

通行止めに至る冬期交通障害発生検知手法における ETC2.0 プローブ情報の活用に関する調査

鏡味 沙良¹・久保田 小百合²・池原 圭一³・池田 武司⁴

¹ 非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail:kagami-s924a@mlit.go.jp

² 非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail:kubota-s92ta@mlit.go.jp

³ 非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail:ikehara-k92bc@mlit.go.jp

⁴ 正会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail:ikedate92gm@mlit.go.jp

近年頻発する大雪による幹線道路上の大規模な車両の滞留や通行止めは、社会経済活動や人命に影響を及ぼしうる。このような冬期交通障害の大規模化の抑制には、原因となる立ち往生等の発生をいち早く検知し迅速な対応に繋げることが肝要である。本研究では、立ち往生等の発生を早期に検知する手法として、ETC2.0 プローブ情報の活用について調査した。

令和 2 年度に直轄国道で発生した通行止めに至る冬期交通障害を対象に、ETC2.0 プローブ情報による旅行速度分布の特徴を調査した結果、同一区間の平常な走行状態と比較して段階的に旅行速度が低下する傾向を認めた。この特徴を指標として冬期交通障害発生検知手法を構築し検知を試行した結果、再現率約 72%、適合率約 31%等となった。誤検知や見逃しの原因分析を行い、検知手法の改良方策とともに整理した。

Key Words: ETC2.0 probe data, traffic obstructions in winter, stuck on winter-road, detection method

1. はじめに

(1) 研究の背景

近年、短期間の集中的な大雪が頻発し、冬期交通において大規模な車両滞留や長時間の通行止めが繰り返し発生している（平成 29 年度：福井石川県境で 1,500 台立ち往生、令和 2 年度：関越自動車道で 2,100 台立ち往生、令和 3 年度：首都高速道路で 13 路線 100km 通行止めなど）。このような冬期交通障害の発生状況を受け、国土交通省では、幹線道路上の大規模な車両滞留を徹底的に回避し人命の確保を最優先とすることを基本とした新たな対策の方針を提示し、取り組みの強化を図っている（「大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ 令和

3 年 3 月改定（冬期道路交通確保対策検討委員会）」）。

冬期交通障害の大規模化を防ぐ対策の一例として、原因となる立ち往生等の交通障害の発生をいち早く把握することにより、通行止め措置や除雪車配備等の対応を迅速に行うことの重要性が指摘されている。現在、このような交通障害発生の把握は、主に道路管理者が道路上に設置した CCTV カメラ等の常時監視や道路管理者によるパトロール、道路利用者からの通報に頼っている状況にある。監視員の負担軽減や省力化、より早い時点での異常把握のために、冬期交通障害の発生を検知する新たな手法について検討することは重要である。本研究では、その新たな手法として ETC2.0 プローブ情報に着目する。

(2) 研究の目的

冬期道路における立ち往生や交通事故といった交通障害の発生には、次のようなメカニズムが存在すると考えられる。まず、著しい降雪があると、路面の積雪や凍結により走行環境が悪化する。積雪や圧雪状態の路面では、上り坂における登坂不能、交差点等における右左折時の減速や一旦停止後の再発進不能による立ち往生が発生しやすくなると考えられる。このような冬期交通障害がひとたび発生すると、長距離・長時間に及ぶ渋滞や滞留、通行止めといった大規模な交通障害に至る可能性がある。

実態として、北陸地方整備局管内の道路管理者へのアンケート及びヒアリングより、急勾配や長い上り坂、カーブや交差点において、速度が低下することで立ち往生が発生すると認識されていることがわかっている¹⁾。また藤本ら²⁾は、圧雪路面において停車した車両が立ち往生に至るメカニズムについて、実験により雪面の融解と摩擦力、輪荷重等との関係を明らかにしている。

一方、ETC2.0 プローブ情報は、専用の車載器を搭載した車両の走行履歴情報を、道路上に設置した路側機との無線通信によりプライバシーに配慮した形で収集することにより、任意の路線、時刻の平均旅行速度を取得可能なビッグデータである。大規模な渋滞や滞留といった交通障害は、ETC2.0 プローブ情報のような車両プローブデータを用いて交通の異常な状態として捉えることができると考えられる。

車両プローブデータと立ち往生等の冬期交通障害との関係に着眼した既往研究として、梅田ら³⁾は、民間プローブデータと気象データ（降雪量、気温）から交通の異常状態を検出する状態空間モデルを提案し、立ち往生発生リスクの評価について一定以上の可能性を指摘している。また、飯田ら⁴⁾は商用車プローブデータと立ち往生事例との関係を調査し、車両速度や降雪量の条件を利用した立ち往生発生検知の可能性を指摘している。いずれも車両プローブデータを用いた交通状態の把握による冬期交通障害発生検知の可能性を示唆するものである一方、多様な環境下で発生する希有な事象である冬期交通障害に対する網羅的な調査や知見の確立には至っていない。

そこで本研究では、国土交通省が収集する ETC2.0 プローブ情報を用いて冬期交通障害の発生を検知する手法について検討を行う。新たな検知手法の提案により、冬期交通障害の発生時における道路管理者の迅速な対応を可能とし、交通障害の大規模化防止への寄与を目指すものである。同時に、道路管理者による CCTV カメラの常時監視やパトロールの負担軽減を期待するものである。

なお、現在運用されている ETC2.0 プローブ情報の収集・処理システムでは、取得データを即時利用すること

はできないが、本研究ではリアルタイムに近いタイミングでデータを取得出来るものと仮定して検討を行う。

2. 研究手法

(1) 使用データ

a) 登坂不能車発生箇所マップデータ

冬期交通障害の代表的なものとして、立ち往生（登坂不能車）の発生がある。北陸地方整備局北陸技術事務所北陸雪害対策技術センターでは、毎年、各地方整備局及び北海道開発局管内における立ち往生車両の発生記録を収集してとりまとめている（「登坂不能車発生箇所マップデータ」）⁵⁾。本データには、立ち往生の発生日時、路線、距離標、勾配、車種、タイヤ、天候、気温、路面状態等が記録されている。

b) 冬期交通障害の記録

冬期交通障害の実績として、令和 2 年度に直轄国道において発生した通行止めに至る冬期交通障害の事例を整理し、本研究における調査対象とした（表-1）。これは、

表-1 調査対象とした通行止めに至る冬期交通障害一覧（令和 2 年度、直轄国道）

No	管轄地整	路線名	道路管理者(国道事務所)	通行止めの要因(冬期交通障害)	路面状況	天候	道路・周辺環境
1	東北	東北縦貫道	青森	吹雪	圧雪	雪	高速国道
2		東北中央道	湯沢	交通事故	圧雪	曇	高速国道
3		東北中央道	山形	交通事故	圧雪	雪	高速国道
4		三陸沿岸道路	南三陸	交通事故	湿潤	晴れ	高速国道
5		三陸沿岸道路	三陸	交通事故	凍結	晴れ	高速国道
6		国道 7 号	酒田	立ち往生	圧雪	雪	市街地
7		国道 13 号	秋田	立ち往生	圧雪	曇	DID
8		国道 47 号	山形	立ち往生	圧雪	雪	山間部
9		国道 4 号	福島	交通事故	凍結	曇	市街地
10	北陸	能越自動車道	富山	立ち往生	積雪	雪	高速国道
11		国道 8 号	富山	立ち往生	積雪	雪	高速国道
12		国道 8 号	高田	立ち往生	積雪	雪	DID
13		国道 8 号	高田	立ち往生	積雪	雪	DID
14		国道 8 号	高田	立ち往生	圧雪	雪	市街地
15		国道 8 号	富山	立ち往生	積雪	雪	市街地
16		国道 8 号	高田	立ち往生	圧雪	雪	郊外
17		国道 8 号	高田	交通事故	凍結	雪	DID
18		国道 17 号	長岡	立ち往生	圧雪	雪	市街地
19	中国	鳥取自動車道	鳥取	交通事故	積雪	曇	山間部
20		国道 2 号	山口	立ち往生	圧雪	雪	山間部
21		国道 2 号	山口	立ち往生	凍結	雪	山間部
22		国道 9 号	鳥取	交通事故	湿潤	雪	郊外
23		国道 9 号	山口	立ち往生	圧雪	雪	郊外
24	九州	国道 3 号	北九州	立ち往生	積雪	雪	郊外

令和 2 年度に全国で発生した通行止めの記録をとりまとめた第 5 回冬期道路交通確保対策検討委員会参考資料（以下「通行止め記録」という。）から、以下の条件に合致する事例を選出したものである。

- ・直轄国道における事例である。
- ・予防的通行止めの事例を除く。
- ・車両滞留台数ゼロの事例を除く。

通行止め記録には、通行止めの日時、区間、原因となった冬期交通障害（立ち往生・交通事故・吹雪（視程障害））の日時、箇所等が記載されている。ただし、各通行止めに関わる全ての冬期交通障害の詳細情報が記録されているものではなく、記録にない交通障害が発生していた可能性がある。またこの 24 件は令和 2 年度冬期に全国で発生した全ての通行止めを網羅するものではない。

c) ETC2.0 プローブ情報

ETC2.0 プローブ情報の走行履歴データは、ETC2.0 車載器を搭載した各車両の走行位置（緯度経度）及び時刻を、直線走行時の 200m 走行ごと及び走行方向の変化時に記録している。また、挙動履歴データには、車両の急挙動（急ブレーキ、急ハンドル等）の発生時に、急挙動の指標値及び時刻と走行位置を記録している。

ETC2.0 プローブ情報は、専用車載器の普及が日々進んでいるところであり、これに加えて令和 2 年 1 月にデータ処理方法が見直され、これ以降特に取得データ数が拡充している。このことから、本研究ではデータ拡充後である令和 2 年度の冬期（令和 2 年 12 月～令和 3 年 3 月）を調査対象とした。

旅行速度は、各車両が走行履歴取得地点間を等速で通過したと仮定し、10m ごとに走行位置及び時刻を補完した。これを元に、100m ごと、30 分ごとの旅行速度のデータセットを各路線沿いに整理した。なお、単位区間 100m は、最長 200m 間隔である走行履歴の元データセットに対して、可能な限り小さい間隔で、かつ 5 割は実測の旅行速度を確保できることから設定した。また単位時間 30 分は、ETC2.0 プローブ情報のサンプル数について、単位時間、単位区間（100m）内に 1 サンプル以上データを確保できる割合が、15 分集計時 62%に対して 30 分集計時 96%を確保できることから設定した。

d) テレメータデータ

調査対象当時の気象条件の情報として、国土交通省が直轄国道上の観測施設にて 30 分または 1 時間間隔で観測・収集しているテレメータデータを使用した。テレメータによる気象データの観測項目は、雨量、気温、路面温度、路面状態、風向風速、積雪深、降雪量（降雨量）等である。ただし、施設によって観測を実施していない項目がある場合がある。

(2) 研究方法

a) 立ち往生発生状況の整理

登坂不能車発生箇所マップデータより、平成 23～令和 2 年度の全国における立ち往生発生状況の基本的な傾向を整理する。

b) 冬期交通障害発生時の ETC2.0 プローブ情報の特徴分析及び冬期交通障害検知手法の検討

令和 2 年度冬期を対象に、通行止め記録より、実際に冬期交通障害が発生した箇所及び期間における ETC2.0 プローブ情報の特徴について分析する。その後、特徴分析から得た事項を検知指標として、ETC2.0 プローブ情報から冬期交通障害発生を検知する手法を構築する。さらに、構築した手法を用い、実際の冬期交通障害を対象に、発生検知の試行を実施する。

3. 立ち往生発生状況の整理

登坂不能車発生箇所マップデータ（平成 23～令和 2 年度、合計 7,016 件）に基づき、過去 10 年（冬期）の全国の立ち往生の基本的な発生傾向について整理した。

(1) 地域・年度別発生傾向

図-1 および表-2 に、地域（地方整備局及び開発局）別、年度別の立ち往生発生傾向を示す。

地域別には、東北地方、北陸地方における発生が過去

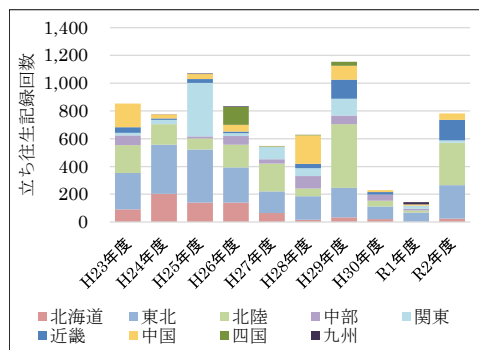


図-1 地域別立ち往生発生状況

表-2 地域別立ち往生発生状況 (件数)

	北海道	東北	北陸	中部	関東	近畿	中国	四国	九州	全国計
H23年度	92	261	200	71	18	40	172	0	0	854
H24年度	203	353	149	0	31	10	28	0	1	775
H25年度	139	383	80	15	385	27	36	1	4	1,070
H26年度	139	254	163	62	22	11	48	130	5	834
H27年度	65	156	200	32	88	0	3	3	0	547
H28年度	17	170	54	90	56	31	205	5	0	628
H29年度	34	212	459	61	122	136	101	29	0	1,154
H30年度	21	90	43	41	2	19	14	0	0	230
R1年度	1	67	16	10	24	0	9	0	15	142
R2年度	25	240	306	0	16	149	46	0	0	782
合計	736	2,186	1,670	382	764	423	662	168	25	7,016
(%)	10%	31%	24%	5%	11%	6%	9%	2%	0%	100%

10 年の立ち往生発生件数の約半数を占める。降雪の影響が大きいと思われる北海道地方では過去 5 年程発生件数が少なくなっている一方、比較的少雪といえる地域では年度による偏りがあり（関東地方は平成 25 年度、近畿地方は平成 29 及び令和 2 年度、中国地方は平成 23 及び 28 年度、四国地方は平成 26 年度に突出して件数が多い）、近年指摘される局所的、集中的な大雪の傾向を反映していると思われる。

(2) 気温別発生傾向

図-2 に、立ち往生発生時の気温別の傾向を示す（「不明」、記載なしを除く）。

気温は、 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ （小数点以下の記録は四捨五入）の範囲で多く発生している。また、気温の分布には地域差が認められ、地域ごとの気候の違いや、立ち往生の発生しやすい条件の差異を反映しているものと考えられる。

(3) 路面状態別発生傾向

図-3 に、立ち往生発生時の路面状態別の傾向を示す。

路面状態は、「圧雪」状態が最も多く約 7 割を占める。ただし、道路管理者（北陸地方整備局管内）へのヒアリングによると、「圧雪」には、走行車両により踏み固められた雪の他、除雪作業や凍結防止剤散布により変化した状態の雪、「ザクレ（ざくざくの雪、つぶ雪、ざらめ状の雪）」等を含んでいることを確認している⁶⁾。また地域によっても立ち往生発生時の路面状態の分布は異なり、降雪や残雪の程度に地域差があるものと考えられる。

(4) 道路勾配別発生傾向

図-4 に、立ち往生発生箇所勾配別の傾向を示す（「不明」、記載なしを除く）。

勾配は、 $5\sim 6\%$ 台で特に発生の記録が多い。ただし、本データは現道の勾配別道路延長を鑑みたものではないため、記録が多い勾配条件で立ち往生が発生しやすいことを必ずしも示すものではない。一方で、 1% 未満の緩勾配箇所でも立ち往生発生回数が多く、交差点等の低速走行や停止が起こりやすい箇所が相当すると考えられる。

(5) 車種・タイヤ・チェーン装着状況別発生傾向

図-5 に、立ち往生車両の車種・タイヤ種別・チェーン装着状況別の傾向を示す。

車種は、大型車が最も多い。

タイヤ種別及びチェーン装着状況は、非対策の車両（ノーマルタイヤまたはチェーン装備なし）において一定数の立ち往生が発生している一方、スタッドレスタイヤのみの車両でも立ち往生が多く発生しており、タイヤ

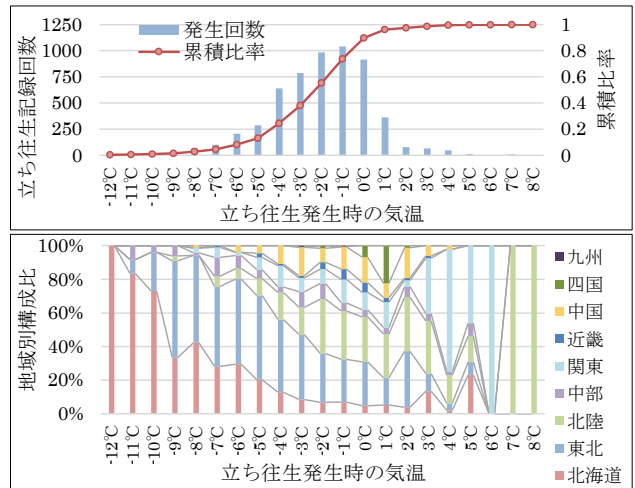


図-2 気温別立ち往生発生状況（上段：全国，下段：地域別）

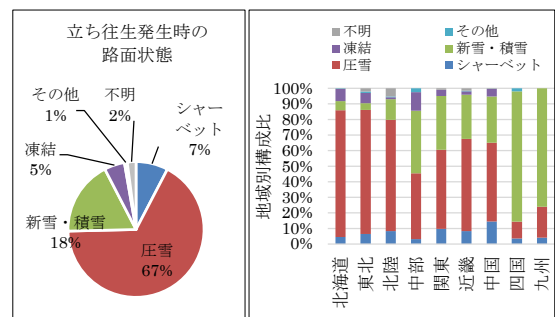


図-3 路面状態別立ち往生発生状況（左：全国，右：地域別）

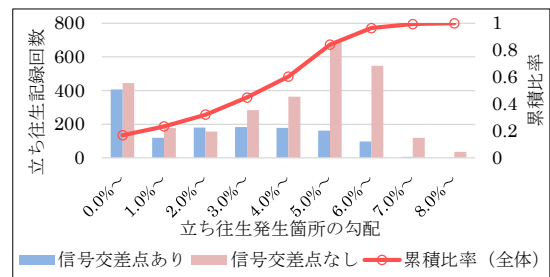


図-4 勾配別立ち往生発生状況

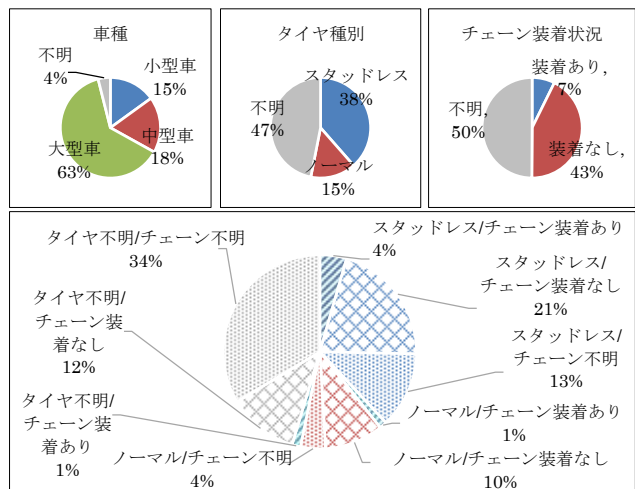


図-5 車種・タイヤ・チェーン装着状況別（全国）

のみの対策では回避できなかった事象も多く発生していると思われる。なお、タイヤ種別及びチェーン装着状況については全走行車両の内訳が不明であることから、対策状況と立ち往生発生しやすさの関係を直接的に示すものではない。また、地域別の傾向を見ると(表-3)、北海道、東北、北陸地方ではノーマルタイヤの車両の発生は少なく、これは雪道への対策の習慣があり、非対策車両の走行数が少ない状況を反映していると思われる。これに対して中部、関東、中国以南の地方ではノーマルタイヤやチェーン装備なし車両の記録が比較的多く、雪道への不慣れによる対策不十分が原因といえる立ち往生が一定数を占めていると考えられる。

4. 冬期交通障害発生時の ETC2.0 プローブ情報の特徴分析

特徴分析の対象とする冬期交通障害について、表-1のうち、以下を満たす 5 事例 (No.6, 15, 18, 23 及び 24) を選定した。

- ・冬期交通障害に関する記録内容が充実している。
- ・該当箇所・時間の ETC2.0 プローブ情報サンプル数が比較的豊富である。

対象の通行止め 5 事例のそれぞれについて、該当区間(冬期交通障害発生区間を含む計 5km 区間)及び期間(冬期交通障害発生記録時刻の前 2 日～後 1 日)を対象に、冬期交通障害発生時の ETC2.0 プローブ情報の特徴を分析した。

(1) 平均旅行速度

a) ETC2.0 プローブ情報の概況

通行止め記録にある冬期交通障害を含む期間及び区間について、ETC2.0 プローブ情報の平均旅行速度は図-6のように表現できる。一例として国道 8 号下り方向(富山市)の事例(表-1 中の No.15)を示す。ここで、縦軸は下に向かって時系列を示し、横軸は路線沿いの距離方向を示す。また、図中の色分けにより平均旅行速度(km/h)を示す。旅行速度は、該当路線を通過(区間中に出入りするものを含む)した各車両の 100m, 30 分ごとの速度値を整理済みであり、100m, 30 分ごとに平均速度を算出したものである。

図-6 より、交通障害のない期間(図-6 中の白実線枠部)には、この区間におけるおおよそ平常な交通状態が日内変動しながら周期的に現れていることが分かる。一定の位置(KP)で出現する低速の箇所は信号交差点である(図-6 中の 247.4KP, 248.7KP 付近)。一方、冬期交

表-3 車種・タイヤ・チェーン装着有無別(地域別)

タイヤ	チェーン	北海道	東北	北陸	中部	関東	近畿	中国	四国	九州
スタッドレス	装着あり	4%	6%	6%	7%	4%	4%	2%	0%	0%
スタッドレス	装着なし	43%	22%	21%	23%	13%	13%	16%	5%	0%
スタッドレス	不明	30%	10%	13%	6%	4%	20%	15%	4%	0%
ノーマル	装着あり	1%	1%	1%	1%	3%	0%	2%	1%	0%
ノーマル	装着なし	2%	4%	3%	15%	37%	9%	14%	11%	28%
ノーマル	不明	1%	2%	1%	22%	12%	4%	5%	2%	20%
不明	装着あり	0%	3%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
不明	装着なし	1%	22%	12%	4%	6%	5%	9%	0%	16%
不明	不明	19%	31%	42%	23%	21%	46%	37%	77%	36%
	全件数	736	2,186	1,670	382	764	423	662	168	25

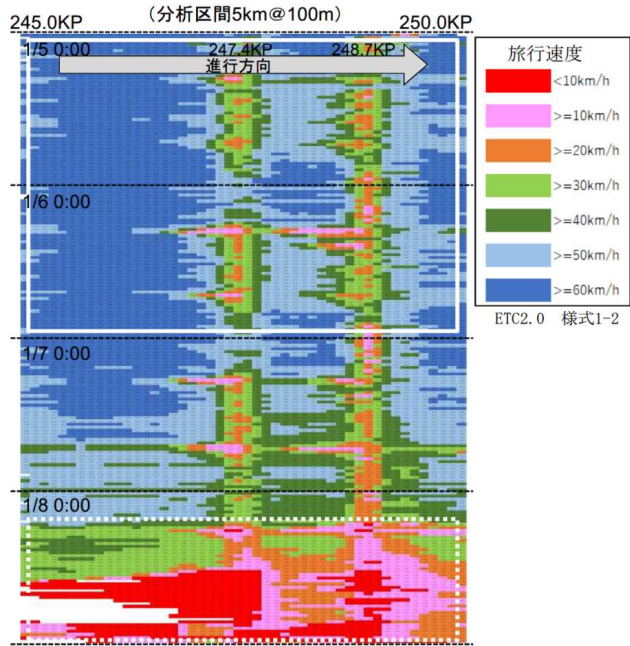


図-6 旅行速度の時間・空間分布
事例 No.15 : 国道 8 号(下り) 245.0~250.0KP (富山市内)

通障害の発生時(図-6 中の白点線枠部)には、平常の状態とは明らかに異なり、分析区間全体に及ぶ著しい低速状態(滞留)が発生している様子が認められた。さらに、低速状態は突発的に発現するのではなく、平常な状態から次第に交通状態が悪化する様子が確認された。

b) 冬期交通障害発生時の旅行速度分布の特徴

冬期交通障害発生時の異常な(平常の状態と異なる)交通状態は、平常の走行状態と比較することにより、その特徴を説明できると考えられる。そこで本研究では、特徴分析を行う各区間について「冬期交通障害発生時」と「平常時」を設定し、両者の旅行速度分布の統計値を比較することにより、冬期交通障害発生時の特徴を説明することとした。

「平常時」の旅行速度分布は、次の通り設定する。

各 5km 区間について、令和 2 年度冬期(12 月~3 月)のうち、交通に影響を与えうると考えられる気象条件の期間を除いた期間を「平常通りの交通状況が維持できた

期間」と捉え、時間帯別（1 時間ごと 24 時間分）平均旅行速度分布を算出した。また、平常時の集計対象から除去する期間の気象条件は以下のいずれかの場合とした。

- ・気温 0°C未満である。
- ・気温 3°C未満で積雪・降雪・降水のいずれかがある。

これらの条件は、特徴分析対象の 5 事例について、「冬期交通障害発生時」を含め交通状態に低速状態が生じている期間（平常時から除去すべき期間）を旅行速度から仮定し、その期間に共通する気象条件より設定した。事例 No.15 を除いて、上記の通り仮定した期間（30 分単位）のうち 99%が気温 0°C未満に該当した（No.15 を含めると 72%）ため、これを交通に影響を与える気象条件の一つとした。一方、No.15 では、気温 3°C程度まで旅行速度が低速となる状況があることを確認した。気温が 0°Cを上回る場合も、路面に水分がある場合には走行環境に影響があるものと推定し、二つ目の条件を設定した。両条件を用いた場合、全 5 事例の上記仮定期間のうち該当する割合は 91%となった。

なお、気象データは、各区間の直近のテレメータにおける観測記録を利用した。

図-7 は、国道 8 号下り方向（富山市）の冬期交通障害（表-1 中の No.15）を例に、「冬期交通障害発生時」と「平常時」の速度分布（5km 区間の統計値）の時系列変化を重ね合わせたものである。図中のハッチ部の上端が平常時の旅行速度分布の統計値（平均値、5%タイル値）を、折れ線が冬期交通障害発生時の速度分布（85%タイル値、平均値、15%タイル値）を示す。この速度分布は、5kmの集計区間に対して 100m ごと、車両 ID ごとの速度値に基づいて作成している。従って、ある時刻の速度分布は、5km 区間内の 100m 単位（計 50 区間）の速度値の分布を捉えているものと考えられる。

図-7 から、冬期交通障害発生時には、気象条件の悪化を端緒として、平常時の速度分布と比較して段階的に旅行速度が低下していることが分かる。具体的には、まず高速度帯の旅行速度が低下する。これは、区間内で平常状態であれば比較的高速で走行可能な区間において、気象条件の悪化により走行環境が悪化し、高速での走行が抑制されたものと考えられる。次いで低速度帯の旅行速度が平常時を逸脱して低下する。これは区間内において交通状態が悪化し渋滞や滞留の箇所が生じている状態と考えられる。その後、平均速度が著しく低下する。これは区間全体に滞留が及び、交通障害に至っている状態と考えられる。

前述のような段階的な交通状態悪化の傾向は、特徴分析の対象とした 5 件の冬期交通障害事例のいずれにおいても共通して認められた。この傾向を冬期交通障害発生

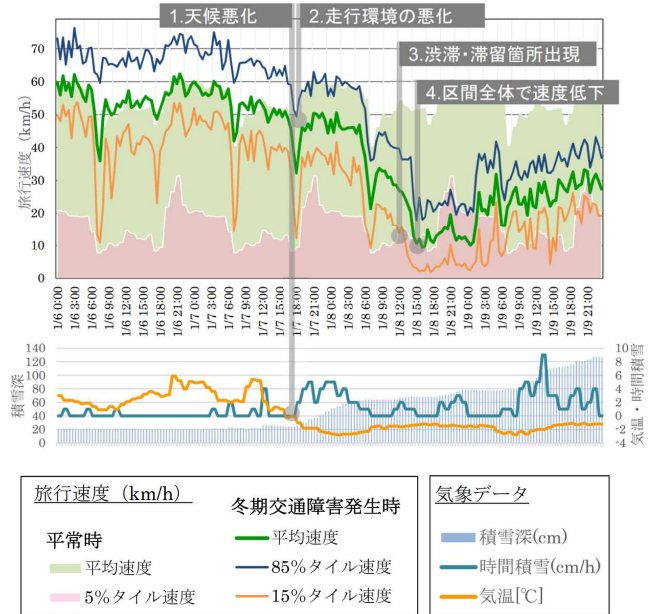


図-7 旅行速度分布の時系列変化

事例 No.15 : 国道 8 号下り 245.0~250.0KP (富山市内)

表-4 旅行速度分布の時系列変化の特徴及び推測される交通状態の変化

	旅行速度分布統計値の時系列変化の特徴	推測される交通の状況
1.	—	(天候の悪化)
2.	高速度域の低下 [当日 85%タイル速度 < 平常時平均値]	積雪・凍結により走行環境悪化 ⇒ 高速走行の抑制
3.	低速度域の異常低下 [当日 15%タイル速度 < 平常時の下限値 (5%タイル速度)]	平常通りの走行が困難な箇所 (渋滞・滞留) 出現 ⇒ 局所的な渋滞・滞留
4.	平均速度の異常低下 [当日平均速度 < 平常時の下限値]	区間内広範囲で速度低下 ⇒ 著しい滞留状態

時に ETC2.0 プローブ情報から得られる平均旅行速度の特徴として、表-4 の通り整理する。なお、特徴の明文化にあたり、定量的な指標として利用できるよう、それぞれの速度分布の統計値を用いて定義した。

(2) ETC2.0 走行台数

ETC2.0 車載器の普及台数は令和 3 年度末時点で約 760 万台であり (ETC 総合情報ポータルサイト⁷⁾より)、国内の自動車保有台数約 8,000 万台 (一般財団法人自動車検査登録情報協会 HP より) に対して 1 割未満である。また関東都市圏と地方部でも普及率は異なり、ETC2.0

車両の走行台数を交通量の目安とすることは適切でない。しかしながら、同一の路線・時間帯における走行車両台数の増減の評価に用いることは可能と考えられる。

特徴分析対象である 5 件の通行止め事例について、各区間を通過する ETC2.0 走行台数を時間帯別に確認したところ、冬期交通障害発生時には、それ以外の期間と比較して、交通障害の直前期間の水準に対して ETC2.0 走行台数が減少する傾向が認められた(図-8)。また、交通障害の解消後には ETC2.0 走行台数は障害前の水準へ回復することが確認された。

ここで、ETC2.0 走行台数とは、各区間の端から端までを通過した 1 車両のトリップを 1 台とし、30 分ごとに通過台数を計上したものである。交差点等の出入りにより区間内の走行距離が区間延長の 5 割となる場合は 0.5 台を計上する。また、直前期間の ETC2.0 走行台数とは、通行止めの記録がある日の前 2 日間の ETC2.0 走行台数の時間帯別平均値である。

冬期交通障害発生時に走行車両のサンプル数が減少する現象については、商用車プローブデータと立ち往生発生との関係について調査した飯田ら⁹⁾も指摘している。この原因については、天候悪化の予報等に基づく出控えや代替路線の選択により、冬期交通障害の危険が予想される路線において車両走行台数が通常に比べて減少するなど、交通量の変化に体系的な特徴が存在する可能性がある。また、通行止め措置や路線の閉塞による、区間内への流入車両の減少等の影響が考えられる。

なお、路線の車両走行台数を示すデータとしては、正確な交通量を把握可能なトラフィックカウンターによる常時観測データが挙げられるが、設置箇所は限られている。本研究では、冬期交通障害が発生した区間のピンポイントな特徴を捉えることを重視し、前述の通り、同一区間における ETC2.0 走行台数の増減のみに着目する。

(3) スリップ発生状況

降雪や雪面の凍結により走行環境が悪化すると、車両のスリップ挙動が発生しやすくなると考えられる。

一方、ETC2.0 プローブ情報のうち挙動履歴データは、車両の急挙動事象の指標である前後加速度、左右加速度、ヨー角速度がそれぞれの閾値を超えた時、急挙動の発生箇所(緯度経度)及び時刻をその数値とともに記録している。瀬尾ら⁸⁾は、ETC2.0 プローブ情報の挙動履歴データから冬期道路におけるスリップ挙動を抽出する手法について検討しており、前後加速度 $-0.5G$ 以下を閾値の一つとする手法を提案している。

スリップ挙動の有無が冬期交通障害(立ち往生や交通事故)の発生を直接的に示すものではないものの、スリ

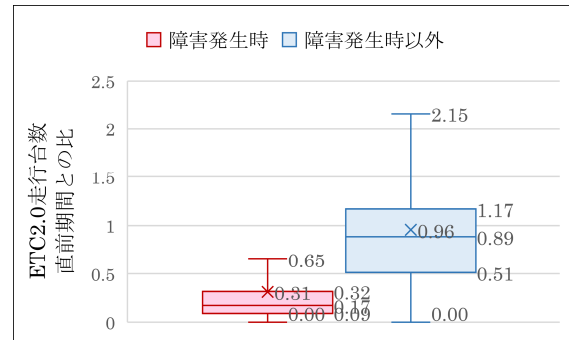


図-8 ETC2.0 走行台数の比

ップが多発する区間や期間は通常の走行状態ではなく、冬期交通障害が発生するリスクが高まっているといえる可能性がある。そこで、特徴分析対象である 5 件の通行止め事例を対象に、ETC2.0 プローブ情報の急減速挙動の発生状況を確認した。冬期交通障害発生時を含む 10 日間の前後加速度 $-0.5G$ 以下の挙動の発生回数(回/走行台数)の時系列変化を確認したが、気象条件(気温、路温、積雪深、降雪量)の変化や冬期交通障害発生期間との関係を確認できなかった。

5. 冬期交通障害発生検知手法の検討

(1) 検知フローの構築

4. の結果に基づき、交通障害の発生を検知する指標を設定し、検知フローを構築した。

検知指標には、ETC2.0 プローブ情報から得る旅行速度及び ETC2.0 走行台数を設定した。旅行速度は、表-4 にて示した、冬期交通障害発生時の特徴及び速度分布の各統計値を活用する。ETC2.0 走行台数は、交通に何らかの異常が発生している状況を示す指標として、各区間における ETC2.0 走行台数の直前期間の水準との比(0.5 以下)を使用する。一方、スリップ発生状況については、検知指標としての活用に耐えうる傾向を把握出来なかったため、本研究では検知指標としての使用を見送った。より多様な箇所や網羅的な冬期交通障害の事例に対して引き続き調査した上で、指標として活用できるか改めて検討する必要があるものとする。

検知フローの検討にあたり、通行止め記録の「通行止め期間」を各区間において冬期交通障害が確実に生じていた実績として取り扱う。なお、通行止め期間中においても残留車両の排出等により、区間内に走行車両があり、ETC2.0 のデータを概ね取得できていた。また検知フローは、特徴分析を実施した 5 事例のデータに基づき構築し、冬期交通障害発生を検出できない「見逃し」が最も

少なくなるように調整した。

表-5 及び図-9 に、構築した検知フロー及び検知指標を示す。フローは、対象の路線 1km 区間に対して 30 分ごとに検知を実行する。旅行速度分布の時系列変化の特徴から、冬期交通障害の発生時には、区間内の交通状態が平常時と比較して段階的に悪化する傾向があることを指摘した(表-4)。そこで検知フローでは、この特徴に相当する交通状態の悪化段階を表-5 中の指標 b~d によって判定し、もっとも悪化している指標 d まで合致した場合に「冬期交通障害が発生している」と判定する。また、図-9 中の「冬期交通障害の継続性判定」部では、当該の時刻に指標 d の合致に至らないが直前の時刻に冬期交通障害発生ありと判定していた場合、直前 90 分間に区間内で滞留状態が継続している、または ETC2.0 走行台数が直前水準の 5 割まで回復していない場合は交通障害が継続していると判断し、障害発生ありと判定する。

なお、本項以降、旅行速度は平常時、冬期交通障害発生時ともに検知単位と同じく 1km 区間で集計する。また、ETC2.0 プローブ情報には車種情報が含まれており、全車両、大型車(8t 以上及び 11t 以上)のそれぞれの走行情報に対して検知を実行し、いずれかでフローを満たせば冬期交通障害発生ありと判定するとした。

(2) 検知フローの試行

構築したフローを用いて、表-1 の通行止め全 24 事例を対象に、冬期交通障害発生の検知を試行した。

a) 30分単位の検知結果による評価

検知フローによる検知試行結果を表-6 に混同行列にて示す。なお検知の対象区間は、表-1 の 1 事例あたり、冬期交通障害発生箇所を含む 5km を 1km ずつ 5 区間(No.1 のみ 3km を 3 区間)に分割し、上下線に影響が及んでいる事例を含み、計 193 区間とした。また期間は、各事例について冬期交通障害発生前 2 日～後 1 日を対象とし、30 分間隔で検知を実行した。表-6 中の 1 件は 1km × 30 分ごとに実行した全検知の回数である。

試行の結果、全体正解率約 62%、適合率(冬期交通障害発生あり判定のうち正解した割合)約 26%、再現率(実際の冬期交通障害を正しく判定できた割合)約 68% となった。すなわち、冬期交通障害発生と判定したが不正解であった「誤検知(空振り)」が約 74%、交通障害発生を捉えられなかった「見逃し」が約 32% となった。

ここで、検知フローは主に区間内の著しい滞留状態を検出している(表-5 の指標 d)。冬期交通障害(立ち往生や交通事故)の発生メカニズムを踏まえると、フローにより検出している事象は、「冬期交通障害(あるいは、その結果の通行止め)が生じたことによる滞留」と「冬

表-5 検知指標

	検知指標の内容	交通状況
検知指標 a	気温<0°Cまたは 気温<3°Cかつ降雪・積雪・ 降雨あり	気象条件悪化
検知指標 b	85%マイル速度 <平常時の平均速度	高速走行抑制
検知指標 c	15%マイル速度 <平常時の 5%マイル速度	局所的な 渋滞・滞留
検知指標 d	平均速度 <平常時の 5%マイル速度	区間全体の 著しい滞留
検知指標 e	直前の時刻に障害ありと判定	※直前に検出 した冬期交通 障害の継続を 判定
検知指標 f	90 分前から指標 c 以上の 判定あり	
検知指標 g	ETC2.0 台数が事前の水準に 対して 0.5 倍まで回復	

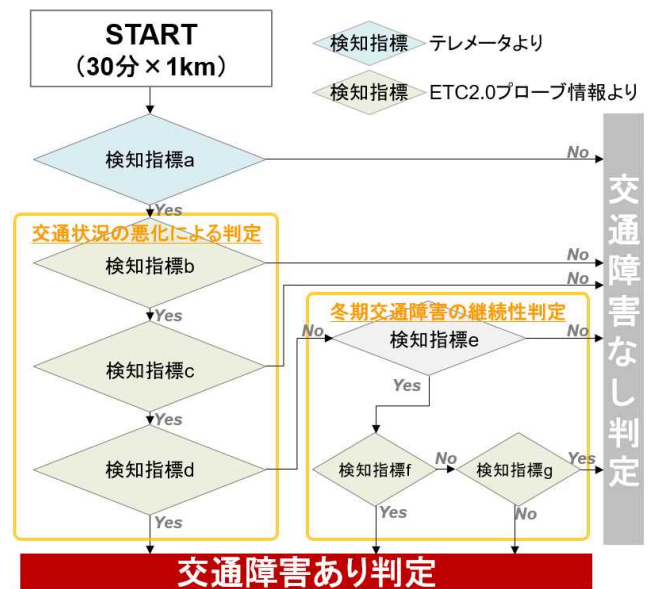


図-9 冬期交通障害発生検知フロー

期交通障害の原因となった滞留」の両方の可能性が考えられる。一方で、本研究においては、通行止め期間を冬期交通障害の実績あり期間に設定している。この期間中の滞留は、前述するところの「冬期交通障害の結果」にあたり、交通障害に先立って発生した滞留は正解に含まれない、すなわちこのような滞留を検出した場合には誤検知となっている可能性がある。

そこで、検知フローはそのままに、検知結果に対する正解の判定方法として以下の操作を加える。

・正解判定の追加操作：『フローにより「冬期交通障害発生ありと判定した」時刻の後、3 時間以内に通行止め期間となった場合、該当時刻の検知を正解とする。』

この操作は、検知フローが通行止め期間に先立つ滞留を捉えた場合、冬期交通障害発生の原因となった滞留を検出できていたと判断するものである。この操作を加えた場合の検知結果を表-7 に示す。誤検知扱いとなっていた冬期交通障害に先立つ滞留現象の一部が正解と判定され、正解率が向上したと考えられる（全体正解率約 65%、適合率約 31%、再現率約 72%）。

b) 通行止め事例あたりの検知結果による評価

本研究において、冬期交通障害の実績である「通行止め期間」の期間長には幅があり（最短で 1 時間：30 分×2 回検知，最長で 57.5 時間：30 分×113 回検知），特定の区間の検知結果が全体の結果に影響している可能性がある。そこで、フローの検知結果について、各区間の通行止め期間をそれぞれ一連（1 件）の冬期交通障害とし、全 193 件のうち発生を検出できた割合（以下「捕捉率」という。）の算出を試みた。

検知フローにより 1km×30 分ごとに検知を実行し、「冬期交通障害発生あり」と判定した時刻のいずれかで通行止め期間が「開始した」場合、「通行止めに至る一連の冬期交通障害の発生を検出できた」ものとする。結果を表-8 に示す。なお、ここでは検知結果に対して不正解を特に計上しないため、混同行列の形式では整理しない。結果として、通行止め事例あたりの捕捉率は約 69%となった。

一方、検知フローによる冬期交通障害発生あり判定の前 1 時間以内に記録された通行止めを、フローにより検出できたものとして許容すると、通行止め事例あたりの検知結果は表-9 となる。捕捉率は約 80%となり、この増大分（20 件）は、検知フローそのものでは通行止めに至る前に交通障害を検出できない（ただし通行止め後に検出できた）事例（見逃し）を示す。これは通行止めや冬期交通障害に先立って滞留が発生していない、またはフローでは捉えられていないことを示している。20 件の内訳は交通事故の影響によるものが 13 件、立ち往生の影響によるものが 7 件となっており、滞留と関係なく発生しうる交通事故の割合が高いものの、一般的に著しい滞留という条件下において発生すると思われる立ち往生についても、事前の滞留を伴わない（あるいは検出できなかった）場合があるとわかった。なお、残りの 39 件の見逃しの内訳は、交通事故の影響によるものが 28 件、立ち往生の影響によるものが 11 件であった。

(3) 見逃し及び誤検知の原因と検知フローの改良方策

冬期交通障害発生検知フローの検知能力向上には、検知指標や閾値の改善と併せて、現状における見逃し及び誤検知の原因分析と削減が不可欠である。

表-6 検知結果（30分単位）
（単位：件/区間/30分）

		冬期交通障害の実績	
		実績あり	実績なし
フローの 検知結果	発生	正解 A 3,524	誤検知 B 10,302
	発生 なし	見逃し C 1,632	発生なし正解 D 16,150

- 全体正解率 = $(A+D) / (\text{全数}) = 62.2\%$
- 適合率 = $A / (A+B) = 25.5\%$
- 再現率 = $A / (A+C) = 68.3\%$

表-7 検知結果（30分単位）
（障害発生判定後 3 時間以内を事後的に正解とした場合）
（単位：件/区間/30分）

		冬期交通障害の実績	
		実績あり	実績なし
フローの 検知結果	発生	正解 A 4,232	誤検知 B 9,594
	発生 なし	見逃し C 1,632	発生なし正解 D 16,150

- 全体正解率 = $(A+D) / (\text{全数}) = 64.5\%$
- 適合率 = $A / (A+B) = 30.6\%$
- 再現率 = $A / (A+C) = 72.1\%$

表-8 検知結果（事例あたり）
（単位：件/区間）

実績あり件数 E	193
通行止め（実績あり）の開始が 冬期交通障害発生判定中にあった件数 F	134
通行止め（実績あり）の開始が 冬期交通障害発生判定中になかった件数=見逃し	59

- 捕捉率（冬期交通障害発生を検出できた割合）
= $F/E = 69.4\%$

表-9 検知結果（事例あたり）
（障害発生判定前 1 時間以内を検出できたものとした場合）
（単位：件/区間）

実績あり件数 E	193
通行止め（実績あり）の開始が 冬期交通障害発生判定中にあった件数 F	154
通行止め（実績あり）の開始が 冬期交通障害発生判定中になかった件数=見逃し	39

- 捕捉率（冬期交通障害発生を検出できた割合）
= $F/E = 79.8\%$

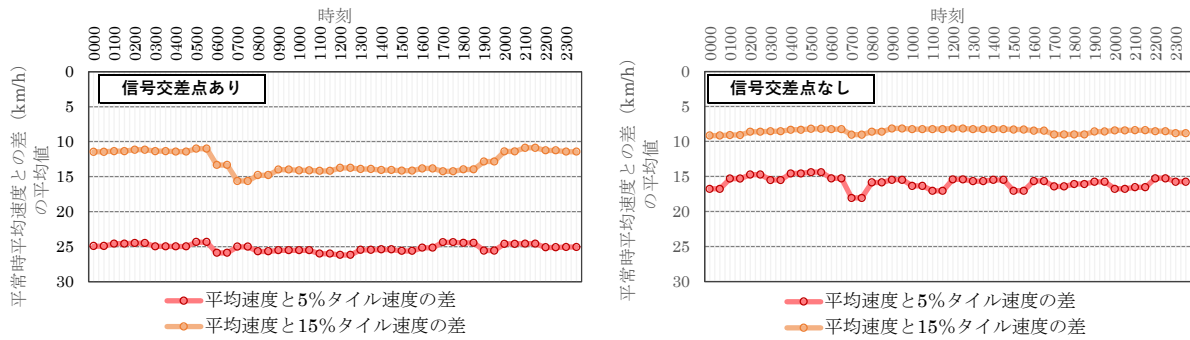


図-10 平常時の旅行速度分布の信号交差点有無による違い

a) 見逃し・誤検知の原因

本研究にて構築した検知フローは、主に ETC2.0 プローブ情報の旅行速度分布（異常な滞留の把握）に基づいて冬期障害発生を検知している。

30 分ごとの検知結果（表-6）のうち見逃し 1,632 件の内訳は、ETC2.0 データなしによる検知不可によるものが 924 件、著しい滞留の条件である指標 d に合致しなかったものが 708 件であった（事例あたりではそれぞれ 8 件、及び 51 件）。ETC2.0 データ欠測への対応及び滞留状態を適切に把握する手法の検討が必要である。

一方、誤検知は、全件が冬期交通障害（通行止め）期間と一致しない時刻にて発現した著しい速度低下である。冬期交通障害と結び付けられる、または無関係な滞留状態を適切に把握する手法の検討が必要である。ただし、前述の通り、本研究では冬期交通障害の実績を通行止め期間と限定的に設定しており、この実績の期間外にも、実際にはほとんど交通障害に至っているような状況が発生していた可能性は十分に考えられる（本研究では誤検知となっている）。

b) ETC2.0 データ欠測に関する方策

山間部など、もともとの交通量が多くない路線では、天候悪化への懸念や出控えの影響もあってか、検知単位である 30 分間に ETC2.0 車両の走行記録がない（ETC2.0 データなし）場合が認められた。検知フローでは当該時間の 90 分前までの滞留状況を考慮しており、単発的な欠測であれば冬期交通障害発生を検出できるが、長時間に渡って欠測が連続する場合は見逃しとなった。

また、ETC2.0 プローブ情報は、データ取得の仕様においてプライバシー保護のため、エンジン停止時や長時間の移動がない場合、直前の情報を削除する特性がある。長時間・長距離に渡る立ち往生状態において車列が動かない場合には、データ削除のため欠測となり、検知が実行できず見逃し扱いとなっている可能性がある。

検知手法の改良方策として、直前期間に交通状態の異常を把握したときに ETC2.0 データが欠測となった場合

には、障害発生ありと判定するなどの工夫が必要である。

c) 滞留状態の適切な把握に関する方策

適切に滞留状態を把握するために注力が必要な事項の一つとして、平常時の設定を挙げる。

本研究では、旅行速度を同一区間・同一時間帯の平常時と比較することにより交通状態の異常を検出する閾値を設けている。平常時の旅行速度分布を確認したところ、箇所によってその傾向が大きく異なることが分かった。

図-10 に、検知単位である 1km 区間内に信号交差点を 1 箇所以上有する区間（61 区間）と信号交差点がない区間（64 区間）を分類（ただし、道路構造の資料を入手していた区間のみ）し、それぞれ平常時の速度統計値（5%タイル、15%タイル速度）の平均速度からの差の平均値を時系列変化で示す。図-10 より、信号交差点のような速度低下要因がある区間では定常的に低速になる箇所があるため、平常時の平均速度から 5%タイル速度までの差が大きくなっていると考えられる。閾値の基準となる平常時の速度分布の偏差が大きい区間では、通行止めに至るほどの異常な滞留であっても平常時の偏差内に収まり、異常を検出できない（見逃し）場合があった。同様に、平常時の速度分布の偏差が小さい区間では、冬期交通障害に至らないような速度変化に対しても敏感に異常を検出し、誤検知を頻発していた。

検知手法の改良方策として、路線の特徴（信号交差点有無、道路構造、沿道環境等）と平常時の旅行速度分布の関係について調査し、基準となる平常時の速度を適切に設定するための知見収集と手法の検討が必要である。

6. 結論

冬期交通障害の大規模化を抑制するために、立ち往生や交通事故といった交通障害の発生をいち早く把握することが必要である。冬期交通障害の発生を検知する手法として、ETC2.0 プローブ情報に着目した。

令和 2 年度冬期に直轄国道で発生した冬期交通障害に

起因する通行止めの記録に基づき、交通障害発生時の ETC2.0 プローブ情報から取得する旅行速度分布を分析した結果、同一路線の同一時間帯の平常時と比較して、冬期交通障害発生時には交通状態が段階的（高速走行の抑制→局所的な渋滞・滞留の発生→区間全体に及ぶ著しい滞留）に悪化する傾向があることを確認した。

上記の特徴に基づき、ETC2.0 プローブ情報を用いて冬期交通障害の発生を検知するフローを構築し、実際の冬期交通障害（通行止め）記録に対して検知を試行した。検知フローは、主に対象区間（1km）における著しい滞留状態を検出し障害発生ありと判定する。フローは 30 分ごとに検知を実行するが、障害発生判定後 3 時間以内に冬期交通障害に至る場合を正解とすると全体正解率約 65%、適合率約 31%、再現率約 72%等となり、該当時刻のみを正解とする場合より正解率が向上した。従って、本フローで検出する著しい滞留状態は、「冬期交通障害の結果生じた滞留」と「冬期交通障害の原因となった滞留」の両方を含んでいるものと考えられる。現段階の検知フロー及び指標では両者を判別できないが、これらは交通状態が悪化する中の異なる段階に相当すると推測される。冬期交通障害の発生より前の段階をより詳細に調査することにより、両者の区別に加え、冬期交通障害の予兆となる事象を検出できる可能性がある。

本研究で構築したフローの結果から、冬期交通障害発生時に顕在化する滞留状態をマーカーとすることにより、ETC2.0 プローブ情報を用いて冬期交通障害の発生を検知することができる。一方で、本フローは未だ誤検知と見逃しが多く残存しており、さらなる調査と検証、新たな指標の検討等により検知手法を改良していく必要がある。特に、滞留状態を把握する基準となる平常

時の旅行速度分布には路線の特徴（道路構造、沿道環境等）によって異なる傾向があることが示唆されたことから、多様な条件に対して適切な平常時の設定を行い、適切に冬期交通障害に関連する滞留状態を把握することで、誤検知と見逃しの削減が図られる。

参考文献

- 1) 川瀬晴香, 池原圭一, 高橋歩夢, 小林寛: 大雪に伴う立ち往生車両発生傾向と予防的対策の実施状況, 土木技術資料, Vol.62-3, pp.12-15, 2020.3
- 2) 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, 雪氷, Vol.83, No.5, pp.507-522, 2021.9
- 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, I_1371-I_1387, 2021
- 4) 飯田雅之, 伊藤潤: 集中降雪時における立ち往生車両リアルタイム検知に向けた一考察, ゆき, No.126, pp.78-81, 2022.3
- 5) 栗原和幸: 冬期道路における登坂不能車発生データを活用した発生要因の別の傾向について, ゆき, No.121, pp.22-25, 2020.12
- 6) 池原圭一, 川瀬晴香, 小林寛: 冬期道路の立ち往生車両発生傾向, 土木技術資料, Vol.61-4, pp.46-49, 2019.4
- 7) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構: ETC 総合情報ポータルサイト, ETC/ETC2.0 (DSRC) 普及状況, <https://www.go-etc.jp/fukyu/index.html>
- 8) 瀬尾亜希子, 船岡直樹, 金木大輔: ETC2.0 プローブデータを活用したスリップ検出手法の構築, 交通工学研究発表会論文集, Vol.41, pp.199-206, 2021.

(2022.?? 受付)

RESEARCH ON USING ETC2.0 PROBE DATA AS A METHOD DETECTING TRAFFIC DISRUPTION ON WINTER ROAD

Sara KAGAMI, Sayuri KUBOTA, Keiichi IKEHARA and Takeshi IKEDA

Heavy snow on arterial road may seriously influence economic activities and human lives by causing massive traffic disruptions such as huge congestion or long-lasting road closure. It is essentially required to detect traffic problems such as vehicle stuck promptly and make actions immediately in order to prevent massive traffic disruption. This study focuses on ETC2.0 probe data as one method to detect traffic problems promptly on winter road.

Velocity distributions produced from ETC2.0 probe data shows the characteristics of the 5 cases of traffic disruptions occurred in winter of 2020. One of them indicates that the traffic statuses may become worse (vehicle speed become slower) in phases during the traffic disruption, compared with the ordinary traffic statuses of the identical section. The detection flow to detect traffic disruption on winter road using these characteristics is designed and tried for 24 traffic disruptions actually occurred in winter of 2020. The trial resulted in 72% as Recall and 31% as Precision. The possible causes of False Positives and False Negatives are also mentioned.