大雪時高速道路のスタックによる車両滞留を対象とした解消時間予測モデル

伊藤　颯[1]・小根山　裕之[2]・柳原　正実[3]

[1]学生会員　東京都立大学　都市環境科学研究科都市基盤環境学域

（〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1）
E-mail: itoh-hayate@ed.tmu.ac.jp

[2]正会員　東京都立大学　都市環境科学研究科都市基盤環境学域

（〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1）

E-mail:oneyama@tmu.ac.jp

[3]正会員　東京都立大学　都市環境科学研究科都市基盤環境学域

（〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1）

E-mail:yanagihara@tmu.ac.jp

近年，大雪に見舞われ，解消までに数日間を要するような大規模な車両滞留がほぼ毎年発生している．発生地域は雪国を中心として，東京・静岡などの比較的降雪の少ない地域まで広がっており，大雪による交通への影響は雪国に留まらない喫緊の課題である．大雪による大規模な車両滞留は，物流や移動の停止・搭乗者の命の危険など様々な被害をもたらす一方で，未だ滞留の長期化を防ぐ手立ては立っていない．滞留の長期化を抑制する方法の一つである「滞留車両の排出方法」については詳しい検討が行われていない．そこで本研究では，滞留車両の排出方法を検討するための滞留解消時間予測モデルの構築を行う．

Key Words: *Heavy snowfall, vehicle stucking, highway, congestion resolution time prediction, median opening*

1. 研究背景・目的

近年，大雪に見舞われ，解消までに数日間を要するような大規模な車両滞留がほぼ毎年発生している．**表-1** は 2017~2022 年の大規模な車両滞留の実例 [1),2)] をまとめたものである．滞留期間(スタック車両が発生してから，滞留車両をすべて排出するまでの時間)が 10 時間を超えるものを表に示した．福井・新潟などの雪国を中心として，東京・静岡などの比較的降雪の少ない地域でも大雪に伴う車両滞留が生じていて，大雪による交通への影響は雪国だけに留まらない．

大雪による車両滞留の長期化は，当該地域の物流の停止や移動の停止を招き，品切れの発生や配達遅延，工場生産の中止など，生活や経済活動に多大な影響を与えている．また，車両滞留に巻き込まれた搭乗者たちは，限られた食料・燃料・物資で自衛隊等の救助を待つ必要があり，寒さが厳しい環境の中では命の危険も存在している．

表-1　大雪による大規模な車両滞留の実例

発生期間	道路	発生区間	滞留期間	最大滞留
2017/1/23~24	米子自動車道	蒜山IC～江府IC	19時間	約300台 約4km
2017/2/11	新東名高速道路	御殿場JCT～長泉沼津JCT	11時間30分	約1000台 約9km
2018/1/10~13	北陸自動車道	金沢森本IC～小谷部IC	17時間	約460台 約5km
2018/1/22	首都高速道路	西新宿JCT～大井JCT	10時間	約12km
2018/1/22		王子南出口付近～滝乃川付近	11.5時間	約1.6km
2018/1/23		四ツ木出口～葛西JCT	11時間	約10km
2018/2/6~9	国道8号線	福井県敦賀市~石川県金沢市	65時間	約1500台 約46km
2020/12/16~19	関越自動車道	塩沢石打IC~小出IC(新潟)	33時間	約1750台
		湯沢IC～月夜野IC(群馬)	53時間	約350台
2021/1/9-11	北陸自動車道	福井IC～丸岡IC	43時間	約900台
		金津IC～福井北IC	59時間	約700台
2022/1/6-7	首都高速道路	板橋JCT~江北JCT(内回り)	14時間	約5.6km

冬期道路交通確保対策検討委員会 [1)]では，大規模な車両滞留が発生するたびに方針と対策を練り直している．2023 年 10 月現在では，「人命を最優先に，

幹線道路上の大規模な車両滞留を徹底的に回避する」ことを基本的な考え方とし，計画的・予防的な通行規制の実施やリスク箇所の監視強化などの予防的な対応策を重点的に講じている．しかしながら，予防的な対策によって車両滞留の発生を完全に抑制することは現実的ではなく，今後も大規模な車両滞留が発生する可能性は十分に存在しているが，滞留が発生した後の対策については十分な検討が行われていないのが現状である．

大雪による車両滞留時には除雪隊によって，滞留の先頭車両から順次走行が可能な状態へ移行させる作業が行われており，滞留先頭以外にも車両滞留部分に存在する中央分離帯開口可能部からUターンで対向車線を利用して排出させることで，排出作業の短縮を図ることができる．具体的には，図-1 に示すように，車両滞留が発生した際（状態①）に，滞留している車線の先頭滞留車両までの区間と，対向車線の中央部分離帯開口部までの区間の除雪を行い（状態②），周囲の除雪が完了した車両から順次排出を行う（状態③），という流れで排出作業を効率化できると考えられる．本研究では，滞留の先頭から順番に滞留部を離脱させる排出作業を「順行排出」と呼ぶ．また，滞留している車線から対向車線へ中央開口部を使いUターンさせ，滞留部を離脱させる排出作業は「Uターン排出」と呼ぶ．

2020 年 12 月 16~19 日に発生した関越自動車道の滞留事例 [3]では，中央分離帯開口部を用いたUターンによる車両排出を実施しており，細田らの研究[4]では，大雪に伴う大規模な車両滞留を想定した訓練として，中央分離施設(ワイヤーロープ式防護柵)の開口及び滞留車両誘導の訓練を実施している．このように，中央分離帯の開口によるUターン排出は滞留発生後の対策として実際に行われている．

U ターンによる排出方法を利用するとき，中央分離帯開口部を設置する場所やその利用順序次第で，解消までの所要時間は変化すると考えられる．つまり，排出作業の検討には，様々な排出順序に対応した解消までの所要時間を推定する必要があるが，滞留解消までの所要時間を予測・推定している研究は少ない．

滞留解消までの所要時間を予測することで，滞留している車両などへの情報提供及び効率的な車両排出の計画が可能になることから，実務の面でも所要時間予測は必要に迫られている．

そこで本研究では，大雪時における滞留発生後の対策について考察を行うための，滞留解消時間予測モデルを構築する．

2．滞留解消時間予測モデルについて

(1)　モデルの概要と想定している状況

本研究で構築した滞留解消時間予測モデルは，1 台当たりの排出作業時間に対する積雪の影響を考慮した，大雪時高速道路の滞留排出作業による解消ま

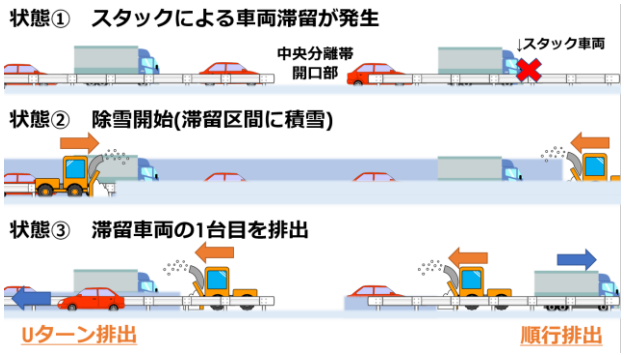


図-1　滞留排出作業のイメージ図

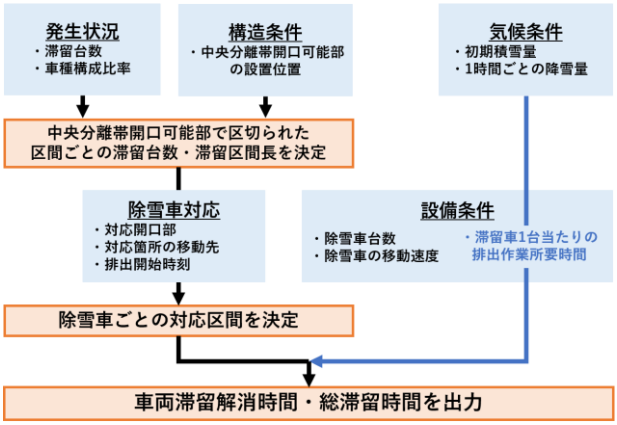


図-2　予測モデルの計算フロー

での所要時間を推定するモデルである．

モデル構築で想定している状況を以下に示す．

① 大雪時の高速道路でスタックを契機とした車両滞留(1 車線)が発生
② 滞留区間近辺の IC で上下線ともに通行止めを実施
③ 滞留が生じていない対向車線は除雪作業が終了し，車両滞留がない状態
④ 高速道路の中央分離帯に開口可能部が存在
⑤ 滞留の先頭からは順行排出，中央分離帯開口部からは対向車線を利用して U ターン排出を行う
⑥ 除雪隊が対応区間の滞留車両排出を完了した場合，中央分離帯開口部と対向車線を利用して，対応箇所を移動することができる

(2)　予測モデルの計算フロー

図-2 に滞留解消時間予測モデルの計算フロー図を示す．

「発生状況」「構造条件」「気候条件」「設備条件」「除雪車対応」に関する変数を入力として，全車両が移動可能になるまでの「滞留解消時間」と各車両の滞留時間の合計である「総滞留時間」を算出する．

発生状況と構造条件より，中央分離帯開口可能部で区切られた区間毎の滞留長・滞留台数を決定する．

表-2　各種説明変数

種別	変数	記号	説明	既定値	記号	説明
発生状況	滞留台数	N	滞留区間に存在する滞留車両の台数	車種ごとの車両長さ	Cl_k	・大型車, 中型車, 普通車, 軽自動車の車両全長 ・それぞれ 10m, 7m, 4.5m, 3.4mと仮定
	車種構成比率	Rc_k	滞留車両の車種ごとの構成割合	平均停止間隔	Si	・滞留車両の車間距離の平均値 ・本研究では6mと仮定
	平均車両長さ	$\boldsymbol{Cl}$	車種構成比率を考慮して仮想した車両長さ	-	-	-
	滞留区間長	$\boldsymbol{L}$	滞留車両の先頭から最後尾までの長さ	-	-	-
構造条件	中央分離帯開口可能部の設置間隔	Mi	本研究では中央分離帯開口可能部は等間隔で設置されていると想定	-	-	-
	滞留先頭車両と最も近い中分開口可能部までの距離	Mi_1	図-3中の滞留先頭から開口可能部Aまでの距離	-	-	-
設備条件	除雪車台数	Ns	稼働可能な除雪車の台数	除雪車移動速度	Vs	・除雪車の旅行速度 ・本研究では35km/hと仮定
	-	-	-	滞留車両1台当たりの排出作業時間	$Dt(t)$	・滞留車両を1台排出するときの所要時間 ・積雪による影響を受ける ・積雪量10cm以下の時，Dt(t)=60s/台と仮定
気候条件	初期積雪量	Sc_0	対応開始時点(t=0)における積雪量	積雪量による排出作業時間の増加割合	-	・積雪量10cmごとに15s/台増加すると仮定
	1時間降雪量	Sf	1時間当たりの降雪量	-	-	-
除雪車対応	初期対応開口部	-	1例を示して別途説明	-	-	-
	対応箇所の移動先	-		-	-	-
	排出開始時刻	T^{start}	それぞれの除雪車が排出作業を開始した時刻	-	-	-
出力変数	**滞留解消時間**	$\boldsymbol{T^c}$	排出作業を行う除雪車の移動開始から全ての車両が自力走行可能となるまでの時間	-	-	-
	総滞留時間	$\boldsymbol{Tt}$	それぞれの車両が滞留した時間の総計	-	-	-

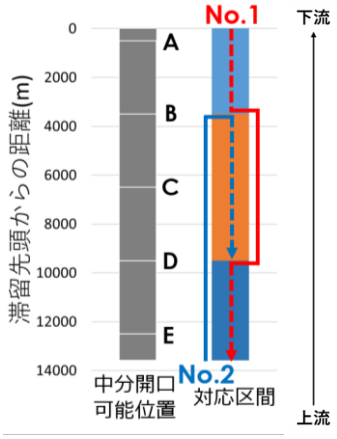


図-3　除雪車対応の模式図

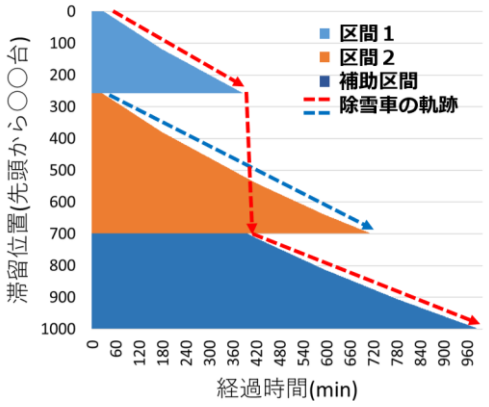


図-4　滞留位置の推移

その後，除雪車対応を設定することで，除雪車ごとの対応区間を決定する．そして，積雪量に従って変化する滞留車 1 台当たりの排出作業所要時間を用いて，対応区間それぞれの滞留解消時間と総滞留時間を算出するという計算フローになっている．

(3)　各種変数について

モデルで用いる変数について**表-2** に示す．

既定値で仮定している値について説明する．

車種ごとの車両長さは，普通自動車は小型自動車，ワンボックス，SUV などの平均値を，中型車は中型免許で運転できるトラックを，大型車は大型車で運転できるトラックを想定して仮定した．

平均停止間隔は，**表-1** のような滞留事例の中から，滞留台数と滞留区間長が判明している事例と平均車両長さから式(2)を用いて事例ごとに計算し，その平均値を仮定値として用いている．

除雪車移動速度は，NEXCO 東日本とのヒアリングにて，積雪深 5cm 以下の場合は 30~35km/h にて走行できることを確認している．

滞留車両 1 台当たりの排出作業時間及び積雪量による排出作業時間の増分は，滞留車両からの映像と NEXCO 東日本とのヒアリングより，1 台の排出作業に 1~5 分程度の時間が必要となることを確認し，それを考慮して設定している．

除雪車対応に関する変数について，1 つのシナリオを例示して説明する(**図-3**)．滞留区間中に中央分

離帯開口可能部が ABCDE と 5 つ設置してあり，除雪車 2 台が稼働している．除雪車 No.1 は滞留先頭から除雪を開始するとして，滞留車両がなくなったあとの対応箇所の移動先を D，除雪車 No.2 の初期対応開口部をBと設定する．その場合，除雪車No.1は先頭から開口可能部Bまでを順行排出し，その後，開口可能部Dに移動し最後尾までUターン排出を行う．もう一方の除雪車No.2は残りの開口可能部B～Dの区間でUターン排出を行うことになる．

図-4 は滞留位置の推移を表している．今回の場合，この場合，開口可能部 D～滞留最後尾の全車両が移動可能になるまでの時間が最も長いので，この時間が滞留解消時間に該当する．また，総滞留時間はグラフ中で色のついている部分の総面積として表される．

(4) モデルの定式化

$$Cl = \sum_{k=1} Cl_k \times Rc_k \tag{1}$$

Cl：平均車両長さ
Cl_k：車種ごとの車両長さ
Rc_k：車種構成比率

$$L = \text{滞留の空隙＋車両長さの総計}$$
$$L = Si \times (N-1) + Cl \times N \tag{2}$$

L：滞留区間長
N：滞留台数
Si：平均停止間隔
Cl：平均車両長さ

$$N_i = N \times \frac{L_i}{L} \tag{3}$$

L_i：中央分離帯で区切られた滞留先頭からi番目の滞留部分（区間i）の区間長
N_i：区間 i の滞留台数(台)

$$T_i(t_i^{start}) = t_{iN_i} \tag{4}$$

$$t_{ij} = t_{ij-1} + Dt(t_{ij-1}) \quad j \in \{2, \dots, N_i\} \tag{5}$$

$$t_{i1} = t_i^{start} \tag{6}$$

t_i^{start}：区間iの排出開始時刻
$T_i(t_i^{start})$：区間iの滞留排出完了時刻
t_{ij}：区間iの先頭からj台目の車両の滞留排出時刻
$Dt(t)$：排出作業時間(min/台)
※排出開始時刻tの積雪量によって変化する値

各除雪車に関して排出する区間の順序を与えれば，それぞれの区間の排出開始時刻が以下のように定義できる．

$$t_i^{start} = \begin{cases} T_0 + t_i^m & i\text{が最初に排出する区間} \\ T_{i-1}(t_{i-1}^{start}) & \text{連続した区間の排出} \\ T_k(t_k^{start}) + t_{ki}^m & \text{区間}k\text{の後に排出} \end{cases} \tag{7}$$

T_0：除雪車の移動開始時刻
t_i^m：初期地点からの除雪車の移動時間
t_{ki}^m：区間kからの除雪車の移動時間

区間ごとの滞留排出時刻の中で最も長いものを滞留解消時刻T^cとして出力する．

$$T^c = \max_i T_i(t_i^{start}) \tag{8}$$

$$Tt_i = \sum_{j=1}^{N_i} (t_{ij} - T_0) \tag{9}$$

Tt_i：区間 i の総滞留時間(min)
※滞留時間：排出作業を行う除雪車の移動開始から滞留車両が移動可能になるまでの時間

区間ごとの総滞留時間を総計したものを総滞留時間Ttとして出力する．

$$Tt = \sum_i Tt_i \tag{10}$$

３．予測モデルを用いた試算

(1) 試算条件

構築した滞留解消時間予測モデルの試算として，除雪車対応の変数以外を固定し，設定条件下で考えられる全ての除雪車対応シナリオについてモデル出力の比較を行った．固定した変数を**表-3** に示す．

車種構成比率は．降雪時の高速道路では，運送業の大型車が多く走行していることから割合を高く設定し，平均車両長さ，滞留区間長はそれぞれ式(1)(2)を用いて計算したものを示している．

構造条件である中央分離帯開口可能部の位置は前頁の**図-3** と同様で，滞留区間の中に開口可能部が 5 つ存在する．

また，1 時間降雪量は 3cm で時間経過によって変化せず降雪し続ける．

各シナリオにおいて，1 台の除雪車(除雪車 No.1)は初めから滞留先頭からの排出作業を行うことは共通しているが，U ターン排出を行う除雪車(除雪車 No.2)が 1 台追加されるか否か，追加の除雪車の最初の対応開口部，対応箇所の移動を行う除雪車および，その移動先がそれぞれ異なる．

また，追加の除雪車は，対向車線を使用して滞留の上流から移動してくると仮定し，対応開口部位置が 1 つ下流側に近づくにつれて移動時間が 5 分長くなると想定した．

(2) 出力結果

表-4 に除雪車 No.2 の最初の対応開口部ごとに，最も滞留解消時間が短くなったシナリオの計算結果を示した．

種別	入力変数		記号	数値
発生状況	滞留台数		N	1000 台
	車種構成比率	大型車	Rc_k	40 %
		中型車		40 %
		普通車		10 %
		軽自動車		10 %
	平均車両長さ(計算値)		Cl	**7.6 m**
	滞留区間長(計算値)		L	**13594 m**
構造条件	滞留先頭から最も近い開口可能部までの距離		Mi	500 m
	中央分離帯開口可能部の設置間隔		Mi_1	3000 m
	中央分離帯開口可能部の個数(計算値)		-	**5 つ**
設備条件	除雪車台数		Ns	1~2 台
気候条件	初期積雪量		Sc_0	10 cm
	1時間降雪量		Sf	3 cm
除雪車対応	排出開始時刻	順行(除雪車No.1)	T^{start}	30 分後
		Uターン(除雪車No.2)		10~30 分後

表-3 固定した変数

今回の条件で，最も滞留解消時間が短くなったシナリオは，開口可能部 C からの対応後，対応箇所の移動を行わないシナリオであった．除雪車 1 台の場合と比較した滞留解消時間の減少率は 63%であり，24 時間 38 分の短縮となった．

総滞留時間が最も小さいシナリオは僅かな差ではあるが，最初の対応開口部が D でその後，開口部 C に移動するシナリオであった．このように滞留解消時間が最も短くなるシナリオと総滞留時間が最も小さくなるシナリオは異なるので，どちらを優先するか選択の余地がある．

また，除雪車ごとの対応する滞留台数の差が小さいほど，除雪車 1 台の場合と比較した滞留解消時間の減少率は大きくなった．よって，対応する滞留台数の差がなるべく小さくなるように除雪車の対応位置を決めることで，滞留解消時間を最大限小さくすることができると結論付けられる．

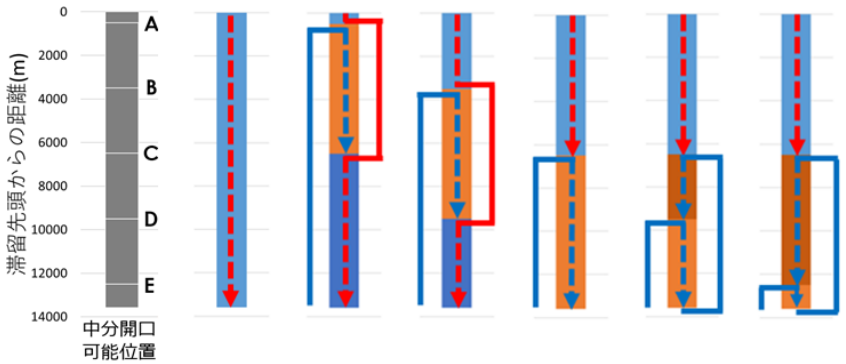
このように，構築した滞留解消時間予測モデルでは，特定の条件下における最適な除雪車のオペレーションを検証することが可能である．

4．まとめ

(1) 結論

本研究では，大雪時高速道路のスタックによる滞留が発生した後の対策を検討するための滞留解消時間予測モデルを構築・定式化した．その上で，複数のシナリオを設定し試算することで，特定の条件下における除雪車の対応の違いを考慮した滞留解消までの所要時間が算出できることを示した．

表-4 除雪車 No.2 の最初の対応開口部ごとの最適シナリオ



Uターン排出の最初の対応開口部	なし	A	B	C	D	E
対応箇所の移動をする除雪車No.	―	1	1	なし	2	2
対応箇所の移動先	―	C	D	―	C	C
滞留解消時間	39h 12m	16h 34m	16h 30m	14h 34m	14h 41m	14h 39m
総滞留時間(hour・veh)	15926	6843	6731	6485	6478	6497
除雪車1台の場合と比較した滞留解消時間の減少率	―	58%	58%	63%	63%	63%
除雪車ごとの対応する滞留台数の差(台)	―	118	118	44	44	44

(2) 今後の展望

本研究の課題として，モデルで仮定している「滞留車両 1 台当たりの排出作業時間」などの既定値の仮定において，根拠が薄いということが挙げられる．今後 NEXCO 東日本より CCTV の映像データや除雪車のプローブデータなどを提供していただく予定なので，これらの実データを用いて，信頼できる既定値の推定及びモデルの精度検証を行う．

シナリオ間の比較の際に，除雪車対応に関わる入力変数を手動で変更していたが，プログラムによって全シナリオの計算を自動化した．これによって，一定条件下で計算を複数回試行することが可能となったので，今後は「平均停止間隔」や「1 時間降雪量」などの変数に確率的なばらつきを持たせ，シミュレーションを行う．

また，本モデルの適用を仮想空間から実際の道路に拡張し，スタックリスク箇所などの新規パラメータを導入することで，最終的に中央分離帯開口可能部の設置位置の検討を行う．

REFERENCES

1) 冬期道路交通確保対策検討委員会：大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ,2021
2) 国土交通省：近年の降雪状況について,2021
3) 国土交通省：今冬発生した大規模な車両滞留等について,2021
4) 細田洋史, 高橋哲生, 山本佳宏：大規模車両滞留時の車両誘導訓練―雪害時の乗員保護支援に向けて―, 第 65 回(2021 年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集,pp490-493