

## 2022年度（公社）日本雪氷学会北信越支部 総会および研究発表会・製品発表検討会

日 時：2022年6月4日（土）9:30～17:00

場 所：アオーレ長岡内協働ルーム（長岡市大手通 1-4-10 シティホールプラザアオーレ  
長岡 西棟 3階）およびオンラインによるハイブリッド開催

オンライン参加用アドレス（Zoom）：<https://zoom.us/j/91991614426>

ミーティング ID：919 9161 4426

パスワード：707403

### 次 第：

ハイブリッド開催形式の説明	9:30～9:45
研究発表会	9:45～12:00
総 会	13:15～14:00
支部賞授賞式	14:00～14:15
大 沼 賞：伊藤 陽一 氏	
件 名：雪崩の内部構造とダイナミクス解明に関する研究への貢献	
雪氷奨励賞：勝山 祐太 氏	
件 名：地球温暖化が積雪に及ぼす影響評価および固体降水粒子の観測研究	
雪氷功労賞：佐藤 和秀 氏	
件 名：長年にわたる雪氷研究と支部活動への貢献	
研究発表会	14:30～17:00

### 研究発表会プログラム

（発表 10 分・質疑 2 分）

- I 雪崩・積雪分布・積雪の構造（9:45-10:45） 座長：伊藤陽一（防災科研）
1. 妙高山域の幕ノ沢において 2022 年 2 月 21 日に発生した乾雪表層雪崩  
○竹内由香里・勝山祐太・勝島隆史・大澤光（森林総研）・安達聖（防災科研）
  2. 2022 年 3 月に新潟県糸魚川市島道で発生した雪崩の発生状況（速報）  
○上石勲・中村一樹（防災科研）・町田敬（町田建設）・伊藤陽一・本吉弘岐（防災科研）
  3. 灌木の抵抗力を考慮した全層雪崩の発生に対する積雪安定度の評価手法の開発  
○勝島隆史（森林総研）・松元高峰（新潟大）・小田憲一（日本大）・宮下彩奈・勝山祐太（森林総研）・河島克久（新潟大）・竹内由香里（森林総研）
  4. 岐阜県白川村野谷荘司山の雪崩発生区における積雪深分布の計測  
○勝山祐太（森林総研）・安達聖（防災科研）・勝島隆史・竹内由香里（森林総研）
  5. マルチライシメータの枠が積雪構造および側方流発生に与える影響  
○平島寛行・本吉弘岐・山口悟（防災科研）・大澤光（森林総研）

## II 教育・普及・交通 (11:00-12:00)

座長：上石勲 (防災科研)

6. 「一枚の写真」WSによる災害対応力向上効果  
安孫周・○元木裕登・杉原幸信・上村靖司・永田力也・吉澤厚文 (長岡技大)
7. 道路除排雪に対する住民の要望・苦情のテキストマイニング分析  
○石川大貴・田中章喜・上村靖司・杉原幸信 (長岡技大)
8. 積雪が車両走行に影響を与える走行評価  
○覺道由郎 (長岡技大)・上石勲・中村一樹 (防災科研)・熊倉俊郎 (長岡技大)
9. 除雪作業員巡回記録による雪堤崩壊現象の分析  
芝崎智貴・○渡邊香歩 (長岡技大)・鶴見竜也・岩崎伸一 (ネクスコ・エンジニアリング新潟)・杉原幸信・上村靖司 (長岡技大)
10. 雪堤の力学的特性の基礎的評価ー雪単層, および雪層境界面のせん断強度に与える各種因子の影響ー  
○中間翔大・河田剛毅 (長岡高専)・永井悠都・上村靖司・杉原幸信 (長岡技大)・町田敬 (町田建設)

## III 融雪・計測・吹雪・建築 (14:30-15:30)

座長：松元高峰 (新潟大)

11. 融雪シミュレーションによる散水融雪装置の最適制御方法の検討  
BATBAYAR LKHAGVACHULUUN・○田中日菜・BAASANDORJ MUNGUNTUUL・杉原幸信・上村靖司 (長岡技大)
12. ディグリー・デー法と季節予報を用いた消雪日予測方法の確立  
瀬田川真也・○河島克久・丸山ひかる (新潟大)・竹内由香里 (森林総研)・平島寛行 (防災科研)・本谷研 (秋田大)・佐野浩彬 (防災科研)
13. 低温風洞装置を用いた各種環境下における超音波積雪深計の性能評価  
○杉浦幸之助 (富山大)・佐藤研吾 (防災科研)・平沢尚彦 (極地研)
14. UAV-SfM 写真測量および LiDAR によるフェンス周辺の吹きだまり観測  
○新屋啓文 (新潟大)・大宮哲 (寒地土研)・砂子宗次朗 (防災科研)・西村浩一 (名大)・大風翼 (東工大)
15. 風による屋根雪偏分布の数値流体シミュレーション予測ーDynamic meshの適用ー  
○富永禎秀 (新潟工大)

## IV 降雪・利雪・克雪・その他 (15:45-17:00)

座長：本吉弘岐 (防災科研)

16. 北陸平野部における集中降雪の現象論  
○石坂雅昭 (防災科研客員)・本吉弘岐・山下克也・中井専入・山口悟 (防災科研)・橋本明弘 (気象研)
17. 北信越地方の冬季レーダー降水分布画像に対する機械学習を用いた分類  
○中井専入 (防災科研)・熊倉俊郎 (長岡技大)・上石勲 (防災科研)
18. 上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた地上到達固体降水量の推定と検証  
○熊倉俊郎 (長岡技大)・古橋知季 (西日本高速道路メンテナンス関西)・中島大岳・早野真理子 (古野電気)・本吉弘岐・中井専入 (防災科研)

19. 汎用レーザー距離計による消雪施設制御実験  
○藤野丈志・中村大輔・五十石浩介（興和）
20. 凝縮潜熱を考慮した可搬型雪冷房装置の冷房能力の定量的評価  
青柳大輔・○田中光太・丸山翔生・杉原幸信・上村靖司（長岡技大）
21. 高電圧パルス印加による初晶形成促進  
吉田匡貴・○岡本忠次・藤崎颯太・杉原幸信・上村靖司（長岡技大）

## 妙高山域の幕ノ沢において 2022 年 2 月 21 日に発生した乾雪表層雪崩

竹内由香里<sup>1</sup>・勝山祐太<sup>1</sup>・勝島隆史<sup>1</sup>・大澤光<sup>2</sup>・安達聖<sup>3</sup>

(1: 森林総合研究所十日町試験地 2: 森林総合研究所 3: 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

### 1. はじめに

妙高山域の幕ノ沢において、2022 年 2 月 21 日 21 時 41 分(地震計の記録)に雪崩が発生した。幕ノ沢では大規模な雪崩が平均して 3 年に 1 度程度の頻度で発生するので、雪崩検知観測を 2000 年から継続し、雪崩研究に資する観測データを蓄積するために調査を行っている。本件の雪崩は 2 月 26 日に破断面(図 1)が確認でき、幕ノ沢源頭部の標高 1700 m 付近の広範囲で発生した面発生乾雪表層雪崩と判明した。堆積区に近い標高 810 m の気象観測点では、雪崩発生時の気温は $-6.7^{\circ}\text{C}$ 、積雪深は 451 cm、降り始め(2 月 19 日 20 時)から雪崩発生までの降水量は 81 mm であった。雪崩の発生、流下、堆積量などの全容について明らかになったことを報告する。



図 1 幕ノ沢源頭部の雪崩破断面(2 月 26 日)

### 2. 調査と解析の方法

雪崩の堆積量を調べるための調査はデブリが融け始める前の 3 月 10~11 日に実施した。堆積区の 2 箇所において積雪断面観測を行い、自然積雪の深さ、デブリ層の厚さや水量などを測定した。同時に無人航空機(UAV: DJI 社製 Phantom 4 RTK)による写真測量を行い、数値表層モデル(DSM)を作成した。積雪深分布は DSM と、国土地理院の数値標高モデル(5mDEM)を DSM に合わせて 5 cm メッシュに内挿した値との差で求め、堆積区 14 地点にて測深棒で測定した値と比較して補正した。積雪深から堆積区の自然積雪の深さ(4.1 m で一様と仮定)を差し引き、デブリの厚さ分布を算出した。デブリ堆積量は、厚さ分布とデブリの密度( $400\text{ kg m}^{-3}$ )から求めた。デブリの雪温は氷点下で、調査時まで融雪水や雨水の浸透はなかった。雪崩の到達範囲は 4 月 11 日に堆積区を踏査して確認し、デブリの融解が進んで雪崩で運ばれた枝葉が雪面に現れた位置を Garmin 社製の GPS で計測した。

### 3. 結果と考察

踏査により雪崩は標高 820 m まで約 2600 m(水平距離)を流下したことがわかった。雪崩が到達した堆積区下流部の範囲(図 2 の実線)は面積が約 4.3 ha で、デブリの厚さは平均 1.0 m、堆積量は約 1.7 万トン( $4.3\text{ 万 m}^3$ )と推定した。これより上流部は踏査できなかったが、UAV による測量の結果から、下流部よりはるかに厚くデブリが堆積していることが明らかになった。しかし上流部では、発生区に近づくほど複数の小規模な雪崩のデブリも重なって堆積している可能性が高く、本件の雪崩堆積区の範囲を見極め、堆積量を推定するのは難しい。堆積深が多い沢筋の概ね標高 900 m~1200 m の範囲(図の点線)について計測してみると、面積は約 2.3 ha であるが、デブリの厚さは平均 3.6 m、堆積量は約 3.4 万トン( $8.5\text{ 万 m}^3$ )で下流部の 2 倍の多さと推定された。両範囲を合わせたデブリ堆積量は約 5.1 万トン( $13\text{ 万 m}^3$ )となった。

### 文献

- 1) 竹内由香里, 勝島隆史, 勝山祐太(2022): 雪崩の発生検知と大規模雪崩の実態—新潟県妙高山域幕ノ沢における雪崩の調査・観測—。砂防の観測の現場を訪ねて 3, 砂防学会出版プロジェクト委員会(編), 139–148。

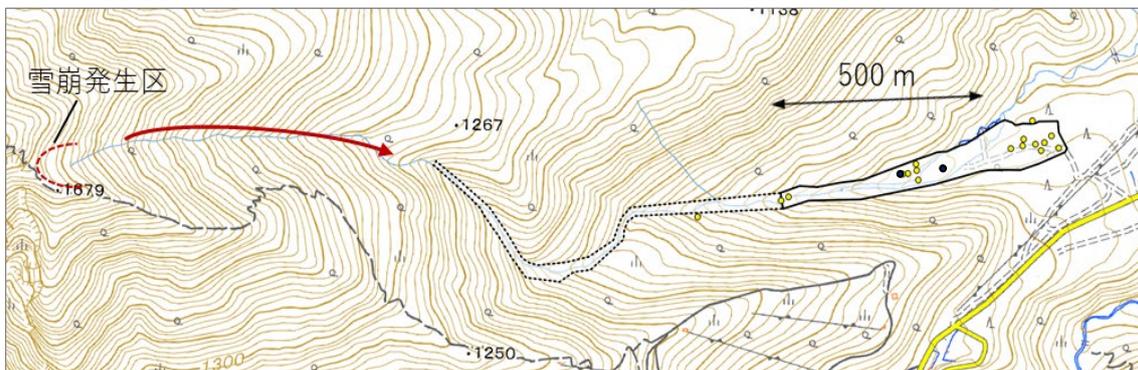


図 2 雪崩の発生区と到達範囲(実線) ●: 積雪深測定点 ●: 断面観測点 (国土地理院地図を使用)

## 2022年3月に新潟県糸魚川市島道で発生した雪崩の発生状況(速報)

上石 勲<sup>1</sup>・中村一樹<sup>1</sup>・町田 敬<sup>2</sup>・伊藤陽一<sup>1</sup>・本吉弘岐<sup>1</sup>  
 (1:防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 2:町田建設株式会社)

### 1. はじめに

2022年2月23日に新潟県糸魚川市島道で雪崩が発生し(図1)、1名の方が死亡する事故が発生した。事故発生の翌日から現地調査に入り、雪崩の発生状況、流下状況等を把握した。現状の調査結果の速報として発表する。

### 2. 雪崩の発生日時

糸魚川市の関係者からの聞き取り、死亡した方が乗車していた自動車に設置してあったドラレコの記録、現地に設置されている東京大学地震研究所の地震計の記録から発生時刻は2022年2月23日15時30分と推定された。

### 3. 雪崩の発生・流下状況

発生翌日の2月24日には、鉾ガ岳の北向斜面で表層雪崩の破断面が確認され、現地状況から面発生乾雪表層雪崩と推定された(図3)。雪崩発生日の翌日2月24日の現地調査、ドローンでの撮影、融雪期現地調査から雪崩の流下範囲を現状では図2のように想定している。雪崩は、標高約1100mの地点で発生し、約2.5km流下している。途中の砂防ダムと島道温泉のある出尾根を乗り越えている(図3,4,5,6)。砂防ダムの上流部は、デブリが4つの流れとなって蛇行していることが確認された。



図1 雪崩の発生した位置(糸魚川市島道)



図2 雪崩の発生・流下状況

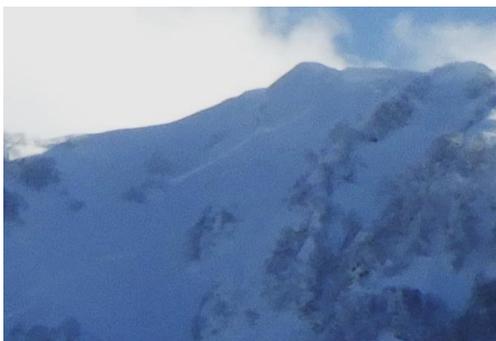


図3 面発生表層雪崩の破断面



図4 雪崩がジャンプしたと推定される出尾根



図5 出尾根と砂防ダム



図6 出尾根の上流側の蛇行したデブリ跡

下流では、雪崩による衝撃でコンクリートの小屋が横転しており、杉林では10m程度の高さの枝折れも確認された(図7,8).



図7 雪崩により横転した小屋



図8 雪崩による枝折れ

#### 4. 気象積雪状況

2月26日雪崩発生地点から南に約5kmのシャルマンスキー場下部、標高約500mの地点で積雪の断面観測を行った結果、表面から約1.2m付近に、粒同士のつながりが弱い乾いたざらめ層が確認された(図9,10).



図9 積雪観測

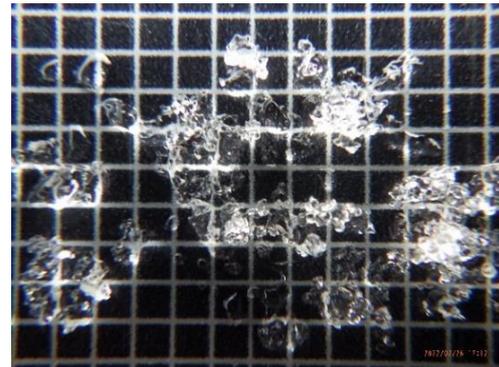


図10 結合の弱い乾いたざらめ雪

近隣の気象積雪状況を図に示した。2月22日～23日に大量の降雪が記録されている。2月20日には気温が上昇しており、上記のざらめ層は、この気温上昇時とその後の低温に形成されたものと推定される(図11).

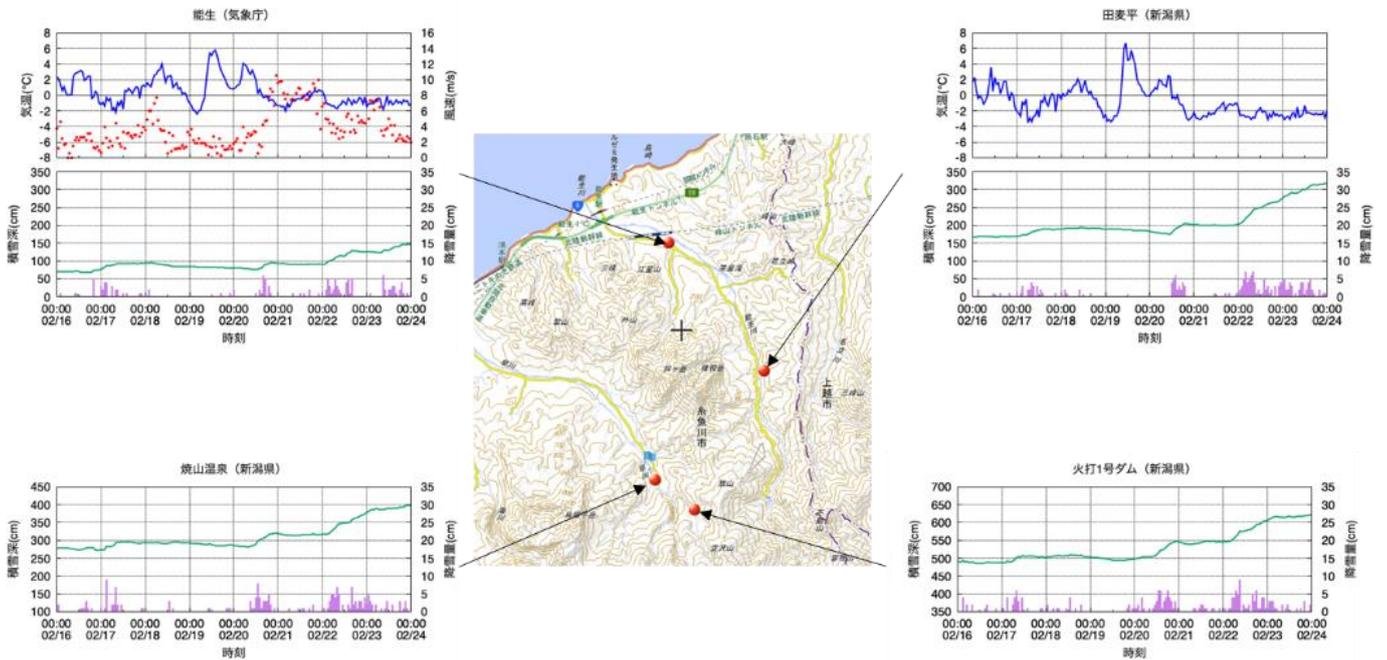


図 11 周辺観測点の気象積雪状況

## 5. 今後の予定

今後は、ドローン画像の解析などを行い、さらに雪崩の発生のメカニズムや対応を検討していきたい。

## 謝辞

積雪観測では、土木研究所雪崩地すべり研究センターの判田所長(当時)、奥山研究員にはお世話になった。また、調査全般では、新潟県糸魚川地域振興局の皆様、糸魚川市の方々にお世話になっている。ここに感謝申し上げます。

## 灌木の抵抗力を考慮した全層雪崩の発生に対する積雪安定度の評価手法の開発

勝島隆史<sup>1</sup>・松元高峰<sup>2</sup>・小田憲一<sup>3</sup>・宮下彩奈<sup>1</sup>・勝山祐太<sup>1</sup>・河島克久<sup>2</sup>・竹内由香里<sup>1</sup>

(1: 森林総合研究所 2: 新潟大学災害・復興科学研究所 3: 日本大学理工学部)

### 1. はじめに

新潟県をはじめとする本州の豪雪地の中山間地にある全層雪崩の発生区の多くでは、匍匐した樹形の灌木が成育している。灌木は全層雪崩の発生に対して抵抗力として働くが、この影響を定量的に示すことが難しく、灌木の存在が全層雪崩の発生予測を困難なものにしている。本研究では、積雪モデルを用いて積雪の安定度を推定するとともに、現状では推定することが難しい灌木の抵抗力の変化を実測値として安定解析に取り入れることで、灌木の影響を考慮した斜面積雪の安定度の評価手法を新たに提案する。

### 2. 研究手法

新潟県魚沼市大白川の全層雪崩の斜面を対象として研究を実施した。解析は2020-21年の冬季を対象とした。対象斜面における全層雪崩の発生直後の現地調査から、倒伏した灌木の樹幹の上面に位置する積雪層が破断することで、全層雪崩の滑り面が形成したことが確認されている。そこで、積雪の1次元モデル(Katsushima et al., 2009; Ikeda et al., 2014)を用いて、積雪底面の積雪層における安定度(上載荷重とせん断強度指数との比, Stability Index, 以下SI)の時間変化を推定した。計測により得られた1本あたりの灌木の抵抗力と立木密度との積を積雪層の安定化効果としてせん断強度に加えることで、灌木の抵抗力を考慮した安定度(以下,  $SI_{tree}$ )を新たに作成し、この時間変化を求めた。灌木の抵抗力は、解析対象期間に対象斜面で実際に計測されたものを使用した(勝島ら, 2021)。灌木が倒伏する際に生じる曲げひずみの中立軸に相当する樹幹側面の位置のひずみ量を計測し、樹幹に生じる引張ひずみを検出した。現地での曲げ試験により測定したヤング率を用いて、引張ひずみを引張軸力に変換し、これを灌木の抵抗力として扱った。雪崩発生区に設置したグライドメータにより斜面積雪の累積移動量(グライド量)の時間変化を測定し、それぞれの時刻におけるグライド速度、加速度を求めた。

### 3. 結果と考察

グライド量の計測結果から、2021/2/9にグライドが開始し、グライド速度が増加した。その後、2/15にグライド速度が急激に加速し、その日のうちに全層雪崩の発生に至った。灌木の抵抗力は、12月末に期間の最大値が計測され、その後緩やかに減少し続けた。2/11から抵抗力が急激に減少し、2/12には抵抗力が作用しない状態が測定された。

図1に、積雪底面の積雪層の安定度の時間変化を示す。灌木の抵抗力を考慮しない通常のSIでは、全層雪崩の発

生していない1月中の期間においても融雪や降雨が発生する度に、雪崩の発生の危険性の目安とされる  $SI=1.5$  を下回る不安定な状態が評価された。一方で、灌木の抵抗力を考慮した  $SI_{tree}$  では1月中は低い時でも2程度と比較的安定な状態が評価された。このことは、積雪の初期において灌木は斜面積雪の安定化に寄与することを示しており、この効果を安定解析に取り入れる必要があることを示している。一方で、雪崩の発生した2日前の2/13からは、 $SI_{tree}$  が日中に1.5を下回る状態が評価されていた。この雪崩発生直前の期間においては、灌木の抵抗力は作用しておらず、また、湿雪化した積雪底面付近の積雪層のせん断強度では上載する積雪を支持することができず、結果として積雪底面付近の積雪層を滑り面としてグライドが進行することで、全層雪崩の発生に至ったものと解釈される。

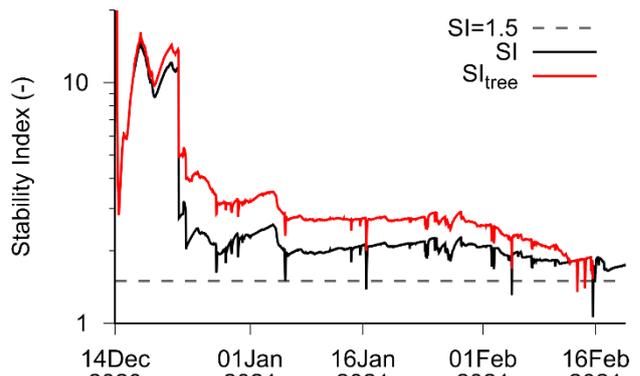


図1 積雪底面の積雪層の安定度の時間変化。赤実線が灌木の抵抗力を考慮したもの( $SI_{tree}$ )、黒実線が考慮しないもの( $SI$ )。

### 文献

- Katsushima, T., Kumakura, T. and Takeuchi, Y. (2009): A multiple snow layer model including a parameterization of vertical water channel process in snowpack. *Cold Reg. Sci. and Technol.*, **59**, 143-151.
- Ikeda, S., Katsushima, T., Matsushita, H., Ito, Y., Takeuchi, Y. and Akiyama, K. (2014): Comparison of snowpack on a slope and on flat land focusing on the effects of water infiltration, *Cold Reg. Sci. and Technol.*, **108**, 91-97.
- 勝島隆史, 松元高峰, 小田憲一, 宮下彩奈, 勝山祐太, 河島克久, 竹内由香里(2021): ひずみゲージを用いた全層雪崩斜面の灌木が持つグライドに対する抵抗力の計測, 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン)講演要旨集, 144.

## 岐阜県白川村野谷荘司山の雪崩発生区における積雪深分布の計測

勝山祐太<sup>1</sup>・安達聖<sup>2</sup>・勝島隆史<sup>1</sup>・竹内由香里<sup>1</sup>

1: 森林総合研究所十日町試験地 2: 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

### 1. はじめに

2021年1月10日に岐阜県白川村野谷荘司山で国内過去2番目に大規模と思われる乾雪表層雪崩が発生した(竹内ほか, 2021). 気象庁メソスケールモデルの出力と積雪変質モデルを使ったシミュレーションにより, この雪崩は1月7日から9日にかけての大雪に起因していると推定された(勝山ほか, 2021). しかし, このシミュレーションでは吹雪の影響を考慮できていないほか, 雪崩発生区における実際の降水量が不明なため雪崩発生区における積雪状態の詳細は分からなかった. そこで, 2022年3月17日に無人航空機(UAV)を用いた積雪深分布調査を実施したので, その結果を報告する.

### 2. 方法

DJI社製Phantom 4 RTKを使用し, 雪崩発生区を空撮して写真測量を行った. 得られた写真データと後処理キネマティック(PPK)方式によるUAVの位置情報を基にして, 5 cmメッシュの地上数値表層モデル(DSM)を作成した. 積雪深は, 作成したDSMから国土地理院による5 mメッシュの数値標高モデル(DEM)をDSMと同じメッシュに空間内挿した値を引くことで推定した. また, 推定された積雪深の精度検証のために, 測深棒による積雪深観測も同時に実施した. この観測を行った場所は, Garmin社製のGPSMAP 66iを使いPPK方式により決定した.

### 3. 結果と考察

UAVによる写真測量の結果, 雪崩発生区上部における雪庇や沢地形における吹き溜まりの詳細な様子を表す積雪深分布が得られた(図1). 雪崩発生区上部に対応する地点A付近には, 西よりの季節風の影響により雪庇が形成され, その積雪深は約7 mだった. 一方で, 風上側では吹き払いの効果により約3.5 mと相対的に少ない積雪深となっていた. さらに, 東側の風下側では, 谷地形に沿って積雪深が多い分布となっていた. 地点B付近における10 mを超える積雪深は, 雪崩によるデブリの影響によるものと思われる. また, UAVによる積雪深を測深棒による観測と比較すると, 多くの場所で30 cm以内の誤差に収まっていた. 一方で, 尾根地形のような地形の変化が大きい場所では誤差が大きく, ×印で示す2か所では100 cmを超える誤差となった. これは主にDEMの解像度不足に起因していると考えられる.

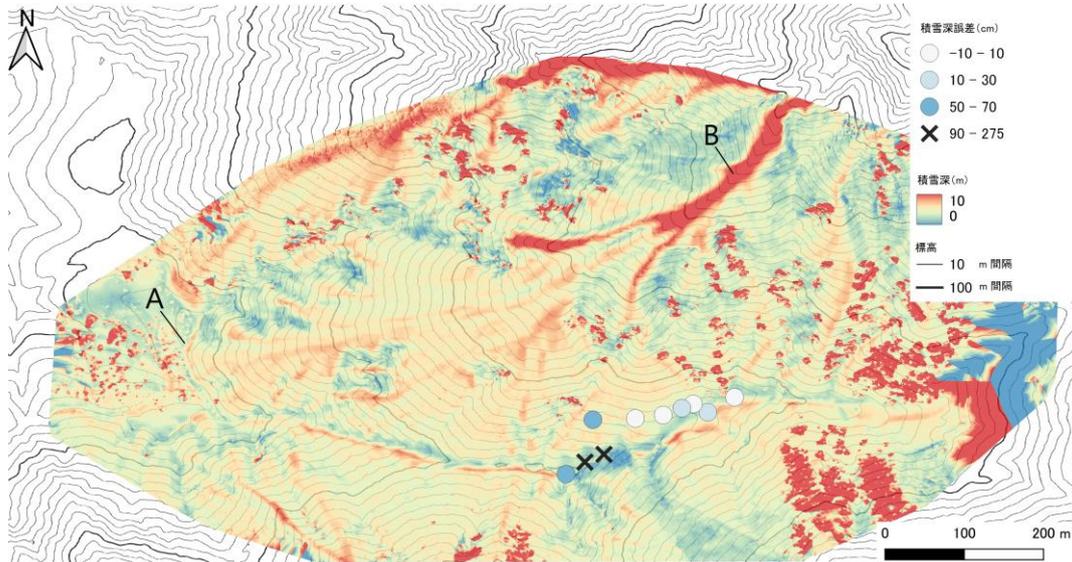


図1 UAVによる積雪深分布の計測結果(シェード)と測深棒による観測との差(○印と×印). 背景の等高線は使用したDEM.

### 文献

竹内由香里, 勝山祐太, 勝島隆史, 安達聖, 荒川逸人, 河島克久(2021): 岐阜県野谷荘司山で2021年1月に発生した大規模な乾雪表層雪崩—調査内容と結果の速報—. 雪氷北信越, **41**, 25.

勝山祐太, 勝島隆史, 竹内由香里(2021): 野谷荘司山で2021年に大規模雪崩を引き起こした積雪状態の推定. 雪氷研究大会(2021・オンライン)講演要旨集, 166.

## マルチライシメータの枠が積雪構造および側方流発生に与える影響

平島寛行<sup>1</sup>・本吉弘岐<sup>1</sup>・山口悟<sup>1</sup>・大沢光<sup>2</sup>

(1:防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 2:森林総合研究所)

### 1. はじめに

積雪中において水分が移動する際に、積雪層と平行に移動する側方流が発生することにより、地表面への水の供給が凹地地形に集中することがある。これは積雪中において粒径の異なる層境界で発生する毛管障壁や氷板が、鉛直方向への水の浸透を妨げて帯水し、その水が層に沿って移動することが大きな要因となっている。複数のライシメータを連結したマルチライシメータを使った解析においては、一部のライシメータからの流出が多くなることがあり<sup>1)</sup>、側方流が発生していたことが推測される。マルチライシメータは、1m×1mのサイズのライシメータを縦3×横3で設置したものであり、中央のライシメータからの流出が多いケースが頻繁に見られていた。マルチライシメータは傾斜のない平地に設置されているため、側方流は起きづらい条件下にある。一方、マルチライシメータの枠によりわずかな傾斜が形成されて、それによる側方流の発生が流出を偏らせている可能性があるため、平島ら(2021)<sup>2)</sup>において水分移動モデルを用いて僅かな傾斜を与えて再現計算を試みた。その結果、傾斜がわずかであっても帯水層が形成されると側方流が発生して底面流出量に大きな偏りが生じた。本研究では、実際にマルチライシメータの枠が積雪構造や傾斜の形成、またそれによる側方流発生にどう影響するか野外実験および数値計算により確認した。

### 2. 実験方法

マルチライシメータは、外側への水の流出を防ぐため、縁を高さ10cmの枠で囲っている。また、個々のライシメータ間においては高さ7cmの枠で仕切られている(図1)。これらの枠が積雪に傾斜を与えるかどうかを確認するために、横3cm×高さ3cm×奥行き180cmの直方体の材木を用意して露場に設置した。図2のように1mの間隔をあけて4本並べ、外側は材木を2本×2本で束ねて6cm×6cmのサイズにして設置し、内側は束ねず3cm×3cmのサイズで設置した。根雪前に雪氷防災研究センター露場に設置して、2022年3月8日及び9日に同場所で断面観測を実施して積雪の構造に関する観察を行った。

### 3. 結果

積雪断面を観測したところ、設置した柱の周辺付近で積雪が褶曲しており、側方流発生時においてもライシメータの枠を超えて水が移動しにくい状態になることが確認された(図3)。一方で、積雪の上層部において褶曲は小さくなった。このことから、枠は外側への流入を防ぐとともに、水を内側に移動させる効果を持つことが確認された。内側の柱でも小さい褶曲が見られ、積雪下部ではライシメータ間の境界をこえづら一方で、上部では境界を超えることが可能と推測された。それを確認するため、上部から水を供給して移動を確認したが、本観測を行った際には全層ざらめ雪で帯水が発生する層境界がなかったため側方流の発生は見られず、側方流による枠をまたいだ移動を直接確認することはできなかった。発表では、断面構造の解析結果やそれを用いた水の浸透の数値計算について説明する。

本研究は、科学研究費補助金20K04068で行った。



図1 マルチライシメータ



図2 マルチライシメータ枠を擬似した柱の設置



図3 柱周辺の積雪

### 文献

- 1) Yamaguchi et al. (2018): *Cold Res. Sci. Technol.*, 149, 95-105, doi:10.1016/j.coldregions.2018.02.009
- 2) 平島ら(2021): 雪中の側方流による流出不均一の水分移動モデルを用いた再現計算, 雪氷研究大会要旨集, p52

## 「一枚の写真」WSによる災害対応力向上効果

安孫周<sup>1</sup>・○元木裕登<sup>2</sup>・杉原幸信<sup>2</sup>・上村靖司<sup>2</sup>・永田力也<sup>2</sup>・吉澤厚文<sup>2</sup>

(1:長岡技術科学大学 大学院 2:長岡技術科学大学)

### 1. 緒言

これまでの災害時の対応力を向上させる手法は、過去の災害事例や想定される災害の経験から得られた解や対処法を教示するものがほとんどであった<sup>[1]</sup>。しかし、これでは未経験や想定外の災害には対応できない。災害時の適時・的確な行動には、個人や地域の「認知能力」(知識・技術)だけでなく数値化して計測する事が困難な「非認知能力」の涵養も不可欠である<sup>[2]</sup>。

そこで安孫らは、防災ワクチン<sup>®</sup>という新たな概念を提唱した<sup>[3]</sup>。防災ワクチン<sup>®</sup>とは、被災を経験する前に弱毒化した災害(物理的・心理的ダメージを弱めたもの)を体験する事で、本来自分自身が有する対応力を高め、災害への免疫力(主体的な対応力)を養うものである。

そして、この概念を取り入れ、災害への当事者意識及び主体的対応力を主とする非認知能力の向上を図る「一枚の写真」ワークショップ(WS)と名付けたWS手法を考案した。

本研究では、その手法の概要と有効性を検討した結果を報告する。

### 2. 主体性獲得の5段階モデルと各WSの関係

上村らは<sup>[4][5]</sup>、防災における当事者意識と主体性の獲得には、それぞれ無関心・傍観者・当事者・主体・率先者の5段階があると述べ、これらを主体性獲得の5段階モデルと提唱している(図1)。従来の防災WSは無関心から傍観者への引き上げに、防災ワクチンWSは傍観者から主体への引き上げに対応し、今回の「一枚の写真」WSはこの防災ワクチンWSを具体化したものである。

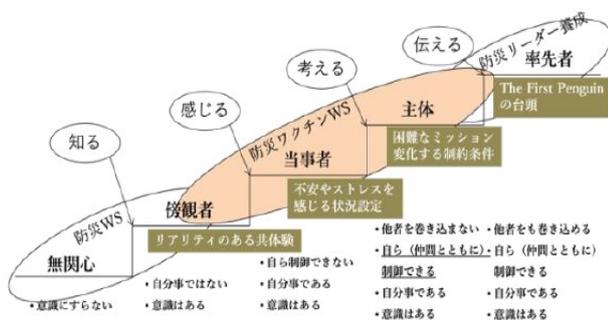


図1 主体性涵養の5段階モデル<sup>[4][5]</sup>

### 3. 「一枚の写真」WSとは

「一枚の写真」WSとは、ある災害の一場面を表す「一枚の写真」、「一分の映像」、「一本の記事」など、発生した事象を示す限られた情報のみを用い、グループの話し合いによって発生した事象を類推し、読み解き、取るべきであった対応を議論するWS手法の事である。この手法では、機械的に取るべき対応を議論するのではなく、人の心理、生い立ち、生き方、背後の人間関係までもに想いを馳せながら災害を疑似体験できる。本WS手法の狙いは、災害への当事者意識及び主体的な対応力を主とする6つの非認知能力(「気づき深める力」、「踏み出す力」、「伝え合う力」、「思い描く力」、「信じ合う力」、「やり抜く力」)の向上を図る事である。WSの有効性は、アンケートにより評価した。

#### 3.1 防災ワクチン<sup>®</sup>WSトライアルの開催

防災ワクチン<sup>®</sup>WS トライアル(以下、トライアル)の開催概要を以下に示す。今回のテーマは、雪害である。

日時:2021年9月27日午後1時から午後5時40分  
 場所:舞子高原ホテル  
 主催:長岡技術科学大学(地域防災実践研究センター)  
 共催:新潟県, 南魚沼市, 中越防災安全推進機構  
 後援:東京電力ホールディングス株式会社, 東日本高速道路株式会社新潟支社, 東日本電信電話株式会社新潟支社

参加者は、所属先が東京電力ホールディングス(株)、東日本高速道路(株)新潟支社およびその関連会社、東日本電信電話(株)新潟支社を中心に、NPO うおぬま防災ネットワーク、しるそな、防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター、長岡技術科学大学を加えた32名であった。

#### 3.2 防災ワクチン<sup>®</sup>WSトライアルの構成

以下に本トライアルの構成を示す。

- ① 雪や除雪基礎知識に関する講義
  - ・認知能力に関する知識を享受する。
- ② スcopeによる除雪体験
  - ・認知能力に関する技術を享受する。
- ③ グループワーク
  - ・「一枚の写真」WSを実施し、非認知能力を滋養する。
- ④ 総括

以下にグループワークの構成を示す。

- ① 趣旨説明
- ② グループディスカッション
  - (1) 自己紹介
  - (2) 役割を決める
  - (3) 事象発生までのシナリオを読み解く・対策を考える
  - (4) 登場人物を軸にした物語を考える
  - (5) 参加者全員に役を充て、物語に登場させる・対策を考える
  - (6) 対策を共有、深掘りし、まとめる
- ③ クラスディスカッション
  - ・討論結果の発表

### 3.3 評価方法

評価の方法は、WS の前後で実施したアンケートによる自己評価とした。アンケートは、認知能力に関する項目、非認知能力に関する項目からなる構成とした。回答方法は、それぞれ自由記述や選択肢、クイズ方式、またはリッカート尺度を用いて評価した。

## 4. 結果

まず、以下に参加者へ実施したアンケートの非認知能力に関する設問を示す。

- 設問1:** 入手しうる情報から、状況を正しく理解することができる。(気づき深める力)
- 設問2:** 率先して自ら対応したり、周囲の協力を仰いだりする事ができる。(踏み出す力)
- 設問3:** 自分の思いや考えを言葉で伝え、人の話を聞く事ができる。(伝え合う力)
- 設問4:** 様々なアイデアを出し、その中から最善の策を選択する事ができる。(思い描く力)
- 設問5:** 仲間を頼り、協働して行動する事ができる。(信じ合う力)
- 設問6:** 困難な状況にあっても、仲間と共に最善を尽くす事ができる。(やり抜く力)

そして、図2に回答結果を示す。どの非認知能力に関して、WS 後のアンケート回答では、「かなり」あるいは「まあまあ」と回答した参加者が増加した上、いずれも 90%以上であった。したがって、ほとんどの参加者の主体的な対応力が高い水準まで向上したと考えられる。

また、図3には年代別の回答解析結果を示す。図3は、アンケートの回答方法に用いたリッカート尺度による回答をそのまま1~5ポイントに変換(大きいほど良好)したものである。年代別で比較してみると、年齢が低い参加者程、各非認知能力に向上が見られた。

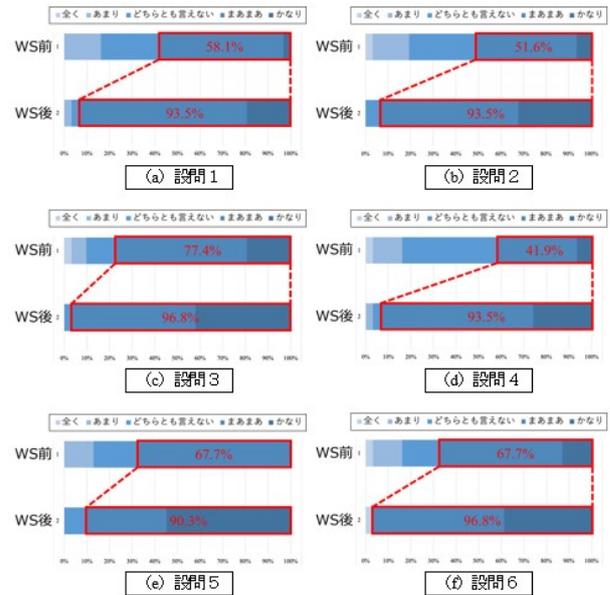


図2 各設問 回答結果

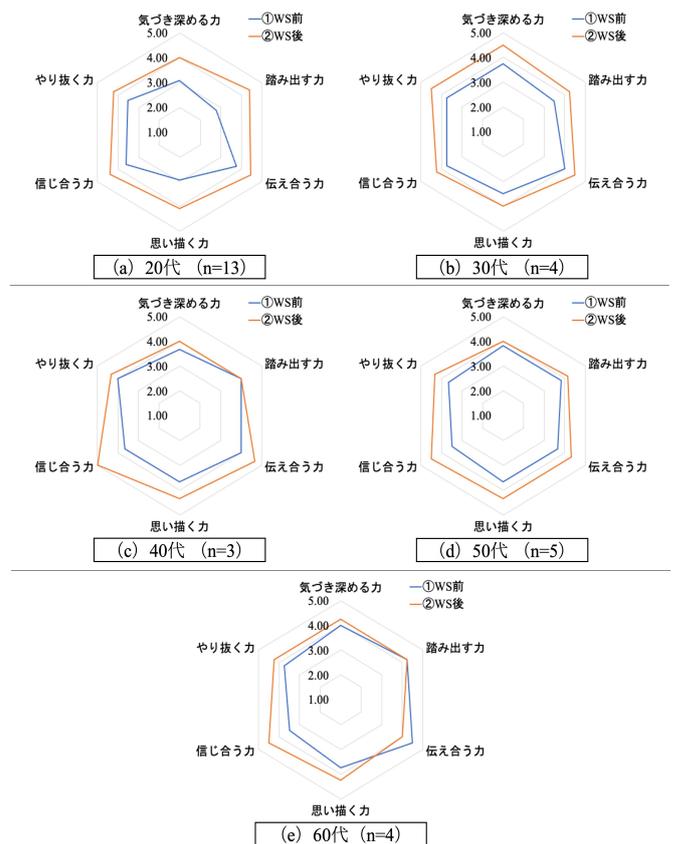


図3 年代別の回答分析結果

WSの実施前には様々な経験値が高いほど、非認知能力が高い傾向にあると予想したが、結果は概ね予想通りとなった。また、同じような例として雪国在住年数が短い参加者ほど非認知能力の向上が見られ、長い参加者は元からの能力が高い事が分かった。年代による経験値や雪に関する経験値(雪国居住年数)が大きいほど元々(WS前)の非認知能力が高く、それらの経験値が低いほど「一枚の写真」WS手法による主体的な対応力を向上させる効果が大きい傾向が見られた。この効果によって、経験に関係なく「一枚の写真」WS後の各非認知能力がほとんど同水準まで向上した。

また、アンケートの自身の非認知能力に対する評価の設問では、約半数の参加者が過小/過大評価していたという結果となった。つまり、自身の能力を正しく把握できるようになったといえ、WSには自身の能力のズレに気づく事ができる効果があるといえる。ここで、自身の能力のズレにWS中に気づいた場合、参加者の意識や行動が以下のように変化すると考えた。これらをWS前の主体的な対応力に対する価値別の「踏み出す力」と「信じ合う力」のスコアの平均向上度より確認した(表1)。ここでは、「踏み出す力」と「信じ合う力」のWS後の平均スコアからWS前のスコアを引いた差を平均向上度とした。

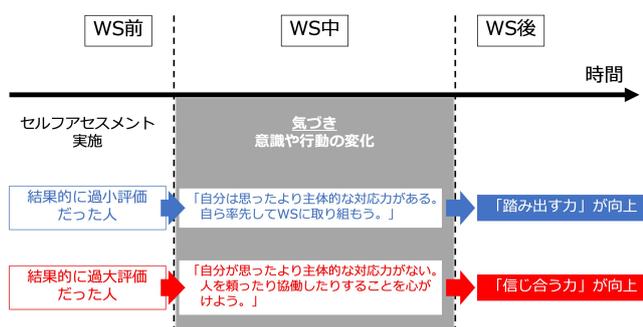


図4 自身の能力を過小/過大評価していた人の意識・行動の動線

表1 評価別の「踏み出す力」及び「信じ合う力」の向上度 (n=31)

WS前の自身の主体的な対応力	「踏み出す力」のスコアの平均向上度	「信じ合う力」のスコアの平均向上度
過小評価していた人 (1 or 2 と回答)	1.33	0.67
妥当であったと回答した人 (3 と回答)	0.87	0.87
過大評価していた人 (4 or 5 と回答)	1.00	1.27
全体平均	0.88	0.88

表1より、各能力の全体の向上度が0.88ポイントであったのに対し、自身の能力を過小評価していた人はWS後の「踏み出す力」のスコアが平均で1.33ポイント向上しており、過大評価していた人はWS後の「信じ合う力」のスコアが平均で1.27ポイント向上していた事がわかった。

## 6. 結言

本研究では、その場の状況で取りえる最善の策を定めて行動するために、防災について傍観者から当事者、当事者から主体へ引き上げる為に提唱された「防災ワクチン®」という新たな概念を具体化した「一枚の写真」ワークショップ(WS)と名付けたWS手法を考案した。これにより、その場の状況で取りえる最善の策を定めて行動するために、必要と考えた非認知能力である主体的な対応力の涵養を図った。効果については、WS前後に参加者に実施したアンケートによりその有効性を検証した。その結果、参加者に主体的な対応力の向上が見られ、「一枚の写真」WSには主体的な対応力を養う一定の有効性がある事が確認でき、自身の非認知能力の認識のズレに気づく効果がある事も確認できた。

## 7. 謝辞

本研究は東京電力ホールディングス株式会社との共同研究で実施された。防災ワクチンWSトライアルの開催にあたりご協力いただいた新潟県、南魚沼市、中越防災安全推進機構、東京電力ホールディングス株式会社、東日本高速道路株式会社新潟支社、東日本電信電話株式会社新潟支社の関係者各位、アンケートにご協力いただいた参加者の皆様にこの場を借りて、深く御礼申し上げます。

## 文献

- [1] 内閣府, 広報誌「ぼうさい」1月号(第55号), 2009/01, [http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h21/01/specia1\\_01.html](http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h21/01/specia1_01.html).
- [2] 中山芳一, 2018年11月21日, 学力テストでは測れない非認知能力が子供を伸ばす, 東京書籍株式会社, p14, p86.
- [3] 上村靖司, 防災活動における主体性獲得プロセスに関する考察, 日本災害情報学会 第21回学会大会予稿集, pp170-171.
- [4] 上村靖司, 協働除雪を通じた地域の主体性涵養過程に関する考察, 日本災害情報学会 第22回学会大会予稿集, pp73-74.
- [5] 安孫周, 上村靖司, 永田力也, 吉澤厚文, 杉原幸信, 住民の災害時の対応力を養う「一枚の写真」WS手法の提案, 寒地技術シンポジウム 第37回論文報告集, pp259-264.

## 道路除排雪に対する住民の要望・苦情のテキストマイニング分析

○石川大貴<sup>1</sup>・田中章喜<sup>2</sup>・上村靖司<sup>3</sup>・杉原幸信<sup>3</sup>

(1:長岡技術科学大学工学部 2:長岡技術科学大学 機械創造工学専攻 3:長岡技術科学大学)

### 1. はじめに

日本有数の都市でありながら、多量の雪が降る札幌市は冬季の経済と市民の生活を支えるために雪対策に大きな予算を費やして、その額は年間 200 億円にも及ぶ。一方、市民からの除排雪に対する要望・苦情件数は、毎年平均して 2 万 5 千件、多い年度では 4 万件以上にのぼる。本研究では実際に市民から寄せられた要望・苦情を分析し、札幌市民が直面している除排雪の困り事への理解を深める。そして、課題を明確にすることで、住民と自治体が互いに納得できる除排雪のあり方の提案を目指す。

### 2. 方法

札幌市に寄せられた要望・苦情を分析する方法として、テキストマイニングを用いた。テキストマイニングとは自然言語解析の一手法で、文章を単語や文節に分割し、それらの出現頻度や相関関係を分析することで有益な情報を抽出することができる。本研究では、テキストマイニングソフトウェアである KH-coder を用い、単語出現頻度表と共起ネットワーク、対応分析から平成 26 年度から平成 28 年度の 3 年度分の札幌市の要望・苦情を分析した。

### 3. 分析結果

#### 3.1 抽出語

3 年度分の要望・苦情データにおける単語出現頻度表(上位 10 単語)を表 1 に示す。それぞれの年の出現回数が多い語はほぼ共通していることから、毎年同じような要望・苦情が寄せられていると考えられる。詳細な単語を見ると、3 年間共通して「家」「前」「置く」「間口」といった語が多く出現していることが分かる。このことから、家の前の除雪に関する要望・苦情が多く寄せられていると推測できる。また、「ザクザク」という単語は平成 27 年度の頻出語に出現していないことから、平成 27 年度は雪の状態や道路状況が他の年とは異なっていたのではないかと考えられる。

表 1 単語出現頻度表.

平成26年度		平成27年度		平成28年度	
抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
雪	7871	雪	5290	欲しい	7677
欲しい	7592	欲しい	3814	雪	7349
除雪	5116	除雪	3619	除雪	5380
置く	4088	置く	3105	前	3989
前	3576	前	2245	置く	3939
ザクザク	3555	間口	1289	車	3599
車	3198	家	1193	道路	2964
道路	2764	車	1094	ザクザク	2871
間口	2273	雪山	1088	排雪	2183
家	1902	歩道	1068	歩道	2104

#### 3.2 共起ネットワーク

テキストデータ内においてある語と他の語と一緒に出現することを共起といい、共起する語を線で結んだものを共起ネットワークという。共起ネットワークの読み方として、円の大きさは語の出現頻度、円を結ぶ線の太さは関連の強さを示す。似た出現パターンの語は同じ色の円で色分けされる。

札幌市全体における平成 26 年度から平成 28 年度の 3 年度分の要望・苦情の共起ネットワークを図 1 に示す。図 1 より、札幌市には自宅前の除雪に関する事、道路状況に関する事、砂箱に関する事、交差点や道角の除雪に関する事、現地確認の要望・苦情が寄せられていると考えられる。

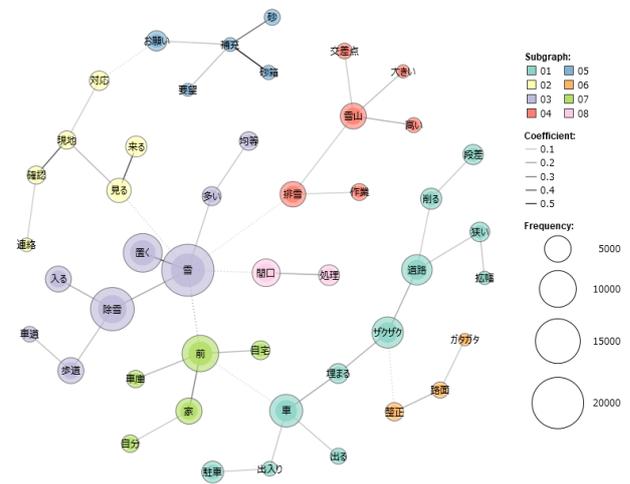


図 1 札幌市の要望・苦情の共起ネットワーク.

### 4. 結言

本稿ではテキストマイニングにおいて用いられる単語出現頻度表と共起ネットワーク図を用いて、平成 26 年度から平成 28 年度に札幌市に寄せられた要望・苦情の分析を行った。分析結果より、札幌市に多く出現していた要望・苦情として「家の前の除雪」がある。が、近年の大雪や高齢化、除排雪に関わる人手不足などにより、従来の除排雪の仕組みを持続していくことは困難となっている。自治体と住民が互いに歩み寄って話し合い、共通認識を醸成する。そして、納得できる取り組みを提案、継続する地道な積み重ねが重要であると考えられる。

#### 文献

1)札幌市ホームページ (2022 年 4 月 22 日閲覧): 雪対策費実績,

<https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/library/budget.html>.

## 積雪が車両走行に影響を与える走行評価

覚道 由郎<sup>1</sup>・上石 勲<sup>2</sup>・中村 一樹<sup>2</sup>・熊倉 俊郎<sup>1</sup>

(1:長岡技術科学大学 大学院工学研究科 2:防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

### 1. はじめに

2020年12月14日から17日にかけて、上空約5500mに氷点下30°C以下の強い寒気が流れ込み、最大積雪深180cm、時間最大降雪量11cmを記録した。この大雪は、E17関越自動車道に集中降雪をもたらし、立ち往生が発生した。最大2100台の大規模な車両滞留の解消には3日を要した。この立ち往生により人命及び生活活動への障害が発生した。また物流が滞ったことによって、社会経済に甚大なる影響を及ぼした。立ち往生の起因となった大型車両は、12月16日の17時50分頃に関越自動車道 塩沢石打IC付近の上り車線にチェーン未装着により立ち往生が始まったとされ、同日22時頃に湯沢ICから関越トンネル間下り車線においても大型車両のスタックが原因で立ち往生が発生した。このように、道路上に積雪する雪はスタックの原因となり、車両走行に危険を及ぼすため、危険となる積雪深を検証することが必要となっている。

本研究では、どのくらいの積雪深において車両がスタックするかしないかを目的として、車種とタイヤ種別を区別し、積雪道路に車両を走行させスタックするかしないかの実験を実施した。

### 2. 走行試験の方法

#### 2.1 積雪道路の作製

防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター前の坂に、小型ロータリー除雪機を使用して道路脇の積雪(ザラメ雪)を散布し、整地した(図-1)。散布範囲は、縦6m、横3.5mとしてそれを走行場所とした。散布した積雪深は傾斜2°と4°の坂に20cm程度を散布した後、4°の坂では20cmの試験後、10cmの積雪面を作成し、走行試験を行った。



図-1 小型除雪機を使用した積雪路面作成の様子

### 2.2 測定方法

#### 2.2.1 積雪深

路面上に散布した雪の積雪深は、測量用のスタッフを用いて計測を行った。縦、横1mおきに積雪深の測定を行い、それを平均したものを積雪道路の積雪深とした。

#### 2.2.2 積雪密度

積雪密度は、スノーサンプラーを用いて採取したサンプルの重量と体積から求めた。積雪密度は、車両走行前、車両走行後に測定を行った。

#### 2.2.3 積雪硬度

積雪硬度は、プッシュプルゲージを用いた。プッシュプルゲージは、アタッチメント装着時の先端の直径は15mm、アタッチメントを外した際の先端の直径は5mmのものを使用した。硬度測定では、積雪面から2cmまで押し込んだ際の値とした。測定値をアタッチメント断面積で除したものを圧力として換算し、それを積雪硬度とした。

積雪道路の積雪は、車両走行前と車両走行後のワダチにおける積雪硬度を測定した。車両走行前は、アタッチメントを装着したものを使用し、車両走行後のワダチの積雪はアタッチメントを外したものを使用した。

#### 2.2.4 積雪面の摩擦係数

積雪道路の摩擦係数の計測には、アメリカンスリップメーターを用いた。アメリカンスリップメーターを積雪面の上に接地させた後、水平の力を徐々に加えながら引っ張り、アメリカンスリップメーターが動いた瞬間の値を摩擦係数とした。摩擦係数は、車両走行前の積雪面と車両走行後の圧密された積雪面において計測を行った。

#### 2.2.5 車両走行

使用した車両の概要を(表-1)に示す。使用した車両は、日産 モコ DBA-MG33S、トヨタ LAND CRUISER PRADO TX、日産 エクストレイル DBA-NT32を用いた。走行試験は、計28回行った。

表-1 実験に使用した車両の概要

車種	車両重量	駆動方式	タイヤ種別
モコ	820kg	FF	ノーマル/スタッドレス
ランドクルーザー	2480kg	4WD	スタッドレス
エクストレイル	1510kg	FF/4WD	スタッドレス

車両の走行方法は、時速10km程度を速い走行、時速5km程度を遅い走行とした。積雪道路は、ワダチ上とワダチでない場所を走行した。評価方法は、積雪道路を通過する

か、スタックし走行不能時の停止状況を見て4段階の評価をした(表-2)。

表-2 走行評価方法

評価ランク	積雪道路の走行状況
1	前輪がスタックし、脱出不能
2	前輪でスタック
3	空転させながら通過
4	問題なく通過

### 3. 結果

表-3,表-4に各傾斜の積雪測定結果を示す。表-3,表-4では、車両走行試験を行った積雪道路の傾斜2°における平均積雪深は20cm、傾斜4°における平均積雪深は27cm、傾斜4°の積雪深10cmで行った。積雪の状態は、走行前の積雪の平均密度、平均硬度、摩擦係数と走行後の平均密度、平均硬度、摩擦係数を算出した。

表-3 傾斜2°の積雪の測定結果

走行前	平均密度	568 kg/m <sup>3</sup>
	平均硬度	14.1 kPa
	摩擦係数	0.65
走行後	平均密度	614 kg/m <sup>3</sup>
	平均硬度	196.2 kPa
	摩擦係数	0.46

表-4 傾斜4°の積雪の測定結果

走行前	平均密度	623 kg/m <sup>3</sup>
	平均硬度	10.7 kPa
	平均摩擦係数	0.64
走行後	平均密度	693 kg/m <sup>3</sup>
	平均硬度	175.7 kPa
	平均摩擦係数	0.44

次に、車両の走行評価の結果を示す。表-5に走行条件と車両の走行回数を示す。表-5では、3パターンの積雪道路の試験を行った。

表-5 車両の走行回数

走行条件	走行回数
① 傾斜2° 積雪深20cm	8
② 傾斜4° 積雪深27cm	10
③ 傾斜4° 積雪深10cm	10
合計	28

積雪道路走行の試験結果を表-6,表-7,表-8に示す。表-6,表-7,表-8では、車種、駆動方式、タイヤの種類、走行速度、走行する際のワダチの有無、スタック時の停止状態、

停止時のタイヤの空転状況の結果を表にした。

表-6 条件①の走行結果では、ノーマルタイヤで速度を遅く走った際、積雪道路を走行中に停止後、スタックを起こし前進が不可能となった(図-2)。走行速度を速くした場合では、停止することなく積雪道路を通過した。また、スタッドレスを装着した2車種は、ワダチなしを通過した。そのうち1車両は、駆動方式を2WDに設定し、ワダチなしを走行し通過することができた。

表-6 ①における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
モコ	4WD	ノーマル	遅い	なし	前輪スタック	後輪空転	2
			遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2
			速い	あり	通過		4
			遅い	あり	前輪スタック	後輪空転	2
		遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2	
		スタッドレス	遅い	なし	通過		4
ランクル	4WD	スタッドレス	遅い	なし	通過		4
エクストレイル	2WD	スタッドレス	遅い	なし	通過		4



図-2 走行速度を遅くしたときのスタック状況

表-7 ②の走行結果において、ノーマルタイヤを装着した車両は、全ての走行においてスタックした。走行速度を速くしたとき前輪がスタックを起こし自力で脱出できなかった。スタッドレスタイヤを装着した車両は、ノーマルタイヤを装着車両と同様の挙動を示した。

表-7 ②における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
モコ	4WD	ノーマル	遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			速い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			速い	あり	前輪スタック	前輪空転	2
		遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2	
		速い	あり	全輪はまる	後輪空転	1	
ランクル	4WD	スタッドレス	遅い	なし	前輪スタック	前後空転	2
			遅い	あり	全輪はまる	前後空転	2
		速い	なし	全輪はまる	前後空転	1	
		遅い	あり	通過		4	

表-8 ③の走行結果は、全車種スタッドレスタイヤを装着した。モコは、低速走行時車両が停止しつづも通過し、ワダ

チの有無によらずスタックしなかった。次に、ランクルの走行結果として、ワダチが形成された場所は通過したが、ワダチなしを低速走行した際、タイヤを空転させながら通過した。そして、エクストレイルの走行試験では、駆動方式を2WDに設定し走行すると、前輪がスタックし走行できなかった。また、高速走行において走行することができたが、スリップを起こし車の制御が効かなくなったため停止した。その後、駆動方式を4WDに切り替え、ワダチを走行し通過した。

表-8 ③における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
ランクル	4WD	スタッドレス	遅い	なし	通過	前後空転	3
			遅い	あり	通過		4
			速い	あり	通過	前後空転	3
			速い	あり	通過		4
エクストレイル	2WD	スタッドレス	遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
	4WD		遅い	なし		スリップ	4
モコ	4WD	スタッドレス	遅い	あり	通過		4
			遅い	なし	通過		3
			遅い	あり	通過		3

#### 4. 考察

表-3, 表-4 から、走行前後の結果を比較すると平均密度、平均硬度は大きくなり、摩擦係数は小さくなっていた(表-9)。車両走行後は、積雪が圧密され密度、硬度ともに大きくなったと考えられる。また、摩擦係数が小さくなった要因は、密度、硬度と同様に車両が走行することによって、積雪が圧密された後、タイヤにより圧雪路面を形成し、平滑化されたと考えられる。

表-9 走行前後における測定値の倍率

測定項目	①	②
密度	1.1 倍	1.1 倍
硬度	13.9 倍	16.5 倍
摩擦係数	0.7 倍	0.7 倍

ノーマルタイヤを装着した車両において、条件①と②の低速走行は全ての場合において通過することができなかった。また、②の高速走行についても通過できなかったが、①の条件のとき、高速走行では積雪道路を通過できた。このことから、ノーマルタイヤを装着した場合でも、高速走行を行えば通過できるが、積雪路面で車両が停止した際、再発進するためのグリップ力が無くなるためスタックが発生する。また、高速走行では、グリップ力が低下しているためスリップする。スタックの要因として、停止したタイヤ直下では、車両重量により積雪は圧密され硬化し摩擦係数が小さくなると考えられる。一般的には、ノーマルタイヤの性質上、雪道や凍結路面を走行するための設計がされていないため、積雪道路では、グリップ力の減少によるスリップの発生、ブレーキ時にスタッドレスタイヤと比較すると制動距離が長くなることは明らかである。

かである。

スタッドレスタイヤを装着した車両試験の条件①と③において、駆動方式4WDは、ワダチの有無に関係なく通過することができた。また、条件①では2WDに設定し通過した。しかし、条件③の2WDでは、通過できなかった。条件③において、低速走行はスタックの発生、高速走行ではスリップを起こした。これらは、4WDと2WDの駆動力を比較すると2WDは駆動力が小さく、走行安定性が低かったと考えられる(図-3)。



図-3 2WDでのスリップの様子

条件②の試験において、ノーマルタイヤとスタッドレスタイヤを装着した車両がスタックした要因として、積雪深の深さが大きく関わっていることが考えられる。積雪深が車両のシャシーの高さより高いと、走行時に車両底部へ雪を抱え込み、車両底部の摩擦抵抗が大きくなる。同時に、タイヤの接触圧が弱くなりタイヤが空転する。このとき、タイヤが空転すると周辺の雪は摩擦熱により溶けることや、タイヤの回転時に雪が飛沫することにより、車体が積雪に乗り、支持された状態になる(図-4)。



図-4 スタック時の雪の飛沫の様子

条件②で通過できた理由として、何度も車両が走行し、ワダチが形成され、シャシーの高さまで車両底部に接触する積雪が削られたことで摩擦抵抗が小さくなり走行可能になったと考えられる(図-5, 図-6)



図-5 車両通過前の積雪状況



図-6 車両通過後の積雪状況

## 5. まとめ

本実験において、積雪道路を車両が通過すると、積雪密度と硬度は大きくなり、摩擦係数は小さくなる。走行後はワダチが形成されることで車両の走行性が向上する。ノーマルタイヤを装着した場合グリップ性能が低いため、雪上を走るとは困難となる。そのため、降雪時は、スタッドレスを装着することは必須であるといえる。また、駆動方式は2WDと4WD比較すると4WDの方が走行安定性に優れる。

積雪が多いとスタックの起因になり、また、勾配の大小やワダチの有無は、スタックやスリップを起こす大きな原因であり雪上走行において深く関わっている。そのため、積雪10cmの際に除雪を行うことは、スタックを発生させないためには妥当であるといえる。

## 6. 今後の展望

本実験では、ザラメ雪で走行試験を行ったので今後の実験では違う雪質での試験を行いたいと考えている。

レーダーを用いて降雪状況を把握し、スノーパックなどを使用して、道路上などにどのくらいの積雪があるか把握を行い、雪質変化でスタックする条件の調査を検討している。

## 除雪作業員巡回記録による雪堤崩壊現象の分析

芝崎智貴<sup>1</sup>・○渡邊香歩<sup>1</sup>・鶴見竜也<sup>2</sup>・岩崎伸一<sup>2</sup>・杉原幸信<sup>3</sup>・上村靖司<sup>3</sup>

(1:長岡技術科学大学大学院工学研究科 2:(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 3:長岡技術科学大学 機械創造専攻)

### 1. はじめに

豪雪地帯では、冬期間の安定した交通確保のための雪氷対策が必須であり、道路管理者が行っている雪氷対策は「除雪作業」と「路面の凍結防止剤散布作業」の2種に大別される。そのうち「除雪作業」ではまず、路面の積雪深がおおむね5cm以上にならないよう、プラウを装着した除雪トラックや除雪ドーザ、除雪グレーダにより新積雪を路肩に寄せる新雪除雪が行われる。次に、路肩に寄せた雪が道路の車線を圧迫してくるとロータリ除雪車を用いて道幅を確保する拡幅除雪が行われ、路側に雪が積み上げられる。これらの作業が繰り返されると、その間の自然積雪も加わり道路の路肩や中央分離帯に雪山が形成される。これが雪堤と呼ばれる。

堆積・成長した雪堤は思いがけず崩壊することがあり、道路側に崩壊すると車線を塞ぎ、自動車への物損被害や交通事故に繋がる可能性がある。このような事故を未然に防ぐためにも、適切なタイミングで効果的に雪堤を処理することが重要である。しかし雪堤処理作業を実施するタイミングは熟練した作業員の経験則に依存しているのが現状である<sup>1)</sup>。そのため、雪堤処理の効率化を図る定量的な手法の開発が期待されている。そのため、雪堤処理作業を効率的かつ効果的に図ることができるよう、経験則を反映した定量的な雪堤処理の実施判断基準や現行の手法に対する改善策および新たな処理手法の開発が期待されている。

そこで、本研究は実際に新潟県内の高速道路の雪氷作業に従事されている方々の日々の業務が記録された日報や培われたノウハウに注目する。日報(巡回記録)を基に過去の雪堤崩壊の発生傾向について区間別、月別、構造物種別、道路造成種別で分析を行い、崩壊現象が具体的にいつ、どこで、どのような頻度で発生しているのかを調査した結果を報告する。また、今後はこの結果を雪堤崩壊や処理作業に関するアンケートと結び付け、作業員のノウハウの可視化を行っていく。

## 2. 除雪作業員の巡回記録を基にした分析

### 2-1 分析に適用する区間

高速道路の雪氷作業従事者の日報には、雪崩や雪堤崩壊の発生有無や事故件数などの報告や引継ぎ事項が記載されている。その中でも、本研究では雪堤崩壊・処理に関する内容に焦点を絞り、関越自動車道の内、特に積雪量の多い地域を縦断している水上ICから長岡IC間を分析の

対象区間とした。過去7年度分(2013年度から2019年度)の長岡および湯沢事業所の日報を分析した結果、雪堤崩壊・処理の記載がある209件の日報を抽出した。

日報に記載されている①「上り/下り」や②「昼/夜」、③「中分(中央分離帯)/路肩」、④「KP(キロポスト)」などの雪堤崩壊に関する情報から、崩壊地点とおよその崩壊時間帯を特定した。なお、雪堤崩壊・処理のキーワードで抽出した209件の日報の内、上記①~④の情報がすべて記載されている日報は41件であった。これらに関しては、路線図(東日本高速道路 所有)やGoogleマップのストリートビュー機能<sup>2)</sup>を活用し、崩壊地点の「構造物種別(ガードケーブル/ガードレール/コンクリート防護柵等)」や「道路造成種別(土工部/橋梁部)」を補足した。

### 2-2 道路造成種別と構造物種別について

関越自動車道は、東京都練馬区の練馬JCTと新潟県長岡市の長岡JCTを結ぶ、全長が約246kmの完成4車線区間(片側2車線)の高速道路である。その中で分析に適用するのは、群馬県みなかみ町の水上市ICから新潟県長岡市の長岡IC間までの、全長が約104kmの区間である。まず、道路造成種別について述べる。道路造成とは、道路を建設する際に元々の土地の形や区画を変更して必要な状態に整えることである。道路造成には種類があり、高速道路は主に土工部(盛土部/切土部)と橋梁部、トンネルで構成されている。そのうち、盛土部とは土を積みこむことで地盤を高くして整地した箇所のことであり、切土部とは地面や山の一部を掘削して地盤を整地した箇所のことである。

表1に関越自動車道(水上IC~長岡IC間)における道路造成種別の構成距離を示す。次に、構造物種別について述べる。高速道路の中央分離帯や路肩には、それぞれ車両用の防護柵が設置されている。この防護柵は、上下車線を明確に分離することや、自動車が事故を起こした場合に、路外及び対向車線へのはみ出しを防止することが目的である。関越自動車道のような完成4車線区間の場合はガードレールとガードケーブルが一般的に用いられている。また橋梁部においては、路肩側、もしくは中央分離帯および路肩の両側に壁高欄が存在する。

表2に関越自動車道(水上IC~長岡IC間)における構成距離を示す。

表1 関越自動車道（水上IC～長岡IC間）における  
道路造成種別の構成距離

	上り[km]	下り[km]	平均値[km]
盛土部	73.29	72.46	72.88
切土部	11.32	14.63	12.98
橋梁部	12.04	12.11	12.08
トンネル部	17.81	17.57	17.69

表2 関越自動車道（水上IC～長岡IC間）における  
構造種別の構成距離

		上り [km]	下り [km]	平均値 [km]
中央 分離帯	ガードケーブル	8.58	8.49	8.53
	ガードレール	16.38	15.75	16.06
路肩	ガードケーブル	51.92	51.17	51.54
	ガードレール	13.90	15.07	14.48

※路肩では法面擁壁や遮音壁との連立区間を含む。

### 3. 日報の分析結果

#### 3-1 年度と月、時間帯別の発生件数

まず、図2に年度ごとの雪堤崩壊件数と年平均気温および年平均累積降雪量の関係を示す。なお、2013年度から2019年度までの分析に用いた日報には、1月から3月以外の月に雪堤崩壊が発生した記録は残っていなかった。そこで、年平均気温および年平均累積降雪量は、4地区（水上、湯沢、小出、長岡）のアメダスの気象データ<sup>3)</sup>（2014年から2020年までの年ごとの1月、2月、3月の平均気温および1月から3月までの累積降雪量）を抽出し、年ごとに平均を算出したものである。図2より、2014年度は雪堤崩壊件数が131件であり、他年度と比較して多くなっていることがわかる。一方、平均累積降雪量が小さい2015年度と2019年度の日報からは雪堤崩壊が抽出されなかった。したがって、降雪量の多い年ほど雪堤崩壊の件数が増加するといえる。

また、図3に2013年度から2019年度までの1月、2月、3月のそれぞれの月における雪堤崩壊件数の総計と月平均気温および月平均累積降雪量の関係を示す。月平均気温と月平均累積降雪量は、図2と同様に、4地区（水上、湯沢、小出、長岡）のアメダスの気象データ<sup>3)</sup>（2014年から2020年まで）を月ごとに平均して求めた。図3に示す7年度分の分析より、2月の雪堤崩壊件数が最も多くなっていることがわかる。気象データより、月平均累積降雪量がおおよそ2m以上、なおかつ月平均気温が1°C前後となる月に雪堤崩壊が発生しやすくなる傾向があると読み取れる。

図4に雪堤崩壊が発生した時間帯の割合を示す。この図より、雪堤崩壊の約60%が昼間、約40%が夜間に発生

し、日報に記載されていることがわかる。ここで、昼間は8:00～16:00の8時間、夜間は16:00～翌日8:00の16時間を意味する。

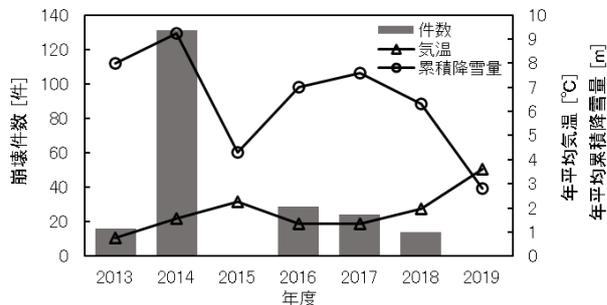


図2 年度ごとの雪堤崩壊件数と年平均気温および年平均累積降雪量の関係

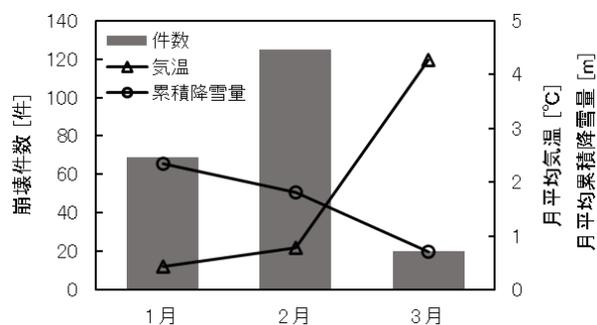


図3 月ごとの雪堤崩壊件数と月平均気温および月平均累積降雪量の関係（2013年度から2019年度）

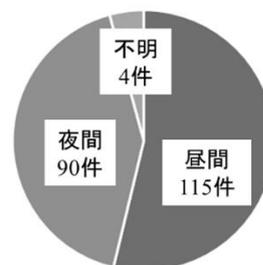


図4 雪堤崩壊件数と時間帯の関係

#### 3-2 区間別および地区別の発生件数

次に、区間別および地区別の雪堤崩壊件数を分析する。なお以降の分析には、詳細な位置情報が記載されており、崩壊地点が特定可能な41件の日報のデータのみを用いることとする。

表3に区間と地区の詳細を示す。11区間をアメダスより気象データが入手できる4地区（みなかみ、湯沢、小出、長岡）に整理した。図5に区間別の雪堤崩壊件数を示す。2013年度から2019年度の期間において最も崩壊件数が多かった区間は、区間番号4：塩沢石打IC～六日町ICの8件であった。二番目は区間番号2：土樽PA～湯沢ICの7件、三番目は区間番号5：六日町IC～大和スマートICおよび区間番号8：堀之内IC～越後川口ICの6件

であった。

次に、図 7 に地区別の崩壊件数と平均気温および平均累積降雪量を比較する。なお、地区ごとの距離の差を考慮するために、単位距離あたりの雪堤崩壊件数を算出して評価した。また、それぞれの地区の平均気温および平均累積降雪量は、アメダスより過去 7 年間(2014 年～2020 年)の 1 月から 3 月までの気象データを抽出し、平均を算出したものである。

図 6 より、平均累積降雪量が多く、平均気温が小さい地域ほど単位距離あたり雪堤崩壊件数が多いことがわかる。最も多い湯沢地区では、0.7 件/km であった。一方、平均累積降雪量が大きいみなかみ地区での雪堤崩壊は日報に記録されていなかった。その理由としては、水上 IC～土樽 PA 間の約 17 km のうち、約 11 km がトンネル部(関越トンネル)であることが考えられる。

表 3 関越自動車道(水上 IC～長岡 IC 間)における構造種別の構成距離

区間			地区	
番号	名称	距離 [km]	名称	距離 [km]
1	水上 IC～土樽 PA	17	みなかみ	17
2	土樽 PA～湯沢 IC	9.4	湯沢	29
3	湯沢 IC～塩沢石内 IC	8.5		
4	塩沢石内 IC～六日町 IC	11.4		
5	六日町 IC～大和 SIC	11.4	小出	34
6	大和 SIC～小出 IC	6.1		
7	小出 IC～堀之内 IC	7.6		
8	堀之内 IC～越後川口 IC	8.9		
9	越後川口 IC～小千谷 IC	7.9	長岡	24
10	小千谷 IC～長岡南越後 SIC	9.4		
11	長岡南越後 SIC～長岡 IC	6.3		

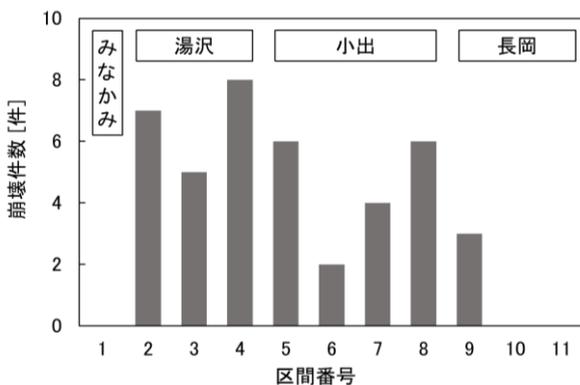


図 5 区間別の雪堤崩壊件数

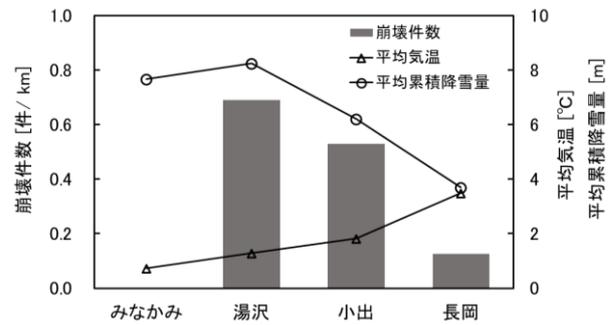


図 6 地区別の単位距離あたりの雪堤崩壊件数と平均気温および平均累積降雪量の比較

### 3-3 道路造成種別および構造物種別の発生件数

図 7 に道路造成種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数の割合を示す。単位距離あたりの崩壊件数に注目すると、全体の約 5 割が橋梁部、約 3 割が切土部、約 2 割が盛土部で発生しているという結果になった。橋梁部が最も多くなった原因として、橋梁ではその他の造成種別に比べて、自動車の走行に起因する振動や吹きさらし環境による熱的な影響を受けやすかったり、壁高欄やフェンスによって背が高いけれども幅の狭い雪堤が形成されやすかったりといったことが考えられる。

また、図 8 に中央分離帯と路肩における雪堤崩壊件数を示す。雪堤崩壊の約 70%が中央分離帯で発生しており、雪堤崩壊は中央分離帯側で発生しやすい傾向にあることがわかった。さらに、ガードレールとガードケーブルのどちらの防護柵が設置されている中央分離帯の雪堤崩壊件数が多いのかを調査する。図 9 より、中央分離帯の構造物種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数は、ガードレールが 67%、ガードケーブルが 33%である。したがって、中央分離帯の中でもガードケーブルが設置された区間の方が、雪堤崩壊が発生しやすい傾向であることがわかった。

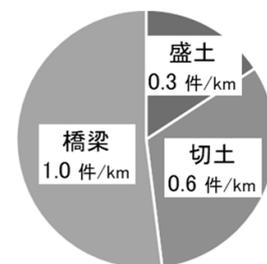


図 7 道路造成種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数の割合

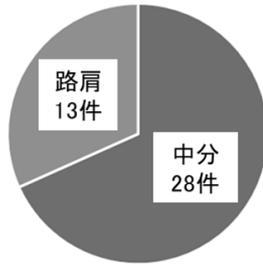


図8 中央分離帯と路肩における雪堤崩壊件数

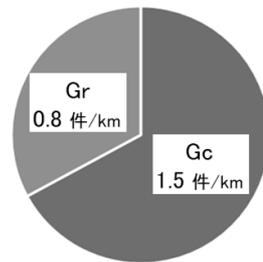


図9 中央分離帯の構造物種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数 (Gc:ガードケーブル, Gr:ガードレール)

## 4. 雪氷作業従事者へのアンケート

### 4-1 アンケートの構成

2021年12月23日から2022年1月31日の期間において、新潟県内の高速道路の雪氷作業従事者に対して雪堤崩壊や処理作業に関するアンケートを実施した。アンケートは上越・新潟・長岡・湯沢の各事業所に依頼した。アンケートは以下に列記する項目から構成されている。なお、(2)雪堤崩壊に関する設問は、すべてリッカート尺度の4段階評価(「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」、「どちらかといえばそう思わない」、「そう思わない」とした。

- (1) フェイス項目：経験業務、職務歴、作業場所。
- (2) 雪堤崩壊に関する設問 (10 項目)
  - ① 気温が高い日は、雪堤崩壊の規模が大きい。
  - ② 気温が高くても、曇りの日は雪堤崩壊が起きにくい。
  - ③ 風の強い日に降雪があると、翌日に雪底が多くなる。
  - ④ 雨が降ると、雪堤崩壊が起きやすい。
  - ⑤ 昼間と夜間では、昼間が雪堤崩壊の規模が大きい。
  - ⑥ 橋梁はその他の道路に比べ、雪堤崩壊が起きやすい。
  - ⑦ 高地は積雪量が多く、雪堤崩壊が起きやすい。
  - ⑧ 盛土と切土で、盛土の方が雪堤崩壊が多い。
  - ⑨ 拡幅除雪の回数が多いほど、雪堤崩壊が起きやすい。
  - ⑩ 雪堤崩壊が起きやすい時期や場所がある。
- (3) 雪堤崩壊および処理に関する記述式の設問 (3 項目)：
  - ① 質問10で「そう思う」「どちらかといえばそう思う」にチェックされた方にお伺いします。具体的な時期や、場所などがございましたらお聞かせください。
  - ② いつ、どのようなタイミングで雪堤切りを行うのが

適切だと考えますか。

- ③ なぜ雪堤崩壊が起きると思われますか？

### 4-2 フェイス項目の整理

本研究では、高速道路の雪氷作業従事者の方々から合計526通のアンケートを収集した。その内訳を表4に示す。

表4 アンケート回収数と経験業務

事業所	経験業務				回収数
	巡回員	情報連絡員	除雪隊員	その他	
上越	24	4	3	5	31
新潟	29	12	186	12	237
長岡	17	3	104	5	132
湯沢	14	8	94	9	126
合計					526

※経験業務については複数回答を含む。

今後は、アンケート分析を進め本研究で得られた結果と結び付けることで経験則を反映した定量的な雪堤処理の実施判断基準や現行の手法に対する改善策および新たな処理手法の開発につながることを期待する。

## 5. まとめ

本研究では、2013年度から2019年度分の除雪作業員の巡回記録を分析し、年度と月、時間帯別の発生件数、区間別および地区別の発生件数の調査を行った。その結果、雪堤崩壊が発生しやすい条件として、①降雪量が多く、平均気温が高い年 ②降雪量が多く、気温が緩む2月 ③昼間と、気温が上昇した夜間 ④降雪量が多い地区 ⑤中央分離帯(特にガードケーブル型) ⑥橋梁 ⑦ロードガッター未設置区間 の全7項目が明らかとなった。

## 6. 謝辞

本論文の執筆において、除雪作業員巡回記録による雪堤崩壊現象の分析を実施するに当たり、(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟及び(株)ネクスコ・メンテナンス新潟各位には、多大なるご協力とご支援を頂きました。心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 国土交通省 北陸雪害対策技術センター, “雪国 日本 ～世界有数の雪国ならではの知恵～”, [https://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/yukinavi/pdf/archive/leaflet/t\\_02.pdf](https://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/yukinavi/pdf/archive/leaflet/t_02.pdf)
- [2] Google, “Google マップ 「ストリートビュー」”, <https://www.google.co.jp/maps/>
- [3] 国土交通省 気象庁, “過去の気象データ検索”, [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php?prec\\_no=54&bblock\\_no=0529&year=&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php?prec_no=54&bblock_no=0529&year=&month=&day=&view=)

## 雪堤の力学的特性の基礎的評価

### — 雪単層,および雪層境界面のせん断強度に与える各種因子の影響 —

○本間翔大<sup>1</sup>・河田剛毅<sup>2</sup>・永井悠都<sup>3</sup>・上村靖司<sup>4</sup>・杉原幸信<sup>4</sup>・町田敬<sup>5</sup>

(1:長岡工業高等専門学校専攻科 2:長岡工業高等専門学校 3:長岡技術科学大学大学院

4:長岡技術科学大学 5:町田建設株式会社)

#### 1. はじめに

道路の路肩に積み上げられた雪堤は,崩れて車線に飛び出すと,交通事故発生の原因となってしまう. 特に走行速度が高い高速道路では事故の危険度,重大度が増す.雪堤の崩壊を未然に防ぐ方法を考案するためには,まず崩壊に関係する力学的特性と主要因子の関係を明らかにする必要がある.

雪堤崩壊のパターンの一つとして,雪堤上部が滑り落ちるような崩れがある.雪堤内部のせん断強度が特に低い層(弱層)が起因となって崩れが発生していることが自然である.雪の強度を低下させる要素としては,例えば含水の影響と,塩分の影響が考えられる.冬季,気温が氷点下になることが予想される場合には,凍結防止剤として路面に塩水が撒かれる.路面の雪と混ざった塩水は,走行車両にはじかれて雪堤下部にかかったり,ロータリー除雪車によって雪と共に雪堤に積み上げられたりする.また,層と層の境界面がそもそも脆弱である場合も考えられる.これらの要素で弱層部での崩れが発生する可能性がある.

このほか,ガードレールなどの構造物などからせり出した部分が崩れる現象が観測されている.

これらの情報に基づいて,雪堤崩壊に関係する力学的強度特性の解明のため,「(1)雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響」,「(2)雪単層のせん断強度に与える塩分の影響」,「(3)雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響」,「(4)せり出し形状になった雪塊のクリープ変形」を実験的に調べた.

#### 2. 実験方法

##### 2.1 雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響

試料雪を発泡板で作成した型に入れ,コンテナボック

スの中に敷き詰めた砕氷に埋める.これを2セット用意する.片方のコンテナボックスには,水を充填する.所定の日数経過後に型から試料を取り出し,せん断強度試験を行う.

試料雪は,製氷機による氷を氷削機で削って作成した人工ざらめ雪を使用した.全作業通して 0°Cの環境で行った.コンテナボックス内は砕氷または氷水で満たしているため,試料雪はどちらも 0°Cで保存されている.

##### 2.2 雪単層のせん断強度に与える塩分の影響

氷削機で試料雪作成し,枠に入れて数日保存した後,試料雪全体を塩水に浸し,さらに 1 日保存する.この試料を使って,せん断強度試験を行う.

試料雪に人工しまり雪を使用した.-10°Cの環境で試料雪作成を行い,その後の雪の保存とせん断強度試験は-5°Cの環境で行った.

##### 2.3 雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響

試料雪を内寸が 300mm×300mm×高さ 400mm の枠に半分ほど充填し,5 日間保存する.その後,枠のもう半分量の試料雪を入れ,保存する.これによって保存期間の違う層を作る.所定の日数経過後に雪層の境界面を含む部分を切り出し,せん断強度試験を行う.

試料雪に人工ざらめ雪を使用した.全作業通して 0°Cの環境で行った.加圧力の影響を調べるため,1m の積雪を想定した重りを 2 層目の上面に載せた場合と載せない場合の 2 条件設定した

##### 2.4 せり出し形状になった雪塊のクリープ変形

単純な直方体を,せり出し形状となった雪堤上部の簡易モデルとした.

試料雪を簡易モデルに沿った形に成型する。試料雪を台からはみ出るように置いたまま放置し、クリープ変形の様子を撮影する。試料雪の形状、台からはみ出した長さから、せり出し形状の付け根にかかる曲げ応力とせん断応力、安定度を算出する。クリープ変形の様子と算出した安定度の関連を調べる。

試料雪に人工しまり雪を使用した。試料雪作成時は $-10^{\circ}\text{C}$ 、雪の保存は $-5^{\circ}\text{C}$ 、変形の観察は自然環境に合わせて $3^{\circ}\text{C}$ の環境で行った。

### 3. 結果

#### 3.1 雪単層のせん断強度に与える経過日数と含水状態の影響

実験結果を図1に示す。日数経過に伴うせん断強度の変化は、含水なしの条件では増加する傾向が認められるが、含水ありの条件では変化が認められなかった。したがって含水ありの条件の方が含水なしの条件よりもせん断強度が低く、その差は日数経過とともに大きくなっていく。

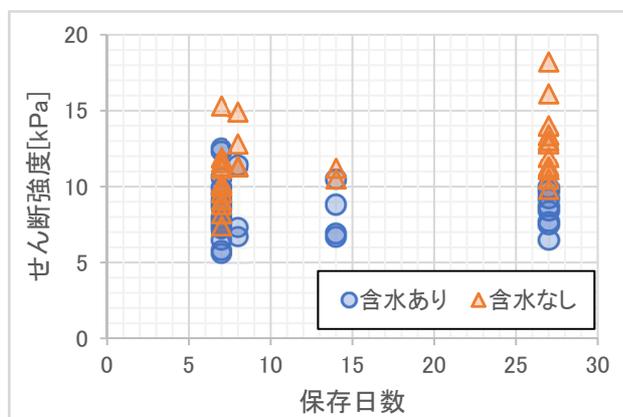


図1 含水の有無によるせん断強度の比較

#### 3.2 雪単層のせん断強度に与える塩分の影響

塩水の濃度と周囲温度によって、雪が融解する場合と融解しない場合がある。それぞれの場合に相当する条件でせん断強度試験を行った結果を塩水の影響を与えていない雪のせん断強度と比較した。雪を融解条件ではせん断強度が下がり、融解しない条件ではせん断強度が高まる事が確認された。

#### 3.3 雪層境界面のせん断強度に与える経過日数と加圧力の影響

重りあり(1mの積雪相当の加圧力)の場合は2層目を積み上げてからの日数経過とともにせん断強度が増加する傾向が見られた。一方、重りなしの場合は明確な変化傾向は見られず、重りありの場合よりもせん断強度が低くなった。

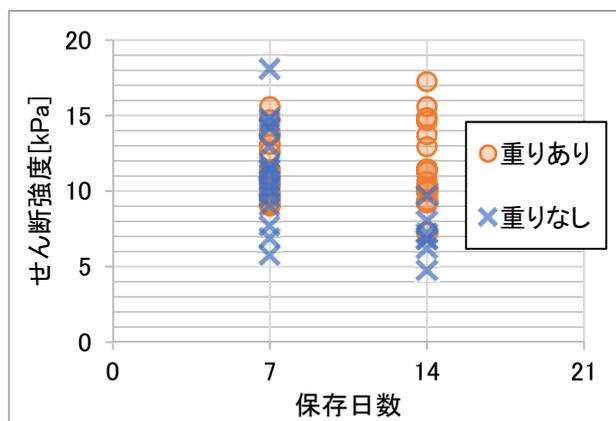


図2 せん断強度に対する加圧の影響

#### 3.4 せり出し形状になった雪塊のクリープ変形

計8個のモデルを作成し観察を行ったが、破壊が起こったモデルは1つのみだった。破壊は観察開始から8時間後におこっていた。積雪安定度を計算すると、曲げ応力に対する積雪安定度は24.9から31.6に上昇、せん断応力に対する積雪安定度は41.6から15.0に低下していた。

### 4. まとめ

含水による影響は確認することができた。それに対し、塩水による影響は、雪が融解したり凍結しまったりと、うまく評価することができなかった。

境界面のせん断強度については、加圧しないことによつて低いせん断強度となることが確認された。今後は、層ごとの雪質を変えて実験を継続する。

クリープ変形の観察は、まだ始めたばかりであり、傾向を掴むには実験データが乏しい。

### 文献

芝崎ら, "道路雪堤の内部層構造と崩壊現象の分類", 雪氷北信越 第41号, pp.28-30, 2021.

## 融雪シミュレーションによる散水融雪装置の最適制御方法の検討

BATBAYAR LKHAGVACHULUUN<sup>1</sup>・田中日菜<sup>2</sup>・BAASANDORJ MUNGUNTUUL<sup>1</sup>・杉原幸信<sup>3</sup>・上村靖司<sup>3</sup>

(1:長岡技術科学大学工学部 2:長岡技術科学大学工学専攻 3:長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

比較的院段であるにも関わらず、大量の雪が降る北陸地域では、地下水を散水して道路融雪を行う散水融雪装置、いわゆる消雪パイプが広く普及している。散水融雪装置は年間を通じて温度が一定な地下水を散水するシステムであり、比較的lowコストで道路交通を維持できることから、雪国に欠かせない存在となっている。しかし、地下水の過剰なみ上げによって散水ができなくなる問題が度々発生する。こうした問題を防ぐためには、サービス水準を維持しつつ、稼働時間や散水量などのコストを減らす、散水融雪装置の効率化が必要になる。そこで、本研究では散水融雪装置の出力を固定出力、可変出力、交互散水、可変+交互散水の4種類それぞれについて融雪シミュレーションを行い比較する。それに加え、降雪検知制御、残雪深制御、複合制御の各制御方式において、出力を一定とした場合のシミュレーションの結果も調査し、散水融雪装置を効率的に制御する手法を検討する。

## 2. 融雪シミュレーションモデル

本研究では、上村らの改良 Degree-day 法を用いて、1時間毎の積雪重量 $M_m$ を求めた。

$$M_m = M_{m-1} + bP_m - aT_m - R_m \quad (1)$$

ここで、 $P_m$ と $T_m$ は、 $m$ 時間目の時間降水量 [ $\text{kg m}^{-2}$ ]、と平均気温 $^{\circ}\text{C}$ を意味する。 $R_m$ は融解量 $[\text{kg m}^{-2}]$ である。気象データは新潟県十日町市の AMeDAS 観測点のデータ(気温、降水量、積雪深の毎時データ)を用いた。これは、2005年から2015年までの10年間について11月1日から翌年4月30日までの1時間毎のデータを用いた。このとき、1年のデータは4344時間分となる。そして、残雪深 $[\text{cm}]$ は雪密度を $100 \text{ kg m}^{-2}$ 一定として $M_m/100$ より求めた。融雪能力 $r_m$ は定常時出力を $200 \text{ W m}^{-2}$ 、高出力時を $250 \text{ W m}^{-2}$ とした。なお、 $R_m$ と $r_m$ の関係は氷の融解潜熱 $L = 334 \text{ [kJ kg}^{-1}]$ を用いて $R_m = 3.6r_m/L$ と表される。

## 3. 制御方式と評価項目

制御方法は降雪検知制御と残雪深制御に加え、降雪検知制御と残雪深制御を組み合わせた複合制御の計3種類についてシミュレーションを行った。表1にそれぞれの制御方式において装置がON/OFFになる条件を示す。

表1 制御方式の一覧

制御方式	装置 ON	装置 OFF
降雪検知制御	降雪あり	降雪なし
残雪深制御	残雪深 1 cm 以上	残雪深 1 cm 未満
複合制御	降雪あり	残雪深 1 cm 未満

表2 3つの評価項目

最大残雪深	総融雪時間	総残雪時間
小さければ安全に車が走行でき交通流の確保につながる (安全・信頼性評価)	少なければ地下水消費を削減できる (コスト評価)	少なければ路面の状況がよくなる (サービス評価)

また、シミュレーション方式の有効性を検討するため、表2に3つの評価項目を定めた。それぞれの意味は表中に記載した通りである。総残雪時間については、図1に示すように重みづけして、残雪が無い場合は0、超える場合は1とし、残雪がその間の場合は比例して増える重みづけを与えることとした。

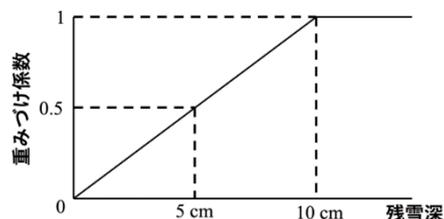


図1 重みづけ係数の計算

## 4. シミュレーション結果

## 4.1 各制御による出力一定の結果

図2に出力を $100 \text{ W m}^{-2}$ ・ $200 \text{ W m}^{-2}$ ・ $250 \text{ W m}^{-2}$ のそれぞれで一定とした際の、各制御による融雪能力の比較を示す。比較を行うための評価項目として、図1で示したものを用いた。最大残雪深は、新潟県十日町市の AMeDAS 観測点の気象データ10年間のうち、各年の最大残雪深を10年間で平均したものを平均最大残雪深として使用した。総融雪時間は10年間分の資源消費量を使用した。総残雪時間は道路上に残雪が1cm以上あるときの合計を総残雪時間と定義し、10年間の総残雪時間を使用した。

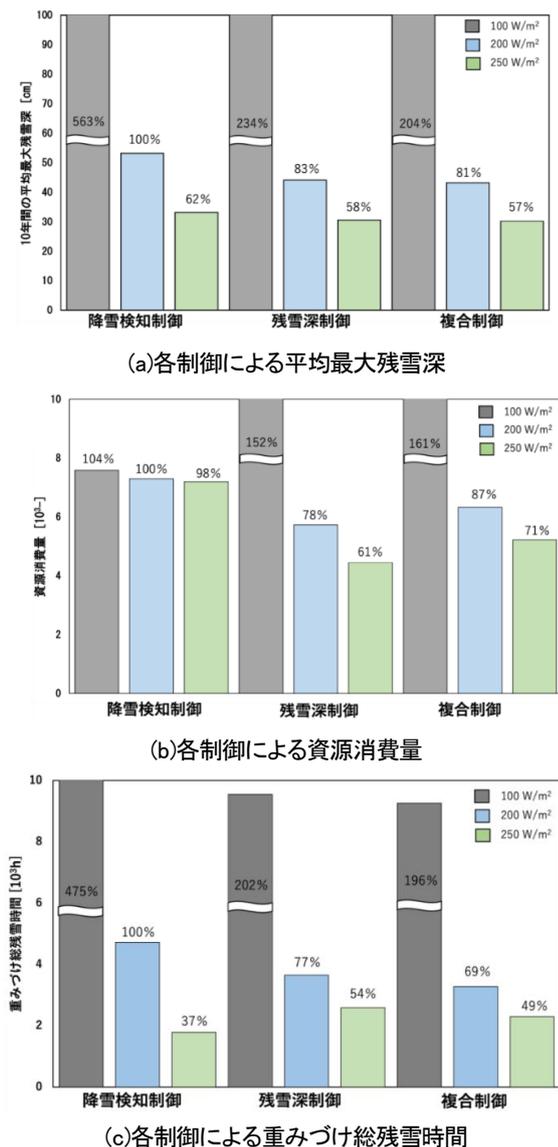


図2 出力一定時の各制御における融雪能力の比較

図 2(a)より残雪深制御と複合制御の平均最大残雪深は、降雪検知制御に比べて 60%~80%と低く抑えることが確認された。また、図 2(b)より降雪検知制御では、出力を変えても資源消費量はさほど変化しなかったが、残雪深制御では、資源消費量を 2~3 割削減できることがわかった。複合制御においても、降雪検知制御と比較すると資源量が減少しているため効果があることが分かるが、装置の運転判断に降雪検知制御を用いているため残雪深制御に比べて資源消費量が高いことがわかる。図 2(c)に関しては、重みづけ総残雪時間の結果を示している。重みづけ係数の計算を図 1 に示す。残雪深が 10cm 以上の場合、重みづけ係数を 1 にする。また、残雪深が 10cm 未満の場合は、重みづけ係数を 0 から 1 まで比例の関係で増加させる。そして、重みづけ総残雪時間は総残雪時間に重みづけ係数を掛け合わせたものである。重みづけの計算をした総残雪時間は、どの制御方式でも大幅に減少し、

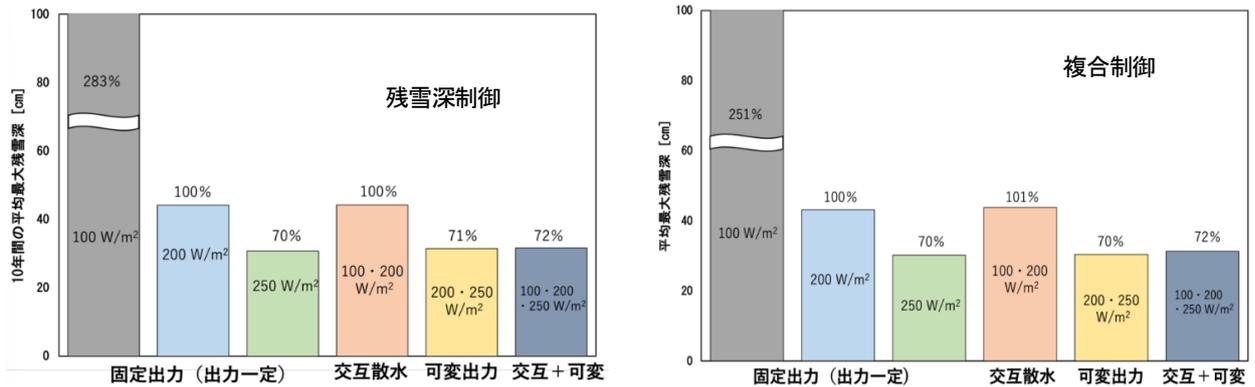
高出力では 10 年間の残雪時間を 3700 時間以下に抑えることができた。また、降雪検知制御を 250 W m<sup>-2</sup>で運転させるとき、最も重みづけ総残雪時間が小さくなることがわかった。これは、降雪検知制御は大雪時、連続的に融雪装置を運転させているからであると考えられる。

#### 4.2 各出力方法の融雪能力比較の結果

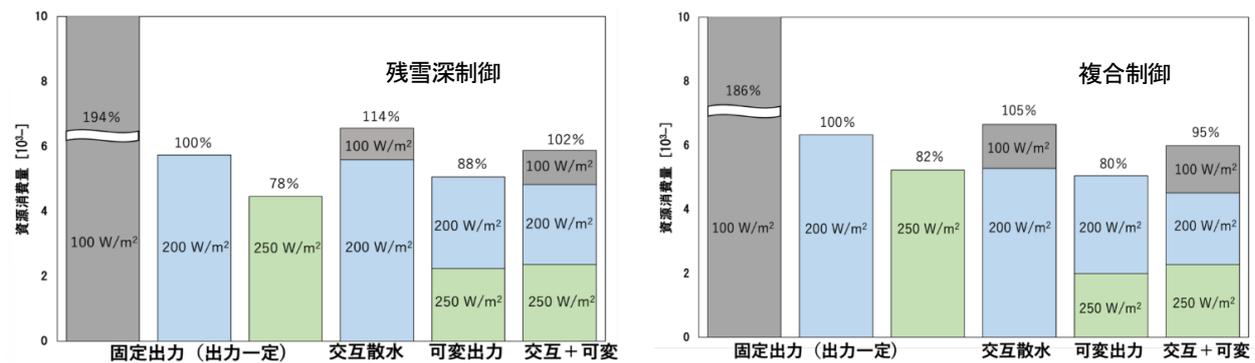
図 3 に残雪深制御と複合制御における各出力方法の融雪能力のシミュレーション結果を示す。ここで、200 W m<sup>-2</sup>を基準として、100%としている。図 3 より、固定出力 250 W m<sup>-2</sup>と可変出力の結果が融雪においてより効果があることが確認された。可変出力の融雪装置は高価であり、制御も複雑化するため、普及することは困難であると考えられる。しかし、固定出力は設計された出力よりも降雪強度が小さい場合、無駄な運転が発生し、逆に大きいときは出力不足で路面に残雪を発生させてしまう。それに対し、可変出力は降雪強度や積雪量に応じて段階的に出力を可変させて融雪を行うため、無駄な出力を抑えつつ残雪も抑制できる。よって、可変出力は固定出力よりも有効であると考えられる。また、交互散水のシミュレーション結果は、固定出力(200 W m<sup>-2</sup>一定)の結果とほぼ一致した。残雪深制御と複合制御はどの評価項目でも交互散水と可変+交互散水で大きな削減効果が得られないことがわかった。

#### 5 まとめ

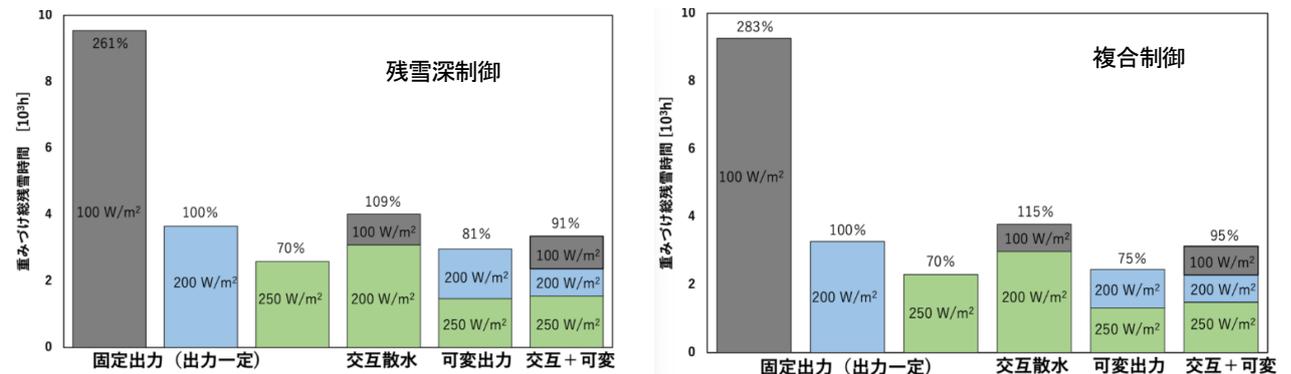
散水融雪装置の制御方式や出力方法の有効性を融雪シミュレーションにより調査し、散水融雪装置を効率的に制御する手法の検討を行った。制御方式について、残雪深制御は平均最大残雪深と資源消費量と重みづけ総残雪時間がすべて減少し、信頼性の向上、地下水の削減、サービス向上が達成できることが明らかになった。また、複合制御においては、可変出力時に残雪深制御と同様に平均最大残雪深と資源消費量と重みづけ総残雪時間がすべて減少することが分かった。出力方法について、可変出力は融雪装置が高価であり、制御も複雑であるため、普及は困難であると考えられるが、本研究で行ったシミュレーション結果より、固定出力シミュレーション結果より有効であることが確認された。また、交互散水については、地下水が不足する地域において散水距離を延ばす効果もあり普及し、地下水の節水率は 40%~50%であるが、本研究で行った交互散水シミュレーション結果より、度の評価項目でも大きな削減効果が得られないことが分かった。今後は、各制御方式において出力値を変化させた時の融雪能力を確認し、それぞれの制御方式・出力方法の有効性を調査する。



(a) 各出力方法における 10 年間の平均最大残雪深



(b) 各出力方法における 10 年間の資源消費量



(c) 各出力方法における 10 年間の重みづけ総残雪時間

図3 残雪深制御と複合制御における各出力方法の融雪能力の比較

文献

- [1] 上村靖司, 梅村晃由, 1996: 年屋根融雪装置の能力設計に関する提案, 日本雪工学会誌, 12(3), 212-217
- [2] 十日町市ホームページ, 2020年8月17日: 「地下水利用 / 十日町市ホームページ」  
[http://www.city.tokamachi.lg.jp/kurashi\\_tetuduki/A004/A008/1454068627597.html](http://www.city.tokamachi.lg.jp/kurashi_tetuduki/A004/A008/1454068627597.html)
- [3] 上村靖司, 善哉広大, 2019: サービス水準と消費熱の総合評価指標の提案, 日本雪氷工学会誌, 81(6), 269-281
- [4] 上村靖司, 楠田翼, 藤野丈志, 2009: 残雪許容が熱負荷に与える効果, 日本雪氷工学会誌, 71(6), 445-454

ディグリー・デー法と季節予報を用いた消雪日予測方法の確立

瀬田川真也<sup>1</sup>・河島克久<sup>1</sup>・丸山ひかる<sup>1</sup>・竹内由香里<sup>2</sup>・平島寛行<sup>3</sup>・本谷研<sup>4</sup>・佐野浩彬<sup>3</sup>  
 (1:新潟大学 2:森林総合研究所 3:防災科学技術研究所 4:秋田大学)

1. はじめに

新潟地方気象台では、1988年から「今春の雪消えの見通しについて」という消雪日予測を行っている。消雪日とは長期積雪が終了して無積雪となった日である。消雪日予測は、農作業の準備、消雪資材の購入計画等の目的のため、予報発表を原則2月25日頃と3月10日頃（以降基準日と表す）の計2回行っている。従来の気象台の予測方法は重回帰式を用いた手法であり、2月25日予測の場合、目的変数を消雪日までの日数、説明変数を基準日の積雪深と2月中旬の気温としている。しかし基準日の積雪の密度を考慮していない点や、基準日以降の気温と降雪量を十分には考慮していない点などから予測精度が十分ではない状況にある。このような状況を受けて本研究では、積雪深ではなく積雪水量で消雪日予測を考えるとともに、基準日以降の気温と降雪量は季節予報を用いて定量的に与えることで、予測精度の向上を試みた。

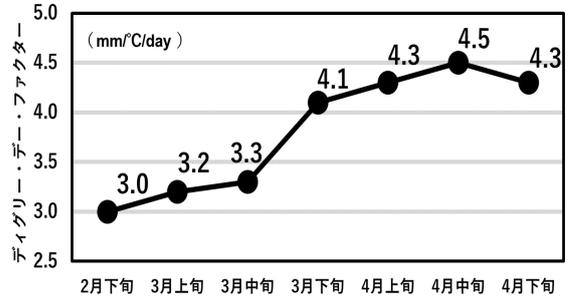


図1 デイグリー・デー・ファクターの旬平均値

日以降の気温と降雪水量については、気象庁が発表する季節予報を適用して定量的に与えることにした。

2.2 デイグリー・デー・ファクターの与え方

デイグリー・デー・ファクターは時期によって最適な値が変わるため、旬別に値を変えて与えることにした。使用する値は、森林総合研究所十日町試験地において基準日から消雪日までの期間を対象に算出した旬平均値である(図1)。算出にあたり使用したデータは、1980年~2021年までに観測された気温、積雪水量及び降雪水量である。降雪水量は、竹内ら(2016)を参考にして降雪量を気温によって雨雪に判別することで算出した。

2.3 基準日以降の気温と降雪水量の与え方

気温と降雪水量は旬平均値を使用し、季節予報の出現確率に応じて与えることにした。出現確率は過去30年間の値のうち、11番目から20番目までの範囲を「平年並」として、それより低ければ「低い(少ない)」、高ければ「高い(多い)」と定められている。そこで「低い(少ない)」・「平年並」・「高い(多い)」の各階級の平均値をそれぞれA・B・Cとし、過去30年の値のうち下位10%の平均値をA'、上位10%の平均値をC'と定めた。これらの値を新潟県のAMeDASごとに算出し、出現確率に応じて図2に示す7段階の適用値で気温・降雪水量を与えることにした。降雪水量は、竹内ら(2016)を参考にしてAMeDASごとに降雪量を気温によって雨雪に判別することで算出した。

2. 消雪日の予測方法の検討

2.1 基本的考え方

基準日の積雪水量が分かっている場合、その後の融雪量を推定できれば消雪日を予測できる。そこで積雪水量に関しては、雪おろシグナルのデータを使用することにした。同システムは日本海側地域において1kmメッシュ毎に積雪水量の推定値の情報を発表している。

融雪量の推定方法は、実用性を考慮してディグリー・デー法を採用した。ディグリー・デー法は、ある程度長期間の融雪量を気温のみを用いて推定する簡易的な手法であり、一般化すると次式で表される。

$$\Sigma M = k \Sigma (Ta - Tc)$$

(ただし  $Ta - Tc > 0$ )

ここでMは日融雪量(mm)、 $\Sigma M$ は積算融雪量(mm)、Taは気温(°C)、Tcは融雪限界気温(°C)(本研究ではTc=0とする)、kはディグリー・デー・ファクター(mm°C<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)である。またディグリー・デー法に用いる基準

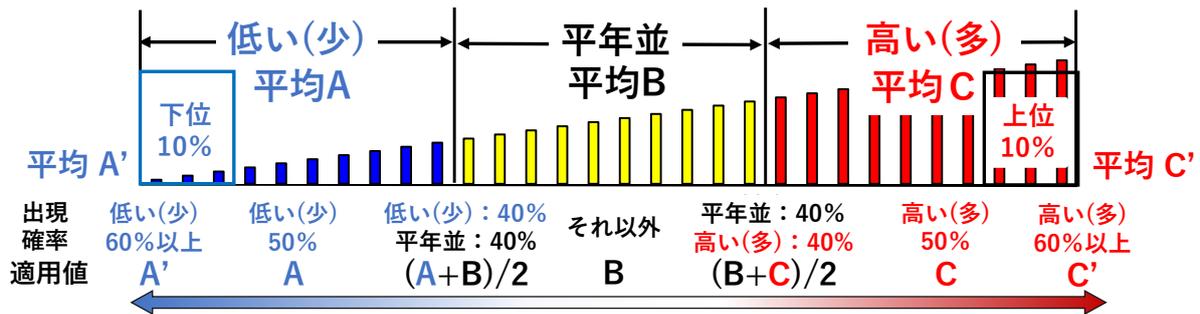


図2: 季節予報の出現確率に応じた気温・降雪水量の与え方

表1 2021年の季節予報の出現確率と適用値

気温	低い(%)	平年並(%)	高い(%)	適用値(°C)
2月下旬	10	30	60	C'
3月	10	30	60	C'
4月	30	40	30	B
降雪水量	少ない	平年並	多い	適用値(mm)
~3月中旬	70	20	10	A'

### 3. 消雪日の予測・検証方法

#### 3.1 十日町における予測と検証

森林総合研究所十日町試験地において、季節予報の出現確率に従い、図2に示す方法で気温と降雪水量を与えて消雪日を予測した。その精度を2017年~2021年の過去5年で検証した。

#### 3.2 雪おろシグナルを用いた予測と検証

2021年の雪おろシグナルのデータを用いて新潟県全域で1kmメッシュ毎に予測を行い、消雪日予測マップを作成した(図3)。気温と降雪水量に関しては最寄りのAMeDASの値を使用し、図2の方法で季節予報の出現確率に応じた適用値(表1)を与えた。その予測精度の検証を新潟県のAMeDAS 11地点と研究機関等の観測所7地点において行った。

### 4. 予測結果と評価

森林総合研究所十日町試験地における過去5年の消雪日予測の検証について、予測日と実測日の関係を示す(図4)。予測日と実測日の誤差は、2月25日予測では平均4.0日、3月10日予測では平均4.8日であった。つまり季節予報の出現確率に応じて表1の方法で気温と降雪水量を与えることで、平均5日以内の誤差で消雪日を予測できることを確認できた。一方、新潟地方気象台のAMeDAS十日町における過去5年の予測誤差は、2月25日予測が平均8.6日、3月10日予測は平均4.5日であるため、2月25日予測に関しては大幅に精度が向上した。

次に2021年の雪おろシグナルのデータを用いた1kmメッシュ毎の消雪日予測マップの精度について、2月25日予測のAMeDASと研究機関等の観測所における予測日と実測日の関係を示す(図5)。2月25日予測のAMeDASと研究機関等の観測所における予測の誤差は、AMeDASでは平均4.7日、観測所では6.6日であった。図3によれば、3月下旬以前に消雪日を迎えた地点では9地点中6地点で予測日の方が実測日より早く、逆に消雪日を4月上旬以降に迎えた地点では、全9地点が予測日の方が実測日より遅い結果になった。この最も大きな原因としては、3月全体の予測気温を図2の7段階中一番大きいC'で与えたことにより、3月上旬・中旬は予測気温が実測値を上回った。それに加えて3月下旬は数十年に一度の高温が観測され、実測値が予測値を大幅に上回ったことで誤差が生じたと考えられる。特に3月に消雪日を迎えた観測所では基準日の積雪水量が少ない上に、実測値より高い予測気温を与えたため、誤差が大きくなったと考えられる。一方、新潟地方気象台のAMeDASに

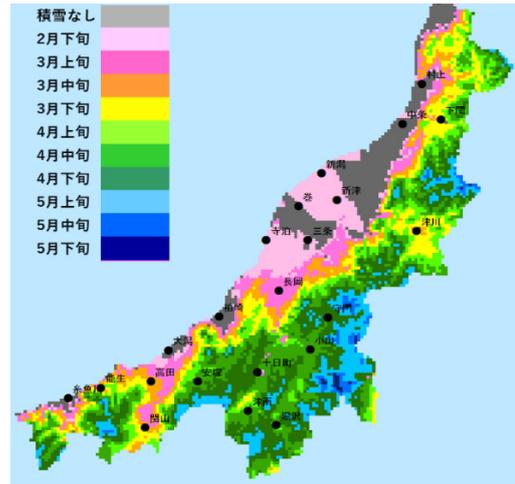


図3 新潟県の消雪日予測マップ(2/25予測)

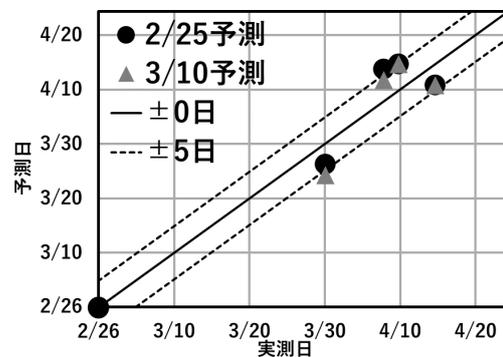


図4 十日町における予測と検証

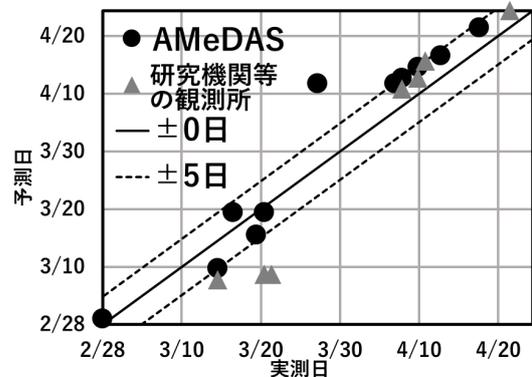


図5 雪おろシグナルを用いた予測と検証(2/25予測)

における2月25日の予測誤差は平均9.2日であるため予測精度は大幅に向上したと言える。

### 5. まとめ

本研究では新潟県における消雪日予測の精度向上を目的として、ディグリー・デー法と季節予報を用いた消雪日予測方法を確立した。その結果、ディグリー・デー・ファクターに関しては森林総合研究所十日町試験地において算出した旬平均値、気温と降雪水量に関しては季節予報の出現確率に応じて定量的に与えることで、従来の新潟地方気象台の予測方法より精度の良い方法を提示することができた。さらに雪おろシグナルのデータを用いることで、新潟県全域で1kmメッシュ毎に消雪日を予測した消雪日予測マップを作成することができた。

## 低温風洞装置を用いた各種環境下における超音波積雪深計の性能評価

杉浦幸之助<sup>1</sup>・佐藤研吾<sup>2</sup>・平沢尚彦<sup>3</sup>

(1:富山大学 2:防災科学技術研究所 3:国立極地研究所)

### 1. はじめに

日本の南極地域観測第X期6か年計画で活動が展開されている東南極氷床には4基の自動気象観測装置(AWS)が設置されている。このうちH128地点のAWSに搭載された超音波積雪深計が捉えた積雪深の時間変化には、階段状の変動とパルス上の変動が記録されている(平沢ら, 2021)。このデータを用いて氷床の表面質量収支の実態を深く把握するためには、超音波積雪深計が出力する値を正しく理解することが必要である。そこで本研究では、超音波積雪深計の出力値が雪面および大気条件によってどのように異なるのかを定量的に把握することを目的として、厳しい環境下での性能評価を実施したので報告する。

### 2. 実験方法

本実験では、防災科学技術研究所の雪氷防災実験棟に設置されている低温風洞装置を用いた。風洞床に自然積雪を敷き詰め、超音波積雪深計(Campbell Scientific製SR50A)と吹雪計(新潟電機製SPC-S7)を風洞装置風下端に設置した。雪面および大気状態を変化させて(気温:-25°C~-10°C, 風洞中心風速:0~15m s<sup>-1</sup>, 雪供給:ありとなし, 雪面:固結ありと固結なし), 超音波積雪深計の出力値を1秒毎にCFカードに記録した。なお、超音波積雪深計の計測誤差は±1cmまたは計測値の0.4%である(Campbell Scientific, 2020)。

### 3. 結果と考察

気温, 風速, 雪供給, 雪面の状態を変化させて, 15セットの低温風洞実験を実施したところ, 表1のような結果が得られた。低温風洞装置で再現できる厳しい条件下(風速15m s<sup>-1</sup>, 上方と下方の両方向からの雪供給あり, 雪面からの雪粒子の舞い上がりあり)での吹雪でも超音波積雪深計からのエラー出力(1秒値)がみられなかった。非常に厳しい吹雪環境下では, 超音波積雪深計から発振された超音波パルスの反射波を受け取る際にエラーとなることが予期されたが, 本実験では1秒単位で実用的な積雪深計であることが再確認された。今後は, 超音波積雪深計から出力される0から600までの品質番号(Quality number)の抽出を試みる予定である。

表1 雪面および大気条件を変化させた実験結果

年月日	実験番号	気温 (°C)	風速 (m s <sup>-1</sup> )	下方雪供給 (%)	上方雪供給 (有・無)	雪面固結 (有・無)	エラー出力 (有・無)
2022/1/18	1	-25	6	0	無	有	無
"	2	-25	8	0	無	有	無
"	3	-25	10	0	無	有	無
"	4	-25	6	2	無	有	無
"	5	-25	8	4	無	有	無
"	6	-25	10	10	無	有	無
2022/1/19	7	-10	6	0	無	有	無
"	8	-10	8	0	無	有	無
"	9	-10	10	0	無	有	無
"	10	-10	10	20	無	有	無
"	11	-10	10	40	無	有	無
"	12	-10	15	100	無	有	無
"	13	-10	15	100	有	有	無
2022/1/20	14	-10	15	100	無	無	無
"	15	-10	15	100	有	無	無

### 文献

Campbell Scientific (2020): Product Manual SR50A-Series. *Campbell Scientific Inc.*, 59pp.

平沢尚彦, 本山秀明, 山田恭平, 杉浦幸之助, 栗田直幸 (2021): AWS の積雪深計が観測する南極氷床表面堆積量の時間変化. *雪氷*, **83**, 67-77.

## UAV-SfM 写真測量および LiDAR によるフェンス周辺の吹きだまり観測

新屋啓文<sup>1</sup>・大宮哲<sup>2</sup>・砂子宗次朗<sup>3</sup>・西村浩一<sup>4</sup>・大風翼<sup>5</sup>(1:新潟大学災害・復興科学研究所 2:土木研究所寒地土木研究所 3:防災科学技術研究所雪氷防災研究センター  
4:名古屋大学 5:東京工業大学環境・社会理工学院)

## 1. はじめに

風により雪面から飛ばされた雪粒子が風の弱い箇所や山岳部で停止することで、吹きだまりや雪庇が平野部や山岳部で形成される。吹雪による積雪再配分は車両の立ち往生の原因や雪崩発生要因となるため、数値モデルによる吹きだまり・雪庇の予測が期待されている(Tanji et al., 2021)。現状、数値モデルの検証データに使用可能な面的な観測データは十分に得られておらず、Tabler (1986)に代表される防雪柵周辺の吹きだまり観測は主風向の2次元鉛直断面で行われてきた。

これまで我々は、無人航空機(UAV)と Structure from Motion (SfM)による写真測量を用いて、吹きだまりの面的分布を誤差数 cm の高精度で推定することに成功した(新屋ら, 2021)。しかし、UAV による撮影は快晴や弱風、雪面のコントラストなど多くの条件を満たさなければならず、吹雪時や夜間にも吹きだまりの観測ができなかった。本研究では、吹きだまりの時間発展を取得する第一段階として、Laser imaging Detection And Ranging (LiDAR)を用いてフェンス周辺に形成される吹きだまりの観測を実施した。

## 2. 手法

吹きだまり観測は、釧路圏摩周観光文化センターの敷地内に寒地土木研究所が構築した吹雪観測サイトにおいて実施された。観測サイトの詳細は、増澤ら(2021)を参照されたい。図1は観測サイトの空中写真であり、矢印は卓越風向を表している。フェンスは高さ1 mの柵に長さ7.5 mのブルーシートを覆うことで仮設された。吹きだまりの面的測定は UAV-SfM 写真測量と LiDAR の2種類の方法で行われ、一方、吹きだまり深さの断面はフェンス面の法線方向にかけて実測された。観測期間は2022年1月6日から11日であったが、観測サイトの気象データは継続して観測中で回収できていない。簡単な日程は表1のとおりである。

UAV-SfM 写真測量に関して、吹雪前後に UAV (DJI, Phantom 4 Pro+)で空撮を行い、SfM (Agisoft, Metashape)処理によって数値表層モデル(DSM)を作成した。地上基準点(GCP)について、積雪が少なかったため、境界杭を雪塊に固定し配置した。GCPの位置は、GNSS (Droger, RWP)による RTK 測位で取得された。一方、LiDAR (Livox, Horizon)はフェンスと小屋の間に固定治具を立て固定し、その傾き(ヨー、ロール、ピッチ)は GNSS のデジタルモーションプロセッサで計測された(図2)。使用した LiDAR は長さ115 mm、幅77 mm、高さ84 mmと小型であり、レーザー波長905 nm

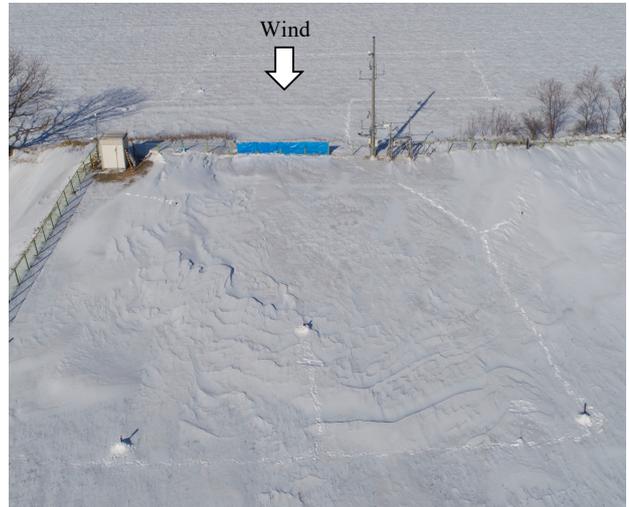


図1 吹きだまり観測の状況。

表1 吹きだまり観測の日程。

月日	1月7日	1月8日	1月9日	1月10日
天候	晴れ	晴れ	曇り一時雪	晴れ
吹雪の有無	なし	なし	あり	なし
フェンス	設置			撤去
UAV空撮		午前		午前
LiDAR測定		午後	朝～夕方	午前
断面観測				午後

の視野角は水平方向に81.7°、鉛直方向に25.1°であり、最大48万点/秒のデータが取得可能である。UAV空撮に合わせて、LiDARによる吹きだまり測定を行うだけでなく、吹雪時の吹きだまりの発達過程を30分間隔で測定した。

## 3. 結果

1月7日のフェンス設置後、吹雪が1月9日の9時から17時まで観測サイトで発生し、吹きだまりが発達する様子を確認できた。1月9日の風速について、観測サイトから約1 km離れた AMeDAS 弟子屈の気象データを参照した。吹雪発生の目安である10分間平均風速が5 m/sを越えた時間帯は6時10分から18時40分であり、10分間平均風速の最大値は12時40分に記録された7.7 m/s(風向:北北西)であった。

作成した数値表層モデル(DSM)は吹雪前の1月8日と吹雪後の1月10日の2つであり、水平解像度は1 cmである。10点のGCPの内、8点をSfM処理に使用し、残りの2



図 2 LiDAR の設置状況.

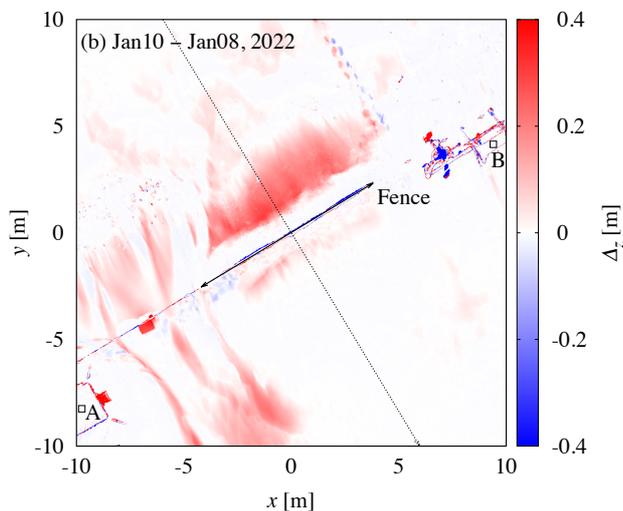


図 3 数値表層モデル (DSM) の差分から推定された吹きだまりの面的分布.

点を精度検証に用いた。SfM 処理と精度検証いずれにおいても、推定された GCP 位置の誤差は、RTK 測位で得られた位置に対して水平方向で 6 cm 以内・鉛直方向で 2 cm 以内に収まっていた。図 3 は、1 月 10 日と 1 月 8 日の DSM 差分から推定されたフェンス周辺の吹きだまりの面的分布を示している。図 3 の赤色と青色の領域は、それぞれ飛雪粒子の堆積と風による雪面の侵食を表している。1 月 8 日と 1 月 10 日の DSM の水平方向のズレは、柵やフェンス、小屋、観測塔の位置が一致しているため、数 cm 以内であった。一方、鉛直方向のズレについて、小屋の屋根 (図 3 の領域 A) と観測塔の足場 (図 3 の領域 B) の 30 cm 四方で検証したところ、DSM の差分は 1 cm 以内であった。つまり、吹雪前後に作成した DSM の位置関係は問題なかった。

1 月 9 日の吹雪時の風向は北北西であったため、フェンス風上に高さ 30 cm 程のピークを持つ吹きだまりが形成されて



図 4 吹きだまり深さの状況.

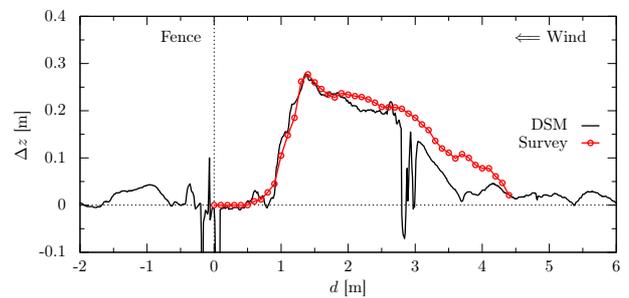


図 5 吹きだまり深さの比較: DSM 差分と実測.

おり、フェンスの風下に高さ 10 cm 弱の吹きだまりも確認される (図 3)。図 4 は、1 月 10 日に実施した風上の吹きだまり断面観測の写真である。吹きだまりの下に硬い積雪層が存在したため、吹きだまり表面から硬化した積雪層までの高さを吹きだまり深さと定義した。図 5 は、DSM 差分から推定された吹きだまり深さ (図 3 の点線に沿った鉛直断面) と断面観測で測定した吹きだまり深さを示している。吹きだまりの形状はフェンスの風上 1.5 m の位置に深さ 30 cm のピークを持つ凸型であり、吹きだまりの範囲はフェンスの風上 1~4 m に及んでいた。吹きだまり深さの DSM 差分と実測はフェンスから風上 2 m まで一致しており、吹きだまりのピークの位置・深さともに良く捉えられていた。しかし、風上 2 m 以降の DSM 差分は過小評価であった。植生が雪で完全に覆われていなかったことに加え、観測前 (1 月 6 日) に吹雪いていたため、植生周りに薄い吹きだまりが形成された可能性が考えられる。

吹きだまり深さに関して、DSM 差分と実測は良い対応関係を示していたため、UAV-SfM 写真測量と LiDAR で得られた結果を比較した。LiDAR によって得られた点群データを UAV-SfM 写真測量の DSM に合わせるため、GNSS で得られた LiDAR の傾き (ヨー、ロール、ピッチ) を用いて、水平解像度 5 cm の LiDAR 版 DSM を作成した。図 6 は、1 月 10 日のフェンス周辺の雪面と構造物の標高を示している: (a) UAV-SfM 写真測量, (b) LiDAR 測定。図 6 の円は LiDAR の位置を表している。LiDAR の視野角の制約上、図 6(b) の

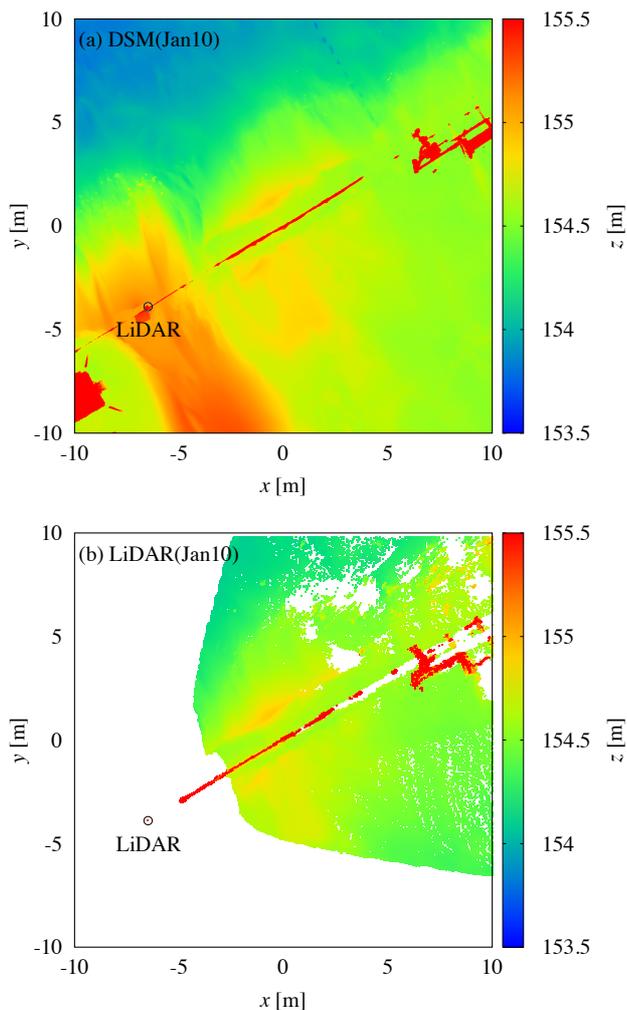


図 6 雪面と構造物の標高:(a) UAV-SfM, (b) LiDAR.

白い範囲は、点群データの存在しない領域を意味する。LiDAR によって、柵や観測塔が確認されるだけでなく、フェンスの風上・風下に標高 155 m 程の吹きだまりが捉えられている。LiDAR 版 DSM は UAV-SfM 写真測量で作成した DSM と良く類似しているため、LiDAR は吹きだまり形状を短時間(数十秒)で高精度に測定できると考えられる。

#### 4. まとめ

本観測では、LiDAR を用いてフェンス周辺に形成される吹きだまり形状を測定した。UAV-SfM 写真測量で得られた DSM と LiDAR の点群データから作成した DSM を比較したところ、柵や観測塔といった巨視的構造物だけでなく、吹きだまりや雪面の起伏も概ね一致していた。注意として、LiDAR から距離が遠くなるほど、LiDAR の傾きを高精度で補正する必要があり、傾斜の大きい場所では点群データを正しく標高に変換できない可能性がある。今後、LiDAR により吹雪時の吹きだまり形状を推定するとともに、飛雪流量と関連付けた吹きだまりの時間発展を議論する予定である。

#### 文献

- 増澤諭香, 大宮哲, 大風翼, 新屋啓文 (2021): 降雪を伴う吹雪の鉛直構造の解明. 雪氷, 83(3), 259–274.
- 新屋啓文, 大宮哲, 砂子宗次朗, 西村浩一, 大風翼 (2021): UAV-SfM 写真測量によるフェンス周辺の吹きだまり観測. 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン), A1-2.
- Tabler, R. D. (1986): Snow fence handbook. Tabler and Associates.
- Tanji, S., Inatsu, M. and Okaze, T. (2021): Development of a snowdrift model with the lattice Boltzmann method. Prog. Earth Planet. Sci., **8**, 57.

## 風による屋根雪偏分布の数値流体シミュレーション予測

## —Dynamic mesh の適用—

富永 禎秀<sup>1</sup>

(1:新潟工科大学)

## 1. 研究目的

屋根上積雪の風による再分配によって生じる偏分布は、過大な荷重や局所的な応力の原因となるため、これらを正確に予測することは、積雪地域における安全かつ合理的な構造設計のために重要である。筆者は、これまで CFD (Computational Fluid Dynamics; 数値流体力学) を用いた屋根上積雪の風による偏分布の予測手法の開発を進めてきた (富永ら, 2016; 村山ら, 2019)。本研究では、Dynamic mesh と呼ばれる手法を用いて屋根上積雪分布の時間的変化に伴う気流場の変化を連成して解析する手法の有効性を検討する。

## 2. 解析方法

## 2.1 観測方法

解析手法の開発の第1段階として、2次元解析を行った。過去に北海道で屋根上積雪深の観測が行われている建物モデル (苫米地ら, 1986) を2次元化した屋根勾配  $26^\circ$  の軒高と幅が 3 m の切妻屋根モデルを対象とした。建物モデルと積雪がない状態でのメッシュ分割を図1に示す。

## 2.2 解析条件

ANSYS Fluent 19.2 を使用して RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) モデルに基づく CFD 解析を行った。解析領域は、60 m(x) × 30 m(z) とした。流入条件は、べき指数 0.15 の平均風速鉛直分布を仮定し、乱流エネルギー  $k$ 、エネルギー散逸率  $\varepsilon$  の分布は、日本建築学会ガイドライン (日本建築学会, 2020) に従って与えた。乱流モデルは Realizable  $k-\varepsilon$  モデルを使用した。流入面・上空面では、想定する降雪量に対応する飛雪空間密度を与えた。積雪密度は  $100 \text{ kg/m}^3$ 、雪粒子の落下速度は  $-0.5 \text{ m/s}$  で一定とした。

## 2.3 非定常解析の流れ

解析のフローを図2に示す。基本的な解析モデルは既報 (村山ら, 2019) と同様である。気流解析より風速分布、摩擦速度分布を求めるのと同時に、飛雪空間密度  $\Phi$  の輸送方程式を解き、その分布を求める。その結果から屋根面の侵食、堆積フラックスの収支を計算し、単位時間当たりの積雪深の変化量を求める。既報<sup>2)</sup>では、屋根上積雪の発達過程をいくつかの段階 (phase) に分割して複数回の定常解析を行う方法を検討したが、本報の手法は、Dynamic mesh を用いて、各時間 step における積雪深変化に基づいてメッシュを自動的に再生成し、次 step の気流解析及び飛雪解析を行う。これを非定常解析と呼び、積雪がない状態の気流分布のみを用いて、一定時間後の積雪分布を予測する定常解析の結果と

比較する。

## 3. 結果及び考察

## 3.1 各種解析条件の感度解析

今回の解析の目的は、特定の短時間の吹雪イベントによって形成される積雪深分布を予測するのではなく、比較的長期の降積雪によって形成される積雪深比の偏分布 (すなわち荷重設計における屋根形状係数に相当) を得ることである。そのためには適当な標準的解析条件を設定する必要があるため、各種の解析条件 (ここでは風速、解析時間、降雪量) の感度解析を行った。感度解析の結果は、次式の吹き溜まり係数  $C_d$  を用いて評価する。

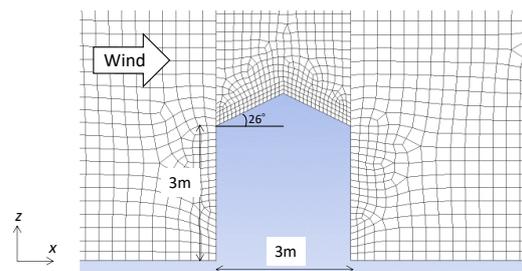


図1 解析対象。

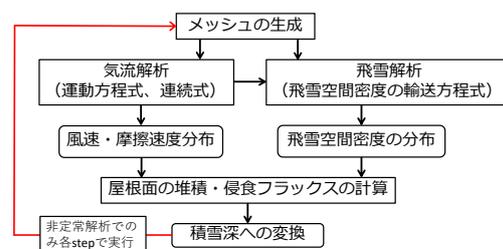


図2 積雪分布のCFD解析のフロー。

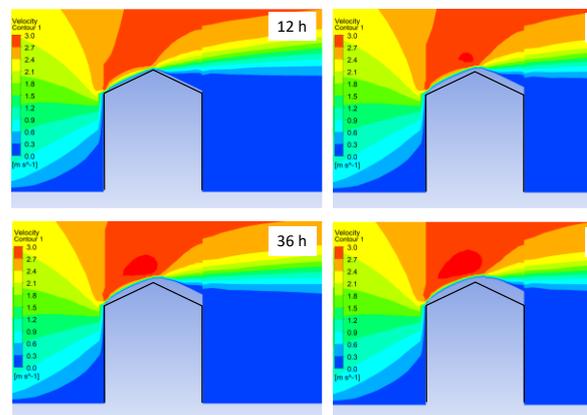


図3 時間経過による積雪と風速分布の変化。

$$C_d = \frac{S_l - S_w}{S_g} \quad (1)$$

$S_l, S_w$ : 風下側, 風上側屋根の平均積雪深[m]

$S_g$ : 地上積雪深[m]

地上 3 m 高さの風速を 1~3 m/s, 降雪量を 0.5, 1.0 cm/h, 解析時間を 12~48 h の範囲で変化させた。結果の一例として, 風速 2 m/s, 降雪量 1.0 cm/h の時間経過に伴う積雪分布の時間変化を図 3 に示す。時間の経過とともに積雪が増加し, 特に風下側屋根の積雪の増加が大きい。積雪分布の変化に追従して風速分布も変化している。各条件によって得られた吹き溜まり係数と解析時間の関係を図 4 に示す。風速が大きくなるに従い, 吹き溜まり係数が大きくなっている。また降雪量は吹き溜まり係数の予測結果に大きく影響しない。風速 3 m/s, 降雪量 1 cm/h の条件を除くと, 解析 24 時間以降の吹き溜まり係数の変化は小さいことから, 48 時間の計算時間は十分であると考えられる。次に, 非定常解析の 48 時間後と定常解析の吹き溜まり係数を風速との関係で比較したものが図 5 である。吹き溜まり係数は概ね風速の 2 乗に比例して増加している。非定常解析は定常解析に比べて吹き溜まり係数が約 3~4 割大きい。全体に吹き溜まり係数が風速に対して過敏に思われるが, 2次元 RANS による風速分布の計算精度の限界に関係している可能性がある。

Thiis and O'Rourke (2015)は, ノルウェーでの実測結果に基づき切妻屋根の吹き溜まり係数の推定式として次式を提案している。

$$C_d = \left( \frac{\beta}{45} 0.12 + 0.05 \right) (-6.67 C_e + 7.67) \quad (2)$$

今回対象とする屋根勾配  $\beta=26^\circ$  の場合,  $C_e=0.85$  (exposed condition)とすると,  $C_d$ は 0.24 となる。観測(苫米地ら, 1986)における最大積雪深時の屋根上積雪分布の測定結果とそのときの地上積雪深から吹き溜まり係数を求めると, 3冬期の平均で 0.22 となり, (2)式の結果と概ね対応する。本解析結果では, 風速 1.5 m/s の結果がこの値に近い。

非定常解析の屋根上の積雪深比(地上積雪深との比)分布の予測結果(48時間後)と定常解析, 観測(苫米地ら, 1986)の比較を図 6 に示す。定常解析では風上, 風下屋根ともに積雪深比が観測より過大に評価されているのに対して, 非定常解析の結果は, 風上面での積雪深の減少をよく捉えており, 観測に近い。しかしながら風下側屋根の下流側の積雪深を過大に評価している。

#### 4. 結論

- 1) 積雪面の変化による速度場の変化を考慮できる屋根上積雪分布の非定常解析手法を構築し, 2次元の切妻屋根モデルに適用し, その有効性を検討した。
- 2) 非定常解析の結果は, 定常解析に比べると, 風上屋根面における積雪深の減少を正確に捉えており, 積雪面の時間変化を考慮することで, より観測結果に近い積雪分布の予測が可能となる。

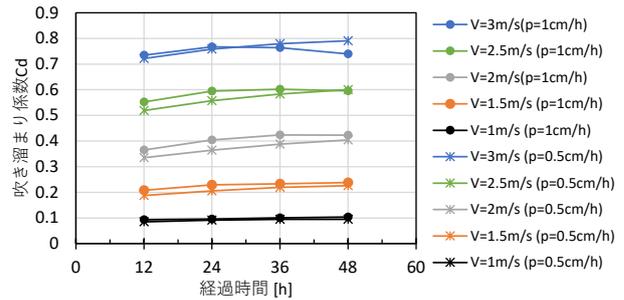


図4 非定常解析における吹き溜まり係数の変化。

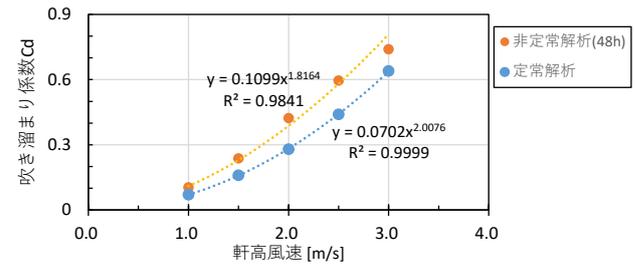


図5 風速と吹き溜まり係数の関係。

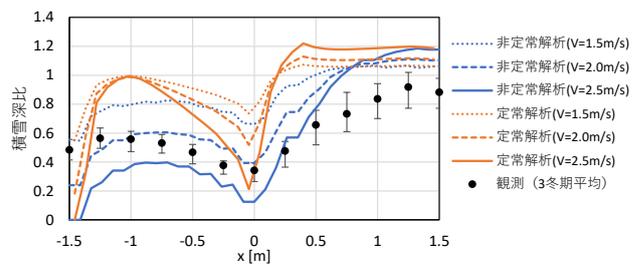


図6 屋根上の積雪深比の比較。

- 3) 今後は本手法を3次元問題に拡張し, さらに有効性や適用範囲の検討を進める予定である。

#### 謝辞

科学研究費(20H02315)による助成を受けた。

#### 文献

- 村山唯, 五十嵐賢次, 富永禎秀(2019): 2段屋根建物上の積雪分布の再現性の検討—CFDを用いた風による屋根雪偏分布の予測。日本建築学会構造系論文集, **84**(762), 1055-1064。
- 日本建築学会, 都市の風環境予測のためのCFDガイドブック。日本建築学会, 2020.1。
- Thiis, T. K. and O'Rourke, M. (2015): Model for snow loading on gable roofs. *J. Struct. Eng.*, **141**(12), 04015051-1-9。
- 苫米地司, 和泉正哲, 遠藤明久(1986): 屋上積雪の評価方法に関する基礎的研究。構造工学論文集 B, 49-62。
- 富永禎秀, 大風翼, 持田灯(2016): 単体切妻屋根建物を対象とした屋根上積雪深の予測手法の検証:CFDに基づく風による屋根雪偏分布の予測。日本建築学会構造系論文集, **81**(725), 1051-1059。

## 北陸平野部における集中降雪の現象論

石坂雅昭<sup>1</sup>・本吉弘岐<sup>2</sup>・山下克也<sup>2</sup>・中井専人<sup>2</sup>・山口悟<sup>2</sup>・橋本明弘<sup>3</sup>

(1:防災科研客員 2:防災科研雪氷 3:気象研究所)

## 1. はじめに

これまで 2018, 2021 年などの冬季北陸平野部の大雪について観測的側面から論じてきた(石坂ほか, 2021). ここでは総括的に大雪をもたらす集中降雪に共通する現象について述べる. なお, 観測対象地点は長岡市の防災科研雪氷防災研究センター(SIRC)である.

## 2. 現象の特徴

集中降雪時の特徴として以下の点があげられる.

- ① 大気中層(輪島ゾンデ観測 500 hPa)の低温. 概ね $-30^{\circ}\text{C}$ 以下.
- ② 地上の気温も零下.
- ③ JPCZ 近傍や T mode の領域で生じることが多い.
- ④ 霰成分が少ない降雪が大きな降雪増をもたらす.
- ⑤ JPCZ 近傍の場合, 下層(850hPa)の水平風シアー.
- ⑥ 上層(500 hPa 以上)の高湿度(下層も湿潤).

## 3. 結果と考察

一例として 2020 年 12 月 31 日から翌日にかけての結果を示した(図1). やや南にあった JPCZ が北陸付近へ北上して, 再び南下した. この期間の観測点に影響を与えた雪雲の形態は, やや主観が入るが, はじめは JPCZ 北側の T mode, そして JPCZ の南西側の発達した雪雲(JPCZ related), さらに南西の L mode の影響が見られ, 再び南下することによって T mode 領域へと変化した. この例について, 上の①から③を満たすことはわかる. ④に関しては, 降雪の粒径落下速度観測から得られる 5 分毎の Mass flux を用いて霰(Graupel)と非霰(Non-graupel) 寄与を求めた図中央のグラフから, 急激な積雪深増の期間は霰の割合が少ないことがわかる. 特に 22:20 から 23:20 の 1 時間には 11cm(下段の縦棒)の非常に大きい積雪深増を示しているが, この間の霰・非霰の割合はそれぞれ 17%, 83%であった.

図2に解析値を中心に再構成した MSM(京大生存圏)から SIRC 上空の温湿度断面を示した. 図1に対応する薄灰色の期間, 中層上部の相対湿度の増加により中層上部から下層まで湿潤な状態が見られる(⑥). ①の低温と合わせると低温域での活発な氷化過程による多量の核形成→雪粒子1個当たりの雲粒数の低下→霰の発達の抑制→低初期密度の降雪による積雪増, が考えられる. ⑤(図なし)のシアーは収束による湿潤大気の上昇に寄与している可能性がある.

## 4. まとめ

強い降雪現象に見られる共通点を示した. さらなる詳細観測と定量的な考察による大雪のメカニズム解明と大雪の予測が課題である.

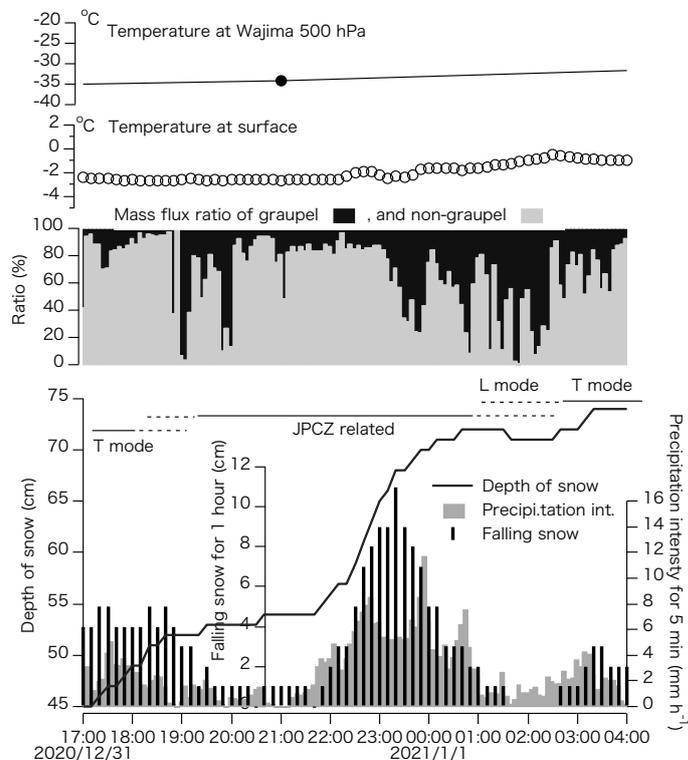


図1 強い降雪時の一例. 上空(500 hPa)及び地上の気温, 霰・非霰の割合, 積雪深, 前1時間の降雪, 降水強度(5分).

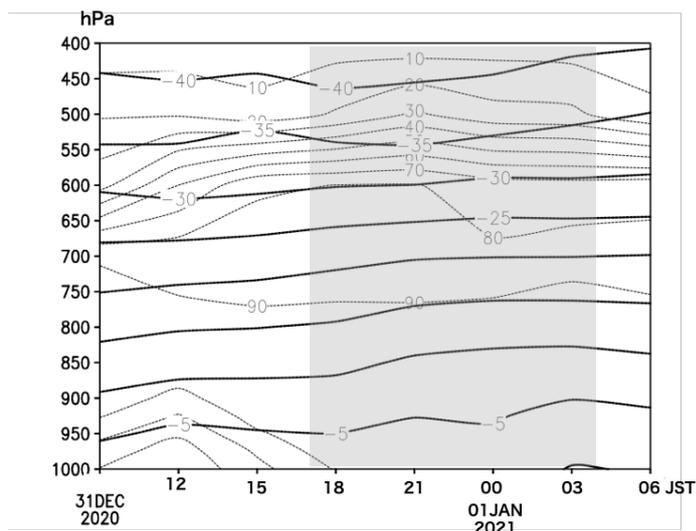


図2 SIRC 上空の温湿度断面(解析値を中心に再構成したMSM).

## 文献

石坂雅昭ほか(2021):北陸平野部の大雪と降雪粒子の特徴—2018年と2021年の大雪から—, 雪氷北信越, 41,50.

## 北信越地方の冬季レーダー降水分布画像に対する機械学習を用いた分類

中井専人<sup>1</sup>・熊倉俊郎<sup>2</sup>・上石勲<sup>1</sup>  
 (1:防災科学技術研究所 2:長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

雪雲は寒気吹き出しの筋状雲, JPCZ に伴う事の多い渦状の雲など様々なパターンを持つ. そのパターンはレーダー Z-R 関係や降雪粒子の特性と関係すると考えられるが, 明確な関係はこれまでに記述されていない. Nakai et al.(2005)は防災科学技術研究所雪氷防災研究センターレーダーを使用し, 雪雲の形状パターンを6分類すると共に, 新潟県上越地域における降雪分布との関係を指摘した. 中井・熊倉(2007)はこれを4分類に簡略化したものを10分毎の気象庁全国合成レーダーデータに適用し, 平成18年豪雪における降雪分布の特徴を記述した. 分類は気象庁全国合成レーダーデータ降水強度分布(mm hour<sup>-1</sup>)を地図に重ねて画像化したものを使用した. 本研究ではこの作業の自動化を試みた.

## 2. CNNによるレーダー画像分類

用いた手法は機械学習の一種, CNN (Convolutional Neural Network)である. 畠山ら(2019)は中井・熊倉(2007)の4分類に降水なしを加えた5クラスについて, 2017/2018 冬季から各クラスの特徴をよく表す画像各500枚を用いた CNN モデルを構築し, このデータによる学習結果の評価は94.6%の正解率となることを示した. 本研究では, この CNN モデルを学習データ以外の画像を含めたデータに適用し, その可能性と課題を調べた. 機械学習のライブラリは進歩が速い一方でバージョン依存性があり, 本研究では畠山ら(2019)のモデルを Python 3.9.7, cuDNN 8.1, CUDA 11.2.2, tensorflow 2.5.0, Keras 2.4.3 の組み合わせに寄せ換え, ソースコードを修正して実装しなおした. 特に tensorflow はバージョン1系と2系で大きく異なるため, 2系に寄せ換えたソースコードで畠山ら(2019)と同等の結果が得られることを確認した.

## 3. 結果

CNNモデルの分類に対して, 一冬季通しての性能を調べるため, 中井・熊倉(2007)同様の手作業による分類を行った. この分類は2017/2018 冬季に加えて2015/2016 冬季も対象とした. 画像は各冬季11月から3月まで10分間隔の約21000枚である. 得られた判別結果を表1に示す. 正答率は, それぞれのクラスに対して, 単純に分類が合致した画像の比率である.

学習を行った2017/2018 冬季においては, DM クラスを除いた降雪について半分から2/3程度の正答率であり, 別の冬季である2015/2016 冬季では各降雪パターンの正答率が1/3程度となった. これは降雪パターンが多様で冬季によって特徴が異なること, 範囲が広く複数の種類が混在しても手作業では主たる種類に分類していること(特にDM), 手作業での分類では前後の連続性も考慮しているため画像毎に分類する機械学習とは基準のずれを解消できないことが理由として考えられる.

表1 手作業及び機械学習における雪雲の分類結果. 左が2017/2018 冬季, 右が2015/2016 冬季. SY, VX, LT, DM, NOはそれぞれ, 相関規模低気圧や前線等, 渦状降雪, LモードやTモードの筋状降雪, 沿岸や山岳斜面の停滞性の降雪, 降雪なしを表す.

		機械学習					正答率(%)
		SY	VX	LT	DM	NO	
手作業	SY	4014	907	788	617	1702	50
	VX	75	917	222	235	54	61
	LT	136	494	2813	397	329	67
	DM	18	1	2	16	16	30
	NO	143	0	105	5	5184	95
		機械学習					正答率(%)
		SY	VX	LT	DM	NO	
手作業	SY	3217	1156	1520	714	2382	36
	VX	308	934	636	488	110	38
	LT	755	411	1231	581	522	35
	DM	280	248	250	266	197	21
	NO	788	24	239	53	4380	80

## 文献

畠山周愉, 陸旻皎, 中井専人 (2019): 深層学習の水文・気象学への応用研究の立ち上げ. 第37回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, II-315.

Nakai, S., Iwanami, K., Misumi, R., Park, S.-G. and Kobayashi, T. (2005): A classification of snow clouds by Doppler radar observations at Nagaoka, Japan. *Sci. Online Lett. Atmos.*, **1**, 161-164, doi:10.2151/sola.2005-042.

中井専人, 熊倉俊郎 (2007): 平成18年豪雪における降雪分布の特徴:10分間隔3ヶ月間のレーダーデータ解析. 雪氷, **69**, 31-43.

## 上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた 地上到達固体降水量の推定と検証

熊倉俊郎<sup>1</sup>・古橋知季<sup>2</sup>・中島大岳<sup>3</sup>・早野真理子<sup>3</sup>・本吉弘岐<sup>4</sup>・中井専人<sup>4</sup>

(1:長岡技術科学大学 2:西日本高速道路メンテナンス関西

3:古野電気(株) 4:防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

### 1. はじめに

北陸地域では冬季に強い北西季節風とともに降雪が起きることが多く、さらに雪片などは落下速度が雨より遅いため、降雪雲底から地上まで落ちる間にかなりの距離を水平移動していると考えられる。柴田ら(2021)はそれを踏まえて、気象庁合成レーダーの降水量と AMeDAS 観測降水量を時系列で比較し、地上で降っているのにレーダーでは降っていない事例が全地上降水事例の約半分を占める地点があることを示した。よって、気象レーダー降水量を使う際には、風による運搬の評価が必要な可能性が考えられたため、ここでは気象シミュレーションによる3次元風速場と気象レーダー降水量を用いて、地上を起点とした後方流跡線解析を試みた。

### 2. 観測と手法

気象 MP レーダーは長岡技術科学大学の環境システム棟屋上(経度:138.77819°, 緯度:37.42318°, 標高:88.9m)に設置した古野電気(株)製の X バンド偏波ドップラーレーダーである。複数の PPI 観測のうち、仰角3度で2分毎に観測したデータを使用した。3次元風速場は、気象庁 GPV を初期値及び境界値とした水平解像度 1.5km・鉛直 50 層の気象庁 NHM(非静力モデル)を用い、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターで毎日2回予報を行っているデータの3から14時間目までの1時間値を取り出し、連結したものをを用いた。地上降水量として気象庁 AMeDAS 観測を用いた。期間は2020年2月5日~14日とし、この期間は低気圧が通過後冬型になるサイクルが2回、うち2回目は冬型後に北陸地域を小低気圧が通過していた。

後方流跡線解析は、NHM で用いた地形から地上高度を南北・東西とも線形内挿で求め、その高度と緯度・経度を起点として NHM の 3 次元風速場を南北・東西・標高・時間に対して線形内挿して求めた風速で時間的に後方に移動させ、それを1分毎に繰り返して後方流跡線を求めた。粒子の落下速度は  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  と仮定したので、雪片が降っているときのみが対象である。この後方流跡線とレーダー観測面が交差した箇所の降水量を「後方流跡線解析降水量」とした。

### 3. 結果と考察

小出観測点での5, 6, 7日の12時間毎の流跡線解析の例を図1に示した。(a)が上から見た図,(b)が南から見た図,(c)が西から見た図である。この例では計算開始地点から後方流跡線終端までの距離は水平に最大で約10kmで、終端までに最大で約20分程度の時間がかかっている。欠測とする条件は、レーダー観測範囲を外れる、または、高度が3kmより大きくなった時とした。次に小出地点での各降水量などを比較した図を図2に示す。今回の1時間集計の事例では三者に著しい違いはないようにも見えるが、降雪雲が団塊状で移動する時に後方流跡線解析降水量と観測点直上レーダー降水量の2分値には違いが見られ、直上を見るのはためらわれるケースもあるため、一定の有用性はあるものと考えられる。

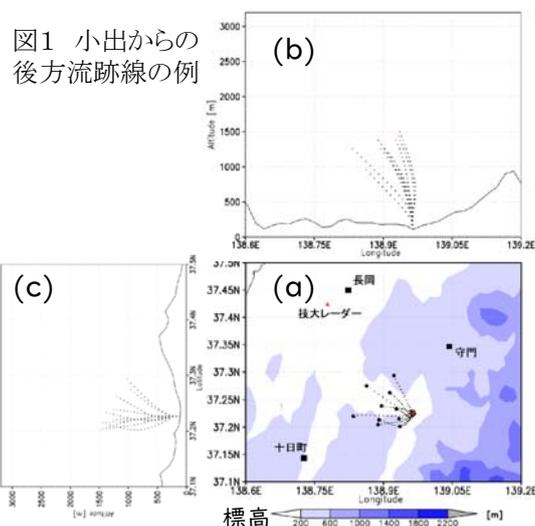


図1 小出からの後方流跡線の例

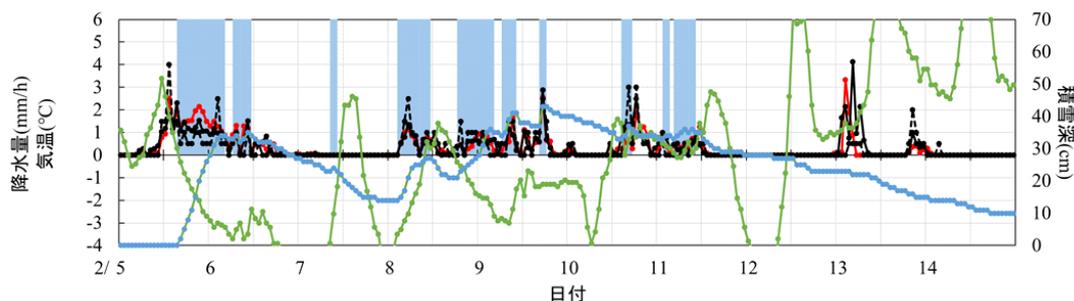


図2 小出での解析期間中の AMeDAS 降水量(実線), 後方流跡線解析降水量(赤線), 観測点直上のレーダー降水量(黒点線). 水色線は積雪深, 緑線は地上気温, 水色ハッチは気温2度以下で降雪速度  $1\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$  以上の雪片の降雪と推察される期間を示す。

## 汎用レーザー距離計による消雪施設制御実験

藤野丈志<sup>1</sup>・中村大輔<sup>1</sup>・五十石浩介<sup>1</sup>

(1:株式会社 興和)

## 1. はじめに

散水消雪施設の運転制御は、降雪の有無や強度を判定して行う降雪検知制御が主流であるが、道路に積らないときでも散水することがある点で非効率である。一方、道路積雪検知し散水する積雪検知制御は、降雪検知制御よりも運転時間を 1/3 程度まで抑えられ効率の良いことが確認された<sup>1)</sup>。しかし、白く積もるまでは散水しないので、消雪サービスレベルは降雪検知制御に譲る形となっている。このような背景から、効率的かつ十分な消雪サービスレベルを確保する制御方法として、降雪と積雪の両方を検知して行う複合制御が研究されている<sup>2)</sup>。本研究では、汎用レーザー距離計を使った消雪施設の複合制御を実施したので、その消雪状況を報告する。

## 2. 実験方法

レーザー距離計は、ジオテクサー株式会社製 GLD-10000 を使用した。測定距離 10 m で分解能は 1 mm である。降雪時の測定状況を図 1 に示す。1 秒間隔で 5 分間測定した距離データを統計し、降雪粒子位置と積雪面位置に分離した。積雪深 1 cm 以上で積雪検知、降雪粒子カウント数が閾値を超えたときを降雪検知、降雪検知で運転、降雪及び積雪を検知しなくなったとき停止する複合検知とし、制御出力を行った。

## 3. 実験結果

2021-2022 年冬期、新潟市中央区の興和ビル敷地内の消雪施設において、降雪検知制御、積雪検知制御および複合検知制御を実施した。複合検知制御による検知状況事例を図 2 に、消雪状況を図 3 に示す。この事例では、複合検知時間は 135 分で、降雪検知時間(気温 0.5℃以下で降雪粒子カウント 1 以上)365 分のおおむね 1/3 であった。消雪状況を見ると、消雪能力を超える強い降雪時に白積雪となったが、白路面となる前に散水を開始、シャーベット状の積雪が残る状況で散水停止した。

## 4. 考察

汎用レーザー距離計で積雪を測定すると、実際の積雪面より 1~2 cm 程度浅く測定される<sup>3)</sup>。本実験でも散水により薄いシャーベット状の積雪まで消雪された時点で積雪ゼロと検知され、散水を停止した。これは問題点ではなく、地下水を節水し道路上に多少の雪が残ることを許容する運転制御には、測定距離をそのまま運転判定に使える利点とみることもできる。本実験では降雪強度も検知しているので、降雪強度検知と積雪検知と組み合わせることで、雪を残さない複合制御も可能と考えている。

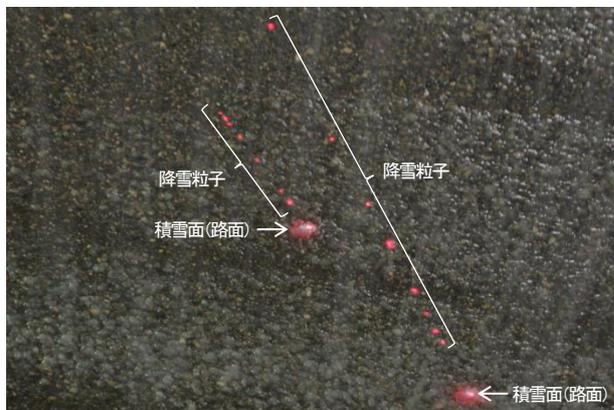


図 1 レーザー反射画像(合成)

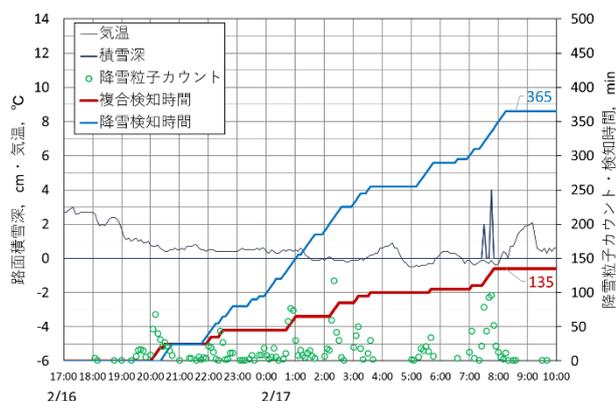


図 2 複合制御の検知状況

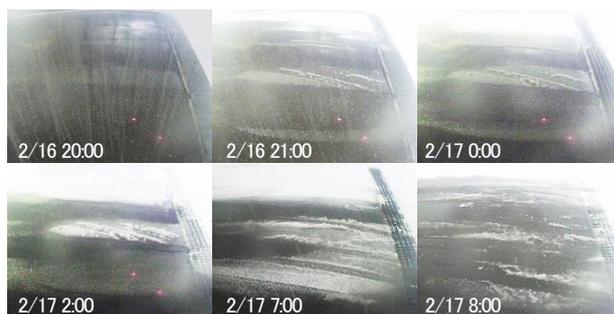


図 3 複合制御による消雪状況

## 文献

- 1)奥田広行 (2016):マイコン画像処理型積雪センサの研究開発. 福井県雪対策技術センター年報, 第 28 号
- 2)上村靖司, 善哉広大 (2019):路面融雪装置の設計熱負荷 第 3 報:サービス水準と消費熱の総合評価指標の提案, 雪氷, 81 (6), 269-281.
- 3)山賀康平, 平田拓巳, 杉原幸信, 上村靖司 (2021):汎用レーザー距離計による路面残雪深計測 -その 2:路面残雪深計測における表面下散乱現象-, 雪氷研究大会 (2021・千葉オンライン) 講演要旨集, p59.

## 凝縮潜熱を考慮した可搬型雪冷房装置の冷房能力の定量的評価

青柳大輔<sup>1</sup>・○田中光太<sup>1</sup>・丸山翔生<sup>2</sup>・杉原幸信<sup>3</sup>・上村靖司<sup>3</sup>

(1:長岡技術科学大学大学院 工学研究科 2:長岡技術科学大学 工学部 3:長岡技術科学大学 機械創造工学専攻)

## 1. はじめに

一般に雪冷房は利用可能な地域が豪雪地帯に限定され、システム全体が大型になるという制約がある。非雪国でのイベント等において活用するためにシステムを簡略化・小型化し、持ち運びを可能とする簡易雪冷房装置も試験的に運用されてきた<sup>1)</sup>。しかし、輸送から運用までの工程や手間が多いことや、定期的な雪の装填が必要であることなどの理由から、未だ広く普及するには至っていない。そこで本研究において、雪の運搬時に使用されるフレキシブルコンテナ(以下、FCと呼ぶ)を直接搭載する可搬型雪冷房装置を開発し、性能向上に取り組んできた。ここでは今一度システムの概要とこれまでの性能評価で用いていた顕熱分の冷房能力を紹介するとともに、凝縮潜熱も考慮した冷房能力の再検討結果を報告する。

## 2. 可搬型雪冷房装置の概要と性能試験

## 2.1 可搬型雪冷房装置の構成

本研究で製作した可搬型雪冷房装置の概略図を図1に示す。

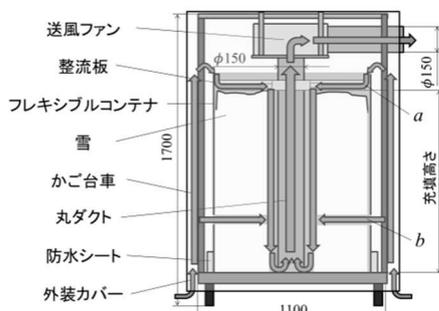


図1 可搬型雪冷房装置の概略図

本装置は市販のかご台車を活用し、整流板、ダクト(φ150 mm, t=1.5 mm)、送風ファン(VD-23ZB12-IN 三菱電機製、風量:570 m<sup>3</sup>/h, 最大静圧:約 350 Pa, 定格消費電力:82 W)を組み込んで構成した。使用電源はポータブルバッテリーのAC100V(60 Hz)を用いた。空気は送風ファンによって外装カバーの下部から装置内部に取り込まれ、雪と直接接触することで熱交換しながら冷やされ、吹出口から吹き出される。装置に取り込まれた空気は、FC上面に取り付けた整流板下とダクト周りで熱交換を行う整流板方式aとFC上面部を閉じ、側面4方向から吸込口ダクトに向かったφ50 mmの穴を計8箇所開けて、横穴部とダクト周りで熱交換を行う横穴方式bの2種類の方式について試験を行った。

## 2.2 性能試験

試験は横穴方式を2021年8月5日に整流板方式を2021年8月6日に新潟県南魚沼市大原運動公園近くの屋外にて試験を行った。両日とも設置したテント内に装置を収容し、11時から15時までの約4時間の連続運転を行った。天候は両日ともに晴れ、この時間帯の平均外気温は5日は33℃、6日は30℃であった。雪は雪山に保存されたものを、手作業によってFCに充填したものをを用いた。装置の性能を評価するため、外気温および吹出口の温度と風速を測定した。温度は、T型熱電対を用いて測定し、データロガーで記録した。風速はベーン式風速計で測定した。

## 2.3 評価方法

装置の性能を評価するため、測定データより顕熱分の冷房能力を求める。冷房能力 $P$ は次式で求める。

$$P = \Delta t \rho Q C_p \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

ここで $\Delta t$ は(外気温[℃]と吹出口温度[℃]の差であり) $t_{in} - t_{out}$ で表される。このときの $t_{in}$ は外気温[℃]、 $t_{out}$ は吹出口温度[℃]である。 $\rho$ は空気の密度[kg m<sup>-3</sup>]、 $Q$ は風量[m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>] (=  $v_{out} A_{fan}$ 、 $v_{out}$ は吹出口平均風速[m s<sup>-1</sup>]、 $A_{fan}$ はファン吐出口断面積[m<sup>2</sup>])、 $C_p$ は空気の比熱[kJ/kg・℃]である。

また、実際は空気を冷却すると空気中の水蒸気が液化(凝縮)する。すなわち、凝縮による熱の移動が発生する。この時空気中から奪われた熱量を凝縮潜熱といい、その時の冷房能力 $P_L$ は次式で求められる。

$$P_L = (h_{in} - h_{out}) \rho Q \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

ここで、 $h_{in}$ は外気、 $h_{out}$ は吹出口の比エンタルピーを示す。空気調和衛生工学便覧<sup>2)</sup>より(3)式を引用して比エンタルピーを求める。

$$h = 1.006t + (1.86t + 2501)x \quad [\text{kJ/kg(DA)}] \quad (3)$$

この時の $x$ は絶対湿度[kJ/kg(DA)]であり、(4)、(5)式で求められる。

$$p_w = p_{ws} \varphi / 100 \quad [\text{kPa}] \quad (4)$$

$$x = \frac{M_w}{M_a} \frac{p_w}{(p - p_w)} \quad [\text{kJ/kg}'] \quad (5)$$

ここで、飽和水蒸気分圧 $p_{ws}$ [kPa]はハイランド・ウェクスラーの式<sup>3)</sup>を用いて求め、 $p_w$ は水蒸気分圧、 $p$ は空気の全圧、 $\varphi$ は相対湿度[%]である。さらに空気調和衛生工学便覧<sup>2)</sup>

より,  $M_w$ は水蒸気分子量として 18.0153[g/mol]を,  $M_a$ は乾き空気の分子量として 28.9645[g/mol]を用いて算出する.

また, 今回外気の絶対湿度 $x$ については 2021 年 8 月 5 日, 6 日の気象庁新潟気象台<sup>4)</sup>の平均値を参考とし, 吹出口の相対湿度を 100%と仮定した.

### 3. 試験結果

各方式の顕熱分の冷房能力の試験結果を図2に示す. また, 整流板方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力を図3, 横穴方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力を図4に示す.

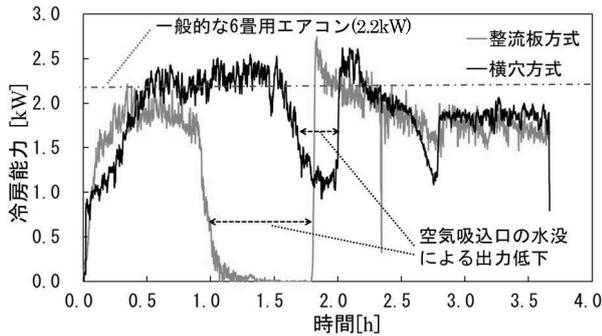


図2 各方式の冷房能力

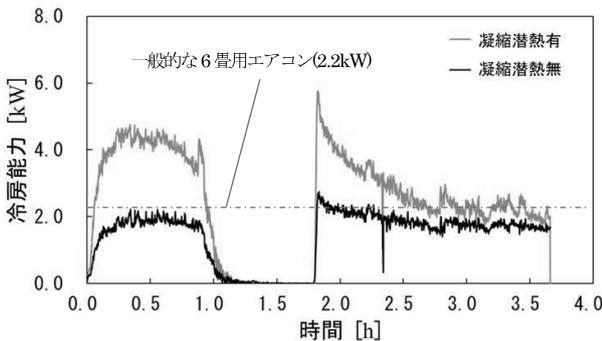


図3 整流板方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力

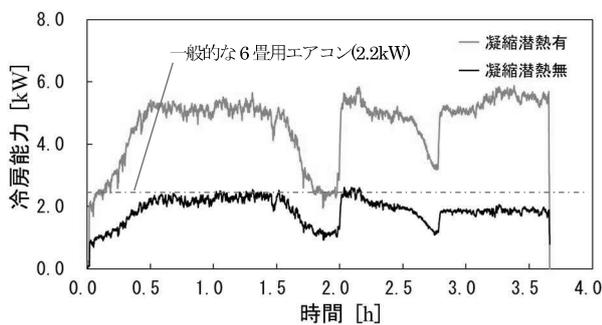


図4 横穴方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力

図2より, 横穴方式では開始から1.5時間は2.3 kWを維持し, 3時間以降は1.9kWで安定した. 整流板方式では1.8 kW以上の冷房能力を安定して保っていた.

図3, 図4より, 凝縮潜熱を考慮すると, 各方式の冷房能

力は1.5倍から2.5倍に上昇し, 整流板方式では運転開始から約1時間後まで4 kW, 横穴方式では0.5時間から試験を終えた3.5時間まで5 kWの冷房能力を維持できることが示されている. また, 図3から整流板方式において約1.7時間以降冷房能力が減少する傾向にある. これは, 夕方にかけて外気温が低下するにつれて,  $\Delta t$ も同様に減少したためであると考えられる.

また, 性能評価試験の際に, 発生した融解水を測定し, これを基に次式を用いて消費した熱量を推定した.

$$Q_w = q\rho_w h_w \times 10^{-6} \quad [MJ] \quad (6)$$

この時の $Q_w$ は総消費熱量[MJ],  $q$ は総融解水量[L],  $\rho_w$ は水の密度[kg/m<sup>3</sup>],  $h_w$ は雪の潜熱[kJ/kg]を示している.

また, (6)式を用いて求めた融解水による熱量と凝縮潜熱を考慮した総消費熱量を比較したグラフを図5に示す. このグラフより, 両方式においても融解水から求めた熱量(プロット)と総消費熱量の傾向が近似していることがわかる.

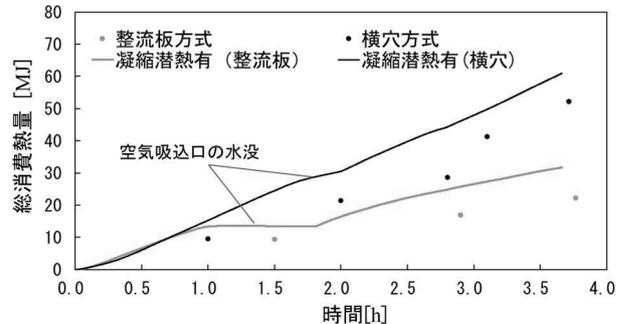


図5 融解水による熱量と凝縮潜熱を考慮した冷房能力

### 4. まとめ

性能試験の結果より, 顕熱分のみの冷房能力において, 1.8 kW以上で安定して稼働していた. また, 凝縮潜熱を考慮した各方式の冷房能力は1.5倍から2.5倍に上昇し, 横穴方式で最大5 kWを維持することができた. この結果と融解水から求めた熱量の傾向は概ね一致した.

### 5. 謝辞

本研究は内田エネルギー振興財団および佐々木環境技術振興財団(五十音順)の助成を受けたものです. この場を借りて厚く御礼申し上げます.

### 文献

- 1) 青柳大輔, (2021)「保存雪を用いる可搬型雪冷房装置の熱交換性能の向上」, 第37回寒地技術シンポジウム 報告論文
- 2) 社団法人 空気調和・衛生工学会 (2010)「空気調和衛生工学便覧 第14版 1基礎編 第3章 湿り空気」, p.39
- 3) R. W. Hyland and A. Wexler, (1983), ASHRAE Trans. , 89-2A, p.500
- 4) 国土交通省気象庁, 「過去の気象データ検索」

## 高電圧パルス印可による初晶形成促進

吉田匡貴<sup>1</sup>・岡本忠次<sup>1</sup>・藤崎颯太<sup>2</sup>・杉原幸信<sup>3</sup>・上村靖司<sup>3</sup>

(1: 長岡技術科学大学大学院 工学研究科 2: 長岡技術科学大学 工学部 3: 長岡技術科学大学 機械創造工学専攻)

## 1. はじめに

高品質な氷(結晶粒が大きい, 結晶方位が揃っている, 気泡がない)は, その透明度や加工性の高さから特に飲食業界などで需要がある. 中でもバーテンダー業界では丸氷などを作るための無気泡氷の需要が高い. そのため当研究室では放射冷却を用い, 上記の高品質な氷を作成する技術について研究を行ってきた.

本報告では氷の透明度を下げる主因である気泡のうち, 製氷初期に発生する微気泡群の抑制方法を提案し, 氷の透明度評価からその有効性を確認した結果を報告する.

## 2. 放射冷却による製氷装置

実験に用いた製氷装置の概略図を図1に示す. 雰囲気温度 $2^{\circ}\text{C}$ に設定した低温室内に製氷用の水槽を置き, その上に製氷ユニットを設置する. 製氷ユニットは内層と外層に分かれており, 内層内には隣室にある不凍液循環装置水槽から不凍液が流れており, 不凍液により冷やされた内層下面のアルミ板が水槽内の原料水の熱を奪って, 氷が成長する仕組みとなっている. なお, 内層と外層の間には $3\text{mm}$ の隙間があり, これにより放射冷却を実現している.

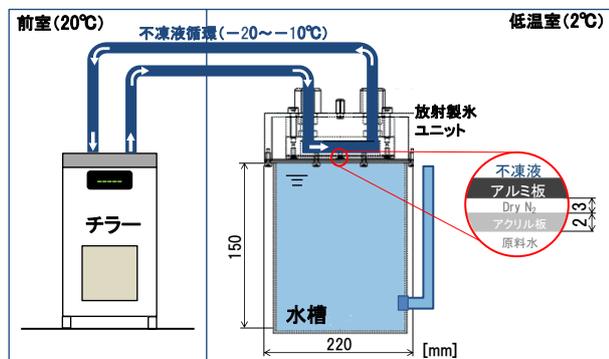


図1 製氷装置概略図

## 3. 気泡の析出メカニズムについて

放射冷却によってつくる氷に析出する気泡は, 氷の初晶形成時に氷に取り込まれる微気泡群と氷の成長に伴い所定厚さに達した後に析出する気泡列の二種類に分けられる(図2). 気泡列の抑制方法は先行研究<sup>1)</sup>により解明済みであるため, 本研究では微気泡群に注目した. 微気泡群は初晶のデンドライト(樹枝状結晶)付近に析出することが分かっている. デンドライトは, 過冷却度が高い液体の過冷却が解消され, 結晶成長が始まった際に発生し, 過冷却された原料水の体積が大きいほど大きく成長する. 微気泡群がデンドライト付近に析出するメカニズムは, 過冷却が解消した際に, 水

中の溶存気体の拡散速度よりも結晶成長速度の方が早くなった結果, デンドライト部分を中心に局所的に溶存気体の濃度が飽和に達するからだと考えられている<sup>2)</sup>. このことから, 過冷却度が小さいうちに過冷却の解消を促進し, デンドライトの成長速度を遅くすることで, 微気泡群の発生を抑制できると考えられる.



図2 氷に析出する気泡の種類

## 4. 高電圧パルス印可による過冷却の解消

## 4.1. 実験概要

過冷却水に通電することにより過冷却が解消されることは知られている<sup>3)</sup>. 本研究では, 製氷中の原料水に高電圧パルスを印可することで, 過冷却を強制的に解消し, それによる氷塊中の微気泡群発生への影響を調査した.

本研究では, 高電圧パルスを発生させるため, 使い捨てカメラから取り出したフラッシュ回路と10段の Cockcroft-Walton回路を用いて, 高電圧パルス発生装置を作製した(図3).

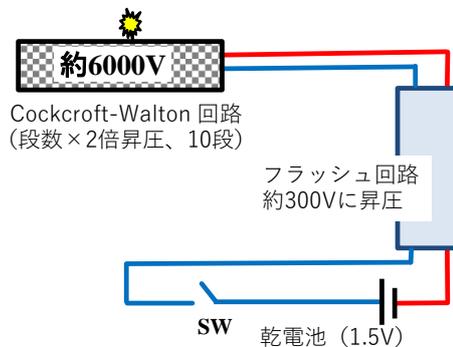


図3 高電圧パルス発生装置

## 4.2. 実験方法

実験装置の概略図を図4に示す. 製氷ユニット内に高電圧

パルス発生装置の導線を通し、水槽内の試料水内に導線が出るようにセットし、放射冷却を行う。導線付近の試料水の水温はT型熱電対を用いてリアルタイムで確認し、水温が0℃以下になったことが確認出来たら1分ごとに高電圧パルスを印可する。そして、過冷却が解消されるまでの時間とそのときの過冷却度を調査した。

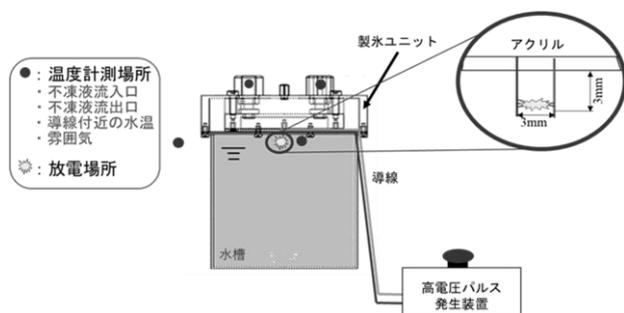


図4 電極の配置

#### 4.3. 実験結果

高電圧パルスの印可の有無で3回ずつ実験を行い、それぞれの過冷却解消までの時間と過冷却度を測定した。その結果、過冷却解消までの時間は、高電圧パルスの印可無しの場合が40～60分程度であるのに対して、高電圧パルス印可した場合には20～30分とおよそ半分となった。また過冷却度は、高電圧パルス印可無しの場合に3～5℃であったのに対して、高電圧パルス印可によって2℃前後となり、原料水への高電圧パルス印可が、過冷却解消までの時間短縮と過冷却度抑制に有効であることが示された。

図5に高電圧パルス印可の有無における過冷却解消時のデンドライトの成長の様子と取り出した氷の概観図をそれぞれ示す。高電圧パルスを印可せずに製氷した結果、デンドライト(図の白枠)は厚さ方向に約10mm程度まで成長していることが確認でき、取り出した氷はデンドライトが成長した厚さまで微気泡群の析出が確認できた。それに対して、パルスを印可して製氷すると、デンドライトは厚さ方向にほとんど成長しておらず、取り出した氷も微気泡群の析出が目視では確認できなかった。これは高電圧パルスを印可したことで、核生成時の過冷却度を下げ、デンドライトの厚さ方向への成長量および成長速度を下げることであったと考えられる。

	過冷却解消時のデンドライト成長	取り出した氷の外観
パルス印加 なし		
パルス印加 あり		

図5 デンドライト成長と氷の外観

## 5. 氷の透明度評価

### 5.1. 実験概要

前章で述べたように、高電圧パルスを印可することで、微気泡群を抑制できることが目視で確認できた。この時の氷の透明度を定量的に評価するため、レーザー光を氷に透過させた強度値から局所的な透明度を評価する方法を考案した。

### 5.2. 実験方法

透明度測定の概要図を図10に示す。測定点は氷の上面から35mmの場所を30mm間隔で1辺につき4カ所、4辺で計16カ所測定した。氷の透明度はレーザーの透過率によって評価し、以下のように定義する。

$$\text{透過率} = \frac{\text{氷透過時のレーザー光強度}}{\text{空気中でのレーザー光強度}} \times 100 [\%]$$

実験に用いるレーザーは、氷に吸収されにくい波長である532nmのものを使用した<sup>4)</sup>。

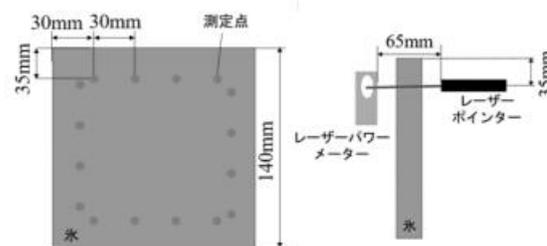


図6 透明度測定の概要図

### 5.3. 実験結果

高電圧パルス印可をして製氷した氷(過冷却度2.0℃)とパルス印可なしで製氷した氷2つ(過冷却度3.9℃、4.5℃)の計3つの氷の透明度を評価した。透明度の測定結果を表2に示す。表中の各測定点の透明度と16点の平均値より、過冷却度が大きくなるにつれて透明度が低くなる傾向がわかる。分散を見ても過冷却度にもなって大きくなっており、特に過冷却度4.5℃では、局所的に他の測定点に比べて著しく透明度の低い箇所がある。これは、目視観察で見られる微気泡が析出している箇所に対応する。

それぞれの氷の概要図を図7に示す。製氷面の写真から、過冷却度が大きくなると、中央から放射状の伸びる微気泡が明瞭に表れてくる様子がわかる。側面の写真を見ると、過冷却度2.0℃ではほとんど微気泡には見えないが、3.9℃になると左側(初期冷却面)に微気泡が見えるようになり、4.5℃になると雲のように微気泡が群となって析出している様子が観察される。

よって、冷却中の過冷却水に高電圧パルスを印可し過冷却解消を促進することは、微気泡群の抑制に非常に有効で

あることが分かった。

表 1 各過冷却度における透明度

過冷却度 [°C]	透明度 [%]				
2.0	90.9	90.7	88.4	87.8	平均
	86.7	89.0	89.2	88.7	<b>88.7</b>
	88.1	86.1	89.0	87.8	分散
	88.4	89.8	90.1	89.0	1.6
3.9	86.4	89.5	81.8	88.9	平均
	88.0	88.9	89.2	89.8	<b>87.0</b>
	86.1	85.8	88.9	87.7	分散
	87.0	80.6	86.1	87.3	6.5
4.5	88.2	87.9	79.9	<b>64.3</b>	平均
	<b>61.8</b>	86.8	87.1	84.9	<b>83.0</b>
	84.9	84.6	85.7	85.2	分散
	85.7	86.8	87.1	87.1	60.5

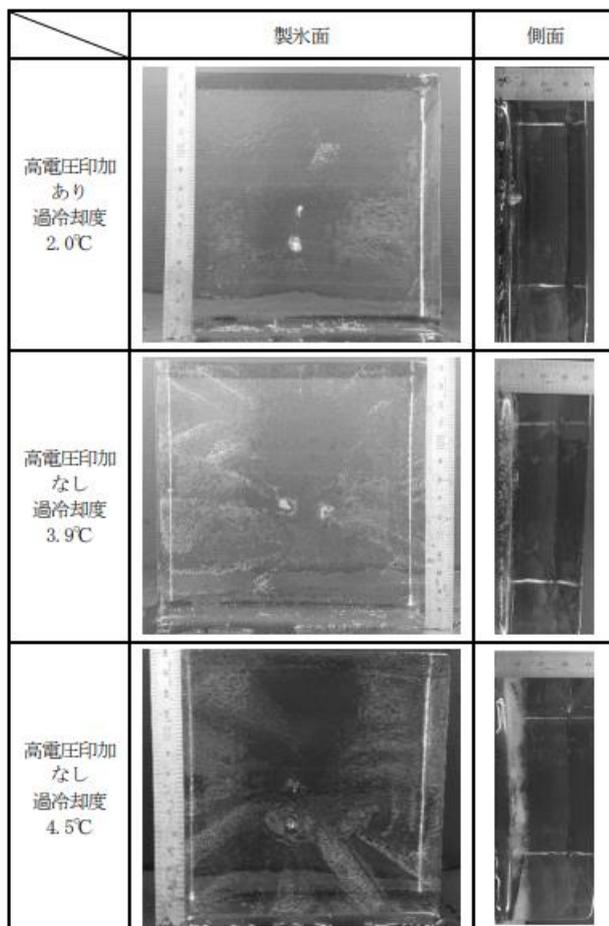


図 7 透明度を評価した氷の外観

## 6. 結言

放射冷却による製氷の初期に発生する微気泡群の抑制のため冷却しながら高電圧パルスを一定時間間隔で与え続け

る実験を行った。その結果、過冷却が破れるまでの時間、その時の過冷却度と共に半減させることができた。できた氷の観察をしたところ、過冷却度が小さいほど微気泡の析出が少なく透明度の高い氷ができることが示された。

## 7. 謝辞

本研究では科研費(21K14091)の助成を受け遂行されたものであることを記し謝意を表す。

## 8. 参考文献

- 1) 本田宇希, 上村靖司(2018):「放射冷却による高品質製氷の実用化: 初気泡析出条件」, 寒地技術論文・報告集: 寒地技術シンポジウム p301-304
- 2) 前野紀一, (1966):『水氷界面における気泡の発生と捕捉』, Low temperature science. Series A, Physical sciences, 24: 91-109
- 3) 七里公毅, 永田隆広(1978):「水の凍結に及ぼす電気の影響: 基礎」, 日本結晶成長学会誌5巻 (1978) 3号
- 4) 櫻井俊光, ハイコスロービアン, 染川智弘, 藤田雅之, 本山秀明, 渡辺興亜, 井澤靖和(2013):「レーザーによる氷の融解に関する研究—氷床の底に生きる生命体の 検出を目指して—」, 雪氷研究大会(2013・北見)講演 要旨集 p136