

## スキー実滑走時模擬振動発生源シミュレータの開発と実験 (ドライアイスと氷塊の滑走速度比較及び動摩擦係数の導出)

清水 悠太<sup>\*1</sup>, 高坂 大貴<sup>\*2</sup>, 塩野谷 明<sup>\*3</sup>

### Development of a simulator generating ski board vibrations in actual skiing (Derivation of coefficient of kinetic friction and comparison of sliding speed between dry ice and ice)

Yuta SHIMIZU<sup>\*1</sup> and Daiki TAKASAKA<sup>\*2</sup> and Akira SHIONOYA<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Nagaoka University of Technology, Dept. of Management Information systems  
1603-1 Kamitomioka, Nagaoka City, Niigata Japan

Until today since ski was born, the sliding mechanism of the ski board still has not been clarified completely. On our previous studies, the mechanical dynamic vibration generated on the ski board was thought to be the key to clarify the ski sliding mechanism. To purposes of this study are to develop a simulator generating a ski board vibration in actual skiing and to perform the basic construction for clarifying the ski sliding mechanism, which still has not been clarified completely and to compare the coefficient of kinetic friction with the sliding velocity between dry ice and ice with increasing in the mechanical dynamic vibrations on the normal temperature. This study were led us to following conclusions. From experiment, the dry ice mass velocity was increasing in accordance with increasing of the vibration frequency, but ice mass velocity showed unexpected behavior. From above results, ice was found to be susceptible to water of the contact surface and other parameter.

**Key Words** : Ski plate, Vibration simulator, Vibrational frequency

## 1. 結 言

スキーが誕生して以来、スキー滑走のメカニズムは未だ解明に至っていない。また、スキーの滑走性については、スキー板に発生する機械力学的振動と動摩擦係数及び滑走速度の関連性についての研究例は必ずしも多いとは言えない。本研究ではこの点に着目し、スキー滑走のメカニズムの鍵を握るのがスキー滑走中のスキー板に生ずる機械力学的振動という視点から研究を進めてきた。

これまでの研究においては、スキー滑走速度の上昇に伴い、スキーの固有振動周波数の振幅強度と高次の周波数の強度も高くなること等を報告している。さらに、本一連の研究では、スキー実滑走時において滑走速度に影響する高次の機械力学的振動を再現するためのシミュレータの開発を行っている。これにより、本シミュレータを用いることによって同一実験条件下で行うことが極めて難しいフィールド実験を行うことなく、実験結果に高い再現性をもたらす。

本研究はこのシミュレータを用い、常温環境での氷塊とドライアイスブロックを用いた滑走実験を行うことで、振動周波数の増加に伴う動摩擦係数導出及び滑走速度の比較を行うとともに、低温環境下で行った実験との比較から今後の本研究の課題を導くことを目的とした。

## 2. スキー実滑走時模擬振動発生源シミュレータの開発

図1に、開発したスキー実滑走時模擬振動発生源シミュレータの概要を示す。また、図2にシミュレータを用

<sup>\*1,2</sup> 学生員, 長岡技術科学大学, 工学部 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

<sup>\*3</sup> 正員, 長岡技術科学大学

いた実験環境を示す。加えて、図3に実験に用いた解析装置を示す。シミュレータはスキー滑走面を表面とし、裏面に加速度センサ（PCB PIEZOTRONICS 社、352B10）を設置し、整流器（PCB 社、480B10）を介して加速度信号を A/D コンバータ（ELMEC 社、EC-2360-1）により A/D 変換した後 PC に取り込み、運動解析システム WAAP-WIN でスキー板が発生する振動及びその周波数等の検出・解析を行う。スキーは角度調整を可能とし、スキー・スキーヤー系を想定した氷塊及びドライアイスブロックがスキー滑走面を滑走する仕組みとなっている。滑走させる氷塊及びドライアイスブロックには滑車を装着し、ワイヤーを介してワイヤーの一端をスキートップ部外に固定したデジタルフォースゲージ（IMADA 社、DPX50-490N）に装着、もう一端は巻き取り用のドラムに固定する。（デジタルフォースゲージならびにドラムはスキートップ部よりも上に配置される）この機構によって滑走物体は動滑車となり、滑走に伴い連続的に検出されるフォースゲージ出力が A/D コンバータを介してコンピュータに取り込まれる。取り込まれた出力値は、A/D 変換後スキーの角度を考慮して推進成分と垂直抗力成分の力より動摩擦係数を算出するために用いた。スキーの加振は、図4に示す振動発生装置を用いて行う。振動は、コンプレッサー（アネスト IWATA 社）から噴出される圧縮した空気圧をスキー表面に固定したボールパイプブレータ（エクセン社、BH8）に送り、パイプブレータ内の金属ボールを回転させることで引き起こす。また滑走の様子は、高速度カメラ（CASIO 社）を用いて撮影され、画像解析システム（オクタル 社、OTPL8TZ）によって雪塊の速度、加速度等を算出する。

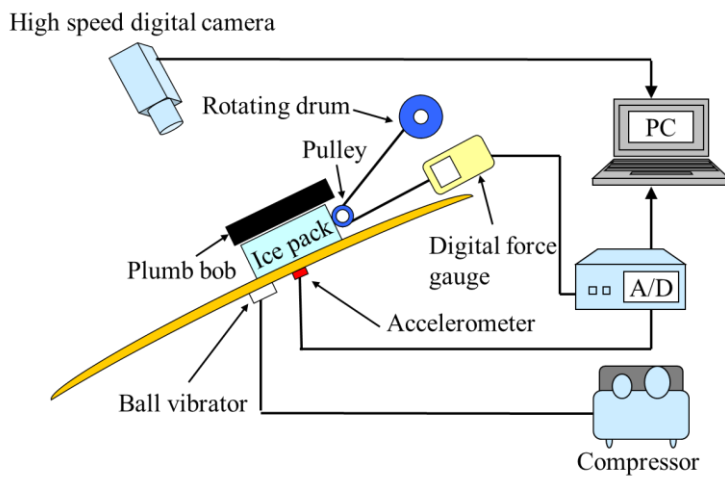


Fig.1 Summary of simulated vibration source simulator in ski driving

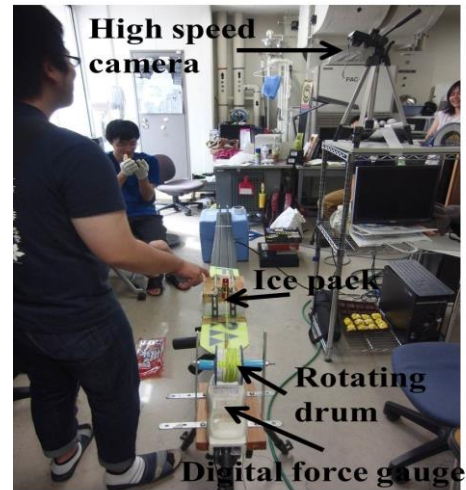


Fig.2. Image of the simulator developed

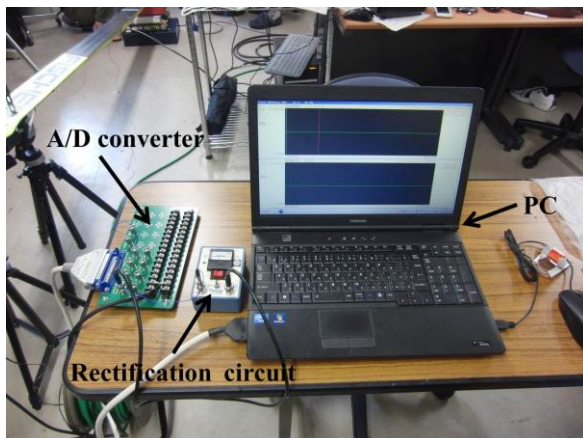


Fig.3. Image of the Analysis devices

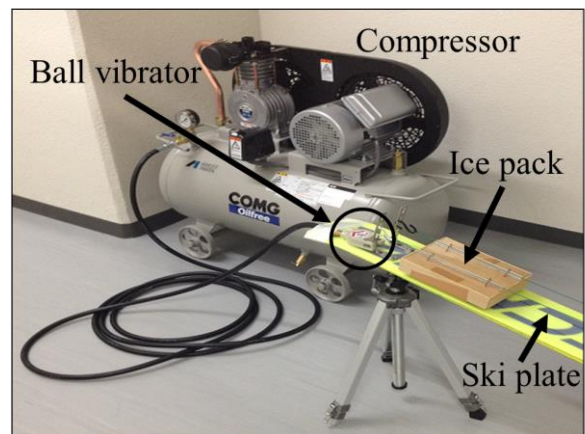


Fig.4. Fabrication of simulated vibration source simulator in ski driving

### 3. 実験概要

実験は、長岡技術科学大学スポーツ工学研究室内で行った。図5に実験において滑走させる物体に働く力の様子を示す。式(1)に物体が斜面を滑走する際の運動方程式を示す。式(2)は式(1)の運動方程式から動摩擦係数を求める式である。実験条件として、実験室内の室温は約25°Cであった。実験においてスキー滑走面上を滑走させる物体は、ドライアイスブロックと氷塊ブロックの2つとした。スキーの滑走面の傾斜角は10°とした。スキー板に加える振動周波数は0[Hz]、250[Hz]、440[Hz]の3段階とした。ドライアイスブロック及び氷塊ブロックの質量は共に約1.10[kg]とした。ドライアイスと氷塊は時間経過に伴い昇華・融解していくため、こまめに質量を量り、足りない分の重さは錘を用いて常に質量を一定に調節した。

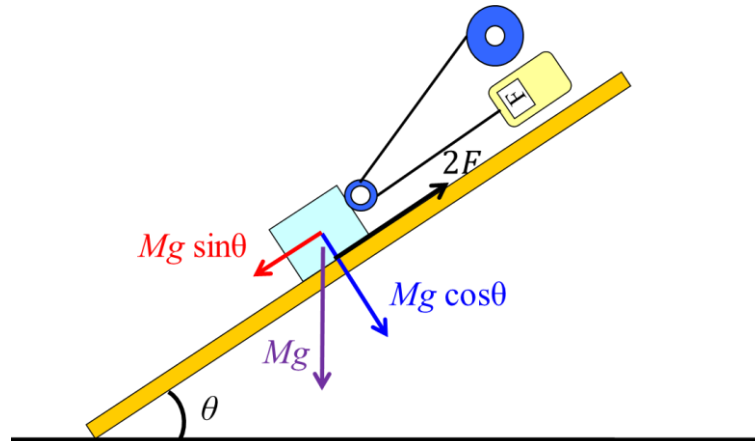


Fig5. The situation of the forces acting on the object slipping on the slope

$$F \left( M \frac{\Delta v}{\Delta t} \right) = Mg \sin \theta - Mg \mu_k \cos \theta \quad (1)$$

$$\mu_k = \frac{Mg \sin \theta - 2F}{Mg \cos \theta} \quad (2)$$

### 4. 実験結果

動摩擦係数のグラフを図6、滑走速度のグラフを図7に示す。図6より振動0[Hz]のときドライアイスは滑走しなかった。また、相対的に氷塊よりもドライアイスの方は動摩擦係数が大きい値となった。ドライアイスは振動周波数が250[Hz]時より440[Hz]時の方が動摩擦係数は小さい値となった。氷塊は250[Hz]の振動で動摩擦係数はわずかに増加し、440[Hz]で減少した。図7より相対的に氷塊はドライアイスよりも大きな速度で滑走した。ドライアイスは、振動周波数の増加に伴い滑走速度が上昇したのに対して、氷塊は250[Hz]でわずかに増加し、440[Hz]で減少した。

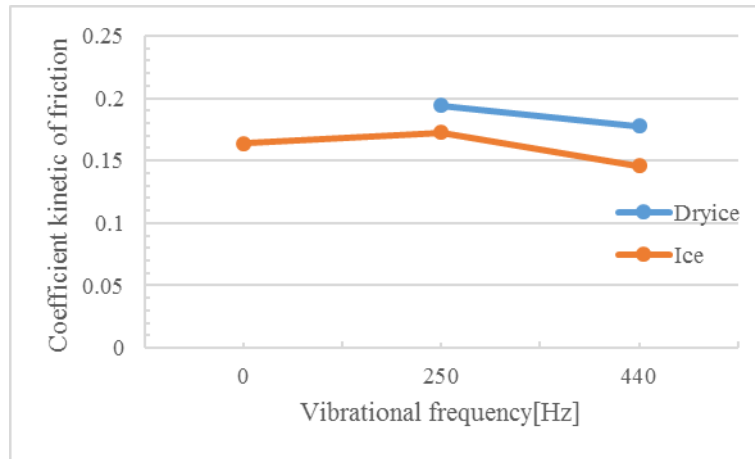


Fig6. Coefficient kinetic of friction on each vibration frequency of ski and comparison of dry ice and ice

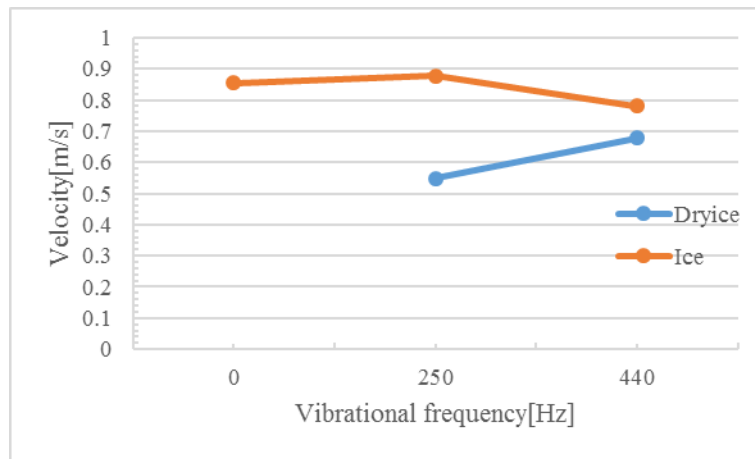


Fig6. Average velocity on each vibration frequency of ski and comparison of dry ice and ice

## 5. 考 察

今回の実験で、振動周波数が 0[Hz]のときドライアイスブロックが滑走しなかった理由として、ドライアイスの表面が非常に低温であるため、ドライアイスとスキー滑走面の境界における空気に含まれる水蒸気が凝固し、癒着現象を引き起こしたためと考えられる。200[Hz]と 440[Hz]のときドライアイスブロックが滑走したことから、振動を与えたことにより癒着現象が起これにくくなったと考えられる。振動周波数の増加に伴い、動摩擦係数が減少した原因として、スキー滑走面が振動することによってドライアイスと滑走面の間に断続的に隙間が生じ、摩擦の影響が小さくなったためと考えられる。氷塊に比べてドライアイスの方は動摩擦係数が大きく、滑走速度が小さくなった理由として、ドライアイスの表面が硬く、細かな凹凸がスキー滑走面を引っかくように接触するため、氷塊に比べ摩擦が大きくなったと考えられる。一方氷塊は融解により水が発生し、それが潤滑剤の役目をしたためドライアイスよりも動摩擦係数が小さくなったと考えられる。

しかし、塩野谷らの研究では、氷塊を滑走させたときの動摩擦係数は 0.04~0.06 の範囲にあった。これに対して、今回の実験では塩野谷らの実験結果よりも大きな 0.15 前後の値であった。さらに塩野谷らの実験で動摩擦係数は、振動がない場合よりも 250[Hz]の振動で小さな値となり、図 7 に示すように動摩擦係数の低下に伴い滑走速度も増加する傾向がみられている。しかもこれらの結果は、常に一樣の結果であった。しかし今回の実験では、振動がない場合に比較して 250[Hz]の振動時には動摩擦係数が大きくなったにも係らず、滑走速度も増加す

るという傾向がみられている。同様に、250[Hz]と440[Hz]の比較では動摩擦係数が低下しているにも係らず、滑走速度が低下するという結果となった。

今回の実験で氷塊の動摩擦係数が塩野谷らの報告よりも大きくなった理由として、塩野谷らの実験は低温実験室前室の温度条件0~5°Cで行われたのに対し、今回は常温の室内での実験であったため、氷の融解が一層進み多量の融解水が発生し、これがスキー滑走面と氷塊面の間で表面張力を発生させ、滑走面と氷塊を引きつけ合わせる凝着現象を引き起こしたためと考えられる。また、一般的に2つの固体間の動摩擦係数では振動の発生は接触時間を低減させることから、動摩擦係数の低減を招く。しかし、今回の結果では前述のとおり、滑走面と氷塊の動摩擦係数は振動がない場合よりも250[Hz]で低下し、加えて速度は逆に増加する結果となった。さらに、250[Hz]と440[Hz]の比較では振動なしと250[Hz]の逆の結果となっている。これは固体と異なり、雪という物質が様々なパラメータ（例えば温度や湿度、含水率や接触面上の水の存在等々）の影響を受けやすく、予期できない結果（その背景にある現象）が引き起こされるものと考えられる（棚橋 1992 論文<sup>7</sup>を参考文献とする）。

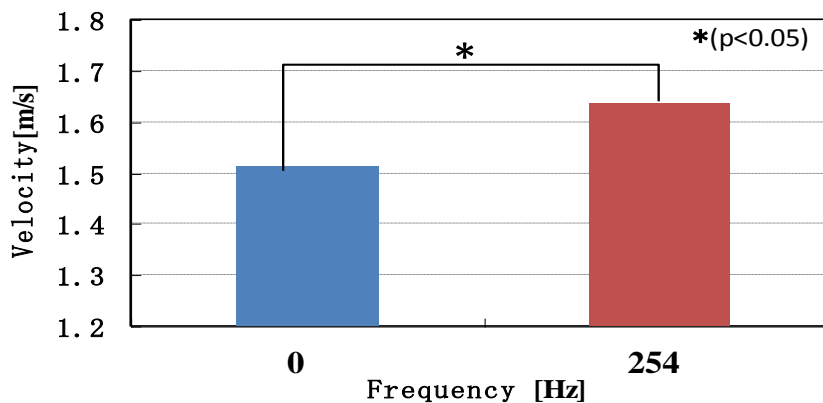
これに対して、ドライアイス是非常に低温であるため、含水率や接触面での水の存在等の影響を受けにくく、一般的な固体間の動摩擦係数と同様の結果になったものと考えられる。

以上の結果より、スキーと雪の研究では今後、多様な物理的パラメータを考慮した実験が必要になると考えられる。

Table 1. Coefficient of kinetic friction at each vibration frequency

Trials	Coefficient of kinetic friction at 0 Hz	Coefficient of kinetic friction at 250 Hz
1st	0.052	0.041
2nd	0.058	0.043
3rd	0.065	0.044
4th	0.059	0.046
AVE.	0.059	0.044

Refer from Procedia Engineering. Vol.60, 2013.



Refer from Procedia Engineering. Vol.60, 2013.

Fig.7. The averaged velocity of the snow pack without and with vibration frequency.

## 6. 結 言

本一連の研究では、同一実験条件下で実験できるスキー実滑走時模擬振動発生源シミュレータを開発し、再現性の高い実験を行うことを可能とした。また、常温環境での氷塊とドライアイスブロックを用いた滑走実験を行い、振動周波数の増加に伴う動摩擦係数導出及び滑走速度の比較を行うとともに、低温環境下で行った実験との比較をした。

ドライアイスと氷塊の動摩擦係数を比較した結果、ドライアイスの方が動摩擦係数は大きいことがわかった。ドライアイスはスキー滑走面に与える振動周波数が大きくなるにつれて動摩擦係数が減少、滑走速度が増加した。一方氷塊は 250[Hz]の振動を与えたとき動摩擦係数と滑走速度は増加したにもかかわらず、440[Hz]の振動を与えたとき動摩擦係数と滑走速度は減少した。これは雪という物質が様々なパラメータの影響を受けやすいためと考えられる。雪を対象とした本研究では、今後多様なパラメータを考慮した実験が必要となる。

## 参 考 文 献

- (1) 塩野谷明, 高橋雄太, 清水悠太, 高坂大貴, “スキー実滑走時模擬振動発生源シミュレータの試作”, 日本機械学会 [No. 12-39] シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集 [12. 11. 15-17, 愛知] 2012.
- (2) 塩野谷明, 西條暁里, 山本新平, “実滑走時のスキー振動とヒト EMG の同時計測システムの構築”, 日本スキー学会誌, Vol. 20(1), 83-90, 2010.
- (3) 塩野谷明, “スキー滑走メカニズム解明の試みと生体情報処理 (招待講演論文)”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2011, 91-98, 2011.
- (4) 塩野谷明, “スキー実滑走時模擬振動暴露シミュレータによるヒト疲労および感性の間接的評価の試み”, 文部科学省科学研究費補助金成果報告書 (基盤 (C) 20500540), 2011.
- (5) 小林俊雄, 松橋寿堯, 永井宏幸, 丸山泰広, 山田友貴, 塩野谷明 “各競技別スキー板の振動計測と模擬滑走中の振動計測実験 (GS-2 生体計測とロボット (2), 一般セッション, 学術講演)”, バイオエンジニアリング講演会講演論文集 2005 (18), 397-398, 2006-01-12.
- (6) 棚橋良次, “スキー滑走のメカニズム”, 日本機械学会誌, Vol.95(888), 45-48, 1992.
- (7) A. Shionoya and K. Sato, “Development of a simulator generating ski board vibrations in actual skiing”, Procedia Engineering, Vol.60, pp269-274, 2013.