

走行性と安全性を考慮した除雪オペレーションの検討

学籍番号：19327586 防災・復興システム工学研究室 田辺啓輔
指導教員 松田曜子

1. 研究背景と目的

近年、我が国では短期間で集中的な降雪が発生し各地で雪害が起きている。平成30年1月下旬には日本海側を中心に暴風雪となり道路の通行止めをはじめとする交通障害が発生したほか¹⁾、2月下旬にも断続的に降雪があり、福井県や石川県で多数の滞留車両が発生するなど大きな影響があった²⁾。新潟県においては令和2年12月16日から関越自動車道の新潟県区間や群馬県区間で大規模な車両滞留が発生し最大で約2,100台が巻き込まれた。このように高速道路での滞留は社会活動に多大な影響を及ぼしかねず、回避しなければならない事象である。冬期における道路管理では様々な面での対策が必要になるが、その中でも除雪作業が道路交通維持に大きな役割を果たす。高速道路における除雪作業は新雪除雪、拡幅処理、圧雪処理などがあるが、その中で道路管理を行う上で、新雪除雪が大きな役割を果たす。通常新雪除雪は梯団を組み、低速で本線を走行しながら除雪を行うため、走行する一般車両は梯団の後方を低速で走行することになる。そのため冬期の高速道路においては降雪による影響のほかに除雪作業自体によって所要時間に変化が生じることとなる。除雪梯団は30km/hほどの速度で走行しており、一般車両に与える影響は大きなものとなることが考えられるため、これらの影響を考慮して冬期道路管理を考えていく必要がある。

そこで本研究では、高速道路の路面状況を推定するモデル及び走行する一般車両速度を予測するモデルを構築することで、除雪作業が路面状況に与える影響を分析し、路面状況を踏まえた一般車両の速度変化について分析を行うことで走行性と安全性を考慮した除雪オペレーションを検討するための知見を得ることを目的とする。

2. 関連する研究

除雪に関する過去の研究等では、除雪作業の効果について報告されているものがある。西山ら³⁾は除雪作業の定量的評価として走行する車両の速度から除雪効果を明らかにする手法について報告しており、新潟市を通る国道7号線において除雪作業を行う前後1時間の速度を取得し、交通量との関係をQ-V曲線で表すことで評価を行っている。これによると除雪前後で約10km/hの速度改善がみられている。一方で速度が回復しない事象も確認されており、降雪が継続したことによる路面状況の再悪化、梯団除雪による後続車の速度低下などが原因であるとしている。高速道路に関しては、上杉ら⁴⁾が北海道において除雪能力を凌駕する強い降雪時の除雪体制検討と評価を行っている。これにより高速道路の通行止め回数が減少した成果を報告している。このように除雪の効果に関する研究は行われているものの、多くは一般道に関する研究であり、高速道路であっても北海道を対象とした研究が多く、本州の高速道路を対象とした除雪効果の検討は行われていない。北海道と本州では降雪傾向や雪質が異なることから本州を対象とした検討が必要である。また西山ら³⁾の研究でも挙げられているように低速の除雪作業が後続車に与える影響は大きいといえる。しかし除雪に関する研究は走行環境の改善効果の分析がほとんどであり、低速の除雪作業による一般車両への影響についてはほとんど分析が行われていない。

3. 除雪作業に関する分析

高速道路では数種類の除雪が行われており、路面の積雪除去作業としては大きく機械除雪と人力除雪に分割される。このうち機械除雪はさらに一次除雪作業と二次除雪作業に分けられ、一次除雪作業として新雪除雪が行われ、二次除雪作業とし

て圧雪処理, 拡幅除雪, 運搬排雪などが実施される。現在ではこれらの除雪作業を実施する基準として, 高速道路に設置された気象観測装置のデータ, 気象予測, 路面状況や交通状況を監視している巡回車両からの情報をもとに現地の状況を複合的に判断して実施している。

(1) 一次除雪作業

前述のように高速道路では一次除雪作業として新雪除雪が行われている。新雪除雪とは除雪トラックなどにより路面に積もった新雪を路肩に除雪する作業のことである。高速道路における一次除雪作業である新雪除雪は梯団で行われており, 基本的に一般車両が追い抜くことはできないため, 除雪梯団の後方について走行することとなる。関越道湯沢管理事務所管内では2台梯団と3台梯団を組み合わせながら除雪が行われる。3台梯団のメリットとしては, 路肩部分まで範囲を広げて除雪を行えることが挙げられる。作業速度はおよそ30km/h程度である。

(2) 対象除雪作業の決定

以上のことから, 高速道路における除雪作業では一次除雪作業が路面状況の維持・改善に大きく寄与していることが考えられる。実際に行われた除雪作業の種類を作業車に搭載されているGPSデータで確認したところ, 作業回数ベースで新雪除雪が94%を占めていることがわかった(図-1)。また新雪除雪は梯団で行われるため高速道路上を走行する一般車両への影響も大きいと考えられることから, 本研究における除雪作業の分析対象は新雪除雪とする。

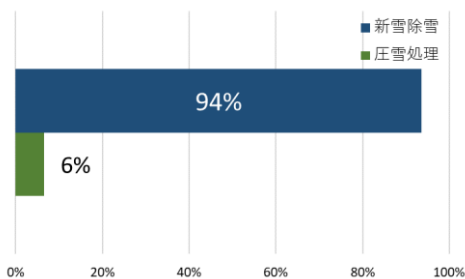


図-1 新雪除雪と圧雪処理の実施割合

(3) 除雪回数に関する分析

降雪量の増減によって, 除雪回数にどのような差があるか分析を行った。ここでの降雪量ごとの除雪回数とは, 対象区間内において1時間あたりどの程度除雪が行われたかをまとめ, 降雪量ごとに集計したものである。結果を図-2に示す。1時間当たりの除雪作業回数は1時間降雪量が1cm未満でおよそ5回, 1cm以上で6回, 5cm以上では7回ほどになっていた。このことから, 除雪回数は降雪量に関連して増加することが確認できた。

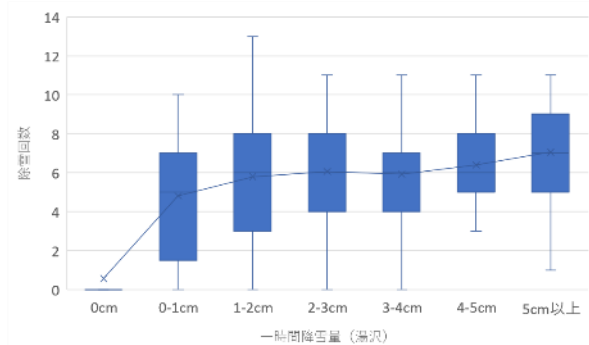


図-2 降雪量別除雪回数

(4) 除雪速度に関する分析

除雪速度に影響を与えると考えられる要因について, 除雪速度との関係分析を行った。

図-3に除雪速度と降雪量との関係を示す。中央値は降雪強度に拘らず大きな変化がみられないことから, 除雪速度と降雪量には強い関係性は無いと考えられる。除雪速度はなるべく一定を保つようオペレーションされているため, このような結果になったと考えられる。

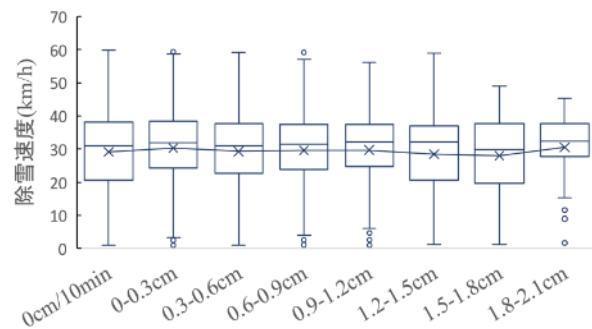


図-3 除雪速度と降雪量

図-4 に除雪速度と積雪深との関係を示す。図をみてみると、降雪量と同様に除雪速度に与える影響はあまりないといえる。平均速度も同様に約 30km/h となっている。図-5 に除雪速度と日交通量との関係を示す。平均速度は各交通量間で大きな差異はみられない。除雪車の速度は一般車両より低速であり、また交通量から受ける影響は小さいと考えられることから、このような結果となったと考えられる。

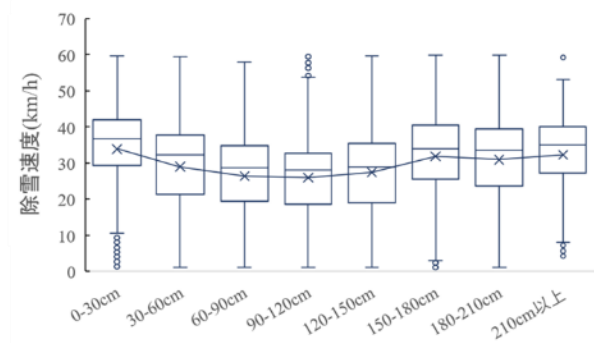


図-4 除雪速度と積雪深

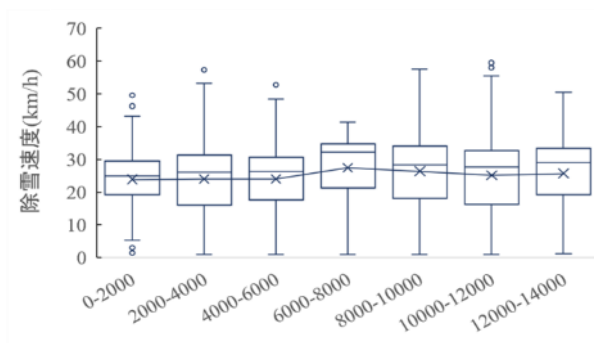


図-5 除雪速度と日交通量

本節では除雪回数及び除雪速度について分析を行った。その結果除雪回数と降雪量との間には明確な関連がみられた。また除雪速度について降雪量と積雪深及び日交通量との関係を分析した結果、除雪速度は約 30km/h で保たれており、降雪量及び積雪深、日交通量によって変化しないことがわかった。このことから除雪速度は一定であるとの仮定をすることができる。

4. 路面状況推定モデルの構築

冬期における路面状況を推定するモデルを構築することで除雪作業が路面状況にどのような影響を与えるか分析を行った。

(1) 使用データ及び対象期間の気象状況

分析にあたり、路面状況を撮影した画像から目視で判別し教師データを作成した。分析には東日本高速道路株式会社新潟支社より提供していただいた、2022 年 1 月中の 30 分間隔のライブカメラ画像を使用した。使用した画像を撮影したライブカメラは下り線の湯沢 IC 付近に設置されているものである。

(2) 分析手法

本分析では、機械学習により路面状況を推定するモデルを構築した。主に使用したアルゴリズムは Random Forests (以下 RF) である。これは決定木分析の弱点である過学習しやすいという問題に対応できるという利点がある。分類するにあたり、図-6 に示す分類フローに従って目視で分類を行い教師データの作成を行った。

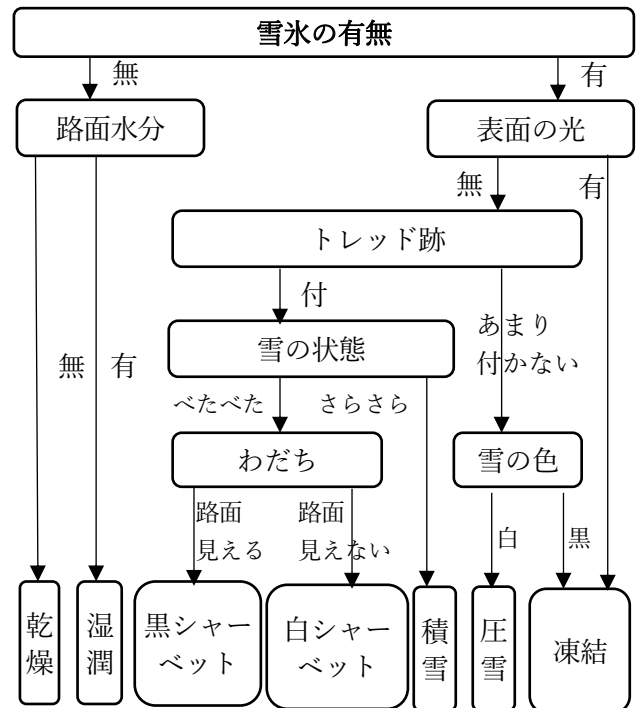


図-6 路面状況分類フロー

表-1 に対象期間における各路面状況の出現数を示す。乾燥及び凍結の路面状況は確認できなかったため、これらを除いた路面状況での分類となっている。出現した路面状況は湿潤の割合が最も多く、約70%となっていた。

表-1 各路面状況の出現割合

	路面状況				
	湿潤	黒シャーベット	白シャーベット	圧雪	積雪
出現数	1033	265	131	52	7
割合	69.4	17.8	8.8	3.5	0.5

(3) 説明変数の検討

路面状況推定モデルに用いる説明変数の検討を行う。説明変数には気象条件のうち、路面状況の形成に影響を与えると考えられる降雪量、気温、風速、路温について路面状況との関係を分析する。

図-7 に路面状況と30分降雪量の関係を示す。図中の箱ひげは各路面状況の最大値、第三四分位数、中央値、第一四分位数、最小値を示している。また路面状況ごとの平均値を線で結んでいる。湿潤では降雪量が0cmに近く、シャーベット、圧雪と悪化するにつれて降雪量が増加する傾向がみられた。このことから降雪強度に応じて路面状況が悪化することが確認できた。また、湿潤以外の路面状況で箱ひげ図の四分位数及びひげが上下に長く伸びていることがわかる。これは、降雪がある前に、既に形成されている路面状況によって降雪の強度によらず出現する路面状況が変化することが原因と考えられる。

また、降雪の強度によって除雪効果にどのような変化が生じるか分析を行った(図-8)。縦軸に除雪からの経過時間、横軸に30分降雪量をとっている。これをみてみると、30分降雪量が2cm以上、時間降雪量で4cm以上になると除雪からの経過時間の変化によらず、路面状況が改善されるデータがあまりみられなくなり、6cm以上

では全くみられなかった。このことから、時間降雪量で4cmを超えるような場合には、路面状況が改善する可能性は低いことが推察される。新潟地方気象台で設定されている注意報・警報発表基準9)によると、大雪注意報は12時間降雪の深さが35cm、大雪警報は12時間降雪の深さが60cmが基準となっている(表-2)。それぞれ時間降雪量で3cm、5cmである。そのため警報が発表されるような降雪が予想される場合には降雪時に路面状況を改善することが困難であることから、路面状況を保つために事前の除雪作業が重要になると考えられる。

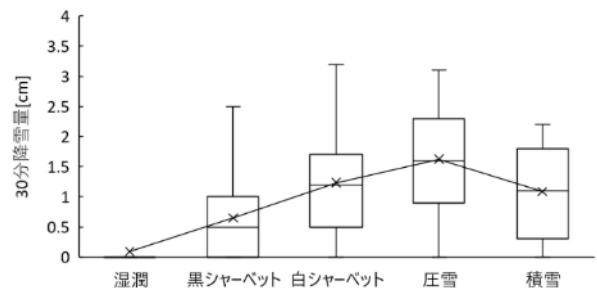


図-7 路面状況と30分降雪量

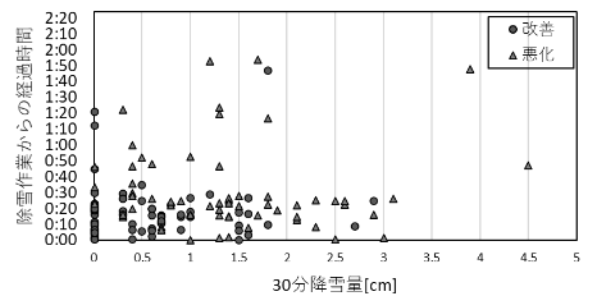


図-8 除雪からの経過時間と30分降雪量

表-2 湯沢町における注意報・警報発表基準

	基準
大雪注意報	12時間降雪の深さ 35cm
大雪警報	12時間降雪の深さ 60cm

図-9 に路面状況と気温の関係を示す。気温の低下に伴って出現する路面状況は悪化する傾向が確認できた。湿潤では平均値が0℃付近だが、黒シャーベットで-1℃、白シャーベットで-2℃付近であった。また、湿潤では他の路面状況と比較して箱ひげ図のひげが上下に大きく伸びている。気温の最大値が大きい場合は、天気が良く降雪がなかった状況のデータであったと考えられる。いずれの場合でも気温のみで路面状況を推定することは困難であり、他の気象条件と複合的に考慮する必要がある。

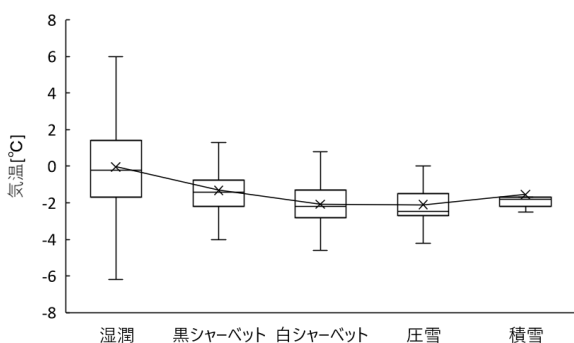


図-9 路面状況と気温

図-10 に路面状況と風速の関係を示す。湿潤では平均値が2m/sほどであるが、路面状況が悪化するに従って風速が大きくなっていることが確認できた。新潟県での冬の天気の特徴として、季節風が強くなると地形の影響で上昇気流が発生し、山間部で大雪となる。観測点がある湯沢町は山沿いであることからこの影響を受け、強い風速が観測されている時に降雪が強まり、路面状況が悪化しやすいことが考えられる。

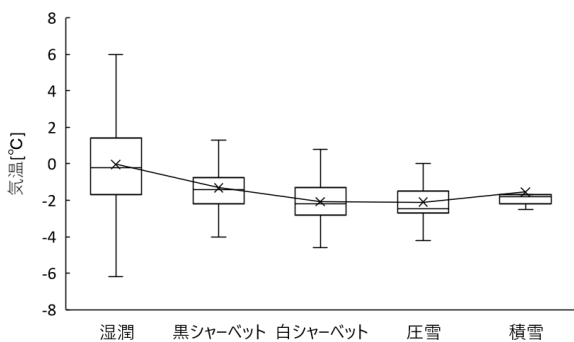


図-10 路面状況と風速

図-11 に路面状況と路温の関係を示す。降雪量、気温、風速と異なり湿潤以外の路面状況間であまり差がみられず、湿潤以外の路面状況での路温の最大値、最小値ともに取り幅が小さくなっている。これは路面上の積雪によって気温の変化などの影響を受けず、路温が一定に保たれていたためと考えられる。湿潤ではひげが上下に大きく伸びていることから路温の変化には路面上の積雪が大きな影響を与えることが推察される。

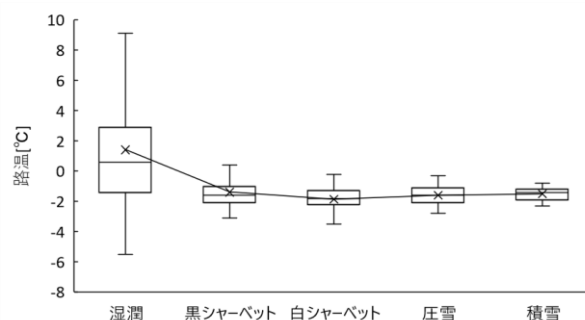


図-11 路面状況と路温

冬期の路面形成には降雪量などのほか、除雪作業が大きな影響を及ぼすと考えられる。そのため除雪作業の状況も変数に追加する。除雪の様子を表すため、観測点での除雪車通過からの経過時間を算出した。算出するにあたり、除雪車GPSデータに含まれるキロポスト(KP)情報から観測点の通過時刻を求める。データの性質上、観測点のKPをピンポイントで通過したデータが取得できていないことがあるため、そのような場合には観測点の通過時刻を推定して求めている。観測点のKPから前後500mを通過しているデータを抽出し、観測点近隣箇所の通過時刻から観測点の通過時刻を推定する。

また昼間と夜間では路面状況の形成に差が生じると思われることから昼間ダミーとして説明変数に追加する。冬期であるため7:00~17:00を昼間とし、それ以外の時間を夜間とする。

以上のことから、降雪量、気温、風速、路温、除雪作業からの経過時間、昼間ダミーを説明変数としてモデル構築を行う。

(4) 分析結果

ここまでに示した気象条件と除雪作業からの経過時間、昼間ダミーを説明変数に用いて機械学習を行い、路面状況推定モデルの構築を行った。作成した分析用データのうち、ランダムに 8 割を抽出し、これを学習データとしてモデルを構築した。その後残りの 2 割を検証データとしてモデルの精度を求めた。表-3 に検証データの推定結果を示す。

モデル全体での正解率は 76.2% となっており、ある程度の精度を確保できているといえる。しかし、本分析のようにカテゴリごとのデータ数に偏りがある場合には、カテゴリごとに個別に評価する必要がある。そこで路面状況別の正解率をみると、湿潤の 84.0% が最も高い結果となった。一方で路面状況が悪化していくにつれて正解率は低下する傾向がみられ、黒シャーベットで 67.3%、白シャーベットで 46.2%、圧雪では 58.3% となった。このことから、モデル全体の正解率は湿潤の正解率によって引き上げられており、実情を正確に表しているものではないといえる。路面状況別で正解率に差が生じた理由としては、各路面状況のデータ数に大きく偏りがあることが原因の一つと考えられる。また、教師データは目視での路面分類であり、多少の判別誤差が含まれていることが想定される。特に夜間や吹雪による視界低下、大雪によりライブカメラに着雪しているような場合には目視での路面判別が困難になる。このような判別が困難な状況では正解率の低い路面状況の出現率が高いことも原因になっていると考えられる。

表-3 モデル推定結果と正解率

	予測結果					
	湿潤	黒シャ	白シャ	圧雪	積雪	
実際の路面	湿潤	173	28	4	1	0
	黒シャ	2	35	14	1	0
	白シャ	0	8	12	6	0
	圧雪	0	3	2	7	0
	積雪	0	1	0	1	0
正解率[%]		76.2				

表-4 に各説明変数の重要度を示す。重要度とは、その説明変数を予測に用いた場合と用いなかった場合でどの程度モデルの予測値が変化するかについて指標化した値である。これはモデルの作成に使用された全ての説明変数について算出され、その和は 1.0 となる。これを踏まえてみると、降雪量が最も重要度が高くなっている。よってこの変数が路面の予測を行う上で大きな判断基準になっていることが考えられる。前述のように、路面状況と降雪量には強い関連がみられたことからこの結果は妥当であると考えられる。また除雪作業からの経過時間の重要度も降雪量と同じ程度であった。これらの変数が路面状況の分類に大きな影響を与えていると推察される。そのほかの変数では、気温、風速、路温の重要度がそれぞれ 0.155、0.179、0.167 であり、昼夜ダミーが 0.017 と低い結果となった。昼夜で路面状況の形成状況が変わる想定であったが、高速道路のように一般道と比較してより高次元で管理が行われている路面では昼夜でありあまり差がないのではないかと考えられる。

表-4 各説明変数の重要度

説明変数	重要度
降雪量	0.248
気温	0.155
風速	0.179
路温	0.167
昼間ダミー	0.017
除雪からの経過時間	0.234

以上の分析を通して、降雪量、気温、風速、路温と路面状況の間には関連がみられた。また降雪量、除雪からの経過時間が路面状況に大きな影響を与えることがわかった。また本分析の課題として、目視による教師データの作成は個人でのシングルチェックとなっており、精度に不安が残るため風区数人での判別を行い精度を担保していくことが必要である。

5. 速度予測モデルの構築

一般車両の速度について速度予測モデルの構築を行い、状況ごとにどのような変化があるか分析を行う。

(1) 使用データ及び分析手法

速度予測モデルの構築には、ETC2.0 データを使用する。ETC2.0 データ様式 1-2 に記録されている各車両の速度や時間、位置情報を気象条件などと結びつけることで分析を行う。まず対象路線を走行した車両を抽出し、車両ごとにリンク別の走行速度を算出し、個車のリンク別に 1 時間ごとの平均速度を求める。また集計段階で外れ値として四分位範囲をもとに速度が 40km/h 未満、150km/h 以上のデータを削除する。使用する気象データは気象庁より公開されている湯沢観測所のデータのうち、降雪量、気温を使用する。使用したデータ期間は 2022 年 1 月 3 日から 5 日である。

(2) 説明変数の検討

ここでは、速度に影響を与えると考えられる要因について速度との関係を分析する。図-12 に降雪量と平均速度の関係を示す。図中の箱ひげは平均速度の最大値、第三四分位数、中央値、第一四分位数、最小値を示している。これをみると、降雪量が増加するに従って速度が低下していた。降雪量 0cm のデータと 5~6cm のデータを比較するとおよそ 20km/h の速度差が生じていることが確認できた。これらのことから、降雪量が速度に与える影響は大きいと考えられる。

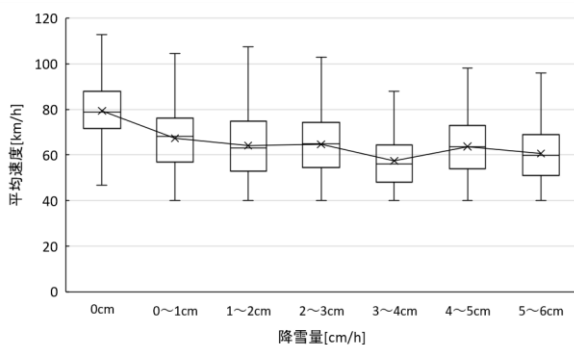


図-12 降雪量と平均速度

図-13 に気温と平均速度の関係を示す。気温と平均速度の間には緩やかな関係性がみられた。降雪量と比較すると明確な速度差はみられないことから、気温のみでは速度を推定することは困難であると考えられる。

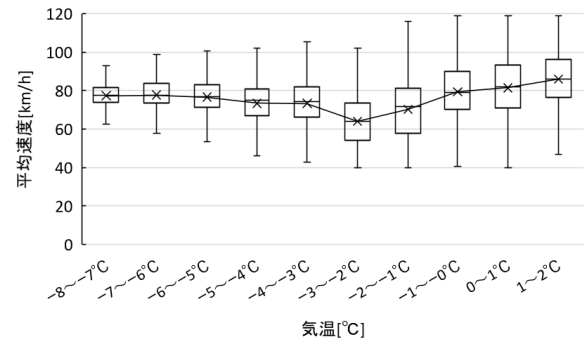


図-13 気温と平均速度

図-14 に路面状況推定モデル構築で定義した路面状況と平均速度の関係を示す。なお、これに関しては速度の情報をトラフィックカウンター（トラカン）から取得しており、断面での値であることに留意する必要がある。ここに示す路面状況は 1 地点のものであるためトラカンのデータを用いている。湿潤では平均速度が約 80km/h となっているが、黒シャーベットでは平均速度が約 60km/h 程度となっている。黒シャーベットから白シャーベットの間でも速度の低下が確認できた。

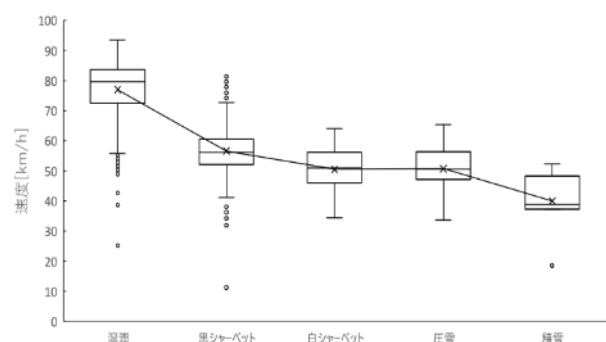


図-14 路面状況と平均速度

次に、交通量について分析を行う。通常、走行速度を推定するモデルを構築する際には交通量が重要な変数となる。これは速度と交通量には密接な関係があるためである。一般に交通量がゼロに近

い状態のときに速度は最大値を取り、交通量の増加とともに速度は低下する。交通量が極大値になったときを境界として、一転して交通量は低下し、速度も同様に低下する。交通量が極大値を取る前後を比較して、前者の状態の速度（自由速度）では渋滞が発生しておらず、各車両は自由に走行速度を決定することができる。一方後者の状態では交通渋滞が発生しているとみることができる。ここで、関越自動車道で観測された速度と交通量の関係をみてみると（図-15）、交通量の極大値がみられず、速度が低下する境界が確認できない。このことから観測した状況下では交通渋滞が発生しておらず、走行する車両は自由速度で走行していたと考えられる。また、交通量に対する速度の幅が広がっているが、これは降雪などによって走行環境が悪化しており低速で走行する車両が多かったためと考えられる。

以上のことから、本分析で扱う期間では交通量の大小によらず速度は自由に決定できる状況であったと考えられることから、交通量が速度に与える影響は小さいと考え、交通量は説明変数に追加しないこととする。

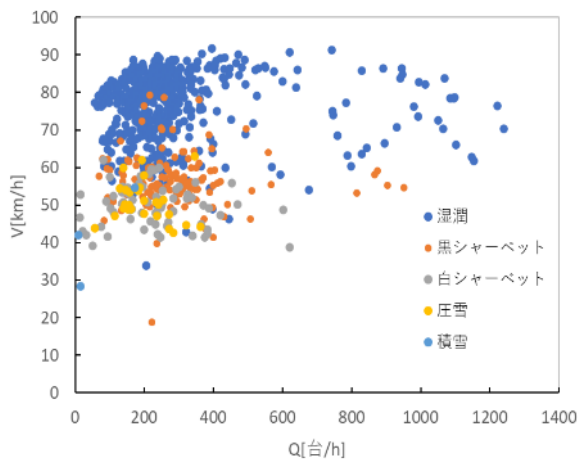


図-15 交通量と速度の関係

ここまでの分析を踏まえ、降雪量、気温、路面状況に加え大型ダミーを説明変数としてモデルの構築を行う。なお路面状況はダミー変数として説明変数に追加することとする。

(3) モデル構築結果

モデル構築結果を表-5に示す。なおモデル構築には重回帰分析を用いた。重回帰分析のような線形回帰モデルでは、多重共線性という現象に留意する必要がある。これは説明変数間の相関が高い場合にモデル精度が不安定になるというものであり、VIFと呼ばれる指標で確認することができる。本分析のモデルに使用した変数では、多重共線性は確認できなかった。

偏回帰係数をみてみると、降雪量、大型ダミーで符号がマイナスになっており、降雪量が増える場合、また大型車の場合に速度が低下することになる。一般的に考えてこれらの要因で速度が低下することは自明であり、符号条件は正しいといえる。

標準偏回帰係数をみてみると、路面状況を表すダミーが最も値が大きい結果となった。

次にt値をみてみる。これは説明変数が目的変数に与える影響を示しており、t値の絶対値が大きければ大きいほど、目的変数に与える影響が強い。本分析では降雪量が最も大きな影響を与える結果となった。降雪量が増えるほど走行速度が低下することは自明であることから、影響度が大きくなったことは当然の結果といえる。また通常t値の絶対値が2を下回る場合にはその説明変数は目的変数に影響を与えていないことになるが、本分析ではそのような説明変数は現れなかった。

モデルの精度である自由度調整済み決定係数は0.320となっており、精度が良いとは言えない結果となった。原因としては道路幅員など、本モデルでの説明変数では考慮しきれていない要因があることなどが考えられる。

表-5 重回帰分析結果

変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	標準誤差	t値	VIF
定数	49.202		2.960	16.624	
降雪量[cm/h]	-2.383	-0.628	0.028	-85.641	1.754
気温[°C]	1.472	0.191	0.024	62.096	2.218
大型車ダミー	-2.007	-0.064	0.095	-21.174	2.700
湿潤ダミー	36.978	1.170	2.959	12.495	1.801
黒シャーベットダミー	29.639	0.850	2.960	10.013	1.551
白シャーベットダミー	23.013	0.632	2.960	7.774	1.841
圧雪ダミー	24.566	0.330	2.965	8.284	1.193
自由度調整済み決定係数			0.320		

6. 除雪効果分析

通常、冬期の高速道路において降雪があった場合、走行環境が悪化し速度は低下する。一方で除雪により路面状況が改善すると速度が回復することから、一般車両の速度変化によって除雪の効果を評価することが可能になる。そこで除雪作業による路面状況の改善効果について分析を行う。構築した速度予測モデルを使用し、除雪作業を行う前後の平均速度を求め、速度にどのような変化があるか分析を行う。速度予測モデルの説明変数のうち、路面状況を表す変数については構築した路面状況推定モデルによって推定した路面状況を当てはめている。使用した気象データは、比較的強い降雪があった2022年1月4日の12時台と15時台である。表-6にこの期間の湯沢町における降雪量と気温を示す。

表-6 気象状況

	1/4 12時	1/4 15時
降雪量[cm/h]	4.3	4.9
気温[°C]	-0.2	-0.9

図-16に12時の結果を示す。除雪前の平均速度は62.2km/hであったものが、除雪後は約68.8km/hとなり、約11%上昇した。これは除雪により路面状況が改善されたためと考えられる。実際に推定された路面状況を確認したところ、除雪前には白シャーベットだったものが除雪後には黒シャーベットに改善されていた。

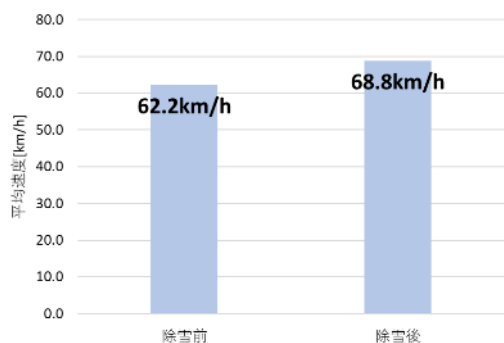


図-16 除雪前後の速度変化

一方で15時台では平均速度は除雪前後で変化がなかった。このことから、15時台の気象状況では除雪作業による路面状況の改善効果は小さいと考えられる。

7. 除雪オペレーションの検討

次に、除雪区間を変えることによって高速道路を走行する車両にどの程度の遅れ時間が生じるか分析を行い、除雪オペレーションの検討を行う。研究背景で述べたように、梯団で除雪作業が行われている間は、高速道路を走行する一般車両は追い越しをすることができず、梯団の後方を走行することになる。このため通常時と比較して所要時間に遅れが生じる。この影響について分析を行うことで評価を行う。なお、本分析では湯沢ICを起点として小千谷ICまで走行すると仮定する。また分析の簡略化のため途中のICで流入、流出する車両は想定しない。分析の手法としては、まず100m間隔で路面状況推定モデルにより路面状況を推定する。この結果を速度予測モデルの説明変数に追加し、100m進むごとに所要時間及び速度を算出する。対象区間の終点を通過した段階で分析を終了し、総所要時間を求める。使用するデータのうち、気象状況は各ICに設置されている観測機器で取得したものを使用し、各IC間の距離に応じて線形補間している。走行する車両数は50台とし、ランダムな間隔で起点から出発する。除雪梯団が前方に存在する場合には梯団の後方を走行し、除雪が終了した時点で再び予測した速度で走行を再開する。分析にあたって、表-7に示すように湯沢ICから塩沢石打IC間の除雪をパターン1、六日町ICから小出IC間の除雪をパターン2としている。

表-7 除雪パターン

	パターン1	パターン2
区間	湯沢IC～塩沢石打IC	六日町IC～小出IC
距離	-0.2	-0.9

図-17に12時台の各除雪パターンでの平均所要時間を示す。除雪を行わなかった場合と比較して、所要時間はパターン1で2.6%、パターン2で5.3%増加した。パターン2はパターン1より除雪梯団が除雪を行っていた距離が長いから、このような結果となったと考えられる。

図-18に15時台の結果を示す。所要時間はパターン1で1.5%、パターン2で9.2%増加した。12時台と比較すると、パターン1では所要時間の増加割合が12時台より抑えられ、パターン2では所要時間の増加割合が12時台より大きくなった。このことから、パターン1では除雪の効果がより発揮され、効率的な除雪が行われていたと考えられる。

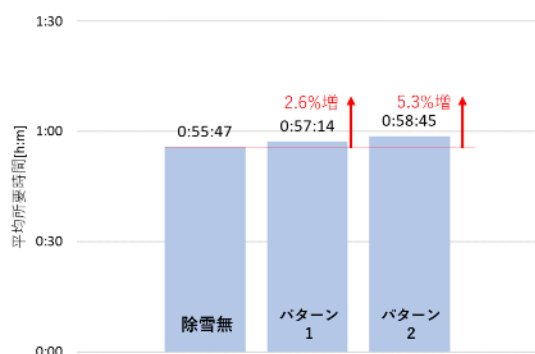


図-17 12時台の所要時間

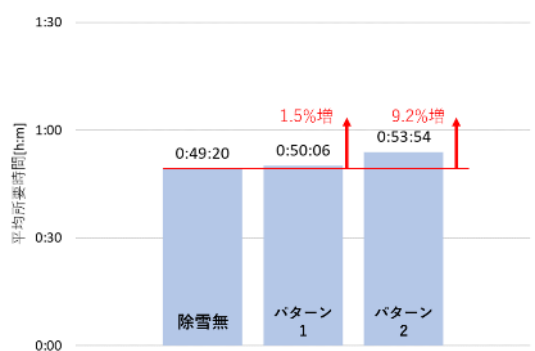


図-18 15時台の所要時間

8. まとめ

本研究では、過剰な除雪作業による一般車両への影響の最小化と安全に走行できる環境の維持を両立するための除雪オペレーションについて検討

を行うことを目的とした。以下に、各分析によって得られた知見を示す。

(1) 路面状況推定モデルに関して

路面状況を推定するため、降雪量、気温、風速、路温、除雪作業からの経過時間、昼夜ダミーからモデルの構築を行った。モデル精度は、全体で76.2%となった。各説明変数がモデルの推定に及ぼす影響を表す重要度は、降雪量が最も高くなった。

(2) 速度予測モデルに関して

気象条件、路面状況などを説明変数として速度を推定するモデルの構築を行った。モデルの精度を示す自由度調整済み決定係数は0.320程度となった。標準偏回帰係数は各路面状況ダミーが最も大きくなっており、次いで降雪量となっていた。路面状況が走行速度に与える影響は降雪量に比べ大きいと考えられるため、これらの指標は正確に表現できているといえる。

(3) 除雪効果検討分析に関して

除雪作業による路面状況改善効果及び梯団除雪による所要時間の変化について検討を行った。その結果、除雪作業後には作業前と比較して速度が約11%回復する結果が得られた。また除雪を行う区間を変更することで除雪を行わない場合に対する所要時間の増加幅に変化がみられた。区間によって除雪を行う距離が変わること、降雪の様子によって除雪効果が変わることが要因と考えられる。

参考文献

- 1) 気象庁：南岸低気圧及び強い冬型の気圧配置による大雪。暴風雪等，
jyun_sokuji20180122-0127.pdf (jma.go.jp)
- 2) 気象庁：強い冬型の気圧配置による大雪，
jyun_sokuji201800203-0208.pdf (jma.go.jp)
- 3) 西山和則，吉澤覚，相澤誠：除雪作業の効果検討手法について，国土交通省，国土技術研究会，平成19年度
- 4) 上杉隆則，碓正広：高速道路におけるパワー除雪の効果，雪氷研究大会，2016