乾いた雪への水分移動モデルの適応性の検証

○勝島隆史(森林総研)・安達聖・山口悟・平島寛行(防災科研・雪氷)・熊倉俊郎(長岡技科大)

1、研究背景と目的

融雪や降雨が発生した後の積雪状態を、積雪モ デルで適切に再現するには、積雪内の水分移動を 適切に取り扱う必要がある。湿雪内の水分移動は、 土中の水分移動を表すリチャーズ式によるモデル を用いることで、数値再現が可能と考えられる。 一方で、リチャーズ式は初期状態で含水した土中 の水分移動を表すものであることから、乾いた雪 への水分移動についてリチャーズ式を適応できる か分からない。そこで、乾いた雪へのリチャーズ 式の適応性を検証するために、鉛直1次元浸透の カラム実験と数値計算の結果を比較した。

2、研究手法

図1に実験装置の概要を示す。アクリルパイプ により作成した内径 6mm、長さ 20cm の細長い カラムを用いた。ふるい分けした雪試料をカラム に詰め、カラム上端に一定速度で水を供給し、鉛 直下方への浸透を発生させた。このカラムを用い た予備実験で、カラムの横断面のほぼ全体に浸透 水が広がる様子が確認されたので、このカラムを 用いた鉛直下方への浸透を1次元の浸透と仮定し た。ローパスフィルターを取り外したデジタルー 眼レフカメラと光吸収・赤外線透過フィルター(波 長 860nm 以下を吸収)による近赤外写真を用いて、 カラム上端からの浸透先端の位置を求めた。

この浸透に対して、リチャーズ式による水分移 動モデルで数値再現を試みた。主排水特性曲線と 通気度を実測し、含水率に対する毛管圧と不飽和 透水係数の関係を vanGenuchten モデルで与え た。乾いた雪への浸透では、浸透先端に毛管圧の 閾値である水侵入圧が存在することから (Katsushima et al., 2013)、水侵入圧をリチャー ズ式に導入した水分移動モデル(Hirashima et al., 2014)についても検証を行った。モデルに与える 水侵入圧の値は、実験の結果に適合するように水 侵入圧の値を調整した。

3、結果と考察

図2に実験と計算による、浸透開始からの経過 時間に対する浸透先端のカラム上端からの位置を 示す。これは、0.5mm と 0.25mm の目の開きの

ふるいで粒径を調整したしまり雪の試料に、 207mm/hr.のフラックスで水を供給したもので ある。実験では、浸透開始からの経過時間が300 秒、浸透先端のカラム上端からの位置が 50mm を 境にして移動速度に変化が見られ、300秒以前で は浸透先端の移動速度が遅かった。このことは浸 透先端が前進することに対して、浸透開始初期で はそれ以降と比較して、より多くの水量が必要で あり、乾いた雪への浸透では高さ方向の含水率プ ロファイルが一定でないことを示している。リチ ャーズ式を用いて数値再現を試みたところ、経過 時間が300秒以前では浸透先端の移動速度が実験 よりも2倍以上早かった。それ以降では実験と計 算とで移動速度の大きな差異は見られず、良好な 再現結果が得られた。一方で、水侵入圧をリチャ ーズ式に導入したモデルでは、全体として良好な 再現結果を得た。これらのことは、乾いた雪への 浸透の再現には、水侵入圧による浸透の阻害過程 を計算に取り入れる必要があることを示している。



光学式積雪比表面積測定装置の開発

○山口悟¹⁾,本吉弘岐¹⁾,青木輝夫²⁾,谷川朋範³⁾
 ¹⁾防災科研・雪氷,²⁾気象研,³⁾JAXA

1. はじめに

雪崩発生予測モデルの検証ならびに改良のためには、実際の雪崩の災害現場において積雪状況の調査 を行い、モデルの結果が実際の積雪状況を再現しているかを検証する必要がある.しかし従来の断面観 測方法だと、測定を行う断面(Pit)を掘るのに数時間から半日かかってしまうために、1日1~2カ所の観測 が限度であり 観測の代表性に関して疑問が残ることも多い.また断面観測における測定項目のうち、 雪質や粒径に関しては観測者の主観に依存する部分が多く、モデルと実測とを客観的に比較する事は難 しい. 今後雪崩発生予測モデルの更なる予測精度向上を行うためには、雪崩災害現場において客観的な データの取得且つ多点における観測を行い、その結果を用いてモデルの精度をより厳密に検証する事が 不可欠である.

比表面積(SSA)は、粉体などの多孔質物質の組織構造を表す物理量の一つで、単位質量もしくは単位 体積当たりの粉体粒子の表面積のことである.従って積雪の SSA は雪粒子のサイズだけではなく、形状 や結合状態も反映した物理量である.近年野外で簡単に SSA を測定する手法として、近赤外領域の反射 率を使いる方法(NIR 法)が提案されている¹⁾. そこでその原理を利用して Pit を掘らないで、積雪の SSA を測定する装置(光学式積雪比表面積測定装置)の開発を試みた.

2. 装置の概要

今回開発を行った光学式積雪比表面積測定装置は、すでに ヨーロッパで開発されている POSSUM²⁾を基にしている. 主 な仕様は以下の通りである. <本体> 本体寸法: $\Phi 80 \times 300$ mm 本体重量:約5kg 主材質:アルミニウム使用温度: $-20^{\circ}C \sim 45^{\circ}C$ ケーブル長:10m <センサー部詳細> レーザー:波長 635nm×1 個,波長 1310nm×1 個 ディテクター:Si+InGaAs フォトダイオード×7 個 図1に実際に作成した装置の写真を載せる.



図1開発した光学式積雪 比表面積測定装置

3. 今後の予定

装置の完成が冬に間に合わず,実際の自然積雪を使っての性能評価は行えていないが,現在低温室に おいて性能評価を始めている.性能評価の結果をふまえて,今後は日本の濡れ雪に適用可能にするため の改良を行っていく予定である.

参考文献

Matzl and Schneebeli, 2006. J. Glaciol. 52, 558-564
 Arnaud et al., 2011. J. Glaciol. 57, 17-29

新雪の比表面積と降雪種の関係(2)

山口悟^{1),}石坂雅昭¹⁾,本吉弘岐¹⁾,八久保晶弘²⁾,青木輝夫³⁾
 ¹⁾防災科研・雪氷,²⁾北見工大,³⁾気象研

1. はじめに

比表面積(SSA)は、粉体などの多孔質物質の組 織構造を表す物理量の一つで、粒子のサイズだ けではなく形状も反映した物理量である.そのた め新雪の SSA の値は降雪結晶の雲粒の付き具合 にも密接に関係する量であると考えられる.そこ で本研究では、BET理論を用いたメタン吸着法^{1),2)} を使い、降雪直後の新雪の SSA の測定を行い、降 雪種によってその値がどのように変化するかを 調べた.

2. 測定方法

本研究では、圧密や焼結の影響を少なくするために、 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター(長岡市)の降雪粒子観測施設の天井の開く低 温室(約-5℃)内に 1-2 時間程度の期間に堆積し た新雪の SSA の測定を 2014 年、2015 年の 2 冬期 にかけて計 52 回行った. なおデータの解析にあ たっては、CMF(Center of Mass Flux distribution)³¹か ら求めた降雪種ならびに雪氷防災研究センター の露場で測定している 1 分間間隔の気象データ (気温、湿度、風速、降水量)を用いた.

3. 結果

図1に測定された 52 例のうち,降雪期間中の 気温が0[°]C以下の事例(35 事例)のSSAの値(m²kg⁻¹) と CMF との関係を示す.なお図を作成するに当 たっては便宜的に測定された SSA が小さい場合 (<110 m² kg⁻¹)(図 1-A))と大きい場合(\geq 110 m² kg⁻¹)(図 1-B))の2グループに分けている. SSAの 値と CMF から求めた降雪種との関係を見ると, 基本的に雲粒があまりついていない雪片の場合 にはSSA が小さくなり,雲粒が多量についている 濃密雲粒付き雪片の場合には SSA が大きくなる 傾向がある.一方雲粒があまりついていない(つ いている)粒子でも SSA が大きくなる (小さくな る)場合があるなど,単純に CMF だけからは SSA の値が決まらない可能性が示唆された.

参考文献

- Leganeux *et al.*, 2002: J. Geophys. Res., 107(D17), 4335, doi:10.1029/2001JD001016
- 2) Hachikubo et al., 2014: BGR, 32, 47-53.
- 3) Ishizaka *et al.*, 2013: *J. Meteor. Soc. Japan*, **91**, 747-762.
- 4) Loacatelli and Hobbs, 1974: J. Geophys. Res., 79, 2185-2197.
- 5) 梶川, 1996: *雪氷*, **58**, 455-462



図1CMFと SSA との関係

A) SSA<110 m² kg⁻¹ の場合, B) SSA ≥ 110m² kg⁻¹

ライシメーターを用いた積雪下面流出量の測定 —+日町における 10 冬期の比較—

竹内由香里(森林総合研究所十日町試験地)

はじめに 雪面で生じた融雪水や雨水は積雪内を流下して地表面に到達する.一般に積雪は水を含むと構造 が急速に変わり,物理的特性が大きく変化する.たとえば同密度であれば乾雪に比べると湿雪は強度が小さ いので,急激な融雪や降雨があると雪崩(特に全層雪崩)が発生しやすくなることはよく知られている.ま た河川への融雪流出においても積雪内の流下は重要な過程であり,融雪水の積雪内浸透の研究は国内外で早 くから行われてきた.しかし,積雪は通常層構造をしていて,融雪水(雨水を含む)は積雪内を一様には浸 透していないこともよく知られている.このことが,数値モデルによる積雪内浸透の再現を難しくしていて, 融雪水の浸透過程をモデル化する研究が近年も盛んに進められている.本研究では,森林総研十日町試験地 において観測した 10 冬期分の積雪下面流出量の測定値を解析した.年ごとに積雪量や層構造は異なるが, 融雪水の流下速度に年による違いがあるかを調べ,その要因を明らかにすることを目的とする.

方法 積雪下面流出量の測定には十日町試験地の観測露場に設置した融雪ライシメーター(底面積:3.6 m× 3.6 m)を用いた.積雪下面から流出した水を集めて 500 cm³の転倒升で測定し,1時間間隔で記録した.ま た,雪面融雪量(1時間値)は同じ露場で測定した気象データを用いて熱収支法で算出した.露場において は積雪の断面観測をほぼ 10 日毎に実施した.解析には 2006~2015 年の 10 冬期のデータを用いた.積雪内 の流下速度は,融雪水が雪面で生じた時刻 t₁ より積雪下面から流出した時刻 t₂ までの時間でその日の積雪深 を除して求めた.時刻 t₁ および t₂ は Nomura (1994)に倣って以下の 2 通りの方法で定めた.1番目の方法 では,融雪量,流出量ともに日最大値が出現した時刻(ピーク出現時刻)をそれぞれ t₁, t₂ としてピークの 流下速度を求めた(図 1a).2番目の方法では,日融雪量,日流出量それぞれの 50%が出現した時刻を t₁, t₂ として重心の流下速度を求めた(図 1b).

結果 10 冬期の最大積雪深は 81~313 cm と年により大きな差があった.これらの年の積雪期を通したライシメーターの捕捉率(流出率=流出量積算値/冬期降水量)を確認すると 0.91~1.03 であったので,全ての年でライシメーターの収支は一致したとみなして解析を行なった.結果の 1 例として,2008 年融雪最盛期(3/9~3/22)の晴天日について,重心の流下速度と日流出量との関係を示した(図 2).この期間の積雪は全層がざらめ雪で積雪深は 164 cm から 96 cm まで低下した.重心の流下速度は日流出量が多いほど速くなる傾向があり,日流出量が 24~28 mm の日は約 40 cm h⁻¹ であった.この関係の年による違いを報告する.





図1 雪面融雪量と積雪下面流出量の時間変化.



図2 日流出量と重心の流下速度の関係 (2008年3月).

雪結晶の成長形態 ○大竹一輝,島田亙(富山大・理)

<u>1. はじめに</u>

雪結晶は美しい幾何学模様を持っている. Nakaya (1951) を初めとするこれまでの研究に より,雪結晶の成長形態は水蒸気密度と温度によ り決まることが示されてきた.これまで成長メカ ニズムの考察(権田,2002) や,理論的な雪結晶 の成長形態の研究(Yokoyama, 1989) も行われ ている.しかし,樹枝状結晶のような複雑な形態 がどのように形成されるかについては,あまり理 解が進んでいない.これは雪結晶が透明で非常に 薄いために,結晶外形の観察しか行われていない ことに原因がある.

そこで本研究では、マイケルソン干渉計を用い て雪結晶の三次元形態を測定し、二次枝の発生メ カニズムについて考察する.

<u>2.研究手法</u>

北海道において天然降雪結晶の野外観測と,低 温実験室内(気温-10±1.0℃)において人工雪 結晶を用いた観察を行った.観察には,拡散型人 工雪結晶生成装置(図1)とマイケルソン干渉計 を用いた.用いた干渉計は光源に546 nm(緑色) を用いたため,干渉縞は厚さ273 nm 毎に生じる. 撮影はデジタルカメラで行った.撮影した干渉縞 にほぼ等間隔に点をプロットして,解析ソフトウ ェア(ImageJ)を用いて各点の座標を求めた. この座標から GMT(作図ソフトウェア)を用い て雪結晶の三次元化を行った.



図1:拡散型人工雪結晶生成装置

3. 結果と考察

野外観測で採取した樹枝状結晶の干渉画像と, 結晶の三次元形態を図3に示す.結晶には干渉縞 が最大19本あり,厚さは約5.1 µmであった.そ れぞれの干渉縞から合計10687 点の座標を得て 結晶の三次元化を行った.

結晶表面で観察された干渉縞は、ほとんどが等 間隔に並んでいたが、樹枝先端部は干渉縞が密に なっており、勾配が大きくなっていることが分か る.また、干渉縞が結晶外形に並行であるものと そうでないものがあった.これは、結晶表面に形 態的に不安定な成長をしている部分が存在する ことを示しており、二次枝の発生にはこのような 結晶表面の形態不安定が関係しているのではな いかと考えられる.



図3:樹枝状結晶の干渉画像(右)と解析画像(左)

室内実験では,拡散型装置を用いて樹枝状結晶 の生成および成長に成功した.干渉画像について は、発表で紹介する.

4. まとめ

マイケルソン干渉計を用いて雪結晶の観察を 行った.その結果,結晶表面には複雑な三次元構 造が存在することが明らかになった.

今後は,成長する雪結晶の干渉画像を撮影し, 二次枝の発生メカニズム解明に取り組んでいく.

キセノンハイドレートの成長と解離過程

○古川翔平,島田亙(富山大・理)

1.はじめに

クラスレート・ハイドレートとは、水分子がカゴ 状構造をとり、その中に分子(ゲスト分子)を取り 込んだ結晶である.ゲスト分子が気体である場合、 ガス・クラスレート・ハイドレートと呼ばれ、メタ ンガスが含まれているものはメタンハイドレートと 略される.

これらのクラスレート・ハイドレートは,天然ガ スの輸送・貯蔵手段になるという工業面での期待が 持たれている.このクラスレート・ハイドレートの 貯蔵では,自己保存効果と呼ばれる本来解離条件下 での解離抑制を利用しているが,この発現条件や抑 制メカニズムはよく理解されていない.さらに,メ タンハイドレートは低温・高圧条件下でないと生成 されず,実験的研究は難しいとされている.

そこで、本研究ではメタンハイドレートと同じ結 晶構造で、より低圧でも安定なキセノン(Xe)ハイ ドレートを用い、Xeハイドレートの解離する様子 を"その場観察"し、解離抑制の発現条件を求めた.

2. 実験方法

銅製の試料カップ(φ10mm×5mm)に市販の氷 を一辺が5mmの立方体に整形し、ステンレス製の 低温高圧セルに置く(図1).低温高圧セル内は、液 体窒素により銅ブロックが冷却され、試料カップを 一定温度に保つことができる.また、真空ポンプと Xe ガスボンベで任意のXe ガス圧力に調整できる.

実験は、低温高圧セル内を真空引きと Xe ガス圧 入で Xe ガスに置換した.その後、一定の圧力・温 度にして核生成を行い、その様子を観察した.共焦 点顕微鏡(Lasertec, 1HD200)を用いて観察し、同時 にデジタルカメラで結晶成長・解離過程を動画とし て記録した.

3. 実験結果

氷表面に Xe ガスを加圧して,核生成させ,所定 の圧力・温度に設定した.ハイドレートの成長に必要とされる水分子は氷表面から供給されるので,氷 とハイドレート境界には「くぼみ」が観察された.

真空引きを行い,減圧するとハイドレートは解離 を始め,ガスと水蒸気が放出される.この解離現象 は吸熱反応のため,ハイドレート表面は急冷される. このため一旦放出された水蒸気は再びハイドレート 表面で氷膜を形成する(図2).したがって,この氷 膜の下でハイドレートの解離が続く.ここで,Xe ガスが粒界を動かして放出されるパターンと,氷膜 を破って放出されるパターンの二種類の解離過程が 観察された.粒界が存在するところの氷は多結晶, 氷膜を破ったところの氷は単結晶であると考えられ, 分解時にできる氷膜の潜熱量と大きく関係している と考えられる.



図 2.解離中の Xe ハイドレート

中央(白)は厚いハイドレート,その周囲(黒)は薄いハ イドレートでそれぞれ氷に覆われている.

復氷現象におけるワイヤー周辺の"その場"観察実験

○宮本翔平, 島田亙(富山大・院)

<u>1. はじめに</u>

0℃の氷塊に錘をつけたワイヤーをかけるとワ イヤーは氷中を貫入していくが、氷は二つに分 断されることはなく元どおりに復元してゆく. この現象を復氷と呼び、H2O特有の圧力融解が 関わっていることが知られている.復氷現象に ついて、これまで多くの研究が行われてきた が、その多くが圧力と貫入速度に関するもので あり、復氷断面に発生する蒸気泡や水泡の定量 的な観察を行っている研究はあまりない.

そこで、本研究では復氷現象をよりミクロに 観察し、復氷断面に発生する蒸気泡が復氷速度 にどのような影響を与えているかを調べる目的 で実験を行った.

2. 実験手法

実験は低温室内(2.0℃±1.0℃)で行った.復 氷装置をステージに固定し,顕微鏡で観察する ことにより,ワイヤー貫入面で発生する微小変 化を観察した.実験では市販のワイヤーに研磨 を施したものを使用した.これは,市販のワイ ヤーの表面に存在する無数の小さな傷による不 均一核生成によって,気泡が形成されることを 防ぐためである.本研究では,ワイヤー後面に 自然発生する気泡が復氷速度に大きな影響を与 えていると仮定している.したがって,ワイヤ ーの傷から発生する気泡を排除し,自然発生の 気泡・水泡のみを観察するため,表面の凹凸を できる限り少なくした.

<u>3. 結果・考察</u>

図1は、貫入の様子を撮影した映像の一部で ある.ワイヤーの下方には蒸気泡や水泡が出現 していることがわかる.この蒸気泡・水泡は、 ワイヤー後面で凍結するはずであった水が、ワ イヤー後面で蒸気泡・未凍結水となって存在し ていることを示している.したがって、凍結の 際に発生する潜熱の供給が停滞し、復氷速度が 減少するはずである.

この時の復氷速度の微小変化を示したグラフ が図2である.このグラフは、蒸気泡・水泡が 発生したり消滅したりしている様子を長時間観 察し、その経過時間に対する移動距離と速度を 表したものである.速度変化のグラフを見てわ かる通り、復氷速度は一定ではなく、時間経過 とともに上下していることがわかる.この速度 変化は、実際にワイヤー周辺で発生している蒸 気泡と密接に関連しており、ワイヤーに接する 蒸気泡の割合が高いほど復氷速度は減少し、そ の割合が低いほど復氷速度は増加する傾向がある.



図1 ワイヤーの貫入の様子.ワイヤーは画面 下から上へ移動(上部の太い線).ワイヤー通 過後(画面下)にはワイヤーと接している蒸気 泡,薄いアメーバ状の水泡が残されている.透 明な部分は氷である.



図2 貫入距離(上)と速度(下)の時間変 化.時間経過(蒸気泡の発生)とともに,復氷 速度の変化が観察された.

自転を伴って滑走する物体のカールの考察

○対馬勝年、森克徳

1. はじめに

自転を伴って滑走する物体のカールについて、 テーブル上のコップは自転と逆方向にカールし、 氷上のストーンは自転と同じ方向にカールする。 氷上ではカール大きさが自転角速度にあまり依存 しない不思議な現象もあって、カール機構の説明 をめぐって論争が続いている。

2. 二つの様式のカールの提案

通常の物体間の摩擦は速度に依存しない。自転 が加わってもスリップリング上の各部の摩擦の大 きさは等しく、方向が異なるだけである。反時計 回り自転では、進行方向と直角な成分は前後で打 ち消すが、平行な成分は右(加速)側が左(減速)側 よりわずかに大きくコップは自転と逆(減速)方向 にカールする。これを第一様式のカールとする。

氷のように速度低下とともに摩擦が増大し、摩 擦の速度特性がある場合には自転が加わって加速 となる右側の摩擦が小さく、減速となる左側の摩 擦が大きくなる。このカールを第二様式のカール とする。

第二様式のカールは氷のようにクリープする場 合に現れ、荷重時間が長くなる低速ほど真の接触 面積が広がり摩擦が増大することに起因する。

3. 第二様式のカールの大きさ

図 1 のように減速側と加速側で摩擦に大小が生 ずる。スリップバンドの大きさが一定で、摩擦の 大きい側の滑走距離は短く、摩擦の小さい側の滑 走距離は長いため、バイメタルの変形のように弧 を描いた運動となってカールを生ずる。



図1 左右摩擦異方性による第二様式のカール

左右間に摩擦係数で 1 万分の 2 の違いがあれ ば、スリップリングの半径 r に等しい 0.06m 進ん だところでの左右端間の進行距離の違いが 10μm となり、重心の横方向へのずれ(カールの大きさ) に等しい。2r 進んだところでは 30µm、nr 進むと $C_{nr} = C_{(n-1)r} + n \delta = (n-1)n \delta/2$ となる。こ れらの関係を図 2 に示した。n = 500 (nr=30m) の場合、 $\delta = 10^{-5}$ m とすると $C_{30} = 1.25$ m となる ので実際のカールと同程度となる。



図2 第二様式のカール

4. 第一様式カール

第一様式のカールは普遍的に現れるカールであ る。一般に摩擦は速度に依存せず荷重に比例する。



スリップリング上の摩擦の大きさはどの点でも等 しいが、方向は異なる。図3の反時計自転の場合、 上半分の y 軸方向となす角θは下半分が y 軸方向 となす角より大きい。そのため y 軸に平行な方向 の摩擦成分は図3の下半分が上半分より大きく、 コップは自転と逆方向、摩擦の大きい側にカール する。x 軸方向の摩擦成分は y 軸に平行な前後(図 の左右)で打ち消しあって合力が0となる。

上に述べた二つの様式のカールはそれぞれ自転 速度が増せば大きくなるが、お互い逆方向にカー ルするためカールの大きさに及ぼす自転角速度の 影響が小さいと推測される。

氷上滑りでストーンが軽量のためクリープが無 視される場合は第一様式のカールが期待される。

回転翼航空機を利用した富山県上空の過酸化物濃度の測定(Ⅱ)

矢地千奈津・渡辺幸一・平井泰貴・山崎暢浩・金聖鈞・西部美雪・松原弘樹(富山県立大学)

はじめに

大気中の過酸化物(過酸化水素(H₂O₂)、有機過酸化物(ROOH))は、主にオゾン(O₃)介した光化学反応 によって生成される。また、二酸化硫黄(SO₂)の液相酸化を促進させることや、PM_{2.5}の主成分でもある 硫酸塩粒子の生成に大きく寄与していることから、過酸化物は大気中で非常に重要な働きを果たしてい る。近年、国内のバックグラウンド大気中のO₃濃度が大きく変化していることが報告されており、H₂O₂ の生成に影響を与えているものと考えられる。そのため、H₂O₂の測定データの蓄積が重要となる。特に 上空大気中の過酸化物濃度の測定は、雲粒内での硫酸の生成過程や降雨・降雪の酸性化による植生への 影響などを考察するために重要であるが、国内での鉛直プロファイルのデータは非常に少ない。本研究 では、ヘリコプターを利用して、富山県射水市上空のH₂O₂、SO₂、O₃などの測定を行った結果について 報告する。

方法

2014年9月3日および2015年3月27日に、ヘリコプターを利用して富山県射水市上空の大気観測を 行った。2014年9月の観測では2000 ft (600 m) 毎に10分間旋回水平飛行し、高度8000 ft (2400 m) まで 上昇した。旋回水平飛行中に、ミストチャンバーにより大気中の過酸化物を採取した。試料採取終了後、 直ちに富山県立大学内へ下降し、過酸化物を採取した捕集液を超低空で構内に投下・運搬し、速やかに HPLC・ポストカラム・酵素式蛍光法により分析を行った。学内へサンプルを輸送後、ヘリコプターは 直ちに次の高度へ上昇し、試料採取を行った。この方法により、試料採取後10分以内に分析すること ができ、精度の良い過酸化物の測定を行うことが可能となった。また、O₃、SO₂については、自動計測 を行った。

結果と考察

図1に、2014年9月3日および2015年3月27日における富山県射水市上空の過酸化物、O₃、SO2濃度の鉛直プロファイルを示す。2014年9月については、SO2は地表付近よりも上空で濃度が高かった。 H₂O2も上空で高濃度であり、SO2濃度よりも高かった。このことから、上空では十分な酸化能力がある と考えられる。一方、2015年3月の観測時は、SO2濃度に対してH₂O2濃度が低い状態(Oxidant limitation) であった。このとき、雲が発生しても雲粒内でのSO2の酸化が抑制されるものと考えられる。H₂O2濃度 は、2014年9月観測時に比べて低く、寒候期ではアジア大陸から高濃度のSO2が輸送されてもきても酸 化剤が不足するため、雲水や降雪の酸性化が抑えられている可能性が考えられる。酸化剤となる過酸化 物濃度の増加が冬期の降雪の酸性化を促進させるものと考えられる。



図1 2014年9月3日および2015年3月27日の富山県射水市上空におけるH₂O₂、CH₃OOH(MHP)、 O₃、SO₂の鉛直プロファイル

富山県における積雪中の各化学成分の経年変化

平井泰貴・渡辺幸一・高辻航平・矢地千奈津・山崎暢浩・金圣钧・宋笑晶(富山県立大学) 島田亙・青木一真・川田邦夫(富山大)

はじめに

日本海に面している北陸地方は、アジア大陸から様々な物質が飛来してくる地域である。工場からの排ガス には多量の汚染物質が含まれ、アルデヒド類や過酸化水素(H₂O₂)などの光化学生成物の生成を促進させている ものと考えられる。アルデヒド類は生態系に有害な物質の一つである。また、北陸地方では、降雪は貴重な水 資源であり、降雪に含まれる汚染物質により、自然環境悪化が懸念され、生物多様性の衰退や生態系破壊等の 生態系への悪影響が考えられる。立山・室堂平(36.6°N, 137.6°E, 標高 2450 m)では、晩秋季から春季にかけて 膨大な量の積雪があり、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。本研究では、立山室堂平において積雪断面観測及び採取を行い、含まれる主要イオン成分及び アルデヒド類濃度について分析し、寒候期の定期環境情報を確認し、各年の化学成分の変化を考察した。

方法

積雪断面観測は、2009年~2014年4月の立山・室堂平で行った。積雪層位の観測を行い記録したのち、鉛直約10 cm間隔で試料をサンプリングした。採取した試料は融解させないまま富山県立大学まで持ち帰り、冷凍保存した。アルデヒド類の分析を行う際は、試料を測定直前に融解させ、1,3-シクロへキサンジオン-ポストカラム誘導体化による高速液体クロマトグラフ法・蛍光検出法を用いて測定した。各サンプルのイオン成分の分析も高速液体クロマトグラフ法で行い、積雪層位の鉛直分布を作成し、アルデヒド類と各イオンの比較を行った。

結果と考察

図.1 に 2014年4月立山・室堂平における積雪断面層位及び各イオン成分の鉛直分布を示す。NO₃⁻、nssSO₄² - はピークが一致している層が多くみられる。また、黄砂にはカルシウムが多く含まれており、nssCa²⁺のピークがある層については、黄砂が飛来していたと推定できる。海塩物質である Na⁺と Cl⁻についてはピークが 類似していたが、Na⁺が低濃度であるにも関わらず Cl⁻が高い層がみられ、最近活発化している地獄谷(弥陀 ヶ原火山)の影響と考えられる。火山性ガスには HCl、H₂S、SO₂ などのガス成分が含まれるが、nssSO₄²⁻ については Cl⁻とのピークの一致はみられなかった。冬季は SO₂ の硫酸への酸化が抑えられることや、H₂S と SO₂ との反応(硫黄が生成)などによるものと考えられる。図.2 に 2009 年から 2014 年の積雪中の人為汚 染物質の平均値を示す。年々変動がみられ、その年の気塊の輸送経路が大きく関係していることがわかった。 また、(2010 年を除いて) 2009 年から概ね減少傾向であることがわかる。越境汚染の主な原因は中国の人為 起源物質であるが、中国は 2005 年から環境汚染企業の取り締まりを強化しており、その影響が反映されてい た可能性が考えられる。



図.1 2014年4月の立山・室堂平における積雪中の化学成分 図.2 人為汚染物質の平均濃度(2009~2014年)

各種降雪強度センサーによる時間降雪深の比較 Ⅲ -新型降雪センサーとの比較-

○石丸民之永・山崎正喜(新潟電機株式会社) 熊倉俊郎(長岡科学技術大学)

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、できれば降雪強度を<u>降雪の深さ</u>で表せないか検討している。圧密沈降に関係しない降雪々片の反射光カウント式降雪強度計では1冬季間などの長い期間で見ると極めて良い相関を示すが1イベントのような短期間では相関係数がそれぞれ違ったものとなり高精度化は難しかった。今冬、多少ではあるが雪片の寸法要素を取り込んだ透過光式降雪センサーを試作したのでその実験結果を報告する。

2.供試測器、測定方法及び実験環境の概要

透過光式降雪センサー(SPN-96)の外観は右図の通りで 感知域光膜は 10 (₩) × 72 (L) × 3 (H)の大きさである。

<u>降雪の深さ</u>の基準測器として時間降雪深計(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。

実験場所は長岡市内住宅地にある当社構内の露場で行った。

3. 結果

図1に雪片径分布の一例として今冬季12月7日24時間 の雪片径別合計個数を示す。雪片径は降下物体を球と仮定 し球状ガラスビーズを用いて検証を行った。最大径(φ 7.6)以上は表示値φ7.6に集約されている。図2に光電回 路からの出力波形の一例(2月9日11:30頃)を示す。

「時間降雪深計(SPH型)」に対する相関と参考として「雪 片カウント式(SHK)」積算値を比較したグラフ・1冬季間を 図3に、図4~図5に一例として各降雪イベントでの関係 を示した。

長期間での相関は非常に良いが短時間での比較 例えば 降雪イベント毎の相関はそれぞれでの勾配が違っており 「雪片カウント式(SHK)」に比較しても良くなったとは言 えない。



写真1 SPN-96

SPH-1



図1 2014-12-7 雪片径別合計 個数



図 2 0.5V/div.1sec/div

^{0.5}V/div.2ms/div



北陸地方降雪期における2次元超音波風向風速計の着雪・測定特性(速報)

○¹中井専人・¹山下克也・²伊藤芳樹・²大谷淳・²内山真司・²渡部善博・²宮崎真・¹横山宏太郎・¹山口悟 (1:防災科研雪氷, 2:株式会社ソニック)

 はじめに 湿雪が多く降る日本の積雪地域においては、風向風速測定がしばしば着雪による欠測に見 舞われる。これについて、ヒーター付き超音波風向風速計の着雪耐性や測定特性の比較観測を行った。
 研究方法 表1のセンサーの同時観測(観測1:2014年12月12日から2015年1月15日、雪氷防災研究セ

ンター露場)と風除けやぐら内観測(観測2:2015年1月20日から4月7日、中央農研北陸研究センター)を行った。 **3. 結果** 観測1(図1)では、3種類の測器の風向風速の比較を行った。期間全体の超音波式と風車型の風 速は、風車型の着雪時を除くと(超音波式の風速)=1.02×(風車型の風速)(相関係数は0.98、両者の風 速が1.0ms⁻¹以上のデータ)で良く対応した(図2)。顕著な着雪が見られた期間に超音波式の欠測はほとんど なく、一体型、風車型の順に着雪欠測が多かった(図3)。観測2では、3m四方で測定高がやぐら縁より-1.2m の風除けやぐら内において、降雪粒子観測の品質管理のため風速測定を行った。やぐら外の風速と比較する とやぐら内では約1/3まで風速が小さくなるが、外部風速に比例した風があり無風ではなかった。

4. まとめ 観測1では、ヒーター付き超音波風向風速計が北陸地方の顕著な着雪時にもほとんど着雪せ ず観測できることがわかった。2次元超音波方式では、80W程度のヒーター強度で着雪欠測のほとんどない風 向風速観測を実現することは可能である。観測2では、風除けやぐら内降雪観測において、解析の際に強風 時のデータを除く必要のあることがわかった。

表1 使用したセンサー。 名称・種類 とーター 消費電力



図1 観測1の状況(2014年12月14日 12時の顕著な着雪時)。(a)全体、(b) 超音波式、(c)一体型、(d)風車型。

謝辞: 本研究は『ヒーター付き2次元 超音波風向風速計を用いた積雪期風測定 特性の調査』及び『高度降積雪情報に基づ く雪氷災害軽減研究』によります。露場を 管理する防災科学技術研究所雪氷防災研究 センター及び中央農業総合研究センター北 陸研究センター関係者に感謝します。







固体降水計測を目的とした反射型光学式測定器について

○広川貴大¹・熊倉俊郎²・本吉弘岐³・中井専人³・山崎正喜⁴ (1:長岡技術科学大学大学院、2:長岡技術科学大学、3:防災科研 雪氷防災研究センター、4:新潟電機株式会社)

1. はじめに

正確な降水量を計測することは降水予測や水資 源管理の観点から重要であり、また降雪種の判別 は積雪の程度や雪崩予測をする上で必要な情報で ある。例えば、雪崩が多く発生する山岳地帯や積 雪の多い豪雪地での計測を考えると頻繁なメンテ ナスの必要が無く捕捉損失が少ない降水量計、降 雪種判別器が理想的である。

これらの要件を満たす反射型光学式測定器は、 発光素子によって光を照射し降雪粒子の反射光を 光検出器より検知することで信号を出力する。

しかし、この測定器は観測粒子との距離や粒子 直径によって出力する信号強度が変化する問題点 がある。この解決法の1つとして適当な時間単位 で信号強度の平均化を行う方法が考えられる。

平均化処理を行うことの有効性を検討する為、 今回は信号強度に関して行わなかった場合のデー タを用いて落下速度と粒子直径の関係を示したの で報告する。

2. 測定

2015年1月27日~3月27日の期間において長 岡市内にある雪氷防災研究センターの観測場内に て反射型光学式測定機器を設置し、測定を行った。

また反射型光学式測定器の近くには、降水粒子 とその落下速度を計測する Parsivel、降水量を計 測する Geonor と田村式降雪強度計、ビデオカメ ラによる粒子判別器が設置されている。これらの 測定機器と反射型光学式測定機器から得た計測デ ータとで比較を行う

3. 手法

観測で得られたデータから落下速度と粒子直径 を求めなければならない。落下速度ωは測定光の 厚み *d*、観測光の通過時間 *td* とすると

 $\omega = d/td$

dが一定とすると係数として考える事ができ

 $\omega = d/td = k_1 \cdot 1/td$ (k₁は係数)

となり、これから $\omega \propto 1/td$ となる。

粒子直径に関して計測距離 D、発光強度*I*_o、受光 強度*I*′、計測する粒子半径*r*とすると

$$I' = \frac{1}{n^2} I_0 \alpha 4 \pi r^2 (\alpha \ \text{はアルベド})$$

またI'の値により出力信号の電圧 V が決まるため

$$I' \propto V$$

これから $V = k_2 r^2 (k_2$ は係数)と考えられ

$$r \propto \sqrt{V}$$

電圧の平方根と適当な係数の積から観測粒子の大きさを求めることができる。

4. 結果

図2に平均化処理を行わない場合の落下速度と 粒子直径の関係を示す。図2の示す期間は2015 年2月1日午前5時00分~10分である。

縦軸は落下速度に関係し、横軸は粒子直径に関 係している。縦軸の値が低く横軸の値が高い領域 は落下速度が遅く、粒子直径が大きい傾向にあ る。これから降水種が雪片に近いものであると考 えられる。また縦軸の値が高く横軸の値が低い領 域は落下速度が速く、粒子直径が小さい傾向にあ る。これから降水種がアラレに近いものである考 えられる。



また平均処理を行ったデータの落下速度と粒子 直径の関係および他の測定機器との比較について は当日に示す予定である。

2次元ビデオディスドロメーターの性能調査

○ 山下克也・中井専人・本吉弘岐・石坂雅昭(防災科研・雪氷)

1. <u>はじめに</u>

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粒径分布、落下速度、及び形状を測定する必要がある。2次元ビデオディスドロメー ター(2DVD)は、それらの情報を自動的に連続測定することのできる装置である。しかしながら、固体降水に関し ての定量的な評価はなされていない。定量的評価を目的として、2DVDと光学式ディスドロメーターの比較を行 ったので、本稿ではその結果を報告する。

2. <u>2次元ビデオディスドロメーター(2DVD)</u>

2DVD(Joanneum Research 社製)は、直交する2方向からスリット状に照射されたビームを2台の CCD カメ ラが捕らえる構造になっており、スリットを通過した降水粒子の大きさ、形状、落下速度を測定する装置である。 降水粒子の大きさや形状はビームを通過する粒子の影から算出し、落下速度は2つのビーム間を通過する時間か ら算出している。2DVD のメリットは、雨・雪の連続測定が可能であること、既存の測器より落下速度の精度が 良いこと、及び粒子情報が画像情報として記録されているので粒子サイズや形状を正確に算出できることが上げ られる。

3. <u>2DVD と光学式ディスドロメーターの比較</u>

2DVD と光学式ディスドロメーターの Persivel 1 (PSVL1: OTT 社 製)及び Laser Precipitation Monitor(LPM: Thies 社製)との比較結果 を図1に示す。新潟県長岡市の雪氷防災研究センター(SIRC)で2014 年2月7日から9日に得られた結果を示している。 粒径と落下速度 は、5分の質量フラックスの中心(CMF: Ishizaka et al., 2013)で示し ている。2月7日は冬型気圧配置時の降雪、2月8日は南岸低気圧接 近・通過時の降雪、2月9日は冬型降雪から雨へと推移する降水が観 測されている。期間を通して見ると、2DVD は光学式ディスドロメー ターと比べて、降水強度と粒径を過小評価、落下速度を過大評価して いる。特に降雪強度が大きい時にその傾向が顕著である。2月9日の 12 時以降の降水は雨であったが、その時の 2DVD の粒径及び落下速 度はPSVL1やLPMのものと大きな差は見られなかった。以上より、 降雪時の測定データから導出された粒径と落下速度に問題があるこ とが示唆される。ここには示さないが、2DVD で得られた画像からは、 降水粒子がきちんと記録されていることが確認できるので、2 台のカ メラで得られた降水粒子から同一粒子を特定するマッチング処理に 問題があると考えられる。マッチングでは、2 台のカメラで記録した 2 つの画像から同一の粒子を特定しないといけないが、降水強度が大 きい場合のような粒子が多数存在する時には、記録される粒子と粒子 の時間間隔が小さくなるためミスマッチングの可能性が高くなる。こ のことが、降雪強度が大きいときに 2DVD と光学式ディスドロメー ターの値の差が顕著に現れる原因の一因であると考えられる。このよ うに、既存のマッチングアルゴリズムでは、降雪粒子のマッチングに



図1 2014年2月7日から2月9日まで に SIRC で得られた降水強度、気温、粒 径、落下速度の時系列。DFIR-Geonor は 風除け用2重柵(DFIR)内に設置した重量 式降水量計(Geonor)の値である。CMF 粒径と CMF 落下速度は各ディスドロメ ーターの5分データを用いて計算した質 量フラックスの中心値である。

問題があるので、マッチングアルゴリズムの改良あるいは特性を考慮したデータ利用が必要である。

参考文献: Ishizaka et al (2013), J. Meteor. Soc. Japan, 91, 747-762.

光学式ディスドロメータを用いた霙の状態の定量化の試み

○本吉弘岐¹・三隅良平²・石坂雅昭¹・中井専人¹・山下克也¹

(1防災科研・雪氷、2防災科研・水土砂)

はじめに

霙は、雨滴と融解中の固体降水粒子の混合状態で、層状性降水の場合には融解層中で見られる降水形 態である。霙の内部では融解の度合いに応じて、降水に含まれる雨滴の割合や、液体水の割合などが異 なる。Misumi et al. (2014)は、雪片含水率の観測結果から、液体水や雨滴の割合を気温、湿度、降水強 度から求める経験式を提案している。このような霙の状態の定量化は、着雪や冠雪などにより引き起こ される湿雪災害の把握や、雲の微物理過程、気象レーダーにおけるブライトバンドのモデル化などで重 要となる。本発表では、気温や湿度などの気象要素と独立に、光学式ディスドロメータ観測のみから、 雨滴の降水量寄与を算出する手法を提案し、雪氷防災研究センターでの観測への適用結果を紹介する。

雨滴の降水量寄与の算出方法

本研究では、光学式ディスドロメータとして OTT 社製 PARSIVEL を用いた。一定の時間毎(観測では1分間)に観測された降雪粒子の数が、32×32 個のビンに区切られた粒径・落下速度軸上の2次元 ヒストグラム(粒径・落下速度分布)として得られる。観測される雨滴の粒径と落下速度はGunn and Kinzer (1949)により実測された経験曲線(G·K曲線)によく一致するため、粒径・落下速度分布上のG-K

曲線上の降水粒子を雨滴とみなすことで、雨滴の寄 与と固体降水の寄与を分けることが可能である。実 際の観測では、降雨時の粒径・落下速度分布はG-K 曲線の周りにある程度の分布するため、暖候期の雨 のデータを積算することで雨滴が測定されうるビ ンを雨滴マスクとして求めた(図1)。PARSIVEL による降水量推定には、Ishizaka et al. (2013)によ る手法を用い、あらかじめ各ビンに割り当てられた 降水量寄与の推定値と観測された粒子数の積の総 和から降水量を求めた。全降水量を R とし、図 1 の雨滴マスクに対応するビンから求めた降水量を RrAIN とし、全降水量 R に対する雨滴の寄与 RRAIN の比を、雨滴の降水割合 FR とする。

観測結果

観測データは、湿度測定に不備のあった 2013/14 を除いた 2010/11 から 2014/15 の 4 冬期に雪氷防 災研究センターで取得されたデータを用いて、 PARSIVEL の5分毎の粒径・落下速度分布から FR を求めた。図2に、全期間における気温とFR、湿 球温度と FR との関係をそれぞれ示す。図 2(a)、図 2(b)ともに、0℃以下では FR は十分に小さい値とな っており、気温または湿球温度が高くなるにつれて FRが1に近づく結果が得られ、実用的なデータ得 られたものと考えられる。理想的には雪の場合に FRは0、雨の場合には1、霙では0~1の間の値と なるが、気温が6℃以上の雨と考えられる降水でも FRが 0.8 程度の値を取っているケースが見られ、 観測誤差や雨滴マスクの作成方法に改善の余地が あることが分かった。今後は、ここで得られた手法 を用いて、鉛直降水レーダーやろ紙法を用いた降雪 含水率測定を用いた霙の観測の解析等を行う予定 である。

【参考文献】

- 1) Misumi, R., et al. (2014): J. Appl. Met., 53, 2232-2245.
- 2) Gunn and Kinzer (1949): J. Meteor., 6, 243-248.
- 3) Ishizaka, M., et al. (2013): JMSJ, **91**, 747-762.





図 2: (a)気温と FR の関係、(b)湿球温度と FR 関係

雪氷用 MRI による着雪内部の水分分布の可視化

○安達聖,佐藤研吾(防災科研・雪氷)

1. はじめに

電線への着雪は、電線の破断や送電鉄塔の倒壊などによる停電の一要因となり、社会全般に大きな被害をもた らすことが知られている.近年では、着雪が大きく成長する前に自然落下させる難着雪リングなどが開発されて おり電線の着雪対策が進められている.また、電線の着雪の落下についてはLászló *et al.* (2010)により、屋内実 験とモデル計算結果との比較が行われた.しかし、落雪に至るまでの着雪内部の水分移動の実現象を捉えた検証 は行われていない.そこで我々は着雪内の水分分布と移動の様子の正確に把握するため、雪氷用MRIを使用し着 雪試料が落下にいたるまでの連続3次元撮像を行った.

2. 測定方法

本研究では、0℃の低温室に設置した雪氷用 MRI を使用した.使用した永久磁石は静磁場強度 0.2 T, 撮像視 野は 15 cm 球である.着雪試料には-20℃の低温室に保存しておいた自然降雪を使用した.自然降雪を直径 8 cm のパイプに入れ円筒形に成型(密度:430 kg m³)し、底面の中心に穴をあけて、水を満たした直径 1 cm のプラス チック製パイプを挿入した.そのパイプの両端をロープで結び、永久磁石内に吊り下げた.パイプを水で満たし たのは、MR 画像の輝度値から含水率を計測するための標準試料にするためである.MRI には多数のコイルが使用 されているため、撮像時には熱が発せられる.それらの発熱により、計測中の着雪試料周辺温度は 1.5 ℃程度に 保たれた(図 1).MR 撮像は空間分解能 1 mm の 3D 撮像を行い、1回 30 分間の撮像を 1 分の間隔をあけ約 64 時間 連続で行った.

3. 測定結果

本実験で与えた計測条件では撮像中に着雪試料は落下することはなく,着雪試料が徐々に溶け,試料の下部に 水が移動していく様子が見られた(図2).今後は,試料周辺の温度の調整や,パイプ内への温水の循環を行う ことで,着雪が落下するプロセスを再現し,着雪が落下に至るまでの形状の変化と,内部の水分の移動の様子の 可視化を行う予定である.また,MR画像からは含水率の計測が可能であるため,詳細な水分分布の把握を行う予 定である.



参考文献

László et al., 2010, Natural wet-snow shedding from overhead cables, Cold Regions Science and Technology, 60, 40-50.

モデル計算による 2014 年 2 月における関東甲信地方の積雪分布

○ 平島寛行、本吉弘岐、山口悟、上石勲(防災科研)

1. はじめに

2014 年 2 月に、南岸低気圧の接近・通過により関東甲信地方は大雪に見舞われた。一方、防災科学技術研究 所では、これまで雪氷災害発生予測システムを開発し、新潟や山形などの雪国を対象に雪氷災害の予測に適用し てきた。本研究では、同システムを用いて非雪国である関東甲信地方の積雪の計算を試みた。

2. 計算方法

本研究では、関東甲信地域を中心に、2月7日から2月25日までの期間において地域気象モデル(JMA-NHM、 以下、NHM)及び積雪変質モデル(SNOWPACK)を用いて積雪の計算を行った。SNOWPACKの入力データとし て、関東甲信地域において12時間おきに更新されたNHMの計算値を用いた。NHMの計算では、気象庁メソ スケールモデル(MSM)の予測値を境界値及び初期値に用いて480×480km2の領域で5km格子の計算を行い、 更にネスティングにより関東甲信地域を含む領域で高解像度(1.5km格子)の計算を行った。また、NHMによる 計算結果を用いて各グリッドに対してSNOWPACKを用いて積雪の計算を行った。アメダス等、気象庁の観測 地点においては、比較のために観測データを入力に用いたSNOWPACKの計算も行った。

3. 結果

計算結果の一例として、2月15日午前9時における積雪深の分 布を図1に示す。本研究では2月7日から計算を行ったため、2 月7日に雪があった領域はグレーで覆って除外した。また、気象 庁の観測データを入力して計算した積雪深については同図内の〇 内の色で示した。円の外側と内側の色の差が、NHM 計算値と実 測値の入力データの違いによる積雪深の差に相当する。

伊豫部ら(2014)が2月15日に実測及び聞き取り調査に基づい て作成した分布図によると、この時期は関東甲信全域に積雪領域 が広がっていたが、実測値を入力した積雪深は関東のほぼ全域で 雪が広がっていた一方で、NHM計算値を入力した結果では関東 東部では雪がなくなっていた(図1参照)。

NHM 計算値による結果では、2月15日午前1時に積雪領域は 東部を含む関東全域まで広がったが、関東東部の多くの地域では 降雪後の融雪により15日の午前中に積雪が0となった。ここで、 関東東部における2月14日及び15日の降水量及び気温の平均を NHM 計算値と実測値で比較したところ、計算値では降水量で約 44%の過小評価、気温で2.3℃程度の過大評価傾向が見られた。 このため、NHM 計算値の結果は与えられた降水量が少なかった のに加え、気温の過大評価のため降雪が降雨として計算され、ま た融雪量も過大評価されたため、積雪量が大幅に過小評価された と考えられる。このように、非雪国における積雪量やそれによる



図1 NHM による計算値及びアメダスの 気象データを用いた2月15日午前9時に おける積雪深分布。○の内側は実測の気 象データ、外側は NHM のデータを入力し て計算した結果。白は積雪が0の場所。

雪氷災害を予測するには、降水量だけでなく気温の予測精度も重要であることが本研究で示された。

参考文献

伊豫部ら(2014): 2014年2月中旬の大雪による関東甲信地方の詳細積雪深分布, 2014年2月14-16日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究(科学研究費研究成果報告書). 27-32.

関東甲信地方に大雪をもたらす大気循環場の特徴

本田明治^{1,2}、山崎 哲³、吉田 聡³、藤田 彬⁴、木村祐輔⁴、岩本勉之^{1,5} 1: 新潟大理、2: 新潟大災害研、3: 海洋研究開発機構、4: 新潟大院自然、5: 国立極地研

2014年2月14日~15日の南岸低気圧の接近によって、関東甲信地方では記録的な大雪になったが、特に山梨県では1.5~2倍の積雪深を記録した(甲府114cm(これまでの記録49cm)、河口湖143cm(89cm))。 この大雪をもたらした大気場の特徴の詳細をみるためにメソ気象モデルWeather Research & Forecasting Model (WRF)の3.5.1版を用いた再現実験を実施した結果を前回報告した。結果は、低気圧経路が実際より 西寄りに通ったものの、山梨県、群馬県、埼玉県を中心とした関東甲信地方の大雪を再現していた。時間経 過をみると前半の14日の日中の降雪は甲信地方中心で低気圧前面の雲による降雪で、後半の14日夜間~15 日朝の降雪は関東地方にも及び低気圧本体の雲による降雪であったことが示された。15日未明を中心に850 hPa付近を中心に関東地方の大気下層では顕著な東風が卓越しており、ここに低気圧からの南風が収束して 発達した雪雲が山梨県、群馬県、埼玉県方面に流れ込んだと考えられる。

続いて山梨県で過去に大雪だった事例を調べてみた。1953年以降、甲府で40cm以上の降雪深となったの は、1986年2月18~19日(49cm)、1998年1月15日(44cm)、2001年1月27日(45cm)、2014年2 月8日(45cm)、2014年2月14~15日(112cm)の5事例である。気象庁のJRA-55再解析データを用い て、この5事例の降雪がピークとなった日時の平均海面気圧(SLP)の分布を図1左に示す。南岸低気圧の 中心は東海沖に位置し、カムチャッカ半島付近に発達した低気圧がみられ、その南西側では大陸の沿海州か ら北海道方面に高圧部が張り出しているのが特徴的である。このSLP分布に伴って、大気下層ではオホーツ ク海から本州東方を回り込むように北日本と東日本に寒気が入り込みやすい場が形成されている(図略)。 SLP分布を詳しくみると、南岸低気圧の北東側には北方から高圧部が張り出し、それに伴い北東風が吹く関 東甲信地方には寒気が入りやすい状況が作られていることが分かる。実際関東内陸部や甲信地方の地表付近 では、広く0℃前後のエリアに覆われている(図略)。このような北からの高圧部の張り出しは850 hPa面 高度場でも確認され、関東甲信地方の対流圏下層では東風成分が入りやすい場が形成されている。850 hPa 面の水蒸気量(比湿)と水蒸気フラックスをみると、南岸低気圧の前面で南西方向から100gm²s⁻¹超の流入、 その北側は東方向からの流入がみられ、関東甲信上空で水蒸気フラックスの収束が予想される(図1右)。

以上は5事例の平均的描像であり山梨県付近に大雪をもたらす必要条件とも言える。山梨県で際立って降 雪量の多かった2014年2月14-15日の事例を改めてみると、SLP場や水蒸気フラックスの分布は5事例平 均のパターンと大きな相違はみられない(図略)。つまり後半の降雪は他事例と同様の南岸低気圧による降雪 過程であったことが予想される。他4事例の降雪継続時間は12-15時間程度であるが、今回の記録的大雪事 例では30時間近く降雪が継続しており。南岸低気圧接近前の降雪前半のプロセスを解明する必要があり、 循環場変動の視点も含めた解析を進めていく予定である。



図1. 甲府市で大雪となった5事例平均の(左)海面気圧(SLP: hPa)、(右)850 hPa面の比湿(g/kg:等値線)及び水蒸気フラックス(gm⁻²s⁻¹:カラーと矢印)。5事例の日時は1986年2月18日21時、1998年1月15日15時、2001年1月27日15時、2014年2月8日15時、2014年2月14日21時(いずれも日本時間)。

本研究は、科学研究費(特別研究促進費)「2014年2月14-16日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究」の助成を受けています。

冬季日本海側に発生した帯状降雪雲の特徴

-2013年1月9日の事例-

畠山光¹,本田明治^{2,3},岩本勉之^{2,4},浮田甚郎^{2,3}

1: 新潟大院, 2: 新潟大学自然科学系, 3: 新潟大学災害・復興科学研究所, 4: 国立極地研究所 似た特徴を持つ他の事例と比較しながら、より詳

1. はじめに

新潟県柏崎市において、2013年1月8日~17 日の10日間、39回のレーウィンゾンデによる高 層気象観測(以後、ゾンデ観測)を実施した。観 測期間中は冬型の気圧配置の継続と気圧の谷の 通過により、柏崎付近では断続的に降水、降雪が 続いた。そのうち、今回は、海岸部に帯状の雪雲 が停滞し、柏崎市に一晩で 30 cmの集中降雪をも たらした 2013 年1月9日の事例について着目す る。本研究では、ゾンデ観測および数値実験によ り得られたデータを用いて、停滞した帯状降雪雲 の3次元構造の特徴を明らかにすることを目的と する。

2. 使用データと数値実験設定

ゾンデ観測による高度、気温、湿度、風向、風 速を用いた。

また、数値実験には NCEP および NCAR が開 発した数値モデル WRF(Weather Research & Forecasting Model) 3.5.1版 (Skamarock et al., 2008)を用いた。第1領域を日本海含む日本周辺、 第2領域を本州北部、第3領域を新潟周辺と設定 し、格子点間隔をそれぞれ 9 km、3 km、1 kmとし た。計算期間は8日21時~10日9時(JST)で、 データの出力間隔はすべて 30 分ごととした。図 2、 図 3、図 4 では第 3 領域の結果を用いている。

気象状況および結果

9日午前に気圧の谷が通過し、その後冬型の気圧 配置となり、午後から 10 日未明まで上中越の海 岸部に帯状の雪雲が停滞した。その間柏崎に約30 cmの降雪がもたらされた。9日21時のゾンデプロ ファイル (図1)によると、地上 2500m までは風 速 10m/s 以下の北東風で、その上空には西風が卓 越していた。

全国合成レーダーや地上気象観測による当日の 日降水量から、上越と柏崎で強い降水が見られ、 数値実験結果でも同じ領域で降水を確認した(図 $(2)_{\circ}$

数値実験では、9日の14時と19時の2回、海 岸線に沿う帯状の上昇流帯が到達し、特に 19 時 からは 4 時間に渡って停滞する様子を再現した (図3)。この上昇流帯は、下層で陸から吹く北東 風と季節風が収束し続けることによって長時間 停滞していたことが分かった(図 4)。このとき、 上昇流は 700hPa 程度(約 2900m)まで達してい た。この上昇流により、雪雲が形成され続けてい たと推測できる。そして21時のゾンデ観測では、 上空 2500m まで北東方向に吹く弱風層を観測し たことから(図1)、帯状収束雲を停滞させた北東 風を捉えられていたと考えられる。Nakai et al., (2005)によると、雪雲は6種類に分類されると 示している。そのうちこの帯状収束雲は、海岸付 近に停滞するという特徴を持つ D モードと呼ば

れる雪雲であると考えられる。そのため、今後は D モードに分類されるかどうか検討するためも、

参考文献

Skamarock, W. C. et al., 2008: NCAR Tech.Note, NCAR/TN-475+STR, 125pp.

細に解析を行う必要がある。

Nakai et al.(2005). A classification of snow clouds by Doppler radar observations at Nagaoka, Japan. SOLA, 1, 161-164









北極海の海氷変動と日本の降雪パターンとの関係

岩本勉之 (極地研 / 新潟大・理)・本田明治 ・浮田甚郎 (新潟大・理)

1. はじめに

北極海の海氷変動は広く北半球中緯度域の気候に影響を及ぼし得ることが、近年の研究によって明ら かになっている。例えば、ユーラシア大陸沿岸域、特にバレンツ ~ カラ海 (BK)の夏 ~ 秋季海氷面積 が減少すると、続く冬季にシベリア高気圧が発達し、それに伴う寒気移流によって極東域が低温偏差に なることが知られている (Honda et al., 2009)。また、この低温偏差が西日本を中心に多雪傾向をもたら すことも指摘されている (岩本ら, 2014)。一方、近年の夏季海氷面積の減少は、東シベリア海 (ES) な どの北極海太平洋セクタでも顕著である。そこで本研究では、BK と ES の夏季海氷域面積変動と、北半 球大気循環場、日本の降雪分布の変動との関係を調べた。

2. データ

解析には、日本国内のアメダスによる日降雪深のデータを、12月から翌年2月まで積算した冬季積算 降雪深を用いた。解析期間は1986/87年から2012/13年までの27冬季とし、この期間の平均の冬季積 算降雪深が100cmに満たない地点を除外した185地点のデータを用いた。大気循環場は再解析データ ERA-Interimの月平均値を、海氷データはHadISSTをそれぞれ用いた。解析に際し、全てのデータか ら解析期間の線形トレンドを除去した上で統計量の計算を行った。

3. 結果

9月の BK と 10 月の ES の平均海氷面積の年々変 動 (それぞれ BKI と ESI) を図1に示す。ともに解析 期間内に減少傾向となっているが、トレンドを除去 した変動成分に関して両者はほぼ無相関(r=0.05)で あり、同じユーラシア大陸沿岸域でありながら、こ れらの海域の夏~秋季の海氷変動は独立であるとい える。回帰分析により、BK で海氷が減少すると、続 く冬季はシベリアで高気圧偏差となり、冬季東アジ アモンスーンが強化される傾向があることがわかっ た (図略)。また、BK での海氷減少によって日本の 日本海沿岸地域では冬季降雪深が増加する傾向があ リ (図 2a)、冬季東アジアモンスーンの強化と整合的 であった。一方、ES における海氷減少は正位相の北 極振動パターンをもたらす傾向となった (図略)。過 去の研究からは、北極海の海氷域面積の減少により、 負位相の北極振動パターンとなることが指摘されて いるが、この解析はこれと逆の傾向となっている。 また、ES での海氷変動は北海道の太平洋沿岸域の降 雪深変動と有意な正相関となった (図 2b)。この領域 の降雪は主に北海道南岸を通過する低気圧によって もたらされることから、ES での海氷変動が北極振動 の変動と関連して日本付近の低気圧活動に影響を与 えていることが示唆される。

本研究の結果は、海氷変動が起こる海域によって 大気循環場や日本の冬季降雪パターンが大きく異な ることを示唆している。今後、海域による大気の応 答パターンの違いについて解析を行う必要がある。



図 1:9月のバレンツ ~ カラ海 (BK; 72-82°N, 30-100°E) および 10月の東シベリア海 (ES; 72-82°N, 140°E - 180°)の平均海氷密接度 (SIC)の年々変動。



図 2: (a) 9月の BK および (b) 10月の ES の平均 海氷密接度に回帰した冬季 (DJF)積算降雪深の 回帰係数。海氷密接度の1標準偏差分の変動に対 する降雪深の変化量を示し、回帰係数の符号が正 と負の箇所をそれぞれ丸と三角で表す。

北陸地方における大気環境中の粒子状物質およびガス状物質の動態

山崎暢浩・松原弘樹・金聖鈞・渡辺幸一 (富山県立大学)

1. はじめに

近年、日本海沿岸域にアジア大陸からの大気汚染物質が多く越境輸送されてきている。汚染大気中に含ま れる代表的な物質である硫酸エアロゾル(Sulfate)、オゾン(O3)、二酸化硫黄(SO2)と同様に、最近ではメディ アでも多く取り上げられている PM2.5 もアジア大陸から多く輸送されてきている。ここで硫酸エアロゾルは PM2.5の主成分の一つである。また 2010年以降桜島の火山活動が活発化しており、硫酸塩粒子を多量に含 む噴煙が北陸地方に輸送されていることも確認されている。硫酸エアロゾルなどの吸湿性粒子は、雲粒を形 成する際の雲核として働き、降雨・降雪を酸性化させる原因となる。本研究では富山県小矢部市および射水 市において、粒子状物質およびガス状物質などを測定し、越境汚染や噴煙の影響や、大気汚染物質の起源な どについて考察する。

2. 方法

富山県射水市において、PARTISOL-FRM MODEL2000 PM-2.5 AIR SAMPLER により、大気中の粒径 2.5 µm 以下の微小粒子を採取し、純水中へ抽出後、イオンクロマトグラフ法によってイオン成分を測定した。 粒子個数濃度の測定には、オプティカル・パーティクル・カウンター(OPC)を用いて 5 段階粒径別(0.3µm~、 0.5µm~、1.0µm~、2.0µm~、5.0µm~)に測定した。硫酸エアロゾルの計測は、乾式の気化還元法・紫外蛍 光法の測定機であるサルフェイトモニター(Thermo Fisher Scientific 社製サルフェイト濃度測定装置 Model 5020 SPA)で行った。二酸化硫黄 (SO2)の計測には、乾式の紫外線パルス蛍光法による二酸化硫黄自 動計測計で行なった。オゾン(O3)の計測は、紫外線吸光方式(紀本電子工業社製 Model OA-683)で行った。

3. 結果と考察

2014年5月下旬から6月上旬の小矢部市において、高濃度のSO₂、O₃、SO₄²⁻およびNH₄⁺が観測された。後方流跡線解析の結果から、この期間、東アジア大陸の工業地帯からの越境汚染の影響を受けていたものと考えられる。2014年7月下旬において、高濃度のSO₂、SO₄²⁻およびNH₄⁺が観測された。しかし同期間におけるO₃濃度は、低濃度であったことから、人為起源が原因ではないと考えられる。2014年7月18日、19日に、桜島昭和火口において、大きな噴火があり、その時の気塊が北陸地方に輸送されていたものと考えられる。

Fig.1 に、2015 年 2 月の小矢部市における SO₂濃度(1 時間値)および粒子個数濃度(15 分値)の時系列 を示す。2 月中旬において、高濃度の SO₂および粒子個数濃度が観測された。後方流跡線解析の結果、モン ゴルの乾燥地帯および、渤海沿岸域の工業地帯を通過して大気が輸送されていたことがわかった。また 2 月 下旬において、高濃度の粒子個数濃度が観測されたが、SO₂においては低濃度であった。2 月上旬と同様、 モンゴルの乾燥地帯および、渤海沿岸域の工業地帯を通過して大気が輸送されていたと考えられ多が、汚染 起源から長時間かけて北陸地方に大気が輸送されたため、ほとんどの SO₂が SO₄²⁻に酸化されていたものと 考えられる。大陸から輸送される硫酸エアロゾルなどが雲核となり、降雪が酸性化し、豪雪地帯である北陸 地方の自然環境に影響を与えていることが予想される。



Fig.1 2015年2月の小矢部市における SO2濃度(左図)および粒子個数濃度(右図)の時系列

2014-15 冬期の雪氷災害発生状況調査

○ 上石勲、安達聖、山口悟、本吉弘岐、石坂雅昭、山下克也、中村一樹(防災科研)

1. はじめに

2014-15 冬期は、2014 年 12 月の徳島県、岐阜県高山市の着冠雪災害、平成 2015 年 1 月の宮城、山形、新潟県での雪崩災害や建物被害、北海道道東地方の大雪と長期吹雪災害、1 月~2 月の大雪による新潟県内の建物被害など、各地で多くの人的・物的被害が出た(図 1)。

2. 雪氷災害発生状況

2014-15 冬期は、日本各地で大雪となっている、とくに、新潟県の山沿いをはじめ北陸・東北地方の山沿いと 北海道道東地方で大雪となっている(図 1)。2014 年 12 月の徳島県と岐阜県高山市での大雪による被害では、樹 木への着雪→その後の大量降雪による冠雪→倒木→電線切断による停電→道路除雪困難→長期停電、長期孤立と 災害が連鎖した。とくに徳島県では、山間部の集落が孤立し高齢者が亡くなるという事故が発生した。生活道路 が急勾配で幅が狭く、集落も点在しており、電話も IP 電話で停電によって連絡がつかなかったことも災害を大 きくした原因と考えられる。

図2に雪氷防災研究センターで測定している積雪重量の変化を示す。雪が多くてしかも重いため、新潟県内で は73棟の建物被害が出た。空き家の倒壊も目立っており、大きな社会問題となっている(図3)。これは、山間部 で雪が多いことと、降雨も多かったことも原因の一つとなっていることが推定される。





(赤:今冬, 黒:過去21年平均)



図3 空き家の倒壊(新潟県1月15日)

御嶽山 2014 年噴火に対する雪氷・火山複合災害の視点からの取り組み

○河島克久・伊豫部勉・松元高峰・片岡香子・和泉薫(新潟大学) 佐々木明彦・鈴木啓助・齋藤武士(信州大学)

1. はじめに

御嶽山は2014年9月27日に水蒸気噴火を起こし,死者56名,行方不明者7名を出し,戦後最悪の火山災害と なった.御嶽山のような多雪地域の活火山では,積雪期には,噴火による融雪型火山泥流や融雪・ROSに 伴う雪泥流などの突発的現象とその災害が懸念される.しかし,これまでの火山防災では,噴火現象そのも のへの関心に比べて,噴火に伴って発生する現象や噴火後の土砂輸送等についての関心は低く,研究や防減 災対策が十分に行われてきたとは言い難い.そこで新潟大学と信州大学の研究グループでは,御嶽山を対象 として冠雪火山の雪氷・火山複合災害に関して,雪氷学・水文学・火山地質学・災害科学の視点からの取り 組みを開始した.本発表ではそのアウトラインを述べる.

2. 御嶽山田の原における積雪期の気象・積雪観測

御嶽山7合目田の原(標高2190 m)に気象・積雪観測システムを設置し、積雪深、気温、相対湿度、短波 長放射量(上下)、長波長放射量(上下)、風向風速、地温等のデータのリアルタイムモニタリングを2014 年11月13日に開始した.降水量については、同箇所にアメダス御嶽山があるため、それを使用することと した.観測は2015年5月まで行い、得られたデータに基づいて積雪深変化の特徴、降水特性、融雪特性等を 調べた.この解析結果の一部については、本大会において松元らが報告する.

3. 御嶽山濁川における水文・土砂流出観測

火山噴火によって噴出物が堆積した流域では、その後、長期間にわたって水や土砂の流出特性が変化し、 土石流等の災害を引き起こす可能性も高いと考えられる.そこで、今回の火口や火砕流の堆積域の下流にあ たる濁川(王滝川支流)において、2014年11月から2015年5月まで水位のモニタリング、電気伝導度、pH、 浮流土砂濃度の測定などを実施した.河床の条件が非常に不安定なため、自記計測による長期モニタリング は難しいが、噴火後の土砂輸送特性の長期的な変化傾向を明らかにするために、現地での断続的な計測・サ ンプリングは今後も継続する予定である.

4. 御嶽山におけるスノーサーベイ

火山噴火に伴い発生する融雪型火山泥流などの土砂災害は、被害を及ぼす範囲や被害の程度が、噴火の 規模のみならず積雪量によって大きく異なるため、火山周辺における積雪分布特性を把握しておくことが重 要である.そこで2015年2月~4月に御嶽山の北、南、南東、東斜面においてスノーサーベイを合計4回実施

した.その結果得られた積雪水量の標高依存性や斜面方位による違いについては、本 大会において伊豫部らが報告する.

5. 積雪期火山防災情報プラットフォーム の公開

御嶽山田の原における気象・積雪観測監 視情報とともに、官民の多機関からインタ ーネットを介して発信される火山防災情報, 行政による監視情報等をリアルタイムで収 集・集約・視覚化し,行政や市民が相互に 利用しあえる基盤的な仕組みとして「御嶽 山積雪期火山防災情報プラットフォーム」 を構築し,2014年12月12日に公開した(右 図).この中では簡易なモデルを用いて推 定した1時間融雪量・積雪底面流出量も表示 し、雪泥流や火山土砂流出現象の監視に役 立ててもらうこととした.

御嶽山積雪期火L	山防災情報	プラ	ットコ	フォー	Ь	ø			
ホーム ライブカメラ 投稿情報	新潟大学 G Twitter ハザー	災害・(-ドマッ)	夏興科学研 プ 緊急係	究所 信州 報 投稿	大学理判 する 利	学部 1)用数	现音	後興科	子研究
KQ1846	投稿情報								
2015-03-19 16:39 現在 (第2015-03-19 16:39 現在 (第2回人口情報) 現然部レージル3 (入口現刻) - He127年03月3日18年00-8 未時 課題により第2-4 (長野点気動情報) 第2号 - 2015(03/19 50 2月素、影响報 第2号 - 2015(03/19 50 2月素、影响	2015-03-18 17:43: 2015-03-18 17:13: 2015-02-16 13:34: 2014-12-26 17:19: 2014-12-26 14:33:	08 27 32 18 33	3月19日はプ 積雪底面流設 御嶽山周辺の 濁川上流部 Internet Ex	大雨と融雪に 2量(推定値 の積雪深など (赤川)の状 (赤川)の状	ご注意く () の公開 : : : : : の閲覧に	ださい	יד ד	研究者 研究者 研究者 研究者 研究者	1256
^{12日→} 設置となだれ及び決水に関する長 野臭気象情報 第1号 - 2015/03/18 16:49発表 - 気動? 12日→ 【岐阜県気象情報】	御嶽山田の原	ステー	ション((標高21	90m)	気	私観測デ (戦潮	一夕 戦闘:新潟大	学・信州大学
諸雪となだれに関する岐阜県気象 香齢 第2号 - 2015/03/19/05:25巻	ACCE ON THE ALE	43 - 3	,					2015/03/	9 16:00:00
R - 気象行	150 151	cm	1		6.00	5.0	r		Γ
詳細→	151	ciii	-			5.5			-
1237年3月19日12時11分 18735(1846) 1875(1846) [現村 [発表] 洪水, 濃霧注意報	日射量 259	W/m ²		7.4984	865 869	SW	m/s		
[総統] 融盟,なだれ注意報									
(気象 警報・注意報)	推進優								
成27年3月19日12時11分						100		2015/03/	19 16:00:0
要4755年#月辰 、曾町[発表]洪水,濃霧注意報	融合量	1.8	mm/h	※注1	重量	1	mm/h	※注2	
[総統] 融告, なだれ注意報 詳細→	積雪底面流出量	3.4	mm/h	※注3					

御嶽山南東斜面(田の原)における積雪・融雪の特性

〇松元 高峰·河島 克久·伊豫部 勉·和泉 薫(新潟大学災害・復興科学研究所)佐々木 明彦・鈴木 啓助(信州大学理学部)

1. はじめに

日本の山岳地域における積雪の空間分布と堆積・融解過程については、北海道大雪山における一連の観測研究(例えば山田ら、1978)のほか、各地で研究例がある.長野県南西部に位置する御嶽山は、飛騨山脈の南端に連なる 3000m峰であり、その山腹に4つのスキー場を抱える積雪地域でありながら、しかし降雪・積雪・融雪の特性に関する知見は、今のところ極めて限られている.そこで本研究では、2014/15冬季に実施した気象・積雪観測の結果に基づいて、御嶽山南東斜面における季節積雪の堆積・消耗過程の特徴を示すことを目的とする.

2. 研究方法

御嶽山の南東側山腹に位置する田の原駐車場(長野県王滝村;標高 2190 m)に気象観測ステーションを設置し, 2014年11月13日から2015年5月18日まで自記計測を行なった. 観測項目は気温,相対湿度,全天日射量,反 射量,風向,風速,積雪深,地温(全期間)と,大気放射量,地球放射量(2015年2月以降)である. 降水量は,同じ 田の原駐車場に設置されているAMeDAS御嶽山の計測値を用いた.また,2014年9月の噴火に伴なう入山規制範 囲が縮小された2015年2月下旬以降に,積雪断面観測と積雪水量調査を2回実施した.

3. 結果

田の原においては12月上旬に根雪となり、小さな増減を繰り返した後、3月12日に最大積雪深203cmに達した. 日降雪水量が10mmを越えるような顕著な降雪イベントは、すべて低気圧(日本海低気圧・南岸低気圧・二つ玉低 気圧)の卓越する気圧配置の下で発生した.一方、冬型の気圧配置の下では、少なめの降雪がある場合と、降雪の ない場合とがみられた.降雪により積雪深が増加した直後に、しばしば急激な積雪深の低下が見られるが、これは 強風によって雪面が削剥されたものと推測される.

3 月後半以降,田の原では気温が 0℃を上回ることが多くなって融雪が進み始め,4 月 21 日に消雪した.この期間中,3 月 18~19 日,4 月 1~7 日,4 月 13~14 日,4 月 19~20 日に,顕著な降雨(Rain-on-Snow)イベントが発生したが,田の原における積雪のほとんどはこれらのイベント中に融けたことが図1から明らかである.融雪期を通した表面熱収支において乱流伝達熱の寄与が大きいことが,この地点の融雪過程の特徴ということができる.



図1 田の原における気象・積雪観測 結果(2014年12月~2015年5月). 降水量は AMeDAS 御嶽山の計測値を 用い,気温が 1.5℃以上の場合を降 雨,1.5℃未満の場合を降雪とした.

御嶽山周辺における積雪水量の高度分布

〇伊豫部勉・河島克久・松元高峰・和泉薫(新潟大学災害・復興科学研究所) 佐々木明彦・鈴木啓助(信州大学・理学部)

1. はじめに

2014年9月27日に発生した御嶽山噴火は,60名以上の登山者が死者・行方不明となる大惨事となった.また最近では,蔵王山・吾妻山・箱根山周辺でも火山性活動が高まり,噴火への警戒体制が強められている.火山噴火に伴い発生する現象は多様であり,特に積雪地域では,火砕流等による急激な冠雪の融解により,多量の泥水が岩石や樹木を巻き込みながら山腹を流れ下る融雪型火山泥流が発生する場合がある.火山斜面における積雪量は泥流の流出規模を規定する要素のひとつであり,火山一帯の積雪分布に関するデータの蓄積は泥流発生因子としての積雪の役割を評価する上で重要なことである.著者らは,火山斜面における積雪分布特性を把握することを目的として,2015年2月から4月にかけて御嶽山でスノーサーベーを実施したので,この調査結果について報告する.

2. 観測地域·方法

現地調査は、2015年2月9~10日、2月26日、3月16~17日、4月7~8日の計4回、御嶽山の北、 南、南東、および東斜面にて実施した.積雪調査地点は、標高885m~2,196地点の間で各斜面3~5地点の 観測定点を設けたが、調査日の天候や消雪によって測定できなかった斜面や地点もあった.各地点における 積雪水量と全層平均密度は、円筒型のスノーサンプラーを用い、コア重量を測定することで求めた.測定は 各地点で3回行いその平均値を測定値とすることを基本としたが、測定ごとにばらつきが大きい場合には測 定回数を適宜増やした.

3. 調査結果

図1に御嶽山南東斜面(標高差1,311m)で得られた全層平均密度の季節変化を図1に示す.全層平均密 度は2月では300kgm³以下であったが,時期が進むにつれて増大し,融雪最盛期の4月には450~500kg m³に達した.また,特定の調査日の全層平均密度には標高の違いによる大きな違いが見られないことか ら,標高に依存せず一定値として扱える可能性がある.なお,3月の観測結果がその前後に比べて若干小さ な値になっているのは,調査日前の多量降雪に伴い新雪層が形成されたためと考えられる.一方,斜面方位 別にみた積雪水量と高度との関係について,3月の調査結果を図2に例示する.積雪水量はいずれの斜面に おいても標高とともに直線的に増加し,積雪水量には標高依存性が認められる.また,積雪水量を斜面方位 別にみると,同標高においては北斜面の方が他の斜面に比べて100mm程度多くなっている.このことは, 3次元的な広がりを持つ山地の積雪水量分布を推定するうえで,標高に加えて斜面方位の効果も無視できな いことを意味する.今後は,個々の降雪の高度分布の特徴が総観気象とどのような関係にあるのかを斜面別 に詳しく検討していく必要がある.





中部山岳地における積雪の地域特性の研究 ~等価積雪密度の地域特性~

○池田慎二・松下拓樹(土木研究所)・和泉薫(新潟大学)

1、はじめに

積雪は地域によって量・質共に大きく異なる。積雪の地域特 性を知ることは水資源の有効利用、雪氷防災の観点から重要で ありこれまでにも積雪の地域特性に関する研究は行われている が、それらは平地を対象としたものであった。本研究の目的は 中部山岳地における積雪の地域特性を明らかにすることである。 さらに今冬より、より多様な気象条件下における積雪の特性を 明らかにするため、新潟県糸魚川市能生地区に標高別(60 m、100 m、200 m、500 m)に観測点を設けた。

2、観測方法

図1に示した6箇所(9地点)において1か月に1回の頻度で 全層の積雪断面観測を行った。栂池はしまり雪、志賀・乗鞍は

しまり雪・こしもざらめ雪、駒ヶ根・蓼科はしも ざらめ雪、能生はしまり・ざらめ雪が卓越する地 域である。

3、今冬の積雪水量と過去の比較

2008~2015 年冬期における各地の最大積雪水 量を図2に示す。今冬は、厳冬期においても南岸 低気圧の通過に伴う降雪が度々みられたため内陸 地域(乗鞍、駒ヶ根、蓼科)の積雪水量が大きかっ たのではないかと思われたが、日本海側の栂池に おいても積雪水量は多かった。栂池、志賀、駒ヶ 根においては観測期間における最大値であったが それ以外の地域においては観測期間における最 大値ではなく、全般的に今年の積雪水量が顕著 に多いわけではなかった。

4、今冬における各地の等価積雪密度

図3に今冬における各地の等価積雪密度と建 築や雪崩対策施設の設計において使用されてい る積雪深と等価積雪密度の関係を示す。等価積 雪密度とは、対象地における単位面積当たりの 最大積雪水量を最深積雪深で除したものであり、 建築物や雪崩対策施設を設計する際に最大積雪 深から最大積雪荷重を求める目的で利用されて いる。従来、等価積雪密度は最大積雪深と相関 が高いと考えられていたが、図をみるとその値 は地域によって大きく異なり、必ずしも積雪深 と相関があるわけではないことがわかる。これ には各地における雪質の差異が大きく関係して



図1 観測地位置図



図2 2008~2015 年冬期における各地の最大積雪水量



図 3 2015 年冬期における各地の等価積雪密度と各分野 において使用されている等価積雪密度 ※最大積雪水量は月に1回の観測、最深積雪深は1時間 に1回の観測による。

いると考えられ、積雪深以外に雪質に影響すると考えられる気温、温度勾配、降雨量等の要素を加えること によって、より対象地に適した等価積雪密度を設定することが可能になると考えられる。

マルチコプターを用いた積雪地表面の変動に関する観測

○杉浦幸之助(富山大)・和田直也(富山大)

<u>1. はじめに</u>

積雪は、裸地や森林というように地表被覆に違いがあっても、地表を覆うように降り積もり、形成される.強風が吹くと、一旦降り積もった雪粒子は空中を舞い、昇華蒸発が活発に生じることになる.同時に、積雪の削剥や堆積、あるいは植生への着氷着雪の成長や剥離が生じて、地表面のアルベドが急変することになる.これにより、接地境界層の水熱収支に大きな影響を与えることになると考えられる.

一方,各国の気候モデルによる地表面アルベドの季節変化を比べると,特に積雪森林域でモデル間に 大きな相違が見られている.また衛星観測による積雪検知の精度は,植生密度が高くなる森林域で低下 している.

そこで本研究では、樹冠上及び急峻な地形での広範囲にわたる積雪地表面アルベドを定期的に測定していくために、今回マルチコプターを導入して空中観測を試みたので報告する.

2. 観測方法

異なる地表面状態を対象とするために、広範囲にわたる雪原と森林域や起伏に富む急峻な地形を有す る北アルプスの日本海側富山県山域を観測対象地域とした.2014年11月の堆雪期及び2015年4月の融 雪期に、立山のふもとから広がる溶岩台地の弥陀ヶ原高原(標高約1,600mから2,100m)で空撮を行っ た.マルチコプターは、DJI製 PHANTOM2に GoProHERO3+を搭載している.マルチコプターの位置情報を 保存するために、小型 GPS も搭載した.

3. 結果

空撮画像(図1)から,弥陀ヶ原は地表面を覆うように雪が積もり,樹高の高いオオシラビソなどの 樹木が見えている様子がわかる.また,一部の樹木には冠雪が見られる.今回の観測により,高解像度 の画像を入手することができ,マルチコプターによる観測研究の有効性を確認することができた.今後 は,消雪までさらに数回にわたる空撮を弥陀ヶ原で予定している.これにより,森林域を含む起伏に富 んだ積雪地表面のアルベドの時空間変化の実態把握へと進める予定である.



図1 2014年11月の空撮画像.

高山帯での山火事の発生による土壌の凍結融解サイクルの激化

○佐々木明彦・鈴木啓助(信州大学理学部)

1. はじめに

2009年5月9日に白馬岳の高山帯において発生した山火事によって、ハイマツ群落や草本群落の一部が焼 失した。ハイマツの焼失に伴う根系の弱化によって新たな土砂移動の発生がとくに懸念されたが、山火事の 直後に土砂移動はほとんど生じなかった。しかし、ハイマツの葉が焼け落ちたことで、地温状況には明らか な変化が生じ始めた。本発表では、ハイマツ焼失後に認められた地温状況の変化について報告する。

2. 方法

山火事によって焼失したハイマツ群落と、その直近の焼失していないハイマツ群落に、それぞれ温度セン サーを設置した。温度センサーは、リター内、1cm深、10cm深、40cm深に埋設した。また、両群落の周囲に みられる草本群落や砂礫斜面の1cm深にも温度センサーを埋設し、1時間インターバルで観測した。

3. 結果と考察

山火事発生直後の2009年や2010年の地温状況は、焼失ハイマツ群落と非焼失ハイマツ群落とで大きな違いは認められなかった。しかし、山火事発生から2年後の2011年夏季以降に非焼失ハイマツ群落に比べ焼 失ハイマツ群落における地温の日較差が大きくなり始めた(図1)。また、日平均地温も、非焼失ハイマツ群 落に比べ、焼失ハイマツ群落では夏季に高く冬季に低くなるようになった。それは1cm深で最も顕著である ことが明らかとなった。非焼失ハイマツ群落、焼失ハイマツ群落とも2009年や2010年では、10月~11月 の凍結移行期に1cm深での日周期の凍結融解は生じなかったが、2011年の10月~11月に焼失ハイマツ群落 では13回の日周期の凍結融解が生じた。一方、同期間に非焼失ハイマツ群落の1cm深では日周期の凍結融 解は生じなかった。このような土壌の地温状況は、2012年および2013年の10月~11月も同様で、焼失ハ イマツ群落でのみ日周期の凍結融解が10回以上生じた。また、焼失ハイマツ群落では、2010年と2011年の 融解進行期には日周期の凍結融解は生じなかったが、2012年以降の融解進行期にはそれぞれ20回ほどの日 周期の凍結融解が生じた。

焼失ハイマツ群落の林床のリターの厚さは、2011 年にはおおむね 4cm であったが、2012 年には 2cm とな り、2013 年と 2014 年には場所によっては 0.5cm 程度になった。山火事後にハイマツの焼失によってリター の供給が途絶えた結果、それまでに林床に存在したリターが流水で流出したほか、夏季地温の上昇に伴う乾 燥化に起因して分解が進行し、その厚さは減少してきた。この結果、焼失ハイマツ群落では、リターによる 地表の断熱効果が減じ、地温状況は裸地における地温状況に近づいている。焼失ハイマツ群落の林床では、 今後土層の凍結融解による物質移動が顕著になっていく可能性が考えられる。



コンパクトな雪結晶透過光撮影台

○藤野 丈志((株)興和)・加藤 正明(長岡市立科学博物館)

1 はじめに

長岡市立科学博物館で実施している一般向け体 験学習「うちの子を理科好きにしよう」では、平 成 23 年度の冬期より雪結晶撮影教室をおこなっ ている.教室では、雪結晶透過光撮影台¹⁾を使い、 コンパクトデジタルカメラで雪結晶の透過光撮影 等をおこなっているが、参加者が持参する様々な タイプのデジタルカメラに対応すべく、コンパク トな雪結晶透過光撮影台を工夫した.

2 撮影台の工夫

雪結晶透過光撮影台を図-1に示す.カメラのフ ラッシュ光を光源として,雪結晶を透過光で撮影 できるものである. デジタル一眼レフカメラでの 撮影に合わせて、 白いボールの大きさやアクリル の筒の高さを決めて作ったものであったが、コン パクトデジタルカメラでも問題なく撮影ができて いた.いくつかのデジタルカメラで撮影した画像 を確認すると、マクロ撮影機能が標準的についた 最近のコンパクトデジタルカメラでは、フラッシ ュ光の照射範囲が広いものがあり、より小さな観 察台でも上手く撮影できることがわかった. そこ で、サイズの異なるいくつかの観察台で撮影を試 したところ, 図-2 に示す, 白いボールの直径が9 cm, アクリルの筒を省略しボールの上に直接プラ スチック板やシャーレを置いた観察台でも、十分 に透過光撮影が可能であることがわかった.

3 雪結晶撮影教室

平成26年度の雪結晶撮影教室では,白いボール の直径が24 cm・12 cm・9 cmの雪結晶透過光撮影 台を準備し、参加された方には、持参したデジタ ルカメラに合うものを、食塩の結晶による撮影練 習を兼ねて選んでもらった.レンズとフラッシュ 発光部が離れているカメラでは直径9 cmの撮影台 で問題なく撮影できた(図-3).

実際の雪結晶撮影では、降ってくる雪結晶のほか、積もった雪粒子を撮影したり、これまでに考案されている観察・撮影方法を試したりしている. その教室の様子は発表にて紹介する.

1)藤野丈志(2011):野外における雪結晶の簡易な 透過光撮影,雪氷研究大会講演要旨集, Vol. 2011, P3-30.



図-1 雪結晶透過光撮影台(上)と撮影原理(下)



図-2 コンパクトな雪結晶透過光撮影台



図-3 食塩の結晶による撮影例

雪かき道場が参加者に与える印象と支払い意志額の分析

鹿嶋功貴^{*1}・○関健太^{*1}・上村靖司^{*2}

1. はじめに

一般に雪かきは「辛い」、「きつい」と言われるが、 雪かき道場の参加者からは「楽しい」、「人のためにな って嬉しい」という声を聞く. 鹿島ら¹¹は、雪かき道 場の参加者アンケートの自由記述欄に注目し、テキス トマイニング分析を行い²¹、参加者は「楽しい」とい う印象が強いことを裏付けた.本報告ではその結果を 踏まえて、2015 年冬に参加者に対して行った追加アン ケートの分析結果を報告する.

2. テキストマイニング分析

2008~2014年のアンケート回答者 596人中 417人が 自由回答欄に何らかの記述をしていた.雪かき道場の 実施回数は約40回でそのうち28回分の自由記述デー タが残っていた.自由記述回答率は70%であり,その データを使用してテキストマイニング分析を行った.

図1に共起ネットワーク分析の結果を示す.図の実 線の楕円で囲まれている部分に注目すると、「雪かき」 「楽しい」という語が多く抽出されている(円が大き い)、また比較的強い共起で結ばれている(線が太い) ことから、全体的に参加者が「雪かきを楽しい」と感 じていた. 特に雪かき未経験者や非積雪地帯に住む 人が多い初級参加者は、雪かきを新鮮な体験であると 思い、楽しいと感じたのではないかと考えられた.



図1 アンケート全体の共起ネットワーク

3. 2015年の追加アンケート

2015年の雪かき道場において、「楽しさ」を感じた 内容について、「新鮮さ」「技術向上」などの6項目に ついて5段階評価で記入するレーダーチャートによる

- *1 長岡技術科学大学大学院工学研究科
- *2 長岡技術科学大学機械創造工学専攻

アンケート調査を行った.結果を図2に示す.「新鮮 さ」が特に初級で際立って高いスコアを示した.また, 「新しい出会い」は級に関係なく4.0以上であり,人 と人との交流が楽しさを感じさせる大きな要因にな っていた.

参加者に「雪かき道場の参加費(食費・宿泊費を除 く)として、支払える金額を記入してください」とい う質問をした結果,雪かき道場の通常の参加費である 1000円よりも2000円以上高く支払ってもよいと考え ていて,特に非積雪からの参加者ではさらに1000円 高くてもよいと回答した.



図2 級ごと平均のレーダーチャート

4. まとめ

2015年の雪かき道場参加者に対して、レーダーチャートを作成させた結果、初級参加者は「新鮮さ」が一番楽しい要因であり、高い値を示した.このことから、テキストマイニング分析の結果から考察した、「雪かき自体が初めての経験であり、新鮮なものであったから」ということは正しかったと言える.払ってもよいと思う参加費についての問いに対しては、参加者全体の平均では雪かき道場の通常の参加費1000円よりも2000円以上高く支払ってもよいと回答した.

これまで「辛い」、「きつい」と言われていた雪かきで あるが、雪かき未経験者にとっては、新鮮な体験である ことから、積極的に非雪国に向けて発信すべきである. 参考文献

- 鹿嶋功貴、上村靖司、木村浩和:第30回寒地技術 シンポジウム(2014年・札幌)、雪かき道場が参 加者に与える印象のテキストマイニング分析
- 樋口耕一(2012):「社会調査のための計量テキス ト分析―内容分析の継承と発展を目指して―」株 式会社ナカニシヤ出版(ISBN: 978-4-7795-0803-5 C3036), pl-16

方式・用途の異なる4雪利用施設の冷房性能とコストの評価

全潤樹(長岡技科大院),上村靖司(長岡技科大),〇前田貴志(長岡技科大院)

1. はじめに

雪利用施設は2012年において全国で123施設あり¹⁾, 様々な業種・用途に用いられている.

新潟県と長野県で稼働している用途・方式の異なる4 つの新しい雪利用施設において、室温の変化や、冷熱 量などの測定を行う機会を得た.

本研究では4雪利用施設について,室温変化,冷熱 量,空気清浄効果などを夏季に並行して計測する²⁾と ともにコストも算定し,それらの特徴や性能,採用方 式の安定性,コストを比較して検討した.

2. 施設概要

4 施設とは①雪室に冷風循環を組み合わせた「米貯蔵施設」,②雪室に冷水循環を組み合わせた「温泉保養施設」,③雪山(もみがら被覆)に冷水循環を組み合わせた「きのこ栽培温室」,④雪山(ウッドチップ被覆)に配送と簡易冷水循環装置を組み合わせた「SAトイレ施設」である.これらの特徴を表1に示す.

\backslash		(1)	(2)	(3)	(4)	
		米貯蔵施設	温泉保養施設	きのこ栽培温室	SAトイレ施設	
所在地		新潟県下越地区	長野県下高井郡	新潟県上越地区	新潟県中越地区	
運用開始年		2014	2014	2010	2014	
冷房対象空間		1,560(もみ)	741(休憩室)	1,463(4~6棟)	289(男子)	
(m ³)		2,400(玄米)	716(食堂)	1,310(3棟)	289(女子)	
設定温度 (℃)		05(もみ) 15(玄米)	(25)	10~20(培養) 20~30(発生)	(25)	
運転時期		4/16~(もみ) 05/1~(玄米)	6/16~9/25	6/6~9/9	7/21~7/20	
運転時間		連続運転	日中のみ (9~20時)	連続運転	連続運転	
雪保存	貯雪量 (t)	545	263	1, 000	1, 000	
	方式	雪室	雪室	雪山 (もみがら)	雪山 (ウッドチップ)	
冷熱取出し方式		冷風	冷水 冷水		冷水	
用途		冷蔵 (米冷蔵)	冷房 (食堂・休憩室)	冷蔵 (シイタケ栽培)	冷房 (トイレ)	
既設測定機器		0	0			
借去					雪の演練方式	

表1 4雪利用施設の諸元

3. 評価方法

各施設の冷房性能は取得冷熱量・消費電力から成績 係数(COP)を算出して評価した.さらに雪利用施設で 実際に掛かった費用を市販の電気空調機器に置き換え た場合のコストをシュミレーションして,比較し,雪 利用の採算性を検討した.雪利用施設でのトータルコ ストが電気空調機器を用いた場合のコストを下回る点 (損益分岐点)を,ライフサイクルコスト分析(LCC) の手法を用いて各施設で算出した.

4. 評価結果

各施設で得られた結果を表 2 に示す.①米貯蔵施設 の場合,システムの COP は 5.9 であったが,送風機の 制御方法を改善することで 8.8 に改善される可能性が 示された.庫内温度は設定温度±2℃と,安定した貯蔵 環境を実現できた.損益分岐点は運用開始 3 年目に現 れる.通常の低温倉庫は 15℃程度で運用されており, 雪冷房倉庫と同等の 5℃の環境にする電気空調機器を 入れるとさらに負荷が大きくなりコストも増えるため,

	(1)	(2) 泪白兄姜齿劲	(3) きのと 助 校祖会	(4) SAL 人 L 体部
	不叮嘱他放	鱼汞休食爬衣	さりこれ店価主	SA F1 レ 旭設
取 得冷熱量 [GJ]	165	37	37. 1	11.5
消費電力量 [GJ]	28	8	3. 31	2. 0
成績係数(COP) [-]	5.7	4.8	11.2	4.9
利用雪 量 [t]	491	110	653	34
自然融解量 [t]	146	74	-	_
C0 ₂ 削減量 [kg]	10, 377	1, 822	15, 731	380
雪冷房システム RC:IC [万円/年]	126:12	132: 3	56: 7	20:8
電気空調機器 RC:IC [万円/年]	18:52	26:14	40:35	3:2
損益分岐点 「年月]	2	10	1	_

表2 実験結果の概要

コスト上での雪冷房倉庫の優位性は高まる.

②温泉保養施設の場合, COP は 4.8 となった. これは 施設の定格電流で消費電力を算出していることと,夏 は涼しく雪冷房を積極的に使用しなかったためであり, 今後の改善余地は大きい. 損益分岐点は運用開始 11 年 目に現れ,運用次第では雪冷房の採算性が見込めるこ とが示された.

③きのこ栽培温室の場合, COP は 12.4 となり非常に 高い効率で冷房を行えた.コストは,運用開始初年度 から雪利用施設のほうが安くなった.これは土木工事 をせずに農地に雪山をつくったこと,廃材であるもみ 殻を被覆材として用いたことなどの結果であり,雪冷 熱を農業へ活かす優位性が立証された.

④SA トイレ施設の場合, 簡易冷水循環装置の COP は 6.3 であった. この配送による方式では毎朝, 重機によ る雪のコンテナへの積み込み, トラックでの輸送の費 用が大きいため, 損益分岐点は現れない. 夏季のイベ ント利用が主たる目的であったため, そもそも採算性 は考慮されていないが, 今後冷熱供給方法を③のシス テムにすることで大きく採算性を改善することができ る.

5. まとめ

全体を通して,LCC の手法によるコスト評価で適切に 設計,運用された雪冷房は電気空調より安くなること が示され,損益分岐点は10年以内に現れることが示さ れた.ただし雪を配送する場合,無駄な消費電力が大 きい場合,また施設の冷房負荷が小さい場合には損益 分岐点が現れない可能性がある.

参考文献

- 1) 経済産業省 北海道経済産業局: COOL ENERGY 雪氷 熱エネルギー活用事例集 5, (2012)
- 2) 全潤樹・上村靖司:「方式・用途の異なる4雪利用施設とそれぞれの優位性」,寒地技術論文・報告集寒地技術シンポジウム30, pp. 335-340, (2014)

2014/15 冬期における雪崩災害の発生状況について

〇和泉 薫・河島克久・伊豫部勉・松元高峰(新潟大・災害研)

1. はじめに 2014/15 冬期は、日本海側の山沿いで大雪となり、北は北海道から西は鳥取県までの広域に わたって雪崩災害が発生した.このうち北海道オホーツク海沿岸では、発達した低気圧の停滞によって近年 では経験の無い大雪となり羅臼町が孤立し雪崩災害も発生した.昨年の関東甲信地方の大雪と同様、元々雪 の少ない地域に経験の無いような大雪が降ると即雪崩災害につながることが改めて認識された.本縞では、 現地調査やネット情報から取り纏めた 2014/15 年冬期における雪崩災害の発生状況について報告する.

2.2014/15 冬期の気象状況 12 月から1 月はじめにかけては、冬型の気圧配置となることが多く、日本付近には周期的に強い寒気が南下し、全国的に気温の低い日が続いて、日本海側では降雪量、積雪とも平年を大きく上回った.1~2月は、寒気の南下が弱かったにもかかわらず、低気圧の発達に伴って冬型の気圧配置が強まったことから、北陸以北の本州山沿いでは冬の降雪量や最深積雪が平年を上回った.それ以降、3月9~12日にかけて北海道付近で発達した低気圧によって北日本や東・西日本の日本海側で暴風雪・大雪になったほかは、低気圧に向かっての暖気の流入や高気圧の晴天による気温上昇のため全国的に気温が高くなり、積雪地における融雪が進行した.この気象推移は、図1のアメダス津南の降積雪変化からも読み取れる.

3. 雪崩災害の発生状況 2014/15 冬期の雪崩災害は全国でこれまでの調べで 57 件発生していたことがわかった.月別雪崩災害発生件数及び表層・全層の内訳は,12月:4件(表層4,全層0),1月:16件(12,4),2月:17件(6,11),3月:16件(3,13),4月(0,4)と上記気象状況を反映して,12月から2月上旬までが表層雪崩,2月中旬以降が全層雪崩を主体に発生していたことがわかる.都道府県別の雪崩災害件数が10件を超えたのは,発達して南からの暖気を取り込んだ動きの遅い低気圧に度々襲われた北海道(10件)と,図1のように12月から1月にかけて度々大雪に見舞われ平年を大きく上回るハイペースで積雪が急増した新潟県(12件)・長野県(10件)の計3県である.特に北海道根室管内での雪崩災害は,北海道東方で発達した低気圧の動きが遅く湿った暖気が多量に流入し羅臼町にこれまで経験のない大雪を降らせたことによる.

雪崩災害を被災対象別に分類すると、件数では道路の38件と冬期レジャーの12件で大半を占めており、 冬期の死者13人の全部が冬期レジャーで占められている.13人の死者の内10人が山スキー中の表層雪崩に よる被災で、1月17~23日と2月中旬に集中している.これら期間には、低気圧が北海道東方で発達し冬型 気圧配置が強まったり、上空に強い寒気が入ったりして大雪がもたらされている.外国人を含む10人の山ス キーヤーの被災はゲレンデ外であり、バックカントリーにおける雪崩リスクの認識不足等がマスコミで問題



図1 アメダス津南(新潟県)における 2014/15 冬期の降積雪の推移(新潟地方気象台・雪の状況より)

視された.

2014-15 年冬期の新潟県中越地区での雪崩発生事例

○町田敬¹),町田誠¹),岩崎剛¹),松井富栄¹)
 1)町田建設(株)

<u>1. 発生状況について</u>

表1に2014年から15年冬期(以下,今冬とする) に観測された新潟県中越地区での流下延長100m以 上の規模の大きかった雪崩事例を示す.

今冬の降雪は、12月上旬の気温が高い時期の降雪 が大量に積もり、そのまま根雪となった.また、厳 冬期の1月には降雨が観測されており、積雪底面部 には多くの脆弱な濡れざらめ雪層が確認されていた.

	X1 201110 1990970901天当川手门								
N	地名	発生	雪崩種類	発生区	流下				
0		年月日		惊尚	延長				
1	十日町市	2014年	面発生湿雪	480m	170m				
	葎沢	12月26日	全層雪崩	400111					
2	十日町市	2015年	面発生湿雪	620	260m				
	中立山	1月19日	全層雪崩	030m					
3	南魚沼市	2015年	面発生湿雪	200	160m				
	市野江	1月16日	全層雪崩	39011					
4	湯沢町	2015年	面発生乾雪	1020	960m				
	土樽	2月15~16日	表層雪崩	1020m					
5	湯沢町	2015年	面発生湿雪	660	580m				
	神立	2月16日	全層雪崩	000m					
6	魚沼市	2015年	面発生湿雪	100	100				
	今泉	2月17日	全層雪崩	roum	120m				

表1 2014-15 年冬期の大規模雪崩事例

※数値はGoogleEarthにて計測

2. 全層雪崩の発生状況にいて

沢地形を流下した No.1,2,3,5 の事例では,沢部の 積雪を 3m 程度削り込みながら流下しており,沢出 口から水平方向に広がったデブリ形状となっていた. また,沢地形を流下したデブリは削り込んだ溝の下 流に堆積した形状であり,2次発生を阻止する雪堤 のような形状となっていた.

また, No.6 の事例では, 発生直前に空中からの調 査が実施されておいたが, 顕著な前兆が見受けられ ない状態から数時間で発生に至った.

3. 表層雪崩の発生状況についてあ

No.4 の表層雪崩の事例においては、枠組減勢工に 雪崩が流入し、阻止されていた.枠組減勢工への衝 突事例は少ないため、追跡調査等を実施している.

<u>4. まとめ</u>

今後の雪崩防災に寄与できるよう,降積雪状況を 含め,既往履歴の取りまとめを今後進めていく方針 である.



写真1 No.1 の雪崩発生状況



写真2. No.2の雪崩発生状況(飯塚建設(株)提供)



写真3. No.3 の雪崩発生状況



写真4. No.4の雪崩発生状況

新潟県津南町において発生した湿雪全層雪崩

○松下拓樹・池田慎二(土木研)・秋山一弥(筑波大)・石田孝司(土木研)

1. はじめに

各地で発生する雪崩の発生要因や機構は多様であり、これらの雪崩事例に ついて情報を共有し蓄積することは、雪崩災害防止の観点から基本的かつ重 要なことと考えている。土木研究所では、2015 年 1 月の新潟県妙高周辺、 2015 年 2 月の長野県車山高原と新潟県津南町で発生した雪崩について現地 調査を行った。ここでは、新潟県津南町で発生した雪崩について報告する。

2. 雪崩事例の概要と調査内容

2015年2月16日午前1時半ころ、新潟県津南町辰口の斜面(北緯37°2′54.54″、東経138°40′6.78″、標高約265m)で高さ約50m、幅約15mの積雪が崩れて、木造建物1階の窓や壁を突き破って雪崩が建物内部に侵入した。現地調査は、雪崩発生から2日後の2月18日に行い、雪崩が発生したと考えられる破断面のある斜面(図1)で積雪断面観測を行った。積雪断面観測では、雪質と粒径の観察、雪温、密度、硬度、含水率の測定を10~20cm毎に行った。また、雪崩発生に関わる気象状況を調べるため、雪崩発生箇所

の南 6.3km に位置する AMeDAS 津南(北緯 36°59.8'、東経 138°41.0'、標高 452m)の観測値を用いた。

3. 調査結果

図1に示す雪崩発生箇所の写真によると、この雪崩は全層雪 崩である。積雪断面観測の結果(図2)、積雪は底面付近を除い て湿ったざらめ雪からなり、積雪表面付近に含水率の高い層が あるが、積雪内部に硬度が小さく弱層となる積雪層はみられなか った。特徴的なのは、積雪底面に厚さ 30cm の硬い氷の層が形 成されていることで、雪崩発生箇所の積雪底面にも同様な特徴 がみられた。また、斜面勾配の変化点と思われる箇所には、氷層 にクラックが生じており地面まで到達していた。この氷層は、 AMeDAS 津南(図省略)の気象データより、2014 年 12 月上旬 の気温上昇による積雪の融解と降雨により形成されたと考えられ る。また、この氷層の上 30~129cm の積雪は、極めて硬いざら め雪からなる。これらの硬い積雪層の硬度と含水率は、センサー を貫入させることができなかったため欠測となっている。図3は、 雪崩発生前の AMeDAS 津南における気温、積雪深、降水量、 日照時間の1時間毎の観測値の時系列である。雪崩発生時の気 温は0℃以下だが、それより6日前の2月10日以降は気温0℃ 以上で一日の日照時間が8時間を超える日があった。また、2月 13~15 日に降水が観測されたが、降水時の気温が 0℃以下で あり積雪深の増加がみられることから、これは降雪と考えられる。

以上より、津南で発生した雪崩は、気温上昇と日射による融雪 に伴う湿雪全層雪崩と考えられる。ただし、積雪底面に硬くて厚

い氷層があり、この氷層にクラックが生じていたことから、積雪内を浸透した水が地面に到達して土壌表面の破壊やすべりを伴って斜面積雪全体が崩れた可能性も考えられる。







長野県茅野市車山において発生した乾雪全層雪崩

○池田慎二・松下拓樹(土木研究所)・和泉薫(新潟大学)

1、はじめに

平成27年2月12日に長野県茅野市車山の標 高1900m付近において乾雪全層雪崩が発生し 麓の道路が一部通行止めとなった。さらに、通 行止めとなった区間では3月18にも雪崩が発 生し、この区間での通行止めの期間は2月12 日~4月9日となった。ここでは、2月12日に 発生した雪崩について、2月14日に行った現 地調査および雪崩発生個所近隣で継続的に実 施している積雪観測のデータを基に述べる。

2、雪崩破断面における積雪構造

地面付近(2~11 cm)に硬度 64 kPa、粒径 1.5 ~2.5 mm のしもざらめ雪の弱層が形成されて おり、この層が破壊されることにより雪崩が発 生した。なお、最下層の硬度の高いざらめ雪層

は部分的に存在しているが、この層がない箇所も多く、ほぼ全層 が崩れていたため全層雪崩と区分した。上載積雪は、主にこしも ざらめ雪からなり硬度は比較的高かった(100~200 kPa 程度)。

3、雪崩の発生原因

上載積雪の硬度が比較的高かったこと、発生時に降雪等による 荷重の増加がなかったこと、水の浸透の痕跡がみられなかったこ とから、積雪に外的な刺激が加わることによって雪崩が発生した と考えられる。また、発生区に部分的に雪庇が残存していたこと から雪崩発生のきっかけは雪庇の崩落であると推定した。

4、今冬の積雪状況の特徴

今回雪崩が発生した斜面において過去に道路まで到達する雪崩 事例はなかった。このため、8冬期に渡って蓼科高原(標高 1800m、 現場からの水平距離 10km)で観測された積雪データを基に今冬の 積雪状況が特異であったのか検討した。今回の雪崩の原因となっ たのは、地面付近に形成されたしもざらめ雪弱層であったがこの ような積雪構造は過去の 8 冬期においても観測されており、今冬 に限られたことではなかった。また、今冬は、積雪水量が比較的 多い傾向にあったが、それほど顕著でもない(図 2)。今後、雪崩の きっかけとなったと考えられる雪庇の発達状況等も含めて詳細に 検討することによって、今冬このような雪崩が発生した原因につ いて検討したい。





写真2 雪崩破断面の積雪状況



写真3 弱層を形成していた雪粒



低気圧の通過に伴う降雪結晶弱層の形成と雪崩の発生について

○池田慎二・松下拓樹(土木研究所)・和泉薫(新潟大学)

1、はじめに

降雪結晶は結晶の形状、大きさ、雲粒のつき方等によって特徴付けられるが、これらは積もってからの密 度、結晶同士の結合に影響し強度、圧縮粘性係数等の積雪物性に影響をもたらす。このため、降る雪の特性 によっては、脆弱な積雪層を形成し雪崩の発生要因になると考えられる。低気圧の通過に伴う降雪によって 降雪結晶弱層が形成され、その後の冬型の気圧配置に伴う降雪により上載積雪がもたらされたために雪崩が 発生したと推定している報告がいくつかみられる(たとえば中村他, 2013;池田, 2015)。しかし、実際には 冬型の気圧配置に伴う降雪がもたらされる前には、ほとんどの場合事前に低気圧が通過しているため、単に

「低気圧の通過に伴う降雪」ということだけでは、弱層の形成とその後の雪崩の発生について説明すること はできない。そこで、今冬の1月中旬から2月上旬にかけて南岸低気圧の通過に伴う降雪により形成された と考えられる積雪層を観察すると共にこの期間の雪崩発生状況を調べた。

2、研究方法

対象となったのは1月15日、1月22日、1月27日、1月30、日2月5日、2月8日の6回の低気圧の通 過に伴う降雪によって形成された積雪層である。

観測項目:層位、密度、硬度(プッシュプル)、シアーフレームテスト、雪結晶の接写

観測実施箇所(実施日):燕温泉:雪崩破断面(1/18)、妙高前山:雪崩事故現場付近(1/19)、栂池高原(1/20、 1/24、2/1、2/7、2/11)、志賀高原(1/21、2/10)、乗鞍高原(1/20、2/10)、蓼科高原(2/9)、駒ヶ根高原(2/9)

雪崩の発生状況:事故等の発生状況は報道等より収集、その他の雪崩発生状況は、日本雪崩ネットワークの「雪の掲示板」(http://nadare.jp/snowbbs2/index.html)から収集

3、観測結果と今後の課題

積雪層の物性:観測の結果、対象とした6回全ての低気圧 の通過に伴う降雪によって雲粒の付着の少ない大型の板状 結晶の層が観察された。観察された積雪層の密度とせん断 強度指数(SFI)の関係を図1に示す。ばらつきはあるものの、 従来日本の本州において観測された新雪~しまり雪の密度 とせん断強度の関係(山野井・遠藤, 2001)と比較すると弱 い傾向にあり、北米や北海道で計測された降雪結晶弱層 (Perla et al., 1982; Jamieson and Jonston, 2001; 八久 保・秋田谷, 1996)に近い値を示している。

雪崩の発生状況: 1月17日に新潟県、長野県において複数の雪崩事故・災害が発生した。この中で、新潟県妙高市 燕温泉における災害については複数の雪崩が発生していた が、そのうちの1つの破断面におい積雪断面観測を実施し た結果、低気圧の通過に伴う降雪により形成されたと考え られる雲粒の付着の少ない大型の板状結晶によって形成さ れた弱層において破壊が起こっていることが確認された (写真 1)。しかし、他の雪崩においてもこの層において破





写真 1 燕温泉の雪崩破断面において観測され た弱層を形成していた降雪結晶(升目は 3mm)

壊が起こっていたかどうかは確認できていない。その他の低気圧の通過に伴う降雪の後にも事故・災害には なっていないものの「雪の掲示板」において複数の雪崩発生が報告されていた。ただし、これらの雪崩と低 気圧の通過に伴う降雪により形成された弱層との関連は確認されていない。今冬の観測により、低気圧の通 過に伴う降雪により雲粒の付着の少ない大型の板状結晶の弱層はかなり頻繁に形成されている可能性が示唆 されたが、今後も継続してこのような弱層と雪崩発生の関連性について確認する必要がある。

南岸低気圧温暖側前面の環境場と降雪粒子の特徴および安息角

○ 石坂雅昭・本吉弘岐・中井専人・山下克也(防災科研・雪氷)

1. はじめに

昨年2014年2月,いわゆる南岸低気圧による関東甲信の大雪災害の中で,崩れやすいサラサラとした雪による 雪崩が多発した(和泉ら,2014).筆者らは長岡市および新潟市で観測された降雪とそれを構成した雪結晶および 当時の気象環境から,この特殊な雪崩に角柱,角板,交差角板,砲弾などの低温環境下で生成される結晶(低温 型雪結晶)を多く含む降雪が関係したと推定した(石坂ら,2014).そして,今冬もまた南岸低気圧時に同様な降 雪が観測され,崩れ易さに関連する安息角の簡易な測定を行うことができた.ここではその測定結果と合わせて, 昨冬の事例を含めた南岸低気圧温暖側前面における共通する降雪粒子及び環境場の特徴について述べる.

2. 共通する環境場と降雪の特徴

昨冬と今冬の事例から以下の南岸低気圧前面(温暖側)における共通性する事象が見られた.

- 低気圧の接近にともないウィンドプロファイラーおよびレ ーダーにおいて季節風冬型時より高い高度(たいがい 5km より上空)にエコーが出現する(図1).
- 対応してマイクロ波放射計による上空の湿度も高い、気象モデルの解析値から、エコーは低気圧前面上層での南西~南からの湿度の高い気魂の流入に対応していると考えられる。
- ・低気圧がさらに接近すると次第に下層にもエコーが出現し
 地上に達すると降水(雪)となる(地上に達せず降水がない
 期間もある).
- ・降水が降雪の形でもたらされる場合は、上に述べた低温型雪結晶を多く含む降雪が見られる(図2).また、鼓型雪結晶、雲粒付着結晶など上空の低温域で生成し下層の環境場の影響を受けたものも見られる.
- ・エコー高度の高い期間は低気圧が観測地点の真南からやや東に 移動する時点で低下する(図1).

3. 安息角の測定と結果

測定は長岡市の防災科学技術研究所雪氷防災研究センター(SIRC) の降雪粒子観測施設の低温室で行われた. 天井上部から降雪を取り 入れて簡易な漏斗状治具に直接降らせて測定した. 低温室の温度は 約-5℃,外気温は-0.7~+0.3℃で推移した. 安息角は約40度から 45度の間にあった(図3). 雪の安息角は付着力を左右する気温の 影響を受けるが,今測定では0℃付近の付着し易い気温にもかかわ らず,値は昨年の上石ら(2014)が報告したと同程度の小さい値で あった. また,接地後バラバラになる現象も見られ,この種の雪が 結合力の弱いサラサラとした物性を持つことが明らかになった. 参考文献

和泉薫,河島克久,伊豫部勉,松元高峰,2014:2014年2月中旬の大雪による 雪崩災害の発生状況と特徴. 平成 25-26 年度科学研究費助成事業研究成果報

告書, 111-118.

上石勲,中村一樹,安達聖,山下克也,2014:2014年2月の南岸低気圧の降雪

による雪崩災害と関連する大雪災害. 平成25-26年度科学研究費助成事業研究成果報告書, 119-125.

(y)

図1 2015年1月15日中心とする南岸低気圧時の高田 のウィンドプロファイラーエコー.



図2 2015年1月30日南岸低気圧時の砲弾を多く 含む降雪. 時刻11:32,於SIRC.



図3 図2の降雪時の安息角測定の様子.

石坂雅昭・本吉弘岐・中井専人・中村一樹・藤野丈・椎名徹・村本健一郎,2014,2014年2月の南岸低気圧がもたらした降雪粒子の特徴一雪崩の多発と「青い雪」そして中谷の「粉雪」に関連して一,雪氷研究大会(2014・八戸)講演要旨集,八戸市,45-45.

富山県立山エリアにおける雪崩情報と安全啓発活動

〇出川あずさ(日本雪崩ネットワーク)

1. はじめに

日本雪崩ネットワーク (JAN) は 2014 年 11 月下 旬,富山県立山エリアでの雪崩情報を発表した.ま た同時に啓発チラシを作成し、山小屋やアウトド ア・メーカーなどを通じて配布する雪崩安全対策を 行った.これらの概略を報告する.

2. 背景

JAN では2012 シーズンから長野県白馬エリアで 北米と同一の標準化された雪崩情報を発表(出川, 2014)しており,初滑りの地として混雑する立山で の発表も以前より検討していた.また,室堂周辺で は過去10年間で4件の雪崩死亡事故が起きており, JAN の調査により,内3件が持続型弱層であること が判明している.さらに昨シーズンは,真砂岳での 悲劇的な事故もあり,雪崩情報を発表するだけでは ない,より考慮された取り組みが必要とされていた.

3. 内容

3.1 雪崩情報

2014年11月16日から30日までの15日間,朝7時に雪崩情報の発表を行った.雪崩情報は5段階の危険度区分,留意すべき雪崩,雪崩発生状況・積雪・気象の概要,および行動への助言からなる.

雪崩情報の発表にあたっては、JAN が主催するプ ロ講習会である雪崩業務従事者 Level 1 あるいは国 際資格である Level 2 を所持した会員が、積雪状態 を「雪の掲示板」に投稿し、また、JAN 会員が勤務 する山小屋に降雪版などの気象定点を設けて判断の 材料とした.「雪の掲示板」には11月14日から29 日までの16日間で59データが24名の会員によっ て投稿され、雪崩情報の作成に役立てられた.デー タ投稿を行った24名の内22名は、山岳ガイドある いはスキーパトロールといった現場プロである.ま た、詳細な積雪断面観察を10回実施、内1回は雪 崩破断面で行っている.

3.2 啓発チラシ

判型 A4 のカラーチラシを作成した.表面は「雪崩の危険を考える」と題し,積雪不安定性・安全な行動・雪崩救助の三項目における重要な点を列記,

裏面は「雪崩死亡事故データ」と題し、立山エリア における過去 20 年間の雪崩死亡事故リストと JAN が調査した 4 件の死亡事故の概略を掲載した.

啓発チラシは 12,000 枚印刷され,立山室堂地区 の山小屋,プロショップ,アウトドアメーカー直営 店,ガイド会社あるいは山岳会などに,まとまった 数が配布され,ユーザー各自が入手できるようにし た.また,PDF をウェブサイトに掲載し,Twitter や Facebook などを使って告知することで,より幅 広い層への頒布を行った.



写真:啓発チラシ(左が表,右が裏)

4. 今冬の傾向と雪崩情報の閲覧

雪崩情報を発表した期間の立山は、まとまった降 雪も少なく、雪崩危険度は Considerable が1日付 いたのみで、概ね安定傾向にあった.懸念された持 続型弱層も11月20日の放射による再結晶化が多少 観察されたものの、現象自体が弱く、大きな問題と はならなかった.

一方で、少ない降雪といいながら、期間中にサイ ズ1-1.5の雪崩が20ほど観察報告されている.この 内6割がスキーカットなど人的な刺激で発生させた 雪崩であり、フィールドで活動するガイドなどから の情報の集約が状況把握に極めて重要であった.

期間中のウェブのページビューは 41,209 (1 日平 均 2,747), ユーザー7,319 を記録し, Facebook で は1日の平均リーチ(閲覧者数)は 5,620 であった. 参考文献

 出川あずさ、2014:日本雪崩ネットワークにおける雪崩情 報発表への実践的アプローチ、雪氷、76、451-460.

岩手山西斜面の雪崩に対する森林の減勢効果

[○]竹内由香里(森林総研十日町試験地)・西村浩一(名古屋大学)

はじめに 2010-11 年冬期に岩手山西斜面で大規模な雪崩が発生し、広範囲(約7ha)の亜高山帯林が倒壊 した(図 1).この雪崩の発生は、雪が消えて大量の倒木が現れたことで判明したため、雪崩の発生区や発 生時期はわかっていない.竹内ら(2014)は現地調査の結果から、雪崩は森林に流入する前に高速になってい た可能性が高く、標高約 1730 mの森林限界より高所で発生した乾雪表層雪崩と考えている.また、写真や 気象データに基づいて、この雪崩は記録的な大雪となった 12月 31 日以降 1月 6 日までに発生したと推定し た.さらに樹幹の折損状況から幹が折れる曲げ応力を計算し、雪崩の速度を推定した.本研究では、雪崩の 流下を運動モデルで再現し、発生区の位置や雪崩を停止させた森林の効果を明らかにすることを目的とする. 方法 雪崩の運動は、TITAN2D (Pitman et al., 2003)を適用して計算した.TITAN2D は、乾燥粒状体の 運動を実際の地形上でシミュレーションするモデルで、空気抵抗の無視できるスケールで、非圧縮性、非付 着性を仮定している.雪崩の厚さと流れ方向の速度(厚さ方向の平均値)を変数とし、雪崩本体の広がりと 速度分布の変化を計算する.基礎方程式は質量保存式と運動量保存式である.本モデルでは発生区は任意の 大きさの楕円で近似し、初期条件では雪崩の厚さを1mとし、内部摩擦角は20°で一定とした、岩手山の 雪崩は、実際の発生区の位置が不明であるので、まず雪崩の流下経路を再現するように、発生区の位置を検 討した.また、底面摩擦角を変えて森林の有無を区別し、実際の雪崩の流下を再現する底面摩擦角を調べた.

結果と考察 [雪崩発生区の位置] 雪崩の発生区を明らかにするために,運動モデルにおいて発生区 の位置を変えて雪崩を流下させて,経路や到達点を実際の雪崩と比較した.その結果,標高 1950 m 付近の幅 300 m 程度の範囲を発生区とすると,途中で 2 方向へ分かれて実際の雪崩と同様の 2 つの経路を流下した.これまで図1の雪崩NとSは発生区が異なる別の雪崩と考えていたが,同一の 発生区から流下した1つの雪崩であった可能性が示唆された.[底面摩擦角の比較]モデルにおいて雪 崩の底面摩擦角を変えて流下距離を比較した結果,森林限界より高所では µ= 12~14°,森林内 では µ= 26~25°とすると実際の雪崩の流下距離をよく再現できることがわかった(図 2).森 林がない場合を想定して,底面摩擦角を 14°で一定にすると,雪崩が減速せずに実際より遙か遠 くまで流下したことから,森林は雪崩を停止させる大きな効果があったといえる.

文献

竹内ら, 2014, 雪氷, 76(3), 221-232.

Pitman and others, 2003, Physics of Fluids, 15 (12), 3638-3646.



図1 岩手山西斜面の雪崩跡.



1: $\mu_1 = 14^\circ$, $\mu_2 = 25^\circ$. 2: $\mu_1 = 14^\circ$, $\mu_2 = 26^\circ$. 3: $\mu_1 = 12^\circ$, $\mu_2 = 26^\circ$. 4: $\mu_1 = 25^\circ$, $\mu_2 = 25^\circ$. 5: $\mu_1 = 14^\circ$, $\mu_2 = 14^\circ$. 内部摩擦角 φ はいずれも 20°.

連続体モデルを用いた雪崩防護工設計諸元設定手法に関する研究

○池田慎二・松下拓樹・石田孝司 (土木研究所)

1、はじめに

雪崩斜面の規模・形状や保全対象との位置関係によ っては、雪崩予防柵等の発生区対策よりも、雪崩防護 工等の走路・堆積区対策の方が、コストや自然環境へ の影響、施工性などにおいて有利となる場合がある。 しかし、現在使われている雪崩の流下経路や高さ等の 設計諸元の設定方法は、経験則に基づくもので、合理 的な手法が未確立である。このことは、雪崩対策の工 法として、防護工を選定しにくくしており、大規模斜 面への雪崩対策が進まない原因の一つとなっている。 そこで、本研究では、近年土石流等の運動シミュレー ションに用いられるようになった連続体モデルの雪崩 防護工設計諸元設定への適用性を検討する。



2、方法

張らによるモデル(張ら, 2004)、MPS 法(Saito et al., 2012)、TITAN2D(Pitman et al., 2003)の3つ のモデルを用いて事例解析を行った。対象とした雪崩事例は、福島県南会津郡檜枝岐において発生した 大規模な面発生乾雪表層雪崩である(標高差: 700m、水平距離: 2100m、雪崩発生厚:1.8m)。

3、解析結果

いずれのモデルにおいても底面摩擦、内部摩擦といったパラメーターを調整することによって流下範囲、到達距離等を概ね再現することができた。また、谷幅や屈曲等の地形変化に伴う雪崩の高さの変化 も再現された。ただし、雪崩走路辺縁部の枝折れ高さと比べると雪崩の高さは低く見積もられた(図 1)。 また、雪崩速度に関しても、局所的・瞬間的に明らかに過大な値が示されるといった課題もみられた。

4、連続体モデルを用いた雪崩防護工設計諸元の設定と課題

従来は、地形変化とは無関係に流下距離に 比例して雪崩高さを増加させる手法が一般的 に用いられていたが、谷幅の変化による雪崩 高さの増加を表現できないことや、雪崩堆積 区付近の雪崩高さを過大評価してしまう可能 性があった。本研究によって連続体モデルを 使用することによってこれらの課題を解消で きる可能性があることが示された(図 2)。ただ し、雪崩高さを適切に求めるためには雪崩の 密度プロファイルを何らかの手法によって再 現する必要がある。また、速度に関しても従 来の手法と比較し、妥当性を確認した上で使 用する必要があると考えられる。いずれにし



ても、実用化にあたっては今後より多くの事例解析を行い連続体モデルの適用性を検証する必要がある。

乾いた積雪層境界における水分浸透

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

1. はじめに

乾き雪に水が浸透する時、水は一度通った所に優先的に流れて水みちを形成する。これは乾き雪に水が浸透し にくいことが原因であるが、それは水侵入サクションが影響しているためである。これまでの研究において、 Katsushima et al. (2013)は水みち形成実験を行って水浸入サクションを測定し、Hirashima et al. (2014)がその 実験結果を組み込んだ3次元の水分移動モデルを開発して水みちの形成過程を再現した。この水みち過程を積雪 変質モデルに組み込むことで全層雪崩の発生予測精度の改善が期待できるが、水分移動モデルの3次元のアルゴ リズムを直接1次元の積雪変質モデルに入れることはできない。そこで、まず水分移動モデルを用いた数値実験 により様々な積雪の層構造における毛管障壁や水みちに関する条件をまとめ、それらの結果をパラメーター化し て積雪変質モデルに組み込む。その際には、数値実験の結果が実際の浸透過程を再現しているか検証を行う必要 がある。本研究では、層構造中を浸透する水の移動に関して室内実験と数値実験の結果を比較し、水分移動モデ ルで計算される層構造中の水分浸透に関する検証を行った。

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, 20mm/h, 100mm/h の 3 パターンで行った。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。計算結果とモデルの比較は、毛管障壁によりたまる水の層の厚さ、含水 率分布、底面到達時刻について比較を行った。

3. 結果

室内実験と数値計算の結果を図1に示す。図1の左はfine/coarseの積雪層 に20mm/hの供給速度で水を浸透させ、水が底面に到達した時に正面から撮 った写真である。右は同条件の計算結果で、正面からみた表面部分の体積含 水率(%)を色で表した図である。右図に関しては、水みちの存在を表現するた めに内部に水みちがある箇所は薄い灰色で示した。実験、計算ともに毛管障 壁により水がたまっており、その厚さも3~4 cmでよく一致していた。実験 結果では下の層において水みちの跡が表面にあった一方、計算結果では内部 にのみ水みちが見られた。これは実験結果では水みちが壁面付近にできやす かった一方で、計算ではその傾向が小さかった事が現れている。

全体的には、毛管障壁の影響が大きいケースでは水がたまった層の厚さや 底面到達時刻に関して実験と計算で良い一致を示していたが、 medium/coarseのような毛管障壁の影響が小さいケースにおいては、実験で は見られた弱い毛管障壁の影響により水のたまった層が計算ではほとんど見 られなかったという不一致もあった。

参考文献

Katsushima et al. (2013) Experimental analysis of preferential flow in dry snowpack. Cold. Res. Sci. Tech. 85. 206-216.

Hirashima et al. (2014) A multi-dimensional water transport model to reproduce preferential flow in the snowpack. Cold. Res. Sci. Tech. 108. 80-90.



図1 室内実験(左, カラム1個の 高さは 2cm)と数値計算(右, グ リッドサイズは 5mm)の比較。 太線は層境界を表す。

積雪モデルを用いた湿雪雪崩の発生に関する評価手法について

池田慎二・〇松下拓樹(土木研)・勝島隆史(森林総研)・秋山一弥(筑波大)・石田孝司(土木研)

1. 目的

湿雪雪崩は、融雪水や降雨などの水の存在により積雪強度が低下することと、降水による積雪への上載荷重の 増加により斜面積雪が不安定となり発生する。ただし、積雪内部の水の浸透は、積雪層構造や雪質、密度等の影響 を受けて平地と斜面では異なる(松下ら、2013)。そのため、しまり雪からざらめ雪への変化などの過程も平地と斜面 で異なることがこれまでの観測により明らかになった(池田, 2013)。このような複雑な過程を経て発生する湿雪雪崩 に対して、筆者らは斜面での水の浸透や積雪構造の特性を考慮した積雪モデル(池田. 2014)を用いて湿雪雪崩 の発生に関する評価手法を検討している。ここでは、この手法について一冬期通して試行した結果を報告する。

2. 積雪モデルを用いた湿雪雪崩の発生に関する評価手法の概要

筆者らの積雪モデルは、積雪内の水の浸透における水みちの影響を考慮した Katsushima et al. (2009)を基本 とし、透水係数等の最新の知見を反映するとともに、斜面積雪に応用するために帯水層の含水率の閾値や水みち への流出量の設定値を、十日町における3冬期の観測データと比較して検討を行い、融雪時の斜面における積雪 構造の再現性を向上させたものである(池田ら,2014)。この積雪モデルによる積雪密度と含水率の計算値から積雪 各層の積雪安定度を計算した。ここで、従来の積雪層底面のせん断方向の強度と応力の比で表される安定度は、 降雪の度に小さくなって継続することがあり、実際には安定化した積雪でも安定度が小さくなる場合があった。そこ で、筆者らはスラブ(雪崩層)の強度を考慮した安定度、つまりスラブの底面のせん断強度に加えて、斜面上部の引 張強度、斜面下部の圧縮強度、側面のせん断強度の合計値とスラブの質量による応力の比を湿雪雪崩の発生に関 する評価に用いることとした(池田ら, 2011; 2012)。

4.0 m

3. 試行に用いた雪崩発生記録と気象データ

湿雪雪崩発生の評価手法の試行は、土木研究所で 実施した新潟県糸魚川市能生地区柵口の観測データ (2002年12月~2003年3月)を用いて行った。カメラ と地震計により雪崩の発生を記録し、雪崩種類の判断 は記録映像と気象データから推定して、一日毎に雪崩 発生数を集計した。また、気温、積雪深、日射等の観 測値を積雪モデルの入力データとした。

4. 試行結果

上述の積雪モデルを用いることにより、しまり雪からざ らめ雪への層構造の変化(図1a)、含水率と滞水する 可能性のある層(図1b)が再現され、積雪層内に安定 度が低く積雪の破壊が起こる可能性のある箇所と時期 (図1c)が推定された。図1d に、積雪各層の安定度の 最小値と湿雪雪崩の発生件数の時系列を比較した。安 定度が低くなるときに、湿雪雪崩の発生件数が多くなる ことから、ここで示した積雪モデルを用いた斜面積雪の 安定度により、湿雪雪崩発生に関する評価が可能と考 えられる。ただし、融雪期後半で湿雪全層雪崩の発生 件数が多くなる時期では安定度が高く推定された(図 省略)。融雪期後半の湿雪全層雪崩に対する発生評価、 特に積雪底面の破壊やすべりなどの影響等を考慮す ることが今後の課題である。



図1 積雪モデルによる(a)雪質・積雪層構造、(b) 含水率、(c)積雪安定度の計算結果、(d)安定度の 最小値と雪崩発生数(2002~2003年冬期、柵口)。