

# 降雪・積雪が市街地の歩行環境に与える影響の定量評価

新潟工科大学 工学部 情報電子工学科

教授 村上肇

准教授 佐藤栄一

学部生 兒玉正樹, 植木祐介, 金子元樹

## 1. はじめに

社会の高齢化が進む我が国において、バリアフリー社会の構築は喫緊の課題となっている。高齢者、障害者等の円滑な移動及び建築物等の施設の円滑な利用の確保のために、いわゆる「バリアフリー新法」が定められており[1]、また各自治体の実状に合わせた条例等が整備されてきている。

北陸地域の自然環境の特徴として冬期の降雪・積雪があり、多雪地域、すなわち雪国のバリアフリー社会の構築を進める上で、それらに対応する必要がある。雪国では、積雪によって歩行者空間が狭められたり、路面の凍結によって転倒の危険性が増したりするなど、冬期特有のバリアが存在する。そこで、横断歩道周辺の雪対策、スロープの凍結対策、バス停周辺の雪対策等が実施されている[2]。これらは「冬期バリアフリー」と呼ばれており、雪国の各自治体でさまざまな取り組みがなされている。それらは有効な成果を挙げており、雪国のバリアフリー社会の構築として先進的な事例であるといえる。しかしながら、降雪・積雪が市街地の歩行環境に与える影響について必ずしも十分な学術的議論を行っている訳ではない。そこで本研究は、降雪による「見えにくさ」の定量評価として、画像の2次元フーリエ変換による解析を検討する。また積雪による「通りにくさ」の定量評価として、車いすの走行時の加速度を計測・解析する。そしてこれらの検討によって、冬期バリアフリーの基礎的知見を得ることを目的とする。

## 2. 降雪の影響に関する画像評価

北陸地域では冬になると雪が降り、交通信号や道路標識等が見えにくくなる。これらは歩行者に対して行動を制限する方向に作用する。そこで冬期における歩行環境の安全指標という観点から、画像処理及び画像解析を行う。そして、標識の見えにくさについて降雪が与える影響を、2次元フーリエ変換によって定量的に解析する。

### 2.1.理論

画像は、2次元空間に分布する色情報である。そして空間的に変化する信号に対して、空間周波数が定義される。長さ  $L$  を周期とする画像内の正弦波信号について、その空間周波数  $\mu$  は単位長さあたりの正弦波の個数（波数）であり、 $L$  の逆数として定義される[3]。ここで対象画像の幅を  $L_0$  とすると、空間周波数  $\mu = k/L_0$  と表現できる。ここで  $k$  は次数であり、 $L_0$  に含まれる正弦波の数を示す。 $k$  が大きいほど、空間周波数  $\mu$  が高い。また  $\mu = 1/L = k/L_0$  より、 $k = L_0/L$  であり、 $k$  が大きいほど、周期が短い。

画像は2次元であることから、横方向、縦方向に関する  $k, l$  なる2つの次数が存在する。詳細は省略するが、画像信号  $f(m, n)$  を2次元フーリエ変換することにより、空間周波数情報に相当するフーリエ係数  $F(k, l)$  が得られる。

$F(k, l)$  は、空間周波数領域に関する2次元情報を与えるが、原点から半径  $r$  の微小幅の環状領域に存在するフーリエ係数の2乗和として、パワースペクトラム  $P(r)$  が得られる。画像を2次元フーリエ変換し、パワースペクトラムとして表現することにより、画像の空間的特徴が明らか

かになる。ところで半径  $r$  は数学的に次数  $k, l$  と等価であり、 $r$  が大きいほど、空間周波数が高く、また周期が短いことを意味する。よって今後は  $r$  を次数と呼ぶ。

## 2.2.実験方法

評価対象として、非降雪期に新潟工科大学学内道路に設置した「信号機あり」、「一時停止」、「通行止め」、「一方通行」の4種類の道路標識を、画素数 5,020,000[ピクセル]のデジタルカメラ（ソニー製 DSC-F707）で撮影し、JPEG形式で記録した。

このようにして得られた画像を「非降雪画像」と呼ぶ。それらに対して画像処理を施し、擬似降雪粒子を合成することによって「擬似降雪画像」を生成する。擬似降雪粒子は、粒子最大径  $\phi$ 、画像内の総個数  $n$ 、白化率 0.8 とし、画像内での配置・径をランダムに変化させた。

非降雪画像、擬似降雪画像に対して、評価対象である道路標識近傍を、一辺が 128[ピクセル]の正方領域として切り出し、2次元フーリエ変換を行って、各画像のパワースペクトラムを求めた。

## 2.3.結果・解析

擬似降雪粒子の最大径  $\phi$  5、総個数  $n=400$  の場合の、「信号機あり」標識についての画像のパワースペクトラムを図1に示す。次数  $r$  が5～20の範囲（以下、[5,20]と表す）で、擬似降雪画像は非降雪画像に比べてパワーが大きくなった。4種類の標識について、擬似降雪によるパワーの増加を表1に示す。これは画像全体または[5,20]の範囲において  $P(r)$  を積分し、擬似降雪画像の積分値を非降雪画像のそれで除した結果である。画像全体の増加率  $R_{total}$  以上に、[5,20]の範囲での増加率  $R_{5\_20}$  の増加が観測された。但し「通行止め」標識については、全体と同程度の増加にとどまった。

「信号機あり」標識について、擬似降雪粒子の最大径  $\phi$ 、総個数  $n$  を変えた場合の比較を行った。各条件において画像全体の  $P(r)$  を積分し、非降雪画像の積分値  $P_{ns}(r)$  と、擬似降雪画像の積分値  $P_s(r)$  から、パワー比  $R(r)=P_s(r)/P_{ns}(r)$  を計算した。各条件での(a)パワー比の最大値  $\max R(r)$ 、(b) $\max R(r)$  を与える次数  $r_m$ 、(c) $R(r)>1$  を与える  $r$  の個数の割合、を図2に示す。なお、 $P_{ns}(r)$  が小さかった場合にはパワー

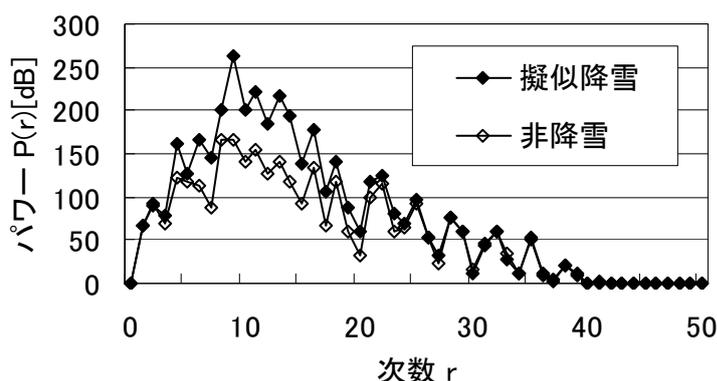


図1 「信号あり」画像のパワースペクトラム

表1 標識画像の擬似降雪によるパワー増加

標識	信号機あり	一時停止	通行止め	一方通行
画像全体の増加率( $R_{total}$ )	1.28	1.33	1.18	1.22
[5,20]の増加率( $R_{5\_20}$ )	1.43	1.42	1.18	1.28

比  $R(r)$  は過大に評価される可能性がある。そこで  $Pns(r)$  や  $Ps(r)$  の値がそれぞれの最大値の半分以下の場合には無視するようにした。

#### 2.4.考察

まず、図1の「信号機あり」標識に対する擬似降雪の影響を考察する。 $\phi = 5$ より、擬似降雪粒子の直径は5[ピクセル]以下である。対象画像幅は128[ピクセル]であるから、擬似降雪粒子の大きさは次数換算で26以上となる。したがって擬似降雪画像において次数5~20の範囲でパワーが増加したのは、画像に合成した擬似降雪粒子が単純に作用したとはいえない。

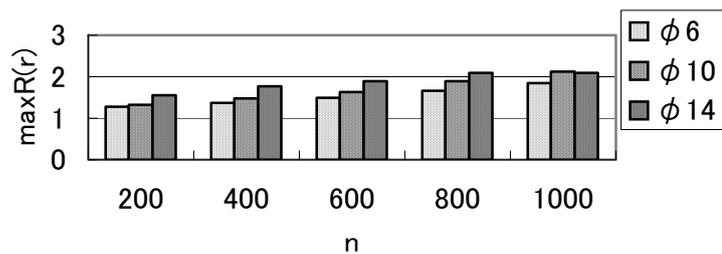
502万ピクセルの画像において擬似降雪粒子の総個数( $n$ )が400とすると、16384[ピクセル]

( $=128 \times 128$ )の解析対象画像内に存在する擬似降雪粒子の平均個数は約1.3となる。擬似降雪画像は見掛け上、非降雪画像が擬似降雪粒子で分割されることから、この作用によりパワーが増加したものと思われる。

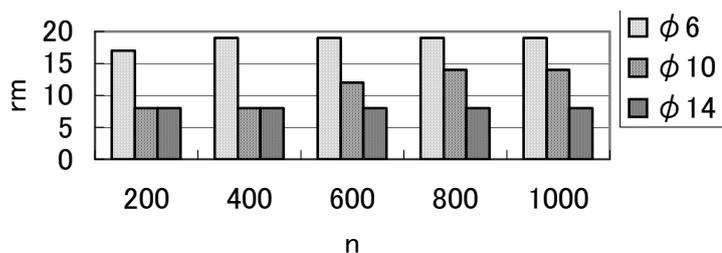
次に、表1に示した4種類の標識の画像について比較する。これらのうち、「通行止め」と「一方通行」の標識は、もともと白い部分が多いことから、擬似降雪粒子を画像に合成しても影響が小さく、各々の増加率が顕著でなかったと思われる。

さらに、図2に示した擬似降雪粒子の条件変化の影響を考察する。

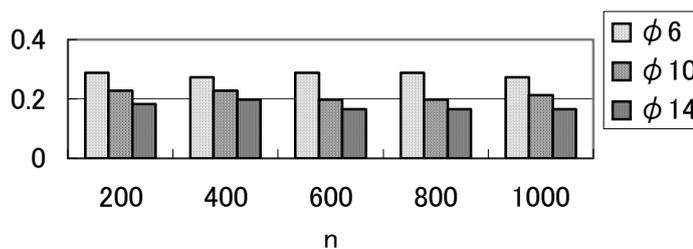
(a)では、パワー比最大値  $\max R(r)$ は、 $\phi$ が大きくなるにしたがって概ね大きく、 $n$ が大き



(a) パワー比最大値



(b) 最大値を与える次数



(c)  $R(r) > 1$ となる割合

図2 擬似降雪粒子の条件変化に伴う画像のパワースペクトラム積分値の変化

なるにしたがって大きくなる傾向があった。 $\phi$  や  $n$  が大きくなることで擬似降雪粒子の影響が画像に対して強く作用していると考えられ、この結果は妥当といえる。

(b)では、パワー比最大値を与える次数  $rm$  は、 $\phi$  が大きくなるにしたがって小さく、 $n$  が大きくなるにしたがって大きくなる傾向があった。 $\phi = 6, 10, 14$  の擬似降雪粒子は、次数換算でそれぞれ 21, 13, 9 となる。また  $n = 200, 400, 600, 800, 1000$  では、解析対象画像内の粒子の平均個数はそれぞれ 0.7, 1.3, 2.0, 2.6, 3.3 である。 $\phi$  と次数の関係は前述の理論と対応しており、特に  $n = 1000$  の結果は、ほぼ理論通りといえる。 $n$  が小さいときには、対象画像内に擬似降雪粒子が存在しない場合もあり、影響が小さくなったものと思われる。

(c)では、 $R(r) > 1$  を与える  $r$  の個数の割合は、 $\phi$  が大きくなるにしたがって小さくなる傾向があった。これは  $\phi$  が大きくなるにつれて、影響は空間周波数的に局所化されることを意味している。このことは、擬似降雪粒子によって画像が分割されるのではなく、粒子自体が強く作用したものであると思われる。なお、 $R(r) > 1$  となる割合では、 $n$  との明確な関係は見られなかった。

以上の考察より、擬似降雪粒子が画像に対して与える影響を定量的に示すことができた。降雪時の歩行環境の見えにくさの指標を構成する上で、この知見は有用であると考えられる。

### 3. 積雪の影響に関する加速度評価

北陸地域では冬になると雪が降り、歩道に雪が積もる。これにより、歩行者が市街地を移動しにくくなり、行動が制限される。また車いす使用者は歩行者以上に移動が困難になる。凹凸のある床面をキャスタや車いすが走行する際に生ずる振動について多数報告されているが、積雪路面に関する検討はない。そこで、歩道周囲の路面環境に対して積雪が与える影響を、加速度による非平坦性変化として定量的に解析する。

### 3.1. 実験方法

平坦でない路面を車いすが走行すると車いすに振動が生ずるが、これは加速度として測定できる。手動車いす（日進医療器製 TY-1）の座面下部フレームに、検出範囲  $\pm 100 \text{m/s}^2$ 、応答周波数  $0.8 \sim 100 \text{Hz}$  の 3 軸加速度センサ（マイクロストーン製 MA3-10Ac-RDB）を貼付し、データレコーダ（TEAC 製 es8）に接続して、サンプリング周波数  $1 \text{kHz}$  で記録する。車いすが走行する際に生ずる加速度は鉛直成分が最も大きいことが知られており [4]、本研究では上下方向の加速度について検討する。

非積雪状態や積雪状態の歩道を、被験者が自分で車いすをこいで走行する。被験者は車いす使用経験のあまりない 22 歳の健康男性である。

### 3.2. 結果・解析

測定は市街地である新潟県柏崎市東本町の歩道にて行った。測定時の気象条件は表 2 の通りである。実験風景を図 3、4 に示す。

車いすが非積雪歩道を走行したときに生じた加速度波形を図 5 に示す。7 秒付近、16 秒付近で線状点字ブロックを通過したので、 $\pm 20 \text{m/s}^2$  を超える加速度が生じた。また、走行路面のタイル目地により、全体的に  $\pm 3 \text{m/s}^2$  程度の加速度が生じた。

車いすが積雪歩道を走行したときに生じた加速度波形を図 6 に示す。 $\pm 20 \text{m/s}^2$  を超える加速度が多数回生じたことが確認できる。積雪歩道はタイル敷きであるが、点字ブロック上を通過した時と同程度の大きい加速度が頻繁に発生するような路面環境に変化したと考えられる。ま

表 2 加速度測定時の気象条件

	実験日	気温・湿度	積雪
非積雪状態	2007 年 12 月 21 日	4.5°C —	—
積雪状態	2008 年 1 月 23 日	6.2°C 48.5%	2.5cm 水べた雪

た本来の点字ブロックは雪に埋もれており、明確な加速度変化としては観測されなかった。

ヒトは、身体への振動について4～8 Hzの帯域で感度が高い（より不快に感ずる）特性になっている[5]。そこで、非積雪歩道、積雪歩道について加速度波形の8～15秒の区間での、4～8 Hz成分を2次のバターワースフィルタで抽出し、その実効値を求めた。その結果、非積雪歩道では0.26m/s<sup>2</sup>、積雪歩道では0.91m/s<sup>2</sup>となった。

### 3.3.考察

実効値による結果から、身体への振動と不快感との関係[5]としては、非積雪歩道における振動は8時間以上の走行でも不快とはならない加速度に相当する一方、積雪歩道における振動は1時間程度の走行で不快となる加速度に相当することが示された。また JIS[6]に記載されている、ヒトの全身振動に対する反応の一例を表3に示す。本研究と JIS とでは加速度の測定方法は異なるものの、積雪歩道を走行する車いすの



図3 非積雪歩道



図4 積雪歩道

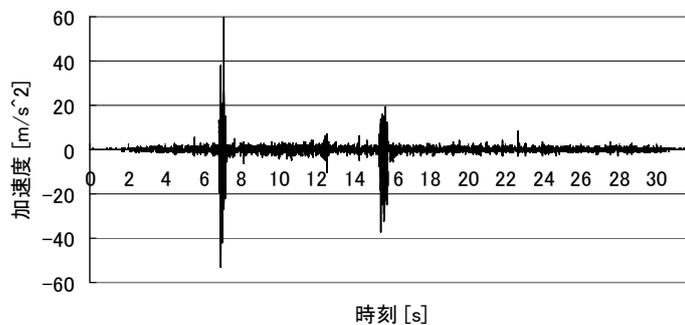


図5 非積雪歩道の上下加速度

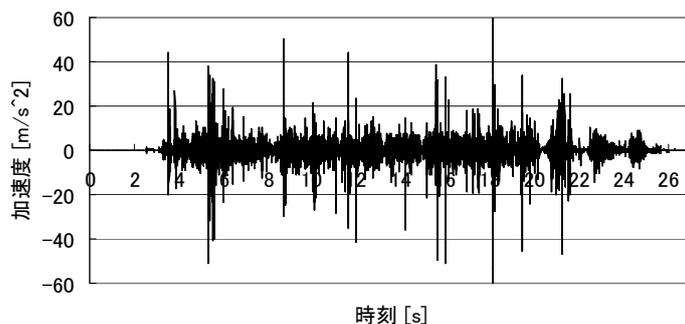


図6 積雪歩道の上下加速度

使用者は振動を不快に感ずることを示唆している。なお、この実験では車いすのみならず、車いす使用者の腰部背面（仙骨部）と頭部後面（外後頭隆起）の加速度も計測した。乗り心地という観点からは、それらの加速度の解析も重要である。

以上、車いすに生ずる加速度について検討を加えたが、本研究では車いす使用者のみを対象とするものではない。加速度は振動によって生ずるが、これは路面の非平坦性を反映している。このようにして得られた加速度は、数値としての意味合いは異なるが、「歩きにくさ」「通りにくさ」を示す指標ともなるものと思われる。

#### 4. むすび

本研究では、北陸地域でのバリアフリー社会の構築に関する基礎的知見として、降雪・積雪が歩行環境に与える影響を定量的に評価した。道路標識の降雪による見えにくさを画像解析によって、歩道の積雪による非平坦性を加速度解析によって、それぞれ評価し、降雪・積雪の影響を論じた。本研究の成果は、冬期のバリアフリー化を進める上で有用であるものと思われる。

ところで本研究では、降雪・積雪を高齢者・障害者等に対する「バリア」として位置付けて議論してきた。しかしながら雪国である北陸地域にとっては、雪こそ地域特性であるという考え方もできる。したがって単純に「邪魔な雪をなくせ」という立場ではなく、雪との共存を前提とした視点を保つことが、北陸地域のバリアフリー社会の構築を考える上で極めて重要であると思われる。

なお、本研究の一部は、平成 20 年 2 月 26 日に柏崎商工会議所にて開催された、柏崎商工会議所・新潟県建設業協会柏崎支部主催による「第 6 回” 柏崎に関する研究” 発表会」において、発表されたことを付言する[7,8]。

#### 参考文献

- [1] 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律,  
[http://www.mlit.go.jp/barrierfree/barrierfree\\_.html](http://www.mlit.go.jp/barrierfree/barrierfree_.html)
- [2] 平成 15 年度国土交通白書—生き活きとした地域づくりと企業活動に向けて—, 第 II 部第 5 章第 5 節,  
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h15/hakusyo/h16/html/F2055500.html>
- [3] 酒井幸市: デジタル画像処理入門, CQ 出版, pp.170-194, 2004.
- [4] 高見正利・糟谷佐紀・黒田大治郎・奥英久・橋詰勉・米田郁夫: 路面状態が車いす走行に及ぼす影響について, 第 22 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.121-122, 2007.
- [5] 家田仁 (編)・東京大学交通研究共同体: それは足からはじまった—モビリティの科学, 技報堂出版, pp.78-81, 2000.
- [6] JIS B 7760-2:2004 全身振動—第 2 部: 測定方法及び評価に関する基本的要求, 2004.
- [7] 兒玉正樹 (指導教員・村上肇): 積雪路面を走行する車いすに生じる加速度の解析, 平成 19 年度新潟工科大学学生による「柏崎に関する研究」発表会研究論文集, pp.3-4, 2008.
- [8] 植木祐介・金子元樹 (指導教員・佐藤栄一): 降雪による見えにくさの評価, 平成 19 年度新潟工科大学学生による「柏崎に関する研究」発表会研究論文集, pp.5-6, 2008.

表 3 振動環境と快適性との対応 ([6]より引用)

加速度[m/s <sup>2</sup> ]	反応
0.315 未満	不快でない
0.315~0.63	少し不快
0.5~1	やや不快
0.8~1.6	不快
1.25~2.5	かなり不快
2	極度に不快