

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750299

研究課題名(和文) アルペンスキー傷害発生のメカニクス解明

研究課題名(英文) Interpretation of mechanism for injury occurrence in alpine skiing.

研究代表者

中里 浩介 (Nakazato, Kosuke)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学部・契約研究員

研究者番号：40708088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではアルペンスキー傷害発生メカニズムの解明と題し、アンケート調査および滑走中のスキー板とスキーヤーとの間に働く地面反力の計測機器の開発を行い、雪上での大回転競技滑走中の地面反力の計測を行った。アンケート調査の結果から、アルペンスキーでは膝関節の傷害が多く、その原因として転倒があがった。作成した地面反力計はこれまでと同様のサイズで、システム全体で約3kg軽量化できた。滑走中の地面反力はこれまで報告があったものよりも大きく、瞬間的では体重の6倍程度の外力が、ターンの外側の脚に加わっていることが分かった。滑走中の転倒を導く要因としては、このような短時間の雪面からの強い振動も考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was interpretation of mechanism for injury occurrence in alpine skiing. As a result of questionnaire study for collegiate alpine skiers, it is clear that knee injury is the most frequent injury as well as previous studies by world cup skiers. The major factor for knee injuries was tumbling during skiing. The weight of force plate for one ski is about 1.9kg, and whole system including storage is about 5.3kgm, which is 3.0kg lighter than present device. The measurement range of ground reaction forces are up to 5kN in each directions and moments are up to 400Nm. Maximal sampling rate was 1200 Hz. As a result of the measurement, maximal ground reaction force was up to 6 times body weight, which is 2 times greater than previous study (3.5 times body weight). This greater ground reaction force and vibration by snow may lead skier's unbalance and tumble.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：アルペンスキー 傷害 転倒 損傷

1. 研究開始当初の背景

アルペンスキーは傷害が多い競技の一つであり、下肢、特に膝関節が受傷部位としては最も多いとされている。これまで国際スキー連盟にあげられた傷害報告 (Injury report) をまとめた報告によると、膝関節を損傷する転倒様式としてはスリップキャッチ・ダイナミックスノープラウ・後傾姿勢での着地の3つが挙げられている。

滑走中の転倒を引き起こす要因として、雪面の凹凸、雪面の状態、道具のセッティング、用具と雪面との相性等が考えられる。しかしスキーヤーが体勢を崩す要因として、滑走中にスキーとスキーヤーの間に働いている外力の大きさや方向が重要であるが、明らかになっていないことが多いため、これらを測定することは重要であり、傷害発生メカニズム解明の大きな一歩であると考えられる。

これまで報告されているアルペンスキー滑走中の地面反力は、計測機器の重さが主な制限要因となり、測定可能な試技は、横ずれを伴う大回りや小回りであり、アルペンスキー競技と比較しターン速度や動作自体が異なるものであった。また滑走中の膝関節トルクを算出した報告は数が少なく、詳細が明らかになっていない。

2. 研究の目的

そこで本研究の目的は、これまでの地面反力の計測で主に使用されているアルペンスキー用地面反力計よりも軽量かつ小型化した地面反力計を開発し、先行研究よりも高速の大回転競技中の地面反力を計測することである。

さらに、二次的な目的として、これまでワールドカップなどの世界のトップアスリートを対象とした報告がほとんどであった傷害の実態調査を、国内を対象として行い、我が国のアルペンスキーにおける傷害の実態調査をすることである。

3. 研究の方法

(1) 地面反力計 開発

これまでの研究で用いられた地面反力計は、2台(0.9kg/台)の反力計を1本(片側)のスキー板とビンディングの間に取り付けるものであり、左右のスキーでは4台の反力計が必要となるため、バッテリーおよび保存媒体を含めたシステムの総重量は、8kgであった。本研究では地面反力計の作成を株式会社レプトリノ(長野,日本)に依頼した。これまでの申請者の経験から地面反力の定格は、 F_x 、 F_y および F_z それぞれ $\pm 5\text{kN}$ とし、モーメントの定格は M_x 、 M_y および M_z は $\pm 400\text{Nm}$ とした。また雪上での使用が原則となるため、システム全体を防水仕様にする必要がある。サンプリング周波数は1.0kHz以上まで測定できることとした。

これまでの地面反力計は、スキー板とビン

ディングの間に設置するため、事前に加工が必要であった。被験者は自分のスキーを使用することが出来ないため、通常のパフォーマンスが発揮できないことが考えられる。本研究では通常のパフォーマンスに近い条件での計測が重要であるため、被験者自身のスキー板およびスキーブーツを使用する必要があり、スキーブーツとスキービンディングの間に取り付け可能なデザインにした。スキーブーツに取り付ける際には、被験者によってスキーブーツのサイズが異なるため、ブーツ固定部位は前後にスライドする必要がある。

滑走中の地面反力の計測

全日本学生スキー連盟(以下、インカレ)の2部校に所属している男子選手6名を対象に、大回転競技を模した条件下での地面反力の計測を行った。旗門のセッティングは急斜面に6旗門滑った後、緩斜面をトラバースし、中斜面を7旗門滑走するオープンゲートを主体としたコースセットであった。測定前に被験者にはウォーミングアップとして自由滑走を行ってもらい、用具に慣れるためにシステムを装着した状態で1本滑ってもらい、その後実践同様に1~2本滑ってもらった。被験者自身が最も良いパフォーマンスだと判断できた1本を分析対象とした。測定はサンプリングレート600Hzで行った。

(2) アンケート調査

我が国のアルペンスキーにおける傷害の実態を、アンケート用紙を用いて調査した(図1、最終頁参照)。質問項目は、既往歴の有無、受傷部位、受傷名、発生原因、発生状況、脚の特徴(X脚・O脚・ストレート)およびスキーブーツの調整であった。インカレ1部校および2部校の複数の大学、100名のアルペンスキー選手にアンケートを配布した。

得られた回答の競技レベル間による差を検討するために、カイ二乗検定を用いた(SPSS、IBM、USA)。

4. 研究成果

(1) 地面反力計 開発

図2に作成した地面反力計の概略図を示した。地面反力の定格は F_x 、 F_y および F_z それぞれ $\pm 5\text{kN}$ であり、モーメントの定格は M_x 、 M_y および M_z それぞれ $\pm 400\text{Nm}$ であった。地面反力計の質量は片脚で1.9kgであり、既存のシステム(1.8kg/片脚)とほぼ同程度であった。本システムではセンサとしてストレインゲージを採用したことで、ピエゾセンサを採用してる既存のシステムと比較し、センサ自体が軽量となった。センサが軽量になったことで、アンプをセンサ内部に組み込むことができ、また地面反力計の電源を保存用タブレットからUSBケーブルを介して供給することで、バッテリーを背負う必要がなくなった。

計測された地面反力は、地面反力計内部でアンプにより増幅され、USB ケーブルを介して保存用のタブレットに運ばれた。被験者は約 1.0 kg の保存用のタブレットを、トレイルランニング用のバックパック（約 0.3 kg）に入れ、背負って滑るだけでよく、保存媒体は USB ケーブルを含めても約 1.5 kg 程度となり、既存のシステムのバックパック（約 4 kg）と比較しても軽量になった。システムの総重量は 5.3 kg となり、既存のシステムと比較し約 2.7kg 軽量となったため、被験者のパフォーマンスへの影響は軽減できていると考えられる。

地面反力計はシールを用いてセンサ部と上蓋部の間に防水加工を施し、保存用のタブレットは防水仕様の Toughpad (Panasonic, Japan) を用いた。また上蓋のブーツ固定部をスライドさせることで測定可能なブーツのソールサイズは 285 mm ~ 330 mm であり、スキーブーツメーカーによって異なるが、足のサイズでは 24.5 cm ~ 29 cm 程度が対象となる。

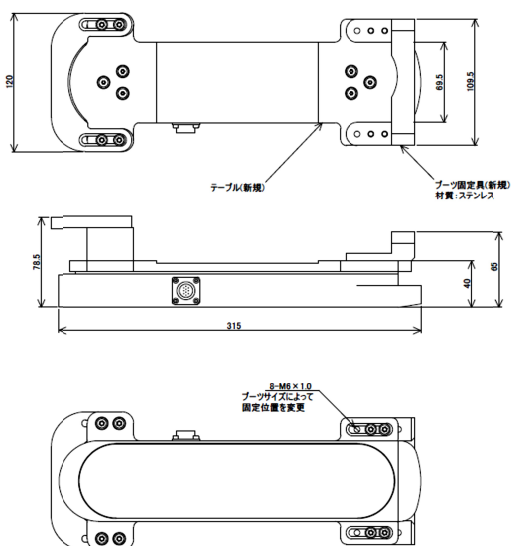


図 2. 地面反力計の概略図

滑走中の地面反力の計測

作成した地面反力計を用いて大回転競技滑走時の地面反力を計測した。滑走中の地面反力は遠心力によるものが大きいため、ターン速度が高ければ高いほど大きく、ターン半径が小さいほど大きくなる。ここでは 6 名の被験者の中で最も競技力の高い選手 1 名のデータをもとに報告する（図 3）。図 3 はスタート直後の急斜面の右ターンの外脚（左脚）で計測された地面反力およびモーメントの生波形である。これまで報告されている地面反力は、何名かの被験者の平均値や、同一被験者の複数のターンの平均値や、フィルター処理をしたものが報告されている。これまで報告されている地面反力で最も大きいものは、体重の 3 倍強であるとされているが、本研究では約 6 倍の値が観察された。データの前半

部分では、短い時間のピークがいくつかあり、これらは雪面からの振動であると考えられ、スキーが短時間で雪面との接地と離地を繰り返しながらターンして向きを変えている、いわゆるスキーが叩かれている状態であることが推察される。

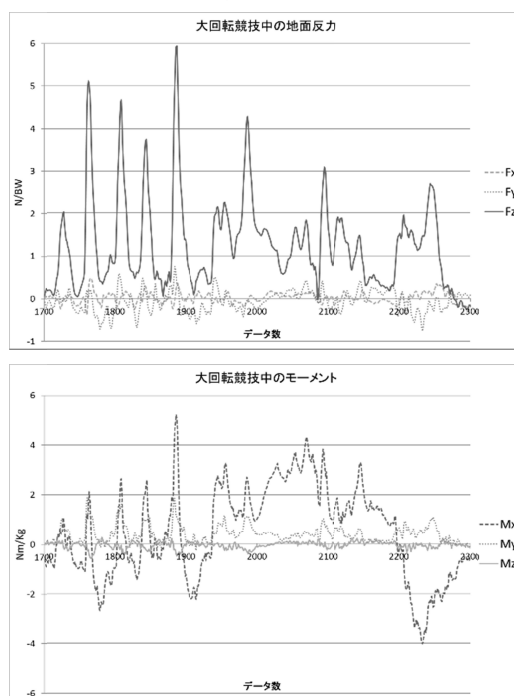


図 3. 大回転競技中の右ターンの地面反力（上）およびモーメント（下）。縦軸は体重割の値を、横軸はデータ数を示している。

このような大きな外力や雪面からの振動、離地および着地を繰り返しながらスキーの向きを変えることで、バランスを崩す要因となる可能性が示唆された。膝関節にかかる負荷（トルク）は本研究では計測していないが、同じ作用点であったとしても 2 倍近い大きさの地面反力が加わることで、計算上膝関節トルクも 2 倍近くが加わることになる。今後はキネマティクスと合わせて逆動力学法を用いて膝関節トルクの算出をすることが求められる。

(2) アンケート調査

国内のアルペンスキー選手（大学生）100 名を対象としたアンケート調査の回答者数は 72 名であり、回収率は 72% となった。その結果、アルペンスキー滑走中に負傷した経験のあるものは、51.4%（37 名）であった。既往歴がある 37 名の受傷部位として最も多かったのが膝（59.5%、22 名）、次いで手指（10.8%、4 名）であった（図 4）。

受傷部位として最も多かった膝関節における傷害のほとんどが前十字靭帯と半月板に関するものであった。傷害を引き起こした要因として最も多かったのが、滑走中の転倒（53.5%、23 名）、次いでリカバリー時が 23.3%、10 名となった（図 5）。インカレ 1 部校と 2 部校を比較した結果、既往者数は競技レベ

ル間の差は見られなかった。しかしそれぞれの既往者数における膝関節を負傷した人数では、1部校の方が2部校と比較し多く、膝の外傷全体数に対する前十字靭帯の損傷の割合は、1部校の方が2部校と比較し高かった。これまでの報告では、選手の競技レベルによって比較した報告はなされていないが、本結果から競技レベルが高い選手は、同じコースであっても滑走スピードが高いため、遠心力を含めた外力が大きくなり、その結果転倒時の衝撃も大きくなったことにより、膝に外傷を負ってしまう可能性が示唆される。

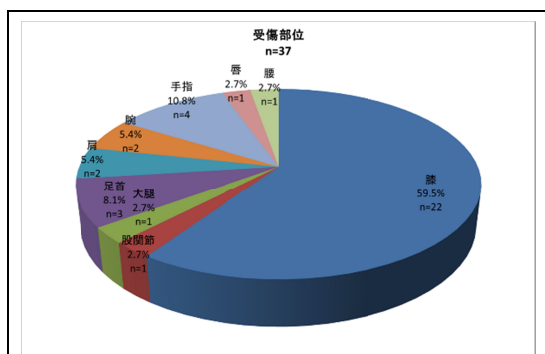


図4. 受傷部位 (n=37) の結果

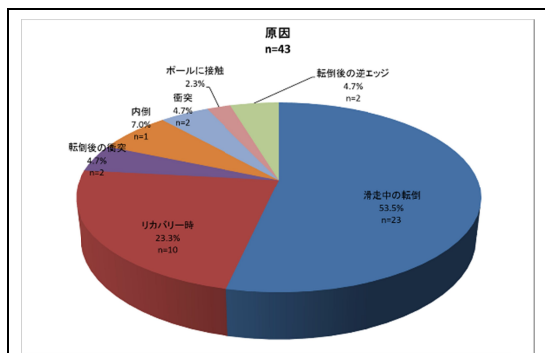


図5. 受傷原因 (n=43) の結果

< 引用文献 >

Bere, T., Florens, TW., Krosshaug, T., Nordsletten, L. and Bahr, R., Events leading to anterior cruciate ligament injury in World Cup Alpine Skiing: a systematic video analysis of 20 cases. Br J Sports Med. 45, 2011, p.1294-1302.

Bere, T., Florens, TW., Krosshaug, T., Koga, H., Nordsletten, L., Irving, C., Müller, E., Reid, R., Senner, V., Bahr, R. Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Injury in World Cup Alpine Skiing A Systematic Video Analysis of 20 cases. The American Journal of Sports Medicine. 39(7),

2011, p.1421-1429.

Klous, M., Müller, E., and Schwameder, H., Three-Dimensional Knee Joint Loading in Alpine Skiing: A Comparison Between a Carved and a Skidded Turn. Journal of Applied Biomechanics, 28, 2012, p.655-664

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0件)

〔学会発表〕(計3件)

中里浩介、大学生アルペンスキー選手における既往歴の調査 インカレ出場校を対象として、第26回日本スキー学会、2016年3月15日、蔵王温泉スキー場、山形・蔵王、

Kosuke Nakazato、The 7th International Congress on Science and Skiing, A NEW SIX COMPONENT FORCE PLATE FOR MEASURING GROUND REACTION FORCES IN ALPINE SKIING, 2016年12月12日、St. Anton and Arlberg (Austria)

中里 浩介、雪上での地面反力の計測、第27回日本スキー学会(シンポジウム)、2017年3月13日、キロロスキー場、北海道・余市郡

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

中里 浩介 (NAKAZATO Kosuke)

独立行政法人 日本スポーツ振興センター
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学部・契約研究員

研究者番号：40708088

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

* アンケート調査への同意は、回答をもって同意したものといたします。*

アンケート調査 FIS Point (SL GS) SAJ Point (SL GS)

1. 今までにスキー滑走中に怪我をしたことがありますか？

ある(いつ: 受傷部位: 外傷名:) ・ なし

2. 1. で「ある」と答えた方、怪我が起きた原因は何でしたか？

滑走中の転倒・バランスを崩しリカバリーをした時・移動中・転倒後の衝突・その他()

3. 答えた方は覚えている範囲で結構です、また無理に答えなくても結構ですが、具体的にその時の状況を教えてください(斜面状況(急斜面 or 緩斜面)・コース状況(オープンゲート等)・滑走スピード(低・中・高速)・雪質(ハードパック・軟雪・ザラメ等))

4. ご自身の脚の特徴(言われたことがある、自覚している)は、以下のどれに該当しますか？

X 脚 ・ ストレート ・ O 脚

5. スキーブーツのチューニングおよびカスタマイズしていますか？

はい いいえ

6. 5. で「はい」の方はその部位を教えてください

カント調整(どのように?)・フォーミングインナ・インソール・シェル出し・その他()

7. 今後、JISS 内での下肢関節のアライメント測定(下腿部に対する大腿部の角度)および雪上でのスキーに加わる力の計測実験を予定しております。被験者として参加の可否をお答えください。

参加できます・まだわかりません・参加しません

8. 7. で「参加できる」または「まだわかりません」とお答え頂いた方は、氏名・メールの連絡先をご記入にご協力ください。日程調整等の連絡を改めてさせていただきます。

これらのアンケート結果は本研究のみに使い、その他の利用は致しません。また、論文等で使用する際には、個人が特定されないよう配慮します。データの管理については、国立スポーツ科学センターセキュリティポリシーに準ずるものとします。

ご協力ありがとうございました。

図 1. 調査に使用したアンケート