

実測交通データを用いた冬期路面状態推定に関する研究

A Study on the Estimation of Winter Road Surface Conditions Using Measured Traffic Data

高崎 仁義¹, 伊藤 潤², 佐野 可寸志³, 鳩山 紀一郎⁴
Yoshiaki TAKASAKI¹, Jun ITO², Kazushi SANO³ and Kiichiro HATOUYAMA⁴

本研究は、冬期交通の円滑化や除雪等の道路管理の効率化を図るための施策を検討する基礎資料を得ることを目的とする。なかでも冬期旅行速度低下に大きく影響を及ぼすと考えられる路面積雪状態の推定に着眼し、降雪と交通の関係性を明らかにする。そのため、冬期間の様々な路面条件下で、気象条件と交通量を観測し、気象状況と交通量が路面状態に与える影響を分析し、路面状態推定モデルを構築した。

分析の結果、気象条件と交通状況は路面状態と相関関係があることを確認できた。また、乾燥・湿潤とシャーベット、圧雪の3分類の路面状態を推定するモデルを、的中率88.9%の高い精度で構築できた。これより、得られた判別式を用いて路面状態を推定できる可能性が示唆された。

Keywords: 冬期交通, 路面積雪量, 旅行速度予測

1. はじめに

近年、集中豪雪等の気象変化や高齢化による除雪機械オペレーター不足等が問題になっている。我が国においては、冬期交通の確保・道路管理の効率化が重要な課題であり、それらの課題に対して施策を検討する上で冬期交通の実態を把握する必要がある。

本研究は、冬期交通の円滑化や除雪等の道路管理の効率化を図るための施策を検討する基礎資料を得ることを目的とする。なかでも冬期旅行速度低下に大きく影響を及ぼすと考えられる路面積雪状態の推定に着眼し、降雪と交通の関係性を調査・分析した。

1.1 冬期の路面状態に関する既往研究

一般に冬期道路では、降雪および温度変化によって路面積雪、路面の凹凸の増大、吹雪時の視程障害等が発生する。こうした冬期走行環境の悪化は走行性の低下¹⁾や交通容量の低下²⁾につながる。路面平坦性の悪化が走行速度低下に及ぼす影響が大きいことも明らかにされており³⁾、路面状態の変化が冬期交通に及ぼす影響が大きいことから、路面状態を把握することが冬期交通の実態を分析するうえで重要である。

路面状態の推定に関する過去の研究報告等では、気象状況が路面積雪状態に及ぼす影響について報告されている^{4)~5)}。高橋ら⁴⁾は、北海道で気象状況と路面状態の観測を行い、気象状況(気温、相対湿度、時間降雪量、降雪強度、風速)もとに路面状態の予測を行った結果、的中率

68.1%の路面状態推定モデルを構築している。藤井ら⁵⁾は、路面状態別、気象条件別に気温と路面表面温度の関係について明らかにしており、いずれの路面状態においても夜間は気温と表面温度の相関が高くなった。特に風速2m/sの場合に両者の相関は高く(0.81以上)と路面状態と気温の関係性は強いと言及している。しかし、日中においては気温と表面温度の相関は高くない結果となり、日射量や交通状況を考慮した解析が必要と提言している。これらの分析は、路面状況と気象条件のデータを用いていることから、交通条件による影響は考慮されておらず、気象条件と積雪路面の変化に関する研究であるといえるだろう。一方、交通条件が路面積雪状態に及ぼす影響についても報告されている⁶⁾。田中ら⁶⁾は、交通量が路面温度、積雪深および路面の滑り摩擦係数に与える影響を分析した結果から、シャーベット路面では飛散のために交通量に比例して積雪深は減少し、路面の滑り摩擦係数は上昇しやすくなるとしている。このことから、路面の状態は交通量の影響を受けると考察している。しかし、交通量は実測値ではなく、道路交通センサスを用いている。

以上のように、冬期の路面状態に関しては、気象状況が路面状態に影響を与えること、交通状況が路面状態に影響を与えることが、それぞれ明らかになってきている。しかしながら、実際の交通状況と路面状態の関係について評価した研究は行われていないのが現状である。冬期交通の確保及び効率化を検討する上で、路面状態もしくは路面積雪量という指標が必要だろう。

1 学生会員, 学士(工学), 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻

2 正会員, 学士(工学), 技術士(建設部門), 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 e-mail: j_ito@vos.nagaokaut.ac.jp Phone: 0258-47-9677

3 正会員, 博士(工学), 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻

4 正会員, 博士(工学), 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻

1.2 本研究の目的

本研究では、気象条件と交通状況を加味した上で路面状態を推定することを目的とする。気象条件の他に、通過交通による雪氷飛散の影響で路面状態が変化することは自明なことであることから、冬期間の様々な路面条件下で気象条件(気温、降雪量)と交通量を観測し、気象状況と交通量が路面状態に与える影響を分析し、路面状態推定モデルを構築した。

2. 研究概要

本研究では、気象条件や交通状況が冬期路面状態に及ぼす影響を実験的に解明する。路面状態別の気温や降雪量、交通量を観測するために、新潟県長岡市の新榎トンネル前(図1)を調査対象地点とした。観測期間は、上記地点を対象に降雪の多く確認できた令和2年2月4日～6日の3日間にわたり実施した。図2に気象条件、図3に観測が確認された交通量、通過速度の経時変化を示す。本観測では、図4に示す気象観測装置と交通量・速度観測装置で、時間降雪量と時間交通量を観測した。なお、集計単位は10分間単位である。気温は、新潟県道路情報システムが観測しているデータを用いた。路面状態は、ビデオ観測映像より判断した。なお、除雪車通過後は路面の形成過程が異なるので、除雪車通過後から湿潤に戻るまでの期間のデータは対象外とした。

路面状態は、乾燥・湿潤、シャーベット、圧雪の3分類とし、これに応じてビデオ観測映像より判断した。各路面状態別のサンプル数は、表1の通りである。乾燥と湿潤を合わせた理由としては、観測した速度の変化が見られず、乾燥と湿潤の違いによる冬期交通への影響は小さいと判断されたからである。



図1 調査対象位置(新潟県長岡市)

表1 路面状態別のサンプル数

| 路面状態 | サンプル数 |
|--------|-------|
| 乾燥・湿潤 | 204 |
| シャーベット | 180 |
| 圧雪 | 48 |

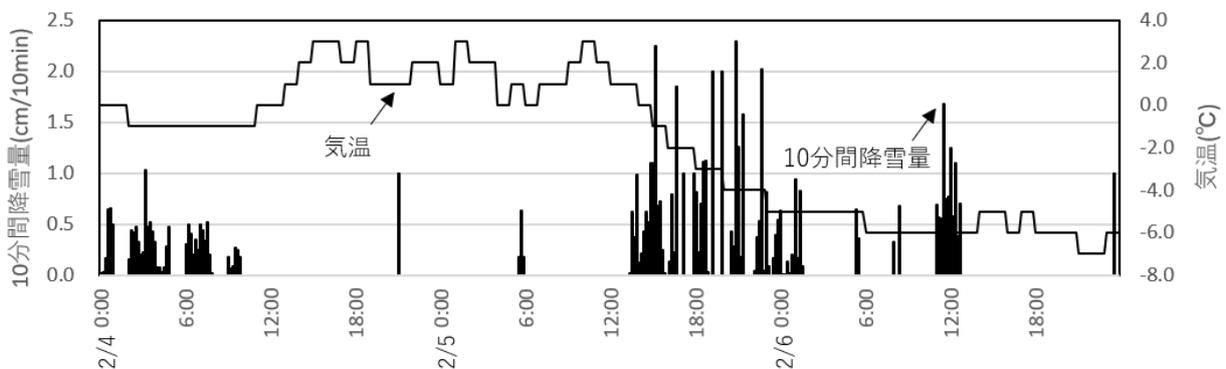


図2 気温、時間降雪量の経時変化

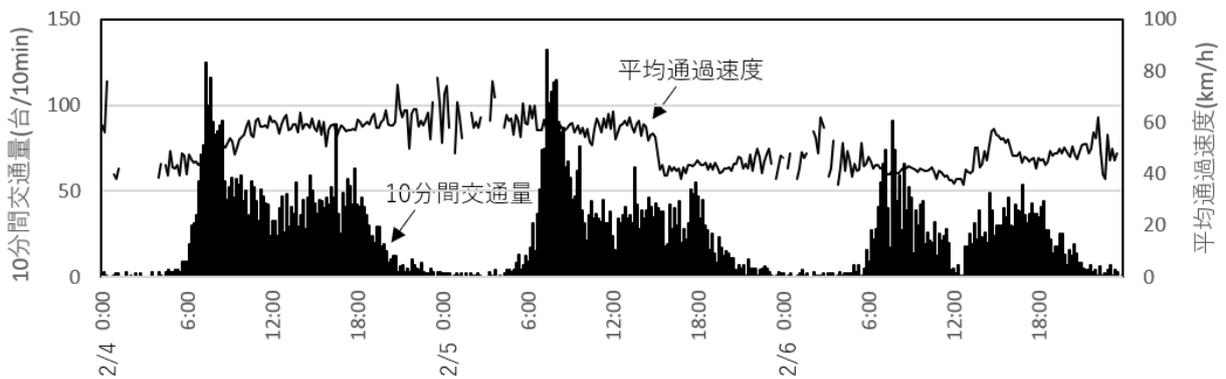


図3 時間交通量と平均通過速度、路面状態の経時変化

| | |
|---|--------|
| — | 乾燥・湿潤 |
| — | シャーベット |
| — | 圧雪 |



図4 観測装置

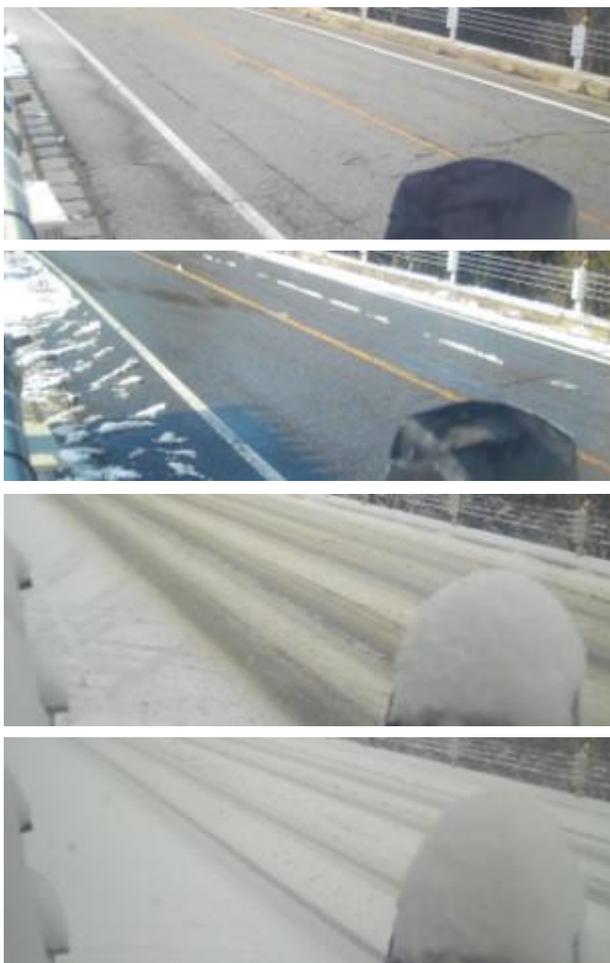


図5 観測時の主な路面状態

(順：乾燥，湿潤，シャーベット，圧雪)

3. 路面状態と気象条件・交通状況の関係分析

3.1 路面状態と速度の関係

図6に路面状態と速度の関係を示す。なお、図中の箱ひげは各気象条件の最大値，第3四分位数，中央値，平均値，第一四分位数および最小値をそれぞれ示す。図中の「×」は，平均値を表している。湿潤とシャーベットの間に大きく速度低下している。乾燥と湿潤では大きな

変化がないことから，以降は乾燥と湿潤を同じ群として扱う。また，シャーベットと圧雪の速度差がみられなかったが，図3のとおり，圧雪が観測された時間帯が深夜のみであったことも影響していると考えられる。

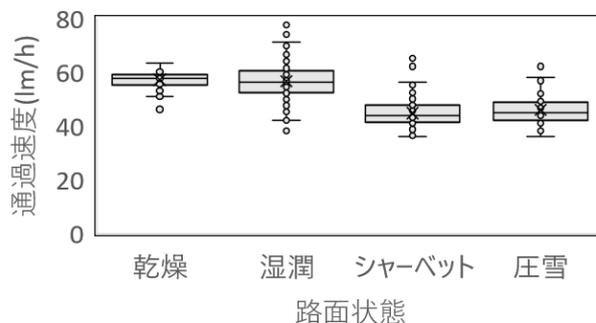


図6 路面状態と速度の関係

3.2 路面状態と気象条件の関係

図7から図9は，観測地点における路面状態と気象条件の関係を示したものである。なお，図中の箱ひげは，前述のものと同様である。

(1) 路面状態と気温

図7に路面状態と気温の関係を示す。路面の悪化に伴い，気温は低下する傾向にあった。乾燥・湿潤は平均値が約0℃となっているが，シャーベットや圧雪になるに連れて-4℃まで低下していることがわかる。シャーベットと圧雪の間は平均値の変化は小さいが，圧雪で上限値が大きく低下した。また，図3より圧雪は夜間に発生しやすいことから，気温の低い夜間は圧雪となりやすいと見られる。

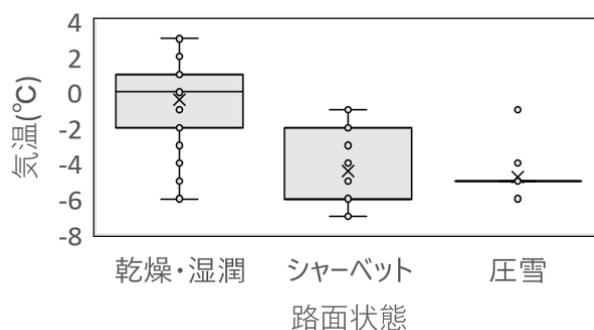


図7 路面状態と気温の関係

(2) 路面状態と10分間降雪量

図8に路面状態と10分間降雪量の関係を示す。乾燥・湿潤で平均降雪量は0cmに近いが，シャーベットと圧雪では降雪が確認できる。本観測期間中では，シャーベットと圧雪に明確な違いは見られなかった。

(3) 路面状態と累積降雪量の相関比

上記(2)で示したとおり，路面状態とその瞬間の降雪量には明確な関連は確認されなかった。積雪路面の形成は，一般的に数時間前からの降雪状況による影響が大きいと考えられることから，路面状態と累積降雪量の相関比を

分析した。表2に路面状態と各時間前の累積降雪量の相関比を示す。相関比の減少の傾向が見られた18時間累積までを対象とする。最も相関比が高いのは、15時間前降雪量であった。15時間累積までは累積時間の増加に伴い、相関比も上昇した。

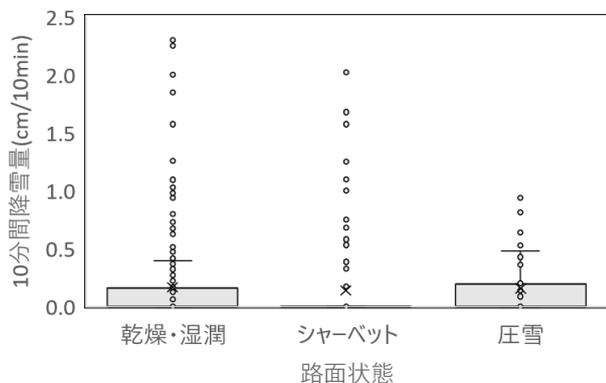


図8 路面状態と10分間降雪量の関係

表2 路面状態と累積降雪量の相関比

| 時間降雪量 | 相関比 |
|-----------|--------------|
| 30分累積降雪量 | 0.141 |
| 1時間累積降雪量 | 0.202 |
| 2時間累積降雪量 | 0.278 |
| 3時間累積降雪量 | 0.289 |
| 4時間累積降雪量 | 0.296 |
| 5時間累積降雪量 | 0.336 |
| 6時間累積降雪量 | 0.383 |
| 7時間累積降雪量 | 0.422 |
| 8時間累積降雪量 | 0.463 |
| 9時間累積降雪量 | 0.520 |
| 10時間累積降雪量 | 0.573 |
| 11時間累積降雪量 | 0.619 |
| 12時間累積降雪量 | 0.654 |
| 13時間累積降雪量 | 0.674 |
| 14時間累積降雪量 | 0.684 |
| 15時間累積降雪量 | 0.685 |
| 16時間累積降雪量 | 0.666 |
| 17時間累積降雪量 | 0.631 |
| 18時間累積降雪量 | 0.592 |

(4)路面状態と15時間累積降雪量

図9に路面状態と累積降雪量の関係を示す。ここでは、路面状態と最も相関比が高かった15時間の累積降雪量を示す。累積降雪量は路面の悪化に伴い、上昇する傾向があった。平均累積降雪量は乾燥・湿潤が5cmに対して、シャーベットでは15cm、圧雪では35cmと大きな差が見られた。

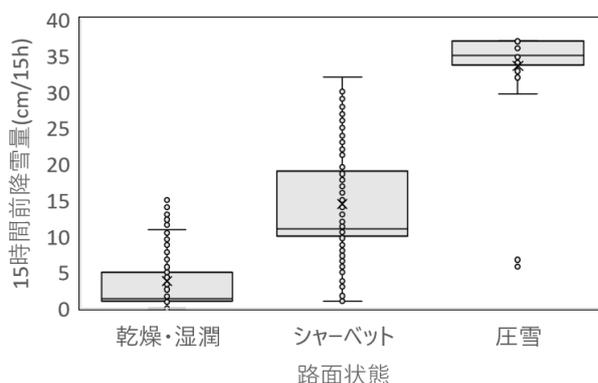


図9 路面状態と15時間累積降雪量の関係

3.3 路面状態と交通状況の関係

図10から図11は、観測地点における路面状態と交通量の関係を示したものである。なお、図中の箱ひげは、前述のものと同様である。

(1)路面状態と10分間交通量

図10に路面状態と10分間交通量の関係を示す。路面の悪化に伴い、交通量は減少する傾向にあった。乾燥・湿潤、シャーベットは交通量が比較的多い。対して、圧雪は、通過交通が少ない状況で発生しやすい傾向があった。また、図3より、通過交通量の少ない夜間のほうが圧雪になりやすい。

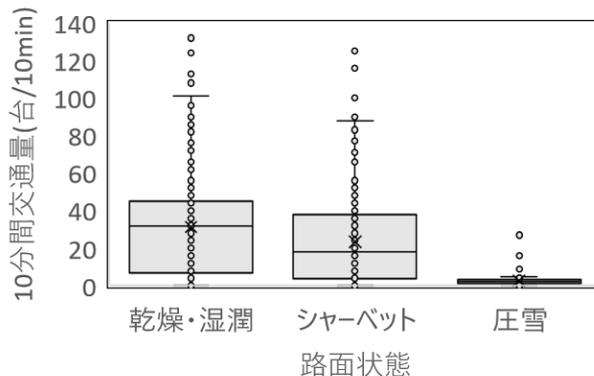


図10 路面状態と交通量の関係

(2)路面状態と累積交通量の相関比

積雪路面の形成は、一般的に数時間前からの交通状況による影響が大きいと考えられることから、路面状態と累積交通量の相関比を分析した。表3に路面状態と各時間前の累積交通量の相関比を示す。相関比の減少の傾向が見られた10時間累積までを対象とする。最も相関比が高いのは、7時間累積交通量であった。7時間前までは累積時間の増加に伴い、相関比も上昇している。

(3)路面状態と7時間累積降雪量

図11に路面状態と7時間累積交通量の関係を示す。ここでは、路面状態と最も相関比が高かった7時間の累積交通量を示す。路面の悪化に伴い、累積交通量は減少す

る傾向があった。

表3 路面状態と累積交通量の相関比

| 路面状態 | 相関比 |
|-----------|-------|
| 30分累積交通量 | 0.107 |
| 1時間累積交通量 | 0.115 |
| 2時間累積交通量 | 0.136 |
| 3時間累積交通量 | 0.159 |
| 4時間累積交通量 | 0.179 |
| 5時間累積交通量 | 0.196 |
| 6時間累積交通量 | 0.206 |
| 7時間累積交通量 | 0.208 |
| 8時間累積交通量 | 0.198 |
| 9時間累積交通量 | 0.177 |
| 10時間累積交通量 | 0.152 |

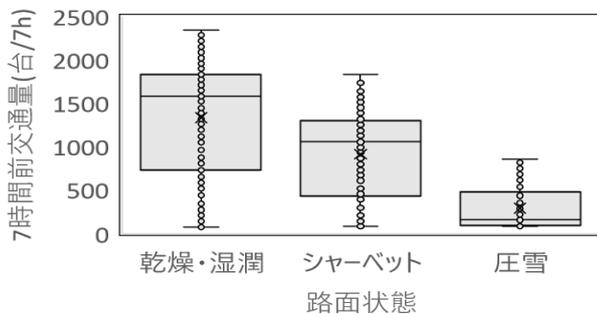


図11 路面状態と累積交通量の関係

4. 路面状態推定に関わるパラメータの算定

以上の分析から、路面状態には、気温と降雪量、当該区間を通過する交通量が関係することが明確となったため、説明変数に気温、時間降雪量、累積降雪量、時間交通量、累積交通量を用いて、気象状況と交通状況を加味した上で路面状態を推定する。モデルは、多変量解析の一手法である正準判別分析を用いて構築した。

4.1 判別分析の結果

本研究では、目的変数である路面状態の項目が3つで

あるため、2つの判別関数が算出された。

推測統計的立場から Λ に基づく χ^2 検定で、関数の有意性の検定を行うことができる。本研究の場合、正規性の仮定を満たすことから、推測統計的指標の有意性は高いと思われる。これらに関する指標を、表4に示す。

次に、判別空間における項目間の関係について考察する。判別分析平面での各サンプルの判別得点をプロットした群別散布図が図12である。群別散布図から、「乾燥・湿潤」と「圧雪」は大きく分離される一方、「シャーベット」の分離は明確でないことが見られる。

表5には、各項目の判別空間における重心を示した。関数1によって、「乾燥・湿潤」と「シャーベット」、「圧雪」が分離されていることがわかる。関数2では、「シャーベット」と「圧雪」が分離されていることが見られる。

次に、標準化判別係数を表6に示す。関数1では、15時間累積降雪量、7時間累積交通量が、関数2では、気温と15時間累積降雪量が、比較的大きな影響を及ぼしている。

また、重心の関数と各関数の標準化判別係数から、関数1では、降雪系の係数が負であるため、降雪量が多くなると「シャーベット」や「圧雪」になる。交通量系の変数が正であるため、交通量が多くなると「乾燥・湿潤」になる。関数2では、交通量系の変数は正であるため、交通量が多いほど「シャーベット」になる。しかし、気温と10分間降雪量に関しては、気温が高いほど、10分間降雪量が多いほど圧雪になり、一般的な考えとは異なることから、「シャーベット」と「圧雪」の判別における符号条件の妥当性は低いと見られる。15時間前の累積降雪量の符号条件は妥当であった。

次に、判別率の中率を表7に示す。判別率の中率が高いほど、説明変数が目的変数の判別に有意である。判別率は88.9%と高い値となり、気温、10分間降雪量、15時間累積降雪量、10分間交通量と7時間累積交通量から路面状態は十分判別可能であることがわかった。誤判別は、「乾燥・湿潤」と「シャーベット」、「シャーベット」と「圧雪」の間で起きている判別が原因である。

表4 判別関数の固有値等

| 判別関数 | 固有値 | 寄与率 | 累積寄与率 | 相関比 | Wilksのラムダ | カイ二乗値 | 自由度 | P値 |
|------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|-----|-------|
| 1 | 3.564 | 81.0% | 81.0% | 0.884 | 0.119 | 908.331 | 10 | 0.000 |
| 2 | 0.839 | 19.0% | 100.00% | 0.675 | 0.544 | 260.027 | 4 | 0.000 |

表7 判別率の中率

| 路面状態 | 判別分析に基づく予測値 | | | 判別率の中率 |
|--------|-------------|--------|----|--------|
| | 乾燥・湿潤 | シャーベット | 圧雪 | |
| 乾燥・湿潤 | 193 | 11 | 0 | 94.6% |
| シャーベット | 16 | 117 | 15 | 79.1% |
| 圧雪 | 3 | 0 | 45 | 93.8% |
| | 全体 | | | 88.8% |

表5 重心の関数

| 路面状態 | 関数1 | 関数2 |
|--------|---------|---------|
| 乾燥・湿潤 | 1.7455 | -0.4625 |
| シャーベット | -0.9205 | 0.9831 |
| 圧雪 | -3.9662 | -1.7207 |

表6 各関数の標準化判別係数

| 変数 | 関数1 | 関数2 |
|-----------|--------|--------|
| 気温 | 0.405 | -0.988 |
| 10分間降雪量 | -0.178 | 0.402 |
| 15時間累積降雪量 | -0.763 | -0.780 |
| 10分間交通量 | 0.088 | 0.383 |
| 7時間累積交通量 | 0.532 | 0.194 |

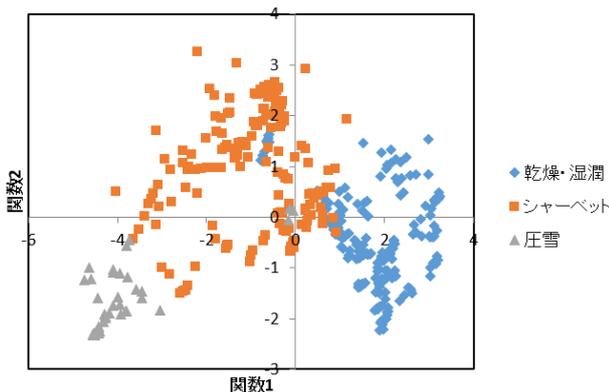


図12 路面状態別の散布図

5. おわりに

本研究では、冬期間の様々な路面条件下で気象条件と交通量を観測し、気象状況と交通量が路面状態に与える影響を分析し、路面状態推定モデルを構築した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 路面状態と気温と降雪量が比例関係であることを示せた。本観測期間中では、シャーベットと圧雪では10分間降雪量に明確な違いは見られず、累積値が大きく影響するが、さらにサンプル数を増やして検証する必要がある。
- 2) 路面状態と交通量が比例していることを、実験的に解明することができた。これについても、累積値が影響しやすい。
- 3) 乾燥・湿潤とシャーベットの判別は、気温が低い、降雪系の変数が多いほど、交通量系の変数が多いほどシャーベットになる傾向があることが分かった。特に、15時間累積降雪量、7時間累積交通量の影響が大きい。
- 4) シャーベットと圧雪の判別は、15時間累積降雪量が多いほど、交通量系の変数が多いほど、圧雪になる傾向

であることが分かった。しかしながら、気温が高いほど、10分間降雪量が少ないほど圧雪になると示されており、一般的な考え方と異なる結果であった。さらに、サンプル数を増やして確認する必要がある。

5) 乾燥・湿潤とシャーベット、圧雪の3分類の路面状態を推定するモデルを、的中率88.9%の高い精度で構築できた。これより、得られた判別式を用いて路面状態を推定できる可能性が示唆された。

今後については、冬期路面を推定することで、速度等の冬期交通状況を高い精度で推定できるようになると考えられることから、更にサンプル数を増やして路面状態推定モデルの精度を高め、冬期交通の実態を把握するための基礎資料として蓄積していきたい。

謝辞

本研究では、株式会社スノーテック新潟、防災科学技術研究所より降雪量データと交通量データ、速度データをいただきました。この場を借り、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤本明宏、徳永ロベルト、武知洋太、住田則行、丸山記美雄：道路複合雪害が走行速度に及ぼす影響評価、第50回土木計画学研究発表会、50、2014。
- 2) 伊藤潤、大島亮、佐野可寸志、鳩山紀一郎：冬期路面状況による信号交差点の交通容量低下率に関する研究、交通工学論文集、2019。
- 3) Jun ITO, Sora SUZUKI, Kazushi SANO, Kiichiro HATOYAMA : Impact of Snowfall and Road Structure on Travel Speed in Winter in Niigataprefecture, Japan、Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies、2019。
- 4) 高橋 尚人、徳永 ロベルト、佐藤 賢治、中島 知幸、藤本 明宏、齊田光、佐藤信吾、大浦正樹：降雪水準の変化に対応した冬期路面予測技術の開発に関する研究。
- 5) 藤井崇、岡村智明、石川信敬：冬期積雪路面の変化に関する研究、北海道の雪氷、2005。
- 6) 田中雅人、齊田光、寺崎寛章、藤本明宏、福原輝幸：広域路面滑り-雪氷状態予測モデルを用いた路面滑り摩擦に及ぼす交通量の影響評価、舗装工学論文集、22、2017。
- 7) 新潟県道路情報システム
<http://doboku-bousai.pref.niigata.jp/douro/> (2020/4/17 参照)
- 8) 川崎智也、稲垣具志、寺内義典、石坂哲宏：土木・交通計画のための多変量解析、株式会社コロナ社、2017。