

# 雪氷北信越

第 42 号

2022 年 7 月

(公社) 日本雪氷学会北信越支部

## 雪氷北信越 第42号

## 目 次

## 巻頭言：

「ときどき雪国」から「ところにより雪国」となっても

日本雪氷学会北信越支部副支部長 杉浦 幸之助 …………… 1

## 受賞者のことば：

2022年度北信越支部賞受賞者と授賞理由 上石 勲 …………… 2

大沼賞を受賞して 伊藤 陽一 …………… 6

雪氷奨励賞を受賞して 勝山 祐太 …………… 7

雪氷功労賞を受賞して 佐藤 和秀 …………… 9

北信越支部賞受賞者一覧 …………… 12

## 2022年度北信越支部総会・研究発表会：

次第・プログラム …………… 14

講演予稿集 …………… 16

2021年度事業報告 …………… 57

2021年度収支決算報告 …………… 62

2022年度事業計画 …………… 63

2022年度予算計画 …………… 64

(公社) 日本雪氷学会北信越支部 支部規程施行内規 …………… 65

(公社) 日本雪氷学会北信越支部 表彰規程 …………… 66

2021-22年度(公社) 日本雪氷学会北信越支部 役員 …………… 67

(公社) 日本雪氷学会北信越支部 特別・賛助・購読会員名簿 …………… 69

## 「ときどき雪国」から「ところにより雪国」となっても

日本雪氷学会北信越支部副支部長 富山大学 杉浦 幸之助

気象庁では、大雨や暴風などによって発生する災害の防止・軽減のために、気象注意報や警報、特別警報を発表しています。注意報は大雨、洪水、大雪、強風、風雪、波浪、高潮、雷、濃霧、乾燥、なだれ、着氷、着雪、融雪、霜、低温の16種類、警報は大雨、洪水、大雪、暴風、暴風雪、波浪、高潮の7種類、特別警報は大雨、大雪、暴風、暴風雪、波浪、高潮の6種類に分かれています。この中で、雪氷に関係するものはどれくらいあるか数えてみると、警報と特別警報はそれぞれ2種類ですが、注意報は9種類にもおよび、全体の半分近くを占めていました。雪氷に起因する災害に多くの注意が払われていることがわかります。全国を対象に注意報と警報、特別警報をあわせた発表回数を調べてみますと、一番多いのは雷注意報でした。個人的には意外でしたが、確かに北信越では初冬に雷が鳴り響き、鱒おこしという言葉もあります。また雷は雪国ではない地域でも広く発生し、太平洋側では特に夏に多く発生します。雪や氷が関係する自然現象は雪国だけのものではなく、全国至る所で、また一年を通じて発生していることになります。このことから、雪国でない非雪国に住んでいる場合でも、雪氷に関する知識や知恵を身につけておくことは大変重要なことだと改めて認識した次第です。

雪がたくさん降る地方に対して、「ときどき雪国」という言葉を使うことがあります。1970年代に樋口敬二先生が初めて使用された言葉です（樋口，2004：ときどき雪国—回顧と問題提起—。日本雪氷学会全国大会講演予稿集，<https://doi.org/10.14850/jssi.2004.0.186.0>）。私の住む富山市も、近年は冬の積雪が30日以上継続しないことがときどきあります（ここ2冬期は大雪でしたが）。気象庁は、将来、北信越では最深積雪が有意に減少し、積雪期間も短くなると予測しています。富山も、「ときどき雪国」から、やがて「ところにより雪国」へと移り変わろうとしています。

北信越は、北アルプスといった日本屈指の山岳域を有しています。ここには氷河があり、永久凍土があります。雪が降り積もり、雪崩や吹雪が発生し、樹木への着氷や着雪がみられ、春には融雪していきます。雪粒を手にとってみると、9種類の雪質すべてを見つけ出すことができます。残念ながら海水をみることはできませんが、山岳の湖沼では結氷をみることができます。このように北信越では、典型的な雪氷現象のほとんどが生じていることになります。将来、さらに全国的に雪が減るとしても、3,000m級の山々が連なる北信越の山岳域では、依然として雪氷現象が絶えず発生すると思われます。北信越が「雪氷現象の宝庫」であることは、これからも変わらないのではないのでしょうか。今も昔も、北信越は雪氷研究者が心を寄せる地であり、北信越支部は教育研究の発展を醸成する特徴ある支部だと思います。

太平洋側に位置する非雪国の大都市圏からみると、北信越は身近な雪国です。冬には北信越支部が主催する講演会などに他支部からの参加者がいますし、また、北アルプスでの雪氷を対象に他支部からの野外教育研究活動も行われています。北信越は、広大な雪氷実験場としても活用されているので、今後北信越は、雪氷教育研究の観点からもますます重要な地域となると思います。北信越の良さを十分に引き出せるよう、私も河島支部長、支部会員の皆さまのご指導をいただきながら、副支部長の役目を果たして参りたいと思っております。

## 2022 年度日本雪氷学会北信越支部賞受賞者と授賞理由

2022 年 4 月 3 日から 18 日までの間、メール審議とリモート会議システム (Zoom) による審議を併用し、2022 年度北信越支部賞受賞候補者選定委員会 (上石勲 (委員長), 飯田肇, 石坂雅昭, 上村靖司, オブザーバ: 河島克久 (支部長)) が開催された。推薦された支部賞候補者から、推薦書ならびに参考資料に基づいて慎重に審議した結果、3 件が受賞候補に選定された。その後、5 月 13 日から 19 日の 2022 年度第 1 回北信越支部理事・幹事合同会議 (文書審議) で承認された。2022 年度日本雪氷学会北信越支部賞受賞者と授賞理由は以下のとおりである。

大沼賞：伊藤陽一会員 (国立研究開発法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター  
主幹研究員)

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

理 由：伊藤陽一氏は、学生時代 (1995 年) から雪崩を研究対象とし、北海道大学演習林の自然斜面を用いた雪崩実験を実施するかたわら、黒部峡谷での雪崩観測やスキージャンプ台でのピンポン球なだれ実験などにも積極的に参画し、それらの成果をまとめて学位論文として発表した<sup>1)~5)</sup>。その後 2013 年から約 2 年にわたりグルノーブルのフランス国立環境・農学技術研究所に滞在し、同研究所が実施する人工雪崩実験に参加し、結果の解析などに従事、成果を掲載した論文は雪崩の内部構造、特に雪煙部の理解に大きく貢献した<sup>6),7)</sup>。近年は、科研費で実施されている一連のニセコでの人工雪崩実験に参加し、計画の立案から実施、そして取得データの解析に至るすべてのプロセスで中心的な役割を果たしている。測定手法や観測機器も黒部峡谷等で行われた内容に加えて、ドローンの導入、地震計、インフラサウンドマイクロフォンや放射温度計の活用、さらには小型の加速度計を雪崩とともに流下させるなど、画期的で多岐にわたり、そこで得られた成果は日本で数多く発生する比較的小規模な雪崩の内部構造や運動プロセスの理解に大きく貢献している<sup>8)</sup>。またこれと併行して雪や粒状体を用いた室内実験をさまざまな条件のもとで実施し、データの詳細な解析から得られた知見は、雪崩の運動モデルに含まれる各種パラメーターの決定に役立っている<sup>9)</sup>。

同氏は、これらの実験・観測に加えて、冬季に国内で発生した雪崩調査にも積極的に参加し、その発生原因を究明するとともに、得られた知見を講師を務める新潟県や雪氷学会の雪崩研修会等で活かしている。

なお同氏の研究対象は、雪崩にとどまらず、混相流として雪崩と共通する吹雪、さらには積雪構造などにも及び、それらの分野での貢献も特筆される<sup>10),11)</sup>。

このように、伊藤氏は長年にわたり雪崩の観測及び実験に携わり、多角的で斬新な手法等も導入しながら複雑で多様な雪崩の内部構造とダイナミクス解明に取り組み、多くの知見を発出し雪氷学及び雪崩防災に貢献している。以上のことから、大沼賞に相応しい。

### 主要参考文献

- 1) K. Nishimura and Y. Ito, Velocity distribution in Snow Avalanches. Journal of Geophysical

- Research, **102**(B12), 27,297-27,303, 1997.
- 2) K. Nishimura, Y. Nohguchi, Y. Ito, K. Kosugi and K. Izumi, Snow avalanche experiments at ski jump. Proc. International Conference of "Avalanches and Related Subjects, Kirovsk, Russia, 1996", 49-59, 1997.
  - 3) K. Nishimura, Y. Nohguchi, Y. Ito and J. McElwaine, Size segregation in the granular flow on inclined chute and plane -Experiments and numerical simulation. Proc. IUTAM symposium on Segregation in Granular Flows, New Jersey, 1999.
  - 4) S. Keller, Y. Ito and K. Nishimura, Measurements of the velocity distribution in ping-pong ball avalanches. Annals of Glaciology, **26**, 259-264, 1998.
  - 5) 伊藤陽一, 西村浩一, 阿部修, 小杉健二, 和泉 薫, 雪煙を伴う雪の流れの内部構造. 雪氷, **64**, 523-532, 2002.
  - 6) E. Thibert, H. Bellot, F. Ravanat, F. Ousse, K. Nishimura, Y. Ito and others, The full-scale avalanche test-site at Lautaret Pass (French Alps). Cold Regions Science and Technology, **115**, 30-41, 2015.
  - 7) Y. Ito, F. Naaim-Bouvet, K. Nishimura, H. Bellot, E. Thibert, X. Ravant and F. Fontaine, Measurement of snow particle size and velocity in avalanche powder clouds. Journal of Glaciology, **63**, 249-257, doi:10.1017/jpg.2016.130, 2017.
  - 8) K. Nishimura, C. Pérez-Guillén, Y. Ito, S. Yamaguchi, S. Saito, D. Issler and J-T. Fischer, Studies on the snow avalanche dynamics by the full-scale experiments in Niseko Japan. Proc. International Snow Science Workshop 2018, Innsbruck, Austria, 50-53, 2018.
  - 9) 森啓輔, 伊藤陽一, 西村浩一, Abani Patra, 連続体モデル TITAN2D を用いた雪崩の運動のシミュレーション I -室内実験との比較検討-. 雪氷, **80**, 277-287, 2018.
  - 10) C. J. Keylock, K. Nishimura, M. Nemoto and Y. Ito, The flow structure in the wake of a fractal fence and the absence of an“inertial regime”. Environmental Fluid Mechanics, **12**, 227-250, doi:10.1007/s10652-011-9233-0, 2012.
  - 11) K. Nishimura, C. Yokoyama, Y. Ito, M. Nemoto, F. Naaim-Bouvet, H. Bellot and K. Fujita, Snow particle speeds in drifting snow. Journal of Geophysical Research, Atmos., **119**, doi:10.1002/2014JD021686, 2014.

雪氷奨励賞：勝山祐太会員（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所十日町試験地 任期付研究員）

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  
理由：勝山祐太氏は、北海道大学在学中から地球温暖化が積雪に及ぼす影響のシミュレーションと固体降水粒子の観測・解析システムの開発という異なる研究に並行して取り組み、その双方で顕著な成果を挙げてきた。

勝山氏は、地球温暖化により気候が変化すると、積雪量のみならず雪質など積雪層の物理特性も変化すること<sup>1)</sup>や、積雪への影響には地域差があることを数値モデルによるシミュレーションで示した<sup>2)</sup>。元々1 地点での計算を想定された積雪変質モデル SNOWPACK

に、気候モデルから得た北海道全域の気象データを入力し、広域の積雪推定に適用できることを実測データと比較して確かめた<sup>2)</sup>。広域を対象とする場合、積雪変質モデルの計算に膨大な時間がかかるが、計算方法を工夫することでこの問題も克服した。こうして地球温暖化が積雪に及ぼす影響を北海道全域について予測することに成功し<sup>2)</sup>、研究成果はIPCCの報告書にも引用された<sup>1)</sup>。

同氏はまた、固体降水粒子を連続撮影して粒径と落下速度の分布を観測する装置（ポリウムスキャン型のディストロメーター）をカメラや最新の通信制御機器を組み合わせ、独力で製作し、観測データの解析ソフトウェアまで自ら開発した<sup>3)</sup>。これを用いて、広く普及しているフラックススキャン型ディストロメーター（2DVD）と比較観測し、2DVDで生じる観測誤差の要因を明らかにするとともに、ポリウムスキャン型では落下速度の観測値が改善されることを示した。さらに、粒径-落下速度分布を最適な混合確率分布で表す画期的な解析手法を示し<sup>4)</sup>、今後の研究発展につながる成果を挙げた。2020年からは、森林総合研究所の研究者として、日本の積雪地域における雪崩発生リスクに対する地球温暖化の影響を予測する新たな研究に取り組んでいる<sup>5)</sup>。

以上のように、勝山氏は数値モデルのシミュレーション、観測機器や解析ソフトウェアの開発、野外観測において多才な能力を発揮してきており、今後さらに新たな手法で雪氷学研究を発展させることを大いに期待できることから、雪氷奨励賞に相応しい。

#### 主要参考文献

- 1) Katsuyama Y, Inatsu M, Nakamura K and Matoba S (2017) Global warming response of snowpack at mountain range in northern Japan estimated using multiple dynamically downscaled data. *Cold Reg. Sci. Technol.* **136**, 62-71. (doi: 10.1016/j.coldregions.2017.01.006)
- 2) Katsuyama Y, Inatsu M and Shirakawa T (2020) Response of snowpack to +2°C global warming in Hokkaido, Japan. *J. Glaciol.* **66**(255), 83-96. (doi: 10.1017/jog.2019.85)
- 3) Katsuyama Y and Inatsu M (2020) Fitting precipitation particle size-velocity data to mixed joint probability density function with an expectation maximization algorithm. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **37**, 911-925. (doi: 10.1175/JTECH-D-19-0150.1)
- 4) Katsuyama Y and Inatsu M (2021) Advantage of volume scanning video disdrometer in solid-precipitation observation. *SOLA*, **17**, 35-40. (doi: 10.2151/sola.2021-006)
- 5) Katsuyama Y, Katsushima T and Takeuchi Y (2022) Estimation of natural dry snow avalanche potential in a global warming climate over northern Japan using large ensemble climate simulations. *J. Glaciol. in revision.*

雪氷功労賞：佐藤和秀会員（長岡工業高等専門学校 名誉教授）

件名：長年にわたる雪氷研究と支部活動への貢献

理由：佐藤和秀氏は、1987年から長岡市を拠点として降水・積雪中の化学成分の継続観測を行うとともに、新潟県中越地域の積雪中の化学物質の挙動に関する調査研究を実施してきた。その結果、夏期の一時期を除き年間を通して降水は酸性であること、特に冬

期は酸性度が高くイオン濃度も高いこと、北陸平野部では冬期全体を通して Acid Shock が北欧などに比べて起こりにくいことなどを明らかにした。その一方で、佐藤氏は、南極観測隊（越冬）に2回参加するとともに、1970年代から、南極氷床・東クイーンモードランド地域における表層積雪の10m深雪温、積雪量、積雪の酸素同位体組成の広域分布および経年変動などの研究を進め、南極氷床の気候-雪氷システムについて新しい知見をもたらす卓越した研究成果をあげている。これらの研究成果により佐藤氏は2001年度日本雪氷学会学術賞、2007年度日本雪氷学会北信越支部大沼賞を受賞している。

支部活動の面では、支部幹事（1988～1994年度）、支部理事（1995～2010年度）、支部監事（2011～2014年度）、支部評議員（2015～現在）を務めており、北信越支部創立時から今日に至るまで長年にわたって支部の円滑な運営と発展に貢献した。

さらに、長岡工業高等専門学校において長年教鞭を執り、雪氷関係分野へ進む学生の育成にも大きく貢献してきた。

以上のように、佐藤和秀氏の雪氷学への学術的貢献及び北信越支部活動に果たした貢献は多大なものであり、雪氷功労賞に相応しい。

#### 主要参考文献

- 1) Satow, K., 1985: Variability of surface mass balance in the Mizuho plateau, Antarctica. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **39**, 132-140.
- 2) Satow, K. and Watanabe, O., 1990: Net accumulation and oxygen isotope composition of snow on Mizuho Plateau, Antarctica. Ann. Glaciol., **6**, 300-302.
- 3) Satow, K. and Watanabe, O., 1992: Distribution of mean  $\delta^{18}\text{O}$  values of surface snow layers and their dependence on air temperature in Enderby Land-East Queen Maud Land, Antarctica. Polar Meteorology and Glaciology, **5**, 120-127.
- 4) Satow, K., Watanabe, O., Shoji, H. and Motoyama, H., 1999: The relationship among accumulation rate, stable isotope ratio and surface temperature on the plateau of East Dronning Maud Land, Antarctica. Polar Meteorology and Glaciology, **13**, 43-52.
- 5) Satow, K., Watanabe, O., Fujii, Y., Kamiyama, K., Motoyama, H., Furukawa, T., Igarashi, M. and Kanamori, S., 2004: Periodicities of palaeo-climatic records extracted from the Dome Fuji deep core. Polar Meteorology and Glaciology, **18**, 72-81.
- 6) 佐藤和秀, 石坂雅昭, 岩本勉之, 金子祐, 椎名徹, 村本健一郎, 2005: 冬季の降水形態によるイオン濃度特性. 2005年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 204.
- 7) 佐藤和秀, 廣田洸平, 恩田純一, 2008: 長岡市における降水の過酸化水素濃度の測定. 雪氷研究大会（2008・東京）講演要旨集, 182.
- 8) 佐藤和秀, 小林祐介, 志田八州太郎, 2009: 長岡市周辺の積雪の過酸化水素および主要イオン濃度の分析. 雪氷研究大会（2009・札幌）講演要旨集, 15.
- 9) 佐藤和秀, 若井良太, 吉岡大佑, 亀田貴雄, 石坂雅昭, 竹内由香里, 横山宏太郎, 小南靖弘, 五十嵐誠, 2011: 冬期降水の過酸化水素濃度と主要イオン濃度. 雪氷研究大会（2011・長岡）講演要旨集, 58.

## 大沼賞を受賞して

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 伊藤 陽一

大沼さんに初めてお会いしたのは、まだ修士課程の学生の頃（1995-96年）、長岡の防災科研を訪問したついでに雪形関係の集会に参加し、その後の宴会にも誘われたときだったと思います。そのときは恥ずかしながら大沼さんの功績をまったく知らない若輩者でしたが、「私は雪氷学会のシーラカンスです・・・」と自己紹介されながら話しかけていただいたことを今でも覚えています。その後、積雪観測でよく使っていた神室型スノーサンプラの開発者でいらっしゃるなどを知り、その業績だけでなく何も知らない学生にも気さくに接していただいた様子など、あらためて敬服いたしました。まだまだ至らない点が多い私がお名前のついた賞をいただくのは早い気もしますが、賞に恥じないように今後も努力していきたいと思います。

私は大沼さんと違い登山やスキーなど初心者状態で雪氷学の世界に入りましたが、北大低温研での指導教員の西村さんをはじめ、いろいろな方々から観測や実験技術だけでなく雪山での生活やスキーの滑り方まで教えていただきました。修士に入ったばかりの5月に山スキーで行ったヒサゴ沼雪渓調査、大原鉄工所の雪上車で往復した問寒別の雪崩観測小屋、黒部の山奥でたった1人で過ごした雪崩観測、スキージャンプ台に最大55万個のピンポン球を流した模擬なだれ実験、フランスでの人工雪崩実験や吹雪観測など、とても1人だけではできないことばかりで、いろいろな方からサポートされながら研究を続けることができました。これらの貴重な経験が今回の受賞につながったと思われ、ご協力いただいた方々にあらためて感謝申し上げます。ただし、札幌から問寒別への道中、国稀で知られる増毛の酒蔵に寄った際、大吟醸など何種類もの酒を学生だけでさんざん試飲しその後の車中で運転手の西村さん以外眠りこけてしまうなど、ご迷惑をかけてしまったことも多々ありましたので、お詫びも申し上げます。

長らく雪氷の観測をしていますが、まだわからないことが多くあります。2022年2月に糸魚川市で発生した雪崩災害の現場では、雪崩の本流から細い支流が枝分かれした後、円弧状に屈曲して本流と再度合流するような不思議な流動の痕跡が残っていました。まだまだ雪崩の運動には不明な点が多く、今後も観測や実験を続ける必要があることを痛感しています。

また、最近はニセコアンヌプリ周辺で吹きだまりやそれに起因する雪崩の観測を行っていますが、ただ単に自然現象を観測するだけでなく、スキー場関係者など現場の方々との交流を通じて研究成果をスキー場の安全管理などに生かすことが重要だと感じるようになりました。自然も人間もなかなか思いどおりには行かないことが多いですが、引き続きいろいろな方のご協力を得ながら観測・実験を続けていきたいと思っています。

## 雪氷奨励賞を受賞して

森林総合研究所十日町試験地 勝山 祐太

このたびは、日本雪氷学会北信越支部「雪氷奨励賞」をいただきまして、誠にありがとうございます。選考委員の方々や研究にご協力いただいた多くの方々に深く感謝いたします。

今回受賞対象となった「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」は、私が北海道大学大学院理学院の海洋気候物理学研究室（修士課程）と気象学研究室（博士課程）、および、現在の所属する森林総合研究所十日町試験地に在籍中に行われた研究です。これらには、私のこれまでの研究生活で行ってきた一連の研究のほとんどすべてを含みます。研究内容は、気候モデルと積雪変質モデルを用いた数値実験的なものから、気象観測装置の開発やその観測データを解析するための手法開発といった観測的研究まで多岐にわたります。

地球温暖化が積雪に及ぼす影響評価に関する研究では、気候モデルによる大規模な数値実験の結果を用いて積雪変質モデル **SNOWPACK** の緻密な積雪計算を広範囲で行うということを行いました。このような数値実験を行うにあたり、1 地点での計算を想定して開発された **SNOWPACK** モデルは、そのままでは大規模な数値実験に耐えられるような高速計算性を持ち合わせていないということが問題となります。そこで、まずは並列化の容易なマルチスレッド方式による **SNOWPACK** モデルの並列化を行い、北海道の広範囲で積雪の温暖化影響評価を行いました。この温暖化影響評価の一部は、気候変動に関する政府間パネルの特別報告書にも引用され、広く評価していただきました。現在では、**SNOWPACK** モデルをスーパーコンピューターでも効率的に実行可能なものとするために、**Message Passing Interface** を使った並列化を行い、より大規模な数値実験に **SNOWPACK** モデルを利用できるように改良しています。

積雪モデルを使った研究と並行して、固体降水粒子の観測的研究も行ってきました。この研究では、降雪粒子の粒径・落下速度を自動計測する気象測器（ディストロメーター）を作成しました。現在、一般に普及しているディストロメーターは、レーザーシートを通過する粒子をカウントするもので、直接観測しているものは粒子のフラックスです（フラックススキャン型）。一方で、私の作成したディストロメーターは、ビデオカメラで撮像された空中に存在する粒子の個数をカウントしており、単位体積あたりの粒子数を直接観測するものです（ボリュームスキャン型）。この直接観測しているものの違いに起因して、気象学で一般的な粒径分布を求める際には、ボリュームスキャン型の方が有利であることを理論的な観点と観測データの双方から明らかにしました。

また、ディストロメーターを使った観測データの解析手法についても未だ課題山積です。特に、降雪を対象とすると、複数種類の雪粒子が様々な粒径・落下速度をもって落下してくることが頻繁にあります。しかし、現行の解析手法では、一種類の降雪粒子のみが観測された場合にのみ適用可能というもので、観測データの解析を今後進めていくにあたり大きな障害となります。そこで、粒径・落下速度分布を混合確率密度関数で表すというこれ

まででないアイデアを導入しました。導入した確率密度関数は、粒径分布としてガンマ分布を、落下速度分布としてガウス分布を用いて、それらの同時確率分布を混合要素とする混合確率密度関数としました。この混合確率密度関数を実際の観測データと合うようにパラメータ推定を行うことで、複数種の降雪粒子が同時に観測されたデータであっても解析を行うことが可能となりました。

以上のような成果をこれまで得ることができていますが、いずれの研究についてもまだまだ発展途上のものばかりです。やらなければならない課題は山積みであり、これまでの研究を今後も発展させていくつもりです。また、私のこれまでの研究はその範囲が非常に広いということが大きな特徴ではないかと思います。このような広範な研究で培った経験を活かし、今後も様々な課題に取り組んでいきたいと思っています。

## 雪氷功労賞を受賞して

長岡工業高等専門学校 名誉教授 佐藤 和秀

「佐藤さんの(こうろうしょう)の(ろう)は(老)ですから」と河島支部長から言われ、妙に納得した。

コロナ禍もあり学会の発表会にもご無沙汰し、学会関係のメールはチラチラ目を通すくらいだった。5月半ばすぎ、支部賞が3氏に決まったと支部からのメールを見るも、苗字だけの佐藤なのでどこの佐藤さんだろうくらいに思っていた。私には関係ないと思っていたので、河島支部長から電話がきて驚いた次第。支部に功労した思いはさらさらなく、私以上の支部貢献をされた方は沢山おられる。辞退するつもりだったが、(老)と言われ、いただくことにした。

いろいろな世界を知りたくて「何でも見てやろう」(小田実著)精神で過ごしてきた。氷河・氷河期が知りたかった。関西では、雪の研究はできないと思っていたら、ヒマラヤ観測が始まった。関西で12年間も過ごす。最後は新潟の雪もやりたいが、世界中の雪を見なければと考えた。

幸い、第15次南極観測越冬隊に参加することができた。化学分析に採取を依頼された1個の雪サンプルは1m<sup>3</sup>の量、雪上車の通り道から風上に30-50m入り、息を止めてサンプルして欲しいと言うものであった。それが現在では、10cm<sup>3</sup>の量でも何種類もの化学成分が抽出できる。2回の南極観測越冬隊では数えきれないくらいのピットを掘り、断面観測、積雪サンプリングを行った。その後、ヒマラヤの氷河観測にも参加したが、物理解析にも化学を取り入れる時代を感じていた。

その頃、雪の酸素同位体比と温度の関係から、南極氷床の温度分布の観測調査が始まっていた。参加した15次隊、22次隊でも精力的に広域の積雪サンプルを採取した。これらをまとめて、南極氷床・東クイーンモッドランド地域の平均気温分布、そして積雪量と酸素同位体比との関係から、雪氷コアから過去の積雪量の変動も推定できることを提案できたことは幸いであった。

積雪を理解するためには積雪の変態が重要だと研究を始めたが、変態モデルの数学は難しかった。そして、南極の雪と日本の雪の酸素同位体比の大きな差を利用して、実験室で温度勾配による積雪の変態実験を思い立った。定量的まで詳しくできなかったが、定性的な変態説明ができた。

ヒマラヤでは、氷河の涵養、消耗の観測やいろいろな大小の氷河の比較観測を行った。南極氷床との大きな違いを身をもって感じる。氷河のすぐ近くに人間の生活が営まれていた。まさに氷河時代に生きている人間社会を実感することができた。標準氷河として観測を行った氷河はその後も観測が続けられ、ゴア前副大統領のドキュメンタリー映画『不都合な真実』で地球温暖化の例として引用される。

1977年に長岡高専に赴任して、雪国の教育研究施設として低温室を設置できたことは大きな出来事だった。卒業研究も雪が中心になり、積雪の圧縮実験、積雪の変態実験、屋根材の滑り摩擦係数測定実験、混気ジェットポンプによる雪輸送実験などを行う。東京ドー

ムと同じ膜構造施設が雪国でも建設され始め、大手の建設会社の依頼で、いろいろな形の膜構造屋根と雪の積もり方などの観測を行った。

酸性雨が問題になる頃、日本海側の観測が少ないことから、長岡の冬季の雪の化学分析を始める。かなりの酸性雪に驚いた。継続的に卒業研究で行うことにした。北陸・東北の雨、雪の情報を求め、隣県まで学生とサンプリングに出かけた。日本の風上にあたる中国まで足を伸ばすこともできた。今でも、驚いたことがある。ある県の酸性雨の資料提供をお願いしたところ、断られたことがあった。丸秘資料とのことである。丸秘資料について、以下のことも今では思い出である。

1986年、新潟県能生町にある権現岳（標高 1,104 m）の頂上直下 850 m 付近から発生した雪崩が、ふもとにある柵口地区を襲い、13人が死亡した。直ちに駆けつけ、雪崩跡でピットによる断面観測を行った。全国から関連の多くの組織の人が来てピットを掘り始めた。すぐ近くで知り合いの Y さんがいたので、あまりに近いので、お互いに後でデータ交換を約束して、少し離れた所で観測を行った。後に Y さんの研究所に行って驚く。Y さんの雪崩データシートに赤い丸秘の印が押してある。と言うわけで、交換できないと Y さんは申し訳なさそうに言われた。

もう一つの話。長岡高専と姉妹校になった中国黒竜江省ハルビンにある黒竜江水利専科学校との共同研究で 10 冬季ほど、黒竜江省をジープで雪氷災害の調査観測と雪氷サンプリングに飛び回った。行く先々の気象データの提供をお願いし、最初はなんでも手に入ったが、後年になると、数字と文字の 1 文字毎に 1 元を要求され、びっくりした。最後は拒否される。専科学校の先生もどうしようもなかった。確かに、費用がかかるのはわかるが、気象データは国の丸秘資料という認識があったのだった。

送電線が雪で倒壊した時のデータを求めた時も拒否された。これは当該会社の管理面が問題となるためだろうか。こちらは純粋に積雪との科学的解明を求めているのだが。

高専教育は 6・3・3・4 制の学校教育からもユニークである。大学などと比べ、1 教官の授業時間は多く、研究時間は少ない。研究費も少ない。しかし、大学と同等の研究を要求される。赴任した頃、悩んで、ある大学にいる方にぶちまけた。そうしたら、自分は教授の言われる研究しかできない。それで夏休みに妻子を実家に帰らせ、その時、好きな研究をやっている。高専だって、午後 5 時以降は自由でしょう、と。そして、大学で 1 年でやる研究は、高専では 2-5 年かけてやろう。また、高専でしかできないテーマを考えよう。と居直った。雪溪の観測、越後平野の積雪分布観測、酸性降水の通年観測などを行った。1 年間少ししかない卒研学生の研究に、かなり無理強いを要求したこともあったが、よく耐えてくれた学生が多かった。

数ページの予算計画案で数千万円の予算が取れたという N さんに高専の実情を話したら、こちらはお金があっても人が足りない。人件費は年間一人数百万円にもなる。学生が沢山いるのは羨ましいと逆に言われる。

高専にきた最初の頃は、学会には高速バスで参加を試みたが、何も発表しない学会参加は辛かった。その後、若手向けの 50 万円の文部省科研費が通り、徐々に正循環のように、科研費ももらえるようになり、研究が少しはできるようになった。

水試料の化学分析できる高価なイオンクロマトも購入できた。しかし、定年退職間近で少し遅過ぎた。低温室に保管していた南極、アラスカ、中国黒竜江省などの大量の雪サン

ブルのポリビンは大半を破棄することになる。凍傷になりながらサンプリングした観測当  
時を思い出し、辛いものがあった。

長岡に赴任する前後、雪関係で新潟県には（敬称省略）中村勉・木村忠二（雪害研）、中  
俣三郎・津端一郎（新潟大）、大沼匡之（北陸農試）、丸山久一（国鉄）、高橋喜平・渡辺成  
雄（林業試験場十日町試験地）、土屋雷蔵（北陸建設弘済会）、阿部勉（関越ロードメンテ  
ナンス）、荘田幹夫（鉄道技研）の現役や、退職された錚々たる方達がおられた。時々の雪  
氷に関する会合があり、これらの方のありし日の光景を思い出す。その後、長岡技大がで  
き、梅村晃由氏、早川典生氏が参加される。また新潟大の中俣三郎氏のあと、小林俊一氏  
が、十日町試験地には遠藤八十一氏が赴任される。

1987年9月に北信越支部が設立され、学会として活動が始まった。1988年の2月には  
「積雪観測法」の講習会が長岡高専で行われた。その後、山古志や雪害研（雪氷防災研）  
などで行われるようになる。

「老」にこじつけて、だいぶ昔話の駄文が続いてしまった。老婆心ながら、若い人に蛇  
足を一言。

●研究テーマは、過去の文献に沢山見つけることができる。観測機材や計測器の進化で以  
前には測定できなかったデータを観測できるようになったテーマも多い。

●他分野の研究も非常に参考になる。例えば解析手法など、雪氷関係に応用すると新たな  
展開もできることがある。

●同じテーマでも、雪氷を含む地球科学は時間変化も重要で、その時のその場所でしか得  
られない観測値を記録することも大切である。昔行われた観測を現在行くとまた新しい知  
見に繋がることもある。

●研究発表会や、各種会合に積極的に参加する。生身のコミュニケーションから研究の  
みでなく、多くのヒントが得られる。

南極始め、多くの雪を見てきたが、日本の雪、とりわけ長岡など本州の平地の雪が一番  
むずかしい厄介な雪であることがわかる。当たり前だが、鉄で言えば、真っ赤な溶鉱炉の  
鉄と同じ、融点の状態にある。その融点状態の物理変数を見極めて、いろいろな観測実験  
をやるのだから、変数に幅があれば、結果も大きな幅を持ってしまう。これもよく言われ  
ることだが、ミクロの目とマクロの目で現象を見ることが肝要となるのだろう。

これまで一人で行ってきたような文章になってしまったが、大学時代の指導教官の中島  
暢太郎先生はじめ、多くの先達、同輩、後輩の方々、調査観測地で出会った人達、そして  
家族等の温かい励ましと支援のもと、元気をいただき今日まで実に多くのことを経験させ  
ていただいたことを痛感する。名前を述べてお礼を申し上げたいところだが、数ページに  
もなりそうなので伏して、心から感謝したいと思います。

功労賞の推薦申請をしていただいた方、選考委員の皆様に御礼申し上げます。

## 公益社団法人日本雪氷学会北信越支部賞受賞者

- 1993 年度 雪氷技術賞：田村 盛彰  
大 沼 賞：五十嵐 高志
- 1994 年度 大 沼 賞：大関 義男，新潟県中山間地農業技術センター気象観測チーム  
雪氷功労賞：阿部 勉
- 1995 年度 雪氷技術賞：村本 健一郎，椎名 徹，(株) インテック，ソーラーシステム (株)  
(代表：湯本 喜久雄)，農事組合法人グリーンファーム (代表：橘 守)  
大 沼 賞：須藤 伊佐夫，遠藤 徹  
雪氷功労賞：高瀬 信忠
- 1996 年度 大 沼 賞：北原 拓夫，小林 俊市  
雪氷功労賞：古川 征夫
- 1997 年度 大 沼 賞：和泉 薫，納口 恭明  
雪氷功労賞：遠藤 治郎，鈴木 哲
- 1998 年度 雪氷技術賞：対馬 勝年，木内 敏裕  
大 沼 賞：河島 克久  
雪氷功労賞：和田 惇，国際雪形研究会
- 1999 年度 大 沼 賞：町田 誠，清水 増治郎，上村 靖司  
雪氷功労賞：新宮 璋一
- 2000 年度 雪氷技術賞：福井県雪対策・建設技術研究所雪対策研究グループ (代表：杉森 正義，研究推進者：宮本 重信他)  
大 沼 賞：石坂 雅昭  
雪氷功労賞：中村 勉，梅村 晃由
- 2001 年度 雪氷技術賞：石丸 民之永  
大 沼 賞：上石 勲，立山積雪研究会 (代表：川田 邦夫)  
雪氷功労賞：小林 詢，神田 健三
- 2002 年度 大 沼 賞：竹井 巖，佐藤 国雄  
雪氷功労賞：河田 脩二，山田 穰
- 2003 年度 雪氷技術賞：山田 忠幸  
大 沼 賞：横山 宏太郎  
雪氷功労賞：早川 典生
- 2004 年度 大 沼 賞：熊倉 俊郎，中井 專人  
雪氷功労賞：小林 俊一
- 2005 年度 大 沼 賞：小南 靖弘  
雪氷功労賞：前田 博司
- 2006 年度 雪氷技術賞：松田 正宏  
大 沼 賞：竹内 由香里，松井 富栄  
雪氷功労賞：遠藤 八十一

2007 年度	雪氷技術賞：貴堂 靖昭, 村井 昭夫 大 沼 賞：若林 隆三, 佐藤 和秀 雪氷功労賞：福嶋 祐介
2008 年度	雪氷技術賞：宮崎 伸夫 大 沼 賞：庭野 昭二 雪氷功労賞：対馬 勝年
2009 年度	雪氷技術賞：高田 英治 大 沼 賞：鈴木牧之記念館 雪氷功労賞：川田 邦夫, 横山 宏太郎
2010 年度	大 沼 賞：飯田 肇 雪氷奨励賞：山口 悟, 渡辺 幸一 雪氷功労賞：杉森 正義
2011 年度	雪氷技術賞：(株) 大原鉄工所雪上車グループ 大 沼 賞：樋口 敬義 雪氷奨励賞：平島 寛行
2012 年度	雪氷技術賞：加藤 務 大 沼 賞：(社) 新潟県融雪技術協会 雪氷奨励賞：伊豫部 勉 雪氷功労賞：佐藤 篤司
2013 年度	雪氷技術賞：越後雪かき道場 大 沼 賞：本田 明治 雪氷功労賞：丸山 敏介
2014 年度	雪氷技術賞：大川 滋 雪氷奨励賞：池田 慎二, 福井 幸太郎
2015 年度	雪氷技術賞：安達 聖 大 沼 賞：島田 互 雪氷奨励賞：佐々木 明彦
2016 年度	大 沼 賞：松元 高峰 雪氷奨励賞：勝島 隆史
2017 年度	大 沼 賞：藤野 丈志
2018 年度	大 沼 賞：本吉 弘岐 雪氷功労賞：和泉 薫
2019 年度	雪氷功労賞：鈴木 啓助
2020 年度	雪氷奨励賞：山下 克也
2021 年度	大 沼 賞：鈴木 博人 雪氷奨励賞：新屋 啓文 雪氷功労賞：石坂 雅昭
2022 年度	大 沼 賞：伊藤 陽一 雪氷奨励賞：勝山 祐太 雪氷功労賞：佐藤 和秀

2022 年度（公社）日本雪氷学会北信越支部

総会・授賞式・研究発表会

2022 年 6 月 4 日（土）

アオーレ長岡内協働ルームおよび  
オンラインによるハイブリッド開催

## 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

### 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

- 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. デイグリー・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・中井専人・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  
○中井専人 (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・中井専人 (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)

## 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<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1700m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810m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451cm、降り始め(2月19日20時)から雪崩発生までの降水量は81mm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5cm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(4.1mで同様と仮定)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820mまで約2600m(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4.3haで、デブリの厚さは平均1.0m、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900m~1200mの範囲(図の点線)について計測してみると、面積は約2.3haであるが、デブリの厚さは平均3.6m、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.

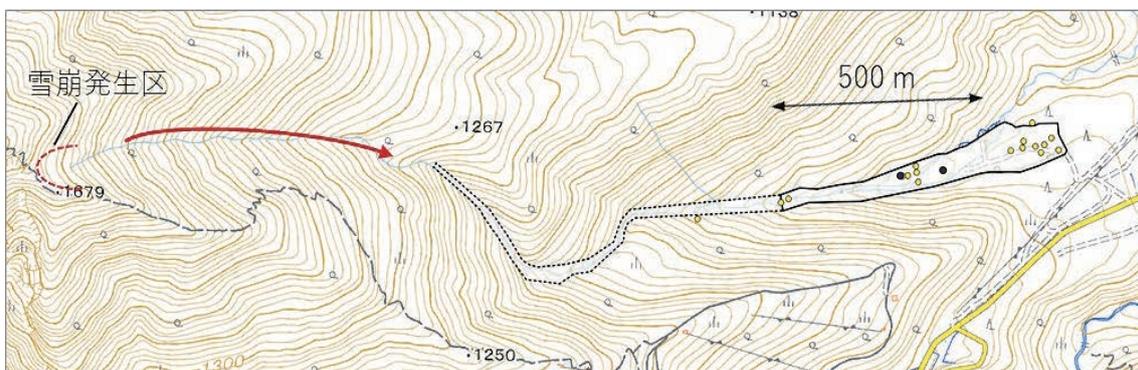


図2 雪崩の発生区と到達範囲(実線) ●:積雪深測定点 ●:断面観測点 (国土地理院地図を使用)

# 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<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, 現地の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)

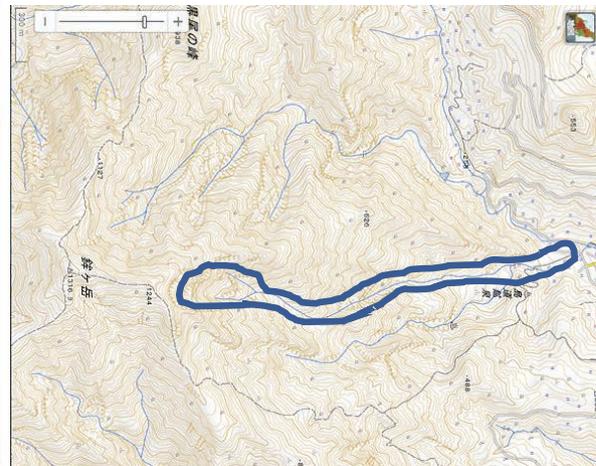


図2 雪崩の発生・流下状況

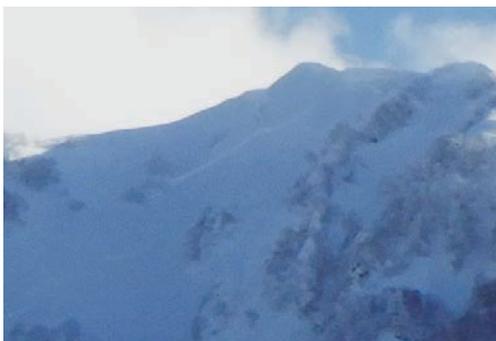


図3 面発生表層雪崩の破断面



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

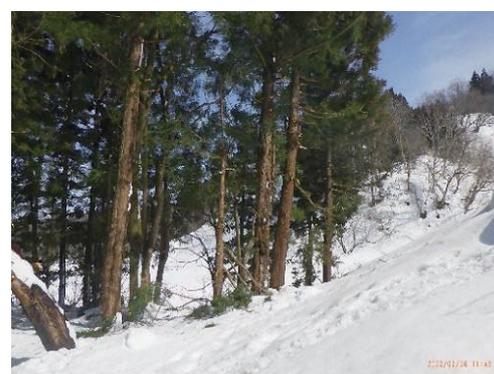


図8 雪崩による枝折れ

#### 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

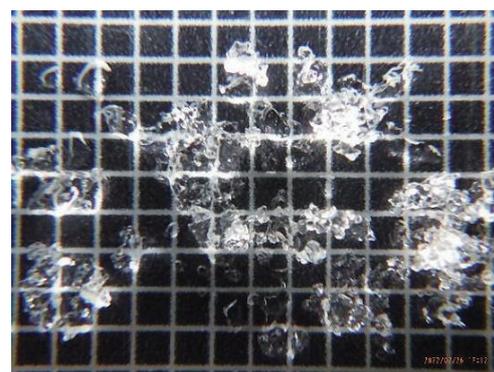


図10 結合の弱い乾いたざらめ雪

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)。

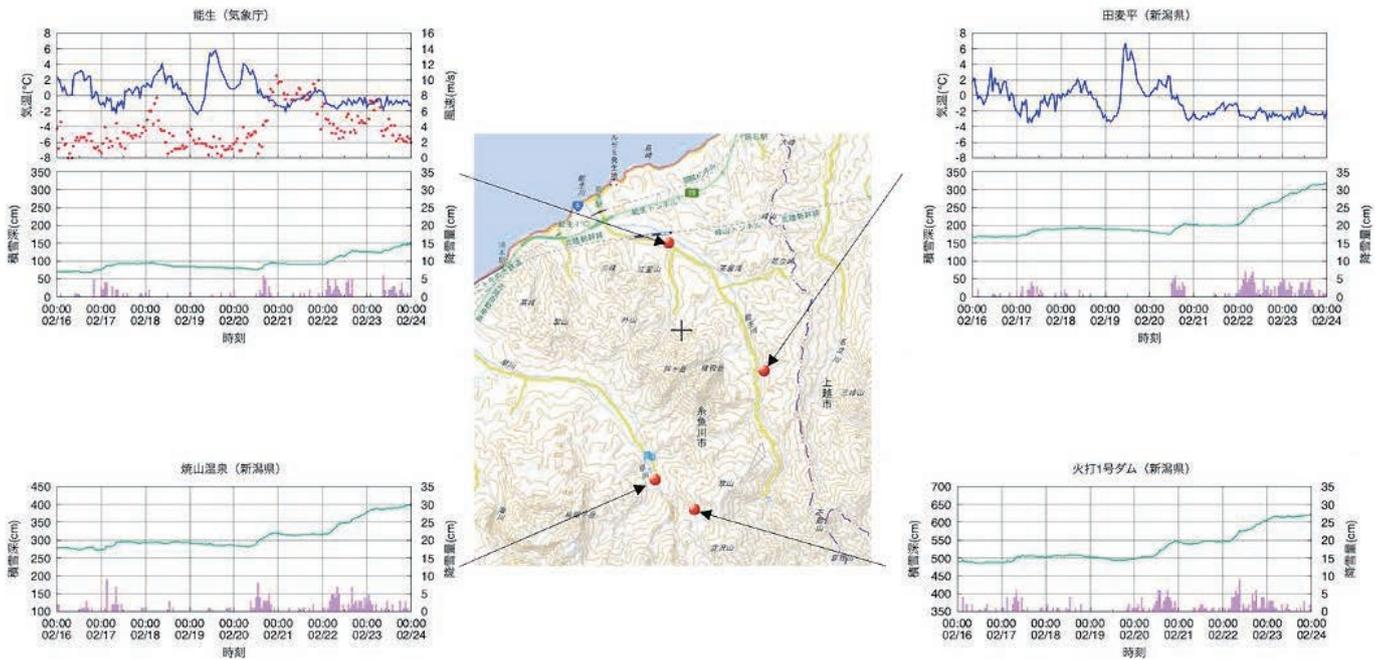


図 11 周辺観測点の気象積雪状況

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。

## 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<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。

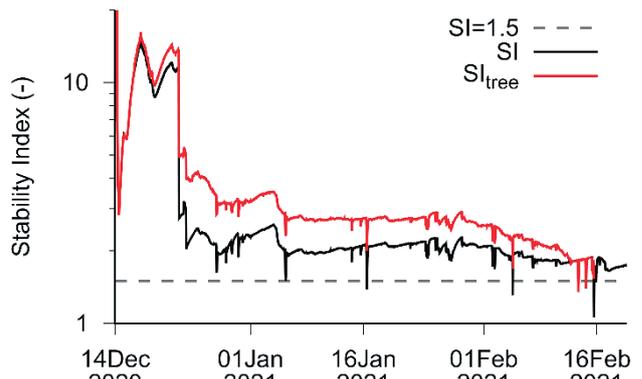


図1 積雪底面の積雪層の安定度の時間変化。赤実線が灌木の抵抗力を考慮したもの( $SI_{tree}$ )、黒実線が考慮しないもの(SI)。

### 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.

## 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<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.

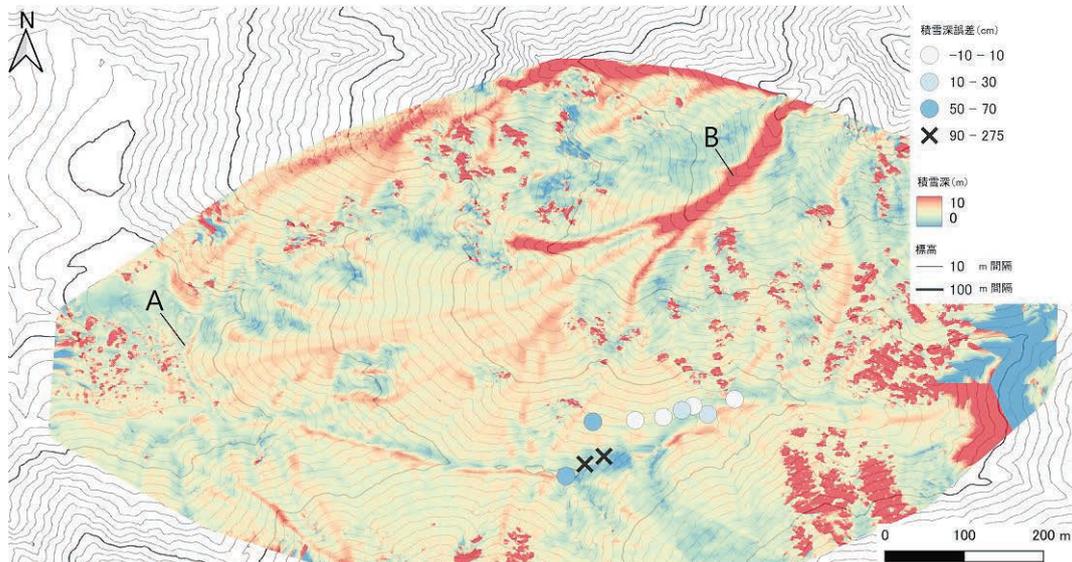


図1 UAVによる積雪深分布の計測結果(シェード)と測深棒による観測との差(○印と×印). 背景の等高線は使用したDEM.

## 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.

## 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<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もあり<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

# 6

## 「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。

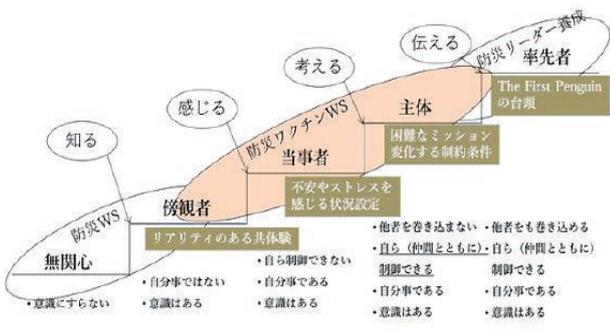


図1 主体性涵養の5段階モデル<sup>[4][5]</sup>

### 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、深堀りし、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。

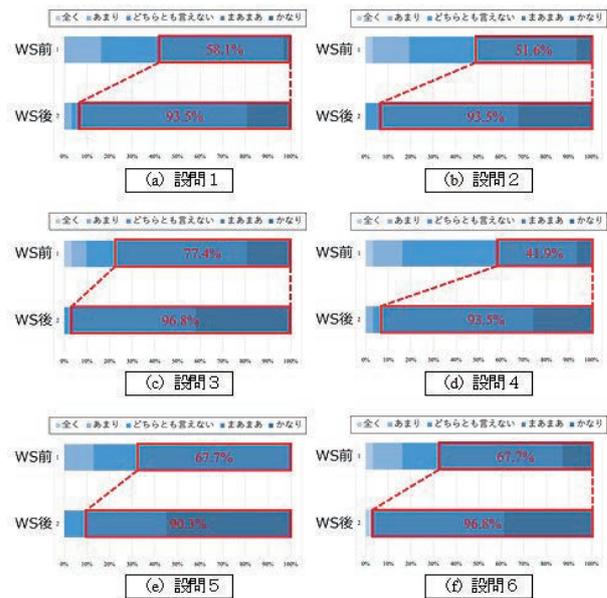


図2 各設問 回答結果

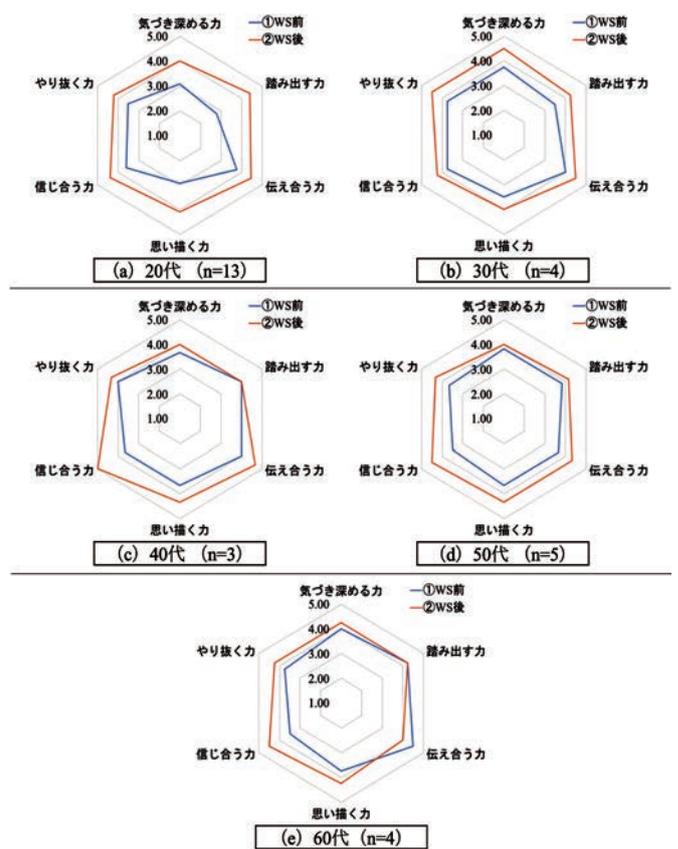


図3 年代別の回答分析結果

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。

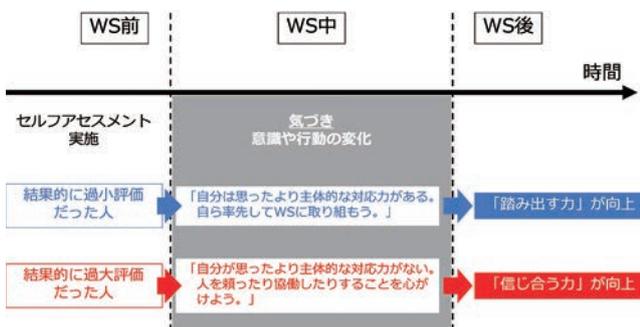


図4 自身の能力を過小/過大評価していた人の意識・行動の動線

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。

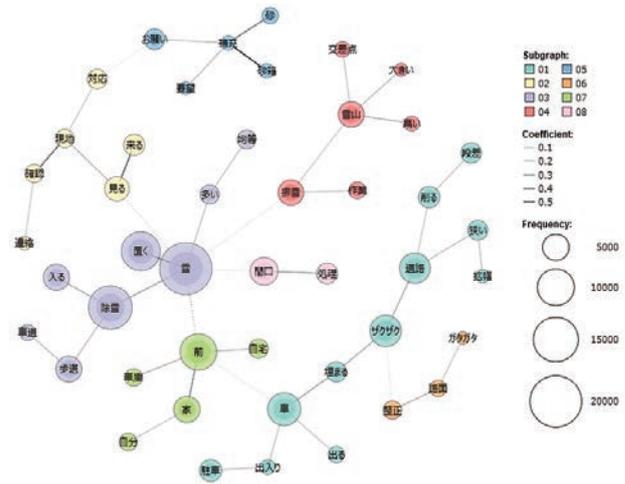


図 1 札幌市の要望・苦情の共起ネットワーク.

### 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>.

## 8

## 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	
		遅い	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つも通過し、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
	速い		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	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。

## 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<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、日報に記録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。

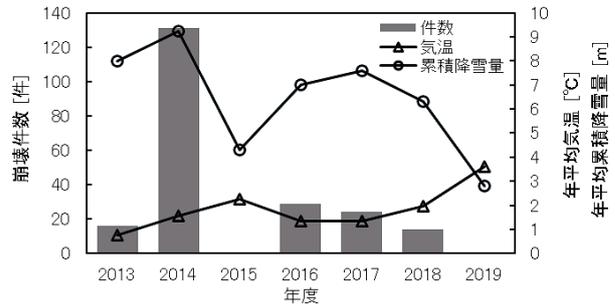


図2 年度ごとの雪堤崩壊件数と年平均気温および年平均累積降雪量の関係

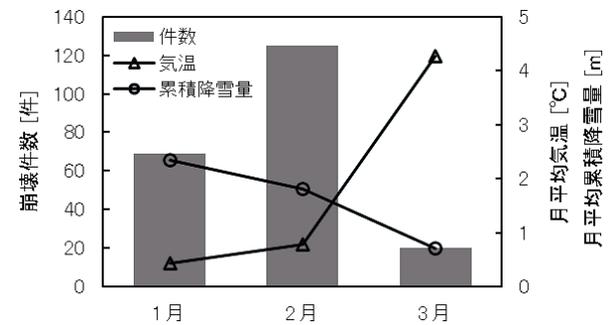


図3 月ごとの雪堤崩壊件数と月平均気温および月平均累積降雪量の関係（2013年度から2019年度）

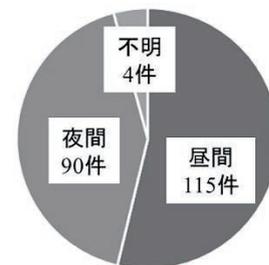


図4 雪堤崩壊件数と時間帯の関係

#### 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	長岡	24
9	越後川口 IC~小千谷 IC	7.9		
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		

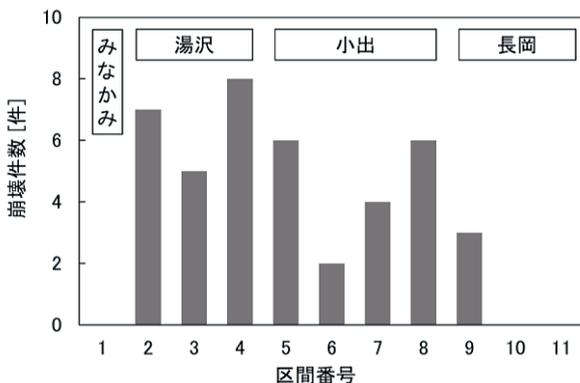


図 5 区間別の雪堤崩壊件数

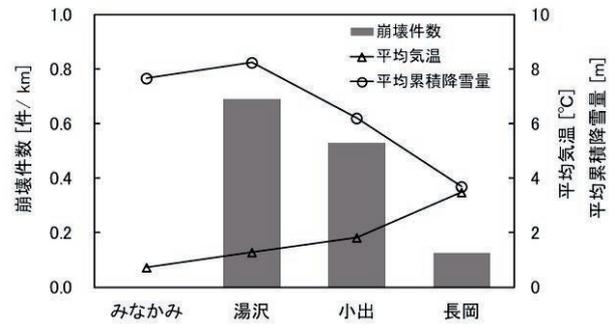


図 6 地区別の単位距離あたりの雪堤崩壊件数と平均気温および平均累積降雪量の比較

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。

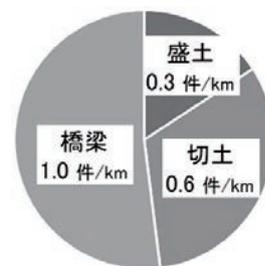


図 7 道路造成種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数の割合



図8 中央分離帯と路肩における雪堤崩壊件数

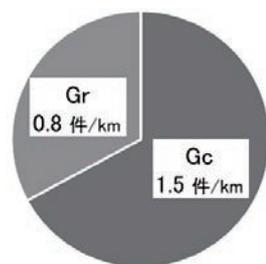


図9 中央分離帯の構造物種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数 (Gc:ガードケーブル, Gr:ガードレール)

#### 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&block\\_no=0529&year=&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php?prec_no=54&block_no=0529&year=&month=&day=&view=)

## 10

## 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,枠のもう半分の量の試料雪を入れ,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℃、雪の保存は-5℃、変形の観察は自然環境に合わせて3℃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。

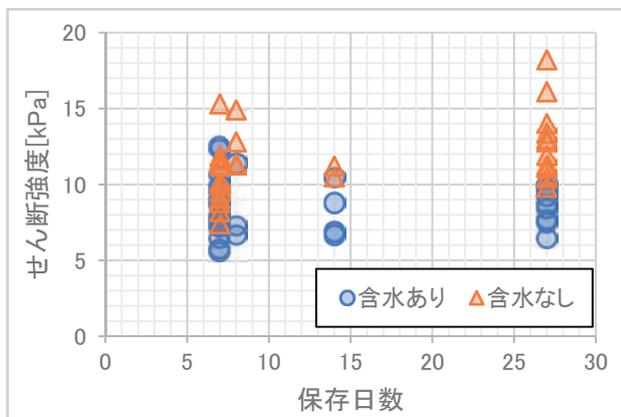


図1 含水の有無によるせん断強度の比較

#### 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。

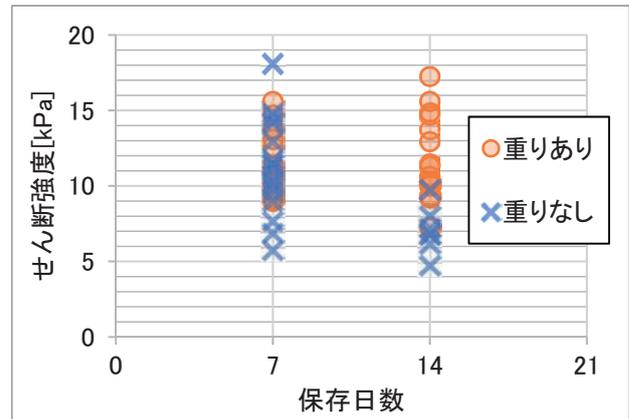


図2 せん断強度に対する加圧の影響

#### 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、地下水の過剰なく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[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。

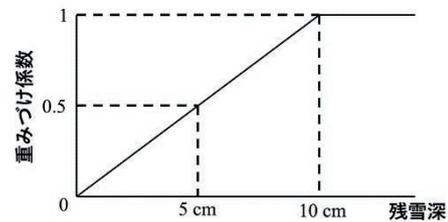


図1 重みづけ係数の計算

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。

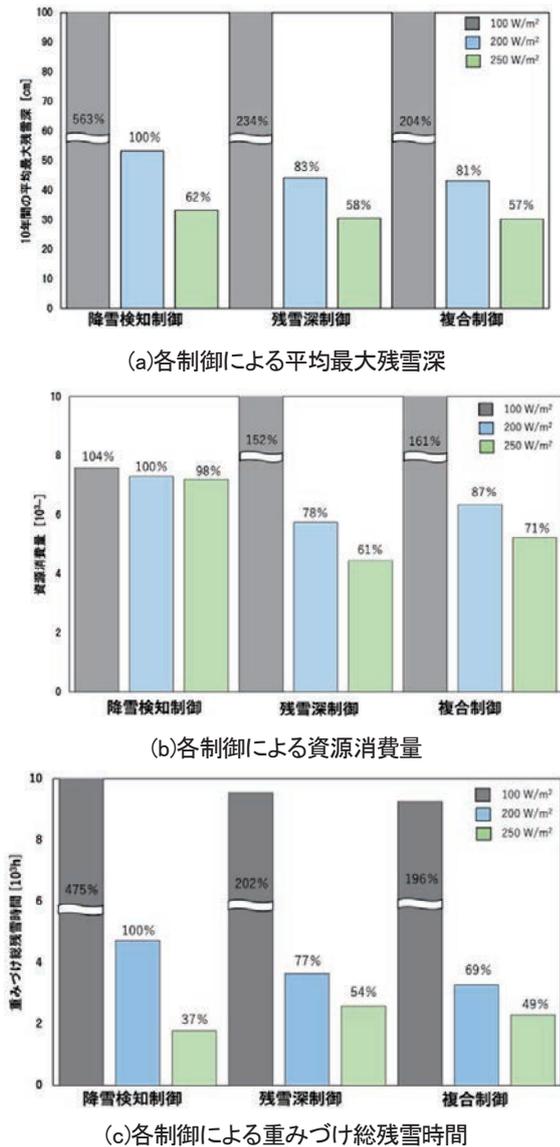


図2 出力一定時の各制御における融雪能力の比較

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。

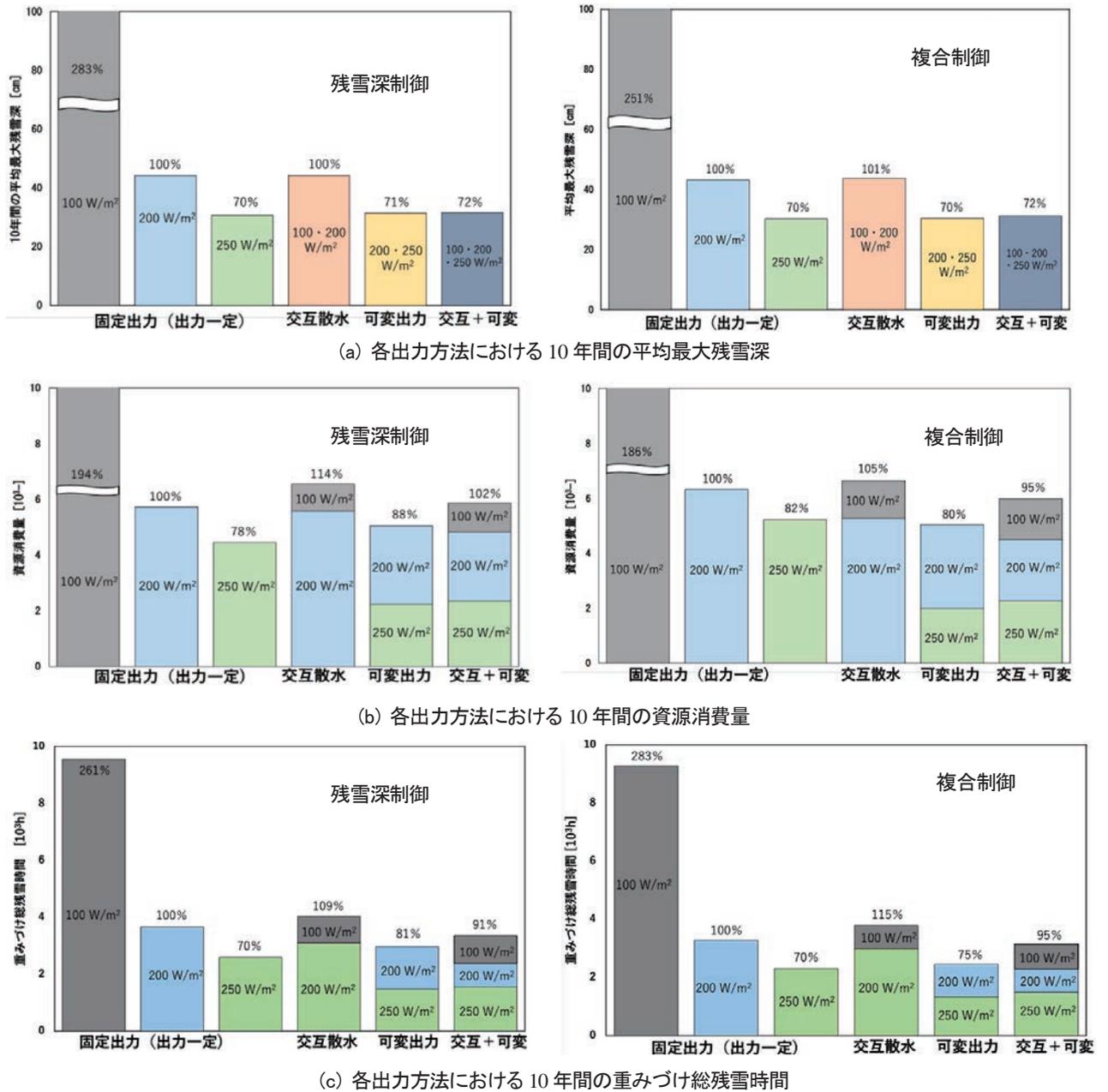


図3 残雪深制御と複合制御における各出力方法の融雪能力の比較

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>  
 [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

# 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<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。

### 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 ( $\text{mm} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) である。またディグリー・デー法に用いる基準

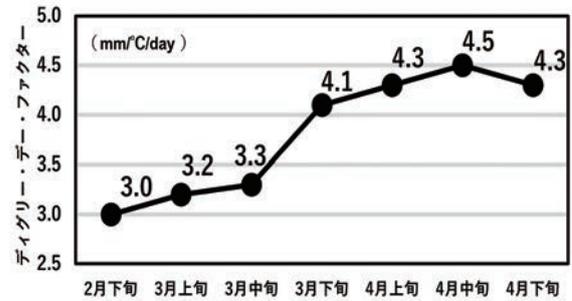


図1 デイグリー・デー・ファクターの旬平均値

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

ディグリー・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)を参考にして降水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  $A \cdot B \cdot C$  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ごとに降水量を気温によって雨雪に判別することで算出した。

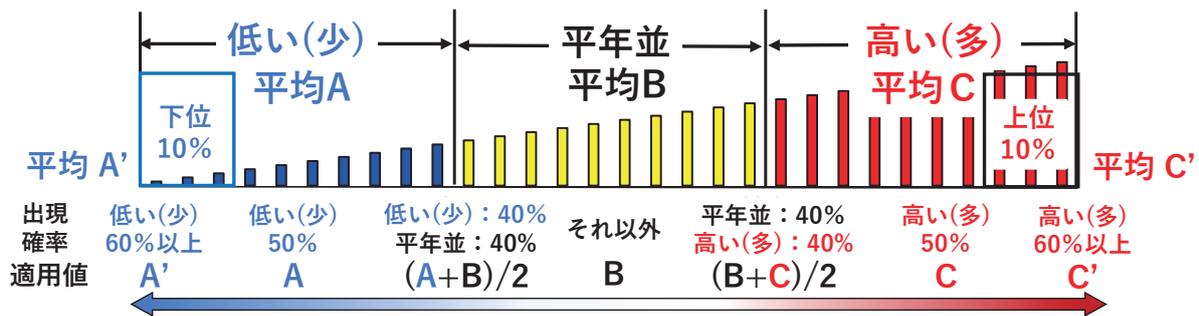


図2: 季節予報の出現確率に応じた気温・降雪水量の与え方

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

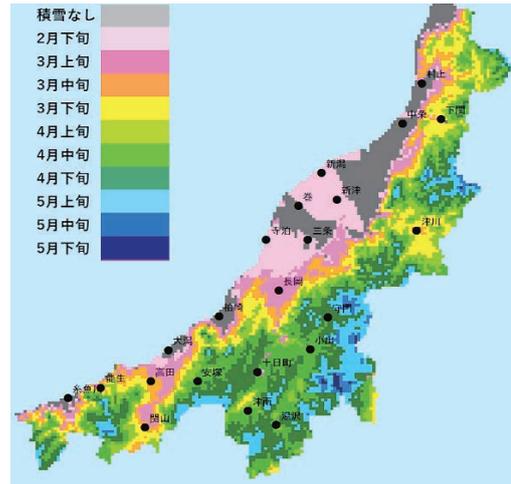


図3 新潟県の消雪日予測マップ(2/25予測)

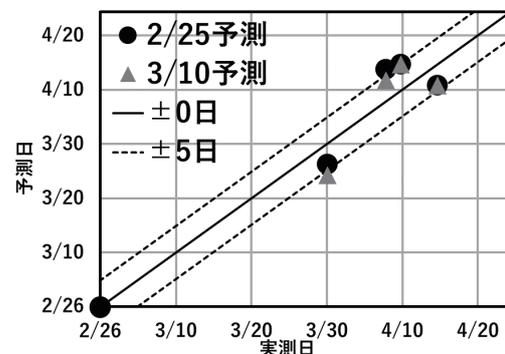


図4 十日町における予測と検証

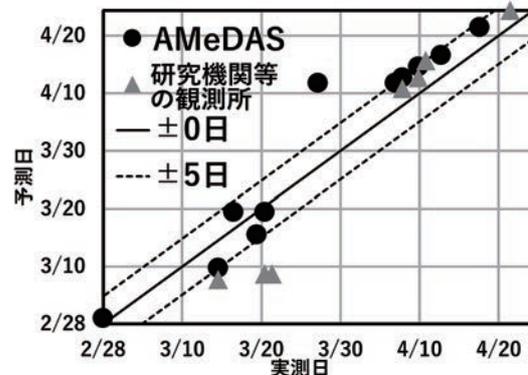


図5 雪おろシグナルを用いた予測と検証(2/25予測)

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。

## 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<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。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.

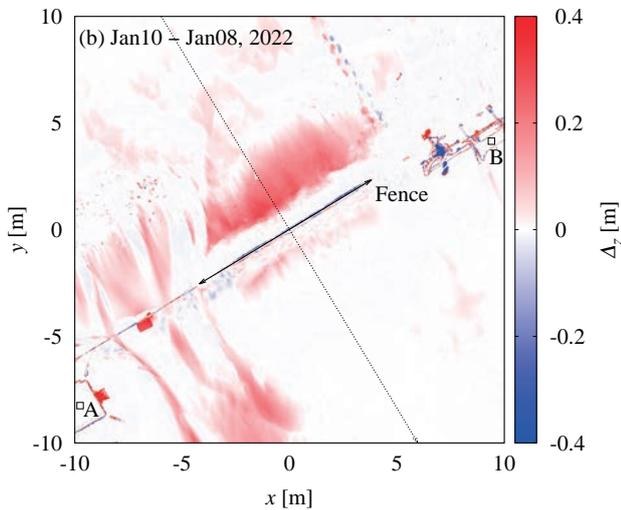


図 3 数値表層モデル(DSM)の差分から推定された吹きだまりの面的分布.

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.

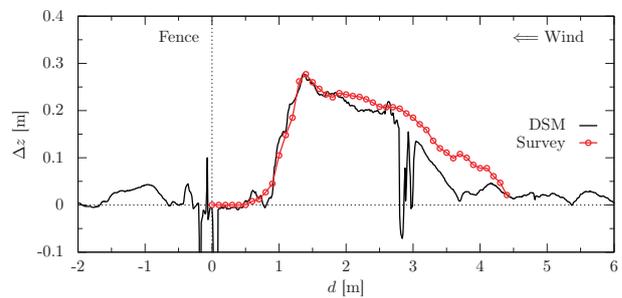


図 5 吹きだまり深さの比較:DSM 差分と実測.

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

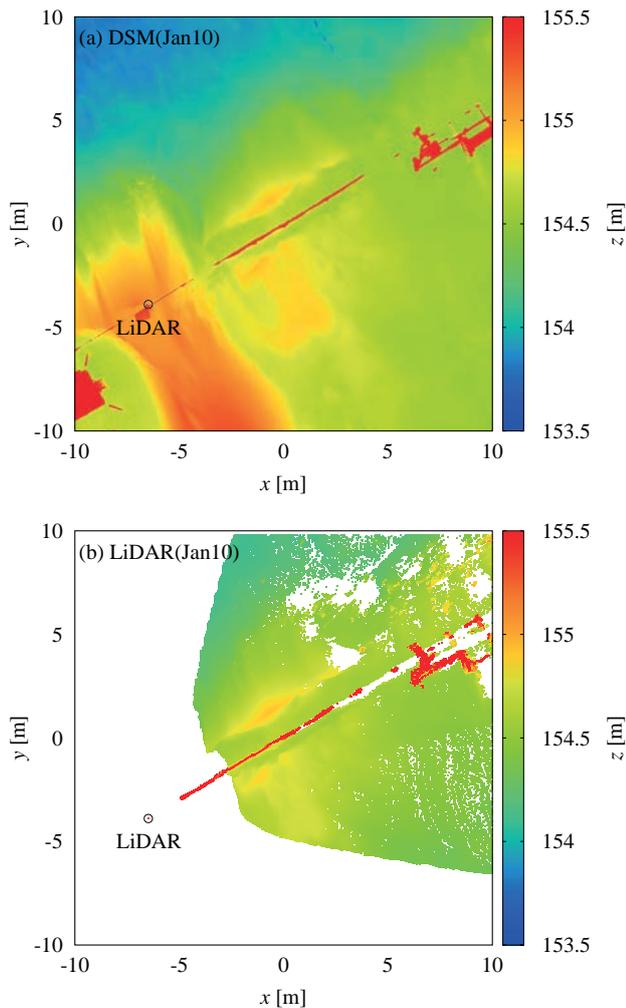


図 6 雪面と構造物の標高:(a) UAV-SfM, (b) LiDAR.

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° 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  $\epsilon$  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  $k-\epsilon$  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。

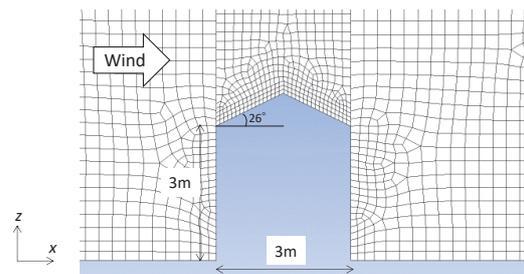


図1 解析対象。

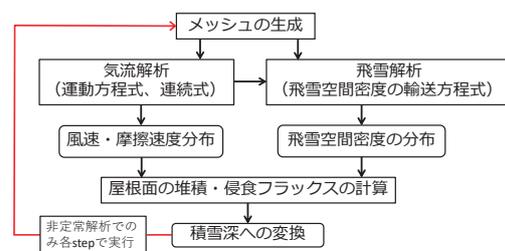


図2 積雪分布のCFD解析のフロー。

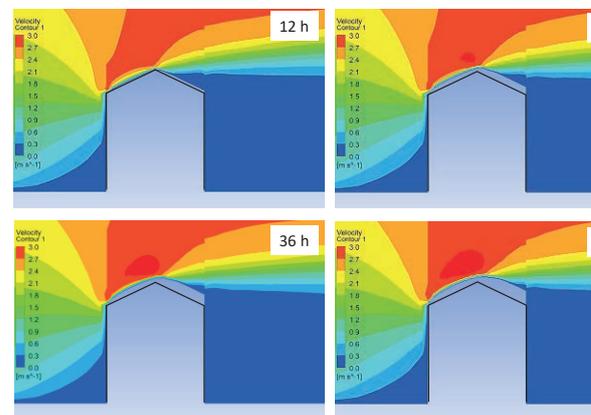


図3 時間経過による積雪と風速分布の変化。

$$C_d = \frac{S_l - S_w}{S_g} \tag{1}$$

$S_l, S_w$ : 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。

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

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。

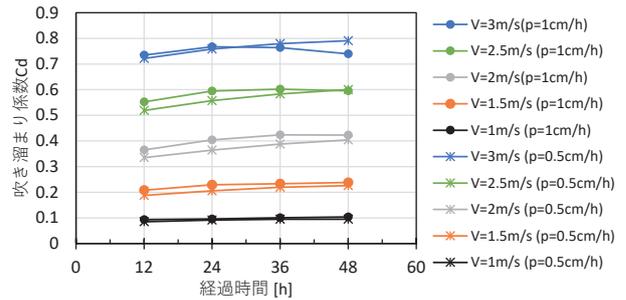


図4 非定常解析における吹き溜まり係数の変化。

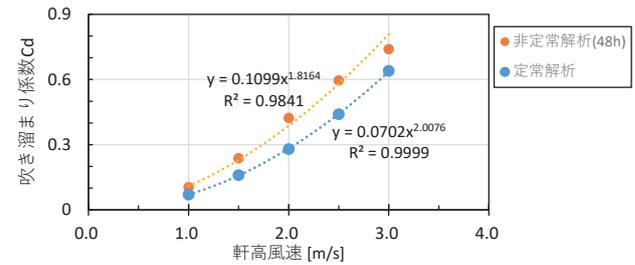


図5 風速と吹き溜まり係数の関係。

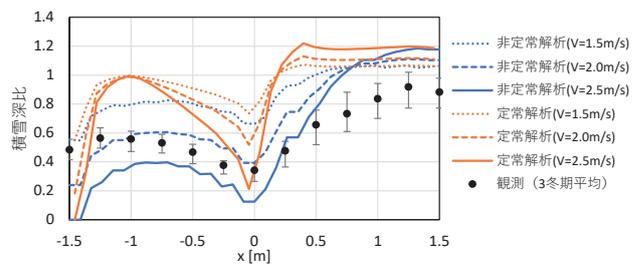


図6 屋根上の積雪深比の比較。

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°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.

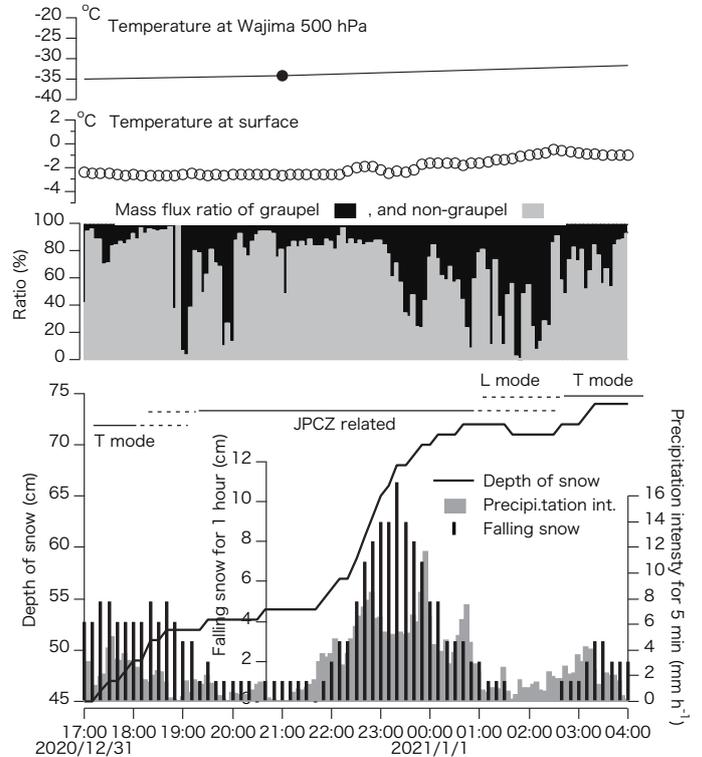


図1 強い降雪時の一例. 上空(500 hPa)及び地上の気温, 霰・非霰の割合, 積雪深, 前1時間の降雪, 降水強度(5分).

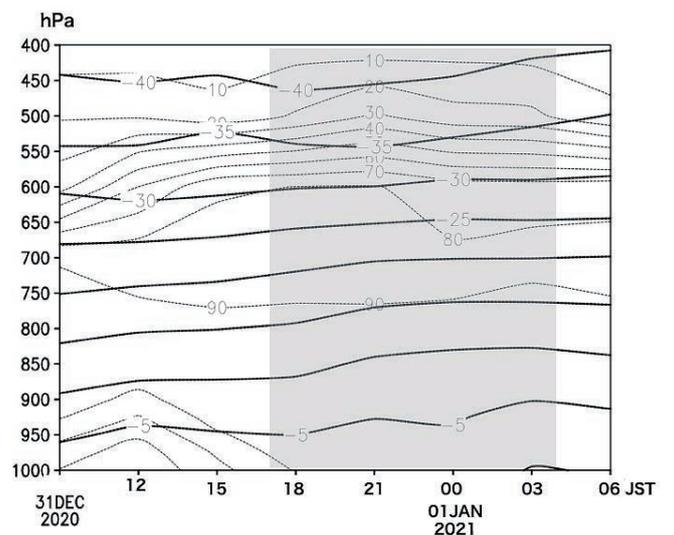


図2 SIRC 上空の温湿度断面(解析値を中心に再構成したMSM).

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.

# 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, 新潟県上中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。

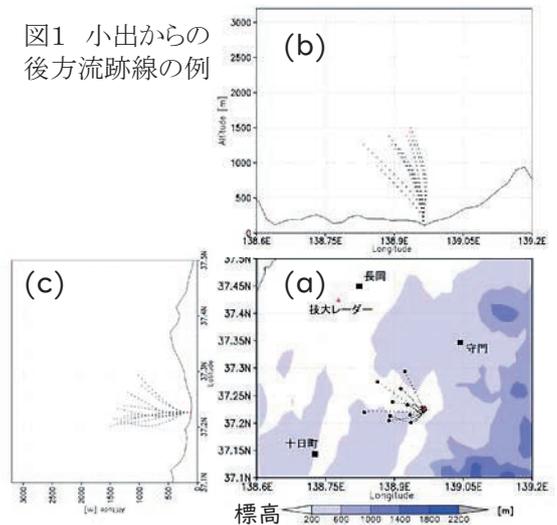


図1 小出からの後方流跡線の例

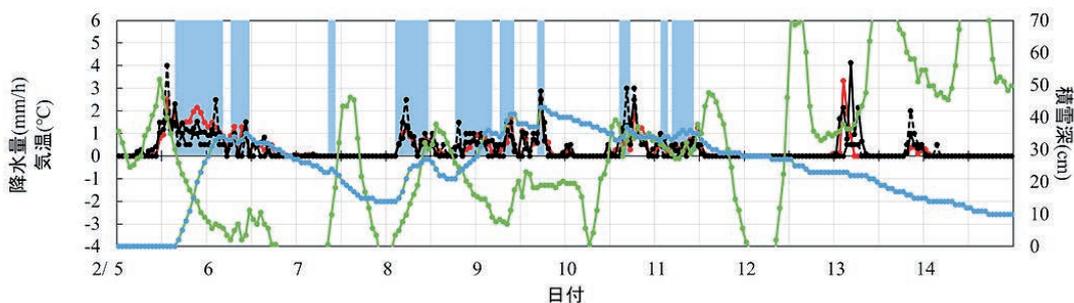


図2 小出での解析期間中の AMeDAS 降水量(実線), 後方流跡線解析降水量(赤線), 観測点直上のレーダー降水量(黒点線). 水色線は積雪深, 緑線は地上気温, 水色ハッチは気温2度以下で降雪速度  $1\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$  以上の雪片の降雪と推察される期間を示す。

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。

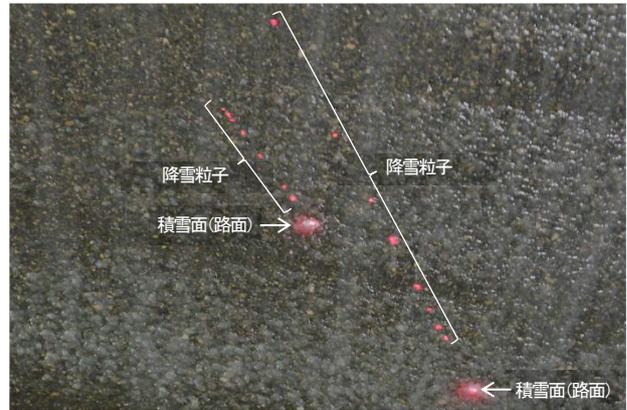


図 1 レーザー反射画像(合成)

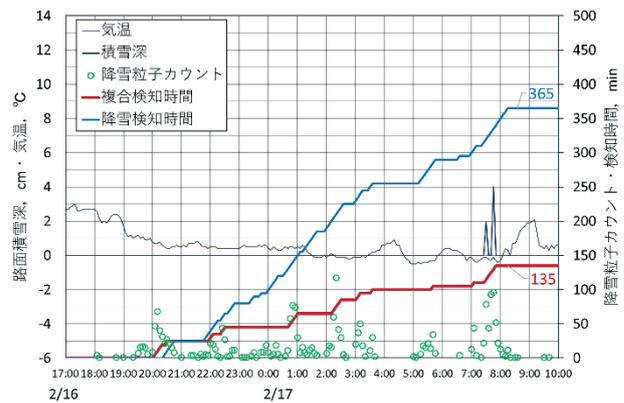


図 2 複合制御の検知状況

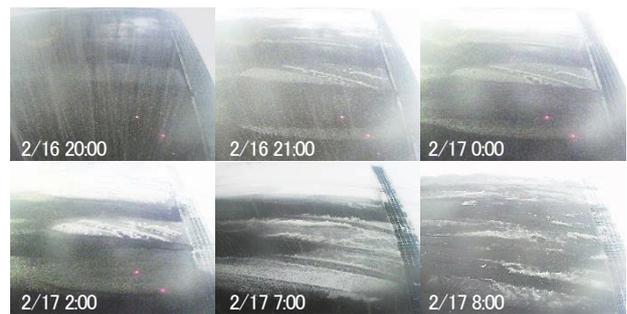


図 3 複合制御による消雪状況

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。

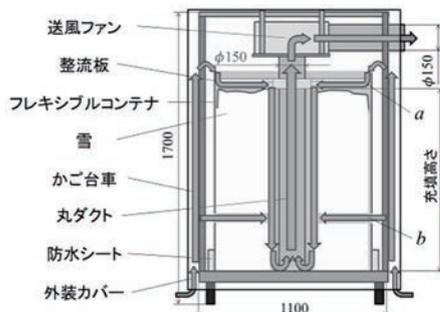


図1 可搬型雪冷房装置の概略図

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.

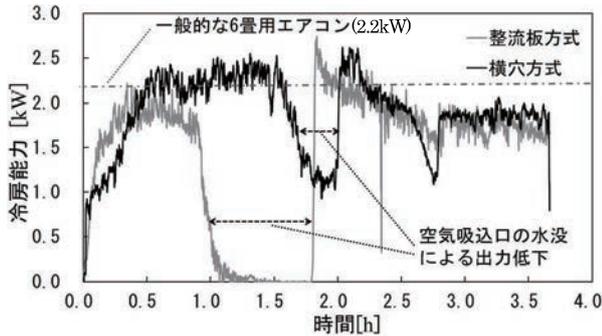


図2 各方式の冷房能力

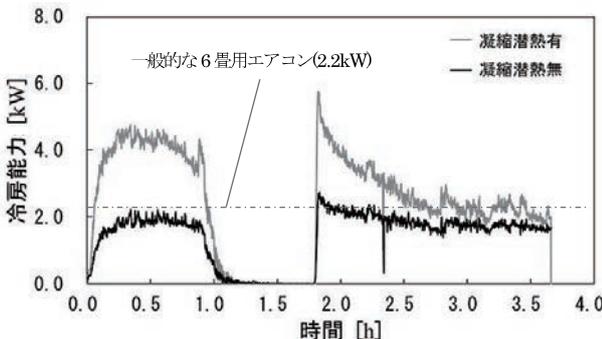


図3 整流板方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力

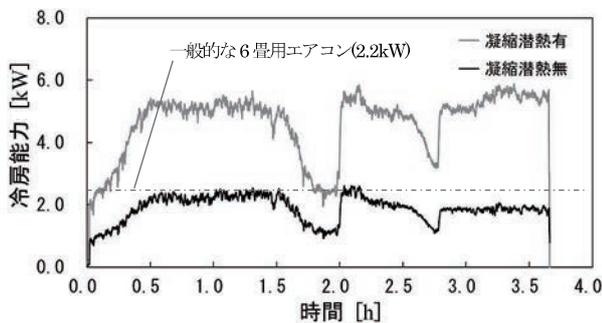


図4 横穴方式について凝縮潜熱を考慮した冷房能力

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.

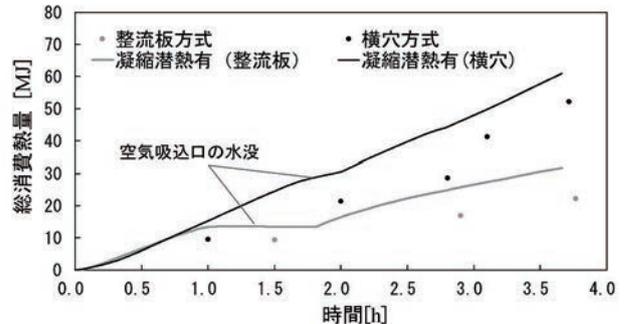


図5 融解水による熱量と凝縮潜熱を考慮した冷房能力

### 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°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 3mm の隙間があり, これにより放射冷却を実現している.

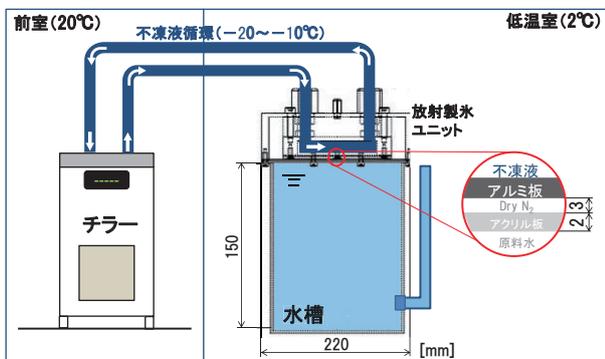


図1 製氷装置概略図

### 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).

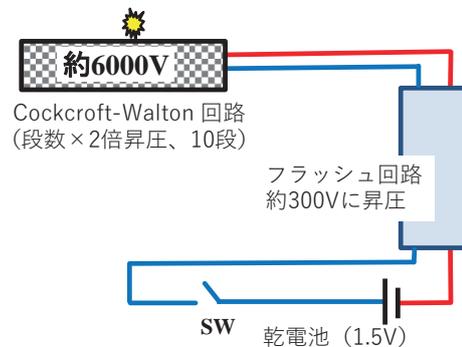


図3 高電圧パルス発生装置

#### 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。

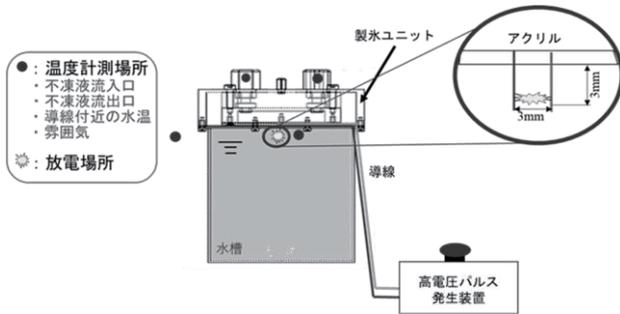


図4 電極の配置

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>。

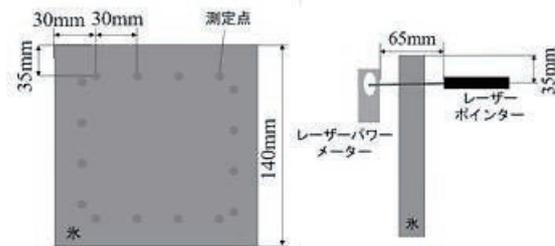


図6 透明度測定の概要図

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	64.3	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

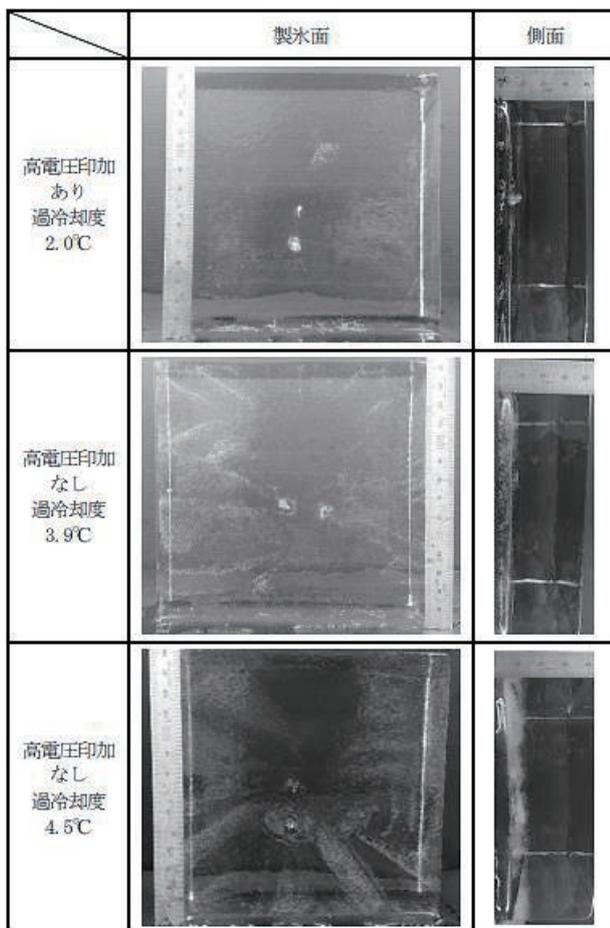


図7 透明度を評価した氷の外観

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):『氷水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, ハイクスローピアン, 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

## 2022 年度（公社）日本雪氷学会北信越支部

- ・ 2021 年度事業報告
- ・ 2021 年度収支決算報告
- ・ 2022 年度事業計画
- ・ 2022 年度予算計画
  
- ・ 北信越支部 支部規程施行内規
- ・ 北信越支部 表彰規程
- ・ 2021-22 年度北信越支部 役員
- ・ 北信越支部 特別・賛助・購読会員名簿

## 2021 年度日本雪氷学会北信越支部事業報告

### 1. 研究発表会

2021 年度北信越支部研究発表会・製品発表検討会 (2021 年度日本雪氷学会北信越支部大会)

日 時：2021 年 6 月 5 日 (土) 9:00～17:10

場 所：オンライン開催 (Zoom)

参加者：41 名 (申込数)

研究発表：25 件 (うち 1 件キャンセル)

プログラム：

開催にあたって 9:00～9:10

研究発表会 9:10～11:50

総 会 13:00～13:45

支部賞授賞式 13:45～14:15

研究発表会 14:20～17:10

### 2. 研修会等

#### 2.1 講演会

今年の雪速報会 2020-21

日 時：2021 年 6 月 3 日 (木) 14:00～17:10

場 所：オンライン開催 (Zoom)

主 催：NPO 法人水環境技術研究会

共 催：(公社) 日本雪氷学会北信越支部, (国研) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター, (一社) 北陸地域づくり協会

参加者：200 名

プログラム：

開催挨拶：陸旻皎 (水環境技術研究会)

第一部：今年の雪の気象学的特徴について 司会：勝島隆史 (森林総合研究所)

「北陸地方を中心とした 2020/21 冬の天候と降雪の特徴」：東屋義幸 (新潟地方気象台)

「2020/21 冬季の大雪をもたらした大気循環場の特徴」：本田明治 (新潟大学)

第二部：今年の雪への対応について 司会：吉田あみ (新潟県十日町地域振興局)

「令和 2 年 12 月関越道集中降雪による大規模な車両滞留を振り返って」：久保竜志 (東日本高速道路株式会社新潟支社)

「北陸地方整備局管内の冬期道路交通確保に向けた取り組みについて」：岩崎誠 (国土交通省北陸地方整備局)

「令和 3 年 3 月に発生した糸魚川来海沢地区の融雪地すべり災害」：岡本隆 (森林総合研究所)

「2020/21 冬期における雪おろシグナルの運用」：平島寛行 (防災科学技術研究所)

「屋根雪下ろしのアンカー問題」：木村浩和 (NPO 中越防災フロンティア/興和)

総合討論：瀬戸民枝 (新潟県糸魚川地域振興局)

閉会挨拶：北陸地域づくり協会

## 第2回全国地中熱フォーラム 2021 新潟

日 時：2021年10月19日（火）13:00～18:00

場 所：オンライン開催（Zoom）

共 催：新潟県地中熱利用研究会，NPO 地中熱利用促進協会

後 援：（公社）日本雪氷学会北信越支部，ほか多数のため省略

プログラム：

第1部：開会

開会挨拶：池野正志（第2回全国地中熱フォーラム 2021 新潟 実行委員長）

祝 辞：花角英世（新潟県知事）

基調講演：「アフターコロナは地域の時代！-これからの企業の在り方-」：伊藤聡子（フリーキャスター/事業創造大学院大学）

第2部：ゼロカーボン，SDGs と地中熱 -脱炭素社会実現に向けた地域での地中熱普及の役割-

「脱炭素の持続的社会的な実現に向けて地中熱はどのように貢献できるか」：笹田政克（NPO 地中熱利用促進協会）

「環境省における地球温暖化対策と地中熱利用への取り組み」：坪谷剛（環境省）

「カーボンニュートラルと地中熱」：田中健人（新潟県産業労働部）

「2035年脱炭素のまち・柏崎市 スタートに向けて」：佐藤徹（柏崎市市民生活部）

「次世代を担う高校生への地中熱教育」：齋藤浩之（新潟県地中熱利用研究会）

第3部：脱炭素社会に向けての再生可能エネルギー熱利用 -成功事例の紹介-

「雪氷熱の事例，下水熱の事例，地中熱の事例」：上村靖司（長岡技術科学大学）

閉会挨拶（本日の総括）：笹田政克（NPO 地中熱利用促進協会）

バーチャル展示会による説明会

## 2021年度雪と氷の不思議がいっぱい！わくわくオンライン展示講演会

日 時：2022年3月27日（日）13:00～16:00

場 所：オンライン開催（Zoom）

主 催：（公社）日本雪氷学会北信越支部

参加者：35名

プログラム：

オープニング

Dr. ナダレンジャーによる講演

オンライン展示講演のメニュー紹介

各種オンライン展示講演

「Dr. ナダレンジャーの科学実験教室 -25 mm の対流圏-」：Dr. ナダレンジャー

「空の虹色・大気光学現象実験」：藤野丈志（株式会社興和）

「オール百均グッズ版 スマホでばっちり雪結晶の透過光撮影」：加藤正明（長岡市立科学博物館）

- 「雪結晶の立体的な形を見てみよう」：本吉弘岐（防災科学技術研究所）  
「熱の透明マント」：堀雅裕（富山大学）  
「平松式ペットボトル人工雪発生装置」：富山大学杉浦研究室  
「凍ったポカ리를飲むと最初が甘いのはどうして？」：富山大学堀研究室

## 2.2 見学会

### 第26回雪形ウォッチング

新型コロナウイルス感染拡大防止のため現地開催中止

主催：国際雪形研究会，（公社）日本雪氷学会北信越支部

## 2.3 学習会

### 第14回雪氷防災研究センター・新潟地方気象台合同談話会

日時：2021年12月14日（火）13:15～16:00

場所：長岡震災アーカイブセンターきおくみらい多目的ホール

共催：（国研）防災科学技術研究所雪氷防災研究センター，新潟地方気象台，（公社）日本雪氷学会北信越支部

参加者：15名

プログラム：

開催挨拶：上石勲（防災科学技術研究所）

「スキー場を対象とした吹雪由来の雪崩危険度推定の取り組み」：田邊章洋（防災科学技術研究所）

「南極の地上観測について」：水野太治（新潟地方気象台）

「降雪短時間予報と新潟県における予報特性」：犬飼俊（新潟地方気象台）

「積雪重量分布情報「雪おろシグナル」の改良と応用」：平島寛行（防災科学技術研究所）

「観測所における観測環境区分の策定に関する気象庁の取り組みについて（積雪観測を中心に）」：蓼沼信三（新潟地方気象台）

閉会挨拶：蓼沼信三（新潟地方気象台）

## 2.4 講習会

### 積雪観測&雪結晶撮影講習会

日時：2021年12月18日（土）13:00～15:00

場所：オンライン開催（Zoom）

共催：（公社）日本雪氷学会北信越支部，（公社）日本雪氷学会関東・中部・西日本支部，（国研）防災科学技術研究所

参加者：125名

プログラム：

「雪結晶で読み解く雲の心」：荒木健太郎（気象研究所）

「雪結晶・積雪粒子撮影法」：藤野丈志（株式会社興和）

「積雪の変化と観測方法」：勝島隆史（森林総合研究所）

### 3. 普及・啓発

#### 3.1 支部ホームページの運営 (<https://www.seppyo.org/hse/>)

大会プログラム・予稿集の掲載, および学習会等イベントの広報などの情報を随時更新

#### 3.2 教育普及に関する共催事業

積雪観測&雪結晶撮影講習会

日 時: 2021年12月18日(土) 13:00~15:00

場 所: オンライン開催 (Zoom)

共 催: (公社)日本雪氷学会北信越支部, (公社)日本雪氷学会関東・中部・西日本支部,  
(国研)防災科学技術研究所

参加者: 125名

プログラム:

「雪結晶で読み解く雲の心」: 荒木健太郎 (気象研究所)

「雪結晶・積雪粒子撮影法」: 藤野丈志 (株式会社興和)

「積雪の変化と観測方法」: 勝島隆史 (森林総合研究所)

### 4. 2021年度北信越支部賞の表彰

大沼賞: 鈴木博人 (東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 担当部長 (防災))

「長期間にわたる鉄道の降積雪量記録の電子媒体化とそれを用いた解析」

雪氷奨励賞: 新屋啓文 (新潟大学研究推進機構超域学術院 助教)

「雪粒子の挙動に立脚した吹雪・雪崩・泥流の運動メカニズムの解明」

雪氷功労賞: 石坂雅昭 (防災科学技術研究所 客員研究員)

「日本の降雪と積雪の特徴を究明する先駆的研究の推進と支部運営, 雪氷学の啓発・普及に尽力した功績」

### 5. 出版事業

#### 5.1 支部機関誌

「雪氷北信越」第41号を7月に発行した。北信越支部ホームページにて公開。

### 6. 管理事項

#### 6.1 北信越支部総会

2021年6月5日(土), オンライン開催 (Zoom)

#### 6.2 理事・幹事会議

第1回理事・幹事合同会議: 2021年5月10日(月)~5月16日(日), 文書審議

第1回理事会議: 2021年6月5日(土), オンライン開催 (Zoom)

第2回理事会議: 2021年6月28日(月)~7月5日(月), 文書審議

第2回理事・幹事合同会議: 2021年12月16日(木), オンライン開催 (Zoom)

### 6.3 顧問・評議員会

2021年12月16日(木), オンライン開催 (Zoom)

## 2021 年度日本雪氷学会北信越支部収支決算報告

		2021年度予算 (A)	2021年度執行 (B)	増減 (B)-(A)		
<b>収入</b>		<b>265,000</b>	<b>153,451</b>	<b>△ 111,549</b>		
会費収入	支部会員費	0	0	0		
事業収入	研究発表会収入	35,000	0	△ 35,000		
	研修会講演会等収入	10,000	0	△ 10,000		
	出版収入	10,000	5,560	△ 4,440		
	北信越支部機関誌					
雑収入		0	0	0		
本部からの繰り入れ		210,000	147,891	△ 62,109		
<b>支出</b>		<b>265,000</b>	<b>153,451</b>	<b>△ 111,549</b>		
<b>事業費</b>		<b>事業費計 172,000</b>	<b>143,941</b>	<b>△ 28,059</b>		
1	調査・研究	0	0	0		
2	研究会研修会	研究発表会	北信越支部大会	70,000	22,002	△ 47,998
		研修会等	講演、見学、学習会	2,000	0	△ 2,000
	普及・啓発	教育普及事業	25,000	31,550	6,550	
	褒賞	北信越支部褒賞費	25,000	35,780	10,780	
3	出版事業	支部機関誌	北信越支部機関誌	50,000	54,609	4,609
		その他出版		0	0	0
<b>管理費</b>		<b>管理費計 93,000</b>	<b>9,510</b>	<b>△ 83,490</b>		
	事務局費	8,000	6,050	△ 1,950		
	会議費	85,000	3,460	△ 81,540		
	支払手数料	0	0	0		
	役員選挙費	0	0	0		
	雑費	0	0	0		

## 2022 年度日本雪氷学会北信越支部事業計画

事業分類	事業小分類	事業名	担当
1 調査・研究	調査		
	研究		
2 研究会研修会	研究発表会	北信越支部 研究発表会・製品発表検討会の開催(長岡市またはオンライン)	北信越支部
	研修会等	北信越支部 講演会の開催(2回) 北信越支部 見学会の開催(1回) 北信越支部 学習会の開催(3回) 北信越支部 積雪観測講習会の開催(1回)	北信越支部 北信越支部 北信越支部 北信越支部
	普及・啓発	北信越支部 ホームページの運営 北信越支部 教育普及に関する事業の開催(2回)	北信越支部 北信越支部
	褒賞	2022年度北信越支部賞の表彰	北信越支部
3 出版事業	学会誌		
	支部等機関誌	北信越支部 機関誌「雪氷北信越」42号の刊行	北信越支部
4 その他	管理事項	北信越支部 支部総会の開催	北信越支部
		北信越支部 理事・幹事合同会議の開催	北信越支部
		北信越支部 顧問・評議委員会の開催	北信越支部

## 2022 年度日本雪氷学会北信越支部予算計画

		2021年度予算 (A)	2022年度予算 (B)	増減 (B)-(A)
<b>収入</b>		<b>265,000</b>	<b>288,000</b>	<b>23,000</b>
会費収入	支部会員費	0	0	0
事業収入	研究発表会収入	35,000	35,000	0
	研修会講演会等収入	10,000	10,000	0
	出版収入	10,000	10,000	0
雑収入		0	0	0
本部からの繰り入れ		210,000	233,000	23,000
<b>支出</b>		<b>265,000</b>	<b>288,000</b>	<b>23,000</b>
<b>事業費</b>		<b>172,000</b>	<b>195,000</b>	<b>23,000</b>
1調査・研究		0	0	0
2研究会研修会	研究発表会	70,000	70,000	0
	研修会等	2,000	25,000	23,000
	普及・啓発	25,000	25,000	0
	褒賞	25,000	25,000	0
3出版事業	支部機関誌	50,000	50,000	0
	その他出版	0	0	0
<b>管理費</b>		<b>93,000</b>	<b>93,000</b>	<b>0</b>
事務局費		8,000	8,000	0
会議費		85,000	85,000	0
支払手数料		0	0	0
役員選挙費		0	0	0
雑費		0	0	0

## 公益社団法人日本雪氷学会北信越支部 支部規程施行内規

- 第1条 本支部は、公益社団法人日本雪氷学会支部規程第1条に基づき、公益社団法人日本雪氷学会北信越支部と称する。
- 第2条 本内規は、支部規程第2条2項に基づき、本支部における支部規程の施行に必要な事項を定めるものである。
- 第3条 本支部の会員は、北信越地方（新潟県、長野県、富山県、石川県、福井県）に在住する公益社団法人日本雪氷学会の会員とする。また、他支部に所属する会員であっても、本支部に所属することを希望する場合は、重複所属することを妨げない。
- 第4条 本支部に次の役員をおく。
- |       |                  |
|-------|------------------|
| 支部長   | 1名               |
| 副支部長  | 若干名              |
| 支部顧問  | 若干名              |
| 支部評議員 | 若干名              |
| 支部理事  | 若干名（副支部長、幹事長を含む） |
| 支部監事  | 2名               |
| 支部幹事  | 若干名              |
- 第5条 支部長は、支部からの推薦に基づき、定款施行細則第28条により、定款第20条に定める理事の中から理事会において選出する。
- 第6条 副支部長、支部理事および支部監事は支部総会において、支部会員の中から選任する。
- 第7条 支部の幹事長は支部理事の中から支部長が委嘱する。支部幹事は支部会員の中から支部長が委嘱する。
- 第8条 支部長は本支部を代表しその会務を総理する。
- 第9条 副支部長は支部長に事故ある場合、その職務を代行する。
- 第10条 支部理事会は支部長、副支部長、支部理事で構成され、支部会務執行に必要な協議を行う。支部理事会の議長は支部長とする。
- 第11条 支部監事は支部の事業ならびに会計を監査する。
- 第12条 支部幹事会は幹事長、幹事で構成され、支部長の命を受けて支部事業の企画及び会計ならびにその他の会務を処理する。
- 第13条 支部長の任期は2年とする。ただし連続する2期を超えて在任することはできない。支部長を除く役員は任期は2年とする。ただし再任を妨げない。その他は定款第24条の定めるところによる。
- 第14条 支部顧問および支部評議員は支部理事会の議決を経て支部長がこれを委嘱する。支部顧問及び支部評議員は本支部の発展に寄与するものとする。
- 第15条 本支部は毎年1回定時総会を開くほか必要に応じ臨時総会を開く。
- 第16条 総会においては下記事項の承認を受けなければならない。
- 事業報告・収支決算報告
  - 事業計画・予算案
  - 役員決定
  - 支部規程施行内規の変更
  - その他重要な事項
- 第17条 本支部の事業年度は毎年4月より翌年3月までとする。

## 附 則

本内規は2013年5月11日より施行する。

## 公益社団法人日本雪氷学会北信越支部 表彰規程

1. 本規程は、主として北信越地方において雪氷に関し下記の貢献をした者を表彰することを目的とする。
2. 支部長は、受賞者を選定するために受賞候補者選定委員会（以降、委員会という）を設ける。
3. 委員会は、数名をもって組織し、支部長が会員の中からこれを委嘱する。
4. 支部長は、毎年会員に下記の賞に該当する候補者の推薦を求める。
  - (1) 雪氷技術賞：克雪・利雪など雪氷に関する新しい技術を確立したものに贈る。
  - (2) 大沼賞：長年にわたる観測データの集録など、雪氷に関する地道な貢献を行ったもの、もしくは雪氷研究に関して斬新なアイデアを生み出したものに贈る。
  - (3) 雪氷奨励賞：雪氷学の研究に顕著な成果をあげ、今後の発展を奨励することが適当と考えられるものに贈る。
  - (4) 雪氷功労賞：支部の発展に著しい貢献をしたものに贈る。ここで、雪氷技術賞、大沼賞の受賞者は本規程の趣旨に添う者であれば、会員・非会員を問わないものとする。  
雪氷奨励賞と雪氷功労賞の受賞者は会員に限るものとする。
5. 候補者の推薦は、下記の項目を記載した書類を支部事務局に提出するものとし、その締め切りを毎年3月15日とする。
  - (1) 雪氷技術賞、大沼賞、雪氷奨励賞、雪氷功労賞の区別
  - (2) 推薦者の氏名、所属、職名
  - (3) 受賞候補者の氏名（または団体名）、所属、職名。
  - (4) 推薦理由書（○○○の功績、などの受賞表題を挙げ、800字ほどにまとめたもの）。
  - (5) 上記の理由書を証明する関係書類があれば添付する。
6. 委員会は、推薦書類を検討し、その年の受賞者を項目ごとに1~2件選定し、支部長に報告する。受賞者は、支部理事会の承認を得て決定する。
7. 各賞は賞状とし、支部定時総会においてこれを贈呈する。

### 附 則

本規程は2013年5月11日より施行する。

本規程は2018年6月2日に改正する。

## 2021-22 年度 公益社団法人日本雪氷学会北信越支部 役員

(\* 本部理事)

## 支部長

河島克久\* 新潟大学災害・復興科学研究所所長・教授

## 副支部長

杉浦幸之助 富山大学学術研究部都市デザイン学系教授

竹内由香里 森林総合研究所十日町試験地長

## 支部顧問

花角英世 新潟県知事

新田八朗 富山県知事

大塚昇一 小千谷市長

関口芳史 十日町市長

宮元 陸 加賀市長

梅村晃由 長岡技術科学大学名誉教授

神田健三 中谷宇吉郎雪の科学館顧問

和田 惇 元北陸建設弘済会理事長

## 支部評議員

小岩徹郎 新潟県知事政策局長

出来田肇 富山県生活環境文化部長

高橋英樹 小千谷市建設課長

吉田健一 十日町市建設部長

古川義純 中谷宇吉郎雪の科学館館長

池野正志 (株) 興和代表取締役社長/新潟県融雪技術協会会長

石坂雅昭 防災科学技術研究所客員研究員

和泉 薫 新潟大学名誉教授

遠藤八十一 国際雪形研究会代表/元森林総合研究所十日町試験地主任

川田邦夫 雪環境研究塾塾長/富山大学名誉教授

佐藤和秀 長岡工業高等専門学校名誉教授

新屋 輝 北陸電力送配電(株) 電力流通部送電チーム統括課長

鈴木啓助 信州大学名誉教授・特任教授/大町山岳博物館館長

竹井 巖 元北陸大学薬学基礎教育センター教授

古川大助 (株) アルゴス代表取締役

町田 誠 町田建設(株) 代表取締役

丸山敏介 新潟電機(株) 代表取締役

横山宏太郎 元中央農業総合研究センター

## 支部理事

勝島隆史\* 森林総合研究所十日町試験地主任研究員

上石 勲 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター特任参事

上村靖司\* 長岡技術科学大学機械創造工学専攻教授

熊倉俊郎 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻准教授

齋藤隆幸	(株) スノーテック新潟代表取締役
島田 亙	富山大学学術研究部理学系准教授
瀬戸民枝	新潟県魚沼地域振興局地域整備部部長
中井専人	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター総括主任研究員
堀 雅裕	富山大学学術研究部都市デザイン学系教授
本田明治	新潟大学理学部教授
本吉弘岐*	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主任研究員
松元高峰*	新潟大学災害・復興科学研究所特任准教授
山口 悟*	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター総括主任研究員
山田忠幸	山田技研株式会社代表取締役
渡辺幸一	富山県立大学工学部教授

**支部監事**

飯田 肇	立山カルデラ砂防博物館学芸課長
長峰 聡	元新潟地方気象台観測予報グループ

**支部幹事長**

本吉弘岐*	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主任研究員
-------	--------------------------

**支部幹事**

	<sup>1)</sup> 庶務, <sup>2)</sup> 会計, <sup>3)</sup> 雪氷北信越編集, <sup>4)</sup> 支部だより, <sup>5)</sup> HP の各担当者
伊藤陽一 <sup>3)</sup>	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主幹研究員
小川克昌	(有) アサップ代表取締役
加藤 務	テクノかとう代表
加藤正明	長岡市立科学博物館学芸員
木戸瑞佳	富山県環境科学センター副主幹研究員
佐々木明彦	国土館大学文学部准教授
杉原幸信	長岡技術科学大学機械創造工学専攻助教
砂子宗次朗	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター研究員
新屋啓文 <sup>1)</sup>	新潟大学災害・復興科学研究所准教授
浜田 崇 <sup>2)</sup>	長野県環境保全研究所自然環境部主任研究員
平島寛行 <sup>5)</sup>	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主任研究員
福井幸太郎	立山カルデラ砂防博物館主任学芸員
藤野丈志	(株) 興和水工部技師長
藤本明宏	福井大学学術研究院工学系部門准教授
町田 敬 <sup>4)</sup>	町田建設(株) 取締役
皆巳幸也	石川県立大学生物資源環境学部准教授
村井昭夫	石川県立大学客員研究員
吉田あみ	新潟県十日町地域振興局地域整備部治水課主任

## 公益社団法人日本雪氷学会北信越支部 特別・賛助・購読会員

## 特別会員 (5)

富山県	930-8501	富山市新総曲輪1-7	生活環境文化部県民生活課 水雪土地対策班
新潟県	950-0965	新潟市中央区新光町4-1	総務管理部地域政策課雪対策室
小千谷市	947-8501	小千谷市城内2-7-5	建設課
加賀市	922-0411	加賀市潮津町イ106番地	中谷宇吉郎雪の科学館
十日町市	948-8501	十日町市千歳町3-3	建設課

## 賛助会員 (11)

(株) アルゴス	944-0009	妙高市東陽町1-1
(有) アサップ	944-0005	妙高市中川3-5
(株) 興和	950-8565	新潟市中央区新光町6-1
(株) 上越観光開発	949-6431	南魚沼市樺野沢112-1
セキド新潟上越(株) フォトオフィスオーター	943-0171	上越市藤野新田336-1
長岡舗道(株)	940-2115	長岡市下山町651-1
新潟電機(株)	940-1101	長岡市沢田1-3535-41
(株) ネクスコ・エンジニアリング新潟	950-0916	新潟市中央区米山5-1-35
北陸電力送配電(株)	930-8686	富山市牛島町15-1
(株) 星野工業	946-0024	魚沼市中原65-1
町田建設(株)	949-6407	南魚沼市島新田374

## 購読会員 (12)

石川県林業試験場	920-2114	白山市三宮町ホ1
国土交通省北陸地方整備局	950-8801	新潟市中央区美咲町1-1-1
国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	950-1101	新潟市西区山田2310-5
清明堂書店	930-0083	富山市総曲輪3-2-24
富山県農林水産総合技術センター 森林研究所	930-1362	中新川郡立山町吉峰3番地
長野県林業総合センター	399-0711	塩尻市大字片丘字狐久保5739
新潟県森林研究所	958-0264	村上市鶴渡路2249-5
新潟大学 学術情報部	950-2181	新潟市西区五十嵐二の町8050
福井工業大学 図書館	910-8505	福井市学園3-6-1
福井雪技術研究会	910-8507	福井市文京3-9-1 福井大学学術研究工学系部門
(国研) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター	940-0821	長岡市栖吉町前山187-16
(株) 北国書林 外商部	921-8112	金沢市長坂2-12-16

雪氷北信越編集委員

本吉 弘岐 (委員長)・伊藤 陽一・新屋 啓文・浜田 崇・平島 寛行・町田 敬

(公社) 日本雪氷学会北信越支部ホームページ

<https://www.seppyo.org/hse/>

**SEPPYO HOKUSHIN'ETSU**

Journal of Hokushin'etsu Branch of Japanese Society of Snow and Ice

**No. 42** July 2022

Editor and Publisher: Hokushin'etsu Branch, Japanese Society of Snow and Ice

Office: Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience  
187-16 Suyoshi, Nagaoka 940-0821, Japan

**雪氷北信越 第 42 号**

編集・発行：(公社) 日本雪氷学会北信越支部

事務局：防災科学技術研究所雪氷防災研究センター気付

〒940-0821 長岡市栖吉町前山 187-16

印刷所：富士印刷株式会社

〒950-1233 新潟市南区保坂字岡下 353-1

発行年月日：2022 年 7 月 31 日

©2022 (公社) 日本雪氷学会

掲載された記事の著作権は (公社) 日本雪氷学会に属する。

(表紙題字：大沼匡之)