台で使用するオーリーとの違いを指導書等に明記し、違いを考慮した指導を行うことが可能となる。オーリーは緩やかな斜面上では前足に力を溜めてその力を後ろ足へと送り出してテールに発生する反発により高いジャンプを可能とする動作であるが、実際のジャンプ台ではアプローチ斜面に対する斜度が増加することの体軸の変化や速度を有する状態で、オーリー動作を短時間で行うためにスキルを必要とする。さらにオーリーを使用することにより空中でのバランスを保持することを可能とし、モーメントを発生させて着地の形状や変化に対応していることが明らかとなった。ジャンプ初心者であれば、まずは緩やかな斜面上にてオーリー操作の練習を行い、様々な斜度でも体軸の変化や速度変化に対応できるようオーリー経験を積み、実際のジャンプ台でオーリーを使用することにより、ジャンプ台の形状に対応した安全なエアを可能とする。以上のように、実際のジャンプ台でのエアの安全性を高める指導方法の構築への利用が期待される。結果をまとめると以下のようになる。

- (1) スノーボードのジャンプにおいて、重要なスキルであるオーリー技術に着目した解析を行った。
- (2) 斜面上およびジャンプ台において、上級レベルのスノーボーダーがオーリー動作を行う際にスノーボード板に発生させている力計測を行い、さらにスノーボード全体に関するモーメントを計算して解析を行った。
- (3) 緩やかな斜面上とジャンプ台におけるオーリー動作の運動の違いを明確化することができた。
- (4) 緩やかな斜面上とジャンプ台におけるオーリー動作の運動の違いを定量的に示すことで、ジャンプ台でのエアの安全性を高める指導方法の構築への利用が期待される。

#### 4.10 参考文献

- 1) 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 西川太朗, 土岐仁.  
小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究.  
スキー研究, 2011年, 1, 51頁～57頁.
- 2) 全日本スキー連盟教育本部.  
SAJ スノーボード教程 SANUK.  
スキージャーナル, 2009年, 110頁.
- 3) 日本スノーボード協会.  
JSBA スノーボード教程.  
山と溪谷社, 2008年, 130頁～131頁. 140頁～141頁.
- 4) Hirose, K.; Doki, H.; Kondo, A.  
Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and reaction force from snow surface.  
The Engineering of Sport 9, 2012, p.754-759.
- 5) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
実滑走計測によるスノーボードのターンの運動力学解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2013年, 79(800), 897頁～907頁.
- 6) 稗島利明, 山本敬三, 川初清典, 清水孝一.  
スノーボードジャンプにおける空中回転動作の分析.  
電子情報通信学会 信学技報, 2011年, 3, 135頁～140頁.

## 第5章

# スノーボード・オーリー動作における 運動学的解析

This paper deals with the kinematics analysis for clarifying the mechanism of Ollie motions, and the motion analysis was conducted by the joint angle of snowboarder for indicating the advantage of Ollie motion in snowboarding. We used the motion sensors installing inertial sensor for measuring the motion of snowboarder. The motion sensors were attached to the body segments (upper body, lumbar, femur and lower thigh) of snowboarder. The 3D posture in local coordinate system was estimated by using the unscented Kalman filter, and the joint angles (lumbar, hip and knee) was applied the inverse kinematics to the 3D posture. We conducted the motion measurement of snowboarder on the snowboard jump kicker using the motion sensors by an upper grade snowboarder and an intermediate grade snowboarder, and we analyzed by using the joint angles. These analytical results indicated the characteristics of motion by using the Ollie on the snowboard jump kicker, and the importance of Ollie motion was represented. The obtained characteristics of motion can be used for clarifying the mechanism of Ollie motion and the teaching of snowboard jump.

## 5.1 緒言

スノーボードは一枚の板を用いて滑走するスノースポーツであり、滑走フォームも横向きであることから、スキーとは運動のメカニズムは大きく異なる<sup>1)</sup>。また、スノーボードはアルペン競技の他にハーフパイプやスロープスタイル等のフリースタイル競技があり、フリースタイル競技においてはターン技術だけでなく、ジャンプ技術が非常に重要である。多くのスキー場ではジャンプ台（キッカー）が設置されており、多くのスノーボーダーらがジャンプの練習等を行っている。しかし、多くのスノーボーダーが独学でジャンプ技術を習得しているのが現状であり、指導書においてもジャンプ技術に関する学術的見識が大幅に不足しているために、ジャンプに関する指導環境・指導要領<sup>2)</sup><sup>3)</sup>は不十分である。

これまでのスノーボードに関する研究として、慣性センサ・地磁気を用いたターンの運動解析に関する研究<sup>4)</sup><sup>5)</sup>や、ジャンプに着目した研究としては筋電センサを用いたジャンプ動作の運動計測・解析<sup>6)</sup>が行われているが、ターンに関する研究と比べてジャンプに関する研究は非常に少ないのが現状であり、スノーボードのジャンプにおいて重要な技術であるオーリーを使用した運動の解析は行われていなかった。

オーリーとは、スノーボード板にたわみを発生させ、その反発力を使って空中に跳び上がる、スノーボードにおいて重要なジャンプ技術である。スノーボーダーは、スノーボード板の引き上げ・送り出し動作を前足と後足において時間差で行い、テール（スノーボード板の後端部）に発生する反発（反作用力）を使うことによって、高いジャンプ高度を実現できる。ジャンプ台や斜面においてオーリーを使用すると、無操作な場合よりも高くジャンプすることができることから、ジャンプ台などのエアやグラントリックに使われている。また、着地時の衝撃緩和にも優れていることから、障害物の回避や斜度変化への対応にも使用可能な技術である<sup>3)</sup>。

「オーリーを使用したジャンプ」では、高さを獲得できることで板の描く放物線が高くなり、ジャンプ台の下り斜面（着地）に板の角度を合わせやすく、雪面と板を平行に保つことが容易となる。しかし、「オーリーを使用しないジャンプ」では、前足を踏み込んでから後ろ足へと送り出すような重心移動からの、スノーボード板のしなりや反発を用いておらず、自身で両足ジャンプしていることが多く高さのない軌道となりやすい。さらに両足ジャンプの場合は着地も両足となってしまうため、着地の下り斜面に合わせることが難しくテールから着地してしまう。テール着地では不安定となるために転倒・怪我のリスク増加が考えられる。

1990 年後半からスキー場にはワンメイクと呼ばれるジャンプ台が出現し、ジャンプ台を跳んで着地に失敗して負傷する事故は、スノーボードパークにおけるジャンプ台設置と共に急増して後遺症の残る重症事故や死亡事故も発生し、調査と共に対策や問題点が指摘されていた。この頃のジャンプに関してオーリー技術は周知されておらず、「オ

オーリーを使用しないジャンプ」で跳んでいたことが予想される。同時期の研究において水沢ら<sup>7)</sup>は、ジャンプ台における傷害の発生状況の報告として、「ワンメイクでの受傷は中級者が多く、腰を受傷する割合が高い」とし、萩原ら<sup>8)</sup>は、「空中姿勢時からの後傾姿勢と着地後の後ろ足荷重が原因と考えられる」と述べており、オーリーを使用し着地時に板を平行にすることができれば、転倒・怪我のリスクを軽減することが可能であると考えられる。

以上のことから、オーリー技術について定量的な情報に基づく指導指標やそれぞれのスノーボーダーに適合した指導方法を確立することができれば、スノーボーダーのスキル習得の効率化だけでなく、怪我の予防等にも使用することができる。

筆者らは、オリンピック出場経験を有する上級レベルのスノーボーダーによる緩やかな斜面と実際のジャンプ台におけるオーリー動作の力計測・解析を行い、オーリーを行うことによる作用力を明らかにし、斜面上とジャンプ台とでは、力の使い方が異なってくることを示している<sup>9)</sup>。先行研究によってオーリー動作を用いることによる効果を示すことはできたが、オーリー動作を行うための運動については定量的に示せていないため、スノーボーダーの身体運動を計測・解析することによって、オーリー動作を行うために必要な運動の特徴を明らかにする必要がある。

本研究では、オーリーを習得している上級レベルのスノーボーダーとオーリーを習得していない中級レベルのスノーボーダーによる慣性センサを用いたジャンプの計測実験・解析を行い、オーリー動作の有無による運動の違いについて定量的に示すことによって、オーリーによる運動のメカニズムを解明するための指標となる情報を示す。

## 5.2 実験装置

本研究では、先行研究<sup>10)</sup>にて構築された慣性センサを用いた身体運動計測法を応用することによって、実際のジャンプ台にてジャンプを行うスノーボーダーの各関節角度を推定し、解析に用いる。慣性センサを搭載したシステムをスノーボーダーの各身体部位に装着し、実際のジャンプ台において上級・中級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作の計測実験・運動学的解析を行い、オーリー動作を行うために必要な運動情報を比較し、特徴を明らかにする。

### 5.2.1 計測システム

本研究にて使用する慣性センサを搭載した小型9軸ワイヤレスモーションセンサ（ロジカルプロダクト社，LP-WS1105）を Fig. 5.1 に示す．本システムには，慣性センサ・地磁気センサが搭載されており，トリガ信号等をワイヤレスで送受信でき，計測情報をメモリに保存することができることから，各身体部位に装着することにより，各部位・装着点における角速度・加速度・磁場を計測することができる．本システムの質量は約30g，計測レンジは，角速度： $\pm 1500\text{deg/sec}$ ，加速度： $\pm 16g$ ，磁場： $\pm 1.2\text{gauss}$ である．



Fig. 5.1 Compact wireless motion sensor system

### 5.2.2 計測システム取り付け位置

本研究では，剛体リンクモデルを仮定し，小型9軸ワイヤレスモーションセンサをスノーボーダーの上体部，腰部，左右大腿部，左右下腿部の計6か所に取り付けて，腰椎関節角度，左右股関節角度，左右膝関節角度を推定し，解析に使用する．また，スノーボード板の傾きを推定するために，左右ビンディングにもワイヤレスモーションセンサを取り付けている．各身体部位の装着位置を Fig. 5.2 に示す．



Fig. 5.2 Setting position of the wireless motion sensor systems

### 5.2.3 解析モデル

剛体リンクモデルおよび各身体部位に取り付けられたワイヤレスモーションセンサの座標系を Fig. 5.3 に、関節角度の定義を Table.5.1 に示す。腰椎関節角度は上部部に装着したセンサと腰部に装着したセンサの計測情報から推定され、右股関節角度は腰部と右大腿部に装着したセンサ、左股関節角度は腰部と左大腿部に装着したセンサ、右膝関節角度は右大腿部と右下腿部に装着したセンサ、左膝関節角度は左大腿部と左下腿部に装着したセンサの計測情報から推定される。なお、解析にて用いる関節角度はオーリー動作において特徴が表れた、腰椎関節における屈曲伸展角度、側屈角度、股関節における屈曲伸展角度、内外転角度、膝関節における屈曲伸展角度に限定しているため、腰椎関節における回旋角度、股関節における内外旋角度は省略している。

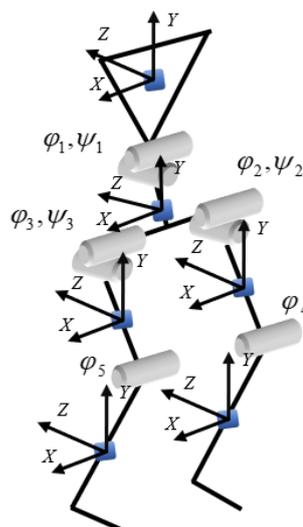


Fig. 5.3 Rigid link model

Table.5.1 Definition of joint angle

$\varphi_1$	Lumbar flexion (+), extension (-)
$\psi_1$	Lumbar lateral fold to left (-), to right (+)
$\varphi_2$	Left hip flexion (+), extension (-)
$\psi_2$	Left hip adduction (+), abduction(-)
$\varphi_3$	Right hip flexion (+), extension (-)
$\psi_3$	Right hip adduction (-), abduction(+)
$\varphi_4$	Left knee flexion (-), extension (+)
$\varphi_5$	Right knee flexion (-), extension (+)

### 5.3 3次元姿勢推定法

関節角度を推定するために、2リンクモデルに基づく相対座標系における姿勢情報を推定する3次元推定法を適用する<sup>10)</sup>。本方法は、加速度センサ出力を用いてジャイロセンサ出力に含まれるドリフト誤差を補正しているが、相対座標系を用いていることから、並進加速度が発生している状態においても3次元姿勢推定が可能な方法であり、相対座標系のロール・ピッチ・ヨー角を推定することができ、スキー・ターンの運動計測・解析にも使用されている<sup>11)</sup>。なお、本方法に使用される方程式の非線形性は非常に強いことから、偏微分を用いて部分的に線形化することによって、使用される拡張カルマンフィルタではなくアンセンテッド変換を用いることによって、テーラー展開の2次の項まで近似可能なアンセンテッドカルマンフィルタ<sup>12)</sup>が使用されている。また、本研究において関節角度が0°となる状態は各センサの座標軸が一致した状態を示しているが、取り付け誤差等によるオフセット誤差が発生している。

## 5.4 計測方法

3次元姿勢推定法を用いて算出した相対座標系におけるロール・ピッチ・ヨー角は式(1)を用いることによって回転行列に変換し、逆運動学を用いることにより関節角度に変換する。本研究では、複数のオイラー角について検討を行った結果、Z軸→X軸→Y軸の順番に回転させた際のオイラー角の角度を関節角度とし、腰椎関節、左右股関節、左右膝関節における屈曲伸展角度は式(2)を用いて計算し、腰椎関節の側屈角度、左右股関節の内外転角度は式(3)を用いて計算する。ロール・ピッチ・ヨー角の座標系を Fig. 5.4 に示す。全体の計算の流れを Fig.5.5 に示す。各身体部位に取り付けられたワイヤレスモーションセンサから得られる角速度・加速度を用いて相対座標系におけるロール・ピッチ・ヨー角に3次元姿勢推定法を推定し、その後に回転行列に変換、さらに逆運動学を用いることによって各関節角度に変換している。ここで、 $\alpha$  はロール角、 $\beta$  はピッチ角、 $\gamma$  はヨー角であり、 $\psi_i$  は腰椎関節の側屈角度と股関節の屈曲伸展角度、 $\varphi_i$  は腰椎関節・股関節・膝関節の内外転角度である。また、添え字の  $i$  は各関節を示す。

$$\begin{aligned}
 R_i &= \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \\
 &\cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\psi_i = \tan^{-1} \frac{R_{12}}{R_{22}} \tag{2}$$

$$\varphi_i = \tan^{-1} \frac{R_{32}}{\sqrt{R_{12}^2 + R_{22}^2}} \tag{3}$$

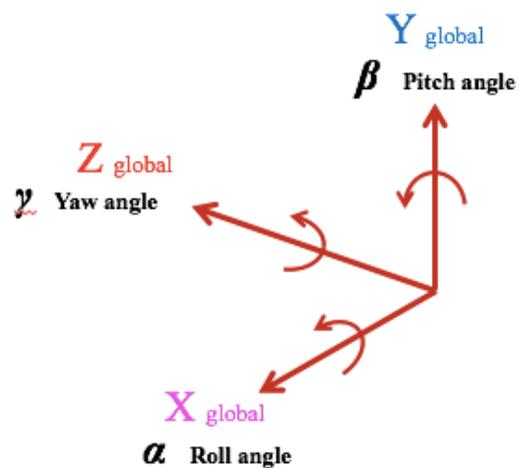


Fig.5.4 Definition of Roll-Pitch-Yaw angle

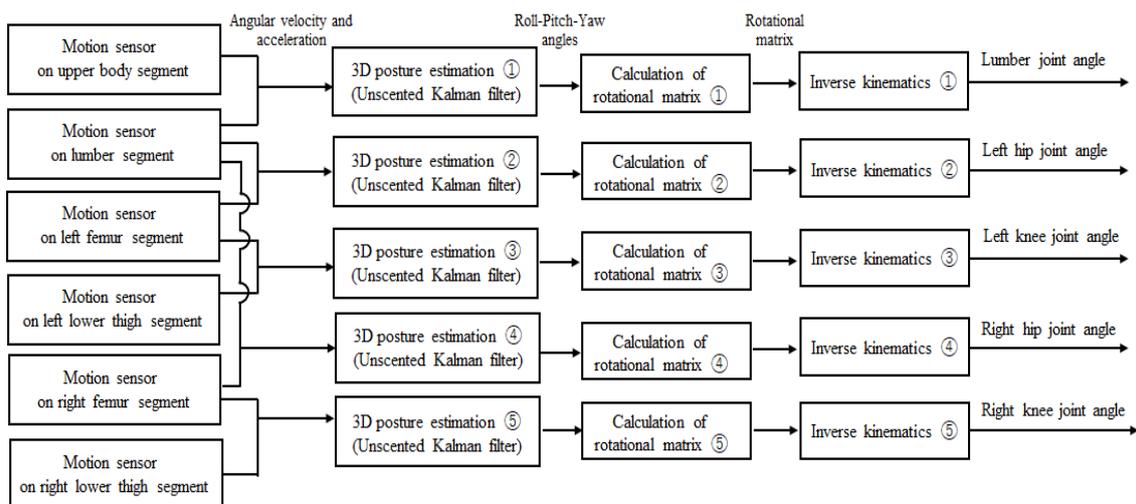


Fig.5.5 Block diagram for joint angle calculation of snowboarder in the snowboard jump experiment

## 5.5 実験条件

ワイヤレスモーションセンサを装着したスノーボーダーによる計測実験を行った。スノーボーダーは、上級レベルのスノーボーダー（身長 154cm, 体重 50kg, スノーボード歴 20 年, オリンピック出場経験有）と中級レベルのスノーボーダー（身長 175cm, 体重 67kg, スノーボード歴 4 年）の 2 名であり、いずれも左足が前となるレギュラースタンスのスノーボーダーである。約 15 度の斜面を約 20 メートル助走した後にジャンプ台にてジャンプをそれぞれ 4 回ずつ行った。ジャンプ台の詳細は Fig.5.6 に示す。なお、上級レベルのスノーボーダーはオーリーを用いたジャンプを行っており、中級レベルのスノーボーダーはオーリーを用いたジャンプを行うことはできない。本研究における上級レベルのスノーボーダーがオーリーを用いたジャンプを行うことができることは先行研究の結果より確認している<sup>9)</sup>。

ワイヤレスモーションセンサのサンプリング周波数は 1000Hz, 計測時間は 30 秒である。また、ジャンプの状態を確認するために、先行研究<sup>9)</sup>において使用した複数の力センサを搭載した操作力・雪面反力計測システムとデジタルビデオカメラを用いており、デジタルビデオカメラはジャンプ台の側方（約 5m 離れた位置）にセッティングした。ここで、操作力はジャンプ中におけるスノーボーダーがスノーボード板に加える力を示しており、操作力・雪面反力計測システムは、雪面接地中は雪面反力を、ジャンプ中は操作力を計測する。

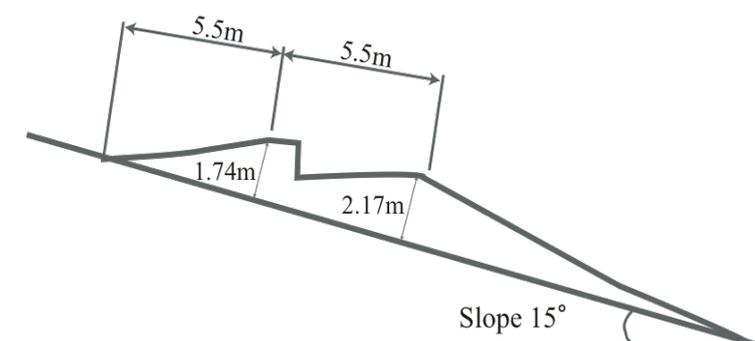


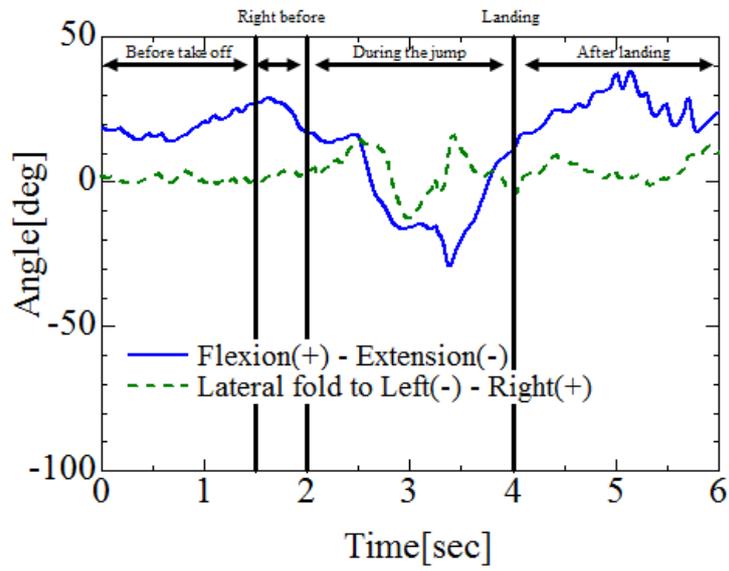
Fig.5.6 Schema of kicker in the experiment

## 5.6 解析結果

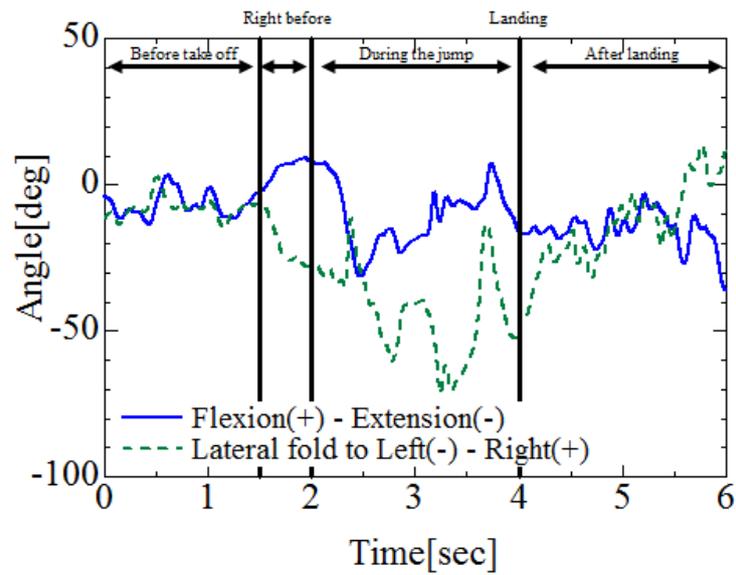
計測実験によって各身体部位に取り付けたワイヤレスモーションセンサから得られた角速度・加速度情報に3次元姿勢推定法を適用することによって、それぞれのスノーボーダーの腰椎関節角度（屈曲伸展，側屈），股関節角度（屈曲伸展，内外転），膝関節角度（屈曲伸展）を推定した．得られた結果のうち，スノーボーダーが最も自然にジャンプができたと判断した結果を選定し，腰椎関節角度の結果を Fig.5.7，左股関節角度の結果を Fig.5.8，右股関節角度の結果を Fig.5.9，左膝関節角度の結果を Fig.5.10，右膝関節角度の結果を Fig.5.11 にそれぞれ示す．なお，本結果は解析のために，ジャンプ前後を含めた6秒間の結果を抽出した時系列波形を示しており，踏み切り2秒前を0秒として，0～1.5秒までを踏み切り前，1.5～2秒までを踏み切り直前，両スノーボーダーともに約2秒時に踏み切り，約4秒時に着地を行っており，映像情報より確認している．また，推定した関節角度にはセンサの各身体部位への取り付け誤差から生じるオフセット誤差による影響が含まれていることから，関節角度の変化に着目した解析を行う．

### 5.6.1 腰椎関節角度の結果

腰椎関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.7 に着目すると、上級レベルのスノーボーダーの結果では踏み切り前において緩やかに屈曲し、踏み切り直前ではさらに深く屈曲運動している結果（1.5 秒間に約  $15^\circ$  の変化）となったが、中級レベルのスノーボーダーの結果では踏み切り直前に屈曲しているが、踏み切り前では伸展方向に変化（0.5 秒～1.5 秒において約  $10^\circ$ ）している結果となった。側屈角度の結果に着目すると、上級レベルのスノーボーダーの結果においては変化が小さいが、中級レベルのスノーボーダーの結果においては、大きく左方向に側屈（踏み切り時より約  $30^\circ$ ）していた。なお、雪面に接地して滑走している状態と比べて、ジャンプ中は空中での運動であることから接地時よりも不安定であるため、角度変化が大きく発生する傾向がある。そこで、雪面に接地中の状態における運動では比較的小さい角度変化に着目し、ジャンプ中における運動では比較的大きい角度変化に着目した解析を行っている。



(a) Upper grade snowboarder

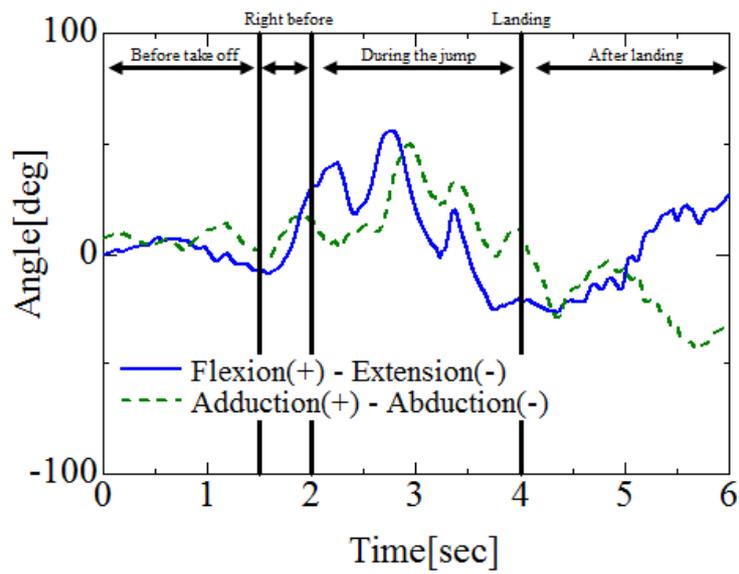


(b) Intermediate grade snowboarder

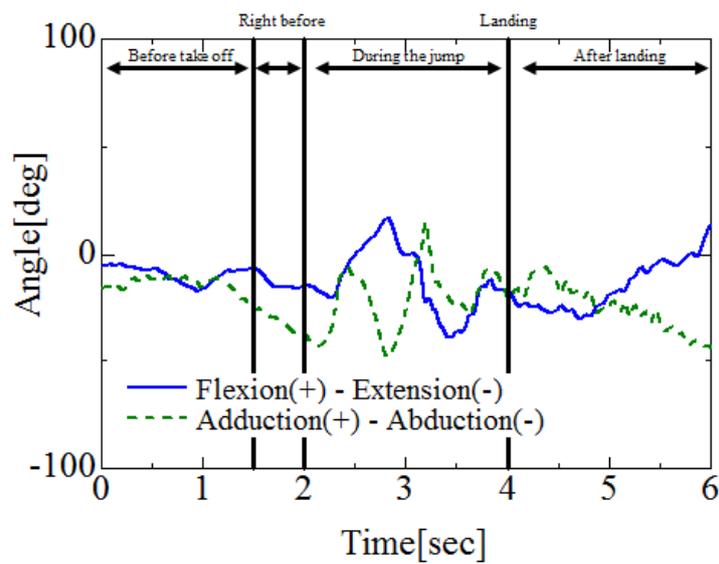
Fig.5.7 Results for lumbar joint angle

## 5.6.2 左股関節角度の結果

左股関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.8 に着目すると、上級レベルのスノーボーダーは踏み切り時に屈曲運動，踏み切り後に伸展運動，その後に屈曲運動を行っており，さらに着地前に伸展運動を行っているが，中級レベルのスノーボーダーの踏み切り後に屈曲運動を行い，着地前に若干の屈曲運動を行っている結果は，踏み切り後に前足（左足）を引き付ける動作は行っているものの，上級レベルのスノーボーダーと比較すると最大屈曲運動の値が小さく（2.8 秒時，上級レベルのスノーボーダーは  $70^{\circ}$  ，中級レベルのスノーボーダーは  $20^{\circ}$  ），さらに  $0^{\circ}$  以上の屈曲運動の時間が短い結果となった．内外転角度の結果に着目すると，特にジャンプ中の約 2~4 秒間において，上級レベルのスノーボーダーにおける屈曲伸展運動の波形結果とピーク値となるタイミングが類似した波形結果となっており，内外転運動を行っている結果となった．中級レベルのスノーボーダーの結果においては，特にジャンプ中の約 2~4 秒間において，屈曲伸展運動の波形結果と類似している波形にはならず，上級レベルのスノーボーダーの結果と比較すると全体的に外転方向に変化していた．



(a) Upper grade snowboarder

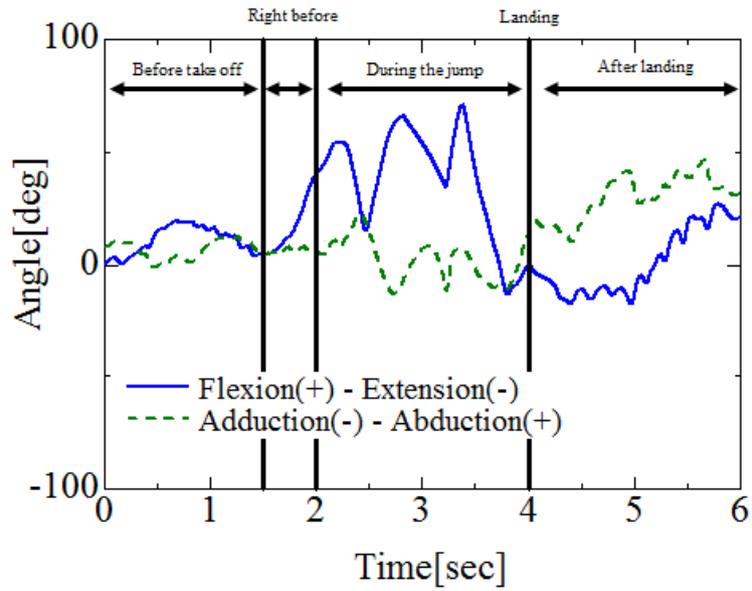


(b) Intermediate grade snowboarder

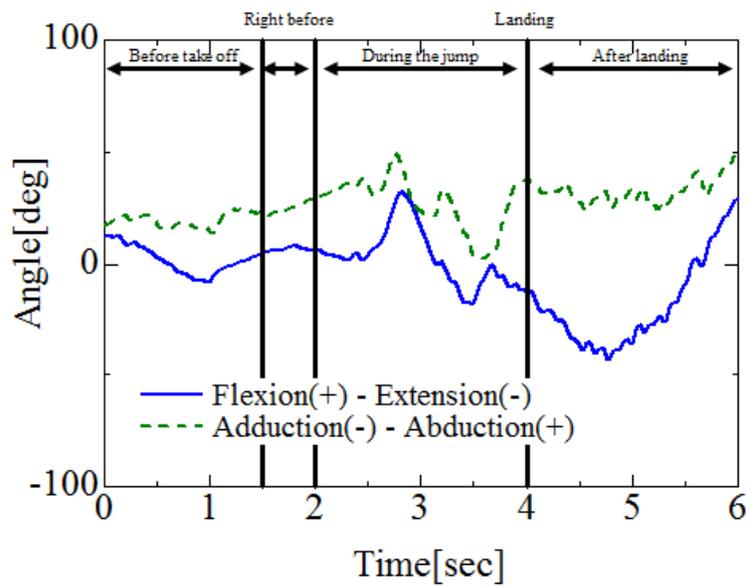
Fig.5.8 Results for left hip joint angle

### 5.6.3 右股関節角度の結果

右股関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.9 に着目すると、上級レベルのスノーボーダーの結果においては、特にジャンプ中の約 2~4 秒間において、左股関節の屈曲伸展角度の波形結果とピーク値となるタイミングが類似した波形結果となり、後ろ足である右足についても屈曲・伸展運動を繰り返し行っていた。中級レベルのスノーボーダーの結果においては、着地後は着地時と比べてさらに大きく伸展（約 30°）している。内外転角度の結果に着目すると、上級レベルのスノーボーダーの結果においては、ジャンプ中に大きな変化はない（約±20°以内）が、中級レベルのスノーボーダーの結果においては、全体的に上級レベルのスノーボーダーの結果と比べて外転方向に変化しており、ジャンプ中には外転方向に角度が大きく変化（約±40°）している結果となった。



(a) Upper grade snowboarder

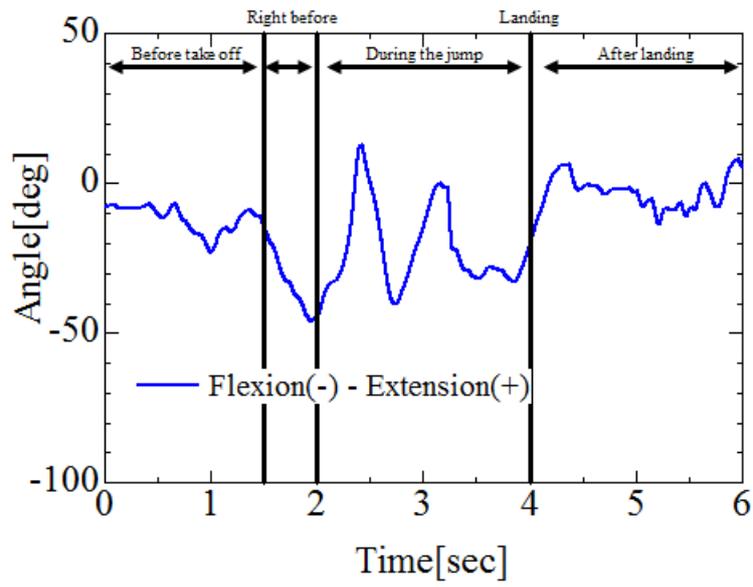


(b) Intermediate grade snowboarder

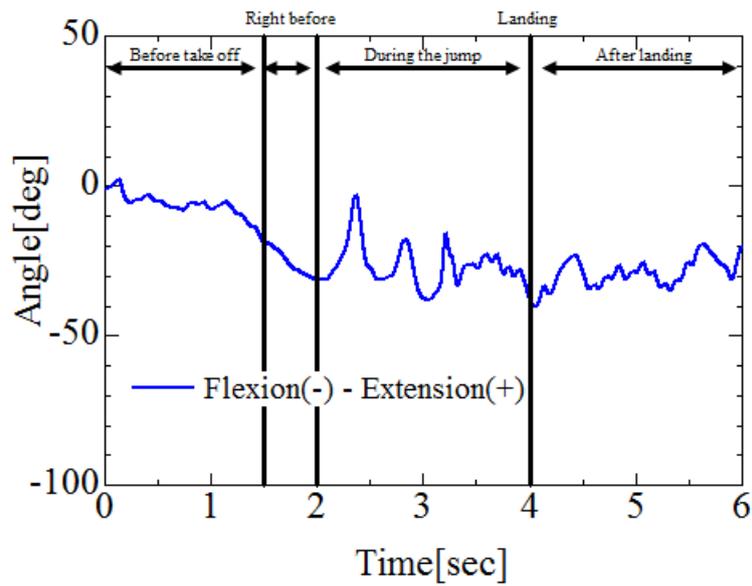
Fig.5.9 Results for right hip joint angle

#### 5.6.4 左膝関節角度の結果

左膝関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.10 に着目すると、上級レベルのスノーボーダーは、特にジャンプ中の約 2~4 秒間において、股関節と膝関節は回転軸が逆となっており、プラスとマイナスが反対の結果となっているが、左股関節の屈曲伸展運動の波形結果とピーク値となるタイミングが類似した波形結果を示していた。中級レベルのスノーボーダーにおいてはマイナスの屈曲を示してはいるが、左股関節の屈曲伸展運動の波形結果と類似した波形結果とはなっていなかった。



(a) Upper grade snowboarder

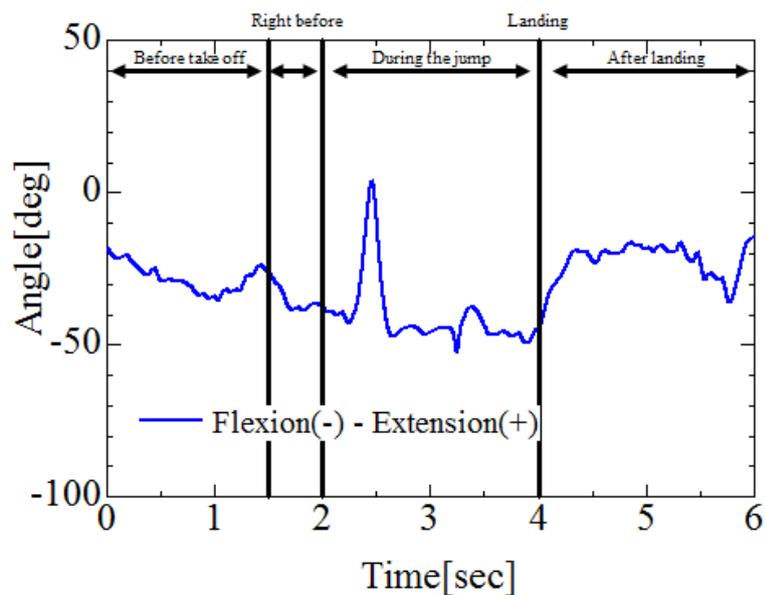


(b) Intermediate grade snowboarder

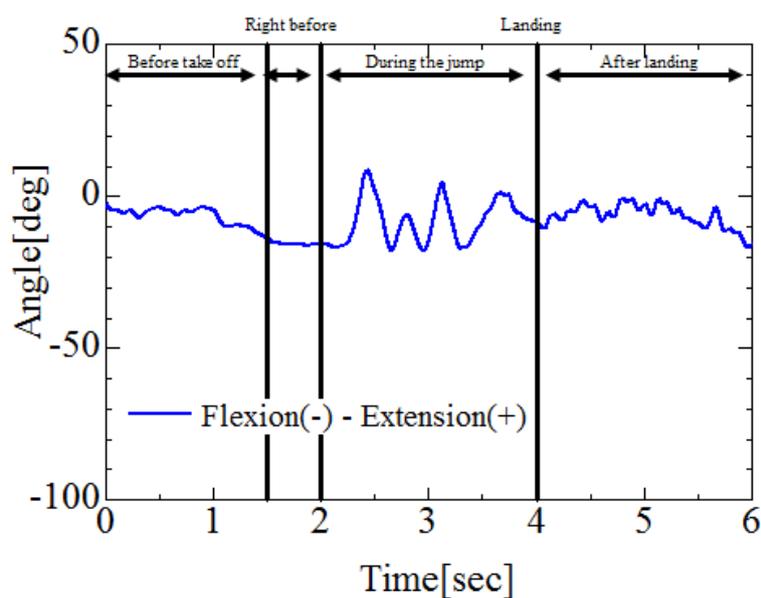
Fig.5.10 Results for left knee joint angle

### 5.6.5 右膝関節角度の結果

右膝関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.11 に着目すると、上級レベルのスノーボーダーは踏み切り直後の伸展運動を除き全体的に屈曲方向に変化している。中級レベルのスノーボーダーの屈曲角度が上級レベルのスノーボーダーと比べると小さい結果（上級レベルのスノーボーダー：約 30°，中級レベルのスノーボーダー：約 15°）となった。



(a) Upper grade snowboarder



(b) Intermediate grade snowboarder

Fig.5.11 Results for right knee joint angle

## 5.7 考察

実際のジャンプ台における計測実験・運動学的解析によって得られた腰椎関節，左右股関節，左右膝関節角度の変化に着目し，スノーボーダーがジャンプをするために行った動作について考察する。

### 5.7.1 腰椎関節角度の考察

腰椎関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.7 を考察すると、上級レベルのスノーボーダーの結果では踏み切り前において屈曲運動を踏み切り直前（0.5 秒～1.5 秒）まで行い、踏み切る際に伸展させて、着地してからは再び屈曲している結果となった。中級レベルのスノーボーダーの結果では踏み切りに向けて伸展しており、踏み切り直前に屈曲させ、伸展することによって踏み切り、着地の際に屈曲しているが、その後は再び伸展している。この結果から、上級レベルのスノーボーダーは踏み切り前において屈曲動作を踏み切り直前（0.5 秒～1.5 秒）まで行い、踏み切る際に伸展させ、着地後再び屈曲させていた。また左右足の膝及び股関節を踏み切りに向けて屈曲させ、重心を下げる動作を行い、踏み切りに向けた準備動作を取っていたと考えられる。一方、中級レベルのスノーボーダーは腰椎関節を踏み切りに向けて伸展させており、左右足の膝及び股関節の屈曲度合いが上級レベルのスノーボーダーと比較して小さいことから、重心の下降が少なく、踏み切り前の準備動作として不十分であったと考えられる。側屈角度の結果に着目すると、上級レベルのスノーボーダーの結果においては変化が小さいが、中級レベルのスノーボーダーの結果においては、大きく左方向に側屈していた。本結果は、上級レベルのスノーボーダーはジャンプ中も姿勢を維持しているが、中級レベルのスノーボーダーはジャンプ中に姿勢維持が十分に行えず、スノーボード板がより傾いていることが考えられる。斜面（15°）に対するスノーボード板の傾きについて明らかにするために、ビンディングに取り付けたジャイロセンサの角速度を変換・積分することにより算出<sup>13)</sup>したスノーボード板の傾き（ピッチ角）の結果を Fig.5.12 に示しており、スノーボード板を引き上げる方向がプラス、引き下げる方向がマイナスである。本結果にはビンディングに取り付けたセンサの座標系とスノーボード板の座標系とのずれやドリフトによる誤差が含まれているため、相対的な値の違いに着目すると、ジャンプ直前で両スノーボーダーにおけるスノーボード板の傾きはほぼ同じであるが、中級レベルのスノーボーダーにおける板の傾きは、着地付近および着地後において上級レベルのスノーボーダーにおける板の傾きよりも大きい結果が得られており、上級レベルのスノーボーダーと比較して中級レベルのスノーボーダーの結果では、スノーボード板がより傾いた状態で着地（テール着地）していることを示している。

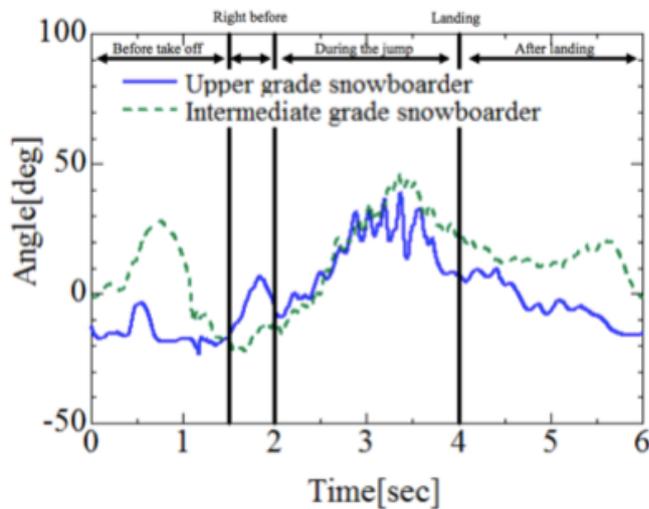


Fig.5.12 Results for snowboard inclination

### 5.7.2 左股関節角度の考察

左股関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.8 を考察すると、上級レベルのスノーボーダーの踏み切り時に屈曲運動、踏み切り後に伸展運動、その後に屈曲運動を行い、さらに着地前に伸展運動を行っており、前足（左足）を引き付けるオーリー動作を行い、着地に向かって伸展運動を行うことにより、スムーズな着地を行えるように運動していることを示している。中級レベルのスノーボーダーの踏み切り後に屈曲運動を行い、着地前に若干の屈曲運動を行っている結果は、踏み切り後に前足（左足）を引き付ける動作は行っているものの、上級レベルのスノーボーダーと比較すると最大屈曲運動の値が小さく（2.8 秒時、上級レベルのスノーボーダーは  $70^\circ$ 、中級レベルのスノーボーダーは  $20^\circ$ ）、さらに  $0^\circ$  以上の屈曲運動の時間が短い結果となった。内外転角度の結果から考察すると、上級レベルのスノーボーダーは屈曲伸展運動と類似した内外転運動を行っており、踏み切り前から着地するまでは内転していることを示しているが、中級レベルのスノーボーダーは、屈曲伸展運動とは類似した特徴は得られず、全体的に変動が小さい。また、腰椎関節が左側屈運動を行っていることから、スノーボード板がより傾くように運動していることが考えられる。

### 5.7.3 右股関節角度の考察

右股関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.9 を考察すると、上級レベルのスノーボーダーの結果の、左股関節の屈曲伸展角度とよく似た傾向で運動が行われ、後ろ足である右足についても屈曲・伸展運動を繰り返し行っていたことは、両足を屈曲することに

よりスノーボード板を引き上げてオーリー動作を行い、高くジャンプしていることを示している。中級レベルのスノーボーダーの結果において、着地後により大きく伸展していたことは、スノーボード板を引き上げないために高くジャンプできず、テール着地後にスノーボーダーが後傾になっていたと考えられる。内外転角度の結果から考察すると、上級レベルのスノーボーダーの結果はジャンプ中に大きな変化はないが、中級レベルのスノーボーダーの結果においては、全体的に外転しており、ジャンプ中には外転角度が大きく変化している結果から、外転運動を行うことによって後ろ足（右足）を後方に伸ばすように運動が行われており、ジャンプ中における姿勢が不安定になっていることが考えられる。

#### 5.7.4 左膝関節角度の考察

左膝関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.10 を考察すると、上級レベルのスノーボーダーは左股関節角度と類似した運動をしており、前足（左足）を引き付けるオーリー動作を行っているが、中級レベルのスノーボーダーは左股関節角度と類似した特徴は得られなかったことから、引き付ける運動を行えていないことを示している。

#### 5.7.5 右膝関節角度の考察

右膝関節における屈曲伸展角度の結果 Fig.5.11 を考察すると、上級レベルのスノーボーダーの踏み切り直後の 2.5 秒付近に突出した波形は、テールの反発を利用したオーリー動作<sup>14)</sup>による伸展運動を行っていると考えられ、この 1 回の伸展運動を除き屈曲運動が行われていることから、スノーボード板を引き上げる運動が行えている。中級レベルのスノーボーダーの屈曲角度が上級レベルのスノーボーダーと比べると小さい結果となっており、屈曲動作が小さいため、スノーボード板を引き上げる運動が行えていないことを示している。

### 5.8 考察（全体）

上級レベルのスノーボーダーは、踏み切り前の準備動作としての腰椎関節、股関節、膝関節の屈曲運動や、踏み切り時の股関節、膝関節の伸展運動、さらに踏み切り後に行われる前足の引き上げ、ジャンプ中の腰椎関節、股関節、膝関節の屈曲によるスノーボード板の引き付け、着地直前には伸展運動によって着地動作が行われており、オーリーを用いたジャンプが行われていた。中級レベルのスノーボーダーは、ジャンプ前のアプローチから後傾になっており、後ろ足（右足）の運動が上級レベルのスノーボーダーとは大きく異なっていた。また、映像情報より確認したところ、上級レベルのスノーボー

ダーによるジャンプでは、ジャンプ中にスノーボード板の角度が変化し、雪面に対して平行に着地していたが、中級レベルのスノーボーダーによるジャンプでは、アプローチから全体的に後傾姿勢となっており、オーリー動作を行うことができないためにエア中も後傾姿勢となり、着地の斜面に合わせることができずテール着地していた。

本結果において、中級レベルのスノーボーダーにおけるジャンプでは、スノーボード板の傾きが大きくなっていることを示しており、オーリー動作を行うことができないためにスノーボード板の傾きが大きくなり、結果としてテール着地になっていることを示している。以上より、上級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作における運動学的な特徴を明らかにすることができた。本研究で提案した計測システム、解析方法を適用することによって、ジャンプにおけるオーリー動作の有無を判明することが可能である。本研究の解析結果は、指導書に解析結果の一例として明記することができる。様々なレベルのスノーボーダーが安全にジャンプを上達するために、以下のように指導書に明記することを期待する。

ジャンプ未経験のジャンプ初心レベルのスノーボーダーに対する指導方法としては、まず緩やかな斜面上でオーリー動作を習得することを目指し、踏み切るまでのスピードに慣れて、オーリー動作であるスノーボード板のしなりや反発を体感し、反復練習することで安全に着地する方法を学ぶ。その後実際のジャンプ台に挑戦することになるジャンプ初級レベルのスノーボーダーに対する指導方法としては、すぐにオーリー動作を使用するのではなく、アプローチの斜度や挿入スピード、そのスピードによって描く放物運動などに慣れて、さらに安全な着地ができることでジャンプ中級レベルとなっていく。しかし、ジャンプ台におけるアプローチの斜度や挿入スピードの違いによってオーリー動作のタイミングが変化する可能性がある。中級レベルのスノーボーダーは様々な形状のキッカーで、オーリー動作のタイミングを合わせることで安全な着地までの一連の流れを習得することを目指す。上級レベルのスノーボーダーは、サイズの大きなキッカーのアプローチ斜度・スピードさらにはエアによって描く放物運動、着地の斜度に対して安全に着地する経験を重ねることによって、さらなるスキルアップとなるスピン技などを目指すように指導することができる。

## 5.9 結言

本研究では、スノーボードのジャンプにおける重要な技術であるオーリーの指標となる運動学的な特徴について明らかにするため、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた上級レベルと中級レベルのスノーボーダーによるジャンプ実験を行い、運動学的解析を行うことによって、オーリー動作の有無による運動の違いについての解析と、オーリー動作を行うことによる各関節の運動を明確にすることができた。本結果は、明らかにされていなかったオーリー動作の運動のメカニズム

ム解明だけでなく、定量的な情報に基づく指導指標によりスノーボーダーのスキルレベルに適合した指導方法の確立やスキル習得の効率化へ利用することができる。また、キッカーでのエア時においてオーリーを使用したジャンプ技術を習得することによって、着地時におけるスノーボード板の傾きが減少し、結果として転倒・怪我のリスクを軽減することができる。しかし、本研究における計測・解析結果は、上級レベルのスノーボーダー1名、中級レベルのスノーボーダー各1名の結果のみであるため、個人の癖等が含まれている可能性がある。運動学的特徴をより明確にするためには、多くのスノーボーダーによる計測・解析を行う必要がある。また、運動学的解析だけでなく、作用力計測を併用した解析や動力学的な解析を行い、実際にスノーボーダーが発揮しているトルク等を定量的に示す必要がある。

本研究では、スノーボードのジャンプにおける重要な技術であるオーリーの指標となる運動学的な特徴について明らかにするため、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた上級レベルと中級レベルのスノーボーダーによるジャンプ実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1) スノーボードのジャンプにおける重要な技術である、オーリーの指標となる運動学的な特徴について明らかにするため、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた、上級レベルと中級レベルのスノーボーダーによるジャンプ実験を行った
- (2) 上級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作における運動学的な特徴を明らかにすることができた。
- (3) スキルの異なるスノーボーダーの運動学的解析を行うことによって、オーリー動作の有無による運動の違いについての解析とオーリー動作を行うことによる各関節の運動を明確にすることができた。

以上より本研究にて開発した計測装置、解析手法を用いることで、これまでに明らかにされていなかったオーリーの運動のメカニズム解明だけでなくジャンプ台でのエアの安全性を高める指導方法の構築への利用が期待される。

## 5.10 参考文献

- 1) 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 西川太朗, 土岐仁.  
小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究.  
スキー研究, 2011年, 1, 51頁～57頁.
- 2) 全日本スキー連盟教育本部.  
SAJ スノーボード教程 SANUK.  
スキージャーナル, 2009年, 110頁.
- 3) 日本スノーボード協会.  
JSBA スノーボード教程.  
山と溪谷社, 2008年, 130頁～131頁, 140頁～141頁.
- 4) Hirose, K.; Doki, H.; Kondo, A.  
Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and reaction force from snow surface. The Engineering of Sport 9, 2012, p.754-759.
- 5) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
実滑走計測によるスノーボードのターンの運動力学解析に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2013年, 79(800), 897頁～907頁.
- 6) 稗島利明, 山本敬三, 川初清典, 清水孝一.  
スノーボードジャンプにおける空中回転動作の分析.  
電子情報通信学会 信学技報, 2011年, 3, 135頁～140頁.
- 7) 水沢利栄.  
スキー・スノーボードのワンメイクにおける傷害の発生状況.  
-2000年～2002年の全国37スキー場について-  
日本スキー学会誌, 2004年, 14(1), 83頁～93頁.
- 8) 萩原あいか, 入江一憲.  
スノーボードのワンメイクジャンプ着地時における転倒パターンの分析.  
体力科学, 2001年, 50(6), 990頁.
- 9) 伏見知何子, 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 高橋護, 土岐仁.  
スノーボードのオーリー動作における力計測・運動解析に関する研究.  
スキー研究, 2017年, 14(1), 1頁～8頁.

- 10) 近藤亜希子, 土岐仁, 廣瀬圭.  
慣性センサを用いた身体運動計測における 3 次元姿勢推定法に関する研究.  
日本機械学会論文集 C 編, 2013 年, 79(803), 2351 頁～2361 頁.
  
- 11) Kondo, A.; Doki, H.; Hirose, K.  
An attempt of a new motion measurement method for alpine ski turns using inertial sensors.  
The Engineering of sport 9, 2012, p.421-426.
  
- 12) 谷萩隆嗣.  
カルマンフィルタと適応信号処理.  
コロナ社, 2005 年, 52 頁～59 頁.
  
- 13) 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子.  
慣性センサ・地磁気センサを用いたスポーツにおける姿勢計測に関する研究.  
スポーツ産業学研究, 2012 年, 22(2), 255 頁～262 頁.
  
- 14) 日本スノーボード協会.  
JSBA スノーボード教程.  
山と溪谷社, 2008 年, 130 頁～131 頁.

## 第6章 結論

本論文では、複数の小型力センサを搭載した運動計測システムを用いたスノースポーツの運動解析法を提案し、実際の雪面を滑走するスノーボーダーによる計測実験を行った。スノースポーツは、広大な雪面を滑走するスポーツであり、これまで一般的に使用されている画像処理による運動計測法の適用が難しい。そこで、スノースポーツの運動計測、解析を行うために、複数の小型力センサを搭載した操作力・雪面反力システムによる運動解析法を提案し、スノーボーダーによるカービングターンとジャンプ技術であるオーリーの計測実験、解析を行った。本研究にて提案した方法は、スノーボーダーの身体やブーツ、ビンディングに装着して簡易に計測が可能であり、スノースポーツの運動計測に幅広く利用できる方法である。また、小型9軸ワイヤレスモーションセンサを用いることによって、運動学的解析が可能となり、GPS レシーバを併用することで滑走軌跡や滑走速度の計測が可能となることを示した。

次に本研究で得られた結果について述べる。

第2章では、スノーボードとビンディングの間に複数の小型力センサを搭載した雪面反力計測システムを取り付け、頭部に GPS レシーバを装着した上級レベル・初級レベルのスノーボーダーによる実際の雪面におけるカービングターンの計測実験を行い、スキルの異なるスノーボーダーにおける雪面反力の違いやカービングターンを行うために必要な要素であるたわみ成分を定量的に評価した結果について述べた。

第3章では、第2章で開発した計測システムを用いた上級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作における操作力・雪面反力計測を行い、緩やかな斜面上でオーリーを行った際の力・モーメントを計測実験、解析によって得られた結果について述べた。

第4章では、実際のジャンプ台にて行うオーリー動作において上級レベルのスノーボーダーによる力・モーメント計測を行い、さらにスノーボード全体に関するモーメントを計算して解析を行った結果と、第3章で示した緩やかな斜面上での力・モーメント計測の結果を比較して、斜面上とジャンプ台における運動の違いを定量的に評価した結果について述べた。

第5章では、各身体部位に慣性センサを搭載したワイヤレスモーションセンサを取り付けた上級レベル・中級レベルのスノーボーダーによるオーリー動作の計測実験・運動学的解析を行った結果、オーリー動作を行うことによる各関節の運動とオーリー動作の有無による運動の違いを定量的に評価した結果について述べた。

スノースポーツは今後さらに発展し、あらゆる分野において研究が進められていくと考えられる。本研究によって得られた結果は、実際の雪面を滑走するスノーボーダーによる解析結果であり、これまで定性的な結果に頼っている指導法や怪我の防止法などに役立てることができる。今後、本研究の結果は、スノースポーツのあらゆる研究へ応用されることを期待する。

## 発表論文

### レフェリー制のある学術雑誌

- (1) 伏見知何子, 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 高橋護, 土岐仁.  
スノーボード・オーリー動作の運動学的解析に関する研究.  
スキー研究, 第 15 巻, 第 1 号, 2018 年, 掲載決定.
- (2) 伏見知何子, 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 高橋護, 土岐仁.  
スノーボードのオーリー動作における力計測・運動解析に関する研究.  
スキー研究, 第 14 巻, 第 1 号, 2017 年, 1 頁~8 頁.
- (3) 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, 第 26 巻, 第 2 号, 2016 年, 233 頁~242 頁.

### 口頭発表

- (1) 藤本弦, 伏見知何子, 千葉遥, 近藤亜希子, 廣瀬圭, 土岐仁.  
スノーボード板にかかるモーメントに着目したオーリー動作の  
運動解析に関する研究.  
日本スキー学会第 27 回大会講演論文集, 2017 年, 24 頁~25 頁.
- (2) 伏見知何子, 廣瀬圭, 近藤亜希子, 千葉遥, 土岐仁.  
スノーボード板のたわみ成分に着目したスノーボード・ジャンプ台における  
オーリー動作の運動解析に関する研究.  
日本スキー学会 2016 年度秋季大会講演論文集, 2016 年, 14 頁~15 頁.
- (3) 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 年度秋季大会講演論文集, 2016 年, 12 頁~13 頁.

- (4) 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 講演論文集, 2016 年, 48 頁~49 頁.
- (5) 伏見知何子, 廣瀬圭, 近藤亜希子, 千葉遥, 土岐仁.  
スノーボード・ジャンプ台におけるオーリー動作の  
実運動計測・解析に関する研究.  
日本スキー学会第 26 回大会講演論文集, 2016 年, 44 頁~45 頁.
- (6) 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.  
日本機械学会シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015  
講演路文集, 2015 年, A-5.
- (7) 伏見知何子, 土岐仁, 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭.  
慣性・力センサシステムを用いたオーリー動作の  
運動計測・力学解析に関する研究.  
日本スキー学会 2015 年度研究会講演論文集, 2015 年, 30 頁~31 頁.
- (8) 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.  
日本スキー学会 2015 年度研究会講演論文集, 2015 年, 28 頁~29 頁.
- (9) 近藤亜希子, 千葉遥, 齋藤亜由子, 土岐仁, 伏見知何子.  
ウェアラブルセンサシステムを用いたスノーボード・ターンの  
動力的解析に関する研究.  
日本スキー学会第 25 回大会講演論文集, 2015 年, 62 頁~63 頁.
- (10) 伏見知何子, 近藤亜希子, 千葉遥, 廣瀬圭, 土岐仁.  
スノーボード用雪面反力計測システムを用いたオーリー動作における  
力計測・解析に関する研究.  
日本スキー学会第 25 回大会講演論文集, 2015 年, 36 頁~37 頁.

- (11) 千葉遥, 西川太朗, 近藤亜希子, 土岐仁, 伏見知何子.  
スノーボード用雪面反力計測システムを用いた  
ターンの運動解析に関する研究.  
日本スキー学会第 25 回大会講演論文集, 2015 年, 34 頁~35 頁.
- (12) 丹羽佳祐, 近藤亜希子, 齋藤亜由子, 土岐仁, 伏見知何子.  
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  
スノーボード・ターンの運動学的解析に関する研究.  
日本スキー学会第 25 回大会講演論文集, 2015 年, 32 頁~33 頁.
- (13) 伏見知何子, 廣瀬圭, 塩野谷明, 谷部勝彦.  
スノーボード・ジャンプの特徴に着目した動作分析に関する研究.  
日本スキー学会 2014 年度研究会講演論文集, 2014 年, 12 頁~13 頁.
- (14) 清水悠太, 平野雄大, 高坂大貴, 小笠原貴之, 高橋直也, 伏見知何子,  
今村啓, 塩野谷明.  
スキー滑走時動摩擦にスキー板の振動が及ぼす影響について.  
日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, 2014 年, 56 頁~59 頁.
- (15) 高坂大貴, 星野直, 平野雄大, 清水悠太, 小笠原貴之, 芦田啓慈, 工藤冬貴,  
丸岡陽, 伏見知何子, 今村啓, 塩野谷明.  
スキー実滑走時ヒト EMG とスキー振動の同時計測.  
日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, 2014 年, 42 頁~43 頁.
- (16) 高橋直也, 工藤冬貴, 丸岡陽, 平井英行, 伏見知何子, 今村啓, 塩野谷明.  
ICT を用いた新しい概念のスポーツクラブとスキープログラム.  
日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, 2014 年, 36 頁~37 頁.
- (17) 伏見知何子, 塩野谷明, 廣瀬圭, 谷部勝彦.  
スノーボード・ジャンプ台における飛び方を対象とした  
動作・意識分析に関する研究.  
日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, 2014 年, 30 頁~33 頁.

- (18) 戸田有亮, 鹿野雅大, 山田翔汰, 水鳥寿思, 伏見知何子, 山内章裕.  
地域スポーツ発展に向けた大学生の役割について.  
-産学行政調査プロジェクトに参加して-  
大阪大谷大学 スポーツ健康学会誌, 2014 年, 45 頁～62 頁.
- (19) 山内章裕, 伏見知何子, 水鳥寿思, 児玉公正.  
魅力ある地域創りとしてのスタジアムニックネームに関する研究.  
-富田林バッファローズスタジアム  
(富田林市立総合スポーツ公園野球場) を事例として-  
大阪大谷大学 スポーツ健康学会誌, 2014 年, 11 頁～20 頁.
- (20) AkiraSHIONOYA, ChikakoFUSHIMI, IsamuNEMOTO.  
Approach The Anaerobic Threshold using Vital Signals.  
生体・感性及び高度情報処理シンポジウム 2014, 2014 年, 67 頁～75 頁.
- (21) 木村隆彦, 伏見知何子, 齋藤秀俊, 塩野谷明.  
水難時着衣泳の救命効果の工学的検証.  
生体・感性及び高度情報処理シンポジウム 2014, 2014 年, 36 頁～43 頁.

## 謝辞

本研究の実施に際し、ゲレンデにおける実験準備、撮影等に関して多大なご協力をいただいた、太平山スキー場 OPAS スキー場、かぐらスキー場の方々、計測実験に参加いただいた研究協力者の方々に、併せて深甚の謝意を表します。

また、本研究を行うにあたり、多忙な時間の中、ご指導、ご鞭撻を賜りました、高橋護 准教授、株式会社テック技販 廣瀬 圭 取締役、近藤 亜希子 主任、千葉 遥 様に深く感謝の意を表します。

本論文の御審査を頂いた土岐 仁 名誉教授、神谷 修 教授、三島 望 教授、足立高弘 教授に深く感謝の意を表します。

最後に本論文を完成させるにあたり、生活面より常に支えてくれた夫・祐樹、母・浪江に深く感謝し、謝辞とさせていただきます。