

# 吹雪時における視線誘導施設の視認性と視程への影響

(独) 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム ○武知 洋太  
松澤 勝  
中村 浩

冬期道路では吹雪視程障害対策として防雪林や防雪柵に加え視線誘導施設の整備が進められているが、昨今の公共事業費の縮減によりこれまで以上に効率的な対策の整備が求められる。しかし、視線誘導施設は道路上の吹雪による飛雪そのものを軽減する対策でないことから、防雪林や防雪柵と対策効果を直接比較することが困難である。

そこで本調査では、視線誘導施設の吹雪視程障害対策としての効果をより定量的に把握する事を目的に、道路利用者が道路上で吹雪時に感じている視認距離への視線誘導施設の影響やその視認性について調査を行った。その結果、スノーポールに比べ固定式視線誘導柱の方が吹雪時に視認できる距離が長い傾向が得られたほか、視線誘導施設が存在することによる道路の視認性に関する改善効果を確認した。

キーワード：吹雪、視線誘導施設、視程、視認性

## 1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路では、吹雪対策として防雪林や防雪柵に加え視線誘導施設の整備が進められているが、昨今の公共事業費の削減によりこれまで以上に効率的な対策の整備が求められている。しかし、視線誘導施設は道路上の吹雪による飛雪そのものを軽減する対策でないことから、防雪林や防雪柵と対策効果を直接比較することが困難である。

そこで本調査では、視線誘導施設の吹雪視程障害対策としての効果をより定量的に把握する事を目的に、道路利用者が道路上で吹雪時に感じている視認距離への視線誘導施設等の影響やその視認性について調査を行った。本文では、その結果について報告する。

## 2. 視線誘導施設の視認性調査

### (1) 調査方法

#### a) 視線誘導施設の視認性

著者らは、北海道石狩市美登位に位置する石狩吹雪実験場内試験道路の直線区間において、吹雪時における視線誘導施設の視認性について被験者を集めアンケートにより調査を行った。なお、調査は吹雪の発生した2008年2月13日、28日及び2009年2月15日、17日、21日、3月11日及び2010年2月6日、7日、20日の日中、薄暮、夜間の時間帯に行った。

調査対象とした視線誘導施設は、北海道の道路で視線誘導施設に主に用いられる非発光式及び自発光式の固定式視線誘導柱（以下矢羽根とする）と伸縮式デリニエー

タ（以下スノーポールとする）とした(図1)。調査に用いた各視線誘導施設の規格と調査時における観測位置からの設置距離及び本数は表1に示す通りである。

調査には、2008年及び2009年の各調査日には約10名、2010年の各調査日には5名の被験者を集めた。調査に参加した被験者数は2008年が2日で計20名、2009年が4日間で計41名、2010年が3日間で計11名で、被験者の性別、年齢は図2に示す通りである。

調査では、被験者に試験道路の直線区間の起点に配置した観測車両又は観測小屋(図3)の中より、吹雪時に



図1 視線誘導施設の設置状況

表1 視線誘導施設の設置状況

視線誘導施設の種類	規格	調査年	観測位置からの距離(m)						
			1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	6本目	7本目
スノーポール	反射板(φ100mm)付き 上部赤白模様	2008	43.3	88.4	128.66	183.8	245.88	-	-
		2009	10	40	80	120	160	200	240
		2010	10	40	80	120	160	200	240
非発光式矢羽根	表面:カプセルレンズ型 設置高5.0m	2008	80	160	240	-	-	-	-
		2009	25	110	190	270	-	-	-
		2010	25	110	190	270	-	-	-
自発光式矢羽根	表面:カプセルレンズ型 発光方法:点滅式、LED累計光 度160cd 設置高5.0m	2008	80	160	240	-	-	-	-
		2009	25	110	190	270	-	-	-
		2010	25	110	190	270	-	-	-

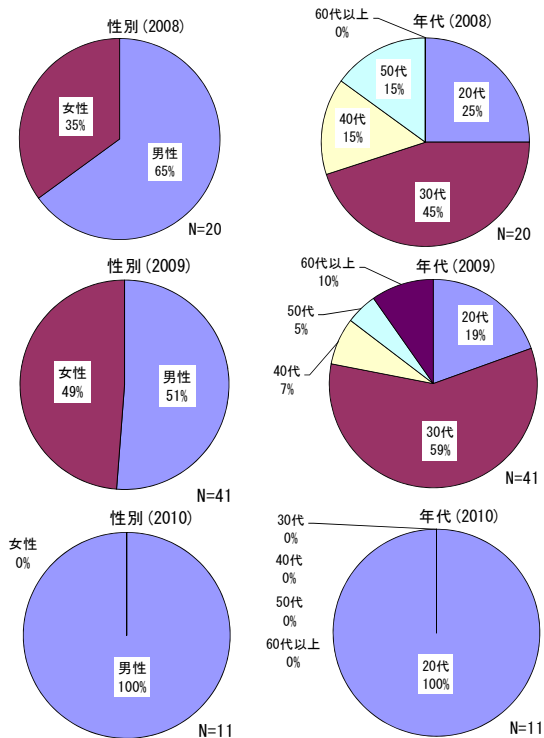


図 2 被験者の属性



図 3 観測状況 (観測車両及び観測小屋)

各視線誘導施設を前照灯を点灯した状態で視認させ、各施設別に 1 本毎の視認性についてアンケート調査を行った。2008 年のアンケート調査では見え方について「非常によく見える」「よく見える」「まあまあ見える」「かろうじて見える」「見えない」の 5 段階で回答させた。また、2009, 2010 年のアンケート調査では見え方を「見える」「見えない」の 2 段階で回答させた。本文では、2008 年のアンケート調査で得た「非常に

よく見える」「よく見える」「まあまあ見える」「かろうじて見える」を「見える」と評価し、目標物の視認性を全て「見える」「見えない」の 2 段階で評価した。

b) 調査時の気象状況

試験道路の風上近傍において、気温計、風向風速計 (コーナシステム (株) 製 KDC-S04)、積雪深計 (コーナシステム (株) 製 KADEC21-YUKI) を設置し、調査時における気温、風速及び積雪深を把握した。ただし、2010 年の積雪深については静止画カメラ (ノースワン (株) 製 KADEC-EYE II) により撮影した画像より読み取り把握した。

また、2008 年は風上の地上高 3.0m、2009 年は風上の地上高 1.5m 及び試験道路の中央分離帯の地上高 1.5m、2010 年は風上の地上高 2.1m 及び中央分離帯の地上高 1.2, 2.4m に透過型視程計 (明星電気 (株) 製 TZE-2T) を設置し、視程 (以下、機械視程計測値 (Vm) とする) をサンプリング間隔 1 秒で計測した。

さらに、調査時には照度計 (コニカミノルタ製 T10) を用い地上高概ね 1m において照度の計測を断続的に行った。表 2, 図 4 は調査を行った時間とその時の照度を示したものである。表 2 に示した通り、本文では概ね 1000lx より明るい照度の時に行った調査を日中、1000lx ~ 1lx の照度の時に行った調査を薄暮時、1lx 未満の照度の時に行った調査を夜間とし時間帯を分類した。

表 3 は調査時の気温、風速、積雪深を示したものである。既往研究<sup>2)</sup>によると、気温 2℃ 以下で地上高 7m の風速が概ね 5m/s 以上で低い地吹雪が、概ね 8.5m/s 以上で高い地吹雪が発生することが確認されており、表 3 より

表 2 実験の実施時間と時間帯

調査日時	調査時間	時間帯	調査日時	調査時間	時間帯	調査日時	調査時間	時間帯
2008.02.13	13:30:30 - 14:56:15	日中	2009.02.15	13:47:30 - 15:31:30	日中	2010.02.06	15:57:00 - 16:11:20	日中
	16:37:10 - 17:36:30	薄暮		16:39:40 - 17:14:40	薄暮		16:24:00 - 16:50:15	薄暮
	18:19:15 - 19:10:50	夜間		18:08:20 - 18:41:10	夜間		18:29:00 - 18:55:30	夜間
2008.02.28	13:35:00 - 14:39:45	日中	2009.02.17	13:24:50 - 15:20:35	日中	2010.02.07	10:38:20 - 11:02:05	日中
	16:27:15 - 17:12:55	日中		16:44:10 - 17:33:00	薄暮			
	18:22:45 - 18:45:00	夜間		18:30:40 - 19:04:00	夜間			
			2009.02.21	13:18:50 - 15:26:20	日中	2010.02.20	15:51:20 - 16:04:25	日中
				17:32:15 - 17:54:20	薄暮			
				18:09:10 - 18:28:45	夜間			
			2009.03.11	15:21:50 - 16:36:00	日中			
				17:29:20 - 18:06:00	薄暮			
				18:33:40 - 19:08:00	夜間			

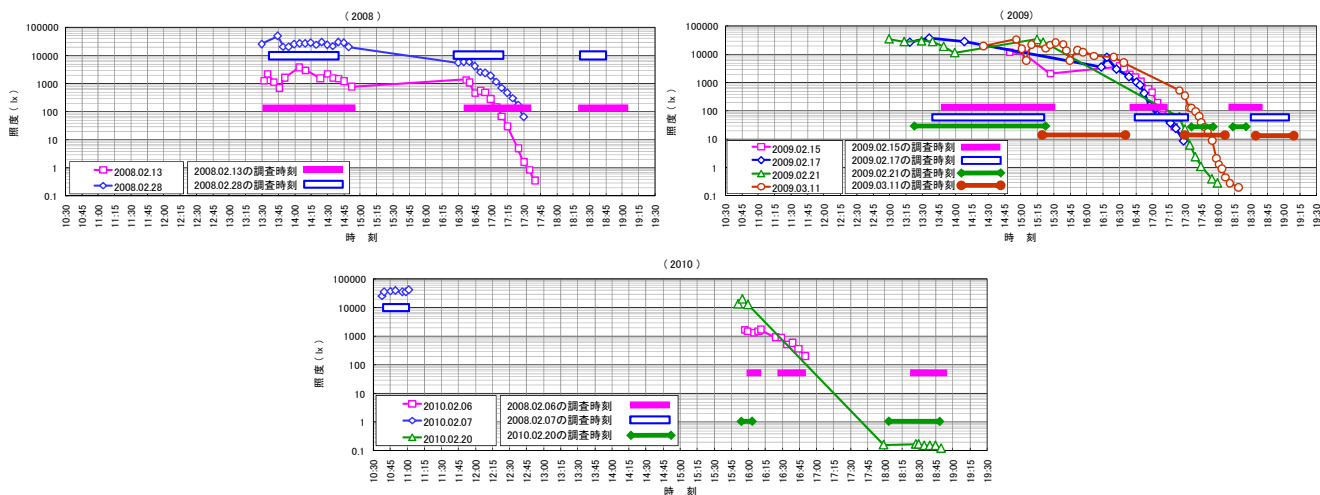


図 4 実験時の照度

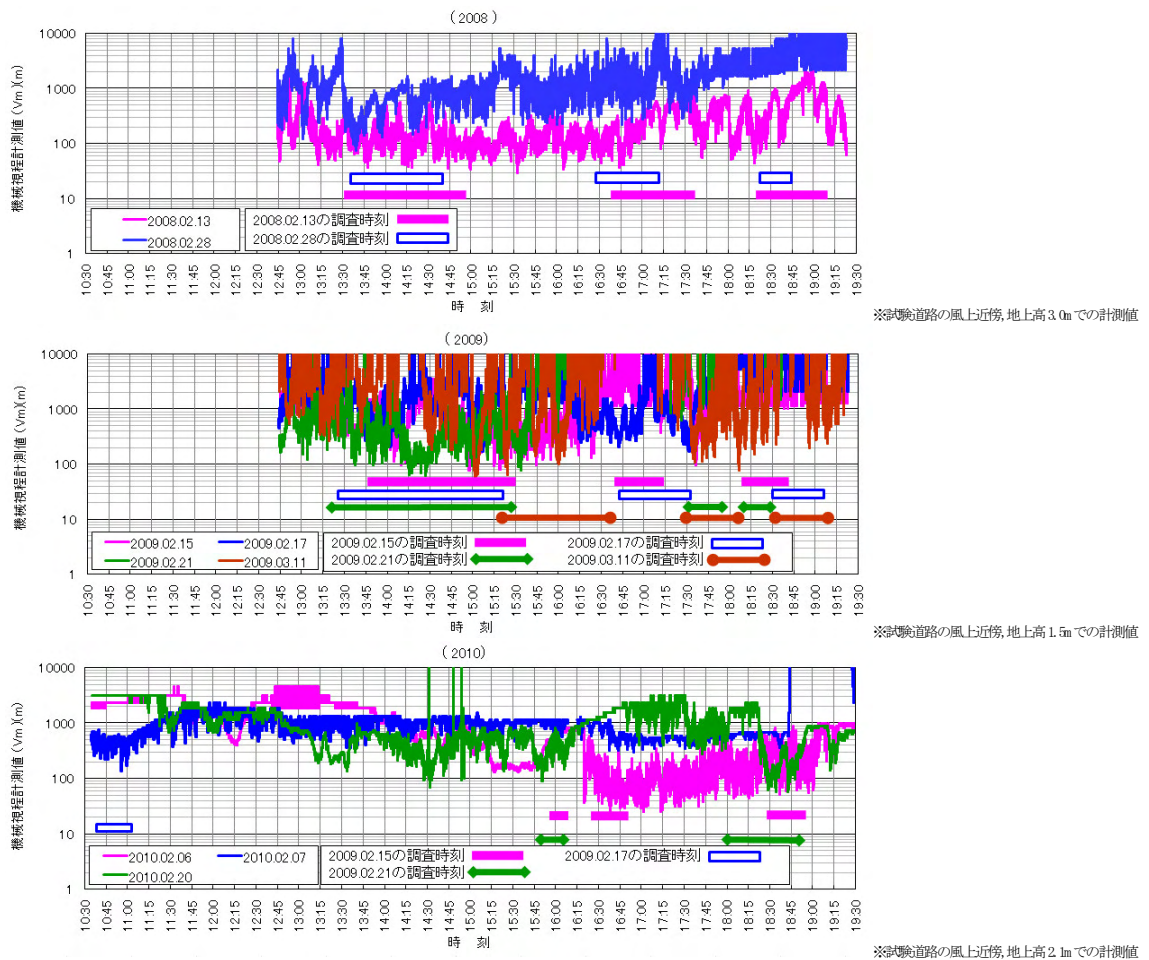


図 5 実験時の機械視程計測値

表 3 実験時の気象状況

実験日	2008年		2009年				2010年			
	年月	2月13日	2月28日	2月15日	2月17日	2月21日	3月11日	2月6日	2月7日	2月20日
気温(°C)	MAX	-7.55	-2.22	1.60	-1.00	-3.50	-1.20	-5.40	0.40	-3.30
	MIN	-8.15	-6.15	-6.10	-5.90	-5.70	-4.30	-7.70	-0.20	-6.50
風速(m/s)	平均	9.16	8.29	6.07	5.22	6.56	6.87	9.49	8.91	6.43
	MAX	17.90	16.10	14.50	12.60	14.00	13.90	19.30	15.00	12.50
積雪深(m)	MAX	3.50	2.30	1.80	1.20	2.20	2.90	0.20	4.40	2.00
	MIN	0.78	1.19	0.59	0.73	0.86	0.78	1.20	1.30	1.30

※各実験日のデータ期間は12:45~19:30とした。  
ただし、2010年の実験日のデータ期間については実際に実験を行った期間とした。

調査時は吹雪の発生し易い状況であったと考えられる。

なお、試験道路の風上における調査時のVmは図5に示す通りである。図5より、2008年2月13日の日中には機械視程計測値が100m以下に低下しており、日中の調査時には厳しい吹雪視程障害の事例が数多く発生した。

また、2010年2月6日には薄暮や夜間に機械視程計測値が100m以下に低下しており、薄暮や夜間の調査時に厳しい吹雪視程障害の事例が数多く発生した。なお、調査時の積雪深は表3に示す通りであったことから、試験道路風上で計測されたVmの雪面からの計測高さは2008年の調査時に概ね1.8~2.2m、2009年の調査時に概ね0.6~0.9m、2010年の調査時に概ね0.8~0.9mであったと考えられる。

## (2) 調査結果

### a) 視線誘導施設の視認距離

視線誘導施設の実際の視認距離は、被験者に「見え

る」と評価された最も遠方の施設までの距離より長く、「見えない」と評価された施設までの距離より短い。そこで、「見える」と評価された最も遠方の施設と「見えない」と評価された施設の中間地点までの距離を視線誘導施設の視認距離（以下、視線誘導施設視認距離(Vd)とする）と評価することとし、機械視程計測値(Vm)と比較を行った。

なお、地吹雪の飛雪空間濃度は高さによって一定ではなく雪面に近い程に濃い<sup>2)</sup>。このため、被験者が評価した試験道路上の高さ約1.2~1.5mでの視線誘導施設のVdとVmの関係は、Vmの計測高さや位置の違いによっても異なることが考えられる。そこで、VdとVmの関係を整理するに当たってはVmの計測位置や高さ別に整理を行った。

図6、図7、図8は、各視線誘導施設の視認距離Vdと試験道路上及び風上近傍の機械視程計測値Vmとの関係を時間帯別に示したものである。また既往研究<sup>3)</sup>において、気象学上の定義に基づいた<sup>4)</sup>視程板を目標とした場合の視認距離VbはVmより短く、日中には式(1)、薄暮時には式(2)に示す近似式の関係が得られている。このことから、図6、図7にはこの近似式から得られるVbを併せて破線で示した。

$$\text{日中} : \log(Vb) = 0.893 \log(Vm) - 0.088 \quad \dots (1)$$

$$\text{薄暮} : \log(Vb) = 0.788 \log(Vm) - 0.044 \quad \dots (2)$$

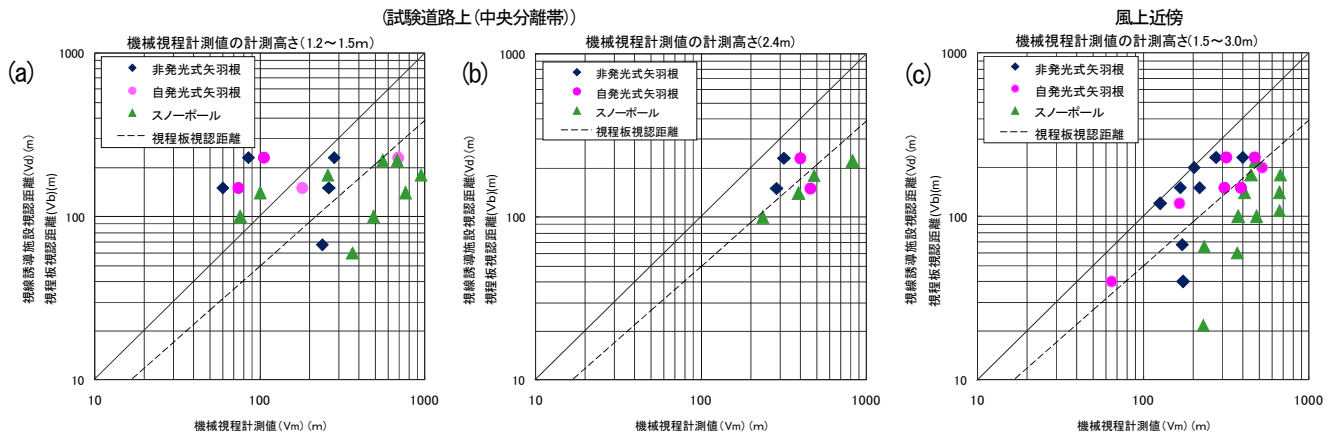


図 6 視線誘導施設視認距離と機械視程計測値（日中）

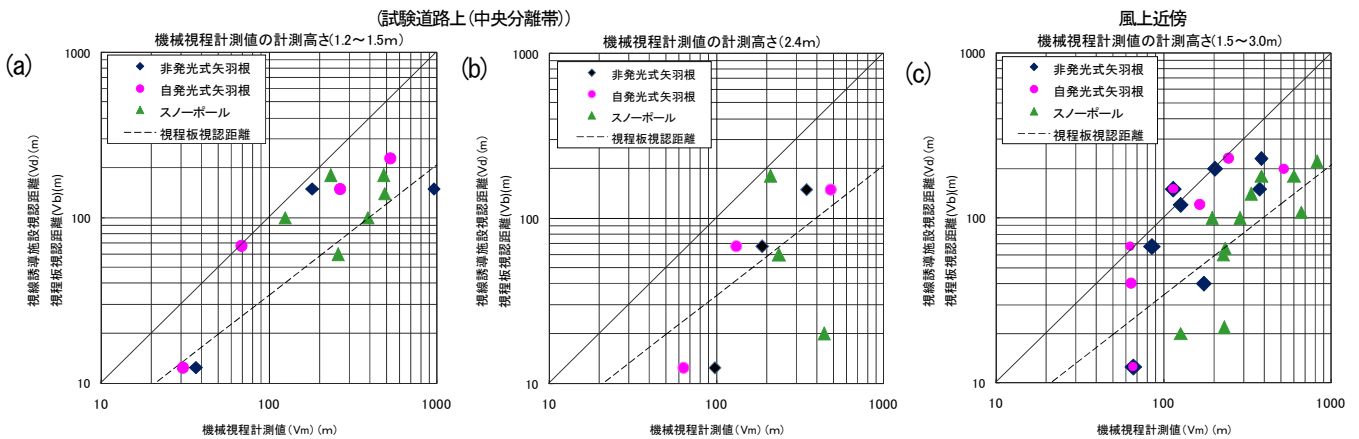


図 7 視線誘導施設視認距離と機械視程計測値（薄暮）

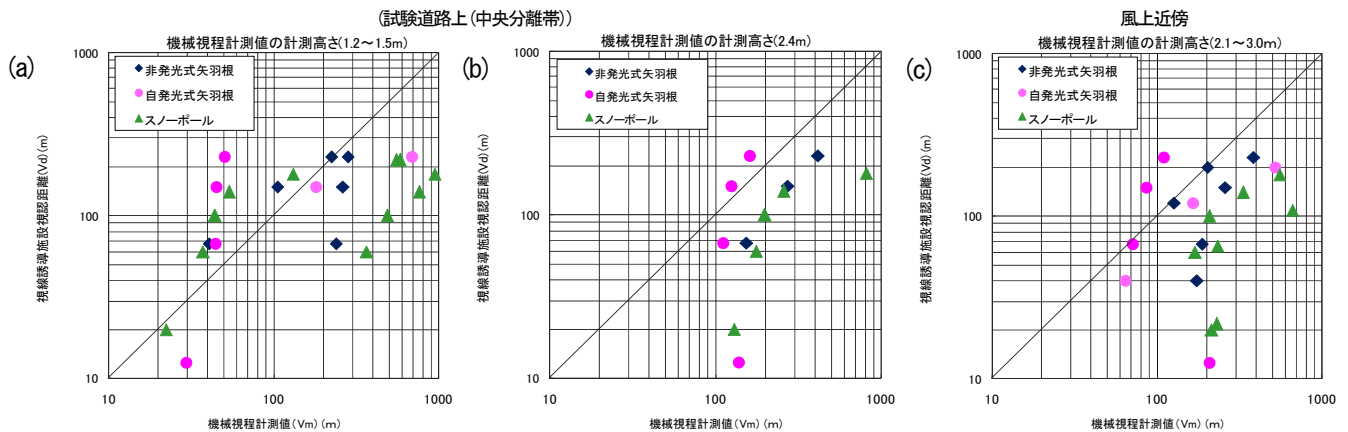


図 8 視線誘導施設視認距離と機械視程計測値（夜間）

日中の吹雪時において、図 6(a) (b) (c)より矢羽根の  $V_d$  は非発光・自発光式の違いによっては差はあまり見られず、スノーポール の  $V_d$  に比べ長い傾向が見られた。また、 $V_m$  が 100m~200m より大きい場合には、 $V_m$  の計測位置に関わらず矢羽根の  $V_d$  は  $V_m$  より短く  $V_b$  より長い傾向が見られ、スノーポールについては  $V_b$  と同程度かそれより短い傾向が見られた(図 6(a) (b) (c))。一方、各視線誘導施設の  $V_d$  は試験道路上高さ 1.2~1.5m で計測された  $V_m$  が概ね 100m 以下においては、 $V_m$  と同程度かそれより長い傾向が見られた(図 6(a))。

この原因については、視程計で計測される気象学上定

義された視程は視角 0.5~5° 以内の大きさの目標物が見通せる距離と定義されており、遠方ほど目標物が大きくなるのに対し、視線誘導施設の大きさは観測設置からの距離に関係なく一定であることから、近距離では  $V_d$  が大きく評価されたことが考えられる。

薄暮の吹雪時にも日中同様、図 7(a) (b) (c)より矢羽根の  $V_d$  は非発光・自発光式の違いによってあまり差は見られず、スノーポール の  $V_d$  に比べ長い傾向が見られた。

次に夜間の吹雪時においては、図 8(a) (b) (c)より非発光式矢羽根やスノーポールの  $V_d$  に比べ自発光式矢羽根の  $V_d$  の方が長い傾向がみられ、 $V_m$  の計測位置に関わ

らず、 $V_m$ が100m以上では $V_m$ と同程度、 $V_m$ が100m未満では $V_m$ より長い傾向が見られた。通常、視認性はコントラスト（輝度差）が大きいほど高い<sup>5)</sup>ので、背景輝度が低い薄暮や夜間では輝度の高い自発光式矢羽根は非発光式矢羽根に比べ背景とのコントラスト（輝度差）が大きくなり、視認性に違いが出たものと考えられる。

さらに、各視線誘導施設の時間帯別での $V_d$ に着目すると自発光式矢羽根の $V_d$ は日中に比べ夜間の方が長い傾向がみられた。一方、非発光式矢羽根やスノーポールの $V_d$ については時間帯の違いによってあまり差は見られなかった。また、計測位置の違いによって各視線誘導施設の $V_d$ と $V_m$ の関係に大きな差異は見られなかった。

### 3. 視線誘導施設の視認距離への影響

#### (1) 調査方法

著者らは、日中の吹雪時に撮影した走行中の道路映像を被験者に見せ、道路の視認性についてアンケート調査を行った。なお、調査は寒地土木研究所内の講堂で計114名の被験者を対象に行った。被験者114名の属性は図9に示す通りであり、視力は普通免許の取得に必要な遠見視力が両目で0.7以上である。

アンケート調査では、日中の吹雪時における各道路映像を40名前後の被験者に評価させた。評価には視線誘導施設（自発光式・非発光式矢羽根、非発光式視線誘導標（スノーポール又はデリニエータ）が存在する場合と視的目標物となりえる視線誘導施設や防雪柵、防護柵、電柱等の沿道施設が存在しない場合の計47ケースの道路映像を用いた。

また、道路映像の時間は全て10秒間とした。なお、アンケートでの評価項目は「視認距離」、「道路方向の確認性」、「路側の視認性」とし、「道路方向の確認性」及び「路側の視認性」については評点1から5の5段階で被験者に回答させた。なお、被験者には評点1を「全く分からない」、評点5を「よく分かる」と説明し、評点1と5の間は点数のみで評価をさせた。また、被験者の映像を見る位置は運転時と映像の視角が概ね同等となるようスクリーンから概ね3.5m手前とし、1回のア

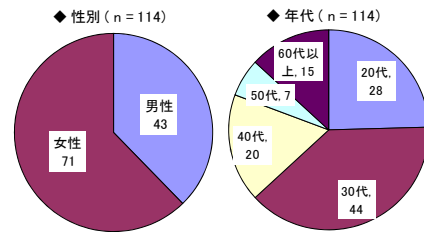


図9 被験者の属性

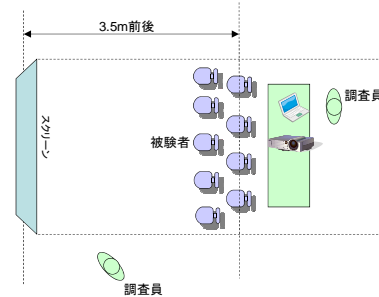


図10 映像の視認方法



図11 視程障害移動観測車

ンケート調査は10名前後の被験者を対象に行った（図10）。なお、アンケート調査に用いた道路映像及び気象状況は、2010年1,2月の吹雪が発生した日中に北海道石狩市とその周辺においてビデオカメラ、前方散乱型視程計（TZF-4）を搭載した<sup>6)</sup>視程障害移動観測車（図11）を用い観測した。

#### (2) 調査結果

図12には、各視線誘導施設が存在する場合と視的目標物となりえる沿道施設が何も存在しない場合の道路映像に対する被験者の評価と前方散乱型視程計で計測された視程（機械視程計測値： $V_m$ ）の関係を整理した。なお、

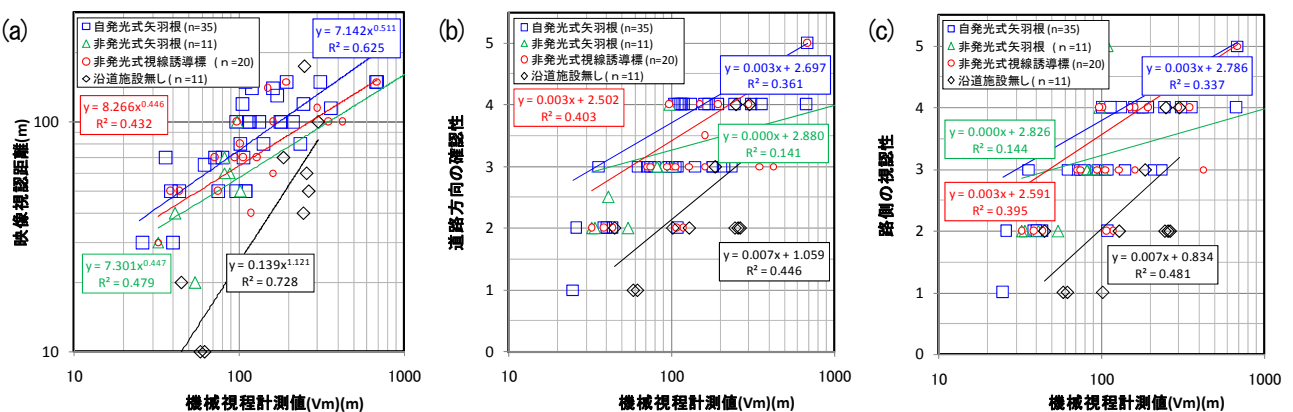


図12 吹雪時における視線誘導施設の有無による視認距離・道路方向の確認性・路側の視認性と視程計測値（日中）

各映像の視認距離（映像視認距離）、道路方向の確認性、路側の視認性の評価は全被験者が回答した評価の中央値を用いて行った。

図 12 (a)より、視線誘導施設が存在する場合と道路周辺に視的目標物となりえる沿道施設が存在しない場合を比較すると、被験者が感じる映像視認距離は  $V_m$  が 40-60m の場合、最大で 50m 程度視線誘導施設が存在する場合の方が大きかった。また沿道施設が存在しない場合、映像視認距離は  $V_m$  が 40-60m の場合で 20-50m 程度、 $V_m$  が 300m の場合で 200m 程度短い傾向が見られ、被験者が感じている視程は視程計で計測される視程に比べ短いことが確認された。

次に道路方向の確認性や路側の視認性については、図 12 (b) (c)に示した通り沿道施設が存在しない場合には  $V_m$  が 200-300m 程度の道路映像は評点 2-3 と評価されたが、 $V_m$  が 130m 未満の道路映像は評点が 1「全くわからない」又は 2 と評価された。一方、視線誘導施設が存在する場合には、 $V_m$  が 50m 以上の道路映像で評点が概ね 3 以上と評価された。このことから、 $V_m$  が概ね 100m を下回ると沿道施設が無い場合には運転が非常に困難な状況であることが考えられるが、視的目標物となりえる沿道施設が存在する場合は  $V_m$  が概ね 50m 以上であれば運転の困難度はある程度改善されると考えられる。

既往研究において加治屋ら<sup>7)</sup>は、吹雪時の機械視程計測値が 50m 以上 100m 未満の状況では「走行速度が顕著に低下するほか、速度をコントロールするアクセル踏量の標準偏差が大きくなり、ブレーキ回数も増加しはじめる」となる運転挙動を確認しており、「沿道の視的目標物を頼りに走行を維持している」と評価がされている。またさらに、吹雪時の機械視程計測値 50m 未満の状況では「急激な速度低下やハンドル操舵角の標準偏差が大きくなり、短い時間でのブレーキ回数も持続して多くなる」となる運転挙動を確認しており、走行状態は極めて不安定と評価されている。このように、本研究での評価はこれらの既往研究での調査結果とも一致しており、妥当と考えられる。

#### 4. まとめ

本調査の結果、吹雪対策として用いられる視線誘導施設である矢羽根及びスノーポールの視認性や効果について以下のことを明らかとした。

- 1) 吹雪時の日中及び薄暮においては、矢羽根の視認距離 ( $V_d$ ) は非発光式及び自発光式で違いが見られず、スノーポールの視認距離 ( $V_d$ ) より長い傾向が見られた。また、 $V_m$  が概ね 100m より大きい場合には矢羽根の  $V_d$  は  $V_m$  と同程度かそれよりも短い傾向が見られ、スノーポールの視認距離 ( $V_d$ ) は  $V_m$  より短い傾向が見られた。一方、日中の  $V_m$  が概ね 100m 以下の吹雪時においては、各施設の  $V_d$  ともに  $V_m$  より長い傾向が見られた。
- 2) 吹雪時の夜間には、自発光式矢羽根の視認距離 ( $V_d$ ) は非発光式矢羽根やスノーポールの視認距離 ( $V_d$ ) に比べ長い傾向が見られ、 $V_m$  が概ね 100m より大きい場合には  $V_m$  と同程度、 $V_m$  が概ね 100m 以下の場合には  $V_m$  より長い傾向が見られた。また、非発光矢羽根やスノーポールの視認距離 ( $V_d$ ) については日中や薄暮と同様、 $V_m$  と同程度かそれより短い傾向が見られた。
- 3) 被験者が感じる映像視認距離は、視線誘導施設が存在する場合、沿道施設が存在しない場合と比較し  $V_m$  が 40-60m で最大 50m 程度大きい傾向が見られた。
- 4) 視線誘導施設が存在する場合には、沿道施設が存在しない場合に比べ、 $V_m$  が 50m 以上の道路映像で道路方向の確認性や路側の視認性の評点が評点が 1「全くわからない」又は 2 との評価から概ね 3 以上と評価改善することが確認された。

今後は、本研究で得られた視線誘導施設などの視的目標物による視程改善効果や視認性を基に、道路利用者の視点に考慮した視程の評価方法についても検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 福沢義文: 降雪時の高い地吹雪の発生限界風速, 雪氷学会予稿集, 1986
- 2) 武知洋太, 松澤勝, 中村浩: 吹雪時に人間が感じる視程と視程計や吹雪計による計測値との関係, 北海道の雪氷, No. 28 (2009), (社) 日本雪氷学会北海道支部
- 3) 気象庁: 地上気象観測指針, (財) 気象業務支援センター, 2002
- 4) 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男: 吹雪量と飛雪量垂直分布, 雪氷, 第 37 巻第 3 号, p8-15, (社) 日本雪氷学会, 1975
- 5) 萩原亨, 小野寺雄輝, 小西真史, 香田一哉: 吹雪時における視線誘導灯のコントラスト特性に関する研究, 寒地技術論文・報告集 Vol. 12-No. 1, p344-345, (社) 北海道開発技術センター, 1996
- 6) 福沢義文, 竹内政夫: 車載型視程計の開発, 開発土木研究所月報, No. 464, p12-18, 開発土木研究所, 1992
- 7) 加治屋安彦, 松澤勝, 鈴木武彦, 丹治和博, 永田泰浩: 降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察, 寒地技術論文・報告集 Vol. 20, p325-331, (社) 北海道開発技術センター, 2004