

GPS 測量にもとづく北アルプス涸沢圏谷の積雪深分布

佐々木明彦¹・鈴木啓助^{1,2}

(1:信州大学山岳科学研究所, 2:信州大学理学部)

1. はじめに

中部山岳地域の槍・穂高連峰は、信濃川水系梓川の最上流域に相当する。梓川の源頭部には、涸沢、横尾本谷、岳沢、槍沢、一ノ俣谷、二ノ俣谷など、圏谷を有する谷が並び、圏谷を中心に多量の積雪がみられる。これらの圏谷における最大積雪深や融雪過程を明らかにすることは、同地域における水資源の賦存量を算定するうえで重要である。また、それらの年々変動をとらえることは、山岳域の環境変動を明らかにする基本的な資料になり得る。演者らは、2011年以降、梓川上流の涸沢圏谷において、積雪深の分布をGPS測量によって明らかにしてきたので報告する。

2. 結果

最大積雪深となるのは4月半ば～4月末であり、その積雪深分布は、圏谷底の谷形あるいは凹形を示す部分で厚くなり、圏谷壁の直下や尾根上、凸型斜面における積雪は薄いことが明らかとなった。圏谷底における2011～2013年の最大積雪深は約23 mである。2012年には3月末の時点での最大積雪深は22 mであったので、ここでは4月に入ってからも積雪深は増加することになる。最大積雪深となる領域を通るように設定した測線沿いの積雪の断面図をみると、3月末と4月末とで積雪深がほとんど変化しない区間もあるので、降雪のほかには雪崩デブリによって積雪深の増加が生じている可能性が高い。例えば、4月30日の積雪深と3月29日の積雪深との差分をとると、平均2.8 mの増加となる。

5月～6月の以降の積雪深は、最大で約20 mである。積雪が最大となる4月末との差分は、平均4 m、最大5 mである。積雪は8月までに急激に減少する。梅雨による融雪の急激な進行によると考えられる。7月末～8月上旬には、積雪域が大幅に縮小するとともに、積雪深も減少する。7月末時点での積雪深は最大で約13 mである。積雪は、11月上旬の降雪によって越冬する。2012年には11月1日に最大4.5 mの積雪深が測定され、そのまま次の積雪期間に入った。

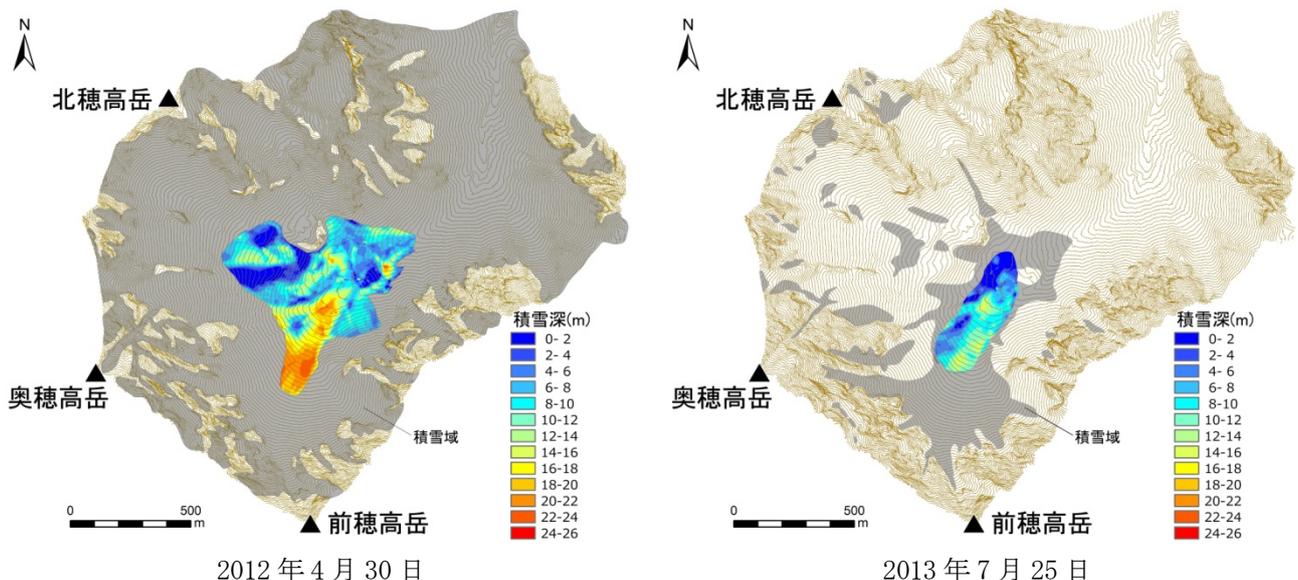


図1 GPS 測量によって求めた積雪深の分布

中部山岳地における積雪の地域特性の研究 -2007~2014 冬期の観測結果-

○池田慎二(土木研究所)

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。ここでは、2007~2014 冬期に行った観測結果から積雪水量、積雪密度、積雪硬度について報告する。

2、観測方法

図1に示した5箇所において2007~2014年(駒ヶ根は2010年から)にかけて、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が卓越する地域である。

3、観測結果

最大積雪水量の経年変化(図2)：2014年は2月に南岸低気圧の通過に伴う記録的な大雪があったため、太平洋側で雪が多かった印象が強いが、対象地では駒ヶ根において若干積雪水量が多めである程度で、蓼科、乗鞍等では顕著に積雪水量が多くはなかった。

積雪水量と密度(図3)：最大積雪水量時よりも2月の方が積雪水量と全層平均密度の間に高い相関がみられた。

積雪水量と硬度(図4)：硬度も密度と同様に最大積雪水量時よりも2月の方が積雪水量との相関が高かった。

4、おわりに

積雪密度と硬度について上記のような結果となったのは、2月においては、積雪の自重による圧密が密度や硬度を決定する重要な要因となっているのに対し、最大積雪水量時には積雪が含水することによってざらめ化が進むことが密度や硬度に変化をもたらしたためであると考えられる。特に蓼科や駒ヶ根等の積雪の少ない最大積雪水量時の含水状態は降雨や急激な気温の上昇等の極短期間の気象イベントによって大きく変化するため、このような地域の積雪特性を気候要素を用いて表現するには、短期間で積雪にインパクトを与える気象イベントの扱いに留意する必要がある。

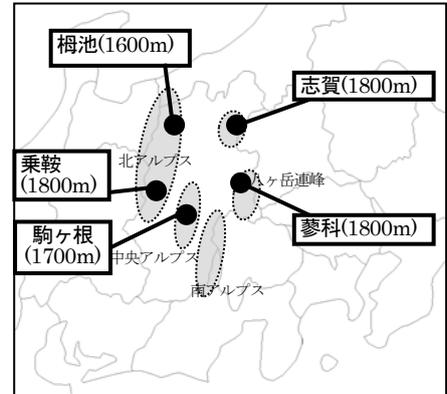


図1 観測地位置図

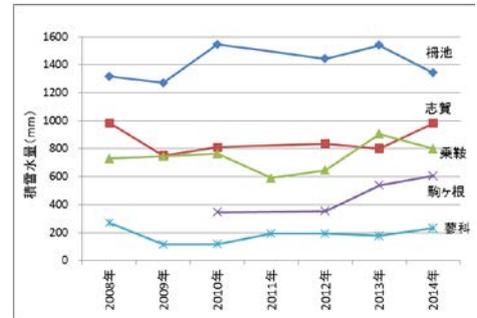


図2 最大積雪水量の経年変化

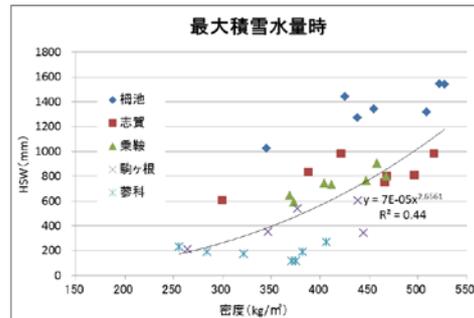


図3 全層積雪水量と全層平均密度

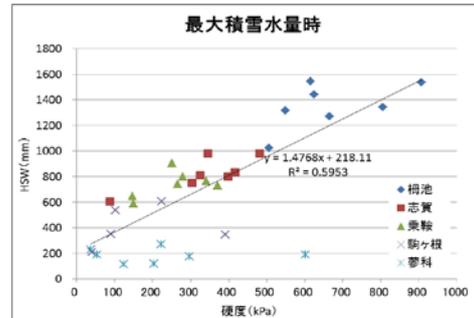
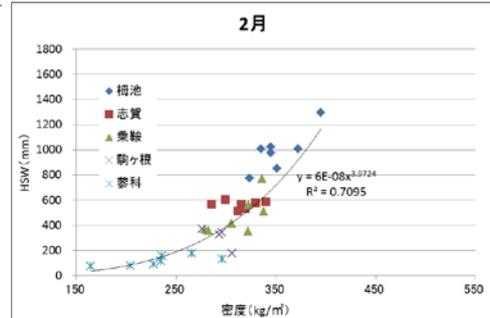
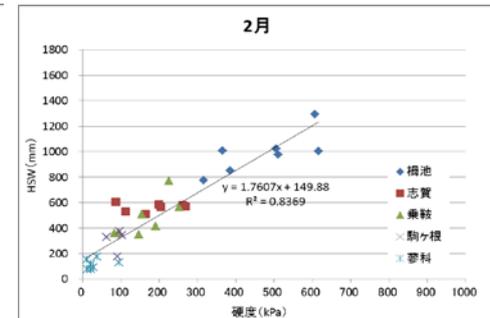


図4 全層積雪水量と全層平均硬度



積雪水量と積雪深の高精度な相互推定のための積雪密度の数式化

○杉浦幸之助（富山大極東地域研究センター）、青木輝夫（気象研）、朽木勝幸（気象研）、庭野匡思（気象研）、兒玉裕二（極地研）、的場澄人（北大低温研）、八久保晶弘（北見工大）、堀雅裕（宇宙航空研究開発機構）

1. はじめに

積雪水量を広域に把握することは、水循環における雪氷貯留量の推定のみならず、雪氷災害の予測や水資源としても役立つ。気象観測所では一般に積雪深が観測されており、近年では衛星観測により広域の積雪深推定もなされてきている。積雪水量は、このような観測された積雪深に積雪密度を乗じることにより簡便に推定することができる。しかし積雪密度は一定ではなく、おおよそ $100\sim 500\text{kg/m}^3$ の範囲にあり、次第に増加していく物理量である。

そこで本研究では、積雪深データから積雪水量をより高精度に推定するための方法として、積雪密度の時系列変化の数式化を試みる。積雪自動観測を実施し、高頻度で得られた積雪水量と積雪深データをもとに積雪密度を算出して、積雪密度の時系列変化を調べたので報告する。

2. 観測方法

2011/12年冬季から2013/14年冬季の3冬期にわたり、札幌（北海道大学低温科学研究所露場）で積雪自動観測を実施した。積雪水量は積雪重量計を用いて1分ごとに観測した。積雪重量計とは、ステンレス薄板製の扁平容器の上に降り積もった積雪の重量を自動計測する装置である。この扁平容器の中には不凍液が充填されており、容器内の圧力が圧力センサーを介して電気信号に変換し出力される。また、積雪深は超音波積雪深計を用いて1分ごとに観測した。

3. 結果と考察

得られた観測結果によると、2011年/2012年冬季の最大積雪水量は3月21日の270mm、2012年/2013年冬季では3月21日の534mm、2013年/2014年冬季では3月17日の309mmであった。また最大積雪深は、2011年/2012年冬季では2月24日の0.76m、2012年/2013年冬季では2月27日の1.19m、2013年/2014年冬季では2月22日の1.12mであった。

積雪深と積雪水量の関係には大まかに3つの段階があることが知られている。積雪深と積雪水量がともに増加する増雪期、積雪深は減少するが積雪水量は増加する遷移期、積雪深と積雪水量がともに減少する融雪期である。本観測期間中の遷移期は、2011年/2012年冬季では26日間、2012年/2013年冬季では22日間、2013年/2014年冬季では23日間であることがわかった。全層積雪密度の時系列変化をみると、まず根雪開始時期には新雪の圧密に伴い全層積雪密度が急激に増加し、その後やや増加が弱まるものの、最終的に融雪が進むと急激に増加した。このような時系列変化を表現する関数形はいくつかありうる。本発表では一つの例として双曲線正弦関数を取り上げて、全層積雪密度の時系列変化を表現する。

2014年2月中旬の関東甲信地方を中心とした大雪時の積雪深分布（序報）

伊豫部勉・松元高峰・河島克久・和泉薫（新潟大学災害・復興科学研究所）

1. はじめに 2014年2月14～16日にかけて、本州の南岸を発達しながら移動した温帯低気圧により、関東甲信地方を中心に記録的な大雪がもたらされた。雪に慣れていないこの地域では、交通麻痺や物流の停滞、雪崩、停電などの様々な雪氷災害が多発し大混乱が生じた。太平洋側地域では積雪深の観測点が少なく、今回の大雪は山間部を含め広域の積雪状況が十分把握できないことを露呈した。著者らはこの大雪時の詳細な積雪深分布を明らかにするため、ウェブ上で公開される多機関の積雪深データに加えて、地元住民への聞き取り調査などを行っている。本発表では、得られた積雪深データにもとづいて明らかになってきた2014年2月15日の全国の積雪深分布について報告する。

2. 積雪深データの収集状況 国、道府県、市町村、研究機関、大学など複数の機関で計測され、ウェブ上で公開された全国の積雪深データの収集作業を2014年2月15日に行った。さらに、山梨県、静岡県、東京都、神奈川県、埼玉県、福島県、栃木県において地元住民への聞き取り調査のほか、大雪に関連する新聞記事（全国紙・地方紙）を検索し、2月15日における積雪深情報の収集に努めた。その結果、2014年4月末時点で、2,249地点の積雪深データが得られた。

3. 2014年2月15日の積雪深分布図 図1に2,249地点の積雪深データに基づく2014年2月15日の積雪深分布図を示す。本州は東日本全域～近畿にかけての広い範囲で積雪に覆われており、この割合を解析したところ、本州の約8割が積雪域であることが明らかになった。また、山梨県を中心に100cm以上を示すエリアが袋状に分布している点が特徴的であり、このエリアは表層雪崩が多発したエリアと一致する（和泉ほか、2014）。今後は積雪深データのない空白地帯を中心に住民への聞き取り調査を続けるとともに、役場や消防署が計測する積雪深データの収集を行い、広域にわたる詳細な積雪深分布を明らかにする予定である。

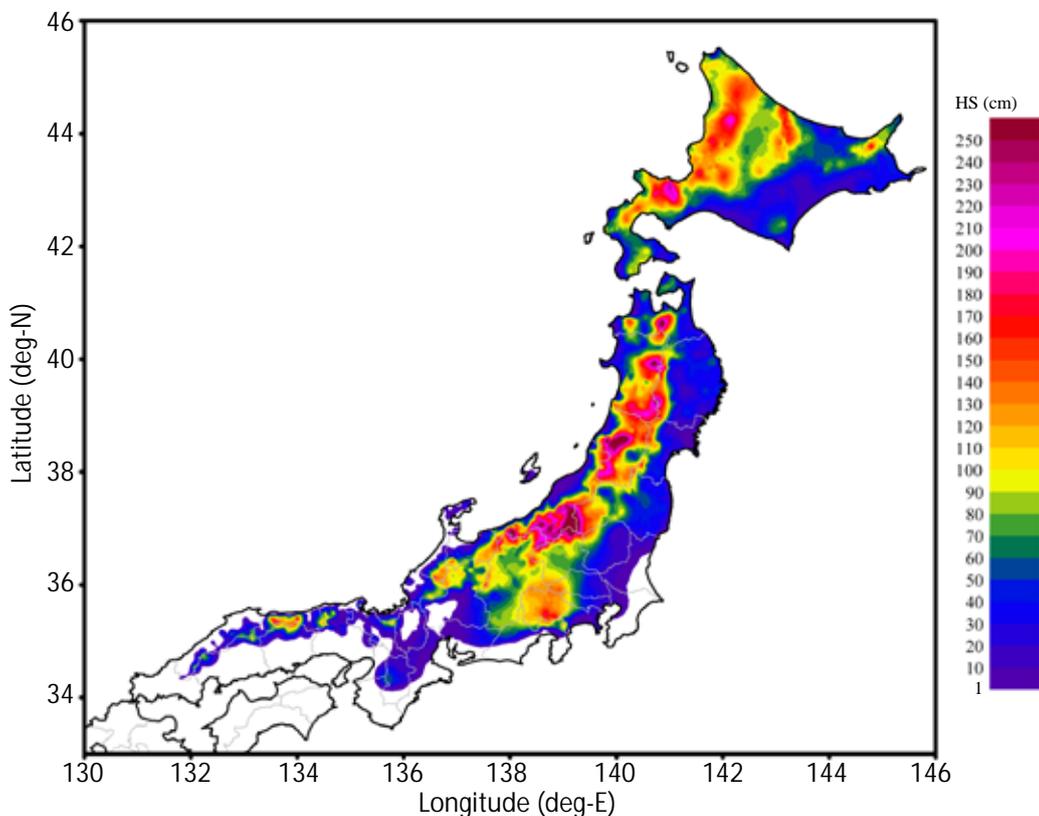


図1 2014年2月15日の積雪深分布図

【文献】和泉ほか（2014）雪氷北信越、34号

単結晶氷を用いた復氷速度の方位依存性

○宮本翔平, 島田互 (富山大・理)

1. はじめに

0°Cの水に重りを付けたワイヤーをかける
と、ワイヤーは水中を貫入していくが、氷は二
つに分断されることなく元通りに修復されてい
く。この現象を復氷と呼び、H₂O特有の圧力融
解が深く関わっている。

これまでの復氷研究において、氷の結晶方位
とワイヤーの貫入速度に関する理論的・実験的
研究はほとんどない。そこで、本研究では結晶
方位が復氷にどのような影響を及ぼすのかを明
らかにするため、まず単結晶氷を作成し、その
単結晶氷を用いてワイヤーの貫入方向ごとの速
度をさまざまな圧力で測定した。貫入方向によ
る速度差から、復氷現象における結晶方位との
関連について考察する。

2. 実験手法

実験は、室温-10°Cの低温実験室に設置した断
熱箱内で行い、断熱箱に復氷装置 (図1) を設
置した。箱内は加熱するためのシート型のヒー
ターと、空気を攪拌する二つのファンで、断熱
箱内の温度を安定させ、設定温度に対して±0.01
°Cの環境で実験を行うことができた。実験時の
設定温度は+0.80°Cである。

貫入させるワイヤーは、研磨によって表面の
凹凸を少なくした直径0.25 mmの真鍮線を使用
した。復氷装置は透明なアクリルで作成し、断
熱箱上部もアクリルで箱内が見える構造とした。
断熱箱の上からデジタル一眼レフカメラでイン
ターバル撮影を行い、取り込んだ画像を画像
解析ソフトを用いて貫入速度を求めた。

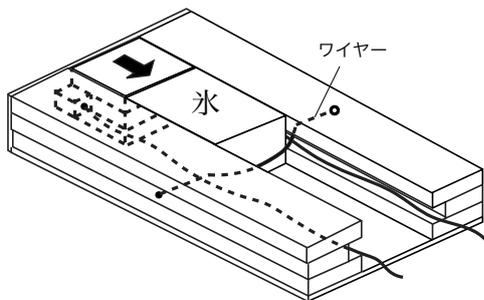


図1 復氷装置の概略

3. 実験結果・考察

単結晶氷のc軸に対して、垂直方向・平行方
向それぞれに真鍮製ワイヤーを貫入させた時の
貫入速度と圧力の関係を図2に示す。図の左上
に、理論式から導いた速度を示した。どの圧力
でも理論値より小さい速度となっている。

しかし、1.8-3.0 barの間でc軸に対して垂直
方向の貫入速度が平行方向のそれよりも大き
くなっており、速度差が確認できる。

この速度差には、2つの原因が考えられる。
1つ目の原因として考えられるのは、氷の塑性
変形である。氷には、圧力がかかるとベーサル
面(0001)に沿って氷が変形しやすいという性質
がある。したがって、c軸に対して垂直に貫入し
た方向はベーサル面に平行となり、氷が塑性変
形したため、速度差が生じる。2つ目は、氷の
融液成長における結晶面ごとの成長速度差で
ある。氷は融液成長において、結晶面ごとに成
長速度が異なり、プリズム面の成長速度が大
きい。また、復氷後の貫入面は、復氷以前の結
晶方位を再現する。つまり、c軸に対して平行に
貫入した場合、貫入した後の面はプリズム面に
挟まれ、再凍結氷はワイヤーに対してベーサル
面を向けている。プリズム面の成長速度が大
きいので、ワイヤー後部の水はプリズム面から
凍結する。最後に凍結する中央の水が凍結す
る前にワイヤーが移動してしまうと、未凍結水
となり潜熱移動の欠陥を引き起こす。その結果
、速度差が発生したと考えられる。

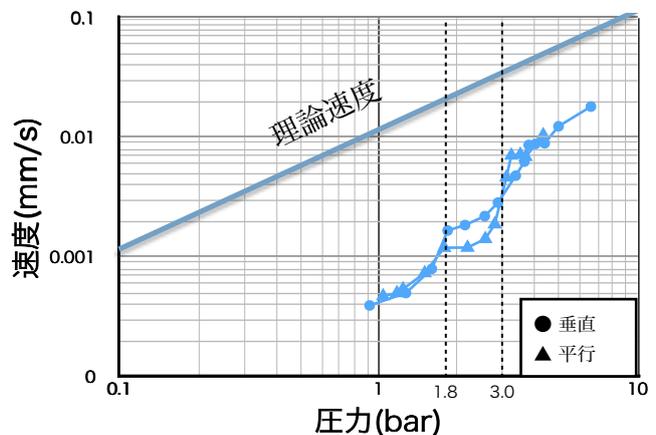


図2 ワイヤー圧力と貫入速度の関係

トレハロース水溶液中から成長する氷結晶の樹枝状形態

○古川翔平, 島田互 (富山大・理)

1 はじめに

トレハロースを含む二糖類には氷結晶の成長を抑制する効果があることが知られている。トレハロースは多くの水分子との結合することから二糖類の中で最も抑制効果大きい。

このトレハロースの水溶液から氷が成長する場合、濃度によらず、抑制効果が現れると考えられてきた。しかし、磯部 (卒論 2007) はトレハロース水溶液の濃度が 10 wt%以下のとき、純水の場合より氷の成長が速くなることを報告し、高橋 (卒論 2009) は 6~7 wt% で成長速度が約三倍になることを見出したが、そのメカニズムには不明な点が多い。

そこで、本研究ではマッハツェンダー干渉計を用いて、低濃度トレハロース水溶液中での氷結晶成長速度の逆転現象メカニズムの解明を目的に実験を行った。

2 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

実験装置は、氷結晶を成長させる結晶成長セルとマッハツェンダー干渉計からなる。結晶成長セルにトレハロース水溶液を入れ、不凍液で満たした水槽内に沈めた。水槽内は、スターラーにより攪拌されており、また ± 0.01 °Cで一定温度に保たれる。(図 1)

観察にはマッハツェンダー干渉計と実体顕微鏡 (Nikon SMZ-660) を用いて、ハイビジョンカメラ (Canon HV10) に記録した。解析には、実験動画をコンピューターに取り込み、画像解析ソフトを用いた。

2.2 実験方法

超純水を用いて、低濃度のトレハロース水溶液を作成した。核生成は、ガラスキャピラリーに液体窒素で冷却した針金を入れることにより行った。キャピラリーの先端からは単結晶が自由成長を始めるので、この結晶を観察した。

なお、トレハロースによる融点降下が起こるため、この平衡温度からの過冷却を過冷却度 ΔT として扱うこととした。

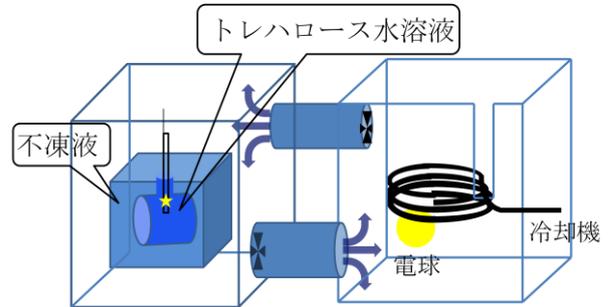


図 1. 実験装置全体図

3 実験結果

最大成長速度を示す濃度は過冷却度によらず 2~3 wt%の時であった。その成長速度は純水に比べ、約二倍であった。

また、先端曲率半径は濃度によらず過冷却度依存性があり、過冷却度が大きいほど、先端曲率半径の値は小さくなる。したがって氷結晶は鋭くなっていくと言える。(図 2)

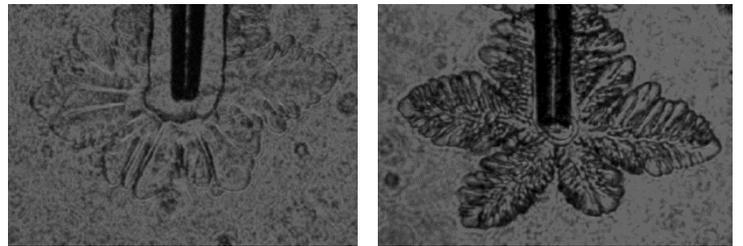


図 2. 実験画像 (左: 純水 右: トレハロース)

4 考察

成長速度が大きくなる原因は三つ考えられる。まず、濃度対流である。この現象は実験画像からも確認することができた。純水中では現れないこの対流がセル内の対流をより活発にしている。

次に熱拡散に有利な形状をしていることが考えられる。先端曲率半径の値から純水に比べ、トレハロース水溶液中の結晶は非常に鋭くなるのがわかる。結晶成長において、鋭い形状であることは、熱拡散に有利であると言える。

最後に、結晶の厚さである。干渉縞の解析からトレハロース水溶液中の結晶は厚みが小さいことがわかり、結晶の成長量は減少する。以上のことからトレハロース水溶液中での氷の成長速度は、純水に比べ促進されたと考えられる。

雪結晶の三次元構造と成長中の表面温度測定

○大竹一輝（富山大学大学院），島田亙（富山大学大学院）

1. はじめに

樹枝状結晶は、その複雑な二次枝が特徴であり、理論的なモデル計算（Yokoyama et. al, 1989）や実験的研究（権田, 2002）が行われているが、二次枝の発生メカニズムは解明されていない。

これまでの研究の問題点の1つは、雪結晶の外形のみ注目し、二次元的な扱いを行ってきたことである。そこで本研究では、雪結晶の三次元構造を測定し、その特徴を調べた。また、これまでほとんど測定されていない結晶表面の温度を赤外線熱画像装置を用いて測定した。これらの結果から、二次枝の発生メカニズムについて考察を行う。

2. 雪結晶の三次元構造

2-1 観察手法

天然降雪結晶をピロッドを張った板で採取し、毛筆で顕微鏡下のスライドガラスに移動させて観察を行った。観察にマイケルソン干渉計を用いた。これは、入射した光をハーフミラーに通し、一方を参照平面基盤に、もう一方を観察対象表面に当てて、これらの反射光をハーフミラーで干渉させるものである。得られた画像では高さ 273 nm 毎に干渉縞が現れる。

2-2 結果

観察された広幅六花結晶の一部を図 1 に示す。外形はプリズム面で囲まれており安定成長のように見えるが、結晶表面においては枝の中心とその左右に沿って稜線構造が見られる。すなわち、結晶表面は樹枝状のような不安定成長であることがわかった。

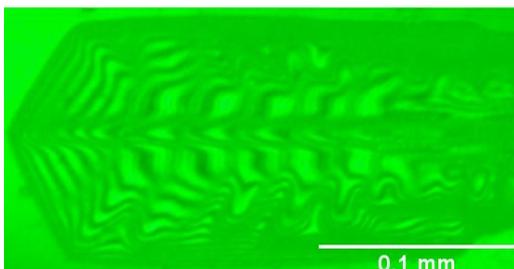


図1 干渉画像

3. 雪結晶の表面温度測定

3-1 実験方法

アイスクリームストッカーを自然循環型クラウドチャンバーとして用い、アイスクリームストッカー内部に吊り下げたテグス上に雪結晶を生成した。生成した結晶を、竹串を用いて赤外線熱画像装置のレンズ下に移動させ、成長中の雪結晶表面の温度測定を行った。

3-2 結果

結晶先端から主枝に沿った温度分布を図 2 に示す。図は縦軸が表面温度(°C)、横軸が結晶先端からの距離(mm)、×印は二次枝の存在する位置を示す。結晶の先端から約 0.2 mm までに大きな温度勾配が存在している。また、結晶表面には約 0.5~0.8°Cの温度変動が連続的に存在していることが分かる。

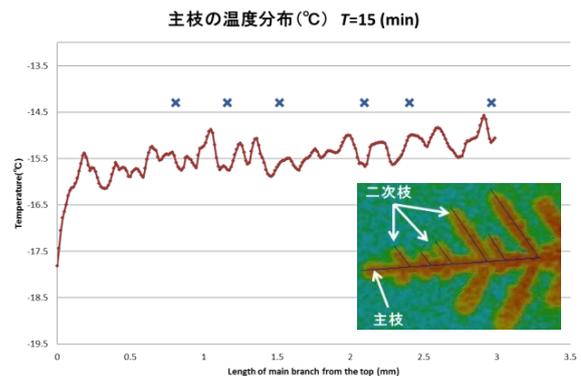


図2 主枝に沿った温度分布

4. 考察

広幅六花結晶のような外形がプリズム面で囲まれている結晶表面に、稜線のような形態不安定な構造がみられた。この稜線構造は相対的に気相に突き出ており、水分子の捕獲に有利であると考えられる。また、主枝の温度分布では、温度変動の繰り返しが見られた。これらの結果から、結晶表面の稜線構造が成長した結果、昇華潜熱が発生し、そのゆらぎの中から二次枝が発生する可能性が考えられる。

新雪の比表面積と降雪種の関係

○ 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

雲粒の付着が少ない降雪はしばしば弱層を形成し表層雪崩の原因となる。一方雲粒で構成される霰も弱層を形成することが知られている。このように降雪の雲粒の付き具合は、降雪結晶由来の弱層をモデル化する際に不可欠な情報である。しかし雲粒の量を客観的に表現することは難しいのが現状である。

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、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⁾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

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低温室(約-5°C)は自然の降雪を天井開口部から取り入れて室内の実験台の上に積もらせることができる。本研究では、圧密や焼結の影響を少なくするために、1-2 時間程度の期間に堆積した新雪を容積 30ml の耐圧容器に採取し、BET 吸着理論を用いた積雪比表面積測定装置²⁾を用いて SSA の測定を行った。なお新雪の SSA を求める際には、容器内表面積を差し引くことで、試料のみの SSA を求めている。

測定は 2014 年 2 月から 3 月にかけて 29 の降雪事例に関して行い、23 回の SSA の測定に成功した。なおデータの解析にあたっては、CMF(Center of Mass Flux distribution)³⁾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 23 例の SSA の値 ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) を示す。SSA の値は降雪事例によってばらつき、3 倍近くも幅があることがわかる。CMF から求めた降雪種と SSA との値を比較すると基本的に雲粒があまりついていない雪片からなる新雪の場合には 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からなる新雪の場合には SSA が大きくなる傾向があることがわかった。濃密雲粒付き雪片の SSA が大きくなる理由については、雲粒が結晶表面に付着するために形状が複雑となることで単位重量あたりの SSA が増えるためであると考えられる。また同じ濃密雲粒付き雪片でも、降雪時の気温がプラスの場合には、SSA の値が小さくなることもわかった。これは雪片が落下する間に付着した雲粒の一部が融解したためであると考えられる。これらの結果から新雪の雲粒の量は、SSA によってある程度客観的に表現できる可能性があることがわかった。

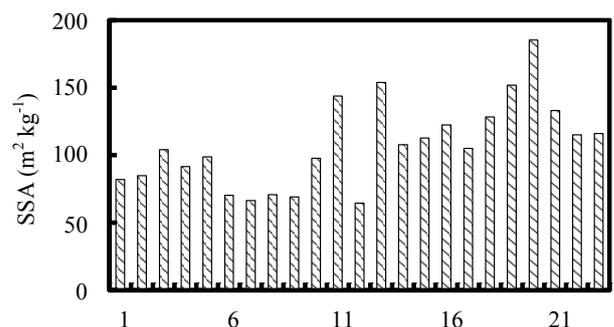


図 1 測定された新雪の SSA (23 例)

参考文献

- 1) Leganeux *et al.*, 2002: *J. Geophys. Res.*, **107**(D17), 4335, doi:10.1029/2001JD001016
- 2) 八久保ほか, 2012: *北海道の雪氷*, **31**, 45-48.
- 3) Ishizaka *et al.*, 2013: *J. Meteor. Soc. Japan*, **91**, 747-762.

断面観測結果と積雪モデル計算結果の定量比較

○ 平島寛行、山口悟、小杉健二(防災科研)、青木輝夫(気象研究所)

1. はじめに

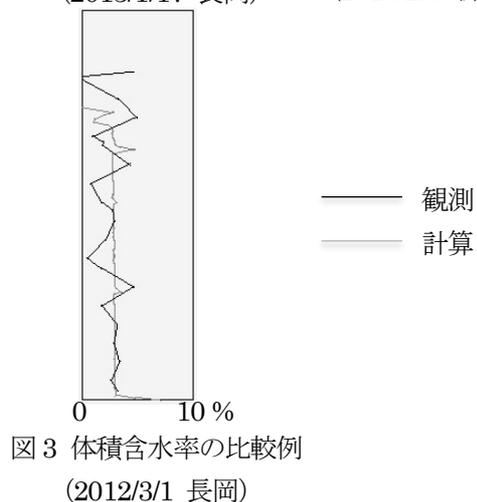
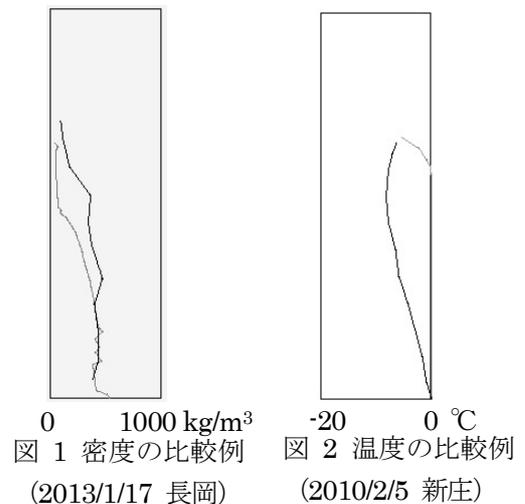
防災科研で雪崩の発生予測を行う際には、積雪変質モデル SNOWPACK を用いて積雪安定度を計算し、その結果から雪崩発生危険度を見積もっている。これまで、積雪中の水分移動過程等の改良を重ねてきたが、効率良く再現性を向上させるには、断面観測のデータ等を用いて検証し、実際の積雪に対して再現性の良くない箇所を抽出する事は重要である。本研究では、札幌、新庄、及び長岡における複数年の断面観測のデータを用いて SNOWPACK の計算結果と比較し、雪温、密度、含水率、粒径に関して系統的な不一致部分を抽出し、今後どのような改良が必要か解析を行った。

2. 解析方法

断面観測との比較は、2005/06～2012/13 の 8 冬期間を対象に、長岡の雪氷防災研究センター、新庄の同センター新庄雪氷環境実験所、及び札幌の北海道大学低温科学研究所の露場で観測されたデータに対して行った。モデルの検証方法には、Lehning et al. (2001)の提案した agreement score を算出する方法等があるが、再現性を点数にする手法は、本研究の主旨のような系統的な不一致部分の抽出には適さない。一方、断面計算結果と観測結果を重ねて目視で比較した時、どのような箇所で過大、過小評価されているか確認できる。この場合、多くの断面観測との比較をまとめるには、断面の傾向を数値化し、その数値を観測と計算で比べることで傾向を抽出できる。本研究では、断面観測ごとに雪温、密度、含水率、粒径に対して各々の全層の平均値、層間のばらつきの大きさ(標準偏差)、及び重心の位置を計算した。計算結果についても同様の計算を行い、観測との比較を行った。また、観測と計算の差を各地点、年度ごとにまとめ、観測と計算の差の傾向をまとめた。

3. 結果

観測と計算で比較した密度の例を図1に、温度の例を図2に、含水率の例を図3に示す。図1の例では、下部の密度は一致しているが上部は計算で過小評価されている。その結果、全層平均値は計算の方が低く、重心も低い値に計算された。温度の図2の例では、観測結果と比べて内部があまり冷やされていない。この結果、温度の全層平均値は過大評価され、重心は高く計算された。また図3にある含水率の例では、計算された含水率は層の間の差が小さい。これは、ばらつきを表す標準偏差の過小評価としてあらわれる。地点、冬期ごとに集計して平均した結果、全体的に密度の全層平均や重心の過小評価、温度の全層平均や重心の過大評価、含水率のばらつきの過小評価の傾向が確認された。このことから、積雪上部の密度の過小評価や、雪温の内部への熱伝導の過小評価と、それによる雪温全体の過大評価、また含水率の不均一さの過小評価が系統的に現れていることが示唆された。これらの結果から、モデルの再現性を向上させるには、新雪の密度や熱伝導率、圧縮粘性係数の改良が有効であると考えられる。また、含水率の不均一さの過小評価は水みちを考慮していないことが原因とみられた。これらを改良することで、積雪モデルがより断面観測結果をより高い精度で再現できるようになることが期待される。



雪氷用 MRI の冷却システムの構築 その2

○安達聖¹, 尾関俊浩², 山口悟¹

1, 防災科研 雪氷防災研究センター 2, 北海道教育大学

1. はじめに

これまで、我々はぬれ雪中でのざらめ雪への変態および粗大化や、氷板の発生および発達の変因を明らかにするため、雪試料を0℃に保ちつつ同一試料を非破壊で連続的に観察する方法として、雪氷用MRIの改良を行ってきた(安達ら, 2013)。しかし、雪氷用MRIの永久磁石内に取り付けられている勾配磁場コイルの冷却が不十分であったため、雪試料への熱の流入を十分に抑えることができなかった。そこで、勾配磁場コイルの固定方法と雪試料の温度管理方法を見直し新たな発熱対策を行った。本稿では、雪試料を0℃に保つため新たに構築した雪氷用MRIの冷却システムについて報告する。

2. 雪氷用MRI

使用した雪氷用MRIは0℃の低温室に設置された静磁場強度0.21Tの永久磁石と、常温の実験室に設置された制御用コンソールを組み合わせたコンパクトMRIである。撮像法には緩和時間が長い真水でも、短い撮像時間で良好なMR画像を取得することができる強制回復スピネコー法を用いた。

3. 改良点

通常、勾配磁場コイルは振動などを抑えるため永久磁石内に隙間無く固定されているが、本研究では勾配磁場コイルからの発熱を空气中へ逃がすため、運用上必要な強度を保ちつつ空気を通り道ができるよう円筒形の治具を複数個用いた固定方法に変更した(図1)。また、勾配磁場コイルと雪試料を収めるRFボックスの間に隙間を設け、雪試料への熱の流入を抑えた。勾配磁場コイルからの発熱が大きくRFボックスに熱が流入した場合、RFボックス内に熱がこもる恐れがあったためRFボックス側面に空気穴をあける対策を行った。これらの発熱対策を行った上で系全体に送風し空冷を行った。

使用した低温室は±1℃程度の温度変化があり、送風だけでは雪試料の温度を一定に保つことができない。そこで、図2に示すように、雪試料を挿入するRFコイルにシリコンチューブを隙間なく巻き付け、チューブ内に0℃の冷水を循環させた。

4. 効果

図3にMR撮像中のRFコイル内の温度の様子を示す。発熱対策を行わない場合、RFコイル内の温度は撮像開始直後から上昇し25分後には1℃に達する。しかし、空冷と水循環を組み合わせることによりRFコイル内温度は0.2℃以下に保つことができた。雪試料の周囲に断熱材を巻くことで雪試料の温度を0℃に保つことは可能だと考えられる。

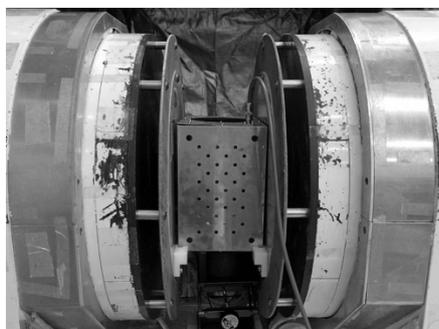


図1 発熱対策を施した固定具とRFボックス



図2 発熱対策を施したRFコイル

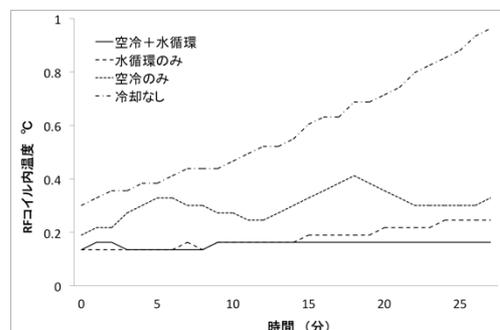


図3 MR撮像中のRFコイル内の温度変化

参考 安達聖, 尾関俊浩, 山口悟, 2013, 雪氷用MRIの冷却システムの構築, 雪氷北信越, 33, 44.

立山連峰・三ノ窓氷河における氷河内部構造調査

飯田 肇・福井幸太郎（富山県立山カルデラ砂防博物館）

1. はじめに

2012年に、北アルプス立山連峰の3つの越年性雪渓（御前沢雪渓、三ノ窓雪渓、小窓雪渓）が国内初の現存する氷河であることが確認された（福井・飯田，2012）。この結果を受けて、氷河の存在域としては温暖な地域である立山連峰で氷河が形成維持されるメカニズムを解明するために、ボーリングによる内部構造調査を実施した。

2. 三ノ窓氷河でのボーリング調査と結果

(1) 氷河の内部構造

三ノ窓氷河の中流部 1920m 地点において、2013年9月25～26日にボーリング調査を実施し、採取した2000cm深のコアについて現地での処理を中心に解析を行った。

図1にコアの層構造を示す。また図2にコアの密度分布を示す。表面から500cm深付近まではフィルン層が続き、520cm深の汚れ層の上部から急激に氷河水層に遷移した。それ以深では、気泡を多く含む氷河水層と透明氷層、汚れ層が互層となっていた。2000cm深までに顕著な汚れ層は8層見られ、このうち520cm深付近の汚れ層が昨年秋に形成された年層境界層であった。上層の平均密度は 780kg/m^3 であり、今年の三ノ窓氷河の年間涵養量は水量に換算すると4150mmとなった。これは、日本の多雨地域の年間降水量に匹敵する。

1300～1400cm深にかけて顕著な透明氷層が形成され、ボーリング孔で水位が観測されたことから、帯水層の存在が示唆された。また、2000cm深までの氷温は全層0°であり、三ノ窓氷河は温暖氷河であるといえる。

1500cm深付近から深部で、氷結晶粒径が急激に増加し、また気泡の伸長が顕著になった。これは、氷河の内部流動に起因すると考えられる。

(2) 氷化深度

最初の汚れ層（520cm深）の上部30cm付近から、密度が 770kg/m^3 から 830kg/m^3 以上へと急増し、フィルン層が急激に氷河水へと遷移している。この遷移は、年層境界と考えられる汚れ層より上部より起きていることから、三ノ窓氷河では前冬の積雪層（1年積雪）の下部ですでに氷化過程が進行していることがわかった。この三ノ窓氷河の氷化速度は、海外の一般的な氷河と比較して格段に速い。この様な急速な氷化過程には、氷河内に存在する多量の水が関与していることが考えられ、このことが立山連峰の氷河の形成維持に大きく寄与していると推測される。

図1 三ノ窓氷河の内部層構造

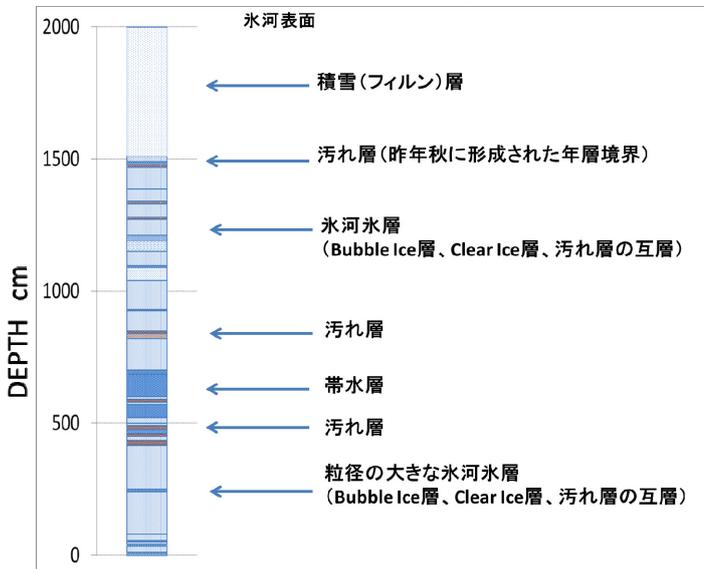
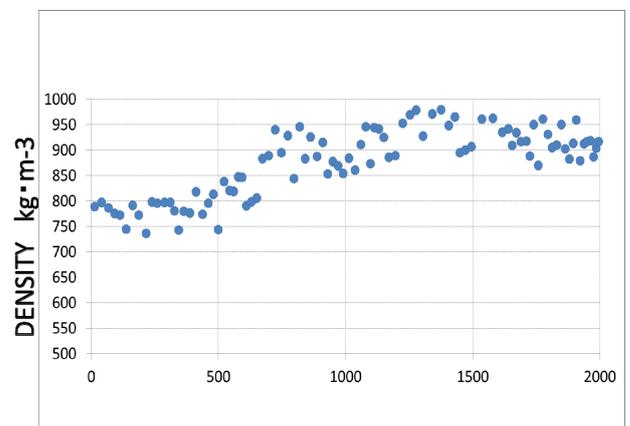


図2 三ノ窓氷河の密度分布



○上石 勲・中村一樹・安達 聖・山下克也・山口悟・本吉弘岐・佐藤篤司・石坂雅昭(防災科研・雪氷)
志村 徹・加藤秀紀(山梨県), 渡邊清規(山梨県道路公社), 長田亮治(甲府市), 照井 智(富士吉田市)

1.はじめに

2014年2月14,15日の関東甲信越地方を中心とした大雪によって死者25名,負傷者1000人以上,住家被害500棟以上(2月28日消防庁調べ)の大きな被害が発生した。人的には特に山梨,群馬,長野,埼玉県の被害が大きい。山梨県甲府市ではこれまでの最高(49cm)の2倍以上の114cmの最大積雪深を記録した。山梨県塩川ダム管理事務所(北杜市)の積雪深計の記録では,時間積雪深差の最高が18cmと記録されたように(図1),高強度降雪が継続した。また,山梨,長野,群馬,栃木,埼玉,神奈川,新潟南部,福島,宮城,東京都では山間部で多数の雪崩が発生したことも特徴で,南岸低気圧によって崩れやすい雪が広範囲に降ったことが推定されている。

2.雪害発生状況と対応

(1)大雪直後の状況

図2は通行止め路線(山梨県資料)を示したものであり,山梨県は2月17日までは近隣都県との交通が遮断され,ほぼ孤立状況となっていた。図3は2月15日の前橋市の状況で,道路は除雪されず,車も出せない状況だった。また,図4に示すように物流もかなり影響を受けていた。

(2)大雪災害危険性の周知

防災科研では,2月18日に一部孤立解消した山梨県をはじめ,長野県,群馬県での大雪災害調査を開始した。山梨県内では,駐車場施設や農業用ハウスの倒壊,屋根雪崩落の危険個所が多く見られた(図5,6,7)。防災科研ではまず,屋根からの落雪や全層雪崩の危険性について,地元報道機関と連携し,その周知を行った。図7に示すように山梨県内では1日中テロップとして流されていた。

(3)雪崩発生と対応

甲府市古関では14日19時に雪崩発生のため4台が埋雪し4名が要救助者となった事故から大災害が始まった(図9)。この個所では後日,埋没車の捜索に協力した(図10)。デブリの厚さは最高約15mで,救助者からのヒヤリングによると「サー」という音とともに雪崩が複数回発生していたとのことである(図11)。

防災科研では新潟県と連携し,山梨県や甲府市

職員と孤立集落への道路などを地上から点検し,雪崩危険個所については雪堤等の応急対策を行った。

3月には全層雪崩や富士スバルラインでの雪崩など融雪期の被害も発生し(図12),4月以降も雪代などの恐れが残っており警戒が続いている。

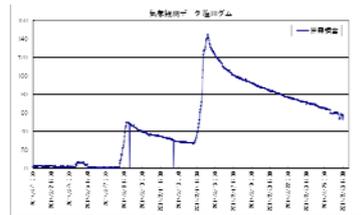


図1 塩川ダム観測点雪深観測記録

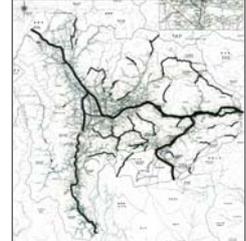


図2 山梨県内の道路通行止め状況



図3 前橋市(2/15 市民提供)



図4 松本市コンビニ(2/16)



図5 甲府市屋根雪崩落の危険性



図6 甲府市駐車施設倒壊



図7 山梨県農業用ハウス倒壊



図8 大雪による危険性の周知(山梨県内のNKH放送2/20)

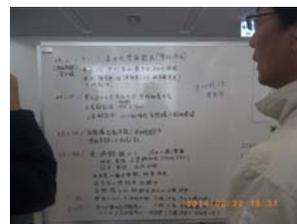


図9 甲府市災害対策本部



図10 埋没車の発見(甲府市古関2/20)



図11 雪崩デブリ15m(甲府市古関2/23)



図12 富士スバルライン雪崩被害(3/19)

2014年2月の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に対する学会を挙げた取り組み

○河島克久・和泉薫（新潟大） 上石勲（防災科研） 福原輝幸（福井大）

1. 大雪災害の概要

2014年2月14日から16日にかけて、南岸低気圧の接近・通過により、関東甲信地方を中心に広範囲で雪が降り続き記録的大雪となった。関東甲信地方では2月8-9日も南岸低気圧に伴う大雪がもたらされており、2週連続の雪氷災害に見舞われた。2月14-16日の大雪により、山梨県（甲府114cm、河口湖143cm）、群馬県（前橋73cm）、埼玉県（熊谷62cm、秩父98cm）等では最深積雪の極値を大幅に更新した。このため、家屋等の倒壊、落雪、屋根雪下ろし等除雪作業中の事故などによって死者26人、負傷者701人を出す大災害となった（消防庁調べ、3月6日現在）。また、多数の道路雪崩・集落雪崩と孤立集落、幹線道路の長期間にわたる大渋滞・立ち往生・通行止め、農業用ハウス等の倒壊による甚大な農業被害（過去最悪の水準）、首都圏における大規模な屋根崩落被害などが発生しており、広域かつ多方面に大きな影響を及ぼした。

2. 災害調査の必要性

今回の災害は、普段あまり雪が降らないため備えが乏しい地域、しかも人口密集地の首都圏を含む地域において、突発的な大雪にどう備えるかという問いを我々に突きつけた。首都圏及びその周辺地域における今回のような大混乱は、交通網の寸断と物流の停滞を通して日本全体に大打撃を与えるため、被災地でなくても軽視できない問題である。非雪国における大雪への備えという課題は、雪氷災害研究者も行政サイドもこれまであまり想定していなかったことであり、これに立ち向かうためには災害の痕跡や記憶が新しいうちに実態を正確に把握することが極めて重要である。

3. 日本雪工学会・日本雪氷学会合同調査チームの立ち上げ

今回の大雪災害に対して、日本雪工学会では2月24日に会員に対して調査チームを結成して災害調査に当たることをメール配信により伝えた。これに対し日本雪氷学会では、新潟県中越地震の際に両学会合同で「新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会」を立ち上げた経験・実績を踏まえ、雪工学会に合同調査チームを組んで取り組むことを提案した（3月2日）。この提案は雪氷学会理事会からも支持されており（3月3日）、雪工学会会長からも快諾を得た（3月4日）。

4. 科学研究費補助金（特別研究促進費）の申請

雪工学会との合同調査チームの結成と前後して、雪氷学会・中尾会長のご尽力により文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費（突発災害に対する緊急的な研究課題への補助金）への道筋が付けられ、3月4日にこの申請を行うことが決まった。3月7日に研究計画調書等を文部科学省に提出した結果、3月12日に交付内定を受けた。研究課題名は「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」であり、研究代表者は和泉薫（新潟大学教授）が務めることになった。この科研費で申請した主な研究内容は、①大雪をもたらした気象場及び降雪特性の研究、②広域積雪分布の把握及び積雪特性の解明、③雪崩災害調査、④融雪災害調査、⑤生活関連雪害調査、⑥建築構造物雪害調査、⑦農業被害調査、⑧道路交通関係被害調査、⑨雪崩ハザードマップ作成・雪崩発生予測システム検証、⑩メソ気象モデルを用いた再現実験と大気循環場解析である。

5. 合同調査チームの意義と今後の活動

2011年の東日本大震災では単一学会では対処できない諸問題が多数発生した。今回の大雪災害は東日本大震災に比べると規模や問題の範囲が小さいかもしれないが、それでも調査研究が望まれる多くの分野がある。雪氷学会としてはこのような有事にこそ社会的使命を果たすことが重要であるが、雪害関係の研究者が決して多くはないという事実を踏まえた場合、雪工学会との協働は効率的であり、心強いパートナーである。今回はこれに科研費の研究組織も加わり三位一体の活動が可能になったと言える。合同調査チームでは3月28日に山梨県でキックオフミーティング及び現地調査を開催するとともに、情報交換・発信用のメーリングリストとホームページを立ち上げた。今後、研究成果報告会、報告書作成、被災地におけるアウトリーチ活動、雪氷研究大会でのセッション等を予定しており、両学会会員各位からの参加と協力を期待している。

大雪による道路通行不能時のスノーモービル（小型雪上車）の活用

○町田敬¹⁾³⁾、関根伸幸²⁾、町田誠¹⁾³⁾、高橋和雄³⁾、牧野康二⁴⁾、井田博雄⁵⁾⁶⁾、

1) 町田建設（株）、2) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所湯沢維持出張所、3) MFJ 関東新潟県スノーモービル部会、4) MFJ 関東新潟支部、5) MFJ 関東、6) 災害ボランティアバイクネットワーク関東

1. はじめに

平成 22 年 12 月末から翌 1 月にかけて、大雪により福島県内の国道 49 号、鳥取県内の国道 9 号、福井県内の国道 8 号において、車両の立ち往生が発生した。これを受け、国土交通省と警察庁は大雪により通行止めとなった道路においては、普通自動車運転免許取得者が警察署へ事前届けを行うことにより、スノーモービルの公道走行が認められた。

2. 大雪時のスノーモービル（小型雪上車）の活用

2. 1 道路管理者による走行訓練

国土交通省北陸地方整備局においては、スノーモービルの走行訓練を平成 23 年度から実施されている。

訓練内容は、車体の構造と運転操作方法講習および実走行訓練となっている。基本的な操縦訓練を習得する実走行訓練においては、平成 25 年度から（一財）日本モーターサイクルスポーツ協会（MFJ）公認のスノーモービルインストラクターによる指導が行われた。スノーモービルの操縦においては、体重移動によって駆動するキャタピラーを横滑りさせ操縦する不安定な乗り物である。よって、初心者においても安全な操縦技能が習得されるよう「走る・曲がる・止まる」の基本動作訓練が実施され、半日の走行訓練で基本操縦技能を習得可能であった。



写真-1 実走行訓練状況

2. 2 スノーモービル（小型雪上車）の種類

スノーモービルにおいては、エンジン排気量やキャタピラーの幅や長さなどによって、使用用途が大きく異なっており、想定されて条件に合致した機種を選択する必要がある。

例として大雪によって通行止めとなった公道においては、レースに用いるようなスポーツモデルの機種を選択した場合は、低速での徐行運転操作は困難となる。構造的な問題として凍結路面においては、ゴム製のキャタピラーが空転し走行不能となる場合や、トンネル内など無雪箇所の通行が困難な場合がある。これら車体の構造的な問題は、キャタピラーにピンを取り付けた仕様に変更する方法や前方スキー部に車輪を取り付ける方法によって、問題を解消する工夫が必要となる。

また、現在ではスノーモービルに限らず、雪上を走行可能な 4 輪バギーの排雪板付きキャタピラー仕様もあり、緊急時への活用が期待されている。

2. 3 スノーモービル（小型雪上車）災害ボランティア

二輪車においては、これまで阪神淡路大震災や新潟県中越地震、東日本大震災において、高い機動性により、人命救助、物資の運搬、情報伝達など威力を発揮した実績がある。二輪車の災害ボランティアを統括する「災害ボランティアバイクネットワーク関東」の支部組織として、現在スノーモービル（小型雪上車）災害ボランティアの立ち上げが行われている。二輪車業界を母体とした広いネットワークを活用した広域な災害支援体制を図ることが可能であり、突発的な大雪災害時におけるスノーモービルや小型雪上車の活動検証訓練も既に行われた。

今後は、道路管理者や自治体へ広く広報活動を行ない、ともに、平常時訓練を定期的実施することにより運転技能の向上と災害への対応能力の向上を図って行く。

3. まとめ

スノーモービルの大雪時通行止め時の活用については、操縦技術の習得や車体の確保における問題もあり、平成 26 年 2 月に発生した突発的な大雪災害に道路管理者や自治体だけで対応することは難しい。しかしながら、広域的なネットワークを持ち合わせた災害ボランティアとの協力を行なう事により、雪上での迅速な対応が可能と考えられる。今後は、さらに大雪災害時の想定される状況下での、スノーモービル（小型雪上車）の活用方法についての具体的な検証を行なう。

関東甲信地方に大雪を降らせた南岸低気圧による雪崩災害について

○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年2月中旬、温帯低気圧が発達しながら時間をかけて（14～16日）本州南岸を通過したことにより、関東甲信地方を中心として広範囲に記録的な大雪がもたらされた。このため様々な雪氷災害が多発し同地方では大混乱を呈したが、主要道路の通行止めやそれに伴う孤立集落の発生、物流の停滞には雪崩の発生が大きく関わっていた。ここでは現地調査やネット情報から取り纏めた雪崩災害について報告する。

2. 雪崩災害の分布 ここでの雪崩災害は2/14～2/17にかけて発生し大体の発生時間がわかる事例を主に取上げた。また雪崩が集中して多数発生した道路、集落については、車両の埋没や住家の損壊など、直接的な被害のあった箇所を代表にして1件の雪崩災害とした。従って実際に発生した雪崩の箇所数はここでの件数より遙かに多い。3月末までに確認された雪崩災害件数は、関東甲信で41件（栃木:2, 群馬:3, 埼玉:3, 東京:4, 神奈川:2, 山梨:20, 長野:7）、それ以外で6件（岐阜:2, 新潟:1, 福島:1, 宮城:1, 北海道:1[2/17発生]）であった。その分布を図1に示す。発生箇所は、岐阜県から北海道までの広域にわたって分布しており、そのうち特に山梨県とその周辺に集中していることがわかる。また、太平洋側ばかりでなく脊梁山脈付近にまで発生箇所が広がっている。山梨県を中心としたこの雪崩災害発生箇所の集中域は、伊豫部ほか(2014)による2/15の積雪深分布図（図2）での積雪深100cm以上を示す袋状のエリアとよく対応している。

3. 雪崩災害の発生傾向 雪崩種類は大半が乾雪表層雪崩であり、発生標高のほとんどが500～1,500mであったことから、当地に流入した寒気は相当強かったと考えられる。また、発生斜面の方位は、東-南東-南向きが全体の66%を占め、次いで西向き22%と卓越する方向が見られた。これら斜面方位と主風向との関係を局所的に調べる必要がある。被災対象を分類すると、道路関係が30件（うち17件が道路閉塞等、13件が通行車両埋没）、集落関係が14件、山スキー等レジャー関係が3件であった。日本国内で、通行車両の埋没や集落雪崩がともに一冬10件以上記録されたことは近年には無い。このことから雪崩対策施設のほとんどない地域にいかにも多量の集中降雪があったかがかわかる。しかも、雪崩災害が多発したにもかかわらず、雪崩による死者は岐阜県での山スキー中の1名だけで、多くの車両が埋没した道路関係においても死者は皆無であった。これは「サー」という音の表層雪崩が複数回発生したという被災者の証言（上石ほか, 2014）からわかるように、軽いサラサラな雪の1回の雪崩では車両の完全埋没や崖下転落などを免れ、雪崩が複数回落下する合間に安全な場所に避難できたケースが少なからずあったことにも因っている。

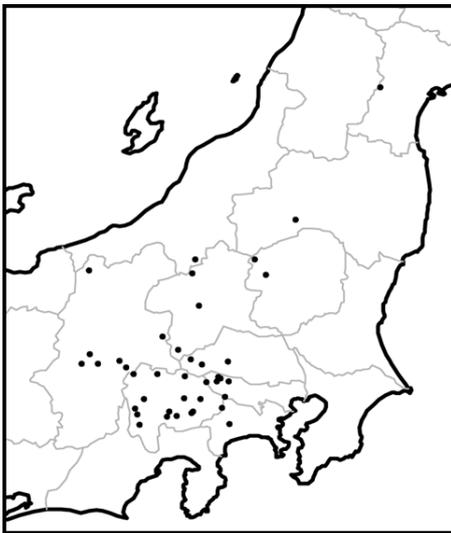


図1 2/14～2/16に発生した雪崩災害の分布図（岐阜・北海道の事例は範囲外）

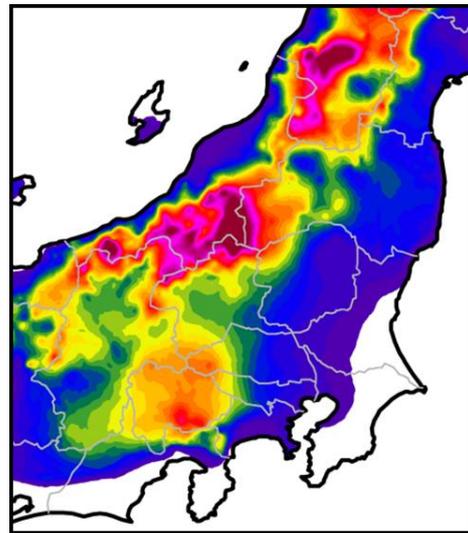


図2 2/15における積雪深分布図（伊豫部ほか、2014）

平成 26 年 2 月 14 日からの南岸低気圧による降雪と雪崩事例 ～群馬県内国道 17 号三国峠～

○町田誠¹⁾, 杉本敦²⁾, 松井富栄¹⁾, 町田敬¹⁾

1) 町田建設 (株), 2) 国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所

1. はじめに

2014 年 2 月 14 日から 15 日に本州南岸を低気圧が通過し、関東甲信地方で記録的な大雪となった。

新潟県と群馬県を結ぶ国道 17 号三国峠では、例年積雪量の少ない三国トンネルから群馬県側において 15 日未明から雪崩が多発した。本発表においては、この雪崩事例について報告する。

2. 雪崩の発生状況

国道 17 号三国トンネル群馬県側からみなかみ町永井までの間において、16 日に 28 箇所の雪崩デブリを確認した。これらの雪崩における発生区の特定は出来なかったが、2 月 20 日に実施した空中調査や気象観測値から広葉樹林帯から発生した乾雪表層雪崩であったと考えられる。

今回の乾雪表層雪崩は、樹林帯を流下し道路脇の防雪施設や落石防護施設をもすり抜けて道路へ堆積していた。写真-1 に示すように雪崩予防柵(吊柵)をすり抜け背面には積雪が無い状況も確認されている。なお、防雪施設や樹木の幹が損壊した状況は確認されていないため、雪崩の衝撃力は弱かったのではないかと推測される。また、写真-1 の右側にある落石防護網にはデブリが入り込み道路側へ膨らでいたため、復旧作業に時間を費やした。なお、雪崩発生時の除雪作業においては、新潟県側から除雪ドーザーが支援に向かったが、道路脇へ除けた雪が通過直後には道路へ崩れ落ちてしまう状態であったため、ロータリー除雪車がその後派遣され除雪を行った経緯がある。このような事象から、雪粒の結合が非常に小さく不安定な特異な積雪状態であったと言える。



写真-1 雪崩発生後の防雪施設の状況 (2月16日)

3. 雪崩発生時の気象状況

図-1 にアメダス湯沢、図-2 にアメダスみなかみでの気象観測値を示す。2014 年 2 月 14 日から 15 日にかけての 2 日間の積雪深の増加はみなかみで 60 cm、湯沢で 73 cmとこの地点では記録的な値ではなく、気温にも極端な低温ではなかった。しかしながら、風速が非常に弱く、降雪量がピークとなる時間帯においては、両地点とも無風であった事が特徴と言える。

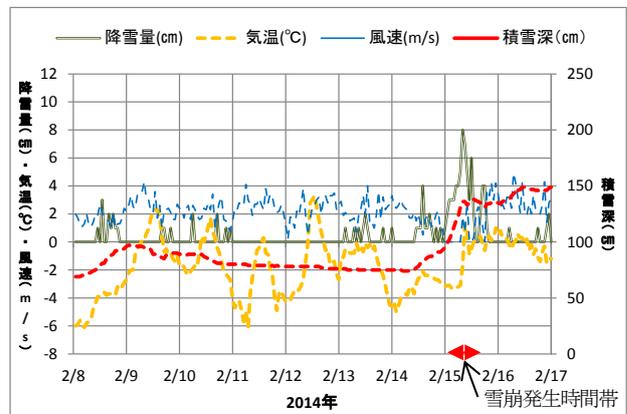


図-1 気象観測値 (アメダスみなかみ観測点)

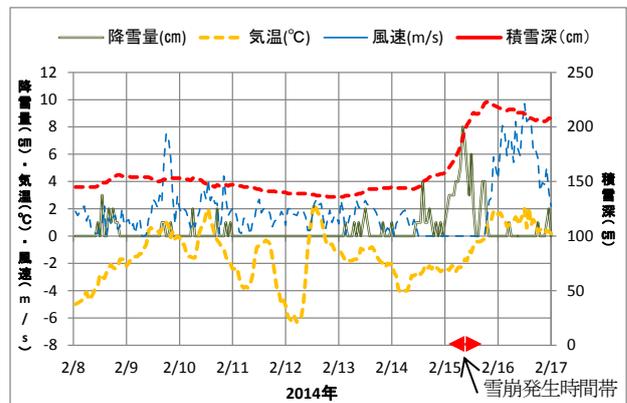


図-2 気象観測値 (アメダス湯沢観測点)

4. まとめ

雪崩発生地点近傍での気象観測値や積雪観測データを精査する必要があるが、2 月 15 日未明から多発した雪崩は、これまで観測された乾雪表層雪崩と異なり、雪崩発生状況や気象データから考察すると南岸低気圧による降雪形態が雪崩を多発させた一要因ではないかと考えられた。

また、防雪施設においても、衝撃力の弱いと考えられる雪崩がすり抜け道路へ堆積したことにより交通障害が発生した事象に対して検討が必要であると言える。

平成 26 年豪雪による雪崩の発生 — 空中と地上からの調査 —

○秋山一弥・池田慎二(土木研究所)・関口辰夫(国土地理院)

平成 26 年 (2014 年) 2 月 14 日から 15 日にかけて、関東甲信地方では記録的な大雪となり、積雪を計測している気象庁アメダスでは多くの地点で歴代 1 位を記録した。この大雪では山梨県と東京都で人家の一部が破損するなど、集落に被害を及ぼす雪崩が 8 件発生した (国土交通省調べ)。また、道路では多数の雪崩が発生し、除雪作業や通行の障害となって多くの孤立集落が生じた。山梨県では南アルプス市の一部 (旧芦安村) と早川町が豪雪地帯に指定されているが、この大雪では県内全域で大雪となって各地で雪崩が発生した。山梨県では 2 月 14 日の 7 時頃から 2 月 15 日の 11 時頃まで降雪が連続して、最深積雪はアメダス甲府で 114cm、河口湖で 143cm に達した。

山梨県では 2 月 22 日と 23 日に空中と地上から調査を行ったが、発生した雪崩はほとんどが表層雪崩であると考えられた。このうち、早川流域では 2 月 22 日にヘリコプターから雪崩の発生状況を確認したが、表層雪崩よりも全層雪崩が多く発生していた。早川は太平洋に注ぐ富士川の支流であり、流域は糸魚川-静岡構造線に沿っていて地質は脆弱であり、地形は急峻で七面山崩れをはじめ多数の崩壊地が存在する。早川流域では、富士川との合流点から最北部の集落がある奈良田湖周辺にかけて、空中からの調査をもとに 3 月 19 日に地上調査を行って雪崩発生箇所を確認した結果、発生区が不明瞭なものを含めて 80 箇所雪崩が発生していた (図 1)。このうち表層雪崩は 23 個、全層雪崩は 57 個であり、いずれもまばらな広葉樹 (落葉樹) 林や崩壊地から雪崩が発生し、沢状や凹型斜面の地形で雪崩の流下がみられたが、人工法面からの発生も確認された。雪崩の到達距離は最大で表層雪崩は 500m、全層雪崩は 700m 程度であり、海外で用いている D-Scale の雪崩サイズでは 2.5 に相当する。

なお、埼玉県秩父市では 2 月 21 日と 25 日に空中と地上から調査を行ったので、発表で紹介する。

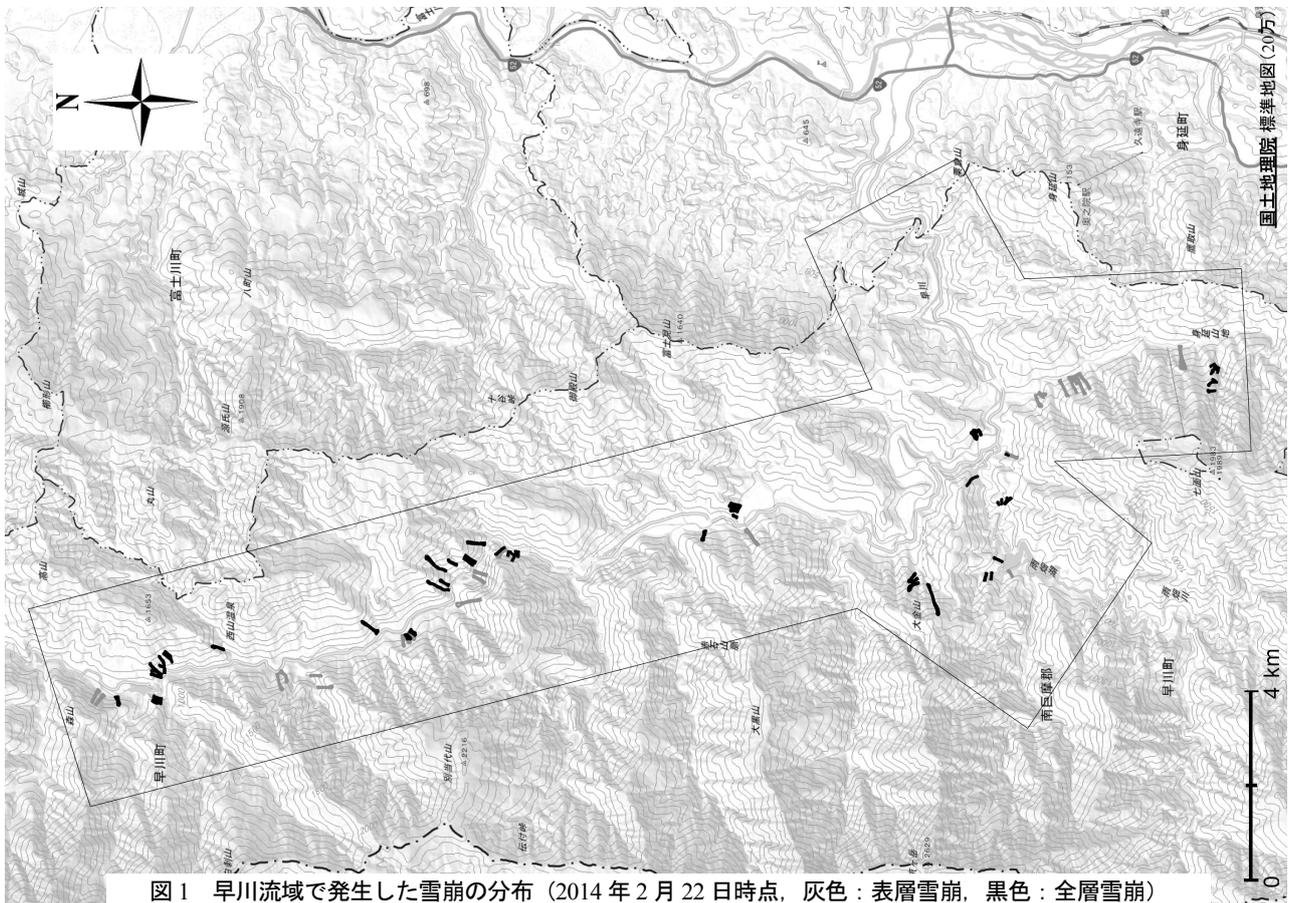


図 1 早川流域で発生した雪崩の分布 (2014 年 2 月 22 日時点, 灰色: 表層雪崩, 黒色: 全層雪崩)

平成 26 年大雪における雪崩被害とフェルミーモデルによる計算結果の比較

○池田慎二・秋山一弥（土木研究所）

1、はじめに

平成 26 年 2 月中旬に南岸低気圧の通過に伴って関東甲信地方を中心として短期間に多量の降雪があり、広域において雪氷災害が発生した。国土交通省の調べによると、この大雪に関連して集落に被害をおよぼした雪崩災害が 8 件発生している。ここでは、建物に被害のあった雪崩災害事例について、雪崩対策の検討において実績のあるフェルミーモデルを用いて簡略的に雪崩運動解析を行い、実際の建物の被害から想定される雪崩衝撃力と比較した。

2、方法

運動解析：フェルミーモデルによる運動解析は集落雪崩対策工事技術指針（案）本編（建設省河川局砂防部・社団法人雪センター，1996）に記載された方法に従って実施した。雪崩密度は 100kgm^{-3} に設定し、乱流減衰係数は $1000\sim 3000\text{ms}^{-2}$ の範囲で調整した。雪崩層厚については発生時を 0.5m とし、流下距離 100m に対し 1m の割合で増加することとした。雪崩走路は国土地理院の $1/25000$ 地形図を基に設定した。

被害状況からの衝撃圧の想定：雪崩の衝撃圧は McClung and Schaerer(2006)に示された平均衝撃圧と想定される被害(表 1)を用いることとした。

表 1 平均衝撃圧と想定される被害の目安

衝撃圧(kPa)	想定される被害
1	窓が破壊される
5	ドアが破壊される
30	木造の建造物が破壊される
100	大きな木が倒される
1000	コンクリート建造物が動かされる

McClung and Schaerer(2006)を基に作成

3、結果

図 1 に秩父で発生した雪崩事例における解析結果を示

す。図で示した計算結果は乱流減衰係数を 1000ms^{-2} に設定したものである。この事例においては木造の建造物が破壊されており(図 2)、表 1 に照らし合わせると想定される衝撃圧は 30kPa 程度となるが、計算結果では 123.6kPa となっており、過大評価している

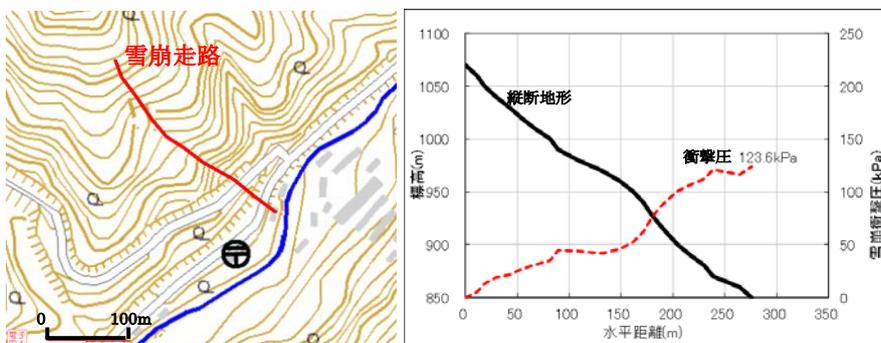


図 1 雪崩流下走路平面図(左)と雪崩衝撃圧計算結果(右)の例

とみられる。また奥多摩の事例においても 149.0kPa の計算結果に対して実際の被害は窓ガラスの破損であった等、他の事例においても衝撃圧を過大評価している傾向があると考えられた。

4、おわりに

上記のようにフェルミーモデルによる運動解析において雪崩衝撃圧を過大評価する原因としては、発生点の設定の誤り、不適切な雪崩密度および層厚増加量の設定、植生による減勢等の原因が考えられる。今後、これらについて航空写真や現地調査結果等を基に検討を行い、平成 26 年大雪時の雪崩の運動特性を明らかにしていきたい。



図 2 秩父の事例における被害状況

南岸低気圧に伴う降雪粒子と中谷の「粉雪」そして雪崩について

○ 石坂雅昭・本吉弘岐・中村一樹・中井専人・上石勲（防災科研・雪氷）
 椎名徹（富山高専）・村本健一郎（石川高専）・藤野丈志（株式会社 興和）

1. はじめに

2014年2月8,9日及び同14,15日のいわゆる南岸低気圧は太平洋側にまとまった降雪をもたらした。後者では関東各地で観測史上最大の積雪深を記録し、生活、生産活動に甚大な被害が発生した。この時、低気圧の北東から北側にあたる新潟県などにも降雪があり、その中で特徴的な降雪粒子が観測された。ここではその降雪粒子と中谷の「粉雪」、そして雪崩との関連について述べる。

2. 観測された降雪粒子

図1にここで注目する観測された降雪粒子の顕微鏡写真の一例を示す。サブミリ程度の角柱、角板、砲弾（集合）など低温、低過飽和度で生成される結晶が観察された。降雪時はこれらが雪片を形成していたが、結合は弱く落下後バラバラに砕け散るのが印象的であった。細かい結晶がばらけて堆積するので初期密度は小さくはなかった（ 40kgm^{-3} 前後）。図2は5分間毎の降水粒子の質量フラックスの中心=CMF（center of mass flux; Ishizaka et al., 2013）によって粒径・落下速度をとらえたもので、大きさから雪片として降ったこと、8,14日とも同様なものが降っていたこと、Locatelli and Hobbs (1974)の aggregates of unrimed assemblages of plates, side planes, bullets, and columns の関係式に近いことがわかる。このような降雪が一つの範疇としてまとめられていることも注目すべき点である。

3. 中谷の「粉雪」との関係

中谷は著書「雪」の中で、「粉雪」の三つの使われ方を述べている。一つはスキーがよく滑り雪煙があがるスキーヤーが喜ぶ積雪を指す時に使われ、後二つは、降雪に関して、牡丹雪に対比して雪同士の集合度が低い細かい降雪一般を表す場合とある種の雪結晶を指定する場合に使われるとしている。そしてこの「ある種の雪結晶」として中谷が写真を付して示しているものは、角柱、角板、砲弾などが入り混じったまさに今回観測したような降雪である。温帯低気圧の北東～北側ではこの三番目の「粉雪」がよく降る可能性がある。

4. 雪崩との関係

一般に降雪粒子と雪崩の関係では、雲粒なし広幅六花や霰が弱層要因となる降雪粒子とされ、前者については中村ら（2013）が低気圧と弱層形成降雪粒子の関連を指摘している。今回の大雪でも関東地方で雪崩が多発し、弱層および破断面の存在が確認されていることから、降雪粒子による弱層が関与したのがあると思われるが、それとは別に「いたる所で発生。グラニュー糖のような雪の雪崩。」という現地報告があり、それは今回の落下後バラバラに崩れる降雪との関連が想起される。ただ、このことは事後的に発想したもので、現場での確認はないが、雪崩と降雪粒子関係についての新たな観点として問題提起した。さらに敷衍するなら「すり抜け雪崩」との関係も推測されるが、いずれも今後の研究課題である。

参考文献

中村ら（2013）：降雪系弱層形成時の気象の特徴。雪氷研究大会（2013・北見）講演要旨集, 75.

Ishizaka et al. (2013) : A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size-Fall Speed Relation. JMSJ, 91, 747-762.

Locatelli J. D., and P. V. Hobbs (1974) : Fall speed and mass of solid precipitation particles. J. geophys. Res., 79, 21885-2197.

中谷宇吉郎（1938）：雪，岩波書店。

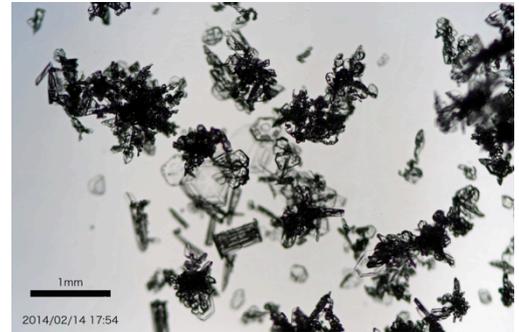


図1 2月14日に観測された降雪粒子の顕微鏡写真。

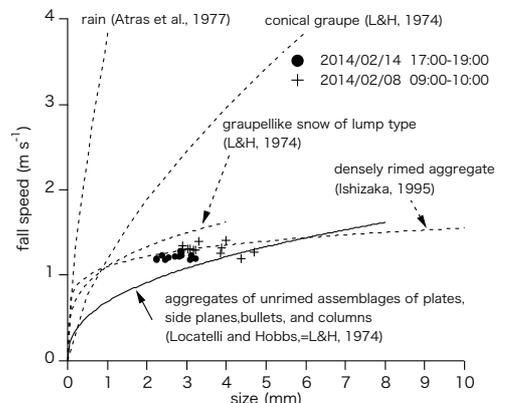


図2 2月8,14日に観測された降雪粒子の5分間CMF。

2013年11月23日に真砂岳で発生した雪崩の調査報告

○出川あずさ、廣田勇介（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）では、冬季レクリエーションの雪崩安全に関わる教育および山岳雪崩への理解を深めるため、発生した雪崩事故の調査を実施している。ここでは、真砂岳大走沢で発生した雪崩についての調査結果を報告する。

2. 事故および調査概要

2-1 事故概要

11月23日午前10時55分頃、大走沢にて面発生乾雪表層雪崩が発生し、2グループ計7人が巻き込まれ全員が完全埋没。近隣の山スキーヤー等により捜索救助が行われたが死者7人の事故となった。

2-2 調査方法

11月24日午前、現場経験とスキルを持つJAN会員の山岳ガイドらによって、視界不良の中、破断面調査が行われた。また、ネットを通じて情報提供を求め、事故発生時および捜索の状況を把握した。

2-3 調査結果

雪崩は標高差480m（上部破断面：標高2780m～デブリ末端：標高2300m）を流下したサイズ3であった。デブリ末端からの見通し角は 24° 。破断面の厚さは20cm～300cm以上と幅がある。調査は破断面170cmの場所で実施され、弱層は粒径1mm、厚さ4cmのこしもざらめ雪の層、滑り面は硬度K+の融解凍結層であった。こしもざらめ雪は十分に発達したものであったが、層の硬度はP-と硬めであり、試みたディープタップテストは結果なしであった。

雪崩はスキーヤーが沢をトラバースし、停止した時に発生。近くにいた仲間1人も流された。また、それとほぼ同じタイミングで、尾根の取り付けにいた5人のグループが休憩を終え、雷鳥沢方面に向けて登るため、沢状地形内に入っていた。結果、計7人が雪崩に巻き込まれた。なお、事故発生前に3人が沢を滑っているが、事故には関与していない。

捜索は近隣にいた山岳ガイドを中心に多数の山スキーヤー等の協力で実施され、1時間後には平均1m～2mの埋没深であった被災者6名の掘り出しが終わり、到着した山岳警備隊に現場を引き渡した。最後の7人目は警備隊によって発見された。

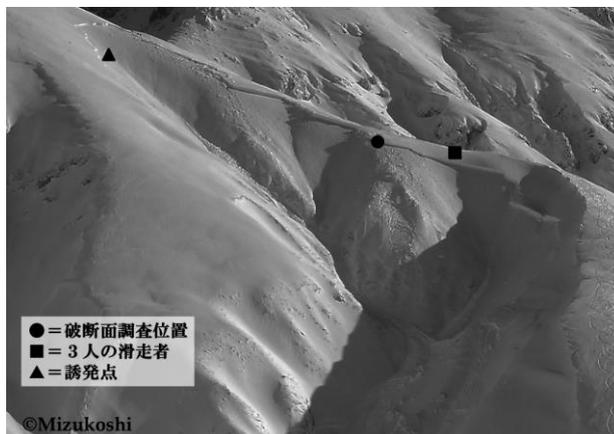


写真1 雪崩発生区の全景

3. 気象推移と弱層形成

11月10日に降雨があり、12日～13日は富山平野でも降雪となる寒気が入った。その後、16～17日は好天となり、18日から本格的な降雪が始まった。この荒天により22日まで、室堂周辺では150cm近い降雪量となった。原因となったMFcr/FCの脆弱性は、破断面調査を行った廣田らによって16日の時点で観察されており、10日の降雨およびその後気温低下によって弱層が形成したと考えられた。

4. まとめ

「低い誘発可能性、重大な結末」と表現されるDeep Persistent Slabの雪崩であった。国内においては2000年の八方尾根ガラガラ沢の事例が同種のものとして理解されている。死者7人は過去20年間で最悪であるが、一方で、深い埋没者が複数ありながら、僅か1時間で6人が掘り出されている事実は、雪崩装備を持ち、その使い方や捜索方法を訓練している人が周囲に多数いたことを意味している。

5. 今後に向けて

立山室堂地区では過去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。JANでは事故を受けて、2014年11月から室堂地区での雪崩情報の発表を開始し、併せて雪崩教育を進めることで事故発生率の低下に寄与したい。

妙高・幕ノ沢で2013年2月に発生した乾雪表層雪崩の速度

○竹内由香里（森林総研十日町試験地）・和泉薫（新潟大）・池田慎二（土木研）・勝島隆史（富山高専）
 ・平島寛行（防災科研）・伊東靖彦（土木研）・伊豫部勉（新潟大）・遠藤八十一・飯倉茂弘（鉄道総研）

はじめに 表層雪崩の発生や流下の解明に役立つデータセットを蓄積するために、大規模な雪崩が2～3年に1度の頻度で発生する妙高山域の幕ノ沢において、地震計、雪崩発生検知装置、ビデオカメラによる雪崩検知観測を2000年から継続している。これまでに流下距離が2000 mを超える7件の大規模雪崩を観測することができ、2013年2月の乾雪表層雪崩では、雪崩検知装置のポールが折れながらも、雪崩の速度を初めて測定することができた。本研究では2013年2月の表層雪崩を対象に、実測された速度と雪崩で検知ポールが折れる曲げ応力から計算した速度を比較し、雪崩層の厚さや密度について考察を行なった。また、標高約1700 mの雪崩発生区の積雪を積雪変質モデルで推定し、雪崩のすべり面の雪質やその形成過程を調べた。

方法 雪崩発生検知装置¹⁾の小型振動センサーを内蔵したポールを雪崩の走路上の上流と下流に2本立て、雪崩がポールに衝突した振動によるパルス信号を、同一のロガーの別のチャンネルに0.1秒インターバルで記録した。2本のポールの振動データがそれぞれ最初に記録された時間差とポール間の距離（32 m）から雪崩の速度を求めた。一方、ポールは、雪崩により曲げモーメントを受けたときの最大曲げ応力が、曲げ強さを超えたときに折れるものとし、流れ層の厚さや密度を変えて速度を計算した。ポールは富士化工製の内径100 mmの高強度FRPパイプで、メーカーによると曲げ強さは81.3～101.9 MPaである。ポールの長さは6 m、折れた高さは3.2 mおよび3.3 mであった。幕ノ沢では3/16に雪崩検知装置近くにおいてデブリの断面観測を行ない密度や含水率を測定し、堆積区の上、中、下流3地点でデブリの積雪水量を測定した。デブリや雪崩で運ばれた枝葉が雪面に現れた4/4と4/25には雪崩の到達範囲を調査した。雪崩発生区の積雪は積雪変質モデルSNOWPACKを用いて、雪崩堆積区に近い気象観測点（標高810 m）の気象データやアメダス（関山）のデータを入力して推定した。

結果 雪崩検知装置および幕ノ沢の地震計の記録により雪崩の発生日時は2/16 19:09と判明した。気象観測点（標高810 m）で測定した雪崩発生時の気温は-8.4℃、積雪深は363 cmであった。雪崩検知装置に2本のポールのデータが記録され始めた時間差は2.0秒であったので、ポール間の雪崩の速度は32 m / 2.0 s = 16.0 m s⁻¹と求められた。雪崩検知ポールの近くのデブリの厚さは102 cm、デブリの積雪水量から融雪水や雨水の浸透量（含水率から算出）を除いた雪崩堆積量は451 mmであり、デブリの乾き密度は442 kg m⁻³であった。

考察 雪崩検知ポールが速度16 m s⁻¹の雪崩から受ける曲げ応力を計算した。雪崩は雪煙層と流れ層の2層構造と考え、雪煙層の密度は3 kg m⁻³と仮定し、抵抗係数C_dは1.2として流れ層の密度や厚さを変えて計算を行なった（図1）。ポールのある雪崩堆積区の積雪深は通常、気象観測点より多い（1.4倍ほど）ので5 mと推定し、雪面上を進んだ雪崩がポールの雪面より上の部分（地上高5～6 m）に当たってポールが折れたと考えた。計算によると、ポールが受ける曲げ応力は、高密度の流れ層の寄与が大きく、雪煙層のみで計算すると16 m s⁻¹の速度ではポールが折れる曲げ応力に達しなかった。流れ層の密度を一般的な値（200～300 kg m⁻³）とすると、流れ層の厚さが0.4～0.5 m以上あれば速度16 m s⁻¹でポールの曲げ強さを超え、ポールが折れることがわかった。

参考文献

1) 飯倉ら(2000), 雪氷, 62, 367-374.

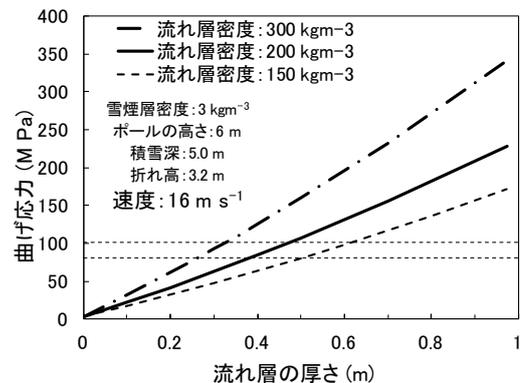


図1 雪崩検知ポールが速度16 m s⁻¹の雪崩から受ける曲げ応力。細い点線はポールの曲げ強さを示す。

気象観測データを用いた湿雪雪崩の発生条件に関する解析

松下拓樹・池田慎二・秋山一弥(土木研・雪崩C)・原田裕介・伊東靖彦(土木研・寒地)

1. はじめに

湿雪雪崩は、融雪水や降雨などの水の存在によって積雪の強度が低下することと、降水による積雪への上乗荷重の増加によって斜面積雪が不安定となり発生する。さらに、積雪内への水の浸透に雪質などの積雪の層構造が影響するなど、湿雪雪崩の発生機構は複雑である。ここでは、湿雪雪崩の発生条件について、雪崩発生箇所近傍の気象観測データを用いた解析を試みた。

2. データと解析方法

北海道における湿雪雪崩の発生事例(2000年3月～2011年3月のうち1～3月の80件)を対象に、雪崩発生箇所近傍の気象観測データを用いて解析を行った。使用した気象観測データは、気象庁 AMeDAS と北海道開発局道路テレメータの気温、積雪深、降水量、風速等の1時間間隔の観測データである。雪崩発生箇所の気温は、気温減率($=-0.0065^{\circ}\text{C}/\text{m}$)を用いて標高補正し、降水量は、横山ら(2003)の方法によって降水量計による降水粒子の補足率を考慮して補正した。補正した気温と降水量を用いて、近藤ら(1995)に従い気温が 1.8°C 以上の場合を降雨、 1.8°C 未満を降雪として、降水量から降雨量(mm)を求めた。日射量の日積算値(J/m^2)は、近藤ら(1991)の手法を用いて AMeDAS の日照時間(h)から推定した。また、積雪の表面付近における融雪量(mm)は、水津(2002)の簡易熱収支法に従って求めた。さらに、Kawashima *et al.*(1994)による積雪内の温度勾配に関する指数 TG と融雪に関する指数 MF を算出した。

$$TG = |Ta/Hs| \cdots (1) \quad MF = \Sigma Ta_+ / Hs \cdots (2)$$

ここで、 Ta は根雪期間の平均気温($^{\circ}\text{C}$) (ただし $Ta > 0$ の場合 $TG=0$)、 Hs は根雪期間の平均積雪深(cm)、 ΣTa_+ は根雪期間の 0°C 以上の日平均気温の積算値($^{\circ}\text{C day}$)である。

3. 解析結果

図1は、湿雪雪崩発生前日と当日(発生時刻まで)の降雨量と融雪量の合計と発生時の積雪深の関係である。積雪への水の供給量が多いと全層雪崩が発生する傾向にあり、表層雪崩の多くは水の供給量が比較的小さい場合に発生している。

積雪への水の浸透実験(松下ら, 2013)によると、しまり雪主体の斜面では、水は積雪層に沿って斜面下方に流れる傾向があり、積雪底面には容易に到達しない。しかし、ざらめ雪が多くなると、水は積雪底面へ浸透していく。つまり、雪質などの積雪の層構造によって湿雪雪崩の発生形態(全層、表層)が異なると考えられる。そこで、図2に、 TG と MF の関係を示す。図中に示す実線と点線は、Kawashima *et al.*(1994)による雪質を分ける目安である。図2より、表層雪崩では数事例を除いて MF が小さく、しまり雪やしもざらめ雪が主体の積雪で雪崩が発生したと考えられる。ただし、全層雪崩はばらつきが大きく、 TG と MF から発生条件を明確に示すことはできなかった。湿雪雪崩の発生条件を示すには、融雪量や図2の指数だけではなく、さらに複数の要素を組み合わせることで明確になると考えられる。今後は、北海道以外の地域の湿雪雪崩事例も加えた解析を行い、湿雪雪崩の発生条件を検討していく。

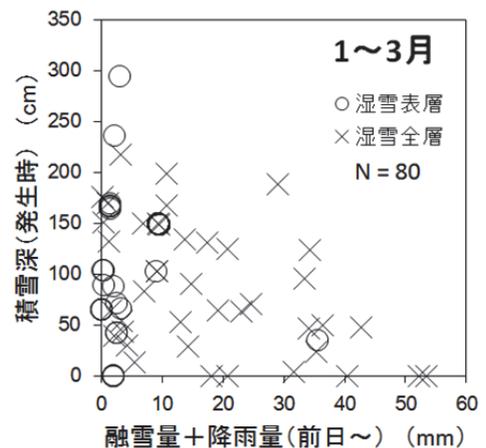


図1 雪崩発生前日からの融雪量と降雨量の合計と発生時の積雪深の関係

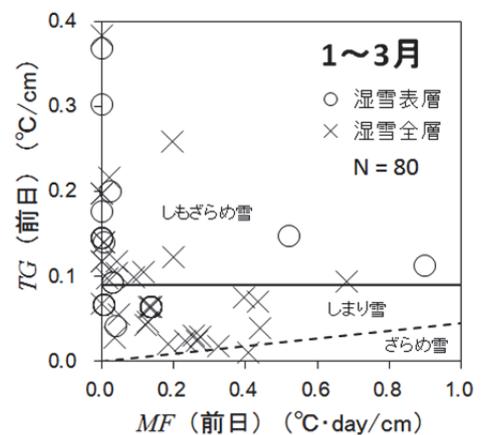


図2 雪崩発生前日の積雪内の温度勾配に関する指数 TG と融雪に関する指数 MF の関係

北陸地方における大気環境中の二酸化硫黄及び硫酸塩粒子の動態

山崎暢浩・渡辺幸一・水落亮佑・塩田典子(富山県立大学)

岩本洋子・山田玲奈・沢野未佳・松木篤(金沢大学)

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PM_{2.5}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PM_{2.5}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微小粒子は、雲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。本研究では石川県珠洲市において、硫酸塩粒子および二酸化硫黄濃度を測定し、越境汚染や噴煙の影響を明らかにし、大気汚染物質の起源などについて考察する。

2. 方法

石川県珠洲市においてアンダーセンサンプラーAN-200(東京ダイレック株式会社製)により大気を粒径ごとに採取したものを純水に抽出し、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。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。硫酸エアロゾルの計測は、乾式の酸化還元法-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イト濃度測定装置 SPA5020 のコンバータ内での Sulfate から SO₂ への変換効率を検討するために、SPA5020 で計測された濃度と、PARTISOL-FRM MODEL2000 PM-2.5 AIR SAMPLER を用いて、大気中の 2.5 μm 以下のサイズの微小粒子を採取、抽出後、イオン成分を測定した試料中の硫酸塩濃度(フィルター法)と比較した。

3. 結果と考察

2013年7月12~13日に高濃度のSO₂が観測されたが、7月10日に桜島の昭和火口において、非常に大きな噴火があり、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。また、2013年8月7~15日に採取したエアロゾル粒子中に高濃度のSO₄²⁻及びNH₄⁺が観測された。アジア大陸の工業地帯から排出された大気汚染物質が珠洲市に輸送されてきたものと考えられる。通常の夏季であれば、太平洋高気圧の影響で、大陸からの気塊が輸送されることは少ないが、2013年8月は、太平洋高気圧が例年に比べ西側に位置していたため、西からの気塊が輸送されやすかったものと考えられる。

Fig.1に、2013年11、12月の珠洲市における硫酸塩の濃度(30分値)およびSO₂の濃度(1時間値)の時系列を示す。11月3~7日にかけて高濃度の硫酸塩粒子が観測された。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。11月16~18日において非常に高濃度のSO₂および硫酸塩粒子が観測されたが、珠洲市に中国の黒龍江省やアムール河流域付近を通過した気塊が輸送されていたものと考えられた。2013年秋季のハルビン市において、世界保健機構が定める指標の40倍近い濃度のPM_{2.5}の濃度が観測されていた。また11月1~15日の期間、アムール河流域において森林火災が何件か発生しており、その際に発生した大気汚染物質が北陸地方に飛来していた可能性も考えられる。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。

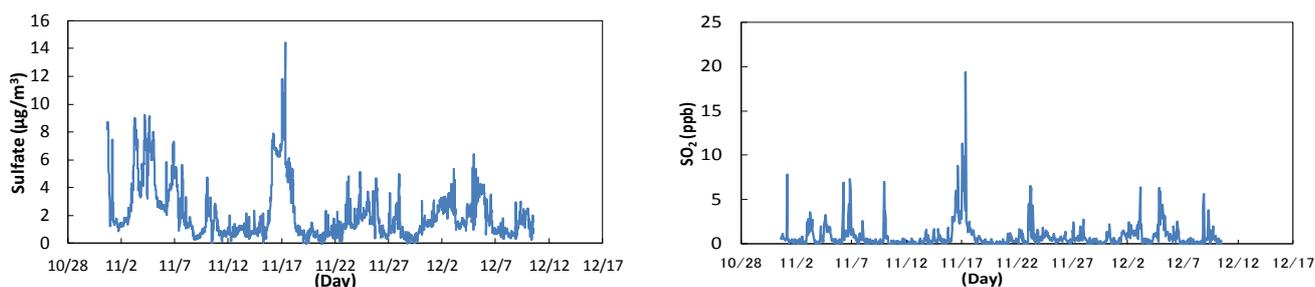


Fig.1 2013年11、12月の珠洲市における硫酸塩粒子濃度(左図)およびSO₂濃度(右図)の時系列

富山県における降水・積雪中のイオン成分およびアルデヒド類の特徴

平井泰貴・渡辺幸一・水落亮佑・矢地千奈津・山崎暢浩（富山県立大学）

島田互・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示唆される。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、約半年間の環境情報を記録しているため、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。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すると共にそれらの大気水圏中における濃度動態について考察を行った。

方法

積雪断面観測は、2013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-シクロヘキサジオン-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2013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。NH₄⁺、nssCa²⁺、NO₃⁻、nssSO₄²⁻のイオン成分については、比較的類似した深度で高濃度のピークの一致がみられた。また、ピーク一致がみられた3 m 40~50 cmの深度では、汚れ層(黄砂層)を観測した。黄砂粒子には炭酸カルシウムなどが含まれており、積雪層位の深度3 m 40~50 cmの層では、人為的起源汚染物質であるNO₃⁻、nssSO₄²⁻とnssCa²⁺のイオン成分ピークが一致していることから、黄砂と人為的起源汚染物質は共に飛来及び長距離輸送され堆積したと考えられる。一方、深度1 m付近の汚れ層は、nssCa²⁺のみが高く、気塊は乾燥地域のみを通過し飛来したと考えられる。ホルムアルデヒド濃度は、上下に隣接する各層ごとの濃度変化が小さく、各イオン成分と異なり、特定のピークが顕著ではなかったため、ホルムアルデヒドは堆積後に拡散していると考えられる。積雪層上部(深度0~2m)では、nssSO₄²⁻とホルムアルデヒドとは弱いながら正の相関があり、ホルムアルデヒドについても、nssSO₄²⁻などの人為起源成分と同様に、長距離輸送され、雲水や降雪中に取り込まれているものと考えられる。

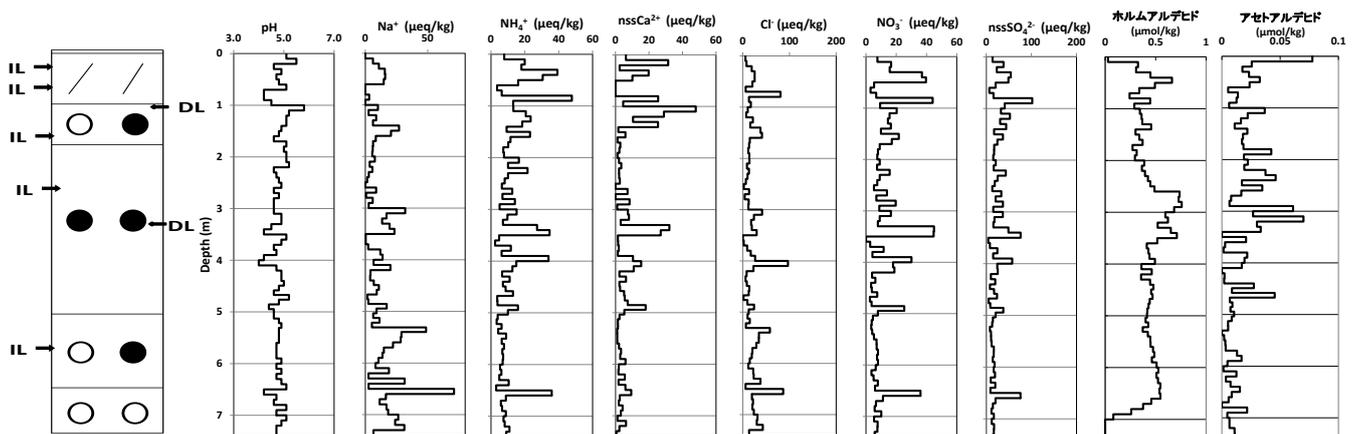


図.1 2013年4月立山・室堂平における積雪断面層位及び各イオン成分の鉛直分布

回転翼航空機を利用した富山県上空の過酸化水素濃度の測定

矢地千奈津・渡辺幸一・平井泰貴・山崎暢浩・塩田典子・中川佳祐(富山県立大学)

はじめに

大気中の過酸化水素(過酸化水素(H_2O_2))、有機過酸化水素(ROOH)は、主にオゾン(O_3)介した光化学反応によって生成される。また、二酸化硫黄(SO_2)の液相酸化を促進させることや、 $\text{PM}_{2.5}$ 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、過酸化水素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 O_3 濃度の増加が報告されており、 H_2O_2 の生成が促進されていると考えられる。そのため、 H_2O_2 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水素濃度の測定は、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 H_2O_2 、 SO_2 、 O_3 などの測定を行った結果について報告する。

方法

2013年8月7日および2014年3月17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。高度 2000 ft (600 m) 毎に 10 分間巡回水平飛行し、高度 10000 ft (3000 m) まで上昇した。巡回水平飛行中に、ミストチャンバーにより大気中の過酸化水素を採取した。試料採取終了後、富山県立大学構内へ下降し、過酸化水素を採取した捕集液を学内に投下させ、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、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、精度の良い過酸化水素の測定を行うことが可能となった。また、ヘリコプターの後部座席には、 O_3 、 SO_2 測定器を設置し、自動計測を行った。

結果と考察

図 1 に、2013年8月7日および2014年3月17日における富山県射水市上空の過酸化水素、 O_3 、 SO_2 濃度の鉛直プロファイルを示す。なお、観測を行った両日は、ともに越境汚染の影響を受けていた。2013年8月については、 SO_2 は地表付近で濃度が高く、上空で低濃度となった。一方、 H_2O_2 は上空で高濃度であり、 SO_2 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、2014年3月の観測時は、 SO_2 は地表付近よりも上空で非常に高く、 SO_2 濃度に対して H_2O_2 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 SO_2 の酸化が抑制されるものと考えられる。寒候期においては、アジア大陸から高濃度の SO_2 が輸送されてもきて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水素濃度の増加が冬の降水の酸性化を促進させるものと考えられる。

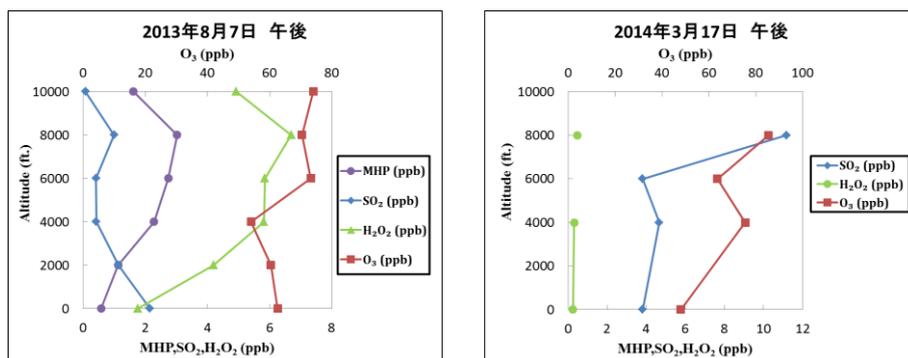


図 1 2013年8月7日および2014年3月17日の富山県射水市上空における H_2O_2 、 CH_3COOH (MHP)、 O_3 、 SO_2 の鉛直プロファイル

中部山岳地域の降雪に含まれる化学成分の空間分布

○倉元隆之¹・佐々木明彦¹・鈴木啓助^{1,2}

(1:信州大学山岳科学研究所、2:信州大学理学部)

1. はじめに

日本海側地域から脊梁山脈である中部山岳地域にかけては、多雪な地域である。アジア大陸から吹き出す冬の季節風が日本海を渡る際に水蒸気を補給されて雪雲を形成するため、その風下に位置する脊梁山脈には多量の降雪がもたらされる。中部山岳地域の最大積雪深は4 mを超えるとされており、この地域の水循環およびそれに伴う物質循環には雪が大きく関わっている。したがって、一般に環境変化に弱いとされる、山岳地域における水圏の環境動態を正しく理解するためには、降雪・積雪の影響を評価することが重要となる。中部山岳地域では、積雪は主に冬型の気圧配置時と南岸低気圧によってもたらされる。これまでの研究によって、降雪の化学特性は気象条件により異なることが分かっている。積雪は、融雪が始まるまで降雪時に蓄えた化学成分を各層に保存している (Suzuki, 1982)。そのため、最深積雪期に積雪観測を行うことで、気象条件の違いと採取した積雪に含まれる化学的指標をもとにして、各積雪層の堆積時期を推定することができる。しかし、降雪に含まれる化学成分は海からの距離や地形、標高などの影響を受けるため、同一の降雪イベントであっても積雪の化学特性は観測地点によって異なる。そこで本研究では、中部山岳地域の多地点において積雪断面観測を行うことで、降雪に含まれる化学成分の空間分布を明らかにする事を目的とした。

2. 方法

中部山岳地域の平地と高標高地域の多地点において、積雪試料の採取を行った。平地では降雪直後で雪が融解による変質をする前の積雪層を新雪層として、新雪層のみを採取の対象とした。また、高標高域では最深積雪期に調査を行い、積雪全層を採取の対象とした。各観測地点では、樹木による遮りや人間活動による攪乱などが無い場所において積雪断面観測を行い、積雪密度と雪温を積雪表層から3 cm 間隔で測定した。化学分析用の積雪試料は、ステンレス製のサンプラーを用いて積雪表層から3 cm ごとに連続採取した。採取した試料は、密閉したサンプル袋に入れて、融解させずに信州大学まで持ち帰った。試料は変質を防ぐために分析時まで冷凍保存した。分析直前に室温で試料を融解した後、pH と電気伝導度の測定を行い、主要イオン濃度 (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) の測定を行った。

3. 結果と考察

図1に積雪中のpHと電気伝導度の関係を示す。多くの積雪試料のpHが酸性降水の基準であるpH 5.6を下回った。よって、中部山岳地域には、冬季に多くの酸性降水がもたらされていることが分かる。pHと電気伝導度の関係では、pHの高い試料では電気伝導度が低く、pHが低い試料では電気伝導度が高くなった。しかし、pHが低い試料では、平地よりも高標高域の電気伝導度が低く、高標高域よりも平地の電気伝導度はバラツキが大きくなった。これは、平地では高標高域よりも海塩起源の成分が降雪に多く含まれていることが影響していると考えられる。

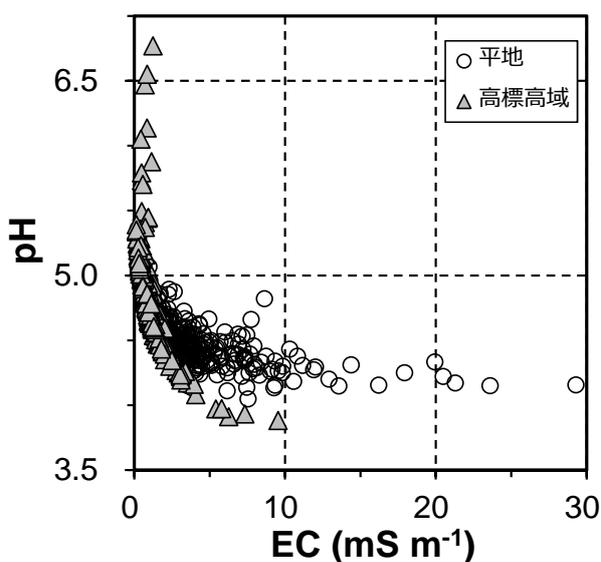


図1 積雪中のpHと電気伝導度の関係

放射性汚染水中のトリチウム水分離の試み

○対馬勝年(富山大・理)、松山政夫(富山大・水素同位体研)、上石勲(防災科研・雪氷)

1. はじめに

昨年福島第一原子力発電所放射性汚染水の減容化法として氷結晶法の適用可能性を発表した。その後、松山らはセシウム(母液濃度 10ppm)や放射性セシウム(母液 1500Bq/L)を含む汚染水へ氷結晶法を適用して1回の凍結で1/100 ~1/1000に除染された氷を得て、氷結晶法の有効性を確認した。ところで、氷結晶法では HTO(放射性トリチウム水)を分離できず、最新鋭の放射性核種除去装置 ALPS の処理でも分離できず、汚染水の貯蔵量が増え続ける元凶になっている。同位体の分離は量が少なれば電気分解等により分離される。しかし、今求められているのは 40 万トンの大量の水を安価に処理する技術である。筆者らは純水 H₂O とトリチウム水 HTO の氷点が 0.00 °C と 2.24 °C で大きく異なる点を着目した。しかし、低温実験室では放射性物質が扱えないので、HTO の代わりに同じ水の同位体 HDO(氷点 1.9 °C)を代用した。これらの同位体の氷点が高いのは固相の水素結合が純氷より強いからである。少量の重水を含む氷をカナで削って細かい粒状に変え 3 L のマホービン中で母液と混合した。液相と雪粒の間で分子の交換が行われる過程で母液中の HDO 分子が雪側へ移動していくと期待した。ところで、HDO 濃度の検出が問題である。電気伝導度計、イオンクロマトグラフ、原子吸光などは使えない。質量分析計なら計測できるが、使える状況にない。そこで簡便な測定法として氷点に着目した。0.01 °C 目盛のベックマン温度計を使った。この場合 HDO 濃度は 0.5%以上の高濃度に限定されるが分離の可能性を調べることはできる。(トリチウムの環境基準 6 万 Bq/L は HTO 濃度 1ppt に相当するから、1%でも 10¹⁰ 倍の高濃度に当たる)。分離度を粗大化法とカラム法で調べた。

2. 実験

2.1 粗大化法 重水含有氷を削って魔法瓶内の母液と混合し、1~3 °Cの低温室に置く。しばらくおいたのち液相を採水し、凍らせ再度削って小さな魔法瓶につめ、氷点を測る。氷点が 0.03 °Cの原液が混合後 0.02 °Cに変わった。重水濃度は 1.6%から 1.1%へ 31%減少した。液相の中に濃度勾配はないから HDO 分子の拡散は極めて遅い。HDO 分子が雪粒表面に衝突しなければ雪粒に組み込まれ

ることはない、長期間保存すれば雪粒に組み込まれる HDO 分子の割合が増すと考え、1 カ月後の測定も試みたが液相濃度の減少は 1 日後のものと変わらなかった。次に、原液 650g に純水氷を削った雪 650g を混入した。母液の氷点+0.033 °Cであったものが、混合状態で 0.025 °Cに変わった。純水氷(雪粒)の方は過熱状態となったことになる。1 日後液相の氷点は 0.015 °Cになった。一方残った雪の温度も 0.015 °Cになっていた。液相の重水濃度は半減した。

2.2 カラム法 内径 60mm、長さ 1m の筒に重水汚染水を削った雪を詰め、筒の外側をグラスウールで断熱した。内筒の上端から母液を滴下したり、内筒の上部だけ断熱を外したりして筒雪内を母液が流下するようにした。被膜状に雪粒の表面を流下すれば液相中の HDO 分子が氷と接触しやすくなると期待した。下端から流出した液を採水し、氷点を測定した。流出の速い場合は殆ど分離しなかった。1 日 200mL 程度の流量の少ない場合にわずかに分離効果が認められた。

ところでビーカに冷たい水を入れ放置すると、やがて器壁に気泡が現れる。水に溶けている空気の量は少ないはずだが過飽和になると容易に析出する。これをヒントに重水濃度を過飽和状態に変えることで重水分子を析出できないかと考えた。

長さ 1m の鉛直の二重筒の内側に氷点 0.03 °Cの重水氷を削った雪を詰め、外側(内径 110mm)に純水を削った雪を詰めた。筒の最外部をグラスウールで断熱した。上部から融け水(重水水溶液)が流下してくると水の一部は凍って残りが筒下端から採水器に入る仕組みである。最初の採水は原液と変わらなかった。その後、流れが少なくなり、殆ど流出が認められなくなった。この場合、流下した水が途中で凍り、不透水層が形成されたと考えられ、失敗であった。内筒に詰める重水氷の氷点をもう少し下げた試験の準備を進め、析出効果を引き出せないか調べる予定である。

3. 終わりに

HTO 水、HDO 水の氷点の違いに着目した純水と同位体の分離率はこれまでのところ最大で 50%程度の低いものに留まった。実験は失敗の連続であるが、分離率を高める条件を見出すことを当面の課題にしている。

加賀市中央公園の人工池の氷にできたチンダル像

神田 健三

石川県加賀市の中央公園の一角に、おとぎ話に登場する人物、動物などの像と浅い人工池が配置されたおとぎの国という遊び場がある。2014年1月15日の10時半頃、筆者が付近を散歩した際、池が凍っていて、氷におびただしい数のチンダル像ができていたのを発見した。一旦家へ戻ってカメラ等の用意をし、再度現場に出かけて11時半～12時半頃、観察し、写真で記録した。

(チンダル像とは、氷に強い光をあてたとき、氷の内部が融けて、融けた範囲が円形や六花の形になるもの。中谷宇吉郎雪の科学館にこの実験コーナーがある。)

- ・この池はコンクリート造りの人工池で、水深が約18cmと浅い。丘の頂上付近にあり標高550m。周辺にいくつか天然池があるが、凍ったのはこの人工池だけだった。(他の池は深く、標高が少し低いことで、凍結に不利と考えられる。)
- ・氷を少し割って取り出した。厚さは約1cmあった。
- ・氷を模様のない均質な板の上に置き、太陽光によるチンダル像の影を映して写真を撮った。(たまたま持参していた緑色の野帳の表紙を使用)
- ・1月15日は、小松の最低気温が -3.8°C でこの冬の最低値。雪は降らず、日照時間は8.6時間と長かった。冬型が少し弱まり、寒気(高気圧)が日本列島の大部分を覆っていた。放射冷却で氷がはり、よく晴れて日差しが強かったのでチンダル像が出来たと考えられる。
- ・氷に雪が混じると観察が難しいので、筆者は、チンダル像は太平洋側でなければ観察が困難だと考えていた。しかし、条件が整えば北陸でも観察できることがわかった。



図1 おとぎの国の人工池に氷がはった。

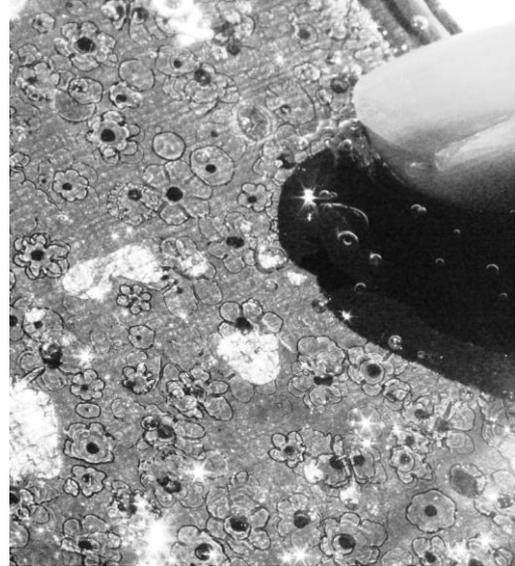


図2 観察したチンダル像(緑色の写真から画像調整)



図3 公園内の池の位置(この右方は松が丘の住宅地)

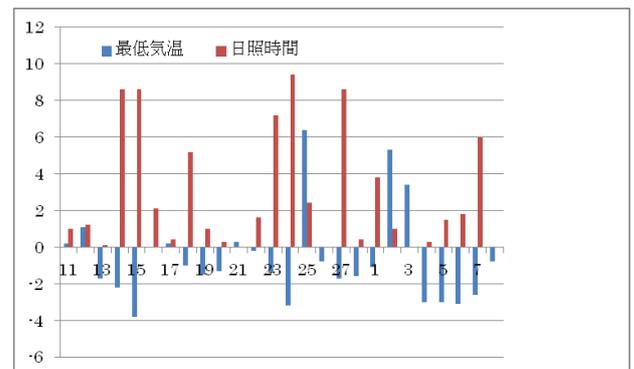


図4 小松の気象データ(2014.1.11~2.8)

岩塊斜面における風穴の冷風循環に関する研究 (ii)

永井翼 (新潟大・院)・和泉薫・河島克久・伊豫部勉 (新潟大・災害研)・山口健太郎 (長野県木島平村)

1. はじめに

全国有数の温泉地「草津温泉」で知られる群馬県吾妻郡草津町に、氷谷という風穴地が存在する。氷谷風穴の入口付近では、積雪の融雪水が、永久凍土に接触することによって、天然の氷が形成される。またその氷は、風穴から吹き出す冷風によって8月頃まで保存される。著者らは、このユニークな雪氷現象に着目し、風穴による冷熱源を現代の生活に生かすための研究を行っている。本研究は、風穴から吹き出す、あるいは吸い込む風の強さを、データロガー付きの風速計を用いて連続測定し、氷の保存に寄与する風穴の冷風循環のしくみを明らかにすることを目的としている。

2. 研究対象地

2012年度に引き続き、群馬県西部の草津町にある氷谷風穴を主対象とした。氷谷は、南北を溶岩斜面で挟まれ、東西方向に直線的にのびた形状の谷である。風穴の標高は1,300mで、この谷の西端、東向き斜面の最下部に風穴が位置している。

3. 調査方法

2012年度は、データロガー機能付きの熱線風速計を用いて観測を試みたが、風穴内の低温・高湿環境によって機器に異常が出ることが度々あった。また、熱線風速計では、ある一定方向の風速しか測定することができなかった。そこで、本研究では新たに超音波式風速計を使用し、風速と同時に風向きの変化についても観測を行った。

4. 調査結果

4.1 集中観測 (2013. 07. 14~15)

通常、気温が上がる日中に現地調査を行って、風向きの判定をしていたが、風穴の冷風循環は、外気温との温度差が大きく関与している可能性が高く (永井ら, 2013)、気温が下がる夜間や早朝には風向きが変わっているのではないかと推測した。そこで集中観測を行って、夜間・早朝の風向きや風速を調べた。14日の夜は、天候が悪く入山することが出来なかった。翌朝7時に入山し、観測を行ったところ、風穴からは0.5m/s程度の冷風が吹き出しており、風向きの変化は認められなかった。

4.2 超音波式風速計による観測 (2013. 10. 13~)

屋内用の超音波式風速計に、12Vのカーバッテリーを接続し、冷風穴にて連続観測を試みた。その結果を図1に示す。この観測期間では、日中は冷風を吹き出しているが、気温が下がる夜間や朝の時間帯には風向きが変わって、外気を吸い込んでいた。しかしながら、14日の夜間は、1度「吸込み」に替わりかけた風向きが「吹出し」に戻り、再度15日の早朝に「吸込み」に替わった後、日中に「吹出し」に替わった。この時、冷風穴付近の外気温も、風速や風向きの変化に対応して変動していた。このことから、温風穴だけでなく冷風穴においても、冷風の吹出しは外気温に大きく依存するということが明らかになった。

また10月16日は、終日風向きが入れ替わっていた。近傍のAMeDAS草津の気象観測値を確認したところ、16日のみ、平均風速3.8m/sの比較的強い風が観測されていた。一方でその他の日では、平均風速はどの日も1.2m/s以下であり、外気の影響が弱いため、冷風を吹き出すことが出来た。

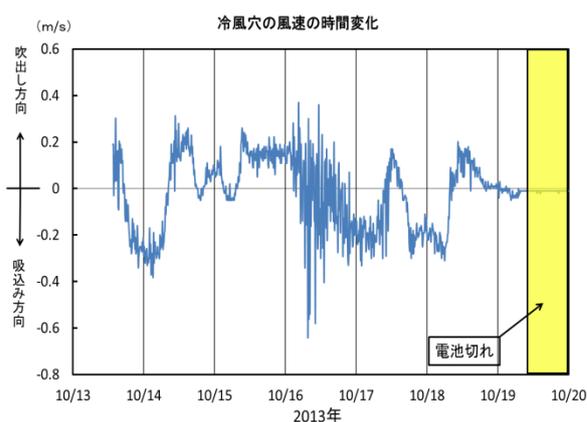


図1. 超音波式風速計による観測 (2013年10月)

5. まとめ

本研究によって、冷風穴では、『冬型』の期間において、日中と夜間・早朝では風向きが変わり得ること、そして外気温の変動が大きく影響していることが明らかになった。今後は、『夏型』の期間においても同様に調査を行う必要がある。

フィンランド 積雪縦断観測－2

佐藤篤司 (防災科研・雪氷)、對馬あかね (北大 環境科学院)、
大宮哲 (北大 低温研)、的場澄人 (北大 低温研)

1. はじめに

GRENE 北極気候変動研究事業の一環として、フィンランド北部の北極圏より国道 (E75) を南下しながら積雪の量と質の変動を調べ、緯度や気候による積雪の物理的・化学的性質を明らかにして、積雪と気候との相互作用の解明を目的として実施した。昨年度に引き続き、解析結果を報告する。

2. 観測ルート

図1に示したように最北 (Utsujoki) の北緯 69 度 45 分から観測路線に沿ってヘルシンキ (北緯 60 度 12 分) まで南下し、100~200 km 間隔で 17 の観測点で積雪調査を行った。積雪試料のサンプリングは、積雪表面をサンプリングし、水の安定同位体比、海塩濃度の測定を行った。また、ルート上の標高は最高がイヴァロの南の丘で 300 m 余り、低いのは Kemi, Oulu の



図1 フィンランド積雪縦断面地図

リングし、水の安定同位体比、海塩濃度の測定を行った。また、ルート上の標高は最高がイヴァロの南の丘で 300 m 余り、低いのは Kemi, Oulu の海岸で 6 m である。

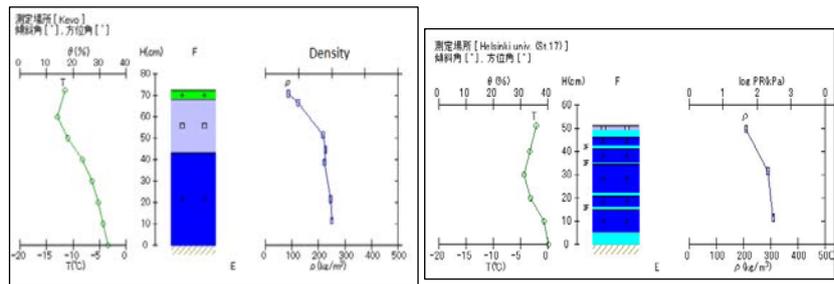


図2 Kevo (左)、ヘルシンキ (右) における積雪断面図

3. 積雪断面観測結果

断面観測結果の例を示す。氷板の数は標高の高いほど、緯度が高いほど少なくなる傾向が見られた。水の安定同位体比の分析を行い、d 値は St4 より北側は高く、南側は低い傾向を持つこと、天水線が下記の結果となり、当地域は高緯度のわりに同位体分別を強く受けていることが示唆される。

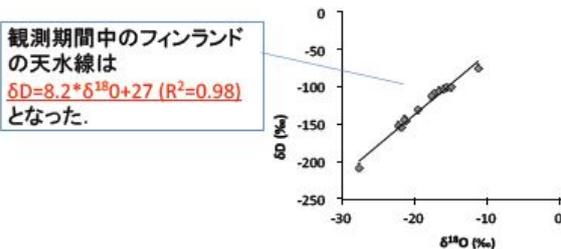


図4 $\delta^{18}\text{O}$ - δD ダイアグラム

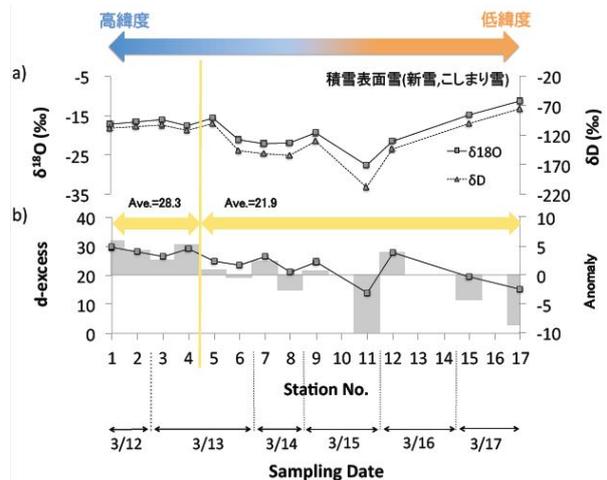


図3 a) 積雪表面雪の水安定同位体比のプロファイル ($\delta^{18}\text{O}$ が黒の実線、 δD が黒の点線)
b) d-excess (黒の実線) と d-excess の偏差 (灰色の棒グラフ)

十日町における冬期降水量と融雪期アルベドの関係

竹内由香里（森林総合研究所十日町試験地）

はじめに 積雪地域では一般に、融雪末期になると雪面が汚れ、黒ずんで見えるようになる。十日町では融雪期の雪面の汚れは多雪年に目立ち、少雪年は汚れが少ないためか消える直前まで雪が白く見えるが、これまでそのような視点でアルベドを調べたことはなかった。雪面のアルベドは地表面の中で特に高いので、地球の気候に影響を及ぼす要素として重視されてきた。雪面のアルベドの低下は、地球温暖化を加速することが予測されるので、近年、積雪に含まれる不純物が雪面アルベドを低下させる効果が着目されるようになり、その効果の解明を目指した観測やモデル化が進められている（青木, 2008）。そこで十日町においても積雪内の不純物が融雪期のアルベドを低下させていると考えて過去のデータを解析し、融雪期のアルベドと積雪量（冬期降水量）との関係を調べてみた。

方法 解析には、新潟県十日町市にある森林総研十日町試験地の露場において測定した 2002～2013 年の 12 冬期の日射、反射、降水量、積雪深などの気象データ（1 時間値）を使用した。アルベドは反射量（11～12 時の平均値）を日射量（同）で除して求めた。

結果と考察 融雪期の積雪深とアルベドの変化の一例として多雪年の 2006 年の結果を図 1 に示した。積雪が 200 cm 以上のときのアルベドは 0.7～0.8 であったが、融雪が進み積雪深が減少するにつれてアルベドも徐々に低下し、積雪深が 50 cm 未満になるとアルベドは急激に低下した。融雪期には雪面付近が粒径の大きなざらめ雪になることに加えて、積雪内に含まれていた不純物が雪面に現れるために、アルベドが低下したと考えられる。他の年についても融雪期のアルベドは積雪深の減少に伴って低下したが、積雪深が同程度であっても年によりアルベドには大きな開きがあることがわかった。例えば融雪期に積雪深が 40～60 cm になったときのアルベド平均値は、12 年間の最大、最小がそれぞれ 0.89, 0.40 であった。図 2 に積雪深 40～60 cm のときのアルベド平均値と冬期の最大積雪水量の経年変化を示したが、アルベドは多雪年に低く、少雪年に高い傾向がみられた。多雪年は、降雪に付着して積雪内に取り込まれる不純物が多くなることと積雪期間が長いことにより積もった後に取り込まれる不純物も多くなることから、融雪期のアルベドが低くなる主な要因と考えられる。また、十日町を含む新潟県上中越地方では冬期の気温と降水量に高い負の相関があり、多雪年は冬型の気圧配置で強い北西風の下、大雪が降る頻度が高い（Takeuchi *et al.*, 2008）。このような降雪機構の特性も雪に含まれる不純物の量に関係があるかもしれない。

参考文献

- 1) 青木輝夫・田中泰宙, 2008, 天気, 538-547.
- 2) Takeuchi, Y., Y. Endo, and S. Murakami., 2008, *Annls of Glaciology*, 49, 7-10.

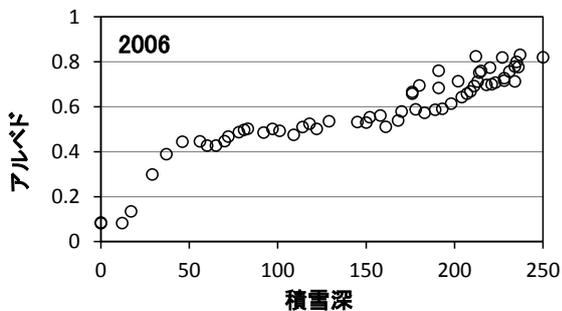


図 1 2006 年融雪期の積雪深とアルベドの変化。

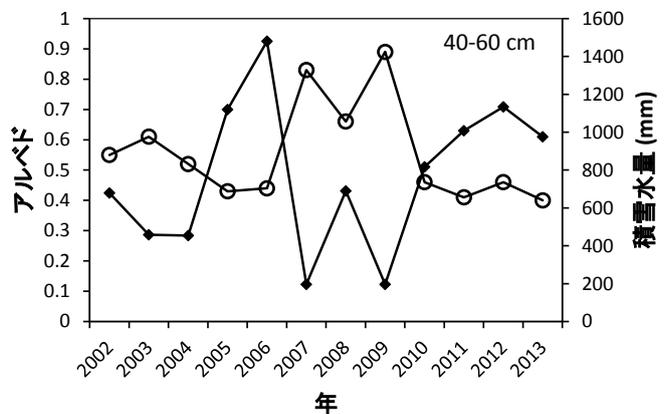


図 2 融雪期（積雪深 40～60 cm のとき）のアルベド平均値○と冬期の最大積雪水量◆の経年変化。

南米チリパタゴニアの落葉樹林が融雪プロセスに及ぼす影響

○松元 高峰(新潟大学災害・復興科学研究所／パタゴニア生態系研究センター)・
河島 克久・伊豫部 勉(新潟大学災害・復興科学研究所)

1. はじめに

雪の堆積・消耗プロセスに及ぼす森林の影響については、これまでに数多くの観測研究が行なわれてきたが、しかし南半球での研究事例は全くない。南米大陸では、チリ・アルゼンチン南部のアンデス山脈に、冬季には積雪に覆われる森林が分布している。そのうちチリの中部パタゴニアにおいては、極めて湿潤な沿岸域に常緑のナンキョクブナが温帯雨林を形成し、内陸側に入ると落葉性のナンキョクブナ林が広く分布する。本研究はチリパタゴニアにおける森林水文過程を理解するためのステップのひとつとして、落葉性ナンキョクブナ (*lenga*: *Nothofagus pumilio*) 林内と、その近くの開地とにおいて融雪期に気象観測を行ない、それぞれの気象要素と熱フラックスとを比較することで、*lenga* 林が融雪プロセスに及ぼす影響を評価することを目的とする。

2. 研究地域・方法

2012年9月中旬～10月中旬の融雪期後半に、チリ南部アイセン州Coyhaique市の南55 kmに位置する峠、Portezuelo Ibáñez (46° 04' S, 72° 02' S, 1110 m a.s.l.)において気象・積雪観測を実施した。この付近では谷底から山腹斜面にかけて*lenga*林が分布するが、森林限界に近い峠には疎林・開地になっている所がみられる。観測は*lenga*林内(立木密度:1875本 ha⁻¹, 平均胸高直径:19 cm, 平均樹高:11.6 m, PAI:1.4)と、約250 m離れた開地とで行ない、気温・湿度・放射4成分・風向風速(2地点)、降水量・積雪深(開地のみ)を10分ごとに計測・記録した。また雪面低下量・蒸発量の現場観測も期間中に5回以上実施した。

熱収支各項のうち乱流フラックスについては、林内でもモニン・オブコフの相似則が成り立つと仮定してバルク法を用いて算出した。バルク係数は蒸発量実測値と気象条件との関係から求めた。なお、林内積雪のアルベドを正確に測定することが困難であったため、本研究では林内と開地のアルベドは同じと仮定する。

3. 結果

2014年9月中旬における開地の積雪深は約70 cmであり、10月中旬に消雪した。この期間中、開地の気温は-5～10°Cで推移し、林内における気温と湿度は開地とほぼ変わらなかった。一方で、林内の全天日射量と風速は、それぞれ開地の34%と32%の値を示した。下向き長波放射量は天気によって関係は異なるものの、常に林内で大きい値を示した。これら微気象条件の違いの結果として、林内における正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックスの値は、それぞれ開地の43%、54%、58%となった。両地点のアルベドと雨による熱量が等しいと仮定した場合、林内の融雪熱量は、晴天日には開地の52%、曇・雨天日には41%となり、観測期間平均では開地の47%であった(開地:57.8 W m⁻², 林内:27.2 W m⁻²)。正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックスそれぞれの融雪熱量に対する期間平均の比は、開地で69%、50%、-18%であり、林内では74%、54%、-28%であった。

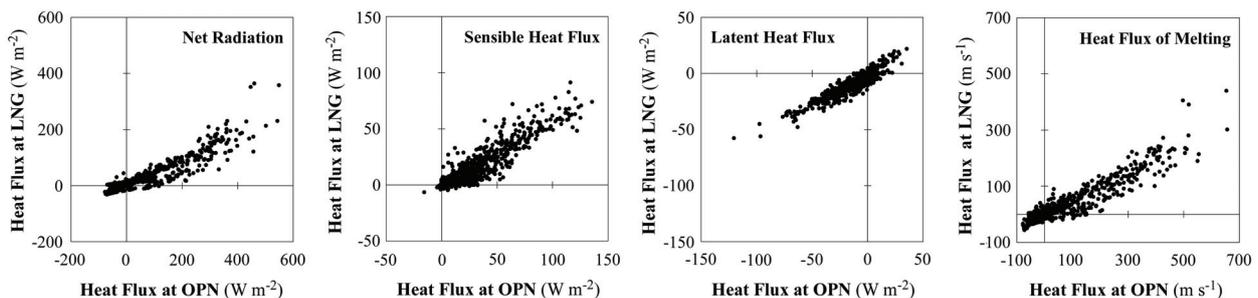


図1 開地(OPN)と林内(LNG)とにおける正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックス、融雪熱量の関係

消雪パイプを用いる打ち水効果のシミュレーション
 ~その2 保水ブロックの温度上昇抑制効果と数値モデル~

○鹿嶋功貴, 津田墨文(長岡技科大院), 上村靖司(長岡技科大)

1. はじめに

アスファルト路面に散水したときの温度上昇の抑制効果をシミュレートする路面熱収支を組み込んだ一次元非定常熱伝導差分モデルを作り, 計算結果を実験データと比較してその妥当性を示した¹⁾. 本報告では, 数値モデルを改良して, 保水ブロックに適用できるモデルを作成した. 打ち水実験による水量の変化, 路面・路体の温度の測定結果と計算結果の比較により妥当性を検証した結果を報告する.

2. 野外実験

2012年の8月5日から10日までの期間, 長岡技術科学大学の構内で行った野外実験では, 60分毎に1.0ℓ/m²散水して, ブロックの表面と内部の温度変化を測定した. 結果を図1, 図2に示す.

図より, アスファルトブロックの表面温度は最高50℃まで上昇しているのに対して, 保水ブロックは43℃以下に抑制された. これは, 保水ブロック内部に蓄えられた水分が蒸発したことによる.

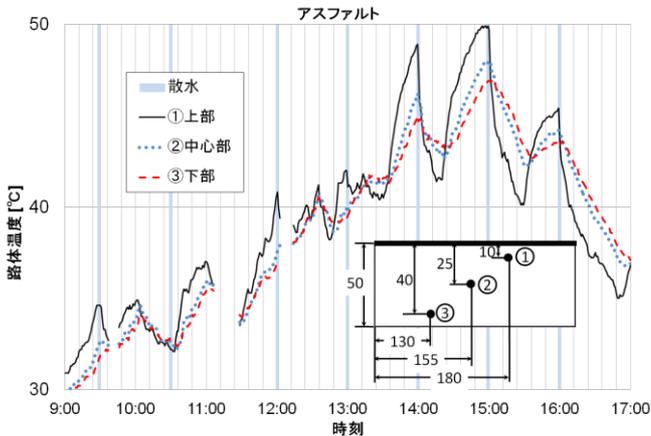


図1 アスファルトブロックの野外実験の結果

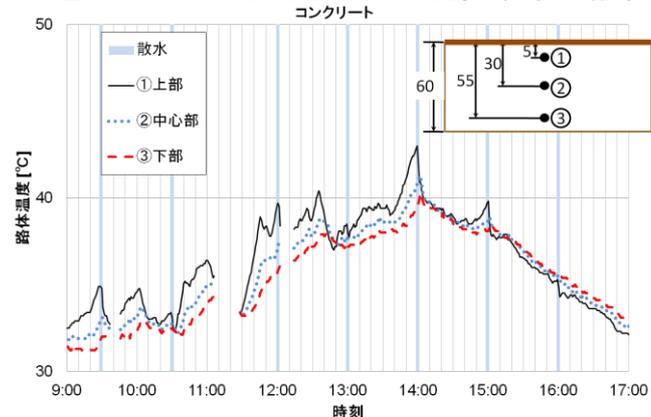


図2 保水ブロックの野外実験の結果

3. 解析モデル

路面上に撒かれた水の蒸発シミュレーションを行うには, その地点の様々な気象条件等による物質と熱の収支を考慮する必要がある. 熱収支の各項の中で蒸発による潜熱輸送量 Q_E は次の式で計算される.

$$Q_E = \beta E \cdot L$$

ここで, E は蒸発量, L は蒸発潜熱, β は水の蒸発効率で, アスファルトのときは $\beta = 1 - e^{-\alpha z}$ とモデル化し, 水膜の厚さに依存して指数関数的に蒸発が進むと仮定した.

保水ブロックの場合の蒸発効率 β' は, 表面の湿潤状態に依存していると仮定し, 表面全体が湿っている場合を β'_{max} , 完全に乾燥している場合を 0 とし, その間は湿潤面積で線形補間した. β'_{max} は計算結果と観測結果が一致するよう試行錯誤により 0.5 とした.

4. 解析結果

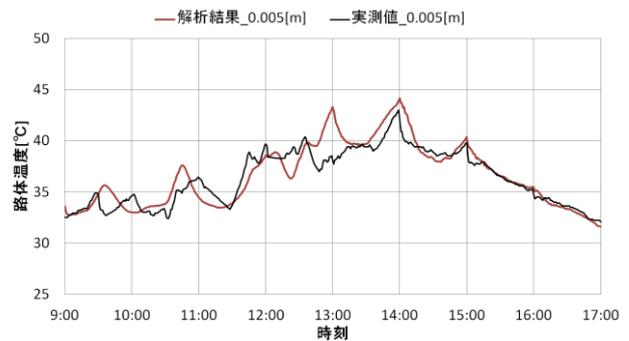


図3 実測値と解析結果の比較

次にモデルを用いて, 効率的な散水量と散水間隔について検討した. 条件は, 散水をしない場合, 野外実験と同じ散水量, 散水間隔で散水した場合, 散水量を1.5倍にした場合, 散水間隔を半分にした場合にした.

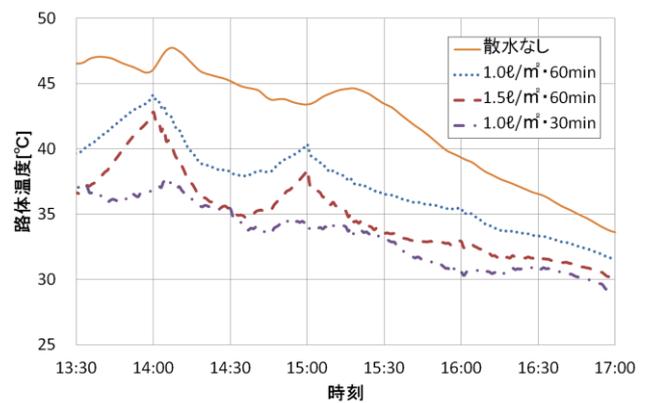


図4 シミュレーションによる路体温度変化

図4に示すように, 散水量を1.5倍にしても, 次の散水の前に路体表面が乾燥し, 保水された水の蒸発が進まず路体温度は上昇した. 一方, 30分毎の散水を行うと, 路体温度を38℃以下に維持できることがわかった. これはアスファルトの場合の好ましい散水条件と同じである.

5. 参考文献

1) 鹿嶋功貴 他: 消雪パイプを用いる打ち水効果のシミュレーション, 雪氷研究発表大会 (2013・長岡) 講演要旨集, p.290

消雪パイプ排水の熱利用について

藤野 文志((株)興和), 上村靖司 (長岡技術科学大学)

1 はじめに

消雪パイプは、冬季道路交通確保の点で雪国に広く普及している施設である。その水源は主に地下水が利用されているが、過剰な地下水利用は、地下水位低下障害や地盤沈下の原因となりうるため、節水散水する技術の開発と普及が進んできた。しかしながら、節水散水に努めた場合でも、地下水が路面上に均一に広がらずに流れると、十分に融雪が行えず、消雪パイプ排水には雪を融かせるだけの熱が残る。この消雪パイプ排水が持つ余剰熱を利用することができれば、限りある地下水の更なる有効利用につながる。そこで、排水余剰熱の量について、長岡におけるモデルケースから試算し、融雪等への熱利用の可能性を探った。

2 設計散水量と余剰散水

消雪パイプの設計散水量は、気象条件から熱的に求められる気象基準の散水量と、ノズルからの散水で道路に消雪水を広げるためのノズル基準の散水量を比較し、多い散水量を採用する¹⁾。気象基準の散水の場合は熱を使い切ってから排水されるが、ノズル基準の散水の場合は、高い水温で排水される状況が生ずる。図-1に長岡の気象条件における、道路幅員ごとに算出した気象基準とノズル基準の散水量の計算例を示す。幅員が5mを下回る狭い道路では、気象基準の散水量をノズル基準の散水量が上回るため、熱的には余剰散水が生ずることとなる。

3 気象条件による余剰散水

消雪パイプの気象基準の散水量は、平均日降雪深から設定される時間降雪深と、日最低気温の月平均値及び月平均風速により設定される。この設定値は、通常の降雪時において十分な消雪ができるものであるため、気温が高いときや弱い降雪のときは余剰散水が発生する。道路幅員4m、延長300mの道路に設置された消雪パイプを想定し、アメダス長岡の2004~2013年の10シーズンの気象データから、1時間毎の気象基準の散水量を求め、設計の散水量との差を余剰散水とし、その発生量を算出した。旬ごとの散水量と余剰散水量を図-1に示す。降雪量が多く気温も低くなる1月中旬~2月中旬でも余剰散水は発生しており、散水量に対

する余剰散水の比率は40%前後と求められた。消雪水の熱収支モデルを立て、排水される水温と排水量を求め、すべてを融雪に使えたとした場合の融雪可能量を道路幅員ごとに求めた結果を図-2に示す。道路幅員が5m以下の消雪パイプでは、道路融雪量の10%以上、100t前後の雪を排水により融雪可能と試算された。

4 消雪パイプ排水利用について

狭い道路の消雪パイプ排水ほど、融雪に使える熱が多く残るが、排水側溝への投雪という形で、排水余剰熱の融雪利用は昔からおこなわれている。汲み上げた地下水を無駄なく最後まで使い切る知恵であるが、節水散水が行われる消雪パイプではあまり使うことができない。節水散水の場合の余剰排水量を評価しつつ、バランスよく融雪と地下水節水を行えるような消雪パイプの使い方や、少ない排熱を上手く回収して利用する方法を提案していきたい。

1) 散水消雪施設設計施工マニュアル編集委員会 (2008) : 散水消雪施設設計・維持管理マニュアル, p. 7-22

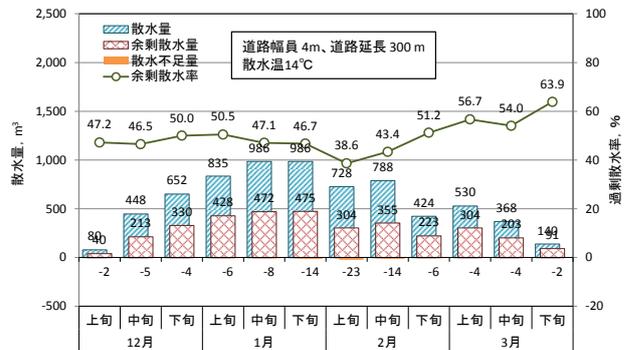


図-1 変動する気象条件に起因する余剰散水

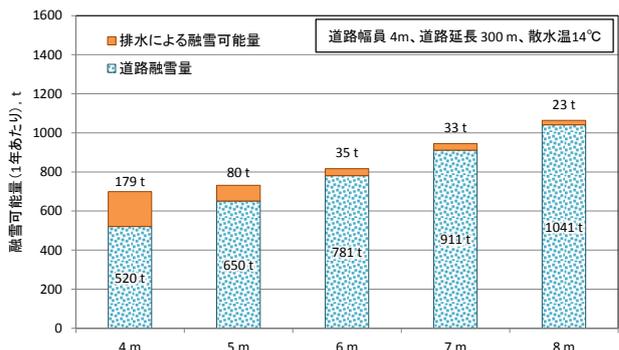


図-2 消雪パイプ排水による融雪可能量

シイタケ栽培ハウスにおける雪山冷房システムの経済効果

小杉用高, ○今泉直人, 全潤樹 (長岡技科大院), 上村靖司 (長岡技科大)

1. はじめに

新潟県魚沼市の雪山冷房システムを導入したシイタケ栽培ハウスについて, 2013年7月から9月にかけて温湿度や使用電流などの各種データを測定し, 冷房効果の調査を行った結果を昨年報告した¹⁾.

本報告では消費電力の測定データやコストに関するヒアリング結果をもとに, 経済性に関する評価と雪山の融解シミュレーションを行った結果を報告する.

2. 施設概要

雪山の雪解け水をポンプを用いてハウス内の熱交換ファンまで送り, 循環させることによって冷熱エネルギーを取り出し冷房している. 雪山は5月の時点で約900 tあり, その表面は約20 cmの厚さのもみ殻と飛散防止シートで覆われている.

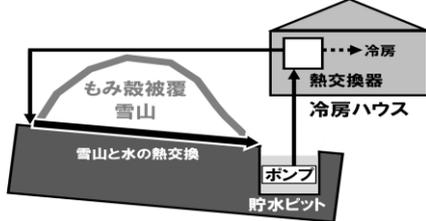


図1 雪山冷房システムの原理

表に示すとおり, 既存の空気熱源 HP の年間費用 24 万円に対して, 雪山冷房システムは 18.5 万円と空気熱源 HP の 77% の費用で稼働できることがわかった.

その理由は断熱材に農業廃材であるもみ殻を利用し, 工事全般を内製で行ったこと, 農地に水勾配をつけるだけで土木工事を行っていないこと, などによる. ランニングコストは, 雪利用により熱源コストが不要となり, 雪山築造費を入れても半額ほどとなった.

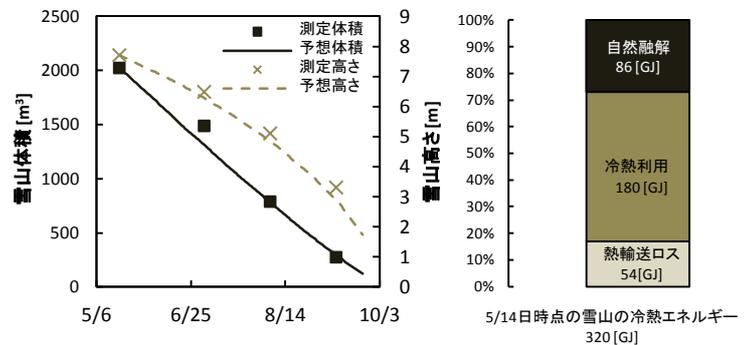


図2 シミュレーション結果

図3 雪山融解原因内訳

3. 経済性の評価

既存冷凍機と雪山冷房システムの経済性比較を行った. 結果を表1に示す. 電気料金は東北電力の低圧電力の料金, 減価償却費算出に必要な耐用年数は総務省の省令をそれぞれ参考にした.

表1 年間費用(千円/年)

	空気熱源 ヒートポンプ		地下水熱源 ヒートポンプ		雪山冷房 システム	
	冷凍機本体 (10馬力級)	73	冷凍機本体 (11馬力級)	287		
減価償却費	農業用ファン				24	
	ラジエーター				43	
	配管資材				7	
	もみ殻飛散防止シート				33	
	ポンプ施設			6		
	工事代金	27	工事代金	0(不明)	工事代金	0
	計	100	計	287	計	113
ランニングコスト	電気基本料	37	電気基本料	31	電気基本料	6
	電気使用料	103	電気使用料	92	電気使用料	43
					雪山築造費	23
	計	140	計	123	計	72
	合計	240	合計	410	合計	185

4. 雪山融解シミュレーション

Degree-day 法をベースとした雪山の融解シミュレーション²⁾を行った結果(図2), 良い精度で体積, 高さともに予想できることが示された. このシミュレーション結果から求めた雪山の融解要因内訳は, 熱輸送ロスが17%, 自然融解が27%であり, 冷熱利用が56%であることがわかった.

5. まとめ

もみ殻被覆した雪山を使った温室用雪山冷房システムについて, 空気熱源ヒートポンプとの年間費用を比較したところ, 2割以上のコスト低減が実現できることが明らかになった. これらの結果から雪山冷房システムは既存の冷房機器よりも消費エネルギーで安価な冷房を行えることが判明した.

参考文献

- 1) 小杉用高 他: シイタケ栽培ハウスにおける雪山冷房システムの冷房効果の調査, 雪氷研究大会(2013・北見)講演要旨集, p 291
- 2) 上村靖司・庄山武志・星野真吾: 貯雪用断熱被覆材としての籾殻の伝熱過程, 第1報: 露天雪保存実験および物性測定, 雪, No70(2008-1), p15~21

*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系

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology.
Dept. of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology.

雪下ろし安全の飛躍的向上を目指して

○上村靖司(長岡技科大) 諸橋和行((公社)中越防災安全推進機構) 木村浩和((株)興和)

1. はじめに

屋根やハシゴといった高所からの転落事故が人身雪害の4分の3を占めることから、命綱の普及に取り組んできた。普及の壁となっている①購入・入手に関わる課題は大手ホームセンターでの屋根雪下ろし用安全帯の販売開始(2013年版5980円, 2014年改良版6980円)で概ね解決され、②アンカーがないという課題については昨年報告した通り¹⁾工務店の協力を得て試験的に2棟に設置し試験できた。さらに③未経験であることに起因する課題については中級者向けの講習会を続けてきた。

今冬は、②の課題に対して多様な屋根構造に応じたアンカー工法の検討・施工・試験と、③の課題に対してはチームでの除雪作業の段取りと安全確保ができる上級者(除雪リーダー)講習の成熟化をはかったので、その取組を紹介する。

2. 雪下ろし安全研究会

NPO中越防災フロンティアによる呼びかけで、2013年10月に「雪下ろし安全研究会」を発足させた。魚沼市建築組合、行政、NPO関係者、住民代表、著者らで構成された。「雪下ろし事故ゼロモデル地区」として長岡市川口木沢地区を設定し、アンカー工法の検討、安全帯とその使い方の講習、実地試験などを実施した(表1)。

表1 雪下ろし安全研究会の実施状況

回	実施日	参加者	備考
第一回	H25.10.1	14	顔合わせ, 趣旨・方針共有
第二回	H25.12.2	9	アンカー設置に関わる検討
第三回	H26.1.19	15	実地試験および意見交換会
実地試験	H26.2.10	14	越後雪かき道場(上級)
第四回	H26.3.24	14	成果共有と今後の方針

3. アンカー工事と実地試験

今冬を前に2013年12月に新たに3棟にアンカーを設置した。第1は足場用の鋼管(φ48.6)を切妻屋根の棟の両側に設置、第2は一列のガス管SGP25(φ34)を30cmほど専用金具で立ち上げて設置、第3は溝形鋼でつくった専用金具を屋根両妻側の妻梁に固定しワイヤを渡したものである。図1に足場用鋼管を、図2ワイヤアンカーを、それぞれ設置状況と冬の雪下ろし作業の様子を示す。

4. 上級者(除雪リーダー)講習

更なる高齢化進展によって要援護者が急増することを想定すると、除雪救援の体制づくりの上でチームの安全管理と除雪の段取りのできる人材を増やすことが重要で

あるとの認識²⁾から、上級者(除雪リーダー)養成研修を昨年からは始めている。今冬はさらに以下のようにプログラムの成熟を図った。

- (1) 上級者向け座学
- (2) 安全帯装着・ロープワーク訓練
- (3) 現場確認と作戦会議【新規】
- (4) 安全確保しながら除雪作業の実施
- (5) クロスロード(防災ゲーム)【新規】
- (6) 筆記試験・採点, 修了式

ここで、(1)~(3)は第1日目午後、(4)は第2日の午前、(5)は第2日の午後実施した。詳細は当日紹介するが、参加者のアンケート・感想も含め、概ねプログラムとしては完成されたものと考えている。



図1 足場用鋼管をつかったアンカー施工と除雪作業



図2 ワイヤをつかったアンカー施工と除雪作業

5. おわりに

研究会の働きかけを受け、魚沼市では10数万円かかるアンカー設置工事に対して5万円を上限に2分の1を補助する制度が始まった。アンカー設置済みが一目で分かるステッカーも作り、本格普及に向けて準備が整ったと考えている。今後も継続して普及に努めたい。なお、この事業は国土交通省「雪処理の担い手の確保・育成のための克雪体制支援調査」の支援を受けて実施されたことを記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 上村他2名, 雪下ろし安全のための安全帯の企画と実屋根へのアンカー設置, 雪氷北信越33号, p58, 2013.
- 2) 上村他2名, 「ボランティアを屋根に上げてよいか」問題の解決に向けて, 雪氷研究大会(2013・北見)講演予稿集, p120, 2013.

県別・市町村別の人身雪害リスクの比較

高田和輝*1・○関健太*1・上村靖司*2

1. はじめに

近年日本各地で度重なる豪雪が発生し、それに伴い人身雪害も多発している。上村は新潟県の2001年までの人身雪害についてリスク分析をしたが、その後もリスクは増加し続けていることがわかっている¹⁾。

本報告では、すでに報告した新潟県と山形県³⁾に加え、秋田、青森について近年(2005-2011年度)の人身雪害のリスク分析を行い比較した結果を報告する。

2. 分析

上記4県の人身雪害分析に用いたデータは

- (1)新潟県防災局危機対策課：雪害被害者一覧
- (2)山形県企画振興部市町村課：人的被害一覧
- (3)青森県総務部防災消防課：雪害被害者一覧
- (4)秋田県総務部総合防災課：人的被害一覧
- (5)気象庁アメダス：降雪データ
- (6)厚生労働省：全労働災害データ

である。資料(1)(2)(3)(4)には発生月、市町村、被害者の年齢、被害程度・原因が記述されている。また調査期間は2005-2011年度とした。評価指標には社会的リスク R_f (死傷者数 N または死者数 n_f)をその発生期間 T で除した値)と個人的リスク r_f (社会的リスク R_f)を対象の母集団人口 P で除した値)を用いた。

3. 結果

図1は2005-2011年度における累計降雪深 TF (県内AMeDAS観測点の平均)と被害者数の年次推移である。

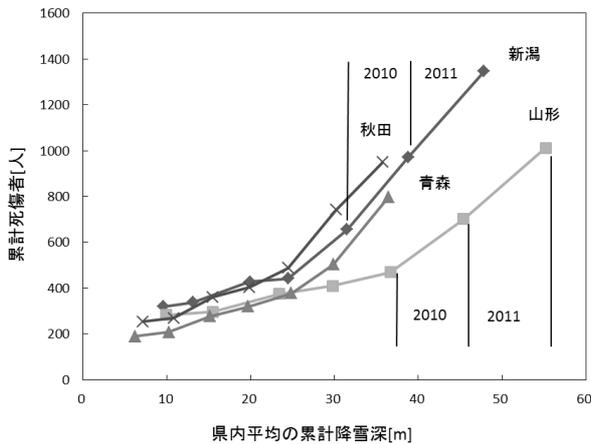


図1 累計降雪深と累計死傷者数の年次推移

4県とも2010年度と2011年度は降雪も多いが、降雪あたりの被害数(図中の線の傾き)も大きいことがわかる。新潟と山形の降雪量は、青森と秋田と比べ10m以上多い。しかし、被害数でみると山形県は降雪深が約0.6倍の青森県、秋田県と大差ない。一方で、新潟は山形県の約1.3倍の被害数である。

図2は市町村別で、個人的リスク n_f (図中の線の傾き)

が高い順に並べてプロットしたものである。

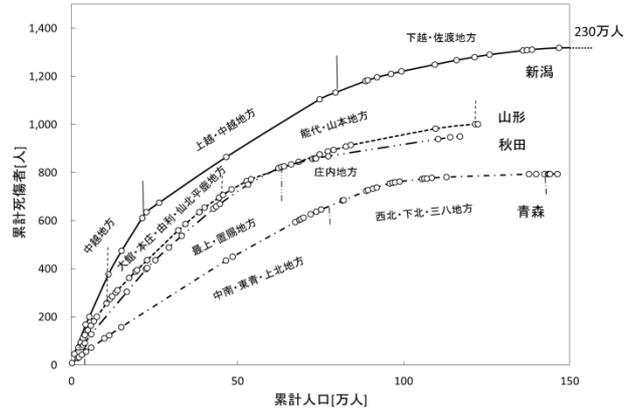


図2 4県における累計人口と累計死傷者数

県全体のリスク(各曲線の右端の点)では、青森県は4県の中で最もリスクが低い。曲線全体でみると秋田県と山形県は同じ傾向である。高いリスクにさらされる市町村(曲線の傾きの大きい範囲)を見ると、新潟県には特にリスクの高い市町村がいくつかあることがわかる。

4. まとめ

4県について、人身雪害の年次推移をみることで近年の被害数が増加傾向であることが確認できた。青森県ではリスクが存在する市町村の人口は少ないため、全県的にリスクが少ない。秋田県と山形県は極端にリスクの大きい地域は少ないが、全県的にリスクは存在する。新潟県は極端にリスクが大きい地域が存在する。

謝辞

本研究は新潟大学災害・復興科学研究所との共同研究課題として実施された。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 上村靖司：新潟県における人身雪害のリスク分析，日本雪氷学会誌 雪氷(2003)，Vol.65，No.2，135-144
- 2) 上村靖司：縮小時代の雪対策について，ゆき(2012) No.89，36-39
- 3) 高田和輝他：新潟県と山形県における市町村ごとの人身雪害リスクの比較，雪氷研究大会(2013・北見)講演要旨集，p289

*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系

Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology
Dept. of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology.

エアロゾルからの雲粒・氷晶発生を扱う詳細雲微物理ボックスモデルの開発

○山下克也(防災科研・雪氷)・田尻拓也(気象研)・村上正隆(気象研)・橋本明弘(気象研)

1. はじめに

エアロゾル粒子の物理化学特性と雲核・氷晶核能との関連性及び雲生成過程への関与を的確かつ定量的に表現することは、メソ数値予報モデルや数値気候モデルの精度向上にとって重要な課題である。予報精度向上のためには、エアロゾル(雲核・氷晶核)・雲・降水を統一的に扱うモデル用の新しいパラメタリゼーションの開発が必要である。我々はパラメタリゼーション開発の一環として、詳細に雲微物理プロセスを表現できる多次元ビン法雲微物理モデルの開発を行っている。本稿では、モデル概要と初歩的な計算結果を紹介する。

2. 多次元ビン法雲微物理モデル

開発中のモデルである多次元ビン法雲微物理モデルは、氷晶の形状及び密度の多様性を表現できることから、氷晶成長に関してより簡易なモデルに対する基準参照モデルとしての活用を想定したモデルである。しかしながら、これまでのモデルでは、水溶性エアロゾルの雲核情報しか反映されないモデルであった。そこで、広範な雲核と氷晶核の情報を反映できるように改良を行った。改良では、雲核の雲粒活性化を扱う部分にはカップケーキ理論、不均質凍結による氷晶生成を扱う部分には古典(キャップ)理論を採用した。これらの理論を用いる利点は、理論で用いられるパラメーターが室内実験や野外観測から導出できる点である。これらの情報を用いることで、より実大気の状態に近い条件でエアロゾルの情報を反映したシミュレーションが可能となる。

3. モデルと試験的な計算結果

図1は、改良したモデルを用いて行った断熱上昇シミュレーションにより得られた鉛直分布である。ダスト粒子を雲核・氷晶核と仮定しており、雲核・氷晶核パラメーターは室内実験から導出したものを使用している。水に対する相対湿度が100%を超えたところで雲粒と氷晶が発生していることがわかる。その後、雲粒や氷晶により水蒸気が奪われるので相対湿度が減少し、水に対する相対湿度が100%より低くなると雲粒のみが蒸発していることがわかる。一方、氷に対する相対湿度は100%より高いので、氷晶は蒸発することなくほぼ一定の値を保っている。この結果は雲微物理プロセスを適切に表現していることを示しており、モデルの改良が適切に行われたことを示唆している。発表では、モデルと雲生成チャンバー実験により得られた断熱膨張シミュレーションの比較結果も報告する予定である。

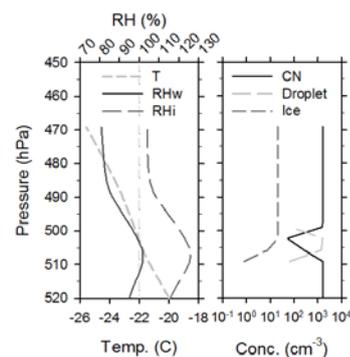


図1 断熱上昇モデルシミュレーションから得られた温度(T)、相対湿度(RHw, RHi)、凝結核濃度(CN)、雲粒濃度(Droplet)、氷晶濃度(Ice)の鉛直分布。低温科学第72巻83ページより転載。

2冬季の降雪粒子観測に基づくレーダーZe-Rの検討

○¹中井専人・¹本吉弘岐・²熊倉俊郎・¹石坂雅昭・³村上茂樹・¹横山宏太郎

(1:防災科研雪氷, 2:長岡技大, 3:森林総研十日町)

1. はじめに

固体降水では降水粒子の形状が極めて多様なため、レーダー等価反射強度因子(equivalent radar reflectivity factor, Ze)と降水強度(R)との関係が大きく変化する。そのためレーダー観測に基づく定量的降水推定(quantitative precipitation estimation: QPE)が容易ではない。そこで、レーダーZe、降水強度、降雪粒子の同時観測を行い、降雪粒子特性によって変化する可変Ze-R式を検討した。

2. 研究方法

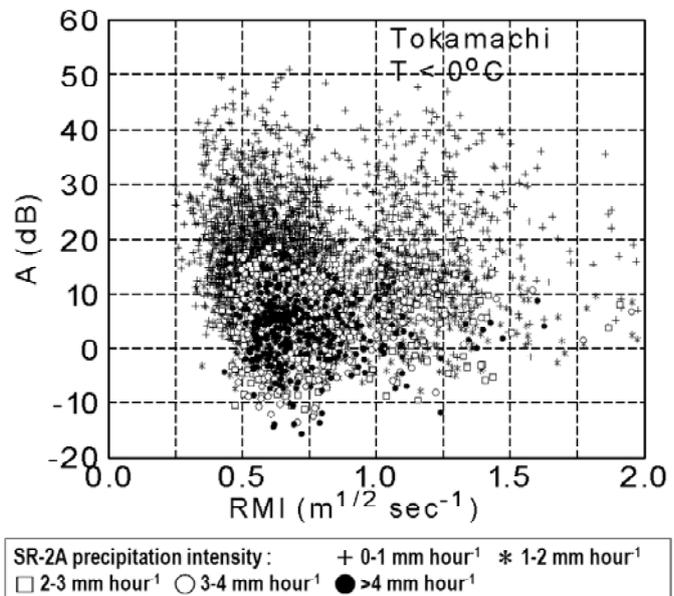
Ze-R関係は通常 $Ze=BR^\beta$ (B, β は定数)で表され、観測による実験式が多くある。既存研究によると、式による差異は粒径分布の切片、落下速度、dryかwet(濡れ雪とrimingした雪片の両方を含む)かによって影響され、雪片については $\beta=1.67$ が適切であると指摘されている。これに従い $Ze=BR^{1.67}$ としてレーダーと同時観測した降雪粒子の特性からBを算出し、レーダー降水量分布の推定を行った。解析時間単位は10分である。

Rは、森林総合研究所十日町試験地(新潟県十日町市)露場に設置した風除けやぐら付き降雪粒子観測点SPOS (Snow Particle Observation Station)の田村式降雪降雨強度計の観測値を使用した。Zeは雪氷防災研究センター(新潟県長岡市)設置の偏波ドップラーレーダーX-POLの仰角1.9度PPIから観測点付近の値を使用した。降水粒子については、SPOSのPARSIVEL(OTT Hydromet GmbH製)観測値を使用し、Ishizaka et al. (2013, J. Meteorol. Soc. Japan, 91, 747-762)のアルゴリズムによるcenter of mass flux distribution (CMF; 粒径 D_{fc} , 落下速度 V_{fc} の等価降水粒子)を求め、雲粒付着度の指標としてriming and melting index (RMI)を $RMI = V_{fc} / D_{fc}^{0.5}$ で定義した。

3. 結果

雪片について、RMIが大きくなるほど $A(=10\log_{10}B)$ が小さくなる傾向が見られ、これは既存研究と整合的である(第1図)。この結果は前回の短時間での解析結果と同様で、気温が零下でもプラスでも同様であった。霰については、気温によらず今回の解析では傾向が見いだせなかった。現在の解析はばらつきが多く、今後の改良点として、2点挙げられる。まず、レーダーZeについて面的平均をしていないため、ZeとRのミスマッチが多い。特にLモード線状降雪雲によることの多い霰で値がばらつくのはこのためであろう。もうひとつは、 β が1.67ではない可能性があり、適切な β を決定した上でAを求める方法を試みるべきという点である。このほか、SPOS観測点とレーダー格子点の高度差、解析の時間分解能、SPOSで採用したPARSIVELの落下速度推定値の誤差、小粒子の影響、についても確認をしていく必要がある。

謝辞: 本研究は防災科学技術研究所プロジェクト研究『高度降積雪情報に基づく雪氷災害軽減研究』、及び宇宙航空研究開発機構降水観測ミッション(PMM, 第7回研究公募課題)によります。X-POLは防災科学技術研究所によって、露場整備およびそこでの観測は各研究機関によってそれぞれ維持されているものです。観測インフラを使用させていただいた各機関に感謝します。



第1図 2010/2011冬季及び2011/2012冬季のRMIとA(=10log₁₀B)の散布図(十日町)。

人工降雪装置によるディストロメータの特性比較および湿雪測定を試み

○本吉弘岐・石坂雅昭・佐藤健吾・望月重人（防災科研・雪氷）

はじめに

近年、降水粒子の粒径・落下速度を自動測定できる光学式ディストロメータが普及し、複数の市販品が用いられているが、それらの降雪粒子に対する測定値の特性や精度を評価することは、データの解釈の上で大変重要である。また、湿雪における降雪粒子の含水状態は、粒子の形状や密度とともにレーダーによる融解層の定量的降水量推定や着雪過程において主要なパラメータである。含水状態をこのような光学式ディストロメータによる連続測定から推定できれば、これまで人手や大掛かりな装置で行っていた含水状態の連続的な変動の測定を容易に得られることになる。そのような観点から、雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所の人工降雪装置を用いた同時測定による複数測器間の特性比較、および、これら測器による含水率が既知の疑似雪片の含水状態と粒径・落下速度の同時測定を試みた。

測定方法

2種類の光学式ディストロメータ（OTT社製 PARSIVEL、Thies社製 LPM）とビデオ画像システムを図1の様に縦方向に配置し、人工降雪装置の降雪A（樹枝状降雪）および降雪B（氷球状降雪）の降雪粒子に対して、それぞれの装置による粒径・落下速度の測定を行い比較した（実験1）。

また、降雪Aの保存雪を元に強制通風式湿雪作成装置¹⁾により既知の含水率を持った湿雪を用意し、雪の小片をスプーンですくいとり疑似雪片として、装置に落下させて粒径・落下速度の測定を行うことで、含水率毎の粒径・落下速度分布の違いを調べた（実験2）。

結果

図3は、実験1での降雪Bに対する測定例であり、LPMによる分布の形状はビデオシステムのものに比較的近く、PARSIVELによるものは、粒径の小さい粒子に対して推定される落下速度が過大評価であることが分かった。ビデオシステムでは、連続画像の粒子の移動距離から落下速度を直接求める²⁾ため、LPMおよびPARSIVELに比べより正確であると考えられ、測器を縦方向に配置することで、共通の粒子を用いた測器同士の特性の比較が可能であることが確かめられた。

図4は、実験2による模擬雪片の含水率と粒径・落下速度の関係である。模擬雪片の元となった湿雪の含水率が大きくなるにつれて、同粒径に対する落下速度が増加することが分かった。また、得られた粒径と落下速度の関係はばらつきが比較的小さく、湿雪作成装置による湿雪の作成手法やスプーンによる模擬雪片の作成方法が、このような実験のために有効な手法であることが確認できた。今後は、より自然の降雪に近い状態（現実的な終端速度など）を再現することが必要であるが、実用的な湿雪に対する降雪の含水状態のパラメタリゼーションを実験的に求められる可能性があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 佐藤研吾ほか（2011）：雪氷研究大会（2011・長岡）講演要旨集, p.256.
- 2) 村本健一郎ほか（1988）：電子情報通信学会論文誌 D, J71-D, 9, 1961-1863.

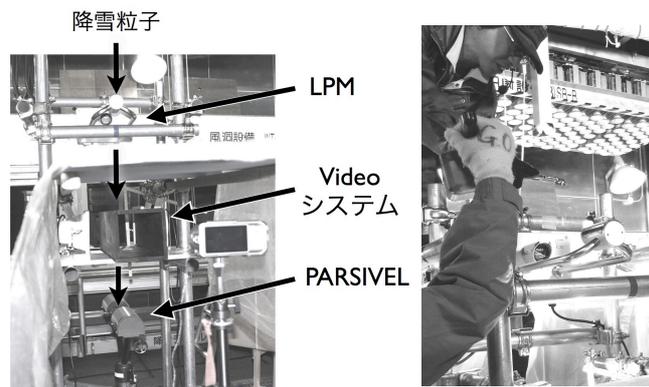


図1：降雪粒子測定装置の配置。



図2：湿雪から作成した疑似雪片の落下実験の様子。

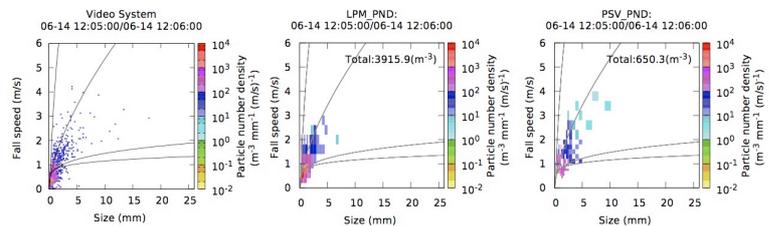


図3：降雪Bに対するビデオシステム（左）、LPM（中）、PARSIVEL（右）による1分間の粒径・落下速度分布の測定例。

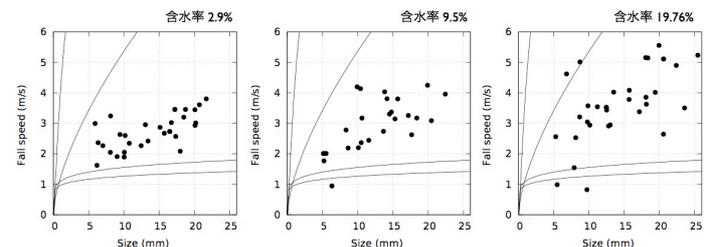


図4：遠藤式含水率計により測定した湿雪の含水率と、その湿雪を用いた疑似雪片のビデオシステムにより測定された粒径・落下速度の関係

冬季新潟県における雨雪判別気温の検討

木村祐輔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

1. はじめに

中井・横山(2009)では降水量計の捕捉損失補正の重要性が指摘されており, 冬季降水の補正には雨雪判別が必要となる. 冬季降水の雨雪判別において, しきい値気温の決定は重要な問題である. 今回は AMeDAS の降水量と降雪の深さの比較からしきい値気温を検討した結果を報告する.

2. 使用データと手法

新潟県内の AMeDAS 観測点のうち, 積雪深観測を行っている 16 地点で観測された降水量, 降雪の深さ, 気温の 1 時間毎の値を用いた. 解析期間は 2005 年 12 月~2013 年 2 月の冬季(12 月, 1 月, 2 月)の計 21 ヶ月である.

手法として, 気温帯別に冬季の降水・降雪が記録された回数を比較した. 気温帯は, 固体降水から液体降水が共存する 0.0~3.5 °C を 0.5 °C ずつ分けて設定した. 降水・降雪記録は, ある時刻において降水量であれば 0.5 mm/hr, 降雪の深さは 1 cm/hr を超えた場合にそれぞれ記録が 1 回あったとした. これを気温帯毎に,

- (1) 総降水記録回数(降水のみ考慮)
- (2) 総降雪記録回数(降雪のみ考慮)
- (3) 降水回数(降水○, 降雪×)
- (4) 降雪回数(降水○, 降雪○)
- (5) 非捕捉降雪回数(降水×, 降雪○)

の 5 通りに条件分けをしてそれぞれ集計した(ここで, ○は記録あり, ×は記録なしを意味する). さらに比較のため, 気温帯毎に(1)総降水記録回数に対する(2)~(5)それぞれの条件の比を求めた.

3. 結果

図 1 に新潟と高田における気温帯毎の降水・降雪記録の回数比を示す. 図 1a の新潟において 0.0 °C 未満の総降雪回数比(2:青破線)は 1.0 に近く, これは総降水回数と総降雪回数が同程度であることを示している. そのため, 観測された降水現象のほとんどが積雪を伴う固体降水だったと考えられる. また, 新潟, 高田のどちらでも気温が高くなるにつれ(2)の値は減少しているが, 降水回数比(3:緑実線)は増加している. これは気温が

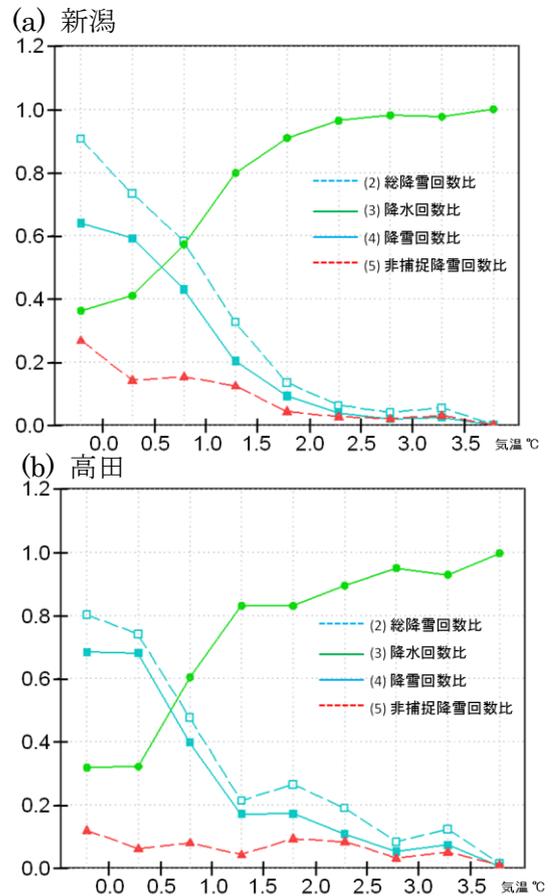


図 1. 気温帯毎の降水・降雪の記録回数比

上昇するにしたがって降水現象に占める降雨の割合が大きくなること反映しており, どちらの地点でも 1.0°C 付近で(3)の変化は大きいとその推移には地域性が示唆される.

ここで, 雨雪判別のしきい値気温を仮に (2)の比の値が 0.5 以上になる気温とするなら, 新潟では 1.0 °C, 高田では 0.5 °C となる. しかし, 降水記録を考慮した降雪回数比(4:青実線)をみると, 新潟では気温が低くなると(4)は(2)から大きくずれている. そのため, しきい値気温を(4)で考えるなら新潟 0.5 °C となってしまう.

(2)と(4)の差である非捕捉降雪回数比(5:赤破線)は新潟の 1.0 °C 付近において 0.1 以上であるので, 降雪のみしか計測されていない時間がある程度存在していることがわかる. したがって, しきい値気温の検討するためには, 観測時の状態や問題を踏まえた更なる解析が必要である.

近年の日本における降雪分布と上空気温場との関係

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

1. はじめに

冬季の日本海側地域では日本海上で発生する気団変質が主な要因となり、多量の降雪がもたらされる。東北から北陸にかけての山沿いの地域が主な多雪地域となる(図1)。広瀬ほか(2007)は夏～秋季の対馬暖流流量が多いほど冬季降水量が増加する傾向を、中井・岩本(2006)は各冬で最深積雪分布が異なることを示した。しかし、日データなどの時間スケールの短い降雪分布についての研究や降雪と他の気象条件との関連性の評価はあまりなされていない。そこで本研究では、近年の日本の日降雪深の分布が気温などの気象条件によってどのように特徴づけられているのか明らかにすることを目的とする。

2. 使用データ

気象庁の日降雪深及び日平均地上気温(296地点)、高層気象観測による日平均上空気温(稚内、札幌、秋田、輪島及び福岡の5地点)のデータを用い、対象期間を2005/06年以降の8冬、12～2月(722日分)とした。

3. 降雪深と上空気温の関係性の解析

上空の寒気の入り込みの強さは降雪が生じる指標となることから、降雪と上空気温の関係性を解析した。

まず、上空気温が全国の降雪深とどの程度関係性があるのか確認するため、全国の日毎の総降雪深と日平均上空気温の相関図を作成した。結果、500hPa面では札幌、秋田及び輪島の3か所で特に高相関となり、気温が低下するほど降雪深が増加する傾向が得られた。中でも秋田との相関係数が最も高かった(図2)。続いて、上空気温がどの地点の降雪深と関係するのかを確認するため、秋田の上空気温と全国各地の日降雪深の相関係数を計算した。結果、主に本州の多雪地域と高相関となり、秋田からみて南西側の地点の降雪深との関係性が示された。札幌及び輪島の上空気温を用いた解析でも同様の結果が得られ、日本の北部

の500hPa面気温観測点の周辺より南西側の多雪地域の降雪深との相関が強いことが分かった。

4. まとめ

上空気温と全国降雪深の相関図と上空気温と各地点の相関分布図から主に日本の北部の500hPa面気温と多雪地域に関係性があることが分かった。今後は気温の鉛直構造について解析し、降雪分布と気温の関係性を明らかにしていきたい。

参考文献

中井専人, 岩本勉之, 2006: 規格化した冬季最深積雪深から見た平成18年豪雪の特徴, 天気 53, 863-869
 広瀬直毅, 山本勝, 西村和也, 福留留研一, 2007: 対馬暖流と冬季降水量の関係, 気象研究ノート, 216, 167-173

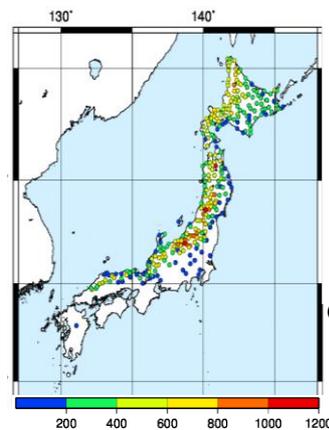


図1. 年平均降雪深(cm)

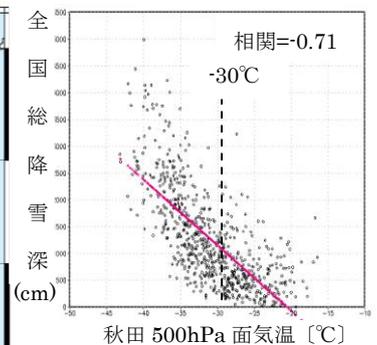


図2. 秋田500hPa面気温と全国の総降雪深の相関図。722日分の秋田500hPa面気温と日毎の全国総降雪深の関係性を示す。

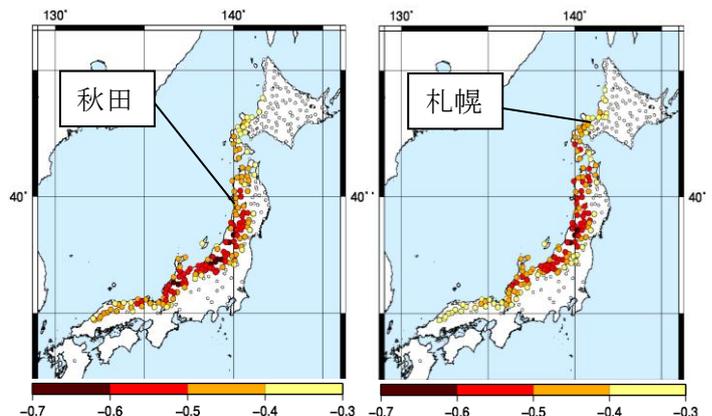


図3. 500hPa面気温と各地点の日降雪深の相関係数による分布図。左が秋田の上空気温と、右が札幌の上空気温と各地点の日降雪深との関係性を示す

近年の日本の降雪と大気循環場との関係

○ 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

近年の冬季、北半球中緯度ではしばしば強い寒気に見舞われ低温傾向となっているが、この原因として、夏季北極海における急激な海水減少が指摘されている。一方、日本でも近年は寒冬・豪雪傾向であるが、この傾向を大気循環場や北極海の海水と関連づけた解析はこれまでのところ行われていない。本研究では、統計解析の手法を用いてこれらの関連を調べた。

2. データと解析方法

解析には、日本国内のアメダスおよび気象官署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1983/84年から2012/13年までの30冬季とし、この期間の平均の冬季積算降雪深が100cmに満たない地点は解析から除去した。大気循環場と海水のデータとしては再解析データ ERA-Interim の月平均値を用いた。

冬季積算降雪深分布の時系列から、主成分分析 (EOF 解析) によって降雪分布の空間分布パターンとそれに対応する時系列を取得し、回帰分析によって関連する大気循環場と海水分布の偏差場を得た。

3. 結果

EOF 第1モードは全国で比較的一様な変動パターンであり (図1a)、時系列は例えば1983/84年 (昭和59年)、1985/86年 (昭和61年)、2005/06年 (平成18年) といった豪雪年に大きな正の値を示している (図1b) ことから、このモードは全国的な多雪/少雪に対応していると考えられる。このモードは、日本を含むユーラシア東部やヨーロッパの冬季の低温偏差と北極海の高温偏差 (図1c)、および秋のバレンツ・カラ海の海水低密接度偏差と有意な相関がある (図1d)。図1cに見られる偏差場のパターンは、北極海の海水変動に対する大気循環場の応答に関するこれまでの研究 (例えば Honda et al., GRL, 2009) と類似した構造であることから、近年の夏季北極海の海水減少が北半球中緯度帯の寒冷化を介して日本の多降傾向に寄与していることが強く示唆される。

EOF 第2モードは、北陸以西で正、北海道および北陸以北の山岳地域で負のシーソーパターンで、1990年代後半以降、時系列が負から正に転じるトレンドを示している (図は省略)。このトレンドは西日本で近年多雪傾向が強まっていることを意味している。この期間は夏季北極海の海水面積がユーラシア側を中心として急激な減少を示す期間と対応していることから、北極海の海水減少により特に西日本を中心として多雪傾向となっている可能性がある。

本研究では主に遠隔応答に注目した解析を行っているが、日本付近の SST や低気圧の移動経路など、より局所的な影響が降雪分布に対してどのように寄与しているのか、今後さらに解析を進めていく必要がある。

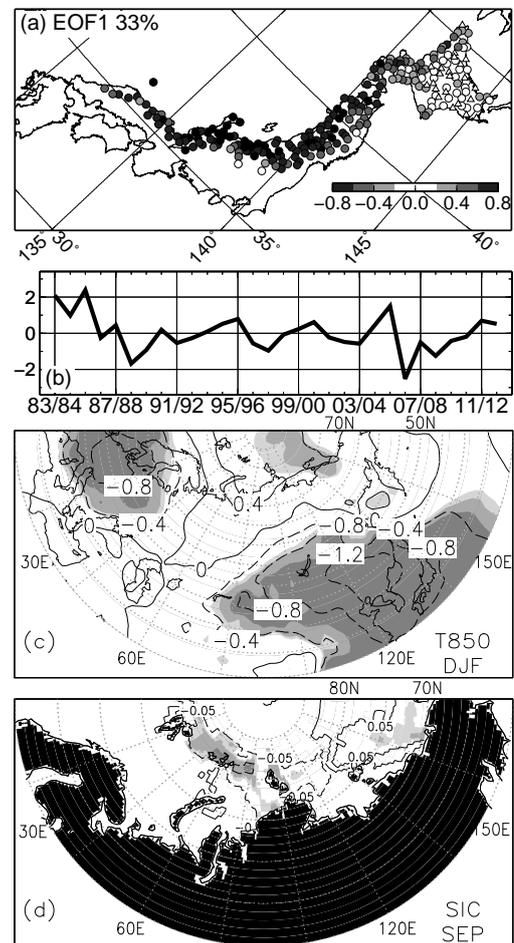


図1: 冬季積算降雪深の (a) EOF 第1モードの空間分布 (丸:正、三角:負) と (b) 時系列、時系列で回帰した (c) 冬季平均 850hPa 気温と (d) 9月の海水密接度の空間分布 (陰影:統計的に有意な領域)。

2014年2月14～16日の関東甲信地方に 大雪をもたらした大気循環場の特徴

本田明治¹、山崎 哲²、吉田 聡²、藤田 彬³、岩本勉之^{1,4}

1: 新潟大理、2: 海洋研究開発機構、3: 新潟大院自然、4: 国立極地研

2014年2月14日～16日かけて南岸低気圧の接近によって、関東甲信地方を中心に雪が降り続き、各地で記録的な大雪となった。特に山梨県、長野県、群馬県、埼玉県では最新積雪の極値を更新した箇所も多く、地点によってはこれまでの2倍以上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)、軽井沢99cm(72cm)、飯田81cm(56cm)、前橋73cm(37cm)、熊谷62cm(45cm)、秩父98cm(58cm))。本研究ではこのような記録的な大雪をもたらした南岸低気圧の特徴と大気大循環場の関係について調べ、またこの低気圧の再現実験を試みたのでその結果を報告する。

今回の大雪をもたらした南岸低気圧は13日夜に沖縄の南方で発生し、本州の南海上を発達しながら北東進し、15日の午前中に房総半島をかすめて、その後東北地方沖合を北上し17～18日にかけて北海道東方海上でさらに発達し北日本に暴風雪をもたらしている。13日～14日にかけて関東甲信地方の上空1500m付近(850 hPa)は -6°C 以下の強い寒気に覆われており、低気圧の接近に伴い14日早朝から各地に降り始めた雪は15日の朝まで続いた。各地の降雪量の推移をみると14日の日中は主に甲信地方で降り夜に一時弱まったが、再び深夜から早朝にかけて今度は関東甲信の広域で降雪となり、概ね2回のピークがあったと考えられる。後者のピークは15日朝にかけて接近した低気圧による暖気の侵入で関東沿岸部を中心に雨となったが、関東西部～甲信では大気の下層に寒気が居座った影響で雪が降り続いたことが予想される。

今回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を用いた再現実験を実施した。用いたモデルはWeather Research & Forecasting Model (WRF)の3.5.1版である。初期値・境界条件はNCEP FNL、分解能27km、9km、3kmの3領域の1-way ネスティングで、積雪パラメタリゼーションは第1、第2領域でKain-Fritschスキームを用いた。計算期間は日本時間の12日21時～15日21時とした。結果をみると、13日～14日にかけて低気圧経路が実際より西寄りに通ったものの概ね関東甲信地方の大雪を再現していた。図1左は積算の降雪水量で、山梨県、群馬県、埼玉県を中心に大雪となっていることがわかる。時間経過をみると14日の日中の降雪は低気圧前面の雲による降雪で、14日夜間～15日朝の降雪は低気圧本体の雲による降雪であったことが予想される。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ことが示唆される(図1右)。

関東甲信地方では2月8～9日も南岸低気圧によって大雪となっており2週続けて雪氷災害に見舞われたことになる。2月前半のアジア太平洋域の大気循環場の特徴をみると太平洋上には発達したブロッキング高気圧が居座り、日本付近を通過する低気圧の東進を阻んでいたと考えられる。また2月前半は南岸低気圧が

数日おきに発生して、いずれも日本の南岸で東進が遅く、日本の東海上ではブロッキング高気圧に阻まれ北進しオホーツク海方面に進むケースがほとんどであった。このブロッキング高気圧は1958年以降の再解析データを調べたところ、この時期として最も勢力が強いものであることも分かった。今後更にこの冬の大気循環場の特徴と大雪をもたらした南岸低気圧の関係を調べていく予定である。

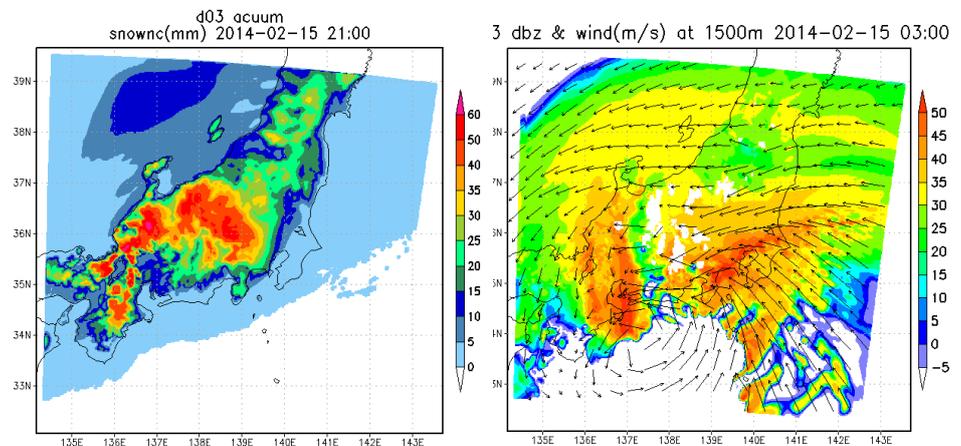


図1. メソ気象モデルWRFを用いた実験で再現された第3領域の、(左)2月12日21時～15日21時(日本時間)の総降雪水量(降雪量を降水量に換算: mm)、(右)2月15日3時の850-hPa気圧面の風ベクトル高度(ms^{-1} 、矢印)と降水強度(dBZ)。