

体育館の床の滑りに関する研究

～Preventing Gym Sneakers from Slipping in Gym～

大塚 陸 松下 焯 小河 舜 古川 峻

1. はじめに

体育館での運動時、雨の日など湿度の高い日は滑りにくいと感じた。一般的な経験則として湿度が高いと靴が滑りにくくなり、パフォーマンスが向上するといわれている。この原因として、湿度が高い日は空気中の水分量が普段より多いことが影響しているのではないかと考えられている。空気中の水蒸気は表面張力によって凝着力、つまり物体をくっつける力を持っている。湿度が高い日は靴と床の凝着力が大きくなり摩擦力が大きくなっていると考えられている。しかし、濡れたところでは滑りが発生することから、ただ水分が多ければいいというわけではないと考えた。そこで私たちは、体育館において最も滑りにくくなる空気中の水分量を調べることにした。

本研究では、体育館で運動する際によく使用される体育館シューズと、本校旧体育館解体時にいただいた体育館の床を使用して実験を行い、二物体間の静止摩擦力の大きさが空気中の水分量によってどのように変化していくのかを調査していく。

2. 研究目的

スポーツを行う上で注意すべきことはケガをしないように環境を整えることである。その環境の一つに床の滑りにくさが含まれている。空気中の水分量と滑りにくさの関係を研究することで、滑りによる怪我の防止や滑りにくさによる足の負担の軽減に貢献することを目的とする。

3. 先行研究

岩手県立釜石高等学校様の研究によるとゴム(板状)では温度・湿度で静止摩擦係数は変化しないとされている¹⁾。また、岡山県立倉敷天城高等学校様の研究によると摩擦力は湿度をはじめとする様々な外的要因によって変化し、どの測定方法をとってもばらつきが大きいと分かっている²⁾。さらに、松川宏様の研究によると、静止摩擦係数は滑る前の静止時間に依存しており、静止摩擦係数は滑る前の静止時間が長いほど大きくなることが分かっている³⁾。加えて、深堀恵美様の研究によるとゴムの摩擦係数は1~3の大きさであるとされている⁴⁾。また、本校の先輩の研究によるとおもりの重さが5-50kgwの間で静止摩擦係数は約0.10変化し、静止摩擦係数は垂直抗力の大きさに依存することが分かっている⁵⁾。

ここで〈アモントン・クーロンの法則〉よりi. 摩擦力は見かけ上の接触面積に依存しない(真実接触面積に依存すること) ii. 摩擦力は垂直抗力に比例すること iii. 動摩擦力は静止摩擦力より小さく、速度に依存しない(iiiは除かれる場合がある)ことがわかっている⁶⁾。

4. 実験方法・結果・考察

実験装置について①

本研究の目的は空気中の水分量と静止摩擦力の関係を調べることである。空気中の水分量は温度ごとの飽和水蒸気量に湿度をかけて100で割ることで求められる。このため、条件ごとに温度と湿度を一定にする必要がある。

$$\text{空気中の水分量} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \text{温度ごとの飽和水蒸気量} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \times \frac{\text{湿度}(\%)}{100}$$

実験を始めるにあたり、岡山県立倉敷天城高等学校の研究における無菌室を参考に写真1(右)の実験装置を製作した。以後、調湿空間と呼称する。

3つの温湿度計で空間内の温湿度を計測し、加湿器送風機、ヒーターで調整する。実験は調湿空間内で設定条件からの誤差 $\pm 1.0^\circ\text{C} \pm 1\%$ の範囲で行う。



写真1 調湿空間外観

本実験① 空気中の水分量と静止摩擦力の関係(手で引いた実験)

摩擦力(最大摩擦力)を高精度力センサで計測する。力センサはインターフェースを介してパソコンにつなぎ、パソコン上の「Capstone」で処理する。

アモントン・クーロンの法則iiiより、動摩擦力は静止摩擦力より小さくなる。F-T グラフは図 1(右)のようになり、最大摩擦力をグラフの 1 つ目の極大値から求めることが出来ると考えた。

また、滑りにくさは先行研究に倣い、静止摩擦係数の値の大小で評価する。

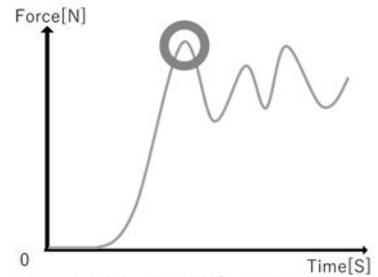


図 1 F-T グラフ↑

準備物: 体育館シューズ(MOONSTAR : ジムスターS400), 体育館の床材, 乾いた雑巾, テープ, シューズクリーナー(MIKASA : MST-300), 紐, パソコン, 550 インターフェース(島津理化 : UI-5001), 高精度力センサ(島津理化 : PS-2189), 電子天秤(OHAUS : SPX1202JP)

<仮説>

空気中の水分量が増加すると静止摩擦係数は増加し、ある点で最大値をとり、減少する。

<実験手順>

- 1、パソコンとインターフェース、力センサを接続する。(力センサの周波数 100 Hz)
- 2、体育館シューズの裏をシューズクリーナーとテープで、床材を乾いた雑巾とテープで清掃する。体育館シューズと力センサを紐でつなぐ。シューズの重量を量る。
- 3、調湿空間を密閉し、目標の温湿度に調湿する。温度 26.0(±1.0)°C湿度 45(±1)%
- 4、力センサをゆっくりと力を強めながら引き、最大摩擦力を記録する。
(3~4 を繰り返し、データを取る)
- 5、湿度を 50%, 55%, 60%と変えて 3~4 を繰り返す
- 6、測定した最大摩擦力の値をシューズの重量で割り静止摩擦係数(μ)をもとめる。

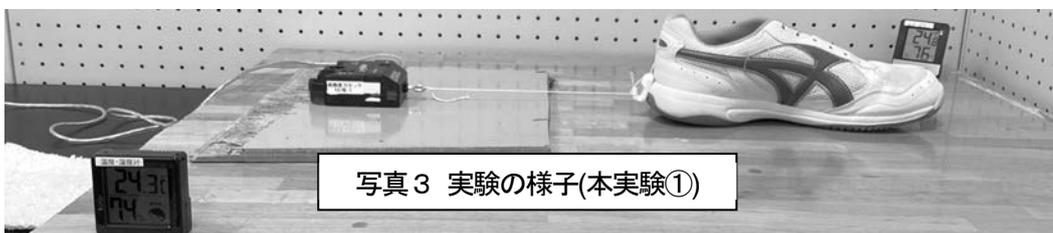
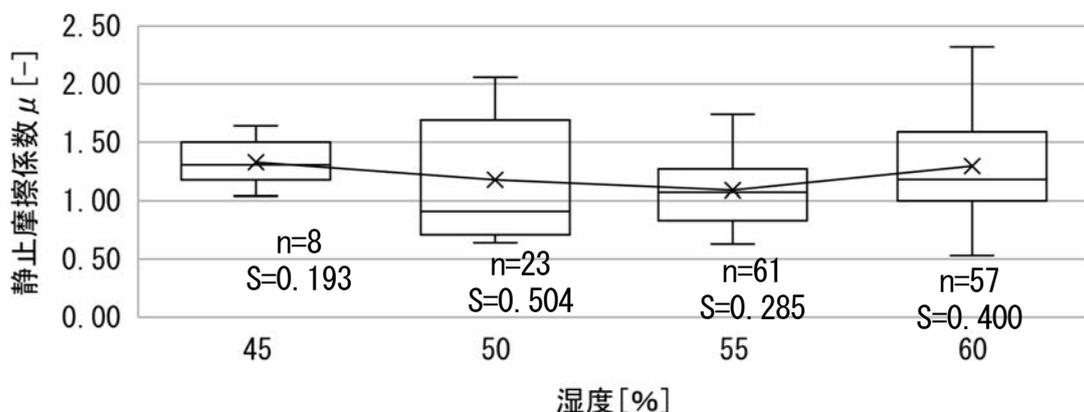


写真 3 実験の様子(本実験①)

<実験結果と考察>

表 1 本実験①空気中の水分量と静止摩擦係数の関係



nは試行回数, Sは標準偏差である。45~55%までは静止摩擦係数は減少し、55~60%では静止摩擦係数は上昇している。しかし、データのばらつきが大きく依然として正確性に疑問が残る。また、シューズを引く速さによってグラフの形状に違いがあった。より正確な実験を行うため、結果に影響を与える要因を考察し、必要なものに関しては実験を行うことにした。

検証実験① 床上に残った微粒子の影響

清掃後に残った目に見えない微粒子が実験を繰り返すことで集まってコロの様な働きをし、結果に影響を与えたのではないかと考え、実験を行った。

準備物: 体育館シューズ(MOONSTAR : ジムスターS400), 体育館の床材, 乾いた雑巾, テープ, シューズクリーナー(MIKASA : MST-300), 紐, パソコン, 550 インターフェース(島津理化 : UI-5001), 高精度力センサ(島津理化 : PS-2189), 電子天秤(OHAUS : SPX1202JP)

<仮説>

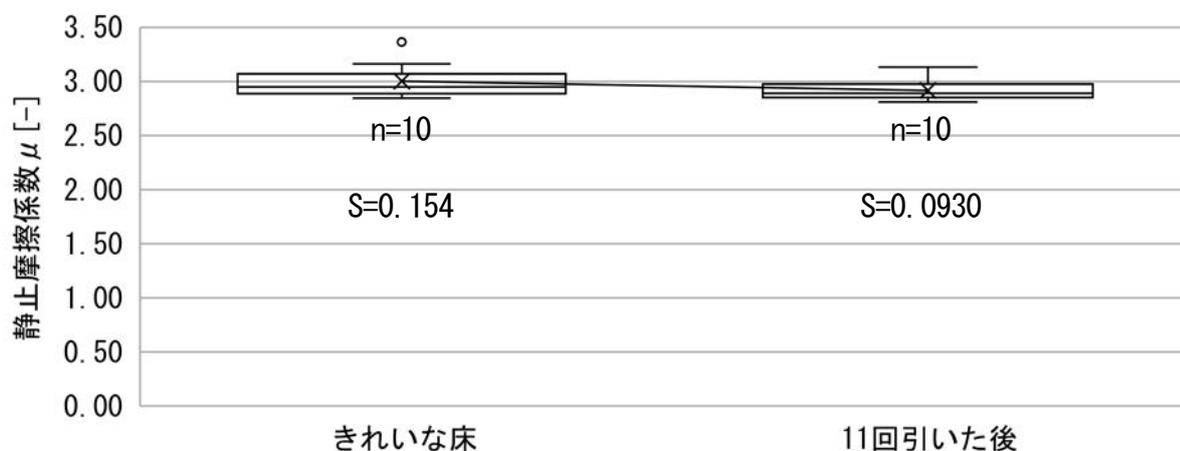
床上に残った微粒子の影響により静止摩擦係数は減少する。

<実験方法>

- 1, パソコンとインターフェース, 力センサを接続する。(力センサの周波数 100 Hz)
- 2, 体育館シューズの裏をシューズクリーナーとテープで, 床材を乾いた雑巾とテープで清掃する。体育館シューズと力センサを紐でつなぐ。シューズの重量を量る。
- 3, 調湿空間を密閉し, 温度 24.0°C湿度 70%に調湿する。
- 4, 力センサをゆっくりと力を強めながら引き, 体育館シューズが動いた瞬間の最大摩擦力を記録する。
(3~4 を繰り返し, 10 データとる)
- 5, 体育館シューズの靴裏だけをシューズクリーナーとテープで清掃する。
- 6, 3~4 をもう一度行い, 10 データとる。
- 7, 測定した最大摩擦力の値をシューズの重量で割り静止摩擦係数(μ)をもとめる。

<実験結果と考察>

表 2 検証実験①床上に残った微粒子の影響



実験結果より, 体育館シューズを清掃後の床上で引いたときと 11 回実験を行った後の床上で引いたときでは, 仮説に反して静止摩擦係数の値に大きな差はみられなかった。このことから床材上の微粒子は実験結果に影響を及ぼさないと考える。そのため, 実験前の床材の清掃は不要であると結論付けた。

実験装置について②

これまでの実験では手でシューズを引いていたため再現性が低かった。再現性の高い実験を行うため, 電動計測スタンド(IMADA : MX2-500N)とデジタルフォースゲージ(IMADA : ZTA-500N)(共に写真 4)を用いて実験を行うことにした。試行の結果, シューズを引く速さは 100 mm/分とした。このとき, F-T グラフが一つ目の極大値をとる時間とシューズの動き出す時間はほぼ一致した。デジタルフォースゲージの測定した摩擦力はパソコン上の「Force Recorder」で処理する。

また, 計測スタンドを使用するにあたり写真 1 の調湿空間が狭くなったため解体し, 新たに制作した(写真 5)。この際, 新たに加湿機能付き温冷風扇 1 台, 除湿機能付き加湿器 2 台を導入した。温湿度はこれまで通り 3 か所の温湿度計で測定する。

そして、今後の実験では湿度による床材やシューズの状態の変化を考慮して、実験前に床材とシューズを調湿した調湿空間内で放置することとする。また、セッティングのズレを防ぐためテープやペンを目印に実験器具の位置を固定している。シューズとデジタルフォースゲージをつなぐ紐は鉛直、水平となるようにしている。

先行研究³⁾より、静止摩擦係数の静止時間依存性を考慮し、シューズが床面に接触してから引き始めるまでの時間も5秒で統一する。

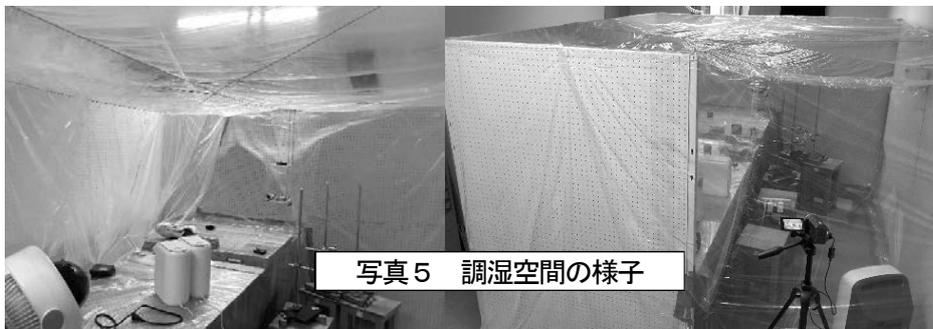


写真5 調湿空間の様子



写真4
電動計測スタンドと
デジタルフォースゲージ

<今後の実験における諸条件>

- ・シューズ裏は実験前日と実験後に水で洗い、送風機で5分間乾燥後、自然乾燥させる。
- ・シューズと床材は6時間以上調湿した空間で放置。シューズ裏は天井に向けておく。
- ・実験開始前と終了後にシューズの重量を電子天秤で計測し、平均値をシューズの重量とする。
- ・シューズをまっすぐに引くため、床面とシューズに引かれた線に合わせて図3のようにシューズと紐を設置する。
- ・シューズは手で浮かして持っておき、シューズを体育館の床に置いた時間を0秒としてストップウォッチで記録する。5秒経過後デジタルフォースゲージ(以後DFG)でシューズを引き始める。
- ・試行の結果、シューズを引く速さは、データの正確な計測、読み取りを行うことができる100mm/分とする

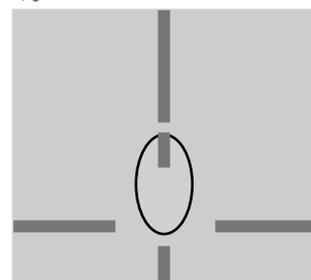


図3 床材とシューズ
を上から見た図

検証実験② テープやシューズクリーナーの使用による影響

同一条件下で日を空けて実験を行った際、最初の数回のデータが前回のものよりも大きくなった。私たちは前回の実験で清掃に使用したテープやシューズクリーナーの影響によるものではないかと考えた。

準備物: 体育館シューズ(MOONSTAR:ジムスターS400), 体育館の床材, テープ, シューズクリーナー(MIKASA: MST-300), 紐, パソコン, DFG(IMADA: ZTA-500N), 電動計測スタンド(IMADA: MX2-500N), 力学スタンド(3台), 定滑車, ストップウォッチ, 電子天秤(OHAUS: SPX1202JP)

<仮説>

テープやシューズクリーナーを用いることで静止摩擦係数が上昇する。

<事前準備>

- 1、実験前に床材とシューズを調湿空間内で7時間ほど保管する。(温度23.0°C湿度50%)
- 2、実験直前に靴の重量を計測する。
- 3、DFGをパソコンにつなぐ。

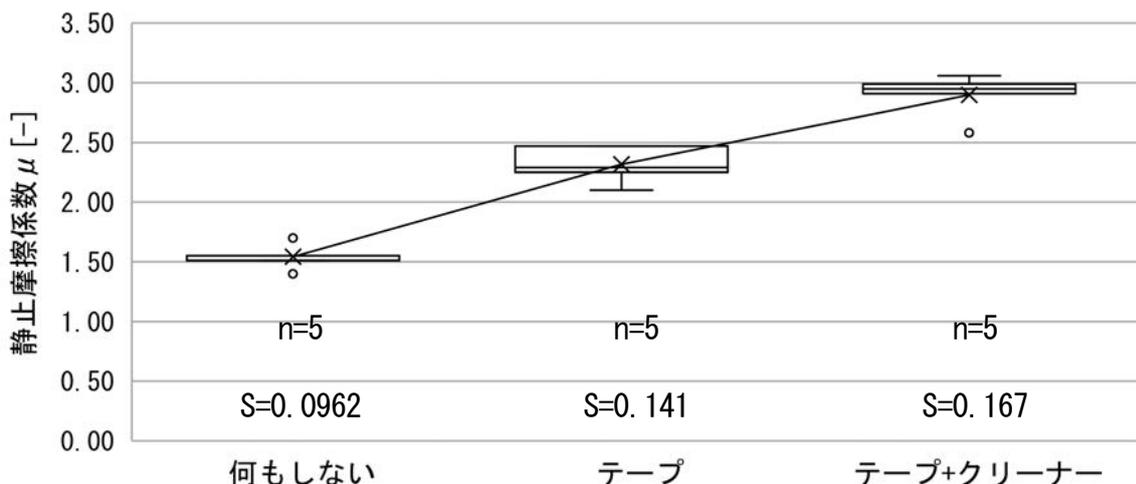
<実験方法>

- 1、実験開始時の温湿度を記録。温度23.0(±1.0)°C。
- 2、シューズは手で浮かして持っておき、シューズを体育館の床に置いた時間を0秒としてストップウォッチで記録する。5秒経過後DFGでシューズを引き始める。

- ストップウォッチでシューズが動き出した時間を記録し、グラフから最大摩擦力を読み取る。
(1～3を繰り返し、5データ取る)
- 1～3をシューズと床を清掃しないとき、シューズと床をテープで30回ぺたぺた清掃したとき、シューズと床をテープで30回ぺたぺたした後にシューズクリーナーを3回プッシュして清掃し送風機で2分乾燥したときの3パターンで実験を行う。
- 測定した最大摩擦力の値をシューズの重量で割り静止摩擦係数(μ)をもとめる。

<実験結果と考察>

表3 検証実験②テープやシューズクリーナーの使用による影響



清掃していないときに対して、テープとシューズクリーナーを使用することにより、静止摩擦係数は大きくなる。テープを用いることで床とシューズに粘着物質が付着し、静止摩擦係数が増大したと考えられる。また、付着したシューズクリーナーの成分によって静止摩擦係数が増大したと考えた。

検証実験③ 垂直抗力の影響

先行研究⁹⁾より垂直抗力によってゴムの静止摩擦係数が変化することが分かっている。実験における垂直抗力の影響を調べる。

準備物: 体育館シューズ(MOONSTAR : ジムスターS400), 体育館の床材, おもり(250g), 紐, パソコン, DFG(IMADA : ZTA-500N), 電動計測スタンド(IMADA : MX2-500N), 力学スタンド(3台), 定滑車, ストップウォッチ, 電子天秤(OHAUS : SPX1202JP)

<仮説>

垂直抗力が増加するほど静止摩擦係数が増加する。

<事前準備>

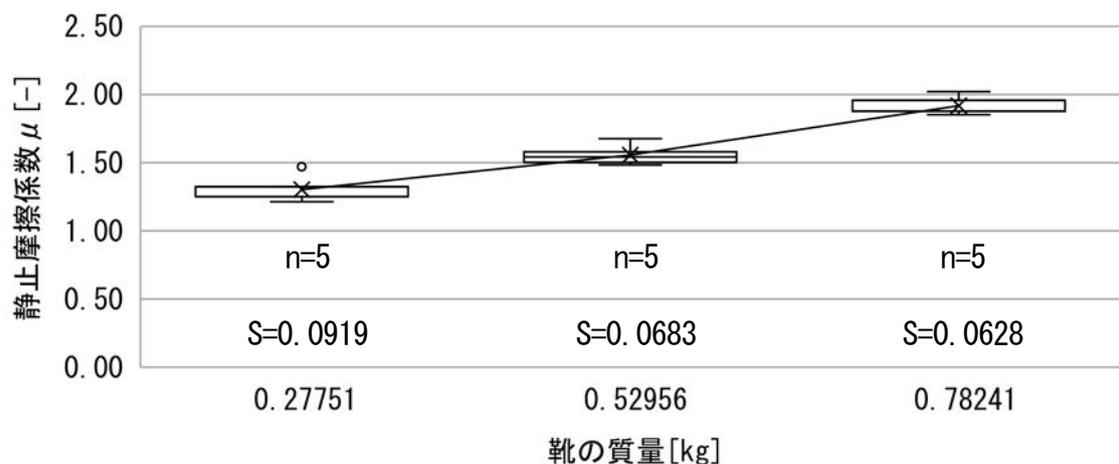
- 実験前に床材とシューズを調湿空間内で7時間ほど保管する。(温度 20.0°C湿度 50%)
- 実験直前に靴の重量を計測する。
- DFG をパソコンにつなぐ。

<実験方法>

- 実験開始時の温湿度を記録。温度 23.0(±1.0)°C。
- シューズは手で浮かして持っておき、シューズを体育館の床に置いた時間を0秒としてストップウォッチで記録する。5秒経過後 DFG でシューズを引き始める。
- ストップウォッチでシューズが動き出した時間を記録し、グラフから最大摩擦力を読み取る。
(おもりを入れて、各条件で1~3繰り返し、5データ取る)
- 測定した最大摩擦力の値をシューズの重量で割り静止摩擦係数(μ)をもとめる。

<結果と考察>

表4 検証実験③垂直抗力の影響



垂直抗力が増加すると静摩擦係数は大きくなる。これは垂直抗力によりゴムが変形し真実接触面積が増加したためと考えられる。また、ゴムの静摩擦係数は1~3であり⁹⁾、静摩擦係数の値は3に収束していくと考えた。しかし、シューズにより重いおもりを乗せることができず、実験は断念した。

本実験② 空気中の水分量と静摩擦力の関係(計測スタンドで引いた再実験)

検証実験①~③を踏まえて、計測スタンドを用いて再度空気中の水分量と静摩擦力の関係を調べる実験を行う。

準備物:体育館シューズ(MOONSTAR:ジムスターS400), 体育館の床材, 紐, パソコン, DFG(IMADA:ZTA-500N), 電動計測スタンド(IMADA:MX2-500N), 力学スタンド(3台), 定滑車, ストップウォッチ, 電子天秤(OHAUS:SPX1202JP)

<仮説>

空気中の水分量が増加すると静摩擦係数は増加し、ある点で最大値をとり、減少する。

<事前準備>

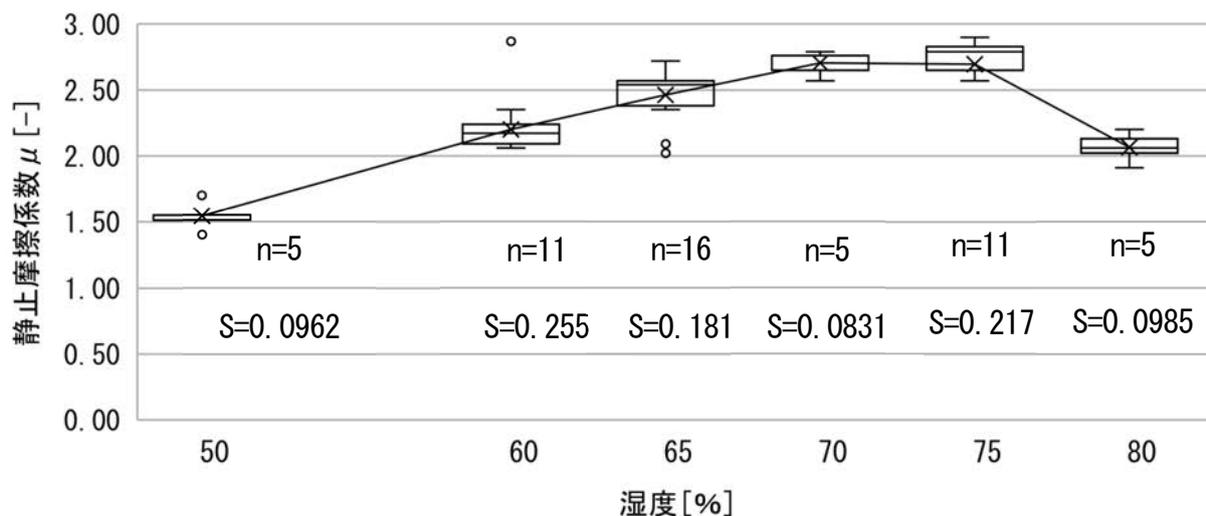
- 1、実験前に床材とシューズを調湿空間内で6時間ほど保管する。
- 2、実験直前に靴の重量を計測する。
- 3、DFGをパソコンにつなぐ。

<実験方法>

1. シューズを引く前に温湿度を記録する。温度 23.0(±1.0)°C
2. シューズは手で浮かして持っておき、シューズを体育館の床に置いた時間を 0 秒としてストップウォッチで記録する。5秒経過後 DFG でシューズを引き始める。
3. ストップウォッチでシューズが動き出した時間を記録し、グラフから最大摩擦力を読み取る。
4. 1~3 を繰り返す
5. 測定した最大摩擦力の値をシューズの重量で割り静摩擦係数(μ)をもとめる。
6. 日を変えて異なる湿度(50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%)で実験を行う

<実験結果と考察>

表5 本実験②空気中の水分量と静止摩擦係数の関係



温度 23°Cにおいて、湿度 50~70%にかけては静止摩擦係数の値が増加し、70%と 75%では差はみられず、75~80%にかけて静止摩擦係数の値は大幅に減少した。仮説通り空気中の水分量が上昇していくにつれて静止摩擦係数の値は上昇し、あるところで静止摩擦係数の値は最大値を迎え、その後減少し始めている。

私たちは、先行研究の中の摩擦面が異なる似た状態の研究の考察より、摩擦力が増加するのはメニスカス力の影響であると考えた。メニスカス力は、二物体間に液体が存在するときに二物体を引く力のことである。また、摩擦力が減少し始めるのは、シューズと体育館の床の間で水滴が集まり水膜となったことで、メニスカス力の作用より流体摩擦の作用のほうが大きくなったため滑りが発生したのではないかと考えた。

7. 結論

本研究では使用した体育館シューズと体育館床において、空気中の水分量の変化が静止摩擦係数に影響を与えることが分かった。本研究において、最も滑りにくくなる空気中の水分量は $14.4\sim 15.5\text{g/m}^3$ (温度 23.0°C湿度 70%~75%) のときである。このように滑りにくくなる湿度帯があることも分かった。

8. 今後の展望

- ・ 23°C以外の温度でも実験を行いシューズが滑りにくくなる時の空気中の水分量を今回と比較する。
- ・ 滑り抵抗係数「C.S.R」の評価基準で、運動に適した C.S.R 値が計測される空気中の水分量を研究する
- ・ シューズの種類ごと(バレーボールシューズ、バスケットボールシューズなど)に複数の製品で実験を行い、種類ごとの運動に適する空気中の水分量を研究する。
- ・ ほかの体育館の床材でも実験を行う。
- ・ シューズを引く方向、木目に対して引く向きを変えて実験を行う。

9. 参考文献

- 1) 外谷健将, 芳賀峻, 岡道美鈴, 古川亜子, “条件による静止摩擦係数の変化の検証” 岩手県立釜石高等学校 平成 25 年度「数理科学研究I」研究収録. 2014, p.29-p.34.
- 2) 北濱駿太. “3つの異なるアプローチによる動摩擦係数・静止摩擦係数測定”. 物理チャレンジ2015 第1チャレンジ 実験課題レポート 受賞レポート. <https://www.jpho.jp/2015/2015-1st-chall-exp-report/1541004.pdf> ,(参照 2024-01-10).
- 3) 松川宏. 特集, トライポロジー: 原子から地球まで: マクロ系の摩擦—紙, 岩石から地震へ—. 2009, vol.30, no.11, p.548-553.
- 4) 小市崇央, 高尾勇一郎, 細川蓮, 横山綜馬. “走るときに滑りにくい靴底の模様” 高松第一高等学校 課題研究論文集. 2019, Vol.7, p.40-44.

- 5)松山宏. 摩擦の物理. 表面化学. 2003, vol.24, no. 6, pp.328-333.
- 6)深堀美英. “破壊があぶりだすゴムの正体(その4)架橋ゴムの摩擦・摩耗を支配するゴム表面の粘性作用”.日本ゴム協会誌. 2014. 87 巻. 11 号. P. 454 - 459
- 7)森 誠之,猪狩 隆.表面化学からみたトラボロジー. 色材協会誌.1999,vol.72,no.2,p.108-114.
- 8)角田和雄.摩擦の世界.岩波新書,1994,214p.
- 9)日本建築学会 材料施工委員会 内外装工事運営委員会
床工事 WG. "その1 履物着用の場合のすべり".床工事WG.
<http://news-sv.ajj.or.jp/zairyous10/pdf/suberi.pdf>,(参照 2024-06-18)

10. 謝辞

今まで本研究をご指導してくださった担当の片山先生, 佐藤先生, 松本先生, その他理数系の先生方に深く感謝申し上げます。特に担当の先生方には, 普段の実験や研究発表の練習, 論文作成などあらゆる場面でのご指導をいただきました。心から感謝いたします。