

ビックデータを活用した スタック発生リスク検討について

菅原 隆聖¹・田中 みわ²

¹新潟国道事務所 調査課 調査係 (〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2-1-65)

²新潟国道事務所 調査課長 (〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2-1-65)

近年、短期集中降雪による交通障害の発生が問題となっている。冬期交通障害の影響を最小限にするには、スタック車の早期検知・救出やスタック発生未然防止による大規模な交通障害の回避が重要である。

本検討では過去のスタック発生時や冬期降雪時の気象データと乗用車及びスタック車両の大部分を占める大型トラックのビックデータ（以下、コネクティッドカーデータ）、道路構造データの関係性から直轄国道におけるスタック発生リスク検討の結果を報告するものである。

キーワード 冬期交通障害、大型トラック、コネクティッドカー、TRC

1. はじめに

(1) 検討経緯

2020年12月の関越自動車道や2022年12月の新潟県長岡市・柏崎市の国道8号における大規模な車両滞留（写真-1）など、近年、短期集中降雪による交通障害の発生が問題となっている。冬期交通障害の影響を最小限にするためには、スタック車の早期検知・救出やスタック発生未然防止による大規模な交通障害の回避が重要である。そのため、本検討では路面凹凸情報や運転支援機能の作動状況等の様々な車両挙動データを取得可能なビックデータ（以下、コネクティッドカーデータ）を活用し、直轄国道におけるスタック発生リスク検討の結果を報告するものである。



写真-1 スタック車による滞留 (2022.12 柏崎市 米山大橋)

(2) 過年度の検討概要

過年度までは気象データ及び乗用車のコネクティッドカーデータを活用し、縦断勾配や降雪時における各種車両挙動の変化の特徴を把握した上で、スタックリスク検知モデルを構築した。構築したモデル式では降雪量増大かつ急勾配ほどリスクが増加、速度低下やスリップ率増加につれてスタックリスクが増加する結果となり、一般的な感覚と相違ない結果を得られていると評価できた。

また、今年度は乗用車のデータに加えて、夜間走行が多く、スタック車両の大部分を占める大型トラックのデータを補完し検討を行うこととした。加えて、除雪車の稼働状況や視界不良状況などを考慮し、分析・検討を行い予測精度の向上を図った。

2. 冬期交通状況分析

(1) コネクティッドカーの概要

コネクティッドカーとは、ICT端末としての機能を有する自動車のことであり、車両に搭載した専用通信機を通じて車両の状態や周辺の道路状況などのデータを受信することができる。

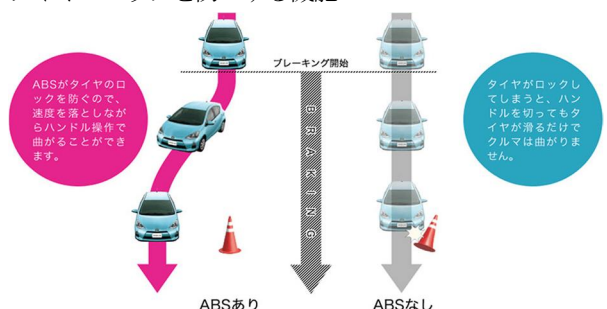
本検討では、まずスタック発生時の交通状況を分析するため、コネクティッドカーデータ（表-1）を活用して安全運転支援システム（図-1）の作動状況や車速、車輪速などのデータを分析した。また、コネクティッドカーデータについては乗用車はトヨタ自動車、大型車は日野自動車とし検討を行うものとする。

表-1 コネクティッドカーから得られるデータの例

車両挙動データ	
種類	概要
緯度経度・GPS時刻	走行位置、位置情報取得時間
外気温	外気温計が示す値
車速	車両の速度
車輪速	各タイヤの速度
ワイパー作動	ワイパーの作動情報
ヘッドランプ作動	ヘッドランプのON/OFF
ハザードランプ作動	ハザードランプのON/OFF
安全運転支援システム	
種類	概要
ABS(アンチロックブレーキシステム)	タイヤロック防止機能
TRC(トラクションコントロールシステム)	タイヤ空転防止機能
VSC(ビークルスタビリティコントロールシステム)	横滑り防止機能

ABS：アンチロックブレーキシステム

タイヤのロックを防止する機能



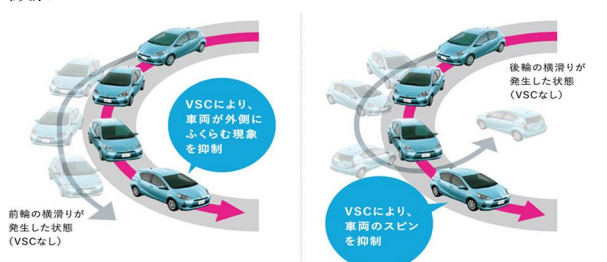
TRC：トラクションコントロールシステム

エンジン出力を抑制する機能



VSC：ビークルスタビリティコントロールシステム

ブレーキとエンジン出力を自動的にコントロールする機能



出典：トヨタの安全技術（トヨタ自動車株式会社）

図-1 安全運転支援システム

(2) 分析対象区間の設定

分析対象区間についてはスタック発生状況（図-2）によりスタックの多発している箇所を抽出し、国道49号新潟福島県境、国道8号柏崎地区及び国道17号湯沢地区の3箇所とした。

また、分析期間は2021年～2023年、各12月～2月の計9ヶ月とした。

分析対象区間の特徴として、国道49号及び国道17号は上り勾配が連続しており、年間累計降雪量が10mを越える。国道8号は標高は低い、アップダウンが激しい箇所である。

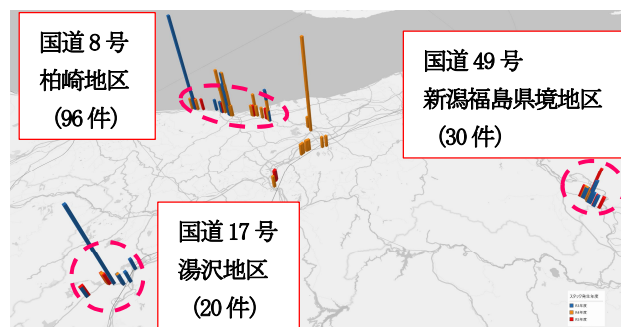


図-2 スタック車両多発位置

(3) 昨年度の課題とデータ特性

昨年度は乗用車のコネクティッドカーデータのみで検討を実施しており、スタックの発生が多い夜間のデータ確保に課題があった。そのため、今年度は夜間走行が多い大型車のコネクティッドカーデータで補完し検討を行った。

データの特性として乗用車のコネクティッドカーデータは、日中の走行台数が多い一方で、夜間の走行台数が激減している。それに対して大型車のコネクティッドカーデータはサンプル数は少ないものの、走行台数を一定量取得できる。

国道49号の例を以下、図-3に示す。

国道49号の例

■乗用車
■大型車

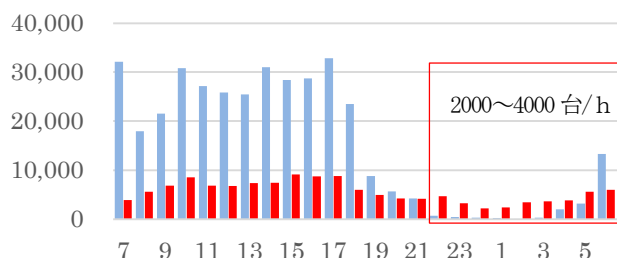


図-3 時間帯別 国道49号の例

(4) 安全運転支援システムの作動状況

道路管理者用気象観測装置を活用し、降雪量とマッピングさせた上で、安全運転支援システムの作動率を乗用車・大型車別に分析した。乗用車・大型車とも

に降雪が多く急勾配ほど作動率が増加傾向であることが確認できた。特にスタック発生時及びその前後時間帯においてTRCの作動が顕著に見られた。しかし、大型車は乗用車に比べて作動率が低い傾向にあった。大型車は車重が重く、タイヤ面積も広いため路面をつかみやすく、通常走行であれば小型車よりも滑りづらい車両であり、TRCが作動しづらいと考えられる。

国道49号、国道17号及び国道8号の例を以下に示す。(図-4～図-6)

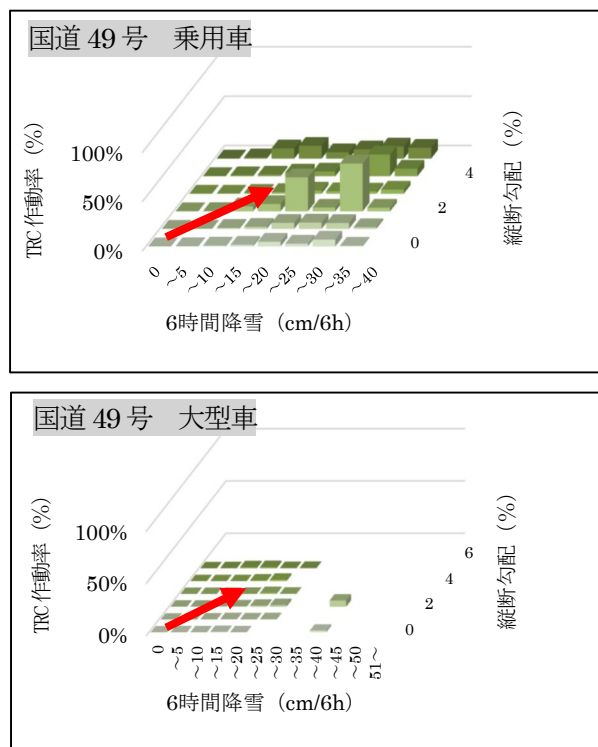


図-4 国道49号のTRC作動状況

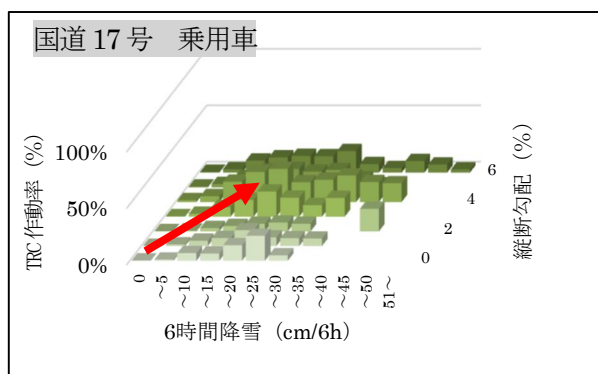


図-5 国道17号のTRC作動状況

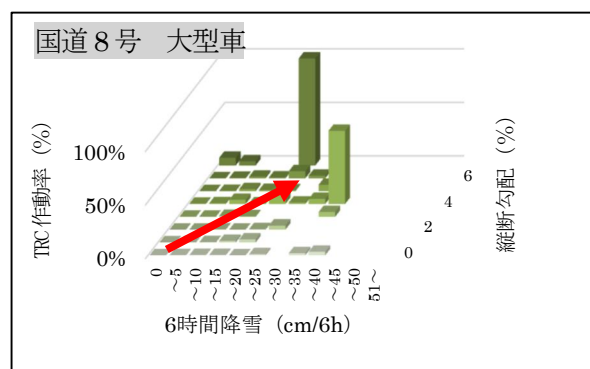
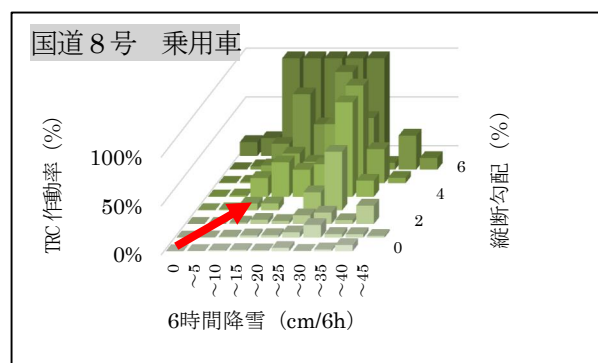


図-6 国道8号のTRC作動状況

(5) 冬期走行速度の分析

一般に、冬期降雪時には走行速度が低下する傾向にある。ただし、走行速度は時間帯（混雑状況）によって変動する性質を持つため、時間帯別に走行速度の低下状況を分析した。

その結果、市街地部を含む国道8号においては、夜間に比べて交通量が多い昼間やピーク時は速度が低下しやすく、交通量が少ない夜間は、極端な速度低下は見られず降雪時も40km/h前後で推移している。一方で国道17号及び国道49号のような山間部は降雪量とともに速度は低下するが、時間帯による差異が少ないことが確認できた。大型車も同様である。国道8号、国道49号の夜間の例を以下に示す。(図-7、図-8)

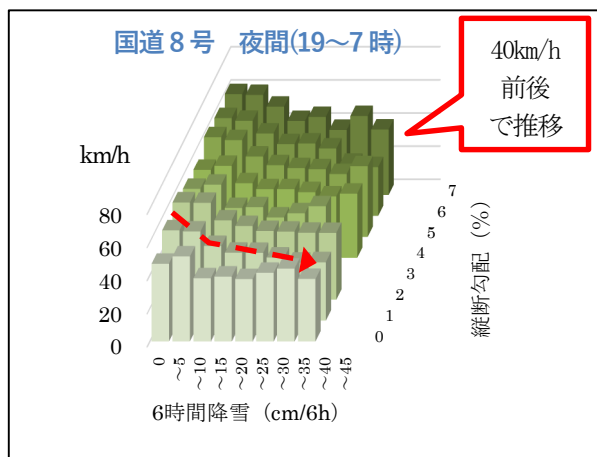


図-7 国道8号 乗用車 夜間の例

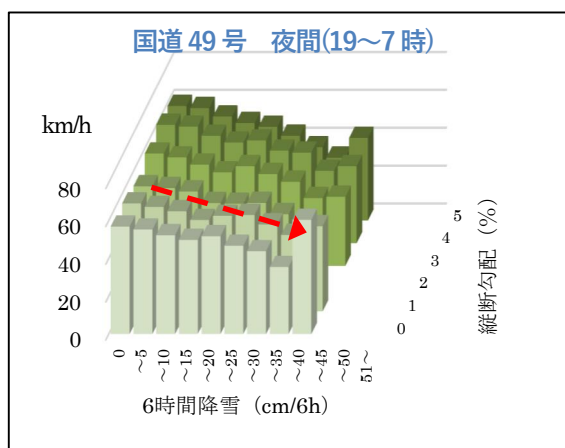


図-8 国道49号 乗用車 夜間の例

(6) 視界不良に関する分析

車両の走行速度は、視界状況にも影響を受けることが想定され、本検討では間接的に視界状況を把握可能と考えられるワイパー作動状況と日中のヘッドランプ作動状況に着目して降雪との関係を分析した。

ワイパーは時間帯に関係なく、降雪が多くなるほど作動率が上昇(図-9)し、ヘッドランプは、日中でもワイパー同様に降雪が多くなるほど作動率が上昇していることを確認した。これらの傾向から、ワイパーやヘッドランプの作動状況によって、視界状況を間接的に把握することが可能と考えられる。ただし、強降雪時にワイパー・ヘッドランプの作動率が上昇すると走行速度が低下する傾向があり、図-10(大型車の例)のように高い相関関係にあるため、視界状況は走行速度に集約されるものと考えられる。乗用車も同様の検討結果となった。

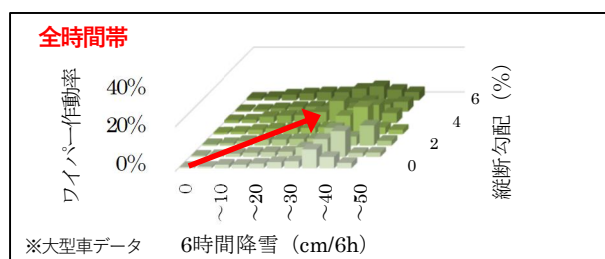


図-9 ワイパー作動率

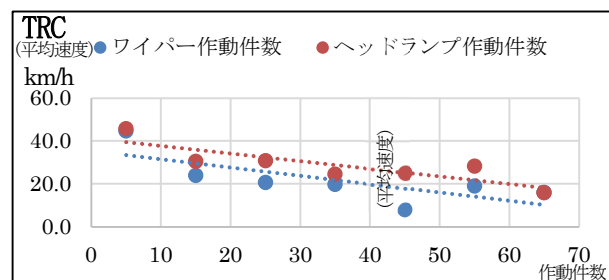


図-10 視界状況と走行速度の相関関係

(7) 除雪車による路面状況の変化

1) 車両挙動データとの関係

車両挙動データは、気象や時間帯等の条件が同じであっても異なる数値を示すことが多く、データにばらつきがある。その時に取得されたサンプルの特性に起因するものと考えられるが、除雪の作業前後で路面状況の変化により車両挙動データに影響が生じている可能性も考えられる。

2) 除雪車GPSデータのマッチング方法

マッチング方法としては除雪車の緯度経度及びGPS時刻から、除雪車の通過判定を行った。コネクティッドカーデータ及び気象データは1時間単位、200m間隔に集計化されていることから、除雪車GPSデータを用いて、いつ、どこを除雪車が通過したかにより除雪の有無を判定している。

除雪車通過後も連続的に降雪がある場合には、除雪をしてもその後の降雪で車両の走行に影響があるため、通過した時間帯のみを除雪ありと判定している。一方、除雪車通過後に除雪が無かったケースにおいては、通過後最大3時間までを除雪ありとして扱っている。除雪工区内の一連の除雪作業を終えるのに概ね3時間程度の時間を要しているため、この間は当該除雪工区全体の交通パフォーマンスが改善されていく過程にあるとの考えによる。

3) 分析概要

本検討では除雪車稼働による車両走行性への影響を分析するため、除雪車GPSデータをコネクティッドカーデータ及び気象データにマッチングし、除雪車通過により車両挙動等の変化の有無を分析した。特に、安全運転支援システムの作動に関しては、除雪後の作動率が低下することが確認された。スタックリスク検知モデル構築においても、除雪作業の有無を反映することで検知精度の向上が期待される。TRC作動率の例を以下に示す。(図-11)

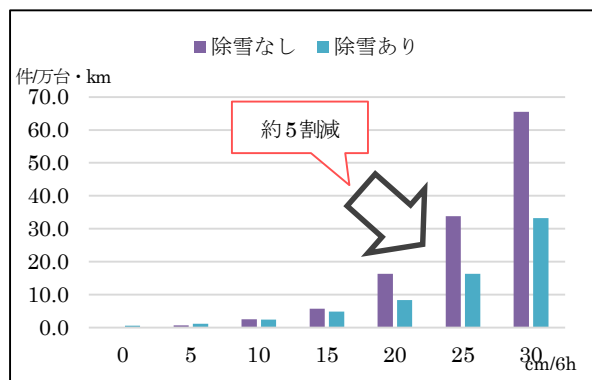


図-11 TRC作業率の変化

4) 除雪による安全運転支援システム作動状況

除雪車稼働の有無による安全運転支援システムの作動状況を分析した結果、除雪時の作動率低下を確認した。なお、作動率に関しては除雪車あり・なしでデータの母数が大幅に異なることから、死傷事故率と同様の考え方を適用して基準化した上で比較分析している。

検討の結果として、除雪ありとなしではTRC・ABS・VSC全ての安全運転支援システムで作動率が低下していることを確認できた。したがって、リスク検知時においても除雪車稼働状況を反映した方が検知精度が向上するものと推測できる。

5) 除雪による平均速度の変化

速度に関しては除雪車への追従走行などの影響があると考えられ、時速30km以上の領域では改善が確認されなかったが、大雪時の速度低下が大きい国道8号においては速度の上昇が確認された。国道8号は柏崎市街地部を含み交通量も多いため、大雪時に速度が大きく低下しやすい特徴がある。このような状態の中で除雪車が出勤したことで、速度の改善効果が表れやすかったものと推察される。(図-12)

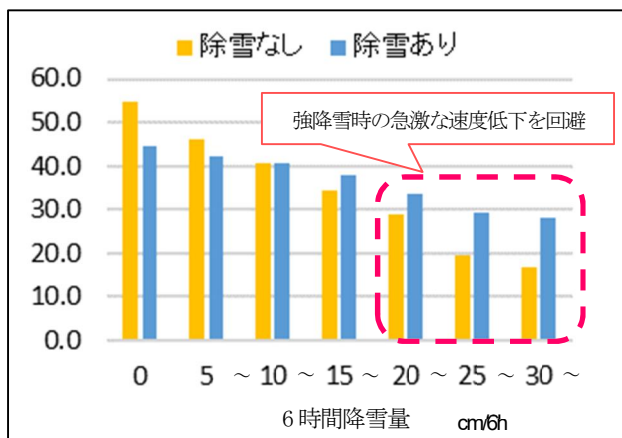


図-12 国道8号における平均速度の例

2. スタック発生リスク検知モデルの構築

(1) スタック発生危険水域の設定

過年度に検討されたモデルでは、スタック発生危険水域を降雪時にTRC作動があった場合として設定していた。一方で、TRC作動データはスタック発生と非常に密接な関係を示すデータであることが確認されており、説明変数に設定することが望ましいデータであると言える。

本検討では、コネクティッドカーデータから取得可能なデータを用いて、スタック発生危険水域を定量的に分析し、危険水域を示すデータとして最大スリップ率及び最大車輪速差に着目し、分析を行った。以下にスタック発生のメカニズムを以下に示す。(図-13)

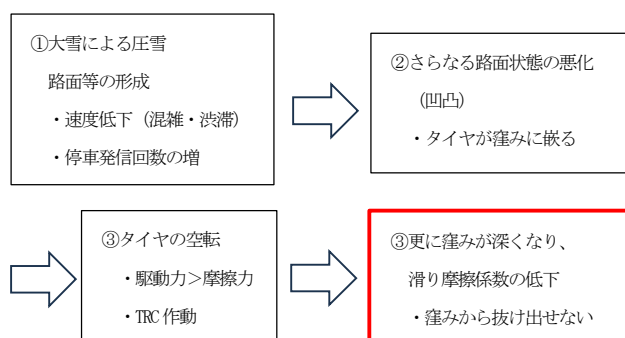
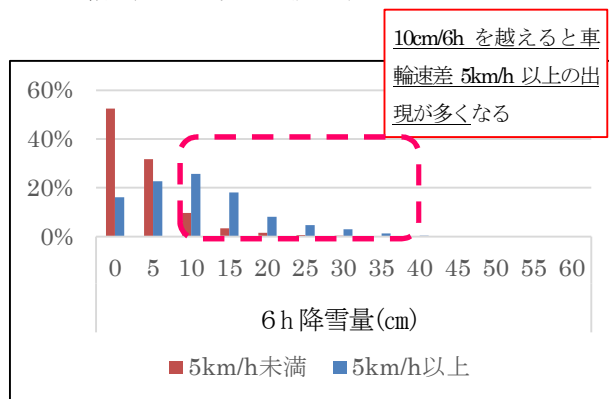


図-13 スタック発生のメカニズム

次に、最大スリップ率及び最大車輪速差に対して気象階級別の出現率分析を行った。

最大スリップ率は閾値10%として2群に分類し、両群の気象階級別出現率を比較した結果、気象条件による明確な差異を確認することができなかった。最大車輪速差については閾値5km/hとして同様に2群に分類し、分析した。この結果、6h降雪量10cm以上、気温0℃以下で最大車輪速差5km/hの出現率が高まることが確認された。(図-14) したがって、スタック発生危険水域を示す閾値として10cm以上/6hかつ気温0℃以下で最大車輪速差5km/h以上に設定することとした。



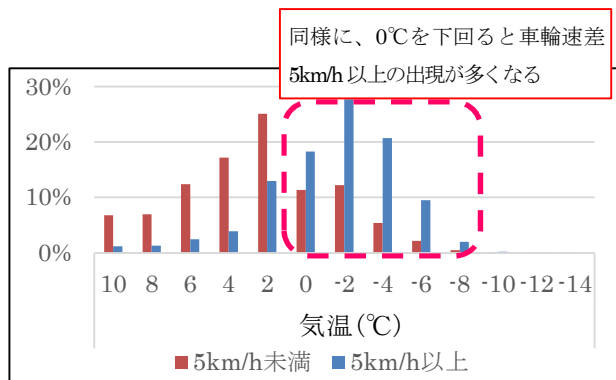


図-14 降雪量気温別の最大車輪速差

(2) モデルの構築

過年度同様にロジスティック回帰分析によりスタック発生リスク検知モデルを構築した。路線別データベースを学習・検証用に分割（7:3）し、学習データからモデルを構築後、検証用データにてリスク予測結果を評価検証した。説明変数は前章までの各種分析結果、多重共線性（VIF）やp値、係数の符号条件を考慮し、複数回トライアルのうえで選定した。国道17号の例を以下に示す。（表-2）

除雪車稼働による効果もロジスティック回帰分析によりシミュレーションを行い、除雪の有無によるリスク予測値の変化を分析した。結果として除雪車が稼働することでスタックリスク値が低減することが確認できた。

ロジスティック回帰分析

回帰式（確率）

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots a_nx_n + b))}$$

表-2 国道17号の例

予測変数	推定値	標準誤差	Z値	p値	オッズ比
切片	-3.879	0.093	-41.70	<.001	0.021
TRC件数	0.047	0.001	38.33	<.001	1.048
ABS件数	0.191	0.008	22.92	<.001	1.210
車速	-0.053	0.002	-27.42	<.001	0.949
6時間降雪	0.041	0.002	19.25	<.001	1.042
気温	-0.186	0.009	-21.81	<.001	0.830
縦断勾配	0.322	0.015	21.59	<.001	1.380
除雪車通過ダミー	-0.632	0.050	-12.72	<.001	0.531
朝夕ピークダミー	0.258	0.046	5.64	<.001	1.294

(3) リスク予測結果

各説明変数の変動に伴うスタックリスク値の変化（平均）を分析した結果、各路線概ね妥当な結果を得ることができた。国道17号を例とすると、降雪量増大に伴い、スタックリスクが上昇している。併せてTRCの作動件数についても他路線に比べて多く、分析結果が顕著に表れている。

特に湯沢の地域特性、車両個々の属性（タイヤ・チェーン・運転テクニック等）が影響していると考えら

れる。また、湯沢地区は関東からの玄関口でもあり、他の地区に比べてノーマルタイヤの比率がその他地区に比べて2%前後なのに対して、湯沢地区では14%と比率が高い。

4. 今後の課題

(1) データの拡充、蓄積の必要性

本検討では新潟県内の直轄国道の3路線を対象に大型車及び除雪車稼働状況を追加して検討を行ったが、本検討区間と交通状況が異なる路線においてもデータを蓄積し、検知モデルの汎用性を向上させることが必要であると考えられる。また、モデルの活用にあたってはリアルタイムデータを取得し、モデルへインプットし、アウトプットを図る一連の流れを自動化、特に車輪速差をモニタリングすることで滑りやすい路面状態を検知できる可能性があるため、検知のための閾値設定等についてデータの蓄積、分析を進めることで予測精度の向上が期待される。

(2) リスク検知結果の情報提供

本検討で構築したスタックリスク予測モデルを用いて得られるリスク予測結果の活用方法について検討を行う必要がある。

現段階ではインターネット経由でPCやスマートフォンから閲覧可能なものとなり、運転中のドライバーなど道路利用者への効果的な情報提供手法について検討していく必要があると考えられる。

5. おわりに

本検討により、降雪時における車両挙動の特徴を把握することができた。また、ロジスティック回帰分析からスタックリスクの予測モデルを構築し、大型車の視界状況、除雪車稼働状況を追加分析したため、スタックリスクの差異を把握可能なモデルに改良することができた。

本検討で構築したモデルは交通状況の異なる路線を追加することや情報提供手法などの課題はあるが、冬期の道路利用者への活用を視野に検討する必要がある。

謝辞：本論文は、地域道路経済戦略研究会 北陸地方研究会の一環として研究を行ったものであり、本論文の作成にあたってご指導・ご協力頂いた皆様に感謝申し上げます。