

降積雪が信号交差点の交通容量へ及ぼす影響

Influence of snow accumulation on traffic capacity of signaling intersection

大島亮¹, 佐野可寸志², 伊藤潤³, 川端光昭⁴

RyoOSIMA¹, KazushiSANO², JunITO³and Mitsuki KAWABATA⁴

現在、飽和交通流率の基準値は降積雪の影響をほとんど考慮しておらず、また冬期における降積雪が飽和交通流率に及ぼす影響についての知見も少なく、降積雪の多い地方都市における飽和交通流率の実態は未解明のままである。

本研究では、長岡市内の3つの交差点(愛宕交差点, 寺島交差点, 福島交差点)を調査対象とし、夏季と冬季の路面状態に着目し、車両の発進, 停止及び走行を観測及び比較し、交通状態の変動を分析する。

調査項目全体が乾燥状態からシャーベット状態, 圧雪状態と路面が悪化するにつれ減少する結果となった。シャーベット状態の減少割合は少なかったが圧雪状態の割合は大きく、交通容量に関しては最大4割の減少となった。結果より、降積雪が交通流に与える影響は大きいことがわかる。

Keywords: 飽和交通流率, 路面状態, 基準値

1. はじめに

信号交差点は幹線道路の交通運用を計るうえで重要な要素である。一般的に信号交差点を設計するにあたって、飽和交通流率の基本値(直進2000pcu/有効青時間)に基づいて流入部の交通量を決定する必要がある。しかし、東京などの大都市において乾燥路面状態で観測された結果であり、冬期における降積雪が飽和交通流率に及ぼす影響についての知見は少ない。ほとんど冬季における降雪・積雪の影響を反映していないのが現状である。そのため、降積雪の多い地方都市における飽和交通流率の実態は未解明のままの状況におかれているといつてよい。

これら実測値の多くは直進車線における乗用車類の飽和交通流率(飽和交通流率の基本値に相当)であり、飽和交通流率の基本値は、その地点(車線)でこれ以上の飽和交通流率が出現し得ない値とみなせるものである。交通容量増大を目標にした対策ではこの基本値を対策の目標値として位置付け、基本値と実際条件下の飽和交通流率との乖離をいかに縮めるかを対策の眼目にする必要がある。飽和交通流率を計算によって推定する場合にも、その交差点の実態を反映させられるだけの推定結果を得るためには基本値の設定が大きく影響を及ぼす。それゆえ、飽和交通流率の基本値

相当とみなせる飽和交通流率が天候や路面状態ごとに変動し、その変動範囲が大きいことが事実であれば、その特性を明らかにすることは非常に重要となる。

そこで本研究では、日最大降雪量が平均でも70cmを超える豪雪地域の新潟県長岡市を対象とすることにした。長岡市は新潟県第2都市であり、交通量も多い。冬季における交通環境の変化は路面状態や気象条件によって多様であり、幹線道路は昔に比べれば、除雪の高度化による改善されたが、冬期間における降積雪は、交通流へ大きな影響を与えているのは事実であるが、長岡市の冬季は降雪・積雪量が非常に多いため、交通流に対して未だに大きな影響を与えている。

1.2 本研究の目的

本研究の目的としては、長岡市の3つの交差点(愛宕, 寺島, 福島)を対象とし、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に着目し、夏季と冬季の交通状態の変化を追及した。

降積雪による路面状態の変化が飽和交通流率, 発進損失, 右折ギャップに対しどれほどの影響を与えるかビデオカメラにより観測を実施した。観測結果により交通容量を算出し、信号交差点の交通容量の実態を把握する事を目的とする。

1 学生会員, 学士(工学), 長岡技術科学大学環境システム工学課程

2 正会員, 工学博士, 長岡技術科学大学大学院

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 e-mail: sano@nagaokaut.ac.jp Phone: 0258-47-9650

3 非会員, 長岡技術科学大学大学院

4 正会員, 長岡技術科学大学大学院

2. 調査場所

本研究では飽和交通流率算出のため、できるだけ飽和状態に近い交差点を選定する必要がある。また道路条件(車線数, 信号機)天候の変化以外に地域毎にも飽和交通流率に変化があると考えているので、本研究では対象交差点を3カ所とし、新潟県「長岡市愛宕交差点」, 「寺島交差点」, 「福島交差点」を選定した。

2.1 調査概要

本研究では愛宕交差点に関しては長岡国道事務所から提供して頂いた長岡ライブカメラ映像を使用し、寺島及び福島交差点に関しては現地調査を行い解析した。

表 1. 調査概要

調査場所	愛宕交差点		寺島交差点		福島交差点	
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
調査日時	2016. 9/7	2016. 1/24, 3/1, 2	2016. 10/6	2016. 12/16, 2017. 1/13	2016. 11/9	2016. 12/16, 2017. 1/13
道路状況	片側2車線(直進×2, 左×1, 右×1)					
信号機	右折専用信号有り					
天気	晴れ	雪	晴れ	雪	晴れ	雪
路面状態	乾燥	圧雪及びシャーベット	湿潤	シャーベット	乾燥	シャーベット
気温(°C)	24~26	-2~0	20	-2~0	7	-2~0

3. 調査結果

3.1 発進損失及びクリアランス損失時間

■解析結果

発進損失時間

各交差点共、路面状態が悪化するに従って発進損失時間が長くなる傾向があった。愛宕交差点に関しては圧雪状態まで路面レベルが低下すると乾燥状態に比べ約2倍程度要する結果となった。寺島交差点に関してはほとんど発進損失時間に差が無い結果であった。福島交差点も愛宕交差点と同傾向であった。

クリアランス損失時間

各交差点共、路面状態が悪化するに従ってクリアランス損失時間が短い結果となった。

本研究の調査対象交差点において夏季と冬季で差が出た理由として、サンプル数が少ない事もあるが、まず第一に黄色信号(リスクタイム)に対し冬季は夏季と同スピードで入ってくる事が原因である。冬季は黄色信号及びスリップ、転倒などの多重リスクがあるのに対し、焦りや乾燥状態の運転難易度とほとんど大差ないと思込みながら運転しているから冬季の方がクリアランス時間が短くなったと考える。また追加要素としては、長岡は元々豪雪の雪国のため長岡市民は雪の運転に慣れているため短くなった可能性も高い。このことから、積雪時の場合、危険を犯してまでも渡る傾向にあるため、リスク及び焦りを無くした運転を心がけるべき

である。

クリアランス損失時間についても、積雪の有無で損失時間に差が出たことから少なからず影響を与えていることが明確となった。

表 2. 発進損失, クリアランス損失時間

	発進損失時間			クリアランス損失時間		
	乾燥	シャーベット	圧雪	乾燥	シャーベット	圧雪
愛宕交差点	7.91	13.3	15.0	1.8	1.7	1.37
寺島交差点	12.2	12.9	x	1.9	1.5	x
福島交差点	8.54	11.3	x	1.87	1.37	x

3.2 発進時の車頭時間

■調査方法, 条件

完全停止状態から発進時における車頭時間を計測する。赤信号で完全停止している状態から青信号に切り換わり、先頭車から車群が順次捌けていく際の車頭時間を測定する。調査条件として、右折・左折の影響を受けない直進車を対象とした。また、3.1.1 で求めたが大型車の車頭時間は乗用車よりはるかに長く台数もかなり少ないため大きなばらつき防止のために大型車とその後継車を除くこととする。

■解析結果

各交差点を比較及び考察

共通している点として、

- ・夏季と冬季の先頭車発進損失時間差はだいたいどの交差点も0.3秒程度であった。
- ・両季節とも2台目の発進がどの台数に比べ圧倒的に遅い。
- ・飽和状態に至るまでに各交差点ばらつきがある。
(愛宕：夏季-4台目 冬季-6台目 以降)
(寺島：夏季-6台目 冬季-6台目 以降)
(寺島：夏季-4台目 冬季-5台目 以降)

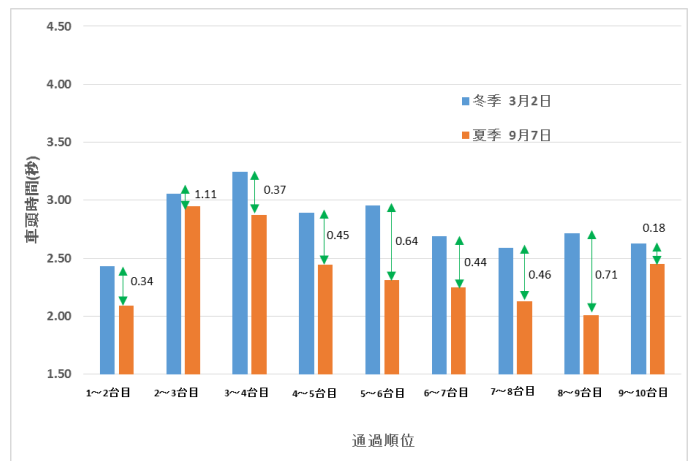


図 1. 愛宕交差点における発進時の車頭時間の変動

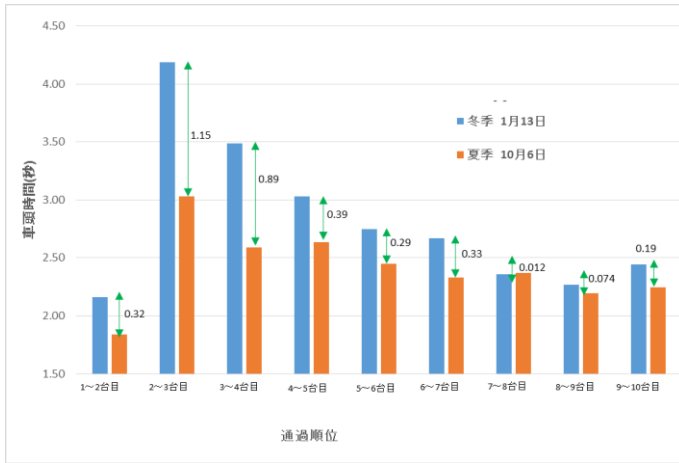


図 2. 寺島交差点における発進時の車頭時間の変動

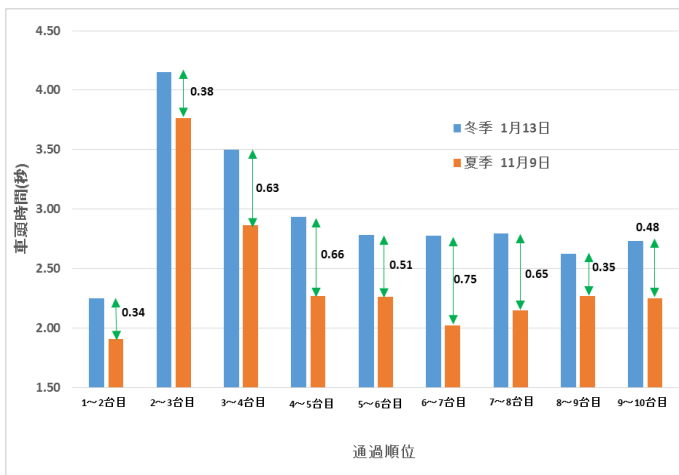


図 3. 福島交差点における発進時の車頭時間の変動

3.3 飽和交通流率

■算出方法

本研究では車頭時間に基づく算出方法を採用した。飽和状態にあった交通流の車頭時間からの平均値から算出する。算出公式を式①とする。

$$\text{飽和交通流率} = \frac{1}{\sum h/n} \times$$

$$3600 \left(\frac{\text{台}}{\text{青1時間}} \right) \dots \text{式①}^{5)}$$

ここで、h：飽和状態以降の車頭時間(秒)

n：データ数

※本実験では、貨物車(大・中・小型車)及び後継車からの影響を飽和交通流率に反映させないために、飽和状態以降の車頭時間は除外して考慮してある。また、データ数もちろんのこと除外してある。

■解析結果

- ①路面状況及び降積雪の影響より発信損失時間差がその分遅くなり、飽和状態に至るまでに差が出る結果となった。寺島交差点に関してはほとんど差が見られなかった。
- ②夏季の場合の飽和交通流率が1700(pcu/青1時間)、シャーベット状態が1400程度、さらに圧雪状態になると1200台を下まわる結果となったため、飽和交通流率は路面の悪化及び降積雪の影響で減少することがわかる。
- ③乾燥状態からシャーベット状態に至ると約2割の低下、圧雪状態にまでなると約3割の低下が見られた。

表 3. 飽和交通流率に関する詳細(愛宕交差点)

日/台	路面状態	飽和交通流率			標準偏差	サンプル数(サイクル)	低下率
		平均	最高	最低			
9月7日	乾燥	1676	1948	1461	115	24	1
3月1日	シャーベット	1402	1602	1166	111	21	0.83
3月2日		1291	1556	1111	112	29	0.77
1月24日	圧雪	1197	1422	975	116	42	0.71

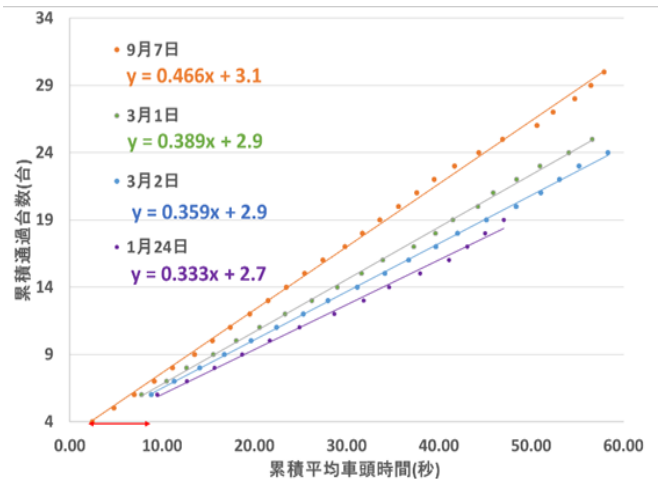


図 4. 愛宕交差点における飽和交通流率

表 4. 飽和交通流率に関する詳細(寺島交差点)

日/台	路面状態	飽和交通流率			標準偏差	サンプル数(サイクル)	低下率
		平均	最高	最低			
10月6日	湿潤	1634	1801	1467	93	30	1
12月16日	シャーベット	1397	1555	1169	92	33	0.85
1月13日	シャーベット	1431	1571	1309	73	32	0.87

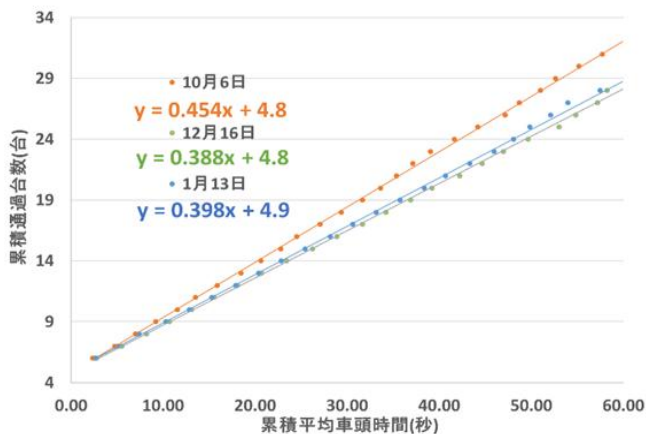


図 5. 寺島交差点における飽和交通流率

表 5. 飽和交通流率に関する詳細 (福島交差点)

日/台	路面状態	飽和交通流率			標準偏差	サンプル数(サイクル)	低下率
		平均	最高	最低			
11月9日	乾燥	1776	1535	1512	136	38	1
12月16日	シャーベット	1470	1637	1200	114	31	0.82
1月13日	シャーベット	1413	1535	1257	78	33	0.79

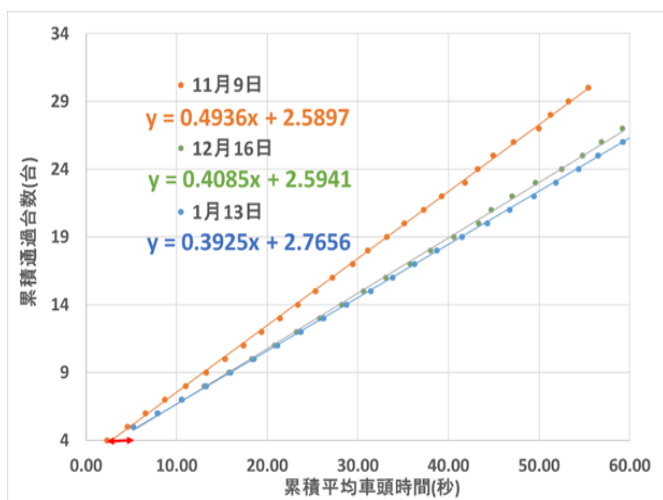


図 6. 福島交差点における飽和交通流率

3.4 交通容量

■算出方法

信号交差点では、各流入部とも1信号サイクル中で割当てられた青時間 G_i のみによって需要交通を捌くことになるから、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。

$$\text{交通容量} = S_i \cdot g_i = S_i \frac{G_i}{C} \dots \text{公式②}^{15)}$$

ここに、

S_i : 流入部の飽和交通流率(台/青1時間)

C : サイクル長(s)

G_i : 青サイクル有効時間

～飽和交通流率の補正方法～

算出方法は単純で車線ごとにその道路・交通条件の各要因の補正率を、飽和交通流率の基本値 S_B に連乗してやればよい。

$$S_A = S_B \cdot \alpha_w \cdot \alpha_G \cdot \alpha_T \cdot \alpha_{RT} \cdot \alpha_{LT} \quad \text{公式③}^{15)}$$

ここで、

S_A : 実際の車線と(可能)飽和交通流率(台/青1時間)

S_B : 飽和交通流率の基本値(pcu/青1時間)

$\alpha_w, \alpha_G, \alpha_T, \alpha_{RT}, \alpha_{LT}$: それぞれ、車線幅員、勾配、大型車混入、右折車混入、左折車混入の補正率

※本実験の調査交差点では勾配及び右折車混入、左折車混入が無かったため除外する。

(比較的理想的な状態に近い箇所を選んで調査分析しているため。)

■解析結果

愛宕交差点

- 乾燥状態に比べシャーベット状態は約3割低下(その内飽和交通流率が2割、発進損失時間が1割影響を与える)、圧雪状態は約4割低下(その内飽和交通流率が3割、発進損失時間が1割影響を与える)する結果となった。

表 6. 愛宕交差点における交通容量

	9月7日	1月24日	3月1日	3月2日
飽和交通流率(台)	1665	1186	1388	1276
青時間(秒)	62			
有効青時間(秒)	52	46	48	46
サイクル長(秒)	125			
交通容量(台)	693	436	533	470

※有効青時間は青時間から損失時間(発進、クリアランス)

を差し引いて算出する。

寺島交差点

- 乾燥状態に比べシャーベット状態は約1.5割低下という結果となった。(その内飽和交通流率が1.5割、発進損失時間に関しては差がほとんど無かったため影響を与えなかった。)

表 7. 寺島交差点における交通容量

	10月6日	12月16日	1月13日
飽和交通流率(台)	1620	1382	1421
青時間(秒)	74		
有効青時間(秒)	60	59	59
サイクル長(秒)	150		
交通容量(台)	648	543	559

福島交差点

- ・乾燥状態に比べシャーベット状態は約 2 割低下する結果となった。(その内飽和交通流率が 1.5 割, 発進損失時間が 0.5 割影響を与える)

表 8. 福島交差点における交通容量

	10月6日	12月16日	1月13日
飽和交通流率(台)	1776	1470	1413
青時間(秒)	95		
有効青時間(秒)	85	82	82
サイクル長(秒)	154		
交通容量(台)	980	783	752

各交差点共

- ・路面状態, 交差点, により大きく変化する.
- ・圧雪状態にまで至ると約 4 割も減少する.
- ・飽和交通流率の方が交通容量を減少させる大きな要因.

3.5 右折ギャップ

■解析結果

観測データのまとめ及び結果を図 7, 8, 9 に示す.

図 7 は右折を利用した場合の累計台数をギャップ時間毎に表している. 主に 6 秒台が約 5 割, 続いて 5, 7, 8 秒台を合せて 5 割を占める結果となった. 平均値は 6. 82 秒という結果となった. 豊橋市の大池南交差点における路面が乾燥状態だった場合の右折ギャップの平均は 3. 24 秒 5) という結果となっている. このギャップ時間はパラメータ推定結果のため確信性が欠けていることを考慮しても冬季の場合約 2 倍以上のギャップ時間を要していることが分かる.

図 8 は右折を断念した場合の累計台数をギャップ時間秒台毎に表している. 上記でも説明したが路面が乾燥状態だった場合の平均右折ギャップが 3. 24 秒だったことより, 降雪・積雪状態における断念ギャップは 1~2 秒が占める結果となった.

図 9 は可能, 断念右折ギャップのデータをグラフ化したもので 2 つの累積度数曲線の交点におけるギャップの長さは, それより短いギャップが利用された数と, それより長いギャップが利用されなかった数が等しいことを意味し, これを臨界ギャップ(クリティカルギャップ)と言い, ギャップスクセプ

ダンス挙動の特性を表す 1 つのパラメータとされている. 本研究による臨界ギャップは 5. 3 秒という結果となり, 道路交通技術必携によると臨界ギャップは約 4. 3 秒 6) となっており比べると約 1 秒冬季の方が増加している結果となった.

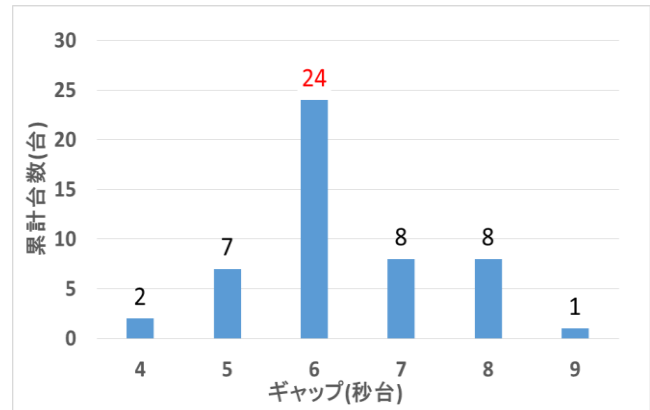


図 7. 利用右折ギャップに対する累計台数

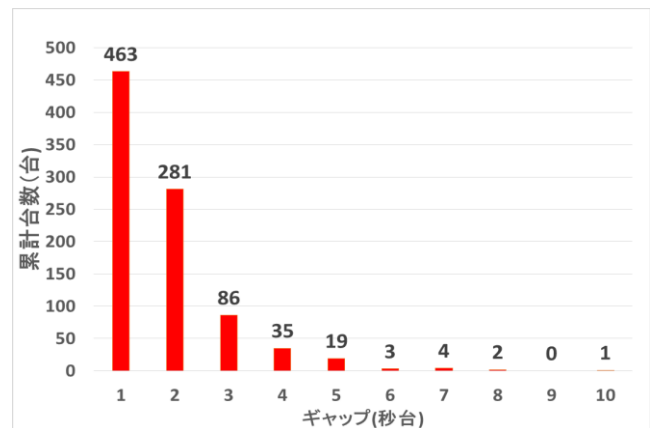


図 8. 断念右折ギャップに対する累計台数

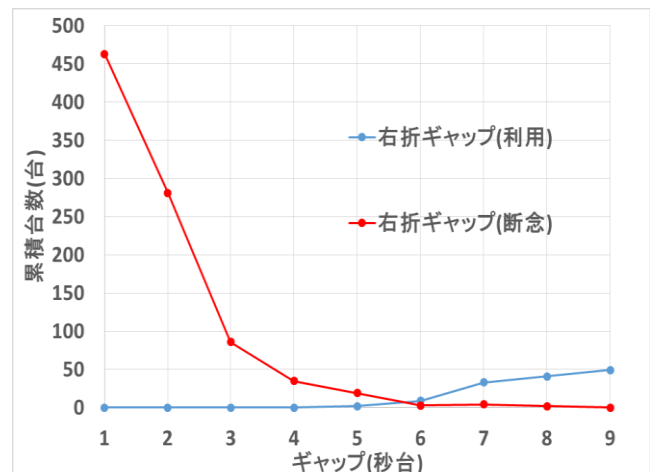


図 9. 右折車両のギャップアクセプタンス

3.6 本章のまとめ

■走行時の車頭時間

積雪の有無で車頭時間に影響を与えていることは、本研究及び他者の研究などにより明確化となった。全体的な差としては約0.5秒と微小だが、単純に台数が増加すればするほどこの微小な影響は大きくなる。また、路面が乾燥状態の貨物車と積雪量(13~23cm)時の乗用車の車頭時間はほとんど同程度だった事からもその影響はわかる。

■発進時の車頭時間

本研究より、夏季と冬季で比べ飽和状態に至るまでに差が出る事がわかった。また冬季はその分発進損失時間の影響を受けている結果となった。夏季の車は加速を終え一定速度となり、累計曲線が直線となり冬季及び夏季の車頭時間差が緩やかに縮んでいく傾向となった。

■発進損失時間

夏季と冬季で占める秒数の割合が異なった。夏季は1秒台、冬季は2秒台を多く占めることから積雪の影響を少なくとも1秒程度受けている事がわかった。特に冬季はばらつきが見られ安定しない結果となった。

■クリアランス損失時間

予想では、積雪路面の方がリスク面などを考え乾燥路面よりも黄色信号時、交差点に入ってくるのを抑えようと考えていたが予想とは全く逆で損失時間が短い結果となった。

様々な原因が考えられるが、やはり第一に運転者の技術及び心理的な面ではないかと考える。この事を考慮すれば長岡市民は豪雪に元々慣れているためリスクを承知の上また経験上から通過するのをためらわない為、冬季の方が損失時間が短い結果となった。

■飽和交通流率

本研究では夏季の場合の飽和交通流率が1600(pcu/青1時間)程度、冬季が1400台程度、さらに積雪が多くなると1200台を下まわる結果となり低下率は約20%程度となった。このことより、積雪が飽和交通流率に影響を与えている事がわかる。

また、他者の結果と比較することで全体的にばらけることがわかったので、飽和交通流率も運転者で大きく変化する結果となった。

■交通容量

本研究では、乾燥状態に比べシャーベット状態は約3割低下、圧雪状態は約4割低下する結果となった。各交差点においてシャーベット時、圧雪時の交通容量の減少率に差があった。各交差点に損失時間及びサイクル長に差があるため変化がその分大

きかった。

■右折ギャップ

最も運転者及び路面で影響を受けるばらつきに対応するためサンプル数を増やす必要があった。夏季と冬季で約1秒程度の差となった。積雪の存在が「スリップ、転倒、事故」という概念が頭をよぎるため乾燥状態の路面に比べ少なからず遅れが生じる結果を生み出した。

4 結論

本研究は、長岡市の積雪時における飽和交通流率を算出し、現在基準とされている東京都の2000pcu/有効青1時間(路面が乾燥状態時)、1800pcu/有効青1時間(積雪状態)に対し比較を行い長岡市に対しては適正であるか、また路面状態の考慮を再確認し検証を行った。

本研究の調査項目である車頭時間、発進損失時間、クリアランス損失時間、飽和交通流率、交通容量、右折ギャップの全調査結果に積雪の影響を受ける結果となった。また積雪量に関しても違いがでることも明らかとなった。結果の詳細としては第3章の終わりにまとめてあるが1台毎の損失時間はコンマ単位の影響であったが1サイクル、1日とみていくと夏季と冬季での損失時間差はその分大きくなる。またその分飽和交通流率や交通容量に影響を与える。

結果として長岡市の夏季の飽和交通流率の平均は1600pcu/有効青1時間、冬季が1400pcu/有効青1時間であった。基準値と比較してみると低下率は約20%と同程度あったが飽和交通流率の差は歴然であった。交通容量も飽和交通流率の半分程度であった。長岡市以外とも比較したが夏季も冬季も低い結果であった。

上記から長岡市に対し現在の基本値は不適正であること及び降積雪が交通容量に与える影響が大きい事が明確化した。また、長岡市は全国的に見ても車頭時間が遅く車間距離を詰めない傾向にある事がわかった。予想として、これは運転者の運転技術、心理が大きく関わってくると考えている。現状だと長岡市は渋滞の原因や車両を捌ききれない。

全体を通しての印象はやはり積雪を与えている影響だった。サンプル数が少なく確信性が薄い点もあったが他の研究とも比較することでだいぶ明確性を露にすることが出来た。また条件が同等でも大きな差もよく見られたことにより運転者の技術、心理も大きく本研究に関わってきていることも理解できた。長岡市の飽和状態、交通容量は基

準値に到底及ばない。このことから設計基準値を見直す必要があるだろう。

4.1 今後の課題

結論から、長岡市に現在の飽和交通流率の基準値(夏季及び冬季共)が適していない事が明らかとなった。しかし、まだ飽和交通流率に影響を与えているのが積雪のみと限られていない。そのためあらゆる場合(凍結時や雨天時)を考慮しもう一度初めから観測行いどれほどの影響を与えているのか、はたまた与えていないのかを明確にして影響があった場合は再度、長岡市に適した飽和交通流率の算出を試みたい。

■参考文献

- 1) 石井憲一, 斎藤和夫(1992) 「信号交差点の右折交通現象および交通容量解析に関する研究」
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00041/1992/10-0079.pdf>
- 2) 寺内義典, 宇佐美誠史, 本多義明 (1999) 「積雪時における道路交通管理のための交通特性に関する調査研究」 日本雪工学会誌 Vol.15 No.3 pp3-10
- 3) 寺内義典, 島田善昭, 本田義明 (1998) 「降積雪地域における冬季幹線の設定に関する研究寺内義典」 日本雪工学会誌 Vol.14 No.4 pp3-10
- 4) 森 健二, 三井達郎 「信号交差点におけるクリアランス損失時間と発進損失時間の実測」
https://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00039/200511_no32/pdf/229.pdf
- 5) 大口 敬, 山口智子, 鹿田成則, 小根山裕之 「信号交差点における損失時間の実証分析」
<http://www.transport.iis.u-tokyo.ac.jp/publication/2011-08.pdf>
- 6) 小野剛志, 片岡源宗, 田中伸治, 桑原雅夫 「損失時間の適正な評価のための信号現示切り替わり時における車両挙動の分析」
http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/200811_no38/pdf/P33.pdf
- 7) 小野剛志, 唐克双, 田中伸治, 桑原雅夫 「信号現示切り替わり時の右折車の挙動分析に基づく損失時間の評価」
http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/200911_no40/pdf/P35.pdf
- 8) 石井 憲一, 斎藤 和夫 「冬期積雪寒冷地の信号交差点設計要素に関する基礎的研究」
file:///C:/Users/traffic/Downloads/r10-5_661.pdf
- 9) 気象庁過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php?sess=6ef525a9cdef28cea634ce58ca736e68>
- 10) 一般財団法人国土技術研究センター
http://www.jice.or.jp/quiz/kaisetsu_03.html
- 11) 東日本高速道路(株) 新潟支社 北陸地方整備局 「主要渋滞箇所」の選定結果について
<http://www.hrr.mlit.go.jp/uetsu/contents/newinfo/release/2012/130124data.pdf>
- 12) 森 健一郎, 廣島 康裕, 松尾 幸二郎, 濱口 敦 「右折直進事故多発交差点における右折挙動の分析」
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00063/2009/2009-04-0023.pdf>
- 13) 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敦, 河合芳之 「飽和交通流率の基本値変動の実態解析」
https://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/0039/200206_no25/pdf/18.pdf
(2015/2/10 アクセス)
- 14) 一般社団法人 交通工学研究会 「道路交通技術必携 2013」
- 15) 社団法人 日本道路協会 「道路の交通容量」
- 16) Google マップ <https://www.google.co.jp>
- 17) 高木相 (2008) 「道路交通流の物理的性質(Ⅱ)」 計測自動制御学会東北支部 247 回研究集会
- 18) 浜岡 秀勝, 菅本 倫志, 清水浩志郎 「積雪寒冷地における交通挙動特性の分析」
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2002/57-4/57-4-0322.pdf>

■謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた課題研究論文指導教員の佐野可寸志教授、伊藤潤助教、川端光昭助教に感謝致します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた都市交通研究室の皆様へ感謝致します。