降雪が幹線道路や都市間高速道路における交通流に与える影響に関する分析

原山　哲郎[1]・加藤　哲平[2]・佐野　可寸志[3]・松田　曜子[4]

[1]正会員　長岡技術科学大学大学院 工学研究科（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1）
E-mail: s237007@stn.nagaokaut.ac.jp (Corresponding Author)

[2]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

[3]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

[4]正会員　長岡技術科学大学 環境社会基盤系 准教授（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1）
E-mail: ymatsuda@vos.nagaokaut.ac.jp

短期間かつ集中的な降雪により長期間にわたる車両滞留事象が多発している．降雪による通行障害を抑制するためには，より効率的に除雪作業などの雪氷作業を行う必要があり，そのためには，降雪の影響が交通流に与える影響について評価する必要がある．2023 年 1〜4 月に新潟県内の幹線道路および都市間高速道路においてマイクロ波によるセンサーを設置し，個車毎の車速などのデータを収集した．そのデータを用い，降雪が交通流に与える影響について分析を行った．

Key Words: *Traffic Flow Model, Traffic capacity, Traffic density,Snowy Area*

1. 背景と目的

近年，短期間かつ集中的な降雪により長期間にわたる車両滞留事象が多発している．たとえば，村田ら [1]による研究によると，規模の大小はあるものの道路の種別にかかわらず，車両滞留事象は 40 都道府県にて発生しており，降雪の少ない地域でも発生していることが分かる．筆者らが在住する新潟県においても，2020 年 12 月においては関越自動車道 [2]，2022 年 12 月においては長岡・柏崎地域 [3]において大規模滞留が発生しており，車両滞留をいかに抑制するかは喫緊の課題といえる．

またこのような重大な車両滞留といった事案につながらなくとも，降雪や積雪の影響による事故や通行止事案は毎年のように散見され，日本国内のどの地域でも雪を起因とした通行障害は発生し，冬期の円滑な交通確保は課題となっているといえる．

雪による通行障害を抑制するためには，より効率的に凍結防止剤散布作業や，除雪作業などの雪氷作業を行う必要がある．一方で，雪氷作業には大きなコストがかかり，広範囲に高頻度な雪氷作業を行うことは現実的ではなく，より効率的な雪氷作業計画の立案が必要なことは明らかである．効率的な雪氷作業計画を立案するためには，降雪などが交通流に与える影響を評価する必要がある．降雪や積雪の影響によりミクロな車両挙動が変化することで，それがマクロな交通現象として交通流特性（平均速度や交通密度，あるいは交通容量）に現れる．ミクロな車道挙動を追うことは，観測データの制約や，定点で VTR 調査などをして個車毎の挙動を追うことなどの特別な調査が必要となり，かつ降雪や積雪の走行への影響度合いはドライバー毎に異なるため，降雪量に応じた代表するミクロな車両挙動モデルを構築することはたやすいことではないが，マクロな交通流特性は，常時観測トラカンと気象データとをマッチングさせれば平易に捕捉できるといえる．マクロな交通流特性を把握できれば，例えばネットワークレベルで雪氷作業を評価する際に，降雪や積雪に応じた交通容量を内包した均衡配分を行うことができる．もちろんより単純な議論として，ミクロな車両挙動と車両滞留や事故発生の確率と，マクロな交通特性との関係性が整理できれば，容易に観測できるマクロな交通特性そのものが雪氷作業計画を決定づ

ける指標になるものといえるため，本研究の目的は降雪量に応じたマクロな交通流特性を捉えることを目的とする．

降雪による交通流特性への影響を分析した研究として，加藤ら [4]は，階層ベイズモデルを用いて，除雪作業により路肩へ堆積された雪の幅（堆雪幅）の影響を加味したマクロ交通流モデルの推定を行い，堆雪幅毎の交通容量の推定を行っている．札幌市の冬期の観測データにて提案された手法を適用しているが，提案手法が広く適用できるのか議論されていない．また，雪氷路面と走行速度の関係に関して，藤本ら [5]は実道での走行試験を通して，路面すべり抵抗値，視程，道路有効幅員および路面平坦性の道路雪害の悪化が走行速度の低下に及ぼす影響を明らかにしている．また，大橋ら [6]は新潟県，富山県，石川県の常時観測トラフィックカウンタデータを用い，冬期の交通量と走行速度の関係を分析しているが，いずれも交通流モデル構築までには至っていない．

本研究においては，降雪量に応じた速度，交通密度といったマクロな交通流特性を把握し，かつ道路種別毎の特徴を把握することを目的とする．そこで，2023 年 1～4 月に新潟県内の幹線道路（国道 8 号　新潟バイパス），国道 17 号，および都市間高速道路（関越自動車道）においてマイクロ波による交通観測センサーを設置し，個車毎の車速・通過時刻・車間距離のデータを収集し，降雪量が速度，交通密度の交通現象に与える影響について分析を行う．

2. 交通流の観測

降雪の影響が交通流に与える影響について分析すべく，新潟県内の一般道路と高速道路に**表-1** のとおりの期間，箇所で交通観測センサーを設置した．設置した交通観測センサーは，外部の自然環境による雪や大雨，夜間などの暗闇に影響されにくい 24GH z 帯のマイクロ波を使用しており，検知範囲は 160m 程度までとされ，検知範囲（計測エリア）内で任意に計測断面を設定可能であり，車線毎，車種毎に交通データの計測が可能である．

表-1　交通観測センサー設置箇所・期間

道路名	箇所（新潟県）	期間
国道 8 号 下り線	新潟市中央区鳥屋野南 2 丁目 （新潟バイパス黒崎 IC～女池 IC）	2023.1.27～4.16
国道 17 号 上下線	南魚沼郡湯沢町三国 （二居除雪ステーション前）	2023.2.9～4.19
関越道 上り線	南魚沼郡湯沢町土樽 （関越トンネル～湯沢 IC）	2023.2.3～4.19

詳細な交通観測センサー設置箇所，計測エリア，計測断面は**図-1～3** のとおりであり，センサーの外観と，代表して国道 8 号の設置状況を**図-4** に示す．

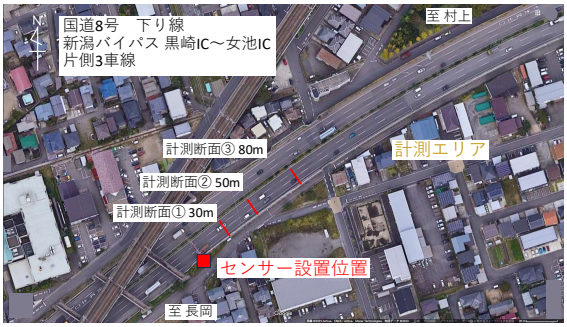


図-1　交通観測センサー設置箇所（国道 8 号）

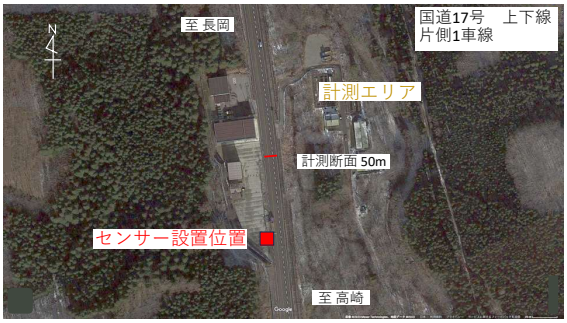


図-2　交通観測センサー設置箇所（国道 17 号）

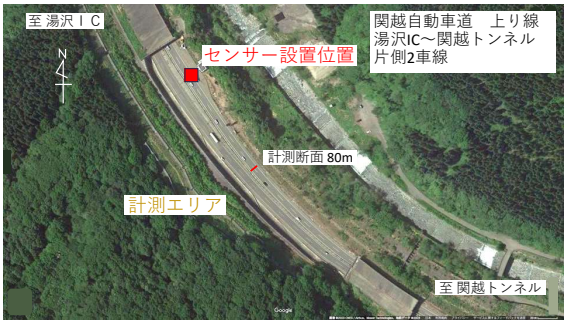


図-3　交通観測センサー設置箇所（関越道）





交通観測センサー外観　　設置状況（国道 8 号）

図-4　交通観測センサー外観・設置状況（国道 8 号）

3. 計測結果

交通観測センサーより得られた観測期間中の平均日交通量を**表-2** に示す．交通量の精度確認のため，参考までに一般道においては令和 3 年度全国道路・街路交通情勢

調（道路交通センサス）の値を併記した．関越自動車道においては，同区間に常時観測装置が埋設されているため，それと比較すると，今回設置した交通観測センサーの方が交通量を多く観測しているが，常時観測装置自体にも誤差を有していることが想定されるため，問題なく観測できているものと思慮される．

表-2　観測期間の平均日交通量

道路名	方向	観測値（台/日）	比較値（台/日）	（参考）
		期間平均日交通量	日交通量	種別
国道 8 号	下り線	46,756	54,157	R3 ｾﾝｻｽ
国道 17 号	上り線	1,378	1,698	R3 ｾﾝｻｽ
	下り線	1,085	623	R3 ｾﾝｻｽ
関越道	上り線	8,496	8,228	常観ﾄﾗｶﾝ

交通観測センサーからは個車毎に計測断面の通過速度，車頭間隔が得られるが，本研究では 5 分毎の計測断面計の交通量，速度 v を取り纏め，密度 k について 5 分交通量を 12 倍した 1 時間の交通流率 q から算出した．なお，今後は個車毎のデータを用いた分析も行う予定である．速度 v，密度 k と道路管理者が設置しているセンサー近傍の気象観測局から得られた時間降雪量をマッチングさせ，時間降雪量毎に KV 図を作図し Gleenshields 式[7]（1）を回帰分析により推定した（**図-5～8**）．

$$v = v_{max}\left(1 - \frac{k}{k_{jam}}\right) \tag{1}$$

ここで，v_{max} は最大速度，k_{jam} はジャム密度である．

降雪量に応じた交通特性の変化を推定する際，降雪量毎にデータを分割し，それぞれのデータセットを用いてマクロ交通流モデルの推定を行う必要があるが，データ分割を行うことでデータ数が減少し，バイアスが生じる可能性がある．また，降雪や積雪などの走行への影響度合いはドライバー毎に異なるため，車両挙動は不確実性を持つことになり，交通特性へも影響を及ぼすことが考えられる．またデータ自体には，インシデント直下のデータも含まれることや，降雪以外の環境にも影響をうけていることが想定されるため，観測誤差も有しているといえる．本研究では回帰分析より KV 式を導出したが，これら課題を踏まえた統計モデルの適用性の議論は，今後の課題としたい．

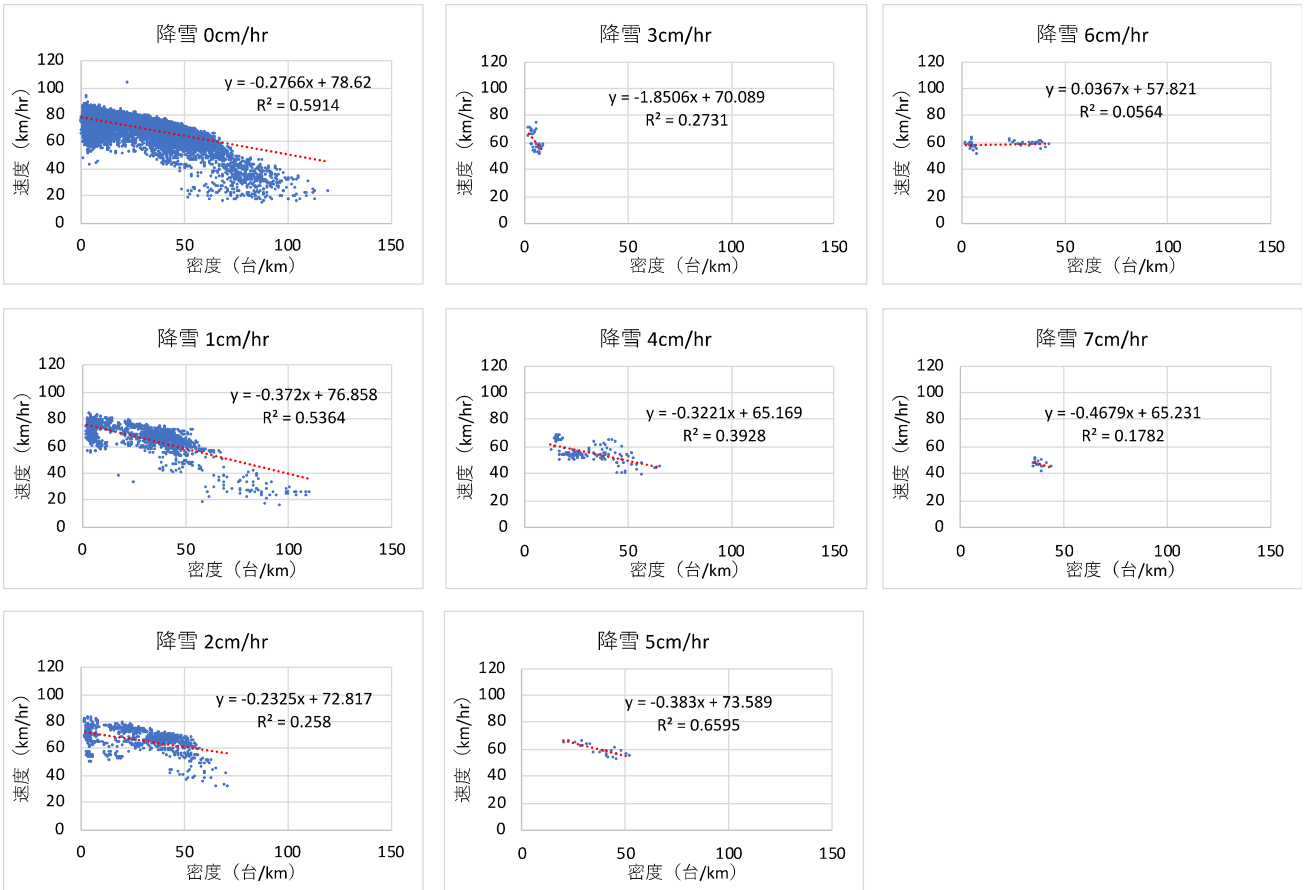


図-5　KV 図（国道 8 号（下り線））

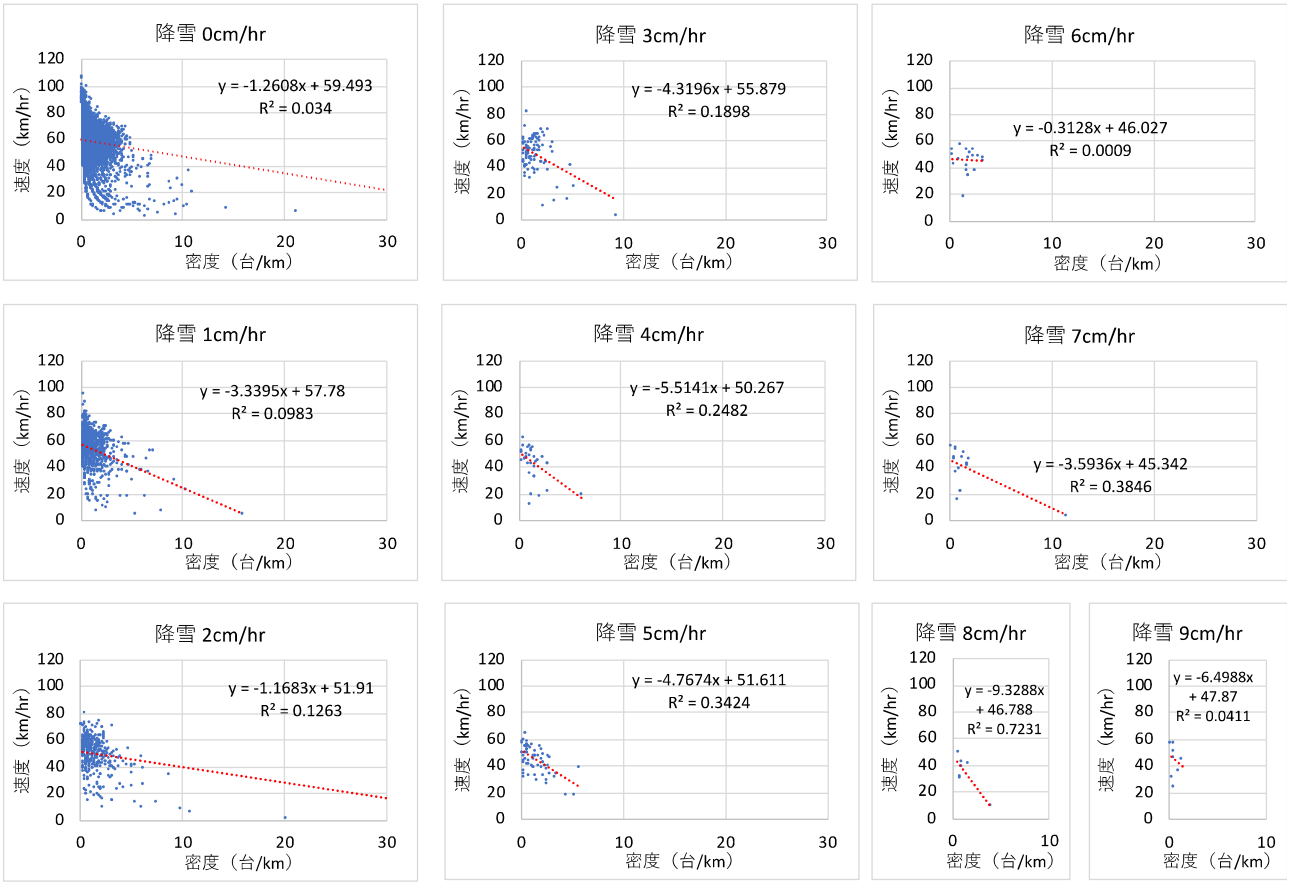


図-6　KV図（国道17号（上り線））

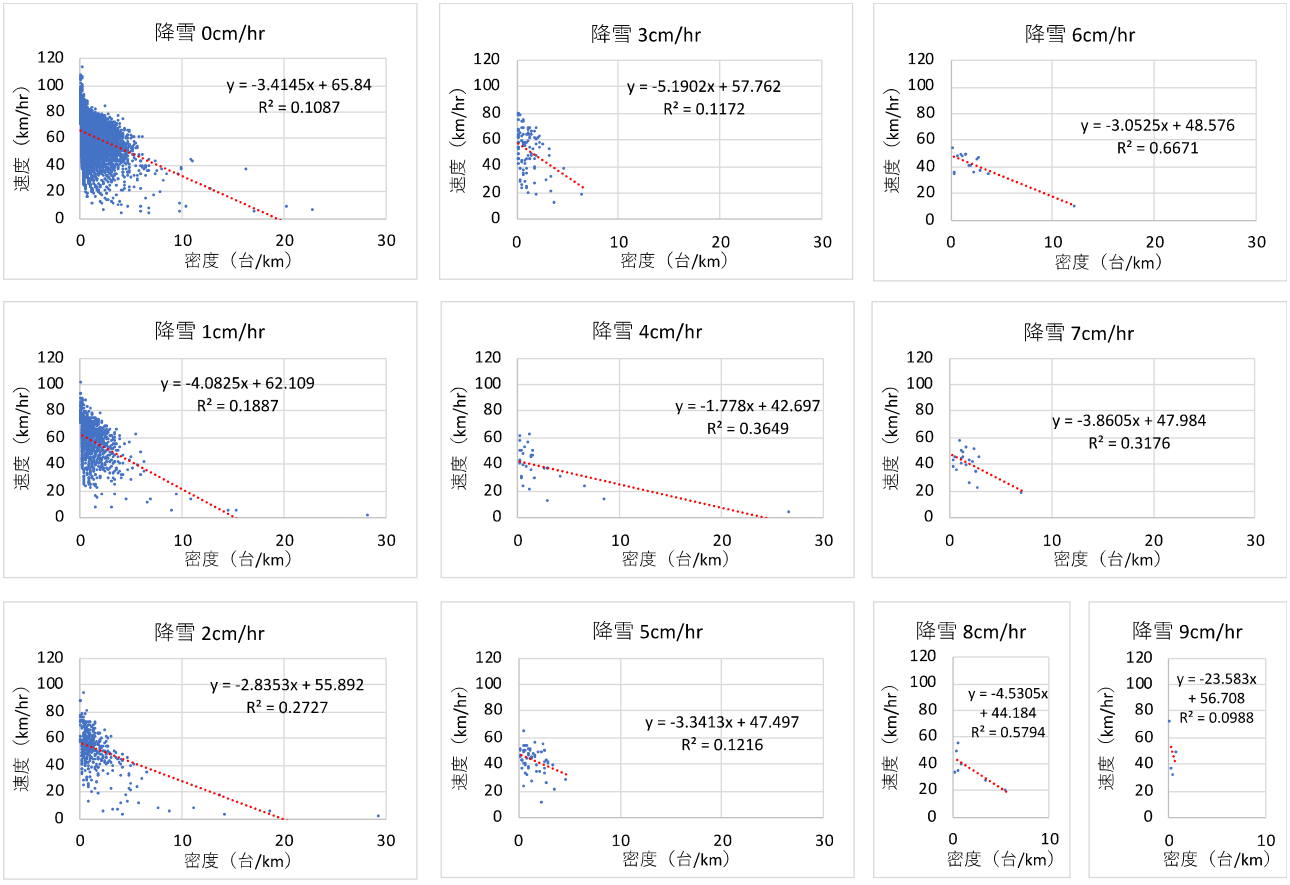


図-7　KV図（国道17号（下り線））

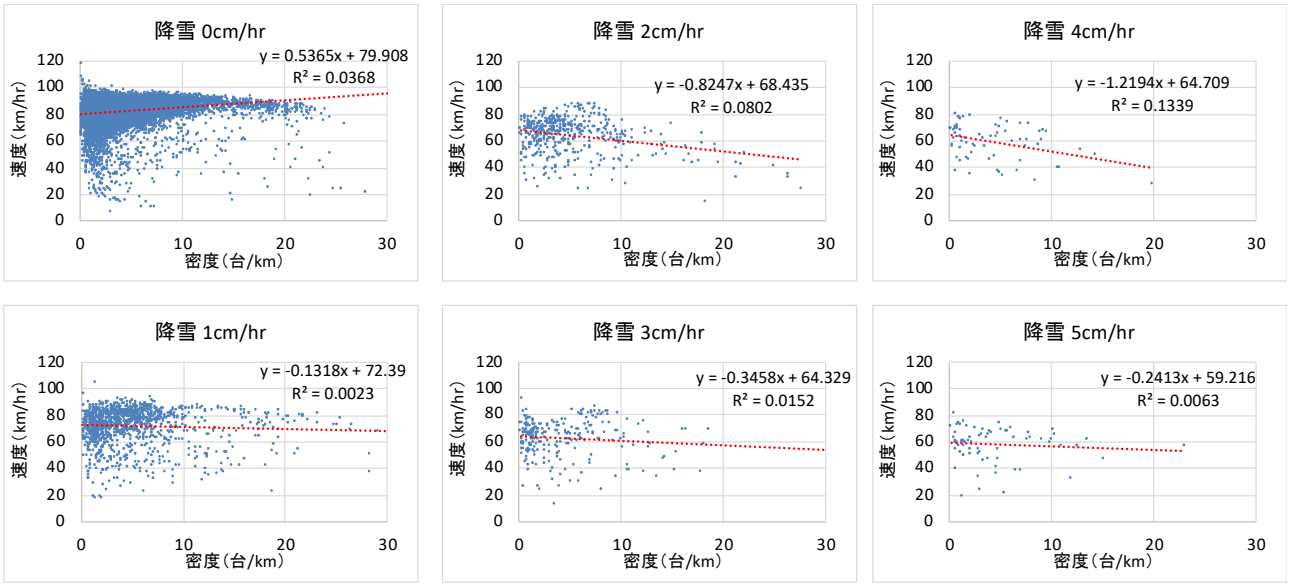


図-8　KV 図（関越道（上り線））

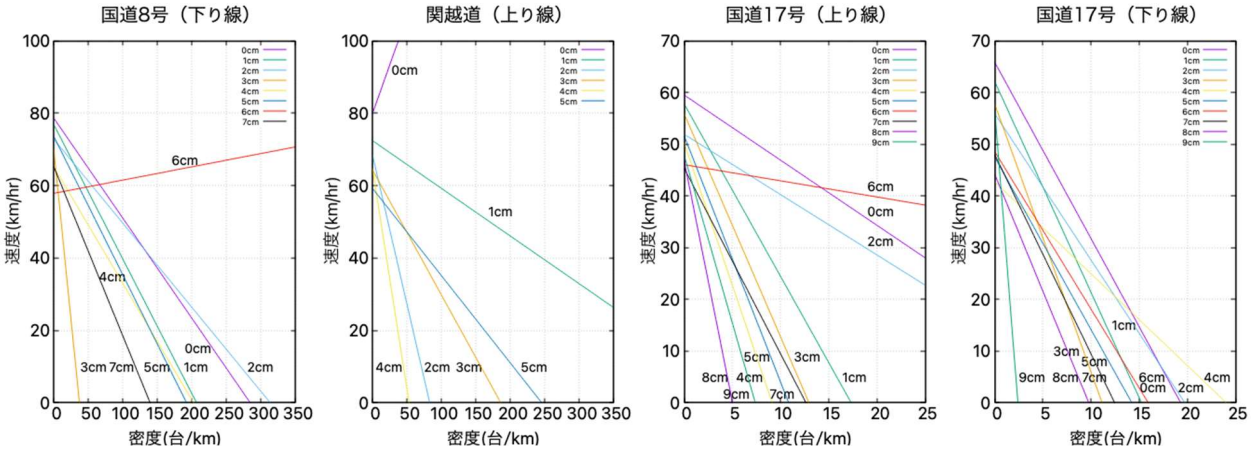


図-9　KV 回帰式

4.　交通密度の分析

図-5～8 で示した KV 回帰式を観測箇所毎にまとめると**図-9** のとおりとなり，回帰式の傾き a，切片 b（最大速度 v_{max}），両者から式(1)にて算出したジャム密度 k_{jam}，決定係数 R^2，サンプルサイズ n は**表-3～6** のとおりとなる．

表-3　KV 回帰式（国道 8 号（下り線））

降雪量	a	$b(v_{max})$	k_{jam}	R^2	n
0 cm	-0.27	78.6	284.2	0.591	63,524
1 cm	-0.37	76.8	206.6	0.536	1,857
2 cm	-0.23	72.8	313.2	0.258	897
3 cm	-1.85	70.0	37.9	0.273	36
4 cm	-0.32	65.1	202.3	0.392	132
5 cm	-0.38	73.5	192.1	0.659	24
6 cm	0.03	57.8	—	0.056	48
7 cm	-0.46	65.2	139.4	0.178	17

表-4　KV 回帰式（関越道（上り線））

降雪量	a	$b(v_{max})$	k_{jam}	R^2	n
0 cm	0.53	79.9	—	0.036	18,978
1 cm	-0.13	72.3	549.2	0.002	1,261
2 cm	-0.82	68.4	83.0	0.080	457
3 cm	-0.34	64.3	186.0	0.015	245
4 cm	-1.21	64.7	53.1	0.133	69
5 cm	-0.24	59.2	245.4	0.006	71

表-5　KV 回帰式（国道 17 号（上り線））

降雪量	a	$b(v_{max})$	k_{jam}	R^2	n
0 cm	-1.26	59.4	47.2	0.034	12,517
1 cm	-3.33	57.7	17.3	0.098	1,059
2 cm	-1.16	51.9	44.4	0.126	405
3 cm	-4.31	55.8	12.9	0.189	95
4 cm	-5.51	50.2	9.1	0.248	32
5 cm	-4.76	51.6	10.8	0.342	63
6 cm	-0.31	46.0	147.1	0.001	19
7 cm	-3.59	45.3	12.6	0.384	20
8 cm	-9.32	46.7	5.0	0.723	7
9 cm	-6.49	47.8	7.4	0.041	16

表-6 KV回帰式（国道 17 号（下り線））

降雪量	a	$b(v_{max})$	k_{jam}	R^2	n
0 cm	-3.41	65.8	19.3	0.108	14,463
1 cm	-4.08	62.1	15.2	0.188	1,152
2 cm	-2.83	55.8	19.7	0.272	415
3 cm	-5.19	57.7	11.1	0.117	101
4 cm	-1.77	42.6	24.0	0.364	30
5 cm	-3.34	47.4	14.2	0.121	56
6 cm	-3.05	48.5	15.9	0.667	16
7 cm	-3.86	47.9	12.4	0.317	20
8 cm	-4.53	44.1	9.8	0.579	7
9 cm	-23.58	56.7	2.4	0.098	4

決定係数が低く，正の傾きを取っているものがみられるが（一般的な傾向として，交通密度の上昇に伴い，平均速度は減少するため正の傾きとはならない．），どの観測箇所においても降雪量が増えるに従い傾きが増加し，速度が低下していくことがみてとれる．

また，自由走行速度でもある最大速度 v_{max} に着目すると，降雪量の増加に伴い速度が低下していく傾向であった．一方，ジャム密度 k_{jam} も降雪量が増えるにつれ，低下していくことを想定していたが，降雪量と交通量の両者が多い観測データが少ないことが原因なのか，ばらつく結果となった．

自由走行速度が降雪に応じて低下していく状況について，実際のミクロな車両挙動を意識して考察する．降雪量が増えるに従い，走行環境が低下し，希望走行速度も低く，かつ，速度のばらつき自体も小さくなり，積雪も進み，その車線自体の車両滞留や事故の確率が増加する．さらに片側 2 車線以上の道路においては，希望走行速度が低下することで追越行動が起きにくくなり，もう片側の車線に雪が堆雪し，より車線間の利用に偏りが生じ，さらに積雪が増すことで追越行動の危険性も増し，多車線道路でも車両滞留や事故が発生してしまう状況になることが想定される．

以上の考察は更なる検証が必要であり，本研究では交通観測センサーと VTR，事故や車両滞留データなど，実際の車両挙動との突合などは行えなかったが，ミクロな車道挙動を意識し，KV 図上のどのポイントが，どういう実際の交通状況をあわらしているのかや，車両滞留や事故が発生する状況なのかを把握することが必要であるといえる．

5. まとめ

本研究では，新潟県内の幹線道路（国道 8 号　新潟バイパス），国道 17 号，および都市間高速道路（関越自動車道）においてマイクロ波による交通観測センサーを設置し，2023 年 1～4 月において速度データを収集した．速度・密度データと降雪量をマッチングさせ，それぞれ KV 図を作成し，回帰式を導出した．決定係数が低いことや，サンプル数が少ないなど統計的な課題があるものの，降雪量の増加に従い，自由走行速度が減少していくなどの降雪が交通流に影響を与えている状況を確認することができた．ただし，この自由走行速度が減少していくメカニズムは明確ではなく，実際のミクロな車両挙動を観察，確認し，更なる検証が必要と考える．

なお，今回設置した交通観測センサーは，1 台毎の観測断面毎，車線毎の通過速度・時刻を計測することが可能であり，ミクロな交通挙動を観察するうえで有用であるといえる．今後も継続的にデータを収集し降雪などと交通特性との関係を把握していくのと同時に，ミクロな交通挙動においても観測し，冬期の道路交通の実態把握を行い，雪氷作業の効率化や，冬期交通の円滑化に資するモデル構築を進めていきたい．

謝辞：本研究で用いた交通観測センサーの設置について，セフテック株式会社，東日本高速道路株式会社 新潟支社，国土交通省 北陸地方整備局のご協力をいただいた．ここに深く謝意を表する．

REFERENCES

1) 村田晴彦，河島克久：雪による車両滞留イベントデータベースの構築とそれを用いた発生特性の分析，雪氷，84 巻 6 号，pp. 515-527， 2022.
2) 原山哲郎，山本雅直，土井理，冨田芳男：2020 年 12 月に発生した関越自動車道豪雪時の大規模滞留車両に伴う対応，土木計画学研究・講演集，Vol.64，No.45-1，2021.
3) 国土交通省 北陸地方整備局 長岡国道事務所：令和４年度新潟県内の冬期道路に関する対策検討会，https://www.hrr.mlit.go.jp/chokoku/9076/（2023 年 10 月 1 日閲覧）
4) 加藤哲平，峪龍一，内田賢悦，宗廣一徳：降雪時の路面状況を考慮したマクロ交通流モデルと交通容量の推定に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.66，2022.
5) 藤本明宏，徳永ロベルト，武知洋太，住田則行，丸山記美雄：道路複合雪害が走行速度に及ぼす影響評価，土木計画学研究・講演集，Vol.50，No.154，2014.
6) 大橋幸子，大谷悟：常時観測データを用いた冬期の交通量及び走行速度の特性分析に関する一考察，交通工学研究発表会論文集，Vol.33，No.11，pp.57-61，2013.
7) Greenshields,B.D.：A Study of Traffic Capacity，Highway Research Board, Proceedings，Vol.14，pp.448-477，1935.