

# 気象レーダーの偏波情報を用いた長岡地域での降水粒子判別解析

鈴木貴博<sup>\*1</sup>, 熊倉俊郎<sup>\*1</sup>, 中井専人<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 長岡技術科学大学 <sup>\*2</sup> 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

## 1. はじめに

気象偏波レーダーでは、水平偏波と垂直偏波の2つの電波を送受信することにより、水平偏波レーダー反射因子 $Z_h$ 、反射因子差 $Z_{dr}$ 、偏波間位相差変化率 $K_{dp}$ 及び偏波間相関係数 $\rho_{hv}$ などの様々なパラメータを得ることができる。これらを利用することにより降水粒子の種類判別（以下、粒子判別）が可能である。粒子判別が高い精度で得ることができれば、情報を同化することで降水量推定や降水予測精度の向上が可能になる。長岡地域のような降雪地域では、多様な降水粒子が観測されるため、粒子判別が難しいとされており、本研究では、Kouketsu et al., (2015)によって研究されたメンバーシップ関数を利用し、ファジー理論を利用した粒子判別を行った。

## 2. 解析方法

対象期間は、大雪の影響で除雪作業中の事故による人的被害や、鉄道の運休・遅延、航空機や船舶の欠航、高速道路の通行止めなどの交通障害が発生した平成28年1月23-25日の豪雪期間を対象とした。今回使用するデータは、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターのレーダーで観測されたデータを利用し、降水粒子のカテゴリとして、霧雨(DZ)、雨(RN)、湿った雪片(WS)、乾いた雪片(DS)、氷晶(IC)、湿き霰(DG)、濡れ霰(WG)、雨と雹の混合物(RH)の8種類に分類を行う。使用したメンバーシップ関数 $\beta$

$$\beta(x, a, b, m) = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{x - m}{a} \right)^2 \right]^b}$$

とした。メンバーシップ関数の例をFig.1に示す。ここで $x$ は入力変数、 $a$ は半値幅、 $b$ は $\beta$ 関数の傾き、 $m$ は中間点とする。それぞれの降水粒子型の可能性を評価するためにメンバーシップ関数の積を評価値 $S_j$

$$S_j = \prod_{i=1}^4 \mu_{ij}$$

とした。ここで $i$ は測定定数のインデックス、 $j$ は降水粒子型のインデックス、 $S_j$ が降水粒子タイプの評価値、 $\mu_{ij}$ は測定定数 $i$ 、降水粒子型 $j$ のメンバーシップ関数とする。

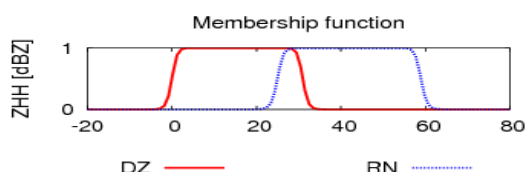


Fig.1 使用したメンバーシップ関数の例

## 3. データセットの補正

本研究で使用するデータセットのうち、 $Z_{dr}$ と $K_{dp}$ はバイアスとノイズが発生しているため、これらの影響を除去していかなければならない。 $Z_{dr}$ は、縦横比に関するパラメータであるため、鉛直観測（レーダー仰角 $90^\circ$ ）での測定値は原理的には0となる。そのため、鉛直観測での測定値はバイアスだと推定することができる。また、バイアスは数デシベルで発生すると考えられ、絶対値5[dB]以上の値は、ノイズだと考えて除外した。2016年1月24日の10分毎の鉛直観測データの平均値を時系列にFig.2(a)に示す。これより、補正值は約2.14[dB]と推定し、Fig.2(b)に補正前、Fig.2(c)に補正後の結果を示す。一方で、 $K_{dp}$ のノイズ除去はHubbert and Bringi (1995)に従って行う。

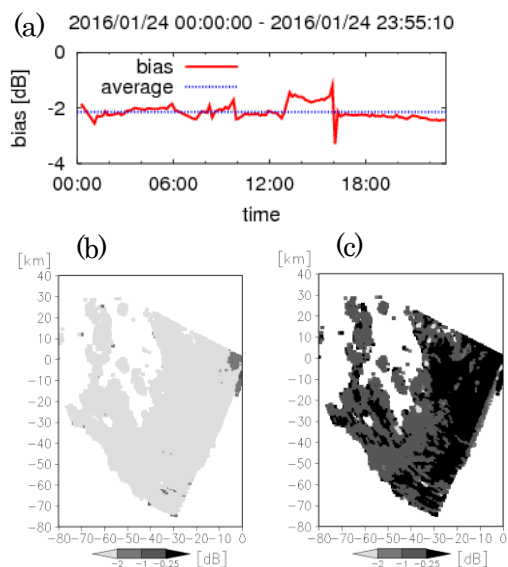


Fig.2(a) 2016年1月24日の10分毎の鉛直観測データの平均値、(b) 2016年1月24日150020JST 仰角1.7° 補正前PPI、(c) 2016年1月24日150020JST 仰角1.7° 補正後PPI

## 4. 結果

$Z_{dr}$ のバイアスを除去することができた。精度検証の方法としては、レーダー観測点を直接観測することは出来ないため、移流や相変化を考慮し、地上観測データを利用する必要がある。レーダー観測域では、技大や十日町に光学式ディストロメータ(PARSIVEL)によって観測されている降水粒子の粒径と落下速度の地上観測データがあり、これらを利用し、降水粒子の粒径と落下速度分布を作成、重み付け平均して求めた粒径と落下速度の中心(CMF)の位置から粒子判別を行い、気象レーダーによる粒子判別結果と検証を行う予定である。

## 光学式ディストロメーターの性能調査

○ 山下克也 (防災科研)、本吉弘岐 (防災科研)、中井専人 (防災科研)

### 1. はじめに

気象レーダーによる広域の固体降水の降水強度を正確に推定するためには、降雪粒子特性に応じたレーダー受信強度と降雪量の関係を把握する必要がある。そのような情報を得るためには、気象レーダー受信強度と同時にレーダー視野内の降水粒子の種類(雨、霰、雪片など)を測定する必要がある。Laser Precipitation Monitor(LPM: Thies 社製)は、降水粒子の粒径と落下速度を自動的に連続測定する光学式のディストロメーターである。この装置は、雨も雪も測定可能で取り扱いが簡便であるという利点があり、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター(以後、雪氷研)では、雪氷研の屋上に設置している X バンドレーダーの視野内に 6 つの LPM を設置している。LPM は測定可能粒径が 8 mm までであるため、それより大きな降水粒子の情報が得られないという欠点がある。大きな降水粒子が存在する場合にどのくらいの影響があるかを調査するために、大きな降水粒子を測定することが出来る CCD ディストロメーターとの比較を行った。

### 2. Laser Precipitation Monitor (LPM)

LPM は、降水粒子によって遮蔽されるレーザー光の光束(断面積  $2.0\text{cm} \times 22.8\text{cm} \times 0.08\text{cm} = 3.65\text{ cm}^3$ )の減衰量から粒径や落下速度を測定する装置である。落下中の降水粒子をそのままの状態で測定を行える特徴がある。0.2–8.0 mm の粒径範囲の粒子を 22 区分、0–30  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  の範囲の落下速度を 20 区分に分けて測定を行っている。

### 3. LPM と CCD ディストロメーターの比較

LPM と CCD の比較結果を図 1 に示す。新潟県長岡市の雪氷研で 2016 年 1 月の結果を示している。気温は強制通風式気温計で、降水強度は風除け用 2 重柵(DFIR)内に設置した重量式降水量計(Geonor)で測定したものである。ディストロメーターで得られた粒径と落下速度は、5 分間の質量フラックスの中心値(CMF: Ishizaka et al. 2013)で示している。CCD ディストロメーターでは雨の測定ができないので、降水があっても粒径や落下速度の値がプロットされていない時間帯は降水が雨であったことを意味している。期間を通してみると、LPM は CCD と比べて、粒径を過小評価、落下速度を過大評価している。図 2 は、CCD と LPM から得られた CMF 粒径・落下速度の比の頻度分布を示している。LPM の CMF 粒径が CCD のものより 10%以上過小評価している割合は 43%であり、ビーム幅が小さいために大きなサイズの降雪粒子を検出できていない影響が出ているものと思われる。落下速度に関しては、LPM が 10%以上過大評価している割合が 67%であった。原因は調査中である。今後はどのような降雪状況の時に粒径や落下速度の違いが顕著に現れるのかを調べ、LPM の粒径や落下速度を補正可能かの検討を行う予定である。

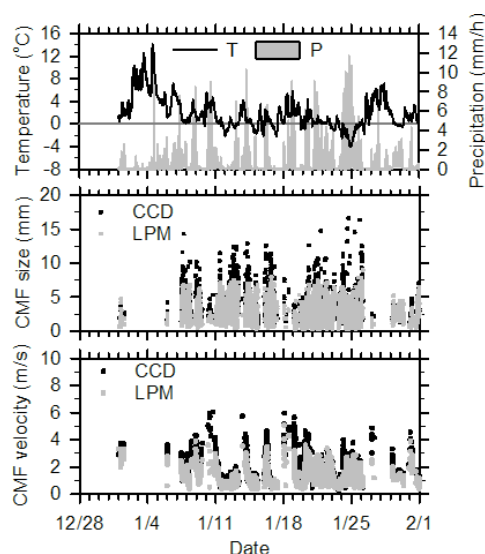


図 1 2016 年 1 月に雪氷研で得られた気温、降水強度、CMF 粒径、CMF 落下速度の時系列。CMF は 5 分間のデータを用いて算出された質量フラックス中心値である。

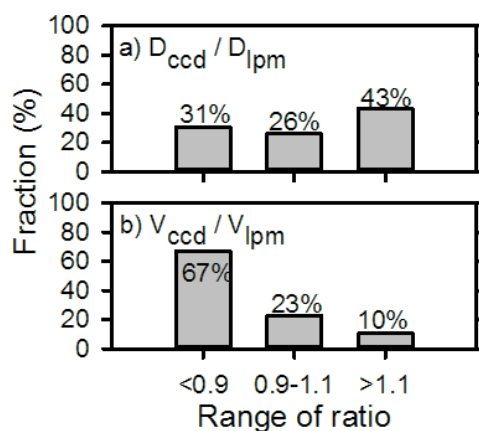


図 2 CCD と LPM から求めた 5 分間 CMF の比の頻度分布。上が CMF 粒径の比の頻度分布、下が CMF 落下速度の比の頻度分布。

参考文献: Ishizaka et al. (2013): JMSJ, 91, 747-762.

## 降雪粒子観測用のベルトコンベア式連続自動マクロ撮影装置について

○本吉弘岐<sup>1</sup>・石坂雅昭<sup>2</sup> (<sup>1</sup>防災科研・雪氷、<sup>2</sup>防災科研・客員)

### はじめに

表層雪崩には降雪に起因するものがあり、堆積時の降雪の結晶形状や雲粒付着度によっては、密度が小さく崩れやすい堆積状態を生じ、剪断強度の低い弱層が形成される。このように、ミクロの雪結晶の違いが、雪氷災害の危険度に影響を与えることがある。降雪起因の雪氷災害の危険度をいち早く検知するためには、光学式ディストロメータなどの降雪粒子の連続観測から、降雪粒子特性を捉えることが有効であると考えられる。構成結晶、雲粒の付着度合い、融解状態などで生じる降雪粒子の落下速度の違いを光学式ディストロメータで測定し、降雪粒子特性の違いを検出するためには、ミクロな雪結晶観察との比較が欠かせない。本発表では、10年以上にわたり防災科学技術研究所雪氷防災研究センターで用いている降雪粒子観測用のベルトコンベア式連続自動マクロ撮影装置について、これまでのビデオマイクロスコープに加えて、2016年冬期、2017年冬期に試験的に導入したより高解像度の一眼レフカメラによる観測例とデータ活用の可能性について述べる。

### ベルトコンベア式連続自動マクロ撮影装置

本装置(図1)は、降雪粒子観測施設にある天井窓を備えた低温室(約-5℃)に設置されている。ベルトコンベアの右端に落下した降雪粒子は、およそ13cm/minの速さで左側へ送られ、途中、ビデオマイクロスコープ(マイクロ・スクウェア社製DS-3NSL)と一眼レフカメラ(Nikon社製D60)により撮影される。ビデオマイクロスコープの画像(画素数640×480インタレース)は10秒毎にハードディスクレコーダーへ記録され、一眼レフカメラの画像(画素数3872×2592)は1分毎に記録される。

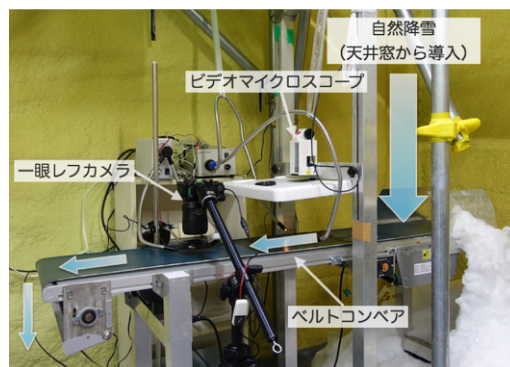


図1: ベルトコンベア式連続自動マクロ撮影装置

### 観測例

図2は南岸低気圧が紀伊半島沖を通過中の2016年1月29日22:00~22:10の間にビデオマイクロスコープと一眼レフで撮影された画像である。ビデオマイクロスコープの画像は雪片や霰の判別に用いるには十分な解像度であるが、粒径の小さい結晶の種類や雲粒の付着度合を見極めるには画像が粗い。

図2の赤枠で囲った領域を引きのばした画像を図3に示す。今回導入した一眼レフカメラによる画像は、結晶形や雲粒付着の有無の判別にも十分な解像度が得られていることがわかる。ビデオマイクロスコープでも、中央付近の角板鼓結晶(CP1a)を認識できるが、ハレーションを起こしていることもあり、その周りの結晶については判別が難しい。一方、一眼レフカメラのこの期間中の10枚の画像を用いることで、グローバル分類<sup>1)</sup>の小分類から21種類の結晶を確認できた。

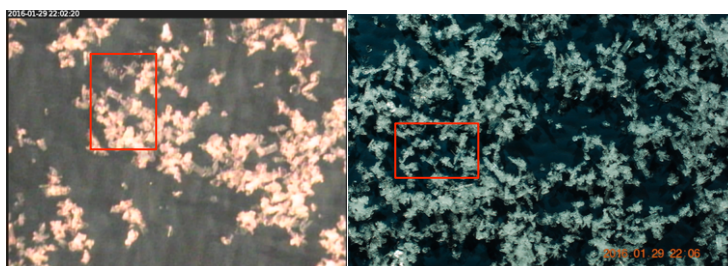


図2: 2016年1月29日の22:00~22:10の間の画像。ただし、撮影時刻は異なる。(左) ビデオマイクロスコープ(縦横13mm×17mm)、(右) 一眼レフカメラ(縦横16.7mm×25mm)。

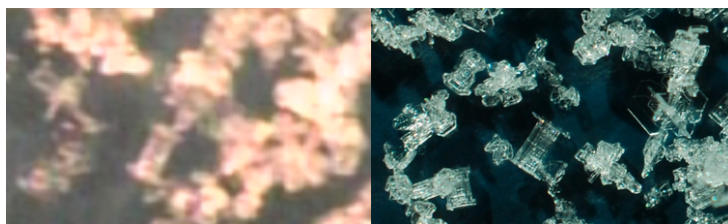


図3: 図2中の赤枠(縦横3mm×5mm)を切り出した画像。

### 現状と今後の課題

ビデオマイクロスコープの画像は、これまでビデオ映像として保存されてきた。現在、システムを改良することで、2010年冬期から2017年冬期のデータについて、10秒毎の画像ファイルとしてデータセットにした。今後、解像度の粗さの問題があるものの、様々な降水システムについて、降雪観測と合わせた解析を進める予定である。また、結晶形の解析には、2次元画像では立体的な形状を把握できない場合があるため、同じシステム上で容易にステレオ撮影が可能な手法を導入した。今後は、本装置とあわせて、より小型で可搬性のあるシステムも開発したいと考えている。

<sup>1)</sup> K. Kikuchi et al., 2013: Atmospheric Research 132-133, 460-472



## 降雪深増率計の開発 Ⅲ —2016-2017 積雪板式時間降雪深計との比較—

○石丸民之永・山崎正喜・羽賀秀樹(新潟電機株式会社) 熊倉俊郎(長岡技術科学大学)

### 1. はじめに

降雪量の多寡を議論するとき降水量換算値は単純積算できる利点はあるが社会生活上、人間の見た目の感覚と多少ズレがあり、できれば降雪量を降雪の深さで表せないか検討している。雪片が着地し積雪となると圧密 沈降 雪面剥離などで降雪深値は変動するが、これらの変動要素に関係しない降雪々片を空間で計測し降雪量を求める方法として雪片の数だけでなく寸法要素も取り込める透過光式降雪深増率計を一昨年冬季試作し、以来2冬季の実験結果を報告した。今冬は更にセンサー部の感知光膜幅を大きくしたものを試作し昨冬同様の測定原理の異なる回転積雪板式時間降雪深計との比較実験を行ったのでその結果を報告する。

### 2. 供試測器、測定方法及び実験環境の概要

透過光式降雪深増率計 SPN-96(40) センサーの外観は写真1の通りで感知域光膜は40(W)×80(L)×3(H)の大きさである。

降雪深は降雪々片の大きさを測り球形と仮定してその体積を演算積算後、光膜面積で除して算出している。

雪片径の測定可能範囲は0.5mmから10mmで最大径以上の雪片は表示値φ10に集約している。

降雪の深さの比較測器として回転積雪板式時間降雪深計(写真2 SPH-1 回転積雪板+光電透過式、回転積雪板上の積雪深を5mmピッチの光透過式積雪深計で5分ごとに計測し、毎正時に回転積雪板を反転させてリセットする)を用いた。実験場所は昨冬同様長岡市内住宅街にある当社構内の露場で行った。

### 3. 結果

2017年1月の時系列計測状況を図1、「積雪板式時間降雪深計(SPH型)」との降雪イベント毎の相関を図2に示す。図3、図4に同時刻での「SPH型」との比較を同スケールでグラフを重ねることにより示した。両者は一部合致していない部分(時刻)もあるが全体としては良く対応しているように見える。

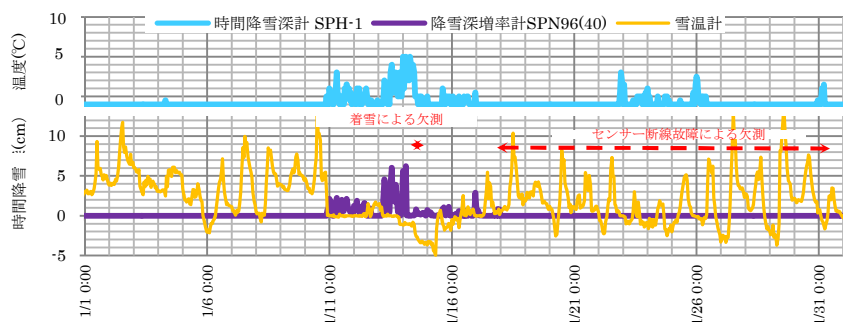


図1 2017/01 時間降雪深

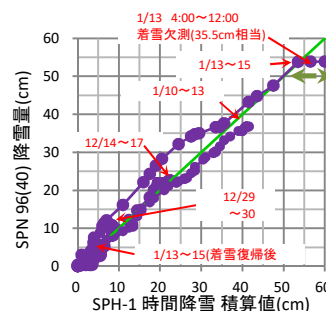


図2 2017/01 相関

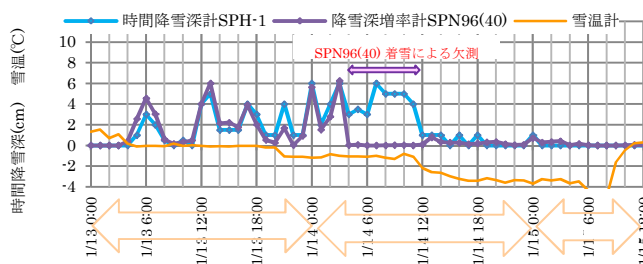


図3 2017/01/13~1/15

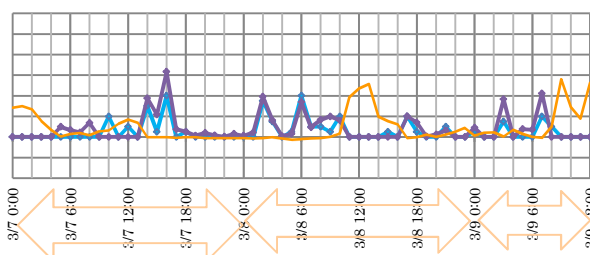


図4 2017/03/07~3/09

参考文献 1)降雪深増率計の開発 Ⅱ 雪氷研究大会(2016・名古屋)講演要旨集, P264



## 降雪情報のみから新雪密度を推定する

○ 石坂雅昭<sup>1</sup>・本吉弘岐<sup>2</sup>・山口悟<sup>2</sup>・中井専人<sup>2</sup>・椎名徹<sup>3</sup>・村本健一郎<sup>4</sup>

1. 防災科研（客員）、2. 防災科研・雪氷、3. 富山高専、4. 金沢大

### 1. はじめに

筆者らは、ほぼ同種の降雪粒子が降ったと推定され、かつ圧密が無視できる短い期間（数時間以内）の降雪イベントから降雪粒子の種類と密度の定量的な関係を明らかにした（Ishizaka et al., 2016）。ここでは、そこで得られた関係を用いて任意の降雪イベントの新雪密度を求める手法を提案する。本手法は降雪情報から連続的に新雪密度を推定するもので、降雪深予測をはじめ積雪モデルの初期値の推定や雪崩危険度予測などに役立つことが期待される。

### 2. 手法

筆者らが求めた定量的な関係は、降雪粒子の特徴を数量化したCMF（Center of mass flux distributon; 降雪粒子の降水量寄与で重み付けした平均粒径と落下速度; Ishizaka et al., 2013）から対応する密度CMF-densityを求め、それと実際の密度との関係式である（図1）。一方、実際の降雪イベントでは様々なタイプの降雪粒子が時間的に変化しながらもたらされるので、同関係式を期間全体の結果に当てはめることはできない。しかし、短時間（例えば数分以内）であれば、ほぼ類似の降雪粒子と見做すことができる。

そこで、次のアルゴリズムで任意の期間の降雪イベントの期間全体の密度を求める。

1. 降雪観測から短い細分期間（i:index）のCMFならびにそれから推定される降雪強度（ $m_i$ ）を求める。
2. 各細分期間のCMFを用いて降雪タイプを分類し、対応するCMF-densityを求める。
3. タイプ毎のCMF-densityと密度の関係式（図1）を適用して各細分期間の密度（ $den_i$ ）を求める。
4. 期間全体の密度（ $den_{prd}$ ）は各細分期間の積雪深が $m_i/den_i$ に比例することから次の式で与えられる。

$$den_{prd} = \sum m_i / (\sum (m_i / den_i)) \quad (1)$$

### 3. 結果と考察

図2に半日ほどの降雪について、数時間毎（横棒の幅）に区切って密度を観測した結果（横棒に対応する密度）と合わせて、上記の手法による期間全体の推定密度（●）及び5分毎の推定密度（+）を示した。5分毎の密度は激しく変化するが、それと降雪強度を加味して式（1）を適用して求めた期間全体の推定密度は観測密度と概ね良い一致を示している。なお、ここで用いた降雪強度はCMFから推定したものなので、本手法を用いることによって降雪観測のみから連続的に密度を推定することが可能である。

### 4. まとめ

降雪情報のみから新雪密度を推定する手法を紹介し、その有効性を述べた。ただ、ここでは圧密をはじめ融解や風の影響がない環境での結果を扱っている。今後は本結果の降雪粒子の種類と密度という基本関係を踏まえつつ、それら要素を加味していくことが課題である。

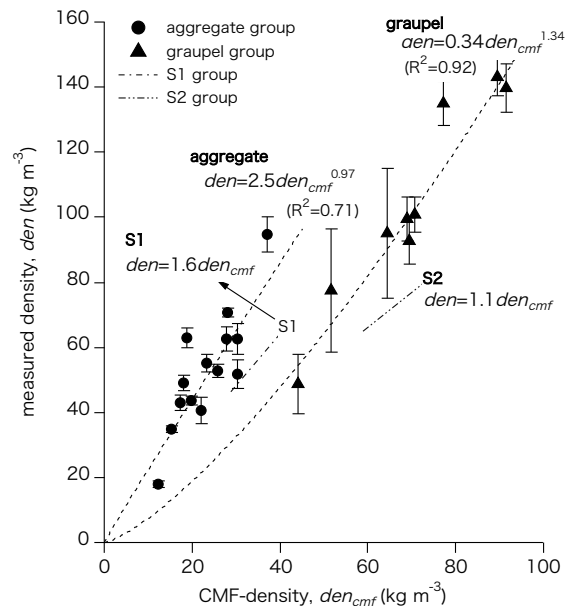


図1 CMF-densityと観測密度の関係。

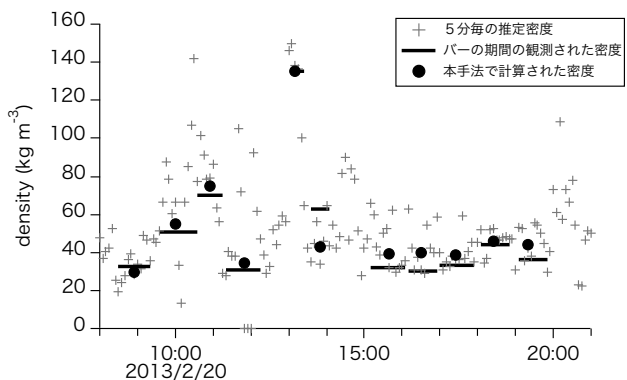


図2 観測された期間（横バー）全体の密度と推定密度（●）及び5分毎の密度（+）。

### 参考文献

- Ishizaka et al., 2013, J. Meteor. Soc. Japan, 91, 747-762.  
Ishizaka et al., 2016, The Cryosphere, 10, 65-85.

## 福島県における南岸低気圧による大雪の降雪特性

大越庄一朗（新潟大学理学部，現在福島県庁） ○河島克久・松元高峰（新潟大学災害・復興科学研究所）  
伊豫部 勉（京都大学大学院工学研究科） 春日 悟（新潟大学大学院自然科学研究科）

### 1. はじめに

福島県の太平洋側では南岸低気圧によって大雪災害がもたらされることがある。例えば，2014年2月14日の南岸低気圧による大雪では，福島県においても雪崩，凍結路面での転倒，落雪等による人的被害（死者2名，負傷者9名）や大規模な交通渋滞などが発生した。福島県を含む東北地方太平洋側に南岸低気圧がもたらす降雪に関しては，仙台管区気象台（1989）が統計解析や事例解析を行っており，東よりの風によって阿武隈山系と奥羽山脈東斜面が多降雪になりやすいことや，地表付近の強い寒気移流が大雪に深く関与していることなどを明らかにしている。本研究では，これまで降雪特性の解析に使用されることがない「地域気象観測委託積雪資料」を用いて日降雪深を推定し，福島県（中通り，阿武隈山系，浜通り）における南岸低気圧による大雪の降雪特性（降雪頻度，降雪分布，低気圧の経路との関係など）を調べた。

### 2. 解析に用いたデータ

地域気象観測委託積雪資料に集計されている解析対象地域内 22 地点の積雪深データ（9 時）を解析に用いた。本研究では当日 9 時と翌日 9 時の積雪深差を当日の日降雪深とした。また，地上天気図を用いて南岸低気圧による降雪か否かを判断し，大雪日（22 地点のうち 1 地点でも 20cm 以上の日降雪深が認められた日）の日降雪深のデータセットを作成した。

### 3. 主な解析結果

南岸低気圧による大雪の頻度は浜通りと阿武隈山系では南北で大きな差があり，北部で圧倒的に多いことが明らかになった。大雪日の日降雪深を平均した日降雪深分布は，阿武隈山系を最大として東西方向に減少する（図1）。大雪日の日降雪深に主成分分析を適用した結果，第2主成分（寄与率13%）の固有ベクトルは浜通り北部と阿武隈山系中部を結ぶ線を境に東側で正，西側で負の値をとった。一方，第3主成分（同11%）の固有ベクトルは浜通り中部から中通り中部を結ぶ線を境に北側で正，南側で負の値をとり，降雪量分布の南北振動を示していた。両方の降雪分布パターンには降水量の大小に加えて気温（降水形態を変える）が大きく関係していることが分かった。大雪をもたらした南岸低気圧のほとんどは関東沖で北緯32.5～35度の間を通過しており，大雪の発生と経路には関係が認められた。また，大雪日の降雪の多くは低気圧の中心が四国沖付近に位置する時に始まり，東北地方太平洋沖南部付近に位置する時に終わることが分かった（図2）。

（本研究はJSPS科研費15K01161の助成を受けて実施された。）

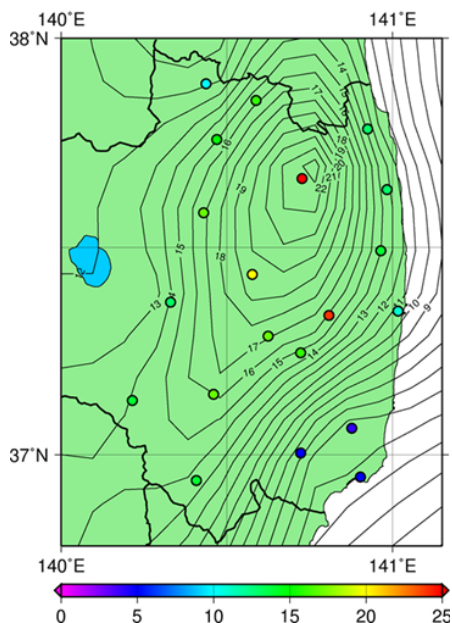


図1 大雪日の平均日降雪深分布。

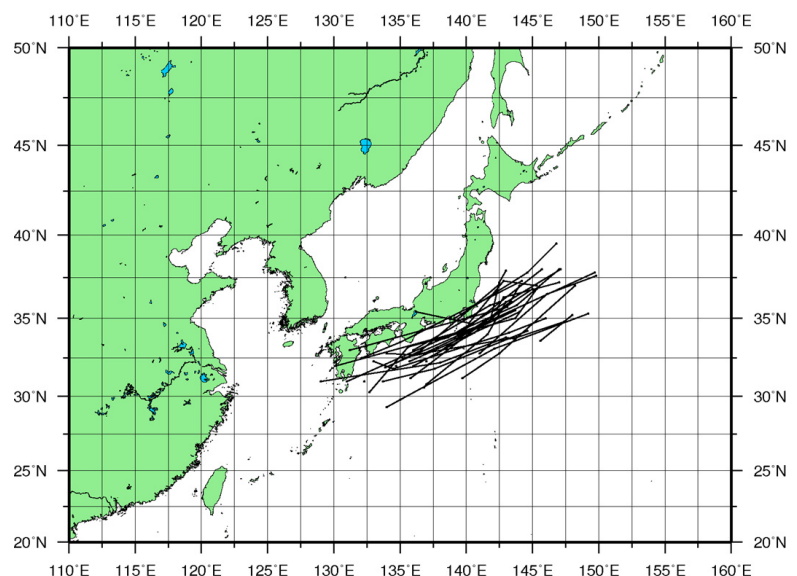


図2 大雪日の降雪時間帯における南岸低気圧の経路。

## 2016/17 年冬季の北信越～山陰に大雪をもたらした大気循環場の特徴

本田明治（新潟大・理）、山崎 哲（海洋研究開発機構）

2016/17 年冬季は全国的暖冬傾向で、12 月～2 月の平均気温でみると、北海道の一部を除いて、全般に平年より 0.5～1 度高かった。降雪量は山陰～近畿北部と本州山沿いの一部を除いて平年より少ない地点がほとんどであった。最深積雪は山陰～近畿北部で平年の 1.5～2 倍と多く、一方北陸や北海道の日本海側では平年より少ない地点が多く、他の地域は平年並みであったが、局所的に平年を大きく超える地点もみられた。

気温の傾向をみると全般に寒暖の変動が大きかった。初冬は北日本を中心に寒気が入りやすく、特に 11 月は北海道で記録的な低温となった。1 月～2 月にかけては本州以南にもしばしば寒気が入り、1 月中旬、1 月下旬、2 月中旬を中心に入った強い寒気は、北信越、近畿北部、山陰の各地方に大雪をもたらした。今回はこの 3 事例に着目し、各地に大雪をもたらした大気循環場の特徴や違いを比較する。

1 月中旬は、寒気を中心は東北地方上空で 500 hPa で  $-42^{\circ}\text{C}$  以下の強い寒気が入り、13 日～15 日にかけて東北から山陰まで広く日本海側で降雪となった。北信越の山沿いでは最大で 150 センチを超える降雪量となり、東海～中国地方の広範囲で積雪を記録した。大気場をみると、オホーツク海～東シベリア上空にブロッキング高気圧が発達し、これに伴い日本上空ではトラフ（気圧の谷）が強まり、強い寒気が南下したと考えられる（図 1 左）。

1 月下旬は、寒気は日本上空を全般に覆い、23 日～24 日にかけて本州の山沿いを中心に降雪となり、特に鳥取県の山沿いでは 100 センチを超えるなど中国地方を中心に大雪となった。大気場は 1 月中旬とは異なり、北極東シベリア海に中心を持つ極渦から延びた気圧の谷が日本上空を覆っていた（図 1 中）。気圧の谷が南西に延びる形状は 2016 年 1 月下旬に沖縄・奄美地方で降雪をもたらした記録的な寒波時の状況とよく似ており、バイカル湖付近の寒気が南下したのと考えられる。ユーラシア大陸からの定常ロスビー波列も、日本上空の気圧の谷の強化に寄与している。

2 月中旬は、寒気を中心は西日本上空を覆い、10 日～12 日にかけて山陰や近畿北部で集中的な降雪となり、鳥取市で最深積雪 91 センチに達するなど、記録的な大雪となった。大気場の状況をみると、1 月中旬と同様なブロッキング高気圧が発達しており、日本上空の気圧の谷の強化に寄与しているが、ユーラシア大陸上の循環場は 1 月下旬の状況と似ており、定常ロスビー波列により西日本上空で特に気圧の谷が強化されていたものと予想される（図 1 右）。

2016/17 年冬季は全般に高温傾向であったが、大気循環場の変動が激しく 1 月以降 3 回強い寒気が南下し、北信越～山陰の各地で大雪となった。特に鳥取県では 1 月下旬と 2 月中旬の 2 回大雪に見舞われた。大気循環場の特徴をみると、ブロッキング高気圧の発達、ユーラシア大陸からの定常ロスビー波列など複数の要因が絡んでいることが示唆される。当日は、寒気流出フラックスを用いた解析も加え、各事例のより詳細な結果を報告する。

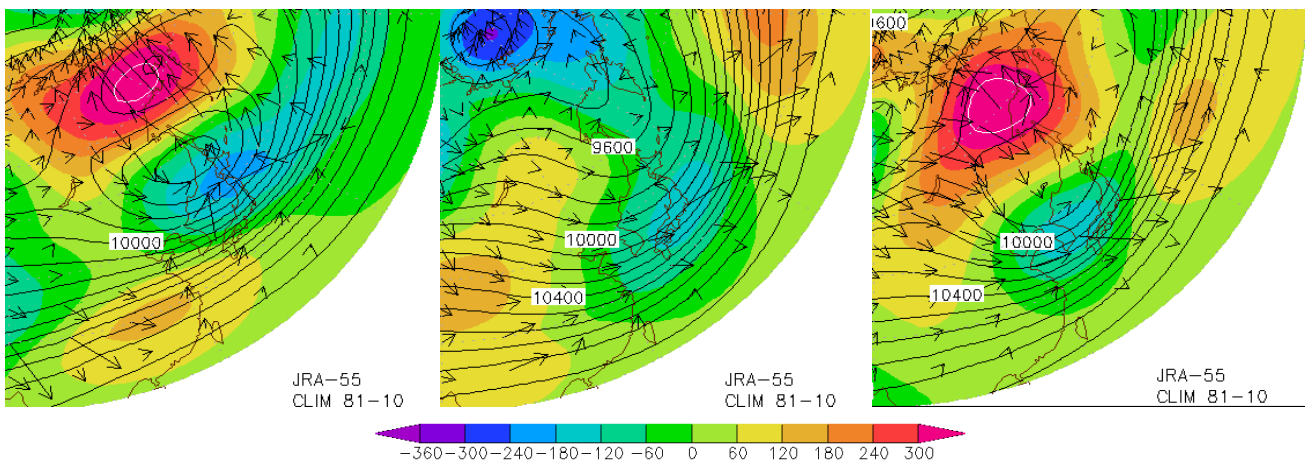


図 1. (左) 2017 年 1 月 11 日～15 日、(中) 1 月 21 日～25 日、(右) 2 月 9 日～13 日の各 5 日平均の、250-hPa 高度 (m、実線)、偏差 (m、寒暖色系陰影)、定常ロスビー波の活動度フラックス ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ 、矢印)。偏差は 1981 年～2010 年平均の気候値との差。JRA-55 再解析データに基づく。



## 2017年1月及び2月の鳥取大雪に伴う災害の時空間的推移

○栗原璃（新潟大学・理） 河島克久・松元高峰（新潟大学・災害研） 伊豫部勉（京都大学大学院・工）

### 1. はじめに

2017年1月22～24日にかけての3日間、2月9～12日にかけての4日間、鳥取県では2度の大雪を観測した。特に1月は鳥取-岡山県境の山間部で降雪が多く、1月24日18時にはアメダス智頭で最深積雪111 cm（1月の最深積雪の極値を更新）を観測した。一方2月は海岸平野部と県東部で降雪が多く、2月11日13時にはアメダス鳥取で最深積雪91 cm（90 cmを超えたのは1984年2月15日以来のこと）を観測した。これらの大雪に伴い、車両の立ち往生、公共交通機関の運休や遅延、住家の損傷、死亡を含む人的被害、ビニールハウスの倒壊等の被害が広域的に発生した。そこで本研究では、今回の鳥取大雪で発生した災害の種類や発生場所・日時を調べ、1月と2月の違いや気象と災害発生を分析した。

### 2. 解析に用いたデータ

本研究では日本海新聞や山陰中央新報等の地方新聞、ニュースサイト、自治体のまとめた資料を用いて災害情報を収集し、発生時刻や発生場所、被害内容、要因を抽出した。

### 3. 主な解析結果

本調査から223件の災害情報が得られ、被害対象に着目してこれらを9つに分類した。その中で件数の多い交通障害、住家等の損傷、人的被害、及び被害額の多い農林水産被害を分析した。交通障害では、1月に国道373号、2月に国道9号や山陰道、及びJR山陰線青谷駅で長時間の立ち往生が発生した。住家等の損傷では、1月は倉庫の被害が、2月は住家の被害が多く、2月の被害棟数は1月の約2倍に増加した。人的被害では、死傷者の合計は1月と2月で大差がなかったが、1月は転倒事故が多く、2月は除雪作業中の事故が多いという特徴があった。死亡者がでたのは除雪作業中の事故と屋根からの転倒であった。農林水産被害ではビニールハウス等の農業施設（共同利用施設を除く）が被害額の80%を、次いで白ネギ等の農作物が被害額の9%を占めた。全体を概観すると、2月の方が件数、規模の面で被害が大きいと言える。また災害の発生場所には降雪分布に依存した空間的な偏りがあることが明らかになり、それは2月に特に顕著であった（図1・図2）。さらに多くの転倒事故や屋根雪がらみの事故には気温変化との時間的な対応がみられた（図3）。本研究によって雪が止んだ4・5日後まで人的被害や住家等の損傷が多数発生していることが確認でき、降雪後も災害のリスクは継続することがわかった。



図1 2月の住家等の損傷分布。



図2 2月の人的被害分布。

（●：住家，▲：倉庫，■：車庫，×：空き家）

（●：除雪作業，▲：転倒，■：屋根，×：他）



図3 アメダス鳥取における積雪深・気温の変化と人的被害発生日時の関係。

## 雪崩発生時を想定した官民連携による危機管理対応訓練

坂西 和也, ○吉田 あみ (新潟県南魚沼地域整備部), 町田 誠, 町田 敬 (町田建設(株))

### 1. はじめに

雪崩発生時を想定した実践的な官民連携の危機管理対応訓練を実施し, 災害発生後の初動対応や情報伝達について考察すると共に, 本活動を通じて, 平時から地域整備部職員および関係者の危機管理対応力の向上を図ることを目的とする。

### 2. 訓練の概要

この「雪崩発生時における危機管理対応訓練」は, 関係機関として, 南魚沼地域整備部, 南魚沼市消防本部, 南魚沼警察署, 南魚沼市, 除雪関係業者を集めて行った。

訓練の状況設定は以下のとおりである。

- 雪崩発生箇所: 新潟県南魚沼市小栗山地内
- 雪崩発生日時: 平成 29 年 2 月 7 日 午前 9 時 00 分頃発生
- 道路への雪崩流出量: 延長 50m, 幅 8m, 高さ 2m で, 国道 253 号が全面埋塞

また想定被害の状況および訓練の実施状況は以下の通りである。

#### 9:00~9:05

通行車両の運転手が発見, 地域整備部に通報。同部から市, 警察, 消防, 除雪関係業者へ情報を伝達, かつ現地への出動を要請(図1)。

#### 9:20 ~9:30

関係者が現地へ集結して現地対策本部を設置。現場で雪崩発生状況や, 被災状況等を確認。通行規制(全面通行止め)の実施。

#### 9:30~9:55

人や車両等が雪崩に巻き込まれていないか確認。ゾンデ棒による搜索訓練開始。雪崩に埋もれた被害者(ダミー人形)を発見, 病院へ搬送。

#### 10:05~10:15

搜索活動の終了を受け, 斜面の残雪処理, 道路上の排雪作業。

#### 10:20

道路の安全を確認, 通行規制を解除し, 関係機関に通知。現地対策本部を解散して訓練終了。

### 3. 本訓練の特徴

本訓練は平成 22 年, 23 年に実施した訓練の課題である初動対応, 情報伝達に重点をおいた。また, 道路管理者・交通管理者・消防救助・除雪関係者を現地に集めて行った官民連携の点に最大の特徴がある。さらに本訓練は被災者搜索活動に ICT 技術を導入した, 先進的なものであった。本訓練には約 60 名という多数の人員が動員し, その他見学者も約 60 名参加し, 訓練後にゾンデ搜索体験他, ICT 技術見学会を実施した(図 2)。

### 4. 訓練を終えて

本訓練は, 道路管理等関係諸機関の連携により実施されたもので, その意義は極めて大きい。今後も, 定期的な訓練を実施することで, さらに対応力の向上となる。また, 本訓練の動画を作成し, 広く周知を行うことで, 雪崩による被災の軽減を期待できる。

本事業実施にあたり, 助成いただいた(財)新潟県建設技術センター様へ, 心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく, 謝辞とかえさせていただきます。



図1 現地対策本部の設置



図2 ICT 技術活用事例(サーモグラフィカメラ)

## 遠赤外線融雪装置による崩落雪対策の運用効率化検証

○町田敬<sup>1)</sup>, 長澤輝<sup>2)</sup>, 四十谷朋子<sup>2)</sup>, 松井富栄<sup>1)</sup>, 町田誠<sup>1)</sup>, 新井智<sup>3)</sup>

1) 町田建設(株) 2) 長岡国道事務所湯沢維持出張所 3) (株)ユニ・ロット

### 1. はじめに

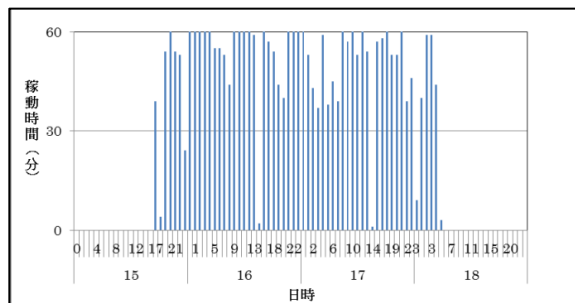
国道17号芝原トンネル新潟側坑口には、高さ3.8mのせり出し防止柵が設置されているが、大量降雪時には吹き溜まりによる埋没が生じ、斜面からの雪崩や落雪がせり出し防止柵を越流し道路へ流出する恐れがある。この地点において平成27年度から写真1に示す遠赤外線融雪装置を設置しており、平成28年度は運用効率を高めるため、降雪検知後の遅延運転を削除した稼働試験や積雪センサーのみでの検知稼働試験を実施し、融雪効果の検証を実施した。



写真1 降雪前の設置状況

### 2. 降雪センサーによる制御運用

図1に1降雪イベントでの稼働状況を示す。稼働遅延時間は、検知終了後1分とし、期間合計稼働時間は2890分であった。





## 那須岳における雪崩事故（2017 年 3 月 27 日）の現地調査報告

○出川あずさ、横山巖（日本雪崩ネットワーク）

### 1. はじめに

2017 年 3 月 27 日、午前 8 時 30 分頃、那須岳にてラッセル訓練中の登山者 48 人が雪崩に遭い、死者 8 人、怪我 40 人の事故が発生した。翌 28 日に現地調査を実施したので報告する。

### 2. 調査内容

標高 1400m 付近の南東斜面（斜度 25 度）にて積雪断面観察を行った（図 1）。旧雪面は深さ 22cm の位置にあり、そこに 27 日未明からの低気圧の降雪（13-22cm）が載る。0-5cm は調査時の降雪、5-13cm は 27 日から 28 日朝にかけての強風と降雪で形成した層であった（表 1）。低気圧による降雪層の中間部において、降雪結晶の特徴形状が残るこしまり雪がテストで反応した（写真 1・矢印）。

雪崩の痕跡は、事故後の降雪および強風により、捜索救助活動の跡を含め、そのほとんどすべてが吹き払われており、沢状地形に僅かに残るデブリの痕跡しか確認することができなかった。

### 3. 考察

積雪断面観察の地点で雪崩流下による積雪の乱れがなかったこと、認知できたデブリの痕跡、上部地形等から、被災現場付近での雪崩走路の幅は最小 65m、最大 100m と推定した。正確な発生位置は不明だが、概ね図 1 の点線円内を発生区と考えた。

旧雪と低気圧の雪は結合しており、時間経過による焼結等を考慮しても、この境界面からの発生はないと判断した。低気圧の降雪層内にはテストで反応する箇所もあったが、積雪表層の雪が風で激しく移動していることから、この雪をもってして雪崩を発生させた弱層とするのは適切ではないと考えた。

### 4. 課題

低気圧通過に伴う降雪に起因する雪崩は、実務者によってしばしば観察されており、今シーズンは浄土山、戸狩温泉、前武尊での死亡事故に関与していることが、弊団体の調査で判明している。ただし、不安定性の表出形態は多様であるため（出川, 2016）、それを考慮した事象検討や安全教育が必要である。

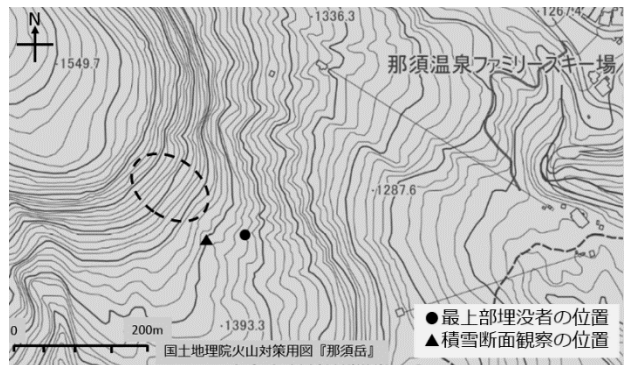


図 1 那須岳地形図

| H (cm) | R  | F   | E (mm) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Comments                     |
|--------|----|-----|--------|-----------------------------|------------------------------|
| 0      |    |     |        |                             |                              |
|        | F  | ✦ ✧ | 1-1.5  | 80                          |                              |
| 5      |    |     |        |                             |                              |
|        | 1F | /   | 0.5-1  | 200                         | 13-22cmには複数のPP, DFの層が存在する    |
| 13     |    |     |        |                             |                              |
|        | F  | + / | 2      | 120                         | CTM(PC) down 17cm on DF 2mm, |
| 22     |    |     |        |                             |                              |
|        | K  | ◎◎  |        |                             | ECTN down 17cm               |
| 25     |    |     |        |                             |                              |

表 1 積雪断面観察データ

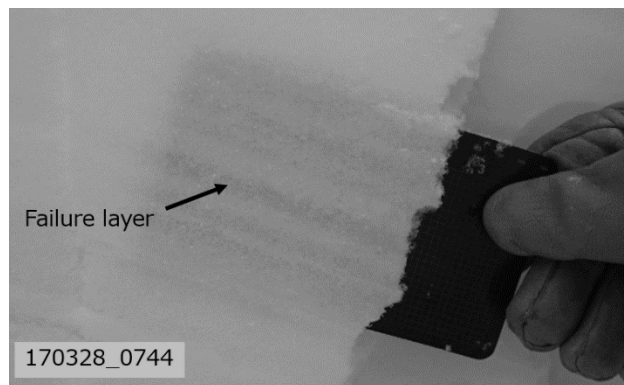


写真 1 テストで破壊を起こした層

### 5. 謝辞

調査にあたり、現地の案内をしていただいた那須山岳救助隊・渡部逸郎氏に深く感謝の位を表する。

#### 参考文献

出川あずさ, 2016: 南岸低気圧に伴う積雪不安定性, 雪氷研究大会 (2016・名古屋) 講演要旨集, 135.

## 日本の雪崩災害 DB からわかった那須町雪崩災害の背景

和泉 薫（なだれ防災技術フォーラム），納口恭明（防災科研）

### 1. はじめに

2017 年 3 月 27 日午前 8 時半頃、栃木県那須町的那須温泉ファミリースキー場のゲレンデ上部でラッセル訓練中の県立大田原高校山岳部生徒らを「天狗の鼻」付近から発生した雪崩が襲い、生徒 7 人と引率教員 1 人が死亡する事故が発生した。本稿では日本の雪崩災害データベースなどの調査から浮かび上がったこの雪崩災害の背景について報告する（日本の雪崩災害 DB：[www.nhdr.niigata-u.ac.jp/nadare\\_db/](http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/nadare_db/)）。

### 2. 2016/17 冬期の雪崩災害発生状況

Web 上の新聞記事などから 4 月 10 日までに収集した 2016/17 冬期の雪崩災害は、日本全国で 18 件発生し、15 人が死亡している。このうち登山・山スキー・スキー場など冬期レジャー関連の雪崩災害は 8 件あり、それによる死者は 14 人で、その 6 割が那須町雪崩災害によるものである。しかも、春先の天候不順が影響し全体の半数近くの 8 件が 3 月に集中している。那須町雪崩災害も、南岸低気圧通過による季節外れの大雪（アメダス那須高原における 3 月 27 日の日降雪深は 35 cm）がもたらしたものと言える。

### 3. 栃木県内における雪崩災害の発生傾向

日本の雪崩災害 DB などによって明治以降 2017 年までの雪崩災害の発生状況を調べてみると、栃木県内では全体で 35 件の雪崩災害が発生している。市町村別では日光市が最多の 24 件で、次が那須町の 7 件と、全体の約 9 割がこの 2 市町で占められる。那須町の雪崩災害は 6 件までが那須岳周辺で発生し、那須岳スキー場でも 1969 年 2 月 9 日と 1973 年 1 月 12 日に、今回の雪崩災害の場所に近接した第 2 ゲレンデ上部から発生している。前者ではスキーヤー 15 人が巻き込まれたが自力脱出または救出で全員無事、後者ではスキー大会の役員・選手ら 4 人が巻き込まれたが 1 人負傷しただけで全員無事であった。また、那須岳付近の山岳では、これまで登山者が遭遇した雪崩災害が 3 件発生し 4 人が死亡している。このようにこのスキー場周辺は雪崩に対して“100%安全”ではなく、これまで雪崩災害で死者がでなかったのが不思議なぐらいの場所である。

### 4. 栃木県立佐野高校山岳部の雪崩災害

1950 年 12 月 30 日、谷川岳登攀に挑んでいた佐野高校山岳部パーティ 11 人は、大雪のため登頂を断念し西黒沢沿いに下山を始め、ザング沢と本沢の合流点付近まで到達したところで朝食の最中（8:40）ガレ沢方面からの雪崩に巻き込まれ、引率教諭 1 人と男子生徒 4 人が死亡した。遭難直後の 12 月 31 日、捜索隊が 5 人の遺体を発掘したが下ろすことができず高みに安置せざるを得なかった。捜索活動はその後断続的に行われたが、遺体が再発見されたのは半年後の 6 月 13 日であった。

この事故後、報道に「高校生が冬山に登ることそのものが非常識」や「地元公安委員の登山禁止の処置を無視して登山した」などの批判が相次ぎ、山岳部を廃部にすべきという議論もあった。しかし事故後、栃木県山岳連盟の S 氏の「西黒沢は谷川岳では一番安全な沢で、雪崩は必ずしも傾斜の強い所だけに限らない。雪崩の危険性を見極めることが登山家の大切な技術であり、それを見極めて最善を尽くしても不慮の状態が発生するならば、それは不運といわなければならない。西黒沢を通ったことは決して誤りではない。」や当時の佐野高校長の「事前の現場踏査、雪崩に対する考慮など万全の注意があつての遭難で、運命と見るより仕方ない。事故のため山岳部を廃止すると噂されることは、本校の意気に関するだけでなく日本のスポーツ界に相すまぬことであるから、全く無根の誤報である（から廃部はしない）。」といった読者投稿が地元紙に掲載されている。現在の高校山岳部を取り巻く状況は当時とは違っているはずだが、今回の那須町雪崩災害の指導者達の考え方の根底には相通ずるものがあるように見えるのは、私だけであらうか。

参考文献：栃木県立佐野高等学校八十年誌（1983）

## 蔵王火山亜高山帯における積雪グライド強度の算定

○佐々木明彦・鈴木啓助（信州大学理学部）

### 1. はじめに

多雪地域の斜面で発生する積雪のクリープやグライドは、積雪層の緩慢な動きではあるものの、積雪層の沈降圧と移動圧の合力として大きな雪圧を斜面にかけるので、積雪期間を通じて樹木にストレスを与え続ける。多雪山地でみられる樹木の根曲がりはその典型例である。積雪グライドは、植林の雪害の克服のため、あるいは、雪崩の発生の前兆であることから防災の面でも着目され、移動量の観測を中心にその運動メカニズムの解明がなされてきた。ところで、斜面の雪圧は積雪水量が最大になるときに最大値を記録し、森林帯における積雪水量は標高に比例して増加する。したがって、日本の多雪山地においては、亜高山帯における雪圧がもっとも大きいと考えられるが、亜高山帯針葉樹林内における積雪グライドの観測例はほとんどない。そこで、東北日本の蔵王火山の亜高山帯（標高 1400m ; 38° 07′ 5.8″ N, 140° 25′ 50.4″ E）において積雪グライドの観測を実施した（佐々木ほか, 2017）。本発表では、この観測結果を紹介するとともに、蔵王火山西側斜面で得られている積雪深や密度のデータを用いて同地域の積雪グライド強度の算定をおこなう。

### 2. 積雪グライドの観測

積雪グライドは一般的なソリ式によって観測された。最大厚 2.5cm の小型のソリを地面に設置し、ワイヤーに繋いだ。積雪層がソリを引きずって滑動すれば、ワイヤーが引き出されるため、その引き出される量を 1 時間間隔で計測した。観測は、オオシラビソ林内と林外において 2014 年 11 月 1 日に開始し、2015 年 5 月 10 日に終了した。積雪グライドの発生機構を検討するために、気温および積雪深を 1 時間間隔で観測し、積雪断面観測を積雪期間内に 4 回実施した。

積雪期間は 2014 年 11 月 13 日～2015 年 4 月 21 日である。1 月初旬には積雪深が 150cm を超え、2 月 1 日に最大積雪深 242 cm を記録した。3 月 16 日の降雪を最後に積雪深は 5cm～10cm/日の割合で減少した。この間の積雪水量の最大値は、3 月 21 日の観測による 856.8mm である。積雪期間の平均気温は -3.7℃で、12 月 1 日～2 月 21 日はほぼ氷点下で推移した。日最低気温は -19.5℃、日最高気温は 21.9℃であった。積雪グライドは、林内では 2 月 21 日に初めて生じた。以後 3 月 5 日まで断続的に滑動し、累積グライド量は 1.5 cm となった。3 月 5 日～25 日には滑動はほとんどみられず、3 月 26 日～4 月 1 日に 1.0cm 滑動して累積グライド量は 2.6cm となった。林外では、2 月 10 日に初めて動き、2 月 14 日に 0.9cm/日、2 月 20 日に 1.3cm/日、2 月 24 日に 1.4cm/日と加速した後速度が弱まり、3 月 16 日に 1.9cm/日滑動を最後に動きは収束した。累積グライド量は 21.1cm であり、日平均で 0.4cm の移動量であった。

### 3. 積雪グライドの強度

オオシラビソ林内で観測された積雪グライドは、非常に小さな動きであり、雪崩の前兆となったり地形を変えるようなインパクトはもっていない。しかし、亜高山帯の植生分布やその動態を考える上で非常に重要な現象であると考えられる。積雪グライドの駆動力の大きさは、斜面傾斜と積雪深、積雪密度によって決まると考えられるので、樹木の密度、斜面傾斜、積雪深、積雪密度をパラメータにして蔵王火山の西側斜面における積雪グライドの強度を算定した。オオシラビソ林は緩斜面に成立しており、林内でのグライド強度の最小と最大の差は 1.5 倍程度と見積もられる。



## 吾妻・安達太良火山周辺における降雪・積雪・融雪の特性

○松元 高峰・河島 克久(新潟大学災害・復興科学研究所)

・伊豫部 勉(京都大学大学院工学研究科)・片岡 香子(新潟大学災害・復興科学研究所)

### 1. はじめに

積雪地域の活火山は、噴火による直接的な被害のほか、融雪型火山泥流などの形で甚大な被害をもたらす可能性があり、各火山で積雪期の被害を考慮したハザードマップの整備が進んでいる。福島県北部に位置する吾妻山と、安達太良山は、ともに気象庁により常時観測が行われている活火山であり、ハザードマップがすでに公開されている。しかし融雪型火山泥流のシミュレーションにおける基礎的情報というべき積雪の時空間分布特性に関する知見は、極めて限られているのが現状である。本研究は、2014/15 冬季以降に実施してきた気象・積雪観測の結果に基づいて、吾妻・安達太良火山周辺における積雪の堆積・消耗過程の特徴を示すことを目的とする。

### 2. 研究方法

吾妻・安達太良火山周辺における積雪水量の高度分布特性を明らかにするため、2015、2016、2017 年の 2 月下旬に、安達太良山西斜面と吾妻山・安達太良山東斜面の複数地点で積雪水量調査を実施した。2015 年 11 月からは、安達太良山西斜面の沼尻スキー場上部(福島県猪苗代町;標高 1130 m)に設置した気象観測ステーションにおいて、気温、相対湿度、上向き・下向き短波放射、上向き・下向き長波放射、風向、風速、積雪深の自記計測を継続している(降水量観測のみ母成峠付近の標高 950 m 地点)。この地域には、AMeDAS 鷲倉(吾妻山と安達太良山を結ぶ稜線上の標高 1220 m 地点)のほか、国交省や福島県の設置した複数の気象観測点があるので、それらの観測データも併せて解析に用いる。

### 3. 結果

2015～2017 年 2 月下旬の吾妻山・安達太良山西斜面と東斜面とにおける積雪水量の高度分布を図1に示す。年により積雪水量そのものには違いが見られるが、標高と積雪水量との関係(高度分布直線の傾き)は、同じ斜面であれば年によらず近い値を示している。ただし東斜面の傾きは西斜面のそれと比べると約 2 倍の大きさであった。

2015/16 冬季における沼尻スキー場上部での気温と積雪深、および AMeDAS 鷲倉における雨量と降雪量(判別気温を 1.5℃として降水種を分けた)の推移を図2に示す。沼尻スキー場上部での根雪は 12 月 4 日に始まり、2 月 5 日最大積雪深 121 cm に達した(2016/17 冬季の最大積雪深は 187 cm)。AMeDAS 鷲倉において日降雪水量が 10 mm 以上になった顕著な降雪日は 10 日あったが、冬型の気圧配置、日本海低気圧と南岸低気圧それぞれの卓越する気圧配置のいずれのケースもみられた。2 月中旬から 3 月中旬にかけては、主に低気圧通過時の高い気温の下で融雪が進むが、その間の降雪で積雪深が増えるパターンを繰り返し、3 月下旬以降は一気に融けて 4 月 4 日に消雪した。

当日の発表では 2016/17 冬季の結果も併せて、降雪要因、積雪水量分布、融雪特性について詳しく述べる。

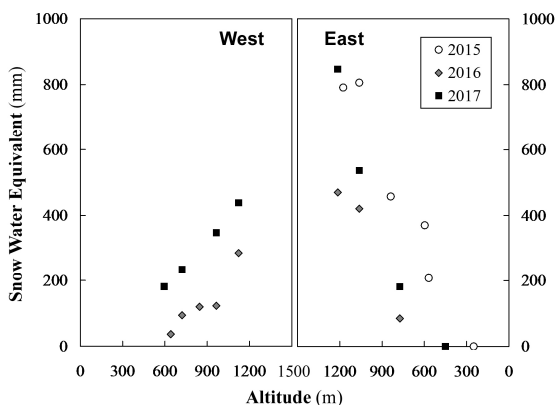


図1 吾妻・安達太良火山の西・東斜面における積雪水量の高度分布(2月下旬)。

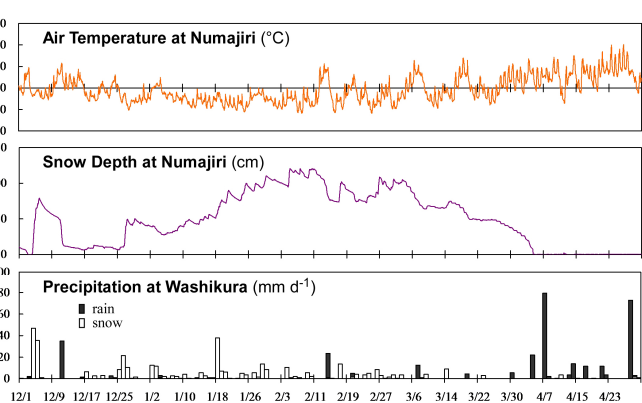


図2 2015/16 冬季における沼尻スキー場上部での気温と積雪深、および AMeDAS 鷲倉における雨量と降雪量の推移。

## 上高地梓川の谷底における降積雪深分布

鈴木啓助・佐々木明彦（信州大学理学部）

### 1. はじめに

日本の年平均降水量は約 1700 mm であり、世界の陸域における年平均降水量の約 800 mm の約 2 倍となっており、比較的水資源に恵まれていると言われている。しかしながら、国民 1 人あたりの水量換算では世界平均の 1/3 弱に過ぎない。また、暖候期の雨による降水は、わが国の急峻な地形のために、人工的なダム等の構造物なしには安定的な水資源として利用することが困難である。一方、山岳地域での寒候期の降水は雪としてもたらされるため、春先まで天然のダムとして水を貯留し続ける。冬季間に数メートルにも達する積雪が広域に観測される地域は、地球上でも稀である。そして、春になるとともに融け出して、降水量の少ない時期の田畑を潤し、生活用水や工業用水として下流の都市域で重要な役割を果たしている。また、気候変動に伴う積雪量の変動は、長期的な視点では山岳地域の地形形成作用として影響するのみならず、短期的な変動でも豪雪に伴う雪崩災害や多量の融雪水による地滑り災害等も引き起こす。ここ数年でも雪氷災害により毎年 100 名以上の死者が報告されている。さらに、積雪は生物にとって低温に対する断熱効果や適度な水分補強の役割を果たすが、森林限界の形成には、気温変動よりも雪の量によって規定されることが最近明らかにされている。

以上のように、山岳地域における降積雪量が気候変動に伴い如何に応答するかは、水資源や地形形成作用、山地防災、さらには生物の生息環境の今後を考える上できわめて重要な要素のひとつである。しかしながら、山岳地域の降積雪量の変動を定量的に検証しようにも、気象庁による積雪深観測地点の最高所は奥日光の 1292 m であり、1000 m 超の標高での積雪深の観測地点は 5 か所に過ぎない。近年の気温上昇によっても雪か雨かの閾値気温よりは十分に低温である標高の高い山岳域では、気象庁による観測がなされていないのである。

そこで、我々は中部山岳地域の高標高地点で積雪深を含む気象観測を継続して実施している。ここでは、上高地梓川流域の谷底における降積雪深の分布について報告する。

### 2. 研究方法

信州大学は上高地明神地区に上高地ステーションを 2007 年 4 月に設置した。上高地梓川流域は、特別名勝・特別天然記念物、国立公園特別保護地区、そして国有林であることから、本地域におけるすべての行為が文化庁、環境省、林野庁の許可が不可欠である。我々は、上高地梓川流域で順次気象観測を実施している。

### 3. 結果

図 1 に上高地梓川の谷底の 5 地点における積雪深変化を示す。

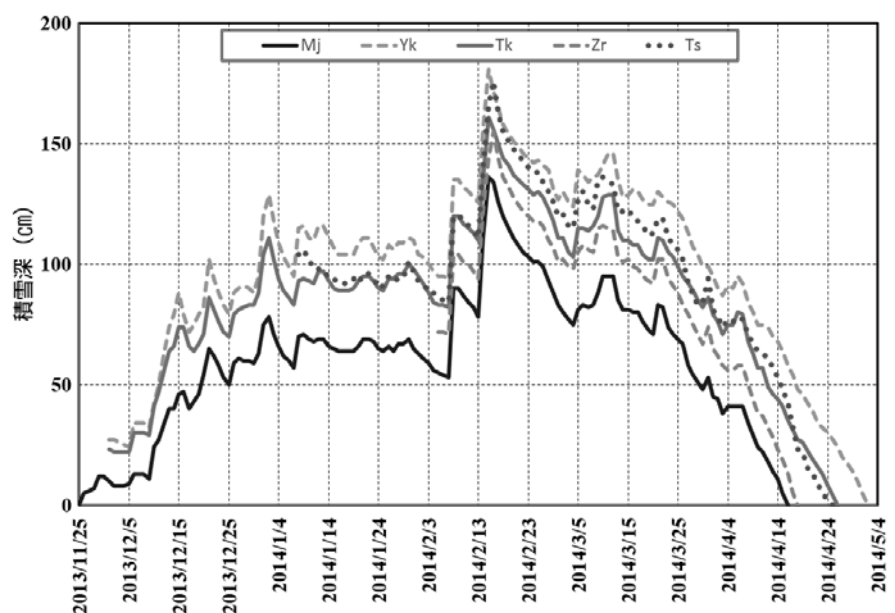


図 1 上高地梓川谷底の 5 地点における積雪深変化

## 上越地方の積雪調査データの整理

横山宏太郎（もと中央農研北陸）

### 1. はじめに

積雪は、日本だけではなく、世界的に見ても重要な水資源のひとつである。たとえば、中央アジアの乾燥地帯では、山地の積雪や氷河の融け水を水路でひいて、オアシス農業が行われている。北陸地域においては、山地の雪は、水田の水需要が増大する時期に、融雪が進み河川に水を供給し、水田農業を支えている。

中央農業総合研究センター北陸研究センター（現・研究拠点）では、この積雪資源の賦存量とその変動を評価するため、また農業雪害防止・軽減に向けた基礎情報として、新潟県上越地方を中心に積雪調査を継続的に実施してきた。その結果は、これまでいくつかの報告において利用してきたが、調査は2012冬をもって終了したので、これまでのデータ整理に着手した。その途中経過を報告する。

### 2. 調査期間・地域・地点と方法

かつての農林水産省北陸農業試験場農業気象研究室（のちに気象資源研究室）は、初代室長の大沼匡之氏を中心に、妙高山の東面と、関川をはさんで向かい合う袴岳の西面とで積雪調査を行っていた（残念ながらこのデータは現在失われている）。

これをさらに広範囲・多地点に拡大した調査は、1989冬に開始し、2012冬まで継続した。調査地域は、地域の主要河川である関川の流域で、高田平野から南方は関川の源流の妙高山系まで、また東方は中山間地域を含む範囲で、東西・南北それぞれ40km程度である。

調査範囲が広いと、車での移動を基本とした。最初は、車で走りながら、数kmごとに調査に適した地点を選んでいった。周囲がなるべく開けた平坦な地点が望ましいが、谷沿いの道路や斜面の迫っている場合は選定に苦労した結果、条件の悪いところも含まれている。

標高の高いところの積雪は、特に情報が少なかった。そこで、妙高山の東斜面にある池ノ平スキー場では、リフトを利用して、ゲレンデから少し林間に入った地点4カ所で調査した。最高地点は標高1540mである。

これまで1回でも調査を行った地点は150カ所あまりになるが、継続的に調査した地点はおよそ50カ所程度である。しだいに地点を整理し、最終的には、定期的な調査地点は35地点となった。

多くの地点を同時に調査するのは無理としても、なるべく短期間で調査を終えたい。通常は2チームを編成し、ほぼ2日間で調査を実施した。気象条件などにより数日にわたったこともある。したがって、厳密に同時のデータではない。メンバーがそろわず、調査のおよそ半分を、外部に委託した時期もある。

各地点で神室型サンプラーを用いて全層の積雪を採取計測し、積雪深、積雪相当水量、全層平均密度を得る。一地点で3回の測定値（この場合は採取雪の重量）のばらつきが、測定値の1割程度に収まるのを基準とした。条件の悪いところではこれを外れた場合もある。

調査は毎冬3回、時期は1月・2月・3月のそれぞれ下旬を基本として行ってきた。定期的な調査以外にも、特に融雪期に、機会があれば調査を行うよう務めた。

### 3. まとめ

調査の成果として、いくつかの特徴がわかった。たとえば積雪の年々の変動を見ると、標高の高いところの積雪は安定していると言われてきたが、約20年の調査期間においても、積雪相当水量の最大・最小はたとえば標高1000mでも3対1と大きな変動を示す。標高の低い地点ほどさらに変動が大きく、不安定になる傾向が見られた。

これまでに約1500件のデータを整理した。今後さらに整理を進め、最終的な報告をとりまとめる予定である。

この調査にあたっては、多くの方々にご協力をいただいたことにこころより感謝申し上げます。



## 積雪深の季節変化に関する定量的評価手法

○杉浦幸之助（富山大）・鵜飼拓人（富山大）

### 1. はじめに

一冬の積雪深変化の型は、降雪や融雪の過程を知ることのみならず、雪害や水資源などの対策を講じる上で重要なデータとなる。伊藤（1983）や西森（1994）は国内の積雪深の型の分類を行い、その特徴を明らかにした。積雪深の型は特定の冬の極端な降雪イベントに左右されやすいことから、気候学的解釈を進めるためには、さらに定量的に積雪深の型を評価する必要がある。そこで本研究では、長期間にわたりその地域を特徴付ける積雪深変化の型を定量的に評価するための手法を確立することを目的とする。

### 2. 解析方法

#### 2.1 使用データ

本研究では、気象庁 AMeDAS 観測によるデータを用いた。用いた要素は、日最深積雪である。対象地点は、北海道札幌とした。対象期間は、1961 年から 2010 年までの根雪期間である。1961 年～1990 年、1971 年～2000 年、1981 年～2010 年の 3 期間での 30 年間の積雪深平年値と、1961 年～1970 年、1971 年～1980 年、1981 年～1990 年、1991 年～2000 年、2001 年～2010 年の 5 期間での 10 年間の積雪深平均値とした。

#### 2.2 確率密度関数

定量的に積雪深変化を評価するために、多様な形状の確率密度を表現できるベータ分布を用いた。このベータ分布は確率密度関数

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\beta(\alpha,\beta)} \quad (0 < x < 1) \quad (1)$$

$$\beta(\alpha,\beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} dx \quad (2)$$

で定義される。ただし、 $\alpha > 0$ 、 $\beta > 0$  とする。

### 3. 結果と考察

いずれの年も札幌における一冬の積雪深は、積雪期後半の 2 月中旬頃を最大とし、その後に急速に減少している。ベータ分布を用いてカーブフィットしたところ、正規分布と比べて丸みを帯びた型であること、分布が右に偏っている様子を定量的に再現することができた（図 1）。また、特定の年の降雪イベントで生じた急激な積雪深の変化にとらわれることなく、気候状態を反映した積雪深の季節変化の実態を把握することができた（図 1）。今後は、気候変化に伴う積雪深の季節変化の実態を解明する必要がある。

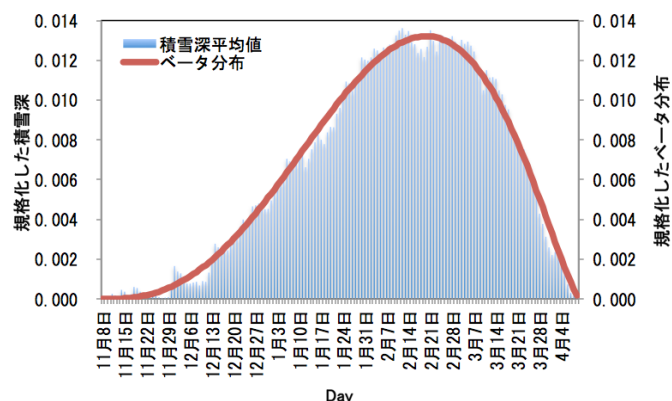


図 1 1971 年から 1980 年までの積雪深の平均とベータ分布

#### 引用文献

- 伊藤驍, 1983: 日本における積雪深の形態分類とその特徴について. 雪氷, 45 巻 2 号, 57-63.  
西森基貴, 1994: 日本における一冬の積雪深変化に関する気候学的考察. 雪氷, 56 巻 1 号, 45-55.

## 立山・室堂平における積雪層中のイオン成分およびアルデヒド類の特徴

渡辺幸一・江尻遼介・金聖鈞・宋笑晶・角山沙織・深井謙佑（富山県立大）  
島田亙・青木一真・川田邦夫（富山大）

## はじめに

立山・室堂平（36.6°N, 137.6°E, 標高 2450 m）では、毎年 11 月頃から積雪が始まり、4 月には 5 m を超える積雪層が形成される。こうして形成された膨大な量の積雪は、晩秋期から春期までの約半年間のさまざまな環境情報を記録している。そのため、室堂平での積雪試料の化学分析は、観測が困難な期間の大気環境を考察する上で極めて重要となる。室堂平における積雪中の化学成分の測定は、1990 年代に行われ、成分の動態などについての多くの知見が得られている（長田ら, 2000）。2000 年以降にも室堂平において積雪化学観測が行われ、主要イオン成分以外に過氧化物やアルデヒド類の測定も行われてきた（Watanabe *et al.*, 2011, 2012）。しかしながら、山岳域の自然環境評価のためには長期間に渡る測定の継続が必要である。本研究では、4 月の立山・室堂平でこれまでに実施した積雪断面観測の結果をもとに、積雪中のイオン成分と共にアルデヒド類の動態について報告する。

## 方法

4 月の立山・室堂平において、積雪層の断面観測・分析試料の採取を行い、積雪試料を融解させないまま富山県立大学に持ち帰り、冷凍保存した。アルデヒド類濃度の測定は、試料採取後数日以内に（融解後直ちに）HPLC・ポストカラム法（岩間ら, 2011）により、ホルムアルデヒド（HCHO）およびアセトアルデヒド（CH<sub>3</sub>CHO）濃度を測定した。主要イオン成分濃度についてはイオンクロマトグラフ法によって測定を行なった。

## 結果と考察

図 1 に、2016 年 4 月の立山・室堂平における積雪層中のイオン成分およびアルデヒド類濃度の鉛直プロファイルを示す。2016 年 4 月の積雪深は 4 m と例年（6～7 m）よりも少なく、全層がほぼざらめ雪であった。そのため化学成分の溶出や再分配の影響が大きかったものと考えられる。積雪中の nssSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> および NH<sub>4</sub><sup>+</sup> は主に人為起源汚染物質によるものであり、同様の深度分布を示していた。HCHO は nssSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と比較的類似した濃度分布を示しており、酸性物質だけでなく、アルデヒド類のような光化学生成物も、アジア大陸から立山へ長距離輸送されている可能性が考えられる。濃度の鉛直プロファイルから、積雪中の HCHO は CH<sub>3</sub>CHO よりも堆積後の拡散の影響を受けやすいと考えられる。

積雪層内の人為起源汚染物質の平均濃度（あるいは沈着量）には年度による濃度の相違や変動がみられ、中国の二酸化硫黄排出量の変化だけでなく、アジア大陸からの大気汚染物質の輸送過程の影響を受けているものと考えられる。特に、寒候期の日本において強い冬型の気圧配置が卓越する年には積雪中の人為起源汚染物質の濃度が低く、移動性高気圧型が卓越する年に濃度が高くなる傾向がみられた。

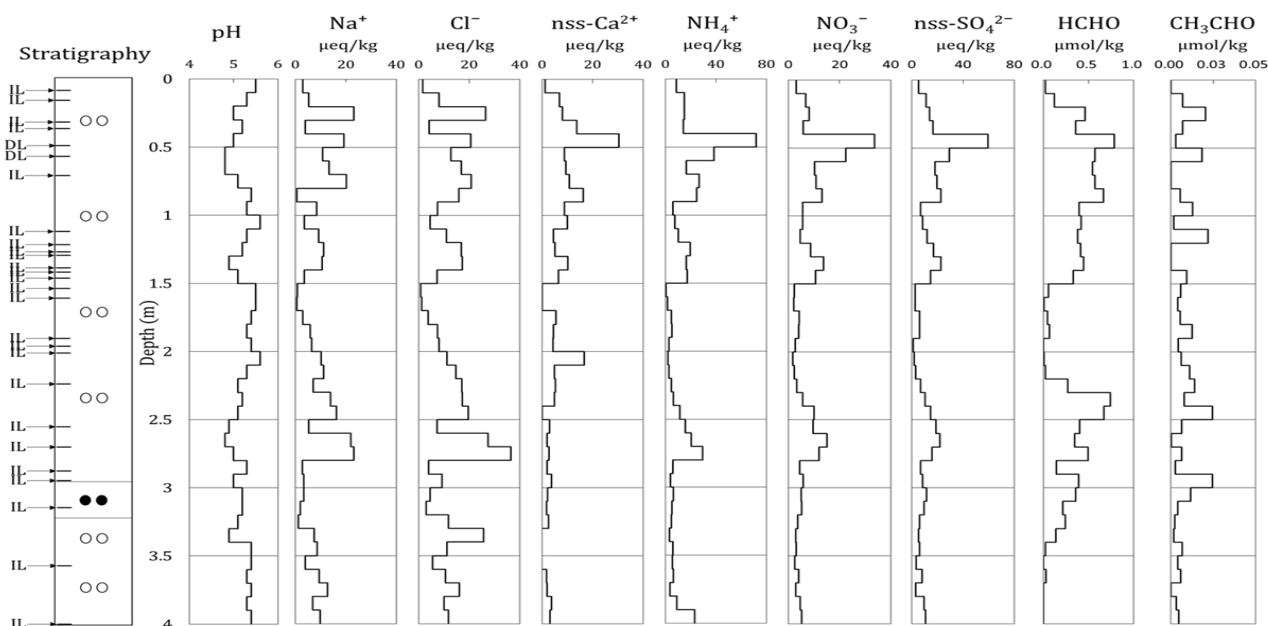


図 1 立山・室堂平（2016 年 4 月）における積雪層中のイオン成分、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒド

## 積雪に含まれる化学成分の融点直下における流下現象の再現実験

○大西悠也（富山大院・理工），島田互（富山大院・理工），朴木英治（富山市科学博物館）

### 1. はじめに

立山室堂平（標高 2450 m）で一冬に形成される積雪は、雪が降り始める 10 月下旬から融雪が始まる 4 月まで殆ど融けることがない。そのため、降雪などに含まれる様々な化学成分やエアロゾル粒子が保存されていると考えられている。ところが、2014 年 11 月と 2015 年 4 月の比較から、積雪下層の化学成分の一部が下方に移動していることが確認された。さらに、その中でも保存率が比較的高い成分（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）と、低い成分（ $\text{NO}_3^-$ ）があることがわかった。そこで本研究では、人工積雪を用いた変態実験により、積雪の融点直下における化学成分ごとの保存率を調べた。

### 2. 実験方法

変態実験で用いた人工積雪の断面図を図 1 に示す。イオン交換水を凍結させ削った化学成分を含まない雪と、これに硫酸ナトリウムと硝酸マグネシウムを含ませた雪を作成した。実験装置の中に化学成分を含まない雪を詰めて、その上に化学成分を含ませた雪を 0.5 cm 厚だけ入れた。これを繰り返し、模擬的な積雪層を作成した。上方の電球を日光に見立て、日中は照射し、夜間は消すことによって自然界の温度変化を再現した。なお、積雪層内の温度は熱電対温度計を用いて測定した。実験は  $-0.5^\circ\text{C}$ 、 $-2^\circ\text{C}$ 、 $-10^\circ\text{C}$  の低温室で、それぞれ 2 週間行った。

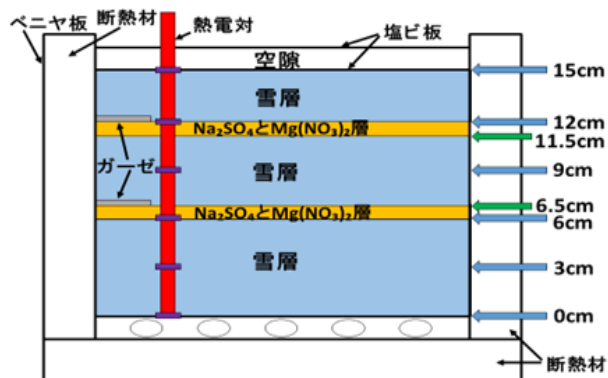


図 1 模擬的な積雪の断面図

### 3. 結果と考察

2 週間後、圧密により積雪高が約 13.5 cm になった。積雪層の中に入れたガーゼを目印にして、化学成分を含ませた雪層 0.5 cm とその下 0.5 cm を 3 層の合計 4 層を雪試料として採取し、化学主成分分析を行った。

図 2、3 は  $-0.5^\circ\text{C}$  の低温室で実験後、採取した雪試料の化学分析結果を表したものである。矢印で示した層が化学成分を含ませた雪層である。化学分析の結果、積雪の融点直下における化学成分の下方移動が確認された。さらに、 $\text{NO}_3^-$  の方が  $\text{SO}_4^{2-}$  よりも移動しやすいという結果が得られた。

$-2^\circ\text{C}$  と  $-10^\circ\text{C}$  の実験では、積雪の融点直下における化学成分の下方移動は  $-0.5^\circ\text{C}$  の実験の時よりは少なく、イオン種ごとに保存率の違いは見られなかった。

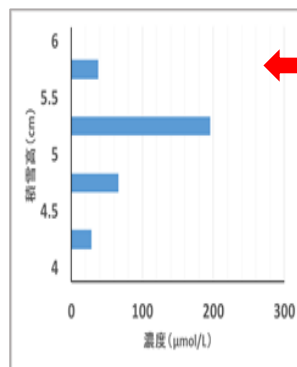


図 2  $\text{NO}_3^-$  濃度

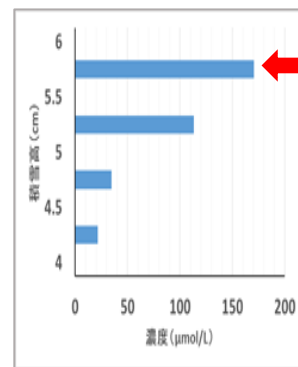


図 3  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度

従来、積雪の一部融解によるイオンの流出具合に違いが生じるのは、各イオンの存在位置が雪粒子の表面か内部かの違いによるものだと我々は考えていたが、今回の実験結果から各イオンの氷表面への吸着力といった性質の違いが原因である可能性がでてきた。

このことから、積雪層内で一部融解があった場合、保存率が比較的高い化学成分を指標とすることで積雪層の堆積時期を推定することができると考えられる。

### 3 次元水分移動モデルと積雪変質モデルの融合に向けた水分浸透計算

○ 平島寛行 (防災科研)、Nander Wever (SLF)、Francesco Avanzi (ミラノ工科大学)、山口悟(防災科研)

#### 1. はじめに

積雪中における水分移動のメカニズムとして、均一に流れる毛管流と不均一に流れる水みち流がある。SNOWPACK のような 1 次元の積雪モデルは 3 次元水分移動モデルと比べ、計算時間が短いため湿雪災害予測等に用いるためのリアルタイムでの計算が可能である。一方で、多くの積雪モデルでは不均一に流れる水みち等を考慮することができないため、水みちの影響が無視されてきた。その結果、乾き雪の存続時間の過小評価や底面流出の遅れなど、湿雪に関わる現象の再現性が不十分であった。最近、その SNOWPACK においても毛管部分と水みち部分に分けて水分浸透過程を計算する Dual Domain Approach が導入され、水みちを考慮することが可能となった。しかしながら、この手法は多くの仮定を含んでいるため、実験やより物理的なモデルと連携して改良を加えていく必要がある。そこで本研究では、この SNOWPACK と 3 次元水分移動モデルの長所を融合して、より正確な水分浸透計算が可能でかつ計算時間の短いモデルを開発することを目的として、室内実験の結果を真値として双方のモデルの比較を行なった。

#### 2. 実験及びモデル

実験は粒径 0.2~0.5mm (fine)、1.0~1.4mm (medium)、及び 2.0~2.8mm (coarse) の 3 種類の積雪粒子に対して行った。本研究では毛管障壁が形成される条件である、上の粒径が下より小さい積雪層の組み合わせ (上 fine/下 coarse, medium/coarse, fine/medium) の 3 パターンで実験を行った。また、水分供給速度に関しては 10mm/h, 30mm/h, 100mm/h の 3 パターンで行った。3 次元モデルにおける再現計算の際には、実験と同じ積雪の形状(直径 5cm の円筒)、密度、粒径、水の供給条件を与えて計算した。また、SNOWPACK における再現計算においても、実験と同じ粒径、密度プロファイルを初期値に用いた。また、水みちの影響による違いも確認するため、水みちを考慮する前と後のバージョンの比較も行なった。実験結果とモデルの比較は、毛管障壁による帯水の層の厚さ、含水率分布、底面到達時刻について行った。

#### 3. 結果

図 1 に Dual domain approach で計算された水分浸透の計算結果を示す。上が毛管流部分、下が水みち部分の含水率を示し、色のスケールは 2 オーダー異なる。計算では、毛管部分に浸透する前に水みちが形成されて先に底面に到達することが再現された。一方で、底面到達後も毛管障壁により帯水した層は拡大を続け、一定量に達したら下の層の毛管流部分を通して下に浸透する計算となった。これは、一度水が底面に到達すると水の供給量と排水量が釣り合って定常状態となる 3 次元水分移動モデルにおける計算と異なる結果となった。続いて、水の供給開始から底面到達までにかかった時間に対しても比較したところ、fine over coarse で 10mm/h の供給をした例では、実験では 92 分、3 次元水分移動モデルで 80 分、水みちを考慮しない SNOWPACK で 147 分、水みちを考慮した SNOWPACK で 116 分と、底面到達時間の予測に対する水みちを考慮することの重要性が確認された。発表時には、他の実験結果における比較も示しながら、SNOWPACK と 3 次元モデルの浸透特性の違いについて議論する。

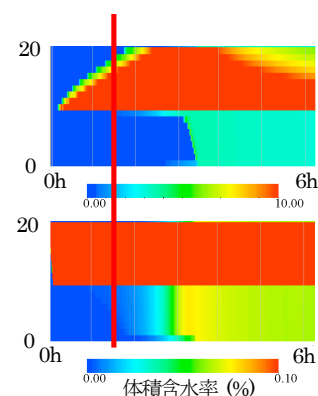


図1 SNOWPACK で計算した毛管流(上)と水みち部分(下)の含水率。赤線は実験で水が底面に到達したタイミング。

#### 参考文献

- Hirashima et al. (2014) Cold. Res. Sci. Tech. 108. 80-90, doi:10.1016/j.coldregions.2014.09.004.  
 Avanzi et al. (2016) The Cryosphere, doi:10.5194/tc-10-2013-2016.  
 Wever et al. (2016) The Cryosphere, doi:10.5194/tc-10-2731-2016, 2016b.



## MRI を用いた乾雪中のフィンガー流の成長の観察

○勝島隆史(森林総研)・安達聖・山口悟(防災科研・雪氷)・尾関俊浩(北海道教育大)・熊倉俊郎(長岡技科大)

### 1、研究背景と目的

雨水や融雪水が積雪内に浸透する際には、水平方向に不均一な流路である水みちを形成しながら、積雪下部へと水が移動する。これまでに自然積雪の観測や室内浸透実験により、直径数 cm 程度のフィンガー流と呼ばれる水みちが存在することが示されているが、フィンガー流が形成初期においてどのような形状を持ち、どのような時間発展を経るのかについて明らかになっていない。これを明らかにするには、非破壊かつ短時間に積雪内部の水分分布を測定する必要がある。

本研究では、新規に開発した積雪内部の水分分布を可視化するための雪氷用 MRI(Magnetic Resonance Imager)による 3 次元高速撮像手法(安達ら,2016)を用いて、カラム内に充填した乾雪を対象とした室内浸透実験を行い、フィンガー流が形成・成長する過程の観察を実施した。

### 2、研究手法

図 1 に実験に使用した装置の概要を示す。室温 0°C の低温室に設置された鉛直開口の永久磁石(静磁場強度 1.5T)による雪氷用 MRI の中の RF コイルの中に、カラムに充填した乾雪の試料を入れて浸透実験を実施した。雪試料は、先端部を鋭利に加工した内径 6mm、長さ 10cm の両端が開放した筒状の亚克力製カラムを用いて自然積雪から鉛直方向に雪を採取し、雪の採取に使用したカラムごと MRI 内部に設置した。試料上部に、ペリスタポンプを用いて一定速度で硫酸銅水溶液(5mmol/l)を点源にて供給した。供給時の水溶液の集中と衝撃を緩和するために試料上部に湿らせたコットンガーゼを設置した。また試料下部には雪粒子の落下防止のためにナイロンメッシュを設置した。MRI による撮像は、グラジエントエコー法と Compressed Sensing を用いた 3 次元高速撮像手法により 2.5 分間隔で行い、空間分解能 0.4mm で 128×128×128 の画素数の画像を取得した。

### 3、結果と考察

図 2 に、密度 361kg/m<sup>3</sup> のしまり雪を用いた浸透実験の結果を示す。図は、磁場中心部の高さ約

51mm の範囲における最大値投影法(MIP:Maximum Intensity Projection)による鉛直方向の水分分布を示しており、黒く濃い画素が水分の高い箇所を示している。図 2 の左上より、水溶液の供給開始から 62 分後の時点で、カラム中心付近に蛇行しながら下方へと流下するフィンガー流が 1 本成長していることが確認できる。その後の時間経過により、上部位置よりフィンガー流が分岐して、新たなフィンガー流が成長する様子が確認できる。これらの横断方向の直径を ImageJ により計測したところ 1-4mm であり、実験を終了した 90 分後までの間に直径が大きくなる様子は確認されなかった。

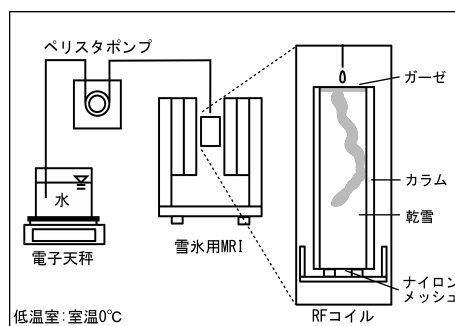


図 1 実験装置の概要

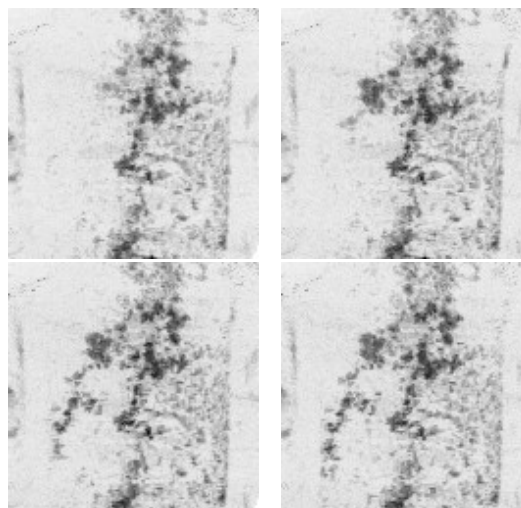


図 2 しまり雪中のフィンガー流の成長の様子  
左上)供給開始から 62 分後、右上)65 分後、  
左下)68 分後、右下) 71 分後

### 謝辞

本研究はJSPS 科研費 16K12860 の助成を受けたものです。

## 越年性雪渓を含む集水域における融雪及び降雨に対する地表流の応答

清水啓紀・佐々木明彦・鈴木啓助（信州大学）

### 1. はじめに

乗鞍岳東斜面の谷頭小流域は越年性雪渓が見られる周氷河地域である。周氷河地域では、地殻物質は地中水の凍結・融解の反復により、物理的風化の影響を強く受けると考えられる。だが、地殻物質からの溶出を含め、その実態は明らかでない。

本研究では、周氷河地域における気象および地表流の観測を行った。これにより、降水量から算出される先行降雨指数を用いて地表流発生ポテンシャルを定量化するとともに、水質調査から対象地域の水質特性を明らかにした。

### 2. 研究方法

集水域からの流出経路の一箇所に観測局を設置し、2016年6月22日から2016年10月13日にわたって、水位、電気伝導度、水温の自動連続観測を行い、並行して自動採水器による渓流水の採取を行った。観測局の脇では、常時解放型バルクサンプラーを用いて降水を採取した。また、富士見岳山頂付近で降水量の観測、調査地点付近の標高2600 m地点では気温観測を行った。

採取した渓流水および降雨試料は濾過処理を行い、濾液から電気伝導度・pH測定及び硫酸滴定による $\text{HCO}_3^-$ 濃度測定を行うことで、地表流の水質特性を検討した。また、加治佐（1992）で提案された先行降雨指数の算出式において、10分間降水量から算出できるよう修正し、(1)式で定義した。

$$m - \text{API} = \sum_{k=1}^n \alpha^k \cdot R_k \quad (1)$$

$m - \text{API}$ ：先行降雨指数（mm）， $n$ ：時間数， $R$ ：10分間降水量（mm/10 min）， $\alpha = 0.984$ ， $n = 432$

### 3. 結果と考察

降水量から算出した先行降雨指数は、参照日数を3日間とすることで水位の結果に対応し、地表流発生ポテンシャルを定量化することができた。先行降雨指数の下限閾値は、4.02 mm/10 minであり、上限閾値は、4.85 mm/10 minであった。

乗鞍大雪渓からの融雪水は、直接的に地表流として流下するのではなく、一度伏流したのち数10 m下方で地表面に湧水として現れる。この湧水は雪渓の化学成分に比べ、土壌や岩石が起源とされる $\text{HCO}_3^-$ 濃度が高いことがわかった。伏流し地表に現れるまでの過程で、土壌および岩石から化学的風化作用によるイオン溶出を受けたものと考えられる。さらに、集水域からの地表流出経路5地点のうち1地点から、水質的に地下水の寄与が大きいと考えられる地表流が、無降水期間中にも連続的に観測された。従って、雪渓の融雪水を介して、地下水成分が下流へと安定して供給されていることを示唆する。

降雨イベントにより、地表流のpH、電気伝導度、 $\text{HCO}_3^-$ 濃度の一時的な上昇と直後の大幅な低下、その後の緩やかな回復が観測された。これは、降雨直後の降雨の地下浸透に伴う地下水の押し出し流形成と、降水による希釈作用が要因と考えられる。

### 4. 文献

加治佐隆光（1992）：先行降雨指数による溪流取水の評価事例。三重大学生物資源紀要，7，59-62。

## 乗鞍高原における積雪期の気象特性および積雪融解特性

西村基志・佐々木明彦・鈴木啓助（信州大学）

### 1. はじめに

自然環境を形成する一因子である積雪を理解する上で積雪量や積雪融解量を明らかにすることは非常に重要である。積雪融解にはその地点の大気環境が最も影響するが、大気環境は気候や地域によって大きく異なるため、ある地点での積雪融解を理解するためには実際に気象観測を行い、実測値に基づいた議論が必要である。本発表は気象条件や地形などによって異なる融解特性について、未だ詳細に明らかになっていない亜高山帯下部における積雪融解の地域的特徴を明らかにするものである。

### 2. 方法

北アルプス・乗鞍岳東斜面の標高 1590 m 地点の平坦地にて、2011/12 年～2015/16 年冬季の 2014/15 年を除く積雪期において気象観測と熱収支解析を行った。気象観測項目は、気温、相対湿度、風速、気圧、降水量、短波放射収支、長波放射収支および積雪深である。また、雪面低下法を用いて熱収支解析の結果と照合し、解析結果の妥当性を検討した。熱収支解析には熱収支法、乱流輸送量の計算にはバルク法を用いた。熱輸送に関しては雪面に向かう方向を正の方向として定義する。また、天候による融解特性の違いを議論するために、10 分間隔で撮影した写真から降水形態を雨と雪に大別し、降水があった時刻の気温と照合することで、降水形態判別気温を算出し、降水形態を判別した。

### 3. 結果

気象観測の結果、本研究地点の気象特性として、気温と水蒸気圧が低く、風速が小さいことが明らかになり、各年の最大積雪深は約 100 cm から 200 cm であった。熱収支解析を行った結果、放射収支による熱量が総融解熱量に対して 100～110 %を占める割合であり、顕熱輸送量と潜熱輸送量はそれぞれ 10～15 %と -20 %を占めることが明らかになった。本研究地点における降水形態の判別結果をもとに、降雨時と非降雨時を 1 時間ごとに分け、それぞれの場合の融解熱量の特徴を明らかにした。その結果、降雨時には短波放射収支が  $20\sim30 \text{ W m}^{-2}$  減少し、長波放射収支が  $40\sim50 \text{ W m}^{-2}$  増加した。また、顕熱輸送量と潜熱輸送はそれぞれ  $2\sim3 \text{ W m}^{-2}$ 、 $11\sim13 \text{ W m}^{-2}$  増加した。降雨による伝達熱は全体の 1 %程度であった。融雪期後期における雪面低下法による融解量は水当量で 544 mm だったのに対し、熱収支法は 515 mm であり、概ね一致した。

### 4. 考察

熱収支解析の結果、放射収支による熱量が総融解熱量に対して大部分を占めた結果となった。本研究地点の気象特性が気温と水蒸気圧が低く、風速が小さいため、顕熱輸送量と潜熱輸送量が小さいからである。降雨時には、上空の雲からの下向き長波放射量の増加や、大気中の水蒸気圧の増加によって雪面への凝結が促進された結果、非降雨時に比べて放射収支量と潜熱輸送量が増加していた。一方、顕熱輸送量は減少していた。天候別の単位時間当たりの融解熱量は、降雨時が非降雨時に比べて大きい結果が示され、降雨時には多くの積雪融解が起きていることが示唆された。雪面低下法と熱収支法によるそれぞれの融解量を比較すると両方法の差は約 30 mm であるが、本研究の熱収支法では地表面からの熱輸送を考えていないためであると考えられる。それらを含めた融解量を考慮すると両方法の融解量はほぼ一致することから、本研究における熱収支解析の妥当性が示された。

## 融雪期における斜面災害の警備手法の検討

○佐藤亮太<sup>1</sup>, 飯倉茂弘<sup>1</sup>, 高柳剛<sup>1</sup> (鉄道総研 防災技術研究部)

### 1. はじめに

融雪に起因する斜面災害は、積雪底面から流出する融雪水が地中内への浸透し、地下水位が上昇することで発生に至ると考えられる。すなわち、融雪水（および降雨）の量（以下、積雪底面流出量とする）が増加することで、災害の発生危険度は高くなると考えられる。

融雪期の鉄道沿線では予め選定した災害警備区間を対象に、気温などを指標に用いて巡回警備を実施することで安全輸送を確保している。融雪期の安全・安定輸送のさらなる向上のためには、災害の誘因となる直接的な因子を指標とすることが望ましい。そこで本研究では、積雪底面流出量と斜面の耐力に応じた警備手法について検討した。

### 2. 積雪底面流出量の算出方法

積雪底面流出量の算出は、鉄道総研がこれまでに開発した手法<sup>1, 2)</sup>（以下、本手法とする）を用いて行った。本手法はアメダスデータ（気温、降水量、風速、日照時間）および地形データ（斜面方位、斜面傾斜、緯度経度）から、熱収支法に基づく積雪表面の融雪量および融雪水の積雪層内の浸透時間を考慮することで積雪底面流出量を算出するものである。

### 3. 警備手法の検討

本研究では、評価斜面が過去に経験した積雪底面流出量から警備指標を決定する方法を検討した。過去の気象データから評価斜面が経験した積雪底面流出量（警備指標値）を求め、統計的处理により警備指標値を決定する。過去に災害が起こった斜面においても同様の方法で警備指標値を決定し、災害発生時の積雪底面流出量が警備指標値を上回っていれば災害発生そのものを捕捉できており、警備の出動指標として、その機能を果たしていると考えることとした。

### 4. 警備指標値の算出方法

警備指標値の算出方法を図1に示す。図1中の×プロットは各年の日積雪底面流出量を示し、灰色の実線は日ごとに10冬期分の平均値を結んだものである。この平均値を結んだ実線は、積雪底面流出量の平均的な季節変化を示していると考えられるが、多くの年で平均値以上の日積雪底面流出量が生じている。したがって、平均値を警備指標値とした場合には、多くの「空振り」が発生することとなる。そこで、本検討ではより多くの積雪底面流出量を包括した警備指標値を求める

ために、それぞれの日の平均値に対して標準偏差分を上乗せし、各日の日積雪底面流出量の約7割を包括する値を算出した（図1中、黒の実線）。さらに、日毎の7割包括値の近似曲線（図1中、黒の破線）を評価斜面の警備指標値として用いることとした。

### 5. 過去の災害事例による検証

過去に発生した事例を対象に、災害年における日積雪底面流出量と、災害発生年以外の9年分の日積雪底面流出量の計算結果から求めた警備指標値とを比較して、災害発生日の積雪底面流出量が警備指標値を上回っているか調べた（図2）。その結果、災害発生日の積雪底面流出量は警備指標値を上回っており、今回検討した手法が巡回警備の出動基準として有効であると思われる。

今後はより多くの事例で検証を行い、手法の適用範囲等に関する整理を行うことで、融雪期の斜面災害の発生危険度を逐次評価できるシステムの開発に取り組む計画である。

#### 参考文献

- 1) 栗原靖ら, 2013: 融雪水の積雪底面流出量の推定手法. 鉄道総研報告, Vol.27, No.11, pp29 - 34.
- 2) 佐藤亮太ら, 2015: 積雪底面流出量推定モデルの斜面適用化に関する検討. 寒地技術論文報告集, 31, 78-83.

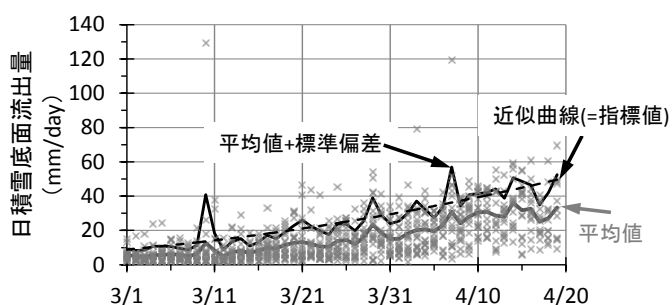


図1 指標値の算出方法の例

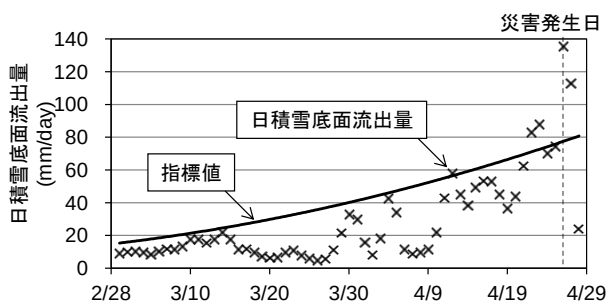


図2 災害発生年の日積雪底面流出量と警備指標値との比較



## 2016-2017 冬期斑点ぬれ雪観察報告

○藤野 丈志((株)興和)・亀田 貴雄(北見工業大学)・納口恭明(防災科学技術研究所)  
小澤 久(広島大学)・原田 康浩(北見工業大学)・村井昭夫(石川県立大学)

## 1 はじめに

斑点ぬれ雪<sup>1)</sup>は、濡れ雪に閉じ込められた気泡が白い斑点となって見えている、薄く積もった積雪である。斑点ぬれ雪は、A 型(新たに堆積した 3 cm 深程度以下の自然積雪から生成、広域に分布することが特徴)、B 型(自然積雪の融解過程で生成、5 m×5 m 未満など比較的狭い領域に分布することが特徴)、C 型(車のタイヤ跡や人の足跡など圧雪に生成)、D 型(マイナスの気温のため表面が氷で覆われているもの)に分類されている<sup>2)</sup>。本報告では 2016-2017 冬期に見つかった新たなタイプの斑点ぬれ雪と、自然積雪に白い斑点を生成する実験の結果を報告する。

## 2 新たなタイプの斑点ぬれ雪

図 1 はダム湖の湖面上の積雪に生成した斑点ぬれ雪である。斑点ぬれ雪は、空気が入っている白いぬれ雪と、ほぼ空気が抜けたぬれ雪の間にみられた。白い斑点の直径は大きなもので 10 cm 程度(写真の画角と大まかな撮影距離から算出)とみられる。積雪が初めから水に浮いた状態で生成した点で、新しいタイプの斑点ぬれ雪と考えられる。図 2 は、道路上の氷板に白い斑点が生成したものである。氷板はバスが載っても潜らない硬さであった。プラスの気温で降雨がある中で生成していた。ぬれ雪ではなく氷板から白い斑点を生成した点で、新しいタイプの斑点ぬれ雪と考えられる。

## 3 斑点ぬれ雪生成実験

シャーベット状となったぬれ雪の底面に、注射器を使って空気を入れて、白い斑点を生成する実験をおこなった結果を図 3 に示す。小さな斑点がみられるぬれ雪では斑点を生成することができたが、気泡しか見られないぬれ雪では、網目状に空気が広がるだけで、斑点を生成することはできなかった。斑点を生成できるぬれ雪では、その底面に空気が自由に動ける水層がある可能性が考えられる。

- 1) 亀田貴雄・原田康浩・高橋修平(2012): 道路上の濡れ雪の白い斑点模様 (3), 雪氷研究大会講演要旨集, Vol. 2012
- 2) 亀田貴雄・藤野丈志・村井昭夫・原田康浩・納口恭明・小澤久(2016): 道斑点ぬれ雪の生成・消滅過程および分類, 雪氷研究大会講演要旨集, Vol. 2016

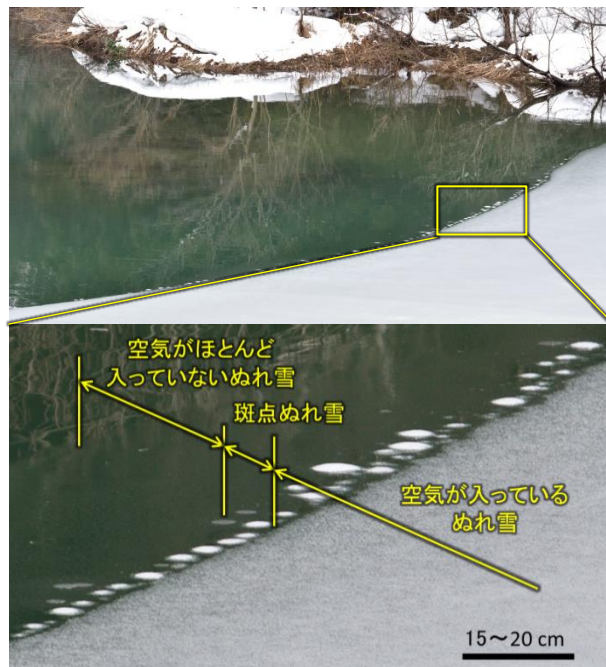


図 1 湖面に生成した斑点ぬれ雪(新潟県上越市)



図 2 道路上の氷板に生成した斑点(北海道函館市)



図 3 空気注入による斑点生成実験

## 積雪期の上高地における特異な低温

○黒雲勇希, 佐々木明彦, 鈴木啓助 (信州大学)

### 1. はじめに

大気現象は気温, 日射量, 湿度などの様々な要素から成り立っており, これらは空間的に多様な変動を示すため, 山岳地域では標高の高さや複雑な地形のために局地的な大気現象が生じやすい. また, 気象要素はフィールドにおける諸現象の制御要因であり, とりわけ気温は様々な研究分野にとって重要な情報となる. したがって, 山岳地域の気温分布を理解することは, 様々な研究分野への応用や資源管理, 防災などの観点から重要である. また, 中部山岳地域のような冬季は積雪に覆われる地域では, 積雪による気温への影響も考慮する必要がある. 雪面上の気温は主にアルベドの大きさによって支配されることが知られており, とりわけ新雪はアルベドが大きいために, 極端な低温の発生に関わる重要な因子である (近藤, 2011).

中部山岳地域に属する上高地においても, 12月から翌3月までの積雪期には特に強い冷気湖が見られ, 日最低気温が $-20^{\circ}\text{C}$ を下回る極端な低温日も年間数日程度発生する. これには積雪が寄与している可能性がある. 本研究では, 積雪期の上高地で生じる冷気湖について, 主に積雪と関連付けて発生条件や消長を明らかにすることを目的とする.

### 2. 方法

研究対象地域は北アルプス南部の上高地である. 信州大学上高地ステーション (標高 1530 m, 以下上高地 St.) に自動気象観測装置を設置し, 2009 年 12 月から 2015 年 3 月まで気温, 風向, 風速, 降水量, 日射量, 降雪深を観測した. 上高地 St. 近傍の岳沢にも標高 100 m 間隔で 1600 m から 2300 m まで気温ロガーを設置し, 2011 年 12 月から 2015 年 3 月まで気温を観測した. 低温の発生と総観場の関連を明らかにするため, 気象庁が発表する毎日午前 9 時 (JST) の地上天気図を 6 種の気圧配置型 (吉野・甲斐, 1975) に分類した. また上高地 St. の日射量と降水量のデータより, 日々の天気分類を実施し, 低温の発生条件の解析に用いた.

### 3. 結果および考察

観測期間の 6 積雪期を通じて, 約 11% の日数で $-18^{\circ}\text{C}$ 以下の極端な低温を記録した. 極端な低温を記録した日の気象条件は, 中部山岳地域が移動性高気圧に覆われた日, あるいは弱い西高東低の気圧配置となった日であり, 前日から発生日にかけて晴天が続き, 放射冷却の促進に適した静穏な夜間のケースがほとんどであった. これらの低温日のうち, 日最低気温が $-23^{\circ}\text{C}$ を下回る最も低温となったケースは, 直前の降雪後 1 日半から 3 日間の間にのみ出現した. 積雪は時間の経過とともに融雪や汚れによる熱容量の増加やアルベドの低下が進むため, 降雪からの日数が経過するにしたがって冷却効果が減少するが, 厳冬期の上高地においては数日以内であれば新雪が融けずに保存されるため, この期間に最も強力な低温の出現が集中したものと考えられる. 特異な低温を引き起こす強力な冷気湖の形成も, 降雪後半日から 60 時間程度の間に集中した. 上高地に生じる冷気湖の継続時間は, とりわけ 17 時間以下の範囲で, 冷気湖の逆転温度と良好な正の相関を示した. また, 当地域の冷気湖は継続時間が一昼夜以下のもの (以下一昼夜型冷気湖) がほとんどであったが, 複数の日にまたがる非常に長時間のもの (以下持続型冷気湖) が発生していることも明らかになった.

次に, 冷気湖の消長を明らかにするため, 典型的な一昼夜型, 持続型冷気湖についてケーススタディを行った. 一昼夜型の冷気湖は静穏な晴天の夜間に, 盆地内の下層から冷気が蓄積することで発達し, 厚みのある強力な接地逆転層を生じた. 翌日の日の出とともに盆地内で対流が生じると, 速やかに解消へ向かった. 一方, 持続型冷気湖は, 盆地内に一昼夜型の冷気湖が形成された状況下で低気圧が接近し, 上空に暖気が流入して移流性逆転が生じたときに発生した. 一昼夜型冷気湖と比較して接地逆転層の厚みは小さく, 盆地内への暖気の侵入に伴い冷気湖の高さが低下する現象も見られた. 低気圧の通過後, 上空に寒気が流入すると冷気湖は解消した. 持続型冷気湖の形成と解消には, 総観規模の気圧配置が強く影響していると考えられる.

## 近年における長野県内の年最深積雪および年降雪量の変化率

○浜田 崇・栗林正俊・富樫 均・大和広明（長野県環境研）

### 1. はじめに

将来の気候変動に伴う降積雪の変化を調べるには、まず過去の変化を知ることが重要である。気象庁(2016)は新潟県以西の日本海側で年最深積雪の減少傾向を報告している。一方、東京管区気象台(2016)では長野市、松本市、飯田市における年最深積雪には長期的なトレンドはないとしている。こうした違いは雪の降り方や標高などに起因していることが考えられる。本研究ではこれらの影響を調べるため、まずは長野県内の降積雪の変化傾向について解析を行ったのでその結果について報告する。

### 2. データ

用いたデータは、気象庁が長野県内において雪の観測を行っている 12 地点の年最深積雪および年降雪量である。気象台および特別地域気象観測所が 5 地点（長野、松本、飯田、諏訪、軽井沢）、アメダスが 7 地点（小谷、白馬、大町、野沢温泉、飯山、信濃町、菅平）ある。統計期間をそろえるため、前者の解析は 1962 年～2015 年、後者については 1984 年～2015 年とした。トレンドの有意性については Mann-Kendall 検定を行った。なお、解析期間内には観測所の移転や測定方法の変更などがある地点も含まれている。

### 3. 結果

解析の結果を表 1 および表 2 に示した。ここで変化率とは、解析期間内における変化傾向を直線で回帰した際の傾きから求めたものである。年最深積雪については、アメダス信濃町および菅平においてのみ増加トレンドがみられた。有意ではないものの、日本海側に近い大町、野沢温泉、飯山においては減少傾向を示した。一方、年降雪量についてはすべての地点においてトレンドは確認されなかったが、地点により増加と減少傾向が異なる。今後はこれらの傾向について移転等の影響も含め詳細に解析する必要があると考える。

### 4. 謝辞

本研究の一部は文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) の支援を受けて実施されました。

表 1：気象台および特別地域気象観測所における年最深積雪および年降雪量の変化率

|                    | 長野    | 松本    | 飯田   | 諏訪  | 軽井沢  |
|--------------------|-------|-------|------|-----|------|
| 年最深積雪<br>(cm/100年) | 6.3   | 17.9  | 20.0 | 4.4 | 15.6 |
| 年降雪量<br>(cm/100年)  | -35.4 | -25.2 | 17.1 | 8.9 | 29.2 |

表 2：アメダスにおける年最深積雪および年降雪量の変化率

|                  | 小谷     | 白馬    | 大町     | 野沢温泉   | 飯山    | 信濃町    | 菅平     |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 年最深積雪            | 55.5   | 56.0  | -5.7   | -81.0  | -17.5 | 173.3  | 41.1   |
| 年降雪量<br>(cm/100) | -133.4 | 203.6 | -129.3 | -754.8 | 145.0 | -651.9 | -217.6 |

はMann-Kendall検定の結果、有意水準1%以下で有意。

はMann-Kendall検定の結果、有意水準10%以下で有意。



## カワウ追払い用水銃の性能と信頼性の向上

## Improvement of performance and reliability of the Ice Bullet Gun for frightening cormorants away

○中村友洋<sup>1</sup>, 上村靖司<sup>2</sup>

Tomohiro Nakamura and Seiji Kamimura

## 1. はじめに

山梨県河口湖において、魚食性大型鳥類であるカワウの個体数が急増し、水産資源（ワカサギ）の捕食被害が深刻化している。陸路でアクセスできないため「ねぐら」の駆除は困難で、かつ法規制により漁業・遊漁水域では銃器が使用できない。そこで本研究室で開発してきた氷柱を弾丸とするエアソフトガン（氷銃）を適用し、電源確保のできない孤島で2015年度に実証実験を行った。実証実験で明らかになった種々の不具合を解決し、性能と信頼性を向上させたので、その結果を報告する。

## 2. カワウ追払いに特化した実証機の仕様

カワウ追払いに特化した本機の仕様は表1の通りである。本機の使用期間はカワウ観測数が増える10月～2月である。夕方の帰巢する時間帯（16～20時）に氷弾発射によって追払い、戻るところまた追い払うという動作を想定し、10分間隔での発射とした。また電源の無い島なので、太陽光パネルと蓄電池によって自立電源とした。

表1 カワウ追払い実証機の仕様

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 防水防塵性   | IP67 (JIS C 0920:200) 相当 |
| 使用期間・時間 | 10月～2月の16時～20時           |
| 環境気温    | -6.2℃～8.2℃               |
| 設置場所・高さ | 河口湖鵜ノ島・地上約12m            |
| 電源      | 自立(太陽光発電+蓄電池)            |
| 発射条件    | 時間制御(10分間隔)              |

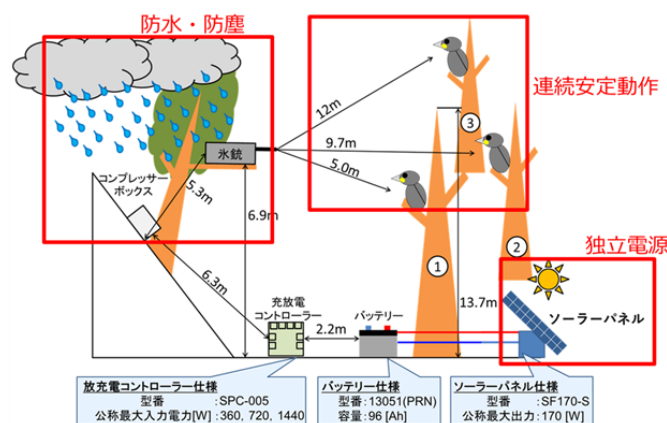


図1 実証機設置環境と機器レイアウト

注水、製氷、加圧、発射のサイクルは制御回路（Arduino）によって完全に自動化した。氷銃本体には、汎用防水防塵ケース（IP67）を用い（図1）、加圧用エアコンプレッサを除く全ての電子回路・機器（リレー、注水ポンプ、制御器）をこれに納めた（図2）。

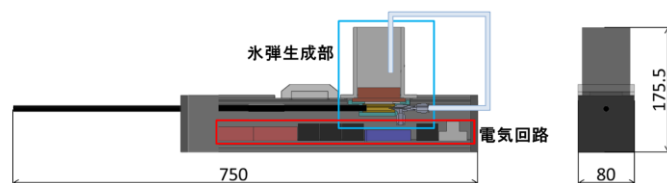


図2 カワウ追払い用水銃（実証機）内部構造

冬季の夜間に原料水が凍結する恐れがあったため、水槽底にペルチェ素子放熱部を組み込み（図3）、放熱凍結抑制を兼ねさせた。

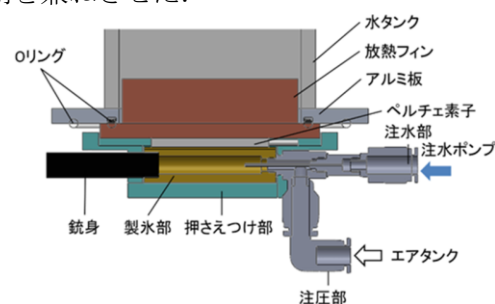


図3 氷弾生成部構造

## 3. 装置の改良

今回、改良を施した氷銃の問題箇所は主に4つに分類される。①注水の問題：タンクの上部設置による意図しない過剰注水、②加熱の問題：不均一加熱による氷弾の部分融解が引き起こす加圧空気漏れと時間制御による環境条件不適応、③加圧の問題：流路設計不良による圧力損失が原因の弾速低下、④信頼性の問題：漏水や結露による回路のショート。

注水の問題については、水流を制御する電磁弁を追加しポンプと連動させた。加熱の問題については、製氷部材質を熱拡散率の大きいアルミに変更するとともに、サーミスタを追加して製氷部温度による制御とした。加圧の問題は、流路中の部品をすべて見直し流路の旧縮小部を無くし圧力損失を抑えた。信頼性の問題については、電気回路の配置を見直した上で防水コートと漏水箇所へのシリコンシールを行った。

以上の改良の結果、適切な注水、氷弾表面の均一な融解により、発射成功確率がほぼ100%となった。また圧力損失が減ったため氷弾速度は改良前の3倍にあたる100m/sまで向上した。さらに回路配置変更により、部品間の干渉が減り断線の危険性が低下し、不具合の発見も用意になった。漏水箇所の徹底的なシールと防水コートにより、意図せぬ漏水や結露時の回路のショートを回避できるようになり、信頼性が向上した。

## 参考文献

1) 西間木悠輔他, 2014: 有害鳥獣威嚇用水弾発射装置の開発。2014年度雪氷研究大会講演予稿集, p273.

<sup>1</sup> 長岡技術科学大学大学院工学研究科

<sup>2</sup> 長岡技術科学大学機械創造工学専攻

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology  
Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology



## 圧力・加速度センサ装着スコップによる除雪動作の解析

上村靖司（長岡技科大）・村井優・○赤川祐太（長岡技科大・院）

### 1. はじめに

著者らは「楽しめる雪かき」として、除雪用スコップに圧力・加速度センサや制御・通信機器を取り付け、除雪量、スキルレベル等をスマートフォンで表示するシステムの構築に取り組んできた。その第1段階として、圧力センサによる除雪量計測を行った結果を、昨年の北信越支部大会で報告した<sup>[1]</sup>。本報告では、除雪スキル向上を目的とした、圧力・加速度値から除雪動作の解析・判定を行った結果を報告する。

### 2. 実験装置

実験に用いたスコップの概要を図1に示す。加えられた圧力の増加に伴い電気抵抗が減少する性質を持つ圧力センサを柄の持ち手部分に、その近くに静電容量型3軸加速度センサを設置し、汎用の制御回路（Arduino）を用いて計測、有線でPCにデータを転送するシステムを構築した。加速度センサの移動座標系は図1のとおりである。

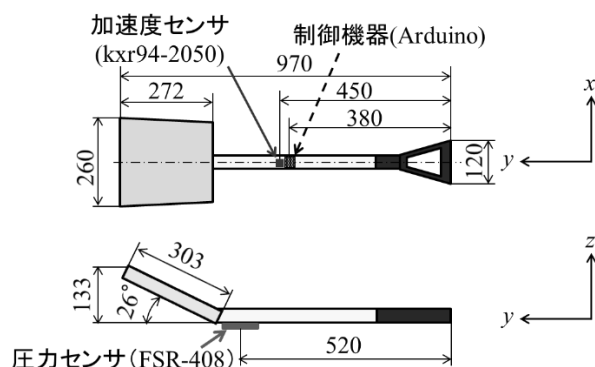


図1 スコップ概要図

### 3. 判定項目

除雪の動作は、①切り出し、②持ち上げ、③投げ出し、④休みの4つに分類できる。①は、雪をブロック状に切り出すことにより、容易に雪を持ち上げることができる。また、②と③の間に反動をつけることで、投げ出す雪へより大きい速度を与えることができる。また、③において、正面ではなく、利き手側へ投げ出す場合、腰を捻る必要があり、身体に負担がかかるので好ましくない。

以上より、動作判定項目は、「切り出し」「反動づけ」「投げ出し方向」の3つとする。

### 4. 実験とアルゴリズム作成

2.0 kg の模擬雪（水を入れたペットボトル）を実験者の前方に置き、①～③の動作を行い、圧力値  $F$  と加速度値を取得した。模擬雪は約 2 m 前方へ投げ出した。取得した加速度値は、高域通過フィルタにより重力加速度成分を除去した。さらにスコップの移動した向きを明確にするため、加速度値を積分して  $x, y, z$  各方向の速度 ( $V_x, V_y, V_z$ ) を算出した。実験結果の一例を図2に示す。

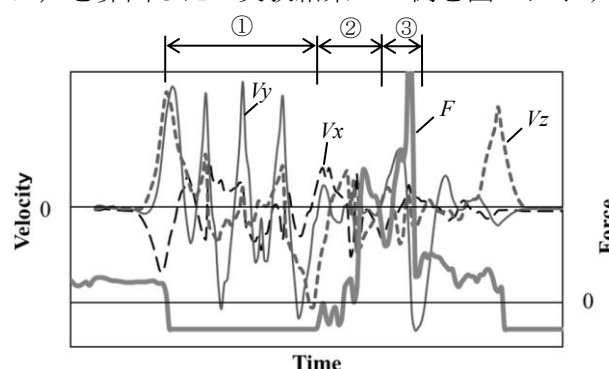


図2 実験結果の一例

切り出し動作はスコップを  $y$  方向に動かすため、速度は  $V_y$  成分が支配的になる。反動つけ動作は②と③の圧力ピーク値の間で、 $V_y$  成分が支配的になる。また、投げ出し方向は、利き手側以外の方向へ投げ出した場合、 $V_x$  はあまり変化しないが、利き手側へ投げ出した場合のみ、 $V_x$  が大きく変化することがわかった。これらの特徴から、それぞれの動作判定アルゴリズムを作成した。

また、複数人の被験者が実際に除雪を行い、作成したアルゴリズムにより動作判定を行ったところ、判定成功率は、切り出し動作は約 60%、反動つけ動作は 70%、投げ出し方向は、約 60%であった。除雪スキル向上を目的とした判定であることから、十分な判定成功率であるといえる。

なお本研究は、平成 27 年度内田エネルギー科学振興財団の助成を受けて遂行されたことを記し、謝意を表する。

### 5. 参考文献

[1] 上村靖司・村井優・赤川祐太（2016）『圧力センサ装着スコップによる除雪作業量計測の試み』、雪氷北信越、第36号、p.18

## 雪下ろしに特化した安全ハシゴの開発とモニター調査

上村靖司（長岡技科大） ○増田宗一郎（長岡技科大・院）

### 1. はじめに

人身雪害の4分の3は高所転落による事故であり，この対策が進めば除雪作業中の事故を大幅に削減することができる．平成28年に新潟県住環境改善検討委員会は，高所からの転落事故の中にハシゴからの転落事故が相当数含まれることを報告書の中で指摘している<sup>1)</sup>．

本研究ではハシゴの事故がこれまで認識されていた以上に多いという報告を踏まえて開発中の，屋根雪除雪に適した新しい安全ハシゴの試作品について，平成29年1月から2月にかけて新潟県・山形県・長野県で開催された「雪かき道場」にて参加者および地域住民から試用してもらった結果を報告する．

### 2. 安全ハシゴ開発のポイント

ハシゴ・脚立の製造販売を行う長谷川工業（株）（本社 大阪市）と共同して，屋根の雪下ろしに適したハシゴの開発を行っている．開発のポイントは次の通りである．

- (1) 足元（端具）の滑りを防止するために，足元を雪に埋め，固めることを推奨する．そのため，雪に埋め込む際に最下段の踏ざん（横に渡した部材，ステップ）が変形しないように補強部材を付加する．
- (2) 屋根にかかるハシゴ上部が横滑りしないように，ハシゴの支柱から屋根に向かう腕（安定器）を付加する．また屋根に接する支柱側面に横滑り防止クッションを貼り付ける．
- (3) 屋根に乗り移る際の転落を避けるため，体をハシゴの横に出さずに，真っ直ぐに移ることを推奨する．そのために片手で支えながら乗り移れるように，支柱の片側に延長する棒（手がかり棒）を取り付ける．



写真1 雪下ろしに特化した安全ハシゴの外観

### 3. モニター調査

実際に試作したハシゴを持ち込み，平成29年の表1に示す日程，地域で開催した「雪かき道場」に参加していた59名（地域住民：47%，平均年齢：42.2歳，男性：87%，女性：13%）に使用してもらい，アンケートをとった．

表1 雪下ろし安全講習会開催地域一覧

| 日程       | 場所         | 人数 |
|----------|------------|----|
| 1月21-22日 | 新潟県長岡市川口木沢 | 12 |
| 1月28-29日 | 新潟県長岡市山古志  | 9  |
| 2月4-5日   | 山形県酒田市日向   | 28 |
| 2月11-12日 | 長野県長野市鬼無里  | 10 |

実際に安全ハシゴを使用してもらい，一般的なハシゴと比較して安全と感じられたかを3段階で回答してもらった．結果を図1に示す．開催地ごとに違いはあるが，全体で8割以上の参加者が安全と感じた．安全と感じられなかった主な理由は，「開催時期に雪が少なく効果が感じられなかった」，「ステップが滑る」があった．

安全ハシゴの使用者全員が“安全”を実感するだけでなく，ハシゴの事故が起こらないようモニター調査から得られた要望・改善点を考慮して今後更なる改良を行い，市販化を目指す予定である．

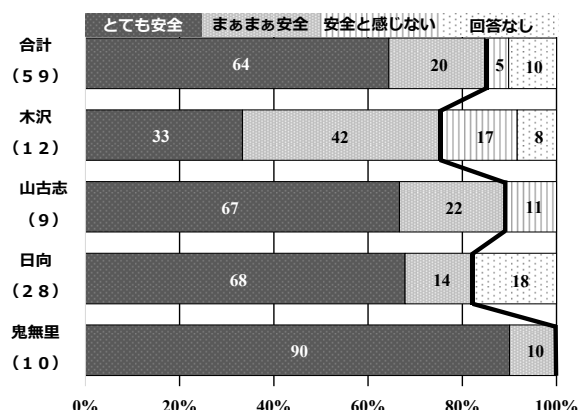


図1 一般的なハシゴに対する安全性調査

#### 参考文献

- 1) 新潟県雪国の住環境改善検討委員会，2016：  
[http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML\\_Article/866/553/houkoku.pdf](http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/866/553/houkoku.pdf) (2016年3月16日アクセス)

## ユーチューブ映像上のカーリングストーンの運動解析法

°対馬勝年, 森克徳

## 1. はじめに

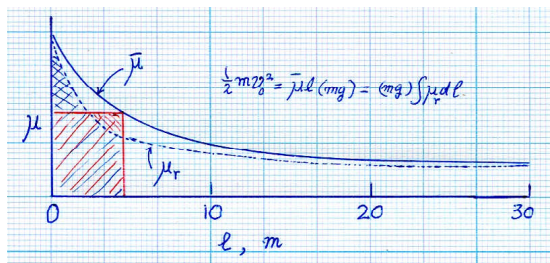
カーリングストーンの運動解析にビデオ映像が多く使われる。ビデオ映像には一コマ(通常 0.03 秒)毎の時間情報があるから、ストーンの運動解析に都合がよい。しかし、従来、この機能が十分に活用されているとは限らないようなので、筆者らの行っている手法を紹介したい。

## 2. カーリングストーン運動映像

インターネットのユーチューブ上にはカーリング世界選手権大会の録画映像が多数登録されている。世界最高選手による実験映像が容易に入手できる。録画をムービーメーカーという再生プログラムで開くと、1 駒目からの経過時間が 0.03~0.04 秒間隔で表示され、映像の前進・後退が可能となる。ストーンが滑走するアイスシートには、中心線、ホッグライン、ティーライン、大小の円、その他の画像が埋め込まれており、ストーンの直径(0.3m)、ストーン上面に棒状のハンドル、その他の目印もある。これらがストーンの縦位置、横位置(カール距離)、回転を見積もる手掛かりとなる。

3. 摩擦係数  $\mu$ ,  $\mu_r$  の決定法

初めに摩擦係数  $\mu$  を一定  $\bar{\mu}$  と仮定すれば、速度  $V$  は  $V=V_0 - \bar{\mu}gt$ , 滑走距離  $l$  は  $l = V_0 t - (1/2)\bar{\mu}gt^2$ 。停止までの時間を  $t$  とすれば、 $V_0 = \bar{\mu}gt$  ( $g$  は重力加速度)だから、滑走停止距離  $l$ 、滑走停止時間  $t$  から摩擦係数が  $\bar{\mu} = 2l/(gt^2)$  と決定される。ここで終端を時間と距離の原点に置き換えると、終端からの距離  $l$  を代入すれば摩擦係数が決定される。この摩擦係

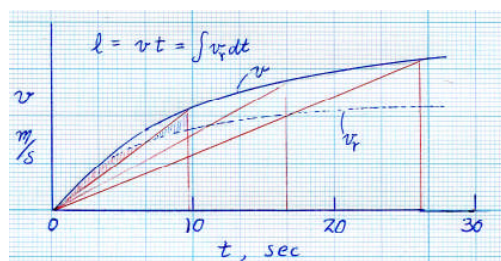


数は  $l$  から停止までの平均の摩擦係数  $\bar{\mu}$  であり、 $\bar{\mu}mg l$  は運動エネルギー  $(1/2)mv_0^2$  に等しい。 $\bar{\mu} - l$  図上の面積  $\bar{\mu} l mg$  は摩擦エネルギーである。滑走中の摩擦係数を  $\mu_r$  とすると、 $\bar{\mu} l = \int \mu_r dl$ 。つまり長方形の面積に等しい曲面の面積を作る点  $\mu_r$  を原点付近から順次決定していけば  $l$  点における摩擦係数  $\mu_r$

が決定される。停止点に近づくほど  $\bar{\mu}$  は増大するから真の  $\mu_r$  は  $\bar{\mu}$  より小さい。

4. 速度  $V$ ,  $V_r$  の決定法

停止までの時間  $t$  から停止までの平均速度の 2 倍が  $t$  点での速度  $V$  だから、 $V=2l/t$  として  $V - t$  曲線が得られる。ここで停止の瞬間を時間の原点として時間  $t$  を書き換える。 $V$  曲線から真の速度  $V_r$  を得るには  $l = Vt/2 = \int V_r dt$  の関係を使う。 $V - t$  図



上で原点  $V, t$  を結ぶ三角形の面積と面積が等しくなるように描いた  $V_r - t$  曲線から真の速度  $V_r$  が得られる。氷上のストーンの運動の場合、時間に対する速度  $V$  の変化は高速では小さく低速になるほど大きいから、 $V_r$  は  $V$  より小さくなる。

## 4. ホッグライン間での位置決定法

距離の見積もりはホッグラインからハウスまでの間は大小の円(半径 0.15, 0.61, 1.22, 1.83m)や中心線、各種模様など距離の手掛かりが多くストーンの位置決定が容易である。しかし、ホッグライン間(21.95m)では、映像に中心線以外に距離の目安となる模様のないことが多く、特に縦位置決定上のネックだった。我々は実測の平均速度と平均摩擦係数を使って hog line 間の縦位置を決定している。hog line 間の通過時間は正確に読み取れること、その間の摩擦係数の変化は 0.001 程度と小さいから読み取り時間  $t$  に対するストーンの縦位置  $y$  をかなり正確に見積もることができる。

停止時間は速度-時間曲線で速度が 0 となる時間から決定するのがよさそうである。

## 5. おわりに

ユーチューブ上のカーリング映像から摩擦係数、速度、hog line 間の縦位置を導く方法を述べた。実際に解析してみるとビデオ映像には撮影角度から生ずる縦横にゆがみのあることに気付く、この補正法については専門家のアドバイスを受けたい。

## 汎用レーザー距離計による積雪深計測

上村 靖司（長岡技術科学大学） ○鈴木 智也（長岡技術科学大学大学院）

### 1. はじめに

平成 26 年豪雪では関東・甲信地方を中心に大雪となり、国道、高速道路など主要な道路交通網が寸断され、特に物流は大きな被害を受けた。日本損害保険協会の調べによると、被害による保険金の支払い額は 3,800 億円を超え、日本の風水害の中で 3 番目に大きい額であった。

関東に気象庁の積雪深観測地点は 16 箇所のみであり、東京都及び埼玉県は各 1 箇所である。積雪情報の不足が対策を遅れさせ、被害が拡大したと考えられる。非豪雪地での思いがけない大雪による被害を減らすには、積雪深計の面的設置が有効であるが、一般に 50～100 万円と高価であり普及は容易ではない。

本研究では、汎用のレーザー距離計を用いる、安価な積雪深計測機の開発に取り組んだので、今冬の実験結果を報告する。

### 2. 屋外実験

実験には汎用のレーザー距離計（Leica 製:D110）を用いた。1 秒間隔で連続的に距離計測を行い、取得データは Bluetooth 機能によりパソコンに直接取り込んだ。測定器設置の概要を図 1 に示す。レーザー距離計を大学敷地内の屋外に、地上から 2.8m の位置に計測角度  $60^\circ$  で設置した。レーザー距離計による積雪深の連続測定に加え、レーザー照射位置付近にスケールを設置し、目視による積雪深の計測も 1 時間毎に行った。また容器を設置し 1 時間降雪深の計測も行った。常時カメラで降雪の様子を撮影した。測定は 2017 年 2 月 2 日の 9 時 20 分から 16 時 20 分までの合計 7 時間である。

### 3. 実験結果

レーザーとスケールにより計測した積雪深と 10 分間あたりのレーザーによる計測の欠測数の結果を図 2 に示す。グラフ内の降雪「強」と降雪「弱」はカメラ映像から判断した降雪の強さを示す。

7 時間の計測で欠測数は合計 13 回で、そのうち 9 回が降雪中の欠測であった。全体で欠測する確率は、0.5%以下であり、降雪の有無にほとんど影響を受けることなく測定できることが確認できた。レーザー距離計

とスケールによる目視での積雪深は、最大でも約 8mm の差で、実用的精度で測定できていることが確認できた。積雪深の 1 分間平均と標準偏差を図 3 に示す。標準偏差を見ると、降雪がない時は約 1mm、降雪がある時は最大約 4mm であり、ばらつきは小さい。レーザー距離計とスケールによる毎正時の積雪深差と、1 時間毎に容器で計測した降雪深の差は、1cm 以下と正確に測定できていた。

### 謝辞

本研究は、中越防災安全推進機構と（株）興和の協力を得て「気象災害軽減イノベーションハブ」の一環で実施された。

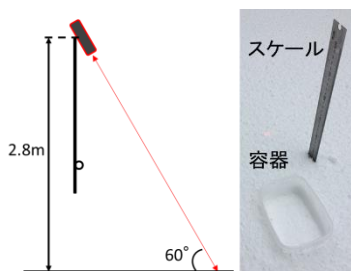


図1 レーザー距離計の設置状況

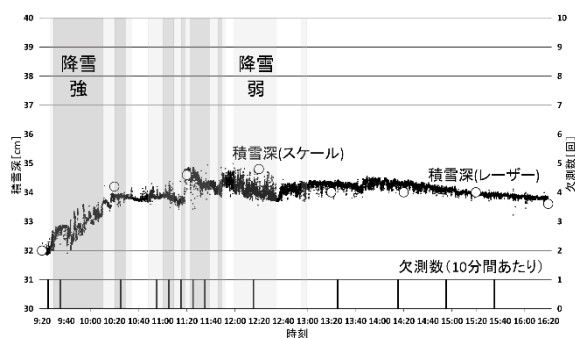


図2 積雪深と欠測

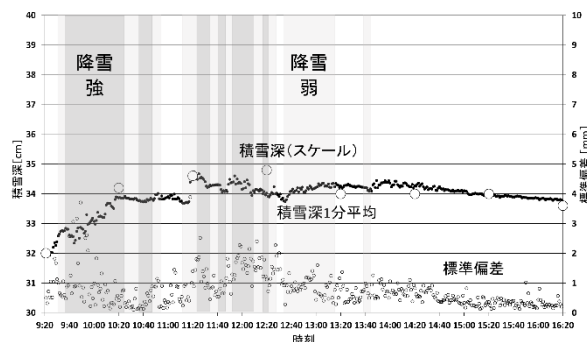


図3 積雪深 1 分間平均と標準偏差



## 氷床コア深層掘削機の電装部の開発 — データ通信 —

○高田守昌（長岡技術科学大学）・本山秀明（国立極地研究所、総合研究大学院大学）

### 1. はじめに

日本南極観測隊は、南極氷床のドームふじ地点において 3035m の掘削により、過去 72 万年前までの環境情報が記録された氷試料の採取に成功し、過去の環境変動の解明が行われている。ドームふじ地点近傍において、更に古い過去 80 万年を超える氷試料の存在が推定されており、新たに氷床コア深層掘削解析を実施する第三期計画が進行している。

氷床コアの掘削システムは、ウインチ、マスト、掘削機、地上のコントローラ等から構成される。氷床コア試料は、掘削機を掘削孔にウインチで吊下げ、孔の底面で刃物を回転させ氷床を鉛直方向に掘り進んだ後に、掘削機を引き上げるより採取される。掘削機は、氷を掘り進むための機械部だけでなく、地上より掘削状態をモニタするための計測制御を行う電装部を有している。機械部は、第一期の掘削機を基本に、第二期で一度の掘削で採取可能なコア長が 4 m のコアバレルとチップ回収に改良された。一方、電装部は 1990 年代の第一期に作られた古いものであり、同じ電装部を用いた第二期の掘削孔の検層結果から、温度測定値にデータ処理に問題が存在している。そこで、電装部の更新と新たな付加価値をつけることを目的とし、テストを行いながら基本設計に取り組んでいる。本設計で懸念事項であったデータ通信のテストを実施したので、これらについて報告する。

### 2. 掘削機電装部の設計

電装部の設計で重要となるのは、ウインチケーブルの仕様である。ウインチケーブルは掘削機を吊るすためのワイヤー線だけでなく、掘削用のモーターや電装部への電源供給、掘削機の状態を伝達するための導線から構成されている。第一期、第二期の掘削で使用したウインチケーブルは、7 本の導線を有するタイプである。南極にこの予備品が存在し、これまでに大きな不具合がないことから、第三期の掘削においても、同じウインチケーブルを使用すると想定した。7 本の導線は、これまで同様に 4 本を電力線として用いる。本設計では、通信にはシリアル通信のひとつである RS485 を用いることとし、2 本の導線を通信として用いる仕様とした。導線数に制約があることから、印加電圧の異なる電装部と掘削モーターの電源供給には、リレー回路と 2 次電池を用いることとした。

### 3. ウインチケーブルを介したデータ通信テスト

掘削機と地上のコントローラ間のデータ通信は、長いウインチケーブル導線を介して行うこととなる。ウインチケーブルを介した RS485 通信の実績が無かったことから、700m の中層掘削機のウインチドラムに巻かれたケーブルを利用し、通信テストを実施した。ケーブルの一端より RS485 経由で文字列を送信し、もう片方の一端で RS485 経由で信号を受信した。テストの結果、送受信の文字列が同じであり、この長さのウインチケーブルを用いた通信の実績を得た。そして、送受信可能な上限速度を調べるため、通信速度を上げて、文字列の送受信のテストを繰り返した。この結果、上限速度は、230400bps であった。この速度は、700m のケーブル長に対する RS485 規格の上限速度と概ね一致した。また、オシロスコープを用いた送受信の波形のモニタから、速度の増加とともにシリアル通信の矩形波形が崩れていったことから、ウインチドラムに巻いてあることや接点端子の影響がないことが分かった。これらから、掘削機のデータ通信手段として、RS485 を用いる目処が立った。

## 南極リュツォ・ホルム湾沿岸におけるソーラーパネル用いた インフラサウンドの通年観測

○竹内由香里（森林総研十日町試験地）

はじめに 南極の昭和基地とリュツォ・ホルム湾沿岸の7地点（図1）において、通年無人でインフラサウンドや地震動の観測が行われている。センサーやロガーに必要な電源はバッテリーを使用し、バッテリーはソーラーパネルの発電により充電される。毎年12～1月に現地へ行き、データ回収と保守を行なって観測を継続している。観測は概ね順調であるが、7箇所の観測点のうち、氷床上の1地点（S16）では、10月にロガーが停止し、その後欠測となる問題が生じた。そこで、その要因を確かめ対策を講じるために、ロガーやバッテリーの入った保温ボックス内の温度を通年で測定した。得られた結果を基に氷床上で通年観測する際の課題を報告する。

**測定方法** 測定には、ボタン電池状で温度センサー、メモリー、電池を内蔵している超小型温度記録計（サーモクロンGタイプ）を使用した。1回の連続記録数が2048データであるため、測定間隔は4時間毎（0, 4, 8・・・

時）の1日6回に設定し、341日間の測定を行なった。測定値の分解能は0.5℃である。この温度計を2016年1月に観測点のボックス内において測定し、翌2017年1月に回収した。また、氷床上観測点では、年間の雪の堆積量を調べるために、データ回収に行ったときに雪尺（竹竿）の雪面上の長さを測定した。

**測定結果** 6地点全てで2016年1～11月の温度を測定することができた。代表的な3地点のデータを図2に示す。 Rundvokshettaほか露岩上の4観測点では、夏の間は日射により大幅な日変動が見られたが、4月以降は日射量や日照時間の減少に伴い、日変動はなくなり、数日周期の変動になった。氷床上のS17では変動幅が小さく、8月以降に日射が戻っても、ほとんど変動せずに夏に向けて緩やかに温度が上昇した。年間で最も温度が低かった7～8月にかけて詳しく見ると（図省略）、S17以外の5地点で最低温度を記録した時期に、S17では温度低下が小さく、6地点で最も高い温度を維持していたことがわかった。

**考察** S17において露岩上の観測点やP50ほど温度が低下しなかったのは、温度計をおいたボックスが吹雪で雪面下に埋没し、雪の断熱効果があったためと考えられる。一方、P50では雪の堆積量が少なく、ボックスが雪面上に出ていたため、低い最低温度が記録されたと考えられる。インフラサウンド観測で欠測が生じたS16は、S17より更に堆積量が多くボックスが雪面下に埋没していたので、ロガーが停止した要因は低温によるバッテリー電圧の低下ではないと考えられる。一方、堆積量が多いことにより、ソーラーパネルも大部分が雪に埋まっていたため、春になって日射が戻っても十分な発電ができなかったと推測される。そのためバッテリーの充電ができずに10月になってロガーが停止したと考えている。南極氷床上の沿岸に近い観測点では、極夜や低温ではなく、吹雪によるソーラーパネルの埋没が通年観測の障害になったといえる。

**謝辞** 温度計の回収と雪尺の再測は国立極地研究所の金尾政紀氏と北大理学部岡田和見氏に依頼した。

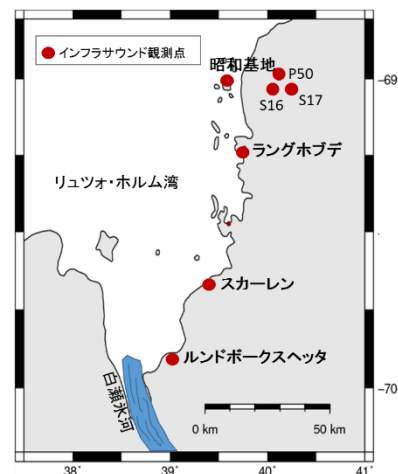


図1 観測点の位置.

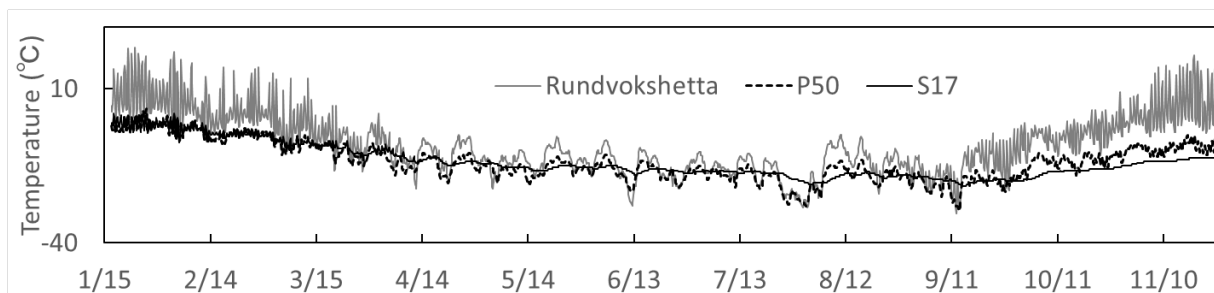


図2 3観測点におけるボックス内温度の変化.