ISSN－1340－7368

公益社団法人　日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

第 34 号

2015 年 9 月

発行　公益社団法人　日本雪氷学会北海道支部

目 次

巻頭言 ----------1
2015 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文 ----------7
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2014 年度事業報告----------139
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2015 年度事業計画----------144
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2014 年度収支報告----------146
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2015 年度収支予算----------147
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2015 年度役員名簿----------148
公益社団法人日本雪氷学会北海道支部規程 ----------149

表 紙

画 ：斎藤新一郎
題字：福沢卓也

（表紙解説） 糠平温泉郷からのウペペサンケ山

一般社団法人北海道開発技術センター
斎藤新一郎

十勝三股森づくり 21 の，月１の例会に出席のため，上士幌から三股へ向かう途中，幾つものトンネルを抜けて，ぬかびら源泉郷に入ったら，目の前に大きく，残雪の煌めくウペペサンケ山が見えた．博物館友の会のころから，もう 20 余年間も，毎年のように眺めてきた．ある年，友の会の人々と，この山に登り，高い尾根筋において，アカエゾトウヒおよびトドモミの伏条繁殖――枝の接地による不定根の発生と枝先の立ち上がりとによる子木の独立――を見出した．氷河期においては，こうして，タネ無しで，世代交代していたのであろう．

巻 頭 言

支部長　苫米地　司
（北海道科学大学学長）

建築分野では，建築物の豪雪被害が発生すると被害調査などが実施されるものの，継続的な研究が実施されない状況が長らく続いていました。こうした中で私自身，1981 年に発生した「56 豪雪」を機に，恩師の助言で「建築と雪」との関わりを研究テーマとした研究活動に従事することになりました。当時は屋外観測が主であったことから，「夏場に試験体作製，冬場に観測」を繰り返していました。これらの成果は，雪氷学会北海道支部研究発表会で発表することが常でありました。「北海道の雪氷」をみるたびに，30 年以上も前の支部研究発表会で緊張しながら発表している自分自身の姿が思い出されます。その後も，毎年発表を続け，懇親会などで気象学や雪氷物理を専門とする研究者の皆様との交流は，研究の進め方や測定手法の伝授の場でもあり，新鮮なものがありました。こうした環境の中で，建築分野の研究者も徐々に増え，「建築雪氷工学」と言える分野も構築され，自分自身の成長の場であったように思います。

時を経て，大学院生を指導するようになってからは，大学院生に雪氷学会北海道支部研究発表会での発表を必修とし，院生にも毎年発表をさせ，院生達の成長の場でもあったように思います。発表が終わると，「北海道の雪氷」に論文として投稿することになるのですが，院生にとって 4 ページの原稿は大変な努力が必要で，指導も大変だったことが思い出されます。当時は製本されて，表紙は齋藤新一郎さんの版画で飾られ，パラパラめくりながら自分自身の論文を見つけて，にんまりとしている院生の姿も懐かしく思い出されます。2011 年には，北海道雪氷賞（通称，「北の風花賞」）が創設され，2013 年度には表彰規定の変更が行われ，「北の風花賞」，「北の六華賞」，「北の蛍雪賞」に細分されました。これらの賞は院生も対象になり，院生の受賞者も現れるようになり，大きな自信に繋がっていると考えています。

日本雪氷学会の支部活動は，公益社団法人化に伴って大きな変革期を迎えているように思います。さらに，研究拠点も一極集中から分散され，研究テーマも日常生活に関わるテーマから地球規模のテーマまで広がってきています。今後も，支部研究発表会を中心とした支部活動になりますが，このような変革期には，時代に見合った新たな展開も必要と思われます。支部活動の充実には，支部会員の皆様の忌憚のないご意見や積極的なご協力は欠かせません。今後とも，支部活動へのご支援をよろしくお願いいたします。

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

2015 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文　目次

開 催 日：2015 年 5 月 15 日～5 月 16 日
開催場所：北海道大学　学術交流会館　小講堂

1．雪結晶の形態的な特徴について
－枝の文様が異なる六花の事例－ 7
油川英明（NPO 法人 雪氷ネットワーク）

2．札幌とその周辺における 2014-2015 年冬期の氷紋の観察 11
大鐘卓哉（小樽市総合博物館），東海林明雄（湖沼雪氷研究所）

3．野外におけるガス吸着式積雪 SSA 測定装置の運用 15
八久保晶弘（北見工業大学），山口悟（防災科学技術研究所），
堀雅裕，谷川朋範（宇宙航空研究開発機構），
杉浦幸之助（富山大学），的場澄人（北海道大学 低温科学研究所），
庭野匡思，朽木勝幸，青木輝夫（気象研究所）

4．シリカゲル細孔に生成した MH の熱分析および安定同位体分析 19
太田有香，八久保晶弘（北見工業大学），竹谷敏（産業技術総合研究所）

5．風洞型装置により生成した表面霜の剪断強度 23
八代裕平（北海道教育大学大学院 札幌校・岩見沢校），
尾関俊浩（北海道教育大学 札幌校）

6．児童の参加性を考慮したイグルー作りの実践 27
大鐘卓哉（小樽市総合博物館）

7．北海道における近年の大雪・暴風雪時の気圧配置と地域別発生の特徴 31
原田裕介，松澤勝（（国研）土木研究所 寒地土木研究所）

8．北海道における近年の降雪特性 35
松岡直基，中林宏典，谷口 恭，小松麻美（（一財）日本気象協会北海道支社）

9．北極海氷域減少に伴う東アジアの寒冬と成層圏過程の役割 39
山崎孝治，中村哲（国立極地研究所／北海道大学），
岩本勉之（国立極地研究所／新潟大学），本田明治，浮田甚郎（新潟大学），
三好勉信（九州大学），小川泰信，冨川喜弘（国立極地研究所／総合研究院大学）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

10．北極海航路の氷況と可航性に関する研究　43
森下裕士（北見工業大学大学院），舘山一孝（北見工業大学），
大塚夏彦（北日本港湾コンサルタント）

11．高周波水位測定によるカービングの統計解析と周波数解析　47
箕輪昌紘（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
杉山慎（北海道大学 低温科学研究所），
榊原大貴（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
ポドリスキ エヴゲニ（北海道大学 低温科学研究所）
大橋良彦（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
澤柿教伸（法政大学 社会学部），内藤望（広島工業大学 地球環境学科），
スクヴァルカ ペドロ（パタゴニア氷原博物館）

12．南極半島リビングストン島における氷河熱水掘削　51
杉山慎（北海道大学 低温科学研究所），
ナヴァロ・フランシスコ（マドリッド工科大学），
澤柿教伸（法政大学社会学部），
瀬川高弘（国立極地研究所 新領域融合研究センター），
大沼友貴彦（千葉大学理学部），
ヴァシレンコ・エヴゲニ（ウズベキスタン科学アカデミー）

13．暴風雪被害から身を守る車両内装備品の実践的な評価　55
根本昌宏，尾山とし子、山本美紀（日本赤十字北海道看護大学）

14．除排雪民具に関する所蔵分布調査
－北海道におけるジョンバの適応性－　59
小西信義（(一社）北海道開発技術センター），
佐々木亨（北海道大学 大学院文学研究科）

15．北海道豪雪過疎地域における広域的除排雪ボランティアシステム構築に関する実践的研究（5）
－参加回数で異なる参加動機とエンパワーメント－　63
中前千佳，小西信義，村中康平，原文宏（(一社）北海道開発技術センター）

16．豪雪地高齢者の身体活動とプロダクティビティ　67
須田力（NPO 法人 雪氷ネットワーク），朝日保（士別市スノーシュークラブ），
輿水賢治（士別市教育委員会），竹内健太郎，丸孝則（士別市体育協会），
富田真未（(一社）北海道開発技術センター）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

17．冬期における高齢者の転倒不安に関するアンケート調査　71
冨田真未，金田安弘，大川戸貴浩（(一社）北海道開発技術センター），
須田力（NPO 法人ノルディック・ウォーク連盟），鈴木英樹（北海道医療大学），
朝日保（士別市スノーシュークラブ），輿水賢治（士別市教育委員会），
竹内健太郎，丸孝則（士別市体育協会）

18．札幌市における転倒予防を意識した市民生活の実状　75
永田泰浩，金田安弘，冨田真未（(一社）北海道開発技術センター）

19．冬季に強雨を受けた積雪の融雪期における観測結果　79
西原　照雅（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）

20．2015 年 2 月北海道羅臼町における積雪調査報告　83
白川龍生(北見工業大学)，小倉美紀(株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道)，
亀田貴雄（北見工業大学）

21．150212 尻別岳雪崩事故調査報告　87
榊原健一（北海道医療大学），荒川逸人（野外科学株式会社），
阿部幹雄（株式会社極食），日本雪氷学会北海道支部 雪氷災害調査チーム

22．地震による雪崩発生リスク評価に関する研究
－地震応答解析に基づく雪崩発生条件の検討－　91
千葉隆弘，佐藤雄輝（北海道科学大学）
原田裕介，大宮哲，伊東靖彦（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
松下拓樹（(国研）土木研究所　雪崩・地すべり研究センター）

23．建築物の軒部に作用する積雪荷重の実測　95
伊東敏幸，千葉隆弘，苫米地司（北海道科学大学）

24．構造部材の着雪性状に関する基礎的研究
－柱部材を対象とした着雪の屋外観測－　99
佐藤雄輝，千葉隆弘，苫米地司（北海道科学大学）
大塚清敏，田畑侑一（株式会社大林組技術研究所）

25．多雪地方における雪囲いの多様な手法　103
斎藤新一郎（(一社）北海道開発技術センター）

26．新しいタイプの道路防雪柵についての風洞実験による防雪機能調査　107
山﨑貴志，住田則行，渡邊崇史（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

27．新型路側設置型防雪柵の開発について
－現地観測による防雪機能調査－　111
渡邊崇史，松澤 勝，小中 隆範（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
金子学（北海道開発局 函館開発建設部 江差道路事務所）

28．ロシア・サハリン市街地におけるデブリ被覆が人工積雪の融解に及ぼす影響　115
Debris-modulated ablation of anthropogenic snow patches in urban areas of Sakhalin, Russia
Evgeny A. Podolskiy (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University),
Valentina A. Lobkina, Yuri V. Gensiorovsky (Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences),
Emmanuel Thibert (Irstea, UR ETGR, Centre de Grenoble / Univ. Grenoble Alpes)

29．新たな非塩化物系凍結防止剤の開発に関する研究　119
佐藤賢治，藤本明宏（(国研）土木研究所 寒地土木研究所),
切石亮（北海道開発局 札幌開発建設部),
徳永ロベルト，高橋尚人（(国研）土木研究所 寒地土木研究所),
中島範行（富山県立大学 工学部）

30．吹雪時の降雪強度把握に向けた温水式降水量計と二重柵基準降水量計の比較観測　123
大宮哲，原田裕介，松澤勝（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）

31．没入型３D-VR システムによる吹雪の視覚的再現　125
菅原幸夫（北見工業大学)，高橋修平（北海道立オホーツク流氷科学センター）

32．ホワイトアウトと雪粒子　127
竹内政夫（NPO 法人 雪氷ネットワーク）

33．吹雪量推定経験式に関する理論的一考察　131
佐藤隆光（(一財）日本気象協会北海道支社）

34．吹雪時の視程低下に及ぼす沿道環境条件の影響について　135
－吹雪時の移動気象観測事例より－
武知洋太，松澤勝，伊東靖彦，國分徹哉（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

雪結晶の形態的な特徴について
－枝の文様が異なる六花の事例－
On the characteristic formation of snow crystals -An example of a crystal having six branches of different patterns-

油川英明（NPO 法人 雪氷ネットワーク）
Hideaki Aburakawa

１．はじめに

樹枝状結晶などの板状雪結晶は，「裏」面と称される結晶の内面に特有のレリーフ文様が形成されている[1)]．そして，その文様は，いわゆる六花の結晶の場合，六つの枝が対称的でほとんど同じ形態であるが，それは，天然の雪結晶が雪雲内を回転しながら落下・成長するためであるとみなされており[2)]，一般には妥当なことと理解される．ところが，時として六花にはレリーフ文様の枝とそのような文様の無い平坦な枝とが共在したいわゆる文様混合型の結晶が見られる．

雪結晶が水蒸気の昇華成長によるものとした従来の気相成長説[2)]に則るならば，この文様混合型結晶は，結晶の周囲の水蒸気分布が過飽和かつ不均等という状態で，さらに，結晶が成長するまでしばらくの間，その状態が保持されていなければならないことになる．しかし，天然においてそのような現象を見出すことは極めて困難であろう．つまり，雪結晶の気相成長説については，霜の結晶も同様であるが，これまで自明とされてきたこと，例えば昇華ということなどについて具体的に検証し，天然の現象に沿うように検討される必要があるのではないかということである．従来の学説の不合理性をそのままに甘受することは，研究の方向を逸するばかりでなく，その理念をも損なう恐れがあるものと危惧される．

本報告においては，上記の文様混合型の雪結晶を紹介し，その成因及び形成条件について考察した結果を述べるものである．

２．文様混合型雪結晶の観察例

いわゆる六花などの板状結晶は，図 1 に示すように，一般には六つの枝のレリーフ文様がほぼ同じように形成されている．このような雪結晶は，前述のように，雪雲内において回転しながら落下・成長してくることにより，結晶の各枝は同じ成長条件によって形づくられてきたものと理解されている[2)]．

しかし，雪結晶のなかにはレリーフ文様の枝とそのような文様の無い枝とが混合した六花も見られる．その一例を図 2 に示す．これは，大雪山系旭岳の麓で観察されたもので，ここではこのような雪結晶を文様混合型結晶と呼称することにする．

図 2 の文様混合型結晶は，レリーフ文様のある枝が上方，無い枝が下方に位置する二重構造の組合せ六花[1)]となっている．なお，この結晶の写真は，図 1 の場合と同様に，被写体である雪結晶には照明の偏りがないように撮影されていることから，枝の

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

文様の有無は結晶そのものの形態であるとみなして差し支えないであろう．

また，文様混合型の雪結晶は著者以外によっても観察されており，それらをまとめて図 3 に示す．それぞれの結晶において，レリーフ文様の欠損している枝が矢印で示されている．そして，文様のある枝と無い枝の各々がやはり上下の位置関係にあることが各結晶の枝の交差状態から判別できる．なお，図 2，3 に示された文様混合型結晶は，いずれも文様の有無に関わらず 6 つの枝の外形はみな同じ形態となっている．

３．文様混合型雪結晶の成長について

上述のような文様混合型雪結晶はどのような成長過程を経てきたものであろうか．雪結晶の成長については，前述のように気相成長説[2)]が定説となっているが，その説によれば，このような結晶の成長は，その周囲の水蒸気量が過飽和で，かつ各枝の形態に応じた水蒸気分布が必要になる．しかも，そのような水蒸気の状態は，微細な氷晶から数ミリメートルの結晶に成長するまでの間，一定に保持されていなければならないことになる．このようなことは，天然においてはほとんど存在し得ない現象であると言わざるを得ない．

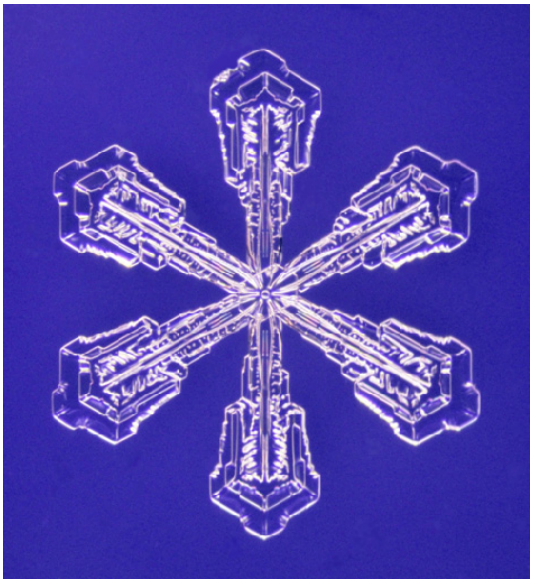


図 1 一般的な六花型の雪結晶．各枝の文様はほぼ同じ形態．

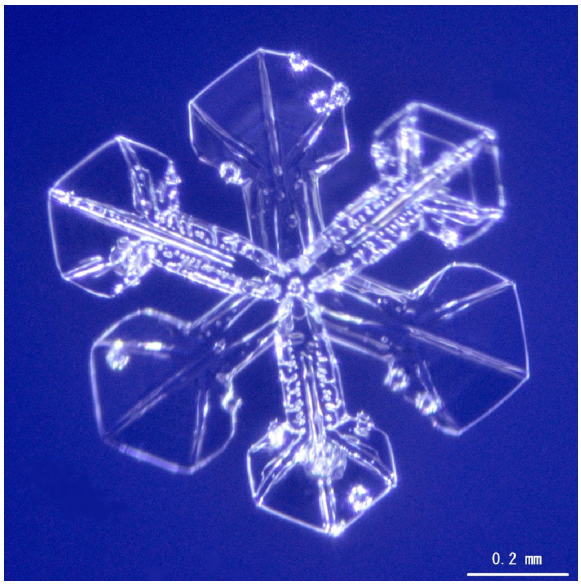


図 2 文様混合型雪結晶．レリーフ文様の枝と文様のない平坦な枝とが上下の二重構造になっている．

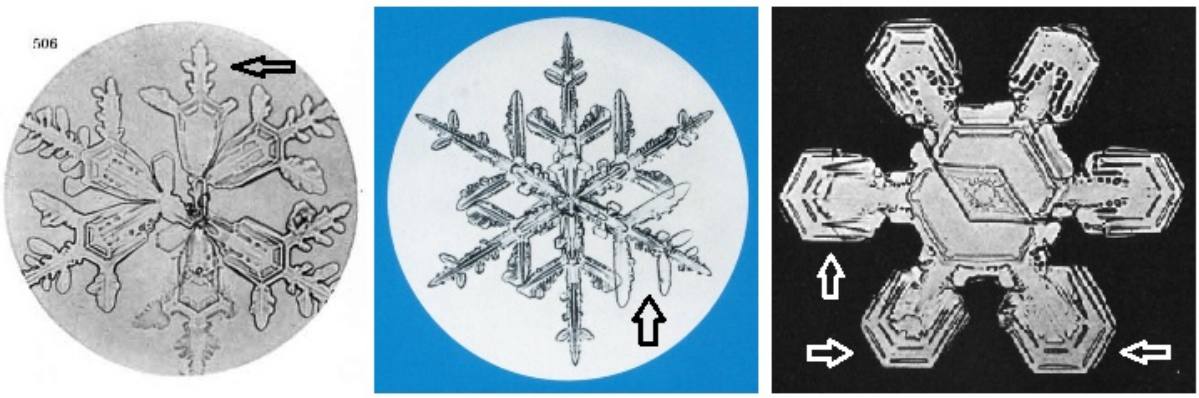


図 3　文様混合型雪結晶の例．図の左よりそれぞれ中谷[2)]，小林[3)]，Bentley[4)]の写真．各結晶の矢印を付した枝はレリーフ文様が欠損している．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

ところで，雪結晶の枝の文様は相応の厚みによる凹凸状あるいは階段状の構造によるものである[2]とすれば，文様混合型結晶の場合，文様のある枝は文様の無い枝と比較して，水分量が多く供給されて厚く成長したことになる．しかし，一つの雪結晶に対してそのような偏りのある水分供給が天然で起こり得るであろうか．それは，水蒸気という気体での供給では非現実的なことであるが，過冷却微水滴つまり一定の形状を有した塊状の形態，今の場合は雲粒による供給ということであれば可能であるように考えられる．実際，天然の雪結晶の一個体についてそのような偏った雲粒の付着現象が観察されているので[2]，それを図 4 に示す．

図 4 の雪結晶は雲粒付鼓型結晶で，それを上面及び側面から撮影した写真である．この図から明らかなように，二重角板の上方が下方のものよりも厚く成長し，また雲粒も多く付着している．そして，二つの角板からは短い針状結晶が成長している．雲粒が結晶を成長させるか否かについてはその凝結生成の条件に因る[5]ことから，図 4 の結晶の成長は次のように推察される．すなわち，上方の角板が下方のものよりも多くの雲粒を捕捉し，その雲粒のなかであるものは結晶の角板を厚く成長させ，また，一部の雲粒は針状結晶を成長させ，そして結晶化の条件を有しない雲粒は氷球として凍結付着する．その結果，二つの角板は，それぞれが捕捉した雲粒に応じて厚みを増し，凍結雲粒などを形成することから，それらの差により図 4 のように不均等に成長したものとみられる．それ故，図 2，3 の文様混合型結晶は，上下二重の氷晶の構造をもとに，雲粒による水分の供給に応じて，厚い方は文様の枝，薄い方は平坦な枝として成長した結果であり，また，各結晶の枝の外形がほぼ同じであることから，水分の供給差は文様の形成に関わる程度と推察される．ところで，図 4 の結晶周辺の雲粒は一般には等方的な分布状態にあるとみなされるが，上記の雪結晶の場合のような雲粒の付着，つまり水分の供給差が何故に生じるのか，以下に考察してみよう．

4．雪結晶の不均一な成長と帯電現象

雪結晶への偏った雲粒の付着原因のひとつとして，雪結晶及び雲粒の帯電現象が考えられることから，以下のような実験を行った．それは，過冷却微水滴から氷

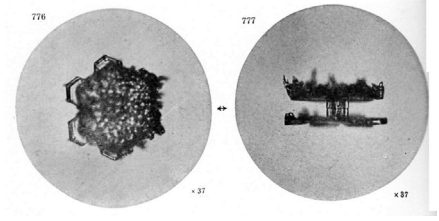


図 4 中谷[2]による雲粒付鼓型結晶．図の左は結晶上面から，右は側面からの撮影．上側の角板が厚く，雲粒の付着も多い．

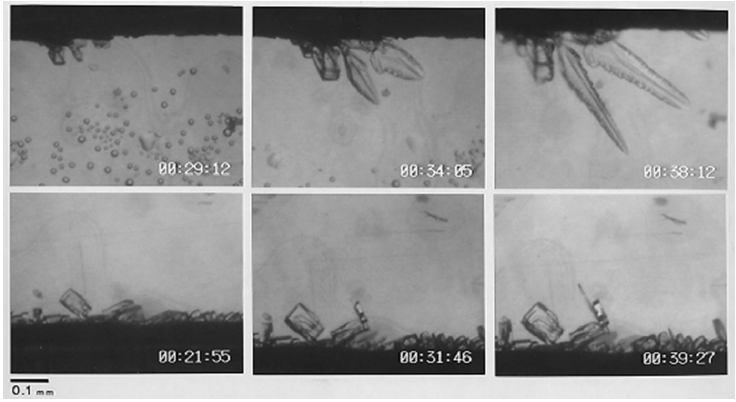


図 5 直流電圧を負荷したときの過冷却微水滴の集合と氷晶成長の状態．図の上側の黒帯はプラス，下側の黒帯はマイナスの電極．各写真の数字は時：分：秒で実験の経過時間を示す．図の左側上下の比較から，プラス側に過冷却微水滴が多くなっている．また，結晶の形態は，プラス側では板状，マイナス側では柱状が見られる．実験の温度は－15℃で一定．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

晶を生成させる装置[5)]において，その実験容器内に１cmの間隔で正負の電極を貼り付け，そこに20Vの直流電圧を負荷したものである．その結果を図５に示す．この図に示されたように，電極の差異により過冷却微水滴の集まり方に違いがみられ，プラスの電極側に比較的多くの微水滴，つまりは雲粒が集積している．そして，氷晶はプラス，雲粒はマイナスに帯電しているとみなされることから，図 4 の鼓型結晶の雲粒付着について推察するならば，この結晶は上側の角板の上面がプラス，下側の角板の下面がマイナスに帯電していて，雲粒がマイナスということで，上側の角板の上面には多くの雲粒が付着し，下面には雲粒の付着が余り見られないということになる．なお，このような氷晶や雲粒の帯電現象については今後の探求課題である．

５．まとめにかえて

文様混合型結晶は，雪結晶が液相から成長すること[5)]の一例証としてとり上げてきたが，雪結晶の液相成長については理論的にも示されている[6)]．それは，結晶の表面には一定の液膜が形成され，その厚さがエネルギー的平衡を保持するように結晶が成長するというものである．ただ，この理論では，氷晶表面を覆う液膜の厚さは水分子数個程度に見積もられ，それはいわゆる疑似液体層と呼ばれてきた．そして，この見積もりは半無限の氷塊表面についてのもので，また，いくつかの因子は仮定の値であった．これに対して，過冷却微水滴からの氷晶成長の実験[5)]では，液膜の厚さは図６に示すように1～2 μｍの値が得られた．つまり，氷晶は相応の厚さの液膜に覆われて雲粒を捕捉し，雪結晶へと液相成長をするものであると言える．そして，図６の液膜の盛り上がりが帯電による作用であるとすれば，先に述べた文様混合型結晶の成因が一層妥当なものとなるであろう．

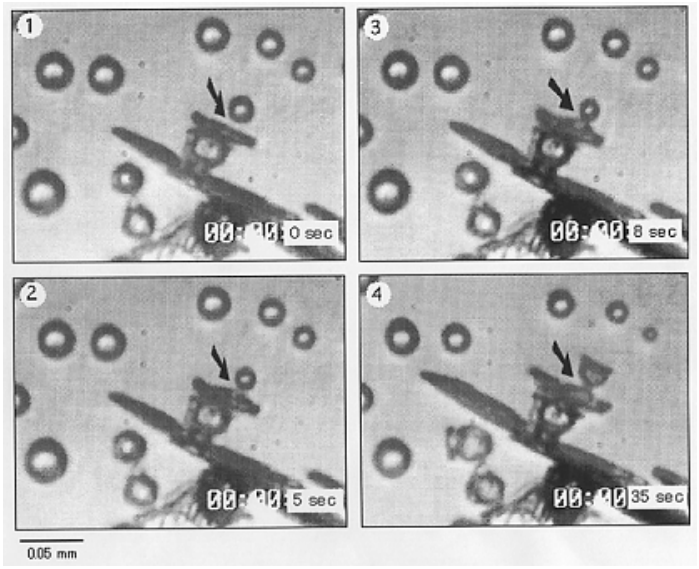


図 6 氷晶表面の液膜．板状結晶の成長を側面から観察したもので，水滴を捕捉するように液膜の盛り上がりが見られる(図の矢印)．図の③から液膜の二次元的な厚さとして 1～2 μｍが得られた．各図右下の数字は経過時間（秒），実験温度は－15℃．

【参考・引用文献】

１）油川英明,1992: 雪結晶の「裏」と「表」について，*雪氷*，**54**，123-130
２）中谷宇吉郎,1949: 雪の研究，岩波書店，東京，161pp.
３）小林禎作，1983: 冬のエフェメラル，北海道大学出版会，札幌，39pp.
４）Bentley, W. A. and W. J. Humphreys, 1931: Snow Crystals, McGraw-Hill Book Co.,New York, 226pp.
５）油川英明, 2014: “中谷現象”としての人工雪の生成，*北海道の雪氷*，**33**，113-116
６）Kuroda, T. and R. Lacmann, 1982: Growth kinetic of ice from vapour phase and growth forms, *J. Crystal Growth*, **56**, 189-205

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

札幌とその周辺における 2014-2015 年冬期の氷紋の観察
Observation of Snowmelt patterns on ice cover in 2014-2015 winter Sapporo and the outskirts

大鐘卓哉（小樽市総合博物館），東海林明雄（湖沼雪氷研究所）
Takuya Ohgane，Akio Toukairin

１．はじめに

氷紋は，湖沼の積雪を伴う氷板の上に現れる紋様で，氷と雪と水が関与して形成される．氷紋が発生するには，氷板に開いた穴からその下の水が浸み出し，その水が少しずつ氷板上の雪を融かし，成長する過程を経る．氷紋については，これまで，東海林 [1)]や Victor[2)]による研究報告などがある．また，札幌とその周辺における氷紋の観察記録は，梅田 [3)]，大鐘 [4)]，東海林 [5)]による報告がある．

本研究では，2014 年から 2015 年にかけての冬期に，札幌とその周辺の水域における氷紋の発生状況を把握するために観察を行った．その結果，多様な氷紋を確認したので，その概要を報告する．

２．観測

観測を行った湖沼等は，札幌市北区の北海道大学構内にある大野池，札幌市中央区の北海道庁内赤れんが庁舎前にある池，中島公園の菖蒲池（以下それぞれを，北大の池，道庁の池，中島の池と略記），小樽市の小樽運河と勝納運河，岩見沢市の大沼，新篠津村の篠津湖であった．それぞれの場所を図 1 に示す．

北大の池，道庁の池，中島の池においては，2014 年 12 月から 2015 年 3 月までの期間において氷紋が発生しそうな日に，それぞれ 7 回，15 回，11 回観察した．ただし，北大の池と中島の池については，1 月と 2 月は氷板が厚く積雪も深いので，氷紋の発生を期待できないために観測を行わなかった．小樽運河と勝納運河においては 2014 年 12 月から 2015 年 3 月まで不定期にそれぞれ 55 回と 15 回を観測した．大沼と篠津湖においては，2015 年 3 月 31 日にのみ観測した．観測において，氷板の状況，氷紋の有無を観察し，氷紋を確認した場合にはその詳細な状況を記録した．

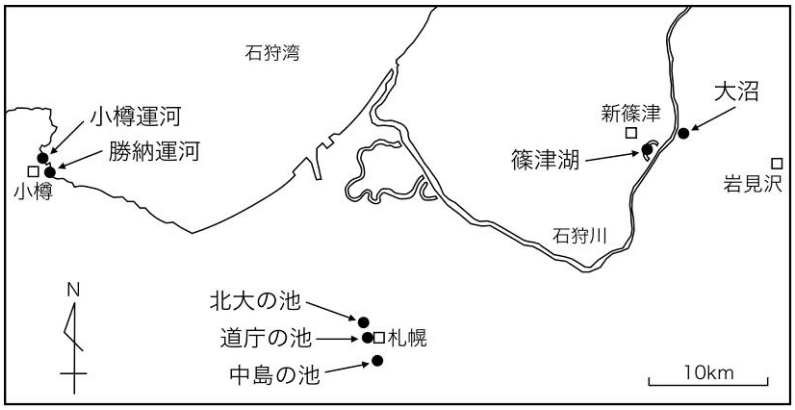


図 1　氷紋の観測を行った場所

表 1　各観測地における観察回数と氷紋の確認回数

場所	観察回数	確認回数
北大の池	7	3
道庁の池	15	12
中島の池	11	5
小樽運河	55	0
勝納運河	15	1
篠津湖	1	0
大沼	1	1

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

３．結果

観測の結果，対象の湖沼等において氷紋を確認したのは，北大の池で 3 回，道庁の池で 12 回，中島の池で 5 回，小樽運河で 0 回，勝納運河で 1 回，篠津湖で 0 回，大沼では 1 回であった（表 1）．それぞれの観測地における観察結果の詳細を以下に示す．

３．１ 北大の池，道庁の池，中島の池における観測結果

北大の池，道庁の池，中島の池において観察した状況を表 2 に示す．

12 月 4 日の観測では，それぞれの観測地において氷紋の一種である円形浸水斑を確認したが放射状氷紋などは確認できなかった．

12 月 7 日に，中島の池で放射状氷紋を確認したとの情報[6]を得て，翌 8 日に観測を行った結果，大小さまざまな多数の放射状氷紋の他に，氷面のスケートの跡から水が浸みだして形成された懸濁氷紋（図 2）や，池に通じる水路中央部に沿って一直線上に多数形成された放射状氷紋（図 3）など，特徴的な氷紋を確認した．さらに同日，北大の池では直径数 m の放射状氷紋を数個，道庁の池では放射状，同心円（図 4），流線，懸濁の氷紋などを多数確認した．

表 2 北大の池，道庁の池，中島の池における観察日と主に確認された氷紋・氷の状況

月	日	北大の池	道庁の池	中島の池
12	4	円形浸水斑	円形浸水斑	円形浸水斑
	7※	—	—	放射状※
	8	放射状	放射状・同心円・流線・懸濁	放射状・流線・懸濁
	9	—	同心円・放射状・懸濁	—
	11	—	放射状・懸濁	放射状・流線
	14	（氷板）	放射状・懸濁	（氷板）
	17	（氷板）	放射状	放射状
	19	（氷板）	（氷板）	—
	23	—	放射状	（氷板）
1	25	—	放射状	—
2	13	—	放射状	—
	14	—	放射状	—
3	2	（氷板）	浸水斑	（氷板）
	19	流線	（氷板なし）	（氷板）
	27	—	（氷板なし）	（氷板）
	31	—	（氷板なし）	（氷板なし）

※12 月 7 日の情報は渡邊私信[6]，—：観測未実施，
（氷板）：氷板を確認したが氷紋を確認できず，
（氷板なし）：氷板を確認できず．

図 2 中島の池で確認したスケート跡から発生した懸濁氷紋
（2014 年 12 月 8 日撮影）

図 3 中島の池に通じる水路で確認した直線状に多数発生した放射状氷紋
（2014 年 12 月 8 日撮影）

図 4 道庁の池で確認した同心円氷紋
（2014 年 12 月 8 日撮影）

図 5 道庁の池で確認した交錯した放射状氷紋（2014 年 12 月 9 日撮影）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

翌 9 日にも道庁の池で観測を行った結果，当日の降雪により新たに氷紋が形成され成長していく過程などを目の当たりに観察することができた．特徴的な事例として，古い放射状氷紋に雪が積もり，新たに放射状氷紋が形成され，2 つの放射状氷紋が交錯した事例を図 5 に示す．

他に，道庁の池では，12 月の 11,14,17,23 日，1 月 25 日，2 月 13 と 14 日にも多様な氷紋を確認した．3 月 2 日に確認した氷紋は，周辺部に懸濁物が集積した直径数十 cm の浸水斑で，多数が隣接し，細胞のように見えるセルパターンを形成していた．それぞれには放射状氷紋を伴わず，中心に穴のみがあった（図 6）．3 月 19 日以降は，氷が全て融解していて，氷がなかった状況だったので氷紋を確認できなかった．

北大の池では，3 月 2 日には氷板が厚く，氷紋を確認できなかったが，3 月 19 日には氷板の融解が進んでいて，一部に流線氷紋を確認した．

中島の池では，3 月 27 日まで一部に融解が進んだ氷板があったが，氷紋を確認できなかった．3 月 31 日には氷板が全て融解してしまって，氷紋を確認できなかった．

図 6 道庁の池で確認した多数の浸水斑（2015 年 3 月 2 日撮影）

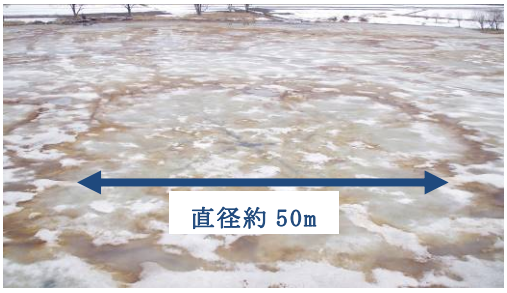


図 7 大沼で確認した外周部に懸濁物が集積した直径 40～50 m の浸水斑（2015 年 3 月 31 日撮影）

図 8 大沼で確認した亀裂にほぼ直交する流線氷紋（2015 年 3 月 31 日撮影）

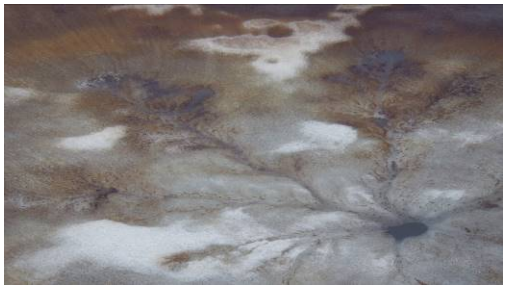


図 9 大沼で確認した放射状氷紋先端部から懸濁物を伴って広がる流線氷紋（2015 年 3 月 31 日撮影）

３．２ 小樽運河と勝納運河における観測結果

小樽運河では，期間中に積雪を伴う結氷を確認できず，氷紋を 1 回も確認できなかった．

勝納運河では，期間中に積雪を伴う結氷を複数回確認したが，直径数 m の放射状氷紋を伴う円形浸水斑を 10 個程度確認したのは，12 月 7 日の 1 回のみであった．

３．３ 篠津湖と大沼における観測結果

3 月 31 日の篠津湖では，融解の進んだ積雪を伴う氷板で全面覆われていたが，氷紋を確認できなかった．

同日の大沼では，沼全体が積雪を伴う氷板で覆われていて，ほぼ全面に多数の多様な氷紋を確認した．沼の有機物と考えられる褐色の懸濁物が，氷紋に沿って色の濃淡を形成し，白い積雪面に見られる氷紋とは異なる独特の様相が見られた．沼の中央部をほぼ南北にまたぐ橋から見て東側では，放射状氷紋を伴う直径が 20 m 程度の浸水斑が数十個あり，それぞれの外周部には懸濁物が集積していた．最大の浸水斑の直

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

径は，50 m 程度であった（図 7）．それらが東側全域に見られ，それぞれの浸水斑は交錯していなかった．西側には，橋にほぼ平行に沿って生じた亀裂から直交する方向に数十 m 延びた流線氷紋を確認した（図 8）．さらに，直径数 m の放射状氷紋放が複数点在していて，クモヒトデの触手のような水路の先端部からは，懸濁氷紋や流線氷紋が見られた（図 9）．大きな放射状氷紋の直径は，10m ほどあった．

４．まとめ

2014-2015 年冬期の札幌とその周辺における湖沼等において，多種多様な氷紋を確認した．これまで氷紋は，あまり注目されていない現象ではあったが，珍しくない頻度で発生することが確認できた．

初冬に，北大の池，道庁の池，中島の池のいずれでも，気温の寒暖に伴い氷板の形成と融解が起こるので，昨期 [5]に続き今期も氷紋を確認した．さらに，本研究では厳冬期でも道庁の池で氷紋を確認した．これは，人為的に池の水を循環させている影響で，氷板の凍結融解が自然状態の池よりも多く繰り返されるためだと考えられる．

小樽運河と勝納運河では，潮汐による海水の流出入の影響で日単位の融解が起こり，積雪を伴う氷板形成が少ないため，氷紋確認頻度は少ない．小樽運河では，これまでに氷紋を確認 [4]しているが，今期は確認できなかった．今期は例年よりも気温が高く，小樽運河が結氷することがほとんどなかったためだと考えられる．勝納運河では，昨期も氷紋を確認していて，今期も 1 回確認した．勝納運河では，大規模な投雪の影響で小樽運河よりも氷板形成が起こりやすいためだと考えられる．

初冬に，篠津湖と大沼で氷紋を確認した梅田 [3]の報告事例がある．本研究による晩冬の 1 回のみの観測で，篠津湖では氷紋を確認できなかったが，大沼では懸濁物を伴う多種多様で大きな氷紋を確認したことは特筆すべきことである．橋の東側にあった外周部に懸濁物が集積した浸水斑が大きいことは，長い時間をかけて成長していったことをうかがわせる．橋の西側にあった亀裂は，道路からの投雪の重みで生じたと考えられる．その亀裂から，直交する方向に水が浸水することで，流線氷紋が発生したと考えられる．橋を境界に，東側と西側で氷紋の紋様形態が異なることが，投雪による影響なのかは今後着目していきたい．

本研究の観測地における氷紋の発生状況については，おおよそ把握することができた．今後は，どのような条件で，どのように氷紋が発生・成長・消失するのか，一連の過程を継続的に観測し，氷紋のメカニズム解明を進めていきたい．また，多種多様な氷紋が確認されたので，分類や名称についての指針を示していきたい．

【参考・引用文献】

1)東海林明雄，1973：放射状模様氷面の生成機構 I，*雪氷*，**35**，4，173-179.
2)Victor C.T.and Wettlaufer J.S.,2007:Star patterns on lake ice, *Phys. Rev.*,**E75** ,066105.
3)梅田麻也子，2009：氷紋の人工作成に関する研究，*北海道教育大学岩見沢校学士論文*，148pp.
4)大鐘卓哉，2014：小樽運河における結氷と氷紋の観察，*北海道の雪氷*，**32**，7-10.
5) 東海林明雄，2014：札幌市における‘放射状氷紋’と‘同心円氷紋’の観測，*北海道の雪氷*，**32**，11-14.
6)渡邊祥史，2014：2014 年 12 月 7 日に確認した中島の池における氷紋，*私信*

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

野外におけるガス吸着式積雪 SSA 測定装置の運用
Operation of the gas-adsorption type instrument for measuring snow SSA in a fieldwork

八久保晶弘（北見工業大学），山口悟（防災科学技術研究所），
堀雅裕，谷川朋範（宇宙航空研究開発機構），
杉浦幸之助（富山大学），的場澄人（北海道大学低温科学研究所），
庭野匡思，朽木勝幸，青木輝夫（気象研究所）
Akihiro Hachikubo, Satoru Yamaguchi, Masahiro Hori, Tomonori Tanikawa, Konosuke Sugiura, Sumito Matoba, Masashi Niwano, Katsuyuki Kuchiki, Teruo Aoki

１．はじめに

積雪アルベドは積雪粒子の粒径および不純物濃度に依存し，特に近赤外領域では積雪粒径の効果が大きいことが知られている [1]. 野外における従来の積雪粒径測定方法は，ルーペと粒度ゲージを用いた目視観察が主体であるが，積雪粒子の粒径の定義は明確ではない．我々の研究グループが実施している積雪断面観測では，従来方式の粒径に相当する積雪粒子の長径を d1 とし，また樹枝状六花の結晶の枝の幅や，ざらめ雪の単結晶粒，しもざらめ雪の条線の間隔などを d2 として，これらの最大値，最小値，中央値を各積雪層ごとに記録している．これまでの研究 [1,2]により，d2 は光学的粒径（光学的に等価な粒径）に近いとされている．このことから，d2 は粒径を代表する観測可能なパラメータとして用いられてきたが，積雪粒径には分布があるために，d2 の測定値は観測者間でばらつきが生じる．したがって，積雪粒径は雪質判定とともに観測者に依存する部分が大きい測定項目，と認識されてきた.

こうした積雪粒径に代わるパラメータとして，積雪の比表面積（Specific Surface Area，以後 SSA）が近年注目されている．比表面積は単位質量ないし単位体積当たりの表面積で定義され，積雪粒子表面での多重反射が本質である積雪アルベドとは密接な関連がある．値に幅のある積雪粒径に対し，積雪 SSA はただ一つの真値が存在するため，積雪アルベドを表わすパラメータとして期待される．積雪 SSA を測定する手法としては，片薄片から 2 次元断面を，また MRI や X 線 CT で 3 次元構造を得て画像解析を行なうなどの方法があるが，いずれも低解像度という問題をはらんでいる．我々は 2011 年からガス吸着式積雪 SSA 測定装置を開発してきた [3-6]. 本報では，測定装置の改良点や測定性能，現在も残る問題点等について，野外での運用の観点からまとめる.

２．吸着ガスの選定

ガス吸着法を積雪 SSA 測定に応用する研究は，2000 年前後にフランスの研究グループによって始められた [7-10]．単分子層吸着量を求めるための BET 理論は，多孔質体の SSA 導出に広く用いられており，通常は窒素を吸着ガスに用いる．しかしながら，窒素は SSA が 10^4–10^5 [m^2kg^{-1}]のオーダーの試料に向いており，SSA のオーダーが 10^0–10^2 [m^2kg^{-1}]である積雪試料に適用すれば，測定誤差との戦いとなる．SSA の測定可能範囲を決定するのは，測定温度における吸着ガスの蒸気圧である．氷は昇華圧の高い物質であることから，測定温度は可能な限り低いことが望ましく，また SSA が比

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

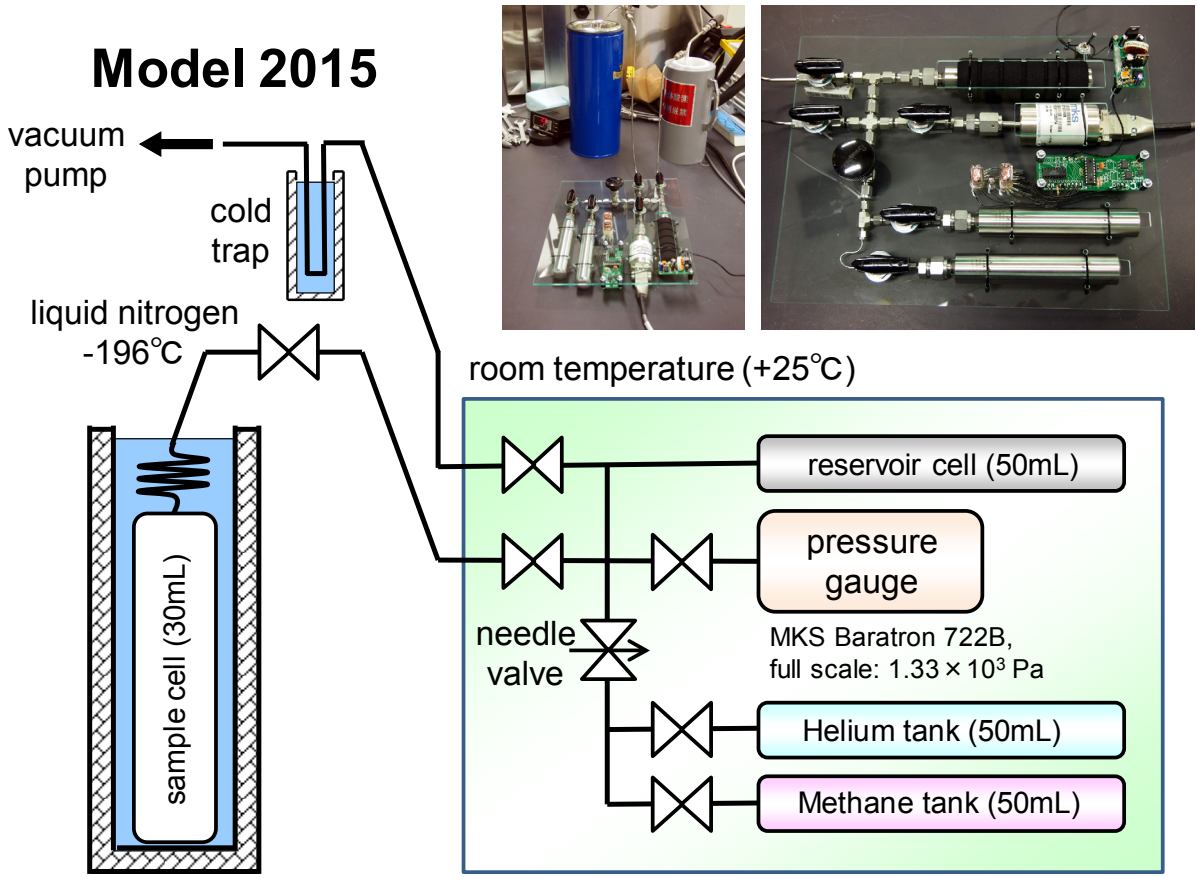


図 1　ガス吸着式積雪 SSA 測定装置（8 号機）とシステム構成図

較的小さい積雪では吸着量を容易に検出するために吸着ガスの蒸気圧は低いほうが有利となる．液体窒素温度で 1294 [Pa]であるメタンの蒸気圧 [10]は，積雪 SSA の測定に最適であり，我々もメタンを採用している．

他のガスでは，液体窒素温度で蒸気圧が 350 [Pa]のクリプトンを試したが [4]，安定した吸着等温線が得られにくい．一方，メタノールの融点である約-100℃でノルマルブタンを試したが，そもそも吸着自体がうまくいかない．これらのガスで不具合が生じる原因は不明である．野外での液体窒素入手の困難さを考え，氷と NaCl の共晶点（-21.3℃）でノルマルヘキサンを試したが [3,4]，この温度では氷の昇華圧が無視できず，測定値の信頼性に関わる．結論として，メタンが最適な吸着ガス，ということになるが，液体窒素の調達が必須であり，野外での運用に大きな制約をもたらしている．

３．測定装置および測定系の技術面

2011 年にプロトタイプが完成して以来，現在は 6～9 号機が現役で稼働中である．これらの基本設計はほぼ同じであり（図 1），4 号機までのモデルは試作機に位置づけられる．装置性能に影響する重要な点の一つに，配管内径とその長さが挙げられる．現在のモデルは主要配管に外径 1/8 inch の SUS 管を使用し，配管の長さを可能な限り短くしている．1 号機では外径 1/4 inch，2 号機では外径 1/16 inch の SUS 管を使用したが，前者では配管の自由度がなく，後者では測定時の圧力の読み取り値が安定せず誤差が大きかった．

本装置は中真空（100–0.1 [Pa]）領域で操作するため，低圧時にはガスの流れが分子

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

流に近づくこと，また試料容器（液体窒素温度）と装置本体（常温）との間の熱遷移（thermal transpiration）問題により，吸着後の圧力低下をうまく測定できていない可能性がフランスの研究グループより指摘されていた．熱遷移の効果を見積もったところ，最悪の場合でも積雪 SSA 測定値は 1.7%の過小評価に留まり，装置そのものの再現性（3%）よりも小さい，との結論を得た．

一方では，積雪試料容器のシール方法，すなわちパッキンの選択が問題となった．試料容器は，一定量の積雪試料をスムーズに入れることができ，かつ密封可能で，液体窒素温度から常温近くまでの温度変化にも耐える必要がある．我々は耐圧硝子工業製のステンレス製ポータブルリアクターTVS-N2 型（容積 30mL）を選択した．耐圧容器に通常用いられるテフロンパッキンでは，ステンレスとの熱膨張率の違いが原因で，液体窒素温度まで冷却するとシールが破れる．本製品では本体と組成のほぼ同じステンレスパッキン（炭素含有量の違いでわずかに柔らかい）が選択でき，またパッキンの取り扱い次第では 100 回を超える再利用が可能であることを確認している．

４．測定装置の利点および欠点

フランスの研究グループの装置と比較すると，装置占有体積はかなり小さく，縦 40cm×横 50cm×高さ 30cm 程度の大きさに全てが収まる．フランスの研究グループは大型のターボ分子ポンプを使用しているのに対し，我々の装置では小型油回転真空ポンプ（GHD-031, ULVAC）を使用しており，到達圧力は 0.07 [Pa]であるため，SSA 測定には支障をきたさない．測定に必要なガス類も予め本体のタンクに入れておくため，現場でのガスボンベ等の調達は不要，約 100 試料分の連続測定が可能である．

一方，液体窒素の使用はもっとも大きな欠点である．使用量は 1 日あたりの測定数にも依存するため一概には言えないが，2014 年の中札内村における 6 日間の測定 [5)]では，試料冷却・運搬・測定・真空ポンプ用トラップ等の全用途で約 35L を消費し，計 24 試料の SSA 値を得た．すなわち，1 データあたり 1.5L 程度を消費した計算となる．また，真空ポンプの運用には商用電源が必要であり，起動時のモーターには大電流が必要なため，例えば極地観測で使用される太陽光発電では電力的に厳しい．したがって，真の意味における野外測定は困難であり，液体窒素および商用電源が確保できる簡易ラボが必須となる．野外での作業は試料サンプリング，試料容器への封入およびドライシッパー（ベーパーシッパー）を用いた液体窒素温度までの冷却作業である．現場で試料を固定し，簡易ラボまで輸送する．ドライシッパーは，液体窒素を内部に吸収させて 2 週間近くの冷却能力を持つタイプが市販されており，航空機等にも搭載可能なため，現場では試料を保存してラボに持ち帰る，という運用スタイルが現実的と思われる．

５．他の積雪 SSA 測定手法との比較

近年，積雪 SSA を光学的に推定する手法が開発されている．既に市販されている IceCube（A2 Photonic Sensors, France）[11,12)]は，波長 1,310 nm のレーザ光源を内蔵する積分球の一部を積雪試料で置き換えることにより，試料の反射率を測定する装置である．球形粒子を仮定した理論計算値に基づき，反射率から積雪粒径を計算し，これを球相当粒径として SSA が求められる．すなわち，ガス吸着式と比較して間接的手法であることは否めないが，測定を迅速に行なえる利点がある．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

2015年2月に北海道中札内の自然積雪でガス吸着式積雪SSA測定装置とIceCubeの比較測定を実施したところ，10－60 [m^2kg^{-1}]の範囲でよく一致した．ガス吸着式では，ラボに持ち帰ってから1試料あたり約1時間の測定時間を要するのに対し，IceCubeでは現場（野外）で運用でき，測定時間は1試料あたり数分程度であった．

５．結言

我々は，2011年から開発してきたガス吸着式積雪SSA測定装置を実験室外に持ちだし，計100回以上の試料測定を行なってきた．現状として，メタンが積雪SSA測定に最適な吸着ガスであるため，吸着温度を保持するための液体窒素と真空ポンプ用の商用電源が必要となる．この2点が，極地等の野外観測では大きなネックとなっている．また，測定時間は1試料あたり1時間かかり，IceCube等の光学系装置には到底かなわない．フィールドでの運用にはこのように制限はあるが，他の測定原理とは完全に独立しており，広いレンジで信頼性の高いSSA値が得られるため，高SSA領域までカバーした光学系装置のキャリブレーション等に利用できると考えられる．

謝辞

本研究は科学研究費（基盤研究 S:23221004）および2013-2015年 JAXA GCOM研究費「GCOM-C/SGLI による雪氷アルゴリズム高度化・新規開発及び，地上観測と気候モデルによる検証に関する研究」の助成を受け，また平成 23-26 年度北海道大学低温科学研究所共同研究（「積雪変質・アルベド過程モデル開発のための積雪物理量及び熱収支に関する観測的研究 1-4」，代表者：青木輝夫）の一部として実施された．

【参考・引用文献】

1) Tanikawa, T., *et al.*, 2006: *Appl. Opt.*, **45**(21), 5310–5319.
2) Aoki, T. *et al.*, 2007: *Remote Sens. Environ.*, **111**, 274–290.
3) 八久保晶弘ほか, 2012: *北海道の雪氷*, **31**, 45–48.
4) Hachikubo, A., *et al.*, 2013: *Proceedings International Snow Science Workshop*, 7-11 October, 2013, Grenoble, France, 73–77.
5) 八久保晶弘ほか, 2014: *北海道の雪氷*, **33**, 121–124.
6) Hachikubo, A., *et al.*, 2014: *Bulletin of Glaciological Research*, **32**, 47–53.
7) Chaix, L. *et al.*, 1996: *C. R. Acad. Sci., Ser. IIa*, **322**, 609–616.
8) Hanot, L. and Dominé, F., 1999: *Environ. Sci. Technol.*, **33**, 4250–4255.
9) Dominé, F., *et al.*, 2001: *Environ. Sci. Technol.*, **33**, 4250–4255.
10) Legagneux, L., *et al.*, 2002: *J. Geophys. Res.*, **107**(D17), 4335, doi:10.1029/2001JD001016.
11) Gallet, J. -C., *et al.*, 2009: *The Cryosphere*, **3**, 167–182.
12) Zuanon, N., 2013: *Proceedings International Snow Science Workshop*, 7-11 October, 2013, Grenoble, France, 1020–1023.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

シリカゲル細孔に生成したMHの熱分析および安定同位体分析
Calorimetric and stable isotope analysis of methane hydrate formed in mesoporous silica

太田有香,八久保晶弘（北見工業大学），
竹谷敏（産業技術総合研究所）
Yuka Oota, Akihiro Hachikubo, Satoshi Takeya

１．研究の背景と目的

メタンハイドレート（MH）は，水分子で形成されたカゴ状構造にメタン分子が包接された，低温・高圧で安定な結晶である．大陸斜面の海底にみられるガス湧出域では，天然ガスと海水（堆積物間隙水），および低温高圧条件が揃うために，海底表層部に天然 MH が存在する．天然 MH は塊状のものもあるが，その多くは堆積層に対し層状や脈状に入っている．天然 MH が海底表層堆積物中で「その場」で生成していることはほぼ，間違いない．こうした地点の堆積物を電子顕微鏡で観察すると，サブミクロンオーダーの穴が無数に空いている珪藻がかなりの部分を占めていることがある．

Handa と Stupin [1]は，半径 7.0 nm のシリカゲル細孔中に生成した MH の平衡圧がバルク MH の場合の 2～10 倍も高いことを示した．これは，シリカゲル細孔が MH 平衡圧を低温高圧側にシフトさせることを意味する．Uchida ほか [2]は，直径 10.0～50.0 nm の細孔をもつ多孔質ガラス中に MH を生成し，バルク MH との平衡温度の差は細孔径に反比例することを示した．一方で，細孔径が 100 nm となると平衡圧曲線はバルク MH のそれにかなり近づく [3]. 海底堆積物中の珪藻の細孔径は 10 nm から 1 μm まで様々であるため, 堆積物粒子の表面効果が天然 MH に与える影響は限定的かもしれないが，無視できるとも言えない．

人工的に MH を生成した際，ゲストガスであるメタンの安定同位体分別の存在が報告されている [4]．すなわち，MH 生成時には，ハイドレート相は水素同位体比の小さい（軽い）メタン分子を優先的にカゴの中に包接する．一方で，メタンの炭素同位体については分別はないか，その差は検出限界以下である．これらの現象は，天然 MH が現在のガスから生成したものか，あるいは過去に生成して周囲のガスの安定同位体比が変化したのか（すなわち，古いのか），を議論するための指標の一つになるかもしれない．しかしながら，堆積物粒子の細孔がこうした安定同位体分別過程に影響を及ぼす可能性がある．

そこで本報告では，MH 結晶はその生成・解離過程で堆積物粒子の影響を少なからず受けているとの仮説のもと，先行研究 [1]とほぼ同様の細孔サイズのシリカゲル，および試薬として市販されている珪藻を入れて生成した MH の解離実験，ならびに MH 生成時のメタンの炭素・水素安定同位体比の測定を行なった．

２．試料生成方法

細孔直径 15 nm の乾燥させたシリカゲル（Sigma-Aldrich）3 g を 30 mL 耐圧容器に入れ，これをチャンバー内で常温の飽和水蒸気圧下に数日間さらし，水蒸気を十分に吸着させた．また一方では，-20℃の低温室内で珪藻土（Sigma-Aldrich）1 g と粉末氷

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

0.3 g を 30 mL 耐圧容器内でよく混ぜた．これらを液体窒素温度で真空引きした後，メタンで約 10 MPa まで加圧し，耐圧容器を 0℃の氷水に漬けて氷を徐々に融解させ，細孔中に MH を生成させた．平衡圧以上で圧力が安定した後，+1℃の恒温槽に耐圧容器を入れ，残存する可能性のある氷を全て融解させて MH をさらに生成した．その後，生成した MH 試料を液体窒素温度下で取り出し，耐圧容器内のガス（残ガス）と MH 結晶の解離ガスを採取した．MH 結晶の残りについては，液体窒素温度で保存した．

３．MH 試料の熱分析，ガス試料の安定同位体分析および細孔試料の比表面積測定

熱分析には低温・高圧対応型熱量計（BT2.15，Setaram）を用いた．この熱量計は一般的な DSC（示差走査熱量計）と似ているが，試料容器とヒートブロック間の熱流量をサーモパイルで測定する Tian-Calvet 式に位置づけられ，本機では容積 3.7mL の耐圧容器が使用可能である．DSC と同様に双子型であり，試料用耐圧容器と常温常圧の乾燥窒素ガスを封入したリファレンス用耐圧容器の 2 つが装置内で対称位置にあることで，周囲の温度環境の変化による熱ゆらぎを相殺し，高感度測定を可能にしている．熱量計の温度制御は液体窒素とヒートブロックの加熱システムによって行なわれ，低温側では液体窒素温度近くまでの試料冷却が可能である．

熱分析の手順は以下のとおりである．1 日かけて約－180℃まで装置内部を冷却させ，約 1g の MH を封入した試料用耐圧容器を熱量計にセットした．試料用耐圧容器は常温の別の 150mL 耐圧容器に細い SUS 管で接続し，系内を真空引きした後，0.15℃ min^{-1} の昇温速度で常温まで昇温し，MH を解離させた．この昇温時の試料用耐圧容器の温度・圧力および容器に出入りする熱流量を測定した．

一方，MH 試料生成時の残ガスおよび解離ガス試料については，安定同位体質量分析装置（Delta V，Thermo Fisher Scientific）を用いてそれぞれのメタン炭素・水素安定同位体比を測定した．試料準備方法については先行研究[4]と同様である．安定同位体比の表記については，国際標準試料からの偏差を千分率で表し，炭素同位体比を $\delta^{13}C$，水素同位体比を δD とした．

シリカゲルの細孔については，細孔径など情報がわかっているのに対し，珪藻については天然試料のため，不明な点が多い．両者では細孔径がオーダーで異なる可能性が考えられるが，これを定量的に明らかにするために，使用したシリカゲルおよび珪藻の比表面積（SSA）をガス吸着法により測定した．使用した装置は，研究室で自作された積雪 SSA 測定用[5]のものであり，通常の吸着ガスであるメタンの代わりに窒素を用いた．窒素は触媒等の大きな比表面積を持つ試料に向いており，数 10～数 100 m^2g^{-1} 程度の比表面積を測定することが可能である．測定については，細孔直径 15 nm のシリカゲル，珪藻，および 2003 年にサハリン島北東沖で採取された天然 MH 含有堆積物コア LV32-13GC の MH 結晶に付着していた堆積物，の 3 種類について実施した．

４．測定結果

熱分析の結果の一例を図 1 に示す．シリカゲル・珪藻の両試料とも，-100℃～-80℃付近に負のピークがあり，同時に圧力が上昇している．またシリカゲルに限り，-50℃付近からさらに大きな負の熱流量ピークが現れ，圧力も同時に急増しているが，圧力増加は-10℃付近で止まっている．このように，シリカゲルについては本研究，先行研究[1]とも熱流量・圧力変化が似かよっているが，先行研究では MH 解離に対応する-80℃

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

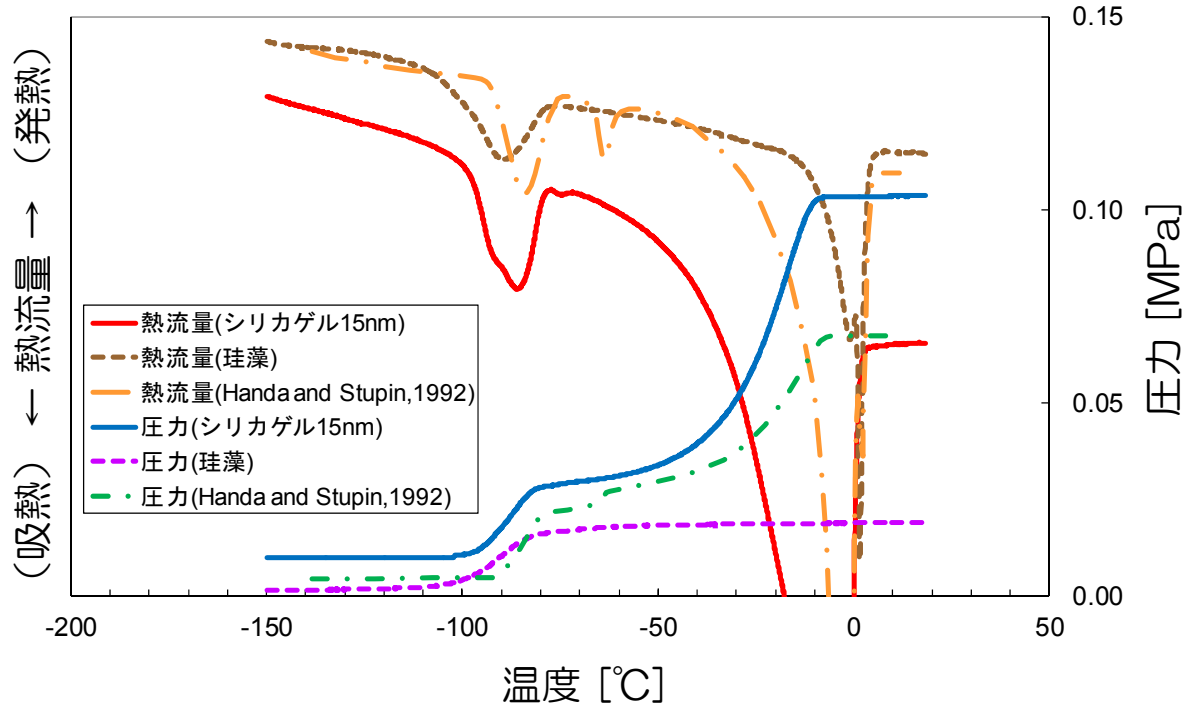


図 1 MH 試料解離過程における熱流量と圧力の変化

付近のピークが 2 つに別れており，低温側がシリカゲル細孔中の MH 解離，高温側がバルクの MH 解離と解釈されている．0℃付近でも同様に，先行研究ではバルク氷の融解ピークがみられるが，本研究ではバルク MH・バルク氷の潜熱ピークはみられなかった．このことから，先行研究ではシリカゲル表面にも MH および氷が存在していたのに対し，本研究では全ての水がシリカゲル内部でハイドレート化していた，と考えられる．これらに対し，珪藻の場合は-80℃付近の MH 解離ピークの後，氷によって細孔中に閉じ込められた MH の解離ピークや，それにともなう圧力上昇は観察されなかったが，細孔中の氷とバルク氷の融解ピークはいくらか分離されて現れた．

MH 試料生成時の MH 相，残ガス相および初期ガスのメタン炭素・水素同位体比の関係を図 2 に示す．なお，実験に用いたメタンガスは 2 種類あり，δD で約 15‰の差がある．MH 相は残ガス相よりも $\delta^{13}C$ で約 1‰大きくなり，δD は約 6‰小さくなった．δD の小さいメタンが MH 相に入りやすい傾向は先行研究 [4]と同様であるのに対し，$\delta^{13}C$ の大きい，すなわち重いメタン（$^{13}CH_4$）がわずかでも MH 相に入りやすい，という新しい結果を得た．これらの傾向については，シリカゲルと珪藻との間に差はみられなかった．

なお，本実験で用いられた細孔直径 15 nm のシリカゲルの SSA は 275 m^2g^{-1}，試薬の珪藻は 78 m^2g^{-1}，珪藻が主成分とみられる LV32-13GC コア海底堆積物は 59 m^2g^{-1} であった．細孔直径から考えるとシリカゲルの SSA は妥当な値であり，他 2 つの試料についても SSA のオーダーはシリカゲルのそれと大きく変わらず，かなり大きさの SSA を持っていることが判明した．

５．まとめと今後の展望

シリカゲル細孔中に生成した MH 試料の解離過程については，先行研究 [1]とおおむ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

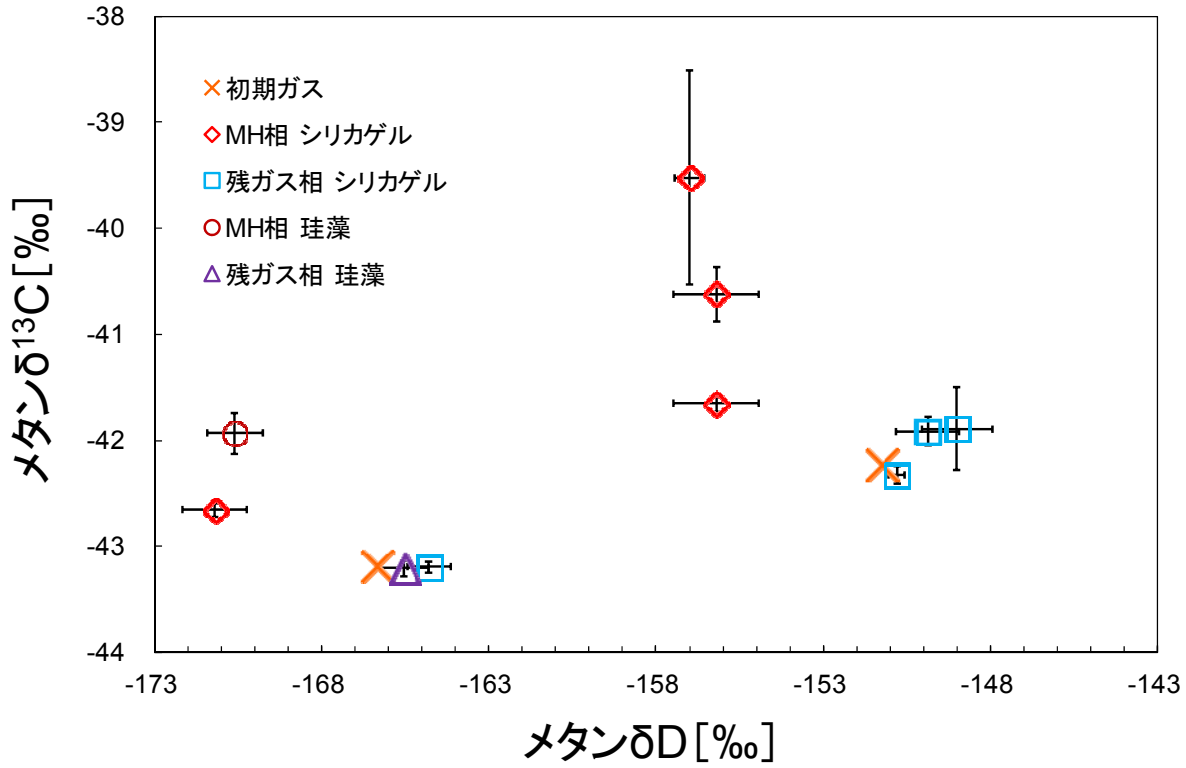


図 2 ガス試料のメタン炭素・水素安定同位体比の関係

ね同じ結果が得られた．一方，先行研究で検出されたバルク MH の解離およびバルク氷の融解過程については，本研究ではみられなかった．先行研究の試料には，細孔中の MH 以外にもバルク MH とそれが解離して生成した氷が存在したと考えられる．また，珪藻では氷で細孔中に閉じ込められた MH の解離過程が全くみられず、細孔効果は小さいとみられたが，一方でその SSA はシリカゲルのそれと 1 オーダーも違わず，試薬の珪藻や MH を胚胎する実際の海底堆積物粒子もかなりの比表面積を持つことが分かった．

安定同位体比の測定の結果，シリカゲルや珪藻が混じった MH 試料については，MH 相は残ガス相よりも炭素同位体比 $\delta^{13}C$ で約 1‰大きく，水素同位体比 δD で 6‰小さい，という結果が得られた．先行研究 [4]とは異なり，ゲストガス同位体分別が $\delta^{13}C$ でもみられた理由については不明な点が多いが，細孔が MH 結晶構造に間接的に影響を及ぼした可能性がある一方，例えば $\delta^{13}C$ の大きいメタンが細孔表面に直接吸着していたという可能性も考えられるため，今後の検証が必要である．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，科学研究費（基盤研究 B:26303021）の助成を受けた．

【参考・引用文献】

1) Handa and Stupin, 1992: *J. Phys. Chem.* **96**, 8599-8603.
2) Uchida *et al.*, 1999: *J. Phys. Chem. B*, **103**, 3659-3662.
3) Uchida *et al.*, 2002: *J. Phys. Chem. B*, **106**, 820-826.
4) Hachikubo *et al.*, 2007: *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L21502, doi:10.1029/2007GL030557.
5) 八久保ほか, 2015:*北海道の雪氷*, **34**, 印刷中.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

風洞型装置により生成した表面霜の剪断強度
The shear strength of artificial surface hoar formed in a wind tunnel

八代裕平(北海道教育大学大学院 札幌校・岩見沢校)，尾関俊浩(北海道教育大学 札幌校)
Yuhei Yashiro, Toshihiro Ozeki

１．はじめに

表面霜とは，水蒸気が雪面に昇華凝結した氷結晶のことである．降雪などにより，積雪中に埋もれた表面霜は構造的にもろく，ほかの雪質に比して上載積雪によって破断しやすい．表面霜が広く弱層として埋没した場合，一ヶ所が破断すると，同一層内で破断が伝搬して，表層雪崩を引き起こす．Schweizer and Jamieson (2000)は，欧米で発生する表層雪崩のおよそ半数が表面霜由来であることを報告した[1)]. 八久保(1998)は野外観測により表面霜がよく発達する気象条件が放射冷却，相対湿度，風速の 3 点であることを指摘した[2)]．表 1 に表面霜が発達しやすい条件を記す．しかし上述の 3 条件が自然界で揃うことは珍しく，表面霜に関する研究には多くの課題が残されている. そこで, 津田(2013)は低温室内で表面霜を生成する簡易風洞を作成し，表面霜を発生させた[3)]．その中で図 1 に挙げるようコップ状の結晶が表面霜の基本形で，風の影響があると 1～2 面が卓越して成長することを示唆した. 以上のように表面霜の成長は風に依存することが知られている.

本稿では，人工発生表面霜の剪断強度を計測して，成長の風向依存性と強度への影響の程度を検討した.

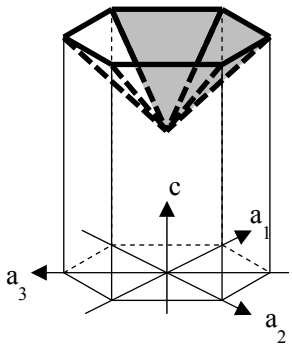


図 1　表面霜の基本形

表 1　表面霜が発達しやすい気象条件

項目	設定条件
放射冷却	−60 W/m^2
風速	2～3 m/s
相対湿度	90 %以上

２．実験方法

２．１ 装置の概要

図 2 に示す回流式風洞を使用して，薄くかき氷を敷いたアルミ板(擬似雪面)に表面霜を生成した. ファンで風を起こし，風洞を回流中にかき氷で水蒸気を供給させたのち，冷却した擬似雪面に昇華凝結させた．アルミ板の底には銅管を這わせてあり, ここに恒温槽から−20 ℃のアルコールを循環させて放射冷却による雪面温度の低下を再現させた．実験条件を表 2 に示す.

表 2　実験条件

項目	設定条件
風洞外寸	30 cm×30 cm×90 cm
気温	−5.0±1.0 ℃
恒温槽温度	−20.0 ℃
生成時間	12 時間
焼結時間	48 時間

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

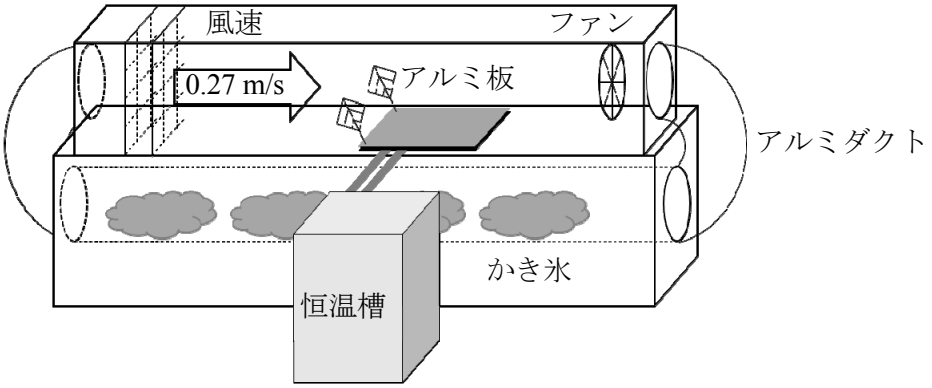


図 2　回流式風洞の模式図

２．２ 剪断試験

発生させた表面霜の上に，上載積雪として目の細かいかき氷を約 3 cm 程度載せて，約 48 時間焼結を待った．その後シアーフレームテストを行った．得られた測定値をシアーフレームの面積で除して，シアーフレームインデックス(SFI)を算出した．本試験では SFI を剪断力に対する強度の指標とした．　図 3 に剪断方向と試験を行った位置を示す．

ここで用いたシアーフレームの寸法を図 4 に示す．一般のシアーフレームでは差し込み時に表面霜が座屈してしまうため，軽量かつ小型のシアーフレームを用いている．

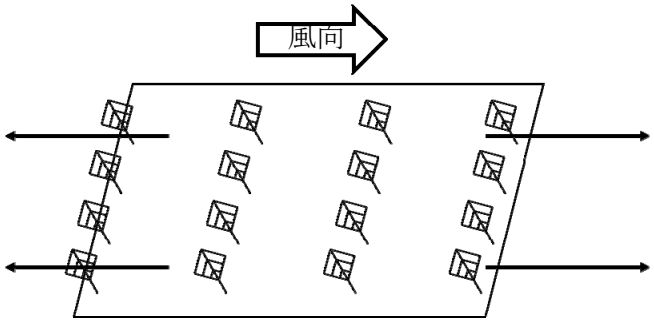


図 3　剪断位置と剪断方向

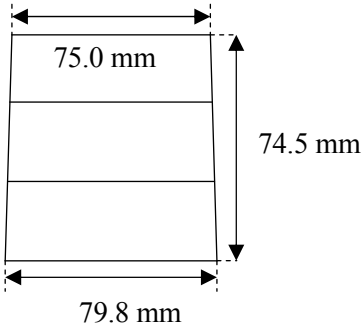


図 4　使用したシアーフレーム

３．結果

３．１ 生成した表面霜

生成した表面霜の形状は図 5 のようなコップの 1～3 面が卓越した形が大部分を占めていた．これは先述の津田(2013)で指摘された通りの形状であった．中には図 6 のような針状の表面霜も見られた．これは雪面に倒れており，他の表面霜の間に埋もれる格好であった．

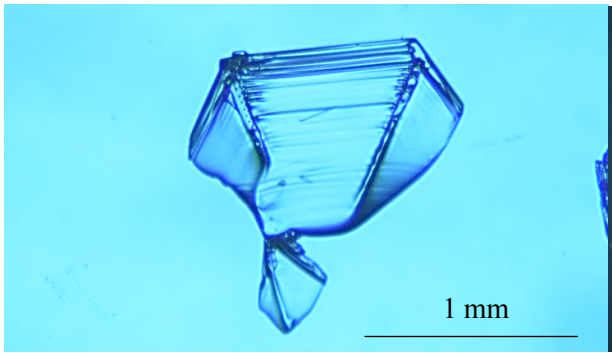


図 5　コップ型

図 6　針状

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

３．２ シアーフレームテスト

シアーフレームテストの結果を表 3 に示す．試験回数は風上，風下とも 20 回である．有効試験数が異なるのは，シアーフレームの差し込み時に表面霜が座屈して破断した試験を除いたためである．SFI の平均値を比べると風下側での強度が大きくなった．この結果を t 検定にかけたところ風上側強度と風下側強度が弱い優位傾向にあることがわかった．剪断破壊試験の特性として，ばらつきが大きくなることを考慮して，有意水準を 10 %とした．

表 3　シアーフレームテストの結果

	風上	風下
有効試験数	13 試験	12 試験
平均値	567 Pa	788 Pa
標準偏差	248 Pa	335 Pa
t 検定	p<0.1	

４．強度差に関する考察

４．１ 結晶の成長方向

表面霜は水蒸気供給の多い方向に向かって成長するといわれている[4]．したがって，本研究の場合は風上側に向かって斜めに表面霜が成長していることが予想された．この予想に従うと，風上では結晶の成長方向に対して順目方向に，風下では逆目方向に剪断したことになる．表面霜の破壊形態が回転モーメントによる根元の破壊だとすると，表面霜に加わる力の回転方向(θ 方向)成分が重要である．剪断力を τ，上載積雪から受ける力を σ とし，成長方向(r 方向)と回転方向(θ 方向)に分解すると図 7 のようになる．図 7 では図の見やすさを優先し，τ と σ の大きさを同程度としている．

風上では，2 力の θ 成分が同一方向なので，小さな剪断力でも破壊が生じる．一方，風下では 2 力の θ 成分が逆方向のため，破壊には風上の場合よりも大きな剪断力を要すると考えられる．

しかし今回使用した上載積雪の密度は 158 kg/m^3 で約 3 cm しか載せていないため，σ が τ よりも 1 オーダーほど小さい．したがって，上載積雪から受ける力の影響をほぼ無視することができる．これに従い，剪断力のみ考えると，風上も風下も τ_θ の大きさが同じになるため，結晶の成長方向が本試験で生じた風上側と風下側の強度差に影響を及ぼしているとは考えにくい．また，表面霜が風上方向に成長せず，鉛直上向きに成長していることを表面霜の断面観察から確認した(図 8)．

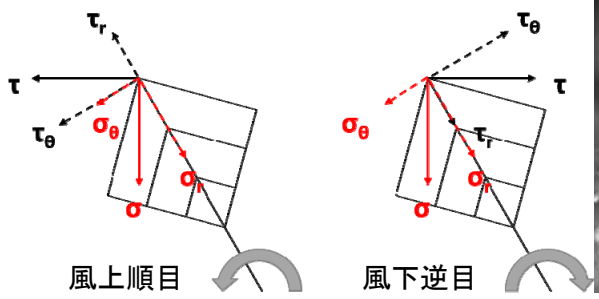


図 7　モーメントの影響
左図は風上側の順目剪断
右図は風下側の逆目剪断

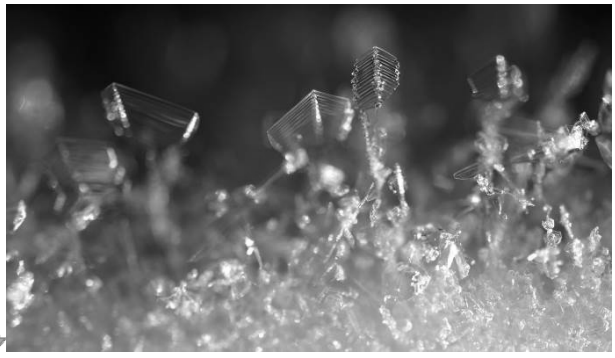


図 8　表面霜の層の断面
写真の左から右に向かって風が吹いている．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

４．２ その他の要因

結晶の成長方向の他に剪断強度に違いをもたらす可能性がある要因を表 4 に挙げる．まず、面密度である．面密度が大きいと，剪断力が分散されて表面霜 1 本あたりに加わる剪断力が小さくなるため，強度が上昇すると予想される．次に表面霜の大きさである．表面霜が大きく成長するにつれて，回転モーメントも大きくなるため，強度が減少すると予想される．最後に結晶形である．４．１．の考察では根本の破壊を考えていたが、図 6 に示した針状結晶などの細い結晶の割合が増えると，根本の破壊よりも先に結晶自身が破断してしまうことが予想される．この場合、断面の形状によっても強度が左右される．

表 4　強度に影響を与えるその他の要因

要因	与える影響
面密度	剪断力の分散
表面霜の大きさ	回転モーメント
結晶形	断面形状

現状ではこれらのデータ数が不足しているため，剪断強度を計測することと並行して，これらの項目についてもデータを収集し，影響の程度について検討を進めたい．

５．今後に向けて

今回の実験により，表面霜の剪断破壊メカニズムの解明には以下の課題が明らかとなった．まず破壊の場所とその形態の特定が重要である．対象物体の最も弱い部分がその物体の強度を決定するからである．現在は試験後に残った雪の深さから，破壊が根元で起きていることが予想される．しかし，対象が小さく破壊の場所と形態を特定するには至っておらず，表面霜内の破壊と表面霜－上載積雪間の破壊の可能性も考慮する必要がある．今後は，MRI と X 線 CT を用いて積雪中の表面霜の内部構造と破壊形態を立体的に把握したい．

表面霜内の破壊が優位な場合は，表面霜の形状が重要である．断面積だけでなく，断面の幾何的性質が強度に大きな影響を与えるからである．先行研究から結晶形が気温－気温と雪面の温度差によって変化することがわかっている [3)]．これを利用し，また増補しつつ主要な結晶形が強度に与える影響を検討する予定である．

面密度は表面霜 1 本あたりに加わる剪断力決めるため，いずれの破壊形態の場合でも重要な計測項目である．現状では，面密度計測用の写真に写っている表面霜の輪郭がぼやけていること，根元の様子がわからないことの 2 点が問題となっている．今後は，レーザーシートによる照明や蛍光塗料の噴霧とブラックライトによる照明を試す予定である．

【参考・引用文献】

1) J. Schweizer, J. B. Jamieson，2000 : Field Observations of Skier-triggered Avalanches.　*International Snow Science Workshop*，1-8.
2) 八久保晶弘，1998 : Surface hoar growth on snow．8-12.
3) 津田将史，2013 : 風洞型表面霜作成装置を用いた表面霜の成長機構の研究．4-31.
4) 秋田谷英次・成瀬廉二・尾関俊浩・福沢卓也，2002 : 決定版雪崩学．北海道雪崩事故防止研究会，山と渓谷社，44-46.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

児童の参加性を考慮したイグルー作りの実践
A Practice of igloo building in consideration of the children's participation

大鐘卓哉（小樽市総合博物館）
Takuya Ohgane

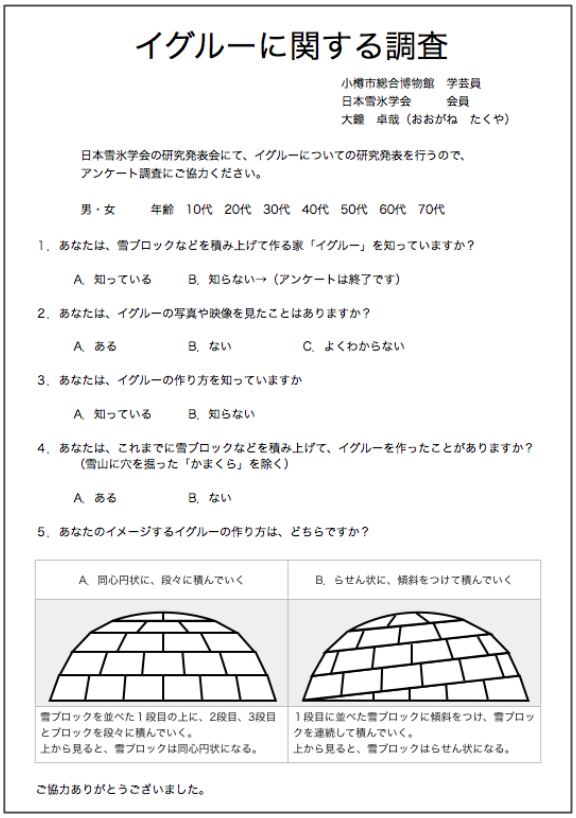
１．はじめに

イグルーは，北極圏の先住民族であるエスキモー諸民族が使用していた住居である．特に，圧雪ブロックを切り出してドーム状に積み上げた雪の家は，イグルーの一般的なイメージとして認識されている．雪国に住む子供たちの遊びとしてのイグルー作りは，雪ブロックの作成や，ドーム状に積み上げるための方法などに知識と技術を必要とするため，あまり行われていない．そこで本研究では，イグルーに関するアンケート調査結果と，児童の参加性を考慮したイグルー作りの実践例について紹介する．

２．イグルーに関するアンケート調査

一般市民におけるイグルーに関する認知度を把握するために，アンケート調査を行った．調査期間は，2015 年 5 月 2 日から 6 日までの 5 日間で，小樽市総合博物館のゴールデンウィーク行事「チャレンジラボ・偏光万華鏡作り」に参加した児童の保護者等に，図 1 のアンケート用紙を配布した．そして，記入してもらった用紙を回収した．

回答者数は，87 人で，回収率は 100 %であった．それぞれの設問ごとに集計し百分率で示したグラフを図 2 に示す．性別は，男性が 28%，女性が 49%，未記入が 23%であった．年代の構成は，40 才代が最も多く 36%で，次に 30 才代が 32%で，合わせると全体の半数を超えた．設問 1「イグルーを知っていますか？」に対して，76%が「知っている」と答え，24%が「知らない」と答えた．設問 2「イグルーの写真や映像を見たことがありますか？」に対して，全体の 70%が「ある」と答えた．設問 3「イグルーの作り方を知っていますか」に対して，「知っている」と回答したのは全体の 14%だけであった．設問 4「イグルーを作ったことがありますか」に対して，「ある」と回答したのは 7%だけであった．設問 5「イメージするイグルーの作り方は，どちらですか？」に対して，「同心円状に，段々に積んでいく」が 67%で，「らせん状に，傾斜をつけて積んでいく」と回答したのは 9%であった．設問 4 でイグルーを作ったことがあると回答した 7%の内，設問 5 に対する回答は，


イグルーに関する調査

小樽市総合博物館　学芸員
日本雪氷学会　　会員
大鐘　卓哉（おおがね　たくや）

日本雪氷学会の研究発表会にて、イグルーについての研究発表を行うので、
アンケート調査にご協力ください。

男・女　　年齢　10代　20代　30代　40代　50代　60代　70代

1．あなたは、雪ブロックなどを積み上げて作る家「イグルー」を知っていますか？
A. 知っている　　B. 知らない→（アンケートは終了です）

2．あなたは、イグルーの写真や映像を見たことはありますか？
A. ある　　B. ない　　C. よくわからない

3．あなたは、イグルーの作り方を知っていますか
A. 知っている　　B. 知らない

4．あなたは、これまでに雪ブロックなどを積み上げて、イグルーを作ったことがありますか？
（雪山に穴を掘った「かまくら」を除く）
A. ある　　B. ない

5．あなたのイメージするイグルーの作り方は、どちらですか？

A. 同心円状に、段々に積んでいく	B. らせん状に、傾斜をつけて積んでいく
雪ブロックを並べた1段目の上に、2段目、3段目とブロックを段々に積んでいく。上から見ると、雪ブロックは同心円状になる。	1段目に並べた雪ブロックに傾斜をつけ、雪ブロックを連続して積んでいく。上から見ると、雪ブロックはらせん状になる。

ご協力ありがとうございました。

図 1　配布したアンケート用紙

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

全員が「同心円状に，段々に積んでいく」であった．アンケート調査の回答者の代表的な回答として，「イグルーについては映像等を見たことがあり，知っているが，作ったことはなく，作り方も知らない．ただ，同心円状に段々に積んでいくというイメージを持っている」という結果を得た．

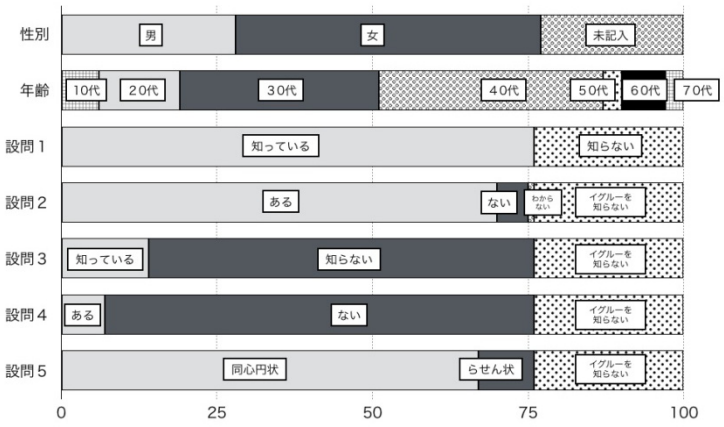


図 2　アンケート調査の集計結果（%）

３．イグルー作りの実践

2014 年 1 月 12 日と 2015 年 1 月 12 日のそれぞれ午前と午後に計 4 回，小樽市総合博物館において，雪遊び体験講座「イグルーを作ろう！」を実施した．参加者は，それぞれ 25，20，5，3 人で，そのうち児童は，12，8，2，1 人であった．各講座の実施時間は 2 時間で，初めの 30 分間は映像資料[1)]を見てイグルーに関する学習と準備を行い，残りの 1 時間半でイグルーを 1 基完成させた．作成したイグルーの直径は，それぞれ，2, 1.8, 1.8, 1.5 m 程であった．イグルーを作った際の一連の過程を図 3 に示し，詳細な方法を以下に示す．

（１）整地

児童に子供用のかんじきを履いてもらい，作ろうとしているイグルーよりも広めに，作業場所の雪を踏み固めてもらった（図 4）．特に新雪の場合は，足場を安定させるために必要な作業である．

（２）ブロック作り

雪ブロックは，容量約 13 リットル（おおよそ長辺 37×短辺 25×深さ 14 cm）のポリプロピレン製のコンテナボックスに雪を詰め，そこから取り出すことによって作成した（図 5）．児童らは，スコップで雪を詰め，手や足を使って押し固める作業を行った．コンテナボックスは，底部が上部よりも少し小さくなっているので，逆さまにし，手で細かく振動を与えることで取り出すことができた．たたいたり大きな振動を与えると，ブロックが壊れてしまうことがあった．雪が新雪で，気温が低い場合，コンテナボックスに詰めても押し固まらないことがあった．その場合は，作業前にじょうろで雪に水分を加えることで解決した．このブロック作りの作業は，単純であるが，児童がとても楽しそうに行っていた．

（３）1 段目の配置

作ろうとするイグルーの大きさに合わせて，図 3a のように，雪ブロックを円形に並べた．その際に，雪ブロックの長辺が下に，底部が内側になるように配置し，鉛直よりも若干内側に傾くように配慮した．雪ブロックは児童でも持てる重さで，中心にいる指導者の指示により児童が配置した．指導者の技量にもよるが，実参加者が 10 人で，作業時間が 1 時間であれば，イグルーの直径は 1.5m が適当な大きさであろう．

（４）斜面の作成

2 段目からは，傾斜をつけて雪ブロックを設置するので，図 3b のように 1 段目の一部を斜めに切除した．切除は，鋭利でない刃物であるパンナイフを用いて指導者が行

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

った．指導者が右利きであったので，パンナイフの取り扱いにより，イグルー積み上げ方向が上から見て反時計回りになるようにした．指導者が左利きの場合，積み上げ方向は時計回りのほうがよい．コツとして，1 番目と 4 番目の雪ブロックの半分を残し，その間で雪ブロック 3 個分ほどの傾斜を作成した．こうすることによって，1 段目と 2 段目においてブロック接合部が重ならないようになった．

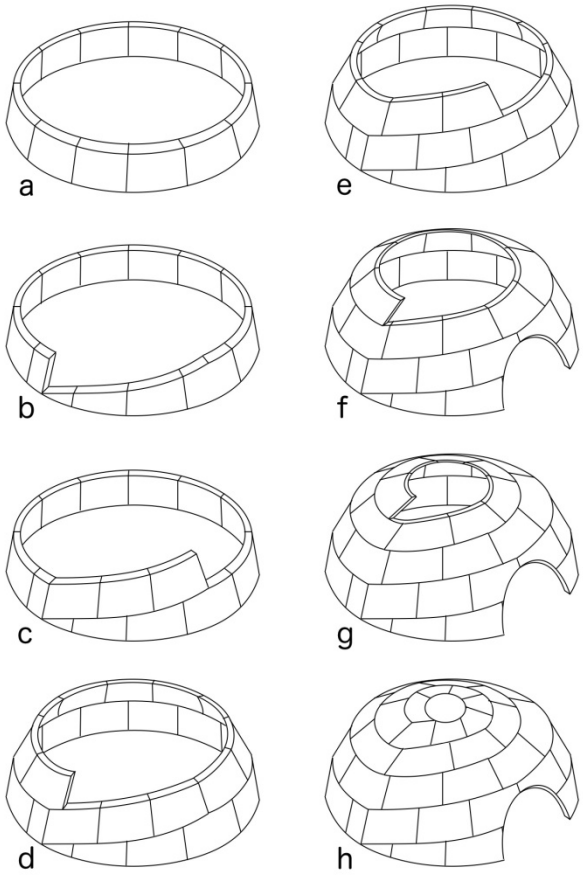


図 3　イグルーの作り方の過程

（５）2 段目以降の配置

2 段目からは，図 3c のように雪ブロックを傾斜に合わせて設置した．その際に，隣の雪ブロックとうまく接合するように，パンナイフで整形した．引き続き，図 3d のように 2 段目を積んだ．その際に，隣との雪ブロック接合部が，下段の接合部と重ならないように雪ブロック長辺の長さを調整した．さらに少し内側に傾くように，雪ブロックを載せるイグルー上面は，水平よりも少し内側に傾斜する程度にパンナイフで事前に整形しておいた． 2 段目が完了したら，図 3e のように，傾斜に合わせ 3 段目を設置した（図 6）．

（６）隙間の補修

3 段目が完成したら，雪ブロック積み上げを一時休止し，雪ブロック接合部の隙間に，児童が雪を埋め補強する作業を行った（図 7）．その後，さらに雪ブロックを少しずつ内側に傾くように積み上げていき，出入り口を切り出せる高さになったら，図 3 f のように，内側にいる指導者が一人くぐり通ることができる必要最小限の空間をパンナイフで切り取った．そして，内側の指導者はいったん外側に出て，参加児童らは交互にイグルー内部に入り，作成の途中経過を実感しつつ，補強のために内部の隙間を雪で埋めた．

（７）上段の雪ブロックの積み上げ

雪ブロックを積み上げるにあたって，コツがいくつかある．載せようとする雪ブロックの長辺下部は，より内側に傾斜が付くように角度をつけて切除した．また，隣と隙間がなくなるように，雪ブロックを隣接させ，短辺が鉛直面に沿うように切りそろえた．頂部に近くなるほど，雪ブロックの整形には多くの思慮が必要になる．ただ雪には粘着性があるので，ある程度の接合部があれば作業を継続できた．そして，隙間を雪で埋めることによって強度を保持した．

（８）頂部の作成

雪ブロックを内側に少し傾くようにして，らせん状に傾斜をつけながら積んでいくと，上部で収束してくる．そして残すところ雪ブロック 1 個分ほどの最終段階で，パ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

ンナイフを使って頂部の空隙をすり鉢状に整形した．そしてその形状に合わせた雪ブロックを作成し，図 3h のように配置した．アーチ構造の要となる頂部のキーブロックを完成させたことで，力学的に安定したイグルーになった．最後の仕上げとして，頂部付近の隙間も雪で埋め完成させた．

図 4 作業場所の整地

図 5 雪ブロックの作成

図 6 雪ブロックの積み上げ

図 7　隙間の補強

図 8 雪ブロックの整形

図 9 完成したイグルー

５．まとめ

児童の参加性を考慮したイグルー作りを実践した．雪でイグルーを作ることによって，児童らは雪に関する様々な性質を体感することができた．イグルー作りは，木や石を材料とする家作りよりも多くの利点がある．材料である雪は，雪国であれば費用をかけずにたくさん確保できる．また，パンナイフのような鋭利でない刃物で容易に切断・整形することができ，児童が行うにも安全である．さらに，雪には粘着性があるので，ブロック同士を接合するための接着剤や釘などが不要である．さらに，作り終わった後に廃材などが生じないので，実施後の後片付けがとても容易である．

本研究で実践したイグルーの作り方は，一般の人たちのイメージする作り方とは異なる．雪ブロックの作り方は，圧雪をのこぎりで切り出す方法ではなく，コンテナボックスを利用して作る方法である．この方法は，道具が安価で安全であること，ブロックの形状が同じであること，複数の児童が同時に作業を行えること，作業が楽しいことが利点である．雪ブロックは，同心円状に，段々に積み上げるのではなく，らせん状に傾斜をつけて積み上げた．この方法は，映像資料[1)]を参考にした方法で，常に片側には前に積み上げた雪ブロックがあるので，安定して少しずつ内側に傾斜を設けることができ，連続して高く積み上げていくことができる利点がある．

イグルーを作る過程で難しいのは，内側に傾けながら雪ブロックを積み上げていくことであるが，本実践例を参考に，イグルー作りに挑戦することを提案する．

【参考・引用文献】

1) Douglas Wilkinson, 1949; How to build an igloo,
https://www.nfb.ca/film/how_to_build_an_igloo/, *The National Film Board of Canada*

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北海道における近年の大雪･暴風雪時の気圧配置と地域別発生の特徴

Features of pressure patterns and regional occurrence of recent heavy snowfall and snowstorm in Hokkaido

原田裕介，松澤　勝（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
Yusuke Harada, Masaru Matsuzawa

１．はじめに

近年，北海道では，大雪や暴風雪に起因する雪氷災害について発生形態の変化が見られる．このため，大雪や暴風雪の発生頻度や発生地域の近年の傾向を把握することは，今後の雪害対策検討の基礎資料として重要と考えられる．本研究では，北海道を対象として，地上付近の気象状況の分析結果を表す地上天気図を基に，過去 31 冬期の大雪や暴風雪発生時の低気圧などの移動経路および発生頻度や地域，および 2014 年度冬期の特徴を調べた．

２．調査方法

２．１．大雪，暴風雪事例の抽出

（１）使用データ

調査に用いたデータは，北海道の気象庁アメダスで積雪深を観測している地点のうち，1984～2014 年度冬期において移設により標高が大きく変更された地点と，気象官署を除外した図 1 に示す 77 地点の 1 時間ごとの積雪深，気温，風速（毎正時前 10 分間平均風速）である．また，本論文では，冬期を当年 11 月 1 日から翌年 4 月 30 日までとした．なお，図 1 には地域区分（北海道総合振興局または振興局）も併せて示した．この区分は，3 章で地域別の大雪・暴風雪の発生状況を分析する際に用いる．

図1　調査に用いた気象庁アメダス地点と地域区分

（２）大雪，暴風雪事例の抽出方法

大雪事例の抽出基準は，北海道内の大雪注意報の発令基準値が 12 時間で 20cm 以上の降雪であること [1)]を考慮し，本論文では降り始めからの 24 時間降雪量 40cm 以上，48 時間降雪量 60cm 以上，72 時間降雪量 80cm 以上のいずれかを満たすものとし，なおかつ北海道全体における災害時の社会的影響と広域性を勘案して，アメダス 77 地点のうち 5 地点以上で上記の大雪の基準を満たした場合を大雪事例として抽出した．また，24，48，72 時間降雪量は，1 時間ごとの積雪深の増加量をその 1 時間の降雪量とし，該当時間分を積算している．

暴風雪事例の抽出基準は，上記と同様にアメダス 77 地点のうち 5 地点以上で，24 時間吹雪量 5.0m^3/m 以上を満たす場合とした．これは，2008 年 2 月に空知南部で 200 台以上の車両が立ち往生した吹きだまり災害時 [2)]の 24 時間吹雪量の最大値が，アメダス 5 地点で 5.0m^3/m 以上であったことを考慮したものである．吹雪量は，単位時間に風向

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

と直角な単位幅を通過する雪の総量で[3]，ここでは風速と吹雪量の経験式を用い，24時間吹雪量を推定している．24時間吹雪量の推定手法の詳細は，既報[4]を参照されたい．

２．２　地上天気図の分類

北海道内の大雪や暴風雪は，発達した低気圧の通過やその後の冬型気圧配置によってもたらされることが多い[5]．本論文における地上天気図の分類は，大川[5]を参考として，北海道付近を通過する前の低気圧や前線の位置とその移動経路を17通り，低気圧通過後の冬型の気圧配置を3通りに細分した（表1）．詳細は，既報[4]を参照されたい．

３．調査結果

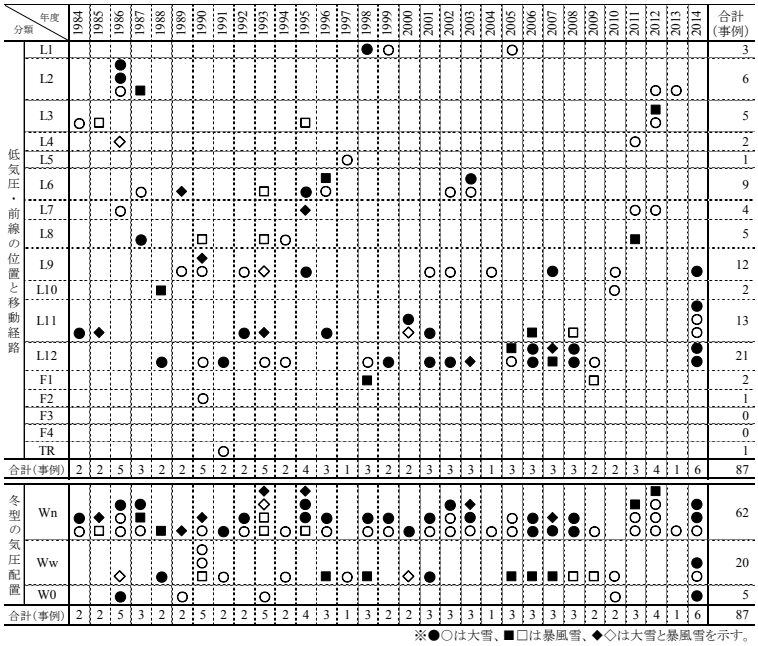
2.1節の手法にしたがい大雪61事例，暴風雪15事例，大雪かつ暴風雪11事例（計87事例）を抽出した．抽出結果に対して，表1に基づき低気圧や前線の位置とその移動経路，低気圧通過後の冬型の気圧配置に分類し，発生年度ごとに集計したものを表2に示した．さらに，表2では気象庁の「急速に発達する低気圧」[6]に合致した事例を塗りつぶし，それ以外の事例と分けて示した．「急速に発達する低気圧」とは，中心気圧が24時間で24hPa×sin(φ)／sin(60°)以上低下する温帯低気圧と定義されており，φは緯度を表す．ここでは，北海道近辺の平均緯度43°による算定結果（18.9 hPa）より，任意の24時間で低気圧の中心気圧が19hPaより低下した事例を対象とした．

表2より，大雪や暴風雪発生時の低気圧の位置と移動経路は，低気圧が日本海中部から東進して津軽海峡を通るL6（9事例），低気圧が三陸沖から北海道の東海上を北東進するL9（12事例），二つ玉低気圧が北海道を挟むように北東進するL11（13事例），二つ玉低気圧で日本海の低気圧が太平洋の低気圧に吸収されるL12（21事例）の出現

表1　地上天気図の分類

分類項目		記号	概　要
低気圧・前線の位置と移動経路	低気圧	L1	低気圧が日本海西部から東北東進して，東北地方の中部・北部を通る．
		L2	低気圧が日本海西部から北東進して，津軽海峡を通る．
		L3	低気圧が日本海中部から北東進して，北海道北部または宗谷海峡を通る．
		L4	低気圧が日本海西部から北東または北北東に進んで，宗谷海峡を通る．
		L5	低気圧が日本海西部から北北東進して，北海道の西海上を経て間宮海峡に達する．
		L6	低気圧が日本海中部から東進して，津軽海峡を通る．
		L7	低気圧が日本海中部から東進して，北海道中部を横断する．
		L8	低気圧が沿海州から東進して，宗谷海峡を通る．
		L9	低気圧が三陸沖を北東進する．
		L10	低気圧が沿海州北部から南東進して，北海道中央部を通る．
	二つ玉低気圧	L11	低気圧が二つあり，それぞれ北海道を挟むように北東進する．
		L12	本州を挟んで二つの低気圧があり，日本海の低気圧が太平洋の低気圧に吸収される．
	前線	F1	南北に伸びる前線が北海道を通る．
		F2	南北に伸びる前線上の閉塞点が北海道中央部付近を通る．
		F3	前線が北から南下する．
		F4	前線が北海道に停滞する．
	気圧の谷	TR	南北に伸びる気圧の谷が北海道を通る．
冬型の気圧配置		Wn	低気圧が日本を通過後，主風向が北系(北～北西)の気圧配置となる．
		Ww	低気圧が日本を通過後，主風向が西系(西～西北西)の気圧配置となる．
		W0	低気圧の動きが遅く，明瞭な冬型とならない．

表2　大雪，暴風雪時の地上天気図の年度別発生状況



※●○は大雪、■□は暴風雪、◆◇は大雪と暴風雪を示す。
※急速に発達する低気圧となった事例を塗りつぶし、それ以外を白抜きで示す。

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

度数が高かった．また，急速に発達する低気圧（表 2 で塗りつぶして示した事例）は全体で 42 事例あり，中でも二つ玉低気圧の L11（9 事例）と L12（15 事例）の出現度数が高かった． L3・L4・L5 などの日本海から北海道北部以北を通過する低気圧よりも、L12 の他に L2・L6・L9 などの太平洋側を通る低気圧の方が発達する事例が多かった．

2014 年度の特徴として，大雪・暴風雪の発生回数が 6 事例（平均 2.8 事例／年度），そのうち 4 事例が急速に発達する低気圧，5 事例が二つ玉低気圧（L11・L12）によるもので，過去 31 冬期でそれぞれ最大となった（表 2）．また，各事例の発生日（9 時または 21 時）と発生日時から前 24 時間の中心気圧差について，冬期ごとの最低値を図 2 に示す. 2014 年 12 月 17 日の事例では，中心気圧が 948hPa，前 24 時間の中心気圧の低下量が－58hPa に達し，2013 年度までの中心気圧（952 hPa）および気圧低下量の最低値（－38hPa）を更新した．以上から，2014 年度は特異な冬期であったと考えられる．

低気圧（L1～L10），二つ玉低気圧（L11・L12）前線（F1～F4・TR）について，10 冬期ごとの月別発生頻度を図 3 に示す．1985-1994 年度から 2005-2014 年度にかけて, 二つ玉低気圧での発生事例は 12 月および 2～3 月で増加する傾向が，低気圧での発生事例は 1～3 月で減少する傾向がそれぞれ見られた．また，低気圧の L6 と L9，二つ玉低気圧の L11 と L12 について，10 冬期ごとの出現頻度を求め表 3 に示した． L12 の 2005-2014 年度の出現度数は 11 事例（うち急速発達事例 7 事例）で L12 全体の約 60%であった．他の気圧配置は，明瞭な増減傾向は見受けられなかった．L12 の増加は，近年の北海道における大雪や暴風雪の特徴の一部であると考えられる．

低気圧の L6 と L9，二つ玉低気圧の L11 と L12 について，発生件数を大雪のみ，暴風雪のみ，および両方に分類のうえ，地域ごとに発生割合を集計し図 4 に示した．本論文における発生割合は，地域ごとの大雪や暴風雪の発生件数を，大雪や暴風雪の事例数で除し

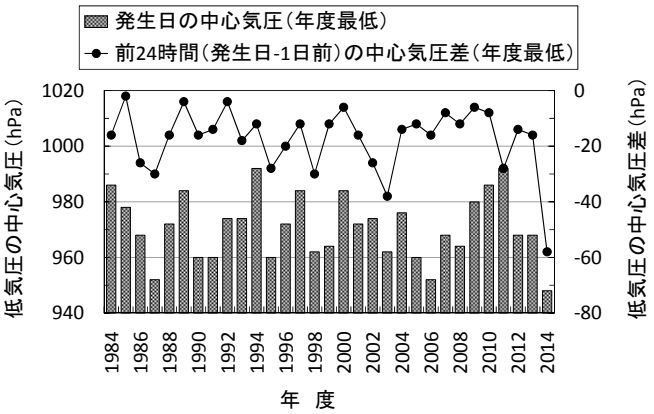


図2　発生日の中心気圧と前24時間の中心気圧差の冬期ごとの最低値

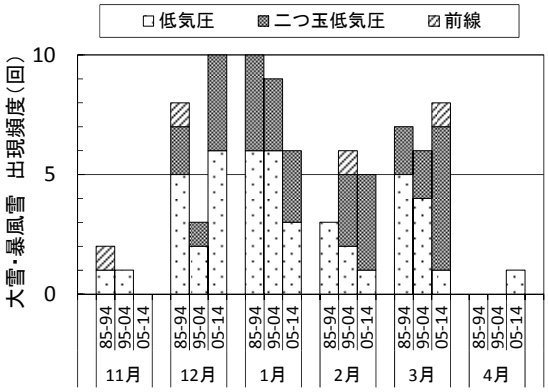


図3　10冬期ごとの月別発生頻度

表3　1985-2014年度冬期の地上天気図の出現頻度　出現頻度は左側の数字，そのうち急速に発達した低気圧[6)]によるものを右側括弧で表記

分類と記号 ＼ 期間（年度）		1985-1994	1995-2004	2005-2014
低気圧の位置と移動経路	L6	3 (1)	6 (3)	0 (0)
	L9	5 (1)	3 (1)	4 (2)
	L11	3 (3)	4 (3)	5 (2)
	L12	3 (2)	5 (2)	11 (7)

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

た値とした．なお，各地域の観測地点数の違いは考慮しないものとする（図 1 参照）．低気圧の L6 では，宗谷，オホーツクと釧路で発生割合が 60%以上で他地方に比べて高かった．また，宗谷と後志以北の日本海側沿岸の地域では，暴風雪を伴う事例が多かった（図 4 左上）．L9 では，オホーツク，釧路，十勝の北海道東部や，宗谷，上川の北海道北部で発生割合が高い．北海道東部では，大雪と暴風雪が伴って発生する事例も少なくない．一方，宗谷では暴風雪の発生割合が高い（図 4 右上）．二つ玉低気圧の L11 の発生割合は，宗谷と上川が 50%以上で，次いでオホーツク，釧路，十勝が 46%で並んでいる．宗谷と後志では暴風雪の発生割合が高く，上川および北海道東部では大雪の発生割合が高かった（図 4 左下）．L12 の発生割合は，オホーツク，釧路，十勝，宗谷，上川で 50%以上と他地域に比べて高かった．宗谷では大雪を伴う暴風雪の発生割合が高く，北海道東部および上川では，大雪の発生割合が高い傾向にあった（図 4 右下）．

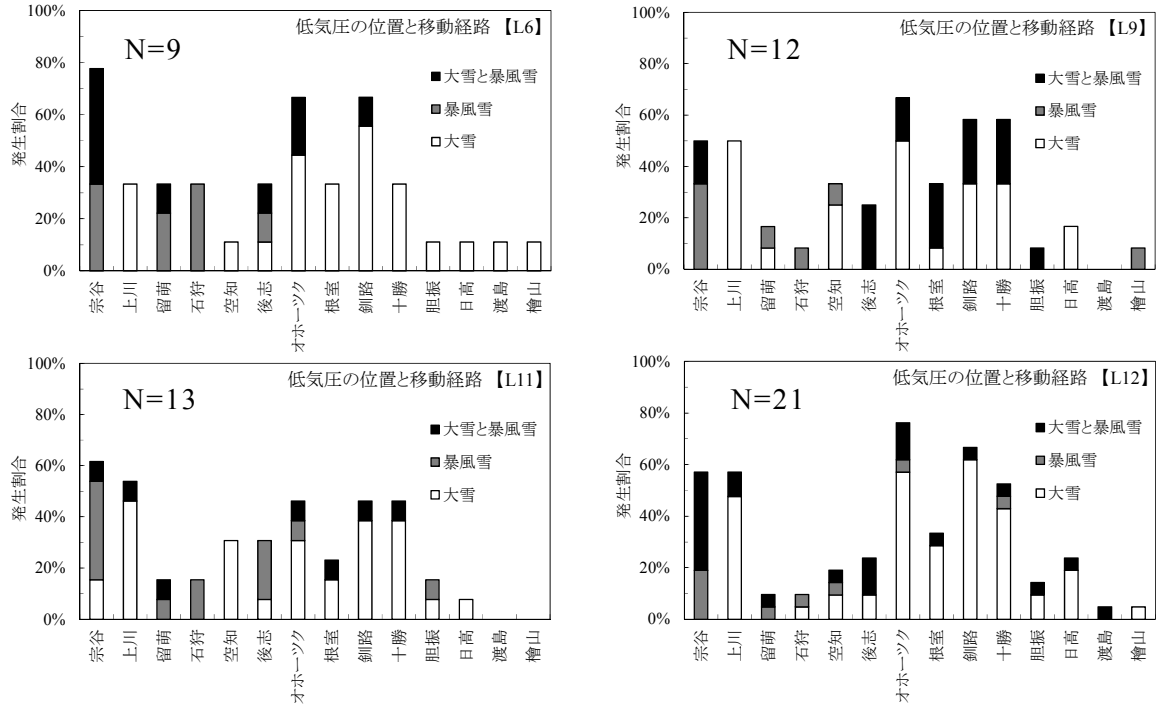


図 4　大雪・暴風雪の発生割合（N は事例数を示す）

4．おわりに

今回の解析では，アメダス 77 地点のうち 5 地点以上で大雪や暴風雪の基準を満たした場合に，対象事例として抽出した．そのため，2015 年 2 月上旬の羅臼町での記録的な大雪など，局所的な大雪・暴風雪事例については抽出されていない．今後の課題として，上記のような局所的な事例の抽出基準の検討があげられる．

【参考・引用文献】

1) 気象庁，2015：警報・注意報発表基準一覧表（気象庁 HP）．
2) 武知洋太他，2008：北海道の雪氷，**27**，99-102．
3) 寒地土木研究所，2011：道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版），1-4-35．
4) 原田裕介他，2013：寒地土木研究所月報，**719**，33-41．
5) 大川隆，1992：北海道の動気候，北海道大学図書刊行会，147-190．
6) 気象庁，2015：気象庁が天気予報等で用いる予報用語（気象庁 HP）．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北海道における近年の降雪特性
The characteristics of snowfall event in Hokkaido of recent years

松岡直基，中林宏典，谷口 恭，小松麻美（(一財）日本気象協会北海道支社）
Naoki Matsuoka，Hironori Nakabayashi，Takashi Taniguchi and Asami Komatsu

１．はじめに

近年の北海道では，2012 年冬季に岩見沢周辺で自衛隊が出動するほどの記録的大雪，2013 年 3 月 2 日～3 日には 9 名の方が亡くなった広域吹雪災害，2014 年と 2015 年冬季は道東中心に発達した低気圧の多数襲来と，４冬季にわたり大きな雪害が発生した．そこで道内主要地点での積雪深や降雪量，多雪指数や大雪の出現回数，吹雪量の各種指標について，経年変化の傾向から近年の降雪特性をまとめた．

２．近年の北海道における降雪の特徴

2013 年と 2015 年の 3 月 10 日の積雪深の平年差を図 1 に示す．2013 年は道東中心に猛吹雪が発生し大きな暴風雪災害となったが，降雪量は日本海側で多かった．一方，2015 年は北海道の東側で降雪雪が多く，積雪深の分布は年によって大きく異なっている．４冬季にわたり雪害が発生しているが，雪の降り方は一様でないことがわかる．

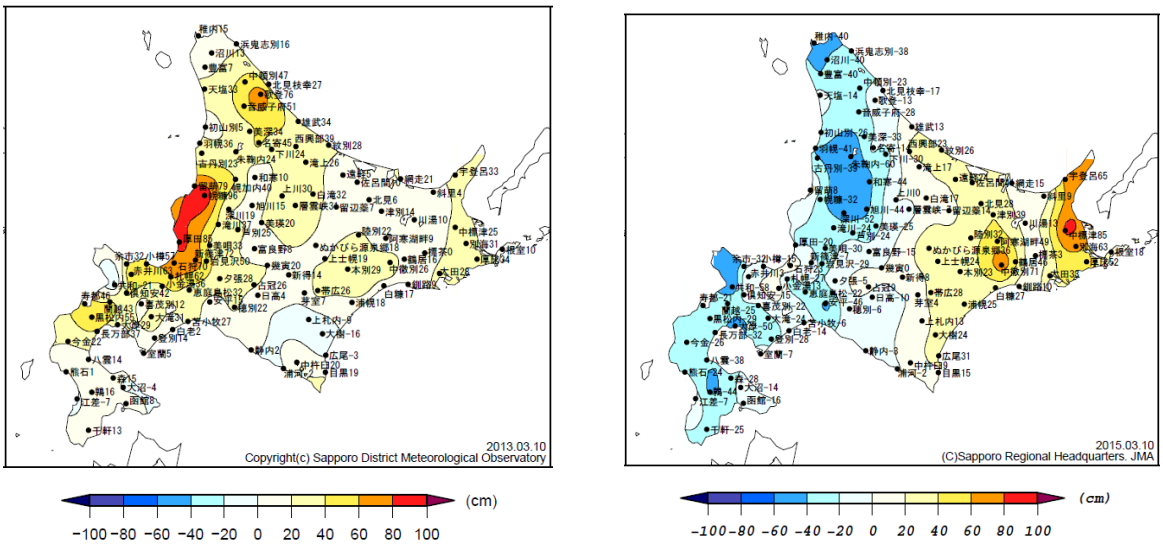


図１　積雪深の平年差　3 月 10 日
左：2013 年　右：2015 年　（札幌管区気象台資料から転載）

北海道内の積雪深は地域によって大きく異なり，例えば平年差が同じ 20cm でも場所によって評価の基準は大きく異なる．図 2 には，岩見沢と根室における 2015 年冬季の積雪深とその平年値を示した．3 月 1 日の積雪深は，岩見沢で平年値より 32cm 少ない 67cm なのに対し，根室では平年値よりも 16cm 多い 32cm である．岩見沢における積雪深の半分以下でも根室にとっては平年値の 2 倍に相当する積雪深であり，社会的には大きな影響が出た[1)]．この様に積雪深やその平年差だけでは影響度を評価できない難しさがある．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

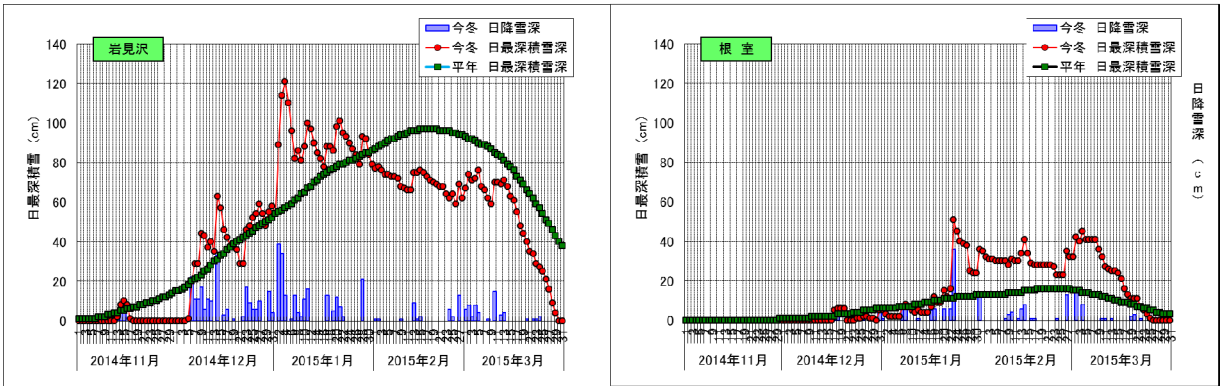


図 2　2015 年冬季の積雪深・降雪深経過　左：岩見沢　　右：根室

3．道内主要地点における多雪指数の経年変化

積雪深の地域的な分布特性を平年偏差や経年変化で評価するには，前章で示したような課題がある．中井は次の“多雪指数”を定義して，この課題の解決にあたり定量的に対処した[2)]．多雪指数とは，ある地点における一定期間の最深積雪の平均値と標準偏差に基づき，各冬季の最深積雪を規格化したものである．ここでの一定期間は 1962 年冬季から 2015 年冬季とした．

$$SSDI(k,i) = (d(k,i) - d(k)) / s_d(k) \qquad (1)$$

i：冬季　　d(k,i)：地点 k の i 冬季の最深積雪

d(k)：地点 k の最深積雪の平均

$s_d(k)$：地点 k の最深積雪の標準偏差

図 3 は岩見沢と根室における多雪指数の経年変化である．根室では 2014 年冬季の多雪指数が 4 を超え，過去 54 年間で最も大きな値となっている．岩見沢は 2012 年冬季が最大であり，まさに記録的な大雪であったことがわかる．なお多雪指数の計算には，欠測などによる参考値も使用している．

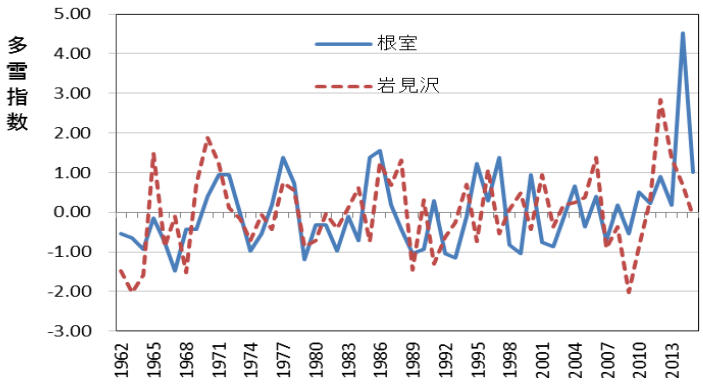


図 3　岩見沢と根室における多雪指数の経年変化

次に多雪指数の経年変化を見る（図 4）．北海道の日本海側 3 地点（稚内，羽幌，留萌）は，1970 年や 1974 年に最大となり，全般に減少傾向となっている．一方，東部の網走，釧路，根室は，釧路を除いて増加傾向である．このうち Mann-Kendall 検定の有意水準 5%で有意だったのは，減少している稚内のみである．なお釧路の多雪指数は減少となったが，観測所移設の影響と推察される．

北海道内の積雪深データがそろっている主要観測所 22 地点（旧気象官署）について，同様に多雪指数を計算し，一次回帰式の傾きの分布を示したのが図 5 である．道北や道南の日本海側で減少傾向，小樽と岩見沢の道央，網走と根室の道東で増加傾向となった．このような多雪指数の地域的な経年変化の相違は，冬型の気圧配置の出現回数

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

が減少し，発達した低気圧の通過が増加している近年の気圧配置の特徴[3]を反映した結果と推定される．

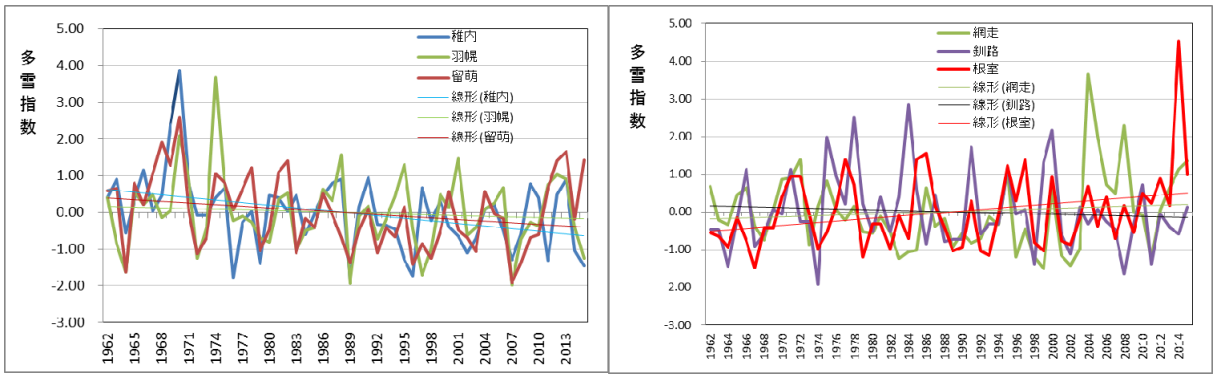


図 4　多雪指数の経年変化　1962 年～2015 年
左：日本海側の稚内，羽幌，留萌　　右：東側の網走，釧路，根室

4．道内主要地点における大雪発生回数の経年変化

次に日降水量 30mm 以上かつ日平均気温 0℃未満を大雪と定義し，大雪発生回数の変化傾向を調べた．図 6 は全道のアメダス観測所 100 地点あたりの大雪発生回数の経年変化である．観測地点数の増減も記入しているが，その値は 10 か所ほどであり，統計結果に影響はほとんどないだろう．

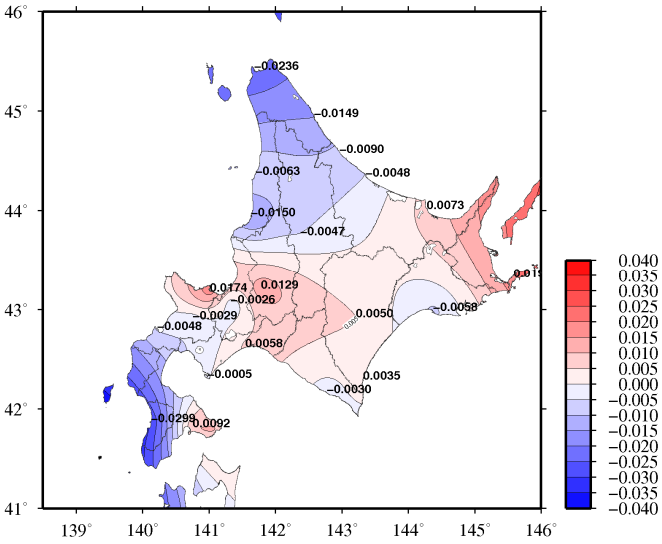


図 5　多雪指数の経年変換の傾き分布

大雪の発生回数は 2004 年が最大，次いで 2015 年となった．2004 年は北見豪雪の年であり道東で大雪が多発した年である．2015 年は急速に発達した低気圧（爆弾低気圧）が次々に北海道付近を通過し[4]，大雪を降らせた．大雪の発生回数の経年変化は統計的に有意ではないが，増加傾向にある．地域別の特徴では，日本海側の留萌管内は増減傾向がなく，オホーツク海側は 2000 年冬季以降増加傾向にあった（図省略）．

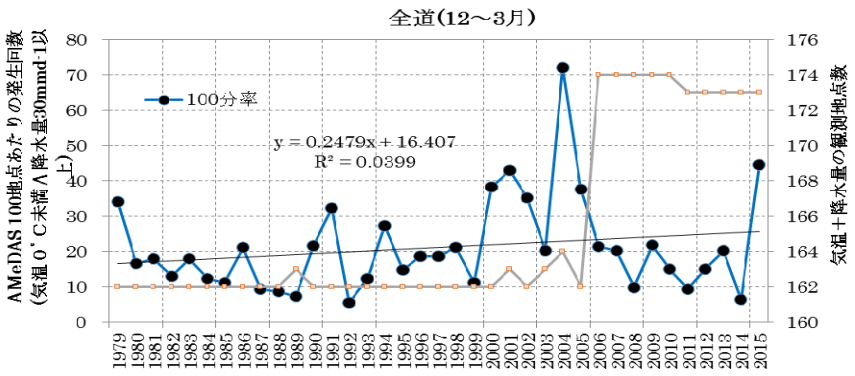


図 6　全道アメダスの大雪の発生回数の経年変化　1979 年～2015 年

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

５．吹雪量の経年変化

本章では，吹雪災害の発生や災害危険度の指標となり得る吹雪量の経年変化を見る．気象データから吹雪量を計算する式はいくつか提案されているが，ここでは松澤の４乗式 [5] を用いた．ただし，できるだけ長期の傾向を見るためにデータが少ない降雪の有無は考慮せず，気温と風速だけを用いた．

図 7 は日本海沿岸３地点と道東沿岸３地点における年吹雪量の経年変化を表す．いずれの地点も近年は増加傾向で，吹雪災害の危険性が高まっており，羽幌，留萌，根室，斜里では増加傾向が 5%検定で有意となった．

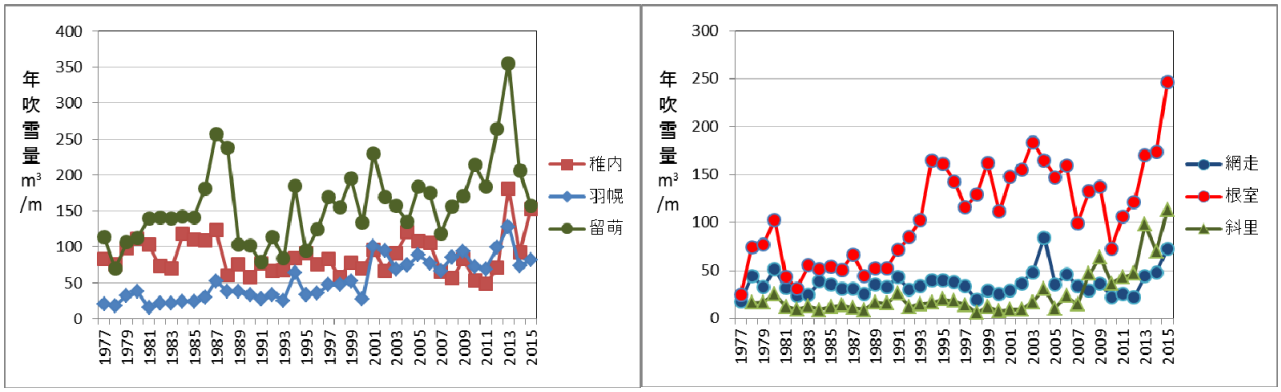


図 7　年吹雪量の経年変化　1977 年～2015 年
左：日本海側の稚内，羽幌，留萌　　右：東側の網走，根室，斜里

６．おわりに

気象予報に携わる者の間では，1990 年代以降は大雪をもたらす天気図パターンは，冬型の気圧配置が減って低気圧の通過が増加する傾向にあると言われてきた [3]．北海道における最近の４冬季の降雪状況や吹雪災害を見ても，この傾向に変化はないようである．特に 2015 年冬季は爆弾低気圧の発生数が 10 個と過去 17 年間で最も多く [4]，気候変動に伴う今後の増加が懸念される．

“最深積雪”や“大雪発生”の経年変化は，道東で増加，日本海側は減少や横ばいだが，暴風雪の危険性を表す“吹雪量”は全道的に増加していることがわかった．気候変動に適応した大雪・暴風雪対策が社会的に必要であり，特に暴風雪の状況を適切に表現する情報の開発が重要である．雪を知る雪氷学会の社会に対する役割は大きいと考える．

【参考文献】

1)　北海道新聞朝刊　2015 年 2 月 27 日付
2)　中井専人，2015：“多雪指数”を用いた全国の多雪・少雪の年々変動と分布，天気，62，187-199.
3)　谷口 恭，齊藤 正美，須藤 哲寛，中村 一樹，中津川 誠，2005：北海道の冬期における大雨・大雪事例出現頻度の経年変化について，日本雪氷学会全国大会
4)　北海道新聞朝刊　2015 年 3 月 1 日付
5)　道路吹雪対策マニュアル，2011 年 8 月，寒地土木研究所

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北極海氷域減少に伴う東アジアの寒冬と成層圏過程の役割

Cold winters in East Asia due to the recent Arctic sea ice reduction and role of the stratospheric processes

山崎孝治，中村哲（国立極地研究所／北海道大学），
岩本勉之（国立極地研究所／新潟大学），
本田明治，浮田甚郎（新潟大学），
三好勉信（九州大学），
小川泰信，冨川喜弘（国立極地研究所／総合研究院大学）
Koji Yamazaki, Tetsu Nakamura, Katsushi Iwamoto, Meiji Honda, Jinro Ukita, Yasunobu Miyoshi, Yasunobu Ogawa, and Yoshihiro Tomikawa

１．はじめに

北極域の海氷面積は近年急速に減少しており，北極域の気温は全球平均の２倍の速さで温暖化している．一方，冬季，東アジアや欧州など北半球中緯度では寒冬の頻度が増している．秋の北極海の海氷減少が東アジア域の寒冬をもたらすことが観測や数値実験で明らかになってきた[1), 2), 3)]．昨年の北海道支部研究発表会でもこのテーマで述べたが，その時のモデルの地表境界条件にバグがあったので修正した結果を報告する[3)]．さらに，海氷減少が北極振動を負位相にシフトさせ，東アジアに寒冬をもたらす上で成層圏の役割を調べた実験の結果を紹介する．

２．データと方法

海面水温(SST)及び海氷密接度(SIC)の観測データは the Merged Hadley NOAA/OI SST and SIC (Hurrell et al.[4)]) を用いた．大気データは ECMWF の ERA-interim (Dee et al.[5)])を用いた．期間 はいずれも 1979− 2011 年の 33 年間である。

大気大循環モデル（AGCM）として，地球シミュレータの AFES ver.4.1.T79L56 を用いた．本研究で使用したモデルの上端は 60 km と高い．数値実験は 1979-1983 年の昔の５年平均の境界条件（SST と SIC）を与えたランを control(CNTL) run とし，海氷だけを最近の条件にしたものを N.Ice run とし，N.Ice run から CNTL run を引くことで海氷減少の効果を論ずる．詳しくは Nakamura et al.(2015)[3)] を参照されたい．

次に，成層圏の役割を明確にするために，成層圏の 10/30/100 hPa より上層の帯状平均東西風を CNTL ランの日々の気候値に引っ張る実験を行った．気候値に戻すという意味で, Restoring 実験（RS 実験）とよぶ事にする. RS10/30/100 実験は 10/30100 hPa 以上で気候値に戻す力を加え，その時定数は 3/10/30 hPa 以上で１日とするように変化させた（図１左）．その結果，なにもしない Free ランに比べて成層圏での帯状平均東西風の年々変動は減少した（図１右）. ただし, 対流圏ではほとんど変化はない.

これらのランは 10 年のスピンアップ後，各々60 年積分した結果を解析する．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

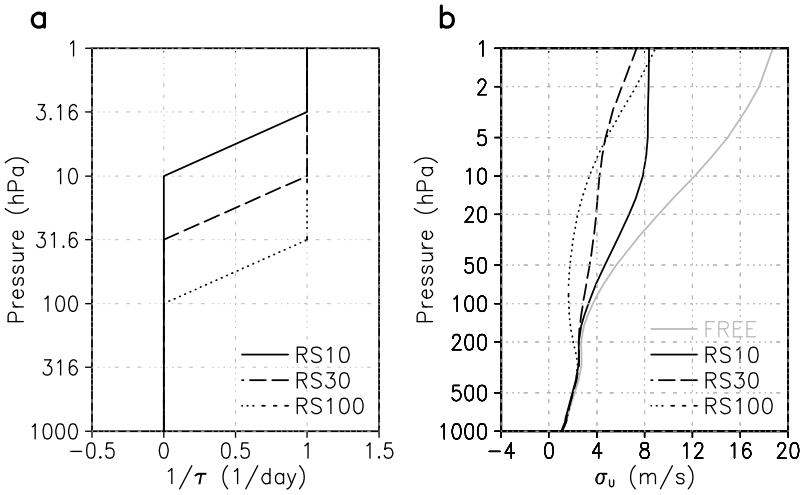


図１（左）RS10,RS30,RS100 実験における damping 係数の鉛直分布．（右）各ランにおける１月の 60N の帯状平均東西風の標準偏差．CNTL ランの 60 年積分から計算．

３．結果

図２は海氷減少の冬季における影響を示している．どのランにおいても北極域の海氷減少は北極海やオホーツク海などの海氷減少地域及びその近辺で大気下層の気温上昇をもたらす（図２下）．理由は晩秋～初冬にかけてバレンツ海・カラ海の海氷面積が減少すると暖かい海表面からの乱流熱フラックスが増加し下層大気を暖めるからである．一方、東アジア域の有意な低温偏差は FREE ランのみみられ，RS10 ランでは弱い低温偏差はあるものの有意ではない．RS30/100 では東アジアの低温域は見られない．

対流圏の大気循環（500 hPa 高度，図２中）を見ると，FREE では欧州・シベリア・極東の波状パターンを伴い，北極域で正偏差，中緯度で負偏差の北極振動／北大西洋振動の負のパターンが顕著である．下部成層圏（図２上）でも負の北極振動パターンが見られる．しかし，RS10 ランでは 300 hPa でのバレンツ海付近での正偏差のみ FREE と共通で，その他は似ていない．ただし，成層圏では弱い負の北極振動パターンが見られる．RS30/100 ではバレンツ海上の対流圏での正高度偏差を除いて，FREE ランとは全く異なる．これから，海氷減少域の直接の温暖化は成層圏とは関係なく起こるが，東アジアの寒冷化のような遠隔応答は全成層圏を適切に扱うモデルでないと表現できない．これは東アジアの寒冷化は成層圏経由の現象であることを強く示唆している．

次に，海氷減少シグナル（N.ICE-CNTL）の鉛直構造と季節進行について述べる．北極振動は高緯度（60N 付近）の西風の変動を伴う．そこで北極振動のプロキシとして 60N の平均西風偏差の時間・高度断面図を図３上に示す．また，成層圏の西風の変動をもたらす 100 hPa における EP flux の上向き成分偏差を図３下に示す．FREE では，12 月下旬から１月にかけて対流圏から成層圏へのプラネタリー波のフラックスが増えて（図３右下），上部成層圏（～1hPa）の西風が減速し，減速シグナルが１月下旬～２月に対流圏に降りてきて（図３右上）負の北極振動／北大西洋振動を形成する．RS10 では成層圏のシグナルはあるが非常に弱く，100 hPa までは降りてくるが，対流圏まで影響しない．RS30/100 では偏差は上部成層圏に限られ、対流圏ではシグナルがない．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

４．まとめ

北極域の海氷減少が大気循環に与える影響に関する AGCM 実験を行った．実験からわかった海氷減少が東アジアで低温偏差を生じさせるメカニズムは以下の通り．海氷減少にバレンツ海・カラ海は晩秋以降，温暖化し上空に高気圧偏差ができる．これが南東向きのロスビー波を誘起しとしてシベリアに伝播し，もともとあるトラフを深くする．増幅したプラネタリー波は成層圏に伝播しそこの西風を減速し北極振動を負にシフトさせる．成層圏での偏差が対流圏に影響し，対流圏での負の北極振動をもたらすと考えられる．このため成層圏は「海氷減少による東アジアの寒冷化」を再現するためには必須である．

今回の結果は海氷減少に限らず，数値モデルによる長期予報や温暖化予測においても成層圏を適切に表現したモデルが必要であることが強く示唆するものである．

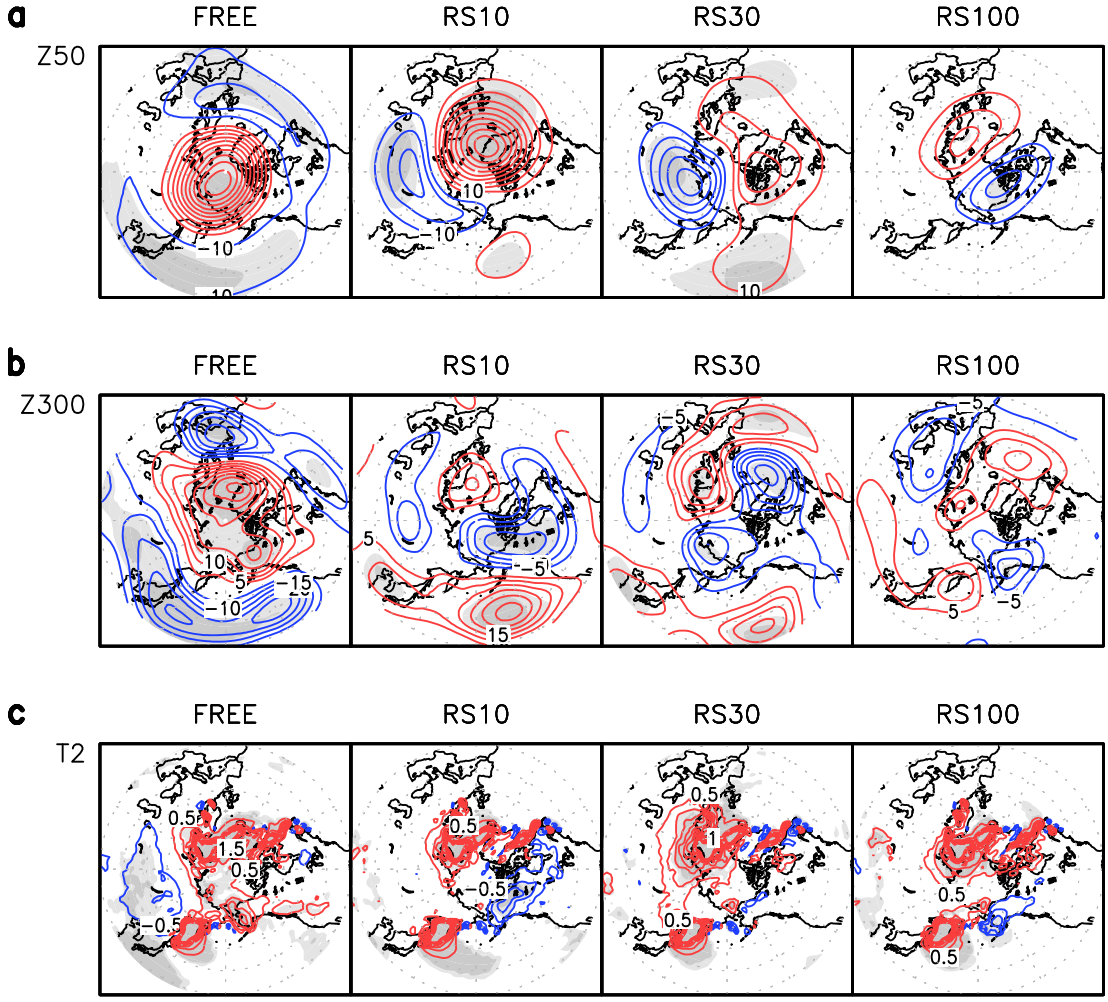


図 2 冬（12,1,2 月）平均の N.ICE ランと CNTL ランの差．（上）50 hPa のジオポテンシャル高度．等値線間隔は 10m．（中）300 hPa のジオポテンシャル高度．等値線間隔は 5m．（下）地表 2m 高度の気温．等値線間隔は 0.5K．いずれも赤は正，青は負でゼロ線は省略．薄い（濃い）灰色の影は差の統計的有意性が 95(99)%以上のところ．（左から右へ）FREE ラン，RS10 ラン，RS30 ラン，RS100 ラン．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

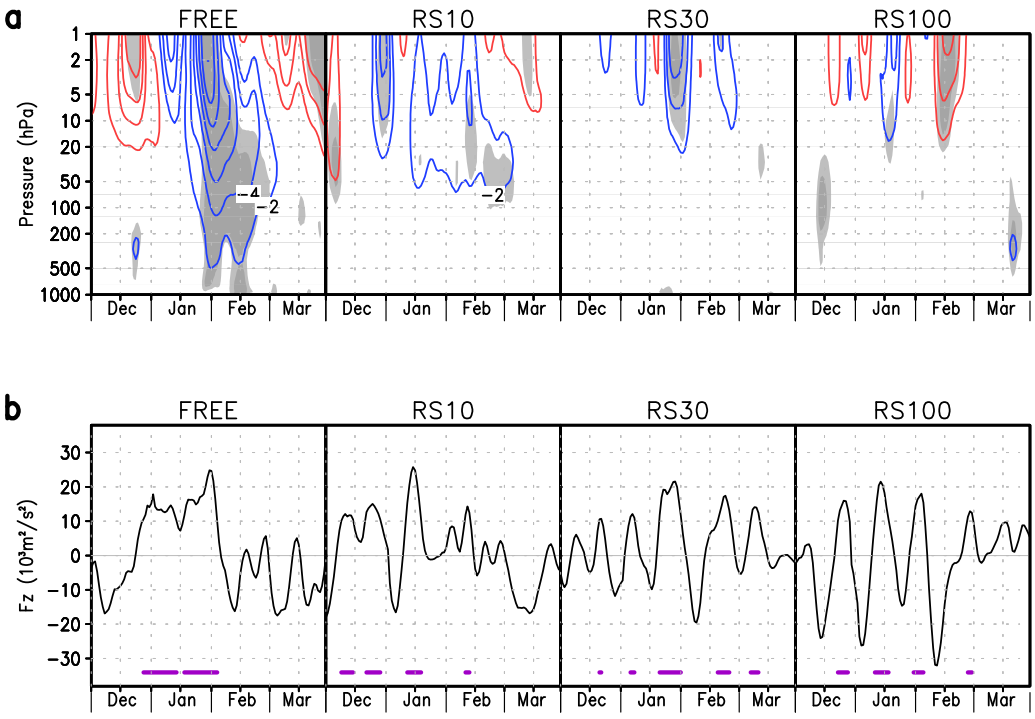


図 3　（上）60N の日平均帯状平均西風偏差の時間・高度断面図．等値線間隔は 2m/s．正は赤，負は青．差が 95(99)%で有意な所に薄い（濃い）影．（下）50-80N 平均の 100 hPa での EP flux の鉛直成分（Fz）偏差．偏差が 10^4 m^2s^{-2} 以上の所を紫で示す．（左から右へ）FREE ラン，RS10 ラン，RS30 ラン，RS100 ラン．

謝辞

当実験で使用した AFES モデル実験は JAMSTEC の地球シミュレータで行った．当研究は GRENE 北極気候変動事業の一環として行った．

【引用文献】

1) Mori, M., M. Watanabe, H. Shigeo, J. Inoue, and M. Kimoto (2014), Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades, *Nat. Geosci.*, 7, 869-873, doi:10.1038/ngeo2277.

2) Kim, B.-M., et al. (2014): Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nat. Commun.*, 5, 4646, doi: 10.1038/ncomms5646.

3) Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, and J. Ukita, (2014), A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea ice reduction in late autumn, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2014JD022848.

4) Hurrell, J., J. Hack, D. Shea, J. Caron, and Rosinski, 2008: A new sea surface temperature and sea ice boundary dataset for the Community Atmosphere Model, *J. Climate*, **21**, 5145-5133.

5) Dee, D. P., and 35 co-authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 553-597, doi:10.1002/qj.828.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北極海航路の氷況と可航性に関する研究
Study on Navigability and Ice Condition of the Northern Sea Route

森下裕士（北見工業大学大学院），舘山一孝（北見工業大学），
大塚夏彦（北日本港湾コンサルタント）
Hiroshi Morishita, Kazutaka Tateyama, Natsuhiko Otsuka

１．はじめに

地球温暖化に伴って北極海の夏期海氷面積は減少傾向を示しており [1]，北極海航路を航行する船舶数が年々増加し，実用化への期待が高まっている．北極海航路の最大の利点は，アジアとヨーロッパの航行距離を最大で40%削減できることにある [2]（図 1）．さらに，北極海に面するロシア沿岸部には豊富な天然資源が存在し，北極海航路を利用することで世界への流通が可能となる．しかしながら，一般的な輸送船が北極海航路を利用できる期間は 6 月から 10 月に限られ，さらに融け残った航路上の海氷の影響を受けている．

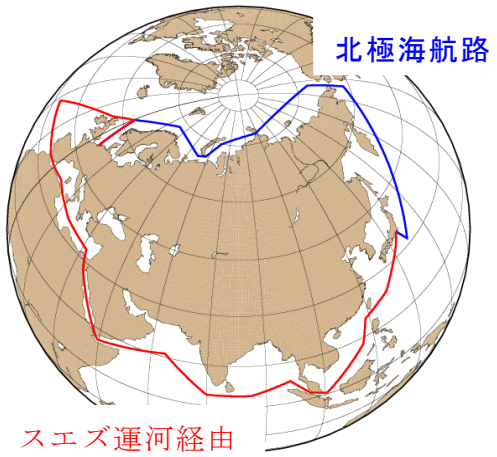


図 1　北極海航路（青）と従来の貿易航路（スエズ運河経由、赤）

本研究では，夏期に北極海航路を航行した実船データと衛星観測から得られた氷況データを比較し，氷況と可航性について調査した．最終的に衛星データから得られた氷況をもとに日平均船速を予測し航海日数を推定する手法の確立を目標としている．

２．使用データ

２．１　衛星氷況データ

氷況データとして，衛星搭載マイクロ波放射計 AMSR2 によって観測された情報を使用した．AMSR2 は，JAXA（宇宙航空研究開発機構）によって打ち上げられた人工衛星 GCOM-W1（水循環変動観測衛星）に搭載されており，空間分解能が 10×10km^2 である．6，7，10，18，23，36，89GHz の 7 つの周波数帯で地表や海面から放射されるマイクロ波を観測している．

本研究では，海氷密接度（開放水面に対し海氷に覆われている海面の占める割合）と海氷厚の 2 種類を氷況データとして使用した．海氷密接度は JAXA によって算出されたデータを使用し，JAXA の情報提供サービスより取得した．海氷厚は，推定式 [3] を用いて AMSR2 の輝度温度から計算した．夏期に海氷が融解して現れるメルトポンド（海氷表面の水溜り）が 20%を超える場合，推定氷厚に大きな誤差が生じることから，メルトポンドが 20%以下の場合のみ氷厚計算を行った．

２．２　実船データ

2002 年に，海上における人命の安全のための国際条約である SOLAS 条約が改正され，国際航海に従事する積載重量 300 トン以上の船舶には AIS（船舶自動識別装置）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

の搭載が義務付けられた[4]．本研究では実船データとして，*SHIP FINDER* という情報提供サービスを通じて北極海航路を航行した船舶の AIS から送信された船位および船速のデータを使用した．*SHIP FINDER* では過去の実船データは蓄積されておらず，4~6 時間で更新されるため過去に遡ってデータを取得することができない．そのため，解析を開始した 2014 年夏期のみのデータを使用した．

夏期の北極海航路における海氷融解に伴い，9 月の航行は海氷の影響が小さい．従って本研究では 6～8 月，10 月のデータ解析を行った．さらに，北極海航路の実用化を目的としているため，積載重量一万トン以上の大型貨物船を解析対象とした．以上の条件に該当する船舶は全部で 22 隻であったが，データに欠損がない 19 隻について解析を行った．

19 隻の 2014 年夏期の航跡を図 2，仕様および隻数を表 1 に示す．図 2 の黄色の枠内は天然ガスや石油などの天然資源が豊富な地域であり，船舶の航行が集中していることがわかる．表 1 に示している氷海船級とは，海氷に対する船舶の強度を示したものであり，表の左から右に向かって強度が高くなる．2014 年夏期は主に氷海船級が中程度で，サイズが比較的小さい船舶が航行していたことが分かった．

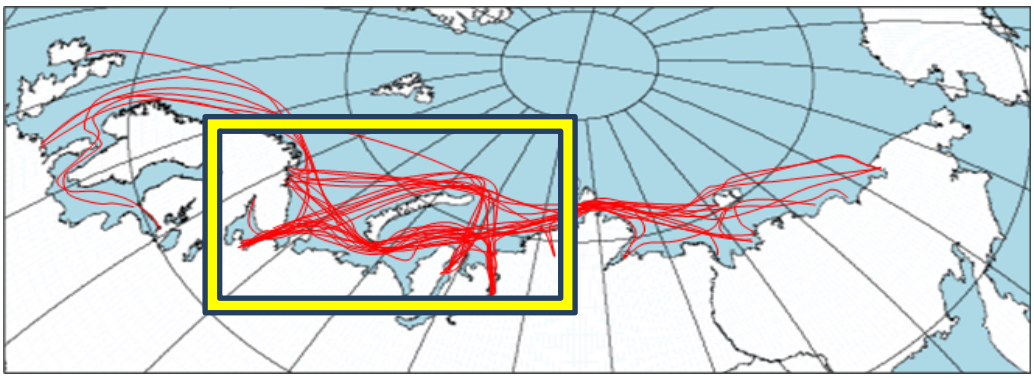


図 2　本研究で解析した 19 隻の航跡（2014 年 7 月～9 月）

表 1　解析を行った 19 隻の貨物船の仕様．括弧内の数字は貨物船の隻数

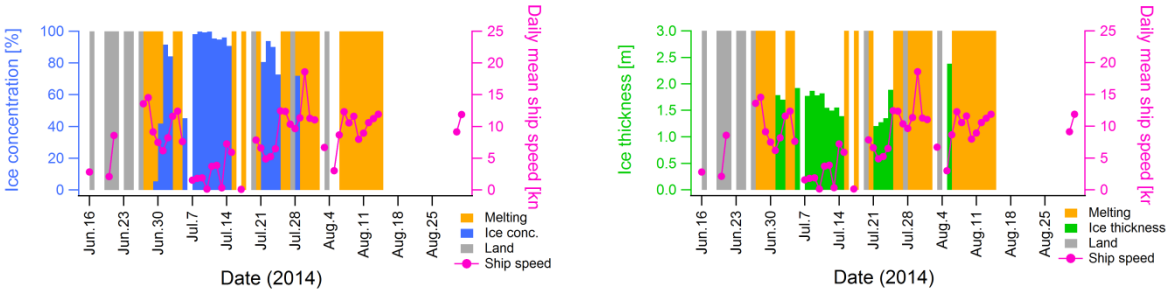
氷海船級（隻数）	1B (-)	PC7 (8)	PC6 (5)	PC5 (-)	PC4 (6)	PC3 (-)
積載重量トン（隻数）	10,000 ~ 20,000 (8)		20,000 ~ 40,000 (10)		40,000 ~ (1)	
種類（隻数）	バルカー (6)		一般貨物船 (7)		タンカー (6)	

３．解析結果

最初に，各船舶が北極海航路を航行した際の氷況に対する船速の変化を調べた．図 2 は，解析を行った 19 隻の中から代表的なある 1 隻の日平均船速（ピンク色折れ線グラフ）と氷況の日変化を示したものであり，(a)は海氷密接度（青色棒グラフ），(b)は海氷厚（緑色棒グラフ）の変化を示している．橙色の棒グラフは海氷の融解により表面に水溜りが生成された海域を示す．灰色のバーは船舶が陸地の近くを航行していたことで衛星データが得られなかった海域を示す．折れ線は，日平均船速を示しており右軸に対応している．氷況と日平均船速を比較した結果，海氷密接度が高く，海氷厚の

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

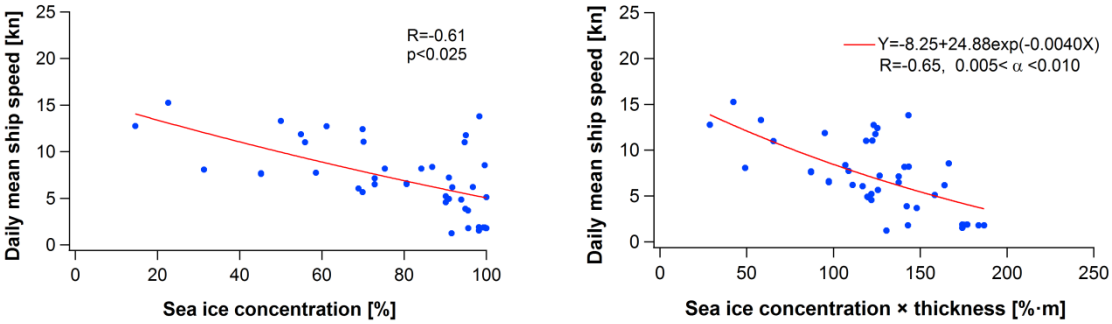
厚い海域では，船速が減少する傾向にあった．ただし，氷況に関係なく減速するケースも見られた．それらは，船舶が目的地に近づくにつれて減速した場合や，砕氷船による援助を待っていた場合，衛星の空間分解能では観測が困難な局所的な海氷が航路を遮った場合が考えられる．



(a)海氷密接度と日平均船速　　(b)海氷厚と日平均船速

図 2　ある船舶が航行した際の氷況と日平均船速の変化

次に，全 19 隻分について図 2 と同様に氷況と日平均船速の関係を調査した（図 3）．図 3(a)では，海氷密接度を横軸，日平均船速を縦軸にとっており，両者の関係を散布図に示したものである．航行時の海氷の影響に着目するため，港付近にて減速しているデータおよび停泊中のデータは省略している．図 3 (a)より，海氷密接度と船速には負の相関関係があることがわかった．図 3(b)ではさらに(a)に海氷厚のデータを加えて考慮したものである．横軸には，海氷密接度に海氷厚をかけた値としている．図 3 (b)より，海氷厚を考慮することでより負の相関が強まり，有意性も高まった．さらに，図 4 は図 3(b)の氷況と船速変化を氷海船級ごとに表示したものである．PC4 は平均速度が大きい傾向がみられるが，PC6 と PC7 では両者の特徴を判別することは困難であった．



(a)海氷密接度による日平均船速変化　　(b)氷況による日平均船速変化

図 3　全 19 隻の氷況による日平均船速変化

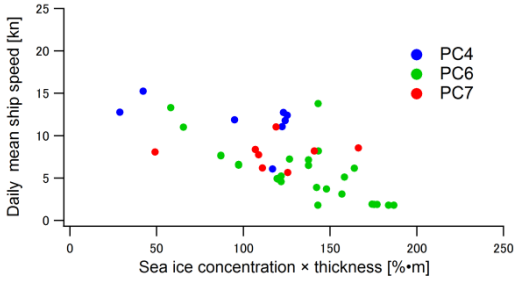


図 4　氷海船級ごとにみた氷況による日平均船速変化

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

次式は，図 3(b)から得られた氷況 X と日平均船速 Y との関係式である．

$$Y = -8.25 + 24.88\exp(-0.0040X) \cdots (1)$$

(1)式を用いて，ある船舶の日平均船速の推定値を氷況から算出し，実際の日平均船速を比較した結果を図 5 に示す．横軸が日付，縦軸は日平均船速を示している．また，全 19 隻のデータの内，日付の重複するものが見られたが，実船データと計算値の差を可視化するため，図を分割した．点は実船データ，棒グラフは計算値を示す．また，全 19 隻の解析結果の内，平均二乗誤差は 2.93kn（ノット）であり，計算値が過大評価しているケースが多く見られた．

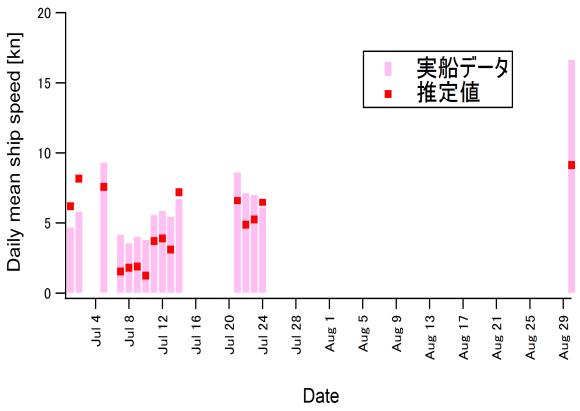


図 5　ある船舶の実船データと計算値の日平均船速比較

４．考察

日平均船速の推定値が実際よりも過大評価する場合は，衛星では感知不能であった氷盤の影響を受けたことが考えられる．また，船速が過小評価される場合は，海氷密接度が高く，海氷厚が薄い海域を航行したことが挙げられる．本研究では，海氷密接度の値と海氷厚の値をかけた値を氷況としたため，海氷密接度が高く海氷厚が薄い海域，海氷密接度が低く海氷厚が厚い海域が区別できなかったことが考えられる．今後は，海氷密接度と海氷厚に重みを付けることでより細かく氷況を区別する必要がある．

【参考文献】

1）JAXA (2012): 北極海海氷の観測データ解析結果について～北極海海氷の面積 観測史上最小記録更新～，http://www.jaxa.jp/press/2012/09/20120920_arctic_sea_j.html
2）NHK(2014): 解説委員室 解説アーカイブス～視点・論点「現実となる北極海航路」～, http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/400/195160.html
3）R. A. Krishfield(2014), Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1271-1305
4）海上保安本部(2015):AIS をもっと活用しよう，
http://www.kaiho.mlit.go.jp/10kanku/ais-kagoshima/gimusen.html

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

高周波水位測定によるカービングの統計解析と周波数解析
Statistical and frequency analysis of calving by high-frequency surface wave measurement

箕輪昌紘（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
杉山慎（北海道大学 低温科学研究所），
榊原大貴（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
ポドリスキ エヴゲニ（北海道大学 低温科学研究所）
大橋良彦（北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所），
澤柿教伸（法政大学 社会学部），内藤望（広島工業大学 地球環境学科），
スクヴァルカ ペドロ（パタゴニア氷原博物館）
Masahiro Minowa, Shin Sugiyama, Daiki Sakakibara, Evgeny Podolskiy,
Yoshihiko Ohashi, Takanobu Sawagaki, Nozomu Naito and Pedro Skvarca

１．はじめに

カービング（氷山分離）による氷河末端からの氷損失は，カービング氷河や氷床の変動に大きな影響を及ぼす [1]．カービングには様々な種類があり，主な種類としては空中からの氷塊落下や，水中からの浮上，さらにテーブル状の氷塊の分離が挙げられる [2]．またその規模も様々である．しかしながら，カービングの種類や頻度，規模について観測することは困難であり明らかとなっていない．

カービングの規模や頻度について測定する手法の一つとして，氷塊が水面と接するときに発生する水面波を測定することが有効である [3]．しかしながらこの水面波に関する研究例は少なく，手法の有効性は十分に明らかではない．

本研究では，カービングに起因する水面波を水圧測定により記録し，カービングの頻度と水面波の波高の日変動と季節変動を解析した．そして頻度と波高を気温や流動速度と比較することでその決定要因を考察した．また，異なる種類と規模のカービングにより発生した水面波を比較することで，カービングの種類による水面波の異なりを明らかにした．

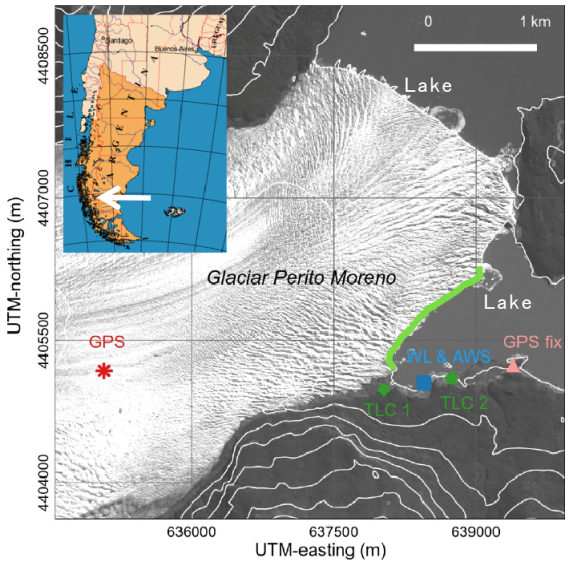


図１ GPS 測定の移動局（＊）と基準局（▲），水圧センサーと自動気象ステーション（□□），インターバルカメラ（◆）の位置を示す．背景画像は 2008 年 3 月に人工衛星だいちにより撮影された画像．

２．手法

２．１　カービングに起因する水面波の測定

2013 年 12 月 15 日から 2014 年 1 月 4 日，および 2014 年 10 月 6 日から 10 月 20 日，夏期 21 日間と春期 16 日間の計 37 日間，南パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河が流入

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

する湖においてカービングに起因する水面波を測定した（図 1）. HOBO U-20 水圧センサー（Onset 社）を水深 20 cm 付近に固定し, 2 秒間隔で水圧を連続測定して水位の変化を記録した. 測定精度は水位±0.5 cm に相当する.

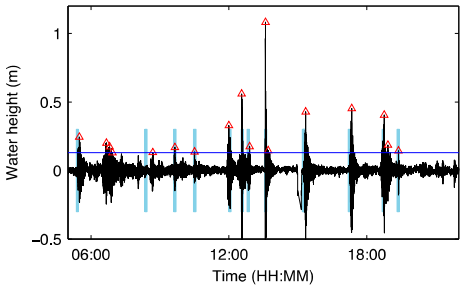


図 2 水位データ（実線）と水位から検出したカービング（▲）. 青色の縦線はインターバルカメラで撮影されたカービングを示す.

２．２　インターバル撮影

デジタルカメラを使用して, 二ヶ所から氷河末端をインターバル撮影した（図 1）. カメラはバイコム社のガーデンウォッチカム（解像度: 1280×1024 画素）を使用した. 撮影頻度は毎分 1 回である.

２．３　GPS 流動測定

氷河末端から上流に約 4 km の地点で, 二周波 GPS（全地球測位システム）（測地衛星株式会社 GEM-1）を使用し流動速度を測定した（図 1）. 長さ 2 m のアルミニウムポールを氷河表面に埋め込み GPS アンテナを設置した. スタティック干渉測位により夏期は 15 分毎に春期は 30 分毎にポールの位置座標を測定した. 測定誤差は, 水平方向に 2–3 mm, 垂直方向に約 10 mm である. GPS データの解析には RTKLIB を使用した.

２．４　気象測定

氷河末端付近に自動気象ステーション（ヴァイサラ社 WXT520）を設置し, 気温, 大気圧, 湿度, 風速, 風向, 降水量を 5 分毎に測定した. また, GPS を設置した氷河上のポールにも小型温度ロガー（日置社 LR5001）を設置して気温を測定した. 測定精度はそれぞれ±0.3°C と±0.5°C である.

２．５　カービングの検出

測定した水圧データ（P_l）を, 以下の式により気圧データ（P_a）で補正することで, 水位（H_l）を計算した.

$$H_l = (P_l - P_a)/\rho_w g \qquad (1)$$

ここで, ρ_w は淡水の密度（1000 kg m^{-3}）, g は重力加速度（9.81 m s^{-2}）である.

その後, 400 秒毎に水位データを区切りその極大値が 0.13 m を超えたものをカービングとして検出した（図 2）. これらの閾値は, 水位から検出したカービングがインターバルカメラによる観察と一致するように設定した.

３．結果と考察

３．１　カービングの頻度

水位測定によって, 夏期 21 日間と春期 16 日間にそれぞれ 640 回と 195 回のカービングを検出した（図 3）. 春期と夏期の日平均カービング頻度は, それぞれ 12 d^{-1} と 30 d^{-1} であった. これは季節平均の流動速度や気温の上昇と関係があると考えられる. さらに, 夏期のデータに着目すると, カービングの頻度は夏期気温と流動速度の変動に伴って数日から数週間の時間スケールで変化を示した（図 3a）. 例えば, 12 月 15–26 日の平均カービング頻度が 21 d^{-1} であったのに対し, 12 月 27 日から 1 月 2 日の平均カービング頻度は 50 d^{-1} に増加した. 増加のタイミングは 12 月 27 日の気温上昇や流動速度増加のタイミングと一致していた. これらの結果は, 気温上昇による融解量の増加が氷破砕と流動を促進しカービングを引き起こすことを示唆している. 気温や流動速度とカービングの関係はペリート・モレノ氷河で行われた先行研究による結果と一致する [3].

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

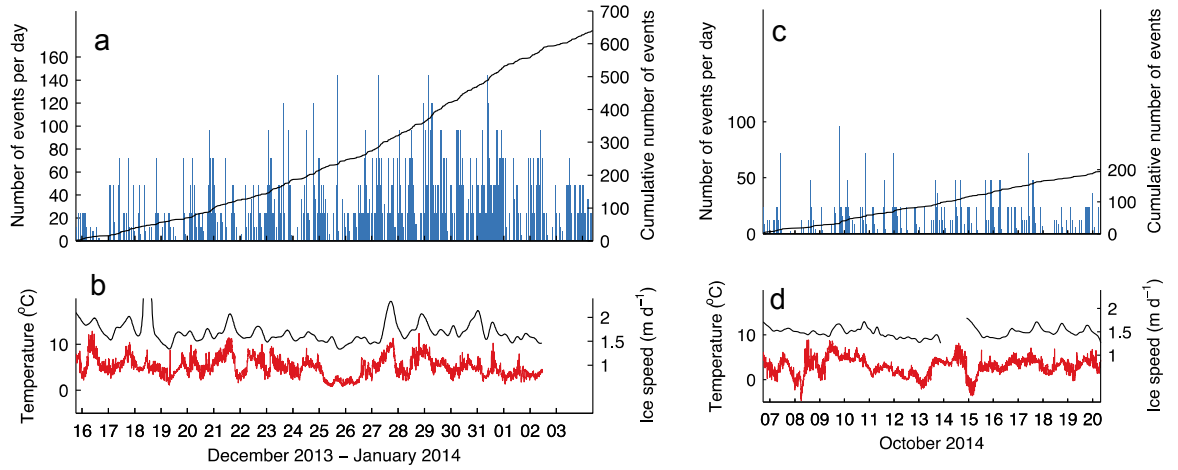


図 3　（a）夏期に測定したカービングの位置日あたりの発生頻度（左軸）と累積発生頻度（右軸），および（b）表面流動速度（黒線）と気温（赤線）．（c, d）春期に測定された同じデータセット．

次に春期と夏期のカービングの発生間隔と，カービングによる水面波の波高について比較した(図 4)．夏期は間隔 0.7 時間であったのに対し，春期は平均 1.7 時間と 2.4 倍であった(図 4a)．一方で，春期と夏期の平均波高は 0.33 m および 0.36 m と同程度であった(図 4b)．水位測定地点からカービング発生地点までの距離が春夏で大きく変わらないとすれば，波高はカービングの規模に関係すると考えられる．したがって，カービング量の季節変動はカービングの規模ではなく発生間隔によって説明されることが示唆された．

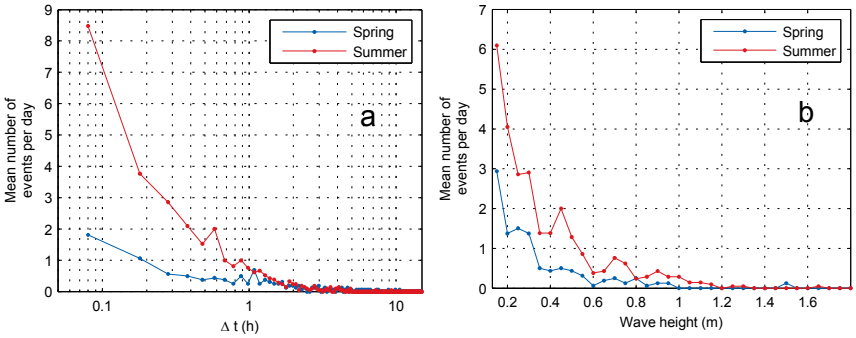


図 4　（a）カービングの発生間隔と（b）水面波の波高の日平均の測定回数．

3．2　周波数解析

インターバル撮影で取得した画像情報を元にして，3 種類の特徴的なカービングに対応する水面波を抽出した（図 5）．3 種類のカービングはそれぞれ，（A）空中カービング大: 氷河末端から大きな氷塊が水中に倒れこむ（図 5A），（B）空中カービング小: 末端から小さな氷塊が落下（図 5B），（C）水中カービング: 水中で分離した氷塊が浮上（図 5C）である．A と B はペリート・モレノ氷河で頻繁に観測されるカービングである．C は

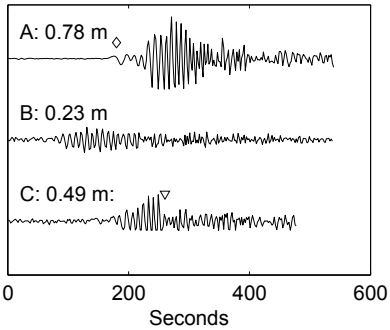


図 5　特徴的な 3 種類のカービングイベントにより測定された波形と最大波高．A 空中からの大規模のカービング，B 空中からの小規模のカービング，C 水中からのカービング．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

比較的稀なカービングで, 夏期に 3 回, 春期には発生しなかった. いずれのカービングもセンサーから~1100 m の地点で発生しており, 氷塊の大きさは A > B, A ≈ C である. まず波形を比較すると, 氷塊が大きいほど振幅の大きな水面波が測定された（ 図 5）. A と C は同規模の氷塊であったが, A の方が~30 cm 大きな水面波が測定された（図 5A 及び C）. また, A で最初に到達する波が明瞭であるのに対し（図 5◇）, B 及び C では明瞭でなかった. A と C では最大振幅の後次第に振幅が減衰していくのに対し, C では振幅が顕著に減少している（図 5▽）. これらの 3 つのカービングに起因する水面波について周波数解析を行った. いずれの水面波もカービングの発生していない時の水面波と比較して有意な周波数を持っていた（図 6）. 3 つの水面波はいずれも卓越周波数を 0.11 Hz に持っていた（図 6 一点鎖線）. 一方, A は BC と比較して, 比較的強い周波数が 0.08–0.18 Hz に広く分布していた. これらの水面波の波形や周波数解析の結果は, 原因となるカービングの規模と種類によって, 水面波が異なる波形と周波数を持つことを示唆している. さらに解析事例を増やし一般的な関係を解明することが今後の課題である.

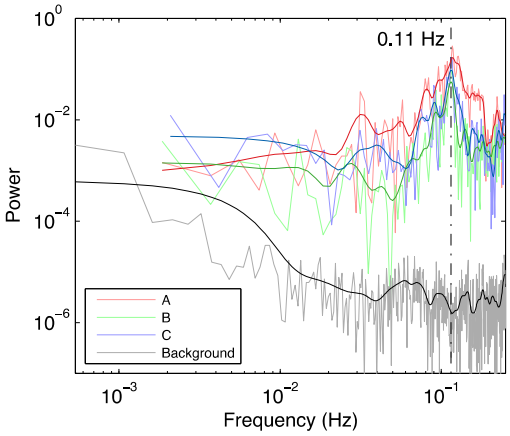


図 6　**図 5** で示したそれぞれのカービングに起因する水面波のパワースペクトル. 灰色は静穏時における湖のパワースペクトルを灰色で示す.

４. まとめ

2013 年 12 月から 2014 年 1 月の夏期と 2014 年 10 月の春期の 2 度にわたり, 南パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河のカービングに起因する水面波を測定した. また同時にカービングの様子をインターバル撮影した. その結果, 夏期は春期に対して 2.4 倍多くのカービングが発生していた. この結果は, 気温上昇による融解量の増加がカービングの季節変動を駆動することを示唆している.

3 種類の特徴的なカービングに注目して, 水面波の波形と周波数帯を比較したところ, カービングの種類と規模によって異なる波形と周波数が得られた. 今後さらに解析事例を増やすことで, 水面波とカービングのより一般的な関係を明らかにすることが重要である. 本研究は水圧センサーによる高周波水位測定が, カービングの頻度や規模を測定する有効な観測手法となる可能性を示唆している.

【謝辞】

本研究は科研費（基盤研究 B23403006）及び 日本雪氷学会井上フィールド科学研究基金の助成を受けて実施したものである.

【参考・引用文献】

1) Douglas I. Benn and 2 others, 2007: Calving processes and the dynamics of calving glaciers, *Earth-Science Reviews*, **82**, 143–179
2) C. J. ven dar Veen, 2002: Calving glaciers, *Progress in Physical Geography*, **26**, 1, 96–122
3) Y. Iizuka and 2 others, 2004: Water surface wave induced by calving events at Perito Moreno Glacier, southern Patagonia, *Bulletin of Glaciological Research*, **21**, 91–96

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

南極半島リビングストン島における氷河熱水掘削
Hot water drilling at glaciers on Livingston Island, Antarctic Peninsula

杉山慎（北大低温科学研究所），ナヴァロ・フランシスコ（マドリッド工科大），
澤柿教伸（法政大社会学部），瀬川高弘（極地研新領域融合研究センター），
大沼友貴彦（千葉大理学），ヴァシレンコ・エヴゲニ（ウズベキスタン科学アカデミー）
Shin Sugiyama, Francisco Navarro, Takanobu Sawagaki, Takahiro Segawa,
Yukihiko Onuma and Evgeny Vasilenko

１．研究の背景

南極半島では大規模な棚氷が崩壊し，多くの氷河が後退傾向を示すなど，氷河氷床の大きな変動が観測されている．この地域で起きている急激な温暖化がその主要因と考えられるが[1]，長期にわたる観測データは不足しており，氷河氷床変動の詳細とそのメカニズムは明らかでない．たとえば気温上昇によって，雪氷融解の促進とともに降雪量の増加が予想されるが，南極半島における質量収支の長期データは非常に少ない．また南極にあって比較的気温の高い同地域では，氷河底面の水理環境や，その変化が底面流動に与える影響が重要と考えられるが，それらの検討は進んでいない．

南極半島北端に位置するリビングストン島では，スペインの Juan Carlos I 世基地を拠点として氷河観測が行われている．1995 年に Johnsons 氷河で始まった質量収支観測は，2001 年から Hurd 氷河を含む領域に拡張された．過去 10 年の質量収支は質量損失の速度が低下していることを示しており[2]，温暖化が進行する同地域の氷河変動データとして興味深い．そのほか，氷レーダによる氷厚測定[3]，衛星データを使った氷帽全域での流動速測定も行われている[4]．Juan Carlos I 世基地では長期にわたる気象観測が継続されており，氷河研究の分野では南極半島にあって貴重な研究地である．

本研究では，リビングストン島で研究を進めるスペインの研究者と協力して，Johnsons 氷河と Hurd 氷河において熱水掘削を実施した．氷河底面水圧を測定し，その変動と氷流動への影響を明らかにすることが主目的である．また掘削孔を使って，氷の温度測定，氷河底面堆積物のサンプリングを実施した．同地域で過去に行われた研究と連携して，南極半島における氷河の底面環境および氷河変動のメカニズムの理解を目指すものである．

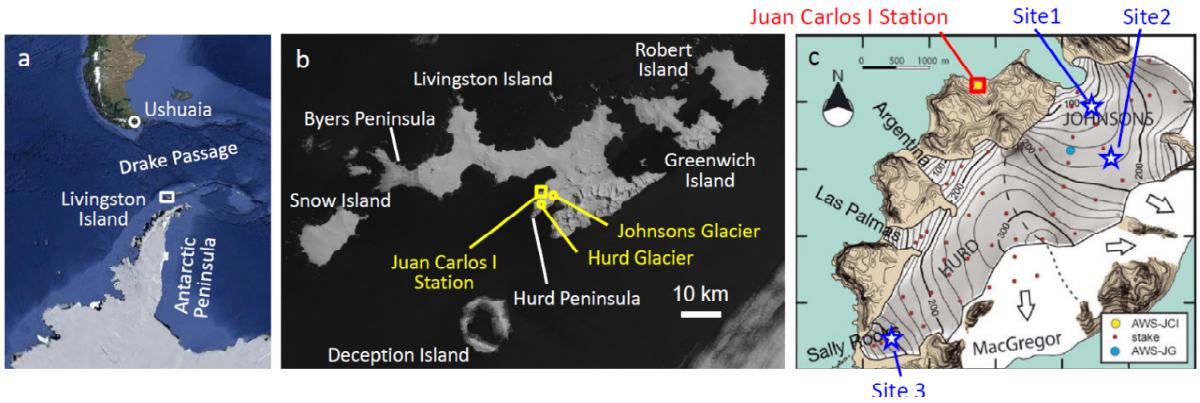


図 1（a）南極半島リビングストン島の位置．（b）リビングストン島周辺の Landsat 画像（2014 年 1 月 16 日撮影）．（c）Johnsons 氷河および Hurd 氷河の掘削地点．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

２．研究対象地

リビングストン島(62.6° S, 60.4° W)は南シェトランド諸島に属し, 全面積(974 km^2)の約 70% が氷に覆われている（図 1）．観測活動は，島の中心部に位置する Johnsons 氷河（5.36 km^2）と Hurd 氷河（4.03 km^2）で行った．Johnsons 氷河は末端がわずかに海に接するカービング氷河で，末端から約 400 m（Site 1）と，さらに上流約 800 m（Site 2）で掘削を実施した．Hurd 氷河では，陸上にある末端から約 500 m の地点（Site 3）を掘削した．いずれの掘削地も Juan Carlos I 世基地から 5 km 以内に位置し，徒歩，スノーモービル，ボートによって輸送と移動を行った．

３．熱水掘削

掘削には北大低温研で開発した熱水掘削システムを使用した [5]. システムは高圧熱水装置，高圧ホース，掘削ノズル，三脚，貯水槽などから構成され，約 150 m の氷厚が見込まれる本掘削では 2 台の熱水装置を用いた（図 2）．2014/15 年の夏シーズン，リビングストン島の氷帽は低標高域まで数 m の積雪で覆われ，掘削に必要な水の確保に苦労した．検討の末，容器に詰めた水をスノーモービルで輸送して，掘削地点の貯水槽に必要量を確保した．融解の進む 1 月後半には積雪層の下から流水を，また状況が許せば掘削中に孔からあふれる水をポンプで汲み上げて利用した． 約 150 m の掘削に必要な水はおよそ 5,000 L である．

2015 年 1 月 12–30 日に，Site 1 と Site 2 で各 2 本，Site 3 で 1 本の掘削に成功した．Site 1 では厚さ約 140 m，Site 2 では約 150 m の氷を全層掘削し，氷河上層の温度測定を目的とする Site 3 では深さ 70 m で掘削を終了した（表 1）．合計 5 本，総延長 650 m の掘削に要した時間は 10.5 時間である（平均 62 m h^{-1}）．ヒーターとポンプの燃料として，合計 213 L（20 L h^{-1}）の軽油と 36 L（3.4 L h^{-1}）のガソリンを消費した．

４．掘削孔を使った観測

掘削後, 孔内の様子を掘削孔カメラ(Raax SC-200)によって観察した（図 3）．掘削孔底部は懸濁しており，氷河底面には堆積物層が存在すると考えられる．氷河底面まで掘削しなかった Site 3 でも孔内の懸濁が確認され，氷河内部に火山灰層が含まれているためと思われる．

Site 1 と Site 2 では，各地点 1 本の掘削孔に水圧センサ（Geokon M4500S）を設置し，氷河上に導いたケーブルに接続したデータロガー（Campbell CR1000）で底面水圧を連続測定した．Site 1 の底面水圧は，掘削後しばらくの間高く一定の値を示したが，1 月 29 日から 30 日にかけて急激に低下し（掘削孔水位に換算して 50 m 以上），以降複雑な変動を示した（図 4）．Site 2 でもほぼ同時期にゆっくりと水圧の低下が始まった．この結果は，Johnsons 氷河の底面に排水システムが存在することを示すものである．一方，GPS （GNSS Technology GEM-1）

図 2 Site 2 における熱水掘削

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

表 1 各掘削孔の深さ，掘削に要した時間，燃料と水の消費量

掘削地点	掘削孔	深さ (m)	時間 (min)	軽油 (L)	ガソリン(L)	水 (L)
Site 1	BH1	139	104	50	8.0	3,120
	BH2	138	193	62	10.0	5,790
Site 2	BH3	153	166	50	8.5	4,980
	BH4	152	133	36	7.5	3,990
Site3	BH5	70	38	15	2.0	1,140
Total		652	10 h 34 min	213	36.0	19,020

で連続測定した氷の流動速度は，水位が低下した時期に加速イベントを記録した．以上の観測は，底面水圧の変化が底面流動をコントロールするとともに，流動変化が底面水理環境に与える影響を示唆している．このような観測結果は，南極半島では始めてとなるものである．

Site 1 と Site 2 の他の掘削孔では，新規に開発した紫外線殺菌装置による孔内殺菌，底面堆積物のサンプリングと採水を行った．掘削によって汚染された孔内の水を殺菌した後に堆積物を採取することで，氷底での生物活動を調査する試みである．採取された堆積物と水サンプルを持ち帰って分析し，生物活動の有無と殺菌装置の性能を確認する．

サンプリング作業を終えた掘削孔には，深さ 25 m 間隔でサーミスタ（Geokon M3810）を配置し，氷の温度測定を開始した．孔が閉じて掘削の熱的影響が除かれる次シーズン以降に正確な温度が測定される見込みである．Site 3 の掘削孔には，深さ方向により高い分解能を持つサーミスタチェーンを設置した．

５．まとめ

本研究では，氷河底面における水理環境と生物活動の調査，氷河内部の温度分布測定を目的に，南極半島北部に位置するリビングストン島において熱水掘削を行った．同地域における氷河底面探査は初めての試みである．研究活動は Juan Carlos I 世基地をベースにして，スペインの研究者と共同で実施した．

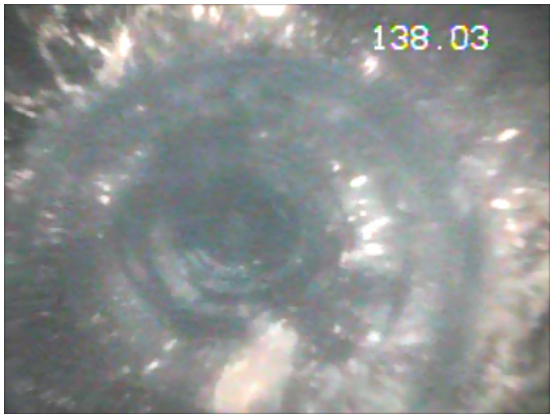


図 3 Site 2 の掘削孔深さ 138 m における掘削孔カメラ画像

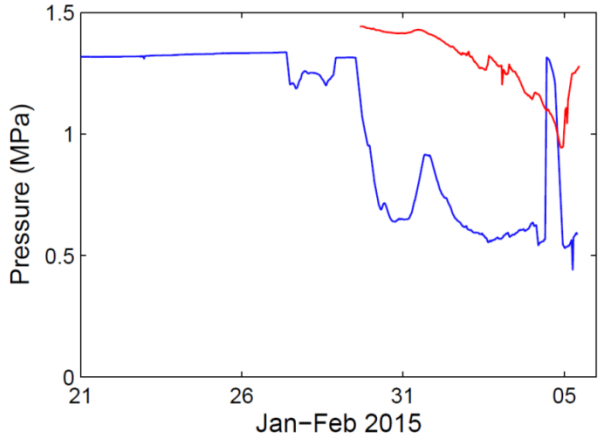


図 4 Site 1 と Site 2 における底面水圧変化

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

2015 年 1 月，Johnsons 氷河の 2 地点および Hurd 氷河の 1 地点において合計 5 本の掘削に成功した．掘削の総延長は 652 m，平均掘削速度 62 m h^{-1}，燃料の消費速度は経由 20 L h^{-1}，ガソリン 3.4 L h^{-1} である．掘削孔には底面水圧測定用の水圧センサ，および氷温測定用のサーミスタチェーンを設置した他，底面堆積物と水のサンプリングを行った．またサンプリングに先立っては，紫外線による孔内殺菌を試行した．

底面水圧は 1 月 29 日以降複雑な変動を示し，南極半島の氷河底面に排水システムが存在することが初めて確認された．またこの水圧変化と同時に，氷河流動が短期変動を示し，両者の関係性が強く示唆された．採取されたサンプルは現在日本に持ち帰って分析中である．また 2015/16 シーズンには氷温測定と流動測定を目的に，再度リビングストン島での観測を予定している．

【参考・引用文献】

1) Cook, A. J., A. J. Fox, D. G. Vaughan and J. G. Ferrigno，2013：Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century．*Science*，**308**，541–544.
2) Navarro, F. J., U. Y. Jonsell, M. I. Corcuera, A. Martin-Espanol，2013：Decelerated mass loss of Hurd and Johnsons Glaciers, Livingston Island, Antarctic Peninsula．*J. Glaciol.*，**59**(213)，115–128.
3) Navarro, F. J., J. Otero, Y. Y. Macheret, E. V. Vasilenko, J. J. Lapazaran，2009：Radioglaciological studies on Hurd Peninsula glaciers, Livingston Island, Antarctica. *Ann. Glaciol.*，**50**(51)，17–24.
4) Osmanoglu, B., F. J. Navarro, R. Hock, M. Braun, and M. I. Corcuera，2014：Surface velocity and mass balance of Livingston Island ice cap, Antarctica．*Cryoshpere*，**8**，1807–1823.
5) Sugiyama, S., P. Skvarca, N. Naito, K. Tone, H. Enomoto, K. Shinbori, S. Marinsek and M. Aniya, 2010: Hot-water drilling at Glaciar Perito Moreno, Southern Patagonia Icefield. *Bulletin of Glaciological Research*, **28**, 27–32.

【謝辞】

スペイン観測隊リーダーの Jordi Felipe，および Juan Carlos I 世基地メンバーの支援に感謝する．掘削・観測装置の開発に北大低温研技術部の新堀氏と森氏の協力を，また南極渡航手続きには石崎氏，樋口氏ら国立極地研究所の協力を得た．本研究はスペイン研究開発助成（CTM2011‐28980），および研究科研費(基盤研究 B23403006)の助成を受けて実施した．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

暴風雪被害から身を守る車両内装備品の実践的な評価
Evaluation of emergency-supplies for save a life against heavy snow storm

根本昌宏，尾山とし子，山本美紀（日本赤十字北海道看護大学）
Masahiro Nemoto, Toshiko Oyama and Miki Yamamoto

１．はじめに

局地的な大雪に伴う立ち往生・車内閉じ込めは，北海道はもとより徳島，大分など比較的温暖な地域においても発生している．2013 年 3 月に北海道道東地域で生じた暴風雪被害では，車内閉じ込め等で尊い命を 9 名失うという惨事となった [1)]．ホワイトアウトによる方向感覚の消失と，エンジンを付けたままにしたことによる一酸化炭素中毒が原因である．我々は厳冬期にエンジンを停止した車両内演習を通じ，車内で命を保つために必要な装備品の検証を継続している [2)]．本報告では 2015 年 1 月の暴風雪警報発令時に実施した車両演習において，新たに検証した資機材の有効性を客観的ならびに主観的に明らかにし，命を護ることを可能とする，車に備えるべき最低限の装備品を提案する．

２．厳冬期車内演習 2015

（１）実施概要

実施概要を表 1 に示した．車内演習の参加は自由意思で任意の参加とし，途中中断を可とした．演習は開始後 3 時間までとした．医療スタッフを常駐するとともに，15 分ごとに車内状況を確認して参加者の健康，安全性の確保に十分留意した．参加者の車内で使用できる装備品は表 1 のとおり 15 点であり，注意事項と使用順序についてはマニュアルを配布し，任意で省略しても良いこととした．

演習には車両 6 台を使用した．全体演習の参加者（体育館避難者）は 85 名であり，そのうち車内演習は 8 名が希望した．内訳は男性 7 名，女性 1 名であった．

演習は使用する車両のヘッドライトを点灯させて設営用のあかりを確保し，20 時から準備を開始した．エンジンをかけ車内温度を 15 度以上まで上昇させた後，20 時 30 分にエンジンを停止し演習を開始した（図 1）．車内外温度は温度ロガー（TR-71Ui, T&D 社）を用いて継続的に測定した．

表 1　車内演習の実施概要

災害想定	2015 年 1 月 17 日夕方，北見市において暴風雪の発生．車がスタックし，マフラーが雪に埋もれる可能性．
車内対応	一酸化炭素中毒を避けるためにエンジンを停止．
検証備品	1．足裏に貼るカイロ 2．足の甲に貼るカイロ 3．肩に貼るカイロ 4．カイロが入る手袋（ミトン） 5．バロクックヒートパック 6．寝袋 7．毛布 8．目出し帽 9．遮熱マット 10．手回しラジオ 11．USB ブランケット 12．モバイルバッテリー 13.ようかん（非常食） 14.水（アルミ缶，加熱可能） 15．携帯トイレ
手順	使用手順を記したマニュアルを配布（ただし事前に読まない）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（２）検証結果

図１　吹雪状況下での車両演習の設営

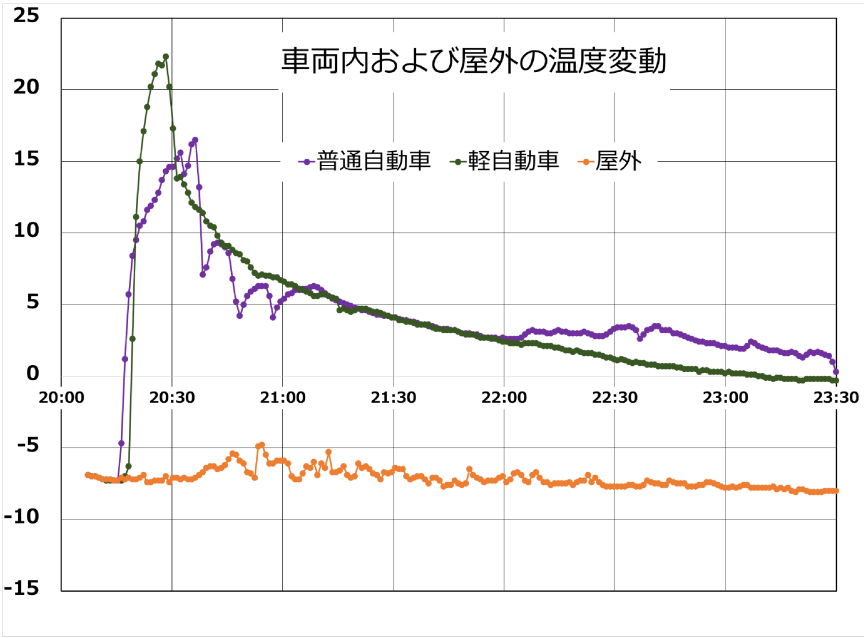


図２　車内及び車外の温度変化

演習時には網走地方に暴風雪警報が発令されていた．演習開始時（20 時）の外気温は-7℃であり，開始 3 時間後（23 時 30 分）においても同様の気温であった（図 2）．同時に測定した車内の気温は開始時が 16～22℃であり，1 時間後は 4℃，3 時間後は 0℃まで低下した（図 2）．快晴の同時期に実施した昨年の検証では外気温-15℃，車内温度は 3 時間で-6℃まで下がったが，暴風雪時には放射冷却は発生せず気温が下がりにくい [2]．今回の検証は，暴風雪時の気温を反映したものであり，エンジンを停止した車内では，-5℃までを想定した装備を用意すれば，万が一に対応できる可能性が示唆された．

本条件でエンジンを停止した車内で対応した 8 名のうち 7 名は装備品を使用した．1 名は装備品を使用しなかったが，開始 30 分頃から足の冷えが増幅し，3 時間が耐えられる限界であることを訴えた．装備品を使用したすべての参加者が足の冷え対策を推奨しており，足に貼るカイロの有用性と，座面にアルミシートを敷くことによる保温効果，さらに寝袋に足だけを入れるだけでも十分な暖かさが得られることを実証した．体温を外から保温するだけでなく，水によって約 70℃のお湯を生成可能なバロクックヒートパックを用いることによって，車内で火気を使用せずに温かい飲み物（今回は生姜湯）を作り出すことができた．図 2 の普通自動車において 22 時からの車内温度の若干の上昇はこのヒートパックによる発熱である．外からカイロ等で加温するよりも，温かい物を飲用して

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

図 3　車内演習中の参加者

図 4　参加者によるグループワーク

体内から加温する効果の方が温感が高く，低体温対策としての有用性が示唆された．その他保温については目出し帽までを用意したが，それでも露出している部分の冷たさに苦痛を感じており，寝袋をはじめとする身体のすべての部分を包み込む手法が必須である．反対に，これら保温・加温する装備品の使用によって温めすぎによる発汗を生じた参加者があった．寒冷環境下での発汗ならびに衣服の濡れは低体温症を引き起こしやすくなるため極力避けなければならない．物品を使うタイミングが難しいと訴えた参加者があったことから，使用する個々人に応じた手順を考える必要がある．

寒さ対策だけでなく，エンジンを停止した車内における孤独感，静寂や暴風雪に伴う風音の誘発する恐怖感などへの対応策の必要性も訴えられた．静寂性や恐怖感ならびに照明については，手回しラジオ（ICF-B08, SONY 製）の有用性が挙げられた．1 分間ハンドルを回転させることで約 1 時間のラジオ視聴を可能とし，静寂な環境下に天気予報やニュースなどの情報や音楽を供給することができる．電池等を必要としないため万が一にすぐに対応可能であり，携帯電話やスマートフォンの充電も行うことができるため，位置情報や安否状況の発信を確保できる．

３．まとめと今後の課題

〔検証備品について〕

外気温-16℃という厳寒条件で実施した昨年の検証と比較し[2)]，暴風雪環境下で実施した今回の検証では，暴風雪時に有用な物品と車内での対処方法についてより具体的な内容を明らかにすることができた．参加者からの意見として，カイロを中心とした加温資材と寝袋や毛布を組み合わせることによって，0℃環境下に耐えうる装備となり，さらに冷えやすい足先や手先を，貼るカイロ等で重点的に加温することで体感気温を上昇させることができた．低温環境下で，安全に温かい飲み物を作り出すことができるバロクックヒートパックは，体内から温度を高めるだけでなく，糖分やショウガを飲用することで，エネルギーの維持，熱産生の向上にも寄与したものと考えられる．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

今回使用したようかん（えいようかん，井村屋製）は，適度な水分を有した甘味食品であり，日本人にとってなじみが深い．個々人の好みに応じた精神的に和らぐ保存食を車内に確保することも重要であろう．何があってもドアを開けたくないという参加者の訴えや，暴風雪時にはドアが開かなくなる可能性を考慮すると，車内で用を足すことのできる簡易トイレは車内装備品として必要なものであると考えられる．

〔検証の課題〕

本検証では，昨年問題となったサバイバルシートによる結露・凍結問題を解決することができたが，加温資材を増やしたことによって寝袋の中での発汗を生じた例があった．万が一車両がスタックした場合には，車外で車の掘り起し等を行うことが想定され，この作業によっても大量の汗をかく可能性がある．濡れた状態で 0℃の車内で過ごすことは極めて難しく，低体温を生じる危険性を回避しなければならない．今回は車内装備としなかったが，乾燥した着替え等の準備も必要であろう．

加温資材として使用したカイロは，低温やけどを生じる可能性があることから就寝時の使用が禁止されている．本検証は，3 時間であったために就寝することはなかったが，実際の暴風雪時には就寝を伴うことも想定される．低温やけどを避けるにはこまめな部位の移動と温度を上げ過ぎないことである．安全なカイロの使用方法については事前教育が必要となろう．

〔検証を踏まえた提案〕

本検証によって，暴風雪時の車内に有用な資材を明らかにすることができた．カテゴリーとしては 4 つ，温かさ，情報，食，トイレであり，これらを網羅した簡易な装備を積雪地域を走行する車に常備することが重要である．具体的な資材としては，発熱する物品（足・手先を温めるカイロ），寝袋，手回しラジオ，最低限の食料・水が挙げられる．本研究は研究結果として終わらせるのではなく，広く積雪寒冷地域に住む市民に分かりやすく周知しなければならない．本検証を通じて実証した物品は 2015 年度の北海道北見市ハザードマップにも掲載された [3]．このような防災教育資材や地域防災活動を積極的に実施している団体等と協働して，積雪寒冷地域で暮らす人々が暴風雪時には外出しないこと，車内に最低限の資材を置くこと等の常識力の向上を図る必要がある．暴風雪被害は予報，注意喚起に耳を傾けることができれば未然に防ぐことができる．冬のモラルを向上させたうえで，万が一の際に必要な知識，技術の普及を進めていくことが，暮らしに安心・安全を提供することにつながるものと考える．

謝辞

本検証は網走地方道路防災連絡協議会との共催で実施致しました．取り組みの周知には，NHK 北見放送局，HBC 北海道放送，STV 札幌テレビ放送，北海道新聞，朝日新聞ならびに読売新聞にご協力頂きました．皆さまのご協力に感謝申し上げます．

【参考・引用文献】

1)北海道, 2013：低気圧に伴う暴風雪による被害状況等について, 平成 25 年 5 月 28 日全国積雪寒冷地帯振興協議会理事会配付資料

2) 根本昌宏, 尾山とし子, 2014：暴風雪時の車内閉じ込め事象を想定した車内泊装備の検証, *北海道の雪氷*, **33**, 145-148.

3)北見市, 防災いつでもノート, 2015，http://www.city.kitami.lg.jp/docs/2015031200099/

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

除排雪民具に関する所蔵分布調査
～北海道におけるジョンバの適応性～
A study of Distribution about Snow-removal Tools

小西信義（(一社）北海道開発技術センター）
佐々木亨（北海道大学大学院文学研究科）
Nobuyoshi Konishi，Sasaki Toru

１．本研究の目的～コスキとジョンバとの地域的差異～

北海道や新潟などの民俗誌によると細かな名称の違いはあるが，国内の豪雪地域では主にコスキ並びにジョンバと呼ばれる除雪具が使用されていた．

江戸時代後期の越後の随筆家である鈴木牧之[1)]は，コスキは一本木から作製されるヘラ状の除雪具で，「(雪を）掘るには木にて作りたる鋤を用ふ，里言にこすきという，則木鋤也」（鈴木 1837（1991），26-27）と記述し，「雪中第一の用具」と形容した．一方，北海道開拓記念館（現：北海道博物館）の氏家[2)]は，ジョンバを「大別すると雪をはねる部分の左右と後方に帆板を取付けたへらと柄によって構成され，より遠くに投げられるものと，帆板を付けないへらと柄によって構成されたもの，一本の木から製作したもの[1]と三つのタイプに分類される．また，へらの部分を竹編みとして先端部を鉄板で補強したものは主に新雪の除雪などに使用された」（氏家 1989，63）と分類した．越後魚沼の除雪具を研究した民俗学者の滝沢[3)]は，「雪との戦いにおける唯一の武器は，木製のコスキである」（滝沢 1985，194）と形容し，越後におけるコスキの唯一性を主張した．しかし，前掲の氏家が記述するように，北海道ではコスキと平行し，ジョンバなるものも使用されていたという．

つまり，コスキは豪雪地域では普遍的に使われているが，ジョンバの使用地域には限定性がある．そこで，本研究では除雪具の限定性と適応性を検討することで，微細な自然環境の違いに人びとが細やかに対応してきた姿を描き出すことを目的とする．

２．ジョンバの変遷とその適応性

氏家[2)]は，ジョンバの変遷とその適応性を論じている．明治末期から大正期頃，コスキが道南地方あるいは明治期の内陸部において使用されてきた．昭和40年代までには，帆板などを付けたジョンバや竹製ジョンバもコスキと併せ使用された．その理由として，「湿り気が少なく，寒暖の差が激しく凍結状の軽い雪質のため」（氏家 1989，64）という．昭和40年代から現在において，木製や竹製のジョンバからプラスチック製の雪かき（ジョンバ）に取って代わられたと氏は主張する．

さらに，ジョンバは，山形でも使用されていたようである．山形では，「網こすき」と呼ばれ[4)]，その名称からコスキから派生した道具だと推測できる．しかし，新潟の文献では，ジョンバが使用されたという記述は見当たらなかった．以上の文献精読から，ジョンバ使用圏と非使用圏が山形で分かれるという推測が立つ．

[1] コスキと同形態の除雪具である．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

３．除雪具に関する質問紙調査

そこで，前章で記した民俗誌における除雪具の地域的差異の妥当性を，雪氷データを用いて検証したい．ただし，文献資料だけでは，資料数が乏しく，雪氷データとの照合に耐えられないと判断したため，豪雪地帯にある博物館や郷土資料館へ除排雪民具の所蔵の有無に関する質問紙調査を行った．

対象館の選定方法としては，①対象館を豪雪地帯及び特別豪雪地帯として指定されている自治体を絞る，②『全国博物館総覧』から豪雪地帯の指定を受けている自治体にある館を選択，③館の種別や収蔵品・展示内容を鑑み，調査対象施設とするか最終的に判断する，④ただし，判断に困るときは，調査対象館とした．その結果，286館が調査対象館として選定された．

質問紙の項目は，①除排雪具に係る資料の所蔵有無[2]，②各除排雪具に係る資料の所蔵の有無と資料名，③除排雪具に係る資料に係る資料調査記録（目録･図録･学術論文･報告書等）の有無と記録名，④その他お気づきなったこと，から成る．

４．調査結果～除雪具の地域的差異とその適応性～

質問紙調査にご協力いただいた回答館は，全国25道県で182館，回答率は63.6％だった．館の種別は，「郷土」（45.0%），「歴史」（42.9%）が圧倒的に多かった．道府県立・市町村立の公立館（72.8%）を中心に回答があった．図1は，除雪具各18種（資料番号①～⑱）の形状とその特徴，所蔵館の分布を示す．結果，除雪具ごとの所蔵分布の全体像が把握できた．

次に，除雪具における地域的差異が雪氷データで支持できるのかを検証してみた．具体的には，質問紙調査で得られた除雪具18種を，ジョンバ系除雪具とコスキ系除雪具に分類し，雪質分布図[5)]に重ねてみることで，除雪具の種類の違いと雪質の違いとの間に相関があるのかを探索的に検証する．

結果，コスキ系除雪具（資料番号①～⑭，⑰）は，乾湿問わず満遍なく分布（湿雪圏56.3%，乾雪圏42.9%）し，ジョンバ系除雪具（資料番号⑮，⑯，⑱）の84.4％が乾雪圏の館に所蔵されていることがわかった(図2)．つまり，コスキ系除雪具は，乾湿に関わらず使用され，ジョンバ系除雪具は，乾雪圏を中心に使用されていたらしく，氏家[2)]の言った「湿り気が少なく，寒暖の差が激しく凍結状の軽い雪質のため」といったジョンバ系除雪具の乾雪圏における適応性を支持できた．また，文献資料で得られたジョンバ使用圏と非使用圏が山形を境界としていることも雪氷データから支持できた．

５．結論～除雪具が語る，自然-人間の認識-人間の活動の関係～

結論として，質問紙調査で得られた除雪具の所蔵分布地図と積雪の雪質分布図とを統合することで，次の結果が得られた．コスキは全国的に分布しているのに対し，ジョンバは山形以北の乾雪地帯に多く見られた．つまり，コスキは豪雪地帯では一般的な除雪具であるのに対し，ジョンバは雪質に依存する除雪具であり，積雪の乾湿による除雪具の形態的差異が示唆される．本研究を通して，たった1.3℃の気温の違いによる雪質の微細な違いに対し，人間は生態学的な知識という自然への認識を発動させ，その認識が除雪具の使い分けに現れたと言えるのかもしれない．

[2]質問紙には，文献資料で得られた除雪具を画像付きで 18 種類を掲載している（図 1）．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

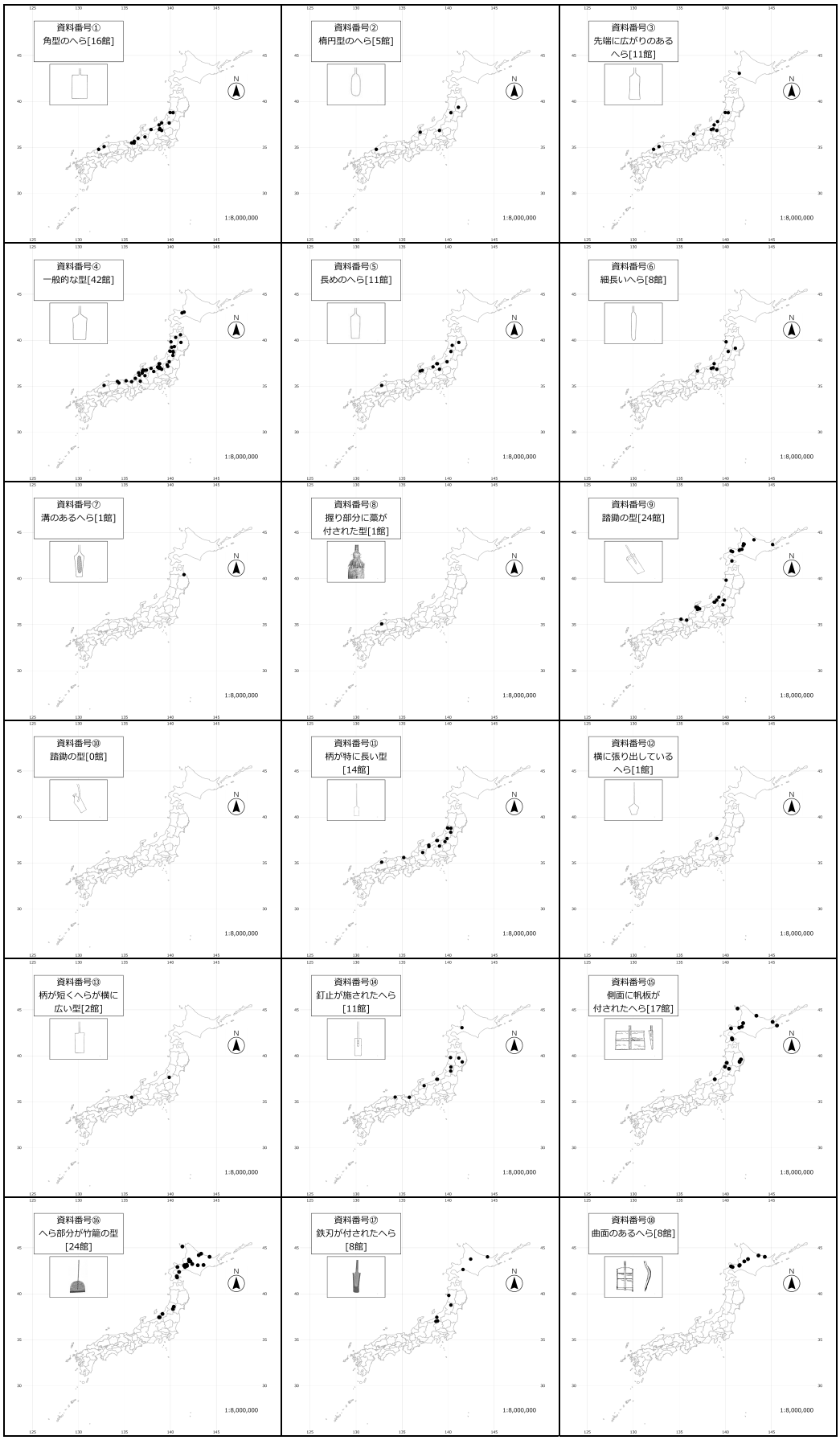


図1　除雪具の所蔵分布図

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

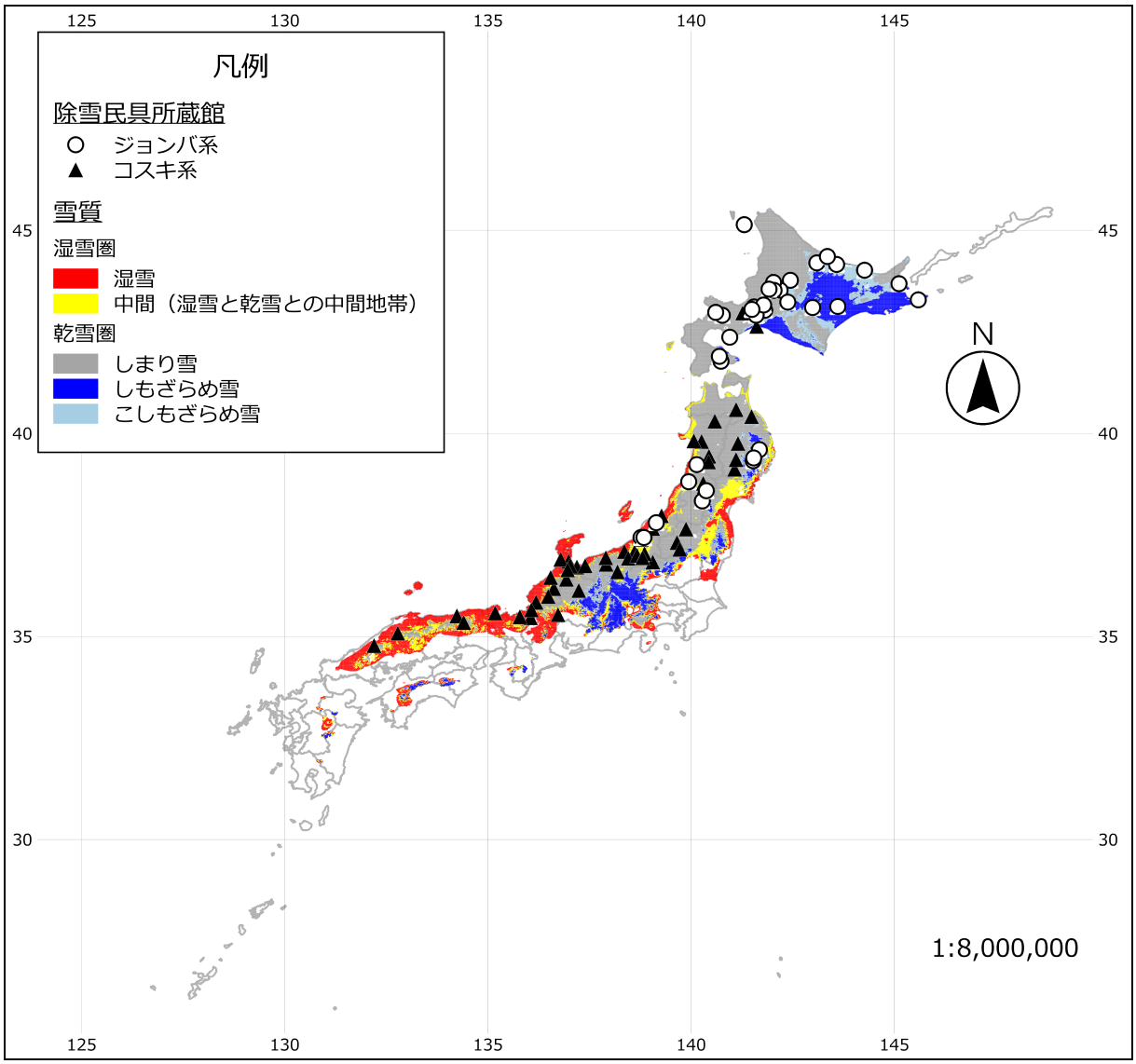


図2　除雪具の所蔵分布図×積雪の雪質分布図

謝辞

質問紙調査にご協力くださった各館，雪質分布図を提供してくださった石坂雅昭氏（防災科研），データ処理をしてくださった門田昌大氏（同講座修士課程）に厚く感謝申し上げます．なお，本研究は，平成26年度北海道大学大学院文学研究科リサーチ・アシスタント（RA）の成果の一部である

【参考・引用文献】

1)　鈴木牧之，1837（1991）:北越雪譜（岡田武松校訂）．

2)　氏家等，1989:除雪具（雪かき）の変遷と雪押しの発生と発達過程．*北海道開拓記念館研究年報*，**17**，63-75.

3)　滝沢秀一，1985:越後魚沼地方の除雪とコスキ．日本民俗文化体系第 13 巻技術と民俗（上巻）海と山の生活技術誌，194-196.

4)　著者不明，1899:民俗画報.

5)　石坂雅昭，2008:新メッシュ気候値に基づく雪質分布地図の作成と近年の日本の積雪地域の気候変化の解明，科学研究費報告書（基盤研究（C））.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北海道豪雪過疎地域における広域的除排雪ボランティアシステム構築に関する実践的研究（5）
—参加回数で異なる参加動機とエンパワーメント—
Practical Study on the Volunteer for Snow removal

中前千佳，小西信義，村中康平，原文宏（(一社）北海道開発技術センター）
Chika Nakamae, Nobuyoshi Konishi, Kohei Muranaka, Fumihiro Hara

１．はじめに

近年，豪雪過疎地域において，急速に進行する高齢化や過疎化による除雪の担い手不足が，深刻な問題となっている．この問題に対し，著者らが所属する「ボランティア活動による広域交流イノベーション推進研究会」（事務局；(一社）北海道開発技術センター）は，雪処理の担い手を地域外から派遣する広域的な除雪ボランティア活動（通称；雪はねボランティアツアー）の実践的研究を2013年から継続して展開してきた（小西ら，2013）．

広域的な除雪ボランティア活動における参加者の継続性を確保するためには，参加者が活動から何を獲得し，それをどう次回への参加動機につなげているかを知ることが，重要である．これまでの援助行動研究では，援助成果が大きいほど援助成果をもたらしたボランティア活動をその後も継続しようと強く動機付けられたり（妹尾・高木, 2003），活動継続には，ボランティア同士だけでなく，広く地域の人びとと交流し，自己の活動について肯定的な評価を実感することが大切であるということ（永井, 2013）などが言われている．これらの研究成果と同様に，筆者らが実践してきたこれまでの除雪ボランティア研究からも，参加者はツアー先の高齢者宅の除雪をし，地域の人に喜ばれることで，充足感や貢献感が高まり，活動の継続意図が高まることが明らかとなっている（小西ら，2013）．

2015年冬期においては，一般参加者を対象にした日帰りの雪はねボランティアツアーを3地域，計4回実施した．この全4回のツアー参加者（現地集合者も含む）は，160名であった．160名の参加者のうち，事前・事後アンケートに回答頂いた有効回答者数は，74名であった．74名のうち，初回参加者が38名，リピーターが36名となっており，参加者の約半数をリピーターが占めていた．

表１　全４回のツアー参加者数とその内訳

行き先	日　程	参加者数	アンケート有効回答者数	初回参加者	リピーター
岩見沢市美流渡	2/7（土）	33名	12名	7名	5名
倶知安町琴和町内会	2/8（日）	54名	25名	14名	11名
上富良野町	2/14（土）	11名	11名	5名	6名
倶知安町六郷振興会	3/8（日）	62名	26名	12名	14名
合　計		160名	74名	38名	36名

そこで，参加回数の違いにより参加動機や，獲得したエンパワーメントに違いがあるかを調べるために，初回参加者（38名）とリピーター（36名）のそれぞれの参加動機とエンパワーメントを，事前・事後アンケート調査の結果から比較・分析を行うこととした．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

２．調査方法

（１）調査対象

本研究における調査対象者は，2015 年 2 月～3 月における「雪はねボランティアツアー」のツアー参加者 160 名のうち，事前・事後アンケートに回答して頂いた 74 名である．74 名のうち，ツアーの初回参加者が 38 名，リピーターが 36 名であった．

（２）調査場所・時期

札幌発着型の日帰り「雪はねボランティアツアー」を，岩見沢市美流渡地区（2 月 7 日），倶知安町琴和・六郷地区（2 月 8 日・3 月 8 日），上富良野町扇町地区（2 月 14 日）にて実施した．

（３）調査方法

調査対象者に対し，質問紙調査を実施した．対象地域からの復路のバス移動中に，ボランティア参加者に対して，調査者より調査の趣旨を説明した後，調査票を配布した．質問紙に回答を記入直後，ただちに回収を行った．なお，分析は統計処理されるため，個人の特定はされないことについて，口頭で説明し調査協力を依頼した．

（４）調査内容

アンケートでは，基本属性に加え，ツアー参加者（初回参加者，リピーター）の参加動機及び，ツアー参加者（初回参加者，リピーター）が得たエンパワーメントについての設問項目を設け，それぞれ，“そう思わない”～“そう思う”の 5 件法で回答させた．

表 2　アンケートの設問項目

分類	設問項目
参加者の基本属性	①性別　②年齢　③日頃の除雪作業の有無　④ボランティア経験の有無
ツアーの参加動機	①互いに助け合わなければならないと思ったから ②除雪作業がボランティア先の人びとに必要だと思ったので ③今までに何かしらのボランティアをしたことがあったから ④ボランティア活動を行って，良い気持ちになったことがあったので ⑤美味しい食事や温泉が楽しめるから ⑥地域の人びととの交流が楽しめるから
参加者が得たエンパワーメント	①ボランティア先から必要とされていることを感じ，自信につながる ②除雪ボランティア活動によって，自分の価値を表現できる ③みんなと一緒にやれば，この地域の除雪問題も解決できる ④人や地域に貢献しようという気持ちが芽生える ⑤除雪ボランティア活動を通じて充足感を得ることができる ⑥除雪ボランティア活動を通じて自分自身が成長できる ⑦他のボランティアの人たちとの人間関係の輪が広がる ⑧ボランティア先の地域との交流で，新しい人間関係が生まれる ⑨この地域の人びとに親しみを感じる ⑩一緒にボランティア活動をした人たちに親しみを感じる

３．調査結果

（１）初回参加者とリピーターの基本属性

性別は，リピーターも初回参加者も男性が約 8 割，女性が約 2 割で，性比はほぼ同じであった（図 1）．年齢は，リピーターよりも初回参加者の方がやや若い世代が多い年齢構成となっていた（図 2）．

自宅の除雪作業の有無については，初回参加者とリピーターの両者において「除雪している」と回答した割合が約半数を占めており（図 3），ボランティア経験の有無については，初回参加者は，約半数が「ボランティア経験あり」と回答しており，リピーターはほぼ全員が「ボランティア経験あり」と回答していた（図 4）．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

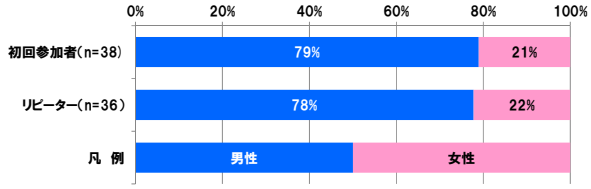


図 1　性別

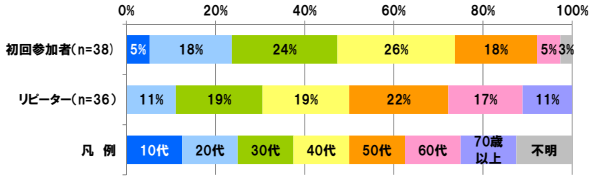


図 2　年齢

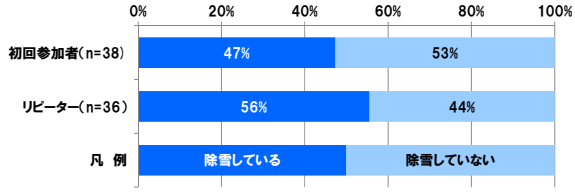


図 3　日頃の除雪作業の有無

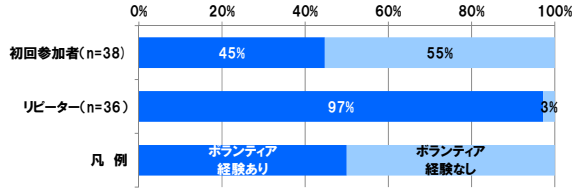


図 4　ボランティア経験の有無

（２）初回参加者とリピーターの参加動機

初回参加者とリピーターの参加動機について比較するために，t-検定（有意水準5％）を行った結果，「①ボランティアの必要性の認識」に関しては初回参加者とリピーターの両者に統計的な有意差は見られなかった．「②ボランティア参加の経験」に関しては，リピーターの平均値が初回参加者の値より有意に高く，「③アクティビティや地域交流といった観光要素」に関しては，「美味しい食事や温泉が楽しめる」という項目でリピーターの平均値が初回参加者の値より有意に高くなっていた．

表3　初回参加者とリピーターの参加動機

設　問		平均値（標準偏差） 初回参加者	リピーター	*t* 値
①ボランティアの必要性の認識	互いに助け合わなければならないと思ったから	3.89 (1.18)	3.97 (0.94)	0.31
	除雪作業がボランティア先の人びとに必要だと思ったので	3.92 (1.30)	3.94 (1.01)	0.09
②ボランティア参加の経験	今までに何かしらのボランティアをしたことがあったから	2.30 (1.53)	3.67 (1.24)	4.20**
	ボランティア活動を行って，良い気持ちになったことがあったので	2.74 (1.52)	3.72 (1.34)	2.95**
③アクティビティや地域交流といった観光要素	美味しい食事や温泉が楽しめるから	2.95 (1.54)	3.64 (1.36)	2.05*
	地域の人びととの交流が楽しめるから	3.42 (1.35)	3.86 (1.05)	1.56

*** $p<.001$，** $p<.01$，* $p<.05$，† $p<.1$

（３）初回参加者とリピーターが活動から得られたエンパワーメント

初回参加者とリピーターの活動前後のエンパワーメントについて比較するために，各変数における事前と事後の変化についてt-検定（有意水準5％）を行ったところ，初回参加者は除雪ボランティア活動の実施前後で「充足感」，「貢献意欲」，「地域やボランティアへの親近感」の値が有意に増加していた．「有能感」，「自身の価値表現」，「人間関係の拡張」の値については，統計学的に有意ではなかったが増加傾向が見られた．

一方，「リピーター」は，除雪ボランティア活動の実施前後で，エンパワーメントのほとんどの項目において数値の変化は見られなかったが，「成長感」の値について，統計学的に有意ではなかったが減少傾向が見られた．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

表4　初回参加者とリピーターの活動の実施前後のエンパワーメントの変化

設　問		平均値（標準偏差）初回参加者 事前	事後	*t* 値	平均値（標準偏差）リピーター 事前	事後	*t* 値
①有能感	ボランティア先から必要とされ，自信につながる	3.24 (1.22)	3.58 (1.22)	-1.84†	3.36 (1.22)	3.80 (0.93)	-1.96†
②自身の価値表現	活動を通して自分の価値を表現できる	2.65 (1.25)	2.95 (1.27)	-1.88†	3.17 (1.00)	3.08 (1.02)	0.65
③有効感	みんなと一緒にやれば，この地域の除雪問題も解決できる	3.53 (1.22)	3.24 (1.22)	-1.77†	3.83 (1.00)	3.80 (0.96)	0.22
④貢献意欲	人や地域に貢献しようという気持ちが芽生える	3.78 (1.06)	4.29 (0.73)	-2.91**	4.00 (0.68)	4.03 (0.74)	-0.30
⑤充足感	活動を通じて充足感を得ることができる	3.81 (1.08)	4.34 (0.75)	-2.79**	4.17 (0.85)	4.33 (0.72)	-1.23
⑥成長感	活動を通じて自分自身が成長できる	3.66 (1.26)	3.74 (1.16)	-0.39	3.83 (0.88)	3.54 (1.15)	1.71†
⑦人間関係の拡張	他のボランティアの人たちとの人間関係の輪が広がる	3.76 (0.97)	4.16 (0.97)	-1.99†	3.86 (0.93)	3.83 (0.97)	0.14
	ボランティア先の地域との交流で，新しい人間関係が生まれる	3.71 (1.01)	3.34 (1.38)	1.80†	3.78 (0.90)	3.63 (1.06)	1.36
⑧親近感	この地域の人びとに親しみを感じる	3.92 (0.98)	4.42 (0.92)	-2.53*	4.17 (0.77)	4.17 (0.85)	0.00
	一緒にボランティア活動をした人たちに親しみを感じる	3.95 (0.94)	4.58 (0.55)	-3.65**	4.11 (0.76)	4.26 (0.74)	-0.81

*** $p<.001$，** $p<.01$，* $p<.05$，† $p<.1$

４．結論と考察

以上の結果から，初回参加者は，ボランティアの必要性の認識や，地域の人びととの交流がツアーの参加動機となっていたが，リピーターは，その動機に加え，これまでのボランティア経験や，美味しい食事や温泉が楽しめるといった観光要素も参加動機となっており，この点が初回参加者と異なっていた．また，エンパワーメントについては，初回参加者は除雪ボランティア活動を通して，充足感や貢献意欲が高まっており，さらに，ツアーで訪れた地域や一緒に活動したボランティアに親近感を高めていることが分かったが，リピーターは，各設問の事前の数値が高く，活動の実施前後で，エンパワーメントの数値にほとんど変化は見られなかった．

つまり，日頃，ボランティア活動に参加したことのない人ほど，除雪ボランティアツアーの参加により，さまざまなエンパワーメントを獲得し，それが次回以降の参加動機につながっていることが考えられる．一方，リピーターにとっては，ボランティア活動で地域の人に役立ったと実感することに加え，地域の美味しい食事や温泉といった地域ならではの魅力を感じる機会や，地域の人びととの交流機会が含まれていることが活動の継続的な参加動機につながる可能性があることが示唆された．

参考文献

1) 小西信義ら，2013：北海道豪雪過疎地域における広域的除排雪ボランティアシステム構築に関する実践的研究(2)－ボランティア活動におけるエンパワーメント・援助出費・継続意図－，*北海道の雪氷*，第**32**号，46-49.
2) 妹尾香織・高木修，2003：援助行動経験が援助者自身に与える効果：地域で活動するボランティアに見られる援助効果，*社会心理学研究*，第18巻第2号，106-118.
3) 永井拓己，2013，都市コミュニティにおけるボランティア活動の継続に関する一考察－SCAT 法によるテキストデータ分析の試み－，*日本福祉大学健康科学論集*，第16巻，47-54.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

豪雪地高齢者の身体活動とプロダクティビティ
Physical activities and productivities of the elderly living in heavy snowfall area

須田力（NPO 法人　雪氷ネットワーク），朝日保（士別市スノーシュークラブ）
輿水賢治（士別市教育委員会），竹内健太郎，丸孝則（士別市体育協会），
富田真未（(一社）北海道開発技術センター）
Tsutomu Suda, Tamotsu Asahi, Kenji Koshimizu, Kentaro Takeuchi,
Takanori Maru, Mami Tomita

１．はじめに

高齢化が進行する社会において，高齢者はともすれば「介護」,「依存」など非生産的なイメージばかりが強調されているが，高齢者が持つ高いプロダクティビティを見直し「未来を切り拓く」存在（R. バトラー，1998）[1)] としても注目する必要がある．この「プロダクティビティ」とは,「経済的生産性」のような物財の指標で評価されない「社会的生産性」[2)]，すなわち，高齢者が長い人生経験で蓄積されてきた知恵や技術を発揮したり，ボランティア活動による社会参加や学習活動など人生を豊穣にする生き方を表す．他方，高齢者が持病を抱えながらも自立能力を保持し，就業活動やボランティア活動などで地域を支えるためには，健康なライフスタイルを実行し高い活動性を維持することが望まれる．

このような視点から道北の特別豪雪地帯における高齢者のライフスタイル，身体活動，身体的自立能力，社会的活動性の特徴から高齢化社会を展望する知見を探索した．

２．方法

調査対象者は，道北の特別豪雪地帯で高齢化率 34.6 ％（平成 25 年 10 月）の士別市の在宅高齢者のうち，①生涯学習の場である「九十九大学」学生，②積雪寒冷の自然に適応した身体活動を実行している士別市スノーシュー愛好者の合計 112 名である．

表１　有効回答の内訳

	N	範囲	年齢(歳)
男性	49	65-84	72.4±5.3
女性	63	65-82	71.0±4.2
計	112	65-84	71.7±4.4

調査は，（１）現在及び過去の健康状態，（２）現在及び過去の運動実施状況．（３）文部科学省新体力テストのうち高齢者対象の ADL(日常生活活動)，（４）冬季の活動性の影響要因である冬道セルフエフィカシー(佗美たち，2005)[3)]（以下「冬道 SE」と略)，（５）社会的活動（就業，ボランティア活動）について無記名，自己記入法で行った．分析の焦点として，Kahn(1983)の”Productive behavior”[4)] の枠組みに含まれる「有償労働」の有無,「無償労働」(家庭菜園，家政など）で運動強度の高い「除雪」の実施の有無，ボランティア活動参加の有無から検討した．

統計処理は，冬道 SE 得点の群間の比較は，マン・ホイットニの検定，ADL 合計点の群間比較は，対応のない t 検定，群間の割合の検定は，カイ二乗検定，分割表の検定を使用し，有意水準は，5%未満とした．

３．結果

３．１ 就業者と無職者の比較

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

表２は，男女全体で就業中の群と無職の群の健康状態，ライフスタイル，身体活動の比較結果を示す．就業中の者は，男性が 10 名（22 %），女性が 8 名（13 %），全体で 18 名（16 %）であった．就業の内訳は，農業が 7 名，シルバー人材センター2 名，事務 2 名，その他 7 名であった．身体活動では，積雪期の外出頻度が週 1,2 回以下の割合は無職の群に多かったが，有意ではなかった．その他いずれの項目も有意な差は見られなかった．

図１に，就業中の群と無職の群の冬道 SE 合計点，図２に ADL の比較結果を示す．冬道 SE は得点が高い程冬道に自信があることを示す．男性では，就業群が 11.0，無職の群が 12．9 と差がなく．女性では，それぞれ 15.0 および 8.8 と就業群が高かったが，有意ではなかった．これは冬道 SE の分散が大きいという特徴にもよる．

表２　就業群と無職群の健康状態，ライフスタイル，身体活動の比較

		就業中	無　職	有意差
N		18	92	
年　齢(歳)		70.3±3.8	71.9±4.8	n. s.
健康状態	通院中の割合（%）	66.7	64.1	n. s.
	既往症の有無（%）	70.6	55.7	n. s.
	血圧が正常（%）	38.9	40.7	n. s.
ライフスタイル	喫煙者の割合（%）	5.6	4.5	n. s.
	毎日飲酒者の割合（%）	33.3	19.8	n. s.
	BMI が 25．0 以上（%）	12.5	22.4	n. s.
身体活動	無雪期外出週 1,2 回以下	5.9	16.7	n. s.
	積雪期外出週 1,2 回以下	5.9	32.2	n. s.
	無雪期運動週 1,2 回以下	27.8	21.7	n. s.
	積雪期運動週 1,2 回以下	50.0	50.6	n. s.

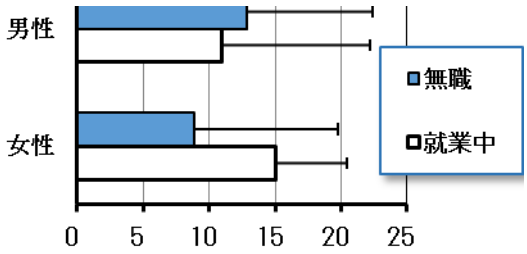


図１就業中の群と無職の群の冬道SE

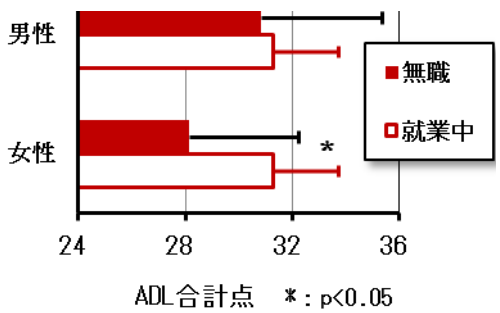


図２　就業中の群と無職の群のADL

ADL(日常生活活動)の合計点は，男性では就業中の群 31.3，無職の群が 30.8 と差はなく，女性の場合は，就業中の群 31.3 点に対して無職の群が 28.1 と，無職の群が約 3 点低かった（$p<0.05$）．これらの結果，女性において就業中の群は，無職の群よりも身体的活動性が高い傾向が明らかとなった．

３．２　除雪実施状況と ADL

女性高齢者について，除雪実施状況別の ADL 合計点を比較した．平均年齢は，「降雪のたびに除雪する」群 28 名が 70.6 歳，「時々する」群 27 名が 71.7 歳，「しない」群 8 名が 70.6 歳で群間に有意差はなかった．ADL 合計点はそれぞれ 28.8，29.4，24.6 と「しない」群が前２群よりも 4 点以上低く，前 2 群との差はいずれも有意であった．

３．３　ボランティア参加群と不参加群の比較

調査対象者中ボランティア活動参加者の割合は，男性が 40.4 %，女性が 26.2 %，全体で 32.1 %であった．参加群，不参加群の平均年齢は，男性がそれぞれ 71.3±5.1 歳及び 73.2±5.0 歳，女性は，それぞれ 70.8±4.04 歳，

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

70.8±3.9 歳であった．内訳は，福祉パトロールなどの福祉活動が 11，博物館ボランティア，図書館ボランティアなどの教育活動が 4，町内会，自治会，九十九大学世話人などが 3 名などであった．

健康状態（通院の有無，既往症の有無，血圧），ライフスタイル（飲酒，喫煙，体重コントロール），身体活動（運動実施頻度），いずれの項目も，男女いずれも両群間で有意な差はなかった．冬道 SE 合計点は，男性の場合，参加群が 13.2，不参加群が 12.1 と差がなく．女性においても参加群の方が高めであったが，有意な差は見られなかった（図３）．

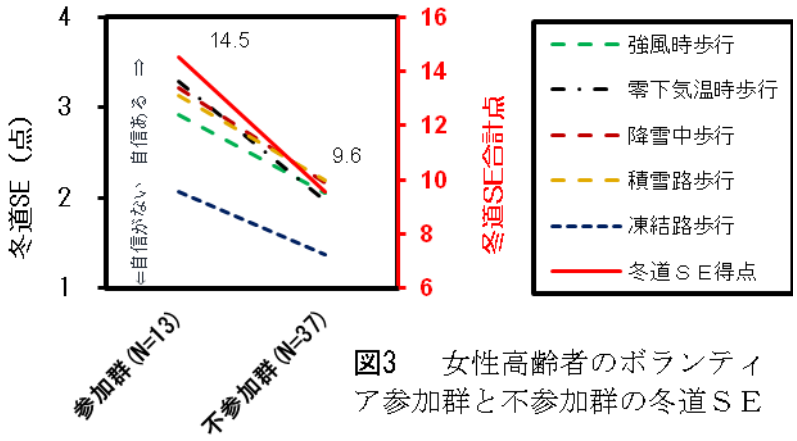


図3　女性高齢者のボランティア参加群と不参加群の冬道ＳＥ

冬道 SE の５つの不安要因の中で，凍結路歩行は，他の４つに対して低く，この傾向は今回の結果すべてに共通していた．図４は，ボランティア参加群と不参加群の ADL 合計点の比較結果を示す．ボランティア活動参加群および不参加群の平均値は，男性の場合，参加群の 32.6±2.8 に対し不参加群 29.8±4.5（$p<0.05$），女性の場合もそれぞれ 30.4±2.0，及び 27.7±4.5（$p<0.01$）と，いずれも参加群が有意に高かった．

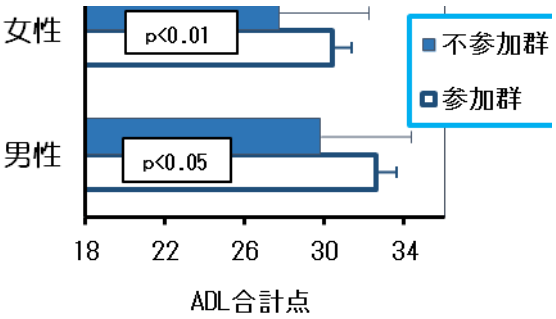


図4　高齢者のボランティア活動参加群と不参加群のADL(日常生活活動)合計点

３．４　若い時期の身体活動

過去の運動習慣について 19 歳以前，20 歳代，30 歳代，40 歳代，50 歳代，60 歳代にわたって「よく運動した」，「ふつうだった」，「不活発だった（=あまりしなかった+しなかった）」の活動レベルを比較した。

その結果，女性の場合，ボランティア活動参加群は，不参加群に対して身体発達期（19 歳以下）に活発に運動していた割合が高い一方，不活発だった割合は低く，検定の結果は有意であった，一方，男性においてはこのような差は見られなかった．

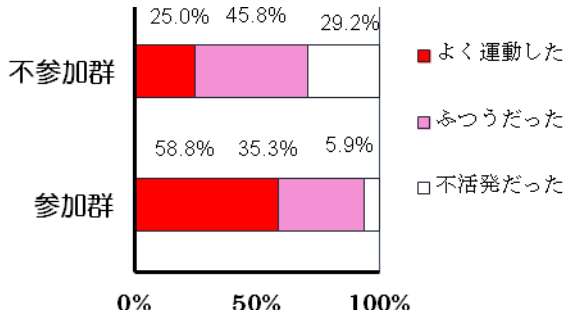


図５　女性高齢者のボランティア参加群と不参加群の若い時期（19 歳以前）の運動習慣

４．考察

高齢者の運動や体力は，生活習慣病の予防，自立生活維持の必要性，QOL の確保の視点では多くの研究成果が蓄積されているが，社会的生産性との関係にアプローチされた研究はごく少ない．多くの高齢者は、有償労働やボ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

ランティア活動などを通して地域全体の自立能力と活動性を高める力量を備えている．本調査で，男性では就業中の群と無職の群の間で健康状態，ライフスタイル，身体的活動性では，有意な差は見られなかったが，女性の場合，冬道 SE は，就業中の群がやや高く，ADL（日常生活活動）の合計点は，就業中の群が無職の群より有意に高かった．

Glass たち[5)]は，アメリカのニューハンプシャー市における高齢者の社会的活動性に関する 13 年間の疫学的研究から，社会的活動や生産的活動は，「たとえそれが身体活動をほとんど伴わない者でも，身体活動と同じように総死亡率を低下させる役割を持つ」と社会的活動参加の健康上の効果を明らかにしている．

今回の調査において，男性の場合，ボランティア活動への参加群は，健康状態，ライフスタイル，身体的活動性において不参加群との間に有意な差は見られなかったが，ADL 合計点はボランティア参加群が不参加群に対して有意に高かった．この理由として，男性の場合，ボランティア活動の内容に，子どもたちのスポーツ指導，除雪ボランティア，博物館ボランティア（スノーシューによる冬の自然観察ガイド）など高い体力が発揮される活動に参加した者が群全体の平均値を高めたことが考えられる． また，特別豪雪地帯の士別市では，女性の場合，冬季に除雪のような高強度の身体活動を実施している群と実施していない群間で身体的自立能力指標である ADL 合計点で有意な差が見られた．

須田たちは，北海道，ロシアのサハリン州ユジノサハリンスク，中国の黒龍江省のハルピンと寒冷環境を共有する北東アジア 3 地域の高齢者の健康状態，ライフスタイル，身体活動の調査[6)]を実施した結果，ボランティア活動への参加群は不参加の群に対して若い時期（19 歳以下）に活発な運動経験の割合が高く，両群の割合の差は，3 地域いずれも，男女共有意であった．この傾向は，今回の調査で女性において同様であった．

５．まとめ

ボランティア活動で社会参加している高齢者たちは，参加していない群に対して男女共 ADL（日常生活活動）が高かった．特に女性の場合，ボランティア活動参加群の ADL が高く若い時期に活発に運動を実行していた者が多い特徴は，これまでの研究と同様であった．

【参考・引用文献】

1）バトラー，R.，フリーダン，H．編，岡本祐三訳，1998:「プロダクティブエイジング 高齢者は未来を切り拓く」，日本評論社.

2）小林甫，片桐資津子，2000 ： 高齢男性の“プロダクティブ・エイジング”と「家族」の役割．*高齢者問題研究*，**No.16**，77-89.

3）侘美靖，森谷絜，小田史郎ほか，2005： 週 1 回 12 週間にわたって水中ウォーキング教室に参加した中高年女性の健脚関連体力，感情およびセルフエフィカシーの向上，*日本生気象誌*．**No.42**，（１），5-15.

4）Khan, B．L, , 1983 : Productive behavior: assessment, determinants, and effects. *J. Am. Geriatr.* Soc. **No. 31**, 750-757.

5） Glass, T. A,, de Leon, C. M,, Marottoli, R. A. & Berkman, L. F., 1999 : Population based study of social and productive activities as predictors of survival among elderly Americans. B. M. J, **No. 319** , (21), 478-483.

6）須田力，2014 :「 積雪寒冷地の高齢者の身体活動と体力」（坂倉恵美子編著『積雪寒冷地における高齢者の居場所づくり』），44-64.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

冬期における高齢者の転倒不安に関するアンケート調査

Results of a Questionnaire on the Elderly's Concern About Fall Accidents in Winter

冨田真未，金田安弘，大川戸貴浩（(一社）北海道開発技術センター），
須田力（NPO 法人　ノルディック・ウォーク連盟），鈴木英樹（北海道医療大学），
朝日保（士別市スノーシュークラブ），輿水賢治（士別市教育委員会），
竹内健太郎，丸孝則（士別市体育協会）
Mami Tomita, Yasuhiro Kaneda, Takahiro Okawado, Tsutomu Suda, Hideki Suzuki,
Tamotsu Asahi, Kenji Koshimizu, Kentaro Takeuchi, Takanori Maru

１．背景と目的

札幌市では，冬期歩行者による転倒事故がスパイクタイヤ禁止以降に急増し，社会問題化している現状にある．図 1 は，札幌市における冬期歩行者転倒事故による救急搬送者数とスパイクタイヤの装着率の推移を示したものである．図 1 のように，多い年には，救急搬送者数が 1000 人を超えることもある．転倒による救急搬送者数は 60～70 歳代が最も多く，年齢層が上がると共に転倒事故で救急搬送されるリスクが高くなる．特に，高齢者は大きなケガに繋がることが多く，一度雪道で転倒したために，その後も転倒を恐れて外出を控え，自宅で過ごすことが多くなる傾向もみられる．外出機会の減少は，身体機能の低下を招き，それらを理由に更に外出を控えてしまう悪循環が発生することも想定される．

そこで，ウインターライフ推進協議会では，高齢者の冬期転倒事故軽減及び冬期の活動性を高める手がかりとなる知見を提供することを目的に，スキー等の“滑り”に関わる運動経験の有無による季節別の活動性や転倒不安感の違いについて把握する調査を行った．

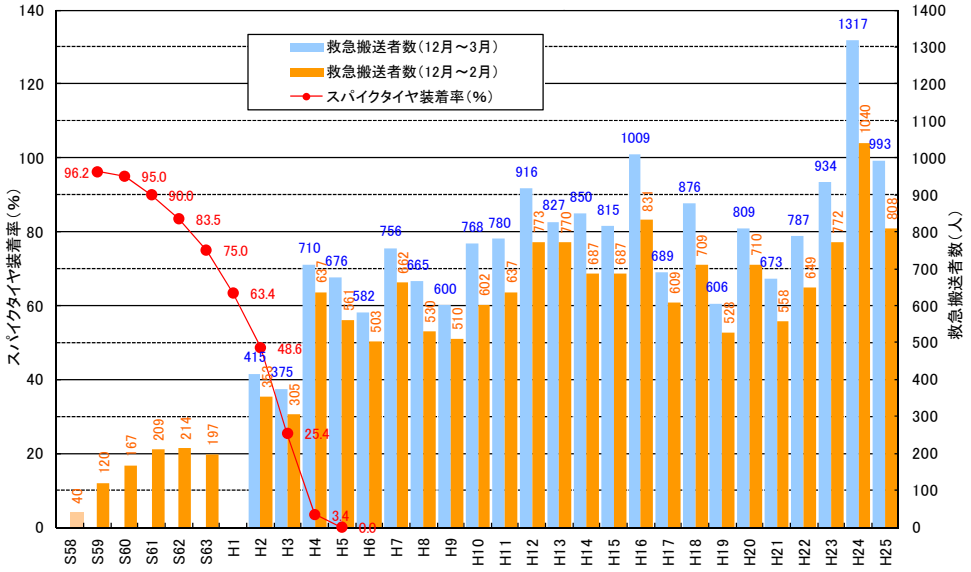
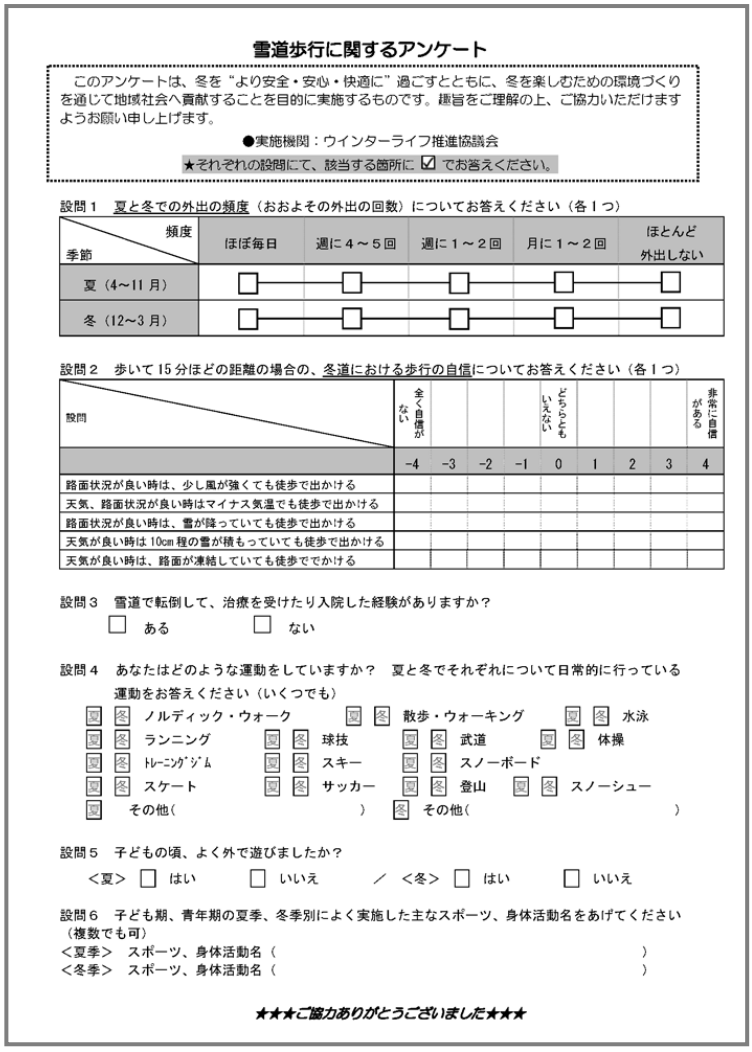


図 1　札幌市における冬期歩行者転倒事故による救急搬送者数とスパイクタイヤ装着率の推移（札幌市消防局調べ）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

２．アンケート調査の実施

調査は，平成27年2月と3月に特別豪雪地帯である士別市において，図2に示す自己記入式のアンケート調査票を用い，高齢者の生涯学習大学「士別市九十九大学」と士別市スノーシュークラブの会員（65歳以上）を対象に実施した．回答数は全110名（うち，男性48名，女性62名）となった．設問項目は，現在における無雪期と積雪期別の外出頻度と運動内容，幼少期での運動経験と運動内容，冬道での転倒経験，冬道における歩行の自信「冬道セルフ・エフィカシー（以下，冬道SE）」等について伺った．行動を起こす先行要因を測定するための尺度として「セルフ・エフィカシー（自己効力感）」があるが，「冬道SE」は，積雪寒冷地仕様の尺度を加える必要があるという問題意識から佗美たち（2005）[1)]が，“強風要因”“低温要因”“降雪要因”“積雪要因”“凍結路面要因”の5項目を開発したものであり，各要因に関する設問は以下のとおりである．



雪道歩行に関するアンケート

このアンケートは、冬を“より安全・安心・快適に”過ごすとともに、冬を楽しむための環境づくりを通じて地域社会へ貢献することを目的に実施するものです。趣旨をご理解の上、ご協力いただけますようお願い申し上げます。

●実施機関：ウインターライフ推進協議会

★それぞれの設問にて、該当する箇所に ☑ でお答えください。

設問１　夏と冬での外出の頻度（おおよその外出の回数）についてお答えください（各１つ）

季節＼頻度	ほぼ毎日	週に４～５回	週に１～２回	月に１～２回	ほとんど外出しない
夏（4~11 月）	□	□	□	□	□
冬（12~3 月）	□	□	□	□	□

設問２　歩いて 15 分ほどの距離の場合の、冬道における歩行の自信についてお答えください（各１つ）

設問	全く自信がない				どちらともいえない				非常に自信がある
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
路面状況が良い時は、少し風が強くても徒歩で出かける									
天気、路面状況が良い時はマイナス気温でも徒歩で出かける									
路面状況が良い時は、雪が降っていても徒歩で出かける									
天気が良い時は 10cm 程の雪が積もっていても徒歩で出かける									
天気が良い時は、路面が凍結していても徒歩でできる									

設問３　雪道で転倒して、治療を受けたり入院した経験がありますか？

□ ある　□ ない

設問４　あなたはどのような運動をしていますか？　夏と冬でそれぞれについて日常的に行っている運動をお答えください（いくつでも）

夏 冬 ノルディック・ウォーク　夏 冬 散歩・ウォーキング　夏 冬 水泳
夏 冬 ランニング　夏 冬 球技　夏 冬 武道　夏 冬 体操
夏 冬 ﾄﾚｰﾆﾝｸﾞｼﾞﾑ　夏 冬 スキー　夏 冬 スノーボード
夏 冬 スケート　夏 冬 サッカー　夏 冬 登山　夏 冬 スノーシュー
夏 その他（　　）　冬 その他（　　）

設問５　子どもの頃、よく外で遊びましたか？

<夏> □ はい　□ いいえ　／　<冬> □ はい　□ いいえ

設問６　子ども期、青年期の夏季、冬季別によく実施した主なスポーツ、身体活動名をあげてください（複数でも可）

<夏季>　スポーツ、身体活動名（　　）
<冬季>　スポーツ、身体活動名（　　）

★★★ご協力ありがとうございました★★★

図２　雪道歩行に関するアンケート調査票

■路面状況が良い時は，少し風が強くても徒歩でででかける　⇒強風要因
■天気，路面状況が良い時はマイナス気温でも徒歩でででかける　⇒低温要因
■路面状況が良い時は，雪が降っていても徒歩でででかける　⇒降雪要因
■天気が良い時は，10 cm程の雪が積っていても徒歩でででかける　⇒積雪要因
■天気が良い時は，路面が凍結していても徒歩でででかける　⇒凍結路面要因

３．アンケート調査結果

（１）冬期の外出頻度と冬道 SE との関係

図3は，冬期の外出頻度と冬道SEとの関係を示すものである．冬道SEの5項目の平均は，いずれの項目も冬期の外出頻度の多い順に高い傾向が見られ，外出頻度の多い人は，冬道歩行に対する不安感が低いことが伺えた．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

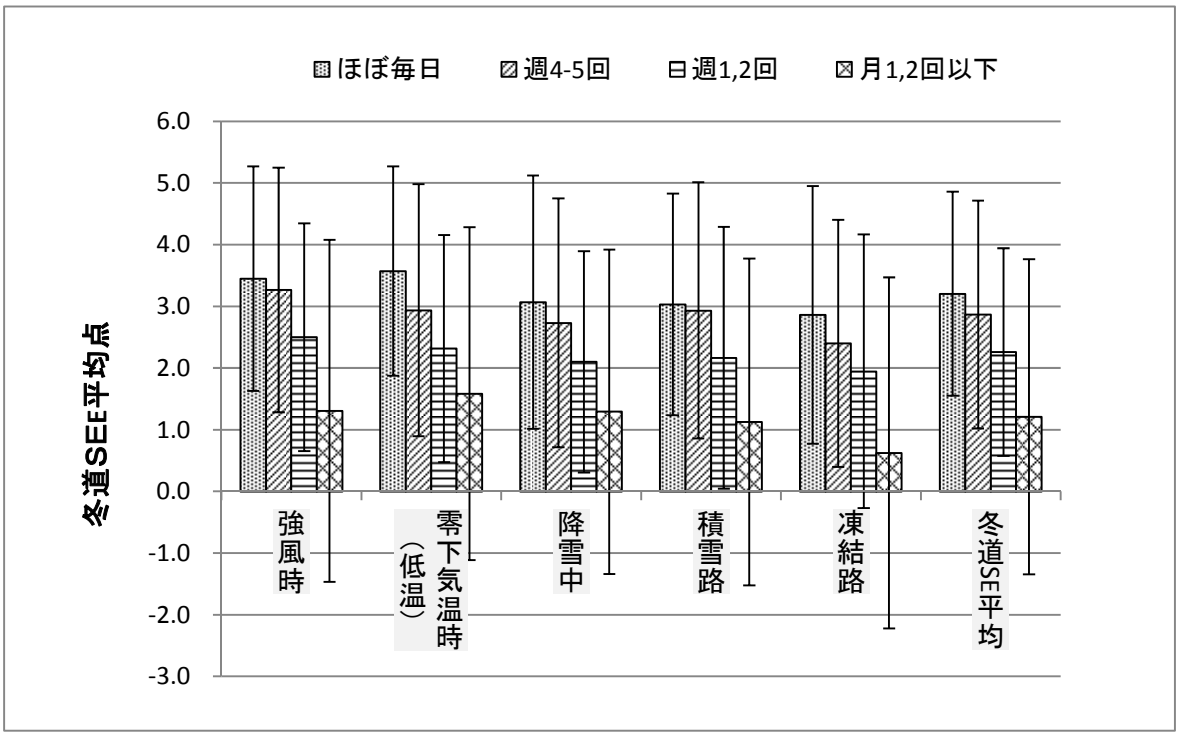


図3　冬期の外出頻度別冬道SE（平均と標準偏差）

（２）冬期の運動実施頻度と冬道 SE との関係

図4は，冬期の運動実施頻度と冬道SEとの関係を示すものであるが，冬期の運動実施頻度が高いほど，冬道SEが高い傾向が見られ，無雪期の運動実施頻度による差よりも，その差は顕著であった．冬期の運動実施頻度によって，冬道歩行への自信が変化してくると考えられる．

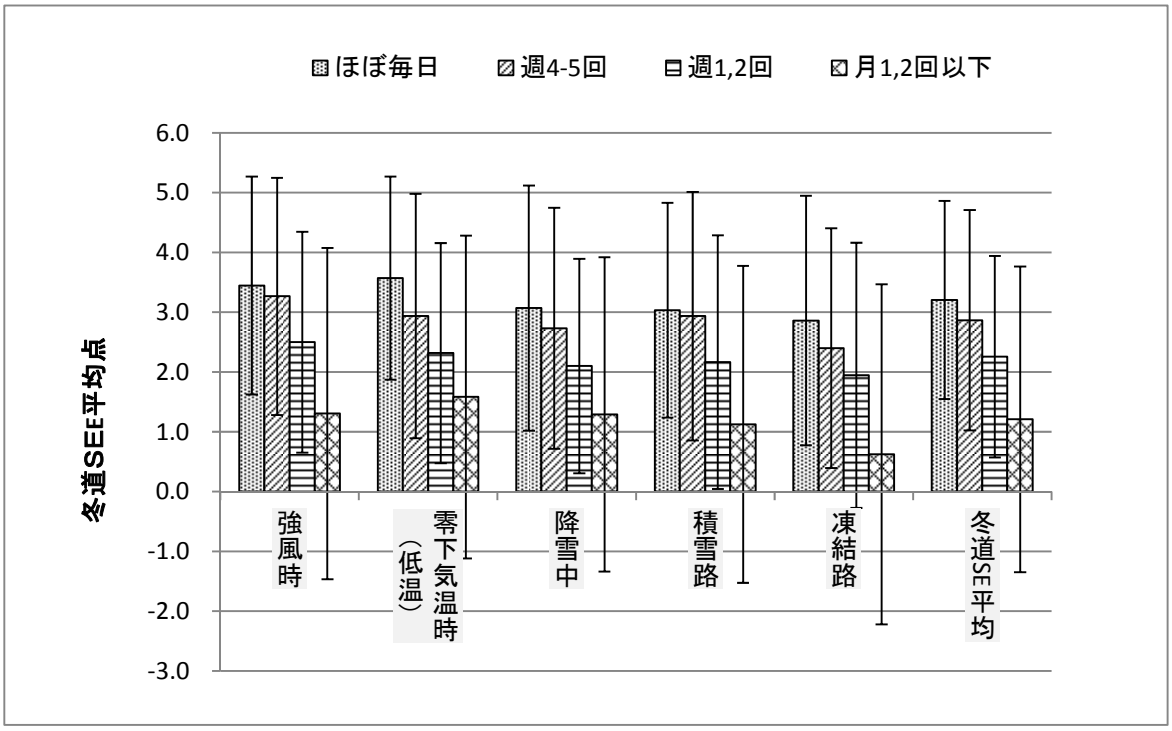


図4　冬期の運動実施頻度別冬道SE（平均と標準偏差）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（３）“滑り”に関する運動経験（実施）と冬道 SE との関係

図5は，スキー・スケートなどの実施群と非実施群の冬道SEとの関係を示すものであるが，スキーやスケートなどを実施している人たちは，どの項目においても冬道SEは，いずれも高い結果となった．また，5項目のうち，強風要因の差は他に比べてやや小さい傾向がみられた．

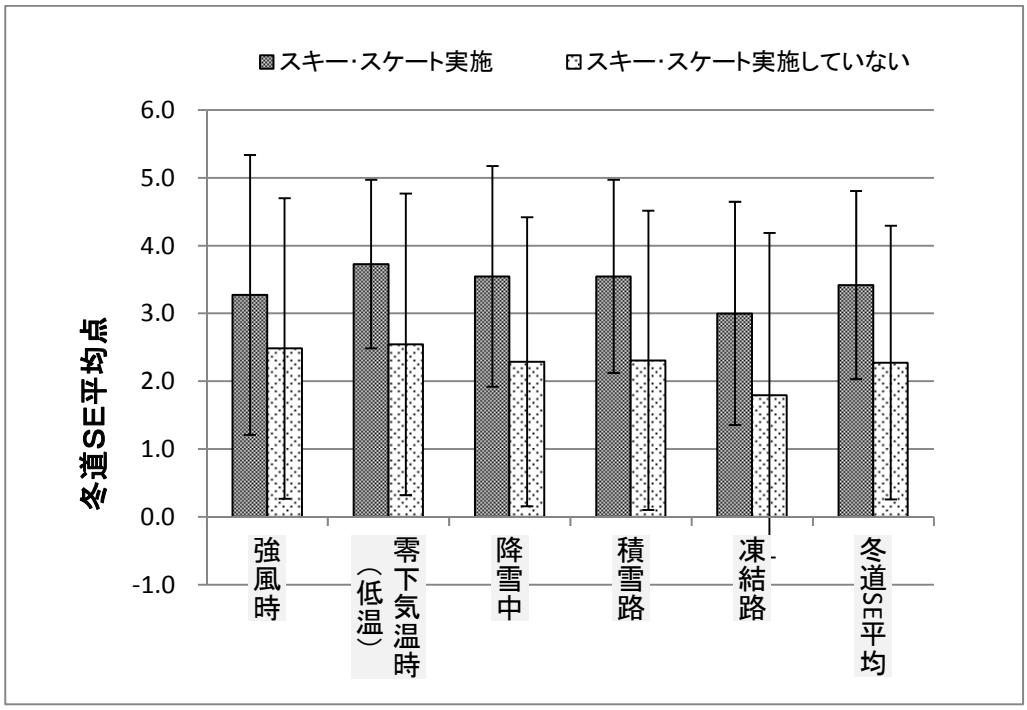


図5　冬期の運動実施頻度別冬道SE（平均と標準偏差）

４．本調査のまとめ

今回の調査では，幼少期の滑りに関わる運動経験の有無が現在の雪道での転倒不安に繋がっている結果はみられなかったが，外出頻度の高い人や冬期の運動頻度が高い人が，冬道歩行に対する転倒不安は低く，スキー･スケートなどの“滑り”に関する運動を実施している人が，転倒不安が低い傾向が伺えた．したがって，冬期の運動実施頻度により，冬道歩行への自信が変化してくると考えられる．

但し，今回の調査においては，高齢者のなかでも比較的普段から活発的に運動をしている人や，普段から外出を多くされている人が対象となっていることもあり，冬道での転倒に対する不安感が少なかったことも考えられる．そのため，運動内容（種目，時間，経験年数）についても，より具体的な項目を加えた検討が必要であるとともに，運動不足の人や外出意欲の低い高齢者などを含めた調査を行い，より多くの標本からの詳細な分析が必要と考える．

今後もこれらの課題に対して研究を継続的に行い，高齢者の冬期の活動性を高めていけるような情報発信手法などについて繋げていきたい．

【参考・引用文献】

1)　侘美靖，森谷絜，小田史郎ほか（2005）週一回12週間にわたって水中ウォーキング教室に参加した中高年女性の健脚関連体力，感情およびセルフ エフィカシーの工場，日本生気象誌，No.42,(1):5-15.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

札幌市における転倒予防を意識した市民生活の実状
Sapporo Citizens' Efforts to Prevent Slip and Fall Accidents in Winter

永田泰浩，金田安弘，冨田真未（(一社）北海道開発技術センター）
Yasuhiro Nagata, Yasuhiro Kaneda, Mami Tomita

１．背景と目的

2014 年度冬期（以後，論文においては“冬期”は 12 月から 3 月までを示す）は，札幌市において，冬道での自己転倒による日救急搬送者数の最大値を記録した．これまでの最大値は 2012 年 12 月 5 日の 57 名であったが，2014 年 12 月 21 日は，これまでの最大値の約 3 倍にあたる 162 名が冬道での自己転倒によって救急搬送された.図 1 には，当センターが事務局を務めるウインターライフ推進協議会のホームページへの日アクセス数（平成 26 年度冬期）を示した．図のように，札幌市で日救急搬送者数の最大値を記録した 2014 年 12 月 21 日は 3347 件である．一方，2015 年 1 月 30 日は，今年度最大の 27,828 件を記録している．このアクセス数は，過去 3 冬期でも最大の件数であった．同日は首都圏でまとまった降雪があった．東京消防庁によると，30 日の降り始めから午後 9 時までに男性 22 人，女性 24 人が転倒による負傷者として救急搬送され，同庁では転倒による注意情報も発表していた．

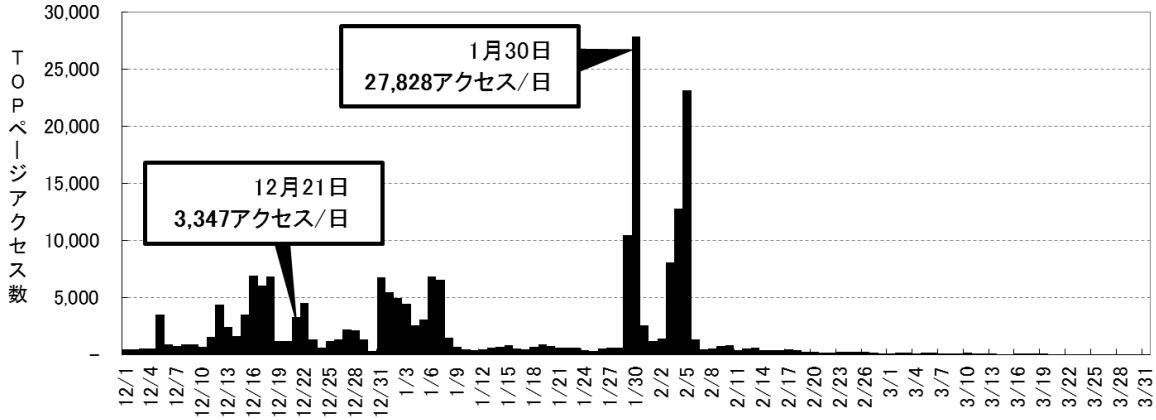


図１　ウインターライフ推進協議会 HP のトップページアクセス数（2014 年度）

当初は札幌市民，北海道民の冬道での自己転倒を防ぐことを，最大の目的として活動をしていたウインターライフ推進協議会であったが，このような状況からも，地域を越えて自己転倒防止の情報が活用されていると判断できる．実際に，日常的に雪が降らない首都圏で降雪があると，電話やメールでの転倒対策の問合せもウインターライフ推進協議会に殺到する．事務局を務める当センターのメンバーが，問合せへの対応を行っているが，雪道での歩き方のコツや転倒しづらい靴の選び方，転倒時にけがをしないための即効性のある対策として手袋，帽子の着用などを指摘している．

本研究の目的は，首都圏をはじめとする非積雪地域の装備の指摘を明快に行うため，自己転倒の危険性の高い積雪寒冷地域における住民の装備（冬靴，手袋，帽子）や，転倒につながる可能性のある行動の実施の有無について把握することである．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

２．アンケート調査の実施と回答者の属性

ウインターライフ推進協議会が札幌市の地下歩行空間において，ウインターライフキャンペーンを実施していた 2013 年 12 月と翌 1 月に，アンケート調査を実施した．アンケート調査票の一部を図 2 に示した．実際には図 2 に示したような簡潔な行動を 30 項目列記し，その中に調査時の装備（冬靴，手袋，帽子）や，冬期の日常的な服装や行動（リュックサックの利用，ポケットに手を入れて歩く）を含めた．調査を行った 4 日間で 144 名からの回答を得た．居住地は 123 名が札幌市，8 名が石狩市，江別市といった札幌市近郊の都市，2 名が士別市であり，居住地の回答者全員が積雪寒冷地域の住民であった（11 名は無回答）．回答者の属性情報を図 3 に示した．回答者としては，女性が多かったが，年齢層別には 60 歳未満と 60 代，70 代が約 30%となった．

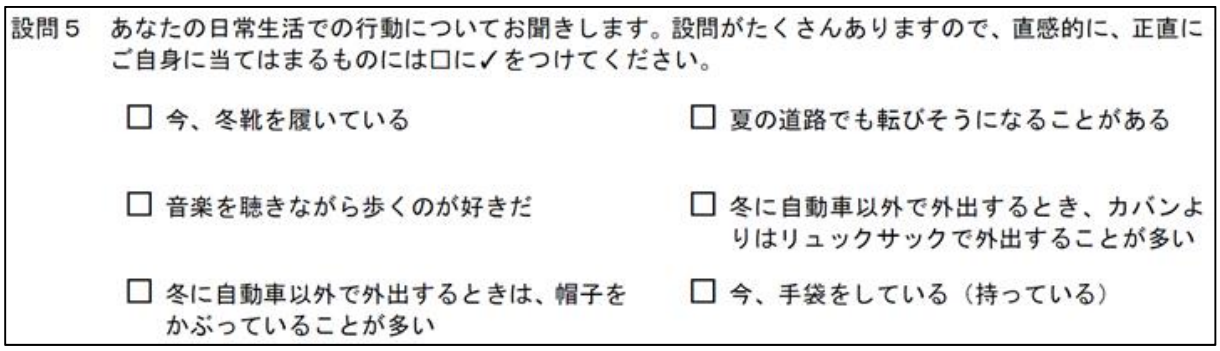


図 2　アンケート調査票の一部

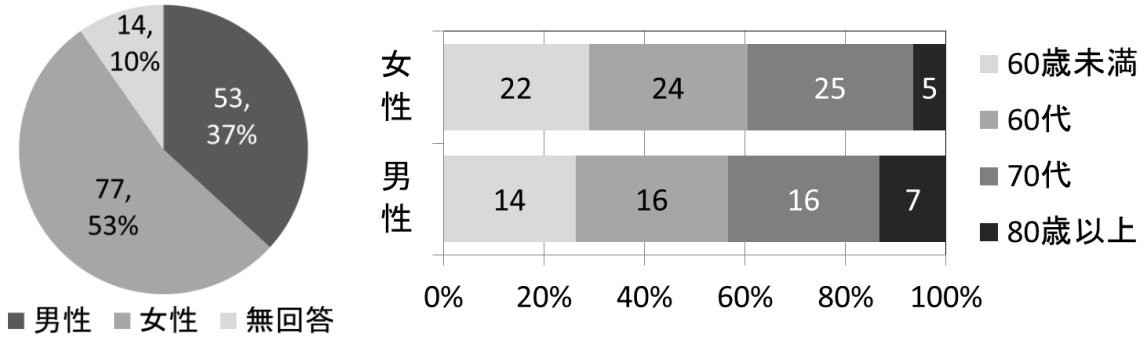


図 3　アンケート回答者の属性情報（男女別および男女別年齢層別の回答者数）

３．積雪寒冷地域の住民の装備や行動～アンケート調査結果より

図 4 には，アンケート調査時における「冬靴」，「手袋」，「帽子」の装備状況と，手荷物の状況（手に持つ荷物を 2 つ以上持っているか）についての回答結果を示した．94%の人が冬靴を履いており，手袋の装備率が 85%，帽子の装備率が 75%であった．札幌市近郊の住民は，これらを冬期，日常的に装備していると考えられる．一方で，約 1/4 の回答者は，カバンやハンドバックなどの荷物を 2 つ以上持っていた．

図 4 には，冬期の通常生活時における装備についての回答結果も示した．通常時においては「帽子を被っていることが多い」という回答は 65%であり，調査時の「帽子」の装備率よりは低かった．また，カバンよりリュックサックで外出する人が約半数であった．一方で，ポケットに手を入れて歩くことがよくあるという回答が 20%に達していた．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

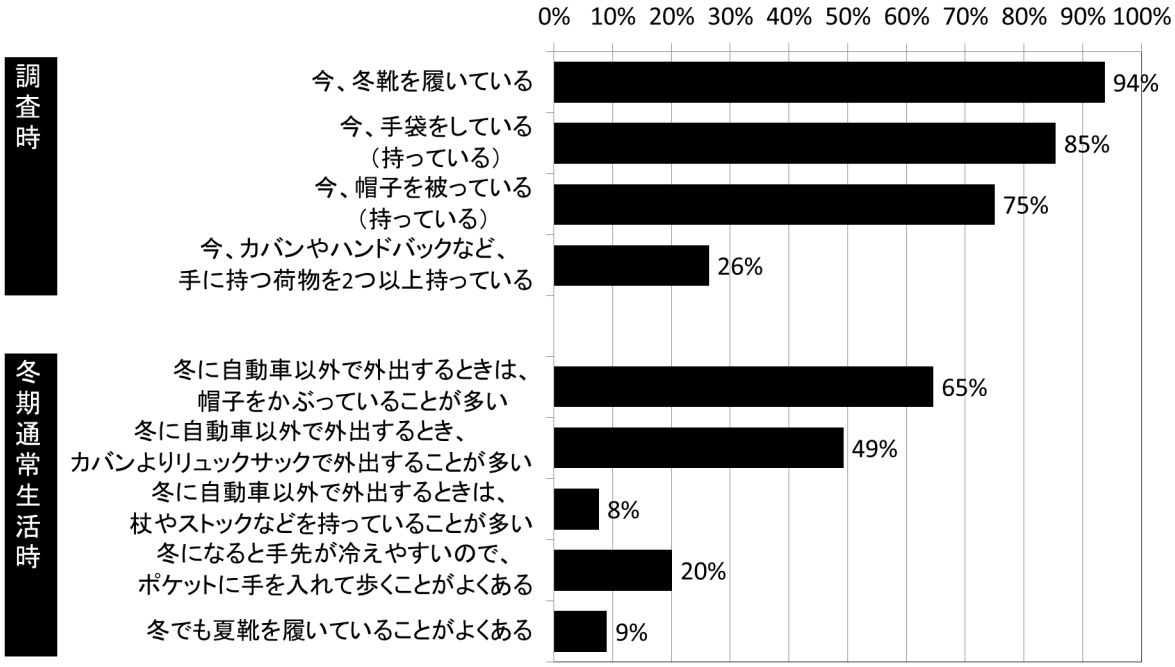


図 4　調査実施時および冬期通常生活時の装備や行動について

（1）男女別での比較

図 4 に示したアンケート調査当日や冬期通常生活時の装備について，男女別で比較した結果を図 5 に示した．図のように，冬靴については，女性の装備率が高かった．調査時に冬靴を履いていた割合は女性 97%に対し，男性は 89%であり，冬期通常生活時に夏靴を履いているという男性も 19%に達していた．一方，調査時に手荷物を 2 つ以上持っていたのは女性が 40%（男性 9%）と多く，冬期通常生活時にリュックサックを背負っているという回答も男性に比べて低かった．また，調査時における手袋，帽子の装備率も男性に比べてやや低かった．

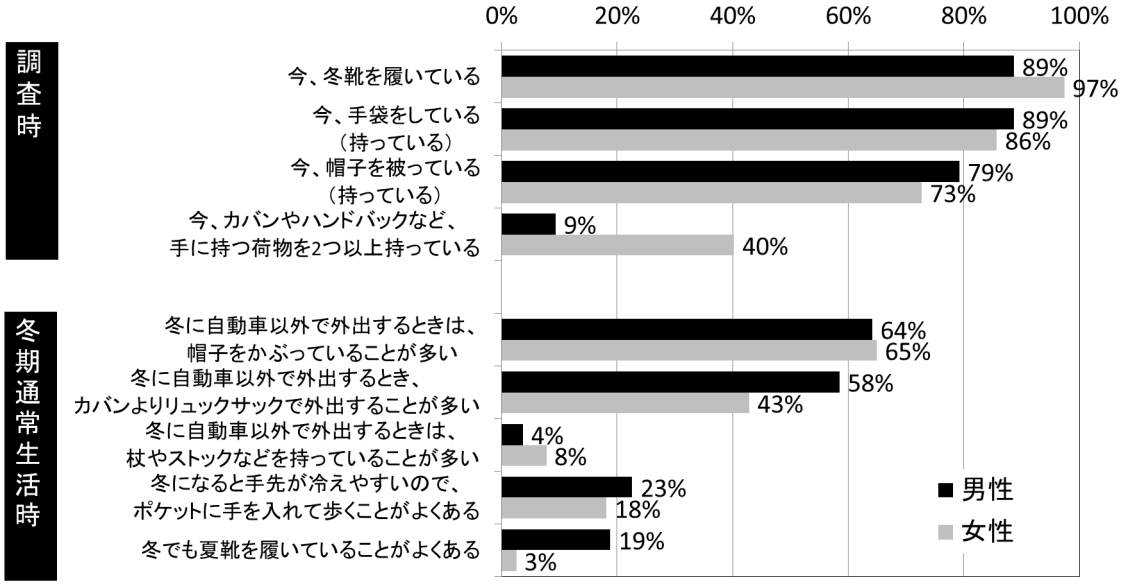


図 5　男女別での比較（調査実施時および冬期通常生活時の装備や行動）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（２）年代別での比較

アンケート調査当日と冬期通常生活時の装備について，年代別で比較した結果を図 6 に示した．図のように，80 歳以上の回答者については，調査時の冬靴，手袋，帽子の装備がいずれも 100％であった．70 代，60 代，60 歳未満と年齢層が低くなるほど，装備率が低くなっていた．一方，冬期通常生活時において，ポケットに手を入れて歩く，夏靴を履くといった行動は，60 歳未満の回答率が最も高かった．

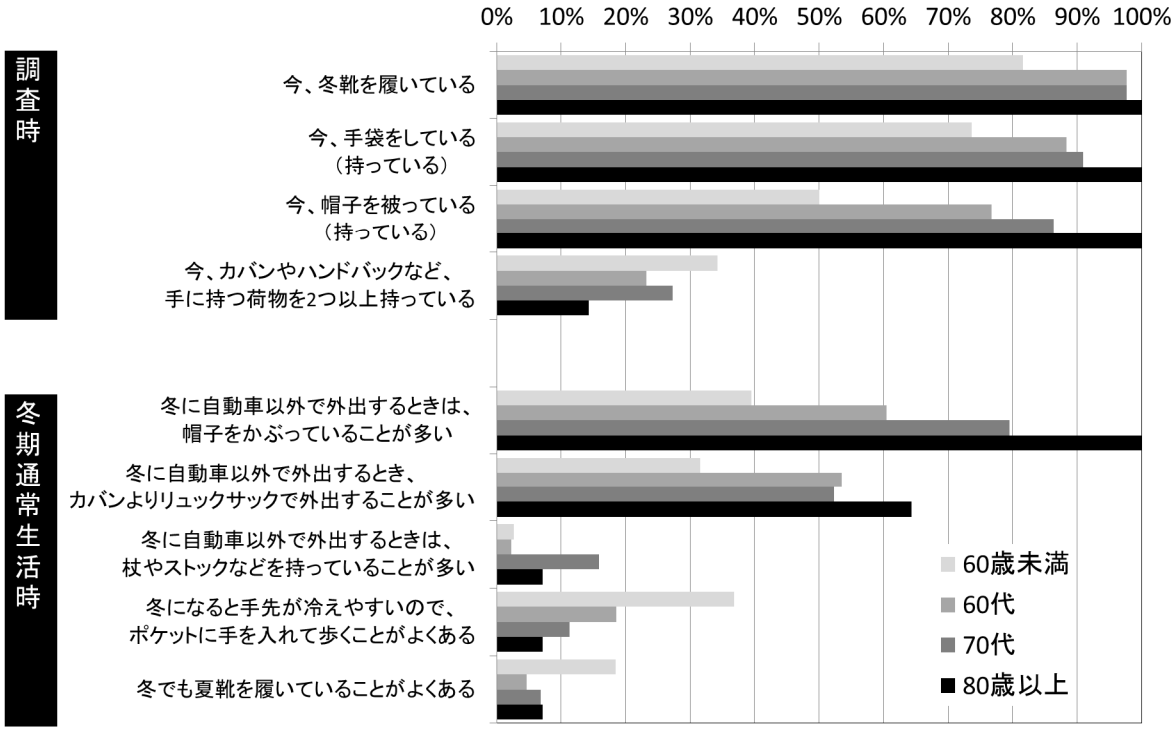


図 6　年齢層別での比較（調査実施時および冬期通常生活時の装備や行動）

４．本研究のまとめ

アンケート調査の結果から，積雪寒冷地域の住民は冬靴の装備率が非常に高いことがわかった．また，防寒が主目的であるとしても，手袋や帽子の装備率も高いことが明らかになった．一方，男性は冬靴，女性は手荷物についての対策率が相対的に低く，特に年齢が低くなるにつれて，予防策の装備率が低くなっていることがわかった．この点は，今後のウインターライフ推進協議会の活動でも，啓発を進めていきたいと考えている．

図 7 は 162 名が救急搬送された日の札幌市内の道路状況である．今後は，未曽有の救急搬送者数となってしまった 2014 年 12 月 21 日の道路状況と転倒状況についても，分析を進めたいと考えている．

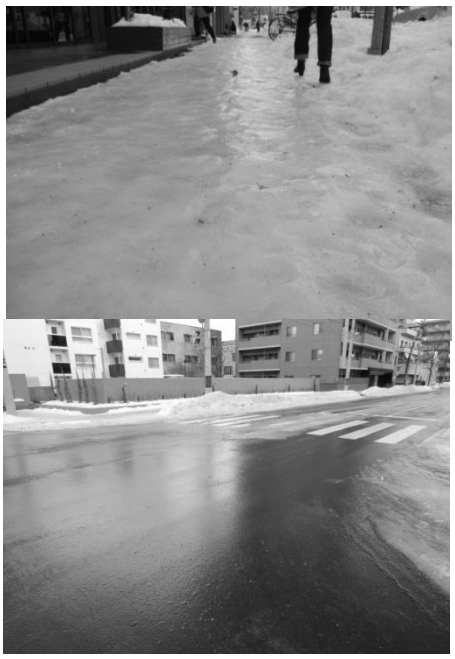


図 7　12 月 21 日の道路状況

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

冬季に強雨を受けた積雪の融雪期における観測結果
Observation of snowpack received heavy rain in peak snow season

西原照雅（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
Terumasa Nishihara

１．はじめに

積雪寒冷地のダムは，融雪水を貯留して夏季にかけての水需要を賄っており，積雪は貴重な水資源である．一方で，融雪水は融雪出水の原因ともなり，特に，融雪がピークとなる時期に強雨が発生した場合，大規模な出水となる可能性がある．

融雪期に積雪の表面にもたらされた降雨及び積雪の表面において発生した融雪水は，積雪内を通過し，土壌に供給され，ダムや河川に流出する．このように，積雪は融雪期の流出現象に大きな影響を与えるが，降雨等が積雪内に貯留される例，貯留されない例といった，相反する結果が報告されている等，積雪が果たす役割について分かっていない点が多い[1)]．さらに，3 月から 4 月にかけての積雪の多い時期に強雨が発生することは稀であり，このような際に積雪が果たす役割の解明に必要となるデータを得ることが難しい．

このような中，石井ら[1)]は，降雨を受けた積雪が果たす役割を明らかにするため，融雪期において，雪面上に 100 mm 以上の大雨が降った時を想定した模擬降雨散水実験を行っている．結果，積雪底面からの流出が顕著に現れる場合とほとんど現れない場合が見られたこと，流出状況は散水量や積雪深とは関係がなく，その時の積雪の層構造に応じて多様であったことを報告している．

寒地土木研究所では，札幌市近郊に位置する定山渓ダムの流木処理場において，気象・水文観測を実施している．2014 年-2015 年冬季には，積雪深が 200 cm 程度であった 3 月 10 日に，この時期としては珍しく日降水量 92 mm の降水が観測され，降雨を受けた積雪が果たす役割を明らかにする上で，貴重なサンプルデータが得られた．そこで本稿では，本データを分析した結果を報告する．

２．気象・水文観測の概要

気象・水文観測は，定山渓ダムのダム湖上流端付近に位置する流木処理場に設置した気象観測露場において実施した（**図 1**）．標高は 400 m である．観測期間は，毎年 11 月から翌 5 月までの積雪期・融雪期である．2005 年に開始しており，2015 年時点で 10 冬分のデータが蓄積されている．観測項目及び観測機器の構成を**図 2** 及び**表 1** にそれぞれ示す．一般的な気象観測項目に加えて，長短波放射，積雪底面流出量，積雪重量といった観測を行っていることが特徴である．なお，設置している積雪重量計は，新潟電機社製の MN-301 である．また，ライシメーターの大きさは 2 m×2 m である．観測値は毎正時の値である．加えて，気象観測露場に隣接する平地において，月に 1 回から 3 回の積雪断面観測を実施している．

図 1　気象・水文観測地点

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

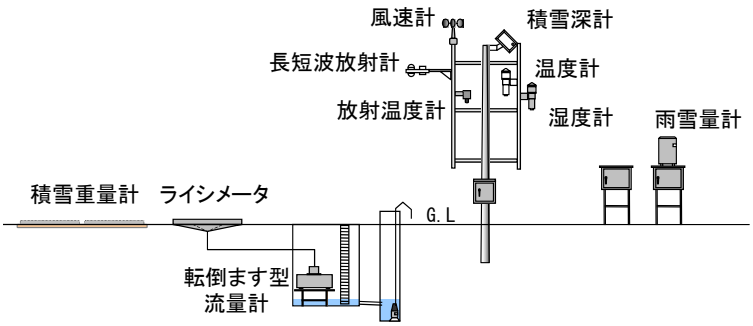


図 2　気象・水文観測機器の構成

表 1　観測項目

観測項目	単位
気温	℃
湿度	%
風速	m/s
降水量	mm/h
積雪深	cm
長短波放射	W/m^2
積雪表面温度	℃
積雪底面流出量	mm/h
積雪重量	kg/m^2

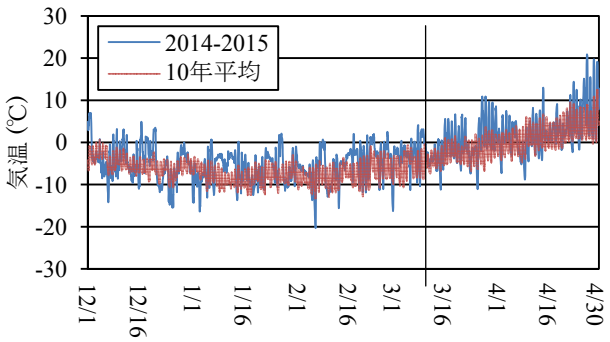


図 3　2014 年-2015 年冬季の気温

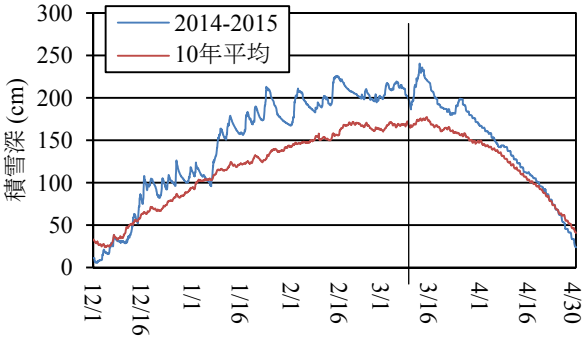


図 4　2014 年-2015 年冬季の積雪深

3．2014 年-2015 年冬季の気象概要

定山渓ダム流木処理場において観測した 10 冬季分のデータを用いて 2014 年-2015 年冬季の気象の特徴を明らかにする．**図 3** に気温，**図 4** に積雪深をそれぞれ示す．図中の縦の線は，強雨が観測された 3 月 10 日を示している．はじめに気温を概観すると，2014 年-2015 年冬季の気温は，11 月から 2 月中旬頃までは過去 10 年の平均と同じような傾向を示すが，2 月中旬以降は過去 10 年の平均と比較して気温が高く推移している期間がある．強雨が観測された 3 月 10 日も気温が高く推移した期間に含まれる．次に，積雪深を見ると，2014 年-2015 年冬季は，ほとんどの期間において過去 10 年の平均より積雪深が 50cm 程度大きく，多雪年であったことがわかる．一方で，2 月中旬以降に気温が高く推移した期間があることから，3 月中旬以降に積雪深が急激に減少しはじめ，過去 10 年の平均と比較して，融雪のペースが早い．

表 2　2015 年 3 月 10 日の気象概要

降水量	日合計	92.0mm
	時間最大(9:00)	8.5mm
積雪深	最小(9:00)	186cm
	最大(23:00)	197cm
気温	平均	0.4℃
	最高(1:00)	3.1℃
	最低(24:00)	-2.9℃

4．2015 年 3 月 10 日の気象概要

表 2 に 2015 年 3 月 10 日の気象概要を示す．同日は，午前中の気温が高く，降雨の中心は午前中である．気象観測データを基に，同日の気象概要をまとめると以下のとおりである．

- 前日の 3 月 9 日より気温がプラスの状態が続き，3 月 9 日の夜遅くから雨が降り始めた，雨は 3 月 10 日の午前中にピークとなった．
- 気温は，一日中下がり続け，気温がマイナスとなった昼過ぎに雨が雪に変わった．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

５．観測結果の分析

図 5 に降雨が観測され始めた 3 月 9 日午後から，積雪底面流出量がほぼ 0 となった 3 月 11 日午前中にかけての，降水量，積雪底面流出量及び積雪相当水量を示す．積雪相当水量は，積雪重量計及び積雪深計の観測値から求めた．降水のピークは，3 月 10 日の 9:00 であり，この時点における積雪深は 201 cm である．図の降雨が観測され始めた時刻及び積雪底面流出量が観測され始めた時刻を基準にすると，降雨が積雪内を浸透するのに要した時間は 11 時間である．次に水収支であるが，図示した 48 時間における総降水量が 106.5mm であったのに対し，総積雪底面流出量は 161.5mm であり，流入に対して流出が約 1.6 倍であった．強雨が積雪に作用した場合，降水は下方ではなく水平方向に流れることが報告されている [1]．今回のケースでは，積雪内に降雨が供給される中で，ライシメーターの受水範囲内に降水が積雪底面から流出する層ができ，ライシメーターの受水範囲内にもたらされた降水に加えて，受水範囲外にもたらされた降水が積雪内を水平移動し，この層から流出した可能性が考えられる．なお，設置しているライシメーターには，受水升の周囲を木枠で囲う [2]等の処理をしておらず，積雪底面流出量が実際の値よりも大きく観測された可能性がある．続いて，積雪相当水量の変化を見ると，積雪底面流出量が観測され始める時刻までは，積雪相当水量が増加しており，降水が積雪内に貯留されていると考えられる．積雪底面流出量が観測された始めた後は，積雪相当水量が減少しており，積雪内に貯留された降水が排出されていると考えられる．図を見ると，積雪底面からの排出の特徴として，底面流出が始まった直後から短時間に多くの降水が排出され，降水量のピークと比較して積雪底面流出量のピークが約 2 倍となっていることが挙げられる．このように，積雪内に貯留された降水が短時間で排出された場合，河川やダムに大きな負荷を与えると考えられる．図 6 には，気象観測露場の下流にある定山渓ダムの流入量と積雪底面流出量の関係を示した．積雪底面流出量及びダム流入量の増加の傾向はほぼ一致しており，積雪底面流出が始まった時刻から 4 時間後にダム流入量が急激に増加し始めている．積雪がある場合，ダムや河川への流出に影響するのは，降雨のパターンではなく，積雪底面流出のパターンである．今回の降雨はダムや河川の水位が低い時期に発生したため，ダムや河川に大きな負荷を与えることは無かったが，積雪の影響により，ダムや河川への流出パターンが災害を誘発しやすいパターンに変化する可能性があることが示された．

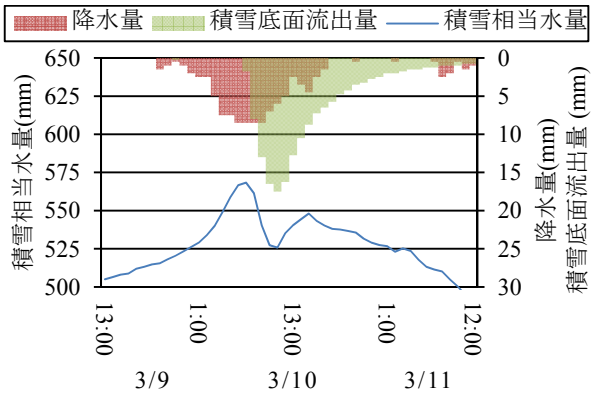


図 5　降水量，積雪底面流出量，積雪相当水量の時間変化

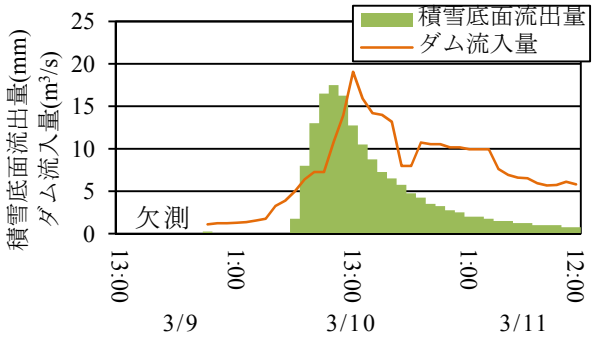


図 6　積雪底面流出量とダム流入量

融雪期においては，日中に積雪の表面に発生した融雪水が積雪内を通過しダムや河川に流出するため，積雪表面における融雪量（融雪熱量），積雪底面流出量，ダムや河

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

川の流量の順にピークとなることを毎日繰り返す．このうち，積雪表面における融雪量（融雪熱量）のピーク時刻と積雪底面流出量のピーク時刻の差（融雪水が積雪を浸透するのに要する時間に相当すると考えられる）がダムや河川の流量がピークとなる時刻に影響する [3]．また，ダム管理の現場では，一度強い降水を受けると融雪水が積雪内を浸透する時間が短くなり，ダム流入量がピークとなる時刻が早くなることが経験的に知られている．**図 7** に融雪熱量のピーク時刻及び積雪底面流出量のピーク時刻の時間差を示す．縦線は，積雪深が 150 cm 及び 100 cm となった日を示す．降雨があった日は，ピーク時刻が降雨に影響を受けるため，×で示した．積雪深が 100 cm 以上である時期は，ピークの時間差は 5 時間以上となることが多いが [3]，図を見ると 2015 年 4 月は，積雪深が 100 cm 以上の場合であっても概ね 4 時間以下となっている．2015 年は，毎日のダム流入量がピークとなる時刻が例年よりも早かった可能性がある．

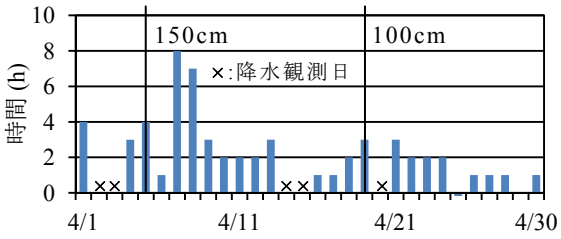


図 7　融雪熱量のピークと積雪底面流出量のピークの時間差

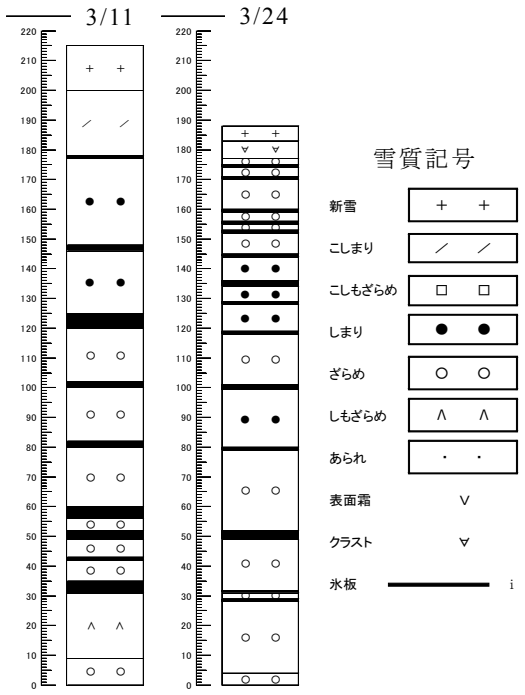


図 8　積雪断面観測結果

最後に，降雨翌日の 3 月 11 日及び 3 月 24 日の積雪断面観測の結果を**図 8** に示す．両日ともに積雪の全層が 0℃となっておらず，融雪期前の時期であるが，多くの厚い氷板が存在すること，ざらめ層が多いことが特徴である．これは，3 月 10 日の降雨により，積雪に多くの降雨がもたらされたこと，この際に降水が積雪内を水平移動したことにより形成されたと考えられる．

６．おわりに

2014 年-2015 年冬季は，積雪深が 200 cm 程度であった時期に比較的規模の大きい降雨があり，貴重なサンプルデータを入手できた．データを分析したところ，降雨が積雪内を通過して排出される過程において，ダムや河川への流出パターンが災害を誘発しやすいパターンに変化する可能性があることが示された．

【参考・引用文献】

1) 石井吉之, 中坪俊一, 森章一, 的場澄人, 2013: 降雨と融雪が重なって生じる融雪出水(2)―3 ヵ年の模擬降雨散水実験の比較―, *北海道の雪氷*, **32**, 104-107.

2) 小杉健二, 望月重人, 阿部修, 2012: 2 種類のライシメーターにより観測された積雪底面流出量の比較, *雪氷研究大会研究要旨集*, 211.

3) 西原照雅, 数馬田貢, 2013: 気象・水文観測値から融雪期のダム流入量を予測する一手法, *河川技術論文集*, **19**, 259-264.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

2015 年 2 月北海道羅臼町における積雪調査報告
Report of snow survey in Rausu, Hokkaido, February 2015

白川龍生（北見工業大学），小倉美紀（株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道），
亀田貴雄（北見工業大学）
Tatsuo Shirakawa, Miki Ogura and Takao Kameda

１．はじめに

北海道羅臼町では，発達した低気圧の影響で 2015 年 1 月 31 日から 2 月 2 日にかけて暴風雪が発生した．羅臼町の積雪深は観測史上最高の 179cm に達し，町外と唯一つながる国道 335 号が通行止めとなり孤立状態が 3 日間に及ぶなど，市民生活に大きな影響が生じた．本研究では，気象状況とともに 2 月 7 日に羅臼町で実施した積雪調査（積雪断面観測，積雪深測定および当日の積雪状況写真）について報告する．

２．2015 年 1 月 31 日～2 月 2 日における暴風雪災害の概要

（１）気象 [1)]

1 月 31 日から 2 月 2 日にかけての気象庁発表の実況天気図を**図 1** に示す．1 月 31 日は三陸沖の低気圧が発達し，日本付近は強い冬型の気圧配置になった．北陸から北日本を中心に暴風雪や大雪となった（**図 1**(a)）．

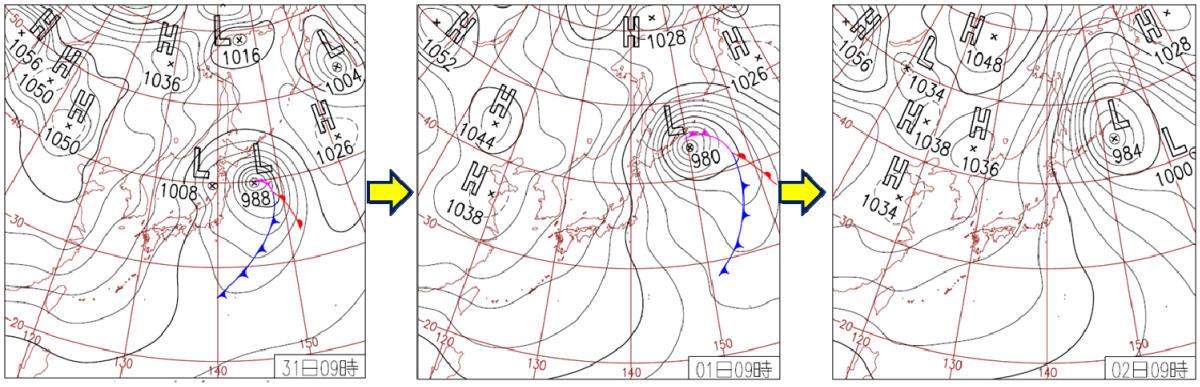
2 月 1 日になると日本海側や北海道釧路，根室地方で雪となった．北日本の沿岸部を中心に強風，所々で暴風雪となり，北海道羅臼では日降雪量 71cm，最大瞬間風速 33.3m/s を記録した（**図 1**(b)）．

2 月 2 日は千島近海の低気圧がほとんど停滞し，冬型の気圧配置が続いた．北海道羅臼の最深積雪は 179cm となり、観測史上 1 位を記録した。町外と唯一つながる国道 335 号が通行止めになった（**図 1**(c)）．

（２）交通・市民生活への影響 [2)−5)]

2 月 1 日から 2 月 4 日にかけて羅臼町内で見られた交通・市民生活への主な影響について**表 1** に整理する（当日の北海道新聞記事より抜粋）．

2 月 1 日は国道 335 号が午前 4 時から閉鎖された．この国道は冬季に羅臼町外につながる唯一の道路であり，この閉鎖によって羅臼町全域が孤立状態となった．これ以降，



（a）1 月 31 日 9 時　　（b）2 月 1 日 9 時　　（c）2 月 2 日 9 時

図 1　2015 年 1 月 31 日～2 月 2 日の実況天気図（気象庁ホームページより抜粋 [1)]）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

表 1　羅臼町における 2015 年 2 月 1 日～4 日の交通・市民生活への主な影響 [2)−5)]

月日	交通・市民生活への主な影響
2 月 1 日	・ 国道 335 号が午前 4 時から閉鎖（羅臼町全域が孤立状態となる）
2 月 2 日	・ アメダスの積雪深計が限界値 174cm を超え，機器設定を変更する（想定を上回る降雪）. ・ 陸上自衛隊に災害派遣要請，釧路駐屯地の隊員 50 名が高齢者住宅の除雪に出動する（9 名が死亡した 2013 年 3 月の暴風雪災害以来）. ・ 局所的に 2～3m の吹きだまりが発生，1F が埋まり 2F の窓から出入りせざるを得ない住宅が見られる.
2 月 3 日	・ 羅臼町の要請で通行を許可された物資の配送車が除雪車の先導によって町内に入り，在庫が空になっていた店舗の陳列棚に商品が並ぶ.
2 月 4 日	・ 国道 335 号の通行止めが解除となる（孤立状態の解消）.

2 月 4 日の通行止め解除までの 3 日間は，特別に許可された車両以外の通行ができず，羅臼町全域の孤立状態が継続し市民生活に影響が生じた.

その後も 3 月 5 日に羅臼町内の国道 335 号で表層雪崩が 2 回発生，車 3 台が巻き込まれる事故が発生，4 月 27 日には地すべりによって羅臼町の海岸線が隆起するなど，羅臼町内では至るところで 2014－2015 冬季の暴風雪・大雪の影響が見られた.

３．積雪調査の概要

（１）実施体制

本調査は 2015 年 2 月 7 日（土）10:00～15:30 において，北見工業大学の白川龍生，小倉美紀，亀田貴雄の 3 名により実施した.

（２）調査地点・調査項目

調査地点は，A)大空町東藻琴，B)斜里町以久科，C)標津町古多糠，D)羅臼町峯浜町，E)羅臼町幌萌町，F)羅臼町栄町（羅臼中学校），および G)羅臼町海岸町の計 7 地点とした（**図 2**）. 調査項目は，i. 積雪深，ii. 積雪断面観測，iii. 道路・住宅等の積雪状況調査の 3 項目である. このうち，i については前述の 7 地点全て，ii については F. 羅臼中学校グラウンド，iii については 7 地点に加えて自動車での移動中に随時実施した.

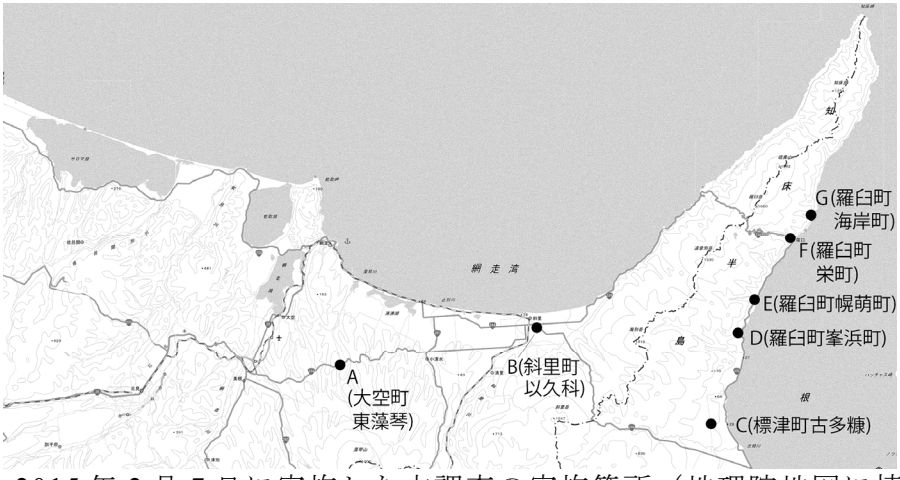
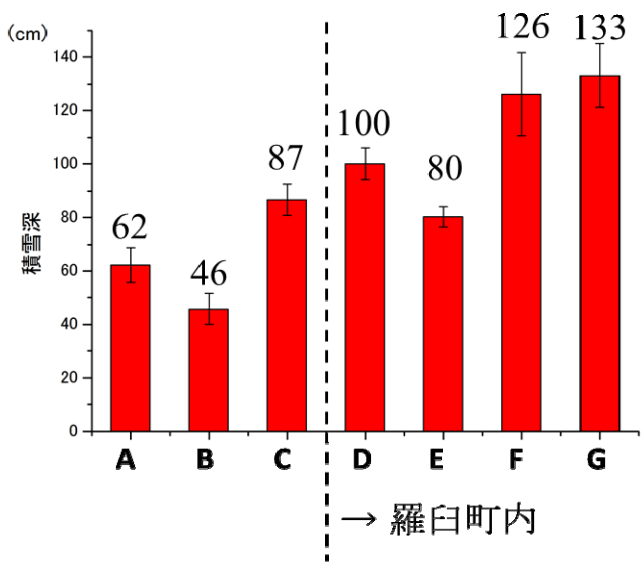


図 2　2015 年 2 月 7 日に実施した本調査の実施箇所（地理院地図に情報加筆）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部



調査地点：
A) 大空町東藻琴 (43.84° N, 144.29° E)
B) 斜里町以久科 (43.89° N, 144.69° E)
C) 標津町古多糠 (43.75° N, 145.03° E)
D) 羅臼町峯浜町 (43.88° N, 145.09° E)
E) 羅臼町幌萌町 (43.93° N, 145.12° E)
F) 羅臼町栄町（羅臼中学校）
(44.02° N, 145.19° E)
G) 羅臼町海岸町 (44.06° N, 145.23° E)

図 3　各地点における積雪深の測定結果

４．積雪調査結果

（１）各地点の積雪深

積雪深は，50m 測線を設け，5m 間隔で 11 点を測定した．各地点での計測結果を**図 3** に示す．ここでは 11 点の標準偏差をエラーバーで示した。調査地点のうち，A) 大空町東藻琴，B) 斜里町以久科に比べ，C) 標津町古多糠，および羅臼町内 4 箇所の積雪深の値が大きい．特に，陸上自衛隊の災害派遣が入った中心部に近い F) 羅臼町栄町，および G) 羅臼町海岸町の値が大きいことがわかった．

（２）積雪断面観測

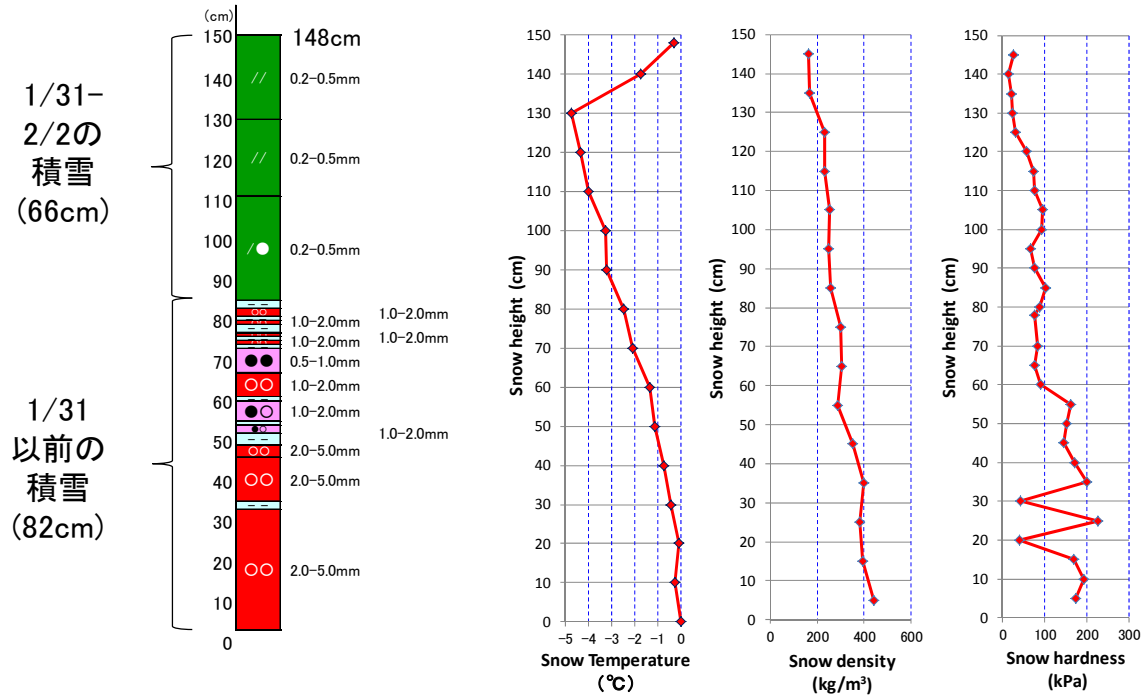
積雪断面観測は，積雪観測ガイドブック [6]に記された方法に基づき，積雪深，層構造，雪温，雪質，粒度，密度，硬度および積雪水量を測定した．この観測は F) 羅臼中学校のグラウンドにて実施した．結果を**図 4** に示す．作成した積雪断面の深さは 148cm である．現地での観察および羅臼アメダスでの積雪深の推移より，調査を実施した積雪断面では 2015 年 1 月 31 日以前が地面からの高さ 0～82cm，1 月 31 日から 2 月 2 日にかけての積雪が地面からの高さ 82～148cm と判断した．

羅臼アメダスの観測結果をみると，同年 1 月の羅臼町内の気温は平年と比べて高い状態で推移したため，下層には密度の高い氷板・ざらめ雪の層が数多く見られた．この観測を実施した 2 月 7 日は，一連の暴風雪で羅臼アメダスが降雪深を最後に記録した 2 月 3 日 11 時（1cm）以降，4 日間が経過したため，上層には新雪の結晶形が見られず，粒径 0.2-0.5mm のこしまり雪主体の積雪層であった．また全層密度は 251kg/m^3，積雪水量は 372mm であり，羅臼町におけるこの時期の値としては大きいと思われる．

（３）道路・住宅等の積雪状況調査

羅臼町内では調査当日も暴風雪の影響が残り，地域住民による住宅周辺の除排雪が行われていた．同町栄町では玄関や車が埋没した住宅，同町富士見町（羅臼町の中心部）では局所的に高さ 3m 以上の吹きだまりが見られた．写真の一例を**図 5** に示す．羅臼町は，除排雪費が当初予算（4500 万円）の約 3 倍（1 億 3000 万円）に達するなど（同年 3 月末時点），2014-2015 冬季は市民生活に大きな影響を与えたシーズンといえる．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部



（a）層構造・粒径　　（b）雪温　　（c）密度　　（d）硬度

2 月 7 日測定, 外気温：+0.5℃, 積雪深：148cm, 全層密度 251kg/m^3, 積雪水量 372mm

図 4　羅臼中学校グラウンドにおける積雪断面観測結果

図 5　道路・住宅等の積雪状況の一例（羅臼町内）

謝辞　本研究における各種観測実施の際，ご協力頂いた皆さまにお礼申し上げます．

【参考文献】

1) 気象庁ホームページ　URL　http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/
2) 北海道新聞 2015 年 2 月 2 日朝刊：孤立状態 住宅 1 階埋まる… 羅臼の積雪 史上最高 179 センチ
3) 北海道新聞 2015 年 2 月 3 日朝刊：羅臼で孤立状態続く 積雪 179 センチ 過去最高
4) 北海道新聞 2015 年 2 月 4 日朝刊：羅臼町民「雪はもう勘弁」店舗に食料品届く
5) 北海道新聞 2015 年 2 月 4 日夕刊：羅臼 3 日ぶり孤立解消, 国道通行止め解除 除雪急ぐ
6) 日本雪氷学会編（2010）：積雪観測ガイドブック．朝倉書店, 136pp.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

150212 尻別岳雪崩事故調査報告
Report on an avalanche accident occurred at Mt. Shiribetsudake, on Feb. 12, 2015.

榊原 健一（北海道医療大学），荒川 逸人（野外科学株式会社），
阿部 幹雄（株式会社極食），日本雪氷学会北海道支部 雪氷災害調査チーム
Ken-Ichi Sakakibara, Hayato Arakawa, Mikio Abe,
Snow damage research team of the Hokkaido branch, JSSI

１．はじめに

日本雪氷学会北海道支部では，雪氷災害の調査を速やかにおこなうために，2007−2008 年冬季に雪氷災害調査チームを発足させ，これまで北海道で発生した雪崩事故を中心に雪崩事故報告をおこなってきた[1)]．調査結果は，「*北海道の雪氷*」にて報告され，雪氷災害調査チームのホームページ（http://avalanche.seppyo.org/snow/）で公開されている．

本稿では，2015 年 2 月 12 日に尻別岳北東面で発生した雪崩事故について，事故の概要を報告する．本稿では，調査チームによる現場の積雪調査はおこわれなかったが，事故に遭遇した当事者および救助者への聞き取り調査に基づき，事故の経過をまとめ，気象，他地点での積雪情報をもとに雪崩の事故の要因となった弱層を検討した．

２．雪崩事故の概要

2015 年 2 月 12 日 13:00 頃，尻別岳北東面において，雪崩事故が発生した．バックカントリースキーで行動中のカナダ人 3 名のパーティーが雪崩に遭遇し，1 人が雪崩に流され部分埋没し，尻別岳でのスキーツアーの外国人ガイド 4 名およびパーティーのメンバー 1 名により救出され，地上およびヘリコプターにより搬送をおこない，事故発生から約 2 時間で倶知安市内の病院への搬送が終了した．被害者は，胸椎，腰椎の骨折で全治 1 ヵ月程度の怪我を負った．

雪崩は，面発生乾雪表層雪崩で，意図的でない人為的発生，サイズ 2 で，破断面は幅 50 m，深さ 30—50 cm，走路長は 200—300 m と推定される．滑り面は，気象，周辺の

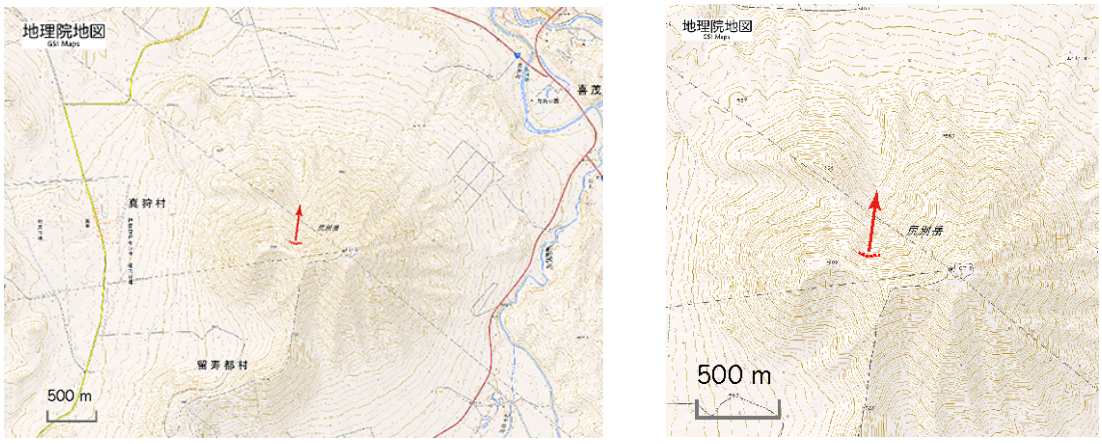


図 1 雪崩事故発生地点．尻別岳北東面．点線が破断地点で矢印が走路を示す（いずれも聞き取り調査に基づく）．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

積雪情報，救助者から聴取した現場の状況から，表面霜による弱層であると推測される．

調査チームによる調査は，雪崩事故の情報が入ってきたのが，事故から数日後で，事故発生後のまとまった降雪の後であったため，現場調査は実施しなかった．

３．雪崩事故発生地点と事故状況

雪崩の発生地点は，尻別岳北東面，尻別岳頂上西側にある 989 ピークから頂上に向かう尾根下の北東面であった(図 1)．発生時刻は 2015 年 2 月 12 日 11:00 頃であった．被害パーティーは，雪崩研究者である M1 と，友人の M2 の男性 2 名，女性 F1 の 3 名のカナダ人で構成され，当日，尻別岳の西側から 989 ピークを目指しハイクアップし，雪崩発生地点直上から，F1 が滑走し，フォールラインを少し横に入った 750−800 m 地点あたりで停止，次に M2 が滑走を開始する際に足元で破断し，M2 はその場に留まったが，下で停止していた F1 が雪崩に巻き込まれて流された．M1 は M2 より上の位置で滑走順を待ち下を見ていた(図 2)．F1 は 200 m ほど流されて腰のあたりまで部分埋没して停止した．

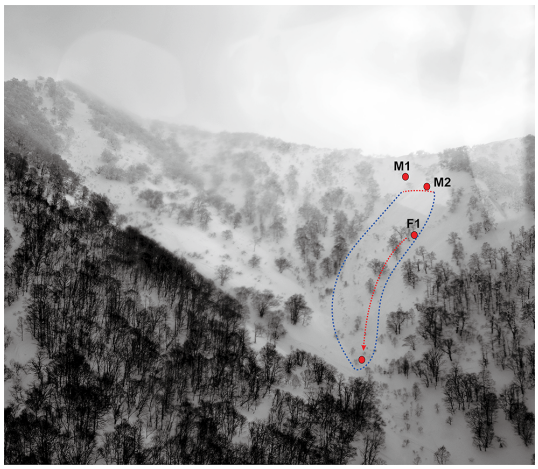


図 2　雪崩発生地点，走路，および被害パーティーのメンバの雪崩事故時の位置関係．M2 が誘発し，F1 が巻き込まれて流された．斜面北側から上空から撮影（写真提供：Hokkaido Backcountry Club）．

F1 が停止後，当日，バックカントリースキーツアーで，尻別岳ピークから北西斜面を滑走し，F1 埋没地点を通り過ぎて停止していたパーティーのガイド 2 名が，雪崩発生と流されて停止した F1 を確認し，F1 の埋没地点へ移動し，F1 を掘り出した．その後，午前中ヘリスキーツアーをガイドしていたガイド 2 人が連絡を受けて現場に急行し，M1 を加えた救助メンバーで斜面を下降して地上搬送し，その後，ヘリコプターおよび救急車により搬送が引き継がれ，14:35 頃に倶知安市内の病院へと収容された．F1 は，胸椎および腰椎の横突起，棘突起を 9 ヵ所骨折し全治 1 ヵ月程度の外傷を負った．

４．雪崩の規模，破断面

カナダの雪崩研究者である M1 および救助にあたった外国人ガイド(うち 2 人は CAA レベル 2）からの聞き取り調査によると，破断面の幅は 50 m，深さは 30—50 cm，走路長は 200—300 m．サイズ 2[2)]，破断面は未確認であるが，現場の状況から弱層は表面霜と推測されるとのことであった．

現場で救助にあたったガイドのメンバーは，当日午前および 2 月 10 日に，雪崩の起きた北東面の東側の北西面にて，人的誘発による雪崩の発生を確認しており，またそれらの雪崩の破断面となった弱層が表面霜であることを観察している．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

５．発生した雪崩に関連する気象と積雪情報

（１）気象観測データ

雪崩発生地点の積雪を推測するためにアメダス喜茂別（発生地点から北北東 4.3 km，標高 265 m），アメダス真狩（西 1.9 km，440 m），野外科学株式会社京極気象観測地点（北北西 8.8 km，410 m）での気象情報を検討する(図 3)．図 4 に 2 月 2−14 日までの 1 時間ごとの気象データを示す．赤線のある時刻が雪崩発生時刻である．

図 3　本稿で参照した気象データの観測地点と事故発生地点．

尻別岳周辺に，表面霜が形成されたと仮定すれば，表面霜が成長する気象条件である(i)日中晴天; (ii)夜，放射冷却による温度低下; (iii) 微風; の条件 [3] を満たす気象は，2 月 12 日以前では，2 月 4−5 日，および，5−6 日であると推測される．この場合，表面霜層が埋没したのは，2 月 7 日または 8 日であったと考えられる．

（２）周辺の降雪，積雪情報

雪崩発生地点から西北西へ 24 km 離れたニセコモイワでの，2015 年 2 月 5 日朝発表のニセコ雪崩情報 [4]では，「放射冷却により標高 800 m 以下に表面霜が作られ」と記されており，また，雪氷災害調査チームのメンバーである山岳ガイド古市竜太の倶知安での定点観測(雪崩発生地点から北西 18.5 km)では，積雪表面で，2 月 6 日朝に表面霜が観察され，2 月 7 日朝に新雪が観察された．

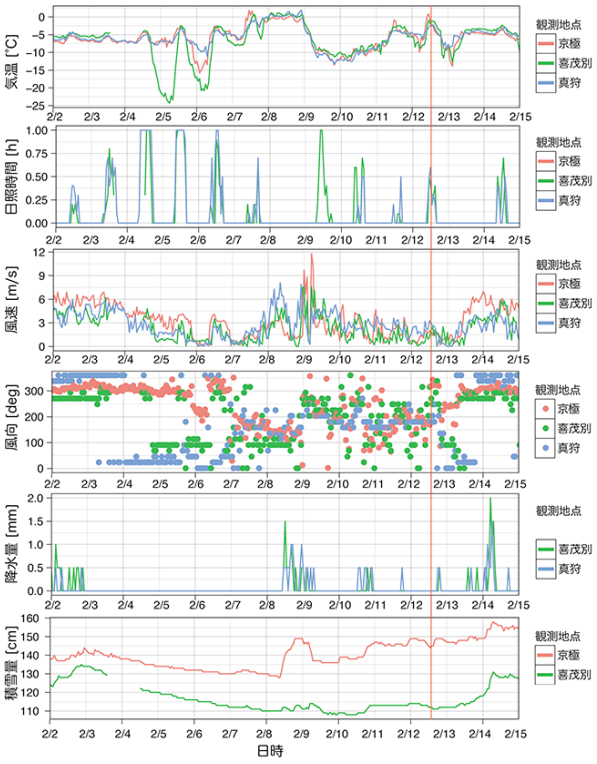


図 4　雪崩発生前後時期の 1 時間ごとの気象データ(京極，喜茂別，真狩)．赤線は雪崩発生の 2 月 12 日 13:00 を示す．

2015 年 2 月 21 日 10:30 に，雪崩講習会の機会に，尻別岳の南西に位置し尾根続きの樽負山の山頂南側(雪崩発生地点から南西に 2 km 地点)の西面にて，積雪断面観察をした結果を図 5 に示す．

積雪観察はテストピットとして積雪 表面から 70 cm の積雪を観察した．調査した斜面では，日射の存在する場所で積雪内部に表面霜層が確認され，図 5 にある積雪断面観察では↓23—25 cm に粒径 3—8 mm の表面霜の層が存在し，積雪安定性テストでは，CTE×2 (SP) on ↓25 SH 3—8 の結果であった [2,3]．表面霜の層の下には融解凍結クラスト層，表面霜の層の上には，あられの層があり，表層には新雪の層が存在した．また，積雪断面観察をおこなった斜面の稜線を越えた逆側の東面では↓80 cm に表面霜層が埋没していることが確認された．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

継続的な現地での観測データに基づく推測ではないので，確度には問題があるが，積雪構造について以下の推測が成り立つ．表面霜層は 2 月 5—6 日に形成され，あられ層は気温の上昇した 2 月 8 日の降雪，また，新雪は 2 月 14，15 のまとまった降雪によるもので，西風による雪の移動で，西面よりも東面の方が新雪層は厚みがあり，表面霜の層が東面では深く埋没していた．また，表面霜層の下に存在する融解凍結クラスト層は，1 月 31 日の日射の影響により生成されたと推測される(喜茂別アメダスで日照時間 6.4h，最高気温 0.9℃).

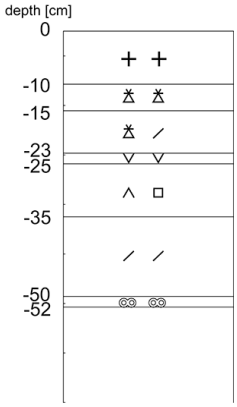


図 5　樽負山西面，2015 年 2 月 21 日 10:30 の積雪断面観察の結果.

６．考察

雪崩の発生現場に隣接する北西面で発生した同日 12 日の午前の雪崩および 10 日の雪崩が，ガイドの証言から表面霜を弱層とした雪崩であったこと，2 月 5，6 日にニセコ周辺で表面霜が観察されていること，表面霜が成長する必要条件が気象データに存在すること，9 日後の樽負山での積雪断面で観察された表面霜層，いずれも，今回調査対象とした雪崩事故における雪崩は，表面霜を弱層として発生したという仮説を支持するものである．

北海道の雪崩事故でこれまでに報告されている事例では，雪崩を引き起こす原因となった弱層としては，雲粒なしの降雪結晶，しもざらめ，こしもざらめの事例は多く知られているが，今回報告した事例のように表面霜が弱層となった雪崩ほとんど知られておらず，珍しい事例であるといえる．

また，今回の雪崩事故では，当事者も救助者も外国人であった．北海道の冬季におけるバックカントリー利用者の外国人増加という時代変化を反映する事例であった．

７．まとめ

2015 年 2 月 12 日の尻別岳北東面における雪崩事故について調査の結果を報告した．現場の調査は実施されなかったが，聴取および気象情報，他地点の積雪情報をもとに，雪崩の原因となった弱層は表面霜であると推測された．

謝辞

聞き取り調査に協力頂き，報告書，写真を提供頂いた被害者の方々， Hokkaido Backcountry Club ならびに Black Diamond Tours のスタッフの方々に感謝する．特に救助を含む現場の状況について詳細に報告頂いた J. Shepherd, P. Arsenault, M. Asenlund, J. Doubic の諸氏，樽負山の積雪について議論頂いた藤村知明氏に感謝する．

【参考・引用文献】

1）山田 知充，2014: 活躍する雪氷災害調査チーム: 北海道支部の社会貢献活動，*雪氷*, **76,** 481-485.

2）Canadian Avalanche Association, 2014: *Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches*.

3）雪氷災害調査チーム，2015：*山岳雪崩大全*，山と渓谷社.

4）ニセコ雪崩調査所，ニセコ雪崩情報，http://niseko.nadare.info/

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

地震による雪崩発生リスク評価に関する研究
－地震応答解析に基づく雪崩発生条件の検討－
Study on risk assessment for avalanche caused by strong ground motion
- Examination for conditions of avalanche using seismic response analysis -

千葉隆弘，佐藤雄輝（北海道科学大学）
原田裕介，大宮哲，伊東靖彦（（国研）土木研究所　寒地土木研究所）
松下拓樹（（国研）土木研究所　雪崩・地すべり研究センター）
Takahiro Chiba, Yuki Sato, Yusuke Harada, Satoshi Omiya, Yasuhiko Ito and Hiroki Matsushita

１．はじめに

東北地方太平洋沖地震の翌日である 2011 年 3 月 12 日に，長野県北部の地震が発生した。最大震度は，長野県栄村で 6 強であり，揺れによる建物の被害に加えて，揺れをトリガとした雪崩により鉄道や道路の交通機関に対しても被害がもたらされた [1)]。このような地震の揺れをトリガとした雪崩は，2013 年 2 月 25 日に栃木県北部で発生し，奥鬼怒温泉郷の宿泊施設で一時孤立状態となった [2), 3)]。

通常時の雪崩は，積雪の重力による慣性力が積雪層内に形成された弱層のせん断強度，あるいは，積雪と斜面との界面に生じる摩擦抵抗力を上回ることで発生する。一方，地震時においては，重力による慣性力に加えて揺れによる慣性力が同時に作用することから，通常時に比べて雪崩が発生し易くなるとともに，雪崩の規模も大きくなると予想できる。従って，雪崩のリスク管理を行う場合は，冬期に発生する大地震を想定しておく必要があり，地震動の規模と雪崩発生状況との関係を明らかにすることが重要となる。

このような背景から本研究では，質点系せん断型モデルを用いた地震応答解析に基づいて地震動の規模と積雪層内に作用するせん断応力との関係を検討した。

２．解析モデルの検討

本研究では，図 1 に示すように，積雪を上層，中間層，および下層の 3 層から成る質点系せん断型の振動モデルに置き換えて地震応答解析をすることとした。この振動モデルは，並列のばねとダッシュポットで構成された弾性モデルであり，斜面積雪を模擬した既往の振動実験 [4)] で得られた結果に基づいて剛性と減衰係数を設定した。

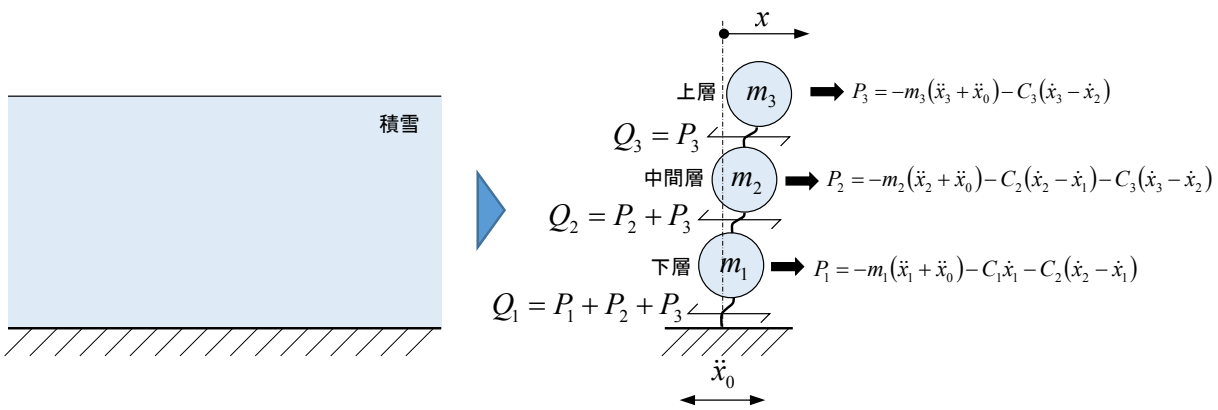


図１　本研究で用いた質点系せん断型振動モデル

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

表 1　質点系せん断型モデルに設定した各質点の剛性

想定深さ (m)	想定密度 (kg/m³)	全体重量 (kN/m²)	質点の質量 (kg/m²)	質点の剛性 (kN/m/m²)	1次固有振動数 (Hz)	1次固有モード
0.6	350	2.06	m_1: 7.14	K_1: 1700	10.1	m_1: 1.02
			m_2: 7.14	K_2: 1400		m_2: 2.06
			m_3: 7.14	K_3: 950		m_3: 2.95

既往の振動実験は，斜面積雪の応答性状を把握することを目的としており，振動台に取り付けた模擬斜面の勾配を 30° とし，屋外から切り出された深さ 0.4～0.8m の自然積雪を模擬斜面に設置して 1～10Hz のスウィープ加振を行っている。斜面積雪の応答は加速度計を用いて測定しており，様々な深さおよび雪質で十数回の振動実験を行っている。ここで，振動実験で得られた斜面積雪の固有振動数をみると，いずれの斜面積雪においても 10Hz となっており，応答加速度の鉛直分布は，上層ほど加速度が大きくなる比例関係を示した。本研究では，このような振動実験の結果を再現するため，表 1 に示すように積雪各層の剛性を設定した。表中の積雪深さおよび密度は実験で対象とした斜面積雪の平均値であり，各層の質量は全体を 3 等分した。このような質量分布で固有振動数が 10Hz および固有 1 次モードが比例関係となるように各層の剛性を設定した。

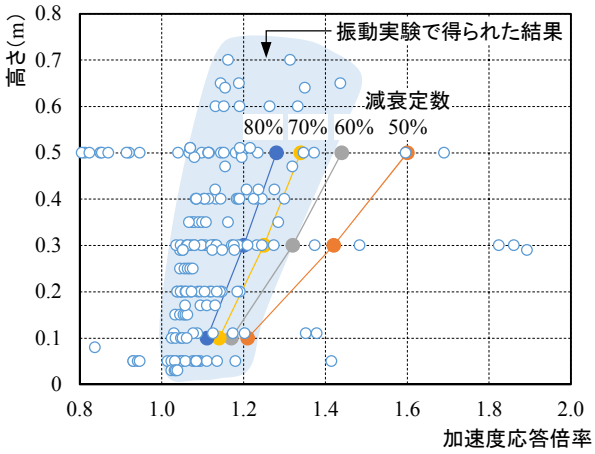


図 2　加速度応答倍率の鉛直分布

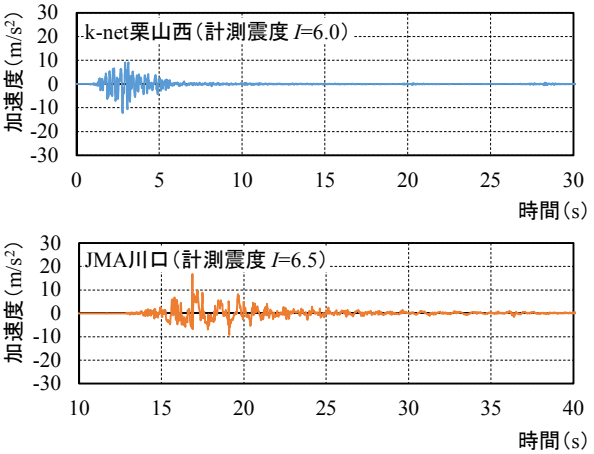


図 3　解析で用いた観測波

次に，減衰係数は，既往の振動実験で得られた加速度応答倍率の鉛直分布と適合する減衰定数を用いて設定した。図 2 に，振動実験で得られた加速度応答倍率の鉛直分布と減衰定数ごとに行った地震応答解析で得られた加速度応答倍率の鉛直分布とを比較した結果を示す。なお，地震応答解析で用いた地震動は 1～10Hz のスウィープ加振とし，積雪各層の剛性は，表 1 に示す値とした。図のように，減衰定数 80%における加速度応答倍率の鉛直分布が振動実験と概ね対応した。このことから本研究では，斜面積雪の減衰定数を 80%として減衰係数を求め，観測波を用いた地震応答解析を行うこととした。

３．解析結果

３．１　地震動の違いが積雪の応答性状に及ぼす影響

本研究では，振動特性の異なる 2 つの観測波を用いて積雪の応答性状を検討した。図 3 に，地震応答解析に用いた観測波を示す。図のように，揺れをトリガとした雪崩が発生した栃木県

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

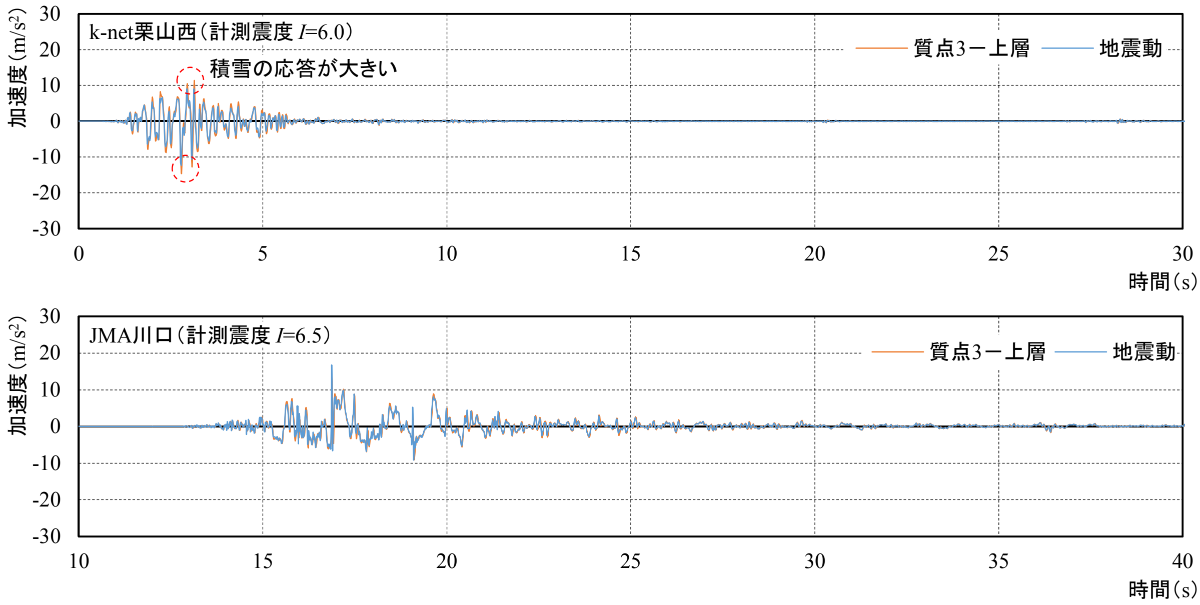


図 4 地震応答解析で得られた加速度時刻歴

北部の地震において栗山西地点で観測された地震動（以下，「k-net 栗山西」という。）と，新潟県中越地震において川口地点で観測された地震動（以下，「JMA 川口」という。）を用いた。計測震度はそれぞれ 6.0（震度 6 強）と 6.5（震度 7）であり，JMA 川口の方が強い揺れとなっている。一方，卓越周波数については，k-net 栗山西が 3～10Hz，JMA 川口が 0.5～1.0Hz となっており，k-net 栗山西が高周波数帯に，JMA 川口が低周波数帯に卓越周波数を有している。

これら 2 つの地震動を用いて積雪を対象とした地震応答解析で得られた加速度時刻歴を図 4 に示す。なお，積雪各層の剛性および減衰係数は第 2 章で検討した値を用い，上層，中間層，および下層のうち，最も応答する上層の加速度時刻歴を示した。図のように，計測震度は JMA 川口の方が大きいものの，k-net 栗山西の場合における積雪の応答が大きくなる。このように，高周波数帯で卓越する地震動ほど積雪が応答し易くなる。

３．２ 斜面積雪における地震動の規模とせん断応力との関係

以上に示すように，積雪の地震応答は，地震動における卓越周波数帯の影響を受け，高周波数帯に卓越周波数を有する地震動ほど積雪が応答し易くなる。以下では，実物大の斜面積雪を想定するとともに地震動の規模を変化させた場合の地震応答解析を行い，地震動の規模と積雪各層のせん断応力との関係を検討した。斜面勾配は 30° と 50° の 2 種類とし，斜面積雪の深さは 2.0m とした。密度については全層平均で 350kg/m^3 を想定し，各質点の質量は全体を 3 等分した。なお，解析される質点の慣性力がせん断応力となるように，質量は単位面積当たりの値で設定した。各質点の剛性は，固有振動数が 10Hz 程度になるとともに，固有 1 次モードが比例関係を示すように設定し，減衰係数は，減衰定数 80%として設定した。また，地震時における積雪各層の最大せん断応力 $\tau_{\mathrm{i\text{-}max}}$ は，各積雪層における単位面積当たりの質量を m_{i}，重力加速度を g，地震時における積雪層の最大応答加速度を a_{i}，斜面勾配を θ として，以下の 3.1)式に基づいて算定した。なお，式中の Σ は，i 層より上側を合計するという行為を表す。

$$\tau_{\mathrm{i-max}} = \sum m_{\mathrm{i}} \cdot g \cdot \sin\theta + \sum (m_{\mathrm{i}} \cdot a_{\mathrm{i}}) \cdot \cos\theta \quad \cdots\cdots 3.1)$$

Copyright © 2015 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

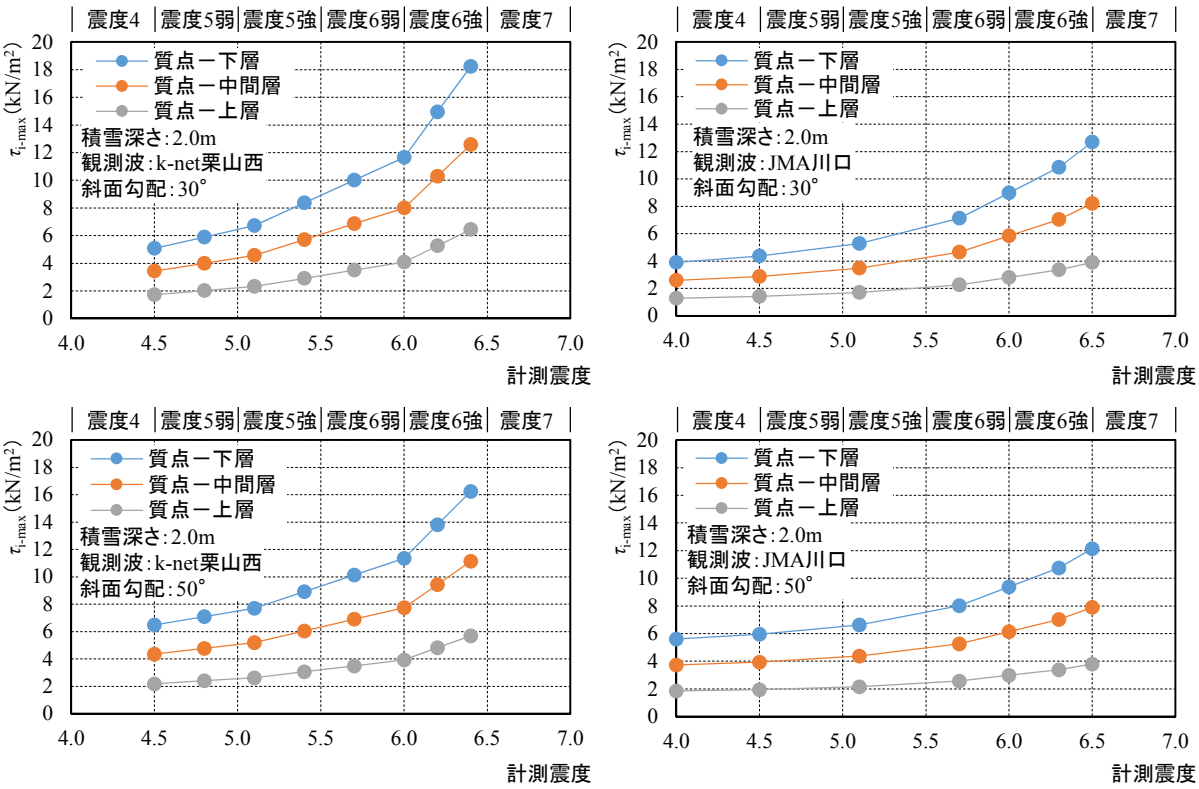


図 5　計測震度と各質点の最大せん断応力 $\tau_{i\text{-}max}$ との関係

解析に使用した地震動は，k-net 栗山西と JMA 川口の 2 種類の観測波を用い，観測波の振幅を拡大・縮小することによって計測震度が 4～6.5 の範囲となる 8 つの地震動を 2 つの観測波ごとに作成した。すなわち，それぞれの観測波が保有する卓越周波数帯を変えずに規模のみを変化させた複数の地震動を用いて地震応答解析を行った。ここで，計測震度と積雪各層の $\tau_{i\text{-}max}$ との関係を図 5 に示す。図のように，斜面勾配が $\tau_{i\text{-}max}$ に及ぼす影響は，いずれの観測波においても小さい傾向を示し，下層ほど $\tau_{i\text{-}max}$ が大きくなる関係を示す。観測波の違いで比較すると，k-net 栗山西のように高周波数帯に卓越周波数を有する地震動ほど $\tau_{i\text{-}max}$ が大きくなる。また，$\tau_{i\text{-}max}$ が増加し始める地震動の規模は，およそ「震度 5 強」であり，その増加傾向は k-net 栗山西で顕著となっている。以上の結果をみると，地震の揺れをトリガとした雪崩は，高周波数帯に卓越周波数を有する地震動ほど発生し易く，その規模は震度 5 強以上であることわかる。

4．まとめ

本研究では，地震の揺れをトリガとした雪崩の発生条件を明らかにすることを目的に，斜面積雪を質点系せん断型振動モデルに置き換え，地震応答解析を行った。その結果，地震の揺れをトリガとした雪崩は，高周波数帯に卓越周波数を有する地震動ほど発生し易く，その規模は，斜面積雪が 2.0m，全層平均密度が 350kg/m^3 の場合，震度 5 強以上となることが分かった。今後は，粘弾性体の運動方程式を考慮し，雪質等が斜面積雪の地震応答に及ぼす影響を検討する。

【参考文献】

1) 消防庁災害対策本部：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について（第 149 報），入手先<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/149.pdf>，参照 2015.6.17
2) 消防庁災害対策本部：栃木県北部を震源とする地震（最終報），入手先<http://www.fdma.go.jp/bn/2013/>，参照 2015.6.17
3) 上石勲，安達聖，阿部修，小杉健二，伊東靖彦，池田慎二，松下拓樹：2013 年 2 月 25 日に発生した栃木県北部地震によって誘発された雪崩，雪氷研究大会（2013・北見）講演予稿集，No. A3-3，2013.9
4) 松下拓樹，原田裕介，笠村繁幸，松澤勝，中村浩：地震動に対する斜面積雪の応答性状に関する実験，雪氷研究大会（2013・北見）講演予稿集，No. P2-4，2013.9

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

建築物の軒部に作用する積雪荷重の実測
Measurement of snow load on pole plate

伊東敏幸，千葉隆弘，苫米地司（北海道科学大学）
Toshiyuki Ito，Takahiro Chiba，Tsukasa Tomabechi

１．はじめに

勾配屋根の軒部は，屋根上部の積雪の他に巻垂れや雪庇の荷重を受けると共に，屋根雪と軒下の地上積雪とが連結した場合には，地上積雪の沈降による多大な荷重を受ける．豪雪時にはそれら荷重によって，写真１のように軒部が損傷する事例[1)]が多く発生することから，それらの荷重を適切に評価した部材設計および維持管理を行う必要がある．しかし，現状においては軒部に作用する荷重を評価した研究[2，3)]は少なく，特に地上積雪の沈降に伴う軒部への荷重を実測した研究資料はない現状にある．なお，積雪に埋没する道路工作物に作用する積雪沈降荷重の評価法に関しては，その評価式が提案[4)]されている．

このような背景から，本研究では，豪雪時における勾配屋根および陸屋根の軒部に作用する積雪荷重を明らかにすることを目的とし，屋根試験体における積雪荷重を実測し，積雪状態に関わる荷重特性を評価した．

２．研究の方法

軒部に作用する積雪荷重の実測は，勾配屋根および陸屋根の屋根試験体を用いて次のように行った．

勾配屋根の試験体は，図１に示すように，勾配 3/10，屋根幅 1870mm，屋根長さ 2780mm，軒の出 320mm，軒先地上高さ 1200mm であり，屋根仕上げは塗装鋼板屋根の蟻掛け葺きとした．軒部に作用する積雪荷重は，軒桁と柱の間に最大荷重 20kN の圧縮型ロードセルを設置し，データロガーを介してパソコンにて計測した．計測した荷重は屋根幅 1870mm の 1/2 の荷重となるので，単純梁の構造モデルとして屋根幅１m あたりの荷重値に変換した．

陸屋根の試験体は，図２に示すように，勾配なし，屋根幅 1220mm，屋根長さ 3600mm，軒の出 340mm，軒先地上高さ 1280mm であり，屋根仕上げは塗装鋼板屋根のコハゼ横葺きとした．軒部への荷重の測定方法は前述した勾配屋根と同様である．

何れの屋根試験体も屋根幅

写真１　軒損傷の事例

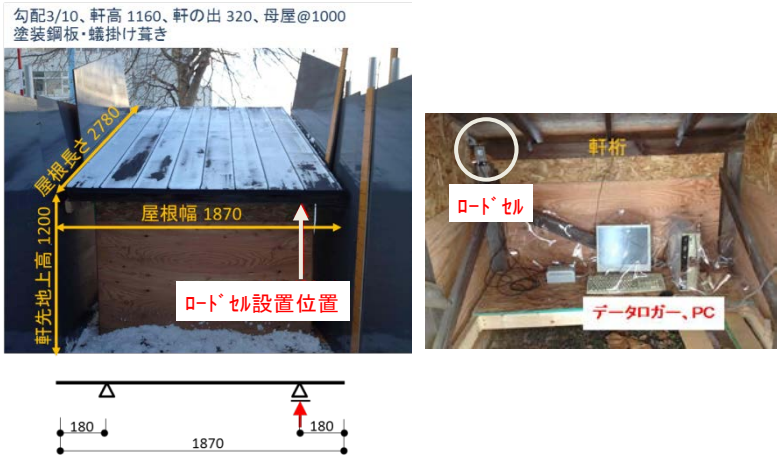


図１　勾配屋根の試験体

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

が狭いので，屋根上および軒下地上部の側面にコーティング合板を設置し，雪の崩落を防止すると共に，この合板を外すことで積雪断面を確認できるようにした．なお，屋根試験体の小屋裏部は断熱区画を施していないので外気温と同じ温度環境である．

以上のような方法で試験体を屋外暴露し，2014/12/5～2015/3/27 に実測した．

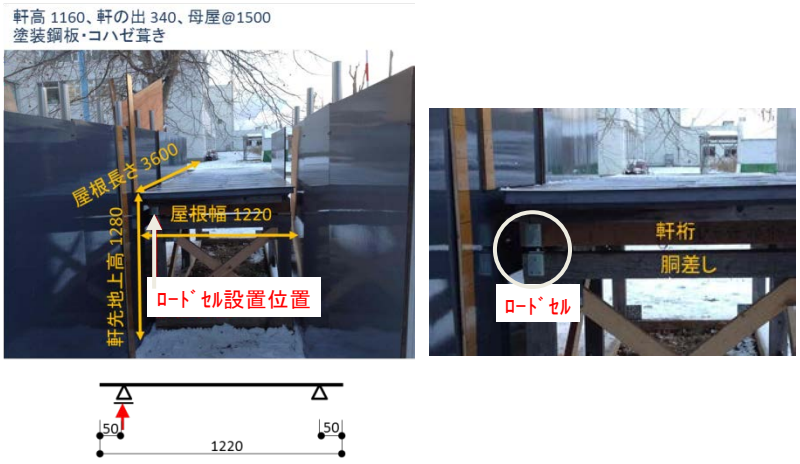


図 2　陸屋根の試験体

３．結果と考察

観測期間における降雪状況は，札幌市手稲区土木センターの観測値によると，12 月は 183cm，1 月は 155cm と平年よりも多いが，2 月は 55cm，3 月は 42cm と極めて少雪であった．このような降雪状況における屋根試験体の積雪状態は次の通りである．屋根上の積雪深は，12/16 に 50cm 程度，12/26 には 80cm 程度，1/19 には 90cm 程度となり，その後 2 月中旬までは沈降と降雪のよって同程度の積雪深で推移し，その後 2 月下旬には写真 2 に示すように側面が融雪した状態となり，3 月中旬には融雪によって消雪した．なお，勾配屋根の屋根雪は軒側に徐々に滑落する現象がみられた．軒下の地上積雪深は，12/26 に 80cm 程度となり，12/26 に軒下部に周囲の新雪を人工的に追加して 140cm 程度とし，さらに 12/31 および 1/7 に新雪を人工的に追加して 170cm 程度とした．屋根雪と地上雪が連結したのは 12/31 であり，それ以降 3/10 頃まで連結が継続した．

写真 2　観測時の状態

軒桁に作用した積雪荷重を軒幅 1 m あたりの荷重で評価すると次のようになる。はじめに 12 月の積雪荷重を図 3 に示す。図のように，12/15～19 の連続降雪にて屋根上に積雪し，その重量によって勾配屋根および陸屋根の軒桁荷重が 700 N/m 程度となる。その後，勾配屋根ではプラス温度外気の影響で屋根雪が滑落移動して巻垂れが形成されて軒桁荷重が 1000 N/m まで増加し，12/21 にその巻垂れが落下して

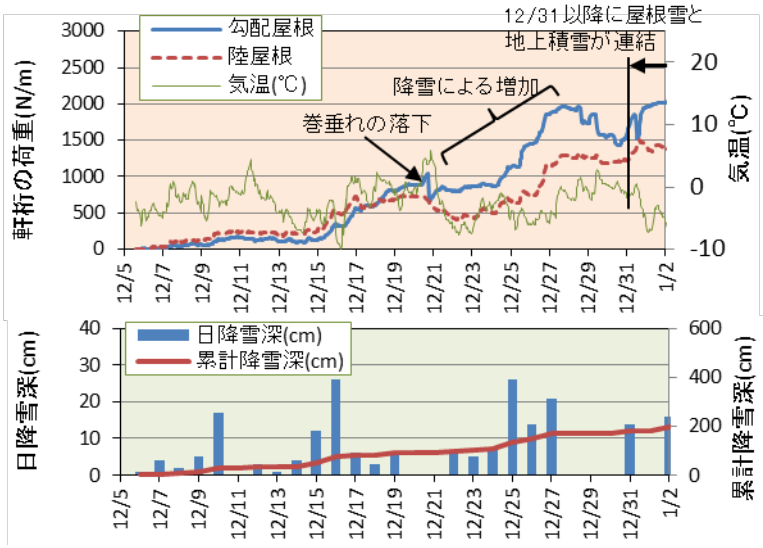


図 3　軒桁荷重の実測値（12 月）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

荷重が低減する．このときの陸屋根は融雪によって荷重が低減している．その後 12/22～27 の連続降雪によって両屋根の軒桁荷重は増加し，勾配屋根では融雪とその排水によって荷重が若干減少するが，陸屋根では排水されないので荷重が変化しない．

1 月の軒桁荷重は図 4 に示すように，月末に最大値の 4000 N/m となる．陸屋根の荷重は月末以前の期間は，降雪による重量増加によって荷重が増加している．一方，勾配屋根の荷重は図中の▽印で示すように，外気温がプラスになったときに荷重が急激に減少し，その後外気温がマイナスとなることで荷重が減少前の値程度まで増加する現象が繰り返し発生している．

2 月の軒桁荷重は図 5 に示すように降雪は殆どない状況にあるが，勾配屋根では 1 月にみられた外気温変動に伴う荷重増減という現象が継続的に発生した．また，陸屋根においても同様の現象が 2/9 および 2/16 以降にみられた．

ここで，この外気温に依存する荷重変化の現象について考察する．勾配屋根の屋根雪が軒側に徐々に移動していたことから，この現象は軒下積雪の沈降によって屋根上積雪が軒下方向への引張力を受けることで生じているものと考えられる．プラス温度のときは，屋根面と屋根雪との凍着力が解除され，地上積雪と連結している屋根雪が地上積雪の沈降力を受けて滑落移動し，屋根雪が軒下積雪に支持される状態となることで軒桁荷重が減

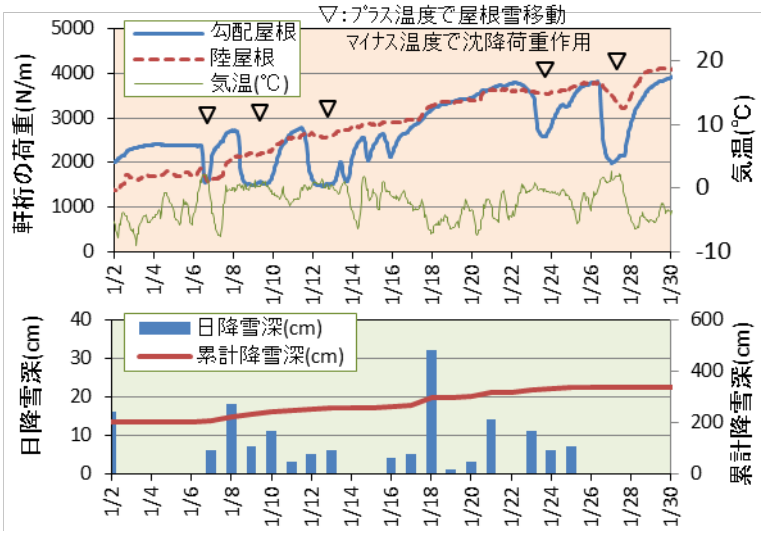


図 4　軒桁荷重の実測値（１月）

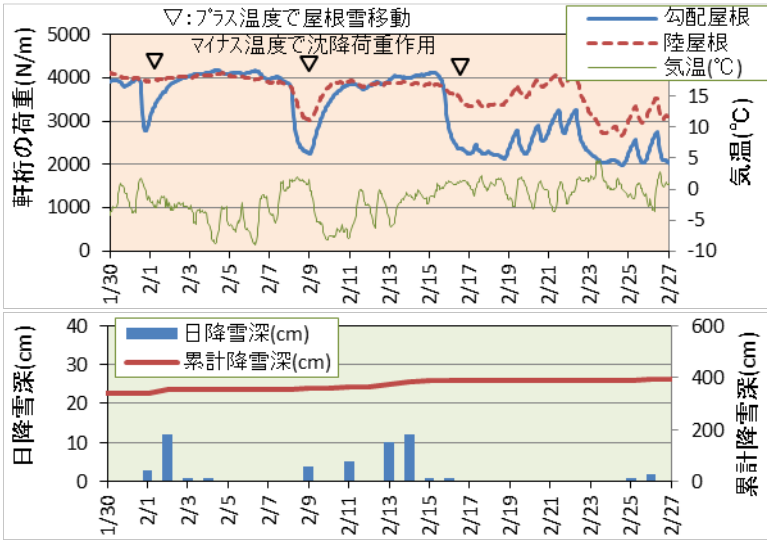


図 5　軒桁荷重の実測値（２月）

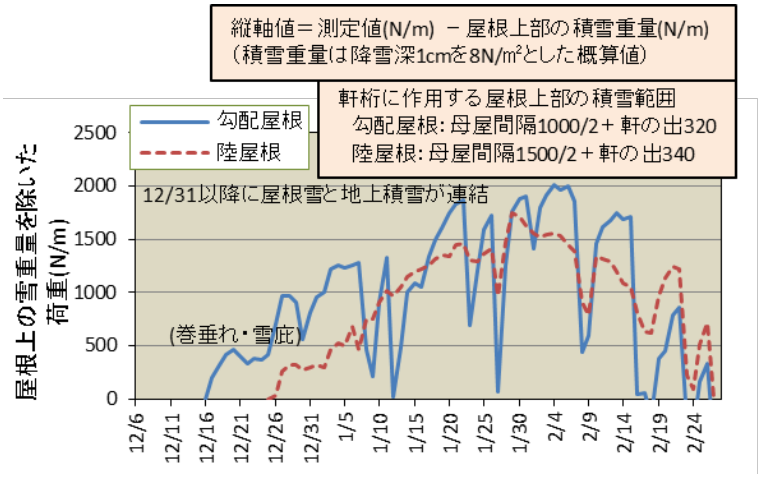


図 6　屋根上積雪を除いた軒桁荷重

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

少する．その後マイナス温度となったときは，屋根面と屋根雪とが凍着するので，地上積雪の沈降によって軒部に地上積雪の沈降に伴う荷重が作用することになる．この現象は陸屋根の 2 月中旬にも生じているが，発生の機構は同一と考えられる．

次に屋根上部にある積雪荷重を除いた軒桁荷重について評価すると図 6 となる．図の縦軸は降雪深 1 cm を 8 N/㎡と仮定して換算した軒桁に作用する積雪重量を実測した軒桁荷重から除した荷重，すなわち，巻垂れ，雪庇および軒下積雪の沈降による軒先への荷重の合計値を示している．図のようにその荷重は陸屋根よりも勾配屋根の値が 500 N/m 程大きく，勾配屋根の最大値は 2000 N/m，陸屋根の最大値は 1700 N/m 程となる．また，勾配屋根においては屋根雪の滑落移動によって荷重がゼロ付近まで減少することもあり，その後に減少前の値付近に戻ることから，その荷重の全てが地上積雪の沈降によるものと言える．

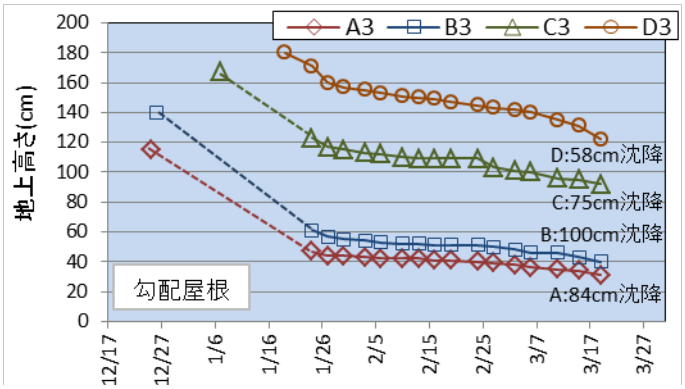


図 7　軒下地上積雪の沈降量

図 8　勾配屋根の積雪断面

地上積雪の沈降量および積雪層の状態を勾配屋根についてみると図 7 および図 8 となる．図のように，大きな沈降荷重が作用する 1 月中旬から 2 月中旬までの期間では，下層部(A,B)で 10cm 程，上層部(C,D)では 15cm 程度の沈降が日数経過に伴って生じていることから，この積雪沈降が屋根雪の滑落移動による軒桁荷重変化の要因と考える．なお，その期間に 5 回程の荷重変動があったので，屋根雪の滑落移動は 1 回について数 cm 程度と推測される．

4．まとめ

屋根試験体を用いて軒桁に作用する荷重を実測評価した結果から，勾配屋根と陸屋根における軒桁に作用する荷重値および変動特性が分かった．軒桁荷重が変動する要因として，外気温変動による屋根面と屋根雪との凍着現象と地上積雪の沈降現象が影響していると考えられる．今後は，今回の測定結果における降雨の影響や側面の融雪を考慮した荷重評価を行うと共に，屋根雪の移動量や地上雪の沈降量を含めた観測を継続する必要がある。

【参考・引用文献】

1)伊東敏幸，千葉隆弘，前田憲太郎，田沼吉伸，苫米地司，2012：2011 年度冬期における岩見沢および三笠の屋根上積雪状態，*北海道の雪氷*，**31**，147-150.
2)大浦浩文, 1957：積雪の沈降荷重による軒先の損傷について，*低温科学物理編*, **16**, 149-250.
3)大塚弘樹・半貫敏夫，1996：有限要素法による積雪沈降荷重評価の試み　(1)数値解析と水平桁の実験との比較，*日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）*，89-90.
4)日本建設機械化協会，1995：*新編防雪工学ハンドブック*，森北出版，34-44.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

構造部材の着雪性状に関する基礎的研究
－柱部材を対象とした着雪の屋外観測－
Study on conditions of snow accretion for structural members –Field observation for members which have circle and spuare section－

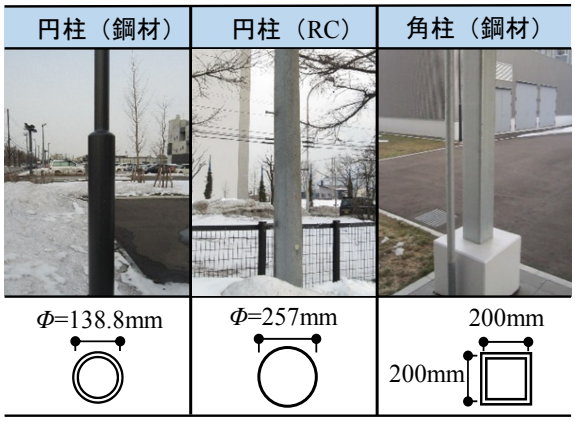
佐藤雄輝，千葉隆弘，苫米地司（北海道科学大学）
大塚清敏，田畑侑一（株式会社大林組技術研究所）
SATO Yuki, CHIBA Takahiro, TOMABECHI Tsukasa,
OTSUKA Kiyotoshi and TABATA Yuichi

１．はじめに

近年，建物の高層化，大規模化，デザインの多様化に伴い，壁面の凹凸部や鉄塔状の構造物に着雪する事例が増えている。高層建築物の場合，着雪が塊となって地上へ落下することにより，人的・物的被害が発生している例も少なくない。このような事例は，多雪地域のみならず，雪の少ない関東地方においても確認されており，これらの地域の建築物においても降積雪に対する備えの重要性が指摘されつつある。

着雪に関する既往の研究をみると，道路標識の傾斜角度での着雪制御や[1)]，着雪面の表面粗さ及び撥水性・親水性など，形状や材料の視点からの研究が進められている[2)]。しかし，着雪発生条件，着雪量などの着雪性状に関する技術資料の蓄積は少なく，十分な対策を行えていない。このようなことから本研究では，構造部材の着雪性状と気象特性との関係を把握することを目的に着雪の屋外観測を行い，着雪が発達する気象条件を検討した。

表１　観測の対象とした構造部材



２．観測方法

本研究で対象とした構造部材を表 1 に示す。表のように，観測の対象とした構造部材は，

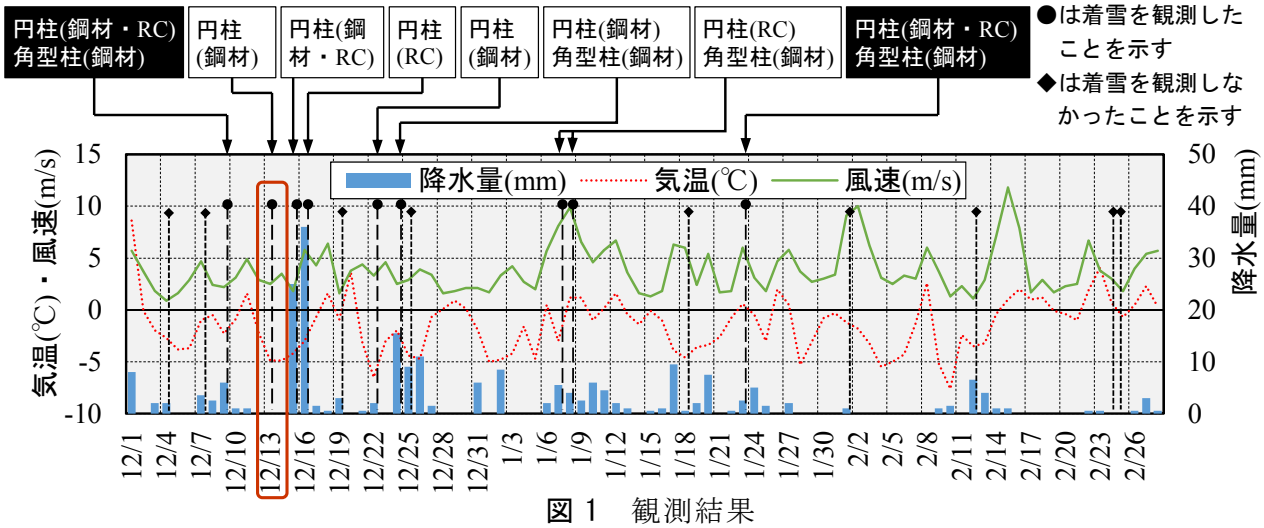


図１　観測結果

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北海道札幌市手稲区の北海道科学大学構内にある円柱（鋼材），円柱（RC），および角柱（鋼材）の 3 種類である。これらの部材は，冬期の主風向となる西北西から北北西側にかけて 30m 以上開けた場所にある。各構造物の表面は，円柱（鋼材）が塗装仕上げ，円柱（RC）は素地，角柱（鋼材）は溶融亜鉛メッキである。観測は，2014 年 12 月～2015 年 2 月のうち，降雪が開始した時間から翌日の 7:00～8:00 の間に行った。本観測では，各部材の着雪状況を写真撮影するとともに，Autodesk 製の 123D Catch を用いて着雪表面の 3D メッシュをモデル化し，そのメッシュから着雪深さを測定した。また，着雪時の含水率を河島ら[1)]の熱量式による方法にもとづいて測定した。観測期間中の気象特性は，最寄りの気象観測地点である山口アメダスの観測データを用いて分析した。なお，山口アメダスでは積雪の観測を行っていないため，降水量のデータを用いて降雪状況を判断した。

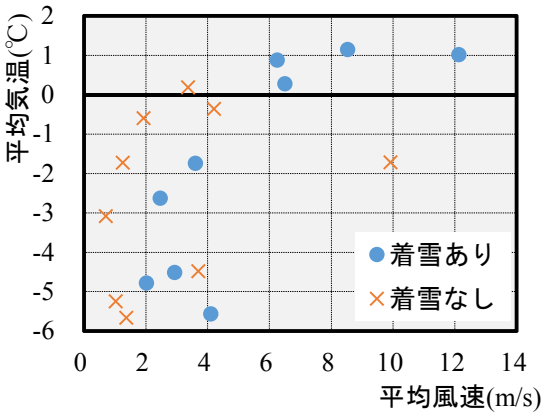


図 2　観測時の風速と気温の関係

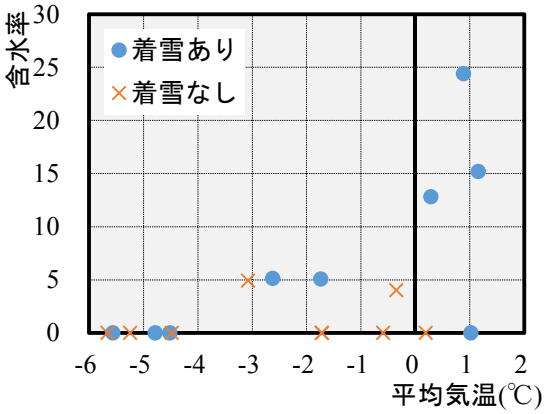


図 3　平均気温と含水率の関係

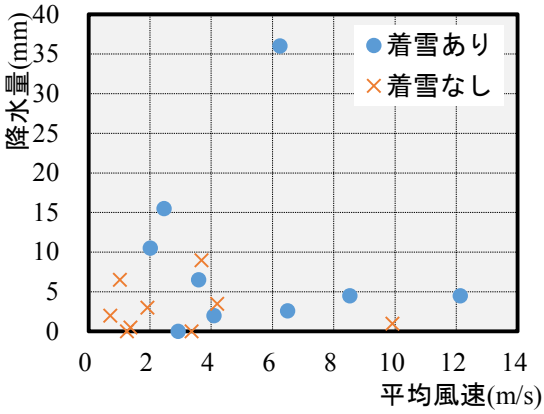


図 4　平均気温と含水率の関係

3．観測結果

3．1　着雪状況の観測結果

図 1 に，観測期間中の日平均気温，日降水量，および日平均風速を示すとともに，着雪を観測した日を示す。図のように，本研究では 18 回の観測を実施し，そのうち 9 回の着雪を確認した。なお，この 9 回は，3 種類の部材のいずれかが着雪した場合である。また，2014 年 12 月 13 日の降水量が 0mm となっているものの，積雪の観測を行っている札幌管区気象台では 3cm の降雪量を記録していた。このことから，この日においては山口アメダスにおいても同様の降雪があったとした。ここで，着雪時の気象条件をみると，平均風速が 2m/s 以上の時において着雪が発生し，降水量が 10mm 以上で着雪が発生しやすい傾向にある。図 2 に，観測時の平均風速と平均気温との関係を示す。なお，図中の平均気温，降水量，および平均風速は，その日の降雪が始まった時間から観測を行った時間までの平均値および合計値としている。図のように，観測時における平均風速の増加に伴い平均気温が上昇する関係を示し，平均気温が 0℃以上で着雪が発生しやすい傾向がある。ここで，着雪の有無ごとに平均気温と含水率との関係を示すと図 3 となる。図のように，平均気温の上昇にともない含水率が増加する関係を示している。次に，平均風速と降水量との関係を図 4 に示す。図のように，両者に明瞭な相関関係がみられないものの，降水量が 10mm 以上になると着雪が発生し易くなり，風速が小

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

さくても降水量が多い場合は，着雪が発生している。以上の結果をみると，含水率が大きいほど着雪し易く，気温に加えて降水量の影響も大きいことがわかる。

３．２　着雪量と気象特性の関係

図 5 に，123D Catch でモデル化された 3D メッシュで測定した各部材の着雪断面形状を示す。なお，図中の Y 軸は冬期間の主風向である北西－南東軸とした。また，各断面に着雪日を示すとともに，その日の平均風速を括弧書きで示した。図のように，円柱（鋼材）をみると，いずれの着雪日においても丸みを帯びた三角形の断面形状を成しているものの，その着雪深さは観測日ごとに異なっている。円柱（RC）の場合をみると，着雪の断面形状は円柱（鋼材）と同様の形状を示しすものの，部材幅が量円柱（鋼材）に比べて大きいため，着雪深さが小さい傾向を示す。円柱（鋼材）の着雪が観測された日の風速を見てみると，5m/s を下回いる日が多く，着雪日の平均風速は 3.60m/s となっている。これに対し，円柱（RC）の場合をみると，風速が 6m/s を上回る日が多く，着雪日の平均風速は 6.50m/s と円柱（鋼材）よりも大きい。これは，着雪対象物が小さい場合，雪粒子が衝突する際の速度が大きく，着雪面で雪粒子が砕かれるため，着雪日の平均風速が小さくなったと推測される。これに対し，着雪対象物が大きい場合は，着雪面近傍の淀み領域が大きくなり，雪粒子が着雪面に到達するにはそれなりの速度が必要であることを示唆している。一方，角柱（鋼材）の場合をみると，着雪深さは風向に大きく依存している様子がわかる。

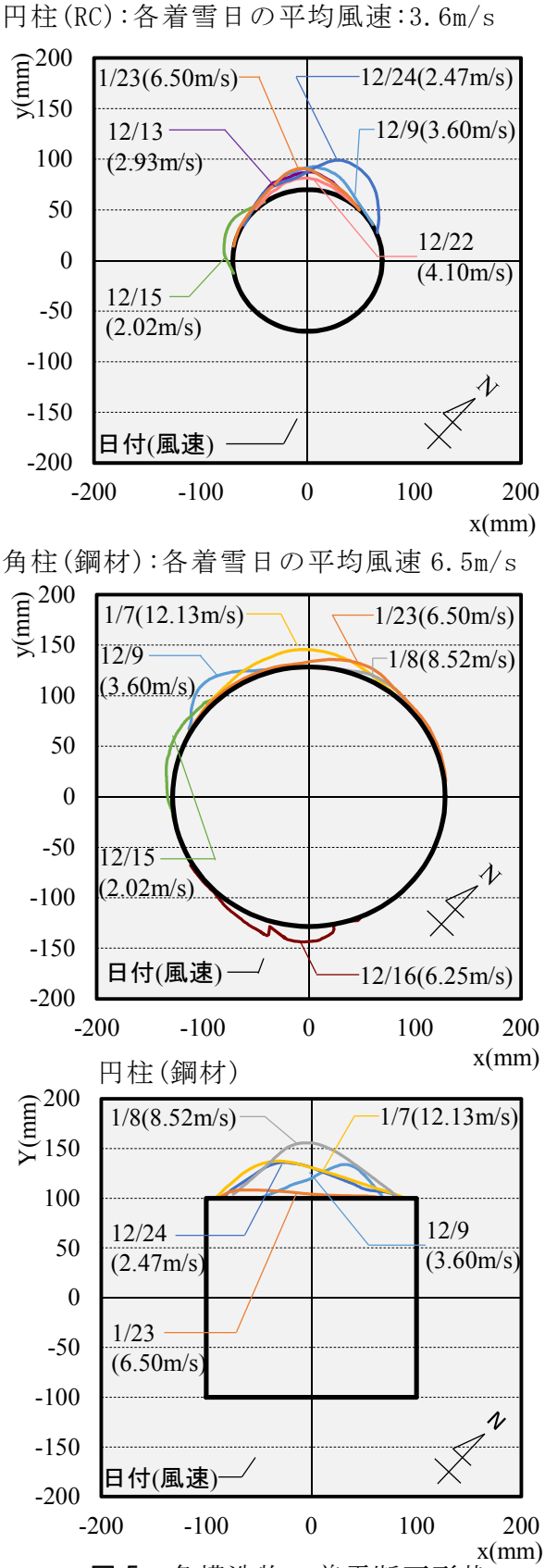


図 5　各構造物の着雪断面形状

図 6 に，着雪日の気象条件と着雪深さとの関係を示す。なお，着雪深さは，着雪形状の頂点から部材着雪面までの最大値とした。含水率と着雪深さとの関係をみると，鋼材柱の 1 月 23 日を除けば，いずれの部材においても，概ね含水率の増加にともない着雪深さが増加する関係を示す。降水量と着雪深さとの関係をみると，円柱（鋼材）および円柱（RC）の場合は，降水量の増加に伴い着雪深さが増加する傾向を示す。こ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

れに対し，角柱（鋼材）の場合をみると，明瞭な相関関係がみられない。これは，着雪深さが風向に依存しているためであると考えられる。次に，平均風速と着雪深さとの関係をみると，円柱（鋼材）の場合は，平均風速の上昇とともに着雪深さが減少する傾向にある。また，平均風速が 6m/s 以上では着雪が発生していないのが確認できる。そのほかの部材においては，平均風速と着雪深さに明瞭な関係がみられなかった。以上の結果から，角柱（鋼材）などの着雪面が平らな部材では風向の影響が大きいと考えられ，円柱部材においては，含水率および降水量が着雪量に及ぼす影響が大きい。すなわち，気温が高く湿った雪であるほど，さらには，飛雪の空間濃度が高くなるまとまった降雪であるほど着雪量が増加すると言える。

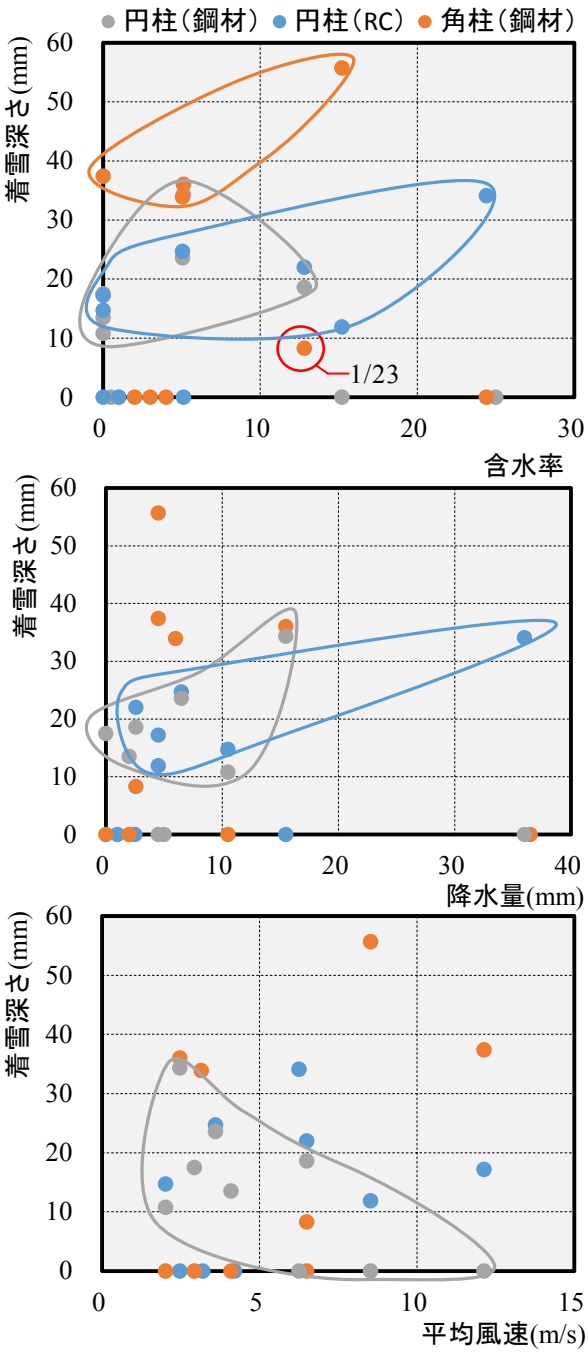


図 6　各気象条件と着雪深さの関係

４．まとめ

本研究では，構造部材の着雪性状と気象特性との関係を把握することを目的に，柱部材を対象とした着雪の屋外観測を行い，着雪が発達する気象条件を検討した。その結果，着雪の発生条件は，気温または含水率と降水量の影響が大きい傾向をしめす。また，同じ部材形状でも大きさが違う場合，着雪の有無は風速が影響する可能性がある。さらに，着雪量は，部材形状により影響する気象条件に違いがみられた。円形部材においては，気温または含水率および降水量が大きく影響を及ぼし，気温が高く湿った雪であるほど，さらには，飛雪の空間濃度が高くなるようなまとまった降雪であるほど着雪量が増加することが明らかとなった。角形部材などの着雪面が平らな場合は，風向に依存する可能性があることが明らかになった。

【参考文献】

1) 竹内政夫，1975: 道路標識への着雪とその防止，*雪氷*，**40 巻**，3 号，pp.15-25
2) 吉田光則，他 9 名，1993: 着雪氷防止技術に関する研究(1)－各種材料の着氷力について－，*北海道の雪氷*，**第 12 号**，pp.24-26
3) 河島克久，遠藤徹，竹内由香里，1996: 熱量式による簡易積雪含水率計の試作，*防災科学技術研究所研究報告*，**第 57 号**，pp.71-75

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

多雪地方における雪囲いの多様な手法
Methods of tree wintering against snow damages

斎藤新一郎（(一社）北海道開発技術センター）
Shin-ichiro SAITO

１．はじめに

寒冷多雪地方に暮らすには，寒さや多雪を嫌がらずに，それらと上手に付き合って，一冬を過ごすことが肝要である．入植・開拓時代から，長い年月を経て，この地方に住む人々は，個人的にも，公共的にも，雪害を回避し，雪に親しむ生活様式を創り上げつつある．雪の世界における緑化木の植栽と維持管理も，その１つである．

２．雪害の種類

多雪～豪雪地方では，景観ないしアメニティとしての木々に，しばしば，雪害が生じる．それらは，多様であるが，まとめると，次ぎのようである．

つまり，①積雪の沈降圧による被害[9~11]，②冠雪の重さによる被害，③斜面における積雪のグライドによる被害[8]，④除雪による被害[1,2~5,7,8]，⑤屋根雪の落下による被害，⑥ほかである．いずれにおいても，枝抜け，幹折れ，幹曲がりが主体である[1,4,5,8~11]

そして，身近な場所では，①および②の雪害が顕著である[9~11]．積雪の沈降圧による緑化木の被害は，豪雪年にいちじるしくなる．冠雪による被害は，湿り雪の付着量が多いケースである．加えて，豪雪年には，冠雪と積雪が繋がるケースが出現し，雪害を大きくしやすい[9~11]．

写真１　イチイの簡易的な雪吊り
丸太と縄（化繊組）を用いる

写真２　イチイ生垣の板枠囲い
厚板を組み，それに板を打ち付けた

３．材料を用いる雪囲い

積雪の沈降圧に対して，囲い材料を用いる．丸太[4,9~11]，杭[2,4,8,11]，板，タケ・ササの稈[7,8]，縄[3]，紐，ほかを用いて，木々を包む．包むと言っても，枠状～網目状なので，これらの材料の隙間から，冬の緑を楽しむことができる（写真1～6）．

ただし，むしろ巻きは，保温効果がないばかりか，光合成を阻害し，楽しむものを見せなくして，逆効果である．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

これら材料とその囲い方を紹介しておこう．

写真 1 は，匠の技のような精微なものではなく，簡易な雪吊りである．これでも，積雪深が 200cm くらいまでなら，枝抜けの被害なしで越冬させうる．

写真 2 は，板囲い（板枠囲い）である．団地内の道路沿いに設置され，除雪車による除雪圧にも対応できる．

写真 3 は，簡易丸太枠である．緑化木がよく見えて，屋敷内の除雪圧，屋根雪の落下にも，かなり耐えうる．

写真 4 は,縄巻きである.低木類の小幹と大枝を束ねると，3 本の矢は折れない，という耐雪性に繋がる．

写真 5 は，ササ稈と支えの竹と縄による，常緑性のツツジ類の積雪の沈降圧害への緩和方式である．積雪が無くとも，匠の技を楽しめる．

写真 6 は，竹と木杭と縄による方式であり，小低木類に適していて，同じく，匠の技である．

道路並木では，除雪に対して，防雪杭を設置する [4]．あるいは,高い投雪の沈降圧には,植栽木に三角支柱を添える [2]．法面では，防雪杭およびグライド防止杭を設置する．

そして，切り土法面において，倒伏しそうな斜幹の劣勢木については，冠雪による倒伏を避けるために，予防的に，伐り採る必要がある．広葉樹類であれば，伐り株が生きた杭としてグライド圧を緩和し，ヒコバエ再生して，樹林が維持される．

写真 3　3 本の丸太を縄で縛っただけの簡易な方式であり，効果があり，緑を楽しめる

写真 4　小幹と枝々を縛る．芯に 1 本の丸太を添える

4．材料を用いない手法

囲い材を用いないが，次ぎのような雪害対策をする．

①枝打ちする，裾枝打ちする．積雪深より高めに枝切りする．この手法は,造林木や公園樹などの,高木類に適する.ただし,西日による日焼け・樹皮剥がれに注意を要する．

②剪定する，刈り込む．幅を狭く剪定するか，積雪の沈降圧害を受けにくい低さに刈り込む．庭木や生垣などの小高木類～大低木類に適する．その他として，

③積雪がグライドする斜面では，苗木を斜植えする．④低木類であれば，雪を掛けて，保湿保温効果に期待する．

無対策も，有効な手法である．①耐雪性樹種を植える．樹形から，枝張りの狭い，冠雪を受けにくい樹種を選ぶ――トウヒ属種が最も好ましい．逆に，ニヨウマツ亜属種は，耐雪性が最も乏しく，枝抜け，幹折れが生じやすい――そこから，匠の技として，冠雪害から大枝を保護するために，雪吊り手法が考案されたのである．

なお，落葉樹類は，着雪しにくく，冠雪害を受けにくい．けれども，落葉する前に，湿り雪が大量に付着すると，冠雪の重さで，枝折れ，幹曲がり，幹折れが生じやすくなる．シラカンバ，ヤナギ属種，カラマツ，ほかに，多くの事例がある．常緑針葉樹類のエゾトウヒ，トドモミであっても，強風時に，風上側の樹冠に湿り雪が付着すると，風上側の大枝折れが生じやす

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

く，ときに，幹折れに到る．
②低木・小低木を植える．積雪深よりかなり低い木々は，沈降圧害を受けにくい．あるいは，低く刈り込むことで，沈降圧害を軽減できる．ちなみに，常緑性であっても，サイズを小型化して，積雪下に越冬することで，天然分布を寒冷地にまで拡大できたのである．

写真 5　ネマガリダケ稈＋竹稈＋縄による，匠の技としての雪囲い
積雪が浅ければ，低木類の緑を楽しめる

5．むすび

雪囲いは，根雪期間中に，冠雪害および積雪の沈降圧害に遭って，木々が傷つかないことを目的にする．しかも，その期間中にも，木々を見たい，楽しみたい，という要望に応える必要がある．特に，常緑樹であれば，冬の緑が日々の暮らしを豊かに支える，とも言える．

それゆえ，雪囲いの手法は，樹種の特性，積雪深，除雪手法，屋根雪，斜面・法面勾配，ほかを考慮して，多様なものから 1 つを選ぶ，あるいは，2 つないしそれ以上を組み合わせる．

写真 6　竹と木杭と縄による，匠の技
常緑性の小低木類に適する

樹種については，対応しやすい，自生の耐雪性に富むものを選びたい．多雪地方の自生種は，耐雪性を獲得してきたからである．

ただし，雪吊りが考案されたように，耐雪性がやや劣る樹種を，敢えて植えると，健全に維持するための，新しい雪囲い手法が考案される可能性もある．

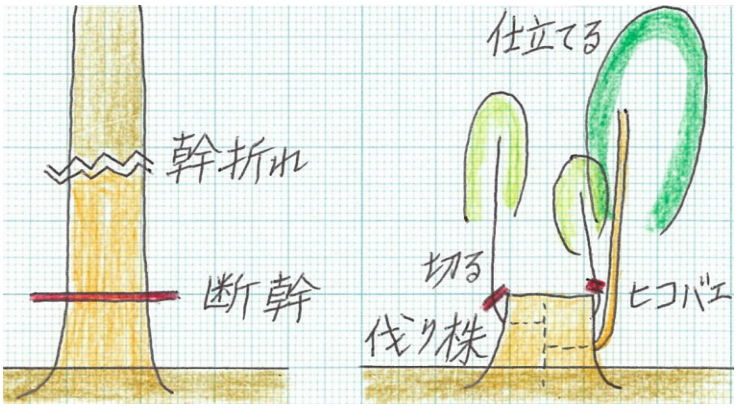


図 1　雪折れ木の基部での断幹によるヒコバエ更新
広葉樹類、の全てに応用できる

寒さの害に対しては，自生の耐寒性に富む樹種を選ぶことが望ましい[5,6,12]．あるいは，積雪下で越冬しうる低木・小低木の植栽が望まれる．落葉性の樹種に限らず，積雪下であれば，常緑性のものも可能である．

なお，こうした雪囲いを実施したにもかかわらず，雪害が生じた場合には，雪害の程度に応じて，①広葉樹類であれば，断幹し，ヒコバエ更新を図る（図 1），②針葉樹類であれば，被害

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

部位の直下で断幹し，下枝の立ち上がりに期待する，③雪囲い手法を改良する，④被害が軽度なら，剪定するか，添え木する，⑤改植する（苗木植え，枝サシ，根ザシ，タネ播き），⑥豪雪地では，擬木／電柱とツル類を組み合わせる（写真 7），ほかを実施する．

写真 7　電柱の金網に気根を絡めて，よじ登り，枝々を張り出した，常緑性木本のツルマサキ

【参考文献】

1）阿部正明・檜澤肇・金田安弘，2013．道路緑化樹の除雪による影響に関する一考察．*北海道の雪氷*，no. 32，58–61．

2）阿部正明・檜澤肇，2014．三本支柱の雪害軽減効果について．*北海道の雪氷*，no. 33，51–54．

3）斎藤新一郎，1979．冬囲いとしての縄巻き．*雪氷*，41，143–145．

4）斎藤新一郎・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．

5）斎藤新一郎，2004．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．

6）斎藤新一郎・阿部正明，2009．寒さの害の一形態としての針葉樹類の日焼け・樹皮剥がれについて．*北海道の雪氷*，no. 28，21–24．

7）斎藤新一郎・孫田敏・阿部正明・小松佳幸，2009．道路緑化樹の保育方法――北国における道路緑化の手引き．157pp.，北海道開発技術センター，札幌．

8）斎藤新一郎，2010．地球環境にやさしい道路緑化樹――その植え方と育て方．326pp.，北海道道路管理技術センター，札幌．

9）斎藤新一郎・阿部正明・檜澤肇，2012．2011／12 年の大雪による樹木被害のいろいろ．*北海道の雪氷*，no. 31，61–64．

10）斎藤新一郎，2013．大雪による庭木の常緑針葉樹類の被害と対策．*北海道の雪氷*，no. 32，54–57．

11）斎藤新一郎，2013．三笠における 2011／12 年の大雪による造林木の被害と対策について．*北方森林*研究，no. 61：97–100．

12）斎藤新一郎，2014．広葉樹類の凍裂について――針葉樹類の凍裂および日焼け・樹皮剥がれと比較して．*北海道の雪氷*，no. 33，47–50．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

新しいタイプの道路防雪柵についての風洞実験による防雪機能調査
Investigation by wind tunnel experiments about snow control function of new-type snow fence

山﨑貴志，住田則行，渡邊崇史（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
Takashi Yamazaki, Noriyuki Sumita, Takashi Watanabe

１．はじめに

道路の吹雪対策施設の一つである吹き払い柵は路側に設置される防雪柵であり，設置に新たな用地取得を必要としないことから広く普及している．吹き払い柵は，下部間隙から吹き抜ける強い風で路面上の雪を吹き払うことを機能とするため，道路除雪による堆雪や積雪などで下部間隙が閉塞した場合や，主風向に対して柵が直交していない斜風の場合には防雪機能(吹き払い機能)が低下すると考えられている[1)]．そこで，当所では下部間隙の閉塞による防雪機能の低下を緩和するとともに，斜風に対しての防雪機能を向上させる，新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向け検討を行っている．

本稿では，新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発にあたり，縮尺模型を用いた風洞実験を行い，その防雪機能について調査を行ったので報告する．

２．風洞実験

（１）実験模型

本稿で検討した新しいタイプの路側設置型防雪柵（以降，「新型柵」という.）の形状は，下部間隙が閉塞した場合に吹き払い機能を維持するのではなく，吹止柵のように風上側に雪を多く捕捉するよう機能することを意図し，防雪板 1 枚で構成するものとした．模型の縮尺は 1/100 とした．また，比較のため吹き払い柵の模型も用いた（図 1）．

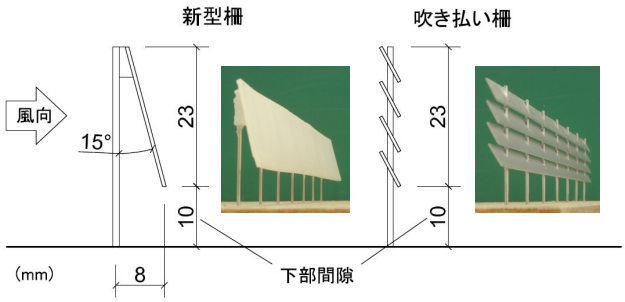


図 1　防雪柵模型

（２）風洞実験装置

実験には当所の風洞実験装置（図 2）を使用した．測定洞内の風速分布は，上空ほど風速が増す自然の風を模擬するため，べき法則（べき指数は田園地帯を想定した 0.15[2)]）に近似するよう風速調整装置で調整している．

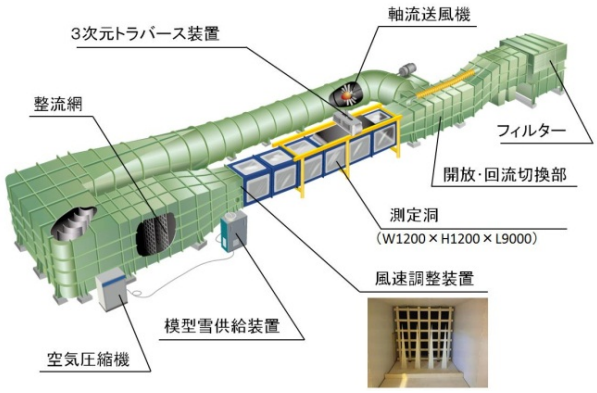


図 2　風洞実験装置

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（３）実験条件

老川ら[3)]は，建物近傍を対象とした吹雪風洞実験を行う場合に，移動臨界摩擦速度比，安息角，ストークスパラメータの相似パラメータについて適合させることが重要としている．これらを適合させるため，模型雪として活性白土を使用した．模型雪は測定洞上流のノズルから圧縮空気とともに 230g/min で風洞内に供給し，人工的な吹雪を発生させている．

実験風速は，上記相似則のほか，予備実験により吹きだまりが形成されやすいことを確認した，7m/s（地面からの高さ 400mm での風速）とした．

（４）吹きだまり計測

防雪柵周辺に発生する吹きだまり（図 3）の状況を調査するため，吹きだまりの高さを計測した．模型雪の供給時間を 15 分間とし，発生した吹きだまりの高さをトラバース装置に取り付けたレーザー距離計で計測した．計測ラインは風洞中心線上とし，5mm 間隔で計測した．

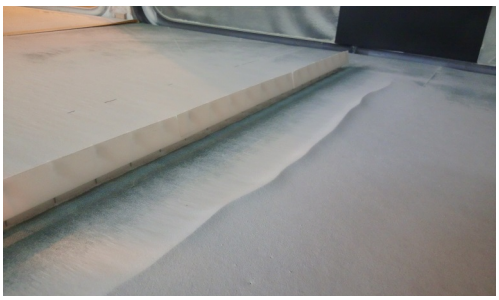


図 3　吹きだまり例

（５）風速計測

風速の計測は単線式の熱線風速計により行った．サンプリング周波数 200Hz で計測時間は 1 箇所あたり 10 秒間とし，得られた計測値の平均を計測結果とした．計測ラインは風洞中心線上で地面からの高さ 5mm とし，10mm 間隔で計測した．

（６）流速計測

後述する斜風実験において，流れ場を確認するため，PIV による流速の計測を行った（図 4）．PIV はトレーサーの動きを撮影した画像の解析から流速を計測する方法で，面的に流れ場を把握できるものである．トレーサーは模型雪の活性白土とし，計測面は地面からの高さ 5mm とした．画像は毎秒 2,000 枚で 5 秒間撮影した．この 10,000 枚の画像を用い，2 枚 1 組から得られる 5,000 組の解析値を平均したものを計測結果とした．なお，トレーサー粒子の動きは空気の流れと完全には一致せず，計測結果は風速ではなくトレーサー粒子の速度となるため，ここでは風速とは区別して流速としている．

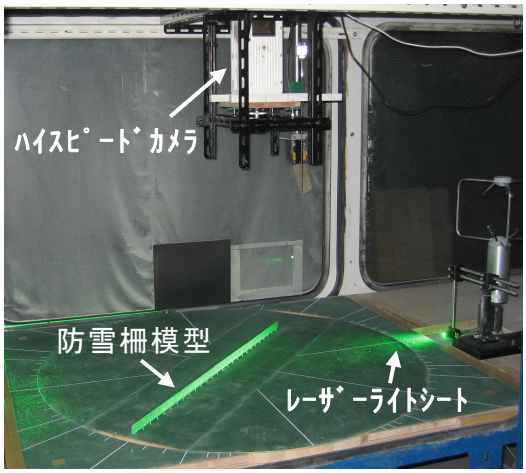


図 4　PIV 計測状況

３．実験結果

（１）吹き払い柵との比較

新型柵の防雪機能を従来の吹き払い柵と比較するため，吹きだまり計測と風速計測を行った．また，下部間隙が堆雪などにより閉塞した場合を想定し，堆雪模型により下部間隙を閉塞させた条件でも実験を行った．吹きだまり計測の結果を図 5，風速計測の結果を図 6 に示す．これら以降の図における防雪板下端からの水平距離 x や吹きだ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

まり高さ h は，防雪柵高さ H =33mm で無次元化した．また，風速比・流速比とは，各地点における風速・流速を防雪柵が無い場合の同一地点における風速・流速で除した値である．

図 5 より，下部間隙が閉塞していない場合，x/H = 0～3 程度の範囲では，新型柵と吹き払い柵に明確な差がないため，同程度の吹き払い機能があると考えられる．下部間隙が閉塞している場合，吹き払い柵では吹きだまりが生じない範囲が狭くなり吹き払い機能が低下しているのに対し，新型柵では吹きだまりが生じていない．本実験装置における模型雪粒子の多くは自然の吹雪と同様に防雪柵高さよりも低い位置を移動する[4]ため，1 枚の防雪板で構成される新型柵では，下部間隙閉塞時には多くの雪粒子が柵を通過せずに，柵風上側に大きな吹きだまりが発生し，柵風下側に吹きだまりが形成されなかったと考えられる．

図 6 より，下部間隙非閉塞時は吹き払い柵と新型柵に大きな差はなく，下部間隙閉塞時は新型柵では風を遮断していることがわかる．

（２）斜風に対する防雪機能比較

吹き払い柵は斜風時に吹き払い機能が低下すると考えられている[1]．そこで，斜風時における吹き払い機能について新型柵と吹き払い柵の比較を行った．本実験で使用している単線式熱線風速計は風速の方向成分を得ることができないため，PIV による流速計測を行った．柵は風向に対して 90°，67.5°，45°となるよう設置した（図 7）．また，斜風時の吹き払い機能を高めることを意図して防雪板の形状を波形にした柵（以降，「波形柵」という．図 8）についても同様の実験を行った．計測結果を図 9，10 に示す．

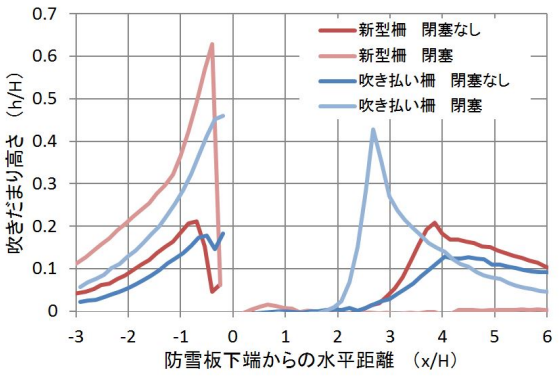


図 5　吹きだまり高さ

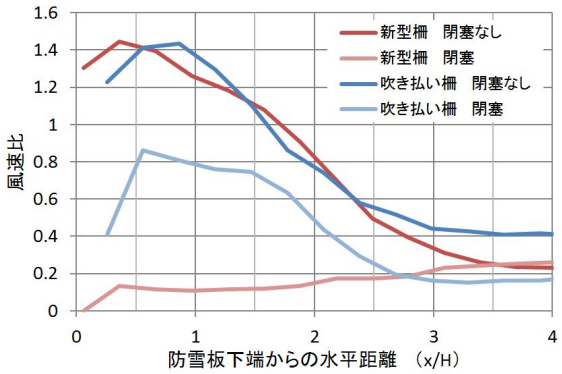


図 6　風速比

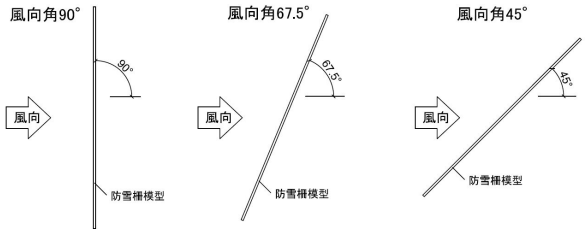


図 7　防雪柵模型設置平面図

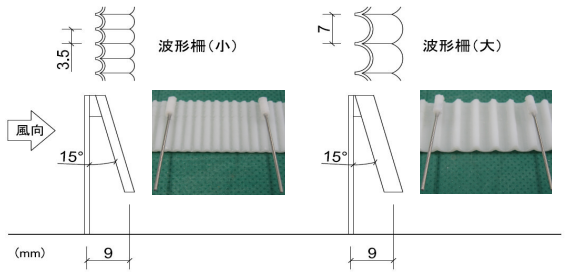


図 8　波形柵模型

図 9 より，風向角 67.5°において，新型柵は吹き払い柵に比べて最大流速で約 8%高く，x/H =2.8 程度までの範囲で吹き払い柵より流速が高くなっている．また，波形柵は，新型柵に比べて流速が高く，波形が大きいほうがより高くなっている．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

図 10 より，風向角 45°において，新型柵は吹き払い柵に比べて最大流速で約 8%高いが，$x/H = 1.8$ 程度以遠では吹き払い柵よりも流速が低くなっている．また，波形柵は，風向角 67.5°の時と同様に新型柵に比べて流速が高く，波形が大きいほうがより高くなっている．吹き払い柵の吹き払い機能が及ぶ範囲は x/H = 2～3 程度とされ[1)]，この範囲において，風向角 67.5°の斜風時では新型柵は吹き払い柵よりも吹き払い機能が高くなっているが，風向角 45°の斜風時では新型柵の優位性は明確ではない．また，防雪板を波形の形状にすることにより斜風に対する吹き払い機能を高めることができ，その効果は波形が大きいほど高くなっているが，実柵を検討する場合には製作等の問題から波形の大きさは限られたものとなると考えられる．

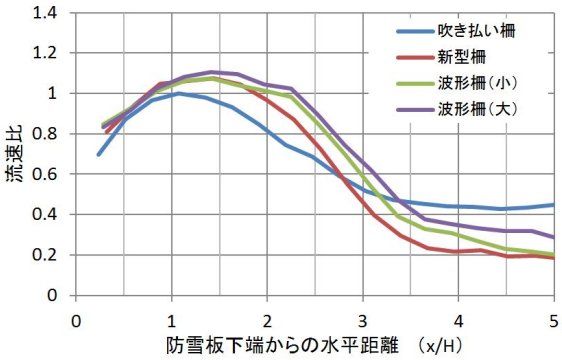


図 9　流速比（風向角 67.5°）

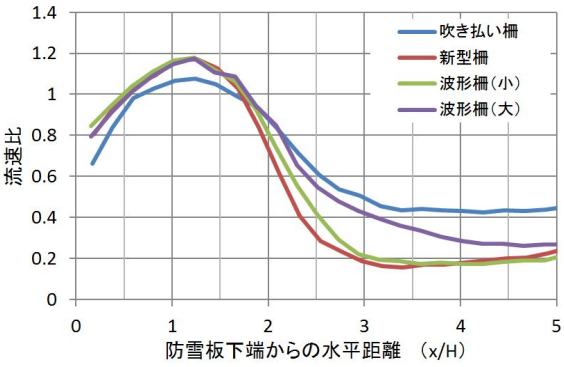


図 10　流速比（風向角 45°）

４．まとめ

新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向けて，縮尺模型を用いた風洞実験を行った結果，今回検討した防雪板 1 枚で構成される新型柵は，下部間隙非閉塞時には吹き払い柵と同程度の吹き払い機能があり，下部間隙閉塞時には吹き払い柵とは異なる機能により柵風下側の吹きだまりを抑制することがわかった．また，防雪板の形状を波形とすることで斜風時における吹き払い機能が向上すると考えられる．しかしながら，下部間隙閉塞後は柵風上側への吹きだまりが大きくなることから，柵埋没などについても考慮しなければならない．

今後は実験条件を増やして風洞実験を継続するとともに実柵による実験を行い，新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向けた検討を進めていく予定である．

【参考・引用文献】

1) 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所，2011：*道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版）第 2 編 防雪柵編*.
2) 財団法人日本建築センター，2008：*実務者のための建築物風洞実験ガイドブック*.
3) 老川進，苫米地司，石原孟，2007：建物近傍の雪吹きだまりの風洞相似則に関する考察，*日本雪工学会誌*，**23**，2，13-32.
4) 山﨑貴志，住田則行，石川真大，2013：風洞実験による道路防雪林の防雪･防風機能調査，国土交通省北海道開発局第 56 回(平成 24 年度)北海道開発技術研究発表会.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

新型路側設置型防雪柵の開発について
−現地観測による防雪機能調査−
The development of the new type snowfence
—Functional investigation by under field condition—

渡邊崇史，松澤 勝，小中 隆範（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
金子学（北海道開発局 函館開発建設部 江差道路事務所）
Takashi Watanabe, Masaru Matsuzawa, Takanori Konaka,
Manabu Kaneko

１．はじめに

積雪寒冷地における上下二車線の道路では，吹雪による視程障害対策として路側に設置可能な吹き払い柵（以降，「従来柵」と記す．）が用いられることが多い．しかし，従来柵は風が柵に対して斜めから入射した場合や積雪により下部間隙が狭められた場合に，視程障害緩和効果や道路路面の雪を吹き払う効果（以降，併せて「防雪効果」と記す．）が低下することが明らかとなっている[1]．そこで筆者らは，従来柵と同様に路側に設置可能で，風が斜めから入射する場合や，柵下部間隙の閉塞時において著しく防雪効果が低下しない路側設置型防雪柵（以降，「新型柵」と記す．）を考案した．新型柵について縮尺模型を用いた風洞実験を行った結果，防雪効果が確認できた[2]．風洞実験の結果をもとに実物大の柵（図 1）を製作し，現地観測により防雪効果を調査した結果を報告する．

図 1 路側設置型防雪柵

２．路側設置型防雪柵の形式

今回開発した新型柵の防雪板は 1 スパンごとに凹凸状の 1 枚板で構成され，支柱と離して設置する．1 枚板とすることで，下部間隙非閉塞時には従来柵と同様に路面付近の雪粒子を吹き払うが，暴風雪等により下部間隙が閉塞した場合吹き払い効果を維持するのではなく，吹き止め柵のように風上側に雪粒子を多く捕捉し，

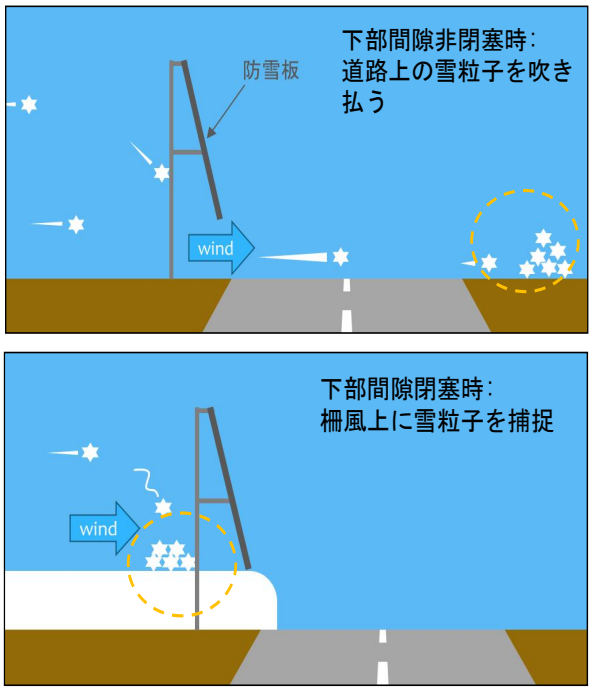


図 2 新型柵の下部間隙閉塞前後における防雪効果イメージ

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

道路上に可能な限り吹きだまりを形成させないことで，粘り強く防雪効果を発揮することを意図している（図 2）．また，凹凸状の防雪板により，斜めから入射した風を横に逃がさずに下部間隙へ誘導することを可能とした（図 3）．また，支柱と離して防雪板を設置することでサイドウイングによる下部間隙の除雪を可能とした．

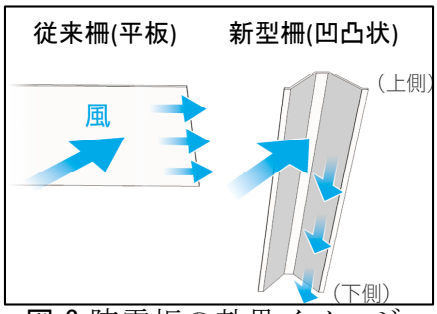


図 3 防雪板の効果イメージ

３．観測方法およびデータ解析方法

現地観測は，図 4 に示す石狩吹雪実験場において，平成 26 年 12 月 1 日から平成 27 年 1 月 24 日まで行った．観測サイトの概要を図 5 に示す．防雪効果の比較のため新型柵と従来柵を並べて設置し，風向風速計(コーナーシステム製 KDC-S4)と視程計(明星電気製 TZE-4)を用いて観測を行った．それぞれの柵の風下 1.5m 地点において高さ 0.5m で風向風速を，高さ 1.5m[3]で風向風速と視程を観測した．ここで，高さ 0.5m は柵下部間隙の中心高さであり，高さ 1.5m はドライバー目線付近の高さである.また，防雪柵から風上側におよそ 40m 離れた地点を基準点とし，高さ 1.5m で風向風速と視程の観測を行った．

図 4 石狩吹雪実験場位置図
（国土地理院電子国土 web システムを利用）

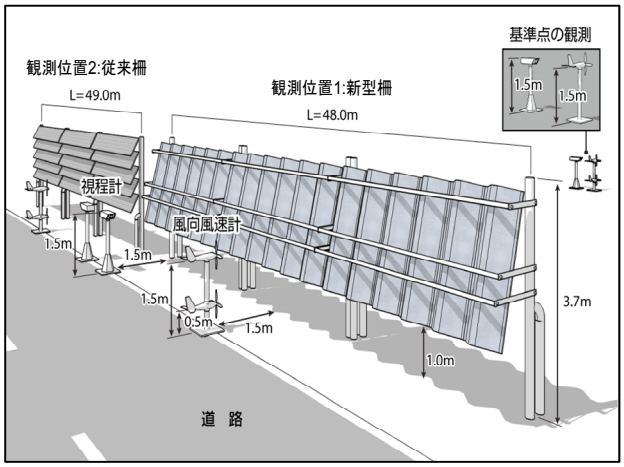


図 5 観測サイトの概要

風速は，既往文献[4]を参考に基準点において吹雪が発生すると考えられる 5m/s 以上，視程は前条件に加え，気温が 0℃以下かつ基準点の視程 1000m 以下の条件で抽出した．なお，抽出条件として用いた風速は雪面の粗度長を 0.00014m と仮定し[5]，対数則で高さ 7m の値に高度補正[1]した値である．解析には 10 分平均値を用いた．

抽出したデータは，両防雪柵の防雪効果について以下で定義する風速比 RV，視程改善率 $RVis$ を用いて防雪柵に対する風向角ごとに整理した．

図-5 で定義した観測位置 N(観測位置 1：新型柵，観測位置 2:従来柵)において，雪面からの高さ h[m]で観測した風速[m/s]を $V(N,h)$，その観測点での風速比を $RV(N,h)$とし，RV は以下で定義する．

$$RV(N,h) = V(N,h) / Vf \quad \cdots(1)$$

Vf は，$V(N,h)$観測時の基準点の風速とする．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

また，観測位置 N において観測した視程[m]を $Vis(N)$，その観測点での視程改善率を $RVis\ (N)$とし，$RVis$ は以下で定義する．

$RVis(N) = Vis(N) / Visf \times 100\ (\%)$　・・・(２)

$Visf$ は，$Vis(N)$観測時の基準点の視程とする．

４．調査結果と考察

４．１ 風速比を用いた新型柵の防雪効果検証

防雪効果のうち,吹き払い効果の検証のため h=0.5m における風速比 RV と風向角(θ)の関係を図 6 に示す．また，視程障害緩和効果の検証のため h=1.5m における RV と θ の関係を図 7 に示す．θ は 16 方位で整理し、柵に対して直交に入射する西北西の風向を θ=90°とした．なお，図中に示すデータ数 n は，θ=90°の場合を除き，同じ θ となる 2 方向のデータを合計したものである．例えば，θ=67.5°の RV は北西と西のデータを合計した.これは左右対称な防雪柵に対して，θ が同じであれば風向が異なっても発揮する防雪効果は同じと考えられるためである．

図 6 において，新型柵の風速比 RV はいずれの θ においても中央値が 1 を上回り，柵風下の路面付近で風が強められていることから，風が斜めから入射した場合でも吹き払い効果を発揮しているといえる．また，図 7 においては両防雪柵とも RV が 1 を下回り，基準点に比べて風速 V が低下していた．吹雪時の視程 Vis は飛雪流量の増加に伴い低下する．飛雪流量は飛雪空間密度が一定の場合，V に比例して大きくなる[6]ため，両防雪柵ともに視程障害緩和効果を発揮しているといえる．

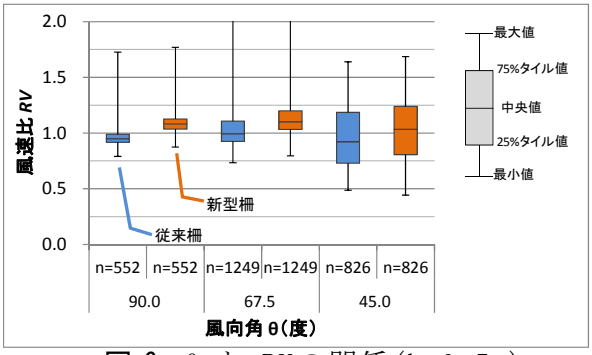


図 6　θ と RV の関係(h=0.5m)

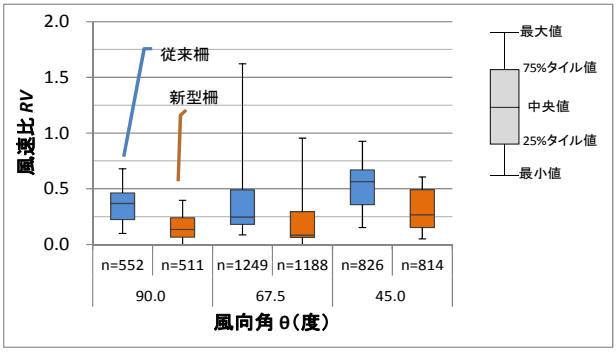


図 7　θ と RV の関係(h=1.5m)

４．２　視程改善率を用いた新型柵の防雪効果検証

新型柵と従来柵の視程改善率 $RVis$ について θ=90°，θ=67.5°，θ=45°の場合の結果をそれぞれ図 8，図 9，図 10 に示す．４．１と同様に同じ θ となる 2 方向のデータを併せて解析を行った．図では，$RVis$ を基準点視程 $Visf$ の階級ごとの統計値(最大値，最小

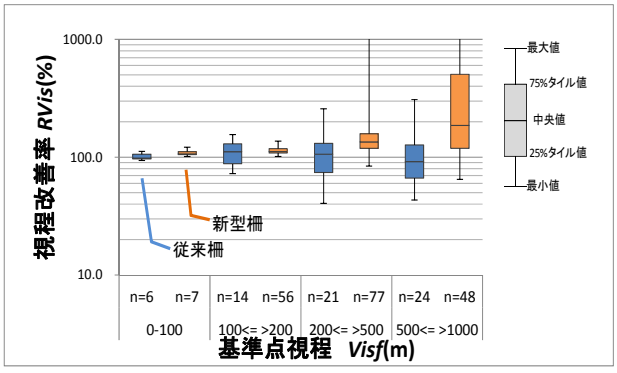


図 8　$Visf$ と $RVis$ の関係(θ=90°)

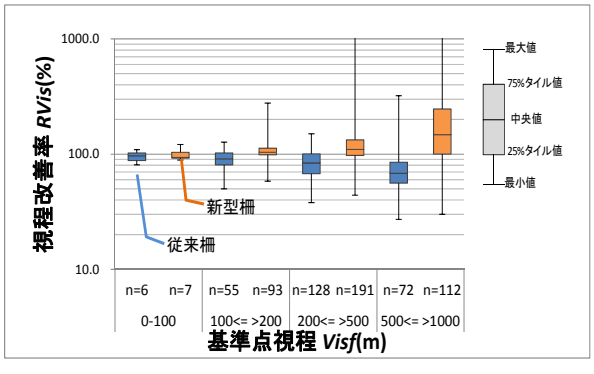


図 9　$Visf$ と $RVis$ の関係(θ=67.5°)

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

値および四分位数）で示している．

新型柵ではθ=90°の場合，車両の走行速度の低下が始まるとされる視程200m以下[7]の範囲で従来柵と同等以上の視程改善率 *RVis* を示した．また，θ=67.5°，45°の場合でも基準点視程 *Visf* に関わらず従来柵に比べて高い *RVis* を示し，視程障害緩和効果が確保されていることが確認できた．

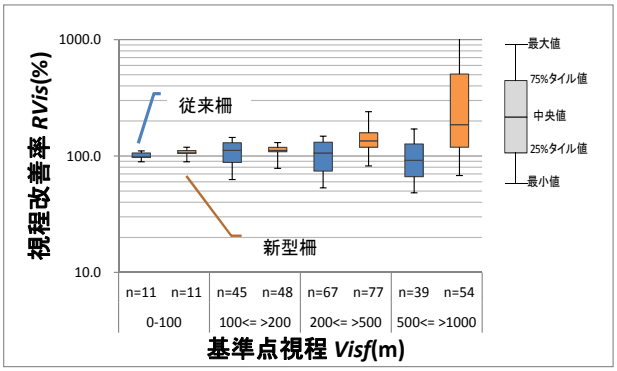


図 10　*Visf* と *RVis* の関係（θ=45°）

５．まとめ

本調査では，石狩吹雪実験場内に実物大の新型柵を設置し，風速比・視程改善率を指標に防雪効果を評価した．その結果，新型柵は従来柵と同等以上の防雪効果を有し，風が斜めから入射した場合においても著しく効果が低下しないことがわかった．今後は柵下部間隙が閉塞した場合の防雪効果を明らかにしたいと考えている．

【参考・引用文献】

1)（独）土木研究所寒地土木研究所，2011：道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版），3-2-14.
2)山崎貴志,住田則行,渡邊崇史,2015：新しい路側設置型防雪柵の開発に向けての風洞実験による検討,寒地土木研究所月報,**740**,pp36-40.
3)山田毅，伊東靖彦,松澤勝,加治屋安彦,2008：防雪柵を評価するための適切な視程の測定位置の検討,雪氷研究大会(2008･東京)講演要旨集,p91.
4)日本雪氷学会北海道支部,1991：雪氷調査法,北海道大学図書刊行会,p19.
5)近藤純正,1998：水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支-,朝倉書店,p101.
6)竹内政夫,1980：吹雪時の視程に関する研究,土木研究所報告,**74**,pp1-31.
7)武知洋太,伊東靖彦,松澤勝,加治屋安彦,宗広一徳,2007：冬期道路における運転速度に及ぼす走行環境の影響に関する一考察,第 23 回寒地シンポジウム寒地技術論文報告書,pp81-86.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

ロシア・サハリン市街地におけるデブリ被覆が人工積雪の融解に及ぼす影響
Debris-modulated ablation of anthropogenic snow patches in urban Sakhalin, Russia

Evgeny A. Podolskiy * (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University), Valentina A. Lobkina, Yuri V. Gensiorovsky (Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences), Emmanuel Thibert (Irstea, UR ETGR, Centre de Grenoble / Univ. Grenoble Alpes); *Corresponding author (e-mail address: evgeniy.podolskiy@gmail.com)

1. Introduction

Dozens of scientific papers on snow hydrology and snow science are published annually in peer-reviewed literature. Despite this, we are still facing practical unresolved questions about daily life in snow-bound regions, and in particular about snow disposal after street cleaning operations.

Urban areas that experience heavy snowfall, such as Sapporo (Japan) and Yuzhno-Sakhalinsk (Russia), face considerable challenges associated with winter street cleaning and snow disposal. The sheer volume of snow represents a serious burden, not only on local authorities and land management agencies, but also for the environment. Regular disposal of dirty snow may lead to the formation of perennial snow patches, which generate polluted meltwater. This meltwater presents a significant cumulative threat to local environments, plants, rivers, aquatic ecosystems and soils. In Yuzhno-Sakhalinsk, for example, a range of negative ecological effects has been observed after snowmelt, including vegetation damage and dead trees, soil degradation, formation of swamps, eroded roads, flooding of nearby structures, and the deposition of refuse (*Podolskiy et al., 2015*).

The intention of this investigation is to highlight how glaciological knowledge and techniques from remote areas could be applied to address geotechnical challenges associated with urban snow storage. The original results of this study have been recently published (*Podolskiy et al., 2015*), and the purpose of this discussion is to disseminate the findings more widely and encourage Japanese snow scientists and practitioners to proceed with further in-depth investigations of the effects of snow disposal on local environments.

2. Snowmelt patterns

Snow tends to melt quickly in early spring in low-elevation mid-latitude regions. However, anthropogenic redistribution of snow during street cleaning operations causes some snow patches to survive the summer ablation season, and thus become perennial cryospheric features. Recently, we investigated two giant anthropogenic perennial snow patches on the outskirts of the town of Yuzhno-Sakhalinsk. These snow patches can reach heights of 10–20 m, with areas and volumes of 15 ha and ~1×10^6 m^3, respectively. This volume of snow is comparable to that produced by street cleaning in much larger cities such as Montreal, Canada. The results of the study showed that snow patches' longevity is likely related to the insulating effect of surface debris composed of refuse and lithogenic material (*Podolskiy et al., 2015*). This layer of debris is gradually formed from refuse and lithogenic materials mixed with snow, and may have grass growing on its surface by June. The growth of vegetation on debris-covered glaciers is rare, but has been reported by *LaChapelle and Post* (*2000*).

Figure 1 shows photographs of two snow patches in Sapporo and Yuzhno-Sakhalinsk. There is a sharp contrast in the amount of refuse in remnant snow at each site, with the Sapporo snow being much cleaner. The cultural difference in the amount of refuse left in streets therefore has an important effect on the

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

physical behaviour of these cryospheric objects. Furthermore, the layer of refuse appears to behave similarly to debris on glaciers, in that it plays a key role in controlling summer ablation (Fig. 2).

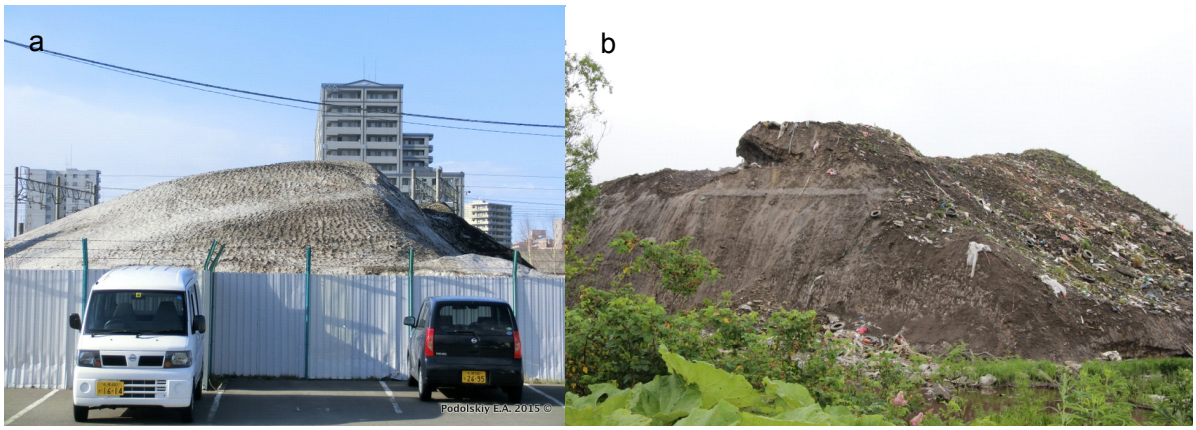


Fig. 1: a) Snow patch near Sapporo Station (photograph taken by E. A. Podolskiy in April, 2015);
b) Snow patch #2, Yuzhno-Sakhalinsk (photograph taken by V. A. Lobkina in July, 2011).

This research highlights the challenges associated with understanding these anthropogenic cryospheric features, as well as key operational and geotechnical questions that remain to be tackled. For instance, there are currently no suitable disposal methods or water treatment facilities to prevent meltwater from degrading the environment.

Fig. 2: Fedchenko Glacier, Tajikistan, Pamirs (photograph taken by E. A. Podolskiy in August, 2009).

3. Using *in situ* monitoring with numerical modelling for geotechnical applications

Using 4 years of monitoring data, chemical analysis and numerical modelling, we attempted to provide a first-order estimation of water discharge and associated pollution from anthropogenic snow patches. As previously mentioned, we argue that snow patch behaviour is modulated not only by meteorological

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

conditions, but also by debris cover that is exposed at the surface by melting snow and affects the temporal evolution of the snow patch (Fig. 2).

The mass balance model is based on a temperature index, which is a common approach in glaciology. This model was validated using available *in situ* measurements (snow patch height, surface snow density etc.) and meteorological observations from the station at Yuzhno-Sakhalinsk. The introduction of a variable ablation factor as a function of debris height and debris properties resulted in a more realistic representation of long-term snow patch behaviour.

Initially, melting intensifies due to the darkening effect of debris cover, but it ceases once debris reaches a critical thickness, sufficient to protect the snow patches from atmospheric heat. Melting parameters were found to be highly sensitive to model assumptions. Nevertheless, for the two main snow patches of Yuzhno-Sakhalinsk the following observations were made across a wide range of ensemble of simulations:

- Peak melt rates ≈ 50 - 150 mm w.e. day (≈ typhoons);
- Peak water discharge of up to 15,000 $m^3 d^{-1}$ (≈ 625 $m^3 h^{-1}$);
- Annual water discharge ≈ up to 1,000,000 m^3;
- Ablation ≈ function of debris (modulation and overall reduction);
- Debris cover over both snow patches had similar thicknesses (≈ 20 cm), but properties differed based on the type of disposed materials;
- Surface runoff > infiltration (≈ swamps and streams).

Here, we just note that the examples above suggest several interesting points. For example, the peak melt rates are comparable to precipitation rates during regional typhoons and correspond to significant discharge of polluted and cold water during summer season. Next, even if debris cover has similar thicknesses at both study sites, its effects may differ from site to site due to different type of refuse disposed from different areas of the town. Furthermore, calculation of surface runoff for both sites shown that it exceeded infiltration into soil. This explains the observed formation of swamps and active streams around the sites. Also, given that chemical analysis of snow from the snow patches documented slightly acidic *pH* (this is actually surprising for snow usually mixed with deicing materials), it is possible to expect an existence of a so called ‘acid flush’ known from Hydrology, which has extended duration, compared with natural snow melting.

To avoid repetition of previously published materials, we refer the reader to the original paper for more details and sensitivity tests (*Podolskiy et al., 2015*).

4. Ecological threat or alternative source of energy?

Little is known about chemical processes within snow patches, due to the complex mixture of material, water, and possibly photochemical reactions. Degraded vegetation is a clear indicator of environmental damage from meltwater, but the extent and exact causes of environmental degradation around snow patches remain to be confirmed. To help understand the interactions between snow patches and the surrounding environment, ongoing monitoring and regular chemical analyses are necessary. This work will help optimize snow disposal methods and minimize environmental damage.

As shown in Table 1, snow disposal practices differ by country, and it is common for snow to be simply stored at surface sites or dumped in rivers. In some cases, technological solutions for snow disposal have been proposed to reduce harmful environmental effects. For example, harvesting snow in summer for cooling facilities or cold storage has been explored in Sweden and Japan (Table 1).

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

Table 1: Examples of existing snow disposal practices in cold regions (note that this list is not exhaustive).

Country	Examples of existing practice
Canada	disposal to sewer chutes, rivers, surface cites, quarries
Japan	disposal to rivers, surface cites, quarries, cooling of buildings, experimental vegetable storage
Norway	disposal to sea
Russia	melting, disposal to surface sites or to rivers
France	disposal to rivers
Sweden	cooling of a hospital

However, before designing efficient and sustainable strategies for meltwater use, additional basic knowledge must be developed. The key research directions to be pursued include the following:

1. The ablation regime of snow patches using ablation stakes, density profiles, or Digital Elevation Models from drones (‘structure from motion’ approach; e.g., *Kobayashi et al., 2015*),
2. The effects of debris,
3. *pH* of melt water, and investigation of an extended acid ‘flush’ in spring and summer,
4. Meltwater and snow chemistry (photo-chemical reactions),
5. Influence on soils and vegetation,
6. Knowledge-based guidelines for disposal strategies and site preparation and maintenance.

Snow disposal presents many unsolved environmental questions and technical challenges. Smart geotechnical solutions are worthy of further investigation, and will be beneficial for both the snow cleaning community (local authorities) and consumers requiring refrigeration. We believe that Japanese snow scientists possess not only valuable knowledge and experience, but also an ‘appetite’ for working with Russian scientists to improve our understanding of this poorly understood environmental problem.

5. Acknowledgments

E. A. Podolskiy thanks Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) for a possibility to work and stay in Japan (Grant-in-Aid, PU15901), and extends his gratitude to S. Takahashi (Kitami Institute of Technology), S. Tsutaki and T. Shiraiwa (Hokkaido University) for comments and help.

6. References

Kobayashi, Y., M. Ishikawa, T. Watanabe, 2015: Comparison of accuracy using various cameras and Structure from Motion, *Japan Geoscience Union Meeting 2015*, 24-28 May 2015, Tokyo (HTT08-02).

LaChapelle, E. R. and Post, A. 2000: *Glacier Ice*, Revised Edition, University of Toronto Press.

Podolskiy, E.A., V. A. Lobkina, Yu. V. Gensiorovsky and E. Thibert, 2015: Evaluating ablation and environmental impact of giant anthropogenic snow patches (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia). *Cold Regions Science and Technology*, 114 (June 2015), 44-60, doi:10.1016/j.coldregions.2015.03.001, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X15000580

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

新たな非塩化物系凍結防止剤の開発に関する研究
A Study on the Development of Non-chloride Based Deicer

佐藤賢治，藤本明宏（(国研）土木研究所 寒地土木研究所），
切石亮（北海道開発局 札幌開発建設部），
徳永ロベルト，高橋尚人（(国研）土木研究所 寒地土木研究所），
中島範行（富山県立大学　工学部）
Kenji Sato，Akihiro Fujimoto，Makoto Kiriishi，Roberto Tokunaga，
Naoto Takahashi，Noriyuki Nakajima

１．研究の背景と目的

北海道などの積雪寒冷地において，凍結防止剤散布は，安全・円滑な冬期交通の確保を図る上で重要な施策である[1)]．凍結防止剤には，価格，入手し易さ，融氷性能および取り扱い易さなどの点から総合的に優れている塩化ナトリウム（以下，塩ナト）が主に使用されている．一方，塩ナトをはじめとした塩化物系凍結防止剤は，土壌，植物，道路構造物，ならびに走行車両など，道路環境への負荷が懸念されている．

土木研究所寒地土木研究所と富山県立大学は共同で，沿道環境への負荷が少ない，新たな非塩化物系凍結防止剤の開発に関する研究を実施している．既往の研究では，宮本ら[2)]，明嵐ら[3)]は市販の非塩化物系凍結防止剤について，価格，環境性および融氷性能等を調べた．しかしながら，市販の非塩化物系凍結防止剤は，塩化物系凍結防止剤と比較して価格が高いことから，道路維持管理コストの削減が進む昨今において，全国的な普及には至っていない．本稿では，食品添加物であるプロピオン酸ナトリウムに着目し，冬期道路管理における実用化や普及へ向けた検討の一環として，室内での金属腐食性試験および苫小牧寒地試験道路での散布試験を実施した結果について報告する．

２．プロピオン酸ナトリウムについて

プロピオン酸ナトリウム（以下，プロナト）は，細菌や真菌の増殖を抑制する効果があるため，食品保存料として使用される．食品以外にも化粧品，飼料，塗料，接着剤としての用途もあり，日本国内での年間使用量は約 36 t と見積られている．外観は白色であり，形状は一般的に粉状であるが，粒状への加工が可能である（**写真 1**）．価格

写真１　プロピオン酸ナトリウム
（左：粉状，　中央：粒状，　右　：　粒状接写　）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

は粉状で 1,200 円/kg（取引数量 10t の場合 250 円/kg），粒状で 1,800 円/kg であり，塩ナト（ 30 円/kg 程度）と比較すると高価である．

凝固点に関して，塩ナト 20%水溶液の-19.1 ℃に対し，プロナト 20%水溶液は-16.4 ℃であり，塩ナトとプロナトの 8:2 混合物の 20%水溶液では-18.9 ℃である．

３．金属腐食性試験

３．１　試験の概要

プロナトの金属腐食性を確認するため，地方独立行政法人北海道立総合研究機構に依頼し，同試験場が定める方法[4)]で試験を実施した．

３．２　試験方法

試験方法を述べる． i) 試料，塩ナトおよび塩化カルシウム（以下，塩カル）を蒸留水 100cc に対して 3.0g の割合で溶解し水溶液を作る，ii) それぞれの水溶液に亜鉛メッキを除去した鉄片を 1 枚入れ，24 時間浸漬した後，取り出し，24 時間放置する，iii) ii) を 7 日間行い，8 日目に取り出す，iv) 鉄片の錆を完全に取り，試験前と後で鉄片の重量の変化をみる．

３．３　試験結果

表 1 に本試験の結果を示す．金属腐食性は腐食減少量（mdd）という値で評価され，この値が大きいほど腐食量が多いことを表す．プロナト単体および塩ナトとプロナトの 8:2 混合物の腐食減少量は，それぞれ 0.3 と 4.4 mdd であった．本試験から，プロナト単体および塩ナトとプロナトの 8:2 混合物は蒸留水，塩ナトおよび塩カルと比べて，金属腐食の進行を抑えられることがわかった．

表 1　金属腐食性試験結果

	腐食減少量（mg/dm²＊day）
蒸留水	8.6 mdd
特級試薬塩ナト	22.5 mdd
特級試薬塩カル(無水)	27.5 mdd
プロナト	0.3 mdd
塩ナト＋プロナト（8:2）	4.4 mdd
塩ナト＋プロナト（9:1）	12.5 mdd
塩ナト＋プロナト（19:1）	14.6 mdd

４．試験道路での散布試験

４．１　試験の概要

プロナトの散布効果を確認するために散布試験を実施した．試験は平成 27 年 1 月 21 日に苫小牧寒地試験道路で実施した．試験道路は全長 2700 m の水平な周回道路であり，本試験は密粒度アスファルト舗装区間の直線部で実施した．試験条件は**表 2** のとおりである．

前述のとおり，プロナトは塩ナトと混合しても凝固点および金属腐食性において優れていることや，価格面を考慮し，本試験では，粒状塩ナトに粒状プロナトを混合した乾式散布（以下，混合乾式散布），粒状塩ナトにプロナト水溶液を付加した湿式散布（以下，プロ湿式散布）を実施した．また，比較のため，無散布，粒状塩ナト単体の乾式散布（以下，塩ナト乾式散布）および粒状塩ナトに塩カル水溶液を付加した湿式散布（以下，塩カル湿式散布）を実施した．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

４．２　試験方法

散布試験のレイアウトは**図 1** のとおりである．試験の手順を述べる．i) 試験道路の直線区間に散水を行い，日没後の気温の低下を利用して，氷膜路面を形成する，ii) すべり抵抗値を測定する，iii) 氷膜路面に凍結防止剤を散布する，iv) すべり抵抗値を測定する，v) 交通模擬車両を 50 台通過させる，vi) 手順 iv)～v) を通過台数が 300 台（50 台×6 セット）に達するまで繰り返す．凍結防止剤の散布量は 20 g/m^2 に設定した．各凍結防止剤の散布区間はいずれも 50 m である．

表 2　試験条件

試験日	2015年1月21日
天候	晴れ
外気温 (℃)	-6.0 ～ -3.8
路面温度 (℃)	-3.3 ～ -2.0
散布時期	事後散布
散布条件	無散布
	粒状塩ナト
	粒状塩ナト＋粒状プロナト（重量比 8 : 2）
	粒状塩ナト＋プロナト水溶液(濃度30%)（重量比 9 : 1）
	粒状塩ナト＋塩カル水溶液(濃度30%)（重量比 9 : 1）
散布量	20 g/m^2

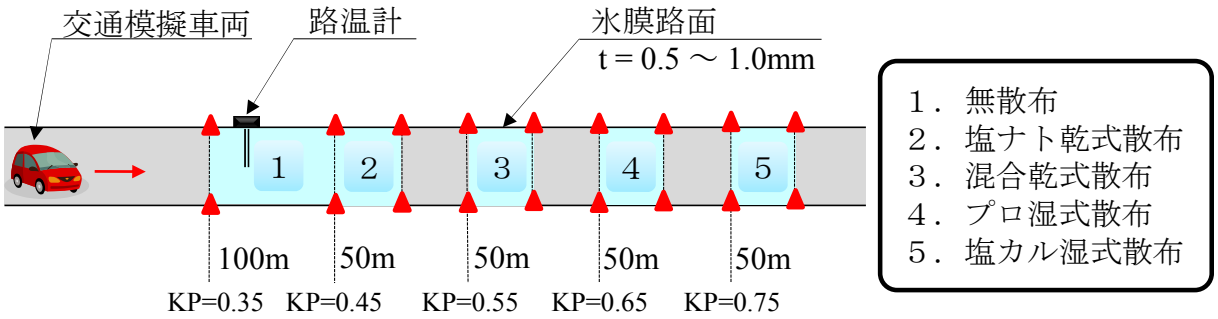


図 1 散布試験レイアウト

すべり抵抗値の測定には，連続路面すべり抵抗値測定装置[5]（**写真 2**）を使用した．すべり抵抗値は，当該装置の開発者が独自に設定した HFN（Halliday Friction Number）と呼ばれる値で，すべり難い路面ほど高い値を示し，すべり易い路面ほど低い値を示す．なお，試験車両および交通模擬車両の走行速度は 40 km/h とした．

写真 2 連続路面すべり抵抗値測定装置

４．３　試験結果

図 2 に車両通過に伴う HFN の変化を示す．また，同図に HFN 測定時の外気温および路面温度も併せて示す．外気温は，散布後から試験終了時まで-6.0 ～-3.8 ℃で推移した．路面温度は-3.3～-2.0 ℃で推移した．

HFN について述べる．無散布区間の HFN は 45 程度で推移した．乾式散布の 2 区間について述べる．塩ナト乾式散布区間の HFN は，散布前の約 37 から，50 台走行後以

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

降徐々に上昇し，300 台走行後には約 100 に達した．混合乾式散布区間の HFN は，散布前の約 46 から 150 台走行後には 80～100 程度まで上昇した．次に湿式散布の 2 区間について述べる．プロ湿式散布区間の HFN は散布前の約 44 から 50 台走行後以降徐々に上昇し，300 台走行後には約 100 に達した．塩カル湿式散布区間の HFN は 42 から，50 台走行後以降徐々に上昇し，300 台走行後には約 82 に達した．

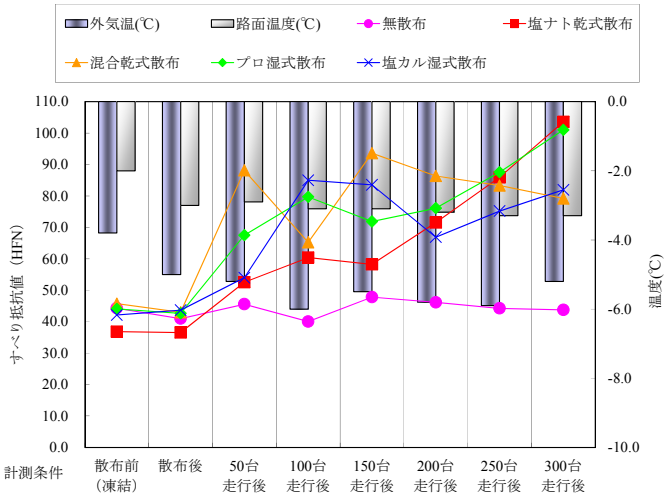


図 2　車両通過に伴う HFN の変化

５．まとめと今後について

本研究では，プロナトの冬期道路管理における実用化や普及へ向けた検討の一環として，金属腐食性試験および苫小牧寒地試験道路で散布試験を実施した．その結果，以下の知見が得られた．

（i）　プロナトは，金属腐食の進行が小さく，塩ナトと混合した場合にも腐食の進行を抑えられる．

（ii）　塩ナトとプロナトの乾式散布および塩ナトにプロナト水溶液を付加した湿式散布は，塩ナトの乾式散布および塩ナトに塩カル水溶液を付加した湿式散布と比べて同等のすべり改善効果がある．

現在，市販の非塩化物系凍結防止剤は，環境負荷が少ないとされているが，価格が高いことから冬期道路管理への普及は進んでいない．したがって，今後，プロナトの融氷性能および効果的で安価な使用方法等の検討と並行して，道路構造物，自動車，土壌，植物等の沿道環境への負荷の低減効果などを視野に入れた研究を進める予定である．

【参考・引用文献】

1)　北海道開発局，1997：*冬期路面管理マニュアル（案）*.

2)　宮本ら，1993：北海道における凍結防止剤による冬期路面管理について，*開発土木研究所月報*，**No.487**，9-26

3)　明嵐ら，2003：*非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書*.

4)　片山直樹，2013：(地独)北海道立総合研究機構の分析依頼試験，*表面技術*，**64(9)**，474-476.

5)　舟橋ら，2007：連続路面すべり抵抗値測定装置（RT3）の導入について，*寒地土木研究所月報*，**No.651**，40-47.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

吹雪時の降雪強度把握に向けた温水式降水量計と二重柵基準降水量計の比較観測

Comparative observations of the snowfall intensity using two types precipitation gauges

大宮哲, 原田裕介, 松澤勝（（国研）土木研究所 寒地土木研究所）
Satoshi Omiya, Yusuke Harada, Masaru Matsuzawa

１．はじめに

吹雪時の降雪強度を正確に把握することは，吹雪量を精度よく算出するために必要であり，適切な吹雪対策に資する．しかし，風速の増加とともに降水量計に対する降雪粒子の捕捉率は低下するため，その実測値をそのまま用いることはできない．これまで，横山ら(2003)[1)]によって降水量計の種類ごとに風速と捕捉率の関係式（以下，捕捉損失補正式）が示されている．横山らが補正対象とした降水量計は転倒ます式(RT-1)，温水式(RT-3)，溢水式(RT-4)の 3 種類である．それぞれの捕捉損失補正式を表 1 に記す．CR は捕捉率，U は降水量計の受水口と同高度における風速(m/s)を示す．表中には，助炭と呼ばれる風除けの取り付け有無のほか，捕捉損失補正式から求めた風速別の捕捉率についても付記してある．横山らによって，捕捉率は風速のみならず降水量計の種類（形状）によっても異なることが示された．なお，降水量計の測定原理や外観などについては気象庁ホームページ[2)]を参照されたい．

現在，RT-3 に助炭が取り付けられたもの（以下，助炭付き RT-3）が，北海道内の全アメダスに設置されている．しかしながら，助炭付き RT-3 に対応する捕捉損失補正式については示されていない．吹雪時の降雪強度を広域にわたって算出するためには，助炭付き RT-3 に適用できる捕捉損失補正式について検討する必要がある．

寒地土木研究所では，吹雪量を精度良く把握することを目的とし，吹雪観測ならびに降雪観測を実施している．そこで本報では，助炭付き RT-3 の捕捉率と風速の関係を比較した結果について述べる．

表 1　降水量計ごとの捕捉損失補正式[1)]

降水量計の種類	捕捉損失補正式 横山ら(2003)	助炭	CR		
			$U=2$	$U=5$	$U=8$
転倒ます式 (RT-1)	$CR=\frac{1}{1+0.213U}$	なし	0.70	0.48	0.37
温水式 (RT-3)	$CR=\frac{1}{1+0.346U}$	なし	0.59	0.37	0.27
溢水式 (RT-4)	$CR=\frac{1}{1+0.128U}$	あり	0.80	0.61	0.49

２．観測概要

寒地土木研究所が所有する石狩吹雪実験場(N43°12’, E141°23’)にて，図 1 に示す二重柵基準降水量計(Double Fence Intercomparison Reference，以下 DFIR)を用いた降雪観測を実施している．これは，世界気象機関(WMO)の観測方法[3)]に準ずるものであり，横山らの観測手法と同様である．WMO は DFIR を二次基準器として定めており，DFIR による測定値に変換式[4)]を適用して算出した降水量を，“真値”と見なしてよいとしている．DFIR は降水量計を八角形の

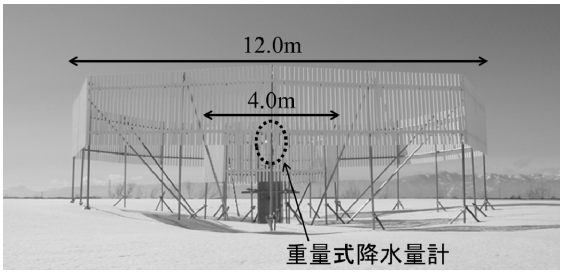


図 1　DFIR（於：石狩吹雪実験場）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

風除け柵で二重に囲った構造になっており, その対角長は外側柵が 12.0m, 内側柵が 4.0m である. 本観測では, DFIR の高さを外側柵 4.0m, 内側柵 3.5m とし, その中央部には重量式降水量計(GNR-T200B)を設置した. この重量式降水量計は, 内部の受水バケツに降水を貯留するタイプであり, その重量変化量から降水量を算出するものである. 重量式降水量計および助炭付き RT-3 の受水口, 風向風速計をいずれも高さ 3.5 m に設置し, 2015 年 1 月 23 日から比較観測を開始した.

３．観測結果

降雪があった事例ごとに捕捉率と風速の関係を比較する. ここでは, 一連の降水で DFIR 値および助炭付き RT-3 値がともに 1.5 mm 以上を記録した事例を抽出し, 比較の対象とした. また, DFIR が最後の降水を記録してから 1 時間継続的に降水が無いとき, 一連の降雪事例が終了したとみなした. その結果, 1 月 23 日から 2 月 28 日までの期間で全 9 事例が抽出され, その継続時間は短いもので約 1 時間, 長いもので約 12 時間であった. 風速については, 一連の降雪事例中の各 10 分間平均風速をその 10 分間降水量で加重平均した値を, その事例の代表値とした. 捕捉率は, 助炭付き RT-3 値を, DFIR 値を変換[4]して算出した降水量（真値）で除すことによって求めた.

降雪粒子の捕捉率と風速の関係を図 2 に示す. 図中には, 横山らと同様, 吉田[5]の式に回帰させて求めた捕捉損失補正式および曲線（実線）を示してある. なお, 横山らが示した回帰曲線についても, それぞれ破線, 点線, 鎖線で付記してある. 比較観測の結果, 先行研究と同様, 風速の増加に伴って捕捉率は低下することが確認された. また, 助炭付き RT-3（実線）は助炭の無い RT-3（破線）よりも高い捕捉率を示した.

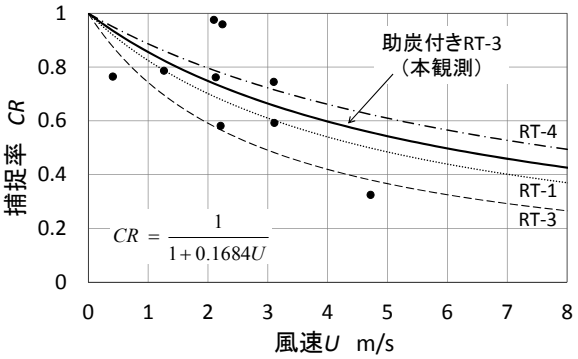


図 2　降雪粒子の捕捉率と風速の関係

４．おわりに

本報では, DFIR および助炭付き RT-3 を用いた降雪観測結果を比較した. 吹雪時の降雪強度を把握し, より正確に吹雪量を推定するためには観測データ数が不十分である. 今後も同様の手法で降雪観測を実施するほか, XRAIN や光学式ディスドロメーターにより得られる降雪強度との比較を行い, 吹雪時における正確な降雪強度の把握に臨む.

【参考・引用文献】

1) 横山ら, 2003：冬期における降水量計の捕捉特性, *雪氷*, **65**, pp.303-316.
2) 気象庁 HP, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku_guide/b1.html
3) WMO, 1985: International Organizing Committee for the WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison, Final Report of the First Session. 31pp.
4) Goodison *et al.*, 1998: WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report, WMO, pp.14.
5) 吉田, 1959：積算雪量計の研究（第二報）主として型別の捕集率ならびに積算雪量計実用化のための吟味, *研究時報*, **11**, pp.507-524.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

没入型３Ｄ−ＶＲシステムによる吹雪の視覚的再現
Visual Expression of Snowstorm in Immersive Type 3D-VR System

菅原幸夫（北見工業大学），高橋修平（北海道立オホーツク流氷科学センター）
Yukio Sugawara ， Shuhei Takahashi

１．諸言

これまで吹雪については[1]，その発生条件や吹雪量など多岐にわたり観測されており，たとえば，竹内ら[2]による，吹雪時の雪の移動量と視程との関係が挙げられる．さらに吹雪の形態について，雪粒子の運動形態などを指標に分別されている．一方，いわゆる複数大画面から構成され没入感を伴う投影面を持つ映像投影システム（VR システム）は広く発達してきているが，吹雪現象の視覚的再現に供された例は殆ど見当たらない．本研究では雪粒子の空間密度と視程の相関を把握するために，VR システム中に，実測された吹雪粒子の運動や分類結果を反映させて視覚的に吹雪を再現し，同時に描画する識別子を用いて視程測定実験を行う．この実験により得られた結果と実測されているそれと比較し，視程に差異が生じるかどうかを検証することによって吹雪現象の視覚的再現の可能性について評価するものである．

２．吹雪の表現

文献[1]によると，吹雪は降雪の無い地吹雪と降雪を伴う吹雪に分類されるが，本実験では地吹雪を，さらに地吹雪の中の雪粒子が目の高さより高く水平視程が減少する高い地吹雪の視覚的再現を計る．なお，実験における雪粒子の空間密度は図１に示す文献[2]に示される結果との比較を想定して決定している．

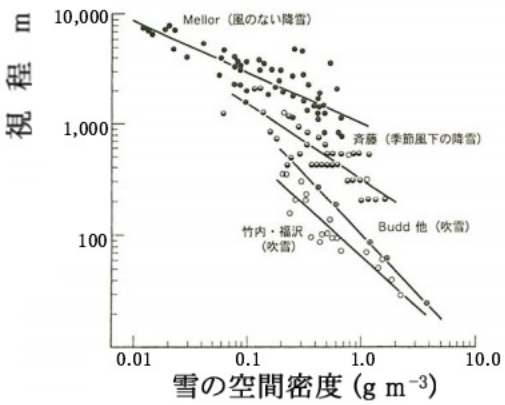


図１　吹雪時の雪粒子の空間密度と視程との関係[2]

（１）吹雪粒子の運動と空間密度

高い地吹雪において存在する吹雪粒子の運動として挙げられている転動，跳躍，浮遊を含む雪粒子の運動を再現する．これら三種類の運動を混合したものを吹雪として表現している．

雪粒子の空間密度[2] M は

$$M = \frac{4\pi x r^3}{3V_{VR}} \times \rho_s \quad ,$$

である．ここで，rは吹雪粒子の粒径，V_{VR}は VR 空間における描画範囲の体積，ρ_sは雪の密度，xはV_{VR}中の吹雪粒子数である．吹雪の発生条件[2]として地上気温 0℃を想定し，

r =10mm,　ρ_s=0.05g/cm3,

そして，V_{VR} =720m^3　とすると，空間密度 M の単位は g/m^3 となる．なお，描画する雪粒子の形状は球体としている．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

実験では比較的空間密度が高い時を想定し，吹雪粒子数 x に付き，

6000，8000，10,000，12,000，

の 4 種とする．すると空間密度は g/m^3 を単位としてそれぞれ 1.75，2.33，2.91，3.49 となる．図 2 に，これら空間密度における吹雪現象を描画するエミュレート画面の図を示す．このエミュレート画面は VR システムに再現する描画対象の開発環境の PC 画面である．

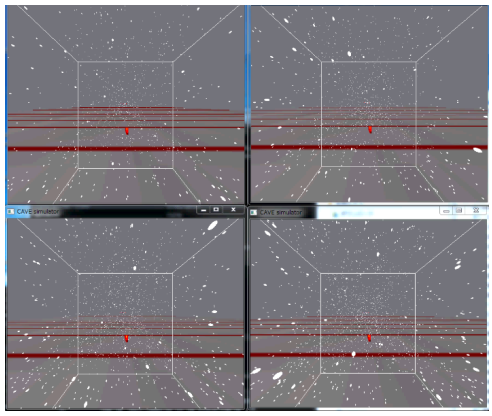


図 2　吹雪を描画する PC 画面（左上から時計回りに空間密度（g/m^3）1.75，2.33，3.49，2.91）

（２）視程の測定

VR 空間には，再現する吹雪と，VR 空間内において観測者から充分に離れた位置に図 2 に示す識別子を投影する．

識別子は道路速度標識を想定している．実験開始時には，観測者は VR 空間の，一番手前の地面に相当する位置に立ち，識別子全てが視認できると判断する距離まで識別子を手前に移動させ停止させる．このときの観測者と識別子の間の距離を視程とする．被験者はのべ 36 人であり，各人が各雪粒子数につき 8 回の測定を行っている．

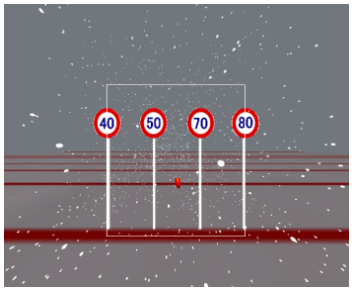


図 3　識別子

３．結果と考察

空間密度と視程について，得られた結果を図 4 に示す．観察者ごとの視程の差は，識別子を視認できると判断する際の基準を決めていなく，観察者の判断に委ねているからと考える．視程は空間密度に依存して変化しているのが確認される．このことはつまり本実験における視程と視覚的吹雪の間には空間密度との相関があり，単なる視力検査になっているのではないといえる．報告 [2]では空間密度と視程の間に対数での線形関係を示しているが，実験でも類似した関係があることがわかる．

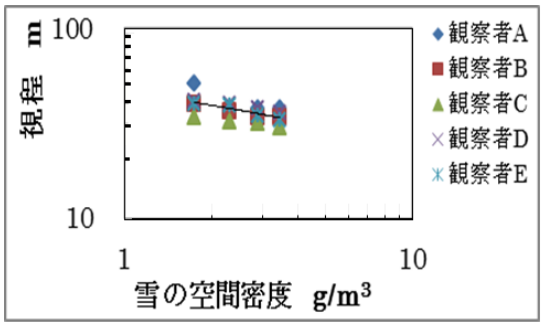


図 4　吹雪時の雪粒子の空間密度と視程

４．結言

吹雪に関する報告と実験結果は相関を持つことがわかった．したがって VR システムによる吹雪の視覚的再現には有用性があると評価する．地域性を表すために本研究では雪粒子数と風速を適用したが，吹雪はその発達度，気象条件，雪面の状態の違いによっても視程が大きく左右される．詳細な吹雪の条件を実験の環境に取り込むことで，より現実に近い吹雪を構築し視覚的再現の有用性が増すと考える．

【参考・引用文献】

1) (社) 雪と氷の事典，日本雪氷学会，(2005)，169-172.

2) 竹内政夫･福沢義文，1976:「吹雪時における光の減衰と視程」，*雪氷*，38，165-170.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

ホワイトアウトと雪粒子
Snow particles on the whiteout

竹内政夫（NPO 法人 雪氷ネットワーク）
Masao Takeuchi

１．まえがき

吹雪などで視界が白一色になる状態をホワイトアウトと呼ぶが，最近吹雪時の道路交通の安全や事故に関連してマスコミなどでこの語は頻繁に使われるようになった．

しかしホワイトアウトを物理的に満足に説明したものは見当たらず，その実態は曖昧なままである．また吹雪とは関係なくホワイトアウトという語は古くからある．ホワイトアウトには二つの現象があるが，空中か地表かの違いはあるが双方に共通して雪粒子の存在が重要な役割を果たしている．ここでは二つのホワイトアウトとそれをもたらす雪粒子の関わり，及び視程との関わりについて述べる．

２．二つのホワイトアウト

（１）空中に雪粒子がなくても現れるホワイトアウト

語源になっているタイプのホワイトアウトは空中の雪粒子の存在は必須なものではない．幾つかの気象や雪氷の辞典・用語集の中から調べた中で分かりやすかったものを，以下全文を紹介する．A term applied to that condition in which the contours and natural landmarks in a snow-covered region become indistinguishable. The associated meteorological conditions appear to be a uniform layer of relatively low cloud; under such conditions the light which reaches the surface arrives in nearly equal measure from all directions, with a resulting absence of shadows.

若干補足説明すると，空中に吹雪や降雪などの雪粒子が存在しなくても，光が地表の雪粒子や雲によって乱反射（散乱）して，雪で覆われた地物や地形の輪郭がぼやけ識別できなくなる状況を指している．筆者は未経験であるが，視界全体がまぶしいような光に満ちて，高低や方向の感覚が失われ体が浮き上がったような感覚になるといわれる．地物の輪郭が失われるのは鏡面反射とは異なり雪面上の無数の雪粒子が入射光を多方向に乱反射（拡散反射）することで，更に雲に反射した光も混じえて，全方向に光は一様な強さになり陰影が消えるからであるこのタイプのホワイトアウトではもし視界の中に雪以外の人や地物があれば，それらの表面では乱反射せず輪郭がぼやけることは無いので見えることになる．気象学で定義されるように視程板を連続的に配置して測定される視程は大きければ数 km はあると想像される．雪山で凹凸がぼやけ立体感が失われる現象は経験することか，視界全体が雪で覆われていて気象条件が合えば身近なところでも発生している可能性はあることになる．

（２）吹雪や降雪によってもたらされるホワイトアウト

新旧雪氷辞典(雪氷学会編)ではホワイトアウトの説明の中に,「吹雪などで視界が悪い場合についてもいう」といった付け足し扱いで述べられている[2)]．逆に USA Today のように「Winter weather glossary」では，このタイプのものだけが取り上げられ，次のように述べられている．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

A condition caused by falling and/or blowing snow that reduces visibility to nothing or zero miles ; typically only a few feet.　Whiteouts can occur rapidly often blinding motorists and creating chain-reaction crashes involving multiple vehicles.　Whiteouts are most frequent during blizzards.　(US Today Weather Winter weather glossary Winter weather definitions)　アメリカらしく道路交通との関わりを重視して，視程０マイルなどのように視程をベースに表現している．特にホワイトアウトが急に発生し多重衝突事故をもたらすという記述は，吹雪時に多重衝突事故を含む視界不良事故が多い北海道の事情と重なる．しかしホワイトアウトを視程だけで表現することには疑問がある．余談であるがホワイトアウトを「白い闇」と訳してきたが，何故か英語表現ではどちらのタイプにも white の語が無い．次節からは，吹雪によって発生する第 2 のタイプのホワイトアウトについて述べる．

３．ホワイトアウトと視程

（１）視程と雪粒子

光を乱反射する雪粒子の光学的性質が第 1 のタイプのホワイトアウトをもたらしているが，視程にも雪粒子が係わっている．気象分野で扱う視程の多くは空中浮遊物が霧や雲の場合である．そこでは視程は空中浮遊物による光の消散係数（空中浮遊物の濃度に比例）に反比例する．吹雪時の視程の研究では，雪粒子が目に見える大きさであることが視程に大きな影響を与えていることが知られている[3)]．霧などの粒子は光の波長より大きいが粒子が識別できる程ではなく，光は Mie 散乱によって消散される．光学的にはサイズの大きい雪粒子では幾何光学である光の反射（遮蔽）によって光は消散する．雪による視程も光の消散（雪の空間濃度）に反比例するが，この関係は図１のように視程が悪くなるにつれてより視程が悪化するほうに外れる傾向がある．雪粒子が知覚され残像となって尾を引いて見えることが視程をより悪くしていると考えた[3)]．残像の影響は，雪の空間濃度と眼の高さでの風速の積をフラックスとして視程との関係を示したのが図２である．雪の動きが影響しない空間濃度と視程の図と比べると，降雪，吹雪のように現象の違いを超えて良い関係になる．間接的ではあるが残像の影響を示唆している．このように視程は光の物理だけでなく目の生理・心理的機能が係わるため，雪粒子が目に見えるサイズであることの視程におよぼす影響は小さくない．

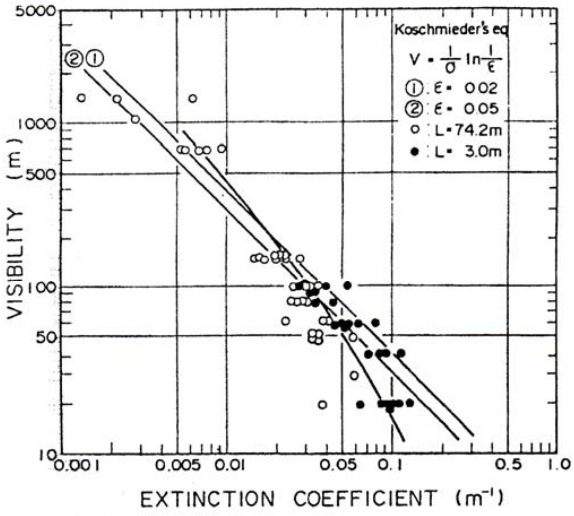


図 1．視程と光の消散係数

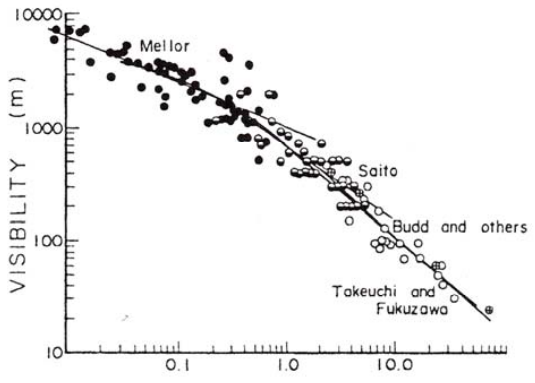


図 2．視程と雪の移動量[3)]

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（2）ホワイトアウトの実体は？

前方の見通し距離は視程（m）で表され，US Today はホワイトアウトを noting～０mile や数フィートというように視程で表している．そこで視程計による実測と写真観測によってホワイトアウトと視程との関係について調べた．歩行者から見たホワイトアウトは北海道警察，車両の中から見たものは寒地土木研究所から提供された写真と視程観測データによった．

（イ）歩行者が見たホワイトアウト

屋外で撮影中にホワイトアウトに遭遇した時の状況を撮影したのが写真 1 である．撮影者米田和広氏（北海道警察交通企画課）のコメントは以下の通りである．「動画撮影中に徐々に視界が悪くなり，悪いときは視界が殆どない状況でした．写真は 1 分間撮影した動画からの切取写真です．写真で見ると状況は思った程ではありません」．路面近くの高さは識別し難いのは吹雪の特徴であるが，目線の高さでは約５０～６０ｍ先の家屋などが写っている．眼とカメラの性能の違いもあるが，少なくても被写体からの光は十分に届いているが目はそれを識別していないことになる．吹雪の中では顔をあげて前を向くことも難しくなるが，激しく舞う間近な雪粒子に焦点が合うことでその先の地物は見えなくなることも考えられる．夜のドライブでは間近な雪粒子の影響が特に強調される．前照灯の光を反射してできる強く輝く雪粒子の幕に目がくらまされ，その先の地物が見えなくなり，光を消すと意外に遠くまで良く見えることもある．

写真 1　歩行者が遭ったホワイトアウト

（ロ）車から見るホワイトアウト

吹雪時のドライブでは長時間連続してホワイトアウトが続くことは稀であるが，短時間・瞬間的に視界が白一色になることは少なくない．しかし歩行者の場合と同様，写真に撮ると意外に車や地物が写っていることが多い．視程が０であればホワイトアウトになるのは分かるが，実体はどうなのかを知りたいと思っていた．移動する車中から視程の測定と写真を同時連続測定している[4)]寒地土木研究所から提供されたデータで調べた．視程計には 111 m と記録されていたときの写真２にはスノーポール以外は何も見えていない．ドライバーは雪粒子の影響を受けるので，スノーポールを探しながら走れる状態でほぼホワイトアウトの状態であった．

写真 2　車中から見たホワイトアウト

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（3）ホワイトアウトと顕在視程

歩行者やドライバーが視程と感じているのは，雪と識別できる最も近い地物までの距離で，本来見えるべき気象学上の視程と比べると小さい．気象できまる気象学上の視程と，ドライバー等の感ずる視程は異なり地物の有無や性状など周囲の視環境に大きく依存する．前者を潜在視程とし後者を顕在視程と呼ぶことができる[5)]．特に吹雪時には跳び出す飛雪粒子で雪の凹凸輪郭がぼけるため，視程は数百 m あっても，白い雪や全天雲の空の下ではホワイトアウトになりやすい．吹雪の中のドライブではフロントガラスに吹き付ける雪粒子に目が奪われ瞬間的に先を注視できなくなることや，急に森林を抜けて広い牧草地に入るなどのように視環境の急な悪化がホワイトアウトをもたらす．ホワイトアウトは顕在視程 0 で現れるのはタイプ 1 でも同様である．

4．まとめ

ホワイトアウトを対象とした研究は殆どなく，その実体は不明のままであった．この報告は，写真と視程からその実体を研究したもので緻密さには欠けるがあるが，以下のように視程と雪粒子の関わりなどホワイトアウトの一旦を示すことができた．

1）　視程は対象物からの光が減衰し目を刺激しなくなるか，周囲の明るさと区別かがつかなくなるまでの距離であり数値単位（m）で表現できる物理量である．

2）　ホワイトアウトは視程に加えて，物理量では表されない雪粒子の大きさや動きに人間の目が受ける心理・生理的影響や周囲の視環境が大きく影響する．

3）　ホワイトアウトは顕在視程が 0 の状態である．

ここでは，「ホワイトアウトは視界が白一色になる現象であり，吹雪や降雪時に視程より近い距離に雪と識別できる地物が無い（顕在視程 0）ときに発生する.」と定義したい．

5．あとがき

視界不良事故防止や交通の視程障害対策には，スノーポール等の視線誘導のように視程を顕在化することや，ホワイトアウトの発生要因や実体を把握し発生しやすい危険箇所を検知・抽出しすることが重要であり，今後の本格的な研究が望まれる．ホワイトアウトは吹雪の中で短時間に発生するため，遭遇し観測することはもとよりデータ取得は非常に難しい．この研究は北海道警察交通企画課米田和広氏および寒地土木研究所雪氷チーム武知洋太氏から借用したデータを使って初めて可能になった．記して感謝する．

【参考・引用文献】

1）D．H．McIntosh，1972，white-out，*Meteorological Glossary*，314-315．

2）USA Today，1997:Whiteout，*Winter weather definitions*．

3）竹内政夫・福澤義文，1976：吹雪時における光の減衰と視程，*雪氷*，**38**，9-13．

4）武知洋太，松澤勝，伊東靖彦，國分徹哉，2015，吹雪時の視程低下に及ぼす沿道環境条件 の影響について －吹雪時の移動気象観測事例より－ ，*北海道の雪氷*，**34**．

5）竹内政夫，1980，吹雪時の視程に関する研究，*土木試験所報告*，**74**，31pp．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

吹雪量推定経験式に関する理論的一考察
A theoretical study on experimental relations between wind velocity and snow transport

佐藤隆光（(一財）日本気象協会北海道支社）
Takamitsu Sato

１．はじめに

吹雪対策の調査・計画や道路管理者への吹雪予測情報として吹雪量が用いられている．気象データから吹雪量を推定する場合，風速と吹雪量の経験式から推定することが多く，その経験式は多くの研究者によって求められている．

これまで，吹雪量推定経験式に関する理論的な考察は少なかった．本研究では跳躍層と浮遊層の吹雪量の比を求める理論式を導入し，風速や粒径の依存性について解析した．さらに，既往の吹雪量推定経験式に関して考察した．

２．解析モデル

吹雪量 Q を跳躍層の吹雪量 Q_{sal} と浮遊層の吹雪量 Q_{sus} との和として考える．本研究では両者の比 Q_{sus}/Q_{sal} に着目する．なお，簡単化するために降雪は考慮しない．

$$\frac{Q}{Q_{sal}} = 1 + \frac{Q_{sus}}{Q_{sal}} \tag{1}$$

２．１　跳躍層の吹雪量 Q_{sal}

Q_{sal} は跳躍層の飛雪流量 $q(Z)$を雪面から跳躍層高さ Zt まで積分したものである．跳躍層上端の飛雪空間密度 Nt および風速鉛直分布に対数則を用いて式(2)で表す．

$$Q_{sal} = \int_0^{Zt} q(Z)dZ = Nt \cdot Zt \cdot \frac{U_*}{\kappa} \log\left(\frac{Z_t}{Z_0}\right) \tag{2}$$

２．２　浮遊層の吹雪量 Q_{sus}

浮遊層における飛雪密度の鉛直分布に乱流拡散理論を，風速鉛直分布に対数則を用いると，Q_{sus} は式(3)，(4)で表すことができる．

$$Q_{sus} = \int_{Zt}^{\infty} q(Z)dZ = \frac{Nt \cdot U_*}{\kappa} \int_{Zt}^{\infty} \left(\frac{Z}{Zt}\right)^a \log\left(\frac{Z}{Z_0}\right) dZ \tag{3}$$

$$a = \frac{-|Wb|}{\kappa U_*} \tag{4}$$

ここで，U_*:摩擦速度，κ:カルマン定数，Z_0:表面粗度，Wb:雪粒子落下速度である．

２．３　Q_{sus}/Q_{sal} の導入

式(2)，(3)を用いて Q_{sus}/Q_{sal} を求める．

$$\frac{Q_{sus}}{Q_{sal}} = \frac{1}{Zt \cdot \log\left(\frac{Zt}{Z_0}\right)} \int_{Zt}^{\infty} \left(\frac{Z}{Zt}\right)^a \log\left(\frac{Z}{Z_0}\right) dZ \tag{5}$$

式(5)の定積分は無限大になる．そのため積分区間上限に有限値 Zu を与えて式(5)を積分すると式(6)が導入される．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

$$\frac{Q_{sus}}{Q_{sal}} = \frac{\left(\frac{Zu}{Zt}\right)^{a+1}\left\{(a+1)\log\left(\frac{Zu}{Z_0}\right)-1\right\}-\left\{(a+1)\log\left(\frac{Zt}{Z_0}\right)-1\right\}}{(a+1)^2\log\left(\frac{Zt}{Z_0}\right)} \quad (6)$$

２．４　吹雪量 Q の算出

小林他(1969)[1]の吹雪量推定経験式(式(7))は跳躍層の吹雪量 Q_{sal} とみなすことができる[2].

$$Q_{sal} = 0.03U_1^3 \quad (7)$$

ここで，U_1:高さ 1m の風速である.

式(1)，(6)，(7)を用いれば全層の吹雪量 Q を算出することができる.

３．解析結果

３．１　風速と Q_{sus}/Q_{sal} の関係

式(6)を用い，高さ 1m の風速 U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} の関係を図 1 に示す．以降，特に断りがない限り，Z_0=1.5×10^{-4}m，Zt=0.15m，Wb=0.35ms^{-1} とした(松沢，2007)[3].

図 1 によれば，風速の増加に伴い Q_{sus}/Q_{sal} が増加する.すなわち，浮遊層の吹雪量 Q_{sus} が Q_{sal} に比較して大きくなることを示している.U_1=10ms^{-1} 付近に着目すると，Zu=1～2m では U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} がほぼ直線関係，すなわち Q_{sus}/Q_{sal} は U_1 の 1 乗に比例する．一方，Zu≧10m では下に凸の曲線関係，すなわち Q_{sus}/Q_{sal} は U_1 の n 乗(n>1)に比例する.

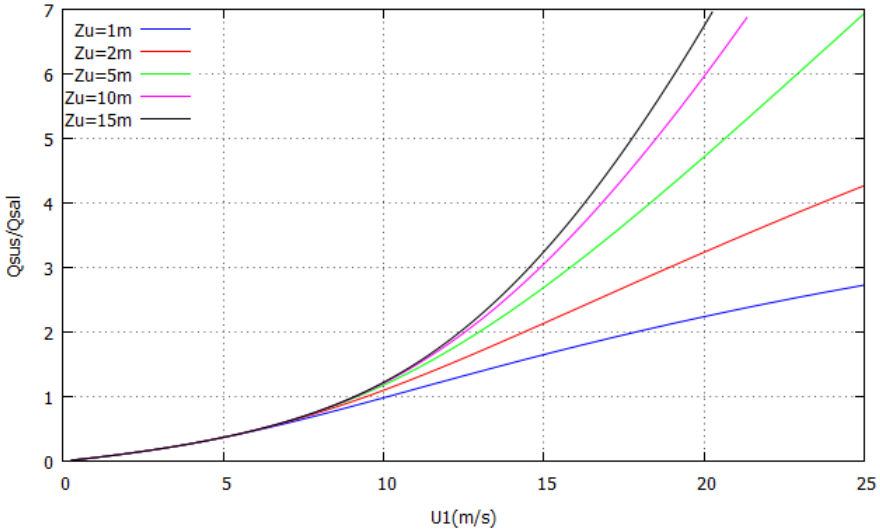


図 1　高さ 1m の風速 U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} の関係

３．２　吹雪量 Q

図 2 は前記 2.4 で示した方法で吹雪量を算出したものである．同図では比較のために既往の経験式で算出した結果も示す.

図 2 によれば，本研究による算出結果は小林他(1969)[1]の経験式(式

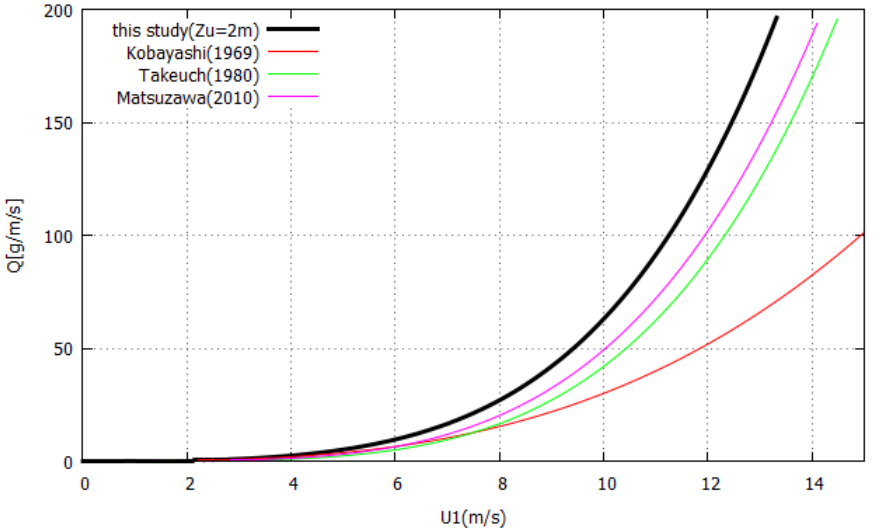


図 2　吹雪量 Q の算出結果（Zu=2m）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

(7))の結果と差が大きい．しかし，Takeuch(1980)[4]の経験式(式(8))および松沢他(2010)[2]の経験式(式(9))による結果に近い．

$$Q = 0.0029U_1^{4.16} \quad (8)$$

$$Q = 0.00504U_1^{3.99} \quad (9)$$

４．考察

４．１　既往の吹雪量推定経験式の考察

前記 3.1 で示したように U_1=10ms^{-1} 付近において Zu=1～2m では U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} がほぼ直線関係であり，回帰式を求めると図 3 で示すとおりである．この回帰式と式(1)，(7)を用いると式(10)が導入される．式(10)は式(9)にほぼ等しい．

$$Q = 0.0054U_1^4 + 0.012U_1^3 \approx 0.0054U_1^4 \quad (10)$$

図 2 に示すように，小林他(1969)[1]の経験式(式(7))と松沢他(2010)[2]の経験式(式(9))による吹雪量算出結果は大きく異なる．しかし式(6)によって両経験式を結びつけたことは興味深い．ただし後述するように，Q_{sus}/Q_{sal}(式(6))は雪の粒径（落下速度）に対する依存性が大きいのでさらなる考察が必要であろう．

Takahashi(1985)[5]は，南極での観測結果から高さ 30m までの吹雪量は風速の 5.2 乗に比例することを示している．前記 3.1 で示したように，$Zu \geqq 10$m では U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} が曲線関係なので，吹雪量算出の高度が高くなるほど風速のべき乗が大きくなることを示すことができる可能性がある．

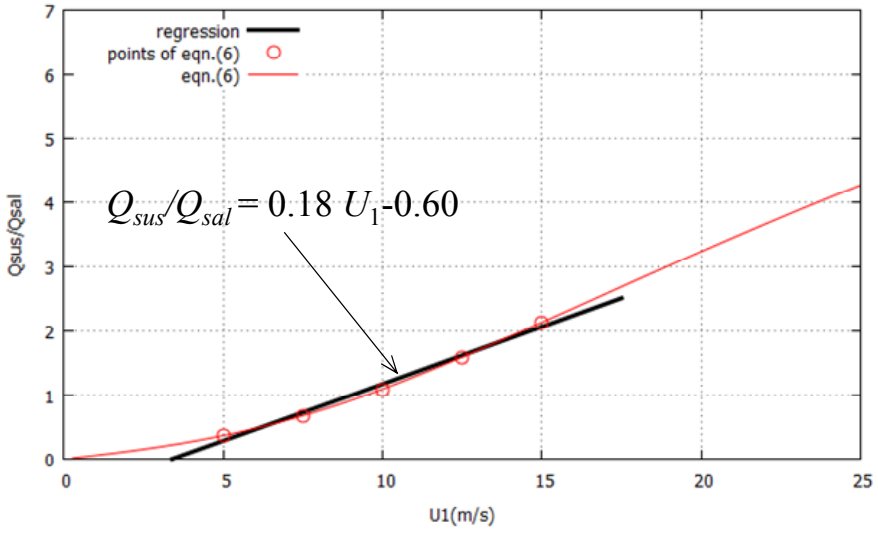


図 3　高さ 1m の風速 U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} の相関関係（Zu=2m）

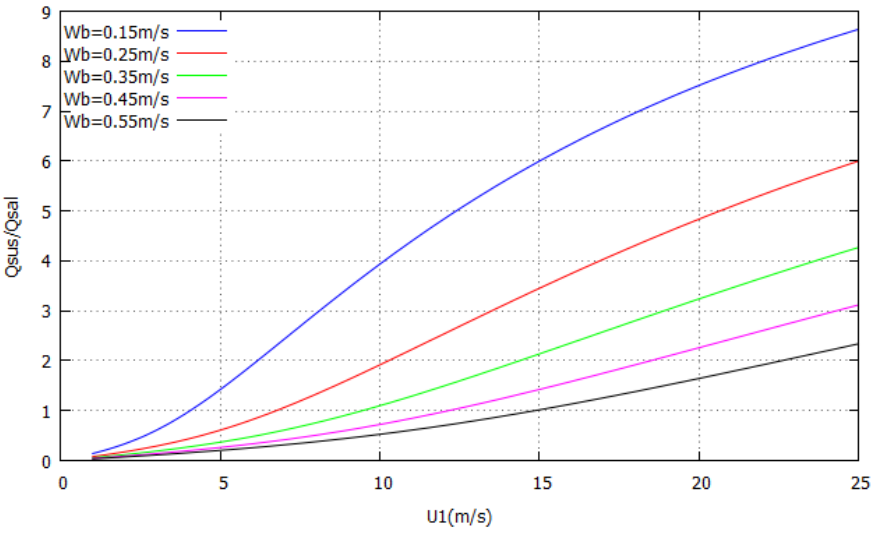


図 4　Wb を変化させたときの U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} の関係（Zu=2m）

４．２ 雪の粒径（雪粒子の落下速度）に対する依存性

竹内(1996)[6]によれば風速 15ms^{-1} 程度で浮遊層の雪粒子の割合は 40%以下である．一方，図 1 によれば U_1=15ms^{-1} でおよそ Q_{sus}/Q_{sal}=2 であり浮遊層の雪粒子の割合

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

は約 70%に達する．

図 4 は雪粒子落下速度 Wb を変化させ，式(6)を用いて U_1 と Q_{sus}/Q_{sal} の関係を示したものである．図 4 によれば，落下速度 Wb が大きくなるに従い Q_{sus}/Q_{sal} は小さくなる．Wb=0.55ms^{-1} の場合，風速 15ms^{-1} のとき Q_{sus}/Q_{sal}=1 である．すなわち浮遊層の雪粒子の割合は 50%であり，竹内(1996)[6]の観測結果とほぼ等しい．このように，Q_{sus}/Q_{sal} は雪粒子の落下速度に対する依存性が大きい．

５．まとめ

吹雪量 Q を跳躍層の吹雪量 Q_{sal} と浮遊層の吹雪量 Q_{sus} との和として考え，両者の比 Q_{sus}/Q_{sal} を求める理論式を導入した．同式を用いて風速と Q_{sus}/Q_{sal} の関係，Q を風速から推定する経験式との比較，風速と Q_{sus}/Q_{sal} の関係を用いた異なる経験式の結び付け，Q_{sus}/Q_{sal} に対する雪粒子落下速度の依存性について考察した．

理論的に整合した解析にはラグランジェ型モデル[7,8]を用いることが望ましいが，同モデルは複雑である．本研究は簡単なモデルを導入して，吹雪量の考察を試みたものである．

【参考・引用文献】

1)小林大二他, 1969: みぞによる地吹雪量の測定, *低温科学・物理編*, **27**, 99-106.
2)松沢勝他, 2010: 風速と吹雪量の経験式の適用に関する一考察, *寒地技術論文報告集*, **26**, 45-48.
3)松沢勝, 2007：吹雪時の視程推定手法の改良に関する研究, *雪氷*, **69**, 79-92.
4)Takeuchi, M., 1980: Vertical Profile and Horizontal Increase of Drift-Snow Transport, *J. Glaciol.*, **26**, 481-492
5)Takahashi, S., 1985: Characteristics of drifting snow at Mizuho Station, Antarctica. *Annals Glaciol.*, **6**, 71-75.
6)竹内政夫, 1996: 吹雪とその対策(1), *雪氷*, **58**, 161-168.
7)Sato, T. et al., 1997: Application of a random walk model to blowing snow, *Snow Engineering: Recent Advances, Izumi Nakamura & Sack (eds.)*, 133-138.
8)Nemoto, M. et al., 2004: Numerical simulation of snow saltation and suspension in turbulent boundary layer, *J. Geophys. Res.*, **109**, D18206.

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

吹雪時の視程低下に及ぼす沿道環境条件の影響について
－吹雪時の移動気象観測事例より－
Effects of road environment on poor visibility in snowstorm
- Field weather observation performed by the visibility observation vehicle -

武知洋太，松澤勝，伊東靖彦，國分徹哉（(国研）土木研究所 寒地土木研究所）
Hirotaka Takechi, Masaru Matsuzawa, Yasuhiko Ito, Tetsuya Kokubu

１．はじめに

現在，冬期道路の吹雪危険箇所に関する評価には，道路防災点検の手引き [1)]や道路吹雪対策マニュアル [2)]に示される「吹雪安定度」や「吹雪危険度」が用いられている．しかし，その評価項目や評点等は経験的に決められており，定量的な分析に基づき定められたものではない [2)3)]．このため評価項目や評点等の根拠が曖昧であるなど定量的な評価を行うには不十分な点がある．

そこで本報では，吹雪視程障害発生への沿道環境条件の影響について明らかとするため，吹雪時に移動気象観測を実施し，事例分析を行った．本文では，その結果を報告する．

２．調査方法

著者らは吹雪が発生した 2013 年 1 月 26 日に，北海道枝幸郡浜頓別町を通る一般国道 238 号 KP229.3～235.3（図 1）で移動気象観測車（図 2）を用い後述する観測を実施した．移動気象観測車には，表 1 に示す機器を搭載しており，走行しながらこれらのデータを 0.1 秒毎に取得した．

観測区間を 4 往復し計 8 回観測を実施した．浜頓別アメダスによると，観測時の気象条件は概ね気温が-3～-5℃，風向が北北東で風速は 10～12m/s であった．また，観測区間の起終点の外側では観測時に吹雪による通行止めが発生し，厳しい視程障害が発生している状況であった．

観測区間は，道路周辺に吹雪の発達しやすい平坦地が存在する盛土道路で，防雪柵など吹雪対策施設は未整備である．

分析では，視程障害発生状況と風上側の沿道環境とを比較した．視程障害発生状況は，評価する道路延長（以下、評価延長）を 50m 毎に区分し，各区間の視程データの平均値（以下，平均視程），最低視程（平均視程の最低値），視程障害発生割合（(平均視程 200m 未満の発生事例数/全観測事例数）×100）を指標とし整理した．なお，評価延長や視程障害発生の閾値は，評価延長 50m での平均視程が走行速度などの運転挙動との相関性が高く，平均視程が 200m を下回るとブレーキ操作を伴った速度低下の事例が増加する既往研究での結果 [4)]を参考とし設定した．沿道環境条件は，道路台帳や航空写真等より風上側の平坦地の長さ，家屋・市街地や路側の樹林帯の幅を表 2 に示す区分により北北東を風上として整理した．

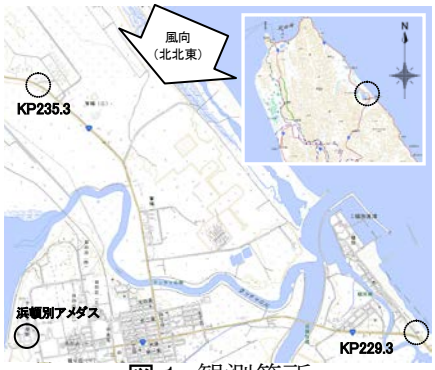


図 1　観測箇所

図 2　移動気象観測車

表 1　移動観測車搭載機器

搭載機器	設置高さ(m)
気温計	2.35m
超音波風向風速計	2.8m
車載用小型視程計	1.75m
GPSセンサー	－

表 2　沿道環境条件の整理区分

No	整理区分	風上平坦地	家屋・市街地
1	50m：50以上100m未満	○	○
2	100m：100以上200m未満	○	○
3	200m：200以上300m未満	○	○
4	300m：300以上400m未満	○	○
5	400m：400以上500m未満	○	－
6	500m：500m以上	○	－

No	整理区分	路側の樹林帯
1	10m：10以上30m未満	○
2	30m：30以上50m未満	○
3	50m：50以上100m未満	○
4	100m：100以上	○

※風上平坦地の長さは、
風上に樹林帯が存在する場合は道路から樹林帯までの長さとする
ただし、家屋・市街地の存在は考慮しない

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

３．調査結果

図 3～6 は，移動気象観測結果より整理した最低視程や視程障害発生割合と沿道環境条件を道路のキロポスト（KP）毎に示したものである．なお，各図には移動気象観測事例(8 回)の中から代表的な観測事例を抽出し、取得した視程（瞬間値），平均視程のデータを併記した．

図 3 に示した KP229.3～230.5 は，地図やグラフからわかる通り風上平坦地が終点ほど長くなる区間である．この区間では，風上平坦地の長さが 500m 以上である KP230.15～230.5(a1)で最低視程が 200m を下回っており，視程障害発生割合も最大で 50%とその他の区間に比べ高い傾向が見られた．なお，この区間には概ね幅 50～200m の家屋・市街地が存在したがそれらにより視程が顕著に改善する傾向は確認できない．

図 4 に示した KP230.5～232.14 は，地図やグラフからわかる通り，起点側に延長 198m の橋梁

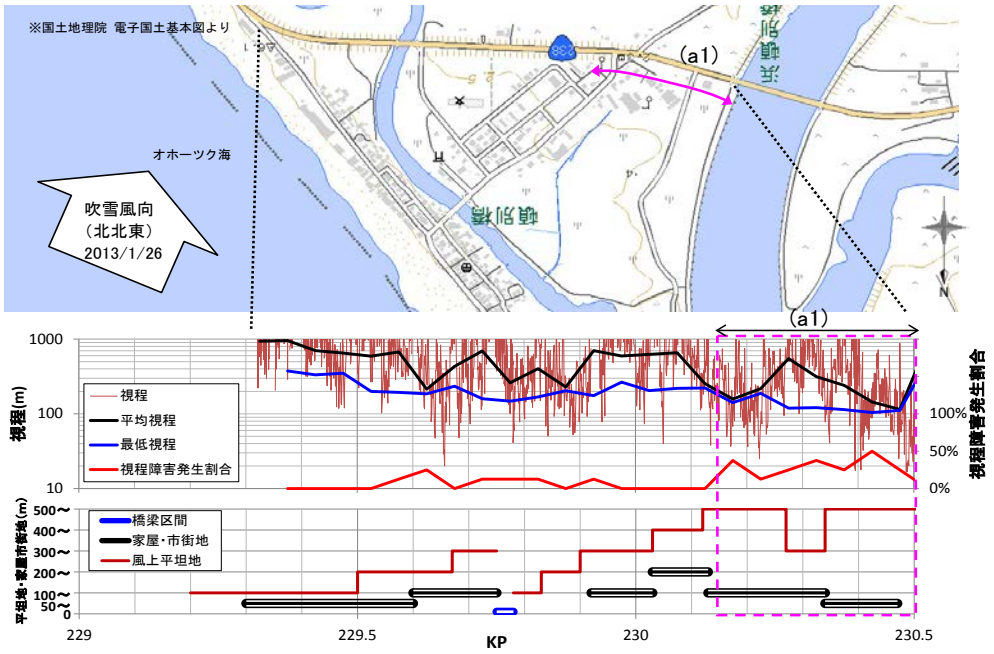


図 3　移動気象観測結果 1（R238 KP229.3-230.5）

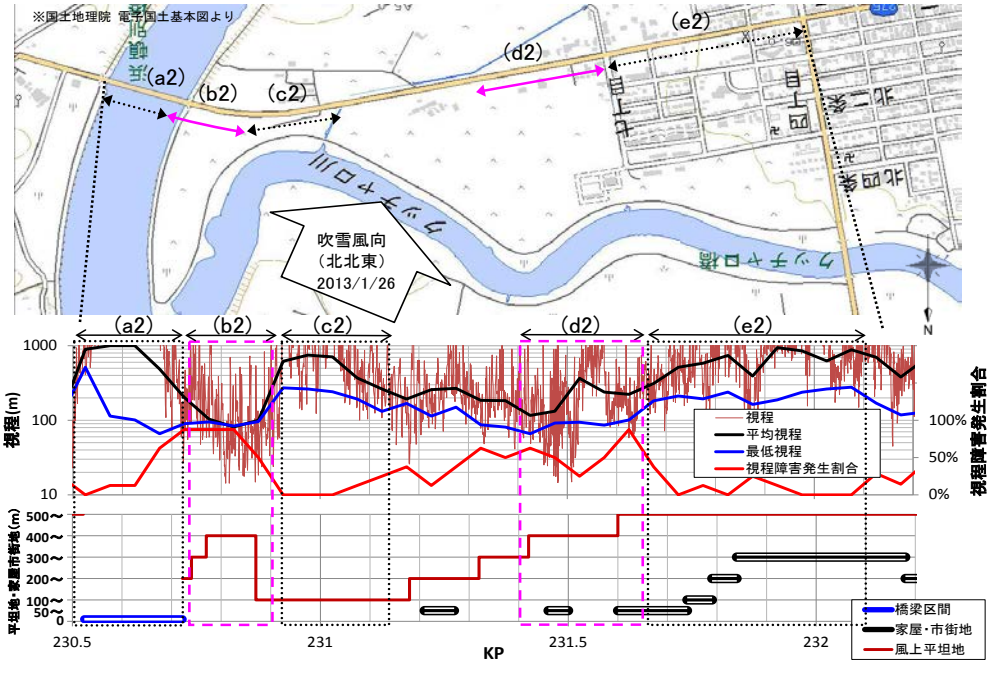


図 4　移動気象観測結果 2（R238 KP230.5-232.14）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

が存在し，風上平坦地が大きく変化する郊外部から浜頓別市街の中心部までの区間である．

図 4 より，橋梁区間(a2)では橋梁の中心部において視程障害発生割合が低い傾向が見られた．次に，風上平坦地の長さが概ね 400m 以上 である KP230.72～230.9(b2)や 231.4～231.65(d2)では，視程障害割合が最大で 88%と他の区間と比べて高く最低視程も 100m 未満まで低下する区間が多く見られるなど非常に厳しい視程障害が発生する傾向が見られた．一方，隣接する風上平坦地が概ね 100m と比較的短い KP230.9～231.15(c2)では，視程障害発生割合が 0%の区間も多く見られ平均視程が 200m 未満となる事例があまり見られなかった．また，風上平坦地が 500m 以上の区間でも家屋･市街地が連続して最大で幅 300m 以上存在する KP231.65～232.1(e2)では，視程障害発生割合が 0%で平均視程が 200m 以上確保されている区間が多く見られるなど，視程障害が改善している傾向が見られた．

図 5 に示した KP232.14-233.5 は，図 4 に示した区間から連続する区間である．地図やグラフからわかる通り，浜頓別市街の中心部から郊外部に抜ける区間で，道路の進行方向が図 4 に示す区間から大きく変化することによって道路に対する吹雪風向の交差角が小さくなる．

図 5 より，KP232.1～232.3(a3)では家屋・市街地が連続して最大で幅 300m 以上存在する区間であったが，図 4 とは異なり最低視程が 200m 未満となる区間が多く見られ同様の改善傾向は見られなかった．この要因には，道路に対する吹雪の風向が小さく，道路に平行して吹雪が吹き込むなど家屋・市街地による視程改善効果が低かったことが考えられる．また，橋梁端部を含む KP232.75～232.8(b3)で最低視程が 200m を下回っており視程障害が発生する事例が見られた．また，風上平坦地が 300m 以上である区間やその周辺の KP233.05～233.3 (c3) で最低視程が 200m を下回っており視程障害が発生する傾向が見られた．

図 6 に示した KP233.5-235.3 は，地図やグラフからわかる通り郊外部の風上平坦地の長さが変化する区間であり道路路側に樹林帯が存在する箇所を含む．図 6 より，風上平坦地の長さが概ね 100m やそれ以下の KP233.8～234.3(a4)や KP234.5～234.75(b4)では平均視程が 200m 未満となる事例が見られていない．一方，風上平坦地の長さが 500m 以上の KP234.8～235.15(c4)では，視程障害発生割合が最大で 100%で最低視程も 100m を下回る箇所が見られるなど非常に厳

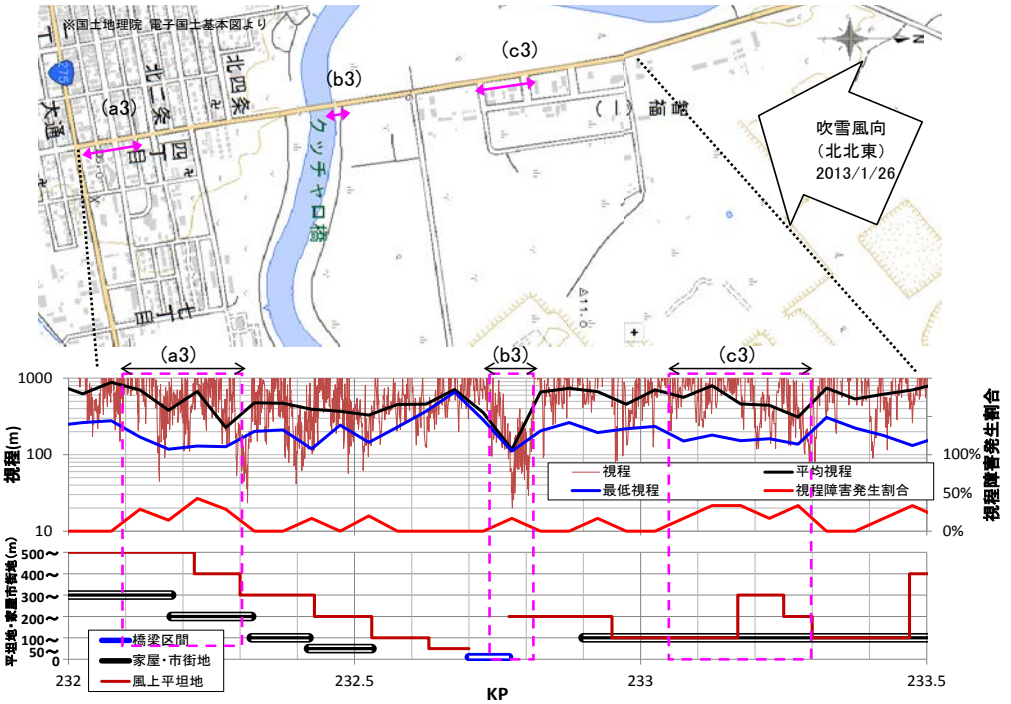


図 5 移動気象観測結果 3 (R238 KP232.14-233.5)

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

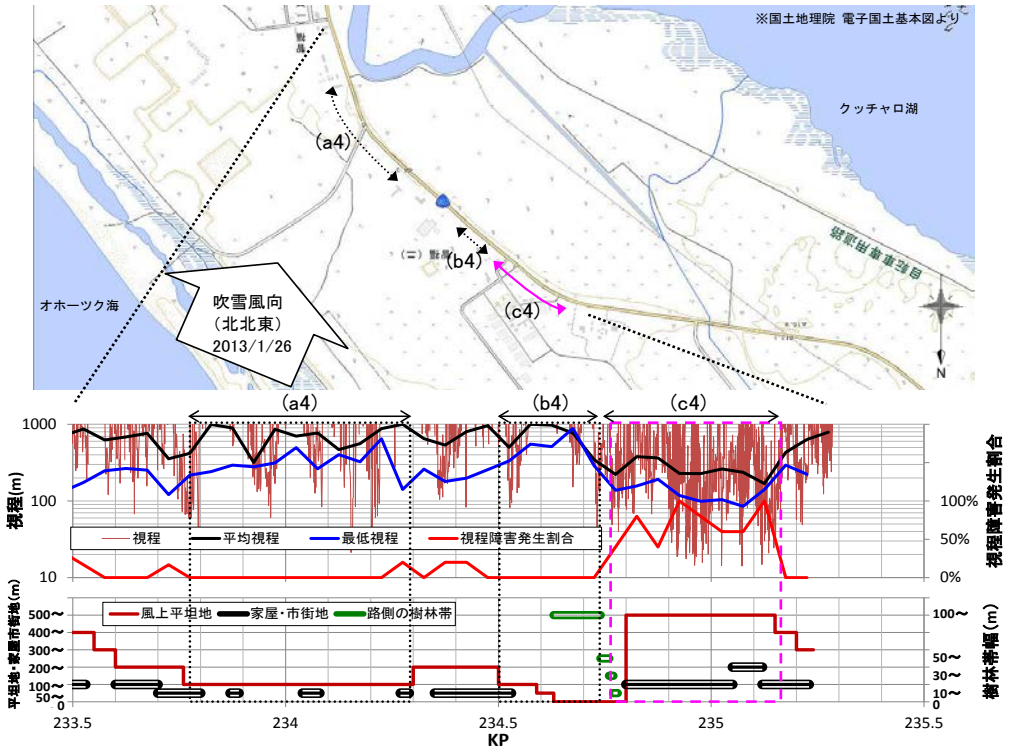


図 6 移動気象観測結果 4（R238 KP233.5-235.3）

しい視程障害が発生する傾向が見られた．なお，この区間には幅 200m 程度の家屋・市街地が存在する区間もあったが，それらにより視程障害が顕著に改善する傾向は見られなかった．

4．まとめ

本調査の結果，風上平坦地の長さが概ね 300m 以上の区間では運転への影響が大きくなる平均視程 200m 未満[4]の発生事例が多く見られ，概ね 100m 以下の区間ではあまり見られないなど，風上平坦地の長さによる視程障害発生への影響が非常に大きいことが明らかとなった．

また，延長が約 200m の橋梁の中心部や，概ね幅 100m 以上の樹林帯，及び概ね幅 300m 程度の連続した家屋･市街地が路側に存在するような箇所では平均視程が 200m 以上確保される区間が多く見られるなど視程が改善する傾向が見られた．

現状の吹雪危険度[2)3)]は，「吹きだまり要因」と「視程障害要因」に区分し，気象条件による「主要因」と沿道環境条件や道路構造等による「危険要因」及び「安全要因」から評価されている．このうち，「視程障害要因」の評価では「風上平坦地」の長さが「危険要因」として考慮されていない．しかし，本調査の結果を踏まえると，「視程障害要因」においても「風上の平坦地」を考慮することが必要と考えられる．また，幅 30m 以上の家屋・市街地の存在が視程障害要因の「安全要因」として評価されている．本調査では概ね幅が 300m の家屋・市街地で視程改善効果が認められたが，これよりも幅が狭いケースでは十分な効果が確認できない事例もあり，評価する幅の区分を大きくするなどの見直しも必要と考えられる．

【参考・引用文献】

1）　（財）道路保全センター，2007: *道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）平成 19 年 9 月*
2）　寒地土木研究所，2011: *道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年 3 月）*，1-3-13～29, 1-4-45
3）　福澤義文，伊東靖彦，松沢勝，加治屋安彦，阿部正明, 丹治和博，2002: 吹雪危険度評価に関する一考察（１）－吹雪危険度評価フローの検討－，*寒地技術論文・報告集*，**vol.18**，354-358
4）　武知洋太，松澤勝，伊東靖彦，國分徹哉，2014: 冬期道路の吹雪障害要因と運転危険度に関する調査（第 2 報），*寒地技術論文・報告集（CD-ROM）*，**vol.30**

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

公益社団法人　日本雪氷学会　北海道支部　2014 年度事業報告

１．支部総会の開催

開催日時：2014 年 5 月 9 日（金）10:00-10:30
開催場所：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：(1)2013 年度事業報告・収支決算
(2)2014 年度事業計画（案）・収支予算（案）
(3)2014 年度支部役員（案）について
出 席 者：30 名

２．理事会の開催

第 1 回理事会
開催日時：2014 年 5 月 9 日（金）10:30-11:30
開催場所：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：(1)役割分担の確認
(2)評議員・顧問の選出

第 2 回理事会
開催日時：2014 年 7 月 11 日（金）10:00-12:00
開催場所：北海道開発技術センター（札幌市）
主要議題：(1)理事役割分担の確認
(2)支部予算について
(3)2014 年度研究発表会の総括
(4)「北海道の雪氷」の編集状況
(5)雪氷賞の選考委員会の立ち上げについて
(6)地域講演会について
(7)サイエンスパークについて
(8)支部 HP の更新・改修について
(9)その他
・次回の理事会について

第 3 回理事会
開催日時：2014 年 11 月 12 日（水）15:00-17:30
開催場所：北海道開発技術センター（札幌市）
主要議題：(1)機関誌（北海道の雪氷 33 号）発行の報告
(2)雪氷賞の副賞について
(3)学会事務局移行（学会事務の委託）について
(4)旅費・会計処理変更について
(5)地域講演会について
(6)北海道カーリング協会との連携について
(7)講演会「雪崩から身を守るために」の報告
(8)次期支部長候補の本部理事への推薦について
(9)その他
・次回の理事会について

第 4 回理事会
開催日時：2015 年 2 月 13 日（金）15:00-17:45
開催場所：北海道開発技術センター（札幌市）
主要議題：(1)日本雪氷学会北海道支部表彰について

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

(2)2014 年度事業報告について
(3)2014 年度決裁報告について
(4)2015 年度事業計画案について
(5)2015 年度収支予算案について
(6)2015 年度役員について
(7)地域講演会の開催報告について
(8)その他
・2015 年度総会について
・2015 年度研究発表会について
・次回の理事会について

第 5 回理事会
開催日時：2015 年 4 月 15 日（水）15:00-17:45
開催場所：TKP 札幌駅カンファレンスセンター（札幌市）
主要議題：(1)2015 年度総会資料について
(2)2015 年度第 1 回理事会について
(3)評議員会について
(4)日本雪氷学会北海道支部表彰について
(5)研究発表会について
(6)その他

3．顧問・評議会の開催
開催日時：2014 年 5 月 9 日（金）11:30～12:00
開催会場：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：雪氷学会の組織体制変更と支部運営の状況

4．研究発表会の開催
開催日時：2014 年 5 月 9 日（金）13:00～17:30
2014 年 5 月 10 日（土）9:00～17:00
開催会場：北海道大学 学術交流会館 小講堂
口頭発表：39 件
参 加 者：100 名

5．北海道雪氷賞の表彰
○2013 年度北海道雪氷賞の表彰
以下の通り,2013 年度北海道雪氷賞の表彰式を実施。
【北の風花賞】
受賞者：山橋いよ氏（北海道大学大学院）
論文名：「シベリア南限の永久凍土分布の環境要因－確率の概念を用いた凍土分布図の作成に向けて－」
【北の六華賞】
受賞者：根本昌宏氏（日本赤十字北海道看護大学）
論文名：「寒冷地の冬期被災を想定した実証的災害対策への取り組み」
【北の蛍雪賞】※該当者なし

○2014 年度北海道雪氷賞の選考
以下の通り,2014 年度北海道雪氷賞を選考。
【北の風花賞】
受賞者：斉藤 潤氏（北海道大学低温科学研究所）
論文名：グリーンランド北西部における氷帽の表面高度変化

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

受賞者：佐藤雄輝氏（北海道科学大学）
論文名：構造部材の着雪性状に関する実験的研究－雪粒子の衝突率・着雪率について－
【北の六華賞】
受賞者：松岡直基氏（日本気象協会）
論文名：「北海道における 2013 年と 2014 年の吹雪災害の比較」
【北の蛍雪賞】※該当者なし

6．機関誌「北海道の雪氷」33 号の刊行

発行日：2014 年 9 月
収録論文数：39 件

7．社会貢献事業

○雪氷災害調査チームの活動

・第 6 回研修会
開催日時：2014 年 4 月 3 日（木）～4 月 4 日（金）
開催場所：ニセコ町
参加人数：17 名
研修内容：ミーティング,調査報告,実技研修（積雪観測・安全管理）

・第 22 回講演会「雪崩から身を守るために」の開催
開催日時：2014 年 11 月 8 日（土）10:00～18:00
参 加 者：450 名
開催場所：北海道大学クラーク会館講堂および陸上競技場（札幌市）
主　　催：北海道大学体育会山スキー部，北海道大学山とスキーの会，
雪崩事故防止研究会・（公社）日本雪氷学会北海道支部

・2014/2015 プレシーズンミーティングの開催
開催日時：2014 年 11 月 8 日（土）18:30～19:15
開催場所：北海道大学クラーク会館講堂控室
参加人数：27 人
主要議題：(1)2013/14 シーズン調査チーム活動報告・会計報告
(2)2014/15 シーズンの調査チーム体制と記者会見日程
(3)寄付企業 2 社への活動報告と寄付依頼
(4)第 7 回研修会の日程の決定
(5)新メンバー推薦＆審議

・『山岳雪崩大全』発刊・献本
著　　者：雪氷災害調査チーム編
出 版 社：山と渓谷社
ＩＳＢＮ：9784635140171
発 行 日：2015 年 2 月 2 日（月）
定　　価：1,980 円＋税
献 本 数：62 冊

・2015 年 2 月 12 日に尻別岳で発生した雪崩の聞き取り調査
調査日時：2015 年 3 月 4 日（水）～5 日（木）
調査場所：ニセコ町
調査内容：当事者や救出者への聞き取り・資料収集

○雪氷教育等

・「2014 サイエンスパーク」への参加
開催日時：2014 年 8 月 6 日（水）10:00～16:00

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

開催場所：ケーズデンキ月寒ドーム（月寒グリーンドーム）
主　　催：北海道，（地独）北海道立総合研究機構
出　　展：『雪の結晶を作ろう（雪氷楽会）』
内　　容：平松式人工雪発生装置による雪結晶観察，雪の結晶型アイロンビーズ作成
参 加 者：小学 1 年生～6 年生 48 名

・雪氷楽会 in 八戸への参加
開催日時：2014 年 9 月 23 日（火）10:00～15:00
開催場所：八戸ポータルミュージアムはっち
主　　催：公益社団法人 日本雪氷学会
出　　展：「雪の結晶を観察しよう」
内　　容：雪観察シートの配布・積雪深記録の展示
参 加 者：計 646 名

・雪氷教室
2014 年 12 月 1 日（月）17：00～18：00
開催場所：どうぎんカーリングスタジアム
主　　催：日本雪氷学会北海道支部
共　　催：一般社団法人札幌カーリング協会
内　　容：アイスシート（カーリング競技場）を利用した氷の実験・体験プログラム
　　氷のペンダント作り
参 加 者：小学 1 年生～3 年生 12 名

8．ニューズレターの刊行

No.48：2014 年度 北海道支部研究発表会のお知らせ（最終）/ 2014 年度 北海道支部総会・理事会（第 1 回）・評議員会のお知らせ（最終）/ 2013 年度 北海道雪氷賞の受賞者・受賞論文のお知らせ
＜2014 年 5 月 2 日発行＞

No.49：北海道支部地域講演会のお知らせ/「北海道の雪氷」第 33 号 発刊のお知らせ
＜2015 年 1 月 5 日発行＞

No.50：2015 年度 北海道支部研究発表会のお知らせ/ 2015 年度 北海道支部総会・理事会（第 1 回）・評議員会のお知らせ/ 2014 年度 北海道雪氷賞の選考について
＜2015 年 4 月 3 日発行＞

9．支部ホームページの更新

・各種イベント（研究発表，地域講演会など）の告知
・「北海道の雪氷」公開

10．北海道支部地域講演会

講演会名：「雪結晶のふしぎ，旭岳の雪はなぜ美しいのか」
開 催 日：2015 年 1 月 17 日（土），18 日（日）
開催場所：東川町農村環境改善センター（多目的ホール）
　　ひがしかわ「道草館」（東川町道の駅）
　　東川町羽衣講演「ひがしかわ氷まつり」会場内
主　　催：公益社団法人 日本雪氷学会北海道支部
共　　催：一般社団法人ひがしかわ観光協会
そ の 他：「ひがしかわ氷まつり」と同時開催

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

開催内容：
(1)講演会
講演内容：「六花の美とサイエンス～旭岳の雪に惹かれて～」
講　　師：油川英明氏（NPO 法人雪氷ネットワーク）
開催日時：2015 年 1 月 17 日（土）15:00～17:00
開催場所：東川町農村環境改善センター（多目的ホール）
参 加 者：50 名

(2)雪氷楽会 in 東川
開催内容：「アイロンビーズで雪の結晶をつくろう」,「除雪・雪下ろしグッズ体験」,
「雪の観察会」
開催日時：2015 年 1 月 18 日（日）10:00～15:00
開催場所：ひがしかわ「道草館」（東川町道の駅）

11．東川町羽衣講演「ひがしかわ氷まつり」
参 加 者：60（アイロン）＋150（屋外）名

12．雪氷関連行事の共催・後援・監修（研究成果普及事業）

【後援】
・平成２６年度第４回　紋別わくわく科学教室
開催時期：2014 年 7 月 20 日（日）10:00-15:00
開催場所：北海道立オホーツク流氷科学センター
主　　催：北海道立オホーツク流氷科学センター

・企画展「高橋　修平展 ～雪と氷の人生～」
開催時期：2014 年 10 月 4 日（土）～10 月 31 日（金）
開催場所：北海道立オホーツク流氷科学センター　多目的ホール
主　　催：北海道立オホーツク流氷科学センター

・第 18 回 科学探検ひろば 2015
開催時期：2015 年 1 月 10 日（土），11 日（日）
開催場所：旭川市科学館（サイパル）
主　　催：サイエンスボランティア旭川，旭川市教育委員会

【監修】
・さっぽろ・こども情報誌「あそぼ」
巻頭特集ページ「自然のおくりもの雪であそぼ」
発行時期：2015 年 2 月 18 日
発 行 元：公益財団法人さっぽろ青少年女性活動協会

【協力】
・雪やこおりと野鳥の自然かんさつ会　やってみようスノーシュー
～いろんなところにつもる雪　＆　春の鳥さがし～
開催時期：2015 年 3 月 15 日（日）10：30～12：00,13：30～15：00
開催場所：札幌市川下公園
主　　催：ウインターライフ推進協議会
共　　催：公益財団法人札幌市公園緑化協会　川下公園管理事務所
協力内容：「雪観察シート」の配布（50 部）

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

公益社団法人　日本雪氷学会　北海道支部　2015 年度事業計画（案）

１．支部総会の開催

日　時：2015 年 5 月 15 日（金）10:00-10:30
場　所：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：(1) 2014 年度事業報告・収支決算
(2) 2015 年度事業計画案・収支予算案
(3) 2015 年度支部役員について

２．理事会の開催

第 1 回理事会
日　時：2015 年 5 月 15 日（金）10:30-11:30
場　所：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：(1) 役割分担の確認
(2) 評議員・顧問の選出
(3) 2015 年度地域講演会について
(4) 2016 年度北海道支部研究発表会の会場について
上記を含み年 3～4 回開催する。

３．顧問・評議員会の開催

日　時：2015 年 5 月 15 日（金）11:30-12:00
場　所：北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題：北海道支部研究発表会の参加費および会場費について

４．研究発表会の開催

期　日：2015 年 5 月 15 日（金）13:00～17:30
2015 年 5 月 16 日（土） 9:30～17:00
会　場：北海道大学 学術交流会館 小講堂

５．北海道雪氷賞の表彰および受賞論文の選考

・北海道における雪氷研究の活性化のために、「北海道の雪氷（第 34 号：2015)」での投稿論文または支部活動への貢献者を対象として表彰を行う。
・表彰選考委員会、選考基準、受賞者の決定、授章は、支部表彰規程にしたがう。
・2014 年度北海道雪氷賞の表彰は 2015 年 5 月、2015 年度受賞論文の選考は「北海道の雪氷」の発行後に実施する。

６．機関誌「北海道の雪氷」34 号の刊行

・冊子体の有料化を継続する一方、電子媒体として支部ホームページ上に掲載する。

７．社会貢献事業

7-1　雪氷災害調査チームの活動

・雪崩講演会の開催（11 月 14 日予定）
・雪氷災害発生時に随時対応する。

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

7-2　雪氷教育等
・サイエンスパークへの参加（8 月 5 日予定）

8．ニューズレターの刊行
・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会員に周知する（2～3 回）。

9．支部ホームページの運営
・雪氷関連情報の提供
・会員向け情報の掲載
・既存ホームページ項目、およびコラムやエッセイ等の充実
・雪氷災害調査チームの活動報告
・支部活動成果の紹介：支部関連雪氷イベントのポスター、リーフレットなど
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）を使って会員にその旨通知するサービスを継続する。

10．雪氷関連行事の共催・後援（研究成果普及事業）
研究成果普及事業の一環として、他分野や他組織による雪氷関連行事を共催又は後援する。

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

公益社団法人　日本雪氷学会　北海道支部　2014 年度収支報告

（2014 年 4 月 1 日～2015 年 3 月 31 日）

北海道支部（雪氷災害調査を除く）

2014年度　収支計算書（収入）		2014年度予算（A）	2014年度 決算（B）	差額（A）-（B）
収入		**200,000**	**376,419**	**-176,419**
事業収入	出版収入	200,000	143,759	56,241
内部移管	学会資金	-	-	-
資産勘定の繰入		-	-	-
雑収入	受取利息	0	33	-33
	寄附金	0	153,805	-153,805
前期繰越金（支部現預金残高）		0	78,822	-78,822

2014年度　収支計算書（支出）				2014年度予算（A）	2014年度 決算（B）	差額（A）-（B）
支出				**400,000**	**553,446**	**-153,446**
事業費			**事業費 計**	**360,000**	**517,864**	**-157,864**
	1調査･研究	調査	雪氷災害調査	-	-	-
	2研究会研修会	研究発表会	北海道支部研究発表会	120,000	122,948	-2,948
		研修会等	北海道支部講演会	70,000	223,805	-153,805
		普及･啓発		50,000	49,272	728
		褒賞		20,000	17,345	2,655
	3出版事業	支部等機関誌	北海道支部機関誌	100,000	104,494	-4,494
		その他出版物		0	0	0
管理費			**管理費 計**	**40,000**	**35,582**	4,418
	事務局費			10,000	6,231	3,769
	会議費			30,000	29,351	649

収支差額	**-200,000**	**-177,027**	**-22,973**

雪氷災害調査

2014年度　収支計算書（収入）	2014年度予算（A）	2014年度 決算（B）	差額（A）-（B）
収入	**1,097,752**	**1,588,547**	**-490,795**
資産勘定（雪氷災害調査基金）からの繰入	1,097,752	988,547	109,205
寄付金収入	0	600,000	-600,000

2014年度　収支計算書（支出）				2014年度予算（A）	2014年度 決算（B）	差額（A）-（B）
支出				**1,097,752**	**1,041,341**	**56,411**
事業費			**事業費 計**	**1,097,752**	**1,041,341**	**56,411**
	1調査･研究	雪氷災害調査	旅費交通費		392,587	-392,587
			外注費		606,094	-606,094
			賃借料		6,300	-6,300
			保険料		5,500	-5,500
			印刷費		30,860	-30,860

収支差額	**0**	**547,206**	**-547,206**

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

公益社団法人　日本雪氷学会　北海道支部　2015 年度予算

（2015 年 4 月 1 日～2016 年 3 月 31 日）

北海道支部　2015 年度予算

2015年度 収支予算書(収入)				2014年度予算 (A)	2015予算案 (B)	差額 (A)-(B)
収入合計				**200,000**	**151,470**	**48,530**
事業収入	出版収入			200,000	150,000	50,000
内部移管	学会資金			-	-	-
資産勘定(基金)からの繰入				-	-	-
雑収入	受取利息			0	10	-10
	寄付金			0	0	0
前期繰越金(支部現金残高)				0	1,460	-1,460

2015年度 収支予算書(支出)				2014年度予算 (A)	2015予算案 (B)	差額 (A)-(B)
支出合計				**400,000**	**320,300**	**79,700**
事業費				**360,000**	**287,800**	**72,200**
	1調査･研究	調査	雪氷災害調査	-	-	-
	2研究会研修会	研究発表会	北海道支部研究発表会･支部表彰	120,000	102,300	17,700
		研修会等	北海道支部講演会	70,000	0	70,000
		普及･啓発	雪氷教育ほか	50,000	26,000	24,000
		褒賞	北海道雪氷賞	20,000	43,500	-23,500
	3出版事業	支部等機関誌	北海道支部機関誌	100,000	116,000	-16,000
		その他出版物		0	0	0
管理費				**40,000**	**32,500**	**7,500**
	事務局費			10,000	11,500	-1,500
	会議費			30,000	20,500	9,500
	支払手数料			0	500	-500
	役員選挙費			0	0	0
	雑費			0	0	0
収支差額				**-200,000**	**-168,830**	**-31,170**

2015年度 収支予算書(収入)				2014年度予算 (A)	2015予算案 (B)	差額 (A)-(B)
収入合計				**1,097,752**	**600,000**	**497,752**
資産勘定(雪氷災害調査基金)からの繰入				1,097,752	600,000	497,752
寄付金収入				0	0	0

2015年度 収支予算書(支出)				2014年度予算 (A)	2015予算案 (B)	差額 (A)-(B)
支出合計				**1,097,752**	**600,000**	**497,752**
事業費				**1,097,752**	**600,000**	**497,752**
	1調査･研究	雪氷災害調査	旅費交通費		430,000	-430,000
			外注費		150,000	-150,000
			賃借料		0	0
			保険料		20,000	-20,000
			印刷費		0	0
収支差額				**0**	**0**	**0**

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

2015 年度　公益社団法人　日本雪氷学会　北海道支部　役員名簿

（2015 年 8 月 31 日現在）

職名		氏　名	所　属
理事	支部長	苫米地　司	北海道科学大学 学長
理事	副支部長	石井　吉之	北海道大学低 温科学研究所
理事	〃	伊東　敏幸	北海道科学大学 工学部建築学科
理事	庶務担当	武知　洋太	（国研）土木研究所 寒地土木研究所
理事	〃	大廣　智則	株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道
理事	会計担当	金村　直俊	札幌総合情報センター株式会社
理事	〃	阿部　正明	（一社）北海道開発技術センター
理事	広報担当	的場　澄人	北海道大学 低温科学研究所
理事	〃	西田　浩平	（株）雪研スノーイーターズ
理事	〃	金森　晶作	公立はこだて未来大学
理事	事業担当	川島　由載	（株）ドーコン
理事	〃	白川　龍生	北見工業大学 社会環境工学科
理事	〃	尾関　俊浩	北海道教育大学 札幌校
理事	〃	細川　和彦	北海道科学大学 空間創造学部 都市環境学科
理事	〃	伊藤　達人	北海道電力（株） 総合研究所
理事	〃	大鐘　卓哉	小樽市総合博物館
理事	〃	堤　　拓哉	（地独）北海道立総合研究機構　建築研究本部　北方建築総合研究所
理事	〃	亀田　貴雄	北見工業大学 社会環境工学科
理事	社会貢献担当	荒川　逸人	情報・システム研究機構 国立極地研究所 南極観測センター
理事	〃	渡邊　祥史	札幌総合情報センター株式会社
理事	〃	大宮　　哲	（国研）土木研究所 寒地土木研究所
監事		油川　英明	NPO法人雪氷ネットワーク
監事		金田　安弘	（一社）北海道開発技術センター
評議員		浅野　基樹	（国研）土木研究所 寒地土木研究所
評議員		早野　　亮	（株）ドーコン
評議員		須田　　力	北方圏体育・スポーツ研究会
評議員		武市　　靖	北海学園大学 工学部土木工学科
評議員		武田　一夫	帯広畜産大学
評議員		東海林明	北海道教育大学 名誉教授
評議員		矢作　　裕	北海道教育大学 名誉教授
評議員		高橋　修平	北海道立オホーツク流氷科学センター
評議員		石本　敬志	（一財）日本気象協会
評議員		阿部　幹雄	雪崩事故防止研究会
評議員		渡辺　秀樹	北海道総合政策部人口減少問題対策局地域政策課
評議員		室井ちあし	札幌管区気象台気象防災部
評議員		樺澤　孝人	北海道開発局 開発監理部 開発調整課
評議員		白岩　孝行	北海道大学 低温科学研究所
評議員		竹腰　　稔	（一社）北海道開発技術センター
評議員		岳本　秀人	（一財）北海道道路管理技術センター
評議員		坂本　孝司	北海道旅客鉄道（株）鉄道事業本部
評議員		添田　伸一	札幌市雪対策室
評議員		工藤　正彦	北海道電力（株）土木部
評議員		竹内　政夫	NPO法人雪氷ネットワーク
顧問		秋田谷英	NPO法人雪氷ネットワーク
顧問		菊地　勝弘	北海道大学 名誉教授・秋田県立大学名誉教授
顧問		前　　晋爾	北海道大学 名誉教授・旭川高専名誉教授
顧問		若濱　五郎	北海道大学 名誉教授

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

公益社団法人　日本雪氷学会北海道支部規程

（名称）

第 1 条 本支部は，公益社団法人日本雪氷学会北海道支部と称する．

（事業）

第 2 条 本支部は，公益社団法人日本雪氷学会定款第 3 条に定めたこの法人の目的達成に必要な次の事項を行う．

（1）雪氷及び寒冷に関する調査・研究．

（2）雪氷及び寒冷に関する研究会，講演会，展示会などの開催．

（3）支部会誌その他資料の刊行．

（4）本部理事会が委嘱又は承認した事項．

（5）その他この法人の目的達成に必要な事項．

（会員）

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

（役員）

第 4 条 本支部に次の役員をおく．

支部長	1 名
副支部長	若干名
支部理事	若干名
支部監事	2 名

（支部長の選出）

第 5 条 支部長は，支部からの推薦に基づき，定款施行細則第 28 条により，定款第 20 条に定める理事の中から理事会において選出する．

（役員の選出）

第 6 条 副支部長，支部理事および支部監事は支部総会において，支部会員の中から選任する．

（役員の職務）

第 7 条 支部長は本支部を代表しその会務を総理する．

第 8 条 副支部長は支部長に事故ある場合，その職務を代行する．

第 9 条 支部理事会は，支部長，副支部長，支部理事で構成され，支部会務執行に必要な協議，支部事業の企画，会計ならびにその他の会務を行う．

2 支部理事会は，文書審議理事会をもって代えることができる．

3 支部理事会は支部長が招集し，議長は支部長とする．

4 支部理事会は，支部理事の 3 分の 2 以上の出席がなければ開会することができない．但し，他の出席理事に表決を委任した者及び書面にて議決に参加した者は出席者とみなす．

5 議事録は本規程第 14 条に定めるところによる．

第 10 条 支部監事は支部の事業ならびに会計を監査する．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

（役員の任期）

第 11 条 支部長は本部理事会で決まり，任期を 2 年，再任は 1 回に限り可能とする．支部長を除く役員の任期は 2 年とし，再任は 1 年単位で 2 年までとする．その他は定款第 24 条の定めるところによる．

（顧問，評議員）

第 12 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これを委嘱する．顧問および評議員は本支部の発展に寄与するものとする．

3 評議員および顧問の任期は 2 年とし，再任を妨げない．

（総会）

第 13 条 本支部は毎年 1 回定時総会を開くほか必要に応じ臨時総会を開く．

2 議長は出席者の互選とする．

3 総会においては下記事項の承認を受けなればならない．

（１）会務ならびに会計の報告

（２）新年度の事業計画

（３）役員の決定

（４）施行内規の変更

（５）その他重要な事項

4 議事録は本規程 14 条に定めるところによる．

（議事録）

第 14 条 支部理事会及び支部総会の議事録は議長が作成し，速やかに支部ホームページに掲示し，支部会員の閲覧に供さなくてはならない．

（資産及び会計）

第 15 条 本支部の資産は次の通りとし，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．

附 則

本内規は平成 25 年 5 月 17 日より施行する．

Copyright © 2015　公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

北海道の雪氷　　No.34

ISSN－1340－7368

2015 年 9 月 11 日発行
発行　公益社団法人　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