

路面雪氷状態予測結果を用いた冬期交通事故分析手法の基礎的検討

齊田光 *1, 平澤匡介 *1, 高橋尚人 *1, 石田樹 *1

1. 研究の背景および目的

積雪寒冷地域における冬期の交通事故発生リスクは、路面雪氷状態に大きく影響されていると考えられており、冬期における交通事故防止を進める上で両者の関係を明らかにすることは重要である。本研究では、路面雪氷状態と交通事故の関係について、路面雪氷状態予測手法を用いた分析手法に関する基礎的な検討を行ったので結果を報告する。

2. 交通事故発生地点における路面雪氷状態の推定方法

事故発生時における路面雪氷状態は冬期に発生した交通事故の要因分析等を行う上で重要な情報となる。しかしながら、警察が作成する事故原票には路面すべり摩擦係数などのような詳細な路面状態は記録されていない。このため、事故発生時の詳細な路面雪氷状態が明らかとなっているケースは事故発生の直前または直後に計測車両による路面雪氷状態計測が行われていた場合などに限られ、その件数は極めて限られている。このため、路面雪氷状態と交通事故の関係について分析を行うためにはより多くの事故について事故発生時の詳細な路面雪氷状態を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、気象要因、地形要因や人為的要因などを考慮し路面雪氷状態を広域に推定する手法（広域路面雪氷状態予測モデル）を用いて、検証対象路線の各地点・日時における路面雪氷状態を求めることで路面雪氷状態推定値と事故率の関係を求めることを試みた。

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（路面すべり抵抗値、通常0から100の間の値をとり数値が小さいほど路面が滑りやすいことを示す）の計算から成る。

道路気象計算では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等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（図1参照）。

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_s 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。

$$(\rho c)_s \frac{\partial(T_s h_s)}{\partial t} = q_{sds} + q_{lds} - q_{lus} + q_{as} + q_{sf} - q_{le} - q_{sa} + q_{lm} - q_{if} - q_{dr} + q_{sp} - q_{st} \quad (1)$$

ここに、

$(\rho c)_s$: 雪氷層の体積熱容量(J/m³K)

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・日陰を考慮した日射熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{lds} : 雪氷層に入射する長波放射フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{lus} : 雪氷層からの長波放射フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{as} : 車両風・自然風による顕熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{sf} : 降雨/降雪顕熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{le} : 蒸発・昇華潜熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{sa} : 飛散による顕熱フラックス (W/m²)

q_{lm} : 融解・凝固潜熱フラックス (W/m²)

q_{if} : 融雪水の下方浸透による顕熱フラックス (W/m²) (最下層以外)

q_{dr} : 排水による顕熱フラックス (W/m²) (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/m²) (最下層のみ)

q_{st} : 日射の透過熱フラックス (W/m²)

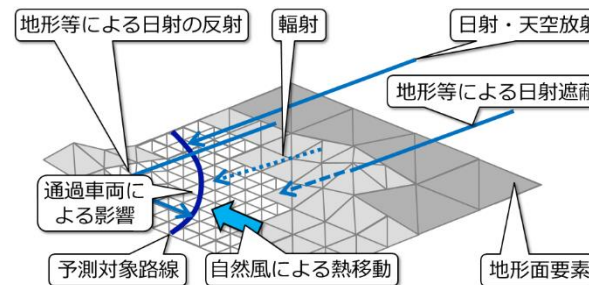


図1 デジタル地形データ等を用いた道路気象計算の概要

なお、各項の詳細な計算方法は参考文献2), 3)および4)を参照されたい。

路面雪氷層の質量・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、各成分について質量および体積収支を求める。雪氷層中の水、氷および空気の質量および体積収支はそれぞれ以下の式で求められる。

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

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

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

ここに、

M_{fw} : 降雨フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{lw} : 蒸発・凝結フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{iw} : 融解・凝固フラックス(kg/m²/s)

M_{sw} : 融雪水の下方向浸透フラックス (kg/m²/s)
(最下層以外)

M_{saw} : 飛散により失われる雪氷層中の水分
フラックス(kg/m²/s)

M_{fi} : 降雪フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{li} : 昇華フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{iw} : 融解・凝固フラックス(kg/m²/s)
(>0: 融解, <0: 凝固)

M_{sai} : 飛散氷成分フラックス(kg/m²/s)

V_{fa} : 降雪空気フラックス(m³/m²/s)

V_{exa} : 置換空気フラックス(m³/m²/s)

V_{oa} : 開放空気フラックス(m³/m²/s)

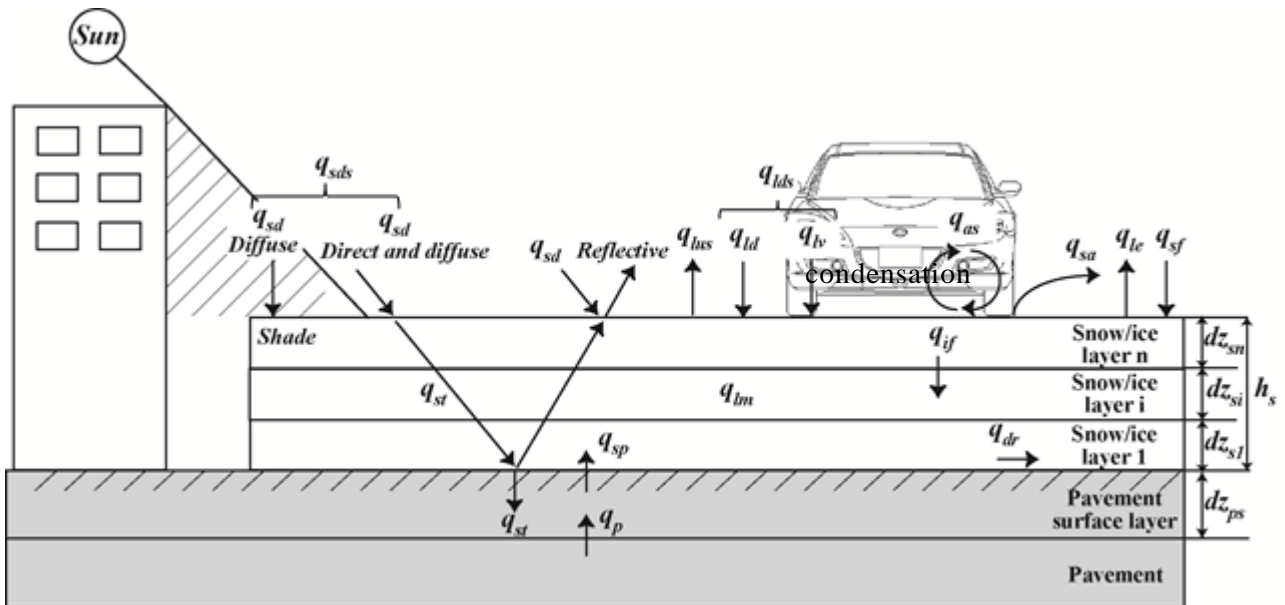


図2 舗装および路面雪氷層における熱収支計算の概念図

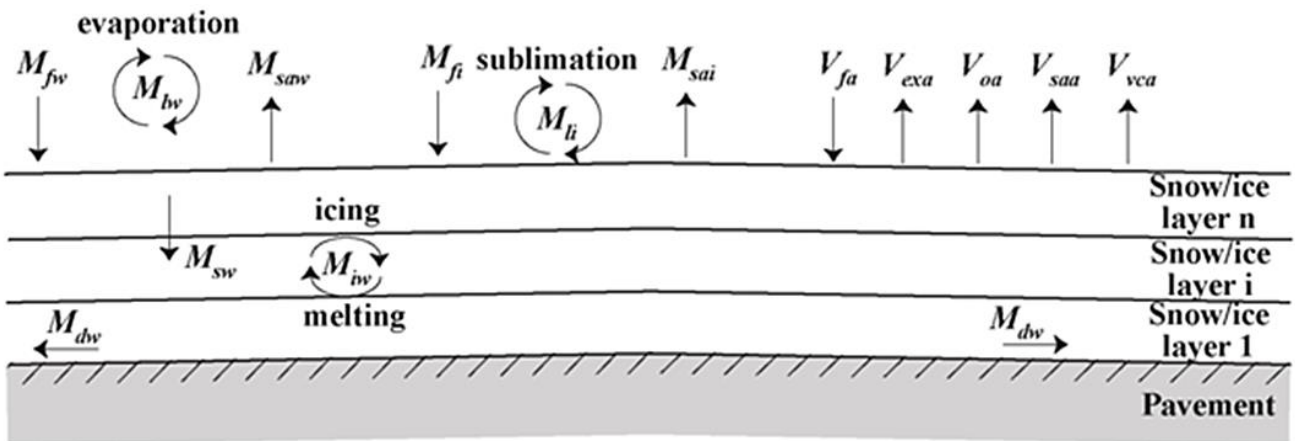


図3 路面雪氷層における体積収支計算の概念図

V_{sca} : 雪氷層中の飛散空気成分フラックス
($m^3/m^2/s$)

V_{ext} : 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 ($m^3/m^2/s$)

である。各項の詳細については参考文献3), 4)および5)を参照されたい。

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。

$$HFN = 49.303(\theta, h_s)^{0.076} \quad (5)$$

ここに、

θ : 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)や路面すべり抵抗値の空間・時間分布が出力される。

3. 路面雪氷状態推定精度の検証

3.1 検証方法

広域路面雪氷状態予測モデルを用いると事故発生時の路面雪氷状態推定値を用いた詳細な交通事故分析が出来るが、両者の関係を正確に分析するためには路面雪氷状態を良好に推定する必要がある。そこで本研究では一般国道 230 号線のうち北海道札幌市の市街地を通過する区間(1kp~15kp)を対象として広域路面雪氷状態予測モデルの計算精度検証を行った。検証では、HFNの分布を2014/1/10:00から1/16:00にわたり計算した。次に、同路線で平日の午前 8:00 および 10:00 に計測された HFN 分布実測値と HFN 計算値を比較し、HFN 計算値の絶対誤差や誤差の傾向などについて考察を行った。なお、計算では沿道地物形状データとして国土地理院 基盤地図情報数値標高モデルを基に作成した空間解像度 50m のデジタル地形データおよび株式会社ゼンリンが発行するデジタル

表 1 一般国道 230 号線 1~15kp における HFN 計算誤差および的中率

日時	MAE	MBE	的中率(%)
1/7 8:00	16	9	48
10:00	12	-1	74
1/8 8:00	17	-15	48
10:00	9	-6	87
1/9 8:00	15	-15	47
10:00	8	-6	93
1/10 8:00	11	-11	78
10:00	11	-6	77
1/14 8:00	10	-3	74
10:00	11	-1	70
1/15 8:00	9	6	81
10:00	11	-10	73
全日時平均	12	-5	71

住宅地図データに含まれる建築物形状データを用いた。

3.2 検証結果

表 1 は検証対象区間における HFN 計算誤差 (Mean Absolute Error, MAE および Mean Bias Error, MBE) と計算的中率 (全区間長に対する MAE<15 となった区間長の比率) の時間分布を示す。MAE は日時によって変化し、1/7 8:00 および 1/8 8:00 では特に大きくなった。この理由としては、両日時の前には 0.5mm/h 未満のごく弱い降水があり、これにより生じる薄い雪氷層の性状を正確に再現できなかったためと考えられる。一方で、それ以外の晴天・曇天時や降雪時では精度よく HFN を再現できており、全期間にわたる MAE は 12、的中率は 71% であった。また、MBE の全期間平均値は -5 であり、本手法は実際よりも HFN をわずかに低く見積もる傾向にあった。これらの結果より、本研究に用いる広域路面雪氷状態予測モデルは実際の路面雪氷状態を良好に再現可能であることが確認された。

4. 路面雪氷状態推定値-事故率の関係検証

4.1 検証方法

本研究では、一般国道 230 号線の札幌市内区間を対象として路面雪氷状態と事故率の関係について検証した。検証では、2008 年から 2012 年の冬期における月毎の路面雪氷状態平均値を 2. で述べた方法により概ね 500m 区間毎に推定した。また、人身事故データおよび交通センサスを用いて上述の期間および区間毎の事故率を求め、両者の関係について考察を行った。

4.2 検証結果

図 4 に 2008 年から 2012 年の一般国道 230 号線 札幌市内区間における各期間・区間の HFN 推定値の平均と事故率の関係を示す。本結果より、事故率は平均 HFN が 65 程度となる区間・期間で最も大きくなった。一方で、平均 HFN がより小さく滑り易い区間・期間における事故率は低くなり、

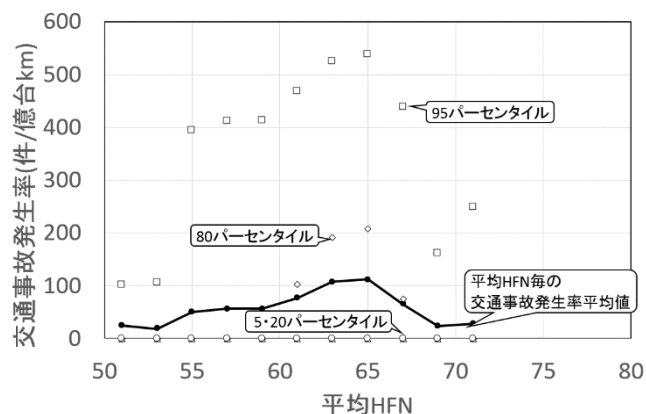


図 4 一般国道 230 号線 札幌市内区間の各期間・区間における HFN 平均値と事故率の関係

全体として図5に示した一般国道230号線札幌市内区間における事故発生時のHFN実測値と事故件数の関係と同様の傾向が見られた。この理由としては、平均HFNが小さい区間・期間では走行速度が低下し人身事故の発生率が低下するとともに、人身事故には至らない軽微な事故が発生しやすくなるためと推察される。

以上のように、本研究で対象とした一般国道230号線札幌市内区間では路面のすべり易さがやや低下した条件下において人身事故件数および事故率が増加し、さらに路面が滑り易くなると人身事故件数および事故率は少なくなる傾向が見られた。しかしながら、本研究では限られた区間および期間で発生した人身事故のみを対象としており、この傾向が他の区間や期間においても同様であるかについては今後検証すべき課題である。

5. 結論

本研究で示す手法により、路面すべり抵抗値などの路面雪氷状態推定値と事故率の関係を調査可能であることが示唆された。今後は路面雪氷状態が交通事故に与える影響をより広域にわたり詳細に検証する。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.

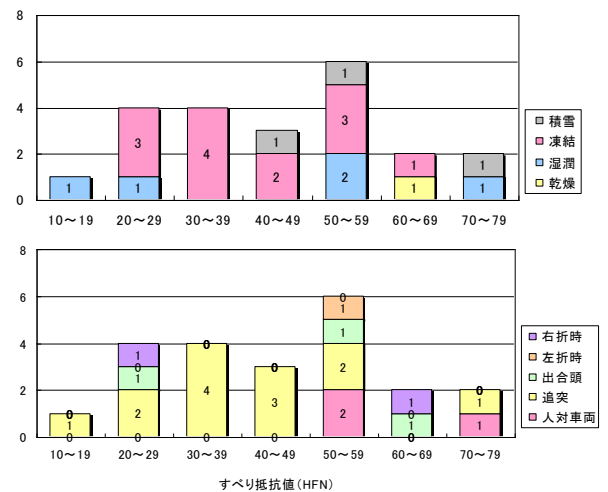


図5 平成26年1~2月の一般国道230号札幌市内区間における事故発生時のHFNと事故件数の関係