

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

武知洋太, 松澤 勝, 中村 浩 (独)土木研究所 寒地土木研究所)

1. はじめに

北海道内の冬期道路では, 吹雪による視程障害に起因した通行止め, 多重衝突事故が多く発生しており, 吹雪時における道路上の視程を正確に把握することは道路交通管理や視程障害対策上重要である.

現在, 道路では視程計を用い大気中の光の透過率¹⁾, 散乱光量²⁾³⁾から気象学上定義された視程である視角 0.5° 以上 5° 以下の黒っぽい目標を認められる最大距離⁴⁾に一致するとされる気象光学距離 (MOR)⁴⁾を計測している. しかし, 既往研究において人間が吹雪映像から評価した気象学上の視程は MOR より短い結果が得られており, 吹雪時に人間が感じる気象学上の視程と MOR には差異があることが考えられる.

そこで本研究では, 道路交通により適した視程の計測・評価方法の確立に向け, 石狩吹雪実験場で吹雪時に視程板を被験者に視認させ, 人間が感じる視程と視程計で計測される視程との差異や吹雪計で計測される雪粒子の通過量との関係について調査を行った. 本報では, その結果を報告する.

2. 調査方法

著者らは, 北海道石狩市に位置する石狩吹雪実験場で被験者を集め, 視程の評価に関する調査を行った (図 1). 調査日時は, 吹雪の発生した 2008 年 2 月 13 日, 28 日と 2009 年 2 月 15 日, 17 日, 21 日, 3 月 11 日の日中及び薄暮とした. なお, 各調査日の被験者数は 10 名とし, 調査には 20~60 代の男性ドライバー 33 名, 女性ドライバー 27 名の計 60 名の被験者が参加した. 以下では, 2008 年, 2009 年に実施した調査をそれぞれ H19, H20 と示す.



図 1 調査箇所図



図 2 視程板の設置状況

調査では, 前方 10-255m に設置した気象学上定義された視程の目標物⁴⁾に該当する視角 0.5° 以上 5° 以内の黒色の視程板 9 枚 (図 2) を用い, 被験者 5 人 1 組にプレハブ小屋より 10 秒間視認させ視認できる枚数を回答させた. なお, 調査は各組 20 回 ~ 40 回行った.

調査後, 被験者 5 人が各々視認できた視程板の枚数から 5 人の視認距離を平均し, 調査毎の視程板の視認距離 (以下, 視程板視認距離 (V_b)) を把握した.

さらに, 視程板の風上では地上高 1.5 m, 2.1 m, 3.0 m で透過

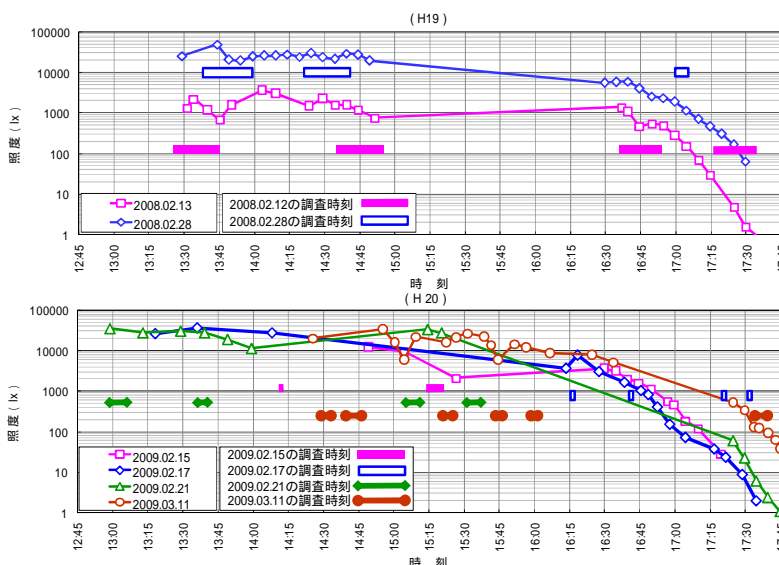


図 3 調査時の照度 日中(16時10分以前),薄暮(16時10分以降)

型視程計¹⁾(明星電気製 TZE-2T),地上高 1.5 m で後方散乱型視程計²⁾(明星電気製 TZE-4)及び前方散乱型視程計³⁾(明星電気製 TZF-4),地上高 2.1 m で飛雪粒子計数装置(新潟電機製 SPC-S7)を用い,視程(以下,視程計測値(Vm)),飛雪流量(以下,Mf)を計測した.なお,Mfとは単位断面を単位時間に通過した飛雪粒子の質量(g/m²/s)である.解析においては16時10分を境に時間帯を日中と薄暮に区分しVbが255m未滿と評価された結果について集計した.

調査時には,周囲の明るさを把握するため照度計(コニカミノルタ製 T10)を用い照度の計測を行った.図3は,調査時の照度を示したグラフである.このグラフより,日中の調査時には照度が50,000~1,000 lx,薄暮時には10000~1 lxであったことがわかる.

3. 調査結果

3.1. 人間が感じる視程と透過型視程計による計測値

図4には,透過型視程計で計測した視程計測値(Vm)と日中及び薄暮時の視程板視認距離(Vb)の関係を調査年度別に示した.なお,視程板の中心高が地上から概ね2 m前後であったため,Vmには地上高

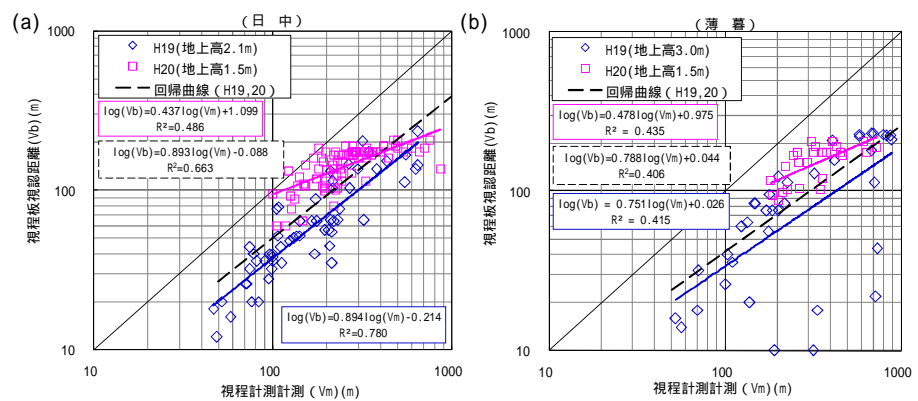


図4 透過型視程計の視程計測値と視程板視認距離

データを用いることが妥当と考えられる.しかし,計測データに異常が見られたことから,H19の薄暮には地上高3.0 m,H20の日中・薄暮には地上高1.5 mで計測したVmを用いた.

図4より,時間帯の違いに関わらずVbはVmより短い傾向が見られた.日中では,Vmが200 mの場合,VbがH19に概ね70 m,H20に概ね130 mと評価されており,透過型視程計で計測された視程は人間が感じる視程よりも長く評価されることが明らかとなった.さらに薄暮時でも,Vmが200 mの場合,VbがH19には概ね60 m,H20には概ね120mと評価されており,同様の結果が得られた.

ただし,薄暮ではH19の一部の結果においてVmに比べVbが非常に短く評価された事例が見られた.この原因には,調査時における周囲の明るさの違いによる影響が考えられる.そこで,H19の薄暮における調査結果を調査時の照度を基に300 lx以上,300 lx未滿10 lx以上,10 lx未滿の3段階で分類し,VmとVbの関係を照度別に示した(図5).

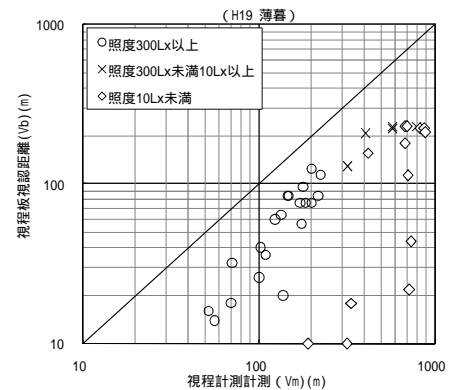


図5 透過型視程計の視程計測値と視程板視認距離(照度別)

図5より,照度が10 lx以上の場合,Vbは図4(a)の日中の結果と概ね一致する傾向がみられた.一方,10 lx未滿の場合,同程度のVmでもVbが大きく異なる結果が見られVmとVbの関係にはバラツキが見られた.このことから,周囲の照度が概ね10 lx以上の場合には,Vbの評価に与える周囲の明るさの影響は小さいことが考えられる.

3.2. 人間が感じる視程と後方・前方散乱型視程計による計測値

図6(a)(b)には,後方散乱型及び前方散乱型視程計で計測した日中の視程計測値(Vm)と視程

板視認距離 (Vb) の関係を示した。図 6(a) より, Vb は後方散乱型及び前方散乱型視程計で計測した Vm より短い傾向が見られ, この傾向は透過型視程計の場合と同様である。ただし, 日中の透過型視程計で計測した Vm と Vb の関係(図 4(a))と比較すると後方散乱型及び前方散乱型視程計で計測した Vm は透過型視程計で計測した Vm よりも長く評価される結果が多くみられた。

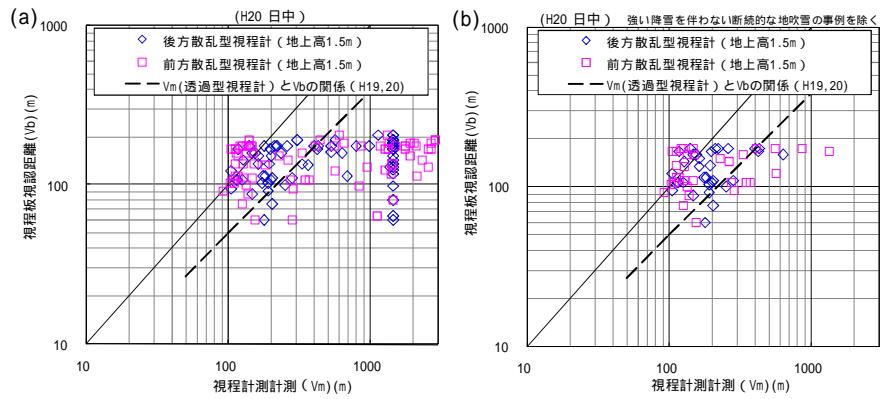


図 6 後方・前方散乱型視程計の視程計測値と視程板視認距離

吹雪時における飛雪粒子の空間濃度や移動量は時間や空間の違いによって大きく異なる。また, 人間の感じる視程は観測する方向の広い範囲 (奥行き) に存在する飛雪粒子の空間濃度や移動量に依存すると考えられる。一方, 後方散乱型及び前方散乱型視程計の計測範囲は透過型視程計に比べ狭い。これらのことから, 後方散乱型及び前方散乱型視程計の Vm が透過型視程計の Vm より長く Vb との差が大きい調査結果が多数見られた原因には, 透過型視程計と後方散乱型及び前方散乱型視程計との計測範囲の違いによる影響が考えられる。

そこで, H20 の調査には強い降雪を伴わない断続的な地吹雪で空間的な変動の大きい視程障害の事例を多く含んでいたことから, 調査時に撮影した映像を基にそれらの調査事例を除き, Vm と Vb の関係を図 6(b) に示した。その結果, Vm が 1000 m 以上と評価される事例がほぼ見られなくなった。このことから, 視程計の計測範囲が狭い程, Vm はバラツキが大きくなり人間の感じる視程との差異も大きくなると考えられ, 視程を評価する上では視程計の計測範囲の違いによる計測値の差異に配慮することが必要である。

3.3. 人間が感じる視程と飛雪流量

視程は, 飛雪流量 (Mf) と相関が高いことがこれまでに明らかとされている⁵⁾⁶⁾。Mf と視程の関係については, Mellor⁷⁾が無風の降雪時, 齋藤⁸⁾が季節風下での降雪時, Budd et al⁹⁾が南極の吹雪時, 竹内他¹⁰⁾が北海道での降雪を伴う吹雪時に観測しており, 竹内・福沢⁵⁾はこれらの観測事例を基に式(1)を導いている。また, 松沢・竹内⁶⁾は視程 3000m以下の同様の観測事例に着目し式(2)を導いている。

$$V = \frac{68.3}{(Mf + 0.125)} + 2.6 \quad \dots \dots (1)$$

$$\log(V) = -0.773 \cdot \log(Mf) + 2.845 \quad \dots \dots (2)$$

V : 視程 (m)
M_f : 飛雪流量 (g/m²/s)

そこで, 図 7 には, 本調査で日中に取得した調査年度別の Mf と Vb の関係を既往の Mf と視程の観測事例と併せて示した。

図 7 より, H19, 20 の調査結果共に Mf が大きい程, Vb は低下する傾向が見られ, 特に既往の Mf と視程の関係式(1), (2)で推定される視

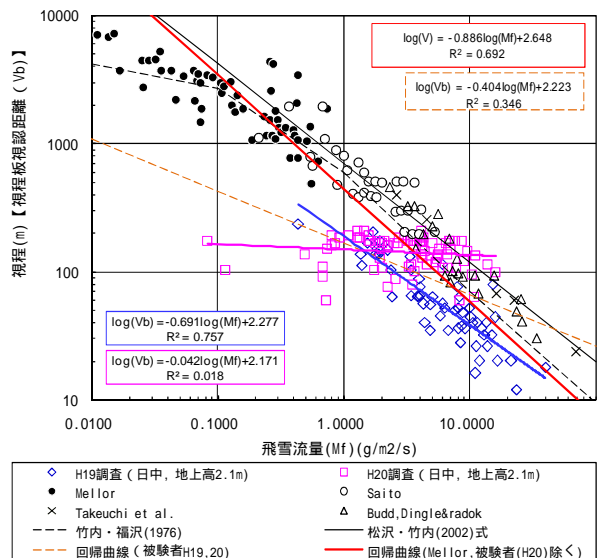


図 7 飛雪流量と視程板視認距離

程よりも短い傾向が見られた。そこで、道路交通上重要と考えられる視程 1000 m 未満のデータを対象に、Mf と視程の関係式を新たに整理した。ただし、Mf の計測に用いた飛雪粒子計数装置は計測領域が 2 × 25 × 0.5 mm と狭いため、3.2 節で述べた理由により H20 の調査データを解析対象から除いた。その結果、次の関係式が得られた。

$$\log(V) = -0.886 \log(Mf) + 2.648 \quad \dots \dots \dots (3)$$

Mf が同じ場合、この回帰式から得られる視程は、式(1)、(2)で推定される視程より短い結果となった(図7)。

3.4. 人間が感じる視程と雪粒子の投影面積フラックス

降雪や飛雪の雪粒子の大きさは大部分が 40 μm より大きく¹²⁾、可視光は大気に浮遊する粒子の直径が 40 μm 以上では屈折反射の幾何光学で取り扱われる¹³⁾。このため、人間が感じる吹雪時の視程は、飛雪流量よりも通過した雪粒子の投影面積の積分値による影響の方が大きいことが推測される。そこで、任意の単位断面を単位時間に通過する雪粒子の投影面積の累計値を雪粒子の投影面積フラックス(以下、Af)と定義し Vb との関係について整理した(図8)。

図8より、Af が大きいほど Vb は短い傾向がみられ、H19の結果では Af と Vb の相関係数が 0.872 と高かった。

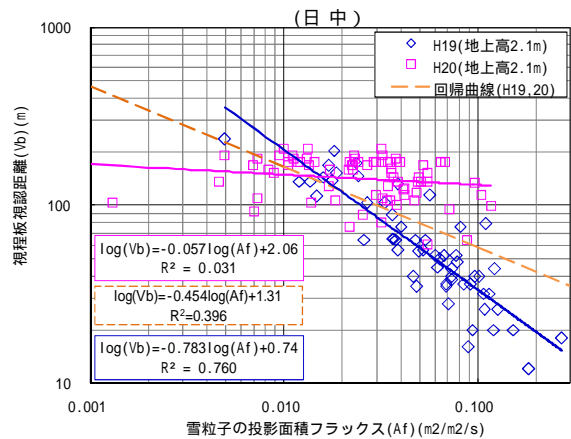


図8 雪粒子の投影面積フラックスと視程板視認距離

4. まとめ

本調査より、以下の結果が得られた。

- ・ 透過型、後方散乱型、前方散乱型に関わらず視程計で計測した視程計測値 (Vm) は視程板視認距離 (Vb) に比べ長く評価されている傾向が見られた。ただし、後方散乱型及び前方散乱型視程計で計測された Vm は Vb が同程度と評価された場合でも調査事例によって値に大きなバラツキが見られた。
- ・ Vb が概ね 200m 未満の厳しい吹雪時に得た飛雪流量 (Mf) と Vb の関係から推定される視程は、同じ Mf の場合には既往の Mf と視程の関係式⁵⁾⁶⁾で推定される視程に比べ短い傾向が見られた。
- ・ 飛雪流量 (Mf)、雪粒子の投影面積フラックス (Af) が大きい程、視程板視認距離は低下する傾向がみられ、H19 の調査結果では相関係数が Mf で 0.870、Af で 0.872 と高かった。

参考資料

- 1) 竹内政夫, 福沢義文, 1980.8: 吹雪時の視程に関する研究, 土木試験所報告, No.74
- 2) 福沢義文, 竹内政夫, 石本敬志, 1987: 反射式吹雪計による視程測定, 北海道の雪氷, 第6号, 7
- 3) 福沢義文, 竹内政夫, 1992.1: 車載型視程計の開発について, 開発土木研究所月報, No.464, 12-18
- 4) 気象庁, 2002: 地上気象観測指針, (財)気象業務支援センター, 123-127
- 5) 武知洋太, 伊東靖彦, 松澤勝, 加治屋安彦, 2008: 吹雪映像を用いた吹雪時の視程評価, 平成19年度論文報告集, 第64号(CD-ROM)
- 6) 竹内政夫, 福沢義文, 1976.12: 吹雪時における光の減衰と視程, 日本雪氷学会誌 雪氷, 第38巻4号, 9-14
- 7) 松澤勝, 竹内政夫, 2002.1: 気象条件から視程を推定する手法の研究, 日本雪氷学会誌 雪氷, 第66巻1号, 77-85
- 8) Mellor, M., 1966: Light scattering and particle aggregation in snowstorms, J. Glaciol., 6, No.44, 237-248
- 9) 斉藤博英, 1971: 降雪の強さと視程, 国立防災科学技術センター研究報告, 5, 33-40
- 10) Budd, W.F., R.Dingle and U.Radok. 1966: The byrd snow drift project: Outline and Basic result, American geophysical Union. Antarct. Res. Ser., 9, 71-134.
- 11) 竹内政夫, 野原他喜男, 福沢義文, 1973: 吹雪による視程障害について, 土木試験所月報, 245, 9-15
- 12) Budd, W.f., 1966: The drifting of nonuniform snow partisles, A.G.U Antarct. Res. Ser., 9, 59-70
- 13) Brillouin, L., 1949: The scattering cross section of spheres for electromagnetic waves, J. Appl Phys., 20, 1111-1125