

降積雪地域における道路事業の適切な評価手法構築に関する研究

長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻 助教 伊藤 潤
長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻 教授 佐野可寸志

概要：

本研究は、降積雪が著しい地域の冬期交通環境を多角的・総合的に分析し、道路事業の便益として適切に計測する手法を構築することを目的とし、冬期交通実態を明らかにした上で、交通時間価値に対する降積雪の影響を推定するものである。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。本報告は、研究の第1段階と位置づけた冬期交通実態把握に関して、信号交差点交通容量及び冬期旅行速度等への影響を道路種別・道路構造別に分析した結果を報告するものである。

降積雪時の信号交差点交通容量は、乾燥路面に対して約2割以上の低下が生じ、路面状態により大きく変動する事が確認された。ただしその低下率自体は、同様の路面状態であれば道路種別（除雪レベル）による差異は軽微であった。一方で冬期旅行速度や余裕時間については、道路種別、道路構造、及び交通需要量により明確に影響度が異なることを明らかにした。

キーワード： 冬期交通、信号交差点交通容量、飽和交通流率、冬期旅行速度、道路事業評価、

1. はじめに

わが国は面積比で50%、人口比で15%が豪雪地帯に指定されている国である。特にここ数年に関しては、豪雪地域に限らず、非積雪寒冷地域においても集中的・継続的な降雪が発生し、立ち往生発生等の大規模な交通障害が頻発しており、社会経済的にも大きな問題となっている。このような冬期降積雪による交通障害に対し、国土交通省は平成30年2月に「冬期道路交通確保対策検討委員会」を立ち上げ、具体的な検討に着手したところである。

冬期交通の確保にあたっては、ソフト・ハード両面からのアプローチが不可欠である。このアプローチには除雪体制の強化・除雪方法の高度化といった冬期道路維持管理体制の強化や、大雪に関する道路利用者への適切な情報提供、チェーン携行等の道路利用者側のマナー向上（啓発）といった点も勿論重要であるが、これらと並行してより信頼性の高い道路ネットワークの構築を図っていくことも必要である。本研究は、このハード面から冬期交通確保に向けたアプローチをする方法の一助として研究を実施するものである。

道路整備を計画・実施する上では、従来から費用便益分析によりその効果を適切に評価し、道路整備により得られる便益が事業費を上回っていることが基本となっている。この便益の1つとしてこれまでも冬期便益が計算されてきているところではあるが、その中身は旅行速度低下の考慮にとどまっているのが実情である。一方で降積雪による影響はこれだけではないだろう。旅行時間の信頼性低下や、または交通混雑悪化に起因し、交通時間価値自体にも影響が生じていることも考えられる¹⁾。

本研究は、以下の2ステップ（2か年計画）から降積雪が著しい地域の冬期交通環境を多角的・総合的に分析し、降積雪地域における適切な道路事業評価手法を構築することを目的とする。

研究ステップ1：冬期交通実態の分析と把握

研究ステップ2：冬期交通時間価値の推定

なお、本稿は研究ステップ1の結果について報告するものである。

2. 研究概要

研究ステップ1は、単に冬期旅行速度の変化だけでなく、信号交差点の処理能力（交通容量）の変化にも着目

し、「信号交差点交通容量への影響」と「旅行速度への影響とその影響因子の分析」の2区分で分析した。また、道路除雪は各道路管理者で実施されており、管理者によって除雪レベルには差がある。従って道路種別によって降積雪時の路面状態は異なると想定される。さらに道路構造（立体区間、車線数、信号交差点密度等）によっても降積雪による影響の程度が異なると想定されることから、道路種別、道路構造別に分析を行った。

3. 信号交差点交通容量への影響分析

冬期積雪時の飽和交通流率への影響に関する過去の研究報告では、概ね2割程度飽和交通流率が低下することが報告されている²⁾³⁾。しかしながら、これらはいずれも比較的古い報告であり、現在の自動車の性能向上による影響の有無や、地域性（雪質）による差異、出現しやすい冬期路面状態（シャーベット状、凍結、圧雪等）も異なると想定される点、または道路管理者の違いによる除雪レベルの差による影響も把握する必要がある。

(1) 分析手順

様々な降雪条件下での現地ビデオ観測を実施し、降雪条件別（路面状態別）に飽和交通流率・有効青時間（発進損失、クリアランス損失）への影響を分析し交通容量を算出した。現地調査は、非冬期との比較分析を要することから同一個所で最低2回実施している。現地調査後に机上で信号サイクル毎の車頭時間及びクリアランス損失時間を計測・データ化し分析した。計測にあたっては、交差点下流部での先詰まり、明らかな前方不注意による発進遅れの有無、車種等を判別可能なよう記録し、分析に不適切なデータを取り除いた。なお、今回の分析に関しては直進・左直車線のみを対象として実施した。

(2) 現地調査箇所と降雪・路面状況

調査対象交差点は、道路管理者が異なる箇所として図-1の計7箇所を選定した。いずれも長岡市内である。

また、冬期観測データは路面状態に応じて3分類（シャーベット、圧雪、凍結）し、シャーベット状については、観測時降雪量によりさらに細分化（降雪小、中、大）し、圧雪も滑らか状と凸凹状の2つに区分した。

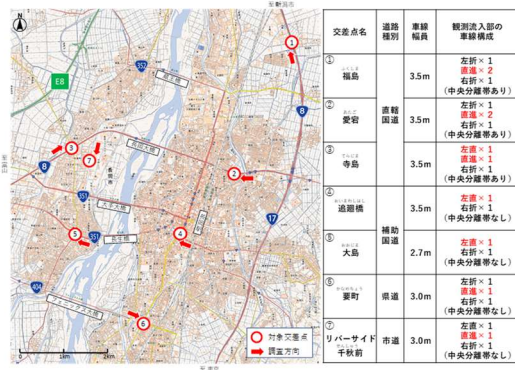


図-1 調査対象交差点の位置と緒元

(3) 飽和交通流率と発進損失時間

飽和交通流率は、交差点・路面状態別の車頭時間データ群から停止線通過順位別の平均車頭時間を求め、発進の影響車両を除いた飽和開始（表-1）からの累加車頭時間と青信号で捌けた累加台数の関係から得られる直線回帰式により算出した。発進損失時間についても得られた直線回帰式より求めた。飽和の判定は、停止線通過順位ごとの平均車頭時間の差についてt検定し、有意な差が認められなくなった段階で飽和と判定した（表-1）。

図-2に福島交差点の事例を示す。飽和交通流率はシャーベット状では約23%の低下がみられ、発進損失時間は2秒ほど短くなる結果が得られた。この発進損失時間の縮小はその他の交差点でも同様の傾向を示しており、降積雪時には発進時の車頭時間と飽和時の車頭時間の差が縮小することを意味している。

なお、クリアランス損失時間については、非冬期間と比較して有意な差はみられなかった。

表-1 飽和状態に到達する台数

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

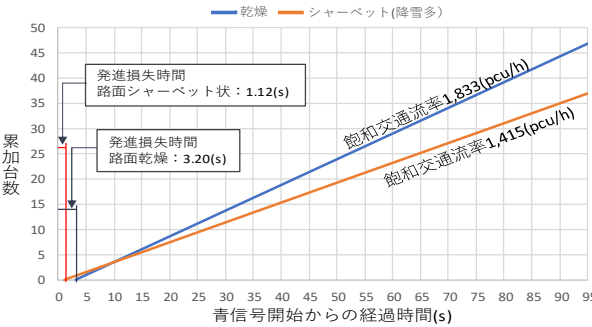


図-2 飽和交通流率と発進損失時間（福島交差点の例）

(4) 冬期信号交差点交通容量への影響度

交通容量は飽和交通流率に冬期間の損失時間を考慮した青時間比を乗じて算定した。冬期信号交差点交通容量は図-3の通り減少するが、この要因としては飽和交通流率の影響が支配的であった。また、道路種別や消雪パイプの有無によらず、低下率は概ね同程度であった。

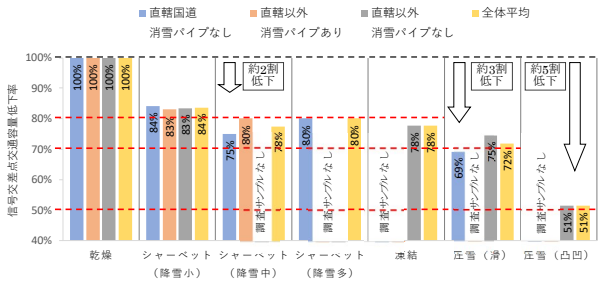


図-3 道路種別・消雪パイプの有無による交通容量の低下

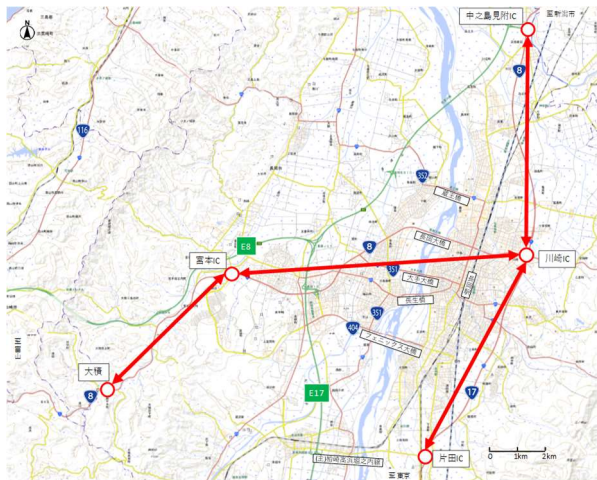
4. 冬期旅行速度等への影響とその影響因子の分析

(1) 分析手順

本章では、まず長岡市周辺の高速道路、国道、その他県道を対象とし、道路種別、道路構造（車線数・信号交差点密度）別に降雪量に対する旅行速度の回帰係数より影響度を分析した。北陸自動車道、直轄国道（国道8号、17号）、（主）柏崎高浜堀之内線に囲まれるエリアを分析の対象とした。対象期間は平成29年1月～2月である。旅行速度はETC2.0プローブデータの様式2-1を用い、気象データについては気象庁長岡アメダスによる。

次に、比較的ETC2.0のサンプル数が多い直轄国道を対象とし、時間帯別旅行速度の分布変化を分析し、時間信頼性評価指標の1つの余裕時間（95%tile 旅行時間－平均旅行時間）への影響をみた。対象区間は図-4に示した。

最後に、各種気象条件と交通・道路関連データを用い、冬期旅行速度（混雑時・非混雑時に分類）に対して重回帰分析を行い、どのような因子による影響が大きいのか分析を試みた。本分析では、より詳細な気象状況を把握するためにテレメータデータを貸与いただいた上で行った。さらに、路面上の積雪量を可能な限り考慮するため、直轄国道のライブカメラ画像を基に簡易的に路面積雪量を推定（図-5）し、重回帰分析の説明変数の1つとして組み込んだ。



分析区間		延長 (km)	車線数	信号交差点密度 (箇所/km)	構造	区間平均 日交通量
区間①	川崎IC ~ 中之島見附IC	7.6	4車	密度小	0.8 一部立体	35,368
区間②	宮本IC ~ 川崎IC	11.7	4車	密度大	1.9 平面	31,984
区間③	大横 ~ 宮本IC	7.2	2車	密度小	1.1 平面	12,467
区間④	川崎IC ~ 片田IC	7.0	4車	密度小	0.9 一部立体	37,931

図-4 余裕時間分析区間とその緒元

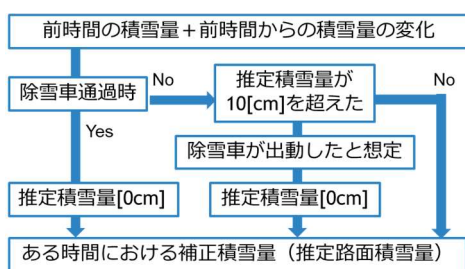


図-5 補正積雪量算定の流れ

(2) 長岡市周辺地域における冬期交通状況の分析結果

降積雪による旅行速度低下が最も大きいのは、高速道路であった。次いで直轄国道となった。直轄国道では、信号交差点密度が大きい区間（秋期旅行速度が低い区間）ほど旅行速度低下率（低下係数）が小さくなる事がわかる（図-6）。また、ピーク時と非ピーク時を比較すると、明らかにピーク時の影響が大きくなっており、特に直轄国道でこの傾向が顕著であった。つまり、非ピーク時には、多少の降雪であれば旅行速度に与える影響は小さいと言える。これは、前章で示した信号交差点交通容量低下も関係すると推測される。降積雪により信号交差点の容量が低下しても、交通需要がその低下した容量以下であれば交差点交通処理に大きな問題はない。しかしピーク時にはその交通需要を処理することができず、より大きな影響になるものと考えられる。

一方で補助国道や県道等については、降積雪時のサンプルが少ないことが影響していると考えられるが、結果に明確な傾向は見られなかった。

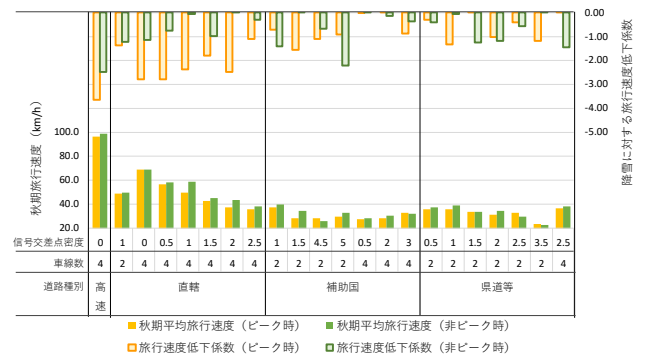


図-6 道路種別・道路構造別 秋期旅行速度と冬期旅行速度低下率の関係

(3) 直轄国道を対象とした分析結果

a) 冬期余裕時間の変化

設定区間別に余裕時間の変化について分析した（図-7）。朝夕ピーク及び日平均の余裕時間は、時間帯別余裕時間とそのサンプル数による加重平均値である。全区間において、朝ピーク時の余裕時間増加が著しく、特に区間②（平面4車・交差点密度大）で顕著であった。これは、図-8に示すように、冬期間の朝ピーク時により低速域の速度帯が出現しやすくなっていることによるものである。

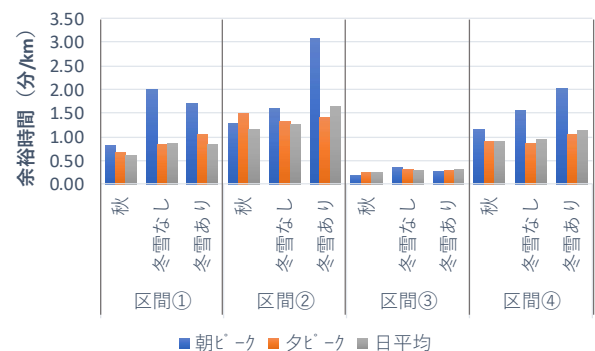


図-7 秋期と冬期間の余裕時間比較

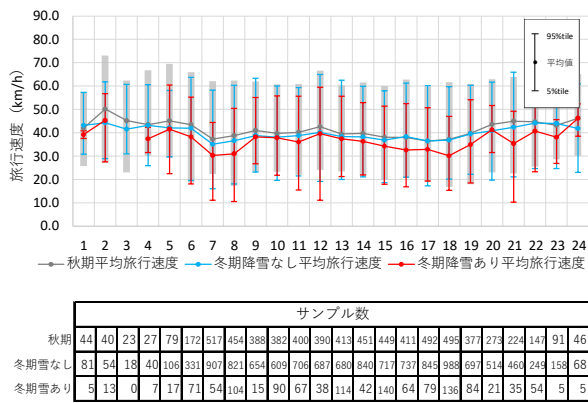


図-8 区間②の時間帯別旅行速度分布（横軸：時間帯）

b) 重回帰分析

冬期旅行速度を目的変数とした重回帰分析結果を表-2, 3 に示した。説明変数はt 値が有意であること、符号条件の整合性、多重共線性 VIF を基に選定した結果である。ピーク時、非ピーク時ともに決定係数は低く良好なモデルであるとは言えないが、両モデルの標準化係数からは、道路構造による影響度が大きいといえ、気象因子としてはピーク時における補正積雪量の影響が大きくなるという結果が得られた。一方で非ピーク時は、気象因子による旅行速度への影響は軽微であった。

表-2 冬期旅行速度に対する重回帰モデル（ピーク時）

自由度調整済み決定係数		0.2277		観測数		21,942	
	非標準化係数		標準化係数	t値	有意確率	VIF	
	係数	標準誤差					
切片	69.360	0.576		120.426	0.000		
補正積雪量[cm]	-1.240	0.070	-0.129	-17.734	0.000	1.503	
時間積雪量[cm/h]	-0.654	0.192	-0.023	3.398	0.001	1.346	
気温[℃]	0.295	0.033	0.058	9.045	0.000	1.172	
信号交差点密度[箇所/km]	-10.855	0.150	-0.530	-72.311	0.000	1.529	
大型車ダミー	-5.923	1.465	-0.024	-4.043	0.000	1.001	
4車線ダミー	9.878	0.396	0.166	24.961	0.000	1.250	
時間交通量[台/h]	-0.014	0.000	-0.350	-43.87	0.000	1.810	

表-3 冬期旅行速度に対する重回帰モデル（非ピーク時）

自由度調整済み決定係数		0.2738		観測数		34,237	
	非標準化係数		標準化係数	t値	有意確率	VIF	
	係数	標準誤差					
切片	69.256	0.423		163.659	0.000		
補正積雪量[cm]	-0.269	0.060	-0.024	-4.462	0.000	1.360	
時間積雪量[cm/h]	-0.862	0.221	-0.020	-3.909	0.000	1.194	
気温[℃]	0.065	0.023	0.014	2.846	0.004	1.216	
信号交差点密度[箇所/km]	-10.614	0.100	-0.501	-106.507	0.000	1.045	
大型車ダミー	-6.521	2.023	-0.015	-3.223	0.001	1.001	
4車線ダミー	5.508	0.340	0.083	16.212	0.000	1.241	
時間交通量[台/h]	-0.013	0.000	-0.194	-38.149	0.000	1.218	

5. おわりに

研究ステップ1 から得られた知見を以下に整理する。

(1) 信号交差点交通容量への影響

○飽和交通流率、発進損失時間、クリアランス損失時間を分析し交通容量を算出した結果、降積雪時の信号交差点交通容量低下に与える影響は飽和交通流率の低下

が支配的である。これにより発進損失時間は減少するが、クリアランス損失時間には非冬期との明確な差異は認められない。

○降積雪時の当該交通容量低下率自体は、同様の路面状態であれば道路種別による差は小さい。ただし、同一降雪条件下では、道路管理者ごとの除雪レベル差で路面状態が異なる事を現地調査で確認済みである。

- ・シャーベット状：17%～25%の低下（約2割）
- ・圧雪（滑）：25%～31%の低下（約3割）
- ・圧雪（凸凹）：49%の低下（約5割）
- ・凍結状態：22%の低下（約2割）

○これは約30年前の研究報告²⁾と同程度の低下率であり、近年の車両性能向上や地域性（雪質）による違いは少ないものとみてよいと想定され、降積雪地域では、当該交通容量の2割低下を考慮する必要がある。

(2) 冬期旅行速度への影響

○高速道路や直轄国道立体区間といったアクセスコントロール区間は旅行速度低下幅が大きい。一方で平面構造かつ信号交差点密度高区間では、旅行速度低下率は小さくなる傾向にあった。これは、市街地部に代表される信号交差点密度高区間は、信号待ち時間や沿道出入り車両等の影響により慢性的に旅行速度が低下しているためと考えられ、低下する余地が小さいためである。一方で比較的自由流速度で走行可能なアクセスコントロールタイプの道路では、降積雪によりドライバーが事故リスク等を考慮した速度を選択することとなり、非冬期間との差が大きくなるものと推測される。

○ピーク時と非ピーク時を比較すると、旅行速度、余裕時間ともに、明らかにピーク時のほうが降積雪による影響を受けやすい。これには前述の信号交差点交通容量の低下も一因になっていると推測される。

○冬期旅行速度の重回帰モデルからは、モデルの決定係数自体は低いものの、上述の裏付けとなる結果が得られた。

○今回の各種分析については、直轄国道2車線区間や補助国道、その他県道等をはじめとして全体的に分析サンプルが少ない事もあり、今後の蓄積が必要である。

謝辞：本研究では、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所より ETC2.0 プローブデータ、テレメータデータを提供いただいた。この場を借り感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 加藤浩徳、上田孝之、加藤一誠、谷下雅義、毛利雄一：道路政策の質向上に資する技術研究開発「道路交通の時間価値に関する研究」pp.28-30、平成24年6月
- 2) 石井憲一、斉藤和夫：冬期降雪時における信号交差点の交通容量解析に関する研究、土木計画学研究論文集 No.1、1984.1
- 3) (社) 日本道路協会：道路の交通容量 pp.140