

# 路面雪氷状態予測モデルを用いた交通事故発生 状況と路面状態の關係の定量的評価

齊田 光<sup>1</sup>・平澤 匡介<sup>2</sup>・高橋 尚人<sup>3</sup>・石田 樹<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)  
E-mail:saida-a@ceri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)  
E-mail:hirasawa@ceri.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)  
E-mail:takahashi-n24k@ceri.go.jp

<sup>4</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)  
E-mail:t-ishida@ceri.go.jp

冬期の積雪や路面凍結などの路面状態悪化は交通事故の発生に大きな影響を与えていると考えられている。一方で、交通事故統計原票等には交通事故発生時の詳細な路面状態が記録されておらず、両者の関係を定量的に評価することは困難であった。そこで本研究では路面状態を予測する手法を用いて交通事故発生時の路面状態と交通事故発生状況の關係について検証を行った。

その結果、交通事故件数は積雪深が15mmから20mm程度である場合に最も多くなり積雪深がさらに増加すると交通事故件数は減少に転じること、路面すべり抵抗値がわずかに減少した場合に交通事故件数が増加する一方でさらに滑りやすい場合交通事故件数は減少することなどが示され、交通事故件数は路面雪氷状態が中程度に悪化した条件下で最も増加することが明らかとなった。

**Key Words :winter traffic accident, traffic accident risk, road condition**

## 1. 研究の背景および目的

日本は国土の約6割が積雪寒冷地域であり、これらの地域では積雪・路面凍結に伴うスリップ事故や吹雪発生時の視程障害による路外逸脱など冬期特有の気象条件に起因する交通事故（冬型事故）が多発している。冬型事故の約8割は路面状態悪化に伴うスリップ事故であり、冬期の気象条件や路面状態が交通事故発生に及ぼす影響を明らかにすることは、より効果的な冬期交通事故対策の立案・実施等を行う上で有用であると考えられる。

冬期の気象条件や路面状態が交通事故に及ぼす影響についてはこれまでに様々な研究が行われている。例えば、平澤・浅野<sup>1)</sup>は北海道において気温が事故発生件数に及ぼす影響についての研究を行い、日平均気温が4℃付近となる場合に交通事故件数が最も多くなることを明らかにした。また、堀井・村井<sup>2)</sup>は東北地方において冬期に発生した交通事故と路面状態の關係について分析を行い、路面状態の悪化に伴い重大事故が発生しやすくなることを示した。また、Normanら<sup>3)</sup>はRoad Weather Information

Systemによる路面状態判別結果と交通事故発生リスクの關係について検証を行い、凍結路面で降雨がある場合や降雪・結露凍結時に交通事故発生リスクが大きくなることを明らかにした。このように、気象条件や定性的な路面状態と交通事故発生リスクの關係は明らかになりつつある。

一方で、近年では冬期道路管理の適正化（冬期交通事故等の防止と除雪・凍結防止剤散布等費用の削減の両立）を目的として路面状態を定量的に計測<sup>4)</sup>・予測<sup>5)</sup>する手法の開発が行われている。これらの手法で得られた路面状態の計測・予測結果は、路面状態と冬期交通事故発生状況の定量的な關係が明らかであれば、路面状態の計測・予測結果から冬期交通事故発生リスクを推定することが可能となる。これにより、除雪や凍結防止剤散布等による交通事故発生リスクの減少効果推定や費用便益分析などが可能となり、これらの結果を活用したより効果的な冬期交通事故対策が可能になると考えられる。しかしながら、定量的な路面状態と交通事故発生状況の關係についてはほとんど検証が行われていない。

そこで本研究では、路面温度や積雪深、路面すべり易さ等の定量的な路面状態と交通事故発生状況の関係を明らかにすることを目的とする。

## 2. 交通事故発生時等における定量的な路面状態の把握

定量的な路面状態と交通事故発生状況の関係について検証を行うためには、交通事故発生時の路面温度や路面すべり易さ等が明らかになっている必要がある。交通事故分析等に用いられる交通事故統計原票には定性的な路面状態（湿潤、凍結など）に関する項目は存在するものの、定量的な路面状態は記録されていない。このため、交通事故発生時の定量的な路面状態を明らかにするためには他の手法によって得られた路面状態の計測・予測結果と交通事故データを関連付ける必要がある。

定量的な路面状態を得る手法の1つとしては、各種計測機器によって得られた路面状態実測値を用いることが考えられる。例えば、1. で挙げた路面状態計測車両は路面温度や路面すべり抵抗値（HFN）を路線方向に連続して計測可能であり、路面状態計測車両による計測の直前または直後に発生した交通事故について路面状態計測結果を関連付けることで交通事故発生状況と定量的な路面状態の関係検証が可能である。他方、この手法では定量的な路面状態と交通事故発生状況の関係検証が可能となるのは路面状態計測が継続して行われており、かつ路面状態計測の直前・直後に交通事故が多数発生するような路線に限られるがこのような条件を満たす路線は非常に少ないという難点がある。

そこで本研究では、任意の日時および地点の路面状態

を推定可能な広域路面雪氷状態予測モデルを用いて交通事故発生時の路面状態を定量的に推定し、交通事故発生状況との関係について検証を行った。

### (1)路面状態の推定手法

本研究で用いる広域路面雪氷状態予測モデルは、以下の4つの計算プロセス、すなわち、1)沿道の地形や建物を考慮した道路気象計算、2)路面熱収支計算、3)路面雪氷層を構成する水・氷・空気の収支計算および4)HFNの計算から成る。

道路気象計算では図-1に示すように道路周辺の地形や建築物（沿道地物）の形状をデジタル地形データ・建築物形状データを用いて三角形要素の集合体として再現し、沿道地物による日射の遮蔽、反射および輻射による影響を求める。

路面熱収支計算では図-2に示すように路面雪氷層および舗装を模した計算要素に入出入りする熱量を計算し、各計算要素の温度を求める。路面雪氷層の温度 $T$ は日射や降水等の気象要因、雪氷層からの水分蒸発や昇華等の相変化に伴う要因、雪氷層の飛散や排水など質量変化に伴う要因、地盤からの熱伝導、車両通過に伴う日射遮蔽や

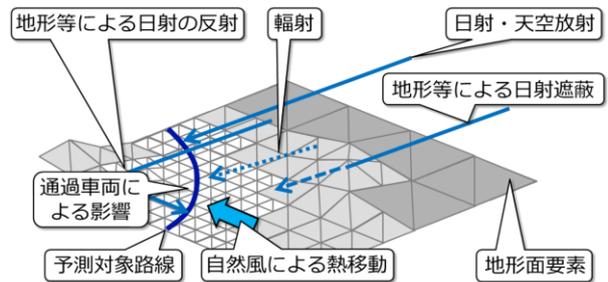


図-1 道路周辺の地形・建築物が路面状態に与える影響の考慮

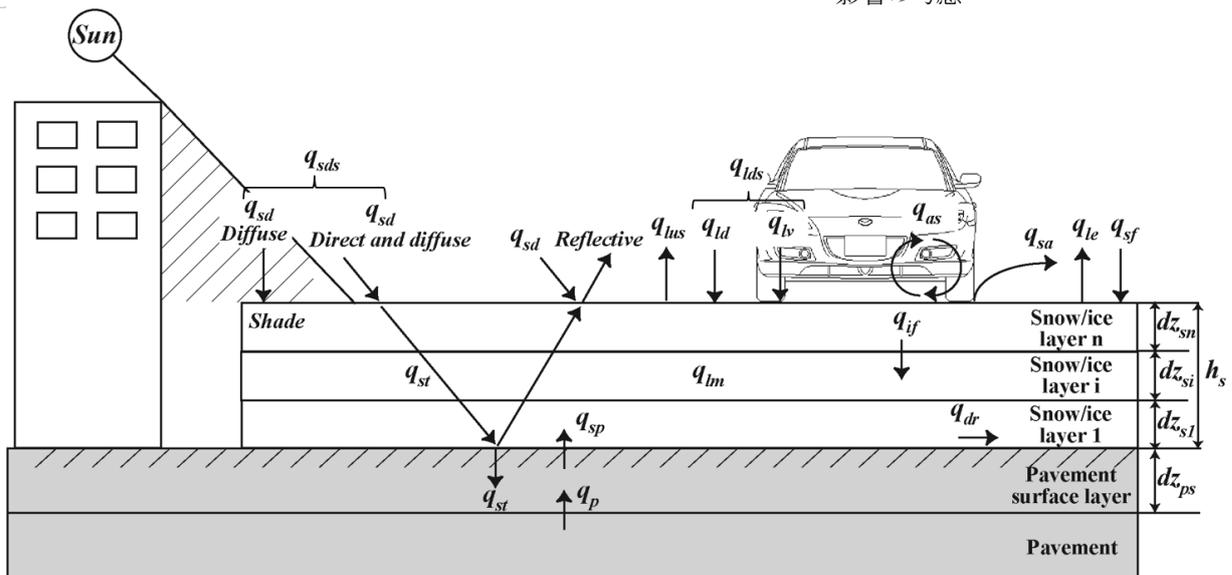


図-2 舗装および路面雪氷層における熱収支計算の概念図

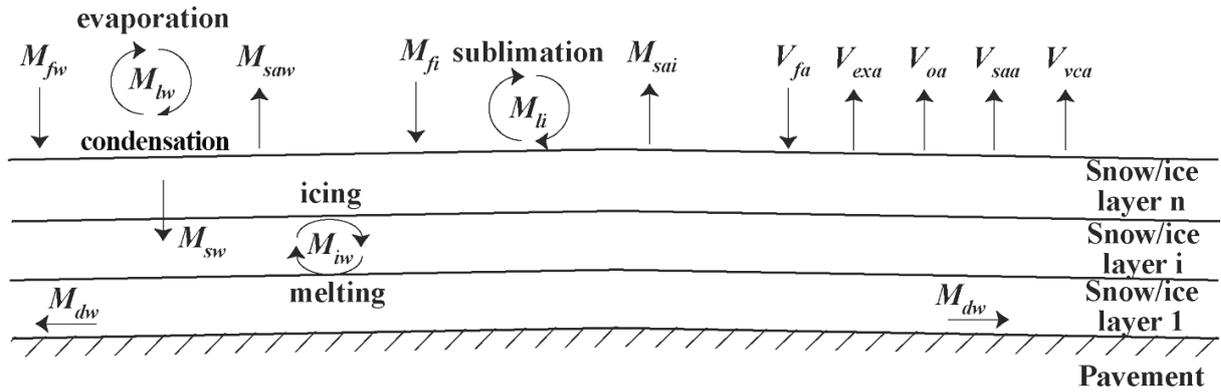


図-3 路面雪氷層における体積収支計算の概念図

輻射など種々の要因を考慮して、次式で求められる。

$$(\rho c)_s \frac{\partial(T_s h_s)}{\partial t} = q_{sds} + q_{lds} - q_{lus} + q_{as} + q_{sf} \quad (1)$$

$$- q_{le} - q_{sa} + q_{lm} - q_{if} - q_{dr} + q_{sp} - q_{st}$$

ここに、

- $(\rho c)_s$  : 雪氷層の体積熱容量(J/m<sup>3</sup>K)
- $T_s$  : 雪氷層温度(°C)
- $t$  : 時間(sec)
- $h_s$  : 走行(タイヤ)部の路面雪氷層厚(m)
- $q_{sds}$  : 日向・日陰を考慮した直達および散乱日射熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{lds}$  : 雪氷層に入射する長波放射フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{lus}$  : 雪氷層からの長波放射フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{as}$  : 車両風・自然風による顕熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{sf}$  : 降雨/降雪顕熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{le}$  : 蒸発・昇華潜熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (表層のみ)
- $q_{sa}$  : 飛散による顕熱フラックス(W/m<sup>2</sup>)
- $q_{lm}$  : 融解・凝固潜熱フラックス(W/m<sup>2</sup>)
- $q_{if}$  : 融雪水の下方浸透による顕熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (最下層以外)
- $q_{dr}$  : 排水による顕熱フラックス(W/m<sup>2</sup>) (最下層のみ)
- $q_{sp}$  : 雪氷層と舗装表面間の熱移動フラックス(W/m<sup>2</sup>) (最下層のみ)
- $q_{st}$  : 日射の透過熱フラックス(W/m<sup>2</sup>)

なお、各項の詳細な計算方法は参考文献<sup>6)8)</sup>を参照されたい。

路面雪氷層の質量および体積収支計算では、図-3に示すように雪氷層が氷、水および空気の3つの成分で構成

されているものとし、各成分について体積の収支を求める。雪氷層中の水、氷質量 $M_w$ 、 $M_i$ および空気体積 $V_a$ の収支はそれぞれ以下の式で求められる。

$$\frac{\partial M_w}{\partial t} = M_{fw} + M_{lw} + M_{iw} - M_{sw} - M_{dw} - M_{sav} \quad (2)$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = M_{fi} + M_{li} - M_{iw} - M_{sai} \quad (3)$$

$$\frac{\partial V_a}{\partial t} = V_{fa} - V_{exa} - V_{oa} - V_{saa} - V_{vca} \quad (4)$$

ここに、

- $M_{fw}$  : 降雨フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (表層のみ)
- $M_{lw}$  : 蒸発・凝結フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (表層のみ)
- $M_{iw}$  : 融解・凝固フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s)
- $M_{sw}$  : 融雪水の下方浸透フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (最下層以外)
- $M_{sav}$  : 飛散により失われる雪氷層中の水分フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s)
- $M_{fi}$  : 降雪フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (表層のみ)
- $M_{li}$  : 昇華フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (表層のみ)
- $M_{iw}$  : 融解・凝固フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s) (>0: 融解, <0: 凝固)
- $M_{sai}$  : 飛散氷成分フラックス(kg/m<sup>2</sup>/s)
- $V_{fa}$  : 降雪空気フラックス(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s)
- $V_{exa}$  : 置換空気フラックス(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s)
- $V_{oa}$  : 開放空気フラックス(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s)
- $V_{saa}$  : 雪氷層中の飛散空気成分フラックス(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s)
- $V_{vca}$  : 車両が1台通過した時の粘性圧縮による排出空気フラックス(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s)

である。

最後に、HFNの計算ではこれらの過程を経て得られた路面雪氷状態計算結果を用いて次式で求められる。

$$HFN = 49.303(\theta_i h_s)^{-0.076} \quad (5)$$

ここに、

$\theta$  : 雪氷層の体積含水率

これらの計算が完了すると路面温度、路面雪氷状態（路面の積雪深、路面雪氷層の含水率、含水率など）や HFN の空間・時間分布が出力される。

### (2) 路面状態の推定精度

路面状態推定値を用いて交通事故発生状況と定量的な路面状態の関係について検証を行うためには、任意地点・日時の路面状態を精度良く推定する必要がある。そこで、路面温度、積雪深、雪氷層の体積含水率および HFN について、複数の路線を対象として 2.(1) で述べた手法による路面状態の推定誤差を確認した。

表-1 は 福井県道 182 号線、253 号線および市町村道と北近畿豊岡自動車道における路面状態の推定誤差<sup>9)</sup> <sup>10)</sup> を示す。路面温度の推定誤差は 3°C 未満であり、積雪時には路面温度の推定誤差は小さくなる傾向にあった。

表-2 は 福井県道 182 号線、253 号線および市町村道における車両走行部（わだち部）の積雪深推定誤差を示す。積雪深の推定誤差は最大で 6mm 程度であり、本研究で用いる路面状態推定手法は路面の積雪の有無および積雪深を概ね良好な精度で推定可能であることが確認された。

表-3 は 福井県道 182 号線、253 号線および市町村道における車両走行部の雪氷層体積含水率の推定誤差<sup>9)</sup> を示す。雪氷層体積含水率は推定誤差の検証に使用可能なデータ数が少ないものの、推定誤差は最大でも 20% 未満であった。

表-4 は 福井県道 182 号線、253 号線および市町村道と一般国道 230 号線における HFN の推定誤差<sup>9)</sup> <sup>11)</sup> を示す。HFN 推定誤差は一般国道 230 号線においてやや高くなる傾向にあるものの、ほぼ全ての路線・日時に概ね良好な精度で HFN を推定可能であることが確認された。

### 3. 定量的な路面状態と交通事故発生状況の関係の検証方法

本研究では、2. で述べた手法を用いて北海道札幌市中心部から 15km 圏内（図-4 の円内）の一般国道のうちロードヒーティング実施地点を除く区間で 2013 年 11 月から 2014 年 3 月に発生した交通事故について、定量的な路面状態と交通事故発生状況の関係について検証を行った。検証ではまず交通事故発生地点における事故発生日時の定量的な路面状態を計算する。次に、検証対象路線の全区間および全期間について定量的な路面状態を推定し、路面状態の出現頻度を計算することで、路面状態の出現

表-1 路面温度の推定誤差

検証対象 路線	日時	路面状態 (目視判別)	推定誤 差(°C)
福井県道 182 号, 253 号お よび市町 村道	2014/2/8 10:50	シャーベット ～圧雪	0.2
	2014/2/8 14:10	湿潤～圧雪	0.6
	2014/2/8 17:10	湿潤～シャー ベット	1.0
	2014/2/9 8:10	湿潤	1.0
北近畿豊 岡自動車 道	2010/11/11 0:00	乾燥	1.3
	2010/11/11 6:00	乾燥	1.5
	2010/11/11 12:00	乾燥	2.7
	2010/11/11 18:00	乾燥	1.1
	2012/1/26 2:00	シャーベット	0.6
	2012/1/26 6:30	圧雪	2.2

表-2 積雪深の推定誤差

検証対象 路線	日時	路面状態 (目視判別)	推定誤 差(mm)
福井県道 182 号, 253 号お よび市町 村道	2014/2/8 10:50	シャーベット ～圧雪	6.2
	2014/2/8 14:10	湿潤～圧雪	6.2
	2014/2/8 17:10	湿潤～圧雪	0.1
	2014/2/9 8:10	湿潤～シャー ベット	0.0

表-3 雪氷層体積含水率の推定誤差

検証対 象路線	日時	路面状態 (目視判別)	推定誤 差(%)
福井県 道 182 号, 253 号およ び市町 村道	2014/2/8 10:50	シャーベット～圧 雪	18.0
	2014/2/8 14:10	湿潤～圧雪	1.3
	2014/2/8 17:10	湿潤～圧雪	6.3

表-4 HFN の推定誤差

検証対 象路線	日時	路面状態 (目視判別)	推定 誤差 (HFN)
福井県 道 182 号, 253 号およ び市町 村道	2014/2/8 10:50	シャーベット～圧雪	4.9
	2014/2/8 14:10	湿潤～圧雪	12.1
	2014/2/8 17:10	湿潤～シャーベット	4.5
	2014/2/9 8:10	湿潤	4.3
一般国 道 230 号線 札幌市 街区間 (1～ 15kp)	2014/1/7 8:00	湿潤～凍結	14.8
	2014/1/7 10:00	湿潤	13.6
	2014/1/8 8:00	湿潤～シャーベット	18.2
	2014/1/8 10:00	湿潤	12.7
	2014/1/9 8:00	湿潤～凍結	15.5
	2014/1/9 10:00	乾燥～凍結	11.3
	2014/1/10 8:00	湿潤～凍結	15.4
	2014/1/10 10:00	乾燥～凍結	14.4
	2014/1/14 8:00	圧雪～凍結	10.4
	2014/1/14 10:00	湿潤～シャーベット	12.4
	2014/1/15 8:00	シャーベット～凍結	7.4
	2014/1/15 10:00	湿潤～シャーベット	15.3

距離あたり交通事故件数を求める。なお、本研究では路面温度やHFNなど路面状態を表す指標について一定値毎に階級分けを行い、各階級について路面状態出現距離あたり交通事故件数を求めた。

本研究では、定量的な路面状態の推定に用いる気象データとして札幌気象台における測定データを、道路周辺の地形データとして国土地理院基盤地図情報のデジタル標高データ（空間解像度10m）を、道路周辺の建築物形状データとして株式会社ゼンリンが発行するデジタル住宅地図データを、交通量データとして2010年道路交通センサスデータをそれぞれ用いた。また、 $R$ の計算に用いる交通事故データとしては人身事故と比較して冬期の発生件数が多い物損事故データ（ $n=1673$ ）を用いた。



図-4 路面状態と交通事故発生状況の関係の検証対象区間

#### 4. 検証結果および考察

図-5は検証対象区間および期間における路面温度毎の出現距離あたり交通事故件数 $R_t$ を示す。なお、図中では路面温度が $5^{\circ}\text{C}$ 以上の条件下における $R_t$ を1として正規化を行った。 $R_t$ は路面温度が $0^{\circ}\text{C}$ 前後となる条件下で最も大きくなり、路面温度が $-6^{\circ}\text{C}$ 以下および $1^{\circ}\text{C}$ 以上となる場合の $R_t$ は路面温度が $0^{\circ}\text{C}$ 前後となる場合と比較して小さくなった。降雪時などのように路面に水分が存在する条件下では、路面は種々の要因により湿潤から凍結まで様々な状態を取り得る。路面温度が $0^{\circ}\text{C}$ 前後となる条件下で $R_t$ が最も大きくなる理由としては、このような路面状態の急変が影響していると考えられる。

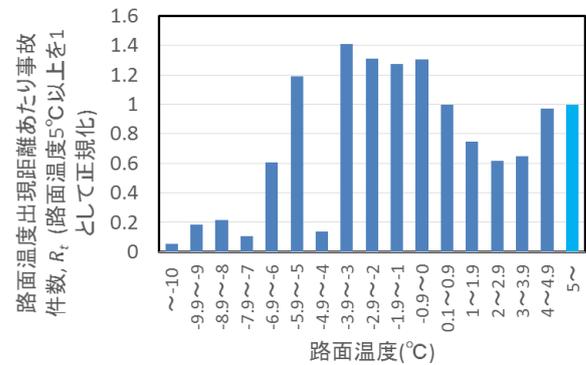


図-5 路面温度毎の出現距離あたり交通事故件数

図-6は検証対象区間および期間における車両走行部の積雪深毎の出現距離あたり事故件数 $R_d$ を示す。図中では積雪が存在しない条件下における $R_d$ を1として正規化を行った。 $R_d$ は積雪深の増加に伴い大きくなり、積雪深が15mm以上20mm未満となる場合の $R_d$ は積雪がない場合と比較して2.7倍となった。また、積雪深が更に増加すると $R_d$ は減少に転じるものの、積雪深が20mm以上の場合における $R_d$ はいずれも1より大きく積雪がない場合と比較して事故が発生しやすい傾向にあった。これは積雪深が大きい条件下では路面状態の悪化を認識した運転者が通常より慎重な運転を行うことや、自動車による不要不急の外出を控えることによる交通量の減少などの影響により交通事故の発生が抑制されるためと推察される。

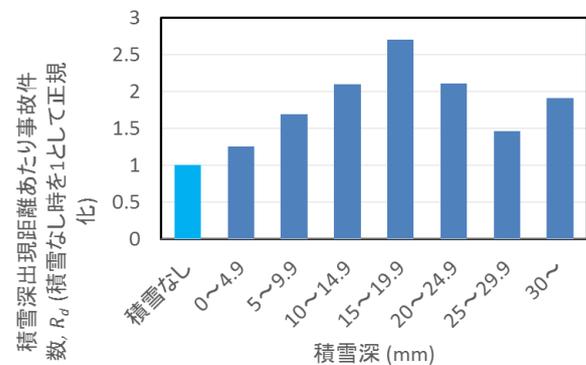


図-6 路面温度毎の出現距離あたり交通事故件数

図-7は検証対象区間および期間における車両走行部の雪氷層体積含水率毎の出現距離あたり事故件数 $R_i$ を示す。図中では積雪が存在しない条件下の $R_i$ を1として正規化を行った。また、交通事故件数が非常に少ない（5件未満）階級における $R_i$ は白抜きグラフで示した。 $R_i$ は体積含水率が60%から90%となる条件下で高くなる傾向にあり、体積含水率が80%以上90%未満となる場合における $R_i$ は1.95となった。他方、体積含水率が90%以上となる

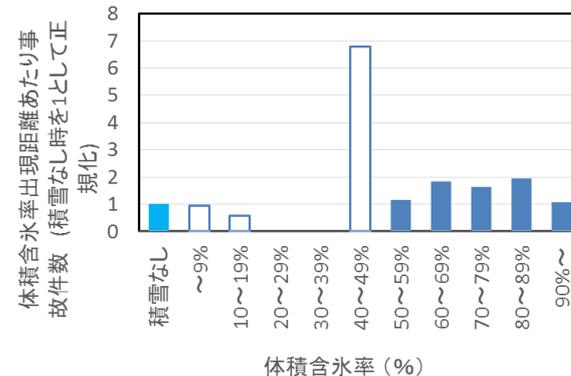


図-7 雪氷層体積含水率毎の出現距離あたり交通事故件数

場合の $R_i$ は1.08であり、積雪が存在しない条件下と比較して出現距離あたり交通事故件数はわずかに高い程度に留まった。体積含水率が70%以上となる条件下では路面雪氷層は強く踏み固められた圧雪となるため、雪氷層が踏み固められていない場合と比較して走行しやすく走行速度も大きくなる可能性があり、このことが $R_i$ の増大に影響していると考えられる。一方、体積含水率90%以上では路面雪氷層は氷膜および氷板（いわゆる「つるつる路面」）となり、目視で危険を認識しやすくなるため出現距離あたり事故件数が小さくなったと推察される。

図-8は検証対象区間および期間における車両走行部のHFN毎の出現距離あたり事故件数 $R_{HFN}$ を示す。図中では積雪が存在しない条件下（HFN70以上）の $R_{HFN}$ を1として正規化を行った。 $R_{HFN}$ はHFNが60以上70未満となる条件下では1.11であり積雪が存在しない場合と比較して事故の発生しやすさに大きな差は見られないが、HFNが60未満になると $R_{HFN}$ は大きく増加し、HFNが30以上40未満となる条件下では $R_{HFN}$ は1.97に達した。また、HFN30未満では $R_{HFN}$ は減少に転じ、HFNが20未満である場合の $R_{HFN}$ は1.32となりHFNが50以上60未満の場合における $R_{HFN}$ より小さくなった。HFNが30以上40未満となる条件下では路面状態は圧雪である場合が多く、路面に厚い新雪やシャーベット状の雪氷がある場合と比較して走行速度が高くなりやすいと考えられる。これはHFNが30以上40未満の場合に最も $R_{HFN}$ が大きくなることに関係している可能性がある。また、HFNが20未満と凍結路面のすべり易さに相当する条件下で $R_{HFN}$ が小さくなるのは積雪深が非常に大きい条件下で $R_i$ が小さくなることと同様の理由によるものと考えられる。

以上の結果より、冬期の交通事故は総じて路面状態がやや厳しい程度のとときに最も発生しやすく、路面状態が非常に厳しく運転者が危険を認識しやすい条件下では上記の場合よりも発生しにくくなることが明らかとなった。このことから、冬期の交通事故防止を進める際には運転者が危険を認識しにくい場合（積雪深が極端に大きくない場合、凍結路面と比較してやや滑りにくい場合など）に除雪や凍結防止剤散布などを重点的に行う、これらの条件下で交通事故が発生しやすいことを運転者に周知するなどの対策が有効となると思われる。

## 5. 結論

本研究では、冬期の路面状態を推定する手法を用いて交通事故発生時等の路面温度や路面すべり易さなどを推定し、これらの指標と冬期交通事故発生状況の関係について定量的に評価を行った。以下に得られた結果を列挙する。

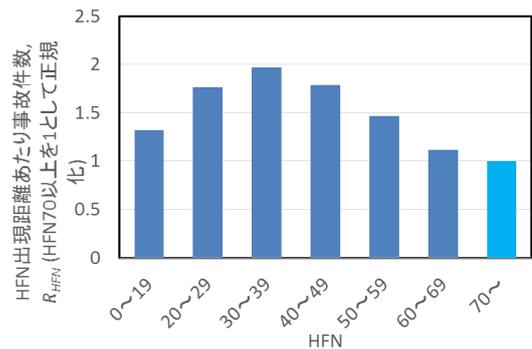


図-8 HFN毎の出現距離あたり交通事故件数

- 路面温度が0℃前後となる条件下では雪氷層の融解・再凍結に伴うすべり易い路面の発生が原因と考えられる交通事故が発生しやすくなる一方で、路面温度が-6℃以下と非常に低い場合には路面温度出現距離あたりの交通事故発生件数は小さくなる
- 車両走行部（わだち部）の積雪深が15mmから20mm程度となる条件下の積雪深出現距離あたり交通事故件数は積雪が存在しない場合と比較して2.7倍まで増加するが、積雪深が更に増加すると積雪深出現距離あたり交通事故件数は減少に転じる
- HFN出現距離あたり交通事故件数はHFNが60未満とわずかに低下した場合でも大きくなり、車両走行部のHFNが30以上40未満となる場合に最大となる

## 参考文献

- 1) 平澤匡介, 浅野基樹: 平成元年以降の北海道における交通事故の傾向について, 北海道開発土木研究所月報, Vol. 576, pp.13-21, 2001.
- 2) 堀井雅史, 村井貞規: 東北地方における冬期交通事故に関する調査研究, 日本雪工学会誌, Vol. 6, No.3, pp. 18-27, 1990.
- 3) Jonas Norrman, Marie Eriksson, Sven Lindqvist : Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity, Climate Research, Vol.15, No.3, pp.185-193, 2000.
- 4) 徳永ロベルト, 舟橋誠, 高橋尚人, 浅野基樹, 中野雅充: 連続路面すべり抵抗値による冬期路面管理の高度化に関する研究, 寒地土木研究所月報, No.661, pp.11-18, 2008.
- 5) 高橋尚人, 徳永ロベルト, 浅野基樹, 石川信敬: 冬期路面管理支援システムの構築と運用, 寒地土木研究所月報, No.652, pp.8-17, 2007.
- 6) 藤本明宏, 渡邊洋, 齊田光, 福原輝幸: シャーベット路面のすべり摩擦特性, 日本雪工学会誌, Vol.28, No.2, pp.

- 99-106, 2012.
- 7) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸: 輻射-透過を伴う路面薄雪氷層の融解解析, 土木学会論文集E, Vol.63, No.2, pp. 202-213, 2007.
- 8) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸: 多層路面雪氷状態モデル, 日本雪工学会誌, Vol.24, No.1, pp.3-11, 2008.
- 9) 齊田光, 田中雅人, 藤本明宏, 寺崎寛章, 福原輝幸: 広域路面滑り-雪氷状態予測モデル, 日本雪工学会誌, Vol.32, No.1, pp.1-16, 2016.
- 10) 齊田光, 藤本明宏, 福原輝幸: 熱収支法による広域路面温度予測モデル-乾燥路面の路線温度分布予測-, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.69, No.1, pp.1-11, 2013.
- 11) 齊田光, 藤本明宏, 徳永ロベルト, 平澤匡介, 高橋尚人, 石田樹, 福原輝幸: 広域路面雪氷状態予測モデルを用いた北海道におけるHFNの計算精度検証, 雪氷研究大会講演要旨集, p.4, 2016.
- 12) 藤本明宏, 齊田光, 福原輝幸: 連続路面すべり抵抗者の暖地積雪路面への適用と一考察, 寒地技術論文・報告集, Vol.25, pp.299-303, 2009.

(2017.4.28 受付)

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN NUMBER OF TRAFFIC ACCIDENTS AND ROAD CONDITION ESTIMATED BY ROAD SNOW/ICE CONDITION FORECASTING MODEL

Akira SAIDA, Masayuki HIRASAWA, Naoto TAKAHASHI and Tateki ISHIDA