

道路上の吹雪時視程と気象条件および雪堤の関係

Relationship between Visibility on Road in Blowing Snow and Weather Condition and Snow-bank

独立行政法人北海道開発土木研究所 ○正員 松沢 勝 Masaru Matsuzawa
 同 上 正員 加治屋安彦 Yasuhiko Kajiya
 同 上 正員 伊東 靖彦 Yasuhiko Ito

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期道路は、吹雪による視程障害や凍結路面などによって、自動車の運転にとって厳しい環境にある。特に吹雪による視程障害時には、前方の交通事故や停止車両の発見が遅れやすいことから、多重衝突事故に発展する例が少なくない。加治屋他(1998)の研究によると、数十台の車を巻き込む多重衝突事故の特徴の一つに、大型車の混入が上げられており、吹雪の中で停止した小型車に後続の大型車が追突する事故がトリガーとなるケースも少なくない。一般に、雪原上では雪面に近くなるに従い、吹雪の飛雪流量は急激に増加する。このことから、大型車と小型車のドライバーの目線の高さによる視程の違いが、車両走行の挙動差を大きくし、多重衝突事故につながっている可能性が考えられる。

道路上の高さによる視程の違いについて述べた研究は少ない。外塚ら(2001)は、飛雪粒子計(SPC: Snow Particle Counter)を異なる高さに設置した車両で走行しながら計測を行い、高さによって視程が良くなることを示した。

外塚らの研究から、道路上においても高くなるに従って視程が良くなることは明らかになった。しかし、気象条件や道路条件によって、高さによる視程の差がどのように異なるか、定量的に比較検討した研究は無い。また、積雪寒冷地の道路を冬期に運転すると、路側の雪堤から飛雪が吹き出すのをよく目にするように、道路上の視程は雪堤の高さの影響が大きいと考えられるが、視程に与える雪堤の影響についての研究も無い。

そこで、本報では、大型車と小型車のドライバーから見た視程の違いや、道路上での吹雪時の視程の特徴を明らかにするために、気象条件や雪堤が、道路上の視程に与える影響について、飛雪流量の観測に基づいて検討を行った結果について報告する。

2. 観測方法

2.1 観測装置

飛雪流量の観測は、口径約10cmの捕雪袋型吹雪計によって行った。捕雪袋のネットにはメッシュ間隔105μmのプランクトンネットを用いている。吹雪計は、専用の固定器具に据え付ける。固定器具は、上部と下部の間にベアリングがあり、上部(吹雪計取り付け部)の首が自由に回るようになっている。吹雪計を固定器具上部に設置すると、吹き流しの原理で、開口部が風上に向くようになっている(図1)。

観測に先立ち、吹雪計の重量をそれぞれ測定しておく。また、固定器具の下部を適当なポールに固定する。この

時、吹雪計を取り付けたときに吹雪計の中心が目的の高さとなるようにする。観測ではまず、吹雪計を固定器具の上部にはめ込んだ後、吹雪計の蓋を開け、計時を始める。捕雪袋内に雪粒子がたまり始めたら、ネットが目詰まりしないうちに蓋を閉め計時を終える。次に、外側に付着した雪を払い落とした後、ネット内の雪粒子が昇華しないように、速やかに吹雪計の重量を測定する。この重量から、事前に測定しておいた吹雪計の重量を差し引いたものが、捕捉した雪粒子の重量となる。捕捉した飛雪の重量を、蓋を開けていた時間と吹雪計開口部の断面積で割ると、飛雪流量が得られる。

得られた飛雪流量を、そのまま用いても良いが、吹雪時の視程に換算した方がイメージをつかみやすいので、以下では松沢と竹内(2002)が示した次の式を用いて、視程値に換算して表すことにする。

$$\log(Vis) = -0.77 * \log(Mf) + 2.85 \quad \dots (1)$$

但し、 Vis : 視程(m), Mf : 飛雪流量($g/m^2 \cdot s$)

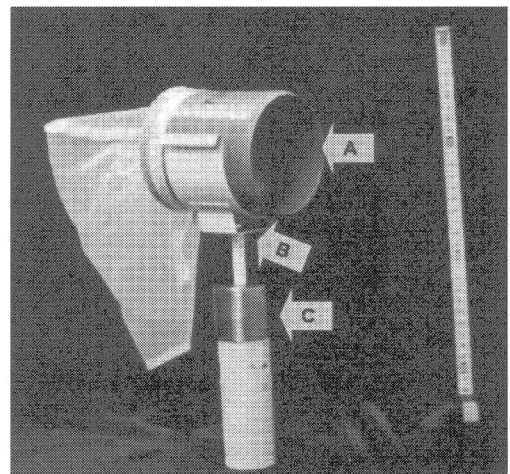


図1 捕雪袋型吹雪計(A)と固定金具(B)。(C)部分の内部にベアリングがあり風上に開口部が向く。

2.2 観測状況

観測場所は、北海道開発土木研究所の石狩吹雪実験場内の道路である。石狩吹雪実験場は、札幌の中心部から北方約17kmの石狩川下流部右岸の旧河川敷に位置する。この地域の冬期の主風向は、西北西から北西であり、観測は、南北に走っている直線区間で行った。観測地点の風上は、草地となっており300m以上の吹送距離がある。

飛雪流量の観測は、風上の雪原上(雪面からの高さ1.2m)と車道上(高さ1.2m, 2.4m)で観測を行った。(図2)。高さ1.2mは小型車のドライバーの目線の高さ

に、高さ 2.4m は、大型車のドライバーの目線の高さに相当する。なお同時に三杯式風速計により、風速も測定した。気温は、石狩吹雪実験場内で、白金抵抗温度計を地上高約 2.5m に設置し、10 分ごとに計測値を得た。また、地上高約 10m に風車型風速計を設置し、同じく 10 分ごとに計測値を得た。一方、降雪強度は、現地で計測を行っていないので、札幌市マルチセンサーの、親船観測所（現地より北西 4 km）と、太美観測所（現地より南西に 4 km）で観測した 10 分ごとの降雪強度データを平均して用いた。また、観測箇所の道路横断面の積雪分布も計測した（図 3）。



図 2 道路上の飛雪流量観測状況。なお、左端の吹雪計（雪堤の高さ）は今回の解析には用いない。

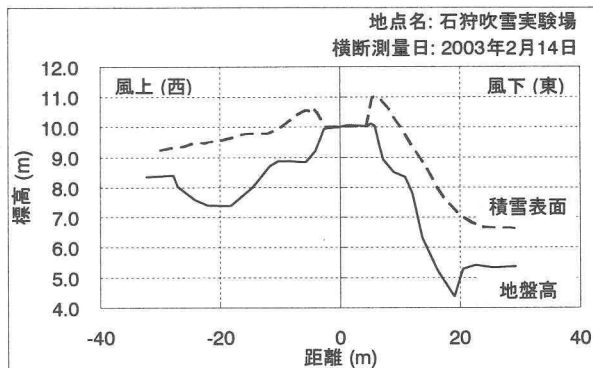


図 3 道路横断面の積雪分布

3 観測結果

3.1 視程と気象要素との関係

最初に、それぞれの気象要素と視程の関係について調査結果を述べる。図 4 は、吹雪時の道路上高さ 1.2m の視程と気象要素との関係を示したものである。上からそれぞれ、風速、気温、降雪強度との関係を表している。図より、風速と降雪強度に対して負の相関があり、気温に対して正の相関があることがわかる。

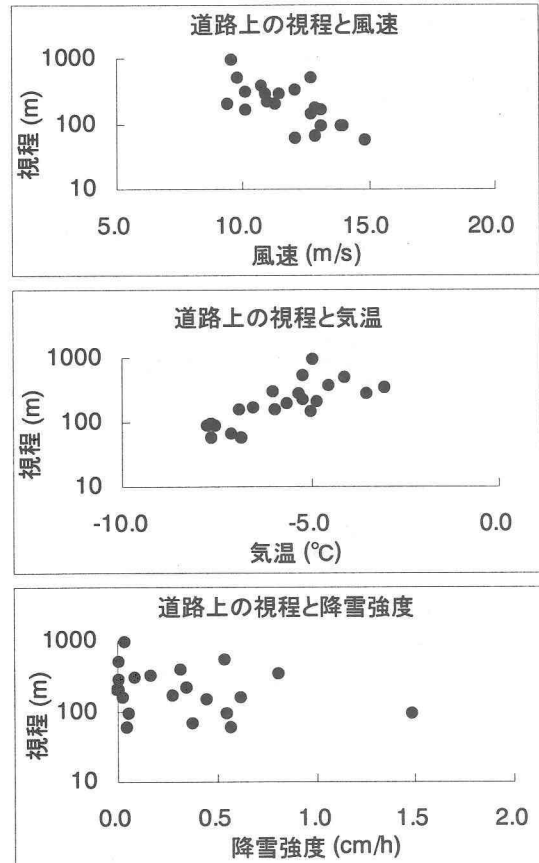


図 4 道路上高さ 1.2m の視程と気象との関係。上図：視程と風速，中図：視程と気温，下図：視程と降雪強度

3.2 道路上の視程と雪堤

気象条件以外にも、道路上の視程に影響を与える要因がある。特に、道路脇の雪堤が高いと、雪堤の上端から吹き出す飛雪は、道路上でドライバーの目線付近を通過して、急激な視程低下を起こすことがある。

図 5 は、雪堤の高さと視程の関係である。図から雪堤が高くなるに従い、視程が低下する傾向がわかる。

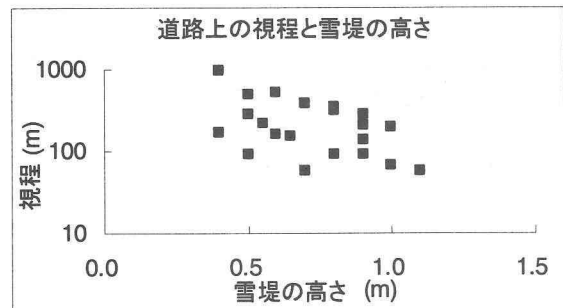


図 5 道路上高さ 1.2m の視程と雪堤の高さの関係

4. 要因分析

各気象要素、雪堤の高さと視程の間にはそれぞれ関係があることが確認された。次に、これらの要素の視程への寄与を調べるため、重回帰分析を行った。説明変数として、気温、高さ 10m の風速、降雪強度、雪堤の高さを選んだ。視程への寄与を調べるため、値を標準化した。

結果を表 1 に示す。道路上高さ 1.2m の視程は、気温に強く依存し正の相関がある。次いで、雪堤の高さ、風

速に依存し、負の相関がある。また、降雪強度との間にも負の相関はあるが、相関は弱いことがわかる。なお、重回帰式の相関係数は 0.93, 決定係数は 0.86 であった。

ただし、今回の計測値に関しては、降雪強度が 1cm/h を越えるデータが 1 つしか得られていない。従って降雪強度が視程に与える影響を正しく評価するためには、降雪の強いときに計測したデータを追加する必要があると考えられる。

表 1 視程の重回帰分析結果

説明変数	係数
気温	0.53
雪堤の高さ	-0.47
高さ 10m の風速	-0.34
降雪強度	-0.10

5. 高さによる視程の違い

次に、大型車と小型車のドライバーから見た視程の違いに着目し、高さ 2.4m の視程と、高さ 1.2m の視程の違いについて述べる。

5. 1 高さによる視程の違い

図 6 は、車道上の高さ 1.2m の視程と高さ 2.4m の視程を比較したものである。高さ 2.4m の視程の方が、高さ 1.2m に比べ、大きい値となっていることがわかる。

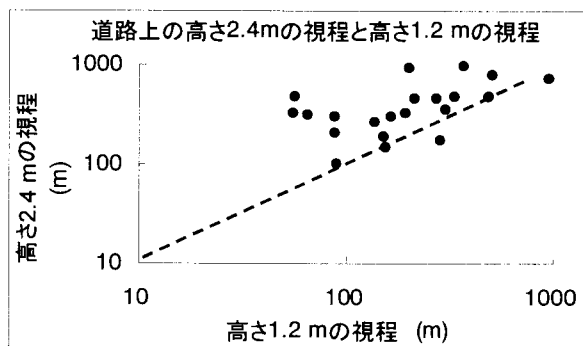


図 6 道路上の高さによる視程の違い. 高さ 2.4m の視程と高さ 1.2m の視程の関係。

5. 2 高さによる視程の違いと気象条件

図 7 は、車道上の高さ 1.2m の視程に対する、車道上の高さ 2.4m の視程の比(以下では視程比と称する)と、気象要因との関係を示したグラフである。上からそれぞれ風速、気温、降雪強度と視程比の関係を示している。図 7 より、視程比は風速には依存しないことがわかる。また、気温と降雪強度に対してはやや弱い負の相関が見られる。

しかし、降雪強度がほぼ 0 であるにもかかわらず、視程比が 1 であるものから 10 に近いものまでバラツキは大きい。このバラツキの原因を明らかにするため、次に雪堤の高さと視程比との関係を見ることにする。

5. 3 高さによる視程の違いと雪堤の高さ

図 8 は、雪堤の高さと、視程比との関係を示したもの

である。雪堤の高さが増加するにしたがい、視程の比が大きくなり、雪堤が 1m を越えると、視程比が 10 近くまで上昇することがわかる。

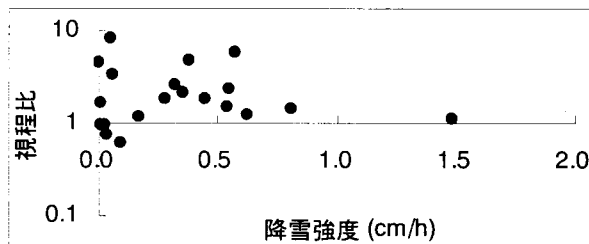
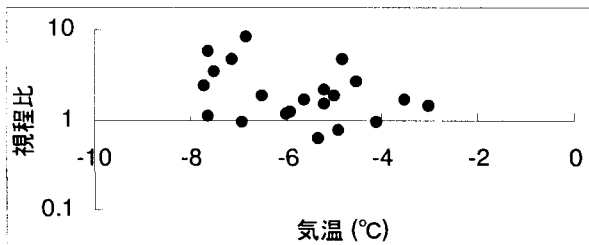
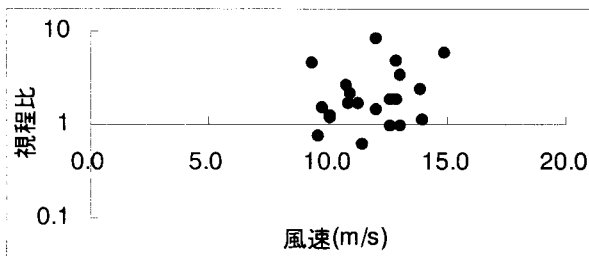


図 7 車道上における視程比(高さ 1.2m の視程に対する高さ 2.4m の視程)と気象要因(上図: 風速, 中図: 気温, 下図: 降雪強度)との関係。

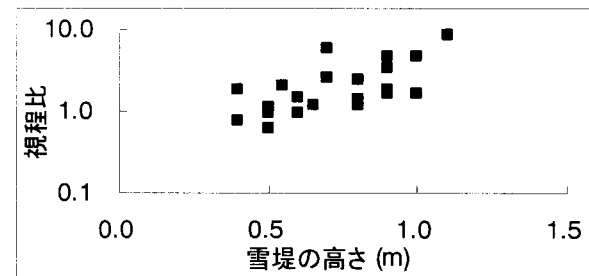


図 8 車道上における視程比(高さ 1.2m の視程に対する高さ 2.4m の視程)と雪堤の高さとの関係。

6. 視程比に影響を与える要因分析

次に視程比の対数を従属変数、気温、降雪強度、雪堤の高さを説明変数として重回帰分析を行った。表 2 にその結果を示す。表 2 より、雪堤の高さが視程比に与える寄与が大きいことがわかる。次いで、気温の影響が見られるが、降雪強度の影響は弱いことがわかる。なお、重回帰式の相関係数は 0.74, 決定係数は 0.57 であった。

表 2 視程比の対数の重回帰分析結果

説明変数	係数
雪堤の高さ	0.67
気温	-0.31
降雪強度	0.08

7. 雪原上の視程と道路上の視程

次に、雪堤の影響によって、道路上で視程がどの程度低下するか、雪原上の視程と道路上の視程を比較した。高さは両者共に 1.2m である。図 9 より、道路上の視程は雪原上の視程に対して、バラツキがやや大きいことがわかる。しかも、道路上の視程は、雪原上の視程より悪い傾向にある。雪原上より視程が悪いということは、道路上の風速が強くなっているか、飛雪の空間密度が大きいかのどちらかである。そこで、次に道路上での風速の測定結果を示す。

図 10 は、雪原上の高さ 1.2m の風速と道路上高さ 1.2m の風速を比較したものである。道路上の風速は、雪原上の風速とほぼ同じか、若干弱いことがわかる。このことから、道路上の視程が雪原上の視程より悪いのは、風速が強くなったためではなく、飛雪の空間密度が大きくなったことによるものと考えられる。

このように、道路上の高さ 1.2m での飛雪空間密度が大きい理由として考えられるのは雪堤の存在である。雪堤がある場合は雪堤がない場合に比べ、飛雪流の雪面に近い（飛雪空間密度が高い）部分が、道路上高さ 1.2m ドライバーの目線の高さに吹き込んでいられるとされる。

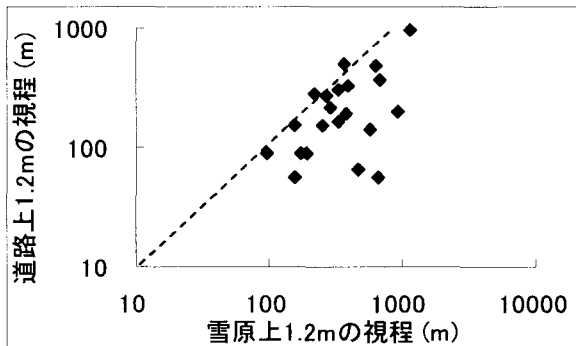


図 9 雪原上高さ 1.2m の視程と道路上高さ 1.2m の視程

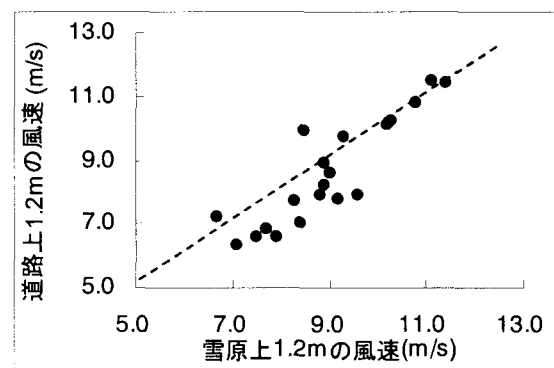


図 10 雪原上高さ 1.2m の風速と道路上高さ 1.2m の風速

8. 道路上の視程低下に与える雪堤の影響

図 11 は、雪原上高さ 1.2m の視程に対する道路上高さ 1.2m の視程の比と、雪堤高さの関係である。図 11 より雪堤の高さが高くなるに従い、雪原上の視程に比べ道路上の視程が低下することがわかる。図 11 では、雪堤の高さが 0.9m を越えると、道路上の視程が雪原上の視程に比べ低下する傾向が見られるようになり、雪堤の高さが、1m を越えると 10 分の 1 程度まで悪くなる事例があることを示している。

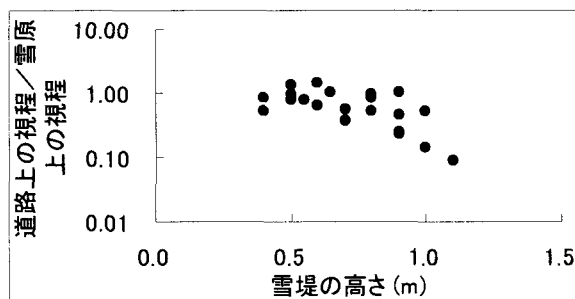


図 11 雪堤の高さが道路上の視程低下（雪原上 1.2m の視程に対する道路上 1.2m の視程の比）に与える影響

9. まとめ

今回の観測結果から、以下の結果が得られた。

- (1) 道路上の視程に影響を与える要因として寄与が大きいのは、気温、雪堤の高さ、および風速である。
- (2) 高さによる視程の違いに影響を与える要因として寄与が大きいのは雪堤の高さである。
- (3) 雪原上の視程に比べ、道路上（高さ 1.2m）の視程の方が視程が悪い傾向にある。これは飛雪空間密度の高い部分が流れ込んでいるためと考えられる。
- (4) 雪堤が高さ 0.9m を越えると、道路上高さ 1.2m の視程に与える雪堤の影響が大きくなり、雪原の視程に比べ道路上の視程が低下する。

10. 今後の課題

今回は、道路上の視程や、高さによる視程の違いに関して、重回帰により寄与度を検討した結果、降雪強度の寄与度は低い結果が得られたが、降雪強度が 1 cm/h を越える条件での測定事例が少なく、特に 2 cm/h を越える条件での測定例が全くなかった。従って、今後、強い降雪時での測定例を増やし、視程と気象条件との関係を明らかにする必要があると考えられる。

謝辞

今回の研究における、飛雪流量の測定は、(財)日本気象協会北海道支社の関係者に、ご協力いただいた。また、(株)札幌総合情報センターには、マルチセンサーのデータを貸与していただいた。両者に対し、ここに謝意を示します。

参考文献

- 加治屋安彦, 福沢義文, 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—。寒地技術論文報告集, 14, 57-62.
- 松沢勝・竹内政夫, 2002 気象条件から視程を推定する手法の研究。雪氷, 64, 77-85.
- 竹内政夫・福沢義文, 1976: 吹雪時における光の減衰と視程。雪氷, 38, 9-14.
- 外塚信ほか, 2001: 飛雪粒子計を利用した車載型視程測定手法の開発。寒地技術論文報告集, 17, 115-119.