ISSN－1340－7368

(社)日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

第 26 号

2007 年 9 月

発行　（社）日本雪氷学会北海道支部

目次

巻頭言――――――――――――――――――――――――――――――――――― 1
２００７年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文――― 3
(社)日本雪氷学会北海道支部２００６年度事業報告―――――――― １０５
(社)日本雪氷学会北海道支部２００７年度事業計画―――――――― １０８
２００６年度収支決算及び２００７年度収支予算――――――――― １１０
(社)日本雪氷学会北海道支部役員名簿―――――――――――――― １１１
社団法人日本雪氷学会北海道支部規約―――――――――――――― １１２

表紙

画　：斎藤新一郎
題字：福沢卓也

巻　頭　言

支部幹事長　石井吉之（北海道大学低温科学研究所）

7〜8 年前に会計幹事をさせて頂いた後、中 6 年をおき、今年から支部幹事長を仰せつかりました。前回は本学会が法人化されて間もない時期でもあり、様々な面で混乱や誤認識などがありました。北海道支部の内部留保金の処理も大きな問題であり、どのように有効活用しながら留保分を減額して行くかに苦慮していました。その後、本学会は時の歩みとともに法人組織としても一人前になりつつありますが、財政面の逼迫した状況は本部も支部もますます深刻化しているようです。北海道支部に関しては、代々の役員の皆様のご尽力によって、逼迫した状況を少しでも改善すべく努力がなされてきました。しかし、それでも状況は依然として改善されず、そろそろ大鉈を振るわねばならぬ段階に来ているようです。こうした運営面での疲弊した状況を打開するために、本年度からは支部役員の大幅な入れ替えに始まり、事務局幹事の役割分担制の導入、支部機関誌の有料化と電子化、メーリングリストの整備、ホームページや広報活動の活性化、社会貢献への積極的な取り組みなど、山田知充支部長のもとに大胆な改革に取り組んでいます。大枠でのレール敷設に力を注ぐあまり、細部まで目が届かず思わぬ失策があるかもしれませんが、軌道に乗るまでのしばらくの間、少し大目に見ていただければ幸いに思います。

支部会活動に深く関わる度に、私の中では「どうあるべきか論」が頭を擡げて来ます。ローカルであり過ぎてもいけませんが、一方ではローカル色豊かでもありたいものです。グローバルな視点からローカルを見ないと本質を見誤るおそれがあるし、ローカルからの問題提起がグローバルを動かすことがあっても良いでしょう。両者は背反的関係にあるのではなく相互補完的関係なのだと、教科書的には理解できます。最近ではグローカルという造語もあり、ローカルな think もグローバルな act も必要とされているようですが、詰まるところ、その地域にどういう人達がいて、その人達によってどういう独特の雰囲気が作られているかが重要なのだと思われます。その人達の強い結びつきによって、グローカルに考え、動ける、その地域らしさが醸造できれば支部としての活動が十分に機能していると言えるのではないでしょうか。地域はグループと呼びなおせるのかも知れません。同じことは学界についても言えるでしょう。狭い分野に閉じ篭ったり、ある分野だけの一人勝ちを許したりするようなローカル性豊かな状況では、遅かれ早かれその分野は衰退して行きます。雪氷学がグローカルな学問であり続けるためには、地球惑星科学、社会工学、生物資源学、生命科学などからの視座をこれまで以上に貪欲に取り込んでいく必要があります。同時に、雪氷学というローカルな場で培われて成長し発展してきた理論、技術、人材を外界というグローバルな場に送り出すことによって、雪氷学を内側のみならず外側からも大いに盛り上げてもらう必要もあるでしょう。

今年も 6 月に恒例の研究発表会が開催されました。当初は発表申込みが少なく関係者をヤキモキさせましたが、蓋を開けてみれば昨年を上回る 26 件の発表がなされ、取上げられた内容もローカルからグローバルまで多岐に渡るものでした。研究発表会が人と人との結びつきを強め合う場であることを願っております。さて、北海道支部は 2009 年に創立 50 周年を迎えます。現在、その記念事業に関する検討会が発足し意見交換を始めています。これについても追々、支部のメーリングリストやニューズレターを介して会員の皆様に情報発信して行く予定です。ご意見やご要望などございましたら事務局までお知らせください。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

2007 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文　目次

日時：2007 年 6 月 21 日（木）10：00～18：30
場所：北海道大学　学術交流会館　第一会議室

１．　連続路面すべり抵抗値測定装置（RT3）の導入について ――――――――――――　5
舟橋誠、徳永ロベルト、浅野基樹（(独）土木研究所　寒地土木研究所）

２．　平成 18 年度冬期における札幌市中心部の歩道の路面状況について ――――――　9
川村文芳、金田安弘（社団法人　北海道開発技術センター）

３．　人の行動から見た雪道スリップ転倒の発生構造 ――――――――――――――― １３
新谷陽子　（社団法人　北海道開発技術センター）

４．　国道２４３号美幌峠の防雪林における雪害後および向後の保育手法について―― １７
斎藤新一郎（環境林づくり研究所)、古田隆史
（網走開発建設部北見道路事務所）

５．　風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について その２ ――――― ２１
山田毅、伊東靖彦、松澤勝（(独）土木研究所寒地土木研究所)、
小杉健二、根本征樹、望月重人（(独）防災科学技術研究所)、
齋藤佳彦（(株）雪研スノーイーターズ）

６．　気温測定からみたイチイに対する菰巻きの効果について ―――――――――― ２５
阿部　正明、斎藤新一郎（社団法人北海道開発技術センター）
小松　佳幸（日本工営株式会社札幌支店）

７．　除雪圧を受けたイチイの幹折れおよび枝抜けについての解剖的な観察 ――― ２９
斎藤新一郎（環境林づくり研究所）

８．　振動による屋根雪滑動と構造体との動的相互作用に関する基礎的研究 ――― ３３
その１　振動による屋根雪の破断モードと構造体の応答性状
千葉隆弘（北海道工業大学)，宗像真木彦（北海道工業大学大学院）
苫米地司（北海道工業大学)，高橋徹（千葉大学）

９．　振動による屋根雪滑動と構造体との動的相互作用に関する基礎的研究 ――― ３７
その２　屋根雪滑動時における構造体の応答性状
宗像真木彦（北海道工業大学院)，千葉隆弘（北海道工業大学)，
苫米地司（北海道工業大学)，高橋徹（千葉大学大学院工学研究科）

１０．　紐状冠雪の成長抑止実験 ――――――――――――――――――――――――― ４１
竹内政夫（雪氷ネットワーク）

１１．　人工降雪装置を用いた建物屋根上の雪庇の形成実験 ――――――――――― ４５
堤　拓哉（北海道立北方建築総合研究所)、根本征樹、
佐藤威（(独）防災科学技術研究所）

１２．　現地観測による道路案内標識の冠雪および落雪過程の把握 ―――――――――― ４９
松下拓樹、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所 寒地土木研究所）

１３．　鉄道トンネル内のつららの観測（第１報）――――――――――――――――― ５３
小川直仁（JR 北海道)、岩花剛、赤川敏（北海道大学大学院工学研究科）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

１４．　小型マイクロ波放射計の積雪観測と雪氷防災への利用の可能性 ――――――――― ５７
榎本浩之、○小嶋真輔、舘山一孝、戸城亮、木村しずか、
神尾友行、内田圭一、高橋修平（北見工業大学)、
田中聖隆、谷田広紀、山本朗人（三菱電機特機システム株式会社）
１５．　オホーツク海北海道沿岸における 3ch 版可搬型マイクロ波放射計
MMRS を用いた船上海氷観測　――――――――――――――――――――― ６１
内田圭一、榎本浩之、舘山一孝、戸城亮(北見工業大学)、
豊田威信(北海道大学低温科学研究所)、 瀧本忠教（海上技術安全研究所）
１６．　船舶搭載型マイクロ波放射計を用いた南極昭和基地沖の海氷厚観測 ――――――― ６５
舘山一孝、榎本浩之（北見工業大学)、下田春人、
宇都正太郎（海上技術安全研究所)、牛尾収輝（国立極地研究所）
１７．　アラスカにおける積雪縦断観測および衛星データを用いた積雪比較 ――――――― ６９
木村しずか、榎本浩之（北見工大)、Yongwon KIM（UAF/IARC)、
谷川朋範（北見工大)、 門崎学（JAXA)、
斉藤佳彦（(株）雪研スノーイーターズ)、戸城亮（北見工大）
１８．　北海道・然別の風穴地に分布する越年地下氷の形成年代と起源の推定 ――――― ７３
澤田　結基（北海道大学低温科学研究所）
１９．　南北両極の氷床コアに含まれる塩微粒子の分布と化学組成 ―――――――――― ７８＊
―Termination Ⅰにおける大気エアロゾルの変動との関係―
櫻井俊光（北海道大学大学院環境科学院)、飯塚芳徳、堀川信一郎
(北海道大学低温科学研究所)、Sigfus Johnson、Dorthe Dahl-Jensen、
Jørgen Peder Steffensen(コペンハーゲン大学)
本堂武夫(北海道大学低温科学研究所)
２０．　子ども達の雪氷防災意識向上を継続的に支える試み ―――――――――――― ７９
中村一樹、石本敬志、久保田敬二、
三好真紀（財団法人日本気象協会北海道支社)、
的場澄人（北海道大学低温科学研究所)、
樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート）
２１．　豪雪地住民の人力除雪の作業能力と体力要素 ―――――――――――――――― ８３
須田　力（北方圏体育スポーツ研究会)、森田　勲（道医療大・看護福祉学部）
２２．　氷河観測における日本から送られる気象情報の取得方法 ―――――――――― ８７
的場澄人（北海道大学低温科学研究所)、
中村一樹（財団法人日本気象協会北海道支社)、
樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート）
２３．　雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件について ――――――― ９１
―大雪湖周辺の事例解析―
松下拓樹、松澤勝、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所寒地土木研究所）
２４．　地震発生時の斜面積雪の安全率評価に関する一考察 ―――――――――――― ９５
松澤勝、加治屋安彦、伊東靖彦（寒地土木研究所）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

２５．　2007 年 3 月 18 日に積丹岳ピリカ台南斜面で発生した雪崩の調査報告　－－－－－　９９
尾関俊浩（北海道教育大学）、上石勲、山口悟
（防災科研雪氷防災研究センター）、
兒玉裕二（北海道大学低温科学研究所）、
阿部幹雄、樋口和生（雪崩事故防止研究会）
２６．　ＳＰＰ特別授業『積雪の科学』の実施について－－－－－－－－－－－－－－－－－　１０３
平松和彦（北海道旭川西高等学校）

＊研究発表１９番は、他の学術誌に投稿予定のため要旨のみ掲載した。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

連続路面すべり抵抗値測定装置（RT3）の導入について

舟橋誠、徳永ロベルト、浅野基樹（(独）土木研究所　寒地土木研究所）

１．はじめに

積雪寒冷地域では冬期においても安全で快適な道路交通を確保するため、道路管理者は道路の除排雪作業や路面凍結対策を実施するなど、冬期路面管理の充実を図っている。しかしながら、橋梁やトンネルのような道路構造物、沿道環境、天候による路面状況変化やスパイクタイヤの使用規制後のつるつる路面の出現のため、冬期の路面状態は複雑で把握しにくいものとなっている。そのため、冬期の路面状態を適切に把握することは、冬期道路維持管理の重要な課題となっている。

写真－１　連続路面すべり抵抗値測定装置

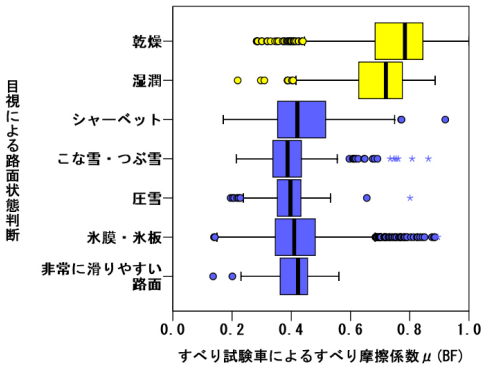
冬期の路面状態の把握には、路面状態を目視により判別するような主観に基づいた手法によるものの他に、測定装置を用いて路面のすべり抵抗値等を計測する客観的な手法がある。

当研究所では、効率的かつ効果的な冬期路面管理に資するため、従前より路面のすべり抵抗値等を測定する技術について調査・試験を行っている [1)]。本報では、当研究所にて導入した連続的に路面のすべり抵抗値を測定可能な「連続路面すべり抵抗値測定装置」（写真－１）を紹介すると共に、現在、雪氷路面のすべり摩擦係数の標準的な測定装置である「すべり試験車」（写真－２）との比較試験を行った結果について報告する。

写真－２　すべり試験車

２．目視による路面状態把握の課題

現在、冬期道路管理において路面状態の把握を基本的に目視により行っているが、この目視による路面状態の把握手法では、観測者の主観的判断、個人の経験による差や判別の難しい路面状態が存在することから、路面状態判断の客観性という点で課題がある。例えば、図－１は、実際の道路においてある観測者が目視により路面性状を判断した結果と、すべり摩擦係数を測定するバス型の「すべり試験車」で測定した結果を示したものである。この図より、非雪氷路面（乾燥・湿潤）において、低いすべり摩擦係数値を観測した地点があり、実際には雪氷路面であった可能性が考えられる。一方、雪氷路面（シャーベット以下）において、高いすべり摩擦係数値を観測した地点があり、実際には非雪氷路面に近い路面状態であったものと思われる。このように目視のみに基づく路面状態の把握だけでは、凍結防止剤・防滑材散布の必要な場所の見落としや過剰な散布につながる可能性がある。そのため、より効果的かつ効率的な冬期路面管理を行うためには、路面のすべり抵抗値を測定するような客観的・定量的手法を用いて冬期の路面状態を把握する必要がある。



図－１　目視判断とすべり抵抗値

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

３．連続すべり抵抗値測定装置（RT3）

３．１　導入の経緯

現在、日本において路面のすべり摩擦係数の標準的な測定装置である「すべり試験車」や海外（北欧）の冬期道路管理に利用されている「加速度計（減速度計）」（写真－３）においては、測定用の車輪（測定輪）や搭載車両に制動を掛けることによりすべり抵抗値を測定する。これら制動力を利用したすべり抵抗値の測定方法では、断続的な地点（点）での測定となるため、すべり抵抗値の変化を連続的な路線（線）として把握するのは難しい。そこで、当研究所では、過年度の調査 [1]に基づいて連続的に路線のすべり抵抗値を測定可能な装置を導入した [2]。

写真－３　加速度計
（減速度計）

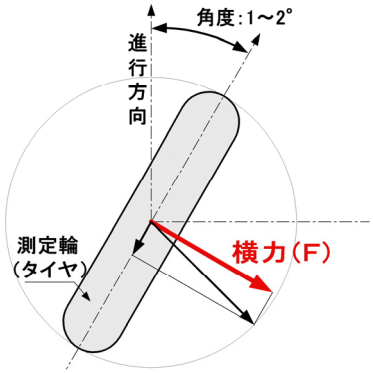
写真－４　除雪車両への
設置例

３．２　特徴と測定原理

この測定装置は、米国 Halliday Technologies Inc.の RT3™（Real Time Traction Tool）（以下 RT3 と記す）と称する装置である [3]。米国では、この装置をすべり抵抗値の測定装置として使用するだけではなく除雪車両に設置して散布判断用のセンサーとしても使用が試みられている（写真－４）。

RT3 の特徴は、測定輪や搭載車両に制動を掛ける必要がないため、走行しながら連続して路面のすべり抵抗値を測定可能であると共に、測定の際には特別な操作（機器操作や走行速度維持等）を必要としないという利点がある。

RT3 の測定原理は、測定輪を車両進行方向に対して 1～2°程度の角度を与えることにより横方向に発生する力（横力という）を測定することですべり抵抗値を算出する装置である（図－２）。測定されたすべり抵抗値は、車内でリアルタイムに確認でき、PC 等外部記録装置にも記録することができる。

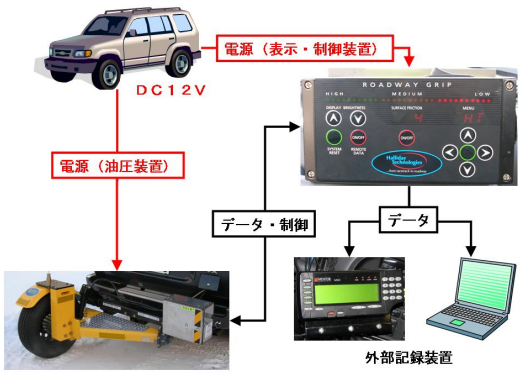


図－２　測定輪に発生する
横力の模式図

３．３　システム構成

RT3 のシステム構成を図－３に、仕様を表－１に示す。測定装置本体（写真－５）は、装置フレーム（鋼製）、測定用の車輪、すべり抵抗力等を測定するためのセンサーであるハブ、装置の昇降や測定時の衝撃緩衝用の油圧装置で構成されている。

ハブにより取得されたデータの演算や油圧装置の操作は車内に設置した表示・制御装置で行う。この表示・制御装置では、演算されたすべり抵抗値を数値で表示するだけではなく、緑・黄・赤に色分けされた 30 個の LED でアナログ的に表示することも可能である。



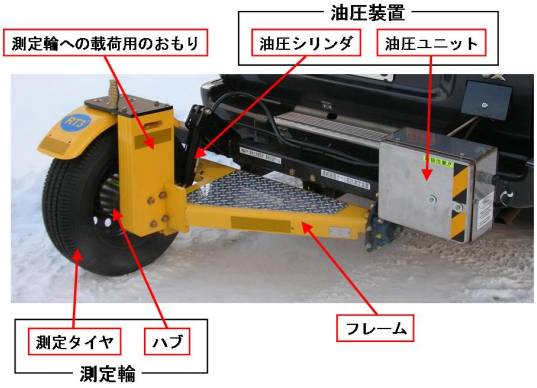
図－３　システム構成図

また、車両のステアリング角度が一定の範囲を超える操作を行うと、道路線形に対して測定輪の角度が大きくなり、測定されるすべり抵抗値が大きく変化することから、測定者に対して

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表－１　RT3 の仕様

寸　　法	750mm（長さ）×1700mm（幅）×700mm（高さ）
重　　量	約230kg（油圧装置約30kg含む）
測定タイヤ	205/65R15（空気圧207kPa（18℃）） 測定タイヤに掛かる荷重約130kg
車両電源	DC12V 8A（表示・制御装置） DC12V25A（油圧装置）
ハブの測定可能温度範囲	-54℃～+121℃

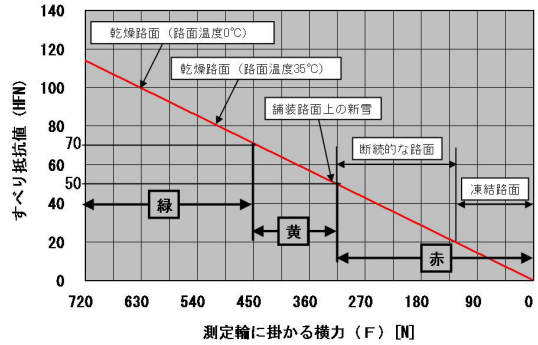


写真－５　測定装置本体

誤認を防止するため、車両のステアリング角度をトリガーとして測定結果を表示させないように設定することもできる。

３．４　すべり抵抗値（HFN）

RT3 で得られるすべり抵抗値について説明する。RT3 から出力されるすべり抵抗値は、HFN（Halliday Friction Number）と呼ばれ、Halliday Technologies Inc.が RT3 用測定タイヤに基づき独自に設定したすべり抵抗値である。このすべり抵抗値（HFN）は、通常 0～114 の範囲で変化する。HFN と測定輪に掛かる横力には図－４に示すような直線関係がある。表示・制御装置の LED の色と HFN の関係は、緑（114～70）、黄（69～50）、赤（49～0）となっている。

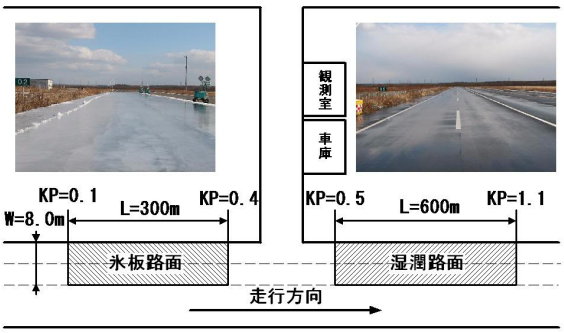


図－４　すべり抵抗値（HFN）と横力の関係 [4]

４．「すべり試験車」との比較試験

４．１　試験概要

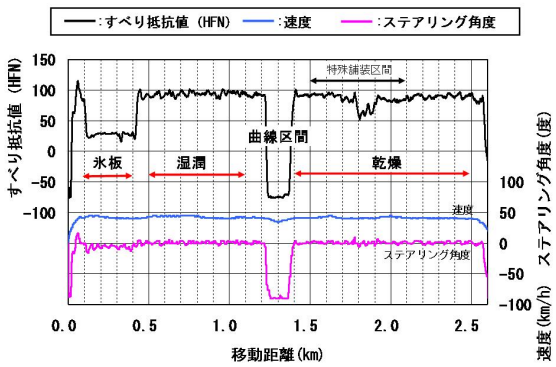
当研究所が所有する試験コースの路面上に湿潤路面と氷板路面を作製した（図－５）。これらの路面上に「すべり試験車」と RT3 を走行させてすべり抵抗の測定を行った。測定速度は各車両共に 40 km/h で行った。測定回数は各路面で 10 回程度行った。走行順序は、RT3、「すべり試験車」の順序で走行した。試験中の気温は-1～+5 ℃であった。



図－５　試験概略図

４．２　RT3 で得られたデータ

RT3 で得られたデータの一例を図－６に示す。左軸には HFN を、右軸には速度とステアリング角度を、横軸は速度と時間により計算される移動距離を示した。この図は、試験コース



図－６　RT3 で得られたデータの例

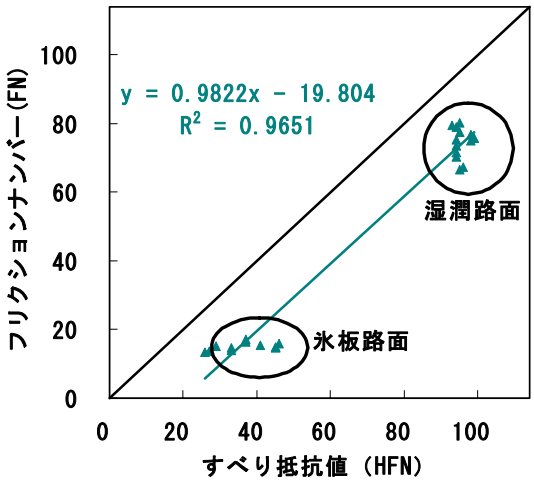
Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

をほぼ１周したデータとなっており、本試験において作製した氷板路面と湿潤路面及び様々な舗装が施された乾燥路面を走行しており、これら路面の違いがすべり抵抗値（HFN）の違いとして区別されていることが判る。また、試験コース上の曲線区間においては、ステアリング角度が大きくなったため、測定される HFN が大きく変化していることもわかる。

４．３　試験結果

図－７に試験結果を示す。この図において、縦軸は「すべり試験車」で測定されたすべり摩擦係数を 100 倍したフリクションナンバー（FN）、横軸には RT3 で測定されたすべり抵抗値（HFN）を示した。

この図より、路面状態毎に両車の値とも明確に分かれた結果となっており、得られたデータにより路面状態を区別できることが判る。また、回帰直線を引くと相関係数が 0.9 以上と大きいことから「すべり試験車」に対しても、RT3 は相関関係が大きいことが判る。このことから、RT3 は、雪氷路面のすべりやすさを把握する手法として冬期路面管理に適用可能であることがわかった。



図－７　RT3 とすべり試験車との関係

今後の課題として、本試験では氷板路面と湿潤路面の極端に異なる路面状態で試験を行った。そのため、圧雪路面やシャーベット路面の様な路面状態についてもデータを蓄積していく必要がある。

５．おわりに

ここで紹介した RT3 のような連続的に路面のすべり抵抗を測定する装置を用いた路面のすべり抵抗値の測定技術は、冬期路面管理作業の実施における品質管理や作業・対策効果の把握のための評価技術としての役割を期待している。活用例としては、雪氷路面の実態把握、過剰な薬材散布や見落としの削減、路面管理を行う上で特に注意が必要なすべりやすい箇所の抽出、凍結防止剤・防滑材の散布効果の把握などがある。これらによって、凍結防止剤等の散布タイミング・散布箇所・散布量等の適正化が期待できるものと思われる。

今後、RT3 や「すべり試験車」を用いて様々な路面状態におけるすべり抵抗データの蓄積を行うとともに、すべり抵抗データを活用した具体的な評価方法、より効果的・効率的な路面管理水準の提案が出来るように、引き続き冬期路面のすべり抵抗値測定技術に関する試験研究を進めたい。

参考文献

1)舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹：雪氷路面のすべり摩擦係数計測機器の比較試験と海外事例報告、北海道の雪氷、No.25、pp9～12、2006
2)寒地交通チーム：連続路面すべり抵抗測定装置の導入と関連する技術情報の習得、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所月報、No.646、pp58～60、2007
3)Halliday Technologies Inc.ホームページ：　http://www.hallidaytech.com/
4)Halliday Technologies Inc.：RT3TM 取扱説明書より

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

平成 18 年度冬期における札幌市中心部の歩道の路面状況について

○川村文芳　金田安弘（社団法人　北海道開発技術センター）

1. はじめに

札幌市では、平成 4 年から冬期の歩道での転倒による救急搬送者数が急激に増加し、近年は 600～1,000 人で推移している。その背景には、転倒した際に大ケガとなりやすい高齢者の増加や雪に慣れていない地域からの観光客の増加、夏冬と同じような感覚で生活するライフスタイルなどの社会的要因のほか、非常にすべりやすい歩道路面の発生もその一因と考えられる。その非常にすべりやすい路面であるが、転倒者数の多い札幌市中心部の歩道において、どのようなときに発生しているか詳細に把握しきれていないのが現状である。

本報告は、札幌市中心部において、朝の通勤時間を利用し、実際の歩道を歩いて路面状況を観測した結果をもとに、すべりやすい路面発生時の気象状況や周辺環境による発生頻度の違いなどをまとめたものである。

2. 観測概要

観測の概要を以下に示す。

○観測期間：平成 18 年 12 月～平成 19 年 3 月（休日等を除く計 70 日）
○観測時間帯：朝の通勤時（午前 9 ～10 時）
○観測位置：地下鉄バスセンター駅周辺の歩道 5 地点（図 1）
○観測項目：路面状態（7 分類）、すべりの程度（3 分類；歩行時の体感による）

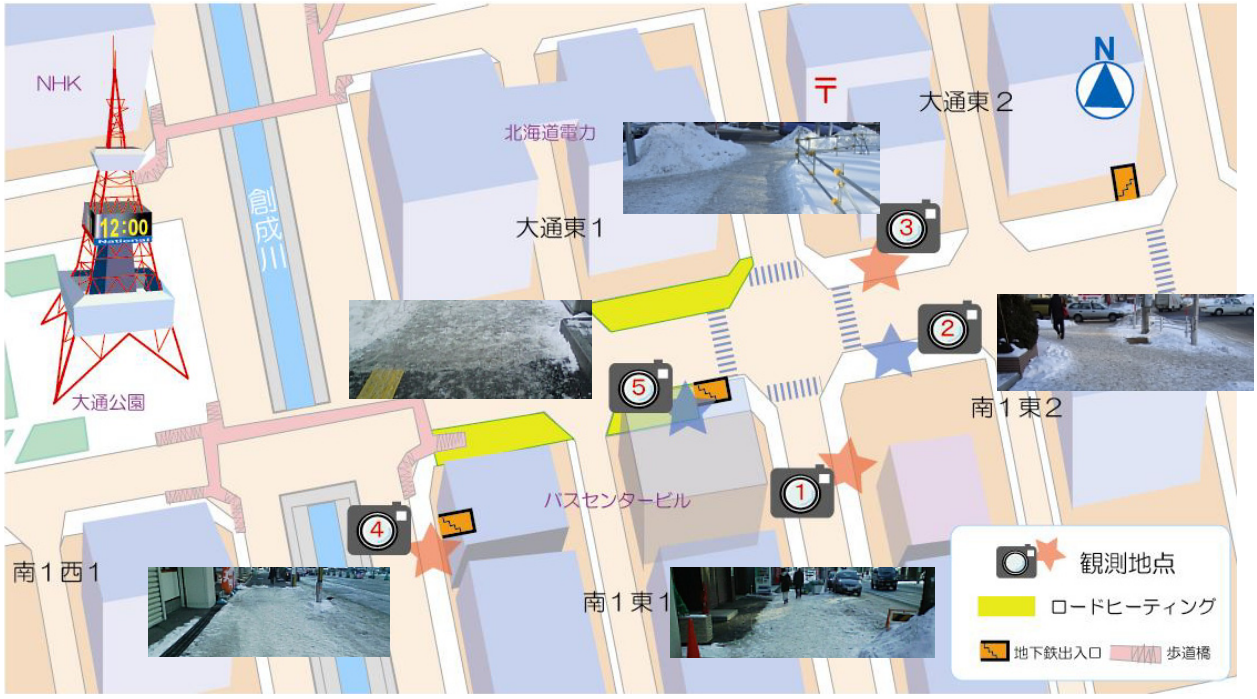


図 1　観測位置図

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

観測は 12 月から 3 月の休日等を除く 70 日間、地下鉄バスセンター駅周辺の歩道 5 地点において、朝 9 時から 10 時の間で実施した。陽の当たりの違いによる路面状況の変化をみるため、地点①、地点③及び地点④は南側にビルなどの障害物のない日当たりの良い場所とし、地点③及び地点⑤は高い建物（ビル）の北側で日中日陰となる場所を選んだ。また、地点①及び地点④は近傍にロードヒーティングが存在したため、他の地点との路面状態の違いを見る際の着目点とした。観測地点の概要を表 1 にまとめた。また、観測時の路面及びすべりやすさの分類は表 2 のとおりとした。

表 1　観測地点の概要

地点	日向	日陰	備考
地点①	○		歩道横ビル 1 F にロードヒーティング、南北に走る歩道
地点②		○	南 1 東 2 交差点歩道、南側にマンションあり
地点③	○		大通東 2 交差点歩道、地点②の北向かいの交差点、南側は開けている
地点④	○		地下鉄出口、コンビニあり、南北に走る歩道
地点⑤		○	地下鉄出口、ロードヒーティングの境目、南側にビルあり

表 2　路面状態及びすべりの程度の分類

観測項目（分類数）	内容
路面状態（7 分類）	こな雪、つぶ雪、圧雪、氷板、氷膜、湿潤、乾燥
すべりの程度（3 分類；歩行時の体感による）	非常にすべる、すべる、すべらない

3. 観測結果

（1）　路面状態の発生状況

70 日間の観測における各地点の路面状態の発生状況を表 3 に示す。地点①及び地点⑤は氷板の発生が多く、地点①が 31 日、地点⑤が 37 日と約半数を占めた。一方、他の 3 地点は圧雪が多く、地点②は 40 日、地点③は 33 日と約半数を占め、地点④は 24 日とやや少なかった。氷板の発生が多い 2 地点に共通して言えることは、近傍にロードヒーティングが存在することである。降雪時にロードヒーティング上で解けた水が歩道に積もった雪に流れ込むことや、ロードヒーティング上を歩いてきた歩行者の靴の裏に水がついていたり、靴裏の温度がプラスになっているなどの影響により、氷板となりやすいと考えられる。また、地点④は湿潤 6 日、乾燥 15 日と多いが、幹線道路に面した歩道で他の地点より除雪や砂まきの頻度が多かったことが要因として挙げられる。

表 3　各地点の路面状態発生日数

地点＼路面	こな雪	つぶ雪	圧雪	氷板	氷膜	湿潤	乾燥	（全日数）
地点①	11日	5日	18日	31日	0日	0日	5日	70日
地点②	10日	1日	40日	17日	0日	0日	2日	70日
地点③	10日	3日	33日	16日	0日	3日	5日	70日
地点④	8日	6日	24日	11日	0日	6日	15日	70日
地点⑤	4日	9日	8日	37日	0日	3日	9日	70日

（2）　すべりやすい路面の発生状況

各地点のすべりやすい日の発生状況を図 2 に示す。すべりやすい日は非常にすべる路面及びすべる路面の発生した日とした。地点①及び地点⑤で発生が多く、期間中の発生日数はそれぞ

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

れ 20 日、14 日となった。一方、他の地点は 10 日未満となり、地点②が 6 日、地点③が 8 日、地点④が 5 日となった。すべりやすい路面の発生が多い地点は氷板が多い地点と一致しており、ロードヒーティングの影響が大きいことがうかがえる。また、日向と日陰の比較として、地点②（日陰）と地点③（日向）に着目すると、日向で 2 日多くなるが、大きな差ではなかった。地点④は先に述べたとおり歩道の除雪や砂まきの頻度が多かったため、すべりやすい日の発生も少なかった。すべりやすい日を月別でみると、各地点 12 月で多く、1～3 月は少なかったことがわかる。

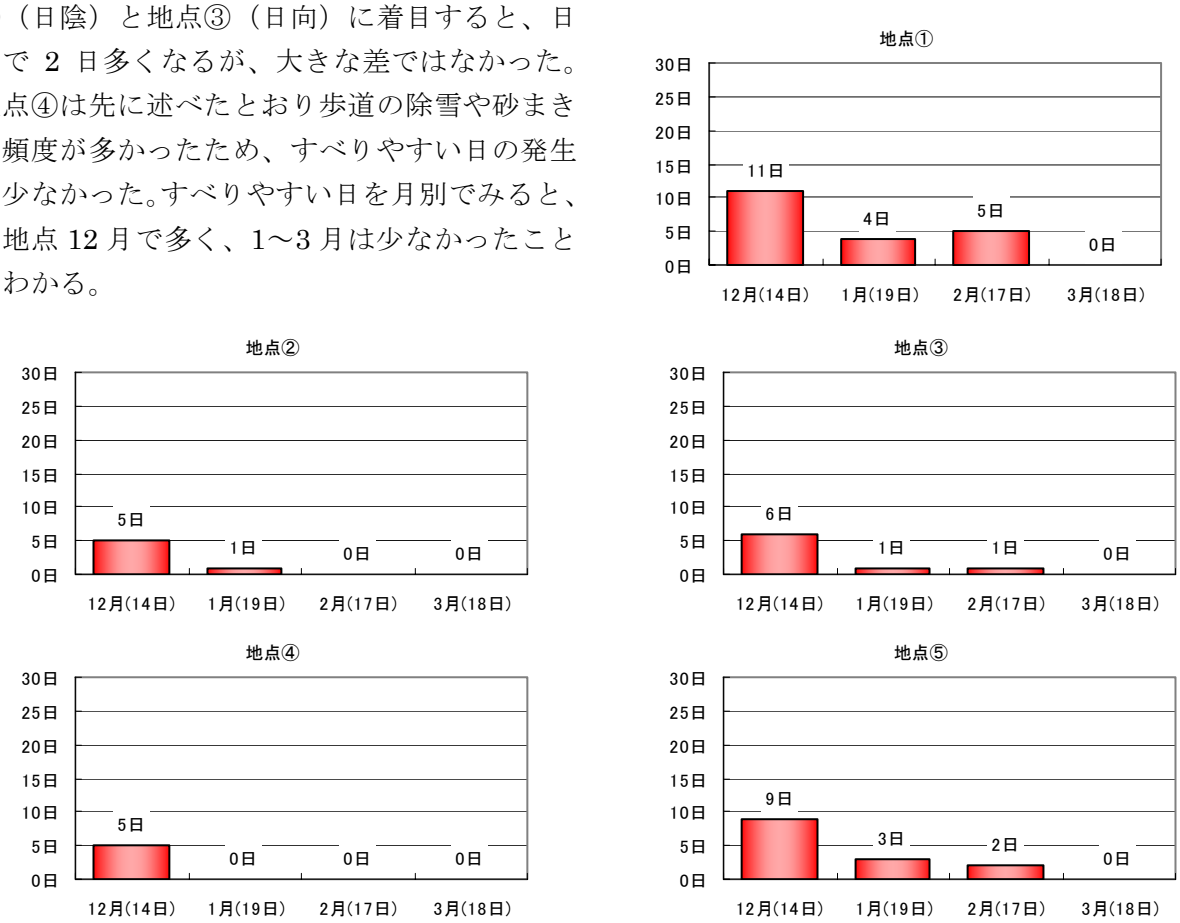


図 2　すべりやすい路面の発生状況

4.　すべりやすい路面の発生と気象との関係

（1）　非常にすべりやすい路面発生の代表事例

非常にすべりやすい路面発生の代表事例として、12 月 11 日から 15 日を取り上げた。観測結果を表 4、代表地点として地点①の路面状況写真を写真 1 に示す。なお、気象データは札幌管区気象台の観測値を使用した。12 月 11 日は前日から当日 9 時までに 15 cm の降雪があり、各地点こな雪または圧雪ですべらない路面となった。12 日は前日の最高気温がプラス、最低気温が-6 ℃と冷え込み、当日 9 時の気温が-3 ℃程度という気象状況で、各地点圧雪であるが、すべる路面となった。表 4 の備考には、「圧雪の表面が半透明（薄い氷膜）に変化」と記載されており、前日のプラス気温で表面が解け、夜間の冷え込みで再凍結したものと考えられる。13 日は前日から当日朝までプラス気温で経過し、各地点濡れた圧雪やシャーベットですべらない路面となった。14 日は前日の気温が 5 ℃以上と高く当日の最低気温が-2 ℃、9 時の気温が+3 ℃という気象状況で、各地点氷板に変化し、非常にすべるまたはすべる路面となった。15 日も 14 日とほぼ同様の気象状況で、地点⑤を除く各地点において氷板で非常にすべる路面となった。この路面変化は写真 1 からもその様子がわかる。12 月 11 日から 13 日までは表面が白いが、14 日から 15 日は半透明でつやがあり、非常にすべる路面にみえる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表 4　12 月 11 日から 15 日の観測結果（気象データは札幌管区気象台の観測値）

観測日	曜日	地点①路面状態	地点②路面状態	地点③路面状態	地点④路面状態	地点⑤路面状態	地点①すべりの程度	地点②すべりの程度	地点③すべりの程度	地点④すべりの程度	地点⑤すべりの程度	備考	9時気温（当日）（℃）	最低気温（当日）（℃）	最高気温（前日）（℃）	降雪量（9–9h）（cm）
12月11日	月	圧雪	こな雪	こな雪	圧雪	圧雪	すべらない	すべらない	すべらない	すべらない	すべらない	降雪直後	−1.7	−5.7	2.4	15
12月12日	火	圧雪	圧雪	圧雪	圧雪	圧雪	すべる	すべる	すべる	すべる	すべる	圧雪の表面が半透明（薄い氷膜）に変化（No.1,No.4,No.5）。	−2.7	−6.4	0.5	0
12月13日	水	圧雪	圧雪	つぶ雪	圧雪	圧雪	すべらない	すべらない	すべらない	すべらない	すべらない	No.3はシャーベット、No.2は濡れ圧雪	4.5	1.2	4.9	0
12月14日	木	氷板	氷板	氷板	氷板	氷板	非常にすべる	すべる	非常にすべる	すべる	すべる	前日融けた雪面が再凍結し、表面がつるつる状態に。	2.8	−2.2	6.6	0
12月15日	金	氷板	氷板	氷板	氷板	乾燥	非常にすべる	非常にすべる	非常にすべる	すべる	すべらない	前日の日中から市内各所でつるつる路面に。No.5は氷板除去。	0.7	−2.1	3.8	1

12 月 11 日（圧雪）　12 月 12 日（圧雪）　12 月 13 日（圧雪）　12 月 14 日（氷板）　12 月 15 日（氷板）

※日付（路面状態）の　囲み：非常にすべる　下線：すべる

写真 1　地点①における路面状況写真

（2）　すべりの程度と気温との関係

すべりの程度と気温の関係を表 5 に示す。すべりの程度は 5 地点中、1 地点以上で「非常にすべる」場合は「非常にすべる日」、「非常にすべる」地点がなく、1 地点以上で「すべる」場合は「すべる日」とした。なお、3 月下旬の 5 日間は地点②以外で雪がなかったので除外した（計 65 日を対象）。気温は路面観測時の 9 時の気温（札幌管区気象台観測値）を対象とした。すべりの程度別の発生日数は非常にすべる日が 7 日、すべる日が 16 日、すべらない日が 42 日となった。すべりの程度別の平均気温はそれぞれ+1.1 ℃、-0.5 ℃、-1.3 ℃となり、すべりのランクが下がるにつれ、気温が低下する傾向にあることがうかがえる。

表 5　すべりの程度と気温の関係

すべりの程度	発生日数	平均気温
非常にすべる	7日	+1.1℃
すべる	16日	−0.5℃
すべらない	42日	−1.3℃

5. おわりに

今回の観測で札幌市中心部の歩道におけるすべりやすい路面の発生状況と気象状況をある程度把握することができた。今後の課題としては、さらなる事例分析を行い、すべりやすい路面発生時の気象条件を整理することや、すべりの程度の定量的な測定、転倒による救急搬送者数との関係、歩行者数の違いによるすべりやすい路面の発生状況、朝以外の他の時間帯の路面状況の把握などが挙げられる。

【参考文献】

1）永田泰浩、金田安弘、冨田真未：札幌市中心部の歩道におけるつるつる路面の発生に関する基礎的研究、2006 年度雪氷学会全国大会、P2-37、2006

2）細谷尚弘、金田安弘、新谷陽子、永田泰浩、石川信敬、西村浩一：歩道のつるつる路面に関する室内実験、第 21 回寒地シンポジウム、710-715、2005

3）秋田谷英次：札幌市内の雪氷路面調査―平成 7 年冬期―、第 11 回寒地シンポジウム、356-361、1995

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

人の行動から見た雪道スリップ転倒の発生構造

新谷陽子（社団法人北海道開発技術センター）

1. はじめに

スパイクタイヤによる粉塵公害の解消を目的に、札幌市では同タイヤの使用を規制する条例を定めたが、その後、「ツルツル路面」と呼ばれる非常に滑りやすい雪氷路面が頻発し、車両のスリップ事故のみならず、雪道で滑って転倒する歩行者の「雪道スリップ転倒」が急増した。札幌市消防局によると、スパイクタイヤの使用規制が始まった 1991 年度(平成 3 年度)以降から 2005 年度（平成 17 年度）までの間に、毎冬平均 734 人が路上で転倒し救急車で搬送されている。(札幌市　2007）さらに、雪道スリップ転倒の急増に伴い、横断歩道や歩道の冬期路面対策が一層強化されてきたものの、雪道転倒による救急搬送件数は、規制以前の２～３倍で推移し、減少の兆しが見られないまま現在に至っている。

雪氷路面、特に、ツルツル路面での歩行は危険を伴うことは既知のリスクとして明白であるにもかかわらず、なぜ事故は減らないのか。このことは、従来の除雪・消融雪対策だけでは克服できない問題が隠されていると考えられる。

その問題の一つに、安全に対する過度な過信、又は、危険予防を軽視する人の態度と行動が考えられる。すなわち、除雪や消融雪による路面対策が充実するほど、歩行者は道路が安全であることを過信し、ある一定の水準までリスクを冒しても「大丈夫」思って行動することが、雪道スリップ転倒事故を引き起こしているのではないかと考えられる。新森他（2002）の調査によると、除雪や消融雪施設によって歩きやすくなった札幌中心市街地では、昔と比べて、冬でも夏と同じ靴や服装で歩く人（あるいは、夏と同じ靴や服装で歩くことを当然と考える人）が増えていることが明らかになった。すなわち、これは、除雪や消融雪対策が拡充し、歩きやすい歩行空間が整備されるほど、滑りにくい靴を履くことや転んでもケガをしない厚手のコートを着る必要性を感じることが希薄になり、冬でも夏と同じ靴や服装で外出することを「普通」あるいは「当然」と考える傾向が強くなったと考えられる。(新森他　2002)

このような風潮の中では、転倒や転倒によるケガのリスクに晒される人が増えることとなり、全ての歩行空間から雪と氷を取り除くという究極の雪対策をしないかぎり、雪道での転倒事故の減少が見込めないことを示唆する。さらに、これは、もはやツルツル路面の頻発による事故というよりも、人の不安全行動の多発に起因する事故と考えられる。

本稿では、人の行動に着目し、実際の横断歩道で発生した雪道スリップ転倒をビデオで観測する実態調査を行い、雪道スリップ転倒の発生しやすい歩行環境や転倒に至る歩行者の特徴を分析し、雪道スリップ転倒の発生構造を考察する。

2. ビデオ観測調査の概要

(1) 調査期間及び調査対象交差点

調査は 2001 年（平成 12 年度）から 2003 年（平成 14 年度）の 1 月から 3 月初旬までの間に実施した。(南 1 西 2 は、2001 年から 2002 年の冬期のみ実施。）調査対象となる交差点

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

は、雪道転倒による救急搬送データに基づき、昼間の転倒事故が比較的多く確認できた南1条西2丁目（以下、南1西2)、及び南2条西2丁目（以下、南2西2）の交差点を選定した。

調査期間中に、当該交差点は、横断歩道のバリアフリーを目的とした道路改修工事（以下、バリアフリー整備）によって歩道のすりつけ勾配が段階的に解消された。まず、2002年（平成13年度）に南1西1で改修工事が完了し、南2西1では、2002年（平成13年度）に南北方向から改修工事が着手され、2003年（平成14年度）に完了した。図1に示すとおり、整備前の歩道は車道から25 cm高く敷設されており、横断歩道と歩道のすりつけ勾配は約8～12 %もあったが、整備後は3 %以下となり、平坦で非常に歩きやすくなっている。尚、交通バリアフリー法[1]によると、重点整備地区では5 %以下が基準となっている。

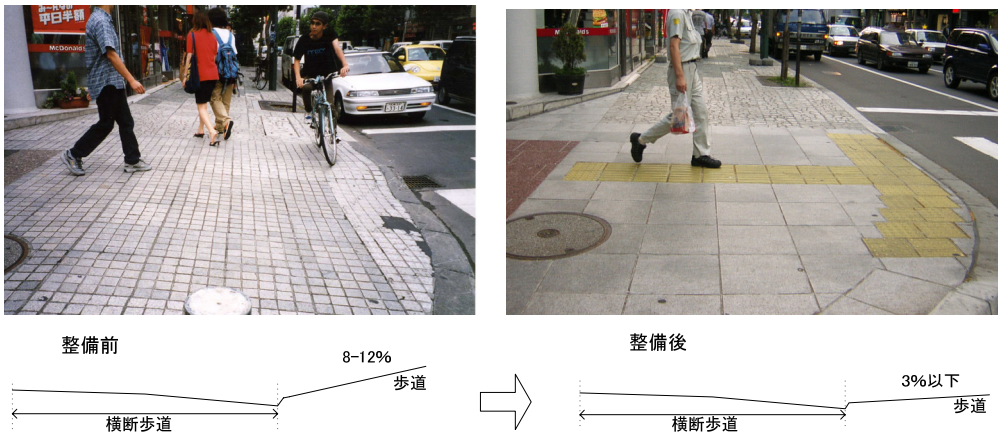


図1　バリアフリー整備の概要

(2) 観測の手順

観測に当たっては、それぞれの交差点の一角にある商業店舗内の2階から東西方向と南北方向の横断歩道部をそれぞれ鳥瞰できるようにビデオカメラを各1台設置し、調査員が手動でカメラを操作し撮影した。店舗内からの撮影であったため、店舗責任者の要望に応じて撮影日時を調整し、店内が比較的混雑していない平日の午後1時半から午後4時半までの3時間を1日当たりの撮影時間とし、週に2～4日の頻度で撮影を実施した。撮影日数は、南1西2で延べ22日、南2西2で述べ45日となった。

撮影中は調査員も撮影現場を観察し、滑りやすい路面の影響で歩き方が不安定になりスリップ転倒の兆候が見られた（あるいはスリップ転倒した）歩行者を以下の3つの区分に分類し、それぞれの性別や年齢層、歩行時の特徴等を調査票に記録した。その後、撮影画像はこの調査票と照合させながら分析を行った。

区分1：滑って少しバランスを崩したが、止まらずに歩きつづけた（スリップ歩行）

区分2：滑って大きくバランスを崩し、転倒しそうに見えたが転倒しなかった（あわや転倒）

区分3：滑って足の裏以外（手、腰、膝、身体全体等）が路面に接触した時（スリップ転倒）

1　「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」（2000年）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

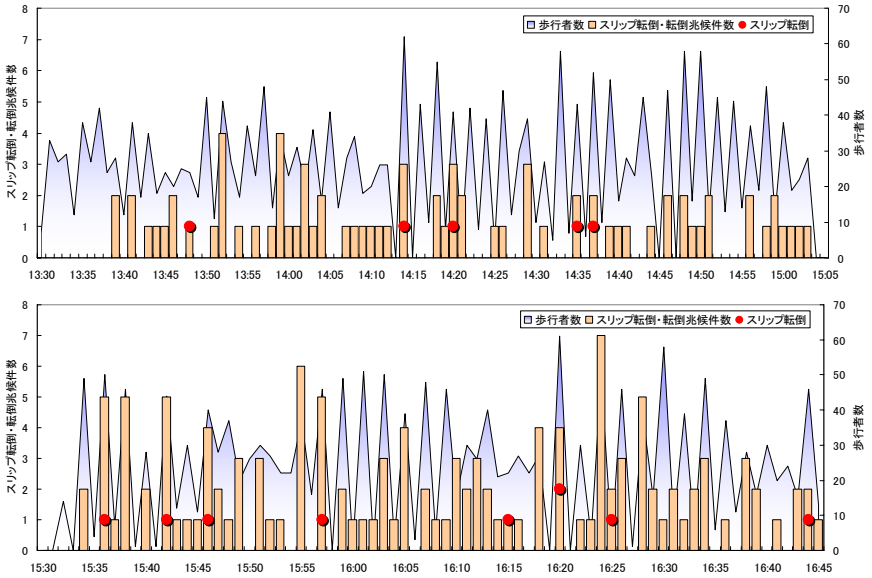
3. 観測結果

(1) スリップ転倒及び転倒兆候件数

スリップ転倒や転倒の兆候を調査員が記録した件数は 668 件で、その多くは南 2 西 2 で記録された。2002 年（平成 13 年度）の記録件数は他の年よりも大幅に少なかったが、これは、平年に比べ降雪量が少なく、観測期間中は雪や氷のない路面状態が続いていたことによるものと見られる。また、調査員が記録したスリップ転倒は 68 件で、記録件数全体の 1 割を占めている。

(2) ツルツル路面の発生によるスリップ転倒

スリップ転倒を最も多く記録した日は 2001 年（平成 13 年）1 月 27 日で、3 時間の撮影時間内に 13 件発生しており、南 2 西 2 の横断歩道で発生したツルツル路面で足を滑らせて転倒したケースであった。この日の天候は曇りで気温は-3℃で推移し、日射や気温の急激な変化のない日であった。しかし、撮影現場の横断歩道の路面は薄氷に覆われブラックアイスバーン状態の凍結路面であったことから、通過車両のエンジンやタイヤの熱によって薄氷の表面が融けると同時に氷点下の気温で瞬時に冷却、再凍結し、その結果、ツルツル路面が発生したと考えられる。また、図 2 に示すように、スリップ転倒や転倒兆候が確認された件数は午後 3 時半以降から増加傾向が見られ、時間の経過とともに車両の通過頻度が増え、非常に滑りやすく危険な状態に路面が変化したことが伺える。このように、気象以外の要因で滑りやすさが刻一刻と変化する状況では、目視で路面状況を的確に判断するのが非常に困難であったと考えられる。



スリップ転倒	滑って足の裏以外（手、腰、膝、身体全体等）が路面に接触した時
転倒兆候	滑って少しバランスを崩したが、止まらずに歩きつづけた （スリップ歩行）
	滑って大きくバランスを崩し、転倒しそうに見えたが転倒しなかった （あわや転倒）

備考
・15:05～15:30は撮影されず

図 2　2001 年（平成 13 年）1 月 27 日南 2 西 2（何北方向）の歩行者数とスリップ転倒及び転倒兆候件数

(3) バリアフリー整備とスリップ転倒

ここでは、南 2 西 2 においてバリアフリー整備前の 2001 年（平成 12 年度）から整備後の 2003 年（平成 14 年度）に撮影されたスリップ転倒事例 44 件に着目し、バリアフリー整

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

備前後の道路構造の変化がスリップ転倒に与える影響を分析した。

1）スリップ転倒発生場所の変化

南 2 西 2 のバリアフリー整備前後で最も顕著な違いがあったのは、歩道すりつけ勾配部で発生していたスリップ転倒が、整備後には見られなくなったことである。これは、歩道の急なすりつけ勾配が転倒リスクを大きくしていたと考えられる。

2）歩き方の特徴

バリアフリー整備前の転倒者の約 8 割は「普通」に歩いていて転倒していた。しかし、バリアフリー整備後では、約半数が「早足」あるいは「走る」など、他の歩行者よりも急いで横断歩道を渡っていた人であった。横断歩道を走って渡って転倒した人の中には、勤務先の制服と上履きを着用し後ろ手を組んでいた女性や、手をつなぎながら横断歩道手前で停車中の車両の後ろに回りこんで渡っていた二人一組の女性が含まれており、雪氷路面が滑りやすく危険になることを考慮しない行動を取っていたと考えられる。

4. まとめ

ビデオ観測調査から、雪道スリップ転倒は、路面と靴底の滑り摩擦が低下するという物理的な現象だけでなく、歩行者自身が路面の滑りやすさを予見できない、あるいは、予見してもリスクテイキング行動を取る等、知覚や判断の誤り（エラー）に起因することが明らかになった。このことから、雪道スリップ転倒の発生構造は、以下の 4 パターンに分類することができる。

1. 路面の危険性を知覚できなかった。（リスク認知エラー）
2. 路面の危険性を知覚したが、敢えて「リスクテイキング行動」を取った。（判断エラー）
3. 路面の危険性を知覚し、安全行動をとったが、何かのはずみで間違いをした。（実行エラー）
4. 路面の危険性を知覚し、安全行動をとったにもかかわらず、路面の滑りを克服できなかった。（不可抗力）

参考文献

札幌市消防局警防部救急課 (2007)「雪による自己転倒に伴う救急搬送状況」 ウインターライフ推進協議会ホームページ、 http://tsurutsuru.jp/

新森紀子他 (2002)「冬の装いと都市の耐雪･耐寒化に関する一考察」 2002 年北方都市会議冬の都市フォーラム論文集､(CD-ROM)

Copyright © 2007 （社）日本雪氷学会北海道支部

国道 243 号美幌峠の防雪林における雪害後および向後の保育手法について

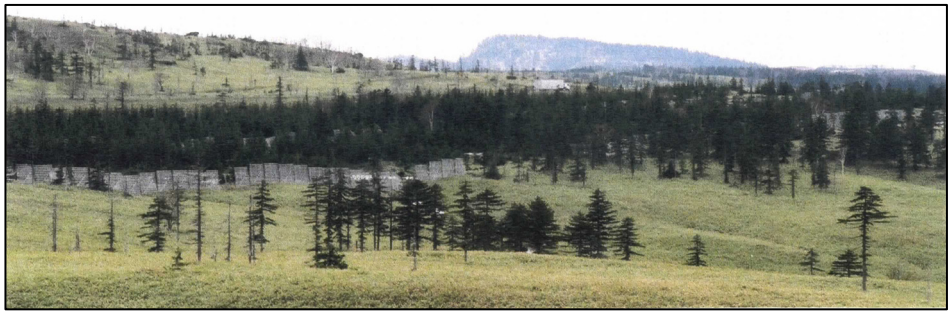
斎藤新一郎（環境林づくり研究所）・古田隆史（網走開発建設部北見道路事務所）

まえがき

美幌峠の道路防雪林は，北海道では，最大規模の生きた防雪施設であり，その機能の発現が待たれてきた．そして，苗木を植栽後，ほぼ 20 年間で，樹高が 4～5 m の防雪林が出来上がってきた．けれども，生きた材料は，自ら捕捉した吹雪で，ときに，雪害（枝抜け，幹折れ）を受けるケースもある．

本稿では，防雪機能を効果的に発現させるため，雪害の生じにくい林木の集団に仕立てるため，生態的に安定させるために，向後の保育管理について，諸提案をすることになった．

なお，本稿の取りまとめについて，現地検討され，資料を提供された，網走道路事務所（旧担当），北見道路事務所（新担当），また，㈱オホーツク園芸（旧請負），嘉野組（新請負）の関係各位に，感謝の意を表する．



写真－1　美幌峠の道路防雪林帯の遠望（手前は天然生のエゾトウヒ疎林）

調査地の現況

美幌峠は，標高が 525 m であり，屈斜路カルデラの鞍部にあって，風の通り道であり，吹雪・地吹雪の卓越する場所であって，国道 243 号の冬期交通に，しばしば障害が生じる．気候は，南からの海霧もあって，冷涼である．土壌は，クロボク土質（黒色過湿多腐植火山灰土質）であって，透水性・通気性が不十分であり，樹木の根張り空間として適していない．自然植生は，気候・土壌から，全体的にササ原であり，その中に，風衝で矮性のエゾトウヒ（エゾマツ）が小林分を構成するか，木立として散在し，また，単木として点在する．

この防雪林は，1985～88 年に，大規模に（幅 100 m×長さ 1 km），木製の防風防雪柵を設置して，アカエゾトウヒ＋ダケカンバの苗木植えで，造成されてきた．ダケカンバは，食害を受けてほぼ壊滅した．

他方，アカエゾトウヒ（アカエゾマツ）は，植栽後に，天然生エゾトウヒよりも旺盛に成長してきて，優勢な個体では樹高が 5 m に達し，既に十分な防雪機能を発現し

写真－2　良い成長を示すアカエゾトウヒ

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

ている（写真－1，2）．

それでも，2003／04 年の大雪によって，異常に高い堆雪が生じてしまい，枝々が沈降圧で引き下げられ，枝抜けに止まらず，地上高 1.5～3.5 m までに幹折れが生じて，大雪害となってしまった．そこで，枝抜けに対しては，高めの裾枝打ちが，幹折れに対しては，被害木を取り除き，改植（苗木植え）することなく，それらを正常に育てるために，輪生枝の杭縛りが提案された（斎藤ほか 2004）．

写真－3　添木により，最上位の優勢な輪生枝の 1 本が立ち上がった；健全木は樹高が 5.0m あり，被害木は 4.0m ある

雪害に対する保育手法

高い堆雪は，向後も，大雪および強風によって，数年に 1 度の割合で，生じることが予測される．また，林木の樹高が高くなるほど，捕雪機能が増大し，その分，堆雪が高くなる．

1）高めの裾枝打ちの徹底

幹折れの地上高が 3.5 m にも達していることから，健全木に対して，通常なら 2.0 m までの裾枝打ちを，被害の高さまで実施する必要がある．ただし，その高さまで 1 回だけで実施せずに，数回に分けて，実施することが肝要である．たとえば，樹高が 4.0 m を超えていれば，裾枝打ちの第 1 回には 1.0～1.5 m まで，第 2 回には 2.0～2.5 m まで，第 3 回に 3.0～3.5 m まで実施する．実施の間隔は，枝階の発達とも関連するが，3～4 年に 1 回のペースが望ましい．

2）優勢な 1 本の輪生枝の立ち上げおよびライヴァルの剪定木という生きものは，幹折れに遭遇しても，枝が立ち上がって，幹化する能力を有している．この能力を活かして，最上位の大枝（輪生枝）の最大のものを，杭に縛って，立ち上げる．同時に，ライヴァルの大枝を剪定する（写真－3）．ただし，ライヴァルを剪定しないと，幹裂けに到るケースも生じる（写真－4）．

3）防雪柵の改修

木製の防雪柵は，空隙率が 50 %で，防風防雪機能により，苗木の成長を促進してきた．また，これは，鋼製の柵に比して，景観にも好ましい材料であった．

ただし，柱が腐朽し，倒壊が起きて，木々を押し潰し，その箇所に堆雪が集中して雪害も増えている．それゆえ，腐朽・倒壊箇所が改修されることが望ましい．改修によって，食害防止が可能になり，針広混交林の仕立てが可能になり，生態系が発達しやすくなる．

写真－4　輪生枝が競合して，堆雪の沈降圧を受け，幹裂けが生じてしまった 1 事例

向後の保育手法

針葉樹のアカエゾトウヒの単純林であ

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

るから――低い混交率で残存する天然生のエゾトウヒを含むけれども――，将来的に，病虫害による大きな被害の恐れもある．また，単純林では，生態的に健全でない．そこで，数種の樹木を加え，生態系としても好ましい防雪林帯に誘導することが望ましい．

1）林帯内に残存するエゾトウヒの保育

既述のように，防雪林帯内には，エゾトウヒの天然生樹が残存している．これらは，この地区の主要樹であり，気候・土壌に適応し，かつて，エゾトウヒ・ダケカンバ林を構成していた，と推測される．国立公園域でもあり，自生樹種が植栽されるべきであったが，苗木生産がアカエゾトウヒに偏っているので，防雪林造成におけるアカエゾトウヒ苗木の採用は，止むを得ない事態であった．それゆえ，植栽木のみでなく，自生木の保育（裾枝打ち）も行われることが望ましい（写真－1 参照）．

なお，自生のエゾトウヒを観察すると，幹折れ，幹曲がり，娘幹の発生による複梢，ほかが明らかであって，過去にも豪雪があったことを暗示している．つまり，これらを観察していたなら，植栽されたアカエゾトウヒについても，豪雪年における雪害が予測され，対策が立てられたであろう．

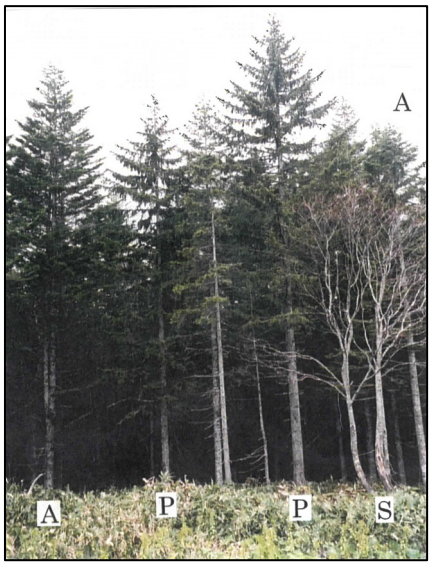
2）針広混交林への誘導

針葉樹類では，トドモミ（トドマツ）とエゾトウヒを加えたい．この防雪林帯の美幌側には，国道沿いに，トドモミの造林地があり，成林している．そして，エゾトウヒは，天然生であり，トドモミ造林地内にあっても，保存され，トドモミ以上の成長量を示している（写真－5）．また，道路沿いの狭い帯状地に，天然侵入したエゾトウヒの若木が生育する．トドモミは，近くの母樹から採取されたタネから養成された，遺伝子汚染の無い苗木が植栽されるべきであろう．また，エゾトウヒは，存在する天然生実生を山取り移植し，併せて，残存する母樹群からタネを採取し，苗木を養成することが望ましい．

広葉樹類では，標高からみて，ダケカンバが望ましいが，エゾシカの食害にあって，往時の植栽は不成績を余儀なくされた．向後，これの苗木を再植栽するか，山取り苗木を移植するか，タネ播きするかは，いずれにおいても，シカ侵入防止柵の設置が不可欠となる．

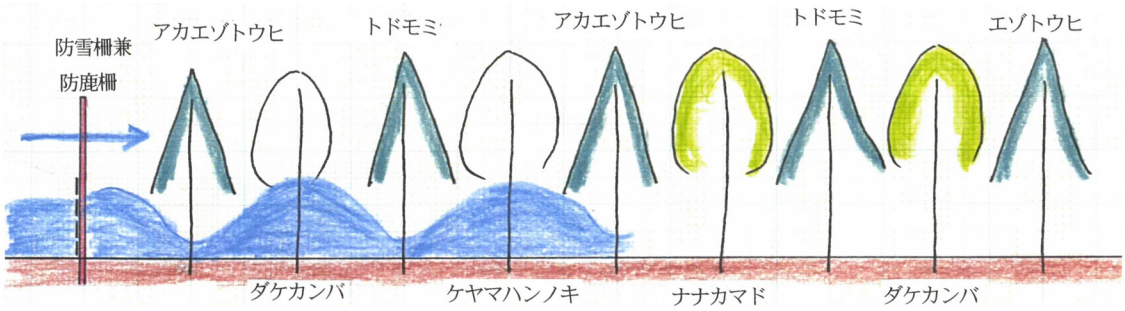
現地には，ケヤマハンノキも生育する．これは，シカの食害が軽いので，養成苗木植え，山取り苗木の移植，あるいはタネ播きで対応できる．やはり，現地に生育するナナカマドは，鳥散布であり，樹林が出来上がらないと，自然侵入・定着が困難である．ただし，これを植栽すれば，母樹群となる．

針葉樹類は，防雪樹として，アカエゾトウヒの不成績な列に，導入されることが望ましい．他方，広葉樹類は，針葉樹類の列間に，生態系のパートナーとして，また，捕雪のスペースづくりとして，導入されることが望ましい．これらは，着葉期には，両側の針葉樹の枝張りを抑制して，樹冠の連続を許さないから，落葉期には，その間が捕雪スペースとなり，防雪機能が高まる（図－1）．



写真－5　隣接人工林のトドモミ(A)の良い成長とそれ以上のエゾトウヒ(P)の成長；S=ナナカマド

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部



図－1　防雪林帯の針広混交林化――防雪機能の向上および生態系的な安定（案）
広葉樹類は，冬期には捕雪スペースに，夏期には針葉樹類の枝張りを抑制する

むすび

本防雪林帯の向後の保育手法については，次のように提案される．

防雪柵を改修し（永久柱＋板張り），防鹿柵を兼ねさせ，根張り空間の拡大（砂利暗渠による透水性・通気性の改良）を図り，道路の峠側にも防雪林（雪庇防止林）を造成し，防霧林を兼ねさせ，アカエゾトウヒの単純林を避けて，エゾトウヒ，トドモミ，ダケカンバ，ケヤマハンノキほかを導入して混交林をつくり，周期的な大雪・豪雪に対しては裾枝打ちを徹底し（繰り返して地上高 3.5 m まで），幹折れ木には添木によって優勢な 1 本の輪生枝の立ち上がり（幹化）を促し，健全な機能が大きく永続する個体を仕立てるために間引きを行い（樹木の間隔を 4.0 m にする），不成績箇所には針葉樹類の苗木を補植し，広葉樹類では苗木植え＋直播きする．

参考文献

網走道路事務所，1985～88．一般国道 243 号美幌峠防雪林関係資料．

斎藤新一郎・成田俊司，1991．耕地防風林の地吹雪捕捉機能と林木の雪害について(3)――間伐および裾枝打ちが雪丘形成に及ぼす影響について．北海道の雪氷，no. 10：62～64．

――――・林　敏雄，1993．雪圧防止杭と裾枝打ちの組み合わせによる排雪にともなう防雪林の雪害の軽減について．北海道の雪氷，no. 12：37～40．

――――・井上惇夫・竹内摂雄，1997．樹冠の成長からみた道路防雪林の除伐の適期，除伐方法および今後の植栽方法について．北海道の雪氷，no. 16：44～47．

――――・孫田　敏，2003．防雪林編．北海道開発土木研究所編「道路防雪対策マニュアル」，p. 2-1-1～2-8-21（全 136pp.），北海道開発局．

――――，2004a．国道 243 号美幌峠における道路防雪林の雪害状況と今後の保育管理手法について．35pp.，環境林づくり研究所（網走開発建設部への提案書）．

――――，2004b．続・国道 243 号美幌峠における道路防雪林の雪害状況と今後の保育管理手法について．50pp.，環境林づくり研究所（網走開発建設部への提案書）．

――――，2004c．道路防雪林の維持管理手法について．寒地技術論文・報告集，vol. 20：704～709．

――――・齊藤道義，2004．美幌峠の道路防雪林の雪害とその対策について．北海道の雪氷，no. 23：44～47．

――――，2005．ヨーロッパトウヒ並木の雪害および保育管理手法について――国道 275 号浦臼町於札内地区の 1 事例．北海道の雪氷，no. 24：38～41．

――――，2006．広い道路防雪林における林内作業道の必要性について．北海道の雪氷，no. 25：81～84．

――――・横山博之・竹浦　亘，2006．国道 40 号中川町国府における防雪林の防雪機能および今後の保育・改良方法について．北海道の雪氷，no. 25：77～80．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について その２

○ 山田毅,伊東靖彦,松澤勝((独)土木研究所寒地土木研究所)
小杉健二,根本征樹，望月重人((独)防災科学技術研究所)
齋藤佳彦((株)雪研スノーイーターズ)

1. はじめに

道路防雪林は吹雪対策施設として造成される樹林帯であるが、年数が経過するに従い、隣り合う樹木の枝が重なり合い下枝の枯れ上がりが進行する。枯れ上がりを防止するためには、適切な時期での除伐が必要であるが、除伐によって樹木密度が小さくなり、一時的に防雪効果が小さくなることが懸念される。このため、防雪効果の減少を懸念するあまり、除伐が遅れた防雪林も見られる。

適切な除伐時期を示すためには、樹木密度と防雪効果との関係について明らかにする必要がある。著者らは現地観測と風洞実験を行って両者の関係について研究を行ってきた(山田ら,2006，伊東ら，2006)。本報は、前報（山田ら,2006）に引き続き、樹木形態・樹木密度と防雪効果の関係について風洞実験を行った結果を報告する。

2. 研究の経緯

著者らは、一般国道 40 号天塩町雄信内に実在する道路防雪林を対象に、樹木寸法観測、風速分布測定等の現地観測を行った(伊東ら，2006)。この観測は、針葉樹と広葉樹の混じった密な林帯(以下、林帯 A とする)と、疎な林帯(林帯 B とする)で行った。

この実在する林帯をモデルとして、樹木配列を一部変えた模型をいくつか製作し、風洞実験を行った。実験は、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の密閉回流式低温風洞装置を用いた。

前報では、林帯 A と林帯 B を再現した模型林と、林帯 A から広葉樹を除伐した模型林を用いて風速分布等を測定した。風洞実験での風速分布を、現地観測で得られた風速分布と比較した結果、防雪林風上の風速に対する防雪林風下の風速の比（以下、風速比とする）は、現地観測に比べ、風洞実験の方が 0.1～0.2 程度小さかった。次に、林帯 A と、林帯 A から広葉樹を除伐した模型での風速分布を比較し、除伐の影響を調べたが、両者には差異は見られなかった。しかし、防雪林の防雪効果を維持できる樹林密度・樹木形態を明らかにするためには、さらに様々な条件で除伐した模型での実験が必要であった。そこで本報では、広葉樹に加えて針葉樹を除伐した模型を用いて風洞実験を実施し、風速分布の測定を行った。

3. 風洞実験で使用した模型

実験に使用した模型は前報の実験も含めて、表1･図1に示す10パターン(以下Pと略する)である。このうちP1は林帯Aを再現したもの、P2、P3はP1を基に広葉樹を2段階に除伐したもの、P4は林帯Bを再現したもの、P5～P10はP3を基に針葉樹を6段階に除伐したものである。なお模型サイズ、模型木

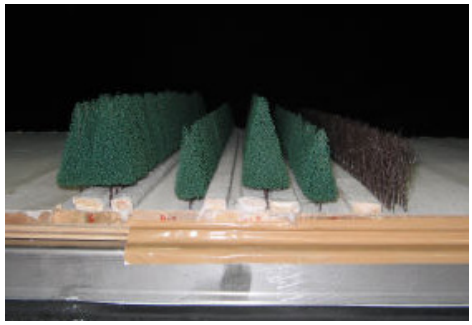


写真１　風洞実験で使用した模型

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

の大きさ、材質、配置は前報と同じであり、針葉樹の葉部分の材質は既往の防雪林風洞実験(原田ら(2006)参照)を参考に、モルトフィルター(イノアック製 MF-8)を用いた(写真 1)。

表 1　模型林帯一覧表

パターン (P)	モデル	林帯幅 (cm)	針葉樹 1 (本)	針葉樹 2 (本)	針葉樹 3 (本)	広葉樹 1 (本)	広葉樹 2 (本)	針葉樹 樹木密度 (本/ha)
1	密な林帯	31.5	152	－	117	299	－	890
2	密な林帯(除伐 1)	31.5	152	－	117	233	－	890
3	密な林帯(除伐 2)	31.5	152	－	117	166	－	890
5	密な林帯(除伐 3)	31.5	114	－	117	166	－	767
6	密な林帯(除伐 4)	31.5	114	－	79	166	－	645
7	密な林帯(除伐 5)	31.5	75	－	79	166	－	519
8	密な林帯(除伐 6)	31.5	56	－	79	166	－	458
9	密な林帯(除伐 7)	31.5	37	－	79	166	－	397
10	密な林帯(除伐 8)	31.5	37	－	60	166	－	335
4	疎な林帯	31.5	－	59	－	－	160	190

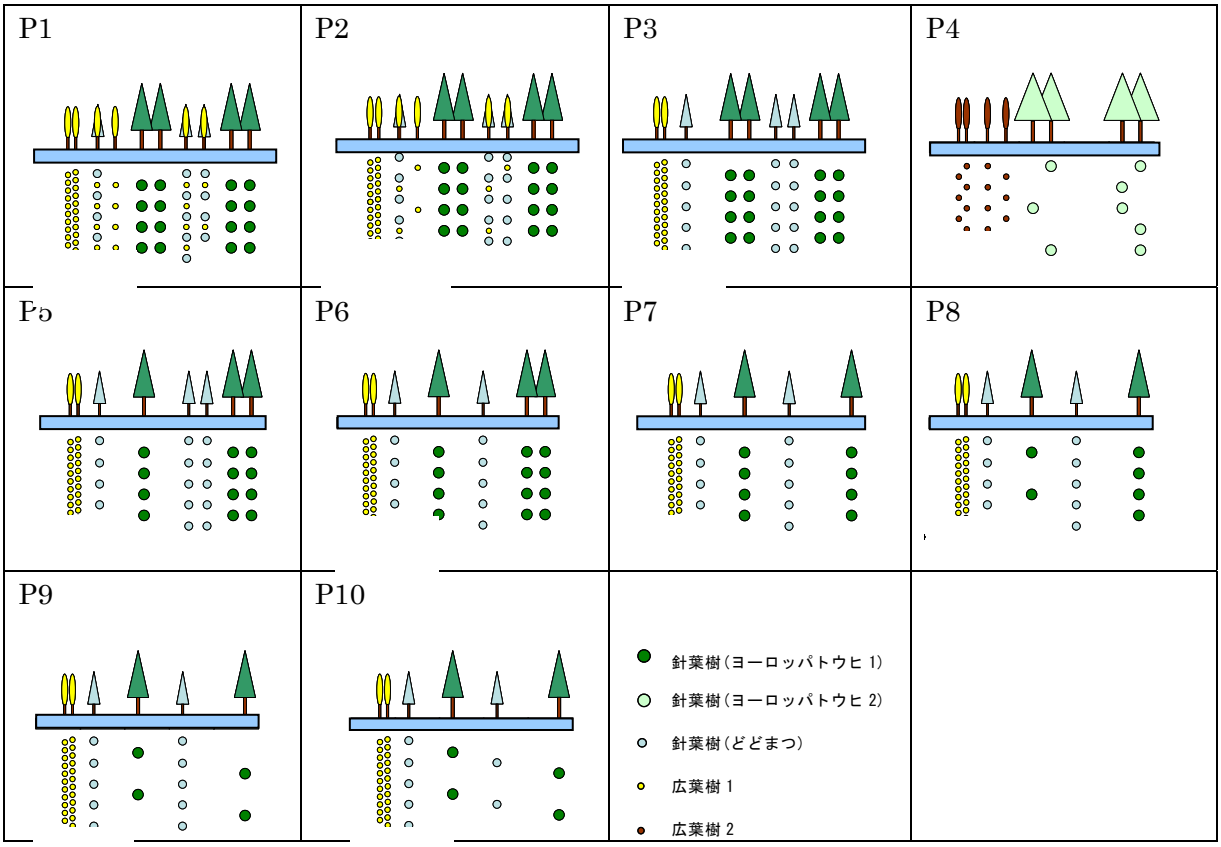


図 1　実験パターンの構成図

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

4.　風洞実験方法と結果

今回の風洞実験では、防雪林の林帯構造の変化による、防雪林周辺および道路本線付近の風速変化を調査するため、林前後での風速分布測定を P4～P10 について行った。風洞内測定箇所周辺の風速プロファイルを、前報の実験（P1～P3）と一致させるため、前報とほぼ同様の実験方法とした。

4.1　風洞実験における風速比の補正

実験ではまず前報で課題となっていた風洞実験での風速比の補正を検討した。図 2 に風洞実験での P1 の風速比と、これに対応する林帯 A の現地観測による風速比を示す。現地観測の値は小型三杯風速計((株)牧野応用測器研究所製 AC750)で測定したものである。

図 2 によると現地観測と風洞実験の風速比は防雪林風上でほぼ一致したが、防雪林風下では風洞実験の風速比が現地観測に比べて小さい値を示している。鳥田ら(2004)も野外観測と比較して風洞実験では防雪林風下で風速比が小さくなることを述べており、本実験結果を裏付ける。これは、使用したモルトフィルターは実在の樹木に比べ密なため、風速低下が大きくなったと考えられる。そこで、風速比を補正することとした。

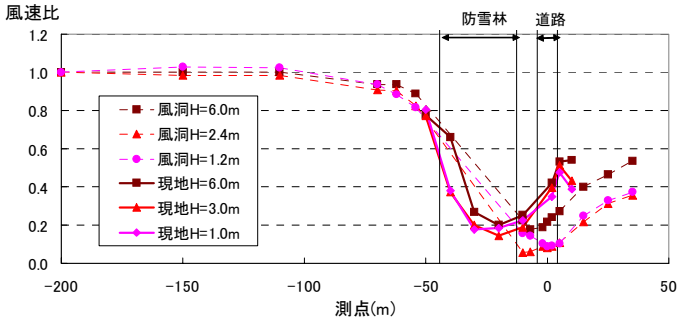


図 2　林帯 A の現地観測と風洞実験 P1 の風速比

前述の通り、防雪林の風下側領域では風洞実験と現地観測の風速比に違いがみられる。そこで防雪林の風下側領域における林帯 A、B の現地観測の風速比 *RUr* と P1、P4 の風洞実験の風速比 *RUe* を比較した（図 3）。図 3 から関係式(1)が得られる。式(1)により、風洞実験で得られた風速比を補正することができる。

$$RUr = RUe + 0.21 \quad \cdots (1)$$

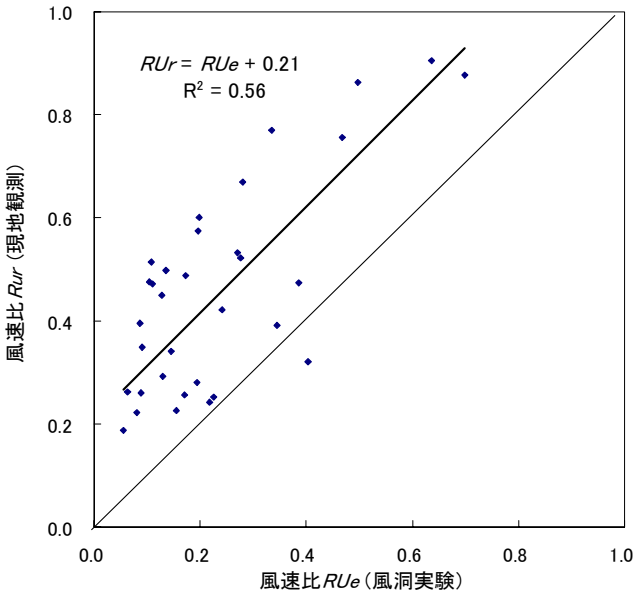


図 3　現地観測と風洞実験の風速比

4.2　樹木密度と風速比の関係

次に風洞実験の結果から樹木密度の差異による防雪効果を比較する。風洞実験の道路付近における風速比（平均値、最大値、最小値）と針葉樹の樹木密度との関係を図 4 に示す。なお、ここで用いた風速比は式(1)により補正をした。

図 4 より、風速の平均値は樹木密度が小さくなるにつれて増加することが分かる。特に 500 本/ha を下回ると、風速比の増加が大きくなる。また樹木密度 458 本/ha から 397 本/ha にかけて、風速比の最大と最小の差が 0.31 から 0.07 と小さくなっている。このことから、樹木密度 400 本/ha 付近で防雪効果に変化があることが示唆される。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

また、樹木密度 335 本/ha から 190 本/ha と変化するにつれ風速比の平均が 0.11 増加し、最大値と最小値の風速比の差が 0.08 から 0.47 と再び大きくなっている。このため樹木密度 335 本/ha 以下の除伐パターンの風洞実験を追加することにより、この部分の風況変化の詳細をさらに検討する必要があると考えられる。

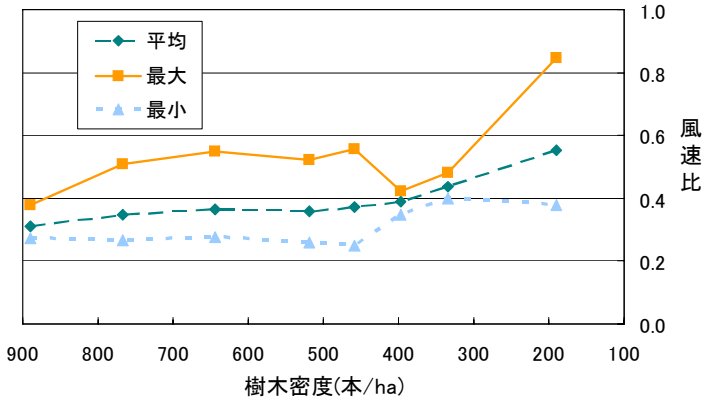


図 4　道路付近の風速比

5.　まとめ

本実験では樹木密度の異なる模型について風洞実験を行い、風速分布測定を行った。実験の結果、以下の結果が得られた。

・現地観測の風速比 *RUr* と風洞実験の風速比 *RUe* を比較した結果 *RUr*=*RUe*+0.21 なる関係式が得られた。

・樹木密度が減少するにつれて道路付近の風速比が大きくなることが明らかとなった。

・樹木密度 400 本/ha 付近で風況が変化し、防雪効果への影響があると考えられた。

また、今後の課題として、さらに樹木密度を低下させた実験パターンの追加により、樹木密度の低い林帯での防雪効果を明らかにする必要がある。

なお、今回の報告は風速についてのみであったが、今後、飛雪流量、吹きだまりについて実験を行い、防雪林の防雪効果を維持できる適正な樹木密度を明らかにする予定である。

参考文献

山田毅・伊東靖彦・加治屋安彦・小杉健二・根本征樹・今西伸行, 2006：風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について．北海道の雪氷 **25**，85-88.

伊東靖彦・山田毅・武知洋太・加治屋安彦，2006:樹木形態の異なる道路防雪林の視程改善効果．雪工学会誌，**22**(5)，15-16.

原田都雷・東原博晃・桜井司，2006:防風・防雪及び視程障害に関する調査試験．第 50 回北海道開発局技術研究発表会

鳥田宏行・根本征樹・西村浩一・佐藤威，2004：防雪林に関する野外観測と風洞実験の比較．雪氷学会誌，**66**(3)，377-387.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

気温測定からみたイチイに対する菰巻きの効果について

阿部　正明、斎藤新一郎　（社団法人北海道開発技術センター）
小松　佳幸　　（日本工営株式会社札幌支店）

１．はじめに

菰巻き※1 をはじめとする冬囲いは、本来、暖温帯・温帯地域に生育していた耐寒性・耐雪性を持たない樹種に対して、雪や寒乾風から守る越冬対策として実施されてきた手法である [1)]。冷温帯の北海道では、庭木や街路樹等において、自生種の常緑針葉樹に対する菰巻きによる冬囲いの事例が見られる。これらの事例に対して、斎藤等は景観面や樹木の生産活動面等においてのデメリットを指摘している [2)]。

本論では、北海道の自生種であるイチイの菰巻き事例を対象に、菰巻き内外の温度測定調査を行い、保温効果の有無および気温からみた菰巻きが樹木の生産活動に与える影響の可能性について考察する。

（※1：本論で述べる菰巻きとは、藁で作られた菰やムシロを樹木全体に包み込むタイプのものを指す。）

２．イチイの生育環境特性

2.1 イチイの分布と耐性

イチイは、常緑針葉高木であり、日本全国に広く天然分布している。南限は九州の大隈半島（鹿児島県）の高隈山である。北海道では、山地・平地問わず広く分布し、群生も見られる。世界的にみると、樺太、千島、中国東北部、沿海州、ロシアのオホーツク海沿岸域に分布し、亜寒帯の北限まで生育している [4)]。したがって、イチイは、生育分布および植栽事例等からみて、耐寒性・耐雪性に優れた樹種であると言える。

2.2 イチイの光利用

イチイは、亜高木層である第二層に位置づけられ、落葉広葉樹と混交している例が多い。また、イチイは落葉広葉樹に比べて、極めて成長が遅いため、成長過程において、落葉広葉樹の下生えとして点在している。したがって、自然界におけるイチイは、落葉広葉樹の着葉期において光合成が不十分となる環境を余儀なくされ、落葉広葉樹の開葉前の早春（約 40 日間）および落葉後の晩秋（約 30 日間）の期間において、自らの成長に必要な光合成（生産活動）の大半を行う特性を持っている。

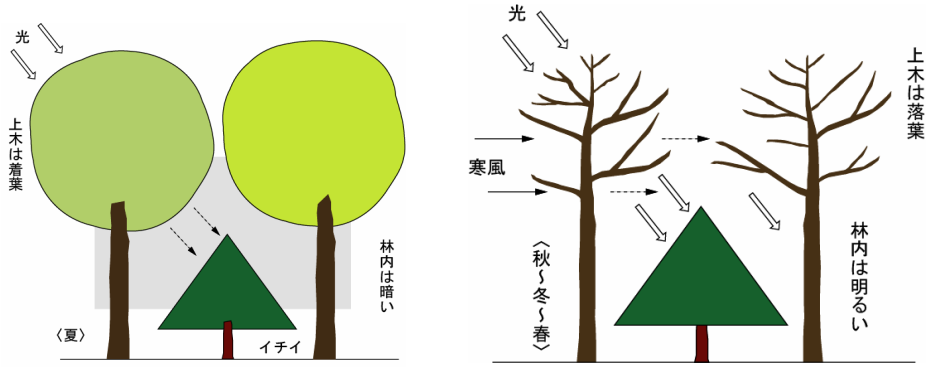


図１　イチイの光利用（模式図）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

３．蒜巻き内外の温度

3.1 調査概要

(1)調査地点

札幌市内中心部の街路樹

(2)調査期間

2007 年 2 月 20 日～2007 年 3 月 22 日

(3)調査方法

気温観測機器（温度計測センサー＋データロガー）を用いて、蒜巻き内部および外部の気温を 10 分間隔で連続観測を実施した（写真 1）。

写真 1　観測状況

3.2. 調査結果

蒜巻き内外の温度変化を図 2 に示す。最高温度は、蒜巻き内が 7.8 ℃であったのに対し、蒜巻き外が 9.3 ℃であり、蒜巻き外の方が 1.5 ℃高い。最低温度は、蒜巻き内が-6.8 ℃であったのに対し、蒜巻き外は-7.3 ℃であり、蒜巻き外の方が 0.5 ℃低い。平均温度でみると、蒜巻き内は-0.35 ℃であったのに対し、蒜巻き外は-0.01 ℃であり、蒜巻き外の方が 0.3 ℃高い。樹木自体に発熱（体温）がほとんど無いため、蒜巻き内部の温度は外気温と大きな差はない結果となった。また、最低気温に比べ、最高気温の方が温度差が大きい。これは日射による影響が考えられる。

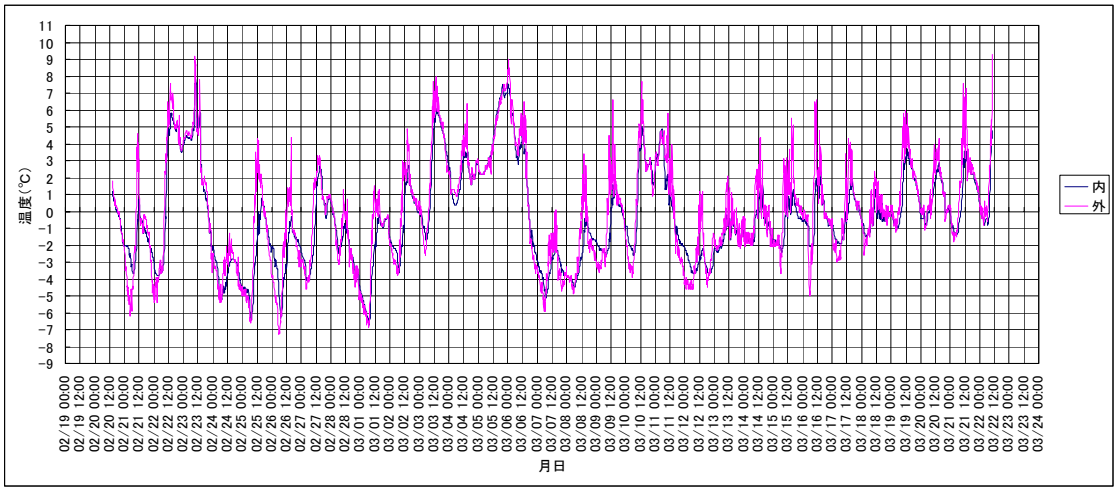


図 2　蒜巻き内外の気温の経時変化

蒜巻き内外の温度変化の代表的な傾向として、2007 年 3 月 3 日の温度変化を図 3 に示す。温度変化の傾向としては、蒜巻き内外とも同様な曲線を示している。しかし、温度の上昇時および下降時共に、蒜巻き内は蒜巻き外よりも遅れてピークに至る傾向が見られた。したがって、蒜巻きは、急激な温度変化を抑制する効果があることが認められた。

温度上昇時から下降時の変化点（以降ピーク）および温度の下降時から上昇時の変化点（以降ボトム）における蒜巻き内外の温度をみると、ピークは蒜巻き外の方が蒜巻き内よりも高く、ボトムは蒜巻き内よりも蒜巻き外の方が低い。また、ピークおよびボトムにおける蒜巻き内外の温度差でみると、ピークで最大 4.9 ℃、ボトムで最大 2.9 ℃の温度差が

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

見られた。平均の温度差は、ピークが 2.6 ℃、ボトムが 0.8 ℃であり、ピークの温度差の方が大きい。したがって、菰巻きは、温度の下降時の温度抑制よりも上昇時における温度を抑制する作用の方が大きく働くことが明らかになった。

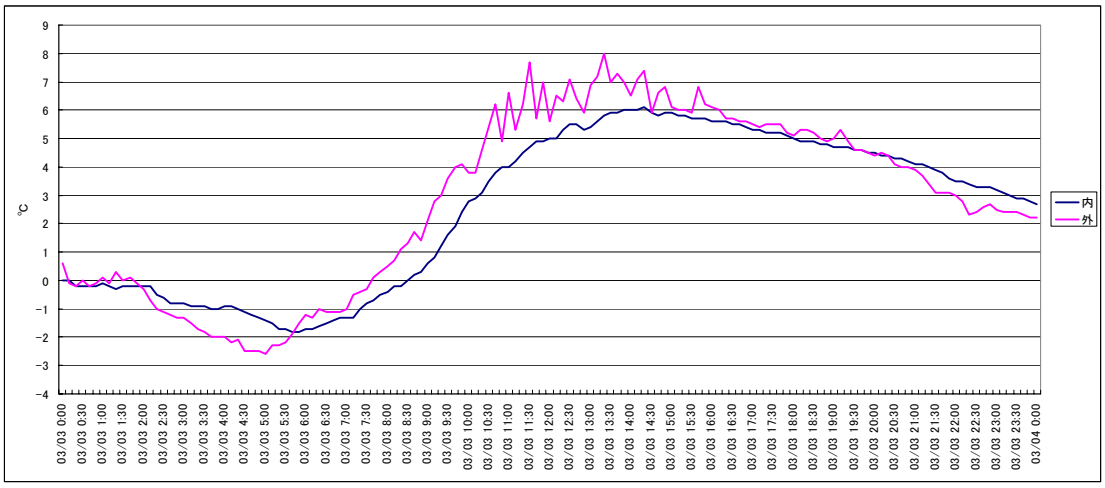


図 3　菰巻き内外の気温の経時変化（2007. 3. 3）

一般に、樹木は、気温が+5 ℃以上になると活動が活発になり光合成を行うといわれている[3)]。この観点から、調査期間内での+5 ℃以上の時間を算出した。算出の結果、+5℃以上の時間は、トータルで菰巻き内が 1, 850 分、菰巻き外が 2, 830 分、うち日中（9-17 時）で、菰巻き内が 1, 030 分、菰巻き外が 2, 010 分となり、31 日間の調査のうち菰巻き外の方が約 16 時間長い結果となった。

4．札幌市における早春・晩秋の気温と菰巻き期間

札幌市における早春（3/24-4/30）および晩秋（11/1-11/30）の日別最高気温、日別最低気温、日別平均気温の平年値※2 を図 4、図 5 に示す。これをみると、早春は最高気温で 3/25、平均気温で 4/8 から気温が+5 ℃を超える。晩秋は、最高気温で 11/29 まで、平均気温で 11/12 まで+5 ℃を超えている[5)]。

札幌市内の菰巻きの期間は、気象条件（気温・降雪量）等を勘案し適宜変更しているとのことであるが、例年 11 月から 4 月下旬（連休前）とされている。

（※2　1971-2000（30 年間）の札幌管区気象台観測データの平年値）

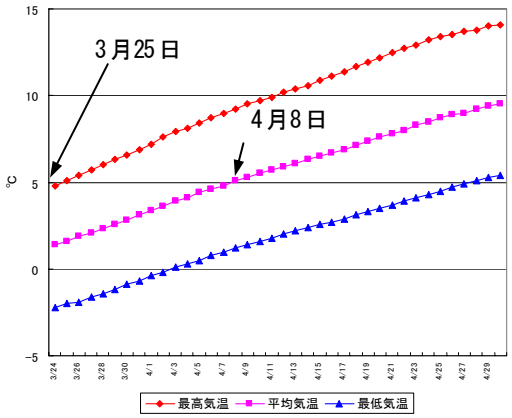


図 4　早春(3/24-4/30)の気温（札幌市）

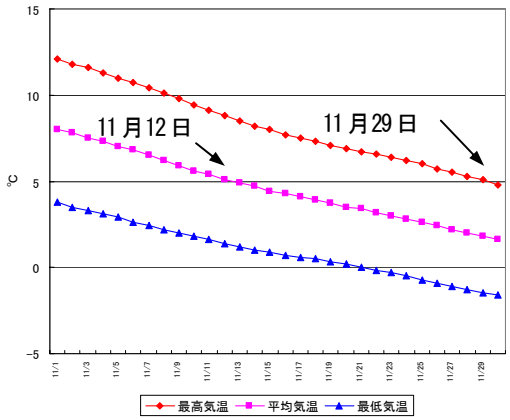


図 5　晩秋(11/1-11/30)の気温（札幌市）

5．イチイの生育環境と菰巻きとの関係

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

札幌市における+5 ℃以上の期間、イチイの生産（光合成）期間及び消費（呼吸）期間、菰巻きの実施期間の関係を図 6 に示す[3)]。4 月上旬～下旬および 11 月上旬は、菰巻きにより光合成が妨げられ、イチイの生産活動が停止している可能性がある。

また、本調査において、菰巻き外部の気温が+5 ℃以上の時間が約 33 時間となったことから、晩冬期の+5 ℃以上の状況において樹木が活動を始めていると仮定すると、晩冬期における樹木の生産活動にも影響を及ぼしている可能性が示唆される。

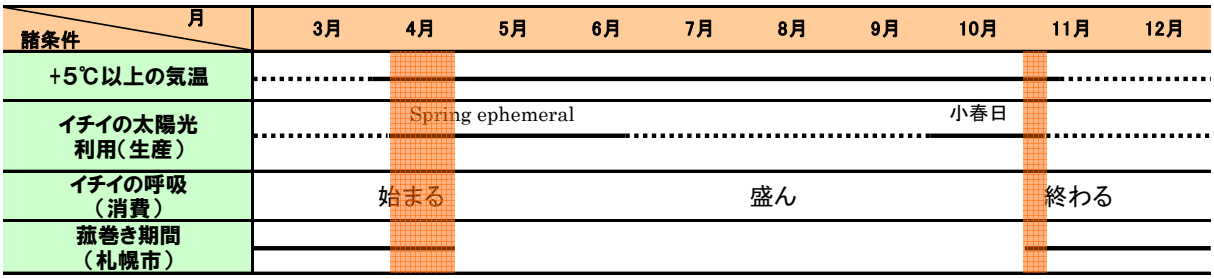


図 6　イチイの生育環境（落葉樹林内）と菰巻きの関係

表 1　イチイに対する菰巻きの適用性

冬囲いタイプ	景観性	保温性		成長・生育阻害	その他	評価
		昼間	夜間			
菰巻き	× 冬の風物詩という考え方もあるが、常緑樹の冬季の景観を阻害	× 気温上昇を妨げる	△ 急激な気温低下を防げるが、耐寒性に優れるイチイには必要ない	? 晩秋・早春の光合成の不足による成長阻害の可能性あり	× コスト高 ペストの巣になりやすい	イチイには適さない

6．まとめ

・菰巻きは、急激な温度変化を抑制する効果が認められた。しかし、イチイは耐寒性に優れているため、急激な温度低下に対する菰巻きは必要ないと考えられる。
・菰巻きは、夜間の温度低下を抑制する働きより、昼間の温度上昇を抑制する働きの方が大きい。また、菰巻き内の温度が+5 ℃以上になる時間は外気よりも短い。
・気温、イチイの生産活動、菰巻き実施期間の関係でみると、菰巻きは早春および晩秋における生産活動を妨げ、イチイの生育・成長を阻害している可能性がある。
・今後は、イチイの晩秋および早春における+5 ℃以上における活動状況（生産・消費）を調査し、その成長および生育状況を明らかにする必要がある。

参考文献

1)　斎藤新一郎、寒乾害および除雪害対策を兼ねた道路緑化における越冬方法について、北海道の雪氷 No.23:40-43、日本雪氷学会北海道支部、2004
2)　小松佳幸・阿部正明・斎藤新一郎、道路緑化樹の冬囲いのあり方、野生生物と交通研究発表会講演論文集 Vol.6:41-44、2007
3)　斎藤新一郎、樹木のバイオリズムからみた季節に応じた適切な移植手法について、9pp、2007.5
4)　斎藤新一郎、北海道の自然　オンコ、北海道新聞社、1986
5)　気象庁 HP: http://www.jma.go.jp/jma/index.html

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

除雪圧を受けたイチイの幹折れおよび枝抜けについての解剖的な観察

斎藤新一郎（環境林づくり研究所）

まえがき

寒冷多雪の北国では，緑化樹木の越冬に際し，自然条件下において，寒乾害や雪害が，しばしば生じる．加えて，除雪，屋根雪の落下，ほかの人為に関わる雪害も生じる．特に，除雪は，冬期の暮らしに不可欠の作業であって，路傍の緑化樹木に除雪圧が加わり，雪害に到るケースがある．そのために，生活に不可欠な除雪に対して，緑化樹を健全に保育管理する手法の確立が望まれている．

今回，団地内の道路沿いに植えられたイチイが，除雪圧によって，幹折れし，枝抜けする事例が認められた（斎藤 2006，2007a）．イチイは，高価な緑化樹であって，年輪解析をする機会が乏しい．そこで，筆者は，それぞれの雪害部位を，横断面および縦断面から，解剖的に，詳しく観察してみた．なお，雪害木について，外観の観察事例はあっても，その詳しい年輪解析の研究事例は，稀である（斎藤 1998）．その結果から，筆者は，除雪圧に対する保育手法を提案することになった．

ちなみに，イチイは，次のような特徴を有する．常緑性（青木，玉串）であり，長寿（~800年生）であり，良材（一位樹，ヤニ無し：建築，家具，器具，玩具，ほか）であって，鳥散布（球果でなくて仮種皮つき種子）である（斎藤 1986a）．そして，道民が好きな樹種であり，庭木・生垣，街路樹，公園樹，鎮守の森（ご神木）などに植栽されている．さらに，年成長量が小さめでありながら，材質が緻密であり，年輪がきわめて明瞭であり，拡大コピーにも対応するので，年輪解析を行いやすい樹種である．また，こうした親しみのある緑化樹・イチイについて，筆者たちは，冬囲いの改善（菰巻きの不適切さ）にも言及してきた（斎藤 2007b，小松ほか 2007，阿部ほか 2007）．

本稿の取りまとめに当たり，本観察のイチイの所有者・須藤久雄氏（美唄市峰延町本町在住）に，筆者は，感謝の意を表する．

調査地の概要

調査地は，美唄市峰延町本町北 2 地区にある．

団地内の道路沿いに，4 本のイチイが植えられ，樹高が 5~6m，胸高直径が 9~14cm，樹冠長径が 3~4m ある．これらは，クリ，オニグルミ，ヤチダモの大きな樹冠下に位置し――それらの着葉期には，陽光が乏しくなり――，陰葉を着けた陰樹タイプ（開いた傘タイプ）としての生育を余儀なくされている．道路の除雪は，機械的に路傍へ押し上げる方式であり，植栽木へはかなり大きな除雪圧が掛かる．除雪された堆雪深は，350cm に達する年もあり，イチイの下枝が堆雪内に取り込まれ，堆雪の春の沈降圧により，枝抜けが生じやすくなる．

イチイの植栽は，所有者によると，1960 年ころに行われた．それゆえ，移植後ほぼ 45 年生である．

調査結果

幹折れの観察は 2007 年 5 月 14 日に，枝抜けのそれは 2006 年 4 月 26 日に，実施された．

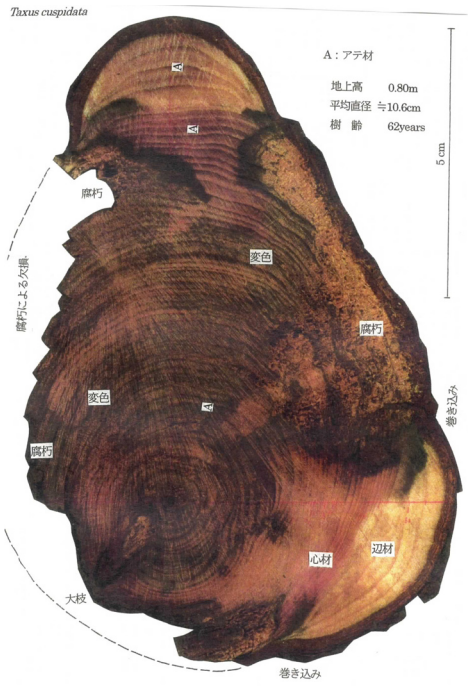
Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

1）幹折れ（trunk break）

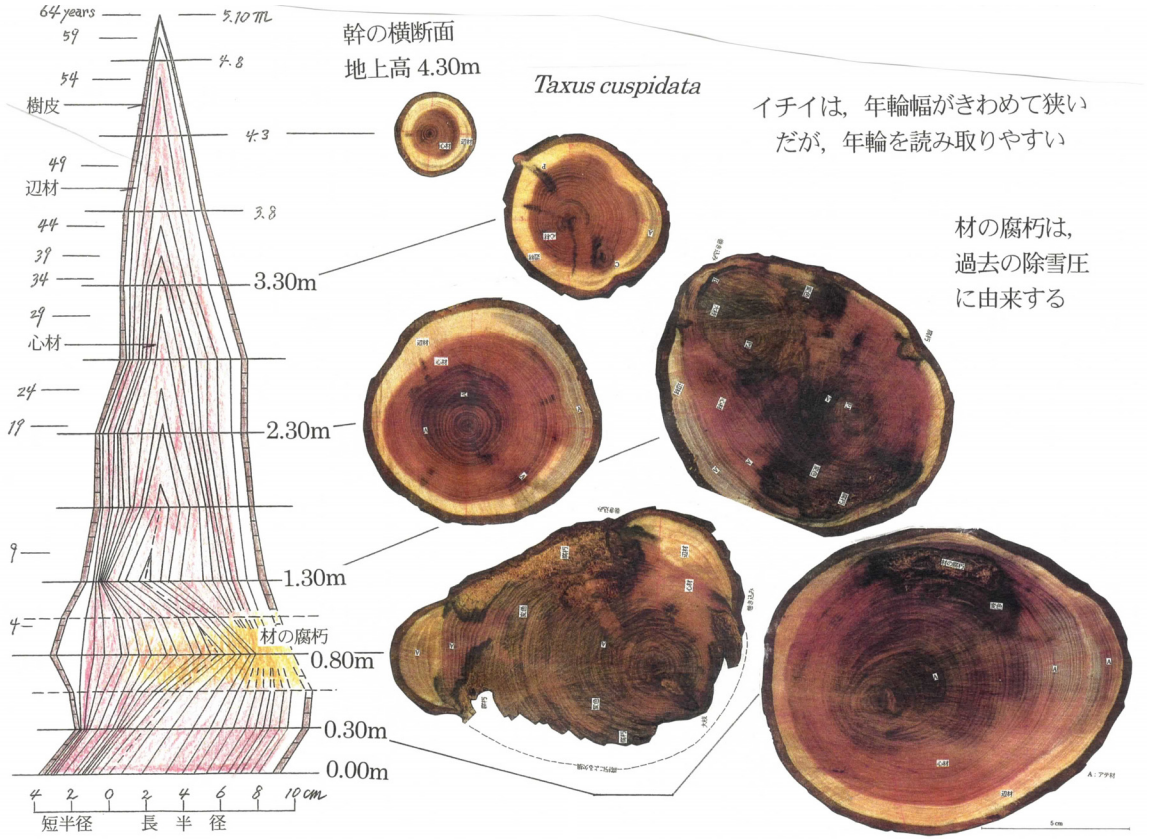
幹折れは，地上高 1.00 m あたりで生じていた．その直下の 0.80 m の，幹の横断面を観察すると，材の腐朽がいちじるしく進んでいた．つまり，過去の除雪圧によって，樹皮や材が傷つき，腐朽が進んでいて，この冬の除雪で折れたのであった．折れるべくして折れた，という結果である．それにしても，正常な部分がごく僅かでありながら，その部分の異常な肥大成長（アテ材の形成）によって，樹体の成長が維持されていた（写真－1）．

そして，年輪解析によると，このイチイは，樹高が 5.10 m，胸高直径が 9.2 cm，樹齢が 94 年生，材積が 0.017 m^3 であった．幹の曲がりは，除雪圧および傾斜幹の立ち直りによってもたらされた．各地上高における幹の横断面のコピーおよび樹幹解析図が，図－1 に示される．材の腐朽・損傷部分は，破線で描かれた．また，偏心成長が重視され，髄の位置が動かされた．

なお，このイチイの肥大成長量は，年輪幅が狭すぎるので，5 年毎に計測された．その結果，樹高成長量は，全平均では 0.08 m／年，若い時期には 0.10 m／年，最近では 0.03~0.06 m／年であった．また，肥大成長量は，胸高直径（地上高 1.30 m）において，全平均では 0.14 cm／年（年輪幅



写真－1
地上高 0.80 m における幹材の腐朽



図－1　幹折れしたイチイの幹の樹幹解析図および各横断面のコピー

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

が 0.7 mm），若い時期には 0.20 cm／年（同 1.0 mm），最近では 0.12 cm（同 0.6 mm）であった．

樹齢は，地上高 0.30 m において 64 年生であったが，それまで（ほぼ苗高）に達するには，＞5 年を経過している筈であるから，おそらく，≒70 年生であろう．

また，樹高成長からみると，移植時期は，ほぼ 45 年前として，当時の樹高は 2.25 m 程度であり，苗木植えではなく，半成木の移植であったことになる．

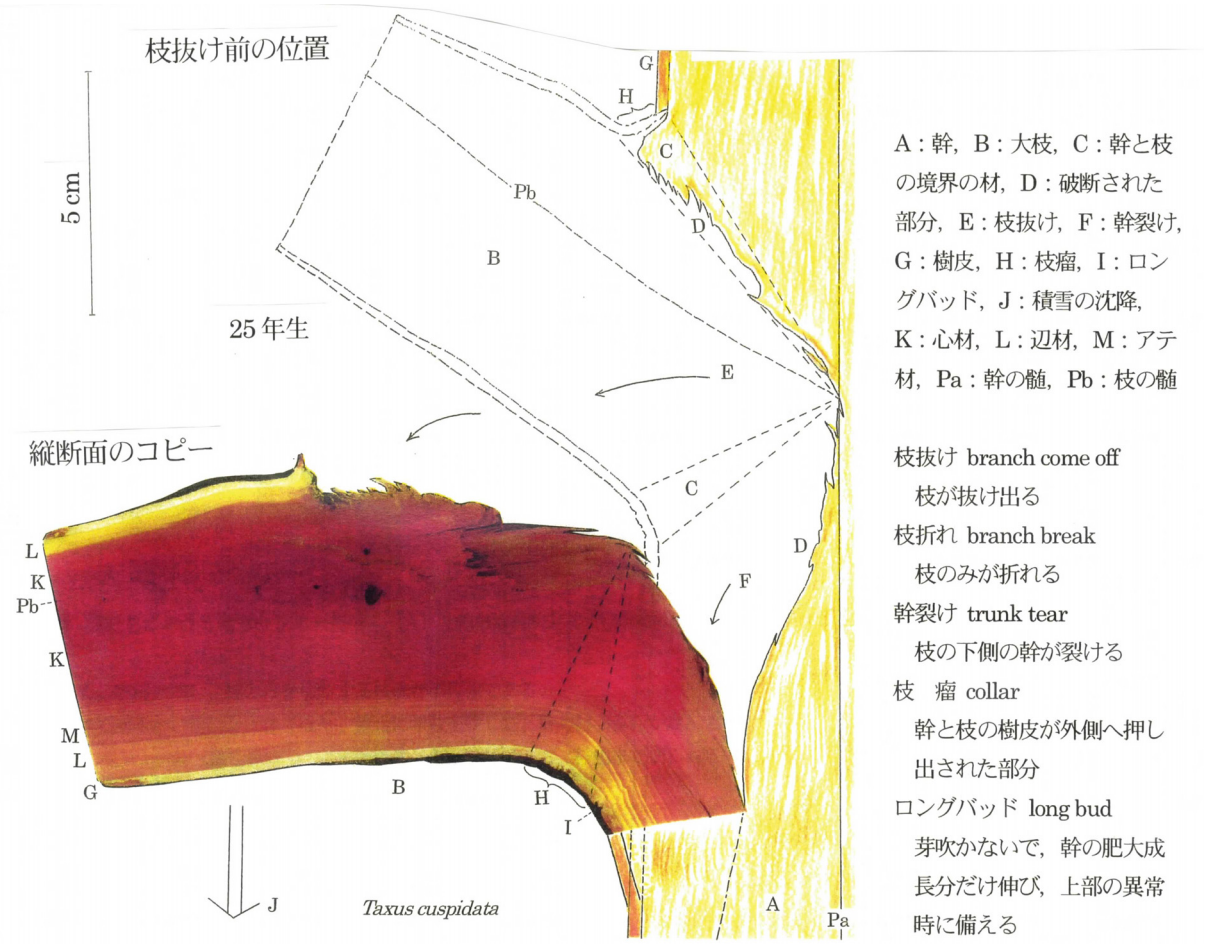
2）枝抜け（branch come off）

深雪ないし高い堆雪は，沈降して，大きい沈降圧を生じ，枝を幹から引き抜く．これが枝抜けである．従来，この現象は，枝折れとみなされてきたが，雪害に関しては，針葉樹・広葉樹を問わず，枝が折れる（branch break）のではなく，枝が幹から抜け出るのである．

枝の材は，年輪が緻密で，幹の材より強いために，雪圧が掛かると，枝と幹の材の境界において，幹側の材が破壊されるのである．

本観察では，上述の幹折れイチイから 2 本目の個体であって，地上高が約 2.70 m の位置において，大枝（輪生枝）が引き抜かれた．引き抜かれた枝は採取され，鋸挽きされ，サンドペーパーを掛けられ，縦断面がつくられて，コピーされ，トレースされた．

この大枝の年齢は 25 年生であり，大部分が心材で，外側に僅かな辺材が観られた．また，針葉樹類の特徴であるが，髄は枝の中心には位置しないで，上側にずれていて，その分，下側が広い――枝を持ち上げている．その状態が，図－2 に示される．



図－2　イチイの枝抜けとそれにともなう幹裂けの縦断面

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

なお，枝抜けは，枝が引き抜かれて，幹に円錐の穴傷をつけるのみでなく，枝の下側の，幹の一部も裂ける（幹裂け，trunk tear）から，より大きい傷跡を残す．

これらの傷跡は，幹の肥大成長によって，巻き込まれてゆくけれども――イチイの成長の遅さから，その耐腐朽性の高さにも拘わらず――，巻き込みが完了する前に，腐朽菌や穿孔虫の侵入があって，材の腐朽が進んでしまい，強い風雪や除雪によって，幹折れに到るケースが多くなる．

枝抜けの予防策は，枝打ちである．堆雪深より高くまで，枝を剪定すれば，枝抜けを，また，枝が引き下げられることによって生じる幹曲がり，幹折れさえも，予防できる．

要　約

本稿は，次のように要約される．

1）イチイの雪害（幹折れ，枝抜け）の解剖的な観察から，①多雪地に天然分布しながら，雪害（枝抜け）を受けやすく，除雪による硬い高い堆雪は，より大きい沈降圧による雪害をもたらす，②幹折れは，ただ１回の除雪ではなく，過去の除雪による古傷に由来していた，③材が半腐朽していても，年輪を観察しやすい，ほかが明かになった．

2）イチイの雪害防止対策としての冬囲いについて，包み型の菰巻きをしないで，冬期の景観を楽しむためにも，丸太囲い，竹囲い，板囲い，雪吊り，ほかの骨組み型が望ましい，除雪圧の大きさに応じて，頑丈な骨組みを用意する．

3）上述の従来の冬囲いでは，機械的な除雪圧に対しては，限界があるので，①物理的な対策としては，防雪杭の設置，ツリーガードの設置が望まれ，②生物的な対策としては，裾枝打ち・除雪側の高い枝打ちの実施が望まれる．

参考文献

阿部正明・斎藤新一郎・小松佳幸，2007．気温測定からみたイチイに対する菰巻きの効果について．北海道の雪氷，no. 26：25～28.

小松佳幸・阿部正明・斎藤新一郎，2007．道路緑化樹の冬囲いのあり方について．野生生物と交通，vol. 6：41～44.

斎藤新一郎，1986a．オンコ．237pp.，北海道新聞社，札幌.

――――――，1986b．北海道焼尻島におけるミズナラ・イチイ天然生林の群落学的研究．北林試研報，no. 24：39～63.

――――――，1998. 林木の雪害の１形態としての枝抜けについて. 雪氷大会講予稿集, 1998：　.

――――――・小泉重雄，2003．並木の除雪による被害とその対策としての防雪杭の効果．北海道の雪氷，no. 22：21～24.

――――――，2004a．寒乾害および除雪害対策を兼ねた道路緑化における越冬方法について．北海道の雪氷，no. 23：40～43.

――――――，2004b．道路防雪林の維持管理手法について．寒地技術論文・報告集，vol. 20：704～709.

――――――，2006．イチイの枝抜けした大枝の縦断面の観察．10pp.，環境林づくり研究所.

――――――，2007a．除雪害で折れたイチイの年輪解析――美唄市峰延町本町における１事例．23pp.，環境林づくり研究所.

――――――，2007b. 道路緑化樹の冬囲いの手法――特に常緑樹に対する菰巻きの是非について. 北の交差点，vol. 20：23～27.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

振動による屋根雪滑動と構造体との動的相互作用に関する基礎的研究

その１　振動による屋根雪の破断モードと構造体の応答性状

○千葉隆弘（北海道工業大学），宗像真木彦（北海道工業大学大学院）
苫米地司（北海道工業大学），高橋徹（千葉大学）

１．はじめに

2004 年 10 月に発生した新潟県中越地震では，約 3,000 棟の木造住宅が全壊した。さらに，12 月からの断続的な降雪によって発生した 18 年ぶりの豪雪では 257 棟の木造住宅が全壊し[1]，これら全壊した木造住宅の 77%は，先に発生した中越地震で全壊と判定されていた。このように，新潟県中越地方で発生した自然災害は，地震と豪雪の複合災害の様相を呈している。2007 年 3 月の能登半島地震においても 533 棟の木造住宅が全壊し，土葺き瓦屋根のような重い屋根の木造住宅に被害が集中した[2]。震源付近は豪雪地帯に指定されているが，2006 年度の降積雪状況は暖冬の影響によって寡雪となり地震発生時には積雪が観測されていない。例年は数十 cm の積雪が観測されており[3]，地震時に積雪があった場合は，雪荷重による住宅の倒壊や避難経路の確保など，被害拡大に繋がる様々な要因が懸念される。このような状況をみると，積雪地域における木造住宅の耐震性は，積雪期に発生する地震を想定して十分に検討する必要がある。

構造物に作用する地震力は重量の大きさで変化するため，積雪期に発生する地震では雪荷重を考慮して地震力を算定する必要がある。現行の建築基準法では，屋根重量に加える雪荷重が考慮されておらず，札幌市等では塗装鋼鈑葺きの「軽い屋根」を「重い屋根」として対応している。さらに，塗装鋼鈑葺きの無落雪屋根や勾配屋根では，振動により屋根雪の滑動・滑落が発生する可能生があり，筆者らは，振動による屋根雪の動的挙動が構造体の振動特性に影響を及ぼすことを実験的に明らかにしている[4]。このように，積雪地域の木造住宅は，雪荷重の影響および屋根雪の動的挙動を考慮し，実状に即した耐震性の評価を行う必要がある。

本研究では，屋根雪の動的挙動が構造体の振動特性に及ぼす影響を明らかにするため，基礎的な振動実験を行い，屋根雪滑動の拘束度と屋根雪破断モードとの関係などを検討した。

２．実験方法

2.1　実験シリーズ

本研究では平屋建の陸屋根を想定し，屋根葺材を貼り付けた大きさ 900mm×900mm の合板の四隅を鋼製脚で支持した構造体に自然雪を堆積させて加振実験を行った。

屋根葺材は，積雪地域で一般的に使用されているフッ素塗装鋼板およびつや消し塗装鋼板を用いた。フッ素塗装鋼鈑の表面粗さ（Rz_{JIS}）は 4.2μm，つや消し塗装鋼鈑の表面粗さは 21.2μm であり，フッ素塗装鋼鈑の表面粗さの方が小さい。屋根葺材の表面は，図 1 に示すように，屋根面温度の偏分布を考慮した部分的な凍着状態をモデルとし[5]，屋根雪の滑動を 1 辺～3 辺で拘束した場合と，塗装鋼板葺きの「はぜ」を想定した場合を対象とした。1 辺～3 辺拘束は，屋根面に貼り付けたワイヤラスで凍着状態を再現した。はぜの高さは 30mm，間隔は 300mm である。

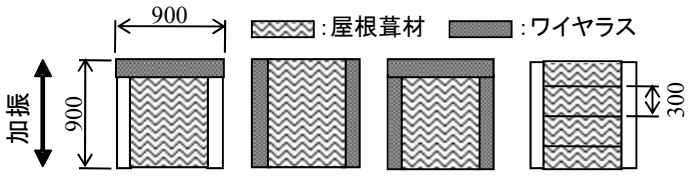


図1　実験シリーズ

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表1　実験に使用した自然雪の雪質

雪質	実験に使用した雪		屋根雪	
	密度 [kg/m^3]	硬さ [N/mm^2]	密度 [kg/m^3]	硬さ [N/mm^2]
しまり雪	230	2.20	240	2.00
ざらめ雪	436	3.00	420	2.70

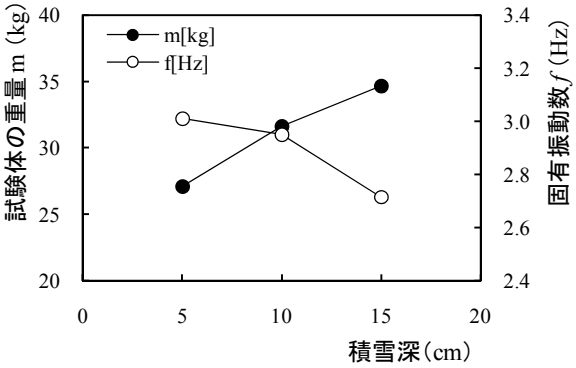


図2　試験体の重量と固有振動数

写真1　実験状況

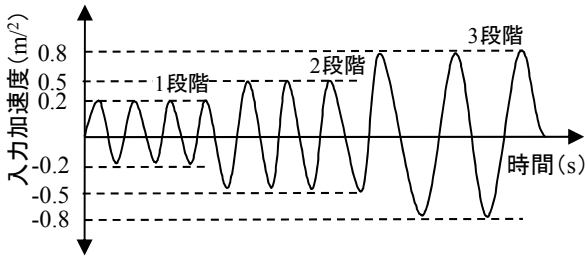


図3　加振方法

屋根葺材に堆積させた自然雪の深さは，5cm，10cm，15cm の 3 種類とした。自然雪の堆積状態は，実際の屋根雪を想定し，下層 5cm はざらめ雪，上層はしまり雪とし，上層で深さを調節した。これら自然雪は，ふるいにかけて堆積させた。表 1 に雪密度および雪の硬さを示す。表のように，雪密度は，しまり雪が 230kg/m^3 程度，ざらめ雪が 436kg/m^3 程度，平均で 333kg/m^3 程度であった。雪の硬さは，プッシュプルゲージの先端に取り付けた直径 14mm の円盤を突き刺して測定した。その結果，しまり雪は 2.2N/mm^2，ざらめ雪は 3.0N/mm^2 であり，実際の屋根雪で測定した値と近似した。

2.2　実験方法

実験状況を写真 1 に示す。振動台の動力は人力とし，自由振動加振，調和加振を行った。自由振動加振は，試験体の固有振動数を把握するために行った。試験体の重量および固有振動数 f を図 2 に示す。図のように，重量は，積雪深の増加に伴い増加する関係を示し，25～35kg である。固有振動数 f は，重量の増加に伴い減少し，積雪深 5cm で 3.01Hz，10cm で 2.95Hz，15cm で 2.72Hz となった。これら固有振動数を基に，十分な応答加速度が得られるように調和振動の振動数を決定した。調和振動では，図 3 に示すように，振幅を段階的に増加させ，振動により屋根雪を破断させた。そのときの状況をビデオカメラで撮影するとともに，振動台，試験体，および屋根雪に加速度計を取り付け，破断時の応答加速度を測定した。加速度のサンプリング周期は 0.005 秒である。

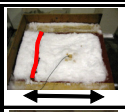
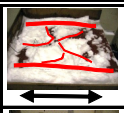
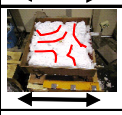
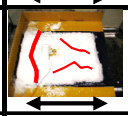
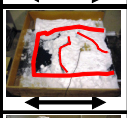
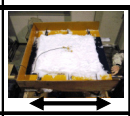
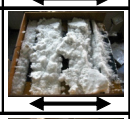
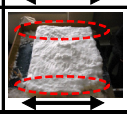
3．実験結果

3.1　振動による屋根雪の破断モード

フッ素塗装鋼鈑およびつや消し塗装鋼鈑における屋根雪の破断状況を表 2 に示す。表のように，フッ素 1 辺固定をみると，積雪 5cm の場合は，拘束辺の雪が切断され，その雪が屋根葺材上を滑動した。積雪 10cm の場合は，拘束されている屋根雪と滑動している屋根雪が衝突し，全体が粉砕した。これらに対し，積雪 15cm の場合は，ワイヤラス上部の雪が層破断し，屋根葺材上を滑動した。このように，積雪深の違いにより破断モードが変化する傾向がある。2 辺拘束および 3 辺拘束の場合をみると，1 辺拘束と同様に，積雪 5cm，10cm では，拘束辺の雪

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表2　屋根雪の破断状況

屋根葺材	積雪深	屋根雪の拘束状態 1辺拘束	2辺拘束	3辺拘束	はぜ
フッ素	5cm	 ・ワイヤラスとの境界で破断	 ・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が破断	・円弧状の破断面が形成 ・側部ではワイヤラス上部で層破断	
	10cm	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が破断	 ・振動により細かく破断	・円弧状の破断面が形成 ・側部ではワイヤラス上部で層破断	
	15cm	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が4ブロックに分割	・ワイヤラス上部で層破断	・部分的な破断	
つや消し	5cm	 ・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が若干破断	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が若干破断	 ・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が若干破断	 ・破断なし
	10cm	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が破断	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が破断	・ワイヤラスとの境界で破断 ・滑動した雪が破断	 ・はぜより上部の雪が細かく破断
	15cm	・ワイヤラス上部で層破断	 ・ワイヤラス上部で層破断	・ワイヤラスとの境界で破断 ・ワイヤラス上部で層破断	・はぜより上部の雪が細かく破断

が振動により切断された後に屋根葺材上を滑動し，積雪 15cm では，ワイヤラス上部の雪が層破断する傾向がみられた。また，つや消しの場合をみると，前述のフッ素と同様の傾向を示した。

これらに対し，はぜの場合をみると，積雪 5cm の場合は破断が生じなかった。積雪 10cm では，はぜ間で小さな滑動が生じ，その衝撃により雪全体が粉砕した。積雪 15cm の場合においても前述と同様の傾向を示した。

このように，屋根雪滑動の拘束度を変化させることにより，振動による屋根雪の破断モードが大きく変化することが明らかとなった。

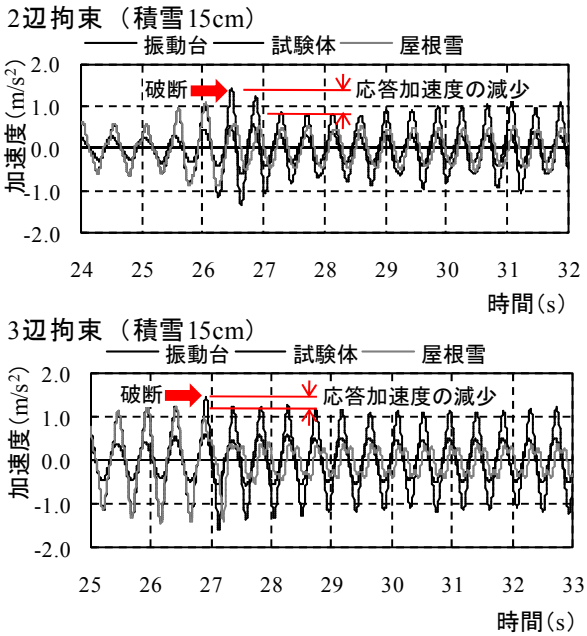


図3　試験体および屋根雪の時刻歴応答

3.2　屋根雪破断時の応答加速度

つや消し塗装鋼鈑 2 辺拘束および 3 辺拘束の積雪 15cm を例に，測定した加速度の時刻歴を図 3 に示す。図のように，2 辺拘束の場合は 1.3m/s²，3 辺拘束の場合は 1.4m/s² 程度の応答加速度に達したときに屋根雪が破断し，屋根雪の応答加速度が急激に低下している。破断後は，試験体と屋根雪の位相差がほぼ 90° となり，試験体の応答加速度は破断前より減少しており，2 辺拘束で顕著な傾向がみられる。

次に，屋根雪の拘束辺数と破断時の応答加速度との関係を図 4 に示す。図のように，フッ素の場合をみると，概ね拘束辺数の増加に伴い破断時の応答加速度が増加する関係を示す。積雪深別にみると，5cm に比べて 15cm の応答加速度が小さい傾向を示す。

このように，屋根雪滑動の拘束度の増加に伴い屋根雪の破断に必要な応答加速度が増加する

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

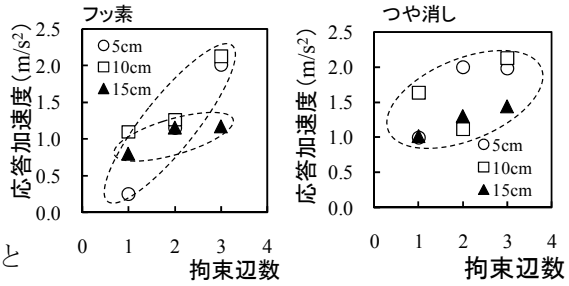


図4　拘束辺数と破断時の応答加速度との関係

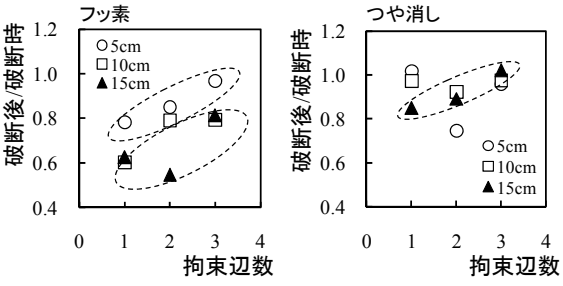


図5　拘束辺数と破断後の応答加速度との関係

と

ともに，積雪深が大きいほど，すなわち，雪荷重が大きいほど破断に必要な応答加速度が小さくなる。つや消しの場合をみると，概ね前述と同様の傾向を示すものの，積雪深の影響はフッ素ほど明瞭ではない。次に，屋根雪の拘束辺数と破断時の応答加速度に対する破断後の応答加速度の割合（破断後/破断時）との関係を図 5 に示す。図のように，フッ素の場合をみると，拘束辺数の増加に伴い破断後/破断時が増加する関係を示す。積雪深別にみると，積雪深が多いほど破断後/破断時が小さい傾向を示す。つや消しの場合をみると，積雪深 15cm の条件では，前述と同様の傾向を示すものの，5cm，10cm の条件では，バラツキがみられる。このように，屋根雪滑動の拘束度および積雪深は，屋根雪破断後の滑動状況に有意な影響を及ぼすことが認められ，その傾向はフッ素で顕著となった。

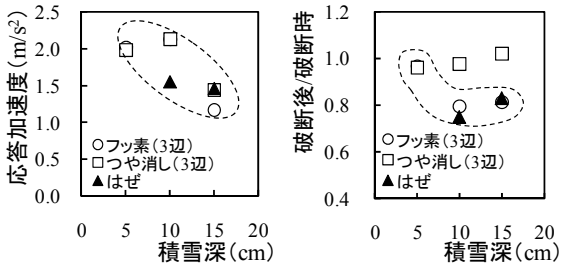


図6　積雪深と応答加速度との関係

次に，はぜにおける破断時の応答加速度と破断後/破断時を 3 辺拘束と比較した結果を図 6 に示す。図のように，はぜにおける破断時の応答加速度は，積雪深の増加に伴い減少する傾向を示し，フッ素およびつや消しと同様の減少傾向である。これに対し，破断後/破断時をみると，積雪深増加に伴う破断後/破断時の減少傾向は，フッ素と同程度であり，つや消しの場合は，積雪深の増加に伴う破断後/破断時の減少傾向が確認されない。このように，はぜにより屋根雪の滑動が拘束された場合においても振動により屋根雪が破断し，構造体の応答性状に影響を及ぼすことが明らかとなった。

4．まとめ

本研究では，振動による屋根雪の動的挙動が構造体の応答性状に及ぼす影響を検討するため，基礎的な振動実験を行った。その結果，振動により屋根雪が破断する状況や破断後の応答性状は，屋根雪滑動の拘束度および積雪深が影響を及ぼすことが明らかとなった。今後は，ランダム加振した場合や勾配屋根の場合を検討すると共に各種影響量を定量的に把握・評価し，積雪地域住宅の地震応答シミュレーションへと発展させる予定である。なお，本研究は，北海道立北方建築総合研究所の植松武是博士に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

【参考文献】

1) 新潟県防災局：豪雪・融雪に関する情報，http://bosai.pref.niigata.jp/content/gousetsu/
2) 石川県危機管理対策課：平成 19 年能登半島地震に関する被害の状況，http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp
3) 気象業務支援センター編：気象庁平年値，CD-ROM
4) 千葉隆弘，他 3 名：屋根雪の振動が木造住宅の地震応答に及ぼす影響，寒地技術論文・報告集，Vol.22，pp.314-318，2006.11
5) 苫米地司，伊東敏幸，高倉政寛，山口英治：屋根雪の滑雪現象に関する基礎的研究，日本雪工学会誌，Vol.11，No.2，pp.2-9，1995.4

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

振動による屋根雪滑動と構造体との動的相互作用に関する基礎的研究

その２　屋根雪滑動時における構造体の応答性状

○宗像真木彦（北海道工業大学院），千葉隆弘（北海道工業大学），
苫米地司（北海道工業大学），高橋徹（千葉大学大学院工学研究科）

１．はじめに

前報その1では，北海道や青森県で多くみられる無落雪屋根における屋根雪の動的挙動が木造住宅の振動特性に及ぼす影響を検討するため，基礎的な振動実験を行った。振動実験では，凍着やはぜによって屋根雪が部分的に固定される場合を想定し，屋根雪の固定辺やはぜの間隔が屋根雪の破断モードに大きく影響することが明らかとなった。さらに，その破断モードの違いにより構造体の応答加速度が変化することも明らかとなった。本報その２では，表面性状の異なる屋根葺材を用い，振動により屋根雪が破断した後において屋根雪が滑動したときの応答性状を実験で検討した。

２．振動実験

2.1 実験シリーズ

表 1 に実験に使用した屋根葺材の概要を示す。本実験では，積雪地域で多く使用されている塗装鋼板のうち表面性状の異なる 2 種類を対象とした。これらの屋根葺材の 10 点平均粗さ（Rz_{JIS}）は，フッ素塗装鋼板が 4.2 μm，つや消し塗装鋼板が 21.2 μm であり，つや消し塗装鋼板の表面粗さはフッ素塗装鋼板の 5 倍程度となっている。なお，屋根葺材の表面には，滑動の妨げとなる凹凸がなく，フラットな状態である。

表 2 および表 3 に実験シリーズを示す。本実験で用いる地震波は正弦波であり，屋根雪の深さと入力加速度を一定とし振動数比 p/f（正弦波の振動数／試験体の固有振動数）を変化させた実験Ⅰと，振動数比 p/f を一定とし入力加速度と屋根雪の深さを変化させた実験Ⅱを行った。実験Ⅰでは，屋根雪を 15cm，入力加速度を 500 gal とし，振動数比 p/f を 0.5～0.9 間で 0.1 刻みに設定した。実験Ⅱでは，振動数比 p/f を 0.8 とし，屋根雪を 5 cm～20 cm 間で 5 cm 刻みに，入力加速度を 300～800 gal 間で 100 gal 刻みに設定した。なお，屋根雪が滑動しない場合の実験では，摩擦係数が極めて大きい砂付き塗装鋼板を用いた。

表1　実験に使用した屋根葺材の表面粗さ

屋根葺材	表面粗さ（μm）	
	中心線平均粗さRa	10点平均粗さRz
フッ素塗装鋼板	0.65	4.2
つや消し塗装鋼板	3.11	21.2

表2　シリーズ（実験Ⅰ）

入力500gal程度		
p/f	屋根雪15cm	
	滑動あり	滑動なし
0.5	○	○
0.6	○	○
0.7	○	○
0.8	○	○
0.9	○	○

表3　シリーズ（実験Ⅱ）

入力	屋根雪（p/f＝0.8一定）			
(gal)	5cm	10cm	15cm	20cm
300	－	－	○	○
400	－	○	○	○
500	○	○	○	○
600	○	○	○	○
700	○	○	－	○
800	○	○	－	○

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

写真1　試験体設置状況

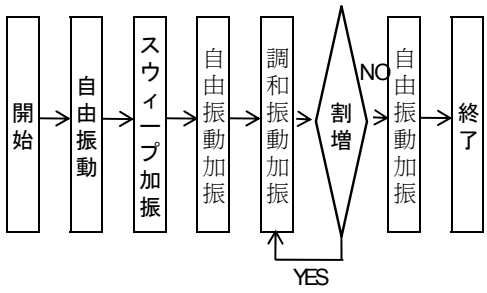


図1　実験の流れ

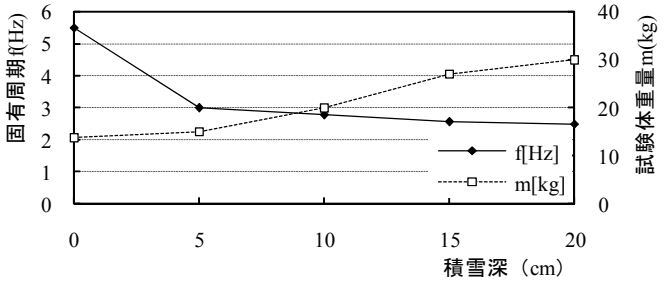


図2 屋根上積雪深と固有周期の関係

2.2 実験方法

振動実験は，写真 1 に示す北海道立北方建築総合研究所所有の 1 軸水平加振テーブルを用いて行った。加振テーブルの仕様は，最大変位が±25 mm，最大速度が±36 kine である。試験体は，鋼製脚を取り付けた 900 mm×900 mm の合板に屋根葺材を貼り付けた単純な平屋建住宅を想定したものである。このような試験体を水平加振装置に取り付け，屋根雪を堆積させ後に振動実験を行った。実験に使用した屋根雪は自然雪であり，ふるいにかけて試験体に堆積させた。雪密度は 300～500 kg/m^3 であり，しまり雪に相当している。なお、屋根雪と屋根葺材との界面は屋根雪を滑動させるため，湿潤状態とした。

加振手順を図 1 に示す。自由振動加振は人力で行い，スウィープ加振は加速度を 0.1 G とし，3 Hz～8 Hz の掃引とした。これらの試験はいずれも試験体の固有振動数 f を把握するためである。図 2 に屋根上積雪深と試験体固有振動数の関係を示す。図のように，試験体重量は，積雪がない状態で 13.5 kg，積雪深 5～20 cm 間に 15.0～30.0 kg まで増加している。固有振動数 f をみると，屋根雪がない場合，試験体の固有振動数が 5.5 Hz，屋根雪 10 cm の場合では 2.78 Hz，20 cm では 2.49 Hz であり，バラツキがあるものの積雪深の増加に従って，試験体の固有振動数の減少傾向がみられる。減衰定数については，いずれの積雪深においてもほぼ 2 %であった。このように，試験体に雪荷重が作用する場合は，雪荷重が大きくなることにより試験体の固有振動数 f が低下し，最も固有振動数の減少率の大きかった積雪 0～5 cm 間の固有振動数の低下は，一般的な住宅の規模を想定した場合，100～150 cm の屋根雪が作用した場合に相当するものであった。これら固有振動数 f を基に，調和加振の振動数を逐次決定した。加振時間は 1 回約 20 秒とし，実験ごとに入力加速度を計測，試験体の挙動は，加振テーブル，試験体および屋根雪に取り付けた加速度計で計測した。なお，加速度のサンプリング周期は，0.005 s である。

3．実験結果

3.1 応答加速度と時刻歴

図3～5に各屋根葺材の応答加速度時刻暦を示す。砂付き塗装鋼板の場合をみると，

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

振動台と試験体のいずれにおいても規則的な波形を示しており，振動台の振幅が250 gal，試験体は800 gal程度，加速度応答倍率（試験体応答加速度/入力加速度）は3.09を示した。フッ素塗装鋼板の場合をみると，振動台，試験体および屋根雪のいずれも規則的な波形を示し，振動台と試験体の振幅がほぼ同程度となった。屋根雪の振幅は試験体より小さくなっており，加速度応答倍率は1.25で砂付き塗装鋼板の場合に比べて1/2以下の値を示した。つや消し塗装鋼板をみると，屋根雪が不規則に滑動したため，試験体の応答加速度も不規則になっている。加速度応答倍率は5.0程度であり，フッ素塗装鋼板に比べて大きな値を示した。以上の結果をみると，屋根葺材の表面性状が異なることによって屋根雪の振動状況が変化し，試験体の応答加速度に影響を及ぼしていることが分かる。

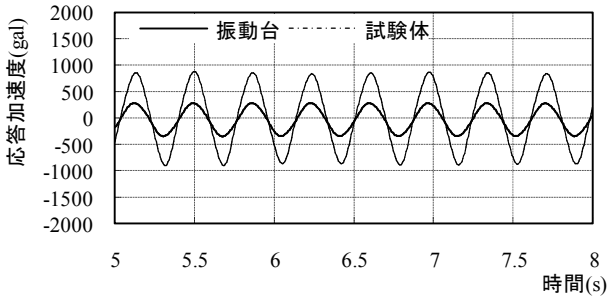


図3　応答加速度時刻歴（砂付き塗装鋼板）

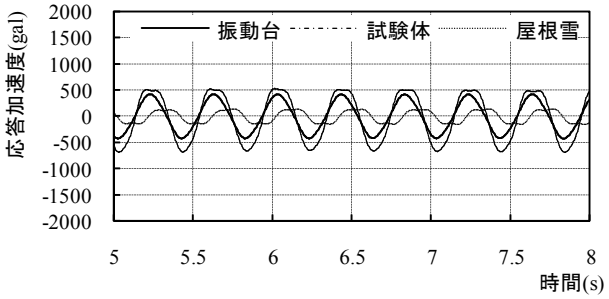


図4　応答加速度時刻歴（フッ素塗装鋼板）

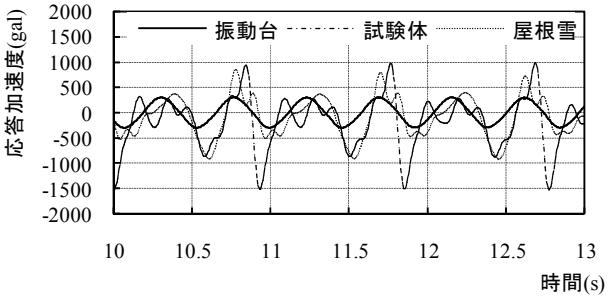


図5　応答加速度時刻歴（つや消し塗装鋼板）

3.2 振動数比と加速度応答倍率の関係

図6に振動数比と加速度応答倍率との関係を示す。図のように，砂付き塗装鋼板の場合は，振動数比の増加に伴い加速度応答倍率が増加する関係を示しており，減衰定数2 %の共振曲線とほぼ同程度の値を示す。フッ素塗装鋼板の場合をみると，屋根雪が滑動したため，振動数比の増加に伴い加速度応答倍率が緩やかに減少する傾向を示す。つや消し塗装鋼板をみると，振動数比0.7～0.8間で加速度応答倍率に大幅な増加がみられた。これは，屋根雪が急激に滑動したためと考えられる。以上の結果をみると，表面粗さの小さいフッ素塗装鋼板では，屋根雪が滑動することによって試験体の加速度応答倍率が減少し，表面粗さの大きいつや消し塗装鋼板では，屋根雪の滑動が不規則になるため，砂付き塗装鋼板と比べた場合においても試験体の加速度応答倍率が増加する場合がある。

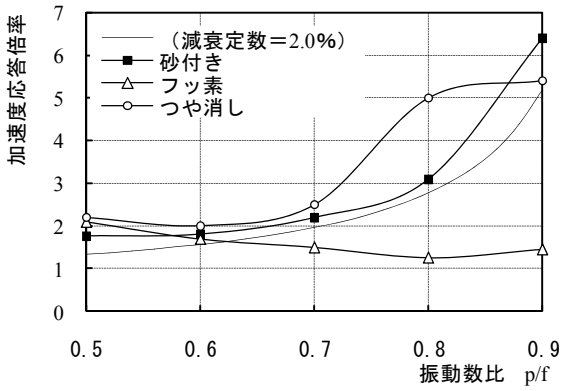


図6　振動数比と加速度応答倍率

3.3 入力加速度と加速度応答倍率の関係

図7，8に各屋根における入力加速度と加速度応答倍率との関係を示す。フッ素塗装鋼板

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

の加速度応答倍率をみると，入力加速度の増加に伴い加速度応答倍率が減少する傾向を示す。さらに，屋根重量が重いほど加度応答倍率が急激に減少する傾向を示す。つや消し塗装鋼板の場合をみると，バラツキがあるものの入力加速度の増加に伴い加速度応答倍率が減少する傾向を示す。このように，いずれの屋根葺材においても入力加速度が大きいほど加速度応答倍率の減少傾向が見られた。

3.4 屋根雪重量と加速度応答倍率の関係

図 9 に屋根雪の荷重と加速度応答倍率との関係を示す。入力加速度 500 gal においてフッ素塗装鋼板をみると，屋根雪荷重の増加に伴い加速度応答倍率が減少傾向を示す。つや消し塗装鋼板をみると，フッ素塗装鋼板に比べ加速度応答倍率が全体的に大きい値を示すものの，屋根雪荷重の増加に伴い加速度応答倍率が減少傾向を示した。次に入力加速度 700 gal においてフッ素塗装鋼板をみると 500 gal の場合と同様に減少傾向を示す。一方，つや消し塗装鋼板は，屋根雪荷重の増加に伴い加速度応答倍率に増加傾向がみられる。以上の結果をみると，フッ素塗装鋼板では，入力加速度に関わらず屋根雪荷重の増加に伴い加速度応答倍率が減少する関係を示し，つや消し塗装鋼板は，入力加速度の違いにより，屋根雪の重量の増加に伴う加速度応答倍率の増減関係が異なる傾向がある。

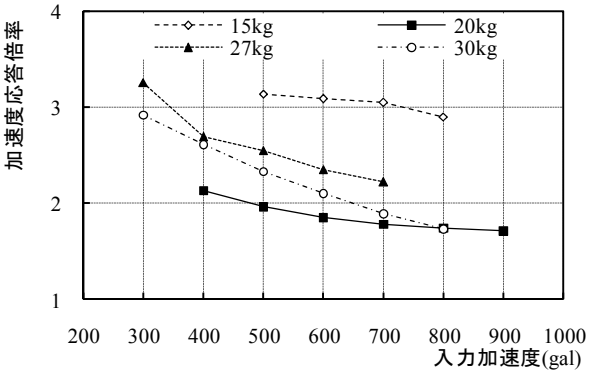


図7　入力加速度と加速度応答倍率
（フッ素塗装鋼板）

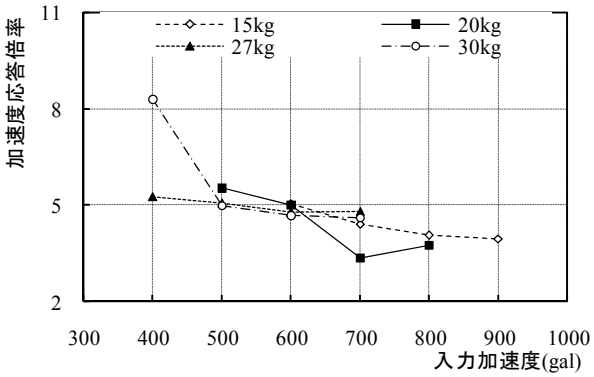


図8　入力加速度と加速度応答倍率
（つや消し塗装鋼板）

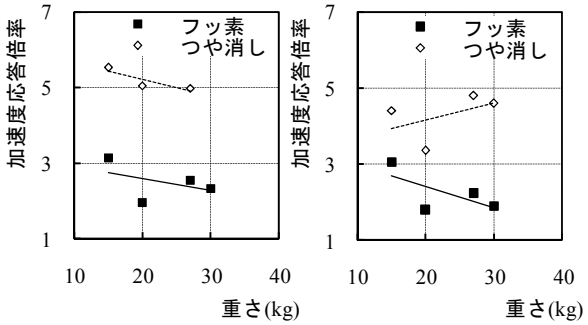


図9　屋根重量と加速度応答倍率の関係

4.まとめ

本報その2では，表面性状の異なる屋根葺材を用い，振動により屋根雪が破断した後において屋根雪が滑動したときの応答性状を実験で検討した。その結果，フッ素塗装鋼板では，屋根雪が滑動することにより試験体の応答加速度が減少した。その減少傾向は，入力加速度が大きいほど，さらに，屋根雪の重量が大きいほど顕著となった。これに対し，つや消し塗装鋼板では，屋根雪の滑動が不規則であったため試験体の加速度応答倍率にバラツキがみられ，滑動しない場合に比べて加速度が増加する場合もあることがわかった。このように，屋根雪が滑動した場合における構造体の応答性状は，屋根葺材の表面性状を考慮して評価する必要がある。なお，本研究は，北海道立北方建築総合研究所の植松武是博士に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

紐状冠雪の成長抑止実験

竹内政夫（雪氷ネットワーク）

１．　まえがき

橋梁や標識板などの構造物の頭上の着雪および冠雪や雪庇の落下事故防止のために、格子フェンスを提案し実験によって効果を確認してきた（竹内、等文献)。豊頃大橋のように実橋でも、落雪防止と冠雪や雪庇の成長防止のために格子フェンスが採用され効果をあげている（岳本論文)。斜張橋の斜材を想定した格子間隔が小さく細い金網状の三角形断面の格子フェンスを野外実験（竹内、2006）した際に、密度の小さい冠雪が細い紐状になって落下することが観察された。氷板や密度の高い冠雪の落下は抑止しなければならないが、密度の小さい新雪の落下の危険は許容範囲とするのが格子フェンスの考え方でもある。そこで、冠雪を大きくしないために積極的に落下しやすい紐状冠雪にして落下を促進させることができないかを野外実験した。また、紐状冠雪の形成機構を知るために各種物体にできる紐状冠雪を目視および写真で観察した。

２．紐状冠雪

冠雪が紐状になるのは、電線、手摺りや構造物の細く長い部材等身の回りに広く見られる現象である。例えば写真１は公園の防護棒の表面を滑って紐状になったもので、一部は落下してしまった名残の紐状冠雪である。回転しながら成長しアイスキャンデーのように電線を芯にした筒雪になることもある電線着雪と同様の現象である。これらは潤滑液となる水分を含む雪にみられる現象でよく知られている例であるが、底面での回転や滑りのない紐状冠雪もある。写真２はその例であるが、１０ｃｍ幅の長い板材の上にできたものである。写真１も写真２の例も、何故か一方向に偏らずそれぞれ一定の波長で蛇行しているように見える。写真２の天板との接触すた雪は融解して凍結した氷で強く凍着している。時間が経って雪の結合力

写真１　保護棒にできた紐状冠雪

も強くなった雪庇は大きく板をはみだしても千切れることもなくバランスしている。このように紐状冠雪が強く大きくならないように早期に落下させることが出来ないかを実験的に確認することがこの研究の目的でもある。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

写真２　板材の上に出来た
紐状冠雪

天板の上に氷板が生じその上に積もった雪が時間経過とともに雪の結合力を増して大きくはみ出し垂れ下がった紐状雪庇になった。このように大きな雪庇は密度は小さいが落下すると危険になる。

３．紐状冠雪の成長過程　―斜材―

斜材ケーブルの着雪防止実験で観察した紐状冠雪発生から成長の状況から紐状冠雪の成長過程について述べる。写真３.は直径 10.8 cm の塩ビパイプ上にのせた頂角 30°の三角断面の金網の上に載った雪が､左から約 15 時間経過して右の写真のようにバランスを崩しかけたものである。このようにクリープによって一方に傾き基部からはみだすのが紐状冠雪の誕生である。写真１や２のように傾きが一方向に偏することなく、何故か一方が傾くとそれを補うようにバランスして反対側に傾くことが多く、そのため紐状に見える。

写真３．塩ビパイプ上の冠雪

冠雪の形は雪質に依存する安息角によって決まると考えられるが、冠雪の側面は鉛直に近く（安息角とすれば 90°）に積もることが多い。そして時間経過（15 時間後）によって平衡を失って写真右のように一方に傾きはじめた。

写真３の右からさらに 9 時間経過したのが写真４である。特に最上部の金網の側面には断面が円形に近い紐状冠雪が張り付いている。この雪は、細い金網で支えられているため、重力による圧密は無視できるほど小さいため、密度は時間が経っても新雪同様に小さい(0.09～0.13　g/cm^3)。この紐状の雪は金網内部の雪粒子やフェンスとの結合力が小さいため、やがて格子フェンスから剥がれて落下する。落下しても空隙が大きく新雪同様に軽いため落下途中で千切れてばらばらに小さくなるので危険は小さいといえる。その下に繋がっている冠雪も紐状に成長しているが、まだ平べったい形となっている。この違いは雪庇状に張り出して紐状に発達する外側の冠雪とそれを支えるパイプ上の冠雪との間の抵抗（結合力）の違いによるものと考えられる。金網によって内部の雪とが隔てられて結合力が弱いため、金網の上での紐状冠雪への成長が早くなる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

写真４　斜材（塩ビパイプ）の側面にできた紐状冠雪

金網の上では金網内部の雪との繋がりが小さく剥がれやすくなる。このように剥がれやすい紐状冠雪にすれば大きく成長することはなくなる。小さいうちに落下させ紐状冠雪が大きくならないようにコントロールできれば、冠雪落下の危険を小さくすることが可能になる。

４．紐状冠雪の落下促進実験

斜材で見られたような紐状冠雪の落下による冠雪全体の成長抑止効果が、細長い水平な部材に応用できることを期待して紐状冠雪の落下促進実験を行った。写真５のように板材の上に、間隔 40×40 mm、ビニール被覆した直径 3 mm の金属メッシュを三角帽子状のカバーにして、載せてその上に出来る冠雪を観測した。三角カバーは写真向かって左半分を頂角 70° 左半分は 60° として頂角の違いによる紐状冠雪の出来方について比較できるようにした。

4-1　結果

頂角 70° と 60° の三角カバーにして板材の上に出来る冠雪から雪庇が発生したが、さらに発達して紐状冠雪になって落下するのは観察できなかった。これは、一度に降る降雪量が少なく冠雪から雪庇が出来にくかったこともあるが、写真６のように三角カバーのメッシュに楔のように食い込んだ雪が大きな抵抗になったためと考えられる。前述の通りに抵抗が大きくなると落下しやすい紐状冠雪にはなりにくい。紐状冠雪の前段階である雪庇を含む冠雪は、融解時に少しずつ剥がれるように落下しまた一部はメッシュに食い込むがやがて融解した。頂角 70° と 60° の違いは、写真６のように 60° の方がやや冠雪が小さく、また板と三角カバーの間の雪の量は少ない傾向はあるが顕著なものではなかった。

写真５　紐状冠雪落下促進実験状況

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

写真６　三角カバー、頂角左 70°、右 60°

５．あとがき

紐状冠雪は冠雪から生ずる１種の雪庇であるが、細長い物体では良く見られる現象である。橋梁等の細長い部材からの落雪事故防止を想定し、紐状冠雪の落下を三角メッシュのカバーで促進し冠雪が大きく成長することを防止する野外模型実験を行った。メッシュの径が細いためか雪がメッシュに食い込み楔となって回転の抵抗になるため紐状になるのは観察できなかった。今後は、材料のサイズや形状から雪が食い込み難いメッシュ等による落下促進実験と、紐状冠雪の発生メカニズムと蛇行する性質についても解明したい。

６．参考文献

竹内政夫：雪庇を防止する格子フェンス、21 回寒地シンポジウム、692-701
竹内政夫：格子フェンスによる斜材からの落雪防止―野外模型実験―、北海道の雪氷,25 号、28-31

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

人工降雪装置を用いた建物屋根上の雪庇の形成実験

堤　拓哉（北海道立北方建築総合研究所），根本征樹，佐藤威((独)防災科学技術研究所）

１．はじめに

多雪地域では季節風など一定方向の風を伴う降雪により，屋根の風下側に雪庇が形成される建物が多く見られる（写真 1)。雪庇は局所荷重の増加，落下による人身事故や建物の破損などに繋がることから対策の検討が必要とされている。雪庇に関する実験的検討については，小林(1969) [1)]が野外において雪原に溝を掘り形成実験を行っている。室内実験では，内藤・小林(1985)[2)]，安達・尾関(2005) [3)]が雪粒子と低温風洞を用いて試みているが，いずれも平らな雪面での地吹雪による雪庇であるため，建物を対象とした検討に適用するには十分ではない。本報では，実建物を対象とした観測調査の結果を基に実施した人工降雪装置による建物屋根上の雪庇の形成実験について報告する。

２．実建物を対象とした観測調査

2.1 調査概要

観測対象は，北海道旭川市にある北海道立北方建築総合研究所の敷地内に建つ実験棟(平面寸法 11.0 m×9.6 m,高さ 10.3 m)とした(写真 2)。建物のパラペットの高さは 53 cm である(図 1)。タイムラプスビデオを用いて屋根の風下側に形成される雪庇を記録した。観測期間は 2001 年 12 月 6 日から 2002 年 1 月 22 日の 48 日間で，昼光利用による撮影が可能な時間帯(06：00～18：00)の撮影とした。雪庇形成時の風速を把握するため，観測対象に近接する建物の屋根上(高さ 10.3 m,設置高 3.0 m)に風車型風向風速計を設置し計測を行った [4)]。

写真１　建物の雪庇

写真２　観測対象

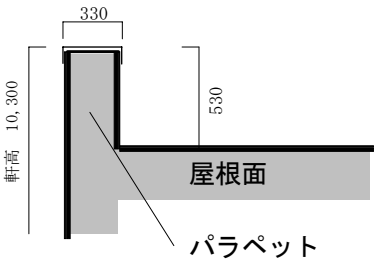


図１　屋根風下側の状況

2.2 調査結果～雪庇の形成過程

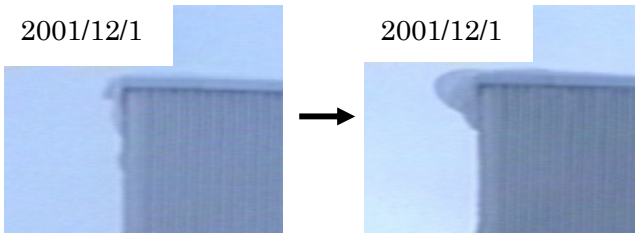
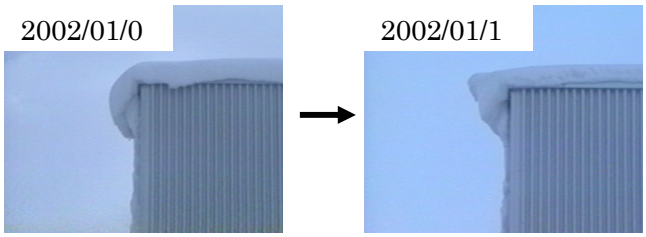
タイムラプスビデオの記録による雪庇の形成時の状況とその際の気象状況を表 1 に示す。雪庇は 24～48 時間程度の比較的短期間で急激に大きくなる傾向にあり，以下のような過程を経て形成された。

① 降雪を伴う吹雪により屋根の風下側のパラペット近傍に吹きだまりが発生する。
② 吹きだまりがパラペットの高さを超えると，吹きだまりの発達と共に風下側へ積雪面が庇状に張り出す(表 1: 2001/12/15～16)。
③ 庇部分が自重により垂れ下がった状態となる(表 1:2002/01/09)。
④ 再び降雪があると雪庇の上面に雪が堆積し，更に積雪面が張り出して垂れ下がる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

建物の雪庇はこのような過程を繰り返すことにより成長することが観測された。雪庇が成長する気象環境のおよその目安としては，日降雪量が 10 cm 以上で日平均風速 3 m/s 以上であった。

表 1　観測調査結果

雪庇の形成過程	日平均風速(m/s)	日累積降雪量(cm)
	2001/12/15 **5.0m/s** 2001/12/16 **4.0m/s**	2001/12/15 **30cm** 2001/12/16 **17cm**
	2002/01/09 **3.1m/s** 2002/01/10 **4.7m/s**	2002/01/09 **9cm** 2002/01/10 **13cm**

３．雪庇の形成実験

3.1　実験概要

実験は，(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟の低温室で行った。低温室に備えられている降雪装置(降雪範囲：3 m×5 m)と横風発生装置(吹出口寸法:横 3 m×縦 0.1 m，最大風速：10.0 m/s)を使用した。降雪テーブル(幅 3.0 m×長さ 5.0 m)を建物の模擬屋根とし，風下側端部に実物大のパラペットのモデル(断面 20 cm×20 cm，板金仕上げ)を設置した。実験条件を表 2 に実験概要を図 2，写真 3 に示す。実験室内の温度は樹枝状結晶による人工降雪を行うため-10 ℃とした。なお，観測調査においても調査期間中の平均気温は氷点下であった。雪庇の形成と成長は降雪時に顕著であったことから，新雪を想定し，雪粒子は樹枝状結晶を持つ粒子とした。風速については，予備実験による検討を踏まえ，横風発生装置の吹き出し口位置で 6.0 m/s，風下に設置したパラペットの位置(吹き出し口から 4.8 m)の位置で 2.0 m/s とした。横方向への風の拡散を抑制するため，降雪テーブルの両脇に誘導板を設置した。屋根上に少量の雪が積もった状況を想定し，降雪テーブル上には厚さ約 6 cm の積雪を一様に敷きつめた。また，パラペットの形状効果を調べるため，パラペットの片側半分に三角形の部材を取り付け比較した(図 3)。降雪を 8 時間続けた後，降雪を止め 16 時間放置するのを 2 回繰り返した。雪庇の形成状況をデジタルカメラにて 10 分間毎のインターバル撮影を行い記録した。

表 2　実験条件

室　温	−10℃
雪粒子	樹枝状結晶　（径 0.5～5mm，密度 0.02～0.04）
降雪強度	平均 5.7cm/時　（20cm 角の箱を設置し毎時測定）
風　速	吹き出し口位置 6.0m/s，パラペット位置 2m/s
実験時間	48 時間　：（降雪 8 時間+16 時間放置）×2 回

写真 3　実験の状況

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

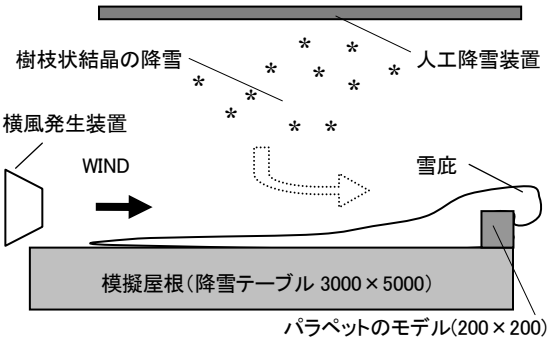


図 2　実験概要図

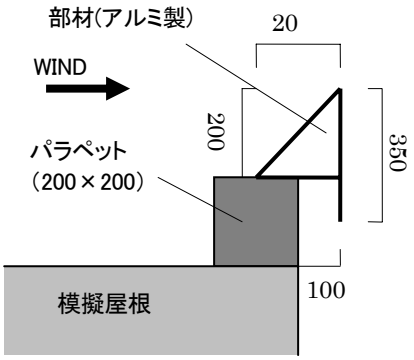


図 3　パラペットに取り付けた部材

3. 2　実験結果～雪庇の形成状況

部材が付いていないパラペットにおける雪庇の形成状況について，降雪 4 時間後の状況を写真 4，5 に，降雪 8 時間後の状況を写真 6 に示す。降雪時間の経過に伴い風下側のパラペットに吹きだまりが発生し，パラペットの高さ付近まで堆積した後，積雪面が水平方向に張り出した(写真 5)。降雪 8 時間後には，水平の張り出し長さが最大 14 cm，パラペット上の積雪 32 cm 程度まで成長した(写真 6)。これらの形成過程は，雪庇の大きさや形成時間に違いがあるものの，実建物を対象とした観測と同様である。パラペット付近の雪の堆積は中央の間仕切り板付近で堆積が多く，降雪テーブル両脇では少ないなど，一様でない傾向にある。これは横風発生装置から出る風の分布が，噴出し口から離れるに従い両端の風速が低くなるためである。

降雪終了時，16 時間経過後の状況を写真 7，8 に示す。樹枝状の雪粒子が堆積した空隙を多く含む積雪であることから，放置後まもなく積雪の沈降が始まり，16 時間経過後にはパラペット上の積雪深が 32 cm から 18 cm まで減少した。雪庇の水平方向への張り出しについても，雪庇が鉛直方向に垂れ下がったため，張り出し長さは 8.5 cm になった。

2 回目の降雪終了後，16 時間経過した状況を写真 9 に示す。2 回目の降雪後，雪庇の大きさは水平方向の張り出しの長さが 27 cm，高さ方向が 58 cm まで成長した。16 時間放置後の水平方向の張り出しの長さは 27 cm，高さ方向は 32 cm となり，雪庇の垂れ下がりが見られたものの，水平方向の長さに変化は見られず，高さ方向にのみ沈降による減少が見られた。

パラペットに三角形の部材を取り付けたことによる効果については，パラペットの見付高さが増して堆雪容量が増加しているため，同一の降雪強度であっても部材の無いパラペットに比べ形成される雪庇は小さくなるが，雪庇の形成を防止する効果は認められなかった。

写真 4　降雪 4 時間後の状況

写真 5　降雪 4 時間後の状況

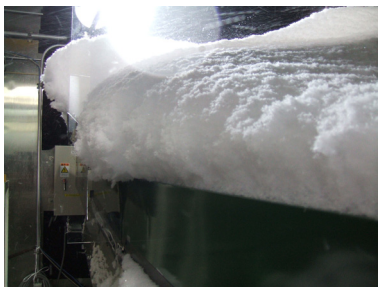


写真 6　降雪 8 時間後の状況

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

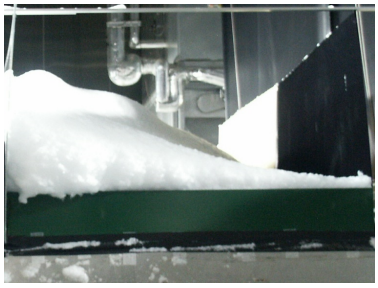


写真 7　降雪 8 時間後

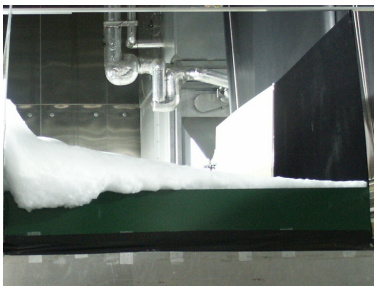


写真 8　16 時間経過後

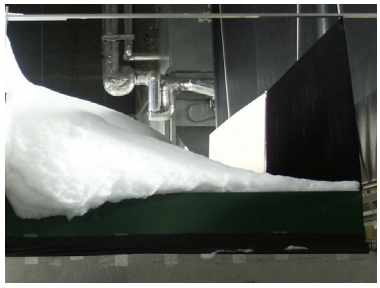


写真 9　降雪 2 回目 16 時間経過後

3. 3　実験結果～雪庇の断面観察

雪庇を中央部で鉛直方向に切った断面を写真 10 に示す。断面観察では，降雪 1 回目の雪庇の垂れ下がりで積雪面が内側に巻き込む様に折れ込み, 雪庇の先端が壁面側と接触する状況が見られる。また, パラペットの中央部付近で積雪層と斜交して走る幅約 10 mm クラックが認められた(写真 11)。雪庇の積雪層の密度変化を調べるため，スノーサンプラーを用いて雪密度を測定した。分布状況を写真 12 に示す。降雪後の時間経過が短く実験室内の温度の変動がないため，雪の密度に大きな変化は見られなかった。

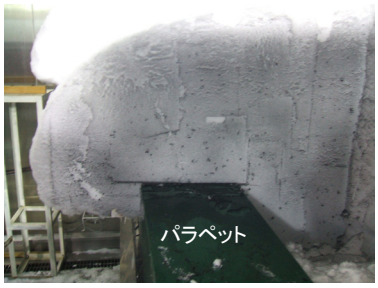


写真 10　雪庇の断面

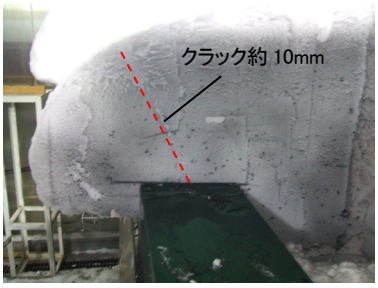


写真 11　雪庇のクラック

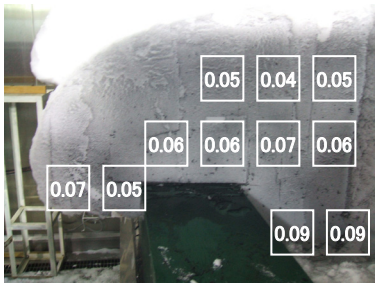


写真 12　雪庇の密度分布

4．まとめ

低温室内の人工降雪装置を用いて，建物屋根の雪庇の形成実験を行った。形成過程については，実建物を対象とした観測調査と同様な傾向を示し，本実験手法は建物の雪庇対策を検討する上で有用な手法であると言える。一方で，実験が比較的短時間であったため，雪の密度変化の状況やそれらが雪庇に及ぼす影響については把握できなかった。また，雪質の変化，気温の変動，日照の影響については，野外観測も含め今後の課題である。

参考文献

1)　小林大二：みぞの縁にできる小雪庇，低温科学，物理編，27，pp.405-407，北海道大学，1969
2)　内藤明男，小林大二：雪庇の発生に関する実験的研究，低温科学，物理編，44，pp.91-101，北海道大学，1985
3)　安達聖，尾関俊浩，小杉健二：雪庇の成長機構と抑制法法について，寒地技術論文・報告集，Vol.21，pp.483-490，2005.12
4)　堤拓哉，高倉政寛，苫米地司：陸屋根に形成される雪庇と気象要素との関係について，日本建築学会技術報告集，No.19，pp.113-116，2004.6

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

現地観測による道路案内標識の冠雪および落雪過程の把握

松下拓樹、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所 寒地土木研究所）

１．はじめに

道路案内標識の裏面に発達した冠雪（図１）が落下すると、通行車両の視界を妨げたり車体を破損させる事故が発生する。この対策として、北海道の国道では主に人力による雪落とし作業が行われており、この作業には費用がかかるとともに作業員が通行車両と接触する危険性を伴う。一方、北陸地方を中心とした地域では、標識裏面に傾斜板やカバーを取り付けて、少量のうちに雪を落下させる方法 [1)-3)]及び、その表面を雪が付着しにくい性質に変える試みがなされている [1),4),5)]。しかし、これらの対策がどのような地域で必要とされるのか、また雪質の異なる北海道でも有効なのかに関する十分な知見が得られていない。そこで、道路案内標識の冠雪と落雪の一連の過程を把握することがまず必要であると考え、本稿では現地観測を実施した。

図1　道路案内標識の冠雪事例

２．観測方法

観測は、2006 年 12 月 7 日から 2007 年 3 月 15 日までの約 3 ヶ月間、札幌市中心部から南西約 45 km に位置する中山峠（標高 835 m）に、実物大の試験用標識を設置して実施した。

標識の冠雪に関する観測として、カメラ観察（１時間間隔の静止画で昼間のみ:ｺｰﾅｼｽﾃﾑ社製 KADEC-EYEⅡ）、標識の表面温度測定（10 分間隔：ﾁﾉｰ社製 R060-32）を行った。表面温度計は、標識裏面の水平梁材の上面と下面に取り付けた（図２）。この他、気温及び相対湿度（ｺｰﾅｼｽﾃﾑ社製 KDC-S02-V-HMP45-D-3.5-S）、日射量（英弘精機社製 MS-43F）、風速、風向、積雪深を 10 分間隔で観測した。このうち風と積雪深は、現地観測地に隣接する寒地土木研究所の中山峠吹雪観測所における観測値を用いた。

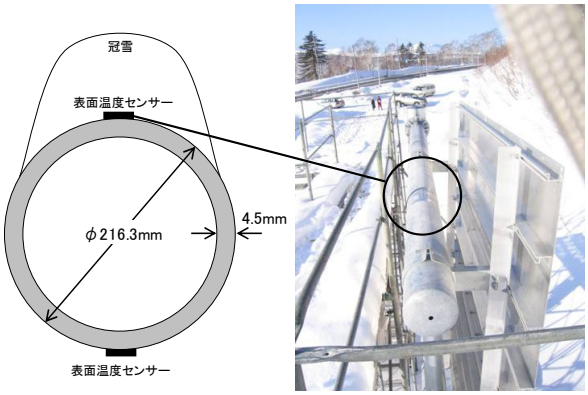


図2　表面温度の測定状況

３．観測結果

３．１　気象状況の推移および欠測期間

図３に観測期間の気象状況を示す。現地の平均気温は-7.4 ℃で真冬日が続き、気温 0 ℃

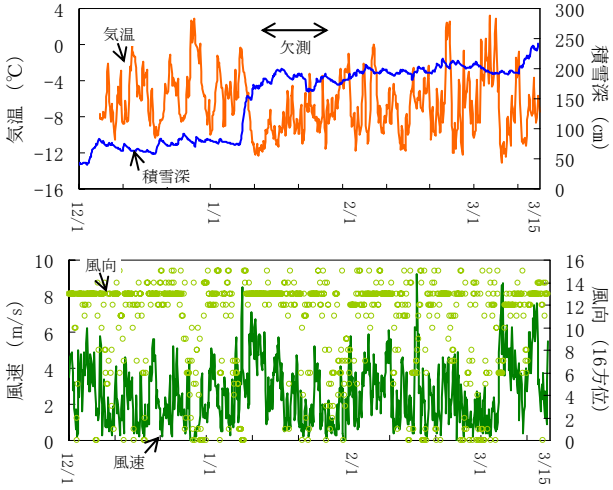


図3　観測期間の気象状況

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

以上の日は 6 日であった。最大積雪深は 242 cm、平均風速は 2.6 m/s。卓越風向は西北西であり、標識の裏面に対して直角方向からの風が多い。

観測期間中、1 月 7 日からの 2 日間で積雪深が 100 cm 以上増加した。このときの多量降雪から続いた降雪により、1 月 14 日に観測用足場の積雪と標識の冠雪がつながった。1 月 27 日に雪を全て取り除いたが、この期間（1/14～1/27）を欠測扱いとし解析対象から除いた。

３．２　冠雪発生の気象条件

冠雪の発生はカメラ映像から判断した。ただし、映像記録が昼間のみであること、降雪が強いと画像が不鮮明となることから冠雪が発生した正確な時刻の把握が困難であった。そこで、一定期間の冠雪状況と気象状況を比較することにより、冠雪発生の気象条件を把握することとした。具体的には、毎日午前 9 時の画像を基準として、前日の画像に雪がなく翌日に冠雪がみられた場合を冠雪事例とした。この方法により 10 例の冠雪事例を抽出した。観測データは 24 時間（9:10～翌日 9:00）ごとに整理した。

図 4 は、冠雪が確認された前 24 時間（前日 9:10～9:00）における降雪時の平均気温と降雪量の関係である。ここで降雪時を積雪深が増加したとき、降雪量を積雪深差の正の合計値とした。図 4 より、ほとんどの冠雪は気温 0 ℃以下の乾いた雪により発生した。カメラ画像により冠雪状況を確認すると、最も気温の高い 12/28 の事例（平均気温-0. 8 ℃）では、足場の手摺や標識板などの幅の狭い箇所にも雪が積もっており、冠雪の形状は対象物の幅を超え雪庇状に張り出している。また気温が低い 3/14 の事例（平均気温-7.7 ℃）でも冠雪が発達しているが、対象物の幅を超えずある傾斜角をもった形状で雪が積もっている。前者の事例のように、一般に気温 0 ℃付近の降雪において冠雪が顕著に発達するが [6]、今回の観測では気温 0 ℃以下の乾き雪でも冠雪が発達することが確認された。

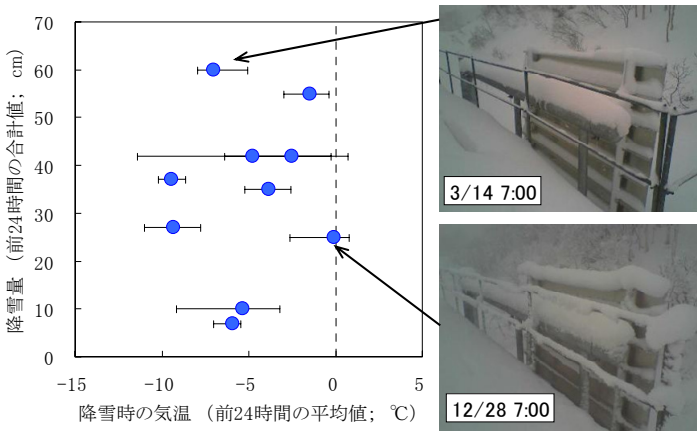


図4　冠雪時の気温と降雪量の関係と顕著事例の画像
図中●は平均気温，横棒は最高及び最低気温．

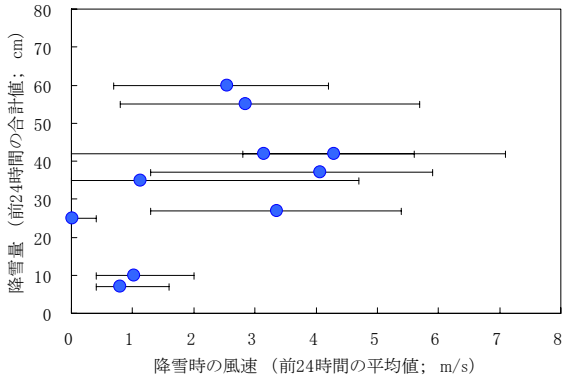


図5　冠雪時の風速と降雪量の関係
図中●は平均風速，横棒は最大及び最小風速．

図 5 は、冠雪事例における前 24 時間の平均風速と降雪量の関係である。今回の冠雪事例は、平均風速が約 4 m/s 以下の条件で発生している。平均風速 0～4 m/s の範囲において、風速 2 m/s 以下の弱風下では降雪量の多少に関わらず冠雪は発生し、それより強い風速状況では降雪量が多い場合にのみ冠雪が発生する傾向にある。風が強い場合、風による吹き払い効果が働くため、降雪量が少ないと冠雪は発達しないと考えられる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

３．３　落雪発生の気象条件

今回の観測期間における落雪は全て冠雪が融けている最中に発生した。例として、図６に、2006年12月25日における落雪時の気温、日射量、標識の表面温度の推移およびカメラ画像を示す。気温と表面温度の推移に着目すると気温は-5 ℃以下だが、日射の影響により表面温度は 0 ℃以上となっている。特に 12 時頃からは、冠雪が乗っている上側の表面温度はほぼ 0 ℃一定で推移する一方で、下側の表面温度は上昇を続け、上下の表面温度の差が大きくなる。このとき冠雪の底面で融雪が起きたと考えられ、カメラ画像では冠雪が画面奥側へ移動している。13時になると、上側の表面温度が下側の表面温度より高くなり、冠雪はこの直前に落下したと考えられる。

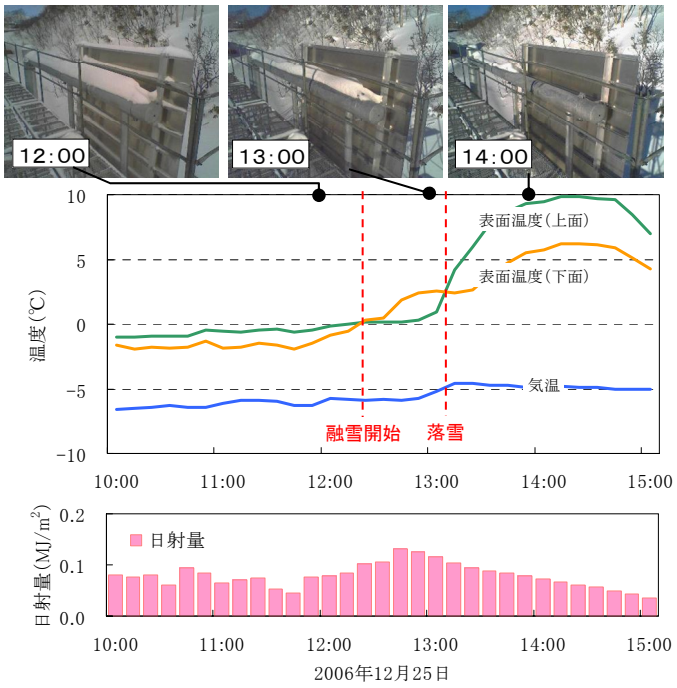


図6　落雪時の温度推移と冠雪状況の例

上記事例のように、融雪によって冠雪が落下するのは、梁材上下の表面温度がともに 0 ℃以上となって、上側の表面温度が下側の表面温度を上回るまでの期間と考えられる。図７に、この期間の気温と表面温度の関係を示した。上側の表面温度は 0～1 ℃であるが、下側の表面温度は最大 2～5 ℃まで上昇している。表面温度が 0℃以上となる気温は、約 -5 ℃以上である。

図８は、上下の表面温度の差と落雪までの時間の関係である。上下の表面温度差の平均値は 0.5～2 ℃

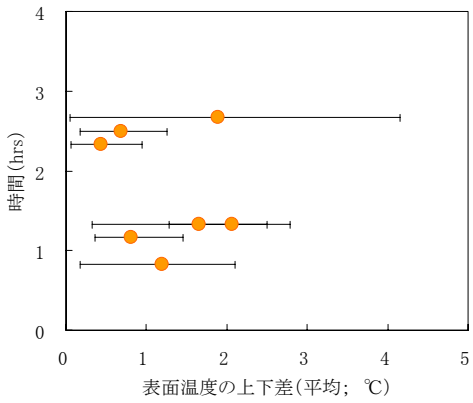


図8　融雪開始から落雪までの表面温度の上下の差と時間の関係
図中●は平均値，横棒は最高値と最低値．

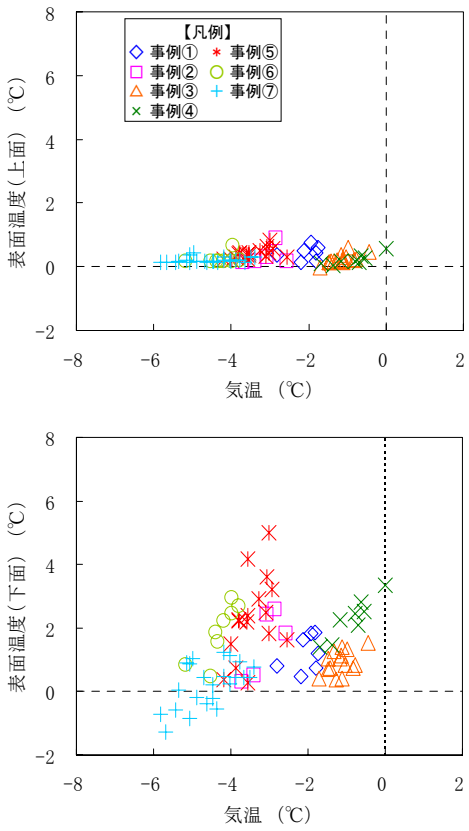


図7　融雪開始から落雪までの気温と表面温度
各事例の10分間隔の測定値を示す．
(上) 上側の表面温度，(下) 下側の表面温度．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

で、これに相当する熱量が冠雪底面の融雪に使われたと考えられる。また、冠雪は、表面温度が 0 ℃以上となってから 3 時間以内に落下する傾向にある。

４．考察

今回の観測結果は、主に気温 0 ℃以下の乾き雪による冠雪現象を対象にしたものである。気温 0 ℃以下で水分を含まない乾き雪は、一般にその安息角が小さく [7]、幅の狭い構造物であれば積もることのできる雪の量は限られる [8]。今回使用した標識梁材の直径は 21.6 cm で、乾き雪を捕捉するための十分な幅がある。そのため乾き雪でも冠雪が発達したと考えられる。

冠雪発生の風速の条件について、今回の観測では平均風速で 4 m/s 以下という傾向がみられた。阿部ら(2007)[9]によると、建物の屋根に雪が積もる臨界風速は約 4 m/s である。また、電線着雪における乾型着雪は風速 4 m/s 以下で発生する傾向にある [10]。他の構造物と同様に、道路案内標識においても、乾き雪が標識に積もる臨界風速の存在が示唆される。

落雪の発生は、梁材の表面温度が 0 ℃以上となって冠雪の融解により落雪することが明らかとなった。このときの気温は-5 ℃以上である。降雪後に日射の影響で気温-5 ℃以上となる箇所では、比較的密度の小さいうちに落雪するものと考えられる。融雪を生じない場合、冠雪と標識との間の付着強度は時間の経過とともに強まる [11]ので、その後の降雪によってさらに冠雪が発達していくことが懸念される。

５．おわりに

道路案内標識の冠雪および落雪発生の気象条件を明らかにするため、現地観測を実施した。その結果、気温 0 ℃以下の乾き雪による冠雪発生条件として、冠雪は平均風速 4 m/s 以下の条件で顕著に発達する。一方、冠雪の落下は融雪に伴って起きることが明らかとなった。日射の影響により、気温-5 ℃以上で標識の表面温度は 0 ℃以上となり数時間内に落雪した。

現地観測は 2007 年 4 月まで行っており、気温 0 ℃付近の降雪による冠雪および落雪事例を含めた状況把握を行う予定である。これに基づいて道路案内標識の落雪対策方法について検討を行っていきたい。

謝辞

現地観測では(株)雪研スノーイーターズの協力を得ました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

1) 氷見清和ほか, 2006: 第 18 回ゆきみらい研究発表会論文集(CD-ROM).
2) 佐藤克己, 田島功章, 2000: 第 21 回北陸雪氷技術シンポジウム, ゆきセンター.
3) 畦地吾一ほか, 2005: 第 17 回ふゆトピア研究発表会論文集, 204-207p.
4) 吉田光則ほか, 2000: 北海道立工業試験場報告, 299, 13-17p.
5) 伊東敏幸ほか, 1995: 日本雪工学会誌, 11, 283-290p.
6) 石坂雅昭ほか, 2004: 寒地技術論文・報告集, 20, 113-117p.
7) Kuroiwa, D., *et al.*, 1967: *Proc. Inter. Conf. on Low Temperature Science*, 751-772p.
8) 高橋敏男, 高橋喜平, 1954: 雪氷, 15(5), 6-9p.
9) 阿部修ほか, 2007: 日本雪工学会誌, 23, 123-132p.
10) Kuroiwa, D., 1965: *Cold Regions Res. Eng. Lab. Rep.*, 123, 10pp.
11) 清水増治郎, 木村忠志, 1992: 雪氷, 54, 269-275p.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

鉄道トンネル内のつららの観測（第１報）

小川直仁（JR 北海道）、岩花　剛、赤川　敏（北海道大学大学院工学研究科）

１．　はじめに

鉄道トンネル内に発生するつららは、車両窓ガラスの破損並びに電気設備に損傷を与えるなどの要因となっている。そのため、JR 北海道では車両装備及び施設設備による対策と人員によるつらら除去作業（写真-1）の両面から保守管理を行なっている。

これまで、JR 北海道及び JR 東日本において行なわれているつらら対策を整理すると、図-1 となった。これらのつらら対策により、JR 北海道では平成 17 年度にはつららによる運転阻害事故（旅客列車の 30 分以上の遅延、運休等）をゼロ件としている。

しかし、JR 北海道が調査した年度別ガラス損傷件数（図-2）では、つらら等によるガラス損傷は減少傾向にあるが依然として解消されてはいない。

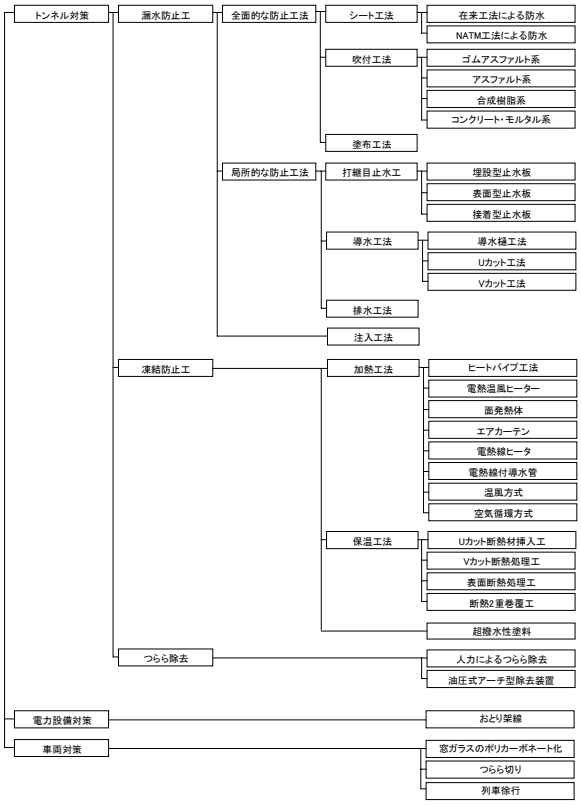


図-1　鉄道トンネル内つらら対策の分類

写真-1　つらら除去作業　（撮影：2007 年）

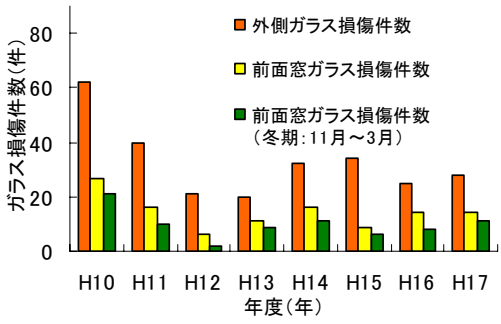


図-2　年度別車両ガラス損傷件数

そこで、本報告では北海道における鉄道トンネル内のつらら発生実態調査を行い、今後の鉄道トンネル内つらら対策における基礎情報を取得するとともに、平成 18 年度冬期から開始した鉄道トンネル内のつらら観測に関する概要について報告する。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

２．　調査概要

ＪＲ北海道のトンネル全 178 箇所におけるつらら発生実態を把握するため、トンネルを管理する職場（全 13 箇所）を対象としてアンケート調査を実施した。調査項目は、フリーアンサーを含めて全 10 項目である。本報告では、その中からつらら発生率についてを抜粋して報告する。調査概要は表-1 の通りである。

対象トンネルの総延長は 203.9 km であり、JR 北海道の全路線延長 2499.8 km の 8 %にあたる。建設年代は昭和（戦後）に建設されたものが多く箇所数にして 65 %、延長にして 81 %を占めている（表-2）。

表-1　つらら発生実態調査概要

項目	内容
調査方法	質問紙法
調査対象	トンネルを管理する職場（運輸営業所、工務所、保線所）：全 13 箇所
調査期間	H18 年 8 月 1 日～H18 年 8 月 18 日
回収率	配布数 13、回収数 13、回収率 100%

表-2　調査対象トンネル

建設年代	箇所数	延長（km）
明治	13	5.4
大正	15	4.2
昭和（戦前）	29	17.7
昭和（戦後）	115	164.5
平成	6	12.0
合計	178	203.9

３．　調査結果

３．１　つらら発生実績のあるトンネル箇所

JR 北海道の鉄道トンネル全 178 箇所における、つらら発生状況は、「つらら発生が有る」とされるトンネルが 142 箇所あり全体の 80 %を占める結果となった（図-3）。

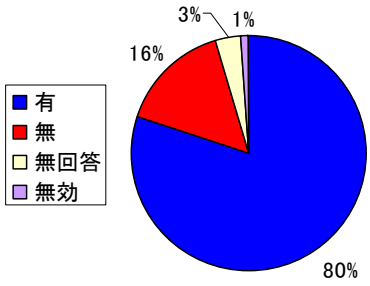


図-3　つらら発生実績のあるトンネル箇所数の割合

３．２　経過年数別つらら発生率

次にトンネル完成年からの経過年数を 10 年毎として、つらら発生有無を確認した 170 箇所のトンネルにおけるつらら発生率の整理を行った（図-4）。ここで、本報告において定義するつらら発生率は経年別トンネル箇所数とつらら発生トンネルの箇所数の割合である。この結果、経過年数「20～30（年）」以内と「30～40（年）」以上のつらら発生率に顕著な差異があった。

ここで、図-4 の本報告での結果と既往研究結果を比較するため、野沢ら [1] 及び黒川 [2] が報告する昭和 54 年度に国鉄で実施した調査のトンネル漏水発生率を図-5、図-6 に示す。なお、この調査での対象は国鉄における 3,808 箇所のトンネルである。野沢らの定義するトンネル漏水発生率は経年別のトンネル延長と漏水トンネルの延長の割合であり、黒川の定義するトンネル漏水発生率は経

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

年別のトンネル箇所数と漏水トンネルの箇所数の割合である。本報告で定義するつらら発生率は箇所数の割合であるので、黒川の定義と同様である。

この結果では、「0～10（年）」以内と「10～20（年）」以上のトンネル漏水発生率に差異があった。本報告の調査と国鉄調査から経過年数によって漏水発生率およびつらら発生率が増加傾向にあることがわかる。

ここで、野沢らによれば図-5 の「20～40（年）」の漏水発生が顕在した考察として「戦中戦後の時期であり施工管理、材料品質に問題があったものと推察される」としている。また、黒川によれば図-6 の「20～40（年）」の漏水発生が顕在した考察として「ちょうど戦中、戦後にまもなく施工されたもので、材質、施工ともに問題があったものと考えられる」としている。このように両者とも材料及び施工に関する問題を指摘している。

そこで、工法別によるつらら発生率の比較を次節にて行った。

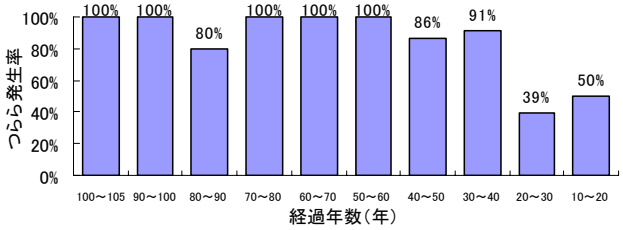


図-4　経年別トンネルつらら発生率（発生箇所数/全箇所数）

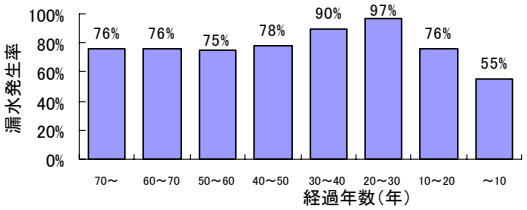


図-5　S54 年度国鉄調査による経年別トンネル漏水発生率（発生延長/全延長）[1)]

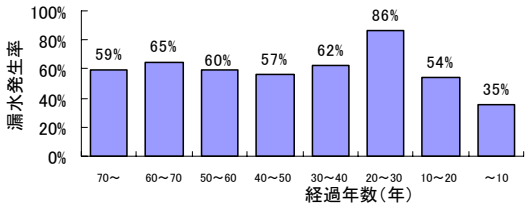


図-6　S54 年度国鉄調査による経年別トンネル漏水発生率（発生箇所数/全箇所数）[2)]

３．３　工法別つらら発生率

工法別つらら発生率を図-7 に示す。この図は、178 箇所の内、工法及びつらら発生有無を確認できた 101 箇所を対象として整理したグラフである。対象となる工法を大別すると、NATM 工法、開削工法、在来工法となった。ここで、既往研究調査により 1980 年に新設トンネルのつらら防止工法として、NATM 工法の断熱 2 重巻覆工が室蘭線蘭法華トンネルで施工されたことが分かった。この工法は、1970 年代から始まった国鉄の全国新幹線網の雪害対策に関わる研究成果の一つである。そこで、上記 3 区分をさらに 1980 年を閾値として区分すると共に、NATM 工法については断熱 2 重巻覆工とそれ以外を区別して整理した。

その結果、NATM 工法における断熱 2 重巻覆工のつらら発生率は 0 %であった。断熱二重巻覆工ではない NATM 工法のトンネルに関しても 29 %であり、つらら発生率が他の工法に比べ低減していることがわかる。

また、在来工法に関しても、1980 年以前とそれ以降では、つらら発生率に大きな差異が見られた。開削工法に関しては、1980 年以前完成のトンネルが一箇所のつらら発生トンネルのみであるため 100 %となっている。1980 年以降のつらら発生率は 50 %であった。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

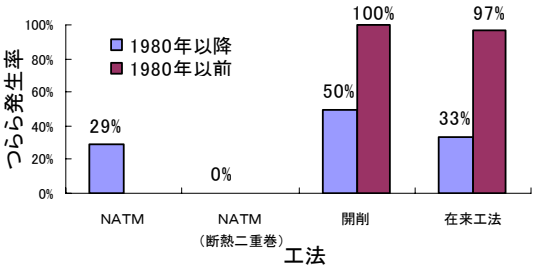
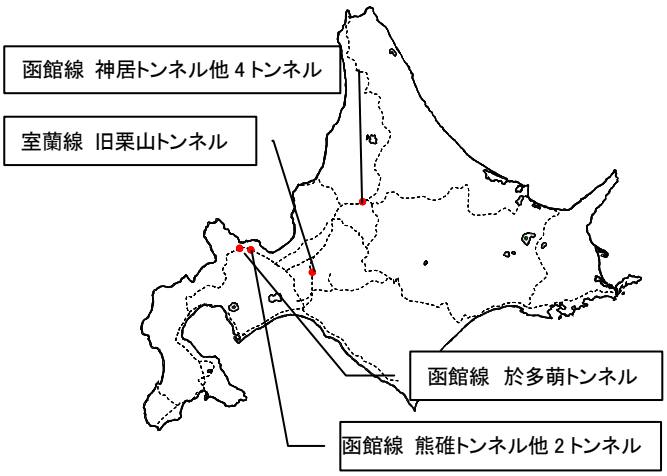


図-7　工法別つらら発生率

４．　　トンネル内つらら観測の概要

既往研究で最もつらら発生に影響していると考察されるトンネル坑内気温を営業線にて計測し、気温データと毎日のトンネル内つらら発生記録（本数、長さ）からつらら発生と坑内気温の関係を明らかにする。また、気温、湿度、風速、風向のトンネル内微気象を計測し、10 分間隔で撮影したつらら成長画像による観察も実施している。なお、観測サイトは前者の観測を函館線熊碓トンネル他 2 トンネルと神居トンネル他 4 トンネルにおいて実施し、後者の観測を函館線於多萌トンネルと室蘭線旧栗山トンネルにて実施している。図-8 は観測サイトの位置図である。

調査結果については、第 2 報以降報告していきたい。



図－8　観測サイト位置図

５．　　おわりに

本報告では、北海道における鉄道トンネル内のつらら実態調査を行った。その結果、全トンネルの内 80 %となるつらら発生トンネルは 1980 年以前の在来工法トンネルに集中していることが明らかとなった。

また、平成 18 年度冬期より実施しているトンネル内つらら観測の概要について報告した。

参考・引用文献

１）　野沢太三、後藤明、吉田博：トンネル漏水防止工の実態調査：鉄道土木 No.22-9、日本鉄道施設協会、pp.11～12、1980 年

２）　黒川義範:トンネルつらら防止の現状と問題点:トンネルと地下 Vol.11,No.12、p.868、1980 年

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

小型マイクロ波放射計の積雪観測と雪氷防災への利用の可能性

榎本浩之，小嶋真輔，舘山一孝，戸城亮，木村しずか，神尾友行，内田圭一，高橋修平
（北見工業大学），田中聖隆，谷田広紀，山本朗人（三菱電機特機システム株式会社）

1. はじめに

地表面の物質から放射されるマイクロ波を計測することにより，地表面の水分変化，積雪深，湖氷・海氷の結氷分布を知ることができる．従来のマイクロ波放射計は，人工衛星や航空機に搭載して用いるなど非常に大型であった．しかし三菱電機特機システム株式会社により，小型マイクロ波放射計（以降 MMRS2 と呼ぶ）が開発された．本研究では，6, 10, 18, 36 GHz の周波数帯の MMRS2 により積雪の輝度温度を測定し，積雪深や雪温の実測値と比較した結果，および積雪のマイクロ波透過性を調査した結果から，MMRS2 の雪氷防災への有効性を検討した．

2. MMRS2 の外観と諸元

MMRS2 の外観と諸元を，それぞれ図 1，表 1 に示す．MMRS2 は，観測対象物から放射されるマイクロ波の強さを輝度温度として測定する．このとき，CCD カメラによる対象物の画像撮影（動画・静止画），赤外放射温度計による物理温度の測定を連動して行う．これら 3 種類の測定値は，LAN を介して記録計へ送信される．測定値の記録間隔は，最短の場合で 1 秒である．MMRS2 は軽量であり，機動性に優れている．また，対象物を遠方から非破壊且つ非接触で広域に観測でき，天候や昼夜を問わないという長所を備える．

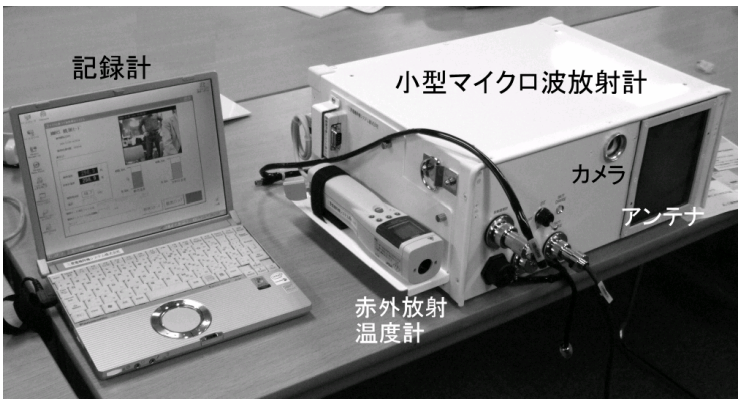


図 1 MMRS2 と記録計の外観．

表 1 MMRS2 の諸元．

	6 GHz	10 GHz	18 GHz	36 GHz
観測輝度温度範囲	3 K – 1200 K			
観測輝度温度分解能	0.5 K			
観測輝度温度精度	1 K			
観測視野角	15度	15度	10度	7度
電源入力	AC100 V / バッテリ（動作時間: 6時間）			
外部出力	LAN（有線/無線）			
動作温度範囲	−20 ℃ – +40 ℃（湿度80%以下）			
寸法・重量（本体のみ）	360 × 400 × 160 mm 7.5 kg		400 × 300 × 160 mm 7.5 kg	
その他機能	CCDカメラ，赤外放射温度計，専用ソフトウェア付属			

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

3. 観測方法

3-1. 冬期観測

冬期の観測は，2006 年 12 月から 2007 年 2 月の間に，北見工業大学のグラウンド，および北見－美幌峠間の国道で行った．ここでは北見工業大学内で行った観測の結果のみを示す．18 GHz の MMRS2 を用いた観測は，2007 年 1 月 11 日の 10 時から 12 日の 18 時に行った．36 GHz を用いた観測は，2007 年 1 月 23 日の 9 時から 15 時 30 分に行った．MMRS2 は三脚に取り付け，入射角は 55 度に設定した．いずれの観測も水平偏波を用いた．

18 GHz の観測では，MMRS2 による輝度温度測定の他，気温および雪温（物理温度）の測定も行った．記録計付き温度センサを温度測定用の棒に鉛直方向に取り付け，深さ 51 cm の積雪内に設置した．温度の測定点は，積雪底面，積雪底面から 20 cm 上，積雪底面から 60 cm 上（気温）である．これに加え，赤外放射温度計による雪面温度の測定も行った．36 GHz の観測における積雪深は 60 cm であった．

3-2. 融雪期観測

融雪期の観測は，北海道中札内村の農場で行った．観測で用いた MMRS2 の周波数帯は 6 GHz および 10 GHz であり，垂直偏波と水平偏波による測定を行った．観測期間は 2007 年 3 月 13 日から 20 日である．冬期観測同様，MMRS2 は三脚に取り付け，入射角は 55 度に設定した．

融雪期の観測では，6 GHz の水平偏波を用いた積雪を透過するマイクロ波の測定も行った．ピットを 2 つ作成し，ピット間には 70 cm 厚の雪壁を残した．一方のピットには MMRS2 を設置し，他方では人間が出入りして輝度温度を変化させた．徐々に雪壁厚を小さくしていき，人間が放射するマイクロ波が透過する雪壁の厚さを調べた．

4. 結果と考察

4-1. 冬期観測

・18 GHz の観測

18 GHz の観測結果を図 2 に示す．日中と夜間で気温および雪面温度は 15 °C 程度変化したが，積雪底面温度は時間経過によらずほぼ 0 °C で推移し，積雪底面から 20 cm 上の雪温も 0 °C から -5 °C と，気温変化に比べて穏やかな変化を示した．一方，輝度温度の測定値は，積雪底面から 20 cm 上の雪温変化と似た形で，時間が経過すると共に減少した．しかし，12 日の 8 時 40 分から 11 時 20 分の間では，輝度温度は気温上昇に対応して僅かに増加した．

積雪のマイクロ波は，積雪下の地面から放射されるマイクロ波も含むため，定量的な議論のためにはより多くの実測値収集と，モデルによる詳細な解析が必要である．しかしながら，本研究では積雪内部温度と輝度温度の時間変化が似た形を示したことから，輝度温度は積雪内部温度，または積雪全層の平均温度を反映していると推察できる．

12 日の午前中に輝度温度が僅かな上昇を示したのは，気温の上昇と日射により，雪面に融雪が生じたためであると考えられる．このことについては，36 GHz の観測結果で詳しく述べる．

・36 GHz の観測

36 GHz の観測結果を図 3 に示す．18 GHz の場合（図 2）と比べて，輝度温度は全体的に小さい傾向にある．しかし 11 時 30 分頃から輝度温度は上昇し始め，14 時までの 2 時間 30 分で，輝度温度は約 60 K も増加した．14 時以降では，輝度温度は 200 K 付近まで再び減少した．

60 K という大きな輝度温度の増加は，融雪の発生による積雪含水率の増加に依拠していると考え

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

られる．積雪内の含水率が増加すると，積雪のマイクロ波射出率が大きくなり，その結果として輝度温度が大きくなるためである．一般に，射出率が 0.1 増加すると輝度温度は 20 K 以上増加し，射出率が 0.2 増加すると輝度温度は 50 K 近く増加する．

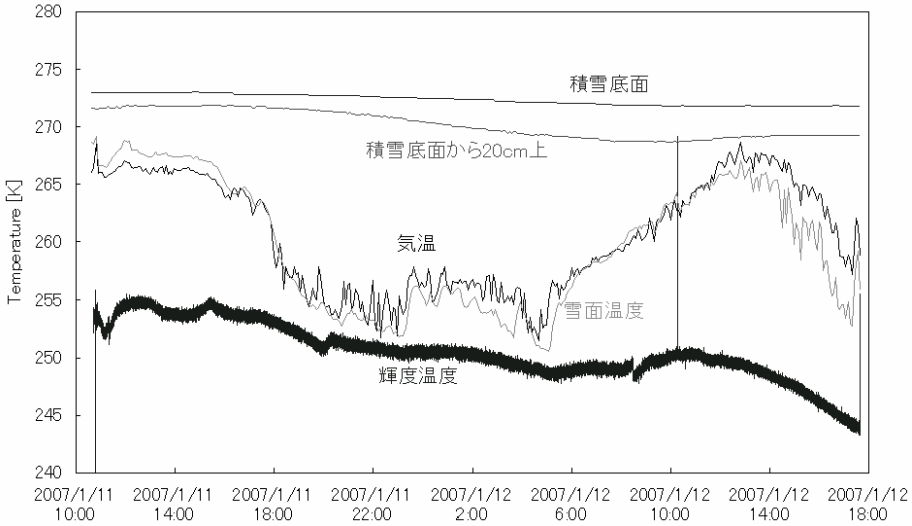


図 2 雪温および気温（物理温度）と 18 GHz（水平偏波）による輝度温度の時間変化.

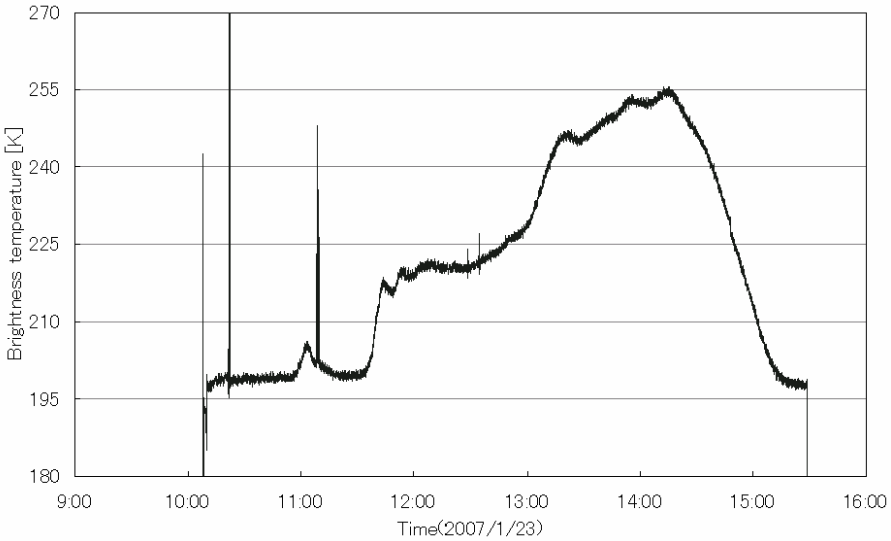


図 3 36GHz（水平偏波）による輝度温度の時間変化.

4-2. 融雪期観測

・ 輝度温度の時間変化

6 GHz と 10 GHz の水平偏波による観測結果を図 4 に示す．輝度温度は，6 GHz より 10 GHz の方が高い値を示した．9 時台（A）から 12 時台（C）の間に，両周波数の輝度温度は約 70 K 増加した．なお，このとき同時に行った垂直偏波による測定値では，A から C の間における輝度温度の増加は約 20 K であった．

融雪期の観測であるため，気温は+3 °C 前後と高く，日射も強かったことから，積雪中には融雪が生じていた．このことにより，MMRS2 は積雪から放射されるマイクロ波より，積雪中に含まれる液体の水から放射されるマイクロ波を強く受信するようになり，その結果として輝度温度は周波数によらず 250 K 程度に落ち着いたと考えられる．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

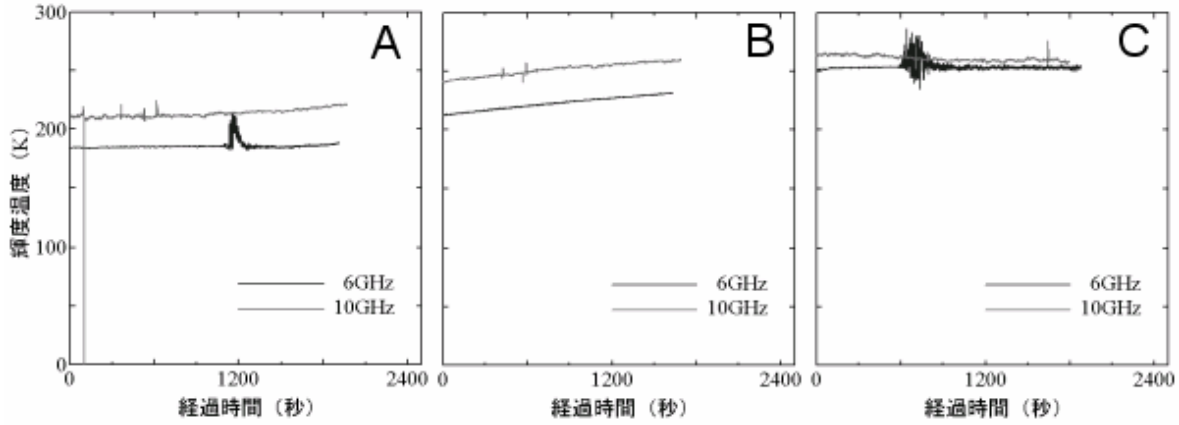


図 4 6 GHz と 10 GHz（水平偏波）による輝度温度の時間変化．それぞれ観測時間が異なる．A は 9 時 18 分から 50 分, B は 10 時 18 分から 46 分, C は 11 時 58 分から 12 時 30 分の測定値である．

・ マイクロ波の積雪透過性実験

マイクロ波の積雪透過性を調べた結果を図 5 に示す．ピット間の雪壁厚が 60 cm 以上の場合では，人間の出入りによる輝度温度差が表れなかった．この輝度温度差は，雪壁厚が 40 cm 以下のときに生じた．

雪壁厚が 60 cm 以上の場合でも，輝度温度は人間がピットに入っている間，安定した値を示した．これより本観測では，マイクロ波（6 GHz の水平偏波）は 70 cm 厚の雪壁を透過したと言える．

積雪のマイクロ波透過性は，湿雪の場合で低い値を示す．しかし，融雪期であっても夜間は気温が低下し，積雪中の液体水が再凍結することが考えられるため，MMRS2 を用いた融雪期における積雪観測は，条件が整った場合では可能である．

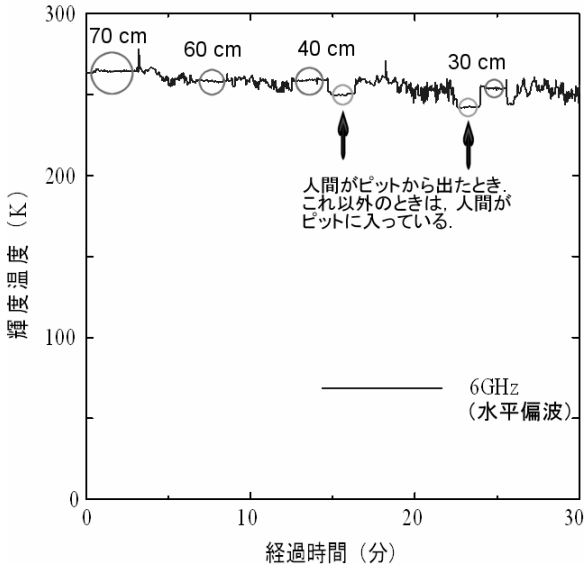


図 5 積雪のマイクロ波透過性．

5. まとめ

本研究では，三菱電機特機システム株式会社により開発された MMRS2 の雪氷防災への有効性を検討することを目的とし，いくつかの現場観測を行った．18 GHz では，積雪の輝度温度は積雪内部温度に依存して変化する傾向が見られ，MMRS2 の積雪観測への利用の可能性が示された．36 GHz では，日中で融雪による輝度温度の大きな増加が見られた．融雪期における積雪の輝度温度は，6 GHz と 10 GHz で約 250 K を示した．6 GHz の水平偏波を用いた時，マイクロ波は 70 cm 厚の雪壁を透過した．乾雪の場合は更に透過性が高くなる．これにより，MMRS2 を用いた雪中埋没物（者）の探知の可能性が示された．今後は様々な条件下においてより多くの実測値を収集し，定量的な解析を行う必要がある．

謝辞：融雪期の観測では，気象研究所の青木輝夫氏に便宜を図っていただいた．観測方法およびデータ解析では，日本学術振興会特別研究員（北見工大）の谷川朋範氏より有益な助言をいただいた．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

オホーツク海北海道沿岸における 3ch 版可搬型マイクロ波放射計 MMRS を用いた船上海氷観測

内田圭一, 榎本浩之, 舘山一孝, 戸城亮(北見工業大学)
豊田威信（北大低温科学研究所）瀧本忠教(海上技術安全研究所)

１．はじめに

2007 年 2 月中旬にオホーツク海北海道沿岸において、海上保安庁のアイスパトロールの一環として砕氷船「そうや」による海氷観測が海上保安庁の協力のもと行われた。可搬型マイクロ波放射計(MMRS:Microwave/Milliwave Radiometer System)による観測は昨年度に引き続いて 2 回目の観測である。昨年度の観測で使用した MMRS の周波数は海氷分布観測に使用されている 36 GHz のみの単周波であったが、今年度の観測では 18 GHz、23 GHz、36 GHz の 3 周波を用いて海氷および海水表面から放射されるマイクロ波を連続観測した。マイクロ波輝度温度は海氷および海水表面からの射出率によって決定されている(Carsey, 1992)。従来は衛星搭載のマイクロ波放射計データと現場の目視観測、EM(電磁気氷厚計：Electro Magnetie)観測などのデータと比較が行われていた。しかし MMRS の開発により、現場の目視観測、EM 観測のデータと MMRS によるマイクロ波放射の比較が出来るようになった。

２．SIRAS-07 の概要と目的

巡視船「そうや」による海氷観測は、海上保安庁の協力のもとで毎年 2 月に実施されている。海上保安庁と北海道大学との共同観測が始まってから今年で 12 年目を迎え、去年・今年と北見工業大学から観測に参加させていただいた。去年の観測からリモートセンシングの現場検証データ得るために、海氷に関わる基礎データを採取することを目的している。今年の観測は航海期間中の 2007 年 2 月 10～13 日までの計 4 日間にわたって観測を実施した。今年は全体的に氷が少ない、または氷が薄いことから予定された航路・観測地点を 1 日速く航行した(図 1)。参考に航海期間中の 2007 年 2 月 13 日の MODIS 画像を図 2 に示す。

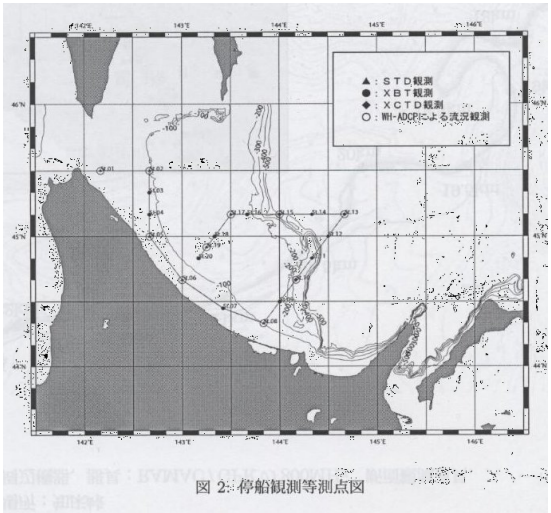


図 1：SIRAS-07 の航行路

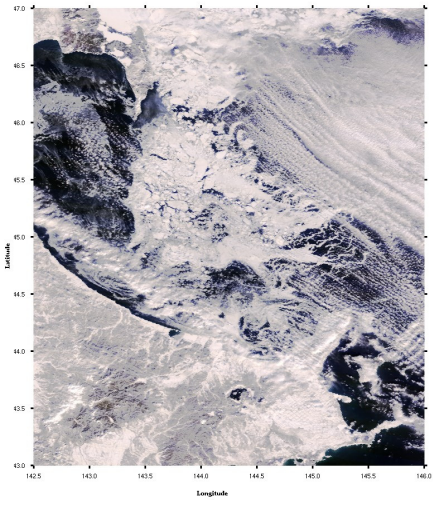


図 2：2007 年 2 月 13 日の MODIS 画像
(http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt_new/index.html)

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

３．MMRS 観測

・観測装置

今回、可搬型マイクロ波放射計 MMRS（３周波数帯、CCD カメラ内臓）の他に、赤外放射温度計を MMRS の上部に取り付け同時観測を行った。

・観測目的

本観測は将来的に海氷の厚さや面積を衛星搭載マイクロ波放射計（AMSR-E、SSM/I）から高精度で観測するために、MMRS の現場検証によりオホーツク海における海氷のマイクロ波特性の調査を行うことが目的である。オホーツク海域では昨年度に引き続いての試みである。（戸城ら, 2006)。昨年度では単一周波（36 GHz）だったものを３周波（18,23,36 GHz）にして MMRS により海氷のマイクロ波を連続観測した。

・観測概要

MMRS の入射角を AMSR-E と同じ 55 度で固定し、18,23,36 GHz 帯の垂直偏波を用いて、海氷および海水表面から放射されるマイクロ波を連続観測（1 秒毎）した。

４．MMRS 観測結果

4.1　MMRS 観測

今回期間中に行った観測結果を(図３：１分平均)に示す。縦軸は輝度温度（K)、横軸は時間である。また観測時間は１日を通して観測している。図より周波数によって値は異なるが、最大で約 260 K、最小で 190 K(18 GHz では 180 K)であった。各周波数のマイクロ波特性より海面の海氷および海水状態を判別することが可能だと考えられる。

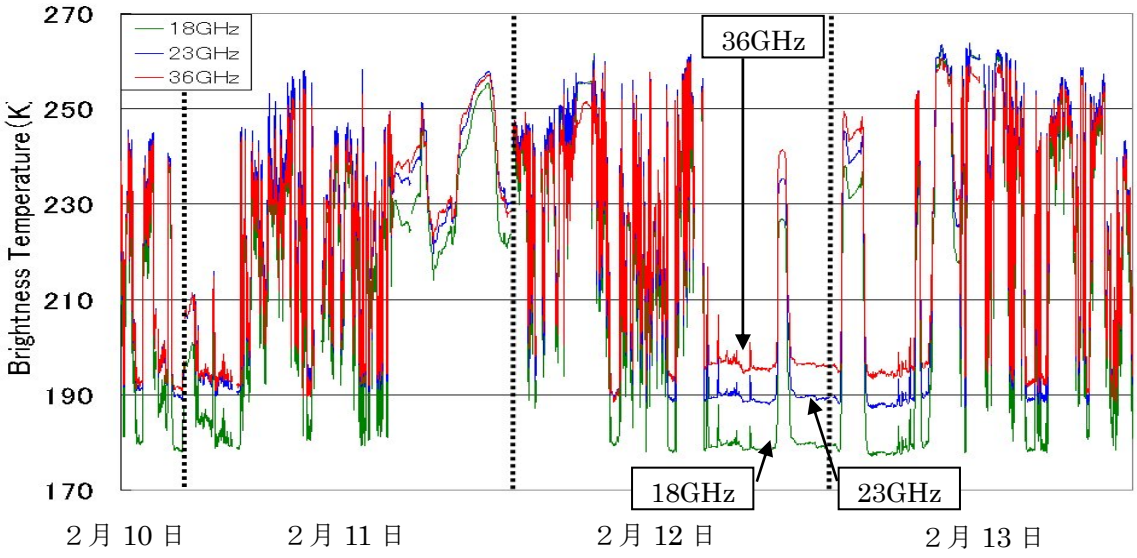


図３：2007MMRS 観測結果

4.2　輝度温度と EM による海氷密接度、海氷厚および赤外放射温度との比較

２月 13 日の結果について詳しく解説する。(図 4,a)は MMRS による輝度温度、(図 4,b)は EM による海氷厚と赤外放射温度、(図 4,c)は EM による海氷密接度を示す。縦軸は(図 4,a)は輝度温度(K),(図 4,b)は海氷厚(m)と赤外放射温度(℃)、(図 4,c)は海氷密接度(%)を示し、横軸は時間を示す。観測時の海氷状態の参考として(図 4,b)(図 4,c)を示す。輝度温度、海氷厚、海氷密接度を比べると正の相関があることが分かる。また赤外放射温度では、海水面では海水の結氷温度である-1.8 ℃以上と高く、海氷面では-2 ℃～-13 ℃の間を変動し、輝度温度とは負の相関であることがわかる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

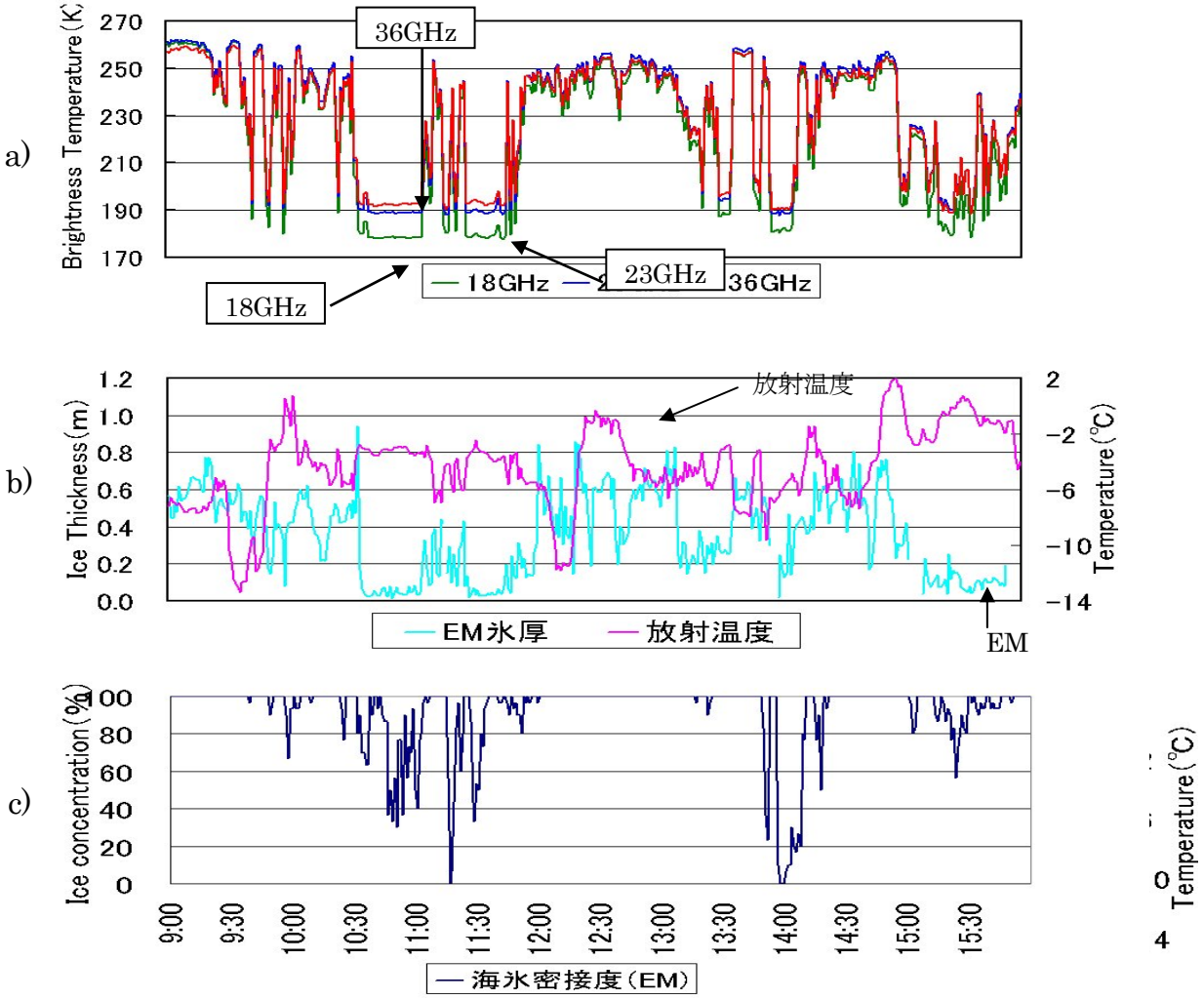


図 4：2007 年 2 月 13 日　a),MMRS による輝度温度　b),EM 方による氷厚、赤外放射温度　c),EM 方による海氷密接度

5．EM による海氷厚と射出率、GR との比較

5.1　射出率

EM による海氷厚と 2 月 12、13 日に観測されたデータより求めた射出率($\varepsilon = T_B / T$　ε ：射出率、T_B：マイクロ波放射輝度温度、T：赤外放射温度)の比較を(図 5)に示す。(図 5：a,b,c)より海氷厚が厚くなると射出率が大きくなるといことがわかる。次に周波数間の輝度温度の差と海氷厚の関係を調べた。

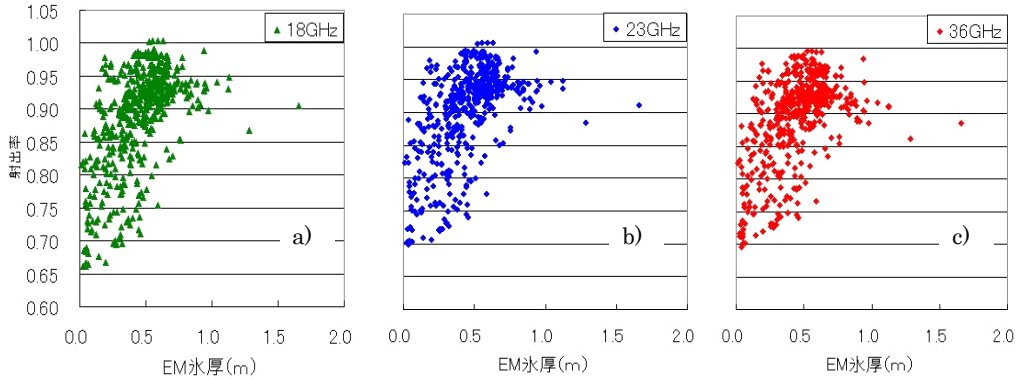


図 5：射出率と海氷厚の比較　a),18GHz　b),23GHz　c),36GHz

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

5.2　GR（Gradient Ratio）

海氷の射出率の周波数依存特性の簡単な図を示す(図 6.1)。このマイクロ波帯における海氷の射出率の周波数依存特性より 36 GHz と 18 GHz の輝度温度の差を利用して海氷厚を推定する。(図 6.1)より $T_{B36}-T_{B18}$ を計算した場合、新生氷では GR＞0、1 年氷では GR＝0、多年氷では GR＜0 となることがわかる。GR は$(T_{B36}-T_{B18})/(T_{B36}+T_{B18})$(式 1)で求められる[$T_{B36}$、$T_{B18}$：36 GHz,18 GHz での輝度温度]。36 GHz と 18 GHz の輝度温度の差を利用して(式 1)よりもとめた GR と海氷厚を比較すると(図 6.2)のような関係が得られた。(図 6.2)を見ると氷厚が大きくなると GR が小さくなっていることがわかる。(図 6.1)と比較してみても多年氷のように氷厚が大きくなると GR＜0 となるように、同じ関係がみられた。

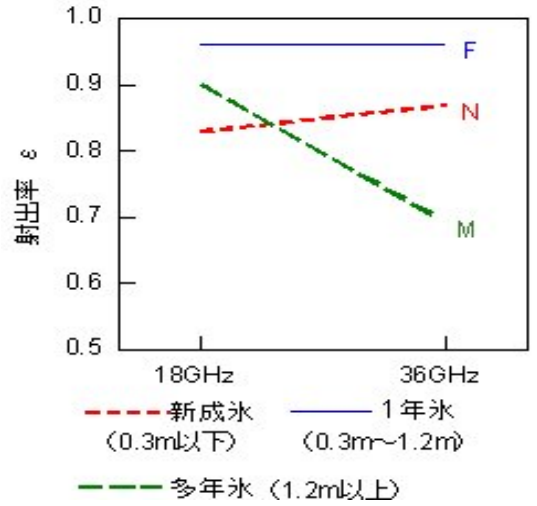


図 6.1　海氷の周波数依存特性(人工衛星によるマイクロ波リモートセンシングを参考に作成)

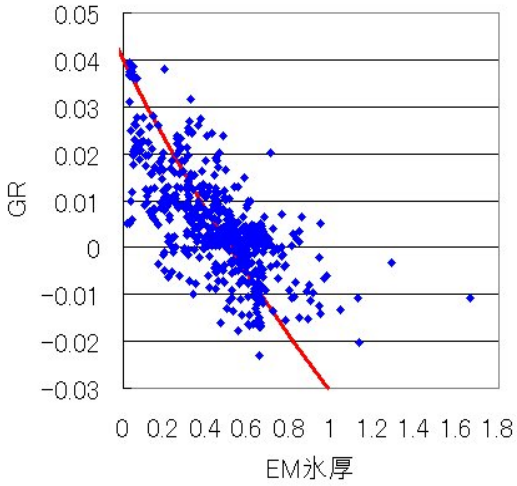


図 6.2　GR と海氷厚の比較

6．まとめ

本節では MMRS による海氷観測について報告した。今回の目的であったオホーツク海南部の海氷分布および海氷のマイクロ波特性を調査するための有益なデータを昨年度に引き続き得ることができた。今回の MMRS で得られた結果をまとめる。

- 内臓 CCD カメラにより海氷の写真も同時に記録されていたことより、昨年度に比べ観測した輝度温度と氷状の確認がとりやすかった。
- 今回の観測では海氷厚が全体的に薄かった。そのため GR での海氷厚の推定では 1 m以上の推定結果が得られなかった。
- 海氷厚が厚くなった場合、射出率が増加すると GR は減少する。

謝辞

本観測での MMRS 設置の際に、多大なご協力をして頂きました第一管区海上保安部、海洋情報部ならびに三菱電機特機システム株式会社の方々に感謝いたします。

参考文献

戸城亮・榎本浩之・舘山一孝・豊田威信・宇都正太郎, 2006 ：オホーツク海北海道沿岸における可搬型マイクロ波放射計 MMRS を用いた船上海氷観測．北海道の雪氷第 25 号

古濱洋治・岡本謙一・増子治信, : 人工衛星によるマイクロ波リモートセンシング．社団法人電子情報通信学会編

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

船舶搭載型マイクロ波放射計を用いた南極昭和基地沖の海氷厚観測

舘山一孝，榎本浩之（北見工業大学），下田春人，宇都正太郎（海上技術安全研究所），
牛尾収輝（国立極地研究所）

１．はじめに

多年氷域や季節海氷域の海氷厚の変動を調査することは，地球の気候変動を監視する上で重要である．これまで多くの科学者によって人工衛星による海氷面積の経年変動が報告されているが（Zwally et al., 1983; Cavalieri et al., 1984; Comiso et al., 1984），海氷厚については報告が少ない．人工衛星による海氷厚の測定は可視画像アルベド，赤外放射計の表面温度（Drucker et al., 2003），マイクロ波レーダ（Kwok and Cunningham, 2002; Nakamura et al., 2006），高度計（Peacock and Laxon, 2004）などから推定する試みが行われてきたが，地上検証データが少ないため実用化に至っていない．著者らは海氷厚増加に伴う内部温度勾配の変化と低塩分化を検知できる多周波マイクロ波放射計に着目し，オホーツク海における砕氷船の目視氷厚観測データからマイクロ波放射計 SSM/I 用のアルゴリズムを開発した（Tateyama et al., 2002）．このアルゴリズムは検証データとして使用した目視氷厚の測定手法が厚い変形氷の測定に不向きであるという限界から，氷厚を過小評価する傾向にあるという欠点があった.そこで本研究は変形氷の氷厚を正確に測定できる非破壊式の電磁誘導式氷厚計に着目し，新開発の船舶搭載型マイクロ波放射計とともに新たな氷厚推定アルゴリズムの開発を行った．

２．観測海域と観測方法

観測は 48 次日本南極地域観測隊の夏期観測の際に, 図 1 に示す南緯 66 度から 69 度の昭和基地にかけて，東経 38 度から 40 度の間の流氷帯と定着氷帯で実施した．往路は 2006 年 12 月 16 日から 23 日にかけての融解前の初夏，復路は 2007 年 2 月 10 日から 14 日にかけての融解が進んだ晩秋に観測した．

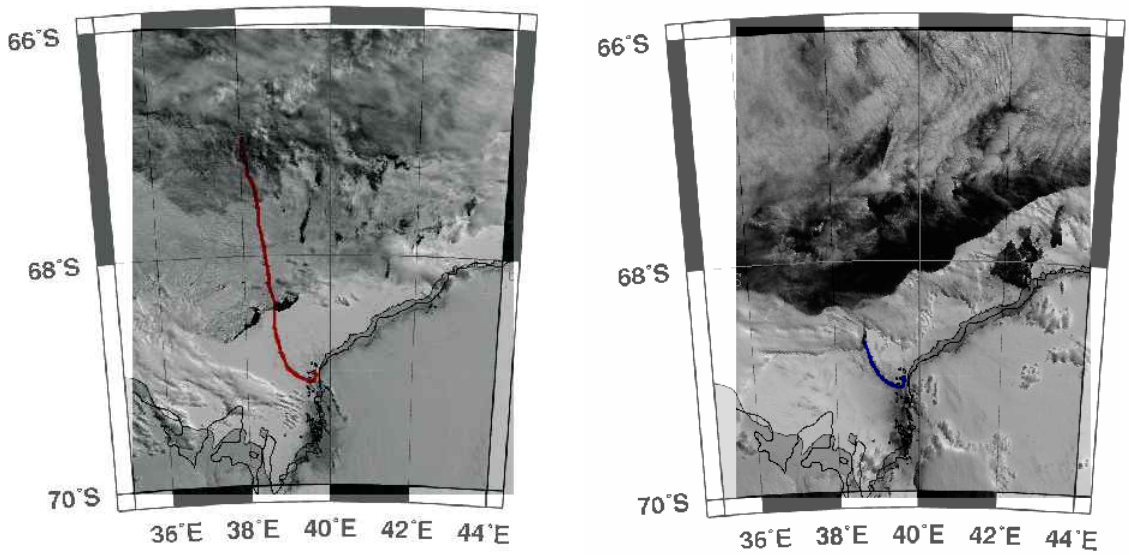


図１　観測．左に往路（2006 年 12 月）の航跡を赤，右に復路（2007 年 2 月）の航跡を青で示す．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

電磁誘導式氷厚計（Electro-Magnetic induction device, EM）で氷厚，マイクロ波放射計（Microwave/Miliwave Radiometer System, MMRS）で 36GHz の垂直・水平偏波の輝度温度，MMRS に内蔵している赤外放射温度計で表面温度をそれぞれ 1 秒間隔で測定した．これらの測器は砕氷船しらせの右弦に設置し，砕氷前の海氷を測定した．

また，海氷密接度は EM に内蔵しているレーザー高度計で開放水面を測定したときに高さが負の値になるのことを利用して判断している．1 秒間隔で開放水面の有無を判定し，60 秒平均での海氷密接度を求めた．

３．結果

図 2 に往路と復路の EM 氷厚，マイクロ波輝度温度，表面温度の測定結果を示す．なお，これらのデータは全て密接度 100 %のデータのみ抽出したものである．往路は流氷帯（67.4ºS～68.4ºS）で氷厚 0.7～1.5 m，定着氷帯（68.4ºS～69.1ºS）で氷厚 1.5～2.1 m，復路は定着氷帯（68.7ºS～69.1ºS）で氷厚 1.0～1.7 mであった．36 GHz の輝度温度は垂直・水平偏波ともに流氷帯では氷厚に伴う上昇傾向，定着氷帯では逆に氷厚に伴う下降傾向が見られた．表面温度は流氷帯・定着氷帯の区別無く氷厚に伴う下降傾向を示した．

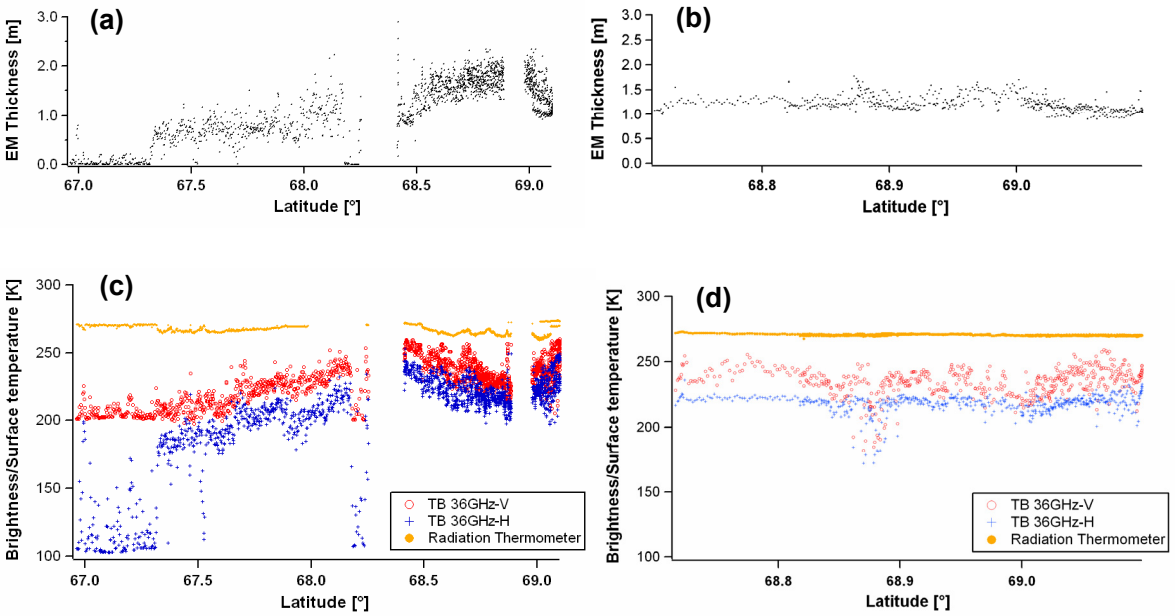


図２ EM 氷厚とマイクロ波放射計（赤：36 GHz 垂直偏波の輝度温度，青：36 GHz 水平偏波の輝度温度）・赤外放射計（橙：表面温度）の観測結果．ＥＭ氷厚(a)往路，(b) 復路．マイクロ波放射計，赤外放射計(c)往路，(d)復路．

図 3(a)に往路と復路の EM 氷厚と 36 GHz の垂直・水平偏波の輝度温度の関係を示す．なおこの図も全て密接度 100 %のデータのみ使用している．この図から，36 GHz の水平偏波では輝度温度と EM 氷厚の相関が見られる，特に 1.2 m以下の薄い氷と高い正の相関が見られる．氷厚が 1.2 m を超えると変化が鈍くなり，弱いながらも負の相関が見られる．36 GHz の垂直偏波では水平偏波よりも 1.2 m以下の薄い氷と高い相関は見られず，1.2 m以上の厚い氷では水平偏波よりも負の相関が高い．以上をまとめると 36 GHz の水平偏波の輝度温度は 1.2 m 以下の薄い氷の氷厚測定に適しているが，1.2 m以上の厚い氷では 36 GHz の垂直・水平偏波ともに氷厚推定が困難であるこ

Copyright © 2007 （社）日本雪氷学会北海道支部

とがわかった．

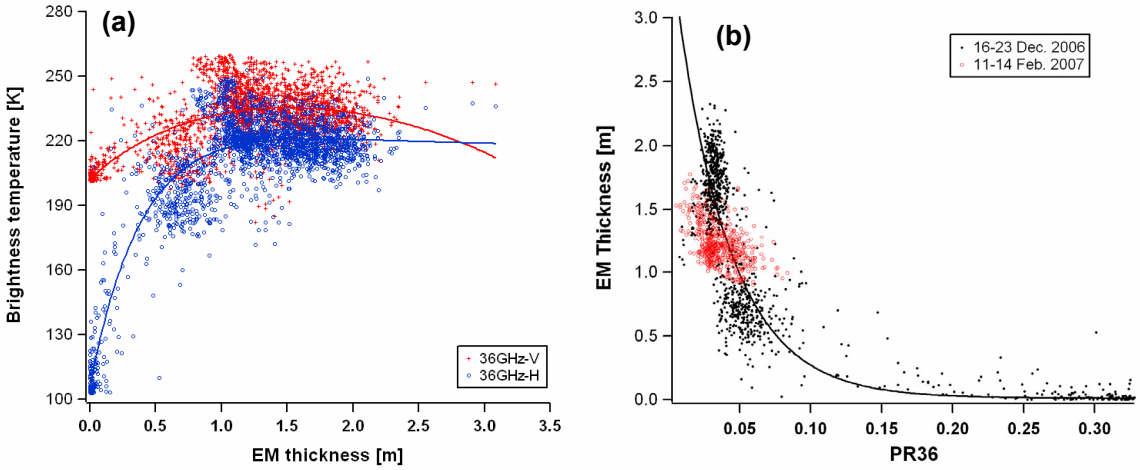


図３　(a) EM 氷厚とマイクロ波輝度温度の関係．2 本の曲線はそれぞれの偏波の近似曲線，(b) EM 氷厚と PR36 の関係．黒点が融解前の往路，赤点が融解末期の復路のデータ．実線は式(2)の PR36 を用いた氷厚推定式．

36 GHz の垂直・水平偏波はそれぞれ単周波では氷厚推定が難しい．しかし，両者を効果的に組み合わせることで氷厚推定能力を向上させることは可能である．NASA team 薄氷アルゴリズム（Cavalieri, 1994）の PR（Polarization Ratio）が季節海氷域の氷厚推定に有効，GR（Gardiation Ratio）は多年氷域に有効であることが知られている(Tateyama et al., 2002)．PR は式(1)で示すように単周波の偏波間の差であり，GR は 2 つの周波数間の差である．本研究は単周波センサのため，PR のみ適用可能である．

$$PR36 = [TB36V - TB36H] / [TB36V + TB36H] \quad (1)$$

ここで *PR36*，　*TB36V* と *TB36H* はそれぞれ 36GHz の PR ，36GHz の垂直・水平偏波の輝度温度を意味する．

式(1)で求めた *PR36* と EM 氷厚の結果を図 3(b)に示す．黒点が融解前の往路，赤点が融解末期の復路のデータを意味している．融解前の *PR36* は EM 氷厚との相関が高く，R=0.86 であった．融解末期は表面の融解水がマイクロ波の吸収をしているため *PR36* が低い値を示し，実際よりも氷厚を厚く評価する傾向が見られた．*PR36* と EM 氷厚の関係から，*PR36* から推定する氷厚 *H*（*PR36* 氷厚）を次のように定義した．

$$H = 0.01 + 3.00 \cdot exp\left(-\frac{PR36 - 0.0076}{0.038}\right) \quad (2)$$

EM 氷厚と *PR36* 氷厚の比較を図 4(a)と(b)に示す．2.0 m 以下の氷では EM 氷厚と良い相関が見られるものの, EM 氷厚 1.2 m～1.5 m の間に融解末期の顕著な過大評価が見られ, 全体として *PR36* 氷厚の RMS エラーは 0.35 m であった．図 4(b)の EM 氷厚と *PR36* 氷厚のヒストグラムから，第 1 モードは両者ともに 0.1 m，第二モードはそれぞれ 0.8 m と 1.0 m，平均氷厚はそれぞれ 1.15 m と 1.25 m であった．この結果から，マイクロ波放射計から測定した *PR36* 氷厚は EM の実測氷厚

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

と近い値を示し，マイクロ波放射計から氷厚を推定することが可能であることが示唆された．今後の課題として多周波マイクロ波放射計を用いて GR による厚い海氷の氷厚推定の取り組みが必要と思われる．

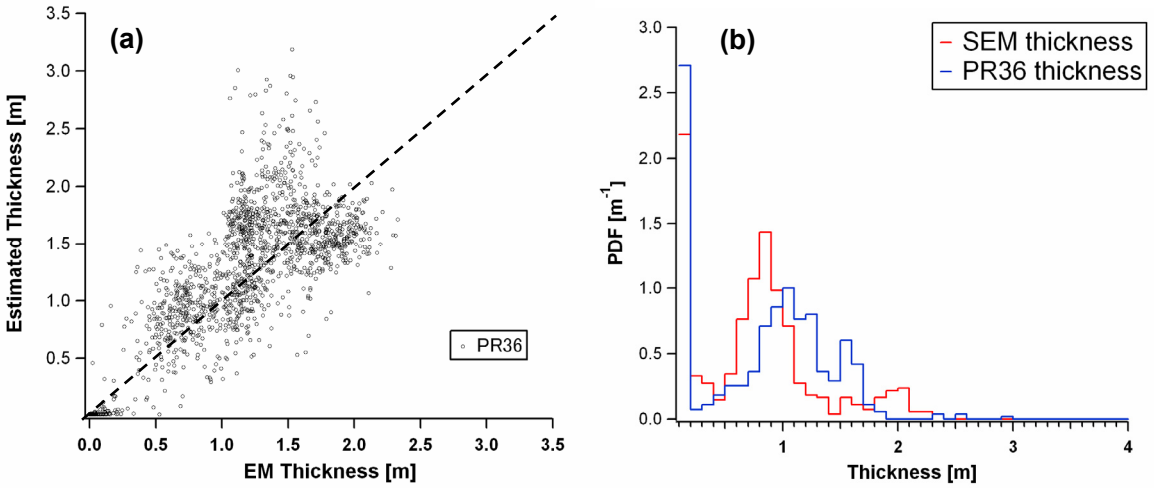


図４ (a) EM 氷厚と式(2)から PR36 で推定した氷厚．破線は EM 氷厚と PR36 氷厚が 1 対 1 のラインを示す，(b) EM 氷厚と式(2)から PR36 で推定した氷厚のヒストグラム．Bin サイズは 0.1 m．

参考文献

Cavalieri, D. J., P. Gloersen, and W. J. Campbell, Determination of sea ice parameters with the NIMBUS 7 SMMR, J. Geophys. Res., 89(D4), 5355–5369, 1984.

Cavalieri, D. J., A microwave technique for mapping thin ice. J. Geophys. Res., 99(C6), 12,561–12,572, 1994.

Comiso, J. C., Ackley, S. F. and Gordon, A. L., Antarctic sea ice microwave signatures and their correlation with in– situ ice observations, J. Geophys. Res., 89(C1), 662–672, 1984.

Drucker, R., Martin, S., and Moritz, R., Observations of ice thickness and frazil ice in the St. Lawrence Island Polynya from satellite imagery, upward looking sonar, and salinity/temperature moorings, J. Geophys Res., 108(C5), 3149, doi:10.1029/2001JC001213, 2003.

Kwok, R. and Cunningham G. F., Seasonal ice are and volume production of the Arctic Ocean: November 1996 through April 1997, J. Geophys. Res., 107(C10), 8083, doi:10.1029/2000JC000469, 2002.

Nakamura, K., Wakabayashi, H., Uto, S., Naoki, K., Nishio, F., and Uratsuka S., Sea-ice thickness retrieval in the Sea of Okhotsk using dual-polarization SAR data, Annals of Glaciology, 44, 261-268, 2006.

Peacock, N. R. and Laxon, S. W., Sea surface height determination in the Arctic Ocean from ERS altimetry, J. Geophys Res., 109, C07001, doi:10.1029/2001JC001026, 2004.

Tateyama, K., Enomoto, H., Toyota, T. and Uto, S., Sea ice thickness estimated from passive microwave radiometers, Polar Meteorology and Glaciology, 16, 2002.

Zwally, H. J., Comiso, J. C., Parkinson, C. L., Campbell, W. J., Carsey, F. D., and Gloersen, P., Antarctic sea ice, 1973–1976: satellite passive–microwave observations, U.S. National Aeronautics and Space Administration. Special paper, NASA SP–459, 155–159, 1983.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

アラスカにおける積雪縦断観測および衛星データを用いた積雪比較

木村しずか[1]，榎本浩之[1]，Yongwon KIM[2]，谷川朋範[1]，門崎学[3]，齋藤佳彦[4]，戸城亮[1]
[1]北見工業大学，[2]UAF/IARC，[3]JAXA，[4](株)雪研スノーイーターズ

1. はじめに

衛星データを用いて得られた積雪に関する情報は，水利用や災害，気候変動などの研究に役立てることができる．そこで本研究では，近年気温の上昇が顕著である北極圏のアラスカにおいて積雪縦断観測を行った．またそれらの観測データを比較することにより，衛星データから求めた積雪深について検証を行った．

2. 積雪縦断観測 2005-2007

2-1 期間およびサイト

観測期間は 3 冬季である 2005 年 1 月 24 日～1 月 27 日，2006 年 2 月 4 日～2 月 16 日，2007 年 2 月 22 日～3 月 6 日に，積雪深，雪質，雪温，積雪密度について観測を行った．観測サイトはアラスカのフェアバンクスから北極海沿岸までの縦断道路沿い，約 25km 間隔に 23 ヶ所設置した．各観測サイトと観測中に滞在した町を示したものが図 1 である．

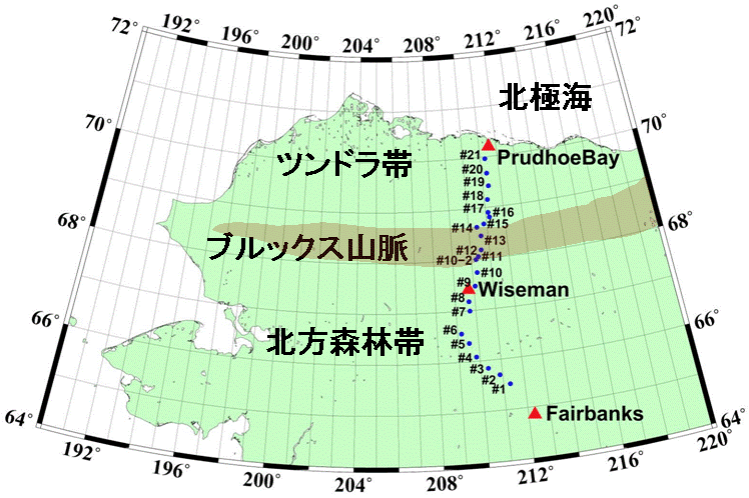


図 1　縦断観測サイトを示したアラスカ地図

アラスカ北部はブルックス山脈を境に，南側を北方森林帯，北側をツンドラ帯に大きく分けることができる．それぞれの特徴として，北方森林帯はどのサイトも森林に覆われており，それに対してツンドラ帯は雪原が延々と続いている．またブルックス山脈の麓に設置したサイトは，南北とも森林のない斜面となっている．これらをまたいで観測することにより，植生による積雪の違いに着目することができる．

2-2 解析結果

各観測サイトにおける 3 年分の積雪深および 2006 年，2007 年の積雪全層密度を示したものが図 2 であり，図 3 には積雪層構造を示した．これらの図中で，観測データが抜けている部分は観測を行っていないサイトであり，図 3 の棒グラフが 2 本示されているサイトはやちとやちの間の凹部（左棒グラフ）とやちの凸部（右棒グラフ）の 2 ヶ所を観測したことを意味する．

まず積雪深について見ると，全体的な傾向として北方森林帯の積雪深は多く，ツンドラ帯は少ないことがわかる．これは，北方森林帯は森林に覆われているために風の影響を受けにくいのに対し，ツンドラ帯はもともと降雪が少なく，さらに障害物がないために風の影響を直接受ける吹きさらしであるということが大きな要因といえる．また 3 年間の比較では，積雪深が減少しているサイトが多く，特に北方森林帯での変化が顕著である．

全層密度は，北方森林帯ではどのサイトも 0.20 g/cm^3 前後を示しており非常に小さい．ツン

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

ドラ帯では 0.20～0.30 g/cm³ の間を示しているが，サイトによりその値にばらつきがある．これらの特徴は積雪層構造の違いによるものである。図 3 を見ると全体的にこしもざらめ雪が分布しており，北方森林帯の層構造は主にこしもざらめ雪としもざらめ雪で構成されている地点

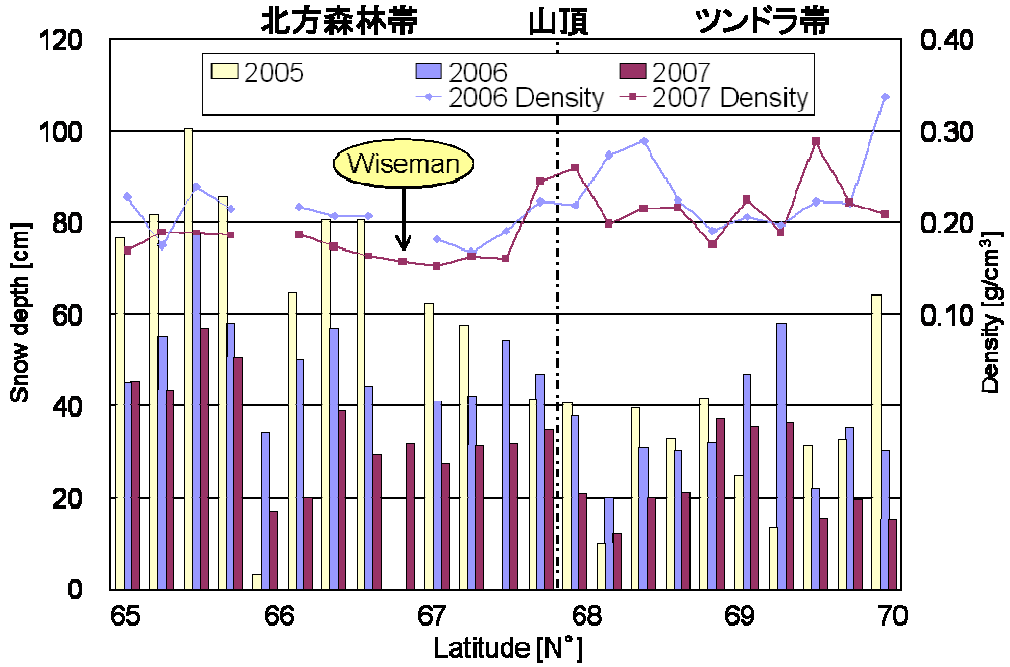


図 2　各観測サイトにおける 3 年間の積雪深と積雪全層密度

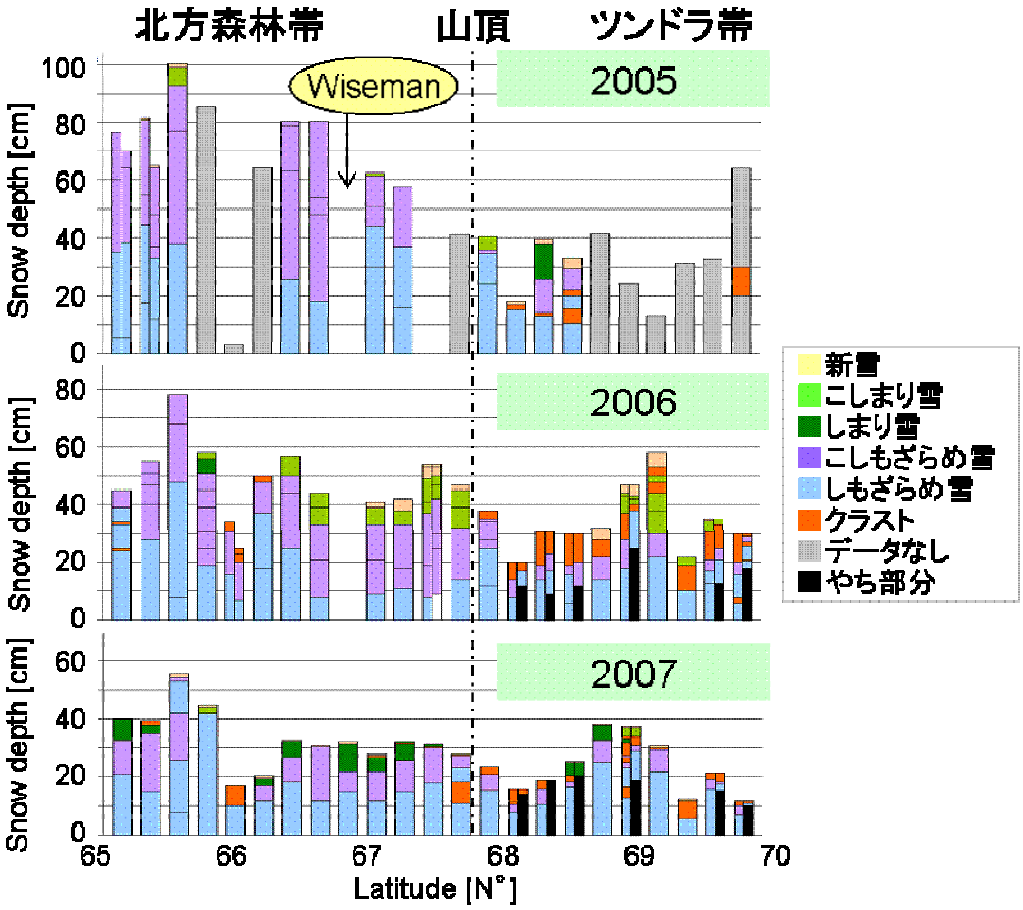


図 3　各観測サイトにおける 3 年間の積雪層構造

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

が多い．その粒子半径が最大 1.5 mm まで発達しているため全層密度が小さくなった．ツンドラ帯には密度の大きなクラストを含んでいる地点が多い．このクラストとは風の作用によりできたウィンドクラストである．ツンドラ帯の積雪全層密度に大きなばらつきがあったのはこのクラストの影響である．なお，南から 5 番目のサイトは岩山の上に位置していて風が強いことが多く，密度の高いクラストを含んでおり，ツンドラ帯と似た層構造になっている．

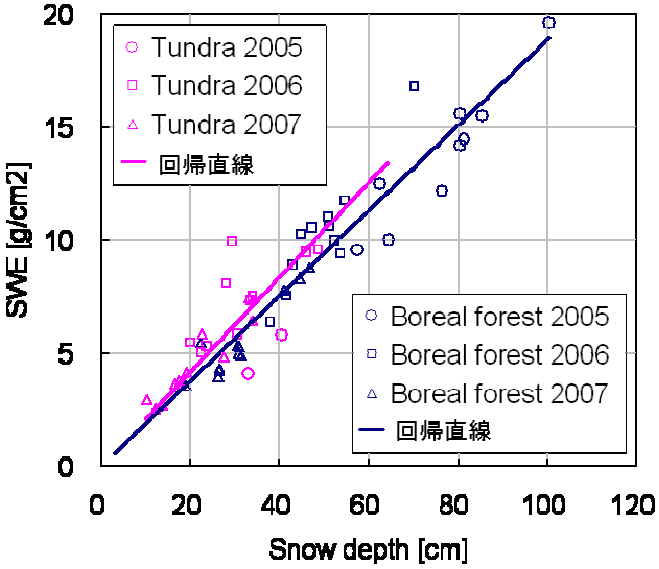


図 4　北方森林帯およびツンドラ帯における 3 年間の積雪水量と積雪深の関係

図 4 は 3 年分の積雪水量を北方森林帯とツンドラ帯に分けて比較したものである．この図にも北方森林帯の積雪深が年々減少している様子が表れている．そして回帰直線の傾きは密度を示しており，北方森林帯よりもツンドラ帯の方が密度が大きい．

3. 衛星データと観測データの比較

地球観測衛星 Aqua に搭載されているマイクロ波放射計 AMSR-E によって観測されたマイクロ波の輝度温度データ（昼・夜 1 日 2 回観測される）を用いて解析を行った．また本研究では，基礎のアルゴリズム（Chang *et al.*, 1987）を用いて積雪深の算出を行った．図 5 はアルゴリズムから求めた 2007 年 3 月 1 日の積雪分布を表した図であり，この図を用いて積雪が分布する様子，積雪や融解といった季節変化を読み取ることができる．しかしブルックス山脈を境にツンドラ帯の方が北方森林帯よりも値が大きくなっているように見えるため，この図を積雪深を細かく読み取るために用いるには適していない．

図 6 は北方森林帯に位置する集落ワイズマンの 2004 年 10 月～2006 年 4 月（冬季のみ）における衛星データから求めた積雪深と観測データとの比較を示したものである．ここでは観測データとして，毎日現地時刻の 20:00 に観測された積雪深を用いている．この図では，実際の積雪深が 80～100 cm のときに，衛星データから求めた積雪深は 40～60 cm を示しており，観測データを少なく見積もっていることがわかる．基礎のアルゴリズムを用いる際に問題となるのが，森林からの射出により輝度温度が上昇し，積雪深を多く見積もってしまうことである．図 6 でも読み取ることができるよ

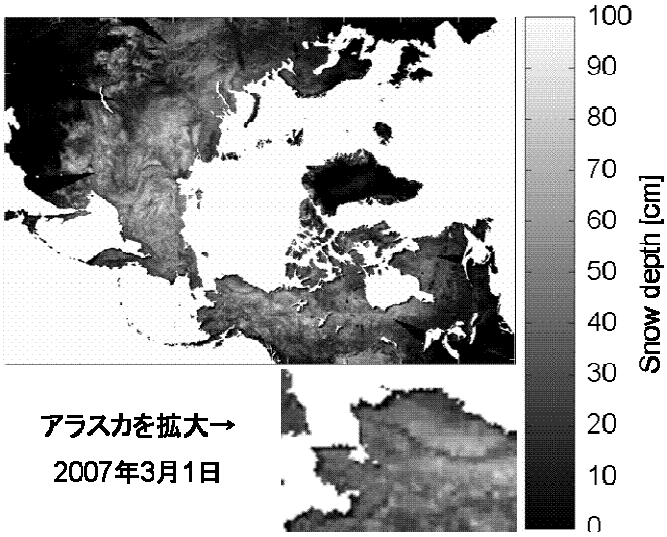


図 5　アルゴリズムから求めた積雪広域分布図（2007 年 3 月 1 日）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

うに，北方森林帯において衛星データから求めた積雪深が実際の積雪深を少なく見積もる結果となったのは，この森林被覆による影響が大きな要因であると考えられる．しかしこの 3 年間の観測において，アルゴリズムで仮定されている雪の粒子半径 0.3mm，雪の密度 0.3 g/cm³ に対して，前述のように北方森林帯におけるしもざらめ雪の粒子半径が最大 1.5 mm まで発達していること，密度が 0.2 g/cm³ となっていることがわかった．基礎のアルゴリズムでは，しもざらめ雪の形成により輝度温度（37GHz）が低下し，積雪深を大きく見積もる可能があることも問題とされている．そのためしもざらめ雪が発達した北方森林における積雪深の推定は，森林被覆により積雪深が大きく算出されてしまうこと，一方でしもざらめ雪により積雪深が小さく算出されてしまうことのために複雑になっている．

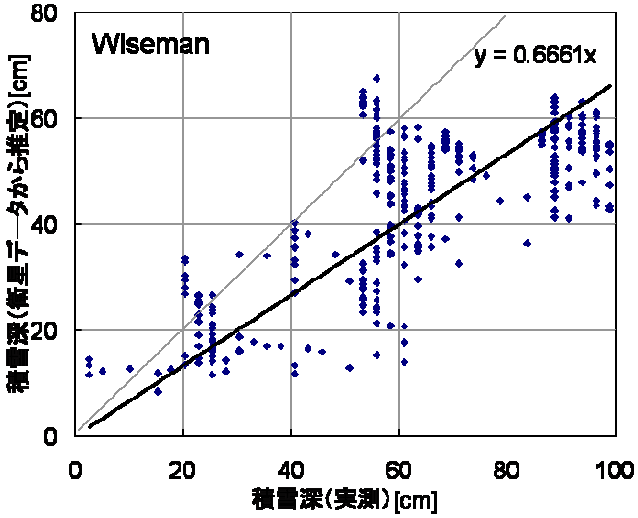


図 6　ワイズマンにおける衛星データから求めた積雪深と観測データの比較

4. まとめ

- 3 年間の積雪縦断観測から，全体的な傾向として北方森林帯の積雪深は多く，ツンドラ帯は少ないことが確認できた．そして特に北方森林帯において，この 3 年間では年々積雪深が減少しているサイトが多いことがわかった．積雪層構造に関しては，全域的に粒子半径の大きなしもざらめ雪が発達しており，さらにツンドラ帯には密度の大きなウィンドクラストを含んでいる地点が多いことがわかった．そのためツンドラ帯の積雪全層密度は北方森林帯よりも大きく，その値には大きなばらつきがある．
- 衛星データと観測データの比較をしたところ衛星データによる積雪深の推定は，広域分布図を示すことにより季節変化を読み取ることができる．
- 北方森林帯における衛星データによる推定は，実際の積雪深を少なく見積もってしまう．これは，森林からの射出により輝度温度が上昇することが大きな要因であると考えられる．一方で，しもざらめ雪の形成が輝度温度（37GHz）を低下させるという影響を受けている可能性があるため，今後も更なる解析が必要である．

謝辞

本研究はアラスカ大学北極圏国際研究センターとの共同研究の一環として行いました．使用した衛星データについては，宇宙航空研究開発機構（JAXA）から AMSR-E データを提供していただきました．ワイズマンにおける観測データについては，現地在住の Heidi Schoppenhorst 氏に提供していただきました．

参考文献

Chang, A.T.C. and R. Kelly, 1998: Description of snow depth retrieval algorithm for ADEOS Ⅱ AMSR. Annals of Glaciology, 9, 39-44.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

北海道・然別の風穴地に分布する越年地下氷の形成年代と起源の推定

澤田　結基（北海道大学低温科学研究所）

１．はじめに

北海道中央部に位置する然別火山群を構成する溶岩ドームである西ヌプカウシヌプリ（1251m）の山頂部には粗大な岩塊が堆積する岩塊斜面が分布しており，その斜面末端部には越年地下氷が分布する．演者はこれまでの研究のなかで越年地下氷の季節変化の観測を行い，地下氷は毎年，成長・融解を繰り返す季節氷とその下の越年地下氷に分かれること，季節地下氷の成長は主に融雪期に生じることを明らかにした（澤田・石川，2002；Sawada et al.，2003）．もし越年地下氷が，季節的な地下氷の累積した結果として成長したのであれば，その安定同位体比に過去の気候変化が記録されている可能性がある．そこで本研究では，ボーリングによって越年氷を含む長さ約３ｍのコアを採取し，含まれる有機物の年代測定と氷の酸素・水素同位体比の分析を行った．本報告では，分析結果より推測される越年地下氷の形成年代とその起源をについて報告する．

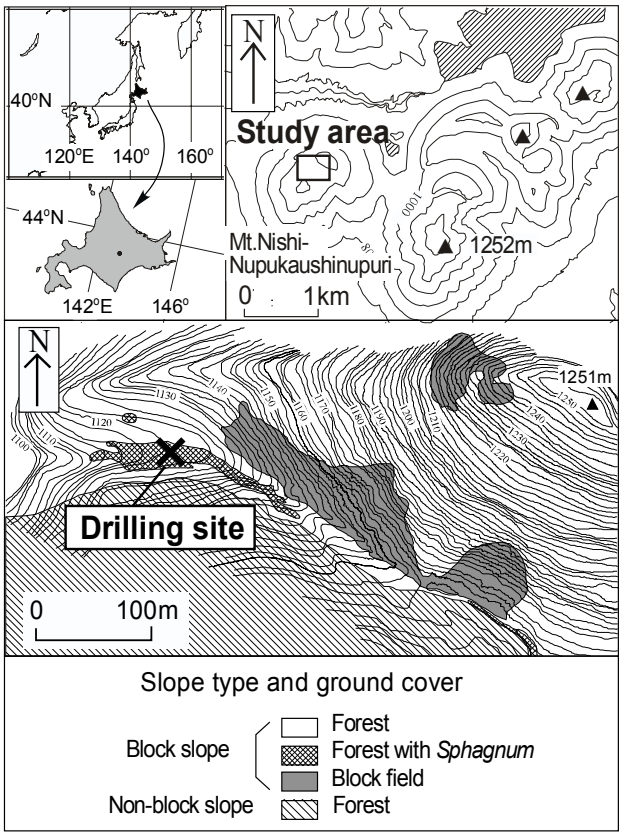


図１　調査地域とボーリング地

２．調査地域とコア試料の採取方法

コア試料の採取は，北海道中央部，然別山地の西ヌプカウシヌプリ（標高 1251m）山頂付近の岩塊斜面末端部で行った(図１)．岩塊斜面の一部は森林を欠き，粗大な礫が露出する（図１）．岩塊斜面に設置した温度計による気温観測の結果，年平均気温は 0.7～1.7℃（1999～2003 年）であった．斜面末端部周辺は主にアカエゾマツからなる高木林に覆われ，その地表面はミズゴケのマットやガンコウラン，イソツツジなどの矮性低木が分布する．地表面の一部には岩塊空隙に通じる穴が空いており，夏から秋にかけて冷気が吹き出す風穴となっている．風穴が分布する斜面末端部の地下 1.5m 以深には，岩塊層の空隙を満たす越年氷が確認されている（澤田・石川，2002, Sawada et al.，2003）．越年氷の掘削は，斜面末端部に続く谷底で行った（図１）．

コア試料採取のための掘削作業は 2005 年７月に行った．掘削の前に表層に堆積する岩塊を取り除いて凍結面を露出させ，そこから掘削を開始した．掘削では，エンジンオーガーから伝わる刃先の感触をもとに，氷が多いと判断される場合はタングステンビット，岩塊を貫いていると判断される場合はダイヤモンドビットを用いた．その結果，氷の一部が融解によって失われたものの，ほぼ連続したコアサンプルを得ることができた．掘削深度は，コア試料

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

が取り出されるごとにメジャーをボーリング孔に差し込み測定した．

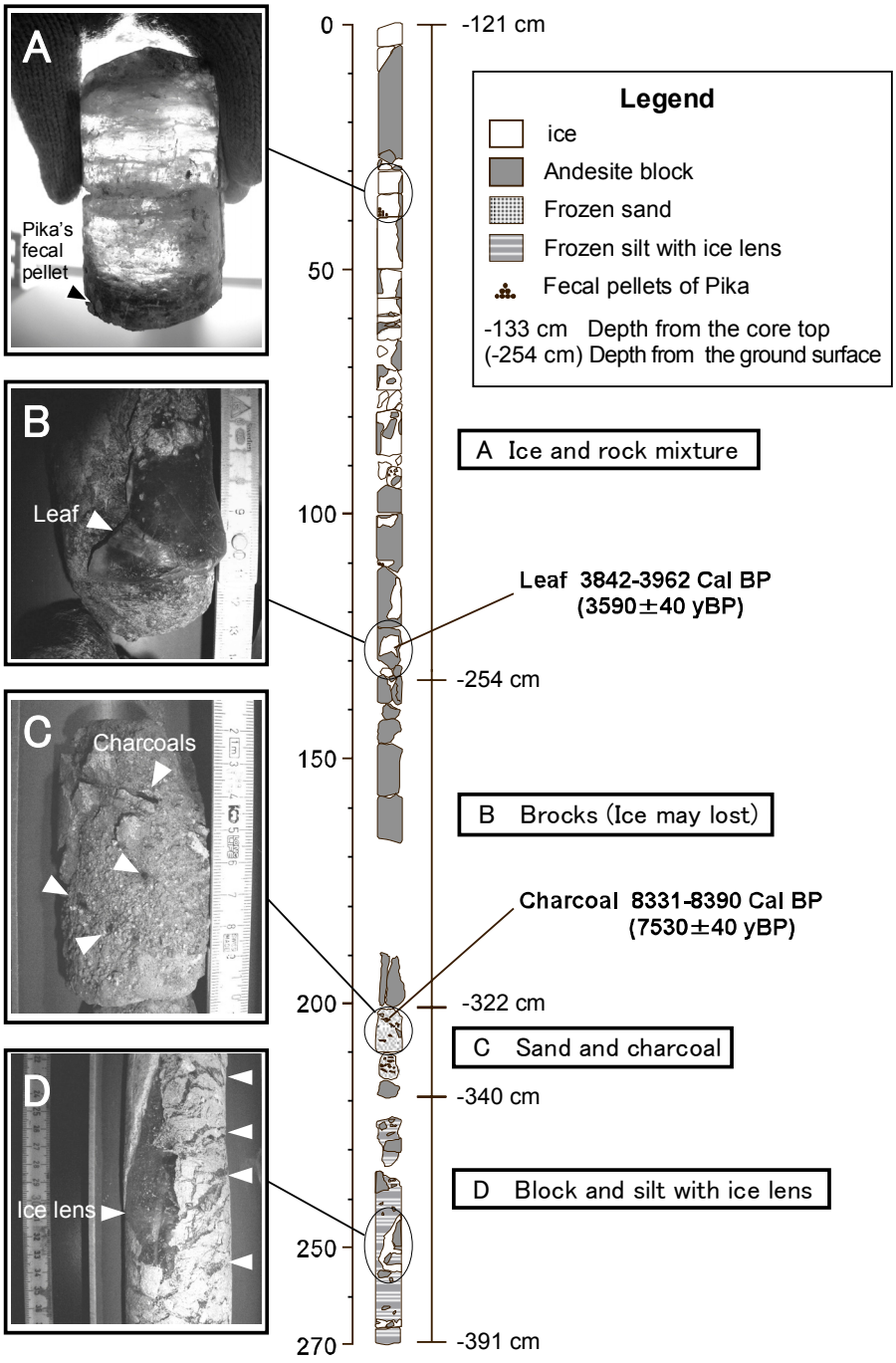


図２　地下氷コア試料の層構造と有機物の放射性炭素年代測定結果

３．堆積物と地下氷の構造

図２に，掘削によって得たコア試料のスケッチを示す．堆積物の粒径と氷の有無より，コア試料はＡ～Ｄのセグメントに区分される．Ａ層は岩塊とその空隙を埋める透明な氷から構成される．ボーリング地点で行った地下氷の 通年観測結果（Sawada, 2003；澤田，2004）より，Ａ層最上部にある氷は 2005 年の融雪期（４月）以降に形成されたと考えられる．30cm から下は，気泡を含み明瞭な層構造を持つ透明氷と岩塊の一部が混在する．氷にはエゾナキウサギの糞や葉片，茎などの黒色有機物が豊富に含まれる．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

Ｂ層は氷を欠く岩塊層である．Ｂ層では，得られたコアの長さと深さが一致しない．Ｂ層の掘削では刃先が安定しなかったため，やむを得ず水を注入しながら掘り進めた．このときの発熱と水で，岩塊層空隙を満たしていた氷が融解してしまったと考えられる．

Ｃ層は主に小礫～砂からなる層である．長さ約 5mm 以下の炭化木片が斑状に混入する．この混入状態より，炭化木片の堆積後，砂質の堆積物に炭化木片が取り込まれるようなプロセスが生じたと推定される．Ｄ層は礫混じりのシルト層で，その一部には岩塊片も混入する．Ｄ層にはアイスレンズが発達しており，かつてこの深さまで凍結融解が及んだことを示す．

４．地下氷の形成年代

図３に，堆積物と地下氷を分離した柱状図と，測定された年代値を示す．地下氷の形成は，まず下部にシルト～砂，上部に岩塊が堆積する構造が形成された後に始まったことは確実である．そこでまず，堆積物の形成年代について述べる．Ｃ層（礫混じり砂層）には森林火災起源と見られる炭化木片が多数混入しており，その年代は 8331-8390 Cal BP（7530±40 yBP)であった．層序の上下関係より，炭化木片が示す砂層形成の年代は地下氷よりも確実に古いと判断できるので，地下氷の形成は 8400 Cal BP 以降，岩塊堆積物が安定した後に開始されたと判断できる．

いっぽう，岩塊層の空隙が氷に充填されるＡ層の最下部（コア深度 127 cm）には，幅約 5 mm の葉片が混入しており，その AMS^{14}C 年代は 3842-3962 Cal BP（3590±40 yBP)であった．葉片は岩塊層の上に落ちたものが移動したか，あるいは調査地に生息するエゾナキウサギの貯食行動によって運び込まれたものと推測される．薄い葉片が腐敗せずに保存されるには，外気から遮断された氷内部に保存されていたためと考えられる．したがって葉片の年代の時点（3842-3962 Cal BP）で，地下氷はすでに存在していたと解釈される．以上の解釈より，地下氷の形成開始は約 8300～3900 年の間，すなわち完新世前期～中期であると推定される．

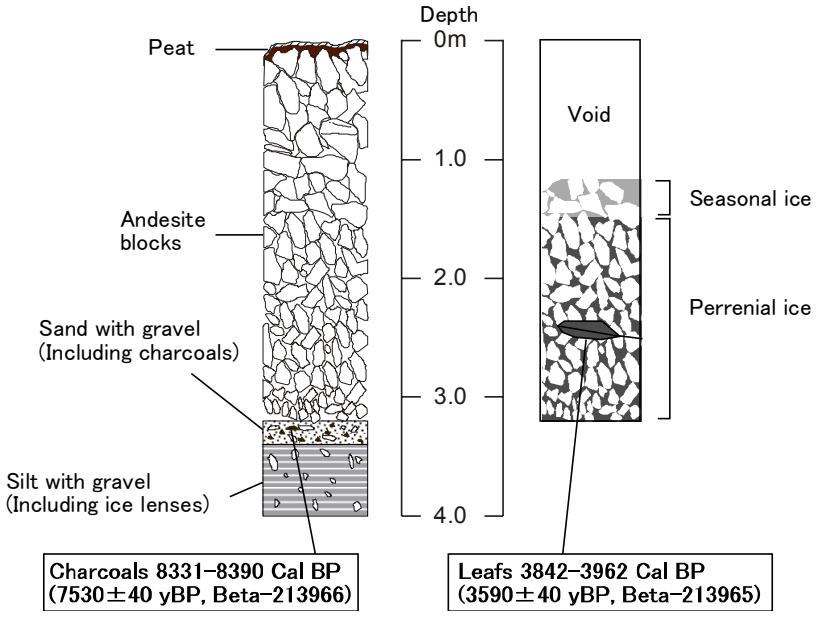


図３　コア試料から推定された堆積物（左）と地下氷（右）の構造

５．地下氷の酸素・水素同位体比と地下氷の起源

氷試料は，バンドソーで切断した後に融解させ，酸素・水素同位体比の測定を行った．酸素・水素同位体比の値は，標準試料（VSMOW）からの偏差を千分率（‰）で表す．地下氷の δ^{18}O 値

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

は－10.51～－14.10 ‰，δD値は－66.9～－96.3 ‰の範囲であった．$\delta^{18}O$値を横軸に，δD値を縦軸にとるグラフに結果をプロットすると，測定値の近似直線の傾きと切片はそれぞれ7.52，10.5であった．この値は世界各地の降水の平均的な経験式であるCraig(1961)の天水線の値（傾き8，切片10）に近く，地下氷の起源が降水であることを示している．また，直線近似の相関係数は0.97と高く,長期にわたって地下氷を形成する水を供給する起源が安定していることを示す.

いっぽう，北日本の日本海側から脊梁山脈周辺では，夏季の降水は太平洋の水蒸気が起源となり，冬季の降水は日本海から水蒸気の供給を受ける．冬季の日本海ではシベリア高気圧から吹き出す冷たく乾燥した季節風によって急速に水蒸気の蒸発が生じる．酸素・水素同位体比のd値（切片）は水の蒸発速度で異なり，それが早いほど大きくなる．そのため，冬季に日本海側から水蒸気の供給を受けた雲から降水が生じる日本海側では，降水のd値は夏季に比べて高くなる（早稲田，1983）.

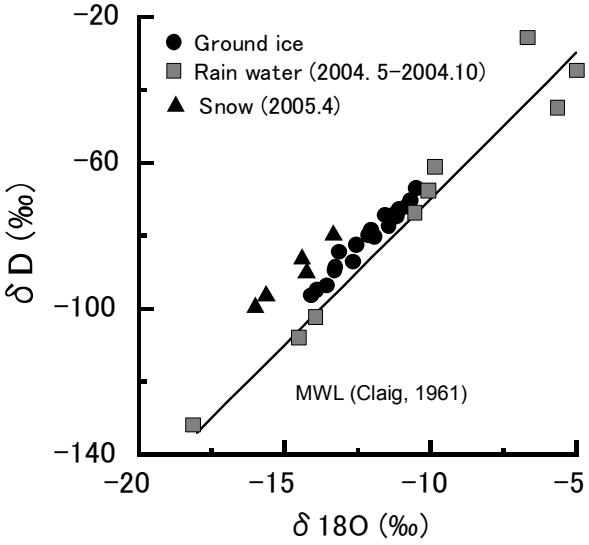


図４　測定された酸素同位体比と水素同位体比の関係

調査地で採取された冬の積雪サンプルの値（傾き7.11，切片14.2）は地下氷の上に，春～秋の降雨サンプルの近似直線（傾き7.87，切片9.6）はグラフ上で地下氷の下に，平行して並んでいる．すなわち，然別における降水のd値には明瞭な季節変動があり，地下氷のd値はその中間に位置している．この結果は，地下氷の起源について２つの可能性を示唆する．ひとつは，地下氷の起源が冬の積雪と春～夏の降水の混合水である可能性である．この場合，夏～秋季の降水が地下氷の上に溜まるか土壌水として存在し，春季の融雪水と混合されるプロセスが生じていると考えられる．両者の混合比が変化すると，地下氷の同位体比も変動する．したがって，地下氷の同位体比から過去の降水の同位体比変動を復元するには，混合による変動量を見積もる必要がある.

もうひとつの可能性は，融雪と再結氷過程で酸素・水素同位体比の変動が生じた結果として地下氷の値が決まるという可能性である．この場合，地下氷の酸素・水素同位体比の変動は，過去の降水の同位体比の相対的な変動を反映している可能性が高いと考えられる．今後，現地において季節氷と降水のサンプリングを続け，地下氷を形成する水の起源をさらに詳しく探っていきたい.

謝辞

ボーリング作業では，ジオアクト（株）の安達寛氏，野坂信之氏の技術的なご指導と現場でのご協力を頂きました．地下氷の酸素・水素同位体比は，北海道大学低温科学研究所の中塚武博士に測定していただきました．環境省大雪山国立公園上士幌自然保護官事務所ならびに林野庁十勝西部森林管理署には調査の許可を頂きました．このほか，この研究は多くの方のご協力のもと実現することができました．ご協力いただいた皆様に，心より感謝申し上げます．なお本研究には，平成16年度北海道大学低温科学研究所リーダーシップ経費および平成17年度東京

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

地学協会究調査助成を用いました．記して御礼申し上げます．

参考文献

Craig, H.(1961)：Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1702-1703.

Sawada, Y.(2003)： Monitoring of ground-ice formation in a block slope at Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido, Japan. Proc. 8th Int. Conf. Permafrost, Zurich, Switzerland, Vol. 2, 1001-1005

澤田結基（2004）： 北海道・西ヌプカウシヌプリの岩塊斜面における越年地下氷の季節変化とその要因．北海道の雪氷，23，52-55.

澤田結基・石川　守（2002）： 北海道中央部，西ヌプカウシヌプリにおける岩塊斜面の永久凍土環境．地学雑誌，111，555-563.

Sawada, Y., Ishikawa, M. and Ono, Y.(2003)：Thermal regime of sporadic permafrost in block slope in Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, northern Japan. Geomorphology, 52, 121-130.

早稲田周・中井伸之(1983)：中部日本・東北日本における天然水の同位体組成．地球科学，17，83-91.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

南北両極の氷床コアに含まれる塩微粒子の分布と化学組成

―Termination Ⅰにおける大気エアロゾルの変動との関係―

櫻井俊光（北海道大学大学院環境科学院）、飯塚芳徳、堀川信一郎(北海道大学低温科学研究所)、Sigfus Johnson、Dorthe Dahl-Jensen、Jørgen Peder Steffensen(コペンハーゲン大学)、本堂武夫(北海道大学低温科学研究所)

氷床コア解析において、堆積後に変質しない不溶性エアロゾルとは異なり、水溶性エアロゾルは、可溶なので相状態を変えている可能性があったため、存在が不明瞭だった。近年、南極 DF コアから、水溶性の多くが氷中で硫酸塩などの固体の塩微粒子として存在していることがわかった。本研究は、南極 DF コアと北極 GRIP コアを用いて、特に硫酸塩の化学組成が DF コアの各気候区分で異なる原因と、南北の違いを究明することを目的とした。その結果、GRIP コアにも CaSO4 を主成分に塩微粒子が含まれ、両極共に化学組成が異なる原因は、Ca2+濃度に依存していることがわかった。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

子ども達の雪氷防災意識向上を継続的に支える試み

中村一樹、石本敬志、久保田敬二、三好真紀（財団法人日本気象協会北海道支社）
的場澄人（北海道大学低温科学研究所）
樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート）

1.はじめに

これまでの雪対策は、主に克雪を目的として行われてきた。しかし、大雨や大雪の出現頻度は今後も増えると言われ、克雪の考え方だけでは、防ぎきれないケースが多くなってきている。このような雪氷災害には、雪氷や寒さに関わる自然現象への理解に基づく、臨機応変な対応が求められる。

また、発生場所や規模の予測が困難な地震に比べれば、大雨や大雪の発生は遙かに精度良く予測でき、詳細な情報に容易に接することができるようになりつつある。それらの情報を、個人の防災行動にどれだけ反映できるかは、普段から自然や防災情報への関心や理解が、どれほど深く広いかに依存する。

このような自然に対する適応能力や防災情報への理解は、実際の体験から身についていくものであるが、近年、特に冬に外で遊ぶ子どもたちの割合が減ってきていると言われている。

そこで、この研究では、次世代を担う子ども達を対象に、雪や寒さに関わる基礎を、楽しく学びながら、雪氷体験を通して自然への理解を深め、雪氷防災意識向上のきっかけを作ることを目的とする。

2. 研究方法

子ども達が身近な雪や氷に直接触れ、日々の生活との関連で雪氷や寒さに関わる自然現象を理解できるよう務める。

具体的には、以下のテーマを基に、冬期に野外でのイベント、屋内でのイベントをそれぞれ実施した。

・冬期の災害時の対処（厳冬期に屋外で安全に一夜を過ごすには？）
・南極、北極など世界各地での雪氷調査の紹介
・賢い雪とのつきあい方：気象情報の活用
・雪や寒さによる生活への影響：雪崩、雪かき
・野外雪氷観察方法の紹介、体験
・雪氷の基本物性：面白い雪氷実験
・野外での雪の楽しみ方

3. 冬期の野外でのイベント企画及び実施支援

札幌市で開催された冬の野外イベントの企画に携わり、その実施を支援した。概要は、以下のとおりである。

3.1 イベント名

旭山冬のフェスティバル２００７「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

3.2 主催

札幌市みどりの推進部、旭山記念公園市民活動協議会（登録団体は、旭山公園キッズ、旭山森と人の会、NPO 法人ねおす、藻岩山きのこ観察会の 4 団体）

3.3 開催日時

旭山冬のフェスティバル２００７「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

2007（平成 19）年 2 月 18 日（日）10 時～15 時（スノーキャンドルは 16 時 30 分まで）

※関連行事

2 月 10 日(土)10 時～15 時：イグルーつくり事前講習講習会実施

2 月 17 日（土）～18 日（日）：市民団体旭山公園キッズ単独で雪中泊体験実施

3.4 場所

札幌市中央区界川 4 丁目 旭山記念公園（札幌市の広域避難場所に指定）

3.5 内容

(1)旭山冬のフェスティバル２００７「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

主催関連団体のスタッフとともに、雪氷体験メニューを実施した。参加者は、子どもから大人まで合わせて約 200 名であった。

なお、このように厳冬期の公園でイベントを実施することは、食と住（寒さ対策）を考慮した一種の防災訓練の意味があると考えられる。

・イグルー体験

あらかじめ作成した 2 つのイグルーと 1 つのかまくらに入り､遊んでもらう体験を実施した。中で昼食を食べている親子もいた。

・雪と氷の実験・観察

講師として参加していただいた旭川西高等学校の平松和彦氏らとともに、降雪、積雪の雪結晶観察、ペットボトルで雪の結晶を作る実験、水の過冷却実験、復氷の実験などを実施した。長時間実験のコーナーに滞在する子どもが目立った。

・その他の雪氷体験

その他の雪氷体験として、馬そり・雪中乗馬体験、カンジキ作り、スノーシューオリエンテーリング、スノーキャンドルなどを実施した。

(2)イグルーつくり事前講習講習会

旭山冬のフェスティバル２００７「冬を、雪を楽しんじゃえ！」開催の 1 週間前に、フェスティバル本番に向けて、イグルーつくりの事前講習会を開催した。当日は、NPO 法人北海道山岳活動サポート所属の山岳ガイド西郁裕樹氏を講師に招いて講習を実施した。参加者は大人と子ども合わせて約 15 名であった。

(3)雪中泊体験

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

旭山冬のフェスティバル２００７「冬を、雪を楽しんじゃえ！」の前夜祭的な位置付けで、フェスティバル共催 4 団体のうちの 1 団体である旭山公園キッズが、雪中泊体験を行った。

厳冬期に、積雪寒冷地で大地震が起きたことを想定し、余震で、建物の中に入れない中、地震直後の 1 日を生き延びる体験を実施した。

具体的な体験内容は、イグルー作成、かまくら作成、サバイバル飯炊き（サバメシ）体験、雪中スライド会、雪中泊体験などである。

作成したイグルーとかまくらに分かれて、雪中泊を体験した。宿泊人数の内訳は、イグルー（大）：大人 2 名、小学生 3 名、イグルー（小）：大人 1 名、小学性 1 名、かまくら：大人 2 名、小学生 4 名である。

このほかに、旭山記念公園内施設の森の家に、大人、子ども合わせて約 10 名が宿泊した。この施設は、普段、市民団体の会合や公園利用者の休憩所として利用されているが、このイベントでは、寒さを感じた場合のエスケープ場所やトイレ、水確保の場として利用した。

4. 屋内でのイベント企画及び実施支援

札幌市で開催された屋内イベントの企画に携わり、その実施を支援した。概要は、以下のとおりである。

4.1 イベント名

スノーフェア２００７　～雪を科学して遊んじゃえ！～

4.2 主催・共催・後援

主催：北海道立市民活動促進センター（財団法人北海道地域活動振興協会）

共催：ＮＰＯ法人北海道山岳活動サポート

後援：（財）日本気象協会北海道支社、（社）日本雪氷学会北海道支部

4.3 開催日時

平成 19 年 3 月 23 日 13 時～3 月 25 日 16 時

4.4 場所

札幌市中央区北 3 条西 7 丁目道庁別館西棟 1 階 北海道立市民活動促進センター

4.5 内容

多くの専門家に実験や講演をしていただいたほか、併せて展示を実施した。実施内容は、以下のとおりである。参加者は、子どもから大人まで合わせて約 100 名であった。

(1)展示

・「様々な雪の表情」　樋口和生（ＮＰＯ法人北海道山岳活動サポート）
・「雪崩講習会風景」　樋口和生（ＮＰＯ法人北海道山岳活動サポート）
・「雪崩対策装備」　樋口和生（ＮＰＯ法人北海道山岳活動サポート）
・「南米パタゴニアでの氷河調査の紹介」 久保田敬二（(財）日本気象協会北海道支社）
・「雪と流氷のふしぎ」　久保田敬二、三好真紀（(財）日本気象協会北海道支社）
・「雪氷体験活動の紹介」　中村一樹、石本敬志（(財）日本気象協会北海道支社）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

・「スノーヒュッテで雪中キャンプ 」　秋田谷英次（北の生活館）
・「スノーランタンと雪の型抜き」　秋田谷英次（北の生活館）
・「なだれをまねる－室内でなだれを体験－」(DVD 映像)　飯田肇（立山カルデラ砂防博物館）

(2)雪氷科学実験　～雪は天から送られた手紙～

・「アイスクリーム作り、雲を作る実験、水蒸気によるアルミ缶つぶし」 秋田谷英次（北の生活館）
・「雪と氷のふしぎ（ペットボトルで雪の結晶を作る)」　平松和彦（旭川西高等学校)、的場澄人（北海道大学低温科学研究所）
・「六角形でいろいろな雪の結晶をつくろう！」　大鐘卓哉（小樽市新博物館開設準備室)、三好真紀（(財）日本気象協会北海道支社）
・「雪ハネパワーの科学」　須田力（北方圏体育スポーツ研究会)、森田勲（北海道医療大学）
・「サンタが贈る雪の切り紙」、「サンタが贈る雪崩実験」　山田高嗣（北海道栄高等学校）

(3)講演

・「雪崩事故を防ぐために」　樋口和生（ＮＰＯ法人北海道山岳活動サポート）
・「雪のかがく」　秋田谷英次（(社）日本雪氷学会北海道支部）
・「北海道のお天気と雪」　久保田敬二（(財）日本気象協会北海道支社）

5. まとめ

子ども達の雪氷体験活動として、冬期の野外雪氷イベント、屋内雪氷イベントを各団体と連携して開催することができた（図１参照)。

図１ 実施したイベントの様子（左：野外での雪の観察、右：屋内での雪氷実験）

その結果、多くの子ども達が、雪氷のおもしろさ、不思議さを体験でき、雪氷を通して自然への理解を深め、雪氷防災意識向上のきっかけを作ることができたと考えている。

今後は、研究の成果を様々な形で公開することにより、継続的に雪氷体験活動を普及させたいと考えている。

謝辞

本研究の一部に対して、平成１８年度雪センターＴＣ研究助成金を使わせていただきました。ありがとうございました。

また、ご協力いただいた日本雪氷学会北海道支部の研究者の皆様、市民団体など関係者の皆様に感謝いたします。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

豪雪地住民の人力除雪の作業能力と体力要素

須田　力（北方圏体育スポーツ研究会）・森田　勲（道医療大・看護福祉学部）

1. 研究の目的

豪雪災害における雪処理に伴う死亡事故の犠牲者の７割が高齢者という報告に象徴されるように豪雪地における人力除雪は過疎、高齢化地域住民にとって深刻な問題である。ショベル除雪の運動強度は 6 メッツ（安静時の 6 倍の酸素摂取量、Ainthworth, B. A. et al,1993）と、歩行の 3.3 メッツの 2 倍近い強度であり、歩行と違って筋力も要求されるにもかかわらず積雪地の住民の体力が劣っていることは地域の自立の抑制要因となると思われる。

本研究の目的は、われわれがこれまで豪雪地の住民の体力と人力除雪の能力との関係について調査、体力測定、人力除雪作業の運動生理学的実験を行なってきた結果から、人力除雪の作業能力を規定する要因とその運動様式上の特徴について考察することである。

2. 研究方法

（1）体力およびショベリング投擲力の測定

被験者は、札幌市の HK 大学および札幌市に隣接する医療系の HI 大学の健康な入学生で、男子は 18～25 歳の 274 名、女子は 18～22 歳の 62 名、計 320 名であった。

体力測定は、①体格（身長、体重）、②筋力として握力（TKK 社、バネ式ディジタル）、背筋力（TKK 社、バネ式ディジタル）、③脚伸展パワー（男子 78 名、女子生 24 名のみ、コンビ社、アネロプレス 3500）（写真１）、③豪雪地住民の生活機能のテストとして「ショベリング投擲力」を測定した。「ショベリング投擲力」は、市販の除雪ショベル（セキスイ社、柄の長さ 76 cm、重量 1.1 kg）を用いて、2 種類の砂袋を全力で各２回投擲させ、水平距離を測定し、上位の値を採用した。砂袋の重量は、男子は５kg と 10 kg、女子は４kg と５kg とした（写真 2）。測定結果を、学生の出身高校により積雪地出身群と無雪地出身群を抽出し比較した。

写真１　脚伸展パワーの測定

写真２　ショベリング投擲力

（2）ショベル除雪作業の生理的応答および作業成績の測定

被験者は、豪雪地出身で健康な 19～22、平均 20 歳の大学生男子 8 名、19～21、平均 20 歳の女子大学生 5 名、高年齢者として 61～67、平均 65 歳の男性 8 名、61～75、平均 68 歳の女性 5 名である。実験に先立ち、各被験者に対して実験の目的、方法および予想される危険性について説明し、文書によるインフォームド・コンセントを得た。本研究のプロトコールは、北海道大学大学院教育学研究科の倫理委員会の承認を得て行なった。

作業は、除雪ショベル（セキスイ社、重量 1.1 kg、柄の長さ 78 cm）を使用して深さ約 0.5 m に積もった平坦な雪原を深さ 0.4 m、幅１ mの間隔で日常行なっているペースで 10 分間実施した（写真 3、森田ら 2006）。掬った雪はビニールシートに投げられ、作業終了後、投擲回数および雪の重量を測定し、ショベリング頻度（回/分）、作業成績（毎分当たりの雪の

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

重量）、ショベル負荷（作業成績÷ショベリング頻度）を求めた。気温は-2～1.5 ℃、湿度は 45～75 %であった。雪の密度は、秋田谷・山田（1991）による角型サンプラーを用いて測定し、平均値は 0.32±0.04 g/cm^{2}であった。

写真 3　女子大学生のショベル除雪時の酸素摂取量と作業成績測定風景

生理的応答として、心拍数（Holter 社携帯用心電計、DMC-3252）、血圧（オムロン社自動血圧計、HEM714C）、酸素摂取量（S&ME 社携帯用呼吸代謝測定装置 VO2000)， 主観的作業強度(Borg scale、1970）を求めた。心拍数および呼吸代謝指標は定常状態の成立する運動開始後 4 分目から終了時までの値を採用した。体力測定および実験データを一元配置の分散分析後多重比較検定により群間の比較を行ない各指標間の相関および回帰分析を行なった。

3. 結果と考察

（1）ショベリング投擲力と筋力、パワーの関係

身長、体重、握力、背筋力および脚伸展パワーは、男女いずれも積雪地出身群と無雪地出身群間に有意な差はみられなかった。図１の握力（X）とショベリング投擲力（Y）においては、男女差が著しく男子を上回る投擲力の女子はきわめて少ない。男女とも握力が高い者ほど投擲力も優れている傾向は見られるが、相関係数は、積雪地出身群においては男子が r=0.529, 女子が r=0.605 と有意であるのに対し、無雪地出身群では男子が 0.437、女子が 0.460 と低かった。この傾向は、背筋力、脚伸展パワー（図 2）においても同様であった。図３は、積雪地出身群と無雪地出身群のショベリング投擲力の平均値および標準偏差を示す。女子においては両群に差がないが、男子の場合、積雪地出身群は 6.45 mと無雪地出身群の 5.85 mに対して 0.6 m上回った。これらの結果から、ショベル除雪の作業能の評価指標である「ショベリング投擲力」は、男女差が著しく、筋力、パワーの優れた者ほど高い傾向があるものの、無雪地出身の除雪経験のない者ではこれらの体力要素がパフォーマンスに有効に生かされにくい特徴が示唆される。

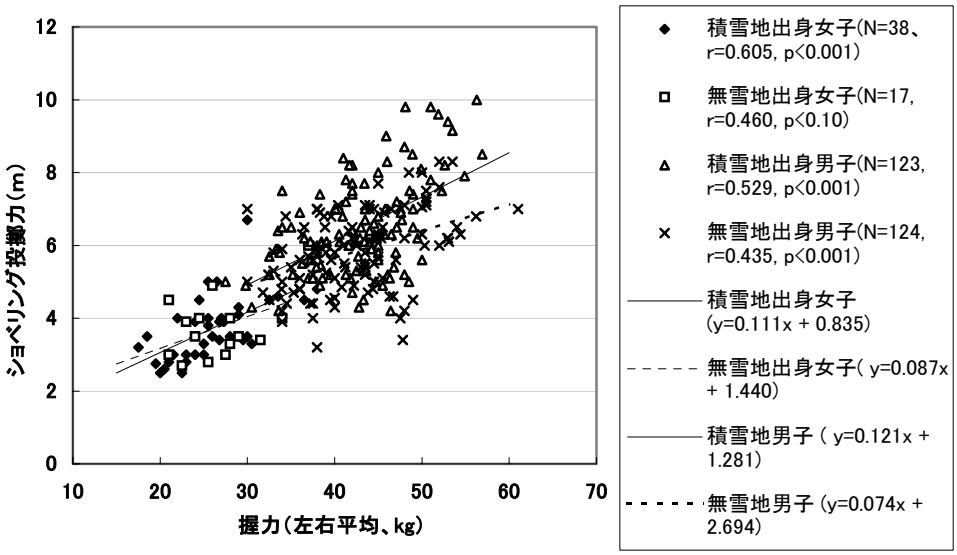


図1　大学生の握力（X)とショベリング投擲力（Y）との関係
ショベリング投擲力は、除雪ショベルで5kgの砂袋を全力で投擲した水平距離（m）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

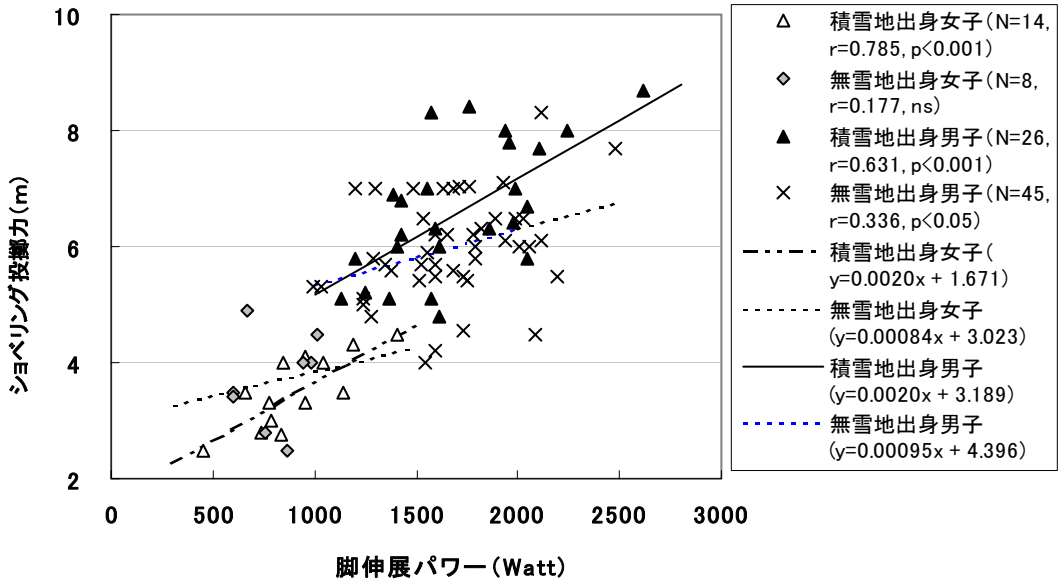


図2　大学生の脚伸展パワーとショベリング投擲力との関係
ショベリング投擲力は、5kgの砂袋を除雪ショベルで全力で投擲した水平距離

表１は、実験（２）における４群の作業時の生理的応答の測定結果を示す。酸素摂取量は体重 1kg 当たりの指標（VO_2(ml/kg/分、METｓ)では、男女とも大学生群と高年齢者群はほぼ同じであった。主観的作業強度は４群間で差がなかった。心拍数は大学生群の方が低めであるが、最大心拍数は年齢が上るにつれ低下するため、相対強度はむしろ高年齢者群の方が高い。収縮期血圧は、男女いずれも高年齢者群の方が有意に上昇しており、心臓の負担度を心拍数×収縮期血圧で表わす「ダブルプロダクト」では、高年齢者群にとって過激となっている。

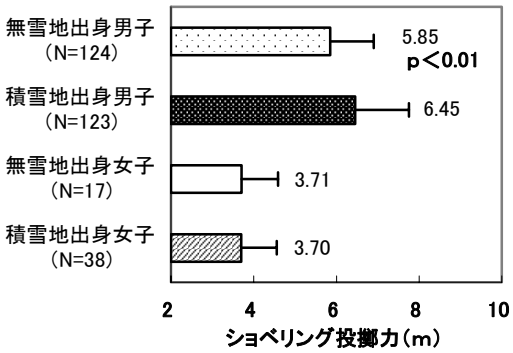


図3　大学生のショベリング投擲力の積雪地・無雪地出身別比較（平均値と標準偏差）。5kgの砂袋を除雪ショベルで全力で投擲した水平距離

表１　大学生と高年齢者のショベル除雪作業における生理的応答

	女子大学生	女性高年齢者	男子大学生	男性高年齢者	有意差
主観的作業強度	14.2±1.6	13.6±0.8	14.9±1.9	14.6±1.2	
収縮期血圧(mmHg)	136±12	178±13	158±15	183±25	女大＜女高、男大＜男高
拡張期血圧(mmHg)	78±41	84±16	86±11	95±10	
呼吸商	0.98±0.13	1.05±0.06	0.96±0.13	0.99±0.08	
心拍数（拍/分）	163±33	150±13	164±27	158±13	
VO_2(L/分)	1.10±0.22	1.20±0.13	1.81±0.41	1.79±0.19	女大、女高＜男大、男高
VO_2(ml/kg/分)	23.0±4.0	23.0±1.9	28.5±5.7	28.6±4.3	
METs	6.6±1.2	6.6±0.6	8.1±1.6	8.1±1.2	

（各値は、平均値±標準偏差）

Franklin et al. (1995)は、ショベル除雪の酸素摂取量がランニングよりも低かったにもか

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

かわらず、「ダブルプロダクト」（心拍数×収縮期血圧×10^{-2}）で表わされる心臓の負担度はショベル除雪の方が高めであったことから心臓の弱い人にとって除雪が過激な負担となると警告している。図４は、男女大学生および男女高年齢者群のショベル除雪の作業成績を比較した結果である。男女いずれも大学生の方が高年齢者群よりも有意に劣っている。ショベリング投擲力の差を反映して、大学生の場合女子は男子の半分の作業能力であり、高年齢者群においても女性は男性の約 60 %である。図５より、作業時の体重１kg 当たりの酸素摂取量が同じでも女性ははるかに低い作業成績しか発揮できないことが明らかである。

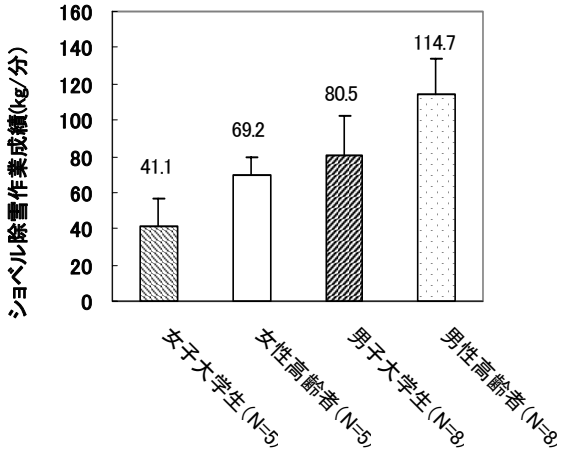


図4 大学生と高齢者のショベル除雪の作業成績(平均値と標準偏差) 女性高齢者群と男子大学生群間は有意差なし、他はすべて群間で有意($p<0.05$)

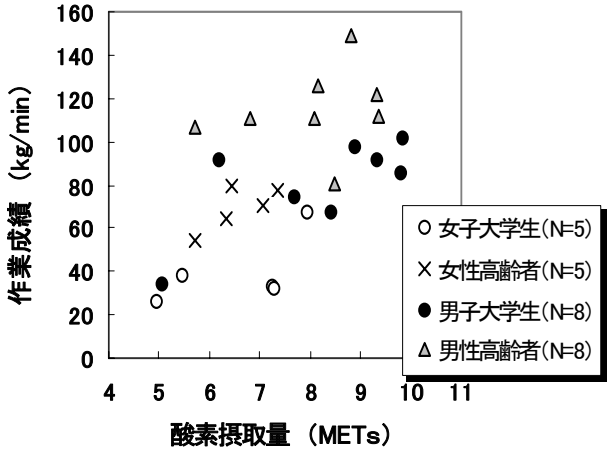


図5　大学生と高齢者のショベル除雪作業時の運動強度(METs)と作業成績

須田たち（2006）は、作業量を一定にしたショベル除雪とスノーダンプ作業の各種条件下での男女の生理的応答を比較した結果、女性の被験者の作業量を低めに設定したにもかかわらず心拍数、酸素摂取量とも男性群より高かったことから、人力除雪は体力が劣る女性にとって不利となる問題点を指摘している。

4. まとめ

人力除雪は運動強度が高いため、体力の維持の役割を果たしている面はあるが、心機能に過激な負担が加わりやすい。体力の劣る高齢者でも若い人たちに負けない作業能力を発揮するからといって傍観視するわけにはいかない。特に筋力、パワーの低下した女性高齢者にとっては著しく不利な運動であるという科学的事実を雪国の住民みんなが共有すべきである。

参考文献

Ainthworth, B. A. et al (1993) Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. Med. Sci. Sports Exerc. Vol. 25, pp. 71-80.

秋田谷英次・山田知充、日本雪氷学会編(1991) 雪氷調査法、北海道大学図書刊行会、pp.92-98.

Franklin B. A. et al (1995) Cardiac demands of heavy snow shoveling. J.A. M.A.Vol.15, No. 3: 880-882.

森田勲・山口明彦・須田力(2002) ショベル除雪と筋力・筋パワーについて. 雪氷, 64 巻,6 号 : 631-639.

森田勲・山口明彦・須田力(2006) 豪雪地の女性高齢者における人力除雪作業の生理的応答. 日本雪工学会誌, Vol. 22, No. 2: 3-13.

須田力・森田勲・長谷川雅浩・林昌宏・田村佳愛・松岡佳秀（2006）家庭における人力除雪の運動強度.日本雪工学会誌, Vol.22, No.4: 69-7

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

氷河観測における日本から送られる気象情報の取得方法

的場澄人（北海道大学低温科学研究所）
中村一樹（財団法人日本気象協会北海道支社）
樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート）

1.はじめに

気象予測情報は野外観測を行う上で、短期・長期的な計画立案や行動遂行のために有用な情報であることは言うまでもない。特に厳しい条件下で野外観測が長期間にわたって行われる場合には安全管理の面においても重要な情報となる。しかしながら、これまでの山岳氷河や亜極域の氷河掘削観測においては、しばしば詳細な気象予報や現況情報を手に入れることなく観測が行われてきた。その理由は、氷河が存在する人間活動域から離れた場所ピンポイントの気象情報は現地では手に入りづらいこと、通信手段が限られるため日本から詳細な気象情報を手に入れることが難しいこと、現地での行動は現地のパイロットやカウンターパートの経験や都合にゆだねられる場合が多いこと、などがあげられる。

平成 19 年 5 月から 6 月にかけてロシア連邦カムチャツカ半島イチンスキー氷河で氷河掘削を主とした観測が計画された。この観測では、短い観測期間で山頂での氷河掘削と並行して、山頂から中高度地点まで氷河を下りながらの高度別積雪観測を計画した。したがって、短期間での効率のよい観測と行動が要求され、詳細な気象情報を取得することが必要不可欠となった。そのため、本観測では日本から観測地点のピンポイントの気象予測情報と周辺地域気圧配置を送信することを計画した。本報では、観測地点の気象情報の取得方法、観測地点への送信方法、実際の観測の概要について報告する。

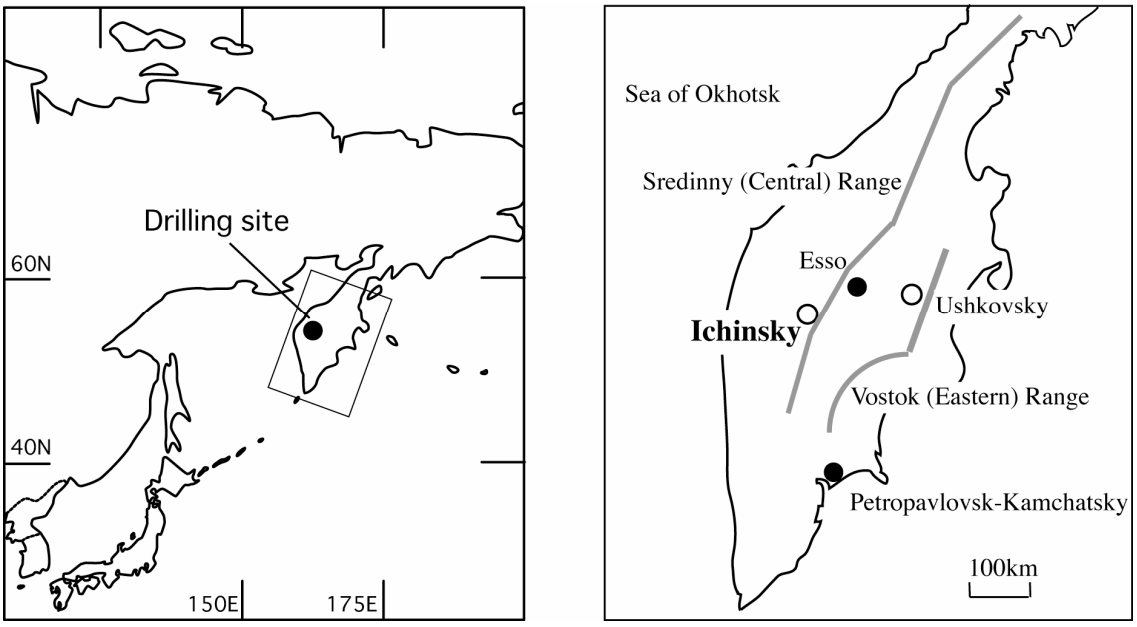


図 1　観測サイト

2. 観測の概要

本報で報告する氷河掘削観測は、総合地球環境学研究所のアムールオホーツクプロジェクトに

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

よって実施された。アムールオホーツクプロジェクトの目的のひとつはオホーツク海の豊かな生物生産性とアジア大陸から運ばれてくる鉄との関係を明らかにすることである。そのプロジェクトの中で氷河掘削の目的は、アジア大陸から大気を通して海に供給される鉄の経年変化を明らかにすることである（Narita et al., 2004）。

観測は平成 19 年 5 月から 6 月にかけて計画されたが、通関の問題や悪天のために延期され 8 月に改めて実地された（Matoba et al., 2007a）。観測はカムチャツカ半島のスレドニー山脈の最高峰イチンスキー山の頂上のカルデラを覆う氷帽上で行った（北緯 55° 41'、東経 157° 43'、高度 3595 m）（図 1 ）（Matoba et al, 2007b）。

3. 伝達する気象情報と送信方法

伝達する気象情報の内容を表 1 に示す。天候は当日（現地の受信確認時刻から考えると前日）22 時（現地時間）、1 日後（現地の受信確認時刻から考えると当日）9 時ー21 時（現地時間）の予測、2 日後（現地の受信確認時刻から考えると翌日）9 時ー21 時（現地時間）の予測を送信した。観測地点の標高に相当する 700 hPa の気温、風速、風向と、地上の低気圧・高気圧の緯度、経度、中心気圧の情報は、当日（現地の受信確認時刻から考えると前日）13 時（現地時間）、1 日後（現地の受信確認時刻から考えると当日）13 時（現地時間）、2 日後（現地の受信確認時刻から考えると翌日）13 時（現地時間）の情報を送信した。低（高）気圧の情報は北緯 40-70 度、東経 130-170 度の範囲に存在するものに限定した。

表 1　情報提供内容

	天候 1)	気温	風向 2)3)	風速 3)	高気圧位置	低気圧位置
当日	09Z の天候	0Z	0Z	0Z	0Z	0Z
1 日後	20Z～08Z 予測	0Z (24 時間後)	0Z (24 時間後)	0Z (24 時間後)	0Z (24 時間後)	0Z (24 時間後)
2 日後	20Z～08Z 予測	0Z (48 時間後)	0Z (48 時間後)	0Z (48 時間後)	0Z (48 時間後)	0Z (48 時間後)
備考		700hPa：気象庁 GPV データより 4)			地上：気象庁天気図より	

1) 降水有りの場合は標高差を考慮して雨雪を判定した。
2) 700hPa は現在標高 2900m前後に相当し。気温減率（-0.6℃/100m）から行動地点の気温を推定した。[山頂気温換算式]＝[700hPa の気温]－[4℃]。
3) Kljuchi （56.31° N、160.83° E）の 5 月中旬の高層気象観測によれば、700hPa：2900m と山頂の風向はほぼ同じで、山頂の風速は 700hPa の約 1.1 倍のケースが多かった（0.5～1.7 倍のばらつきあり）。
4) 気象庁 GPV データは、気象庁 HP（http://ddb.kishou.go.jp/grads.html）を参考とした。

気象情報は、基になる情報が出揃うのが 11Z 時すぎ（日本時間 20 時、現地時間 24 時）のため、毎日 12Zー15Z 時（日本時間 21ー24 時、現地時間 1 時ー4 時）の間に送信した。

送受信の手段は、ロシア国内に持ち込める機材が限られていること、現地で受信装置を常に受信状態にしておけないこと、現地と日本の時差と気象情報が揃う時間などを考慮し、イリジウム衛星電話のメッセンジャー機能を使うことにした。日本からの送信は、インターネットのイリジウム電話のウェブサイトへ書き込むことで行える。送られた情報は、現地でイリジウム電話の電源を入れたとき、メッセージを自動的に受信するようになっている。

メッセンジャー機能で送受信できる文字数は 1 通のメールあたり 160 文字と限られているため、送信する情報を簡素に記号化した。送受信に利用した記号と送信文の例をそれぞれ表 2、3 に示す。字数が多い場合は 2、3 通に分けて送信した。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表2　情報伝達用記号一覧

項目（記号）	伝達情報
気象（W）	F（晴れ）、C（曇り）、S（雪）、R（雨）
気温（T）	数字がそのまま気温（摂氏）
風速（WS）	数字がそのまま風速（m/s）
風向（WD）	1-16まで16段階の表示（右表参照）
低気圧（L） 前線を伴う低気圧（LF） 高気圧（H）	数字がそのままの値、移動方向は風向に倣う （北緯/東経/中心気圧/移動方向/移動速度） 移動方向・速度は実況天気図のみ
その他	Tel（電話ください）など

風向	角度	方位
1	22.5	北北東
2	45.0	北東
3	67.5	東北東
4	90.0	東南東
5	112.5	南東
6	135.0	南南東
7	157.5	南東
8	180.0	南
9	202.5	南南西
10	225.0	南西
11	247.5	西南西
12	270.0	西
13	292.5	西北西
14	315.0	北西
15	337.5	北北西
16	360.0	北

表 3　送信文書例と送信内容

送信文書

6/2*W/C,T-12,WS5,WD12,L45.8/135.8/985/1/12
+1*W/S,T-10,WS3,WD10,L46.8/138.0/990
+2*W/R,T-1,WS9,WD30

送信内容

6/2：　天候曇り、気温-12 度、南東の風 12m/s、低気圧（北緯 45.8 度、東経 135.8 度、中心気圧 985hPa、北北東へ 12km/h で移動）
翌日：　天候雪、気温-10 度、東北東の風 10m/s、低気圧（北緯 46.8 度、東経 138 度、中心気圧 990hPa）
翌々日：天候雨、気温-1 度、南南西の風 30m/s

4. 氷河上での観測

5、6 月に予定していた観測が失敗し、8 月の観測では当初より観測内容を減らし、期間も短くしたため、気象情報の獲得がもっとも重要であった氷河を移動しながらの観測を取りやめることになった。そのため現地で気象情報を得ることのメリットを最大限に発揮する機会はなかったが、氷河へヘリコプターで向かう前の計画段階で気象予報の情報は大いに役に立った。特に現地の気象条件だけでなく、観測地点周辺の高気圧、低気圧の位置と移動速度を受信するように工夫したことは有効だった。課題としては、現地の朝に情報を受信した時点で送られてくる 3 日分の情報の初日分はすでに半日以上前の情報となり、予報値は翌日分しかなく、数日間にわたる観測の予定を立てる上では、送られてくる情報の期間が若干短すぎると感じた。

今回の方法は、送受信が非常に簡便で特別な費用もかからないため、有効な手段だといえる。今後予定されている氷河観測でも、この方法を改良して利用していきたいと強く感じている。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

謝辞

気象情報の取得と伝達は、（財）日本気象協会北海道支社気象情報課の協力で行われました。深く感謝いたします。現地の観測はロシア科学アカデミー極東支部火山地震研究所との共同研究で行われました。この観測は総合地球環境学研究所アムールオホーツクプロジェクトにおいて実施されました。

参考文献

Matoba, S. and Ichinsky glaciological expedition members (2007a): Ice core drilling at Mount Ichinsky, Kamchatka, Russia. In *Report on Amur-Okhotsk Project*, **4**, Shiraiwa, T. (Ed), Amur-Okhotsk Project, Kyoto, pp.191-200.

Matoba, S., Ushakov, S. V., Shimbori, K., Sasaki, H., Yamasaki, T., Ovshannikov, A. A., Manevich, A. G., Zhideleeva, T. M., Kutuzov, S., Muravyev, Y. D. and Shiraiwa, T. (2007b): The glaciological expedition to Mount Ichinsky, Kamchatka, Russia. Bulletin of Glaciological Research, **24**, 79-85.

Narita, H., Shiraiwa, T. and Nakatsuka, T. (2004): Human Activities in Northwestern Asia and their impact to the biological productivity in North Pacific Ocean. In *Report on Amur-Okhotsk Project*, **2**, Shiraiwa, T. (Ed), Amur-Okhotsk Project, Kyoto, pp.1-24.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件について

－大雪湖周辺の事例解析－

松下拓樹、松澤 勝、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所寒地土木研究所）

１．はじめに

最近、北海道の道路では、多量降雪に伴って発生する雪崩が多く報告されている[1),2)]。また、斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する事象（以下、すり抜け現象）が多く報告され問題となっている[3),4)]。すり抜け現象の対策として雪崩予防柵に鋼製の網などを取り付ける工法が多く採用されているが、すり抜ける現象の発生動態や発生時の気象条件および積雪条件などに関して不明な点が多い。そのため対策工法の種類や配置方法等の技術基準に関して調査を行っている状況である[4),5)]。

本稿では、すり抜け現象を伴う雪崩発生の気象条件を明らかにして、その結果に基づいて、すり抜け現象が発生する積雪性状について考察を行うことを目的とする。

２．解析事例と解析方法

２．１　解析事例

解析対象地域は、雪崩事例数の多い大雪湖周辺[4)]とした。表１は、1996 年度から 2005 年度の 10 年間において一般国道 39 号と 273 号で通行止めを伴った法面雪崩（以下、単に雪崩とする）である。過去 10 年間で通行止めを伴う雪崩は 7 事例あり、全て面発生表層雪崩であった。発生した雪崩は、6 事例が乾雪雪崩（6 事例）、1 事例が積雪に多量の水分を含んだスラッシュ雪崩[6)]であった。図１は雪崩発生箇所の分布である。この地域の雪崩は同時多発的に発生する特徴がある。

表１より、すり抜け現象を伴う雪崩は 4 事例あり、このうち乾雪雪崩に伴うものが 3 事例、スラッシュ雪崩に伴うものが 1 事例であった。ここでは、乾雪雪崩に伴うすり抜け現象の発生気象条件を明らかにするため、すり抜け現象を伴う 3 事例（③、⑤、⑦）と伴わない 3 事例（①、②、⑥）の計 6 事例について調査した。雪崩発生の気象条件の調査には、図１に示す雪崩発生箇所近傍の気象テレメータ（北海道開発局）による気温、積雪深、風速の 1 時間間隔の観測データを用いた。事例①のみ天城岩を、それ以外の事例はカルシュナイの観測データを用いた。

表１　大雪湖周辺における雪崩事例
（1996～2005年度）

雪崩No.	発生日	発生時刻（推定）	雪崩の分類			法勾配	すり抜け現象
①	1997/2/16	19:45	面発生	乾雪	表層	1:0.8	×
②	1999/3/4	10:50	面発生	乾雪	表層	1:1.0	不明
③	2003/1/4	8:00	面発生	乾雪	表層	1:0.7～1.5	○
④	2003/3/23	14:50	面発生	スラッシュ	表層	1:1.0	○
⑤	2004/1/15	8:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8～1.5	○
⑥	2005/12/19	18:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8～1.5	×
⑦	2005/12/26	9:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8～1.5	○

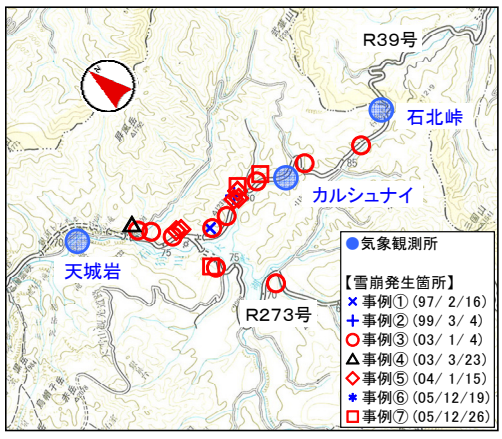


図１　雪崩発生箇所と気象観測所の位置

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

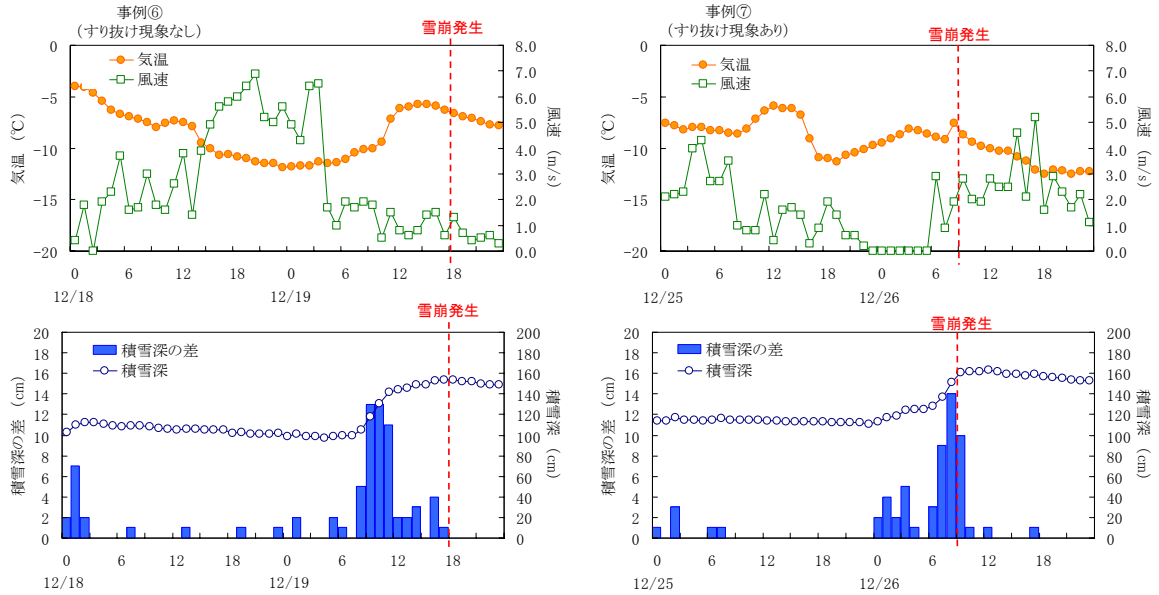


図2　雪崩発生時の気象要素の推移状況の例
（左）すり抜け現象を伴わない事例⑥，（右）すり抜け現象を伴った事例⑦

2．2　解析方法

図２は、すり抜け現象を伴う事例⑦と伴わない事例⑥の気象状況の比較である。両事例とも雪崩発生前、短時間のうちに積雪深が 40～50 cm 増加しており、この多量降雪によって雪崩が発生したと考えられる。雪崩発生前の降雪時の気温と風速の状況に着目すると、すり抜け現象を伴わない事例⑥では、気温が－10 ℃から－5 ℃まで上昇して 1～2 m/s の風を伴っていた。一方、すり抜け現象を伴った事例⑦では、気温が－10℃前後と低いまま推移し、風速 0 m/s の無風期間があるなど風の弱い状況であった。

本稿では、上記のような気象状況によって異なる性状をもつ積雪が形成され、これがすり抜け現象の発生に関連すると考えた。すり抜け現象を伴う雪崩の発生気象条件の解析では、降雪開始から雪崩発生までの期間の気象状況に着目した。ここで、降雪期間を 1 時間ごとの積雪深が増加している期間（積雪深増加の中断が 3 時間以下）と定義し、降雪量を積雪深差が正の場合の合計値とした。

3．解析結果

3．1　降雪期間の気温、降雪量、降雪強度からみた傾向

図３は、降雪開始から雪崩発生までの期間の平均気温と降雪量の関係である。図中の横棒は、期間中の最高気温と最低気温を意味する。すり抜け現象を伴う雪崩は、降雪量 30 cm 以上、平均気温-5 ℃以下の場合で発生した。ただし、同じ条件ですり抜け現象を伴わない雪崩の発生も 2 事例ある。

図４は、降雪時間と平均降雪強度の関係である。降雪強度は、降雪量を降雪時間で除して求めた。すり抜け現象を伴う雪崩のうち 2 事例は、降雪強度が 3 cm/h 以上と

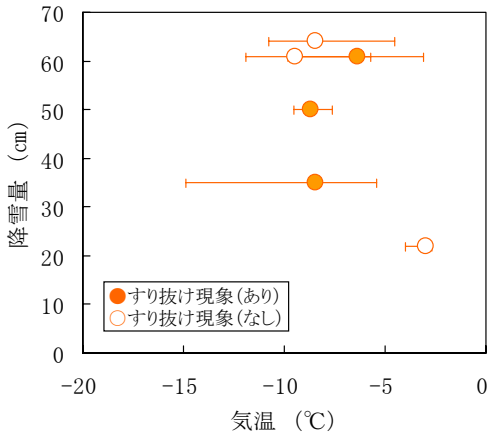


図3　雪崩発生前の降雪時における平均気温と降雪量の関係．図の横棒は最高及び最低気温．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

大きく、降雪開始から 10 時間前後の短時間のうちに降雪量 30 cm 以上となり発生した。一方、すり抜け現象を伴う残り 1 事例は、降雪強度が 1 cm/h で 40 時間以上降り続けた後に発生した。

図３と図４より、すり抜け現象を伴う雪崩は、降雪時の気温が比較的低く、かつ降雪強度が大きい気象条件下で発生する傾向にある。

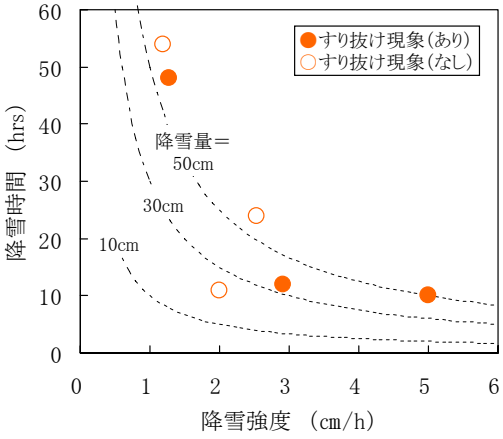


図4　雪崩発生前の降雪強度と降雪時間の関係.

３．２　降雪期間の気温と風速からみた傾向

図５は、降雪期間の平均気温と平均風速の関係である。すり抜け現象を伴う雪崩は、他の乾雪雪崩に比べて、気温が-6 ℃以下と低くかつ風速 2 m/s 未満の風の弱い降雪状況下で発生している。図５の等値線は新雪密度であり、梶川ら(2004)[7]による推定式（雲粒付樹枝、降水強度 1 mm/h の場合）を用いて計算した。図５より、低温および弱風の条件下では新雪密度が小さくなる傾向にある。

図６は、降雪量と新雪の剪断強度の関係である。剪断強度の推定は、降雪時の平均気温と平均風速から求めた新雪密度 [7]をもとに、山野井・遠藤(2002)[8]の関係式を用いて行った。図６より、雪崩の発生は、剪断強度が小さいほど少ない降雪量で起きる傾向にある。また、すり抜け現象を伴う雪崩は、他の雪崩事例に比べて剪断強度が小さい積雪性状で発生したと考えられる。

４．考察

以上の解析結果から、すり抜け現象は、特に気温が低く風の弱い降雪状況下で起きる雪崩に伴って発生する傾向にある（３.２節）。この気象状況下で積もる雪の性状について考察を行う。

まず新雪密度の風速依存性に関して、風が強いほど降雪粒子は破壊されて小さくなり [9]、新雪密度は大きくなる傾向にある [10]。よって弱風下では、降雪粒子があまり破壊されずに積もるため低密度の雪が形成されやすいと考えられる。また低温下では、圧密の進行が遅く積雪密度の増加速度がゆっくりであり [11]、積雪の強度が十分に大きくなるための時間が長いと考えられ

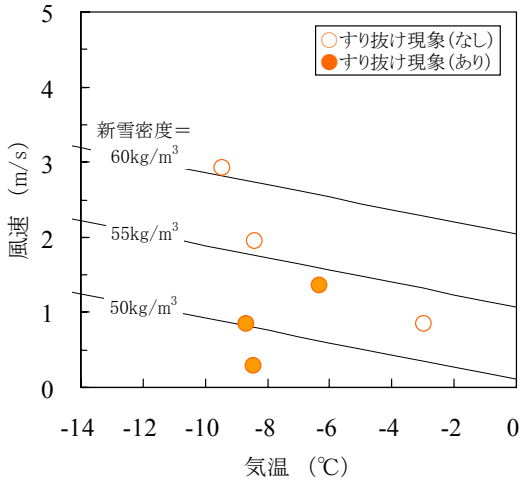


図5　雪崩発生前の降雪時における平均気温と平均風速，新雪密度の関係．新雪密度は，梶川ら(2004)[7]の推定式から計算．

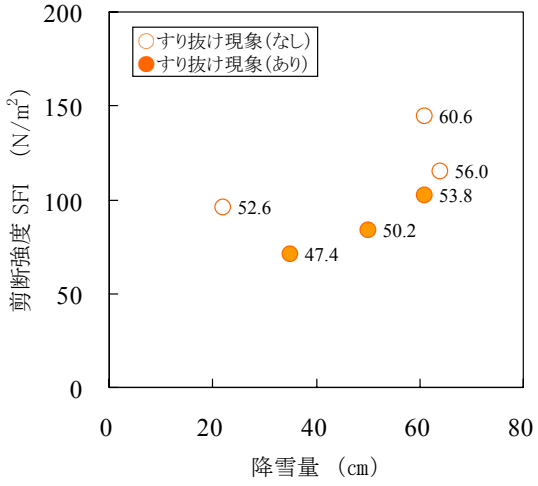


図6　雪崩発生前の降雪量と新雪の剪断強度の関係．数値は新雪密度で梶川ら(2004)[7]の推定式より，剪断強度は山野井･遠藤(2002)[8]の関係式から求めた．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

る。このことから、気温が低く風の弱い状況で多量に積もった雪は、十分な強度増加を得る前に上載積雪荷重による剪断応力が剪断強度を上回り、雪崩発生に至るものと考えられる。さらに、短時間に多量に積もった新雪であることから積雪粒子間の焼結等による結合力が弱いため、積雪が雪崩予防柵をすり抜ける現象が発生すると考えられる。

５．おわりに

本稿では、雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件を明らかにするため、北海道大雪湖周辺で通行止めを伴った乾雪雪崩 6 事例（すり抜け現象 3 事例を含む）について、近傍気象観測データを用いた解析を行った。解析の結果、すり抜け現象を伴う雪崩は、低温下かつ弱風下の気象条件で積もった雪により発生していた。このことから、すり抜け現象は、弱風下で降雪粒子があまり破壊されずに積もった低密度の雪が、低温のため圧密の進行が遅く十分な強度増加が得られない場合に起きると考えられる。

すり抜け現象の動態把握のためには、本稿で示したすり抜け現象に関わる積雪性状について観測や実験により確認を行うとともに、他地域におけるすり抜け現象の特徴を合わせた調査を実施する必要がある。また、すり抜け現象は、斜面勾配や降雪時風向に対する斜面方位、植生など、気象条件の他に雪崩発生に関与すると考えられる要素は多い。これについては今後の課題としたい。

参考文献

1)竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 石本敬志, 2006: 北海道における最近の道路雪崩とその対応. ゆき, 63, 77-84p.

2)大槻政哉, 和泉薫, 河島克久, 竹内政夫, 2004: 北海道十勝地方における道路雪崩の特徴. 寒地技術論文・報告集, 20, 680-683p.

3)竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 2005: 樹木や柵をすり抜ける新雪雪崩. 寒地技術論文･報告集, 21, 768-771p.

4)松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 三好達夫, 加治屋安彦, 大槻政哉, 2006: 雪崩予防柵をすり抜ける法面雪崩の対策－北海道大雪湖周辺における調査事例－. 寒地技術論文・報告集, 22, 351-356p.

5)松沢勝, 三好達夫, 伊東靖彦, 加治屋安彦, 西村浩一, 大槻政哉, 2006: 屋外スロープを用いた雪崩予防柵に関する実験. 北海道の雪氷, 25, 17-20p.

6)石本敬志, 2007: 私信.

7)梶川正弘, 後藤博, 金谷晃誠, 菊池勝弘, 2004: 気象要素を考慮した新積雪密度の推定式. 雪氷, 66, 561-565p.

8)山野井克己, 遠藤八十一, 2002: 積雪におけるせん断強度の密度および含水率依存性. 雪氷, 64, 443-451p.

9)Sato, T., K. Kosugi, S. Mochizuki, and M. Nemoto, 2007: Wind speed dependences of fracture and accumulation of snowflakes on snow surface. *Cold Regions Sci. Technol.*, 49, in press.

10)和泉薫, 1984: 新潟における日降雪の雪密度と電気伝導度. 新潟大学積雪地域災害研究センター年報, 6, 103-109p.

11)Abe, O., 2001: Creep experiments and numerical simulations of very light artificial snowpacks. *Annals of Glaciology*, 32, 39-43p.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

地震発生時の斜面積雪の安全率評価に関する一考察

松澤勝、加治屋安彦、伊東靖彦（寒地土木研究所）

１．はじめに

2003 年 9 月の十勝沖地震、2004 年 10 月の中越地震など、近年、積雪寒冷地で大規模な地震が発生している。このような大規模な地震が厳冬期に発生した場合、斜面積雪の安定度が低下して雪崩が発生する可能性が考えられる。従って、地震の強さと積雪深や斜面勾配に応じた斜面積雪の安定度の関係を把握することは、地震による被害想定を行う上で必要である。

２．既往研究に基づく雪崩危険度の評価

地震によって発生した雪崩に関しては過去に東浦ら(1979)、小倉ら(2001)の研究がある。これらの研究では、実際に発生した雪崩の現地調査と、地震によって斜面積雪に加わった力を考慮して雪崩の発生を説明した。小倉らは、積雪時に地震によって雪崩が発生する条件を(1)式と(2)式が同時に成り立つ場合とした。（図１）

$f+T>W\sin\theta$　・・・(1)　　$f+T<W\sin\theta+F$　・・・(2)

ここで、W: 長さ l[m]、厚さ H[m]の積雪の荷重[N]

T: 上面での張力[N]、 θ ：法面の角度[度]、

f: 底面の摩擦力[N]

F: 地震により生じる斜面下向きの外力[N]

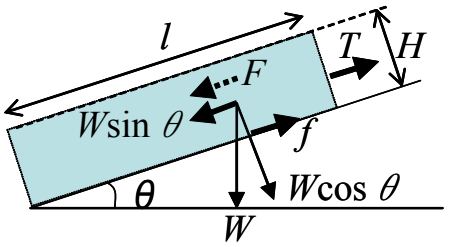


図１　斜面の積雪に働く力の模式図

(2)式は、地震時の斜面積雪の安定条件を評価する式と言える。一般に、土木構造物の耐震評価を行う際には水平加速度のみを考慮する。これに習い、水平震度を k（重力加速度に対する水平加速度の比）とし、底面での摩擦係数を μ とすると、斜面積雪の安定度を示す指標（以下安全率とする）S_Iは次式で表される。

$$\text{安全率 } S_I=\frac{\mu(W\cos\theta-kW\sin\theta)+T}{W\sin\theta+kW\cos\theta}\quad\cdots(3)$$

S_I<1 で、地震時に雪崩に対して危険と判断される。次に、小倉ら(2001)と同じ条件（斜度 40°、雪崩発生法面の長さ 7 m、密度 224 kg/m^3 の濡れ雪、底面での摩擦係数は 0.69 とし、張力 Tは Watanabe(1977)の式から与え、水平震度を 0、0.15、0.3 の３ケースで安全率の計算を行った（図２）。図より、近傍で観測された加速度(約 300 gal)に相当する水平震度 0.3 の場合、安全率は約 0.7 であり、実際の雪崩発生と整合する。

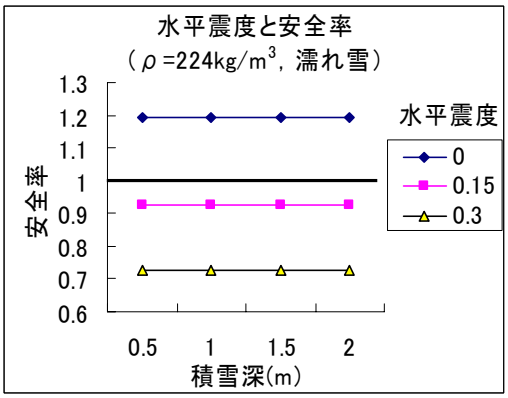


図２　地震時の斜面積雪の安全率。密度 250kg/m^3、濡れ雪、のり長さ 7m。

ところで、図を見ると、積雪深が増加しても斜面の安全率は変わらない。一般に、積雪深が増えると雪崩の危険度が高くなると言われているので矛盾がある。そこで、土木工学の分野で用いられている土木構造物の地震時の安全率評価の考え方を参考に(3)式を再検討することにする。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

３．盛土のり面における地震時の安全率評価手法

土木工学の分野では、地震時の土木構造物の安全率評価について基本的な考え方が確立されており、地震時に盛土のり面が直線滑りで崩壊する場合の安全率 S_2は、(4)式で表されている（久保，1981）。なお、張力 Tの項が無いのは、盛土の天端から崩れるためである。

$$\text{安全率 } S_2 = \frac{Cl + (W\cos\theta - kW\sin\theta - U)\tan\phi}{W\sin\theta + kW\cos\theta} \qquad \cdots(4)$$

ここで、ϕ : 内部摩擦角（μ=tan ϕである）、U:間隙水圧の上昇による力[N]、C: 凝集力 [Pa]である。土の剪断強度 τ は一般にクーロンの式($\tau = C + \sigma\tan\phi$)で表される。ここで τは せん断強さ[Pa]、σはせん断面に働く垂直応力[Pa]であり、C、ϕは土の力学的性質を決定する値である。 (4)式を積雪に適用するには、U は雪の場合無視できるが、積雪の ϕと C を求める必要がある。

４．積雪の凝集力と内部摩擦角

4.1　既往研究

積雪に垂直荷重をかけて剪断強度を測定して C、ϕを求めた研究には、渡邊（1983)、Perla and Beck (1983)、関ら(1998)、山野井・遠藤(2002)がある。これらの結果について表１に整理する。新雪の場合、北海道の峠部では、気温が低いため焼結が進まず、新雪の状態が比較的長く続くと考えられる。そこで、著者らは、さらに降雪直後とその翌日に、C、ϕを求める試験を行った。

表１．既往研究における垂直荷重をかけた積雪の剪断試験結果

研究者	雪質	密度 [kg/m^3]	C[Pa]	tan ϕ
渡邊(1983)	しまり雪	220～300	4000～12000	無視できる
	ほぐした雪	320	0	0.87
Perla and Beck(1983)	一部焼結した新雪	200	900	0.9
関ら(1998)	新雪	50～100	120～300	0.46～1.32
山野井・遠藤(2002)	様々な雪質で実験、粘着性の弱い雪質を除くと tan ϕ は無視できる。			

4.2　垂直荷重をかけた剪断強度の測定

観測装置として、250 cm^2 のシアーフレームと、これにかぶせるアクリル製の蓋（自作）と錘を用いた。2007 年 3 月 7 日 15:00～16:30 および 3 月 8 日 14:30～16:30 に、寒地土木研究所構内の空き地で積雪の剪断試験を行った。３月６日の夜から降雪があり 7 日の時点では、約 40 cm の新積雪があり、地表面付近がざらめ化していたのを除くと、ほぼ全層新雪であった。さらに、8 日にかけて断続的に降雪があり、８日時点での積雪は約 45 cm であった。表２に、剪断強度の測定結果と、その値をクーロンの式に近似して得た C、tan ϕを示す。山野井と遠藤(2002)が述べるように、焼結が進むと、垂直荷重による剪断強度の依存性は弱くなり、tan ϕは小さな値を示す。また、降雪直後の新雪では、内部摩擦が大きく Cが 200 Pa 以下の小さな値を示すが、時間が経つと焼結が進む結果、Cが増加したことが分かる。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

表２．測定結果

測定日	高さ [cm]	密度 [kg/m³]	雪質	錘の荷重毎の平均剪断強度[Pa]				C [Pa]	tan φ
				錘なし	77g	196g	315g		
03/07	20	120	新雪	263	269	552	817	110	1.9
03/07	12	170	新雪	285	393	495	728	190	1.3
03/08	20	150	新雪･こしまり	634	913	959	1354	540	2.0
03/08	12	200	こしまり	1149	N/A	1085	1241	1100	0.23

５．地震発生時の斜面積雪の安全率の評価

(3)式と(4)式から、Tを考慮し、Uを無視することで、安全率 S_3を次のように定める。

$$\text{安全率 } S_3 = \frac{Cl + (W\cos\theta - kW\sin\theta)\tan\phi + T}{W\sin\theta + kW\cos\theta} \quad \cdots(5)$$

(5)式による安全率の評価方法の妥当性を検証するため、地震時に雪崩が発生した事例から、安全率を試算する。小倉ら（2001）の事例は全層雪崩であり、地表面と積雪面の間の摩擦で説明できたため、ここでは、東浦ら（1979）の雪崩の事例で試算を行う。

東浦ら(1979)の扱った 1978 年 2 月 20 日の肘折の雪崩の概要は、以下の通りである。面発生の表層雪崩で、滑り面は積雪内部のざらめ層、積雪の密度（推定値）160 kg/m³、雪崩の厚さ 1 m、斜面の長さ 26 m、斜面の角度約 40°である。また、地震による水平加速度は約 100 gal、当日の平均気温-3.0 ℃、最高気温-0.4 ℃である。

次に、(5)式に代入する張力 T と、凝集力 C、内部摩擦係数 tan φ の値を求める。

まず、Tは、Watanabe(1977)の、新雪やしまり雪の密度と引っ張り強度の関係式から求め、T≒4710 Pa とする。

また当日の気温は氷点下であり、ざらめ雪粒子間は凍結していると考えられる。山野井・遠藤(2002)によると新雪やこしまり雪などを除くと内部摩擦係数 tan φ を無視できるので、$\tau = C$ と見なす。そこで、Watanabe(1977)の乾きざらめ雪の密度と剪断強度の関係式から、C＝910 Pa を得る。

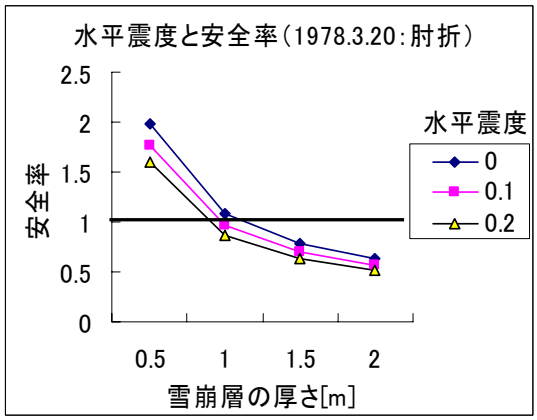


図３　地震時の斜面積雪の安全率。斜面長 26m、斜面勾配 40°、雪密度 160kg/m³ での計算結果

これらの値を(5)式に与えて計算した結果を図３に示す。雪崩層の厚さが 1m で、水平震度 0.1（約 100 gal に相当する）の場合に安全率が１を下回る。よって、(5)式による地震発生時の斜面積雪の安全率の評価は、実際の雪崩発生を説明しうる。ただし、検証できるのは、この１事例だけなので、地震時に発生した雪崩の（極めて希なケースであるが）データの追加が必要と考えられる。

６．地震発生時の斜面積雪の安全率の試算例

以下では(5)式に、表２で示した高さ 12 cm での C、φ を適用して地震発生時の斜面積雪の安全率を求める。計算条件は、斜面の勾配 45°、法尻から法頭までの長さを 20 m、水平震度は 0、0.15、0.3 の３ケースである。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

図４より、新雪の場合、水平震度 0.3 で安全率が１を下回るのは、積雪が 1.5 ｍを越える場合に限られる。しかし、水平震度毎のグラフの間隔が大きいことから、加速度の増加による安全率の低下が大きい傾向があることが分かる。また、図５より、こしまり雪では、水平震度 0.3 の場合、積雪深が 1.5 m 以上で安全率が１を下回る。また、積雪深の増加によって急激に安定率が低下する傾向が見られる。

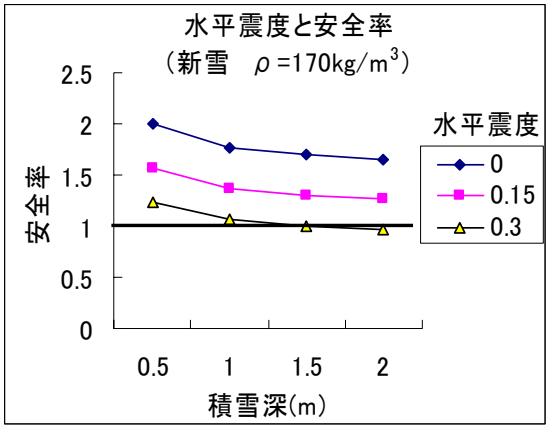


図４　地震時の斜面積雪の安全率。密度 170kg/m^3、C=190Pa、tanϕ=1.3

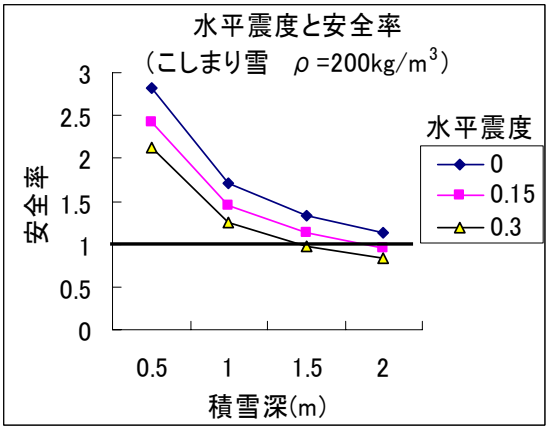


図５　地震時の斜面積雪の安全率。密度 200kg/m^3、C=1100Pa、tanϕ=0.23

７．まとめ

地震発生時の斜面積雪の安全率評価について、従来の手法を改良して、新しい評価手法を考案した。この評価手法を用いて、過去に地震時に発生した雪崩（東浦ら(1979)）を対象に、評価手法の検討を行った。その結果、この評価手法によって実際の雪崩発生の危険度を評価できる可能性があることが示された。なお、評価手法の妥当性の検討にあたっては、今後、更にデータを追加した検証が必要と考えられる。

なお、この研究の一部は、科学研究費基礎研究(B)「地震と豪雪の複合災害の被害想定および地域防災に関する研究」によって行われた。

参考文献

東浦ら，1979: 地震によって発生した雪崩，*国立防災科学技術センター研究報告,* 21, 103-112.

久保, 1981:地震と土木構造物，鹿島出版会, 279p.

小倉ら，2001: 2001 年 1 月 4 日新潟県中里村で発生した地震による雪崩，*新潟大災害研年報,* 23, 9-15.

Perla and Beck, 1983: Instruments and Methods Experience with Shear Frames, *J. glaciology.,* 29, 485-491.

関ら,1998: シアーフレームによる積雪層内弱層の剪断強度測定手法の考察，*1998 年度日本雪氷学会予稿集.*

Watanabe, 1977: The Influence of Snow Quality on the Breaking Strength, *Sci. Rep. Fukushima Univ.* 27, 27-35.

渡邊, 1983: 積雪の剪断面に垂直な圧力と剪断強度,*昭和 58 年度日本雪氷学会予稿集.*

山野井・遠藤, 2002: 積雪における剪断強度の密度及び含水率依存性，*雪氷,* 64, 443-451.

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

2007 年 3 月 18 日に積丹岳ピリカ台南斜面で発生した雪崩の調査報告

尾関俊浩（北海道教育大学）・上石勲・山口悟（防災科研雪氷防災研究センター）
兒玉裕二（北大低温科学研究所）・阿部幹雄・樋口和生（雪崩事故防止研究会）

はじめに

2005-2006 年冬期の平成 18 年豪雪とは一転，2006-2007 年冬期は北陸を中心に寡雪年となった．一方で雪崩災害は，人命を失ったり，建造物が大きな被害を受けたもので 4 件の報告があり [1)]，暖冬小雪でも雪崩災害が決して無くならないことをうかがわせた．本稿では，2007 年 3 月 18 日午後，積丹岳ピリカ台南側斜面で発生し，16 人が巻き込まれ，4 人が死亡した雪崩について現地調査結果を報告する．

雪崩事故概要

2007 年 3 月 18 日午後，積丹岳(図 1)ピリカ台南側斜面で雪崩が発生し，スノーモービル愛好家，スノーボーダー，カメラマンで構成された入山メンバーのうち 16 人が巻き込まれ，4 人が死亡，1 名が重傷を受ける事故が発生した．倶知安特別地域気象観測所の記録によると 3 月 17 日午後から 18 日午後までほぼ連続した降雪があった．また 3 月 18 日朝から風が強まり，正午頃には 10 m s^{-1} となった．図 2 に 3 月 18 日の午前 9 時の地上天気図を示す．冬型の気圧配置であり，積丹岳周辺では北寄りの風が吹いていたことが予想される．この気圧配

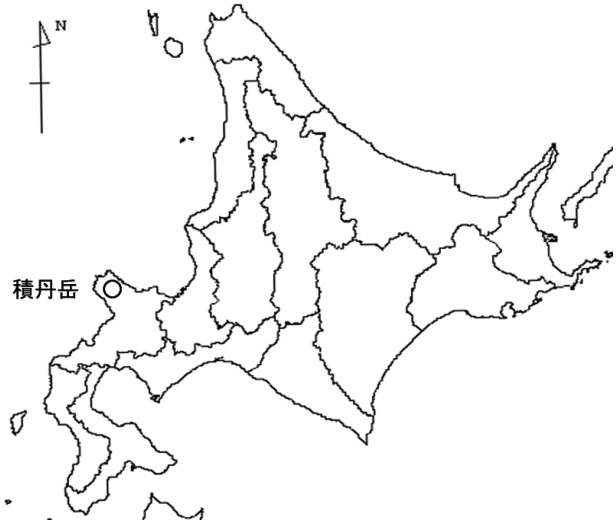


図 1　3 月 18 日に雪崩事故が発生した積丹岳．

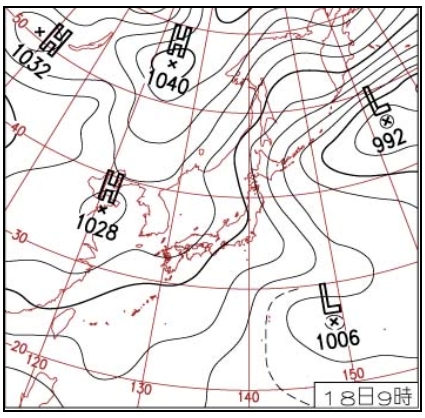


図 2　18 日 9 時の地上天気図

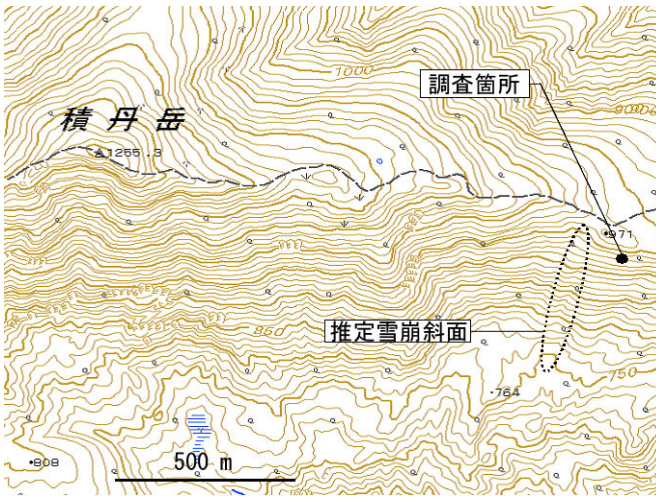


図 3　積丹岳ピリカ台周辺地形と積雪調査箇所．
（国土地理院 1/25,000 地図に加筆）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

置は翌 19 日もつづいており，現場では北風が吹いていたことが 19 日現地に入った共著者の阿部により確認されている．

調査の概要

3 月 19 日には阿部が不明者捜索隊と現場に入り，埋没地点や稜線近傍で弱層の調査を行なった．3 月 20 日には雪氷学会道支部と防災科研の合同調査隊が発生区近傍で積雪調査を行なった．3 月 23 には阿部が堆積区の調査を行なった．4 月 5 日には阿部，尾関，樋口が走路および堆積区の調査を行なった．さらに 3 月 21 日，3 月 27 日にはヘリコプターによる現場の空中撮影を行なっている．本発表では 3 月 20 日に雪崩発生斜面付近で行なった積雪調査を中心に報告する．

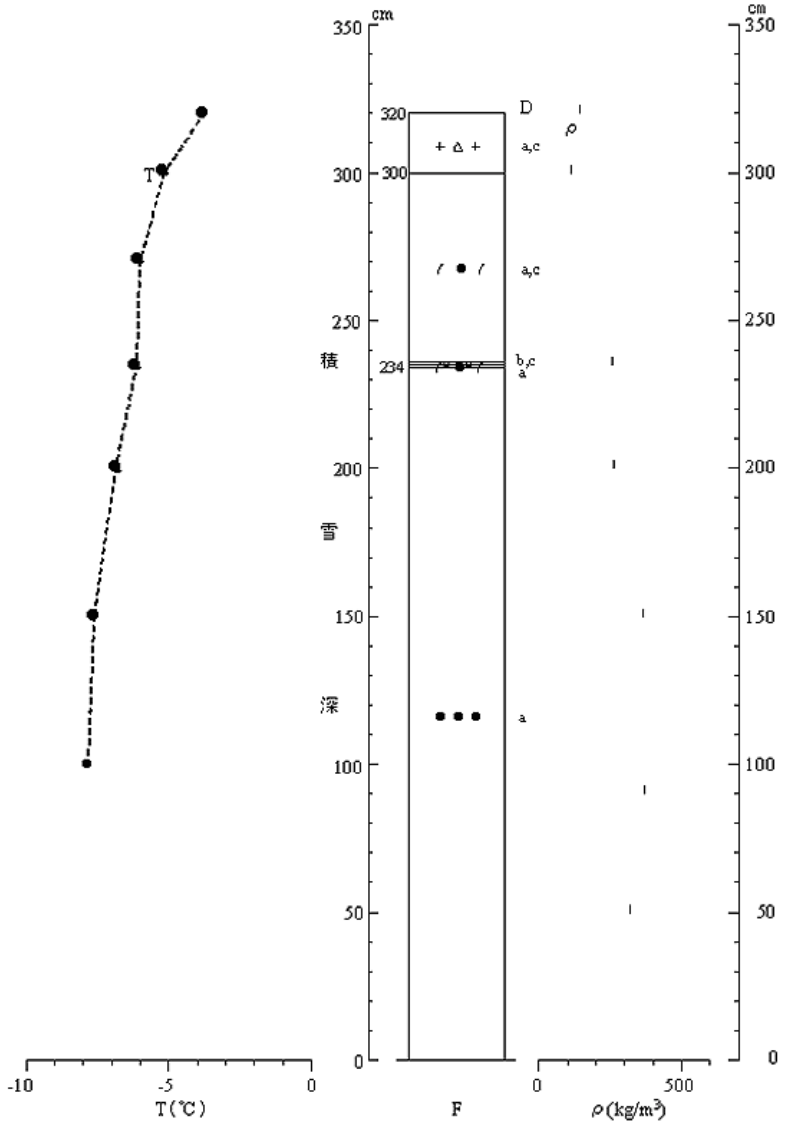


図 4
3 月 20 日積丹岳ピリカ台南斜面の積雪断面観測結果．
T 雪温，ρ 密度, D 粒径,
a:～0.5mm, b:0.5～1.0mm,
c:1.0～2.0mm.
F 層位，＋新雪，／こしまり，
●しまり，〇ざらめ，△霰．

調査結果

雪崩発生斜面はボウル状の地形で勾配は 4 月 5 日の実測から推定すると 28～37 度，平均 32 度である．推定される発生区は森林限界より標高が高く，北よりの強風が吹けば吹き溜まると予想された．稜線から 30m程下で行なったハンドテスト（新田式）では表面から 5,

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

11，60 cm 下にあられの弱層が見られた．積雪観測は稜線から南側へ 50 m 程度下った箇所で実施した（図 4）．観測地点は吹き溜まりで，積雪深は 6 m 以上であった．積雪表面から 80 cm 付近までの密度は 110～140 kg m^{-3} のあられ交じりの新雪またはこしまり雪で，表面から 80 cm 付近には厚さ 1 cm のざらめ層が確認された．積雪表層にはあられの弱層が見られたほか，ざらめ層の直下には厚さ 1 cm の比較的弱いこしまり雪主体の層があり，シアーフレームインデックス SFI(2 枚の仕切り板のついた台形状の剪断枠で測定した剪断強度)は 470 N m^{-2} で，上載荷重から求めた積雪安定度 SI は約 1.5 と不安定な値を示した．ざらめ層の下の積雪は密度 250 kg m^{-3} 以上のしまり雪で顕著な弱層は確認されなかった．雪温は表面付近が-3.7 ℃で，それより下層は-5.1～-7.8 ℃と大きな温度勾配は確認されなかった．

あられの弱層は 3 月 19 日の阿部の観察でも稜線から南へ下った斜面（図 5），遺体発見現場から標高で 30～40 m 上がったデブリ付近の斜面で見られた（図 6）．

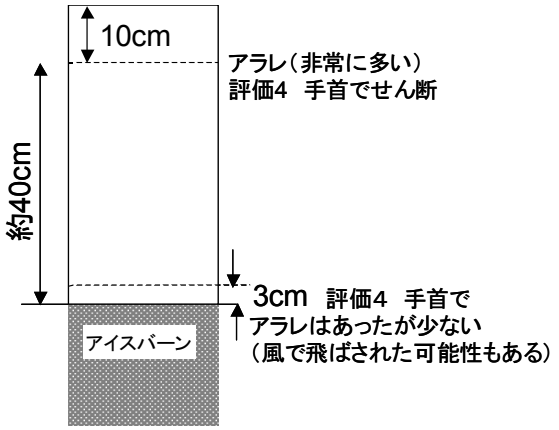


図 5　稜線から少し南へ下った緩斜面におけるハンドテスト（新田式）によるあられの弱層．

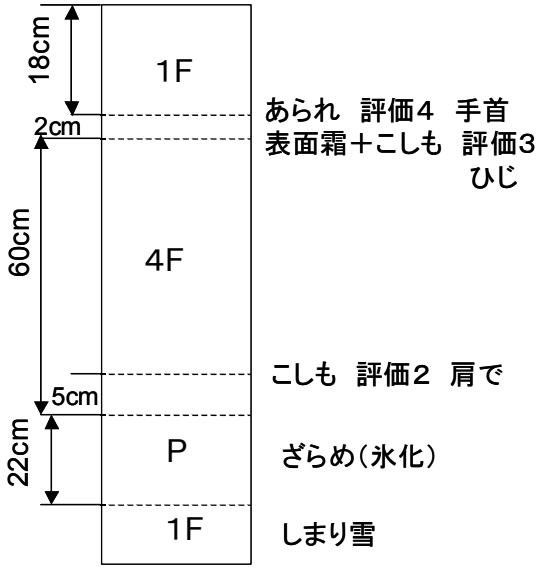
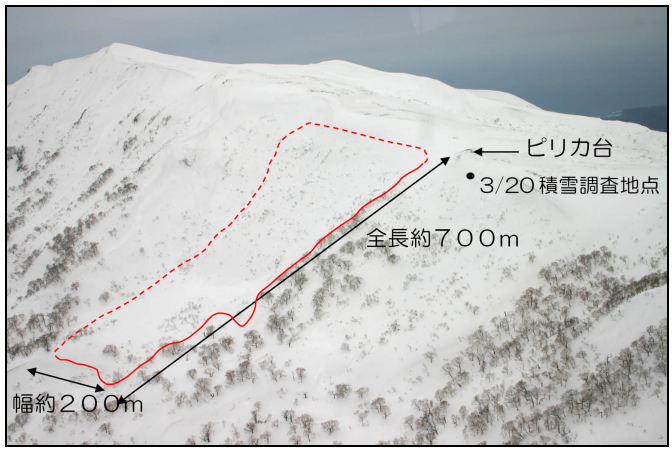


図 6　遺体発見現場より標高 30～40m 高い南西向き斜面のシャベルコンプレッションテストによるあられの弱層．

考察

3 月 19 日，20 日，23 日および 4 月 5 日の調査から推定された雪崩の規模を図 7 に示す．規模，雪質から，発生したのは面発生乾雪表層雪崩と結論される．斜面形状，雪崩の目撃証言を勘案すると発生は稜線近傍と考えられることから，規模は幅約 200 m，長さ約 700 m であったと推定される．ただし，この雪崩の発生位置および走路の破断面については，発生当日は視界不良であったこと，



（撮影・作図　樋口和生）

図 7　雪崩の規模．実線は調査による．破線は推定．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

翌日の捜索と翌々日の合同調査では，雪崩跡が雪に埋まっていたことから，破断面を確認した者がいなかった．また発生から 3 日後のヘリコプターからの調査でも雪崩の痕跡は分からなかった．したがって正確な発生区の推定はできなかったことから図 7 中では破線で示した．図左側の破線も同様である．18 日午前中，雪崩斜面の下半分では，多くのスノーモービルが斜面中腹まで登り踵を返して下り降りる遊びをおこなったが規模の大小を問わず雪崩は起きなかったことがわかっている．午後，帰路を開拓するため一台のスノーモービルが当該の斜面を稜線までのぼり，下りに転じたところで雪崩に襲われていることから，斜面上流と下流では積雪安定度に大きな違いがあったことがうかがえる．その要因としては，当該の南斜面上部では北風による吹き溜まりが発達することで上載荷重が増加し，斜面積雪の安定度を下げたと考えられる．さらにはすべり面（層）となる弱層の分布にも場所によって不均一性があったことが予想される．

まとめ

平成 19 年 3 月 18 日に積丹岳ピリカ台南斜面で発生した雪崩は面発生乾雪表層雪崩と考えられる．発生斜面はボウル状の地形で勾配は 28～37°，幅 200 m，長さ 700 m であった．推定される発生区は森林限界より標高が高く，当日は北寄りの強風によって吹き溜まりが発達したと思われる．発生区が特定されなかったことから，何が発生区における弱層であったかは不確定であるが，発生後の調査では周辺であられの弱層が広く観察されている．3 月 20 日に行なった南斜面の稜線付近の積雪調査では，積雪表層にあられの弱層が見られたほか，表面から 80 cm 付近には厚さ 1 cm のざらめ層と厚さ 1 cm のこしまり雪主体の層があり，SI が約 1.5 と斜面積雪は不安定であった．吹き溜まり等の上載荷重の増加が斜面積雪の安定度を下げた要因と考えられる．

今後の課題

積丹岳はスキーではアプローチが長くエスケープルートが取れない山域であり，調査は一日行程となった．また，今回雪崩の発生した頂上に近いエリアは樹林限界以上であり，活動には冬山の装備と知識が必要となる（図 8）．本ケースのような冬期山岳域の雪崩調査では，然るべき山岳ガイドや経験者に安全管理を担ってもらうことが望ましい．今後は積雪観測の経験者と冬期山岳経験者を混成した調査チームが雪崩調査に迅速に入れるようなシステムを構築することが課題となるであろう．

図 8　積丹岳標高 900m 付近での調査活動．樹林限界以上の活動となるため発生区付近の調査には冬山の装備と知識が必要となる．

参考文献

1)　上石勲ほか 23 名，2007 年 2～4 月にかけて発生した雪崩事故発生状況調査報告．雪氷，**69**(4)，印刷中．

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

ＳＰＰ特別授業『積雪の科学』の実施について

平松和彦（北海道旭川西高等学校）

１　経過

独立行政法人・科学技術振興機構による事業，サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（略称ＳＰＰ）に応募し、2007 年 1 月 25・26 日、旭川西高校１年理数科生徒 40 名を対象に特別授業を実施した。

筆者はかつて、長岡市で開催された北信越支部主催の『積雪観測講習会』に参加した経験から、積雪寒冷地に住む高校生を対象に授業の中で同じ内容を取り上げたら面白いと考えた。年間計画に照らし合わせると、１月下旬は実施に最も適当なタイミングであり、１クラスだけを対象にするのであれば比較的無理なく行なえるような状況であった。

今回は講師に新潟大学災害復興センターの和泉薫教授を招聘した。事前学習として１時間の講義、翌日グラウンドへ出て２時間の野外実習をおこなった。この事業の概要を紹介し、高校と大学や研究所の連携のあり方を考えてみたい。

２　目的

実際に豪雪地帯において積雪災害の発生時に活躍されている専門家から直接、野外で積雪の構造や観察方法を学び、普段から防災意識をたかめておくことは大切である。

厳冬期に実施することによってグラウンドの積雪を利用して物理的性質や構造を学ぶ絶好の機会となる。また雪の性質ばかりではなく、積雪時における地震災害の現地調査や研究に携われた成果をわかりやすく解説していただくことは、将来を担う北海道の高校生にとって有意義な経験になる。さらには残雪期に山肌にあらわれる雪形とその農事暦としての役割など、雪国の生活におけるさまざまな側面についても学ぶ。（申請書、原文のまま）

３　日程と概要

第１日（６時間目：50 分　教室で実施）

『積雪の科学』について講義形式の授業

第２日（５時間目～６時間目：110 分　サッカーグラウンドで実施）

積雪断面の観察－温度計の検定と雪中温度の計測―雪の硬度の計測－雪洞の密封性の体験－なだれゾンデの体験－捜索ビーコンの使用体験－教室にもどって授業全体のまとめ－日本雪氷学会公認・実験イベント用テキスト『SNOW KIDS になるために－雪と氷の科学実験－』の説明

実習アシスタントとして、北海道教育大学旭川校修士課程１年の高瀬義史さん、３年生の内田あゆ美さん、そして本校３年生（当時、現信州大学１年生）高瀬聖君が、授業に先立って、雪洞を作り、機器の使用方法の予備実習をおこなった。

服装に関しては、最近の生徒のほとんどが長靴を持っていないことや、通学時の服装もきわめて軽装であることを考慮して、スキー授業と同じ装いで実習に取り組むよう、あらかじめ指示をした。前日のうちに、学校敷地内の道路沿いにできた雪山をそっくり利用して、雪洞をつくり、その隣にはゾンデで雪と地面と人間の感触の違いを体験するための雪穴をつくった。また積雪断面の観察と捜索ビーコンの体験はサッカーグラウンドで行っ

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

た。指導では本校教員も協力し２つのグループに分けて展開した。例年よりも雪は少なかったが、道路を含めて白銀のグラウンドは、絶好のフィールドとなった。

４　生徒の感想文から

■外での実習はとても楽しかったです。埋まった時には外の音が全く聞こえなくて驚きました。家でもたまに屋根の雪おろしをするので気をつけようと思いました。捜索シミュレーションは難しく、なだれの恐しさを改めて実感しました。理数科のために来てくださり、ありがとうございました。＾＾

■いろいろな体験をして、とても勉強になりました。う雪の層では、高さによって温度が違ったり、霜が下りた時の層、雨が降った時の層、と、いろいろな情報が層に記録されていて驚きました。かまくらに入って閉じこめられたら、とても不安な気持ちになり、雪にうもれた人の気持ちがわかるような気がしました。今日はとても楽しかったです。どうもありがとうございました。

■今回色々な体験をして、雪はキレイだけどとても危険なものでもあるのだな、と思いました。ビーコンもとても難しくて大変でした。あと雪の中にうめられたらあんなに暗くて音がきこえないのはこわいな、と思いました。今回の体験を通して雪についてたくさん知るコトができたのでよかったです。

■今日は楽しかったです。昨日と今日で雪についていろいろな事を学びました。今まで雪にあまり興味がありませんでした。昨日と今日の授業で雪ってけっこうおもしろいものなんだと思いました。冬（積雪時）にもしも地震が起きたら・・・なんて今まで考えたこともありませんでした。とても良い勉強をしたと思います。ありがとうございました。

■自分が知っている雪の知識で間違っているところもあって、それを自分で確認できる機会があってよかったです。初めて雪の中に閉じ込められて少し怖かったです。もしそうゆう災害にあったら今日学んだことをもとに、冷静に対処しようと思いました。

６　講師による感想

将来大学に入学してくる高校生が、何に興味を持ち、どの程度の知識を持ち、どのような学校生活を送っているかをつぶさに知ることができ、大学での学生との接し方、教育のやり方などにおいて大変参考になることが多かった。

７　反省と今後の展望

この実習の後、２月１４日に八甲田山において雪崩事故がおこり、新聞などで報道された。記事の中には三種の神器として、今回の特別授業でも使用したスコップ、ゾンデ棒、ビーコンの説明が載っており、生徒は現実の問題として捉えたはずである。旭川は積雪厳寒の地ではあるとはいえ、生徒にとって雪崩災害は身近ではない。スキー授業も実施されているが、整地されたゲレンデを使用しているし、普段長靴を履いて登校する生徒は皆無である。だから今回の実習授業は雪そのものと真剣に向き合う貴重な体験になった。一方、雪氷学会の会員が講師として教育現場へ足を運び、授業シナリオを描く場合にも、今回のＳＰＰなどの事業は、多いに利用する価値があるだろう。

８　謝辞

お忙しいところ遠路、旭川までおいでいただいた新潟大学、和泉薫先生には準備段階からたいへんお世話になり感謝申し上げます。ビーコンなどの機器をこの事業のために貸していただいた独立法人防災科学技術研究所、さらには日本雪氷学会事務局にも、この場をお借りしてお礼申し上げます。（本発表は、北信越支部研究発表会においても報告された。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

（社）日本雪氷学会北海道支部　2006 年度事業報告

1.　春の講演会の開催

日　時　：　2006 年 5 月 10 日（水）13：30～15：00
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室
講　演　：　「スイスの氷河と氷河学」　杉山　慎　氏　（北海道大学低温科学研究所）
「政策評価とスパイクタイヤ規制」　浅野　基樹　氏
（独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路研究グループ）

2.　支部総会

日　時　：　2006 年 5 月 10 日（水）　15：10～15：40
場　所　：　北海道大学 学術交流会館　第一会議室
議　題　：　(1)　2005 年度事業報告・収支決算
(2)　2006 年度支部役員について
(3)　2006 年度事業計画案・収支予算案
(4)　その他

3. 役員会議の開催

日　時　：　2006 年 5 月 10 日（水）15：40～17：00
場　所　：　北海道大学 学術交流会館　第一会議室
議　題　：　(1)　2006 年度地域講演会について
(2)　2006 年度積雪調査法実習について
(3)　支部財政について
(4)　50 周年記念事業について

4. 理事会の開催

日　時　：　2007 年 4 月 6 日（金）15：00～17：00
場　所　：　(財)北海道道路管理技術センター会議室
議　題　：　(1)　2006 年度事業報告
(2)　2006 年度収支決算
(3)　2007 年度事業計画案
(4)　2007 年度予算案
(5)　2007 年度の役員について
(6)　北海道の雪氷の電子化について
(7)　日本雪氷学会北海道支部創立 50 周年記念事業について
(8)　雪と氷の学習会（仮称）について

5. 幹事会の開催

日　時　：　2006 年 9 月 15 日　10:30～12:00

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

場　所　：　北海道大学低温研会議室
議　題　：　(1)　地域講演会開催について
(2)　南極 50 周年事業協賛について
(3)　経費削減について

6. 研究発表会の開催
日　時　：　2006 年 6 月 16 日（金）9：30～17：00
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室
内　容　：　研究発表 24 件　参加者約 80 名

7. 「北海道の雪氷」No. 25 の発行

8. 地域講演会（南極 OB 会北海道支部と共催）
日　時　：　2006 年 10 月 21 日　18：00～20：00
場　所　：　稚内サンホテル（稚内市中央）
内　容　：　「ブリザードの世界」　西村　浩一　氏　（新潟大学教授）
「南極観測の今」　白石　和行　氏　（国立極地研究所教授）

9. 支部ホームページの運営
・　雪氷関連情報の提供
・　会員向けお知らせの掲載

10. ニューズレターの発行
ニューズレターNo. 23：平成 18 年度地域講演会のご案内
雪氷学会北海道支部メーリングリストの運用について
全国大会開催案内
ニューズレターNo. 24：「南極観測の 50 年－極地の研究と生活－」の開催案内
ニューズレターNo. 25：春の講演会・平成 19 年度支部総会等の開催案内

11. 雪害発生時の現地調査活動
後志支庁積丹町の積丹岳における雪崩事故（平成 19 年 3 月 18 日、スノーモービルで遊んでいたグループが雪崩に遭い 4 人死亡）に際して、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターの要請を受けて、雪氷防災研究センター職員とともに日本雪氷学会北海道支部会員 4 名が積雪調査を実施した。
調査実施日：平成 19 年 3 月 20 日
調査担当者：兒玉裕二（北海道大学低温科学研究所、北海道支部会員）
尾関俊浩（北海道教育大学岩見沢校、　北海道支部会員）
阿部幹雄（北海道雪崩事故防止研究会、北海道支部会員）
樋口和生（北海道雪崩事故防止研究会、北海道支部会員）
留 守 本 部：石井吉之（北海道大学低温科学研究所、北海道支部会員）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

12. 雪氷関連行事の共催・後援

12-1　「南極観測 50 周年記念行事（南極 OB 会北海道支部主催）」の共催

日時：2006 年 11 月 26 日

場所：北大学術交流会館

内容：

１．南極観測関連のポスター、隕石、深層コアの展示

２．講演

「南極ことはじめ」安藤久男（第 10 次日本南極観測隊　内陸旅行隊長）

「南極観測の 50 年」渡辺興亜（元国立極地研究所長）

「零下七十度を生きる」米山重人（国立病院機構西札幌病院外科医長）

「氷床深層コアによる地球環境の復元」藤井理行（国立極地研究所所長）

３．映画会「南極の詩」上映

４．雪氷楽会　南極の雪と氷を使った実験や体験学習など

12-2　「2007 年科学探検広場（サイエンスボランティア旭川・旭川市教育委員会主催）」の後援

日時：2007 年 1 月 13 日（土）、14 日（日）

場所：旭川市科学館サイパル（旭川市宮前通東）

内容：50 ブースにおける各種科学展示（ドライアイスをつかった実験他）

その他後援：応用物理学会北海道支部・日本化学会北海道支部・日本生化学会北海道支部・日本動物学会北海道支部・日本物理教育学会北海道支部他

12-3　「スノーフェア 2007 雪を科学して遊んじゃえ！（北海道立市民活動促進センター主催）」の後援

日時：2007 年 3 月 23 日（金）、24 日（土）、25 日（日）

場所：北海道立市民活動促進センター

（札幌市中央区北 3 条西 7 丁目　道庁別館西棟 1 階）

内容：

１．雪や雪崩についての写真、ポスター展示

２．科学実験～雪は天からの手紙～（雪の結晶をつくるなど）

３．講演

「雪崩事故を防ぐために」樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート代表）

「雪のかがく」秋田谷英次（北の生活館館長／元北海道大学低温科学研究所所長）

「北海道のお天気と雪」　久保田敬二（財団法人日本気象協会北海道支社）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

（社）日本雪氷学会北海道支部　2007 年度事業計画

1.　春の講演会の開催

日　時　：　2007 年 4 月 26 日（木）13 時 30 分～15 時 30 分

場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室

講　演　：

1.「雪のある生活とアート」

原　文宏　氏　　社団法人北海道開発技術センター　理事

2.「海氷生成が駆動する海洋中深層循環とその変動」

大島　慶一郎　氏　　北海道大学低温科学研究所　准教授

2.　支部総会

日　時　：　2007 年 4 月 26 日（木）15 時 40 分～16 時 10 分

場　所　：　北海道大学 学術交流会館　第一会議室

主要議題：　(1)　2006 年度事業報告・収支決算報告

(2)　2007 年度支部役員について

(3)　2007 年度事業計画案と収支予算案検討

(4)　支部財政の健全化について（機関紙の電子化）

(5)　その他

3. 理事会と幹事会の開催

必要に応じて適宜開催する。

第 1 回理事会・幹事会の合同開催

日　時　：　2007 年 4 月 26 日（木）16 時 10 分～17 時 30 分

場　所　：　北海道大学 学術交流会館　第一会議室

主要議題：　(1)　北海道の雪氷の電子化について

(2)　日本雪氷学会北海道支部創立 50 周年記念事業について

(3)　社会貢献事業について

(4)　その他

4. 北海道支部創立 50 周年記念事業準備委員会の設立

日本雪氷学会北海道支部創立 50 周年記念事業準備委員会を立ちあげ、記念事業の骨格を検討し、必要な処置を講ずる。

5. 研究発表会の開催

日　時　：　2007 年 6 月 21 日（木）10:00～18:30

場　所　：　北海道大学　学術交流会館　第一会議室

内　容　：　研究発表　26 件（発表時間：講演 12 分・質疑応答 3 分・計 15 分）

参加者　：　87 名

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

6. 支部機関誌「北海道の雪氷」の No. 26 の発刊
　本誌

7. 地域講演会
　日　時　：未定　　場　所　：未定

8. 積雪調査法講習会
　日　時　：未定　　場　所　：未定

9. ニューズレターの発行
　メーリングリストを活用して、各種行事案内や連絡事項などをニューズレターとして発行する。メーリングリストへの未登録会員に対しては、重要事項について従来通り郵送によるニューズレターの発行を行う。

10. 支部ホームページの運営
- 雪氷関連情報の提供
- 会員向け情報の掲載
- コラムやエッセイ等の充実
- 質問コーナーの開設

　会員向け情報（総会や講演会、研究発表会など）を支部ホームページに掲載する毎に、メーリングリスト（hokkaido@seppyo.org）を使って会員にホームページへのアクセスを促すサービスを行う。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

2006年度収支決算
（2006年4月1日-2007年3月31日）

2007年度収支予算
（2007年4月1日-
2008年3月31日）

2007年度収支予算
「北海道の雪氷」PDF化
（2007年4月1日-
2008年3月32日）

収入の部　　（単位 円）

科目	予算額	決算額	差額	備考	2007年度予算	平成19年度予算
1.会費収入	0	0	*0*		0	0
支部会員費	0	0	*0*		0	0
2.事業収入	250,000	161,500	*88,500*		200,000	50,000
研修会等収入	100,000	0	*100,000*		50,000	50,000
広告収入	50,000	57,000	*△ 7,000*		50,000	0
出版収入	100,000	104,500	*△ 4,500*	「北海道の雪氷」	100,000	0
3.内部移管金収入	262,000	262,000	*0*		262,000	262,000
交付金支部収入	262,000	262,000	*0*	本部より	262,000	262,000
助成金	0	0	*0*	本部より	0	
事業収支差額収入	0	0	*0*		0	
広告支部受取金	0	0	*0*		0	
4.資産勘定からの繰入	0	0	*0*		40,000	40,000
5.雑収入(預金利子)	100	82	*18*		100	100
当期収入合計	512,100	423,582	*88,518*		502,100	352,100
前期繰り越し収支差額	144,558	144,558	*0*		123,067	123,067
収入合計	656,658	568,140	*88,518*		625,167	475,167

支出の部　　（単位 円）

科目	予算額	決算額	差額	備考	2007年度予算	是正予算案
1.事業支出	520,000	414,919	*105,081*		530,000	250,000
研修・見学会支出	50,000	0	*50,000*	研究発表会・積雪講習会	50,000	100,000
講演・談話会支出	50,000	67,684	*▲ 17,684*	春講演会・地域講演会	100,000	100,000
支部機関誌発行費	420,000	347,235	*72,765*	北海道の雪氷・ニュースレタ	380,000	50,000
2.管理費	60,000	30,154	*29,846*		60,000	82,000
事務費	10,000	7,625	*2,375*	文房具費、通信費等	20,000	20,000
旅費・交通費	40,000	10,000	*30,000*	役員交通費	30,000	0
会議費	10,000	9,600	*400*	会場使用料、弁当代等	10,000	62,000
雑費	0	2,929	*▲ 2,929*		0	
3.内部移管収入勘定	0	0	*0*		0	
4.予備費	0	0	*0*		0	
当期支出合計	580,000	445,073	*134,927*		590,000	332,000
当期収支差額	▲ 67,900	▲ 21,491	*△ 46,409*	差額：赤字圧縮効果	▲ 87,900	20,100
次期繰越し収支差額	76,658	123,067	*△ 46,409*	差額：繰り越し増額	35,167	143,167
支出合計	656,658	568,140	*88,518*		625,167	475,167

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

2007年度 （社）日本雪氷学会北海道支部役員名簿

職名	氏名	所属	備考
支部長	山田　知充	北海道工業大学	
副支部長	石本　敬志	(財)日本気象協会北海道支社	
理事	伊東　敏幸	北海道工業大学 建築学科	
理事	大浦　久到	北海道電力(株) 総合研究所	
理事	加治屋安彦	(独)土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム	
理事	金田　安弘	(社)北海道開発技術センター	
理事	亀田　貴雄	北見工業大学 土木開発工学科	
理事	河村　俊行	北海道大学 低温科学研究所	
理事	高橋　修平	北見工業大学 土木開発工学科	
理事	竹内　政夫	雪氷ネットワーク	
理事	武田　一夫	帯広畜産大学 畜産科学科	
理事	成田　英器	北海道大学 低温科学研究所	
理事	平松　和彦	北海道旭川西高等学校	
理事	古川　義純	北海道大学 低温科学研究所	
理事	本堂　武夫	北海道大学 低温科学研究所	
理事	見延　勲英	(財)北海道道路管理技術センター	
理事	山野井克己	(独)森林総合研究所北海道支所 寒地環境保全研究グループ	
監事	石丸　幸一	鹿島建設(株)札幌支店 営業部	
監事	松岡　直基	(財)日本気象協会北海道支社	
幹事長	石井　吉之	北海道大学 低温科学研究所	
幹事	阿部　幹雄	報道写真家	
幹事	荒川　逸人	野外科学(株) 技術部調査二課	
幹事	今西　伸行	(株)ドーコン 防災保全部	
幹事	岩花　　剛	北海道大学 工学部	
幹事	大槻　政哉	(株)雪研スノーイーターズ	
幹事	小川　直仁	北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部 工務部 工務技術センター	
幹事	尾関　俊浩	北海道教育大学 岩見沢校	
幹事	川端伸一郎	北海道工業大学 社会基盤工学科	
幹事	兒玉　裕二	北海道大学 低温科学研究所	
幹事	澤柿　教伸	北海道大学大学院 地球環境科学	
幹事	新谷　陽子	(社)北海道開発技術センター	
幹事	杉山　　慎	北海道大学 低温科学研究所	
幹事	舘山　一孝	北見工業大学 土木開発工学科 雪氷研究室	
幹事	堤　　拓哉	北海道立北方建築総合研究所 環境科学部安全科学科	
幹事	豊田　邦男	東日本高速道路株式会社北海道支社　技術企画課	
幹事	中村　一樹	(財)日本気象協会北海道支社 ソリューション部気象情報課	
幹事	松下　拓樹	(独)土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム	
幹事	的場　澄人	北海道大学低温科学研究科	
評議員	青田　昌秋	道立オホーツク流氷科学センター	
評議員	油川　英明	北海道教育大学 岩見沢校	
評議員	小山　芳一	(財)河川情報センター札幌センター	
評議員	斎藤新一郎	環境林づくり研究所	
評議員	斎藤　有司	(株)ドーコン	
評議員	坂本　　眞	北海道企画振興部 地域振興・計画局	
評議員	高橋　公浩	北海道開発局 開発監理部 開発調整課	
評議員	武市　　靖	北海学園大学 工学部	
評議員	筑田　清貴	札幌市建設局 雪対策室	
評議員	土谷富士夫	帯広畜産大学 畜産科学科	
評議員	苫米地　司	北海道工業大学 建築学科	
評議員	福澤　義文	(株)雪研スノーイーターズ	
評議員	福田　正己	北海道大学 低温科学研究所	
評議員	前野　紀一	北海道大学 名誉教授	
評議員	矢作　　裕	北海道教育大学 名誉教授	
評議員	藪　　正樹	北海道電力(株) 土木部 土木エンジニアリンググループ	
評議員	横山　博文	札幌管区気象台 技術部	
評議員	吉野　伸一	北海道旅客鉄道(株) 工務部	
顧問	秋田谷英次	北の生活館	
顧問	小島　賢治	北海道大学名誉教授	
顧問	佐伯　　浩	北海道大学総長	
顧問	前　　晋爾	旭川工業高等専門学校	
顧問	若濱　五郎	北海道大学名誉教授	

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

社団法人　日本雪氷学会北海道支部規約

（名称）
第１条　本支部は、社団法人日本雪氷学会北海道支部と称する。ただし略称を北海道支部とする。

（目的）
第２条　本支部は、社団法人日本雪氷学会定款第４条の目的を達成するため、下記の事業を行う。
１．雪氷および寒冷に関する学術調査・研究その他関連事項
２．雪氷および寒冷に関する研究会、講演会、座談会、見学会等の開催
３．会員相互の連絡
４．本部理事会が委嘱又は承認した事項
５．その他必要な事業

（会員）
第３条　本支部の会員は、北海道に在住する社団法人日本雪氷学会の会員とする。また、他支部に所属する会員であっても、本支部に所属することを希望する場合は、重複所属することを妨げない。

（役員）
第４条　本支部につぎの役員を置く。
支部理事　　20 名以内（うち、支部長１名、副支部長　若干名）
支部監事　　2 名
支部幹事　　20 名以内

（役員の選出）
第５条 支部の理事・監事は、支部総会において、支部会員の中から選任する。

（支部長および副支部長の選出）
第６条 支部長および副支部長は、支部理事の互選とする。

（幹事および幹事長の選出）
第７条 幹事および幹事長は、支部会員の中から支部長が委嘱する。

（理事の職務）
第８条　支部長は、本支部を代表し、その会務を総理する。
２　副支部長は、支部長に事故あるとき、または欠けたとき、あらかじめ支部長が指名した順序でその職務を代行する。
３　支部理事は、支部理事会を組織し重要な事項を決議する。

（監事の職務）
第９条 支部監事は、支部の事業、会計を監査する。

（幹事の職務）
第１０条　支部幹事は、支部の会務を処理する。

（理事会）
第１１条　支部理事会は、支部理事で構成され、重要な事項を議決する。
２　支部理事会の議長は支部長とする。
３　支部理事会は、支部理事の２分の１以上の出席がなければ開会することができない。

（幹事会）
第１２条　支部幹事会は、支部幹事で構成され、支部長の命を受けて支部事業の企画および会計ならびにその他の会務を処理する。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

（役員の任期）
第１３条　役員の任期は２年とする。ただし同一役員（理事・監事・幹事）につき最長連続２期４年とし、特別な事情のある場合には再任を妨げない。

（顧問、評議員）
第１４条　本支部に顧問および評議員を置くことができる。
２　顧問および評議員は、支部理事会の議決を経て支部長が委嘱する。
３　顧問および評議員は、本支部の発展に寄与するため、支部長の諮問に応じて意見を具申する他、随時建設的提案を行う。
４　第１３条は、顧問、評議員について準用する。

（総会）
第１５条　本支部は、毎年１回、通常総会を開くほか、必要に応じ臨時総会を開く。
２　総会においては、下記の事項の承認を受けなければならない。
１．支部役員
２．事業計画および収支予算
３．事業報告および収支決算
４．財産目録および貸借対照表
５．重要なる財産の処分
６．支部規約の変更
７．その他支部理事会において必要と認めた事項

（資産および会計）
第１６条　本支部の財産は次のとおりとし、支部長がこれを管理する。
１．本部からの交付金
２．寄付金
３．その他
２　本支部の会計年度は、毎年４月１日より翌年３月 31 日までとする。

付則　本規約は昭和 34 年 5 月 18 日より施行する。
本規約は昭和 53 年 6 月 8 日に改正する。
本規約は平成 6 年 6 月 15 日に改正する。
本規約は平成 17 年 4 月 20 日に改正する。

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

北海道の雪氷　　No.26

ISSN－1340－7368

2007年9月30日発行
発行　日本雪氷学会北海道支部
〒060-0819　札幌市北区北19条西8丁目
北海道大学　低温科学研究所内