

冬期道路の吹雪危険度評価技術に関する研究

武知 洋太¹・松澤 勝²・伊東靖彦³・金子学⁴・國分徹哉⁵

¹正会員 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail:hiro-takechi@ceri.go.jp

²正会員 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: masaru@ceri.go.jp

³正会員 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: yasu-ito@ceri.go.jp

⁴非会員 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: kaneko-m22ae@ceri.go.jp

⁵非会員 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: kokubu-t22aa@ceri.go.jp

冬期道路の吹雪危険箇所は、道路吹雪対策マニュアル等¹⁾²⁾に示される吹雪危険度評価や移動気象観測により調査が行われている。しかし、吹雪危険度の評価要因や評点は経験的に決められており、移動気象観測結果の評価方法が明確でないなどの課題がある。

本研究では、移動気象観測による吹雪危険箇所の評価方法や吹雪危険度の評価要因を定量的に明らかにするため、吹雪時に移動気象観測を実施し分析を行った。その結果、瞬間的な視程ではなく平均視程に応じ運転挙動に変化が見られ、平均視程 200m 未満でブレーキ操作による走行速度の低下が生じ、平均視程 100m 未満ではハンドル操舵角の標準偏差が大きくなる傾向が見られた。また、橋梁端部や防雪柵端部で平均視程の低下が見られ、道路構造が切土に比べ盛土や平坦地で平均視程が低くなる傾向が見られた。

Key Words : winter road, snowstorm, snowstorm risk, poor visibility, mobile meteorological observation

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりによって多重衝突事故や車両の立ち往生などの交通障害が多く発生している (図 1) ほか、北海道内の国道では通行止めの 4 割が吹雪に起因する。このため、



図1 冬期道路の吹雪による視程障害と交通障害



図2 道路防雪林 / 防雪柵 (吹払柵)

吹雪障害の発生する危険箇所へは、道路防雪林や防雪柵などの吹雪対策施設の整備が進められている (図 2)。

また近年、北海道では急激に発達した低気圧による暴風雪災害も発生しており³⁾⁴⁾⁵⁾、道路吹雪対策の整備は今後もますます重要と考えられる。

しかし、昨今では公共事業費の縮減が求められている。このため、道路吹雪対策の施設についても危険箇所への優先的な整備や更新等により、効率的かつ効果的に吹雪災害の軽減を目指していくことが重要である。

現在、道路吹雪対策の施設整備に当たっては、道路吹雪対策マニュアル¹⁾や道路防災点検の手引き²⁾などを基に吹雪危険度及び吹雪安定度が評価されているほか、移動気象観測車を用いた調査などにより吹雪対策の必要性や優先度などが検討されている。

しかし、既往の吹雪危険度評価では、危険要因や評点が経験的に決定されており、評価要因や各評点の重み付けの根拠などが不十分である。また、移動気象観測車を用いた調査に基づく危険度評価に関して、具体的な方法が明確にされていない等の課題がある。

そこで、移動気象観測データに基づく吹雪危険箇所の

評価方法の提案や吹雪視程障害要因の定量的な解明に向け、本調査では吹雪時に移動気象観測を実施し、視程データと運転挙動との関係や吹雪視程障害に影響を及ぼす沿道環境条件について分析を行った。

2. 観測方法

平成 24～25 年度冬期の吹雪が発生した日に、移動気象観測車（図 3）を用い観測を実施した。観測では 0.1 秒毎にデータを記録した。観測車には気温計、車載用小型視程計（TZF-31A：高さ 1.7m）、超音波風速計（CYG-85004：高さ 2.8m）、動画カメラ、GPS センサー、ブレーキ踏力計、アクセル踏量計及びハンドル操舵角計を搭載し、0.1 秒毎にデータを記録した。

また、調査員が助手席に同乗し、表 1 に示す運転危険度を記録した。

観測区間は、図 4 に示した通り北海道内の片側 1 車線の一般国道 4 路線 5 区間とし、各観測区間の主な道路構造や周辺環境条件は表 2 に示した通りである。各観測区間の観測日は表 3 に示す通りである。

なお、移動気象観測を実施したドライバーと調査員の属性は表 3、表 4 に示す通りである。



図3 移動気象観測車

表1 運転危険度のランク区分

ランク	運転危険度
1	運転することができず、停止
2	運転が困難で本当は停止したいが、やむを得ず走行
3	かろうじて走行可能だが、コンビニやGSなどの駐車スペースがあれば停車
4	視界が悪いため、ゆっくりと走行を継続
5	視界が比較的良好いため、通常の走行を継続

表2 移動気象観測区間と主な周辺環境条件

路線名 (一般国道)	市町村	KP	主な道路構造と周辺環境(吹雪対策施設)
R231	石狩市	15.0 - 52.0	盛土、橋梁、防雪柵(吹払柵・吹溜柵)、家屋
R232	羽幌町 初山別村 遠別町	35.9 - 73.0	盛土・切土、防雪切土、防雪柵(吹払柵・吹溜柵)、樹林帯、家屋
R238	猿払村 浜頓別町	216.0 - 274.3	盛土・切土、防雪切土、防雪柵(吹払柵・吹溜柵)、樹林帯(道路防雪林)、家屋
R238	佐呂間町 湧別町 紋別市	52.1 - 102.3	盛土・切土、防雪柵(吹払柵)、樹林帯、家屋
R243	弟子屈町	55.0 - 87.1	盛土・切土、防雪柵(吹払柵・吹溜柵)、樹林帯、家屋

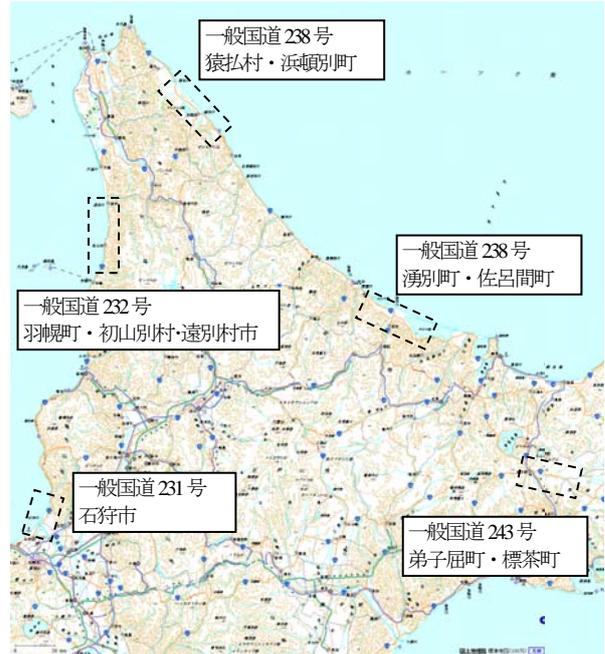


図4 移動気象観測箇所

表3 移動気象観測日と観測区間

路線	日時	KP	ドライバー	調査員
一般国道231号 石狩市	2012年12月26日	10:49 ~ 16:23	15.6 ~ 41.4	A H
	2013年2月19日	15:51 ~ 20:14	14.0 ~ 51.4	B I
	2013年3月10日	8:42 ~ 18:11	14.3 ~ 51.7	B I
	2014年1月13日	12:48 ~ 16:04	14.3 ~ 51.7	C J
	2014年1月28日	18:26 ~ 22:15	15.0 ~ 52.0	G H
	2014年1月31日	14:44 ~ 17:44	15.0 ~ 52.0	D H
一般国道232号 遠別町・初山別村 羽幌町	2012年12月27日	8:52 ~ 16:05	35.9 ~ 76.5	A H
	2013年2月2日	19:49 ~ 20:26	52.8 ~ 73.0	B H
	2013年2月3日	8:32 ~ 9:32	51.8 ~ 68.5	B H
	2013年2月5日	14:22 ~ 15:34	44.3 ~ 70.4	C I
	2013年2月20日	6:32 ~ 12:51	41.6 ~ 71.2	B I
	2014年1月11日	11:25 ~ 15:22	36.0 ~ 71.4	C J
	2014年1月28日	16:00 ~ 21:01	35.9 ~ 71.4	C J
	2014年1月29日	8:50 ~ 14:11	35.3 ~ 57.5	C J
	2014年1月31日	16:14 ~ 18:52	36.0 ~ 71.3	C J
	2014年2月3日	9:54 ~ 12:43	36.0 ~ 64.4	C J
一般国道238号 浜頓別町・猿払村	2013年1月26日	11:40 ~ 16:11	229.2 ~ 235.6	B H
	2013年2月3日	12:40 ~ 16:18	217.8 ~ 274.3	B H
	2013年2月23日	19:21 ~ 19:41	248.0 ~ 258.6	B I
	2013年2月24日	12:54 ~ 15:31	219.3 ~ 247.5	B I
	2013年12月27日	18:17 ~ 22:20	217.1 ~ 258.5	F B
	2014年1月26日	16:10 ~ 16:41	236.9 ~ 258.5	C J
	2014年2月5日	5:31 ~ 5:49	240.0 ~ 251.9	C J
	2014年2月10日	14:44 ~ 18:38	242.7 ~ 257.4	J C
	2014年2月18日	7:50 ~ 14:18	216.0 ~ 262.0	E H
	2013年2月8日	9:54 ~ 17:09	53.8 ~ 102.3	B I
一般国道238号 湧別町・佐呂間町	2013年3月2日	15:05 ~ 17:23	52.1 ~ 77.3	B I
	2014年2月9日	17:41 ~ 23:27	54.6 ~ 90.2	C J
	2014年2月17日	8:07 ~ 10:55	74.0 ~ 102.0	J H
一般国道243号 弟子屈町・標茶町	2013年3月1日	17:39 ~ 0:05	55.9 ~ 87.1	B I
	2013年3月2日	0:20 ~ 1:41	56.6 ~ 87.1	B I
	2014年1月27日	11:17 ~ 11:53	57.0 ~ 87.0	G H
	2014年2月16日	10:08 ~ 11:50	55.0 ~ 87.0	E H

表4 ドライバー・調査員の属性

観測者	属性				
	性別	年齢	冬期間の運転頻度	視力	備考
A	男	29	2日に1回程度	1.2	メガネ
B	男	27	毎日運転	0.8	裸眼
C	男	33	毎日運転	1.2	裸眼
D	男	44	毎日運転	1.0	裸眼
E	男	37	毎日運転	1.2	裸眼
F	男	33	毎日運転	1.0	メガネ
G	男	45	2日に1回程度	1.0	裸眼
H	男	32	2日に1回程度	1.2	裸眼
I	男	34	毎日運転	1.0	メガネ
J	男	30	毎日運転	1.2	裸眼

3. 観測結果

(1) 吹雪危険箇所の評価指標

吹雪視程障害による危険箇所を移動気象観測結果より評価する際には、吹雪時における運転の危険性と対応関係の良い気象指標を明らかにすることが必要と考えられる。そこで、吹雪時の視程と運転挙動等との対応関係について事例分析を行った。

分析は、風上に最大 300m 以上の吹走距離^①を有し吹雪視程障害が発生しやすいと考えられる、一般国道 232 号（北海道苫前郡初山別村・羽幌町）KP68-71 区間での観測結果を用いた。この区間は盛土道路に切土道路や土塁が風上側に混在しており、一部の箇所には吹溜柵や吹払柵などの防雪柵が設置されている（図 5）。



図5 土塁と防雪柵（吹溜柵（上）・吹払柵（下））

a) 吹雪危険箇所の評価指標

図 6 は、平成 24 年 12 月 27 日に一般国道 232 号 KP68-71 区間で観測した結果を示したグラフである。グラフには、0.1 秒毎に記録した気温、風速、視程、走行速度、ブレーキ踏力、アクセル踏量、ハンドル操舵角のデータと延長 50m、100m、200m の区間毎（以下、評価延長とする）に平均した視程データ（平均視程）、調査員が記録した運転危険度をキロポスト（KP）毎に示した。また、風上側に切土や土塁が存在する区間、橋梁部、防雪柵（吹溜柵・吹払柵）の設置箇所や道路の縦断勾配を付記した。また図 7 には、観測時に撮影した道路画像を示した。

図 6 より、吹溜柵の端部周辺の KP67.3、KP68.6、69.2 付近の 3 箇所（破線囲み部）では視程が瞬間的に 50m 未満に低下する事例が見られた。しかし、ブレーキ操作により走行速度が 20 km/h 未満にまで低下し、運転危険度が区分

1 「運転することができず、停止」と評価されたのは、KP68.6、69.2 付近の 2 箇所のみであった。吹雪は沿道環境条件の違いなどによって局所的に視程が低下するが、継続する延長で吹雪の危険性は異なるためと考えられる。

平均視程を見てみると、KP67.3 付近では評価延長に関わらず平均視程が 200m 以上確保されているのに対し、KP68.6 付近、69.2 付近では評価延長 50m の平均視程が概ね 200m 未満に低下するのに対応して走行速度が低下する傾向が見られ、吹雪の危険箇所を評価する場合には平均視程に着目することが重要と考えられる。ただし、100m 及び 200m 毎の平均視程を見てみると、速度低下の見られた KP68.6 付近、69.2 付近においても局所的な視程低下を評価できていなかった。

なお、KP69.6-70 付近では評価延長 50m の平均視程は 200m 以上であったが、ブレーキ操作により走行速度が低下する傾向が見られた。この区間の縦断勾配を確認すると 5% の下り勾配であったことから、この区間は平均視程以外の縦断勾配によって減速が生じたと考えられる。

このような移動気象観測結果より、吹雪時の危険箇所を評価する上では、概ね評価延長 50m の平均視程が適切な指標と考えられる。

そこで、以降の分析では評価延長 50m の平均視程（以下、平均視程とする）に着目することとした。

b) 吹雪危険箇所と沿道環境条件

図 6 に示した観測事例の平均視程に着目し、吹雪の危険箇所や沿道環境条件の影響について考察した。

図 6 の橋梁部（a、h 地点）に着目すると、平均視程が橋梁部端部では 200m 未満に低下しており、h 地点の橋梁端部では平均視程が 100m 程度まで低下しブレーキ操作による走行速度の低下に加えハンドル操舵角に大きな変化が見られるなど、運転への影響が確認された。一方、橋梁部では平均視程が 500m 以上に改善する傾向が見られた。

図 7 の橋梁部の道路画像からも同様の傾向が確認できる。

また、a) 項で述べた通り防雪柵の端部付近では、平均視程が 200m 未満に低下する箇所があり運転への影響が確認された。一方、吹溜柵（b、e、f、g 地点）や吹払柵（c 地点）の設置箇所では、平均視程が 200m 以上確保されている区間が多く見られ、b 地点を除き風速が 5m/s 程度まで低減するなど、防雪柵による効果が認められた。ただし、e、f、g 地点は風上の切土や土塁の上に吹溜柵が設置された区間であるため、切土構造や土塁も視程改善の要因として考えられる。

一方、吹払柵が設置された d 地点では、視程の改善が見られなかった。図 7 に示した観測時の道路画像を確認

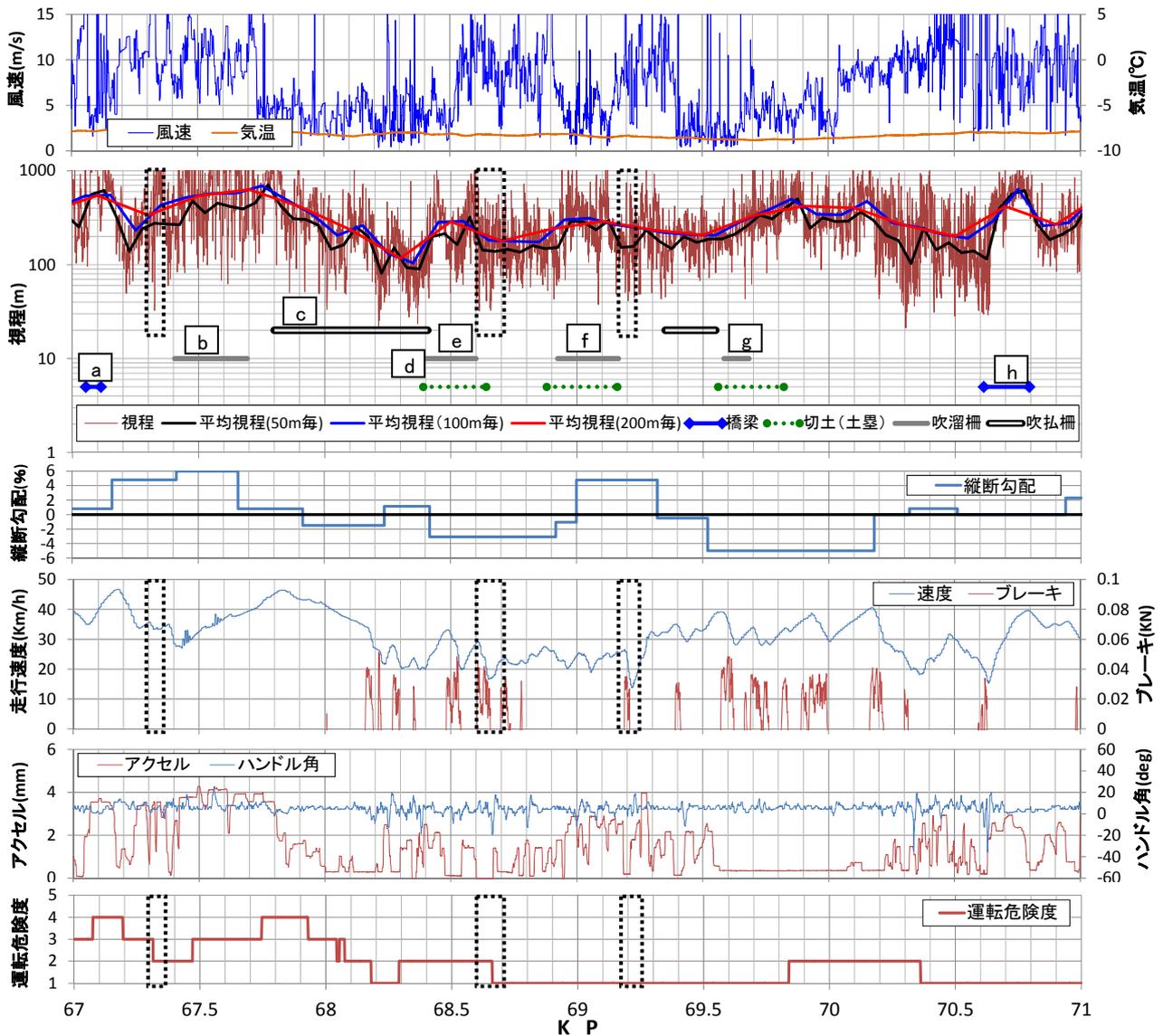


図6 移動気象観測事例(一般国道 232号 KP67-71 (初山別村~羽幌町) : H24. 12. 27)



図7 観測時の道路画像(一般国道 232号 KP67-71 (初山別村~羽幌町) : H24. 12. 27)

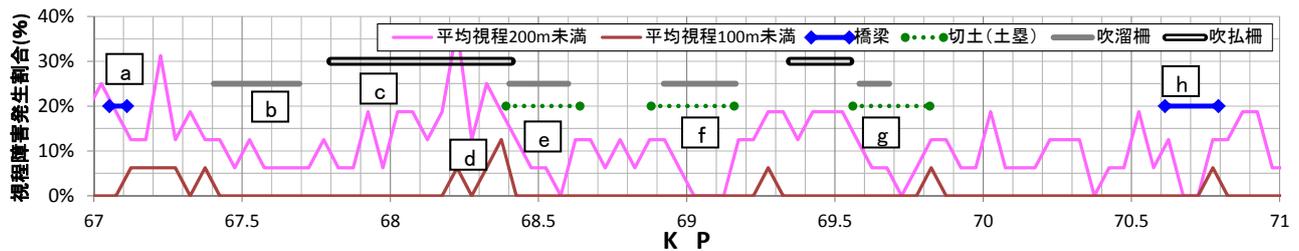


図8 視程障害の発生割合 ※H24. H25 移動気象観測事例(計 16回)より

すると、c 地点では吹払柵の下部間隙⁹⁾が概ね半分以上確保されているが、d 地点では路側に防護柵が設置されており下部間隙が半分以上閉塞していた。この下部間隙への堆雪状況の違いが、吹払柵が設置された d 地点で視程障害の改善が見られなかった要因として考えられる⁹⁾。

さらに図 8 には、一般国道 232 号 KP68-71 区間において吹雪時に取得した移動気象観測結果（計 16 回）における、評価延長 50m の区間毎の平均視程が 200m 未満及び 100m 未満であった事例数の割合（視程障害発生割合とする）を KP 毎に示した。

図 8 より、橋梁部(a, h 地点)の端部周辺で平均視程 100m 未満の発生事例が見られ、橋梁部では平均視程 200m 未満の発生割合が周辺より少なく、平均視程 100m 未満となる事例は見られなかった。

また、防雪柵端部周辺で平均視程 100m 未満の発生事例が見られ、防雪柵設置箇所(d を除く b, c, e, f, g 地点)では平均視程 200m 未満の発生割合が周辺に比べ少なく、平均視程 100m 未満の発生事例は見られなかった。

このように、視程障害発生割合からも、図 6 同様に橋梁端部や防雪柵端部で視程障害が発生する傾向が見られ、橋梁部や切土道路、土塁及び防雪柵の設置区間では視程が改善する傾向が見られた。

(2) 平均視程と運転挙動の関係

吹雪危険箇所の評価指標に平均視程を用いる場合には、平均視程と吹雪時の運転挙動との関係を明らかにし、吹雪の危険性が高くなる平均視程の閾値を明らかとすることが必要である。

そこで、その閾値を明らかとするため吹雪時の平均視程と運転挙動の関係について分析を行った。

a) 分析条件

分析では、4 路線 5 区間で実施した移動気象観測結果(表 3)を基に、平均視程と運転挙動の関係について整理を行った。ただし、平均視程以外による運転挙動への影響をできるだけ除外するため、日中の直線区間での観測データより評価延長 50m 毎の観測データを 200 事例抽出し分析を行った。なお、抽出した観測事例の平均視程にできるだけ偏りが生じないように、観測事例は平均視程 50~1000m の範囲から抽出した。

b) 分析結果

図 9 は、平均視程を 50m 以上 100m 未満、100m 以上 200m 未満、200m 以上 300m 未満、300m 以上 500m 未満、500m 以上 1000m 未満の 5 つに区分し、視程区分毎の観測事例の平均走行速度について平均値と標準偏差を示したグラフである。

図 10、図 11 は、同様に 5 つに区分した平均視程とブレーキ回数やハンドル操舵角の標準偏差との関係を示したグラフである。

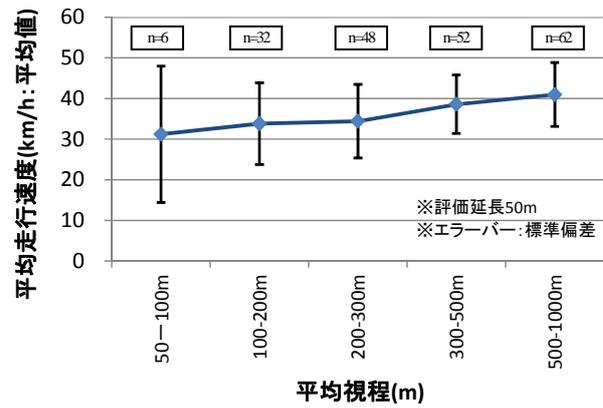


図9 平均視程と走行速度

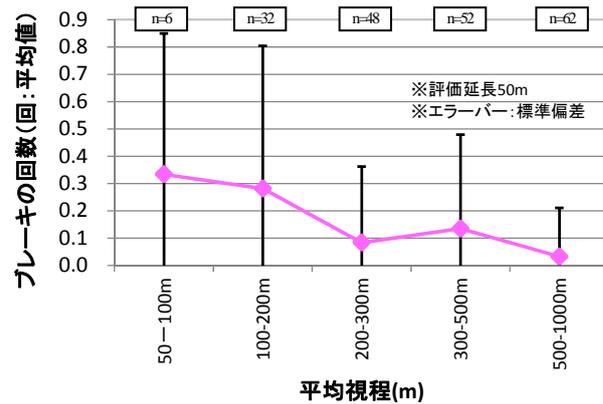


図10 平均視程とブレーキ回数

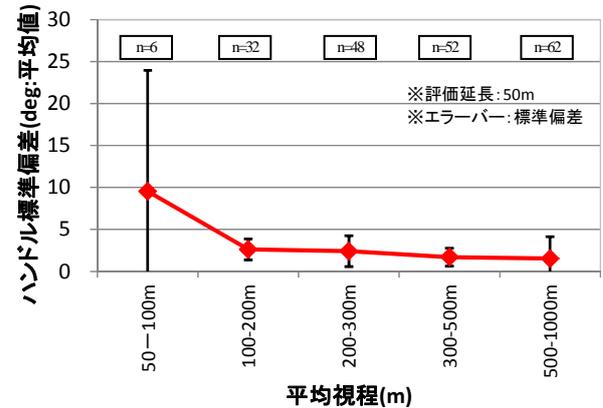


図11 平均視程とハンドル操舵角

図 9 より、平均視程が 300m 未満になると走行速度の平均値は 40 km/h を下回り、平均視程が 100m 未満では 30 km/h 程度まで低下しているほか走行速度の標準偏差が大きくなる傾向が見られた。

図 10 より、平均視程が 200m 未満になるとブレーキの平均回数が 0.1 回程度から 0.3 回程度まで増加する傾向が見られ、平均視程 200m 未満でブレーキ操作による減速がみられた図 8 で示した観測事例とも傾向が一致した。

さらに図 11 より、平均視程が 100~1000m の範囲ではハンドルの標準偏差に大きな違いが見られないが、平均視程が 100m 未満となるとハンドルの標準偏差が大きくなる傾向が見られた。この結果についても、図 8 で示した結果と傾向が一致した。

これらの結果より、移動気象観測により得られた平均視程が200m未満になると、吹雪視程障害によりブレーキ操作による減速が生じる傾向が高くなるほか、平均視程100m未満ではハンドル操舵角の標準偏差が大きくなる傾向から走行車線内を正確に走行することが困難になるなど吹雪の危険性が非常に高くなることが考えられる。

加治屋ら⁷⁾は、同様に視程低下に伴いブレーキ操作による走行速度の低下が生じハンドル操作が不安定になるなどの運転挙動を整理しており傾向は概ね一致した。ただし、ブレーキ操作による減速等、運転挙動と視程との関係は若干、閾値に違いが見られた。これらの原因については、視程の統計方法や調査を実施した道路の車線数などの条件の違いが要因として考えられる。

(3) 平均視程と沿道環境条件の関係

a) 分析条件

吹雪視程障害への影響が想定される沿道環境条件（地形、道路構造、風上の平坦地、樹林帯、家屋の有無やその長さ（表5））が、視程に及ぼす影響について平均視程に着目し分析を実施した。

なお、沿道環境条件の視程への影響を評価する上では

表5 沿道環境条件

地形	道路構造	風上平坦地	風上樹林帯	風上家屋 (市街地)
平野部	平坦	無し	無し	無し
山地・丘陵地	盛土	10~100m	断続的	断続的
海岸部	切土	100~300m	幅10~30m	幅10~30m
—	—	300m以上	幅30m以上	幅30m以上

できるだけ同一の気象条件下で比較を行うことが重要であるため、ここでは北海道内で死者9名を出す暴風雪災害が発生した2013年3月2日⁵⁾に一般国道238号 KP52.1~77.3で観測した事例（表3）を分析対象とした。

分析では、観測区間を評価延長50m毎に区分し、平均視程と表5に示す区分で道路台帳等を用い沿道環境条件を整理した。沿道環境条件と平均視程とを比較の際、平均視程には中央値、最大値、最小値、75%タイル値、25%タイル値及び平均値を用いた。また、比較する沿道環境条件以外の条件は、風上の平坦地の長さを10m以上、風上の吹雪対策施設、樹林帯、家屋は無しの場合に統一しデータを抽出した。

b) 分析結果

地形、道路構造、風上の平坦地、樹林帯、家屋の有無やその長さとの関係を、図12にそれぞれ示

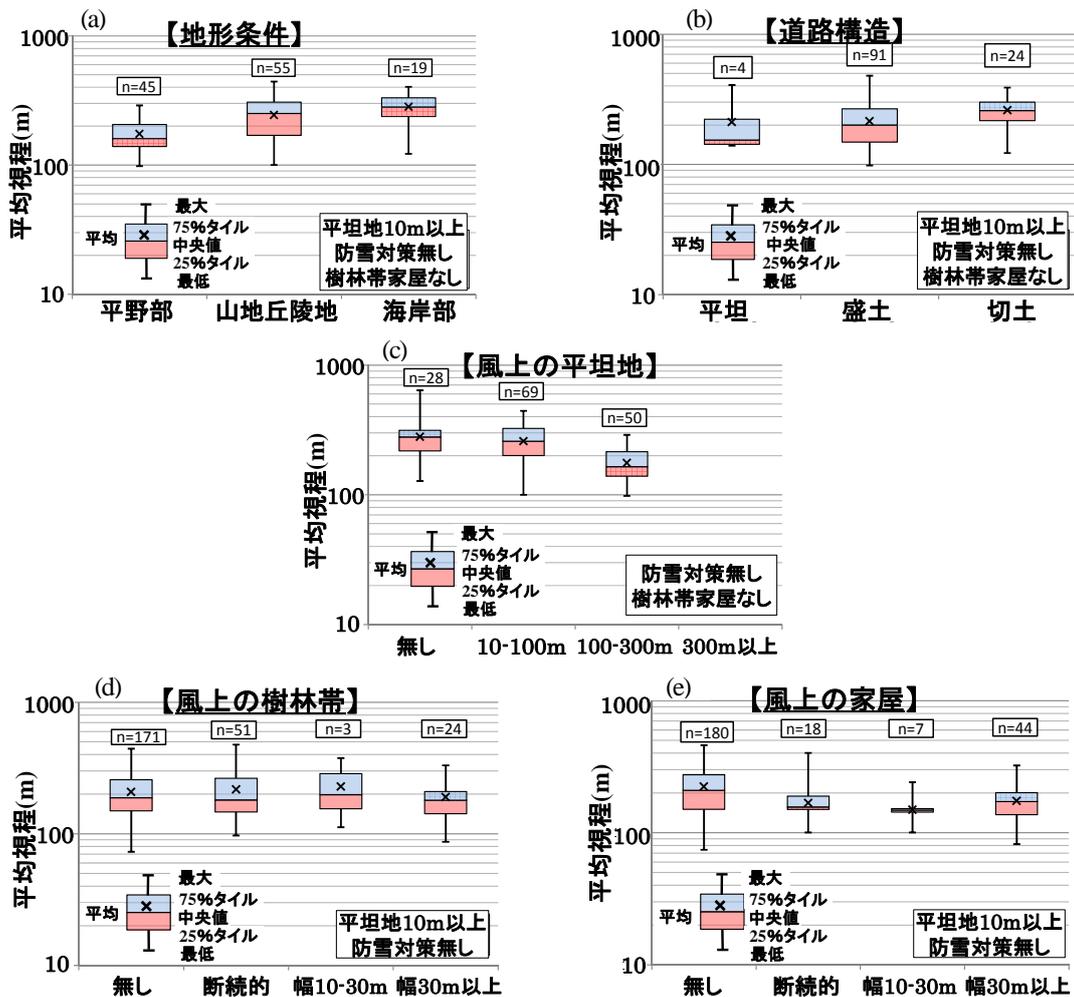


図12 平均視程と沿道環境条件 (一般国道238号 KP52.1~77.3 (佐呂間町~湧別町))

す。

図 12(a)より、地形条件について見ると、平野部では平均視程の中央値が 160m と最も低く、山地丘陵地では 91m、海岸部では 121m それぞれこの値より大きかった。山地丘陵地や海岸部は、平野部に比べ風上の吹走距離が比較的短いなど、地吹雪が発達しにくいことが要因として考えられる。また、平均視程のばらつきが山地丘陵地で大きく、海岸部で小さい傾向が見られた。山地丘陵地では、海岸部に比べ一般に地形が複雑で変化が大きいことが要因として考えられる。

次に図 12 (b)より、道路構造について見ると、平坦地では平均視程の中央値が 154m と最も小さく、盛土では 47m、切土では 106m それぞれこの値より大きかった。

さらに図 12 (c)より、風上の平坦地が長いほど平均視程は小さい傾向にあり、平坦地が 100-300m 存在する場合には無い場合に比べ中央値が 161m 小さかった。

一方、図 12 (d)より風上の樹林帯による影響について見ると、樹林帯が無い場合には幅 10-30m の樹林帯がある場合と比べて、平均視程の最低値が 73m から 112m に大きくなるものの、中央値や平均値には大きな差が見られなかった。さらに図 12 (e)より、家屋による影響について見ると、家屋が存在する場合には平均視程の中央値が 148m であり、家屋が無い場合の 209m に対して若干低い傾向が見られた。この要因としては、家屋が連続する市街地では道路周辺に除雪による堆雪が多く存在しており、これにより視程が低下しやすいことが考えられる。

このように、沿道環境条件の中では地形条件や風上の平坦地の有無と長さ、道路構造の違いによって、視程が比較的大きく低下しており、視程への影響が大きい傾向が見られた。一方、これらの沿道環境条件と比べて、風上の樹林帯や家屋による影響は比較的小さかった。

4. まとめ

(2014. 8. 1 受付)

本調査では、吹雪時の移動気象観測結果を分析する事により、以下のことが明らかとなった。

- 1) 吹雪時の走行においてブレーキ操作による走行速度の低下は、瞬間的な視程低下でなく評価延長 50m 毎の平均視程（以下、平均視程）の低下に伴い生じる傾向が見られた。このため、吹雪の危険箇所を移動気象観測データより評価する場合、瞬間的な視程でなく連続した視程の平均値を用いることが必要と考えられる。
- 2) 平均視程 300m 未満において走行速度が 40 km/h を下回り、平均視程 200m 未満になるとブレーキ操作の回数が増える傾向が見られた。また、

平均視程 100m 未満において、ハンドル操舵角の標準偏差が大きくなる傾向が見られた。

- 3) 橋梁端部や防雪柵端部で平均視程が低下する傾向がみられ、切土道路、土塁及び防雪柵の設置区間では視程が改善する傾向が見られた。
- 4) 平均視程は、沿道の地形条件が海岸部や山地・丘陵地部に比べ平野部で、道路構造は切土に比べ盛土や平坦地で低い傾向が見られた。また、風上の平坦地が長い程、平均視程が低い傾向が見られた。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改定版），2011
- 2) (財) 道路保全センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）平成 19 年 9 月，2007
- 3) 武知洋太，伊東靖彦，松下拓樹，山田毅，松澤勝，加治屋安彦：2008 年冬期に北海道で発生した吹雪災害状況と課題について(1)～2008 年 2 月・長沼近郊での事例について～，北海道の雪氷，No. 27，p99-102，日本雪氷学会北海道支部，2008
- 4) 伊東靖彦，武知洋太，松下拓樹，山田毅，松澤勝，加治屋安彦：2008 年冬期に北海道で発生した吹雪災害状況と課題について(2)～2008 年 4 月・釧路根室地方での事例について～，北海道の雪氷，No. 27，p103-106，日本雪氷学会北海道支部，2008
- 5) 松岡直基，萩原亨，金田安弘，丹治和博，川村文芳，中林宏典，永田泰浩：2013 年 3 月 2 日北海道の吹雪災害について－主に気象的特徴から－，北海道の雪氷，No. 32，p62-65，日本雪氷学会北海道支部，2013
- 6) 金子学，松澤勝，渡邊崇史：吹き払い柵の下部間隙閉塞率と防雪機能，寒地技術論文・報告集，vol. 29，2013
- 7) 加治屋安彦ほか：冬期道路とヒューマン・ファクターに関する研究-吹雪による視程障害時のドライバーの運転挙動-，寒地技術論文・報告集，vol. 16，325-332，2000