

# 車両挙動による冬期高速道路における スタックの危険性評価

針原 拳太<sup>1</sup>・佐野 可寸志<sup>2</sup>・高倉 拓実<sup>3</sup>  
加藤 哲平<sup>4</sup>・伊藤 潤<sup>5</sup>・原山 哲郎<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 非会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: s203276@stn.nagaokaut.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 教授 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: sano@vos.nagaokaut.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 エヌシーイー株式会社 (〒950-0954 新潟県新潟市中央区美咲町 1 丁目 7 番 25 号)  
E-mail: T-Takakura@nceinc.co.jp

<sup>4</sup> 正会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 講師 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: tkato@vos.nagaokaut.ac.jp

<sup>5</sup> 正会員 開発技建株式会社 (〒950-0914 新潟県中央区紫竹林 7 丁目 13 番 16 号)  
E-mail: j\_ito@khgk.co.jp

<sup>6</sup> 正会員 東日本高速道路株式会社 新潟支社 道路事業部 (〒950-0145 新潟市江南区亀田早通 3233)  
E-mail: t.harayama.aa@e-nexco.co.jp

冬期における道路環境では豪雪による積雪量の増加等に伴い、スタック車両の発生が危惧される。2020 年 12 月には豪雪により関越自動車道において大型車両のスタックを契機とした大規模な長期滞留が発生した。こうした車両滞留を防ぐためには、スタックの発生を未然に予測し、適切な除雪オペレーションや、通行止め施策等の対策を講じる必要がある。また近年、ETC2.0 プローブデータやデジタルタコグラフ等のビッグデータをリアルタイムで取得する技術にも注目されている。

そこで本研究ではスタック発生の危険性を、特定の区間を走行する大型車両の平均速度の時系列遷移と結び付け、危険性を逐次的かつ定量的に評価することができるモデルを検討した。具体的には過去にスタック車両の発生が記録された事例について、大型車両の平均速度に関して状態空間モデルを用いた時系列分析を行い、該当区間の過去の速度分布と比較して、逐次的な異常値の検出および危険性の評価を行った。

**Key Words:** heavy snowfall, vehicle behavior, stucking hazard, state space models

## 1. はじめに

近年、我が国では豪雪による様々な交通障害が頻発している。令和 2020 年 12 月から 2021 年 2 月にかけては、12 月 14 日の冬型の気圧配置により、北日本から西日本の日本海側において、記録的な大雪となった。短期間の集中的な降雪により、一部地域では 1 日の累積降雪量が 100cm を超えていた。また本研究で対象とする、関越自動車道においても、同年 12 月 16 日に湯沢 IC 付近で大型車のスタックを契機とした、大規模な長期滞留が発生し、12 月 17 日には塩沢石打 IC 周辺にて 2 件のスタック事例が発生していた。

冬期のスタックによる交通障害を未然に防ぐことの重要性は高まっている。国土交通省は国が管理する道路に

において、大雪時に急な上り坂で大型車等が立往生しやすい場所等を「予防的通行規制区間」として選定し、集中的・効率的に優先して除雪を行う区間を定めている。令和 3 年度時点で、全国の 224 区間で「予防的通行規制区間」が定められており、北陸地方においては国道 17 号含む、21 区間が対象となっている。<sup>1)</sup>

また本研究で対象とする関越自動車道においても東日本高速道路株式会社(NEXCO 東日本)により予防的通行止め施策が講じられており、令和 2 年 12 月 31 日から令和 3 年 1 月 1 日の年末年始にかけて、広域迂回や解除の見通しをあらかじめ広報したうえで、六日町 IC から長岡 IC において予防的通行止めによる集中除雪が行われている。<sup>2)</sup>

上記のような対策を講じるうえで、スタックの発生り

スクを逐次的かつ定量的に評価することができれば、道路管理者が判断の指標となり得て、スムーズでより効率的な対策の体制構築につながると考える。そこで本研究ではスタック発生の起因とされる、走行車両の平均車速の減少に着目し、平均車速の時系列モデルと過去の速度分布を比較することでスタック発生の危険性を推定することを目的とする。また車速等の車両挙動およびGPS情報が記録される ETC2.0 のプローブデータを用いることで、リアルタイム性に優れたモデルを構築する。

## 2. 既往研究および本研究の新規性・位置づけ

本研究を行うにあたり、関連の既往研究についてレビューし、本研究の位置づけおよび新規性も含めて下記に整理する。

### (1) プローブデータを用いた道路交通の危険性評価

梅田ら<sup>3)</sup>はプローブ車両の速度が間接的に路面の状況を表しているという仮説の基に冬季道路交通における異常事象の発生危険性を評価する手法として状態空間モデルを用いてモデルを構築している。信号等の人為的な制御の影響により速度低下が発生する一般道において、区間を走行する車両の上位 85 パーセントマイル速度に着目し、過去の速度分布と推定モデルを比較することで実際の立ち往生事例で異常性検知の妥当性も確認されている。また梅田ら<sup>4)</sup>は高速道路においても同様の手法で異常事象の分析結果を報告している。

中山ら<sup>5)</sup>はプローブデータの連続性に優れた車両軌跡的な特性を活用し、事故多発地点における危険挙動の検出およびその過程の把握手法を提案している。実際に商用車のプローブデータを用いて、名阪国道のΩカーブにおける潜在的事故危険性が高い走行に関して事故多発地点における遠心加速度の作用による横滑りの可能性が高い走行から抽出し、潜在的事故危険性の高い走行の特徴を把握するためのクラスター分析による走行を分類し、その過程を事故多発区間上流側の影響を明らかにした。

山本ら<sup>6)</sup>は短い距離感覚で車両の速度を連続的に、大量に取得できるという特性を活かして、速度低下が顕著な区間を検出する手法を提案している。実際に、鳥取自動車道において決定木分析を行い、その条件分岐に着目することで、速度低下の要因を交通量や時間帯から分類し、明らかにしている。

同じく松平ら<sup>7)</sup>はETC2.0プローブデータを活用し、渋滞の先頭における複数の特徴量として、渋滞回復距離や渋滞先頭加速度、交通相転移時間、下流交通相転移時刻差等を組み合わせて交通異常を検知するアルゴリズムを開発している。

### (2) 自動車走行に影響を及ぼす冬期の環境要因

Heqimi ら<sup>8)</sup>は降雪は、車両の性能や、ドライバーの行

動、交通インフラに影響を与えており、積雪の強さによっては視界や路面の摩擦性能、操作性が低下する可能性があるとして、高速道路における事故に関して、空間的な内挿法により降雪による影響の特定を試みている。

谷村<sup>9)</sup>らは降雪量などの気象条件の変化が交通速度に与える影響を定量的に把握するためのモデルを作成している。目的変数を無雪期との速度差(速度低下)として説明変数に無雪期平均速度、日最深積雪、降雪量日合計、日平均気温、日最高気温、日最低気温、各変数の前日の値等も加えてモデルを構築している。また速度低下と積雪の値との相関の強さから、積雪に影響を受けやすい道路の抽出行われ、その結果として交通量の多い、片側 2 車線以上の特徴をもった道路が多いとしている。

小島は<sup>10)</sup>高速道路の冬季路面における走行速度に関して、路面状態との関係から検討を行っている。路面のモニタリング結果と虎背データによる平均走行速度を集計したところ、乾燥路面から圧雪まで悪化するごとに、平均走行速度の分布が下がり、乾燥・湿潤・黒シャーベット・白シャーベット・積雪・圧雪・凍結の 7 つの路面状況毎の平均走行速度差については、乾燥から湿潤において約 4km/hr、湿潤から黒シャーベットになると約 16km/hr さらに低下し、黒シャーベットから白シャーベットで約 7km/hr、白シャーベットから圧雪で約 5km/hr 程度、低下していることを明らかにした。

### (3) 本研究の新規性・位置づけ

既往研究を踏まえて、本研究の位置づけおよび有用性等については以下の点にあると考える。

- ・ スタックを起因とした交通障害は高速道路において多く発生していて、それに伴う経済的な被害も大きいことから、直近で大きな被害があった関越自動車道のデータをベースに高速道路における、冬期の平均車速の時系列モデルを作成する。また除雪等による事故対策により影響についても時系列的かつ定量的に読み取れるモデルを作成する。
- ・ 高速道路は一般道と比較して、管理用カメラの設置等により、危険察知の体制が充実しているが、冬期の立ち往生は高速道路においてもいまだに各地で発生している。前述のような予防的な対策を講じる動きがある中で、リアルタイムなスタックの発生危険度や、ある程度の危険度の推移を定量的に予測することのできるモデルを作成することは本研究の新規性があると考え。
- ・ 既往の研究では特定の区間ごとにモデルを作成するような手法が専らであったが、本研究ではモデルを構築するパラメータは最小限にし、明解なモデルとすることで、将来的には線形データ等の道路特有の要素をパラメーターとして導入しやすいモデルを作成することに新規性があると考え。

### 3. 研究の全体像

#### (1) スタックの発生危険性についての定義

スタックの発生メカニズムに関する研究として、藤本ら<sup>14)</sup>は大雪時には吹雪による視界不良、堆雪による道路の有効幅員の減少、路面状態の悪化等により、次第に走行速度が低下し、渋滞が発生し始め、それにより、タイヤからの熱移動や輪荷重によってタイヤが圧雪内に沈むとともに滑り摩擦係数が低下し、その後は停車した状態から発進するアクセルワークの回数が増え、タイヤが空転し、スタックに至るというプロセスを明らかにしている。上記の研究から、スタックの発生を抑制するためには車両の走行速度の低下の段階で危険性を察知する必要がある。そこで本研究では特定の区間を走行する車両の平均速度が時系列的に低下し、過去と速度分布と比較して外れた値となった時点にて該当の区間はスタックの発生する危険性がある状態と定義する。

#### (2) 手法の概要

本研究ではモデルを作成するにあたり、パラメータとする気象データは気象庁が公開している過去の気象データを用いる。気象データは1時間単位で降雪量が記録されているため、目的変数となる車両の平均速度は1時間単位で推定する。また本研究ではモデルの構築は推定値と観測値によるフィルタリングを行い、推定の精度を向上させる。ここで平均速度の観測値には、1時間毎の特定の区間におけるプローブデータで記録された全車の走行速度の平均値を用いる。算出に用いるプローブデータは軌跡データを想定し、1時間に同一の車両データが複数観測される場合には、各車両ごとの平均値を算出したうえで、全車の平均値を用いる。

上記の平均速度に関して、線形ガウス状態空間モデルにより状態値を推定する。状態空間モデルとは時系列分析の手法であり、観測値は、真の状態として潜在的に存在する値が観測誤差の基に得られており、またその真の状態も過程誤差を経て遷移すると仮定し、変化する状態値や関係する状態変数を推定する確率モデルである。線形ガウス状態空間モデルを用いる理由としては、データの更新に伴う、モデルの再構築が容易で、逐次的に値が算出可能である点や逐次的な処理に伴う累積データより、確率的な要素を持った未来の予測値を得ることができるという点が挙げられる。また降雪量の状態変数については状態値への影響が除雪により、どのように変化しているのかも状態変数の遷移を分割化して明らかにする。

速度低下を定量的に評価する上では、該当の区間における過去の速度の確率分布と比較して、モデルにより推定された状態値がどの程度低下しているかを分析することで明らかにする。

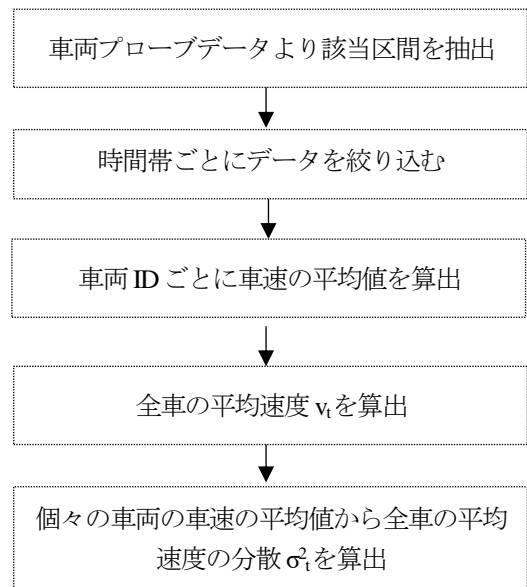


図-1 過去の平均速度の確率分布の算出フロー

### 4. 研究手法の詳細なフロー

#### (1) 過去の平均速度の確率分布

後述の状態空間モデルで対象とする区間について、過去に記録されたプローブデータより一定数のサンプルを抽出し、時間帯ごと(1時間単位:  $t=1\sim 24$ )に平均速度  $v_t$  および分散  $\sigma_t^2$  を算出する。平均速度を算出する際用いる個々の車両の速度は各車両につき1台となるように処理を行う。ここで算出された平均速度は正規分布に従うものと仮定する。算出のフローを図-1に示す。

#### (2) 状態空間モデルによる平均速度の状態値の推定

状態空間モデルで時系列分析を行うにあたり、明解なモデルとするために、パラメータとして導入する要素は既往研究も踏まえて、降雪量およびプローブデータ通過台数の2つのみで構築した。モデルを構成する状態成分はレベル成分(切片)、周期成分、回帰成分の3つで推定を行った。ここで降雪量による車速への影響は回帰成分で、プローブの通過台数による車速への影響は周期成分とした理由としては、後述の実事例においてプローブデータより得られた通過台数が明らかに時系列的に周期的な特徴を持っていたことから、周期成分の固定値としてモデルに導入した。パラメータの推定は最尤法に基づく手法で、フィルタリングはカルマンフィルタによりモデルを構築した。パラメータの推定やフィルタリングのメカニズム等については本稿では省略する。構築する状態空間モデルの観測方程式および状態方程式を式(1)、(2)、(3)、(4)に示す。

観測方程式：

$$\mu(t) = \alpha(t) + \beta_{\text{降雪量}}(t) \cdot \text{降雪量}(t) + \gamma(t) + \omega(t) \quad (1)$$

$\mu(t)$ ：時刻  $t$  における平均速度 [km/h] (観測値)

$\alpha(t)$ ：時刻  $t$  におけるレベル成分

$\beta_{\text{降雪量}}(t)$ ：時刻  $t$  における降雪量の回帰成分

$\text{降雪量}(t)$ ：時刻  $t$  における 1 時間降雪量 [cm/h]

$\gamma(t)$ ：時刻  $t$  における周期成分

$\omega(t)$ ：観測誤差  $\sim N(0, \sigma_{\omega}^2)$

状態方程式：

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) + \varphi(t), \varphi(t) \sim N(0, \sigma_{\varphi}^2) \quad (2)$$

$$\beta_{\text{降雪量}}(t+1) = \beta_{\text{降雪量}}(t) + \varepsilon(t), \varepsilon(t) \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2) \quad (3)$$

$$\gamma(t+1) = \gamma(t) + \delta(t), \delta(t) \sim N(0, \sigma_{\delta}^2) \quad (4)$$

$\varphi(t), \varepsilon(t), \delta(t)$ ：各パラメータの状態誤差

### (3) 降雪量の回帰項から除雪の影響を推定

式(1)より得られた降雪量の回帰項は除雪による影響も受けて、推定されたパラメータであると仮定し、除雪車の追従等による速度への影響を除雪に伴う観測誤差として、除雪による影響のパラメータを抽出する。除雪の説明変数は除雪車の通過時刻を 1 とするダミー変数で、式(5)、(6)に示す観測方程式および状態方程式により除雪の影響項を推定した。

$$\beta_{\text{降雪量}}(t) \cdot \text{降雪量}(t) = \sigma(t) + \beta_{\text{除雪}}(t) \cdot \text{除雪フラグ}(t) + \theta(t) \quad (5)$$

$$\beta_{\text{除雪}}(t+1) = \beta_{\text{除雪}}(t) + \tau(t), \tau(t) \sim N(0, \sigma_{\tau}^2) \quad (6)$$

$\sigma(t)$ ：時刻  $t$  における降雪量の回帰項から除雪の影響を除いたレベル成分

$\beta_{\text{除雪}}(t)$ ：時刻  $t$  における除雪作業の回帰成分

$\text{除雪フラグ}(t)$ ：時刻  $t$  において除雪車が通過し、除雪作業が行われていれば 1

$\theta(t)$ ：除雪に伴う観測誤差  $\sim N(0, \sigma_{\theta}^2)$

$\tau(t)$ ：除雪探りのパラメータの状態誤差

## 5. 実データを用いたモデルの作成

### (1) 事例概要

本研究では 2020 年 12 月に北日本および西日本の日本海側で発生した豪雪によって、12 月 17 日の 14 時頃に塩沢石打 IC と六日町 IC 間の下り方向で発生したスタックの地点を含む区間(図-2)を対象とした。データ処理の簡便性から区間は DRM のデータで定められる、流入ノードが 81、流出ノードが 80 のリンク(リンク長：約 7.1km)におけるモデルを構築した。

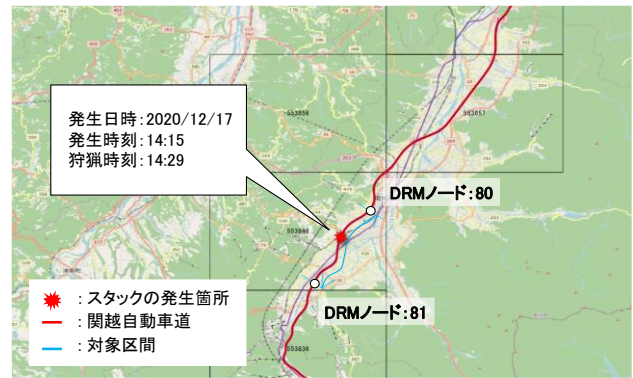


図-2 モデルを構築した対象区間

### (2) 使用データ概要

#### a) 各車両の平均車速

本研究では、区間の平均速度の算出には、プローブ車両データとして ETC2.0 の様式 2-1 を用いた。速度の算出に当たり、該当区間および該当期間のデータにおける車両のほとんどが大型車であり、また大型車は速度低下の影響を受けやすいという仮定の基、大型車に区分される車両のデータのみを抽出し、平均速度の算出を行った。

#### b) 降雪量

モデルの構築に用いる降雪量は、データの取得の容易性から気象庁が公開している、1 時間降雪量を使用した。また観測所はスタックが発生した地点から最も近い位置で、1 時間降雪量が記録されていた湯沢観測所の記録を用いた。

#### c) 除雪データ

除雪による影響をモデルから分析するために用いる過去の除雪作業のデータは、除雪車の GPS データを用いる。対象区間の各時間において、除雪作業によって除雪車が通過していれば 1、除雪車が通過していない場合には 0 というようなダミー変数を作成した。実務的にモデルを導入するには除雪を実施する予定の時間帯に 1 を入力するだけで除雪による影響を出力できるような想定とする。

#### d) 過去の平均速度の確率分布

a)と同様に ETC2.0 の様式 2-1 を用いて、期間は 2018 および 2019 年度 12 月から 3 月の対象区間のデータを抽出した。

### (3) 適用結果

対象とした事例に前述の研究手法を適用した結果を図-3 に示す。過去の平均速度の確率分布は  $1\sigma$  と  $2\sigma$  区間を凡例に示す帯により表している。点でプロットしているものは観測値を示しており、黒のラインが状態空間モデルにより逐次的に平均速度の状態値を推定したものを表している。

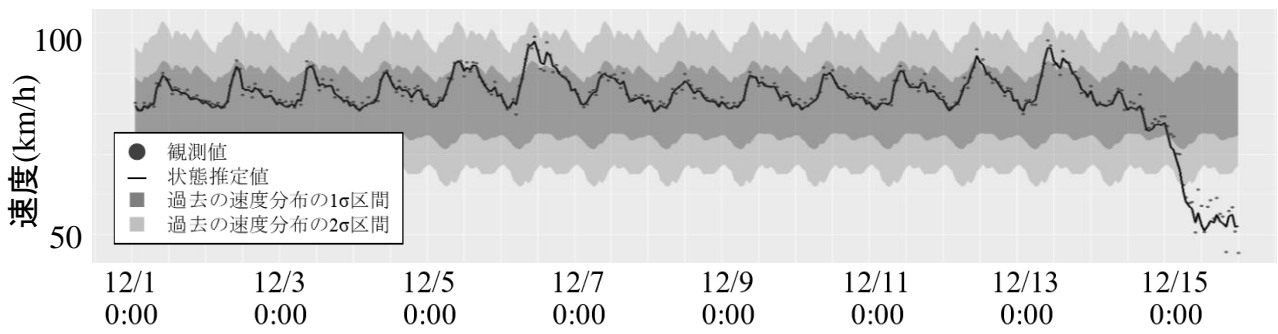


図-3 関越道自動車道 で発生したスタックを含む対象区間における平均速度の時系列推移

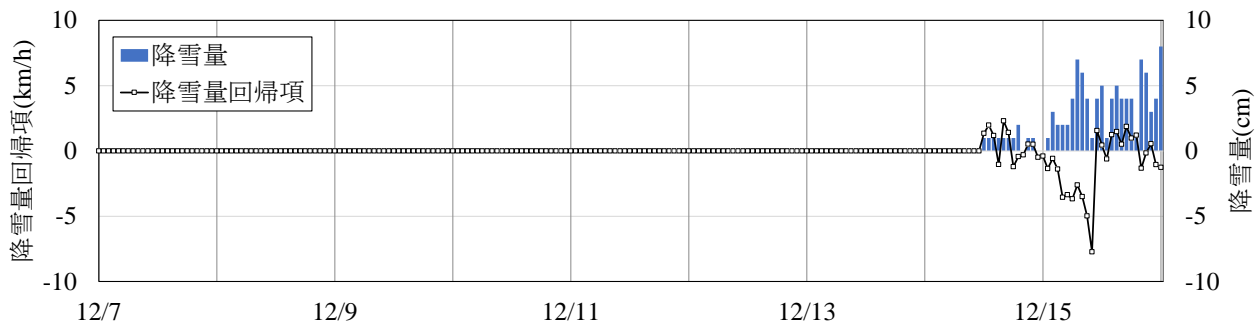


図-4 降雪量の回帰項の時系列変化および各時間帯の1時間降雪量

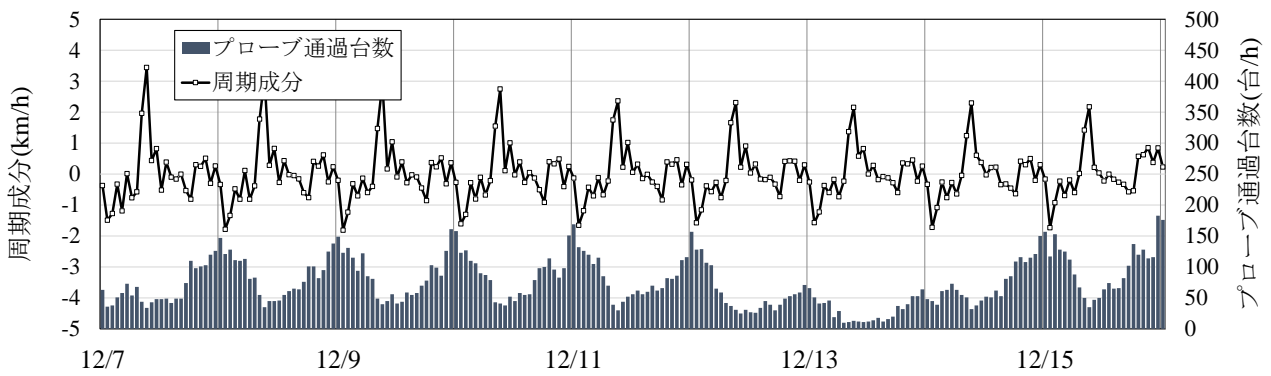


図-5 モデルに含まれる周期成分およびプローブ通過台数

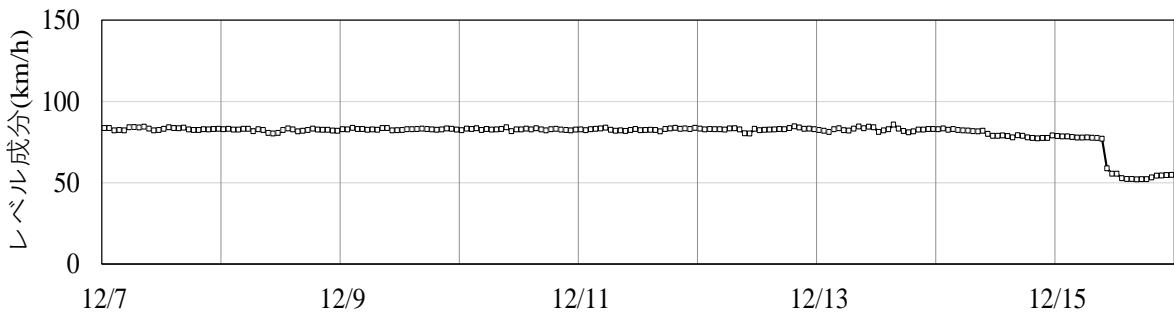


図-6 レベル成分の時系列変化

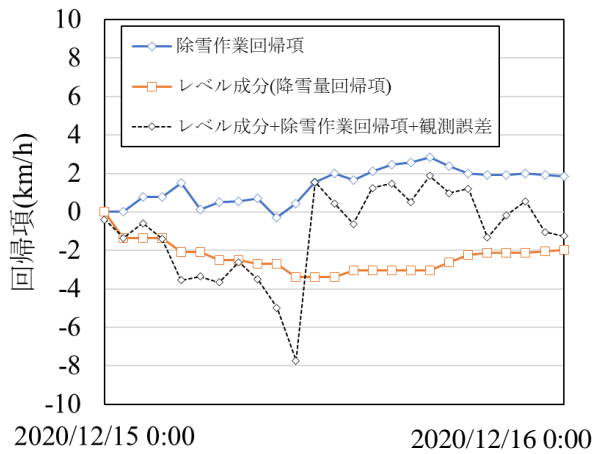


図-7 除雪作業回帰項およびレベル成分の時系列推移

また図-3 の状態値を構成する降雪量の回帰項および当時の1時間降雪量を図-4に、プローブ車両通過台数と周期成分を図-5に、レベル成分を図-6に示す。

なお図-4 の降雪量の回帰項から除雪作業のダミー変数により、除雪作業の回帰項を推定した結果が図-7のようになった。青のラインは除雪作業が、区間の平均速度に及ぼした影響を表しており、橙のラインが降雪の回帰項から除雪の影響を除去した状態値を表している。上記の2つの項の和に観測誤差を含めると黒の点線のラインで表す図-4の降雪量回帰項と同様の値が得られる。

#### (4)考察

図-3より、スタックの発生は17日の14時頃であったが速度低下の傾向は14日の0時頃から確認することができ、過去の速度分布と比較して、14日の13時頃には $2\sigma$ 区間を超えた値となっていた。ここで過去の速度確率分布の算出において使用したデータの期間を増やして、スタックの発生確率やスタック以外での速度低下の要因を精査する必要があるが、12月から3月期においてスタックが5件程度以上発生するような区間であれば、 $2\sigma$ 区間から外れて速度低下している、該当の時系列点においてはいつスタックが発生してもおかしくない危険な状態であるといえる。

図-4より、降雪量による回帰項は、1時間当たり降雪量が増えたタイミングでより大きな負の影響を平均速度にもたらしていることが分かる。しかしあるタイミングにおいて降雪量に基づいた回帰係数は0に近づいている。これは除雪作業等の平均速度に正の影響を及ぼす事象が発生したことにより、降雪量が増えたと見えても、平均速度に影響を及ぼしにくくなったためだと考える。またこの影響は図-7を踏まえて詳しく後述する。

図-5より、周期成分とプローブ車両の通過台数は負の相関を強く示していることが確認できる。これは交通密度増えると、個々の車両は速度を抑えるという観点から妥当なパラメーターを推定できていると考える。また

図-3より観測値から確認できる周期要素において12月6日と12月13日において最大値が他の周期よりも高くなっている。これは対象区間が週末において交通量が少なくなる傾向にあるためだと推測できる。以上より周期成分をプローブ通過台数の回帰係数項より近似させるためには週末のフラグ等を変数に加える必要があると考える。

図-6よりレベル成分は12月15日の0時頃まではほとんど一定値で推移しているが、ある時系列において急激に低下していることが確認できる。モデルの整合性を上げるためにはレベル成分が急激な減少傾向を示すことは望ましくないため、新たな説明変数の導入や、各パラメータ値の推定条件などを精査を行う必要があると考える。

図-7より、除雪作業のダミー変数を導入することにより、除雪作業が平均速度に正の影響を与え、降雪量が平均速度に与える影響は少なくなっていることが確認できる。また除雪作業直後は平均速度への正の影響がより大きくなり、除雪作業を行わない状態が続くとその影響は徐々に低下している事象を除雪作業回帰項は正しく推定できていた。除雪作業回帰項を抽出したことにより、除雪作業パラメータの状態誤差および降雪量パラメータの状態誤差の値に着目し、状態空間モデルの1期先予測において除雪を行わない場合の、予測の信頼区間や除雪を行う場合の信頼区間をそれぞれ算出並びに、比較することができる。1期先の予測値は降雪量の1期予測値やその他1期先のパラメーター条件により、複雑に変化し、一概に予測値およびその信頼区間を定めることができないため本稿では、予測の算出結果は省略する。

## 6. 結論

本研究では冬期に道路を走行する車両の区間平均速度の時系列変化を状態空間モデルにより推定を行った。平均速度の状態値と過去の同一区間の速度の確率分布を比較し、速度の低下が著しく一定の信頼区間を超えていればスタックの発生危険性が高いものとして評価を試みた。スタックが発生した実事例にモデルを適用した結果から、平均速度の状態値はスタックの発生する2日以上前から、減少傾向にあった。このことより約24時間前時点においては過去の速度の確率分布の $2\sigma$ 区間を超えていることがわかり、併せて評価指標の妥当性を確認することができた。モデルを構成する各成分の推定結果からは、降雪量の増加および継続した降雪の場合には降雪量の回帰項が平均速度に与える影響が大きくなることが分かる。なお、周期成分はプローブの通過台数が多い場合には平均速度が低くなり、少ない場合には平均速度が高くなっているため、変数の影響を理論的かつ妥当に表現することができていると確認できる。しかしレベル成分においては状態誤差に基づいたランダムウォークであると定義

しているが、急激な変化点があり、モデルにおける説明変数およびパラメータが不足していると考えられる。パラメータ不足に関しては、前述の様々な区間に適応できる明解なモデルの構築とトレードオフの関係にあると考えられるので、他区間でもモデルを適用したうえで、導入を精査していく必要がある。降雪量の回帰項について除雪の影響を考慮して、パラメータを推定した結果からは、除雪直後は平均速度に正の影響が大きく働き、その後も一定の間、度合いは低下するものの影響が続いていることを確認することができる。このことより、本研究では妥当なパラメータを推定できていると考ええる。また除雪の影響を取り除いた、レベル成分においては、潜在的な降雪量による、平均速度への影響を定量的に推定することができた。上記の除雪作業と降雪量の状態変数の状態誤差より 1 期先に除雪作業を実施する場合と実施しない場合で、平均速度の分布信頼区間がどのように変化するのか比較する指標になり得ると考える。

今後の展望としては、前述のモデルの精査を前提として、多くのスタック事例の発生区間でモデルを適用し、モデルとしての妥当性をより確かなものとしていく必要がある。また具体的なモデルの精査内容としては、新たな説明変数やパラメータの導入の他にも対象とする区間の距離や時間の分解能などの調整が挙げられる。また過去の速度の確率分布についても、算出に用いるデータの詳細な情報にも留意し、気象条件等の当時の状況から分類したものをを用いることでより、鋭敏にリスクの評価をおこなうことができると考える。最終的には実務における交通障害防止施策を講じるうえで活用できるという観点から、上記のような事項に留意し、モデルの構築および精査をおこなう必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 HP：大雪時の予防的通行規制区間、  
<https://www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/yukimichi3.html>

- 2) 東日本高速道路(株) 令和 3 年 1 月 27 日 定例会見資料 1：関越道大雪に伴う大規模車両滞留を踏まえた NEXCO 東日本の雪氷対策の強化・改善策について、  
[https://www.e-nexco.co.jp/assets/pdf/press-room/data\\_room/regular\\_mtg/r03/0127/01.pdf](https://www.e-nexco.co.jp/assets/pdf/press-room/data_room/regular_mtg/r03/0127/01.pdf)
- 3) 梅田祥吾,川崎洋輔,桑原 雅夫,飯星 明：プローブ車両データを用いた冬季道路交通における異常事象の発生危険性評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5 (土木計画学研究・論文集第 38 巻), I\_1371-I\_1387, 2021.
- 4) Umeda, S., Kawasaki, Y., Kuwahara, M. and Iihoshi, A.: Construction of road anomaly event detection method for occurrences of disasters via state-space model that utilizes weather and probe data, 23rd HKSTS International Conference, Hong Kong, China, 2018.
- 5) 中山達貴,中村俊之,宇野伸宏,Jan-Dirk Schmöcker：商用車プローブデータを用いた潜在的事故危険性の把握手法の構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.5 (土木計画学研究・論文集第 34 巻), I\_1093-I\_1104, 2017.
- 6) 山本優樹,塚井誠人,山本航,小山田哲郎：ETC2.0 データを用いた高速道路上の速度低下区間の検出法, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5 (土木計画学研究・論文集第 35 巻), I\_693-I\_702, 2018.
- 7) 松平正樹,藤田幸愛,沖電気工業(株)：ETC2.0 プローブデータによる交通異常検知, The 34th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2020, 206-GS-13-04
- 8) Heqimi, G., Gates, J. T. and Kay, J. J. : Using spatial interpolation to determine impacts of annual snowfall on traffic crashes for limited access freeway segments, Accident Analysis & Prevention, Vol. 121, pp. 202-212, 2018.
- 9) 谷村亮介,廣森聡仁,梅津高郎,山口弘純,東野輝夫：気象および交通データ解析に基づく積雪期における交通速度低下の推定手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-MBL-75, No. 32, 2015.
- 10) 小島崇幸：高速道路の冬期路面における走行速度の検討, 雪氷研究大会 (2015・松本) 2015.9.13-9.16 JSSI & JSSE Joint Conference-2015 in Matsumoto, B5-2
- 11) 藤本明宏,河島克久,渡部俊,村田晴彦：大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明, 日本雪氷学会誌雪氷 83 巻 5 号 (2021 年 9 月) 507-522 頁

## EVALUATION OF STUCKING HAZARD ON EXPRESSWAYS IN WINTER BY VEHICLE BEHAVIOR

Kenta HARIHARA, Kazusi SANNO, Takumi TAKAKURA, Teppei KATO, Jun ITO, Tetsuro HARAYAMA

In the winter season, heavy snowfalls can cause vehicles to get stuck on roads, and in December 2020, heavy snowfalls caused large vehicles to get stuck on the Kan-Etsu Expressway, resulting in long-term delays. In order to prevent such vehicles from getting stuck, it is necessary to predict the occurrence of stuck vehicles in advance and take measures such as appropriate snow removal operations and road closure measures. In recent years, technologies to acquire big data in real time, such as ETC2.0 probe data and digital tachographs, have also attracted attention. In this study, we investigated a model that can sequentially and quantitatively evaluate the risk of getting stuck by linking it to the time-series transition of the average speed of large vehicles traveling along a specific section of road. Specifically, a time-series analysis of the average speed of large vehicles was conducted using a state-space model for cases in which the occurrence of stuck vehicles had been recorded in the past, and the results were compared with the past speed distribution in the relevant section to detect outliers and evaluate the danger sequentially.