

道路防雪林の性能評価に向けた試み

Approaches to evaluating snow-control effectiveness based on performance requirements for living snow fences during severe snowstorm events

原田 裕介¹, 吉井 昭博¹, 松下 拓樹¹
Yusuke Harada¹, Akihiro Yoshii¹, Hiroki Matsushita¹
Corresponding author: harada-y@ceri.go.jp (Y. Harada)

¹ 土木研究所 寒地土木研究所

¹ Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

This study set a target visibility ratio of 2.0 to define performance requirements, aiming to improve visibility from 50 m to 100 m during snowstorms. Analysis of meteorological and UAV-LiDAR surveys revealed that Σ PAD correlated negatively with the both wind speed and the snow mass flux ratio. A Σ PAD of 7–8 m² m⁻³ was estimated to achieve the required threshold. The model indicates that in standard Japanese planting environment without thinning, where Σ PAD_{Ave.0–5m} begins to decrease after 30 years due to branch die-back. For fence widths under 20 m, performance drops below the required threshold at approximately 40 years.

1. はじめに

本論文では、道路防雪林（以下、防雪林）における成長モデル¹⁾を用いて、その性能を評価する手法（樹木の成長と防雪性能の関係を定量的かつ時系列的に推定する手法）を検討した。積雪寒冷地域における新雪除雪は、直轄国道では 5cm～10cm 程度の降雪量、地方自治体の幹線道路では積雪 10cm 以上を目安として、道路交通に支障をきたすおそれがある場合に実施される^{例えば 2), 3)}。ここでは、暴風雪時において、吹きだまり発生時には新雪除雪が実施されるとして、防雪林の視程障害緩和による性能評価を試みた。また、防雪林の性能について、植物面積密度（Plant Area Density(m² m⁻³), 以下 PAD）の大小が、風速比⁴⁾・飛雪流量比・視程比（風下値／風上値）の度合いに寄与するとした。

以降、防雪林の要求性能、道路と風向とのなす角度（交角）に沿った任意高さにおける防雪林帯の PAD の総和（以下 Σ PAD）と気象比との関係、性能評価手法の試案について述べる。なお、本研究の位置づけなどは、前稿¹⁾を参照されたい。

2. 防雪林の要求性能

加治屋ら⁵⁾によれば、視程障害時のドライバーの運転挙動について、吹雪時の視程が 100m 以上 200m 未満で速度調節によって視程障害に応じた運転となり、50m 未満で運転が困難となる（表 1）。本研究では、吹雪時の視程を 50m から 100m に

改善することを目標として、防雪林の要求性能を「視程比 2.0」に設定した。

3. Σ PAD と気象比との関係

現地調査に基づき、 Σ PAD と気象比（風速比・飛雪流量比）との関係を求めた。

3. 1 調査方法

3. 1. 1 調査箇所

北海道の南西部に位置する寒地土木研究所石狩実験場の A および B 林帯 (N43° 12', E141° 23') と、北部に位置する国道 40 号天塩町雄信内防雪林 (N44° 55', E141° 54') の 2 箇所において、調査区を設定のうえ①UAV-LiDAR 測量、②林帯の風上側・風下側で定点気象観測を実施した^{6), 7)}。

石狩実験場 A 林帯は、マツ科の常緑針葉樹（樹高約 10m）を主体とする長さ約 80m、幅 15～30m の林帯（N-S 方向）である。林帯に直交する 3 つ

表 1 視程障害時のドライバーの運転挙動⁵⁾

吹雪時の視程	運転挙動
200m 以上	・安定した走行状態が維持される
100m 以上 200m 未満	・速度調節によって視程障害に応じた運転 ・車両による速度差は小さい ・アクセルやブレーキ操作は安定
50m 以上 100m 未満	・一定速度を維持した走行が困難で、 アクセル操作が頻繁になる ・車両による速度差が大きくなり、 追従や車群走行が多くなる。
50m 未満	・ブレーキ操作による減速・停止が発生 ・左右への挙動が大きくなる

の調査測線 (W-E 方向; A-1 から A-3) を設けた (図 1 右上). なお, 測線 A-1 では, 2023/24 冬期前に, 図 1 右下の点線に示す範囲における平均高さ 2m までの下枝を除去し, 2024/1/30 に補助柵 (高さ 2m×幅 15m) を測線の始点から終点方向 8.6m 付近に設置した.

石狩実験場 B 林帯は, マツ科の常緑針葉樹 (樹高約 13~14m) を主体とする長さ約 90m, 幅 10~20m の林帯 (W-E 方向) である. ここでは, NNW 方向の気象データを解析するために, 4 つの調査測線 (NNW-SSE 方向; B-1 から B-4) を設けた (図 1 左下).

雄信内防雪林は, 基本林がマツ科の常緑針葉樹 (樹高約 15~16m) と広葉樹のヤチダモ, 風上側の前生林がヤナギで構成される長さ約 130m, 幅約 30m の林帯 (NNW-SSE 方向) である. 林帯に直交・斜交する 6 つの調査測線 (WSW-ENE 方向; 直交 A・B・C, WNW-ESE 方向; 斜交 A・B・C) を設けた (図 2). なお, 測線 A では, 2020/21 冬期前に補助柵 (高さ 3m×幅 50m) を直交する測線の始点から終点方向 16.5m 付近に設置した.

3. 1. 2 UAV-LiDAR 測量

LiDAR およびデジタルカメラが搭載された UAV (DJI Matrice 300RTK および Zemuse L1; 以下 UAV-LiDAR) を用いて, 点群データの取得および写真撮影を, 石狩実験場 A 林帯は 2022/12/2 と 2024/5/9 (測線 A-1 周辺の枝打後) に, B 林帯は 2024/5/9 に, 雄信内防雪林は 2025/6/2-3 にそれぞれ実施した. UAV-LiDAR 測量では, 林帯の鉛直下向き (0°), 斜め (45°), 横向き (60°) から, 反復および非反復走査パターンのスキャンモードで計測した (図 3). 得られた raw scan data を用いて, ソフトウェア (DJI Terra) により LAS 形式の点群データ (3D XYZ データ) を作成した. その際, 降水粒子を含む LAS データは点群編集ソフト (CloudCompare) を用いて手動でクリーニングした. また, ラップ率 80% のカメラ画像を用いて, Structure-from-Motion/Multi-View-Stereo (SfM-MVS) 法により観測範囲のオルソ画像 (GeoTIFF) を作成した.

3. 1. 3 定点気象観測

定点気象観測は, 石狩実験場 A 林帯は 2022/23 および 2023/24 冬期に, B 林帯は 2023/24 冬期に, 雄信内防雪林は 2016/17 から 2020/21 冬期にそれぞれ実施した. 観測項目は, 吹雪量計 (SPC-95) による飛雪流量, プロペラ型風速計 (KDC-S04)

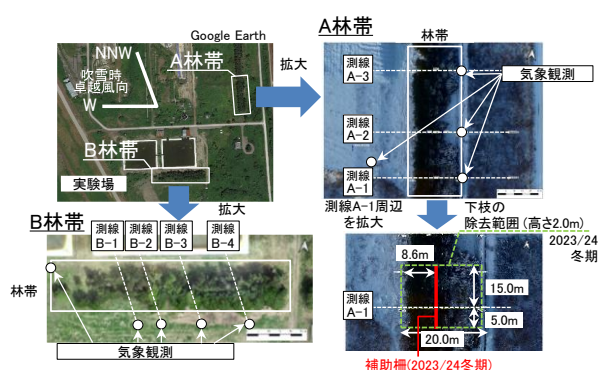


図 1 石狩実験場観測箇所の概要

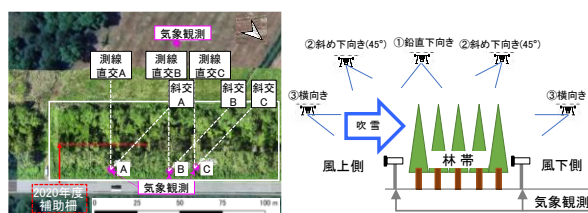


図 2 雄信内防雪林 図 3 UAV-LiDAR 測量・気象観測の概要

表 2 観測項目および各センサーの設置高さ

箇所	飛雪流量 (SPC-95)	風向風速 (KDC-S04)
石狩実験場 A 林帯	1.8m (2022/23 冬期 : A-2, A-3)	1.8m
石狩実験場 B 林帯	—	1.8m 2.8m
雄信内 防雪林	3.0m	3.0m

による風向風速で, 各箇所とも図 1 に示す林帯の風上側 1 点, 風下側 3~4 点に, 表 2 に示す高さに各センサーを設置した. 測定間隔は 1 分 (風向風速), 1 秒 (飛雪流量) である. 風向風速データは前 10 分間の平均値, 飛雪流量データは前 1 分間の積算値として整理した. また, 気温について, 石狩実験場は南西方向に 2.95km 離れた AMeDAS 石狩 (高さ 3.3m), 雄信内防雪林は風上側の気象観測点 (高さ 3.0m) で測定した 10 分間平均値から, 線形内挿により得られた 1 分値を用いた.

3. 2 調査結果

3. 2. 1 UAV-LiDAR 測量

UAV-LiDAR 測量により鉛直下向き (0°), 非反復走査計測で取得した点群データから, Bouvier et al. (2015)⁸⁾の方法が実装されている統計ソフト R のライブラリ lidR を用いて⁹⁾, 測線を中心とした幅 10m を対象に PAD の平均値の横断分布 (解像度 1m³ グリッド) を作成した. ここで, lidR

は、上部から照射されたレーザーが内部に到達するまでの減衰過程をモデル化した方法である。例として、石狩実験場測線 A-1 における PAD の横断分布を図 4 に示す。各箇所とも、0~1m までの高さは地表面の影響を受けるため除外した。また、雄信内防雪林の前生林のヤナギは、測量時に着葉していたため、冬期の落葉したヤナギの PAD の設定値 $0.1(\text{m}^2 \text{m}^{-3})$ を代入した⁷⁾。得られた点群データと樹木の生育状況との整合性は、既報^{6),7)}を参照されたい。

つぎに、各箇所の PAD 分布の横断図を用いて、各箇所におけるセンサーの設置高さ $H\text{m}$ (表 2) の ΣPAD (ΣPAD_H) を求めた。ここでは、設置高さ $H=1.8\text{m}$ は $\Sigma \text{PAD}_{\text{Ave.1-3m}}$ (図 4 の赤枠)、 $H=2.8\text{m}$ および 3.0m は $\Sigma \text{PAD}_{\text{Ave.2-4m}}$ で得られた値とした (表 4)。

3. 2. 2 定点気象観測

定点気象観測データを用いて、林帯風上側に対する風下側の風速比 $R_U (= U'/U)$ 、および飛雪流量比 $R_{Mf} (= Mf'/Mf)$ を求めた。ここで、' は風下側を示す。はじめに、表 3 に示す条件に基づき、風上側気象観測点の風速・飛雪流量データを抽出した。データの抽出に際し、風速は前 10 分間の風向最頻値と風速平均値、飛雪流量は前 1 分間積算値、併せて風向、風速、気温の 1 分値を用いた。つぎに、同時刻の各風下側観測点の該当するデータを抽出のうえ、 R_U と R_{Mf} を求めた (表 4)。ここでは、 R_U と R_{Mf} の中央値を代表的な値 (性能を示す指標) とした。なお、柵が設置された測線は、設置前までの気象値を用いた。

3. 3 ΣPAD と気象比との関係

表 4 より、 ΣPAD と R_U との関係は式(1)、 R_{Mf} との関係は式(2)で表せる。共に負の相関となった。

$$R_U = -0.0754\Sigma \text{PAD} + 1.03, R^2 = 0.649 (p < 0.001) \quad (1)$$

$$R_{Mf} = -0.286\Sigma \text{PAD} + 2.71, R^2 = 0.612 (p > 0.001) \quad (2)$$

つぎに、吹雪時の視程 $Vis(\text{m})$ と、飛雪空間密度 $N(\text{g m}^{-3})$ と風速 $U(\text{m s}^{-2})$ の積である飛雪流量 $Mf(\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1})$ との関係を示す¹⁰⁾、式(3)より、視程比 $R_{vis} (= Vis'/Vis)$ と R_{Mf} との関係を式(4)に、防雪林帯の風上側・風下側で N が一定であると仮定した R_{vis} と R_U との関係を式(5)に示す。

$$Vis = 10^{-0.886 \cdot \log(Mf) + 2.648} \quad (3)$$

$$R_{vis} = 10^{-0.886 \cdot \log(Mf'/Mf)} = 10^{-0.886 \cdot \log(R_{Mf})} \quad (4)$$

$$R_{vis} = 10^{-0.886 \cdot \log(U'/U)} = 10^{-0.886 \cdot \log(R_U)} \quad (5)$$

ΣPAD と視程比 R_{vis} との関係は、表 4 および式(4)・(5)により式(6)・(7)で表せる。式(6)・(7)では共

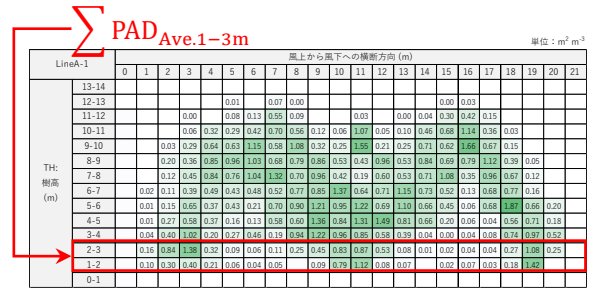


図 4 PAD 分布の横断図 (測線 A-1)

表 3 風上側気象観測点データの抽出条件

箇所	風向	風速 U (m s^{-1})	飛雪流量 Mf ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	気温 T ($^{\circ}\text{C}$)
石狩吹雪 実験場 A 林帯	W	$U \geq 5$	$Mf > 12$	$T \leq 0$
石狩吹雪 実験場 B 林帯	NNW	$U \geq 5$	—	—
雄信内 防雪林	WSW WNW	$U \geq 5$	$Mf > 0.01$	$T \leq 0$

表 4 各測線の ΣPAD_H と気象比 (中央値)

箇所	測線	ΣPAD_H	風向	風速比 R_U	飛雪流量比 R_{Mf}
石狩吹雪 実験場 A 林帯	A-1	6.35	W	0.46	—
	A-2	6.98	W	0.53	0.44
	A-3	7.34	W	0.37	0.30
	A-1 枝打ち後	5.62	W	0.69	—
石狩吹雪 実験場 B 林帯 (上段: 高さ 2.8m 下段: 高さ 1.8m)	B-1	6.78	NNW	0.56	—
	B-1	6.72	NNW	0.58	—
	B-2	9.41	NNW	0.40	—
	B-2	9.43	NNW	0.49	—
	B-3	5.63	NNW	0.53	—
	B-3	5.29	NNW	0.54	—
雄信内 防雪林	B-4	5.54	NNW	0.46	—
	B-4	5.24	NNW	0.55	—
	直交 A	3.29	WSW	0.78	1.81
	斜交 A	5.89	WNW	0.49	0.30
雄信内 防雪林	直交 B	2.83	WSW	0.94	1.72
	斜交 B	7.24	WNW	0.49	0.86
雄信内 防雪林	直交 C	3.30	WSW	0.97	2.23
	斜交 C	7.52	WNW	0.41	1.29

*雄信内防雪林では、飛雪流量比 R_{Mf} が 1 を超える場合がある。測定高さ前後までの下枝が枯れていることから、林風下では幹などに起因した乱流拡散の強化により、飛雪流量が増加した可能性が示唆される。

に正の相関が得られた。また、式(6)・(7)により、防雪林の要求性能である「視程比 2.0」を満たす ΣPAD は $7\text{--}8(\text{m}^2 \text{m}^{-3})$ と推定された。

$$R_{Mf} = 0.285\Sigma \text{PAD} - 0.146, R^2 = 0.325 (p > 0.001) \quad (6)$$

$$R_U = 0.165\Sigma \text{PAD} + 0.734, R^2 = 0.624 (p < 0.001) \quad (7)$$

4. 防雪林の性能評価 (試案)

ここでは、盛土高さ 1-2m の場合に、造成地盤から 5m 高さまでの $\Sigma PAD_{Ave.0-5m}$ (図 5 左上) が運転車両範囲の吹雪視程に影響すると設定し、防雪林の性能評価を試みた。はじめに、日本の標準的な植栽による防雪林の成長モデル⁹⁾および各部位の PAD の設定値⁷⁾を用いて、樹齢および林帯幅ごとに $\Sigma PAD_{Ave.0-5m}$ の推移を示した(図 5 右下)。間引きを実施しない場合は、樹齢 30 年以降に枯れ上がりが発生して $\Sigma PAD_{Ave.0-5m}$ が低下し始め、林帯幅 20m (図 5 右下の橙曲線) では 40 年前後で防雪林の要求性能である「視程比 2.0」を満たす ΣPAD の設定値 $7-8(m^2 m^{-3})$ を下回る。このことから、防雪効果の長寿命化のために、補助対策¹¹⁾の必要性の検討が考慮される(図 5)。

今後、さらなる現地調査および解析により、体系化された防雪林の性能評価および機能確保の考え方の提示を目指す。

【謝辞】

雄信内防雪林の調査では北海道開発局、現地調査・整理では斎藤佳彦氏、西田浩平氏ら(株)雪研スノーイーターズにご協力いただいた。

【参考文献】

- 1) 原田裕介他 (2026): 道路防雪林の成長モデルの作成, 北海道の雪氷, **45**, 59-62.
- 2) 第 11 回国道(国管理)の維持管理等に関する検討会 (2026): 国が管理する一般国道及び高速自動車国道の維持管理基準(案).
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_maintenance/pdf11/07.pdf(2026 年 6 月 26 日閲覧)
- 3) 札幌市 (2025): 生活道路の新雪除雪の出動

情報. https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/josetsu_info.html (2026 年 6 月 26 日閲覧)

- 4) 佐藤隆光 (2002): 防風林の構造が気象改良効果に及ぼす影響に関する研究. 北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, **24**(2), 113-164.
- 5) 加治屋安彦他 (2004): 降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察. 寒地技術論文・報告集, **20**, 325-331.
- 6) Harada, Y., et al., 2024: Analysis of field observation data to develop performance requirements for living snow fences during severe snowstorm events. Proceedings of International Snow Science Workshop 2024, 905-911.
- 7) 原田裕介他 (2025): 道路防雪林における植物面積密度の設定. 寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, **41**, I-029, 1-6.
- 8) Bouvier, M., et al. (2015): Generalizing predictive models of forest inventory attributes using an area-based approach with airborne las data. Remote Sensing of Environment, **156**, 322-334.
- 9) GitHub_r-lidar/lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry application, <https://github.com/r-lidar/lidR> (2025 年 10 月 10 日閲覧)
- 10) 武知洋太他 (2009): 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, 北海道の雪氷, **28**, 17-20.
- 11) 原田裕介他 (2026): 道路防雪林の下部における防雪機能の検討. 第 69 回北海道開発技術研究発表会論文, 安-79, 1-6.

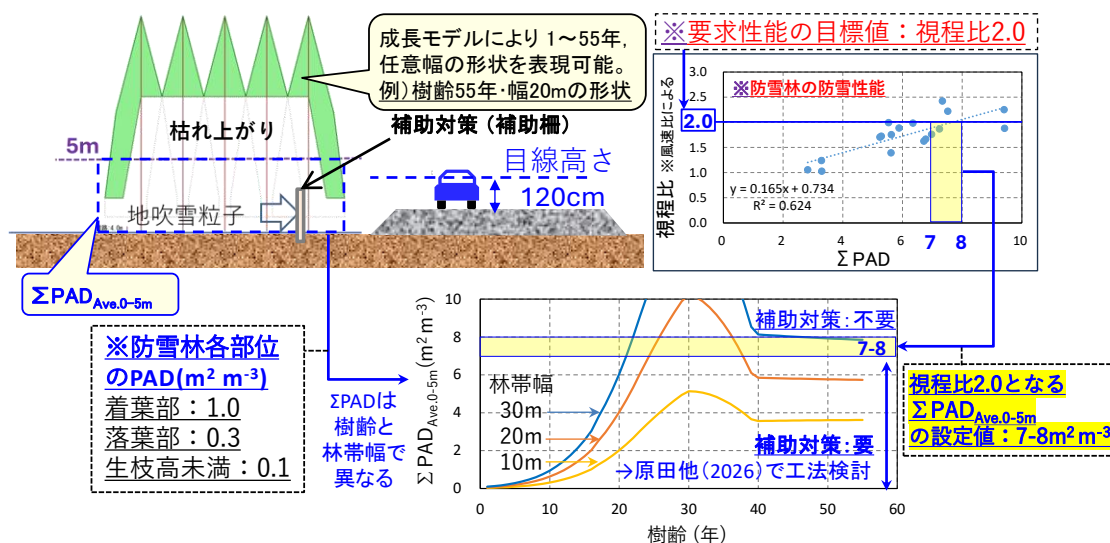


図5 防雪林の防雪機能低下に対する性能評価および機能確保の考え方(試案)