

北海道中標津町地域での防雪柵に関する吹雪・吹きだまり観測報告

Measurements of Snowdrift Formed by 6 and 2 rows Snow Fences in Nakashibetsu Area, Hokkaido

齋藤 佳彦¹, 金田 安弘², 永田 泰弘², 根本 征樹³, 荒川 逸人³, 竹内 政夫⁴,
丹治 和博⁵, 大風 翼⁶, 大宮 哲⁷, 大槻 政哉¹

Yoshihiko Saito¹, Yasuhiro Kaneda², Yasuhiro Nagata², Masaki Nemoto³, Hayato Arakawa³,
Masao Takeuchi⁴, Kazuhiro Tanji⁵, Tsubasa Okaze⁶, Satoshi Omiya⁷, and Masaya Otsuki¹

Corresponding author: saito@snow-eaters.com (Y. Saito)

筆者らは 2018 年冬期に、北海道東部の中標津町西養老牛の吹きだめ柵と吹き止め柵が設置されている箇所、および標津町北標津の吹き止め柵が斜めに 6 列設置されている箇所の 2 か所において、防雪柵（吹きだめ柵、吹き止め柵）周辺に形成される吹きだまりを対象とした観測を行った。観測では定点気象観測や UAV による写真撮影、測深棒を用いた吹きだまり形状の観測、静止画カメラによる連続観測等を行い、気象の推移や吹きだまり状況などを詳細に把握した。

1. はじめに

道路や鉄道の地吹雪対策として設置される防雪柵は、開発されてから長い歴史があり、設置に関するガイドライン等がまとめられている（道路吹雪対策マニュアル¹⁾等）。一方、機能については未解明な部分もあり、近年の暴風雪による吹雪災害等では、期待した効果を発揮できていない事例が報告されている（金田ら（2016）²⁾等）。

筆者らは、防雪柵周辺に発生する吹きだまりの形成メカニズムや防雪柵の効果、防雪柵の配置方法による吹きだまり状況の違いなどを把握することを目的として、2018～2019 年冬期に、北海道東部の中標津町周辺の 2 箇所（標津町北標津、中標津町西養老牛、表 1）において、防雪柵周辺の吹きだまりを対象とした観測を行った。本報告では観測で行った定点気象観測や連続静止画観測、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）の撮影画像と SfM-MVS（Structure from Motion – Multi View Stereo）技術による、吹きだまり形状の計測等の結果について報告する。

表 1 観測箇所一覧

	防雪柵の設置状況
標津町北標津	吹きだめ柵（高さ 4.6～5.6m）柵が吹雪時風向に直交し、柵が平行に 6 列設置されている。
中標津町西養老牛	風上側に吹きだめ柵（高さ 2.8m）、風下側に吹き止め柵（高さ 5.0m）が並行に設置されている。（柵は吹雪時風向に対し直交）

2. 防雪柵の設置状況と観測概要

(1) 標津町北標津

図 1 に標津町北標津で観測対象とした防雪柵と観測機器の設置状況を示す。当該箇所では防雪柵（吹きだめ柵、赤の実線）が道路に対し、斜めに 6 列設置されている。当該箇所では吹雪が道路に対し、平行に入射する風向であるため、上記のような配置で防雪柵が設置されている。なお、吹きだめ柵は高さ 4.6～5.6m（最も西側の柵が 4.6m、そのほかは 5.6m）である。定点気象観測では、風向、風速、積雪深、気温、湿度、日射量を 10 分間隔で計測し、風向風速計の高さは地面より約 4m とした。また、連続静止画観測として、6 つの吹きだめ柵の各々の北側に一定の時間間隔で撮影が可能な静止画カメラ（インターバルカメラ）を設置し、日中に 10 分間隔で吹

¹株式会社雪研スノーイーターズ
YUKIKEN Snow Eaters Co., Ltd.

²北海道開発技術センター
Hokkaido Development Engineering Center
³防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター
Snow and Ice Research Center, NIED

⁴NPO 法人 雪氷ネットワーク
NPO Network of Snow and Ice Specialists

⁵日本気象協会

Japan Weather Association
⁶東京工業大学 環境・社会理工学院
School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

⁷土木研究所 寒地土木研究所
Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

きだめ柵前後に形成される吹きだまりを撮影した。また、撮影された静止画より、吹きだまりの形状を読み取るため、赤白ポールを設置した。また、定点気象観測の位置より、吹きだめ柵側を撮影する形で、インターネットでの撮影された画像が確認可能なネットワークカメラを設置し、10分間隔で吹雪状況を撮影した。定点気象観測およびカメラの観測期間は、2018年12月19日～2019年4月3日である。

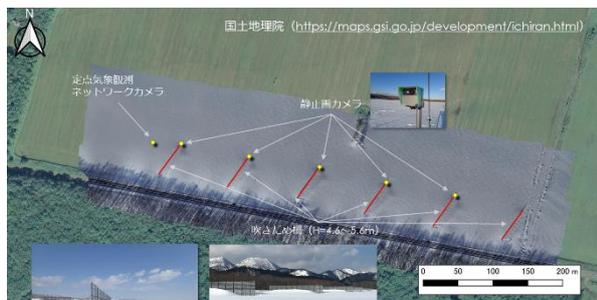


図1 防雪柵と観測機器の設置状況
(標津町北標津)

(2) 中標津町西養老牛

図2に中標津町西養老牛での防雪柵と観測機器の設置状況を示す。当該箇所では、防雪柵が2つ設置されており、吹きだめ柵(高さ2.8m)と吹きだめ柵の南東側に吹き止め柵(高さ5.0m)が設置されている。定点気象観測では、観測装置を吹きだめ柵の北西側に設置し、風向、風速、気温等を10分間隔で計測した。風向風速計の高さは地面より約4mとした。また、標津町北標津と同様に、インターバルカメラを設置し、10分間隔で吹きだまりの形状を撮影した。定点気象観測とカメラの観測期間は、2018年12月19日～2019年4月3日である。

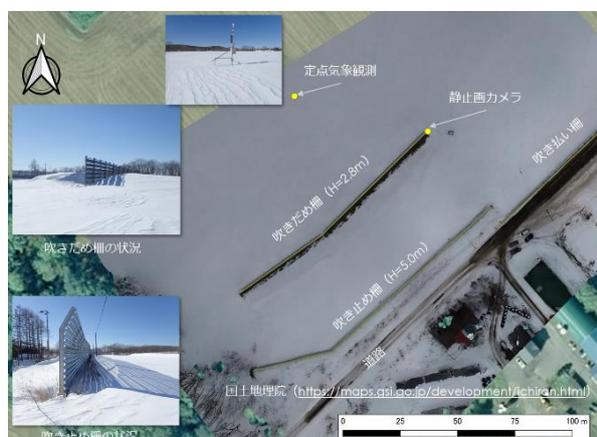


図2 防雪柵と観測機器の設置状況
(中標津町西養老牛)

3. 定点気象観測による気象状況

定点気象観測で得た気象データを基に、各箇所での2018～2019年冬期の気象状況を整理した。気象状況の整理では、旬別の統計値を整理した。なお、吹雪の発生や規模を定量的に捉えるため、定点気象観測で計測された風速および気温より、吹雪量 Q ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$) を推定した。吹雪量の推定は、小林他(1969)³⁾に示される式(1)より算出した。

$$Q = 0.03 U^3 \quad (1)$$

ここで、 U は高さ1mの風速(m s^{-1})である。なお、風速が小さい場合や気温が 0°C よりも高い場合、吹雪が発生しないことが考えられることから、風速が 5 m s^{-1} 以上かつ気温が 0°C 以下という吹雪発生条件(条件に合致しない場合は、吹雪量 Q を0とする)を課した。また、吹雪量 Q の算出では風速の10分平均値を対数則により1m高さの風速に変換した値を用いた。

(1) 標津町北標津

図3に標津町北標津での観測結果より整理した旬別統計値(積雪深、降雪深さ合計、気温、累積吹雪量)を示す。積雪深を見ると、12月下旬には30cm程度であり、1月下旬には100cm程度となった。しかし、2月中は各旬で20cm以下と降雪は少なく、3月上旬まで目立った積雪深の増加は見られなかった。その後、3月中旬で60cm弱、下旬に40cm弱の降雪がみられた。累積吹雪量は、前述の方法で算出した吹雪量を累積し算出したものを示すが、積雪深等と同様に、12月下旬から2月上旬までは、 $500 \sim 2000 \text{ kg m}^{-1}$ 程度であるが、2月中旬～3月中旬は 500 kg m^{-1} より小さく、吹雪の発生が少ない状況にあった。図4に風向別の発生時間と吹雪発生条件を課した発生時間(吹雪の発生時間と想定)を示す。図に



図3 2018～2019 冬期の気象旬別統計値
(標津町北標津, 定点気象観測結果より)

示されるように発生時間では W~WNW が卓越しているが、条件を課した場合には、WNW~NW が卓越しており、当該箇所での吹雪時の主風向は WNW~NW であると言える。

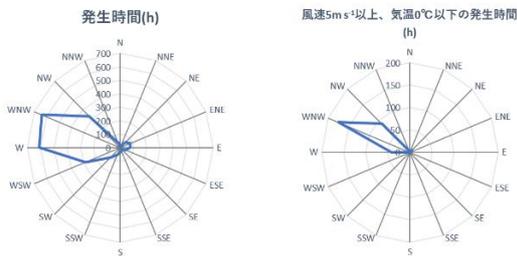


図4 2018~2019年冬期の風向別発生時間 (標津町北標津, 定点気象観測結果より)

(2) 中標津町西養老牛

図5に中標津町西養老牛において、定点気象観測で観測されたデータより整理した旬別統計値を示す。累積吹雪量を見ると、12月下旬から2月上旬、3月中旬から3月下旬と比べ、2月中下旬は値が小さい傾向がみられ、標津町北標津と同様に2月中は吹雪の発生が少なかったものと予想される。図6に風向別の発生時間を示す。発生時間ではW~NWが卓越しているが、吹雪発生条件を課した場合には、WNW~NWであり、当該箇所での吹雪時の主風向は、WNW~NWであると言える。

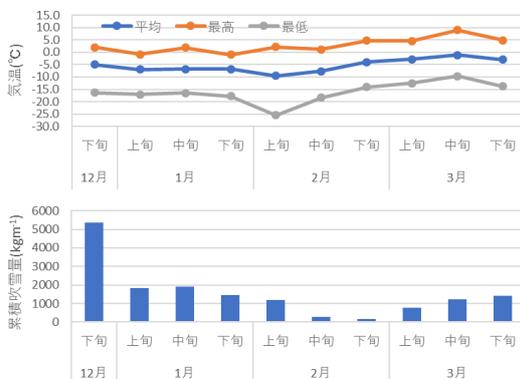


図5 2018~2019年冬期の気象旬別統計値 (中標津町西養老牛, 定点気象観測結果より)

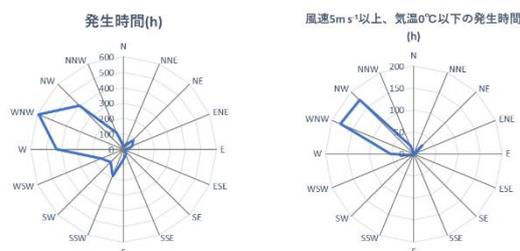


図6 2018~2019年冬期の風向別発生時間 (中標津町西養老牛, 定点気象観測結果より)

4. UAV, SfM-MVSによる吹きだまり形状

観測箇所の2箇所において、防雪柵周辺で形成された吹きだまりの形状を計測することを目的として、UAVで写真撮影およびSfM-MVS技術によるDSM (Digital Surface Model)、およびオルソ画像等の作成を行った。写真撮影用UAVには、DJI社 Phantom4 Proを用い、UAVに搭載されたカメラにより撮影を行った。撮影・飛行高度は、地表から50mとした。また、SfM-MVSソフトは、Agisoft社 PhotoScan Pro Ver. 1.4.4を用い、作成されたDSMデータより陰影図 (DSMデータで計算された勾配を用いる) の作成も行った。

(1) 標津町北標津

標津町北標津では、UAVによる撮影を2019年1月30日、2019年2月25日の2回実施した。図7に吹きだまり形状の陰影図を示す。赤線は防雪柵を示すが、2回の観測とも防雪柵の風下に柵に平行となる形で、吹きだまりが形成されていることが確認できる。なお、1回目の1月31日に対し、2回目の2月25日では、吹きだまりの位置がやや北側に移動している傾向がみられるが、理由として1回目と2回目の各観測までの吹雪状況 (風向など) が異なっていたことが考えられる。なお、1回目の雪面が平坦なのに対し、2回目はあばた状の雪面となっているが、これはSfM-MVSの処理において、2回目の雪面上に特徴点が少なく、解析の誤差が生じたためである。

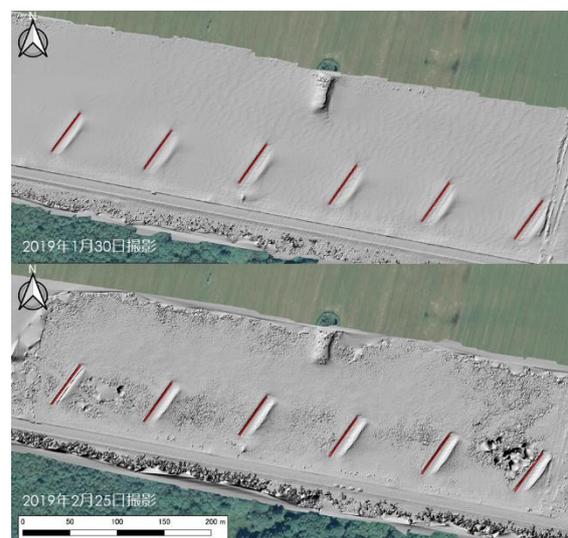


図7 吹きだまり形状の陰影図 (標津町北標津)

(2) 中標津町西養老牛

中標津町西養老地区では、2019年2月25日に1回の撮影を行った。作成した陰影図を図8に示す。

図より、北側の吹きだめ柵の南側（風下側）に吹きだまりが形成されていることが確認できる。なお、図8に示す2019年2月25日と同様に雪面があげた状となっているが、同じ原因（SfM-MVSの解析誤

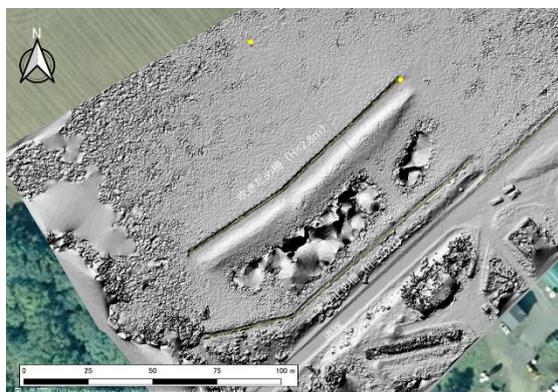


図8 吹きだまり形状の陰影図
(中標津町西養老牛, 2019年2月25日)

差)によるものである。

5. 測深棒計測による吹きだまり形状の計測

前項の UAV, SfM-MVS による吹きだまり形状の計測に加え、より正確に吹きだまりの形状を計測するため、測深棒を用いた人力による吹きだまり形状の計測を行った。なお、観測回数は両箇所とも2019年2月25日の1回である。

(1) 標津町北標津

図9に人力計測による吹きだまり（積雪深）の計測結果を示す。なお、計測は各々の吹きだめ柵の中央の位置で柵と直交する測線で行った。吹雪時風向（WNW～NW）での最風上となる吹きだめ柵①では、柵前後の吹積雪深は最大200cm程度と、風上側と風下側で概ね同程度であるが、吹きだめ柵②～⑥では、風上側が最大200cm程度であるに対し、風下側は300～400cm程度と風下側の方が大きい傾向にある。また、柵の間で比較すると、柵が風下側になるほど、風下側の積雪深の最大値が大きくなる傾向がみられた。なお、吹きだまりに対する柵の影響範囲は、吹きだまり形状から風上、風下とも柵から概ね50m前後と推察される。

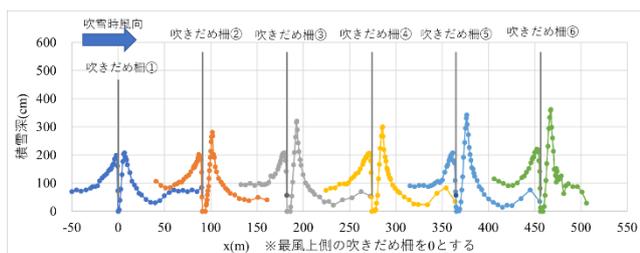


図9 人力計測による吹きだまりの計測結果
(標津町北標津, 2019年2月25日計測)

(2) 中標津町西養老牛

図10に吹きだまりの計測結果（積雪深）を示す。吹雪時風向（WNW～NW）に対し、風上側に吹きだめ柵、風下側に吹き止め柵が設置されている。吹きだめ柵前後では、風上で200cm弱、風下で250cm弱となっており、風下の方の積雪深が大きい傾向にある。一方、風下側の吹き止め柵では、柵の風上の概ね $x=30\text{m}$ 位置から柵に近くなるほど積雪深が大きくなる傾向にあり、吹きだまりが形成されていることが確認できるが、吹きだめ柵の吹きだまりよりも小さい結果である。このことから、本観測期間で発生した吹雪では、吹きだまり量が吹きだめ柵で堆積させることができる容量を超えることがなく、風下の吹き止め柵で吹きだまりを形成させるまでには至らなかったと考えられる。

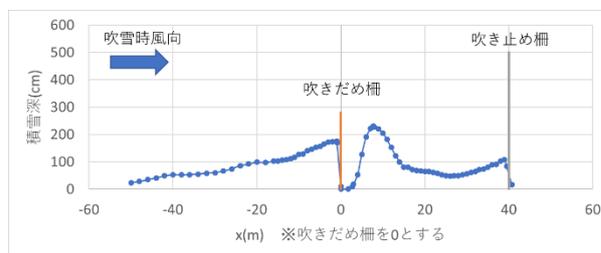


図10 人力計測による吹きだまりの計測結果
(中標津町西養老牛, 2019年2月25日計測)

6. まとめ

2018～2019年冬期に北海道中標津町周辺の防雪柵が設置されている箇所において、定点気象観測や UAV による観測、人力観測等により、防雪柵に発生する吹きだまりの形状や形成される過程について観測を行った。今後、防雪柵と吹きだまりの関係や吹雪・吹きだまり現象の解明に向け、本報告で示した結果の詳細な解析や連続静止面観測結果を用いた吹きだまり形成過程の解析を予定である。

【謝辞】

野外観測において、中標津町役場総務部の徳永博之氏、上田龍氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

【引用文献】

- 1) (独) 土木研究所寒地土木研究所, 2011: 道路吹雪対策マニュアル (平成23年改訂版) .
- 2) 金田安弘, 永田泰浩, 根本征樹, 竹内政夫, 2016: 吹雪多発地域にみる防雪柵の問題点と課題-北海道中標津地域での防雪柵の吹きだまり観測-, 北海道の雪氷, **35**, 29-32.
- 3) 小林大二, 小林俊一, 石川信敬, 1969: みぞによる地ふぶき量の測定, 低温科学・物理編, **27**, 99-106.