

冬期道路の吹雪危険度評価に関する研究 —吹雪時の視程障害と運転危険度に関する調査事例—

(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
金子 学

冬期道路の吹雪危険箇所については、道路吹雪対策マニュアルに示される吹雪危険度等により評価が行われているが、その評価要因や評点、危険度の区分は経験的に決められており定量的でない等の課題がある。そこで、視程と沿道環境や運転危険度との関係について、移動気象観測により調査を行った。その結果、風上の平坦地が長いほど視程が低く、視程50m未満ではブレーキ操作による車両の速度低下があり、運転危険度が高い傾向にあることなどを確認した。

キーワード：吹雪、視程障害、運転危険度、吹雪危険度、冬期道路

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おり¹⁾北海道内の国道では通行止めの4割が吹雪に起因する(図1)。このため、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)。



図-1 冬期道路の吹雪による視程障害と交通障害



図-2 防雪林 / 防雪柵 (吹き払い柵)

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を軽減していくことが重要である。

現在、吹雪対策の整備に当たっては、道路吹雪対策マニュアル²⁾や道路防災点検の手引き³⁾などを基に吹雪危険度及び吹雪安定度が評価されて、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

やその評点が経験的に決定されており、科学的には決められていない。また、風向を考慮した吹雪危険度評価の方法や移動気象観測車を用いた詳細な評価方法等が明確となっていない。さらに、吹雪危険度の評価に用いられる指標と、吹雪時の具体的な障害事象との対応関係が明確でない等の課題がある。

そこで、本調査では吹雪危険要因とその影響度の解明や、吹雪危険度評価指標の提案に向けて、吹雪視程障害と沿道環境や運転危険度との関係について、移動気象観測による調査を行った。

2. 調査方法

著者らは、移動気象観測車(図3)を用い一般国道232号と一般国道238号の図4に示す区間で地吹雪の発生日に、観測を実施した。移動気象観測車には、高さ1.7mに車載用小型視程計(TZF-31A)、高さ2.8mに超音波風速計(CYG-85004)、ハンドル操舵角計、ブレーキ踏力計、アクセル踏量計を搭載しており、これらの機器を用い走行中に計測を行った。なお、これらのデータ取得間隔は0.1秒である。また、観測日と観測区間は、表1に示す通りである。

一般国道232号の観測区間KP35.9~76.5は、海岸沿いの道路と風上側に広い平坦地(長い吹走距離)のある内陸の丘陵地を通る切土・盛土道路である。主に内陸を通る区間には、吹きだめ柵や吹き払い柵が設置されている。一般国道238号の観測区間KP52.1~102.3は、風上側に広い平坦地(長い吹走距離)のある平野部を通る道路と、山地・丘陵地を通る切土・盛土道路であり、吹走距離の長い区間には主に吹き払い柵が設置されている。

前述の機器による計測に加え、観測時には助手席に同乗した調査員が、表2に示す5ランクで運転危険度を評価



図-3 移動気象観測車



図-4 観測区間※国土地理院 基礎地図情報より

表-1 移動気象観測の観測日と観測区間

路線	日時	KP	観測者
一般国道232号	2012年12月27日 8:52 ~ 16:05	35.9 ~ 76.5	観測ドライバー(A), 調査員(A)
	2013年2月2日 19:49 ~ 20:26	52.8 ~ 73.0	観測ドライバー(B), 調査員(A)
	2013年2月3日 8:32 ~ 9:32	51.8 ~ 68.5	観測ドライバー(B), 調査員(A)
一般国道238号	2013年2月20日 6:32 ~ 12:51	41.6 ~ 71.2	観測ドライバー(B), 調査員(B)
	2013年2月8日 9:54 ~ 17:09	53.8 ~ 102.3	観測ドライバー(B), 調査員(B)
	2013年3月2日 15:05 ~ 17:23	52.1 ~ 77.3	観測ドライバー(B), 調査員(B)

表-2 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	視界が比較的良いため、通常の走行を継続

表-3 観測ドライバーと調査員

観測者	属性				
	性別	年齢	冬期間の運転頻度	視力	備考
観測ドライバー(A)	男	29	2日に1回程度	1.2	矯正あり
観測ドライバー(B)	男	27	毎日運転	0.8	矯正なし
調査員(A)	男	32	2日に1回程度	1.2	矯正なし
調査員(B)	男	34	毎日運転	1.0	矯正あり

表-4 沿道環境条件の整理区分

区分No	地形	道路構造	風上平坦地	風上樹林帯	風上家屋(市街地)	吹雪対策(防雪柵等)	吹雪対策の開口部	切盛土境沢地形
0	平野部	平坦	無し	無し	無し	無し	無し	無し
1	山地・丘陵地	盛土	10~100m	断続的	断続的	有り	有り	有り
2	海岸部	切土	100~300m	幅10~30m	幅10~30m	-	-	-
3	-	-	300m以上	幅30m以上	幅30m以上	-	-	-

した。観測ドライバーと調査員の属性は、表3に示す通りであり、表1に示した観測者に対応する。

さらに、沿道環境条件と観測結果とが対比できるように、本調査では観測区間を道路延長50m毎に区分し、表4に示す条件に基づいて各区間の沿道環境条件を整理した。なお、地形条件については、道路周辺に平坦地が広がっている場合を「平野部」、道路周辺に起伏のある地形がある場合を「山地丘陵地」、道路が海や湖に面する場合を「海岸部」として分類した。

3. 調査結果

(1) 移動気象観測事例

a) 一般国道232号における観測事例

図5は、切土と盛土道路区間(KP45.0-47.0)と、吹き払い柵の整備区間(KP52.5-54.5)での移動気象観測結果である。グラフには、各区間における風速、気温、視程(以下、瞬間視程)、走行速度、ブレーキ・アクセル操作やハンドル操舵角の変化とその時の運転危険度を示した。

さらに、区分した道路延長50m毎の平均視程(以下、平均視程)及び道路に対する風向と地形、道路構造、風上の平坦地・樹林帯・家屋の有無、吹雪対策(防雪柵)の有無やその長さの分類を図5に併せて示した。なお、道路に対する風向については、KP54.1の固定気象観測点(観測高さ、地上高2m(図4参照))のデータを用いて整理した。また図6は、観測時に撮影した道路状況である。

図5の事例1より、KP45.60-45.65付近の切土と盛土道路の境目(事例1(a))で風速が10m/s以上となり、瞬間視程が50m未満、平均視程で100m程度に低下した。運転挙動を見ると、ブレーキ操作により走行速度が40km/hから10km/h程度まで大きく低下した。さらに、前走車が走行困難となり道路上で停車したため、移動気象観測車も一時的に停止した。この時には、運転危険度も「ランク1:運転することができず、停止」と評価された。

また、KP45.95及びKP46.30の切土と盛土道路の境目近傍(事例1(b)(c))でも瞬間視程が100m未満に低下する事例が見られ、平均視程が200m未満に低下した事例1(c)ではブレーキ操作による速度低下が見られた。

次に図5の事例2より、吹き払い柵整備区間の手前(KP53.00-53.10(事例2(a)))で風速が5m/s以上となり、瞬間視程が50m未満、平均視程でも100m程度に低下した。運転挙動に着目すると、ブレーキ操作により走行速度が30km/hから10km/h程度まで低下し、対向車とのすれ違い時にハンドル操舵角の大きな変化が見ら

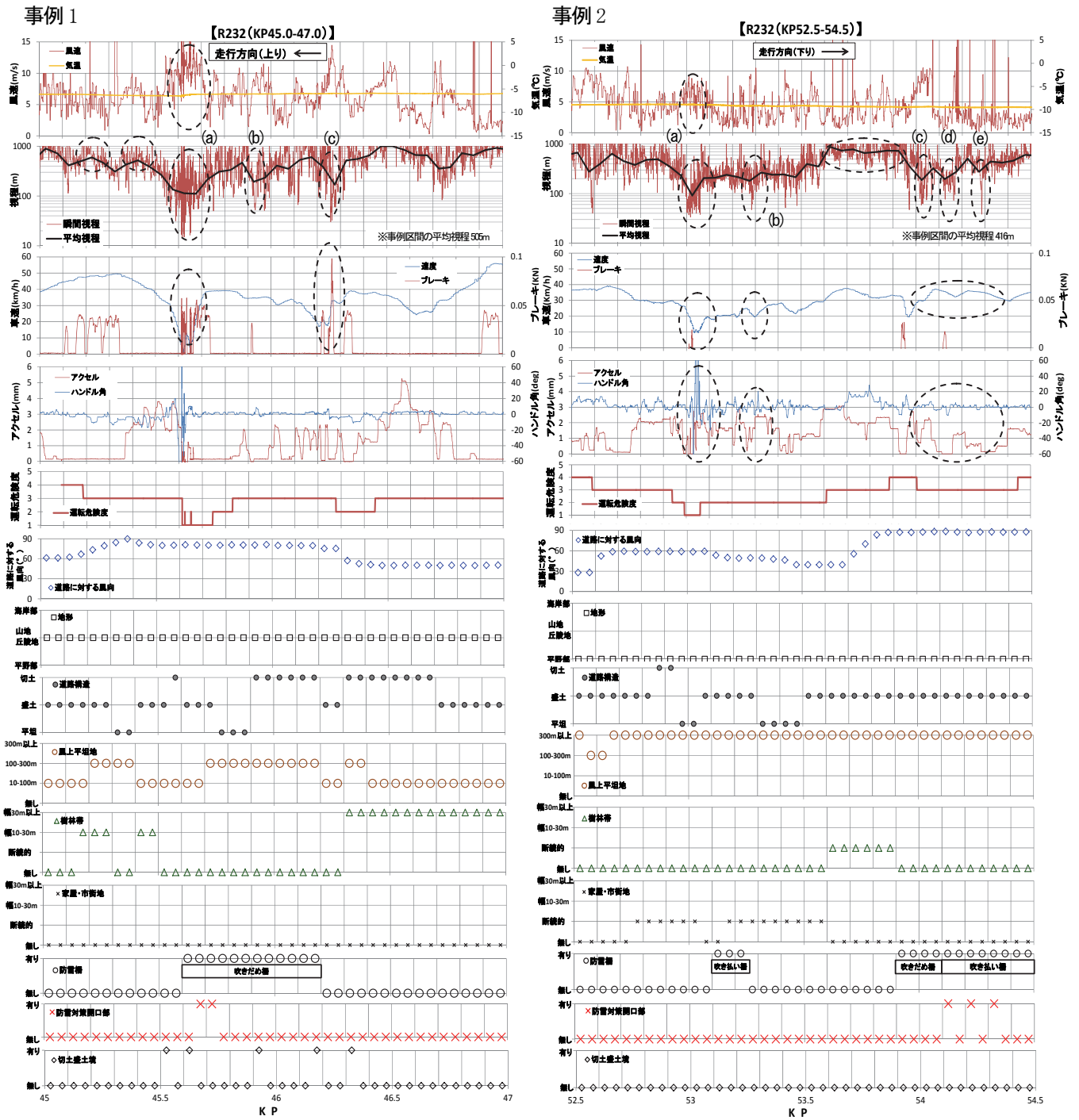


図-5 移動気象観測事例(一般国道 232 号)

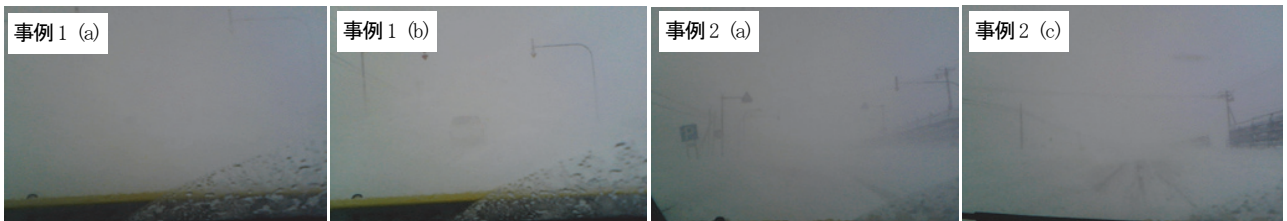


図-6 移動気象観測時の道路状況 (一般国道 232 号)

れた。また、この時にも運転危険度は「ランク 1: 運転することができず、停止」と評価された。同様に、吹き払い柵の端部付近(KP53.25-53.30(事例 2(b)))においても、瞬間視程が 100m 未満、一

時的には 50m 未満に低下した。ただし、平均視程は 200m 程度で、ここではアクセル操作に変化が見られるが、ブレーキ操作による速度低下は見られなかった。

次に、吹きだめ柵と吹き払い柵の境界（開口部）の手前 KP54.05 付近(事例 2(c))や、吹き払い柵の開口部手前の KR54.15 や KP54.30 付近(事例 2(d)(e))において瞬間視程が 100m 未満に低下した。特に、KP54.30 付近(事例 2(e))では一時的に瞬間視程が 50m 未満まで低下した。ここでも、平均視程については概ね 200m 以上確保されており、アクセルをゆるめる動作が見られたが、顕著な走行速度の低下は見られなかった。

このように、切土と盛土道路の境目や防雪柵の端部及び開口部等の沿道環境に変化のある箇所では視程が低下する傾向が見られた。瞬間視程が 50m 未満で、平均視程が 200~100m 未満に低下した場合には走行速度が大きく低下する一方で、平均視程が 200m 以上の場合は走行速度が大きく低下する傾向は見られなかった。

この結果より、ドライバーの運転操作に影響を及ぼす視程障害は、瞬間的な視程低下によるものではなく、一定以上の区間で視程の低下が連続して見られる場合と考えられる。このため、吹雪時の視程障害を評価する上では、ある程度連続した視程データに着目して評価することが重要と考えられる。

一方、風上に樹林帯が存在する事例 1 の KP45.2 及び KP45.4 付近や事例 2 の KP53.6-53.9 付近等では、平均視程が 500m 以上確保されており、樹林帯による視程の改善効果が見られた。

b) 一般国道238号における観測事例

図7は、観測区間の中で沿道環境の変化が比較的多い KP60.0-63.0 における観測データを示したものである。

さらに、区分した道路延長50m毎の平均視程、道路に対する風向（湧別アメダス（図4参照）の風向より整理）、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の区分を図7に併せて示した。なお観測時、風向風速計に着雪が発生し正常な観測ができなかったため、ここでは風速データについては除いて整理した。また図8は、観測時に撮影した道路状況である。

図7より、KP60.0-60.15、60.7-61.1、62.4-62.95 付近（事例3(a)(b)(d)）で一時的に瞬間視程が50m未満、平均視程が100m程度に低下した。これらの視程低下箇所は、道路に対する風向が30°以上となる区間と概ね一致していた。

このことから、道路に対する風向が概ね30°以上の場合に、視程障害となりやすいことが考えられる。ただし、KP60.0-60.15（事例3(a)）は橋梁端部付近であり、このような地形変化が視程低下に影響していたことも考えられる。

一方、風上に幅30m以上の樹林帯が存在するKP61.75-62.4付近（事例3(c)）では平均視程が概ね200m以上確保されており、視程が改善する傾向が見られた。

なお、平均視程が200m以上確保された事例3(e)(f)において、ブレーキ操作による速度低下がみられるが、それぞれ道路上に発生した吹きだまりによる速度低下と、機器点検等のため一時停車したものである。

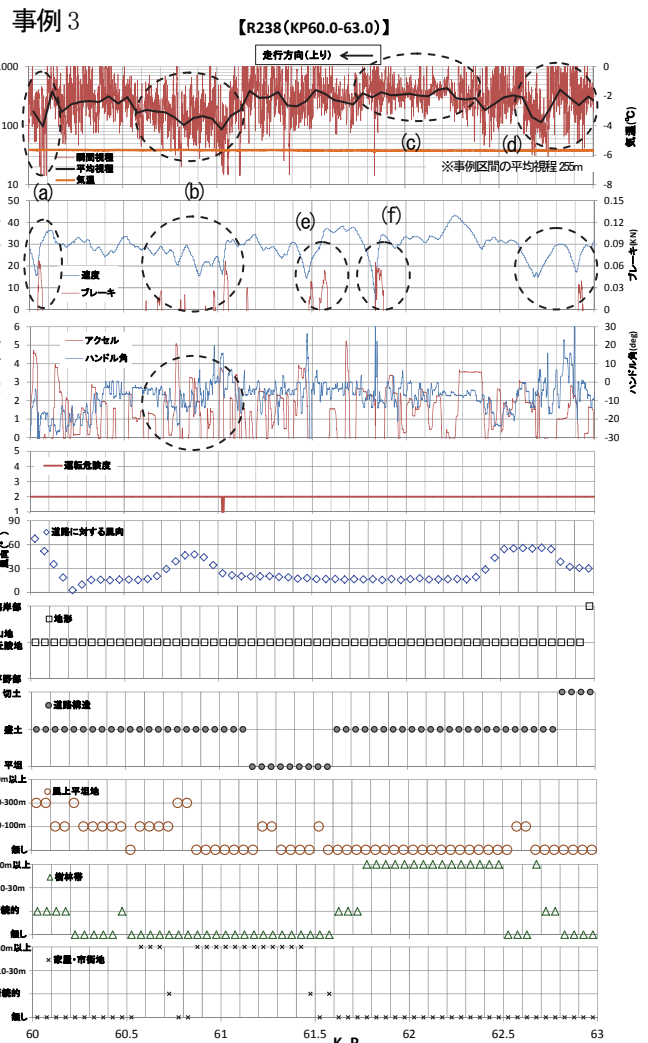


図-7 移動気象観測事例（一般国道238号）

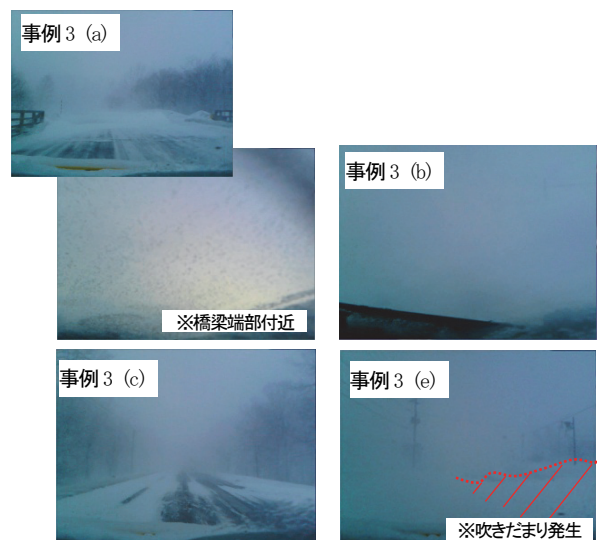


図-8 移動気象観測時の道路状況（一般国道 238 号）

(2) 視程と沿道環境条件の関係

a) 分析条件

沿道環境条件(表4)が、視程に及ぼす影響について分析を行った。なお、本報では道東地方の広いエリアで暴風雪災害が発生した2013年3月2日に一般国道238号KP52.1~77.3で観測した事例について分析を行った。

図9は、3月2日の観測時に計測された視程の全データを5ランクに分類し、各々の発生割合を示したものである。図9より、観測データの4割以上が走行に影響が現れる視程200m未満⁹⁾で、約9割が視程500m未満となっていた。観測時は、広い地域で継続して地吹雪が発生する気象条件であったものと考えられる。なお、移動気象観測時の湧別アメダスの風向風速は北西~西北西の風、14.7~16.8m/sであり、降水量は観測時間(15時10分~17時30分)の累計で5.0mmとなっていた。

分析では、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、延長50m区間毎の平均視程との関係について整理した。沿道環境条件と平均視程との比較の際には、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。なお、平均視程

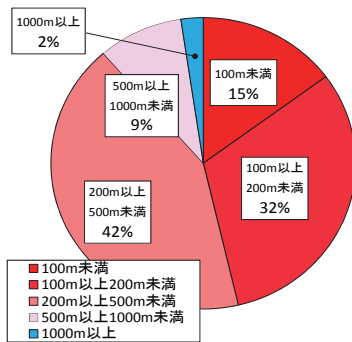


図-9 観測時の視程ランク

のばらつきを考慮し、以降の分析では平均視程の中央値に着目することを基本とした。

また、比較する沿道環境条件以外の環境条件の差異による影響を可能な限り排除するため、その他の沿道環境条件は統一し、条件に合致しないデータは分析対象から除外した。統一条件は、平坦地の長さを10m以上、風上の吹雪対策施設、樹林帯、家屋は無しとした。

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平均視程との関係を、図10に示した。

図10(a)より、地形条件について見ると、平野部で平均視程の中央値は160mと最も低く、この値と比較して山地丘陵地では91m、海岸部では121m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雪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10(b)より、道路構造について見ると、平坦地で平均視程の中央値は154mと最も小さく、この値と比較して盛土では47m、切土では106m大きかった。

さらに図10(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10(d)より風上の樹林帯による影響については、樹林帯が無い場合と幅10~30mの樹林帯がある場合とを比較すると、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10(e)より、家屋による影響については、家屋の存在により平均視程の中央値が209mに対し

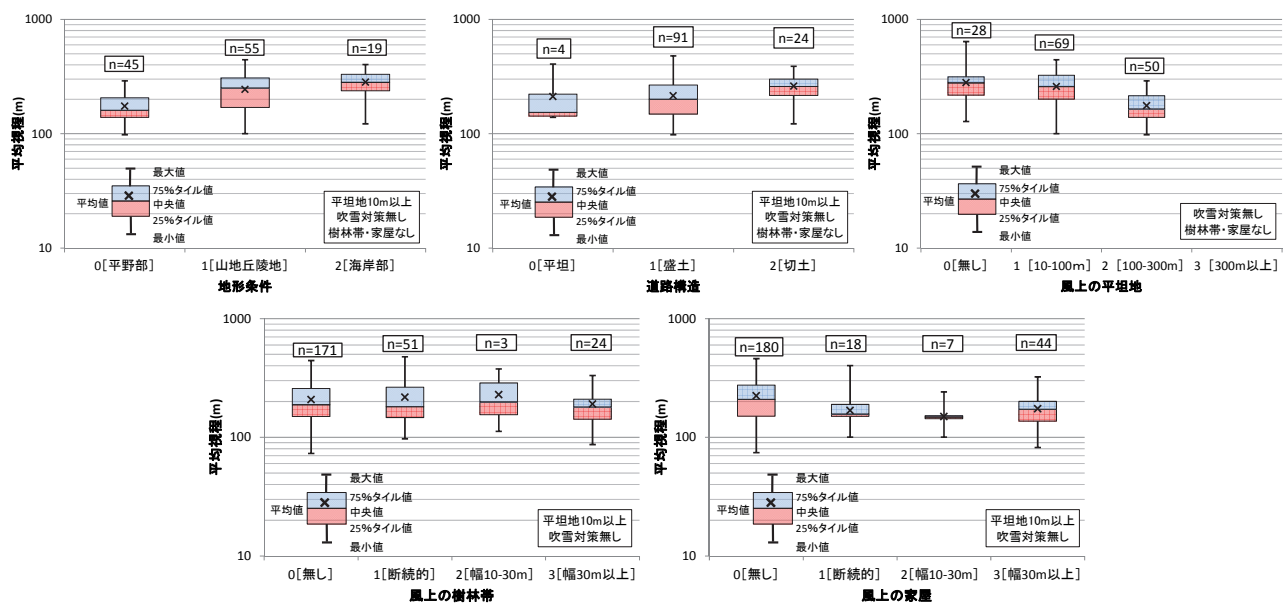


図-10 平均視程と沿道環境条件(一般国道238号)

148mと若干小さくなる傾向が見られた。この要因としては、市街地では道路周辺に除雪による堆雪が多く存在することが考えられる。

このように、沿道環境条件による視程への影響については、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る影響が比較的大きかった。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。

(3) 走行速度と視程の関係

a) 分析条件

吹雪時の危険度との関連性が高いと考えられる走行速度に着目し、移動気象観測時の走行速度と視程の関係について整理を行った。

なお、3.1.及び3.2.節で述べたように瞬間視程が50m未満に低下した場合においても、ブレーキ操作などによる速度低下などの運転挙動が見られる事例と見られない事例があり、平均視程の違いによって異なる傾向が確認された。そこで、走行速度や運転危険度と対比する視程には平均視程を用いることとした。

b) 分析結果

図11は、走行速度と平均視程との関係を路線別に整理したものである。図11より、平均視程が概ね200mを下回ると走行速度が30km/h未満となる傾向があり、20km/hを下回る事例も多く見られた。

この結果や3.1.及び3.2.節の運転挙動に関する観測事例を踏まえると、平均視程が概ね200～100mを下回ると運転の危険性が高くなり運転も困難な状況であることが考えられる。

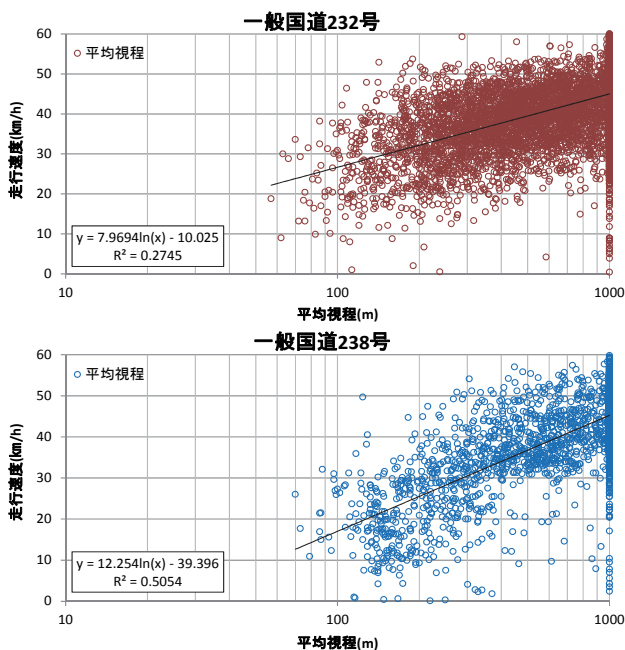


図-11 走行速度と平均視程

4. まとめ

本調査では、以下のことが明らかとなった。

- 1) 移動気象観測事例において、平均視程が約400～500mであった延長2.0km区間では、防雪柵の開口部や端部、切土・盛土道路の境界など沿道環境条件に変化が見られる箇所で、瞬間視程が50m未満となり、延長50mの区間毎の平均視程が200m未満に低下する事例が見られた(図5)。
- 2) 沿道環境条件による視程への影響について分析した結果、地形条件や風上平坦地の長さや道路構造の違いによって、平均視程の変化が比較的大きく見られることを確認した(図10)。このうち地形条件と風上平坦地の長さについては、道路風上の吹走距離が影響していると考えられる。
- 3) 運転操作が極めて不安定になるとされる視程50m未満⁴⁾に視程が瞬間的に低下した場合でも、ブレーキ操作等による大きな速度低下は起きる事例と起きない事例があり、延長50mの区間毎の平均視程が概ね200～100m未満で、ブレーキ操作による速度低下が多く見られることを観測事例において確認した(図5、図7)。
- 4) 延長50mの区間毎の平均視程が概ね200mを下回ると、走行速度は30km/h未満に低下する傾向が見られた(図11)

5. 今後の課題

本調査では、移動気象観測事例を基に、吹雪視程障害に影響を与えている沿道環境条件に関する分析を実施し、運転挙動や運転危険度と視程との関係について整理を行った。

今後、さらに移動気象観測事例のデータを増やすとともに、多くの移動気象観測結果を基に多変量解析等を実施し、冬期道路の吹雪障害発生に影響を及ぼす気象要因や沿道環境要因を明らかにするとともに、その影響度の定量的な把握を行って行きたい。

参考文献

- 1) 武知洋太ほか：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、27, p99-102, 日本雪氷学会北海道支部, 2008
- 2) (独)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
- 3) (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
- 4) 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