

降積雪地域における冬期交通現象に基づく  
道路整備評価のあり方に関する研究

令和2年9月

長岡技術科学大学

伊藤 潤



## 目次

<b>第1章 序論</b> .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 近年の雪の降り方の変化に伴う我が国の動向.....	3
1.1.2 ハード対策上の課題.....	5
1.1.3 ソフト対策上の課題.....	6
1.2 研究目的.....	8
1.3 用語の定義.....	8
1.4 既往研究と本研究の位置づけ.....	9
1.4.1 悪天候と道路交通（旅行速度・旅行時間）に関するレビュー.....	9
1.4.2 冬期信号交差点交通容量に関するレビュー.....	11
1.4.3 交通時間価値に関するレビュー.....	11
1.4.4 我が国の道路整備評価に関するレビュー.....	12
1.4.5 本研究の位置づけ.....	13
1.5 論文構成.....	15
参考文献【第1章】.....	18
<b>第2章 冬期道路交通への雪の影響とその影響要因の分析</b> .....	21
2.1 分析対象路線.....	22
2.2 ETC2.0 プローブデータの概要とデータクリーニング.....	23
2.3 気象データ.....	25
2.4 路面積雪量の推定.....	26
2.5 降積雪による旅行速度への影響分析.....	27
2.5.1 高速道路における降積雪の影響.....	27
2.5.2 一般道（国道8号）における降積雪の影響.....	27
2.6 降雪時と非降積雪時の旅行速度への影響比較分析.....	30
2.7 冬期旅行速度への影響要因の分析.....	31
2.8 考察.....	34
2.9 本章の小括.....	37
参考文献【第2章】.....	39
<b>第3章 信号交差点への影響調査・分析</b> .....	40
3.1 現地調査箇所（交差点）の選定と調査概要.....	40
3.2 調査実施時の路面状態の分類.....	42
3.3 信号交差点交通容量の算定手法.....	43
3.3.1 飽和交通流率及び発進損失時間の算定.....	43
3.3.2 クリアランス損失時間の算定.....	45
3.4 交通容量算定に関わるパラメータの算定結果.....	45
3.4.1 飽和交通流率.....	45
3.4.2 発進損失時間.....	47
3.4.3 クリアランス損失時間.....	50
3.5 冬期路面状態による信号交差点交通容量の変化.....	52
3.6 本章の小括.....	54
参考文献【第3章】.....	56
<b>第4章 道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定</b> .....	57
4.1 交通時間価値の推計手法.....	57
4.2 SP調査による冬期交通時間価値推定.....	59
4.2.1 インタビュー調査.....	59
4.2.2 アンケート調査の設計と実施.....	61

4.2.3 アンケート回答データの特徴	70
4.2.4 二項ロジットモデルによる交通時間価値の推定	74
4.2.5 冬期交通時間価値の推定結果	77
4.3 バスの冬期交通時間価値に関する考察	81
4.4 ETC2.0 走行履歴情報（RP）による妥当性確認	82
4.4.1 対象地域の選定	82
4.4.2 分析対象期間	83
4.4.3 経路データの作成	83
4.4.4 サンプルデータの特徴整理	84
4.4.5 二項ロジットモデルによる交通時間価値の推定	86
4.5 本章の小括	88
参考文献【第4章】	90
<b>第5章 冬期交通現象に基づく道路整備評価</b>	<b>91</b>
5.1 道路事業評価への適用	91
5.1.1 使用データおよび計算方法	92
5.1.2 冬期交通量の設定	93
5.1.3 リンク走行時間（速度）の算定	93
5.1.4 冬期日数の設定	95
5.1.5 走行時間短縮便益の算定結果	96
5.2 消融雪施設導入評価への適用	98
5.2.1 信号交差点流入部の総遅れ時間算定シミュレーション	99
5.2.2 平均遅れ時間の算定式	101
5.2.3 1時間あたりの総遅れ時間算定結果	102
5.2.4 路面状態悪化による1日あたり信号交差点損失額評価	106
5.2.5 消融雪施設の導入効果分析（費用便益分析）	110
5.2.6 費用便益分析結果	111
5.3 本章の小括	113
参考文献【第5章】	115
<b>第6章 結論</b>	<b>117</b>
6.1 本研究の成果（総括）	117
6.1.1 「第2章：冬期道路交通への雪の影響とその影響要因の分析」	117
6.1.2 「第3章：信号交差点への影響調査・分析」	117
6.1.3 「第4章：道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定」	118
6.1.4 「第5章：冬期交通現象に基づく道路整備評価」	118
6.2 総括	119
6.3 今後の研究課題	122

# 第1章 序論



## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

我が国は世界でも有数の雪国であり、冬期間（12月～3月）における累計降水量は世界的にみても群を抜いて多い国である。図1-1に示すように冬期の降水量が多い都市は北陸等の日本海側に多く位置（図1-2）しており、その多くは1月の平均気温<sup>1</sup>が0度を超える比較的温暖な地域であるにもかかわらず、年最深積雪は2mを越える多雪地帯であるのが大きな特徴である（図1-3）。このような温域かつ多雪地帯における冬期路面は、積雪・圧雪・融解・凍結といった路面状態の変化が生じやすいのも特筆すべき点である。

世界的にも厳しい冬期気象条件下での安定的な産業の発展、住民の生活水準向上のため、「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法（昭和31年）」が議員立法で制定された。この法律では、積雪寒冷の度が特にはなはだしい地域における道路交通の確保のため、具体的な除雪対象路線（雪寒道路）を指定するとともに、除雪、防雪、凍雪害の防止の雪寒事業を行う際の補助の特例等が定められた。これが我が国の本格的な雪寒事業の始まりとなる。

以来、機械除雪を主としつつ、北陸地方では消雪パイプ等の消融雪施設を併用しながら冬期道路交通を確保しているところであるが、近年は、地球温暖化等の気候変化に伴い暖冬少雪傾向になりつつも積雪寒冷地域だけでなく、非積雪地域においても集中的な降雪が頻発するようになり、大規模な立ち往生等の冬期交通障害発生事例が多く報告されている。なお、将来の地球温暖化と我が国における降雪との関係について、川瀬ら<sup>2</sup>や佐々井ら<sup>3</sup>は、地球温暖化が進行するとより強い豪雪を日本海側の地域にもたらす可能性が強まると指摘している。川瀬はその著書<sup>4</sup>で、約80年後の21世紀末の予測として次のように述べている。「北陸地方の内陸や山沿い、北海道の内陸では、短期間に降るドカ雪の増加が予測されています。降雪の頻度や降雪量が減少するだけであれば、除雪費を減らす方向に適応していけばよいのですが、たまに降るドカ雪の量が増えるとなると、単純に除雪費の予算を減らすわけにはいきません。温暖化が進んだ将来は、現在は想定していないような状況が発生する恐れがあり、そのような状況に自治体としてどのように備えていくのが今後の課題となります。」（下線は筆者が加筆）

一方で、別の課題も生じつつある。それは、少子高齢化に起因する除雪機械オペレータの不足である。機械除雪を主とした従来の除雪体制の維持が困難になりつつある今、将来の冬期道路交通サービスレベルの低下が懸念される場所である。

我が国のより一層の発展と、住民への安心・安全な社会生活の提供には、年間を通じた安定的な道路交通サービスの提供が必要不可欠である。これら気候変動や少子高齢化

<sup>1</sup> 雪寒法（積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法）における「積雪寒冷の度が特にはなはだしい地域」の指定条件の1つ。

→ 2月の積雪の深さの最大値の累年平均（最近5年以上の間における平均）が50cm以上の地域又は1月の平均気温の累年平均が摂氏0℃以下の地域

に適合した持続的な冬期道路交通確保と円滑化に向けた施策及びその効率化に関する検討は、雪国である我が国の重要な課題である。

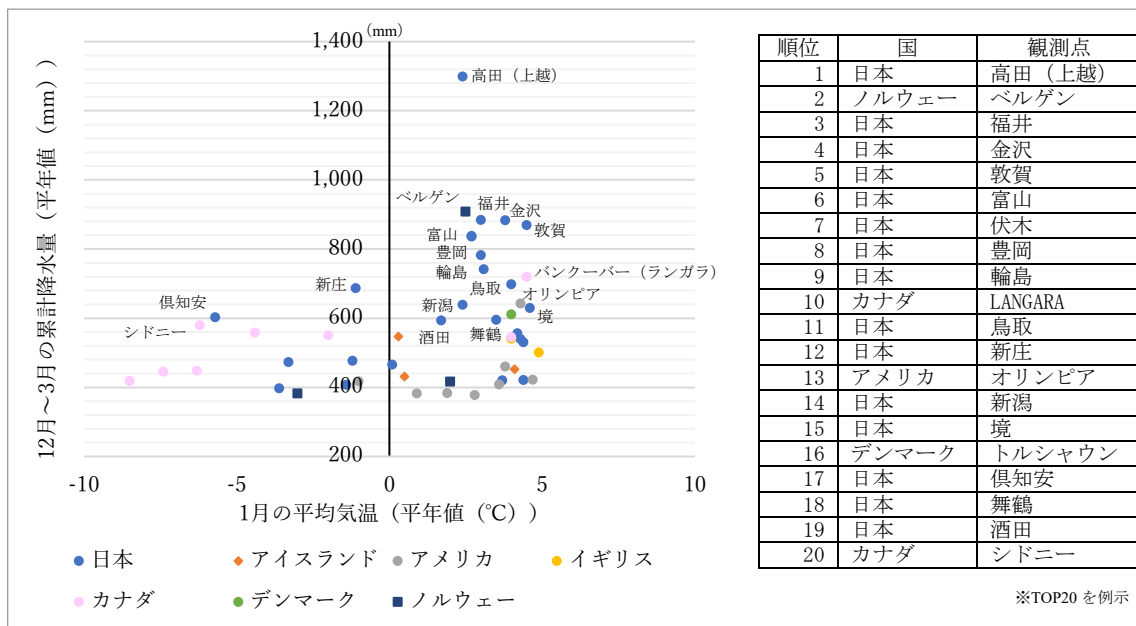


図 1-1 冬期累計降水量の世界トップ 50 と 1 月平均気温（平年値）<sup>2</sup>

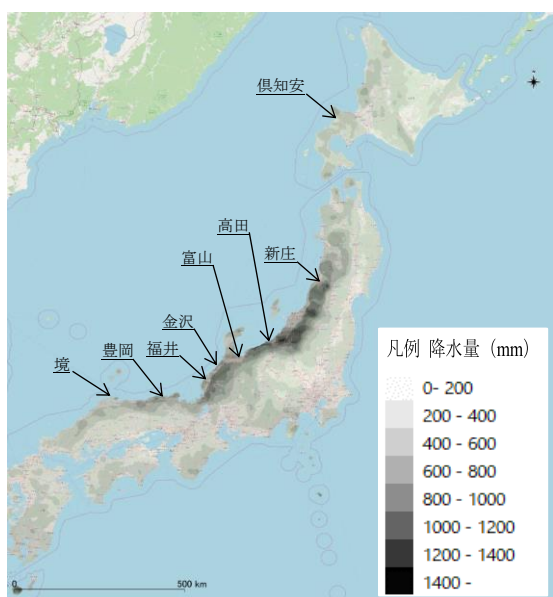


図 1-2 冬期（12～3 月）累計降水量（平年値）<sup>3</sup>

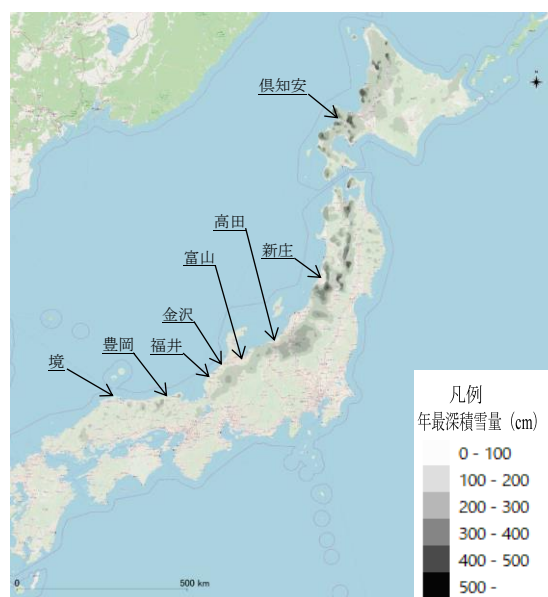


図 1-3 年最深積雪量（平年値）<sup>3</sup>

<sup>2</sup> 気象庁，世界の天候データツール（ClimatView 月統計値）より作成

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climatview/frame.php>

注 1) 北半球における観測点を対象に，1 月平均気温 5℃以下，かつ人口 1 万人以上の都市を抽出。

注 2) 累計降水量は 12 月～3 月を対象に集計。

注 3) 本ツールの国内データは，気象台・測候所を対象としておりアメダス（無人観測所）を含まない。

<sup>3</sup> 国土数値情報（国土交通省国土政策局国土情報課） 平年値メッシュデータより作成

<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>

背景図：OpenStreetMap



### 1.1.1 近年の雪の降り方の変化に伴う我が国の動向

図 1-4 に我が国の積雪地域（積雪寒冷地域及び積雪地域）における年平均累計降雪量と日平均降雪量の推移（昭和 35 年度～昭和 63 年度（29 年間）、平成元年度～平成 30 年度（30 年間））を示した。これは積雪地域内にある全 22 箇所の気象台データ（気象庁）から算出したものである。年平均累計降雪量は、気象台毎に年間の累計降雪量を集計し平均値とした。日平均降雪については、算出した年平均累計降雪量を降雪日数で除した。

昭和の時代には累計降雪量の平均が 399cm/年に対し、平成の時代には 323cm/年と降雪総量は約 2 割の減少が見られる一方、日当たりの降雪量は平成 16 年度から増加傾向に転じ、これ以降は概ね 6 cm/日程度で横ばいとなっている。

すなわち、昭和時代の「長期的に徐々に降り積もる雪」から、近年は「短期集中的な降雪」に変化してきていると言え、前述の川瀬らが予測したような兆候がここ数十年の間にすでに現れはじめているものと考えられる。

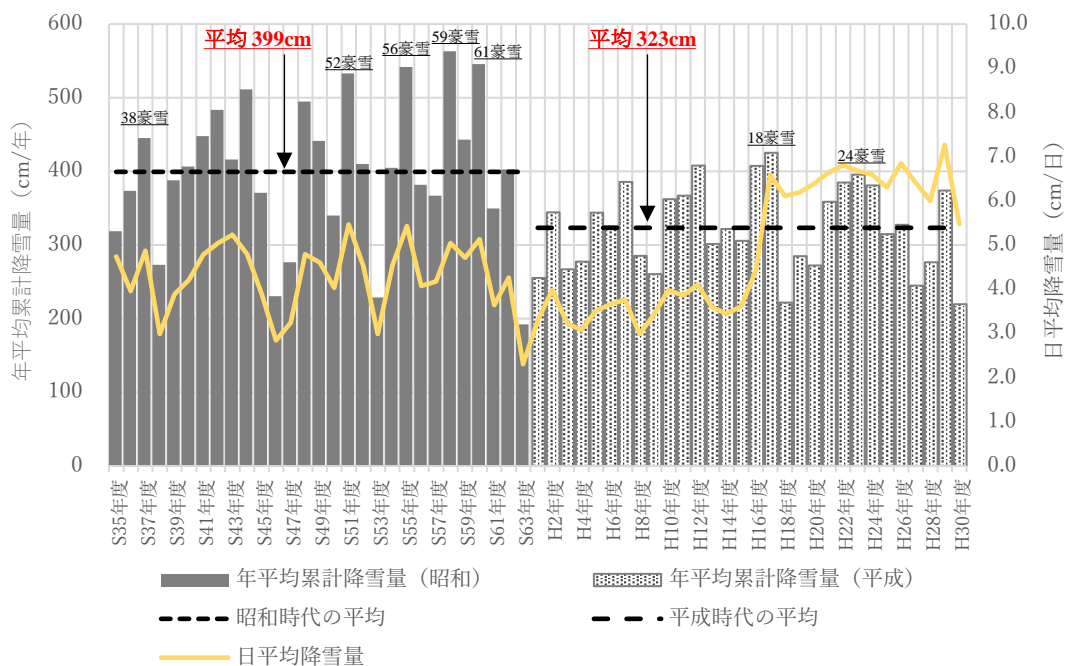


図 1-4 積雪地域における降雪量の推移<sup>4</sup>

<sup>4</sup> 国土交通省 第 1 回冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会 配布資料における積雪寒冷地域及び冬期道路交通の現状と課題 <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/yukimichi/pdf/5.pdf> を参考に最新データにより作成。  
集計開始を昭和 35 年度としたのは、当該年度から以下の観測点全てのデータを取得可能なためである。  
積雪地域：北海道（稚内、網走、札幌、倶知安、釧路、函館）、青森県（青森）、秋田県（秋田）、岩手県（盛岡）、山形県（山形、新庄）、宮城県（仙台）、福島県（若松）、新潟県（新潟、高田）、富山県（富山）、石川県（金沢）、福井県（福井）、長野県（長野）、岐阜県（高山）、鳥取県（鳥取）、島根県（松江）  
資料：気象統計データ（気象庁）

このような短期集中的な降雪の増加に連動するように、近年は大雪による大規模な交通障害発生が頻発（図 1-5）していることを受け、国土交通省は平成 30 年 2 月、冬期道路交通確保対策検討委員会<sup>5</sup>を設置し、冬期道路交通確保のあり方についてとりまとめている。この中では、冬期交通を取り巻く様々な環境変化に対応するため、図 1-6 に示すハード・ソフト両面からの多様な取り組みが提言され、これに向けた検討が進められているところである。

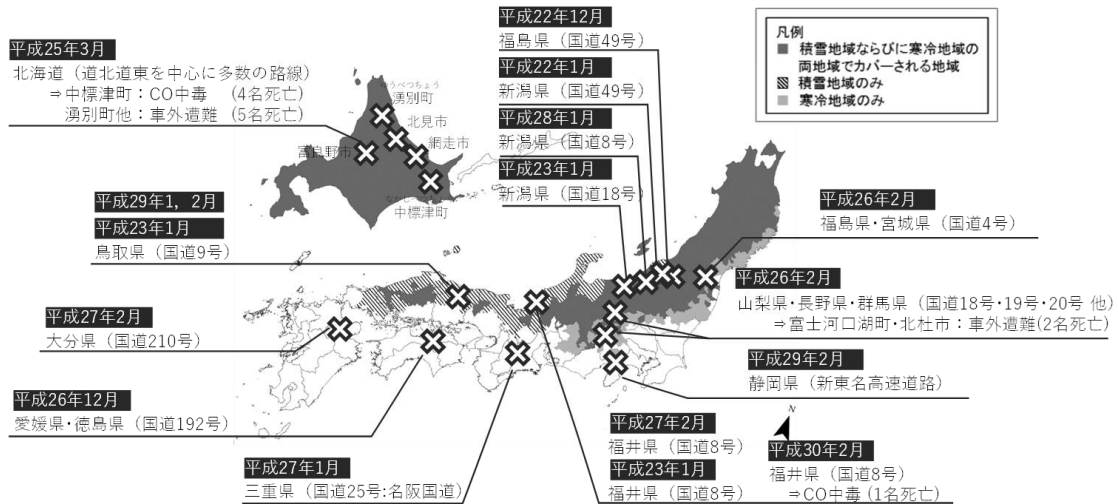


図 1-5 近年の大雪による交通障害発生状況と積雪寒冷特別地域略図<sup>5</sup>

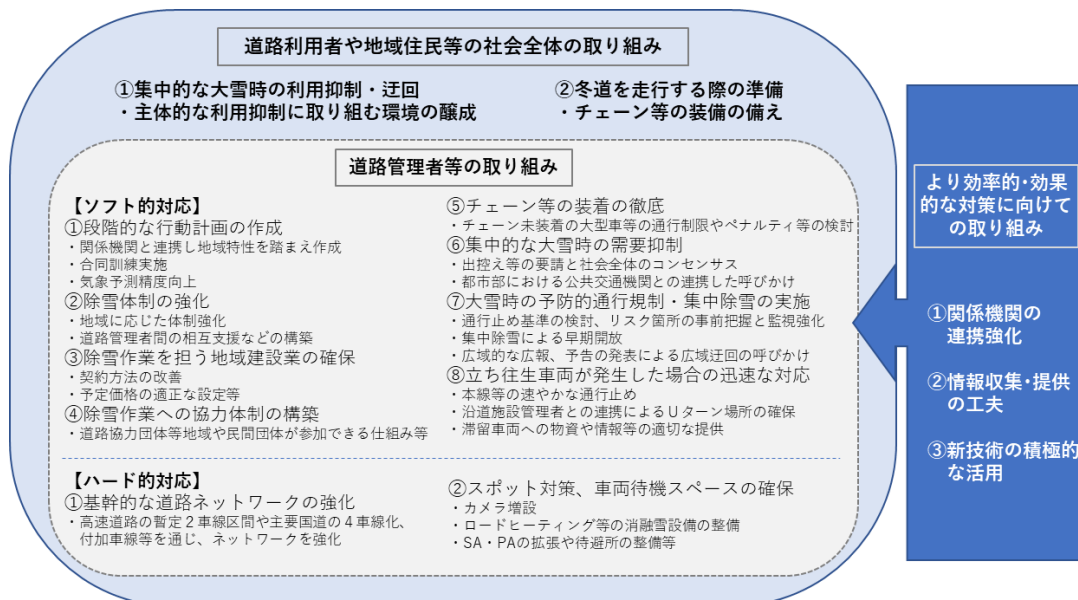


図 1-6 大雪時の道路交通確保に向けた新たな取り組み<sup>6</sup>

<sup>5</sup> 積雪寒冷特別地域略図は、国土交通省 HP より引用 <https://www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/project.html> し、主な交通障害発生箇所を筆者がプロット。

<sup>6</sup> 冬期道路交通確保対策検討委員会（2018），大雪時の道路交通確保対策概要より筆者が作成。

## 1.1.2 ハード対策上の課題

冬期交通の確保にあたっては、先の委員会の提言どおりソフト・ハード両面からのアプローチが重要である。本節では、ハード対策面の課題について整理する。

前節で述べたように、雪の降り方が変化しつつあり、非積雪地域においても大雪が頻発する傾向にある今、もはや「雪」は積雪寒冷地域だけに限った問題とは言えない状況となっている。さらに物流の小口多頻度化、且つ全国規模、そしてグローバルに構築された物流ネットワークの現状からすれば、冬期交通環境悪化による社会経済への影響は国内だけでなく、世界へも広域的かつ多方面に波及する事が懸念される。このような状況に対し、より信頼性の高い（管理水準の高い）道路ネットワークの構築は、我が国の持続的な発展と安心・安全を支える土台となるものであり、今後も強化していく必要があるだろう。

道路整備を進める上では、まず事業実施の必要性・妥当性を多面的に分析・評価しなければならない。国土交通省では事業実施の透明性を高めるために、平成10年度から事業評価の仕組み<sup>6)</sup>を導入し、その投資効果について費用便益分析を実施している。費用便益分析は、道路整備により得られる便益<sup>7)</sup>（走行時間短縮便益、走行経費減少便益、交通事故減少便益の3便益）が事業費を上回っていることが基本となっている。しかしながら、この3便益は、事業実施周辺地域の交通量に大きく左右される性質があり、図1-7のように人口減少が続く豪雪地帯における道路事業の実施環境は厳しい状況と言える。

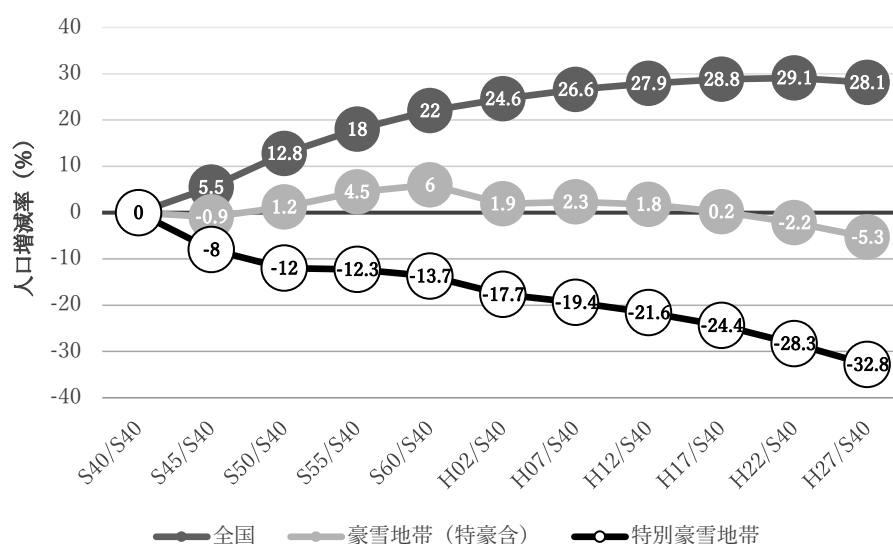


図 1-7 豪雪地帯・特別豪雪地帯の人口推移<sup>7)</sup>

<sup>7)</sup> 国土交通省公開資料より筆者がグラフを作成。<sup>8)</sup>

これに対し、従来の3便益のみでは多様な道路事業効果を評価しきれないのではないかと指摘から、費用便益分析マニュアルでは「休日の観光需要増加の考慮」「災害等による通行止め損失の考慮」「冬期の交通状況の考慮」により、便益へ反映して良いこととされている。特に「冬期の交通状況の考慮」については、降積雪地域特有の便益であり積極的に評価すべきであると言えるが、これにあたって必要となる冬期交通に関する統計的データ<sup>8</sup>は我が国では十分に整備されておらず、定量的かつ経年的な冬期交通実態の把握が難しい現状にある。このような状況下で、『冬期交通状況が道路事業評価に適切に反映されているのか』は疑問が残る部分であり、より深掘すべき点であると言える。

### 1.1.3 ソフト対策上の課題

図1-6の取組みに示されたソフト的対応のうち、除雪にかかわる根本的な問題は「除雪の担い手」にあると言える。我が国の人口推移に着目すると、我が国の総人口は平成20年(2008)の1億2,808万人をピークに減少に転じ、約50年後には総人口が1億人を下回り、65歳以上の高齢者は総人口に対し4割弱に達する推計<sup>9</sup>が示されている(図1-8)。前節の通り、特に地方部の豪雪地帯においては、この傾向はより一層顕著なものとして報告されている<sup>8)</sup>。

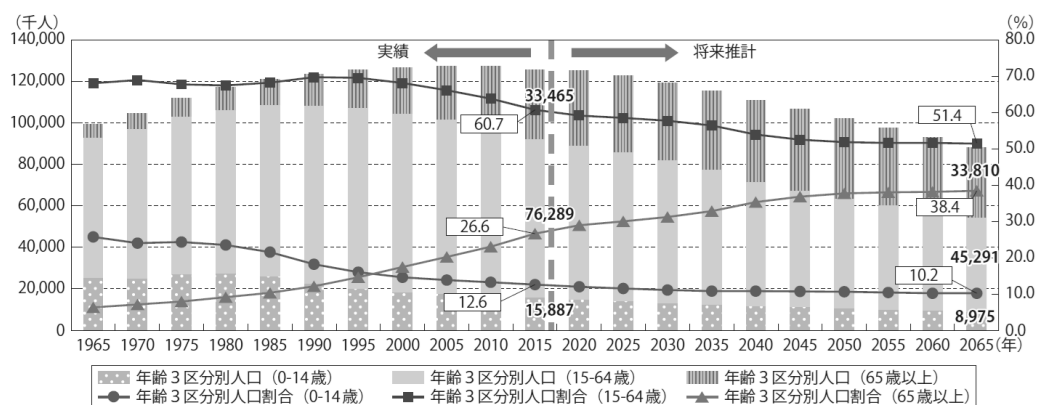
次に、道路除雪を担う除雪機械オペレータの実態<sup>10</sup>を図1-9に示す。この調査は平成3年から実施されており、国土交通省北陸地方整備局と新潟県・富山県・石川県の除雪業者を対象に概ね5年毎に調査されたものとなっており、報告書内では平成10年から平成27年にかけての除雪機械オペレータ年齢構成の推移等が示されている。これによると、平成27年時点における30歳以下のオペレータは平成10年に比べ半分以上に減少し、61歳以上の高齢(熟練)オペレータの占める割合が約16.2%と年々増加傾向となっており、除雪を担う業界としても少子高齢化の影響が顕在化しているのが現状である。

このような除雪を巡る概況を踏まえ、担い手の育成や除雪業務の契約方法の見直し等の検討<sup>9</sup>がなされているが、将来の人口減・年齢構成を鑑みれば、機械除雪による対応に限界が生じると想定され、「省人化」が重要なポイントとなる。近年は、準天頂衛星「みちびき」等の最新のICT技術を活用し(将来の除雪車完全自動化による省人化を視野に入れつつ)、除雪機械の自動化(運転及び操作支援)による省力化も検討<sup>11</sup>され、実証実験されつつあるところであるが、多様な道路構造・沿道状況・雪質(路面状況)を有し、様々な除雪工種(新雪除雪、拡幅除雪、運搬排雪、凍結防止剤散布、歩道除雪等)による対応が必要となる我が国への本格的な適用は、長期的な視点で捉えなければならない。

今後の持続的な我が国の発展と冬期道路交通確保の両者をともに実現するためには、これら除雪車自動化の実現に向けた長期的検討に加え、それと並行しつつ短期・中期的

<sup>8</sup> 我が国の道路交通に関する統計データとして代表的なものは全国道路・街路交通情勢調査(通称、道路交通センサス)があるが、今現在、冬期に関するデータは調査されていない。

な視点でどのようにして雪寒事業を省力化・効率化していくかという議論も必要である。これに対して筆者は、除雪作業の持続性の観点からも『機械除雪（有人対応）から消融雪施設（無人対応）へのシフトが重要な施策の1つとなりうるのではないか』との視点から、本論文では前節に加え、消融雪施設導入のための評価手法についても焦点を当てる。



資料) 2015年までは総務省統計局『国勢調査』、推計値は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」(2017年推計)の出生中位(死亡中位)推計より国土交通省作成

図 1-8 我が国の人口推移<sup>9</sup>

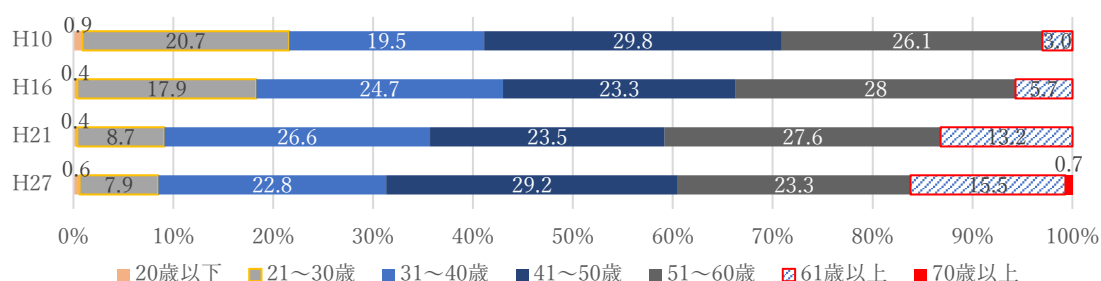


図 1-9 除雪機械オペレータ年齢構成の推移<sup>10</sup>

<sup>9</sup> 国土交通白書 2019, 第1部, P2, 図表I-1-1-1より引用し, 筆者がグレースケール化.

<sup>10</sup> 道路除雪オペレータ実態調査報告(平成30年3月), p7, 図-5 オペレータの年齢構成推移(全体)に示されているグラフより, 筆者が作成.

## 1.2 研究目的

本研究は、持続的な冬期道路交通確保を通じた交通円滑化を最終的な目標とし、これまでに述べた背景を踏まえ、降積雪地域に着目した道路事業評価手法の確立と、除雪作業の省力化・効率化に向けた消融雪施設導入評価手法の確立を目的とした。

道路の改築事業や消融雪施設等の道路施設導入評価には、その効果を適切に金銭換算して評価する（いわゆる費用便益分析）ことが不可欠である。また、消融雪施設の導入については、どのような道路区間・箇所へ導入するのが効果的かといった議論も必要になると想定される。そこで本論文では、まず、未だ不明確な部分が多い冬期交通状況を多様な視点から分析しその実態の把握に努め、そしてその実態に基づいた降積雪地域の道路事業評価のあり方、及び除雪の省力化・効率化に向けた消融雪施設導入評価のあり方について検討する。

これらの検討に必要な要素として、道路区間や信号交差点への降積雪の影響や、移動経路選択行動への降積雪の影響（経路選択行動に変化が生じるならば、道路整備効果の金銭換算において最も重要な要素となる交通時間価値へ影響する可能性が考えられる）に着目し、これらの実態解明を通して道路整備評価のあり方について考察する。

## 1.3 用語の定義

### ◇ 降積雪地域

本論文中で多用している降積雪地域とは、図 1-5 に示した「積雪地域ならびに寒冷地域の両地域でカバーされる地域（積雪寒冷地域）」と「積雪地域」の中で、積雪が特に甚だしい地域として国土交通大臣、総務大臣及び農林水産大臣により指定された「豪雪地帯及び特別豪雪地帯」を対象としているものである。ただし、後述する研究の位置づけで示すように、本論文は県土全域が豪雪地帯及び特別豪雪地帯に指定され、かつ特別豪雪地帯居住人口が全国で最も多い新潟県を代表例として研究した結果を取りまとめたものである。

### ◇ 道路整備評価

一般に道路整備という表現からすれば、バイパス等の道路網整備（改築）を指す又は連想することが多いが、道路施設等の維持管理系事業についても道路整備に含まれるものと言える。したがって、本論文のタイトルに含まれる道路整備評価には、本研究の目的を踏まえ、改築系の道路事業評価と維持管理系（雪寒事業系）道路施設関連事業の評価の2つ意味を持たせものとしている。

## 1.4 既往研究と本研究の位置づけ

### 1.4.1 悪天候と道路交通（旅行速度・旅行時間）に関するレビュー

一般に悪天候下になれば、視界不良や路面状態悪化により大なり小なり運転リスクが増大し、交通環境は劣化するものである。このような関係性を定量的に把握するため、国内外で多くの研究がなされているが、そもそも、車両の旅行速度は道路構造や交通需要によって変動するものである。下川ら（2015）<sup>12)</sup>は、道路の性能照査の観点から道路交通センサスを用いて道路構造（縦断線形、車道幅員、平面線形）と旅行速度の関係について分析を行い、それぞれに一定の関係がみられることを明らかにしている。また、石田ら（2013）<sup>13)</sup>は北海道の国道241号（山間部）を対象とした乾燥時と冬期圧雪路面上での走行実験を通し、カーブ区間の曲線半径や路面状態に応じてドライバーの選択速度が異なる（圧雪路面時の選択速度は低下）ことを定量的に示している。つまり、降積雪時は道路構造や路面状態によって道路交通への影響度が異なるということはすでに示唆されていると言える。

国外の代表的な道路交通に関するマニュアルとしては、アメリカの Highway Capacity Manual (HCM) 2000 (Transportation Research Board, 1999)<sup>14)</sup>が挙げられる。このマニュアル中でも、雪などの悪天候、特に大雪時には速度と容量の両方が大幅に低下すると述べられている。Rashadら(1993)<sup>15)</sup>もアメリカの4つの州で気象条件と交通量の関係进行分析しており、彼らは悪天候下では交通量が減少することを見出している。一方 Yaziciら（2013）<sup>16)</sup>は移動時間に着目し、ニューヨーク市を対象に決定木分析を用いて、様々な気象条件が移動時間の変動に与える影響を分析している。これによれば、悪天候による交通への影響は、非混雑時間帯に比べ混雑時間帯のほうが小さいことを発見したと述べている。この要因は、非混雑時間帯には交通流が自由流に近い状態で動いているため、天気などの外部影響がより大きく影響するということであった。同時期に Ioannisら（2013）<sup>17)</sup>は、イギリスのロンドン周辺で、雨・雪・気温の様々な条件下でその強度毎に旅行時間に対する影響を調査・分析し、雨と雪の影響はそれらの強度により旅行時間へ与える影響が大きくなる<sup>11)</sup>のに対し気温はほとんど影響を与えなかったと述べている。さらに彼らはこの研究と既往研究のレビューを通して、旅行速度や旅行時間への悪天候の影響は、地域（地形、交通特性、ドライバー特性、社会経済的要因等）により大きく異なるものだと結論付けている。つまり、悪天候による交通への影響はその地域ごとに分析する必要があると示している点で非常に有益な知見であると言える。

この点に関しては、我が国でも同様の傾向がみられる。佐藤ら<sup>18)</sup>は平成28年度を対象に冬期間の速度低下量を全国の市町村別に算出している。この結果と同年の累計降雪量<sup>12)</sup>を対比すると、必ずしも降雪量と旅行速度低下量がリンクしているわけではないこと

<sup>11)</sup> 小雪の場合は5.5～7.6%、大雪の場合は7.4～11.4%の旅行時間増。

が読み取れる（図 1-10）．彼らもその報告中で、「冬期間の旅行速度低下は、降雪量や気温などの気象条件、車線数、道路幅員、路肩幅員、沿道状況などの道路条件、積雪地や非積雪地などの地域特性など様々な要因によって、その影響が異なる」と述べている．

これらを総合すると、冬期交通、特に旅行速度分析は地域別に行う必要があること、時間帯、道路構造、路面状態を考慮することが重要であると言える．

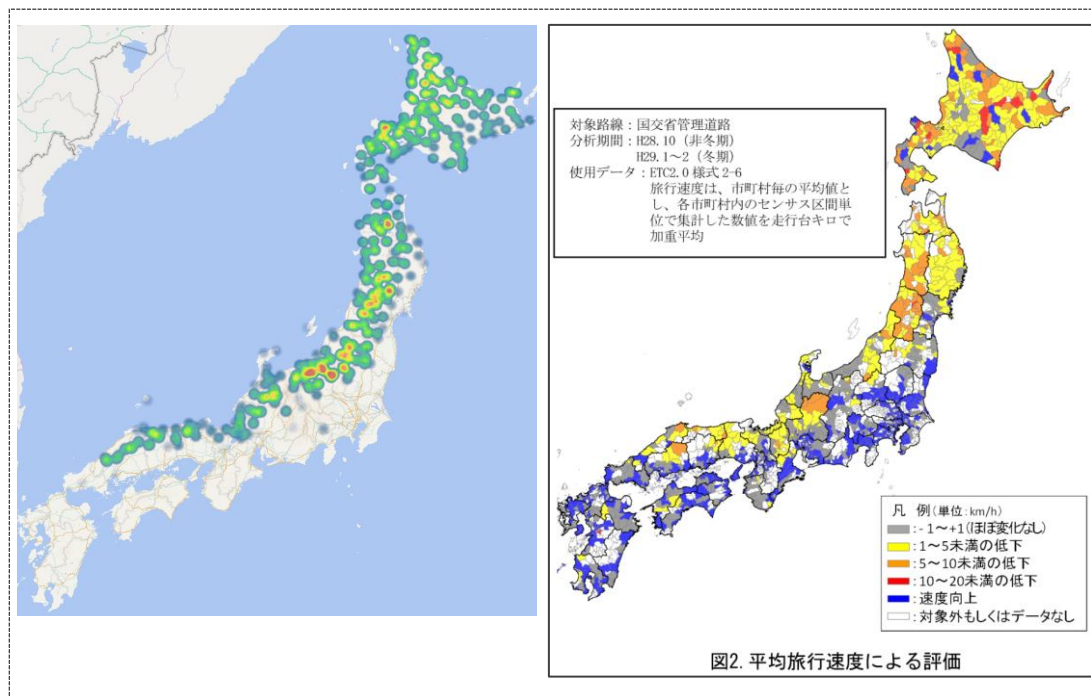


図 1-10 地域別累計降雪量と冬期速度低下率の関係（H29年1月～2月）<sup>12</sup>

表 1-1 悪天候と道路交通に関するレビューの整理

著者	キーワード	概要
下川ら <sup>12)</sup>	道路構造	道路構造と旅行速度には一定の関連があり．（非冬期の分析）
石田ら <sup>13)</sup>		曲線半径と路面状態は、ドライバーの選択速度へ影響する．
HCM <sup>14)</sup>	交通量、交通容量	大雪は速度と交通容量を低下させる．
Rashad ら <sup>15)</sup>		悪天候時には交通量が減少
Yazici ら <sup>16)</sup>	時間帯、地域性	大都市では、悪天候の影響は非混雑時間帯に大きい傾向．
Ioannis ら <sup>17)</sup>		悪天候の影響は地域により大きく異なる．
佐藤ら <sup>18)</sup>		冬期旅行速度低下は、地域特性等の様々な要因により影響が異なる．
Maze ら <sup>19)</sup>	交通安全、事故	気象条件は交通需要や交通流だけでなく交通安全にも大きな影響を与える．
Aemal ら <sup>20)</sup>		降雪強度、降雪時の平均風速、交通量は、交通事故発生の重要な要素．
Leng ら <sup>21)</sup>	時間信頼性	凍結・圧雪状態にある道路網において旅行時間と交通容量の信頼性を評価．
中山 <sup>22)</sup>		道路の信頼性は日平均交通量、渋滞長、雪による交通容量減に影響される．

<sup>12</sup> 図 1-10 中の「図 2. 平均旅行速度による評価」は参考文献<sup>18)</sup>（佐藤ら）より転載．当該年度の累計降雪量は全国の気象庁観測データより筆者が作成．



#### 1.4.2 冬期信号交差点交通容量に関するレビュー

信号交差点の交通容量を決定づけるのは飽和交通流率であり、古くは1984年公開の石井ら<sup>23)</sup>の報告がある。彼らは、北海道で飽和交通流率の観測を行った結果から、冬期路面積雪時は夏期乾燥路面比で14%~27%飽和交通流率が低下するとしており、信号交差点設計において冬期交通処理能力20%低下を考慮する必要があると提案している。この飽和交通流率の低下については、「道路の交通容量」<sup>24)</sup>にも記載されているものである。このような事例は国外でも報告されており、J.Asamerら(2011)<sup>25)</sup>によるオーストリアのウィーンにおける調査では、積雪により最大で約30%飽和交通流率が低下しており、道路管理者が交通渋滞回避のために道路ネットワークを維持管理(例えば凍結防止剤散布)することの重要性に言及している。また、Perrinら(2001)<sup>26)</sup>は、積雪時には交通混雑緩和や事故リスク低減のため、それに応じた信号制御に変えるべき(特に朝夕の交通混雑時間帯)であると述べており、アメリカのユタ州ソルトレイクシティの様々な気象条件下で調査された飽和交通流率等の交通パラメータから、積雪時に信号制御を変えるタイミングの判断基準や変更すべきパラメータを示している。

以上のように、積雪時の信号交差点交通容量の変化に関しては、国内外問わず研究と提案がなされてきたが、本章の冒頭や前節でも述べたように、地域の気象条件が異なれば出現しやすい路面状態も異なると想定されることや、本論文の視点からすれば消融雪施設による交通容量への影響を分析する必要がある。

#### 1.4.3 交通時間価値に関するレビュー

交通時間価値は、その国の所得水準等によって異なるものである。我が国における交通時間価値に関する研究としては、加藤ら<sup>27)28)</sup>によって体系的に分析・整理された報告がある。その中ではトリップ目的やトリップ長、出発時間帯等に加え、年齢・性別・職業等の個人属性を加味しつつ、多様な角度から時間価値の推定がなされている。さらに、加藤らによれば、交通時間価値は「資源としての時間価値」と「商品としての時間価値」の2種類に分解されるとしている。前者は移動時間の短縮によって他の活動に転用されることで生じる価値(いわゆる機会費用)を示し、後者は時間短縮によって移動中の苦痛や疲労が軽減することの価値とされ、この商品としての時間価値についてはWardman<sup>29)</sup>やSmallら<sup>30)</sup>によっても指摘されているところである。さらに中山<sup>31)</sup>によるレビュー報告によれば、海外では混雑時間帯は非混雑時間帯と比較して2.47~5.82倍の交通時間価値が推定されている事例もあり、このことからすれば、交通混雑に起因する肉体的・精神的苦痛が時間価値に大きく関与している可能性を見出すことができる。

道路の交通時間価値推定の基本的な方法としては、大別して所得接近法と選好接近法の2つがある。所得接近法とは交通時間価値を労働賃金率と仮定する方法であり、我が国の道路事業評価において使用される交通時間価値(費用便益分析マニュアル<sup>7)</sup>)は所得

接近法により設定されている。しかし、加藤らによれば所得接近法には「商品としての時間価値」を無視するという欠点があるとされている。一方、選好接近法とは人々の実際の行動や意向から交通時間価値を推定する方法であり、この手法を用いることで「商品としての時間価値」を計測することも可能とされている。よって、本研究では非冬期間と冬期間について実際の経路選択行動を調査・分析し、選好接近法により交通時間価値への影響を推定することとした。

表 1-2 交通混雑と時間価値に関するレビューの整理

著者	概要
Wardman <sup>29)</sup>	渋滞時については、目的によらず通常時の 50% 高く評価される。ストレス、フラストレーション、到着時間の不確実性等の運転条件悪化が影響する可能性を示唆。
Small ら <sup>30)</sup>	旅行者は、混雑するエリアを移動するために費やさなければならない時間を回避するために、より多くのコストを負担することをいとわない可能性がある。
Calfee ら <sup>32)</sup>	混雑時の時間価値は非混雑時の 3 倍。(米国での SP 調査)
Hensher <sup>33)</sup>	混雑時の時間価値は通常時の 2.47 倍、超混雑時は 5.82 倍。

#### 1.4.4 我が国の道路整備評価に関するレビュー

降積雪地域に着目した道路事業評価を検討するうえで、まずは実際の道路事業評価の実情を調査することとし、国土交通省にて公表されている道路事業評価結果を図 1-11<sup>34)</sup>に整理した。これは横軸に対象事業の計画交通量、縦軸に費用便益比 B/C をとったものであり、豪雪地帯、特別豪雪地帯、その指定のない地域の 3 つの積雪レベルに分類して散布図にしたものである。特に豪雪地帯・特別豪雪地帯に指定されている地域では、高齢化・人口減少に起因する将来交通量の減少も影響し、B/C も低いものが多く見受けられる現状となっている。次に費用便益分析マニュアルに明記されている「冬期の交通状況の考慮」について現分析手法を確認した結果を表 1-3 に示した。その多くはトラフィックカウンターやプローブデータ等から、冬期旅行速度の低下状況を交通量配分結果に反映する程度の簡易的な手法によって評価されているのみとなっている。仮に冬期間の交通時間価値が増大するのであれば、現評価結果は過小評価されている可能性が捨てきれず、この点を深堀する意義は十分にあると判断される。

消融雪施設導入に関する評価については、諸橋ら(1995)<sup>35)</sup>が費用便益分析を実施した事例が報告されている。彼らは機械除雪と消雪パイプの費用便益分析を行い、その効果が非常に高いことを示しているが、便益算定のベースを地価としており、除雪・融雪の効果を直接的に享受する交通面による効果評価はされていない。この点を改善したものとして寺内ら(2004)<sup>36)</sup>による研究報告は興味深い。寺内らは、冬期間の実走実験(福井県の国道 158 号、約 21km 区間)から気象条件・道路条件に応じた自動車交通の遅れ時間について分析した結果を示しており、消融雪施設設置区間やトンネル、3.25m 以上の車線幅員、多車線区間は遅れ時間の増大が小さいとしている。さらにこの遅れ時間を評

価指標としてどのような道路区間に消融雪施設を導入すべきかの評価に応用が可能だと示唆しているが、その適用可能性を述べるにとどまっており、具体的な評価には至っていないところである。したがって、消融雪施設導入評価にあたっては、この遅れ時間の低減効果をベースに評価するのが妥当と考えられるところであるが、その導入コストと便益から費用便益比として評価するには、前述のとおり交通時間価値の影響についても反映するのが望ましいと言える。

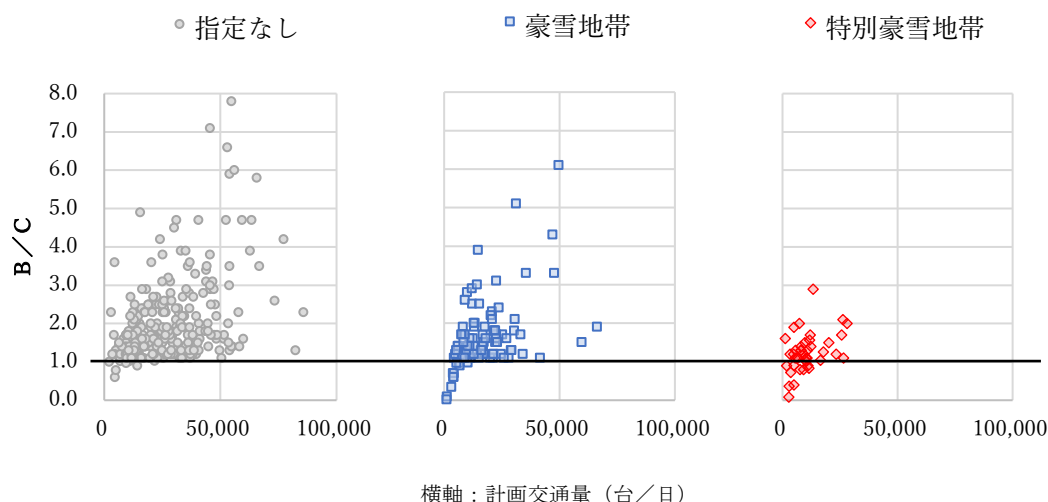


図 1-11 豪雪・特別豪雪地帯における道路事業の費用便益比<sup>13</sup>

表 1-3 現在の道路事業の冬期便益算定手法<sup>34)</sup>

実施主体	冬期交通状況の便益への反映手法
北海道開発局	交通量配分速度 $V_{max}$ , $V_{min}$ を冬期実態に応じて低減
東北地方整備局	プローブデータより道路種別に応じて冬期旅行速度低減率を算出し配分速度を補正
北陸地方整備局	通常期と冬期の速度比を考慮
その他整備局	冬期便益の考慮なし

#### 1.4.5 本研究の位置づけ

我が国は、雪と生活・経済が密接にかかわっている国であるにもかかわらず、そもそも雪と交通に関する統計データは調査・蓄積されていない。道路交通に関する代表的な統計データとして全国道路・街路交通情勢調査（一般交通量調査、自動車起終点調査）が5年ごとに実施されているが、調査費用の問題から基本的に秋期を対象としたものであり、冬期間の交通特性を統計的に把握することができない状況にある。さらには、降積雪による影響はその地域特性により異なることも判明した。したがって、交通円滑

<sup>13</sup> 国土交通省公表の個別道路事業の評価（H25～H27年度）より筆者が作成。

化や除雪効率化のために押さえるべきポイントはどこにあるのかを把握するためには、まずは地域ごとに冬期交通実態を把握することが不可欠である。

近年は比較的容易にプローブカーデータが取得可能になってきており、これを蓄積・活用することで冬期交通実態の把握が可能な状況になりつつあることを踏まえ、本研究ではプローブカーデータから得られる旅行速度変化を気象データから単純に分析するだけでなく、これに道路区間毎の構造的要素、さらに路面積雪量による影響を加えて分析することで、雪の影響が大きい道路区間または箇所とその要因を明確化することに1つの意味がある。また、信号交差点については、冬期交通容量低下は既知の事実となっている。しかし、未だ未解明の部分となる地域性（雪質）による影響や、消融雪施設設置区間と機械除雪対応区間とで容量低下に差異があるのか、また管轄する道路管理者（除雪レベル）による差異について主に解明することに主眼を置く。これら分析結果を踏まえ、消融雪施設導入に特に効果的なポイントを明らかにする。

また、本研究の目的とした道路整備評価のあり方検討にあたってのポイントは、その効果の適切な金銭換算化であり、冬期交通時間価値の解明である。一般に道路整備や除雪等の雪寒事業実施により、直接的にその便益を享受するのは自動車ドライバーであり、この点からすればドライバーが享受する便益（主に走行時間短縮効果）とその事業にかかるコストから効果評価すべきであろう。さらには、混雑の程度によりその価値が変動すると既往研究から示されている点を踏まえれば、冬期間の交通時間価値は上昇するのではないかと仮説が十分に立てられる。本研究では、とりわけ、降積雪時の混雑悪化や、雪道を運転する際の心理的・肉体的負荷の増、事故リスクの上昇等に起因するドライバーの経路選択行動の変化を明らかにし、これに基づいて選好接近法から冬期間の交通時間価値を推定することに特に力点を置いた。これまでに冬期交通時間価値の推定事例は報告されておらず、この点を解明することは本研究で最も新規性が高く、肝要な部分であると位置づけている。

なお、降積雪による影響は地域性により異なる点を考慮し、本研究は以下に示す観点から新潟県を代表事例とし、ケーススタディーとして実施した結果をとりまとめている。

- ① 新潟県は特別豪雪地帯居住人口が全国で最も多い地域<sup>37)</sup>であり、「雪」に深くなじんだ生活スタイルを経験的に得ていると想定されること。（図 1-12）。
- ② 新潟県は、有料道路（高速道路）と一般国道がほぼ並行する道路網が構築されており、降積雪時の経路選択行動（交通時間価値）の変化を把握しやすいと想定されること。

- ③ 信号交差点については降積雪時の飽和交通流率を実測する必要があるため、観測に十分な交通需要と降雪が見込める地域であることと消雪パイプの埋設状況を鑑み、消雪パイプ発祥の地である長岡市を選定。
- ④ 本研究で使用する ETC2.0 プローブデータ（国土交通省より貸与）は、その搭載率の問題から交通量が多い地域を対象としてサンプル数を確保する必要があることから、③と同様に降雪量と都市規模、さらに多様な道路構造を有している点を考慮し、長岡市周辺地域を選定。

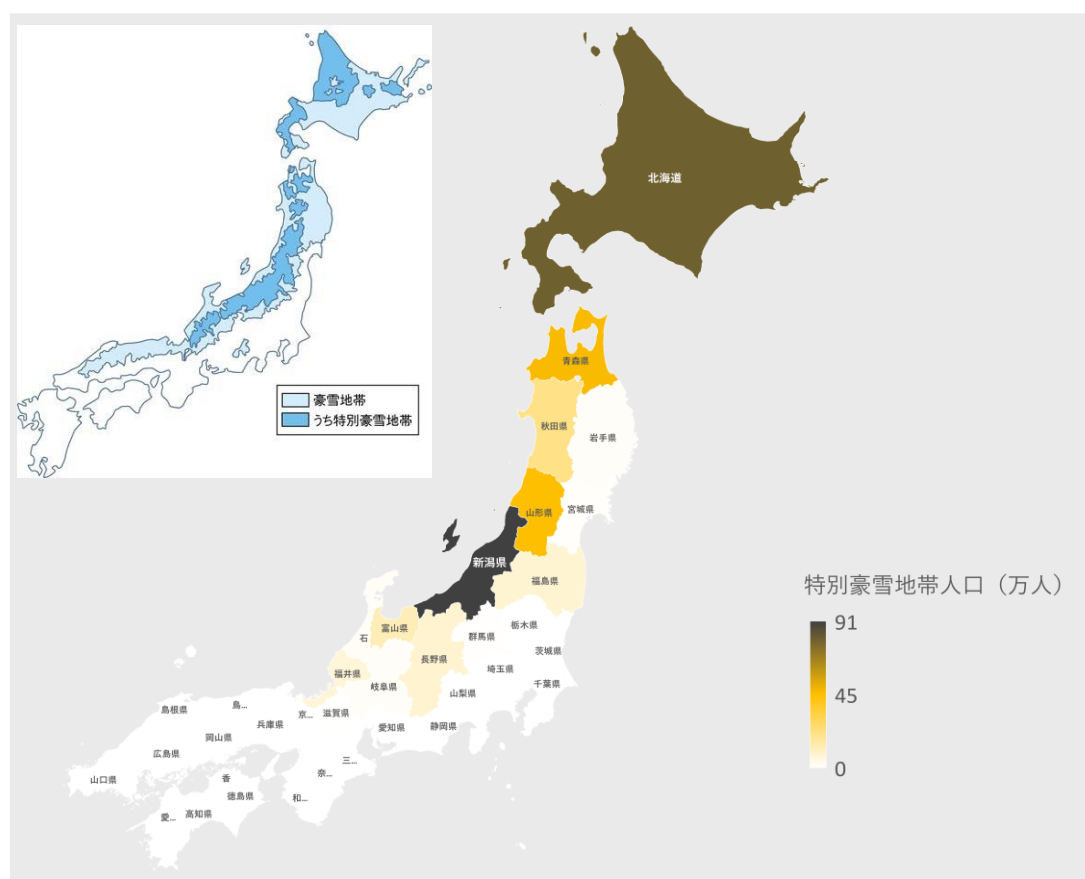


図 1-12 特別豪雪地帯の居住人口分布（九州・沖縄除く）

## 1.5 論文構成

本論文は全6章の構成となっている。

第1章では研究の背景となる社会的な動向について概観・整理した上で、本研究の目的と着眼点を設定した。これに関連する既往研究のレビューを踏まえ、本研究の位置づけをさらに明確なものとし、研究対象エリアを記述している。

第2章から第4章までは、冬期交通実態を調査・分析した結果について論じている。

第2章では、道路区間毎の冬期交通実態を明らかにすることとし、ETC2.0プローブデータから得られた旅行速度と降積雪との関係进行分析している。分析にあたっては、時間帯による差異と車線数や信号交差点等の道路構造的要素を考慮に加えているほか、推定した路面上の積雪量を説明変数として追加している点が特徴である。小括では、冬期旅行速度の重回帰モデル構築を通して、降積雪の影響が大きくなりやすい道路区間の特徴等について考察している。

第3章は、一般に渋滞のボトルネックとなりやすい信号交差点に焦点を当てて、冬期間における信号交差点交通容量の実態について述べている。調査対象として長岡市内の7交差点を選定し、シャーベット、凍結、圧雪といった路面状態別に交通容量への影響の程度を分析したほか、消雪パイプ設置区間と機械除雪による対応区間との容量低下への影響について分析し、降積雪地域における道路管理の在り方、交差点計画・設計の重要性についても触れている。

第4章は、冬期交通時間価値の推定結果について述べている。交通時間価値の推定にあたっては、SP調査を主としてドライバーの冬期経路選択行動の変化を明らかにし、これに基づいた二項ロジットモデルを構築することで交通時間価値を推定し、非冬期と降積雪時の価値の差について考察している。なお、結果の妥当性確保の観点から、ETC2.0による車両走行履歴データ（RP）から推定した結果についても補足として加えている。

第5章では、ここまで得られた結果に基づいて、降積雪地域における道路事業評価や消融雪施設導入評価手法について検討し、その結果から得られた知見について述べている。

第6章は結論である。本論文の各章から得られた知見から、冬期道路交通の確保と円滑化に向けた道路整備評価のあり方について筆者の考えを総合的に整理し、今後の研究課題について書き留めた。

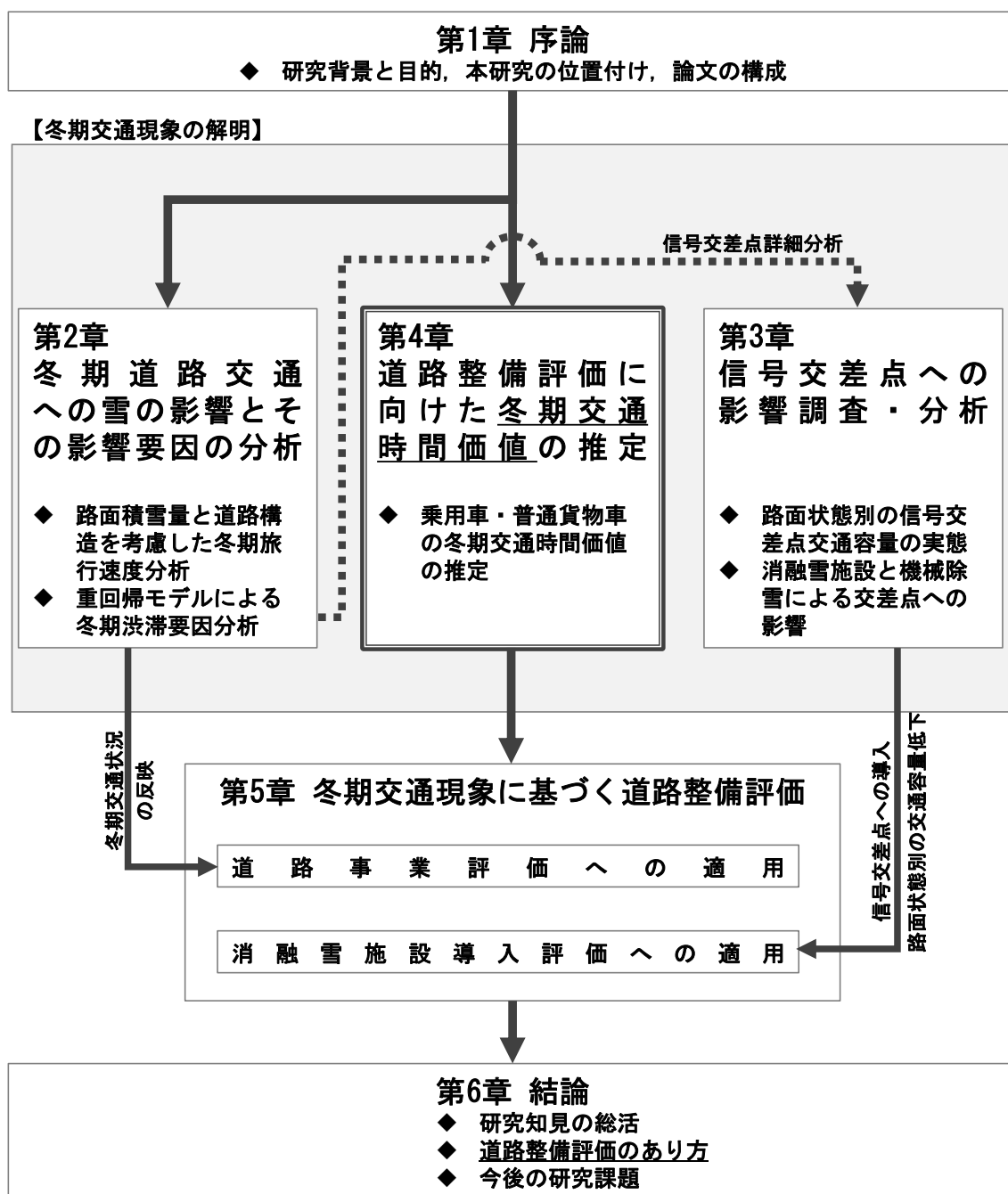


図 1-13 本論文の構成

## 参考文献【第1章】

- 1) 新潟県総務管理部：新潟県の雪対策（平成 29 年度版），最終アクセス 2020.4，  
<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/chiikiseisaku/1200330044375.html>
- 2) Kawase, H., Murata, A., Mizuta, R., Sasaki, H., Nosaka, M., Ishii, M., Takayabu, I., (2016) Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations, CLIMATIC CHANGE, Vol.139(2), pp.265 – 278.
- 3) Sasai, T., Kawase, H., Kanno, Y., Yamaguchi, J., Sugimoto, S., Yamazaki, T., et al. (2019) Future projection of extreme heavy snowfall events with a 5-km large ensemble regional climate simulation, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol.124(24), pp.13975-13990.
- 4) 川瀬 宏明：地球温暖化で雪は減るのか増えるのか問題，ペレ出版，2019.
- 5) 国土交通省道路局：大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ，平成 30 年 5 月，冬期道路交通確保対策委員会，最終アクセス 2020.4，  
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/index.html>
- 6) 国土交通省：事業評価の仕組み，最終アクセス 2020.4，  
[https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/09\\_public\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/09_public_01.html).
- 7) 国土交通省道路局都市局：費用便益分析マニュアル，国土交通省ホームページ，  
[https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki\\_h30\\_2.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki_h30_2.pdf)，平成 30 年 2 月.
- 8) 国土交通省 国土政策局：豪雪地帯対策における施策の実施状況等，令和元年 12 月 10 日，最終アクセス 2020.4，  
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001319590.pdf>
- 9) 国土交通省：国土交通白書 2019，最終アクセス 2020.4，  
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h30/index.html>
- 10) （一社）日本建設機械施工協会北陸支部 雪氷部会，道路除雪オペレータ実態調査報告，平成 30 年 3 月.
- 11) 木下 豪，林 憲裕，i-Snow の挑戦，（一財）北海道道路管理技術センター 北の交差点，Vol.35，pp.16-19，2017.
- 12) 下川澄雄，森田綽之，小山田直弥：一般道路の道路構造が旅行速度に及ぼす影響に関する実証的分析，交通工学論文集(特集号 A)，Vol.1(2)，A19-A25，2015.
- 13) 石田樹，高橋尚人，宗弘一徳，高田哲哉，影山裕幸，気象・路面状態に応じてドライバーが選択する走行速度に関する研究，国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 2013 成果報告書.
- 14) Transportation Research Board (1999), Highway Capacity Manual (HCM) 2000, Washington D.C.
- 15) Rashad, M. H., David, A. K., (1993) : Traffic Volume Reductions due to Winter Storm Conditions. Transportation Research Record No. 1387, Snow Removal and Ice Control Technology, pp.159-164.



- 16) Yazici, M. A., Kamga, C., Singhal, A., : Weather's Impact on Travel Time and Travel Time Variability in New York City. Transportation Research Board's 92nd Annual Meeting, Washington, D.C, 2013.
- 17) Ioannis, T., Tao, C., Adel, B. : Impact of Weather Conditions on Macroscopic Urban Travel Times. Journal of Transport Geography, Vol.28, pp.204-211, 2013.
- 18) 佐藤吉一, 飯田雅之, 伊藤潤, 近年の降雪による速度低下や交通障害発生に関する一考察, ふゆトピア研究発表会論文集, Vol.32, pp.89-92, 2020.
- 19) Maze, T. H., Agarwal, M., Burchett, G. (2006) Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Operations and Flow. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, Vol.1948(1), pp.170-176.
- 20) Aemal, J. K., Keith, K. K., (2001) Snow Event Effects on Interstate Highway Crashes. Journal of Cold Regions Engineering, Vol.15(4), pp.219-229.
- 21) Leng, J., Zhang, Y., Zhang, Q., Zhao, Y., (2010) Integrated Reliability of Travel Time and Capacity of Urban Road Network Under Ice and Snowfall Conditions. Journal of Central South University, Vol.17(2), pp.419-424.
- 22) 中山晶一郎, ネットワークレベルでの道路交通の信頼性研究の諸相・展望とその便益評価の一考察, 土木学会論文集 (D3) Vol.67(2), pp.147-166.
- 23) 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.
- 24) (社) 日本道路協会, 道路の交通容量, pp.140.
- 25) J.Asamer, H.J.Van Zuylen,W, Saturation flow under adverse weather conditions, Journal of the Transportation Research Board, No. 2258, pp.103-109, 2011.
- 26) Perrin, H. J., P. T. Martin, and B. G. Hansen : Modifying Signal Timing During Inclement Weather, Journal of the Transportation Research Board, No. 1748, pp. 66-71, 2001.
- 27) 加藤浩徳: 交通の時間価値の理論と実際, 技報堂出版株式会社, 平成 25 年 7 月 20 日 1 版 1 刷発行.
- 28) 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成果報告レポート「道路交通の時間価値に関する研究」, 平成 24 年 6 月, 新道路技術会議.
- 29) Wardman, M., A review of British evidence on time and service quality valuations, Transportation Research, Vol.37E, pp. 107-128, 2001.
- 30) Small, K.A., Noland, R., Chu, X. and Lewis, D., Valuation of travel-time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation, National Cooperative Highway Research Program Report 431, National Academy Press, Washington, D.C., 1999.

- 31) 中山晶一郎, 道路の時間信頼性に関する研究レビュー, pp.95-114 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.1, 2011.
- 32) Calfee, J., Winston, C., The value of automobile travel time: implications for congestion policy, Journal of Public Economics, Vol.69, pp. 83-102, 1998.
- 33) Hensher, D.A., Measurement of the valuation of travel time savings, Journal of Transport Economics and Policy, Vol.35, pp. 71-98, 2001.
- 34) 国土交通省: 個別道路事業の評価, 国土交通省ホームページ, 最終アクセス 2019.3, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/ir-hyouka.html>.
- 35) 諸橋和行, 梅村晃由: 豪雪都市の除排雪 system の経済性評価-第1報長岡市商業地域の既存システムの費用便益計算-, 日本雪氷学会誌 雪氷, Vol.57, No.1, pp.3-10, 1995.
- 36) 寺内義典, 三村泰広, 加藤哲男, 本多義明: 降積雪時における自動車交通のおくれに関する研究-消融雪装置設置個所の選定への応用-, 日本雪工学会誌, Vol.20, No.2, pp.3-9, 2004.
- 37) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報, 豪雪地帯統計情報, 最終アクセス 2020.4, [http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A22-v3\\_0.html](http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A22-v3_0.html).

## 第2章 冬期道路交通への 雪の影響とその影響要因の分析



## 第2章 冬期道路交通への雪の影響とその影響要因の分析

本章では、降雪及び路面積雪量等と旅行速度の関係性について、ETC2.0 プローブデータ<sup>1</sup>から分析した結果を述べる。

雪国の居住者にとっては、冬になれば雪が降り積もり、路面は滑りやすく、かつ路肩に堆雪された雪堤により車道幅員が狭くなるなど、道路交通環境の悪化は感覚的・経験的に認識されている事象である。しかしながら、我が国では冬期交通状況に関するデータ<sup>2</sup>は統計的・定量的に整備されておらず、我が国全体として雪と道路交通の関係性にはまだまだ不明確な部分が多いのが現状である。近年は、スマートフォン、カーナビ、ETC2.0等から簡単にプローブカーデータを取得可能になってきており、サンプル数に問題はあまるものの365日24時間の交通データを活用した分析が可能になっている。

雪による旅行速度（旅行時間）への影響を分析した事例は、第1章のレビューで紹介したように国内外問わず多くの研究報告が存在しているが、道路交通への直接的な影響が大きいと考えられる路面上の積雪量が考慮されたものはほとんど存在していない。実務上のものとして、飯田ら<sup>3</sup>の業務報告によれば、新雪除雪の除雪レベルとその効果を評価するためのデータの1つとして路面積雪量を推定し、これによる旅行速度低下との相関分析から経済的損失額を算定し、除雪レベルに応じた除雪コストとの関係から機械除雪の効果を定量的に評価した事例（機械除雪の費用対効果を評価）が報告されている。

そこで本章では、交通データとして ETC2.0 プローブデータ及び道路交通センサスを使用しつつ、気象データとしてはテレメータデータによる気温・時間降雪量等に加え、飯田らの手法を参考にして推定した路面積雪量を変数として追加し、新潟県長岡市を例に冬期気象条件が旅行速度に与える影響を車線数や信号交差点密度等の道路構造や時間帯の観点も含め分析し、冬期道路交通への影響が大きい道路区間とその要因について評価した。

<sup>1</sup> 国土交通省より貸与。

<sup>2</sup> 一般に、全国道路・街路交通情勢調査（通称、道路交通センサス）により、道路状況・交通量・旅行速度が整理されているが、秋期を対象とした調査であり、冬期に関するデータは含まれていない。

## 2.1 分析対象路線

信号交差点密度や車線数など様々な道路構造を持つこと、交通量が多くプローブカーデータのサンプルを確保しやすいことから北陸自動車道（A）と国道8号（B）の2路線を分析対象とした。両路線とも日交通量3万台<sup>2)</sup>を超える区間を有し、ETC 2.0 搭載車両の1日あたり平均交通量は、北陸自動車道で約300台、国道8号で約100台であった。なお、分析時2017年時点の新潟県におけるETC2.0車載器搭載率（ETC2.0搭載車<sup>3)</sup>／自動車保有台数）は1.6%である。

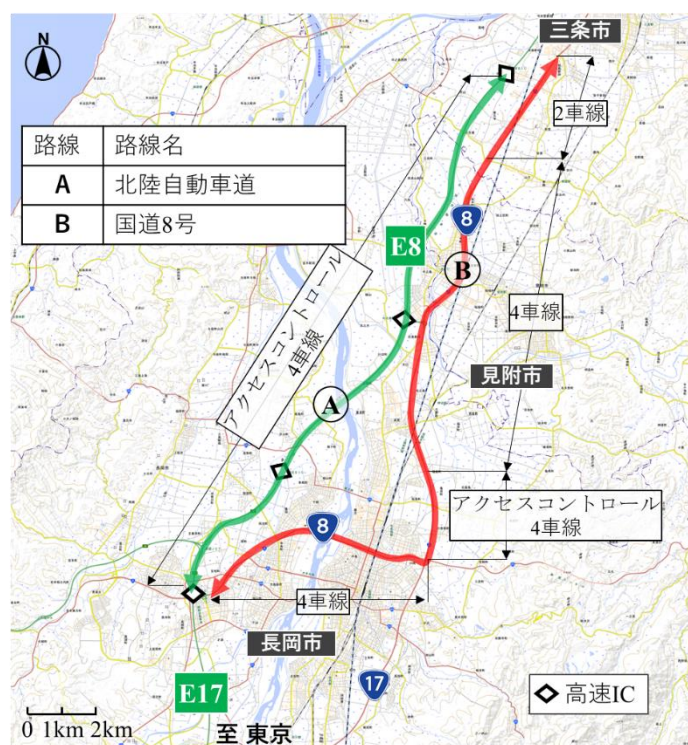


図 2-1 分析対象路線位置図<sup>3)</sup>

<sup>3)</sup> 地理院地図を使用し筆者が作成。

## 2.2 ETC2.0 プローブデータの概要とデータクリーニング

プローブカーデータは、ETC2.0 対応車載器を搭載した車両から収集される走行履歴に関するデータを使用した。このデータは、個人を特定出来ないように個人情報に配慮されたうえで走行時の速度や座標について記録したものであり、概ね 200m の一定距離間隔でデータ蓄積されている。分析期間は 2017 年 1 月から同年 3 月末までとし、交通需要の差を考慮するため非混雑時間帯(09:00～17:00)と混雑時間帯(07:00～09:00, 17:00～19:00)のそれぞれに分けて分析を行った。

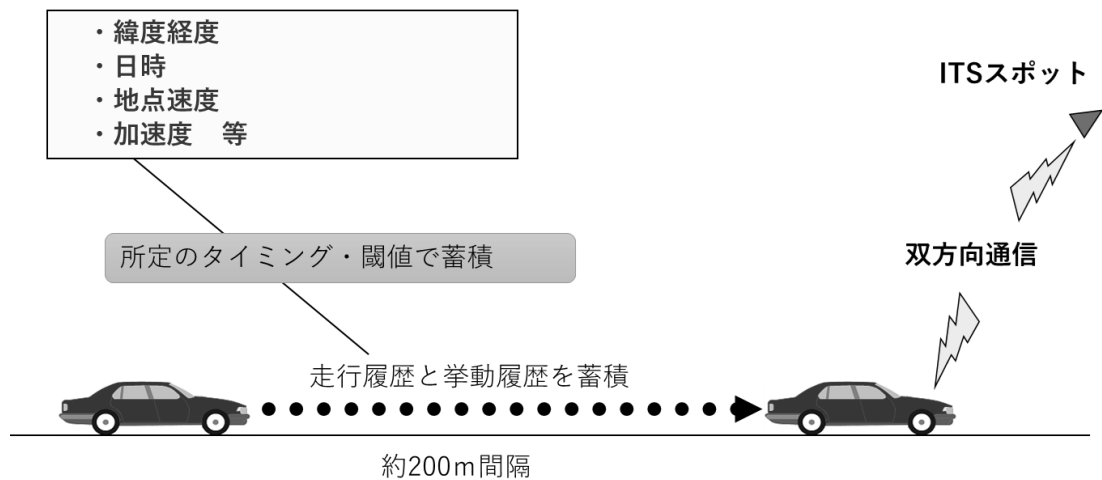


図 2-2 ETC2.0 の概要<sup>4</sup>

プローブデータは、表 2-1 に示すリンク単位<sup>5</sup>の旅行速度に変換されたものを使用することとしたが、まずはベースとなるデータセットから以下の 2 ステップにより異常値・外れ値を除外した。ステップ 1 では、1 km/h 未満 150 km/h 以上の速度を異常値としデータセットから削除した。ステップ 2 では、分析路線別に時間降雪量ごとにパーセンタイル値を用いて 75%tile, 25%tile から 1.5IQR (四分位範囲) を超えたデータを外れ値とみなして除外した。異常値や外れ値をクレンジングした後、リンク毎に 1 時間毎に平均速度を求め分析に利用した。なお、平均速度はリンク毎に車両サンプル数 5 以上(高速道路は 2 以上)のデータの平均値を用いた。これは、使用した ETC 2.0 プローブデータの特徴上(非集計データ)、個人属性によって選択速度の変動が大きいデータであることから、その影響を減らすためにとった措置である。本プローブデータの基本統計量を図 2-3、図 2-4 に示す。その他、分析に必要な道路構造や時間交通量については、全国道路・街路交通情勢調査(一般交通量集計表)<sup>2)</sup>を用いた。

<sup>4</sup> ETC 総合情報ポータルサイト及び国土交通省提供資料より筆者が作成。

<sup>5</sup> デジタル道路地図(DRM: Digital Road Map)によるノードとノードの間の道路区間。ノードとは、交差点その他道路網表現上の結節点等を示す。

出典：一般財団法人日本デジタル道路地図協会、<https://www.drm.jp/database/expression/>。

表 2-1 ETC2.0 システムに収録されている主なデータ

車両に関する情報	運行 ID
	トリップ No.
	車種・用途
	入口／出口ノード通過時間(s)
	リンク旅行時間(s), 旅行速度(km/h)
道路に関する情報	2次メッシュコード
	入口／出口ノード No.
	リンク延長(m)
	道路管理者 No.
	路線番号

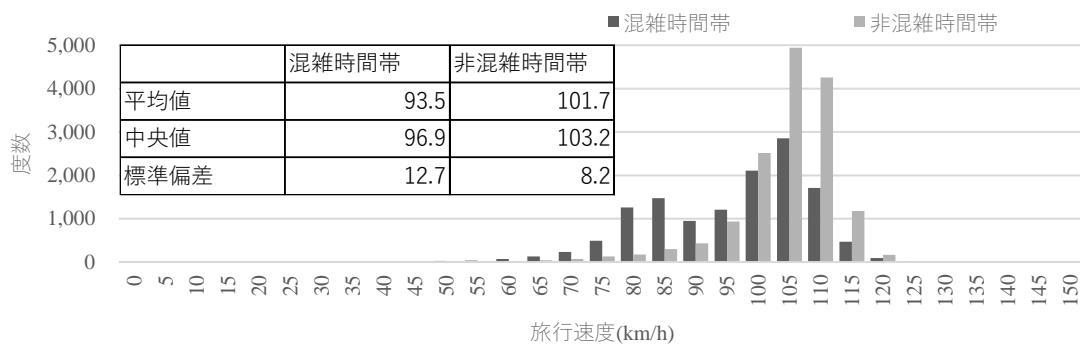


図 2-3 北陸自動車道の旅行速度データ分布

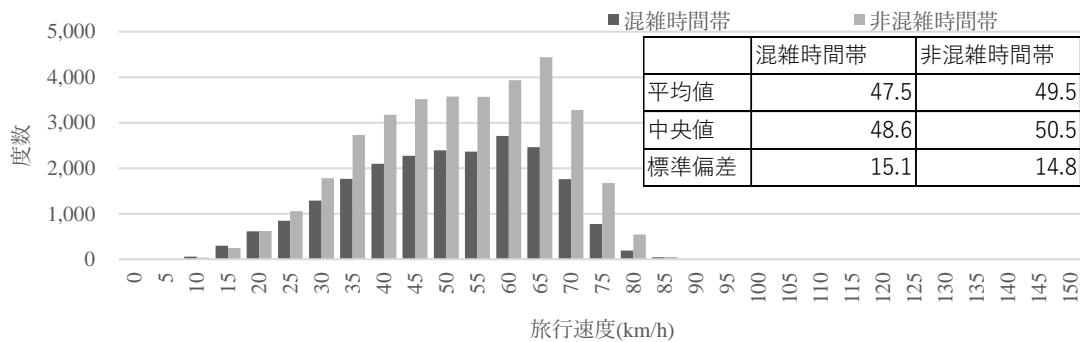


図 2-4 国道 8 号の旅行速度データ分布



### 2.3 気象データ

気象データは国道8号沿いに道路管理用に設置されているテレメータ<sup>6</sup>を使用した。本データには、気温、時間降雪量、積雪深、時間雨量、連続雨量等が記録されている。

本分析対象とした2017年は例年に比べ降雪量が少ない年であり、2cm/h以上のサンプル数が少ないのが問題となったが、一方で除雪作業により路肩に堆雪される雪も少なく、車線幅員減少に起因する速度低下の影響がほとんど無視できるとも考えられ、単純に降雪及び路面積雪による旅行速度への影響を捉えやすいのではないかと側面を優先し分析年を決定した。

当該年度の気象概況について、代表地点として気象庁長岡アメダス<sup>4)</sup>による観測データを図2-5、図2-6に示す。

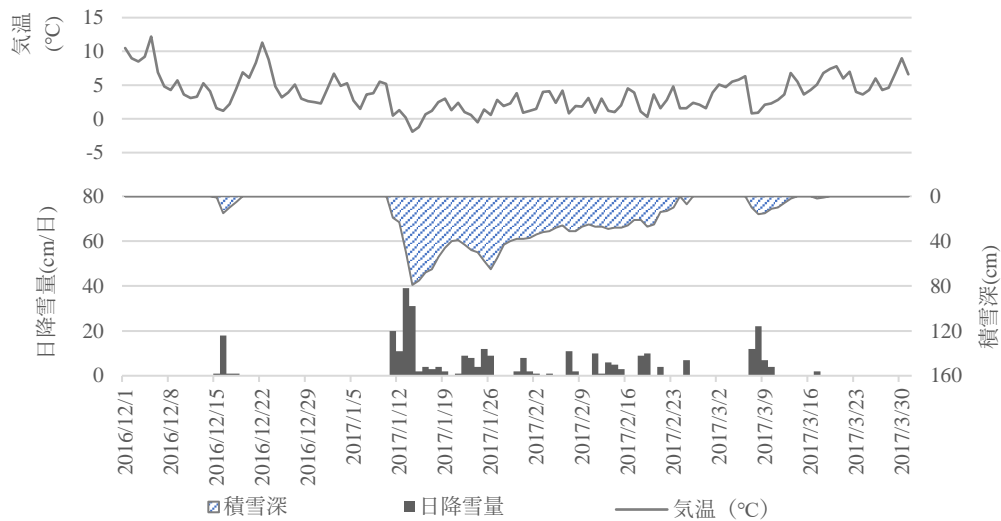


図 2-5 長岡市気象概況 (2016年12月～2017年3月)

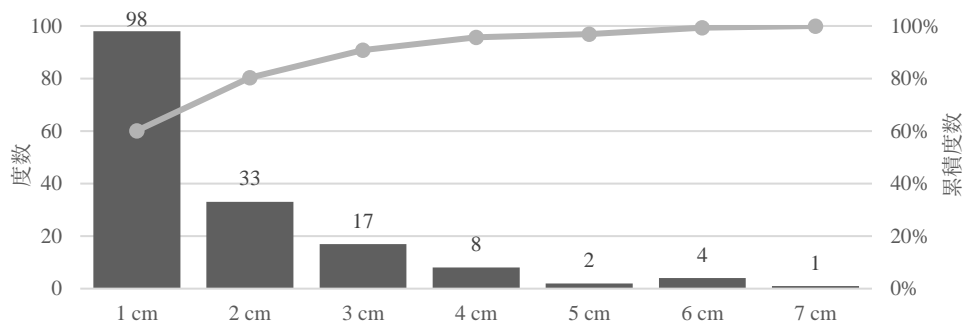


図 2-6 時間降雪量度数分布 (2016年12月～2017年3月)

<sup>6</sup> 国土交通省よりデータ貸与。

## 2.4 路面積雪量の推定

本分析は、前述の通り単純に降雪等の冬期気象条件と旅行速度の関係を分析するだけでなく、路面上の積雪を加えたことが1つのポイントである。現状では、路面積雪量を継続的に計測するようなシステムが一般に整っていないため、飯田らの手法<sup>7)</sup>を参考に下記の要領で簡易的に推定した。

推定には、まず図2-7に示すようなライブカメラ<sup>7)</sup>の映像をワンシーズン通して取得した。この画像データを基に、路面上の積雪状況や除雪車通過の有無をチェックした。具体的な路面積雪量推定は、テレメータに記録されている1時間ごとの積雪深の変化を累計したものとし、ライブカメラ画像から除雪車が通過したと判断された際には路面積雪量を0cmにリセットとした。また、除雪車の通過が確認できなかった場合には、国土交通省の新雪除雪出動基準<sup>5)</sup>と除雪サイクルタイム<sup>9)</sup>を考慮して3時間超の累計降雪量が10cm以上となった場合でも0cmにリセットとした。図2-8にフローチャートを示す。

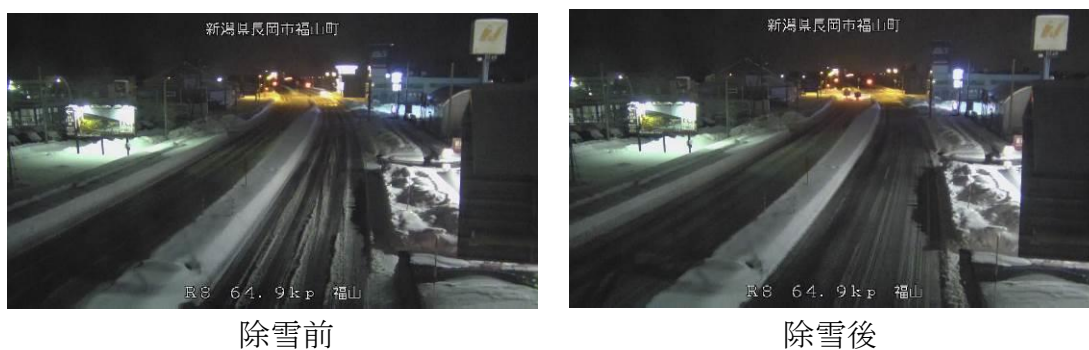


図 2-7 ライブカメラ画像により除雪前後の路面状況

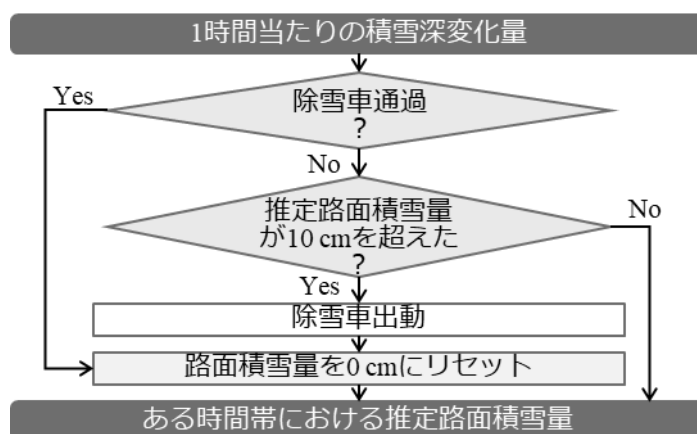


図 2-8 路面積雪量推定の流れ

<sup>7)</sup> 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所 HP にて公開画像を 10 分間隔で自動取得。

<sup>8)</sup> 5～10cm の累計降雪量を目安として、さらに降雪が続くと予想される場合。

<sup>9)</sup> 北陸地方整備局では概ね 3 時間以内。

## 2.5 降積雪による旅行速度への影響分析

旅行速度への雪の影響は、時間降雪量と推定路面積雪量をクロスして分析し、その関係をグラフ化した(図2-9～図2-11)。これをみると単純に時間降雪量のみで旅行速度が低下しているわけではなく、時間降雪量、推定路面積雪量が多いほど旅行速度が低下していることが読み取れる。以降に路線別の影響を詳述する。

### 2.5.1 高速道路における降積雪の影響

無雪時における平均旅行速度は混雑時間帯で約96km/h、非混雑時間帯で約103km/hとなり、時間降雪量及び推定路面積雪量の増加に伴い徐々に旅行速度は低下する傾向にあり、大きなバラツキもみられない(図2-9)。グラフから相対的に旅行速度低下が大きいとみられる時間降雪量3cm以上<sup>10</sup>かつ推定路面積雪量5cm以上の領域では、無雪時に対し混雑時間帯で約30%、非混雑時間帯で約23%の旅行速度低下となった。

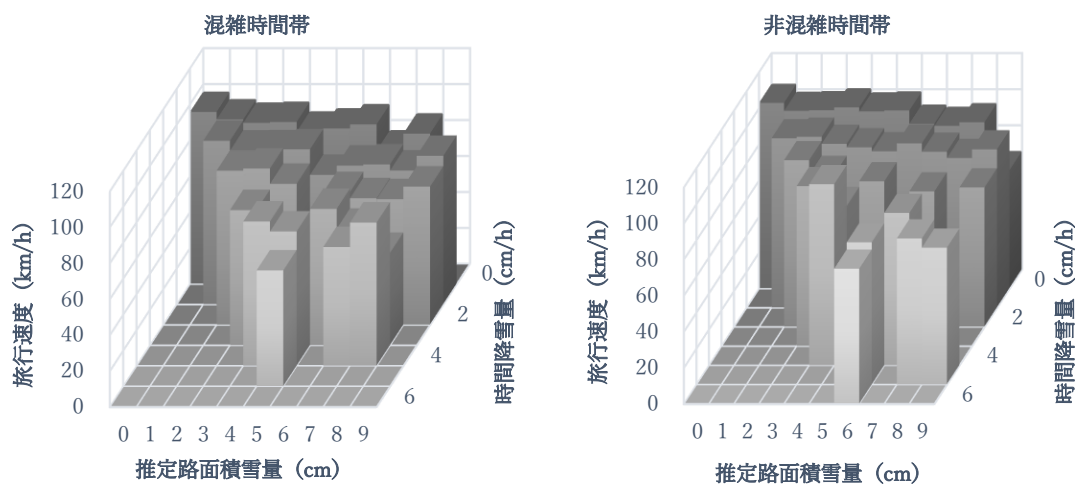


図 2-9 時間降雪量と推定路面積雪量による旅行速度低下  
(北陸自動車道)

### 2.5.2 一般道(国道8号)における降積雪の影響

降雪時のサンプル数が少ない問題もあり、降雪強度に応じた旅行速度変化のバラツキが大きい傾向にあるが、一般道も同様に旅行速度は雪に影響を受けている。本路線の特徴としては、一つは混雑時間帯の信号交差点密度が高い区間ほど旅行速度のバラツキが大きくみられること、もう一つは混雑時間帯と非混雑時間帯で雪による影響が大きく異なることである。特に非混雑時間帯では、3cm/h以上の強降雪サンプルが少ない影響もあるが、時間降雪量と推定路面積雪量が増加しても、旅行速度の低下量は小さい傾向に

<sup>10</sup> 気象庁、雪の強さに関する用語の説明によれば、「強い雪」は降雪量がおよそ3cm/h以上の雪とされている。  
[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/yougo\\_hp/kousui.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/yougo_hp/kousui.html).

あった。対して、混雑時間帯に降雪がある場合には旅行速度低下量が大きくなり、交通混雑の悪化につながりやすいものと言える。

このような旅行速度のバラツキは、高速道路ではほとんど生じていないことから、一般道特有の沿道出入りや信号交差点による影響が複合的に生じているものと推測される。なお、降積雪に起因する旅行速度低下により道路の交通容量が低下しても、交通需要が容量を下回っていれば交通混雑は発生しづらい。混雑時と非混雑時の差はこの点にあると考えられる。ただし、非混雑時間帯でも信号交差点密度2~3箇所/kmの区間については、旅行速度低下量が大きい傾向にあることからすると、信号交差点交通容量が路線全体の交通容量に影響を及ぼしている可能性も考えられる。

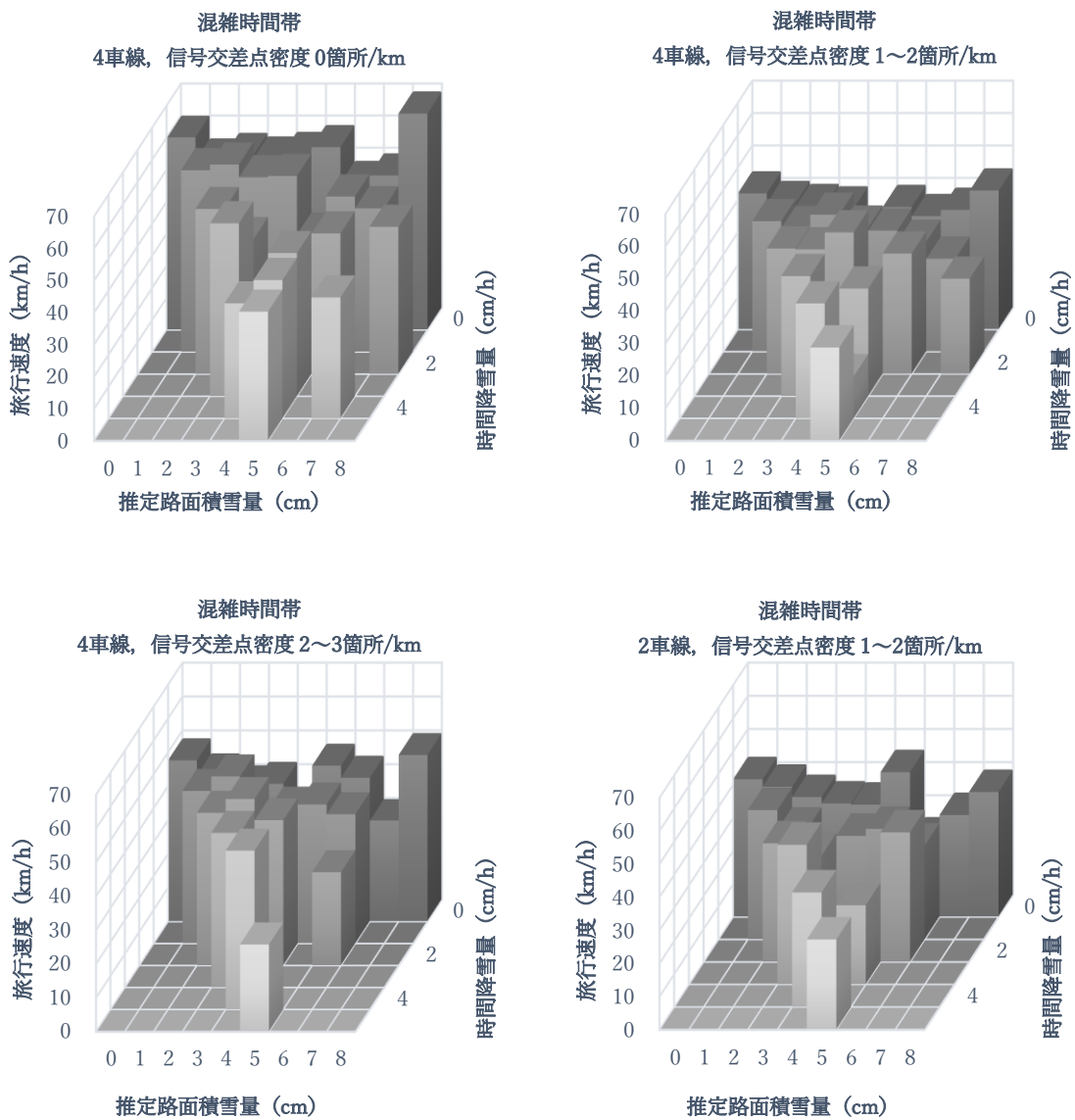


図 2-10 時間降雪量と推定路面積雪量による旅行速度低下  
(国道8号, 混雑時間帯, 車線数及び信号交差点密度別)

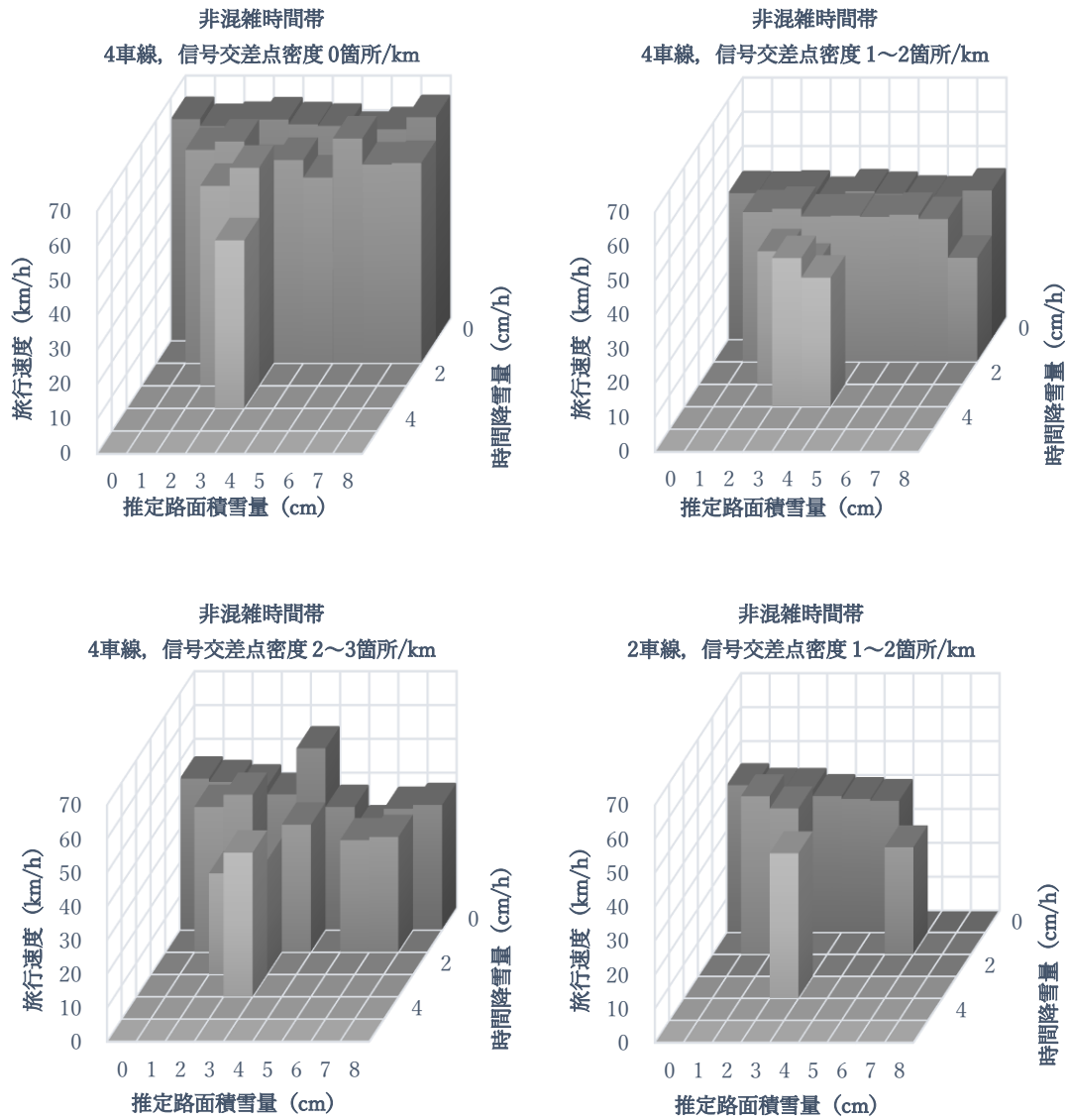
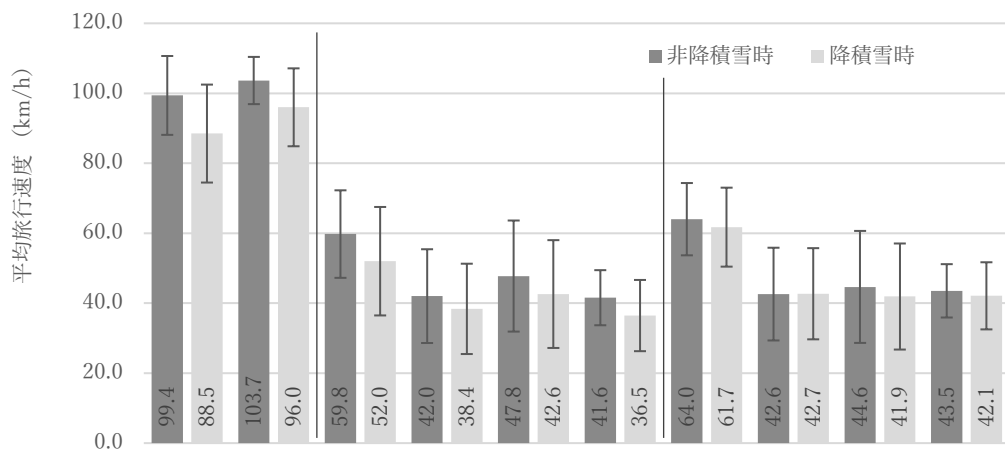


図 2-11 時間降雪量と推定路面積雪量による旅行速度低下  
(国道 8 号, 非混雑時間帯, 車線数及び信号交差点密度別)

2.6 降雪時と非降積雪時の旅行速度への影響比較分析

本項では、降雪強度等の量的な議論を無視して降積雪の有無による旅行速度変化（図2-12）に着目した。北陸自動車道や国道8号のアクセスコントロールタイプ（信号交差点密度0：連続立体）においては、その他区間と比較して旅行速度の低下幅が大きいことが分かる。ただし、速度低下しても高速道路においては80km/h以上、国道8号の連続立体でも50～60km/h以上の旅行速度を維持しており比較的影響は小さい（走行時間でみれば影響は小さい）道路構造であると言える。

一般道側の国道8号の旅行速度は、前述の通り混雑時間帯と非混雑時間帯で大きく異なり、非混雑時間帯の旅行速度はほとんど変わっていない。対照的に、混雑時間帯には降積雪が旅行速度低下を引き起こす。とりわけ、2車線道路は他区間に比較して低速度であり、降積雪時には走行時間が増加しやすいこととなる。このように、降積雪による道路交通への影響は、時間帯や道路構造によって大きく異なり、どのような道路区間で影響が生じやすいのかを把握することは、効率的に冬期道路交通確保施策を考えるうえで重要な視点であると言える。



車線数	4	4	4	4	4	2	4	4	4	2
信号交差点密度	0	0	0	1-2	2-3	1-2	0	1-2	2-3	1-2
時間帯	混雑時	非混雑時	混雑時				非混雑時			
路線名	北陸道		国道8号							

図 2-12 降積雪による道路構造別の旅行速度変化

## 2.7 冬期旅行速度への影響要因の分析

前項までの分析により、降積雪の影響は時間帯や道路構造（信号交差点密度と車線数）で異なるという点は明確にできた。そこで本項では、冬期の旅行速度へ影響をあたえる要因をより明確化することを目的に重回帰分析を行った。目的変数は冬期平均旅行速度とし、まず初めに重回帰モデルに含める説明変数を収集し（表 2-2）、変数減少法により適切な変数を決定した。その際には t 値が有意であること、理論的に符号条件が正しいこと、多重共線性（VIF）が発生していない事を確認している。

表 2-2 説明変数一覧

		説明変数	採用
気象 条件	テレメータ	時間降雪量 (cm/h)	○
		時間雨量 (mm/h)	○
		連続雨量 (mm)	○
		気温 (°C)	○
	ライブカメラ	推定路面積雪量	○
道路 構造	道路交通	車道幅員	-
	センサス	信号交差点密度	○
		車線数	○
交通 データ	道路交通	交通量 (台/h)	○
	センサス ETC2.0	大型車混入率 (%)	-
		車両用途	-
		大型車	○

まず、北陸自動車道のモデルについてみると、自由度調整済み決定係数は約 0.5 であり、良好な結果であると言える（表 2-3, 表 2-4）。標準化係数から大型車ダミーの影響が大きい、これは速度リミッターの影響が表現されているものである。気象要因に関しては、混雑時間帯の影響が大きい傾向にあり、特に推定路面積雪量が影響しやすい。

国道 8 号（表 2-5, 表 2-6）のモデルの決定係数は約 0.2 であり、良好とは言えない結果ではあるが、沿道出入り等の高速道路とは異なる影響も受けやすいことから、現説明変数のみでは一般道の再現は難しい側面もある。標準化係数を比較すると、最も信号交差点密度に影響されやすいこと、次いで交通量であることが読み取れる。これと比較すれば、気象要因による旅行速度へのインパクトは小さいものとなるが、推定路面積雪量の係数が混雑時間帯には概ね 5 倍程度に上昇していることは注目に値する。この事から

すれば、国道8号などの一般道路では、冬期の混雑時間帯もしくはその前段階における道路管理が特に重要<sup>11</sup>であると言える。

表 2-3 重回帰モデル（北陸自動車道，混雑時間帯の場合）

変数	混雑時間帯			
	係数	標準化係数	t-値	VIF
切片	97.338***	97.338***	670.975	
推定路面積雪量 (cm)	-1.556***	-0.214***	-28.263	1.554
時間降雪量 (cm/h)	-3.291***	-0.137***	-19.148	1.392
時間雨量 (mm/h)	-1.099***	-0.079***	-9.537	1.867
連続雨量 (mm)	-0.197***	-0.068***	-8.374	1.782
気温 (°C)	0.827***	0.198***	29.949	1.186
大型車ダミー	-16.555***	-0.559***	-91.931	1.002
サンプル数	13,140			
自由度調整済み決定係数	0.516			

\*\*\*  $p$  value < 0.001 \*\*  $p$  value < 0.01 \*  $p$  value < 0.05.

表 2-4 重回帰モデル（北陸自動車道，非混雑時間帯の場合）

変数	非混雑時間帯			
	係数	標準化係数	t-値	VIF
切片	98.851***	98.851***	904.227	
推定路面積雪量 (cm)	-1.039***	-0.141***	-27.359	1.418
時間降雪量 (cm/h)	-2.809***	-0.107***	-21.751	1.284
時間雨量 (mm/h)	-0.675***	-0.047***	-7.748	1.969
連続雨量 (mm)	-0.231***	-0.069***	-11.520	1.908
気温 (°C)	0.702***	0.208***	43.035	1.246
大型車ダミー	-18.688***	-0.625***	-144.187	1.003
サンプル数	15,177			
自由度調整済み決定係数	0.521			

\*\*\*  $p$  value < 0.001 \*\*  $p$  value < 0.01 \*  $p$  value < 0.05.

<sup>11</sup> 日中の強降雪時を除き、実際の除雪作業も朝の交通需要ピーク前に終了するように実施されている。



表 2-5 重回帰モデル (国道 8 号, 混雑時間帯の場合)

変数	混雑時間帯			
	係数	標準化係数	t-値	VIF
切片	69.360***	69.360***	120.426	
推定路面積雪量 (cm)	-1.240***	-0.129***	-17.734	1.503
時間降雪量 (cm/h)	-0.654***	-0.023***	-3.398	1.346
気温 (°C)	0.295***	0.058***	9.045	1.172
信号交差点密度 (箇所/km)	-10.855***	-0.530***	-72.311	1.529
交通量 (台/h)	-0.014***	-0.350***	-43.87	1.810
大型車ダミー	-5.923***	-0.024***	-4.043	1.001
4 車線ダミー	9.878***	0.166***	24.961	1.250
サンプル数	21,942			
自由度調整済み決定係数	0.228			

\*\*\*  $p$  value < 0.001 \*\*  $p$  value < 0.01 \*  $p$  value < 0.05.

表 2-6 重回帰モデル (国道 8 号, 非混雑時間帯の場合)

変数	非混雑時間帯			
	係数	標準化係数	t-値	VIF
切片	69.256***	69.256***	163.659	
推定路面積雪量 (cm)	-0.269***	-0.024***	-4.462	1.360
時間降雪量 (cm/h)	-0.862***	-0.020***	-3.909	1.194
気温 (°C)	0.065**	0.014**	2.846	1.216
信号交差点密度 (箇所/km)	-10.614***	-0.501***	-106.507	1.045
交通量 (台/h)	-0.013***	-0.194***	-38.149	1.218
大型車ダミー	-6.521**	-0.015**	-3.223	1.001
4 車線ダミー	5.508***	0.083***	16.212	1.241
サンプル数	34,237			
自由度調整済み決定係数	0.274			

\*\*\*  $p$  value < 0.001 \*\*  $p$  value < 0.01 \*  $p$  value < 0.05.

## 2.8 考察

簡易的にはあるが路面積雪量を推定し、その他の冬期気象条件と道路構造が旅行速度に与える影響を分析した結果、旅行速度低下の度合いは道路構造や時間帯によって異なることが解明できた。

非降積雪時に 70km/h 以上の高速度域で走行可能な高速道路や一般道のアクセスコントロールタイプの旅行速度は、降積雪の影響を受ける可能性が非常に高い。これはドライバーが雪による事故リスクの増加を考慮して速度選択をした結果と考えられる。しかしながら、このような場合でも降積雪時の旅行速度は 50km/h を超えている状況であり、単純な単路部に関していえば、交通障害（事故、登坂不能車、スタック車等）の発生がなければ交通混雑や渋滞に繋がるような状況ではないと言える。

一方、上記に比較し、市街地部のように信号交差点密度が高い道路区間においては、旅行速度低下量自体は小さくなる傾向であったが、降積雪時には、より低速度側に変動することとなり、旅行時間への影響は大きいものとなる点に注意が必要である。この点からすれば、冬期降積雪時の交通混雑の悪化は、信号交差点による損失時間の影響が大きいと推察される。まず一般論として渋滞のボトルネックとなるのは信号交差点が大半であること、次に前述の一般道における重回帰モデルより、推定路面積雪量の影響が混雑時間帯には大きくなることから推測すると、雪による路面状態の悪化が信号交差点の交通処理能力に大きな影響を及ぼしていると考えられる。このことは、図 2-13 に示したように信号交差点前後の走行速度変化状況からも確かめられた。

本分析の対象とした 2017 年が少雪であった点を踏まえ、県内平野部を中心として大雪となった 2018 年 1 月～2 月のプローブデータを用いて、新潟県内の 3 大都市（新潟市、長岡市、上越市）<sup>12</sup>を対象として冬期の平均的な旅行速度変動状況を分析した結果を表 2-7 に示した。ただし、県道等についてはサンプル数が少ないことから参考値にとどめておくものとし、考察からは除外している。なお、アクセスコントロールタイプについては新潟バイパス等の影響を顕著に受けた結果となっている点に注意が必要である。大雪年の旅行速度変動は、第一に高速道路は降雪時に速度低下しても 60km/h 台を維持している点、第二に一般道は特に混雑時間帯（peak）において速度低下量が増大する傾向がある点、第三に DID や市街地区間といった信号交差点密度が高い道路区間においてより低速度側へ変動している点を確認でき、少雪年と同様の傾向がみられることを確かめている。

また、本章に示したような分析を実施するにあたっては、序論で論じたように地域特性に十分留意する必要があることも確認できた。ニューヨーク市を事例とした Yazici ら

<sup>12</sup> 北陸地方整備局「今冬の記録 平成 29 年度版」によれば、当該年の累計降雪量は新潟国道事務所管内、長岡国道事務所管内、高田河川国道事務所管内ともに平均値で 500 cm 台となっており降雪量は同程度であった。このため、プローブデータのサンプル数を考慮し、県内 3 大都市を対象として県内の平均的な冬期旅行速度低下量を算出したものである。

9)によるタクシープローブを活用した悪天候時の分析では、混雑時間帯は悪天候による影響が少なかったと報告されている。しかし本研究では、気象条件の旅行速度への影響は混雑時間帯と非混雑時間帯で明らかに異なることが判明しており、非混雑時間帯には、混雑時間帯に比べ降積雪による旅行速度低下量は小さく、この傾向は道路構造によっても大きく変化することはなかった。この結果は Yazici ら 9)が実施した研究との違いを示しており、その明確な違いは都市規模に起因するものと考えられる。慢性的に渋滞が生じているような交通需要が非常に大きい地域であれば、雪等の悪天候でさらに速度低下する余地がほとんどないことであり、交通流に対する雪の影響は、都市規模（交通需要量）によって異なる可能性があることを示唆している。したがって、雪による道路交通への影響を分析する際には、地域特性を十分に踏まえたうえで評価する必要があるだろう。特に我が国では、積雪地域とそれ以外の地域によって、道路の設計基準にも差がある点に留意しなければならない。

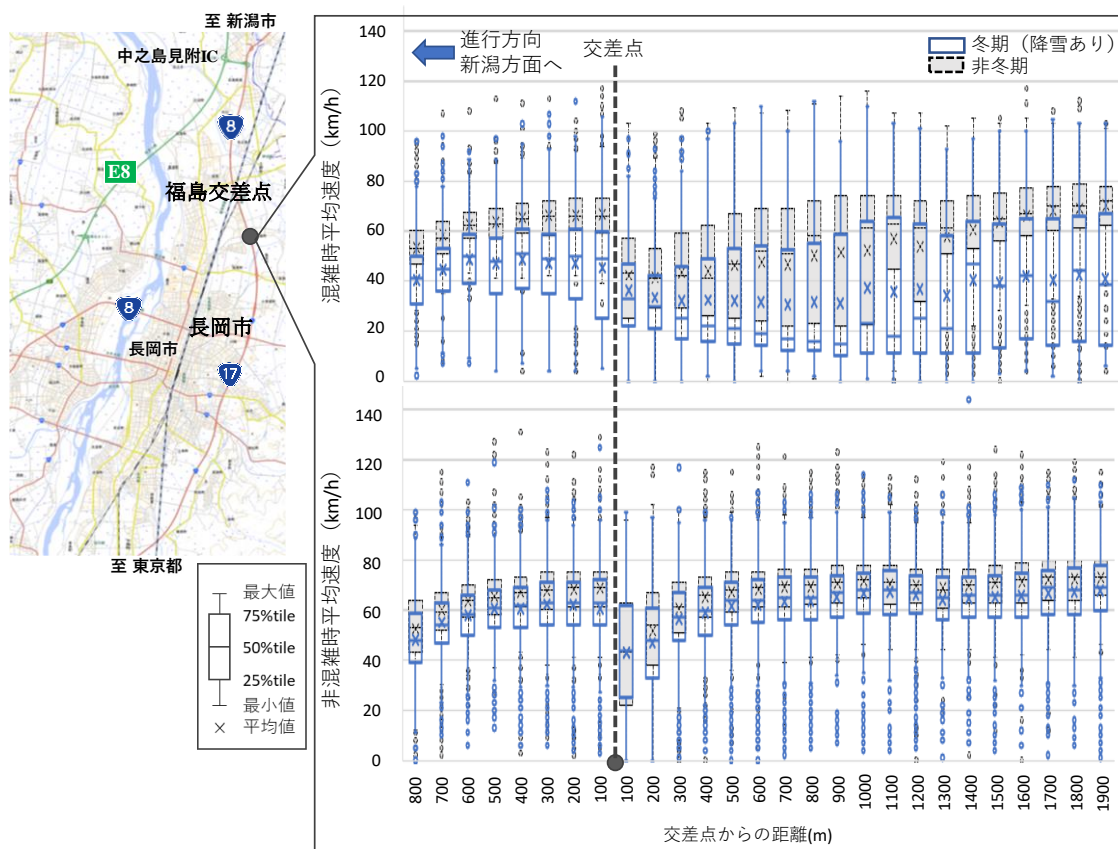


図 2-13 信号交差点前後の走行速度変化<sup>13</sup>

<sup>13</sup> ETC2.0 プローブより 100mピッチの走行速度から箱ヒゲ図を作成。最大、最小については外れ値を除いた値。集計対象は、非冬期：H30.9～10月，冬期：H30.1～2月（降雪1cm以上の44日分）

第2章 冬期道路交通への雪の影響とその影響要因の分析

表 2-7 降雪による道路種別、車線数、沿道状況別の平均旅行速度低下率

道路種別	車線数	沿道状況	平均旅行速度 km/h														
			秋期			冬期降雪なし			冬期降雪あり			冬期降雪なし 速度低下率			冬期降雪あり 速度低下率		
			peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h
高速道路	2	平地	85.3	86.4	86.0	80.7	84.7	83.4	68.2	76.1	73.5	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
	2	山地	86.9	87.4	87.2	85.2	89.1	87.9	68.8	72.4	71.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
	4	平地	91.4	92.2	92.0	88.2	91.6	90.6	71.2	75.7	74.3	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
	4	山地	94.9	95.4	95.2	92.9	94.8	94.2	77.5	81.4	80.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2
アクセス コントロール	4	DID(商業除)	36.4	41.1	39.5	35.9	43.9	41.1	26.2	32.4	30.2	0.0	0.1	0.0	-0.3	-0.2	-0.2
	4	市街地	57.8	65.9	63.2	44.7	60.9	54.8	31.0	50.7	42.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.5	-0.2	-0.3
	4	平地	56.9	62.7	60.8	49.3	61.3	57.0	40.2	55.2	49.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
	6	DID(商業除)	38.5	52.1	47.0	35.5	51.0	44.9	30.8	45.4	39.6	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2
	6	平地	42.1	65.3	55.8	37.8	65.4	53.4	30.1	57.0	44.7	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-0.2
	直轄 国道	2	DID(商業除)	26.1	23.2	24.0	30.8	32.8	32.2	26.1	29.0	28.0	0.2	0.4	0.3	0.0	0.2
2		市街地	35.9	36.7	36.4	27.7	31.5	30.3	23.2	29.4	27.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.2	-0.3
2		平地	45.5	45.2	45.3	39.8	42.3	41.5	36.7	40.6	39.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1
2		山地	48.5	47.7	47.9	45.4	45.8	45.7	38.5	40.3	39.7	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
4		DID	21.2	22.1	21.8	19.2	21.8	20.9	18.2	20.4	19.7	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
4		DID(商業除)	26.8	29.4	28.6	23.4	27.1	25.8	20.0	26.0	23.8	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
4		市街地	33.7	36.2	35.4	29.4	32.5	31.5	24.6	29.7	27.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
4		平地	46.6	48.4	47.8	45.0	47.8	46.9	34.3	41.1	38.7	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.2	-0.2
6		DID	23.6	23.0	23.2	21.2	22.5	22.1	20.6	21.3	21.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
6		市街地	13.4	15.8	15.0	12.4	15.2	14.2	10.3	14.5	12.9	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
補助 国道	1	平地	46.3	42.3	43.5	30.5	28.0	28.6	34.4	36.5	36.0	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2
	1	山地	38.3	34.4	35.8	45.5	42.3	42.6	36.4	22.1	23.0	0.2	0.2	0.2	0.0	-0.4	-0.4
	2	DID	29.1	29.4	29.3	25.8	26.2	26.2	18.7	22.9	21.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.3
	2	DID(商業除)	20.9	21.6	21.4	19.6	20.9	20.5	17.3	19.1	18.4	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
	2	市街地	37.4	37.0	37.1	30.9	32.7	32.1	25.1	28.0	27.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3
	2	平地	37.6	38.3	38.1	33.5	36.2	35.3	27.7	32.4	30.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
	2	山地	47.5	45.7	46.2	43.6	44.8	44.5	34.2	40.3	38.3	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-0.2
	4	DID	23.8	24.1	24.0	22.2	22.1	22.1	18.1	20.0	19.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
	4	DID(商業除)	24.6	24.4	24.5	24.3	24.3	24.3	22.5	24.1	23.6	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
	4	市街地	28.0	27.9	27.9	25.7	25.7	25.7	20.1	23.1	21.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
	4	平地	36.4	34.9	35.4	30.3	30.9	30.7	26.7	29.8	28.7	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
	4	山地	36.8	32.3	33.7	34.0	33.0	33.4	28.7	28.3	28.4	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2
主要地方 道・県道	1	DID	18.9	17.9	18.3	20.6	18.1	18.9	17.0	17.0	17.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	1	DID(商業除)	21.3	21.2	21.2	26.2	17.6	20.6	22.9	19.7	21.2	0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.0
	1	市街地	24.3	25.4	25.0	16.4	21.4	19.0	24.6	26.8	25.9	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	0.1	0.0
	1	平地	30.0	29.9	29.9	30.2	28.3	29.1	24.9	26.1	25.6	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
	1	山地	25.5	20.5	21.7	22.7	25.9	24.6	31.9	19.7	23.6	-0.1	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1
	2	DID	21.6	21.4	21.5	18.5	19.3	19.0	17.3	19.4	18.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1
	2	DID(商業除)	22.3	23.0	22.7	19.7	20.9	20.5	18.3	19.8	19.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2
	2	市街地	29.6	28.4	28.8	26.9	27.2	27.1	22.4	24.0	23.4	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
	2	平地	36.6	36.0	36.2	33.6	34.2	34.0	29.0	31.6	30.6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2
	2	山地	33.7	30.3	31.1	32.5	25.9	27.7	28.1	24.7	25.7	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
	4	DID	27.8	27.6	27.7	22.1	23.6	23.1	20.8	23.4	22.5	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2
	4	DID(商業除)	22.6	23.3	23.1	18.9	21.4	20.6	16.5	20.6	19.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
	4	市街地	31.2	29.6	30.1	29.3	29.7	29.6	26.9	27.5	27.3	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	4	平地	33.9	34.4	34.3	28.0	30.8	29.8	23.8	27.6	26.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
	6	DID	23.1	23.4	23.3	18.8	21.9	20.9	17.5	20.9	19.7	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2

### 2.9 本章の小括

本章では、交通データとして ETC2.0 プローブデータ及び道路交通センサスを使用しつつ、気象データとしてはテレメータデータによる気温・時間降雪量等に加え、推定路面積雪量を変数として追加し、新潟県長岡市を例に冬期気象条件が旅行速度に与える影響を車線数や信号交差点密度等の道路構造や時間帯の観点も含め分析し、冬期道路交通への影響が大きい道路区間とその要因について評価した。

その結果、降積雪により旅行速度へ影響が生じやすいのは高速道路や一般国道の立体区間といったアクセスコントロールされた道路であった。言い換えると、非冬期の旅行速度が高い区間ほど旅行速度の低下率が大きい。このような比較的自由流速度かつ高速度域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を考慮した速度を選択することとなり非冬期との差が大きくなる。ただし、速度低下しても約 50km/h 以上の速度を維持可能なことからアクシデントがない限りは信頼性が高い道路区間であると言える。

逆に市街地または DID 区間に代表される信号交差点密度が高い道路区間の旅行速度低下率は小さくなる傾向にあった。これは信号待ち時間や沿道出入り車両あるいは交通集中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る。速度低下量自体は小さいものの、より低速度域 (20~30km/h 台) に変動することから走行時間に与えるインパクトは大きくなりがちである。冬期旅行速度を目的変数とした重回帰モデルからみても、一般道はそもそも信号交差点密度の影響が大きいこと、混雑時は推定路面積雪量のパラメータが約 5 倍程度に増加することから考えると、信号交差点密度が高い区間における混雑時の交通需要増加と降積雪による路面状態の悪化が冬期交通渋滞悪化の主要因であると判断される。

本章の結果を道路事業評価へ反映するという観点から整理すると、道路種別や道路構造別に冬期旅行速度低下状況を考慮すべきであると言える。しかしながら、道路構造については信号交差点密度が大きく影響することとなるが、道路区間によって密度にはバラツキが大きいため、信号交差点密度と相関が高い「沿道状況 (DID・市街地・平地・山地)」で代替させることも考えられる。つまり、道路事業の便益算定作業の複雑化回避を念頭にした場合、既存の道路交通センサスでとりまとめられている道路種別、沿道状況、車線数別に旅行速度低下率を算出し、便益算定時に反映する手法が望ましいと考えられる。本論文ではこの点を踏まえ、第 5 章における道路事業評価では表 2-7 に示した速度低下率を適用している。

また、本章の特徴の 1 つとして、ライブカメラ映像等より推定路面積雪量を簡易推定し各分析に活用した。重回帰モデルによる分析結果では、その他の気象データよりも路面積雪量が旅行速度へ影響を与えやすいことが明確になっており、冬期交通を分析するうえでは必要不可欠なデータであると言える。さらに、路面積雪量は単に旅行速度低下

を引き起こすだけでなく、登坂不能車やスタック車発生のトリガー<sup>7)</sup>となるものでもあるため、今後は路面積雪を重要な「定量的指標」として観測していくシステムを整える必要があると言える。または、降雪量や気温と、路面積雪へ影響が大きいと考えられる交通量等を説明変数として、簡易的に路面積雪量を推定するモデルを構築するのも1つの手段である。

参考文献【第2章】

- 1) 飯田雅之, 佐藤吉一, 佐藤勝昭: 道路除雪のあり方に関する一考察, (一社) 建設コンサルタンツ協会北陸支部, 業務・研究発表会, 2015.  
[https://hr-jcca.jp/wp-content/themes/jcca/file/monograph/h27ronbun/3-\(2\).pdf](https://hr-jcca.jp/wp-content/themes/jcca/file/monograph/h27ronbun/3-(2).pdf).
- 2) 平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査, 一般交通量調査, 最終アクセス 2020.4,  
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>.
- 3) ETC 総合情報ポータルサイト: ETC2.0 (DSRC) セットアップ件数 (再セットアップ件数を含む全件), 最終アクセス 2020.4, <https://www.go-etc.jp/fukyu/etc2/list.html>.
- 4) 気象庁ホームページ, 過去の気象データ検索, 最終アクセス 2018.4,  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.
- 5) 国土交通省 北陸地方整備局: 道路の維持管理方針 (案), 平成 26 年 4 月.
- 6) Yazici, M. A., Kanga, C., Singhal, A. : Weather's Impact on Travel Time and Travel Time Variability in New York City. Transportation Research Board's 92nd Annual Meeting, Washington, D.C.2013.
- 7) 国土交通省道路局: 大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ, 平成 30 年 5 月, 冬期道路交通確保対策委員会, 最終アクセス 2020.4, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/index.html>





## 第3章 信号交差点への影響調査・分析



### 第3章 信号交差点への影響調査・分析

本章では、一般的に交通渋滞の主原因となる信号交差点の冬期交通処理能力に着目し、冬期路面状態や、除雪水準を考慮するため道路種別ごとの信号交差点交通容量の変化について調査・分析した結果を述べる。対象として新潟県長岡市を選定した。

冬期の信号交差点交通容量については、第1章で示した過去の研究報告に対し、現代の自動車性能向上による影響の有無や、地域性（雪質等）による差異について比較する必要があるほか、同一地域内においても道路管理者の違い、すなわち除雪水準の差による影響があるのか否か、さらには市内に多く設置されている消融雪施設（消雪パイプ）による影響についても把握することが重要である。そこで本研究では、様々な冬期路面条件下での現地ビデオ観測を実施し、観測時の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）への影響を分析し冬期間の交通容量低下率を算出した。

現地調査は、乾燥路面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。現地ビデオ観測では全部で約1万台に近いサンプルを取得し、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。車頭時間等の計測にあたっては、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、取得サンプルの都合上、信号交差点における直進車線及び左折直車混用車線の交通容量を対象に分析を実施した。

#### 3.1 現地調査箇所（交差点）の選定と調査概要

本研究の調査対象交差点として図3-1に示す計7箇所を選定した。いずれも新潟県長岡市内であり、平成28年度～平成29年度にかけて調査を実施した。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、道路交通センサによる交通量<sup>1)</sup>及び新潟県渋滞対策協議会による主要渋滞箇所<sup>2)</sup>を参考とし、現地の状況を目視にて事前確認して選定した。ビデオ観測は、飽和状態にある車頭時間が必要なため、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、分析サンプルは全体で665サイクル、9,883台を得た（表3-1）。

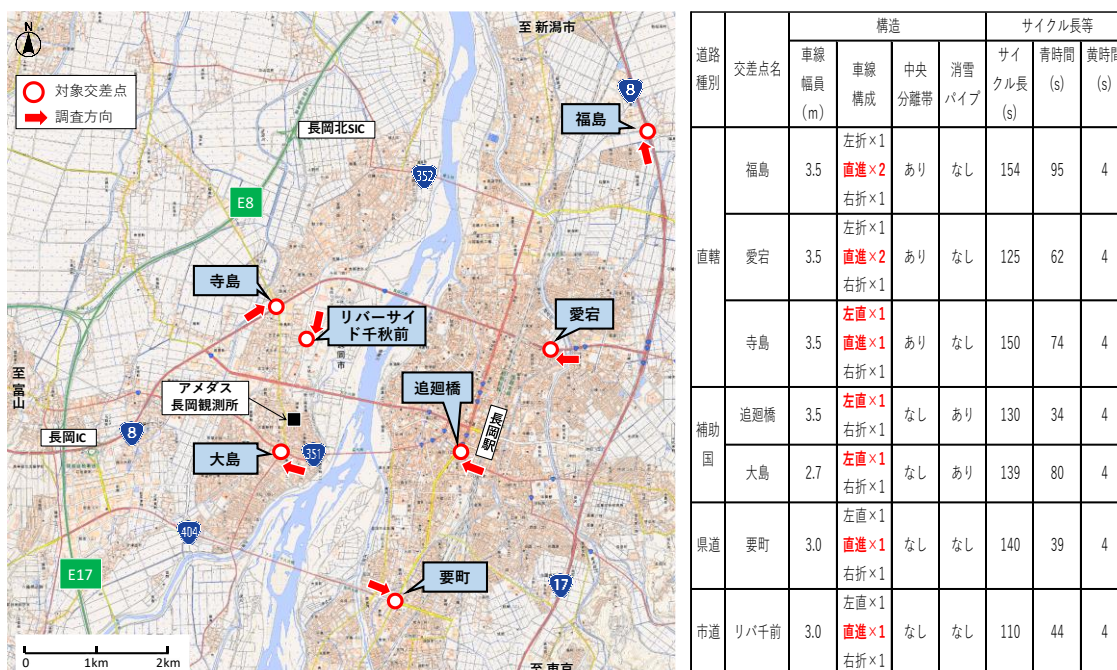


図 3-1 調査対象交差点位置と諸元（新潟県長岡市）<sup>1</sup>

表 3-1 交差点別サンプル数と調査時の路面状態

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)
直轄国道	福島	38	22	772	H28. 11. 9	乾燥	0.0
		34	28	850	H29. 1. 13	シャーベット (降雪中)	1.8
		36	22	968	H28. 12. 16	シャーベット (降雪多)	3.5
	愛宕	24	16	488	H28. 9. 7	乾燥	0.0
		21	20	343	H28. 3. 1	シャーベット (降雪少)	0.8
		29	16	510	H28. 3. 2	シャーベット (降雪中)	1.8
	寺島	42	18	477	H28. 1. 24	圧雪 (滑)	2.6
		32	20	519	H28. 10. 6	乾燥	0.0
		32	21	773	H29. 1. 13	シャーベット (降雪中)	1.8
補助国道	追廻橋	34	22	749	H28. 12. 16	シャーベット (降雪多)	3.5
		38	27	465	H29. 8. 22	乾燥	0.0
		21	14	180	H30. 2. 6	シャーベット (降雪少)	0.3
	大島	25	7	219	H30. 1. 24	シャーベット (降雪中)	1.7
41		30	495	H29. 9. 19	乾燥	0.0	
県道	要町	37	17	396	H30. 1. 24 H30. 2. 6	シャーベット (降雪中)	1.5
		30	23	307	H30. 3. 8	乾燥	0.0
		30	23	310	H30. 1. 10	シャーベット (降雪少)	0.5
		22	17	189	H30. 1. 11	凍結	0.4
市道	リバ千前	35	0	263	H30. 1. 26	圧雪 (凸凹)	0.6
		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		665	397	9,883			

<sup>1</sup> 地理院地図をベースに筆者が作成.

なお、リバーサイド千秋前交差点については、これ以降の図表中ではリバ千前と略記した.

### 3.2 調査実施時の路面状態の分類

信号交差点交通容量の分析は、降雪強度に応じて分析することも考えられたが、本研究においては冬期路面状態に応じて分析することとした。その理由は次の2点である。1点目として、冬期間のドライバーの運転挙動は、その瞬間の路面状態を目視により確認することで判断されているのが通常であること。2点目は観測時に気象データとして入手可能な気象庁アメダス長岡観測所（以下、アメダス長岡）のデータは、交差点によっては距離が離れていることから、その地点の気象条件として用いることがためらわれたためである。

そこで、路面状態は乾燥、シャーベット、圧雪、凍結の4分類を基本とし、これに応じてビデオ観測映像より得られたデータを分類した（表3-1、図3-2）。ただし、比較的サンプル数が多く得られたシャーベットについては、参考としてアメダス長岡の気象データにより、降雪少、降雪中、降雪多に細分化し降雪量に対する傾向をみることにした。また、圧雪に関してはその状態が滑らかな状態か、凸凹状なのかによって交通に与える影響度が大きく異なると想定されたため、圧雪（滑）と圧雪（凸凹）の2つに区分した。なお、シャーベットを細分化するための区分は、調査前の降雪状況とその程度を考慮するために以下のとおりとし、観測時の平均降雪量として表3-1に記した。

- ・ 観測時とその前の3時間の平均降雪量 1cm/h 未満 : 降雪少
- ・ 観測時とその前の3時間の平均降雪量 1cm/h 以上, 3cm/h 未満 : 降雪中
- ・ 観測時とその前の3時間の平均降雪量 3cm/h 以上 : 降雪多



図 3-2 観測時の主な路面状態  
 (上左：シャーベット, 上右：圧雪(凸凹), 下：圧雪(滑))

### 3.3 信号交差点交通容量の算定手法

信号交差点直進（左直）車線の交通容量算出は、式（1）に示すように、ビデオ観測映像より実測した飽和交通流率と有効青時間から算定した（図3-3）。

$$c_s = S_A \times g / C \quad (1)$$

ここで、  
 $c_s$  : 直進（左直）車線の交通容量  
 $S_A$  : 飽和交通流率の実測値  
 $g$  : 有効青時間  
 $C$  : サイクル長

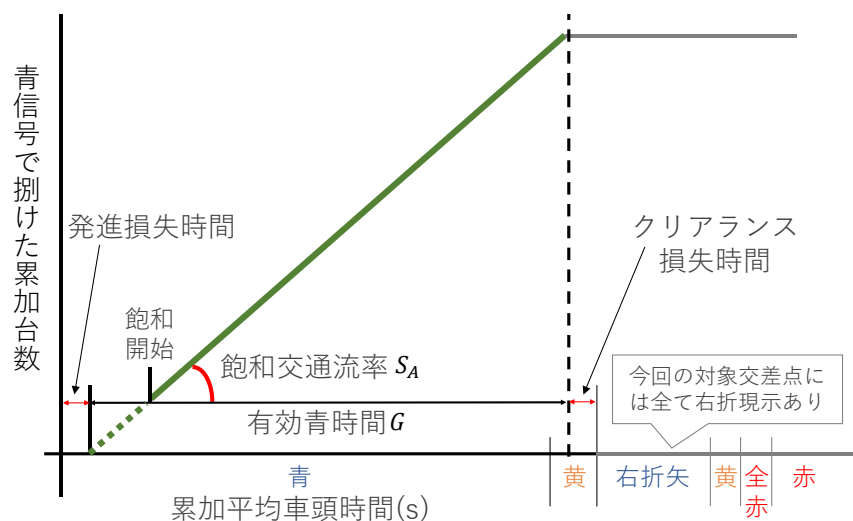


図 3-3 交通容量算定に関わるパラメータ算定の概念図

#### 3.3.1 飽和交通流率及び発進損失時間の算定

飽和交通流率は、ビデオ観測映像より計測した交差点・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からの累加平均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平均値を算出した。発進損失時間も同様に直線回帰式より求めた。

##### (1) 飽和状態判定の基準化

飽和状態の判定にあたっては、交差点及び路面状態に応じて飽和に達するまでの台数に変化が生じることが想定されたため、まずは交差点・路面状態別に停止線通過順位ごとの平均車頭時間の変化を分析した。その結果、直轄国道の3交差点と、直轄国道以外の4交差点ではほぼ同様の傾向が得られたことから、直轄国道とそれ以外の2グループ

に分けることが可能と考えられた。そこで、今後、飽和交通流率を観測する実務者等の一つの参考値とすることも念頭にし、簡易的に飽和状態を判定するための基準化をすることとした。基準化は、各交差点の車頭時間を直轄国道、直轄国道以外でグループ化し、路面状態別に停止線通過順位ごとの平均車頭時間を求め、得られた停止線通過順位別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状態に達したと判断し、表 3-2 に示す基準値を作成した。

表 3-2 基準化した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

## (2) 大型車の取り扱い

前述のとおり、現地ビデオ調査は朝、夕の通勤・帰宅時間帯（混雑時）を対象として実施した。一般的に混雑時間帯の大型車混入率は低下するという背景もあり、本調査結果から得られたサンプル内の大型車台数も非常に少なく、大型車混入率は 0%~4%弱であった。したがって大型車の乗用車換算係数を算出するに十分なデータ数が得られていないとは言えない状況から、鹿田ら<sup>3)</sup>の算定手法を参考に、交差点・路面状態別の停止線通過順位別車頭時間データ群から大型車前後の車頭時間を除外し、飽和交通流率（pcu/青 1 時間）を求めた。

### 3.3.2 クリアランス損失時間の算定

クリアランス損失時間は、一般的に青時間終了後まで継続的に車が捌けている状態で観測できるとされ、その長さは通過最後尾車が停止線を通過してから次現示青開始までの時間と定義される<sup>4)</sup>。本研究においても、青時間終了後まで飽和状態が継続するサイクルを対象とし分析を実施した。ただし、図3-3に示すように対象7交差点の流入方向には、いずれも右折専用現示が設置されている点（直進・左折車両に対する全赤時間がない）、図3-2の写真に示すように観測に使用したビデオカメラの画角や設置位置上等の制約から、交差点内における交差方向車両との交錯ポイントまでの状況が確認しづらい点等を踏まえ、本研究ではクリアランス損失時間を式(2)に定義し、黄色終了時までの時間を対象として算出した。なお、表3-1のとおりサンプルとしては全体で397台のデータが得られ、明らかに黄色終了後に交差点へ進入する直進車両は確認されなかった。

$$t_c = G + Y - \sum_{i=1}^n T_i \quad (2)$$

ここで、  
 $t_c$  : クリアランス損失時間(s)  
 $G$  : 青時間(s)  
 $Y$  : 黄時間(s)  
 $T_i$  :  $i$  番目車両の車頭時間(s)  
 $n$  : 黄表示時通過最後尾車両

## 3.4 交通容量算定に関わるパラメータの算定結果

### 3.4.1 飽和交通流率

図3-5に7交差点の飽和交通流率及び発進損失時間の分析結果を示した。まず始めに飽和交通流率の変化について着目する。乾燥路面の飽和交通流率についてはトラフィック機能が高い直轄国道が最も高く約1,800pcu/青1hであった。この中で寺島交差点は他の直轄国道の交差点よりも若干低い値となっているが、これは直進車線と左直車線の平均値であることに起因する。また、道路構造的に最も飽和交通流率基本値<sup>2)</sup>に近いと想定された福島交差点においても約1,800pcu/青1hであり、基本値2,000pcu/青1hに対し10%程度低い値を示していた。その他の補助国道、県道、市道については約1,500~1,700pcu/青1hの範囲であった。

冬期の観測結果からは、全交差点で飽和交通流率が低下することが確認され、乾燥路面に対して路面状態がシャーベットまたは凍結で16%~28%の低下、圧雪（滑）で29%~33%の低下が確認された。特に圧雪（凸凹）では49%低下する結果が得られた。また、

<sup>2)</sup> 飽和交通流率の基本値は、直進車線で2,000pcu/青1時間、右左折車線で1,800pcu/青1時間とされている。



別途1サイクル毎の飽和交通流率を求め、その分布形状を図3-6に箱ヒゲで示したが、冬期路面状態悪化時は飽和交通流率の分布が下側にスライドしていること、一元配置分散分析（有意水準5%）による検定から交差点毎の路面状態別の平均値には有意な差があることが確認された。この分布変化には、シャーベット等の積雪路面を運転する際の事故リスクを考慮して、長めの車間距離をとろうとするドライバーの運転意識変化も影響しているものと考えられ、特に圧雪（凸凹）路面では、このような運転意識の変化に加えて正常な車両制御が非常に困難になることもあり、飽和交通流率の低下が大きいと推察される。なお、参考までに図3-5、図3-6からシャーベット時における降雪量（少・中・多）との関係を見ると、福島交差点を除く愛宕、寺島、追廻橋交差点で降雪量が増加するにつれて飽和交通流率も低下している様子が伺え、時間降雪量1cm未満の少雪でも約2割前後の飽和交通流率低下が確認された。

消雪パイプが設置されている補助国道の2交差点については、観測時に消雪パイプは稼働していたが、図3-4の写真に示すようにシャーベット状の路面となっていた。観測された飽和交通流率は約1,100~1,300pcu/青1h弱であり、乾燥路面に比べ約2割程度低下していた。

消雪パイプは主に道路のセンターライン上に埋設され、降雪を感知してノズルから地下水が散水される構造であり、路肩方向に向かって流水し路面上の雪を融かす仕組みである。しかしながら消雪パイプの設計時間降雪深<sup>5)</sup>を上回る降雪強度の場合や強降雪が続いた場合等には、その消雪能力が追いつかず、結果としてシャーベット状の路面が形成されてしまうことがある。このような消雪パイプの消雪能力の影響のほか、路肩に堆雪した雪による車線幅員の減少も影響していると考えられ、消雪パイプ設置区間といえども飽和交通流率にマイナスの影響を及ぼしているものと推察される。ただし、消雪パイプ設置区間においては、その消雪効果により圧雪路面が形成されにくく<sup>6)3)</sup>、更なる飽和交通流率低下を抑制していることから冬期交通の円滑化に大きく貢献しているといえる。

<sup>3</sup> 福井県工業技術センター 建設技術研究部による散水消雪における必要散水量設計要領によれば、消雪パイプ等の散水消雪には、「圧雪抑制散水消雪」と定義される効果が明記されている。具体的には、路面積雪そのものを消雪する効果よりも、むしろ消雪水と積雪が混ざりあって水べた雪となることによって路面積雪の圧雪化を抑制して、圧雪化による車両のスリップ防止や除雪の容易性を確保する効果と定義されている。



図 3-4 消雪パイプ設置区間における観測時の路面状態

### 3.4.2 発進損失時間

発進損失時間は、全交差点ともに乾燥路面では約 2 秒～3 秒との結果が得られた。一方、冬期積雪路面時においては乾燥路面と比べて発進損失時間が縮小する傾向が確認された（図 3-5）。ここで、要町交差点の圧雪凸凹時を 0 秒としているのは、直進回帰式から求めた発進損失時間がマイナスの値を示したためである。

この発進損失時間縮小のメカニズムについて、福島交差点を例に図 3-7 に示し分析した。まずは、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、乾燥路面の発進時平均車頭時間は約 3.10 秒であるのに対し、シャーベットでは約 3.50 秒と 0.4 秒程度増加している。次に飽和状態開始後の平均車頭時間の変化を分析した。その結果、発進時平均車頭時間の増加量以上に飽和状態開始後の車両 1 台 1 台の車頭時間の増加が大きくなっており、乾燥路面の飽和平均車頭時間は約 1.96 秒であるのに対し、シャーベットでは約 2.54 秒と 0.58 秒の増である。「発進時平均車頭時間増分 < 飽和時平均車頭時間増分」という関係性から発進損失時間が縮小していくものと考えられた。なお、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  $p<0.01$ ）

この発進損失時間の結果から、冬期積雪路面においては有効青時間がわずかではあるが増加することとなり、交通容量算出時にはプラスの方向に働くものであるが、前述の飽和時平均車頭時間の増分である 0.58 秒が交差点通過車両分累計されることにより交通容量は大きく低下する。言い換えれば、飽和交通流率の低下であり、やはりこれが信号交差点の交通容量低下に大きな影響を及ぼすものであるといえる。

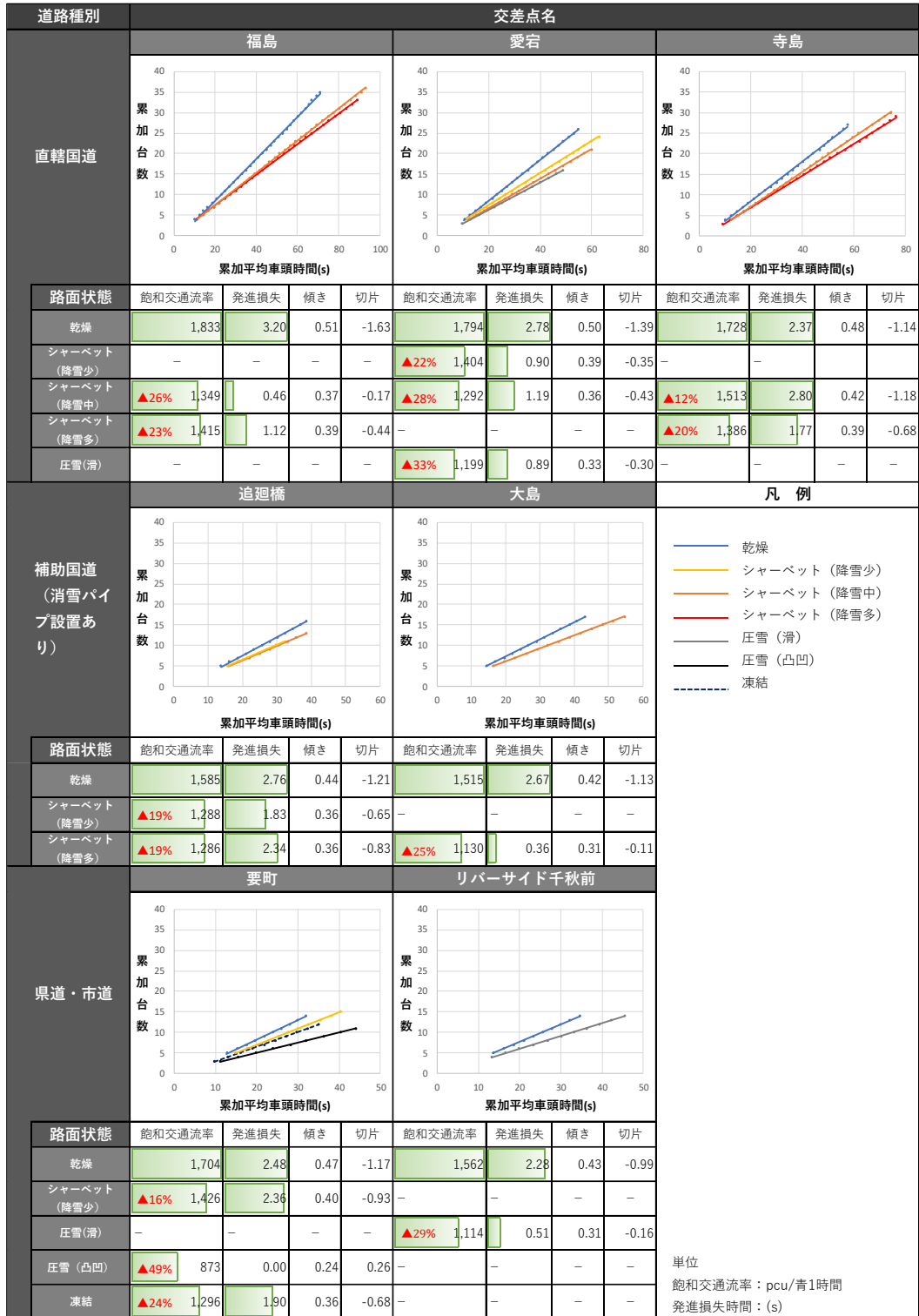


図 3-5 飽和交通流率及び発進損失時間の算定結果<sup>4</sup>

<sup>4</sup> 各線分の右端点異なるのは次の理由による。第一に、積雪路面では1台当たりの車頭時間が増加するため、乾燥時と同程度の交通量を処理するとしても必要な青時間が増加すること。第二に、表 3-1 に示すように観測日によって分析サンプル数が異なることに起因する。

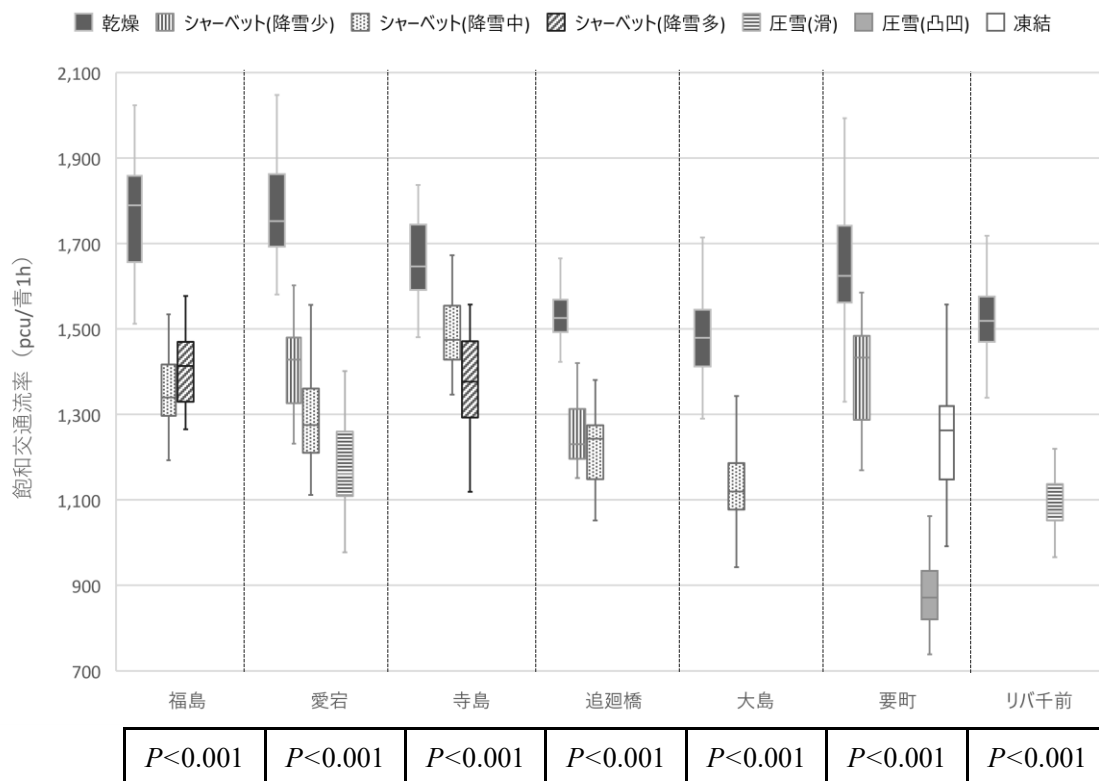


図 3-6 路面状態別の飽和交通流率分布

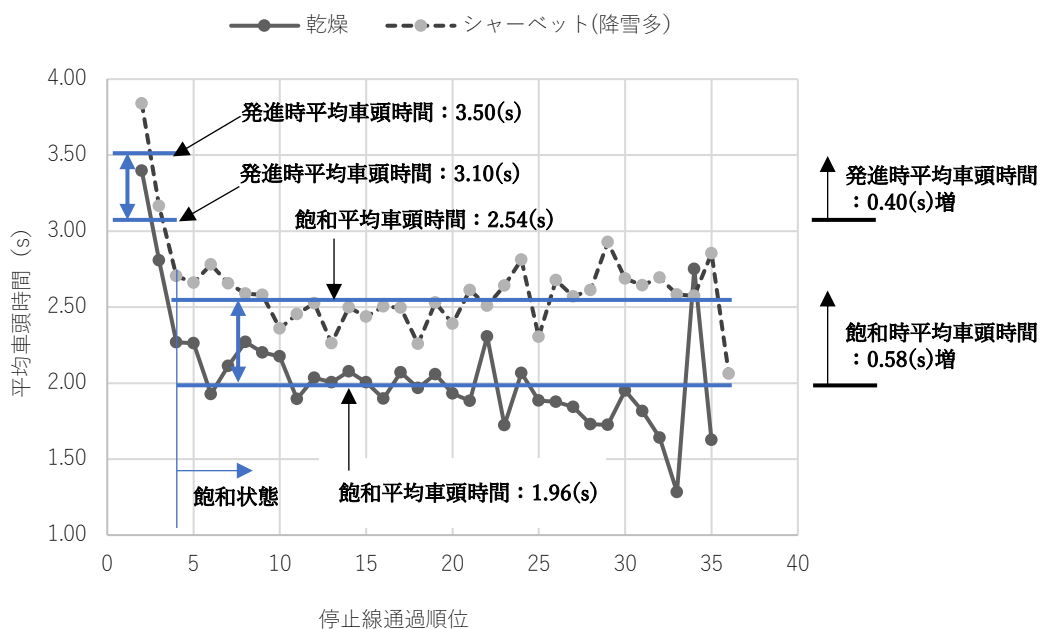


図 3-7 乾燥路面とシャーベットの平均車頭時間分布 (例. 福島交差点)

## 3.4.3 クリアランス損失時間

各交差点のクリアランス損失時間算定結果を表 3-3, その分布については箱ヒゲで図 3-8 に示した。冬期積雪路面時には, 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縮小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「交差点へ進入」する場合が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, 前述の飽和交通流率等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。その結果, 全交差点で有意な差は認められなかった。

今回の研究ではクリアランス損失時間に有意差は認められなかったものの, 飽和交通流率低下と同じく降積雪時にはドライバーの運転意識が安全側に働く (乾燥路面よりも車間距離を長めにとる, 急挙動を避ける等) ことや, 走行速度の低下から無理な交差点進入をとりやめる, またはスリップリスク回避のため停止線で安全に停車できない場合には交差点へ進入するといった黄色表示時のドライバーの挙動に変化が生じている可能性は否定できない。なお, 要町の圧雪凸凹では黄表示時に交差点へ侵入する車両は確認されていないため数値の記載をなしとしている。

表 3-3 クリアランス損失時間算定結果

道路種別	交差点名	路面状態	サイクル数	クリアランス損失時間(s)	
				平均値	標準偏差
直轄 国道	福島	乾燥	22	1.87	0.79
		シャーベット(降雪中)	28	1.42	1.09
		シャーベット(降雪多)	22	1.53	0.72
	愛宕	乾燥	16	1.67	1.20
		シャーベット(降雪少)	20	1.76	0.92
		シャーベット(降雪中)	16	1.51	0.87
		圧雪(滑)	18	1.37	0.81
	寺島	乾燥	20	1.90	0.87
		シャーベット(降雪中)	21	1.25	1.05
シャーベット(降雪多)		22	1.80	1.10	
補助 国道 <sup>5</sup>	追廻橋	乾燥	27	1.74	0.62
		シャーベット(降雪少)	14	1.96	0.58
		シャーベット(降雪中)	7	1.27	0.67
	大島	乾燥	30	1.58	0.69
		シャーベット(降雪中)	17	1.58	0.92
県道	要町	乾燥	23	1.68	0.94
		シャーベット(降雪少)	23	1.94	0.85
		凍結	17	1.49	0.77
		圧雪(凸凹)	0	-	-
市道	リバ千前	乾燥	13	2.03	0.61
		圧雪(滑)	21	1.84	0.62

<sup>5</sup> 補助国道の追廻橋交差点, 大島交差点に消雪パイプ設置あり

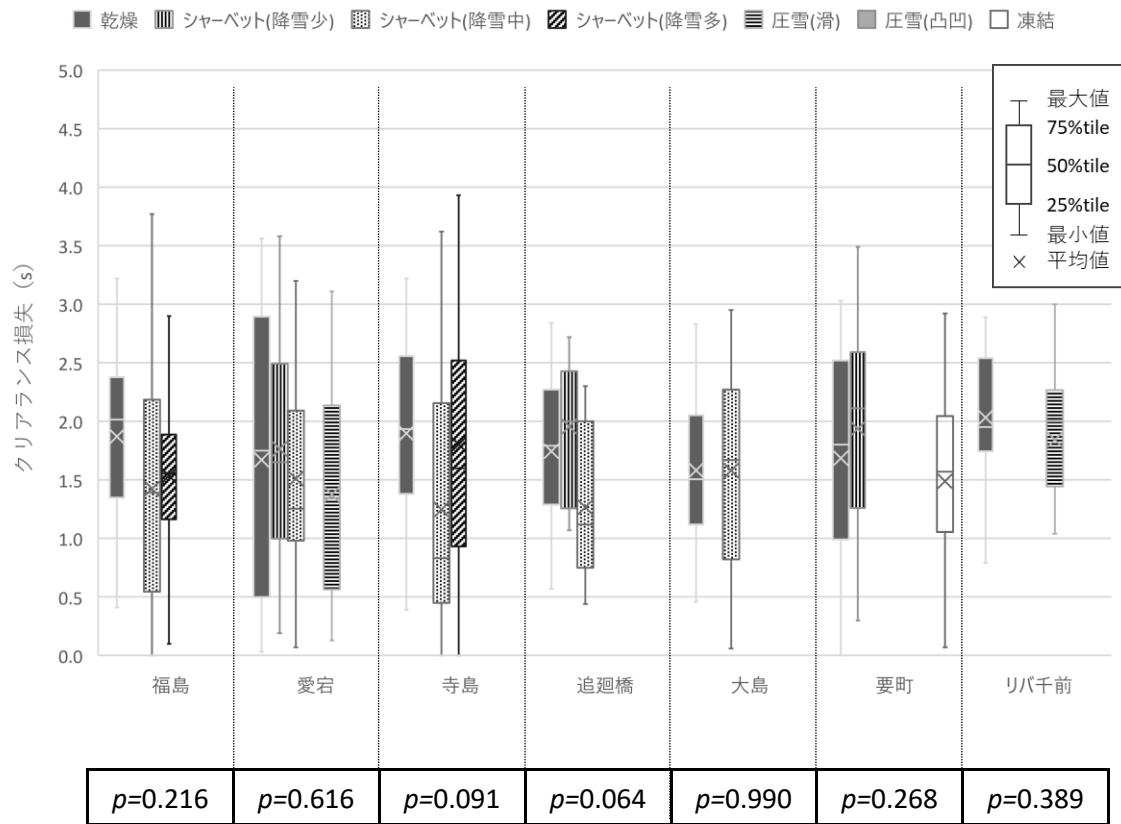


図 3-8 路面状態別のクリアランス損失時間分布

### 3.5 冬期路面状態による信号交差点交通容量の変化

本研究から得られた飽和交通流率，発進損失時間，クリアランス損失時間を用い，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（表3-4）。また，図3-9に道路種別や消雪パイプの設置有無により区分し平均化した信号交差点交通容量指数を整理した。交通容量指数とは乾燥路面を100とした場合の比率である。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，圧雪で約3～5割低下していた。

ここまでの結果を以下①～③に整理した。

- ①冬期積雪路面では飽和交通流率は大きく低下。
- ②冬期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は有意差なし。

②，③から，冬期積雪路面では有効青時間が若干ではあるが増加することとなる。しかしながら，信号交差点交通量に与える影響については飽和交通流率と比し微々たるものであるため，信号交差点交通容量の低下は，飽和交通流率の影響が支配的であるといえる。

また，道路種別や消雪パイプの有無によらず，交通容量の低下率は概ね同程度であり，路面状態によってその低下率は大きく変動していた。

表 3-4 交通容量及び交通容量指数の算定結果

道路種別	交差点名	路面状態	平均値					交通容量指数 (対乾燥)
			飽和交通流率 (pcu/青1h)	発進損失時間 (S)	クリアランス 損失時間 (S)	有効 青時間 (S)	交通 容量 (台/h)	
直轄 国道	福島	乾燥	1,833	3.20	1.87	93.9	1,118	100%
		シャーベット (降雪中)	1,349	0.46	1.42	97.1	851	76%
		シャーベット (降雪多)	1,415	1.12	1.53	96.3	885	79%
	愛宕	乾燥	1,794	2.78	1.67	61.5	883	100%
		シャーベット (降雪少)	1,404	0.90	1.76	63.3	711	81%
		シャーベット (降雪中)	1,292	1.19	1.51	63.3	654	74%
		圧雪 (滑)	1,199	0.89	1.37	63.7	611	69%
	寺島	乾燥	1,728	2.37	1.90	73.7	849	100%
		シャーベット (降雪中)	1,513	2.80	1.25	74.0	746	88%
シャーベット (降雪多)		1,386	1.77	1.80	74.4	688	81%	
補助 国道 <sup>6</sup>	追廻橋	乾燥	1,585	2.76	1.74	33.5	408	100%
		シャーベット (降雪少)	1,288	1.83	1.96	34.2	339	83%
		シャーベット (降雪中)	1,286	2.34	1.27	34.4	340	83%
	大島	乾燥	1,515	2.67	1.58	79.7	869	100%
		シャーベット (降雪中)	1,130	0.36	1.58	82.1	667	77%
県道	要町	乾燥	1,704	2.48	1.68	38.8	473	100%
		シャーベット (降雪少)	1,426	2.36	1.94	38.7	394	83%
		凍結	1,296	1.90	1.49	39.6	367	78%
		圧雪 (凸凹)	873	0.00	4.00	39.0	243	51%
市道	リバ千前	乾燥	1,562	2.28	2.03	43.7	620	100%
		圧雪 (滑)	1,114	0.51	1.84	45.7	462	75%

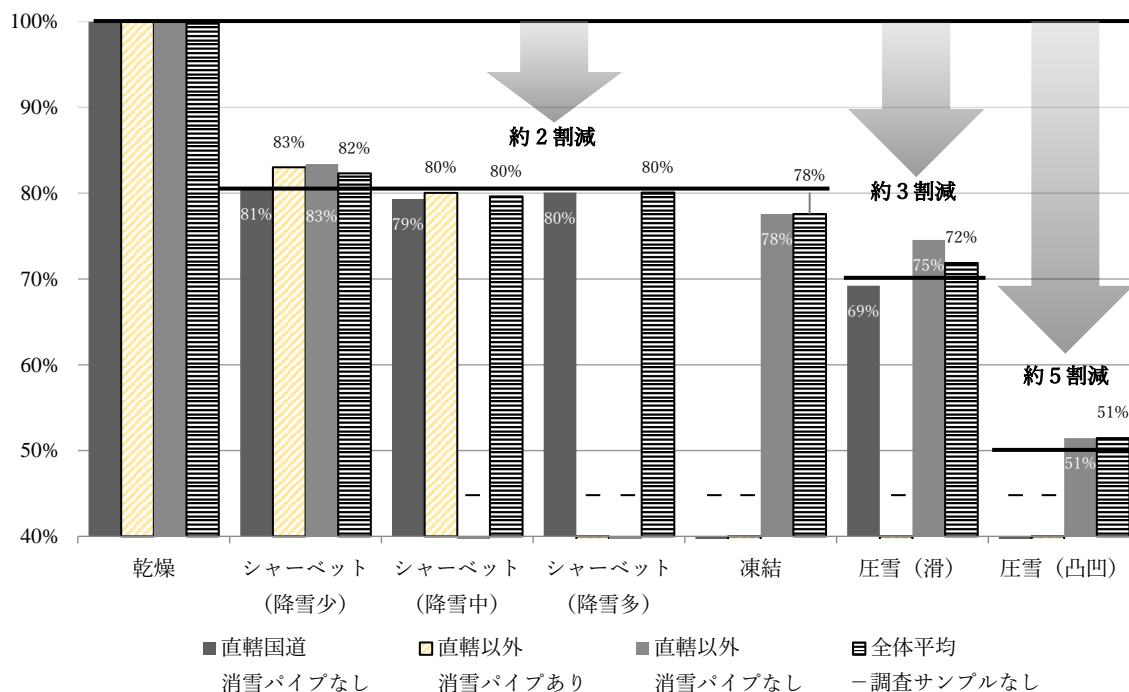


図 3-9 道路種別, 消雪パイプ有無による信号交差点交通容量指数

<sup>6</sup> 補助国道の追廻橋交差点, 大島交差点に消雪パイプ設置あり



### 3.6 本章の小括

本章では第2章での結果を踏まえ、降積雪による信号交差点交通容量変化を調査・分析することとし、新潟県長岡市を対象地域として選定し約1万台の調査サンプルから分析を実施した。分析にあたっては、消融雪施設設置区間と機械除雪対応区間とでの容量低下の差異、また管轄する道路管理者（除雪レベル）による差異について主に解明することに主眼を置いた。本章で得られた知見を以下に整理する。

①複数交差点の現地調査から、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、冬期降積雪による路面状態の悪化が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。

②冬期路面状態による信号交差点交通容量低下率は以下に示す通りであり、路面状態により大きく変動する。

- ・シャーベット : 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 : 22%の低下 (約2割)

※ただし圧雪凸凹、凍結は1交差点のみの結果であり、さらなるデータの蓄積が望ましいところである。

③『同一の積雪路面状態』であれば、道路種別つまり除雪水準の異なるポイントでも信号交差点交通容量低下率はほぼ等しいことが明らかになった。なお、シャーベット状路面の分析結果からみると、消雪パイプが設置されていても同様の結果であった。ただし、『同一降雪』条件下では、道路管理者ごとの除雪水準の差や交通量により路面状態が異なっている事を現地調査から確認している。すなわち、除雪水準の高い直轄国道がシャーベットであるのに対し、その他の補助国道、県道等に関しては圧雪(滑らかまたは凸凹)である頻度が非常に多かったという事実である。実際の交通処理上では、除雪水準により交差点交通容量に影響が生じていることとなる。この点は非常に重要なポイントである。

④飽和交通流率低下は、他地域または他国において過去に行われた研究報告結果とほぼ同様の結果(表3-5)であり、近年の車両性能向上や地域性(雪質等)による違いは比較的小さいものと推察され、降積雪地域においては、信号交差点交通容量が平均的に見れば概ね2割低下すると考えて差し支えないと考えられる。また、消雪パイプ設置区間においても乾燥路面に対して約2割の低下が確認されたことも踏まえ

ると、2割までの容量低下は許容範囲とすべきと考えられ、それ以上の容量低下を抑制するよう留意する必要があるだろう。

表 3-5 降積雪時の飽和交通流率変化<sup>7</sup>

路面 状態	細分類	低下率				
		本研究		既往研究		
				石井ら <sup>7)</sup>	J.Asamer <sup>8)</sup>	Perrin <sup>9)</sup>
シャー ベット	降雪少	16～22%	約2割	-	3～15%	13～25%
	降雪中	12～28%		-		
	降雪多	19～25%		-		
圧雪	滑らか	29～33%	約3割	13～22%	20～33%	20%
	凸凹	49%	約5割			
凍結		24%	約2割	12～27%	-	-
観測地域		新潟県長岡市		北海道	ウィーン	アメリカユタ州

⑤本調査結果を通し、降積雪地域における信号交差点計画・設計の観点からみると、道路種別や地域性（雪質）によらず、冬期交通容量補正係数として最低2割の容量低下を考慮した計画設計に留意すべきである。ただし、今後も様々な地域での継続的な調査によりデータ蓄積することが望ましい。

⑥一方で、道路除雪の観点からみれば、降積雪時の信号交差点除雪を如何に丁寧に実施するかが重要となることは言うまでもない。特に交通需要が多い信号交差点については、容量低下に伴う遅れ時間の増大が懸念されるため、十分に注意して除雪するほか、交通円滑化のためにも圧雪（凸凹）路面を如何に生成させないように対処するかが重要である。この点からすると、消雪パイプの効果は非常に大きいと言える。

本章による調査・分析により、第2章の結論の裏付けをすることができたと言える。つまり、降積雪時における地方都市の市街地周辺で発生する交通混雑悪化の最大の要因は信号交差点容量低下であると考えるのが妥当であり、これに伴い交差点通過にかかる所要時間（遅れ時間）が増大することで、交通混雑悪化につながっているものと結論付けた。よって、消融雪施設導入に最も効果的なポイントは信号交差点であると考え、第5章ではどのような交差点形状、交通需要の交差点を対象として導入評価をすべきか明らかにする。

<sup>7</sup> 既往研究における圧雪に関しては、路面が雪に覆われた状態とされており、凸凹状か否かについては不明な点ではあるが、概ね本研究の圧雪（滑らか）状と近似した数値となっている。

参考文献【第3章】

- 1) 国土交通省：全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査 集計表，平成22年度，平成27年度。
- 2) 国土交通省：新潟県渋滞対策協議会，国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所ホームページ，最終アクセス2018.12，<http://www.hrr.mlit.go.jp/niikoku/work/traffic-jam.html>。
- 3) 鹿田成則，片倉正彦，大口敬，河合芳之：飽和交通流率の基本値変動の実態解析，土木計画学研究・講演集 vol25，pp.18，2002。
- 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，土木計画学研究・講演集 vol32，pp.229，2005。
- 5) 高木茂，佐藤芳英：国道17号関山地区の登坂不能車対策，（社）雪センターホームページ，<http://www.yukicenter.or.jp/whatsnew/071024/ronbun22.pdf>
- 6) 福井県工業技術センター，建設技術研究部：年報 地域技術 第18号，第3編 技術基準資料等，散水消雪における必要散水量設計要領（福井県雪対策・建設技術研究所案），2005発行。
- 7) 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。
- 8) J.Asamer, H.J.Van Zuylen,W, Saturation flow under adverse weather conditions, Journal of the Transportation Research Board, No. 2258, pp.103-109, 2011.
- 9) Perrin, H. J., P. T. Martin, and B. G. Hansen : Modifying Signal Timing During Inclement Weather, Journal of the Transportation Research Board, No. 1748, pp. 66-71, 2001.



## 第4章 道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定



## 第4章 道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定

本章では、標題の通り、冬期間の交通時間価値推定について述べる。

前章までの整理において、冬期交通への影響は信号交差点が大きなポイントになることが明確化されたが、信号交差点に焦点を絞って、その利用者の時間価値を直接的に計測することは現実的ではない。また、本研究の対象とするのが道路であることを踏まえれば、自動車ドライバーによる経路選択行動結果から時間価値を推定することが妥当であると考えられる。よって、本研究では広域的な道路ネットワークにおける経路選択行動の分析結果から冬期交通時間価値を推定する。

### 4.1 交通時間価値の推計手法

一般にドライバーが出発地から目的地まで移動する際には、そのトリップ長に応じて一般道路のみを利用する経路と高速道路を利用する経路の選択肢から、個々人の属性に応じ利便性の高い経路が選択されている。本研究ではこの経路選択に対して、ドライバーの様々な個人属性を加味した二項ロジットモデルを適用した。その変数として移動にかかる所要時間と走行費用が変化した場合の経路選択行動を明らかにし、モデルの所要時間と走行費用のパラメータから交通時間価値を車種別に推定した。いわゆる選好接近法による時間価値の推定である。

選好接近法による時間価値は次の考え方<sup>1</sup>から導かれる。ある経路選択行動データより推計される個人の効用関数 $U$ が式(1)のとおり定義されるとすると、時間価値は時間の限界効用<sup>1</sup>と費用の限界効用の比率で算出される。つまり効用関数を時間と費用それぞれで偏微分したものの比率である(式(2))。

$$U = \alpha T + \beta C + \dots \quad (1)$$

$U$  : 効用

$T$  : 時間

$C$  : 費用

$\alpha, \beta$  : パラメータ

$$\text{時間価値} = \frac{\frac{\partial U}{\partial T}}{\frac{\partial U}{\partial C}} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (2)$$

本研究においては、冬期と非冬期において経路選択行動に変化が生じるとの仮説を設定しているため、非冬期と冬期、さらに冬期においては降雪がない場合と降雪がある場

<sup>1</sup> 限界効用とは、物やサービス等の財を1単位増やして消費する事による効用の増加分

合に分けて推定を行った。なお、推定にあたっては SP 調査による推定を基本としたが、結果の妥当性確認の観点から実行履歴（ETC2.0 走行履歴データ）による分析も行っている。

SP 調査を基本としたのは、ETC2.0 等の実際の行動履歴データには個人情報保護の観点から個人属性（トリップ目的や乗車人数が不明）が含まれていないことが大きく影響している。特に貨物車に関しては、その経路選択行動に関する塩田ら<sup>2)</sup>の研究によれば、貨物車の経路選択の要因として高速道路料金の収受状況やトラック保有台数などの事業者属性の影響が大きいと報告されている。したがって、属性の把握ができない ETC2.0 による実行履歴ベース（RP）の推定は妥当性確認に留め、本研究では SP 調査を主として推定するものとした。



## 4.2 SP 調査による冬期交通時間価値推定

### 4.2.1 インタビュー調査

SP 調査に向けたアンケートの設計にあたり、特に貨物車に関しては事業者属性の影響をあらかじめ把握する必要があると考え、インタビュー調査による輸送実態の概要把握を行うこととした。Feo-Valero ら<sup>3)</sup>によると、貨物輸送の交通時間価値を推定する上で重要なのは輸送の意思決定者の特定であると述べられている。塩田ら<sup>2)</sup>による報告でも貨物輸送の輸送経路の意思決定者は、運行管理者であるとされていることを受けたものでもあり、調査概要は下表 4-1 に、各事業者の主な輸送経路と降積雪時の輸送に関する状況について表 4-2 に示した。

表 4-1 インタビュー調査の概要

調査対象	新潟県トラック協会及び 新潟県内の貨物事業者の運行管理者
調査期間	令和元年 8 月
主な調査項目	・ 普段の輸送経路 ・ 経路選択要因 ・ 降積雪時の対応 など

表 4-2 各事業者の輸送経路と降積雪時の状況

事業者	主輸送経路	降積雪時の輸送に関する状況
A 社	高速道路	普段から高速道路利用のため経路変更なし
B 社	一般道路	予定を前倒しにした輸送あり
C 社	一般道路	状況に応じた経路変更あり

一言で貨物車と言っても、小型貨物車～大型貨物車まで存在し、車種や事業内容によってトリップ長が大きく異なると想定される。そこで、インタビュー対象の選定にあたっては、まず新潟県トラック協会へのインタビューから全体像を把握することとした。

新潟県トラック協会には、県内の営業用貨物車を持つ全ての貨物事業者が所属している。インタビューの結果、近年の働き方改革の影響が大きく、荷主からの収受料金のベースアップや拘束時間を減少させるために以前に比べて高速道路の利用を促す動きが強まっているとの業界の近況を伺った。ただし各事業所の規模や営業範囲によっては、まったく高速道路を選択しない可能性もあるとの回答を受け、営業範囲の異なる新潟県内の 3 事業所、A 社（全国規模）、B 社（地場中心）、C 社（県内中心）の運行管理者へ輸送の実態について話を伺った。

A社は全国規模で輸送を行っている企業である。季節に関わらず高速道路を選択している会社であり、県内トリップでも短トリップを除いて<sup>2</sup>高速道路を選択している。これは荷主から高速道路料金を収受出来ている状況に加え、時間をお金で買う意識が強く、荷主へ荷物を輸送する状況だけでなく、空荷の際にも高速道路を利用している。また、経路選択にあたっては車両の維持費も強く考慮されているとの話があった。乗用車と比較して貨物車はブレーキパッドやエンジンオイル、タイヤなどの消耗が激しいため、走行速度が安定して燃費が良く、車両負担が少ない高速道路を選択している。加えて、冬期には割増料金の収受がある。寒冷地域においては、荷主から冬期割増料金の収受が義務付けられているが、実際にはこの収受ができていない会社が多いのではとの回答を得た。

B社は地場を中心に自社の建設重機を主に輸送する企業である。この企業は、地場を中心としているためトリップが短い輸送が多く、季節に関わらず一般道路を選択している会社であった。また、基本的に自社内で完結する業務が多く、降積雪の前に仕事を前倒しするなど調整できるため、冬期には降積雪を予測して輸送計画を行っているとの回答を得た。一方で、降積雪時は輸送をやめ、別の業務を優先しているとの回答も得た。

C社は県内を中心に建設材料を主に輸送する企業である。気象などの状況に応じて経路選択を行うことはあるが、基本的に一般道路を選択しているとの回答であった。これはC社の業務が建設中の新規道路への輸送関係が多く、経路選択が生じないトリップが多いためであった。また、輸送経路によっては特殊車両通行許可申請をしているため、予め走行経路が定まっており、突発的な経路選択を行うことが出来ないことも影響している。

以上より、貨物輸送に関しては高速道路固定層、一般道路固定層が存在していること、特殊車両の場合においては経路選択の自由がないことを把握することができた。よって、単純に一般道と高速道路の2択によるアンケート調査では実態を反映したものとはならないと考え、事業所の特性にあわせた回答を得られるように調査内容を検討することとした。

---

<sup>2</sup> 新潟東港付近に立地しており、新潟バイパス・新新バイパス並行区間については、トリップ長に応じてバイパスを活用されている。

## 4.2.2 アンケート調査の設計と実施

## (1) 乗用車を対象としたアンケート調査

乗用車の交通時間価値に関するアンケートの設計にあたっては、加藤らの調査方法<sup>4)</sup>を参考に設計を行った。調査の概要は表 4-3 の通りであり、交通時間価値の推定に必要な経路選択行動に加え、冬期降積雪時における経路選択に関する意識調査をあわせて実施している。

表 4-3 アンケートの概要

調査方法	Web 調査法
調査対象	新潟県内移動での高速道路利用者
抽出方法	1年以内に新潟県内移動で高速道路を利用した方
調査期間	平成 31 年 3 月
目標回答数	400 人
回答数	618 人
うち有効回答数	356 人
主な調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個人属性</li> <li>・高速道路利用状況</li> <li>・高速道路と一般道路の選択行動</li> <li>・降積雪への意識</li> </ul>

初めに、高速道路と一般道路の経路選択行動を対象とした項目を設計した。その際、加藤らの既往研究<sup>4)</sup>を参考とし、実際の経路選択行動結果 (RP) について質問した後に、その行動結果をベースとして個人の選好を問う方法を用いた。この方法による分析結果は、単純な SP 調査のみの場合と比較してより精度の高い結果が得られており、今回の設計ではこれに倣った。具体的には、図 4-1 に示したように RP 質問による高速道路利用 OD をベースとして、そこから提示した水準に応じて一般道路に転換するかどうかを尋ねる形式とした。

アンケート手法は、調査内容の煩雑<sup>3)</sup>さから紙ベースによるアンケートは断念し Web アンケートを採用した。まずは、スクリーニング調査により新潟県内の移動において高速道路を利用するドライバーを対象として抽出した。そのうえで、新潟県内移動にてよく利用する高速 IC ペアを回答してもらい、その際の所要時間と一般道路を利用した場合の所要時間を尋ねた。その時間をベースに、設定した水準により所要時間及び走行費用を変化させた場合の経路選択を行ってもらった。各質問の水準については、直交計画法により求め表 4-4 に示した 3 パターンとした。また、あわせて実施した雪道の運転に

<sup>3)</sup> RP を尋ねたうえで、その所要時間と経費をベースとし、後述する水準に応じてそれらを変動させる必要があるため、紙ベースでの実施が難しいと判断。

関する意識調査内容について図 4-2 に示す。さらに、図 4-1 に例示したように、回答者には以下の3つの状況を想定してもらい回答を尋ねた。

①降雪がない状況（非冬期）

②降雪はないが翌日に雪が降り積もることが予想される状況（冬期）

③現在進行形で雪が降り続いており、路面上にも雪が降り積もっている状況

（冬期における大雪注意報程度の状況を想定）

なお、「降雪なしで翌日に雪が降り積もる状況」については、翌日の悪天候の影響を避けるために予定を前倒しで実施することで時間価値が向上しているのではないかとの仮説を立てたものを検証する目的で設定したものである。

**Q**  
**【利用経路についてお伺いします】**  
 Q2でお答えしていただいた状況を想定していただきます。

乗車\_\_IC 降車\_\_IC 高速道路料金\_\_円  
 所要時間\_\_分 高速道路を利用しない場合（一般道路）\_\_分を想定して下さい。

次の状況の場合一般道路と高速道路どちらを選択しますか。  
 所要時間の平均が変化し、所要時間のばらつきは変化しないものとします。

1 ①一般道路：所要時間\_\_分  
 ②高速道路：所要時間\_\_分，料金\_\_円

A:降雪なし ▼  
 B:降雪なし（翌日に雪が降り、積もることが予想されます） ▼  
 C:降雪あり（現在雪が降り続いており、路面上にも雪が降り積もっています） ▼

図 4-1 時間価値に関するアンケートの実施例

表 4-4 時間価値のアンケートの水準

水準	一般道路	高速道路	
	走行時間 (T)	走行時間 (T)	走行費用 (C)
1	$T \times 1.0$	$T \times 1.25$	$C \times 2$
2	$T \times 0.8$	$T \times 1.25$	$C \times 1$
3	$T \times 0.8$	$T \times 1.43$	$C \times 3$

1 雪道を運転することは怖い  
 2 雪道を運転することは疲れる  
 3 降積雪時は高速道路よりも一般道路のほうが渋滞しやすいと思う  
 4 降積雪時は高速道路よりも一般道路のほうが到着予想時間の信頼性が低いと思う  
 5 降積雪時は一般道路よりも高速道路のほうが除雪されていると思う  
 6 雪道の混雑を避けるために利用可能であれば短区間でも高速道路を利用したい  
 ①とてもそう思う ②そう思う ③どちらかといえばそう思う  
 ④そう思わない ⑤全然思わない

1 除雪されている道を優先的に通るようにしている  
 2 消雪パイプのある道を優先的に通るようにしている  
 3 雪が降り出すことを予測して、予定を前倒しにすることがある  
 4 雪が降り出すことを予測して、高速道路を利用することがある  
 5 降積雪時に利用経路を変えることがある  
 6 雪道の混雑を避けるために利用可能であれば短区間でも高速道路を利用している  
 7 降積雪時に目的地に行くことをやめることがある  
 ①とても当てはまる ②当てはまる ③どちらかといえば当てはまる  
 ④当てはまらない ⑤全然当てはまらない

図 4-2 雪道の運転に対する意識調査

## 第4章 道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定

Web アンケートを実施した結果、回答数 618 人に対し、356 の有効回答票を得た。有効票の抽出にあたっては、回答にかかった時間が平均と比較して極端に短い票や、回答の信頼性が低いと判断される票は無効票とした。例えば、ある回答者に対し図 4-1 に示す選択を 3 水準（表 4-4）尋ねる。同一気象条件下であれば、水準 3 は水準 2 と比較して一般道路の効用が高くなるにも関わらず、水準 2 では一般道路を選択し、水準 3 では高速道路を選択した回答者を無効票とした。

以上から得られた有効回答票の個人属性を表 4-5 に示した。回答者の年齢は 30 代以上が多く、既婚者・子持ちであり、新潟市居住者が 4 割を占めている。居住市町村の分布は県内の市町村別人口比率とほぼ整合<sup>4</sup>しており、世帯年収についても県内の実態とほぼ整合<sup>5</sup>していることを確認しており、母集団の分布と大きな乖離はないものと判断した。

表 4-5 有効回答票の個人属性

個人属性 (n=356)			
性別	%	未既婚	%
男性	57.9	未婚	27.2
女性	42.1	既婚	72.8
職業	%	子供の有無	%
公務員	5.6	子供なし	32.3
経営者・役員	3.1	子供あり	67.7
会社員(事務系)	15.4	年齢	%
会社員(技術系)	16.0	20才～24才	2.5
会社員(その他)	19.9	25才～29才	5.1
自営業	6.5	30才～34才	14.3
自由業	0.8	35才～39才	11.0
専業主婦(主夫)	11.5	40才～44才	16.3
パート・アルバイト	11.2	45才～49才	14.0
学生	0.0	50才～54才	10.4
その他	2.5	55才～59才	11.8
無職	7.3	60才以上	14.6
世帯年収	%	居住市町村	%
200万未満	5.3	新潟県上越市	7.3
200～400万未満	16.6	新潟県糸魚川市	1.1
400～600万未満	21.9	新潟県妙高市	0.6
600～800万未満	15.4	新潟県長岡市	13.8
800～1000万未満	10.7	新潟県三条市	5.3
1000～1200万未満	5.3	新潟県柏崎市	4.5
1200～1500万未満	2.0	新潟県小千谷市	1.7
1500～2000万未満	0.3	新潟県加茂市	1.1
2000万円以上	0.6	新潟県十日町市	1.7
わからない	7.9	新潟県見附市	3.7
無回答	14.0	新潟県魚沼市	1.7
個人年収	%	新潟県南魚沼市	2.8
200万未満	25.8	新潟県田上町	0.8
200～400万未満	28.9	新潟県津南町	0.3
400～600万未満	15.7	新潟県刈羽村	0.3
600～800万未満	7.3	新潟県新潟市	43.5
800～1000万未満	2.8	新潟県新発田市	2.0
1000～1200万未満	0.0	新潟県村上市	0.6
1200～1500万未満	1.1	新潟県燕市	2.2
1500～2000万未満	0.0	新潟県五泉市	1.1
2000万円以上	0.0	新潟県阿賀野市	1.1
わからない	3.9	新潟県胎内市	1.7
無回答	14.3	新潟県聖籠町	0.8
		新潟県佐渡市	0.3

<sup>4</sup> にいがた県統計ボックスによる人口時系列データ（市町村別）、2019.3.1より確認。

<sup>5</sup> 平成 26 年全国消費実態調査によれば、新潟県の世帯年収は平均約 630 万円、中央値 500～600 万円に位置している。本調査は 5 年ごとに実施されており、最新調査は令和元年度となるが、結果は令和 2 年度 6 月時点で未公表である。

(2) 貨物車を対象としたアンケート調査

本研究では、インタビュー調査で助力いただいた新潟県トラック協会所属企業にご協力を頂きアンケート調査を実施することとした。調査概要は表 4-6 の通りである。また、アンケートの設問の流れを図 4-3 に示す。調査時には、乗用車と同じように冬期降積雪時における経路選択に関する意識調査をあわせて実施した。

図 4-3 に示すように、SP 調査にて回答者に提示する輸送経路は、県内または県外への輸送先に応じて高速道路を利用する経路と一般道路を利用する経路、または、通常の高速度道路を利用する経路と、より信頼性の高い高速道路を利用する経路の 2 種類を提示した。これは、インタビューにて普段高速道路を利用している事業者には、高速道路利用の固定層が含まれ、経路選択を行わない事業者も存在すると把握したためである。そこで、仮想的な状況として 2 つの高速度道路間での選択行動を尋ねるものとした。アンケート調査票を図 4-4、図 4-5 に例示した。各質問の水準については、直交計画法により求め表 4-7 に示した 3 パターンとした。なお、貨物車に関しては、SP 調査にて提示した 2 つの輸送経路のうち走行時間が短い経路を、これ以降、走行時間短縮経路と呼ぶ。

表 4-6 アンケートの概要

調査対象	新潟県トラック協会に所属する貨物事業者
配布方法	新潟県トラック協会の会報に封入&全事業者に回答依頼の電話掛け
回収方法	Fax or Web 回答
調査期間	令和元年 10 月
対象事業者数	752 社（佐渡・霊柩を除く）
回答数	123 社（Fax : 95 社, Web : 28 社）
回収率	16.4%
主な調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 普段の輸送経路</li> <li>・ 経路選択要因</li> <li>・ 気象別の経路選択（SP）</li> <li>・ 降積雪時の対応 など</li> </ul>

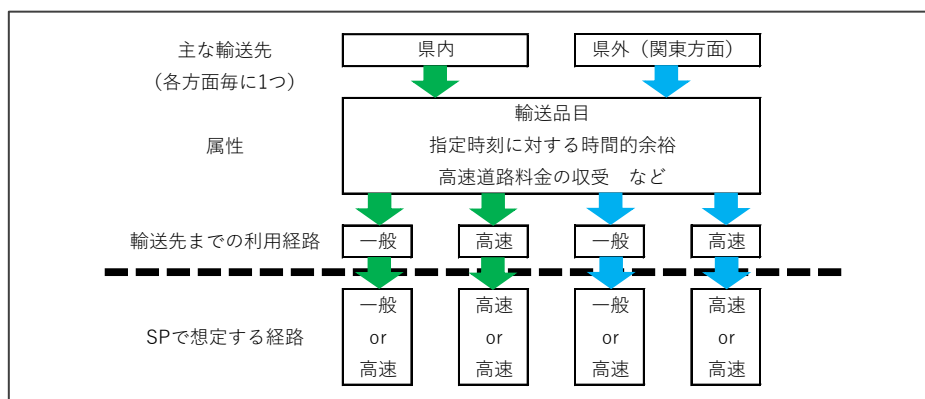


図 4-3 アンケートの主な流れ

問2 主な輸送先について教えてください（ない場合は記入の必要はありません）

	県内	県外（関東）	県外（関東以外）
主な配送先	新潟県 ( )市	( )都県 ( )市	( )都道府県 ( )市

---

指定時刻に対する 時間的余裕	あり・なし	あり・なし	あり・なし
高速道路料金の収受	あり・なし	あり・なし	あり・なし

---

輸送経路 (どちらかに○)	一般道路・高速道路	一般道路・高速道路	一般道路・高速道路
問4の回答番号	1	2	3 4

(例) 輸送経路が県内：一般道路、県外(関東)：高速道路の場合、問4の1と4を回答していただきます。問4を回答しましたら、問5へおすすみください。

図 4-4 事業者属性に関するアンケート調査票の例

問4 1 以下のような状況を想定して、一般道路と高速道路どちらを利用するかお答えください。また、気象条件を以下の3つの場合とします。

①降雪なし（非冬期）  
②降雪なし（翌日に雪が降り、積もることが予想されます）  
③降雪あり（現在雪が降り続いており、路面上にも雪が降り積もっています）

3/5  
枚目

<ul style="list-style-type: none"> <li>・長岡市（長岡IC付近）から新潟市（新潟西IC付近）まで荷物を運びとします。</li> <li>・車種や出発時刻、荷主からの料金収受の有無などの状況は「問2の県内」の状況とします。</li> <li>・荷主から指定された時刻までには余裕があるとします。</li> <li>・ただし 問D～Eの「一般道路の最大時間」では指定された時刻に間に合わないものとします。</li> </ul>				降雪なし	降雪なし	降雪あり
				(非冬期)	(翌日の雪が降り、積もることが予想されます)	(現在雪が降り続いており、路面上にも雪が降り積もっています)
問	輸送経路	料金	通常時間			
A	一般道路	0円	80分 ↓	( )	( )	( )
	高速道路	1,200円	40分 ↓	( )	( )	( )

図 4-5 経路選択行動に関するアンケート調査票の例



## 第4章 道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定

また、表 4-8 示すように、新潟県トラック協会所属の事業所は 9 つの地区に分かれているため、提示する経路はその地区ごとに異なるように設定した。輸送経路の起終点は同じく表 4-8 に示すように、起点は地区内の代表的な IC 付近、終点は起点から最も離れた新潟県内の代表的な IC 付近とした。様々なサンプルが得られるように約 50km～100km 超を想定している。なお、県外（関東）への輸送については、各地区の起点 IC から練馬 IC まで輸送すると想定して回答いただいた。

調査では乗用車の調査と同様に、回答者に以下の 3 つの状況を想定してもらい回答を尋ねた。

- ①降雪がない状況（非冬期）
- ②降雪はないが翌日に雪が降り積もることが予想される状況（冬期）
- ③現在進行形で雪が降り続いており、路面上にも雪が降り積もっている状況（冬期における大雪注意報程度の状況を想定）

以上からアンケートを実施した。対象事業者 752 社に対し、123 社の回答を得た。次ページの表 4-9 に回答事業者の属性を示す。

表 4-7 アンケートの水準

一般道路選択事業者の水準				
水準	一般道路		高速道路	
	料金(円)	時間(分)	料金(円)	時間(分)
1	0	L/時速 45km	5 割引	L/時速 70km
2	0	L/時速 40km	3 割引	L/時速 70km
3	0	L/時速 35km	1 割引	L/時速 70km
高速道路選択事業者の水準				
水準	高速道路 A		高速道路 B	
	料金(円)	時間(分)	料金(円)	時間(分)
1	割引なし	L/時速 60km	2.0 倍	L/時速 70km
2	割引なし	L/時速 55km	1.5 倍	L/時速 70km
3	割引なし	L/時速 50km	1.3 倍	L/時速 70km

表 4-8 各地区の事業者数と提示した IC ペア

対象地区	事業者数	起点 IC	終点 IC	IC 間距離
下越	110	聖籠新発田	上越	146km
新津	51	新津	上越	134km
新潟	195	新潟西	上越	117km
西燕	85	三条燕	上越	92km
三南	65	中之島見附	上越	76km
長岡	74	長岡	新潟西	53km
柏崎	22	柏崎	新潟西	76km
上越	99	上越	新潟西	117km
小千谷	51	小千谷	新潟西	69km
合計	752		-	

表 4-9 回答事業者の属性

事業者属性 (n=123)				
トラック保有台数	回答%	輸送先詳細(関東)	%	
10 両以下	27.9			
11~20 両	31.1	茨城県	4.1	
21~30 両	15.6	栃木県	2.7	
31~50 両	10.7	群馬県	8.1	
51~100両	9.8	埼玉県	16.2	
101~200両	4.1	千葉県	9.5	
201~500両	0.8	東京都	13.5	
501 両以上	0.0	神奈川県	18.9	
所在地地区	%	全域	%	
下越	21.1	無回答	9.5	
新津	3.3	輸送先詳細(県外(関東以外))		
新潟	16.3			
西燕	4.9	東北	18.9	
三南	7.3	甲信	8.1	
長岡	21.1	北陸	9.5	
柏崎	3.3	東海	24.3	
上越	11.4	近畿	18.9	
小千谷	11.4	四国	1.4	
輸送先	事業者数	九州	1.4	
県内	11	全域	4.1	
関東	74	無回答	14.9	
県外(関東以外)	75			
主な輸送品目		県内(%)	関東(%)	県外(関東以外)(%)
消費関連貨物		27.0	35.1	32.0
建設関連貨物		26.1	8.1	8.0
生産関連貨物		43.2	52.7	57.3
無回答		3.6	4.1	2.7
指定時刻に対する時間的余裕		県内(%)	関東(%)	県外(関東以外)(%)
あり		83.8	91.9	77.3
なし		13.5	6.8	20.0
無回答		2.7	1.4	2.7
高速道路料金の収受		県内(%)	関東(%)	県外(関東以外)(%)
あり		39.6	56.8	53.3
なし		59.5	41.9	44.0
無回答		0.9	1.4	2.7

回答事業所のトラック保有台数は11～20両が約31%と最も多く、次いで10両以下が約28%であった。これを新潟県全体<sup>5)</sup>と比較(表4-10)すると、本調査結果は10両以下の小規模事業者の回答が少なく、その分11～20両の事業者が多めの結果となっている。ただし、後述する表4-12に示しているとおおり、両者の降雪時における走行時間短縮経路選択確率には大きな差はないことから、分析結果に与える影響は小さいものと判断した。

事業所所在地別では、下越地区と長岡地区が約21%と最も多く、次いで新潟地区(約16%)となっており、基本的にはトラック協会に所属する事業者が多い地区から多くの回答数を得ている。表4-8に示した事業所所在地と提示ICペアの関係からすると、トリップ長に極端な偏りが生じるようなサンプルの分布とはなっていないと判断した。

輸送先は、県内が111社、関東方面が74社、関東方面以外が75社であった。ほとんどの事業者が県内輸送を行っており、半数以上の事業者が関東方面や県外方面へも輸送を行っている。関東方面への輸送の内訳は、神奈川県、埼玉県が最も多く、関東以外に関しては東海方面とのつながりが強い状況にある。主な輸送品目<sup>6)</sup>は、いずれの輸送先も生産関連貨物が最も多く、県内方面では建設関連貨物が約26%と他の方面と比較して割合が多くなっている。また、ほとんどの事業者は、時間的余裕をもっている状況が見てとれる。高速道路料金の収受状況については、収受ありが県内方面は約40%、関東方面、県外方面は50%以上となっている。

表 4-10 回答事業者と新潟県全体のトラック保有台数比較<sup>5)</sup>

保有台数	【本アンケート】 回答事業者	【北陸信越交通・運輸統計年鑑】 新潟県 (H31年3月末時点)
10 両以下	27.9%	39.6%
11～20 両	31.1%	24.3%
21～30 両	15.6%	12.2%
31～50 両	10.7%	10.5%
51～100 両	9.8%	8.6%
101～200 両	4.1%	4.0%
201～500 両	0.8%	0.6%
501 両以上	0.0%	0.3%
合計 (事業者数)	123	707

### 4.2.3 アンケート回答データの特性

#### (1) 乗用車の特性

収集されたデータの特性として、個人属性と高速道路選択確率の関係を表 4-11 に整理した。

全体としては、高速道路選択確率は降雪なしに比べて翌日降雪あり、降雪ありのほうが高く、降雪がある場合、または降雪の影響が想定される場合は高速道路を利用したい人が増加すると考えられる。

一般に高速道路といった有料道路の利用には、各個人の収入が相関するものである。本調査結果の個人年収は 400 万円未満が過半数を占めているが、年収が高くなるほど、特に年収 600 万以上の方ほど高速道路の選択確率が高くなるという結果が得られており、妥当なものであると判断される。

高速道路利用目的別に着目すると、私事（買い物・送迎）、観光・レジャーの利用割合が高い結果となった。この点については、実際の目的別トリップ分布と乖離があると判断されるため、自動車起終点調査による目的別トリップ分布を用いて補正計算を実施する必要があるといえる。また、利用者数は少ないが、業務目的の場合は高速道路選択確率が他の目的と比べて突出して高くなっている。これは後述する高速道路料金の負担者が会社であることに起因している。

次に、高速道路の利用日時についてみると、前述の通り私事・観光等の目的が多い結果とリンクするように、平日と比較して土日祝日の割合が高い。なお、この表中で示すピークとは 7～8 時台及び 17～18 時台の混雑時間帯を示し、オフピークはそれ以外の時間帯（非混雑時間帯）を示している。

高速道路利用時の費用負担者については、ほとんどが自己負担であるが、会社負担では高速道路選択確率が自己負担と比べて極めて高くなっている。業務目的に影響しているものである。

降積雪時の意識に関するものも一部記載しているが、「降積雪時は一般道路よりも高速道路のほうが除雪されていると思う」という質問についてみると、「とてもそう思う・そう思う」の割合が高い。また、「とてもそう思う・そう思う」は、降雪ありの高速道路選択確率が「そう思わない・全然そう思わない」と比べて高くなっている。

最後に、高速道路利用距離別にみると、トリップ長 40～60km の回答割合が高いが、当然のことながら高速道路の利用区間延長が長くなるほど、降雪なし時の高速道路選択確率が高くなっている。一方で、降雪ありに着目すれば、トリップ長による高速道路選択確率に大きな変動が生じていないのが特徴的である。逆に言えば、20km 未満の短トリップ利用者の高速道路への転換が多い点の特徴的であると言える。

表 4-11 回答者の高速道路利用に関する特性

高速道路利用特性	分類	人数	%	累積%	高速道路選択確率(平均)		
					降雪なし (翌日 降雪あり)	降雪なし	降雪あり
全体		356	100.0%	100.0%	28.6%	34.4%	50.6%
個人年収	200万円未満	92	25.8%	25.8%	21.0%	25.7%	42.4%
	200~399万円	103	28.9%	54.8%	30.4%	40.5%	51.8%
	400~599万円	56	15.7%	70.5%	36.9%	37.5%	53.6%
	600~799万円	26	7.3%	77.8%	35.9%	38.5%	60.3%
	800万円以上	14	3.9%	81.7%	35.7%	40.5%	69.0%
	不明	14	3.9%	85.7%	38.1%	47.6%	57.1%
	無回答	51	14.3%	100.0%	20.9%	26.8%	47.7%
高速道路利用目的	通勤・通学	21	5.9%	5.9%	22.2%	36.5%	41.3%
	業務	51	14.3%	20.2%	51.0%	58.2%	73.2%
	私事(買い物・送迎)	137	38.5%	58.7%	23.4%	29.9%	45.0%
	観光・レジャー	113	31.7%	90.4%	26.5%	29.2%	50.7%
	その他	34	9.6%	100.0%	26.5%	32.4%	44.1%
高速道路利用日	平日	125	35.1%	35.1%	30.1%	37.6%	52.0%
	ピーク	42	33.6%	33.6%	34.1%	42.1%	51.6%
	オフピーク	83	66.4%	100.0%	28.1%	35.3%	52.2%
	土曜	97	27.2%	62.4%	27.5%	33.3%	50.5%
	ピーク	12	12.4%	12.4%	33.3%	36.1%	50.0%
	オフピーク	85	87.6%	100.0%	26.7%	32.9%	50.6%
	日曜・祝日	134	37.6%	100.0%	27.9%	32.1%	49.3%
	ピーク	24	17.9%	17.9%	22.2%	29.2%	51.4%
	オフピーク	110	82.1%	100.0%	29.1%	32.7%	48.8%
	高速道路利用負担者	自己負担	300	84.3%	84.3%	24.3%	29.6%
会社負担		54	15.2%	99.4%	51.2%	59.3%	72.2%
その他		2	0.6%	100.0%	50.0%	83.3%	100.0%
降積雪時は	とてもそう思う	118	33.1%	33.1%	24.0%	34.5%	57.3%
	一般道路よりも	168	47.2%	80.3%	31.0%	34.9%	52.0%
	高速道路のほうが	55	15.4%	95.8%	29.1%	32.1%	36.4%
	除雪されている	12	3.4%	99.2%	33.3%	33.3%	27.8%
と思う	3	0.8%	100.0%	44.4%	44.4%	55.6%	
距離	0~20km	26	7.3%	7.3%	12.8%	28.2%	52.6%
	20~40km	81	22.8%	30.1%	30.9%	34.6%	49.4%
	40~60km	121	34.0%	64.0%	24.0%	29.5%	49.3%
	60~80km	47	13.2%	77.2%	31.9%	39.0%	54.6%
	80~100km	25	7.0%	84.3%	36.0%	48.0%	53.3%
	100~120km	28	7.9%	92.1%	32.1%	32.1%	48.8%
	120~140km	17	4.8%	96.9%	35.3%	39.2%	49.0%
	140~160km	9	2.5%	99.4%	48.1%	48.1%	51.9%
	160km以上	2	0.6%	100.0%	50.0%	50.0%	50.0%

(2) 貨物車の特性

収集された貨物車データの特性として、事業者特性と走行時間短縮経路選択確率（効用が高いと想定される経路の選択確率）の関係を表4-12に整理した。

全体からすれば、走行時間短縮経路の選択確率は、乗用車と同様に降雪なしに比べて翌日降雪あり、降雪ありのほうが高くなっている。やはり、降雪がある場合、または降雪の影響が想定される場合はより信頼性の高い高速道路を利用したい事業者が増加すると考えられる。

次に輸送先別についてみると、これによる走行時間短縮経路の選択確率に大きな差はみられない。

トラック保有台数別では、保有台数21～100台の事業者の特徴がある。101台以上の事業者はわずかな数しかいないためあまり参考とはならないが、雪ありにおいてトラックの保有台数が多い企業ほど、走行時間短縮経路の選択確率が高い。

ここからは降積雪における状況として回答を得た部分であるが、「指定時刻に対する時間的余裕がなくなる」、「指定時刻に間に合わないことがある」についてみると、当てはまる、やや当てはまると回答した事業者ほど、降雪ありのときに走行時間短縮経路を選択確率が高くなっている。輸送先への時間的制約が厳しくなり、指定時刻に間に合わせるため走行費用を上乗せして支払い、走行時間を短縮する経路選択が行われていると考えられる。

以上、貨物車・乗用車に共通して、事業者の特性や個人特性により経路選択行動には明確な差が生じていることから、この点を考慮したロジットモデルの構築することが重要である。

表 4-12 回答者の高速道路利用に関する特性

事業者特性	分類	事業所数			走行時間短縮経路選択確率			
					降雪なし	降雪なし (翌日 降雪あり)	降雪あり	
		事業所数	%	累積%				
全体		123	100%	100%	37%	47%	65%	
全体	輸送先	県内	111	90%	-	35%	45%	65%
		関東	74	60%	-	37%	46%	68%
		県外	75	61%	-	39%	49%	68%
	トラック保有台数	10台以下	35	28%	28%	39%	45%	53%
		11~20台	38	31%	59%	23%	37%	57%
		21~30台	19	15%	75%	41%	50%	82%
		31~50台	13	11%	85%	48%	51%	75%
		51~100台	12	10%	95%	48%	61%	82%
101~200台		5	4%	99%	31%	47%	50%	
	201~500台	1	1%	100%	33%	33%	100%	
	501台以上	0	0%	100%	0%	0%	0%	
県内	主な輸送品目	消費関連貨物	30	27%	27%	39%	56%	76%
		建設関連貨物	29	26%	53%	28%	31%	48%
		生産関連貨物	48	43%	96%	38%	47%	69%
		無回答	4	4%	100%	30%	36%	45%
	高速道路料金の収受	あり	44	40%	40%	53%	65%	80%
	なし	66	59%	99%	24%	32%	55%	
	無回答	1	1%	100%	0%	0%	0%	
関東	主な輸送品目	消費関連貨物	26	35%	35%	41%	58%	78%
		建設関連貨物	6	8%	43%	33%	36%	57%
		生産関連貨物	39	53%	96%	38%	43%	67%
		無回答	3	4%	100%	13%	20%	30%
	高速道路料金の収受	あり	42	57%	57%	52%	62%	81%
	なし	31	42%	99%	16%	24%	49%	
	無回答	1	1%	100%	17%	17%	17%	
県外 (関東以外)	主な輸送品目	消費関連貨物	24	32%	32%	49%	69%	82%
		建設関連貨物	6	8%	40%	31%	31%	50%
		生産関連貨物	43	57%	97%	36%	43%	65%
		無回答	2	3%	100%	22%	22%	22%
	高速道路料金の収受	あり	40	53%	53%	54%	68%	84%
	なし	33	44%	97%	22%	27%	49%	
	無回答	2	3%	100%	11%	11%	33%	
全体	指定時刻に対する 時間的余裕がなくなる	当てはまる	64	52%	52%	40%	50%	68%
		やや当てはまる	42	34%	86%	33%	43%	65%
		当てはまらない	12	10%	96%	29%	33%	42%
		無回答	5	4%	100%	50%	50%	50%
	出発時刻を早める	当てはまる	88	72%	72%	37%	46%	65%
		やや当てはまる	21	17%	89%	24%	43%	64%
		当てはまらない	9	7%	96%	63%	63%	75%
		無回答	5	4%	100%	50%	50%	50%
	指定時刻に間に合わないことがある	当てはまる	28	23%	23%	36%	47%	73%
		やや当てはまる	60	49%	72%	44%	53%	67%
		当てはまらない	31	25%	97%	25%	33%	54%
		無回答	4	3%	100%	50%	50%	50%

## 4.2.4 二項ロジットモデルによる交通時間価値の推定

## (1) 乗用車の交通時間価値

アンケート調査結果から得られた個々人の経路選択行動結果をモデル化（非集計行動モデル）する。本章の冒頭で述べたように、選択肢は一般道と高速道路の2肢であるため、二項ロジットモデルから車種別に交通時間価値を推定した。ここでは、乗用車を対象とすることとし、式(3)に選択確率の一般式、式(4)に確定効用の一般式、式(5)、(6)に本研究で用いた効用関数の式を示す。

$$P_{jn} = \frac{\exp(V_{jn})}{\sum_{j \in J_n} \exp(V_{jn})} \quad (3)$$

$$V_{jn} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \dots \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{高速道路の効用} = & \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \theta_4 x_4 \\ & + \theta_5 x_5 + \theta_6 x_6 + \theta_7 x_7 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{一般道路の効用} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 \quad (6)$$

ここに、 $P_{jn}$ ：個人  $n$  が経路  $j$  を選択する確率

$V_{jn}$ ：個人  $n$  の選択経路  $j$  の効用の確定項

$J_n$ ：個人  $n$  が利用可能な経路の選択肢集合

$x_1$ ：走行時間

$x_2$ ：走行費用

$x_3$ ：個人年収ダミー

$x_4$ ：会社負担ダミー

$x_5$ ：20km 以下ダミー

$x_6$ ：60km 以上ダミー

$x_7$ ：バイパスダミー

$\theta$ ：未知パラメータ

である。

なお、非集計行動モデルは、個人が交通行動の最も基本的な意思決定単位であること、そしてその個人はある選択肢の中で最も効用が高い選択をするという前提で考えられており、その効用は選択肢の持つ特性や個人属性によって異なるものである。よって、経路選択行動のモデル化時には、アンケートから得られた個人属性等を加味した上で、説明力（尤度比）が最も向上するモデルを採用した。したがって、前節で分析した個人属性や高速道路利用特性をダミー変数として説明変数に加えてモデル化



し、 $t$  値や符号条件等から有意となる変数を抽出・選定した。乗用車のモデルで採用した各ダミーの説明は以下のとおりである。

- ・個人年収ダミー：個人年収が 200 万円未満の場合は 1，そうでなければ 0。  
収入が低い人ほど，高速道路の効用が低下することを示す。
- ・会社負担ダミー：高速道路利用費用が会社負担の場合は 1，そうでなければ 0。  
料金会社負担であれば，高速道路の効用が増加することを示す。
- ・20km 未満ダミー：高速道路利用トリップ長 20km 未満であれば 1，そうでなければ 0。  
短トリップ利用であれば，高速道路の効用が低下することを示す。
- ・60km 以上ダミー：高速道路利用トリップ長 60km 以上であれば 1，そうでなければ 0。  
60km 以上のトリップであれば，高速道路の効用が増加することを示す。
- ・バイパスダミー：新潟バイパス，新新バイパス等のアクセスコントロールされた道路を利用できる OD であれば 1，そうでなければ 0。  
上記バイパスは高速道路と並行し，非常にサービスレベルの高い路線である。当該区間を通行可能な OD は高速道路の効用が低下することを示す。

(2) 貨物車の交通時間価値

貨物車についても基本は乗用車と同様の考え方である。通常、貨物車は小型貨物と普通貨物の2種類存在するが、本アンケートにおいて得られた小型貨物のサンプルはわずか2台のみであったため、本研究では普通貨物車を対象に交通時間価値を推定している(以降、普通貨物車と呼ぶ)。選択確率の一般式、確定効用の一般式は式(3)、式(4)と同様である。式(7)、(8)に普通貨物車の効用関数の式を示す。

$$\begin{aligned} \text{高速道路の効用} &= \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \theta_4 x_4 \\ &\quad + \theta_5 x_5 + \theta_6 x_6 + \theta_7 x_7 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{一般道路の効用} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 \quad (8)$$

- ここに、 $P_{jn}$ ：個人  $n$  が経路  $j$  を選択する確率  
 $V_{jn}$ ：個人  $n$  の選択経路  $j$  の効用の確定項  
 $J_n$ ：個人  $n$  が利用可能な経路の選択肢集合  
 $x_1$ ：走行時間  
 $x_2$ ：走行費用  
 $x_3$ ：トラック保有台数（降雪あり除く）  
 $x_4$ ：高速道路料金収受ダミー  
 $x_5$ ：高速道路固定層ダミー  
 $x_6$ ：建設関連貨物ダミー  
 $x_7$ ：早出発ダミー（翌日降雪の場合のみ）  
 $\theta$ ：未知パラメータ

である。

なお、普通貨物車のモデル化時にもダミー変数を適用しており、各ダミーの説明は以下のとおりである。

- ・高速道路料金収受ダミー：荷主から高速道路料金を収受している場合は1，  
 そうでなければ0。  
 料金収受有なら高速道路の効用増加となることを示す。
- ・高速道路固定層ダミー：SP調査にて全て走行時間短縮経路（効用が高い経路）を選択している場合は1，そうでなければ0。
- ・建設関連貨物ダミー：輸送品目が建設関連貨物であれば1，そうでなければ0。  
 県内比率が高い建設関連であれば，高速道路の効用が低下。
- ・早出発ダミー：冬期は出発時間を早めると回答した場合は1，そうでなければ0。

#### 4.2.5 冬期交通時間価値の推定結果

##### (1) 乗用車の交通時間価値推計結果

表 4-13、及び表 4-14 に乗用車の冬期交通時間価値推定結果を示した。

モデルの修正済尤度比をみると、降雪なし（翌日降雪あり）、降雪ありの場合は 0.2 を下回っている。既往研究<sup>4)</sup>においても、Web アンケートのみのモデルでは尤度比が低く、紙ベースのデータと統合することで適合度の高い推定結果を生み出すことが推察されており、このような Web アンケートのデメリットが影響しているとも考えられる。

一方で、各変数の  $t$  値は、降雪なし、降雪なし（翌日降雪あり）、降雪ありのいずれの場合も有意な値であり、推定されたパラメータの符号条件も合理的であったことから、推定結果には問題ないと判断した。

推定された交通時間価値は、降雪なしで 29.6 円/分人、降雪なし（翌日降雪あり）で 29.1 円/分人、降雪ありで 53.5 円/分人が得られており、降雪により交通時間価値が上昇することが読み取れる。この時点で降雪なしとの差を確かめるために有意水準を 5% として  $t$  検定を行った結果<sup>11)</sup>、降雪なしと降雪なし（翌日降雪あり）では有意差 ( $t=0.6$ ) がなかったものの、降雪なしと降雪ありでは  $t=8.1$  で統計的に時間価値の差が確かめられた。

次に、表 4-14 に示したトリップの目的・平休別の交通時間価値に着目する。いずれの属性も降雪なしと比較して、降雪なし（翌日降雪あり）、降雪ありの交通時間価値が大きく推定されたことが読み取れる。休日のほうが平日と比較して交通時間価値が大きく推定されたのは、私事や観光レジャー目的のトリップが多いことも影響していると考えられるが、平均乗車人数をみると休日のほうが平日と比較して平均乗車人数が多く、一人当たりの交通時間価値に換算すれば平日のほうが休日と比較して大きく推定されたことになる。

推定した交通時間価値の妥当性確認を、所得接近法（新潟県の年間労働賃金率<sup>12)</sup>）により求めた非業務交通の時間価値と比較を行った。その結果 23.2 円/分人となり、降雪なしの 29.6 円/分人と大きな乖離はないものと判断した。

一方で、目的別トリップの分布に実態<sup>7)</sup>と大きな乖離がみられる部分があるため（表 4-15）、平成 27 年度自動車起終点調査<sup>7)</sup>による目的別トリップ分布を用いて交通時間価値の補正を実施している。具体的には、アンケートのトリップ目的別人数を自動車利用特性マスターデータ（補正後）の割合に整合させる方法を採用した。この際、補正後の回答人数が補正前の人数より多くなならないように次のようにして補正した。通勤・通学を例にすれば、アンケートと実分布の乖離は 5.2 倍であり、この比をそのまま用いると補正前が 21 人、補正後が 109 人と、1 人の回答結果が 5.2 人分として扱うこととなる。そこで、1 人の回答が 1 人以上として扱われないように、通勤・通学の 21 人を基準にして補正後のトリップ目的別人数をそれぞれ求めた。その結果、業務が 10 人、私事が 27

人、観光・レジャーが7人、その他が4人と合計69人となった。なお、アンケートにおいて、1人につき3トリップ尋ねているため、207トリップにて交通時間価値を推定することとなる。この207トリップをアンケート結果(356人×3トリップ)から降雪状況毎に100回ランダムにサンプル抽出し交通時間価値を推定した。この結果を本研究における乗用車の冬期交通時間価値とし表4-16に示した。

冬期間のとりわけ、降雪時においては、降雪なしに比べ約2.2倍の時間価値になることが判明した。

表 4-13 乗用車の交通時間価値

変数		降雪なし	降雪なし (翌日降雪あり)	降雪あり
走行時間	係数	-0.028996	-0.024372	-0.035819
	t 値	-9.1	-7.9	-10.4
走行費用	係数	-0.000467	-0.000399	-0.0003188
	t 値	-10.2	-9.1	-7.3
個人年収ダミー	係数	-0.8883	-0.7517	
	t 値	-4.9	-4.5	
会社負担ダミー	係数	0.6753	0.9338	1.0807
	t 値	3.5	4.9	5.3
20km以下ダミー	係数	-1.7536	-0.7364	
	t 値	-5.0	-2.8	
60km以上ダミー	係数	0.5165	0.6242	0.4969
	t 値	3.1	4.0	3.3
バイパスダミー	係数	-1.3318	-0.8034	-0.8330
	t 値	-3.0	-2.2	-2.5
初期対数尤度		-740.3	-740.3	-740.3
最終対数尤度		-576.2	-625.4	-639.4
尤度比		0.22	0.16	0.14
修正済尤度比		0.21	0.15	0.13
時間価値(円/分台)		62.1	61.1	112.4
時間価値(円/分人)		29.6	29.1	53.5

表 4-14 トリップ目的・平休別の乗用車の交通時間価値推定結果(円/分台)

トリップ目的	降雪なし	降雪なし (翌日降雪あり)	降雪あり	平均乗車人数	人
全体	62.1	61.1	112.4	2.1	356
通勤・通学	97.9	93.8	113.2	1.2	21
業務	103.9	179.8	170.1	1.4	51
私事(買い物・送迎)	60.2	65.1	112.3	2.2	137
観光・レジャー	39.4	35.4	101.7	2.5	113
その他	27.4	39.9	89.9	2.1	34
平日	52.2	54.7	81.2	1.7	125
土曜・休日	53.8	68.7	128.1	2.4	231

表 4-15 目的別トリップ分布による補正

トリップ目的	アンケートによる トリップ目的別サンプル分布		自動車起終点調査による トリップ目的別サンプル分布	
	トリップ割合	回答人数	トリップ割合	補正後人数
通勤・通学	6%	21 (基準)	30% (5.2倍)	21 (基準)
業務	14%	51	14% (1.0倍)	10
私事	38%	137	39% (1.0倍)	27
観光・レジャー	32%	113	10% (0.3倍)	7
その他	10%	34	6% (0.7倍)	4
合計	100%	356	100%	69

表 4-16 補正後の乗用車の交通時間価値

		降雪なし	降雪なし (翌日降雪あり)	降雪あり
補正前	円/分人	29.6	29.1	53.5
	円/分人	44.0	51.7	95.4
補正後	円/分台	57.2	67.2	124.1
	向上率	-	1.2倍	2.2倍

(2) 普通貨物車の交通時間価値推計結果

普通貨物車の冬期交通時間価値推定結果を表 4-17 に示した。

降雪条件によって t 値に一部低い値がみられるものの、推定されたパラメータの符号条件は合理的であり、修正済尤度比にも問題はないことから推定結果には問題がないものと判断した。個別のパラメータをみると、どの降雪条件でも高速道路固定層ダミーが最も大きな値を示している。これにはやはり、普段から高速道路を利用しているか否かが経路選択行動に大きな影響を与えていると考えられる。

交通時間価値は、降雪なしで 65.6 円/分台、降雪なし(翌日降雪あり)で 95.6 円/分台、降雪ありで 187.7 円/分台と、乗用車と同様に降雪により交通時間価値が大きく推定された。この結果についても同様に、有意水準を 5%として t 検定を行った結果<sup>11)</sup>、降雪なしと降雪なし(翌日降雪あり)、降雪なしと降雪ありのいずれの場合において統計的に交通時間価値の差が確かめられた。

ここでも推定した交通時間価値の妥当性確認のため、費用便益分析マニュアルの普通貨物車時間価値原単位<sup>8)</sup>と比較を行った。普通貨物車の原単位は 67.95 円/分台であり、降雪なしの 65.6 円/分台とほぼ同値であり妥当性についても問題ないと判断した。

本結果を普通貨物車の冬期交通時間価値とし、降雪なしに比べその価値は 2.9 倍になることが判明した。

表 4-17 普通貨物車の交通時間価値

変数		降雪なし	降雪なし (翌日降雪あり)	降雪あり
		走行時間	係数	-0.0092146
	t 値	-4.2	-3.3	-3.6
走行費用	係数	-0.0001405	-0.0000631	-0.00003450
	t 値	-2.1	-1.6	-1.1
トラック保有台数	係数	0.0091	0.0063	-
	t 値	2.5	2.1	-
高速道路料金収受ダミー	係数	0.3713	1.1718	1.1715
	t 値	1.1	4.9	5.2
高速道路固定層ダミー	係数	7.4816	5.2143	4.7207
	t 値	7.8	8.8	4.8
建設関連貨物ダミー	係数	-1.2436	-1.4168	-0.6693
	t 値	-2.3	-3.7	-2.7
早出発ダミー	係数	-	0.8359	-
	t 値	-	1.4	-
定数項	係数	-2.8268	-2.6653	-0.4938
	t 値	-7.2	-4.2	-2.2
初期対数尤度		-446.4	-442.2	-443.6
最終対数尤度		-154.5	-243.6	-300.7
尤度比		0.65	0.45	0.32
修正済尤度比		0.64	0.43	0.31
<b>時間価値(円/分台)</b>		<b>65.6</b>	<b>95.6</b>	<b>187.7</b>
<b>時間価値向上率</b>		<b>-</b>	<b>1.5 倍</b>	<b>2.9 倍</b>

#### 4.3 バスの冬期交通時間価値に関する考察

本章では、ここまで乗用車と普通貨物車を対象に論じてきたが、バスについても検討をしている。しかしながら、その結果、以下の理由から季節変動による影響はないものと判断した。

バスは、大別して乗合バスと貸切バスの2種類に分けられる。乗合バスは路線が予め定まっており経路選択の余地はない。一方、貸切バスは路線が予め定まっておらず、経路選択を行う可能性があると考えられる。しかし、国土交通省公表資料<sup>9)</sup>によれば、バス全体における輸送人キロベースでみた貸切バスの割合はわずか3%（乗合バス：1,351億km/年、貸切バス：38億km/年）と少なく、バス全体の交通時間価値に与える影響は少ないと考えられた。よって、経路選択から推定する手法ではなく、バスの乗車人数や乗客の属性変化に着目したアプローチに切り替えることを検討した。

分析にあたって、まず地域のバス事業者へ冬期間の運行・乗降客数等についてインタビュー調査を実施している。その結果、次の様な回答を得た。

- ①当該地域の乗合バスにおいては、冬期で乗降客数が増加する月があるものの減少する月もあり、冬期全体で見ると非冬期と比べ乗降客数に大きな変動はないこと。
- ②貸切バスは季節によらず基本的には高速道路を利用しており経路選択が生じることは少ないこと。

したがって、ケーススタディーとした新潟県においては、バスに関する冬期交通時間価値を推定することは困難（非冬期と大きく変動しない）であると判断し、本研究では、非冬期と同一として扱うこととした。

#### 4.4 ETC2.0 走行履歴情報 (RP) による妥当性確認

本項は前述の通り、乗用車を対象として冬期交通時間価値上昇の妥当性を実際の走行履歴データから確認したものである。普通貨物車に関しては、その経路選択の影響要因（高速道路料金の収受状況やトラック保有台数などの事業者属性の影響が大きく、走行時間や走行費用の影響が小さい）を鑑み、属性が不明な ETC2.0 による分析は対象外とした。

##### 4.4.1 対象地域の選定

降積雪の影響を調査するには、降積雪が多く見られた地域を対象とする必要がある。また、出発地から目的地まで移動する際に高速道路（北陸自動車道）と一般道路（主に国道8号）の選択可能性が生じる地域であることが必要である。それら条件を満たすトリップとして長岡市～三条市間、長岡市～柏崎市間のトリップを対象とした（図4-6）。

データの取り扱いのしやすさから2次メッシュ（10km<sup>2</sup>）により長岡市街地、三条市街地、柏崎市街地を代表させ、トリップを抽出した。

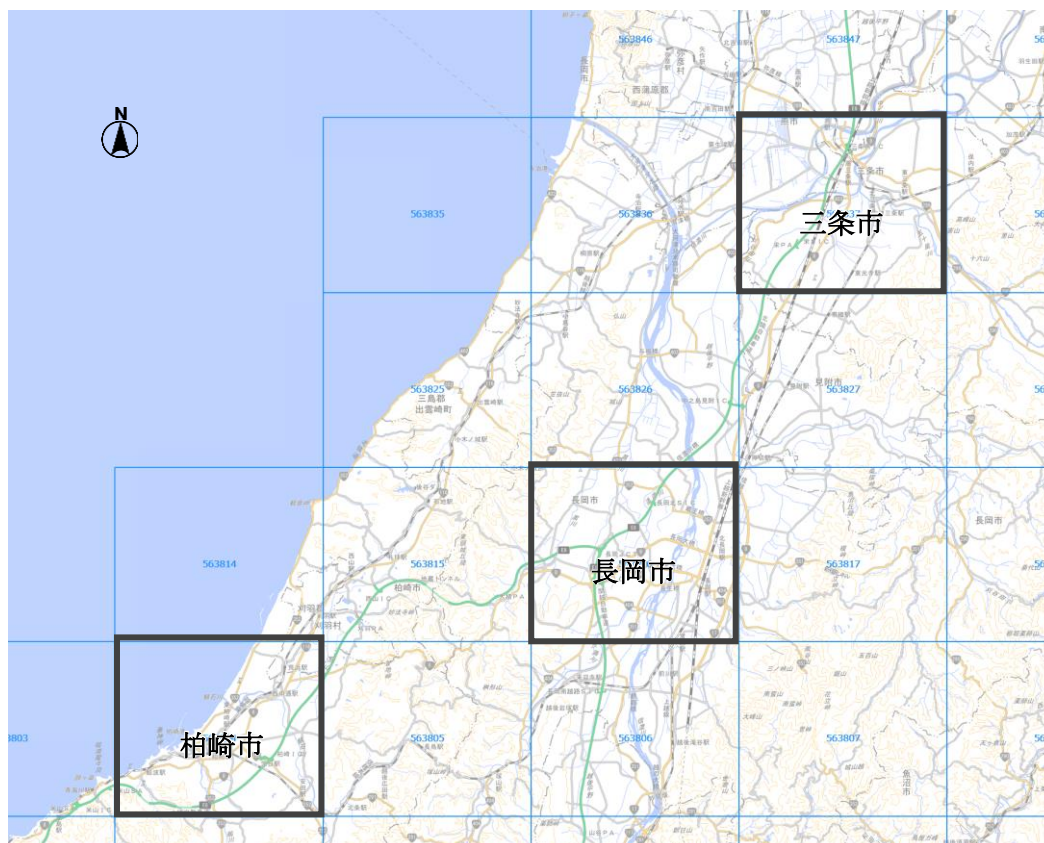


図 4-6 調査対象地域<sup>6</sup>

<sup>6</sup> 地理院地図を使用し、筆者が作成。



### 4.4.2 分析対象期間

本項では非冬期を2017年10月、冬期間を2018年1月、2月と設定し、ETC2.0 走行履歴情報（個別車両の詳細起終点を特定できないように統計的に処理済みされたデータ）から全体で2,562台のサンプルを得ている。冬期間のうち降雪なしと降雪ありの区別については、新潟県の降積雪データ<sup>10)</sup>を用いて区分するとともに、「降雪あり」は路面上に積雪がある状況を想定し大雪注意報・大雪警報が発令された日時とし、発令されなかった日時を「降雪なし」と定義している。

非冬期に関しては、我が国の道路交通実態を示す代表的な統計であるとともに、道路事業の便益計測にあたっての基礎データとして活用される全国道路・街路交通情勢調査（自動車起終点調査、一般交通量調査）の調査時期が秋期であることを参考に、10月のデータを用いることにしたものである。

### 4.4.3 経路データの作成

二項ロジットモデルから推定するには、実際の利用経路とそれを利用しなかった場合の経路を設定する必要がある。利用経路データについては、ETC2.0 走行履歴情報から得られた各サンプルが一般道路のみか高速道路を利用したかを特定し、実際にデータ記録されているものを利用経路データとした。対となる非利用経路データについては、起終点間の実移動経路が高速道路利用トリップの場合は一般道のみを利用をしたと想定し走行時間と走行費用をまとめたものである。なお一般道のみ利用時の走行費用については、既往文献<sup>4)</sup>を参考に計上しないこととした。

利用経路データの抽出にあたっては、収集された位置情報となる緯度経度をGIS上にマッピングし経路特定した。走行費用は、そのマッピングデータから利用経路が高速道路の場合は乗降ICを確認し、利用曜日及び時間帯に基づいた高速道路利用料金を算出し計上した。

非利用経路データの作成は、Google mapsを用いてOD間の最短時間経路を特定し、その所要時間、走行費用については対象日時のETC2.0プローブデータよりDRMリンクごとの旅行時間を累計した。ただし、第2章でも触れたとおり、ETC2.0プローブデータには異常値が含まれる。そこでトリップごとの旅行時間について異常値処理を行った。具体的には、あるOD間の平均旅行速度がそのOD間全体の平均旅行速度に対して大きく乖離している場合を除外する条件とした。なお、高速道路が降積雪や交通事故等により通行止めの場合は、その日時のデータを分析から除外している。

### 4.4.4 サンプルデータの特性整理

表 4-18 にサンプルデータの特性を示した。全て乗用車のみサンプルである。そのうえで全トリップ 2,556 台を属性別にみると、各属性の日平均台数は 19.4 台～最大で 41.7 台となっている。次に高速道路の選択確率に注目すれば、非冬期と比較して降雪ありの場合に高速道路の選択確率が若干高くなる傾向がみられた。さらに平休別に分解すると、休日と比較して平日のほうが高速道路の選択確率は高くなる傾向がみられたが、平日は降雪ありの高速道路選択確率は非冬期と大差なく、一方で休日は選択確率の上昇が確認された。これには平休日数やその時の降雪量及び降雪状況が関係している可能性が考えられる。なお、抽出サンプルの全体の平均トリップ長は 29.6km となっている。

また、交通時間価値の推計に先だって、全トリップを対象に高速道路利用経路と一般道路利用経路の所要時間差分布を分析した（図 4-7）。その結果からは、非冬期と比較して冬期のほうが所要時間差が小さくなるという傾向が確認されている。これについては、平均トリップ長約 30km と比較的短いトリップを分析対象としたことによる影響も十分にあると考えられるが、高速道路利用経路であっても、冬期間は高速 IC までのアクセス・イグレス時間（一般道利用経路部分）が増加する影響が大きいと推察された。

表 4-18 RP データ (ETC2.0) サンプルデータの特性

		サンプル 台数	高速道路 利用台数	高速道路 選択確率	日数	台数/日
全トリップ	全体	2,562	479	18.7%	90	28.5
	非冬期	647	124	19.2%	31	20.9
	冬期	1,915	355	18.5%	59	32.5
		降雪なし	214	17.5%	33	37.0
		降雪あり	141	20.3%	26	26.7
平日	非冬期	407	91	22.4%	21	19.4
	冬期	1,086	221	20.3%	38	28.6
		降雪なし	132	19.4%	20	34.0
		降雪あり	89	21.9%	18	22.6
休日	非冬期	240	33	13.8%	10	24.0
	冬期	829	134	16.2%	21	39.5
		降雪なし	82	15.1%	13	41.7
		降雪あり	52	18.1%	8	35.9

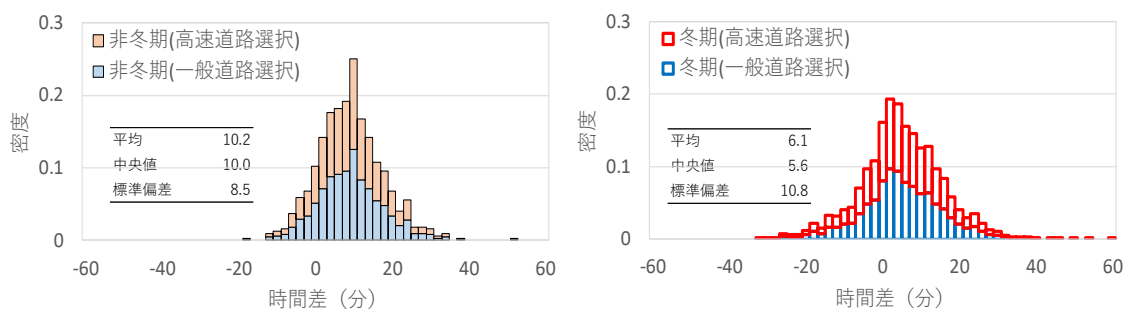


図 4-7 高速道路と一般道路の所要時間差分布

## 4.4.5 二項ロジットモデルによる交通時間価値の推定

個人属性データは含まれないため、ここでは単純に所要時間、走行費用を変数とした二項ロジットモデルの効用関数を設定しパラメータを推定した。式(9)に選択確率の一般式、式(10)に確定効用の一般式、式(11)及び(12)に本項で用いた効用関数の式を示す。

$$P_{jn} = \frac{\exp(V_{jn})}{\sum_{j \in J_n} \exp(V_{jn})} \quad (9)$$

$$V_{jn} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \dots \quad (10)$$

$$\text{高速道路の効用} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 \quad (11)$$

$$\text{一般道路の効用} = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 \quad (12)$$

ここに、 $P_{jn}$ ：個人  $n$  が経路  $j$  を選択する確率

$V_{jn}$ ：個人  $n$  の選択経路  $j$  の効用の確定項

$J_n$ ：個人  $n$  が利用可能な経路の選択肢集合

$x_1$ ：走行時間

$x_2$ ：走行費用

$\theta$ ：未知パラメータ

である。

表 4-19 に ETC2.0 による乗用車の交通時間価値推定結果を示した。推定は、全トリップを対象にした場合と、平休別の場合で実施しており、それぞれについて非冬期、冬期の降雪なし、ありに分けて推定している。各モデルの尤度比は、概ね 0.2 を超えておりモデルの適合率は高いと判断された。各変数の t 値に関する有意な値を示しており、推定された全パラメータの符号条件も合理的であると確認された。

交通時間価値は、全トリップを対象とした場合の非冬期で 14.4 円/分台、冬期で 27.7 円/分台、冬期降雪なしで 28.3 円/分台、冬期降雪ありで 26.0 円/分台と冬期に時間価値が大きく推定されることが確認された。平休別では、平日のほうが休日と比較して時間価値が大きく推定されている。これら降雪条件による交通時間価値の差を確かめるために有意水準を 5%として t 検定を行った<sup>11)</sup>。その結果、非冬期と冬期では  $t=4.5$  であり、非冬期と冬期で統計的に交通時間価値の差が確かめられた。一方、冬期降雪なしと降雪ありでは  $t=1.4$  であり降雪なしと降雪ありでは統計的な差が見られなかった。なお、推定した交通時間価値の妥当性を確認するために加藤らによる既存研究<sup>4)</sup>との比較を行った。それによれば、本サンプルデータの平均トリップ長 29.6km が含まれる、移動距離 21km-30km の交通時間価値は 16.3 円/分台とされており、本研究結果と近い数値であるといえる。一方、所得接近法（新潟県の年間労働賃金率<sup>12)</sup>）により業務交通の時間価値を算出した結果 32.6 円/分人となり、本項で推定した交通時間価値のほうが低いものとなった。この点に関しては、トリップ長に比例して交通時間価値は高くなるという特性<sup>4)</sup>も関係していると考えられる。

より様々なトリップ長をサンプルに加えることで、さらに推定精度が向上するのではないかと考えられるが、ETC2.0 によるデータにはトリップ目的や乗車人数が含まれておらず、その特定が不可能であるというデメリットがある。しかしながら、冬期間における交通時間価値が統計的に向上する結果は有用な知見であり、本結果をもって、SP 調査と同様に冬期交通時間価値が上昇することを確認できた。

表 4-19 RP データ (ETC2.0) による時間価値推定結果

	走行時間		走行費用		初期対数	最終対数	尤度比	修正済	時間価値	サンプル
	係数	t値	係数	t値	尤度	尤度	尤度比	尤度比	(円/分台)	台数
全トリップ 全体	-0.0772	-13.9	-0.0031	-24.6	-1775.8	-1292.2	0.27	0.27	25.0	2,562
非冬期	-0.0350	-2.9	-0.0024	-9.1	-448.5	-354.5	0.21	0.21	14.4	647
冬期	-0.0896	-13.7	-0.0032	-22.2	-1327.4	-929.3	0.30	0.30	27.7	1,915
└─ 降雪なし	-0.0977	-11.9	-0.0035	-18.3	-846.3	-558.2	0.34	0.34	28.3	1,221
└─ 降雪あり	-0.0739	-6.6	-0.0028	-12.1	-481.0	-369.2	0.23	0.23	26.0	694
平日 非冬期	-0.0413	-2.7	-0.0021	-6.8	-282.1	-234.0	0.17	0.16	19.8	407
冬期	-0.1076	-11.9	-0.0030	-17.0	-752.8	-519.2	0.31	0.31	35.9	1,086
└─ 降雪なし	-0.1258	-10.2	-0.0034	-13.8	-470.6	-300.8	0.36	0.36	37.4	679
└─ 降雪あり	-0.0824	-6.0	-0.0025	-9.7	-282.1	-215.3	0.24	0.23	32.9	407
休日 非冬期	-0.0650	-2.9	-0.0048	-7.2	-166.4	-103.8	0.38	0.36	13.6	240
冬期	-0.0869	-8.2	-0.0044	-14.8	-574.6	-376.4	0.34	0.34	19.9	829
└─ 降雪なし	-0.0857	-7.0	-0.0044	-12.4	-375.7	-233.7	0.38	0.37	19.4	542
└─ 降雪あり	-0.0908	-4.3	-0.0043	-8.0	-198.9	-142.5	0.28	0.27	21.0	287

#### 4.5 本章の小括

本章では、降積雪時の混雑悪化や、雪道を運転する際の心理的・肉体的負荷の増、事故リスクの上昇等により、冬期降積雪時には交通時間価値（商品としての時間価値）が上昇するとの仮説のもとに交通時間価値の分析を行った。分析対象は雪になじみの深い新潟県のドライバーを対象とすることとし、非冬期と冬期間の経路選択行動の変化をSP調査から分析した。これに基づいて構築した二項ロジットモデルにより冬期間の交通時間価値を推定した（選好接近法）。

その結果、非冬期に比べその価値が大きく上昇することを解明した。また、SP調査による冬期経路選択行動の分析結果からすれば、降積雪地域においては、より信頼性・安全性の高い道路に対する需要が高いと評することができる。

乗用車の冬期交通時間価値は、SP調査からみれば基本的に有料道路となる高速道路の選択確率が上昇することで交通時間価値が大きく推定される。降雪時には降雪なし（非冬期）の約2.2倍となる。このことは、以下の図4-8に示す回答結果にも表れている。やはり雪道を運転することに対する怖さ、疲れといった心理的・肉体的負担の軽減を望む意識構造から、より信頼性・安全性が高いと考えられる高速道路を選択するという行動に繋がっている。つまり当初の仮説どおり、「商品としての時間価値」が上乘せられていると考えられる。

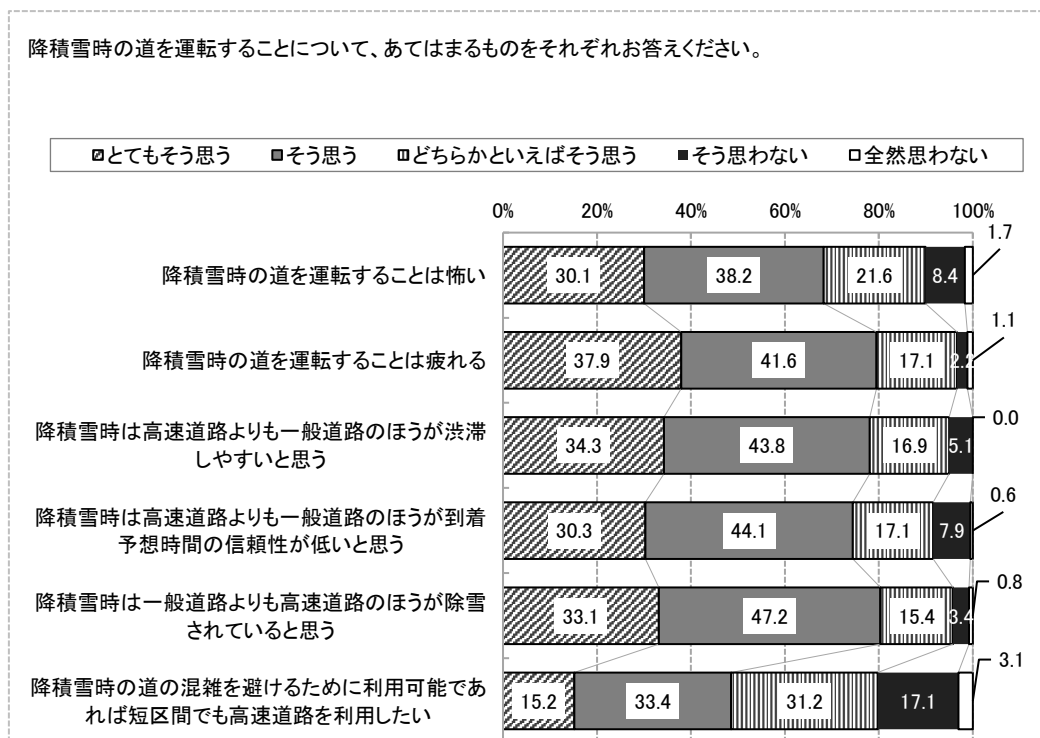


図 4-8 雪道の運転に関する意識調査 (n=356)

普通貨物車における交通時間価値への影響分析の結果、乗用車同様に冬期間の時間価値は上昇し、非冬期に対し約 2.9 倍となる。冬期交通時間価値の向上は、貨物事業者への降積雪時の状況について質問（表 4-12）の中で、「指定時刻に対する時間的余裕がなくなる」に対し当てはまる・やや当てはまるが約 86%、「指定時刻に間に合わないことがある」に対し当てはまる・やや当てはまるが約 72%との回答が得られていることから想定されるように、降積雪による速度低下やそれに起因する渋滞により、輸送先への時間的制約が厳しくなり、指定時刻に間に合わせるために信頼性・安全性が高い経路を選択することによる。

すなわち、降積雪時には、それらリスク回避のために通常時（降雪なし）よりも、ドライバーの支払い意思額が上昇するということである。

参考文献【第4章】

- 1) 国土交通省:公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編),平成21年6月.
- 2) 塩田朋史,佐野可寸志,鳩山紀一郎,高橋貴生:荷主との契約を考慮したトラック事業者の高速道路選択モデル,交通工学論文集,第5巻,第2号,pp.A176-A183,2019.
- 3) Feo-Valero, M., Garcia-Menendez, L., and Garrido-Hidalgo, R.: Valuing freight transport time using transport demand modeling, A bibliographical review, Transport Reviews, Vol. 31, No. 5, pp.625-651, 2011.
- 4) 加藤浩徳:交通の時間価値の理論と実際,技報堂出版株式会社,平成25年7月20日1版1刷発行.
- 5) 国土交通省北陸信越運輸局:北陸信越交通・運輸統計年鑑,最終アクセス2020.6,  
<https://www.tb.mlit.go.jp/hokushin/hrt54/number/pdf-h30/12kamotu/kamotu1.pdf>
- 6) 全日本トラック協会:日本のトラック輸送産業-現状と課題2019,  
[http://www.jta.or.jp/coho/yuso\\_genjyo/yuso\\_genjo2019.pdf](http://www.jta.or.jp/coho/yuso_genjyo/yuso_genjo2019.pdf).
- 7) 国土交通省:平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 自動車起終点調査(OD調査)の概要について.最終アクセス2020.2,  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000966.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000966.html).
- 8) 国土交通省道路局都市局:費用便益分析マニュアル,国土交通省ホームページ,  
[https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki\\_h30\\_2.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki_h30_2.pdf),平成30年2月.
- 9) 国土交通省:バス事業者数バスの車両数・輸送人員及び走行キロ,国土交通省ホームページ,  
<http://www.mlit.go.jp/statistics/details/content/001323146.pdf>,平成31年4月.
- 10) 新潟県:新潟県の雪情報,新潟県ホームページ,  
<http://www.jwa-niigata.jp/niigatayuki/>,平成30年2月.
- 11) Ben-Akiva, M. and S. Lerman: Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand, MIT Press, 1985.
- 12) 新潟県:毎月勤労統計調査地方調査結果,新潟県ホームページ,  
[http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML\\_Article/](http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/),平成29年7月~平成30年6月.



## 第5章 冬期交通現象に基づく道路整備評価



## 第5章 冬期交通現象に基づく道路整備評価

本章では、これまでに得られた知見と冬期交通時間価値を用いて、道路整備評価への適用を検討する。まず1つ目は直接的に道路整備の効果評価のために適用しようとするものである。基本的に交通時間価値を用いることから計測する便益は走行時間短縮便益である。

もう1つは信号交差点に着目したものである。第2章及び3章の分析から解明されたように、一般道における冬期交通混雑の主要因は信号交差点である可能性が高い。すなわち、冬期交通の円滑化と除雪作業の効率化はこの点を重視すべきであるといえる。本章ではこの点も踏まえ、雪による信号交差点における「遅れ時間」への影響を路面状態別に分析し、同じく冬期交通時間価値を用いて金銭換算する手法を提案する。

### 5.1 道路事業評価への適用

まずは、序論でも論じたように、道路事業の評価への適用を考える。

本研究を通して解明した冬期交通時間価値の上昇から見れば、特に豪雪地帯のような気象特性を持つ地方部においては、現状の費用便益分析マニュアルによる便益評価では過小評価されている可能性が高い。しかしながら、このような降積雪地域においては、一般的に冬期間は非冬期に比べ交通量が減少するとされている。この点からすれば、冬期交通時間価値の上昇分を打ち消してしまうことも懸念されるため、本項ではこの点を実際の計算を通して評価する。

上述の通り、計算する便益は走行時間短縮便益であり、1年間通して同一の交通時間価値（降雪なし）を用いた算定結果（以下、一定と表現する）と、降雪状況により変動する交通時間価値（降雪なし、翌日降雪あり、降雪あり）を用いつつ冬期交通量低下も考慮した算定結果（以下、変動と表現する）を比較し、冬期の交通時間価値を用いることでの便益への影響を評価する。

なお、計算対象は新潟県内の一般国道としている。

## 5.1.1 使用データおよび計算方法

走行時間短縮便益の算定には、整備有と整備無の場合の交通量，走行時間，交通時間価値を設定する必要がある．そこで本研究では，交通量調査単位区間<sup>1)</sup>毎に交通量と走行時間を把握できる平成27年度全国道路・街路交通情勢調査の一般交通量調査結果<sup>1)</sup>を用いた．また，整備有無の走行時間差については仮想的なものとし，何らかのプロジェクトにより平均旅行速度が1km/h向上すると簡易的に設定することとした．以下に本研究で提案する走行時間費用の算定式を示す．

走行時間短縮便益： $BT_I = BT_{Io} - BT_{Iw}$

走行時間費用（交通量調査単位区間毎）

$$BT_{Ii} = \sum_j \sum_r \sum_s (Q_{ijr} \times q_s \times T_{irs} \times t_s \times \alpha_{Ijs} \times D_s) \quad (1)$$

ここに， $BT_I$ ：走行時間短縮便益（円/年 km）

$BT_{Ii}$ ：整備*i*の場合の走行時間短縮便益（円/年 km）

$Q_{ijr}$ ：整備*i*の場合の混雑状況*r*における車種*j*の交通量（台/日）

$T_{irs}$ ：整備*i*の場合の混雑状況*r*，降雪状況*s*における走行時間（分/km）

$\alpha_{Ijs}$ ：交通時間価値の条件*I*の場合の降雪状況*s*における

車種*j*の交通時間価値（円/分台）

$D_s$ ：降雪状況*s*の日数（日）

$q_s$ ：降雪状況*s*の場合の交通量減少率

$t_s$ ：降雪状況*s*の場合の走行時間増加率

（ETC2.0 から道路種別・沿道条件・車線数別の速度低下率を設定）

*I*：交通時間価値一定の場合*n*，交通時間価値変動の場合*m*

*i*：整備有の場合*w*，整備無の場合*o*

*j*：車種（乗用車 or 貨物車）

*r*：混雑状況（非混雑時 or 混雑時）

*s*：降雪状況（降雪なし or 翌日降雪 or 降雪あり）

である．

### 5.1.2 冬期交通量の設定

交通量については、夜間を除き昼間 12 時間を対象とした。これについては、一般に夜間は非常に交通量が少なく、整備無と整備有における旅行速度差もほとんど生じないためである。また、昼間を混雑時と非混雑時に分け、昼間の 7-19 時のうち 7 時台と 8 時台、18 時台と 19 時台を混雑時、それ以外の時間帯を非混雑時としている<sup>1)</sup>。

非冬期の交通量は一般交通量調査結果を用い、冬期間の交通量設定のために非冬期と冬期の交通量低下率を別途算出した。具体的には国土交通省より貸与いただいた新潟県中越地域のトラフィックカウンター（2016 年）を使用し、中越地域の直轄国道を対象に非冬期（4 月～11 月）と冬期（12 月～3 月）の交通量を比較して沿道条件別に低下率を求めた。

冬期交通量は一般交通量調査結果にこの交通量低下率（表 5-1）を乗じたものである。なお、山地部が 3.8% 増となっているのは、新潟県湯沢町に代表されるようにスキー等の観光需要が増加するためと考えられる。

表 5-1 冬期交通量低下率

DID	市街地	平地	山地
-10.0%	-10.0%	-12.5%	+3.8%

### 5.1.3 リンク走行時間（速度）の算定

リンク走行時間については、第 2 章の表 2-7 で示した ETC2.0 プローブデータより算出したものを適用した（表 5-2 として次頁に再掲）。算出対象範囲は、県内でも ETC2.0 プローブデータが多く収集されていると考えられる新潟県内の中心都市である新潟市、長岡市、上越市を選定<sup>1)</sup>し、第 2 章小括に記したように全国道路・街路交通情勢調査に基づくカテゴリ別（道路種別、車線数、沿道状況）に降雪状況に応じた平均旅行速度とした。算出対象期間は、非冬期（秋期）を平成 29 年 10 月、冬期間を平成 30 年 1 月、2 月としたものであり、この旅行速度からリンク（交通量調査単位区間）毎に走行時間を設定している。

また、冬期間については、非冬期に比べ走行時間が増加する点を反映するため、冬期走行時間増加率を、ETC2.0 プローブデータから設定した（同様に表 5-2 に示した）。

交通時間価値は、全国道路・街路交通情勢調査<sup>1)</sup>による車種区分<sup>2)</sup>に整合を図り、本研究では簡易的に小型車を乗用車、大型車を普通貨物車として扱うこととした。

<sup>1)</sup> 県内すべての沿道状況、車線数別に平均旅行速度を算定するため、サンプルが多いと思われる中心 3 都市のデータを使用している。また、当該年度は 3 市の累計降雪量は同程度である。

<sup>2)</sup> 車種区分は小型車、大型車の 2 分類となっている。

表 5-2 道路種別・車線数・沿道条件と気象条件ごとの平均旅行速度<sup>3</sup>

道路種別	車線数	沿道状況	平均旅行速度 km/h															
			秋期			冬期降雪なし			冬期降雪あり			冬期降雪なし 速度低下率			冬期降雪あり 速度低下率			
			peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h	peak	off-peak	12h	②/①			③/①			
高速道路	2	平地	85.3	86.4	86.0	80.7	84.7	83.4	68.2	76.1	73.5	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	
		山地	86.9	87.4	87.2	85.2	89.1	87.9	68.8	72.4	71.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	
		4	平地	91.4	92.2	92.0	88.2	91.6	90.6	71.2	75.7	74.3	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
アクセス	4	DID(商業除)	36.4	41.1	39.5	35.9	43.9	41.1	26.2	32.4	30.2	0.0	0.1	0.0	-0.3	-0.2	-0.2	
		市街地	57.8	65.9	63.2	44.7	60.9	54.8	31.0	50.7	42.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.5	-0.2	-0.3	
		4	平地	56.9	62.7	60.8	49.3	61.3	57.0	40.2	55.2	49.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
コントロール	6	DID(商業除)	38.5	52.1	47.0	35.5	51.0	44.9	30.8	45.4	39.6	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	
		平地	42.1	65.3	55.8	37.8	65.4	53.4	30.1	57.0	44.7	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-0.2	
		2	DID(商業除)	26.1	23.2	24.0	30.8	32.8	32.2	26.1	29.0	28.0	0.2	0.4	0.3	0.0	0.2	0.2
直轄国道	2	市街地	35.9	36.7	36.4	27.7	31.5	30.3	23.2	29.4	27.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.2	-0.3	
		平地	45.5	45.2	45.3	39.8	42.3	41.5	36.7	40.6	39.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	
		2	山地	48.5	47.7	47.9	45.4	45.8	45.7	38.5	40.3	39.7	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
		4	DID	21.2	22.1	21.8	19.2	21.8	20.9	18.2	20.4	19.7	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	DID(商業除)	26.8	29.4	28.6	23.4	27.1	25.8	20.0	26.0	23.8	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
		4	市街地	33.7	36.2	35.4	29.4	32.5	31.5	24.6	29.7	27.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
		4	平地	46.6	48.4	47.8	45.0	47.8	46.9	34.3	41.1	38.7	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.2	-0.2
		6	DID	23.6	23.0	23.2	21.2	22.5	22.1	20.6	21.3	21.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		6	市街地	13.4	15.8	15.0	12.4	15.2	14.2	10.3	14.5	12.9	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
		補助国道	1	平地	46.3	42.3	43.5	30.5	28.0	28.6	34.4	36.5	36.0	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1
1	山地			38.3	34.4	35.8	45.5	42.3	42.6	36.4	22.1	23.0	0.2	0.2	0.2	0.0	-0.4	-0.4
2	DID			29.1	29.4	29.3	25.8	26.5	26.2	18.7	22.9	21.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.3
2	DID(商業除)			20.9	21.6	21.4	19.6	20.9	20.5	17.3	19.1	18.4	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
2	市街地			37.4	37.0	37.1	30.9	32.7	32.1	25.1	28.0	27.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3
2	平地			37.6	38.3	38.1	33.5	36.2	35.3	27.7	32.4	30.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
2	山地			47.5	45.7	46.2	43.6	44.8	44.5	34.2	40.3	38.3	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-0.2
4	DID			23.8	24.1	24.0	22.2	22.1	22.1	18.1	20.0	19.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
4	DID(商業除)			24.6	24.4	24.5	24.3	24.3	24.3	22.5	24.1	23.6	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
4	市街地			28.0	27.9	27.9	25.7	25.7	25.7	20.1	23.1	21.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
主要地方道・県道	4	平地	36.4	34.9	35.4	30.3	30.9	30.7	26.7	29.8	28.7	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	
		4	山地	36.8	32.3	33.7	34.0	33.0	33.4	28.7	28.3	28.4	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2
		1	DID	18.9	17.9	18.3	20.6	18.1	18.9	17.0	17.0	17.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		1	DID(商業除)	21.3	21.2	21.2	26.2	17.6	20.6	22.9	19.7	21.2	0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.0
		1	市街地	24.3	25.4	25.0	16.4	21.4	19.0	24.6	26.8	25.9	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	0.1	0.0
		1	平地	30.0	29.9	29.9	30.2	28.3	29.1	24.9	26.1	25.6	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
		1	山地	25.5	20.5	21.7	22.7	25.9	24.6	31.9	19.7	23.6	-0.1	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1
		2	DID	21.6	21.4	21.5	18.5	19.3	19.0	17.3	19.4	18.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1
		2	DID(商業除)	22.3	23.0	22.7	19.7	20.9	20.5	18.3	19.8	19.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2
		2	市街地	29.6	28.4	28.8	26.9	27.2	27.1	22.4	24.0	23.4	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
主要地方道・県道	2	平地	36.6	36.0	36.2	33.6	34.2	34.0	29.0	31.6	30.6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	
		2	山地	33.7	30.3	31.1	32.5	25.9	27.7	28.1	24.7	25.7	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
		4	DID	27.8	27.6	27.7	22.1	23.6	23.1	20.8	23.4	22.5	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2
		4	DID(商業除)	22.6	23.3	23.1	18.9	21.4	20.6	16.5	20.6	19.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2
		4	市街地	31.2	29.6	30.1	29.3	29.7	29.6	26.9	27.5	27.3	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	平地	33.9	34.4	34.3	28.0	30.8	29.8	23.8	27.6	26.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
		6	DID	23.1	23.4	23.3	18.8	21.9	20.9	17.5	20.9	19.7	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2

<sup>3</sup> 本章では一般道を対象に算定しているため直轄国道，補助国道のみを使用している。その他のものは参考値となる。

## 5.1.4 冬期日数の設定

冬期日数は、気象庁の天気予報区域別<sup>2)</sup>に設定することとし、ある一定以上の降雪がみられた日を降雪日とした。年度による降雪量のバラツキを補正するため、気象庁の過去の降雪量<sup>3)</sup>から入手可能な平成24年度～平成30年度の7年間の平均降雪日数とした。

まず、第4章における時間価値推定のためのアンケート調査提示内容と整合を図るため、路面上に積雪がある日を特定するための条件を定めた。本研究では、大雪注意報が発令される条件である6時間15cm以上（1時間3cm以上）の降雪がみられた日と、直轄国道の新雪除雪出動基準（5～10cmの降雪量）<sup>4)</sup>を参考に除雪サイクルタイム<sup>4)</sup>を考慮し、3時間5cm以上の降雪がみられた日を降雪日（冬期降雪あり）とした。また、降雪が予想される日の前日として大雪注意報以上が発令された日<sup>5)</sup>の前日を降雪日前日（翌日降雪あり）とした。冬期（12月～3月の121日）のうち上記の日に該当しない日を冬期降雪なしとした。

表 5-3 新潟県の平均冬期日数<sup>5)</sup>

地区	天気予報区域	市町村	冬期降雪なし日数	大雪注意報・警報の前日日数 (翌日降雪あり)	冬期降雪あり日数
下越	岩船	村上市	82	13	26
		関川村	82	13	26
		粟島浦村	115	3	3
	新発田	胎内市	81	14	26
		新発田市	95	20	6
		聖籠町	107	8	6
	五泉	五泉市	90	19	12
		阿賀町	78	9	34
	新潟	新潟市	106	9	6
		阿賀野市	97	18	6
		弥彦村	101	8	12
		燕市	101	8	12
中越	三条	田上町	92	17	12
		加茂市	81	28	12
		三条市	78	22	21
	長岡	見附市	87	13	21
		長岡市	76	24	21
		出雲崎町	87	13	21
		小千谷市	77	23	21
	柏崎	柏崎市	79	29	13
		刈羽村	92	16	13
	十日町	十日町市	68	14	39
		津南町	63	12	46
	魚沼	魚沼市	73	16	32
	南魚沼	南魚沼市	69	15	37
		湯沢町	73	11	37
上越	上越	上越市	75	26	20
	妙高	妙高市	66	16	39
	糸魚川	糸魚川市	75	24	22
佐渡	佐渡	佐渡市	116	2	3

<sup>4)</sup> 北陸地方整備局では概ね3時間以内。なお、気象庁によれば時間3cm以上の降雪は強降雪とされている。

<sup>5)</sup> 冬期全体の日数は12月～3月の121日と仮定した。

この冬期日数から、参考までに長岡市を例に平均冬期交通時間価値を算定した結果、表 5-4 に示したように乗用車：70.8 円/分台、普通貨物車 92.7 円/分台となった。平均値は、冬期降雪なしと翌日降雪あり、降雪ありのそれぞれに日数による加重平均値である。

本項では、前述の通りの冬期日数区分で算定しているが、計算の簡単のためには、下表のように平均的な冬期交通時間価値を設定することも 1 つの手段である。

表 5-4 冬期平均交通時間価値の設定（長岡市の例）

	交通時間価値（円/分台）			
	冬期降雪なし <sup>6</sup>	翌日降雪あり	冬期降雪あり	冬期平均
乗用車	57.2	67.2	124.1	70.8
普通貨物	65.6	95.6	187.7	92.7
冬期日数	76	24	21	121

#### 5.1.5 走行時間短縮便益の算定結果

便益算定結果を次ページに示す。変動と一定の差を便益の差（図 5-1）、変動と一定の比（変動／一定）を便益の比（図 5-2）とする。

まず、便益の差についてみると、便益算定手法から分かるように、便益は走行台時に大きく依存するものであり、交通量が多く速度低下しやすい市街地部（新潟市、三条市、長岡市）で差が大きくなっている。一方で、市街地部に比べて交通量は少ない地域ではあるものの、降雪日数が最も多い津南町周辺でも高めの便益差がみられた。どの道路区間でもマイナス便益は確認されなかった。

便益の比に着目すると、降雪日数に大きく依存しているが、このような地域は交通量が少なめの中山間地が多く、元々の便益額自体が小さいことも比に影響している点に注意が必要である。

今回の便益算定では、整備ありとなしの速度差を 1km/h と設定していることもあり、冬期交通時間価値の考慮による便益額の差が小さくなりがちであるが、地域特性である降積雪の影響を反映した交通時間価値を用いた便益計測により、道路事業評価をする意義は十分に大きいと考えられる。冬期間の交通量減少分以上に、冬期交通時間価値の増加が道路事業の便益に与える影響は大きく、この点を反映することで降積雪地域の実態に整合した道路事業評価を実施することが可能である。

<sup>6</sup> 冬期降雪なしの場合については、非冬期と同様の時間価値とした。



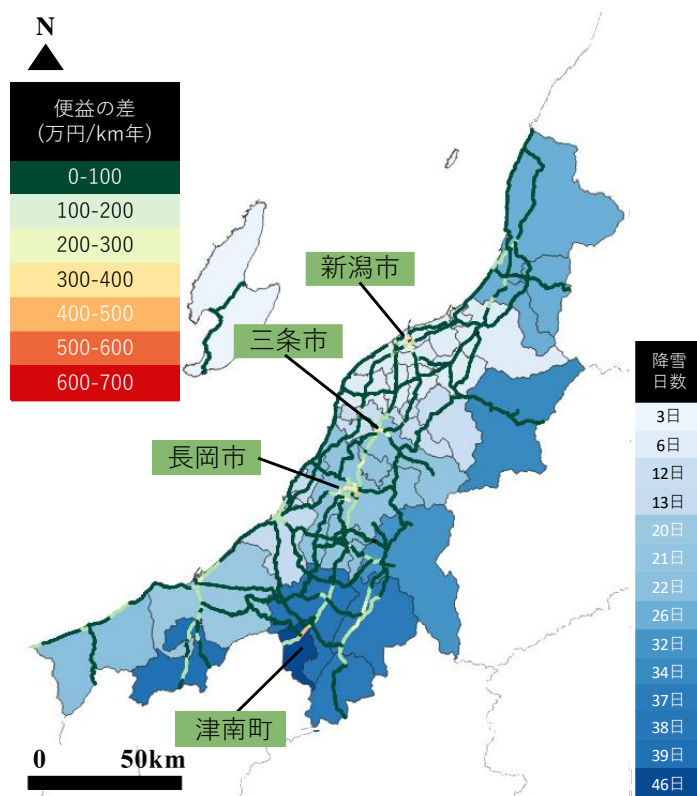


図 5-1 走行時間短縮便益の差 (新潟県・一般国道)

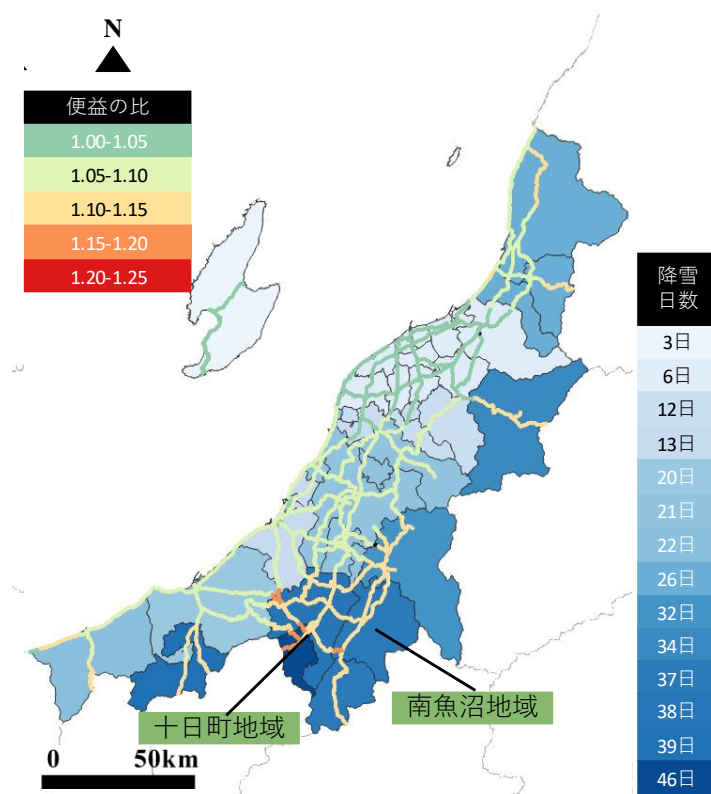


図 5-2 走行時間短縮便益の差 (新潟県・一般国道)

## 5.2 消融雪施設導入評価への適用

本項では、将来の除雪省力化・省人化に向けた1つのアプローチとして、消融雪施設導入による効果評価（費用便益分析）を行う。なお、対象とする除雪工種は新設除雪としている。

導入対象としては、第2章、第3章の分析結果を踏まえ、信号交差点とすることとした。評価は寺内ら<sup>9)</sup>による報告にもあるように、遅れ時間の改善効果をベースとする。

第3章の冬期実態分析結果に基づいた、本項における評価の流れを以下に示す。

(1) 路面状態別の信号交差点総遅れ時間を算定

↓

(2) 路面状態悪化による損失額を算定

| ・総遅れ時間×冬期交通時間価値  
| (シャーベット、圧雪(滑)、圧雪(凸凹)の3パターン)

↓

(3) 1冬あたりの損失額を算定

| ・路面積雪がある日数は表5-3の通りとする。  
| ・ライブカメラ映像から冬期間の路面状態出現率を設定し、これに基づき  
| 1冬の損失額とする。

↓

(4) 消融雪施設導入便益(万円/1冬)

| ・機械除雪は、消雪パイプ等の消融雪施設導入区間を除雪対象としないこと、  
| 第3章より消融雪施設導入箇所は圧雪状路面が形成されづらいこと(シャー  
| ーベットまでは許容範囲)からすれば、機械除雪を実施する場合と消融雪施  
| 設導入時の路面状態差に基づく損失額の差分を便益と捉えることができる。  
| ・よって、本論文では、機械除雪を想定した(シャーベットや圧雪路面が混  
| 在する現状の路面状態出現状況に基づく)損失額と、消融雪施設による対応  
| を想定した(シャーベット路面のみの場合の)損失額との差分を便益とする。

↓

(5) 費用便益分析

・本論文では、評価対象とする消融雪施設を最もポピュラーで低コストな散水  
タイプの消雪パイプ(ただし、導入は地下水の取水可能な地域に限られる)  
と、より消雪効果は高い(かつ環境面にも配慮)が導入コストも高い施設と  
して無散水タイプの地熱ヒートパイプ、地熱ヒートポンプの2種類を評価。  
・コスト面のうち、ランニングコストについては、機械除雪による場合のコス  
トと消融雪施設による場合のコストの差分を計上する。

### 5.2.1 信号交差点流入部の総遅れ時間算定シミュレーション

信号交差点の遅れ時間は、一般に交通需要と流入部の車線構成、信号制御によって左右されるものである。実態からすれば、これら要素の組み合わせは多数存在し、それに応じて結果は異なると想定されるが、その全てのパターンを網羅することは現実的な作業量とは言えない。そこで本研究では、最も基本的な交差点構造を想定し、これらの要素をある程度加味したシミュレーションを行うことで対応することとした。

ここではシミュレーションの単純化のために、交差点の主道路側と従道路側に分けて流入部毎に分析することとし、以下のとおりの前提条件を設定し表 5-5、表 5-6 に整理した。

#### ①信号制御

最も単純な 2 現示制御で右折現示等は設けない。

日本道路交通情報センター提供の一般道路の交差点制御情報<sup>7)</sup>より、2 現示制御の新潟県における平均値を求め、サイクル長 103s (スプリット 63 : 37) とした。

ただし、黄色 4 秒、全赤 2 秒。

#### ②流入部の 1 時間あたり平均流入交通量 (台/h)

冬期交通量として主道路の平均流入交通量 100 台/h~1,000 台/h まで 10 ケース (1 ケースにつき+100 台) とし、日あたり断面交通量換算<sup>7)</sup>で約 3,200~32,000 台/日に相当するよう設定した。つまり、道路の種級区分<sup>8)</sup>上、高速道路を除く地方部の一般道となる第 3 種の各級を概ね網羅するものである。

対して、従道路側は主道路流入交通量の 50% (スプリットを参考に) として設定した。

#### ③車線構成

流入交通量、路面状態に応じて、過飽和とならないよう<sup>8)</sup>適切な道路構造 (車線数・車線構成) とする。流入部の飽和状況からケース 6 のみ主道路と従道路の流入部車線構成が異なる。

#### ④右折交通量

上記②の平均流入交通量に対し、右折専用車線を設置するケース 6~10 の右折交通量は、流入交通量全体に対して 1 割~4 割の 4 パターンを設定。ここで、4 割までとするのは、遅れ時間のベースとなる Webster 式で対応可能な範囲<sup>8)</sup>とするためである。

なお、これ以降の算定過程については、1 流入部あたりの損失時間がもっとも大きくなるパターン 1 (右折交通量 1 割) とした場合を例示し、費用便益比についてはパターン 1~パターン 4 の結果全てを示すこととする。

<sup>7)</sup> 1 時間あたり平均流入交通量×12 時間×昼夜率として算出。

<sup>8)</sup> 後述する平均遅れ時間算定として一般的な Webster 式は過飽和状態の算定に対応していないため。

⑤飽和交通流率

直進 1,700pcu/青 1h, 右左折 1,530 pcu/青 1h とした。これは、第3章で述べた乾燥路面時の実測値から観測サンプル数の加重平均値として算出したものである。右左折車線の飽和交通流率については、飽和交通流率の基本値の比率（直進 2,000pcu/青 1h, 右左折 1,800pcu/青 1h）から設定した。

なお、降積雪時については、第3章による路面状態別の飽和交通流率低下率<sup>9</sup>を反映した。

⑥昼夜率

新潟県の平均的な数値として道路交通センサスから 1.33<sup>1)</sup>

⑦大型車混入率

新潟県の平均的な数値として道路交通センサスから 14.7%<sup>1)</sup>

表 5-5 平均遅れ時間算定の前提条件（主道路）

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
昼夜率		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
日換算断面交通量	台/日	3,200	6,400	9,600	12,800	16,000	19,200	22,300	25,500	28,700	31,900
	台/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000
流入部の冬期平均時間交通量		-					右折車線の交通量は時間交通量の1割～4割を配分（4パターン）				
備考											
流入部車線構成											
流入部車線数		1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
単路部車線数		2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
飽和交通流率 S	直進	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
	右左折	-	-	-	-	-	1,530	1,530	1,530	1,530	1,530
サイクル長 C	秒	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
有効青時間 G	秒	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
G/C		0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592

表 5-6 平均遅れ時間算定の前提条件（従道路）

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
昼夜率		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
日換算断面交通量	台/日	1,600	3,200	4,800	6,400	8,000	9,600	11,200	12,800	14,400	16,000
	台/h	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
流入部の冬期平均時間交通量		-					右折車線の交通量は時間交通量の1割～4割を配分（4パターン）				
備考											
流入部車線構成											
流入部車線数		1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
単路部車線数		2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
飽和交通流率 S	直進	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
	右左折	-	-	-	-	-	-	1,530	1,530	1,530	1,530
サイクル長 C	秒	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
有効青時間 G	秒	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
G/C		0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369

<sup>9</sup> シャーベット状：2割減，圧雪(滑)：3割減，圧雪(凸凹)：5割減。

## 5.2.2 平均遅れ時間の算定式

遅れ時間の算定には、Webster 式 (1958) <sup>9)</sup>を適用し、1 流入部 1 台あたりの平均遅れ時間 ( $d$ ) は、式(1)に示した。

これをベースとして、流入交通量とサイクル長を考慮し、流入部における総遅れ時間を算定することで、路面状態や流入部の車線構成による信号交差点交通処理への影響を分析した。

$$d = \frac{(1-g)^2}{2(1-\lambda)} C + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} x^{(2+5G)} \quad (1)$$

ここで、  
 $C$  : サイクル長 (s)  
 $G$  : 有効青時間 (s)  
 $g$  :  $G/C$   
 $\lambda$  : 交差点流入部の需要率 ( $\lambda = q/S$ )  
 $S$  : 飽和交通流率 (台/s)  
 $q$  : 流入交通量 (台/s)  
 ただし、 $x : \lambda/g < 1$

### 5.2.3 1 時間あたりの総遅れ時間算定結果

表 5-7 (主道路), 表 5-8 (従道路) に, ケース別の流入部における平均遅れ時間算定結果一覧を示し, 図 5-3 (主道路), 図 5-4 (従道路) に総遅れ時間をグラフ化した. ただし, この結果は 1 流入部のものであるため, 交差点全体としては主・従道路ともに 2 倍として考えることに注意が必要である.

主道路従道路ともに, 基本的には交通量増と路面状況の悪化に伴い総遅れ時間は増加する. 特に交通量が多い主道路側では, 最も悪条件となる圧雪 (凸凹) 状の路面で流入部が過飽和状態に近づくとつれ, 遅れ時間が急増する結果 (ケース 5) となる. ケース 6 以降は交通需要増に応じて付加車線を設置したものとなり, ケース 5 からケース 6 にかけて積雪路面時の総遅れ時間が減少することが確認できる. このように, 適切に付加車線を設置することで, 特に圧雪 (凸凹) 路面に対しては総遅れ時間の減少に大きく寄与する可能性が高いと言える.

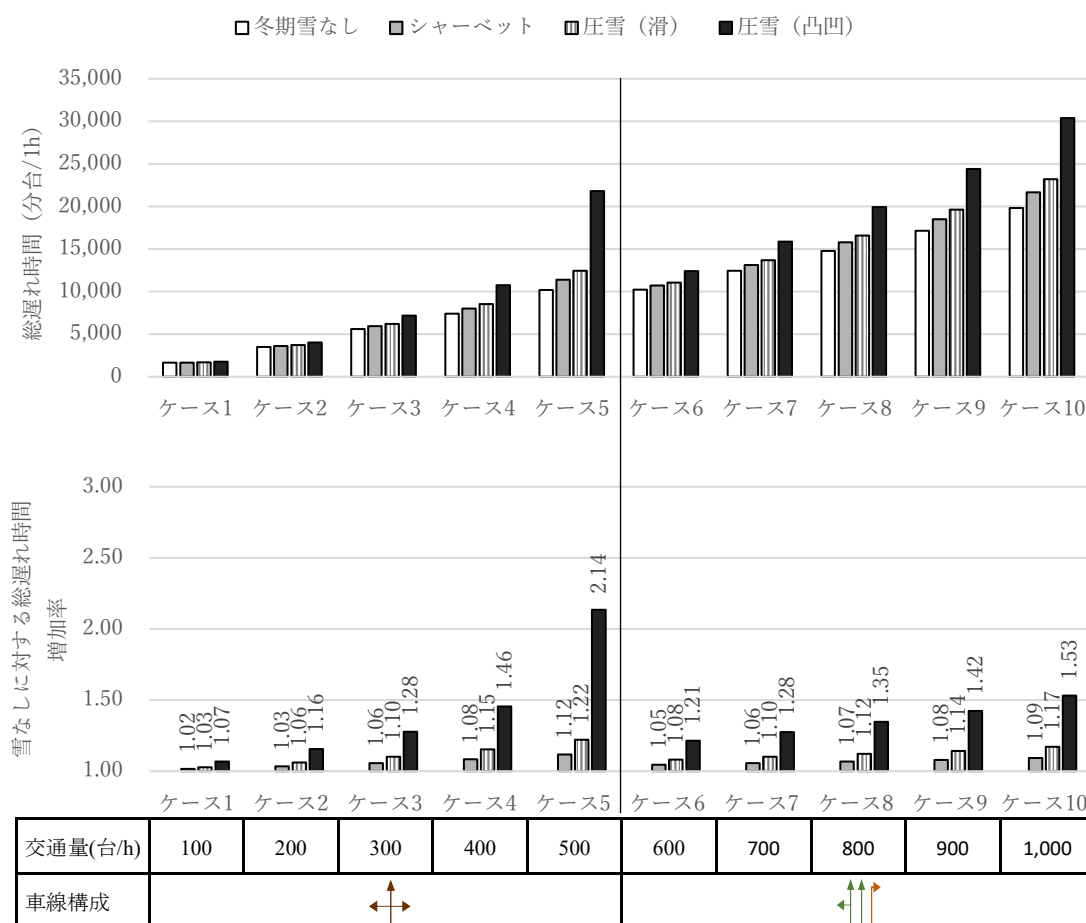


図 5-3 ケース別の流入部における総遅れ時間 (主道路) <sup>10</sup>

<sup>10</sup> ケース 5 の圧雪凸凹時の総遅れ時間が突出しているのは, 表 5-7 に示した通り, 流入路の需要率・スプリット比を示す x の値が限りなく 1.0 (0.993) に近いためである.

対して、従道路側を図5-4に示した。これについてはケース7以降が付加車線設置のものとなる。従道路は、主道路に比べ50%の交通量を設定しているが、青時間が短いため1台あたりの遅れ時間は増加することとなり、総遅れ時間は単純に半減とはならない。全体的に、表5-8にあるように需要率とスプリット比に余裕があるため、交通需要増と路面悪化にともない徐々に遅れ時間が増加する傾向となっている。

これらのことからすれば、第3章で述べたように冬期交通の円滑化を図る上では、圧雪（凸凹）状の路面を極力回避するよう維持管理に努めるとともに、冬期の信号交差点容量低下を考慮した余裕を持った交差点計画・設計が必要かつ重要であることが確認できる。

維持管理面を主として見れば、消雪パイプ設置区間は圧雪路面に発展する危険性が少ないことも第3章で確認済みであり、消雪パイプに代表されるような消融雪施設対応により圧雪（凸凹）路面の形成を抑制することができれば、その便益は非常に大きいと推測される。

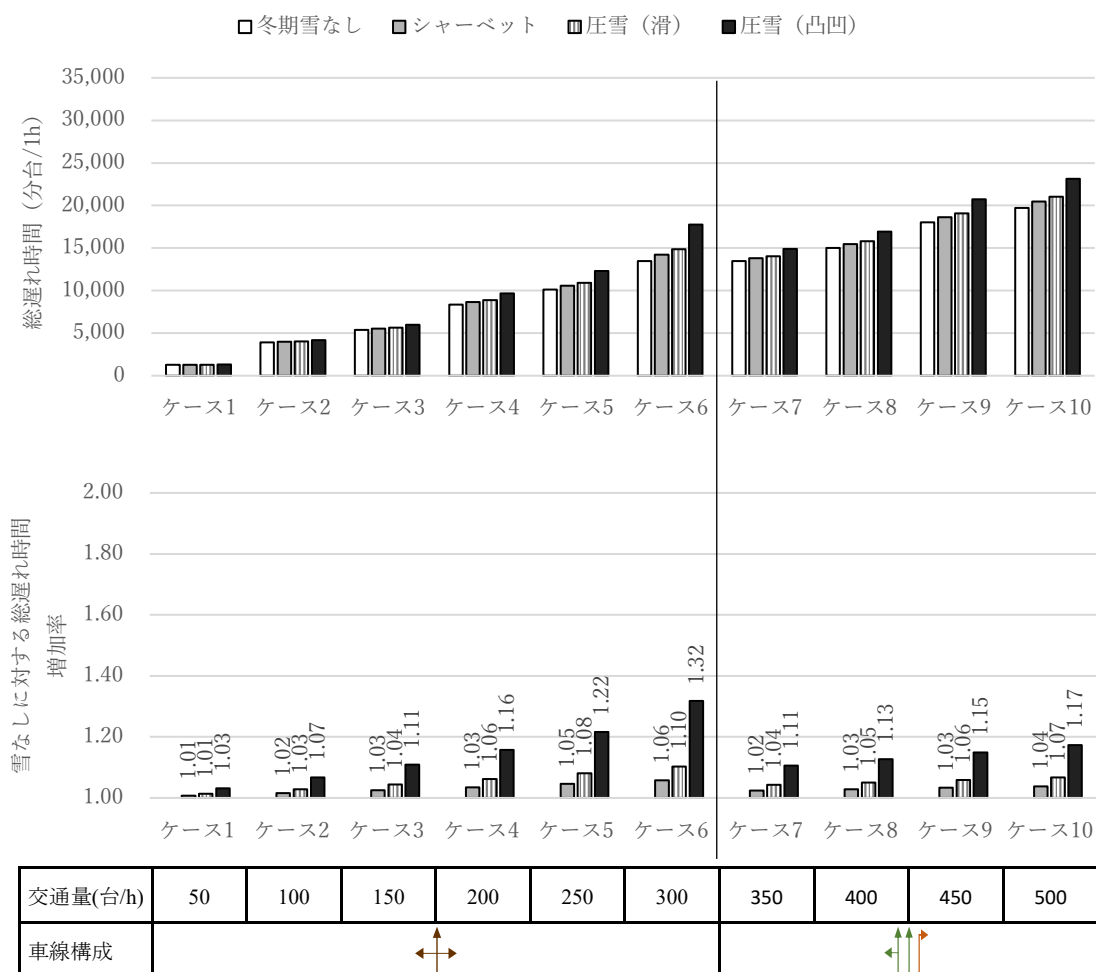


図 5-4 ケース別の流入部における総遅れ時間 (従道路)

表 5-7 路面状態別平均遅れ時間シミュレーション結果 (主道路側)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
昼夜率		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33		
日換算断面交通量		台/日	3,200	6,400	9,600	12,800	16,000	19,200	22,300	25,500	28,700	31,900	
流入部の冬期平均時間交通量		台/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	
流入部の冬期平均時間交通量		備考	-										
流入部車線構成													
流入部車線数		1	1	1	1	1	3	3	3	3	3		
単路部車線数		2	2	2	2	2	4	4	4	4	4		
飽和交通流率 S		直進	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
		右左折	-	-	-	-	-	1,530	1,530	1,530	1,530		
サイクル長 C		秒	103	103	103	103	103	103	103	103	103		
有効青時間 G		秒	61	61	61	61	61	61	61	61	61		
G/C			0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592	0.592		
流入路の需要率 λ	全方向	冬期雪なし	1.0	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	-	-	-	-	
		シャーベット	0.8	0.074	0.147	0.221	0.294	0.368	-	-	-	-	
		圧雪 (滑)	0.7	0.084	0.168	0.252	0.336	0.420	-	-	-	-	
		圧雪 (凸凹)	0.5	0.118	0.235	0.353	0.471	0.588	-	-	-	-	
流入路の需要率・スプリット比 x <1	全方向	冬期雪なし	1.0	0.099	0.199	0.298	0.397	0.497	-	-	-	-	
		シャーベット	0.8	0.124	0.248	0.372	0.497	0.621	-	-	-	-	
		圧雪 (滑)	0.7	0.142	0.284	0.426	0.568	0.709	-	-	-	-	
		圧雪 (凸凹)	0.5	0.199	0.397	0.596	0.795	0.993	-	-	-	-	
流入路の需要率 λ	左直・直	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	0.159	0.185	0.212	0.238	0.265
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	0.199	0.232	0.265	0.298	0.331
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	0.227	0.265	0.303	0.340	0.378
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	0.318	0.371	0.424	0.476	0.529
流入路の需要率・スプリット比 x <1	左直・直	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	0.268	0.313	0.358	0.402	0.447
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	0.335	0.391	0.447	0.503	0.559
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	0.383	0.447	0.511	0.575	0.639
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	0.536	0.626	0.715	0.805	0.894
流入路の需要率 λ	右折	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	0.039	0.046	0.052	0.059	0.065
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	0.049	0.057	0.065	0.074	0.082
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	0.056	0.065	0.075	0.084	0.093
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	0.078	0.092	0.105	0.118	0.131
流入路の需要率・スプリット比 x <1	右折	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	0.066	0.077	0.088	0.099	0.110
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	0.083	0.097	0.110	0.124	0.138
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	0.095	0.110	0.126	0.142	0.158
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	0.132	0.155	0.177	0.199	0.221
1台あたりの平均遅れ時間 d (秒/台)	冬期雪なし	全方向	9.10	9.71	10.41	11.21	12.15	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	10.18	10.51	10.87	11.25	11.65	
		右折	-	-	-	-	-	8.91	8.98	9.04	9.10	9.16	
		平均	-	-	-	-	-	10.06	10.36	10.69	11.03	11.40	
	シャーベット	全方向	9.25	10.05	11.00	12.15	13.58	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	10.69	11.15	11.65	12.21	12.81	
		右折	-	-	-	-	-	9.01	9.09	9.17	9.25	9.33	
		平均	-	-	-	-	-	10.52	10.94	11.41	11.91	12.46	
	圧雪 (滑)	全方向	9.35	10.30	11.47	12.93	14.83	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	11.08	11.66	12.29	13.00	13.79	
		右折	-	-	-	-	-	9.07	9.17	9.26	9.35	9.45	
		平均	-	-	-	-	-	10.88	11.41	11.99	12.63	13.36	
圧雪 (凸凹)	全方向	9.71	11.22	13.28	16.31	25.95	-	-	-	-	-		
	左直	-	-	-	-	-	12.57	13.63	14.90	16.43	18.34		
	右折	-	-	-	-	-	9.30	9.43	9.57	9.71	9.86		
	平均	-	-	-	-	-	12.24	13.21	14.36	15.76	17.49		
1時間あたりの総遅れ時間 D (分)	冬期雪なし	全方向	1,638	3,495	5,619	7,398	10,205	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	9,165	11,356	13,694	15,521	18,178	
		右折	-	-	-	-	-	1,070	1,077	1,085	1,638	1,650	
		計	-	-	-	-	-	10,235	12,433	14,779	17,159	19,828	
	シャーベット	全方向	1,664	3,617	5,939	8,021	11,405	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	9,621	12,043	14,685	16,844	19,985	
		右折	-	-	-	-	-	1,081	1,090	1,100	1,664	1,679	
		計	-	-	-	-	-	10,702	13,134	15,784	18,508	21,665	
	圧雪 (滑)	全方向	1,683	3,709	6,192	8,536	12,457	-	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	9,976	12,588	15,485	17,937	21,516	
		右折	-	-	-	-	-	1,089	1,100	1,111	1,683	1,701	
		計	-	-	-	-	-	11,065	13,688	16,596	19,621	23,217	
圧雪 (凸凹)	全方向	1,748	4,039	7,173	10,768	21,798	-	-	-	-	-		
	左直	-	-	-	-	-	11,313	14,725	18,770	22,671	28,613		
	右折	-	-	-	-	-	1,116	1,132	1,149	1,748	1,775		
	計	-	-	-	-	-	12,429	15,857	19,919	24,420	30,388		



表 5-8 路面状態別平均遅れ時間シミュレーション結果 (従道路側)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
昼夜率		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33		
日換算断面交通量		台/日	1,600	3,200	4,800	6,400	8,000	9,600	11,200	12,800	14,400	16,000	
流入部の冬期平均時間交通量		台/h	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
流入部の冬期平均時間交通量		備考	-										
流入部車線構成			↕↕	↕↕	↕↕	↕↕	↕↕	↕↕	↕↕↕↕	↕↕↕↕	↕↕↕↕	↕↕↕↕	
流入部車線数			1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	
単路部車線数			2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	
飽和交通流率 S		直進	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	
		右左折	-	-	-	-	-	-	1,530	1,530	1,530	1,530	
サイクル長 C		秒	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	
有効青時間 G		秒	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
G/C			0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	0.369	
流入路の需要率 λ	全方向	冬期雪なし	1.0	0.029	0.059	0.088	0.118	0.147	0.176	-	-	-	-
		シャーベット	0.8	0.037	0.074	0.110	0.147	0.184	0.221	-	-	-	-
		圧雪 (滑)	0.7	0.042	0.084	0.126	0.168	0.210	0.252	-	-	-	-
		圧雪 (凸凹)	0.5	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	0.353	-	-	-	-
流入路の需要率・スプリット比 x <1	全方向	冬期雪なし	1.0	0.080	0.159	0.239	0.319	0.399	0.478	-	-	-	-
		シャーベット	0.8	0.100	0.199	0.299	0.399	0.498	0.598	-	-	-	-
		圧雪 (滑)	0.7	0.114	0.228	0.342	0.456	0.569	0.683	-	-	-	-
		圧雪 (凸凹)	0.5	0.159	0.319	0.478	0.638	0.797	0.957	-	-	-	-
流入路の需要率 λ	左直・直	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	-	0.093	0.106	0.119	0.132
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	-	0.116	0.132	0.149	0.165
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	-	0.132	0.151	0.170	0.189
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	-	0.185	0.212	0.238	0.265
流入路の需要率・スプリット比 x <1	左直・直	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	-	0.251	0.287	0.323	0.359
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	-	0.314	0.359	0.404	0.448
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	-	0.359	0.410	0.461	0.512
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	-	0.502	0.574	0.646	0.717
流入路の需要率 λ	右折	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	-	0.023	0.026	0.029	0.033
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	-	0.029	0.033	0.037	0.041
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	-	0.033	0.037	0.042	0.047
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	-	0.046	0.052	0.059	0.065
流入路の需要率・スプリット比 x <1	右折	冬期雪なし	1.0	-	-	-	-	-	-	0.062	0.071	0.080	0.089
		シャーベット	0.8	-	-	-	-	-	-	0.078	0.089	0.100	0.111
		圧雪 (滑)	0.7	-	-	-	-	-	-	0.089	0.101	0.114	0.127
		圧雪 (凸凹)	0.5	-	-	-	-	-	-	0.124	0.142	0.159	0.177
1台あたりの平均遅れ時間 d (秒/台)	冬期雪なし	全方向	21.13	21.80	22.50	23.26	24.06	24.93	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	22.61	22.94	23.29	23.65	
		右折	-	-	-	-	-	-	20.99	21.06	21.13	21.21	
		平均	-	-	-	-	-	-	22.45	22.76	23.07	23.40	
	シャーベット	全方向	21.30	22.15	23.07	24.07	25.16	26.36	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	23.20	23.65	24.11	24.59	
		右折	-	-	-	-	-	-	21.12	21.21	21.30	21.39	
		平均	-	-	-	-	-	-	23.00	23.40	23.83	24.27	
	圧雪 (滑)	全方向	21.42	22.40	23.49	24.68	26.02	27.51	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	23.65	24.18	24.73	25.31	
		右折	-	-	-	-	-	-	21.21	21.31	21.42	21.52	
		平均	-	-	-	-	-	-	23.41	23.89	24.40	24.93	
	圧雪 (凸凹)	全方向	21.81	23.27	24.96	26.91	29.28	32.87	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	25.20	26.06	26.97	27.96	
		右折	-	-	-	-	-	-	21.50	21.65	21.81	21.96	
		平均	-	-	-	-	-	-	24.83	25.62	26.46	27.36	
1時間あたりの総遅れ時間 D (分台)	冬期雪なし	全方向	1,268	3,923	5,401	8,372	10,107	13,462	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	12,209	13,767	16,768	18,444	
		右折	-	-	-	-	-	-	1,260	1,264	1,268	1,272	
		計	-	-	-	-	-	-	13,468	15,030	18,037	19,716	
	シャーベット	全方向	1,278	3,986	5,536	8,664	10,569	14,236	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	12,530	14,189	17,359	19,180	
		右折	-	-	-	-	-	-	1,267	1,272	1,278	1,283	
		計	-	-	-	-	-	-	13,797	15,461	18,636	20,463	
	圧雪 (滑)	全方向	1,285	4,032	5,638	8,887	10,928	14,853	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	12,771	14,507	17,807	19,744	
		右折	-	-	-	-	-	-	1,272	1,279	1,285	1,291	
		計	-	-	-	-	-	-	14,043	15,786	19,092	21,035	
	圧雪 (凸凹)	全方向	1,308	4,188	5,990	9,689	12,297	17,750	-	-	-	-	
		左直	-	-	-	-	-	-	13,609	15,635	19,421	21,811	
		右折	-	-	-	-	-	-	1,290	1,299	1,308	1,318	
		計	-	-	-	-	-	-	14,899	16,934	20,729	23,129	

## 5.2.4 路面状態悪化による1日あたり信号交差点損失額評価

本節では、前述の総遅れ時間と第4章で推定した冬期交通時間価値を用いて、信号交差点全体の降積雪による損失額（円/日）を算出する。

算出にあたっては、前項における1時間あたりの総遅れ時間を日あたりに換算し、交差点全体の総遅れ時間としたうえで冬期交通時間価値を乗じている。

図5-5にシャーベット、圧雪（滑）、圧雪（凸凹）の路面状態別に交差点1箇所1日あたりの損失額を示した。損失額の算定式は単純であり、式(2)のとおりである。時間価値については、第4章で参考値として示した冬期平均交通時間価値を適用する。

この結果、圧雪（凸凹）路面ではケース5、及びケース10で最大となる約3,300万円/日の損失額となった（図5-5）。

$$\text{信号交差点損失額： } BD_l = BD_{lo} - BD_{lw} \quad (2)$$

$$BD_{li} = D_i \times \alpha$$

ここで、

- $BD_l$  : 冬期路面悪化による損失額（円/日）
- $BD_{li}$  : 冬期路面状態  $i$  の場合の損失額（円/日）
- $i$  : 冬期雪なしの場合  $w$ , 冬期路面悪化時  $o$
- $D_i$  : 冬期路面状態  $i$  の場合の交差点総遅れ時間（分台/日）
- $\alpha$  : 冬期平均交通時間価値（円/分台）

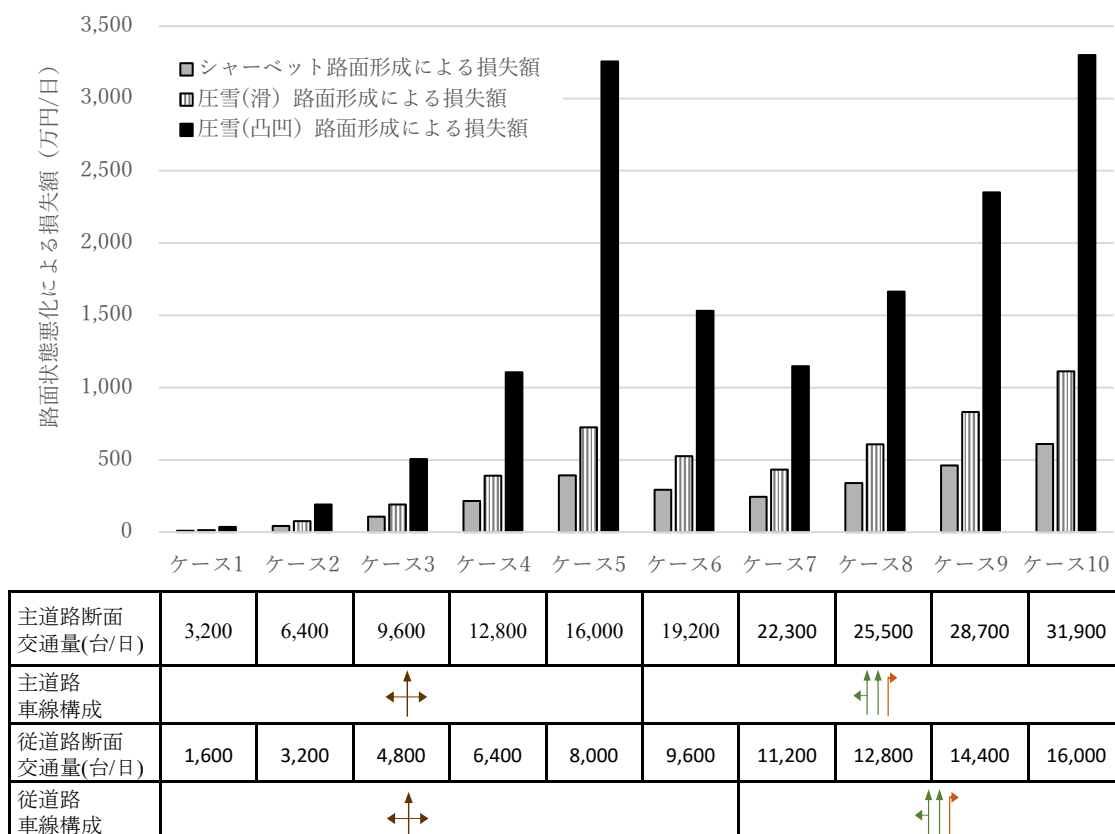


図 5-5 信号交差点 1 箇所あたりの損失額（長岡市の例）

次に、各路面状態の出現率を考慮して一冬の損失額とする。出現率は国道 8 号の 10 分単位ライブカメラ映像（長岡市堺）より目視で路面状態を分類することで設定した。対象期間は比較的降雪が多い年であった平成 29 年度にライブカメラ映像を取得できた期間の H30 年 1 月 22 日～2 月 2 日とした。その結果、各路面状態の出現率は乾燥または湿潤路面が約 13%，しゃべットが約 56%，圧雪（滑）が約 29%，凸凹状についてはわずか 2%程度であった。また、一冬の間路面積雪がある日数については、前項の表 5-3 で示した通り 21 日間（長岡市）とし、路面状態別の冬期日数を簡易的に推定した（表 5-9）。

表 5-9 各種路面の出現率（国道 8 号，長岡市の例）

路面状態	乾燥または湿潤	しゃべット状	圧雪(滑)	圧雪(凸凹)	計
出現率	13%	56%	29%	2%	100%
積雪路面出現率	-	65%	33%	2%	100%
積雪路面状態別 冬期日数	-	13.6 日	7.0 日	0.4 日	21 日

本研究から、主道路側の交通量が1万台を超えるケース4以降は、信号交差点1箇所あたりで1冬5千万以上の損失が生じているものと推定（図5-6）された。特に交通需要が多い信号交差点においては1億円/1冬を超える損失が生じている可能性があることが判明した。これは機械除雪による対応区間における損失額であることを付記しておく。ただし、この数値は除雪レベルの高い直轄国道における1週間程度の短期間で設定した路面出現率によるものであるため、あくまで参考値とする。第3章で述べたように、県道や市道の場合は、圧雪（凸凹）路面の出現率が直轄国道に比べ大幅に増加するため、損失額はより一層大きなものになる可能性は非常に高い。

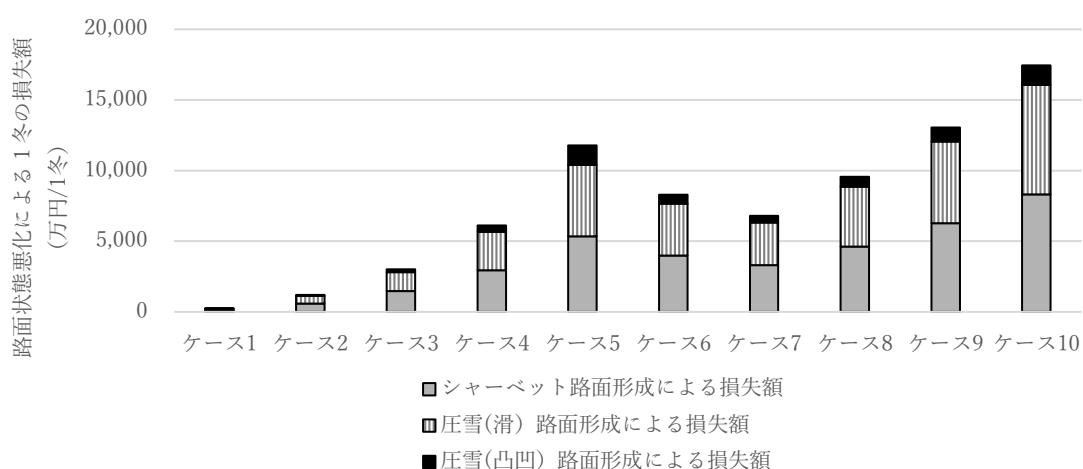


図 5-6 信号交差点1箇所あたりの1冬の総損失額（長岡市の例）

第3章で述べたように、消雪パイプ設置により圧雪を生じさせない効果が確認されている。すなわち、機械除雪の代わりに消雪パイプ等を導入することによる便益が算出可能（シャーベット状の路面までは許容範囲とする）である。その便益を、ここでは消融雪施設導入便益と呼ぶこととし、以下の通り試算した。

消融雪施設導入便益（万円/1冬）

$$= \text{現状損失額（図5-6の損失額）} - \text{シャーベット路面のみの場合の損失額}$$

なお、シャーベット路面のみの場合の損失額については、設定した長岡市の冬期日数21日間全てをシャーベット状路面とした場合の損失額である。

この結果、消融雪施設導入便益額は、図5-7に示す通り信号交差点の交通量に応じて1冬あたり約55万円～約4,600万円と推定された。

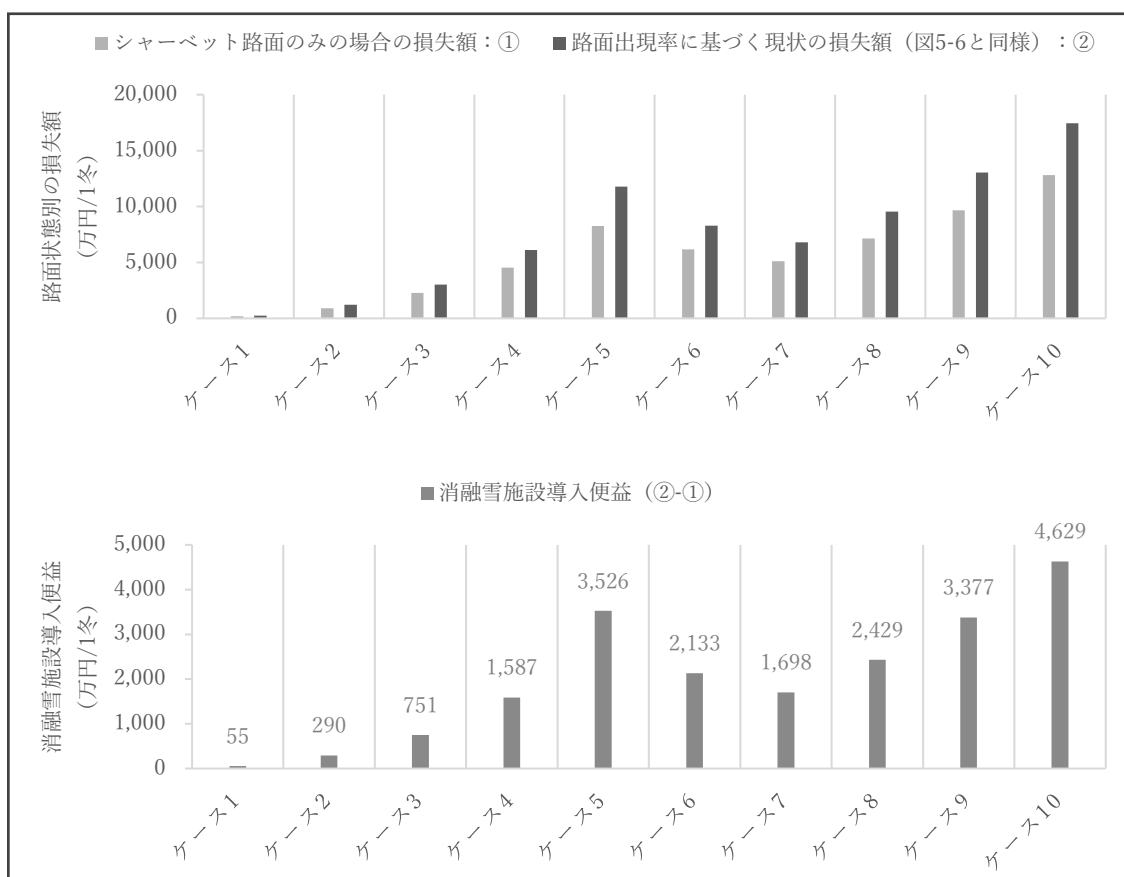


図 5-7 消融雪施設導入便益額

## 5.2.5 消融雪施設の導入効果分析（費用便益分析）

ここでは、消融雪施設導入便益と消融雪施設導入コストから費用便益比を算出し、導入効果が高い交差点の条件を抽出する。

まず、コスト面については新潟県よりご提供いただいたもの（表 5-10）をベースとした。別途、既存文献「路面消・融雪施設等設計要領（平成 20 年 5 月）」<sup>10)</sup>に記されているコストを用いることも考えたが、特定の箇所における事例紹介でしかないため平均的コストとして使用することには問題があるとして見送ることとした。

分析にあたり、ケース 1～10 の日換算断面交通量から標準的な車道幅員を設定<sup>11)</sup>し、車線構成を考慮して交差点面積を求めた。この際、各ケースの交通処理に必要な滞留長を算出し、その分の面積を含めている。得られた交差点面積を以下の表 5-10 のコストに乘じることで、ケース別の導入コストを設定した（表 5-11）。なお、ランニングコストに関しては、本項の冒頭で述べたように、機械除雪と消融雪施設によるコストの差分を計上している。

評価期間（耐用年数）は、消雪パイプの井戸及びパイプの減価償却期間<sup>12)</sup>から 15 年<sup>11)</sup>とした。なお、新潟県からの聞き取りによれば、ヒートパイプやヒートポンプ式は比較的新しい工法であるため、正確な耐用年数の公表値はないこと、ヒートパイプについては平成 7 年に設置したものが現在でも健在（概ね 20 年超経過）であること、ヒートポンプに関しても概ね 15 年～20 年程度となるのではないかとの回答を得たことから、その他の工法でも同様に 15 年とした。

次に、便益に関しては、前節の図 5-7 に示したものを単年度便益として使用した。基本的に本便益は走行時間短縮便益と同様の性質を持つものであるため、国土交通省によって示されている費用便益分析マニュアル（平成 30 年 2 月）<sup>13)</sup>に基づいて 15 年間の総便益額を算定した。

表 5-10 消融雪施設導入コスト<sup>12)</sup>

工法	散水消雪施設 (消雪パイプ)	地熱 ヒートパイプ	地熱 ヒートポンプ	参考 機械除雪
イニシャル コスト (円/m <sup>2</sup> )	約 25,000	約 80,000	約 91,500	-
ランニング コスト (円/m <sup>2</sup> 年)	約 150	約 0	約 150	約 1,900 (円/m/年)

<sup>11)</sup> 上越市消融雪施設整備計画（令和 2 年度→令和 6 年度）<sup>14)</sup>によれば、整備後 20 年以上経過する消雪パイプを優先更新対象としている。また、消融雪設備点検・整備ハンドブック<sup>15)</sup>によれば、消雪パイプの平均更新年数はその構成部位により 29 年～38.8 年とされている。

<sup>12)</sup> 新潟県よりデータ提供を頂いた。

### 5.2.6 費用便益分析結果

分析結果は、表 5-11 に示した。各パターンの便益額について確認すると、ケース 1～ケース 5 までは同一条件のため変動はないが、右折車線設置かつ右折交通量変動（1 割～4 割）となるケース 6～10 について詳細にみると、パターン 1 の便益額が最も高くなることが確認できる。つまり、1 流入部あたりの混雑度が高いほど遅れ時間が増大するため便益が高くなることとなる。

まず、消雪パイプについて見てみると、ケース 1 を除き費用便益比は 1.0 を上回る。特に過飽和に近い交差点であるケース 5 が最も導入効果が高い。

次に地熱ヒートパイプに関しては、イニシャルコストが高額な事もあり、ケース 4、ケース 5 のみで 1.0 を上回る。ケース 6、ケース 10 でも 1.0 以上となるのはパターン 1 のみとなる。

最後の地熱ヒートポンプについても同様に、ケース 4、ケース 5 のみが 1.0 を上回った。本分析結果からすれば、4 車線相互の交差点では導入面積が広くコストが嵩みやすい点が影響するが、2 車線相互で、かつ過飽和に近い信号交差点への消融雪施設導入は積極的に検討すべきであると言える。

ただし、本結果は、交差点全体に消融雪施設を導入した場合としているが、対象交差点の交通特性（例えば、直進交通需要が大半）によっては、特定の車線のみを設置するなどの工夫をすることで、導入コストを低減する事が可能と考えられる。また、分析に使用したイニシャルコストは、その地域の各種条件によって変動するものであることに留意する必要がある。

消雪パイプは、そのコストの安さから費用便益比は非常に高い。しかしながら、導入の検討にあたっては、地域性（地下水取水制限や北海道・東北地域のような凍結可能性）なども考慮し総合的に評価する必要がある。一方で、コストは高いが地下水を必要としないヒートパイプ等の無散水式消融雪施設導入の可能性を示すことができた意義は大きいと考えられる。この点に関連するように、諸橋ら<sup>16)</sup>も 1995 年当時に次のように述べている。「これまでの除排雪システムは、コストの面ではなるべく経費を安くという点から見てきたが、今後のシステムを検討するにあたっては、経費が高くてもそこから得られる便益が大きければそれを採用するという観点に立つことが重要」。本試算では、あくまでシャーベット路面損失額との差分を計算しているが、例えばヒートパイプ等であれば、乾燥路面と大差ない損失額まで緩和する可能性も考えられるため、特に交通需要が多い交差点に関しては、より消雪効果の高い施設の導入を積極的に検討することで、冬期交通の円滑化に大きく寄与する可能性が高いものと考えられる。

ただし、本分析のコストとしてはイニシャルコスト・ランニングコストから評価しているが、消融雪施設の故障時にはその修繕コストが高額になることも想定される。特に

比較的新しい工法であるヒートパイプやヒートポンプ式については、その施設耐用年数に関する知見も含め、今後コストに関する統計データを蓄積していくことが必要である。

表 5-11 費用便益比の算定結果 (パターン1~4)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
日換算断面交通量 (台/日)	主道路	3,200	6,400	9,600	12,800	16,000	19,200	22,300	25,500	28,700	31,900	
	従道路	1,600	3,200	4,800	6,400	8,000	9,600	11,200	12,800	14,400	16,000	
種級区分 (一般国道と仮定)	主道路	第3種 3級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 1級	第3種 1級	第3種 1級	第3種 1級	
	従道路	第3種 3級	第3種 3級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	第3種 2級	
車道幅員 (m)	主道路	3	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.5	3.5	3.5	3.5	
	従道路	3	3	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	
必要滞留長 (m)	主道路	40	60	90	110	140	80	100	110	120	140	
	従道路	30	40	50	60	70	50	50	60	70	70	
交差点全体面積 (m <sup>2</sup> )		876	1,299	1,862	2,252	2,772	3,356	5,409	6,084	6,759	7,459	
イニシャルコスト (万円)	消雪 パイプ	2,190	3,248	4,656	5,631	6,931	8,389	13,523	15,211	16,898	18,648	
	地熱ヒート パイプ	7,008	10,392	14,898	18,018	22,178	26,845	43,275	48,675	54,075	59,675	
	地熱ヒート ポンプ	8,015	11,886	17,040	20,608	25,366	30,704	49,496	55,672	61,848	68,253	
ランニングコスト (万円/年)	消雪 パイプ	13	19	28	34	42	50	81	91	101	112	
	地熱ヒート パイプ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	地熱ヒート ポンプ	13	19	28	34	42	50	81	91	101	112	
	機械除雪による コスト	116	162	223	268	329	215	380	426	472	517	
消融雪施設導入 単年便益額 (億円/年)	パターン1	0.01	0.03	0.08	0.16	0.35	0.21	0.17	0.24	0.34	0.46	
	パターン2	0.01	0.03	0.08	0.16	0.35	0.20	0.14	0.19	0.27	0.35	
	パターン3	0.01	0.03	0.08	0.16	0.35	0.19	0.12	0.17	0.24	0.31	
	パターン4	0.01	0.03	0.08	0.16	0.35	0.20	0.13	0.19	0.25	0.34	
消融雪施設導入 総便益額 (億円) ※15年間	パターン1	0.06	0.33	0.84	1.78	3.96	2.39	1.91	2.73	3.79	5.19	
	パターン2	0.06	0.33	0.84	1.78	3.96	2.25	1.54	2.14	2.97	3.93	
	パターン3	0.06	0.33	0.84	1.78	3.96	2.18	1.40	1.93	2.65	3.47	
	パターン4	0.06	0.33	0.84	1.78	3.96	2.23	1.51	2.16	2.84	3.86	
総コスト (億円) ※15年間	消雪 パイプ	0.07	0.11	0.17	0.21	0.26	0.59	0.90	1.02	1.13	1.26	
	地熱ヒート パイプ	0.53	0.80	1.16	1.40	1.72	2.36	3.76	4.23	4.70	5.19	
	地熱ヒート ポンプ	0.65	0.98	1.41	1.71	2.11	2.82	4.50	5.06	5.63	6.22	
費用 便益 比	パターン1	消雪 パイプ	0.94	2.91	4.86	8.43	15.11	4.04	2.11	2.67	3.34	4.13
		地熱ヒート パイプ	0.12	0.41	0.73	1.27	2.29	1.01	0.51	0.64	0.81	1.00
		地熱ヒート ポンプ	0.10	0.33	0.60	1.04	1.88	0.85	0.42	0.54	0.67	0.84
	パターン2	消雪 パイプ	0.94	2.91	4.86	8.43	15.11	3.80	1.71	2.10	2.62	3.13
		地熱ヒート パイプ	0.12	0.41	0.73	1.27	2.29	0.95	0.41	0.51	0.63	0.76
		地熱ヒート ポンプ	0.10	0.33	0.60	1.04	1.88	0.80	0.34	0.42	0.53	0.63
	パターン3	消雪 パイプ	0.94	2.91	4.86	8.43	15.11	3.67	1.65	1.89	2.33	2.76
		地熱ヒート パイプ	0.12	0.41	0.73	1.27	2.29	0.92	0.37	0.46	0.56	0.67
		地熱ヒート ポンプ	0.10	0.33	0.60	1.04	1.88	0.77	0.31	0.38	0.47	0.56
	パターン4	消雪 パイプ	0.94	2.91	4.86	8.43	15.11	3.77	1.67	2.12	2.50	3.07
		地熱ヒート パイプ	0.12	0.41	0.73	1.27	2.29	0.94	0.40	0.51	0.60	0.74
		地熱ヒート ポンプ	0.10	0.33	0.60	1.04	1.88	0.79	0.34	0.43	0.50	0.62



### 5.3 本章の小括

本章では、第2章～第4章までの冬期交通実態を踏まえ、降積雪地域における道路整備評価の手法について、実際の便益算定や費用便益分析を通して検討した。本章の前半では、第2章で得られた冬期旅行速度低下率と第4章による冬期交通時間価値を用いて、道路事業の走行時間短縮便益を算定した。この際、一般的に冬期間には交通需要が減少する実態を考慮した上で評価を実施している。本章後半では、第2章及び第3章から消融雪施設導入は信号交差点周辺が効果的であるとの判断のもと、将来の除雪省力化・省人化に向けた1つのアプローチとして、どのような交通特性・道路構造の信号交差点に消融雪施設を導入すべきかの評価手法を検討した。具体的には、冬期路面状態別の「遅れ時間差」に着目した消融雪施設導入便益を算定し、費用便益分析により評価を行った。

その結果を通し、大きく分けて以下3つの知見が得られた。

まず、1点目は道路整備における事業評価への冬期交通時間価値の適用である。一般に言われている冬期間の交通量減少分を考慮しても、冬期交通時間価値を用いて適切に評価することで走行時間短縮便益が向上することを見出している。道路事業の費用便益分析をするにあたり、冬期交通時間価値を推定し、これを適用することの重要性が証明された。

2点目は、交通容量に余裕を持った信号交差点の計画・設計又は改良である。当然のことながら、信号交差点の遅れ時間は過飽和状態に近づくにつれて急激に増加する。このような状態で冬期間に路面が悪化すれば、交通渋滞の悪化は避けようがないものとなり、スタック車等の交通障害を引き起こせば立ち往生の発生にもつながりかねないものである。既往の信号交差点計画・設計に関する指針<sup>10)</sup>では、冬期の交通容量低下に関する明確な記述がなされていないこともあるが、今後、積雪寒冷地域における信号交差点計画・設計にあたっては、非冬期/冬期両方の交通状況を想定した検討がなされるべきである。具体的には右左折レーンの設置といったハード面からのアプローチ（場合によっては交差点立体化も視野に入れる）のほか、隣接する信号交差点との信号制御の系統化から遅れ時間を最小化するといった内容が想定される。

3点目は、消融雪施設導入便益である。本章では、これによる便益が高いこと、さらに消融雪施設導入コストから費用便益比を算出した結果から、どのような交通特性、道路構造を持つ信号交差点に導入を検討すべきかの目安を示すことができた。将来の人口減に伴う除雪の担い手確保の難しさを鑑みれば、冬期ボトルネックとなりやすい信号交差点を主として消融雪施設による対応にシフトすることで、除雪の省人化・効率化だけでなく冬期交通の円滑化にもつながるものと考えられる。今後は、本検討手法を用い、導入可能性がある信号交差点にポイントを絞った分析をすることで、より地域実態に即した詳細な結果が得られるものと考えられる。

ただし、本検討で示した信号交差点の遅れ時間算出は、Webster 式を使用していることから過飽和状態の平均遅れ時間算出に対応していない。このような場合については交通シミュレーションを適用<sup>17)18)</sup>することで分析が可能になることが示されている。しかしながら、冬期間の交通状況を再現する交通シミュレーションについては、これまでに報告事例がないことから、この点について研究を進めていく必要があるといえる。

参考文献【第5章】

- 1) 国土交通省：全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査 集計表（新潟県），平成27年度。
- 2) 気象庁：気象警報・注意報や天気予報の発表区域，最終アクセス2020.2，  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/saibun/>.
- 3) 気象庁：過去の気象データ検索，最終アクセス2020.2，  
<https://www.mlit.go.jp/common/001299620.pdf>，平成20年～平成29年。
- 4) 国土交通省北陸地方整備局：道路の維持管理方針（案），平成26年4月。
- 5) 気象庁：特別警報・警報・注意報データベース，最終アクセス2020.2，  
<http://agora.ex.nii.ac.jp/cps/weather/warning/>，平成24年度～平成30年度。
- 6) 寺内義典，三村泰広，加藤哲男，本多義明：降積雪時における自動車交通のおくれに関する研究-消融雪装置設置個所の選定への応用-，日本雪工学会誌，Vol.20，No.2，pp.3-9，2004。
- 7) （公財）日本道路交通情報センター：一般道路の交差点制御情報（新潟県2020年2月分），<http://public-data.jartic-raws.durasite.net/opendata.html#intersection>。
- 8) （公社）日本道路協会：道路構造令の解説と運用（改訂版），平成27年6月30日改訂版第1刷発行，pp.5。
- 9) （社）交通工学研究会：平面交差の計画と設計 基礎編 -計画・設計・交通信号制御の手引き- 第1版第1刷。平成30年11月15日。pp.143。
- 10) （社）日本建設機械化協会北陸支部：路面消・融雪施設等設計要領，平成20年5月改定，pp.209。
- 11) （公社）日本道路協会：道路構造令の解説と運用（改訂版），平成27年6月30日改訂版第1刷発行，pp.10。
- 12) 長岡市地方創生推進部政策企画課：な！ナガオカ，長岡発の雪国名物「消雪パイプ」驚きの仕組みとその歴史に迫る！，2018年3月20日，最終アクセス2020.4，  
<https://na-nagaoka.jp/nagaoka/9368>。
- 13) 国土交通省道路局都市局：費用便益分析マニュアル，平成30年2月，最終アクセス2020.4，  
[https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki\\_h30\\_2.pdf#search=%E8%B2%BB%E7%94%A8%E4%BE%BF%E7%9B%8A%E5%88%86%E6%9E%90%E3%83%9E%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%82%A2%E3%83%AB](https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki_h30_2.pdf#search=%E8%B2%BB%E7%94%A8%E4%BE%BF%E7%9B%8A%E5%88%86%E6%9E%90%E3%83%9E%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%82%A2%E3%83%AB)'。
- 14) 上越市：上越市消融雪施設整備計画【令和2年度→令和6年度】，令和元年12月，最終アクセス2020.4，  
<https://www.city.joetsu.niigata.jp/uploaded/attachment/179695.pdf>。
- 15) （社）日本建設機械施工協会北陸支部：消融雪設備点検・整備ハンドブック編集委員会，消融雪設備点検・整備ハンドブック，平成30年7月。

- 16) 諸橋和行, 梅村晃由: 豪雪都市の除排雪システムの経済性評価-第1報長岡市商業地域の既存システムの費用便益計算-, 日本雪氷学会誌 雪氷, Vol.57, No.1, pp.3-10, 1995.
- 17) 福田敦, 小田崇徳, 石坂哲弘, 室井寿明: 交通処理から見た交差点への小型車専用立体交差導入への評価, 国際交通安全学会誌, Vol.3, No2, pp.49-57, 2005.
- 18) 赤井優真, 廣森聡仁, 梅津高朗, 山口弘純, 東野輝夫: プローブカーデータからの交差点状況推定手法の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-ITS-51, No4, pp.1-8, 2012.

## 第6章 結論



## 第6章 結論

### 6.1 本研究の成果（総括）

本研究では、将来の気候変動や、人口動態等の社会的背景を踏まえながら、如何にして持続的に冬期交通を確保していくべきかという大きなテーマに向き合い、冬期の交通実態の解明に基づきながら雪寒事業を含めた道路整備評価について検討した。各章で得られた知見について、以下に整理する。

#### 6.1.1 「第2章：冬期道路交通への雪の影響とその影響要因の分析」

一見、雪による旅行速度の低下率だけを見れば、高速道路や連続立体区間への影響が大きいと思われがちであるが、旅行時間の観点からすれば信号交差点密度が高い区間ほどその影響が大きいものであった。冬期旅行速度の重回帰モデルからも、一般道においては信号交差点密度の影響が大であること、混雑時は推定路面積雪量の影響が約5倍に増加することを見出し、冬期交通混雑の主要因は信号交差点密度が高い区間における交通需要増加と降積雪による路面状態の悪化であると結論付けた。道路事業評価へ反映するという観点からすると、地域別に道路種別、沿道状況、車線数別に旅行速度低下率を算出し、道路事業の便益算定に反映することが望ましい。

また、本章の特徴の1つとして、ライブカメラ映像より推定路面積雪量を簡易推定し各分析に活用した。上述に同じく重回帰モデルでは、その他の気象データよりも路面積雪量が旅行速度へ影響を与えやすいことが明確になっており、冬期交通を分析するうえでは必要不可欠なデータであると言え、今後、継続的な計測もしくは推定手法の開発が望まれる。

#### 6.1.2 「第3章：信号交差点への影響調査・分析」

複数の信号交差点に対して現地調査から、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、路面状態に応じて交差点交通容量が約17%～49%低下する。特に圧雪（凸凹）状の路面がもっと容量低下（49%）が大きいとの知見を得た。これらは第2章の結果の裏付けともなる。

冬期積雪路面、とりわけ、圧雪（凸凹）状の出現率を考えれば、道路管理者ごとの機械除雪による除雪水準の差は信号交差点の交通処理に大きな影響を及ぼしていると言える。対して、消雪パイプ設置区間に注目すると、交差点流入部の容量低下が2割程度に抑えられていること、さらに圧雪路面に発展する危険性が低いことからその効果は絶大であるといえるが、逆に言えば冬期間における信号交差点交通容量低下は、2割までは許容範囲とすべきではないかとの見方もできる。これらの知見に基づいて、消融雪施設は信号交差点周辺への導入を積極的に検討するべきであると結論付け、第5章の消融雪施設導入評価へ反映したところである。

一方で信号交差点の流入部に消雪パイプ等の消融雪施設が設置不可能な箇所も想定される。このような箇所については、冬期交通容量補正係数として最低2割の容量低下を考慮した計画設計に留意すべきである。つまり、2割分の余裕を持たせた交差点設計（ハード対策）である。

### 6.1.3 「第4章：道路整備評価に向けた冬期交通時間価値の推定」

道路利用者は冬期間の様々なリスク回避を考慮して、信頼性・安全性の高い経路を選択することを好む傾向にあり、非冬期に比べそのための支払い意思額が上昇することが解明された。また、この結果からすれば、降積雪地域においては信頼性・安全性の高い道路に対する需要が高いとみる事もできる。このSP調査結果から交通時間価値を推定すると、当初の仮説通り交通時間価値が冬期間の気象条件によって向上することを見出した。その向上率は乗用車で最大2.2倍、普通貨物車で2.9倍である。このことは、豪雪地帯におけるバイパス等の道路整備事業だけでなく、雪寒事業関係の投資効果を分析するうえでも、非常に有益な知見であると言える。

### 6.1.4 「第5章：冬期交通現象に基づく道路整備評価」

第5章では、1点目として道路整備における事業評価への冬期交通時間価値の適用を検討した。この結果、一般に言われている冬期間の交通量減少分を考慮しても、冬期交通時間価値を用いて適切に評価することで走行時間短縮便益が向上することを見出ししており、対象地域の気象特性を踏まえた交通時間価値の設定と評価への適用が非常に重要であることを示した。

2点目は、信号交差点への影響について、第3章の結果を踏まえつつ、遅れ時間の観点から損失額を分析した。その結果、過飽和に近い信号交差点では、路面悪化時に急激に遅れ時間が増加することとなるため、交差点の計画・設計または改良時には、交通容量に余裕を持った流入部の車線構成とすることが重要であると指摘した。または、隣接する信号交差点との系統化処理等によって、遅れ時間を最小化する取組が重要である。

3点目は、消融雪施設導入便益である。本章では、これによる便益が高いこと、さらに消融雪施設導入コストから費用便益比を算出した結果から、どのような交通特性、道路構造を持つ信号交差点に導入を検討すべきかの目安を示しており、特に2車線相互の交差点で、かつ混雑度が高い流入部への消融雪施設導入は積極的に検討すべきである。



## 6.2 総括

本研究の対象とした新潟県をはじめとした日本海側の地域は、積雪が非常に多いにもかかわらず冬期間の平均気温が 0℃を超える地域であり、冬期路面は凍結・融解等によって多様な路面状況が形成されやすい地域である。したがって、除雪機械のオペレーターにはそれ相応の高い技術が必須となる地域であるが、将来の担い手確保と技術の伝承が大きな課題として今後残る可能性が非常に高いと予測される。

将来の気候変動及び人口・年齢構成の変化による影響を踏まえれば、現在の機械除雪を主体とした除雪体制には近い将来に限界がくるものと推測され、早い段階で「除雪」に対する考え方・取り組み方の転換を図っていくことが求められると筆者は考えている。

地域単位での視点で見れば、この部分を埋める重要なピースは消融雪施設であると考えられ、これによる対応を増やすことを本格的に議論すべきである。国による補助といった政策的な一層の後押しも必要と思われるが、徐々に機械除雪から消融雪施設対応にシフトし、両者の「ベストミックス」となるポイントを探ることで、担い手不足に対応した持続的な除雪体制維持につながるるとともに、冬期交通の円滑化にもつながるものと考えられる。

一方で、より広域的な視点から道路ネットワークとして冬期交通の問題を捉えれば、暫定2車線高速道路や地域高規格道路の多車線化やミッシングリンクの解消などを通して、信頼性・安全性に優れた災害に強い多重性のある道路ネットワークの構築を合わせて進めるべきであり、降積雪地域ではその需要が高いことも本研究を通して確認された。

以降に、降積雪地域における道路整備評価のあり方をとりまとめた。

【今後の降積雪地域における道路事業評価のあり方】

- ・まずは、交通ビッグデータに基づき、地域別の冬期交通現象を統計的・継続的に分析し蓄積すべきである。このためには、近年増えつつある ETC2.0 等の道路プローブデータの蓄積と取得サンプルの増大が必須である。
- ・仮に ETC2.0 普及率が現在の ETC と同程度（約 9 割）までなれば、冬期の OD 交通量や QV 関係を容易に解析することが可能になり、冬期版の交通需要推計も精度良く実施することができる。すなわち、現在の年平均計画交通量ではなく、季節変動を考慮した計画交通量に基づいた評価とすることができる。
- ・評価にあたっては、地域特性として冬期間の交通現象を継続的に解明し、その実態を評価へ反映する仕組みの構築が重要である。
- ・また、冬期道路交通との関係が深い路面積雪量について、今後継続的に観測または推定するシステムの開発が望まれる。
- ・一方で、大雪時には在宅勤務を推奨し、その実施があたりまえとなるような社会を構築していこうといった、交通需要マネジメントの観点からも検討すべき課題は多いと考えられるが、このような災害に対する備えとして、また、国民の生活基盤を維持するためには安定した物流ネットワークを維持・整備していく必要がある。

図 6-1 に、本研究から得られた知見に基づいた降積雪地域における道路事業評価の評価手法（案）と課題についてとりまとめた。

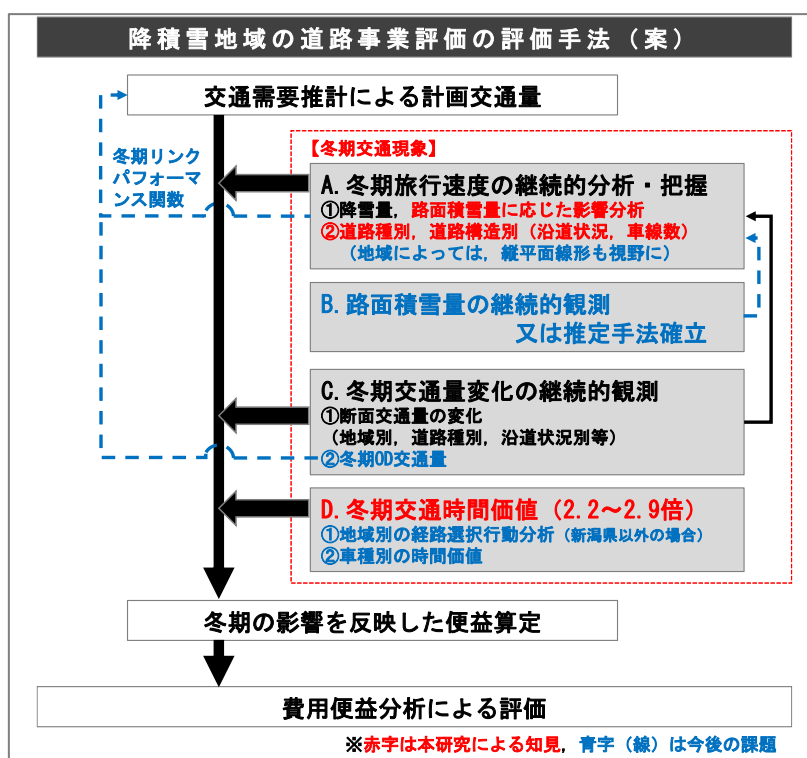


図 6-1 道路事業評価手法（案）と課題

【今後の消融雪施設導入評価のあり方】

- ・ 社会経済の動向、将来の雪の降り方の変化と正面から向き合い、「消融雪施設＝高コスト→導入に消極的」といった従来型思考からの脱却と、消融雪施設を積極的に活用した機械除雪とのベストミックス社会の実現を具体的に検討すべきである。
- ・ あわせて、環境配慮型消融雪施設のコスト削減に向けた技術革新に取り組むことも重要なポイントと言える。
- ・ 評価にあたっては、道路事業と同様に、地域特性として冬期間の交通現象を継続的に解明し、その実態を評価へ反映する仕組みの構築が重要である。
- ・ 将来的には、継続的な冬期交通現象の観測に基づき、冬期交通マイクロシミュレーションを構築することで、評価精度の向上と簡素化が期待される。
- ・ 地域実態を適切に消融雪施設の導入評価へ適用することで、地熱ヒートパイプ等の一般に高コストと言われる施設でも十分な投資効果が得られる可能性がある。
- ・ 降積雪地域の持続的な冬期交通確保・円滑化を図る上では、諸橋ら（第5章参考文献<sup>16)</sup>）が述べるように、費用便益比が確認できるのであれば、高コストでもより便益が大きい施策を積極的に導入するという観点も必要である。（特に地下水利用等の制約条件が大きい場合）

図 6-2 に、本研究から得られた知見に基づいた消融雪施設導入評価の評価手法（案）と課題についてとりまとめた。

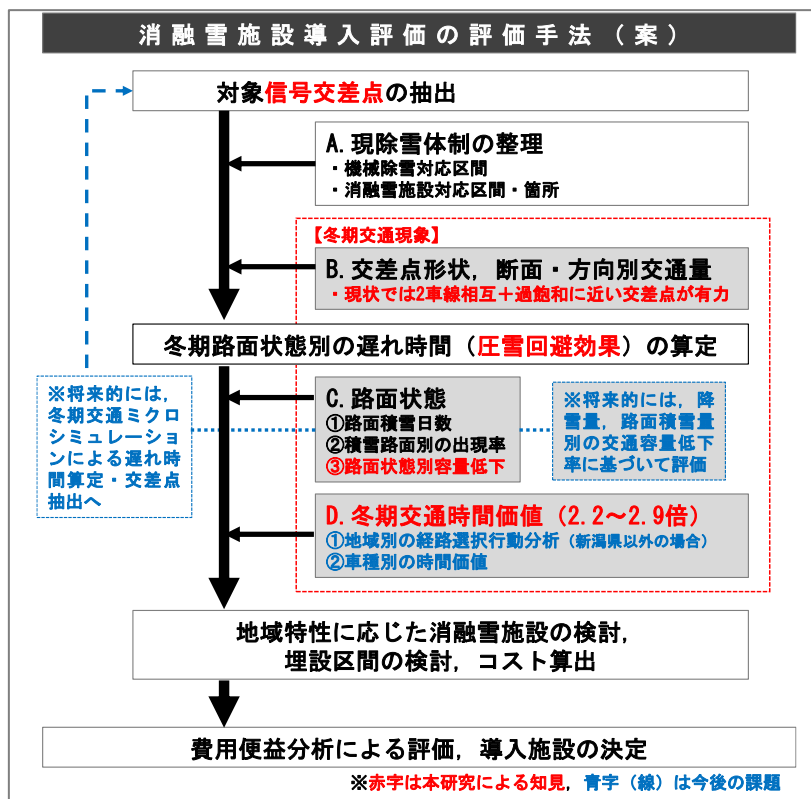


図 6-2 消融雪施設導入評価手法（案）と課題

### 6.3 今後の研究課題

前項，図 6-1，6-2 に課題を青字で示したところであるが，それについて本項で再整理する．本研究で使用した ETC2.0 プローブデータはまだ普及率が低い問題があり，今後もデータ蓄積によりサンプル数を増やし，面的に継続的に冬期交通を分析していくことが重要である．また，路面積雪量は単に旅行速度低下を引き起こすだけでなく，登坂不能車やスタック車発生のトリガーとなるものでもあるため，今後は路面積雪量を重要な指標として観測していくシステムを整える必要があると言える．もしくは，降雪量や気温と，路面積雪へ影響が大きいと考えられる交通量等を説明変数として，簡易的且つ精度よく路面積雪量を推定するモデルを構築するのも1つの手段である．これらのデータが十分に確保されれば，冬期交通状況を再現する交通マイクロシミュレーションを構築する事が可能となり，信号交差点の遅れ時間算出を含め，道路整備評価を効率的に行うことが可能になるとと思われる．

同じように，信号交差点に関するデータについてもサンプルを増やすことが望まれる．本研究では測地的な降雪データが入手できなかったこともあり，路面状態別の交通容量分析にとどまっている．これを降雪強度，または路面積雪量別に求めることができれば，道路整備評価により活用しやすいものとなるだろう．

本論文で最も重視した交通時間価値については，新潟県をケーススタディーとして推定しているにとどまっているため，対象範囲を広げる必要がある．また，本研究で取り扱ったもの以外の車種についても，より多くのサンプルを確保して分析する必要がある．特に乗合バスについては，長岡市では入手できないものであるが，降積雪がみられる地域において IC カードを導入しているバス会社のデータを利用することが可能であれば，分析の幅が広がると考えられる．なお，交通時間価値は，社会情勢の変化（在宅勤務の推進や，自動車の完全自動化等）がある場合には，目的別トリップの構成に影響が生じ，その価値が大きく変動する可能性を持つ点にも留意が必要である．

最後となるが，本研究成果となる冬期交通現象の解明と，それに基づく道路整備評価のあり方が，今後の冬期道路交通確保施策へ活用されれば幸いである．

## 謝辞

本論文の結びに、この研究を進めるにあたりとても多くの方々にご協力をいただいたことに対し、深い感謝の意を表します。

この研究の始まりは2016年8月です。人生設計というほどのものがあってもないですが、まさか母校の大学で教員として働く機会を得られるとは全く想像していませんでした。交通計画に携わるようになったのは、今の建設コンサルタントで働き始めてからとなります。そこから新たにこの分野について勉強をスタートし、すでに14年が経過するなかで、この研究を始めるきっかけについても、やはり会社での業務経験によるところが大きいものになっています。そして、大学着任当初に「雪と交通」を研究テーマと定め、研究開発助成に応募し、採択されたテーマが本論文のベースとなっています。

本研究、そして論文を執筆するにあたり、長岡技術科学大学 佐野可寸志教授には数多くのご助言をいただいた。また、クロスアポイントメント制度により、研究・教育に携わるきっかけを与えていただいたこと、大学での研究活動を通して、とても多くのことを勉強させていただいたとともに、様々な経験を積むことができたと思っております。ここに、心から深い感謝の意を表します。

副査をお引き受けいただいた長岡技術科学大学 中出文平教授、鳩山紀一郎特任准教授、松田曜子准教授、防災科学研究所雪氷防災研究センター 上石勲センター長に厚く御礼を申し上げます。先生方には、議論の筋道・方向性に関して貴重なご助言、ご指摘を頂きました。ご多用のなか丁寧にご指導いただき、誠にありがとうございました。

本研究を進める上で、各種交通データ、気象データ等は不可欠なものです。国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所の皆様、新潟県土木部道路管理課の皆様には、これらデータを快くご提供いただきました。そして防災科学研究所雪氷防災研究センターの皆様、新潟電機株式会社の皆様には、データ提供だけでなく、雪に関する知見について様々な議論をする機会を頂きました。ここに御礼を申し上げます。

そして、一緒に研究を進めてくれた鈴木空良君、大島亮君、酒井教行君をはじめとして研究室の多くの学生から良い刺激を受けることで、論文執筆の励みになりました。

また、私が所属する開発技建株式会社調査計画部の皆様には、週の半分を不在にすることで多くのご迷惑をおかけしましたが、この点についてもご配慮頂けたことに感謝致します。

最後に、会社と大学を行き来する不規則な生活の中で、応援し支えてくれた家族、妻に心から感謝します。

令和2年9月  
伊藤 潤