

寒冷地における滑りと靴

苫小牧工業高等専門学校機械工学科助教授 野 口 勉

【1】寒冷地における滑り

北極北極圏ラップランドに暮らすサーメ人は、靴底の獣皮の毛並みを考慮して滑り止めをしています。その起源は紀元前2000年まで遡ると言われています。また、アイヌの人たちには冬靴として鮭の皮で作った鮭皮靴を用いるという文化がありました。背びれを靴底に配し、滑り止めをしていたようです¹⁾。滑りとの闘いの歴史は久しいようであります。

今から10年前、人工股関節の衝撃吸収性能について調査していたとき、ある整形外科医から「地域の整形外科が、滑り転倒によって怪我をした患者さんでごった返しているの、どうにかならないか？」と相談を受けたのが、「滑り」、「滑り転倒」との出会いでした。毎年、4ヶ月間の冬を経験する北海道での滑り転倒の現状を表すのに、12月中の1ヶ月間に札幌市内で救急車の出

動を要請した、雪道での自己転倒者数の推移を示しました（図1、札幌市消防局警防部救急課調べ）。10年前以前は、百名程度であったものが、スパイクタイヤの法規制の機を一にして倍増しました。その後増減を繰り返しながらも、一昨年から三百人を超える転倒者を数えるようになってきました。この状況から、実際には膨大な転倒者数が存在することは想像に難くありません。また、この1日10件という数自体、直接生命に関わるような救急活動に支障をきたすことも危惧されています。

札幌市における冬季間の降水量は、月100mm前後で、北欧に比べると倍以上の多さです。降雪量にすると5～6mに達する地域に180万もの人々が暮らしていることは世界的に珍しく、その雪氷が融解凍結を繰り返して、滑らかな、いわゆる「つるつる路面」ができてしまうのです。

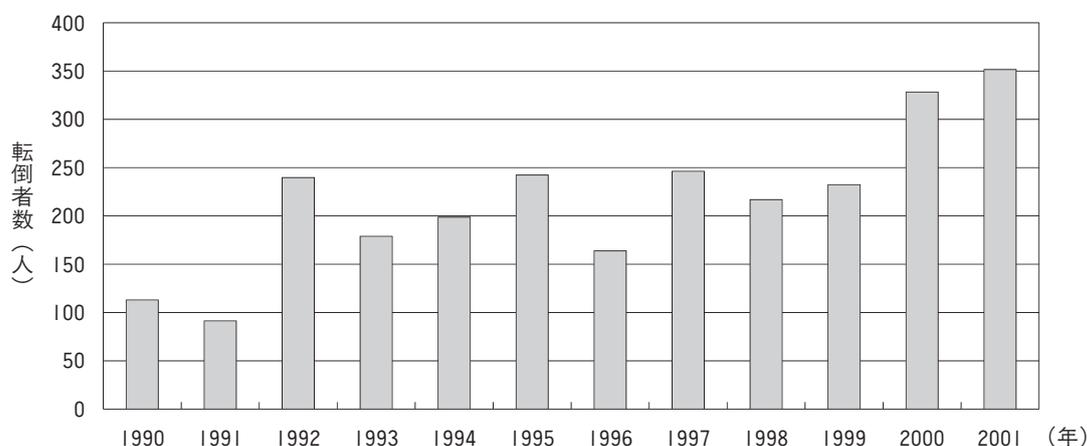


図1 12月の1ヶ月間に救急出動を要請した転倒者数 (札幌市消防局救急課)

歩行路面の一例を写真1に示しましたが、例えば、国土交通省道路局 <http://www.mlit.go.jp/road/road/new5/09.html>、独立行政法人北海道開発土木研究所 <http://www2.ceri.go.jp/its-win/pdf/18j.pdf> など関係機関のホームページにも「つるつる路面」の写真が載っていますのでご覧ください。

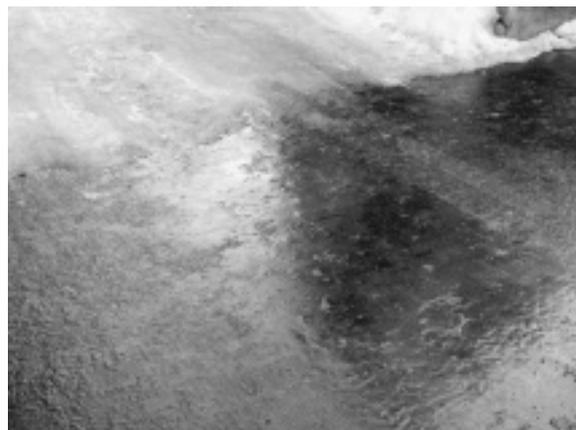


写真1 凍結路面

【2】積雪凍結路での滑りの力学

歩行している時、路面から足に対して図2に示す床反力が働いており、写真2に示すような床反力計という装置で直交する三分力として測定することができます。この路面と足との間における力のやり取りの結果として、歩行という身体運動が行われる訳です。

いま、前後方向分力 F_x と左右方向分力 F_y の合力を水平方向分力 F_h とし、垂直方向分力 F_z に対する比を接線力比 S とすると、式(1)に示すとおり、一般にアモン・クーロンの法則として知られている摩擦法則から、この S は滑り易さを表すことになり、この値が路面との摩擦係数 μ を超えたときに滑りが起こると考えます。したがって、アイス・スケートで経験していると思いますが、「つるつる路面」とは、摩擦係数の低い路面とか低 μ 路（ていミュール）と言い現されているとおり、非常に滑

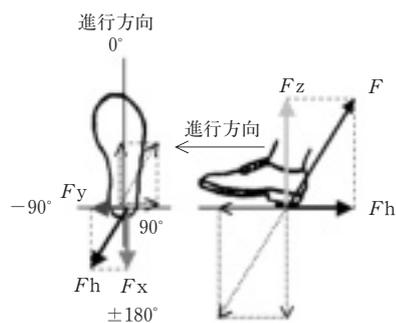


図2 床反力の3分力

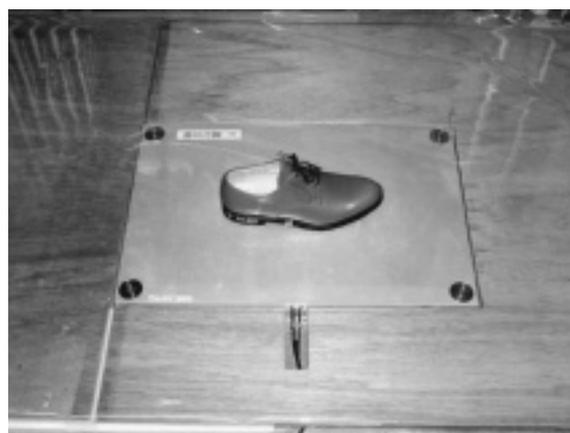


写真2 床反力計 (キスラー社製)

り易い状態になっている訳です。この接線力比 S を指標として歩き方の工夫に利用²⁾できるのです。

$$\frac{F_h}{F_z} = S < \mu \quad \text{式(1)}$$

ある被験者の通常歩行の床反力から求めた接線力比 S の推移を図3に例示しています。横軸は時間を表し踵接地を時間0%、爪先離れを時間100%としています。この図において、摩擦係数 μ を0.2と仮定して、 $S > \mu$ となっている部分を塗り潰していますが、その部分が滑りの想定される期間です。この図から踵接地後と爪先離れ前が滑り易くなっているのが判ります。

特に踵接地後の滑りは、図4に示すように一方の足（右足）の踵接地に引き続き、他方の足（左足）の爪先離れで、その足を前方へ振り出すときに生じる右足の滑りは、脚部は前方へ、上体は後方へと容易に

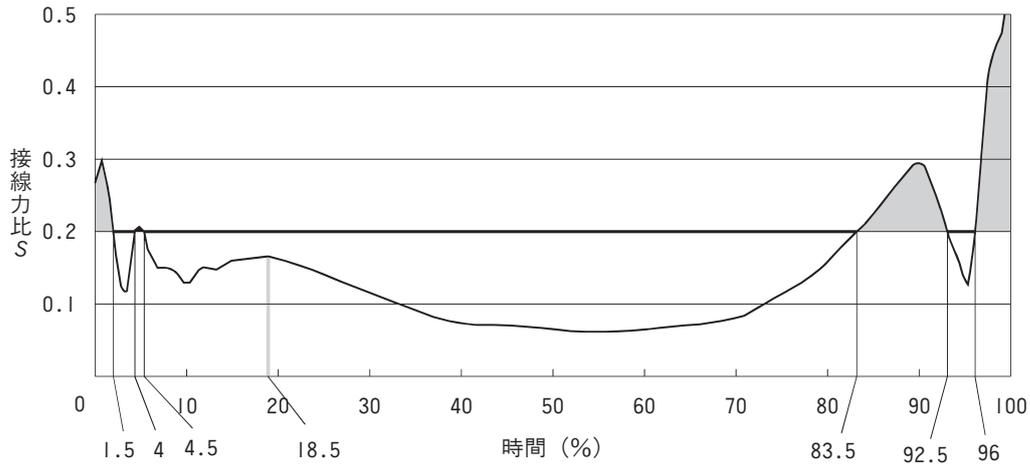


図3 接線力比Sの推移

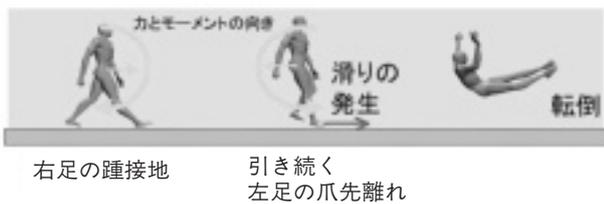


図4

回転し、身体の背面から落下するので非常に危険です³⁾。

転倒、その原因としての滑りの防止を考える場合に式(1)に示される関係から、垂直方向分力 F_z を大きく、水平方向分力 F_h を小さく、あるいは摩擦係数 μ を大きくすることが、滑らない条件 ($S < \mu$) を満たす可能性があります。

垂直方向分力 F_z を大きく、水平方向分力 F_h を小さくすることは、ある程度歩き方の工夫⁴⁾で可能となります。また、摩擦係数 μ を大きくすることは、除排雪、砂を撒くなど防滑材の散布、防滑靴を履くということで可能性があります。このうち除排雪や防滑材散布などは、行政の対応に負うところが大きく、年間降雪量5～6mの地域においては、適時性、経済性の点で上手に機能しきれていない状況があります。したがって滑りの防止は、歩き方の工夫⁴⁾と高性能の防滑靴を履くという、私たち歩行者自身の対応に依るところが多くなります。

【3】靴底の摩擦測定

さて高性能の靴の話になりますが、靴の諸性質⁵⁾の中で、ここでは防滑性能についてのみ話を進めます。摩擦係数を高めるために、靴底に対して様々な工夫⁶⁾がなされています。現在市販されている靴の防滑方式の分類は難しいのですが、敢えて行くと図5のようになります。

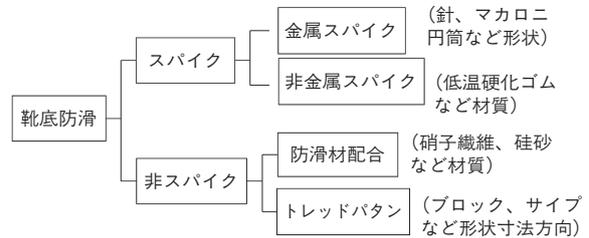


図5 靴底防滑方式

これら様々な靴の防滑性能を評価するのに、靴の摩擦係数を測定するというのが一般的です。各靴メーカー、各試験研究機関が独自の装置により、装置の優位性を競ったり、靴底の検査や開発を行っています。世界的に認められている測定機として、空気圧による床移動式の英国製「SATRA すべり試験機 (SATRA)」(写真3)が東京都立皮革技術センター台東支所に導入されています。これは、日本で靴の滑りに関わっている技術者や研究者にとっては非常に大きなメリットをもたらすと思います。

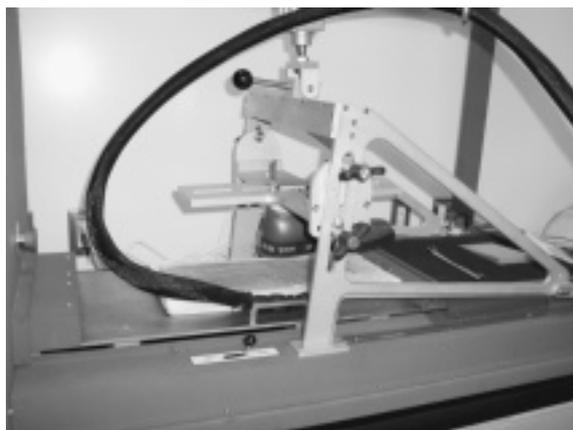


写真3 SATRAすべり試験機

また、先頃フィンランドに行く機会を得て、駆動部の違いで双壁を成している、油圧による靴移動式のフィンランド製「FIOH すべり試験機 (FIOH)」(写真4)を利用することができました。



写真4 FIOHすべり試験機

そこで、靴底の異なる9種の靴(全て非スパイク)について、その測定機の違いによる、摩擦係数の相関関係を求めて、図6に示しました。縦軸にSATRAによる測定値を、横軸にFIOHによる値を表したものです。測定は、氷盤を摂氏0度に近い状態にし、その表面に水が載っている条件で行っています。

立場により議論のあるところなのですが、概観すると、SATRAの結果が低く現れる傾向が窺えるものの、どちらの測定機でも、摩擦係数の高いものは高く、低いも

のは低いという結果が得られました。なお、上位を占めた靴は、靴底のゴムに硝子繊維や硅砂を混入し、トレッドパターンを工夫したものです。

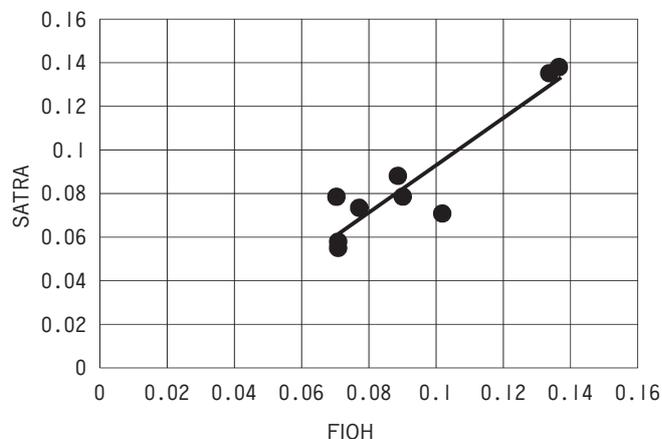


図6 測定機の違いによる靴底の摩擦係数

【4】新たな防滑効果の評価方法

SATRAもFIOHも有効な測定機ですが、靴底の接触状態は一定(踵接地なら、その状態)のままの滑り接触であり、また前述のとおり互いの測定値は、高い相関はあるものの「一致」している訳ではありません。一方、実際の歩行においては、靴底の接触状態は、踵から爪先までの転がり接触の繰り返しです。このことから、今の段階では、摩擦係数だけで靴の防滑性能を表現することは、難しい状況と考えられています⁷⁾。そこで私の行っている、新たな防滑性能の評価方法について紹介します。

歩いている時に滑りが生じると、姿勢が乱れて一定の歩調が維持できなくなり、結果として身体の定常運動が変動します。すなわち、身体運動の状態を観測することにより、滑りを捉えることができるようになります。観測の方法は、被験者自身の体重心近傍(腰部)に、加速度センサを取り付け、進行方向の加速度を記録することとしました⁸⁾。

歩行の条件は、4mの氷上歩行路に水を撒き、「つるつる路面」を再現し、歩調を一

一般的な120step/minに合わせて通常歩行をする努力をしました。加速度は、サンプリング周期10msにてロガーへ記録し、パソコンに取り込み、周波数分析する方法をとりました。

図7に、歩行中の身体加速度波形を示しました。上が、滑らない廊下を歩いた時の加速度で、下が、氷上を歩いた時の波形です。どちらも歩行に対応して波形が繰り返していますが、氷上歩行の場合、滑りに対する不安から、加速度が小さくなっています。また、滑りが生じた場合には、波形が乱れます。

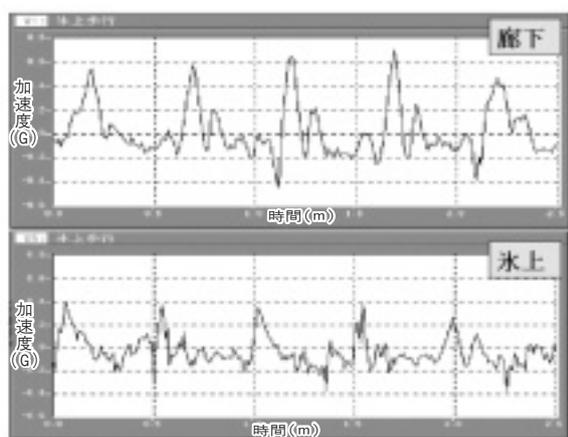


図7 歩行中の身体加速度波形

図8には、加速度の周波数スペクトルを示しています。腰部の加速度は、両脚の下肢3関節の影響を受けるため、歩調に従った特定（主成分）の周波数に、ピークがでます。それらの全周波数成分に対する比を求めると、廊下歩行では、約0.16となっているのに対し、氷上歩行では、約0.07と減少しています。

このように加速度の主成分比により順位付けを行い性能を評価するのです。ここで15足の靴について行った検査結果を例示します。図9に官能値と加速度成分比の関係を示しました。官能値とは被験者の感覚を数値化したもので、氷上を歩いた時の靴の滑りを、非常に滑ると感じたとき「1」、

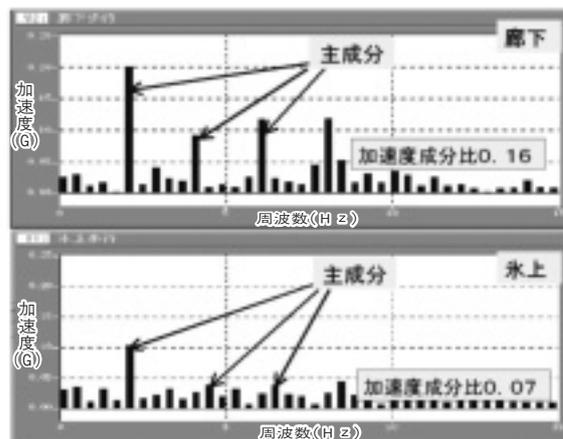


図8 加速度の周波数スペクトル

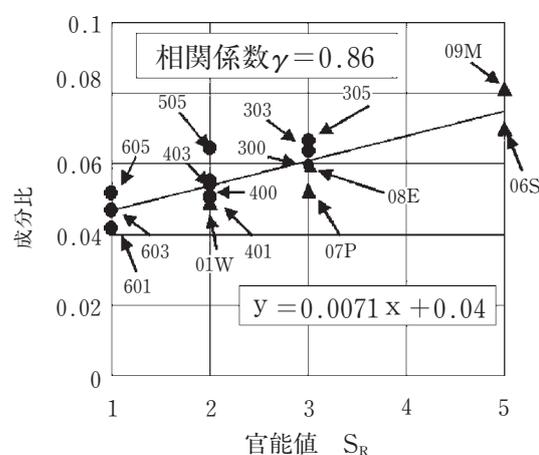


図9 官能値と加速度成分比の関係

全然滑らないときを「5」とし5段階で評価したものです。これらの相関係数 r を求めてみると、 $r=0.86$ と高い相関を得ました。なお、官能値と摩擦係数との相関、 $r=0.83$ を上回るものでした。

現在は、図10に示すように摩擦係数、加速度成分比および官能値の三者の順位を、総合的に判断して、防滑性能を評価している段階です。更に検討を加えて、設計、開発、検査に役立て、防滑性能の高い靴の実現に、寄与したいと思っています。

なお、今回、検査した靴の防滑方式を明示しませんでした。金属スパイクのものが性能が高く、硝子繊維を利用したものが、金属スパイクに匹敵するという結果を得ました。

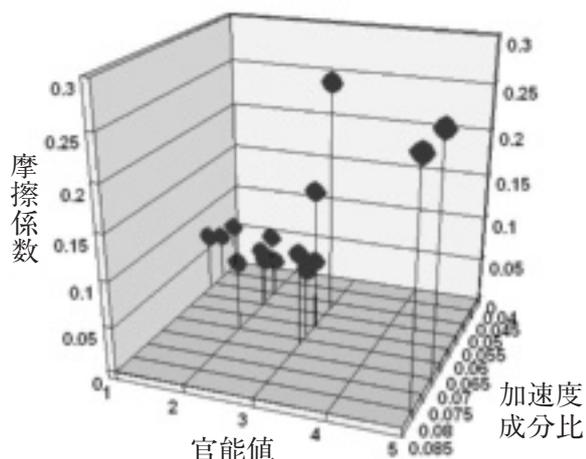


図10 摩擦係数、加速度成分比及び官能値の分布図

【5】夢の靴をめざして

以上、滑り転倒の現状、床反力と滑り、滑り転倒との関係、靴の摩擦測定および新しい防滑性能の評価方法について、私の知るところを紹介しました。

靴と滑りに関して、靴メーカーや研究者が創意工夫をしているのにも関わらず、科学万能の時代になっても、なお、若干の気象変化で、普通に歩くこともできない状態が続いています。転倒防止は、高齢化が進む中で、ノーマライゼーションをめざさなければならない私たちにとって、不可避の緊急課題となっています。

スウェーデン・ストックホルムの地下鉄駅の天井に見つけた、オブジェ（写真5）とまではいかなくとも、夢の靴の開発を個人的には願っています。

最後に、東京都立皮革技術センター台東支所から執筆依頼をうけて、浅学非才の身を省みず、私の仕事の紹介をさせていただきました。関係各位に深謝するとともに、読者諸氏の忌憚ないご意見、ご叱責をいただき、今後に生かしたいと考えています。

連絡先 noguchi@me.tomakomai-ct.ac.jp

〒059-1275 苫小牧市字錦岡443番地

苫小牧工業高等専門学校

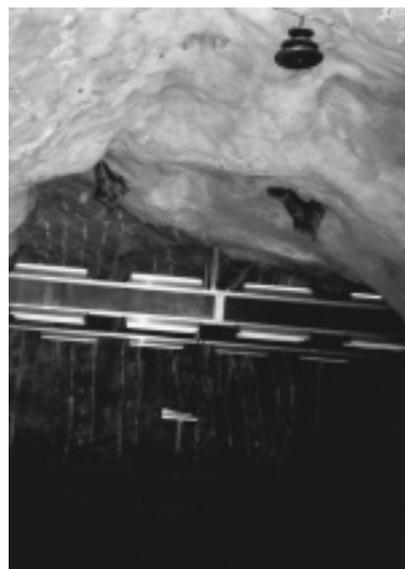


写真5 スウェーデン・ストックホルムの地下鉄11番線Radhuset駅の天井のオブジェ

文献

- 1) 潮田鉄雄、ディスカバー日本のはきもの④、かわとはきもの、No.5、P 7、1973
- 2) 野口勉他、凍結路における歩行と滑り（床反力計の利用による滑りの把握）、寒地技術論文集、Vol.11、pp.472~475、1995
- 3) Noguchi T、Falls from Slips in Double Supporting Period during Gait、Proceedings of the 12th Conference of the European Society of Biomechanics、p.427、2000
- 4) 例えば、野口勉他、凍結した傾斜面における歩行の運動力学的特徴、靴の医学、Vol. 9、49-52、1996
- 5) Abeysekera J、The assessment of the integration of slip resistance, thermal insulation and wearability of footwear on icy surfaces、Safety Science、1-10、2001
- 6) 二瓶光弥他、ポータブル・スキッド・レジスタンス・テスターを用いたゴム片の摩擦特性評価に関する一考察、寒地技術論文集、Vol.17、pp.284~289、2001
- 7) 永田久雄、靴の滑りに関する研究、靴の医学、Vol. 8、135-138、1995
- 8) 野口勉他、力学計測に基づく靴の滑り防止システム(防滑性能の改善例)、日本機械学会講演論文集、No.012-1、74~75、2001