

令和 2 年 4 月 26 日現在

機関番号：51401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17844

研究課題名（和文）スノーボーダーの視線と運動との関連性解明－効率的な練習法の構築を目指す－

研究課題名（英文）A study on clarifying the relation between a gaze and motion of a snowboarder

研究代表者

齊藤 亜由子（Saito, Ayuko）

秋田工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：90710715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スノーボーダーがターンの状況をどのようにとらえ、運動へフィードバックしているか定量的に示すため、スノーボーダーの視線、頭部姿勢、雪面反力を同時に計測可能なシステムを構築するとともに、視線と運動との関連性を定量的に示すための新しい解析手法を提案した。スノーボードターンの計測実験では、ターンにおけるスノーボーダーの視線移動、頭部姿勢、雪面反力の特徴を統合的に検証し、視線と運動の特徴を得た。さらに、提案した解析手法の妥当性を確認するための検証実験においては、提案手法が「視線と運動の関連性解明」のために有効である可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常生活やスポーツにおいて、人間は外部情報の大半を視覚から得ており、視覚と運動の協応動作を解析し、スノーボーダーの視線と運動との関連性を明らかにすることにより、「このような動きをするためには、どこに視線を移動させる必要があるか」を具体的に示すことが可能であるため、効率的な練習法の構築に向けたエポックメイキングとなる。本研究の成果は、練習法の構築や怪我の予防のみならず、スキー場内における衝突事故防止や、新規スノーボード開発への利用が期待できるため、スノースポーツ界の発展に大きく寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a system that measured a gaze, posture, and snow reaction force of a snowboarder in synchronization for clarifying the relation between a gaze and motion of a snowboarder. The relation between a snowboarder's gaze and motion was evaluated by the results obtained from measurements using the system. Furthermore, we constructed an analysis method which estimates the relation between a snowboarder's gaze and motion quantitatively by applying singular value decomposition to two-dimensional coordinates in the visual field plane, head posture, and snow reaction force obtained from measurements.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：視線計測 運動計測 スノーボード 協応動作 雪面反力

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

スノーボードは1枚の板を用いて雪面を滑走するスポーツである。日本におけるスノーボード人口は約260万人であり、ソチオリンピックのスノーボード競技では、パラレル大回転種目とハーフパイプ種目において日本人がメダルを獲得している。初心者が安全にスノーボード技術を習得するためや、国内外の大会で活躍する選手育成のためには、科学的根拠に基づいた練習法、怪我の予防法を確立することが重要である。

これまでに、スノーボードターンのメカニズムを解明するため、スノーボードロボットの開発¹やスノーボードターンのシミュレーションに関する研究²が行われ、ターンにおいて必要な運動の要素が示されてきた。また、申請者らは実際に雪面を滑走するスノーボーダーの雪面反力を計測し、ターンにおける力の使い方の特徴を示してきた³。これらの運動の特徴と併せて、ターンにおけるスノーボーダーの視線軌跡を解析することができれば、スノーボーダーが視覚から得た情報をどのように運動へフィードバックしているか解明するための糸口となる。日常生活やスポーツにおいて、人間は外部情報の大半を視覚から得ており、視覚と運動の協応動作を解析し、スノーボーダーの視線と運動との関連性を明らかにすることにより、「このような動きをするためには、どこに視線を移動させる必要があるか」を具体的に示すことが可能であるため、効果的な練習法の構築に向けたエポックメイキングとなる。

加えて、これまでのスノーボードに関する研究は、ハーフパイプ等に用いられるフリースタイルボードを対象とした研究が多く、パラレル大回転等に用いられるアルペンボードを対象とした研究はほとんど行われていない。フリースタイルボードとアルペンボードは、形状、ブーツとボードを接続するビンディング、ブーツの装着位置が異なることから、ターンにおけるボードの操作方法や視線の移動パターンも異なることが考えられる。スノーボードターンのメカニズムを包括的に分析するためには、異なる特性を有するボードを用いたスノーボーダーの視線・運動計測、視線と運動との関連性の解明が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、これまで明らかにされていないスノーボードターンにおける視線と運動（頭部姿勢、雪面反力）との関連性を解明し、スノーボーダーがどのようにターンの状況をとらえ、運動へフィードバックしているか明らかにすることを目的とする。実滑走実験において、スノーボーダーの視線と運動を同時に計測・推定する方法は世界的にも行われた例がない。視線軌跡を分析し、滑走中のスノーボーダーが外部の情報をもとにどのように収集するか解明することができれば、スキー場内における衝突事故防止へ寄与することが期待できる。

また、スノーボーダーは、ターンやジャンプなど滑りの目的に合わせて、使用するボードを選定する。異なる特性を有するボードを使用したスノーボードターンの運動計測・解析を行い、ボードの違いによる視線軌跡・運動の特徴を明らかにすることは、競技種目に特化した練習法の構築や、新規スノーボード開発のために有用である。

3. 研究の方法

I) 異なる種類のボード、ビンディング、ブーツに対応した計測システムの開発

スノーボーダーの雪面反力を計測するため、個人のボード（アルペンボードとフリースタイルボード）、ビンディング、ブーツに対応した雪面反力計測システムを開発する。本研究においては、スキー用雪面反力計測システム⁴の開発技術を応用し、6軸力センサ（レプトリノ社）を用いて製作する。スノーボーダーの視線は視線計測システム（ナックイメージテクノロジー社）を用いて計測する。頭部の姿勢は9軸モーションセンサ（スポーツセンシング社）の計測情報を用いたセンサ・フュージョンにより推定する。氷点下、降雪など雪山の厳しい計測環境において、市販のシステムやセンサが作動するように、保温・防水対策を講ずるとともに、すべてのセンサ、システムを同期計測可能なプログラムを構築する。

II) スノーボーダーによる検証実験・運動解析

開発した雪面反力計測システムをスノーボードとビンディングの間へ設置し、スノーボーダーへ視線計測システム、9軸モーションセンサを装着して実際の雪面における計測実験を行う。計測実験においては、可能な限り計測条件を同一にするため、コース（平均斜度 約10~15度の斜面）へ等間隔に旗門を設置し、あらかじめ決めた順番で旗門を通過する。計測実験により得られた雪面反力を先行研究の結果と比較し、本システムの有効性を確認する。

III) 視線と運動との関連性を解明するための解析法の構築

「II スノーボーダーによる検証実験・運動解析」の結果を参考に、視線と雪面反力の関係を定量的に評価するための解析法を構築する。申請者らは先行研究において、スノーボーダーのモーメントの変化がターンを行なうために重要な要素であることを明らかにしている³。また、指導の現場においては、次のターンを見据えて視線を移動させることがターン上達のための「コツ」として知られている（全日本スノーボード教程、山と溪谷社）。上級者と初心者におけるモーメントの変化、視線の移動パターンは異なることが予想されるため、本研究では特に視線軌跡とモーメントの変化の関係に着目した解析法を構築する。

IV) 視線と運動との関連性の解明

実験結果の一般性を検証するため、複数名のスキルレベルが異なるスノーボーダーによる計測実験を行う。計測実験により得られたスノーボーダーの視線・運動情報を用いて、構築したターンモデルの解析を行い、視線と運動との関連性を解明する。さらに、異なる種類のボードを装着した際の運動・視線軌跡の特徴を明らかにする。

4. 研究成果

I) 異なる種類のボード、ビンディング、ブーツに対応した計測システムの開発

本研究において開発した雪面反力計測システムを図1に示す。本システムは、ビンディングに装着する上部プレートと、スノーボード板に装着する下部プレートの2つのパーツから成り、上部プレートと下部プレートの間には6軸力センサ（レプトリノ社、FFS080YS102U6）を搭載している。システムを軽量化するため、下部プレートは応力変形シミュレーションの結果に基づいて下面側を可能な限り肉抜きしている。本システムの寸法は、120×105×34 (mm)、6軸力センサを含む重量は960gである。本研究においては同一のシステムを2個製作し、左右のビンディングとスノーボード板の間へ1個ずつ設置した。本システムを用いることにより、雪面反力の3軸方向の力 F_x , F_y , F_z と3軸周りのモーメント M_x , M_y , M_z が計測可能である。

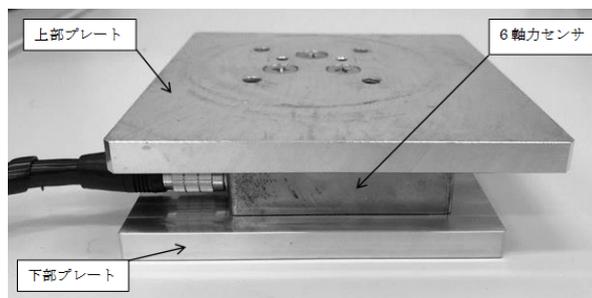


図1 雪面反力計測システム

II) スノーボーダーによる検証実験・運動解析

雪面反力計測システムと視線計測システム（EMR-9, ナックイメージテクノロジー社）、9軸モーションセンサ（SS-WS1782, スポーツセンシング社）を用いて、フリースタイルボードを用いたターンにおける雪面反力と視線、頭部姿勢の計測実験を行った。

本実験に参加したスノーボーダーは、日本スノーボード協会公認A級インストラクター資格所持者2名である。計測システムを装着したスノーボーダーの様子を図2に示す。被験者Aは、34歳男性、身長178cm、体重65kg、スノーボード歴10年である。被験者Bは、50歳男性、身長173cm、体重75kg、スノーボード歴28年、スラローム競技経験者である。本実験については臨床実験に関する秋田工業高等専門学校ヒト倫理審査委員会の承認を得るとともに、あらかじめ被験者に十分な説明を与え、同意を得ている。計測実験を行ったゲレンデの平均斜度は約10度であり、コース内に12本のポールを設置した。スノーボーダーのスタンスは2名共に左足を前足とするレギュラースタンスであり、一本目のポールにおいてバックサイドターン、二本目のポールにおいてフロントサイドターンを行った後、12本目のポールまで同様に連続ターンを行った。雪面反力計測システムのサンプリング周波数は100Hz、視線計測システムのサンプリング周波数は60Hzである。



(a) 被験者A (b) 被験者B
図2 計測システムを装着した被験者の様子

計測システムから得られた被験者Aの左足モーメントの結果と、頭部姿勢推定の結果を図3に示す。本研究においては、左足のY軸モーメント（Y軸：スノーボード板の進行方向を正とする軸）が0となった時点をターンの切り替え期と定義した。図3(a), (b)における縦の太破線は、スノーボーダーが次のポールに視線を移動させた時点を示している。

Y軸周りのモーメントと視線の移動時点に着目すると、スノーボーダーはターンの中心付近において次のポールに視線を移動させていることが分かる。頭部姿勢のヨー角の変化に着目すると、スノーボーダーはバックサイドターンの中心付近において頭部の右旋回（ヨー角が減少）を開始し、フロントサイドターンの中心付近において左旋回（ヨー角が増加）を開始している。頭部の左右旋回動作と視線の移動時点に着目すると、旋回開始と同時、または回旋開始後に視線を次のポールに移動させており、本結果はターンの先行動作として視線と雪面反力、頭部姿勢が協応して変化している可能性を示した。

視線計測システムは、システム内蔵のカメラが被験者の視野平面を撮影し、注視点を映像へプロットして出力するとともに、視野平面座標系におけるピクセル座標として注視点の座標をcsv出力することが可能である。しかし、本実験結果から、雪面に反射した太陽光等の影響により被験者の瞳孔径が小さくなることや、雨や雪の影響でまばたきの回数が増えるなどの理由により視線計測を安定して行うことが困難であることが明らかとなった。そのため、計測中に瞳孔を検知できない区間はデータが欠損しており、詳細な視線解析を行うことはできなかった。

視線計測システムは、システム内蔵のカメラが被験者の視野平面を撮影し、注視点を映像へプロットして出力するとともに、視野平面座標系におけるピクセル座標として注視点の座標をcsv出力することが可能である。しかし、本実験結果から、雪面に反射した太陽光等の影響により被験者の瞳孔径が小さくなることや、雨や雪の影響でまばたきの回数が増えるなどの理由により視線計測を安定して行うことが困難であることが明らかとなった。そのため、計測中に瞳孔を検知できない区間はデータが欠損しており、詳細な視線解析を行うことはできなかった。

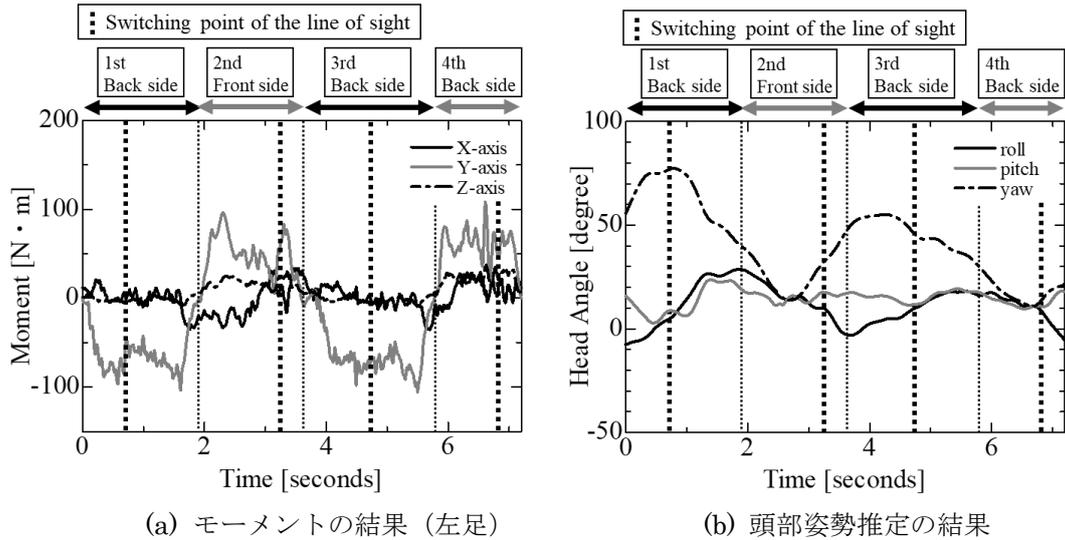


図3 被験者Aの計測結果

III) 視線と運動との関連性を解明するための解析法の構築

本研究では、ターンをいくつかのフェーズに分割し、計測結果の特異値分解に基づく関節間協応の評価手法⁵⁶⁾を応用することによって、ターンにおけるスノーボーダーの注視点と雪面反力、頭部姿勢の協応関係を定量的に明らかにする解析法を構築した。

解析の手順を以下に示す。はじめに、計測実験により得られた雪面反力（6分力）、頭部姿勢、注視点の視野平面ピクセル座標を用いて、多次元空間を構成する観測行列を構築する。続いて、構築した観測行列に対して特異値分解を行うことにより、主要な動作パターンとして定義される支配的な運動モードを抽出し、それらがターンにおけるスノーボーダーの特徴的な運動を定量的に表現しているかどうかを検証する。

・計測データを用いた観測行列の構築

特異値分解においては、異なる物理量である雪面反力、頭部姿勢（オイラー角）とピクセル座標について単位や次元の違いを排除して時系列データの観測行列を構築する。そのため、計測実験により得られた雪面反力、頭部姿勢と、注視点を示す視野平面ピクセル座標を標準化し、それぞれ-1 から 1 までの大きさで表される無次元量に変換する。標準化した計測データにより構成される観測行列を式(1)に示す。

$$R(\theta, G, t) = \begin{pmatrix} \theta_{roll}(t_1) \cdots \theta_{yaw}(t_1) & F_{Lx}(t_1) & \cdots & M_{Rz}(t_1) & \cdots & G_x(t_1) & G_z(t_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_{roll}(t_m) \cdots \theta_{yaw}(t_m) & F_{Lx}(t_m) & \cdots & M_{Rz}(t_m) & \cdots & G_x(t_m) & G_z(t_m) \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\theta_{roll}(t)$ 、 $\theta_{pitch}(t)$ 、 $\theta_{yaw}(t)$ はそれぞれ頭部姿勢のロール・ピッチ・ヨー角を標準化した値であり、 $F_{Lx}(t)$ 、 $F_{Ly}(t)$ 、 $F_{Lz}(t)$ 、 $M_{Lx}(t)$ 、 $M_{Ly}(t)$ 、 $M_{Lz}(t)$ はそれぞれ左足の6分力、 $F_{Rx}(t)$ 、 $F_{Ry}(t)$ 、 $F_{Rz}(t)$ 、 $M_{Rx}(t)$ 、 $M_{Ry}(t)$ 、 $M_{Rz}(t)$ はそれぞれ右足の6分力を標準化した値である。また、 $G_x(t)$ 、 $G_z(t)$ はそれぞれ視野平面ピクセル座標を標準化した値であり、 m は時系列のデータ数を示す。

・観測行列の特異値分解

特異値分解を用いて、構築した観測行列（式(1)）を頭部姿勢、雪面反力および視野平面ピクセル座標の無次元量が互いに直交する基底ベクトル（運動モード）で展開する。基底ベクトル $R(\theta, G, t)R(\theta, G, t)^T$ の固有ベクトルを $V_j(t)$ 、 $R(\theta, G, t)^T R(\theta, G, t)$ の固有ベクトルを $Z_j(\theta, G)$ 、特異値を λ_j とすると、 $R(\theta, G, t)$ は式(2)で表すことができる。

$$R(\theta, G, t) = \sum_{j=1}^n \lambda_j V_j(t) Z_j^T(\theta, G) \quad (2)$$

ここで、 λ_j は各正規直交基底ベクトルの寄与率であり、値の大きい順に第1モード、第2モードとした運動モードを表す。 $V_j(t)$ は時間基底であり、各基底の時系列における活動パターンを表す。 $Z_j(\theta, G)$ は空間基底であり、各基底における物理量の協応パターンを表す。

観測されたすべての運動モードに対する j 番目の特異値 λ_j が持つ寄与率 β_j を式(3)に示す。

$$\beta_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^{16} \lambda_j^2} \quad (3)$$

IV) 視線と運動との関連性の解明

研究開始当初の計画では、2 年目（最終年度）に複数名のスキルレベルが異なるスノーボーダーによる計測実験を行い、Ⅲ)において構築した解析法を用いて、視線と運動との関連性を解明する計画であった。しかし雪不足により、スキー場オープンが遅れたことや、コースを貸し切った計測ができなかったことから計画していた実験を行うことができなかった。

そのため、「視線と運動の協応関係を定量的に明らかにする」基礎的研究として、Ⅲ)において構築した解析法を用いて、ボールのパス動作における上肢姿勢と視線の関係性を解析した。以下に実験方法と解析結果を示す。

・実験方法

ボールのパス動作における受球者の注視点および上肢姿勢を得るため、視線計測システムと三次元動作解析装置（Bonita10；Vicon Co., Ltd.）を用いた動作計測を行う。被験者の注視点は、視野平面におけるピクセル座標として得る。被験者は秋田工業高等専門学校（身長 1.705 ± 0.075 m, 体重 68.5 ± 8.5 kg）である。計測実験は秋田工業高等専門学校において実施し、本実験については臨床実験に関する秋田工業高等専門学校ヒト倫理審査委員会の承認を得るとともに、被験者に十分な説明を与え、同意を得た。

実験室内における基準座標系と投球者・受球者の立ち位置を図4に示す。投球者と受球者は基準座標系のY軸上3m離れた位置に立ち、実験においては計測開始の合図から5秒後に投球者から受球者へボールを投げるよう指示した。また、受球者の自然な動作および視線移動を得るため、ボールを投げる方向は受球者にあらかじめ伝えることなく投球者は左右ランダムに5回の投球を行った。三次元動作解析装置と視線計測システムは同期しており、サンプリング周波数は共に60Hzである。

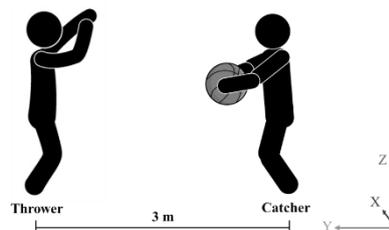


図4 座標系と立ち位置

・解析結果

解析結果の一例として、投球者がボールを被験者Aの左側へ投げた試行における第1モードの空間基底を図5に示す。図5において、LXS, LYS, LZS, RXS, RYS, RZSはそれぞれ左右肩関節における屈曲, 外転, 内旋に対応しており、LE, REは左右肘関節における屈曲, LXW, LYW, LZW, RXW, RYW, RZWはそれぞれ左右手首関節の尺屈, 伸展, 内旋に対応している。図5より、第1モードは主に両肩の屈曲と右手首の伸展、視線の左方向への移動を生成している。本結果より、被験者Aが視線で左側へ移動するボールを追いながら、キャッチ動作に向けて主に肩と手首を動かしており、ボールをキャッチしようとする動作が視線と協応していたことを定量的に示している。被験者B, Cの結果においても、肩関節の屈曲と手首関節の伸展が視線移動と協応している傾向があるため、本結果はパス動作における受球者の視線と運動の特徴を表していると考えられる。

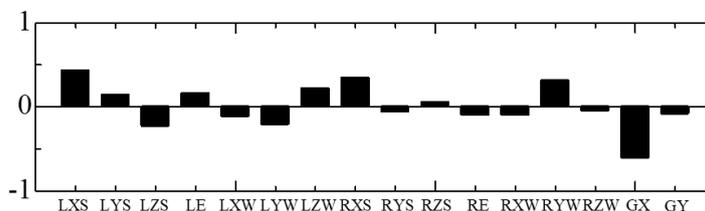


図5 被験者Aの解析結果

【研究成果のまとめ】

研究の方法として計画していたⅠ)～Ⅲ)に関しては、予定通り遂行することができた。Ⅳ)は雪不足などの影響により計画していた実験を断念したが、代替実験としてボールのパス動作計測を行い、Ⅲ)において構築した解析手法が、本申請課題の核心部分である「視線と運動の関連性解明」のために有効である可能性を示すことができた。本解析法を用いることにより、スノーボードターン、ボールのパス動作だけでなく、様々なスポーツ、日常動作における視線と運動の協応関係を解明することが期待できる。

<引用文献>

- 1) 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, Vol.1, No.1, pp.9-13, 2003.
- 2) 坂田敏行, 他; 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, Vol.65, No.639, pp.4431-4437, 1999.
- 3) 廣瀬圭, 他; 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, pp.233-242, 2015.
- 4) 齊藤亜由子, 他; 小型力センサを用いたスキー用雪面反力計測システムの開発と解析に関する研究, スキー研究, Vol.12, No.1, pp.35-41, 2015.
- 5) 船戸徹郎, 他; ヒトの歩行における全身の関節協調動作の定量的評価, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.8, pp.996-1003, 2010.
- 6) 林祐一郎, 他; 階段・斜面を含むヒトの歩行に生じる関節角度・モーメントの主成分の解析, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.830, DOI: 10.1299/transjsme.15-00320, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 齊藤亜由子, 奈良雄斗, 宮脇 和人	4. 巻 85
2. 論文標題 磁場の変動を考慮したモーションセンサを用いた膝関節角度の推定に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 齊藤亜由子, 矢本雅史, 辻尚史, 宮脇和人
2. 発表標題 ターンにおけるスノーボーダーの視線行動に関する研究
3. 学会等名 日本スキー学会 第29回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayuko Saito, Kazuto Miyawaki, Naofumi Tsuji
2. 発表標題 A case study of alpine and freestyle snowboard turn measurement
3. 学会等名 7th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宮脇 和人 (Miyawaki Kazuto)		