

冬季交通円滑化に向けた降積雪時における 信号交差点交通処理能力の実態分析

大島 亮¹, 佐野 可寸志², 伊藤 潤³, 鳩山 紀一郎⁴

¹非会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail:s153316@stn.nagaokaut.ac.jp

²正会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail:sano@nagaokaut.ac.jp

³正会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail:j_ito@vos.nagaokaut.ac.jp

⁴正会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail:kii@vos.nagaokaut.ac.jp

豪雪・特別豪雪地帯のような降積雪が著しい地域をはじめとし、近年は降積雪による交通環境の悪化が大きな社会問題となるケースが頻発している。本研究は冬季交通確保の一助として、一般的に交通渋滞の主要原因となる信号交差点の冬季交処理能力に着目し、冬季路面状態や道路種別（除雪水準）ごとの信号交差点交通容量の変化についての実態を分析し、冬季交通円滑化に向けた提案をする。対象として特別豪雪地帯である新潟県長岡市を選定した。結果、交通容量は乾燥路面に対して最低でも2割、最高で5割程度の低下が生じており、路面状態により大きく変動し、消融雪施設設置区間においても容量低下が生じている事を確認した。また同様の路面状態であれば道路種別（除雪水準）による差異は軽微であった。

Keywords: 冬季交通, 信号交差点交通容量, 飽和交通流率, 損失時間, 冬季交通円滑化

1. はじめに

積雪が特に甚だしい地域は豪雪地帯と呼ばれ、国土面積の半分以上⁽¹⁾がそれであり「降積雪」の影響による交通環境の悪化が大きな社会問題となるケースが頻発している。中でも新潟県長岡市は特別豪雪地域に指定されており10ヵ年平均降雪量が500cmを超え⁽²⁾,かつ新潟県第2都市でもあり交通量も多いため、冬季間は旅行速度の低下や交通渋滞など道路の交通容量に多大な影響を与えている。また、一般道路において交通渋滞の主要原因(ボトルネック)となるのは「信号交差点」が大半であり、その信号交差点の処理能力(交通容量)を決定づけるのは飽和交通流率である。現在、既存の研究において冬季における飽和交通流率がシャベット状態に至ると最低でも「2割」の低下を及ぼす報告がある。^{(3)~(6)}

そのような中で、豪雪地域等では冬季間の交通をいかにして確保するかが大きな課題となっている。そこで冬季道路交通確保対策検討委員会では、道路交通確保に向けて新たな取り組みを行ってきている⁽⁷⁾。この施策は平成30年頃から推進されているのだが、図1を見る限り現状は未だ好ましいとは言えない。

このように、今後さらに道路の雪対策の必要性は増すと考えられるが、その現実には既存施設の維持管理はもちろん、さらなる雪対策事業の展開が必要である。しかし雪対策の実施は無限に求められるべきものではない。まず、降積雪の影響を無くし無雪時とまったく同等のモビリティを確保することは道路利用者側、コスト的に考えても不可能である。よって降積雪時の交通計画は、雪の影響を無にすることを目指すのではなく、ある程度の雪の

影響を受けている状態を前提として検討されるべきである。つまり降積雪時を無雪時に対する異常時として捉えそれを解消しようとするのではなく、ある種の「定常状態」として捉える考え方が現実的である。

実際の取り扱う降雪は不安定でかつ地域性が複雑に影響しているため千差万別であるために除雪対策の問題を困難にしている。従って、雪対策の必要性はさらに高まると予想される中、それに対して雪対策のための有用な情報の蓄積は十分ではないと考える。



図1 新潟県長岡市要町交差点における冬季の路面状況(圧雪凸凹)

1.2 研究目的

本研究の目的は、車両の発進、停止及び走行に影響を与えると思われる路面状態・降雪量に着目し、夏季と冬季の「信号交差点」における交通状態の変化を比較して、降積雪が交通容量に及ぼす低下要因の実態分析と冬季交通円滑化に向けた対策の両方から研究を行う。また、同一地域内において道路管理者の違い(除雪水準の差)による影響、消融雪施設(消雪パイプ)設置による影響についても把握することが重要である。

観測結果を通じて、道路交通を確保する雪対策事業の評価において有用となる情報を提供する。

1.3 研究条件

降積雪が調査項目に対しどれほど影響を与えるか、CCTVカメラ映像及び現地にてビデオ観測した映像を用いて分析・解析を行った。

【研究条件(対象年度・使用データ等)】

調査対象年度：平成28年度～平成31年度

使用データ：CCTVカメラ※(関原交差点)

現地ビデオ観測結果(その他交差点)

気象庁長岡アメダス テレメータデータ※

※テレメータデータに関しては、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所より貸与、CCTVカメラに関しては、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所内にて観測・調査を行った。

2. 調査地域の詳細

本研究の調査対象交差点として図2に示す計8ヶ所を選定した。調査対象交差点の選定にあたっては、飽和交通流率観測に十分な交通需要がある箇所を選定するため、道路交通センサスによる交通量及び新潟県渋滞対策協議会による主要渋滞箇所を参考とし、現地の状況を事前確認して選定した。ビデオ観測は、基本的に最も交通需要が多くなる朝、夕の通勤・帰宅時間帯とした。また除雪水準差を分析するために道路管理者が異なる箇所(直轄国道・補助国道・県道・市道)、消雪パイプ設置の有無により対象交差点を分類した。

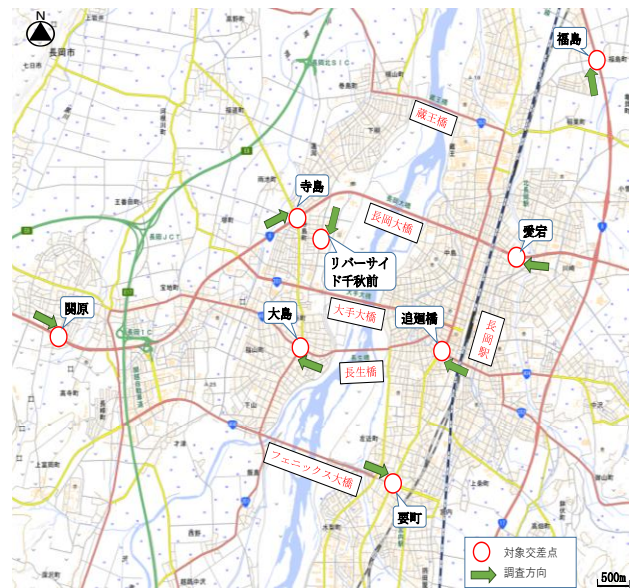


図2 調査対象交差点位置(新潟県 長岡市)

調査交差点における諸元及び分析サンプル数と調査時間帯・路面状態を表1・2に示す。

表1 調査交差点の諸元

道路種類	交差点名	構造				サイクル長等		
		車線幅員(m)	車線構成	中央分離帯	消雪パイプ	サイクル長(s)	青時間(s)	黄時間(s)
直轄国道	愛宕	3.5	左折×1 直進×2 右折×1	有	無	125	62	4
	福島		左折×1 直進×2 右折×1					
	寺島		左直×1 直進×1 右折×1					
	関原		左直×1 直進×1 右折×1					
補助国道	追廻橋	3.5	左直×1 右折×1	無	有	130	34	4
	大島	2.7	左直×1 右折×1	無	有	139	80	4
県道	要町	3.0	左直×1 直進×1 右折×1	無	無	140	39	4
市道	リバ千前	3.0	左直×1 直進×1 右折×1	無	無	110	44	4

表2 分析サンプル数・調査時間帯及び路面状態

道路種別	交差点名	サイクル数		総通過車両数	調査実施時の路面状態の分類		
		全体	クリアランス損失用		観測日	路面状態	観測時と前3hの平均降雪量 (cm/h)
直轄	愛宕	24	16	488	H28. 9. 7	乾燥	0.0
		21	20	343	H28. 3. 1	シャ (降雪小)	0.8
		29	16	510	H28. 3. 2	シャ (降雪中)	1.8
		42	18	477	H28. 1.24	圧雪 (滑)	2.6
	福島	38	22	772	H28.11. 9	乾燥	0.0
		34	28	850	H29. 1.13	シャ (降雪中)	1.8
		36	22	968	H28.12.16	シャ (降雪多)	3.5
	寺島	32	20	519	H28.10. 6	乾燥	0.0
		32	21	773	H29. 1.13	シャ (降雪中)	1.8
		34	22	749	H28.12.16	シャ (降雪多)	3.5
	関原	24	-	291	H30.12.27	湿潤	0.0
		21	-	232	H31. 1.21	圧雪 (滑)	
16		-	173	H31. 1.21	圧雪 (滑)		
補助国	追廻橋	38	27	465	H29. 8.22	乾燥	0.0
		21	14	180	H30. 2. 6	シャ (降雪小)	0.3
		25	7	219	H30. 1.24	シャ (降雪中)	1.7
	大島	41	30	495	H29. 9.19	乾燥	0.0
		37	17	396	H30. 1.24 H30. 2. 6	シャ (降雪中)	1.5
県道	要町	30	23	307	H30. 3. 8	乾燥	0.0
		30	23	310	H30. 1.10	シャ (降雪小)	0.5
		22	17	189	H30. 1.11	凍結	0.4
		35	0	263	H30. 1.26	圧雪 (凸凹)	0.6
市道	リハ千前	26	13	259	H30. 3.31	乾燥	0.0
		38	21	351	H30. 2.13	圧雪 (滑)	1.0
サンプル数計		726	397	10,579			

シャ=シャーベット路面

2.1 気象条件及び路面状態の制約・整理

本研究における冬季路面状態・降雪量の条件・定義を下記に示す。また、図1, 3に調査交差点における冬季路面状態を示す。

(I) 【シャーベット路面】

観測時間帯とその前3時間の平均降雪量が 1cm/h 未満 : シャーベット (降雪 少) , 3cm/h 未満 : シャーベット (降雪 中) , 3cm/h 以上 : シャーベット (降雪 多)

(II) 【圧雪路面】

路面が雪の層に覆われており、滑らかな状態 : 圧雪 (滑) , 凸凹な状態 : 圧雪 (凸凹)

(III) 【凍結路面】

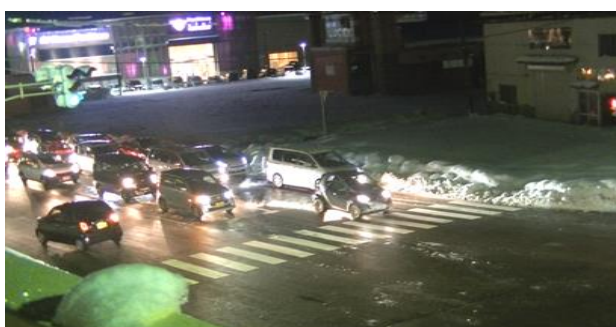


図3 本研究における主な路面状態 (図1を含む)
(上 : シャーベット, 中 : 凍結, 下 : 圧雪 (滑))

3. 調査項目 概要・定義・算出方法

【交差点流入部の交通容量】

ある交差点がどれだけの自動車を通し得るかという、その交差点が構造上有している能力のことである。

■算出方法

各流入部の交通容量は基本的にはその飽和交通流率に青時間比 $g_i = G_i/C$ を乗じた数値で表される。

$$\text{交通容量} = S_i \cdot g_i = S_i \frac{G_i}{C} \dots \text{公式①}^{(8)}$$

ここで、

S_i : 流入部の飽和交通流率 (pcu/h)

C : サイクル長 (s)

G_i : 有効青時間 (s) とする。

※本研究は実測値により算出を行った。

【飽和交通流率】

交差点流入部において交通需要が十分に存在する状態で、単位時間・一車線あたりに停止線を通過しうる最大の車両数を示す。

■各路面状態における飽和状態に至る台数の定義

飽和状態に至る台数は路面悪化の影響に伴い、差が生じると考えられるため、飽和に至るのが何台目になるのか確認を行った。判別方法として、t 検定を用いて求めるとする。表3は直進における飽和状態とし、右折に関しては各路面が3台目以降から飽和状態になるとする。

表3 道路種別・路面状態の飽和状態に達する台数

路面状態	直轄国道	直轄国道以外
乾燥	4台目以降	5台目以降
シャーベット	4台目以降	5台目以降
圧雪 (滑)	3台目以降	3台目以降
圧雪 (凸凹)	-	3台目以降
凍結	-	3台目以降

■算出方法

飽和状態に達する台数以降から待ち行列最後尾までの車両を対象として平均車頭時間 (飽和平均時間) を求

消雪パイプが無の場合、融雪になりづらく、特徴でもある凍結・圧雪（滑・凸凹）は乾燥基準で2.5割、3割、5割低下と、路面が悪化する順に低下は大きくなる。パイプ有の場合は、シャーベット路面で留まり2割低下となった。

■降雪量（30分単位）の変動に対する変動

図6は、「テレメータ」を用いて関原交差点の圧雪（滑）状態における30分間における降雪量の増加で如何なる影響を及ぼすか分析したものである。

乾燥→圧雪（滑）路面に至ると2割強の低下を示し、同路面の圧雪において降雪量が3cm/30min→5cm/30minに至ると1割弱程度の減少を示す結果となった。

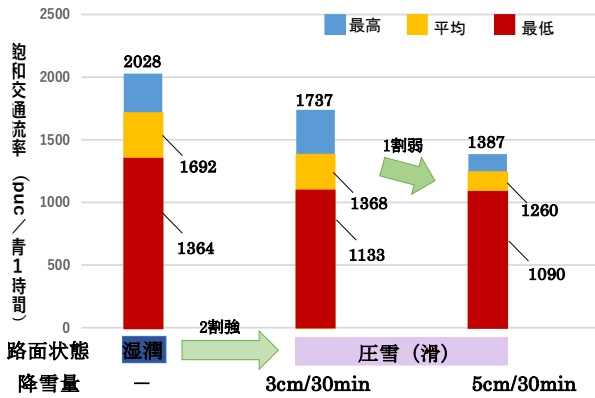


図6 降雪量変化に伴う飽和交通流率の低下割合

4.2 降積雪の影響による右折飽和交通流率の変動

右折に関しては、右折専用信号時間中に滞りなく車両が流れ飽和状態に達している交差点のみ調査した（愛宕・寺島・要町交差点）。

■路面状態・道路種別による比較

表5は、路面状態に対する低下割合を示したものである。乾燥から冬季路面に至ると最低でも約1割程度の低下を及ぼし、最大で3.5割程度であった。シャーベット状態から圧雪に至ると低下割合は急激に大きくなる（約2割の加算）傾向にあり、滑らかと凸凹との差はほとんど無い結果となった。また、道路種別による低下傾向はほとんど同様なものとなった。

消雪パイプ無の場合、特徴でもある凍結・圧雪（滑・凸凹）は乾燥基準で約1割、約3割、3.5割と、路面が悪化する順に低下は大きくなる。

表5 路面状態別における右折飽和交通流率の低下率

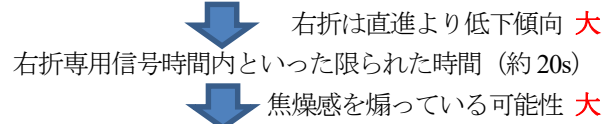
交差点名	路面状態	車線	消雪パイプ	サンプル数 (サイクル/台数)	平均		
					右折 飽和交通流率 (pcu/青1h)	標準偏差	低下率 (%)
直轄国道	愛宕	第4 (右×1)	無	36/129	1840	196	100
				27/80	1600	238	87
				30/101	1610	203	88
				31/86	1346	135	73
県道	要町	第3 (右×1)	無	22/62	1774	218	100
				23/60	1529	162	86
				34/69	1529	256	86
				26/63	1702	193	100
県道	要町	第3 (右×1)	無	24/54	1664	206	97
				31/62	1576	229	92
				30/47	1116	240	65
				30/47	1116	240	65

4.3 直進及び右折飽和交通流率の比較

表4,5より、同じ路面状態における直進飽和交通流率は右折よりも小さく、路面悪化に対する低下割合は右折よりも直進飽和交通流率の方が大きい結果となった。

右折の低下割合が小さい理由として考えられるのは運転者の心理に大きく関わっているのではないかと考える。図7は愛宕交差点における直進と右折の平均車頭時間の分布を示したものである。

黄信号時付近における車頭時間の傾向



通常運転より交差点通過意欲が増大し詰める傾向にあった。そのため右折は車頭時間が低下し飽和交通流率が直進より増大したと考えられる。

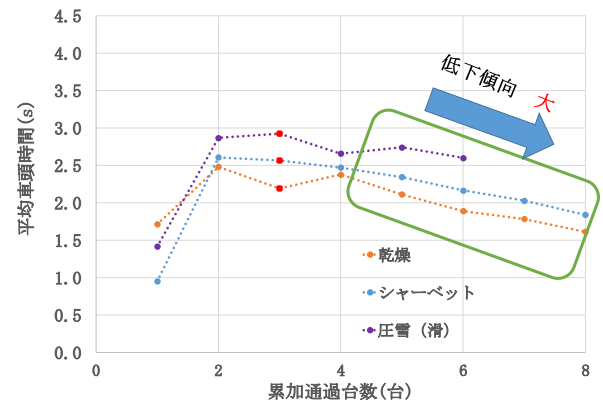
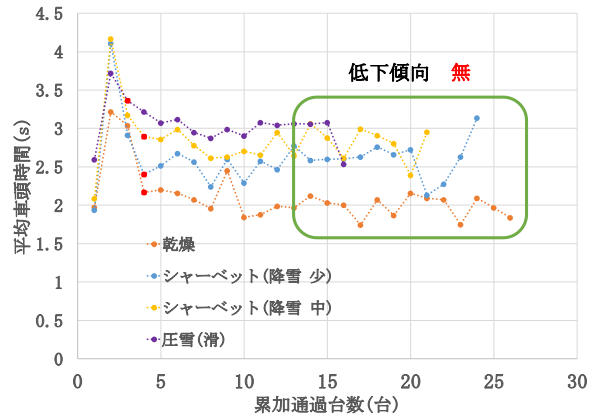


図7 愛宕交差点 直進（上）・右折（下）における1サイクル分の車頭時間

4.4 降積雪の影響による発進損失時間の変動

■路面状態・道路種別・消雪パイプの有無による比較
飽和交通流率と同様に別途1サイクル毎の発進損失時間を求め、一元配置分散分析（有意水準5%）によりその平均値の差について検定したところ、追廻橋交差点を除き有意な差があることが確認された。（追廻橋交差点 $p=0.056$, その他交差点 $p<0.01$ ）そのため、表6に示すように路面状態が悪化するにつれ、発進損失時間は低下す

る結果となった。乾燥基準で最低でも 0.5 割程度の低下（シャーベット路面）があり、最大は発進損失時間の影響がほとんどない（圧雪凸凹）結果となった。同路面状態における各道路の低下割合差が極端に大きいことを考慮すると道路種別における低下傾向が異なるといえる。また、消雪パイプに関しては有の場合 4.5 割低下（シャーベット路面）、無の場合だと 4.5 割（シャ）、2 割（凍結）、7 割（圧雪滑）、損失影響無（圧雪凸凹）となった。

表 6 路面状態別における発進損失時間の低下率

道路種別	交差点名	消雪パイプ	路面状態	発進損失時間(s)	低下割合(%)
直轄国道	愛宕	無	乾燥	2.78	100
			シャ(降雪小)	0.90	32
			シャ(降雪中)	1.19	43
			圧雪(滑)	0.89	32
	福島		乾燥	3.20	100
			シャ(降雪中)	0.46	14
			シャ(降雪多)	1.12	35
	寺島		乾燥	2.37	85
			シャ(降雪中)	2.80	100
シャ(降雪多)		1.77	63		
補助国道	追廻橋	有	乾燥	2.76	100
			シャ(降雪小)	1.83	66
	シャ(降雪中)		2.34	85	
	乾燥		2.67	100	
大島	シャ(降雪中)	0.36	13		
	乾燥	2.48	100		
県道	要町	無	シャ(降雪小)	2.36	95
			凍結	1.90	77
			圧雪(凸凹)	0.00	0
			乾燥	2.28	100
市道	リバ千前		乾燥	2.28	100
			圧雪(滑)	0.51	22

このように、路面状態が悪化するにつれて損失時間が「減少」するメカニズムについては「発進時平均車頭時間増分<飽和時平均車頭時間増分」によるものだと考えられる。例として福島交差点の 1 サイクル分の平均車頭時間分布を用い説明する（図 8）。

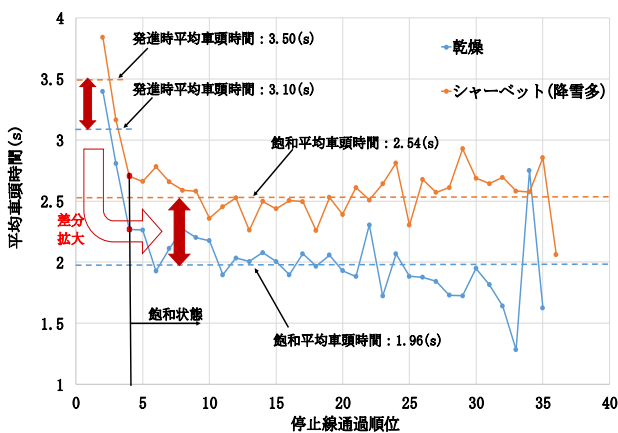


図 8 福島交差点における乾燥・シャーベット路面の平均車頭時間分布

まず始めに、発進の影響を受ける先頭車両数台の車頭時間（発進時平均車頭時間）変化に着目すると、乾燥路面

の場合約 3.1 秒であるのに対し、シャーベット路面では約 3.5 秒かかっておりその差 0.4 秒増加していることがわかる。次に飽和状態開始後に着目すると、車両 1 台 1 台の車頭時間の増加が大きくなっており、乾燥路面の場合 1.96 秒に対し、シャーベット路面は 2.54 秒を示しその差 0.58 秒程度であった。このことより飽和時平均車頭時間増分の方が発進時のそれより大きいことをみなし、その関係性から損失時間が減少していくと考えられる。

4.5 降積雪の影響によるクリアランス損失時間の変動

表 7 より、冬季積雪路面時には、1 秒にも満たない程度であるがわずかながらクリアランス損失時間が減少する傾向があるようにも見られた。本研究におけるクリアランス損失時間の定義からすると、黄色表示時のドライバーの挙動としては「交差点への進入」する 경우가わずかに多い可能性が推察されたが、明確な縮小として言える程度の差でもないため、発進損失時間と同様に交差点毎の路面状態別クリアランス損失時間について一元配置分散分析（有意水準 5%）を行ったところ、全交差点で「有意な差は認められなかった。」

表 7 路面状態別におけるクリアランス損失時間の低下率

道路種別	交差点名	路面状態	全サイクル数	クリアランス損失可能サイクル数	平均クリアランス損失時間 (s)	標準偏差
直轄国道	愛宕	乾燥	24	16	1.67	1.2
		シャ(降雪少)	21	20	1.76	0.92
		シャ(降雪中)	29	16	1.51	0.87
		圧雪(滑)	42	18	1.37	0.81
	福島	乾燥	38	22	1.86	0.79
		シャ(降雪中)	34	28	1.42	1.09
		シャ(降雪多)	36	22	1.53	0.72
	寺島	乾燥	32	20	1.90	0.87
		シャ(降雪少)	32	21	1.25	1.05
シャ(降雪多)		34	22	1.80	1.10	
補助国道	追廻橋	乾燥	38	27	1.74	0.62
		シャ(降雪少)	21	14	1.96	0.58
	大島	シャ(降雪中)	25	7	1.27	0.67
		乾燥	41	30	1.58	0.69
県道	要町	シャ(降雪中)	37	17	1.58	0.92
		乾燥	30	23	1.68	0.94
		シャ(降雪少)	30	23	1.94	0.85
		凍結	22	17	1.49	0.77
市道	リバ千前	圧雪(凹凸)	35	0	-	-
		凍結	26	13	2.03	0.61
		圧雪(滑)	38	21	1.84	0.62

今回の研究では、有意な差は認められなかったが飽和交通流率低下と同様に降積雪時にはドライバーの運転意識が安全側に働く（乾燥路面よりも車頭距離を長めにとる、急挙動を避ける等）ことを考慮するとクリアランス損失時間は路面悪化に伴い「増加」すると考えられる。

そこで、本研究では同じ黄信号時の挙動でもある危険領域分析によって路面状態悪化がドライバーの交差点通過・停止に如何なる影響を与えるのか調査した。その結果を図 9 に示す。図を見る限り、愛宕・要町交差点共に路面状態が悪化するにつれて黄信号時における交差点通過車

両の割合が低下している（非通過の選択率が上昇する）のがわかる。そのため路面悪化するにつれて事故リスクを考慮して無理に交差点に突っ込まない運転者が多くなる。まとめると、クリアランス損失時間の結果（路面悪化につれて有意な差無し）と黄信号時の挙動分析の結果（路面悪化につれて通過車両率減少のため損失時間が増加しやすい傾向）により、クリアランス損失時間は路面悪化に伴い増加する可能性が高い事が示唆された。

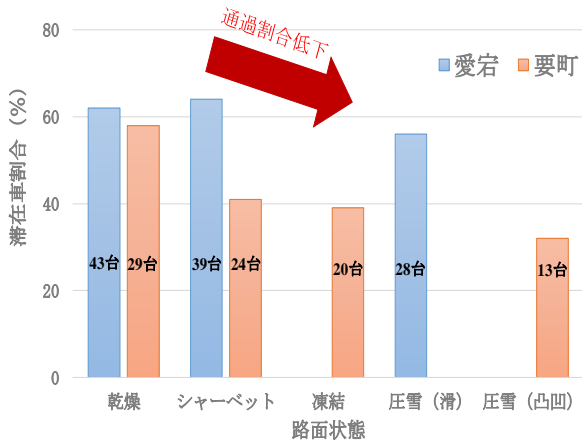


図9 愛宕・要町交差点における黄信号時の通過割合

4.6 降積雪の影響による交通容量の変動

本研究から得られた上記の調査項目を用いて、信号交差点直進車線1車線当たりの交通容量を算出し、降積雪による交通容量低下率を求めた。また図10に道路種別や消雪パイプの設置有無により区分した信号交差点交通容量低下率の平均値を整理した。低下率は乾燥路面を100%とした場合のものである。いずれも、乾燥路面に対し交通容量は減少する結果が得られ、路面状態がシャーベット及び凍結で約2割低下、圧雪で3~5割低下していた。

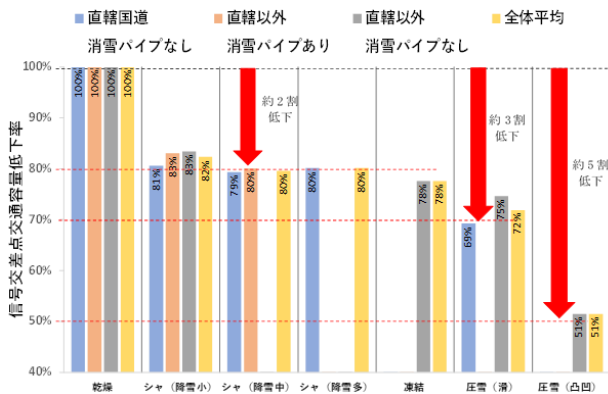


図10 路面状態別における交通容量低下率 (%)

5. まとめ

- ①冬季積雪路面では飽和交通流率は大きく低下。
- ②冬季積雪路面では発進損失時間は縮小。
- ③クリアランス損失時間に有意差は無し。(路面悪化による)

- ④影響度合の大きい路面（凍結・圧雪）は「消雪パイプ無」の交差点
- ⑤同じ路面状態であれば道路種別によらず低下割合は同様であった。ただし、実際は除雪水準差により路面状態には差がある。
- ⑥容量低下は飽和交通流率の影響が支配的である。

6. 冬季交通円滑化に向けた提案

(I) 【消融雪施設導入の検討】

Ex.消雪パイプ

図11より、消雪パイプは環境によくコストパフォーマンスもよい(20,000円/m²)、デメリットは地下水源が必要、氷点下時は散水困難であることが挙げられる。

そのため、本研究の結果で得られた消雪パイプの必要性(5.まとめ④)及びメリット・デメリットを総合的に考慮して、地下水源がないところ及び氷点下時の冬季状況下では重機による除雪を行い、地下水源があるところには消雪パイプの拡大を本研究では勧める。

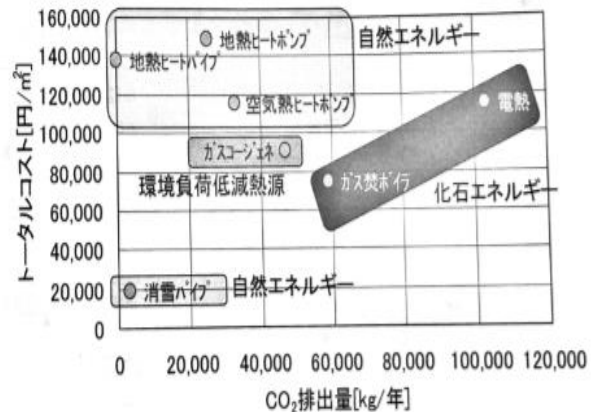


図11 消雪機器のトータルコスト・CO2排出量に関して⁹⁾

(II) 【現在の除雪基準の見直し・検討】

本研究の低下割合の結果から「信号交差点」に主眼を当てていかなければならないと考える。その信号交差点においては、国、県市の除雪水準の違いから実際の路面状態には大きな差があり、容量に与える影響が大きくなっている。県市の除雪水準については、路線の交通量やネットワークを勘案して水準を見直す必要があると考えられる。また、除雪の際の連携・協力体制を強化することが必要である。

(III) 【最適な除雪出動タイミングの検討】

今後、降雪量に応じた交通容量低下に関する研究をさらに充実させることが前提となるが、これにより容量に与える影響が大きい降雪条件が分かれば、道路管理者は、降雪予測結果に基づいて影響が大きくなる前に適切な除

雪体制の構築・対応を図ることが可能になると考えられる。

(IV) 【冬季損失を踏まえた交差点設計の導入】

降積雪地域の特に交通需要が多いと見込まれる交差点の計画設計時には、冬期の容量が低下することを考慮して余裕を持った設計をすることが求められる。例えば、右左折車線の設置、右左折車線長の延伸、特に交通需要が多い場合は立体化も視野に入れなければならない。この場合のコスト増については、前述の通り冬季遅れ時間の増大による損失額を金銭換算し、費用対効果による分析をすべきだと考えられる。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々にご指導とご協力を頂きました。この場をお借りして深く感謝の意を表します。佐野可寸志教授、伊藤潤助教、鳩山紀一郎特任准教授、高橋貴生助教には本研究の構想から遂行に渡って数多くのご指導と力強い助言助力を賜りました。また、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所様から提供して頂いた降雪量データ、事務所内にて観測させて頂き、ここに感謝の意を表します。

同じ研究室のB4やM1のみなさんにも様々な場面で支えて頂き、非常に感謝しております。そして、3年間共に頑張ってきたM2のみなさんには、日々の研究に関する議論や沢山のアドバイスを頂くと共に、研究が辛い時にも精神的に非常に支えられました。ありがとうございました。

いました。

参考文献

- (1) 国土交通省 (2018) 「豪雪地域・特別豪雪地帯の指定」 (参照 2019-1) <http://www.mlit.go.jp/common/001085702.pdf>
- (2) 気象庁 「長岡アメダス」 (参照 2019-1-17) <https://www.jma.go.jp/jp/amedas/>
- (3) 石井憲一, 斎藤和夫 「冬季積雪時における信号交差点の交通容量解析に関する研究」, 土木学会論文集 D, 1984, 1 巻 p123-130, 1984
- (4) 北川春樹, 佐野可寸志, 西内裕品 「降雪地域における冬季の車両挙動を考慮した信号制御パラメータに関する研究」, 長岡技術科学修士論文集
- (5) Johannes Asamer and Henk J. Van Zuylen 「Saturation Flow Under Adverse Weather Conditions」, Journal of the Transportation Research Board, No. 2258, pp. 103-109, 2011.
- (6) Jan L. Botha, Member, ASCE and Thomas R. Kruse, Student Member, ASCE 「FLOW RATES AT SIGNALIZED INTERSECTIONS UNDER COLD WINTER CONDITIONS」
- (7) 国土交通省 (2018) 「大雪時の道路交通確保対策概要」 (参照 2019-2) <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/index.html>
- (8) (社) 日本道路協会 「道路の交通容量」 (参照 2017-10-15)
- (9) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会 (2008) 「路面消・融雪施設等設計要領」 pp153