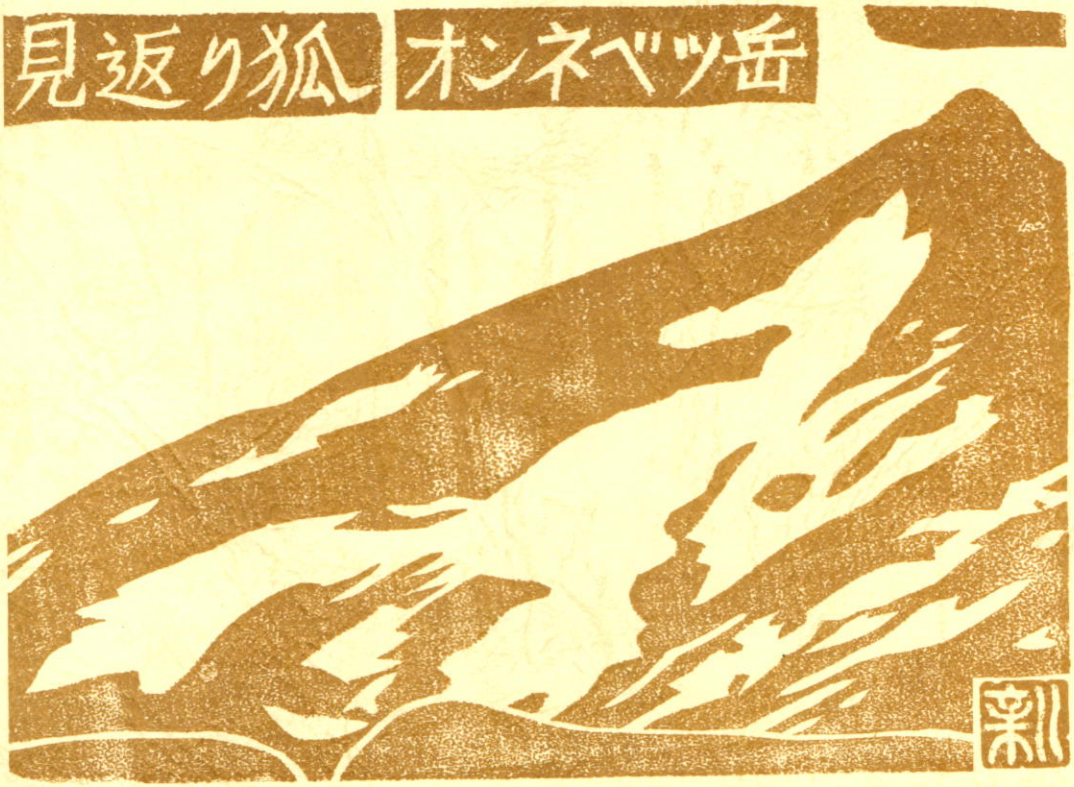
ISSN－1340－7368

㈳日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

第25号



2006年10月

発行　㈳日本雪氷学会北海道支部

目　次

巻頭言…… 1
2006 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 2005 年度事業報告…… 89
(社)日本雪氷学会北海道支部 2006 年度事業計画…… 91
2005 年度収支決算及び 2006 年度収支予算…… 93
(社)日本雪氷学会北海道支部役員名簿…… 94
社団法人日本雪氷学会北海道支部規約…… 95

企業広告

表　紙

画　：斎藤新一郎
題字：福沢卓也

巻　頭　言

支部長　山田知充

平成１８年度の雪氷学会北海道支部研究発表会に発表された２４編のうち大学からの発表は８件、そのうち北見工業大学からが半数を占め、北海道大学からは１件に過ぎない。ここ数年来雪氷学の基礎研究を担ってきた「大学」からの研究発表が減少傾向にある。どうしてだろう？

我国の雪氷学は、積雪や寒さが人々の生活にもたらす様々な害を克服するための調査研究をして欲しいという社会の要請を受け、昭和７～８年（1932～33）頃に災害科学の一分野として呱々の声を上げた。これを受けて雪結晶や氷、積雪、雪崩、吹雪、着氷雪、凍土、海氷などを対象に研究が展開され、その成果は直ちに雪氷災害の防除に適用されてきた。加えて昭和４２年（1967）頃からは南極氷床の研究がなされるようになり、昭和４９年（1974）に文部省科学研究費「海外学術調査」が創設されて以降は世界の氷河が研究対象となった。そして激動の平成を迎える。

平成の代になって日本の広範な社会体制が制度疲労に陥っていることが明らかになり、日本社会の抜本的変革が開始された。大学や政府研究機関にも統廃合や内容改変の力学が働き始め、誕生から半世紀を迎えていた従来からの雪氷研究は路線の変更を余儀なくされた。半世紀の間に、技術的な問題は残されていたにしろ、原理的には大抵の雪氷災害に適切に対処可能なだけの研究をほぼ終えていたからである。一方、社会は地球環境の悪化に対処する科学の発展を求めていた。災害科学的雪氷学と平行してなされていた氷河・氷床研究の地球科学的視点が基盤となって、雪氷学は災害科学路線から地球科学路線へと舵が切られた。それ以降、新路線に多量の研究資源（人と金）が集中的に投入され現在に至っている。

戦線の変更に伴って、物理学だけでは済まなくなり、化学、気象学、水文学、地形学、生物学、林学、海洋学など広範な学問領域の参画が必要となった。従来の雪氷学で育った研究者に替わって、様々な学問分野の研究者が動員された。十数年に亘る「入れ替え」によって雪氷学会員の研究者は減少を続けた。他の学問領域の研究者には雪氷学会は馴染みがなく、その帰属する学会やプロジェクト研究チーム内で研究を発表し評価を受けている。雪氷学会に発表する必然性がない。このままでは「大学」からの発表が減るわけである。

雪氷学が新路線を歩み出すのと表裏をなして、従来からの雪氷研究者を擁する大学は減少の一途をたどっている。このことは、関係者の理解不足や認識不足、努力不足に拠るのではなく、従来からの雪氷研究を大学に残す必要性、重要性を日本社会が認めなくなったのだと理解すべきである。見渡してみると従来からの雪氷研究は大半が大学の手を離れ、政府系研究機関に移ってしまっている。今や政府系研究機関こそが従来の雪氷学を担い、諸先輩が営々と築き上げてきた知識の体系を維持し、活用し、更に新たな一歩を付け加える役割を担う存

在になったように見える。この現実は、変革に付きもののやや行き過ぎのきらいがある。政府系研究機関には大学のような人材養成機能がないからである。雪が降り積もり、地面や海面が凍り付く寒さの中に人が住み続ける限り、人々は雪と氷と寒さによって様々な害を受け続け、災害科学としての雪氷学の重要性は従来といささかも変わることはない。今後とも必要不可欠の科学であることは自明の理であり、人材は引き続き供給されなくてはならないからである。人材供給体制は一旦とぎれると再立ち上げに大きな困難と時間がかかり急場には間に合わない。大学の変革が一段落したら、未だ人材が途絶えていないうちに、何らかの形でその芽を大学に残すことを期待したい。残された時間は短い。

この激動の時代に雪氷学会も従来のままではあり得ない。雪氷学会が従来からの学会員で閉じていると、大学からの人材供給が途絶えているのだから会員は減少を続けるしかないであろう。しかし、地球科学路線の新しい雪氷学を担う研究者を雪氷学会の会員に迎え入れることが出来れば減少は止まろう。そもそも出来なければここで新しい雪氷学と呼んだ学問は雪氷学とは別の学問分野に位置することになってしまう。新たに参画した研究者にとっても、その研究は帰属する学問分野の巨木の中におくと、その枝葉の一つに過ぎないが、雪氷学会におけば雪氷学の最先端としてその幹を構成できる点に魅力があるはずである。雪氷学は元々学際的な研究分野であり、今や従来以上に学際的な学問分野になるだけのことだ。これからの雪氷学会は、雪や氷や寒さをキーワードとする研究ならば、どのような学問分野からの研究に対しても広々と門戸を開け放ち、意識的、積極的に受け入れる努力をしなくては明日の発展はない。雪氷学会は今大きな転換期を迎えているのである。

日本雪氷学会北海道支部の喫緊の努力目標は、「大学」からの研究成果が、従来からの研究と共に発表され、活況を呈する研究発表会にすることであろう。

平成18年9月

2004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：2006年6月16日（金）9:30～17:00

場所：北海道大学　学術交流会館　第一会議室

1. 路面凍結予測に基づくプロアクティブな冬期路面管理手法構築に関する研究 ---------- 5
高橋尚人・徳永ロベルト・浅野基樹（(独)土木研究所寒地土木研究所）、石川信敬（北海道大学低温科学研究所）、川上俊一（(財)日本気象協会）
2. 雪氷路面のすべり摩擦係数計測機器の比較試験と海外事例報告 ---------- 9
舟橋誠・徳永ロベルト・高橋尚人・浅野基樹（(独)土木研究所寒地土木研究所）
3. 冬期歩行空間のモビリティに関する研究 ---------- 13
徳永ロベルト・舟橋誠・高橋尚人・浅野基樹（(独)土木研究所寒地土木研究所）
4. 屋外スロープを用いた雪崩予防柵に関する実験 ---------- 17
松沢勝・三好達夫・伊東靖彦・加治屋安彦（(独)土木研究所寒地土木研究所）、西村浩一（潟大学）、大槻政哉（㈱雪研スノーイーターズ）
5. 積雪の支持力を生かした低柵高全層雪崩予防柵 ---------- 21
竹内政夫（㈱雪研スノーイーターズ）、及川秀一・武田光邦・西館幸夫（稚内開発建設部）
6. 北海道における鉄道トンネル内に発生するつららの現状とその対策 ---------- —
小川 直仁（JR北海道）、岩花剛・赤川敏（北海道大学大学院工学研究科）
7. 積雪地域における多機能型太陽光発電システムの開発に関する研究 ---------- 25
齋藤勇太（北海道工大大学院建築工学専攻）
8. 格子フェンスによる斜材からの落雪防止―野外模型実験― ---------- 28
竹内政夫（(株)雪研スノーイーターズ）
9. 積雪地域における木造住宅の耐震性について ---------- 32
千葉隆弘・苫米地司（北海道工業大学）、高橋徹（千葉大学）、植松武是（北海道立北方建築総合研究所
10. AMSR-Eを用いたアラスカの融雪の検出 ---------- 36
木村しずか・榎本浩之・戸城亮(北見工業大学)、Kim Yongwon(アラスカ大学)、斉藤佳彦(㈱雪研スノーイーターズ)
11. 多雪山地流域における融雪期の地中水の流出過程 ---------- —
山崎　学・石井吉之・石川信敬（北海道大学低温科学研究所）
12. 地中探査レーダーによる知床峠の積雪観測（2006年） ---------- 40
谷口優介・佐藤研吾・高橋修平（北見工業大学）
13. 低温室用小型MRI装置による三次元画像の取得　－その1－ ---------- 44
安達聖(北海道教育大学大学院札幌･岩見沢校)、尾関俊浩(北海道教育大学岩見沢校)、拝師智之(㈱エム・アール・テクノロジー)
14. 積雪の固有透過度と比表面積（2） ---------- 47
荒川逸人（野外科学株式会社/新潟大学大学院自然科学研究科）、尾関俊浩（北海道教育大学岩見沢校）、川田邦夫（富山大学極東地域研究センター）、成瀬廉二（NPO法人氷河・雪氷圏環境研究舎）、河村俊行（北海道大学低温科学研究所）、河島克久、和泉薫（新潟大学災害復興科学センター）
15. 衛星搭載赤外放射計を用いたサロマ湖の結氷状況の推定 ---------- 51
内田圭一・舘山一孝・榎本浩之（北見工業大学）、白澤邦男・河村俊行（北海道大学低温科学研究所）
16. オホーツク海北海道沿岸における可搬型マイクロ波放射計MMRSを用いた船上海氷観測 ------ 55
戸城亮・榎本浩之・舘山一孝(北見工業大学)、豊田威信（北海道大学低温科学研究所）、宇都正太郎（海上技術安全研究所）
17. 温度差表示装置による演示実験 ---------- 59
中山雅茂・矢作裕（釧路市こども遊学館）
18. 旭川と札幌で開催された雪氷楽会について ---------- 61
中村一樹（(財)日本気象協会）、平松和彦（北海道旭川西高等学校）、須田力（北方圏体育・スポーツ研究会）
19. デジタルカメラ画像を用いた吹雪視程判読－視程計データとの比較－ ---------- 65
原田裕介・上石勲（株式会社アルゴス）荒川逸人・飯沼弘一（野外科学株式会社）

20. ラグランジュ型吹雪モデルの開発---------- 69
齋藤佳彦・植松孝彦（(株)雪研スノーイーターズ)、前山徳久・佐藤隆光（(財)日本気象協会）
21. 木製防雪柵の試験設置について---------- 73
三好達夫・伊東靖彦（(独)土木研究所寒地土木研究所）
22. 国道 40 号中川町国府における防雪林の防雪機能および今後の保育・改良方法について------ 77
斎藤新一郎（環境林つくり研究所)、横山博之（札幌開発建設部)・竹浦亘（(株)構研エンジニアリング）
23. 広い道路防雪林における林内作業道の必要性について---------- 81
斎藤新一郎（環境林つくり研究所）
24. 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---------- 85
山田毅・伊東靖彦・加治屋安彦（(独)土木研究所寒地土木研究所)、小杉健二・根本征樹（(独)防災科学技術研究所）、今西伸行（㈱ドーコン）

※ページ番号が‘—’のものは論文の提出がなかったもの。

路面凍結予測に基づくプロアクティブな冬期路面管理手法構築に関する研究

（独）土木研究所　寒地土木研究所　高橋尚人、徳永ロベルト、浅野基樹
北海道大学低温科学研究所　石川信敬
財団法人日本気象協会北海道支社　川上俊一

1．はじめに

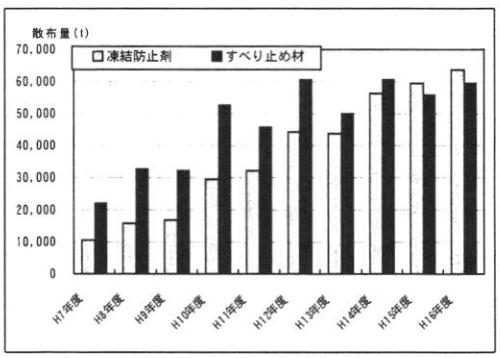
積雪寒冷な地域では、冬期の降雪や気温の低下により雪氷路面が出現する。特に、1990年代初頭にスパイクタイヤの使用が禁止されてから、“つるつる路面”と呼ばれる非常にすべりやすい路面が発生するようになり、冬期渋滞や冬型事故の原因となっている。道路管理者は冬期道路交通機能の確保のために凍結路面体策を講じており、中でも凍結防止剤の散布は恒常的に行われているが、散布量は年々増えており、散布の一層の効率化、適正化が重要な課題となっている。

冬期路面管理の一層の効率化・高度化を図るため、当研究所では、道路管理者に気象予報、路面凍結予測情報を提供する“冬期路面管理システム”の構築と試行運用に取り組んでいる。気象観測の実施や気象予報の発信にあたっては気象事業者と、路面温度予測手法については大学と、さらに、情報提供項目の選定やインターフェースの改善にあたっては道路管理者と連携してシステムを構築・試行運用している。本稿では、当該システムの概要及び構築状況について紹介する。

2．プロアクティブな冬期路面管理

積雪寒冷な気象条件を有する北海道では、冬期における凍結路面対策として凍結防止剤やすべり止め材を散布しており、北海道内の国道（実延長約 6,500km[1]）での散布量は年間でそれぞれ約6万tに達し（図－1）、散布の一層の効率化が重要な課題となっている。

凍結防止剤は路面凍結が発生する前に散布するのが望ましい散布方法であり[2]、そのためには事前に路面凍結が発生する区間や時間を把握することが必要である。路面凍結が発生する前に対策を講じる“プロアクティブな冬期路面管理”を行うため、気象や路面凍結に関する予測情報を発信し、道路管理者の作業判断を支援するツールとして“冬期路面管理支援システム”の構築に取り組んでいる。



図－1　北海道の国道での凍結防止剤・すべり止め材散布量の推移

3．冬期路面管理支援システムの概要

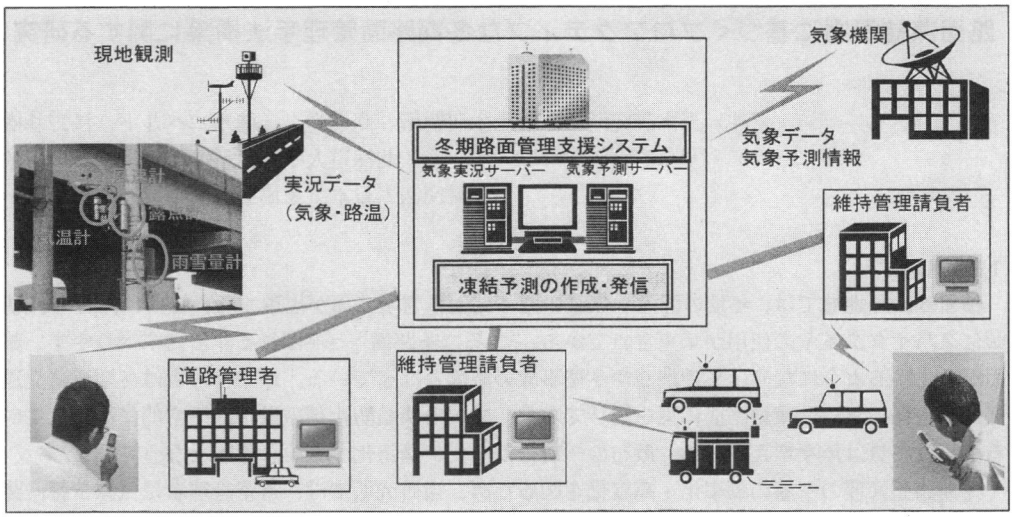
冬期路面管理支援システム概要図を図－2に示す。システムの構築は札幌市内の一般国道5号及び一般国道274号を対象とし、大学、気象事業者、道路管理者と連携して取り組んでいる。

（1）気象観測（現地及び気象機関）

路面温度及び路面状態を予測するため、気象観測を行っている。現地では気温や風速を計測し、また、気象機関からは日射量、雲量、湿度といった観測データや気象予測情報を入手している。

（2）路面温度観測

路面温度計算のため、舗装の維持修繕等の作業を考慮の上、舗装表面から約50mmの深度に路面



図－２　冬期路面管理支援システムの概要図

温度センサーを設置している。また、路面温度推定モデルの精度検証のため、舗装表面近傍（舗装表面から約 5㎜ の深度）にも路面温度センサーを設置している。

（３）データの集約

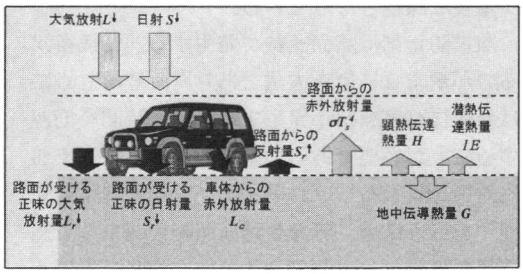
現地観測で取得された気象データ、路面温度データは現地のデータロガーに記録される。当該データはＮＴＴ回線を介して、また、気象機関からの気象データ及び気象予測情報は専用回線を介して冬期路面管理支援システムのサーバーに集約される。

（４）予測情報の作成

気象及び路温データをもとに、路面温度及び路面状態予測情報を作成する。

路面温度予測は、熱収支法を用いて通過車両の影響を考慮した路面温度推定モデルを大学との連携により構築している[3]（図－３）。

路面状態については、路面に供給される水分、路面から排出される水分の収支を考慮した路面状態推定モデルを構築している。



図－３　路面温度推定モデルの概念図

（５）予測情報の発信

作成された路面温度及び路面状態予測情報は、気象予測情報とともにインターネットを介して道路管理者及び維持管理請負業者に配信される。情報の更新は１時間毎で、道路管理者及び維持管理請負業者向けの情報発信であるため、パスワードによってアクセスを制限している。

３．冬期路面管理支援システムの運用状況

（１）情報提供内容の検討

冬期路面管理支援システムの運用は平成 17 年度冬期より開始している。冬期路面管理支援システムを運用するにあたり、システムの利用者である道路管理者及び維持管理請負業者から、作業サイクルや実施時間帯の把握や、また、情報提供項目やインターフェースなどについてヒアリングを行いながら構築し、逐次改善しながら運用している（表－１）。

（2）冬期路面管理支援システムの運用

冬期路面管理支援システムの情報提供画面は、ヒアリングを踏まえて逐次改良を加え、現在は図－4に示す情報提供画面となっている。

トップページは、スクロールを要しないサイズの地図を掲載し、ここから各地点の予測画面に移動する。各地点の予測画面では、地点の写真、気象・路温の現況値、気温及び降水量の予測値、路面温度と路面状態の予測情報を提供している。地点の写真は、リアルタイムの動画配信を望む意見があるが、コスト面などの問題から検討事項となっている。

予測情報は、夕方に翌朝の作業を予定する場合を想定し、16 時間後までの予測情報を提供している。路面分類はヒアリング結果から 5 分類とした。なお、路面温度及び路面状態の予測は数時間先まででよいとの意見もあり、何時間後の予測まで行うのか、予測精度の検証と併せて検討課題となっている。

表－1　ヒアリング項目（抜粋）

①冬期路面維持管理作業の実態について
日々の作業行程及びサイクル
作業実施上の目標
凍結に対して特に留意が必要な地点・区間
凍結防止剤の重点的な散布箇所や区間
凍結防止剤の散布量や使い分けについて　など
②情報提供項目、内容、画面について
何時間先までの予測情報があると望ましいか
情報提供が必要な項目は？
路面分類は何分類が適切か？
何時間先までの予測情報があると望ましいか
情報提供が必要な項目は？
路面分類は何分類が適切か？
トップ画面の表示及び説明について
1画面に表示する情報量について
地点の予測画面の縦の長さ(スクロールに影響)
許容できるクリック回数について
線的な予測を行う場合の画面表示方法について　など
（現在の表示画面や情報提供に対する要望の他、長期的な改善要望事項を含む）

図－4　情報提供画面（平成 17 年度末時点）

4．まとめと今後の課題

冬期路面管理支援システムは試行運用を開始したばかりであり、より信頼性のある、より有用なシステムとなるよう改善していくことが必要である。以下に、技術面での主な改善点を記す。

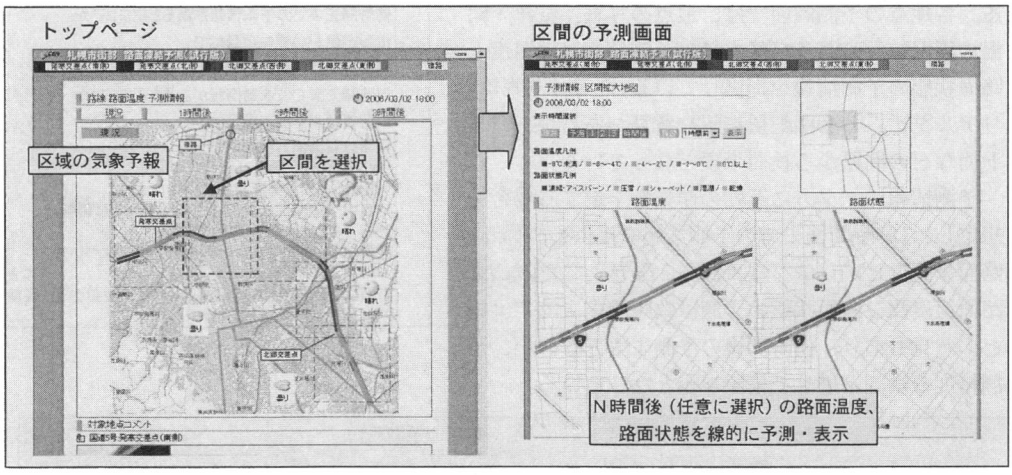
①予測精度の向上

路面温度の推定値と観測値の誤差は約 2℃、路面状態については、路面分類（5 分類）による的中率は約 6 割であり、モデルを改良して予測精度を向上させるとともに、凍結しやすい地点など冬期路面管理上特に注意が必要な地点に観測機器を設置するなど[4]、当該システムの信頼性を向上させることが必要である。

②“点”から“線”への展開

現在は、各地点での路面温度及び路面状態の予測を行っているが、冬期路面管理に役立てていくには、これら予測を道路という延長を持った「線」へ展開させることが必要である。

サーマルマッピング調査[5]により路面温度分布の傾向を把握し、これと各観測地点における推定結果を組み合わせることで路線の路面温度・路面状態を予測する手法を検討しており、今冬より線的な予測情報の提供に取り組む予定である（図－５）。



図－５　情報提供画面（将来のイメージ）

③システムの双方向化

除雪作業の有無、凍結防止剤散布作業の有無によって路面状態が変化するため、予測精度向上のために行った作業を入力し、予測に反映する“システムの双方向化”が必要である。

作業に関する情報を入力することは請負者の負担増になるが、入力した情報がそのまま凍結防止剤散布等の作業の数量の記録となる仕組みを構築できれば、実施可能と考えている。

また、路面管理作業予定を入力することで、当該作業を実施した場合の路面状態の推移をシミュレーションできる機能を追加することで、道路管理者の作業実施判断をより積極的に支援するシステムにすることが可能と考えている。

上記の技術的な課題を逐次クリアし、引き続き道路管理者と密接に協議を重ね、情報提供項目やインターフェース等をブラッシュアップし、より有用なシステムを構築してプロアクティブな冬期路面管理を可能なものとし、冬期道路管理の一層の効率化・高度化に資する所存である。

参考文献

1)　道路現況調書、平成 17 年 4 月 1 日現在、北海道開発局
2)　冬期路面管理マニュアル（案）、平成 9 年 11 月、北海道開発局
3)　Naoto Takahashi, Roberto A. Tokunaga, Motoki Asano and Nobuyoshi Ishikawa : Toward Strategic Snow and Ice Control on Roads: Developing a Method for Surface-Icing Forecast with Applying a Heat Balance Model, TRB 85th annual meeting, 06-2067
4)　Paul A. Pisano, Lynette C. Goodwin and Andrew D. Stern : U.S. Road Weather Management Program -Sensor Siting and Weather Information Integration Projects, SIWEC2006, p204-p209
5)　宮本修司、浅野基樹：日高自動車道におけるサーマルマッピングと凍結防止剤散布状況、第 45 回北海道開発局技術研究発表会

雪氷路面のすべり摩擦係数計測機器の比較試験と海外事例報告

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　○舟橋　誠
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　徳永　ﾛﾍﾞﾙﾄ
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　高橋　尚人
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　浅野　基樹

１．はじめに

積雪寒冷地域では、冬期においても安全で快適な道路交通を確保することが重要な課題である。そのため、道路管理者は、除排雪作業や路面凍結対策を実施するなど冬期の路面管理の充実を図っている。冬期の路面管理を行う上において雪氷路面の状態の把握は、路面管理の重要な要素である。この路面状態の把握には、目視による路面性状分類や加速度計などの計測機器を利用して路面のすべり摩擦係数を計測する方法がある。現在、北海道の国道の冬期路面管理における路面状態の把握には、目視による路面性状分類を基にして管理を行っている。しかしながら、目視による路面性状分類では、観測者の主観的判断や個人の経験による差や判別の難しい路面が存在するため、路面状態判断の客観性に問題がある。このことから、寒地土木研究所では、冬期路面管理に路面のすべり摩擦係数を計測する方法を用いることで客観的に雪氷路面の状態を把握する手法について研究を行っている。

本報告では、車載用の加速度計数種と路面すべり測定車による雪氷路面のすべり摩擦係数比較試験と第12回PIARCにおいて展示・紹介された摩擦係数の計測機器や手法について報告する。

２．すべり摩擦係数計測機器比較試験

２．１　試験概要

冬期路面管理において路面状態を客観的に把握するために、標準的な路面のすべり摩擦係数の計測車である路面すべり測定車と比較的安価な車載用の加速度計を用いて雪氷路面のすべり摩擦係数の計測を行い、その比較検証を行った。

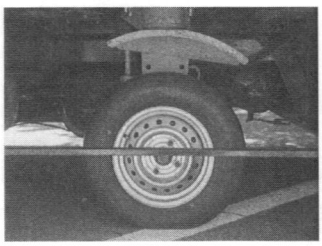
２．２　試験機器

本試験において使用した機器について説明する。

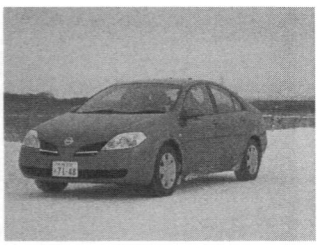
写真－１は路面のすべり摩擦係数計測の標準的な計測装置である路面すべり測定車である。この機器は、車両を走行させた状態で車両中程に設置された試験輪（写真－２）のみに制動をかけ、そのときに試験輪にかかる制動力を計測することによりすべり摩擦係数を求める。

次に本試験で使用した加速度計について説明する。加速度計による路面のすべり摩擦係数の計測方法は、加速度計を設置した車両に急制動をかけ、そのときに得られる加速度（減速度）

写真－１ 路面すべり測定車



写真－２ 試験輪

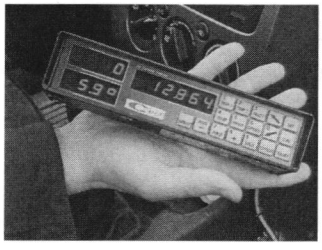


写真－３ 試験車両

を計測することによりすべり摩擦係数を求める。本試験においては、４種類の加速度計を用意し、試験車両（写真－３）に設置して計測を行った。加速度計Ａ（写真－４）は、北欧において冬期路面管理に使用されている装置である。北欧のフィンランドでは、この装置を使用して計測速度が 60km/h、計測箇所は勾配が 2%以下の傾斜が小さい直線道路で計測を実施している。加速度計Ｂ（写真－５）も海外の加速度計であり、今回使用した加速度計の中では最も車両設置が容易な機器である。しかし、この加速度計Ｂは急制動後、車両が停止するまで計測する必要があり、実道での計測には支障を来す可能性がある。加速度計Ｃ（写真－６）は、車両運行記録装置を改造したもので、加速度の他、ブレーキ信号や GPS による計測時刻・位置・速度等の計測・保存機能を有した装置である。加速度計Ｄ（写真－７）は、当研究所において車両挙動の計測試験に使用しているもので、姿勢計測装置内に加速度計を有しており、試験車両の重心位置に近い場所に設置している。なお、使用した試験車両（写真－３）は、駆動方式が FF 式、制動装置には ABS 装置を装備した車両である。また、各加速度計は車種の違いを除くために、同一車両に設置し（写真－８）、計測は同時に行った。

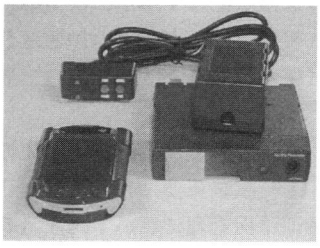
２．３　試験方法

当所所有の苫小牧寒地試験道路（写真－９）のコース上に雪氷路面（圧雪及び凍結路面、図－１）を作製し、その雪氷路面を路面すべり測定車と加速度計を設置した試験車両にてすべり摩擦係数の計測を行った。試験速度は各車両ともに 40km/h、計測回数は両路面でそれぞれ 10 回計測を行った。

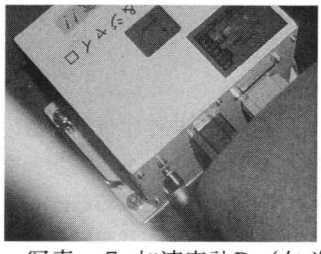


写真－４　加速度計Ａ

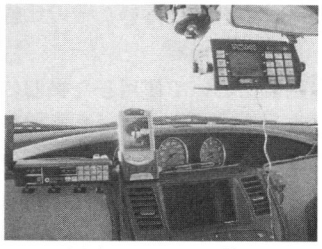
写真－５　加速度計Ｂ



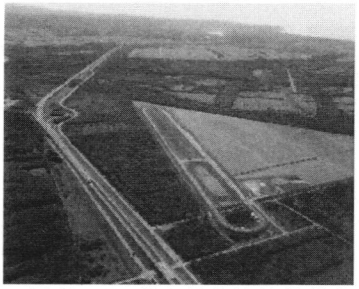
写真－６　加速度計Ｃ



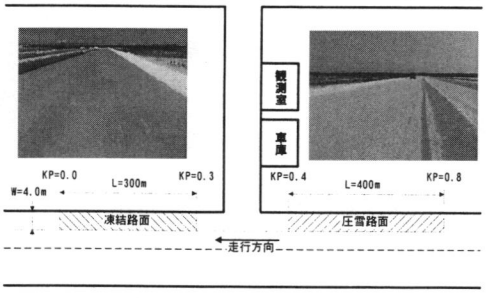
写真－７　加速度計Ｄ（左:姿勢計測装置、右:制御装置）



写真－８　設置状況



写真－９　苫小牧寒地試験道路



図－１　試験概略図

2．4　試験結果

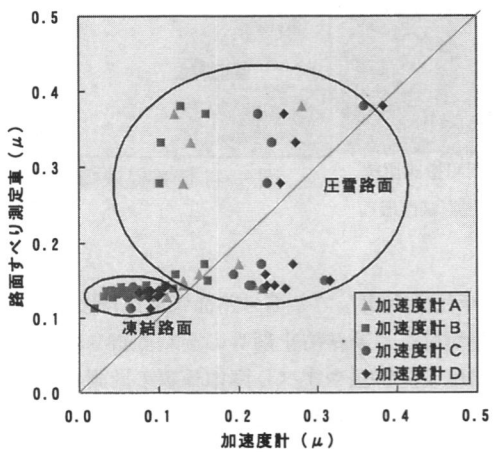
図－2に試験結果を示す。この図において、縦軸は、路面すべり測定車で計測されたすべり摩擦係数を、横軸には各加速度計で計測されたすべり摩擦係数を表示した。この図は、路面すべり測定車で計測されたすべり摩擦係数に対する各加速度計の計測値となっており、対角線上にデータがプロットされている場合は、路面すべり測定車と1対1の関係があることを示す。

この図より、路面すべり測定車に対して各加速度計は、良好な1対1の相関が得られていないことがわかる。特に圧雪路面における計測値が広い範囲で分布しており路面すべり測定車との良好な相関性が得られない結果となった。これは、計測方法の違いや路面（圧雪路面）の性状によるものと考えられ、今後の研究にて明らかにしていく必要があると思われる。

次に、図－3は加速度計同士を比較した結果である。この図において縦軸には加速度計Dにより計測されたすべり摩擦係数を、横軸には残り3種類の加速度計で計測されたすべり摩擦係数を表示した。この図は、加速度計Dに対する各加速度計の計測値を比較した図である。縦軸に加速度計Dを配置したのは、加速度計Dが搭載車両のほぼ重心位置近くに設置されており搭載車両の走行挙動を最も把握できる位置であるためである。

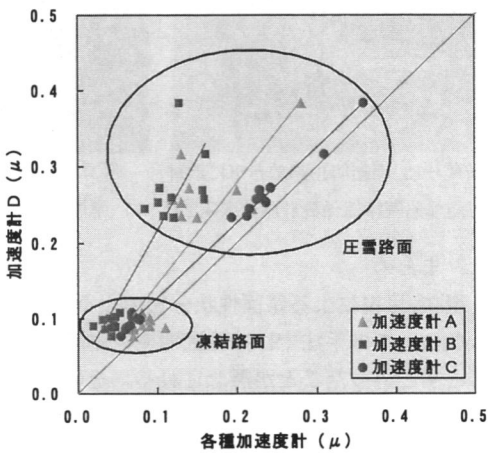
この図より、加速度計Dに対して1対1の相関が最も高かったのは加速度計Cであり、加速度計Aや加速度計Bについても加速度計Dに対してある程度の相関があることがわかる。計測されたすべり摩擦係数値に差異が生じたのは、各加速度計の設置位置・方法や演算方法に起因するものであると考えられる。なお、北欧のフィンランドでは加速度計Aを使用する際、気温-5℃、圧雪路面において摩擦係数が0.29を示すようにキャリブレーション作業を実施している。

以上より、今回の試験結果からは加速度計と路面すべり測定車との良好な相関性は得られなかったが、加速度計同士による計測結果を比較すると、加速度計同士では一定の相関が得られたことから、加速度計を用いて雪氷路面のすべりやすさの程度を把握する手法として適用が可能であると考えられる。



図－2　すべり摩擦係数の比較

（路面すべり測定車－加速度計）



図－3　すべり摩擦係数の比較

（加速度計D－加速度計）

3．海外の摩擦係数の計測機器と手法

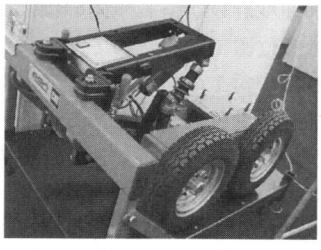
第12回PIARCは、2006年3月27日～30日にイタリアのトリノ市で開催された。内容は、冬期道路に関する研究開発や政策評価に関する発表のほか、各国や企業の冬期道路管理への取り組み等の展示等が行われた。その中において、冬期路面の摩擦係数に関する技術発表や計測

機器の展示があったので紹介する。

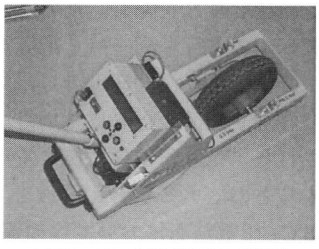
技術発表では、冬期の路面の摩擦係数を連続的に測定する車両牽引式の計測機器や可搬式の計測機器について報告された（ノルウェー）[1]。内容は、現在ノルウェーでは、加速度計を使用して路面の摩擦係数を計測し冬期道路管理を行っている。しかしながら、加速度計には、①計測者や搭載車両の影響、②計測箇所が限定される、③道路の傾斜の影響等の欠点があり、これら欠点の解消を図るため、連続して路面の摩擦係数を計測できる装置（写真－10～写真－12、スウェーデン製）を使用して冬期路面管理を実施するための試験的な取り組みが報告された。

また、展示会場では、従来の加速度計の他に、即時に路面状況の把握や散布判断を行うために一般車両だけではなく凍結防止剤散布車に直接取り付け可能な摩擦係数計測装置（写真－13、アメリカ製）や、可搬式の摩擦係数計測装置（写真－14、スウェーデン製）が展示されていた。また、このような連続して摩擦係数を計測する機器を用いて道路管理者や道路利用者へ情報提供（図－４）を実施している。

写真－10 車両牽引式連続摩擦係数計測装置(RoAR MkⅢ)



写真－11 車両牽引式連続摩擦係数計測装置(TWO)



写真－12 歩道用可搬式連続摩擦係数計測装置(ASFT T2Go)

写真－13 凍結防止剤散布車に取付可能な連続摩擦係数計測装置(RT3)

写真－14 歩道用可搬式連続摩擦係数計測装置(試作機)

図－４ 情報提供概略図

４．まとめ

現在、目視による路面性状分類のような経験的手法を利用して冬期の路面管理を行っている。しかし、この手法では凍結区間や凍結時間の把握が難しく凍結防止剤等の過剰散布や散布を見落とすといったことが懸念される。そのため、路面予測手法やすべり摩擦係数の計測による路面状態の把握といったような客観的な手法を利用することにより、冬期の路面管理のより一層の適正化や定量的なデータに基づいた判断が可能になると期待している。

そのために今後は、このような海外事例を参考に北海道の冬期路面管理に適した管理水準の構築、客観的なデータの取得方法の構築や工夫や新たな手法の試行を継続して行う予定である。

参考文献

1) Baard Nonstad. (2006) The use of friction measurement techniques in winter maintenance in Norway. 12th International Winter Road Congress of PIARC.

冬期歩行空間のモビリティに関する研究

（独）土木研究所・寒地土木研究所　徳永　ロベルト
同　舟橋　誠
同　高橋　尚人
同　浅野　基樹

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地では、冬期歩行空間のモビリティ（移動しやすさ）確保のため、様々な対策が施されているが、昨今の厳しい財政事情下においても継続的に実施可能な冬期道路管理手法が求められている。本研究では、平成13年度より冬期歩行空間のモビリティを歩行者のニーズ、歩行挙動、すべり摩擦係数等から把握し、これらの結果に基づいた安全・快適な冬期歩行空間のあり方について探ることを目的とし、一連の調査研究を行ってきた。本文では、その概要と主な成果について報告する。

2. 主観的評価による冬期モビリティ

著者らは、冬期歩行空間のモビリティを効果的・効率的に向上させるには、歩行者のニーズも考慮することが重要であると考え、コンジョイント分析法[1]を用いた主観的モビリティの指標化を試みた。コンジョイント分析法とは、多属性選考を評価する手法で、評価対象の価値を属性単位で評価可能とする特徴を有し、近年では市場調査に限らず、教育・医療・福祉分野でのニーズ調査にも適用が進んでいる。本研究では、歩行場所（歩道部・横断歩道部等）、雪氷路面の種類（凍結・圧雪等）、路面の平坦性、すべり止め材の有無、歩行可能幅員等の組み合わせが歩行者の主観的モビリティに及ぼす影響について調べるため、コンジョイント分析法を用いたアンケート調査を現地（鉄道駅周辺）及び模擬歩道において調査[2,3,4]した。

現地調査は、歩道等のサービスレベルや気象条件が異なる札幌駅、新札幌駅、琴似駅及び旭川駅周辺において実施した（平成14・15年度）。図-1は、平成14年度にコンジョイント分析法に基づいて設計したアンケート調査票のサンプルを示す。

札幌駅・新札幌駅周辺での調査・分析の結果は、特定の場所に関係なく、凍結や圧雪といった路面状態が歩行者の主観的モビリティを最も左右させる重要な要因であることを示した。また、気象条件等の地域特性が異なる旭川駅周辺においても、歩行者が主観的モビリティを判断する際に、路面状態を最も重要視する要因であることが分かった（図-2参照）。

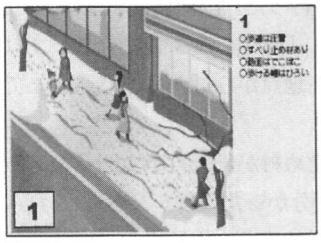


図-1 アンケート調査票のサンプル

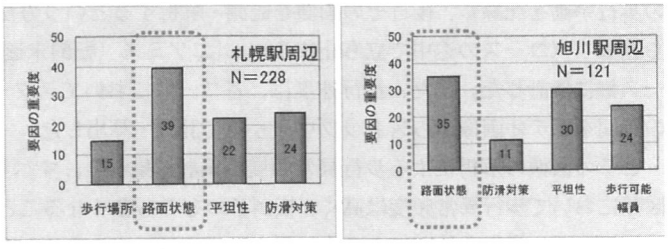


図-2 主観的モビリティに関わる各種要因の重要度

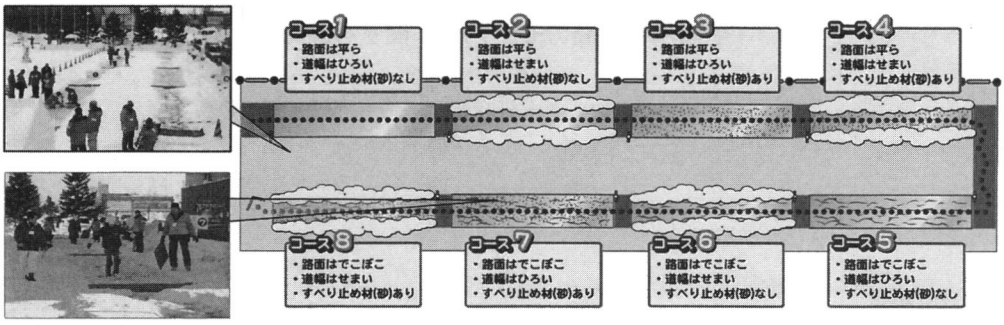


図-3「2005 ふゆトピア・フェア in 旭川」において作成したつるつる路面の歩行体験コース（模擬歩道）

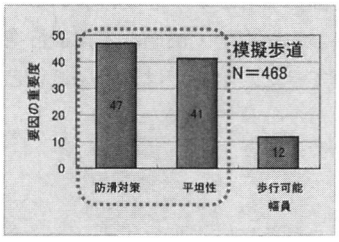


図-4　主観的モビリティに関わる各種要因の重要度（つるつる路面の場合）

模擬歩道における調査は、「2005 ふゆトピア・フェア in 旭川（平成 17 年 2 月）」の会場にて実施した（図-3 参照）。ここでは、つるつる路面における凹凸の有無、歩行可能幅員及びすべり止め材の有無の組合せから 8 つのコースを設け、各コースにおける主観的モビリティについて調べた。調査の結果は、つるつる路面が発生した場合、歩行者にとってはすべり止め材散布と凸凹解消の優先度は高く、これらが歩行者の主観的モビリティの判断に大きく影響していることを確認することができた（図-4 参照）。

以上の調査結果から、コンジョント分析法を用いることにより、冬期歩行空間を構成する様々な要因・水準の組合せからどの要因が歩行者の主観的モビリティに影響を及ぼしているかについて定量的に把握することができた。具体的には、路面整正及びすべり止め材の散布が道路管理者の実施するつるつる路面対策として歩行者の主観的モビリティの向上に最も効果的であることを明らかにした。

3.　客観的評価による冬期モビリティ

本研究では、前述の主観的モビリティに加え、冬期歩行空間確保対策による客観的モビリティを示す指標として、歩行者挙動（歩行異常頻度・歩行速度）及びすべり摩擦係数が適用可能であるかどうかについて調べるため、模擬歩道（2005 ふゆトピア・フェア in 旭川の会場）及び現道（札幌市内）において調査を行った。

歩行者挙動（歩行異常頻度・歩行速度）の調査は、2005 ふゆトピア・フェア in 旭川の会場に設営したつるつる路面歩行体験コースで行った。調査は、ビデオカメラによって来場者（被験者）の歩行挙動を記録し、後日その画像を観測・解析するという方法で行った。歩行異常頻度は、「立ち止まり（コースの途中で立ち止まる）」、「ニアミス（転倒未遂）」、「転倒」の 3 つに分類し、コース毎に集計した。また、歩行速度は、各コースにおいてスタート地点からゴール地点通過までの時間をビデオ画像からストップウォッチで計測・算出した。

ビデオ画像の解析による歩行異常頻度の集計結果から、すべり止め材が無散布かつ凹凸のある区間において歩行異常頻度は高く、転倒そのものも多くなることが分かった（図-5 参照）。これらの結果から、歩行条件別による歩行異常頻度の低減率を算出した。図-6 は、比較する歩行条件だけが異なるコース毎に被験者の歩行異常頻度の低減率を算出し、その平均をとった図である。こ

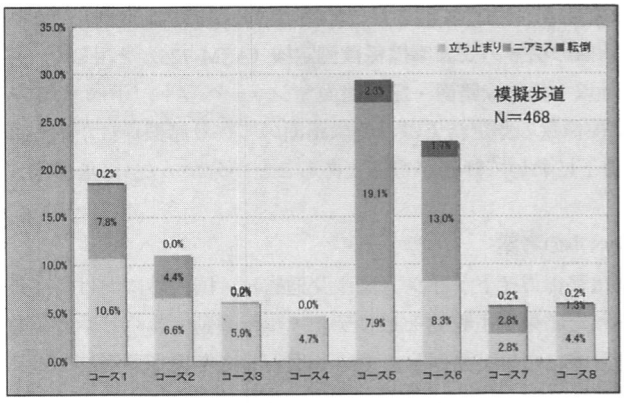


図-5　コース別（条件別）歩行異常頻度

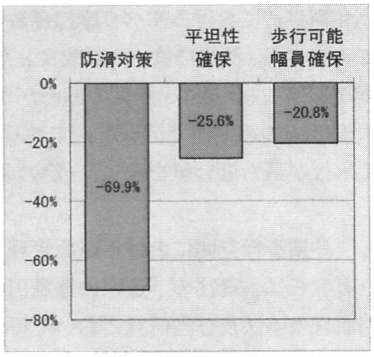


図-6　対策別歩行異常頻度の低減率

表-1　コース別（条件別）歩行速度

コース番号	歩行条件			歩行速度（m/s）
	防滑対策　※1	平坦性　※2	歩行可能幅員　※3	
コース1	なし	平ら	ひろい	0.77
コース2	なし	平ら	せまい	0.74
コース3	あり	平ら	ひろい	0.90
コース4	あり	平ら	せまい	0.90
コース5	なし	でこぼこ	ひろい	0.57
コース6	なし	でこぼこ	せまい	0.53
コース7	あり	でこぼこ	ひろい	0.61
コース8	あり	でこぼこ	せまい	0.68

※1　防滑対策：7号砕石の散布
※2　平坦性：　でこぼこ＝不陸が5～10cm　平ら＝不陸が2cm以下
※3　歩行可能幅員：　ひろい＝約2m　せまい＝40～75cm

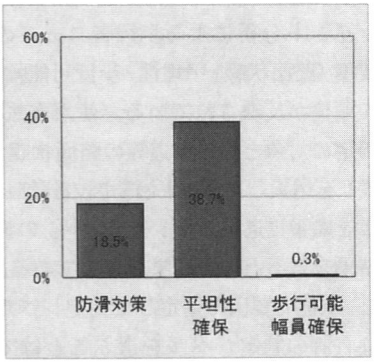


図-7　対策別歩行速度の増加率

写真-1　現道におけるすべり摩擦係数の測定（札幌市内）

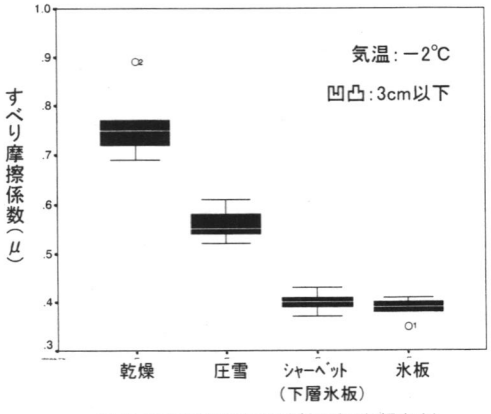


図-8　路面状態別すべり摩擦係数（札幌市内）

の図より、歩行異常頻度の低減からは、すべり止め材の散布が最も効果的な対策であると言えた。

歩行速度については、路面が平らですべり止め材が散布されている区間での歩行速度が高くなる傾向が認められた（表-1 参照）。また、歩行異常頻度と同様に、対策別での歩行速度の増加割合を算出した（図-7 参照）。この図から、歩行速度が最も増加したのは平坦性の確保であった。

以上の結果から、客観的モビリティを表す指標である歩行異常頻度と歩行速度の間に各種対策による効果に違いは見受けられたものの、これらの指標が冬期歩行空間を評価する一つの手段として適用可能であることが分かった。

冬期歩道におけるすべり摩擦係数の調査は、平成 18 年 2 月に札幌市内の現道（歩道部）において実施した。測定には、一部改良した市販の引張力式静摩擦係数測定機（ASM-725）を用いた（写真-1 参照）。計測は、路面の凹凸が 3 ㎝以下の乾燥路面・圧雪路面・シャーベット（下層氷板）・氷板の 4 つの路面で行った。すべり摩擦係数の測定結果は、乾燥路面のすべり摩擦係数が最も高く氷板が最も低い値を示し、一定の条件下において評価が可能であることが分かった（図-8 参照）。

4.　冬期歩行空間における路面管理レベルの考案

著者らは、既往の「道路の移動円滑化整備ガイドライン（国土交通省）」、国内外における冬期路面管理手法及び当研究において得られた結果（主観的モビリティ・歩行挙動・すべり摩擦係数等）を基に、適切な冬期歩行空間のあり方について検討し、その一環として冬期歩道等における路面管理レベル（案）を考案した（図-9 参照）。この路面管理レベル（案）は、先に述べたコンジョイント分析による歩行者ニーズの重要度（路面状態・平坦性・歩行可能幅員）の順位が反映されている。使用方法は、判定の対象となる歩道等の路面状態（上段）を選択した後、下層要因の評価レベルを順番に選択し、レベル 1～5 の判定結果を得るという簡単な方法である。但し、上位の要因で選定した判定レベルより右側の判定レベルを選ぶことはできない仕組みとしている。

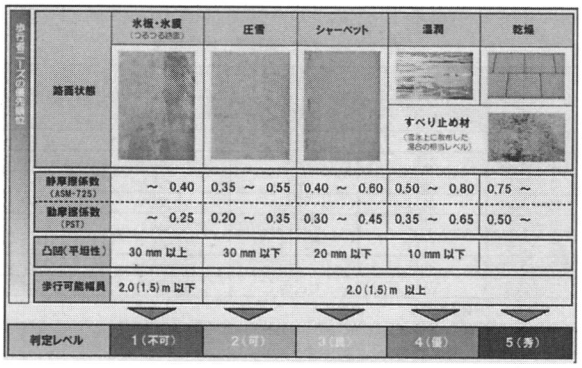


図-9　冬期歩行空間における路面管理レベル（案）

5.　まとめと今後の課題

本研究の結果から、積雪寒冷地における冬期歩行空間のモビリティ向上の一環として、冬期歩行空間における諸問題とその対策による効果を歩行者の主観的モビリティ、歩行挙動、すべり摩擦係数等から定量的に表現することが可能であることを示した。具体的には、主観的・客観的モビリティは路面状態の違いによって大きな影響を受けること、また、凍結による非常にすべり易い路面が発生した場合は防滑対策と路面の平坦性の確保に対する優先度が高いことを明らかにすることができた。更に、当研究において定量化した歩行者ニーズ、歩行挙動、すべり摩擦係数及び既存のガイドライン等を踏まえた冬期歩行空間の路面管理レベルについて提案した。

今後は、道路管理者の意見を伺いながら本研究おいて得た成果の内容充実を図るとともに、積雪寒冷地における効果的・効率的な冬期歩行空間確保対策に資する検討及び提案を更に進める予定である。

参考文献

1）　真城知己：SPSS によるコンジョイント分析（教育・心理・福祉分野での活用法、東京図書、2001 年 9 月
2）　徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹：コンジョイント分析法を用いた冬期歩行空間のモビリティ評価について、第 47 回（平成 15 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文集、CD-ROM 版、2004 年 2 月
3）　徳永ロベルト、浅野基樹、萩原亨：主観的モビリティ評価による冬期歩行者空間確保対策の効果に関する研究、第 48 回（平成 16 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文集、CD-ROM 版、2005 年 2 月
4）　徳永ロベルト、浅野基樹、鹿内俊文：冬期凍結歩道等における歩行者のモビリティに関する研究、第 49 回（平成 17 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文集、CD-ROM 版、2006 年 2 月

屋外スロープを用いた雪崩予防柵に関する実験

松沢勝・三好達夫・伊東靖彦・加治屋安彦（(独）土木研究所寒地土木研究所）
西村浩一（新潟大学）、大槻政哉（雪研スノーイーターズ）

1．はじめに

多量降雪時に道路法面で、雪崩予防柵を透過して道路に達する雪崩が、道内でしばしば発生して問題になっている。「すり抜け雪崩」と称されるこの種の対策として、既存の雪崩予防柵に鋼製のエキスパンドメタル等を取り付ける試みがなされている。しかし、対策工法の基本的仕様や基準は定まったものが無く、また効果の評価も行われていない。加えて、「すり抜け雪崩」を観測・目視した事例は存在せず、雪崩予防柵の設置されているのり面の上部に雪崩の破断面があるという状況証拠から、雪崩予防柵を雪崩がすり抜けたと判断されている。

すり抜け雪崩の流動形態として、図１に示す２つの形態が考えられる。一つは、斜面上部より流下してきた雪崩が、新雪を取り込みながら柵をすり抜けるものである（図１-a)。もう一つは、新雪雪崩が発生するときに、その斜面に設置されている雪崩予防柵をすり抜けるものである（図１-b)。前者の方がよりすり抜けやすい条件であると考えられるので、本研究では、すり抜け雪崩の形態を前者と仮定した実験を実施した。

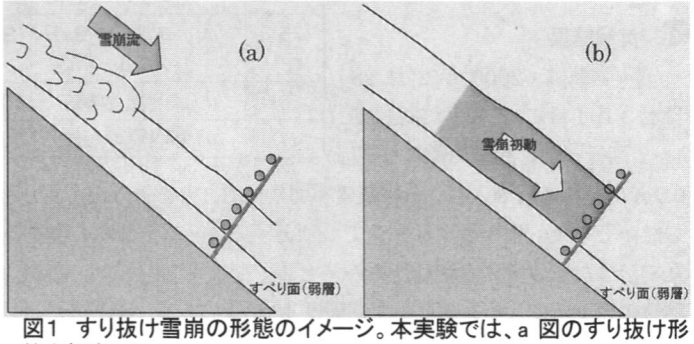


図1　すり抜け雪崩の形態のイメージ。本実験では、a 図のすり抜け形態を想定した。

2．実験の目的と概要

実験の目的は、すり抜け雪崩対策として、雪崩予防柵に鋼製エキスパンドメタル等を張ることを前提とし、使用する部材の種類や規格がすり抜け抑制に与える効果を把握し、すり抜け雪崩対策工検討の基礎資料とすることである。実験は、寒地土木研究所石狩吹雪実験場に設置している雪崩落石実験スロープで行った。実験では、雪崩予防柵模型（７タイプ）に対し、スロープ上方から雪を流し、雪崩予防柵にかかる荷重や実験前後の雪の密度および温度等の測定、すり抜け状況の動画撮影を行った。

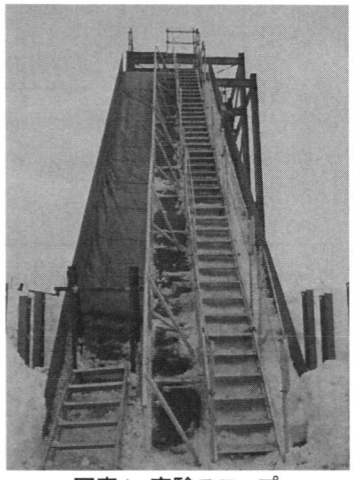


写真1　実験スロープ

写真１は、実験に使ったスロープで、高さ 10m、斜面長 14m、幅 1m、斜度 45° である。天端から斜面下方向 11m の地点に模型柵を固定するためのＨ鋼で製作したフレームを設置した。流下時の摩擦を抑えるためスロープ底面にブルーシートを張った。また側面にはビデオ撮影可能なように透明のアクリル

板を設置した。

実験模型のタイプを表１に示す。タイプ①は、北海道開発局の標準柵を模したものである。タイプ③以降は、タイプ①の柵面に網を張ってすり抜け雪崩の対策を図ったものである。用いた部材は、エキスパンドメタル、溶接金網、樹脂ネットで、エキスパンドメタルは、メッシュの大きさが異なる３種の製品を用いた。写真２にその一例（タイプ③）を示す。実験模型はＨ鋼のフレームに、写真２の丸で示す４箇所でロードセルを介して固定した。

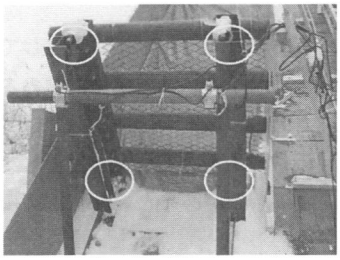
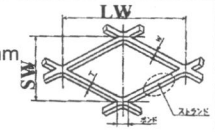


写真2　実験模型（タイプ③）。丸印はロードセルの設置箇所。

表1　実験模型のタイプ

タイプ	母材	対策用部材	備考
①	丸管	なし	開発局標準 ϕ 89.1mm
②	角柱	なし	90mm × 90mm
③	丸管	エキスパンドメタル-XS62	(SW)34mm × (LW)76.2mm 
④	〃	エキスパンドメタル-XS42	(SW)22mm × (LW)50.8mm
⑤	〃	エキスパンドメタル-XS32	(SW)12mm × (LW)30.5mm
⑥	〃	溶接金網	50mm × 50mm
⑦	〃	樹脂ネット	50mm × 50mm

3．実験結果

流下実験は、2006 年 2 月 28 日と 3 月 1 日に、各模型に対して 1～2 回行った。投雪の際に 1 辺 0.9m の型枠に雪を入れ、金属製の雪切り板で、雪を十分ほぐした後、試験雪の体積、密度等を計測した。その後、型枠をクレーンでつり上げスロープ上部から雪を流下させた。流下中は、写真２の丸で示した４カ所に設置したロードセルで荷重を測定した。なお、荷重は４カ所のロードセルの計測値の合計値で、サンプリング間隔は 1/16 秒である。流下後には、柵背面に残った雪やすり抜けた雪の密度等の測定を行った。これらの実験雪などの条件を表２に示す（気温は石狩吹雪実験場構内の定点観測での値）。解析に際しては、荷重の最大値である最大衝撃力、および、雪の密度と体積から算出した雪の質量により、式(1)で定義したすり抜け率を求めた。

$$\text{すり抜け率} = \left\{ 1 - \frac{\text{柵背面の積雪の質量}^{※}}{\text{投雪前の試験雪の質量}} \right\} \times 100\ (\%) \qquad \cdots(1)$$

※　柵の背面に残った雪の体積を流下後の画像から推定し、雪密度を掛けて算出。

表2　実験に用いた雪の条件

実験日時	気温(℃)	流下前				流下後		
		投雪体積 (m^3)	雪密度 (kg/m^3)	雪温 (℃)	硬度 (kPa)	柵下雪温 (℃)	柵下雪密度 (kg/m^3)	柵背面雪密度 (kg/m^3)
2006/2/28 13:09～15:54	-1.7～1.0	0.32	260～400	-2.4～-1.6	48.12～63.69	-2.3～-0.3	300～380	380～500
2006/3/1 11:13～14:05	-2.7～-1.6	0.31～0.36	380～470	-2.7～-0.3	56.62～72.19	-2.2～-0.3	400～520	420～540

写真３にタイプ①とタイプ③の模型に対する実験状況を示す。左が、雪崩が柵を通過しているときの写真で、右が、雪崩流下後の写真である。写真より、タイプ①は柵の下部を雪崩が通過し、ほとんどすり抜けたのに対して、タイプ③は柵に雪崩が衝突した後、一部が上部に越流したものの、

雪崩は、ほとんど柵を透過せず、背面に堆積した状況がみられる。なお、流下雪は、ほぼ流動化した状態で流れてきたが、2月28日のタイプ⑥（溶接金網）の実験では塊状で衝突した。また、同じ日の、タイプ③（エキスパンドメタル XS62）およびタイプ④（エキスパンドメタル XS42）の2回目の実験では、流下雪に50cm程度の雪塊が含まれていた。

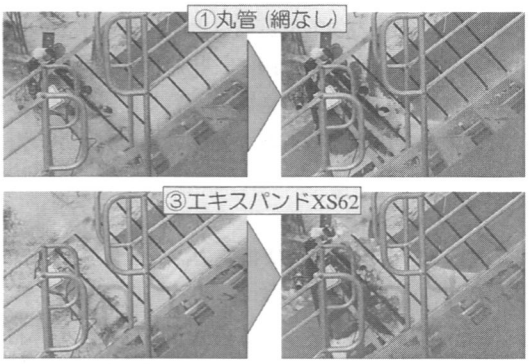


写真3　模型柵への流下雪の衝突状況と実験後の状況

図2は3月1日の実験でのタイプ①とタイプ③の荷重の計測値を示す。タイプ①の丸管（網なし）では、雪はほぼ完全にすり抜けたが、タイプ③のエキスパンドメタルXS62では雪崩予防柵の背面に雪が残った。

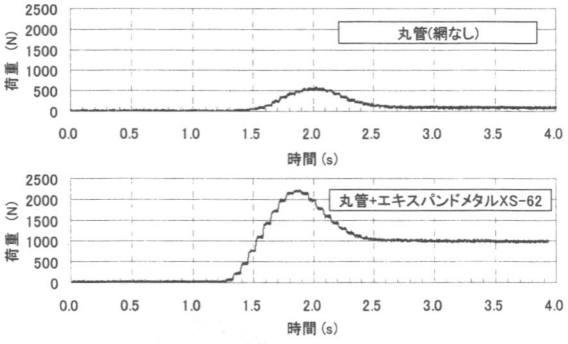


図2　荷重の計測データ

図3は雪崩前の雪密度と、流下前の雪密度の関係である。流下実験前の雪の密度が260～470kg/m³と幅が広いため、すり抜け現象に及ぼす影響が想定されたが、両者には明瞭な関係は見られなかった。また、図4は、流下中の平均速度とすり抜け率との関係である。流下中の平均速度は、走路距離（=11m）を流下開始から模型柵に荷重がかかり始めるまでの時間で除した値である。図より、今回の実験で観測された速度の範囲では、両者に明瞭な関係は見られなかった。以上より、各実験での流下前の雪密度や衝突速度の違いは、解析上は無視できるものとした。

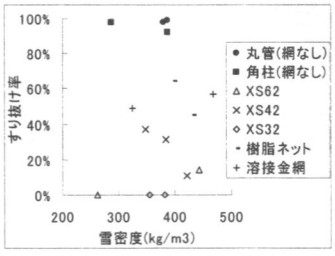


図3　流下前の雪密度とすり抜け率との関係。

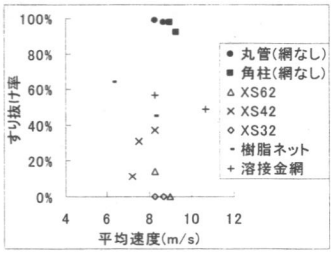


図4　流下中の平均速度とすり抜け率との関係。

図5は、すり抜け率と最大衝撃力の関係を示したものである。図より、すり抜け率が大きくなるほど、最大衝撃力が小さくなる傾向にあることがわかる。この様に、エキスパンドメタル等を取り付けた雪崩予防柵は、取り付けていない柵に比べ相対的に大きな荷重が測定された。なお、図5で、実験時に雪塊が観察された事例を破線で囲んだ。塊状で衝突することで、最大衝撃力が大きくなる傾向はあるが、すり抜け率には関係が見られなかった。

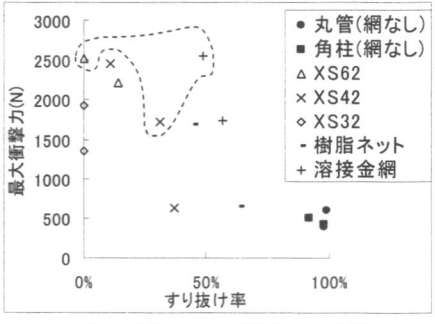


図5　すり抜け率と最大衝撃力。破線で囲まれた3データは、雪塊が衝突した事例。

図６は、空気力学的抵抗係数とすり抜け率との関係を表したものである。抵抗係数は、北海道立北方建築総合研究所の風洞に、雪崩予防柵模型を入れて空気力学的な抵抗力を測定し式(2)より求めた。角柱の抵抗係数が大きいのを除くと、ほぼ同じ抵抗係数となっており、すり抜け率と空気力学的抵抗係数との間には有意な関係は見られなかった。

$$C_D = \frac{2D}{\rho U^2 A} \qquad \cdots(2)$$

ここで、C_D:抵抗係数，D:抵抗力，ρ:流体密度，U:流体速度，A:投影面積である。

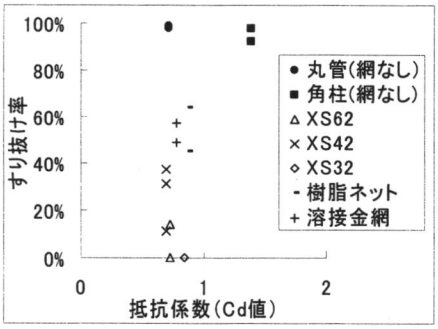


図6　空気力学的な抵抗係数とすり抜け率

次に、著者らは、メッシュの大きさと格子の部材の太さも、すり抜けに影響のある要因と考えた。そこで、式(3)により、メッシュ面積に対する格子部材の投影面積（図７）比をメッシュ係数と定義し、メッシュ係数とすり抜け率の関係を調べた。図８はその結果である。図８より、メッシュ係数とすり抜け率には相関が見られ、メッシュ係数の大きいエキスパンドメタルの方が、樹脂ネットや溶接金網より、すり抜け率が小さい傾向が見られた。

$$\text{メッシュ係数} = \frac{\text{格子部材投影面積}}{\text{メッシュ面積}} \qquad \cdots(3)$$

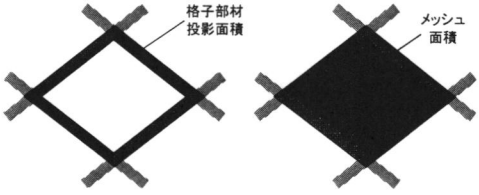


図7　格子部材投影面積と、メッシュ面積。濃い網掛け部分がそれぞれの面積に該当する。

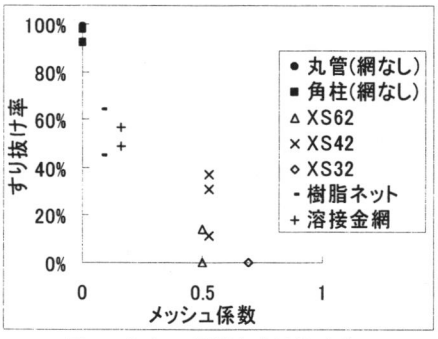


図8　メッシュ係数とすり抜け率

４．まとめと今後の課題

本研究をまとめると次のようになる。

すり抜け対策として、エキスパンドメタル等のすり抜け対策を施した場合、柵単体の場合よりもすり抜け率が小さく、対策効果が期待できる。また、メッシュ係数は、すり抜け率との相関が良く、すり抜け雪崩対策工の効果を示す指標として活用できる可能性がある。そして、メッシュ係数の大きいエキスパンドメタルの方が、溶接金網や樹脂ネットに比べすり抜け率が小さい傾向があることが分かった。

本研究の今後の課題として、まず、現地観測によって実際に雪崩が雪崩予防柵をすり抜ける現象を把握すること。次に、現地条件と雪崩実態をできるだけ再現した実験を行うこと。そして対策工の効果について定量的に評価できる実験手法を採用することが必要と考えられる。これらの課題をクリアしつつ、すり抜け雪崩の対策手法の確立にむけて、今後の研究を進める予定である。

積雪の支持力を生かした低柵高全層雪崩予防柵

竹内　政夫（雪研スノーイーターズ）,及川　秀一, 武田　光邦（稚内開発事務所）,
西館　幸夫（稚内開発建設部）

1．　はじめに

北海道の雪崩予防柵は吊柵が使われる場合が多く、吊柵の柵高は最深積雪深に対応している。全層雪崩だけであればグライドを防止するだけで十分であるが、短時間の大雪による新雪雪崩や弱層に因る表層雪崩をも予防しようとするためであろう。しかし、吊柵が積雪を突き抜けて頭を出すため、柵上下の積雪がそれまで互いに引っ張り合うことによって持っていた、支持力を失わせることになる。融雪期において道路に最も近い最下段の吊柵の下から積雪が滑り落ちる形の全層雪崩の発生が多いのはこのためである。気象条件等から全層雪崩の危険だけに限定できる箇所では、高い柵よりもグライドを防止できるだけの低い柵のほうが良いことになる。表層雪崩の危険のない豊富バイパスの切土法面で、雪に埋もれる低い柵高の雪崩予防柵が設置され雪崩防止効果が検証された（武田他、２００６）。国立公園内などで景観を損ねるために設置が許されないケースもあるが、雪や植生に埋もれるような低い柵であれば景観上も問題ないと考えられる。ここでは、応用範囲が大きくなると考えられる低柵高雪崩予防柵の雪崩防止機能について述べる。

2　豊富バイパスの気象（降雪・積雪）

新雪雪崩の危険があるとされる２４時間降雪４０cm以上は豊富アメダスでは観測以来３回測定されている（表－１）。

順位	24時間降雪 (cm)	最大風速 (m/s)	平均風速 (m/s)	観 測 日
1	52	5.1	9	平成12年12月24日
2	48	4.2	7	平成16年2月23日
3	41	4.3	7	昭和60年1月28日

表１　豊富バイパス（アメダス）の２４時間降雪の極値（1982 年以来）

２４時間降雪が２位の４８ｃｍを記録した 2004 年(平成 16 年)2 月 23 日には斜面勾配が 1:1.2 の４箇所で大雪時に小規模な表層雪崩の跡が観測されている。しかし、いずれも斜面の途中で止まり道路に達したものはなかった。このように新雪雪崩の発生頻度や危険は非常に小さいと考えられる。積雪については、豊富アメダスで記録された１９８２年の観測以来最大積雪深の極値は１４３ｃｍである。しかし、積雪深は大きく切土法面は急なため全層雪

崩に関しては発生する要件は十分ある。

3．　豊富バイパスと低柵高雪崩予防柵

3－1　豊富バイパスの切土法面の小段

新雪雪崩や表層雪崩の危険は小さいので、豊富バイパスでは全層雪崩に絞って対策を検討した。豊富バイパスには勾配が１：１．２，１：１．５などの大小約１００箇所の急な切土法面がありその多くは斜面の雨や融雪による浸食防止のため幅１．５ｍの小段が設けられている。最大積雪深の８割以上の幅の小段（ステップ）は全層雪崩を防止する階段工法の要件を満たす。このことから、幅１．５ｍの小段は十分に全層雪崩防止機能を持つと考えた。また、最下段の法面に接する道路は階段工法の小段になぞらえることができる。最下段法面上の積雪を抑える働きは、階段工にならって路面の堆雪幅で表される。しかし、図１の優先順位１．と表した法面のようにぎりぎりまで除雪すると抑えが効かなくなり全層雪崩の危険が大きくなる。

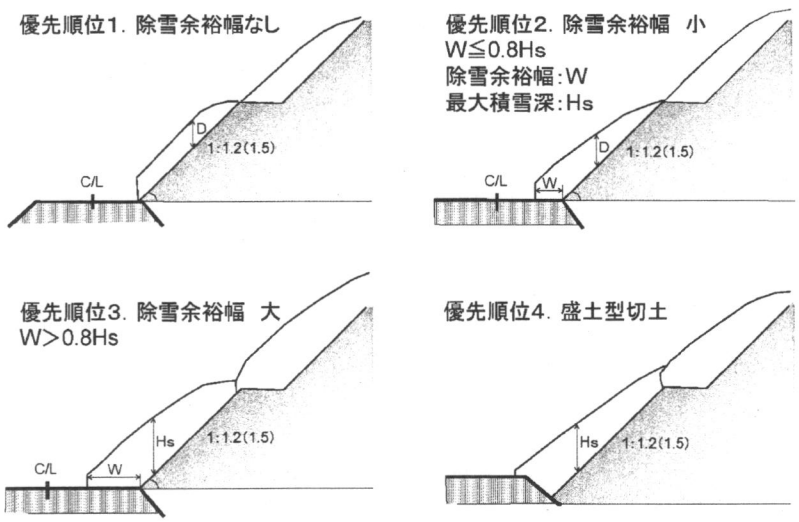


図１　最下段法面の積雪安定性（武田他、２００６）
法面に接する道路面は小段と同じように斜面積雪を抑える働きをしている。

3－2　低柵高雪崩予防柵

豊富バイパスにおける９９箇所の切土法面において、道路との接点の横断構造から、路側堆雪が狭くて道路面の小段としての機能が期待できない１５箇所を選定して柵高１ｍの雪崩予防柵を設置した。全層雪崩を引き起こす力になる斜面上の積雪のグライドは１ｍの低い柵でも十分抑えられる。また、写真１のように積雪面から頭を出した柵の下から雪崩が発生する事例が多い。これは、斜面積雪を安定化させる積雪層の結合による力（支持力）を、柵が雪の繋がりを切ることによって支持力を無にしているからと考えられる。密度に

もよるが積雪層の引っ張り力は５～１０ｘ１０^{4}N/m^{2}のオーダーで大きい（Narita,1983）。

写真１　雪崩予防柵の下から発生した全層雪崩

写真２　雪に埋もれた低柵高雪崩予防柵

積雪の支持力を利用して雪崩を防ぐために、積雪深より低い柵高にしたのが低柵高雪崩予防柵である。写真２は雪に埋もれた雪崩予防柵を調査するために雪掘りしている状況である。雪崩予防柵は二人が居る位置に水平に線状に見える陰の下に埋もれている。

３－３　低柵高雪崩予防柵まわりの積雪

雪崩予防柵の回りの雪質、密度、硬度を測定した。ここでは詳しい測定結果は述べないが、積雪内の雪質は地表面から８０ｃｍ程度までが一部にザラメ雪が見られるが固く締まったしまり雪でいずれも密度が高く安定していた。柵が雪に埋まるまでに巻き垂れができるための小さな空洞はみられたが、グライド差があればできるような地表面近くのクラッ

クや空洞は観測されなかった。柵上の雪だけでなく柵前後の雪も固く結合していた。

写真３　低柵高雪崩予防柵の回りの雪

以上のことから柵上下の雪の結合が支持力となって、グライドそして全層雪崩を防いでいると考えられる。尚、測定を行った平成16年2月下旬には豊富アメダスの観測史上２位の積雪深１３５cmを記録した。

４．まとめ

１）積雪内の雪質は地表面から80ｃｍ程度までが一部ザラメ雪を含む固いしまり雪、さらにその上のシマリ雪はいずれも密度が高く安定している。

２）柵を挟んだ上下の雪には巻き垂れによる小さな空隙はあったが、グライド差によるクラックは発生していない。

これらのことから、低柵高雪崩予防柵は積雪の結合力を支持力とし、グライドを防止し全層雪崩を防ぐことが積雪調査によって検証された。利点として、経済的で景観を妨げない、雪崩予防柵の下から発生する雪崩対策に利用できることなどが挙げられる。

文献

武田　光邦、川村　勝幸、及川　秀一、２００６，全層雪崩対策のための低柵高雪崩予防柵採用の試みについて――一般国道40号豊富バイパスにおける事例紹介―　４９回北海道開発局技術研究発表会

Narita,H,1983,An Experimental Study on Tensile Fracture of Snow, Contribution No.2625 from the Institute of Low Temperature Science

積雪地域における多機能型太陽光発電システムの開発に関する研究

北海道工業大学大学院 建築工学専攻　　齋藤　勇太

1．はじめに

近年，太陽光発電システムは，新エネルギーの重要な一角を担う技術として，徐々に普及してきており今後の普及拡大が期待されている。しかしながら,都道府県別の普及状況をみると，積雪地域への普及が遅れておりその原因は，積雪による発電障害がその一部であることが既存の研究から明らかとなっている1）。

本研究では，積雪地域において降積雪の影響を最小限にし，発電量の高い設置角度および設置箇所の検討を行うため，通年において屋外試験体を設置しモジュール上の自然積雪状況および発電量の観測を行った。

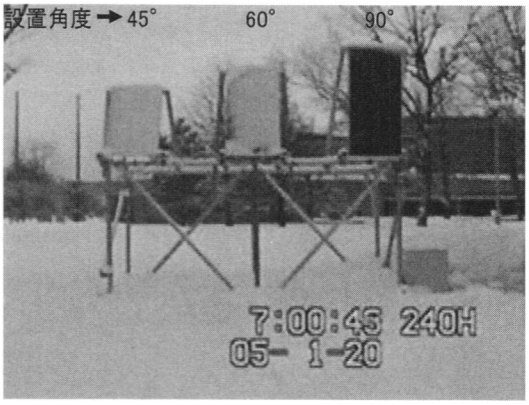


写真1　ビデオ観測状況(2005/1/20)

2．研究方法

太陽光発電モジュールの自然積雪状況および発電量の確認を行うため，写真1に示すモジュール設置角度を45°，60°および90°とした屋外試験体を設置し連続観測を行った。さらに，タイムラプスビデオを用いて2秒1コマで撮影した。発電量の確認には，抵抗・シャント抵抗を用いて5分間隔で計測した。観測期間中の積雪深は，試験体近傍に超音波積雪深計を設置し計測した。また，主要な気象観測も行った。観測期間は，2005年1月14日～11月30日で行った。

3．観測結果

3.1　太陽光発電モジュールの積雪状況

自然積雪状況の一例を写真1に示す。写真のように，太陽光発電モジュール設置角度45°および60°で積雪していることがわかる。この積雪は，1月20日午前0時から午前7時までに降雪したものである。この間の降雪量は，約16cmであるが，設置角度60°は一時的に滑雪し降雪により再び積雪している。

1月20日における発電量の推移を図1に示す。図には,ビデオ観測結果から発電モジュール上の積雪状態を遮蔽率として合わせて記載した。図のように，設置角度60°は10時から11時の間にかけて一時的に遮蔽率が減少し，その後の降雪により再び増加している。この間の外気温は，マイナスで推移しているため，モジュール上の積雪重量の増加による滑雪と考える。しかし，設置角度45°および60°で12時から14時にかけて遮蔽率の減少がみられるが，これらは，既往の研究と同様に外気温が0℃付近に推移したために，モジュール上の凍着状態が解除され滑雪したと考える2）。なお，設置角度90°において積雪はなかった。さらに,これらの状況は,冬期間すべてにおいてみられ設置角度90°には積雪しないことが明らかとなった。

3.2　冬期太陽光発電モジュールの発電量状況

前述のように，設置角度 45° および 60° では，モジュール上の積雪による影響のため発電量が増加していない。この間の設置角度 90° のモジュールは時間の経過とともに発電量が増加している。また,図に示すように設置角度 60° は，一時的にモジュール上積雪が滑雪し遮蔽率が減少したため，発電量が増加している。しかし，その後再び降雪し遮蔽率が増加したため発電量が減少している。なお，12 時以降外気温上昇に伴いモジュール上積雪の滑雪が進み遮蔽率が減少し発電量が増加してきているものの，設置角度 90° の日発電量には達していない。これらの状況は，冬期間すべてにおいてみられ，さらに，晴天時においても設置角度 45° および 60° の発電量は設置角度 90° に達していないことが明らかとなった。以上のことから，モジュール上における積雪が発電量に大きく影響を及ぼすといえる。また，設置角度 90° では，雪面による反射光が作用し，発電量を増加させていることも考えられる。

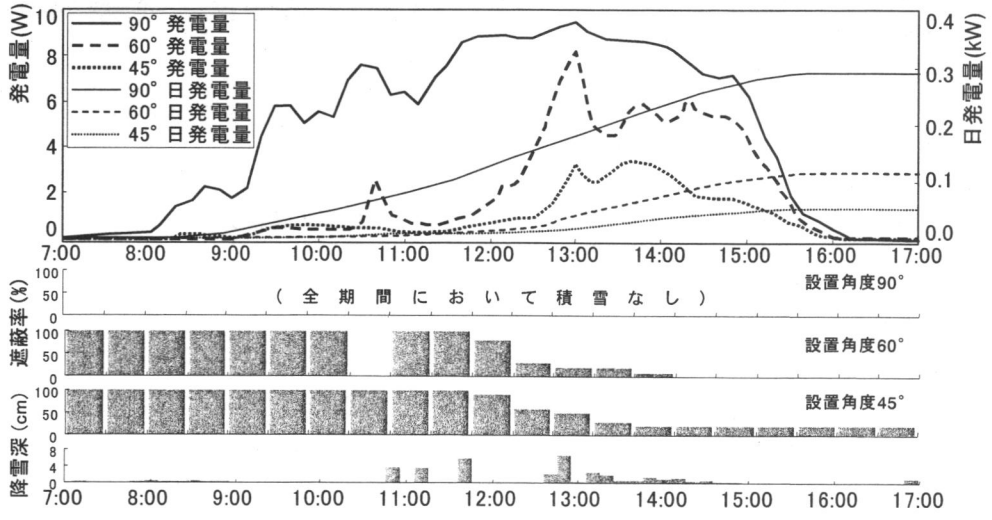


図 1　2005 年 1 月 20 日における太陽光発電モジュールの発電量

3.3　90° 日発電量に対する 45°，60° の関係

冬期，夏期における設置角度 90° の日発電量に対する 45° および 60° の関係を図 2 に示す。図のように，冬期においてはモジュール上の積雪による影響のため設置角度 45° および 60° は設置角度 90° の日発電量に達しておらず，設置角度 90° に対する日発電量比をみると約 3 割減となることが明らかとなった。夏期においては太陽高度が冬期に比べ高い位置に推移し，モジュール上の遮蔽がないため設置角度 45° および 60° の日発電量は設置角度 90°

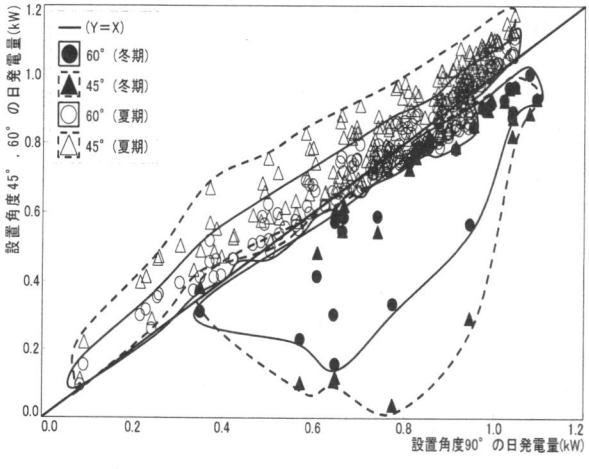


図 2　90° 日発電量に対する 45°，60° の関係

の日発電量を上回っており，設置角度90°に対する日発電量比をみると約1割増となる。なお，9月以降徐々に太陽高度が低くなるため設置角度90°の日発電量に達しない場合があった。以上のことから，通年における発電効率は，設置角度90°に対する設置角度45°および60°の発電量比は約0.3割減となることが明らかとなった。

4．まとめ

2005年におけるモジュール上積雪および発電量の観測結果をみると，設置角度45°および60°にのみ積雪が確認された。発電量は，設置角度90°に対し冬期では約3割減，夏期では約1割増であった。さらに,通年では設置角度90°に対し約0.3割減となりほとんど変わらない結果となった。図3に設置角度の違いによる通年の発電効率に関する模式図を示す。図のように，冬期では設置角度45°および60°の発電量が約3割減となる部分が，設置角度を90°とすることで改善される。また，設置角度を90°とすることで夏期に約1割減となるものの，通年平均的な発電量を得ることが可能になる。

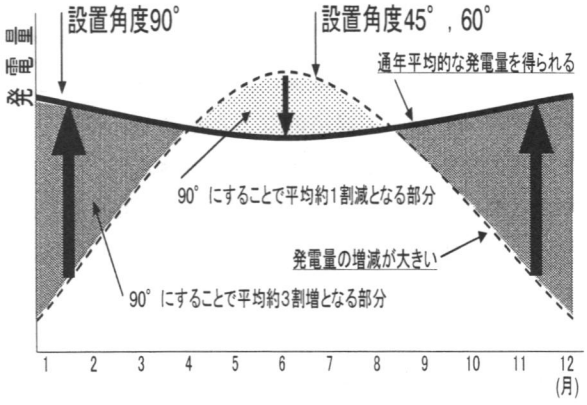


図3　通年の発電効率に関する模式図

このことから，積雪地域における太陽光発電モジュールの設置角度を90°に近づけることで，積雪による発電量の減少を補うことが可能であり，積雪地域における太陽光発電システムの有効利用が可能になると考える。

以上のことから今後の検討課題をとして以下の点を挙げる。

① 冬期における雪面からの反射光が発電へ影響しているのかの確認
② モジュール表面特性の違いによる積雪状態および発電状況の確認
③ 設置地域の違いによる積雪状態および発電状況の確認

【参考文献】

1)細川和彦他2名：積雪地域における多機能型太陽光発電システムの開発に関する研究（その1），日本雪工学会誌 Vol.21 No.4，pp.35-36，2005.7
2)細川和彦他3名：屋根材一体型太陽電池屋根の滑雪促進に関する研究，寒地技術論文・報告集 Vol.20，pp.559-563，2004.10

格子フェンスによる斜材からの落雪防止－野外模型実験－

竹内　政夫（㈱雪研スノーイーターズ）

1．はじめに

道路橋や鉄道橋の上弦材からの落雪による事故対策を検討し、格子フェンスによる落雪防止を提案し室内および野外の基礎的模型実験やローゼ橋の橋門構等で実橋実験を行ってきた。その結果、安全確実に落雪や雪庇を防ぐことが分かった。従来の工法に比べてメインテナンスフリーで経済的なこともあり、格子フェンスを用いた全面的な施工段階に入った橋梁もある。斜張橋の斜材からの落氷雪についても格子フェンスが実験され、可能性について評価されている（十勝大橋雪氷対策検討会、2005）。ここでは、斜材の落雪氷対策のためにより実用性の高い格子フェンスを開発したので紹介する。

2．斜材からの落雪氷

写真１のような斜張橋斜材の冠雪や着雪が落下し事故を起こすことがある。そのため、事前に機械的（スクレーパー）に削り取ることが行われている橋梁もある。しかし、主塔との連結部分の斜材は径が太くなっているためスクレーパーが使えなく、その部分の落雪氷対策が急務とされている。斜材全体もそうであるが、対策が必要とされている連結部分の落雪氷対策が斜材用格子フェンス開発のきっかけであった。

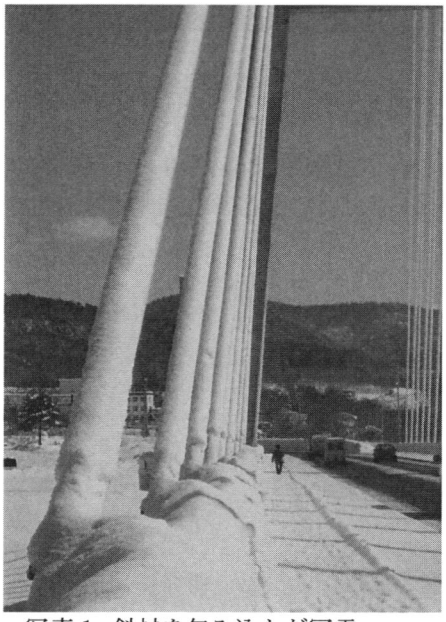


写真１　斜材を包み込んだ冠雪

3．斜材用格子フェンス

格子フェンスは滑り落ちようとする雪のグライド（滑り）は部材表面の滑りに対する抵抗物で止め、速度の小さいクリープは格子で抑えて格子間隔を抜けないようにしたものである。格子にかかるクリープの力は積雪の３次元構造によって３次元的に周辺に伝わる。このため、格子に接触する雪にかかる力が周囲の雪に伝わり雪が格子を潜り抜けるのを防ぐ[1)]。グライドのある場合、間隔120x120mmでは太さ13mmの格子、グライドを抑止した場合は間隔40x40mm、太さ3mmの格子など、雪が抜けない格子間隔と径は幾つか知られている[2)]。斜材の場合は部材としては小さいので、間隔が小さく径は細いほうが景観的にも目立ち難く、細工や取り扱いにも便利と考えられる。そのことから野外実験は、

写真２のように金網とメッシュ格子の２種類で行った。

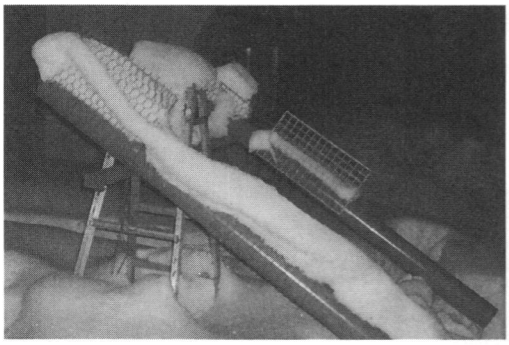


写真２　実験状況、斜材の傾斜角は 30°（1/9 21:05）

金網格子材料は内径 2.6mm と 3.3mm の網目が 6 角形で線の太さは単線部で 1.6mm、単線 2 本の撚り線部で約 2mm、である。また、メッシュ格子の太さは直径 3mm で格子間隔は 40x40mm である。いずれも、一般に市販されている製品から選んだ。フェンスの上に積もる雪とフェンスの網目を通過して斜材に積もる雪の二つに分かれる。

イ．　フェンスに積もる雪

フェンスの上の雪は写真３のように側面は鉛直に近く積もるが、ある高さ以上になると平衡を失って一方に傾き写真２のフェンスの側面に見られるような長い紐状の雪になる。

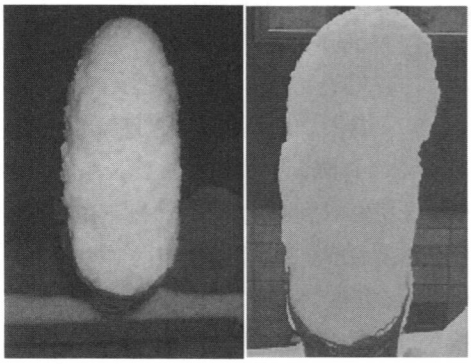


写真３　フェンス（金網）上の冠雪 18 時間後バランスを失い一方に傾き紐状になり落下（左、1/8、右,1/9 10:21）

紐状の雪は、金網で空中に支えられている状態のため、積雪変態の圧雪過程が無視できるほど小さく密度は時間が経っても新雪の様に小さい(0.09～0.13　g/cm^3)。この紐状の雪は空隙が大きく雪粒子やフェンスとの結合力が小さいため、簡単にフェンス表面から千切れて落下する。新雪同様に軽く落下途中で小さくばらばらになるので危険は小さい。冠雪を小さくするためには少しずつ落下させたほうがよい。

ロ．　フェンス内部の雪

フェンスの中の斜材に積もった雪は長時間積もっている場合に底面で氷化や圧密することがある。落下して危険なのはこのような雪氷が底面から塊となって滑落することである。実験ではフェンス内部の雪が滑落しないようにフェンスで抑えた。実験中はフェンス内に積もる雪は少ないこともあって、長時間積もった状態にはならず融解等によって消雪するサイクルを繰り返した。雪質によってはフェンス内部の雪が一杯になってから格子の外に積もり内部と外の雪が繋がり、冠雪は大きく強くなることは考えられる。しかし、冠雪が

できるような大雪時には、大きな雪片になって降ることが多いので、最初からフェンス上に雪が積もる。内部だけに積もってフェンス上に積もらないというような観測事例はなかった。フェンス内部と外の雪が繋がった場合でも内部の雪が沈降するときにフェンスから離れるので繋がりはやがて切れ、外側の雪は大きくならないで落下する。

4．格子フェンス頂角の影響

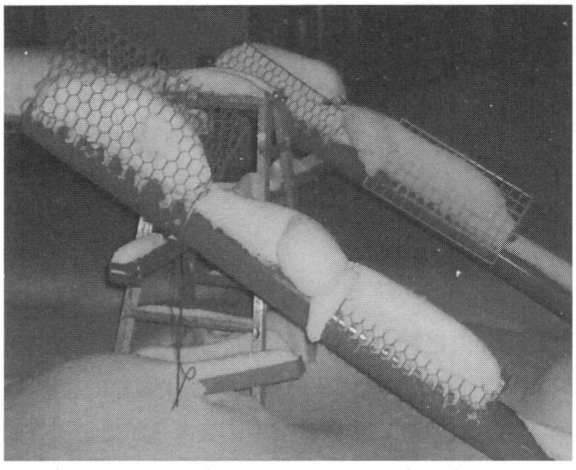


写真４　頂角の違いによる冠雪の違い(1/19　19:56)
手前左上頂角 30°、右下 50°、後ろ上オープン、
右下 30° のメッシュ

斜材用の格子フェンスの頂角の影響を見るために、頂角 30°、50° および上部をオープンにした３種類の格子フェンスで実験した。

上部を開けた格子フェンスの上の冠雪は写真４、５のように最も大きく成長する。頂角 30° と 50° との違いは十分に明確になったとはいえないが、頂角が大きいとフェンスの外側に積もりやすく、小さいと内部に積もりやすい傾向がある。これは頂角が大きいと内部の容量が小さいため早く雪で埋まり、その雪の上に、積もるためと思われる。頂角が大きいとフェンスの高さが低いためバランスを失いやすい。また、落下に対する抵抗も小さいので積もった雪は頂角が小さいものより落下しやすい。ある程度フェンス内部の容量があっても、外側に積もった雪と内部の雪との間の結合は弱いので、フェンス上の雪は落下し、残った内部の雪はやがて消えることが分かった。このことから、実験では頂角 30° よりも 50° が合っていると考えられた。最適な頂角については気象や斜材の形の太さによっても異なると考えられる。

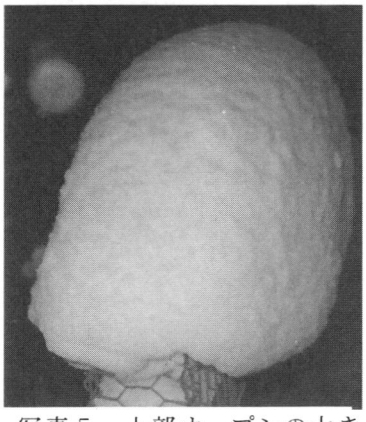


写真５　上部オープンの大きくなった冠雪

5．まとめ

斜張橋の斜材を対象とした格子フェンスの野外模型実験を行った。従来は上部をオープンにした格子フェンスであったが、上部を閉じて 2 種類の頂角、素材で実験を行った。橋

梁上の冠雪・着雪の中には、落下して危険な氷板や密度の高い圧雪状態のものと新雪や部材から張り出して雪庇状態になっているが密度が小さい雪もある。斜材用の格子フェンスの野外模型実験では、フェンスに載った密度の小さい雪はバランスを崩して傾き紐状になり落下した。フェンス内に閉じこめられた雪は危険な状態になる前に融けて消えるというサイクルを繰り返した。実験の結果をまとめると以下のようになる。

1）格子フェンスを施した斜材では、フェンスの上と内部（斜材）とに分かれて積もる。内部の雪は沈降しフェンスを境に分離するので外側と内部の雪との繋がりは弱い。
2）フェンス上に積もる雪が大きくなるとバランスを失い一方に偏る。その際に細長い紐状の雪になりやがてフェンスから千切れて落下する。フェンスと雪との結合は接触面積が小さいので小さい。
3）格子フェンス上の雪は重力による圧密過程を経ないので密度が大きくならない。
4）フェンス内部の雪は量が少なく、落下せずに融解・消雪するサイクルを繰り返す。
5）頂角の大きさは、30°と50°での実験では内部に残る雪が少ない点から50°が良かった。オープンにすれば冠雪が大きくなり過ぎる。

6．あとがき

軽く安全な雪を少量ずつ落下させるのは超撥水性材料やチタン板等を用いた落雪カバー（落雪促進）工法の狙いである。しかし、カバー素材の表面から円滑に滑落するには水分の介在が必要である。このため気象条件によっては落下前に凍結し氷化した塊となって落下する恐れがある。斜材用格子フェンスの場合は格子から剥がれて落下するので、落下する雪は常に新雪に近い軽い雪である。格子フェンスの内部の雪も量が小さいので消失しやすい。最適な格子の太さや間隔、頂角等を実橋において検証試験をする必要はあるが、格子フェンスは安全確実、メインテナンスフリーで経済的な対策工法となる可能性が大きいといえる。

7．文献

1）竹内政夫：雪庇を防止する格子フェンス、21回寒地技術シンポジウム、692-696
2）布施浩司、岳本秀人、安倍隆二：上弦材のある橋梁の着雪・冠雪対策について、開土研月報、609,2004

積雪地域における木造住宅の耐震性について

○千葉隆弘（北海道工業大学）
苫米地司（北海道工業大学）
高橋徹（千葉大学）
植松武是（北海道立北方建築総合研究所）

1．はじめに

1995 年 1 月に発生した阪神・淡路大震災では，多くの木造住宅が倒壊し，死者の 8 割は建築物倒壊等による圧死であった [1]。本震災における建物倒壊の要因としては，建築の年代が古く部材の老腐化が進んでいたこと，重量の重い粘土瓦屋根の住宅であったこと，1981 年の新耐震基準制定以前の旧基準で建築された耐震上有効な壁量が少ない住宅であったこと等が挙げられている。

一方，近年発生した大きな地震のうち，2004 年 10 月の新潟県中越地震による被害は極めて大きいものであった。死者は 46 名と阪神・淡路大震災に比べて少なかったものの，住宅の被害棟数は全壊で 3,000 棟を超えている。さらに，2004 年 12 月からの断続的な降雪は 19 年ぶりの豪雪となり，249 棟の住宅が積雪の重量に耐えきれず倒壊した。これら倒壊した住宅の 77%は先に発生した地震によって全壊と判定されていた [2]。すなわち，新潟県中越地方では，震災の復興が終了しないうちに豪雪が襲った，雪荷重と地震荷重による複合災害の様相を呈している。

本研究では，積雪地域における雪荷重が木造住宅の耐震性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。雪荷重が作用している状態で地震力が作用した場合を想定する必要性や，その際に想定すべき積雪地域固有の条件等を整理した。さらに，震動解析を行い，雪荷重が木造住宅の震動特性に及ぼす影響を検討した。

2．積雪地域における木造住宅の耐震性について

2.1　積雪期に発生した地震

本研究では，積雪地域における積雪期に発生した過去の地震を整理した。東京大学地震研究所のデータベース [3]から，過去に発生したマグニチュード 5 以上の規模が大きい地震を抽出し，積雪期の地震が全体に占める割合を求めた。その結果を図 1 に示す。図のように，12 月～3 月を積雪期とした場合，M5 以上の地震は，全体の 30%に達する。積雪期に発生した地震を地域別で示すと，北海道，東北地方および北陸地方の積雪地域は，全体の約 40%を占めている。このように積雪地域では，雪荷重が作用している状態で地震が発生することを想定し，対応策を早急に講じる必要がある。

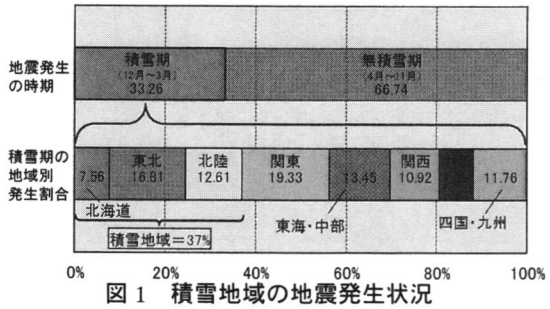


図 1　積雪地域の地震発生状況

2.2　旧基準で建築された木造住宅のストック

阪神・淡路大震災では，旧基準で建築された木造住宅の被害が多いことが報告されている。本研究では，積雪地域における旧基準で建築された木造住宅の割合を，平成 15 年（2003 年）住宅・土地統計調査報告 [4]から調査した。調査の対象は，

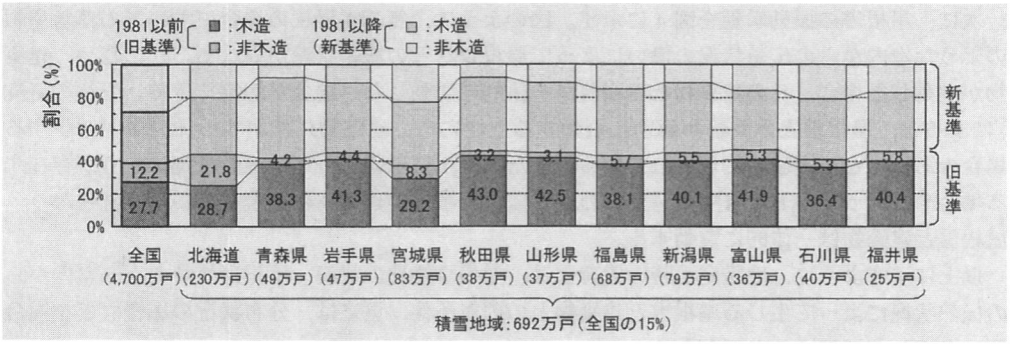


図 2　積雪地域における旧基準で建築された木造住宅のストック

積雪地域である北海道，東北地方 6 県および北陸地方 4 県である。図 2 に示すように，2003 年時点で全国の住宅は 4,700 万戸ある。そのうち，旧基準で建築された木造・非木造住宅は全体の 40%で，木造住宅のみでは全体の 30%を占めている。このように，旧基準で建築された木造住宅は高い割合を示している。次に，道県別でみると，旧基準で建築された木造・非木造住宅は，宮城県を除いては 40%を超え，全国比率よりも高い割合を示す。構造別でみると，札幌や仙台のような政令指定都市を含む北海道および宮城県で非木造の割合が高いものの，その他の県では大半が木造住宅で占められている。

以上に示すように，積雪地域において旧基準で建築された木造住宅の割合は，全国比率に比べて高い傾向があることから，積雪地域における木造住宅の耐震化に対する要求は高いと考えられる。

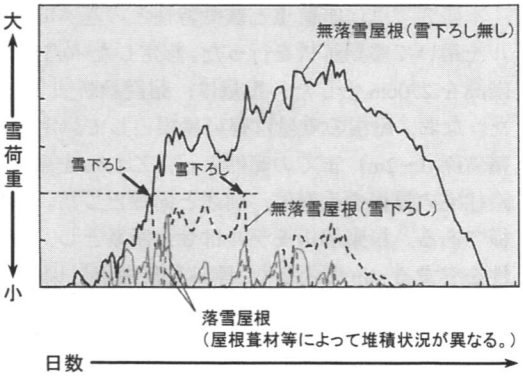


図 3　雪荷重の推移

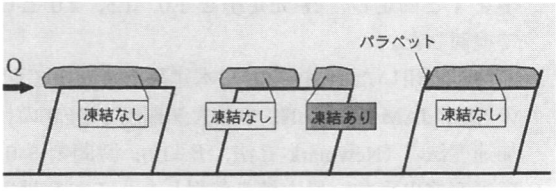


図 4　陸屋根での振動挙動

3．屋根雪の堆積状況と木造住宅の振動特性

前述のように，積雪地域の木造住宅では，積雪期の地震発生を想定する必要があり，雪荷重が木造住宅の震動特性に及ぼす影響を考慮する必要がある。このことから，屋根雪処理に応じた雪荷重の大きさを検討しておく必要がある。

積雪地域における木造住宅の雪荷重の推移は，図 3 に示すように，屋根雪処理の状況によって異なる。無落雪屋根の場合は，地上の積雪荷重と同様に推移する。しかし，無落雪屋根の場合においても，雪下ろしを行う場合は，そのたびに雪荷重がゼロとなり，再び雪荷重が増加するという推移を示す。一方，勾配屋根の場合をみると，屋根葺材に塗装鋼板のような雪が滑りやすいものを用いた場合は，屋根で滑雪が発生する。このため，雪荷重は，「堆雪→滑雪」を頻繁に繰り返す推移となる。このように，積雪期の地震荷重と雪荷重との複合的に検討するためには，木造住宅の屋根形状や屋根雪処理の状況を考慮する必要がある。

次に，屋根雪の振動挙動を図 4 に示す。図のように，無落雪屋根の場合においても落雪屋根のような室内からの伝熱状況の違いによって屋根葺材との凍結状況が異なる。このため，建築物が震動した場合，その建築物と屋根雪が一体的に震動しない場合が想定できる。既往の研究[5]によると，屋根雪と建築物が個別に振動するときには，建築物に作用する加速度が減少する場合のあることも実験的に示されている。また，図中に示すように，凍結状況にむらが存在する場合や，パラペットを有する建築物の場合は，屋根雪が建築物に固着している状況となり，屋根雪と建築物は一体的に震動する。

以上に示すように，地震発生時の雪荷重は，屋根雪処理の状況，屋根形状，および室内からの伝熱状況によって生じる屋根雪と建築物との固着条件，更には，分布状況の影響などを複合的に考慮して評価する必要がある。

4．雪荷重と木造住宅の振動特性

本研究では，雪荷重と震動特性との基本的な関係を把握するため，簡単な多質点弾塑性モデルを用いて震動解析を行った。想定した木造住宅は，間口 6.75m×奥行き 13.5m の層 2 階とし，階高を 270cm とした。重量は，耐震診断法[6]に示されている住宅の床均し荷重を用いて算定した。なお，屋根の重量は軽い屋根として算定した。雪荷重は，0 から 6,000N/m^2（多雪区域では積雪深 0～2m）までの範囲とし，これらを屋根の重量に加算して壁量を算定した。想定した木造住宅の規模や重量は，前述と同様とした。屋根の重量に加算する雪荷重についても前述と同様である。振動解析モデルはせん断系とし，復元力は図 5 に示すモデルで，1 次剛性と 2 次剛性を有する slip 型とした。剛性の反曲点は図中に示す通り壁倍率 1 の場合を想定した[6]。また，本解析では，雪荷重ゼロ時の剛性で固定し，雪荷重のみを増加させた場合の震動特性を検討することを目的としている。さらに，既往の研究によると，既存住宅における壁量の充足率は，1F に比べて 2F が大きい傾向があることが示されている 8)。このことから本解析では，1F 充足率を 1 と固定し，2F 充足率を 1.0，1.5，2.0 とした上下階の剛性分布が異なる 3 ケースについて検討した。

解析に用いた地震波は，日本建築センターで配布している EL Centro の NS，八戸の NS，TAFT の EW，JAM 神戸の NS を最大加速度 300gal の振幅に変換したものを使用した。解析は，線形加速度法[7]（Newmark-β 法，β =1/6，時間刻み 0.01s）とし，各地震波で求められた各階の最大応答変位のうち，最大値を整理した。これら地震波の加速度応答スペクトルは図 6 に示す通りで，いずれの地震波においても 0.5s 以下の短周期側に大きな応答の山を有し，八戸のみ 1.0s を超える長周期側に応答の山がみられる。なお，最大変位の標準偏差は±1～3cm の範囲が中心で，極端に変位が大きい場合は±5cm 程度となった。これら最大応答変位の最大値は，基準変位（1/120rad 時の変位）に対する比率で示した。

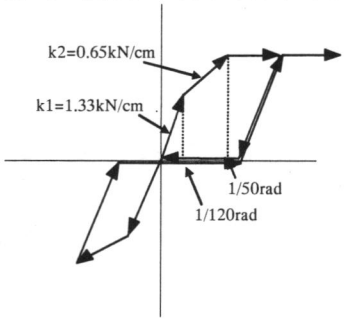


図 5　復元力特性

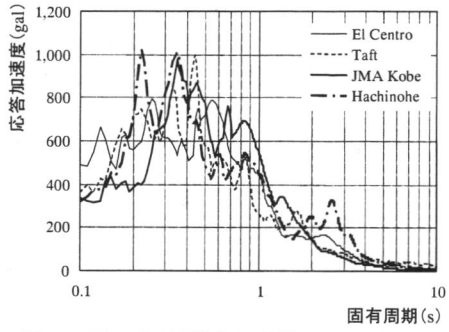


図 6　用いた地震波の応答スペクトル

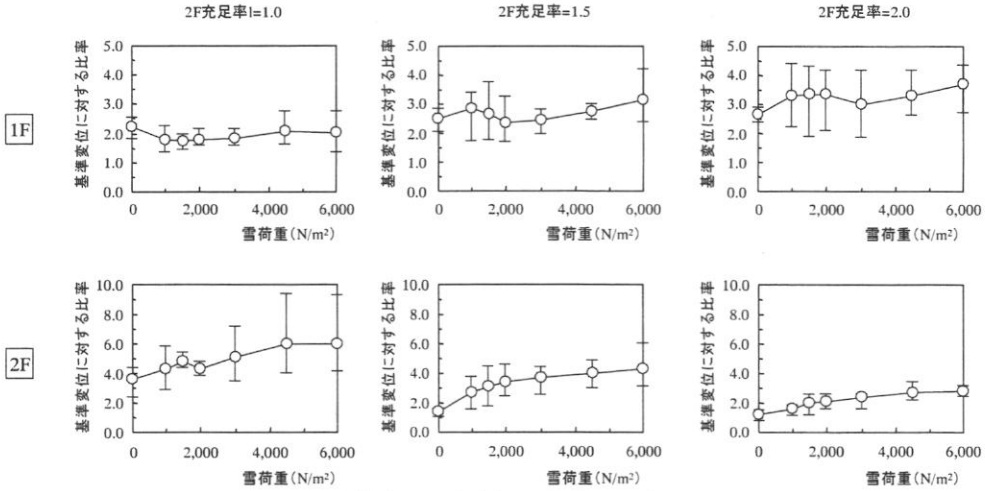


図 7　雪荷重と基準変位に対する比率との関係

雪荷重と基準変位に対する比率との関係を図 7 に示す。1F の基準変位に対する比率は，いずれの 2F 充足率においても雪荷重の増加に関係なく，ほぼ一定の値で推移している。2F 充足率と基準変位に対する比率との関係は，2F 充足率の増加に伴い 1F 変位が増加する関係を示す。このように，1F の変位は，雪荷重の影響が小さく，上下階の剛性分布による影響が強い。一方，2F の基準変位に対する比率は，2F 充足率 1.0 において雪荷重の増加に伴い増加する関係を示す。この関係は前述した雪荷重と壁量との関係と同様である。これに対し，2F 充足率 1.5，2.0 の場合は，雪荷重 1,000N/m^2 まで比率が増加する傾向があるものの，雪荷重がそれ以上になると，変位がほぼ一定で推移する。以上に示すように，上下階の剛性分布により雪荷重が最大変位に及ぼす影響が異なる傾向がある。

5．まとめ

本研究では，積雪地域における雪荷重が木造住宅の振動特性に及ぼす影響を明らかにするとこを目的に，雪荷重が作用している状態で地震力が作用した場合を想定する必要性や，その際に想定すべき積雪地域固有の条件等を整理した。さらに，振動解析を行い，雪荷重が木造住宅の振動特性に及ぼす影響を検討した。

総 2 階建て木造住宅の場合で，屋根雪と建築物が一体的に振動するときを想定した地震応答解析の結果，上下階における剛性分布の違いにより，雪荷重が最大応答変位に及ぼす影響が異なることが明らかとなった。今後は，屋根雪と住宅が固着していない条件での実験的検討や解析を行う予定である。また，本解析は各ケースの相対的な比較であるため，1 次固有周期や適切な復元力特性（雑壁）など実際の住宅における振動挙動を考慮することが課題である。

【参考文献】

1) 阪神・淡路大震災調査報告編集員会編：阪神・淡路大震災調査報告　総集編，2000
2) 新潟県防災局：豪雪・融雪に関する情報，http://bosai.pref.niigata.jp/content/gousetsu/
3) 東京大学地震研究所:「日本付近のおもな被害地震年代表」データベース，http://saigai.eri.u-tokyo.ac.jp/rikaDB/
4) 日本統計協会編：平成 15 年度住宅・土地調査報告(全国編)，2004
5) Tsutomu Nakamura, Yasuaki Nohguchi, Toshiichi Kobayashi, Yutaka Yamada, Keiichi Ohtani, and Seitaro Takada:The reduction of earthquake energies on buildings by snow on their roofs, Snow Engineering, pp.193-200, 1997
6) 国土交通省住宅局建築指導課監修：木造住宅の耐震診断と補強方法，日本建築防災協会，2004.7
7) 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北出版，pp.97-112，2003.5

AMSR-E を用いたアラスカの融雪の検出

木村しずか、榎本浩之、戸城亮(北見工業大学)、
Kim Yongwon(アラスカ大学)、齋藤佳彦((株)雪研スノーイーターズ)

1. はじめに

衛星データを用いて得られた積雪水文情報は、水利用や災害、気候変動などの研究に役立てることができる。本研究では、近年気温の上昇が顕著である北極圏のアラスカにおける積雪水文情報の抽出及び解析を行った。ここで積雪水文情報として、積雪深と融解時期の変動に着目し、従来の方法を用いた解析を行い、その方法の精度について検証した。

2. 使用したデータ

地球観測衛星 Aqua に搭載されているマイクロ波放射計 AMSR-E によって観測されたマイクロ波の輝度温度データ(1 日2回)を用いて、現地観測データのある 2004 年 7 月～2005 年 5 月のアラスカにおける解析を行った。図 1 は解析を行ったツンドラと北方森林を示したアラスカの地図である。

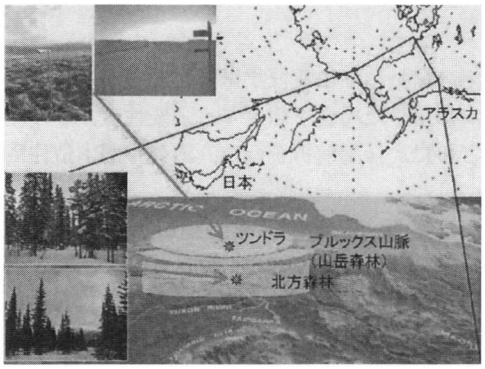


図 1. 観測地点を示したアラスカ地図

3. 積雪深算出アルゴリズムと融雪検出アルゴリズム

本研究では積雪深算出アルゴリズムと融雪検出アルゴリズムの 2 つの式を用いて解析を行った。図 2(a), 図 2(b)はそれぞれの式を簡単に表したものである。積雪深算出アルゴリズムは、36GHz のマイクロ波放射が積雪によって弱まることを用いた式である。また融雪検出アルゴリズムは、融解時期において、夜は積雪のために地面から放射されるマイクロ波が弱まっているのに対し、昼は雪が解けて積雪内部の水分などによりマイクロ波の放射が強まることを用いた式である。

積雪深算出アルゴリズム

SD=a⊿TB[cm] (Chang et al. , 1987)

SD:積雪深、a=1.59[cm/K]、

⊿TB:18GHz と 36GHz のチャンネルの輝度温度差(水平偏波)[K]

仮定:雪の粒子半径 0.3[mm]

雪の密度 300[kg/m^3]

空間的に均一な雪原

SD＜100[cm]まで対応

このモデルは合成物のない雪の状況下でよく機能する(平坦な土地、大きな森林被服のない土地、単一層の乾いた雪のときなど)。

融雪検出アルゴリズム

DAV=⊿TB[K] (Ramage and Isacks, 2002)

DAV:マイクロ波の輝度温度の日較差(Diurnal Amplitude Variations)

⊿TB:36GHz のチャンネルの 1:30am と 1:30pm の輝度温度差(垂直偏波)[K]

DAV＞10[K]を融雪とみなす

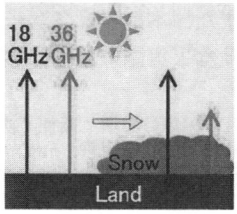


図 2(a) 積雪深算出アルゴリズム

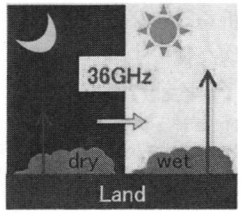


図 2(b) 融雪検出アルゴリズム

4. 積雪及び融雪分布の季節変化

積雪深算出アルゴリズムを用いて求めた積雪深と融雪検出アルゴリズムを用いて求めた融雪の季節変化を見た。図 3,4 はそれぞれアルゴリズムで求めた積雪深と融雪のアラスカにおける分布を表したものである。

図 3 では 10/1 には北部ですでに積雪が始まっており、それから徐々に積雪深が増加し、4 月下旬から 5 月にかけて南部から積雪がなくなっていく様子を読み取ることができる。

図 4 では 4/1 には南部で部分的に見られた融雪が 4/8 には顕著に見え始め、日が経つにつれて融雪が北上し、4/29 には全域で融雪が起こっている様子を読み取ることができる。

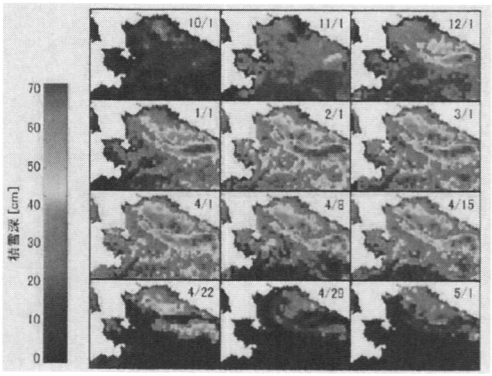


図 3. 積雪深算出アルゴリズムから求めた
積雪深の季節変化

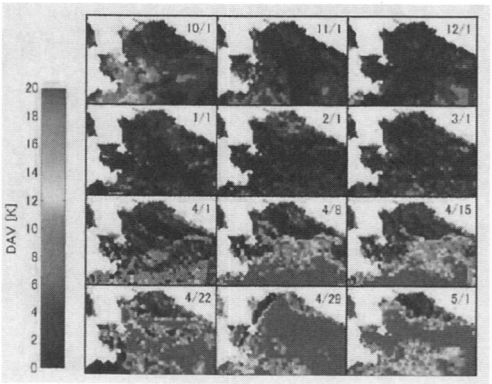


図 4. 融雪検出アルゴリズムから求めた
融雪の季節変化

5. 現地観測データによる従来の方法の検証

積雪深算出アルゴリズムを用いて求めた積雪深及び融雪検出アルゴリズムを用いて求めた融雪時期を現地観測データと比較した。

図 5 は積雪深算出アルゴリズムから求めたツンドラと北方森林における積雪深野季節変化を表したものである。ツンドラ、北方森林ともに、9 月から 10 月にかけて積雪が開始し、ツンドラでは約 60[cm]、北方森林では約 40[cm]まで値が増加する様子を読み取ることができる。4 月から 5 月にかけては、それ以前の値の揺れ方とは大きく異なった揺れ方をしている。この変動は昼夜の融解・再凍結サイクルによるものである。積雪深算出アルゴリズムは乾いた雪など合成物のない雪の状況下でよく機能するため、湿った雪を扱う際には算出した値は積雪深を示さなくなる。このことにより、融雪の検出が可能となる。ここでそれぞれのグラフにアラスカ縦断観測(2005/1/24～27)から得た積雪深の実測値を表示させたところ、積雪深算出アルゴリズムから求めた積雪深は、ツンドラでは 30[cm]の過大評価、北方森林では 40[cm]の過小評価となっていることがわかった。(ただし現地観測データは、ツンドラ及び北方森林における 1 地点のみの値である。)

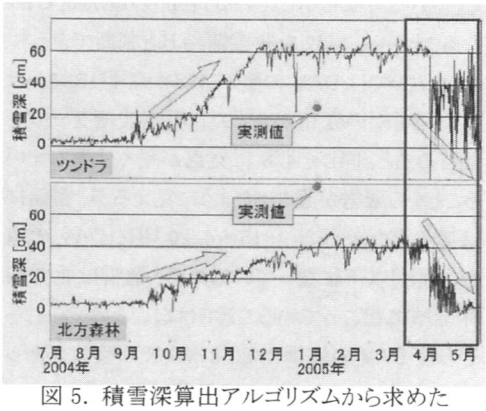


図 5. 積雪深算出アルゴリズムから求めた
ツンドラと北方森林における
積雪深の季節変化

図 6 はアラスカ縦断観測データ(2005/1/24～27)と積雪深算出アルゴリズムから求めた積雪深を比較したものである。また図 6 の右上に表示されている図は、観測日付近である 2005/1/25 の積雪深算出アルゴリズムから求めた積雪深のアラスカにおける分布図である。棒グラフが実測値、折れ線グラフが推定値を示している。この図を見ると積雪深の推定値は実測値を、北方森林から南では過小評価、北では過大評価していることがわかる。(ただし、それぞれの観測地点の緯度経度を元に、アルゴリズムに用いる輝度温度データを求めており、観測地点 1 地点に対して 1 つのデータを使っている。)

図 7(a), 図 7(b)はそれぞれツンドラと北方森林における融雪検出アルゴリズムから求めた DAV と現地観測データを比較したものである。ここでの現地観測データは、地表面から 5[cm], 20[cm], 40[cm], 100[cm]の温度を記録したもので、積雪がある場合には、気温ではなく雪温として値を扱うことができる。

図 7(a)では DAV の値が 2005/4/22 に 60[K]の変化があり、このことから 4/22 を融雪開始日と推定した。そして現地観測データを見ると、同じく 4/22 に気温を示している 100[cm]の値が上昇しており、雪温を示している 5[cm]の値が 0[℃]になることから、4/22 を融雪開始日と判断できる。

図 7(b)では DAV の値が 4/8 から 4/15 にかけて約 20[K]の変化があった。現地観測データを見てみると、同じく 4/8 に気温がやや上昇していることから融雪が起こったように見えるが、雪温には変化がなく、また 4/15～4/20 頃に DAV の値が 10[K]以下になっているため、融雪は北方森林全域に起こっていることではないと考えられる。その後 DAV の値は 4/22 に 30[K]の変化があった。このことから 4/22 を融雪開始日と推定した。そして現地観測データを見ると、同じく 4/22 に気温が上昇しており、雪温が 0[℃]になることから、本格的に融雪が開始したのは 4/22 であると判断できる。

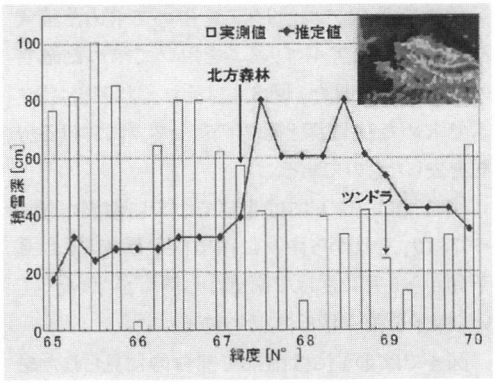
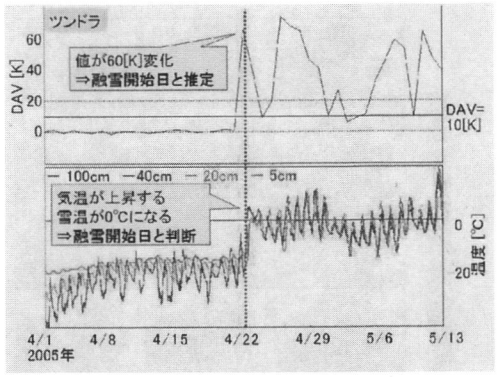
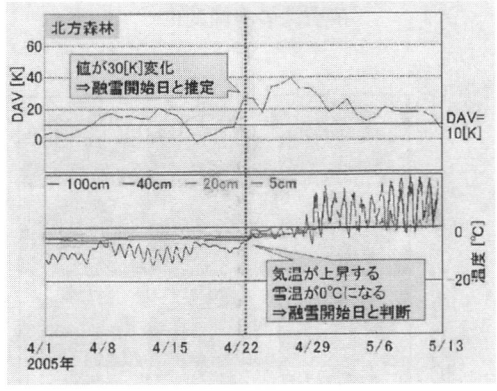


図 6. 積雪深の比較
(2005/1/24～27 アラスカ縦断観測データ)



(a)



(b)

図 7. (a)ツンドラ及び(b)北方森林における融雪検出アルゴリズムから求めた DAV と現地観測データの比較

6. まとめ

- 融雪の広域分布図を示すことにより、季節変化を見ることができ、融雪が北上する様子を捉えることができた。
- 現地観測データとの比較では、積雪深算出アルゴリズムを用いて求めた積雪深にはずれがあり、ツンドラでは過大評価、北方森林では過小評価となった。
- ツンドラ及び北方森林において、DAV は融雪開始の指標として適していることがわかった。そして現地観測データから融雪開始日を求めた結果、融雪開始指標はツンドラ、北方森林でともによく一致していた。
- 従来は DAV＞10 [K]が融雪と見なされていたが、現地観測データとの比較により、森林域では 10[K]よりも高い値が融雪の閾値となるのではないかと考えられる。

謝辞

使用した衛星データについては、宇宙研究開発機構(JAXA)から AMSR-E データを提供していただきました。

参考文献

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

Ramage, J.M. and B.L. Isacks, 2002: Determination of melt-onset and refreeze timing on southeast Alaskan icefields using SSM/I diurnal amplitude variations. Annals of Glaciology 34, 391-398

地中探査レーダーによる知床峠の積雪観測(2006 年)

谷口優介、佐藤研吾、高橋修平（北見工業大学）

1．はじめに

地中探査レーダー（GPR）は地中に電波を放射することで、地中内部の構造を非破壊かつ短時間で捉えられる小型の測定器である。元来は地下の物体、空洞、構造物を検知するために発達した機器であるが、その簡便さから地質調査、人口埋蔵物の検知、遺跡調査、凍土探査、地下水探査などに広く応用されている。この地中探査レーダーを用いて 2006 年 3 月 17 日に知床峠の自然積雪を観測した。

2．観測原理

地中探査レーダーから放射された電磁波（パルス）の反射波は、媒質中（積雪）の比誘電率に差異が生じた箇所にて起こり、反射パルスが極端に強く飽和した状態を示すときは、媒質中の比誘電率及び密度の急激な変化を捕らえている事を示している。また、地中探査レーダーによる反射面の地表面からの深さの度合いは、反射してくる往復反射時間（2t）で表示されており、雪層の比誘電率を推定することにより、電磁波速度を換算し算出する事が出来る。図 1 に観測原理図を示す。

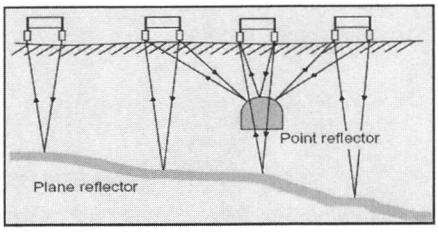


図 1　地中探査レーダー観測原理図.

3．観測理論

地中探査レーダー観測画像から積雪深を求めるには電磁波速度を定めなければならない。

真空中の電磁波の速さは、

$C=1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$　（ε_0：真空中の誘電率、μ_0：真空中の透磁率）

と表される。一般に地中や積雪中などのμの変化はほとんどなく、誘電率εが変化することから物質中の電磁波速度 V とすると、

$V/C=\sqrt{\varepsilon_0/\varepsilon}$　（ε：物質の誘電率）

となる。ここで、比誘電率ε_rを

$$\varepsilon_r=\varepsilon/\varepsilon_0$$

と定義すると、

$$V=C/\sqrt{\varepsilon_r}$$

と表わされ、また、C＝300m/μs なので V ＝$300/\sqrt{\varepsilon_r}$となる。

また比誘電率ε_rは、積雪密度ρに依存し、

$$\varepsilon_r=1+1.7\cdot\rho+0.7\cdot\rho^2$$

と表される（Tiuri,1984）。その積雪電磁波速度 V は密度ρに依存する。

図 2 に観測原理フローチャートを示す。この観測原理フローチャートにより GPR 信号から深さを求めることができる。

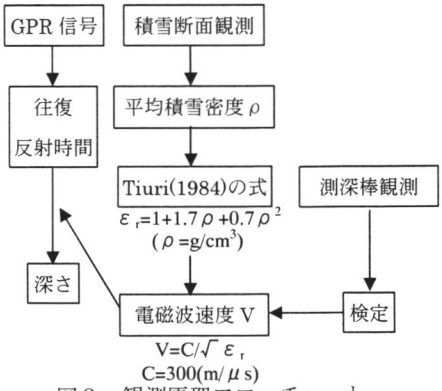


図 2　観測原理フローチャート.

4．観測方法

2006 年 3 月 17 日に知床峠の宇登呂―羅臼を横断する国道上の自然積雪を観測した。図 3 に示すように観測コースは除雪最終地点を出発地点として約 5.2km の国道上を行きは出発点（羅臼起点より 22.2km）から知床峠まで、帰りは往きと同じコースを、知床峠をスタート地点として羅臼起点より 22.2km 地点まで観測した。また知床峠より先は雪上車で観測を行うことができなかったため、図 4 に示すように徒歩で観測をおこなった。

図 4 に示すように GPR 観測機器、パソコン、GPS をそりに載せて雪上車で牽引して観測をおこなった。GPR は 2 秒毎に観測し、GPS により位置情報を 10 秒毎に測定した。また行きの観測では 500m 毎に測深棒を用いて積雪深を測定し、出発点（羅臼起点より 22.2km）と知床峠頂上では積雪断面観測をおこなった。知床峠頂上および出発点における積雪断面観測より、図 6、図 7 の積雪層構造が得られた。知床峠頂上の積雪深は 110cm、積雪平均密度は 0.368(g/cm^3) であった。出発点の積雪深は 120cm、積雪平均密度は 0.513(g/cm^3)であった。積雪深と密度の関係、層構造図を図 6、図 7 に示す。

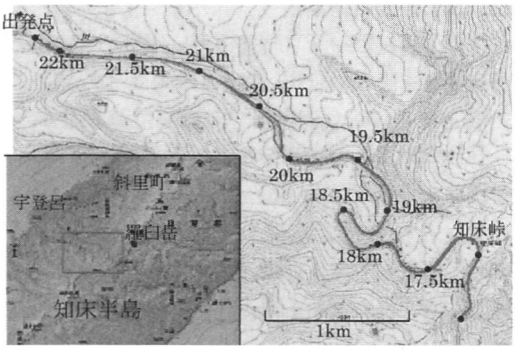


図 3　観測場所概略図

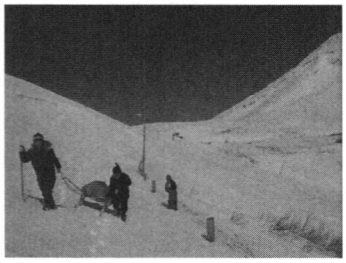


図 4　観測風景（知床峠羅臼側）

図 5　雪上車と GPR 観測機器

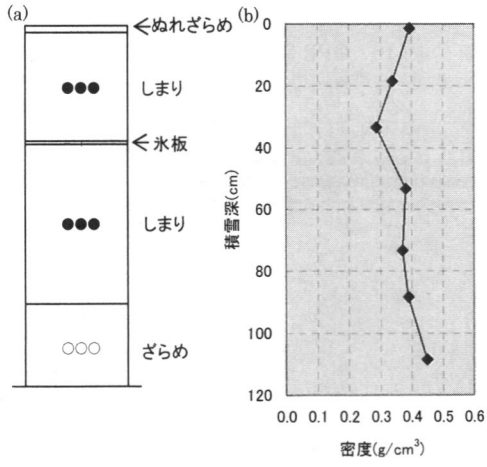


図 6　知床峠頂上断面観測結果
(a)積雪層構造，(b)積雪深と密度の関係

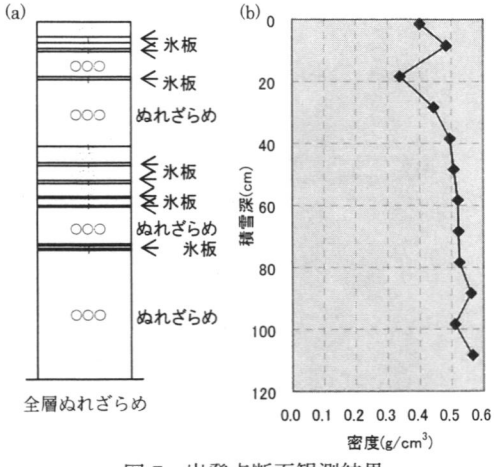


図 7　出発点断面観測結果
(a)積雪層構造，(b)積雪深と密度の関係

5．知床峠観測結果

往路の観測コース（時速 14km/h）の GPR 観測画像を図 8 に示す。往路の観測コースでは 500(m)毎に停止し測深棒で実測を計測しながら雪上で牽引して観測をおこなった。復路の観測コース（時速 18km/h）の GPR 観測画像を図 9 に示す。復路の観測コースでは知床峠頂上から出発点まで停止せずに観測をおこなった。知床峠から羅臼方向（徒歩観測）の観測コースの GPR 観測画像を図 10 に示す。

図 11 に積雪深と往復反射時間の関係を示す。電磁波速度はほぼ 220(m/μs)を示していた。

図 12 に図 11 から得られた標高と電磁波速度の関係を示す。標高 500m(22.5km~21.5km 区間)以下では電磁波速度を 200(m/μs)とした。これは積雪がぬれているためと思われる。標高 500m 以上では電磁波速度を 220(m/μ)とした。

図 13 に GPR による積雪深(50m 毎)と実測値の関係を示す。峠からウトロ方向 5km 区間において最大積雪深 3.4m、平均積雪深 1.5m となった。標高 600m 以下(22.5km~20km 区間)では 1~1.5m の一定の積雪深を示していた。標高 600m 以上では吹き溜まりと吹き払いが交互にあらわれていた。とくに 17.6km 地点の峠付近では道路が露出していた。

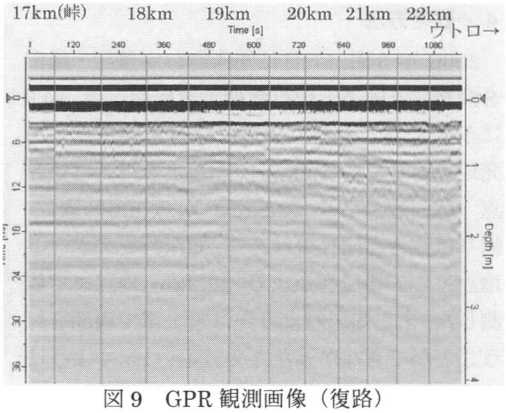


図 9　GPR 観測画像（復路）

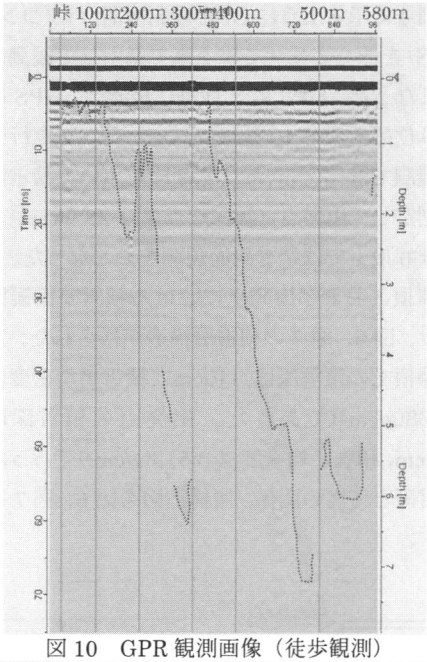


図 10　GPR 観測画像（徒歩観測）

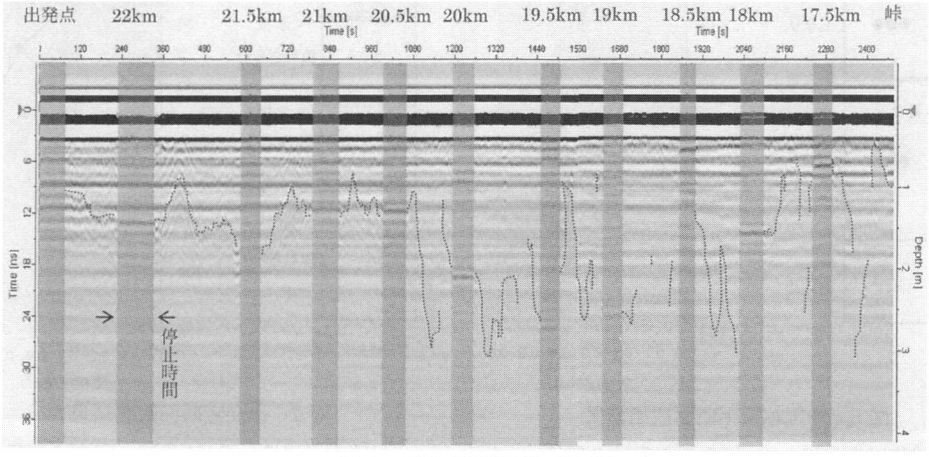


図 8　GPR 観測画像（往路）

図 14 に 2005 年、2006 年における積雪深とキロ程の関係を示す。20km から 18km 区間では 2005 年の方が、積雪が多かった

図 15 に峠から羅臼方向の積雪深を示す。峠から羅臼方向 600m 区間では最大積雪深 7.1m、平均積雪深 3.5m であった。

7．まとめ

·地中探査レーダーと GPS を組み合わせる事によって広範囲の積雪分布を得ることができた。

·峠からウトロ方向 5km 区間においては最大積雪深 3.4m、平均積雪深 1.5m となり、峠から羅臼方向 600m 区間では最大積雪深 7.1m、平均積雪深 3.5m であった。

·標高 600m 以上の山陰で積雪 2m 以上の吹き溜まり区間となり、峠付近の風の吹き抜ける地点では 1m 以下の吹き払い区間となっていたなど地形と対応していた。

謝辞

北海道開発局網走建設部の方々にはこの観測では全面的に協力して頂き、深く感謝の意を表します。

参考文献

松岡健一（2005）：16.4 地中探査レーダ,雪と氷の典,674-678.

山本竜也・松岡健一・成瀬廉二（2004）：地中探査レーダによる積雪内部構造と積雪水当量の推定,雪氷 66 巻,27-34.

Tiuri, M.E., Sihvola,A.H, Nyfors,E.B., and Hallikaiken,M.T., (1984):The Complex Dielectric Constant of Snowat Microwave Frequencies. IEEE Journal of Oceanic Engineering Vol OE-9, No 5,377-381.

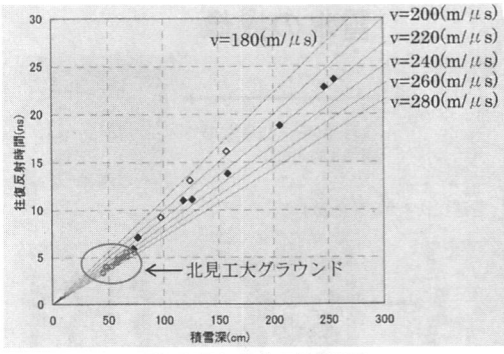


図 11　積雪深と往復反射時間
◇は標高 500m 以下
◆は標高 500m 以上

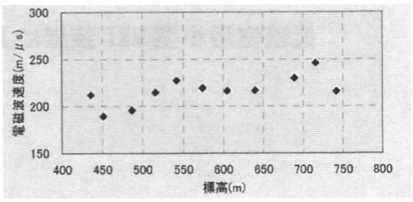


図 12　標高と電磁波速度

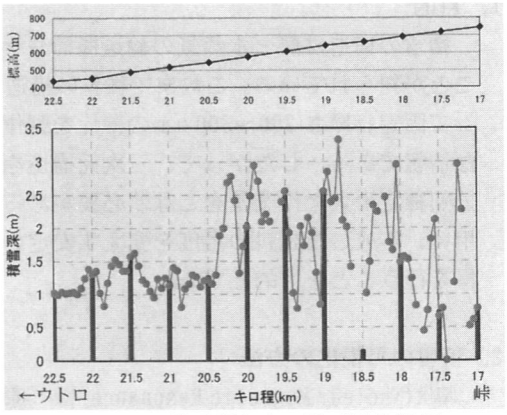


図 13　積雪深とキロ程（羅臼起点）
● は GPR による測定値
棒グラフは測深棒による実測値

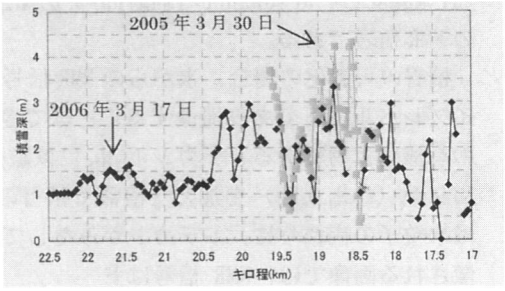


図 14　2005 年、2006 年における積雪深とキロ程

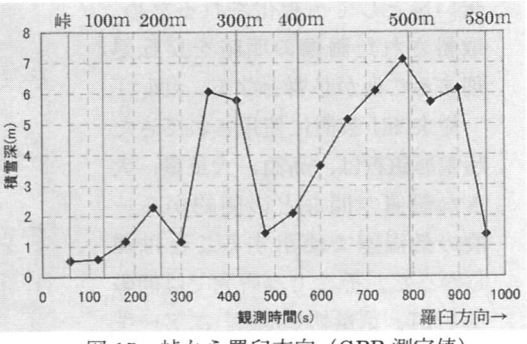


図 15　峠から羅臼方向（GPR 測定値）

低温室用小型 MRI 装置による三次元画像の取得　-その１-

安達聖（北海道教育大学大学院札幌･岩見沢校）
尾関俊浩（北海道教育大学岩見沢校）
拝師智之（㈱エム･アール･テクノロジー）

1. 目的

積雪の構造は熱・水蒸気の輸送機構やせん断強度などの力学的特性に大きく影響することが知られている。これまで積雪の構造観察は、1950 年代に開発された空隙をアニリンで固定し厚さ 200～300μm の薄片を製作していた。この方法で得られるのは二次元的な情報である。したがって、三次元構造を再構成するには片薄片を作成するため、技術の熟練と膨大な作業量をこなす必要がある。そこで本研究では低温室用小型 MRI 装置を用い、作成した試料の温度を変えず安定した低温（氷点下）での迅速な三次元データの取得を行うことを目的とする。

2. 積雪の可視化の方法

NMR（Nuclear Magnetic Resonance）は「原子核は静磁場の中で磁場の強さに比例した周波数で歳差運動を行う」という性質を利用し、原子核の位置における磁場の強さを計測する手法で、これに一定の磁場をかけることで位置情報を求めるイメージング法が MRI（Magnetic Resonance Imaging）である。一般に MRI の対象となるのはプロトンからの NMR 信号である。

積雪の可視化の場合、氷からの NMR 信号が微小であるため本実験での MRI 装置ではノイズレベル以下であり撮像することはできない。そこで浸透性がよく、融点が－12℃程の有機化合物であるドデカン $C_{12}H_{26}$ に核磁化の縦緩和時間 T_1 を短縮するために常磁性緩和試薬（$C_{15}H_{21}O_6Fe$）を加えた溶液で積雪の空隙をみたすこととした。したがって、NMR は氷粒子の代わりに、ドデカンがみたしている空間をイメージングすることとなる。撮像される画像では、NMR 信号はドデカンから得ているので積雪は暗い影として可視化されるため、取得された画像の明暗を反転処理することが必要となる。（図 1）

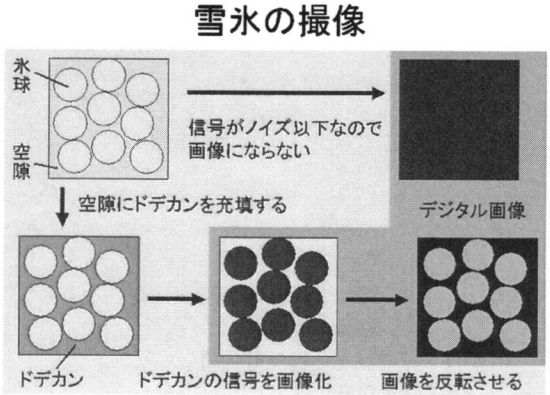


図 1　雪氷の撮像方法

従来 MRI 装置に使用されてきた超電導磁石は、高額、大重量、大きな設置空間などの制約から一般の低温室で使用することは難しかった。そこで本研究では静磁場 1.0T、重量約 350kg、エアーギャップ 50mm、磁場均一空間φ30mm の永久磁石磁気回路を用いることとした（図 2）。この磁気回路は

漏洩磁場が少ないため、磁気シールドの必要がなく1㎡以下のスペースで設置可能である。また、永久磁石であるため、低温寒剤の補充が不要でランニングコストがかからないというメリットがある。しかし、磁気回路の磁場の均一性は磁石の温度に依存するので、低温室で使用する場合には SHIM コイルを使用し磁場の均一性を確保することが必要になる(図 3)。撮像時間は、ボクセルサイズ 200μ㎥、イメージマトリクス 128^3、積算を4回行って約2時間ほどとなる。

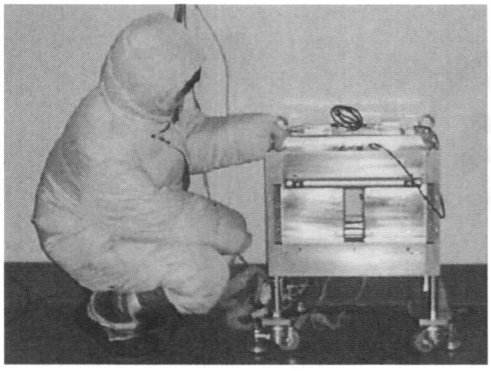


図2　低温室用小型 MRI 装置

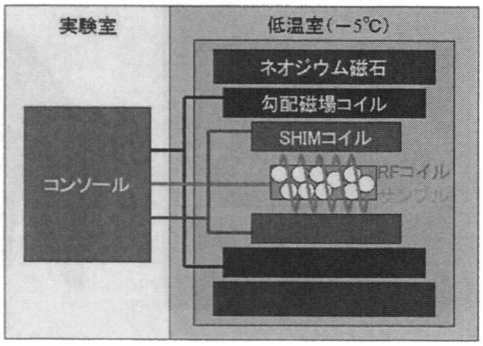


図3　低温室用小型 MRI 装置の概要

3. 撮像結果

医療用 MRI 装置では被験者の体温がわずかに上昇するという報告がある。本装置の撮像による温度上昇の影響を確かめるため、サンプルの温度変化を測定した。本実験装置でサンプルケースにアルコール温度計の先端を挿入しドデカンで満たしたものを撮像し、各計測時に RF コイルからサンプルを取り出し計測した。縦軸をサンプルの温度、横軸を計測時間として図4に表した。図4から、サンプルの温度は長時間撮像しても、低温室の室温−5℃とほぼ同じ値であり続けることがわかる。50〜150分の間にわずかに温度の上昇が見られるが低温室の冷却システムがファンを使用した対流式のため、室温の変化がサンプルの温度に影響したと考えられる。

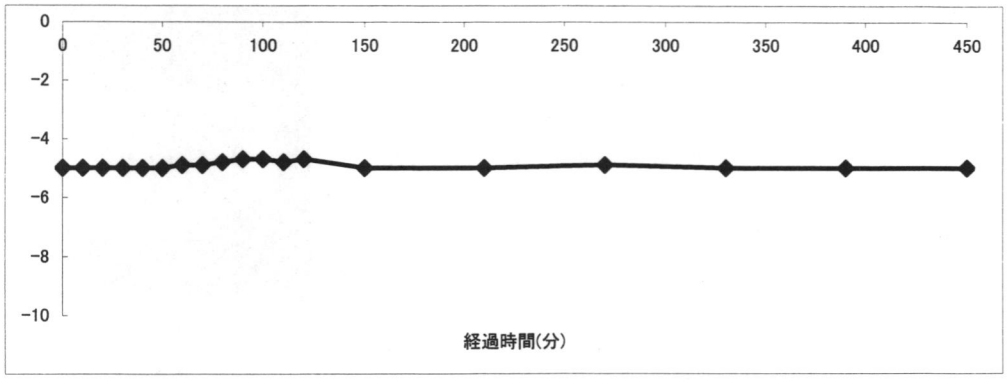


図4　撮像時のサンプルの温度変化

本研究で用いる RF コイルは、サンプルの形状による設定の変更やメンテナンスの利便性を追求し自作している。使用されるサンプルのサイズが小さいこと、静磁場に対して直行する軸をもつことからソレノイドコイルを採用している。

試験的なサンプルとして、オクラやコオロギなどの NMR 信号がそのものから得られものだけでなく、巻貝やアクリル製のネジなど NMR 信号を得ることができないサンプルを積雪と同様のドデカンでみたす方法によって撮像することに成功している(図 5)。

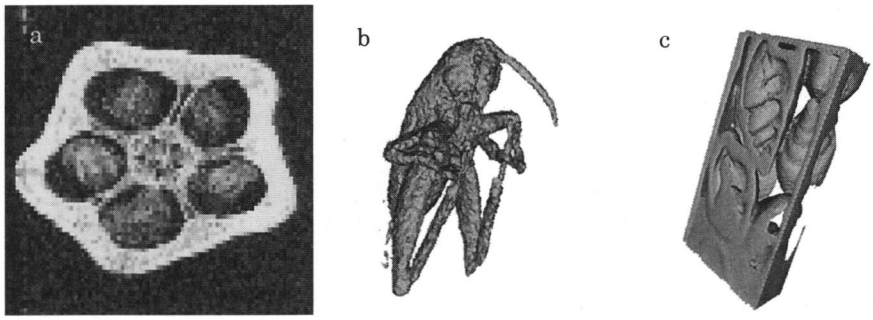


図 5　低温室用小型 MRI 装置で撮像した画像　(左から、a:オクラ、b:コオロギ、c:巻貝)

4. 今後の課題

現在は氷粒の三次元撮像を行っているが（図 6)、ゆがみやアーチファクトが見られ、三次元構造が正確に再現されていない（図 7)。今後は適切なシーケンスの選択、精度の高い RF コイルの製作、SHIM コイルによる磁場の補正を行い、画質の向上と撮像時間の短縮を目指す。また、積雪の可視化だけでなく、飛沫着氷内のブラインの可視化に向けて装置の開発を進める。

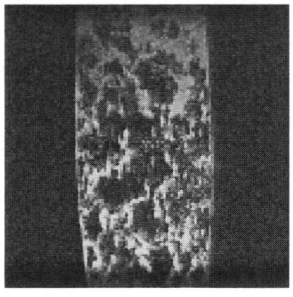


図 6　氷球の画像
(黒:氷球　白:ドデカン)

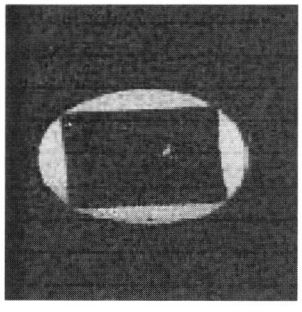


図 7　1 辺 1cm のアクリルキューブ撮像時のゆがみ

5. 参考文献

1)尾関　俊浩（2001）:核磁気共鳴影像法によるしもざらめ雪の可視化実験、寒地技術論文･報告集 vol.17,104-109

2)Ozeki T., Kose K., Haishi T., Nakatsubo S., Nishimura K., Hachikubo A., (2003): Three-dimensional MR microscopy of snow structures, Cold Reg. Sci. Tech., 37, 385-391.

3)MRI レクチャー　基礎から学ぶ MRI　日本磁気共鳴医学学会　教育委員会　編　犬伏俊郎：インナービジョン,pp187

4)NMR イメージング 2004 巨瀬勝美著：共立出版, pp214

5)日本工業規格「磁気共鳴画像診断装置-安全」(JIS Z4951:2004)

積雪の固有透過度と比表面積（２）

○荒川逸人[1)]，尾関俊浩[2)]，川田邦夫[3)]，成瀬廉二[4)]，河村俊行[5)]，河島克久[6)]，和泉薫[6)]

1)野外科学株式会社/新潟大学大学院自然科学研究科　2)北海道教育大教育学部岩見沢校
3)富山大学極東地域研究センター　4)NPO 法人氷河・雪氷圏環境研究舎
5)北海道大学低温科学研究所　6)新潟大学災害復興科学センター

１．はじめに

積雪の物性はその微細構造に依存している．例えば，積雪の充填構造は力学的性質を支配しており，雪崩発生機構に関わっている．一方，雪質は積雪観測者が積雪の微細構造を判別した結果として付けられる分類名であり，積雪の構造を表しているといえるが，定量的評価はされていない．雪質を定量的に表すことができれば，主観性が無くなり変態の進行程度などの指標化が期待できる．

荒川（2004）は，固有透過度 k と単位質量あたりの比表面積 *SSAM*（Specific Surface Area per unit Mass）によって雪質分類をおこなったが，その測定数は少なく不十分である．

そこで本研究では，(1)自然積雪の固有透過度と比表面積による雪質分類図（荒川，2004）に 2005/06 冬期観測結果を追加して更新し，(2)図中の雪質の物理的意味を解明する足掛かりとして，画像解析から求めた粒径や間隙幅が固有透過度，比表面積および硬度とどのような関連性がみられるか整理したので，これらを報告する．

２．2005/06 冬期観測

表 1 は 2005/06 冬期観測概要である．主にこしもざらめ雪，こしまり雪，しまり雪の測定をすることができた．硬度はプッシュゲージを利用して測定した（竹内ら，2001）．歌登町中央では硬度の測定をおこなっていない．

表１　2005/06 冬期観測概要

k:固有透過度，SSAM:比表面積，H:硬度
＋:新雪，□:こしもざめ雪，／:こしまり雪，●:しまり雪

場所	観測日	積雪深	主な	測定項目		
		(cm)	雪質	k	SSAM	H
歌登町 中央	1月18日	88	＋＋	○	○	×
	2月8日	92	□□			
蘭越町 湯本温泉	2月23日	390	／／ ●●	○	○	○
厚真町 幌向	2月24日	65	□□	○	○	○
立山町 室堂	4月21日 4月22日	850	／／ ●●	○	○	○

３．測定方法

固有透過度 k は通気度 B と気体の粘性係数 η によって次式のように表されるので，B を測定することによって k を求めることができる．

$$k = B\eta \quad \cdots\cdots(1)$$

図 1 は通気度測定の概念図である．Shimizu（1970）と同様の二重椀式通気度計を製作した．これは試料の中心部を測定範囲とし，試料縁部を測定範囲から除外できる利点がある．バルブ 1 と 2 を調整し差圧計 1 の値を 0 にすることよって試料外側と内側の気圧差を無くし，測定領域内の流線を上下に保つことができる．

積雪に通気させた後，流量計から流量 Q ,差圧計 2 から大気圧との差 ΔP を読み取り，次式より通気度 B を得る．

$$Q = BA(\Delta P / Ls) \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに，A は試料の断面積（測定領域），Ls は試料の長さである．

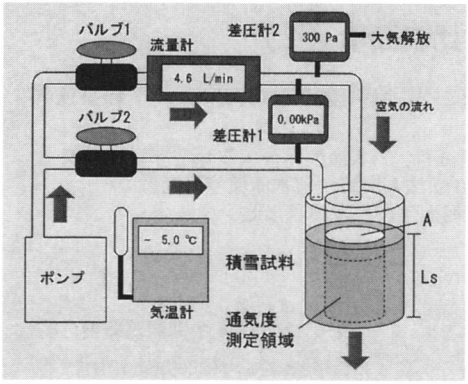


図 1　通気度測定概念図

一方，温度 T における空気の粘性係数 η は，ある温度 T_0 の粘性係数 η_0 が既知ならば，Sutherland の式で求められる．空気の場合，Sutherland の定数 C は 117 であり，$T_0 = 293$(K) のとき，$\eta_0 = 18.2\times10^{-6}$(Pa·s)である．

$$\eta = \eta_0 (T_0 + C)(T + C)^{-1}(T / T_0)^{3/2} \quad .....(3)$$

比表面積，粒径，間隙幅は画像解析によって求めた．画像解析をおこなうためには，片薄片試料の作成が必要である．荒川(2004)に従い，フタル酸ジメチルを用いて積雪を固定し，片薄片を作成した．雪粒子と間隙部分を区別するために油性染料のスダンブラック B によって間隙部分を着色した．通気度との関連をみるために，片薄片は空気の流線に対し垂直な水平面で，上から面を観察する方向とした．

比表面積の算出は Smith & Guttmann の方法を用いた．次式のように，単位体積あたりの比表面積 *SSAV*（Specific Surface Area per unit Volume）は走査線の総延長 L と雪粒子界面との交点の数 N から求められる（成田，1969）．

$$SSAV = 2N / L \quad .....(4)$$

粒径および間隙幅は Run-Length 法によって求めた．Run-Length 法とはある濃度を持った直線の出現頻度を走査線の方向毎に求め，単純なテクスチャ特徴量を算出する方法である（図 2）．この方法によって求まる長さの平均値は走査方向における雪粒子の平均幅となる．これを間隙に対しておこなえば，平均間隙幅が求まる．これ以降，平均粒径，平均間隙幅をそれぞれ粒径，間隙幅と呼ぶ．

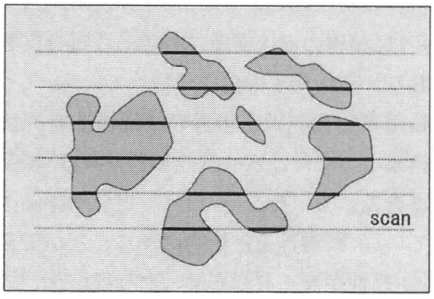


図 2　Run-Length 法

4．観測結果と考察

4-1．雪質分類図の更新

図 3 は，固有透過度と比表面積の測定結果による雪質分類図である．図中の新雪（＋印），こしまり雪・しまり雪（×印）は，Sommerfeld *et al.*（1984）のデータを引用した．

図では新雪～しまり雪をひとつの領域とし，こしもざらめ雪，ざらめ雪を区分することができた．この区分によって次のような可能性を考えることができる．(1)新雪からしまり雪にかけては *SSAM* の減少に伴い k が減少し，等温変態の過程を表している可能性がある．(2)また，こしもざらめ雪やざらめ雪は，*SSAM* の減少に伴い k が増加し，水蒸気輸送や濡れによって，粒子が成長する過程を表している可能性がある．しかし，(1)(2)とも単一の積雪層の変化を追跡しているわけではないため，今後確認が必要である．

ざらめ雪の領域の下部にある，こしもざらめ雪としまり雪の 2 点は，室堂における測定値で積雪の下方にあったものである．こしもざらめ

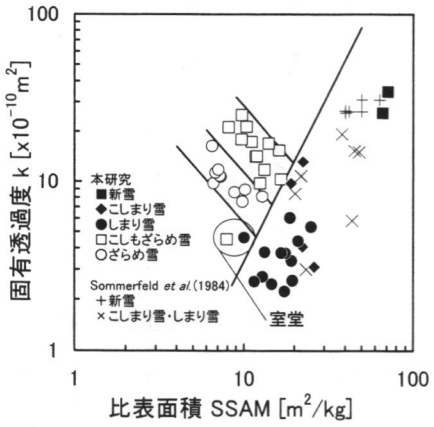


図3　固有透過度と比表面積SSAMによる雪質分類図．新雪（＋），こしまり雪・しまり雪（×）は，Sommerfeld *et al.*(1984)から引用．

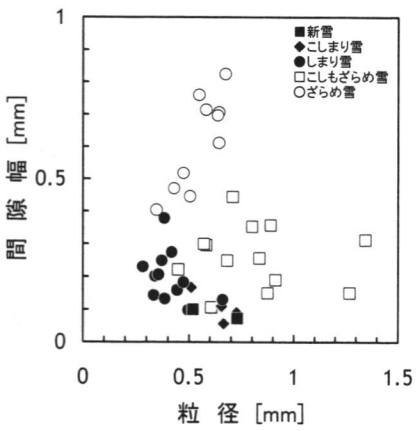


図4　雪質別の粒径と間隙幅との関係

雪はざらめ雪がこしもざらめ化したものであった．また，しまり雪はk=4.6×10^{-10}m^{2}であり，この上方の積雪深 250cm～650cm のしまり雪の k=2.2～2.7×10^{-10}m^2 よりも大きい値であった．現地観測時にはわかりにくかったが，こしもざらめ雪化していた可能性が考えられる．

4-2．粒径と間隙幅について

図 4 は画像解析によって求められた粒径と間隙幅の関係を示したものである．相対的な傾向としては，ざらめ雪は粒径が大きく間隙幅が小さい．こしもざらめ雪は粒径が小さく間隙幅が大きい．しまり雪は粒径，間隙幅ともに小さい．これらは一般に観測する雪質の傾向と一致する．一方，新雪とこしまり雪の粒径はしまり雪よりも小さかった．現地観測では新雪結晶は枝張りが 2～3mm の樹枝状結晶であったことから，新雪やこしまり雪の見た目の大きさでなく，結晶の枝の太さを反映している粒径となっているといえる．

4-3．粒径・間隙幅と物性値との関係について

図 5～10 に粒径・間隙幅と物性値（固有透過度，比表面積，硬度）との関係を整理した．比表面積は*SSAV*で比較した．*SSAM* に比べると，*SSAV* は単純に表面積の大きさを比較できるためである．固有透過度，比表面積および硬度は，粒径よりも間隙幅の方が雪質によるバラツキが少ない．多孔質体としての形状に依存する固有透過度および比表面積は，間隙幅からの推定が可能であることが考えられるが，測定数が充分でないため今後の課題とする．

5．まとめと今後の課題

固有透過度と比表面積による雪質分類図を更新した．雪質区分線を物理的意味を解明するために粒径と間隙幅を求めたところ，粒径との比較ではバラツキがみられるが，間隙幅との比較では粒径に比べてバラツキが少ない傾向がみられた．これは粒子形状に比べ間隙形状が複雑でないことが考えられるが，測定数の充実による解析が必要である．

今後は，雪質分類図の未測定領域の測定と，雪質変態の追跡をおこない，更に解析を進める予定である．

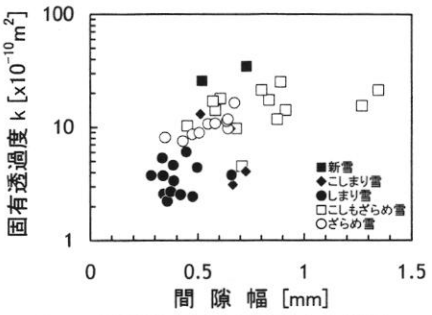


図 5　間隙幅と固有透過度との関係

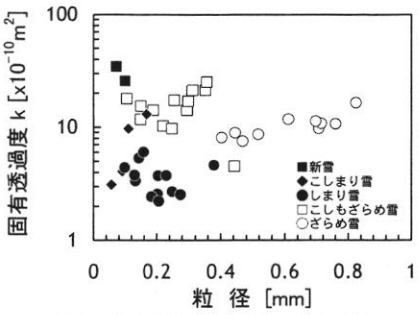


図 8　粒径と固有透過度との関係

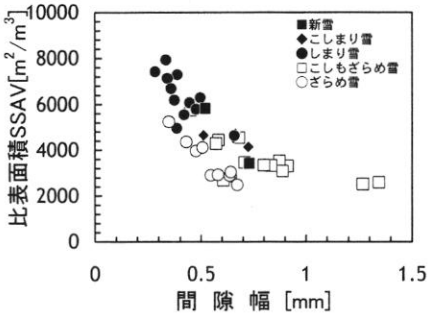


図 6　間隙幅と比表面積 SSAV との関係

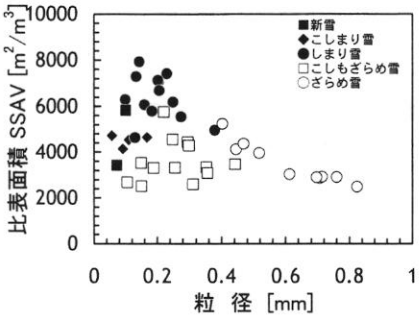


図 9　粒径と比表面積 SSAV との関係

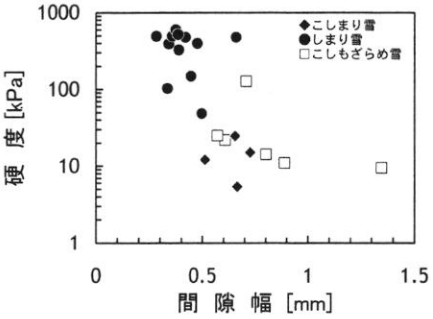


図 7　間隙幅と硬度との関係

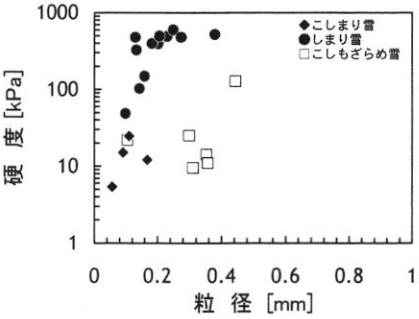


図 10　粒径と硬度との関係

参考文献

荒川逸人, 2004:積雪の固有透過度と比表面積, 寒地技術論文・報告集, Vol.20, 108-112

成田英器, 1969：積雪の比表面積の測定 I, 低温科学（物理篇）, 27, 77-86

Shimizu, H., 1970: Air Permeability of Deposited Snow, Contributions from the Institute of Low Temperature Science, A-22, 1-32

Sommerfeld, R. A. and Rocchio,J .E., 1984: Permeability Measurement on New and Equitemperature Snow, Water Resources Reserch , Vol.29(8), 2485-2490

竹内由香里・納口恭明・河島克久・和泉薫, 2001：デジタル式荷重測定器を利用した積雪硬度の測定, 雪氷 63(5), 441-449

衛星搭載赤外放射計を用いたサロマ湖の結氷状況の推定

内田圭一，舘山一孝，榎本浩之（北見工業大学）　白澤邦男，河村俊行（北大低温科学研究所），

1. はじめに

サロマ湖は面積が 152km²とわが国で 3 番目に大きい湖で，カキやホタテの養殖が盛んである．この豊かな水産資源を育んでいる周辺環境の中で，冬期にサロマ湖が結氷することが重要な役割を担っている．通常，サロマ湖は冬期に全面結氷するが，近年は全面結氷しない，あるいは全面結氷しても氷厚が薄く期間が短いことが漁業関係者から報告されている．

サロマ湖の結氷状況を定量的に把握するため，衛星リモートセンシングの活用が期待されている．国内における衛星データを用いた湖の結氷状況の調査は，野中ら[2003，2004]が湖の中心のある一点から完全に雪氷がなくなる日（解氷日）を衛星データから推定し，湖全体の結氷期間の経年変化を調査した例があるが，湖全体の結氷状況を定量的に調査した例はない．本研究は，サロマ湖のような比較的広域な湖全面の結氷状況の経年変化を調べるために，通常外洋で用いられている衛星リモートセンシングの手法に着目し，将来的にサロマ湖結氷調査の自動処理が可能か検証した．

2. 使用したデータ

北見工業大学地域共同センターでは，1996 年 3 月から現在に至るまで気象衛星 NOAA(米国海洋大気庁:National Oceanic and Atmospheric Administration の気象衛星)に搭載されている可視近赤外放射計 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)で測定された表面アルベド（ch1,ch2），近赤外放射輝度温度(ch3)，赤外放射輝度温度(ch4,ch5)，のデータを受信し蓄積している．本研究では NOAA12 号，14 号，16 号の受信データを用いてサロマ湖の結氷状況の調査を行った．本研究で使用した赤外画像は，AVHRR と AQUA 衛星 MODIS の可視チャンネルから，現地時間 12 時～16 時の範囲で晴天日を判断し抽出したものである．解析期間は 1997 年から 2005 年の 1 月から 4 月まで，およそ 10 日間隔で解析した．

検証用データとして，①1998 年～2003 年におけるサロマ湖栄浦沖の湖氷上（図 1 参照）で連続観測した「表面温度データ」（放射温度計で実測．北大低温研より提供），②AVHRR と MODIS の「可視画像から判断した結氷面積」を用いた．

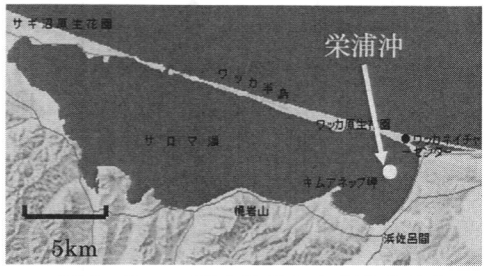


図 1：サロマ湖全体図と氷上観測地点

3. 解析方法

大気の窓である AVHRR の *ch4,ch5* の輝度温度を利用して，式(1)より大気補正済みの海表面温度(*SST*：Sea Surface Temperature，[NESDIS, 1998])，式(2)より雪氷面温度(*IST*：Ice Surface Temperature，[Key *et al.*, 1997])を求めた．

$$SST = a_0 \cdot ch4 + b_0 \cdot (ch4\text{-}ch5) + c_0 \cdot [(ch4\text{-}ch5) \cdot (\sec\theta - 1)] + d_0 \quad (1)$$

$$IST = a_1 + b_1 \cdot ch4 + c_1 \cdot (ch4\text{-}ch5) + d_1 \cdot [(ch4\text{-}ch5) \cdot (\sec\theta - 1)] \quad (2)$$

ここで，

θ：衛星天頂角

ch4,ch5：輝度温

a_0~d_0：NOAA の号数や昼・夜で異なる係数

a_1~d_1：NOAA の号数や ch4 の輝度温度で異なる係数

これらの 2 つの推定式を用いて定量的にサロマ湖の結氷面積を求めた．

4. 解析結果

4-1. 実測データの比較

はじめに式(1)，(2)より，推定された表面温度と氷上に設置した放射温度計のデータを比較した（図 2 参照）．図 2 では SST と IST それぞれを NOAA の号数別に示している．図 2(a) を見ると，氷上の放射温度計に比べて SST では温度が高めに，IST では温度が低めに推定されていることがわかった．これらのずれには系統性が見られ，SST，IST にそれぞれ－6℃，+4.7℃のオフセットを与えて補正すると，放射温度計との相関係数が，SST : 0.403, IST : 0.437 となり，良い一致が見られるようになった（図 2(b)参照）．通常 SST は未結氷の海表面温度，IST は雪氷面温度に用いられるが，両者共に結氷・未結氷に関わらず放射温度計と相関が見られることがわかった．SST と IST の推定式の違いは係数だけなので，結果として似たような値を示したが，SST よりも IST の方が放射温度計との相関が高く，結氷面積の推定に適していることがわかった．

また，IST に比べて SST では推定値のばらつきが大きいことから，なぜ差が生じるのかを調べた．その結果，図 3 に示すように SST では NOAA の号数によって IST の系統的に差が生じることがわかり，NOAA12 号と 16 号のデータを用いてサロマ湖の観測に用いる場合，NESDIS で提供している係数 d_0 の値を補正する必要があることがわかった．これらの結果から，サロマ湖の結氷状況の調査には IST を用いることが適していることが示唆された．

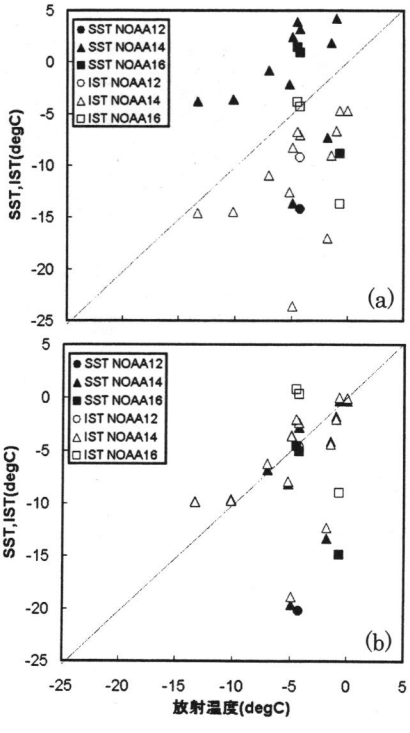


図 2　式(1), (2)より，推定された表面温度（SST, IST）と氷上に設置した放射温度計データの比較． (a)補正前，(b)補正後．

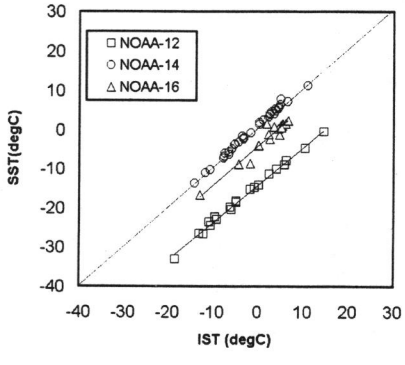


図 3　NOAA の号数別に示した IST と SST の比較．

4.2 1997年～2005年の結氷状況

サロマ湖の湖水（塩分約 32‰）の結氷温度 -1.8 度を閾値として，補正後の SST と IST より求めた結氷面積の精度について議論する．

図 4 は(a)サロマ湖近傍の常呂地点のアメダス・気温データより算出した積算寒度，(b)衛星可視画像より判読した結氷面積，(c)補正 SST で求めた結氷面積，(d)補正 IST で求めた結氷面積をそれぞれ示している．(b)可視画像から判読した結氷面積は，閾値を用いた定量的な判別ではなく，主観的な要素が強く様々な欠点がある．例えば，結氷初期における薄氷の有無の判別が困難であり，薄い霧がかかると判断が難しい．しかし，表面に積雪がある十分に厚い氷の判別は容易であり，結氷最盛期及び融解期の判別には有利な点がある．この可視画像によって求めた結氷面積の時系列と(a)積算寒度を比較すると，全面結氷していない 2002 年と 2004 年は積算寒度が 400℃・日に達しておらず，全面結氷期間が長かった 1998，2000，2001，2003 年は積算寒度が 600℃・日を超えていたという共通点が見られ，可視画像から推定した結

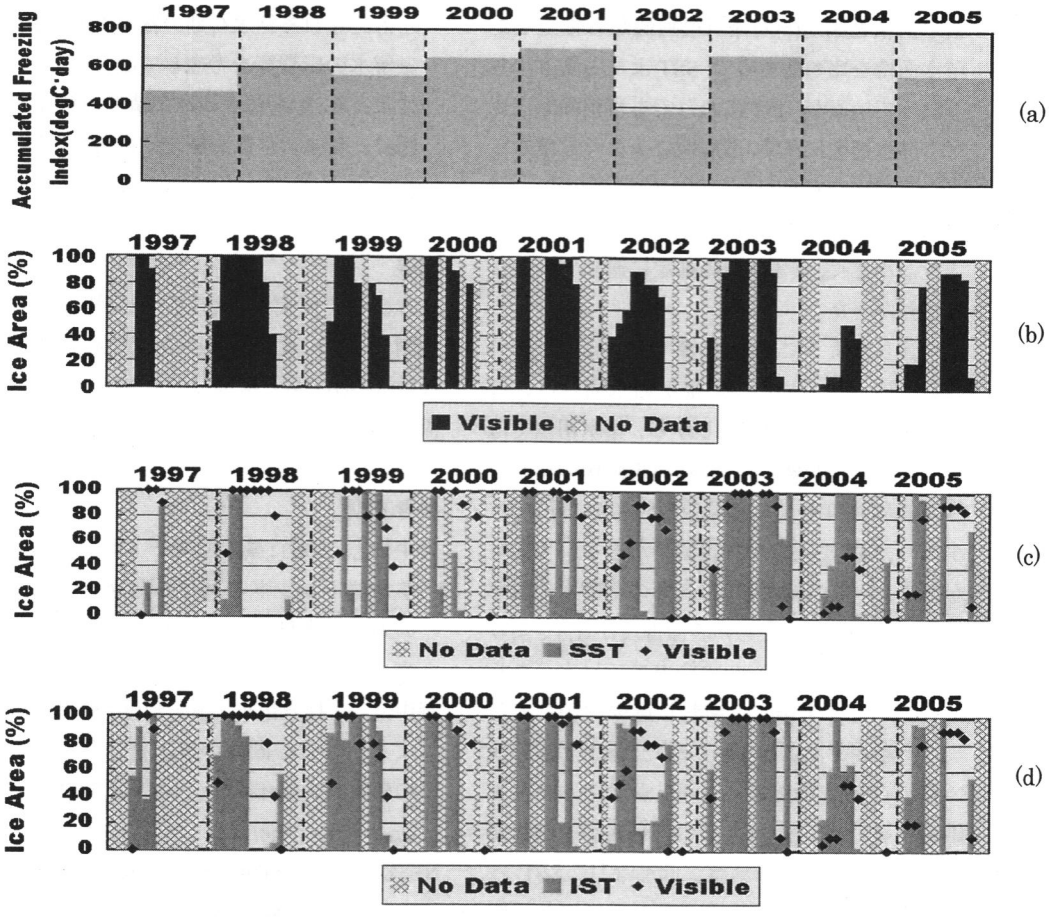


図 4　1997 年 1 月 2005 年 4 月までの推定したサロマ湖結氷状況．斜線部分はデータの欠測を示す．(a)サロマ湖近傍の常呂地点のアメダス・気温データより算出した積算寒度，(b)衛星可視画像より判読した結氷面積，(c)補正 SST で求めた結氷面積，(d)補正 IST で求めた結氷面積

氷面積は信頼できることが確認できた．以下，この可視画像による結氷面積を信頼できる検証データとして議論する．

図 4(b)より，過去 9 年間の年平均結氷面積は 66.9(%/年)で，最大は 2003 年の 85.7(%/年)，最小は 2004 年の 44.1(%/年)であった．図 4(c)は補正 SST から推定した結氷面積と可視画像から推定した結氷面積を比べたもので，結氷初期である 1 月では SST の方が結氷面積を多く見積もり，3 月中旬～4 月では少なく見積もる傾向が見られた．図 4(d)は補正 IST から推定した結氷面積と図 4(c)同様可視画像から推定した結氷面積を比べたもので，SST よりも差は小さくなっているが，IST においても可視画像に比べて結氷初期に多く，融解期に少なく見積もっている傾向が見られた．以上の結果から，4-1 節で述べたように，IST の方が SST よりもばらつきが小さく，結氷状況の推定に適していることがわかった．

前述したように，可視画像で全面結氷していると判断されている時の推定結氷面積は比較的精度が高いといえる．しかし，結氷初期では薄い氷の判別が難しいため，可視画像の結氷面積は実際よりも少なく見積もっている可能性があり，SST や IST の推定結果が正しい可能性がある．一方，融解期では表面の融解水や融解した積雪の存在のため，表面温度が-1.8℃よりも高くなってしまい，SST や IST では氷があるにも関わらず未結氷と判断し過少評価してしまう問題があることがわかった．地上付近の薄い霧の存在は高分解能の可視画像でも存在を確認することが難しい．この薄い霧が未結氷湖面に発生すると表面温度が低くなり，SST と IST で推定した結氷面積が過大評価になる問題点も見られた．

5. まとめ

1. 氷上に設置した放射温度計の観測との比較から，AVHRR の赤外チャンネルから SST，IST を推定した結果，IST の方が放射温度計と高い相関が見られた．今後の課題として，放射温度計の信頼性について検討するとともに，放射温度計を多点で観測し，IST との比較検討をさらに進める．
2. 可視画像から判別した結氷面積と SST，IST から推定した結氷面積は，結氷最盛期の 2 月～3 月上旬では良い一致が見られ，結氷初期の 1 月では SST，IST が多く見積もり，融解期の 3 月中旬～4 月で少なく見積もる傾向があった．今後の課題として，エラーの原因と考えられる結氷初期の霧の影響，融解期の融解水の影響等を考慮して改良を加え，IST による結氷/未結氷の推定精度の精度向上を図り，将来の自動判別化に目指したい．

謝辞

本研究で使用したサロマ湖栄浦沖放射温度実測データは北大低温科学研究所より，衛星画像は MODIS より提供して頂きました．ここに深く感謝の意を表します．

参考文献

野中崇志，2003：衛星リモートセンシングによる水温トレンドを利用したユーラシア大陸の湖の解氷日推定．　東京工業大学，学位論文

野中崇志・松永恒雄・梅干野晃：衛星データによるバイカル湖内の解氷日分布とハンカ湖の解氷日の経年変化．日本雪氷学会誌 Vol.66, No.5　581－590

NESDIS, 2003: NOAA polar orbit date users guide November 1998 revision.

Key, J., Collins J., Fowler, C., and Stone, R., 1997. High-latitude surface temperature estimates from thermal satellite date. Remote Sens. Environ., 61, pp. 302-309

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

戸城亮[1]，榎本浩之[1]，舘山一孝[1]，豊田威信[2]，宇都正太郎[3]
[1]北見工業大学，[2]北海道大学低温科学研究所，[3]海上技術安全研究所

1. はじめに

2006年2月中旬にオホーツク海北海道沿岸において、海上保安庁のアイスパトロールの一環として砕氷船「そうや」による海氷観測が行われた。可搬型マイクロ波放射計（MMRS：Microwave/Milliwave Radiometer System）による観測は新しい試みであり、今回は動作確認と基礎データ取得を目的として観測を行った。MMRS で使用した周波数は海氷分布観測に使用されている 36GHz で、この周波数を用いて海氷および海水表面から放射されるマイクロ波を連続観測した。マイクロ波輝度温度は海氷および海水表面からの射出率によって決定されている(Carsey, 1992)。従来は衛星搭載のマイクロ波放射計データと現場の目視観測、EM 観測などのデータと比較が行われていた。今回は、これらと MMRS によるマイクロ波放射の比較が出来るようになった。

2. SIRAS-06 の概要、目的

巡視船「そうや」による海氷観測は、海上保安庁の協力のもとで毎年2月に実施されており、海上保安庁との共同観測が本格的に始まってから、今年で 11 年目を迎えた(館山.,2003:北海道の雪氷,pp7-10)。今年の観測は、リモートセンシングの現場検証データを得るために、海氷に関わる基礎データを採取することを目的とし、航海期間中の 2006 年 2 月 11 日～2 月 15 日までの計 5 日間にわたって実施された。今年は氷況が全体的に比較的緩かったこともあり、ほぼ予定された航路に沿って順調に航行した（図 1）。参考に期間中の 2006 年 2 月 13 日の気象庁 HP に公開されている RADARSAT 画像を図 2 に示す。

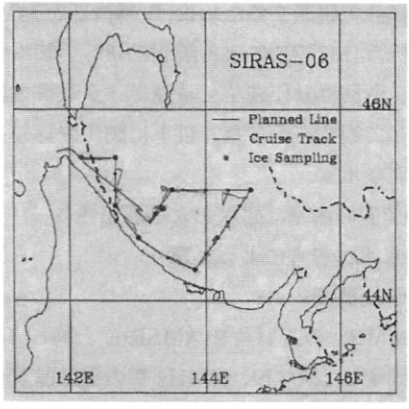


図 1　SIRAS-06 の観測ルート

図 2　観測期間中の RADARSAT 画像
（2006 年 2 月 13 日、 気象庁 HP）

3. MMRS 観測

・観測装置

今回使用した可搬型マイクロ波放射計 MMRS を図 3.a)に、仕様を表 1 に示す。
また、MMRS の架台にビデオカメラ、放射温度計、2 軸傾斜計を取り付け、同時観測を行った。

・観測目的

オホーツク海における海氷のマイクロ波特性の調査を行うことが目的である。本観測は将来的に海氷の厚さや面積、移動を衛星搭載マイクロ波放射計（AMSR-E、SSM/I）から高精度で観測するために、現場検証を MMRS で行う。MMRS による観測は新しい試みであり、今回は動作確認と基礎データ取得を目的として観測を行った。以下に動作確認の主な内容を示す。

(1)装置の耐寒、耐水および耐塩性

(2)着氷、着雪による影響

・観測概要

MMRS の入射角を AMSR-E と同じ 55 度で固定し（図 3.b)、36GHz 帯の垂直偏波を用いて、海氷および海水表面から放射されるマイクロ波を連続観測(1 秒毎)した。

表 1.　MMRS 装置の仕様

外寸	680×540×250(mm)
質量	18kg
周波数帯	36.5GHz±1GHz
偏波	垂直/水平偏波 （今回は垂直偏波のみ使用）
観測温度	3K～340K
温度分解能	0.5K
耐久温度	-5度～40度
耐久湿度	80%以下
空間分解能	2.5m （観測位置までの距離が20mの時）
三菱電機特機システム株式会社製造	

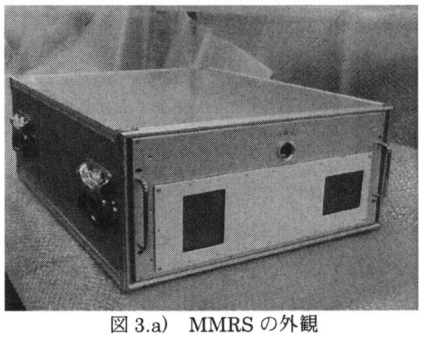


図 3.a)　MMRS の外観

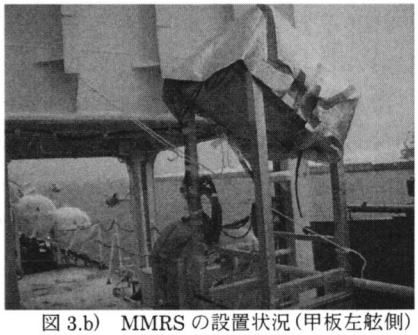


図 3.b)　MMRS の設置状況（甲板左舷側）

4. MMRS 観測結果

4.1 MMRS 観測結果

今回の観測期間内における MMRS での観測結果を図 4 に示す。図 4 は縦軸が輝度温度(K)で横軸が時間である。また、図中の写真は海面状態を示す。観測期間内において 2 月 11 日は 1 日での輝度温度の変動が最も大きく、最大 243K、最小 143K であった。一方、変動が最も小さかったのは 2 月 14 日であり、はじめ数時間の輝度温度の大きな変動を除くと 180～190K の間を推移している。この両日については 4.2 節にて詳しく解説する。
その他 2 月 12、13、15 日は 140～200K の間を推移しており、海面状態は海水面および新生氷であったと推測できる。輝度温度の絶対値は全体的に低いが海面の海氷/海水状態を判別することは可能であると思われる。

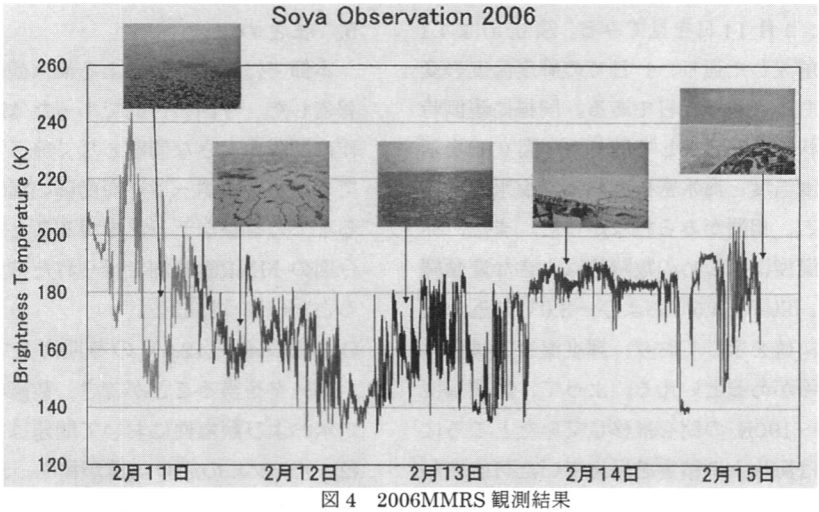


図4　2006MMRS 観測結果

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

2 月 11、14 日について詳しく解説する。まず、2 月 11 日をみてみる。図 5.a)は MMRS による輝度温度、図 5.b)は EM による海氷密接度、海氷厚、図 5.c)は赤外放射温度を示す。縦軸は図 5.a)が輝度温度(K)、図 5.b)は海氷密接度(%)および海氷厚(m)、図 5. c)は赤外放射温度(℃)であり、横軸は時間である。図 5. a)は 4.1 節でも解説した通り、1 日での輝度温度の変動が最も大きかった日である。観測時の海氷状態の参考として図 5. b)、図 5. c)を示す。輝度温度と海氷密接度および海氷厚を比較すると、正の相関があることがわかる。また、赤外放射温度は海水面では海氷の結氷温度である－1.8℃付近と高く、海氷面では－6.0～－2.0℃の間で変動しており、輝度温度とは負の相関関係があるといえる。よって、海氷厚が 0.6m 未満の海氷および海水面に対して輝度温度は海面状態を捉えていることがわかる。

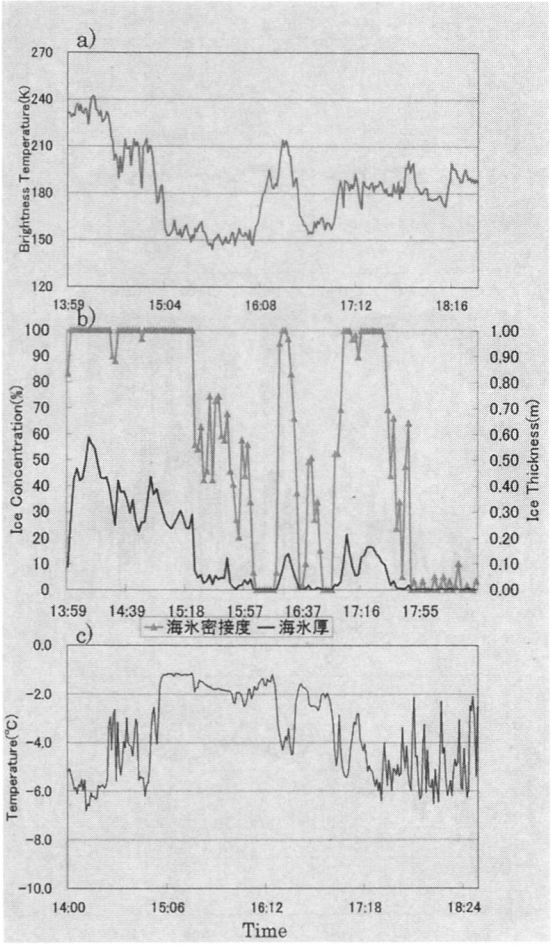


図5　2006 年 2 月 11 日
a)MMRS による輝度温度
b)EM 法による海氷密接度、氷厚
c)赤外放射温度

次に、2月14日を見てみる。図6. a)は4.1節でも解説した通り、1日での輝度温度の変動が最も小さかった日である。同様に観測時の海氷状態の参考として図6. b)、図6. c)を示す。輝度温度と海氷密接度および海氷厚を比較すると、相関がみられなかった。また、赤外放射温度ははじめの数時間は大きな変動輝度あり、以降－4.5℃および－3.0℃付近と安定した数値を示しており、輝度温度とは負の相関関係があるといえる。よって、輝度温度が180～190Kの間を推移していたところにおいては海氷上の積雪を捉えていた可能性が高い。

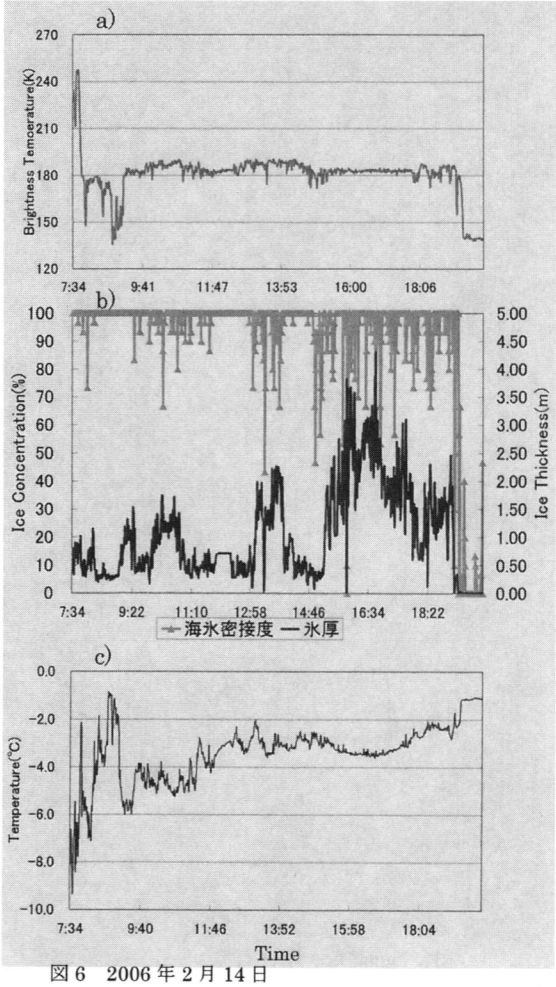


図6　2006年2月14日

a)MMRSによる輝度温度

b)EM法による海氷密接度、氷厚

c)赤外放射温度

5. まとめ

本節ではMMRSによる海氷観測について報告した。今回の目的であったMMRSの動作確認等を大きな問題もなく終了することができ、かつオホーツク海南部の海氷分布を知る上での有益なデータを得ることができた。今回のMMRS観測で得られた結果をまとめると次のようになる。

(1)最低気温－12.1℃の冬期海上で連続してデータを得ることができ、装置の耐寒、耐水および耐塩性において問題はなかった。

(2) ケーブルの周りに雪が積もったとき、接触不良が生じたときがあった。今後、接続部の改良が必要である。

(3) 海氷厚が0.6m未満の海氷および海水面に対して輝度温度は海面状態を捉えていた。

(4) 海氷上に積雪がある場合、輝度温度は海氷上の積雪を捉えていた可能性が高い。

今回のMMRS観測では1点校正であったためデータノイズが20K程度あったが、現在は2点校正であり、データノイズは1K以内に収まっている。

今後は、衛星データの検証のためにAqua搭載のAMSR-Eデータなどとの比較検証を行う。

謝辞

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

参考文献

Carsey .Frank D .,1992: Microwave Remote Sensing of Sea Ice, pp50

温度差表示装置による演示実験

中山　雅茂，矢作　裕
釧路市こども遊学館

はじめに

教育実験，とくに演示用として有効な温度差表示装置を考案し実用化した．ダイオードに一定の電流を流せば-2mV/℃程度の温度係数を持つ温度センサーとして使うことができる．電流を一方向にしか流さない性質をもつダイオードは，電子回路に多用されているため種類も多く安価でもある．温度センサーとしては応答のよいものが必要になるが，微小な形状のものも簡単に入手できる．温度あたりの出力が若干低いのが温度センサーとしては難点であったが，現在では集積化された高機能の演算増幅器の入手も容易になってこの問題も解決できる．このダイオード・センサーと増幅器による，微小な温度差を表示する教育実験に適した装置を紹介する．

温度差表示装置の概要

製作した表示装置は，直径約1.5mm×長さ約2mmの2つのダイオード（写真1）をセンサーとして，2点の微小な温度差を高感度に検知し，その結果をセンサーに対応する2個の発光ダイオードによって表示する．検知結果の高温側を表示する発光ダイオードつきの回路部分（写真2）と温度センサーとは分離されているので，センサーを対象物に取り付けて行う実験なども容易である．また，回路部分の裏面にはマグネットシートがとりつけられているので，黒板などに貼り付けた状態で演示実験を行うこともできる．この部分の形状は，大略3cm×3cm×30cmの棒上である．電源として9V乾電池1個が内蔵されている．図3は回路の詳細である．

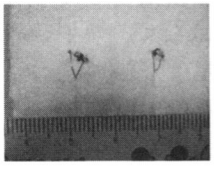


写真1　センサー部

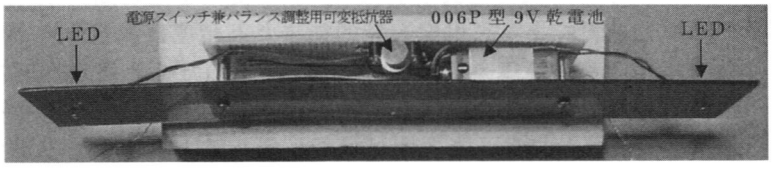


写真2-1　検知結果表示用LED及び電源内蔵回路部（上面）

使用例「空気の断熱圧縮・膨張」

温度センサー部分は図1，写真3のように2本の25mlプラスチック製注射器の中に納められている．温度センサーを収納し先端を封じた2本の注射器を写真4のように垂直に設置し，一方のピストンを押すことにより内部の

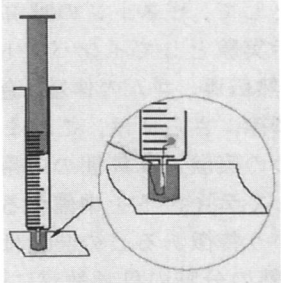


図1　センサーを封じた注射器

写真3　注射器内のセンサー

空気を圧縮する．圧縮後，約１秒で圧縮したほうの注射器内の温度センサーに対応しているLEDが点灯する．逆に，一方の注射器のピストンを引くことにより内部の空気を膨張させると，圧縮の際とは逆のLEDが点灯する．放置すれば消灯して空気の温度はもとの状態にもどる．このように，断熱圧縮または断熱膨張による空気のわずかな温度変化を瞬時に検知できることができ，温度差に関する多くの実験を展開することができる．

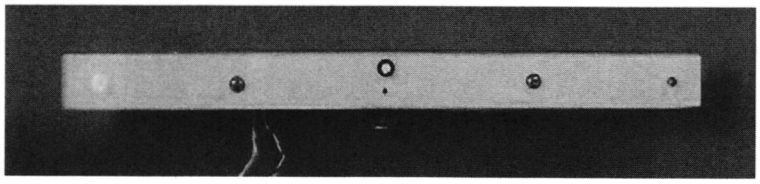


写真 2-2　温度差表示装置（正面）

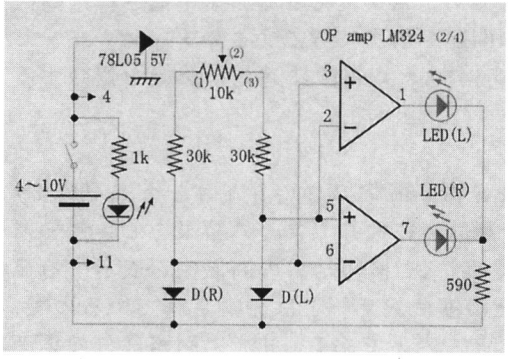


図３　温度差表示装置の回路

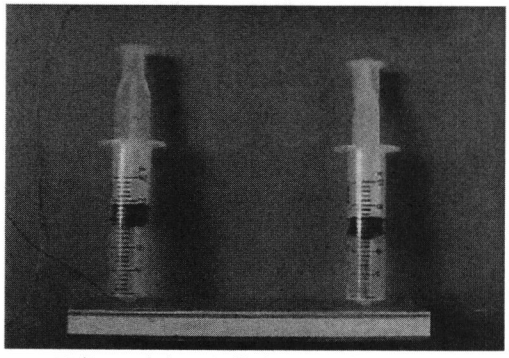


写真４　空気の断熱膨張・圧縮実験の様子

おわりに

ここで紹介した温度差表示装置は，温度変化を短時間で視覚的に検出することを目的とした装置である．温度を量的にまた高精度に測定するのではなく，微小時間に起こった２点の温度差のみを検出する．このためわずかな温度差は２個の発光ダイオードの高温側の発光によって表示され，高感度と簡素の２面を同時に実現できる．演示実験としては，ここでは，これまで明快に示すことができなかった空気の断熱膨張，圧縮するさいの温度変化をテーマとして選んだ．このテーマは，雲の発生原理として扱われることから，小学校理科の発展的な教材にも含まれている．ペットボトルなどを容器として，ピストンの吸引によって雲の発生とともに温度の低下が明示されるのは演示実験としてインパクトがある．この装置の利用に適した他のテーマとして，摩擦，熱伝導，ゴムの伸縮，金属を打つときの発熱，針金の伸縮，感知しにくい木や紙の摩擦，さらには，これまで試みられたことのない，氷の温度差示すなど教育普及ための実験に広範囲の応用が考えられる．今後はこのような演示的な実験の種類をましてテキストを準備する必要がある．

温度の視覚的表示という特徴あるこの装置は，科学系博物館や学校などで活用することによって，温度や熱の分野の科学教育に十分に資するはずである．　(060718)

旭川と札幌で開催された雪氷楽会（せっぴょうらっかい）について

中村一樹（（財）日本気象協会北海道支社）、平松和彦（北海道旭川西高等学校）、
須田 力（北方圏体育・スポーツ研究会）

1. はじめに

平成 17 年 10 月に旭川市科学館で、平成 18 年 1 月に北海道大学遠友学舎でそれぞれ雪氷楽会が開催された。

雪氷楽会とは、子どもたちなど多くの方に雪や氷の実験・体験を通じて楽しんでもらう会のことであり、雪氷分野の第一線で活躍し、その成果の教育・普及に取り組んでいる研究者が中心となって取り組んでいるイベントである。

雪氷楽会は、これまで本州では開催されていた[注1]が、北海道では初開催であった。

筆者らは、企画・運営責任者としてイベントの実施に携わり、出展者としても参加する機会を得たので、当日の様子を中心に報告する。

2. 取り組み内容

(1) 旭川市科学館での雪氷楽会

旭川市での雪氷楽会は、平成 17 年度文部科学省科学研究費補助金 研究成果公開促進費「研究成果公開発表（B）」補助事業により、2005 年度日本雪氷学会全国大会最終日の翌日、「雪氷研究週間 in 旭川」の最後のイベントとして開催された。

当初から、このイベントを雪氷に携わっている私達の次世代へのひとつのメッセージとして位置付けて、開催地である旭川市を中心とした道北地方の子供達が、自分達の住んでいる場所にたくさんある雪や氷の面白さを知るきっかけとなるようなイベントにすることを目標とした。

概要は、以下のとおりである。

イベント名：「雪から学ぶ ～雪氷楽会 in 旭川市科学館～」
日　時：2005 年 10 月 1 日（土）
10 時～16 時
場　所：旭川市科学館低温実験室、特別展示室
主　催：社団法人日本雪氷学会

当日はのべ 1,555 名の入場者があり、大変な賑わいであった。表 1 に出展一覧を示す。南極ドーム基地からの出展をはじめ、全国の雪氷関係者の皆さんに出展していただいた。北海道では身近な雪ハネから雪の結晶、北極、南極、ヒマラヤの氷河、エスキモーの暮らし、地球温暖化までバラエティに富んだテーマであった。

出展者のほかに、多くのボランティアスタッフの方が、準備や当日の運営を支えてくださった。

図 1～図 4 に当日の様子を示す。実際に雪氷実験を体験することにより、自分達の住んでいる場所にたくさんある雪や氷の面白さを知るきっかけとなることが期待される。

注1 例えば、上越市の雪氷学会全国大会の翌日に開催された「雪の高田の雪氷楽会」（2003 年 10 月 11 日）など

表１　雪氷楽会 in 旭川市科学館での出展一覧

・雨粒の形を観察しよう！（山下 晃、角川咲江）
・雨粒が凍るとどうなる？（角川咲江、山下 晃）
・雪と氷のふしぎその1（低温室での実験）（中村一樹、平松和彦）
・雪と氷のふしぎその2（暖かい室内での実験）（平松和彦、中村一樹、木戸瑞佳）
・こんな空もあるんだよ（地上から見た雲、宇宙から見た雲）（中村一樹、置田貴代美）
・雪形って知ってますか？（山田高嗣、遠藤八十一）
・立体写真でぼたん雪を見る（石坂雅昭）
・工場雪のレプリカー旭川市内で39年前に採集したものー（山下 晃、高橋忠司）
・君も南極へ行こう（南極よりメッセージ）（五十嵐 誠）
・南極の氷にかくされた秘密（牛尾収輝）
・グリーンランドエスキモーの暮らしと知恵（的場澄人、山口 悟）
・ヒマラヤの氷河（橋本重将、中澤文男、名古屋大学ヒマラヤ研究会）
・金型で作る六花氷・雪結晶の万華鏡づくり（小野延雄、水津重雄）
・六角形でいろいろな雪の結晶をつくろう！（大鐘卓哉）
・雪結晶の落下運動（模擬実験）（山下晃、角川咲江）
・なだれをまねるー室内でなだれを体験ー（飯田肇）
・サンピラー再現実験（秋田谷英次）
・型枠を使った雪の造形（秋田谷英次）
・雪ハネパワーの科学（須田 力、森田 勲、吉成 哲）
・冷蔵庫を使わずに水を冷やそう（河島克久、和泉 薫）
・氷で電気を作ろう（尾関俊浩）
・積雪をいろんな向きから眺めてみよう（尾関俊浩）
・ドクターナダレンジャーの科学実験ショー（納口恭明）

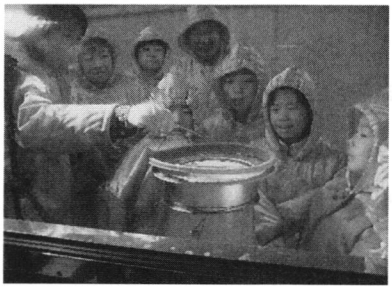


図１ 雨粒が凍るとどうなる（低温実験室）

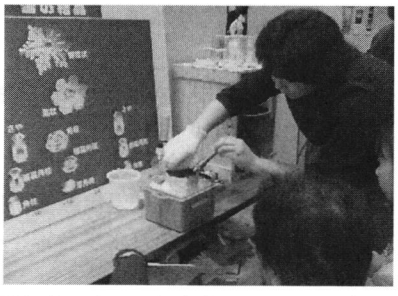


図２ 雪と氷のふしぎ（ダイヤモンドダスト実験）

図３ サンピラー再現実験

図４ ドクターナダレンジャーの科学実験ショー

(2) 北海道大学での雪氷楽会

旭川での雪氷楽会が好評で、ぜひ札幌でも開催して欲しいとの声を受けて、北大での開催が急遽決定した。概要は、以下のとおりである。

イベント名：「雪氷楽会 in 北大」
日　時：2006 年 1 月 14 日（土）
　　10 時～15 時
場　所：北海道大学遠友学舎（札幌市中央区北 18 条西 7 丁目北海道大学構内）
主　催：北海道大学大学院教育学研究科
共　催：日本雪氷学会北海道支部
　　財団法人日本気象協会北海道支社
後　援：札幌市、札幌市教育委員会

表 2 に出展一覧を示す。主に、北海道内の研究者の方に出展していただいた。

表 2　雪氷楽会 in 北大での出展一覧

・結晶模型を空中に浮かせる実験（秋田谷英次）
・サンピラー再現実験（秋田谷英次）
・型枠を使った雪の造形（秋田谷英次）
・雪と氷のふしぎ（平松和彦、中村一樹）
・こんな空もあるんだよ ～地上から見た雲、宇宙から見た雲～（中村一樹、置田貴代美）
・なんでも顕微鏡で見てみよう（片桐千仭、岩崎正純）
・南極の氷にかくされた秘密（牛尾収輝）
・グリーンランド・エスキモーの生活と知恵（的場澄人）
・ヒマラヤの氷河（橋本重将、中澤文男、名古屋大学ヒマラヤ研究会）
・氷で電気を作ろう（尾関俊浩）
・積雪をいろんな向きから眺めてみよう（尾関俊浩）
・雨や雪や風はどうやってはかるの？（中林宏典、西山直樹、中村一樹）
・六角形でいろいろな雪の結晶をつくろう！（大鐘卓哉）
・万華鏡をのぞいて雪の結晶と出会おう！（福山 紫、藤井小百合）
・スキー・スケートはなぜよくすべ滑るのか（対馬勝年）
・天気のことわざ、お天気クイズ（半田晋二郎）
・雪ハネパワーの科学（須田 力、森田 勲、吉成 哲）
・雪ハネ運動中の筋活動（模擬実験）（吉成 哲、中島康博、桑野晃希）
・雪の結晶を観察しよう（二宮祐希、山理嗣）
・雪について少しだけ詳しくなる（高橋瑞希）
・雪の結晶のフラクタル（寺岡匡信、坂本公生、富永尚宏）
・冬に活動する生物、越冬する生物を探す（藤沢朋司、工藤雄高）
・なだれをまねる－室内でなだれを体験－（飯田 肇、山田高嗣）
・夏になっても雪が融けないとどうなるのか？～氷河のスライドショー～（金森晶作、高橋可江）
・チンダル像を観察しよう（青山洋路、橋本俊市）
・ミニジャンプ台で遊ぼう（佐々木 敏、角田和彦）
・雪中自転車(アレナス・ロドリゴ、王忠財)

研究者の皆様のほかに、北海道大学の教育の一環として教養の学生も出展した。学生の出展については、審査、表彰を実施した。当日は約400名の入場者があった。冬休み期間ということもあり、長時間滞在して楽しむ親子が多いように感じられた。図5と図6に当日の様子を示す。

積雪期の開催であったことから、野外での積雪観察、雪遊び、イグルー作りなど実際の雪を使った出展と室内での実験や話が結びついたことが、北大での雪氷楽会の特徴である。

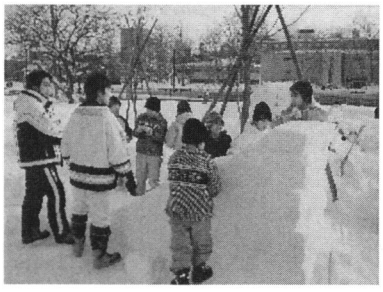


図5 ミニジャンプ台で遊ぼう（野外実験）　図6 雪と氷のふしぎ（室内での過冷却実験）

3. まとめと今後の課題

1) 北海道内で初めて開催された雪氷楽会は盛会であった

旭川市では約1500名、札幌市では約400名の方に足を運んでいただいた。新聞、テレビ、ラジオなどでも報道され、多くの子どもたちなど市民に雪氷の面白さを伝えることができた。

2) 雪氷の楽しさを伝えるために雪氷楽会の継続

このイベントを長続きさせるために、なるべく無理のないように、雪氷学会北海道支部の行事（地域講演会の付随イベントなどとして提案中）として、安全面に配慮しながら、継続的に実施したいと考えている。

3) 科学館、研究機関、教育機関、市町村など様々な機関との連携

このような取り組みを様々な機関と連携して実施することにより、冬の楽しさ、雪氷の面白さ、環境や防災意識の向上などを伝えたいと考えている。

謝辞

雪氷楽会の開催にあたっては、日本雪氷学会の皆様をはじめ出展者の皆様、ボランティアスタッフの皆様、北海道大学の皆様に大変お世話になりました。

また、旭川市科学館館長である佐々木 恵一氏、副館長の南 尚貴氏、片山 裕之氏を始め、科学館スタッフの皆様、サイエンスボランティア旭川及び低温実験部会の皆様には、いつもご支援、ご協力をいただいております。ここに感謝申し上げます。

これからも共に様々な取り組みを継続させていただければと考えております。

参考文献

1) 社団法人日本雪氷学会，2005：雪から学ぶ～雪氷楽会 in 旭川市科学館～冊子，32pp.
2) 北海道大学大学院教育学研究科，2006：雪氷楽会 in 北大～冊子，37pp.
3) 中村一樹、平松和彦，2006：雪から学ぶ～雪氷楽会 in 旭川市科学館～報告，雪氷，**68**，77-80.

デジタルカメラ画像を用いた吹雪視程判読－視程計データとの比較－

○原田　裕介　上石　勲（株式会社アルゴス）荒川　逸人　飯沼　弘一（野外科学株式会社）

1. はじめに

本研究は、道路吹雪防災コンサルティング業務での視程連続観測において、できるだけ簡便な解析方法でデジタルカメラ画像の適用が可能かを検討するものである。

「道路吹雪マニュアル」[1]によれば、予備調査において気象調査の他可能であれば視程観測の連続観測を行うよう明記されている。また、「2005 除雪防雪ハンドブック」[2]によれば、吹雪による視程障害の実態を把握するために、どのような場所や気象条件のもとで障害が発生しやすいかを知ることが必要であると明記されている。以上から、道路吹雪防災コンサルティング業務において、現地調査で視程連続観測を実施するケースが多い。

「雪氷調査法」[3]によれば、視程観測は「視程計」と「目視」による方法が記載されている。目視の連続観測は困難なため、視程計を使用するケースがほとんどである。しかし、視程計は高価であるため、複数点設置して広域な視程分布を測定するには経済的ではない。

そこで、本報告では、視程計に比べ非常に安価であるインターバル機能付きのデジタルカメラで定期的に撮影した画像から視認性による視程判読を実施し、視程計による観測との比較、および視程判読時の気象条件(風速・気温・積雪深)の抽出結果について示す。

2. 条件整理

「気象条件から視程を推定する手法の研究」[4]によれば、冬期の道路交通の確保を目的とする場合、視程値はメートル単位の精度は必要なく、50m未満、50～200m、200～500m、500～1000m、1000m以上の5段階程度の吹雪の強弱がわかれば、実用的には十分であると明記されている。また、「2005 除雪防雪ハンドブック」[2]によれば、視程が 200～300m程度では車の走行速度は視程が良いときと比べて1割ほど低下するものの、ほぼ正常な運行を保つようであると明記されている。

よって、道路管理者にとって有益な資料となりうる視程 50m未満と 50～200mの発生状況の把握とその気象条件の抽出を考慮するものとした。また、コンサルティング業務での作業性を考慮し、できるだけ簡便な観測および解析手法を用いることとした。

3. これまでの吹雪画像研究と計測機器比較整理

これまで、石本[5]による CCD カメラ、荻原ら[6]によるデジタルカメラによる吹雪画像解析報告がある。手法については、本ページ下記に示した。また、表 1に視程計、CCD カメラならびにデジタルカメラによる現地調査での計測機器比較整理結果を示した。

表 1　現地調査での計測機器比較整理結果

観測機器	視程計	CCDカメラ	デジタルカメラ
測定方式	光の透過率	コントラスト	コントラスト
電源	100V AC 電源	100V AC 電源	電池
夜間照明	不要	必要	必要
記録装置	データロガー	ビデオデッキ	内蔵（ﾒﾓﾘｰｶｰﾄﾞ等）
本体＋記録装置費用	200 万円程度	20 万円程度	6 万円程度

CCD ビデオカメラ：画面内に設置した専用ターゲットの輝度差から視程を計測する方法。
デジタルカメラ：コントラストとパワースペクトル値による解析手法

4. 観測方法

著者らは、冬期通行止道路において吹雪発生が予想された H18.1.26-2.4 の 8 日間、視程計、デジタルカメラならびに気象観測計(気温・風向風速・積雪深)を設置し、連続観測を実施した(表 2、図 1、写真 1)。本観測のデジタルカメラ画像判読では、「雪氷調査法」[3]目視による視程観測をもとに、周辺の建物など(ここでは電柱、山および簡易の旗)の目標物を利用し、視程判読基準を 13 段階に分類した(図 1、表 3)。また、照明未設置区間のため夜間デジタルカメラ画像データは削除した。さらに、視程計およびデジタルカメラ設置位置は、ドライバーの目線と積雪深を考慮し 1.8m とし、併せて画像判読の基準高さとした。

表 2　視程計およびデジタルカメラ仕様

視程計	バイサラ CVS-PWD11
検出方法	前方散乱式
測定範囲	0～2,000m
測定ｲﾝﾀｰﾊﾞﾙ	30 秒
記録方法	30 秒瞬値、1 分平均値

デジタルカメラ	カシオ　QV-2900UX
有効画素数	約 200 万
画像サイズ	800×600 FINE(約 200KB/枚)
ズーム	なし
フォーカス	∞
ﾎﾜｲﾄﾊﾞﾗﾝｽ	オート
露出モード	プログラム
電源	単 3 形電池×4 本 (リチウム電池)
ストロボ	発光禁止
測定ｲﾝﾀｰﾊﾞﾙ	10 分
画像判読人員	2 名

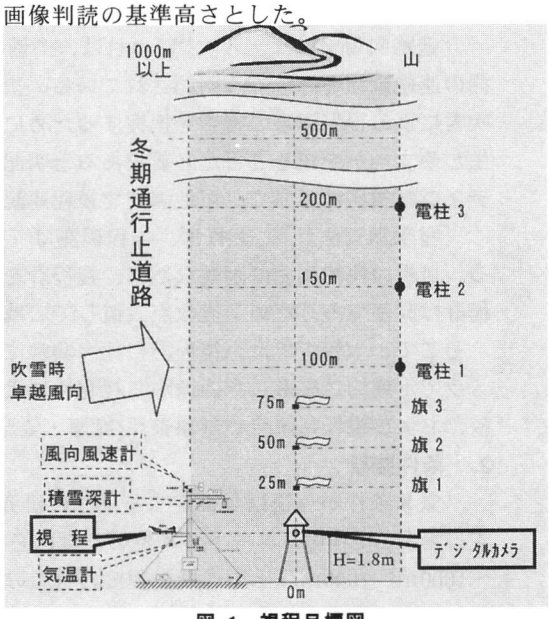
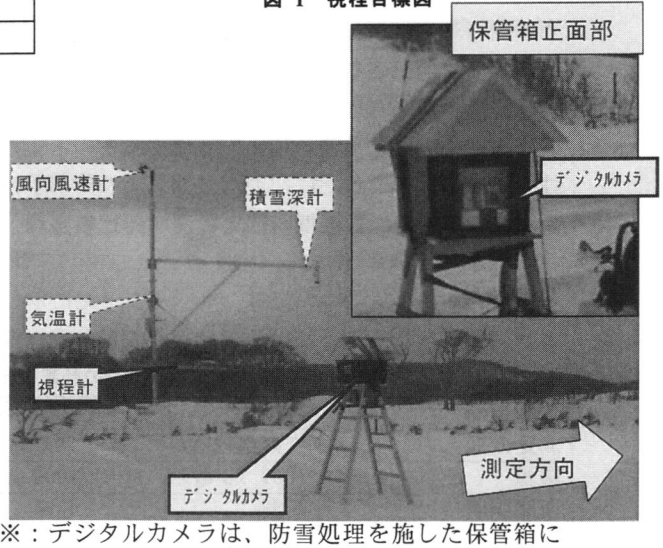


図 1　視程目標図

表 3 デジタルカメラの画像判読基準

分類 No.	目標物が確認できる範囲	視程判読
1	旗1	25m
2	旗1～旗2	35m
3	旗2	50m
4	旗2～旗3	60m
5	旗3	75m
6	旗3～電柱1	85m
7	電柱1	100m
8	電柱1～電柱2	125m
9	電柱2	150m
10	電柱2～電柱3	175m
11	電柱3	200m
12	電柱3～山	500m
13	山	1000m 以上



※：デジタルカメラは、防雪処理を施した保管箱に格納した。また、保管箱カメラ正面部の着雪を考慮し撮影方向を設定した。

写真 1　視程測定(視程計、デジタルカメラ、気象観測計)

5.　観測結果

デジタルカメラ画像は、H18.1.26-2.4 の夜間を除く 8 日間で計 642 サンプルを取得し、表 4 に示した 2 名の被験者により判読した。本報告では、以下の 3 項目について結果を述べる。

1)被験者による判読差異の確認
2)視程計とカメラ画像判読の比較
3)毎正時気象データとの比較

表 4 被験者の構成

被験者	備　考
被験者①	道路吹雪観測業務経験者
被験者②	道路吹雪観測業務未経験者

5.1.　被験者による判読差異の確認

ここでは、2.で示した吹雪障害となりうる視程 50m未満および 50～200mについて表 5 に整理した。その結果、被験者①②どちらが 200m と判定した 183 サンプルのうち、78％の 142 サンプルで共に 200m 以下と判読した。また、前頁表 3 で示した 13 段階の画像判読基準で、共に 200m 以下と判読した 142 サンプルのうち、200m 以下で判読分類 No.が一致したのは約 82％であった。さらに、判読後のヒヤリングから、視程 200m 前後の判読で約 20％の差異が生じた要因の一つとして、高さ 1～2m 程度の地吹雪視程判読で被験者により差異が生じていたことを確認した。

表 5 デジタルカメラ画像判読結果

全サンプル642	ｻﾝﾌﾟﾙ数	備　考
どちらかが、200m以下と判読	183	
共に200m以下と判読	142	142/183＝78％
50m未満, 50-200mで判読結果が一致	116	116/142＝82％

5.2.　視程計とカメラ画像判読の比較

前項で、被験者同士が共に 200m以下と画像判読した 142 サンプルの視程計計測データを、表 6 に整理した。その結果、視程判読結果と視程計計測データに差異が見られた。特に、1000m 以上と計測されたデータは 69％であった。これらの要因として、視程計は、限られた空間のちりなどによる光の減衰・散乱の度合いから求めるため、測定領域に雪粒子が供給されなかった可能性が示唆される。

表 6 視程計とカメラ画像判読の比較結果

視程計	データ数	備考
200m未満	0	
200-500m	7	7/142＝4％
500-1000m	37	37/142＝26％
1000m以上	98	98/142＝69％

5.3.　毎正時気象データとの比較

道路吹雪観測業務経験のある被験者①の画像判読データと、気象観測計で計測された毎正時気象データを比較した。図 2 は、「2005 除雪防雪ハンドブック」[2]に記載されている、降雪時の 7m 高さ風速と気温と吹雪の状態を示したものに、本観測での降雪時観測結果を加筆したものである。本解析では、4m高さで計測された風速データを対数則によって 7m高さに換算した。その結果、200m 以下の視程と画像判読した時の気象条件は、本路線の観測期間では-5℃以下の低温かつ風速 5m 以上の強風時に多い傾向であることを確認した。また、断続的にドライバーの目線より高い地吹雪が発生する気象条件下でありながら、視程を大きく判読した要因として、風速データは前 10 分間の平均値であるのに対し、デジタルカメラ画像は正時の瞬間値であったことや、降雪強度の差異が考慮される。

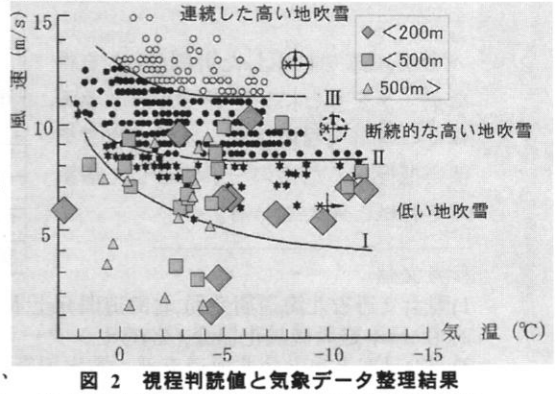


図 2　視程判読値と気象データ整理結果

6. まとめ

本報告では、インターバル機能付きのデジタルカメラで定期的に撮影した画像から視認性による視程判読を実施し、被験者による判読差異の確認、視程計による観測との比較、および視程判読時の気象条件について示し、以下の結果を得た。

- 道路吹雪観測業務経験の異なる被験者を 2 名選定し、画像の視程判読を実施したところ、約 80％の精度で視程 200m 以下の画像を抽出することができた。残りの約 20％については、判読後のヒヤリングから、高さ 1～2m 程度の地吹雪視程判読で被験者により差異が生じていたことを確認した。
- 200m以下と画像判読したサンプルと同時刻の視程計データを比較したところ、差異が見られた。特に、1000m 以上と計測されたデータは 69％であった。これらの要因として、視程計は、限られた空間のちりなどによる光の減衰・散乱の度合いから求めるため、測定領域に雪粒子が供給されなかった可能性が示唆される。
- 道路吹雪観測業務経験のある被験者の画像判読データと、気象観測計で計測された毎正時気象データを比較した。その結果、画像判読で 200m 以下の視程悪化時は、本路線の観測期間では-5℃以下の低温かつ風速 5m 以上の強風時に多い傾向であることを確認した。また、風速データは前 10 分間の平均値であるのに対し、デジタルカメラ画像は正時の瞬間値であることを留意すべきである。

7. 今後の課題

道路吹雪防災コンサルティング業務での視程連続観測において、デジタルカメラ画像適用に向けた今後の課題を以下に示す。

- 視程計での視程と、画像判読による視認性についての詳細検討(目視による検討追加)。
- 撮影インターバルの設定(10 分間隔では、断続的な吹雪による影響が考慮される)。
- 気象観測インターバルの設定(毎正時観測より詳細な計測が望ましい)。
- 夜間観測の扱い方(夜間照明の適用方法、照明未設置箇所の対処方法等)。
- 道路条件による観測手法の設定(目標物がない場合は、視程板を使用する。また、道路標識やスノーポール支柱に交通に影響しないような目印を設置する等)。

以上をふまえて、平成 18 年度調査計画(案)を表 7 に示す。

今後、表 7 に示した計画(案)から得たデータをもとに、デジタルカメラ画像での吹雪視程観測を、現場の吹雪条件を把握するための一手法として構築できればと考えている。

表 7　平成 18 年度調査計画(案)

	平成 17 年度	平成 18 年度
視程計設置	○	○
計測間隔	10 分平均	10 分平均
ﾃﾞｼﾞﾀﾙｶﾒﾗ設置	○	○
撮影間隔	10 分	5 分
目視観測	－	うち 1 日程度
気象観測	毎正時	10 分平均

参考文献

1)国土交通省北海道開発局,北海道開発土木研究所：道路吹雪対策マニュアル, 2003.7.
2)(社)日本建設機械化協会,(社)雪センター：2005 除雪防雪ハンドブック(防雪編), 2004.12.
3) (社)日本雪氷学会北海道支部：雪氷調査法, 1991.7.
4)松沢勝,竹内政夫：気象条件から視程を推定する手法の研究,雪氷, 64,77-85,2002.1.
5)石本敬志：北海道の国道における吹雪対策とビデオカメラによる視程計測装置の開発,雪氷, 52,195-202,1990.9.
6) 荻原亨,藤田諭,木坂聖：デジタル静止画像を用いた吹雪時の道路視環境評価に関する研究, 寒地技術シンポジウム, 17,145-152,2001.11.

ラグランジュ型吹雪モデルの開発

齋藤佳彦（㈱雪研スノーイーターズ）
大槻政哉（　　〃　　）
植松孝彦（　　〃　　）
前山徳久（（財）日本気象協会）
佐藤隆光（　　〃　　）

1. はじめに

コンピュータを用いた吹雪数値シミュレーションは、吹雪現象の物理過程の究明、吹雪災害の予測及び防災にとって有効な手法である。吹雪現象の数値モデルを構築する場合、流体（風）運動と粒子（雪粒子）の運動の二つの物理過程に分けられるが、現在実用化されている吹雪数値シミュレーションのほとんどは、風及び雪粒子の運動を「場」として捉えるオイラー型モデルである。一方、雪粒子の運動については、個々の雪粒子の運動を表現するラグランジュ型モデルが最適であると考えられるが、計算負荷が高いなどの問題により、実用化に至ったモデルは少ない。

そこで本研究では、オイラー型吹雪モデルと同様に、実用を目的としたラグランジュ型モデルの作成及びオイラー型モデルとの比較検証を行った。

2. モデル概要

2.1 計算の流れ

一般に吹雪現象を理解しようとする場合、流体運動（風）と吹雪粒子（拡散）運動の二つの物理過程に分けて考えることが多い。同様に、物理過程を物理（数値）モデルに置き換える場合も、二つ分けて考えるのが一般的である。だが、物理過程をモデルに置き換える過程で、運動の捉え方により「オイラー型」と「ラグランジュ型」に分けられる。特に吹雪粒子の運動を例に挙げると、前者の場合、吹雪粒子の運動を「粒子濃度の拡散」として捉えるのに対し、後者は吹雪粒子の運動を粒子一つ一つの運動として捉える。現在のところ、実用されている吹雪モデルは、ほとんどが流体運動、吹雪粒子運動とも「オイラー型」としたものである。

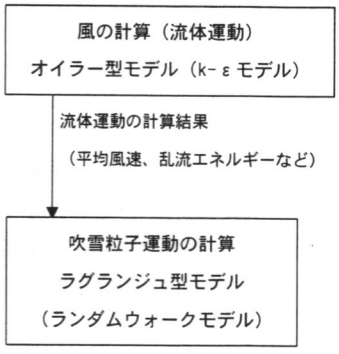


図1 モデルの構成

今回開発した吹雪モデルは、流体運動（風）のモデルにはオイラー型モデル（k-ε乱流モデル）、吹雪粒子運動についてはラグランジュ型モデル（ランダムウォークモデル）とした。よってモデル構成は、図1のようになる。

2.2 吹雪粒子運動過程

雪粒子挙動モデルとして、*Sato .et* (1997)を参考とした Langevin 方程式系のラグランジュ型ランダムウォークモデルを使用した。ここで用いるランダムウォークモデルは、気流計算モデルから出力される気流および拡散係数、乱流エネルギーを用いて、発生源から多数の粒子を放出・追跡し、その粒子密度から雪粒濃度や挙動を求める方法である。

ここでは雪粒の移流には気流計算結果の平均分布を用い、雪粒の変動速度には乱流エネルギーから設定される各成分風速の標準偏差、速度変動のラグランジュ時間スケールおよび随時発生させる正規乱数によって表現される粒子の遷移確率分布の方程式を逐次解くことで、粒子密度すなわち雪粒濃度を計算した。

粒子速度　$$u_{p(n)} = \bar{u} + u'_{(n)} \quad (1)$$

$$u'_{(n)} = \alpha u'_{(n-1)} + \sqrt{1-\alpha^2}\,\sigma_u \xi \quad (2)$$

粒子位置　$$x_{(n)} = x_{(n-1)} + u_{p(n)}\Delta t \quad (3)$$

ここで、$u_{p(n)}$：n ステップにおける粒子速度、$\bar{u}$：平均速度（気流計算結果の平均風速）、$u'_{(n)}$：n ステップにおける乱流速度成分、a：自己相関係数（粒子速度の持続性を表す）、s_u：変動速度の標準偏差（気流計算結果の乱流エネルギー）、ξ：正規乱数（N(0,1)）、$x_{(n)}$：n ステップにおける粒子位置座標、Δt：タイムステップ。

2.3 吹きだまり過程

吹きだまりは乱流エネルギーの小さい場所で発生すると考え、吹きたまり発生の確率 P を仮定し、雪粒粒子の挙動を追跡する際に、P<1 以下になるときに吹きだまると仮定した。吹きだまり発生の確率 P は以下で示される。

$$P = \frac{(k_t - k)}{k_t} \quad (4)$$

ここで、k は地表面付近の計算格子における乱流エネルギー、k_t は臨界乱流エネルギーとし、下記の摩擦速度 u_*と乱流エネルギーの関係式に臨界摩擦速度 u_{*t} を代入し求めた。ここで、C_μはモデル定数である。

$$u_* = C_\mu^{1/4} k^{1/2} \quad (5)$$

2.4 着雪過程

着雪現象も吹きだまりの計算方法と同様に、乱流エネルギーが小さい場所で発生すると仮定し、着雪発生の確率 P を導入し、式（4）、（5）より求めた。

3. 計算結果検証

3.1 吹雪粒子濃度分布

吹雪粒子の計算結果を *Sato .et*（1997）に従って整理し、計算結果の妥当性を検証した。図2に作成したモデルと *Sato .et*(1997)の計算結果を示す。粒子の挙動および鉛直の濃度分布は、実測結果と比較検証した *Sato .et*(1997)に示された結果を概ね再現しており、本モデルの計算結果の妥当性が確認された。

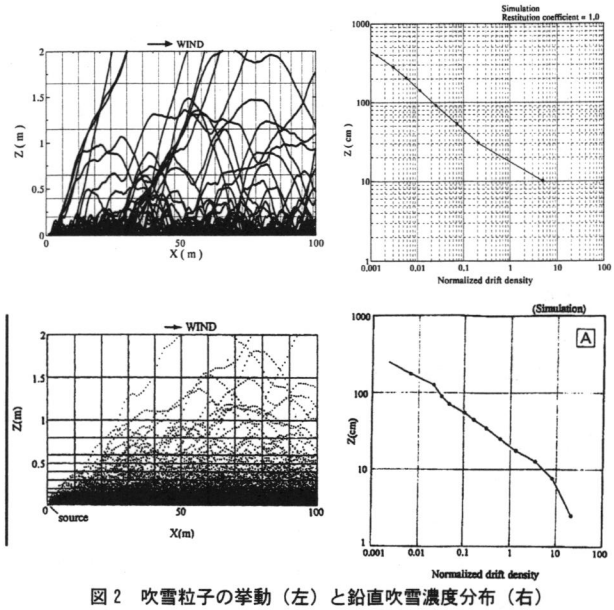


図2　吹雪粒子の挙動（左）と鉛直吹雪濃度分布（右）
上段：計算結果、下段：Sato . et(1997)より（地面との反射係数=1.0）

3.2 吹きだまり分布

図 3 に本モデルによる計算結果と、

Uematsu et al(1991)より既に検証が行われているオイラー型モデルによる計算結果を示した。両グラフをみると、吹きだまり速度の大きさはほぼ一致しており、分布の形状には若干の違いはあるが、吹きだまり速度の強い／弱い位置はほぼ一致している。これらから、ラグランジュ型モデルはオイラー型モデルの特徴を概ね再現できていると言える。

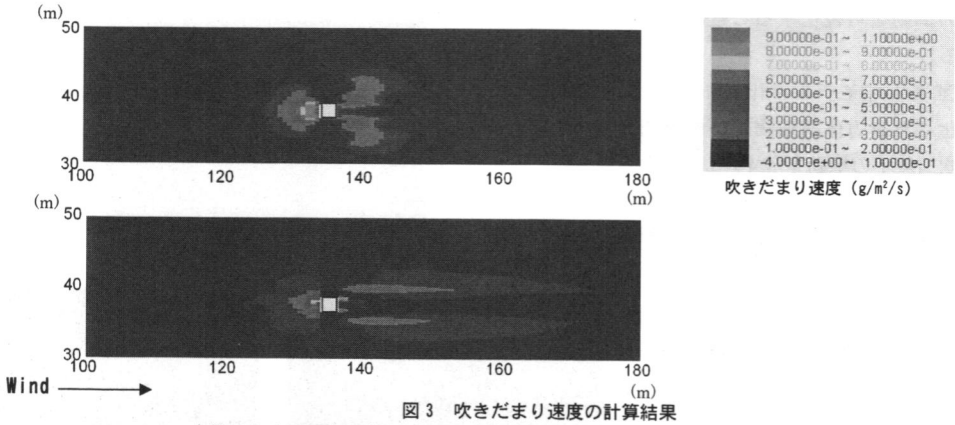


図3　吹きだまり速度の計算結果
上段：オイラー型モデル、下段：ラグランジュ型モデル。立方体形状の構造物を中央部に配置し、風を左側から流入させた場合の計算結果。水平面上部からの視点。

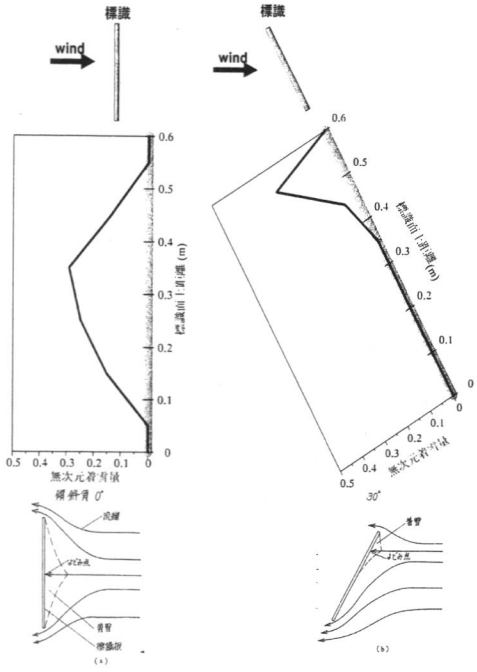
3.3 着雪現象

図4に標識を傾斜角90°及び60°に設置した場合の標識への着雪現象のモデルの再現結果を示す。ただし、図中の無次元着雪量とは、放出した粒子の数で着雪したと判定された粒子数を除した値である。

図に示されるように標識を 90°に設置した場合は、乱流の小さい標識中心付近の着雪量が大きく、標識を迂回する気流が支配的で乱流の大きい標識端部では、着雪量が小さくなっている。

同様に標識を60°に設置した場合も、平均風速が小さくなる標識上端部で着雪量が多くなっている。ただし、90°に設置した場合と比較すると、気流を遮蔽する影響が小さく、標識付近のへ平均風速が小さいため、全体として着雪量は小さくなる傾向が見られた。

また、90°及び60°ともに、観測データに基づいた竹内(1978)の模式図とよく一致しており、着雪現象に対する本モデルの妥当性が確認された。



標識を鉛直（90°）に設置　　標識を傾斜 角 30°で設置

図4 標識への着雪現象の再現結果
上段：設置模式図、中段：計算結果、
下段：着雪の模式図（竹内(1978)より

4. 計算結果の可視化

吹雪数値シミュレーションより吹雪現象の可視化を行う場合、オイラー型モデルでは、風及び吹雪粒子の運動を「場」として捉えて計算を行うため、計算結果は、風速、雪粒子濃度などの分布として出力される。

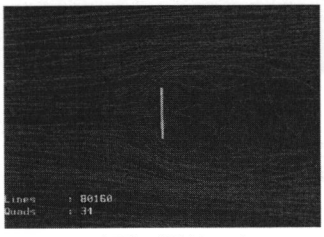
一方、今回開発したラグランジュ型吹雪モデルでは、風の計算は従来のオイラー型のモデルで行って

いるため、分布として出力されるが、吹雪粒子の運動については、粒子各々の軌道が出力される。そのため、ラグランジュ型モデルよる計算結果より、従来のオイラー型モデルでは表現できなかった吹雪粒子の挙動を可視化することが可能である。

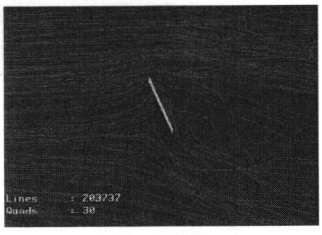
図 5 に本モデルの計算結果より可視化した立方体構造物及び標識周りの吹雪粒子の挙動を示す。この図から、雪粒子濃度分布表示と異なり、吹雪粒子の挙動が直感的に捉えることが可能である。

また、バーチャルリアリティ技術とラグランジュ型モデルを組み合わせることにより、吹雪時の視程など人間の感覚に依存する要素の評価の一手段として有効であると考えられる。

立方体構造物周りの吹雪粒子の軌道



標識の傾斜角 90°



標識の傾斜角 60°

標識周りの吹雪粒子の軌道

図 5　吹雪現象の可視化
上段：構造物周りの吹雪粒子の軌道、下段：標識周りの雪粒子の挙動

5. まとめ

実用を目的としたラグランジュ型吹雪モデルの開発を行った。その結果、現在実用として一般的なオイラー型吹雪モデルの計算結果と良い一致を見られ、開発したラグランジュ型吹雪モデルの妥当性が確認された。また、従来のオイラー型吹雪モデルでは表現することが出来なかった着雪現象が表現可能となり、実際の着雪現象の傾向をよく表していた。

今回開発したラグランジュ型吹雪モデルは、オイラー型モデルでは表現できない吹雪粒子一つ一つの挙動を表現することができ、吹雪現象を直感的に捉えることが可能である。このことを利用し、バーチャルリアリティ技術などと組み合わせることにより、人間の感覚に依存する視程などの要素の評価手段としても有効であると考えられる。

参考文献

1. Sato,T.,Uematsu,T. and Kaneda,Y.(1997)Application of random walk model to blowing snow. *Snow Engineering:Recent Advances.*
2. **竹内政夫**(1978): **道路標識への着雪とその防止**, ***雪氷*** **40 巻 3 号**,P15-25.
3. Uematsu,T., Y.Kaneda, K.Takeuchi, T.Nakata and M.Yukumi (1989):Numerical simulation of snowdrift development., *Annals of Glaciology*, **13**, 265-268.
4. Uematsu,T., T.Nakata, K.Takeuchi, Y.Arisawa and Y.Kaneda (1991):Three dimensional numerical simulation of snowdrift. *Cold Regions Sci. Tech*., **20**, 65-73.

木製防雪柵の試験設置について

○三好達夫、伊東靖彦（（独）土木研究所　寒地土木研究所）

1　はじめに

北海道の冬期道路では吹雪によって見通しが利かなくなる視程障害が発生し、ドライバーにとっては厳しい走行環境での運転となる。そのため、吹雪対策として防雪林、防雪柵などが整備されてきており、視程障害緩和や吹きだまり防止に効果を発揮している。

近年、吹雪対策としては、防雪林の積極的な整備が行われている（北海道開発局(2002)）が、防雪林では生育により機能を発揮するまでには年月を要することから、その間の防雪機能を補完する施設が必要となっている。加えて、健全な森林育成などのため公共事業への間伐材利用が求められ（林野庁(2005)）ている状況にある。

そこで４タイプの木製防雪柵について、野外に試験設置を行い、冬期間に視程と風向・風速を観測して視程障害緩和効果を比較検証した。その結果について報告する。

2　調査箇所の概況

調査箇所は、旭川紋別自動車道白滝丸瀬布道路の KP=75.5km～76.0km である（図-1）。当該道路では吹雪による視程障害対策として防雪林の整備を目指しているが、防雪林が防雪機能を発揮するまでの間、視程障害対策として防雪柵の整備が必要となっている。道路は高盛土タイプ(盛り高約 9m)で、2 車線(片側 1 車線)道路として計画されている。

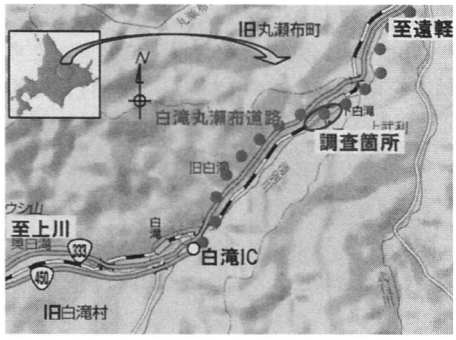


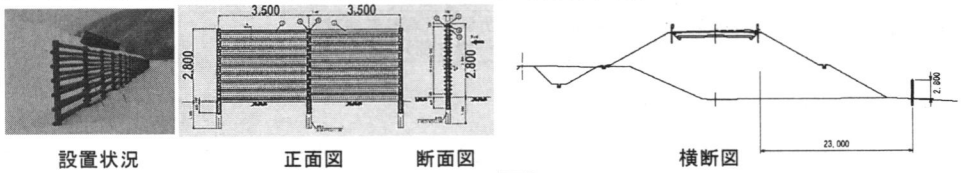
図-1 調査箇所図

3　木製防雪柵の概要

今回、4 タイプの木製防雪柵を並べて試験的に設置した。各タイプに共通する木製防雪柵の設計条件は、①設計風速:24.2m/s、②吹雪量(=設計吹きだまり量):20～30m³/m である。以下、各タイプの概要を示す。

1）type-1

type-1 は、吹きだめ式の防雪柵で、柵の風上風下で飛雪を捉え吹きだまりを形成することにより道路上での防雪効果を期待したものである。なお、設置位置が道路の路肩より比較的離れていることから、道路上での減風効果は小さいと考えられた。

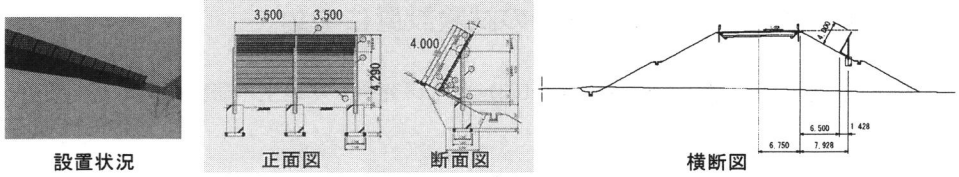


設置状況　正面図　断面図　横断図

図-2 type-1 概要

2）type-2

type-2 は、吹き止め式の防雪柵で、法面に対して直角に設置し効率よく飛雪を捉えるとともに道路上の減風効果を期待したものである。設置位置は堆雪スペースを考慮し柵下端で路肩から 6.5m とした。

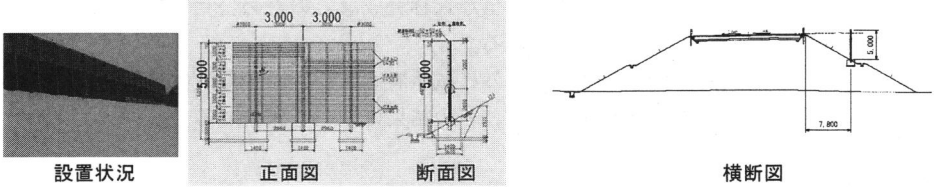


設置状況　正面図　断面図　横断図

図-3 type-2 概要

3）type-3

type-3 は、吹き止め式の防雪柵で、高規格道路で一般的に採用されている鋼製防雪柵の形式を基本に防雪板を木製にしたものである。設置位置は堆雪スペースを考慮し路肩から支柱で 7.8m とした。

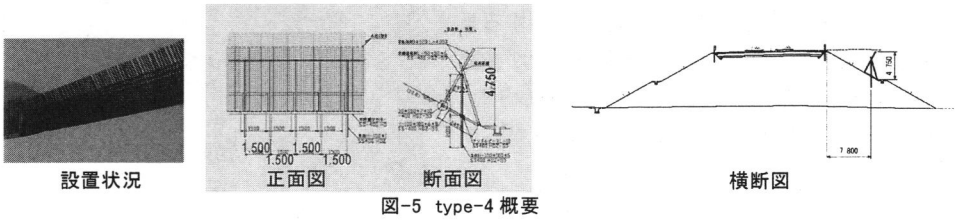


設置状況　正面図　断面図　横断図

図-4 type-3 概要

4）type-4

type-4 は、丸太材を合掌型に設置した吹き止め式の防雪柵で、広い減風範囲と斜風に対する効果を期待したものである。設置位置は堆雪スペースを考慮し路肩から支柱で 7.8m とした。



設置状況　正面図　断面図　横断図

図-5 type-4 概要

4　現地観測の概要

現地観測では、4タイプの木製防雪柵について視程と風向風速を計測した。計測機器は視程計、風向風速計各4台で、各タイプの防雪柵風下にそれぞれ1台ずつ設置した。計測期間は平成18年2月10日～3月20日（39日間、延べ936時間）である。計測間隔は視程計、風向風速計ともに1秒間隔とした。設置位置の状況を図-6（次頁）に、使用した計測機器を表-1に示す。

表-1 使用計測機器

視程計	センサー：TZE-4 （明星電気株式会社） 設置高さ：1,700mm（センサー中央部）
風向風速計	センサー：KDC-S04 （コーナシステム株式会社） 設置高さ：1,500mm（センサー中央部）

5　観測結果

観測中における主風向は西南西で、風速は概ね 4m/s（1時間平均）以下であった。また、低気圧の接近などにより風速が 6m/s（1時間平均）以上になることが type-1 で6日見られた。

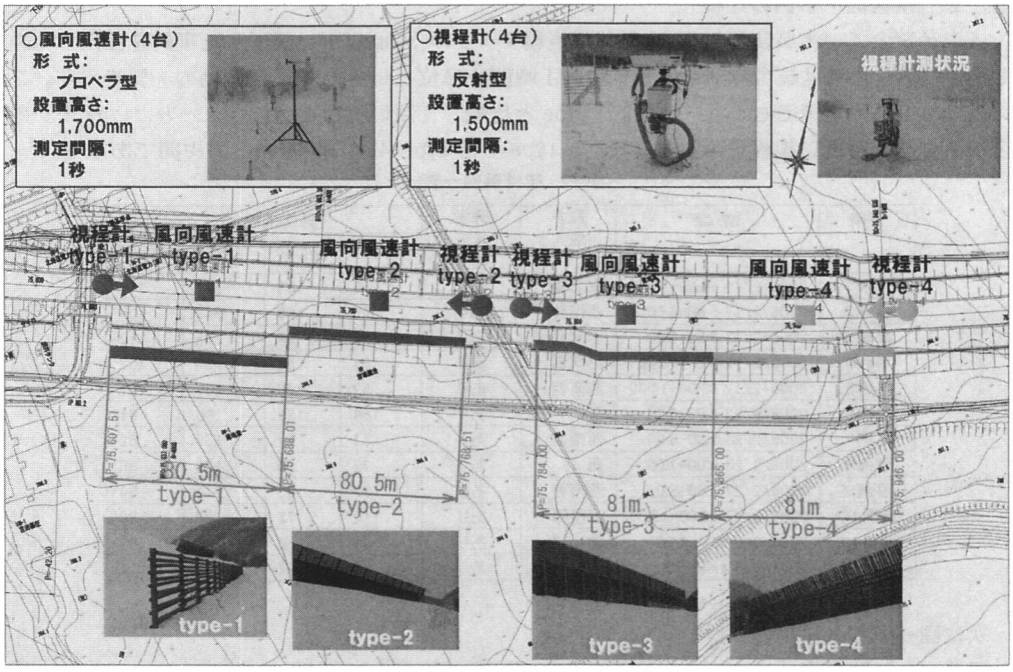


図-6 木製防雪柵と計測機器の配置状況

視程は、風速が比較的高い時に視程が低下する傾向が見られた。しかし風速が比較的低い時（1m/s 以下(1 時間平均)）でも、全タイプで視程 200m 以下になった事例が 2 回見られた、これは降雪によるものと考えられる。

5．1　視程低下時間の比較

視程障害の改善効果を視程低下の積算時間比較により行った。積算時間を図-7 に示す。

算出には各視程計の 1 秒データを使用した。視程低下のしきい値は、視程 100m～200m 以下と視程 100m 以下とした。加治屋ら(2004)によれば、視程 100m～200m でドライバーは周辺状況に応じた速度調節を行い概ね安定した運転を維持でき、視程 100m 未満では一定速度の運転が困難となり前方の目標物を頼るようになるとされる。

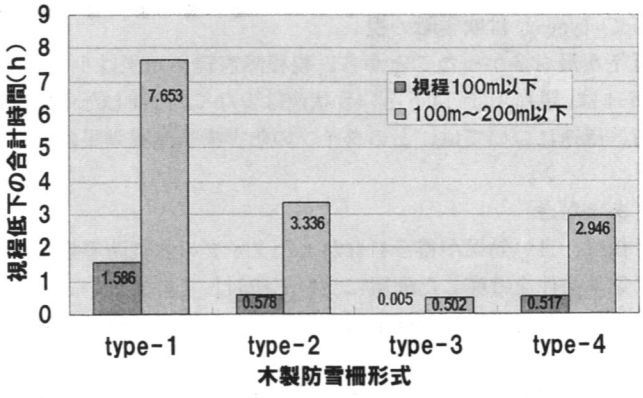


図-7 視程低下時間の比較

この図から、視程低下時間は type-3 が 4 タイプ中最も短く、視程 100m 以下は殆ど計測されず、視程 100m～200m 以下ものべ 30 分程度であった。また、type-2 と type-4 は同程度で、type-1 が視程 100m 以下、視程 100m～200m 以下ともに一番長かった。

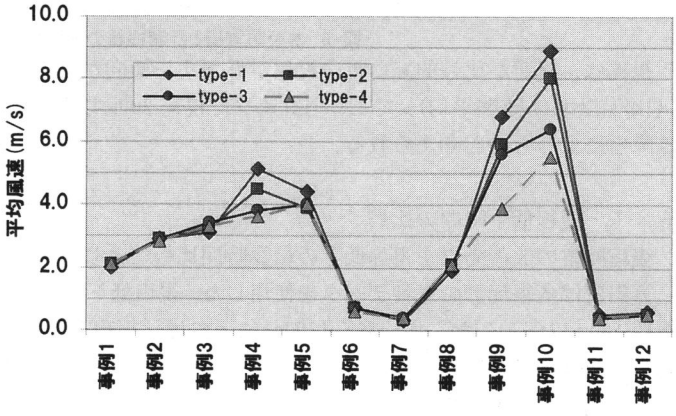
5．2　視程低下事例の比較

4タイプ全ての木製防雪柵で、1秒間隔視程データが300m以下に低下した事例を抽出し比較した。なお、比較は該当時刻を含む正時間1時間を単位とした。表-2に事例の一覧を示す。この表から、どの事例でもtype-3が他のtypeと比較して高い視程を示した。一方、type-1が殆どの事例で一番低い視程を示した。また、type-2とtype-4についてはその中間であった。

表-2 該当事例一覧

事例	期　間	最多風向	降雪状況（推定）	最低視程(m)			
				type-1	type-2	type-3	type-4
事例1	2006/2/11 16:00-17:00	東北東	なし	59	104	227	117
事例2	2006/2/17 5:00-6:00	西南西	あり	58	108	212	136
事例3	2006/2/17 8:00-9:00	西南西	あり	76	94	225	112
事例4	2006/2/17 9:00-10:00	西南西	あり	134	69	235	237
事例5	2006/2/17 13:00-14:00	西南西	あり	59	76	231	141
事例6	2006/2/23 4:00-5:00	西	あり	164	163	190	81
事例7	2006/2/23 5:00-6:00	西南西	あり	51	69	133	62
事例8	2006/2/23 6:00-7:00	西	あり	72	90	178	86
事例9	2006/2/27 7:00-8:00	西南西	あり	35	55	214	64
事例10	2006/2/27 12:00-13:00	西南西	あり	112	72	170	88
事例11	2006/3/6 3:00-4:00	北	あり	44	62	126	81
事例12	2006/3/6 4:00-5:00	南	あり	88	122	200	111

次に図-8は、各事例における風速（1時間平均）について比較したグラフである。この図から、各タイプによる風速差はそれほど大きなものとはなっていない。



6　まとめ

以上の結果から当該区間においては、type-3が、視程障害に対して最も有効であった。対してtype-1は吹雪時の視程低下が最も多かったことから、視程障害緩和効果は小さいと考えられる。また、type-2とtype-4は、視程100m以下という状況は少なく、比較した中では視程障害緩和効果が見られた。一方、風速については、どのタイプの防雪柵も減風効果は同様であった。

7　あとがき

今後は、良い効果が得られなかったタイプの木製防雪柵について、デザインの改良と道路構造や気象条件を考慮した配置について検討していきたい。

最後に、北海道開発局網走開発建設部及び関係各位に感謝の意を表す。

参考文献：加治屋安彦・松沢勝・鈴木武彦・丹治和博・永田泰浩，2004：降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察，第20回寒地シンポジウム寒地技術論文報告書，Vol.20
北海道開発局，2002：北海道道路緑化基本計画
林野庁，2005：平成16年度　森林・林業白書

国道40号中川町国府における防雪林の防雪機能および今後の保育・改良方法について

斎藤新一郎（環境林づくり研究所）・横山博之（札幌開発建設部）・
竹浦　亘（㈱構研エンジニアリング）

まえがき

防雪林は，強風を減殺し，吹雪・地吹雪を捕捉して，冬季の交通を安全にする生きた工作物（道路施設）として，造成されてきた．鉄道防雪林は，北海道において，古く，1910年代から，「緑林護鉄路」のスローガンの下に，造成されてきた．そして，道路防雪林は，新しく，1980年代から，道路緑化・環境保全・景観などの多機能にも期待されて，単機能の防雪柵に替えるべく，全道各地において造成されてきた．

一般的に，地拵え（排水，客土），列植え，針広混交，などの方式で造成され，下刈り，裾枝打ち，などの保育（維持管理）も継続されてきて，ほぼ20年を経て，各地に立派な防雪林が出来上がりつつある．けれども，生きた材料からなる防雪林は，その成長にともない，さらなる保育が必要である．

本稿において筆者たちは，道内の国道の全防雪林の中で，最も素晴らしく成林しつつある――道路防雪林の「原林」と位置づけられる――，国道40号中川町国府の林帯について，その防雪機能を調査し，今後の保育・改良方法を検討してみた．

なお，筆者の1人・斎藤は，この防雪林の現地踏査および設計の段階において，造成事業に関わり，鉄道防雪林とは一線を画した，道路防雪林のための，新しい造成方法を提案した（斎藤ほか 1983）．それが受け入れられたので，筆者は，維持管理（保育手法）についても，助言を呈し続けてきた（斎藤 1989，1990，2004，1996，斎藤ほか 2004）．

本研究の発表にあたり，これまでこの防雪林を造成され，保育管理されてきた，旭川開発建設部道路一課，二課，および美深道路維持事業所の関係各位に，筆者たちは，感謝の意を表する．

調査地の概要

調査地は，国道40号中川町国府地区にある．ここには，ヨーロッパトウヒを主体とし，アカエゾトウヒ，トドモミ，シラカンバ，ヤチダモ，ほかの樹種からなる，広い防雪林帯が，1983年から，列植え方式で，道路の両側に，造成されてきた．林帯幅は，15.5~19.0mである（図－1）．

東側の林帯は，東風（やませ風）にともなう地吹雪に対応し，1983年から，ヨーロッパトウヒを主体に，南へ向かって造成されてきた．また，西側の林帯は，西風（卓越風）にともなう吹雪・地吹雪に対応し，1988年から，トドモミを主体に，やはり，南へ向かって造成されてきた．

造成予定地が泥炭湿地であったので，排水系が整備され（側溝で囲まれ），鉱質土がかなり厚く搬入された（客土）．この地拵え（排水，客土）の徹底が，これ無しの鉄道林との根本的な相違である．

調査結果

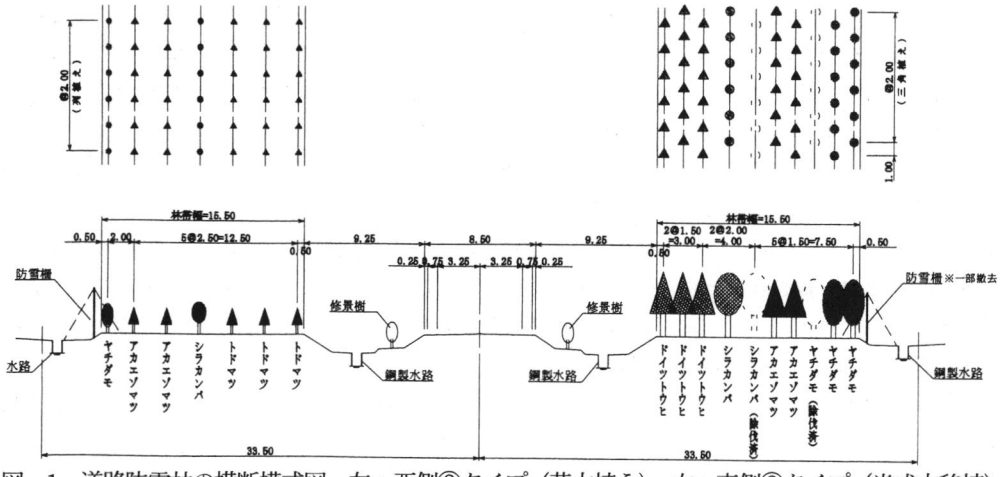
現地調査は，造成開始から，23年を経て，2006年3月4~5日に実施された．

①植栽成績

防雪林帯は，たいへん立派に成長していて，吹雪・地吹雪に十分対応できている．植栽後22成長期を過した木々は，樹高が10~13m，胸高直径が13~20cmに達していて，現在も，年伸長量が0.4~

写真－1　東側が初めに造成され（1983年から），立派な防雪林となり，冬季の車行が安全になった

写真－2　ヨーロッパトウヒ（半成木移植22年生，樹高11~13m）



図－1　道路防雪林の横断模式図　左：西側②タイプ（苗木植え），右：東側③タイプ（半成木移植）

0.6mもあり，20年以内に樹高が20mに到達する，と予想される（写真－1，2，図－2）．

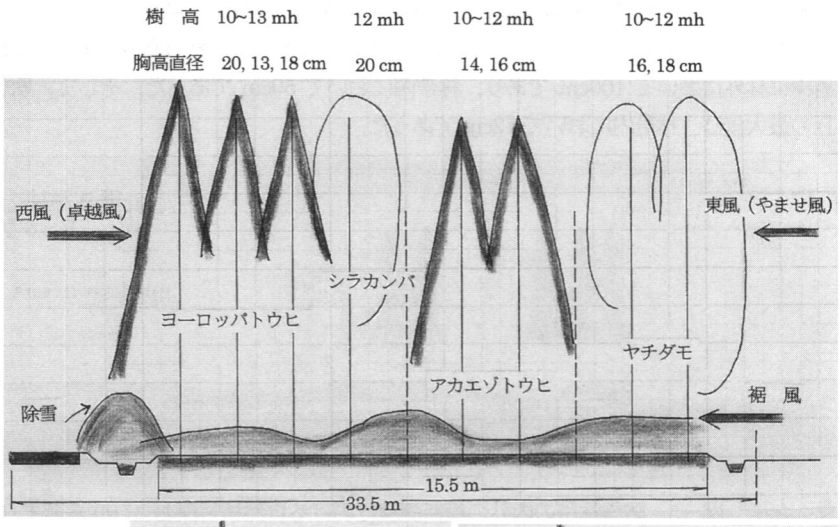
19年生の箇所においても，ヨーロッパトウヒが7.0~8.7m，シラカンバが7.2m，アカエゾトウヒが6.0~6.5m，ヤチダモが6.7~6.8mに成長している（図－3）．

そして，西側の防雪林においても，道路側のトドモミが，たいへん旺盛な成長を示している（写真－3）．それらの年々の成長量の一端が，図－3に示される．

②積雪深

林帯を横断して，積雪深を観測した．この冬には，この地域では，積雪が少なめで，吹雪・地吹雪も少なめであって，しかも，調査の前に降雨があったので，吹雪・地吹雪を捕捉した雪

写真－3　トドモミ（苗木植え，14年生，樹高5~8m）

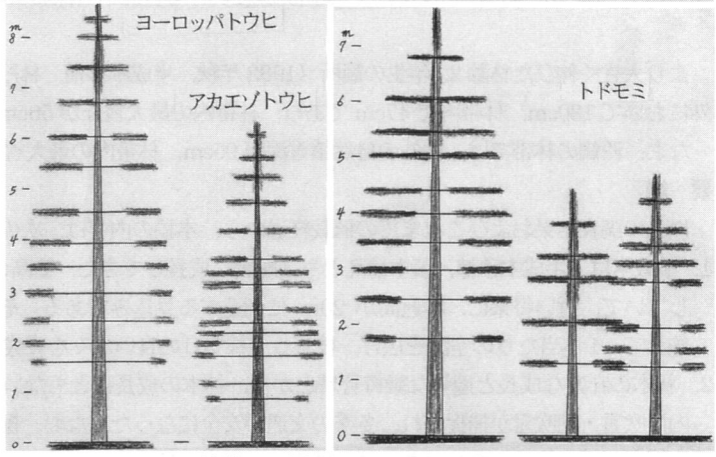


図－2　最初に造成された箇所の横断模式図および林木のサイズ（1983年秋植え，植栽後22年生）
ヨーロッパトウヒの2~3列目を間引く；1列目も劣勢木を間引く

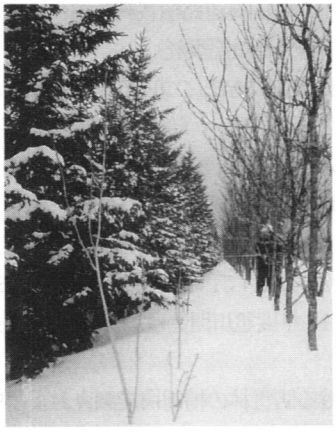
丘さえ，予想よりずいぶん低かった．なお，天塩中川の平均積雪深は，150cm前後である．

東風による地吹雪が，裾枝打ちの下方を通過して，道路にまで到達した，との情報があったので，積雪深は，おもに，東側の林帯で実施された．雪丘は，落葉樹のヤチダモと常緑樹のアカエゾトウヒの境界部（ヤチダモの1列間引き部分）に低く形成されていた（写真－4）．

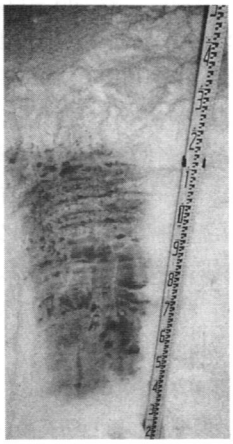
そして，その部分の積雪断面および比重と雪質は，写真－5に示される．雪層に乱れが無いので，冠雪の落下でなく，吹き溜まり（雪丘）であり，また，比重もこのことを暗示している．



図－4　枝階から測定された常緑針葉樹類の年々の成長量
左：半成木移植，19年生；右：苗木移植，14年生



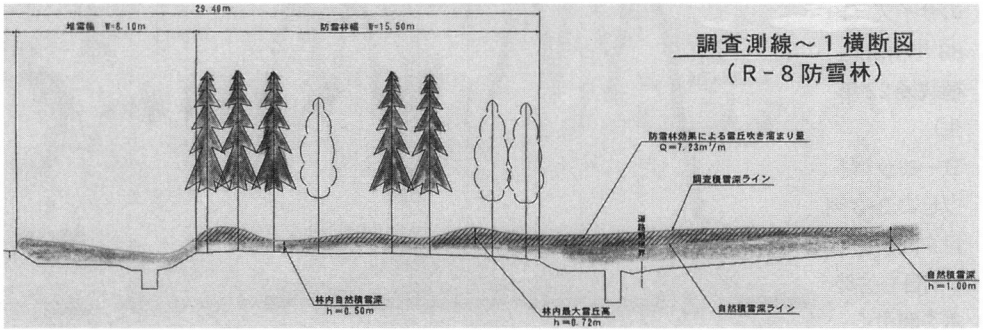
写真－4　東からの吹雪・地吹雪が常緑樹の林縁で捕捉された



積雪深	比重	雪　質
120cm	0.10	新　雪
110	0.20	〃
100	0.34	ざらめ雪
90	0.30	〃
80	0.33	しまり雪
70	0.33	〃
60	0.36	〃
50	0.35	〃
40	0.37	〃
30	0.39	〃
20	0.40	〃
10	0.42	〃
0		

写真－5　積雪の断面および比重と雪質

積雪深の横断観測は，東側の林帯で4測線が，西側の林帯で1測線が実施された．図−5は，積雪断面も観察した林齢19年生の箇所（1986年秋，半成木移植，林冠高6~9m）の事例である．自然積雪深は林外において100cmであり，林帯内において50cmであった．そして，吹き溜まりによる雪丘の最大値は，林帯内において72cmであった．



図−5　防雪林帯の内外の横断測線における自然積雪深および吹き溜まり雪丘

より大きく伸びた林齢22年生の箇所（1983年秋，半成木移植，林冠高）では，自然積雪深は，林外において130cm，林帯内で47cmであり，林帯内の最大雪丘が56cmであった．

なお，西側の林帯では，林外の自然積雪深が95cm，林帯内の最大雪丘の値が68cmであった．

要　約

以上の調査結果およびこれまでの植栽経過から，本稿の内容は，次のように要約される．

1. 植栽木は，半成木移植，苗木植えとも，順調に成長してきた．樹高の伸びは，ほぼ0.5m／年に達していて，近い将来に，林冠高が20mに到達する見込みである．それゆえ，さらなる間引きを実施して，1本当たりの空間を広げ，枝張り・根張りの良い木々を育成する必要がある．
2. 林木の旺盛な成長と適切な維持管理とから，林木の成長にともない，防雪機能が増大して，林帯内に吹雪・地吹雪が捕捉され，冬季の交通が安全になった．なお，裾枝打ちと関係して，降雪初期に裾風が通り抜ける恐れがあれば，外側に常緑性の低い生垣を植栽する必要があろう．

参考文献（筆者分）

斎藤新一郎・浜本　潔，1983．一般国道40号中川町国府道路植栽調査解析業務――調査解析報告書（昭和57年度）．87pp.，北路産業㈱（旭川開発建設部委託）．

――――，1989．国道40号中川町国府防雪林の造成方法について――現地検討会を終えてのコメント．44pp.，北海道開発土木研究所へ提出．　『部美深道路維持事業所への技術相談．

――――，1990．道路防雪林の保育に関する裾枝打ちと複梢整理について．15pp.，旭川開発建設

――――，1996．国道40号中川町国府防雪林の植栽成績および新規防雪林造成計画への提案．102pp.，専大北短大造園林学科（㈱アークス山上への報告書／旭川開発建設部委託）．

――――，2004．道路防雪林の横断構造の変遷について．日林北支論集，no.52: 109~111.

――――・川口賢一・中村健一，2004．平成15年度旭川開発建設部道路緑化技術資料．35pp.，旭川開発建設部．

――――，2006．国道40号中川町国府における防雪林の捕雪機能調査および機能的な防雪林づくりへの提言．　pp.，環境林づくり研究所（㈱構研エンジニアリングへの報告書／旭川開発建設部美深道路維持事業所委託）．

広い道路防雪林における林内作業道の必要性について

斎藤新一郎（環境林づくり研究所）

まえがき

経済林において，また，防災林帯においても，立木密度が高いまま推移すると，個々の林木の地上部の枝張りおよび地下部の根張りが，サイズの増大に応じた十分なスペースを確保できず，劣勢化を余儀なくされ，暴風雪に対して抵抗性が乏しくなり，被害を受けやすくなる．しかし，暴風雪を軽減・減殺することが目的で造成される防災林帯では，被害を受け難いことが肝要である．そのためには，枝張りの大きい，健全な林木を育成する，つまり，密度を低くする（間引きを徹底する）必要がある．加えて，抵抗性に富む林縁木を育てることが肝要である．

道路防雪林は，道路沿いの樹林帯であり，鉄道防雪林ほど広くないけれども，造成（地拵え＋植栽）から維持管理まで，従来，道路そのものから横断的に移動し，諸作業が実施されてきた．けれども，排水系を再整備する，間引き木を掘り取って移植する，ゴミ投棄・防火で見廻る，加えて，林帯を森林浴の場などとして活用する，等々の必要・要望から，林帯内に作業道を設置することが望ましい，と考えられるようになってきた．

林帯内に作業道が設置されれば，広い列植えの効果（捕雪スペース，樹冠の閉鎖の遅延）が，さらに広がることになり，しかも，林内にも2つの林縁が形成されて，本来の2つの林縁に加わり（4林縁タイプ），暴風雪に対しても，更新に際しても，防雪林がより安全で，より機能的になる．林内に林縁をつくることは，鉄道林における「離伐」の考え方に対応できる，ということでもある．

林内作業道とは

経済林業としての人工林では，地拵え＋苗木植えからスタートして，下刈り，裾枝打ち，つる切り，間引き，枝打ち，間伐，主伐，地拵え，更新植栽までを実施するに際して，作業道が必要である．全て人力の時代でもそうであったし，機械力を用いる現代では，なおさら，作業道が必要である．

このことは，鉄道防雪林，耕地防風林においても，ほぼ同様である．そして，時代的に新しい道路防雪林では，以上のほかに，根張り空間の改良のための，排水系統の整備，泥炭湿地への鉱質土の搬入（客土）もあり，植栽後の見廻りもあって，林内作業道を欠如しては，円滑・適切な造成事業を展開できないのである．

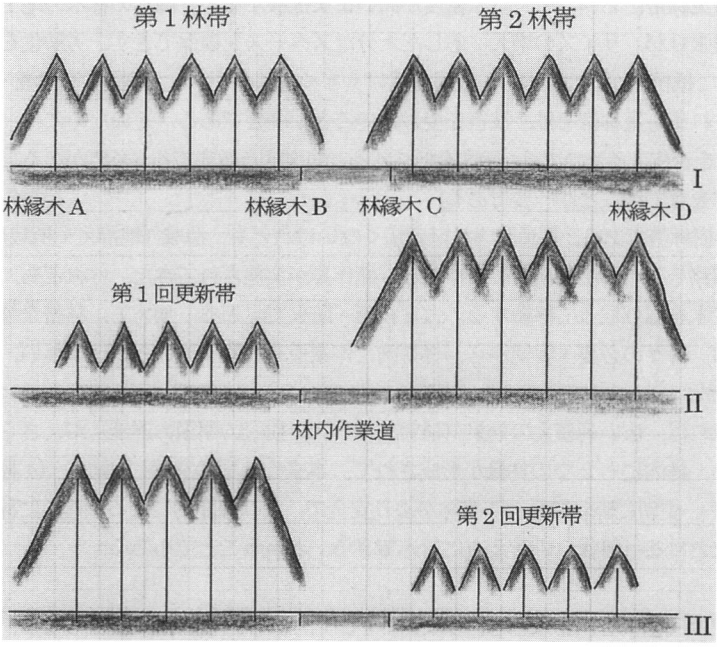
新しい「防雪林の造成マニュアル」では，列間が 3.5m となった（斎藤・孫田 2003）．けれども，この列間でさえ，機械類の走行や作業には，やや不十分であり，実際，樹幹を傷つけ，根系を傷めてしまう傾向にある．やはり，自動車および機械類が走行できる幅員および基盤の整備が，つまり，単なる広い列間ではなく，砂利敷き（＋小側溝）のある，作業道が不可欠なのである．

そうすれば，見廻り，下刈り，掘り取り間引き，等々の諸作業に関して，道路から不自由に横断的に出入りするのではなく，林帯内を自由に縦断的に，機能的に動けるのである．

ところが，従来のように，林内作業道が無いと，耕地防風林のケースでは，農地から横断的に入るので，農作物が収穫された後でしか諸作業を実施できないし，農地を踏み固めるので，重機類を導入し難い．このことは，鉄道防雪林でも，道路防雪林でも，ほぼ同様であり，しかも，農地を通行するほかに，側溝という障害物もあって，諸作業にきわめて不便である．こうした制約が，適切な保育管理を放棄させてきた1要因でもある，と言いうる．

離伐という考え方

離伐（リバツ，severance cutting）とは，広い林帯を2分割し，その境界を広めに開けるのである．そうすると，林帯内部にも2列の林縁木が出来上がり，外側のものと合わせて，4列の林縁木が出来上がる，という考え方である．これらの林縁木は，暴風雪に抵抗性が大きく，更新に際しても，安全性が確保されるそして，広めの境界に，作業道が設置されれば，上述の諸作業にも，たいへん好都合になる（図−1）．



I：植栽され，成長を続ける林帯——A〜Dの4つの林縁木を有する
II：第1林帯の更新——残りの第2林帯には，しっかりした林縁（林套）がある
III：第2林帯の更新——第1林帯は，既に，しっかりした林縁を形成している
☆林内作業道は，地拵え，植栽，下刈り，裾枝打ち，間引き（＋掘り取り間引き），つる切り，更新，等々の諸作業に，たいへん好都合である

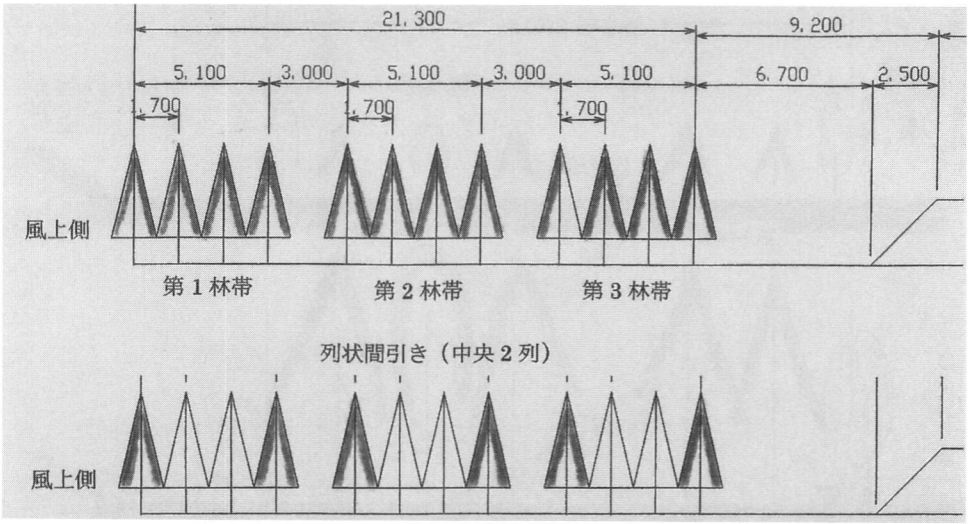
図−1　鉄道防雪林，耕地防風林，道路防雪林に適用される，離伐の考え方（模式図）
健全な林縁木をつくるために，林帯を2分割して，第1林帯と第2林帯とし，その間に作業道を設置する→4つの林縁（林套）をつくる→暴風雪に耐える，諸作業にも都合よい

林内作業道の造り方

以上のように，防雪林には，できる限り，林内作業道が設置されることが望ましい．そこで，その造り方を提案したい．

その前に，既に，国道391号弟子屈町野上峠に存在する，林内作業道つきの防雪林を紹介しておきたい．それは，林帯幅が21m余で，2本の林内作業道を有する防雪林である．つまり，3林帯の構成であり，それぞれが4列植えであって，合計6列の林縁木を有する．そして，密度を低め，残された木々の樹冠を大きくして健全化し，吹雪の捕捉スペースを拡大するために，列状の間引きが始まっている（図−2）．

道北地方では，その気象条件の厳しさもあり，土地の取得の容易さもあって，道路防雪林の幅員は，国道40号，238号において，基準の10mよりも広く，おおよそ20mくらいある．それゆえ，10m幅で3列植え（列間3.5m×苗間2.0m）でなく，20m幅で6列植えとなっている．それゆえ，向後の防雪林造成事業では，その中央に，林内作業道を設置して，それぞれが10m幅の第1，第2林帯を有する方式——4林縁方式——が採用されることが望ましい．



図－2　幅広い防雪林帯における，吹雪の捕捉スペースの拡大も含んだ，列状の間引き
林縁木の枝張りを重視して，3 つの林帯とも，中央の 2 列を間引く

また，既往の防雪林であっても，幅員が広めの場合には，ほぼ中央に，林内作業道を設置する．そこに林木が存在するケースでは，①大きければ，その 1 列の木々を伐り捨てても，あるいは，②樹高が 2.0m 未満であれば，それらを掘り取り，別の林帯に移植してまでも，林内作業道を設置することが望ましい．

新しく造成する場合には，防雪林のほぼ中央に，幅 3.5m の作業道を設置する．そうすると，第 1 林帯と第 2 林帯の間には，ほぼ 5.5m の空間が出来る．ここは，捕雪スペースとして，大いに機能する．その反面で，全体の幅員が 20m のケースでは，列間 3.5m を守ると，第 1 林帯が 2 列植えになることもやむを得ない．ただし，子守り木を風上側に植えて，それなりの機能を保つことが可能である．

第 2 林帯では，中央列に落葉広葉樹を植えて，生態的な安定を図る――食物連鎖を利用して，虫害を大発生させない；分解しやすい広葉を林床に供給し，分解しにくい針葉を早期に分解させ，火災の恐れを減殺する．また，落葉広葉樹は，夏季には，針葉樹と光合成で競合し，針葉樹の樹冠の閉鎖を阻止して，半永久的な捕雪スペースを維持することになる．

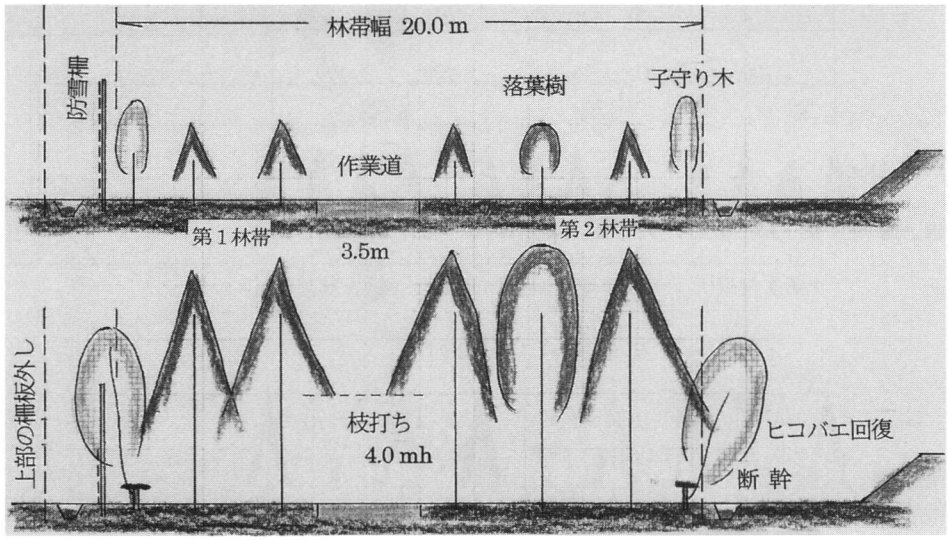
両側の林縁の子守り木は，生態的な安定にも寄与するが，本命木のライヴァルにもなるので，周期的に断幹され，ヒコバエにより再生させる．子守り木は，ヤナギ類が一般的であるが，ヒコバエ（萌芽幹）が期待できる広葉樹類であれば，それほど樹種を選ばないでよい．ときには，寿命の長い，耐性（耐寒風性，耐塩風性、ほか）の大きい樹種が望ましい．

その模式図が，図－3 に示される．

なお，広い列間＋広葉樹導入方式は，岩内共和道路の防雪林の造成において，採用される見込みであり（斎藤 2004），「新マニュアル」の改訂版にも記載される予定である．

むすび

防雪林の造成および維持管理において，これまでも，林帯専用の作業道（管理用道路）の必要性が主張されてきた．見廻りおよび諸作業のためである．そうした現場の声が，マニュアルに無い，とい



図－3　広い道路防雪林における林内作業道と防雪樹の列間および樹種配置の関係（案）
作業道は，幅員が 3.5m であり，砂利敷き路面である――枝打ちすれば，幅が 5.5m になる
第１林帯は２列植え＋子守り木であり，第２林帯では３列植え＋子守り木である
中央列の広葉樹は，生態的な安定に，また，捕雪スペースの半永久的な確保に，貢献する
上：植栽後まもない段階――防風防雪柵は，子守り木とともに，本命の木々を保護ずる
下：植栽後 10 余年を経た段階――柵板の上部を外し（下部のそれらは防鹿用に残し），子守り木（広葉樹）が本命木のライヴァルになるので，断幹して，ヒコバエ回復させる

うことで採用されないケースが多かった．

それゆえ，離伐の考え方を導入し，４列の林縁木を仕立てて，暴風雪に対する抵抗性を増大させ，吹雪・地吹雪の捕捉機能を向上させる，新しい方式を，筆者は，提案することになった．このことは「新しいマニュアル」の改訂版に，記載されることであろう．

付言すると，林内作業道は，上述の本来的な役割のほかに，市民たちによるウォーキング，ジョギング，歩くスキー，バードウォッチング，ほかの森林利用にも貢献する．

参考文献

斎藤新一郎・成田俊司，1988．十勝地方における耕地防風林の現況と保育，除間伐および更新方法とに関する調査報告書．97pp.，北海道立林業試験場（十勝支庁林務課への報告書）．　『15.

――――，1989．道路建設が森林に及ぼす影響とその軽減に対する提言．林業技術，no.571: 12~

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

――――，2004．道路防雪林の横断構造の変遷について．日林北支論集，no.52: 109~111.

――――，2006．防雪林帯内における林内作業道の必要性とその配置に関わる諸課題．18pp.，環境林づくり研究所（㈱雪研スノーイーターズへの回答書／稚内開発建設部委託）．

四手井綱英ほか，1984．鉄道林施業技術標準に関する研究報告書．243pp.，日本鉄道施設協会，東京．

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

○ 山田毅,伊東靖彦,加治屋安彦((独)土木研究所　寒地土木研究所)
小杉健二,根本征樹((独)防災科学技術研究所),今西伸行((株)ドーコン)

1. はじめに

防雪林は冬期の安全で確実な交通を確保するために吹雪対策施設として造成される樹林帯である。初期に造成された防雪林は生長によって、間伐が必要な時期を迎えつつある。一方、間伐によって樹木密度が小さくなり一時的に防雪効果が低下することが懸念される。しかし現時点では樹木形態と防雪効果の関係は明らかになっていない。そこで防雪林の防雪効果を維持できる適正な樹木密度を明らかにするため、北海道内の道路防雪林をモデルに縮小模型による風洞実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実測

本風洞実験では風速分布、飛雪流量、吹きだまり分布の3つの測定を行い、モデルとした防雪林での実測と比較をした。

(1)モデルとした防雪林

モデルとした防雪林は一般国道 40 号天塩町雄信内の道路防雪林である(図1)。雄信内防雪林は 1981 年から植栽が始まり、初期に植栽されたものの樹高は 6～8m になっている(写真1)。

図 1 調査箇所

(2)実測方法

この雄信内防雪林で樹木寸法調査、風速分布測定、視程計測、積雪横断測量の調査を行った。観測位置は図2に示す3ヶ所(定点、密な林帯(林帯 A)、疎な林帯(林帯 B))である。観測位置の道路横断構成を図3に示す。

写真 1 調査箇所(全景)

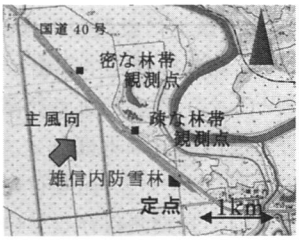


図 2 観測点位置

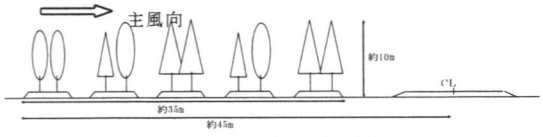


図 3 防雪林の横断構成

風速分布測定では小型三杯風速計((株)牧野応用測器研究所 電接風速計発信器 AC750)を使用し、2003 年 2 月 12 日に測定した。測定高さは雪面上高さ 0.6、0.9、1.2、2.4、4.8m の 5 点とした。防雪林前後の減風効果を確認するため、測定は道路中心を X=0m、風下を正とする道路の垂線の距離 X=-150m、-37.5m、-25m、-19m、-7m, 7m の 6 点で行った。また観測時間は 1 観測点あたり 2 分である。測定日は 2003 年 2 月 12 日である。

視程計測は視程計(明星電気(株)TZE-4)、風速計(コーナシステム(株)KDC-S4)を用い、図2に示す3ヶ所で計測した。

積雪横断測量は 2005 年 2 月 28 日にトータルステーション((株)ニコン GF-5)を用いて道路垂線で積雪形状を計測した。

これらの調査の結果、疎な林帯Bでは密な林帯Aに比べて視程改善効果が劣ることが確認された(伊東ら(2006))。そこで間伐による防雪林の防雪効果への影響を調査するため、林帯Aと林帯Bの2つの対照的な林をモデルとして模型林を作成し実験を行った。

3. 風洞実験装置

風洞実験は、防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所(当時)の密閉回流式低温風洞装置(断面 1m×1m、測定部 14m)(佐藤ら(1999)参照)を用いて、2005 年 10 月に実施した。実験時の風洞内気温は約-10℃、模型サイズは 1/100 とした。実験用に作製した模型は表 2、図 4 に示す 4 パターンである。このうち P1 は林帯 A を再現したもの、P2 は P1 の広葉樹を約 1/4 間伐したもので、P3 は P1 の広葉樹を 1/2 に間伐したもの、P4 は林帯 B を再現したものである。模型木の大きさを表 3 に、模型材質を表 4 に示す。

表 2 模型林帯一覧表

パターン(P)	モデル	林帯幅(cm)	針葉樹 1(本)	針葉樹 2(本)	針葉樹 3(本)	広葉樹 1(本)	広葉樹 2(本)
1	密な林帯	31.5	152	-	117	299	-
2	密な林帯(間伐 1)	31.5	152	-	117	233	-
3	密な林帯(間伐 2)	31.5	152	-	117	166	-
4	疎な林帯	31.5	-	59	-	-	160

表 3　模型木の大きさ

	樹高(cm)	枝下高(cm)
針葉樹 1	8.5	1.7
針葉樹 2	8.5	1.8
針葉樹 3	6.3	0.9
広葉樹 1	5.9	1.3
広葉樹 2	6.6	1.2

表 4　模型の材質

項目		材質　型番
模型林前後の木板		木製　ｼﾅﾗﾝﾊﾞ材　厚さ 20mm
樹林(針葉樹)	葉部分	ﾓﾙﾄﾌｨﾙﾀｰ　ｲﾉｱｯｸ製　型番 MF-8
	幹部分	硬ｽﾃﾝﾚｽ棒
樹林(落葉広葉樹)		亜鉛ﾒｯｷ軟質線材#30　0.28mm
ガーゼ(板に貼り付け)		綿日本薬局方ｶﾞｰｾﾞ分類 Type I

模型林は風洞装置測定部の風上端から8500mm風下に設置した(図 5)。風方向をx軸におき、測点は道路中心をx=0mとして、風下側を正とした。吹きだまり計測の都合上、模型林周辺の地表部分は木板とし、佐藤ら(2003)を参考に表面にガーゼを貼り付けた。木板の前後は低温室内で長期間保存していたザラメ状の雪を敷き詰めて、雪表面に霧を吹き固い雪面とした。実験で使用した飛雪は、人工の氷球からなる雪(佐藤ら(1999)参照)を 2 日間室温約-10℃の低温室で保存し、しまり雪になったものをほぐして使用した。

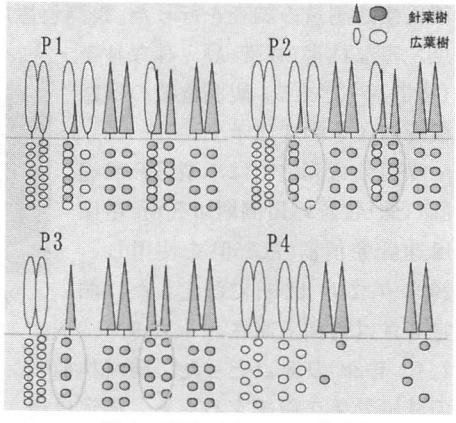


図 4　実験パターンの構成図

図 5　風洞内の模型配置(側面図)

4. 風洞実験方法と結果

(1)風速分布測定

風速分布は1パターン毎に90点を熱線風速計(TSI製：Model IFA300　Sencer　No.4624)を用いて1点あたり16.4s測定した。以降の風速データはこの平均値である。ここで風速の測定高さ(z)は地表面からの高さとする。風洞中心風速は10m/sと設定した。また防雪林内の積雪を考慮して林内に木片を6本挿入して測定を行った(写真2)。使用した木片は風挙動が野外の実測値に合うように、厚さ7mm、幅15mmの3本、幅20mmの3本でガーゼを貼り付けた。

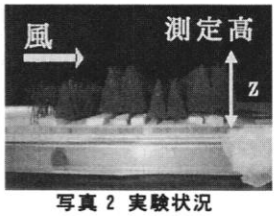


写真2 実験状況

風速分布測定結果を図6、図8に風速比で示す。ここで風速比は、x=-200cmにおける同じ高さ(z)での風速を1としたときの各測点での風速とする。

P1の風速比の最小は、防雪林と道路の間に位置し、高さにより0.1～0.2を示した(図6)。

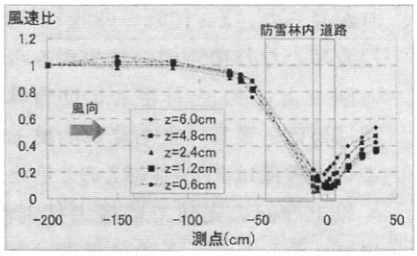


図6 風速比(P1)

図7に林帯Aでの実測における減風率を示す。ここで減風率Aは、A=(B/C)/(D/E)（但しB:風速分布測定した各観測点での風速，C：B計測時の定点(図2)の風速，D：風速分布測定したX=-150mの風速，E：D計測時の定点(図2)の風速)とする。

減風率の最小は防雪林と道路の間に位置し、0.2を示した。減風率の最小となる位置は図6の風速比が最小となる位置とほぼ同じであり、値も同程度であった。

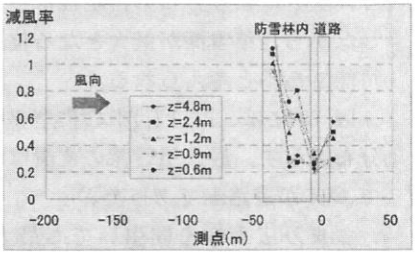


図7 減風率(林帯A)

このことから、林帯Aにおいて実験値と実測値の風速分布がほぼ一致し、防雪林においての縮小モデルの再現性を確認することができた。

図8には、P1とP3の風速比を示す。z=1.2cmの風速比が最小になる位置はP1とP3ともに道路上で、値も0.1と同程度を示した。z=2.4cmの風速比が最小になる位置はP1とP3ともに防雪林の風下端でその値も0.1と同程度を示した。これより林帯Aでは、広葉樹を間引いても風速分布に変化がなく防雪効果の低下はないと考えられる。

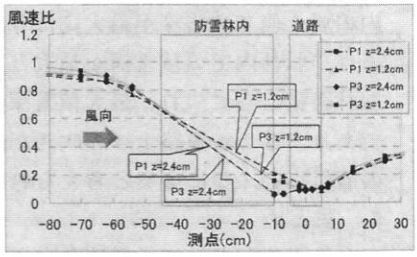


図8 風速比(P1、P3比較)

(2)飛雪流量測定

飛雪流量測定は紙面の都合により省略するが、縮小モデルにおける飛雪流量の再現性について確認することはできなかった。

(3)吹きだまり分布測定

防雪林として雪粒子の捕捉能力が高い樹木形態を調査するため吹きだまり分布の測定を行った。実験では佐藤ら(2003)を参考に風洞中心風速を7m/sに設定し、吹雪粒子供給装置を稼働させて吹雪を再現した。吹雪の供給時間は300sとした。吹雪供給後に模型林外の吹きだまり形状を測定した。測定には林外でレーザー距離計(KEYENCE 製：LB-300 s/n 082055)を、模型林内では曲尺を用いた。実験時の吹雪粒子供給量と雪密度を表5に示す。

吹きだまり形状の実測値と実験値の比較にあたっては、鳥田ら(2004)に倣い、吹きだまりのピーク(最大積雪深)の位置、深さに着目した。

表 5　実験に用いた雪の供給量と密度

	雪の供給量	雪の密度
P1	4560 cm^3	310 kg/m^3
P3	4712 cm^3	280 kg/m^3
P4	4560 cm^3	249 kg/m^3

図 9 は、P1 と林帯 A の吹きだまり分布を示す。但し P1 の測定は 100 倍(cm→m)してある。図 9 において注釈すると X=-150～-50m および X=5～30m で P1 の積雪深が 0m に対し林帯 A が 1.5m程度であるが、これは主に降雪のためである。また X=-150m より手前に小さな林があるために X=-150m 付近で吹きだまりが見られ、X=-130m～-80m までが風速の回復により浸食域となり積雪深の減少がみられる。

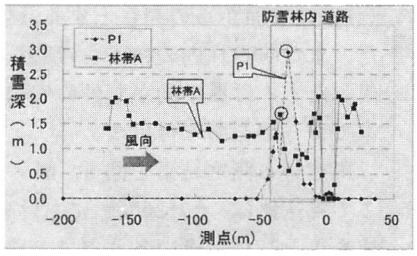


図 9 吹きだまり分布
(P1・林帯 A)

図 9 より P1 と林帯 A の防雪林内の最大積雪深の位置はほぼ一致し、ともに林内風上側であった。しかしこの積雪深は P1 が林帯 A の 2 倍と異なるものであった。

以上今回の実験では最大積雪深の位置は実測値とほぼ一致したが、その積雪深は実験値と実測値で異なり、吹きだまり分布の再現性は不十分であった。しかしながら、積雪深が最大となる位置は目安として利用可能であると考えられる。

図 10 には、P1, P3, P4 の模型実験による吹きだまり分布を示す。最大積雪深の位置は P1 と P3 が防雪林内で、P4 が道路上であった。

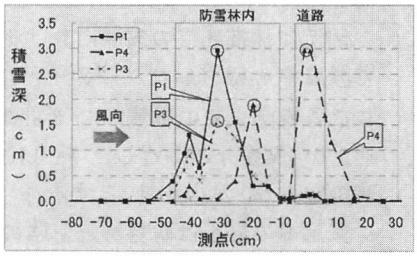


図 10 吹きだまり分布
(P1、3、4)

つまり広葉樹を間引いても最大積雪深の位置は変わらず、道路上へ吹きだまりが発生しなかった。防雪林内のみに着目すると P1 と P3 は林内の風上側で積雪深が最大になり、P4 は林内の風下側で最大になった。林が密から疎になるにつれ林内での積雪深が最大となる位置は風下側に移動している。また密な林帯から疎な林帯になるにつれ、最大積雪深の位置が林内で風下へ移動していることから、林帯が疎でありすぎると道路上への吹きだまり発生も懸念され、適正な樹木密度を検討していく際の着目点の 1 つになると考えられる。

5. まとめ

今後の課題として、風速分布については密な林帯の針葉樹を様々に間引いた模型パターンで追加の実験を行い、防雪林の適正な樹木密度を明らかにしたいと考えている。飛雪流量、吹きだまり分布については風速、雪粒子(雪質、径)、雪の供給量について調整し、防雪林の縮小モデルの再現性を確認してゆきたい。

参考文献
伊東靖彦・山田毅・武知洋太・加治屋安彦, 2006:樹木形態の異なる道路防雪林の視程改善効果. 雪工学会誌, **22**(5)(投稿中).
佐藤威・小杉健二・佐藤篤司, 2003：非平衡状態における防雪柵風下の吹き溜まりの比較実験. 防災科学技術研究所研究報告, **64**, 36.
佐藤威・小杉健二・佐藤篤司, 1999：雪粒子を用いた風洞実験による吹雪の研究. 寒地技術論文・報告集, **15**, 50-51.
鳥田宏行・根本征樹・西村浩一, 佐藤威, 2004：防雪林に関する野外観測と風洞実験の比較. 雪氷学会誌, **66**(3), 377-387.

（社）日本雪氷学会北海道支部　2005年度事業報告

1. 春の講演会の開催

日　時　：　2005年4月20日（水）13時30分～15時00分
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室
講　演　：
1.「新潟中越地震と雪氷災害」
　　西村 浩一　氏（防災科学技術研究所長岡研究所）
2.「雪の気象学」
　　播磨屋 敏生　氏（酪農学園大学）

2. 支部総会

日　時　：　2005年4月20日（水）15時10分～15時40分
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室
主要議題：　(1) 2004年度事業報告・収支決算
　　(2) 2005年度支部役員について
　　(3) 2005年度事業計画案・収支予算案
　　(4) その他・全国大会等

3. 役員会議

日　時　：　2005年4月20日（水）15時40分～17時00分
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室
主要議題：　(1) 2005年度地域講演会について
　　(2) 支部の運営について
　　(3) その他

4. 理事・幹事会議

日　時　：　2005年11月8日（全国大会報告他）
　　2006年4月10日（2005年度事業報告、2006年度決算報告、予算決算他）

5. 幹事会の開催

日　時　：　2006年1月17日（積雪調査法実習について）

6. 研究発表会の開催

日　時　：　2005年6月29日（水）10：00～17：00
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室

7.「北海道の雪氷」の発刊

研究発表会の論文を含む支部会誌「北海道の雪氷」第24号を、2005年9月に発刊

8. ニューズレターの発行

No.22：2006年1月25日　（雪氷調査法実習案内・地域講演会案内 etc）

9. 地域講演会

日　時　：　2006年2月22日（水）　9：00～12：00

場　所　：　紋別市文化会館

講演対象：一般市民

参加費　：無　料

主　　催：（社）日本雪氷学会北海道支部

共　　催：北方圏国際シンポジウム実行委員会

内　容　：

1）流氷を育むオホーツクの天気　～主に冬の気象について～　9：00～9：40

祐川　弘一　（財団法人日本気象協会北海道支社）

2）人工衛星から見た流氷　9：45～10：25

舘山　一孝　（北見工業大学土木開発工学科雪氷研究室・助手）

3）オホーツク海におけるクリオネの生態　10：30～11：50

濱岡　荘司　（紋別市役所流氷都市推進室・参事）

4）クリオネの採取と長期飼育について　10：50～11：10

桑原　尚司　（関西梱包株式会社）

4）ガリンコ号2船長から見た流氷　11：15～12：00

山井　茂　　（オホーツクガリンコタワー株式会社・ガリンコ号Ⅱ船長）

10. 積雪調査法実習

日　時　：　2006年2月4日（土）　10：00～15：00

場　所　：　北海道大学低温科学研究所構内

内　容　：　①積雪調査に関する講義

②積雪調査法実習

11. 支部ホームページの運営

・ホームページによる支部会員へのお知らせ

・雪氷関連情報の提供　等

（社）日本雪氷学会北海道支部　2006年度事業計画

1. 春の講演会の開催

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

2. 支部総会

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

3. 役員会議

日　時　：　2006年5月10日（水）15時40分～17時00分
場　所　：　北海道大学 学術交流会館　第一会議室
主要議題：　(1) 2006年度地域講演会について
　　(2) 支部の財政について
　　(3) その他

4. 理事・幹事会議

日　時　：2006年7月、2007年3月

5. 幹事会の開催

必要に応じて年度内に1～2回程度開催

6. 研究発表会の開催

日　時　：　2006年6月16日（金）9：30～17：00
場　所　：　北海道大学 学術交流会館 第一会議室

7.「北海道の雪氷」の発刊

研究発表会の論文を含む支部会誌「北海道の雪氷」第25号を、2006年8月を目処に発刊

8. ニューズレターの発行

発行回数：1〜2 回

9. 地域講演会

日　時　：未定

場　所　：未定

10. 積雪調査法講習会

日　時　：未定

場　所　：未定

11. 支部ホームページの運営

・迅速な内容の更新

・ホームページによる支部会員へのお知らせ

・雪氷関連情報の提供

・コラムやエッセイ等の充実

12.メーリングリストの開設

支部内の連絡を電子メールで行うにあたり、現在は bcc によるメール配信を行っているものを、今一方的な配信だけではなく、会員間の情報共有の窓口として、メーリングリスト（ML）を開設する。

ML アドレス：hokkaido@seppyo.org

2005年度収支決算
（2005年4月1日～2006年3月31日）

2006年度収支予算
（2006年4月1日～2007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	平成18年度予算
1.会費収入	0	0	0			0
支部会員費	0	0	0			0
2.事業収入	250,000	244,000	6,000			250,000
研修会等収入	100,000	51,000	49,000		積雪観察講習会	100,000
広告収入	50,000	62,000	△ 12,000			50,000
出版収入	100,000	131,000	△ 31,000		「北海道の雪氷」	100,000
3.内部移管金収入	290,000	290,000	0			262,000
交付金支部収入	290,000	290,000	0		本部より	262,000
助成金	0	0	0	臨時	本部より	0
事業収支差額収入	0	0	0			0
広告支部受取金	0	0	0			0
4.資産勘定からの繰入	-	-	-			0
5.雑収入(預金利子)	100	7	93			100
当期収入合計	540,100	534,007	6,093			512,100
前期繰り越し収支差額	555,996	555,996	0			144,558
収入合計	1,096,096	1,090,003	6,093			656,658

支出の部　　（単位 円）

科目	予算額	決算額	差額	執行率	備考	平成18年度予算
1.事業支出	550,000	481,180	68,820	87%		520,000
研修・見学会支出	50,000	59,405	▲ 9,405	119%	研究発表会・積雪講習会	50,000
講演・談話会支出	50,000	42,805	7,195	86%	春の講演会・地域講演会	50,000
支部機関誌発行費	450,000	378,970	71,030	84%	北海道の雪氷・ニュースレター	420,000
2.管理費	60,000	84,265	▲ 24,265	140%		60,000
事務費	10,000	5,505	4,495	55%	文房具費等	10,000
旅費・交通費	40,000	70,160	▲ 30,160	175%		40,000
会議費	10,000	8,000	2,000	80%	お茶、弁当代等	10,000
雑費	0	600	▲ 600			0
3.内部移管収入勘定	0	0	0			0
4.資産勘定への繰入	0	380,000	▲ 380,000			0
5.予備費	0	0	0			0
当期支出合計	610,000	945,445	▲ 335,445	155%		580,000
当期収支差額	▲ 69,900	▲ 411,438	341,538		差額：赤字圧縮効果	▲ 67,900
次期繰越し収支差額	486,096	144,558	341,538		差額：繰り越し増額	76,658
支出合計	1,096,096	1,090,003	6,093			656,658

社団法人日本雪氷学会北海道支部役員（平成18年度）

役職	氏名	所属	備考
支部長	山田　知充	北海道工業大学	新任
副支部長	高橋　修平	北見工業大学土木開発工学科	
理事	石丸　幸一	鹿島建設(株)札幌支店営業部	
	石本　敬志	(財)日本気象協会北海道支社	
	榎本　浩之	北見工業大学土木開発工学科	
	加治屋 安彦	独立行政法人土木研究所寒地土木研究所	
	河村　俊行	北海道大学低温科学研究所	
	斉藤 新一郎	環境林づくり研究所	
	斎藤　有司	(株)ドーコン	
	武市　靖	北海学園大学工学部社会環境工学科	
	竹内　政夫	(株)雪研スノーイーターズ	
	土谷 富士夫	帯広畜産大学畜産科学科	
	苫米地　司	北海道工業大学建築工学科	
	金田　安弘	(社)北海道開発技術センター	
	福田　正己	北海道大学低温科学研究所	
	難波　重壽	(財)北海道道路管理技術センター	
	平松　和彦	北海道立旭川西高等学校	
監事	油川　英明	北海道教育大学岩見沢校	
	松岡　直基	(財)日本気象協会北海道支社	
評議員	青田　昌秋	道立オホーツク流氷科学センター	
	池田　保夫	(株)ドーコン	
	吉野　伸一	北海道旅客鉄道（株）工務部	新任
	高橋　公浩	北海道開発局開発監理部開発調整課	新任
	真藤　邦雄	北海道企画振興部地域振興室地域政策課	
	小山　芳一	(財)河川情報センター札幌センター	
	藤原　智史	北海道電力(株)総合研究所	
	筑田　清貴	札幌市建設局管理部雪対策室	新任
	高橋　淳	(株)地崎工業北海道本店	
	東海林 明雄	北海道教育大学名誉教授	
	前野　紀一	北海道大学名誉教授	
	横辻　宰	北海道電力（株）土木部	新任
	矢作　裕	北海道教育大学名誉教授	
	横山　博文	札幌管区気象台技術部	新任
顧問	秋田谷 英次	北星学園大学・北の生活館	
	小島　賢治	北海道大学名誉教授	
	佐伯　浩	北海道大学理事・副学長	
	清水　弘	元北海道大学低温科学研究所教授	
	中村　龍一	(株)北海道二十一世紀総合研究所	
	若濱　五郎	北海道大学名誉教授	
幹事長	兒玉　裕二	北海道大学低温科学研究所	
庶務幹事	大槻　政哉	(株)雪研スノーイーターズ	
会計幹事	的場　澄人	北海道大学低温科学研究科	
幹事	麻生　照雄	北海道電力(株)総合研究所	
	阿部　正明	(社)北海道開発技術センター	
	荒川　逸人	野外科学株式会社	新任
	石井　吉之	北海道大学低温科学研究所	新任
	池田　元基	北海道旅客鉄道（株）工務部工事課	
	伊東　敏幸	北海道工業大学建築工学科	
	伊東　靖彦	独立行政法人土木研究所寒地土木研究所	
	尾関　俊浩	北海道教育大学岩見沢校	
	川島　由載	(株)ドーコン	
	高橋　章弘	北海道立北方建築総合研究所	
	鳥田　宏行	北海道立林業試験場	
	中村　一樹	(財)日本気象協会北海道支社	
	舘山　一孝	北見工業大学土木開発工学科雪氷研究室	
	原田　裕介	株式会社アルゴス北海道事務所	新任
	藤井　雅晴	札幌総合情報センター(株)	
	沼崎　正徳	東日本高速道路株式会社北海道支社札幌技術事務所	
	森　淳子	北海道大学低温科学研究所	
	山田　高嗣	北海道栄高等学校	

社団法人　日本雪氷学会北海道支部規約

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

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

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

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

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

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

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

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

（監事の職務）
第９条　支部監事は、支部の事業、会計を監査する。

（幹事の職務）
第１０条　支部幹事は、支部の会務を処理する。

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

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

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

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

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

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

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

北海道の雪氷　No.25

ISSN-1340-7368

2006年10月10日発行
発行　日本雪氷学会北海道支部
〒060-0819 札幌市北区北19条西8丁目
北海道大学低温科学研究所内