

ISSN-1340-7368

(社)日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

第 29 号



2010 年 9 月

発行 (社) 日本雪氷学会北海道支部

目次

巻頭言	1
2010 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文.....	3
(社)日本雪氷学会北海道支部 2009 年度事業報告	89
(社)日本雪氷学会北海道支部 2010 年度事業計画	91
2009 年度収支決算及び 2010 年度収支予算.....	93
(社)日本雪氷学会北海道支部役員名簿	96
社団法人日本雪氷学会北海道支部規程	98

表紙

画　： 斎藤新一郎
題字： 福沢卓也

巻 頭 言

学会は研究を育てる場

支部長 高橋修平（北見工業大学）

今年度より雪氷学会北海道支部長となりました高橋修平です。よろしくお願いします。強力な理事会メンバーに支えられて支部の運営は順調に進んでおります。

今年も北海道支部研究発表会では22件と多くの発表がありました。発表申し込み状況の随時報告を聞いていると、締切り日の結構前から続々と申し込みが舞い込み、予定数を十分越えたということで予定通りの締切り時間で申し込みを打ち切ったとのこと。一頃は、締切りになっても発表件数が集まらずに、追加募集を個別に募っていた時期もあったのに、研究活動が活発になったものです。

研究発表会は、発表者にとっては自分の研究成果を披露する場ではありますが、同時に、多くの人に聞いて頂き、貴重な意見をもらう場でもあります。そのためには発表者はわかりやすく説明し、疑問点は素直に提示し、かつ質問をしたくなるような興味ある話をすべきです。そうすると経験豊かな先輩達が色々と助言をしてくれることになります。つまり、学会という場が研究を育てているのであり、その成果は個人の成果でもありますが、学会の成果でもあります。

秋の全国大会である雪氷研究大会は予稿集の提出だけで、後は当日の発表だけに終わりますが、北海道支部研究発表会では「北海道の雪氷」として後からしっかりした電子媒体および印刷物が発行されます。これは、若い研究者にとっては本格研究論文誌に投稿する訓練にもなり、雪氷技術者にとっては社会に対する立派な公開の場となります。またベテラン研究者にとっては自由に自分の研究主張を述べる場ともなります。

大学もそうですが、学会も研究、教育、社会貢献の3つの面が大切です。研究業績主義が行き過ぎて、査読付き学術誌にしか投稿しないという傾向もありますが、研究教育であり、社会貢献の場でもある支部研究発表会および「北海道の雪氷」を大切にしていかななくてはと思います。

研究発表会に関しては、深見浩司理事、久保雅弘理事ほか研究発表会実行委員が開催実行に当たり、「北海道の雪氷」の編集に関しては榎本浩之理事他が携わりました(次頁参照)。また発表会当日は北海道電力総合研究所および日本気象協会北海道支社から御支援を頂きました。最後に、発表会の座長の方々および質疑に加わって頂いた参加会員の皆様に感謝してここに記します。

2010 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表大会実行委員

深見浩司，久保雅弘，松澤 勝，金田安弘，原田裕介，杉山 慎，丹治和博

北海道の雪氷 No. 29 編集委員

榎本浩之，澤柿教伸

2010 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文 目次

日時:2010 年 6 月 9 日 10:00～17:25

場所:北海道大学 学術交流会館 第一会議室

1.	2010 年 1 月に尻別岳で発生した雪崩の調査報告 澤柿教伸・中村一樹(北海道大学)・ 奈良 亘(ノマド)・ 松浦孝之・三鍋良平・小野寺規之(北海道雪崩研究会)・ 池田慎二(日本雪崩ネットワーク・新潟大学院)・ 雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム	5
2.	2010 年 2 月下旬に広域に発生した全層雪崩について 中村一樹(北海道大学)・ 石本敬志(日本気象協会北海道支社)	8
3.	3D レーザースキャナを用いた模擬住宅地の吹きだまり測定 飯沼弘一・小金森聖陽・荒川逸人(野外科学)・ 堤 拓哉(北海道立総合研究機構)	12
4.	粗度区分を考慮した防雪柵の設計風速に関する検討 伊東靖彦・山田 毅・松澤 勝(寒地土木研究所)・ 西田浩平(雪研スノーイーターズ)	16
5.	成林しつつある道路防雪林の維持管理手法について ～一般国道40号天塩町雄信内の事例より～ 阿部正明・檜澤 肇・北村有樹士・斎藤新一郎 (北海道開発技術センター)	20
6.	防雪林を構成する木々の下枝の枯れ上がりとその対策について 斎藤新一郎 (北海道開発技術センター)	24
7.	着雪発達過程のシミュレーション計算法の妥当性評価 藤井敬太郎・渡邊幸樹・吉松卓哉(北海道電力総合研究所)	28
8.	偏光干渉色による雪結晶の顕微鏡カラー写真撮影 油川英明(北海道教育大学大雪山自然教育研究施設)・ 小林裕美・津田将史(北海道教育大学札幌校)	31
9.	リング付きベーン試験器による剪断強度測定精度の検証 ～積雪観測結果と気象からの考察～ 日下 稜(北見工業大学)・大場亜紀(北海道自然エネルギー研究会)・ 高橋修平(北見工業大学)	33
10.	積雪の間隙特性に関する一考察 荒川逸人(野外科学)・ 和泉 薫・河島克久(新潟大学災害復興セ)・ 石井吉之(北大低温研)	37
11.	地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2010 年) 若林 剛(北見工業大学)・木下陽介(五洋建設)・ 高橋修平(北見工業大学)	41

12.	2009 年ネパールヒマラヤ・ヤラ氷河における氷厚探査 刀根賢太・杉山 慎(北海道大学)・ 福井幸太郎(立山カルデラ砂防博物館)・ 藤田耕史(名古屋大学)	45
13.	アラスカにおける冬季地表面の冷却過程の観測 中村文彬・榎本浩之(北見工業大学)・ 金 龍元(アラスカ大学)・佐々木孔明(日立プラントテクノロジー)	49
14.	夏期北極海氷上におけるメルトポンド分布 田中康弘・舘山一孝・榎本浩之(北見工業大学)	53
15.	アラスカにおける凍結路面の光学的特性観測 Nuerasimuguli Alimasi・高橋修平・榎本浩之(北見工業大学)・ 金 龍元(アラスカ大学)	57
16.	つるつる路面による冬季歩行者転倒防止の取り組みについて 金村直俊(札幌総合情報センター)・ 金田安弘(北海道開発技術センター)・ 星野洋(シー・イー・サービス)・ 高野伸栄(北海道大学)・ウインターライフ推進協議会	61
17.	マイクロ波放射計を用いた冬期路面の状態判別と摩擦抵抗の測定 渡邊直樹・榎本浩之・高橋修平・舘山一孝(北見工業大学)・ 山本朗人・田中聖隆(三菱電機特機システム)・ 高橋尚人(寒地土木研究所)	65
18.	冬期気象条件下における交通事故発生形態について 高田哲哉・徳永ロベルト・高橋尚人(寒地土木研究所)	69
19.	冬期道路管理における定量的指標の導入と活用について 高橋尚人・切石 亮・徳永ロベルト・浅野基樹(寒地土木研究所)	73
20.	精糖残渣(ライムケーキ)を活用したすべり止め材の 効率的な散布方法に関する研究 大日向昭彦・徳永ロベルト・高橋尚人(寒地土木研究所)・ 河端淳一(NPO 北海道産業技術支援協会)	77
21.	2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その 1) ー概要および雪氷災害調査ー 尾関俊浩(北海道教育大学札幌校)・ 丹治和博・谷口 恭(日本気象協会北海道支社)・ 金田安弘(北海道開発技術センター)・ 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム	81
22.	2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その 2) ー豪雪時の降雪の特徴ー 金村直俊(札幌総合情報センター)・ 山崎 学(野外科学)・ 丹治和博(日本気象協会北海道支社)・ 金田安弘(北海道開発技術センター)・ 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム	85

2010 年 1 月に尻別岳で発生した雪崩の調査報告

澤柿教伸, 中村一樹 (北海道大学), 奈良亘 (ノマド)
 松浦孝之, 三鍋良平, 小野寺規之 (北海道雪崩研究会)
 池田慎二 (日本雪崩ネットワーク・新潟大学院),
 雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム

1. 事故および調査隊の概要

2010 年 1 月 16 日 15 時 40 分ごろ, 後志管内留寿都村の尻別岳南西斜面で雪崩が発生し, 山スキーツアー 9 人パーティのうち女性ガイド 1 人と男性客 1 人が巻き込まれた。ガイドは自力で脱出, 男性客はほかのツアー客と自力脱出したガイドによるビーコン捜索により 40~50 分後に発見・救助され, 道警へりで札幌市内の病院へ搬送されたが, 間もなく死亡が確認された。ほかの 8 人にけがはなく自力で下山した。

雪崩発生の翌々日の 18 日に, 雪氷災害調査チーム・日本雪崩ネットワーク・北海道雪崩研究会の混成調査隊を組織して, GPS 測定によるデブリ範囲の測量と埋没位置の特定, 破断面と埋没地点の積雪断面調査を行った。現地では, 上部(破断面)の積雪調査班と下部(埋没点周辺)での積雪調査班とに分かれて行動し, 上部では, 層構造・雪質・密度・硬度・雪温・せん断強度・上載荷重を測定し, 下部では, 層構造・雪質・硬度・上載荷重を測定した。

2. 雪崩の規模

調査地域の概要を図-1 に示す。図中には, 目視および GPS によって特定した雪崩の範囲をした。図中の淡赤色は走路を, 濃赤色は堆積域をそれぞれ示している。

雪崩は, 尻別岳西方にある 989m 峰の南斜面, 標高 969m 付近で発生した。破断面(図-2)は標高 969m 付

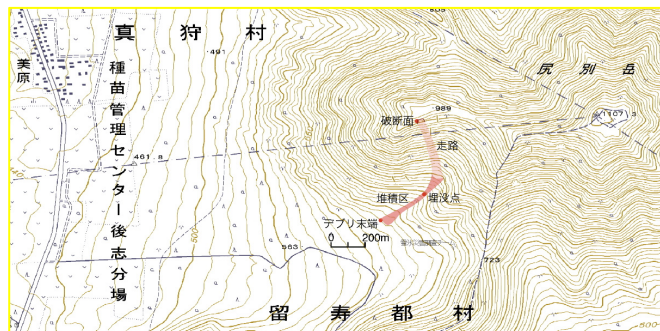


図-1 雪崩発生位置



図-2 破断面 (黒い点は調査員)



図-3 走路 (ハッチ部分) 全景
および埋没点

近にあって、幅は約 50m で、雪崩層(上部破断面)の厚さは約 40cm であった。

雪崩は、破断面からはほぼ斜面の最大傾斜方向へ流下し、標高 750m 付近で沢底に達していた。さらにそこから、デブリを堆積させながら沢筋に添って南西へ向きに流下し、標高 640m 付近まで達していた。末端でのデブリ幅は約 80m にまで広がっていた。走路規模(図-3)は、標高差約 190m (水平距離約 290m) で、デブリ全体の規模は、標高差約 130m、水平距離にして約 400m であった。総じて、雪崩の破断面からデブリ末端までの標高差は約 330m (水平距離約 620m)、沿面距離は約 750m、デブリ末端からの見通し角は 28° であった(表-1)。被災者の埋没位置(図-3)は、標高 695m 付近にあり、デブリ域上端よりやや下流である。ここは沢筋がやや細くなっており、デブリの幅もこの位置だけ細い。

表-1 雪崩発生域の GPS 測量値

破断面観測地点	N42° 46' 20.4"	E140° 54' 00.3"	標高969m
埋没点	N42° 46' 05.7"	E140° 54' 01.5"	標高695m
デブリ末端	N42° 46' 00.9"	E140° 53' 52.2"	標高640m

3. 断面観測

標高 969m 付近にある破断面での断面観測結果を図-4 と図-5 に示す。この位置での積雪深は約 130cm で、積雪表面から約 77cm の深さ(スラブ厚は約 40cm)で破断していた。この深さには厚さ約 3cm のこしもざらめ層があり、これが雪崩の要因となったものと考えられる。観察時における上載積雪はしまり雪であった。

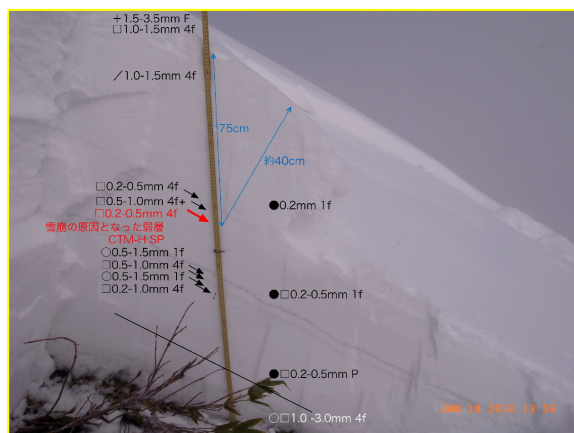


図-4 破断面の写真

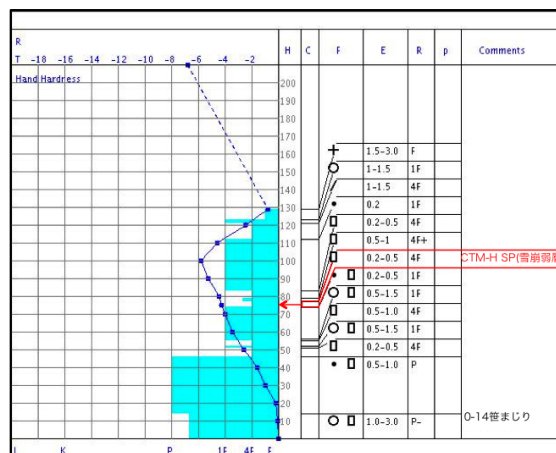


図-5 破断面の観察記録

4. 雪崩発生前後の気象の推移

最寄りの気象観測点である喜茂別アメダス(標高 264m)における雪崩発生前後の気象データを図-6 に示す。

雪崩発生前の推移の特徴としては、12月31日から1月2日にかけてまとまった降雪があり、その後はなだれ直前まで顕著な降雪はなく、寒暖の差のある日が続いた。2010年1月7日から14日にかけて晴天が続き、12日～13日早朝は特に冷え込んでいる。それに引き続き、1月13日夜以降16日14時までに降雪があり、約 40cm (84cm → 123cm) の積雪増があった。このオーダーの積雪は、1シーズンに 2～4 回程度しかみられないまとまったものである。また、雪崩発生から調査までの間に関しては、雪

崩発生直後の 16 日 18 時から調査前日の 17 日午前中にかけて -20°C 前後まで著しく冷え込んでいる。

雪崩発生直前の 14 日～16 日にかけて喜茂別で観測された 40cm の積雪深増は、破断面から雪崩層の厚さ（スラブ厚）と一見一致する。しかし、現場が稜線付近で強風域であるという条件を考えると、現場でのスラブ厚は直前の積雪だけでなく、もう少し長期的に累積した可能性もある。従って、スラブ直下のこしもざらめ層（弱層）は、2 日～14 日の中の日、もしくは期間中の断続的な寒暖の差により期間を通して徐々に形成されたと考えられる。また、喜茂別アメダスデータをみる限り、14・15 日においても日照があるので、この期間が弱層の形成期となった可能性も否定できない。

5. まとめ

今回の雪崩は、面発生の乾雪表層雪崩である。破断面の断面観測では、こしもざらめ雪の弱層となった積雪層を確認することができた。これにより、旧雪内の弱層が崩壊したことが原因と判断される。また、雪崩発生から二晩が経過し、発生後の降雪あるいは飛雪によって堆積区のほとんどの範囲が埋雪していたが、被災者の埋雪位置およびデブリの範囲をほぼ確認することができた。

今後は、調査結果に気象データの解析を加えることにより、弱層形成時期を特定すべく、発生に至った気象条件と積雪状態の関係を検討していく予定である。

なお、本調査の結果は、雪氷災害調査チームのホームページを通じて、1 月 22 日に速報として公開した。その後、堆積域の結果とも併せて、1 月 27 日に詳報として報告している。紙面の都合上、本報告には掲載出来なかった断面観測結果も掲載しているので、詳細については、以下の雪氷災害調査チームのホームページを参照いただきたい（<http://glacier.ees.hokudai.ac.jp/snow/>）。また、今回の調査は、支部雪氷災害調査チームと、北海道雪崩研究会ならびに日本雪崩ネットワークとの合同で実施した。それぞれが主催する報告会や報告書も合わせて参照いただきたい。

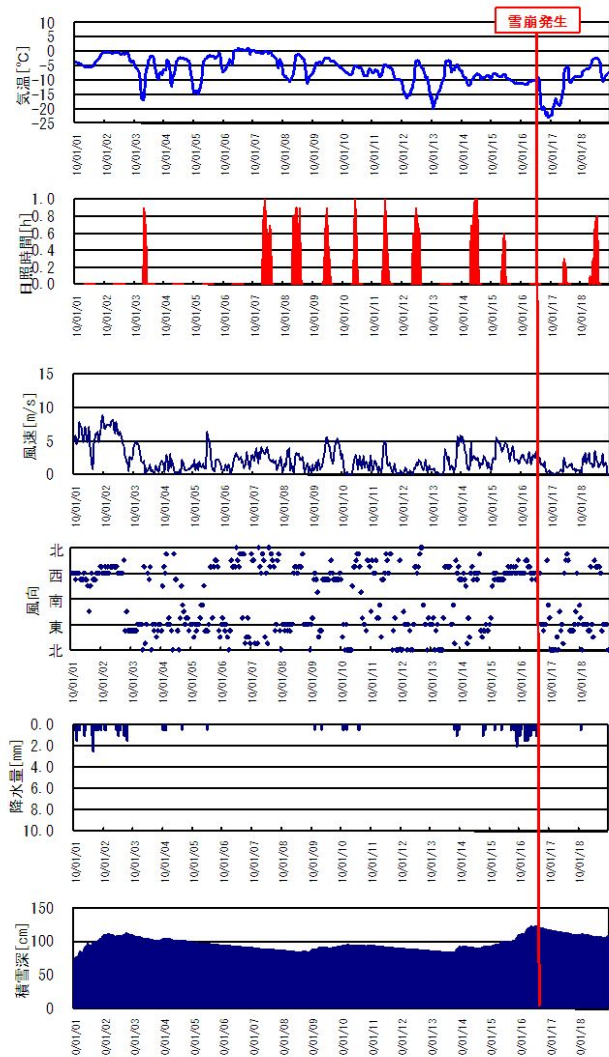


図-6 雪崩発生前後における
喜茂別アメダス気象データ

2010 年 2 月下旬に広域に発生した全層雪崩について

中村一樹（北海道大学大学院地球環境科学研究院），
石本敬志（日本気象協会北海道支社）

1. はじめに

2010 年 2 月 25 日は低気圧が北海道に接近し，日本海側を中心に雨や雪が降った．この日は，南から暖かい空気が入り，斜里町ウトロで 15.8℃を記録するなど 10℃を超える地点が多くなり，道内各地で 2 月の日最高気温第 1 位を更新した．翌 26 日は寒冷前線の通過により，主に日本海側と太平洋側西部で雨や雪が降った．

この高温と降雨が原因と考えられる全層雪崩，クラック等が広域で発生し，26 日には日勝峠が通行止めになった．

北海道各地の高温，降雨，雪崩の状況は，新聞等の報道で大きく取り上げられた．

また，2 月 25 日には南から流れ込んだ暖かく湿った空気が海上で冷やされ，東京湾から茨城県沖にかけて霧が発生した．この霧の影響で，羽田空港で航空機の欠航が相次いだほか，東京湾ではフェリーが欠航し，羽田空港沖では，タンカーの衝突事故が発生した．

このような全国的な高温の気象状況下で発生した雪崩の状況と，国道 274 号沿い等で実施した雪崩発生前後の積雪断面観測結果，及び気象からの考察について報告する．

2. 調査方法

2010 年 2 月 26 日に，清水町から札幌市にかけて，道東自動車道，道道 136 号，道道 610 号，国道 274 号など通って自動車で移動しながら，雪崩やクラックが生じている地点で写真撮影した．

また，国道 274 号沿いの夕張市とむかわ町の境界の峠付近（GPS 記録より：標高 357m，N42°54'55.45"，E142°07'22.32"）で 2 月 24 日と 26 日に積雪断面観測を実施した．

写真撮影した雪崩・クラック発生地点と積雪断面観測実施地点を図-1 に示す．

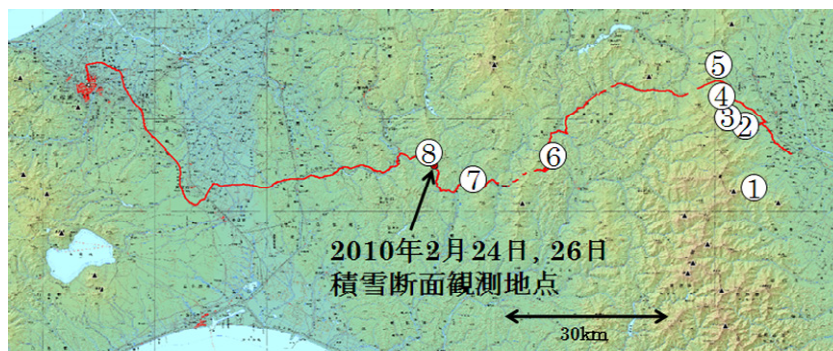


図-1 雪崩・クラック発生記録 8 地点，積雪断面観測実施地点
（清水町から札幌市までの GPS に記録された走行ルートも示す）

3. 調査結果

(1) 記録写真

2 月 25 日に撮影した記録写真を図-2～図-9 に示す．



図-2 ①清水町久山岳北東斜面



図-3 ②清水町 616.0m 峰南東斜面



図-4 ③清水町 934.9m 峰南東斜面

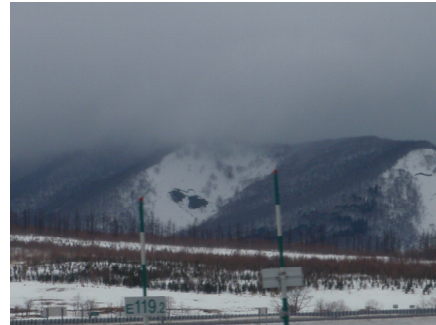


図-5 ④新得町オダッシュ山南東斜面



図-6 ⑤新得町 727m 峰南斜面



図-7 ⑥占冠村道道 610 号沿い
国道 274 号合流 T 字路から
北に約 2.5km
GPS 標高 366m, N42° 55' 57.42", E142°
22' 38.00"



図-8 ⑦むかわ町国道 274 号沿い
穂別ダムから東に約 1.5km
GPS 標高 235m, N42° 53' 10.79",
E142° 12' 10.95"



図-9 ⑧夕張市国道 274 号沿い
GPS 標高 301m, N42° 55' 31.32",
E142° 07' 08.06"

(2) 積雪断面観測

図-10, 11 に国道 274 号沿いの夕張市とむかわ町の境界の峠付近で実施した積雪断面観測結果を示す. 図-10 は, 高温になる前の 2010 年 2 月 24 日, 図-11 は, 高温になった後の 2 月 26 日にそれぞれ観測した結果である.

図-10 より, 高温になる前は, ほぼ全層マイナスの雪温で, しまり雪とこしまり雪が主体, こしもざらめ弱層が 1 層あることがわかる. 図-11 より, 高温になった後は, 全層 0℃で, むれざらめ雪 (シャーベット状) が 8 層, こしもざらめ弱層 1 つのほかにもれざらめ雪の弱層が 2 層あることがわかる. 24 日に比べ, 積雪深が 16cm 低下し, 全層にわたり密度が上昇していることがわかる.

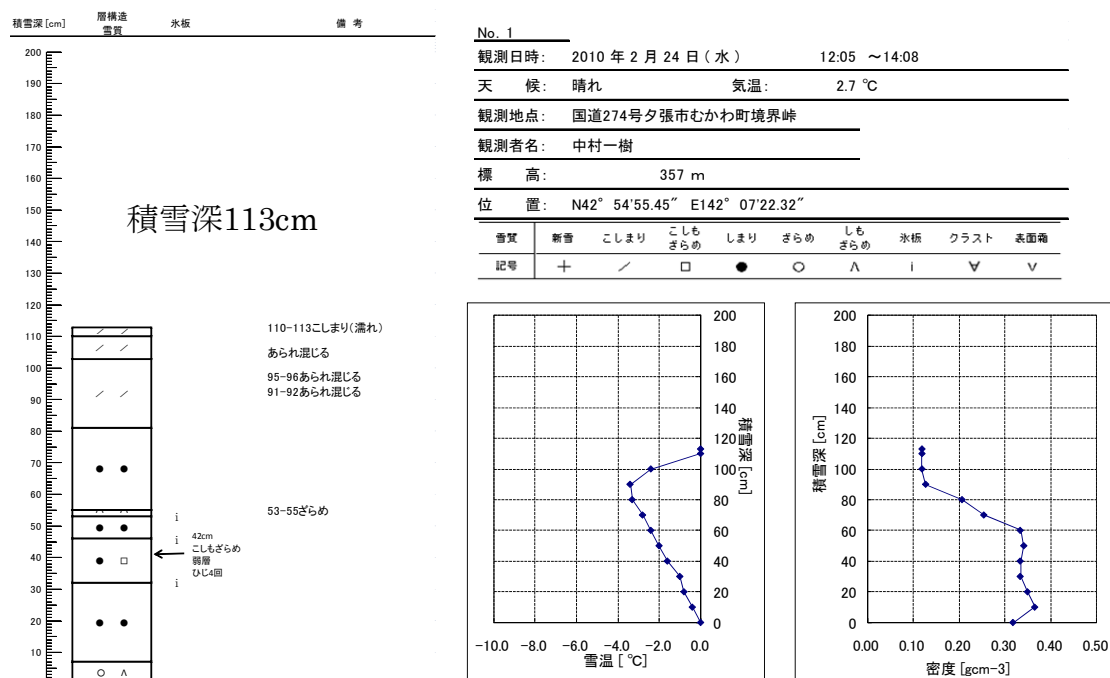


図-10 2010 年 2 月 24 日積雪断面観測結果

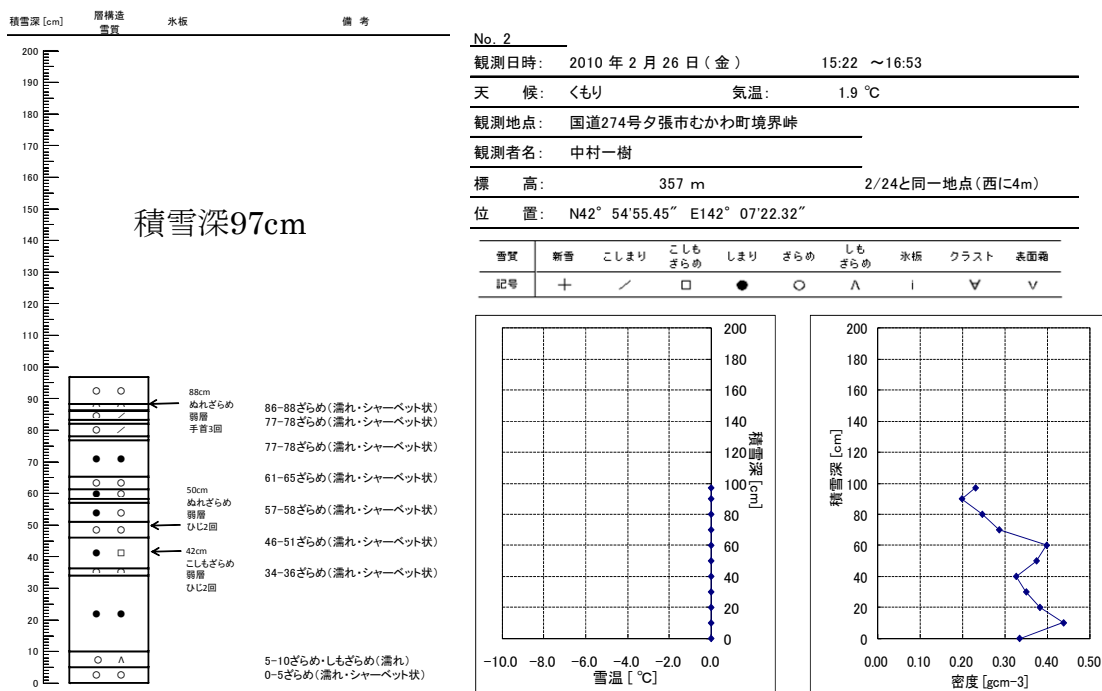


図-11 2010 年 2 月 26 日積雪断面観測結果

4. 考察

以下に、気象データから考察する。図 12 に断面観測地点から約 18km 北西に位置する標高 293m の夕張アメダス観測データを示す。夕張では、25 日午前から 26 日午前にかけて気温が上昇し、10℃前後となった。25 日は午前を中心によく晴れていた(日照時間より)。25 日から 26 日は、南東から南風が吹いていた。26 日午前に寒冷前線の影響で 6.5mm の降雨があった。積雪深は、25 日～26 日の 2 日間で 20cm 低下した。

図-13 に 2010 年 2 月の札幌 9 時 850hPa 高層気温観測結果を示す。2 月 25 日 9 時に平年より 15.0℃高い 4.0℃を記録している。これは、2 月 9 時の観測史上最高気温記録(1958 年～)である。

図-14 に 2010 年 2 月 25 日 21 時地上天気図を示す。北海道付近は、南に高気圧、北に低気圧の南高北低型になっており、南からの暖かく湿った空気が移流しやすい状況であった。図-15 に 2010 年 2 月 25 日 21 時 850hPa 高層天気図を示す。0℃等温線が北海道の北まで北上し、強い南西風で暖湿気が移流していた。

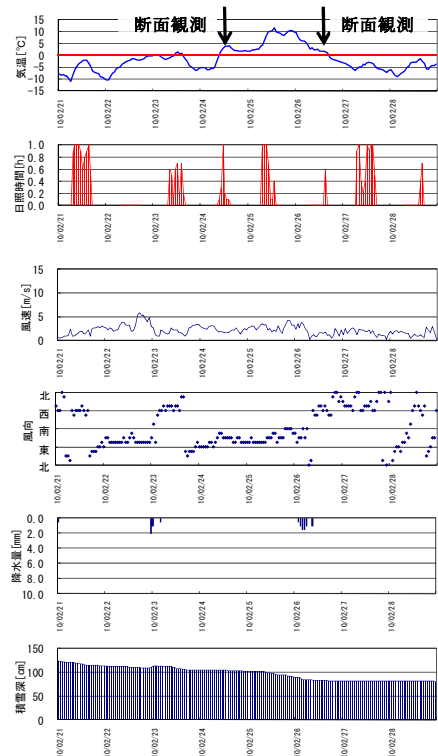


図-12 2010 年 2 月 21 日～28 日
夕張アメダス観測データ

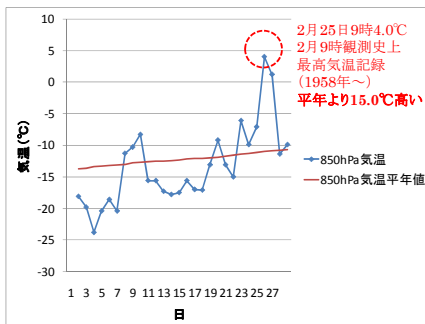


図-13 2010 年 2 月札幌
850hPa 気温(9 時観測)

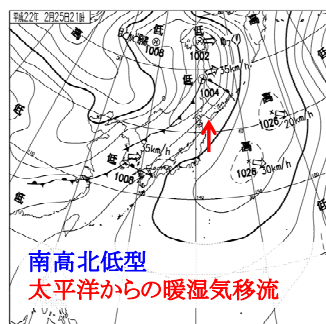


図-14 2010 年 2 月 25 日
21 時地上天気図

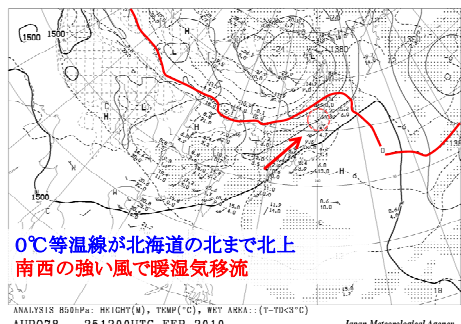


図-15 2010 年 2 月 25 日 21 時
850hPa 高層天気図

5. まとめ

◎雪崩・クラック発生状況

高温と降雨により、日高山脈、国道 274 号沿い、樽前山(苫小牧設置定点連続撮影カメラ記録画像より)など広域で全層雪崩、クラック等が発生した。

◎気象状況

2010 年 2 月 25 日～26 日にかけて、道内多くの地上観測地点で、2 月として観測史上最高気温が記録された。2010 年 2 月 25 日 9 時に、札幌 850hPa 高層 9 時観測気温が、2 月として観測史上最高を記録した。北海道の北を通過した低気圧に、太平洋上の高気圧から暖かく湿った空気が吹き込んだことが原因と考えられる。

◎断面観測結果(国道 274 号沿い夕張市とむかわ町の境界の峠頂上)

高温になる前の 2010 年 2 月 24 日には、ほぼ全層が氷点下の雪温であったが、26 日には、全層 0℃となっていた。26 日には、ぬれざらめ雪の弱層など 24 日より弱層が多く観測され、濡れてシャーベット状になっている層が複数あった。

3D レーザースキャナを用いた模擬住宅地の吹きだまり測定

飯沼弘一，小金森聖陽，荒川逸人（野外科学(株)），堤拓哉（北海道立総合研究機構）

1. はじめに

これまでに建物周囲における吹きだまりの実測データの取得を目的として，北海道工業大学にて実大モデルを用いた長期野外観測をおこなってきている．2008 年度の観測では単体モデル，2009 年度の観測では 12 棟から成る複数モデルと条件を変えている．2008 年度の観測では，プレハブの周囲に赤白ポールを設置し，赤白ポールの読み取り値から積雪深を判読した．2009 年度の観測では，これに加え 3D レーザースキャナを用いた積雪深分布の測定をおこなった．今回は 2009 年度の結果について報告する．

2. 3D レーザースキャナ概要

3D レーザースキャナとは，レーザーによるスキャニングをおこない，対象物の 3 次元座標を測定する測量機器である．レーザー光を対象物に照射したときの反射光の到達時間から得られる距離と角度をもとに，多数の点群データが取得される．この点群データを取得する作業をスキャニングという．観測では，スキャニング（点群データの取得）と解析（専用ソフトによる 3 次元座標データの生成）という 2 つの手順が必要となる．

表-1 は今回使用した 3D レーザースキャナの主な仕様であり，図-1 はその外観である．スキャニング範囲は，水平 360° 垂直 270° で測器の真下 90° 以外は測定が可能である．測定範囲は対象物の反射率によって異なり，最大で 200m 程度である．測定距離の精度は 50m 離れた点において 4mm，座標の精度は同じく 50m 離れた点において 6mm である．50m より近い点の精度はこれよりも良く，離れた点の精度はこれよりも悪くなる．ターゲットの測定精度は 50m 離れた点において 1.5mm となっている．ターゲットは，複数回観測をおこなった時のデータの重ね合わせ，公共座標との結合に用いるために使用し，反射板を素材としているため対象物と比較して測定精度は高い．3D レーザースキャナによるスキャニングは 1 回の観測で，地点を変え複数回おこなう．対象物の凹凸によって 3D レーザースキャナから影になる部分ができるため，地点を変え観測することで影になる部分の点群データを取得することができる．

表-1 3D レーザースキャナ機器仕様

項目	仕様	備考
距離精度	4mm	50mにおいて
座標精度	6mm	50mにおいて
ターゲット測定精度	1.5mm	
角度精度	水平・垂直とも12秒	
測定範囲	約200m	対象物の反射率による
スキャニング範囲	水平360度 垂直270度	
スキャニング速度	約1800点/秒	



図-1 レーザースキャナ

測定データを専用の解析ソフトを使って合成し、3次元座標データを生成する。3次元座標データから、平面図、断面図（縦横断図）を作成することができる。観測データと地盤、または日にちの違う観測データとを重ね合わせることで、積雪量や積雪の増加（減少）量を算出することができる。また、レーザー照射部と同軸のデジタルカメラを装備しており、3次元座標データを3D表示する際にデジタルカメラ画像を重ね合わせることができる。

3. 観測方法

札幌市手稲区の北海道工業大学内の運動場にて観測をおこなった。たて2.4m×横5.4m×高さ2.7mのプレハブを12棟、2.7m間隔で卓越風向に直交するように配置した（図-2）。また、冬期の気象状況を把握するために、プレハブの風上側50mの位置に風向風速計などの気象観測機器が設置された。プレハブの風上側約100m、風下側約20mは平坦地となっている。

赤白ポールをプレハブ群の周囲および内部に、卓越風向に対して直交する方向に4.0m間隔、平行する方向に2.5m間隔に設置した。プレハブの外には、風上側50m、風下側20mまで5m間隔に赤白ポールを設置した。

3Dレーザースキャナによる測定は、2010年1月7日と2月8日の2回おこなった。今回は、1月7日の観測結果について報告する。

1月7日の風上側平坦地の積雪深は30cmであった。観測では、3Dレーザースキャナのスキニングを7箇所からおこなったが、図-3の矢印で示すように一部データの欠測箇所（黒い部分）が生じた。

4. 観測結果

図-4に点群データを3D表示したものを示した。図では、運動場の外側の戸建て住宅の壁面なども確認できる。点群データにデジタルカメラ画像を合成し、3D画像に色を付けて表示することも可能である。

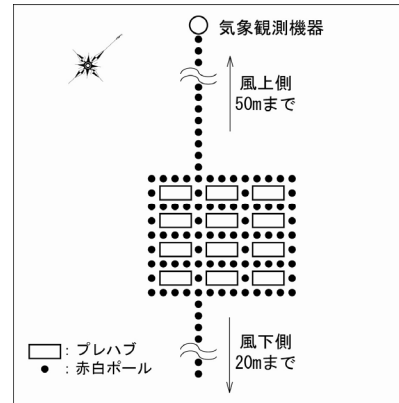


図-2 プレハブと赤白ポールの配置図

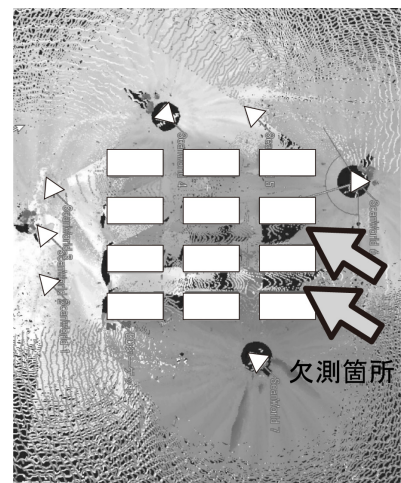


図-3 プレハブ配置



図-4 点群データの3D表示

図-5 は点群データを 0.5m 間隔のグリッドデータに変換し，平面図（積雪表面の等高線図）を作成したものである．図面の下が風上側，上が風下側となっている．色の白い箇所ほど積雪表面の標高が高く，黒い箇所ほど積雪表面の標高が低い．地盤は平坦であり，標高が高い箇所ほど積雪深は多い．図-5a では，風上側の積雪深が多いが，これは運動場の端部で戸建て住宅が隣接しており，その影響によるものと考えられる．図-5b では，風上側のプレハブ群を囲む箇所で積雪深が多い．また，プレハブ群内部では，積雪深の違いが明瞭に分かる．

得られたグリッドデータ

と赤白ポールによる積雪深測定の結果との比較をおこなった．まず，季節風と平行方向におけるプレハブ間の吹きだまり状況を示す．図-6 に示した測線は，代表的な吹きだまり箇所である．図-7 は測線の写真と積雪深分布である．図の左側が風上側，右側が風下側となっている．プレハブ間隔は 2.7m で，グリッドデータは 6 点、赤白ポールによる測点は 1 点であった．グリッドデータによる断面図からは，風上側プレハブ背面の積雪深の増加（吹きだまり箇所），風下側プレハブ前面の積雪深の減少（吹き払い箇所）などの詳細な形状が明らかとなる．

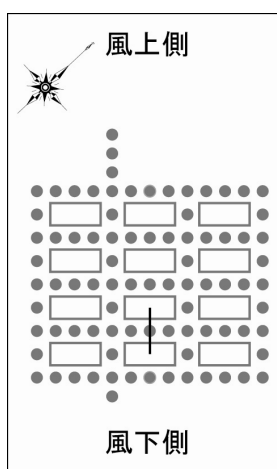


図-6 測線位置図

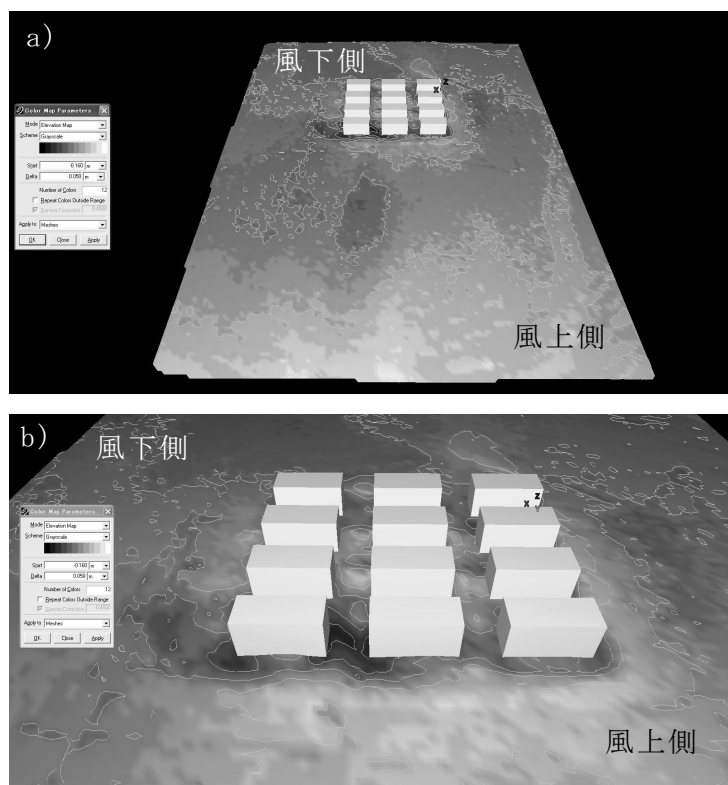


図-5 3D レーザースキャナ観測結果（積雪深分布）

a) 全体の俯瞰 b) 建物周辺の拡大

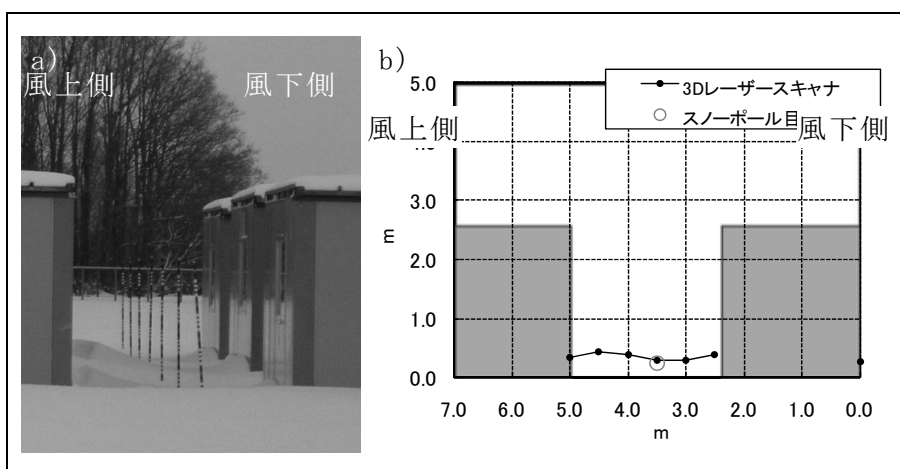


図-7 季節風に対して平行する測線における

a) 吹きだまり状況写真と b) 積雪深分布

次に, 季節風と直交方向のプレハブ間の吹きだまり状況を示す. 図-8 はその測線で, 図-9 は測線の積雪深分布である. プレハブを含む測線では, プレハブの前後で積雪深の減少が見られたが, プレハブを含まない測線では積雪深は一様であり, 積雪深分布の傾向に違いがみられた.

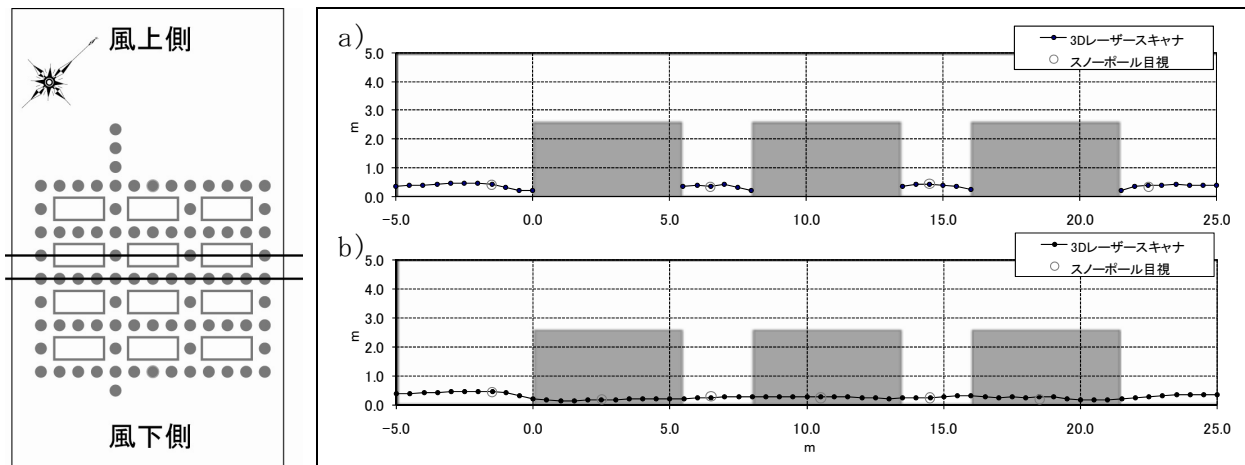


図-8 測線位置図

図-9 季節風に対して直交する測線の吹きだまり分布
a) プレハブを含む測線 b) プレハブを含まない測線

5. まとめと今後の課題

実大規模のモデルを対象とした吹きだまり観測に, 3D レーザースキャナによる測量を導入した. 従来からの赤白ポールによる積雪深測定と比べ, 高密度のデータを得ることができた. グリッドデータから平面図や任意の縦横断図を作成でき, プレハブ群内部の吹きだまり形状の特徴を再現することが可能となった.

今後は2月8日のデータを解析し, 吹きだまり量の算出などをおこなう予定である.

粗度区分を考慮した防雪柵の設計風速に関する検討

伊東靖彦((独)土木研究所寒地土木研究所), 山田毅(札幌開発建設部深川道路事務所),
松澤勝((独)土木研究所寒地土木研究所), 西田浩平((株)雪研スノーイーターズ)

1 はじめに

現在, 防雪柵の設計に用いる風速(以下, 設計風速と表す)は, 風速の再現期待値(以下, 再現期待値と表す)が用いられており, 北海道内の気象官署における再現期待値が「道路吹雪対策マニュアル」¹⁾²⁾(以下, マニュアルと表す)に収録されている。

この度予定しているマニュアル改訂に際して, 近年の気象状況を設計風速に反映するため, 最新の気象データを加え, 箇所数を増加するためアメダス地点も対象として, さらに粗度区分の違いを考慮した補正を加えて, 風速の再現期待値の再計算を行ったので報告する。

2 現行の設計風速と課題

マニュアルにおける防雪柵の設計風速は, 路側に設置される吹き払い柵と吹き止め柵の順風時(柵から道路方向への風力作用時)は, 道路標識設置基準³⁾の片持式標識を準用して 50 m s^{-1} を採用している。一方, 吹きだめ柵, 吹き払い柵と吹き止め柵の逆風時には, 再現期間における風速期待値(再現期待値)を基本風速とし, それに距離定数を乗じて設計風速としている。マニュアルでは, 基本風速として, 柵の耐用年数 n を15年, 非超過確率 α を橋梁構造物⁴⁾に準じて60%とし, 耐用年数(原著では架設期間)と非超過確率の関係⁵⁾から, 再現期間 $T=30$ 年の風速期待値を算出し, これに地上高さ10mに高度補正を施したものとしている。

マニュアルに道内気象官署22地点の再現期待値を掲載しているが, 防雪柵の設置箇所は気象官署から離れたところにある場合も多い。一方風は局地性が強く, 例えば複数の気象官署の風速から対象箇所の風速を内挿することは現実的ではなく, 実態として最も近傍の気象官署の再現期待値が設計に用いられ, 場合によっては百km以上離れた気象官署のデータを用いることもあり, 適切に設計を行うためには, より現地の状況に即した風速を使う必要があり, このため, より多くの風速算出地点があることが望まれていた。

気象庁の気象観測点には, 気象官署のほか地域気象観測システム(アメダス)がある。アメダスは1974年以降整備が始まり1979年に観測網が整備された。アメダスの運用期間が長くなりデータが蓄積されたことから, これを利用して再現期待値の算出を試みた。対象としたアメダスは, 風向風速を観測している北海道内の177地点である。

3 設計風速の再計算

3.1 再現期待値の計算

各地点の年最大風速を収集し, Gringortenの方法⁶⁾により再現期待値を算出した。Gringortenの方法とは, 累積分布関数をFisher-Tippetの極値I型(Gumbel)分布と仮定し, 積率法により再現期待値を算出する算出手法で, 現在のマニュアルと同様である。使用したデータの統計期間は, 観測所によって違いはあるが, 概ね気象官署で1961年～2009年(49年), アメダスで1977年～2009年(33年)である。

3.2 地表粗度に合わせた高度補正

マニュアル¹⁾²⁾では、高度補正に際して、風速の鉛直プロファイルはべき指数分布とし、べき指数 $\alpha=1/7$ で固定している(図-1a)。一方、マニュアルの出版後、土木分野では道路橋耐風設計便覧⁷⁾⁸⁾が、建築分野では建築物荷重指針・同解説⁹⁾がそれぞれ出版され、この中では、観測地点と評価地点の地表粗度区分の違いを考慮した高度補正をする手法が掲載されている。

防雪柵は吹雪対策として郊外に設置される。市街地に設けられることも多い気象観測所と比べると、地表粗度の小さい防雪柵の設置される箇所が強風となることも多いと考えられる。したがって、上述の関連図書と同じ手法で観測点と郊外部の地表粗度の違いを考慮し、郊外部の適切な再現期待値を得られるよう高度補正を行った。観測点の地表粗度区分は、航空写真などを基に、表-1に照らして判断した。

高度補正は気象観測点の粗度区分のべき指数(表-1)を用いて、粗度の影響の無くなる上空風を推定し、その後、郊外部を想定した粗度区分Ⅱのべき指数を用いて、基準高度(ここでは10m)の風速を推定した(図-1b)。べき指数分布を用いた高度補正は、(1)式の基本モデルに従った。

$$\frac{U}{U_G} = \begin{cases} (Z_b/Z_G)^\alpha, & Z \leq Z_b \\ (Z/Z_G)^\alpha, & Z_b < Z \leq Z_G \\ 1, & Z_G < Z \end{cases} \quad (1)$$

U : 風速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

U_G : 地表の影響を受けない上空高度 Z_G における風速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Z_b : 地表の地物の代表高さ(m)

α : べき指数

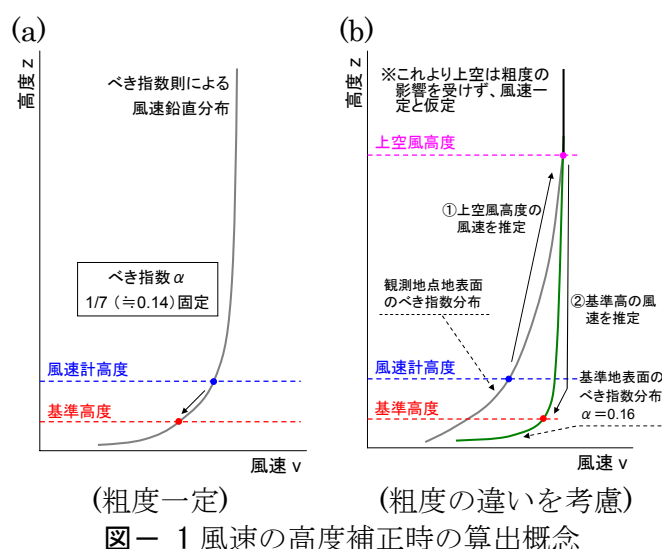


図-1 風速の高度補正時の算出概念

表-1 地表粗度区分、べき指数、地表粗度の影響を受けない上空高度及び適用した代表地点

地表粗度区分	地表状況	べき指数 α *	地表粗度の影響を受けない上空高度 Z_G (m)*	地表の地物の代表高さ Z_b (m)	代表都市(観測所名)
I	海岸、海上(上記以外)	0.12	500	5	納沙布えりも岬
II	農地、田園、開けた土地 樹木や低層建築物が散在している地域	0.16	600	10	石狩(北生振) 月形・蘭越
III	樹木や低層建築物が密集している地域 中高層建築物が散在している地域 なだらかな丘陵地	0.22	700	15	旭川・岩見沢 西野幌・小樽 倶知安
IV	中高層建築物が密集している地域 起伏の大きい丘陵地	0.29	800	30	札幌・朱鞠内

*道路橋耐風設計便覧⁸⁾より

風速は、風速計高さ、もしくは基準高度の風速である。式(1)下段は、上空において風速は高度のよらず一定であることを、中段の式は、大気境界層における風速分布はべき乗則に従うことを、上段の式は、地表の地物や障害物の存在する層(Z_b より下層)では複雑な風の吹き方となるが、ここでは地物の代表高さの風速のまま一定であると仮定したことを示す。

4 計算結果

3で求めた方法で、風速再現期待値(再現確率 10 年・20 年・30 年)を求めた(表-2)。

表一 2 再現期待値算出結果

支庁	観測所名	年最大風速の 再現期待値(m/s)			データ 数	支庁	観測所名	年最大風速の 再現期待値(m/s)			データ 数	支庁	観測所名	年最大風速の 再現期待値(m/s)			データ 数
		10年	30年	50年				10年	30年	50年				10年	30年	50年	
宗谷	宗谷岬	29	31	33	29	空知	朱鞠内	15	17	18	22	十勝	陸別	12	14	14	29
	稚内	20	21	22	49		幌加内	15	17	17	30		糠平	10	11	12	29
	礼文	22	23	24	6		石狩沼田	13	15	16	28		上士幌	11	12	13	30
	声間	24	25	26	7		深川	20	23	25	29		足寄	13	15	16	28
	浜鬼志別	22	23	24	23		空知吉野	14	16	16	26		本別	10	11	12	32
	本泊	30	32	33	7		滝川	17	19	20	27		新得	11	12	13	30
	沼川	16	18	19	29		芦別	15	16	17	28		鹿追	17	20	21	29
	杓形	19	21	21	26		月形	14	16	16	28		駒場	13	15	16	26
	豊富	13	15	15	29		美唄	16	18	19	31		芽室	9	10	11	27
	浜頓別	14	16	17	28		岩見沢	18	20	20	49		帯広	19	21	21	49
	中頓別	17	19	19	29		長沼	15	16	17	29		池田	15	17	18	30
	北見枝幸	17	19	20	49		夕張	15	17	17	30		浦幌	14	15	16	30
	歌登	13	16	17	31		美国	18	20	21	27		帯広泉	17	18	19	7
	幌泊	23	24	25	5		神恵内	18	19	20	30		糠内	11	12	12	27
上川	船泊	22	25	26	21	後志	余市	16	18	19	32	胆振	上札内	14	16	17	26
	中川	18	20	20	31		小樽	20	22	23	49		更別	12	14	14	25
	音威子府	15	16	17	29		共和	23	25	26	27		大津	15	17	18	27
	美深	12	13	14	32		蘭越	13	15	16	31		大樹	14	16	16	28
	名寄	15	16	17	28		倶知安	18	21	22	49		広尾	23	26	27	49
	下川	14	15	15	32		寿都	32	37	39	48		厚真	14	15	16	29
	士別	12	14	15	30		真狩	15	17	18	30		穂別	15	17	17	27
	朝日	14	15	15	29		喜茂別	15	17	18	29		大滝	11	13	14	29
	和寒	11	12	13	27		黒松内	15	16	17	30		森野	11	13	14	29
	江丹別	14	15	16	30		雄武	27	30	32	49		苫小牧	26	30	32	49
	比布	14	16	17	28		興部	17	19	20	31		大岸	13	14	15	30
	上川	14	17	18	28		西興部	14	16	18	30		白老	18	22	24	30
	旭川	14	16	17	49		紋別	23	25	26	49		鶴川	17	19	20	28
	東川	13	15	15	30		紋別小向	20	22	23	5		伊達	15	17	18	26
	東神楽	19	22	23	7		湧別	18	20	21	29		登別	13	15	15	26
	志比内	12	13	13	13	網走	滝上	16	18	19	29	日高	室蘭	27	30	32	49
	美瑛	13	14	15	27		常呂	16	18	19	29		日高	11	12	13	30
	上富良野	12	13	14	30		遠軽	13	15	16	29		日高門別	15	16	17	27
	富良野	15	16	17	30		佐呂間	17	20	21	28		新和	9	10	11	25
	麓郷	10	11	11	29		網走	23	25	26	49		静内	13	14	15	29
	幾寅	13	14	15	29		宇登呂	17	19	20	27		三石	16	18	18	29
	占冠	11	12	13	28		白滝	15	16	17	13		中札白	12	13	13	27
	天塩	20	22	23	29		生田原	17	19	19	30		浦河	26	29	30	49
	遠別	20	22	23	27		北見	15	16	17	30		えりも岬	32	34	36	24
	初山別	18	20	21	28		女満別	20	23	24	6	渡島	長万部	16	18	19	28
留萌	焼尻	26	29	31	28		小清水	13	15	16	27		八雲	16	18	19	26
	羽幌	17	19	20	49		斜里	19	21	22	32		森	14	15	16	24
	達布	12	13	14	26		留辺蘂	13	15	15	26		川汲	13	15	15	29
	留萌	21	23	23	49		境野	15	17	17	28		北斗	15	16	17	30
	増毛	20	24	26	28		美幌	12	14	15	26		函館	22	25	26	49
	幌糠	17	18	19	26		津別	14	15	16	19		高松	22	24	26	7
	浜益	20	22	23	31	根室	羅臼	14	15	16	12		木古内	16	18	19	32
	厚田	21	22	23	29		標津	17	18	19	30		松前	21	24	25	30
	新篠津	20	23	24	29		上標津	20	21	22	6		熊石	13	15	16	26
	山口	16	18	19	27		中標津	14	15	15	26		せたな	17	18	18	24
石狩	石狩	21	23	25	19		根室中標津	18	19	20	7	檜山	今金	14	16	16	27
	江別	19	22	23	9		別海	13	14	15	27		奥尻	15	17	17	21
	札幌	18	20	22	49		根室	24	26	27	49		米岡	29	31	32	7
	恵庭島松	14	15	15	32		納沙布	23	25	25	25		鶉	14	16	17	29
	支笏湖畔	10	11	12	32		厚床	14	16	16	27		江差	26	28	30	49
	千歳	22	24	25	7		計根別	12	13	14	19		(石狩)西野幌	10	10	11	20

4.1 現行マニュアルの再現期待値との比較

気象官署の地点について、マニュアル²⁾の再現期待値と比較すると、平均で 3.4 m s^{-1} 程度増加している(図-2)。これは、粗度区分Ⅲに区分した地点の風速が増加したことが大きい。地表粗度を現行マニュアルより粗くしたため、(1)式により上空の風速が大きくなり、粗度区分Ⅱで基準高さに戻したときに風速が大きくなるためである。なお、粗度区分Ⅱは現行マニュアルのべき指数に近く、風速値の変化は小さい。また現行マニュアルとの乖離が大きい、赤丸で囲んだ点は、統計期間を延長した影響によるものである。

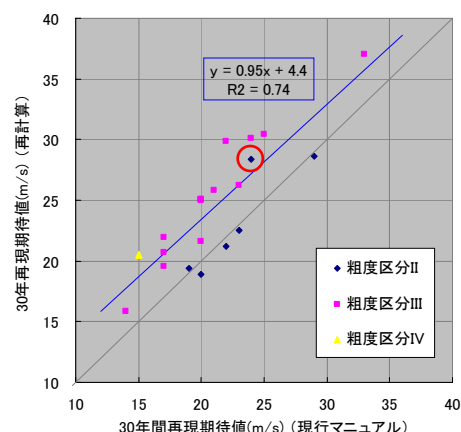


図-2 現行マニュアルと再計算の再現期待値の関係

4.2 アメダス使用の妥当性検討

最大風速のとり方は、アメダスは正時前10分平均の最大、気象官署は書く10分間平均風速の最大と異なるため、年最大風速を用いた今回の再計算では、測定頻度の低いアメダス測定地点の設計風速が小となることが懸念される。

そこで、気象官署ではアメダスと併設されているため両者のデータを用いた年最大風速を比較した。図-3は一例として札幌のもので、平均するとその差は 1 m s^{-1} 弱と小さい。またその他の気象官署においてもほぼ同様の差であり、今回の計算では測定頻度による差については無視した。

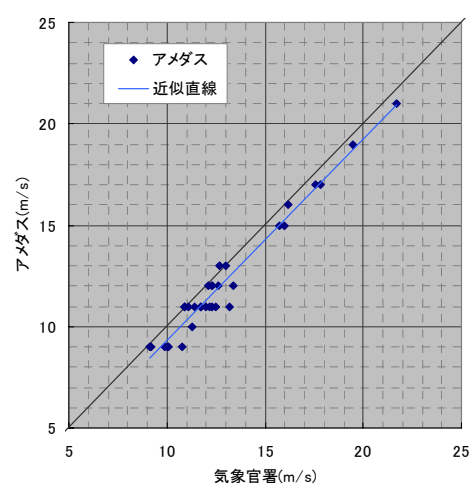


図-3 年最大風速の気象官署とアメダスの対比(札幌)

5 おわりに

今回の検討と計算により、防雪柵設計の実務に合致した再現期待値が、道内できめ細かく整理することができたと考えている。今後は、このデータを新たなマニュアルに反映させる予定で、防雪柵設計等で活用していただくことを期待している。

文献

- 1) 北海道開発局, 1990: 道路吹雪対策マニュアル(案)防雪柵編, (社)北海道開発技術センター, 127p
- 2) (独)北海道開発土木研究所, 2003: 道路吹雪対策マニュアル, 北海道開発局
- 3) (社)日本道路協会, 1987: 道路標識設置基準・同解説, (社)日本道路協会, 338p
- 4) (社)土木学会, 1978: 鋼構造架設設計指針, (社)土木学会, 158p
- 5) 建設省土木研究所・(財)日本気象協会東京本部, 1975: 設計基本風速調査に関する報告書, 95p
- 6) Irving I. Gringorten, 1963: A Simplified Method of Estimating Extreme Values from Data Samples, JOURNAL of APPLIED METEOROLOGY, Vol.2, pp.82-89.
- 7) (社)日本道路協会, 2001: 道路橋耐風設計便覧, (社)日本道路協会, 240p
- 8) (社)日本道路協会, 2007: 道路橋耐風設計便覧, (社)日本道路協会, 295p
- 9) (社)日本建築学会, 2004: 建築物荷重指針・同解説(2004), (社)日本建築学会, 651p

成林しつつある道路防雪林の維持管理手法について

～一般国道 40 号天塩町雄信内防雪林の事例より～

阿部正明，檜澤肇，北村有樹士，斎藤新一郎（社団法人北海道開発技術センター）

1. はじめに

一般国道 40 号雄信内防雪林は，1981～2004 年の間に造成が進められ，一定の防雪効果が確認されている¹⁾．しかしながら，造成後における樹木の生育状況に関する調査報告が少ない．

本論では，本防雪林の生育状況を調査することで，成長不良をはじめとした生育上の問題点を考察し，今後の維持管理手法を提案するものである．

2. 現地調査

(1) 調査概要

調査箇所は，図-1 に示すとおり，一般国道 40 号天塩町雄信内地区の道路防雪林である．調査は 2010 年 1 月 7 日及び 1 月 8 日両日の早朝から日没までの間に実施した．調査手法として，本防雪林の全線（L 側≒4.5 km，R 側≒2.3 km）踏査を行い，樹木の成長不良に着目した目視観察を行った．



図-1 雄信内防雪林の位置図

(2) 調査結果及び考察

1) 雄信内防雪林の現況

本防雪林の植栽樹種は，ギンドロ，ヤチダモ，ポプラ，ドロノキ，ヤナギ類，ナナカマドの広葉樹類とヨーロッパトウヒ，アカエゾトウヒ，プンゲンストウヒ，トドモミ，グイマツの針葉樹類であった．林帯幅は約 31.5 m で，針葉樹と広葉樹が交互に配列された林帯となっている．植栽パターンは造成年次やエリア等により異なり，11パターンであった．本命とされる針葉樹類の基本配置は，列間 2.4 m × 苗間 2.4 m の列植えであった．

2) 調査結果及び考察

①被圧，枝叩き，幹頂部叩き

広葉樹類による針葉樹への被圧，枝叩き，幹頂部叩きが顕著に多く確認された．また，旺盛に成長した広葉樹間の針葉樹では，枯死しつつある個体も確認された．広葉樹類は針葉樹類よりも進化した植物であり，遺伝的に針葉樹類に比べ，耐性に優れ，成長が速い．そのため，前生林（子守り木）として植栽された広葉樹の方が速く成長し，針葉樹の光量を奪い，その枝で針葉樹を叩き，成長を阻害したものと考えられる．



写真-1 ヨーロッパトウヒへの被圧状況

②オオイタドリとの競合

オオイタドリが繁茂していた箇所では、樹木の枯死が確認された(写真-2)。オオイタドリは北海道全域に生育し、高さ 2～4 mに達する、大型で雌雄異株の多年草であり、繁殖力が強く、成長が旺盛である。したがって、オオイタドリとの競合により、日照及び土壌からの水分・栄養分の吸収が不足した結果、植栽樹木が枯死に至ったものと考えられる。

③根張り不足

針葉樹の片側半分の枝張りが不十分な箇所が確認された(写真-3)。また、本防雪林は盛土上に植栽されていた。枝張り不十分である側の植栽基盤を見ると、一様に盛土と盛土の間部に位置していることが確認された。したがって、盛土間が空間状態となっているため、空間側の根系が地面と並行方向に発達できず、枝の伸長に影響を及ぼしたものと考えられる。根系の伸長は枝張りに関係するため、樹木片側の枝張りが十分に成長できなかったものとする。

④過密植栽

アカエゾトウヒ及びトドモミの高密度な植栽箇所が確認された(写真-4)。この箇所では、列間×苗間が 0.6 m×0.6 mで、極めて高密度に植栽されていた。また、胸高直径は林縁部の樹木が平均 9 cmであったのに対して、林央部の樹木が平均 6 cmであり、林央部の樹木の幹の肥大成長が不足していた。これらのことから、林央部の樹木は、林縁部の樹木よりも光量が不足した結果、肥大成長が遅れ、林縁部樹木により被圧されたものと考えられる。

⑤その他

本防雪林では、既に樹木が隣接し、間引きが必要と考えられる区間もある。今後の間引きを主体とする維持管理作業を考慮すると、間引き木の伐採＋運搬作業が極めて困難になることが想定される。また、造成時に整備された風上側のフェンスの破損が多く確認された(写真-5)。



写真-2 オオイタドリとの競合による枯死



写真-3 不十分な枝張りのヨーロッパトウヒ



写真-4 過密状態のアカエゾトウヒ



写真-5 フェンスの破損状況

3. 対応策

現地調査結果を踏まえ、今後の対応方針を表-1 及び図-2 に示す。

表-1 維持管理メニュー

成長不良状況等	保育管理項目	内 容
被 圧	伐 採	針葉樹を被圧している広葉樹類の伐採
幹頂部叩き	伐採／剪定	針葉樹の幹頂部を叩いている広葉樹類の伐採又は枝の剪定
枝叩き	伐採／剪定	針葉樹の枝を叩いている広葉樹類の伐採又は枝の剪定
草本類との競合	下刈り	幼木期を中心に競合する草本類等を刈る
枯損・枯死	補植(移植)	枯損・枯死部分へ針葉樹の植栽
枝張り不足	客 土	盛土間を砂利・碎石等で埋め立てる
過密植栽	間引き	適正密度にするための間伐又は移植
管理作業	林内作業道整備	伐採跡地に作業道を整備
柵の破損	柵の撤去	柵撤去→前生林の上部を断幹

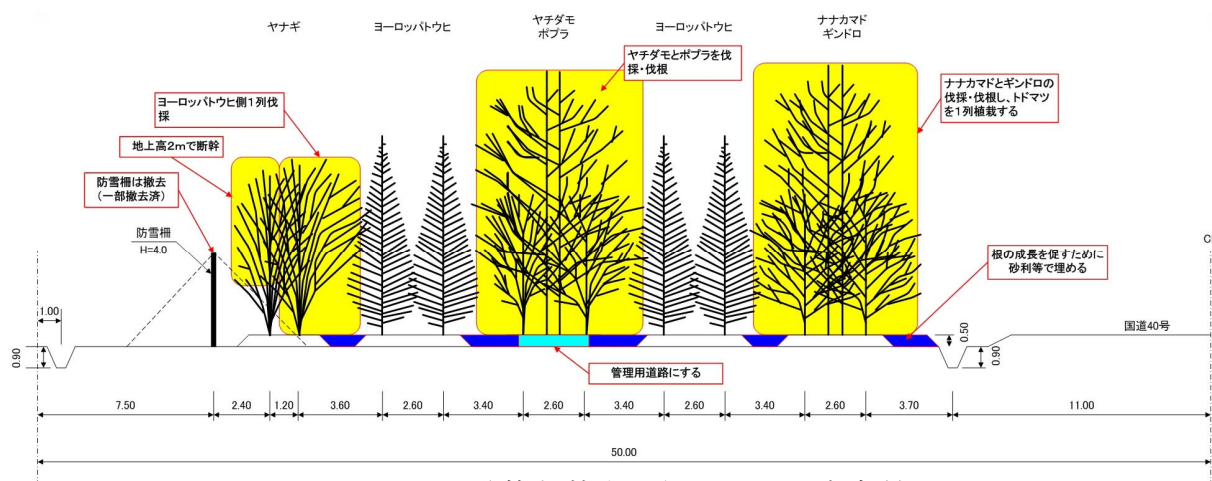


図-2 標準的な林帯を例とした対応方針

本道路防雪林において最も多く確認された被圧，幹頂部叩き，枝叩きへの対応としては，針葉樹に影響を与えている広葉樹類を伐採又は叩いている枝を剪定する必要がある。伐採する場合は，ヒコバエ再生を極力抑えるため7月末に実施することが望ましい。逆に，ヒコバエ再生を促進させる場合には，晩秋～晩冬に実施する必要がある。

オオイタドリとの競合を回避するためには，オオイタドリの成長パターンを考慮した刈り込みを実施する必要がある。オオイタドリは晩霜に弱いため，晩霜が終わる6月から旺盛に伸長する。最高伸長点は伸び出して1ヶ月後の6月末～7月上旬となる。この時期が刈り払いの適期である。その後，刈り払い後の再生に対処するため8月中旬に再度刈り払う必要がある。

枝張り不足に際しては，盛土と盛土間に客土を行う必要がある。その際には，砂利や碎石などの無機質なもので埋めることが望ましい。木質系材料を活用すると，腐朽する過程で微生物による分解にて必要とされるN(チッソ)が土壌中から消費され，土壌中のNが不足し，樹木の成長の阻害要因になるため，使用を避ける必要がある。

過密植栽箇所では，移植および伐採を実施する必要がある。密植(5列)のアカエゾトウヒについては，国道側1列を残して移植及び伐採したい。道路側から3～5列目を移植木として掘り取りを行い，道路側から2列目は1列目の樹木を傷つけないようにするため，幹根元から伐採することを提案する。また，針葉樹が枯死している箇

所では、防雪効果に影響する可能性があるため、補植を行う必要がある。なお、移植及び補植は、樹木のハードニング（休眠期）である晩秋～晩冬に実施する必要がある。

その他、広葉樹類の伐採箇所を林内作業道として活用することを提案する。これにより、間引きをはじめとする維持管理作業を効率的に実施することが可能となるものとする。また、破損したフェンスについては撤去を検討する。但し、フェンスの撤去は、破損部分で、かつ、風上側にヤナギ等の前生林が造成されている場合に限る。更に、ヤナギを高さ 2 m 程度で断幹し、下枝の枯れ上がりによる裾風の影響を考慮することを提案する。

4. 今後の課題

(1) 伐採による防雪効果への影響把握

本報告にて提案した広葉樹類の伐採及びフェンス撤去箇所の前生林の断幹による防雪効果について検証する必要がある。山田等の研究³⁾では、樹木密度が減少するにつれ道路付近の風速比が大きくなるとされ、樹木密度 400 本/ha 付近で風況が変化し、防雪効果への影響があると報告されている。今回提案した雄信内防雪林の広葉樹類の伐採による樹木密度は平均 1,657 本/ha となり、防雪効果への影響は少ないものと推定されるが、現場における伐採後の防雪効果の検証を行った上で、本格実施を検討していく必要がある。また、柵撤去及び前生林の断幹による裾風の吹き抜けに対する影響についても検証する必要がある。

(2) 移植による活着及び成長の確認

移植及び補植については、活着率の把握や活着後の成長等について、継続的にモニタリングを行い、データを蓄積・活用することにより、更新や本地域における今後の防雪林整備などの緑化事業に際し活用することが望ましいと考える。

(3) 林帯としての多様性確保

本報告では、風上側の前生林（ヤナギ類）1 列を残し、他の広葉樹類を全て伐採する案を提案したが、林帯としての多様性を考慮すると、針広混交林が望ましいと考える。そのため、広葉樹の栄養繁殖の技術を活用した多様な林帯構造を検討していくことも必要と考える。その場合、ヒコバエ再生により成長した樹木が、本命の針葉樹を被圧しないようにコントロールする戦略的な管理方策の検討がポイントとなる。

5. おわりに

本報告のアプローチとしては、道路防雪林の本命とされる常緑針葉樹の健全な生育を前提とした保育管理手法の提案である。道路防雪林のように生き物を扱う工法では、生き物の生育・成長を第一義に考え、その上で、樹木密度等を考慮した防雪効果を検討していく必要があると考える。今後とも、道路防雪林等の道路緑化による機能保持と緑化樹の健全な生育の両輪のバランスがとれた対応について研究していきたい。

【参考・引用文献】

- 1) 福澤，加治屋，金子，金田，小林，1997：道路防雪林の整備効果について，第 13 回寒地技術シンポジウム論文集，649-652.
- 2) 斎藤，孫田，阿部，小松，2009：道路緑化樹の保育手法，（社）北海道開発技術センター，158pp.
- 3) 山田，伊東，松澤，小杉，根本，望月，斎藤，2007：風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について その 2，北海道の雪氷，No. 26，21-24.

防雪林を構成する木々の下枝の枯れ上がりとその対策について

斎藤 新一郎 (北海道開発技術センター)

はじめに

防雪林は、生きた工作物 (living fences against blizzard) であり、生きてない工作物 (防雪柵, solid fences) とは、造成方法も、維持管理方法も、全く異質である。

生きた材料は、時間とともに変化する——サイズが大きくなり、防雪機能が増大する。そして、維持管理の良否にも左右されるが、おおよそ、その樹種の寿命の $1/2$ ないし $1/3$ くらいの年数において、更新が必要になる。アカエゾトウヒ、ヨーロッパトウヒ、ほかのトウヒ属種 (*Picea* spp., spruces) では、更新期が 150 年生くらいである。他方、トドモミのようなモミ属種 (*Abies* spp., firs) では、それが 50 年生くらいである。

そして、寿命に加えて、いずれの樹種においても、下枝の枯れ上がりが、ほぼ宿命的であり、裾風対策の課題となる。そこで、本研究において、筆者は、下枝の枯れ上がりが必ず生じる、との考え方を基にして、その対策を考察してみた。

下枝の枯れ上がる理由と諸事例

下枝とは、力枝より下位に存在する枝々を指す。そして、力枝 (ちからえだ) とは、針葉樹類の枝階 (しかい, limb's layers) において、最も長い輪生枝 (the longest limbs) を指す。独立樹であっても、その成長に対応して、力枝は、順次、上位に移ってゆく。それにともない、光不足になって、下枝は、成長が衰え、枯死してゆく (図-1)。



図-1 力枝の存在とその下位の枝々の枯れ上がり (模式図)

次に、人為的な要因に由来する下枝の枯れ上がりの諸事例を述べよう。

隣接する木々は、枝張りが発達して、樹冠が触れ合うと、その部分から下位の枝々が枯れ上がる (図-2)。鉄道林のように過密に苗木植えすると、林縁側の枝のみが発達し、それ以外の枝々は、高く枯れ上がる。

また、林縁木は、光条件には恵まれていても、そこに生育する大型草本との競合があり、光を奪われ、風で叩かれ、下枝の枯れ上がりを余儀なくされるケースが多い (図-3)。

積雪の沈降圧に由来する枝抜け (branch pulling out of the trunk) も、下枝の喪失を

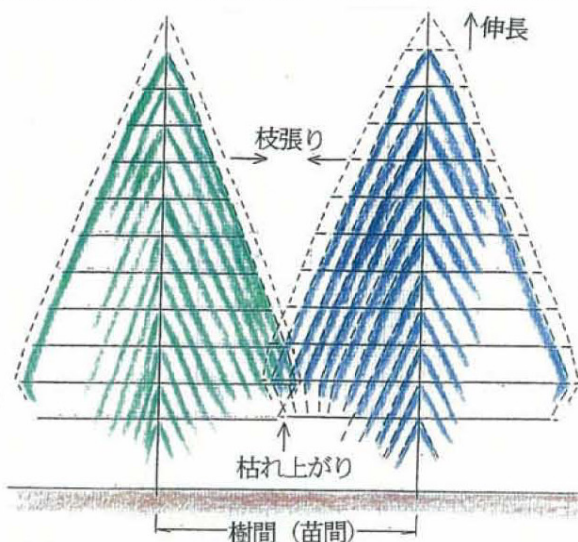


図-2 樹冠の重なりと下枝の枯れ上がり (模式図)

余儀なくさせる。そして、吹雪の捕雪による高い雪丘が生じる場所では、枝抜け防止のための裾枝打ちも、地上高 2.0 (～4.0) m までの下枝を失うことになる (写真-1, 図-4)。

速成防雪林では、樹高 5.0m ほどの成木移植を行ったので、強度の根切りも加わり、地上部と地下部のバランスが悪くなって、枯死率が高かったし、生き残っても、下枝が高く枯れ上がって、防雪機能を失うとともに (写真-2), 西日に曝された樹幹に、日焼け・樹皮剥がれが生じて、防雪林そのものの存続が危うくなった,

なお、力枝と下枝の関係においては、樹種的な差異もある。たとえば、温帯～冷温帯系のモミ属種と、冷温帯～亜寒帯系のトウヒ属種では、樹冠の形態にかなりな違いがある。つまり、緯度の低い地域の樹木は、陽光が上から注ぐので、枝張りの広い樹冠を形成し、力枝が高くなるので、下枝が枯れ上がりやすい。モミ属種の樹冠がそうである。写真-1 & 図-4 裾枝の雪丘による枝抜けとその防止策としての裾枝打ち (模式図)

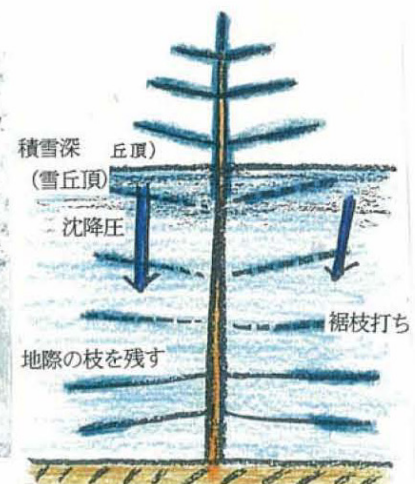


写真-1 & 図-4 裾枝の雪丘による枝抜けとその防止策としての裾枝打ち (模式図)

その1例が、プンゲストウヒに見られる (写真-3)。北緯 43° の岩見沢の中央分離帯のプンゲストウヒは、力枝がそれほど顕著でなく、下枝の枯れ上がりも少なめである。大型草本の繁茂さえなければ、そして、苗木植えからスタートすれば、トウヒ属種は、アカエゾトウヒでも、ヨーロッパトウヒでも、下枝が枯れ上がりにくく、防雪林の風上林縁木として、最も適した樹種である、と言える。

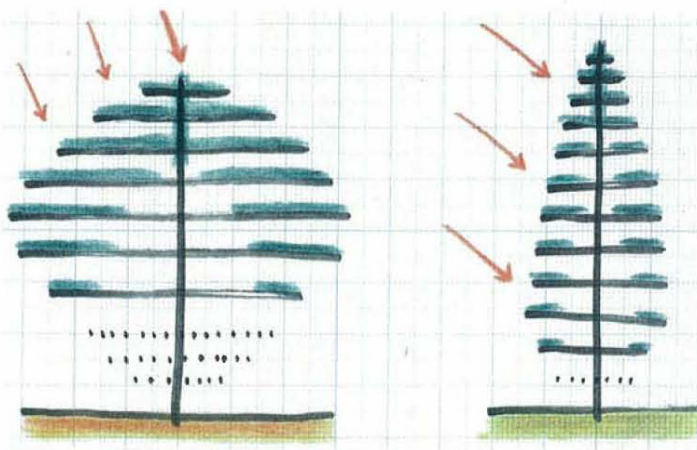


写真-2 成木移植され、下枝が高く枯れ上がった防雪林 (国道 12 号岩見沢市岡山地区)

下枝の枯れ上がり対策

上述のように、いろいろな条件によって、下枝の枯れ上がり方は、多少とも異なるが、生きた材料としての常緑針葉樹類について、下枝の枯れ上りを阻止することは、不可能である。

それゆえ、次ぎのような好例を参考にして、適切な対策を講じることが望まれる。



JR 石北線の上川町東雲地区に 図-5 緯度の高低による陽光の角度と樹冠の形状 (模式図)



写真-3 トウヒ属種は北方型であり、斜横からの陽光に対応して、樹冠幅が狭く、下枝が枯れ上がりにくい (国道 12 号岩見沢市街地)



写真-4 2列植えの防雪林 (JR 石北線)

は、狭い、ほぼ 2 列植えのヨーロッパトウヒ防雪林が存在する (写真-4)。林縁の草刈りが十分であれば、下枝の枯れ上がりが防止されることが明らかである。

樹種的には、ヒノキ科のニオイヒバの方が、剪定にも耐え、下枝が枯れ上がりにくい。それゆえ、公園や屋敷地において、生垣として刈り込まれている (写真-5)。狭い、1~2 列の防雪林であれば、トウヒ属種やモミ属種を植えるより、ニオイヒバを植えた方が、下枝の枯れ上がりの防止が容易である。

実際に、国道 39 号の愛別町豊里地区および北見市端野町一区では、アカエゾトウヒとニオイヒバの列状の組み合わせが実施され、成果を上げつつある。



写真-5 ニオイヒバの高い生垣 (岩見沢公園)

それゆえ、下枝の枯れ上がりへの対策は、次のようになる。

- ・広い列間で植え（列間 3.5m×苗間 2.0m），成長にともない，50%を間引く．
- ・同一樹種を 1 列植えないし 2 列植えとし，林縁木 A 林縁木 B 林縁木 C 林縁木 D 3 列植えを禁止する
- ・刈り込みに耐える樹種を採用し，刈り込み・草刈りを継続する．
- ・林縁には，本命の樹種でなく，刈り込みに耐える樹種を配置する．
- ・下枝の枯れ上がりを当然と考え，それを防雪柵で補完する．防雪林には，防雪柵がほぼ永久的に必要である．
- ・林内作業道（林帯内管理用道路）を設置し，諸作業の便宜に加えて，4 林縁づくりを図る（図-6）．
- ・造成時の高い防雪柵を，成林にともない，上部の柵板を外して，低い柵とし，シカ柵を兼務させ，下枝の枯れ上がりにも対処させる（図-7）．

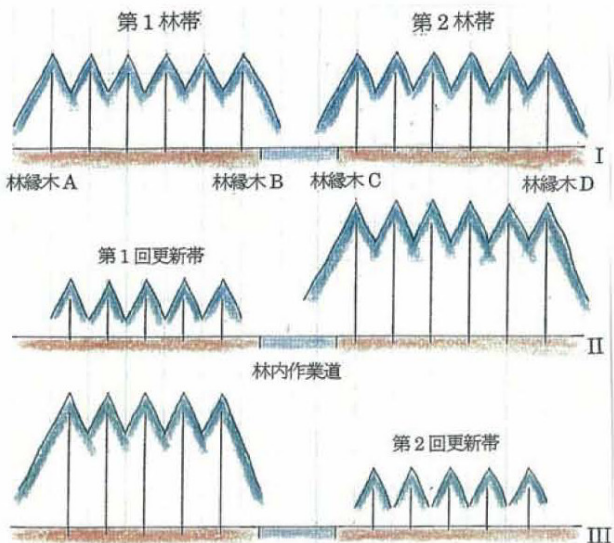


図-6 林内作業道設置と4林縁づくり（模式図）

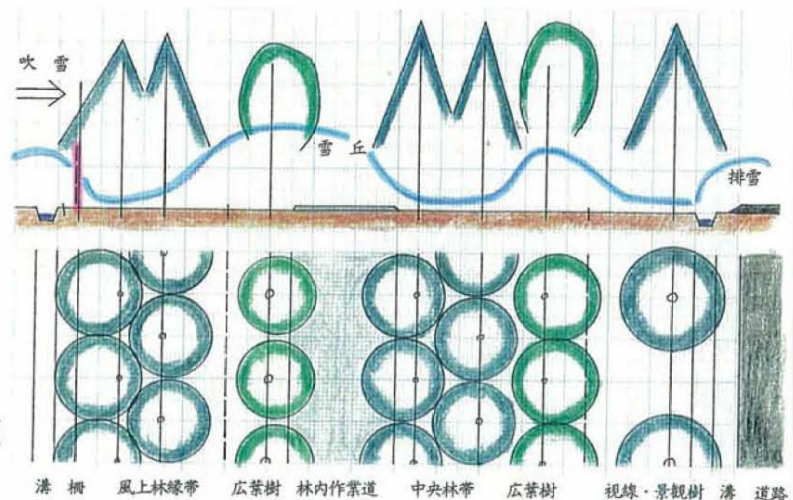


図-7 理想的な防雪林の構造（横断面および平面）

【参考文献】

- 阿部正明・岸梅有祐・斎藤新一郎，2009．一般国道 12 号岩見沢市岡山地区における道路防雪林の植栽経過，現況および向後の対策について．北海道の雪氷，no.28: 25~28．
- ・檜澤 肇・北村有樹士・斎藤新一郎，2010．成林しつつある道路防雪林の維持管理手法について——一般国道 40 号天塩町雄信内の事例より．北海道の雪氷，no.29: 投稿中．
- 斎藤新一郎・井上惇夫・竹内摂雄，1997．樹冠の成長からみた道路防雪林の除伐の適期，除伐方法および今後の植栽方法について．北海道の雪氷，no.16: 44~47．
- ，2006．道路防雪林における林内作業道の必要性について．北海道の雪氷，no.25: 81~84．
- ，2009．寒さの害の一形態としての針葉樹類の幹の日焼け・樹皮剥がれについて．北海道の雪氷，no.28: 21~24．
- ・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．『理技術センター，札幌．
- ，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

着雪発達過程のシミュレーション計算法の妥当性評価

藤井敬太郎，渡邊幸樹，吉松卓哉（北海道電力㈱）

1. はじめに

着雪発達過程のシミュレーション計算法（以下，本計算法）とは，五藤らにより示された電線の着雪量等を計算する手法¹⁾であり，当社では，本計算法に基づいて捻れ防止ダンパ（ねじれ防止用カウンターウェイト）の取り付け方法等を定めている．

現在，ねじれ防止用カウンターウェイトの取り付け方法の最適化に向けた研究の中で，本計算法の高精度化を実施しており，その前段として本計算法の妥当性について評価した．本稿はその結果について報告するものである．

2. 評価方法

電線サンプラによる人工着雪実験を実施し，着雪が筒状（筒雪）に発達したときの実験値と，実験から得られた条件等を諸元とした計算値とを比較することで，本計算法の妥当性を評価した．比較項目を以下に示す．

- ・ 筒雪に発達した場合の実験結果（着雪重量，電線サンプラの回転角度，最大着雪直径）と計算値との推移比較
- ・ 実験時の着雪状況（写真）と計算結果から描画した着雪形状断面図との推移比較

3. 実験概要

3-1. 実験装置と方法

(1) 実験装置の構成

実験装置の概要図を図-1に示す．

本実験で使用した電線サンプラは，短尺電線（1000 mm程度）の両端をベアリングで支持し，コイル状の引張りバネにより電線のねじり剛性を与え，電線径間中央部を模擬する構造とした．²⁾

また，電線径間中央部の筒雪の発生には，径間中央付近の電線のねじれやすさと，径間中の着雪による偏心モーメントの重畳（径間全体に着雪した場合，径間中央に近いほど電線のねじれ角度が大きくなる現象）が大きく影響している³⁾が，後者の現象は着雪の状態によって逐次変化するため短尺の電線サンプラで模擬することは極めて困難である．そこで本実験では，同種電線よりもあらかじめ電線サンプラのねじり剛性を小さく（電線サンプラが回転しやすく）設定し，後者の現象を考慮することとした．

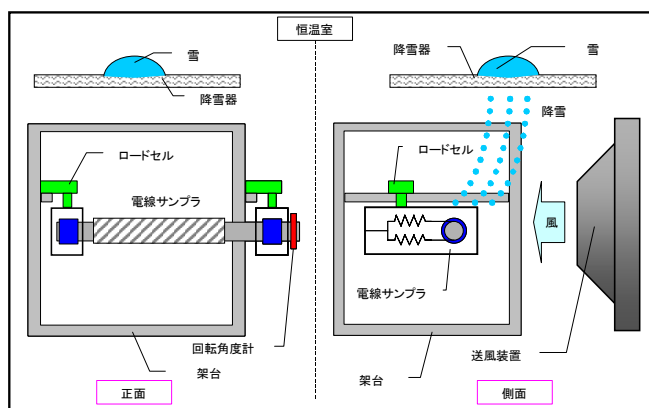


図-1 実験装置概要図

(2) 実験方法

実験は、冷凍庫（-25℃前後）で保存した自然雪を一定の雪質（含水率 5～15％）に調整した上で、網目状の金属板により削り落とすように降雪し電線サンプラに着雪させた。また、発達過程における着雪量等を測定するため、降雪は一定間隔（10 分間）で中断し、着雪が筒雪に発達して電線サンプラの回転角度が 360° を超えるまで（または着雪が落雪するまで）、降雪と測定とを繰り返した。

3-2. 実験条件

実験条件については、これまでの知見も踏まえて表-1 のとおりとした。

表-1 実験条件

電線種類	電線サンプラ径 (実測値) [mm]	径間長 [m]	模擬位置	ねじり剛性 (実測値) [kg-m ² /rad]	着雪時 風速 [m/s]	使用する雪の 含水率の範囲 [%]	恒温室内 温度 [℃]
ACSR160mm ²	18.8	500	径間 中央部	0.1625	5 (一定)	5～15	2 前後

3-3. 実験結果

今回、筒雪に発達したのは 2 ケースであった。結果の概要を表-2 に示す。

表-2 実験結果概要

ケース 番号	実験終了時				着雪		使用した雪	
	着雪重量 [kg]	回転角度 [°]	最大着雪直径 [mm]	着雪長 [mm]	比重 [g/cm ³]	含水率 [%]	比重 [g/cm ³]	含水率 [%]
実験値①	1.750	468	120.60	700	0.41	12.1	0.24	8.5
実験値②	1.411	405	114.38	700	0.37	17.3	0.33	12.8

4. 本計算法の計算概要と比較評価

4-1. 計算モデルの諸元

計算モデルの諸元は、実験条件ならびに実験結果より表-3 のとおりとした。

表-3 入力諸元一覧

電線直径 [mm]	径間長 [m]	ねじり剛性 [kg-m ² /rad]	着雪の比重 [g/cm ³]	降雪角度 [°]
18.8	500	0.1625	0.35	50
径間分割区分数 (着雪長[mm])	角度分割区分数	1 着雪段階あたりの 着雪増加量[mm]	計算時の 許容誤差角度[°]	落雪条件
1001 (約 500)	24	0.1	0.1	無し

4-2. 比較評価

計算値と実験値の着雪重量等の推移比較を図-2, また, 計算結果から描画した着雪形状断面図と実験における着雪状況を図-3 に示す. これらの図より, いずれも計算値と実験値が概ね一致していることが確認でき, 本計算法により計算した着雪の発達過程が概ね妥当であると評価できる.

しかしながら, 着雪発達初期段階の着雪形状については, 計算と実験の結果に大きな差異が認められた. これは, 本計算法のアルゴリズム上, 降雪方向に接する電線(着雪)表面上の全ての点(図-3 左参照)に一律な着雪増加量を与えていることが原因であり, これについては, 実際の電線(着雪)表面上の着雪増加量の差異を適切に与えることにより改良され, 本計算法の計算精度をより高めることができると考える.

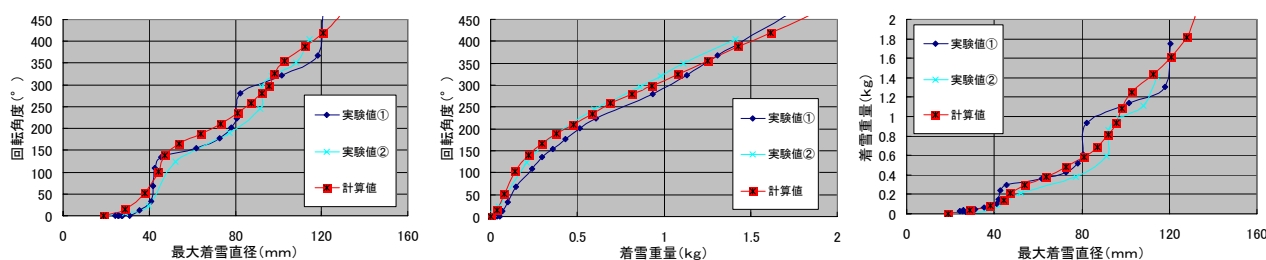


図-2 計算値と実験値との推移比較



図-3 計算結果による着雪形状断面図と着雪状況
(左: 計算値, 中央: 実験値②[全体], 右: 実験値②[断面])

5. おわりに

電線サンプラによる人工着雪実験の結果から, 本計算法の着雪の発達過程は, 概ね妥当であることが評価できた. 今後は, 電線(着雪)表面上における着雪増加量を適切に評価し, その結果を反映することにより本計算法の高精度化を進める.

【参考・引用文献】

- 1) 五藤: 捻れ回転による難着雪電線の着雪発達過程のシミュレーション計算法, 雪氷 Vol.38 No.3, 1976 年, p127-137
- 2) 久保, 藤井, 高橋: 架空電線の捻れ剛性を模擬した電線サンプルによる着雪観測, 北海道の雪氷 第28号, 2009 年, p47-62
- 3) 五藤: 北海道型着雪と対策, 北海道電力株式会社技術研究所, 昭和 52 年 2 月, p90-91

偏光干渉色による雪結晶の顕微鏡カラー写真撮影

油川英明（北海道教育大学 大雪山自然教育研究施設），
小林裕美，津田将史（北海道教育大学 札幌校）

1. はじめに

これまで Bentley (1931) や Nakaya (1954) などにより行われてきたように、微細で変形の生じやすい雪結晶について鮮明かつ印象的な顕微鏡写真を得ることは、その形態学的な解析資料としてだけでなく、科学的な探求心を誘起させ得るものとして意義のあることと考えられる。

従来、顕微鏡による雪結晶のカラー写真撮影法は、照明光の全体乃至はその一部に適当な色のフィルターを挿入することにより、カラーの背景色をもとに、雪結晶を白く写し出すというものであった（樋口，1962；小林，1969 など）。このような撮影法に関連して、今回、顕微鏡の照明に新たな方法を施して雪結晶の撮影を試みたので、以下にその概略を述べる。

2. 偏光干渉色による撮影法

顕微鏡の視野は、特殊な場合を除いて、照明光に挿入されたフィルターの色により決められ、視野の色を変えたい時はフィルターそのものを交換する。このとき、雪結晶の質感に適合した色彩の視野（背景）を得るためには、フィルターの選択や光量の調整など、幾つか試行錯誤的なことが求められ、時として困難を感じることもある。また、フィルターを通した照明光は、一般的には単色光で、色彩は単調になる傾向がある。このことについて、以下のような改良を試みた。すなわち、顕微鏡の照明は偏光による干渉色の色彩とし、さらに、光学的異方性を有するフィルターを顕微鏡の光路に挿入して、その回転により視野の背景色が連続的に変化するようにした。このような方法により、雪結晶は適当に選択された干渉色によるカラーの背景のもとで白く撮影されることになる。

今回の撮影方法は、基本的には油川（2009）と同様のものであるが、そのときに用いられた色フィルターに替え、偏光板二枚をクロスニコルとし、その間に鋭敏色板と光学的異方体のフィルターを挿入することにより、適度な干渉色の背景を得るというものである。

3. 撮影装置の操作手順

図-1 に沿い撮影の手順等を述べる。まず、光源からの照射光は凹面鏡により反射され、雪結晶の試料を照射するわけであるが、こととき、顕微鏡の対物レンズの視野を覆うように、適当な径の偏光板を凹面鏡の中心部に水平に取り付ける。凹面鏡の一部が偏光板で覆われることにより、顕微鏡の視野には偏光だけが、また、試料の雪結晶には、偏光に加えて凹面鏡からの斜めの光（対物レンズには入射しない通常光）によっても照射される。そして、雪結晶に照射された通常光は、試料により反射及び屈折を生じることになるが、それらの光のなかで対物レンズの開口角に入るものは顕微鏡に入射し、通常光（白色光）による雪結晶の像を結び、顕微鏡の視野において白く輝くことになる。

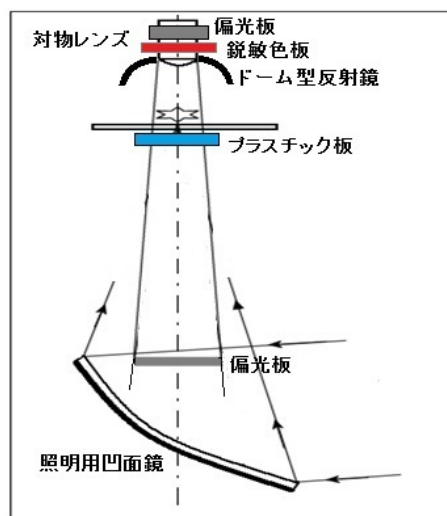


図-1 偏光干渉色による照明法

ところで、先ほどの偏光板を通過した光は、図-1の対物レンズを通過して第二の偏光板に入る。この偏光板の方向は第一の偏光板と90度に交差され、一般の偏光顕微鏡におけるクロスニコルと同様に、顕微鏡の視野は光が遮断されて暗視野となり、そのなかで、上述の通常光による雪結晶の像が白く輝いて見える。この状態において、第二の偏光板の前に鋭敏色板(530nm)を挿入すれば、視野は鮮やかなピンクの干渉色となる。この鋭敏色板の特性を利用して、クロスニコルの中にさらに光学的異方性を有するフィルターを挿入すれば、他の色の干渉色が比較的容易に得られるわけである。

今回は、光学的異方性のフィルターとして市販のプラスチック板用い、それを適当に裁断して顕微鏡の載物台に貼り付けた。これを回転することにより、顕微鏡視野の干渉色は、赤から紫、青、緑、黄色等と連続的に変化することになる。実際には、雪結晶を撮影する前にプラスチック板を貼り付けた載物台を適当に回転させて、顕微鏡の視野の色、例えば青色などを選択しておく。

ところで、雪結晶は無色透明であることから、表面に凹凸の少ない単純な角板などは、顕微鏡の背景色と余り変わりのないものになってしまう。このことから、雪結晶の平坦な部分が背景と少しでも差異が生じるように、結晶から反射光を得るように工夫した。すなわち、図-1に示したように、顕微鏡の対物レンズの先端にドーム型の反射鏡を取り付けることである。この反射鏡は凹面鏡状で、その鏡の大きさ(ドームの深さ)は曲率半径の1/2の長さとしてある。この長さは、顕微鏡の焦点が試料に合ったときの対物レンズ先端と載物台との距離にほぼ等しくしてあるので、載物台の下方から照射された光が凹面鏡で反射したとき、その反射光は凹面鏡の焦点の位置、つまりは載物台の中心部分に置かれた雪結晶の近傍に集まる。それが結晶を照らし、その平坦な面からの反射光が得られることになる。なお、このとき雪結晶を載せるプレートは、通常のスライドガラスではなく、反射防止被膜が施されたもの、例えばカメラのレンズ保護用フィルターなどが望ましい。また、このドーム型の反射鏡は顕微鏡の載物台上の雪結晶を覆って空気の流れを抑制することにもなり、結果として雪結晶の昇華蒸発の進行を遅らせる効果も期待できる。

図-2には、上記の方法により撮影された雪結晶の顕微鏡写真の一例を示す。

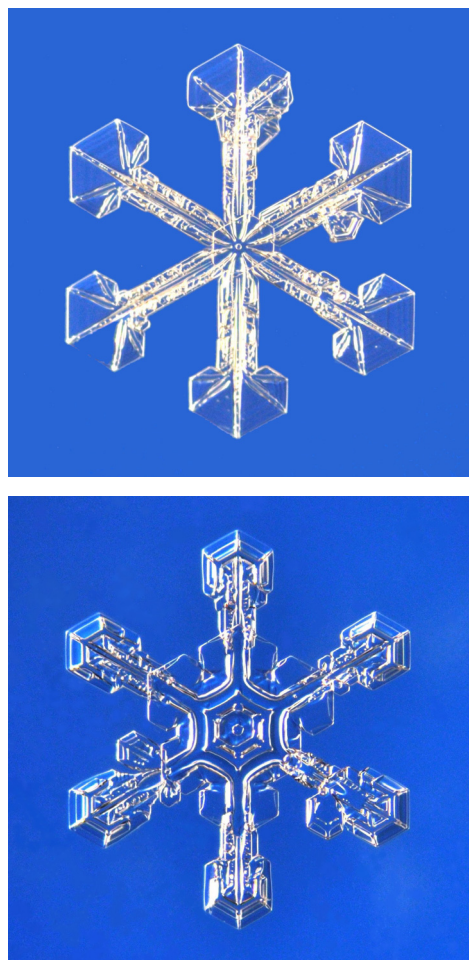


図-2 雪結晶の偏光干渉色による顕微鏡写真

参考文献

- 油川英明, 2009: 雪結晶の観察. 雪氷研究の系譜, 日本雪氷学会北海道支部, 159-162
- Bentley, W.A. and Humphreys, W. J., 1931: Snow Crystals. McGrawHill Book Co., New York, 226pp.
- 樋口敬二, 1962: 雪の結晶の観察と記録. 気象研究ノート, (13), 45-58
- 小林禎作, 1969: 雪の結晶の二色光源による顕微鏡写真撮影法. 低温科学, 物理篇, 27, 395-397
- Nakaya, U., 1954: Snow Crystals - natural and artificial-. Harvard Univ. Press, 510pp.

リング付きベーン試験器による積雪剪断強度測定精度の検証

日下 稜（北見工業大学），大場亜紀（北海道自然エネルギー研究会），
高橋修平（北見工業大学）

1. はじめに

雪崩の危険性を予測するのに積雪の剪断強度を測定することは有効であるとされている。積雪剪断強度を定量的に測る方法として、シアフレームによるものが一般的であるが測定に手間と時間がかかることが欠点である。ベーン試験器による積雪剪断強度試験はシアフレームによる試験に比べ、短時間で実施できるという利点がある。また、シアフレームで測定された剪断強度と高い相関を示す（松澤ら，2008；大場ら，2009）ことからシアフレームに代わるものとして研究が進められている（横山ら，2009）。しかし、従来のベーン試験器は底面だけではなく側面の雪も同時に破壊してしまうため、測定する層は使用するベーンの高さ以上の雪の厚みが必要であり、薄い層での剪断強度測定には適さない。雪崩の原因と成り得る弱層は数ミリメートル程度の薄いものも存在するため、その測定に従来型のベーンを使用することは適当ではない。そこで本研究では、1 cm 以下の薄い積雪層でも剪断強度の測定が可能な「リング付きベーン試験器」（仮称）を試作し、有効性を調べる実験を行った。その結果、測定層直上に厚い氷板が存在しないなど一定の条件下で薄い弱層の検出に有効であることが確認されたので報告する。

2. 実験概要

2. 1 試験器具

本研究で使用した機器は以下の 5 点である。

- ・リング付きベーン（高さ 4 cm，直径 8 cm）
- ・従来型ベーン（高さ 4 cm，直径 8 cm）
- ・トルクゲージ（杉崎計器株式会社製 DID-4，測定範囲 0.020～4 N）
- ・シアフレーム（剪断面積 248 cm²）
- ・フォースゲージ（株式会社 IMADA 製 ZP-500N，最大荷重 500 N，最小分解能 0.1 N）

2. 2 リング付きベーンの特徴

図-1 にリング付きベーンと従来型ベーン及びシアフレームを示す。従来型ベーンで測定する場合、回転時に底面と側面の両方で剪断が起るため、その測定値には 2 つの剪断力が含まれている。これに対し、リング付きベーンとシアフレームは側面にリングもしくはプレートが付いているため、測定層に差し込んだ時点で側面が切断され、底面のみの剪断力を測定することが可能である。また、手動で測定する場合、



図-1 測定機器

リング付きベーン（左）
従来型ベーン（中）
シアフレーム（右）

従来型ベーンでは回転時のブレが大きく測定値のばらつきが出る原因となっていたが、これもリングをつけることで解消された。しかし、リング付きベーンは雪に差し込む板の枚数が多くなるため、クラストや薄い氷板が存在する場合、差し込む時に測定層を破壊してしまう可能性が高いという欠点を持つ。ただ、これはベーンに使用する板を薄くすること解決できると思われる。現在リング付きベーンに使用しているステンレス板の厚みは 1mm だが、さらに薄く、十分な強度を持つベーンを作成することが今後の課題である。

2. 3 試験方法

リング付きベーン及び従来型ベーンは図-2に示すようにトルクゲージの先端に取り付け、雪面に対し水平に差し込み、おおよそ 1 秒間で 90° 回転させ測定した。この時の最大トルク値を以下の式を用いて剪断強度に換算した。

$$\text{リング付きベーン（底面による剪断）：}\sigma = \frac{T}{\pi \left(\frac{D^3}{12} \right)}$$

$$\text{従来型ベーン（底面及び側面による剪断）：}\sigma = \frac{T}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{12} \right)}$$



図-2 リング付きベーン試験器による測定

ベーン直径：D，ベーン高さ：H，剪断時の最大トルク：T である。軸の影響は小さいので無視している。

シアフレームは、剪断面積 248cm²の物を使用し、フォースゲージにシアフレームのワイヤーを掛け、積雪面に水平に差し込みフォースゲージを水平に 3 秒程度で崩壊するように引き、その崩壊時の最大張力を測定した。

ベーン、シアフレーム共に、特に明記した場合を除き 1 測定層につき 5 回計測を行い、その平均値を取った。

3. シアフレームとリング付きベーンの相関

図-3はリング付きベーンとシアフレームにより測定された剪断強度の相関を示したものである。実線は回帰式，点線は等値線である。観測は北見工業大学グラウンドで2009年1月から2010年2月にかけて様々な雪質で行った。リング付きベーンとシアフレームにより測定された値の間にはR²=0.85（データ数40）と高い相関が見られた。松澤ら，2008など過去の研究において，従来型ベーンとシアフレームにより計測された剪断強度には高い相関があることが分かっているが，リング付きベーンにおいても同様の傾向があることが

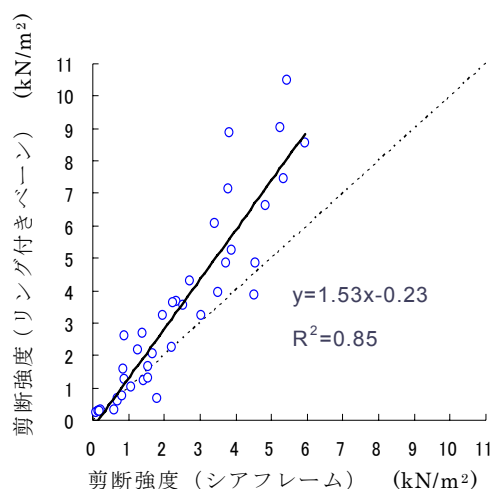


図-3 ベーンとシアフレームによる剪断強度の比較

判明した。リング付きベーンで測定された値がシアフレームで測定された値に比べ大きい、その理由を検証した結果を「4. リングと積雪の摩擦及び測定精度の検証」に示す。

4. リングと積雪の摩擦及び測定精度の検証

図-2に示したようにリング付きベーンは周囲の雪を取り除かずに測定している。また、先に挙げた計算式では、リングと周囲の雪との摩擦を無視している。そこで、雪とリングの摩擦が測定結果に与える影響の検証を行った。試験場所は北海道三国峠（標高 1150m）、試験日は 2010 年 4 月 25 日である。まず、周囲の雪を取り除かずに測定（図-2に示した通常の測定方法）。次に摩擦が生じないように、ベーン周囲の雪を取り除いて測定。これを交互に 25 回繰り返し、それぞれの平均値を比較した。積雪密度 0.09g/cm^3 、及び 0.26g/cm^3 で測定した結果を図-4に示す。グラフのエラーバーは $\pm 1\sigma$ （標準偏差）を表している。この測定の結果、いずれの密度においても摩擦による影響は見られなかった。したがって図-3に示した、リング付きベーンで測定した値がシアフレームより大きく出ているのには摩擦によるもの以外の別な理由があることになるため今後検証して行きたい。

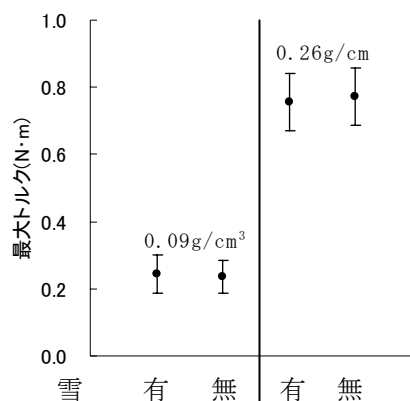


図-4 リング周囲の雪による摩擦の影響。
周囲の雪の有りに関わらず、測定値は一定の値を示した。

5. リング付きベーンの有効性について

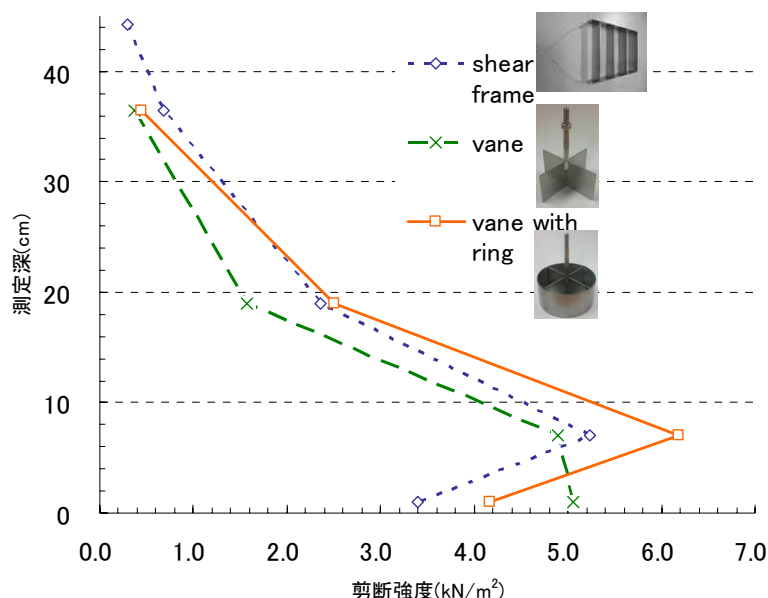
図-5は 2009 年 1 月 30 日にリング付きベーン、従来型ベーン、シアフレームの 3 つの器機で測定した積雪剪断強度を示したものである。観測場所は北見工業大学グラウンド、積雪深 48cm、観測開始時(8:10)の気温は -5.4°C であった。

この時、0cm 地点（地表面）の温度は 0.1°C であり、0cm-6cm までざらめ雪層が見られた。グラフを見ると上層部は全ての測定器が深くなるほど剪断強度が強くなるという同じような傾向を示していることが判る。深部においてはシアフレーム（◇印、点線）とリング付きベーン（□印、実線）が底部になると剪断強度の測定値が小さくなるのに対し、従来型ベーン（×印、破線）のみ測定深が深いほど剪断強度が強く出ている。これは地表面温度が 0°C 付近にあり、地面と積雪の結合力が弱いことが原因と思われる。

シアフレーム及びリング付きベーンは、先に「2. 2 リング付きベーンの特徴」で述べたように器機の底面のみで剪断強度を測定することが可能である。このため地表面付近の結合力の弱い層を測定できたのに対し、従来型ベーンは 4cm の高さがあるため、比較的強度の大きいざらめ雪層（密度 0.38g/cm^3 、雪温 -0.4°C ）を含めて測定されたと考えられる。

これらのことからわかるように、上層部のような明確な弱層が存在せず、均質な雪の場合は測定器による剪断強度に大きな違いは見られないが、当事例の地表面と積雪

の境界層のような薄い弱層を測定する場合、ベーン側面に生じる剪断力が測定結果に与える影響を無視することは出来ない。また雪崩予測の視点から考えると、側面の剪断を測定することにより値が大きく出てしまうという点においても問題がある。リング付きベーンは、シアフレームに近い測定結果を示し、かつ短時間で測定が出来ることから積雪の安定度評価に有効であると考えられる。本実験で測定に要した時間は、シアフレームが1測定層あたり約5分であるのに対し、ベーンは約3分であった(測定層を掘り出し形成する時間を除く)。試験実施に要する労力を考えるとこの時間差は小さくないと思われる。



図－5 3種類の測定器により計測された剪断強度の垂直分布。
従来型ベーン（×印、破線）だけが底部の剪断強度が最も強く測定されていることから、側面の剪断が測定値に影響していることが考えられる。

6. まとめ

本研究では新しい積雪剪断強度測定器、「リング付きベーン試験器」を試作し、その有効性を実証した。リング付きベーン試験器は従来のベーン試験器の側面にリングを付けたものである。

リングを付けたことにより薄い1cm以下の弱層でも剪断強度の測定が可能になった。また、手振れが少なくなった。

リング付きベーン試験器とシアフレームにより測定された剪断強度の間には $R^2=0.85$ （データ数40）と高い相関が見られた。

リングと接触している積雪による摩擦が、測定値に影響を与えることはなかった。リング付きベーン試験器とシアフレームの測定値は良く似た傾向を示した。

【参考・引用文献】

- 1) 松澤勝・布施浩司・松下拓樹・横山博之, 2008: ベーン試験機による簡易な雪の剪断強度測定手法の開発. 寒地技術論文・報告集, 24, 415-418
- 2) 大場亜紀・高橋修平・日下稜・木下陽介, 2009: 各種ベーン試験器とシアフレームによる自然積雪の剪断強度測定. 寒地技術論文・報告集, 25, 119-121
- 3) 横山博之・松澤勝・松下拓樹・布施浩司・坂瀬修・吾田洋一, 2009: ベーンの回転速度と剪断強度およびプッシュゲージの直径と硬度の関係. 北海道の雪氷, 28, 81-84.

積雪の間隙特性に関する一考察

荒川逸人（野外科学株式会社），和泉 薫（新潟大学災害復興科学センター），
河島克久（新潟大学災害復興科学センター），石井吉之（北海道大学低温科学研究所）

1. はじめに

積雪の間隙は，融雪水の浸透や空気の対流などと密接に関連しており，その構造を知ることは非常に重要である．しかし，間隙は目に見えないために，その特徴量を表すことは難しく測定事例が少ない．その中でも固有透過度は巨視的に間隙の特徴を示すことができる物理量である．固有透過度の実験式は粒径と密度で表される¹⁾²⁾ことが多く，微視的な間隙特性を反映できていない．これが可能となれば積雪内の流体の移動を解明する足掛かりになると考えられる．そこで本研究では，手始めに単一径の円管束モデルを考え，これに流路がどれだけ遠回りをしたかを示す迂回率や流動に関与しないよどみ部分を考慮に入れ，これらと雪質との関係について論じることを目的とする．

2. 円管束モデル

2.1 モデルの概要

図-1aに示すように，断面積 A_s ，長さ L_s の積雪試料の中に，直径が d_T ，長さ L_T の円管が n_T 本あるような単一径の円管束モデルを考える．円管は直線で屈曲していないものとする．また，図-1bのように，円管内で流体の流れに関与する部分としない部分に分け，流動に関与する部分も円管になるとし，流動に関与する直径の比率 R_a （以下，径比）を与えると，この時，流動に関与する直径は $R_a d_T$ となる．

2.2 モデルにおける諸物理量

図-1で示した円管束モデルでは，以下のように，間隙率 ϕ ，体積比表面積 SSA_v ，水理学的半径 r_H が求められる．

$$\phi = \frac{\pi (d_T/2)^2 L_T}{A_s L_s} \times n_T \quad (1)$$

$$SSA_v = \frac{\pi d_T L_T}{A_s L_s} \times n_T \quad (2)$$

$$r_H = \frac{\phi}{SSA_v} = \frac{d_T}{4} \quad (3)$$

また，円管の長さ L_T と積雪試料の長さ L_s の比を迂回率 τ として定義する．すなわち，

$$\tau \equiv \frac{L_T}{L_s} \quad (4)$$

である．これは，流路がどれだけ長くなり，

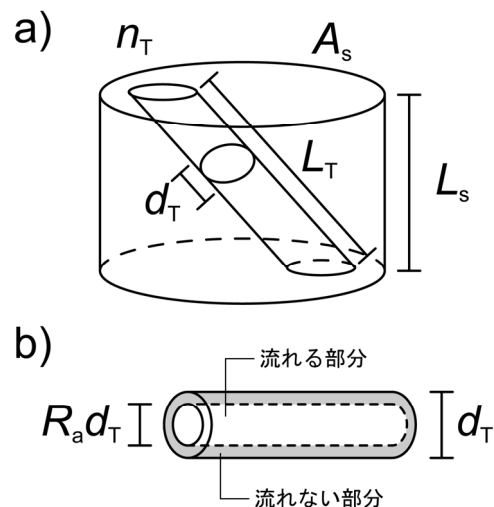


図-1 単一径の円管束モデル．a)は積雪試料全体，b)は円管における流動部分と非流動部分を示す．

流体が最短距離である試料長に対して遠回りした程度を示す.

2.3 Hagen-Poiseuille の法則と Darcy の法則

単一径の円管を流れる粘性流体の流速はHagen-Poiseuilleの法則に従う. すなわち, 円管の流動に関与する部分の直径は $R_a d_T$ で与えられるので, 円管 1 本あたりの平均流速 v_p は,

$$v_p = \frac{(R_a d_T / 2)^2}{8\eta} \frac{\Delta P}{L_T} \quad (5)$$

と表される. ここに, ΔP は試料両端にかかる圧力差, η は粘性係数である. このとき, 円管 n_T 本における流量 Q は,

$$Q = n_T \pi \left(\frac{R_a d_T}{2} \right)^2 v_p \quad (6)$$

となる. 一方, 円管束モデルは多孔質媒体の流れを表す Darcy の法則が成り立つとすれば, 流量 Q は以下のように表すことができる.

$$Q = A_s \frac{k}{\eta} \frac{\Delta P}{L_s}. \quad (7)$$

ここに, k は固有透過度である. 式(5)と式(6)より, 迂回率 τ と径比 R_a との関係が求められる.

$$\frac{\tau}{R_a^2} = \sqrt{\frac{\phi}{32k}} d_T. \quad (8)$$

ただし, 適用範囲は $\tau > 1$, $0 < R_a \leq 1$ である. τ/R_a^2 の意味するところは, 流路の長さ
と流動に関与する面積の比である. 仮に τ/R_a^2 が定数ならば, 流路が長い程, 円管全体
を使って流体が流れることを示す. すなわち, よどみが少なくなるといえる. しかし,
迂回率 τ と径比 R_a は共に未知数であり, 現時点ではこの2つの物理量を求めることはで
きないため, τ/R_a^2 についての議論しかできない. τ/R_a^2 の値は, 式(8)の右辺にある3
つの物理量の測定によって求められる. 間隙率 ϕ は密度 ρ_s の測定から, 固有透過度 k
は通気度の測定から, そして円管直径 d_T は式(2)から求められ, 体積比表面積 SSA_v
は片薄片試料の画像解析によって求められる.

3. データ

2005/06~2007/08の3冬期において, 北海道内の7地点で積雪断面観測を実施した.
観測項目は, 雪質, 通気度測定, 積雪試料採取である. これらの測定方法の詳細につ
いては, Arakawa *et al.*³⁾を参照されたい. 表-1は, 観測結果の概要である. 観測した
積雪試料は147試料で, 全て乾き雪であった. 通気度の測定から固有透過度 k が算出さ
れ, 積雪試料から片薄片試料が作成されて画像解析によって体積比表面積 SSA_v が求め
られた. 密度 ρ_s の範囲 $48-494 \text{ kg m}^{-3}$ に対して, 固有透過度 k は $2.2-209.2 \times 10^{-10} \text{ m}^2$,
体積比表面積 SSA_v は $1.9-9.2 \text{ mm}^{-1}$ であった.

表-1 測定結果概要. ひとつの層で2つの雪質と判断したものは、それぞれの雪質に集計している.

雪 質	試料数	密度 ρ_s [kg m ⁻³]	固有透過度 k [$\times 10^{-10}$ m ²]	体積比表面積 SSA_v [mm ⁻¹]
新雪	6	48 - 161	20.2 - 82.2	2.7 - 5.8
こしまり雪	23	114 - 296	6.1 - 104.5	2.7 - 6.6
しまり雪	21	160 - 494	2.2 - 39.0	4.3 - 9.2
こしもざらめ雪	30	133 - 456	9.6 - 112.1	1.9 - 6.6
しもざらめ雪	49	176 - 408	36.3 - 209.2	1.5 - 4.0
ざらめ雪	18	318 - 492	7.5 - 65.2	1.9 - 5.2
全体	147	48 - 494	2.2 - 209.2	1.9 - 9.2

4. 結果と考察

4.1 雪質別の τ/R_a^2

図-2 は雪質別の τ/R_a^2 である. 全体の平均は 2.12 で最小値が 1.03 で最大値が 3.80 であった. 雪質別の平均値と比較すると, こしもざらめ雪やしもざらめ雪は, 全体の平均値よりも小さい傾向にある. これは, 迂回率 τ が小さく流路が短い, 若しくは R_a^2 が大きくよどみ域が小さいことを示す. これに対して, 新雪, しまり雪, ざらめ雪は

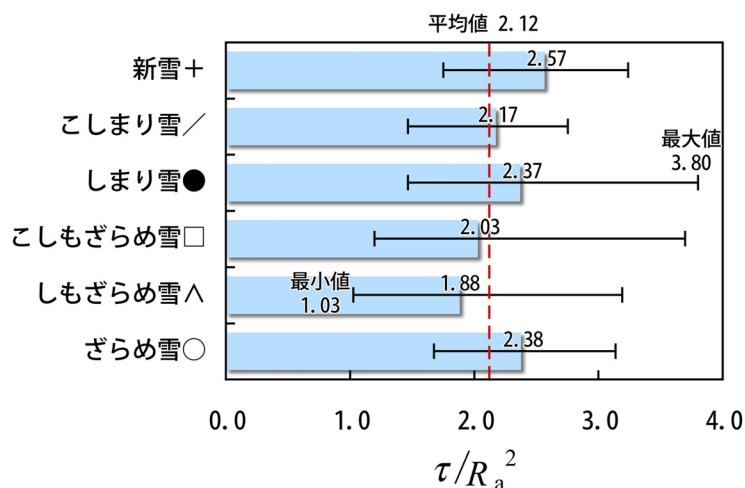


図-2 雪質別の τ/R_a^2

2.37-2.57 と相対的に大きい値である. これらは逆の傾向となり, 流れる距離が長くなっている, 若しくはよどみ域が大きいことを示している.

4.2 迂回率 τ と径比 R_a との関係

図-3 は, τ/R_a^2 の関係を迂回率 τ と径比 R_a の散布図に描き直したもので, 雪質別の τ/R_a^2 の平均値の曲線, および最小値 (1.03) と最大値 (3.80) の曲線が示されている. しまり雪とざらめ雪はほぼ同じ値のために重なっている. 積雪試料は $\tau/R_a^2 = 1.03$ と $\tau/R_a^2 = 3.80$ の曲線で囲まれた領域のどこかにプロットされるはずである. しかし, 前述したとおり, 迂回率 τ と径比 R_a は未知の物理量であるために, プロットすることができない. ただし, 迂回率 τ については, 積雪の微細構造を示す物理量であることから, 将来的には測定できる可能性が大きい. そうすれば径比 R_a が求められ, 有効間隙率といった水理学的にも重要な物理量が算出できるようになると考えられる.

さて, τ/R_a^2 の平均値は新雪 (2.57) → こしまり雪 (2.17) → しまり雪 (2.37) となっており, 新雪としまり雪の中間的存在であるこしまり雪の値が新雪としまり雪の間に入っていない. これは定性的であるが, 以下のように説明できると考えられる. 新雪は (結晶構造によって異なるだろうが) 一般的に他の雪質よりも複雑な結晶構造であ

る．このため，径比 R_a は小さくなることが考えられる．つまりよどみ域が大きくなる．更に，密度 ρ_s が小さいことから，よどみ域が大きくても迂回率 τ は小さくなると予想される．つまり，新雪の曲線の中でも左下寄りとなると考えられる．一方，しまり雪は，粒子が球形に近づきよどみ域が小さくなることが予想される．すなわち，径比 R_a が大きくなる．また，密度は新雪に比べて相対的に大きいことから，迂回率 τ は大きくなる．つまり，しまり雪の曲線の右上寄りとなる．こしまり雪はそ

の間に位置する．等温変態によって新雪結晶の複雑な形状から単純な形状に変化することから，迂回率 τ が大きくなるよりも，よどみ域が小さくなる方が卓越すると考えられる．つまり， τ/R_a がまずは小さくなっていく．その後，こしまり雪は球形粒子に近づき圧密による密度増大も加わって迂回率が大きくなり， τ/R_a が大きくなるのではないかと推察される．

5. まとめ

迂回率 τ と流動に関わる直径の比率 R_a を組み込んだ単一径の円管束モデルを構築した．2つのパラメータはどちらも未知数であることから， τ/R_a の値を求めるのみとなったが，間隙の特徴を使って，雪質の特徴を説明することができた．今後，構造解析などによって迂回率が求められれば，よどみ域の算出が可能となり，積雪内の流体の移動についての理解がより一層深まると考えられる．

【参考・引用文献】

- 1) Shimizu, H., 1970: Air Permeability of Deposited Snow. Contributions from the Institute of Low Temperature Science, A22, 32pp.
- 2) 荒川逸人・和泉薫・河島克久・石井吉之：季節積雪の固有透過度と微細構造に関する諸因子との関係．雪氷，投稿中．
- 3) Arakawa, H., Izumi, K. Kawashima, K. and Kawamura, T., 2009: Study on quantitative classification of seasonal snow using specific surface area and intrinsic permeability. Cold Reg. Sci. Tech., 163-168. doi:10.1016/j.coldregions.2009.07.004.

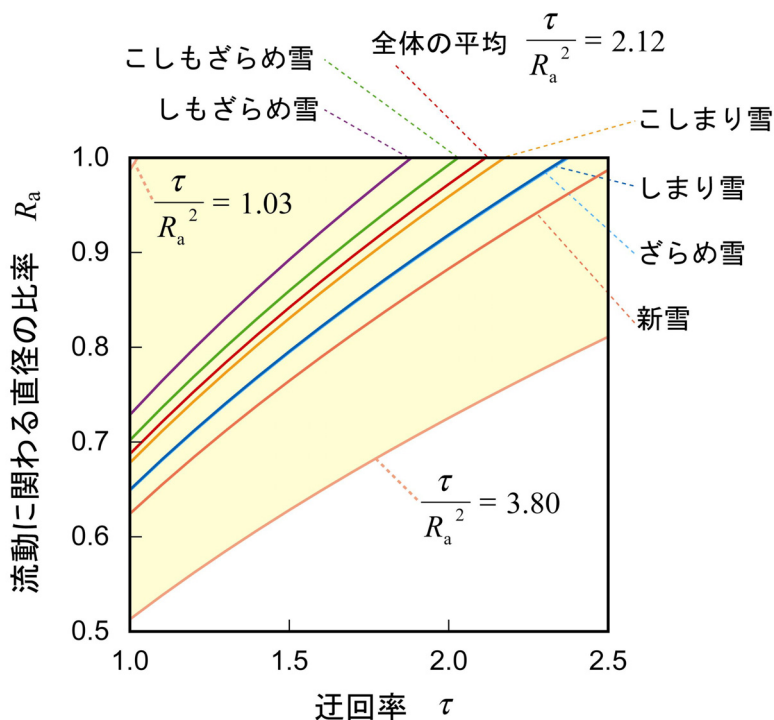


図-3 迂回率 τ と流動に関わる直径の比率 R_a との関係

地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2010 年)

若林剛(北見工業大学), 木下陽介(五洋建設株式会社), 高橋修平(北見工業大学)

1. はじめに

広域での積雪の堆積状態を知ることは, 除雪や雪崩の危険性についての情報に役立つ. また, 積雪の断面観測による方法では多くの時間と労力が必要であり, 広域の積雪状態を見る際には均一性などの問題が発生するなどの欠点がある. 地中探査レーダー(Ground Penetrating Radar 以下 GPR と略す)は電磁波を用いて地中の内部構造を非破壊かつ迅速に調査することができる機械であり, この GPR を積雪のあるフィールドで用いれば上記の問題を解決することが出来る. しかし, GPR 内部から生じるシステムノイズと地面信号や雪面信号との判別, 電磁波速度の予測等の GPR 観測の問題点がある(木下 他、2009) .

今回 2010 年 3 月 19 日に知床峠横断道路の未除雪区間を GPR により観測した. これは 2005 年から毎年同時期に行っている. これは, 除雪の情報に役立てることと知床半島の自然環境を知ることとを目的として行っている.

2. GPR 観測装置, 観測原理

(1) 観測装置

本研究では Mala Geoscience 社製の GPR(図-1)を用いており, 受信周波数は 800MHz のものを用いた. アンテナは電磁波の送信機と受信機が一体となっており, 観測では他にコントロールユニット, パソコンを必要とする.



図-1 Mala Geoscience社製 GPR

(2) GPR 観測理論

GPR 観測を行うと, まず送信機から出た電磁波が反射し, 反射してきた電磁波を受信機で受信するまでの時間と反射強度が得られる. 取得した反射の受信の時間と強度から積雪深や内部構造を調べることが出来る. 積雪中では空気中よりも電磁波速度が遅くなるため, GPR 観測データから積雪深を求めるには積雪中の電磁波速度を予測する必要がある(松岡, 2005) .

電磁波速度は空気中では次式で表される.

$C=1/\sqrt{(\epsilon_0 \mu_0)}$ (C :真空中の電磁波速度, ϵ_0 :真空中の誘電率, μ_0 :真空中の誘磁率)
ここで, 一般的に地中や積雪中では透磁率の変化はほとんど無いとため, 透磁率の変化に電磁波速度は依存するので物質中の電磁波速度は次式のようなになる.

$$V=C\sqrt{(\epsilon_0/\mu_0)} \quad (V:物質中の電磁波速度, \epsilon:物質の誘電率)$$

ここで比誘電率というものを次式のように定義する.

$$\epsilon_r=\epsilon/\epsilon_0 \quad (\epsilon_r:比誘電率)$$

積雪中の比誘電率は, 積雪密度に依存する次式が経験的に知られている(Tiuri, 1984).

$$\epsilon_r=1+1.7\rho+0.7\rho^2 \quad (\epsilon_r:比誘電率, \rho:積雪の密度)$$

また真空中の電磁波速度は $300\text{m}/\mu\text{s}$ なので, 積雪中の電磁波速度は次式で表される.

$$V=300/\sqrt{(1+1.7\rho+0.7\rho^2)}$$

この式から積雪中の電波速度は密度に依存することがわかる．今回の観測で積雪断面観測によって密度が得られる場所での電磁波速度の予想はこのモデル式にしたがって計算を行っている．

3. GPR の精度観測

(1) 観測方法

GPR で得られた結果の精度がどれくらいかを検証するために精度観測を行った．

2010 年 1 月 14 日～1 月 22 日の期間に受信周波数が 800MHz と 1.6GHz の 2 種類のアンテナを使用した．高さが 20-140cm 台の任意の雪山を作り観測を行った．

精度検証のため、実測による積雪深と積雪密度を得た．

(2) 観測結果

観測結果を図-2 に、実測の積雪深と GPR 観測の相関係数 R と GPR 観測の誤差の標準偏差 STD はそれぞれ以下のようになった．

800MHz: $R=0.9990$ $STD=1.61\text{cm}$ 1.6GHz: $R=0.9989$ $STD=1.78\text{cm}$

このように 800MHz と 1.6GHz の両方のアンテナで高い相関があり、精度が高いことがわかった．

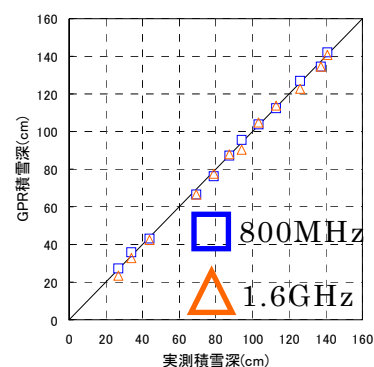


図-2 GPR 精度観測結果

4. 知床峠横断道路移動観測

(1) 観測地点

2010 年 3 月 19 日に知床横断道路のウトロ側(22.5km)から知床峠頂上(17km)までの 5.5km の距離を、GPR 搭載ソリで雪上車により牽引して観測を行った(図-3)．観測コースを図 4 に示す．出発地点と頂上では積雪の断面観測を行った．



図-3 観測風景



図-4 観測コース

(2) GPR 搭載ソリ牽引観測

GPR 観測で使用したアンテナの受信周波数は 800MHz，データ取得インターバルは 1 秒，さらに位置データを GPR で取得しながら走行した．500m 毎に走行を停車させ、実測による積雪深をゾンデ棒により観測を行った．アンテナ底面と雪面が触れない構造になっていて、取得した観測データは雪面までの距離を考慮する必要がある．

(3) 観測結果

GPR 搭載ソリの牽引観測結果を図-5 に示す．GPR により知床横断道路 5.5km を 100m 毎に積雪深を観測することが出来た．山間部に入るにつれ積雪深が増加し、最大積雪深は 17.7km 地点の 424cm で、最小は 18.5km 地点であった．

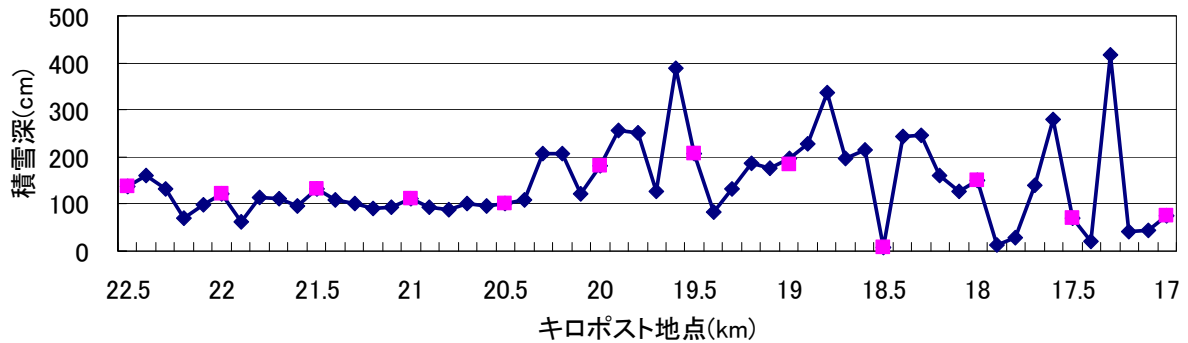


図-5 知床峠横断道路移動観測結果

5. 羅臼側の実測積雪観測

(1) 観測地点

2010年3月19日に知床峠頂上(17km)から羅臼側(9km)までの8kmの距離の観測を行った(北見工業大学 高橋・日下・岩崎)。ただし10.5km以降は除雪されていたので、10.5kmまでの結果を利用した。観測コースを図-6に示す。

(2) 観測方法

スノーポールにより積雪深を計測した。

羅臼側の実測積雪深の結果を図-7に示す。最大積雪深は12.5km地点の3.8mだった。ウトロ側のようにふもとに近づくにつれ積雪が少なくなるといった傾向は見られず、ふもとに近づいても1.5mを超える積雪が多い。また、頂上から16km地点から15km地点では図-8のように雪庇が発生していて危険であった。



図-6 観測コース



図-8 雪庇発生様子

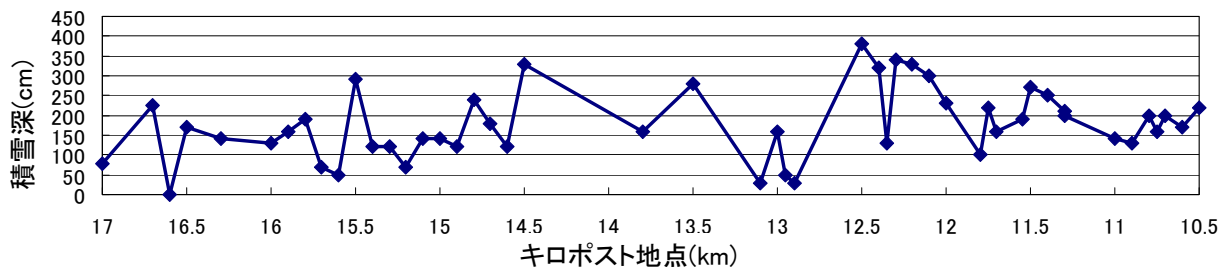


図-7 羅臼側の実測積雪深観測結果

6. 考察

(1) 知床横断道路移動観測結果

19km地点では積雪が多く、18.5km地点では積雪が少ないという結果が得られた。これは地形の影響と風による影響であると考えられる。19km地点と18.5km地点の地形を図-9に示す。また2009年11月から2010年3月のウトロのアメダスの風向データより南南東の風の割合が多いことがわかった。よって南南東の風と斜面の影響から

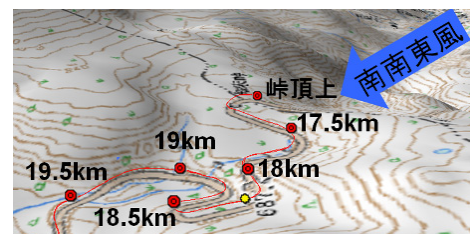


図-9 19km地点と18.5km地点の地形

19km地点では吹き溜まり積雪が多くなったと考えられる。一方18.5km地点では地形と南南東の風の影響により吹き払われていて積雪が少なくなったと考えられる。

(2) 知床横断道路積雪観測年度比較

2005 年から 2010 年に行った知床横断道路上の実測積雪深観測結果を図-10 に示す。これから各 km 地点での積雪の傾向は毎年同じ傾向が見られた。

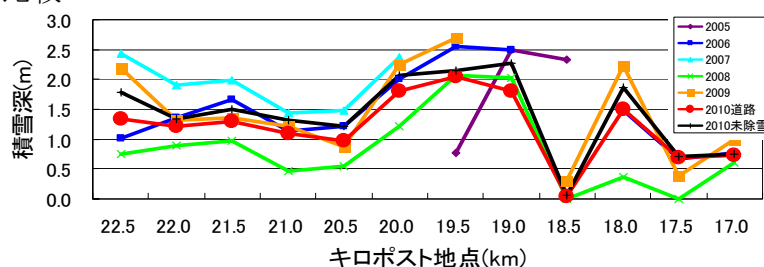


図-10 実測積雪深観測結果

(3) 羅臼側の実測積雪観測結果

14km 地点では積雪が多く急斜面という結果が得られた(図-11)。これは地形と風の影響だと考えられる。14km 地点の地形を図-12 に示す。2009 年 11 月から 2010 年 3 月の羅臼のアメダスの風向のデータより北西の風の割合が多いことがわかった。よって北西と斜面の影響から急斜面が発生したと考えられる。この地点での除雪の際には十分な安全対策が必要であると考えられる。



図-11 14km 地点付近様子

(4) 知床横断道路全域の積雪

ウトロ側はふもとに近づくと積雪深が 150cm 以下になり減少していることがわかる。積雪が多い場所と少ない場所が極端である。一方羅臼側はふもとに近づいても積雪深が 150cm を超えていて、全体的に積雪が多い。

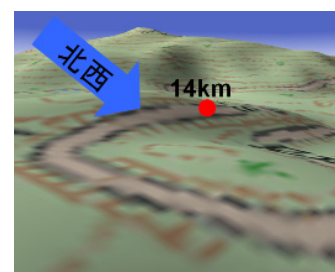


図-12 14km 地点の地形

7. まとめ

- ・各 km 地点での積雪の傾向は過去 5 年間と同じような結果となった。
- ・100m 毎の連続した積雪深の GPR 観測から、地点ごとの積雪傾向と 4m を超える積雪でも予想することが出来た。
- ・GPR と実測の積雪深の誤差は最大で 11cm であった。
- ・相対誤差は最大と平均でそれぞれ以下になった。
最大:6%(積雪深 183cm) 平均:3%
- ・今年の知床横断道路の最大と最少の積雪深と地点は以下のようになった。
ウトロ側-頂上 最大:424cm(17.6km 地点) 最少:8cm(18.5km 地点)
頂上-羅臼側 最大:380cm(12.5km 地点) 最少:30cm(12.9km 地点)

【参考・引用文献】

- 1) 木下陽介, 佐藤研吾, 高橋修平, 小杉知史(2008):地中探査レーダーによる積雪観測(4)-知床峠の積雪観測-, 寒地技術論文・報告集 Vol. 24, 116.
- 2) 松岡健一(2005):16.4 地中探査レーダー, 雪と氷の事典, 674-678
- 3) Tiuri, M. E., Sihvola, A. H., Nyfors, E. B., and Hallikaiken, M. T., (1984): The complex Dielectric Constant of Snow at Microwave Frequencies. IEEE Journal of Oceanic Engineering Vol OE-9, No5, 377-381.
- 4) 木下陽介, 高橋修平, 浜名裕司:地中レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2009 年), 北海道の雪氷 No. 28

2009 年ネパールヒマラヤ・ヤラ氷河における 氷厚探索および流動測定

刀根賢太（北海道大学環境科学院，低温科学研究所），杉山慎（北海道大学低温科学研究所），福井幸太郎（立山カルデラ砂防博物館），藤田耕史（名古屋大学）

1. はじめに

ヒマラヤの多くの氷河が近年急速に後退していることが最近の観測によって明らかになっている（e.g. 内藤, 2001）. しかしながら長期間にわたって観測が継続されている氷河は少なく，後退量の定量的な評価が課題となっている．ネパールヒマラヤに位置するヤラ氷河は，1980 年代から調査が行われてきた数少ない氷河であり，過去の観測データを利用することで近年の変動を明らかにすることが可能である．我々はこの氷河において，2009 年 10 月 31 日から 11 月 4 日にかけて調査を行った．本報では，ヤラ氷河における氷厚探索および氷河表面の流動速度観測の結果を報告する．

2. 観測地

ヤラ氷河は，ネパールの首都カトマンズの北約 60 km に位置するランタン谷に点在する氷河の一つである（図－1）. 長さ約 1.3 km，流域面積約 2.5 km²，南西方向に斜面をもち，標高約 5600 から 5100 m にかけて流れている（図－2, 3）. ヤラ氷河では 1982 年に定量的な観測が行われて以来，継続的に観測が行われており，近年氷河が

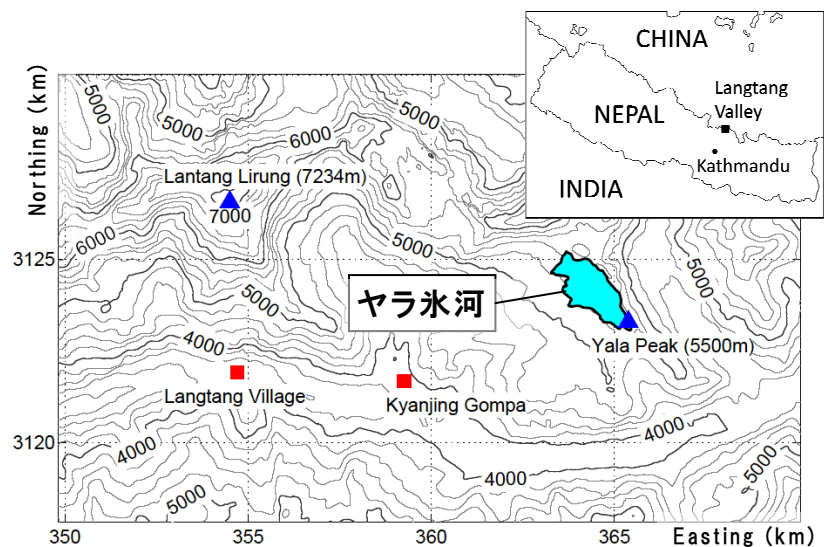


図-1 2004 年の ASTER のデータに基づいて描いたヤラ氷河周辺の地形図．座標系は UTMzone45.



図-2 南西方向から見たヤラ氷河.

著しく後退していることが報告されている(Ageta *et al.*, 1984; 内藤, 2001; Fujita *et al.*, 1998). また, 消耗域(1981年, 5180 m)と涵養域(1982年, 5400 m)において氷コアの全層掘削が行われ, その深さはそれぞれ 30 m と 60 m であった(Watanabe *et al.*, 1984).

3. 観測方法

3.1. 氷厚探査

GPR(Ground Penetrating Radar: GSSI社製 SIR3000)およびアイスレーダ(Ohio 州立大学製作)を用いて氷厚探査を行った. どちらも送信機で発生させた高電圧短パルスを受信機で受信するものである.

GPRは中心波長 270 MHzを使用する送受信機一体型のシステムで, 1/16 秒間隔で連続的に受信波を記録することができる. 氷河上流から下流にかけて約 1 m s^{-1} の速度で移動しながら測定を行った(図-3). 測線に沿った受信波強度の深度分布を図4に示す. 氷河中の電波伝播速度は氷中の伝播速度 170 m s^{-1} を用い, 図-4 から測線に沿った氷厚を読み取った.

一方, アイスレーダの中心周波数は 5 MHzであり, 受信波はデジタルオシロスコープ(Tektronix 社製 THS720std)とPCを用いて保存される. 送信機と受信機の距離を 20 mに固定し, 氷河中流から下流にかけて 20 m毎に測定を行った(図-3). アイスレーダ観測により得られた波形を図-5に示す. 各地点における岩盤反射波到達時間と氷河中の電波伝播速度 170 m s^{-1} から氷厚分布を求めた.

また, GPS キネマティック干渉測位(Magellan 社製 ProMark3)によって氷厚探査の測線に沿った氷河表面の標高を測量した.

3.2. 表面流動速度

2009年10月31日から11月4日にかけて, 氷河末端付近の2点でGPS(Leica

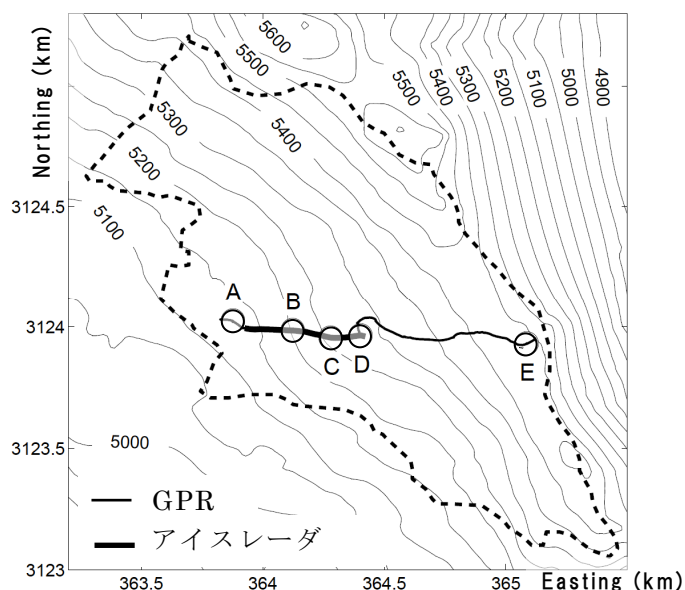


図-3 ヤラ氷河の地形図. 等高線の間隔は 50 m. 点線は氷河の輪郭, 実線は GPR およびアイスレーダの測線を示す. ○A-E は流動速度の測定点である.

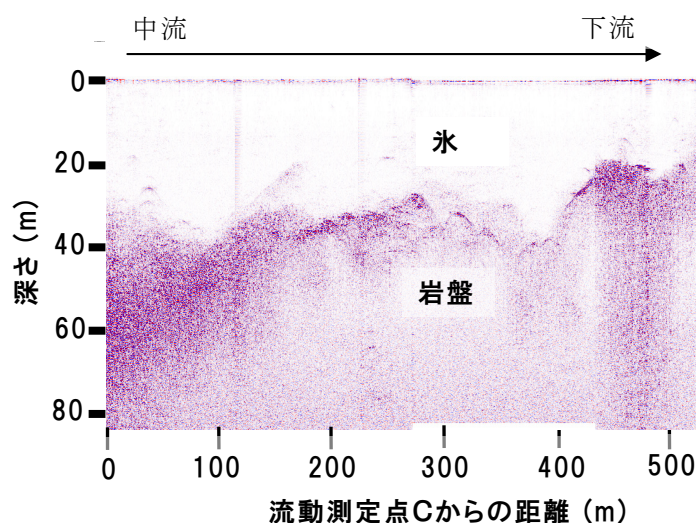


図-4 GPR 観測により得られた反射データ. 比誘電率の差が大きいところほど反射強度が強く, 濃い色で表わされる.

Geosystems 社製 System1200) により流動速度観測を行った(図-3 A, B). 氷河上に設置した測量用ポール先端に GPS アンテナを取り付け, 約 30 分間のスタティック干渉測位により 4 日間の移動量を測定した. また上流および中流の計 3 ヶ所において, 2008 年 9 月 26 日に測量したポールの位置座標を 2009 年 10 月 31 日に GPS スタティック干渉測位(Magellan 社製 ProMark3) によって再び測量し, この期間の流動速度を求めた(図-3 C, D, E).

4. 結果

アイスレーダ観測の測線に沿った表面および岩盤の標高を図-6 に示した. 岩盤の標高は, 表面高度から氷厚を差し引くことにより求めた. 図-6 に示した範囲における氷厚は, GPR 観測では 16.9–40.9 m で平均氷厚は 30.5 m, アイスレーダ観測では 16–17 m で平均氷厚は 17 m であった. 今回の氷厚探索により氷河末端付近の岩盤に凹地があることがわかった(図-6).

流動速度観測の結果を図-7 に示した. 水平方向の流動速度をベクトルで示し, 鉛直方向の流動速度を上部の数字で示した. 流動方向は最大傾斜方向にほぼ等しく, 流動速度は上流部と下流部で小さく, 中流部に近づくにつれて大きくなる, 一般的な氷河における分布を示した. 水平方向の流動速度は D 地点で最大値 7.3 m a^{-1} , A 地点で最小値 1.1 m a^{-1} をとった. 5 地点の平均流動速度は 3.7 m a^{-1} であった.

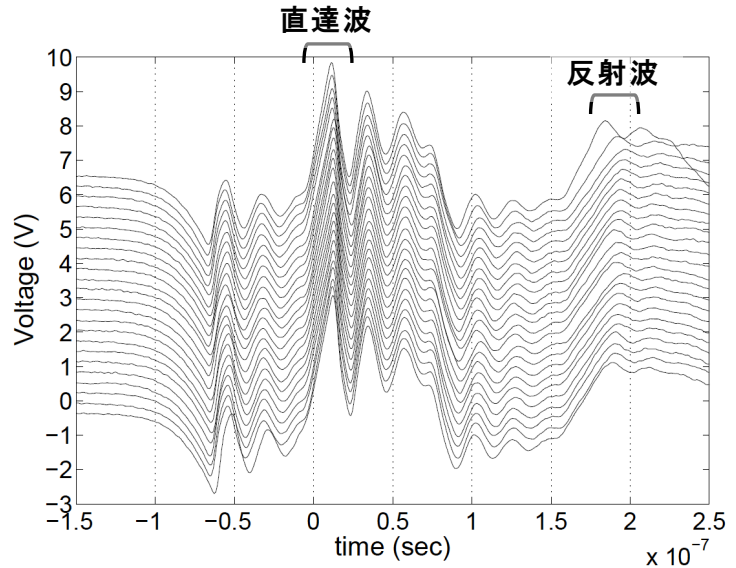


図-5 アイスレーダ観測により得られた受信波.

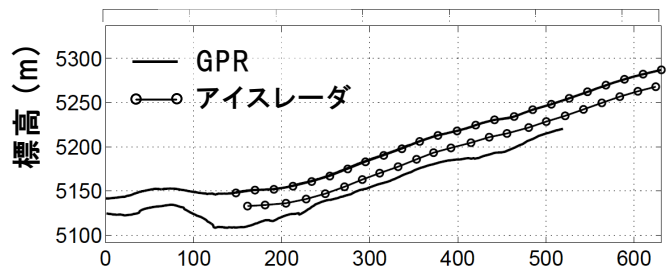


図-6 氷河表面および岩盤の標高.

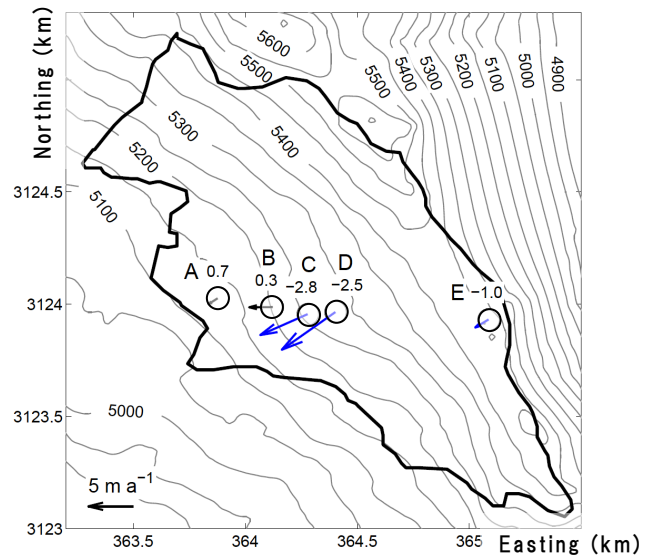


図-7 ベクトルは水平方向の流動速度, 数字は鉛直方向の流動速度を示す. 点 A, B は 2009 年 10 月 31 日から 11 月 4 日, 点 C, D, E は 2008 年 9 月 27 日から 2009 年 10 月 31 日の移動量から年間流動速度を求めた.

5. 考察

アイスレーダ観測では GPR 観測に比べて岩盤の起伏を捉えられなかった。これは GPR 観測で用いた波長が約 0.63 m であるのに対し、アイスレーダ観測で使用した波長は 34 m と長く、アイスレーダの解像度が小さいことが原因であると考えられる。また、アイスレーダ観測で得られた氷厚は GPR で得られた氷厚と比較して約 45% 薄かった。物質中の電波伝播速度は波長依存性をもつが、本研究で使用した周波数 (270 MHz および 5 MHz) では氷中の伝播速度にほとんど差はなく、観測された氷厚が大きく異なった原因はよく分かっていない。

また、図 4 において氷河中流部 (横軸 0–約 150 m) では氷と岩盤の境界がはっきりしないことから、氷河底に礫まじりの氷の層 (ティル) があることが示唆される。

6. まとめ

2009 年 10 月 31 日から 11 月 4 日にかけて、ネパールヒマラヤ・ヤラ氷河において氷厚探査、表面測量、および流動測定を行い、以下の点が明らかになった。

- ・中流部から下流部にかけての氷厚は約 17–40 m で、平均氷厚は約 30 m であった。
- ・下流部に凹地があり、表面地形と岩盤地形は一致していない。
- ・氷河表面の流動速度は水平方向に 1.1 m a^{-1} から 7.3 m a^{-1} の範囲で分布し、平均流動速度は 3.7 m a^{-1} であった。

謝辞

本研究は科研費 No. 19253001 の助成を受けた。調査に対し、Department of Hydrology and Meteorology に調査許可取得にご協力いただき、現地では著者以外の観測メンバーおよび Guide For All Seasons 社のスタッフの方々にもご協力いただいた。本文を取りまとめるにあたり、ここに深く謝意を表します。

【参考・引用文献】

Ageta, Y., Iida, H. and Watanabe, O. (1984): Glaciological studies on Yala Glacier in Langtang Himal. *Glacial Studies in Langtang Valley, Report of the Glacier Boring Project 1981-82 in the Nepal Himalaya*, 41–47.

内藤 望, 2001: ネパール・ヒマラヤにおける近年の氷河縮小. 雪氷, **63**, 207–219.

Fujita, K., Takeuchi, N. and Seko, K. (1998): Glaciological observations of Yala Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas, 1994 and 1996. *Bulletin of Glacier Research*, **16**, 75–81.

Watanabe, O., Takenaka, S., Iida, H., Kamiyama, K., Thapa, K. B. and Mulmi, D. D. (1984): First Results from Himalayan Glacier Boring Project in 1981-1982, Part I. Stratigraphic analyses of full-depth cores from Yala Glacier, Langtang Himal, Nepal. *Glacial Studies in Langtang Valley, Report of the Glacier Boring Project 1981-82 in the Nepal Himalaya*, 7–23.

アラスカにおける冬季地表面の冷却過程の観測

中村文彬, 榎本浩之 (北見工業大学), 金 龍元 (アラスカ大学),
佐々木孔明 ((株) 日立プラントテクノロジー)

1. はじめに

アラスカは永久凍土が存在することによって, 温度上昇が抑制される. さらに, 積雪の融解により土壌に水分が供給される. それにより積雪が地表面にどのような影響を与えるのかを見る必要がある. 本研究では森林, 山岳, ツンドラなどの様々な地形や気候に特徴あるアラスカを対象にして温度計, 水分計を設置し観測した. それにより, 多地点での同時観測を行うことができた. 観測により凍結時期, 凍結期間, 積算寒度についてアラスカ北部の特徴を見ることができた. さらに, 得られたデータにより, 凍結・融解と地中の水分量との関連を調べた.

2. 現地観測

2. 1 観測サイト

図-1 に示すようにフェアバンクスから北極海沿岸の町プルード・ベイまでの約 1000 km をダルトン・ハイウェイ沿いに沿って 7 か所のサイトを設けて観測を行った. フェアバンクスからプルード・ベイまでの道のりには起伏の多い森林帯, ユーコン川, 北極圏の境界線, 1000m を越える岩山からなるブルックス山脈を超えると海岸まで続く平原のツンドラが広がる. この平原は約 100 km を 800m しか下らない平野でノーススロープと呼ばれている. さらに, ツンドラには海岸近くに湖や沼地などが広がる海岸ツンドラ帯がある.

2. 2 観測データ

各サイトで図-2 のようなデータを取ることができた. 図-2 は 2008 年から 2009 年にかけてのサイト BC1 データを示している. 黒い実線を気温 (AT100) とし, 高さごとに気温センサーを設けてある. 灰色に塗りつぶされているのはインターバルカメラによる目視での積雪深を示している. 2008 年から 2009 年にかけてのサイト BC1 の特徴は積雪深の高さが 110 cm 以上を示しているのがわかる. これは他のサイトの中でも多い結果になった. 気温は最低気温が -43.1°C で積算 $3728^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$ になっていて積算寒度, 最低気温はほかの北方森林帯のサイトと変わらない結果になった. 他のサイトについては表-1 にまとめた.

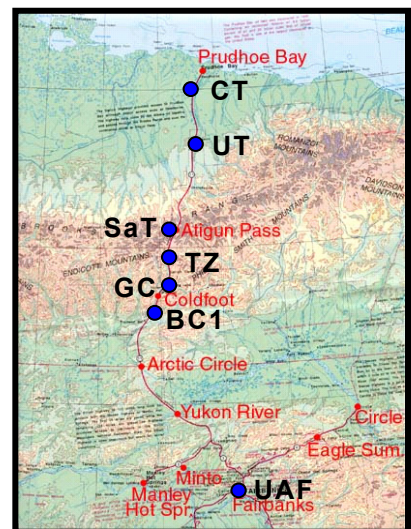


図-1 アラスカ州北部の観測域

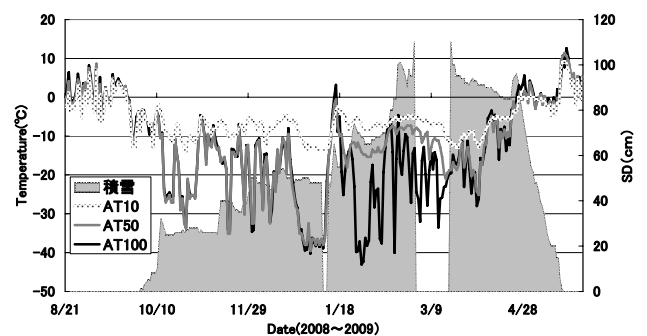


図-2 温度と積雪深の取得データ例 (北方森林BC-1)

表-1 気温、積雪、凍結に関する観測結果 (2008-2009)

2009年	北方 森林帯				ツンドラ帯		
	UAF	BC1	GC	TZ	SAT	UT	CT
標高(m)	247	348	433	692	1060	424	40
最低気温(°C)	-49.1	-43.1	-46.0	-39.6	-42.1	-45.4	-43.2
積算寒度(°C・day)	3731	3729	4594	3866	3866	4624	4573
最大積雪深(cm)	66*	110以上	72*	93	66*	36.5*	25
積雪時期	2008/9/22	2008/9/30	2008/10/4	2008/9/30	2008/10/2	2008/10/1	2008/10/5
積雪期間(日間)	201	231	211	228	207		206
凍結時期(日)	2008/9/25	2008/9/28	2008/9/30	2008/9/27	2008/9/19	2008/9/15	2008/9/27
融解時期(日)	2009/4/24	2009/4/27	2009/5/6	2009/4/28	2009/4/30	2009/6/2	2009/6/16
凍結期間(日間)	208	211	218	215	223	270	272
地温最低温度(°C)	-9.9	-5.7	-8.1	-7.9	-8.2		-19
停滞期間(凍結時)	38	19	4	14	39	32	56
停滞期間(融解時)	11	23	15	22	16		19

*は断面間即時の積雪深
#は仮の値(平均値)

各サイトを比較した表を見る。積算寒度が一番低いのはサイト UT の 4624°C・day でその次がサイト CT の 4572°C・day だった。ツンドラ帯の積算寒度はほぼ同じ値を示した。しかし、ツンドラ帯なのに山岳ツンドラのサイト SaT は積算寒度が 3866°C・day と高くなっている。この積算寒度は北方森林帯の積算寒度と似ていることがわかった。北方森林帯のなかでもサイト GC は積算寒度が 4594°C/day に示していてツンドラ帯に近くなっているのがわかる。積算寒度が低いのは最低気温が低いからというわけではない。最低気温を見てみると北方森林帯のサイト UAF が一番低くその次にサイト GC、サイト UT と続いているのがわかる。本来なら最低気温一番低いサイト UAF が一番低くなるはずだがサイト UAF の積算寒度は 3730°C・day ほどになっている。これは、他の北方森林帯のデータとあまり変わらない結果となった。

積雪深と積雪開始時期を見てみると積雪開始時期はこのサイトも同じように9月の後半から10月の前半に降り始めている。この雪は愉快時期の4月～5月まで残っている。積雪深が一番多かったのはサイト BC1 で 110 cm を超える積雪がある。北方森林帯はすべてのサイトで 60 cm 以上と多雪なのができる。反対にツンドラ帯は積雪深が1番多いサイトでも 40 cm くらいで雪が少ないのがわかる。場所による積雪深の違いがわかる。

凍結期間はツンドラ帯が北方森林帯よりも長いのがわかる。特にサイト UT は一番短いサイト GC と比べると二ヶ月近くの差があるのがわかる。サイト GC とサイト UT は積算寒度も最低気温も場所による環境も比較的似ているのにこのような差が出る。この二つを比べると凍結時期に一ヶ月、融解時期に一ヶ月の差があるのがわかる。

地温のデータをみてみると最低地温が一番低いのはサイト CT になっている。この地温はサイト UT が観測できなかったが北方森林帯と比べると約倍くらいの差がある。北方森林帯とサイト SaT は地表面平均地温が-2°C～-5°Cの間に収まっているがサイト CT は-9.2°Cと平均地温も倍くらいの差ができています。

土壌水分量を見てみると(図-3)海岸ツンドラとツンドラには 15～20%の差がある。海岸ツンドラが湖や沼地の多い湿地帯に対してツンドラ帯は乾燥して広大な平野が広がっているためだと考える。しかし、サイト UAF は海岸ツンドラ帯と同じような水分量を示している。これはサイト UAF が地面一面をコケなどで覆われていてそのため水分

量が多くなっていると考えられた。

3. 考察

3. 1 凍結日数と積算寒度

凍結日数と積算寒度について調べた(図-4)。その結果積算寒度が大きい方が凍結期間が長く、高緯度のほうが凍結期間が長い傾向があるのがわかった。サイト SaT が他のツンドラ帯のサイトに比べて積算寒度が低いのは山の中腹にあるため斜面温暖帯(近藤 他, 1992)の影響を受けたためだと考えられる。北方森林帯のサイト GC は積算寒度がツンドラ帯と同じくらいになっている。サイト GC は谷地形になっているため他の森林帯よりも大きくなったと考えられる。

3. 2 凍結時期と凍結日数

凍結時期と凍結日数について調べた(図-5)。高緯度ほど凍結日数が長く、海岸ツンドラ帯(CT)は他のツンドラ帯の中で1番遅く北方森林帯と同じ時期に凍結しているのを示した。これはツンドラ(UT)、山脈ツンドラ(SaT)と凍結していくのはサイトCTよりも夏季の気温が低いためだと考えられる。さらに、北方森林帯は凍結期間が緯度に関係なくまとまりがある。

3. 3 凍結・融解時期

凍結時期と融解時期について調べた(図-6)。ツンドラ帯の3サイトは凍結・融解時期に差があり、高緯度になるほど融解が遅いのがわかった。これは、凍結時期には夏季の気温、融解時期には氷が融解するときの時間の差だと考えられる(Shulski and Wendler, 2007)。北方森林帯の4サイトは凍結・融解時期にまとまりがある。北方森林帯は元々積雪が多く融解しやすく、融け始めが早い。融け始めた後は温度上がる。

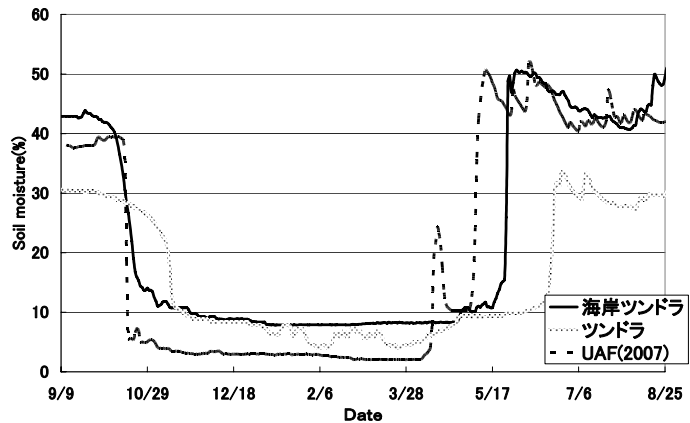


図-3 土壌水分量

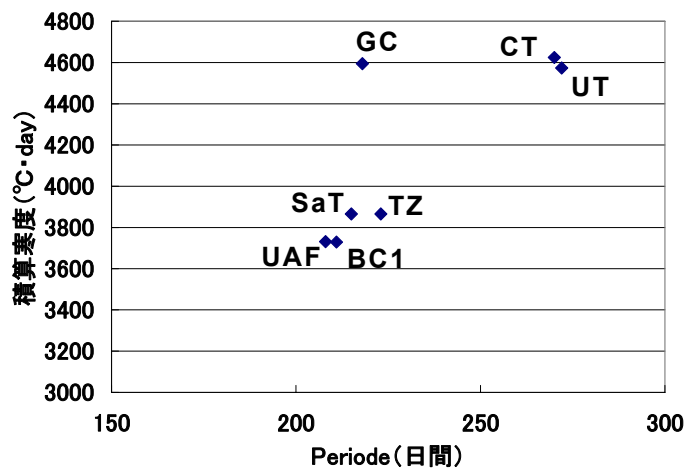


図-4 凍結日数と積算寒度

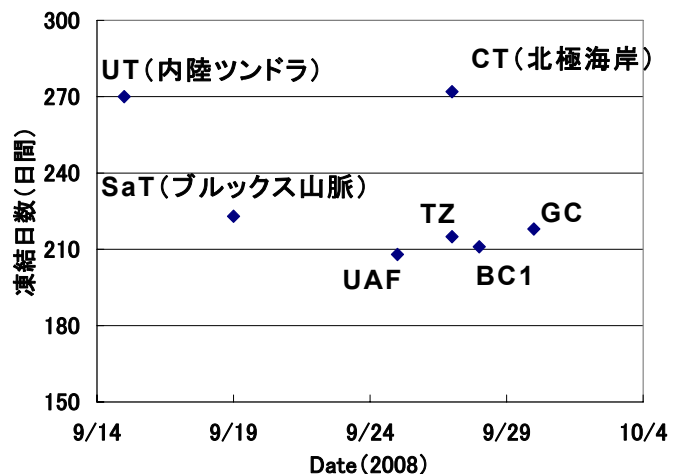


図-5 凍結時期と凍結日数

さらに、北方森林帯の4サイトには全面に永久凍土がないため水分が地面に浸透しやすいため融解時期が早くなったのだと考えられる。

4. まとめ

本研究ではアラスカの森林、山岳、ツンドラなどの地形や気候に違いのある7ヶ所に温度計、水分計を設置し冷却、融解、積雪を観測した。最大積雪深は北方森林帯のサイトが多く、ツンドラ帯のサイトが少なくなっていた。北方森林帯のサイト GC はツンドラ帯と同じような積算寒度になっていて、山の中腹にあるサイト SaT は斜面温暖帯の影響を受けたため積算寒度が他のツンドラ帯よりも小さくなった。凍結期間は北方森林帯で218日～235日、ツンドラで223日～270日であった。海岸付近のツンドラ帯の凍結時期は0℃付近で停滞して(56日間)その後急激に凍結する。融解時期の0℃付近停滞期間は森林帯で短く場所による差が小さかったのに対して、ツンドラ帯は長く、場所による差が大きかった。地中の水分量がこれに関係すると予想され、地中の水分量は海岸ツンドラ帯や森林帯で多く、内陸のツンドラ帯では少なかった。

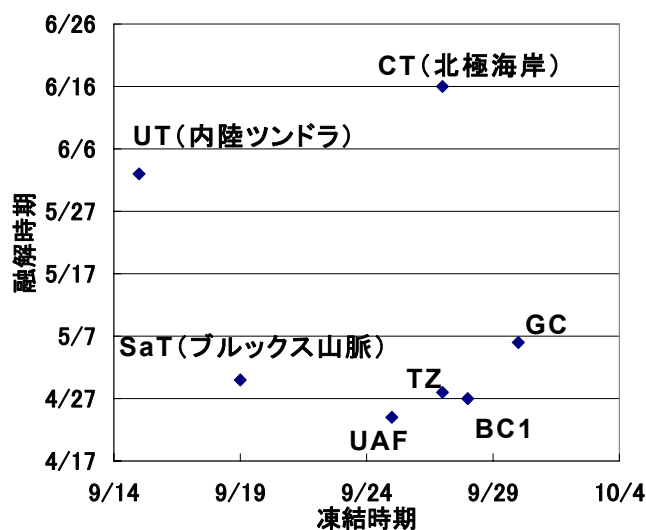


図-6 凍結時期と融解時期

謝辞

本研究はJAXAおよびアラスカ大学国際北極圏研究センター(IARC)との共同研究の一環として行いました。ご協力いただき感謝致します。

【参考・引用文献】

- 1) 近藤昭彦, 菅野洋光, 三上岳彦, 1992: ランドサットTM夜間熱赤外面像とDTMの重ね合わせによる斜面温暖帯の解析, 日本リモートセンシング学会誌, 12, 169-178.
- 2) Shulski, M. and G. Wender, 2007: The Climate of Alaska, University of Alaska Fairbanks Press, 216pp.

夏期北極海氷上におけるメルトポンド分布

田中康弘，館山一孝，榎本浩之（北見工業大学）

1. はじめに

海氷は日射を反射する割合（反射率）が高く，大気－海洋間の熱交換を抑制する効果がある．

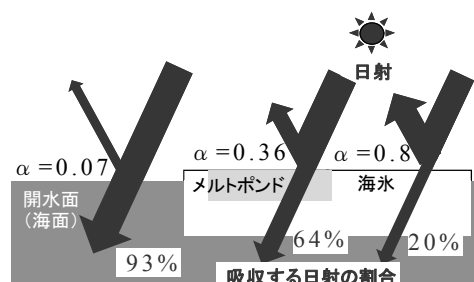
しかし，アイスアルベドフィードバック効果により海氷面積が一度小さくなると，開水面が増えて反射率が低下することで日射をより吸収し，融解を促進させる．これは北極の気候変動を理解するには重要となっている

(Curry, 1995)．近年，北極海では海氷面積の減少とともに，北極海氷表面に多数のメルトポンド（水溜り；図－1）が形成されている．海氷上のメルトポンドの割合が増加するとフィードバック効果により海氷上での日射の吸収が増加（図－1）し，より融解を促進させると考えられる．このメルトポンドは北極点近くまで形成されている (Perovich, 2005)．そのため，北極の気候を理解するには，メルトポンドの定量的な取り扱いが必要である (Curry et al., 1995; 2001)．

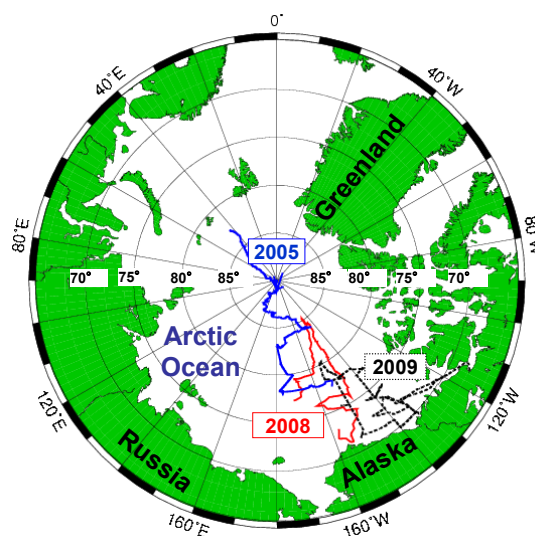
本研究では，メルトポンドによるフィードバック効果を定量的に評価するため，複数の砕氷船上の現場観測から得られた画像・気象データを元に，船前方の海氷状況を撮影したカメラ画像を画像処理で定量測定を行い，メルトポンド分布を明らかにすることを目的とした．

2. 観測期間と取得データ

北極海氷観測は 2005 年アメリカの観測プロジェクト HOTRAX2005 により 8 月から 9 月，2008 年中国観測隊により 8 月 9 日から 9 月 4 日，2009 年カナダの観測プロジェクト JOIS2009 により 9 月 17 日から 10 月 15 日の期間，図－2 のような航跡上で実施された．2008 年においては 8 月 20 日から 26 日の期間，砕氷船は停止している（海氷とともに漂流）．調査は，2005 年アメリカ沿岸警備隊の砕氷船「HEALY」，2008 年中国の砕氷船「雪龍」，2009 年カナダ沿岸警備隊の砕氷船「ルイ・サンローラン」の



図－1 表面状態の違いによる反射率 α (Perovich, 2002) の違いと海の日射吸収の割合



図－2 2005－2009 年砕氷船航跡

よって行われた。取得した現場観測データは、船上前方の海氷状況を撮影した画像(2005 年は 5 分, 2008・2009 年は 10 分インターバルで取得), 気象データ(日射量, 気温, 湿度, 気圧, 風速), 海面又は海氷表面温度である。

3. 解析方法

自動判別によるメルトポンド, 海氷, 開水面の割合算出(図-3)には, 船前方の海氷状況を撮影したカメラ画像データ(図-4)を使用した。カラー画像は光源などの影響を受けやすい。また, 白黒画像に比べ情報量が多いため, カラー画像を白黒画像に変換することで, 2 値化処理を行った。この画像に撮影されている海面全体に対して解析を行うと, 遠方の海面の画像精度が低下する(本村 ほか, 1991)。本研究では, 算出精度が高い領域(船に近い領域)と考えられる図-3 に示すような赤色の長方形(撮影されている海面手前 2 分の 1)の範囲について解析を行った。この範囲について画像強度のヒストグラムを作成し, 多項式近似により, 強度の極大・極小値を決定する。この極小値を境界にメルトポンド, 海氷, 開水面のピクセルを抽出することで, 各割合を算出した。また, 各割合の算出精度の評価を行うため, 各年において 100 個の画像をランダム抽出し, 自動判別と目視判別の相対誤差を求めた。目視判別は, 図-4 の赤色の長方形の範囲について 1 から 10 度数で算出を行った。各年の自動判別と目視判別の相対誤差は表 1 に示す。目視判別では 1 度数(10%)刻みで算出を行っているため, 自動判別と目視判別の誤差は少なくとも±5%前後であると推測した。しかし, 2005 年と 2009 の海氷と開水面の誤差は, 推測より誤差が大きく算出された。

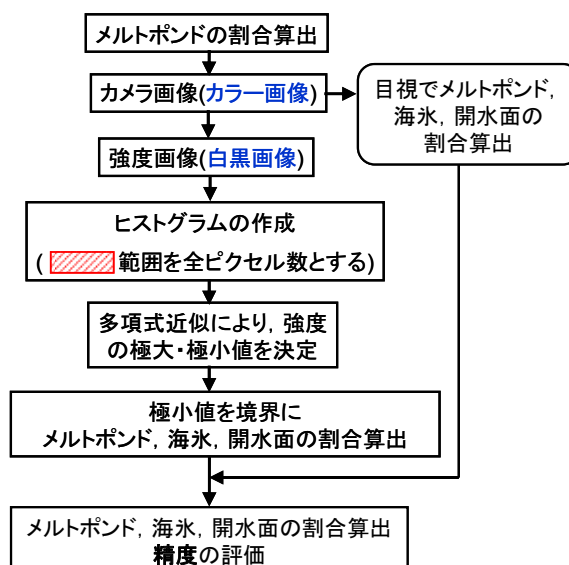


図-3 カメラ画像を用いたメルトポンド, 海氷, 開水面の割合算出の方法

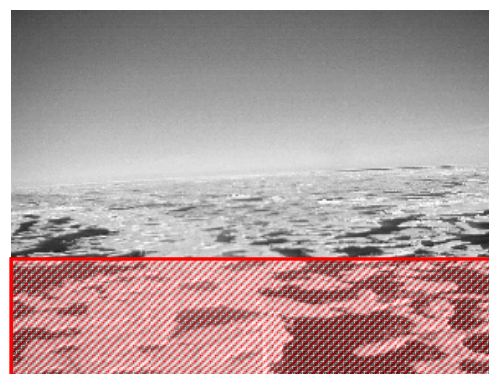


図-4 海氷状況を撮影したカラー画像を白黒に変換した画像と解析範囲

表-1 各年におけるメルトポンド, 海氷, 開水面の自動判別と目視判別の相対誤差

	メルトポンド(%)	海氷(%)	開水面(%)
2005年	4.3	7.3	6.8
2008年	2.7	5.1	4.7
2009年	0.6	8.7	9.6

4. メルトポンド分布

2005 年, 2008 年, 2009 年の(a)緯度,(b)自動判別によるメルトポンド, 海氷,

開水面の割合算出の結果, (c)気温をそれぞれ図-5, 6, 7 に示す.

4.1 2005 年

高密接度海氷域 (90%以上) は, 図-5 の 8 月 12 日から 19 日, 8 月 22 日から 9 月 1 日, 9 月 13 日から 22 日の時期で連続して見られる. メルトポンドは, 北極点付近まで形成されている.

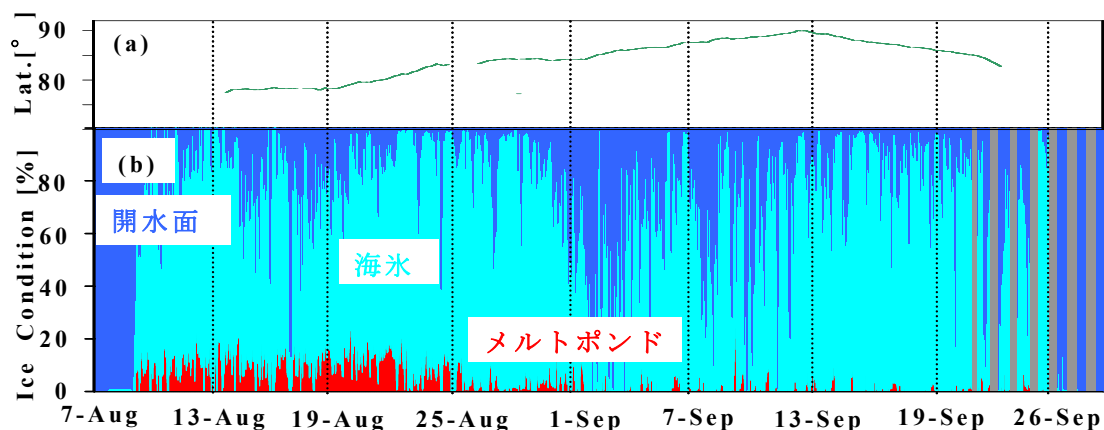


図-5 自動判別により算出したメルトポンド, 海氷分布 (2005 年)

4.2 2008 年

高密接度海氷域は, 観測期間中に連続して見られない. メルトポンドは, 緯度 85°の高緯度まで形成されている. 8 月 20 日から 26 日の停船期間中 (同じ海氷を観測) でメルトポンドの割合は, 減少傾向を示した. 図-6 (c) より気温はこの期間において 0℃以下を示している. また, 8 月中旬の時期にメルトポンド表面が凍り始めるという報告がされている (Perovich et al., 2003; Inoue et al., 2008). これらのことから, 気温低下によるメルトポンド表面の結氷が考えられる.

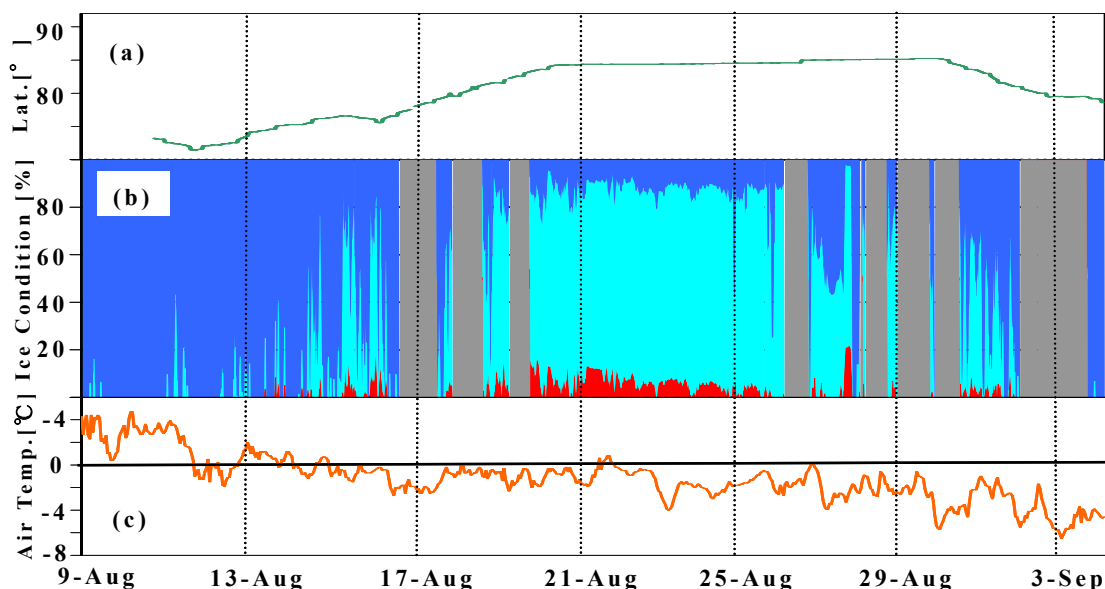


図-6 自動判別により算出したメルトポンド, 海氷分布 (2008 年)

4.3 2009 年

2009 年の観測は 2005, 2008 年に比べ, 高緯度まで観測は行われていないが, 10 月以降で高密接度域が連続して見られる. これは海氷生成により密接度が高くなっ

たためと考えられる。9月17日以降、結氷期に入ったと考えられるが、10月中旬の時期でもメルトポンドは形成されている。

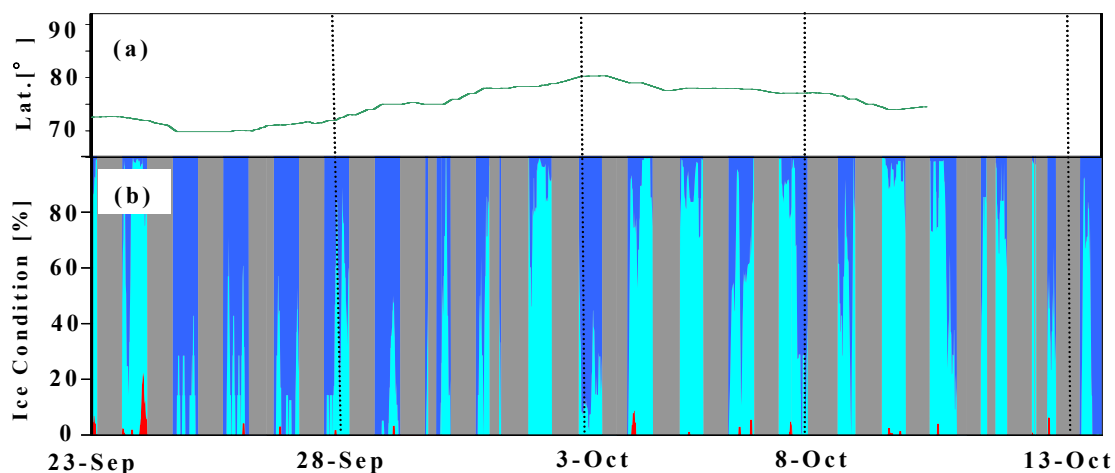


図-7 自動判別により算出したメルトポンド，海氷分布（2009年）

5. まとめ

2005, 2008, 2009年夏期北極海の現場観測データを用いて画像の自動判別により海氷，メルトポンド分布を算出し，メルトポンド分布を明らかにした。メルトポンドの割合の自動判別と目視判別の相対誤差は，2005年で4.3%，2008年で2.7%，2009年で0.6%である。2005，2008年においてメルトポンドは北極点近くの高緯度まで形成されている。メルトポンドの割合は，2008年8月下旬から減少傾向を示した。この時期に結氷期に入ったと考えられる。2009年においては，10月中旬でもメルトポンドが形成されている。

【引用文献】

- Curry, J. A., J. Schramm, and E. E. Ebert, 1995: On the sea ice albedo climate feedback mechanism. *J. Climate*, **8**, 240–247.
- Curry, J. L. Schramm, D. Perovich, and J. O. Pinto, 2001: Application of SHEBA/FIRE data to evaluation of sea ice surface albedo parameterizations. *J. Geophys. Res.*, **106**, 15 345–15 356.
- Inoue, J., Kikuchi, T., Perovich, D. K., 2008: Effect of heat transmission through melt ponds and ice on melting during summer in the Arctic Ocean, *J. Geophys. Res.*, **113**, C05020.
- Perovich, D. K., T. C. Grenfell, J. A. Richter-Menge, B. Light, W. B. Tucker III, and H. Eicken, 2003: Thin and thinner: Ice mass balance measurements during SHEBA, *J. Geophys. Res.*, **108**, 8050.
- Perovich, D. K., 2005: On the aggregate-scale partitioning of solar radiation in Arctic ice during the Surface Heat Budget of the Arctic Ocean (SHEBA) field experiment, *J. Geophys. Res.*, **110**, C03002.
- 本村健一郎，松浦弘毅，小杉正貴，遠藤辰雄，1991：海氷状況観測映像の画像処理，信学技報，IE91-11（1991-11）。

アラスカにおける凍結路面光学特性観測

ヌアスムグリ アリマス, 高橋修平, 榎本浩之, 中村文彬 (北見工業大学),
金 籠元 (アラスカ大学)

1. はじめに

本研究において研究対象としているアラスカは (図-1), その約 3 分の 1 が北緯 66 度 33 分以北の北極圏に位置している. 北極海沿岸の海底油田があるプルド・ベイは, 原油を運搬するパイプラインのスタート地点となっており, パイプライン沿いに作られた縦断道路ダルトン・ハイウェイをフェアバンクスからプルド・ベイへ向かうと, 北極圏の境界線, ユーコン川, ツンドラ帯と北方森林帯のコントラスト, ブルックス山脈などを目にすることができる. 本研究では冬期輸送の中心としているダルトン・ハイウェイの冬期間路面凍結状況を明らかにすることを目的とした. 本論文では 2010 年 4 月 7 日~21 日の融雪期の観測結果を紹介する.

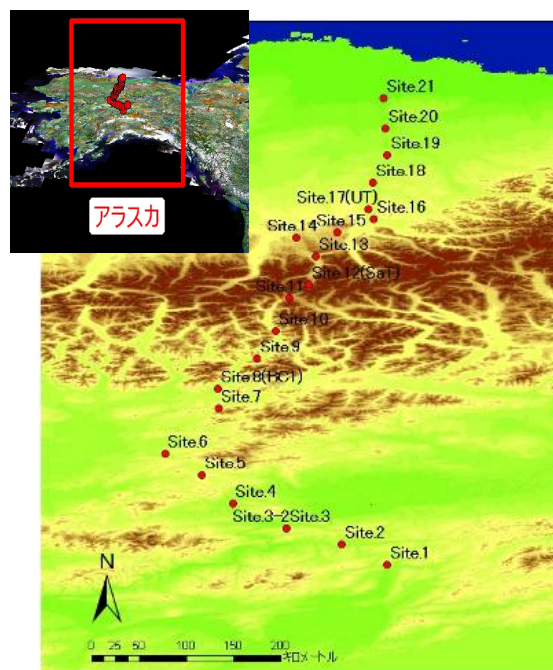


図-1 アラスカ北部の雪氷観測点分布

2. 観測地点

図-2 は, 観測サイトを示したアラスカ北部の地図である. アラスカを縦断して北極海と太平洋をつなぐパイプラインの建設と維持のための道路のうち, フェアバンクス付近から北極海に至る 660km の道路である. フェアバンクスから森林帯, 山域 (ブルックス山脈), ツンドラ (ノーススロープ) という様々な高緯度域の地域を貫いている (図-3). 北極海沿岸 (10m) からブルックス山脈のアティガン峠 (1600m) までの高度差がある.

3. 積雪期のダルトンハイウェイ

アラスカ中央部・北部は冬期 1, 2 月には寒冷でマイナス 40 度以下の日も多いが, 4 月には気温も上がり, 頻繁な融解 (図-4)・再凍結 (図-5) が起きている. また降雪 (図-6) や降雨 (図-7) もあり, 変化の激し



図-2 フェアバンクス周辺から北極海沿岸につながるアラスカ北部ダルトン・ハイウェイ

い気象条件となっている。

ダルトンハイウェイ北部は未舗装道路が多く、冬期は未舗装道路の上に厚い氷板が形成されて、これが簡易アスファルトの役割をしている。低温では雪氷の摩擦係数は大きくなり、スリップは起き難くなるが、積雪融解期は氷路面と融解の組み合わせにより危険な状態になることも予想される。4月には日照時間も長く、昼と夜の気温の日較差も大きい。

このような時期に、ダルトンハイウェイを縦断する路面観測を行なった。変化の激しい地形のため、場所的に路面状態の変化、気象、雪氷の変化も大きい。さらに、春期(4月)の気象の変化のため時間的な変化も大きかった。出来るだけ広域の変化する路面、雪氷状況を把握するため、頻繁な移動観測を行なった。移動観測活動の行程を図-8に示す。ブルックス山脈南縁の集落ワイズマンをベースに、南の森林域、北部の山脈とツンドラを往復しながら観測を行なった。観測期間は2週間ほどであったがその通算走行距離は4500kmに及んだ。

この観測期間中にまとまった降雪や降雨もあり路面状況はそのたびに一転した。この降雪、降雨など記録も図-8に書き込んだ。観測初期は-26度の低温であったが、後半は気温がプラスになる期間が長く、融解が急速に進んだ。

4. 積雪凍結状況

2008年～2009年冬期の観測資料によると、積雪期間はフェアバンクス周辺では9月22日～4月24日の201日間、北部のツンドラでは10月5日～6月16日の206日間となっている(中村他, 2010)。年間200日以上積雪期間がある。融解は4月下旬に開始し、アラスカ南部から北部に向かって拡大していく様子がこれまでの研究から調べられている(木村他, 2006)。冬期の降雪量は多くないが、寒冷なため長期間根雪となる。積雪分布については森林域で60～100cm程度、ツンドラでは15～30cm程度のことが多い。今回の観測時の積雪分布は前半30cmほどであったが急速な融解のため後半は10cm～0cmになった。

5. 路面観測装置

観測で光沢計、輝度計、放射温度計、白色板、GPS、温度計、フォースゲージなどを使った。光沢計では、60°計にて90、20°計にて84の

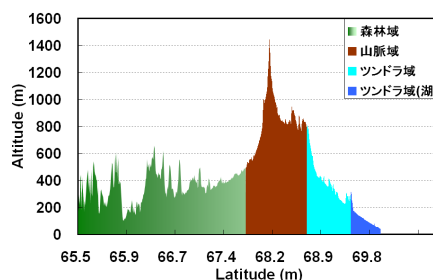


図-3 観測ルート標高分布



図-4 融解路面

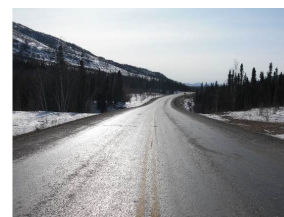


図-5 再凍結路面

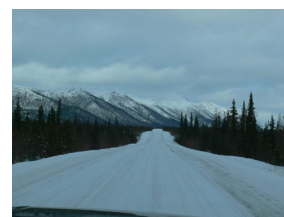


図-6 降雪路面

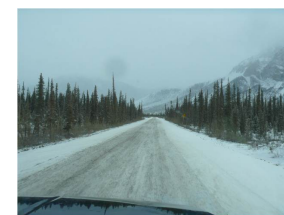


図-7 降雨路面

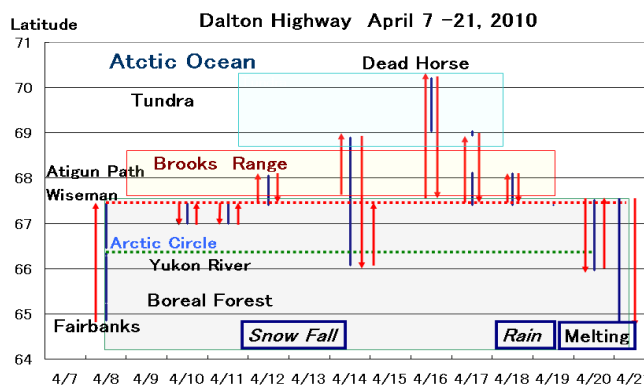


図-8 移動観測活動の行程

光沢度のガラス板（黒）を校正用標準板として用いている（図-9）。

6. 路面観測結果

今回の観測における結果の特徴を以下に示す。観測は特徴的な路面毎に停車して実施した。路面の種類は 11 種類、観測場所は約 20 地点であった。

図-10 に各路面状況における光沢計の測定結果を示す。20 度と 60 度の比較測定の結果、60 度の方が全般的に大きな光沢度を示すが、特に凍結、つるつる路面、凍結+降雨の路面状況において光沢度が大きく、差が顕著であった。

図-11 は 60 度光沢度と反射率の関係を示す。白色板を基準として各路面状況の光沢度を見ると凍結、圧雪およびつるつる路面の光沢度と反射率がほぼ一致している。しかし、光沢度と反射率からは乾燥路面と湿潤路面の判別は難しい。

図-12 は反射率と摩擦係数の関係を示す。摩擦係数は乾燥路面の値が低くなかったが、これは未舗装路面の観測が入っているため、表面が砂利などにより滑りやすくなっているためである。未舗装乾燥路面は凍結や圧雪、積雪の路面状態と同様な滑りやすさを示す。圧雪や濡れ積雪は反射率が高く、摩擦係数も

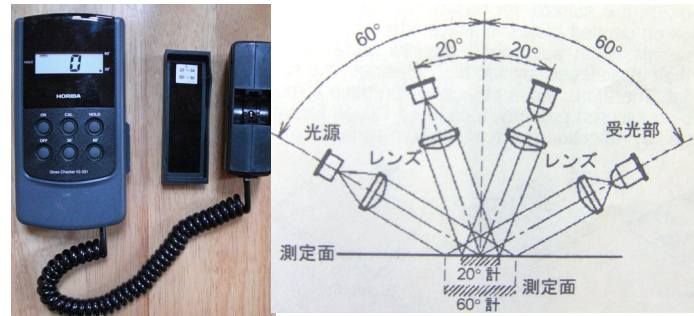


図-9 光沢計写真と 20° 角, 60° 角

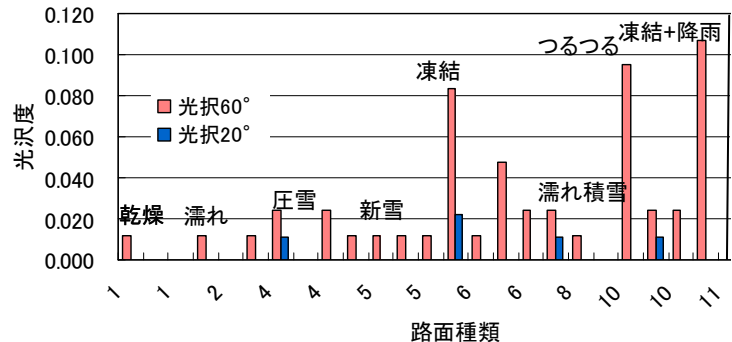


図-10 光沢度と各路面状況 9

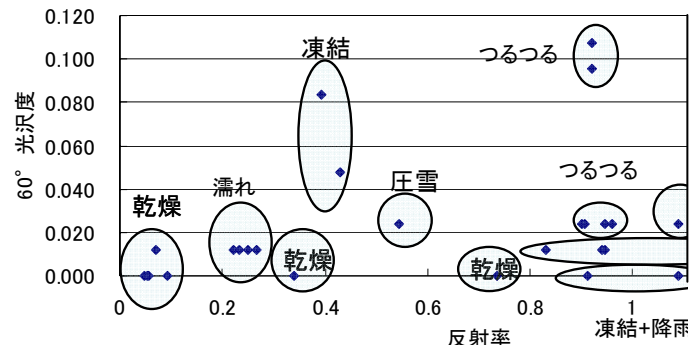


図-11 光沢度と各路面状況の反射率

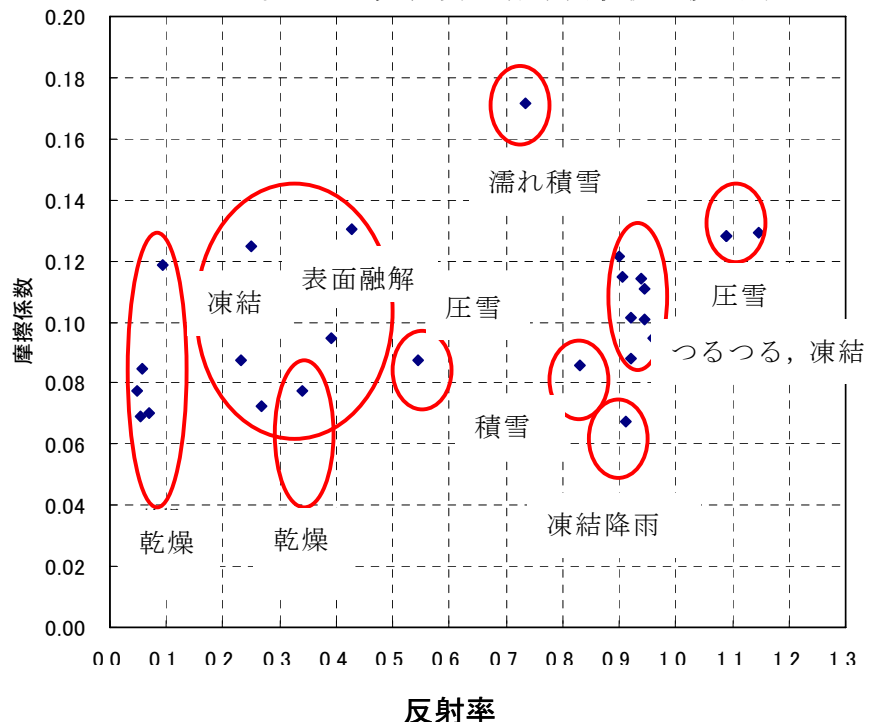


図-12 反射率と各路面状況の摩擦係数

大きい．つるつるおよび凍結路面では反射率は高く，摩擦係数は低い．

7. 地域分布

今回の観測では移動しながら測定を行なったが，顕著な地域性も観察された．図-13 に例として4月14日と16日の広域観測からまとめた路面状況を示す．南では乾燥が多く，山脈付近では積雪，湿潤，圧雪が多く見られ，つるつる路面もしばしば見られた．ブルックス山脈の北にはツンドラ帯が北極海まで広がっているが，ここでは凍結路面，つるつる路面，圧雪路面が多かった．ブルックス山脈を境に南北数十 km の間に，非常に大きな路面の変化が観測された．山脈の南北で気候帯が違う影響が顕著に見られた．これに短期間の気象条件の変化が重なり，路面状況を複雑なものにしている．4月のアラスカ北部は急速な融解が進む一方で，降雪や降雨もあり路面変化が著しい．広域の融雪状況は米国の遠隔気象雪氷観測システムである SNOTEL などが設置されているが，観測点数はそれほど多くない．

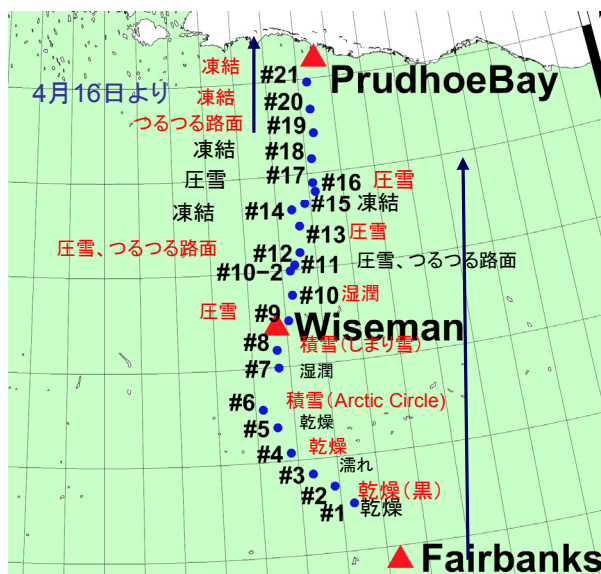


図-13 アラスカ北部広域路面観測結果 (2010 年 4 月 14 日, 16 日)

6. まとめ

アラスカ内陸部や北極海につながる高緯度でも交通網や輸送活動が維持されている．特殊な気象・雪氷環境により，日本の積雪域とは異なった冬期路面状況が発生している．また，近年の気候変動により環境変化は高緯度域ほど振幅が大きく，顕著に発生すると言われているので，このような地域の人間活動がどのような変遷をしていくのかは注目すべき課題である．そのなかで雪氷に覆われた地域の交通網は興味深い対象である．今回の観測では，北海道内の研究で開発している観測装置を簡略化したものを持ち込み，広域の予察的な観測を実施した．さらに装置の検討や，季節変化の様子，地域差についても注目できれば幸いである．

謝辞

本観測ではアラスカ大学国際北極圏研究センターの Hinzman 所長、Institute of Northern Engineering の Prof. Patil, Prof. Conner, 吉川謙二氏に有効なアドバイスをいただいた．ここに記して感謝します．

【参考・引用文献】

- 1) 木村しずか，榎本浩之，戸城 亮， Kim Yongwon, 斉藤佳彦(2006) AMSR-E を用いたアラスカの融雪の観測，北海道の雪氷，No. 25, 36-39.
- 2) 中村文彬，榎本浩之， Kim Yongwon, 佐々木孔明(2010)アラスカにおける冬季地表面の冷却過程の観測，北海道の雪氷，No. 29. (本号)

つつる路面による冬季歩行者転倒防止の取り組みについて

金村直俊（札幌総合情報センター（株））、金田安弘（社団法人北海道開発技術センター）、星野洋（シー・イー・サービス（株））、高野伸栄（北海道大学大学院工学研究院）、ウインターライフ推進協議会

1. はじめに

札幌市内では冬期間だけで年間約 800 件の救急搬送が発生しており、歩道や横断歩道に形成される非常に滑りやすい路面（つつる路面）での転倒が原因であることがわかっている。転倒防止対策には多数の地域住民が関心を寄せている一方で、冬期間、転倒を恐れて外出を控える高齢者も少なくなく、中には引きこもりにつながる事例も報告されている。参考として冬期転倒による救急搬送者の過去 3 ヶ年度分の集計結果を図-1 および図-2 に示す。軽症、中等症が大部分であるが、重症（長期間の入院治療が必要なもの）に至る事故も発生している（図-1）。また、冬期間を通じて午前中の時間帯（7 時～11 時）での搬送が多くなっている（図-2）。転送された場所は中央区が最も多く、全体の約 2 割強を占めている。

平成 21 年度において、さっぽろウインターライフ推進協議会（現ウインターライフ推進協議会）が実施主体となり、国土交通省の社会実験として歩行者の転倒による救急搬送者数の削減を目的とした取り組みを実施したので、その内容と結果について報告する。

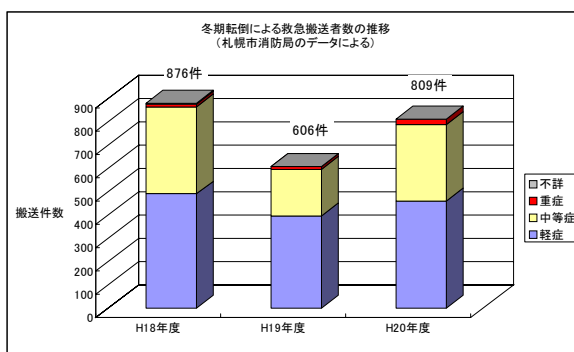


図-1 冬期転倒による救急搬送者

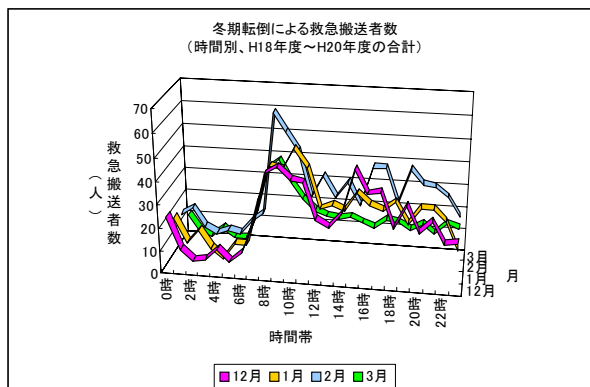


図-2 時間別救急搬送数

2. 実施内容

社会実験は平成 21 年 9 月から平成 22 年 3 月に実施した（準備や結果の取りまとめ期間を含む）。このうち転倒防止のための各種取り組みを行った期間は平成 21 年 12 月 21 日から平成 22 年 2 月 5 日である。この期間に実施した内容は、(1)札幌市内のつつる路面情報の収集と提供、(2)転倒防止を目的とした砂の散布である。実験対象箇所は、(1)については市内全域、(2)については救急搬送者数の多いすすきの地区を含む市内 4 地区（すすきの地区、桑園地区、平岸地区、麻生地区）を重点取り組み箇所として選定した。実験の流れを図-3 に示す。

確認と合わせ、滑りやすい路面が発生していた場合は必ず実施していただくよう依頼した。なお、あわせて、取り組み期間中の砂撒きの有無、散布した砂の量、日時、散布時の路面状態などを記録していただいた。

3. 実施結果

(1) 路面情報の収集と提供結果

つるつる路面特派員の測定による路面情報は、重点期間を中心に、多い日で全市合計 300 件以上の情報が提供された（図-7）。期間の前半は、雪も少なく、気温も高めに推移したこ

ともあり、滑りやすい路面の発生は少なかったが、1 月下旬から 2 月上旬にかけては、滑りやすい路面が数多く報告された。

実際に、協議会メンバーが 1 月

29 日（桑園地区、

麻生地区）、2 月 1 日および 2 月 5 日（すすきの地区）、2 月 4 日（平岸地区）において路面状態の現地調査を実施し、滑りやすい路面の発生を確認している。

また、このほかの特徴として、救急搬送者数の多い午前 7 時～10 時に情報が提供された割合が投稿数全体の約 4 割を占めていたこと、また地域別の割合は中央区の情報が全体の約 3 割になっていたことが挙げられる。

なお、つるつる路面特派員を対象に取り組み期間終了後（2 月中旬）に実施したアンケート調査（回答数 122 人）の回答結果によれば、今回のカメラ付き携帯電話を用いた情報収集・提供に関して全体の 75%は負担を感じなかったと回答していた。残り 25%（30 人）の方は何らかの負担を感じたと回答したが、具体的な負担内容について調査したところ、9 割（27 人）が「路面の判断が難しい（難しかった）」と回答していた。

(2) 救急搬送者数

平成 21 年度（平成 21 年 12 月から平成 22 年 3 月まで）の冬期転倒による救急搬送者数データを集計した結果について図-8、図-9、表-1 に示す。なお、本データは速報であり、今後数値が修正されることがあるのでご注意願いたい。

図-8 に示す通り、平成 21 年度は前年度（平成 20 年度）に比べ 17%の減少（809 人→672 人）となっていた。特に 1 月、2 月は大幅な減少となっていた（3 月はやや増加）。図-9 に日別の救急搬送者数（全市合計）を示す。12 月 29 日から 30 日、1 月 7 日から 8 日、2 月 9 日から 11 日に多くなっていたことがわかる。社会実験の取り組み期間中（黒点のところ）では 1 月 29 日から 2 月 5 日にやや多かったことがわかる。

地域住民や企業などの方々に砂撒きをお願いした 4 つの重点地区における救急搬送

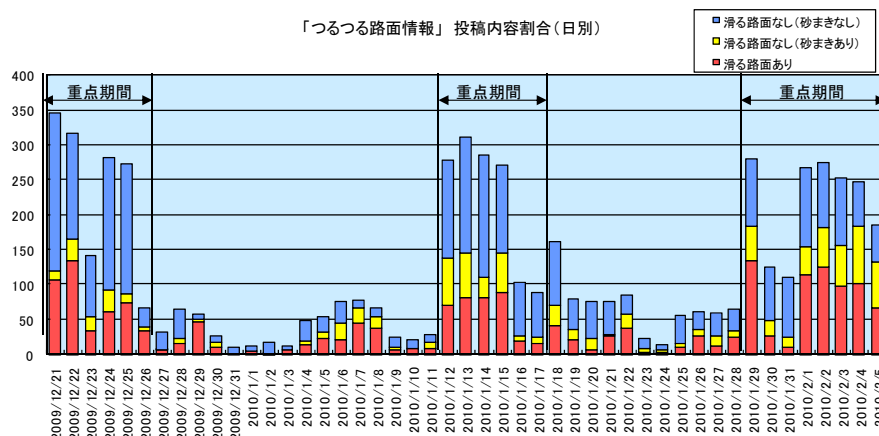


図-7 つるつる路面情報の日別投稿数と路面状態内訳

者数を調査した結果を表-1 に示す。

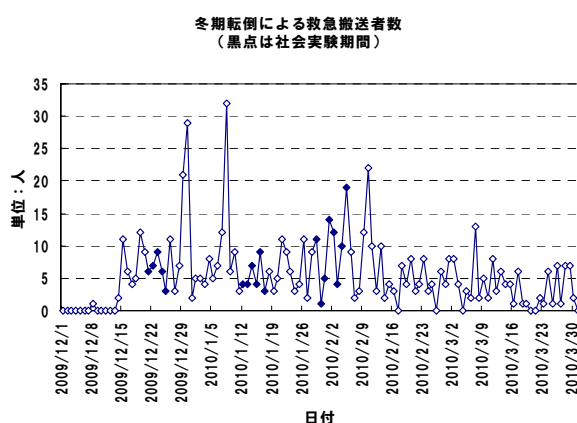
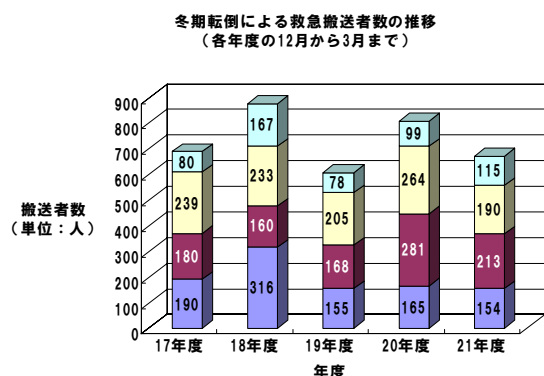


図-8 冬期転倒による救急搬送者数の比較

図-9 救急搬送者数の日別の推移

12月～3月の合計では平岸地区を除いて平成20年度より救急搬送者数は増加しているが、社会実験の取り組み期間中(2(2)①, ②, ③の期間)に限ってみると、表-1の右欄に示したとおり、桑園地区、麻生地区、平岸地区では救急搬送は発生していなかった。

表-1 重点地区での救急搬送者数

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	うち、実験期間内
すすきの地区	27	17	18	26	5
桑園地区	1	2	0	2	0
麻生地区	6	2	2	2	0
平岸地区	14	6	14	7	0
全市合計	876	606	809	672	138

4. まとめ

平成21年度に国土交通省の社会実験として冬季歩行者転倒防止のための取り組みを実施した。札幌市内において多くの路面情報が収集でき、インターネット Web サイトで公開した情報には多数のアクセスがあった。重点地区における実験の取り組み期間内での救急搬送者数は発生しなかった。

謝辞

本取り組みの実施にあたり、以下の方々には多大なご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

つるつる路面特派員の皆様、砂撒きにご協力いただきました皆様(北海道振興株式会社様、株式会社桂和商事様、株式会社桂和ビル様、西創成第十町内会様、平岸商店街振興組合様、平岸中央商店街振興組合様、藤女子大学様、藤女子短期大学様、札幌市立大学様)、実験実施にあたり関係機関の方との調整にご協力いただきました札幌市建設局雪対策室様、札幌市豊平区平岸まちづくりセンター様、同南平岸まちづくりセンター様、札幌市中央区豊水まちづくりセンター様、同西創成まちづくりセンター様、札幌市市民まちづくり局地域振興部様、救急搬送者データをご提供いただきました札幌市消防局様、このほか、ヒアリングや調査にご協力いただきました皆様、最後に、社会実験の実施にあたり様々なアドバイス、ご支援をいただきました国土交通省北海道開発局札幌開発建設部様に感謝申し上げます。

マイクロ波放射計を用いた冬期路面の状態判別と摩擦抵抗の測定

渡邊直樹，榎本浩之（北見工業大学），
山本朗人，田中聖隆（三菱電機特機システム），
舘山一孝，高橋修平（北見工業大学），高橋尚人（寒地土木研究所）

1. はじめに

寒冷地の冬期の代表的な路面状態は，圧雪路面や凍結路面などであり，これらはすべり抵抗が非常に低くなる．すべり抵抗が低いことでブレーキやハンドルが効かなり，スリップ事故などの冬型事故が起こる．こういった冬型の事故を軽減するためには，路面状況に合わせた運転をすることが必要になる．本研究ではマイクロ波帯の電磁波を用いて路面状態の把握を目的としている．また，従来センサーでは積雪の下層路面の状態判別を行っておらず¹⁾，波長が長く透過性に優れたマイクロ波における積雪下層の路面状態判別の可否について調べた．

2. 実験方法・内容

路面の状態判別の装置にはマイクロ波放射計（周波数帯および偏波：6GHz垂直偏波（6GHz-V），18GHz水平偏波（18GHz-H）），赤外放射温度計（IR），カメラを使用した²⁾．それぞれ観測する項目は路面輝度温度，路面温度，路面画像である．装置は路面に対して 45 度の角度で取り付ける．また，英国式ポータブルスキッドレジスタンステスト（BPST）を用いて，すべり抵抗の測定も行った．測定値はBPN（British Pendulum Number）であり，約 50km/hrのすべり抵抗と相関があるといわれている³⁾．



図-1 石北峠観測風景

右上図：路面凍結センサー拡大図
路面上の円はセンサー検知部分

① 石北峠における実験

期間は 2008 年 11 月 28 日～2009 年 5 月 15 日で，北海道 R39 石北峠 7 合目にて定点観測を行った．観測状況は図-1 に示す．路面状況はカメラ画像（図-2）と路面温度から 4 種類に分類・判別した．カメラ画像からは路面の色を観察し，湿潤と氷膜路面は色からの判別が困難であり，路面温度 273.15K 以上を湿潤，273.15K 未満を凍結とした．



図-2 石北峠路面判別例カメラ画像

左上：乾燥 右上：湿潤
左下：凍結 右下：圧雪

赤円内部を判別，混在するときは占める割合が多い路面状態とする．これを目視判別とする．

② 大学構内における実験

2010 年度冬期，北見工業大学構内にて実験を行った．観測路面は乾燥，湿潤，凍結，圧雪，シャーベット，積雪下層凍結の 6 種類であり，これらを人工的に作製し観測を行った．シャーベットは雪に水を含ませて作製した．実験状況を図-3 に示す．また，湿潤～凍結の路面変化でのすべり抵抗の変化および，そのときの輝度温度変化を測定した．

③ 苫小牧寒地試験道路における実験

実験は 2010 年 1 月 25, 26 日，苫小牧寒地試験道路（北海道苫小牧市字柏原）にて行った．観測路面は乾燥，湿潤，氷膜，氷板，圧雪，シャーベットである（図-4）．ただし，シャーベットはすべり抵抗のみ測定した．

④ 三菱電機特機システム北海道工場における実験

2009 年 12 月 1 日～2010 年 3 月 18 日，三菱電機特機システム北海道工場にて定点観測を行った．路面状態は日中の定時 1 時間毎に目視で観測を行った．分類は，乾燥，湿潤，凍結，圧雪に加え積雪の有無についての分類（積雪下層凍結及び積雪下層圧雪）も行った．

3. 結果

① 石北峠における実験

石北峠の実験から，各路面状態が輝度温度の相関図でまとまりを持っていることがわかる（図-5）．ただし，輝度温度は路面温度に比例して変化するため，輝度温度 2 要素に加え路面温度 1 要素の計 3 要素の相関から路面状態を判別する．判別にはマハラノビスの距離³⁾を利用した判別手法を用いる．これにより高い精度での判別ができた．（表-1）

表-1 石北峠路面判別比較

目視判別を正しいとし，自動判別の正答率を計算した．目視判別した路面状態のデータ数は各々異なる．

目視判別 \ 自動判別	乾燥	湿潤	凍結	圧雪	正答
乾燥	98%	7%	0%	0%	98%
湿潤	2%	92%	1%	0%	92%
凍結	0%	1%	89%	12%	89%
圧雪	0%	0%	10%	88%	88%



図-3 大学構内実験状況
白い箱がマイクロ波放射計（上:18GHz，下:6GHz）．右中央の装置が BPST．路面はシャーベット状態である．



図-4 苫小牧寒地試験道路実験状況
①の左上は氷膜で散水後凍結した状態．散水直後は湿潤状態．①の左下は乾燥．①の右上は圧雪．②の左は氷板で散水，凍結を繰り返すことで作製．

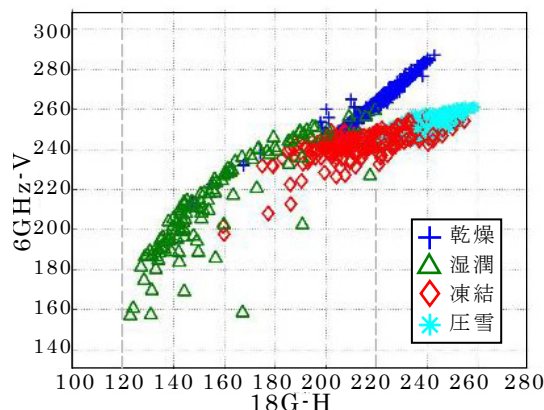


図-5 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．路面状態（目視）によりプロットが分けてあり，各路面の輝度温度分布がわかる．これは，逆に輝度温度から路面状態の判別が可能性を示唆している．

②大学構内

積雪下層凍結は凍結よりも 18GHz-H の値が上昇する．シャーベットの凍結や圧雪よりも 6GHz-V が低下する(図-6)．すべり抵抗と輝度温度には，負の相関がみられ，輝度温度からすべり抵抗の推定ができる(図-7)．すべり抵抗の測定結果については苫小牧寒地試験道路の結果と一緒に紹介する．

③苫小牧寒地試験道路

苫小牧寒地試験道路では，大学構内のものと同様に積雪下層凍結は凍結よりも 18GHz-H が上昇，シャーベットの凍結や圧雪よりも 6GHz-V が低下した．BPST によるすべり抵抗値の測定(図-8)では，苫小牧の湿潤で BPN 約 70，大学では BPN 約 60 となったが，大学では路面温度マイナスの状態で行っており，湿潤と凍結の間の値になったと考えられる，氷膜では BPN20～30 と両実験でほぼ同様の値となった．シャーベットの水分を多く含んだ雪で，状態が定まらないためすべり抵抗値にも大きな差が出た．氷板は氷膜よりも高く BPN 約 40 となった．圧雪では BPN 35～50 で雪の固め方による圧雪の硬さの違いから若干の差が出たと考えられ，大学構内実験では人が踏みつけた圧雪であり軟らかい圧雪のため表面が崩れやすく，抵抗が低く出たと考えられる．

④恵庭三菱電機特機システム北海道工場

乾燥，湿潤，凍結，圧雪について，石北峠の実験と同様の値になった．積雪路面について，圧雪の輝度温度に近い値となった．しかし，凍結と積雪下層凍結，圧雪と積雪下層圧雪と各々で見えてみると，積雪があることで 18GHz-H が高くなる傾向がみられた(図-9)．

4. まとめ

マイクロ波放射計を用いた路面状態の判別は可能であることがわかった．路面

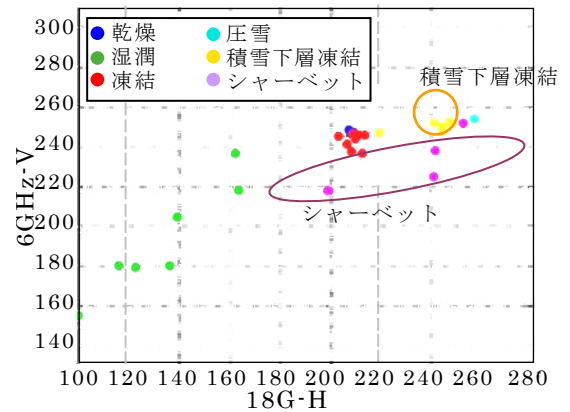


図-6 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプロットが色分けしてある．積雪下層凍結は凍結よりも 18GHz-H が上昇，6GHz-V の変化は少ない．シャーベットは凍結，圧雪よりも 6GHz-V が減少，湿潤よりも 18GHz-H が上昇した値になる．

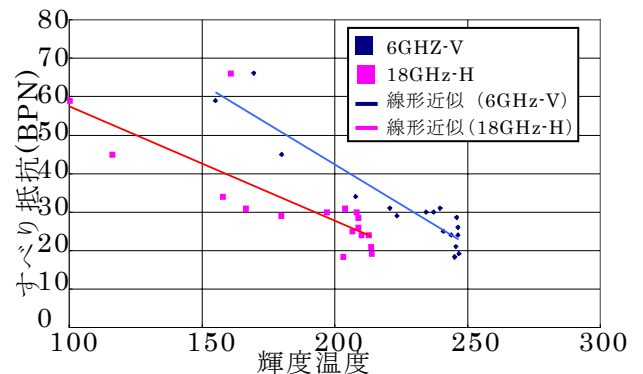


図-7 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプロットが分けてあり，各路面の輝度温度分布がわかる．これは，逆に輝度温度から路面状態の判別が可能性を示唆している．

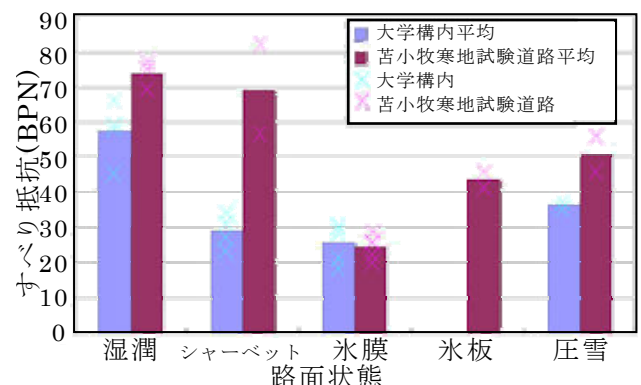


図-8 大学-試験道路のすべり抵抗値の比較
BPN の平均により各路面のすべり抵抗がわかる．冬期路面の代表路面である氷膜の BPN が明らかに低い，つまり滑りやすいということがわかる．

状態の分類として，乾燥，湿潤，凍結，
 圧雪の 4 種類に分類し高い正答率で路面
 分類することができた．さらに，積雪下
 層凍結および積雪下層圧雪は，18GHz-H
 が顕著に反応を示し，6GHz-V がほぼ変化
 しないことから両者を分類することが可
 能である．BPST を用いた各路面のすべり
 抵抗の測定から，路面によってすべり抵
 抗に差があり，さらに同じ路面分類であ
 っても生成条件等によって変化すること
 がわかった．湿潤～凍結間のすべり抵抗
 と輝度温度の関係を求めた結果負の創刊
 がみられ，輝度温度からすべり抵抗の推
 定が可能であることがわかった．

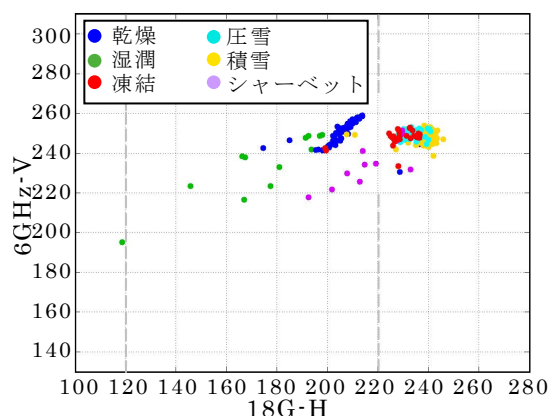


図-9 三菱工場における実験
 輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプ
 ロットが色分けしてある．石北峠実験と同
 様の傾向，値を示した．積雪があるとき
 18GHz-H の値が大きい値をとる傾向にある．

謝辞

石北峠の観測では，観測地の提供データの提供等さまざまな面でお世話になりました北
 見道路事務所に感謝いたします．苫小牧寒地試験道路では，実験に協力していただき，ま
 たすべり抵抗についてのご教授をいただきました寒地土木研究所寒地交通チーム，福井大
 学，防災科研，北海学園大学，株式会社ブリヂストン各位に感謝いたします．

参考文献

- 1) 本間幸造，稲垣敏治，2006：画像型分光偏光放射計による路面凍結モニタリングシ
 ステム，公開研究発表会前刷集，JAXA， 4
- 2) 渡邊直樹他，2009：マイクロ波放射計を用いた冬季路面状態判別方法の開発，雪氷
 研究大会（2009・札幌），（社）日本雪氷学会， 1
- 3) 牧恒雄，2003：歩道舗装材のすべり抵抗性試験機について，アスファルト 214，有
 限責任中間法人日本アスファルト協会，第 46 巻，第 214 号，31-36
- 4) マハラノビスの距離

<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Discriminant/disc2.html>

冬期気象条件下における交通事故発生形態について

高田哲哉，徳永ロベルト，高橋尚人（（独）土木研究所 寒地土木研究所）

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷な地域では，気温低下や降積雪等の気象条件により，冬期特有の交通事故等の問題が発生する．このため，道路管理者は安全で円滑な交通機能を確保する必要があり，凍結防止剤の散布や除雪作業による路面状態の管理，視線誘導等の設置による視覚情報の向上などの道路維持管理事業を実施している．しかしながら，昨今の厳しい財政事情下においては，これら道路維持管理や施設整備に対し，一層の効率化が求められており，より適切な冬期道路管理の実施が要求されている．

本研究では，効果的・効率的な冬期道路管理へ向けた取り組みの一環として，冬期の気象条件下における交通事故の発生形態について調査・分析を進めている．

本稿は，北海道の一般国道において発生した冬期の交通事故に関し，これまでの分析結果について報告するものである．

2. 北海道の夏期・冬期および冬型事故

図-1 は，北海道の一般国道にて発生した 1997 年度から 2006 年度までの交通事故発生件数と死者数の夏期（4 月～10 月），冬期（11 月～3 月）および冬型事故（積雪，凍結，吹雪等の冬期現象が事故の直接または間接要因となったもの）の推移を表したものである．この図より，過去 10 年間の各事故発生件数および死者数の推移は，ともに減少傾向にあることが伺える．また，冬期および冬型事故の事故件数，死者数は，夏期に対して減少は緩やかな傾向にあり，特に夏期および冬期の死者数を比較すると，その差が縮小する傾向にある．図-2 は，夏期・冬期別の月平均の事故発生件数および死者数の割合である．死者数については夏期の割合が高いものの，事故発生件数については冬期事故を含む場合，僅かながら冬期の割合が過半数を超える．

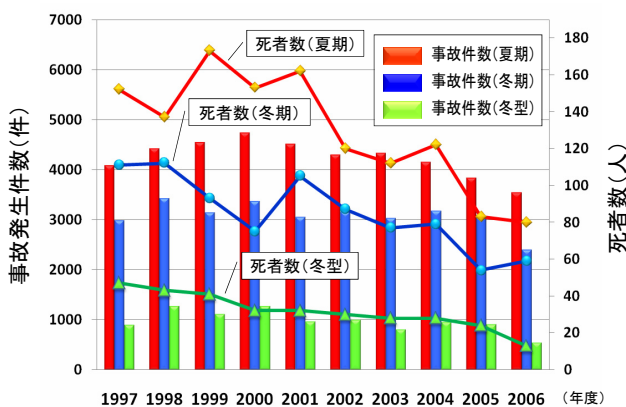


図-1 夏・冬期別事故発生状況の推移
(一般国道・北海道内)

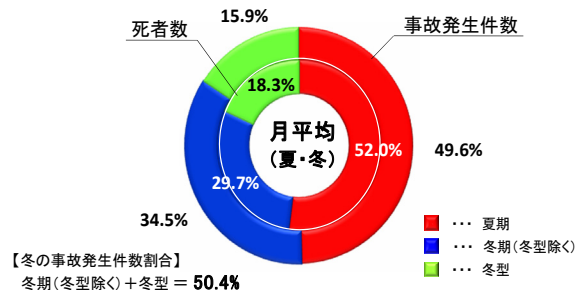


図-2 夏・冬期別事故発生割合
(一般国道・北海道内)

3. 冬型事故

(1) 冬型事故の内訳

冬型事故は、スリップ事故、わだち事故、視界不良事故およびその他の 4 要因別に分類¹⁾される。図 - 3 は北海道の一般国道にて発生した冬型事故の内訳を示している。この図から、冬型事故の大半はスリップ事故が占め 83.9 % となっており、次いで視界不良事故が 12.6 %、その他が 2.6 %、わだち事故 0.9 % と続くことが分かる。図 - 4 は冬型事故の分類別・月別の事故発生件数および死者数の推移を示したものである。冬型事故の発生件数および死者数については 12 月が最も多く、特に 12 月の死者数は 112 人と他の月に比べ突出した値を示している。事故発生件数については、11 月から 12 月にかけての増加数および 2 月から 3 月にかけての減少数の差が大きい。また、各月ともスリップ事故の発生件数が大半を占めるが、2 月においては視界不良事故の発生件数が 558 件と他の月に比べ多いことが伺える。

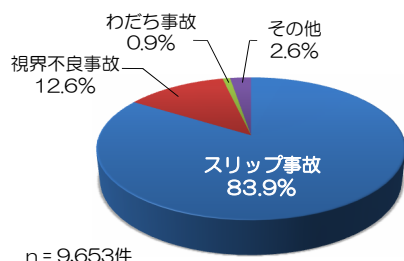


図-3 冬型事故の内訳
(一般国道・北海道内)

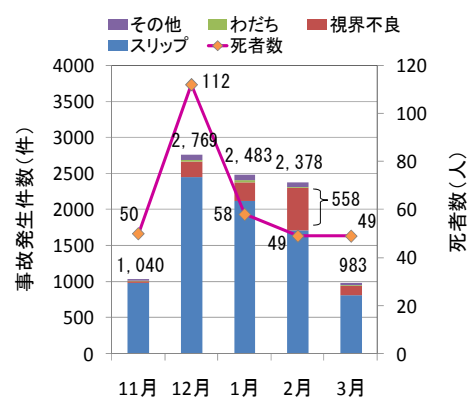


図-4 分類別・月別冬型事故発生件数
(一般国道・北海道内)

(2) 昼夜別事故発生状況

図 - 5 は、冬型事故の 4 要因別のうち、スリップ事故および視界不良事故の昼夜別事故発生割合について示したものである。昼夜の定義¹⁾については、昼間が日の出から日没まで、夜間が日没から日の出までである。各事故の昼夜別事故発生割合は、スリップ事故が昼間 61.4 %、夜間 38.6 % であり、視界不良事故は、昼間 87.2 %、夜間 12.8 % となっている。特に視界不良事故の昼間における事故発生割合は 9 割近くを占め、スリップ事故の割合と比較しても昼間の時間帯における発生割合の高さは顕著である。なお、スリップ事故および視界不良事故の各事故発生件数は、前者が 8,097 件であり、後者が 1,212 件であった。

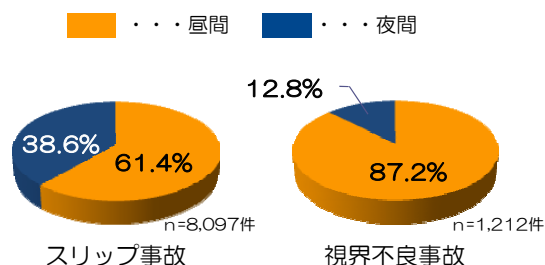


図-5 冬型事故の昼夜別発生割合
(一般国道・北海道内)

4. スリップ事故

(1) スリップ事故発生箇所

図-6は、事故内容別（死亡・重傷・軽傷）におけるスリップ事故発生箇所別の割合を示す。この図において、軽傷事故はその他単路に次いで交差点および交差点付近の発生割合が高く、それぞれ2割を占める。また、カーブ区間の発生割合については1割程度であった。一方、死亡および重傷の重大事故では、交差点および交差点付近の発生割合を合算しても各事故内容とも1割前後であるのに対し、カーブ区間の発生割合については3割を超え、軽傷事故の約2.4倍となっている。

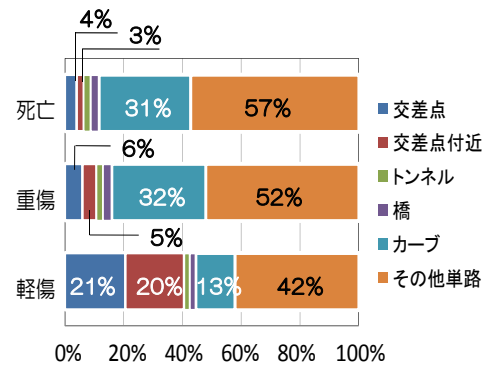


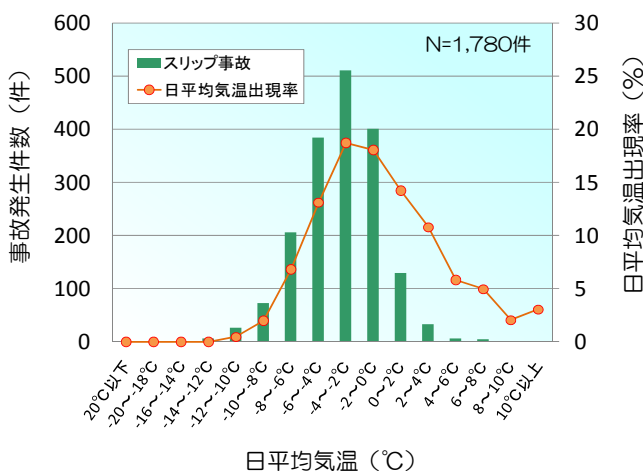
図-6 スリップ事故の発生箇所割合（一般国道・北海道内）

(2) スリップ事故と日平均気温との関係（札幌市内の一般国道）

図-7は、札幌市内の一般国道全9路線において発生したスリップ事故について、日平均気温別に度数分布を示したものである。この図から、日平均気温の出現率が最も高いのは -4°C ～ -2°C の温度帯であり、スリップ事故発生件数が最多の温度帯についても同様であることが分かる。また、日平均気温が -8°C 以下または 0°C 以上になるとスリップ事故は大きく減少する傾向が伺える。なお、分析に使用した気象データは、札幌市内のアメダス²⁾における1997年1月から2007年12月までの10箇年のうち冬期（11, 12, 1～3月）の各年5ヶ月間の設定で算出を行っている。

(3) スリップ事故と曲線半径との関係（札幌市内の一般国道）

札幌市内の一般国道におけるスリップ事故発生件数と曲線半径との関係を図-8に示す。この図より、曲線半径の出現率は半径 $R=300\sim 500\text{m}$ が最も高いことが分かる。しかし、スリップ事故発生件数については半径 $R=500\text{m}$ 以上の区間で多く発生しており、半径 $R=1,000\sim 2,000\text{m}$ で最多の137件となっている。この理由として、曲線半



径が大きな区間においては、曲線半径が小さな区間よりも運転者自らが道路の線形に見合った安全、または快適と感じる走行速度を選択しようとする一般的性向³⁾により、車両の走行速度が高くなっていることが考えられる。この運転特性と、運転者が冬の路面状態を的確に評価できないこと⁴⁾が重なり、曲線半径の大きな区間ではスリップ事故が多発する状況に至っているものと推察される。

5. おわりに

本稿では、北海道の一般国道において冬期気象条件下の交通事故発生形態について調査・分析を行った。この結果、夏期・冬期別の事故発生件数及び死者数の推移はともに減少傾向にあり、夏期・冬期の死者数の推移を比較すると、その差は縮小する傾向にあることが把握でき、月平均の事故発生件数および死者数の割合の比較では、死者数の割合は夏期が多いものの、事故発生件数は冬型事故を含む場合、僅かながら冬の割合が過半数を超えることが確認できた。また、冬型事故の特徴については、冬型事故の4要因の1つであるスリップ事故が事故全体の約8割を占めており、月別の事故発生件数および死者数の推移では12月が最も多く、特に死者数については112人に上り、他の月に比べ突出した値となっている。更に、札幌市内の一般国道におけるスリップ事故の日平均気温別および曲線半径別の分析結果からは、日平均気温別では $-8^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ の温度帯、曲線半径別では半径 $R=500\text{ m}$ 以上でスリップ事故が多発していることを把握できたものとする。

以上の結果を踏まえ、今後は冬の気象条件下における地域特性や事故率などの指標を用いた事故多発区間の抽出を試みつつ、より効果的・効率的な冬期道路管理の取り組みへ向けた交通事故の調査・分析を進めていく予定である。

【参考・引用文献】

- 1) 北海道警察本部：平成20年度交通年鑑，2009
- 2) 気象庁：気象統計情報
URL：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3) (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用，pp.285-286，2004
- 4) 高橋尚人，徳永ロベルト，舟橋誠：冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究，土木学会安全問題研究論文集 Vol.3，pp.17-22，2008
- 5) 北海道土木技術会 道路研究委員会 交通事故分析 WG：冬期道路の重大事故に関する調査研究，平成16年度研究成果報告書，2005
- 6) 高田哲哉，徳永ロベルト，高橋尚人：冬期交通事故の発生要因に関する基礎的分析，第25回寒地技術シンポジウム，2009
- 7) 高田哲哉，徳永ロベルト，高橋尚人：北海道の一般国道における冬期交通事故の形態について，第53回北海道開発技術研究発表会，2010

冬期道路管理における定量的指標の導入と活用について

高橋尚人，切石亮，徳永ロベルト，浅野基樹（（独）土木研究所寒地土木研究所）

1. はじめに

路面のすべりやすさは、道路上の車両の運動性能に影響を与える要因であり、特に、積雪寒冷な地域では雪氷路面对策が重要な課題である。冬期道路管理のポリシー、業務実施体制、冬用タイヤなどの違いから一概に比較できないが、我が国の路面のすべりやすさの計測評価に関する試験研究は欧米に比べて盛んではない。

本稿では、諸外国の冬期道路管理基準への定量的指標の導入、活用及び計測技術の動向をまとめるとともに、我が国の冬期道路管理における定量的指標の導入可能性について論じる。

2. 日本の冬期道路管理基準と雪氷路面のすべり計測に関する研究

我が国の冬期道路管理では、路面状況に関しては“圧雪、シャーベット”などの路面分類に基づく管理を行っている（表-1）¹⁾。路面状況は、道路巡回時等に目視で判別する方法を採用している。目視判別は判断者の経験等に影響を受け²⁾、また、目視による路面分類は定性評価であるため、冬期路面のすべりやすさが道路交通に及ぼす影響、冬期道路管理と道路交通性能との因果関係が不明確なため、冬期道路管理の効果・有効性を定量的に評価することができない。

かかる課題に対し、路面状態とすべり摩擦係数との関係の解明³⁾、欧州で使用している加速度計の導入可能性に関する試験研究⁴⁾、目視判別の正確性の検証⁵⁾が行われてきたが、雪氷路面のすべり計測に関する研究は盛んではない。

表-1 札幌市の冬期道路管理基準

道路種別	LOSと対象道路状況
主要幹線、幹線	路面水準 4（日中）：粉雪、つぶ雪、シャーベット
補助幹線 A	路面水準 3（日中）：圧雪、つぶ雪 下層氷板
補助幹線 B	原則として路面水準 3：圧雪、つぶ雪 下層氷板
生活道路	路面水準 2（日中）：氷板、つぶ雪 下層氷板等

出典：Snow & Ice Databook¹⁾

3. 諸外国の冬期道路管理における定量的指標の導入、活用状況

ヨーロッパでは、フィンランド、ノルウェー、アイスランド及びスウェーデンで冬期道路管理の基準に路面のすべり抵抗値を導入し、気象、時間帯、道路区分に応じた基準を設定している（図-1）¹⁾。4カ国とも、計測には加速度計を使用している（図-2）。

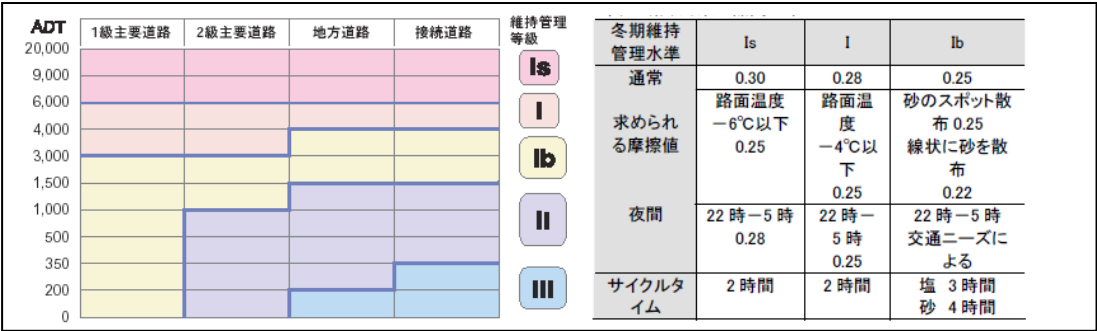


図-1 フィンランドの冬期道路管理基準（抜粋）¹⁾

計測方法は、加速度計を設置した車両が急制動し、その際に発生する負の加速度（減速度）から路面のすべり抵抗値を算出する。



図-2 加速度計

これらの国々は、道路管理を民間委託しており、請負業者の監督・道路管理の評価にすべり

抵抗値を活用している。フィンランドでは、道路管理業務を性能規定発注しており、基準を満たす方法（対策の選定）は受注者に任されている。発注者は、無作為抽出検査を行い業務が取り決め通りに実施されていることを確認し、基準が満たされていない場合、請負業者に警告が出され、時に課徴金が課される仕組みとなっている。

これに対し、アメリカ、カナダでも、積雪寒冷な地域（州）ですべり抵抗値の計測を行っているが、露出路面管理を原則とするため⁶⁾、詳細なしきい値は設定していない。測定方法に統一性はないが、これは、露出路面であるか否かの判定が主目的だからと考えられる。すべり抵抗値の計測結果は、作業意思決定、冬期道路管理の評価（コスト縮減・業績測定）、情報提供に活用されている。

表-2 カナダ、オンタリオ州の冬期道路管理基準⁶⁾

維持管理等級	クラス1	クラス2	クラス3	クラス4	クラス5
管理目標	原則、露出路面	原則、露出路面	原則、露出路面	原則、露出路面	圧雪
降雪後、管理目標を達成するまでの時間(超過してはならない)	8時間	16時間	24時間	車線中央部は24時間以内、状況が許せば原則、露出路面	24時間

4. 日本の冬期道路管理における定量的指標の導入可能性検討

近年の我が国における道路管理にかかる予算制約、環境負荷懸念等のある中、冬期道路管理の必要性や妥当性などについて定量データに基づいて説明責任を達成する必要がある。冬期道路管理の基準に定量的指標（すべり抵抗値）を導入することは有効な手段と考えられる。しかし、ヨーロッパとアメリカ・カナダでは基準値設定、測定方法及び活用方法が異なるように、日本の道路条件や冬期道路管理に適合するよう、導入可能性を検討することが必要である。

(1) 測定装置の検討

ヨーロッパで使用している加速度計は、安価で設置が容易だが、測定には急制動が必要なため、測定できる道路・交通条件が限られ、地点での計測しかできない。日本の地形条件・沿道立地の変化、凍結防止剤のスポット散布などの管理手法に対応するためには連続測定可能で、更に、コストと計測の容易さも重要な要素である。

そこで、筆者らは、走行しながら連続測定可能な“連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT：Continuous Friction Tester）”に着目している（図-3）。CFTは、回転可能な測定輪を牽引する構造で、測定輪には進行方向に対して 1° 程度の角度が与えられ、測定輪の回転時に発生する横力からすべり抵抗値（0～100の整数値）を算出する。



図-3 CFT 外観（左）と測定原理（右）

(2) 基準の検討

我が国では、露出路面管理を原則とするアメリカ型の基準ではなく、気象や道路区分に応じて基準値を設けるヨーロッパ型の基準を検討することが妥当と考えられるが、検討に当たっては、諸外国の基準値がどの程度の値なのか確認し、我が国の冬期路面のすべりやすさの現状を把握するなどの基礎的なデータ蓄積が最初に必要なのである。

諸外国の基準値の解釈では、試験道路に作成した各種路面を加速度計と CFT で測定する比較試験を行い、両装置の測定値の関係式を作成している(図-4)。例えば、フィンランドの基準値の 0.30 は、CFT では 54 に相当する。データの蓄積が必要であるが、日本国内での測定結果に対して考察を加える上で重要な情報である。

冬期路面のすべりやすさの現状把握では、CFT の測定の信頼性や実務への適用性の検証も兼ねて、路面すべりモニタリングを実施している(図-5)。図-6 は、路面温度と路面すべり抵抗値の関係を表している。2月18日(図-6 左)には、常に路面が乾燥し、路面温度に関わらず高いすべり抵抗値を保った。他方、常に路面上に水分があった2月19日(図-6 右)には、路面温度がマイナスの場合は、すべり抵抗値が概ね 60 以下で、路面温度がプラスの場合は、すべり抵抗値が概ね 60 以上だった。気象と路面すべり抵抗値との関係では、路面温度と路面上の水分有無が重要な要素であることを示している。また、2月19日の路面温度 0℃付近では、すべり抵抗値の変動が大きく、路面管理の判断が難しい温度帯であることを示している。

モニタリングデータを蓄積して、すべり抵抗値の出現状況を把握するとともに、気象、道路構造とすべり抵抗値の関係、冬期道路管理との関係、冬期道路管理の効果の評価や、交通特性との関係を明らかにしていくことが必要である。

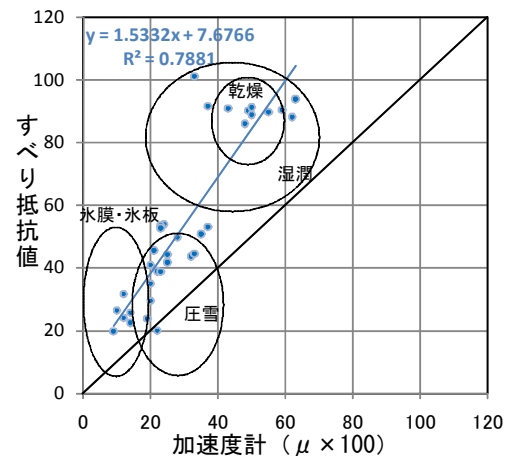


図-4 加速度計と CFT の測定値



図-5 実道でのモニタリング

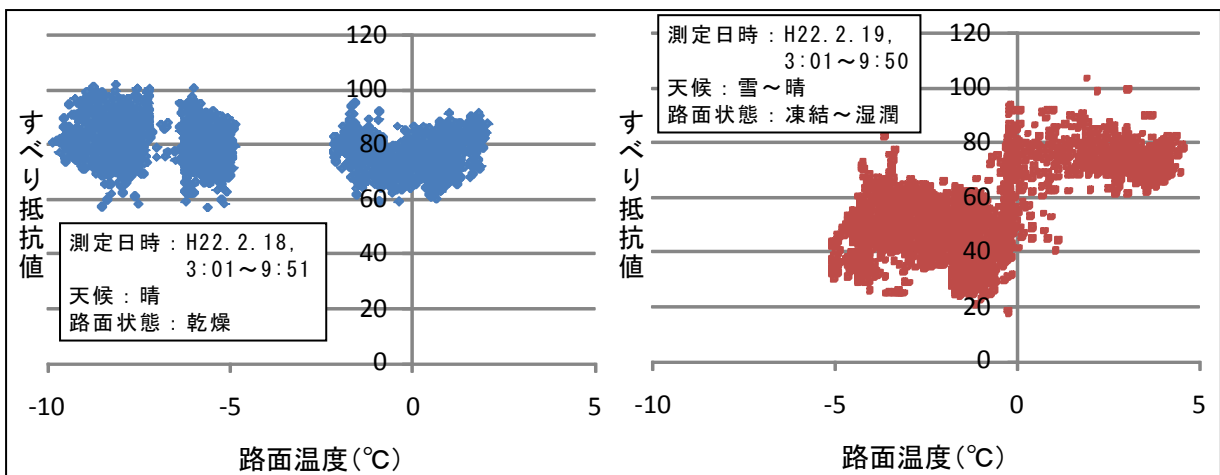


図-6 路面温度とすべり抵抗値の関係 (左: 路面乾燥時、右: 路面凍結~湿潤時)

なお、諸外国の冬期道路管理基準では、回復時間（降雪終了後〇時間以内に基準値を達成する）を設定している場合がある。突発的な豪雪時等も含めて路面状態を常に保つことは難しく、むしろ、速やかに路面状態を回復させることが必要であり、しきい値の検討と併せ、どのような基準設定を行うべきかについても検討が必要である。

（３）その他の課題検討

その他の課題として、計測機器の導入・メンテナンスについての検討が必要である。計測機器の導入と保守に関するコスト検討の他、測定品質の確保についても検討が必要である。ヨーロッパでは、測定方法を習得するための研修の制度を設けている国もある。また、測定値の信頼性確認のためのキャリブレーション用の装置を所有し、定期的なキャリブレーションを行っている国もある。

また、欧米では、冬期路面状態に関する情報を道路利用者に提供しているが、すべり抵抗の値は情報提供していない。道路利用者への情報提供の可否、また、情報提供可能な場合には、誰が、どのような情報を、どのように提供するかについて検討が必要である。

５．まとめと今後の課題

路面のすべり抵抗値は、冬期道路管理の計画立案（基準設定）(Plan)、実施 (Do)、評価 (Check)、次年度に反映 (Action) というマネジメントサイクルを構築する上で重要な指標であるが、それ故に、測定データの信頼性や品質の確保、基準設定等には十分な検討が必要であり、引き続き、すべり抵抗値の導入と活用に関する情報を収集して参りたい。

また、路面のすべり抵抗データは、近年、連続的に取得・蓄積可能になったばかりであり、測定データの蓄積と同時に、気象、道路構造、道路交通特性及び道路交通管理に関するデータを蓄積し、冬期道路交通に影響を与える気象、道路構造、沿道土地利用、道路管理、交通管理など様々な要因との関係の分析を進める予定である。

【参考・引用文献】

- 1) Snow & Ice Databook 2010, PIARC Technical Committee B5 (2010)
- 2) Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Web Document 53 (Project 6-14): Contractor's Final Report. (2002)
- 3) 美馬大樹, 高木秀貴, 川村浩二: 幹線道路における冬期道路管理水準の現状分析について, 第 12 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集 vol.12-No.1, pp.161-167 (1996)
- 4) たとえば, 武田祐輔, 川村和幸, 阿部篤: 加速度計によるすべり摩擦係数の測定, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 Vol. 49, pp. 28-29 (1994)
- 5) 高橋尚人, 徳永ロベルト, 舟橋誠: 冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究, 土木学会安全問題研究論文集 Vol. 3, pp. 17-22 (2008)
- 6) Liping Fu and Feng Feng, Probabilistic Models for Discriminating Roads Surface Conditions Based on Friction Measurements Final Report (2008)
- 7) 国土交通省道路局道路交通管理課: 平成 18 年度道路管理瑕疵実態調査について, 道路行政セミナー11月号 (2008)

精糖残渣(ライムケーキ)を活用したすべり止め材の効率的な散布方法に関する研究

大日向昭彦, 徳永ロベルト, 高橋尚人 ((独) 土木研究所寒地土木研究所),
河端淳一 (NPO 法人北海道産業技術支援協会)

1. はじめに

ライムケーキとは甜菜から砂糖を製造する過程で発生する精糖残渣である。北海道循環資源利用促進協議会では, リサイクル促進のため未利用資源であるライムケーキを有効活用する方策として, ライムケーキを固形化し新たなすべり止め材として利用することを検討している。当研究所は, その検討の一環として散布効果を検証するため, ライムケーキすべり止め材の散布試験を実施している。高橋らは¹⁾, ライムケーキすべり止め材散布試験を行いすべり抵抗値の向上を確認したが, 散布直後にすべり抵抗値が一時的に低下する傾向があることから, ライムケーキすべり止め材の定着性を課題とした。

本研究では, すべり止め材の定着性を向上させるため, 碎石・砂を湿らせて散布する方法(湿式散布)が道内の道路管理者によって行われていることに着目し, ライムケーキすべり止め材のより効果的・効率的な散布方法を検討するため, ライムケーキすべり止め材と塩化カルシウム水溶液の湿式散布を行い, 乾式散布との比較試験を実施した。本稿では, その結果について報告する。

2. ライムケーキとは²⁾

ライムケーキとは, 甜菜から砂糖を製造する過程で, 甜菜より抽出した糖汁から不純物を取り除くため, 糖汁に消石灰と炭酸ガスを投入し, 濾過によって糖汁を取り出したあとに残った副産物(残渣)である(図-1)。

ライムケーキは, 2007 年度は約 21 万 6 千トン発生し, 約 8 割は農地還元等再利用されたが, 約 2 割は廃棄物として埋め立て処されている(図-2)。ライムケーキをすべり止め材として利用可能であれば, 廃棄物として埋め立て処分されているライムケーキを利用するので, リサイクルの促進に繋がり, 環境に対する負荷の軽減が期待される。また, 車両の走行により破碎し融雪水とともに路外に流出することから, 路面清掃の負担軽減が期待される。

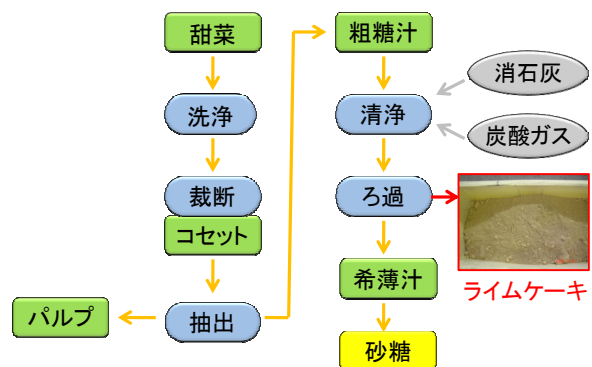


図-1 ライムケーキの発生工程

発生量 216,508t		
農地還元 101,562t (46.9%)	その他 68,036t (31.4%)	埋立処分 46,910t (21.7%)
再資源化 169,598t (78.3%)		

図-2 ライムケーキの発生量と利用状況(2007 年度)

3. 試験方法

(1) 試験実施日

散布試験は、2010年2月2日に実施した。

(2) 試験実施場所

散布試験は、当研究所所有の苫小牧寒地試験道路において実施した(図-3)。

(3) 試験装置

路面のすべりやすさの計測には、連続路面すべり抵抗値測定装置(図-4)及び路面すべり測定車(図-5)を使用した。

連続路面すべり抵抗値測定装置とは、走行用の車輪とは別に車両進行方向に対し $1\sim 2^\circ$ 程度傾け取り付けた測定輪に発生する横力を測定し、連続的に路面のすべり抵抗値を測定することが可能な装置である。この装置で測定したすべり抵抗値は HFN (Halliday Friction Number) と呼ばれ、装置の開発者が独自に設定した値ですべりにくい路面ほど高い値を示す。

路面すべり測定車とは、走行用の車輪とは別に車両左側中央部に測定輪が取り付けられている車両で、一定の速度で走行させながら測定輪だけに急制動(フルロック)を掛け、測定輪に掛かる摩擦力 F と測定輪に駆けた荷重 W の比からすべり摩擦係数 μ (BF) を算出する。すべり摩擦係数も、すべりにくい路面ほど高い値を示し、連続路面すべり抵抗値測定装置で測定されるすべり抵抗値 (HFN) とは良好な相関関係が確認されている³⁾。

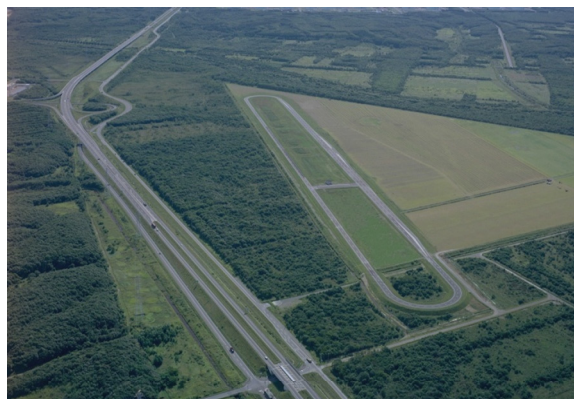


図-3 苫小牧寒地試験道路



図-4 連続路面すべり抵抗値測定装置



図-5 路面すべり測定車

(4) 試験材料

ライムケーキすべり止め材の湿式散布の散布効果を検証するため、ライムケーキすべり止め材・ライムケーキすべり止め材と塩化カルシウム水溶液の混合物・現在、すべり止め材として散布されている碎石と塩化カルシウム水溶液の混合物の3種類を試験対象すべり止め材とした(表-1)。ライムケーキすべり止め材は、既往研究¹⁾の散布試験で最も散布効

表-1 試験対象すべり止め材

すべり止め材	散布混合比 (重量比)	散布量 [g/m ²]
ライムケーキすべり止め材 (乾式散布)	—	75
ライムケーキすべり止め材 + 塩化カルシウム水溶液 (湿式散布)	20%	75
碎石(7号碎石) + 塩化カルシウム水溶液 (湿式散布)	20%	150

果が高かったライムケーキすべり止め材を使用し(図-6), ライムケーキすべり止め材と混合する塩化カルシウム水溶液の散布混合比は, 実道における散布を参考に重量比 20%とした. 散布量については, 実道におけるすべり止め材の散布基準が $150\text{g} \sim 350\text{g}/\text{m}^2$ ⁴⁾ であることから最低値 $150\text{g}/\text{m}^2$ を採用し, 碎石に比べ比重が小さいライムケーキすべり止め材の散布量は, 碎石の半分の散布量 $75\text{g}/\text{m}^2$ とした.



図-6 ライムケーキすべり止め材

(5) 試験手順

- ① 試験道路に散水し, 日没後の気温の低下を利用して氷膜路面を作製した.
- ② 路面上に試験対象すべり止め材を散布した(図-7).
- ③ 連続路面すべり抵抗値測定装置及び路面すべり測定車で散布前後の路面のすべりやすさを計測した.
- ④ 一般の道路交通を模擬したダミー車を走行させ, 一定台数(50 台)通過ごと延べ 300 台まで路面のすべりやすさを計測した.

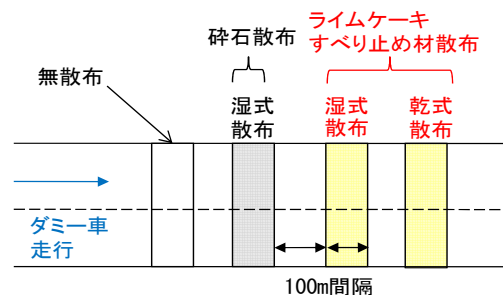


図-7 試験コース概略図

4. 試験結果

(1) 連続路面すべり抵抗値測定装置による結果

図-8 に連続路面すべり抵抗値測定装置の測定結果を示す. 散水前は, ライムケーキのすべり止め材の乾式散布・湿式散布ともにすべり抵抗値が 75 以上ありすべりにくい路面状態であったが, 散水後は乾式散布・湿式散布ともすべり抵抗値が 50 台に低下した. 次に, 試験対象すべり止め材を散布しすべり抵抗値を計測した結果, ライムケーキすべり止め材の乾式散布については, 散布直後はすべり抵抗値が 50 台であったが, ダミー車 50 台通過後すべり抵抗値は 40 台に低下し, ダミー車 100 台通過後～250 台通過後のすべり抵抗値は 38～40 で推移し, ダミー車 300 台通過後のすべり抵抗値は 47 となった. 一方, ライムケーキすべり止め材の湿式散布については, 散布直後のすべり抵抗値は 50 台であったが, ダミー車 50 台通過後すべり抵抗値は 40 台に低下し, ダミー車 100 台通過後～300 台通過後のすべり抵抗値は 34～39 で推移した.

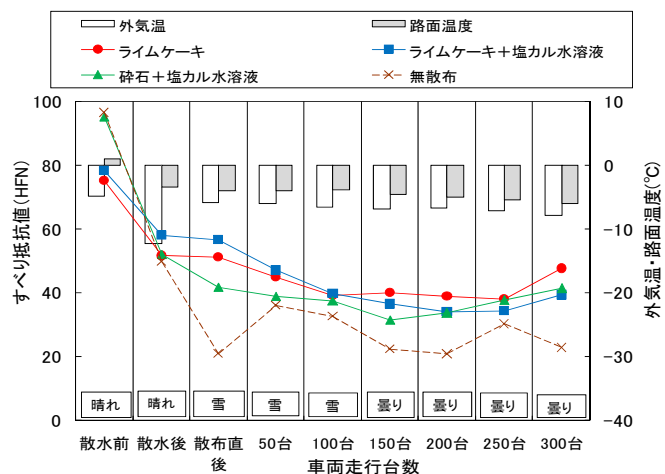


図-8 すべり抵抗値の測定結果
(2010 年 2 月 2 日)

(2) 路面すべり測定車による結果

図-9 に路面すべり測定車の測定結果を示す。散水後のすべり摩擦係数は、約 0.2 ですべりやすい路面状態であった。次に、試験対象すべり止め材を散布し、すべり摩擦係数を計測すると約 0.2 のままであった。その後、ダミー車の走行を重ねても延べ 300 台走行まで、すべり摩擦係数は約 0.2 のまま推移した。また、無散布区間においても、ダミー車走行 300 台まで約 0.2 で推移したことから、ライムケーキすべり止め材散布による明確な散布効果を確認できなかった。

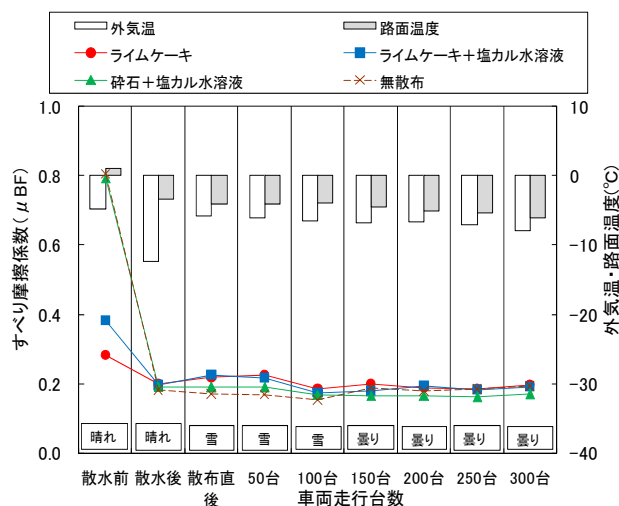


図-9 すべり摩擦係数の測定結果
(2010 年 2 月 2 日)

5. まとめと今後の展望

本試験では、ライムケーキすべり止め材のより効果的・効率的な散布方法を検討するため、ライムケーキすべり止め材と塩化カルシウム水溶液の湿式散布を行い、乾式散布との比較試験を実施した。以下に、その結果を述べる。

- ・連続路面すべり抵抗値測定装置による測定結果では、ライムケーキすべり止め材の乾式散布と湿式散布のすべり抵抗値を比較すると、散布直後からダミー車 100 台通過後までは湿式散布のすべり抵抗値が高く、ダミー車 150 台通過以後は、乾式散布のすべり抵抗値が高い結果となった。車両の走行に伴ってライムケーキすべり止め材が破碎し、塩化カルシウム水溶液と混合することでペースト状となり、走行車両のタイヤに付着し雪氷路面から取り除かれたことにより、散布区間のすべり抵抗値が低下したと考えられる。
- ・路面すべり測定車による測定結果では、湿式散布を行っても散布効果が確認できなかった。この理由として、測定時の制動によりすべり止め材を拭き取ってしまったためと考えられる。

上記の試験結果から、ライムケーキすべり止め材の湿式散布は、路面への定着性を高める有効な手段となり得るが、散布効果の持続性を検証するに至らなかったため、湿式剤の種類や混合を考慮した散布試験を行い効果的・効率的な散布手法を確立したい。また、制動を要する区間では、すべり止め材の種類に関わらず通常行われている湿式散布では対応できないことが明らかとなったため、湿式剤に加熱水を用いて、更に定着性を高める方法等について研究して参りたい。

【参考・引用文献】

- 1) 高橋尚人,徳永ロベルト,舟橋誠,河端淳一:精糖残渣(ライムケーキ)を活用した凍結路面对策に関する研究,No.28(2009)北海道の雪氷,2009 年 10 月
- 2) 北海道循環資源利用促進協議会,無機性循環資源部会:路面維持資材への利用検討 WG 資料,2008 年度
- 3) 舟橋誠,徳永ロベルト,高橋尚人:冬期路面管理における路面状態の定量的計測技術について,第 52 回(2008 年度)北海道開発局技術研究発表会,2009 年 2 月
- 4) 北海道開発局:冬期路面管理マニュアル(案),1997 年 11 月

2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その 1)

ー概要および雪氷災害調査ー

尾関俊浩（北海道教育大学札幌校），丹治和博（日本気象協会北海道支社），
谷口恭（日本気象協会北海道支社），金田安弘（北海道開発技術センター），
日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム

1. 調査の概要

2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部を中心として局地的に発生した大雪は，短時間で最大 80 cm にも達し，石狩市から北広島市の一部にかけて道路や鉄道の交通障害を引き起こした．これは石狩湾から弧状の降雪雲が進入し，長時間にわたって降雪をもたらしたことが原因である．地上気象観測網においては，石狩アメダスが 3 時間降水量の 1 月の記録更新(16.5 mm)，日降水量の 1 月の記録更新(49.0 mm)，積雪差の日合計の通年の記録更新（54 cm）をした．しかし他地点では記録的な大雪は観測されなかった．また当日は日曜日であったため平日の朝に比べて通勤・通学者の数が少なかったこと，18 日朝までには交通が復旧したこと，幸いこの大雪による死傷者が無かったことから，この大雪は雪氷災害としては必ずしも重大だとは認識されなかったといえる．一方，当日は大学入試センター試験の 2 日目にあたったことから，この交通障害により，札幌・江別両市の 9 会場で試験開始時間を遅らせる処置が執られ，また 4 大学で 116 名の追試申請者が発生するなど，多くの受験生が受けた被害が新聞等報道各社のニュースで大きく取り上げられた．中でも札幌市北部あいの里に位置する北海道教育大学札幌校会場では JR および路線バスが大幅に遅れたことから，この日最大の 77 名の追試申請者が発生した．図-1 は 1 月 17 日のあいの里の生活道路を写した写真である．通常 2 車線の道路の 1 車線は腰の高さ以上の雪で埋まり，残りの 1 車線も轍間の積雪が乗用車の床下まで達していることから，生活道路の除排雪が間に合っていないことがわかる．あいの里では幹線道路においても除雪が間に合わず，片側 2 車線が 1 車線になり，かつ雪に乗り上げて動けなくなる乗用車が



図-1 平成 22 年 1 月 17 日に札幌市北区あいの里における生活道路の積雪．
（撮影：小林利章）

表-1 調査項目．

1. 気象状況	地上天気図・地上気象 レーダーアメダス合成図 ドップラーレーダー解析 気象衛星雲画像
2. 降雪状況	降雪量分布 降雪量の時間変化
3. 大雪の影響	道路交通・鉄道交通 除雪状況 アンケート調査

複数発生し、交通渋滞を引き起こした。一方で札幌市中心部から北部に通勤した者からは出発時には降雪が少なく、北部が大雪であることが全く分からなかったという報告があり、さらに札幌市厚別区でもあいの里に匹敵する降雪があったとの報告があった。したがって、この大雪は局地的現象であって、約 21 km 間隔で設置されているアメダスではその範囲や降水量を十分把握できていないことが示唆された。

日本雪氷学会北海道支部ではこの局地豪雪の調査チームを組織し、地上気象観測網では把握できなかった降雪の実態を調査し、また気象データから発生のメカニズムの解明を行った。調査項目を表 1 に示す。本論文では、この大雪をもたらした総観的な気象状況と、道路、鉄道の交通状況の調査結果を報告する。さらに札幌市北部を中心に行った当日の行動に関するアンケート調査から、突発的な大雪に対する市民の交通行動の実態を示す。また「その 2」において、降雪状況の調査結果を報告する。

2. 地上天気図による総観状況と雨雲状況

図-2 に 2010 年 1 月 16 日 15 時から同 17 日 15 時までの 12 時間毎の地上天気図を示す。1 月 16 日の北海道周辺は次第に冬型の気圧配置が緩んできており、カムチャツカの南東海上の低気圧から伸びる気圧の谷が千島列島からオホーツク海南部を覆っていた。この気圧の谷の中には、上空の寒気に伴う小低気圧が残っており、小低気圧は次第に不明瞭になりながら東方へ遠ざかり、16 日の夜になると低気圧としては解析されなくなった。17 日には低気圧本体や西方に伸びる気圧の谷も次第に遠ざかり、大陸の高気圧の勢力もさほど強くはないため、北海道付近の気圧傾度がさらに緩んで冬型は解消しつつあった。

図-3 に 6 時間間隔のレーダーアメダス合成図を示す。1 月 16 日の午後までは冬型の気圧配置が強く、寒気の吹き出し時に特徴的な筋状雲が北西から南東へ伸び、日本海側の地域へ進入していたが、16 日 18 時頃から利尻島付近の帯状雲が強くなりはじめた。この帯状雲は他の雲より走向がやや立って北北西から南南東へ向いていたが、その後 21 時になると弧状に変わりながら南下し、その先端は留萌南部から中空知へ進入していた。24 時までに他の筋状雲はほとんど衰退したが、弧状雲だけは中心部がさらに発達し、南下を続けて石狩北部・中部や南空知へ進入してきた。17 日になると弧状雲の北部はほぼ南北に向き、雲の南部は石狩湾から後志北部や石狩中部・南部に進入していたが、朝には雲

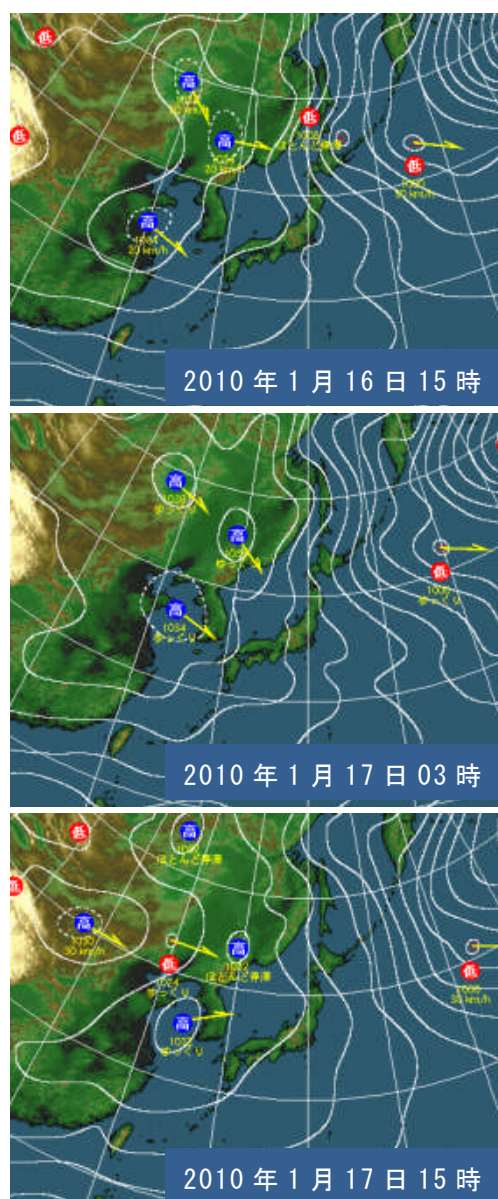


図-2 地上天気図。

がやや弱まる傾向を見せ始め、弧状の形態が不明瞭になってきた。昼には石狩北部から留萌南部にかけての海岸部に張り付く程度になり、内陸へ進みながら消滅していった。

今回は弧状雲の上陸地点が留萌から石狩、後志北部へと移動したものの積丹半島の南へは移動せず、その中心が石狩中部にとどまったことが局地的な大雪をもたらした原因である。このような弧状雲は雲の主軸方向と進行方向とが一致するため、見かけ上は同じ位置に留まって強い雪を降らせ続けることから、局地的な大雪をもたらす原因となる場合が多い。

3. 大雪の影響

3.1. 交通機関

この局地豪雪が交通網へ与えた影響について調査した。高速道路はNEXCO 東日本から、鉄道は JR 北海道から情報の提供をいただいた。また、国道や道道、札幌市の市道では通行止めは発生していないので、札幌市が管理する道道と市道について除雪状況を調査し、「その2」で報告する。

高速道路は、16日の夜には滝川から留萌にかけての路線で通行止めとなり、17日3時半からは札幌―千歳間でも通行止めとなった。17日4時半には札幌道（札幌―小樽間、道央道の江別東―札幌―千歳間）が全面的に通行止めとなり、7時半から14時45分までは江別東―岩見沢間でも断続的に通行止めが発生した。江別東―札幌間では通行止めが14時間も継続した。通行止めと降雪、視程の関係は「その2」で報告する。

JRは学園都市線、函館線、千歳線についてプレス投げ込み速報を元に調査した。列車の運休・遅れは17日6時30分に速報発表が始まり、7時には札幌―滝川間で60分、札幌―新千歳空港間で40分の遅れ、13本の運休が発表された。その後、札幌―滝川間の遅れは徐々に解消されたものの、学園都市線では除雪作業が追いつかず、10時からあいの里公園―石狩当別間、10時50分からは札幌―石狩当別間で運転見合わせとなった。学園都市線が全線で運転再開となったのは18時50分であり、運転見合わせは約

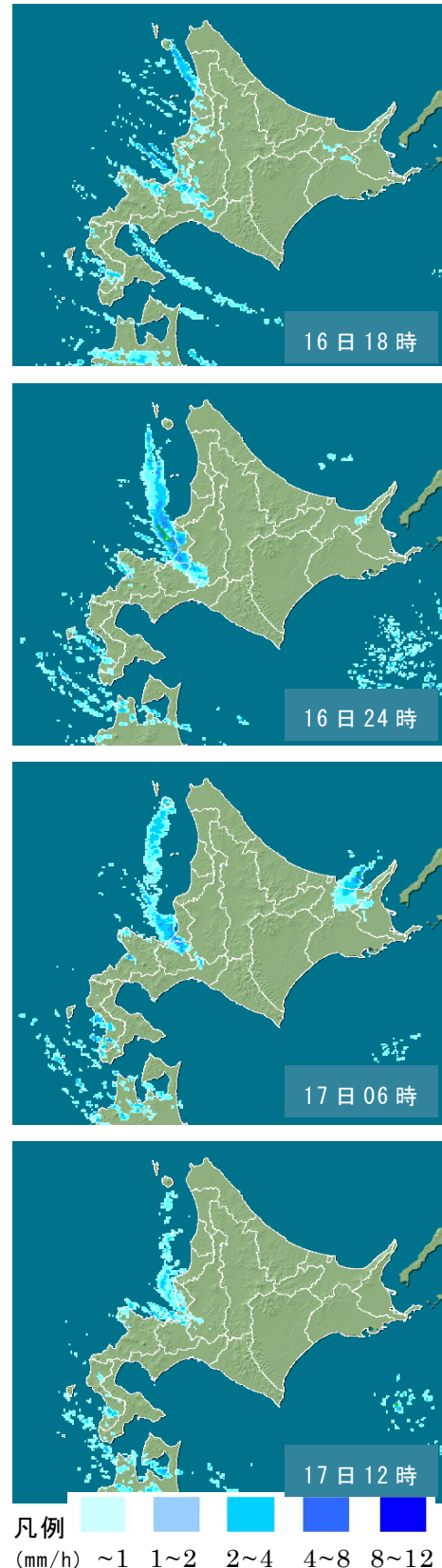


図-3 2010年1月16日から17日のレーダーアメダス合成図。

9 時間に及んだ。この大雪により学園都市線は普通列車 74 本が運休した。函館線や千歳線でも快速列車と普通列車の計 123 本が運休した。この結果、約 5 万人が影響を受けた。

3.2. アンケート調査

1 月 17 日の大雪の中、外出した人の交通行動を把握するために、記述式のアンケート調査を事後に行った。回答者は合計 23 名である。回答者の出発地と目的地を図-4 に示す。アンケートは北海道教育大学札幌校の関係者を中心としたため、大学入試センター試験管理業務のために札幌市内各地からあいの里方面へ移動しようとした人が多い。

1 月 17 日の出発時点において 23 人中 13 人が気象情報を確認し、6 名が道路交通情報を確認したが、気象情報や交通情報を特に得なかった人が 8 名と 1/3 以上を占めていた。また、大雪の影響があるかもしれないと思った人は 23 人中 14 人であり、そのうち 13 人が出発を早め、4 人が交通手段を変更し、3 人が経路を変更している（図-5）。その一方で大雪の影響があると思わなかった人も 6 人いて、そのうち 5 人は予定通りの時間に出発している。行動者の 1/3 が大雪の影響を知らずに外出しているのは、局地的な大雪だったことが影響していると思われる。なお、その他アンケート結果の詳細については、調査チームによる報告書に詳しく述べる予定である。

4. まとめ

2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部を中心として局地的に発生した大雪に関して雪氷災害調査チームが行った調査の概要を述べた。この大雪は弧状雲が石狩湾から石狩中部・南部に進出し、停滞したためもたらされたものであった。今回見られた北海道の西海上における風の収束は内陸部の放射冷却と季節風が海上で弱く残るような状況で起きる特殊な例であり、その詳細については今後報告する予定である。また大雪の影響について道路、鉄道の交通状況の調査とアンケート調査を行った。調査結果については日本雪氷学会機関誌への投稿を予定している。さらに詳細については雪氷災害調査チームから調査報告書を発行し、今後に向けての提言を盛り込む予定である。

【参考・引用文献】

日本気象協会北海道支社防災気象グループ、2010：平成 22 年 1 月 16 日～17 日の石狩周辺での大雪について（速報）。札幌、日本気象協会北海道支社、10pp.



図-4 アンケート回答者の出発地と目的地。
数字は回答者が自宅周辺で感じた積雪深。

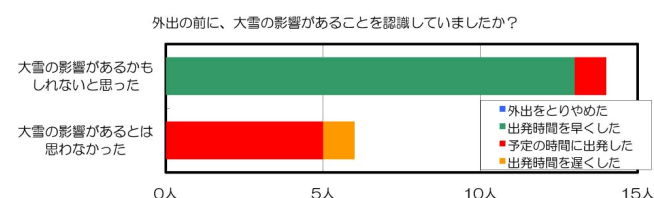


図-5 出発前における大雪の影響に対する認

2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その 2)

－豪雪時の降雪の特徴－

金村直俊（札幌総合情報センター株式会社）、山崎学（野外科学株式会社）、丹治和博（一般財団法人日本気象協会北海道支社）、金田安弘（社団法人北海道開発技術センター）、
日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム

1. はじめに

2010 年 1 月 17 日の降雪では、JR の運休や高速道路の通行止めが発生し、これらの交通障害により日曜日であったにも関わらずセンター試験受験者をはじめとして、JR だけでも計 5 万人に影響が出たと報告されている。このような影響を及ぼした降雪とはどのような特徴をもった現象であったのか、今後、備えるべきことは何かなどを検討するための材料としての実態調査を実施した。

2. 調査方法

(1) 調査方法

石狩中部および周辺地域における 2010 年 1 月 16 日から 1 月 18 日までの地上気象観測データを入手し、降雪量他の平面分布および時系列変化について調査した。

降雪量は毎正時の積雪深の値の差から 1 時間降雪量を算出し、マイナスの場合は 0cm とした。期間合計降雪量は前出の方法により算出した 1 時間降雪量を対象期間内で単純加算したものとした。以降、本報告では積雪深差を降雪量と表現する。

(2) 調査地点

調査地点は、図-1 に示すとおり、石狩中部地域およびその周辺地域に設置されている気象庁観測地点のほか、北海道開発局道路テレメータ、札幌市マルチセンサー、NEXCO 東日本気象観測局での観測地点である。

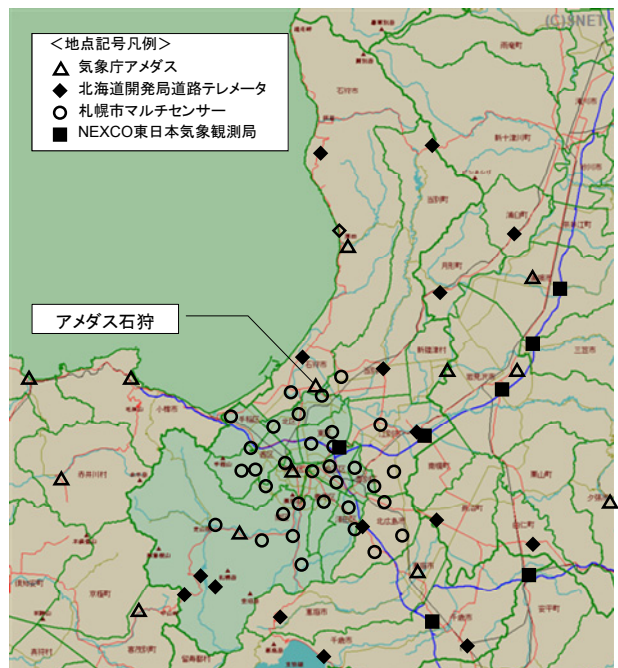


図-1 地上気象観測データ地点
(ただし積雪深観測地点のみ)

3. 調査結果

(1) 降雪量分布（広域）

図-1 に示した地点における 2010 年 1 月 16 日から 18 日までの 12 時間降雪量を算出したところ、1 月 16 日 12 時から 24 時の期間の降雪量は全体的に 10cm 未満、1 月 16 日 24 時から 1 月 17 日 12 時までの期間の降雪量が多いところで 50cm から 70cm の量

が観測されている一方で、降雪量の多かった地域の周辺に位置する札幌市手稲区、西区、南区や岩見沢市、三笠市では5cm未満となっていた。続く1月17日12時から24時までの期間では岩見沢市や三笠市で20cm近い降雪量が観測されているが、札幌市や江別市での降雪量はほぼ0cmであった。

(2) 降雪量分布（札幌周辺）

1月16日24時から1月17日12時までの石狩市南部、札幌市、江別市における降雪量分布図を図-2に示す。

降雪量は、筋状の雪雲侵入時によくみられる帯状の分布を呈しているが、石狩市南部から札幌市北東部、江別市にかけて50cm以上の降雪量を観測した地域が広がり、周辺との差も大きく、非常に局地的な降雪現象であったことが特徴として挙げられる。

(3) 降雪の時間変化

次に、雪の降り方の特徴について、降雪量の多かった図-2の地点A（降雪量57cm）と地点B（降雪量55cm）の前1時間降雪量の時間変化により調査した。その結果を図-3(a)、図-3(b)に示す。



図-2 12時間降雪量分布
(2010年1月17日0時から12時)

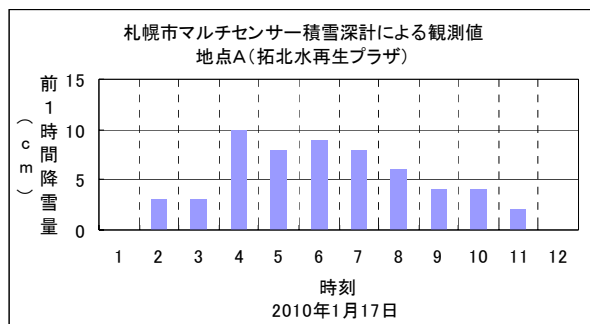


図-3(a) 図-2 地点 A における
1時間降雪量変化

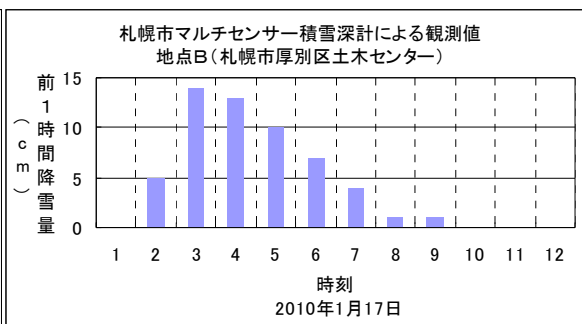


図-3(b) 図-2 地点 B における
1時間降雪量変化

図-3(a)から、地点Aでは降雪が約10時間継続しており、17日4時から8時にかけては1時間降雪量5cm以上という強い降雪であった。図-3(b)に示した地点Bでは、降雪の継続時間は地点Aに比べて短い、17日3時から4時にかけては1時間降雪量10cm以上という非常に強い降雪となっていた。このように12時間降雪量ではほぼ同じ値であっても、降雪の特徴が異なっていたことがわかる。

(4) 視程と風速

1で簡単に触れたが、1月17日は早朝からJRの運休や高速道路の通行止めが発生していた。これらの原因として視程の悪化も考えられるため、観測データによる視程と風速について調査した。

図-4(a)に NEXCO 東日本気象観測局（北郷 IC 地点）における視程（太実線）、風速（マーカー付細実線）の観測値の 5 分ごとの時間変化を示す。

視程は、17 日 1 時 25 分から 9 時 50 分までの間、300m～400m に低下していたが、この期間中の風速は 1～3m/s 程度であった。

北郷 IC 地点と近接する NEXCO 東日本気象観測局（札幌 JCT 地点）での積雪深データ（10 分ごと）と 10 分間の積雪深差の時間変化を図-4(b)に示す。図-4(a)と(b)を比較すると、視程が低下していた期間は雪が降り続いていたことがわかり、2 時から 4 時の間には一時的に 1cm/10 分間以上の強い降雪になっていたといえる。

4. 除雪状況

札幌市管理の道道、市道は、通行止めにはならなかったものの、各種ヒアリングなどから、降雪量の多かった地域の道路では渋滞が発生していたことがわかっているため、当日の除雪状況について、札幌市より提供いただいたデータを用いて調査した。

札幌市の除雪区域は市内を 39 に区分している（平成 21 年度時点）が、その中で、非常に降雪量が多かった地域、通常と比べれば降雪量が多かった地域、札幌市の除雪基準である 10cm 程度の降雪があった地域について、降雪量と除雪状況を比較した結果を図-5 に示す。

図-5 には、1 月 16 日 9 時から 18 日 12 時までの合計降雪量が 62cm の札幌市北東地域（拓北・あいの里地区）、29cm の札幌市南東地域（北野・平岡地区）、11cm の札幌市北西地区（西区中地区）における、1 時間降雪量（マーカー付き折れ線グラフ）、累計降雪量（マーカー無し実線）、除雪作業期間（棒グラフ）を示している。

降雪量が 10cm 程度の西区中地区では 17 日 6 時には除雪作業が終了していたのに対して、降雪量が非常に多かった北区の拓北・あいの里地区では、降雪が止んだ後、18 日の朝までほぼ連続して作業が行われていた。

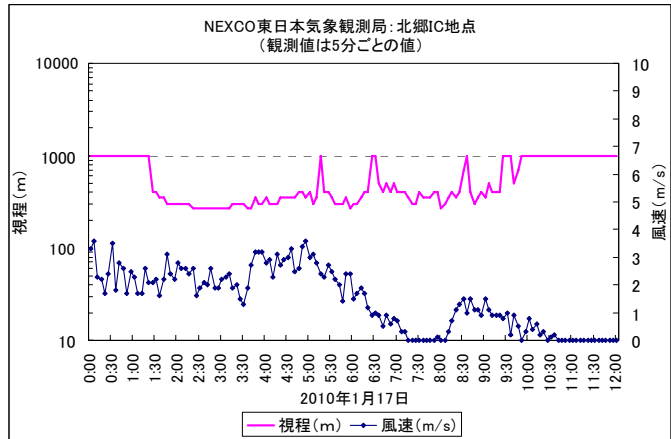


図-4(a) 視程と風速の状況

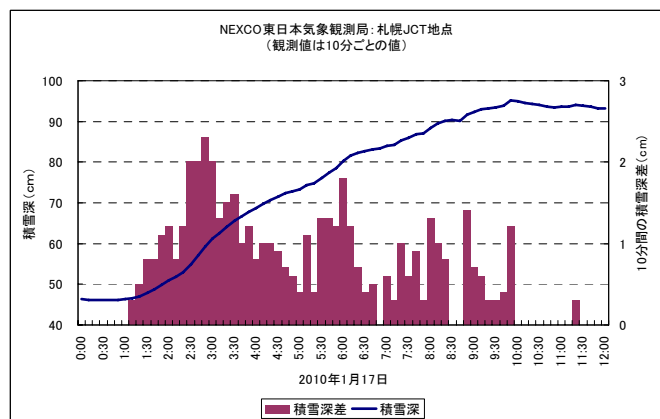


図-4(b) 積雪深と積雪深差の時間変化

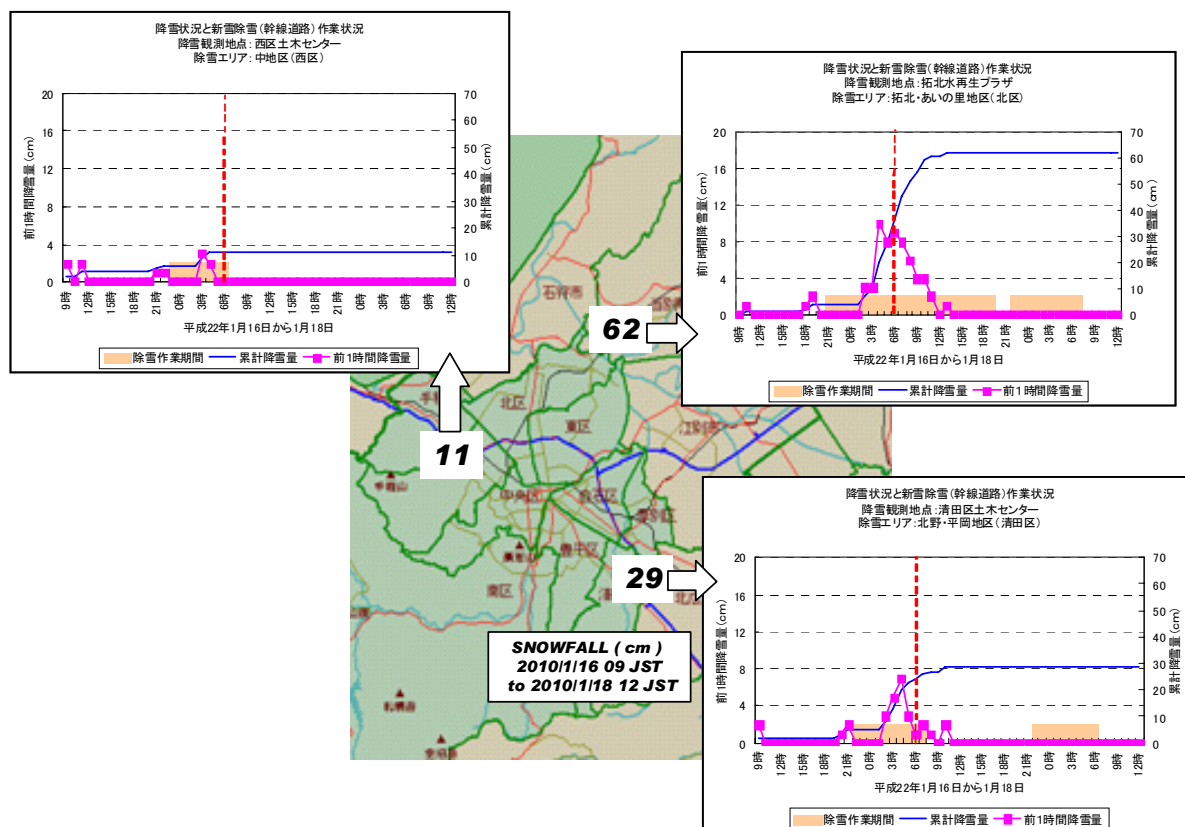


図-5 札幌市内における除雪作業状況(1月16日から18日)

5. まとめ

通行止めやJRの運休などを引き起こした降雪の実態について、地上気象観測データからその特徴を調査した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 降雪は、北西から南東にかけ帯状に分布し、局地的に集中していた。
- (2) 5~10cm/時の強い降雪が長時間(最大10時間)にわたり継続していた。
- (3) 強い降雪の時間帯には、視程が低下していたものの、風は弱かったことから、通行止めやJR運休の主たる原因は大量の降雪によるものと考えられる。
- (4) 札幌市内では、このような状況の下で除雪作業が行われ、60cm以上の降雪となった地域では、雪の止んだ後も半日近く除雪作業が継続されていた。

今後、同様の現象が発生した場合、社会機能全般を効率的に平常時に戻すためには、外出を控えることも選択肢として考慮すべきと思われる。

謝辞

本調査の実施にあたり、各種気象観測データをご提供いただきました関係機関(北海道開発局札幌開発建設部、札幌市建設局土木部雪対策室、NEXCO 東日本)の皆様に御礼申し上げます。

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2009 年度事業報告

1. 支部総会の開催

日 時 : 2009 年 5 月 12 日 (火) 13:30-14:30
場 所 : 北海道大学学術交流会館小講堂
主要議題 : (1) 2008 年度事業報告・収支決算報告
(2) 支部規約の改定について
(3) 2009 年度支部役員について
(4) 2009 年度事業計画案・収支予算案
(5) 北海道支部設立 50 周年記念行事及び出版について

2. 春の講演会の開催 (支部設立 50 周年記念行事として開催)

期 日 : 2009 年 5 月 12 日 (火) 16:00-18:00
会 場 : 北海道大学 学術交流会館 小講堂
講 演 : 1. 「宇宙で作る氷の結晶 -ISS「きぼう」での無重力実験-」
古川 義純 氏 (北海道大学低温学科学研究所 教授)
2. 「剥き出しの地球 -南極大陸-」
安部 幹雄 氏 (第 49 次・50 次南極地域観測隊員/写真家)

3. 理事会等会議の開催

第 1 回理事会

日 時 : 2009 年 5 月 12 日 (火) 14:30-15:00
場 所 : 北海道大学 学術交流会館 小講堂
主要議題 : (1) 支部長の選出
(2) 役割分担の確認
(3) ML (メーリングリスト) の整備について

第 2 回理事会

日 時 : 2010 年 1 月 29 日 (金) 15:00-17:00
場 所 : 北海道大学 低温科学研究所 会議室
主要議題 : 1. H21 事業報告案と決算の審議
2. 道支部設立 50 周年記念事業委員会の総括と解散の審議
3. H22 役員案についての審議
4. H22 事業計画案と予算案の審議

4. 研究発表会の開催

日 時 : 2009 年 6 月 23 日 (火) 10:00-18:00
場 所 : 北海道大学 百年記念会館 大会議室
発表件数 : 27 件
参加人数 : 153 名

5. 機関誌「北海道の雪氷」28 号の刊行

昨年度と同様、冊子体希望者には有料で配布するとともに、電子体を支部ホームページ上から誰でも無料でダウンロードできるようにした。また、従来からの寄贈団体 (特別・賛助・講読会員の中の配布希望者) には冊子体の無料配布を継続した。

6. 地域講演会の開催

「雪と氷のサイエンス -凍土・流水・積雪が語る北海道の気候変動-」
開催日 : 2009 年 12 月 19 日 (土) 13:30-16:30
場 所 : とかちプラザ 1F 大集会室

- 内 容 : -講演
 ・「自然積雪下の土壌凍結・融解の年次変動 -温暖化の影響は?-」
 土谷富士夫氏 (帯広畜産大学地域環境学研究部門)
 ・「オホーツク海・北海道沿岸の気温と流水勢力の長期変動」
 青田昌秋氏 (北海道立オホーツク流水科学センター)
 ・「変わりゆく北海道の冬 -気象データからの考察-」
 中村一樹氏 (北海道大学大学院環境科学院)
 -パネルディスカッション
 ・コーディネーター: 武田一夫
 ・パネリスト: 土谷富士夫、青田昌秋、中村一樹
- 主 催 : (社) 日本雪氷学会北海道支部
- 共 催 : 十勝雪氷エネルギー利用促進協議会
- 後 援 : 帯広市教育委員会、帯広畜産大学、NHK 帯広放送局、北海道新聞社、
 十勝毎日新聞社、日本気象協会北海道支社帯広支店
- 参加者 : 52 名

7. 社会貢献事業

雪氷災害調査「尻別岳南西斜面雪崩調査」

2010 年 1 月 16 日 15 時 40 分ごろ後志管内留寿都村の尻別岳南西斜面で雪崩が発生
2 名が巻き込まれ 1 名が死亡

2010 年 1 月 18 日 調査チーム派遣 (澤柿教伸、奈良亘ほか 4 名)

2010 年 1 月 22 日 調査速報を公開

雪氷災害調査「2010 年 1 月 17 日に北海道石狩中部を中心として局地的に発生した 大雪の調査」

2010 年 1 月 17 日 北海道石狩中部を中心として局地的に 80cm に達する豪雪が発生

8. 北海道支部設立 50 周年記念行事及び出版

別添資料参照

9. ニュースレターの刊行

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ニュースレターとして発行。
なお、メーリングリスト未登録会員へは従来通り郵送。

No. 33 : 北海道支部 2009 年度研究発表会のお知らせ/北海道支部 設立 50 周年記念行事の実
施/雪氷学会北海道支部規約の改定/北海道支部 2009 年度役員/雪氷研究大会
(2009・札幌)のお知らせ <2009 年 6 月 12 日発行>

No. 34 : 北海道支部 2009 年度地域講演会のお知らせ <2009 年 11 月 27 日発行>

No. 35 : 北海道支部春の講演会のお知らせ他<2010 年 3 月下旬発行予定>

10. 支部ホームページの運営

- ・ 雪氷関連情報の提供
- ・ 会員向け情報の掲載
- ・ コラムやエッセイ等の充実
- ・ 質問コーナーの開設

11. 雪氷関連行事の共催・後援

科学探検広場 2010<後援>

日 時 : 2010 年 1 月 9 日 (土) -10 日 (日) 10:00-16:30

場 所 : 旭川市科学館 (旭川市宮前通東)

主 催 : 旭川市科学館

内 容 : サイエンスボランティア旭川の会員や市内の理科教諭・高校生・大学生たちが
様々なブースを出店。いろいろな実験・工作を楽しみながら体験

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2010 年度事業計画 (案)

1. 支部総会の開催

日 時：2010 年 4 月 23 日 (金) 15:10-15:40

場 所：札幌エルプラザ 大研修室 (札幌市北区北 8 条西 3 丁目)

主要議題：(1) 2009 年度事業報告・収支決算
(2) 2010 年度事業計画案・収支予算案
(3) 2010 年度支部役員について

2. 春の講演会の開催

日 時：2010 年 4 月 23 日 (金) 13:30-15:00

場 所：札幌エルプラザ 大研修室 (札幌市北区北 8 条西 3 丁目)

講 演：

「メタンハイドレートの生産手法開発」

(独) 産業技術総合研究所

海老沼 孝郎 氏

「つつる路面と転倒事故をめぐる最近の話題」

(社) 北海道開発技術センター

金田 安弘 氏

3. 研究発表会の開催

日 時：2010 年 6 月 9 日 (水) 10:00-18:00 (時間は予定)

場 所：北海道大学 学術交流会館 小講堂

4. 機関誌「北海道の雪氷」29 号の刊行

昨年度と同様に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。

5. ニュースレターの刊行 (2~3 回)

メーリングリストを活用して、各種行事案内や連絡事項などをニュースレターとして発行する。なお、メーリングリスト未登録会員については、従来通り郵送する。

6. 地域講演会の開催

時 期：9 月頃

場 所：検討中

概 要：検討中

7. 理事会の開催

第 1 回理事会

日 時：2010 年 4 月 23 日 (金) 15:40-16:00

場 所：札幌エルプラザ 大研修室 (札幌市北区北 8 条西 3 丁目)

主要議題：(1) 支部長の選出
(2) 役割分担の確認
(3) 評議員・顧問の選出

上記に加え 年 2~3 回開催する。

8. 顧問・評議員会の開催

日 時：2010 年 4 月 23 日（金）16:00-16:15

場 所：札幌エルプラザ 大研修室（札幌市北区北 8 条西 3 丁目）

主要議題：(1) 支部活動への提言

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
- ・ コラムやエッセイ等の充実
- ・ 質問コーナーの開設

会員向け情報（総会や講演会、研究発表会など）を支部ホームページに掲載する毎に、メーリングリスト（hokkaido@seppyo.org）を使って全会員にその旨通知するサービスを継続する。

10. 社会貢献事業

(1) 雪氷災害調査チームの活動

雪氷災害発生時に随時対応する。

11. 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。

【共催】

・ 第 1 回山岳館講演会

主催：北海道大学山岳館

開催時期：2010 年 5 月 15 日（土）

開催場所：北海道大学山岳館

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2009 年度収支報告

(2009 年 4 月 1 日～2010 年 3 月 31 日)

収入の部

(単位 円)

科 目	予算額	決算額	差額	△：増収	備 考
1.会費収入	0	0	0		
支部会費	0	0	0		
2.事業収入	1,150,000	2,059,086	△ 909,086		
研修会等収入	50,000	195,000	△ 145,000		50周年出版
広告収入	400,000	585,000	△ 185,000		50周年出版
出版収入	700,000	1,279,086	△ 579,086		北海道の雪氷・50周年出版
3.内部移管金収入	260,100	765,000	△ 504,900		
交付金支部収入	260,100	265,000	△ 4,900		本部より
調査活動寄付金	0	500,000	△ 500,000		積雪調査
助成金	0	0	0		
事業収支差額収支	0	0	0		
広告支部受取金	0	0	0		
4.資産勘定からの繰入	690,000	1,690,000	△ 1,000,000		雪氷災害調査・50周年出版
5.雑収入(預金利子)	100	420	△ 320		
預金利子	100	420	△ 320		
当期収入合計	2,100,200	4,514,506	△ 2,414,306		
前期繰り越し収支差額	170,992	170,992	0		
収入合計	2,271,192	4,685,498	△ 2,414,306		

支出の部

(単位 円)

科 目	予算額	決算額	差額	執行率	備 考
1.事業支出	1,990,000	2,652,401	△ 662,401	133%	
研修・見学会支出	50,000	265,791	△ 215,791	532%	研究発表会
講演・談話会支出	200,000	285,226	△ 85,226	143%	地域講演会・50周年
雪氷災害調査活動	200,000	223,163	△ 23,163	112%	雪氷災害調査
支部機関誌発行費	1,540,000	1,878,221	△ 338,221	122%	北海道の雪氷・50周年出版
2.管理費	100,000	58,513	41,487	59%	
事務費	20,000	23,113	△ 3,113	116%	文房具費など
旅費・交通費	30,000	0	30,000	0%	
会議費	50,000	12,800	37,200	26%	旅費・会場費など
雑費	0	22,600	△ 22,600		香典代など
3.内部移管収入勘定	0	0	0		
4.資産勘定への繰入	0	1,800,000	△ 1,800,000		
5.予備費	0	0	0		
当期支出合計	2,090,000	4,510,914	△ 2,420,914	216%	
当期収支差額	10,200	3,592	6,608		
次期繰り越し収支差額	181,192	174,584	6,608		差額：繰り越し増額
支出合計	2,271,192	4,685,498	△ 2,414,306		

(社)日本雪氷学会北海道支部 2010 年度予算 (案)

(2010 年 4 月 1 日～2011 年 3 月 31 日)

(収入の部)

科 目	2010年度予算 (A)	2009年度予算 (B)	差額 (A)－(B)	20100423現在
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1) 経常収益				
1. 基本財産運用益				
基本金利息				
井上基金利息				
2. 特定資産運用益				
特定資産受取利息				
3. 受取会費	0	0	0	
正会員費会費				
正会員費				
学生会員費				
海外会員費				
特別会員費				
賛助会員費				
購読会員費				
分科会員費会費	0	0	0	0
支部会員費	0	0	0	0
3. 事業収益	150,000	1,100,000	-950,000	210,000
研究大会収入	0	0	0	0
全国大会収入				
国際研究集会				
支部・分科会研究発表会	0	0	0	0
研修会収入	0	50,000	-50,000	0
研修・見学会収入	0	0	0	0
講演・談話会収入	0	50,000	-50,000	0
出版収入	150,000	1,100,000	-950,000	210,000
「雪氷」収入				
「BGR」収入				
その他出版物収入				
支部・分科会機関誌	150,000	150,000	0	210,000
支部・分科会その他出版	0	950,000	-950,000	0
名簿販売費				
複写・版権料				
4. 助成金				
出版助成金				
公開シンポジウム				
5. 内部移管勘定	260,000	260,100	-100	260,000
交付金支部収入	260,000	260,100	-100	260,000
事業収支差額(収入)	0	0	0	0
広告支部受け取り金	0	0	0	0
6. 資産勘定からの繰入	770,000	550,000	220,000	650,000
基金からの繰り入れ	770,000	550,000	220,000	650,000
その他				
7. 雑収入	100	100	0	100
中谷奨励賞選考委託				
受取利息	100	100	0	100
雑収入	0	0	0	0
当期収入合計 a	1,180,100	1,910,200	-730,100	1,120,100
前期繰越収支差額	32,396	170,992	-138,596	158,452
収入合計 b	1,212,496	2,081,192	-868,696	1,278,552

(支出の部)

科 目	2010年度予算 (A)	2009年度予算 (B)	増減	
			(A) - (B)	20100423現在
1. 事業支出	1,090,000	1,990,000	-900,000	1,096,837
研究大会支出	0	0	0	0
全国大会支出				
支部・分科会研究発表会	0	0	0	0
研修会等支出	250,000	250,000	0	250,000
研修・見学会支出	50,000	50,000	0	50,000
講演・談話会支出	200,000	200,000	0	200,000
調査活動等支出	470,000	200,000	270,000	476,837
出版支出	370,000	1,540,000	-1,170,000	370,000
雪氷発行経費				
BGR発行経費				
その他発行経費				
支部等機関紙発行経費	140,000	140,000	0	140,000
支部その他出版費	230,000	1,400,000	-1,170,000	230,000
名簿作成費				
賛助配布予稿集				
普及・啓発事業	0	0	0	0
ホームページ運営費	0	0	0	0
その他	0	0	0	0
褒賞費	0	0	0	0
学会賞費				
支部賞費	0	0	0	0
研究助成費	0	0	0	0
2. 管理費	100,000	100,000	0	100,000
事務局費	50,000	50,000	0	50,000
本部事務局費				
給与等人件費				
通勤費				
家賃・共益費				
旅費・交通費				
水道・光熱費				
通信費				
什器・備品費				
文具・消耗品費				
リース料				
印刷費				
諸会費・謝金				
支部・分科会事務局費	50,000	50,000		50,000
会議費	50,000	50,000	0	50,000
本部総会費			0	
本部理事会費			0	
本部監事会費			0	
本部の他会議費			0	
支部・分科会会議費	50,000	50,000	0	50,000
総務委員会費				
財務委員会費				
役員選挙費	0	0	0	0
支払い手数料	0	0	0	0
雑費	0	0	0	0
3. 内部移管勘定	0	0	0	0
交付金本部支出				
北海道支部				
東北支部				
北信越支部				
関東以西支部				
事業収支差額(支出)	0	0	0	0
全国大会収支差額	0	0	0	0
研修会等収支差額	0	0	0	0
広告支部受取金	0	0	0	0
4. 資産勘定への繰入	0	0	0	0
その他	0	0	0	0
5. 予備費				
当期支出合計 c	1,190,000	2,090,000	-900,000	1,196,837
当期収支差額 a - c	-9,900	-179,800	169,900	-76,737
次期繰越収支差額 b - c	22,496	-8,808	31,304	81,715

2010 年度 (社) 日本雪氷学会北海道支部役員

(2010 年 8 月 26 日現在)

職名	氏 名	所 属
理事 (支部長)	高橋 修平	北見工業大学社会環境工学科
理事 (事務局)	金田 安弘	(社)北海道開発技術センター
理事 (事務局)	松澤 勝	(独)土木研究所 寒地土木研究所寒地道路研究グループ
理事 (事務局)	原田 裕介	(株)アルゴス北海道支店
理事 (事務局)	杉山 慎	北海道大学低温科学研究所
理事 (事務局)	丹治 和博	(財)日本気象協会北海道支社
理事 (事務局)	小松 麻美	(財)日本気象協会北海道支社
理事 (広報)	澤柿 教伸	北海道大学大学院地球環境科学研究院
理事 (広報)	山田 高嗣	札幌第一高等学校
理事 (広報)	外塚 信	(株)ネクスコ・エンジニアリング北海道
理事 (事業)	榎本 浩之	北見工業大学
理事 (事業)	久保 雅弘	北海道電力株式会社総合研究所
理事 (事業)	亀田 貴雄	北見工業大学社会環境工学科
理事 (事業)	深見 浩司	北海道立地質研究所
理事 (本部渉外)	苫米地 司	北海道工業大学空間創造学部建築学科
理事 (本部渉外)	古川 義純	北海道大学低温科学研究所
理事 (社会貢献)	山野井克己	(独)森林総合研究所北海道支所寒地環境保全研究グループ
理事 (社会貢献)	中村 一樹	北海道大学大学院地球環境科学研究院
監事	竹内 政夫	NPO 法人 雪氷ネットワーク
監事	小林 利章	(財)日本気象協会北海道支社
評議員	青田 昌秋	北海道立オホーツク流水科学センター
評議員	浅野 基樹	(独)土木研究所 寒地土木研究所寒地道路研究グループ
評議員	安達 亮介	北海道総合政策部地域づくり支援局
評議員	石本 敬志	(財)日本気象協会北海道支社
評議員	伊東 敏幸	北海道工業大学空間創造学部建築学科
評議員	兒玉 裕二	北海道大学低温科学研究所
評議員	斎藤 有司	(株)ドーコン
評議員	渋谷 元	北海道開発局開発監理部開発調整課
評議員	赤代 恵司	(社)北海道開発技術センター
評議員	須田 力	北方圏体育・スポーツ研究会
評議員	武田 一夫	帯広畜産大学
評議員	東海林明雄	北海道教育大学名誉教授
評議員	幅口 堅二	北海道旅客鉄道(株)工務部
評議員	平松 和彦	北海道旭川東高等学校
評議員	三日市宏展	札幌市建設局雪対策室
評議員	見延 勲英	(財)北海道道路管理技術センター
評議員	矢作 裕	北海道教育大学名誉教授
評議員	藪 正樹	北海道電力(株)土木部
評議員	山田 知充	NPO 法人雪氷ネットワーク
評議員	吉田 隆	札幌管区气象台技術部

職名	氏 名	所 属
顧問	秋田谷英次	北の生活館館長
顧問	菊地 勝弘	北海道大学名誉教授
顧問	佐伯 浩	北海道大学総長
顧問	前 晋爾	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

理事の役割分担

分担	氏 名	担 当
事務局	高橋 修平 金田 安弘 松澤 勝 原田 裕介 杉山 慎 丹治 和博 小松 麻美	支部長 総務 総務 庶務 庶務 会計、兼事業全般 会計補助、兼社会貢献（雪氷楽会）
広報	澤柿 教伸 山田 高嗣 外塚 信	HP・ML 担当 HP・ML 担当 ニュースレター等担当
事業	榎本 浩之 久保 雅弘 亀田 貴雄 深見 浩司	機関紙担当 事業（春の講演会、研究発表会） 事業（地域講演会） 研究発表会他担当
本部渉外	苫米地 司 古川 義純	本部渉外対応 本部渉外対応
社会貢献	山野井克己 中村 一樹	社会貢献（雪氷災害調査チーム） 社会貢献（雪氷楽会）、兼事業（地域講演会）

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、社団法人日本雪氷学会（雪氷学会と略称する）定款第3条に基づき、北海道地区に設置された支部であり、略称を「雪氷学会道支部」とする。

(事務所)

第2条 本支部の事務所は、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に置く。

(規定の策定)

第3条 本支部は本規程第4条の事業を行うために、雪氷学会細則第43条に基づき、雪氷学会道支部の運営に必要な規程を定める。

2 この規程に定めのない事項については、雪氷学会定款及び細則の定めるところによる。

(事業)

第4条 本支部は、雪氷学会定款第4条の目的を達成するため、主に北海道内において下記の事業を行う。

1. 雪氷及び寒冷に関する調査・研究
2. 雪氷および寒冷に関する研究会、講演会、展示会等の開催
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業

(会員)

第5条 本支部の会員は、北海道に在住する雪氷学会の会員とする。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6条 本支部につきの役員を置く。

支部理事 20名以内（うち、支部長1名、本部理事2名）
支部監事 2名

(役員を選出)

第7条 支部の理事・監事は、支部総会において、支部会員の中から選任する。

2 本支部会員である本部理事は、本部理事の任期中、支部理事を兼務する。

(支部長の選出)

第8条 支部長は、支部理事の互選とする。

2 支部長は必要に応じて理事の中から副支部長を委嘱することができる。

(理事の職務)

第9条 支部長は、本支部を代表し、会務を総理する。

2 支部長に事故あるとき、または欠けたとき、副支部長またはあらかじめ支部長が指名した理事が、支部長の職を代行する。

3 支部理事は、支部理事会を組織し重要事項を議決する。

4 支部理事は、支部長を補佐するとともに、支部会務の執行にあたる。

(監事の職務)

第10条 支部監事は、支部の財産の状況、理事の業務執行の状況を監査する。

(理事会)

第11条 支部理事会は、支部理事で構成され、重要事項を議決する。

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 文書審議理事会の開催方法等は雪氷学会細則第27条に定めるところによる。

4 支部理事会は支部長が招集し、議長は支部長とする。

5 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よって議決に参加した者は出席者とみなす。

6 議事録は本規程の第16条に定めるところによる。

(役員の任期)

- 第12条 役員の任期は2年とする。会務の継続性など特に必要な場合は、任期を延長することができ、延長期間は1年単位で2年間までとする。その他は雪氷学会定款第16条の定めるところによる。

(顧問、評議員)

- 第13条 本支部に顧問および評議員を置くことができる。
- 2 顧問および評議員は、支部理事会の議決を経て支部長が委嘱する。
 - 3 顧問および評議員は、本支部の発展に寄与するため、支部長の諮問に応じて意見を具申する他、随時建設的提案や提言を行うことができる。
 - 4 評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

(総会)

- 第14条 本支部は、毎年1回、通常総会を開くほか、必要に応じ臨時総会を開く。
- 2 議長は出席者の互選とする。
 - 3 総会においては、下記の事項の承認を受けなければならない。
 1. 支部役員
 2. 事業計画および収支予算
 3. 事業報告および収支決算
 4. 財産目録および貸借対照表
 5. 重要な財産の処分
 6. 支部規程の変更
 7. その他支部理事会において必要と認めた事項
 - 4 議事録は本規程の第16条に定めるところによる。

(資産および会計)

- 第15条 本支部の財産は次のとおりとし、支部長がこれを管理する。
1. 本部からの交付金
 2. 寄付金
 3. その他
- 2 本支部の会計年度は、毎年4月1日より翌年3月31日までとする。

(議事録)

- 第16条 支部総会及び支部理事会の議事録は議長が作成し、支部事務所に備えておかなくてはならない。
- 2 支部会員はこれら議事録を支部事務所に於いて随時閲覧することができる。
 - 3 理事会の議事録は支部理事全員に通知する。

付則

- 本規約は昭和34年5月18日より施行する。
本規約は昭和53年6月8日に改正する。
本規約は平成6年6月15日に改正する。
本規約は平成17年4月20日に改正する。
本規約は平成20年7月14日に改正する。
本規約は平成21年5月21日に規程に変更する。
本規程は平成21年5月21日に改正する。

北海道の雪氷 No. 29

ISSN-1340-7368

2010 年 9 月 1 日発行

発行 (社) 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