

7.4 吹雪視程障害に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

研究担当者：加治屋安彦、松澤勝、伊東靖彦、
武知洋太

【要旨】

道路の吹雪対策や道路管理に用いられている「視程」は気象学上で定義されたものであり、道路交通管理のための視程とその計測法は、十分に確立されていない。そこで、道路交通における視程の評価方法検討に向け吹雪時の道路映像を用いた被験者実験を行った。

その結果、道路利用者が感じる吹雪時の視程は従来計測される視程に比べ 70m程度低い傾向があり、地上高 2.1m で計測した飛雪流量及び雪粒子の投影面積フラックスとの相関が高いことを明らかとした。また、道路利用者が感じる吹雪時の視程は視程変動強度や降雪の有無、路面状況、周辺環境（市街地・郊外部）、時間帯の違いによる影響が見られること、吹雪の方向の違いによってはほとんど影響が見られないことを明らかとし、吹雪時の視程の計測・表現方法の素案について検討を行った。

キーワード：吹雪、視程、視程障害、視程計測

1. はじめに

北海道内の国道においては、吹雪による視程障害が原因で通行止め、多重衝突事故が発生するなど、吹雪を起因にした冬期交通障害が多く発生している。このため、冬期道路においては吹雪時の視程を参考に道路防雪林、防雪柵などの整備、通行規制、情報提供が吹雪視程障害対策として道路管理者によって取り組まれてきている。

世界気象機構（WMO）によると、気象学上の視程の定義は、昼間においては空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で認めることのできる最大距離であり、夜間においては昼間と同じ明るさにしたと仮定した場合に、目標を認めることのできる最大距離と定義されている。近年では、観測者の主観が入るなどの問題や連続的な観測ができないなどの課題から、大気透過率や反射率から求めた気象光学的距離（MOR）が把握されており、道路においてもこの値を視程として観測が行われている。

このように現在、道路交通管理で用いられてきている「視程」は気象学上で定義されたものが利用されている。しかし、道路に用いられる気象学上の視程は道路利用とは異なる観点で定義されたものである。このため、現状では道路交通管理のための視程とその計測法の定義が十分に確立されていない。

そこで、本研究では道路交通に於ける視程の評価方法を新たに定義し、総合的かつ定量的に視程障害の厳しさ

を把握する“吹雪視程障害度”の指標化を行い、安全で効率的な冬期道路管理の実現を図る。

本報告では研究計画の2年目として、ドライバーの感じる視程と計測視程の違い、飛雪粒子の通過量や粒径、吹雪の時間変動、方向などの影響について調査を行ったので、結果を報告する。

2. 前年度までの研究概要

本研究では、研究初年度である平成18年度に「吹雪時の視程変動強度¹⁾は視程を平均する対象時間が長くなるほど大きく、10分平均では概ね0.3以下であること」、「観測地点間の距離が離れる程、2地点間の風速の相関係数は低下するが、視程では地点間距離による一定の傾向は見られないこと」など道路上で反射型視程計（TZE-4）によって観測される視程の時間や空間による変動状況の実態を把握した。

また、吹雪視程を評価する上で想定される影響要因として気象条件、観測位置、沿道状況、背景などを抽出した。

3. 研究の方法

本年度は、前年度までの冬期に撮影した吹雪時の映像を室内において被験者に見せ、道路利用者が感じている視程と観測機器で計測した視程、飛雪流量などの関係、

視程変動強度、吹雪の向きなどの影響を分析し、吹雪時における視程について評価を行った。

3. 1 実験に用いた吹雪時における映像と気象の概要

実験には、石狩市美登位に位置する石狩吹雪実験場に設置した中心高さ1.2~2.5mの9枚の視程板(表1)を撮影した映像(写真1)、視程障害移動観測車(写真2)を用い車内から撮影した走行中の道路映像の2種類を用いた。

表1 視程板の設置概要

	1枚目	2枚目	3枚目	4枚目	
ビデオカメラから視程板までの距離	10m	20m	40m	60m	
視程板の1辺の大きさ(m)	0.12×0.12	0.24×0.24	0.49×0.49	0.73×0.73	
	5枚目	6枚目	7枚目	8枚目	9枚目
	80m	100m	135m	175m	255m
	0.98×0.98	1.22×1.22	1.65×1.65	1.96×1.96	3.00×3.00



写真1 視程板の撮影状況



写真2 視程障害移動観測車

表2 実験に用いた吹雪時の視程板の映像概要

映像ケース	日付	時刻	降雪有無	透過型視程計(設置高=2.1m)	
				最低	平均
A	2007/2/19	12:41:15 ~ 12:41:35	有り	109m	119m
B	2007/2/19	13:41:36 ~ 13:41:56	有り	117m	122m
C	2007/2/19	14:40:12 ~ 14:40:32	有り	134m	152m
D	2007/1/19	10:20:32 ~ 10:20:52	有り	181m	192m
E	2007/2/11	13:41:30 ~ 13:41:50	有り	400m	422m
F	2007/2/7	15:20:00 ~ 15:20:20	有り	620m	756m
G	2007/2/19	15:40:39 ~ 15:40:59	無し	135m	150m
H	2007/2/19	13:21:39 ~ 13:21:59	無し	181m	189m
I	2007/2/19	13:21:06 ~ 13:21:26	無し	185m	193m

視程板の映像については、「地上気象観測指針」²⁾で定義される視程と道路上などで観測される視程及び気象(写真3)との関係を明らかにすることを目的とし表2の9種類の映像を抽出した。

なお、視程板の映像は、高さ1.2mに設置したビデオカメラを用い日中のみ撮影を行った(写真1)。また、視程板の映像に対応する視程、風向風速、飛雪流量を高さ2.1mの位置に設置した透過型視程計(TZE-2T)、風向風速計(KDC-S4)、飛雪流量測定装置(SPC-S7)によって観測した(写真3)。

走行中の道路映像については、道路利用者が走行中に感じる視程への気象条件や道路環境の影響の有無や影響度を明らかにするため表3の21種類の映像を抽出した。

走行中の道路映像は、写真2に示す視程障害移動観測車に搭載したビデオカメラを用い走行中の車内から撮影した。さらに走行中には視程、風向風速を車両に搭載した前方散乱型視程計、風向風速計によって観測した。また、道路環境などは撮影した映像を基に把握した。

3. 2 映像を用いた吹雪視程評価に関する実験

映像を用いた吹雪視程評価に関する実験は、寒地土木研究所の講堂において行った。

実験では、高さ2.25m×幅3.05mのスクリーンに2.1

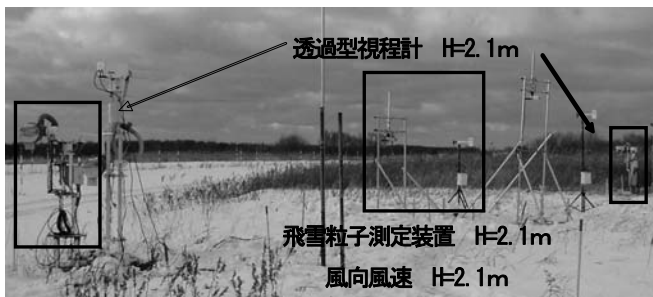


写真3 視程板周辺に設置した気象観測機器の設置状況(透過型視程計、飛雪流量計測装置、風向風速計)

表3 実験に用いた吹雪時の走行中の道路映像概要

No	観測日時			気象条件						道路環境(背景)						
	観測日	観測時刻	時間	前方散乱型視程(m)			吹雪の向き		降雪の有無		路面状態		周辺環境		時間帯	
				平均	最低	強度	道路直交	道路平行	降雪あり	降雪なし	濡装露出あり(黒)	濡装露出なし(白)	市街地	郊外部	昼	夜
1	2004/2/27	10:05:00 ~ 10:06:00	0:01:00	14	15	71%	○		○		○		○	○		
2	2004/2/26	15:15:41 ~ 15:16:41	0:01:00	15	40	39%	○		○		○		○	○		
3	2004/2/27	10:09:06 ~ 10:09:16	0:00:10	57	23	45%	○		○		○		○	○		
4	2004/2/27	10:09:49 ~ 10:09:59	0:00:10	56	15	92%		○	○		○		○	○		
5	2004/3/1	12:33:03 ~ 12:33:13	0:00:10	25	15	43%	○		○		○		○	○		
6	2007/2/12	7:58:00 ~ 7:59:10	0:00:10	17	70	23%	○		○		○		○	○		
7	2007/2/12	7:57:45 ~ 7:57:55	0:00:10	18	123	18%	○		○		○		○	○		
8	2004/2/26	15:30:35 ~ 15:30:45	0:00:10	79	27	62%	○		○		○		○	○		
9	2004/2/27	10:05:09 ~ 10:05:19	0:00:10	95	18	73%	○		○		○		○	○		
10	2004/2/26	15:16:35 ~ 15:16:45	0:00:10	17	113	27%	○		○		○		○	○		
11	2004/2/27	10:15:39 ~ 10:15:49	0:00:10	173	36	54%	○		○		○		○	○		
12	2004/3/1	12:44:05 ~ 12:44:15	0:00:10	76	34	35%	○		○		○		○	○		
13	2004/2/26	15:31:04 ~ 15:31:14	0:00:10	78	28	72%	○		○		○		○	○		
14	2004/2/27	10:04:09 ~ 10:04:19	0:00:10	145	42	57%	○		○		○		○	○		
15	2004/2/26	15:02:45 ~ 15:02:55	0:00:10	147	44	44%		○	○		○		○	○		
16	2004/2/26	20:02:16 ~ 20:02:26	0:00:10	53	15	76%		○	○		○		○	○		○
17	2004/2/26	20:01:20 ~ 20:01:30	0:00:10	73	18	67%		○	○		○		○	○		○



図 1 吹雪時における視程板の映像



図 2 吹雪時における走行中の道路映像
(右側：映像 No.10, 左側：映像 No.11)

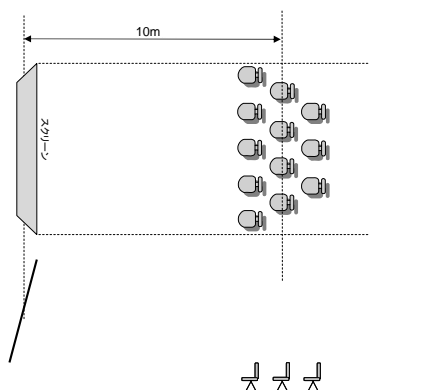


図 3 映像の被験者の視認方法



写真 4 被験者実験状況 (寒地土木研究所 講堂)

で抽出した吹雪時の映像 (図 1, 2) を暗室状態で映写し、スクリーンの手前約 10m の位置から映写した吹雪時の映像を被験者 107 名に視認させ (図 3, 写真 4)、視程板の形を認識出来る枚数、走行中の道路映像の視認距離についてアンケートを行った。

4. 研究結果

4.1 視程板の映像視認距離と視程計測値

吹雪時に撮影した視程板の映像を基に、従来計測される視程と被験者が感じる視程の相違について分析を行った。

図 4 は、透過型視程計により映像に対応した 20 秒間に

高さ 2.1m で観測した視程の平均値 (以下：視程計測値) と吹雪映像を見て被験者が視認できた視程板の枚数から評価した視程の中央値 (以下：視程板の映像視認距離) の関係を示したものである。

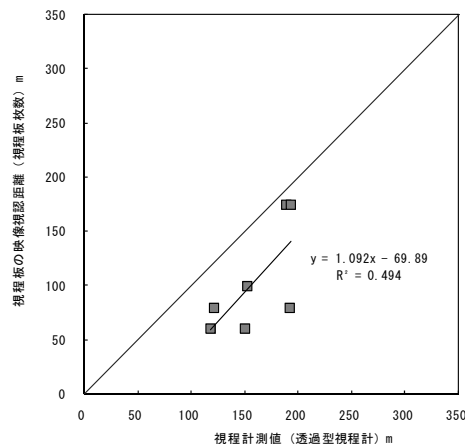


図 4 視程板の視認距離と視程計測値の関係

図 4 より、視程板の映像視認距離は視程計測値に比べ小さい傾向が見られる。また、高さ 2.1m で観測した視程計測値が 200m 以下では、被験者は視程板の映像視認距離を視程計測値より概ね 70m 短く感じていることがわかる。

4.2 視程板の映像視認距離と気象条件

被験者が感じる視程と気象状況との相関について分析を行った。

図 5 は、飛雪流量と視程板の映像視認距離の関係を示したものである。横軸に映像に対応した 20 秒間に高さ 2.1m で観測した飛雪流量、縦軸に視程板の映像視認距離を取った。

図 5 より、飛雪流量が大きい程、視程板の映像視認距

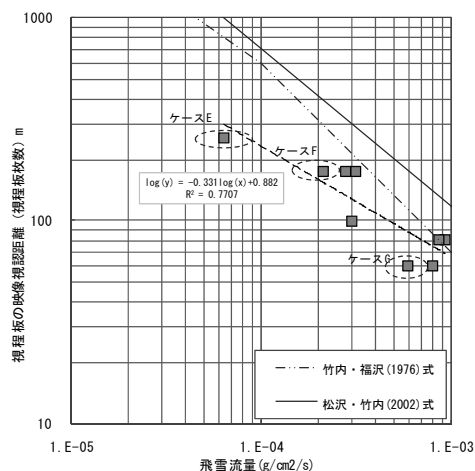


図 5 視程板の映像視認距離と飛雪流量の関係

離が低下する傾向が見られる。視程 V と飛雪流量 MF の関係は、これまでにも竹内・福沢ら³⁾ は近似式として式(1)を、松沢・竹内ら⁴⁾ は近似式として式(2)を導いている。

$$V = \frac{68.3}{(Mf + 0.125)} + 2.6 \quad (\text{竹内・福沢1976}) \dots(1)$$

$$\log(V) = -0.773 \cdot \log(Mf) + 2.845 \quad (\text{松沢・竹内,2002}) \dots(2)$$

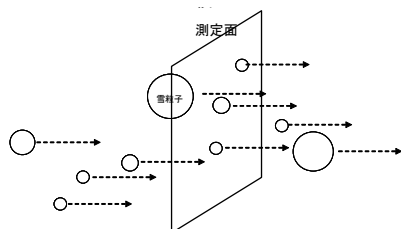
そこで、既往研究で導き出された視程と飛雪流量の関係式と今回の調査結果を比べてみると、飛雪流量が大きい領域では視程板の映像視認距離が既往研究の式で推定される視程に近い傾向が見られた。一方で飛雪流量が小さい程、既往研究の式で推定される視程に比べ、視程板の映像視認距離が小さくなる傾向が見られた。

道路利用者が吹雪時に感じている視程には雪粒子によって遮断された光量の影響が大きいと考えられ、光の遮断には飛雪流量よりも雪粒子の投影面積の影響が大きいと推測される。この雪粒子の投影面積は、飛雪流量が同じであっても粒径が小さい程大きくなる。ケースGでは他のケースに比べ粒径の小さい粒子の数が多かったため、このことが視程板の映像視認距離に影響していた可能性が考えられる。

そこで、飛雪流量測定装置で観測した雪粒子の通過個数と粒径から雪粒子の投影面積を積分し単位時間、単位面積当たりの雪粒子の投影面積フラックス (図 6) を求め視程板の映像視認距離との関係について分析を行った。

図 7 は、横軸に雪粒子の投影面積フラックス、縦軸に視程板の映像視認距離を取り関係を示したものである。

図 7 より、雪粒子の投影面積フラックスが大きいほど



雪粒子を球と仮定し、片方向からの投影面積(粒径を直径とした円の面積)の単位時間、単位面積当たりの通過量(フラックス)を投影面積のフラックスと定義

図 6 雪粒子の投影面積フラックスの定義

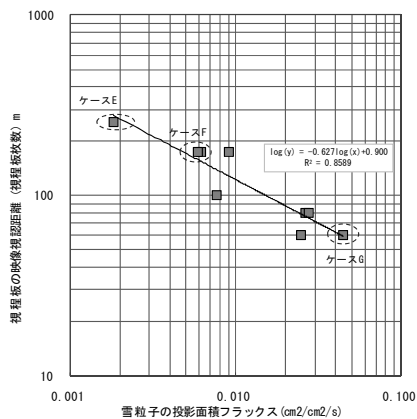


図 7 視程板の映像視認距離と雪粒子の投影面積

視程板の映像視認距離は低下する傾向がみられる。また、回帰曲線の相関係数は0.927を示しており飛雪流量よりも視程板の映像視認距離との相関が高い結果が得られた。このことから、吹雪時に道路利用者が感じている視程を把握する上で雪粒子の投影面積フラックスは重要な要素と考えられる。

4.3 走行中の映像視認距離への走行環境の影響

走行中の道路映像を基に、視程変動強度、吹雪の向き、降雪の有無、路面状況、周辺環境(市街地・郊外部)、時間帯など気象条件や環境要因の吹雪時の視認距離への影響について分析を行った。

図 8, 9, 10, 11, 12, 13 は、各道路映像の撮影中に視程障害移動観測車で計測した視程の平均値(以下:視程計測値)が概ね一致し気象条件及び環境要因が異なる各組合せの道路映像を被験者が見て回答した視認距離(以下:道路映像視認距離)の回答割合をバブルチャートとして示したものである。

図 10, 11 より、降雪の有無及び路面状況の違いによる視認距離への影響については、降雪のない映像及び舗装が露出した映像の方が道路映像視認距離を長く感じる傾向が見られた。

また、図 8, 12 より視程変動強度及び市街地・郊外部の

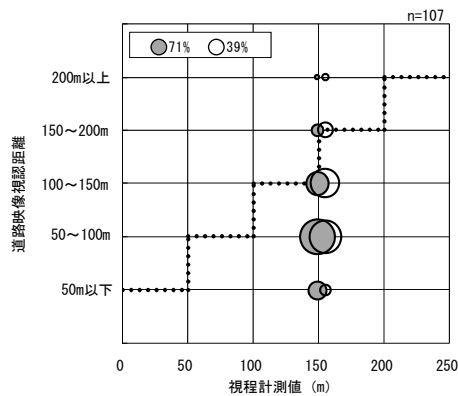


図 8 道路映像視認距離と視程変動強度の関係 (道路映像 No1,2)

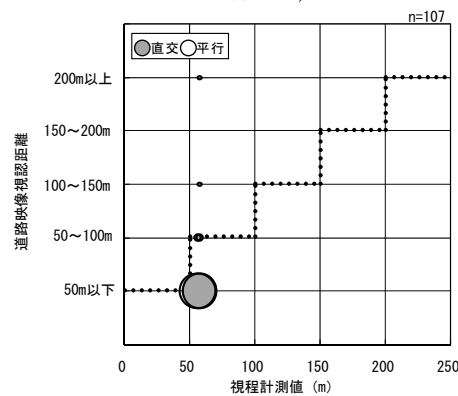


図 9 道路映像視認距離と吹雪の向きの関係 (道路映像 No3,4)

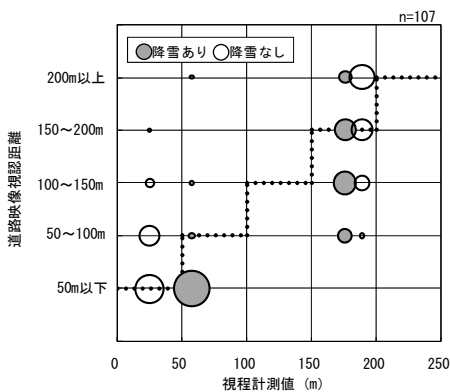


図 10 道路映像視認距離と降雪の有無の関係 (道路映像 No.3,5,6,7)

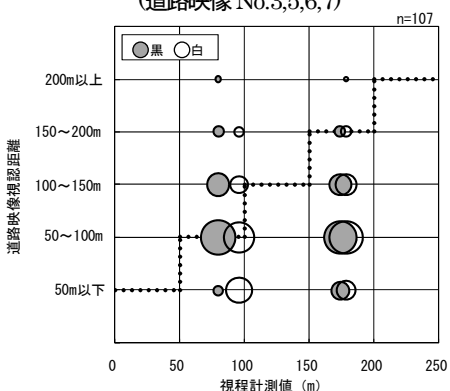


図 11 道路映像視認距離と路面状況の関係 (道路映像 No.8,9,10,11)

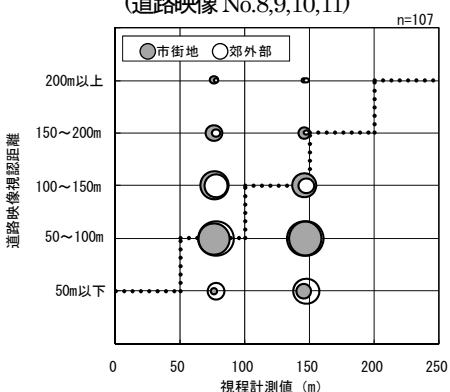


図 12 道路映像視認距離と周辺環境の関係 (道路映像 No.12,13,14,15)

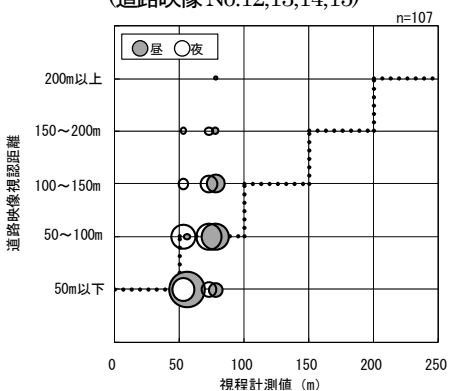


図 13 道路映像視認距離と時間帯 (道路映像 No.4,13,16,17)

違いによっては、視程変動強度が大きい映像及び郊外部の映像の方が道路映像視認距離を短く感じる傾向が見ら

れたが、降雪の有無や路面状況の違いに比べると影響は小さかった。

一方、図9より吹雪の向きの違いによっては道路映像視認距離の回答内容にあまり違いが見られなかった。

次に、時間帯の違いによる影響については、既往の研究結果(福沢ら)⁵⁾で「吹雪時には日中と夜間とを比べると、夜間のほうが走行速度の減少の割合が大きくなり、ライトに照らされた雪が視程の妨げになる」と結果が得られており、吹雪時には日中に比べ夜間に視認距離が低下することが想定された。しかし、今回の調査結果では日中に比べ夜間の方が道路映像視認距離を長く感じる傾向が見られた(図13)。これは、本調査で用いた夜間の道路映像中に道路照明が設置されていたことが一因として考えられる。

また、視程計測値が149m、155mの道路映像No.1,2の視認距離を被験者の多くが50~100mと回答する(図8)など、多くの道路映像で道路映像視認距離は視程計測値に比べ短く見積られる傾向が見られた。さらに、視程計測値50m前後の非常に厳しい視程障害時の道路映像を除くと、道路映像視認距離の回答内容は被験者によってバラツキが見られており、視程計測値が概ね50~100m以上の視程障害時には道路利用者によって感じる視認距離が異なることが考えられる。

5. 吹雪時における視程の計測・表現方法

現在、道路の視程障害の監視には、一般に視程計が用いられているが、国内では視程計の具体的な設置方法については定められていない。米国連邦道路庁(FHWA)の示した基準⁶⁾について見てみると、視程計は道路端から約10~15mに設置した気象観測塔の高さ約2~3mに設置することが示されている。しかし、霧と異なり吹雪の場合、高さや場所によって視程は大きく異なり、吹雪時の視程障害を把握するための設置方法、計測方法が必要である。

一方で、航空機の運航に対しては、視程の他に滑走路視距離(RVR)という値が用いられる。これは航空機が離着陸時に接地する地点で、パイロットの目の高さ(約5m)から、滑走路自体や、滑走路を示す特定の灯火もしくは標識を認めることができる最大の距離をいう。つまり、気象学的な視程よりも航空機の運行により即した指標となっている。従って、車両の運転に即した道路利用者からみた道路交通の視程を示す指標の導入が必要と考えられる。

本研究で行った吹雪映像を用いた被験者実験から、被験者が感じている映像視認距離と視程計で計測された視程

計測値との相違や吹雪時の気象条件や道路環境の影響について以下の知見が得られた。

- 透過型視程計で観測される視程計測値と吹雪映像で被験者が感じる視程板の映像視認距離には差異があり、吹雪時の視程が200m以下では地上高2.1mで観測した視程計測値に比べ道路利用者は視程板の映像視認距離を概ね70m短く感じている。
- 吹雪時に被験者が感じる視程板の映像視認距離と地上高2.1mで観測した飛雪流量の関係については、飛雪流量が大きい程視程板の映像視認距離が低下する傾向が見られ、高い相関が見られる。この視程板の映像視認距離と竹内・福沢ら³⁾及び松沢・竹内ら⁴⁾の近似式で推定される視程とを比較したところ、吹雪流量が大きい場合には差異が小さい傾向が見られる。
- 吹雪時に被験者が感じる視程板の映像視認距離と飛雪粒子の投影面積の関係では、地上高2.1mで観測した雪粒子の投影面積フラックスが大きい程、視程板の映像視認距離が低下する傾向が見られ、相関は飛雪流量より高い。
- 吹雪時に走行中の道路映像を基に評価した被験者の感じる視認距離は視程変動強度、降雪の有無、路面状況、周辺環境、時間帯の影響が見られ、吹雪の向きの影響は見られない。

このような事例や研究結果を踏まえ、吹雪時における視程評価に向けた計測・表現方法の素案について検討をおこなった(表4)。吹雪映像から評価した被験者の視程板の映像視認距離は視程計測値、飛雪流量及び雪粒子の投影面積フラックスとの相関が高かったことから、道路利用者の感じる吹雪時の視程評価に必要な計測項目を提案した。

さらに、従来計測される視程計測値が同じでも視程変動強度、降雪の有無、路面状況、周辺環境(市街地の有無)、時間帯の違いによって被験者の感じる吹雪時の視認距離が異なることから、計測値の処理における視程変動の考慮や降雪の有無、路面状況、周辺環境、時間帯による影響に配慮した計測値の補正が必要であることを提案した。

6. 今後の課題

今回の結果は室内での吹雪映像を用いた評価結果である。このため、現地実験と映像実験による差異を検証し、道路利用者の感じる吹雪時の視程を視程計測値や飛雪粒子の投影面積フラックスなどから評価する具体的な方法や指標を提案していく予定である。

参考文献

- 石本敬志：視程変動強度の表現について、平成4年度 日本雪氷学会全国大会 講演予稿集, p126, 1992. 9
- 気象庁：地上気象観測指針, (財)気象業務支援センター, 2002
- 竹内政夫, 福沢義文：吹雪時における光の減衰と視程, 雪氷, 38, 165-170, 1967
- 松沢勝, 竹内政夫, 小林利章：吹雪時の道路上における視程と高さの関係, 北海道の雪氷, 21, 46-49, 2002
- 福沢義文, 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男：吹雪観測と交通管理への利用—一般国道40号稚内～豊富—, 土木試験所月報第395号, pp2～16, 1986. 4
- John Manfredi et al. : Road Weather Information System Environmental Sensor Station Siting Guidelines, FHWA-HOP-05-026, 2005.

表 4 吹雪時における視程評価に向けた計測・表現方法の素案

		吹雪時の視程評価方法の素案	課題・問題点
計測方法	計測項目	視程計測値(光学式視程計) 又は 飛雪流量、雪粒子の投影面積フラックス(SPC)	・道路利用者の感じる視程は視程計測値に比べ短く見積もられる傾向があり補正が必要。 ・道路利用者の感じる視程との相関は視程に比べ飛雪流量や雪粒子の投影面積フラックスの方が高い。 ・実用性、コスト(飛雪流量や雪粒子の投影面積フラックスの計測にはSPCが必要となる。)
	計測高さ	路外で計測する場合は、平均積雪深+1～1.5m程度 道路上で計測する場合は路面高1.5m程度	・路側の雪堤が高い場合は、路上の視程低下が大きいため、別途検討が必要。 ・埋没しないよう最大積雪深に対して余裕を持つ
	計測位置	可能な限り道路近傍	・道路除雪や道路構造の違いなどによる影響について要検討
表現方法	計測値の処理	計測値の平均処理: 10分以下 視程変動の考慮: さらに検討が必要	・研究では視程変動強度を用いた。 ・平均処理の対象時間、視程変動の表現方法、最低視程の必要性は今後の検討課題
	道路交通における視程の定義	さらに検討が必要	・視程板と計測項目の関係を明らかにしたが道路上の目標物(視線誘導施設、車両)と計測項目の関係も明らかとすることが必要
	計測値の補正など	降雪の有無、路面状況、周辺環境(市街地・郊外部)、時間帯による補正、雪堤の高さによる補正	・定量的な視程への影響度の把握が必要

STUDY ON SNOWSTORM-INDUCED POOR VISIBILITY

Abstract : The visibility values used in devising measures to mitigate blowing snow on roads as well as for road management are meteorologically defined; no method to ascertain visibility and its measurement for road traffic control has yet been fully established. A subject experiment was therefore conducted using road images in blowing snow conditions to study methods of evaluating visibility in road traffic.

The experiment revealed that the visibility experienced by road users in blowing snow conditions is approximately 70 meters lower than conventionally measured visibility, and that it has a high correlation with the mass flux of snow measured at 2.1 m above the ground and the flux of the snow-particle projected area. It was also learned that the visibility experienced by road users during blowing snow is affected by the intensity of visibility fluctuation, the presence or absence of snowfall, road surface conditions, the surrounding environment (i.e. urban or suburban) and time periods, and is hardly influenced at all by the direction of the blowing snow. Potential methods of measuring and expressing visibility in blowing snow conditions were also studied.

Key words : snowstorm, visibility, poor visibility, visibility measurement