降積雪時における自動車交通のおくれに関する研究

— 道路の消融雪装置設置箇所の選定への応用 —

The Study on Vehicle Traffic Delay on Snowy Season

— Application to the Choice of Places which Need to Improve Against Snow —

寺内 義典^{*1}・三村 泰広^{*2}

Yoshinori Terauchi Yasuhiro Mimura

加藤 哲男^{*3}・本多 義明^{*4}

Tetsuo Kato Yoshiaki Honda

SYNOPSIS

This study aims to propose the research method for evaluating the problems of the road on snowy season and to clarify its usefulness. First, the delay time is defined as an index of road service level, and the method of collecting the delay time data is described. Next, the factors concerning with the delay are shown as road structure, traffic condition and weather. Then, the data are collected from actual traffic survey and road management map and the generating structure of the delay time is clarified by the analysis using quantification theory type I. Finally, as an application of the delay time, we investigate the places that need to improve against snow.

Keywords : Evaluation Method of Public Investment, Measurement Method of Effect

1. はじめに

昭和31年に策定された「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（雪寒法）」の推進により、主要な幹線道路が降積雪によって途絶する頻度は大幅に減少した。それにともない道路利用者は可達性から道路交通の円滑性を求めるようになってきている。しかし実際には高度化するニーズに全て対応することはコスト面からも不可能であることから、雪対策を実施する行政には目標設定や意思決定のしくみについて合理性をもった説明責任が求められている。例えば福井県鯖江市では、住民からのあまりに多くの消融雪装置設置要求に対して、

事業化の判断を合理的に行う取り組みがなされている¹⁾。

合理性を有する対策を施すには、まず問題による影響の発生構造を把握し、効果的な対策を検討することが基本である。そこで本研究は、道路の雪対策の合理性の確保を前提として、雪による影響の発生構造を明らかにする方法を提示するものである。まず、おくれ時間に及ぼす影響要因を整理し、次に数量化理論Ⅰ類により、複合する影響要因とおくれ時間の関係を明らかにする。最後に事例として、雪対策の意思決定において重要なプロセスのひとつである消融雪装置設置箇所の選定を試みている。

* 1 国士舘大学工学部都市システム工学科 専任講師・博（工）

* 2 福井大学大学院工学研究科システム設計工学専攻 修（工）

* 3 名古屋産業大学環境情報ビジネス学部 教授・博（工）

* 4 福井大学副学長 工博

[本稿受理：2003年7月18日，修正原稿受理：2003年11月21日，討論期限：2005年3月31日]

2. 本研究における視点

(1) 雪の影響を表す指標

ここでは、道路利用者のニーズの変化と既往研究のレビューを通して雪の影響を表すのに有用であると考えられる指標を探る。雪対策事業の効果は主として、①交通途絶の減少、②円滑性の確保、③安全性の確保、の3点がある。主要な幹線道路における降積雪時の交通途絶が大幅に解消されている現在では、道路利用者のニーズは次第に①から②、③にシフトしてきている。そのうち、ここでは特に②の円滑性に着目し、既往研究で用いられている指標を調査した。その結果を以下に簡単に述べる。

石井ら²⁾、高宮ら³⁾は、雪による影響を示す指標として交差点の容量低下を用いている。堀井⁴⁻⁵⁾、梶谷ら¹⁰⁾は旅行速度を指標として、その低下の影響要因を重回帰モデルや数量化モデルにより説明している。また、藤原ら¹¹⁾は交差点のシミュレーションを用いて、おくれ時間を指標として融雪剤散布の効果を示している。このように、雪の影響を示す指標には主として交通容量、速度、おくれ時間の3指標が用いられている。

道路利用者の側からこの3指標について検討すると、降積雪時において道路利用者は所要時間の増加によってサービス水準の低下を実感していると考えられることから、その低下の程度を表しているおくれ時間をとりあげる必要性は高い。また、福井県が行った目的地までの所要時間に対する降積雪時のおくれ時間に関する県政アンケート結果¹²⁾を見ると、全体の約8割が30分までなら許容できると回答している。このように、おくれ時間は道路利用者の雪対策に対する意識を示す指標としての説明性が高いと考えられる。よって本研究では雪による影響の受けやすさを示す指標として、おくれ時間を用いる。

(2) 雪対策の合理性

高度化する雪対策へのニーズに対して、行政が実施できる事業にはコスト面等で限界があることから、道路利用者と行政との間に雪対策事業に対する意志の乖離が発生する。よって雪対策事業に関する道路利用者と行政との合意形成が重要であり、道路利用者への説明責任を果たすことが強く求められる。そ

の結果、行政の提示する政策に対してより高い合理性が追求される。

雪対策事業の計画策定や実施にあたって、その意思決定のひとつに実施箇所の選定がある。近年、消融雪装置設置などの高度化した雪対策に対する沿道住民の要求が高いことが宮越ら¹³⁾による意識構造分析によって示されている。この状況において、効率的な公共サービスを提供するためには、箇所の選定に合理性をもたせることが必要である。既往研究としても、対策の優先順位決定において住民の意識を取り込むことで合理性を持たせようとする研究が木俣¹⁴⁾や堂柿ら¹⁵⁾によって行われており、この分野の研究の必要性は高い。

本研究では「雪による影響を受けやすい箇所を優先して選択する」方法で合理性を持たせることを目的とする。道路線形や幅員などの道路条件は、道路管理者が改良整備等で改善することが政策的に可能であるが、おくれ時間を用いた要因分析により、優先的な対策の必要な道路条件を把握できる。

以上より、道路条件に影響要因としておくれ時間の発生構造を明らかにすることで、道路の雪対策の箇所選定に合理性をもたせることができる。

(3) データの収集方法

おくれ時間の要因分析に用いるデータを収集する方法について述べる。収集するデータは、目的変数であるおくれ時間と説明変数である道路条件等である。

まず、おくれ時間のデータ収集の方法について考える。おくれ時間の要因分析のために、様々な道路条件とそれに対応するおくれ時間を測定する必要がある。ここでのおくれ時間は、ある道路区間における無雪時と降積雪時の速度から求める。本研究では長区間の路線延長を対象とするため、デジタルタコグラフにより道路の延長方向に連続的に速度データを入手する方法を用いる。

図1に本研究におけるデータ収集と分析の流れを示す。ここでは路線を対象としているので、路線を区間分割し、その区間ごとに分析のためのデータを収集する。

次に説明変数のデータ収集として、影響要因の種類や測定の要件を検討する。降積雪による道路交通

のおくれ時間の主な影響要因には、図2に示すとおり道路条件に加えて交通条件や気象条件がある。

3. データの収集

(1) 対象路線の設定

本研究では道路条件を変化させておくれ時間のデータを収集するために「道路条件が進行方向に対して多様に変化する区間」を対象とする。本研究におけるデータ収集の内容および留意点は表1に示すとおりである。

次に、対象路線の設定とその区間分割を行う。ここでは図3に示す福井市～大野市間の通勤交通が主に利用する幹線道路である国道158号のうち、交通量の変動の少ない福井市和田～美山町計石間21.24kmを分析対象路線として選定した。対象路線は、現在、新規のバイパス道路の整備がすすめられており、線形・幅員ともに道路条件の改良済み区間と未改良区間との両方を含むことから、多様な道路条件データの入手が可能である。

この分析対象は10mごとに区間分割するが、交差点における影響を除くために交差点手前200mと通過後50mの区間を分析対象から除く。したがって分析対象区間の数は1,756区間となっている。

(2) 実車走行調査

次に実車走行調査を行う際の留意点から、測定する曜日と時間を設定する必要があるが、本研究では平日の朝の通勤時における定時測定とした。また走行調査では、運転手や車両の特性の違いによるバイアスの発生を抑えるために、対象道路を実際に毎日通勤している40代男性一名に限定した。測定車両も当該運転手が実際に利用しているもので、雪道において他車と比べて著しく性能が低下する車種・装備ではない。これらの条件のもとでデジタルタコグラフ(YAZAC-5064)を用いた実車走行調査を1998年12月28日～3月31日に実施した。この期間中、24日のデータを収集したが、凍結や湿潤は道路条件等により影響が全対象区間に及ばないことなどから、湿潤路面と凍結路面のデータをのぞき、積雪路面7日間、乾燥路面5日間のデータを得た。

図1 データ収集と分析の流れ

図2 おくれ時間に及ぼす影響要因

表1 データ収集の内容および留意点

	内容および留意点
目的変数	おくれ時間
説明変数	道路条件（線形や構造物など） 気象条件（降雪量や最低気温など）
測定方法	道路の延長方向に対して連続的に速度データを入力
対象道路	道路条件が進行方向に対して多様に変化する区間 交通特性の変動の少ない区間
調査日時	測定する曜日と時間の固定

図3 対象区間の路面および堆雪状況（積雪時）

ここで対象区間の路面状況や堆雪状況を図3に示す。また得られたデータの概要を表2に、速度データの一例を図4に示す。以降では、これらのデータを降積雪時と無雪時のデータとして分析を行う。

なお、平日の同時刻での通勤交通であり、調査日でのイベント開催等もなかったことから、交通条件(交通量、大型車など)の日変動は小さく、おくれへの影響は軽微であると判断し、交通条件は固定と仮定した。

(3) おくれ時間の算定方法

任意の路線区間*i*におけるおくれ時間*T_i*は、無雪時の速度が*v_{i1}* [km/h]、降積雪時の速度が*v_{i2}* [km/h] であるとき次式で示される。なお、おくれ時間の要因分析を行うにあたり、結果の汎用性を考えて*T_i*は1kmあたりの秒に単位変換している。

$$T_i = 3600 \times (v_{i1} - v_{i2}) / v_{i1} v_{i2}$$

(4) 影響要因データの収集

(a) 道路条件に関するデータ

道路台帳と現道の実地調査をもとに、対象路線の各区間について以下に示すデータを収集した。なお、消融雪装置の設置箇所ではおくれ時間が低減されるため、道路構造に関するデータとして、あわせて収集した。

- ①線形 曲率半径、縦断勾配
- ②横断構成 車線数、車道幅員
- ③構造物 橋梁、消融雪装置、トンネル

なお、図3に示すとおり対象道路は路外への排雪が可能な道路であり、堆雪による交通容量の変動は軽微と考え、幅員減少の影響よりも幅員そのものをおくれ時間の要因として設定した。

(b) 気象条件に関するデータ

気象条件としては気象台観測によるデータ¹⁰⁾から以下に示す4種類について収集した。

- ①降雪量[cm] 前日9時～当日9時までの降雪量
- ②積雪深[cm] 当日9時における積雪深
- ③降水量[cm] 降水量の日合計
- ④最低気温[℃] 当日の気温の最低値

図4 対象道路と実測された速度データの一例

表2 天候と平均旅行速度

天候	日数	平均旅行速度	無雪時との差
降積雪時	7	39.3	10.0 (20%)
無雪時	5	49.3	—

図5 おくれ時間と降雪量の相関

図6 線形とおくれ時間(降雪量20cm)

4. おくれ時間の要因分析

本章では収集されたデータをもとにおくれ時間の要因分析を行う。そのため各影響要因とおくれ時間の関係をみ、その結果を用いて数量化理論Ⅰ類による分析を行う。

(1) 気象条件とおくれ時間

全区間でのおくれ時間の平均と気象条件との関係をみる。その結果、降雪量とおくれ時間との間に正の相関がみられ、相関係数を t 検定した結果、降雪量は5%水準で有意であった(図5)。

(2) 道路の線形とおくれ時間

おくれ時間が発生しやすい道路線形をみるために、曲率半径と縦断勾配の組み合わせによりおくれ時間の平均値を降雪量ごとに集計した。その結果、下り勾配の区間でのみおくれ時間が大きくなる傾向が見られた。曲率半径との組み合わせで見ると、100m未満でかつ下り勾配である場合、さらに大きなおくれ時間が発生した。特に降雪量が多くなると、これらの傾向は顕著にあらわれる。降雪量20cmでの結果を図6に示す。

この結果、おくれ時間は特に下り勾配で増大することが示された。また、曲率半径と縦断勾配は個々でおくれ時間を増大させる影響要因であるだけでなくその組み合わせによって更におくれ時間が増加することが予測される。

(3) 消融雪装置とおくれ時間

いくつかある道路構造に関する影響要因のなかで、ここでは消融雪装置の有無によるおくれ時間の違いについて述べる。全降積雪時データの平均値でみると、消融雪装置無では30.0秒/kmであったおくれ時間が、有では14.9秒/kmと半減する結果となった。この平均値の差は5%水準で有意であったことから消融雪装置は雪対策事業による定時走行に効果があると考えられる。

(4) おくれ時間に関する要因分析

道路条件と気象条件に関するデータを説明変量として数量化理論Ⅰ類による分析を行い、複合する影響要因とおくれ時間の関係を明らかにする。アイテ

表3 数量化Ⅰ類によるおくれ時間の要因分析

重相関係数=0.75

	影響要因	カテゴリ	度数	スコア	レンジ	偏相関
線形	曲率半径	400m 以上	35	-1.5	6.2 (4)	0.13 (4)
		400m 未満	63	0.7		
		100m 未満	140	4.7		
	縦断勾配 下り区間の割合	50%以上	49	7.6	10.1 (2)	0.25 (2)
		10-50%	98	-1.5		
10%未満		91	-2.5			
横断構成	車 線 数	2 車線	217	0.5	5.6	0.12
		4 車線	21	-5.1	(5)	(5)
	一 車 線 あ た り 幅 員	3.25m 未満	21	3.7	4	0.08
		3.25m 以上	217	-0.4	(7)	(8)
構造物	橋 梁	無	244	0	0.2	0
		有	14	-0.2	(9)	(9)
	トンネル	無	210	0.7	5.5	0.11
		有	28	-4.9	(6)	(6)
	消 融 雪 装 置	無	154	2.9	8.4	0.25
	有	84	-5.4	(3)	(3)	
気象	降 雪 量	20cm 以上	34	29.3	40.3 (1)	0.67 (1)
		10-20cm	68	7.4		
		10cm 未満	136	-11		
	最低気温	0℃未満	136	1.6	3.8	0.1
		0℃以上	102	-2.2	(8)	(7)
	定 数 項		238	18.6

図7 おくれ時間の発生構造

ムとして分析に用いた影響要因とカテゴリは、影響要因ごとでの分析の結果から、表3のように設定し、これらの影響要因がおくれ時間に及ぼす影響を把握する。なおここでは対策を検討する際に構造物の区間を一連のものとして取り扱う必要があるため、消融雪装置・橋梁・トンネル等により34区間(平均区

間長にして約 500m) に分割したデータを用いる。
表 3 に示されている数量化理論 I 類の結果は、重相
関係数 0.75 であり、レンジと偏相関係数の順位にも大
きな隔たりのないことから、この結果は有意である。

影響要因の強さを示すレンジ・偏相関係数をみる
と、降雪量を除くと線形に関する影響要因と消融雪
装置の順位が高い。このことから、消融雪装置がな
く道路線形の悪い区間において特におくれ時間が大
きくなることを示している。またこの結果を雪対策
としての効果としてみれば、消融雪装置の設置や道
路の線形改良はおくれ時間の低減の効果が大きいこ
とを示すものである。構造物に関する影響要因は線
形に対して低い順位となっており、おくれ時間を減
少させる影響要因として「トンネル有」「3.25m 以
上幅員」「車線数 4 車線」があげられる。これらも
少なからず雪対策としておくれ時間を減少させる効
果があると解釈できる。

(5) おくれ時間の発生構造

図 7 は、数量化理論 I 類のレンジを用いて発生構
造を示したものである。例えば曲率半径と縦断勾配
の悪条件が複合した場合、 $6.2+10.1=16.3$ 秒/km
のおくれ時間が発生することを示している。また、
この図は雪対策の効果も同時に表している。消融雪
装置であれば 8.4 秒/km のおくれ時間減少を示すこ
とはもちろん、曲率半径と縦断勾配の悪条件を線形
改良した場合には 16.3 秒/km のおくれ時間の低減
効果がある。このように道路管理者が政策的に変更
できる影響要因については、この値を事業の整備効
果と読みかえることも可能である。

5. 分析結果の今後の応用

(1) 消融雪装置設置箇所の選定

各影響要因のスコアを用いて、おくれ時間が大き
く発生する箇所とその程度を把握することが可能と
なった。このおくれ時間を用いることで、消融雪装置
設置箇所の選定を試みた。気象条件は考慮せず、道路
管理者が政策的に変更できる影響要因を用いておく
れ時間を算出し、発生するおくれの大きい区間のう
ち上位 5 位を選定している。その結果を図 8 に示す。

この結果、1 位の区間では、おくれを増大させる
道路条件の全てが重なっており、そのおくれ時間は
38.8 秒/km を指している。その他のおくれ時間の
順位の高い区間においても線形、構造物の条件の多
くでおくれ時間が増加している。このように悪条件
の重複している区間における雪対策の重要度は高い
といえる。

(2) 事業および施策評価への応用

消融雪装置の設置箇所の選定以外の用途として、
評価指標がおくれ時間であることから、消融雪装置
の設置や道路の線形改良における降雪積時の所要時
間短縮効果を定量的に把握できる。所要時間の短縮
効果は雪対策の事業評価における B/C において重
要な算定項目のひとつである。

また個別の道路事業評価よりもさらに大きい視点
として、施策評価的な利用も考えられるだろう。例
えば、この結果を用いて道路網全体での雪対策の達
成度をはかることができる。各道路区間でおくれ時
間を予測し、それを OD ペア間での経路上で積み
上げることにより、目的地までの所要時間増を予測

図 8 消融雪装置設置箇所の選定例

できる。もう一方で、施策の目標値を設定するための道路利用者アンケートとして、許容しうらくれ時間の程度を調査する。これらより（許容しうらくれ時間を達成した OD ペア数×OD 交通量）/（全 OD ペア数×全 OD 交通量）により道路網全体での達成度を示すことができる。

以上より、本研究の今後の発展性として道路の雪対策における事業評価および施策評価に利用可能と考える。

6. おわりに

本研究は、道路条件に着目したおくれ時間の要因分析により、行政における雪対策の意思決定に合理性を持たせるためのいくつかの所見をまとめたものである。その結果を以下にまとめる。

①道路の雪対策の合理性確保を目的として、雪による影響の発生構造を明らかにするために、道路利用者のニーズを考慮した指標の設定と、道路条件を影響要因とした分析を行うためのデータの収集方法を示した。

②数量化理論Ⅰ類によるおくれ時間の要因分析の結果、線形や消融雪装置の有無がおくれ時間の発生影響要因としてより強く影響することが示された。この分析の結果からおくれ時間の発生構造を明らかにし、おくれ時間を増大させる影響要因が複合した場合の検討が可能となった。

③応用例として、雪対策を優先して行うべき箇所の選定を行った。また、おくれ時間の発生構造を用いた道路事業・施策評価の適用可能性を述べることで、その有用性を示した。

なお今後の課題として、消融雪装置だけでなく、凍結防止剤の散布や機械除雪等の路面管理方策もおくれの要因分析に加えた総合的なおくれの要因分析が考えられる。また降雪強度等もおくれに影響を及ぼす要因となると予想されることから、さらなる継続的なデータ収集により、おくれ時間の予測精度の向上を図ることが必要である。

謝辞

走行実測に関して豊田工業高等専門学校 荻野弘教授、野田宏治助教授の両先生に多大なご協力いただいた。また福井大学工学部の武藤正頼君にはデー

タ収集と分析に関して協力を得た。ここに記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 寺内義典, 嶋田喜昭, 本多義明: 沿道条件を考慮した除雪・消雪道路の選定に関する研究, 日本雪工学会誌, 14, 4, 1998.10, pp.3-10
- 2) 石井憲一, 斎藤和夫: 冬期積雪時における信号交差点の交通容量解析に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 1, 1984.1, pp.123-130
- 3) 高宮則夫, 城戸 寛, 長畑範明: 冬期道路の交通特性調査, 土木学会年次学術講演会, 49, IV-360, 1994.9, pp.720-721
- 4) 堀井雅史: 積雪地における道路交通の抵抗要因に関する一考察, 土木学会年次学術講演会, 40, IV-49, 1985.9, pp.97-98
- 5) 堀井雅史: 積雪都市における道路交通の速度特性に関する一考察, 土木学会年次学術講演会, 44, IV-91, 1989.10, pp.224-225
- 6) 堀井雅史: 積雪都市における2車線道路の速度特性に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会, 45, IV-325, 1990.9, pp.680-681
- 7) 堀井雅史: 積雪都市における道路交通流特性に関する統計分析, 土木計画学研究・講演集, 14, 1, 1991.11, pp.667-672
- 8) 堀井雅史: 積雪都市における季節間の旅行速度特性に関する一考察, 土木学会年次学術講演会, 48, IV-290, 1993.9, pp.616-617
- 9) 堀井雅史: 積雪都市における旅行速度予測指標に関する一検討, 土木計画学研究・講演集, 16, 1, 1993.12, pp.49-53
- 10) 梶谷有三, 浦田康滋, 田村 亨, 斎藤和夫: 北海道峠部の冬期走行速度に及ぼす影響要因について, 交通工学研究発表会論文報告集, 18, 32, 1998.11, pp.125-128
- 11) 藤原 隆, 山川顕吾, 久新宏二郎: 冬期の路面管理法策が交通流に及ぼす影響に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 50, IV-372, 1995.9, pp.744-745
- 12) 福井県総務部広報課県民相談室: 平成11年度県政アンケート結果報告書 移動所要時間 男女共同参画社会, 福井県, 2000.1, pp.31-38
- 13) 宮越和弘, 松本昌二: 市街地除排雪に対する住民の意識構造とその定量化, 日本都市計画学会学術研究論文集, 27, 1992.11, pp.577-582
- 14) 木俣 昇: 除雪路の順位決定のための参加型システムに関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, 3, 1986.1, pp.57-64
- 15) 堂柿栄輔, 佐藤馨一, 五十嵐日出夫: 市民意識による冬期交通問題とその対策について, 土木計画学研究・講演集, 10, 1987.11, pp.531-536
- 16) 福井地方気象台: 福井県気象月報, 1998.12-1999.3