

吹雪の視程推定の改良と METAR 通報データを用いた検証

稲飯洋一, 佐藤航, 白幡遊雪 (釧路地方気象台)

1. はじめに

北海道地方では現行の暴風雪警報の高精度化を目的に、警報基準に付随している「雪による視程障害を伴う」部分に関して飛雪流量（雪粒子の質量 flux $[g\ m^{-2}\ s^{-1}]$ 、以後 Mf と記述）を客観的指標として利用する研究を進めてきた。2024 年度は、飛雪流量アプリケーションの開発と紹介（菊田ほか, 2024）に加え、稲飯ほか（2025）では北海道地方の全予報区を対象にして、災害予測精度を最大化する飛雪流量の閾値を吟味し、飛雪流量の既往値も参考にして、暴風雪警報発表目安を作成した。一方で、国立研究開発法人土木研究所の寒地土木研究所では、飛雪流量を活用することで北海道全域を対象とした吹雪に伴う視程障害の予測を「北の道ナビ 吹雪の視界情報」サイトで公開している。基盤となっているのは、飛雪流量と、視程計で計測された視程および人の目視による視程との関係性についての、観測に基づく定量化（武知ほか, 2009 など）である。

本来、吹雪の視程の悪化は飛雪粒子による視界の遮蔽によって生じる現象であり、その程度の大小は粒子の質量よりも、むしろ体積や投影断面積とより直接的に関係すると考えられる（武知ほか, 2009）。したがって、本研究では質量 flux として定義される既存の飛雪流量を用いた手法を見直し、「体積 flux」（以後 Vf と記述）を用いる方法を提案する。これにより現行の警報基準における「視程障害」の定量的推定精度の向上を試みる。

2. データと手法

北海道内には 12 の拠点空港が分散的に配置されており、各空港には視程計を含む気象観測機器が設置されている。また空港やその周辺は平らな平地（特に卓越風向の方向は滑走路）であり、地上観測点としては極めて大きな空間代表性を持つ。この特長に注目し、その観測値である

METAR_SPECI（視程は目視観測）および METAR_AUTO（視程は視程計で観測）通報データを解析に用いた。降水量に関しては、気象庁の解析雨量（水平 1 km グリッド 30 分毎）を METAR データに時空間内挿して用いた。

飛雪流量（ Mf ）の計算式は、先行研究（稲飯ほか, 2024; 菊田ほか, 2024）と同じく、池上ほか（2019; 2020）により改良された松澤式（松澤と竹内, 2002）を基本解析に用いた（式 1）。

$$Mf(z) = \frac{P}{w_f} * U + N_t * \left(\frac{z}{z_t}\right)^{-\frac{w_b}{k u_*}} * U \quad (1)$$

ここで、 $U[m\ s^{-1}]$: 高度 10 m の風速、 $P[g\ m^{-2}\ s^{-1}]$:

降雪強度、 $w_f[m\ s^{-1}]$: 降雪粒子落下速度、 $N_t[g\ m^{-3}]$: 基準高度の地吹雪飛雪空間密度、 $z_t[m]$: 基準高度（= 0.15）、 $w_b[m\ s^{-1}]$: 地吹雪粒子落下速度（= 0.35）、 k : カルマン定数（= 0.4）、 $u_*[m\ s^{-1}]$: 摩擦速度（= $0.036U$ ）である。 z は視程の観測高度に合わせて METAR_SPECI では $z = 10\ m$ 、METAR_AUTO では $z = 2.5\ m$ とした。式(1)右辺第 1 項は降雪粒子による、第 2 項は地吹雪粒子による寄与に相当し、地吹雪項は風速 $8.5\ m\ s^{-1}$ 以上の場合のみ有効化する仕様になっている。

体積 flux は、式(1)を基に、水 $1\ g$ が $1\ cm^3$ に等しいことを利用し、さらに Kuchera Method (Rosenow et al., 2023) による雪水体積比(以降では単に雪水比:SLR)を導入した以下の式で計算した。

$$Vf_{SLR}(z) = \frac{SLR * P}{w_f(SLR)} * U + N_t(SLR) * \left(\frac{z}{z_t}\right)^{-\frac{w_b}{k u_*}} * U \quad (2)$$

これら Mf や Vf と視程の比較に関しては先行研究（稲飯ほか, 2024; 2025）に準じて、飛雪流量については日最大値を、視程については霧事例を除去したのち日最小値を抽出し、両者の線形回帰式や相関係数を調査した。さらに先行研究（稲飯ほか, 2024; 2025）で用いたパフォーマンスダイアグラム（Roebber, 2009）による成績評価の観点か

らも両者の関係について吟味した。

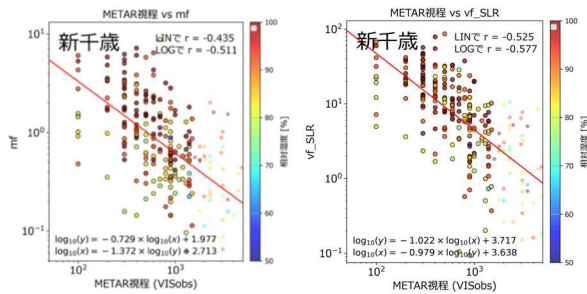


図 1:新千歳空港における (左) 日最大 Mf 、(右) 日最大 Vf と日最小視程の散布図。点の色は相対湿度を、赤実線は回帰直線を表す。

LOG_r	函館	奥尻	稚内	利尻	札幌	千歳	旭川	紋別	女満	帯広	中標	釧路
mf	-0.52	-0.27	-0.32	-0.50	-0.53	-0.51	-0.44	-0.43	-0.33	-0.67	-0.64	-0.66
vf_SLRCwf	-0.59	-0.43	-0.41	-0.52	-0.56	-0.55	-0.49	-0.42	-0.40	-0.71	-0.67	-0.65
vf_SLR	-0.58	-0.49	-0.44	-0.54	-0.56	-0.58	-0.50	-0.43	-0.44	-0.70	-0.67	-0.62

図 2: (上) METAR_SPECI と (下) METAR_AUTO で評価された北海道拠点空港における (上段) Mf 、(中段) Vf ただし雪粒子落下速度は Mf と同じ、(下段) Vf と視程の対数ベース相関係数。セルの色は Mf からの相関の強化 (青系) / 弱化 (赤系) を示す。

3. 解析結果

視程と Mf および Vf の関係について、例えば新千歳空港における METAR_SPECI による散布図 (図 1) では、 Mf および Vf の増大に伴って、視程が低下する様子が示されている。対数ベースの相関係数に注目すると、 Mf の場合では -0.51 だが Vf の場合は -0.58 と相関が高くなっている。さらに全ての拠点空港においても Mf および Vf と視程の間に負の相関が示され、ほぼ全ての空港で Vf の方が相関が強いことが示された (図 2)。

同じく新千歳空港における METAR_SPECI によるパフォーマンスダイアグラムの結果 (図 3) を見ると Mf による成績では $Mf = 1.6$ の時に最も高いスレットスコア 0.38 となる一方で、体積 flux では $Vf = 16$ の時にスレットスコアが最も高くなり、その値は 0.44 と Mf の場合よりも向上することが

示された。全空港に対して同様の解析を行ったと

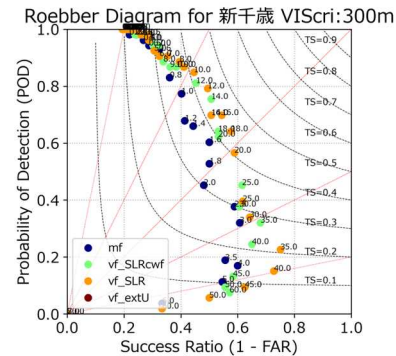


図 3: パフォーマンスダイアグラム (縦軸: 捕捉率 (POD)、横軸: $1 -$ 空振り率 (FAR)、黒曲線: スレットスコア、赤線: バイアスコア (CCW に 0.2, 0.5, 1, 2, 5)) で示された視程 ≤ 300 m 事例に対する (濃青) Mf 、(緑) Vf ただし雪粒子落下速度は Mf と同じ、(橙) Vf の成績 (右上ほど、成績が高い)。点横の数字は閾値を表す。

VIS300 TS	函館	奥尻	稚内	利尻	札幌	千歳	旭川	紋別	女満	帯広	中標	釧路
mf	0.31	0.38	0.35	0.45	0.31	0.38	0.21	0.29	0.16	0.29	0.46	0.36
vf_SLRCwf	0.44	0.40	0.40	0.51	0.35	0.43	0.27	0.29	0.21	0.33	0.47	0.47
vf_SLR	0.43	0.40	0.42	0.53	0.37	0.44	0.30	0.31	0.25	0.40	0.48	0.40

図 4: 図 2 と同様、ただし視程 ≤ 300 m 事例に対するスレットスコアについて。セルの色は Mf からのスコアの改善 (緑系) / 改悪 (赤系) を示す。

ころ、ほぼ全ての空港において Mf よりも Vf の成績が高いことが示された (図 4)。以上の結果は、将来的に暴風雪警報の基準として体積 flux を指標に用いることで予測精度を改善できる可能性があることを示している。

参考文献

- 池上 ほか, 札幌管区気象研究会誌, 256-268, 2019.
- 池上 ほか, 札幌管区気象研究会誌, 203-207, 2020.
- 稲飯 ほか, 測候時報, **90**, 7, 2024.
- 稲飯 ほか, 札幌管区気象研究会誌, 176-181, 2025.
- 菊田 ほか, 測候時報, **91**, 2, 2024.
- 松沢と竹内, 雪氷, **64**, 77-85, 2002.
- Roebber, P. J., *Wea. Forecasting*, **24**, 601-608, 2009.
- Rosenow et al., *Wea. Forecasting*, **38**, 2135-2147, 2023.
- 武知 ほか, 北海道の雪氷, **28**, 17-21, 2009.