

吹雪による視程障害の
リスクポテンシャルに関する研究

2001年 3月

福澤義文

Study on Potential Risk of Poor Visibility Caused by Blowing Snow

by
Yoshifumi Fukuzawa

Abstract

This study focuses on the potential risk associated with poor visibility hindrance caused by blowing snow. Measures against poor visibility hindrance and drifting snow on winter roads include snow fences, snow break forest and drift free cuts. These facilities have been evaluated as highly effective through a series of surveys on national highways and in light of the decrease in the number of road closures due to blowing snow. In recent years, however, multi-vehicular collisions and road closure due to poor visibility caused by blowing snow are increasing. Snowfall and blowing snow are the causes of poor visibility, which is the main cause of multi-vehicular collisions and road closure in winter. Because effective measures to prevent such poor visibility have not been identified to date, more effective measures are required.

Such development requires a better understanding of the principal causes and features of poor visibility. To that end, quantification of poor visibility as seen from the driver's viewpoint is necessary. However, few studies have focused on the development of methods to measure visibility during continuous driving at high speeds. Also, few studies have been made to identify places on winter roads where the visibility is prone to sudden change that might endanger drivers, or to identify safety measures effective for such places.

In planning facilities to mitigate poor visibility, the quantity of drifting snow at

such places is considered. However, data that quantify drifting snow for all parts of Hokkaido are unavailable. To support installation planning of snow protection facilities, we made investigations to identify dangerous sections with poor visibility and measures effective for such sections. Necessary data including the occurrence of blowing snow that obstructs traffic, an outline of places with poor visibility, and the frequency of blowing snow were obtained from studies of the weather and conditions on and around potential routes. However, conventional measures and methods for evaluation of blowing snow that causes poor visibility are insufficient. Thus, new survey methods are required.

Given the state of measures against poor visibility, this study clarifies the major causes of poor visibility by snowfall and blowing snow and quantifies the present conditions to clearly outline them. In this quantification, the characteristics of the poor visibility due to a sudden decrease in the visible distance are first identified, and a new method for determining measures is proposed.

To accurately understand facilities effective in mitigating poor visibility, a method is devised to calculate the amount of snowdrift with a 30-year exceeding probability for 1-km mesh, and a distribution map of the amount of snowdrift for all Hokkaido is made. The sections requiring measures against poor visibility and their levels of were identified by studies to plan snow protection facilities. We propose a potential risk distribution of poor visibility that provides clear understanding of the scale of measures necessary for each section.

This paper is divided as follows.

Chapter 1. Introduction

Describes the background and objectives of the study and the structure of this

paper.

Chapter 2. Standpoints of past studies and this study

Reviews past studies to highlight the original aspects of this study. These aspects relate to causes and quantification of poor visibility, effective new measures against poor visibility, and planning of such measures including investigation and design.

Chapter 3. Causes of poor visibility

Categorizes the types of poor visibility on roads and their principal causes, and discusses their interrelations, because factors causing poor visibility are considered to vary with road topography, weather conditions and surroundings.

Chapter 4. Quantification of poor visibility due to blowing snow

Clarifies the quantification method of poor visibility and presents the configuration of quantification systems, the measurement examples and the use of (1) newly developed sideways scattering vehicle-mounted visibility meter, (2) ordinary transmission meter and (3) reflection meter. These systems conduct measurements to identify places where poor visibility due to sudden reduction of visibility range occur, to identify characteristics of such poor visibility, and to clarify factors causing the poor visibility and the features of such factors.

In addition, the effect of measures is discussed in relation to the safe driving of vehicles under poor visibility, which is important in examining the snow prevention methods.

Chapter 5. Measures against poor visibility

Proposes countermeasures effective for newly identified problems, whose

solutions are required as early as possible, after evaluation of conventional measures for poor visibility and clarification of their features and problems. Based on the data made available for the first time in Chapter 4 of this paper, countermeasures to sudden visibility reduction caused at break points of the road structure and edges of road facilities, and by topographically complex roads were examined by using digital simulation to find more effective countermeasures using a secondary snow fence. To improve driver guidance under poor visibility on road with snowy, icy surface, a method of installing delineators was studied. Also, an advanced, intelligent delineator that automatically starts illuminating at appropriate brightness in response to visibility changes was developed. The new delineator was tested on the national highway currently in service, and was verified to be highly effective in guiding the driver. New measures against poor visibility are proposed.

Chapter 6. Planning method of countermeasures to poor visibility

Proposes a new method of planning countermeasures to risks according to their potential, such as poor visibility and snowdrift on winter roads throughout Hokkaido. We studied the method of estimating the amount of snowdrift around facilities, which is necessary for designing facilities of proper scale. The chapter discusses the mapping of the distribution of snowdrift amount with a 30-year probability in 1-km mesh for all Hokkaido. A method of calculating and evaluating the risk potential of poor visibility is introduced to identify sites where danger is great during poor visibility, and to outline the places where potential risk increased due to poor visibility. We ranked areas of Hokkaido according to the snowdrift estimation map and the potential risk map, and proposed measures to correspond with those ranks. In doing so, we clarified that the potential risk is a highly effective index in planning countermeasures to poor visibility .

Chapter 7. Conclusions

Summarizes the method of quantifying the visibility hindrance on winter roads toward effective use in planning of countermeasures. New measures against poor visibility at snowstorm and snowfall were proposed.

吹雪による視程障害の リスクポテンシャルに関する研究

目 次

第1章 序 論	1
1. 1 本研究の背景と目的	1
1. 2 本論文の構成	3
参考文献	5
第2章 既往の研究と本研究の立場	6
2. 1 視程障害の発生要因と定量化に関する研究	6
2.1.1 視程障害の発生要因に関する研究	6
2.1.2 視程障害の定量化に関する研究	6
2. 2 視程障害対策と設計法に関する研究	8
2.2.1 視程障害対策に関する研究	8
2.2.2 視程障害対策の設計法に関する研究	9
2. 3 まとめ	11
参考文献	12
第3章 視程障害の発生要因	15
3. 1 はじめに	15
3. 2 吹雪・降雪による視程障害の発生形態	15
3. 3 気象要因	17
3.3.1 風速・気温と視程障害	17
3.3.2 雪の移動量と視程障害	18
3.3.3 交通障害と気象	18
3. 4 地形要因	24
3.4.1 平坦部道路での視程障害	24
3.4.2 急峻地形道路での視程障害	25
3.4.3 峠区間道路での視程障害	27
3.4.4 切土区間および地形の不連続区間で の視程障害	28

3.4.5	吹雪の吹走距離と植生	28
3. 5	まとめ	31
	参考文献	32
第4章	吹雪・降雪による視程障害の定量化	34
4. 1	はじめに	34
4. 2	視程障害の観測手法	34
4.2.1	固定点での視程の測定方法	34
4.2.2	走行状態での視程の測定方法	38
4. 3	測定手法による視程障害の実測と有効性	51
4.3.1	透過型視程計による測定例	51
4.3.2	反射型視程計による測定例	51
4.3.3	側方散乱方式視程計と視程障害移動観測車 による測定例と有効性	54
4. 4	交通障害時の視程障害緩和に関する検討	57
4.4.1	交通障害と視程	57
4.4.2	視程障害対策施設による視程障害緩和機能	59
4. 5	まとめ	59
	参考文献	60
第5章	視程障害防止対策	61
5. 1	はじめに	61
5. 2	既存の視程障害対策の特徴と課題	61
5. 3	視程障害対策に関する新たな課題	65
5.3.1	道路開口部，施設端部における視程の急変	65
5.3.2	視程障害対策としての視線誘導に関する課題	68
5. 4	視程障害対策の課題に対する新たな対策手法の提案	68
5.4.1	道路開口部，施設端部における視程障害対策	68
5.4.2	視程障害を考慮した視線誘導標による対策の検討	78
5.4.3	高機能自発光視線誘導標による対策と誘導効果	84
5. 5	まとめ	89
	参考文献	90
第6章	視程障害対策の設計法	92

6. 1	はじめに	.....	92
6. 2	北海道全域の吹きだまり量分布の推定	.....	92
6.2.1	調査方法および調査資料		92
6.2.2	北海道における冬期の気候区分の検討		95
6.2.3	吹きだまり量と気象		102
6.2.4	吹きだまり量の1kmメッシュ値の算出		108
6.2.5	吹きだまり量分布の検証		111
6. 3	視程障害リスクポテンシャルの提案	.....	112
6.3.1	視程推定値の算出手法		112
6.3.2	視程の推定算出手法の検証		115
6.3.3	リスクポテンシャル分布と 未観測地点の推定		116
6.3.4	リスクポテンシャルの評価と 視程障害対策手法の提案		120
6. 4	まとめ	.....	124
	参考文献	.....	125
第7章	結 論	.....	127
7.1	結論	.....	127
7.2	課題と展望	.....	129
	謝 辞	.....	131
	研究発表の目録	.....	132

第1章 序 論

1. 1	本研究の背景と目的	-----	1
1. 2	本論文の構成	-----	3
	参考文献	-----	5

第1章 序 論

1.1 本研究の背景と目的

北海道の冬の道路交通で最も大きな問題となっているのは、吹雪・降雪による視程障害と路面凍結による滑りである。とくに視程障害は、冬期道路における多重衝突事故や通行止めの主要因であり、その特徴の解明と防止対策が依然として大きな課題である。

従来から視程障害や吹きだまり対策は、竹内ら¹⁾の吹雪に関する調査研究成果などが反映された吹雪対策マニュアル(案)²⁾、防雪便覧³⁾などを参考に一般国道などで整備されてきた。視程障害対策施設として最も多く活用されているのが防雪柵と道路防雪林である。北海道内の防雪柵の延べ整備延長は平成10年度現在で197kmに至っている。道路防雪林についても昭和53年の一般国道12号岩見沢から整備が開始されてから、現在までの整備延長は60か所、約43kmに及んでいる⁴⁾。

道路防雪林による視程障害緩和効果について、視程計を搭載した移動観測車を用いて行った調査によると、一般国道の全道の整備区間で視程障害が大きく緩和され、冬期間の交通事故が大幅に減少していることが明らかになった。

これらの調査例から推測されるように、吹雪による通行規制件数が、視程障害対策施設の整備効果によりマクロ的には減少傾向⁵⁾を示している。しかし最近では、札幌圏で猛吹雪時の同日に数か所で多重衝突事故の発生⁶⁾事例にみるように、全道的に視程障害時の交通事故が増加傾向にある。そのうえ吹雪による視程障害が誘因となる通行規制が増加している。加えて、地形・道路構造、それに対策施設が要因となる視程の急変箇所が存在と、車両の雪煙による視程障害の実態⁷⁾が、筆者らの調査で初めて明らかになった。そのため、視程障害の特徴の把握や新たな視点での視程障害対策手法の検討が必要になり、視程障害対策の一層の充実が求められる現状にある。

視程障害対策の施設整備では、防雪機能を長時間に亘って効果的に維持できる適切な防雪柵の規模を始め、防雪林の林帯幅の検討にあたって、その地域の吹きだまり量を考慮して設計することになる。しかし、北海道全域を対象とした吹きだまり量に関する資料はつくられていない。さらに、視程障害による危険箇所の特特定や対策手法の検討において、予定路線周辺の気象状況や環境調査

を行い、交通障害をもたらす吹雪発生の有無、視程障害箇所の概略を吹雪発生頻度⁹⁾などを参考にして調査するが、その評価の具体的な目安や手法については十分なものとは言い難い。

吹雪・降雪による視程障害に関する研究においては、北海道開発局開発土木研究所が世界をリードしているが、国外における視程障害に関する研究では、米国のワイオミング州、ミネソタ州、オレゴン州などで多く行われている。本研究との関連では、①視程障害・吹き溜まり対策である防雪柵の設計基準の検討、②吹雪対策施設の費用便益、③防雪柵による吹雪量補足率に関する研究、④雪粒子の検知による視程測定手法と交通制御へ利用する手法の開発、⑤除雪機械による作業中の視程改善方策に関する研究^{9, 10, 11, 12)}などであり、本研究が対象とする、視程の急変と発生要因、高速走行状態での視程障害の測定手法、視程障害対策、視程障害対策の設計法に関する研究はほとんど行われていない。

ヨーロッパの積雪寒冷地域では、吹雪・降雪による視程障害に関する研究例は少ない。それは、日本のように降雪の多い地方は黒海周辺とノルウエーの大西洋側周辺であるが、ノルウエーの大西洋側は人口密度が低く冬期道路交通量が少なく、視程障害が誘因の多重衝突事故などが少いために大きな問題になっていない。フィンランドやスウェーデンでも、より降雪量が少ないために視程障害が大きな問題として取り上げられていないためである。

このように、国内・外の積雪寒冷地域において視程障害対策に関連した多くの困難な問題を抱えているのが現状であるが、今日これまで上述した視程障害対策に関する新たな課題に関わる研究は行われていない。本研究では、視程障害対策に関する設計資料の蓄積を目的に次の検討を行う。

- 1)吹雪・降雪による視程障害対策などが抱える課題の現状に鑑み、視程障害の主たる発生要因について検討し、その実態を定量化して特徴を明らかにする。
- 2)視程障害の定量化の中で視程の急変による特徴を初めて明らかにし、これへの新たな視程障害対策手法について提案する。
- 3)視程障害対策の設計において適正規模や、路線ルート上の吹きだまり量の把握に必要となる、1kmメッシュ30年確率吹きだまり量の算出手法と、北海道全域の吹きだまり量分布を示す。
- 4)視程障害対策に関する調査・設計において、対策を必要とする地域の特定とプライオリティーの検討、及び、各々の地域の対策レベルの把握が可能となる視程障害リスクポテンシャルについて提案し、評価してそれに対応する適切な対策手法について検討する。

1.2 本論文の構成

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、論文の構成について述べる。

第2章では、吹雪による視程障害のリスクポテンシャルに関連する既往の研究を概観し、整理し、本研究の立場を明確にする。

そのために、

- 1) 視程障害の発生要因と定量化に関する研究
- 2) 視程障害対策と設計法に関する研究

について既往の研究を本研究の立場と対比しながら論じ、本研究のオリジナリティを明らかにする。

第3章では、視程障害の発生が道路地形や気象条件、それに周辺環境の要因の違いによってそれぞれ異なるものと考えられることから、道路上の視程障害の発生形態とその支配的な発生要因について分類し、それらの関連と特徴について考察する。

第4章では、視程障害の定量化に関して、従来から使用している透過型・反射型視程計、新たに開発した高速走行で視程変動の測定が可能な側方散乱方式車載型視程計のシステム構成、実測例、その活用について示す。このことから、これまで知られていなかった道路上の視程障害が急変する箇所の実測によって調査し、対策・検討のためにその要因と特徴を明らかにする。

また、視程障害対策の検討にあたって重要な対策施設の防雪機能と、視程障害時の安全走行との関連について考察する。

第5章では、第4章で明らかにした道路上の視程が急変する箇所の対策について、数値シミュレーションにより有効な対策手法について検討する。また、視程障害時のドライバー誘導効果を一層高める目的で、視線誘導標の設置方法に関する検討と、新たに開発した高機能視線誘導標による対策と効果について検討し、新たな視程障害対策手法について提案する。

第6章では、視程障害対策の適切な規模の設計に必要となる、当該周辺の吹

きだまり量の算出手法を検討し，北海道全域の1kmメッシュ30年確率の吹きだまり量分布図を作成する。また，視程障害対策を必要とする地域の特定とその優先順位の把握が容易になる北海道全域の視程障害リスクポテンシャルの算出手法を示す。さらにその評価手法について検討し評価ランクに対応した適切な対策手法について提案する。

第7章では，結論として本論文で展開した視程障害の発生要因と定量化手法，及び，視程障害対策と視程障害対策の設計法について，とりまとめるものである。

[第1章 参考文献]

- 1)竹内政夫,1980:吹雪時の視程に関する研究,土木試験所報告.74号,1-29.
- 2)北海道開発局,1990:道路吹雪対策マニュアル(案)防雪柵編.25pp.
- 3)日本道路協会,1990:道路防雪便覧.103-126.
- 4)北海道開発局,1998:道路現況調査(平成10年度),289pp.
- 5)石本敬志,1987:吹雪頻度分布図について,土木試験所月報 No415,42-45.
- 6)福澤義文,加治屋安彦,金子学,金田安弘,小林利章,1997:道路防雪林の整備効果について.第13回寒地技術シンポジウム,176-178.
- 7)福澤義文,加治屋安彦,金子学,丹治和博,金田安弘,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について—平成10年1月7日における札幌圏の事故事例解析から—.第14回寒地技術シンポジウム'98,講演論文集,49-57.
- 8)福澤義文1993:車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発.雪氷,55巻1号,29-38.
- 9)Transportation Research Board,1978:Driver visibility under varying adverse weather conditions.Transportation Research Record No.193,19pp.
- 10)Tabler,R.D,1974: New Engineering Criteria For Snow Fence Systems. Transportation Research Record No.506,65-78.
- 11)Schmidt ,R.D.,1979: Measuring visibility in blowing snow. Transportation Research Board Special Report No.185,200-207.
- 12)Roberts, A.W.,1986: Guiderail delineation. Transportation Research Circular No.306,7-8.

第2章 既往の研究と本研究の立場

2. 1	視程障害の発生要因と定量化に関する研究	6
2. 1. 1	視程障害の発生要因に関する研究	6
2. 1. 2	視程障害の定量化に関する研究	6
2. 2	視程障害対策と設計法に関する研究	8
2. 2. 1	視程障害対策に関する研究	8
2. 2. 2	視程障害対策の設計法に関する研究	9
2. 3	まとめ	11
	参考文献	12

第2章 既往の研究と本研究の立場

本研究の目的である，吹雪・降雪による視程障害の定量化手法の開発と新たな視点での視程障害対策，及び，視程障害対策の設計法について提案するにあたって，関連研究の変遷を理解しておくことは不可欠である。本章では，視程障害発生要因，定量化，視程障害対策，対策の調査計画における設計法に関する研究を概観し，本研究との関連を述べて本論文のオリジナリティーを明らかにする。

2.1 視程障害の発生要因と定量化に関する研究

2.1.1 視程障害の発生要因に関する研究

吹雪・降雪による視程障害の発生要因に関する研究は国内・外ともに，これまで余り行われていないが，おもに竹内の「吹雪時の視程に関する研究」¹⁾によって行われている。竹内は地吹雪による視程障害の発生について降雪，風速，気温の気象条件で示し，気温にもよるが風速4~5m/sで発生するとしている。佐藤²⁾は北海道において吹雪発生臨界風速を風速3m/s（気温-10℃一定）を測定し，吹雪の発生条件について竹内と多少異なる結果を得ている。

また，竹内¹⁾は吹雪による視程障害が災害を大きくするように働くものを拡大要因として整理し，この中で高橋³⁾が環境，素因と分類したものも拡大要因に含めて，視程障害の構造と要因について示している。その要因を吹走距離，路側雪堤，道路曲線部などをあげているが，急峻地形の影響による地形要因，人為的要因などに関する研究は国外においてもほとんど行われていない。

視程障害対策に関する有効な対策手法の検討にあたって，視程障害の実測データなどに基づいて広範な視点から，より具体的な視程障害の発生形態，支配的な発生要因を明らかにし，それらの特徴について検討する必要がある。

第3章ではこの問題について検討する。

2.1.2 視程障害の定量化に関する研究

吹雪・降雪による視程障害の実態を定量化するために，視程の測定手法の開発が必要になる。野原ら⁴⁾は，目の細かい化学繊維のネットを用いて空気と飛雪を分離し，雪を融かして強い風雪時の吹雪強度，降雪強度の自動測定を行っ

た。木村ら⁹⁾と西尾¹⁰⁾はそれぞれ、レーザ・ビームにより、降雪を検知する装置を開発し、地吹雪の観測を行っている。重野ら¹¹⁾は、後方散乱光によって降雪を測定した。佐藤ら¹²⁾は、SPCを新たに作成し青森県五所川原市などで吹雪観測を行っている。遠藤ら¹³⁾は、3次元ドップラーレーダを降雪用に開発し、石狩市などで降雪強度の観測を試みている。Dominicら¹⁴⁾は、音波を利用して地吹雪の発生を検知する装置を開発し除雪作業の管理に活用している。

このように吹雪発生の検知や吹雪量と降雪強度の測定装置を開発し、それによって吹雪観測が行われてきた。しかし、視程障害の実態を解明するには視程の測定手法の開発が不可欠である。

視程の測定ではShmidt¹⁵⁾が、光学系と受光素子を組み合わせた検知器により雪粒子をカウント(SPC)し、実験式から視程を求めるシステムを開発した。これは直径3~25mmの非常に狭いエリアを通過する各雪片によるパルスのカウントして視程を求めるもので十分な測定精度を得るのは難しい。また、石本ら¹⁶⁾は、ビデオカメラによる視程計測装置を開発したが、これは白黒のターゲットによるコントラストの差から視程を求める仕組みになっている。これに類似した手法でTaekら¹⁷⁾も、ビデオカメラを用いて視程を求める装置の開発を行っている。ビデオカメラによる視程計測装置は、ターゲットを設置するなどの構成が大がかりになりやすく設置場所が限定されることもあり、道路上の視程を計測する場合に適用するのが難しい面もある。これらの問題の解決にあたって反射型視程計による視程測定手法を初めて開発したので、これについては第4章で述べる。

上述した視程計測装置と手法は固定観測点におけるものであるが、最近は大規模な自動車事故¹⁸⁾ (1992年3月)にみるように、視程障害時の多重衝突事故が増加し、その事故防止対策が急がれている。このため走行中のドライバーの目前で変動する視程障害の実態解明と特徴の把握が重要になるが、車両へ搭載可能な応答速度の速い小型視程計と、走行状態での測定手法が開発されていない。

また、視程障害時の安全走行と防雪対策の視程障害緩和機能に関する検討が、極めて重要であるにも関わらずこれまで余り研究されていない。これらの問題について第4章で検討する。

2.2 視程障害対策と設計法に関する研究

2.2.1 視程障害対策に関する研究

(1) 対策施設端部，道路開口部が誘因の視程障害対策

防雪対策に関する研究において小林ら¹⁹⁾は，吹きだめ柵の補足率と柵風下の吹雪量に関する調査を行い，柵の設置位置について提案している。また，2月中旬には吹雪量の補足率が低下することを指摘している。村国ら¹⁶⁾は，地吹雪対策を目的に吹きだめ柵を試験観測し，吹きだまりと視程障害緩和の対策は，別々に検討する必要性を提案している。成瀬¹¹⁾は，吹きだめ柵の吹きだまりの層構造と防雪柵前後の風の構造を調査した。大島ら¹³⁾は，縦板型式の防雪柵による吹き払い効果について調査している。金田ら¹⁹⁾は，有孔板型式防雪柵による吹きだまり効果について調査し，冬期間を通して高い補足率を維持する結果を得ている。また，筆者らは，石狩において各種防雪柵の機能に関する同時観測を行い，視程障害緩和や吹きだまり機能について明らかにした。石本ら²⁰⁾は初めて，道路防雪林を一般国道12号岩見沢に整備し，比較的狭い道路防雪林でも雪提からの地吹雪の発生を抑制し，道路上の視程障害が大きく緩和されることを実測で示している。

防雪対策に関するおもな研究の変遷を述べたが，これまでの防雪対策の関連研究において，全く指摘されなかった新たな課題を筆者らの調査で初めて明らかにした。それは道路開口部，防雪対策施設端部，道路構造の変曲点（切土・盛土境など）の視程の急変箇所が存在である^{21, 22)}。これらの研究に基づいて冬期交通の安全確保上の対策が急務であることを指摘した。これについて第3章でふれるが，第5章ではこの問題の対策について検討する。

(2) 視程障害を考慮した視線誘導対策に関する研究

視程障害時の視線誘導に関する研究について磯部ら²³⁾は，視線誘導標の吹雪時の視認性を石狩吹雪実験場と供用道路で観測し，視程障害時には40m離れた視線誘導標の存在を全く視認できなかつたとし，また，道路線形の確認には常に2個以上の視線誘導標を確認できることが望ましいとしている。石本ら²¹⁾は，自発光視線誘導標の視認性の観測を行った結果，点灯時には明らかに視認性が向上することを確認している。斉藤ら²³⁾は除伐材を用いて視線誘導樹として，視程障害時には視線誘導樹の方が自発光視線誘導標の2倍余り視認性の高い結果を得ている。萩原ら²⁰⁾は，視線誘導標の適度な明るさを求めるモデルを提案

し、吹雪時の視線誘導標の明るさ設定に応用できるアプリケーションの研究を行っている。Roberts²⁷¹⁾は、ガードレールによる視線誘導標の視程障害を考慮した設置場所、視認性の向上について検討し、また、Helmut^{23, 29)}は、黄色いセンターラインの視認性や夜間、薄暮時の目標物の視認性について研究している。これら一連の研究を概観すると、視程障害時の視線誘導標の視認性の向上策と誘導効果の評価が大きな課題となっている。この問題は第5章で検討する。

2.2.2 視程障害対策の設計法に関する研究

吹雪対策の設計においては、吹きだまり、及び、視程障害のリスクポテンシャルについて検討する必要がある。

防雪対策の設計において決定する対策施設の規模は、吹きだまり量と最大積雪深の関係から、道路吹雪対策マニュアル（案）³⁰⁾に示す手順で決められる。マニュアルは竹内ら³¹⁾と筆者ら³²⁾の研究結果が参考にされている。

道路防雪林の林帯幅や防雪柵の規模を決定する場合、吹きだまり量を基準に考えるが、これに関する十分な資料は作られていない。吹きだまり量の推定についてTabler³³⁾はワイオミング州の南東部において測定した結果から、吹雪量係数、輸送距離、当該距離における降雪量との関係式から求める手法を研究している。しかし、北海道の気象条件への適合性について明らかにされていない。それに、対策施設の規模の設計において吹雪量の30年確率値が必要であるが、Tabler³³⁾の手法では北海道全域を対象とした30年確率吹きだまり量分布を求めることは難しいと思われる。第5章でこの問題について検討する

吹雪防止対策の調査計画³⁴⁾では、吹きだまりなどの多発個所の把握と対策手法を具体的に検討するため、周辺の気象状況や環境調査を行い、交通障害をもたらす吹雪発生の有無、障害箇所の概略を地形・周辺状況、吹雪発生頻度などによって調査する。しかし、対策にあたって重要な要素である視程障害状況が考慮されていないうえ、関連資料は作られていない。また、評価の具体的な目安や手法について十分に示されているとは言い難く、視程障害対策に関する危険性³⁵⁾を考慮した新たな評価手法と、適切な対策手法についての検討が必要である。この問題について第5章で視程障害リスクポテンシャルについて検討する。

以上、吹雪による視程障害のリスクポテンシャルの研究に関して、冬期道路における視程障害対策、及び、その設計法に関する研究を概観したが、既往の研究と本研究の立場が理解しやすいように図2.1.1に本研究の範囲を示す。

吹雪による視程障害のリスクポテンシャルに関する研究

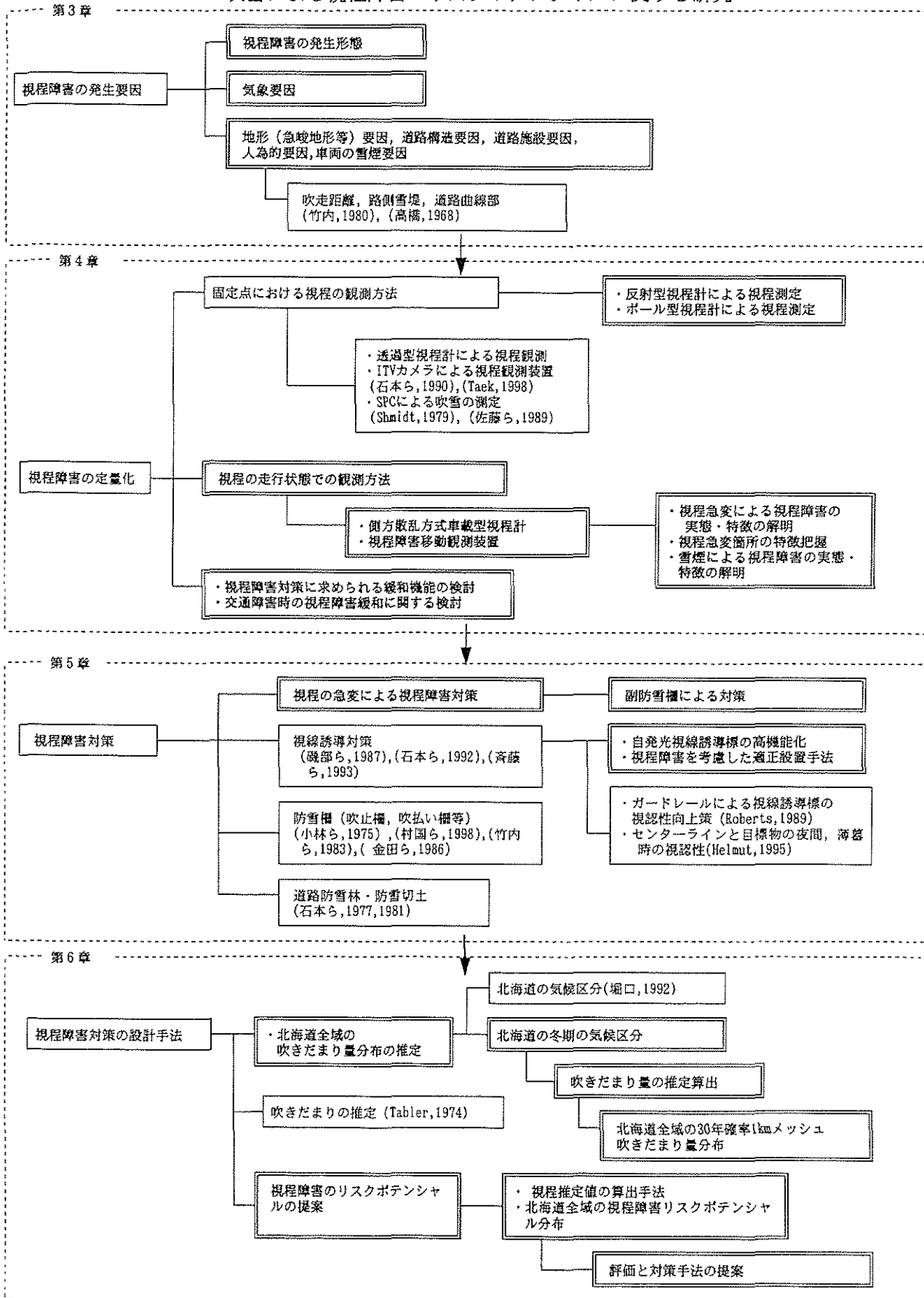


図2.1.1 本研究の範囲

2.3 まとめ

視程障害対策に関する現状の研究における問題点を要約すると次のようになる。

- 1) 視程障害の主たる発生要因について，地形要因，人為的要因などに関する研究は国外も含めてほとんど行われていない。そのため視程障害に関する有効な対策手法を検討するにあたって，視程障害の実測データに基づく広範な視点から，より具体的な視程障害の発生形態，支配的な発生要因と特徴を明らかにする必要がある。
- 2) 視程障害時の多重衝突事故の防止対策を検討するためには，ドライバーの目前で変動する視程障害の実態と特徴の把握が重要になる。しかし，車両への搭載可能な小型視程計と，高速走行時の測定手法が開発されていない。また，防雪対策の視程障害緩和機能に関する検討が重要であるが，これについても余り研究されていない。
- 3) これまでの視程障害の関連研究において，道路開口部，防雪対策施設端部，道路構造の変曲点（切土・盛土境）などにおける視程の急変箇所の存在が明らかにされていない。
- 4) 吹雪対策としての道路防雪林の林帯幅や防雪柵の規模を決定する場合，吹きだまり量が考慮される。また，新ルート計画や除雪体制の検討において対象区間の詳細な吹きだまり量が不可欠になる。しかし，北海道全域を対象とした吹きだまり量に関する十分な資料は作られていない。
- 5) 視程障害対策の調査計画では，吹きだまりの多発個所の把握と視程障害対策手法を具体的に検討するために各種の調査を行う。しかし，重要な要素である視程障害状況が余り考慮されない。さらに評価の具体的な目安や手法について十分に示されているとはいえず，視程障害対策に関する危険性を考慮した新たな評価手法と，適切な対策手法の開発が求められている。

以上のように上述した視程障害対策に関する諸問題を克服しなければ，新たな課題に対する有効な対策の設計が極めて困難になる。その設計に関する資料などの充実を目的に本研究を行うものである。

[第2章 参考文献]

- 1)竹内政夫,1980:吹雪時の視程に関する研究.土木試験所報告.74号,1-29.
- 2)佐藤正一,1962:吹雪の路線警戒の限界.雪氷,24,p.53.
- 3)高橋浩一郎,1968:気象災害論.地人書館,167pp.
- 4)野原多喜男,竹内政夫,福澤義文,1987:複数吹雪計の自動計量化.1987年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.174.
- 5)木村忠志,1974:レーザー・ビームによる降雪の検出.1974年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.84.
- 6)西尾文彦,1975:レーザー・ビームによる地吹雪の観測.1975年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.264.
- 7)重野忠史,高田吉治,1974:後方散乱光による降雪の測定.1974年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.81.
- 8)佐藤篤治,木村忠治,佐藤威,東浦将夫,1989:新庄型SPCによる吹雪観測.1989年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.10.
- 9)遠藤辰雄,山田知充,藤吉康志,坪木和久,若浜五郎,小西啓之,1986:レーダ降雪計をめざした降雪強度測定法の研究.第2回寒地技術シンポジウム,92-97.
- 10)Dominic F., Florence N.B., Martine R., and Jacques J.,1998: Snow Drifting Acoustic Detector. Xth PIARC International Winter Road Congress, March 1998, p.397.
- 11)Schmidt, R.D., 1979: Measuring visibility in blowing snow. Transportation Research Report No.506, 200-207.
- 12)石本敬志,1990:北海道の国道における吹雪対策とビデオカメラによる視程計測装置の開発.雪氷,195-202.
- 13)Taek M.K.,1998: Automatic Visibility Measurement Methods Based on Video Cameras. Xth PIARC International Winter Road Congress. March 1998, p.867.
- 14)菊地勝弘,菊地理,金村直俊,藤井雅晴,1992:1992年3月17日道央自動車道多重衝突事故時の気象特性.第8回寒地シンポジウム,494-498.
- 15)小林大二,油川英明,対馬勝年,木下誠一,1975:防雪柵の補足率と柵風下の吹雪量(序報),1975年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p3.
- 16)村国誠,1978:防雪柵による地吹雪防止効果追跡調査.1978年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.308.
- 17)成瀬廉二,1987:防雪柵による吹きだまりと風速分布(2).1987年度日本雪氷

- 学会全国大会講演予稿集,173.
- 18)大島俊之,高橋修平,谷口清一,岡田昭夫,1987:防雪柵の機能向上に関する研究.第3回寒地技術シンポジウム,417-421.
- 19)金田安弘,三神多加志,竹内政夫,安田喜世史,1986:有効板型式防雪柵による吹きだまりの発達過程,第2回寒地技術シンポジウム,301-306.
- 20)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1977:道路防雪林による吹雪時の視程障害緩和効果,土木試験所月報,335,13-28.
- 21)福澤義文,石本敬志,後藤芳昭,1994:吹き止め柵による視程障害緩和効果.第38回北海道開発局技術研究発表会論文集,151-159.
- 22)福澤義文,1993:車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発,雪氷55巻1号,29-38.
- 23)磯部圭吾,竹内政夫,石本敬志,福澤義文,1989:吹雪時におけるデリニエータの視認性について,1989年度日本雪氷学会全国大会予稿集,p.54.
- 24)石本敬志,奥谷智博,福澤義文,金田安弘,丹治和博,1992:吹雪時の道路上における視線誘導効果,第8回寒地技術シンポジウム,489-493.
- 25)斉藤新一郎,林敏雄,1993:防雪林の除伐材を用いた道央自動車道における視線誘導樹の試み.1993年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,178.
- 26)萩原 亮,加賀屋誠一,1927:吹雪時における視線誘導灯の視認性評価モデル.第14回寒地技術シンポジウム,63-63.
- 27)Roberts, A.W.,1986: Guiderail delineation.Transportation Research Record No.306,7-8.
- 28)Helmu T.Z.,Toru H., and Thomas S.,1995:Visibility of Obliteration. Transportation Research Record.1495.
- 29)Helmut T. Z., Thomas S., 2000: Visual Target Detection Models for Civil Twilight Driving Conditions.Transportation Research Record.
- 30)北海道開発技術センター,1990:道路吹雪対策マニュアル(案)防雪柵編., 125pp.
- 31)竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,福澤義文,1984:吹雪柵の研究,雪と道路.96-100.
- 32)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1982:防雪柵の性能比較試験.第25回北海道開発局技術研究発表会論文集,210-215.
- 33)Tabler, R.D.,1974:New engineering criteria for snow fence systems, Transportation Research Record No.506,65-78.
- 34)日本道路協会,1990:道路防雪便覧,103~126.

- 35) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 丹治和博, 金 田安弘, 1998: 吹雪時にける多重衝突事故の発生要因とその対策について—平成10年1月7日における札幌圏の事件事例解析から—。第14回寒地技術シンポジウム'98, 講演論文集, 49-55.

第3章 視程障害の発生要因

3. 1	はじめに	15
3. 2	吹雪・降雪による視程障害の発生形態	15
3. 3	気象要因	17
3.3.1	風速・気温と視程障害	17
3.3.2	雪の移動量と視程障害	18
3.3.3	交通障害と気象	18
3. 4	地形要因	24
3.4.1	平坦部道路での視程障害	24
3.4.2	急峻地形道路での視程障害	25
3.4.3	峠区間道路での視程障害	27
3.4.4	切土区間および地形の不連続区間での視程障害	28
3.4.5	吹雪の吹走距離と植生	28
3. 5	まとめ	31
	参考文献	32

第3章 視程障害の発生要因

3.1 はじめに

吹雪による視程障害や吹きだまりの多発区間では、防雪柵、防雪林、防雪切土などによる各種の対策が行われる。吹雪対策の多くの整備区間では、視程障害の緩和や冬期交通事故が大幅に減少するなど高い整備効果を有していることが明らかである。しかしながら最近では、全道的にみると依然として吹雪・降雪による視程障害を誘因とする多重衝突事故や通行止めが行われるケースが多い。このような現状において、吹雪・降雪による視程障害の軽減・防止に関して先進技術の活用も取り込んだ、さらなる有効な視程障害対策手法の開発が求められている。

視程障害の発生は、気象条件、道路地形、周辺環境の違いにより、それぞれ発生要因が異なるものとみられる。視程障害対策の最適な手法の検討にあたって、その発生要因と特徴を明らかにする必要がある。視程障害の発生要因として、気象要因、地形要因、対策施設要因、人為的要因などをあげることができるが、これらの要因が複雑に関連し合って視程障害を発生するものと考えられる。

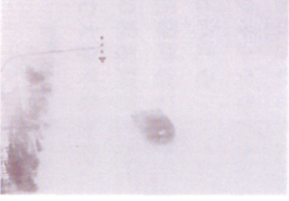

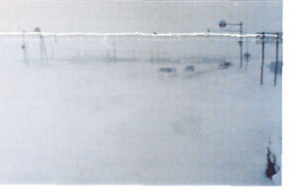
本章では、冬期道路における視程障害の発生形態について分類し、さらに視程障害の支配的な発生要因の特徴などを明らかにする

3.2 吹雪・降雪による視程障害の発生形態

吹雪・降雪による視程障害の発生要因を発生形態別に整理して示したのが表3.2.1である。視程障害の規模が広範囲に及ぶ場合の支配的な発生要因は気象である。このような視程障害は、強い西高東低の気圧配置や大型低気圧の通過に伴う暴風雪によって起こり、これが誘因となる多重衝突事故や交通障害が多発する例もある。しかし、低気圧や西高東低の気圧配置が弱い場合は小範囲な規模で視程障害が発生することもある。

一方、局所的範囲で発生する視程障害の支配的な発生要因は地形（周辺環境）である。とくに急峻地形道路の複雑地形では、尾根に沿って強風を吹き下ろす場所や、沢伝に吹き上げる飛雪によって視程障害が発生しやすい。このような場所では強風に伴う飛雪が、局所範囲で道路上に吹き出すケースがある。類似ケースとして切土・盛土境による道路の不連続部分などがある。平坦部道

表3.2.1 視程障害の発生形態

視程障害の発生規模	支配的な発生要因	視程障害の発生状況
広 範 囲	<ul style="list-style-type: none"> ○気象要因 <ul style="list-style-type: none"> ・大型低気圧の通過（暴風雪） ・強い西高東低型の気圧配置 	<p>○気象要因（支配的な発生要因） 大型低気圧の影響による視程障害の発生状況</p> 
小 範 囲	<ul style="list-style-type: none"> ○気象要因 <ul style="list-style-type: none"> ・低気圧の通過 ・西高東低型の気圧配置 ・風速 ・降雪 	<p>○気象要因（支配的な発生要因） 平坦部道路での視程障害の発生状況</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> ○地形要因 <ul style="list-style-type: none"> ・平坦部道路 ・急峻地形部道路（複雑地形） ・峠部道路 ・切土区間道路 ・吹雪の吹走距離 ○人為的要因 <ul style="list-style-type: none"> ・路側雪堤 ・車両による雪煙 	<p>○地形要因（支配的な発生要因） 平坦部道路での視程障害の発生状況</p>  <p>切土区間道路での視程障害状況</p>
局 所 範 囲	<ul style="list-style-type: none"> ○地形要因 <ul style="list-style-type: none"> ・平坦部道路 ・急峻地形部道路（複雑地形） ・峠部道路 ・切土区間道路 ・吹雪の吹走距離 ○人為的要因 <ul style="list-style-type: none"> ・路側雪堤 ・走行車両による雪煙 ○道路施設等の要因 <ul style="list-style-type: none"> ・道路付帯施設による施設端部 ・橋梁端部周辺 ・トンネル坑口周辺 ○人為的要因 <ul style="list-style-type: none"> ・路側雪堤 ・車両による雪煙 ○気象要因 <ul style="list-style-type: none"> ・風速 	<p>○人為的要因（支配的な発生要因） 路側雪堤による視程障害状況</p>  <p>車両の雪煙による視程障害状況</p>  <p>○道路施設要因（支配的な発生要因） 施設端部・道路開口部周辺の視程障害状況</p>  <p>橋梁端部周辺の視程障害状況</p> 

路でも周囲に吹雪を遮る樹木や構造物が少ない環境下では強い視程障害が発生する。

道路施設が支配的な発生要因になることもあるが、その規模は局所範囲になる。この場合は周辺環境や気象条件が深く関わって現象が複雑になる。例えば防雪対策施設の端部で風が集束して強い視程障害が発生することもある。

除雪作業で形成される路側雪堤の影響や、車両の雪煙で追い越されるドライバーが一瞬ホワイトアウトの状態をもたらされることがあるが、これらの現象は人為的要因といえる

局所範囲の視程障害についても気象状況が密接に係わるために、状況によって小範囲規模の視程障害となることもある。視程障害の発生形態は支配的な発生要因によって大きく異なる。

3.3 気象要因

3.3.1 風速・気温と視程障害

風で積雪表面から吹き上げられる現象が地吹雪であり、跳び出した雪粒子を飛雪と呼んでいる。飛雪の運動には、跳躍、転動、浮遊の三つがある。温度にもよるが、風速4~5m/sで発生する転動と跳躍だけの地吹雪は、飛雪が地表すれすれに跳ぶので低い地吹雪という。風速が8m/sを超えるようになると、浮遊粒子が目の高さ以上に吹き上げられ視程を悪くするような場合は高い地吹雪という。

吹雪の発生について竹内ら¹⁾の研究によると、風速と温度の関係から低い地吹雪、断続した高い地吹雪、連続した高い地吹雪が発生する気象条件が示されている。降雪を伴う低い地吹雪の発生臨界風速は、気温が-5~-6℃以下で一定(4~5m/s)となっているが、佐藤²⁾が北海道で測定した結果では、吹雪発生臨界風速は気温が約-10℃以下でほぼ一定し風速3m/sの値を得ていて、竹内ら¹⁾と多少異なる結果となっている。

吹雪が視程に直接影響するのは高い吹雪であって、風速が大きいと飛雪量が多くなり視程は大幅に低下する。吹雪が発生することで視程障害のすべてが冬期交通へ影響を与えるものではないが、問題となるのが走行中のドライバーの目の高さを超えて発生する視程障害である。その高さは普通乗車で約1.2mである。それより低い吹雪であればそれほど問題にならない。しかし、道路の除雪作業などで形成される雪堤の高さによっては、低い地吹雪でも道路上の視程障害が増大する。

3.3.2 雪の移動量と視程障害

降雪中の視程について齊藤³⁾は、視程は降雪の強さと密接な関係を持つが、他の要素が影響するので、そのときの条件によって大きな違いを生ずるとしている。また、視程と風速の関係について竹内ら⁴⁾は、光の消散係数は雪の空間濃度に比例するので⁵⁾、視程を空間濃度と関係づけようと、Mellor⁶⁾は無風時の降雪、齊藤³⁾は季節風による降雪、Buddら⁷⁾は地吹雪、竹内ら⁴⁾は吹雪で、それぞれ研究してきている。観測した現象だけでは、視程は空間濃度に反比例するが、同じ空間濃度でも大きな違いがみられる。このことは雪粒子や残像が視程に影響していると考えて、視程を目の前を横切る雪の移動量として表すことで、視程が一つの曲線で表され、よく対応することをみいだしている。

視程障害が広範囲に及ぶときは、気象要因が支配的なときである。このような形で発生する視程障害は、降雪と強風が相まって雪の移動量が大きく、高い吹雪が広範囲に発生するためである。高い吹雪になり難い低い地吹雪でも、ドライバーの目の高さを超える雪堤では、雪堤頂から吹き出す濃度の高い飛雪が路上に吹き出し、ドライバーの視界を遮って視程障害が発生する。

3.3.3 交通障害と気象

ドライバーは道路とその付帯施設、気象状況などの種々の情報を得て、状況変化に応じて車両を操縦する。しかし、視程障害の悪化にともない安全走行に必要な十分な情報が得難くなり、危険性が高まったり走行が困難となる。視程障害の悪化は最近、多発傾向にある多重衝突事故の最も大きな誘因とみられている。これらへの有効な対策・検討が急がれるが、これまで視程と交通事故・交通障害の発生に関する調査・研究は余り行われていない。そこで気象状況と視程障害との関連を過去の事例から調査した。

(1) 調査地点における冬期の走行環境と気象状況

調査はおもに3箇所で行った。一般国道230号中山峠は、標高800mを越す峠区間道路であるため、周囲は風倒木地帯となっていて冬は植生が雪で埋もれる低木で覆われている。そのため吹雪を遮るものはなく、飛雪は量を増して道路に吹き込む形となり、視程障害を誘因とする交通障害の多発区間である。

一般国道40号の豊富～稚内間は、冬期間は迂回路もなく旭川方面を結ぶ重要幹線道路である。調査箇所の更喜苔内は稚内市の近くに位置しており、強い吹雪の多発地帯である。周辺の一帯は広い牧草地であるため、吹雪を遮るものは全くなく、大量の飛雪が道路に直接吹き込む形になっている。このため、吹雪

による通行止めが頻発する区間である。

一般国道275号の江別市角山の観測地点は、吹雪・降雪による多重衝突事故防止に関する観測地点である。ここは主要幹線道路の4車線で交通量が多く、緩いカーブ区間である。周辺の主風向はNWで道路にほぼ直交する形になっている。風上側一帯は畑地で障害物がないことから視程障害の多発地帯である。これによる通行規制件数は少ないが、同地点で視程障害を誘因とする多重衝突事故が時々発生する区間である。

このように3調査地点ともに厳しい走行環境、気象状況であることから、これらの地点を調査の対象とした。

(2) 調査方法

1)一般国道230号中山峠での調査では、峠の頂上周辺に各種の観測装置を設置して吹雪観測を行った。視程の測定は反射型視程計を用いた。視程計の設置高さは人の目の高さを考慮して雪面から1.5mとして測定した。各観測データの10分平均値を電話回線を通して、開発土木研究所と倶知安道路維持事業所へ伝送しデータを収集した。

2)一般国道40号更喜峠内での調査は、道路からおよそ100m離れた地点に、吹雪観測装置を設置して観測を行った。ここでの視程測定は透過型視程計によって行い、光軸の高さを雪面上1.5mで測定した。各観測要素のデータのサンプリングは1秒間隔で収集し、観測所から約5km離れた稚内開発事務所に専用回線で伝送した。

3)一般国道275号江別市角山の多重衝突事故防止に関する調査地点では、吹雪による視程障害との関連性が深い視程、風速、降雪量、それに交通状況を把握するために、以下に示す観測項目を調査した。観測要素の収録間隔は0.1秒間隔の瞬時と、10分間平均値をハードデスクに収録した。ビデオ画像については、4秒/1コマの撮影のほか、吹雪時に自動的に動画を収録した。

調査地点3箇所の調査項目と使用機器、性能などは表3.2.2に示す。

(3) 交通障害と多重衝突事故時の気象

一般国道40号稚内において、視程障害が誘因の通行規制が行われた時の視程変動の記録例を図3.3.1に示す⁹⁾。吹雪の発生で視程が急激に低下しており、その後、短時間に吹雪回復の見込みがたたないために通行止めが行われたものである。このときの風速は16m/s以上で、強い降雪を伴い視程が35m以下と大きく低下している。

表3.2.2 各調査地点での観測項目と使用機器

一般国道230号中山峠調査地点		
観測項目	使用機器	測定範囲等
視程	反射型視程計	視程:10m～1000m
風向・風速	風車式風向風速計	風速:0m/s～60m/s 風向:0～360°
気温	白金測温抵抗体温度計	気温:-50+50℃
気圧	アネロイド気圧計	気圧:800～1060mb
一般国道40号更喜苦内調査地点		
観測項目	使用機器	測定範囲等
視程	透過型視程計 (投受光間隔10m)	10～1000m
風向・風速	風車式風向風速計	0～60m/s
気圧	水晶発振方式気圧計	800～1060mb
車速	車両感知装置 (地磁気センサー方式)	
一般国道275号江別市角山多重衝突事故対策調査地点		
観測項目	使用機器	測定範囲他
視程	反射型視程計	10～1000m
風向・風速	風車型風速計	0～60m, 10分毎収録(毎日) 0.1毎収録(吹雪時)
走行速度	車両感知装置	
交通量	車両感知装置	
ビデオ画像	ITVカメラ	1コマ/4秒収録(毎日) 動画連続収録(吹雪時)

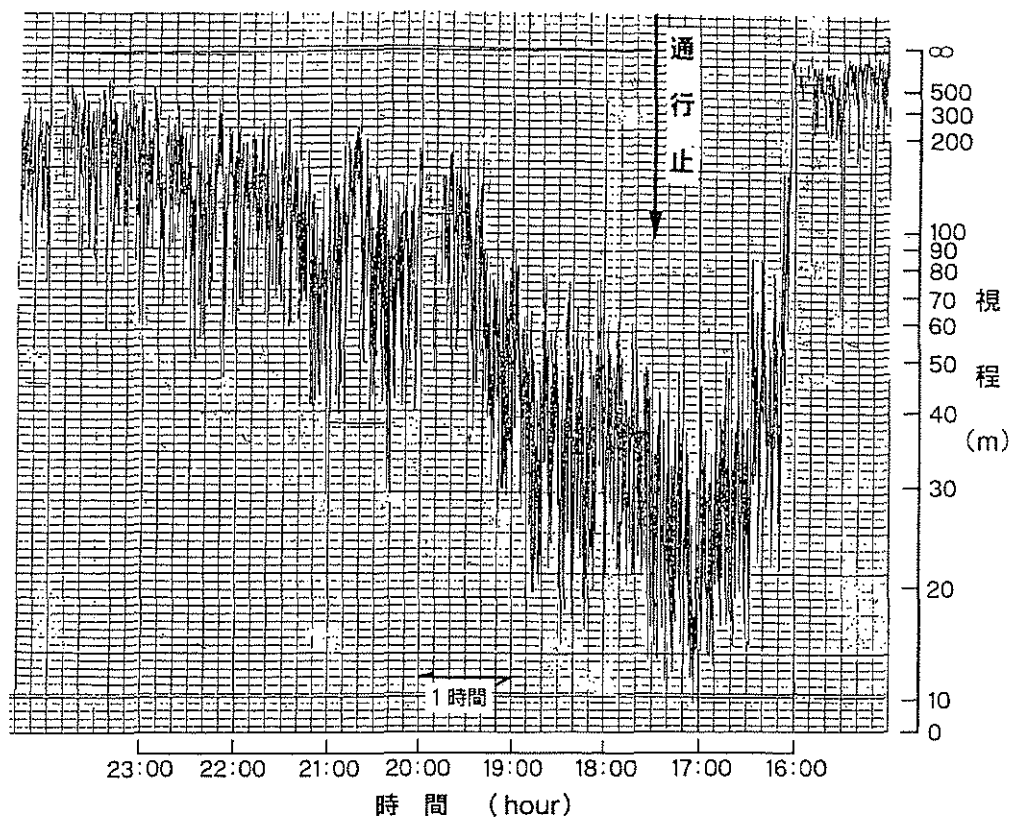


図3.3.1 吹雪による通行止時の視程変動の記録
(一般国道40号稚内)

同様に視程障害で、一般国道230号中山峠で通行止めが行われた時の各気象要素の変化を図3.3.2に示す¹⁴⁾。まず、気圧の急降下があり低気圧の接近が知れるとともに風速が増大し10m/sにはね上がっている。風速の急な増大とともに降雪が加わり吹雪量が急激に増加した。それまで数百m台の視程が150m以下と急減したため、非常に危険な走行状態と判断し通行止めが行われたものである。そして気温の急降下は低気圧の中心の通過を示している。低気圧の吹き込みは強風雪となって、一時的に風速は15m/sを超えて視程は最悪の20m以下に低下している。その後、低気圧の影響圏は抜けたが西高東低の気圧配置にあることを示している。

また、暴風雪による視程障害が主要因の多重衝突事故が、平成10年1月7日に札幌圏で多発した。低気圧が発達し上空に強い寒気が流れ込む冬型の気圧配置となり、北海道各地で暴風雪が発生したものである。このとき札幌の雲頂高度は3,900m、雲頂高度の気温は-39℃と大雪の条件を備えていて気圧傾度も大きく、総観場的には強風の条件も十分揃っていた。降雪域は風向に沿って何本か

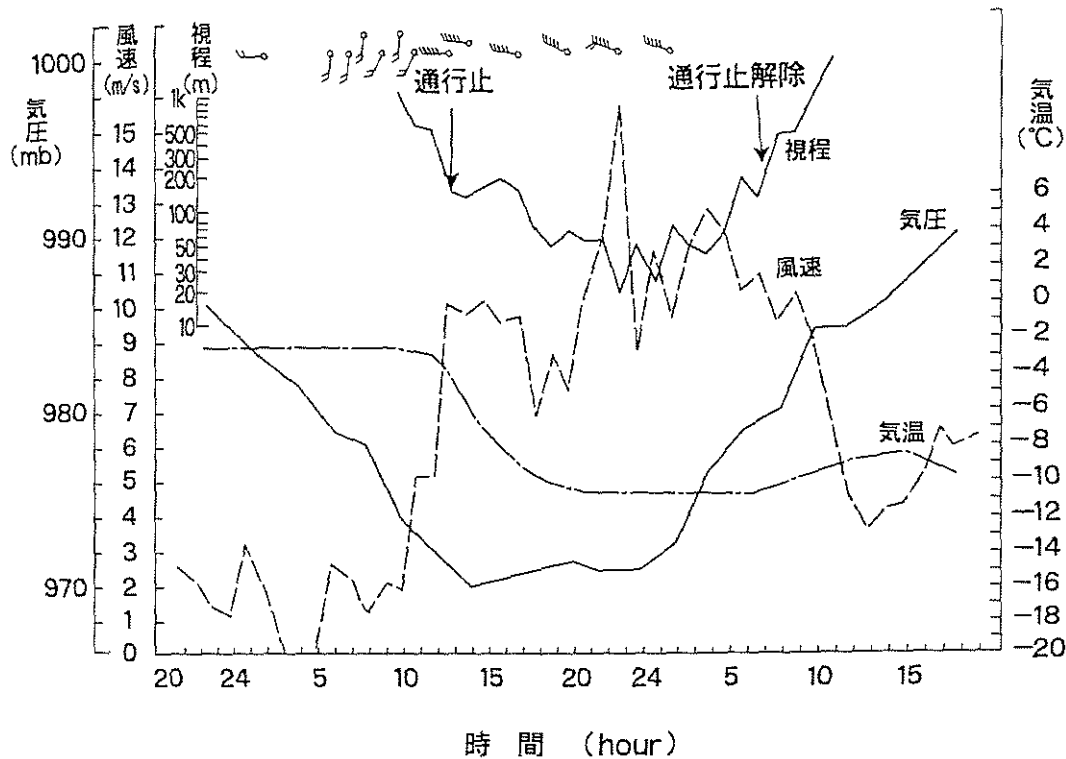


図3.3.2 通行止が行われた時の気象要素の変化
(一般国道230号中山峠)

の帯状に分布するとともに、狭い地域に強い降雪が集中しながら移動している状況にあった。

図3.3.3には、この日の札幌周辺の降雪強度分布と多重衝突事故が発生した1地点を示す。事故地点での降雪強度が18.5mm/hで非常に強い降雪があった¹¹⁾。現地で多重衝突事故時前後の視程と風速の観測データを図3.3.4でみると、風速10m/s、平均視程100m以下の強い視程障害の中で事故が発生している¹²⁾。札幌圏では強い降雪域の移動や変化に対応して、7件の多重衝突事故が次々に発生している。総観場としては強い寒気と強風による広域的な暴風雪の条件にあるが、降雪強度の分布は場所によって大きく異なり、発達した雪雲通過時に広範囲に強い視程障害により多重衝突事故が発生したものである。

このように吹雪による通行規制や多重衝突事故発生時に観測した気象データをみると、降雪強度を含む気象条件が複雑に関連しあって強い視程障害が発生するといえる。

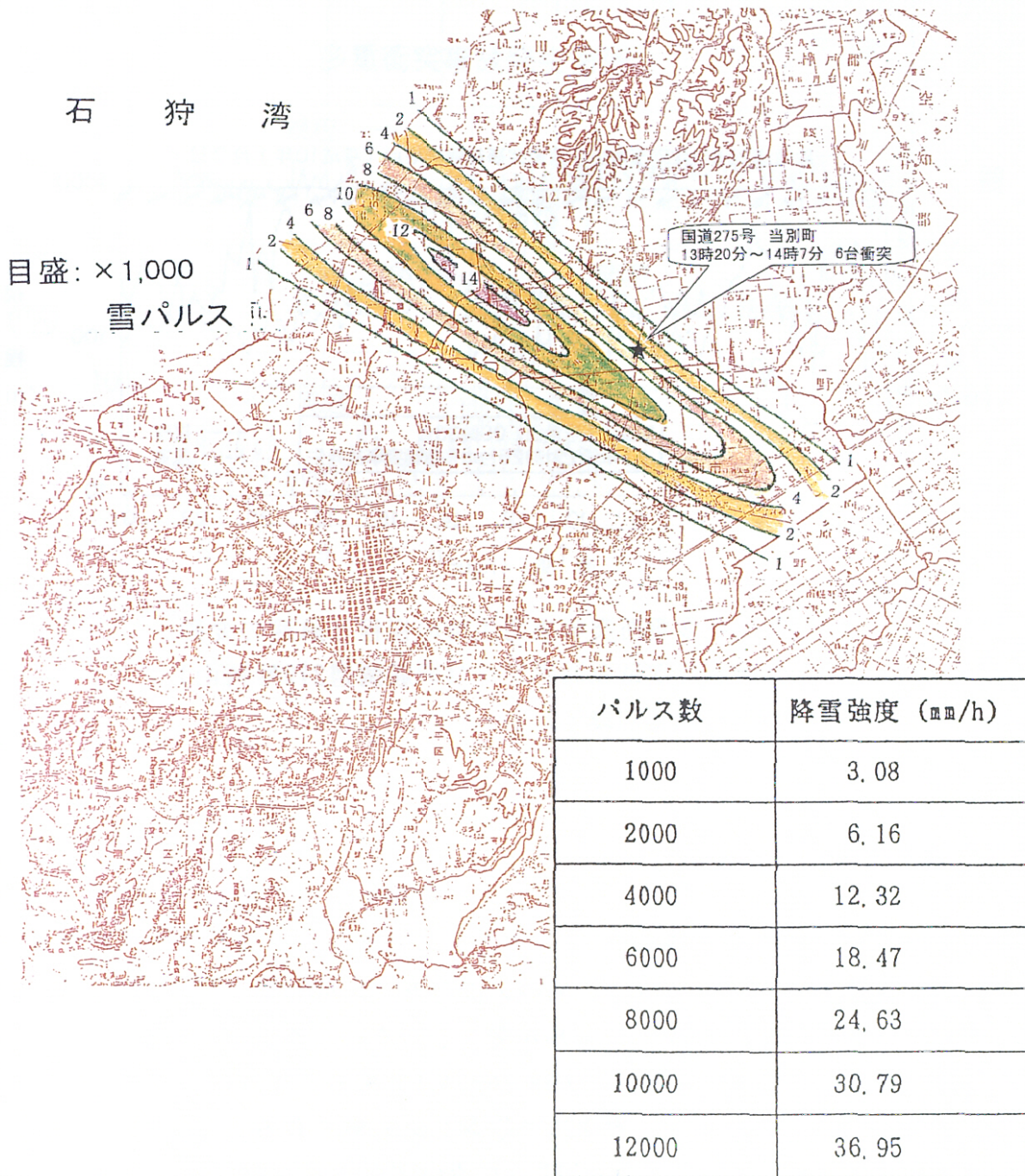


図3.3.3 多重衝突事故発生時の降雪強度の水平分布

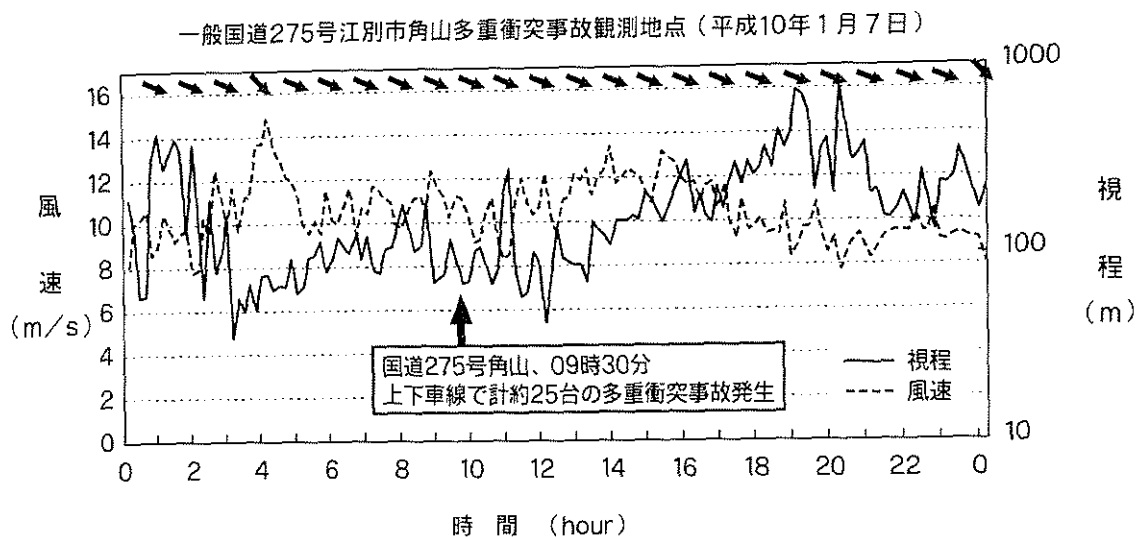


図3.3.4 多重衝突事故発生時の視程と風速の変動
(一般国道275号角山)

3.4 地形要因

3.4.1 平坦部道路での視程障害

吹雪を遮る樹木などが少なく、周囲の開けた平坦部道路では、路上に吹き込む飛雪が多く視程障害や吹きだまりが発生しやすい。そのような箇所でも得られた視程と風速の測定結果を示したのが図3.4.1である。これは、第4章で述べる視程障害移動観測車により札幌周辺で観測した結果である。

札幌から10KP付近までと、11.3KPより遠い区間では視程200～100mと同程度の視程である。3時間前に多重衝突事故が発生した10.3KP付近では、風速が10m/sと大きく視程が70mと急激低下している。この地点は風向に対してほぼ直角であるばかりでなく、風上側は約800mの畑地で広く開けており地吹雪の発生しやすい地形条件である。この後も2度に亘って周辺の移動観測を行ったが、同地点で局所的な視程の低下を観測した¹⁾。このことは、この周辺において地形的特異点であることを示唆している。

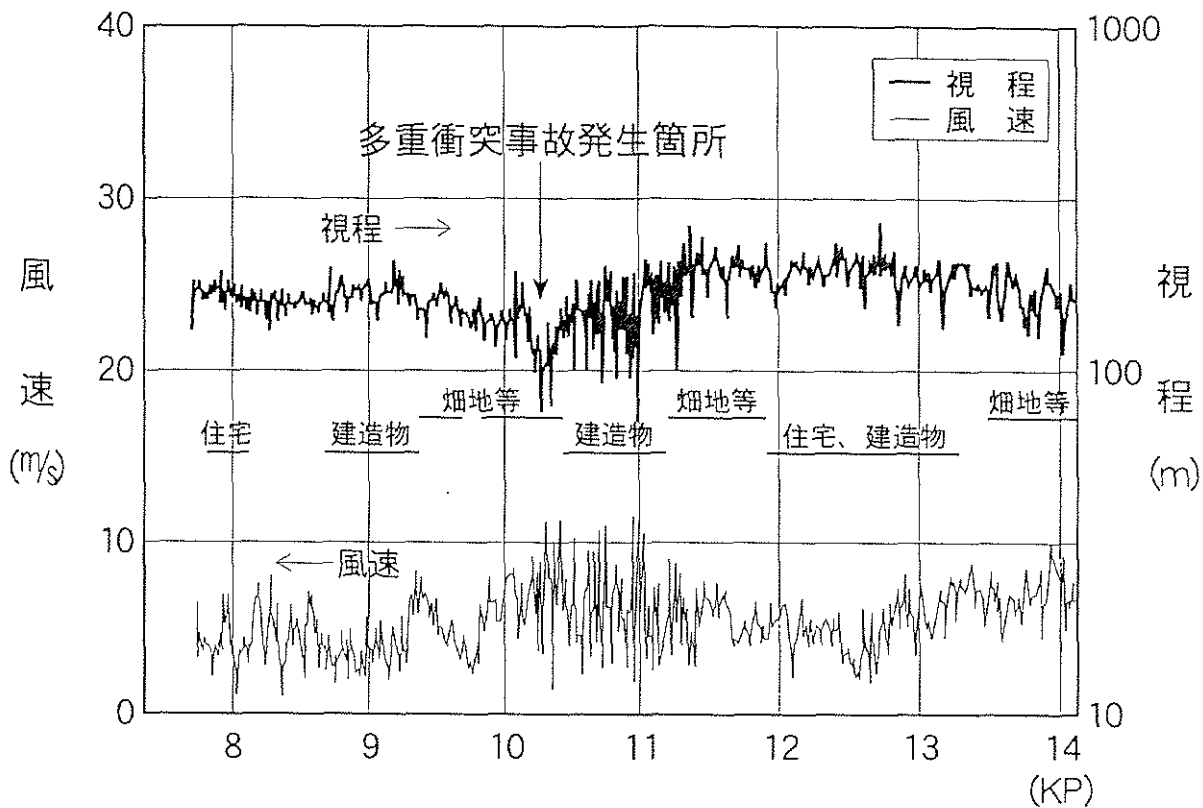


図3.4.1 周囲の開けた平坦部道路での視程変動
(一般国道275号角山)

3.4.2 急峻地形道路での視程障害

急峻地形道路では一般に複雑な地形を有しており、それが主要因となる視程の急変に伴う障害が発生しやすい。このような箇所の視程障害の特徴を把握するために一般国道230号中山峠と、一般国道273号三国峠で調査を行った。

中山峠は、前項で述べたが標高800mを越す峠区間道路であり、峠から喜茂別方向に約2km下った地点は急峻地形となっている。そのため吹雪の発生頻度が高く視程障害を誘因とする交通障害の多発区間である。周辺は、風倒木地帯のために植生は冬は雪に埋もれる低木と笹で覆われている。このため吹雪を遮るものではなく、飛雪は量を増して道路に吹き込むなど、道路環境としては悪条件が重なっている。また、近傍の切土区間では多量の飛雪の吹き込みによって視程障害の多発箇所もある⁴⁾。

図3.4.2は、一般国道273号の三国峠近傍で測定した視程と風速の移動気象観

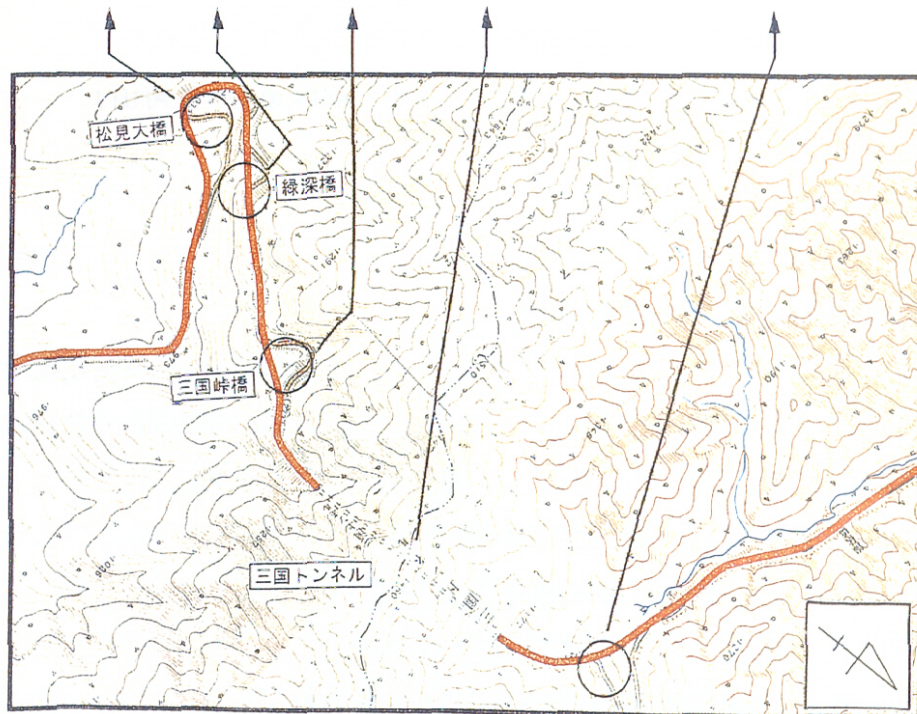
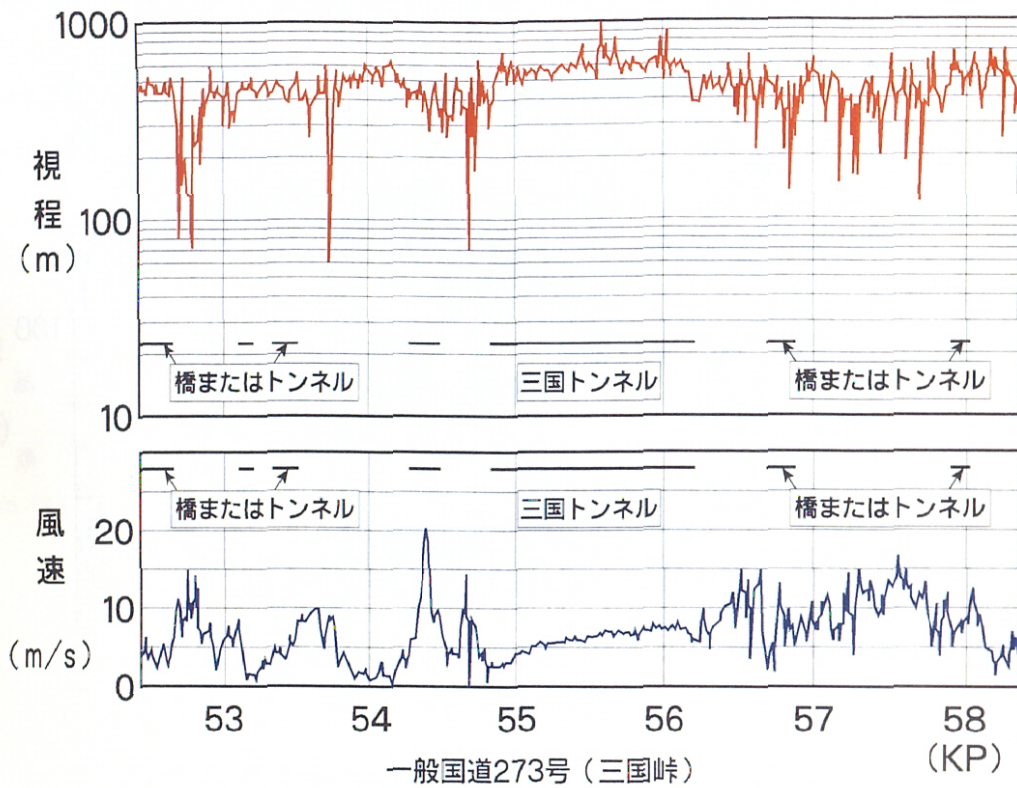


図3.4.2 急峻地形道路 (複雑地形) での視程変動
(一般国道273号三国峠)

測の結果である¹³⁾。観測時は、冬型の気圧配置により西よりの風向であった。三国峠を中心とした前後約10kmの区間で、視程が100m以下に急変する地点が幾つかみられる。路線上の風速も2~3m/sの微風程度の地点もあれば、三国大橋の中央で20m/sを超える突風が観測されるなど、数kmの区間内で気象は大きく変化しており、急峻地形の要因による視程障害が場所により大幅に変動する様子を観測結果で明らかにした。

3.4.3 峠区間道路での視程障害

峠・頂上周辺を走る道路は標高の高い区間が多い。そのような場所では気象条件が厳しく、樹木の生育に適さない環境のために低木で覆われている。低木は冬期には雪に埋もれるので吹雪を遮るものが少なくなる。それに沢伝いに吹き上がる強風と相まって吹雪の頻発区間になる。

峠区間道路である一般国道274号の日勝峠は道路の標高が約1,000mで、頂上周辺は尾根を走る区間のため交通障害が多発する。ここで観測された視程と風速の気象データの一例が図3.4.3である。視程が大きく変動し平均的に低い視

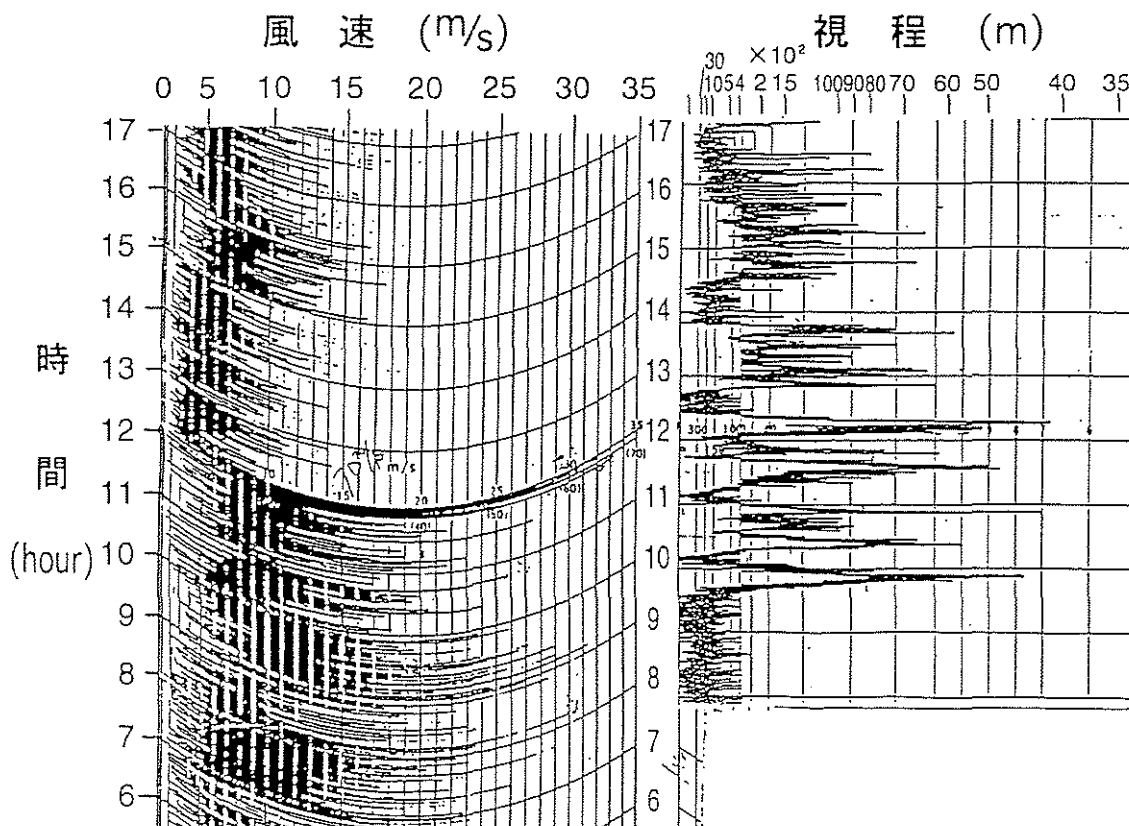


図3.4.3 吹雪時の視程と風速の変動(一般国道274号日勝峠)

程が継続している。同時に測定した風速は瞬間最大風速35m/sを記録しており、強風を伴った強い視程障害が発生している。観測例のように峠区間の道路では強風を伴う視程障害が頻発し、しかも視程障害の継続時間が長くなる特徴がある。そのため車両の走行環境が非常に厳しい状況下におかれ、通行止めなどの交通障害の発生頻度が高くなる。

峠区間道路で発生する視程障害は地形要因が支配的なものになる。しかし、場合によっては気象条件が大きく影響することもある。

3.4.4 切土区間および地形の不連続区間での視程障害

道路の切土区間において斜面上の風との関係で考えると、石本ら¹⁴⁾、Chang¹⁵⁾によると境界剥離層によって渦ができるため、落下速度の小さい飛雪はこの渦に巻き込まれ空中に浮遊して視程障害を起こす。強風で乱れが強くなると剥離が起きにくくなり、剥離点は流の風下側に移動するようになるとしている。道路の視程障害多発箇所は、このような切土区間や高い雪堤が形成される道路で多発する。写真3.4.1は、深い切土区間で上部からの飛雪の吹き出しにより、強い視程障害が発生している状況である。

また、地形の不連続部分で大きく変わる吹雪時の視程変動を観測した。その結果を図3.4.4に示す。この例では約1Km離れた2つの箇所で視程が急減している様子がみられる¹⁶⁾。いずれも切土から盛土へ移る地点で視程が大きく低下していることを観測データで確認し、その実態と特徴を実測で初めて明らかにした。

これらの要因で発生する視程障害は、路線区間が限定されるので局地的か小範囲な規模の視程障害となる。

3.4.5 吹雪の吹走距離と植生

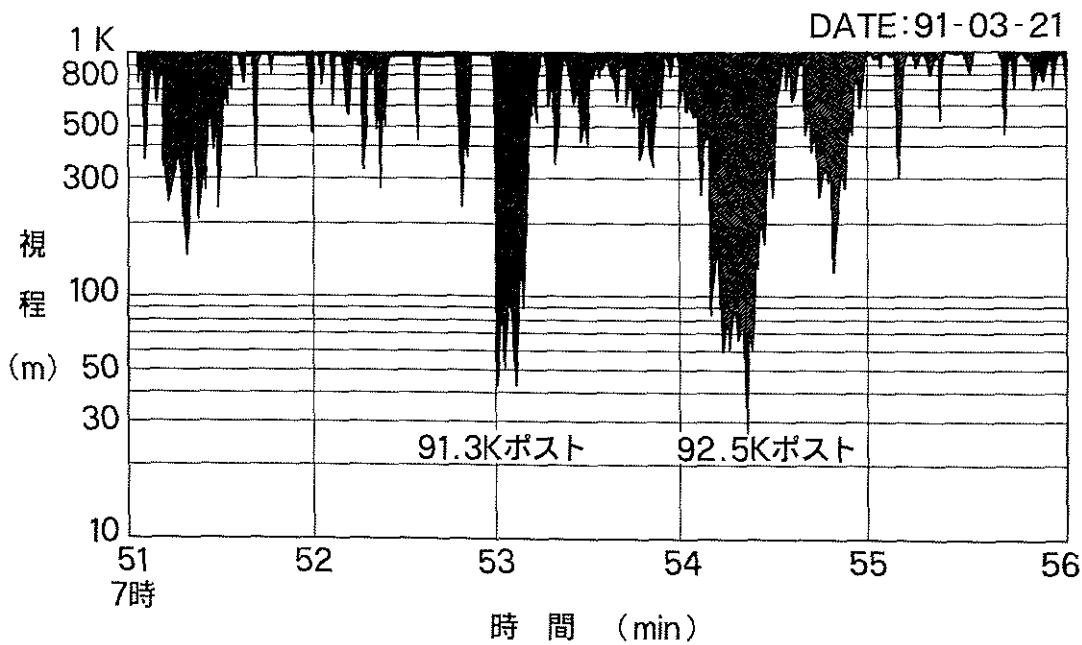
吹雪の吹走距離は視程障害対策などの防雪計画にとって重要な量になる。吹雪が発生してから飽和になるまでの距離は、風速、降雪量、雪質、温度、ブッシュなど植生状態によっても異なる。竹内ら¹⁷⁾の研究によると吹雪量は、はじめの200mまでの間に急速に増加し、その後の増加の割合は小さくなる。吹雪量が飽和に達するような吹雪では、吹雪の発生地点から350~500m程度で吹雪量が最大になると推定されている。



(写真上，晴天時の同地点)

写真3.4.1 切土区間における強い視程障害の発生状況
(一般国道231号)

また、一般に吹走距離が長いものほど吹雪量が増すと考えられている。実際に石狩で調査した結果によると、視程障害によって交通事故が起きたり、道路が不通になったりした場所は、いずれも風上側の吹走距離が500m以上の田畑や原野を持つ平坦地であった。そのような開けた箇所の風上側に雑木林などが成育している場合は規模にもよるが、大きな視程障害緩和機能を有していることが、筆者ら¹⁰⁾が行った調査から間接的に推測できる。



3.4.4 切土と盛土の境で急減する視程の変動 (高速道路)

3.5 まとめ

冬期道路における視程障害の実態について調査し、視程障害の発生形態と発生要因について分析した。これにより、視程障害防止の検討に必要な発生形態とその支配的な発生要因との形で整理することができた。その地域で発生する視程障害の支配的な発生要因の特徴を知ることによって、その後の対策が有効に行われることになる。

視程障害の支配的な発生要因が、気象要因の場合は大型低気圧の通過や、強い西高東低の気圧配置によって発生し広範囲な規模となる。西高東低の気圧配置が弱いと小範囲規模の視程障害になることもある。気象要因による視程障害の発生は、風速・気温、飛雪量、降雪強度などが複雑に関連しあって発生することが明らかになった。

地形が主たる発生要因の場合は区間が限定されるので局所範囲か、小範囲規模の視程障害になる。急峻地形道路は複雑地形によって視程の急変箇所が多発する。それに周囲の開けた道路では気象条件にもよるが、大量の飛雪が道路に吹き込んで視程障害が発生するなど、地形の特徴毎に視程障害の発生形態が異なることを示した。

このように冬期道路交通に大きく影響する視程障害の支配的な発生要因は、おもに気象要因と地形要因であることを明らかにした。

[第3章 参考文献]

- 1)竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,福澤義文,1986:降雪時の高い地吹雪の発生限界風速.昭和61年度日本雪氷学会予稿集.p.252.
- 2)佐藤正一,1962:雪氷,24,p.53.
- 3)斉藤博英,1971:降雪の強さと視程.国立防災科学技術センター研究報告,5,33-40.
- 4)竹内政夫,1980:吹雪時の視程に関する研究.土木試験所報告,74号,1-29.
- 5)Koschmiedr, H., 1924: Theorie der horizontelen sichtweite. Beitr.2, Phys. d.freien Atm.,12,33-15.
- 6)Mello, M.,1966: Lijht scattering and particle aggrgation in snow storms. J.Glaciol., 6,237-248.
- 7)Budd,W.F.,1966: The drifting of nonuniform snow particles, A.G.u. Antarct. Res.Ser., 9, 59-70.
- 8)竹内政夫,野原多喜男,福澤義文,1972:吹雪による視程障害について.土木試験所月報,10月号,9-16.
- 9)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1986:吹雪観測と交通管理への利用——一般国道40号稚内～豊富—.土木試験所月報,No.395,2-16.
- 10)福澤義文,竹内政夫,1979:中山峠における吹雪の特徴.北海道開発局技術研究発表会論文集,208-335.
- 11)金田安弘,川上俊一,山本 晃,加治屋安彦,福澤義文,金子 学,金村直俊,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について—平成10年1月7日における札幌圏の暴風雪の気象特徴.第14回寒地技術シンポジウム'98 講演論文集,41-48.
- 12)福澤義文,加治屋安彦,金子 学,丹治和博,金田安弘,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について—平成10年1月7日における札幌圏の事故事例解析から—.第14回寒地技術シンポジウム'98 講演論文集,49-56.
- 13)金田安弘,丹治和博,福澤義文,加治屋安彦,1996:冬期道路での吹雪による視程の急変について.第12回寒地シンポジウム'96講演論文集,324-329.
- 14)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1981:切土区間の道路における防雪対策について.土木試験所月報,No.335,13-28.
- 15)Chang,P.L.,1976: Control of flow separation, Hemisphere Pub. Corp. london.,523.

- 16) 福澤義文, 1993 : 車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発. 雪氷, 55, 29-33.
- 17) 竹内政夫, 1989 : 吹雪と吹きだまりの発生機構. 鉄道土木, 12, 26-12.
- 18) 千葉隆広, 福澤義文, 石本敬志, 高橋勝宏, 1994 : 林による防雪効果について. 平成6年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 65.

第4章 吹雪・降雪による視程障害の定量化

4. 1	はじめに	34
4. 2	視程障害の観測手法	34
4. 2. 1	固定点での視程の測定方法	34
4. 2. 2	走行状態での視程の測定方法	38
4. 3	測定手法による視程障害の実測と有効性	51
4. 3. 1	透過型視程計による測定例	51
4. 3. 2	反射型視程計による測定例	51
4. 3. 3	側方散乱方式視程計と視程障害移動観測車 による測定例と有効性	54
4. 4	交通障害時の視程障害緩和に関する検討	57
4. 4. 1	交通障害と視程	57
4. 4. 2	視程障害対策施設による視程障害緩和機能	59
4. 5	まとめ	59
	参考文献	60

第4章 吹雪・降雪による視程障害の定量化

4.1 はじめに

視程障害対策の検討にあたっては、視程障害の実態を定量化する測定手法の開発が必要になる。視程測定はこれまで透過型視程計¹⁾、反射型視程計²⁾などによって行われてきた。そのほかSchmidt³⁾が開発したSPC、石本ら⁴⁾やTaek⁵⁾らが開発したビデオカメラによる視程測定装置によって観測しているが、これらはいずれも固定点での観測手法である。しかし最近では、視程障害が誘因の多重衝突事故が多発し増加傾向にある。その要因にヒューマン・ファクターが密接に係わっているとみられることから、ドライバーの目前で大きく変動する視程を走行状態で測定し視程障害実態の特徴を明らかにする必要がある。また、危険個所の特定と視程障害対策の効果を検証する目的で、車両に搭載して高速走行で視程変動の測定ができる小型視程計の開発が求められている。吹雪による視程変動は非常に大きいのが特徴ある。そのため、その変動に十分追従し精度の高い測定装置が要求される。

本章では、視程障害の実態の定量化にあたって、従来から使用されている透過型視程計などによる観測例について示す。さらに、視程変動を高速走行で測定できる、新たに開発した側方散乱方式車載型視程計の構成、実測例とその有効性について述べるとともに、視程障害と安全走行との関連について考察し、視程障害対策に求められる防雪機能について検討する。

4.2 視程障害の観測手法

4.2.1 固定点での視程の測定方法

(1) 透過型視程計と反射型視程計による測定

透過型視程計は、吹雪・降雪によって透過光が減衰する性質を利用して視程を測定する装置である。視程に関するKoschmieder⁶⁾の式とBouger-Lambertの法則より導かれた式とから、透過率と視程の関係の(1)式を得て透過率から視程が求められる。透過型視程計による測定では視程理論が確立しており測定精度も高く、視程観測の標準計として利用される。

写真4.2.1は、透過型視程計により吹雪時の視程観測を行っている状況である。

$$V = (L / \ln(1/T)) \ln(1/\varepsilon) \quad \dots \dots (1)$$

V: 視程 (m)

T: 透過率

L: 投受光間隔 (m)

ε : 人の目の明暗対照の臨界値

反射型視程計は投受光器が一体につくられており、おもに透過型視程計の光軸ずれの問題を解決する目的で開発された。測定原理は、飛雪1個1個から反射された光を受光器で集光し、その反射光量の強さに比例した電圧、または電



写真4.2.1 透過型視程計による吹雪時の視程観測状況
(石狩吹雪実験場)

流を出力する仕組みである。しかし、このままでは視程値が得られないので、我々は図4.2.1の透過型視程計から求めた視程と、反射型視程計出力との相関関係¹⁾をもとに、視程を求める次の実験式(2)を導いた。

反射型視程計は投受光器が一体型で取扱いや調整が容易なので吹雪の固定観測点で多く利用されている。

$$V_{is} = 36.46 V_{ou}^{-1.18} \quad \dots \quad (2)$$

V_{is} : 視程 (m)

V_{ou} : 出力電圧 (V)

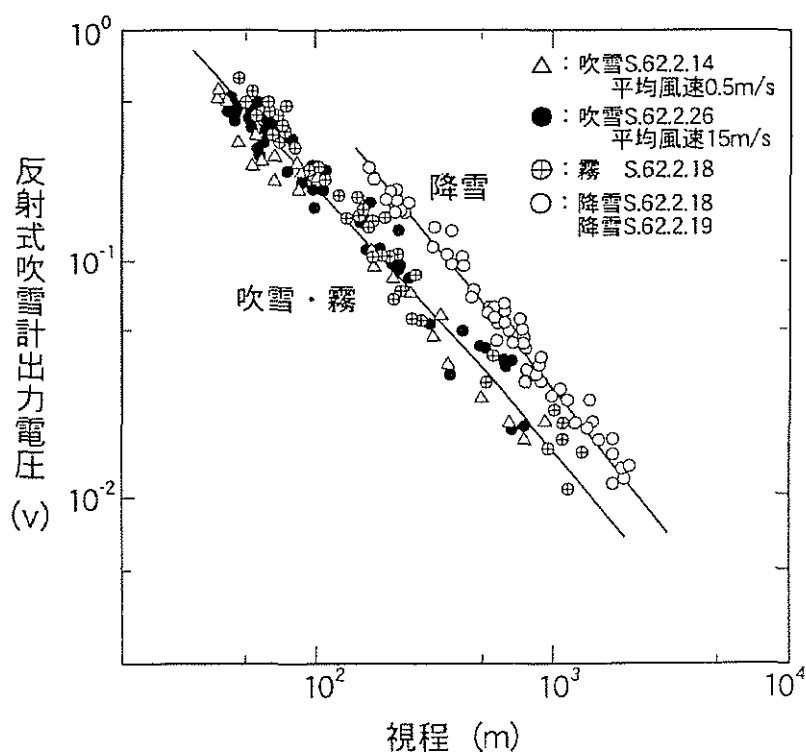


図4.2.1 視程と反射型視程計出力電圧との関係

2) ポール型視程計⁶⁾

ポール型視程計は、自発光視線誘導標の中に組み込んで、視程障害時に周囲の環境に対応して適当な輝度で発光部をコントロールするセンサーとして開発した。

測定原理は、図4.2.2に示すように高速変調された光ビームを空間に投射し、受光ビームを限定領域内にのみクロスさせて測定領域を設定している。この領域内に飛来する雪粒子により投光ビームが前方、または、前側方に散乱され、受光器で捕捉され散乱光強度が受光器にて検出される。受光信号は更に増幅回路・信号弁別回路・出力判別回路にて処理された後、低い視程信号を発生する仕組みである。

ポール型視程計は3年間にわたる冬期間のフィールド実験などから、実用上は十分な測定精度を有していることを確認している。

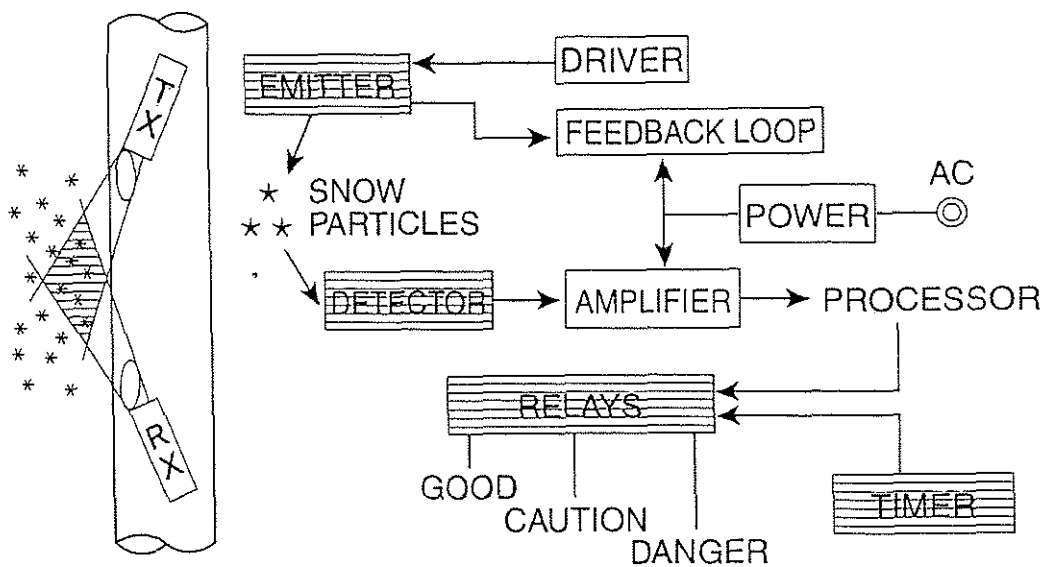


図4.2.2 ポール型視程計の測定原理と系統図

4.2.2 走行状態での視程の測定方法

(1) 側方散乱方式車載型視程計⁴⁾

視程障害時における道路交通の安全確保対策に関する検討や、走行状態のドライバーから見た視程障害の実態を明かにする目的で、側方散乱方式車載型視程計（以下、車載型視程計と略す）を開発した。車載型視程計を車両に搭載し道央道と一般国道において吹雪、雪煙による視程変動の観測を行った。

1) 車載型視程計の動作原理

車載型視程計は一对の投受光器から成っている。投光器から一定光度を有する振幅変調された平行光線を測定対象空間に投射する。光線の通る大気中に雪・霧等の微小浮遊物が存在すると、光線は吸収・散乱をうける。散乱光のうちの側方散乱光を受光器にて集光し、光電変換した後その入射光に比例した直流電圧を選別増幅し、信号出力を得る。微小浮遊物濃度と散乱光量とは相関関係があるので、入射光量を測定することで微小浮遊物濃度が知れる。図4.2.3(a), (b)に車載型視程計の外観と原理図、それに系統図を示す。

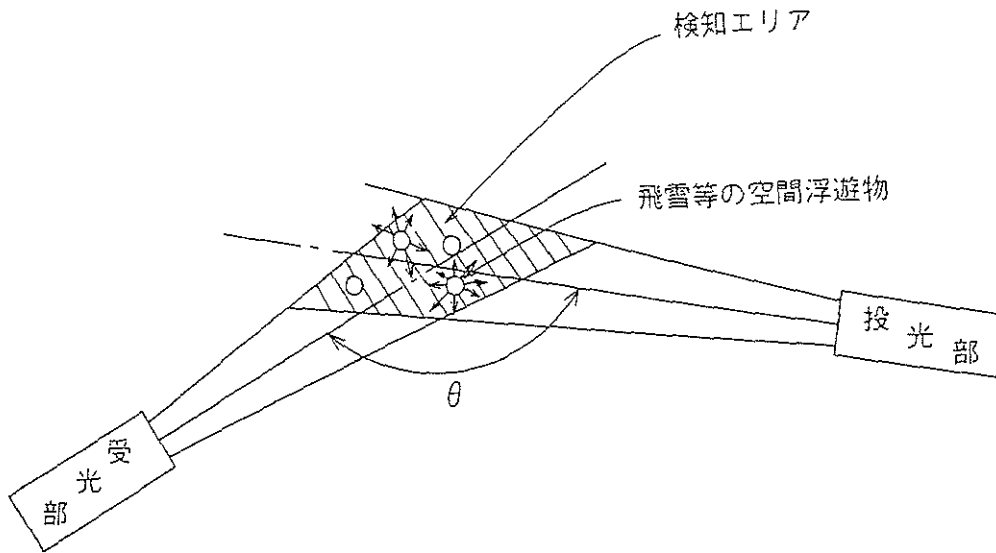
投光系の作動について系統図に基いて説明する。投光光源から、発信器により作り出された約1kHzの矩形波によって輝度変調された光を出す。その光は光学系により平行光となって測定対象空間に投射される。平行光の一部はオプティカルガイドにより基準用受光素子に導かれ光電変換された後、前置増幅、同期検波、積分により直流電圧に変換される。いかえると、平行光の強さと比例した直流電圧が得られることになる。

この電圧は比較増幅により基準電圧と比較され、積分、出力電圧（平行光線の強さと比例）と基準電圧がいつも等しくなるように投光光源輝度を調整するので、常に一定した強さの平行光が得られる。

投光器より投射され、飛雪、霧等の微小浮遊物により側方散乱されて受光器光学系に到達した信号は、光学系により受光素子に集光され、光電変換される。この信号電圧は前置増幅で増幅された後、同期検波により直流電圧に変換される。

同期検波回路は同期信号と同じ位相を持った信号のみを直流電圧として出力する回路で、積分回路と組み合わせることによりS/N比の大幅な改善がみられた。検波された信号は直流増幅で所定の電圧まで増幅される。出力増幅は電流出力を得るための回路で、負荷の抵抗値が変化しても常に指定の電流値を得ることができる。

原理図



外観図

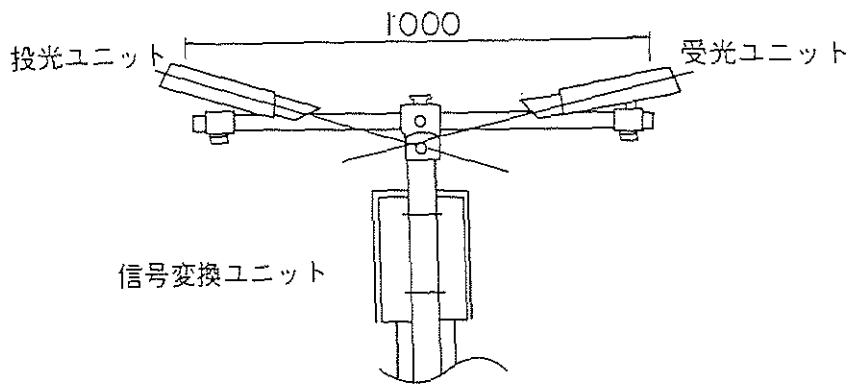


図4.2.3(a) 車載型視程計の測定原理と系統図

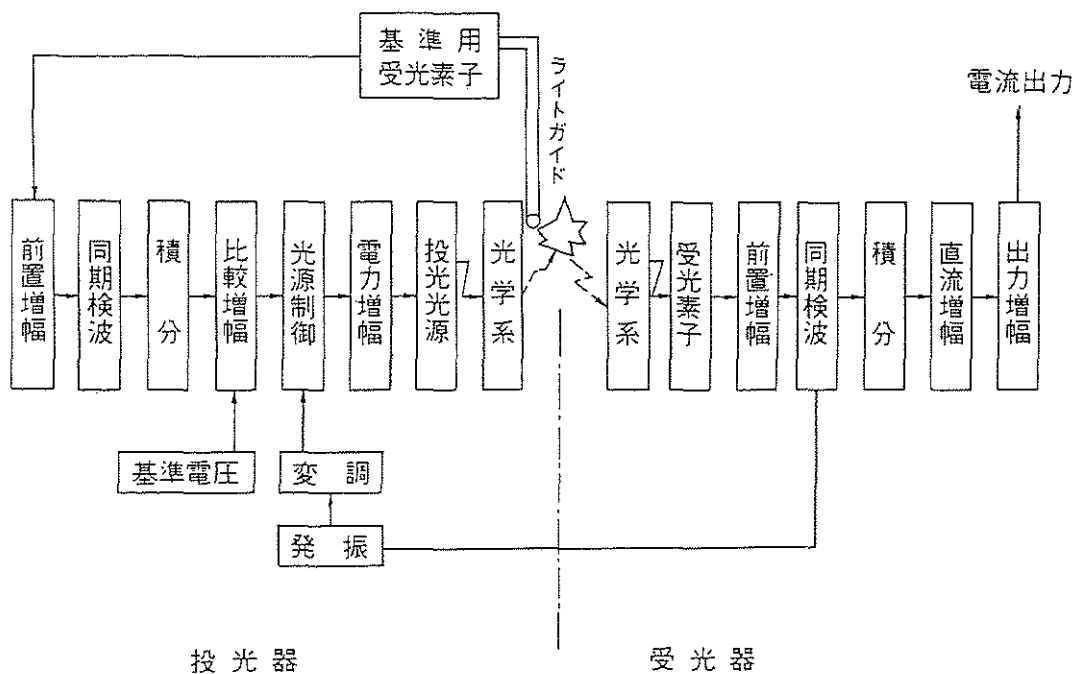


図4.2.3(b) 車載型視程計の系統図

2) 高精度で視程測定するための対策

- (a) 太陽や照明などによる外乱光の影響については、太陽光は直流光であり、受光器の前置増幅で直流部分がカットされるため、本質的に影響は与えない。また、車載型視程計の変調周波数は約 1 kHz と十分に高くしてあるので、照明等の人工光の影響を受けることはほとんどない。したがって、外光の影響は、それが極端に大きくない限り精度にほとんど影響しない。
- (b) レンズ面の汚れは、投光光源の輝度低下とみなされるので、自動補正される仕組みになっている。また、投光器の補正は、投光器レンズ面、オプティカルガイド端面であるが、オプティカルガイド端面の汚れが受光器レンズ面の汚れを代表するので、受光器の光学系の汚れをも補正することにな

る。

(c)外気温の変化については、基準用受光素子・受光素子が最も影響を受け易いが、これも投光器にフィードバックすることにより解決している。また、投光光源が温度の影響を受けるが、投光器にフィードバックすることにより投光出力が一定になるように制御されているので、この影響も除くことができる。

(d)光学系への着雪については、高速走行状態で視程を測定する場合に問題になる。車載型視程計の開発にあたり最も大きな課題の一つがこの着雪防止対策である。対策として、薄く透明なクリアフィルムを投受光筒先端部に貼り付け着雪防止を図ることにした。しかし、クリアフィルムの光減衰率が約20%と高く、出力特性への影響が極めて大きいことから、投光部の発光輝度および受光部増幅度を適当に調整し出力特性を補正した。

3) 投受光軸角度と出力

視程測定には霧，降雪のいずれかの観測においても同一特性で測定することが必要である。このため、建設省土木研究所の屋内実験施設（人工霧発生装置）に車載型視程計を搬入し出力の投受光軸角度（図4.2.3，(a)原理図の θ ）による依存特性の実験を行った。

人工霧発生装置内の霧濃度の視程は、視程測定の基準計として用いられている透過型視程計により測定した。一方、吹雪による角度依存特性の実験は当研究所石狩吹雪観測所において実施した。ここでも基準となる視程変動の測定は透過型視程計を使い、投受光軸角度を変化させながら出力と視程の同地点、同時試験観測を行った。写真4.2.2にこの時の車載型視程計の設置状況を示し、実験結果を図4.2.4に示す。

雪，霧のいずれのときも約10～20mの低視程時と、約500～1000mの高視程時の投受光軸角度と車載型視程計の出力との関係を示している。投受光軸角度が大きいほど出力は増加し、また、高視程時と低視程時の出力差は大きくなる。このことは、投受光軸の角度を大きくすると視程測定精度が向上することを意味している。視程測定にあたっては、高視程～低視程に渡って高精度で測定できることが望ましい。そのため低視程時にできるだけ高出力を得る必要がある。



写真4.2.2 車載型視程計の検証試験状況
(石狩吹雪実験場)

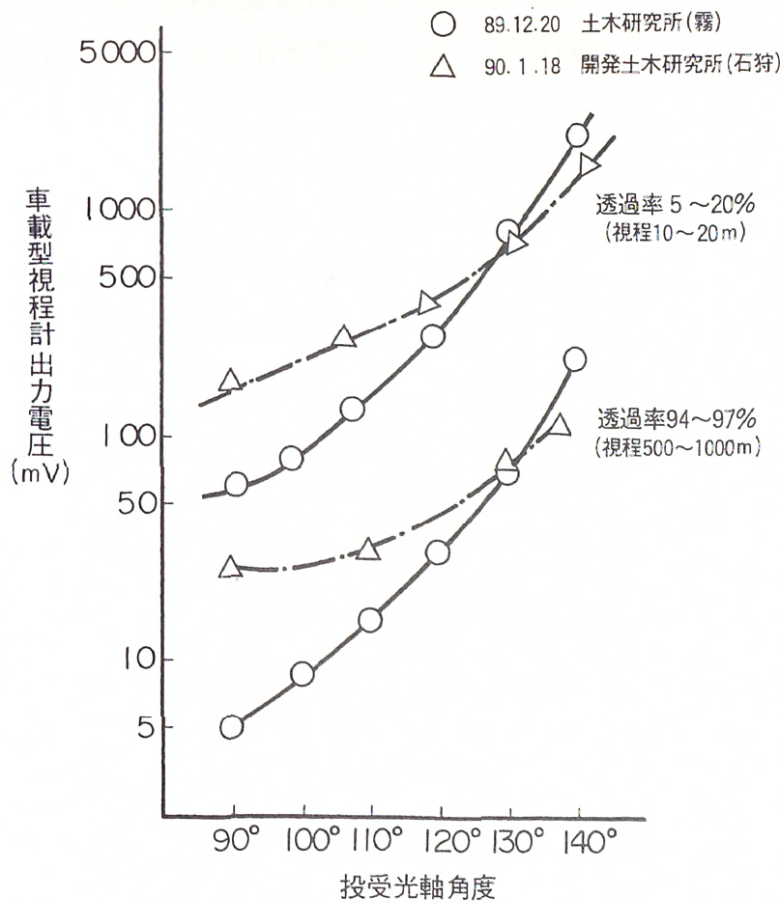


図4.2.4 側方散乱方式車載型視程計の投受光軸角度と出力の関係

しかし、投受光軸角度が小さいと低視程時の出力は、投受光軸角度の大きい場合からみてかなり小さくなり、比較的高精度で測定できる視程の範囲が狭くなる。一方、大きい角度では広い範囲の視程を精度良く測定できることがわかる。すなわち、この車載型視程計は投光器と受光器の投受光軸の角度によってもその出力特性を変化させることができる。

また、図の関係から知れるが、吹雪時の投受光軸角度対出力特性は、霧の場合の特性と多少異なるものの両出力特性が交わる角度が存在する。それは130度前後である。したがって、車載型視程計の投受光軸角度を、およそ同角度($\theta = 130^\circ$)に設定することで吹雪、霧によらずほぼ同出力を得ることができる。

4) 吹雪時の視程測定精度の検討

車載型視程計の吹雪時の視程測定精度と計測装置全体の温度の影響などを検討する目的で、石狩吹雪観測所において試験観測を行った。基準とする視程の測定には透過型視程計で行い、車載型視程計と同時観測した。

吹雪時の車載型視程計と透過型視程計の出力記録例を図4.2.5に示す。これは平成3年1月16日の変動記録例で、強い降雪を伴ったいわゆる猛吹雪時の記録である。透過型視程計の視程出力と互いのピークが概ね合致しており、両方の視程計出力が良く対応している。車載型視程計出力は非常に小さく激しく変動していて、視程を高い精度で測定できる可能性を示している。

図4.2.6に透過型視程計による視程と車載型視程計出力の関係を、グラフ上にプロットした。観測値は少ないが視程と出力電圧の関係は右下がりの直線で表され、両者が高い相関関係を有していることがわかる。

また、同図には中山峠、日勝峠などにおいて視程の連続観測に使用されていて、使用実績の高い反射型視程計出力との関係を比較した。車載型視程計は反射型視程計と類似した特性を有していて、道路交通へ大きく影響する視程300m～200m以下の吹雪を精度よく測定でき、吹雪測定用の視程計として十分に使用が可能である。

さらに、視程と出力の関係に対して図4.2.6に記した実験式を求めたので、車載型視程計出力から直ちに視程値が得られる。車載型視程計の応答速度は0.3秒と速く、透過型視程計のそれに比較して約3倍余の速さで視程変動現象を測定できる優れた特徴を有している。

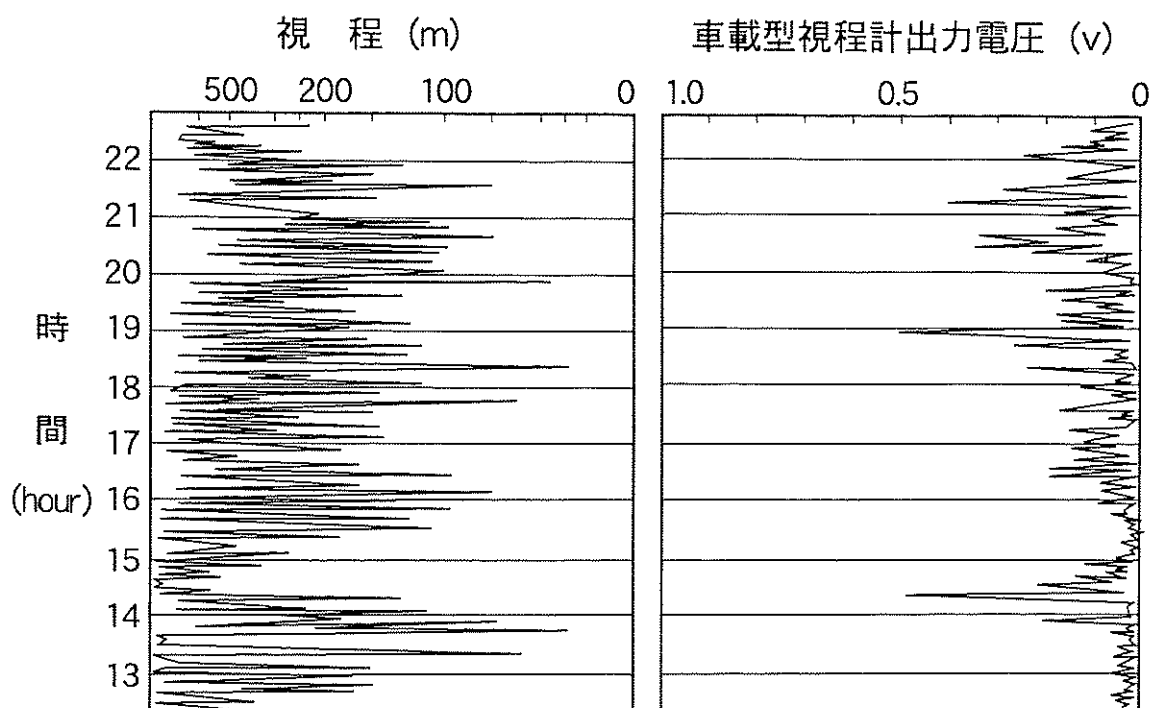


図4.2.5 車載型視程計と透過型視程計出力との同時記録例

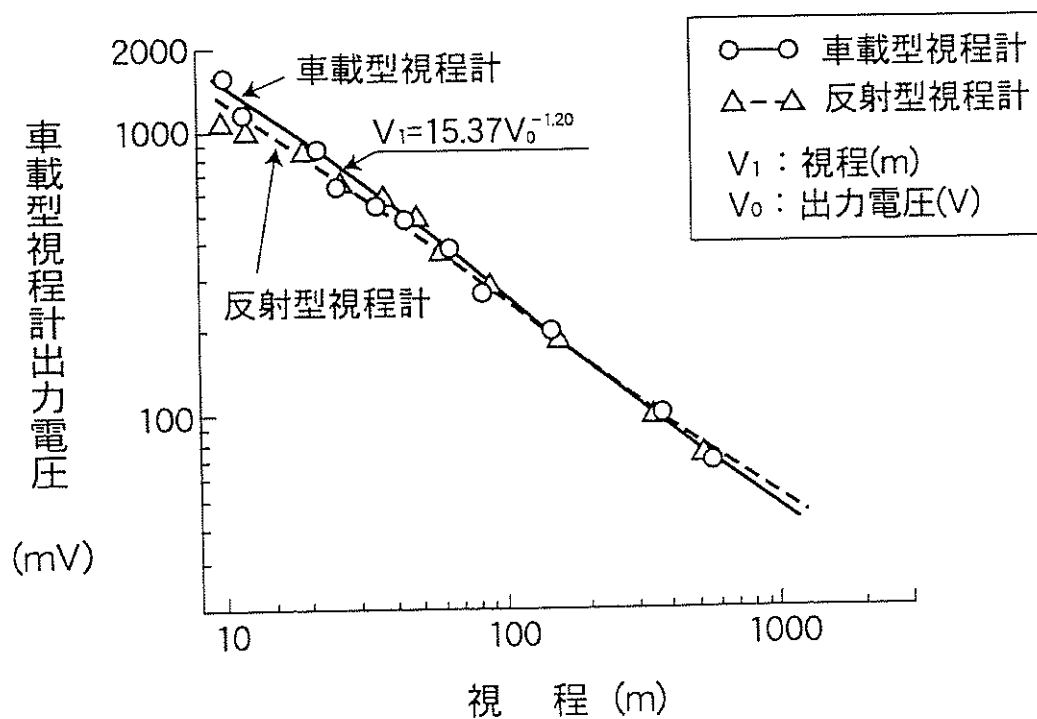


図4.2.6 視程と車載型視程計出力との関係

5) 車載型視程計の試験観測

実用化に向けて、江別走行試験場や道央道などで吹雪時の試験観測を行ったが、当初、最も懸念した光学系への着雪はほとんどみられなかった。これは高速走行に伴い投受光筒先端部のクリアフィルムに、雪粒子が鋭角であたり流線に沿って後方に流れるうえ、車体の適当な振動による相乗効果と考えられる。さらに、大きなトラブルもなく車載型視程計の作動は終始安定した結果が得られた。

(2) 視程障害移動観測車¹⁾

視程障害状況を走行しながら測定ができる車載型視程計、風速・風向計、アイマークカメラなど、8種類の観測装置を搭載した視程障害移動観測車（以下、移動観測車と略す）を開発した。目的は、冬期道路における多重衝突事故の主要因の一つである、吹雪や雪煙による視程障害の実態の解明、施設による対策、人間工学的な側面からの対策を検討するためである。

各種観測装置の構成ブロック図と系統概略図を図4.2.7(a)，(b)に示す。写真4.2.3は観測装置を搭載した移動観測車である。

走行状態の視程変動の測定は車載型視程計で行うが、その測定原理はすでに述べたのでここでは実風速・風向の算出手法について述べる。

なお、実風速・実風向とは、風速・風向計を搭載した視程障害移動観測車により走行状態で測定した未加工の風速・風向データから、筆者らが開発した以下に示す算出手法によって求めた風速・風向のことをいう。

1) 実風速・風向の算出手法

(a) 算出手法²⁾

移動状態で観測した風速・風向計出力から、実風速・風向を求める算出手法を図4.2.8にフローチャートで示す。実際に移動観測する場合はフローチャートの①②で、観測の開始前に磁気方位センサーの基準値を求め、その後、移動観測を開始する。③で、磁気方位センサーの出力基準値とその観測データから車輛の進行方向を求める。

磁気方位センサーは、地磁気の水平成分をお互いに直交する2つの成分に分けて検出し、そのベクトル量から方向角を求める方式のもので、地磁気の磁北を基準とした絶対方位角を求めることができる。

車の進行方向を求めるのに、地磁気センサー信号のX，Y成分の出力条件により8条件を設定する。この設定条件に照らし合わせて真北からの時計回りで、

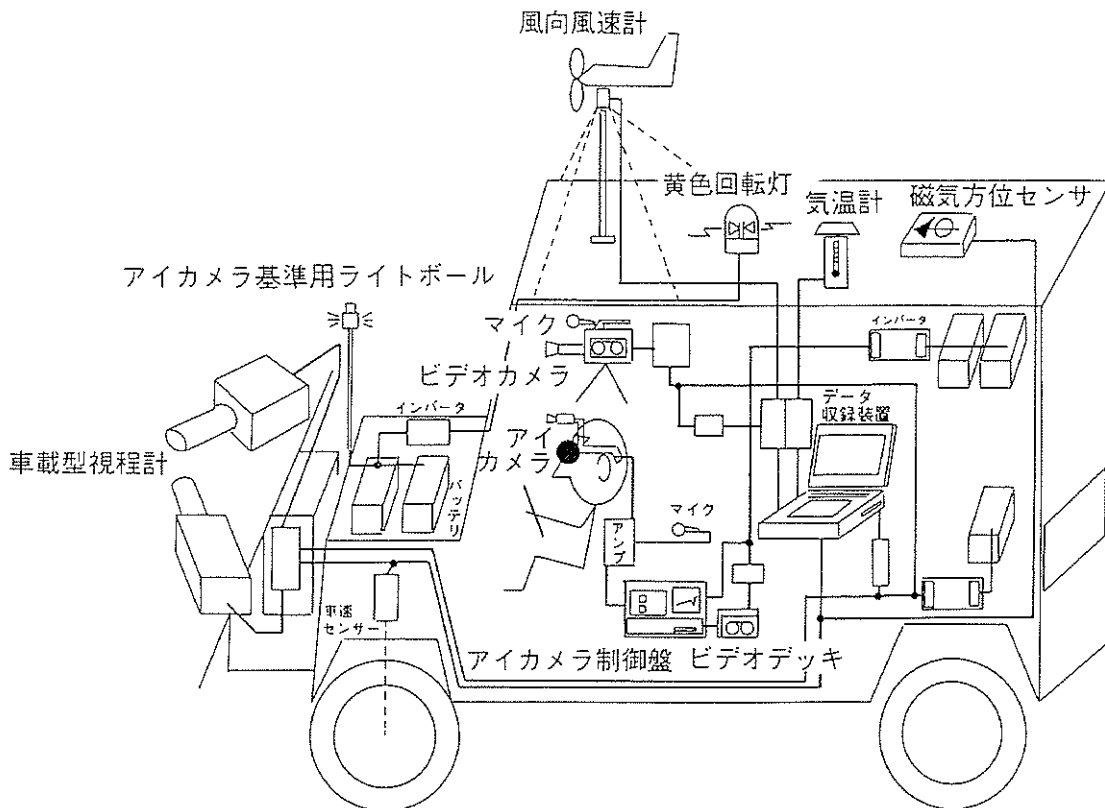


図4.2.7(a) 視程障害移動観測装置の構成

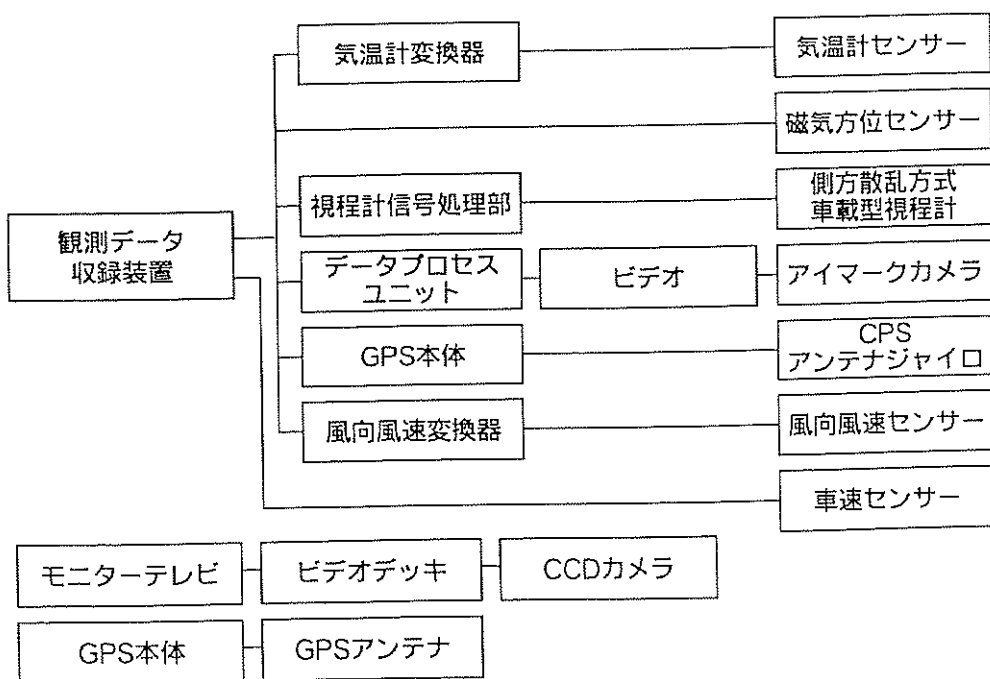


図4.2.7(b) 視程障害移動観測装置の系統図

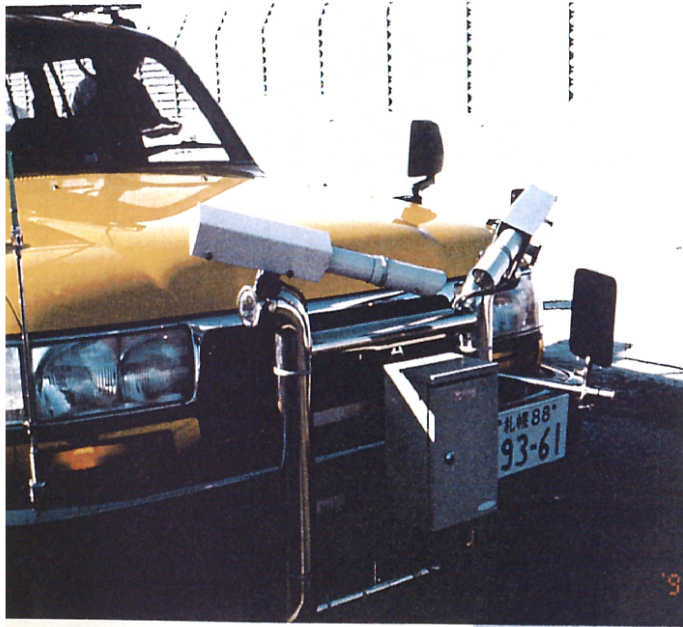


写真4.2.3 車載型視程計を搭載した視程障害移動観測車

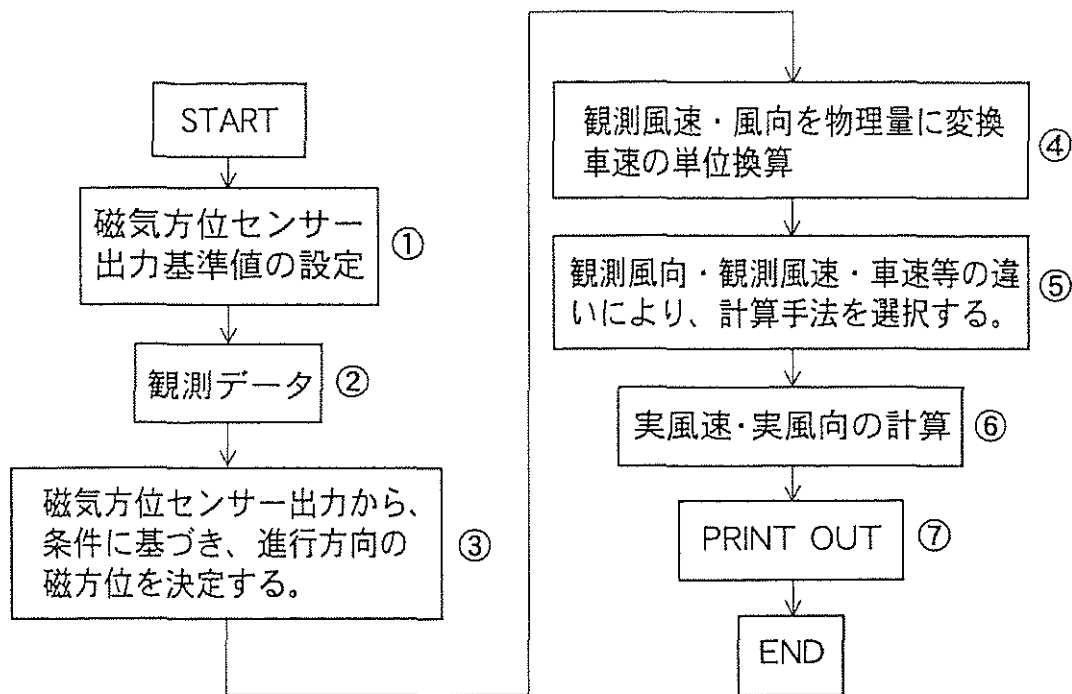


図4.2.8 実風速・実風向を求めるフローチャート

進行方向角を求める。④で、観測データの風速・風向を物理量に変換する。このデータは電圧値で収録しているので、あらかじめ設定した計算式に基づいて物理量に変換する。ただし、この時点で観測された風速とは、車輛の走行によって引き起こされる風速と実際の風速が合成されたものである。

⑤⑥では、観測風速・風向等の違いにより、4条件を設定し、計算手法を選択する。この条件にあてはめて、次に説明する算出原理の考え方で実風速・風向を求める。

図4.2.9に、実風速・風向を求める算出原理を示す。走行状態の観測風速は、合力として観測されるものであるから、車輛の走行によって引き起こされる風速（車の速度ベクトル）と実際の風速は、観測風速の分力である。従って、図のベクトル合成から理解できるように、平行四辺形の法則が成り立つ。これにより、観測風速ベクトル(OB)・車の速度ベクトル(OA)、および、その2辺に挟まれる角度が知れるので、実際の風速ベクトル(OC)を求めることができる。

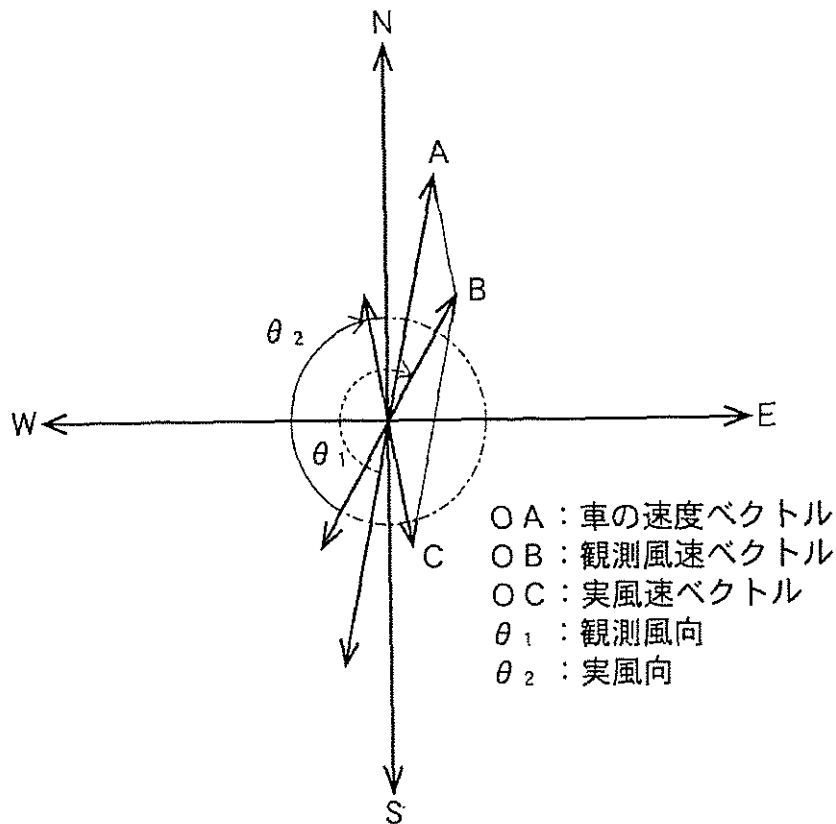


図4.2.9 実風速・実風向の算出原理

(b) 実風速・風向の測定精度の検討¹⁾

実風速・風向を算出手法の測定精度を検証する目的で、開発土木研究所江別走行試験場において風の試験観測を行った。走行試験路の路側付近に吹雪観測車搭載の風速・風向計と同型・同性能の装置を設置し、移動観測と同時観測を実施した。固定点での観測データは測定精度を求めるために比較の基準データとした。また、高速道路においても試験を行った。図4.2.10は実風速算出手法による風速と固定観測点での風速の検証結果である。江別走行試験場で測定したデータの一部にはばらつきがみられ、明確な相関関係を得ることはできないが、強風時のデータも観測された高速道路での測定結果では、相関係数が0.93で高い相関関係が得られた。

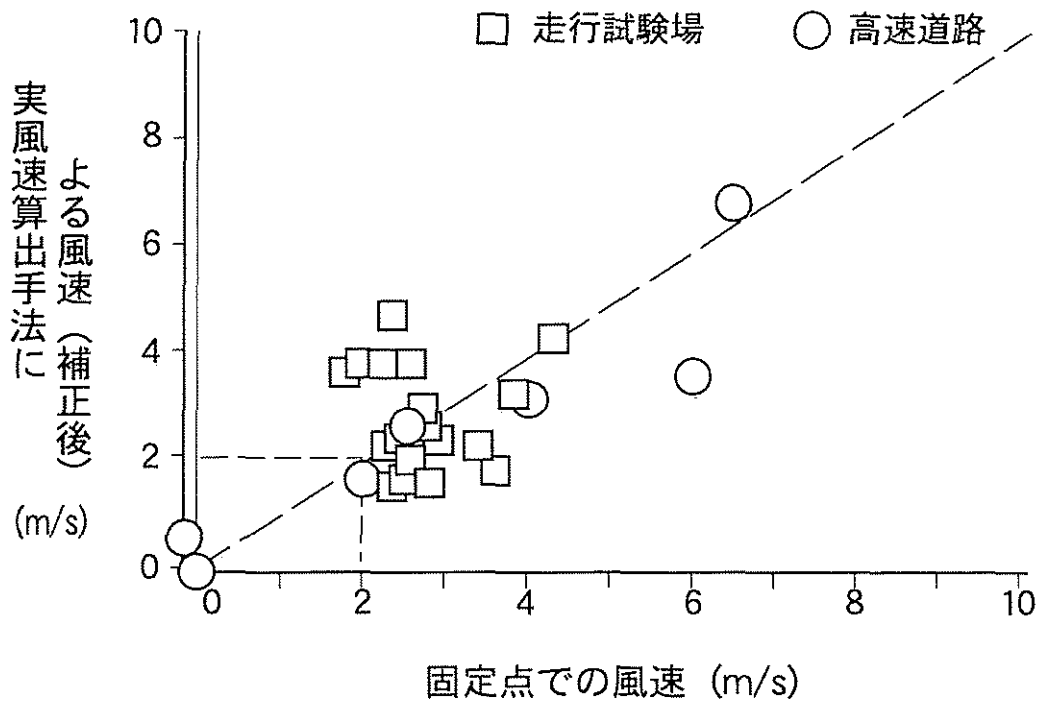


図4.2.10 実風速算出手法で求めた実風速と固定点で観測した風速との比較

実風速・風向の移動観測は、現在のところ吹雪や強風の多発地帯、道路構造の変曲点における風の収束個所の特定、それに強風時の視程障害を中心とする連続移動観測が主目的であるため、それほど高い測定精度を必要としない。これらを考慮すると実観測において十分な測定精度を有しているといえる。

図4.2.11は、防雪柵周辺での風の出力変動記録である。これは吹雪時の風の減衰効果を調査するために、試験的に移動観測を実施したものである。防雪柵の端部効果とみられる風が、十数m/s余の強風に収束して道路上に吹き込んでいる様子が明瞭に観測された。この時、防雪柵近傍の固定観測地点の風速値と、移動観測による実風速・風向が同程度であることを確認している。

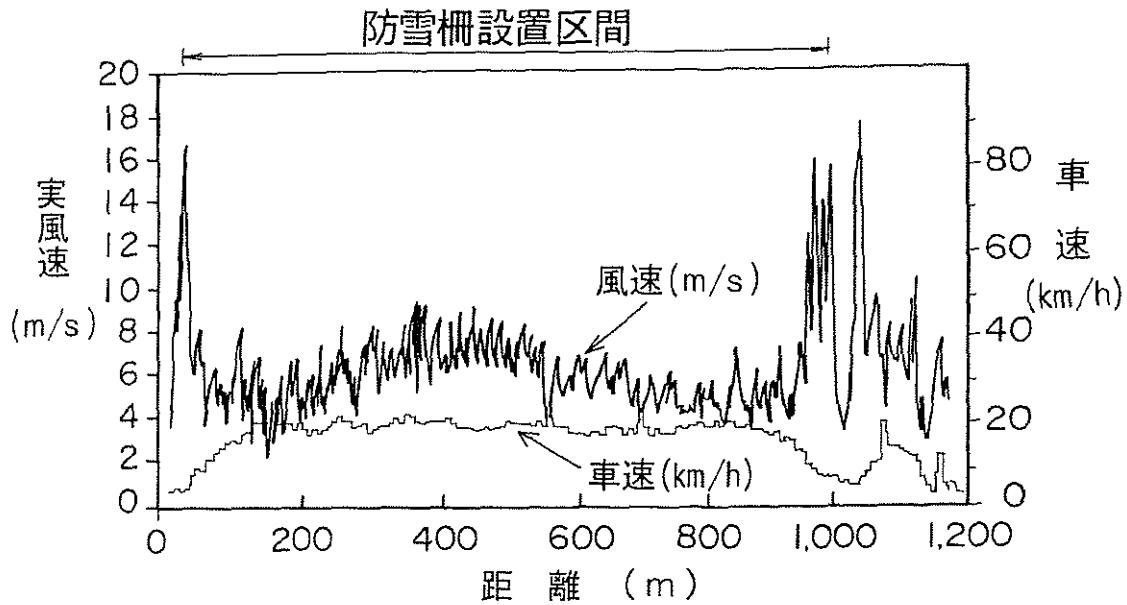


図4.2.11 防雪柵周辺の移動観測による実風速変動記録
(一般国道12号江別)

4.3 測定手法による視程障害の実測と有効性

4.3.1 透過型視程計による測定例

透過型視程計は、札幌近郊では一般国道230号中山峠などに設置している。ここでの観測データはリアルタイムで札幌開発建設部札幌道路事務所に送出され、峠・周辺の冬期道路交通・維持管理に利用されている。

4.3.2 反射型視程計による測定例

防雪対策の検討と視程障害時の車両の走行挙動を調査する目的で、一般国道12号において、反射型視程計を中央分離帯に設置して観測を行った（写真4.3.1）。図4.3.1がその結果の一例だが、雪煙による視程障害発生の有無が明確で



写真4.3.1 反射型視程計よるによる吹雪・雪煙による
視程障害の観測状況(一般国道12号江別)

対照的な記録である。雪煙の発生が気温に大きく依存する様子が読みとれる。

また、同地点で観測された雪煙規模の大きな視程変動パターンをマイクロに比較したのが図4.3.2である。数百メートル台の視程が、数十メートルに下がるのに1秒かかっていない⁹⁾。これに高速道路での視程変動パターンを比較すると視程の悪化度合いの大きいことが知れる。このことは、走行速度の高い雪煙の視程変動は一般国道でのそれより急激に悪化することを示唆している。吹雪と同様に速い視程変動が雪煙による視程障害の特徴である。

反射型視程計は、この例のように固定観測点で視程の観測に多く利用されている。視程障害の多発区間である中山峠の頂上付近では、反射型視程計を用いて視程の連続観測を行っている。観測データは、電話回線を通して中山峠除雪センター、倶知安道路維持事業所、開発土木研究所に伝送され、除雪作業を初めとした道路交通・維持管理に有効に活用されている。

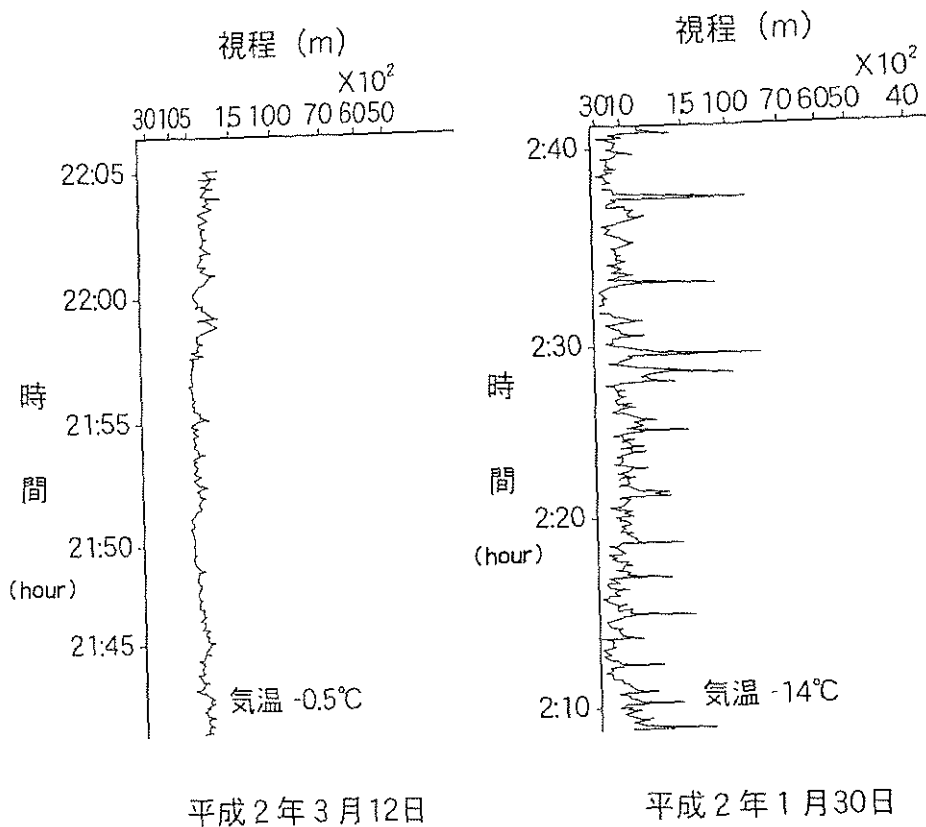


図4.3.1 気象条件の異なる場合の雪煙による視程変動の比較

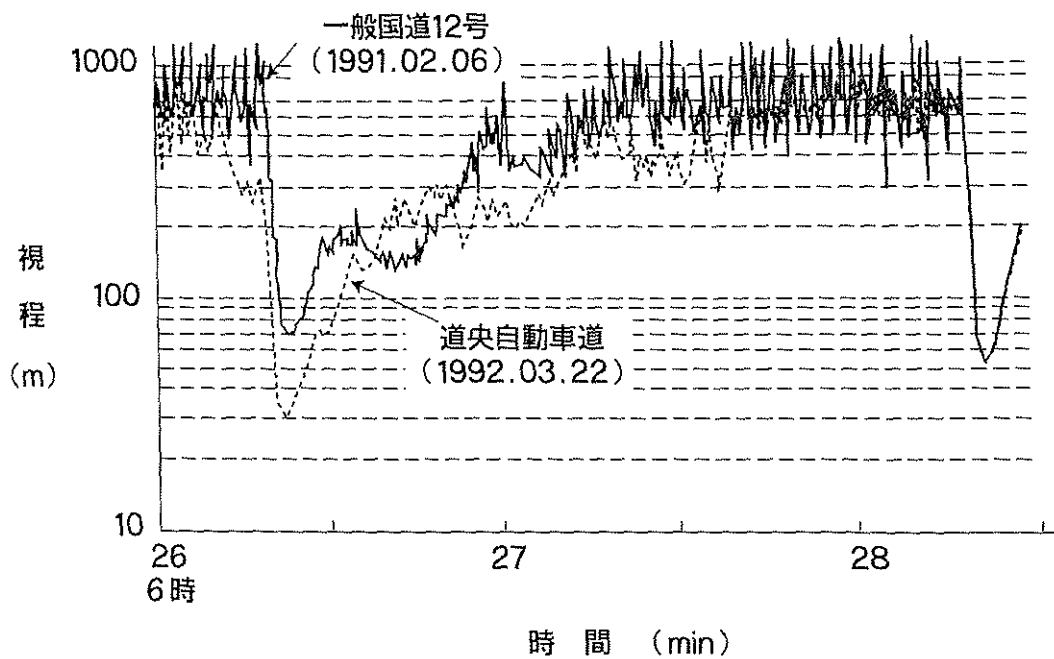


図4.3.2 雪煙による視程変動パターンの比較

4.3.3 側方散乱方式視程計と視程障害移動観測車による測定例と有効性

視程障害移動観測車に搭載した車載型視程計による測定例を図4.3.3、図4.3.4に示した。前者は高速走行状態で観測したもので、沿道地形の環境で大きく変わる吹雪時の視程変動であり、後者は吹き止柵の防雪機能の調査で得られた視程の記録である。吹き止め柵によって視程障害が大幅に改善している様子が伺える。

走行車両が巻き上げる雪煙による視程障害も安全走行にとって大きな問題になる。図4.3.5は移動観測車で測定したもので、追い越し車の雪煙による視程の変動記録である。それまで見通しの良い状態が続いていたが、瞬間的に30m以下に視程が急減しホワイトアウトとなり、非常に危険な走行状態に陥ったときの記録である。写真4.3.2は同じ雪煙によるホワイトアウトの中でのドライバーの視点挙動である。非常に速く大きく変動する視点挙動から、道路線形の確認と安全走行に必要な視覚情報を短時間に得ようとする様子が読みとれる。

また、視程が低下するとドライバーの視点から遠方の目標物が失われるので、道路線形の確認のために路側の左側の雪堤やガードレールを追う様子が、写真4.3.3の視点挙動の比較から知れる。

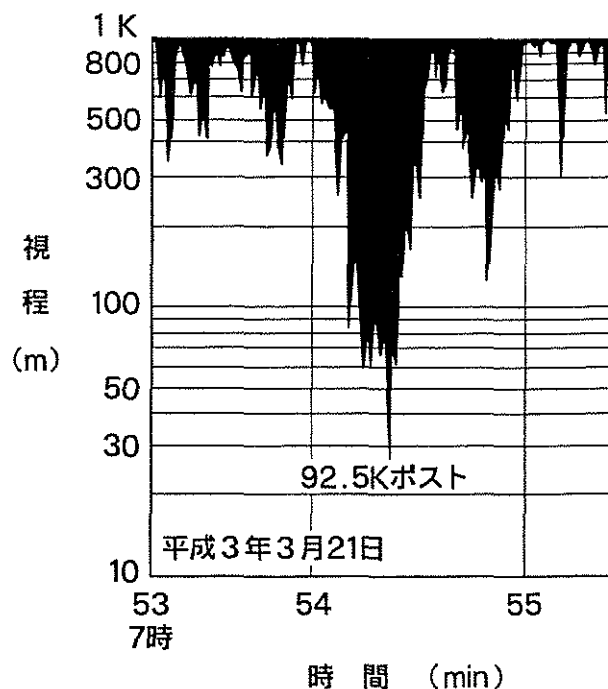


図4.3.3 沿道地形の不連続区間での視程変動（高速道路）

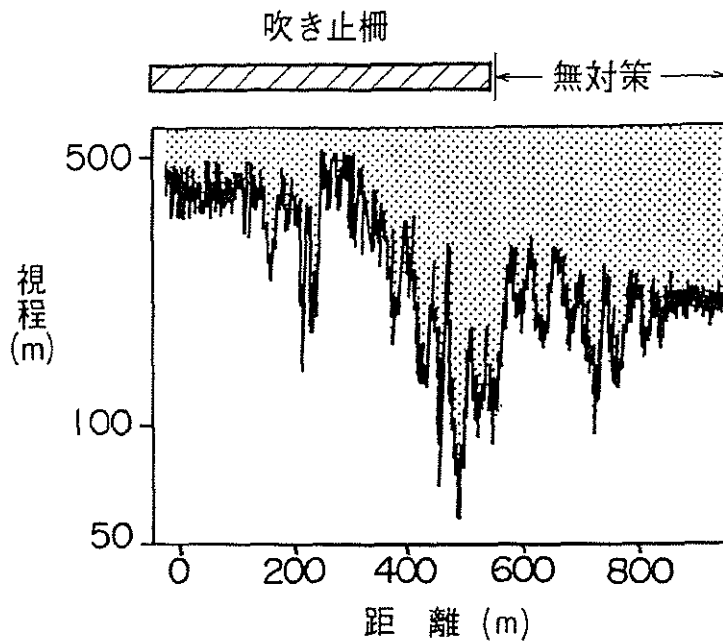


図4.3.4 防雪対策施設周辺の視程変動（一般国道12号江別）

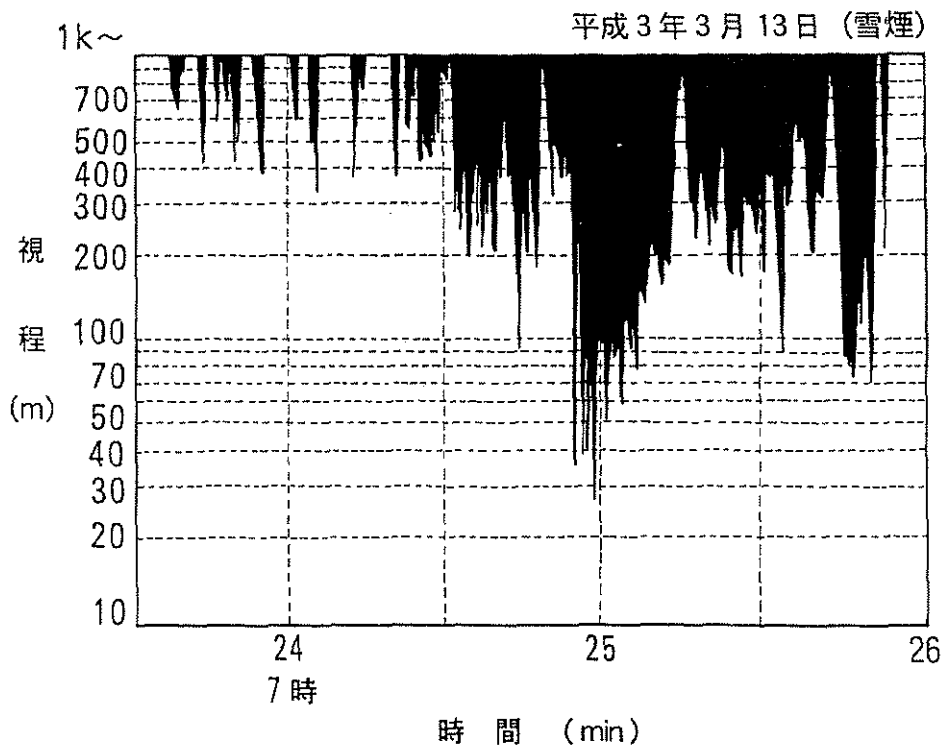


図4.3.5 追い越し車の雪煙による視程変動記録例（高速道路）

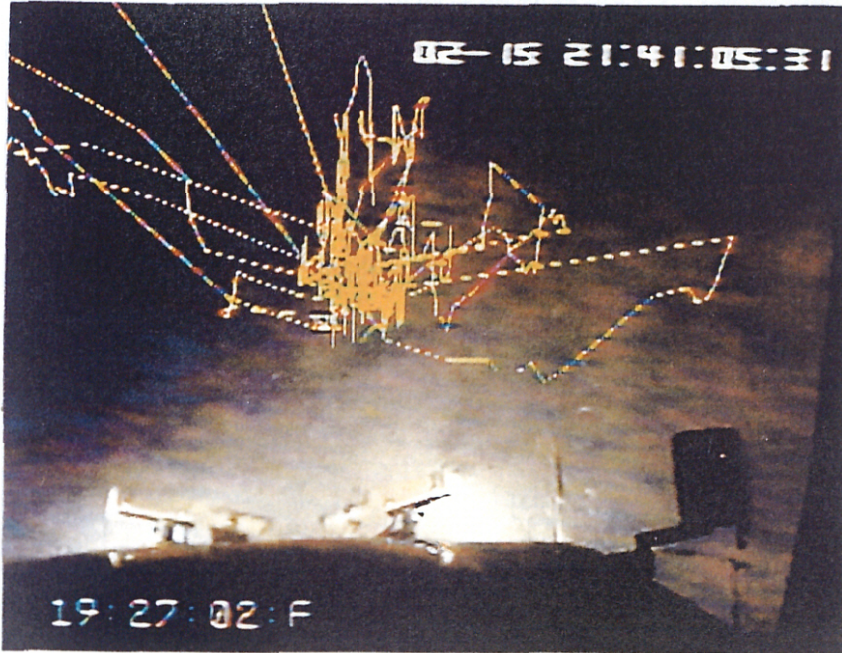


写真4.3.2 追い越し車の雪煙によるホワイトアウトの中でのドライバーの視点挙動



写真4.3.3 視程良好時と視程低下時のドライバーの視点挙動の比較（一般国道12号豊幌）

これらの測定結果と活用例の他に、車載型視程計とそれを搭載した視程障害移動観測車は、一般国道・高速道路における防雪対策手法の検討，防雪対策施設の整備効果の検証，それに視程障害時のヒューマン・ファクターに関する調査において、ドライバーの視点での視程変動の測定などに有効に活用されている。

4.4 交通障害時の視程障害緩和に関する検討

吹雪・降雪による視程障害対策を考える場合、走行する車両の安全走行が可能と考えられる視程の範囲と、視程障害対策に求められる視程障害緩和機能の検討が重要になる。

4.4.1 交通障害と視程

吹雪発生時の視程と走行速度の関係¹⁰⁾を図4.4.1に示す。視程が200m前後から速度のばらつきが小さくなり、ドライバーが視程障害の影響を強く受け始める様子が伺える。視程がさらに低下し100mでの速度は、晴天時の平均速度に比べて約20%（日中）と大きく減速走行している。同じ視程でも夜間は車両のライトの反射で視程障害の影響を日中より強く受けるものと思われる。

吹雪による視程の低下が著しく短時間に気象状況の改善が見込めず、道路交通の安全性の確保が困難であると判断される場合は、道路管理者は通行止めを行うことがある。過去に通行止めが行われた時点の風速と視程の関係を図4.4.2に示す¹¹⁾。

図に示す視程は、路側近傍に設置した観測施設において透過型視程計（投受光間隔30m）を用いて測定した。通行止めは概ね視程200m～150m以下、平均風速10m以上の気象条件の中で行われている。通行止めが行われる厳しい気象条件下では、視程の低下に伴って目標物の視認が難しい状況におかれるため、車間距離を短くとり極めて危険な状態で走行するようになる。その視程の臨界値はおおよそ140～100mの範囲とみられる結果を得ている。

また、1998年1月7日に江別市角山で吹雪の中で6台が絡んだ多重衝突事故が発生したが、これは視程障害が誘因の一つである。この事故時の視程と風速の記録をみると視程100m前後の視程障害がおおよそ6時間に亘って継続した後に発生している¹²⁾。

このように視程障害時の走行挙動や通行止め時の視程、それに多重衝突事故発生時の気象状況などを総合的に勘案すると、視程が150～100m以下の視程障害の中では極めて危険な走行状態に陥るものと推測される。

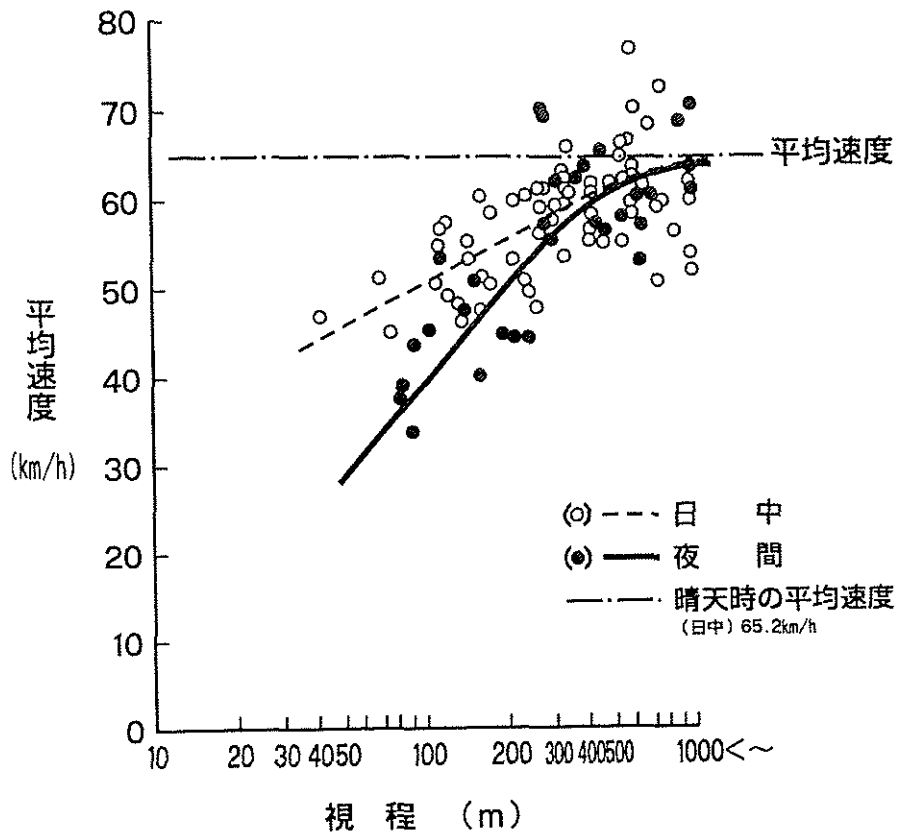


図4.4.1 視程と走行速度の関係（一般国道40号，稚内）

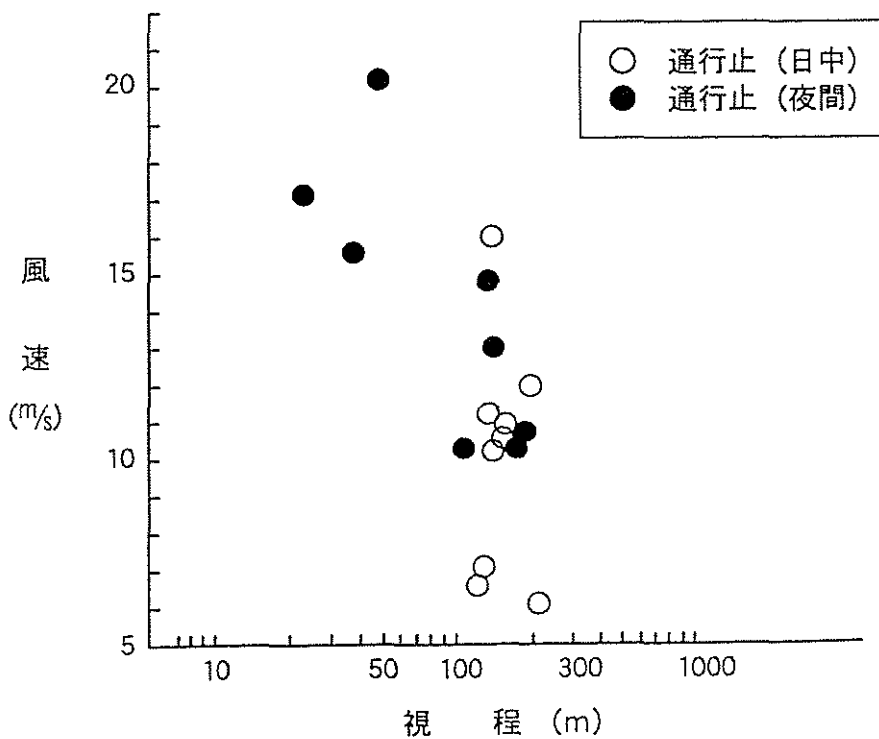


図4.4.2 吹雪による通行止時の視程と風速の関係
（一般国道40号稚内）

4.4.2 視程障害対策施設による視程障害緩和機能

一般国道12号江別市越後村の吹き払い防雪柵は、視程障害時に発生する交通事故の軽減・防止を目的に整備されたものである。この防雪柵を対象に移動観測車で、視程障害緩和効果の評価調査を行った¹¹⁾。その結果、多い年で十数件発生していた吹雪時の交通事故が、施設による対策後は2~3件へと激減している。これは吹き止柵の視程障害緩和効果が2倍余あり、視程障害が大幅に緩和されたためである。このことから視程障害対策を検討する場合、対策区間の視程がおよそ150m以上を確保できる対策施設で整備するようにし、強い視程障害の中で、概ね2倍以上の視程障害緩和機能を有する施設で対応する必要があると考えられる。

4.5 まとめ

冬期道路における視程障害対策を効果的に行うために、走行状態における視程障害の実態の把握が重要であることを強調し、高速走行で視程変動を測定できる車載型視程計を初めて開発した。その車載型視程計を車両に搭載してドライバーの目で変動する視程障害の連続測定に成功し、実態・特徴を明らかにした。さらに、吹雪対策施設の整備効果の評価や視程障害による危険個所の特定が短時間で可能になるなど、車載型視程計は視程障害の定量評価にあたって極めて有効であることを示した。

また、冬期道路の視程障害の実態調査から視程が150~100m以下の状況下で走行する多くの車両が危険な走行状態に陥ることを示し、視程障害時の安全走行を確保するにあたって、視程150m以上の維持が可能な施設で対応する必要性を明らかにした。

[第4章 参考文献]

- 1) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1985: 吹雪観測用視程計. 寒地技術シンポジウム, 512-516.
- 2) Schmidt, R.D., 1979: Measuring visibility in blowing snow. Transportation Research Report No.506, 200-207.
- 3) 石本敬志, 1990: 北海道の国道における吹雪対策とビデオカメラによる視程計測装置の開発. 雪氷, 195-202.
- 4) Taek M.K., 1998: Automatic Visibility Measurement Methods Based on Video Cameras. Xth PIARC International Winter Road Congress, March, 1998, p.867.
- 5) Koshmieder, H., 1924: Theorie der Horizontalen Sichtweite, Beitr.2. Phys.d.freien Atm. 12, 3-15.
- 6) 福澤義文, 1993: 車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発. 雪氷55巻1号, 29-38.
- 7) 福澤義文, 1993: 吹雪移動観測システムの研究・開発. ゆき, 67-73.
- 8) 阿部英樹, 福澤義文, 石本敬志, 松沢勝, 奥谷智博, 1992: 吹雪移動観測システムについて. 1992年度日本雪氷学会全国大会講演集, p.93.
- 9) 石本敬志, 1990: 北海道の国道における吹雪対策とビデオカメラによる視程計測装置の開発. 雪氷52巻3号, 195-202.
- 10) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 磯部圭吾, 1990: 吹雪時の結氷路面における安全速度. 雪氷, 52巻3号, 171-178.
- 11) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1986: 吹雪観測と交通管理への利用. 土木試験所月報, No.395, 2-16.
- 12) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 丹治和博, 金田安弘, 1998: 吹雪時における多重衝突事故の発生 要因とその対策について—平成10年1月7日における札幌圏の事故事例解析から—. 第14回寒地技術シンポジウム'98 講演論文集, 49-56.
- 13) 福澤義文, 石本敬志, 後藤芳昭, 1994: 吹き止め柵による視程障害緩和効果. 第38回(平成6年度)北海道開発局技術研究発表会論文集, (道路・舗装)151-159.

第5章 視程障害防止対策

5. 1	はじめに	61
5. 2	既存の視程障害対策の特徴と課題	61
5. 3	視程障害対策に関する新たな課題	65
5. 3. 1	道路開口部、施設端部における視程の急変	65
5. 3. 2	視程障害対策としての視線誘導に関する課題	68
5. 4	視程障害対策の課題に対する新たな対策手法の提案	68
5. 4. 1	道路開口部、施設端部における視程障害対策	68
5. 4. 2	視程障害を考慮した視線誘導標による対策の検討	78
5. 4. 3	高機能自発光視線誘導標による対策と誘導効果	84
5. 5	まとめ	89
	参考文献	90

第5章 視程障害対策

5.1 はじめに

第4章の視程障害の定量化手法により、冬期道路における視程障害の実態解明を可能にした。その手法に基づいて危険個所の特定、及び、対策施設による視程障害緩和効果に関する検証などを行ってきた。

視程障害対策に関する一連の調査において、視程が急変する箇所が存在を初めて確認しその実態を明らかにした。そのような箇所は対策施設端部、複雑地形などであり、視程障害対策の新たな大きな課題となっている。これら課題への対策は従来の対策手法では対応が難しく、新たな有効な対策手法の開発が必要である。また、ソフト的な視程障害対策として視線誘導標を活用する事例も多い。これはドライバーに道路線形を知らしめ安全走行を支援するのがおもな目的である。しかし、気象状況により、①発光輝度が不十分、②晴天時の夜間は眩しすぎる、③視線誘導効果が明確でない、などの課題が存在し視線誘導標の設置や発光輝度などに関する検討が求められている。

視線誘導施設の効果に関する研究では、Roberts¹⁾がガードレールによる視線誘導標の視認性向上に関する検討、Helmut²⁾が黄色いセンターラインの視認性の研究などを行っているが、上述の自発光視線誘導標による効果の検証や視認性の向上策に関する研究は行われていない。

本章では、視程の急変に対する新しい対策手法として、数値シミュレーションで検討した副防雪柵による対策を提案する。また、視程障害を考慮した視線誘導標の設置間隔の適正值について検討するとともに、新たに開発した高機能視線誘導標による対策とその効果について明らかにする。

なお、副防雪柵とは施設の端部効果などによる視程の急変現象を防止するために、防雪柵端部側に連結させて道路に直交する方向に設置する防雪柵のことを言う。

5.2 既存の視程障害対策の特徴と課題

視程障害対策は、一般的にその施設面から①防雪柵（吹きだめ防雪柵，吹き止防雪柵，吹き払い防雪柵，翼型防雪板の活用による吹き払い柵³⁾），②防雪林，防雪切土，防雪盛り土，③視線誘導施設などがある，これらは実際に多くの箇所で道路上の視程障害対策，吹きだまり対策として活用され，大きな整備

効果を発揮している。しかし、一方でいくつかの課題が存在し、その解決策が急がれている。おもな課題と特徴、評価について整理したのが表5.2.1(a),(b)である。

1)吹き止め柵は、下部間隙と柵の空隙率を小さくして風速を減速させ、柵の前後に雪を堆雪させて道路上の視程障害、吹きだまりの発生を防止する。道路の路側直近への設置が可能なので視程障害緩和効果が大きく、道路用地を十分とれない箇所に設置できる利点がある。課題は、気象条件によって吹き止め柵端部で風の収束による大量の飛雪が道路上に吹き出し、局所的に視程障害が発生することもある。

2)吹きだめ柵は、下部間隙を開けて風を絞ることで、柵の前後に柵から離して雪を堆雪させる。柵が埋雪しないので柵の防雪機能の寿命が長く、積雪の沈降力による柵の破壊が少ないが用地幅を広くとる必要がある。また、吹き止め柵と同様に、気象条件によって防雪柵端部で飛雪の吹き出しによる局所的な視程障害が発生することもある。

3)吹き払い柵は、風上側に傾斜して下部を開けて柵を立て、風を強く絞ることにより道路上の雪を吹き払う。地吹雪を低い位置に集めて通過させるため、ドライバーの目の高さを越える視程障害を軽減できる。下部間隙が雪で埋まると吹き払い機能を失うこともある。

最近では、翼型の防雪板により気流を有効利用して路上の雪を吹き払うタイプを設置している箇所もある。このタイプは道路上の雪を吹き払う効果や視程障害緩和効果は従来のタイプに比べて大きい。しかし、道路が主風向に直行する場所で効果が高くなるなど設置箇所が限定される。

4)道路防雪林は、風を減速して林の風上、林の中に雪を堆雪させて道路上の視程障害の発生を防止する。吹雪の多発箇所に適しており林帯幅が広いほど効果が大きく景観上も好ましい。また、樹高が高くなると視程障害緩和効果が大きくなる。しかし、防雪効果が現れるまでに時間がかかることや広い用地が必要となる課題もある。

5)視線誘導による対策では、視程障害時に道路線形や道路中央の位置の確認が容易になり安全走行に役立つが、強い視程障害時の視認性について十分とは言えない。それは、視線誘導標の設置手法⁴⁾が降雪・吹雪による視程障害に関して余り考慮されていないためと思われる。

6)防雪切土は、切土区間の法面勾配を緩くしその法面上に雪をためる方法で、視程障害や道路上の吹きだまりを大幅に軽減するものである。課題として切土斜面長を長くとるので、広い道路用地が必要になる。

表5.2.1(a) 視程障害対策の特徴・評価と課題

視程障害対策	特徴・評価	課題
吹き止め柵	<p>(1) 吹き止め柵は、下部間隙をあまり返けずに張立材の空隙率を小さくして、吹雪を減速させる。路上に吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。</p> <p>(2) 吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。</p> <p>(3) 吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。吹雪が降り、まきかきによる雪の発生を防止する。</p>	<p>(1) 吹き止め柵の周囲に堆雪するため、雪の沈降力で柵が破損する場合も考えられる。また、吹雪量が多く、吹雪頻度の高い場所では、気象条件により、柵が埋雪して防雪機能を失う恐れがある。</p> <p>(2) 気象条件により、吹き止め柵端部効果により、風が収束して大量の飛雪が道路上に吹き出し局所的に視程障害が発生する場合も考えられる。</p>
吹き止め柵	<p>(1) 柵の下部を開けて風を絞ることにより、柵付近の雪を吹き払って、柵の前後に柵から離れて除雪作業が比較的容易である。柵が埋雪しないので、防雪機能が長くない。柵の破損が少ない。</p> <p>(2) 柵の下部を開けて風を絞ることにより、柵付近の雪を吹き払って、柵の前後に柵から離れて除雪作業が比較的容易である。柵が埋雪しないので、防雪機能が長くない。柵の破損が少ない。</p>	<p>(1) 柵を道路からかなり離して設置するため、広い道路用路を必要とする。</p> <p>(2) 吹き止め柵と同様に、気象条件によっては端部効果により、所的に視程障害が発生する場合も考えられる。</p>
吹き払い柵	<p>(1) 空隙のない張立柱を風上側に傾斜して下部を開けて(60cm～100cm)、風を絞ることにより、路上の雪を吹き払って視程障害を緩和し、まきかきによる雪の発生を防止する。</p> <p>(2) 道路用地内に設置できる。用地に関する問題が比較的容易である。</p> <p>(3) 翼型の防雪板で気流を有効利用した柵が利用されている。</p>	<p>(1) 柵高の約1.5倍の範囲は吹き払い効果が期待できるが、それ以外で遠くまで吹き払いが難しい。</p> <p>(2) 風向が柵に直角方向以外であれば、吹き払い効果が小さくなるので、設置箇所が限定されることである。</p> <p>(3) 風の弱い場合に、下部間隙が雪で塞がり、吹き払い機能を失うこともある。</p>

表5.2.1(b) 視程障害対策の特徴・評価と課題

視程障害対策	特徴・評価	課題
道路防雪林	(1)道路の風上側に並行して、帯状に植栽した林により風を減速して、林の中などに雪を堆雪させ視程障害を防止・軽減する。 (2)林帯幅が広いほど視程障害緩和効果が大きくなる。 (3)樹高が高くなると視程障害緩和効果が大きくなる。	(1)苗木から植栽するため視程障害緩和効果が現れるまでに長時間が必要になる。 (2)防雪林植栽のために広い用地が必要になる。 (3)防雪林の維持管理に費用と人手が必要になる。 (4)狭帯道路防雪林による防雪機能の把握が必要である。
視線誘導による対策 ・自発光視線誘導標 ・視線誘導標	(1)視程障害時には、視線誘導標により道路線形、道路中央の位置の確認が容易になる。 (2)ドライバーは、適切輝度の場合に発光部を注視して走行する傾向が多いため、明らかな視認性がある。	(1)強い視程障害時の視認性が課題である。 (2)視線誘導マニュアルに示される設置方法では、降雪・吹雪による視程障害について余り考慮されていないため、視程障害時の視認性の向上策の検討が必要である。
防雪切土	(1)切土区間の法面勾配を緩くし、その法面上に雪をためる方法で、視程障害や道路上の吹きだまりを大幅に軽減する。	(1)斜面を長く取るために、広い道路用地が必要になる。 (2)切土斜面が短い場合や吹雪量が多くなると吹きだまりが道路上に及ぶため、設計段階で十分な検討が必要になる。

以上、既存の視程障害対策における評価・特徴と課題について述べたが、これらの課題解決へ向けた対策が求められている。とくに急務なのが①対策施設端部と道路開口部、地形の影響による視程の急変箇所への対策、②視線誘導対策として視認性向上策に関する検討である。

次に対策手法について検討する。

5.3 視程障害対策に関する新たな課題

5.3.1 道路開口部，施設端部における視程の急変

最近、冬期道路において突発的かつ局所的な視程急変の危険性が強く指摘されている。その要因は、取り付け道路開口部、防雪対策施設端部による視程の急変である。実際に視程障害移動観測車で測定した例を図5.3.1に示す。一般国道12号で観測したもので、吹き止め柵の視程障害緩和効果を明らかにする調査での観測記録である。無対策区間に比べて吹き止め柵の設置区間では上・下車線のいずれも視程障害が大幅に緩和されているが、視程記録の中で大きく急激に低下する箇所がある。これは対策施設端部の影響で風が収束し大量の飛雪を道路上に吹き出しているためである。

また、図5.3.2は、図5.3.3に示す周辺環境を有する道路上での視程変動の観測例である。図のA、B、Cの地点で視程が大幅に低下している。B地点は道路開口部と防雪柵端部であり、Aが橋梁部取付部である。このような箇所では、風が収束し大量の飛雪が路上に吹き出すことで、それまでの良好な視程が数十mまで急低下する例が多い。このような状況に遭遇した場合、一瞬の視程低下に伴う急ハンドルや急ブレーキによる多重衝突事故の発生が想定され、冬期間の安全走行を確保する上で、視程の急変箇所への対策が急がれる。

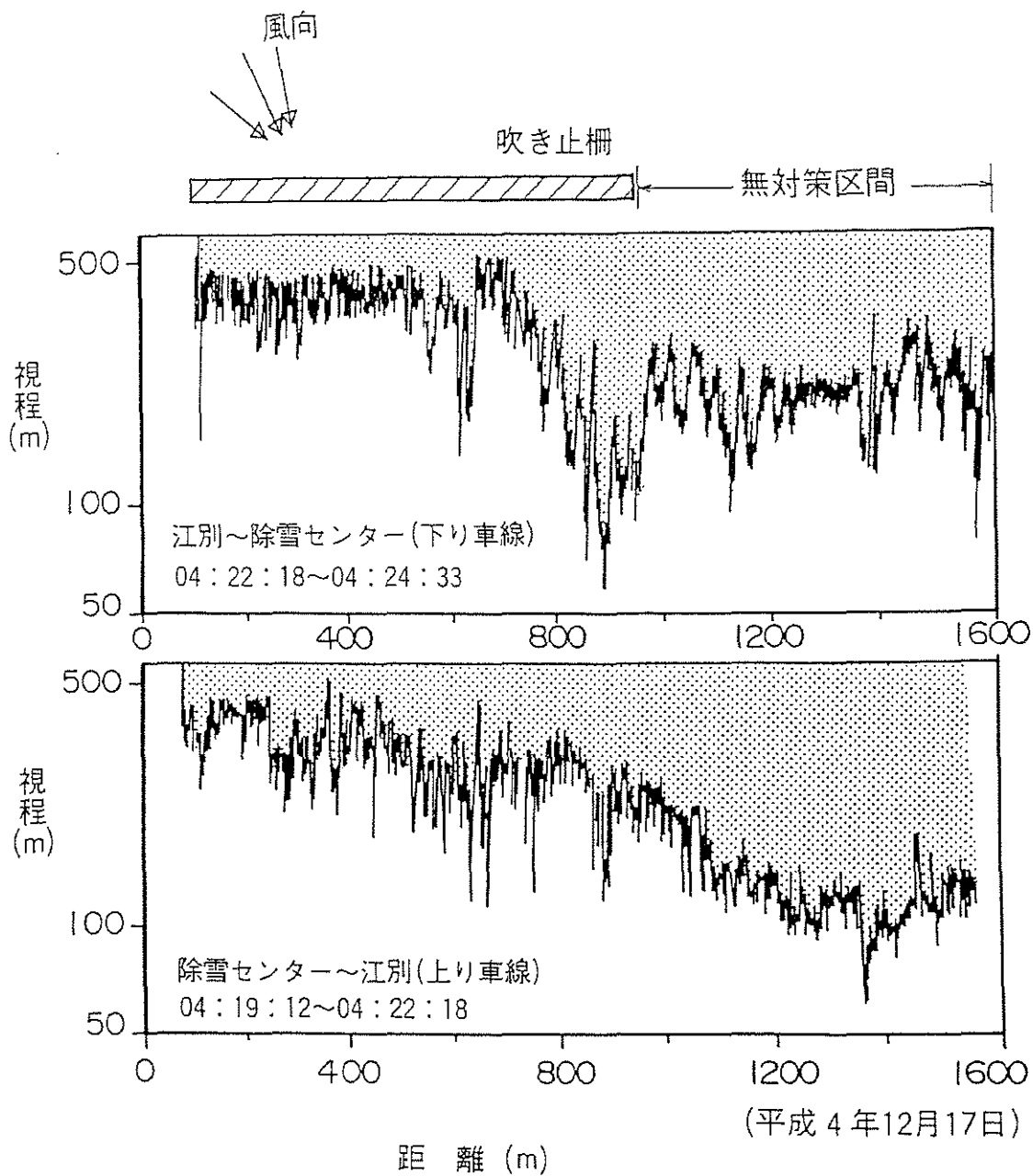


図5.3.1 防雪対策施設端部周辺の視程変動の測定例
(一般国道12号江別)

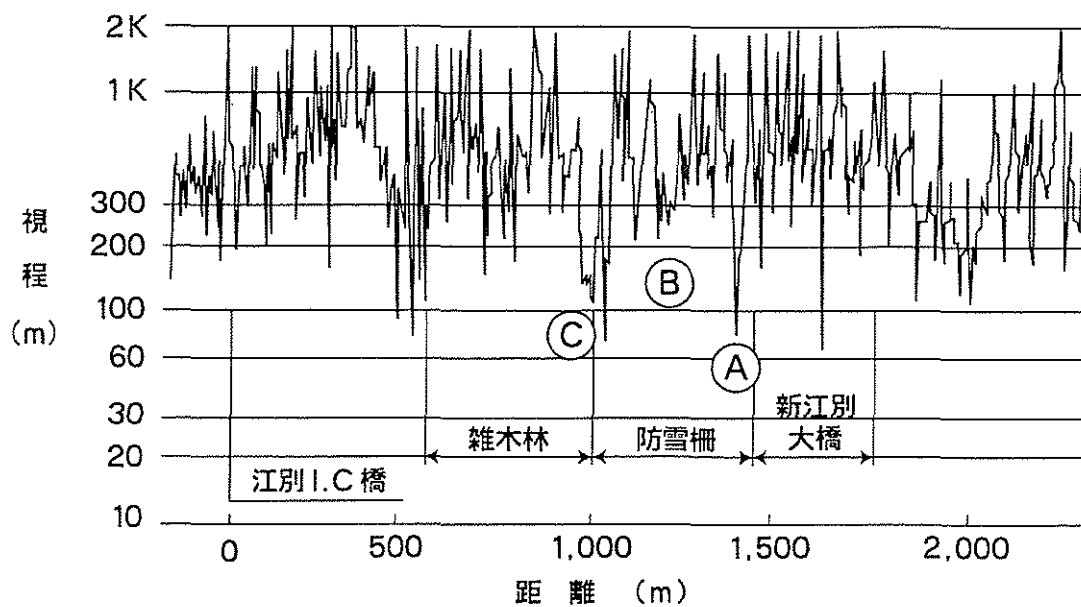


図5.3.2 道路上の視程変動の測定例(一般国道12号)

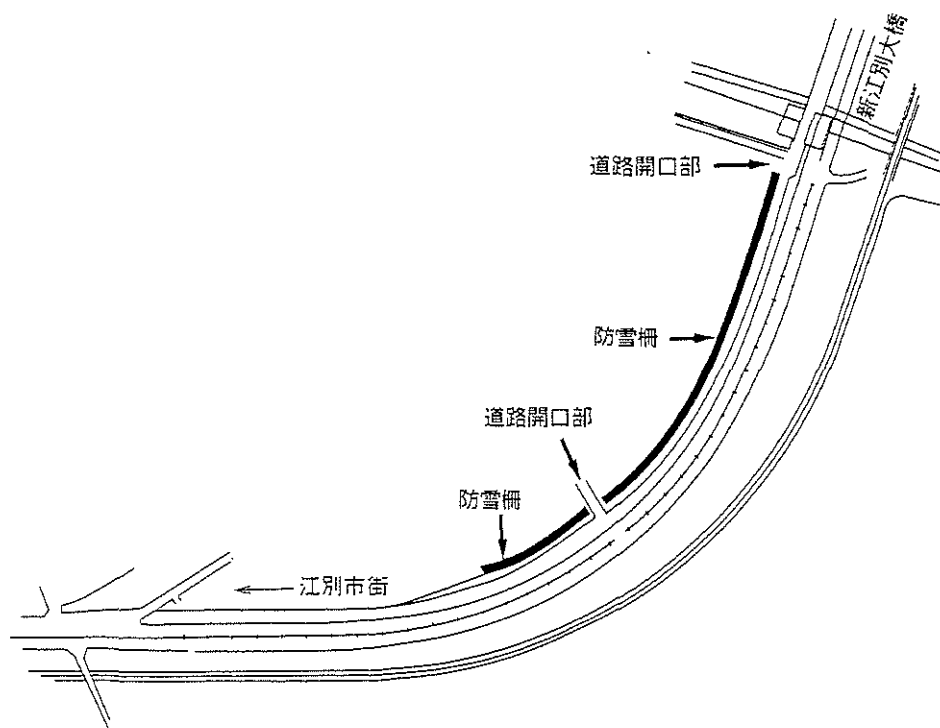


図5.3.3 視程変動測定時の防雪柵設置位置，
道路開口部の位置(一般国道12号江別)

5.3.2 視程障害対策としての視線誘導に関する課題

視線誘導標などによって道路線形・自車の走行位置を知らしめドライバー誘導を行うことで冬道走行の安全性を一層高めることができる。この場合、高い誘導効果が期待できる視線誘導標の設置方法が重要になる。視線誘導施設の設置に関しては「視線誘導標設置基準・同解説」⁴⁾に技術的なことが示されている。しかし、この基準は全国一律のもので、吹雪・降雪による視程障害に関しては余り考慮されておらず、視程障害時の有効性に不安が残る。

このため、冬道での視程障害の発生を考慮し、厳しい走行環境下において効果的にドライバー誘導が行える視線誘導標などの設置手法の確立と視線誘導標の高度化による対策が必要になる。

5.4 視程障害対策の課題に対する新たな対策手法の提案

5.4.1 道路開口部，施設端部における視程障害対策

道路開口部，施設端部などにおける視程の急変箇所の解消に向けて，新たな対策手法を開発するために数値モデルを用いて副防雪柵について検討する。

(1) 数値シミュレーションによる副防雪柵の検討⁵⁾

1) 数値モデル

数値計算には，Uematsu⁶⁾らによる吹雪の3次元数値モデルを用いた。数値モデルは大きく2つの計算過程に大別され，第1の領域は初期条件に風向風速を入力したのち流体の運動方程式によって3次元の気流場を計算する。第2の領域は，気流場が計算された後，初期条件に降水量を与え雪粒子の浮遊運動と跳躍運動が考慮された方程式系により飛雪空間濃度を計算する。これら2つの領域において定常値が定まるまで繰り返し計算することによって吹雪を発生させることができる。

図5.4.1に数値モデルの計算フローを示す。

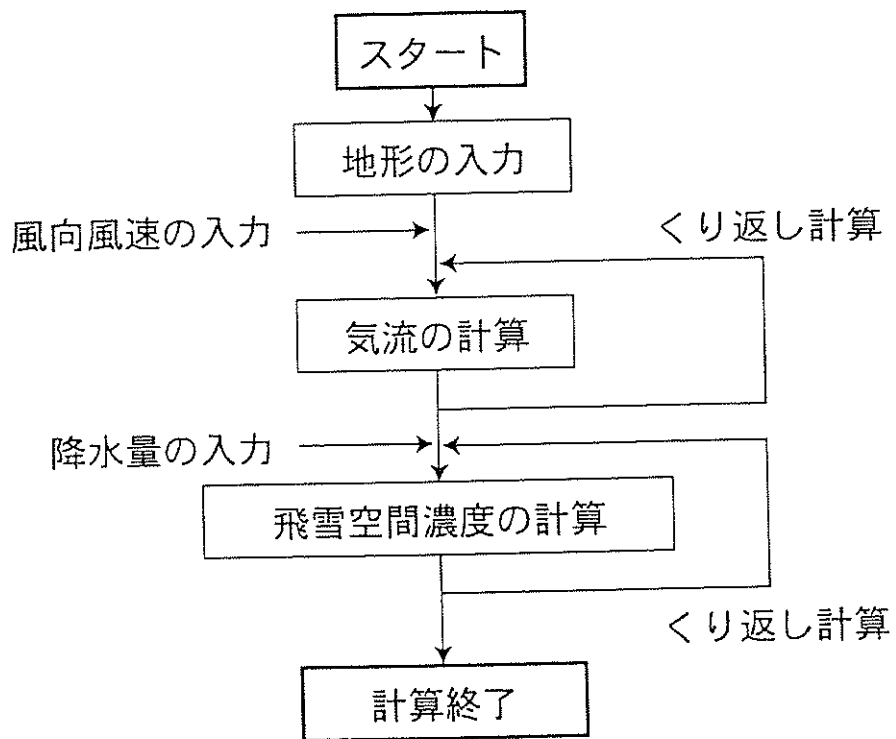


図5.4.1 数値モデルの計算フロー

2) 気流の計算

本気流モデルは、Arisawa¹⁾のモデルを用いており、この3次元モデルの気流場計算手続きはPatanker²⁾による方法を用いている。これによる2次元モデルはArisawaら³⁾により大気汚染質の長距離輸送の計算に、また、道路周辺の流れ、拡散の計算にも用いられていて、その有効性が確かめられている。

3) 飛雪空間濃度の計算

Kobayashi⁴⁾の観測によれば、雪粒子の輸送形態としては、跳躍の方が浮遊より多いと結論されている。このため、数値モデルでは雪粒子が高い位置から飛び出し、跳躍から浮遊に移るように浮遊を考慮する必要がある。以下に、気流と飛雪空間濃度を計算する方程式系を示す。

4) 基礎方程式

空気の運動方程式および連続の式は次のように現せる。

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \cdot u) = \text{div}(\rho K_m \text{grad}(u)) - \frac{\partial p}{\partial x} \quad \text{-----(1)}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \cdot v) = \text{div}(\rho K_m \text{grad}(v)) - \frac{\partial p}{\partial y} \quad \text{-----(2)}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \cdot w) = \text{div}(\rho K_m \text{grad}(w)) - \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad \text{-----(3)}$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - \text{div}(\rho u_s \cdot \phi) = \text{div}(\rho K_s \text{grad}(\phi)) \quad \text{-----(4)}$$

ここで ρ : 空気の密度, u (u, v, w) : 気流ベクトル, K_m : 運動量の拡散係数, P : 気圧, g : 重力加速度である。

飛雪空間濃度 ϕ の依存式は次のようになる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u \cdot u) = 0 \quad \text{-----(5)}$$

ここで u_s : 飛雪空間濃度の移動ベクトル, K_s : ϕ の渦拡散係数である。上式の

左辺第1項は飛雪空間濃度の時間変化，第2項は移流，右辺が渦拡散を表しており，この式により上述の浮遊が計算できる。

$U_s = (u, v, w + w_f)$ と仮定して，(5)式に代入すると，

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \cdot \phi) = \text{div}(\rho K_s \text{grad}(\phi)) - \frac{\partial(\rho w \phi)}{\partial z} \quad \text{----- (6)}$$

となる。 w_f は飛雪粒子の落下速度であり， -0.5m/s 程度の値である。この(6)式は上述の(1)，(2)，(3)式と数学的に同じ形をしている。従って，これらは同一のアルゴリズムで計算でき，プログラム上非常に有利である。

渦拡散係数 K_s は K_s と等しいと仮定し，混合距離理論を用いて

$$K_s = l^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \quad \text{----- (7)}$$

$l = \kappa r$ とした。ここで， l ：混合距離， $\kappa = 0.4$ ：カルマン定数， r ：壁面までの最短距離である。

5) 境界条件

上述したように地表面近くでの飛雪は跳躍状態であるから，(5)式だけでは計算できない。そこで特別な定式化が必要となる。

Iversen¹⁰⁾は，十分に雪が供給される平坦な場所において，単位長さあたりの跳躍による吹雪輸送量 Q は次式のように表現されることを示した。

$$Q = \int_0^h (\rho u \phi) dz = \kappa \frac{\rho}{g} \frac{w_s}{u_{*c}} u_*^2 (u_* - u_*') \quad \text{----- (8)}$$

ここで h : 跳躍層の高さ, c : 実験定数, u_* : 摩擦速度, u_{*t} : 臨界摩擦速度である。

いま, 跳躍層内の平均風速を u_h , 平均飛雪濃度を ϕ_h , 跳躍層から地表面への沈着速度を D , 地表面から侵食速度を E (雪が上向きに輸送される場合を正とする。したがって, $(D < 0, E > 0)$ とすると

$$Q = \rho u_h \phi_h h \quad \text{----- (9)}$$

$$Q = \rho w_h \phi_h \quad \text{----- (10)}$$

となる。さらに定常状態を仮定すると,

$$D + E = 0 \quad \text{----- (11)}$$

となり, (8), (9), (10), (11)式より

$$E = \frac{c}{h} \frac{\rho}{g} \frac{w_h^2}{u_{*t}} \frac{u_{*t}^2}{u} (u_{*t} - u_*) \quad \text{----- (12)}$$

となる。この E を, 雪の供給が充分あるときの最大侵食速度 (E_{max}) と考え, 非定常の場合には

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -(D + E) \quad \text{----- (13)}$$

となる。これを差分表示で表せば

$$S_{t+\Delta t} = S_t - (D + E) \cdot \Delta t \quad \text{----- (14)}$$

となる。ただし、 $S \geq 0$ であるから、

$$E = \min\left(E_{\max}, \frac{S_t}{\Delta t} - D\right) \quad \text{----- (15)}$$

である。

このようにして求めた(10), (11)式を前節の気流, 飛雪空間濃度の計算の地表面での境界条件式として用いれば, 飛雪空間濃度とともに吹きだまり量が計算できる。なお, h は一般に10~30cm程度と言われているので, ここでは $h = 25\text{cm}$ とし, 気流飛雪濃度計算における地表面直上の層の厚さも25cmとした。また, その層内では風速の対数分布を仮定して, 計算された風速から u_* を求めた。 c, u_{*t} は雪質によって変わるべきものであるが, ここではSchmid¹¹⁾による $c=1.0, u_{*t}=0.15\text{m/s}$ を用いた。

計算領域の上の境界では降雪強度 P_{rt} を与えた。計算領域の高さを, 飛雪空間濃度の鉛直傾度がほぼゼロとなる高度(一般的には数m)以上にとれば, 降雪強度を与えるということは, 上の境界で一定濃度を与えるという事と同等である。

$$\Phi_h = \frac{P_{rt}}{\rho w_t} \quad \text{----- (16)}$$

$P_{rt} = 1\text{mm/hr} = 0.278\text{g/m}^2 \cdot \text{sec}$ の降雪強度は $\phi h = 0.43\text{g/hm}^3$ に相当する。これまでに本数値モデルでは, 2次元フェンス周辺の気流の流れと吹きだまり分布や角柱形状建物周辺の吹きだまり分布などに関し, 屋外観測結果との良い一致が確認され, その有効性が認められている。

6) 解析方法

数値計算に用いた初期条件値および計算ケースを、表5.4.1と図5.4.2に示す。風速は、吹雪発生時の強風を想定した一般的な代表風速10m/s、風向は防雪柵に直角な風向と45°傾けた2方向を対象とした。計算ケースは、柵端部に対策工を設けない標準タイプと柵端部に直角に防雪柵（以下、副防雪柵という）を設けた2タイプの構造を対象とし、副防雪柵の長さは3、5、10mの3段階に変化させた。なお、計算に取り込んだ防雪柵の形状は、柵高5m、空隙率0%とした。

7) 解析結果

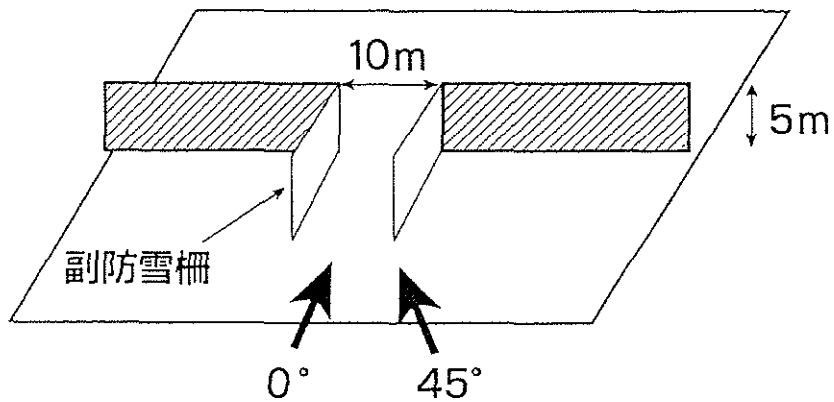
図5.4.3に、風向45°における「標準柵」と「標準柵+副防雪柵5m」での柵開口部周辺の飛雪空間濃度分布を比較して示す。なお、以下の図中に示す飛雪空間濃度は、一般乗用車のドライバーの目線の高さの目安となる1.25m高の計算結果である。「標準柵」をみると、柵開口部からの吹雪の流入により、大きな飛雪空間濃度の領域が本線上にのびているが、これは柵開口部付近での局所的な視程障害の発生を意味している。「標準柵+副防雪柵5m」をみると、「標準柵」でみられた本線上での空間濃度の大きい領域はほぼなくなり、副防雪柵の設置によって、柵開口部から本線上への吹雪の流入が抑えられていることがわかる。

図5.4.4に、風向0°における道路縦断方向の飛雪空間濃度分布を示す。柵端部に副防雪柵を設けない標準柵は、柵開口部の中心で局所的に空間濃度が大きくなる。しかし、柵端部に副防雪柵を設置すると、柵開口部内の飛雪空間濃度は一様となり、標準柵でみられた局所的な増加はみられない。同じ風向0°のときの道路横断方向の飛雪空間濃度分布を図5.4.5にみると。標準では柵から7~18mの範囲に大きな空間濃度が広がっているが、副防雪柵を設置することにより全体的に空間濃度は0.02~0.05g/m³小さくなる。

数値シミュレーションによる評価から、道路開口部、施設端部の局所的な視程障害は、主防雪柵に直交する副防雪柵を設けることにより解消できることが明らかになった。

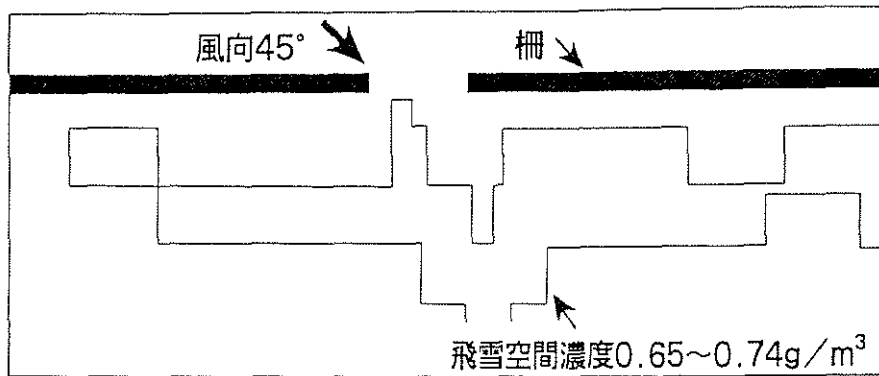
表5.4.1 数値計算に用いた初期条件値

風速	10 m/s
風向 (柵の走行に対して)	0°、45°
降水量	1 mm/h

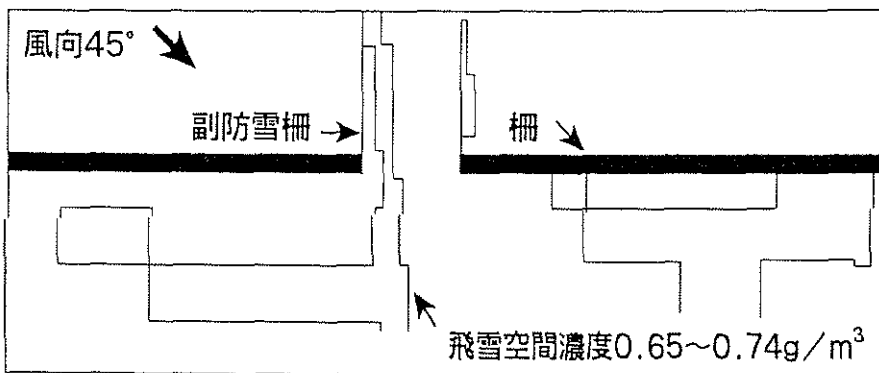


ケース1	標準柵 (副防雪柵なし)
ケース2	標準柵 + 副防雪柵 3 m
ケース3	標準柵 + 副防雪柵 5 m
ケース4	標準柵 + 副防雪柵 10 m

図5.4.2 計算ケース

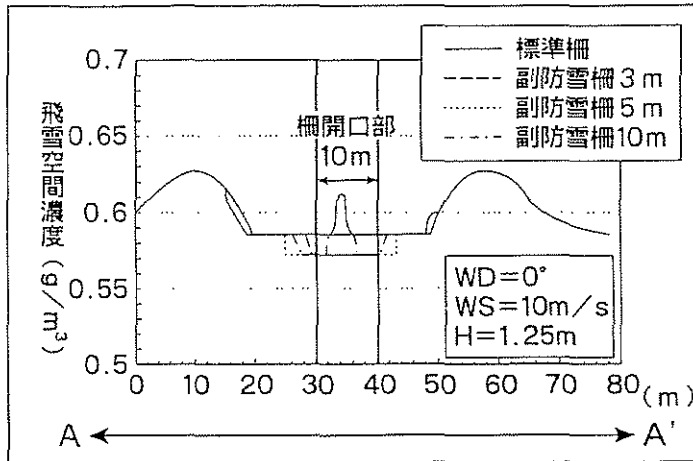
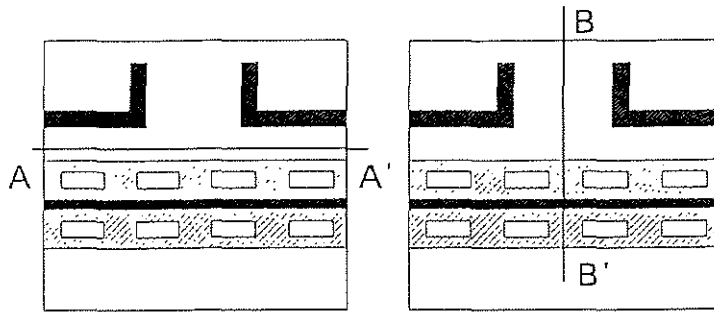


〔標準柵〕



〔標準柵+副防雪柵5m〕

図5.4.3 水平方向の飛雪空間濃度分布



5.4.4 縦断方向の飛雪空間濃度分布

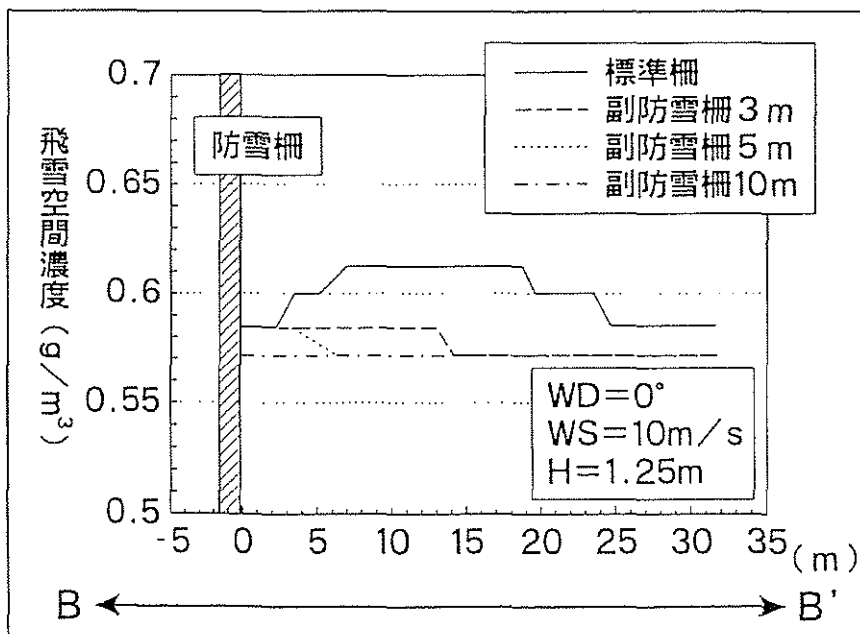


図5.4.5 横断方向の飛雪空間濃度分布

5.4.2 視程障害を考慮した視線誘導標による対策の検討^{12, 13)}

視程障害時の走行車両は視覚情報として前走車を頼りにし、大幅に接近して短い車間距離で走行し、極めて危険な状態に陥ることが多い^{14, 15)}。走行位置の確認のために前走車に代わる視覚情報やドライバー誘導策が重要になる。そこで、優れた視認性を有する自発光視線誘導標を有効活用することで、視程障害時の走行の安全性を一層高めるものと考えられる。このため、視線誘導標の設置にあたって視程障害を考慮した適切な設置手法や、新しいシステムである高機能視線誘導標について検討する。

(1) 視線誘導標の設置間隔を検討するための視程条件と走行維持の条件

1) 視程障害時の視程条件

視程障害状況を考慮した視線誘導標の設置に関する適正值の検討にあたって、上述した冬期の走行環境などを勘案して、視程条件などを次のように提案する。

- ① 視程100m以下では自発光視線誘導標による対策を考える。
- ② 走行維持のために視覚情報を支援する前提として平均視程の最悪条件を、
 - ・一般道路で70m～50m程度と設定する。
 - ・高速道路で100m～70m程度と設定する。
- ③ 走行維持の速度の目安として、以下が適当である。
 - ・一般道路……35～40km/h → 40km/h 以下
(想定平均視程70m～50m)
 - ・高速道路……50km/h 以下
(想定平均視程100m～70m)

2) 視程障害時の走行維持の条件

(a) 想定平均視程の距離内で停止ができる

条件a-1 一般道路：走行速度40km/h以下での制動停止距離が、想定平均視程の小さい値50m程度と同程度か、それを下回る。

条件a-2 高速道路：走行速度50km/h以下での制動停止距離が、想定平均視程の小さい値70m程度と同程度か、それを下回る。

(b)路外逸脱することなく運転ができる

路外逸脱を防止するために、視線誘導標設置間隔の条件を整理する。

条件b-1 一般道路：走行速度40 km/h以下において、制動停止距離以内に常にドライバーの視野に2～3個の視線誘導標が見えていることが望ましい。

条件b-2 高速道路：走行速度50 km/h以下において、制動停止距離以内に常にドライバーの視野に2～3個の視線誘導標が見えていること望ましい。

条件b-3 一般道路：特に吹雪による視程障害の影響が大きい区間では、前方30 m以内で常にドライバーの視野に最低1個の視線誘導標が見えることが望ましい。

(3) 視線誘導標設置間隔の適正値の検討

1) 制動停止距離の検討

視線誘導標の設置間隔の検討にあたって走行速度に対応する制動停止距離¹⁶⁾を求めた。ここで用いた滑り摩擦係数は新雪も含む積雪路面として $f:0.25$ として算出すると次の値を得る。

① 一般道路： $V = 40 \text{ km/h}$ での制動停止距離 → 55 m

② 高速道路： $V = 50 \text{ km/h}$ での制動停止距離 → 75 m

この結果から、制動停止距離の程度まで視線誘導標が見えることが必要であるうえ、想定平均視程のそれぞれ小さい方の値と概ね一致している。

2) 直線区間における設置間隔の検討

設置間隔に関する上記の3条件（条件b-1～3）について、理解しやすいように一般道路と高速道路の場合について検討する。

(a) 一般道路の場合

前記の条件b-1を図解で検討すると、図5.4.6に示すようになる。

これらの結果から、設置間隔の適正値は20m～35mとなる。

(b) 高速道路の場合

高速道路についても条件b-2をで検討すると、図5.4.7に示すようになり、設置間隔の適正値として25m～50mとなる。

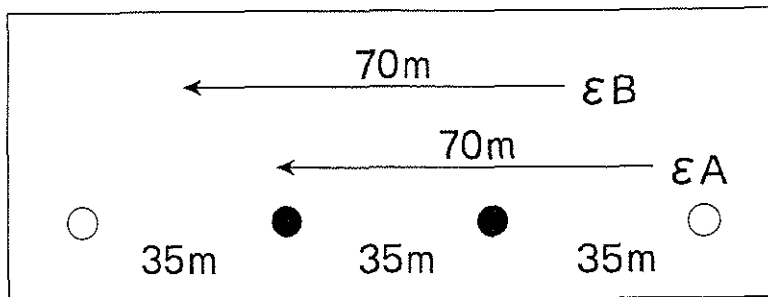
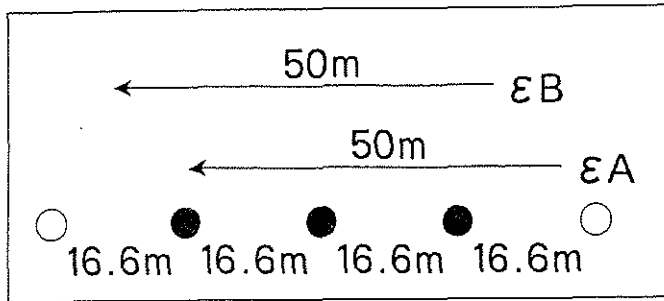


図5.4.6 一般道路で常に3~2個が常に見えてる場合
(視程50m~70m程度)

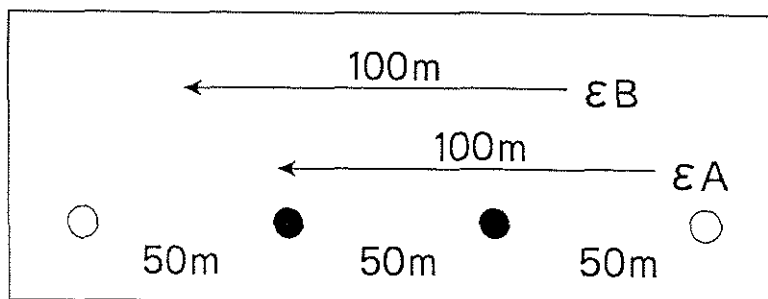
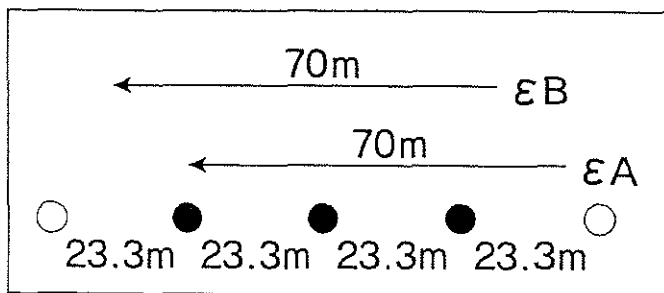


図5.4.7 高速道路で常に3~2個が見えてる場合
(視程70m~100m程度)

(3) 曲線区間における設置間隔の検討

曲線区間における自発光デリニエータの設置間隔については，基本的に直線区間と同様の設置間隔とする。具体的には，次式¹⁾に基づいて反射型視線誘導標の設置間隔を求め，それらを補足するために，前記の直線区間で求めた設置間隔に近いものを自発光式に変更する方法が合理的であると考えられる。ただし，その設定で常に3個¹⁾がドライバーの視界内にあることを十分考慮する必要がある。

$$S = 1.1 \sqrt{R - 15} \quad \dots \dots \dots (1)^{1)}$$

S：視線誘導標相互の標準設置間隔

R：道路の曲線半径

表5.4.2 一般道路（曲線区間部）における冬期視程障害
対策としての視線誘導標の標準設置間隔

曲線半径 (m)	反射型の設置間隔 (m)	自発光式の設置間隔の目安
～50	5	左欄の1～3つ置きのピッチ
51～80	7.5	左欄の1～2つ置きのピッチ
81～125	10	左欄の1つ置きのピッチ
126～180	12.5	左欄のピッチ または、 1つ置きのピッチ
181～245	15	
246～320	17.5	
321～405	20	
406～500	22.5	左欄のピッチ または、 20mピッチ
501～650	25	
651～900	30	
901～1,200	35	
1,201～	40	

1) 一般道路の曲線区間

一般道路を想定した場合，設計速度60km/hにおける最小曲率半径は $R=150\text{m}$ 以上であるから，表5.4.2より視線誘導標相互の標準最大設置間隔は12.5m以上である。この間隔にある視線誘導標を一つ置きに自発光式に換えると，その間隔は25mとなり，一般道路の設置間隔である20mピッチ，40mピッチに大きく外れていないことから，常に3個がドライバーの視界内にある状態であれば，設置間隔は一つ置きの25mピッチでも問題はないであろう。しかし，このピッチで常に3個がドライバーの視界内に入ることが難しい状況ならば12.5mとすべきである。同様に，最小曲率半径が181~320mにおいても同様の考えで，一つ置きか連続かを設定するとよいであろう。まとめると，一般道路においては次の3条件を満足するように，表5.4.2の設置間隔を1~3個おきに自発光デリニエータの設置間隔とするのが適当である。

- ① 20mピッチ，または40mピッチに近い設置間隔とする
- ② 常時3個がドライバーの視界に入っている状態での設置間隔とする
- ③ 吹雪による視程障害の多発区間では，最大間隔を20m程度とする

表5.4.3 高速道路（曲線区間）における視程障害対策としての視線誘導標の標準設置間隔

曲線半径 (m)	反射型の設置間隔 (m)	自発光式の設置間隔の目安
~50	5	左欄の1~4つ置きのピッチ
51~80	7.5	左欄の1~3つ置きのピッチ
81~125	10	左欄の1~2つ置きのピッチ
126~180	12.5	
181~245	15	
246~320	17.5	左欄のピッチ または、 1つ置きのピッチ
321~405	20	
406~500	22.5	
501~650	25	
651~900	30	左欄のピッチ または、 25mピッチ
901~1,200	35	
1,201~1,550	40	
1,551~1,950	45	
1,951~	50	

2) 高速道路の曲線区間

高規格道路を含めた高速道路では、設計速度が最低でも80km/h以上であるから、最小曲率半径は280m以上必要である。表5.4.3により、視線誘導標相互の標準最大設置間隔は17.5mである。これを一般道路の場合と同様に下記の条件を満たしながら、曲線半径が346m～650mにおいては、表5.4.3に示す設置間隔か一つ置きピッチを自発光式デリニエータの設置間隔として選択すればよい。

- ① 25mピッチ，または50mピッチに近い設置間隔とする
- ② 常時3個がドライバーの視界に入っている状態での設置間隔とする
- ③ 吹雪による視程障害の多発区間では，最大間隔を25m程度とする。

最小曲率半径が651m以上の場合には，②③の条件下で表5.4.3に示す設置間隔とするのが適当である。

(4) 視線誘導標発光部の高さの検討

吹雪による飛雪濃度の鉛直分布は高さにより大きく異なる，このことは視程障害度合いも高さの違いで変化することを意味していて，視線誘導標高さに関する適正值の検討は極めて重要である。

ドライバーが視線誘導標として確認できるためには，吹雪の中でその発光部を十分視認できる必要がある。しかも，その発光部が飛雪濃度の最も高い範囲の上に出ていることが望ましい。

吹雪時の走行車両が走行位置の確認のために，視覚情報として前走車を頼りにして走行する視程の臨界値はおよそ100m前後であるから，その視程値での飛雪量は10～20 g/m・sとなる¹⁹⁾。この飛雪量に相当する吹雪の高さの位置は，雪面から10～20cmである¹⁹⁾。

このことは，路側の雪堤上面からの高さが，10～20cm程度の範囲が最も大きく視程低下が生じることを意味しており，少なくともこの高さより視線誘導標発光部が高いことが望ましい。それに防護柵の高さは約90cmであるから，除雪による雪堤は概ね90～100cmの高さに形成されることが多い。また，乗用車のドライバーの目の高さはおよそ120cmであるため除雪・路面管理において路側雪堤の高さを120cm以下に抑制している区間がなり多い。

したがって、雪堤の高さを概ね90～120cmと想定すると、吹雪時に視程が最も低下部分の高さは以下のように、100～140cmとなる。
したがって、視線誘導標の自発光部の最小高さの目安は

$$(90 \sim 120 \text{ cm}) + (10 \sim 20 \text{ cm}) = 100 \sim 140 \text{ cm}$$

となる。

また、車両の走行に伴う雪煙の高さ2～3mを考慮すると自発光視線誘導標発光部の高さを、北海道においては1.5m～3.0mの値を標準として考えるべきである。

5.4.3 高機能自発光視線誘導標による対策と誘導効果^{20, 21)}

視程障害時の走行支援として高機能自発光視線誘導標により道路線形、自車の走行位置を知らしめることで、走行の安全性を高めることができると考えられる。そのためドライバーからのアンケート調査や視線挙動特徴から視程障害時の誘導効果を検証する。

(1) 高機能自発光視線誘導標の設置と調査方法

一般国道12号江別区間は、交通量が約16,000台/日の主要幹線道路であるが、しばしば猛吹雪に襲われ、視程障害時には多重衝突事故が発生する区間である。視程障害対策として吹き止め柵と複合する形で高機能自発光視線誘導標（以下、視線誘導標と略す）で対応することになった。

当該区間は曲線区間で半径が350mである。視線誘導標は20m間隔で設置し全長700mに渡って中央分離帯に設置した。この設置間隔は上記で提案した視程障害を考慮した一般道路における曲線区間（表5.4.2）とほぼ同間隔である。

視線誘導標の設置状況を写真5.4.1に示す。

1) 視線誘導標の概要と調査方法

視程障害状況を的確に感知するために曲線部の両端部と中間部に、2基1組で計3組のポール型視程計を組み込んだ自発光視線誘導標を配置した。ポール型視程計により視程障害状況を把握し、その度合いに応じた輝度で発光して視線誘導効果を確保するようにした。図5.4.8は視程障害状況に応じた発光形態を判定する手順をフローチャートに示したものである。



写真 5.4.1 高機能視線誘導標の設置状況

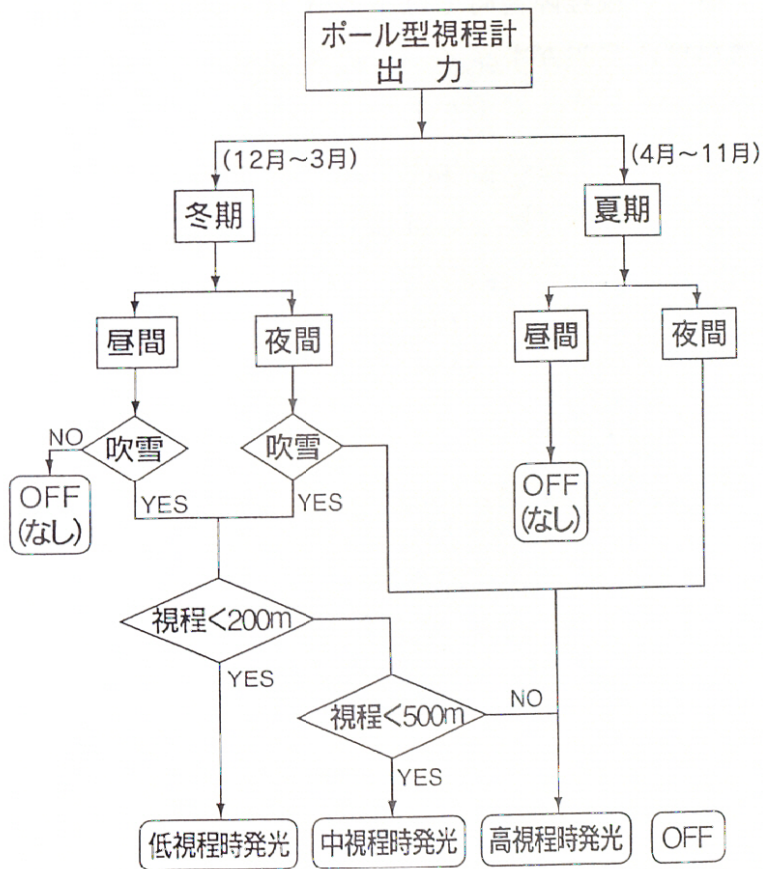


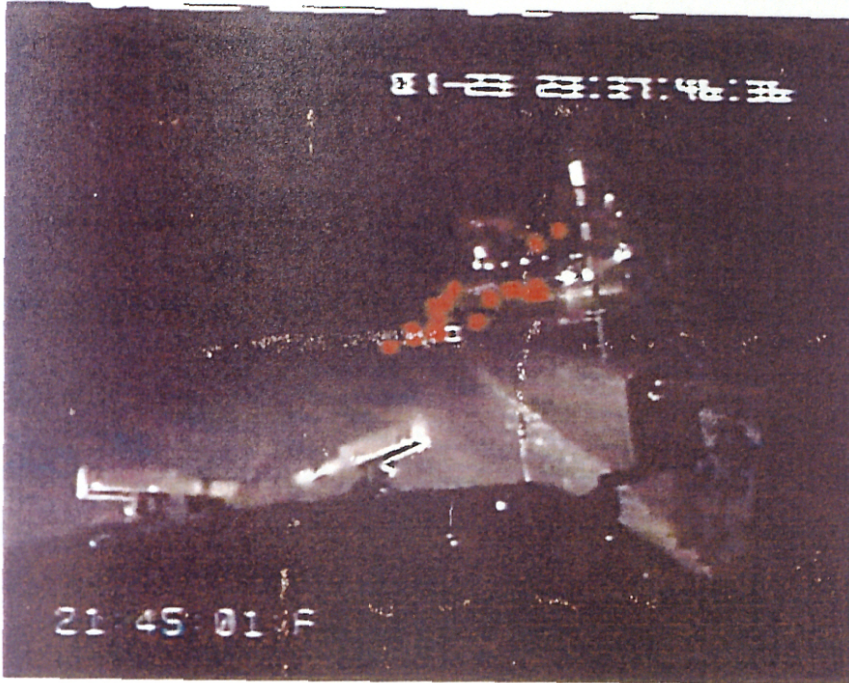
図5.4.8 視程障害状況に対応した発光量の自動判定フロー

まず、①日中と夜間を区別し、②吹雪発生の有無を判定する。③視程の程度（高・中・低）を判定し、自発光視線誘導標にそれぞれの視程状況に応じて発光輝度を変化させる。視線誘導効果の検証は、自発光視線誘導標の設置区間で側方散乱方式視程計¹²⁾を搭載した視程障害移動観測車¹³⁾とアイカメラ装置などを用いて行った。

(2) 視程障害時の視線誘導効果

1) 視線挙動からみた視程障害時の視線誘導標の効果

吹雪時の視程障害度合いの異なる場合の結果を写真5.4.2に比較して示す。同じ右カーブ区間での観測結果であり、(a)は降雪で視程が660m、(b)は吹雪により視程が160mにまで低下した時のものである。視程が比較的良好な場合は、視線が視線誘導標に促されて前方の道路線形に沿っている。また、この時は視線が視線誘導標に誘導されているが、発光部に直接視点をおいていない。一方、視程が著しく悪化した場合は、視線は視界内にある視線誘導標の発光部に当たって道路線形を追い、視点も高機能自発光視線誘導標の点灯部分を直接見ている。これは、激しい視程障害時ではドライバーの視的目標物がきわめて乏しいため、視線誘導標の発光がドライバーの視覚情報を補助するものではなく、唯一の視的目標物であることを示している。また、視程障害時では、ドライバーは道路線形を追いかけるだけでなく、前方の視線誘導標から得る視覚情報により、道路上の自車の走行位置を認識しているとみられる。



(a) 視程良好時(視程:660m, 右カーブ区間)



(b) 視程障害時(視程:160m, 右カーブ区間)

写真5.4.2 視程障害状況の違いによるドライバーの視線挙動の比較

2) アンケートによる視線誘導標の効果

視線誘導標の効果に関するアンケート調査を行った。アンケート内容は、降雪・吹雪時の視程障害時の誘導効果について、①有効だ、②有効でない、③どちらとも言えない、である。対象者はおもに周辺を走行するタクシー、バス、トラックなどのプロのドライバーと住民の道路利用者と、150名に調査票を配布し回答が得られたのは80名であった。アンケート調査結果と属性を図5.4.9に示す。視程障害時の視線誘導標の効果については、71～74%の多くのドライバーから日中・夜間のいずれも有効であると高く評価された。

視線誘導標の効果についてドライバーの視線挙動の特徴とアンケート調査から、視程障害時の視線誘導標が大きな効果を有していることが明らかになった。

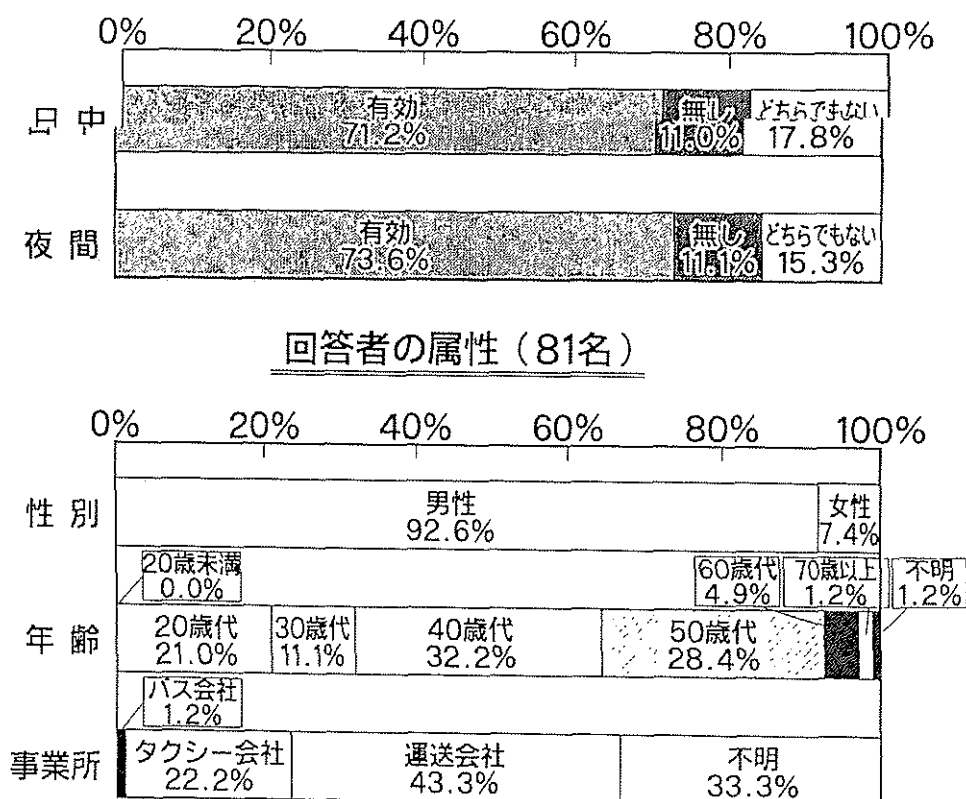


図5.4.9 高機能視線誘導標の視程障害時の誘導効果に関するアンケート調査結果

5.5 まとめ

視程が急激に変化する箇所の実測で初めて明らかにした。そのような箇所は道路構造の不連続区間，対策施設端部や道路開口部，複雑地形であり，対策が急務であることを指摘した。これらへの対策はこれまでの手法による対応では難しいことから，数値シミュレーションによって新しい対策手法を検討した結果，副防雪柵で対応するのが有効であることを示した。また，視程障害時の対策手法である視線誘導標による誘導効果を一層高めるために，視程障害を考慮した適正な設置方法（間隔及び高さ）について提案するとともに，周辺の視程障害状況に対応して適正な輝度で自動的に発光する視線誘導標を新たに開発し，上述の設置方法と同様に整備し誘導効果について検証した。結果は高い誘導効果を有しており，視線誘導標による対策は視程障害時の極めて有効な対策であることを明らかにした。

[第5章 参考文献]

- 1) Roberts, A.W., 1986: Guiderail delineation, Transportation Research Report No.306, 7-8.
- 2) Helmu T.Z., Toru H., and Thomas S., 1995: Visibility of Obliteration. Transportation Research Record.1495.
- 3) 五十嵐祐一, 村上正幸, 伊藤和彦, 坂本弘志, 1998: 翼型防雪板を有する新型防雪柵の開発とその性能評価試験, 第11回寒地環境工学合同シンポジウム講演論文集, 45-50.
- 4) 日本道路協会, 1984; 視線誘導標設置基準・同解説, pp.45.
- 5) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子学, 川上俊一, 金田安弘, 1997: 防雪柵端部での視程の急変とその対策—数値シミュレーションによる検討—, 日本雪氷学会北海道の雪氷, No.16, 41-43.
- 6) Uematsu, T., Nakata, T., Takeuchi, K., Arisawa, Y., and Kaneda, Y. (1991): Three-dimensional numerical simulation of snowdrift. Cold Regions Science and Technology, 20(1), 65-73.
- 7) Arisawa, Y., 1987. Two-dimensional numerical experiments on the mechanism of longrange transport of air pollution. Ph.M. Thesis. University of Tsukuba.
- 8) Patanker, S.V., 1980: Numerical heat transfer and fluid flow. Mcgraw-Hill, pp.197.
- 9) Kobayashi, D., 1972: Studies of snow transport in low-level drifting snow. Contrib. Inst. Low Temp. Sci. Hokkaido Univ., Ser. A, 29.
- 10) Iversen, J. D., Greeley, R., White, B. R. and Pollack, J. B., 1980: Eolian erosion of the Martian surface, Part 1; Erosion rate similitude. Icarus, 26, 321-331.
- 11) Schmidt, R.A., 1982: Properties of blowing snow. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 39-44.
- 12) 福澤義文, 加治屋安彦, 熊澤義昇, 森 隆広, 1996: 冬期視程障害対策としての視線誘導標の設置手法に関する考察—設置間隔の適正值の検討—, 第16回交通工学研究発表会論文報告集, 49-52.
- 13) 福澤義文, 加治屋安彦, 森隆広, 1966; 視程障害時の視線誘導に関する考察, 土木学会北海道支部, 平成7年度論文報告集, 第52号(B), 438-443.
- 14) 福澤義文, 石本敬志, 丹治和博, 金田安弘 1994; 吹雪時の視程と車間距離につ

いて,第10回日本雪工学大会論文報告集,47-50.

- 15)竹内政夫,1986 ; 道路管理のための気象観測とその利用,雪と道路, No7,41-48.
- 16)日本道路協会,1983:道路構造令の解説と運用,254-257.
- 17)Federal Highway Administration ; Roadway Delineation Practices Handbook,Publication NO.FHWA-SA-93-001,pp.137.
- 18)竹内政夫,1980:吹雪時の視程に関する研究. 土木試験所報告. No.74.pp31.
- 19)Takeuchi masao,1975; Vertical profile and horizontal increase of driftsnow transport,J.Glacio. 26,(94),481-492.
- 20)福澤義文,加治屋安彦,金田安弘,丹治和博,1997 : 吹雪時における自発光視線誘導標による誘導効果について, 1997年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集. p.105.
- 21)福澤義文. 加治屋安彦. 1996:インテリジェント・デリニエータ・システムの開発について. 第38回北海道開発局技術研究発表会概要集(道路・舗装部門),61-68.
- 22)福澤義文,竹内政夫,1992 : 移動観測用視程計の開発について,土木試験所月報464号,12-18.
- 23)福澤義文,1993 : 車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発,雪氷,55巻1号,29-38.

第6章 視程障害対策の設計法

6. 1	はじめに	92
6. 2	北海道全域の吹きだまり量分布の推定	92
6. 2. 1	調査方法および調査資料	92
6. 2. 2	北海道における冬期の気候区分の検討	95
6. 2. 3	吹きだまり量と気象	102
6. 2. 4	吹きだまり量の1kmメッシュ値の算出	108
6. 2. 5	吹きだまり量分布の検証	111
6. 3	視程障害リスクポテンシャルの提案	112
6. 3. 1	視程推定値の算出手法	112
6. 3. 2	視程の推定算出手法の検証	115
6. 3. 3	リスクポテンシャル分布と未観測地点の推定	116
6. 3. 4	リスクポテンシャルの評価と視程障害対策手法の提案	120
6. 4	まとめ	124
	参考文献	125

第6章 視程障害対策の設計法

6.1 はじめに

視程障害と吹きだまりは新路線計画，及び，適切な対策手法とその規模を考える場合に極めて重要な要素になる。そのため，北海道全域を対象とした冬期道路における視程障害，吹きだまりに対応する対策の設計法について検討する必要がある。防雪対策である防雪柵，防雪林，防雪切土などの適切な規模は，当該地域の吹きだまり量を考慮して設計¹⁾する。しかしながら現状では，北海道全域を対象とする吹きだまり量分布に関する詳細な資料はつくられていない。

吹雪防止対策の路線調査においても，視程障害や吹きだまりの多発個所の把握と対策手法を具体的に検討するため，周辺の気象状況や環境を調査し，交通障害をもたらす吹雪発生の有無，障害箇所の概略を吹雪発生頻度²⁾などで調査する³⁾。しかし，評価の具体的な目安や手法について十分に示されているとはいえず，視程障害対策に関して危険性を考慮した新たな評価手法が求められている。

本章では，視程障害対策の適切な規模の設計に不可欠な，当該地域の1kmメッシュ吹きだまり量の算出手法と北海道全域の30年確率吹きだまり量分布を求める。また，視程障害対策に関する計画・調査で視程障害多発箇所の特定に活用できる，30年確率視程障害リスクポテンシャルの算出と評価手法について検討し，評価ランクに対応する適切な対策手法について提案する。

6.2 北海道全域の吹きだまり量分布の推定⁴⁾

6.2.1 調査方法及び調査資料

(1) 調査方法

北海道全域の1kmメッシュ吹きだまり量の推定算出は図6.2.1に示す手法で行った。

1) 北海道の気候区分の検討

冬期間の北海道の気象は，地域毎に多種多様で吹きだまり量に影響を与える気象因子も異なることが想定される。そのため，北海道全域の気象資料を用いて主成分分析による北海道の気候区分を行う。

2) 相関の検討

過去に実施した吹きだまり量観測データや観測地点近傍の気象観測所の気象資料により、吹きだまりに大きく影響する気象因子を抽出する。

3) 重回帰式の作成

「相関の検討」で抽出した気象因子と吹きだまり量の重回帰式を作成する。

4) 気象因子のメッシュ値の算出

得られた「重回帰式」に含まれる気象因子について北海道全域の1 kmのメッシュ値を算出する。方法は気象庁のメッシュ気候値算出手法と同様の多変量解析の一手法であるステップワイズ法によって行う。

5) 吹きだまり量の推定

気象因子の1 kmメッシュ値と重回帰式により、北海道全域の吹きだまり量の1 kmメッシュ値を推定する。

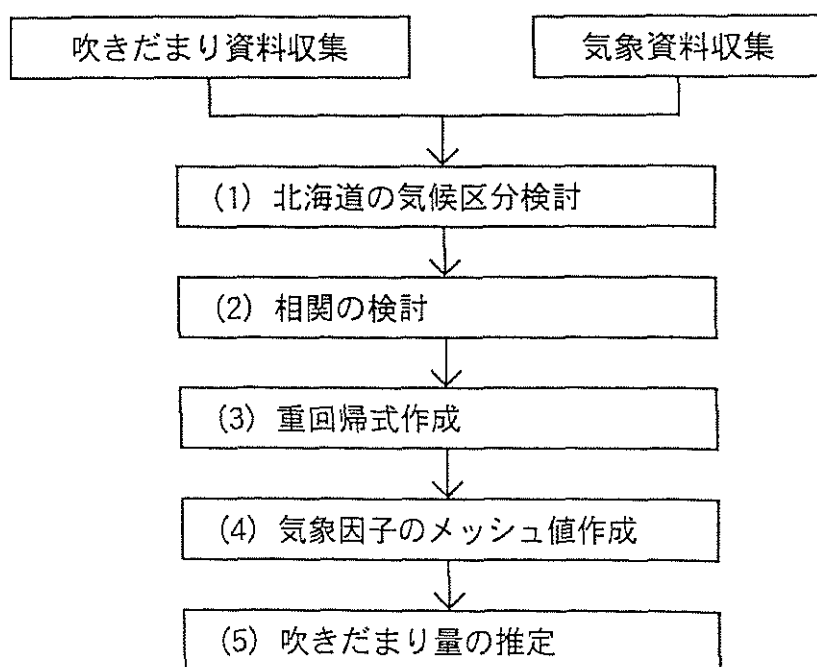


図6.2.1 北海道全域の1kmメッシュ吹きだまり量分布の算出フロー

6.2.2北海道における冬期の気候区分の検討

冬期の北海道の気象は太平洋側と日本海側，それに内陸部と海岸部で大きく異なることから，同じ吹きだまり量でも，寄与する降雪量や強風日数，気温などの気象が異なるものと推測される。そのため，北海道を気象的にほぼ同一とみなせるブロックに分割し，各ブロック毎に吹きだまり量を推定する重回帰式を算出する必要がある。

(1)北海道の気候

気候区分については，福井（1933）¹⁰⁾，関口（1959）¹¹⁾，鈴木（1966）¹²⁾などの区分があり，それぞれ特色があって比較的よく利用されてきた。北海道の気候区は周囲を取り囲む海洋と地形の関係から一般的に次のように分類されている。

天塩山地から大雪山系，日高山脈を南北に連ねた脊梁山脈によって，北海道を南北のラインで東西に分割する。さらに，知床山系から阿寒山系，大雪山系をほぼ東西に結ぶラインで南北に分ける。このように北海道の気候区を図6.2.3のように，日本海側，オホーツク海側，太平洋側東部，太平洋側西部に分け

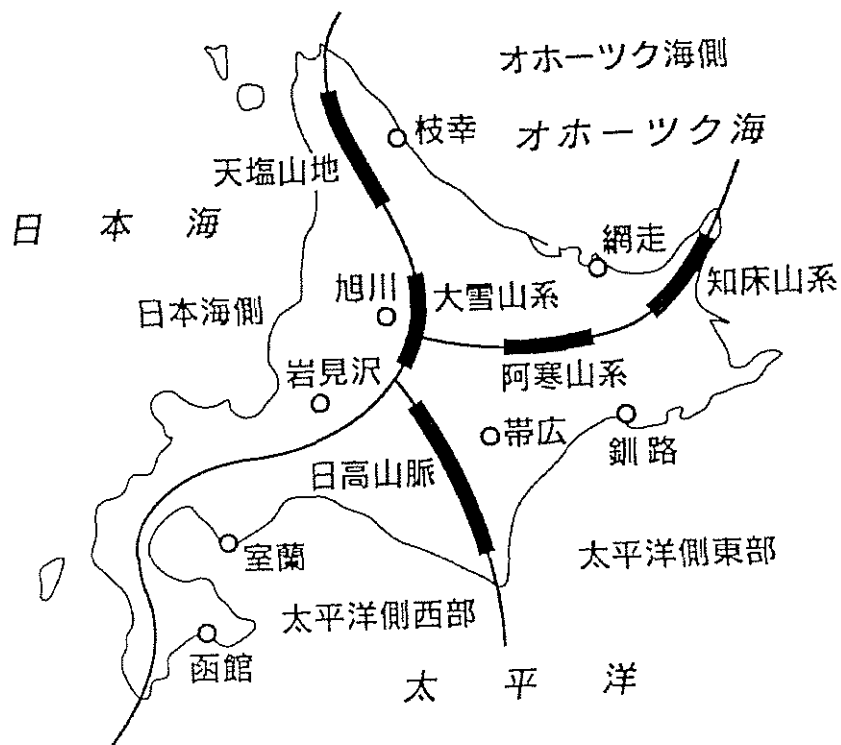


図6.2.3 北海道の気候区分(堀口¹¹⁾)

て用いられることが多い¹³⁾。この気候区分は経験的に行った区分であり、おもに気温や降水量を年平均（合計）の観点から分類した結果が多い。

しかし、吹きだまりは風で運ばれる飛雪が堆積する現象であり、一般的に飛雪雪粒子の付着力は温度が高くなるほど大きいことから、吹きだまり量は冬期の風速や気温に大きく影響されるものと考えられる。これまでの気候区分では冬期の気象をあまり考慮していないため、降積雪や風速を考慮した気候区分を検討する必要がある。

(2) 北海道の冬期気候特性の把握

冬期の気候特性の把握を統計解析手法の一つである主成分分析¹⁴⁾によって行う。主成分分析に用いた気象データは12月～3月の月平均気温、最大風速、累計降雪深の1981年～1997の累年平均値である。

主成分分析の結果を図6.2.4、図6.2.5、表6.2.1に示す。第1主成分についてみると、寄与率が54.3%、固有値が1.6%である。各主成分の係数は平均気温、最大風速が正、累計降雪深が負で絶対値が大きいのは平均気温、最大風速である。このことは、気温が高く、風速が大きく、降雪量が少ない地域ほど主成分得点が正で、絶対値が大きいことを示している。

図6.2.4の各地点の主成分得点をみると海岸地域は正で、とくに風速が大きい岬や半島部で主成分得点が1以上になっている。また、内陸地域の主成分得点は負で、その絶対値は累計降雪深が200cm以上、気温が-6℃以下と積雪が多く、気温は低い風速は10m/s以下の地域で大きくなっている。このことは第1主成分は、海岸域と内陸域の気候特性を示していると考えられる。

第2主成分は寄与率が29.9%、第1主成分と併せた累積寄与率が84.1%となり、気候特性の約84%が第2主成分までで表現できることを意味している。第1主成分に比べると寄与率は約1/2で固有値も小さい。各主成分の係数は全て正であるが、変量の中で累計降雪深の寄与が大きく、平均気温や風速の寄与が小さいことが特徴である。

図6.2.5に示す主成分得点では、日本海側が正で太平洋側が負である。主成分得点は累計降雪深が300cmを越える道北の内陸部で大きく、100～150cm以下の道東地方で小さくなっていることから、第2主成分は太平洋側と日本海側の気候特性を表現していると考えられる。



图6.2.4 第1主成分分析结果

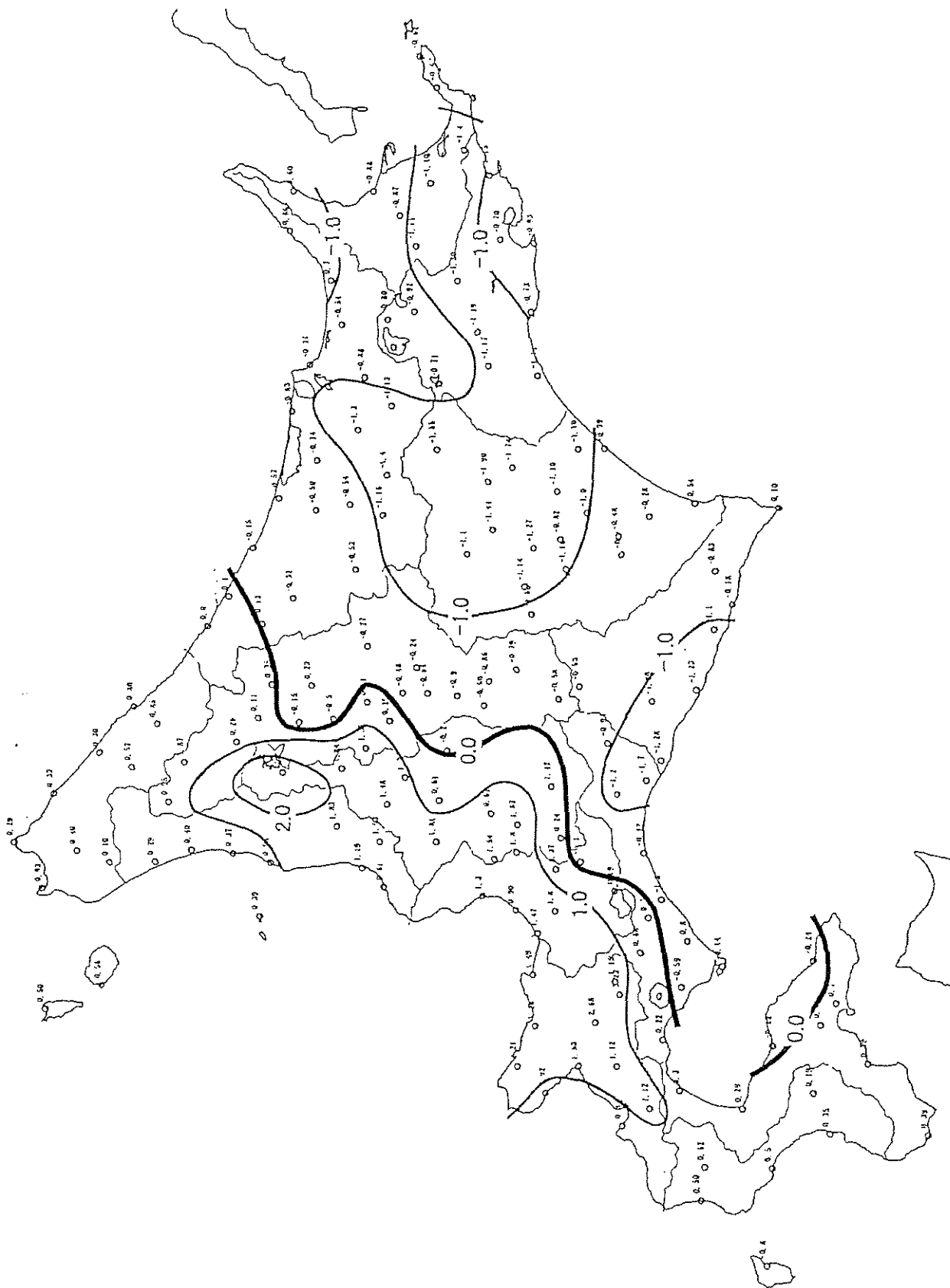


圖6.2.5 第2主成分分析結果

表6.2.1 主成分分析結果の比較

	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
平均気温	0.65	0.29	0.70
最大風速	0.66	0.25	-0.71
累計降雪深	-0.38	0.93	-0.03
固有値	1.63	0.90	0.48
寄与率	54.3	29.9	15.8
累積寄与率	54.3	84.2	100.0

(3)北海道の冬期の気候区分

北海道における冬期の気候区分については、これまでの気候区分と前項の主成分分析結果などを考慮して図6.2.6で示すように3領域に分類した。

主成分分析結果による第1主成分は、海岸域と内陸域の気候特性を示している。海岸域の中でも日本海側地域は吹きだまり量の多い地域であることから、第1主成分の0ラインを基本にして領域Ⅰを設定した。道南及び太平洋側領域は第1主成分の領域に入る。また、第2主成分の0ライン胆振地方を通っている。これらの領域の中で道南地方は気温が高く、道東の太平洋側は気温が低く降雪も少ない地域であり、吹きだまり量に影響を与える気温や降雪量に違いのあることが図6.2.7からわかる。そこで、第2成分の結果を考慮して、この領域を2つに分割した。道東の太平洋側を含めた残りの領域は、オホーツク海側、及び、道東地方の2つへ分類することも検討したが、第1主成分、第2主成分の結果などを考慮して一つの領域として、領域Ⅲとした。

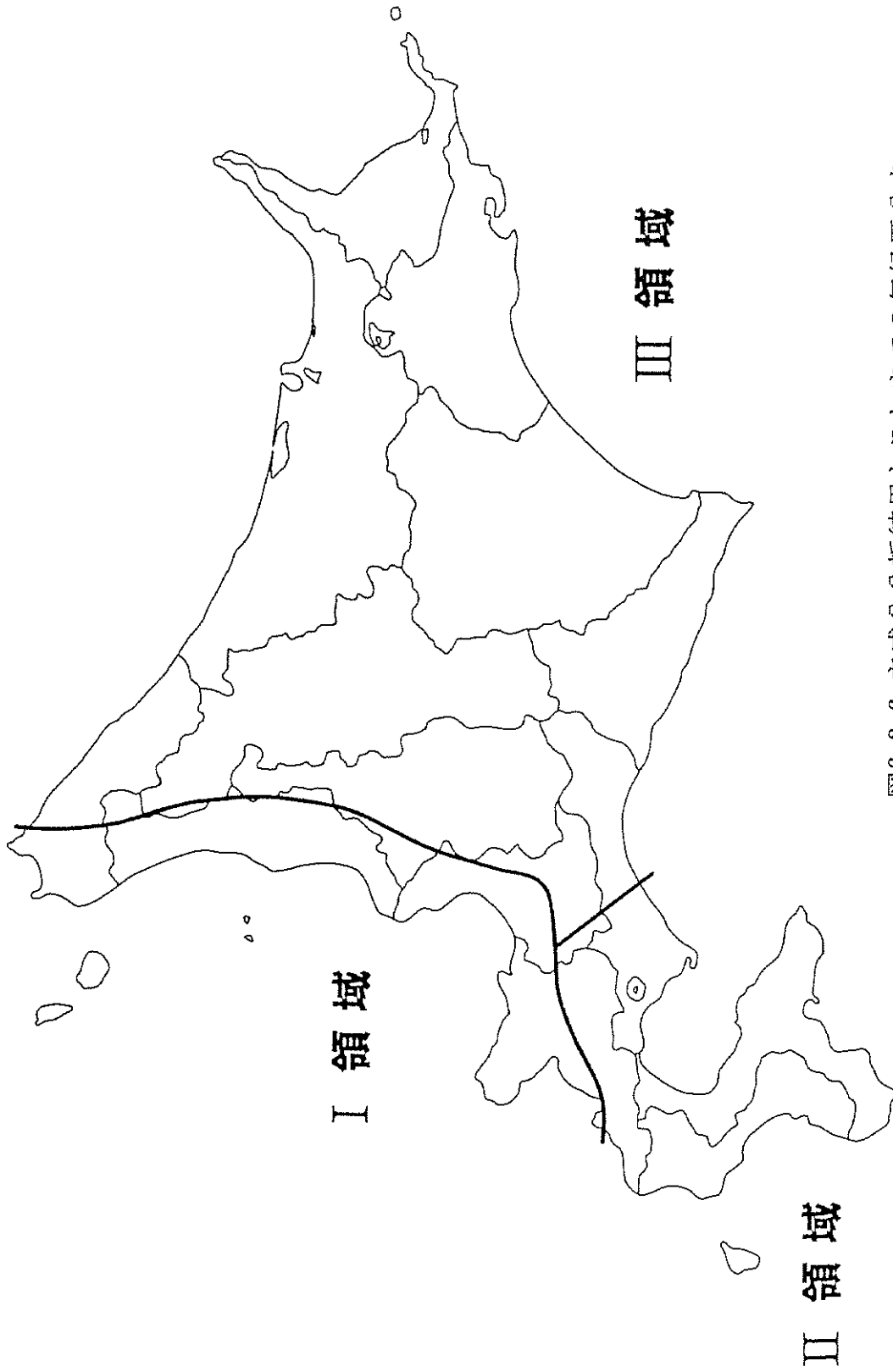


図6.2.6 主成分分析結果とこれまでの気候区分を
考慮した北海道の冬の気候区分

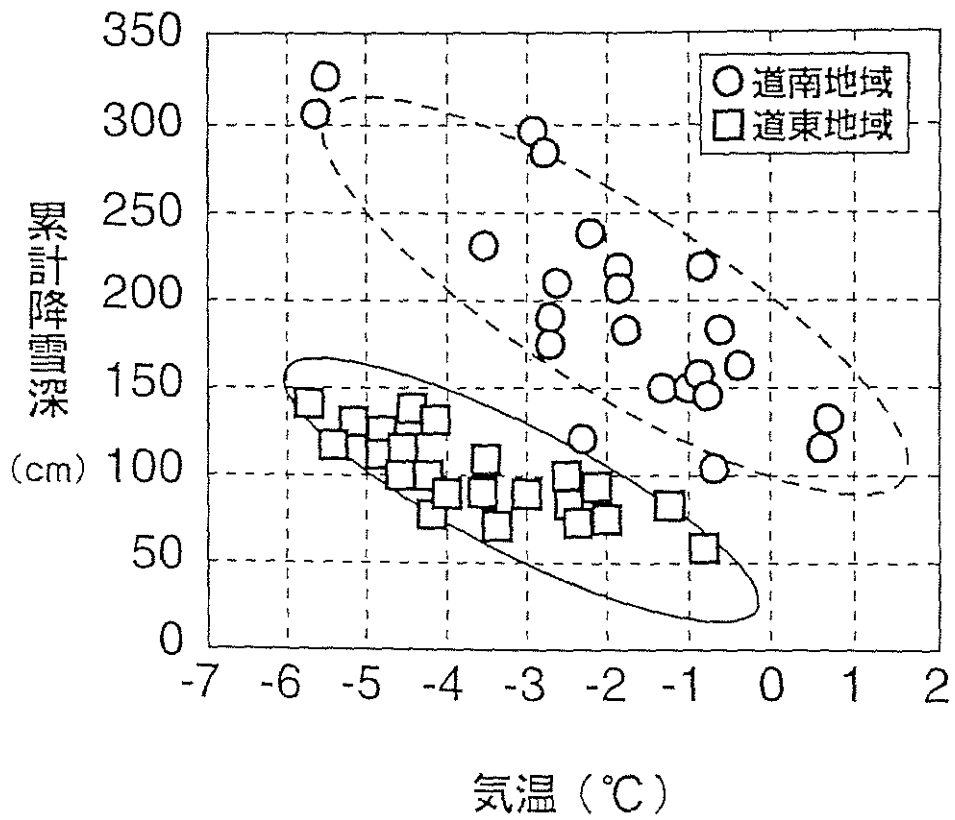


図6.2.7 太平洋側アメダス地点の気温と累計降雪深の関係を道南、道東地域での比較

6.2.3 吹きだまり量と気象

吹きだまり量と気象の関係を検討するために、昨年度までの解析結果^{15, 16)}から、気象統計値（冬期間の最大平均風速，平均気温）を採用する。気温や風速の出現回数（毎時値）が吹きだまり量に影響を及ぼすことが明らかであることから、ここでは、気温と風の出現回数に着目する。

なお、本論文で対象とする吹きだまり量は、吹きだめ柵，または，吹き止め柵（柵高5.0m～3.5m）を設置した場合，その周囲に形成される吹きだまりで，防雪柵に直交方向の幅1mの吹きだまり量のことである。

(1) 吹きだまり量と気温の関係

毎時の気温が -10°C 以下の一冬の出現回数（以下，出現回数と略す）と吹きだまり量の関係を示したのが図6.2.8である。領域を考慮しなければ，出現回数の増加に伴って吹きだまり量の減少傾向が見受けられるが，両者に明瞭な傾向を見いだすことができない。

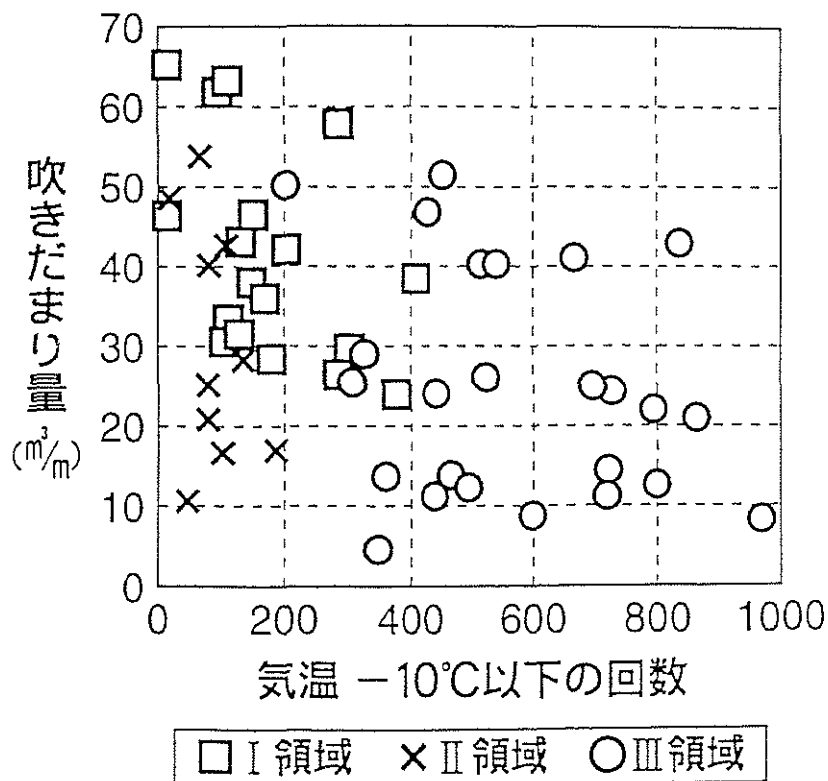


図6.2.8 吹きだまりを観測した年の冬期間で，毎時の気温が -10°C 以下の出現回数と吹きだまり量の関係

また、気温が0°C以下と、-5°C以下の出現回数と吹きだまり量の関係では同様の傾向を示している。

領域別でみると、I、III領域は出現回数が増えると吹きだまり量の減少傾向が見えるが、II領域について明瞭な関係がみられない。同じ吹きだまり量でもI・II領域は、III領域に比べて少ない出現回数で同程度の吹きだまり量になっている。このことは気温以外の要因も関与していることが示唆される。

2)吹きだまり量と風速の関係

風速が5 m/s以上の出現回数と吹きだまり量の関係を図6.2.9にみると、出現回数の増加に伴い吹きだまり量も増加するが、I、II領域の明確な区別は難しい。しかし、III領域は他の領域に比べ出現回数が少ないにもかかわらず、吹きだまり量はI領域と同程度である。III領域は気温の低い領域で、雪粒子の付着率がI、II領域に比べ小さいために、弱い風速でも雪粒子が移動するために吹きだまり量が多くなることを示している。

図6.2.10は、最大風速と吹きだまり量の関係を示したものである。この結果からも風速が大きくなると吹きだまり量も増加する傾向がみられるものの、各領域毎の特徴をみいだすことは難しい。

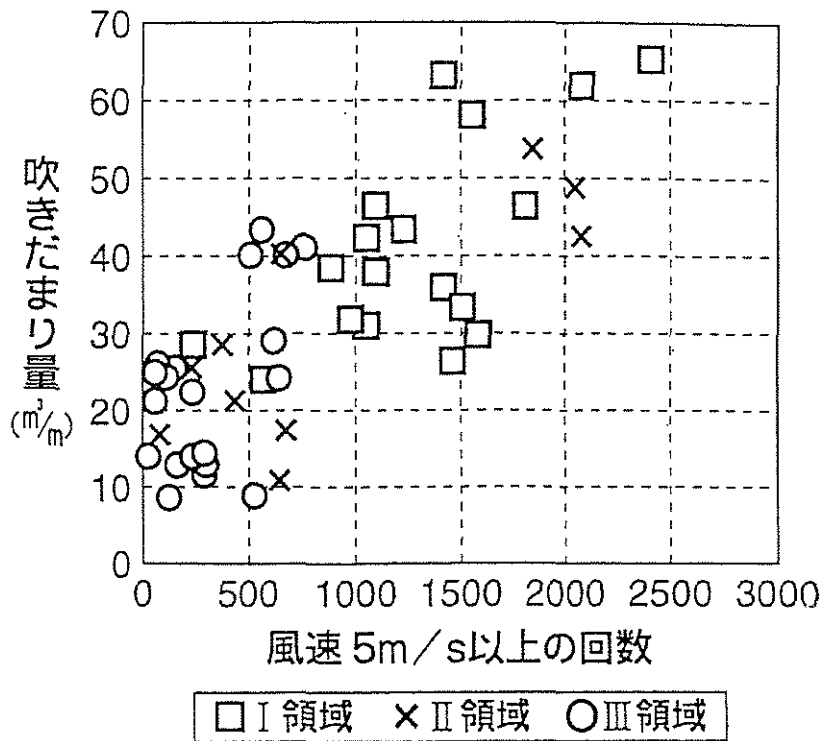


図6.2.9 吹きだまりを観測した冬期間で、風速が5m/s以上の出現回数と吹きだまり量との関係

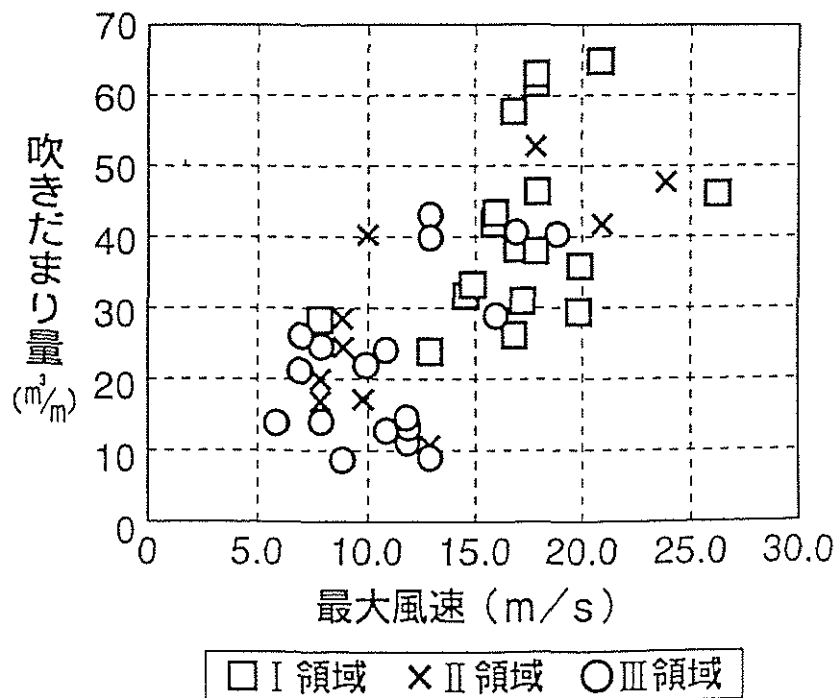


図6.2.10 吹きだまりを観測した冬期間で、最大風速と吹きだまり量の関係

(3)吹きだまり量推定式の検討

上述の6.2.3(1)，(2)項で気温，風速と吹きだまり量の関係について調べた結果，気温は風速に比べて明瞭な関係をみいだせなかった。しかし，弱い風速でも気温の低下にともなって吹雪量が多くなり，また，気温が0℃以上の高い気温であっても風速が大きければ吹雪が発生するという観測結果¹¹⁾が報告されている。そこで竹内ら¹²⁾の研究による地吹雪発生条件の気温と風速の関係から，気温と風速を表6.2.2のように組み合わせて吹きだまり量との関係を求めた。

表6.2.2の条件を満たす回数を求め，吹きだまり量との関係を図6.2.11に，また表6.2.3に一時回帰式と相関式と相関係数を示す。

各領域で算出した相関係数はII領域で最も良く，一次回帰式の傾きはIII領域が大きい。III領域は冬期間の気温が他の領域に比べて低く，雪粒子の焼結現象が起こりにくいために，風速の弱い場合でも吹きだまりが発生しやすいことを示している。また，II領域は3領域の中でも傾きが最も小さく，III領域とは反対に気温が比較的高いために雪粒子の焼結や昇華などの現象が発生するためと考えられる。

表6.2.2 吹きだまり量との関係を求める風速と気温の組み合わせ

気 温	風 速
0℃以上	8m/s以上
0～-5℃	7m/s以上
-5℃以下	5m/s以上

吹きだまりは降・積雪現象が伴って発生するために，累計降雪深との相関¹⁾を求めたところ良い結果が得られたことから，表6.2.2に示した出現回数と累計降雪深，それに吹きだまり量の関係について重回帰分析を行って表6.2.4に結果を示した。

得られた重回帰式の相関係数は，表6.2.3の結果に比べて各領域ともに相関係数が良くなっていることから，表6.2.4の3つの重回帰式を用いて北海道全域の1kmメッシュ吹きだまり量分布を推定する。

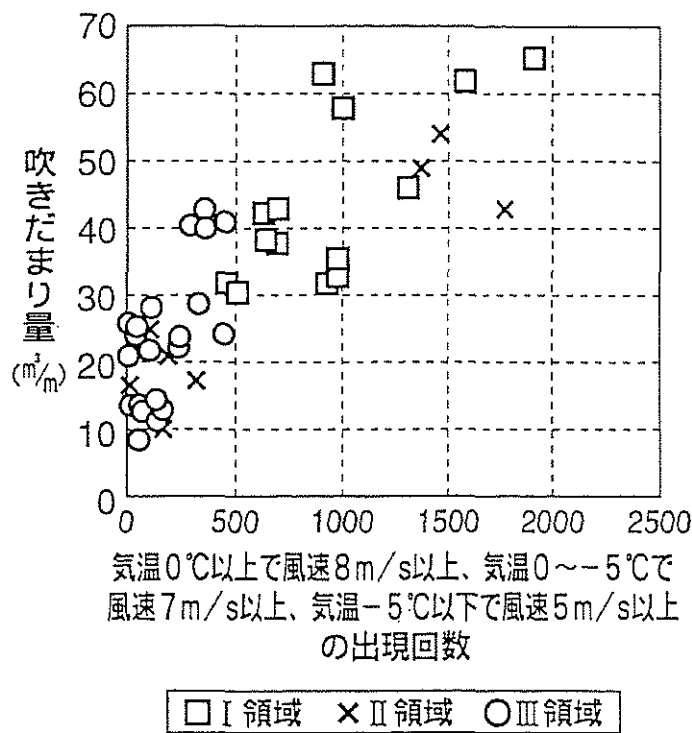


図6.2.11 表6.2.2 気象条件を満たす出現回数と吹きだまり量の関係

表6.2.3 吹きだまり量と気象（表6.2.2の組み合わせ）
との関係による領域の一次回帰式と相関係数

領域	回帰式	相関係数
I領域	$Y=0.022X+22.1$	0.80
II領域	$Y=0.018X+19.7$	0.82
III領域	$Y=0.046X+16.1$	0.65

Y：吹きだまり量 (m^3/m)

X：表6.2.2の組み合わせ

表6.2.4 吹きだまり量と累計降雪量を考慮した気象との関係による
領域別の重回帰分析結果

領域	重回帰式	相関係数 標準誤差
I領域	$Y=0.024X_1+0.017X_2+16.17$	0.84 5.98
II領域	$Y=0.014X_1+0.022X_2+21.13$	0.88 5.39
III領域	$Y=0.048X_1+5.8 \times 10^{-4}X_2+15.66$	0.69 7.69

Y：吹きだまり量 (m^3/m)

X₁：表6.2.2の出現回数

X₂：累計降雪深 (cm)

6.2.4 吹きだまり量の1kmメッシュ値の算出

(1) 気候値の算出

気候値の算出は、各年度の資料が正規分布すると仮定した標準正規分布の確率密度関数に基づいて、正規確率から対応する値を求めて気候値とした。気候値として表6.2.5に示す7つの気候値を設定した。表には気象庁で採用している解説用階級区分との対応を示す。この表に基づいて観測地点の気候値X1, X2の平年値, 90%値(10年に一度発生する値), 97%値(30年に1度の割合で発生する値)を求めた。

表6.2.5 気候指標値とその意味づけ(気象庁)

気候指標値	気候指標値の意味	気象庁の解説用区分	
3%値	30年に一度の気候値(少年)	かなり少ない	異常気象値
10%値	10年に一度の気候値(少年)		
30%値	3年に一度の気候値(少年)	平均並み	
50%値	平年値(平均値)		
70%値	3年に一度の気候値(多年)		
90%値	10年に一度の気候値(多年)	かなり多い	異常気象値
97%値	30年に一度の気候値(多年)		

(2)吹きだまり量の1kmメッシュ値の算出

気象要素が周辺地形の影響を強く受けることに着目して、観測地点の気候値（X1, X2）を目的変数とし、国土数値情報（気象庁）¹⁸⁾の地形に関するメッシュデータから作成した様々な地形因子を説明変数とする重回帰式（1）式を多変量解析（ステップ・ワイズ法）により求め、この式により任意未観測地点の気候値（X1, X2）を推定した¹⁹⁾。

$$X = \sum A_j \cdot OF_j + C \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 X : 気象因子
OF : 地形因子
A : 係数
C : 定数
j : 地形因子番号

表6.2.4の吹きだまり量を求める重回帰式と累計降雪深と風と気温の出現回数
の1kmメッシュ値を用いて、北海道全域の1kmの吹きだまりメッシュ値を算出
した。さらに、ランダムに散らばった吹きだまり量分布を変分法^{20, 21)}を用いて
補正を行い、30年確率1kmメッシュの全道吹きだまり量分布を求めた（図6.2.1
2）。

30年確率1kmメッシュ吹きだまり量とは、1km四方内のある地点に吹きだめ柵、
または、吹き止め柵（柵高5.0m～3.5m）を設置した場合、その周囲に形成され
る吹きだまりで、防雪柵に直交方向の幅1mの30年確率推定吹きだまり量のこ
とである。得られた30年確率1kmメッシュ吹きだまり量は、吹雪対策マニュアル
（案）²²⁾に示される手順にしたがい、その地点の30年確率最大積雪深との関係
から、吹きだめ柵、吹き止め柵の適正規模（柵高）が決められる。

全道吹き溜まり量分布 (30年確率値)

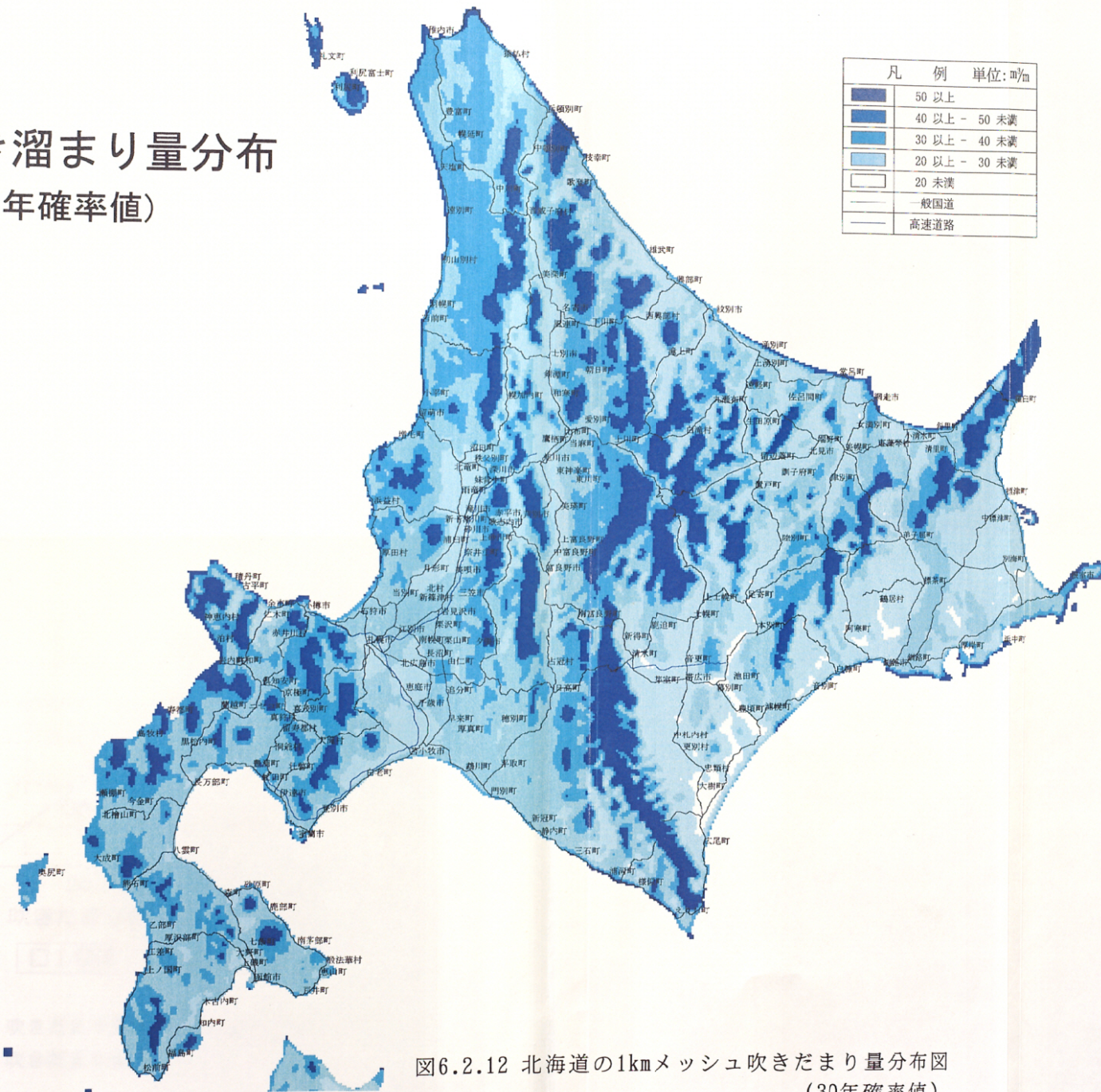


図6.2.12 北海道の1kmメッシュ吹きだまり量分布図
(30年確率値)

6.2.5 吹きだまり量分布の検証

推定算出した1kmメッシュ吹きだまり量を検証するために、現地で観測した吹きだまり量との関係を図6.2.13に比較した。

気候区分の領域を考慮しないで、推定1kmメッシュ吹きだまり量と観測値の相関をみると係数は0.89、1次回帰式の傾きは1.13で両者は良く一致している。とくに観測値が20m³以上での相関係数が0.94、1次回帰式の傾きが1.19の結果が得られ、推定吹きだまり量は現地の結果をよく反映していることを示している。

北海道全域の1kmメッシュ30年確率吹きだまり量の推定値から、視程障害対策施設の規模の決定や、道路維持・管理を行ううえで重要となる路線上の1km単位の吹きだまり量の把握が可能となった。つぎに、視程障害対策施設を整備していくための優先順位と、その地域に適切な視程障害対策の検討が重要になるが、その手法について次に検討する。

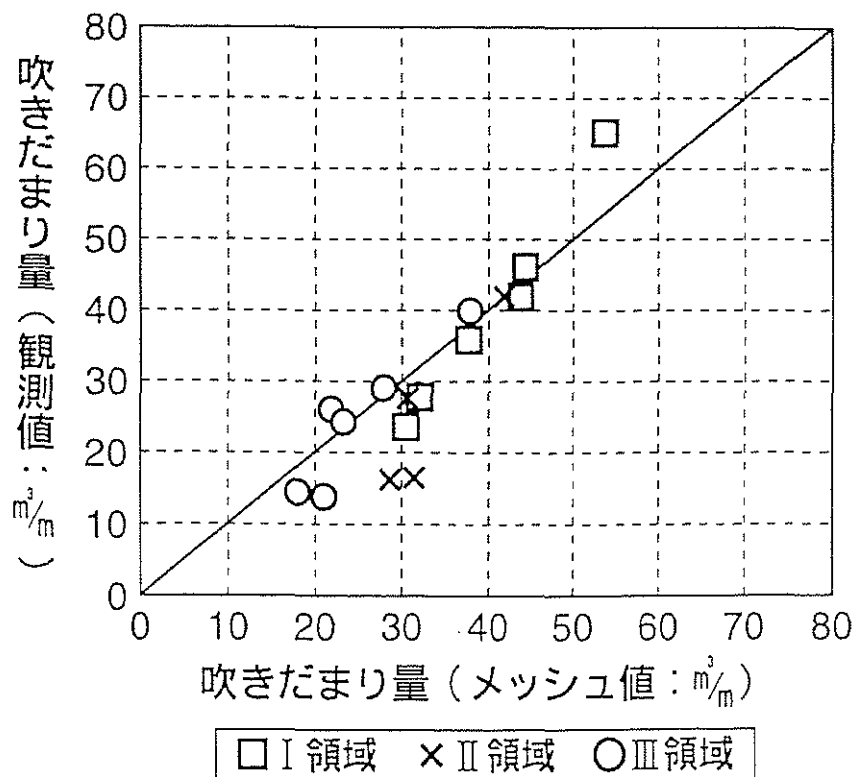


図6.2.13 吹きだまり量の実測値と推定1kmメッシュ吹きだまり量との比較

6.3 視程障害リスクポテンシャルの提案

視程障害リスクポテンシャルとは、吹雪の視程障害による交通障害などの危険性度合を言う。第4章で明らかにしたように、視程がおよそ150m以下の気象条件下で通行規制が行われる頻度が高くなる。また、同じ気象条件では、道路付帯施設の視認が極めて困難な状況に陥ることが多い。このため車間距離を狭めて前走車に接近する車両が多くなり、多重衝突事故の危険性が高まるなど極めて危険な走行状態に陥ることが明らかになっている。このため150m以下の視程障害時には視程障害リスクポテンシャル（以下、リスクポテンシャルと略す）が急激に高まるものと考えられることから、この視程値以下の冬期間の出現日数を次の手法で推定算出した。

6.3.1 視程推定値の算出手法²³⁾

竹内²⁴⁾は、視程 Vis と飛雪流量 M_f の関係を求め次式に示した。

$$\log(Vis) = -0.76 \log(M_f) + 2.76 \quad \dots (2)$$

飛雪流量 M_f は風速と飛雪空間濃度の積であるが、飛雪空間濃度をアメダス観測要素から推定できれば、視程の推算も可能になる。以下に推定方法を述べる。

(1) 飛雪空間濃度の推定

松澤ら²⁵⁾は、飛雪の落下速度を一定とした竹内ら²⁶⁾の浮遊層における飛雪空間濃度を求める式を改良し、降雪粒子の落下速度を w_1 、地吹雪粒子の落下速度を w_0 として、浮遊層における降雪を伴う吹雪時の飛雪空間濃度を次式で示した。

$$N(z) = \frac{P}{w_f} + \left(N_l - \frac{P}{w_f} \right) \left(\frac{z}{z_l} \right)^{-\frac{w_1}{\kappa U'}} \quad \text{for } z > z_l \quad \dots (3)$$

ここで、 Z ：高さ、 N ：飛雪空間濃度、 P ：降雪強度、 N_l ：跳躍層上端での飛雪空間濃度、 Z_l ：跳躍層の高さ(=0.1m)、 κ ：カルマン定数、 U' ：摩擦風速である。

一方、吹雪量を Q とし、吹雪量のうち浮遊層が占める割合を A とすると、 $P=0$ の場合について以下の式が成り立つ。

$$(\text{浮遊層の吹雪量}) = \int_{z_i}^{z_{top}} U(z)N(z)dz = A Q \quad \dots (4)$$

ここで、 U ：風速、 z_{top} ：浮遊層の高さ（=0.1m）である。

$U(z)$ の分布に以下の対数分布を用いる。

$$U(z) = \frac{\kappa U^*}{\ln(z/z_0)} \quad \dots (5)$$

ここで、 z_0 ：粗度（雪面=0.0001m）である。

(3)～(5)式において、未知の変数は N_i 、 z_0 、 z_i 、 w 、 A 、 Q 、 z_{top} であるが、ここでは $z_0=0.0001$ 、 $z_i=0.1\text{m}$ 、 $w_i=0.4\text{m/s}$ 、 $w_b=0.2\text{m/s}$ とした。吹雪量 Q については、風速から推定するいくつかの経験式が示されているが、ここではTakeuchi²¹⁾の $Q=0.2u_i^{1.7}$ （ $z_{top}=2.0\text{m}$ 、 u_i は地上1m風速）を用いた。 A については竹内²¹⁾が吹雪量のうち浮遊層が占める割合の最大値を風速の一次式で示しているが、安全側の配慮からここでは $A=1.0$ とした。

以上から、(4)式を解くことにより N_i が求まり、さらに(3)式から飛雪空間濃度を求めることができる。なお、跳躍層の飛雪空間濃度は層内で一様とし、 $Q/(0.1U_{i=0.1})$ とした。

なお、跳躍層上端での飛雪空間濃度 N_i は表6.3.1の地吹雪発生条件²¹⁾を満たす場合にのみ計算し、満たさなかった場合 $N_i=0$ とした。また気温 0°C 以上の場合、降水量の観測値に関わらず降雪強度は0とした。

表6.3.1 採用した地吹雪発生条件（雪氷調査法²⁹⁾による）

	風速5m/s以下	風速5～6m/s	風速6m/s以上
気温0℃以上	×	×	×
気温0～-5℃	×	×	地吹雪発生
気温-5℃以下	×	地吹雪発生	地吹雪発生

(2) 雪堤の影響

道路上は完全に除雪されているものと仮定し、ドライバーの視線の高さを1.2mとする。雪堤の発達による視程悪化の影響を考慮するため、ドライバーの視線は雪堤の高さだけ雪面に近づくのと同様であると仮定した。また、視線が跳躍層の高さ以下である場合、視線上の飛雪空間濃度は跳躍層のものをを用いた。ただし、跳躍層内では飛雪空間濃度が一定であるとし、安全側の配慮から視線が浮遊層内にある場合は全吹雪粒子は浮遊層内にあるとした。雪堤の高さは積雪深SDと等しいとすると、ドライバーの視線での飛雪流量は以下のように表される。

$$Mf = \begin{cases} U(1.2 - SD) \cdot N(1.2 - SD) & \text{for } SD < 1.1 \\ Q / 0.1 & \text{for } SD \geq 1.1 \end{cases} \quad \dots (6)$$

(3) 統計方法

以上の方法によって、全道のアメダス観測点のうち、有線ロボット積雪深計を有する全77点について、毎時の風速・降水量・積雪深から毎時の視程を推定した。さらに1日24時間のデータに視程150m以下の値が存在する日を抽出し、1寒候期あたりの視程障害発生日数とした。12月～3月までの121日のうち欠測が1割以上を占める年を除き、視程150m以下の出現平均日数と30年確率出現日

数を求めた。

30年確率出現日数については、視程150m以下の出現日数は正規分布に従うものと仮定し、観測点毎の出現日数の平均値と標準偏差から作られた正規分布から1/30確率値を算出することで求めた。つまり、以下の(7)式を満たすtを30年確率出現日数とした。

$$\int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{30} \quad \dots (7)$$

ただし、 σ 、 μ は視程150m以下出現日数の分散および平均値である。

以上の手順で算出された年間出現日数および30年確率出現日数を121日で割ることで、視程150m以下の出現確率を求めた。

6.3.2 視程の推定算出手法の検証

視程の推定算出手法を検証する目的で、実測視程と推定視程の関係を示したのが図6.3.1である。観測データは、石狩吹雪実験場の試験道路の中央分離帯に設置した透過型視程計による観測結果である。

視程は10分平均値で比較した。互いの相関はリスクポテンシャルが急激に高まる視程150m以下の相関係数は0.68である。全体で0.72と良い相関関係が得られ、視程算出手法の妥当性を検証できた。

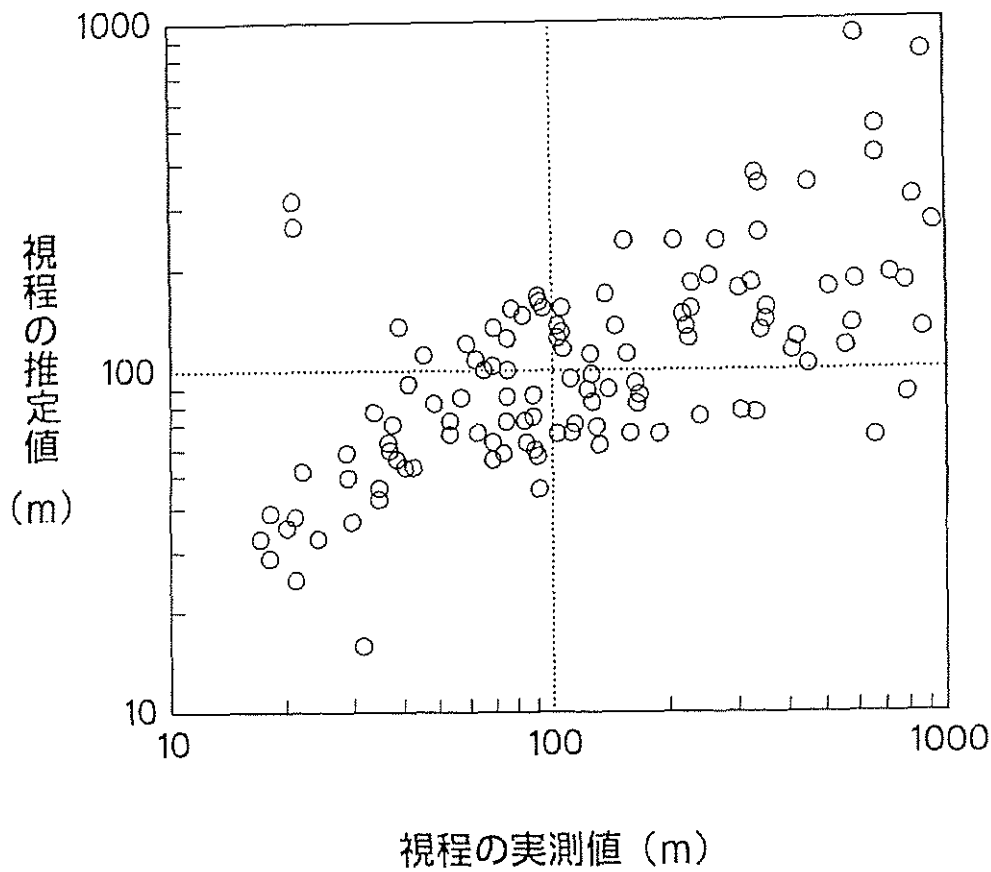


図6.3.1 視程の実測値と推定値の比較

6.3.3 リスクポテンシャル分布と未観測地点の推定

図6.3.2, 図6.3.3は, 上述の算出手法で求めた30年確率値と平年確率値のリスクポテンシャル分布である。北海道のアメダス全77地点のデータに基づいて推定算出した全道分布である。石狩湾周辺や留萌周辺を含む日本海側, 道北地域で出現率の高い値が目立ち, 視程障害対策の実施にあたって優先度の高い地域であることが伺える。視程障害対策の設計において, 高規格道路や主要幹線道路で高いレベルの吹雪対策が求められることから30年確率値の結果を参考にし, その他の一般道路に対しては, 平年確率値か, 10年確率値によって設計に関する検討を行うことが適当と考えられる。

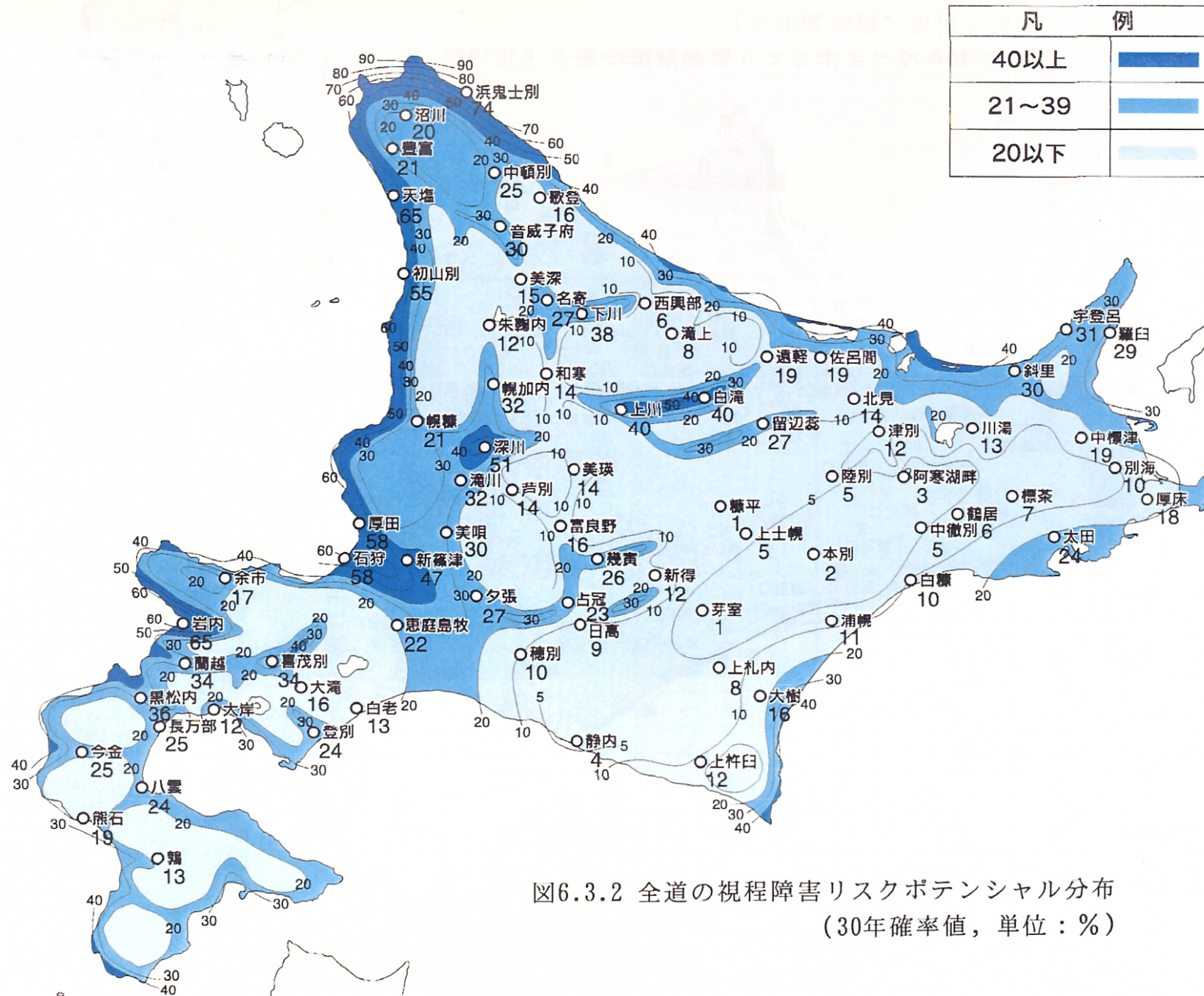

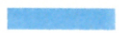



図6.3.2 全道の視程障害リスクポテンシャル分布
(30年確率値, 単位: %)

凡 例	
40以上	
21~39	
20以下	

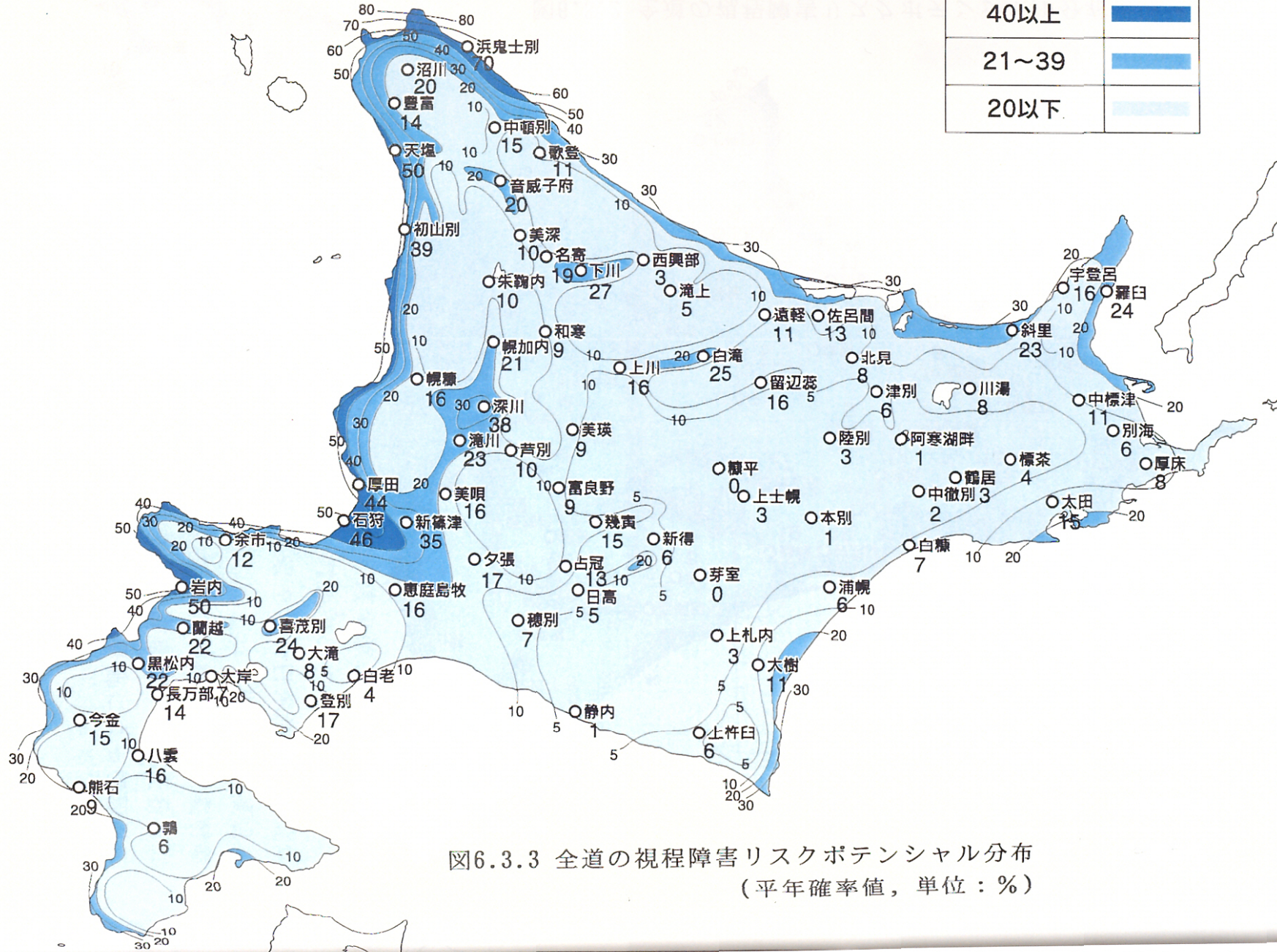


図6.3.3 全道の視程障害リスクポテンシャル分布
(平年確率値, 単位: %)

これらの検討にあたっては、より狭い地域毎のリスクポテンシャル値が必要になる。そこで、前項で推定したアメダス観測地点の1kmメッシュ吹きだまり量（30年確率）と、リスクポテンシャル（30年確率）の関係を示したのが図6.3.4である。吹きだまり量の少ない範囲ではバラツキが大きく相関はみられないが、吹きだまり量の多い範囲では多少バラつくが比較的良い相関関係がみられる。この関係によって未観測地点のリスクポテンシャル値を、1kmメッシュ30年確率吹きだまり量からほぼ推定することができる。ただ、リスクポテンシャル値の高い範囲に限定される。

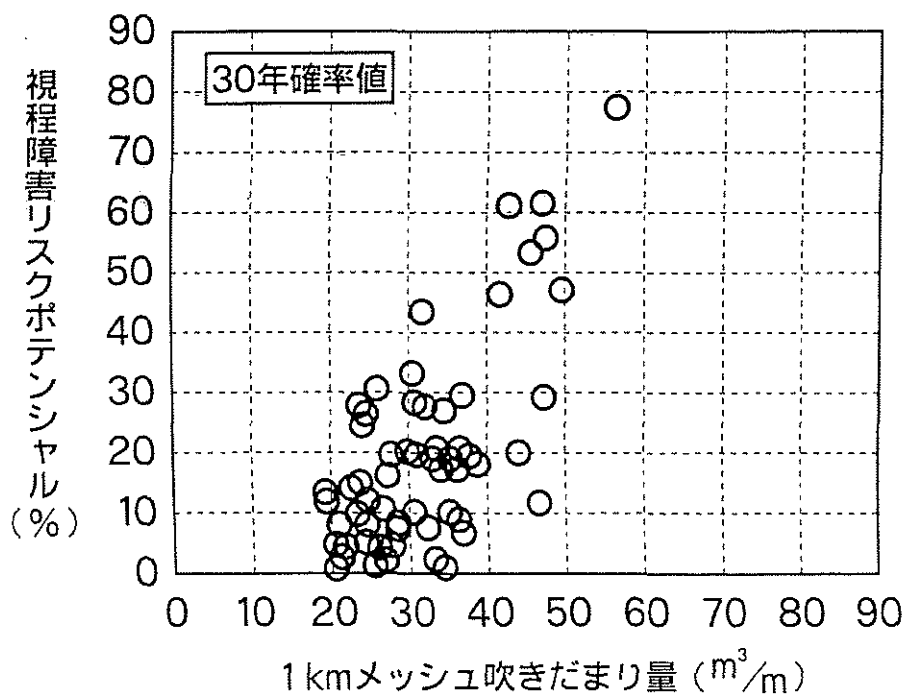


図6.3.4 1kmメッシュ30年確率吹きだまり量と30年確率リスクポテンシャルの関係

6.3.4 リスクポテンシャルの評価と視程障害対策手法の提案

視程障害リスクポテンシャルの評価と、それに対応する対策手法は現時点で確立されていないことから次のように評価する。

(1) リスクポテンシャルの評価

吹雪による視程障害や交通障害の多発地帯は、吹雪対策の施設整備を充実させるために施設の設置箇所数とその延べ延長率が、他の地域に比較して大きな値を示し、リスクポテンシャル値も増大するものと考えられる。

リスクポテンシャルを評価するために、まず、各建設部管内毎の防雪柵、防雪林による対策施設の整備延長を求めた。しかし、各建設部が管理する一般国道の総延長が異なるので、このままでは比較・評価ができない。そこで各々の施設整備延長率³¹⁾を計算し、これと各建設部管内のリスクポテンシャル平均値との関係を求めて図6.3.5に示した。

両者の相関傾向がはっきりみられる。冬期気象条件の厳しい道北地方、日本海側地方で施設整備率の高いのが目立ち、しかも、リスクポテンシャルも高い値を示している。この関係を考慮してリスクポテンシャル値を表6.3.2のように評価した。

リスクポテンシャル値の高い地域では概ね40(%)以上の範囲にプロットされているので、これ以上の地域を極めて高い地域としてAランクとした。道南・道東の太平洋側ではリスクポテンシャル値が20(%)以下であることから、中程度・低い地域としてCランクとした。その中間の21~39(%)の範囲を高い地域とし、Bランクとして全体を3ランクに区分した。これにより地域毎のランク差が容易に理解できるように図6.3.2, 図6.3.3にそれぞれ青色の濃淡差で違いを示し、全道分布を示した。

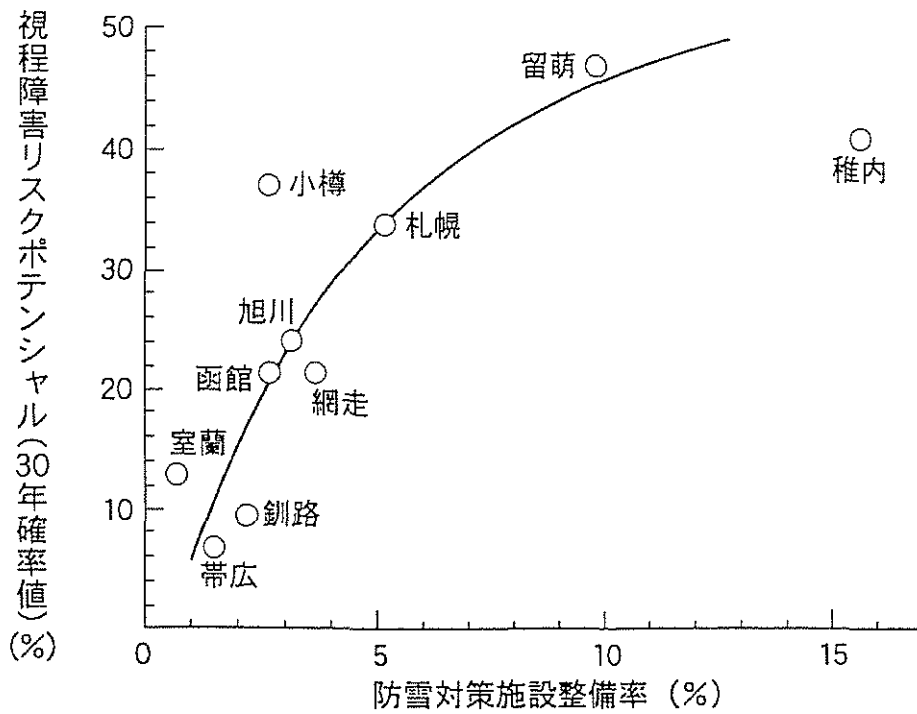


図6.3.5 防雪対策施設の整備延長率と視程障害リスクポテンシャルとの関係（各建設部管内，30年確率値）

表6.3.2 視程障害リスクポテンシャルの評価

視程障害リスクポテンシャル(%) (30年確率値)	評 価	
40以上	A	極めて高い地域
21～39	B	高い地域
20以下	C	中程度・低い地域

(2) 視程障害対策手法の提案

リスクポテンシャル値の評価ランクに対応した視程障害対策手法を表6.3.4に具体的に提案した。

1)Aランクでは、強い視程障害が多発し吹雪量も増大するため防雪機能の大きい施設で対応する必要がある。そのため、①2連防雪柵か高い防雪柵、②広林帯防雪林、③防雪柵と高機能視線誘導標の複合化、による対策を検討する。この場合の視線誘導標は吹雪・降雪による視程障害を考慮した設置間隔とする。

2)Bランクでは、一般的にAランク相当の対策規模は必要はないが、それに準じる対策手法を検討する。冬期間の吹雪量は比較的少ないので、①一般的な防雪柵、②中林帯防雪林、③視程障害を考慮した設置間隔による高機能視線誘導標、による対策を考える。しかし、地形や気象条件、沿道環境によってはAランクと同等の対策を検討する。

3)Cランクでは、強い視程障害の発生頻度は小さいものの、基本的な対策はA・Bランクと同様とする。対策は、①低い防雪柵、②狭林帯防雪林、③高機能機能視線誘導標を基本に検討する。高機能視線誘導標の設置間隔は吹雪・降雪による視程障害を考慮する必要はなく、全国一律で定めている「視線誘導標設置基準・同解説」に示す間隔での設置を基本とする。また、その地域の評価がCランクであっても地形や気象条件、沿道環境によって局所的にAランク、Bランク相当の対策を検討する必要がある。

表6.3.3 視程障害リスクポテンシャルを考慮した
視程障害対策手法の提案

評 価	視 程 障 害 対 策 の 提 案
A	(a) 高い防雪柵または2連防雪柵 (b) 広林帯防雪林 (c) 高機能視線誘導標と高い防雪柵による複合対策 (高機能視線誘導標は視程障害を考慮した設置間隔とする) (d) 防雪切土
B	(a) 一 般 防 雪 柵 (地形・気象条件などにより高い防雪柵または 2連防雪柵) (b) 中 林 帯 防 雪 林 (地形・気象条件などにより広林帯、狭林帯防雪林) (c) 高機能視線誘導標 (視程障害を考慮した設置間隔とする) (d) 防 雪 切 土 (小規模)
C	(a) 低 い 防 雪 柵 (地形・気象条件により一般防雪柵) (b) 狭 林 帯 防 雪 林 (地形・気象条件などにより中林帯防雪林) (c) 高機能視線誘導標 (設置間隔は、視線誘導標設置基準同解説による)

6.4 まとめ

視程障害と吹きだまりは、新路線計画などにおける検討項目として極めて重要な要素である。このため1kmメッシュ吹きだまり量をアメダスデータを用いて算出し、北海道全域の1kmメッシュ30年確率吹きだまり量分布を求めた。

また、新たに視程障害多発箇所の特定が可能となるリスクポテンシャルを求めて3ランクに評価し、それに対応した適切と考えられる対策手法について提案した。リスクポテンシャルが視程障害対策の検討において極めて重要な指標であることを示した。

北海道全域を対象に推定した吹きだまり量は、1km四方の地形をもとに算出したものである。実際の地形は1kmより小さい起伏や構造物が存在し、吹きだまり量の算出条件とは必ずしも一致しない場合もあり、推定吹きだまり量は1km四方の平均的な地形条件を満たす吹きだまり量であることを考慮する必要がある。リスクポテンシャルについても、アメダス観測地点の少ないデータにもとづいて北海道全域を平均的に推定したため、リスクポテンシャルの評価ランクの低い地域で地形・周辺環境、気象条件によって、リスクポテンシャルが局所的に高い値を示す箇所の存在も考えられる。この点を十分考慮して視程障害対策に関する調査・設計を行う必要がある。

[第6章 参考文献]

- 1)北海道開発局,1990:「道路吹雪対策マニュアル(案),防雪柵編」.3-53.
- 2)石本敬志,1987:吹雪頻度分布図について.土木試験所月報,№.415,42-45.
- 3)(社)日本道路協会,1990:道路防雪便覧.99-144.
- 4)福澤義文,加治屋安彦,小林利章,苔米地 司,2000:北海道全域の吹きだまり量分布の推定.雪氷,62,291-300.
- 5)北海道開発局,1987:「吹きだまり調査報告書」.
- 6)小林大二,油川英明,対馬勝年,木下誠一,1980:雪の堆積論Ⅲ.低温科学,第39号,91-99.
- 7)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1981;防雪柵の性能比較試験.第25回北海道開発局技術研究発表会論文集,39-44.
- 8)開発土木研究所,1990:北海道における吹雪災害の実態と障害予測・対策予測に関する研究報告.
- 9)福澤義文,石本敬志,後藤芳昭,1995:吹き止め防雪柵による視程障害緩和効果.第37回北海道開発局技術研究発表会論文集,151-158.
- 10)福井英一郎,1933:「日本の気候区第2報,地理学評論」.1-300.
- 11)関口武,1959:「日本の気候区分」.東京教育大地理学研究報告,(3),65-78.
- 12)鈴木秀雄他,1966:「日本の気候と気候区,世界地理第2巻,日本」.古今書院,41-62.
- 13)堀口郁夫,1992:「北海道農業における気象情報と先端的利用」,日本農業気象学会北海道支部,28-29.
- 14)田中豊・脇本和昌,1991:「多変量統計解析法」現代数学社,54-99.
- 15)開発土木研究所,1997:「平成8年度視程障害観測解析業務報告書」,84pp.
- 16)開発土木研究所,1998:「平成9年度視程障害観測解析業務報告書」,91pp.
- 17)竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,福澤義文,1989:降雪時の高い地吹雪の発生限界風速,雪氷学会予稿集,252pp.
- 18)気象庁,1988:「気候値メッシュファイル作成調査報告書」.
- 19)正務 章,1989:「気象研究ノート」,第166号,日本気象学会,1-3.
- 20)Ninomiya,K. and. T,Akiyama, 1978: Objective analysis of heavy rainfalls based on radar and gauge measurements J Meteor Soc.Japan, 56, 206-210.
- 21)二宮洗三・秋山孝子,1979:「豪雨監視のためのレーダーおよび雨量計観測網に基づく雨量分布と雨域移動の客観解析」.天気,26,19-26.

- 22)北海道開発局,1990:「道路吹雪対策マニュアル(案),防雪柵編」,3-53.
- 23)開発土木研究所,2000:平成11年度「吹雪対策調査解析業務報告書」,平成12年3月,1-185.
- 24)竹内政夫,1980:吹雪の視程に関する研究.土木試験所報告, No.74,1-31.
- 25)松澤勝・竹内政夫(1998):降雪強度と風速から視程を推定する手法に関する研究(2),日本雪氷学会全国大会予稿集,11pp.
- 26)竹内政夫・松澤勝,1991:吹雪粒子の運動と垂直分布.雪氷,vol.53,309-315.
- 27)M.Takeuchi(1980):Vertical profile and horizontal increase of drift snow transport,Journal of Glaciology, Vol.26,481-492.
- 28)竹内政夫,1995:吹雪の構造と発生機構.ゆき, No.20, 69-74.
- 29)日本雪氷学会北海道支部,1991:雪氷調査法,1-224.
- 30)北海道開発局,1999:道路現況調書.1-289.

第7章 結論

7. 1	結論	-----	127
7. 2	課題と展望	-----	129

第7章 結 論

7.1 結論

吹雪・降雪による視程障害は、道路交通・維持管理のうえで依然として大きな課題である。そのため、さらなる有効な対策が求められている現状において、視程が急変する箇所の実測によって確認し、また、対策施設の規模の決定、危険個所の特定に関わる調査計画に課題がみられるなど、現状における視程障害対策に関しては十分なものとは言い難い。効果的な視程障害対策手法、及び、危険個所の特定をいかにすべきかを新たな視点から検討しておく必要がある。

このような立場で、第1章では、吹雪・降雪による視程障害の実態、及び、対策の一層の必要性を示した。第2章では、これに関連する既往の研究を整理し現在まで対応しなかった課題、すなわち走行状態における視程障害の定量化、視程の急変箇所への対策、その対策における適切な規模と手法の課題に本研究の焦点を定めた理由を示し、本論文のオリジナリティーを明確にした。

第3章では、視程障害の発生形態と発生要因について分析し、支配的な発生要因の形で整理した。

視程障害の支配的な発生要因が気象に起因する場合は、大型低気圧の通過や、強い西高東低の気圧配置によって発生し、その規模が広範囲になりやすい。気象を要因とする視程障害は風速、気温、飛雪量、降雪強度などが複雑に関連しあって視程障害が発生する。一方、地形が支配的な発生要因の場合は、発生区間が限定されるので局所範囲か小範囲な規模になる。また、道路の複雑地形や周囲の開けた道路では、大量の飛雪が道路に吹きだし視程障害の多発がみられるなど、地形の特徴によって視程障害の発生形態が異なることを示した。これらのことから、冬期道路交通・維持管理に大きく影響する視程障害の支配的な発生要因は、おもに気象要因と地形要因であることを明らかにした。

第4章では、第3章で明らかにした支配的な発生要因による視程障害の定量化手法について検討した。とくに、高速走行状態で視程変動の計測が可能になる側方散乱方式車載型視程計を初めて開発し、システム構成、実測例と適用性、

視程障害の特徴について示した。

具体的には、高速走行するドライバーの目前で大きく変動する視程の連続測定に初めて成功し、その実態の特徴を明確にしたほか、視程の急変に関する発生要因を実測から明らかにした。また、危険な走行状態を招くことが想定される視程は150～100m以下であるとの考えを示し、視程障害時の安全走行を確保するには、視程150m以上の確保が維持できる、視程障害対策施設の必要性を示した。

第5章では、従来から行われてきた視程障害対策手法を評価し、特徴と課題を整理し、対策が急がれる新たな課題に対して有効な対策手法を提案した。その課題は、第4章でも明らかにしたが、①対策施設端部、道路開口部、複雑地形による視程の急変箇所への対策、②視線誘導対策の高度化である。

具体的には、視程急変箇所などには数値シミュレーションによる新しい対策手法を検討し、副防雪柵での対応が効果的であることを示した。また、視線誘導標による効果を一層高める方策として、①視程障害を考慮した適正な設置方法についての提案、②新たに高機能視線誘導標の開発、を行い高機能視線誘導標を共用道路に上述の設置手法と同様に設置し、ドライバーの視線挙動とアンケート調査による検証結果から、視程障害時の高い誘導効果を明らかにした。

以上のように、視程障害の新たな課題への対策が急務であることを指摘し、効果的な新たな対策手法について提案した。

第6章では、北海道全域の冬期道路における視程障害や吹きだまりのリスクポテンシャルに対応する対策の設計法に関して検討した。

吹きだまり対策や視程障害対策の適正規模の決定にあたって不可欠となる、吹きだまり量分布の推定手法を検討し、北海道全域の1kmメッシュ30年確率吹きだまり量分布を示した。具体的には、北海道の冬期の気候を主成分分析によって3領域に区分し、それぞれの領域について吹きだまり量と気候の関係を表す重回帰式を求めて、北海道全域の1kmメッシュ吹きだまり量を推定算出した。その結果は実用レベルの精度を有していることを検証によって明らかにした。

また、新たに視程障害多発箇所の特特定と対策のプライオリティーの検討を容易にする、30年確率視程障害リスクポテンシャルの評価手法について示し、リスクポテンシャルを従来の視程障害対策の規模を参考に評価し、3ランクに区分した。さらに北海道全域の分布を求めて各々のランクに対応した適切な対策手法について提案した。さらに、リスクポテンシャルは、視程障害対策の検討

にあたって極めて重要な指標であることも示した。

7.2 課題と展望

第6章の推定1kmメッシュ吹きだまり量は、実際の地形では1kmより小さい起伏や構造物があり算出条件とは必ずしも一致しないこともある。1km四方の平均的な地形条件をみたく吹きだまり量であることを考慮する必要がある。検証により実用レベルの精度を有しているが、吹きだまり量は地形、周辺環境に大きく影響される。このため1kmメッシュより狭い250m以下のメッシュ分布の算出について検討し、吹きだまり量の観測データを増やし、精度を一層高めた吹きだまり量分布の算出が強く望まれる。

吹雪によって冬期交通の大きな障害となる視程障害について、リスクポテンシャルとして評価し、それによる危険個所の特定と対策手法について提案した。リスクポテンシャルは、アメダス観測地点の77箇所の観測データに基づいて全道分布を算出したが、今後、全道に整備している北海道開発局道路気象テレメータ・データなどを組み入れて、リスクポテンシャルの算出精度をさらに高める必要がある。評価ランクに対応する対策手法では、その周辺の評価がCランクであっても、地形、気象条件しだいで局所的にAランクに相当する箇所が存在する可能性もある。評価ランクに対応した視程障害対策の検討にあたって、この点に十分考慮しなければならない。

新たに提案した視程障害対策手法についても、暴風雪などによる強い視程障害が対策施設の設計を越えて発生する場合は、それによる効果が十分に期待できない可能性もある。このような場合を想定した視程障害対策手法を早急に検討しなければならない。手法として、強い視程障害や発生している路線区間の通行を一時的に規制するか、必要な情報を道路利用者へ提供し、その区間の迂回を促すシステムで対応することが効果的と考えられる。このため路面・気象情報の予測を含む道路・気象情報収集・提供システムの研究開発に積極的に取り組む必要がある。

また、筆者らは現在、先進技術を活用した視程障害時の安全走行を支援するシステムの研究開発に取り組んでいる。例えば、ミリ波レーダ技術を活用したインテリジェント・デリニエータ・システムである。このシステムは視程障害時の道路上に停止している車両や障害物が存在するとこれを自動検知して、情報表示板による表示や高機能視線誘導標の発光などにより、後続車にリアルタイムで知らせめ危険を回避するシステムである。現在、開発土木研究所石狩吹雪実験場や国道などの供用道路において、実用化に向けた検証試験を行っている。

る。本システムは価格などの面で課題はあるが、視程障害時の多重衝突事故の防止・軽減が期待される。

以上、本研究は、吹雪による視程障害の定量化と対策に関する問題点の存在を明らかにするとともに、この新たな課題に対する対策手法と視程障害対策の設計法に関して検討し、提案したものである。

なお、第3章の研究成果である側方散乱方式車載型視程計と走行状態における視程障害の定量化手法は、北海道内、及び、東北地方の吹雪対策調査に関して有効に活用されている。第5章の高機能視線誘導システムは一般国道12号の視程障害多発区間における視線誘導対策として採用されている。また、第6章の北海道全域の1kmメッシュ吹きだまり量分布は、北海道開発局「吹雪対策マニュアル」の関連資料として、さらに、「高規格幹線道路設計要領」に取り入れられ、実際の道路付帯施設の設計に有効に活用されていることを付記する。

謝辞	-----	131
研究発表の目録	-----	132

謝 辞

本研究は、筆者が開発土木研究所に勤務以来継続して行われてきたものである。この間、数多くの方々にご指導、ご助言をいただいた。

本論文の最終とりまとめにあたり、ご高配と懇切なるご指導を賜りました北海道工業大学苫米地 司教授に対し深甚なる謝意を表する次第です。

北海道工業大学 笠原篤教授、藤野和夫教授、伊東敏幸助教授には、本論文の審査を賜り、貴重なご教示とご指導をいただきました。ここに、厚くお礼を申し上げます。

日本気象協会北海道支社技師長（元開発土木研究所道路部長）竹内政夫博士、北海道開発技術センター常任参与（前開発土木研究所構造部長）石本敬志博士からは、吹雪・降雪による視程障害、吹きだまりに関する調査や対策手法、それに本論文のとりまとめにおいて、多大なるご指導とご助言をいただいた。また、開発土木研究所防災雪氷研究室長加治屋安彦氏には、本研究を進めるにあたり特段のご配慮と貴重なご助言をいただいたことに対し、深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、視程障害の定量化において、側方散乱方式車載型視程計と、高機能視線誘導システムの開発において多大なご協力をいただいた元明星電気株式会社守谷工場石川直樹氏、視程障害対策に関連する現地調査などでご協力とご助言を頂いた日本気象協会北海道支社、専任主任技師金田安弘氏、道路調査課長小林利章氏、同課長代理丹治和博氏に心からお礼を申し上げます。

北海道開発局開発土木研究所防災雪氷研究室主任研究員松沢勝氏をはじめ皆様から、本研究の実施、及び、本論文の執筆に際して多大なご協力をいただいたことに対し、心からお礼を申し上げます。

本研究に関連する研究発表の目録

■査読論文

[本研究に直接関係するもの]

- 1)竹内政夫,福澤義文,1976:吹雪時における光の減衰と視程.日本雪氷学会誌「雪氷」,第38巻, No.4,165-170.
- 2)Masao Takeuchi,Yoshifumi Fukuzawa:Light Attenuation and Visibility in Blowing Snow, Proceedings of the Symposium on Snow and Ice Processes at the Earth's Surface,Sapporo Japan, September 1984,311-313.
- 3)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,磯部圭吾,1990:吹雪時の結氷路面における安全速度.日本雪氷学会誌「雪氷」,52巻3号,171-178.
- 4)Masao Takeuchi,Yoshifumi Fukuzawa and Keishi Ishimoto:Variation in Visibility on Highways Measured by Vehicle-mounted Sensor, Transportation Research Board 3rd International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology,August 1992.
- 5)Keishi Ishimoto, Yoshifumi Fukuzawa and Masao Takeuchi:Visibility Reduction Caused by Snow in The Wake of Vehicles on Highway, Proceedings of International Workshop on Winter Road Management, January 1993,153-169.
- 6)福澤義文1993:車の雪煙による視程障害と側方散乱方式車載型視程計の開発.日本雪氷学会誌「雪氷」,55巻1号,29-38.
- 7)Yasuhiko Kajiya,Yoshifumi Fukuzawa,Keishi Ishimoto,1995:Development of Intelligent Delineator System, 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems YOKOHAMA,November 1995,1193-1196.
- 8)福澤義文,加治屋安彦,熊澤義昇,森 隆広,1966:冬期視程障害対策としての視線誘導標の設置手法に関する考察—設置間隔の適正値の検討—.第16回交通工学研究会論文報告集,49-52.
- 9)福澤義文,加治屋安彦,小林利章,苫米地 司,2000:北海道全域の吹きだまり量分布の推定.日本雪氷学会誌「雪氷」,2000年5月,63巻3号,291-300.

[本研究に間接的に関係するもの]

- 10) Keishi Ishimoto, Yoshifumi Fukuzawa, 1984: Visibility in Blowing Snow Observed by The Luminance Contrast, Proceedings of the Symposium on Snow and Ice Processes at the Earth's Surface, Sapporo Japan, September 1984, 265-267.
- 11) Keishi Ishimoto, Yoshifumi Fukuzawa and Masao Takeuchi, 1992: Visibility Reduced by Snow in the Wake of Vehicles on Highways, Transportation Research Board 3rd International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, August 1992.
- 12) Keishi Ishimoto, Yoshifumi Fukuzawa, Yasuhiko Kajiyama: Visibility Reduction Caused by Snow and Ice Countermeasures, 9th PIARC International Winter Road Congress, June 1994.
- 13) Yasuhiko Kajiyama, Yoshifumi Fukuzawa and Keishi Ishimoto: Field Test Results of Intelligent Delineator System. Transportation Research Board 4th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, August 1996.
- 14) 加治屋安彦, 福澤義文, 石本敬志, 石丸 元, 1996: ミリ波を活用した冬期道路の安全走行支援システムの開発—インテリジェント・デリニエータ・システムのフィールド試験結果—土木学会土木計画学研究会講演集, 475-482.
- 15) Manabu Kansko, Yasuhiko Kajiyama, Yoshifumi Fukuzawa, Kazuhiro Tanji, Yasuhiro Kaneda: Winter road and Human Factors—Learning from Road User Survey and Test Drive Experiments, 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul, November 1998, 1-8.
- 16) Manabu Kaneko, Yasuhiko Kajiyama, Yoshifumi Fukuzawa, Nagaki Koshino, Tetuo Haruyama, 1999: Millimeter Wave Radar Technology-based Intelligent Winter Highway Systems, 6th World Congress on Intelligent Transport Systems Toronto, November 1999.

■学会学術講演等

[日本雪氷学会]

- 17) 竹内政夫, 福澤義文, 鎌田新悦, 1970: 吹雪視程の目視観測. 1970年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集. p. 18.

- 18)竹内政夫,福澤義文,鎌田新悦,1971:吹雪時における雪濃度及び輸送量と視程の観測.1971年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.16.
- 19)竹内政夫,福澤義文,鎌田新悦,1971: 光の減衰による吹雪の観測(その1).1971年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.23.
- 20)竹内政夫,野原多喜男,福澤義文,1973:吹雪による視程障害を拡大する要因について,1973年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.2.
- 21)石本敬志,竹内政夫,鎌田新悦,福澤義文,1974:飛雪空間密度と風速変動の関係.1974年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.34.
- 22)竹内政夫,石本敬志,福澤義文,1975:光による吹雪の観測(1).1975年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.262.
- 23)竹内政夫,鎌田新悦,石本敬志,福澤義文,1975: 光による吹雪の観測(2).1975年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.263.
- 24)福澤義文,竹内政夫,1976:中山峠における吹雪の観測,1976年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.258.
- 25)福澤義文,竹内政夫,1977:中山峠における吹雪の観測(2),1977年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.305.
- 26)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,1978:道路防雪林による視程障害緩和効果について,1978年度 日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.124.
- 27)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,1979: 道路防雪林による視程障害緩和効果,1979年度 日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.124.
- 28)竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,石本敬志,1979:北海道北部の吹雪と路側雪堤の発達,1979年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.121.
- 29)竹内政夫,野原多喜男,石本敬志,福澤義文,1980:斜面における吹き溜まりの発達.1980年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.280.
- 30)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1980:吹雪時における走行スピードについて.1980年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.201.
- 31)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1981: 防雪柵の性能比較試験,1981年度 日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.124.
- 32)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,1981:吹雪時の平均視程と平均風速について.1981年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.118.
- 33)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1982:防雪柵の性能比較試験(2).1982年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.172.
- 34)竹内政夫,石本敬志,福澤義文,野原多喜男,1983:防雪柵の非雪丘形状.1983年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,p.168.

- 35) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1984: 有孔板を使った防雪柵の防雪機能. 1984年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集,
- 36) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 1985: 吹雪時の視程と車の速度. 1985年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 139.
- 37) 竹内政夫, 石本敬志, 福澤義文, 野原多喜男, 1985: 吹雪・吹きだまりの発生機構と対策, 1985年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集.
- 38) 竹内政夫, 石本敬志, 福澤義文, 野原多喜男, 1986: 降雪時の高い地吹雪の発生限界. 1986年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 252.
- 39) 福澤義文, 竹内政夫, 1987: 一般国道274号日勝峠における吹雪の特徴. 1987年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 245.
- 40) 福澤義文, 竹内政夫, 1988: 吹雪時における安全走行速度. 1988年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 236.
- 41) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 安藤茂之, 1988: 画像処理による視程計測システムの開発. 1988年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 447.
- 42) 福澤義文, 竹内政夫, 野原多喜男, 1988: 防雪林のまわりの積雪分布. 1988年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 328.
- 43) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 磯部圭吾, 1989: 日勝峠における吹雪の特徴(2)- 一般国道274号-. 1989年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 245.
- 44) 福澤義文, 竹内政夫, 磯部圭吾, 1989: 吹雪による通行止め時の気象特徴と交通管理への利用方法の検討. 1989年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 171.
- 45) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 磯部圭吾, 1989: 霧と吹雪による視程障害の違い. 1989年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 125.
- 46) 福澤義文, 竹内政夫, 磯部圭吾, 石本敬志, 1989: 吹雪時におけるデリニエーターの視認性について. 1989年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 154.
- 47) 石本敬志, 福澤義文, 1990: ビデオカメラによる吹雪時の視程垂直分布の特徴と透過率型視程計との違い. 1990年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 161.
- 48) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 磯部圭吾, 1990: 降雪時における自動車の巻き上げによる視程障害. 1990年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 162.
- 49) 磯部圭吾, 竹内政夫, 石本敬志, 福澤義文, 1990: 吹雪時における常緑樹の視認性について. 1990年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 163.
- 50) 奥谷智博, 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 1991: 自動車の走行による雪煙の発生と気象条件. 1991年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 58.

- 51) 福澤義文, 竹内政夫, 奥谷智博, 1991: 移動観測用視程計の開発. 1991年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.106.
- 52) 石本敬志, 福澤義文, 1991: 雪による視程障害と防雪柵の関係. 1991年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.136.
- 53) 阿部英樹, 福澤義文, 石本敬志, 松沢勝, 山下秀孝, 奥谷智博, 佐藤洋, 1992: 吹雪移動観測システムについて - 磁気方位センサーを搭載した風の移動測定 -. 1992年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.3.
- 54) 福澤義文, 石本敬志, 金田安弘, 丹治和博, 1992: 車両が巻き上げる雪の観測. 1992年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.78.
- 55) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 奥谷智博, 1992: 雪煙防止対策の試み, 1992年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集.
- 56) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 1992: 吹きだめ柵による視程障害緩和効果. 1992年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.333.
- 57) 福澤義文, 丹治和博, 奥谷智博, 石本敬志, 金田安弘, 1992: 吹雪時の車速観測, 1992年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.77.
- 58) 石本敬志, 福澤義文, 1993: 雪煙の規模と車の構造, 1993年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.130.
- 59) 福澤義文, 石本敬志, 奥谷智博, 1993: 冬期の高速道路における走行速度について1993年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.131.
- 60) 福澤義文, 石本敬志, 奥谷智博, 金田安弘, 1993: 雪氷路面状況と追越車両の雪煙による視程障害 - 高速道路における雪煙の移動観測結果を例として -, 1993年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.129.
- 61) 福澤義文, 石本敬志, 千葉隆広, 高橋勝宏, 1994: 平衡状態における防雪柵周辺の積雪分布について. 1994年度日本雪氷学会全国大会, p.165.
- 62) 千葉隆広, 福澤義文, 石本敬志, 高橋勝宏, 1994: 林による防雪効果について. 1994年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.65.
- 63) 福澤義文, 石本敬志, 千葉隆広, 1995: 視程障害移動観測車の開発について. 1995年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.163.
- 64) 福澤義文, 加治屋安彦, 川上俊一, 金田安弘, 1996: 吹雪時における自発光視線誘導標による誘導効果について. 1996年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.132.
- 65) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 川上俊一, 金田安弘, 1997: 防雪柵端部での吹雪による視程の急変とその対策 - 数値シミュレーションによる検討, 1997年度日本雪氷学会北海道の雪氷, No.16, 41-44.

- 66) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 金田安弘, 1997: 道路防雪林による視程障害緩和効果と端部対策の検討. 1998年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.132.
- 67) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 小林利章, 金田安弘, 1998: 北海道における吹きだまり量分布の推定について, 1998年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.141.
- 68) 福澤義文, 加治屋安彦, 廣瀬哲司, 丹治和博, 川上俊一, 1999: 狭林帯道路防雪林の防雪機能について, 1999年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p113.

[日本雪工学会]

- 69) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 萩原 亨, 加来照俊, 1993: 雪による視程変化とドライバーの眼の挙動. 1993年度日本雪工学会全国大会講演予稿集, 9-14.
- 70) 福澤義文, 石本敬志, 奥谷智博, 1993: 自動車の走行に伴う雪煙による視程障害とその防止対策の試み, 1993年度日本雪工学会全国大会講演予稿集, 15-20.
- 72) 福澤義文, 石本敬志, 奥谷智博, 丹治和博, 金田安弘, 1994: 吹雪時の視程と車間距離について, 1994年度日本雪工学会全国大会講演予稿集,
- 73) 福澤義文, 加治屋安彦, 石本敬志, 金田安弘, 丹治和博, 1998: 視程障害時の多重衝突事故要因とその対策手法の検討, 1998年度日本雪工学会大会論文報告集, 17-22.

[土木学会]

- 74) 石本敬志, 福澤義文, 竹内政夫, 1993: 車による道路上の雪煙の規模. 土木学会第48回年次学術講演概要集, p614~615.
- 75) 福澤義文, 石本敬志, 千葉隆広, 1995: 視程障害移動観測車の開発とドライバーの視点挙動の観測. 土木学会第50回年次学術講演概要集, 736~737.
- 76) 福澤義文, 加治屋安彦, 森 隆広, 1996: 視程障害時の視線誘導に関する考察. 1996年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 438-439.
- 77) 加治屋安彦, 福澤義文, 1996: インテリジェント・デリニエータ・システムの開発について. 1996年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 536-537.
- 78) 福澤義文, 加治屋安彦, 石本敬志, 金田安弘, 丹治和博, 丹治和博, 1996: 吹雪時における車両の走行限界について. 土木学会第51回年次学術講演概要集, 794-795.

- 79) 福澤義文, 加治屋安彦, 金田安弘, 丹治和博, 1997: 冬期道路における視程障害多発箇所の特徴とその対策. 土木学会北海道支部大会論文報告集, 444-445.
- 80) 福澤義文, 加治屋安彦, 石本敬志, 1997: インテリジェント・デリニエータ・システムの開発 - 停止車両検知レーダのフィールド試験結果 -. 1997年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 475-476.
- 81) 金子 学, 福澤義文, 加治屋安彦, 1997: 冬期視程障害対策としての視線誘導に関する考察. 1997年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 440-441.
- 82) 加治屋安彦, 福澤義文, 金子 学, 1998: 冬期道路とヒューマン・ファクターに関する研究 (第2報) - 車両走行実験の結果から -. 1997年度土木学会北海道支部大会論文報告集, p546~547.
- 83) 金子 学, 加治屋安彦, 福澤義文, 金田安弘, 丹治和博, 1998: 冬期道路とヒューマン・ファクターに関する研究 (第1報) - ドライバー・ニーズ調査の結果から -. 1998年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 542-543.
- 84) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 丹治和博, 金田安弘, 1998: 視程障害時の多重衝突事故要因とその潜在性について. 土木学会第53回年次学術講演概要集, 482-483.
- 85) 千葉隆広, 加治屋安彦, 福澤義文, 1999: 冬期道路の安全走行支援システムに関する研究 (第3報) - 各種障害検知センサーの性能とその活用 -. 1999年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 492-493.
- 86) 福澤義文, 加治屋安彦, 金子 学, 小林利章, 金田安弘, 1999: 北海道全域の吹きだまりメッシュマップの作成と画面表示システムについて. 1999年度土木学会北海道支部大会論文報告集, 662-663.

[寒地技術シンポジウム]

- 87) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 野原多喜男, 1985: 道路防雪林による視程障害緩和効果. 寒地技術シンポジウム'85論文・報告集, 527-532.
- 88) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 野原多喜男, 1985: 切土区間の道路の防雪容量. 寒地技術シンポジウム'85論文・報告集, 533-538.
- 89) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1985: 吹雪観測用視程計. 寒地技術シンポジウム'85論文・報告集, 516-521.
- 90) 竹内政夫, 福澤義文, 1989: 道路交通管理のための気象観測調査. 寒地技術シンポジウム'85論文・報告集, 486-492.
- 91) 福澤義文, 磯部圭吾, 竹内政夫, 1989: 吹雪による通行止め時の気象特徴と交

- 通管理への利用方法の検討.寒地技術シンポジウム'89論文・報告集,
110-114.
- 92)石本敬志,奥谷智博,福澤義文,1992:視程障害時の道路上における視線誘導効果.寒地技術シンポジウム'92論文・報告集,489-493.
- 93)金田安弘,丹治和博,福澤義文,加治屋安彦,冬期道路での吹雪による視程の急変について.寒地技術シンポジウム'96論文・報告集,324-330.
- 94)丹治和博,福澤義文,加治屋安彦,金田安弘,1996:アイカメラによる冬期道路における視程の急変について.寒地技術シンポジウム'96論文・報告集,
331-337.
- 95)福澤義文,加治屋安彦,石丸 元,1996:ミリ波レーダによる停止車両検地装置の基礎的実験について.寒地技術シンポジウム'96論文・報告集,349-352.
- 96)福澤義文,加治屋安彦,金子 学,金田安弘,小林利章,道路防雪林の整備効果について.寒地技術シンポジウム'97論文・報告集,176-180.
- 97)金田安弘,川上俊一,山本 晃,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について.寒地技術シンポジウム'98論文・報告集,41-48.
- 98)福澤義文,加治屋安彦,金子 学,金村直俊,1998:平成10年1月7日における札幌圏の暴風雪の気象特性(第1報).寒地技術シンポジウム'98論文・報告集,49-56.
- 99)福澤義文,加治屋安彦,金子 学,丹治和博,金田安弘,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について(第2報)-平成10年1月7日における事件事例解析から-.寒地技術シンポジウム'98論文・報告集,74-79.
- 100)丹治和博,金田安弘,加治屋安彦,福澤義文,金子 学,1998:冬期道路とヒューマンファクター,道路利用者アンケートと実車走行実験からの知見-.寒地技術シンポジウム'98,107-112.
- 101)福澤義文,加治屋安彦,広瀬哲司,小林利章,丹治和博,1998:全道吹きだまり量分布の推定について,寒地技術シンポジウム'98論文・報告集,107-112.
- 102)加治屋安彦,福澤義文,金子 学,竹内政夫,丹治和博,金田安弘,1998:吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について(第3報)-安全走行支援システムの開発に向けて-,寒地技術シンポジウム'98論文集,57-62.

「開発土木研究所月報」

- 103)村木義男,鎌田新悦,竹内政夫,福澤義文,1970:吹雪時における視程の研究,
土木試験所月報,1990年11月,1-5.
- 104)竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1973,吹雪による視程障害について.土木試

験所月報,1973年10月,9-15.

- 105)福澤義文,竹内政夫,1975:光減衰式吹雪計による吹雪の観測,土木試験所月報,1975年7月,10-16.
- 106)竹内政夫,福澤義文,1976:吹雪時における光の減衰と視程.土木試験所月報,1976年12月,10-16.
- 107)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1980:道路防雪林による吹雪時の視程緩和効果,土木試験所月報,1980年1月,7-18.
- 108)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1981:切土区間の道路における防雪対策について.土木試験所月報,1980年4月,13-28.
- 109)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,磯部圭吾,1986:吹雪観測と交通管理への利用.土木試験所月報,1986年4月,2-16.
- 110)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,磯部圭吾,野原他喜男,1988:テールランプ類の吹雪時視認距離と安全速度.開発土木研究所月報,1988年11月,14-19.
- 111)石本敬志,竹内政夫,奥谷智博,福澤義文,1992:車の雪煙による視程障害と道路構造,開発土木研究所月報,1992年12月,17~25.
- 112)福澤義文,石本敬志,1994:吹雪時における走行車群の挙動の実態.開発土木研究所月報,1994年12月,12-22.
- 113)福澤義文,加治屋安彦,金子 学,1998:冬期道路における多重衝突事故の要因とその潜在性について,開発土木研究所月報,1998年4月,15-21.
- 114)金子 学,加治屋安彦,福澤義文,1999:冬期道路とヒューマン・ファクターに関する研究-石狩吹雪実験場における実車走行実験-,開発土木研究所月報,1999年2月,26-32.

〔北海道開発局技術研究発表会〕

- 115)鎌田新悦,竹内政夫,福澤義文,1972:吹雪時の視程について.第15回北海道開発局技術研究発表会論文集,1972年2月,244-247.
- 116)福澤義文,竹内政夫,1976:光減衰式吹雪計による吹雪の観測.第19回北海道開発局技術研究発表会論文集,1976年2月,278-287.
- 117)竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,石本敬志,1976: 吹雪災害の拡大要因.第19回北海道開発局技術研究発表会論文集,1976年2月,264-271.
- 118)石本敬志,竹内政夫,福澤義文,野原多喜男,1980:道路防雪林による視程障害緩和効果.第23回北海道開発局技術研究発表会論文集,1980年2月,174-186.
- 119)福澤義文,竹内政夫,石本敬志,野原多喜男,1981:防雪柵の性能比較試験(1).

第24回北海道開発局技術研究発表会論文集,

- 120) 福澤義文, 竹内政夫, 吹雪時における自動車の走行速度について. 第24回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1987年2月, 416-421.
- 121) 石本敬志, 竹内政夫, 福澤義文, 1987: 吹雪時の視程と気象条件の相互関係, 第25回北海道開発局技術研究発表会論文集. 1987年2月, 263-266.
- 122) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1987: 防雪柵の性能比較試験(2). 第25回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1987年2月, 201-206.
- 123) 竹内政夫, 石本敬志, 福澤義文, 1983: 野原多喜男, 防雪柵前後にできる雪丘の形状. 第26回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1983年2月, 336-341.
- 124) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1984: 一般国道230号中山峠における吹雪の特徴. 第27回北海道開発局技術研究発表会, 1984, 2月, 330-335.
- 125) 福澤義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原多喜男, 1986: 一般国道40号における通行止時の気象特徴. 第29回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1986年2月.
- 126) 福澤義文, 竹内政夫, 1988: 吹雪時における安全速度, 第31回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1988年2月, 197-200.
- 127) 奥谷智博, 福澤義文, 石本敬志, 1994: 冬期の視程, 路面状況と車両速度・車間距離の関係について—一般国道40号開源の場合—. 第37回北海道開発局技術研表会論文集, 1994年2月, 139-142.
- 128) 福澤義文, 石本敬志, 後藤芳昭, 1995: 吹き止め防雪柵による視程障害緩和効果. 第38回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1995年2月, 151-158.
- 129) 福澤義文, 加治屋安彦, 1997: インテリジェント・デリニエータ・システムの開発について. 第39回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1995年2月, 61-68.
- 130) 金子 学, 加治屋安彦, 福澤義文, 1998: 冬期道路の安全走行支援システムに対する利用者ニーズ—冬道でのヒヤリ体験に関するアンケート調査から— 第41回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1998年2月, 163-168.
- 131) 金子 学, 加治屋安彦, 福澤義文, 1999: 吹雪時における多重衝突事故の発生要因と対策(第1報), —北海道内における多重衝突事故の事例分析から— 第42回北海道開発局技術研究発表会論文集, 1999年2月, 83-88.

[その他]

- 132) 福澤義文, 竹内政夫, 1988: 吹雪時における夜間の安全速度. 第16回雪と道路の研究発表会論文集(建設省).
- 133) 福澤義文, 石本敬志, 磯部圭吾, 竹内政夫, 1990: 吹雪観測の交通管理への利

用.第17回雪と道路の研究発表会論文集（建設省）.

134)石本敬志,福澤義文,1992:道路上における雪による視程障害の特徴.第5回寒地環境工学合同シンポジウム講演論文集.

135)福澤義文,1993:吹雪時の移動観測システムの研究開発.「ゆき」(雪センター),7月号,67-73.

136)加治屋安彦,福澤義文,1992:インテリジェント・デリニエータ・システムの開発について.建設省第8回雪と道路の研究発表会,

137)福澤義文,加治屋安彦,1996:吹雪観測装置の利用の現状について,「ゆき」(雪センター)8月号.