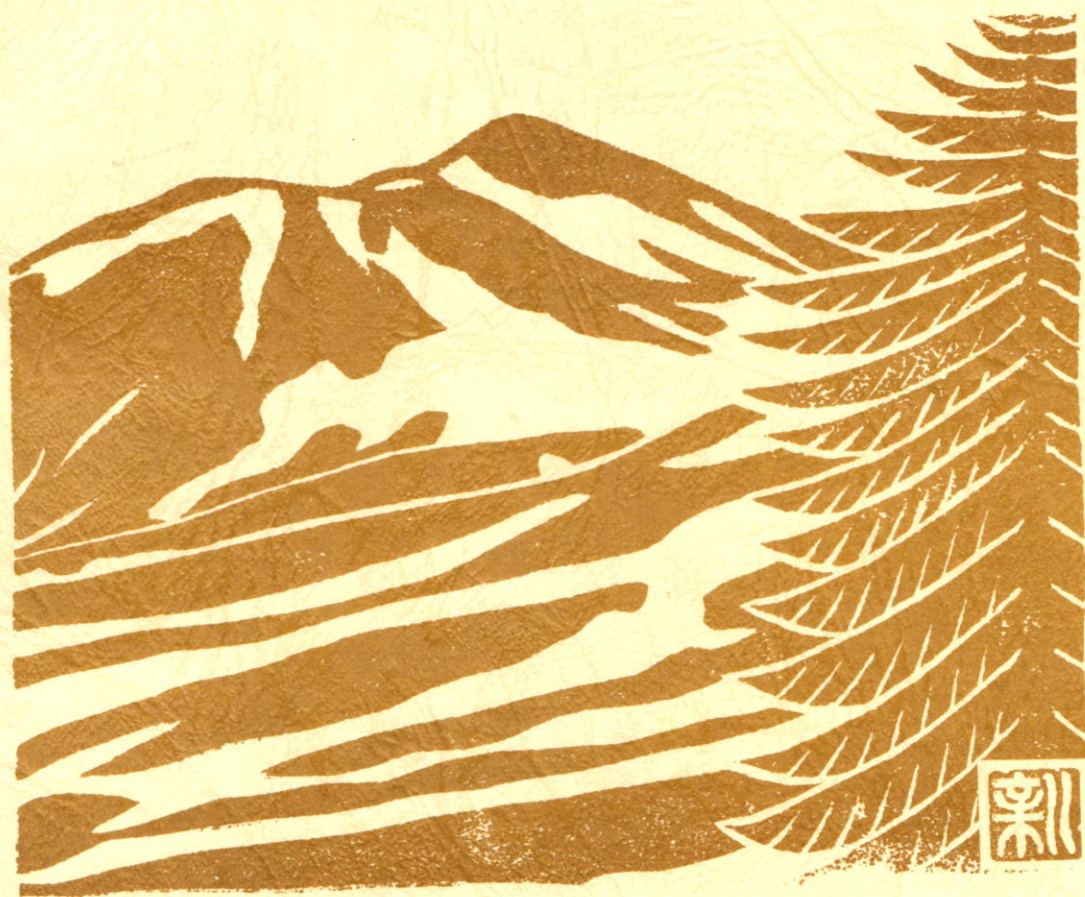


(社)日本雪氷学会北海道支部機関誌

I S S N - 1340 - 7368

北海道の雪氷

第24号



2005年 9 月

発行 (社)日本雪氷学会北海道支部

目 次

巻頭言-----	1
2004 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文-----	2
(社)日本雪氷学会北海道支部 2003 年度事業報告-----	86
(社)日本雪氷学会北海道支部 2004 年度事業計画-----	88
2003 年度収支決算及び 2004 年度収支予算-----	90
(社)日本雪氷学会北海道支部役員名簿-----	91
社団法人日本雪氷学会北海道支部規約-----	92

企業広告

表 紙

画 : 斎藤新一郎

題字 : 福沢卓也

巻 頭 言

支部幹事長 児玉裕二 （北海道大学低温科学研究所）

「災害は進化する」とよく言われます。雪氷災害の分野でもそれは例外ではありません。科学技術の進歩に伴って人間活動が及ぶ範囲は拡大しています。例えば都会に住む人々は以前より容易に山間地帯へ立ち入ることが出来るようになりました。数年前に発生したニセコのスキー場外での雪崩事故はその一例です。人間の行動のモラルに関わる一面もあるかもしれませんが、地元の人々にはまさかと思われるような危険な場所に簡単に行けるようになったことは確かです。りっぱな道路も山の奥まで延びるようになりました。より便利になったことにより人間活動の場が広がり、新しい災害の要因が増加することも考えられます。

地球温暖化も雪氷災害が変化する大きな要因になると考えられます。このまま温暖化が進行すると、数十年後には東京の気温は現在の宮崎市の気温と同等になるという予測が出ています。同じようなことは北海道の降雪・積雪に関しても言うことが出来、例えば、北海道の降雪・積雪は数十年後には今の東北地方のそれと同等になるかもしれません。さらさらの降雪に替わって湿った雪が多く降るようになり、斜面での雪の積もり方が変わったり、さらには電線への着雪が多くなることにより、今までは考えられなかった所での雪崩の発生や電線着雪による事故の増加が懸念されます。実際、道路雪崩の現場の人に何うと、以前には考えられなかった道路法面での雪崩の発生があるということでした。これは一概に温暖化によるとは性急に結論付けることが出来ませんが、温暖化によって降雪のパターンや雪質が変化することは十分考えられ、それに伴って災害の質が変化するだろうことは推測できます。また、温暖化は降雪・積雪自身の変化に影響を及ぼすだけではなく、その環境にも変化をもたらすかもしれません。以前には考えられなかった道路法面での雪崩の発生は法面での植生の変化、例えば笹の侵入が全層雪崩を誘発したのかもしれません。冬期の降雨の頻度も多くなることが考えられ、降雨に伴う積雪の雪質や安定度の変化も考えられます。

中越地方は昨年秋に大地震が発生しその上、冬には大雪に見舞われました。地震で不安定化した建物や地盤に対し、例年にない大雪が加わったことで、災害がどのように加重されたのか検証を待つところです。学会サイドとしてもこのような複合的な雪氷災害を研究し、提言出来るようにすることも重要になってきていると思われます。

今年の全国大会は北海道支部が実行を担当し、旭川で開かれます。例年の全国大会と大きく違うところは雪氷工学会との共同開催であり、「雪氷研究週間 in 旭川」と銘打って9月26日から開催されます。基礎的な雪氷研究に加えて応用工学的な面からの、進化した雪氷災害に対する研究成果の発表が期待されます。また「中越地震から学ぶもの」というテーマで公開シンポジウムも開かれる予定となっています。会員の皆様の参加・ご協力のもと、成功裏に終わることを切に望んでいます。

日時：2004 年 7 月 1 日（木）10:00～16:30

場所：北海道大学 学術交流会館 第一会議室

1. マイクロ波センサー AMSR-E を用いたオホーツク海海氷移動解析	3
戸城亮, 榎本浩之, 館山一孝 (北見工業大学)	
2. 電磁誘導式氷厚計を用いたサロマ湖広域氷厚観測	7
館山一孝 (北見工業大学), 白澤邦男 (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), 河村俊行, 石川正雄, 高塚徹 (北海道大学低温科学研究所)	
3. 南極半島 James Ross 島における気温・地温状況	11
森淳子, 曾根敏雄 (北海道大学低温科学研究所), Strelin, Jorge Torielli, Cesar (Universidad Nacional de Cordoba), 福井幸太郎 (国立極地研究所)	
4. 積雪表面雪粒子の飛び出し風速の気温依存	15
佐藤研吾, 高橋修平 (北見工業大学)	
5. 柵上端からの剥離渦の挙動に関する基礎研究	18
廣田充伸 (北海道工業大学大学院), 白濱芳朗 (北海道工業大学)	
6. 畜舎施設の屋根上積雪荷重についてー屋外観測の結果	22
千葉隆弘 (㈱雪研スノーイーターズ), 小林敏道 (コバ建築事務所), 苫米地司 (北海道工業大学建築学科), 干場信司 (酪農学園大学)	
7. 冠雪と格子フェンス	26
竹内政夫 (㈱雪研スノーイーターズ)	
8. 雪氷体験を通じた子供達の防災・環境保全の意識向上について	30
中村一樹, 小坂克己 (財団法人 日本気象協会北海道支社 防災気象グループ)	
9. 並木の雪害対策としての防雪杭の設置およびヒコバエ更新について	34
～国道 12 号美唄市茶志内町地区の 1 事例～ 斎藤新一郎 (環境林づくり研究所)	
10. ヨーロッパトウヒ並木の雪害および保育管理手法について	38
～国道 275 号浦臼町於札内地区の 1 事例～ 斎藤新一郎 (環境林づくり研究所)	
11. 視線誘導樹の視認性とドライバーの視線誘導樹への注視特性調査	42
武知洋太, 伊東靖彦, 松沢勝, 加治屋安彦 ((独)北海道開発土木研究所)	
12. 鹿が起こしたか? 支笏湖畔の雪崩	46
竹内政夫 (㈱雪研スノーイーターズ), 山田知充 (北海道工業大学)	
13. 北欧における冬期道路管理業務の民間委託と性能発注について	50
浅野基樹 ((独)北海道開発土木研究所道路部交通研究室)	
14. 冬期歩行者空間における客観的評価手法について	54
舟橋誠, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 浅野基樹 (北海道開発土木研究所道路部交通研究室), 桜庭満 (国土交通省北海道開発局旭川開発建設部)	
15. 冬季積雪路面の変化に関する研究	58
藤井崇 (北海道大学低温科学研究所), 岡村智明 (日本気象協会北海道支社), 石川信敬 (北海道大学低温科学研究所)	
16. 気象の時間変動と道路構造別冬期路面温度特性に関する研究	62
秋元清寿, 舟橋誠, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 浅野基樹 (北海道開発土木研究所道路部交通研究室)	
17. 異なる森林生態系における積雪表面 CO ₂ フラックスと積雪特性の考察	66
栗田孝 (北海道大学大学院), 兒玉裕二, 石川信敬 (北海道大学低温科学研究所), 中井太郎 (JST/CREST)	
18. 森林樹冠による降雪の遮断蒸発量に関する研究	70
津滝俊 (北海道大学大学院地球環境科学研究科, 北海道大学低温科学研究所), 兒玉裕二 (北海道大学低温科学研究所), 中井太郎 (JST/CREST), 鈴木和良 (海洋研究開発機構地球環境観測研究センター), 石井吉之, 石川信敬 (北海道大学低温科学研究所)	
19. 地中探査レーダーによる知床峠の積雪観測	74
谷口優介, 佐藤研吾, 高橋修平 (北見工業大学)	
20. AMeDAS で計算可能な積雪層構造モデルの作成と積雪層構造の推定	78
齋藤佳彦 (㈱雪研スノーイーターズ), 榎本浩之 (北見工業大学)	
21. 北海道の冬期における大雨・大雪事例出現頻度の経年変化について	82
谷口恭, 藤正美, 藤哲寛, 中村一樹 (財・日本気象協会北海道支社), 中津川誠 (北海道開発局 石狩川開発建設部 豊平川ダム統合管理事務所)	

マイクロ波センサーAMSR-Eを用いたオホーツク海海水移動解析

戸城亮, 榎本浩之, 館山一孝(北見工業大学)

1. はじめに

オホーツク海の海水移動を知ることは海難事故の防止や防災のための情報としても重要である。本研究では天候に左右されにくい衛星マイクロ波データ AMSR-E を使用し、サハリン東岸から北海道に至る海水移動の変化を解析した。従来作成していた SSM/I による密接度および氷厚と組み合わせることにより詳細な海水状態を検討することができる。また、今回は風のデータを用いて、衛星マイクロ波データから算出したオホーツク海の海水移動ベクトルと比較する。

2. 使用したデータおよび解析方法

(a) 衛星データの処理

本研究では JAXA 提供のアメリカの衛星 Aqua に搭載されているマイクロ波放射計 AMSR-E データのうち 89GHz 水平偏波(空間分解能 12.5km)を用い、2003 年 12 月～2004 年 4 月における海水移動を解析した。(戸城, 2005) 海水移動ベクトルの算出は、面相関法(熊野, 2002)を用いて行った。AMSR-E データは 7×7 のウィンドウで前日と相関のある場所を探している。また、従来から使用されているマイクロ波放射計 SSM/I による海水密接度および氷厚図は北見工業大学で作成のものを利用した。

海水密接度、氷厚図；

(<http://snow.civil.kitami-it.ac.jp/>)

(b) 気象データの処理

アメリカの気象機関 NCEP が作成した緯度、経度 2.5 度ずつの格子点における 1 日平均の気象データのうち風速、風向を使用した。

3. 結果

(a) 海水移動ベクトル

オホーツク海の平均的な海水移動を知る上で、2003 年 12 月～2004 年 4 月における移動ベクトルを 62.5km(5pixel)で平均化したものを図 1 に示す。

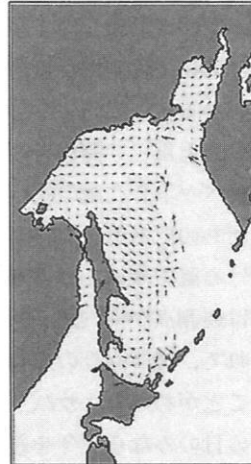


図 1 2003 年 12 月～2004 年 4 月における平均海水移動ベクトル図

図 1 より、サハリン東方沖に南東に向かう移動がみられる。また、北海道北東では移動ベクトルが小さい。この理由として風や海流の影響を受け、移動方向が安定しないためである。また、氷縁付近に大きな速度ベクトルが出ているがこれはエラーまたはデータサンプル数の不足によるものである。

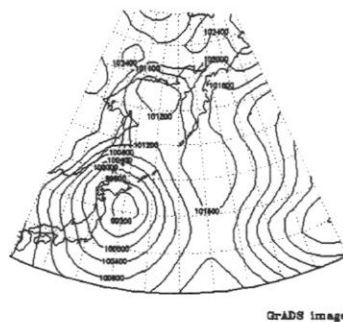


図 2 2004 年 1 月 13 日の天気図

(b) 海水密接度、氷厚および海水移動ベクトル

次に、2004 年 1 月 13、14 日の暴風雪時における海水密接度、氷厚および海水移動ベクトルについて解説する。参考に 2004 年 1 月 13 日の天気図を図 2 に示す。

まず、図 3、図 4 とともに顕著な海水変化がみられたサハリン東方沖において a)、b) の比較をする。図 3. a)、b) の比較から b) は海水密接度が低下、図 4. a)、b) の比較から b) は厚い氷の部分が縮小、図 3 および図 4 からそれぞれ b) は沿岸部において海水域が後退、縮小していることがわかる。

次に海水の動きと風との関係をもてみる。図 5 は海水移動ベクトルに風の吹いていく方向をかきこんだものである。これよりサハリン沿岸部における風の吹いていく方向（大きな矢印参照）は観測点が南（図 7; w1 から w5）にいくにつれて、時計回りの方向に推移していることがわかる。サハリン沿岸部においてはこの日のみならず冬を通じてこのような日が多い。同じく図 5 より海水移動ベクトルはサハリン沿岸部において向きが一定していないことがわかる。また、一部風の影響により岸に向かって押しつけている海水移動ベクトルがみられる。これにより海水は大きな変形を受けたと考えられる。

一方で特異な海水分布の様子も確認できる。サハリン北東部に氷のない部分がみられる。これはポリニアとよばれるもので海水が生成されにくい場所である。また、カムチャッカ半島および北海道沿岸部にみられる海水密接度はマイクロ波解析による誤差である。

次に図 4 の (A) 地点の海水状態をみてる。図 3、図 4 よりこの地点においては半島状の海水域の形がほとんど変化しない。この理由としてこの地域で海水が渦をまいていることが多く海水域の形が維持されていると考えられる。

(図 5)。これは冬を通じてこのような特徴が

ある。

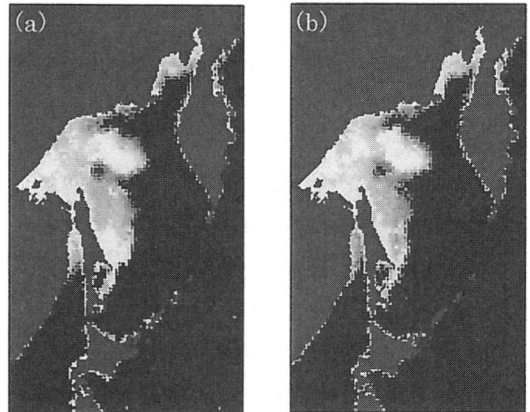


図 3 海水密接度図 (a: 2004 年 1 月 13 日、b: 14 日)
・海水密接度 20%以上を図に表している。
・色が濃い方が海水密接度は高い。

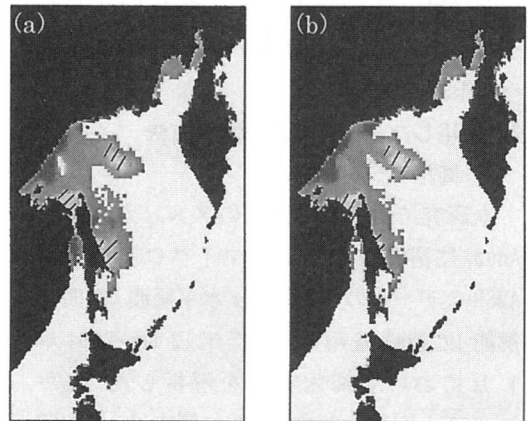


図 4 氷厚図 (a: 2004 年 1 月 13 日、b: 14 日)
・海水密接度 80%以上の海水域における氷厚を
図に表している。
・海水が厚い部分を斜線で表している。

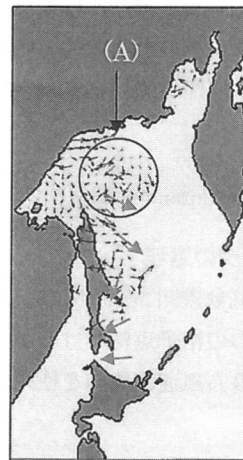


図 5 海水移動ベクトル図(2004 年 1 月 13 日～14 日)
大きな矢印は風の吹いていく方向をさす。

(c) 衛星データと気象データの比較

海水の動きと風との関係を確認するために、衛星データは海水流路(図6:s1~s9)9点を設置し、2003年12月~2004年4月における毎日のデータ(図8)をとりだした。一方、気象データはNCEPデータが緯度・経度2.5度ずつよりとりだせるので、統計145度線に沿って5点(図7:w1~w5)を定めた。これにより、衛星データ、気象データの各観測点で最も近い点同士を比較した。

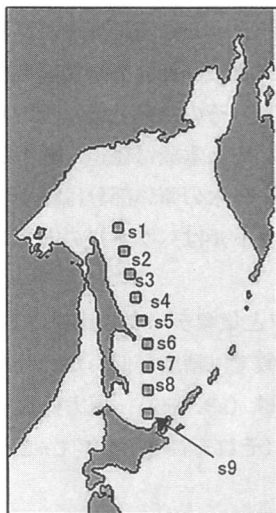


図6 サハリンから北海道に至る海水流路に沿ったリデータサンプリングポイント

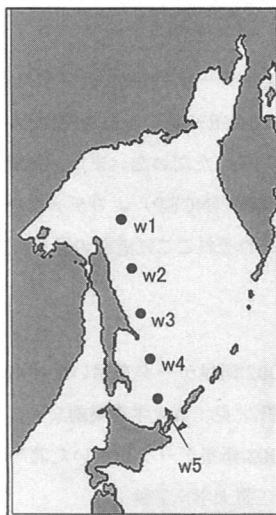


図7 風の観測点(東経145度線)

○海水移動ベクトル

サハリンから北海道に至る海水流路(図6:s1~s9)を設定し、観測点の移動ベクトルの時間的変化を図8に表した。

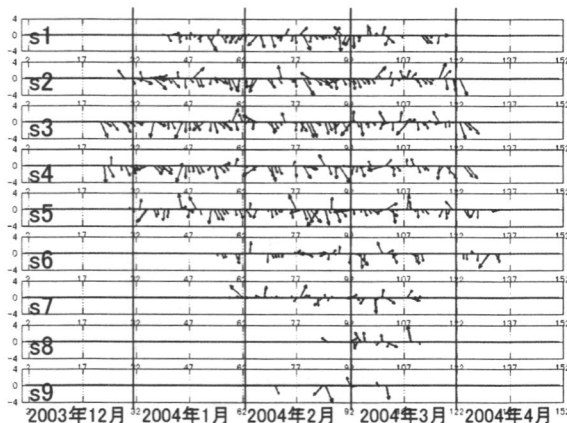


図8 各観測点の海水移動方向(上からs1~s9)

横軸は2003年12月1日からの日数

縦軸は海水移動速度(pixel/日、 ≥ 4 pixel=約0.56m/s)

図8は図6に示すs1~s9の9点の1日毎の海水移動ベクトルをそれぞれ時系列で表したものである。なお、ここでのベクトルの大きさは海水の移動速度を表しており、向きは図6の地図の上下左右に対応している。(小田, 2003)

データサンプリングポイントにおける海水移動ベクトルに着目する。図8より、まずs1~s5をみると、データは1月~3月においてまとまったデータを抽出している。その移動方向は平均的に南東であり、ベクトルも大きい。一方、s6~s9をみると、データは2月~3月にかけて少ないが抽出していることがわかる。その移動方向はs1~s5と対称的に安定していなく、ベクトルも小さい。これによりサハリン東方沖(図6:s1~s5に対応)に南東に向かう移動がみられ、北海道北東(図6:s6~s9に対応)では移動ベクトルが小さいという図1で示した2004年平均移動ベクトルと合っていることがわかる。

○衛星データと気象データの比較

海水到来から最盛期における1,2月の期間において観測点毎に海水と風の方向に対する比較をそれぞれのデータに対して行い、偏角および相関係数を求めた。なお、ここでは相関が高かったs3とw2地点における比較を行った。

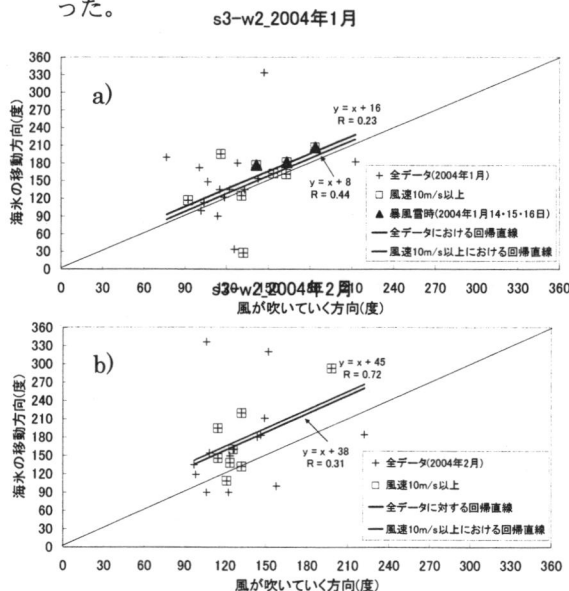


図 9.a), b) 海水と風の方向に対する比較

西から東に吹いていく風 (270 度から 90 度)
→90 度として方向を表す。

* 偏角 (α) = 海水の移動方向 - 風が吹いていく方向

* 風力係数 = 海水移動速度 / 風速

サハリン北部の東岸 (s3, w2) の比較から以下のことがわかる。カッコ内の数字はデータ数、10 は風速 10m/s 以上時である。

図 9.a)より風力係数=0.033, α = 13 度 (24),
 α_{10} = 7 度 (9)、

図 9.b)より風力係数=0.034, α = 41 度 (22),
 α_{10} = 37 度 (8) であった。

図 9.a), b)より風力係数および偏角を比較した。風力係数は a), b)でほとんど変わらなかったが、偏角においては全データ (図 9: 記号+) および風速 10/m 以上時 (図 9: 記号□) に対して大きな差が出た。ここでは省略しているが他の観測点においても同様な解

析をした。その結果、各観測点において風力係数はほとんど変わらないが、偏角は地域によりばらつきがあった。今後、海水の動きと風との関係を氷にかかる力・海流の影響等を考慮に入れて解析を行っていこうと考えている。

4. まとめ

・新型衛星マイクロ波放射計 AMSR-E のデータを用いてオホーツク海の海水移動の傾向を捉えることが出来た。

・海水移動ベクトルに密接度および氷厚を組み合わせることに詳細な海水状態を検討することができた。その結果、暴風雪時サハリン東方沖において海水域は後退、縮小し、海水密接度は低下、氷の厚い部分は縮小、そして海水移動ベクトルはベクトルの向きが安定しなかった。

・衛星データと気象データの比較においては、まだ全体比較では精度が低い、サハリン北部の東岸では (s3, w2)、風力係数 0.034、偏角 26 度 (それぞれ 2004 年 1・2 月平均) であった。

・今後は強風時による氷盤破壊の追跡にも対応できるよう改良を検討している。

謝辞

使用した衛星データは宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から AMSR-E データ、NSIDC から SSM/I データを提供していただいた。また、気象データはアメリカ気象機関 (NCEP) よりデータを提供していただいた。それぞれここに感謝の意を表す。

参考文献

熊野隆史, 2002: 衛星データを用いたオホーツク海の流氷移動解析. 北見工業大学卒業論文

小田晋矢, 2003: 衛星データを用いた北半球の海水移動解析. 北見工業大学卒業論文

戸城亮, 2005: マイクロ波センサー AMSR-E を用いたオホーツク海海水移動解析と検証. 北見工業大学卒業論文

電磁誘導式氷厚計を用いたサロマ湖広域氷厚観測

舘山一孝¹, 白澤邦男², 宇都正太郎³, 河村俊行², 石川正雄², 高塚徹²

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

はじめに

北海道北東部に位置するサロマ湖は面積 150.4km^2 の我が国で 3 番目に大きな湖で, 2 つの湖口によってオホーツク海に繋がっており, 湖水の塩分濃度は $31\sim 33\text{psu}$ と同時期の外海沿岸水とほぼ同じ値を示している (白澤ら, 2002). このような塩分を含む湖水は海水同様に淡水氷とブライン, 気泡から構成され内部構造が複雑なため, リモートセンシングによる氷厚の測定は困難であり, ドリルで開けた掘削孔よりメジャーで測定する原始的な手法が一般的であった. この掘削法で氷厚の広域分布を測定するには多大な時間・労力を必要であるため, 効率的な氷厚測定手法の開発が望まれていた.

地質調査や金属探知に利用されてきた電磁誘導センサは 1990 年代後半より高精度な非破壊式の水氷厚測定手段として注目され, 砕氷船や航空機に搭載して広範囲な氷厚観測が行われてきた (Kovacs, 1987; Haas *et al.*, 1997; Worby *et al.*, 1999; Uto *et al.*, 2002). ここでは, 北海道大学低温科学研究所の電磁誘導式氷厚計 (Electro-Magnetic Inductive device; EMI) を用いて 2005 年 3 月 10 日にサロマ湖で行った広域氷厚観測と測定精度検証実験の結果について報告する.

測定方法

EMI は海水 ($s_I < 80 \text{ mS/m}$) と海水 ($s_W = 2300\text{--}2500 \text{ mS/m}$) の大きな電気伝導度の違いを利用し, 測器から海水までの距離 Z_E を測定できる (Kovacs *et al.*, 1987). 本研究で使用した EMI は Geonics 社製 EM-31/ICE で, 図 1 に示すように 1 対の送信コイル (T_x) と受信コイル (R_x) を持ち, 両者の間隔は 3.66m となっている.

送信コイルから周波数 9.8kHz で一次磁場を変化させると海水と海水の境界面で起電力が誘導される. この電流が発生する二次磁場の強さを受信コイルで感知し, 見掛けの電気伝導度 (Apparent conductivity; s_a) として記録する. s_a の値が大きいと氷は薄く, 小さいと厚いという測定原理である.

この s_a から図 1 に示すような 1-D multi-layer モデルを用いて積雪と海水の合計厚さ ($Z_S + Z_I$) を計算できる (Haas *et al.*, 1997; Haas, 1998). EMI 観測の測定誤差として, ①変形氷の空隙中の海水・②高塩分積雪層・③融解水の存在, ④浅い水深の影響が挙げられる. サロマ湖の湖水は平坦なため, ①については影響を無視できるが, ②から④については影響を考慮しなくて

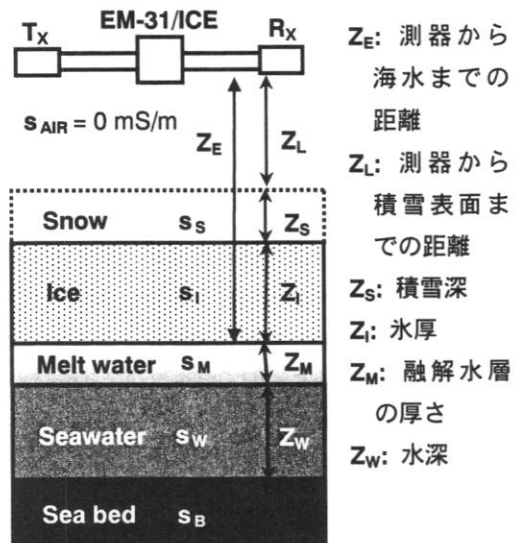


図 1 EMI による水氷厚測定概念図. s_{AIR} , s_S , s_I , s_M , s_W , s_B はそれぞれ空気, 積雪, 湖水, 融解水, 湖水, 湖底質の電気伝導度を表す.

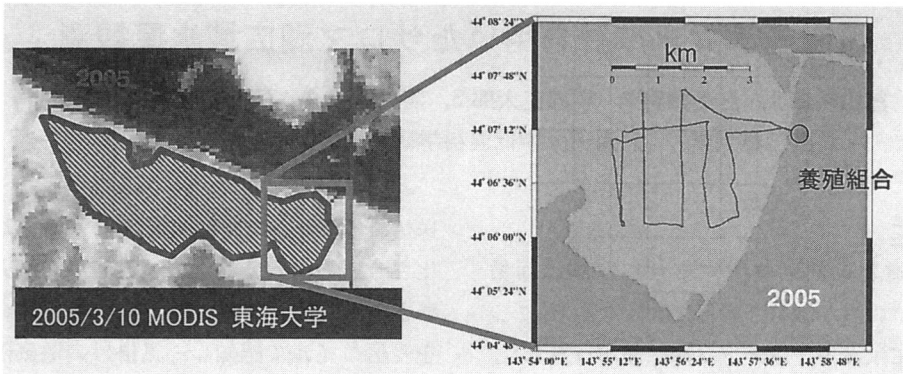


図 2 2005 年 3 月 10 日に行った EMI によるサロマ湖広域氷厚観測の測線。
左図は MODIS の可視画像による結氷分布，右図の実線は測線を示す。

はならない。

本研究では EMI をスノーモービルで牽引し、20km/h の速度、測定間隔を 0.1 秒で氷厚を測定した。測線は GPS で記録し、検証のために 6 箇所について掘削法で氷厚を実測した。また、3 箇所については雪と湖水コアサンプルを採取して温度と塩分濃度の測定と、CTD を用いて水温と塩分の鉛直分布と水深の測定を行った。

測定結果

2005 年 3 月 10 日に行ったサロマ湖広域氷厚観測の測線を図 2 に示す。約 26.6km の距離を、途中で行った 3 箇所の氷厚実測を含めて 2 時間半と短時間で測定することができた。

表 1 に別の日に取得した雪と湖水コアサンプルの温度・塩分濃度値から求めた電気伝導度を示す。積雪深 0～0.03m の積雪－湖水境界面付近には塩分濃度、電気伝導度がそれぞれ平均で 8.4‰、57mS/m の高塩分積雪層が存在した。これは湖水の電気伝導度（平均 22mS/m）の約 2.6 倍に相当し、EMI による氷厚測定の実誤差の原因になる可能性がある。この高塩分積雪層は湖水中に存在するブラインチャンネルやブラインネットワークを通して積雪層内に湖水の供給が行われるために存在する。また、母湖水の塩分濃度を超えるような高塩分積雪層も度々

表 1. 雪と湖水コアサンプルの電気伝導度

	深さ/厚さ [m]	電気伝導度 [mS/m] (平均値)
積雪	0.03～ (0.09～0.18)	0
	0～0.03	5 ～372 (57)
湖水	バルク (0.38 ～0.52)	18 ～32 (22)

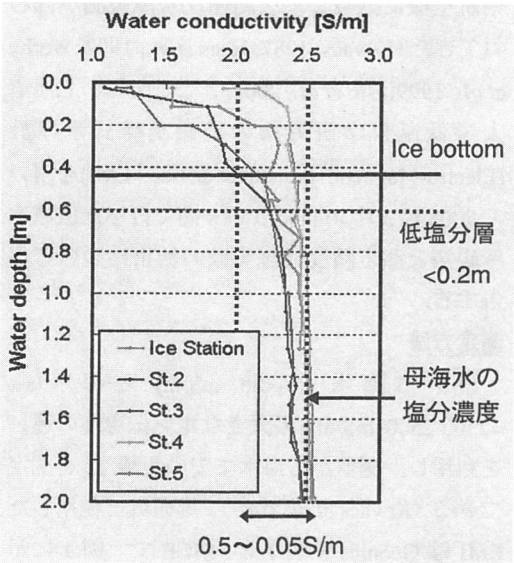


図 3. CTD の測定結果から求めた電気伝導度の鉛直分布。単位は S/m で示してある。

見られるが、これは湖水形成過程における表面ブラインの凝集、ソルトフラワーと積雪の融合、及び雪結晶の昇華によるものとされている (Massom *et al.*, 1998)。

図3にCTDの測定結果から求めた電気伝導度の鉛直分布を示す。凡例中の観測地点番号は、東経143度56分の経線上に約500m間隔で設置した観測地点を示し、St.1が陸地側、St.5が湖口側となっている。図中のY軸と交差する実線は湖水の底部を示し、破線は観測された融解水低塩分層の厚さを示している。X軸と交差する破線は母湖水と低塩分層の電気伝導度の差を表しており、場所によって違いが見られるが、50から500mS/mと大きな差が見られた。

EMIで測定した氷厚分布を図4に示す。今回得られた Z_E と s_a の測定データを統計的に解析し、次の(1)式で表される近似式が得られた。

$$Z_E = 6.310 - 0.02414s_a + 5.168 \cdot 10^{-5}s_a^2 - 4.899 \cdot 10^{-8}s_a^3 \quad \dots(1)$$

全氷厚(積雪深 Z_s +湖氷厚 Z_i)は、(1)で求めた Z_E から測器から雪表面までの距離 Z_L (0.4m)を差し引くことで求めた。EMIから得られた全氷厚推定値は、図4に示すように実測全氷厚とは0.1m以内の誤差で一致した。全氷厚は一部を除いて概ね0.6~0.7mであった。水深の浅い湖岸付近では5m超の氷厚を示し、水深が深くなるにつれて急激に0mまで薄くなるという

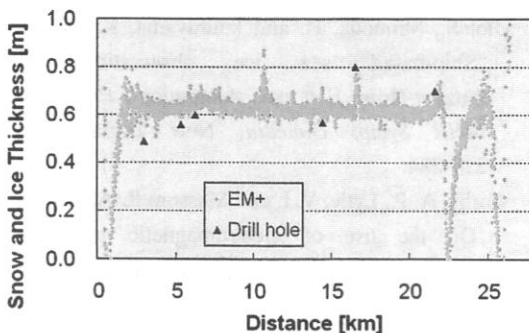


図4. 図2に示す測線でEMIを用いて測定したサロマ湖湖氷の氷厚分布。▲は実測氷厚。

エラーが見られた。これは水深が浅いために湖底の影響を受けていると考えられる。次節でこの問題について検討する。

議論

「測定方法」の節で述べたように、EMIを用いた湖氷厚の測定を行う際に、高塩分積雪層と融解水、水深が浅い場合は湖底の影響を考慮しなくてはならない。

図5は、それぞれ(a)高塩分積雪層と(b)融解水の影響についてモデル計算によって評価した結果である。図5(a)では、積雪深0.16mのうち高塩分積雪を0.03m、湖氷厚を0.41mとし、高塩分積雪層の電気伝導度 s_s を塩分無し(0mS/m)、観測から得られた最小値(23mS/m)、最大値(372mS/m)の3つの場合で計算した。そ

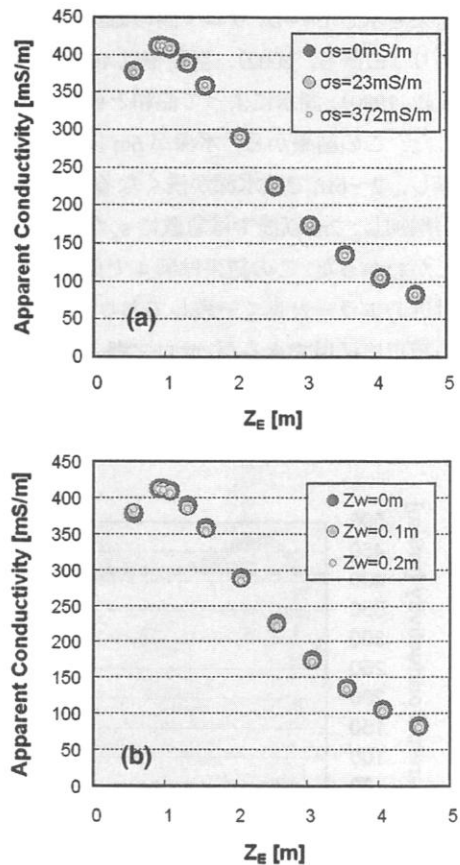


図5. (a)高塩分積雪層と(b)融解水の影響を考慮したモデル計算の結果。

の結果、塩分無しと塩分有りではほとんど同じ値で、影響は無視できることがわかった。これは高塩分積雪層が 0.03m と極めて薄いためであると考えられる。自然界ではこのような高塩分積雪層の存在は薄い層に限定されている。

図 5(b)は(a)と同様に積雪深 0.16m, 氷厚 0.41m, 融解水の電気伝導度 s_M を 2000mS/m とし、融解水の層厚 Z_M を 0m, 観測から得られた平均値(0.1m), 最大値(0.2m)の 3 つの場合で計算したものである。この図から高塩分積雪層の影響と同様に、融解水の影響も無視できることがわかった。これは s_M が 2000mS/m と依然として s_1 よりも 100 倍近く高い値であるため、影響が無視できるほど小さくなったと考えられる。

図 6 は水深の影響を考慮したモデル計算の結果を示している。サロマ湖の底質はシルトであり(白澤ら, 2002), 空隙率は 40% (MacNeil et al., 1980), 湖水によって飽和と仮定して計算した, この結果から, 水深が 6m 以深では影響無し, 2~6m では水深が浅くなるとともに s_a が増加し, 2m 以浅では急激に s_a が減少することがわかった。この結果は図 4 で見られた湖岸付近のエラーと良く一致しており, 全氷厚推定の補正に活用できるが, サロマ湖の正確な水深データが未取得であるため, 本研究では補正は行えなかった。

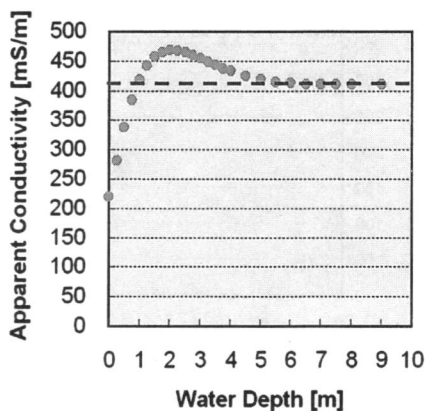


図 6. 水深の影響を考慮したモデル計算の結果。

まとめ

EMI を用いたサロマ湖の広域氷厚観測は水深が 6m 以深では 0.1m 以下の誤差で測定できた。水深 6m 以浅, 特に 2m 以浅では湖底の影響を強く受けるために, 湖岸付近の水深が浅いところで氷厚を精度良く測定するには正確な水深データを取得し s_a を補正する必要がある。

参考文献

- Haas, C., Gerland, S., Eicken, H. Miller, H. (1997), "Comparison of sea-ice thickness measurements under summer and winter conditions in the Arctic using a small electromagnetic induction device", *Geophysics*, **62**, pp 749-757.
- Haas, C. (1998), "Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica", *Cold Regions Sci. Technol.*, **27**, pp 1-16.
- Kovacs, A., Valleau, N. C., and Holladay, J. C. (1987), "Airborne electromagnetic sounding sea-ice thickness and subice bathymetry", *Cold Regions Sci. Technol.*, **14**, pp 289-311.
- Massom, R. A., Lytle, V. I., Worby, A. P. and Allison, I. (1998), "Winter snow cover variability on East Antarctic sea ice", *J. Geophys. Res.*, **103(C11)**, pp 24,837-24,855.
- McNeill, J. D. (1980), "Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers", *Geonics Limited Technical Note TN-6*, pp 15.
- 白澤邦男, 藤芳義裕, 前川公彦 (2002), "サロマ湖の水理および海水環境", *月刊海洋号外 海水生態系*, 号外 **30**, pp 50-61.
- Uto, S., Shimoda, H. and Izumiyama, K. (2002), "Ship-based sea ice observations in Lützow-Holm Bay, east Antarctica", *Proc 16th IAHR Symp, Dunedin, New Zealand*, pp 218-224.
- Worby, A. P., Lytle, V. I. and Massom R. A. (1999), "On the use of electromagnetic induction sounding to determine winter and spring sea ice thickness in the Antarctic", *Cold Regions Sci. Technol.*, **29**, pp 49-58.

南極半島 James Ross 島における気温・地温状況

森 淳子（北海道大学大学院工学研究科）・曾根敏雄（北海道大学低温科学研究所）・

Strelin, Jorge ・ Torielli, Cesar (Universidad Nacional de Córdoba) ・ 福井幸太郎（国立極地研究所）

はじめに

南極半島は近年温暖化が著しい地域とされている（例えば, Skvarca et al., 1998）. 気温の変化は、活動層の厚さ、永久凍土の温度、氷体・積雪からの融水供給量といった、周氷河地形の発達に関わる因子に影響を及ぼす。筆者らはこれまで南極半島 James Ross 島において、周氷河地形発達史の調査を行ってきた。その結果、本調査地は大型のソリフラクション地形が発達しており（Jorge and Malagnino, 1992）、周氷河作用が卓越した地域であることがわかってきた。凍結融解により斜面物質移動が生じることによって形成されるソリフラクション地形の発達速度や形成時期を知るためには、現在の環境条件と物質移動量との関係を知るとともに、過去の気候変動による環境条件の変化を考慮に入れることが必要となる。

そこで、本報告では、James Ross 島における現在及び過去の環境条件の変化を知ることを目的とし、気温・地温の現地観測結果をのべ、さらに周辺の気象データから最近 35 年間の気温の変化を推測し、活動層厚さと氷帽の後退量がどのように変化してきたのかを考察する。

調査地域

調査地域は南極半島東側に位置する James Ross 島の Rink 地域である（63°55'S, 58°10'W, 図 1）。調査地の標高は 400m a.s.l. で、北西に向かって平均傾斜約 4°で緩やかに傾斜する台地上に位置する。台地の北西端は崖になっている。調査地の南東側、すなわち台地の中央部は直径約 2km の氷帽に覆われており、氷帽の縁は 1995～2001 年に約 50-80m 後退した（森ほか, 2000）。氷帽の北東端から台地の末端までの距離は約 1.1km である。この斜面には、前面の比高最大約 5m、幅最大 30m の大型のソリフラクションローブおよびテラスが発達している。

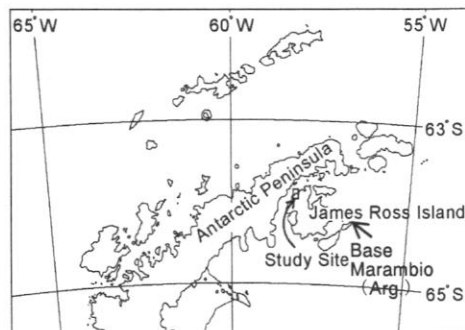


図 1 調査位置図

調査方法

気温は 1995 年 2 月から 1997 年 1 月までは白山工業 DATAMARK LS2000 を用い、白金抵抗センサーによって一時間間隔で測定した。1997 年 2 月から 1999 年 1 月までは白山工業 DATAMARK LS3000TC を用い、熱電対センサーによって 2 時間間隔で測定した。1999 年 1 月以降は、T and D おんどとり Jr. TR-52 を用い、1 時間間隔で測定した。

地温は、気温観測点近傍で、1997 年 2 月から、淘汰構造土の粗粒部と細粒部とでそれぞれ 3 深度ずつ測定した。測定深さは、1997～1999 年 1 月までは 40cm, 20cm, 5cm, 1999 年 1 月以降は 35cm, 15cm, 5cm 深さである。測定は、1997～2000 年 1 月までは白山工業 DATAMARK LS3000TC を用い、熱電対センサーによって 2 時間間隔で測定した。2000 年 1 月以降は T and D おんどとり Jr. TR-52 を用いた。細粒部については、1999 年 1 月以降、凍着凍上による埋設深

度変化を防いでおり、地表面から同じ深さの位置の温度を測定するようにしてある。

気温・地温観測地点はソリフラクションロープの先端部である。本調査地においては、最深積雪指示計（高橋，1968）による観測から、ソリフラクションロープ先端部では1995年以降、積雪が継続して20cm以上になることは無かった。

結果

気温および地温の1997年の測定結果を例として図2に示す。地温観測よりこの年の活動層厚は60cm程度と推測されるが、その50%である35cm深さにおいて凍結融解が6回生じており、また、冬期間である5月でも凍結融解が20cm深さまで生じていた。6月の終わりにも気温が正になる日があったが、そのとき地温は負のままであった。これは、積雪の影響であると考えられる。

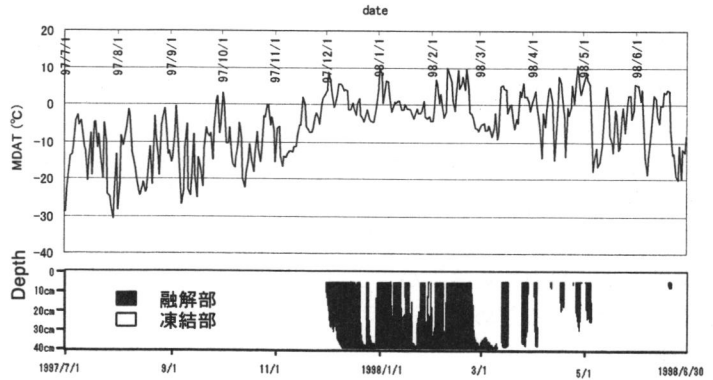


図2 1997～1998年の気温および地温観測結果。

融解深が浅かった2000～2001年には、夏期である1月初旬に、すでに約30cmまで融解していたところ、全層が一回凍結し、その後再び約35cmまで融解が進んだ。このように、本調査地では気温の変動が大きく、地温の変動も大きいことがわかった。活動層深くまで凍結融解が一年間に複数回生じることが、本調査地の周氷河地形の発達が良いことに関係していると考えられる。

考察

1. Marambio 基地と Rink の気温データの比較

調査地点の東約50kmに位置するアルゼンチンのMarambio基地（図1）の1971年以降の年平均気温とRinkの気温を図3に示す。Marambio基地の気温データはAntarctic Cooperative Research Centreによる1971～1991年の月平均気温と年平均気温データ、および、NCDCによる1994～2004年までの日平均気温データを用いた。RinkとMarambio基地の年平均気温を比較すると、Rinkの気温のほうがMarambio基地より0.5～1.5℃高いが、変化の傾向は類似している。

Marambio基地の1971～2004年間の年平均気温上昇割合は0.07℃/年であり、30年間では

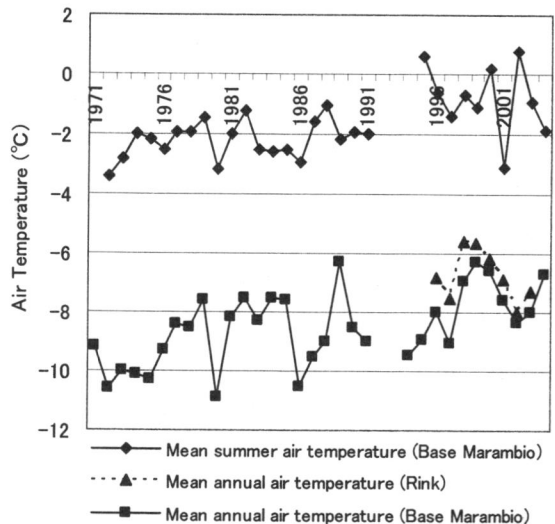


図3 RinkとMarambio基地の年平均気温の変化、およびMarambio基地の夏期平均気温の変化。

約 2.1℃の気温上昇があった。

2. 活動層厚と気温

図 4 に、粗粒部の各深さの地温の最高温度と最低温度、年平均温度を示す。ここでは、7 月から翌年の 6 月までを一年とした。2000～2001 年の夏には活動層厚が 35cm と、1997 年以降特に浅かったことが確認された。

Marambio 基地の年平均気温の変化(図 3)では、1997 年以降最も低かった年は 1997、2002 年であり、活動層厚の年変動と一致しない。そこで、融解期間である夏期(12 月～2 月)の月平均気温の平均値を求めた(図 5)。夏期の月平均気温は 2000～2001 年の夏が 1997 年以降もっとも低く、活動層厚の年変動と一致している。

Marambio 基地の夏の平均気温は、0.06℃/年の割合で上昇している。考察 1 に述べたとおり、Rink と Marambio 基地の気温は変化の傾向が似ているため、過去 30 年間で Rink の夏の平均気温は約 1.8℃上昇したと推定される。年平均気温が 1.8℃低く、そのほかの条件は現在と変わらないと仮定し、一次元の熱伝導方程式から活動層厚さの変化量を算出すると、約 20cm 現在より浅かったと推定された。

3. 氷帽の後退と気温

氷帽の縁の位置変化を図 6 に示す。氷帽は 1995～2000 年間に 10m/年の速度で後退していた(森ほか、2000)。この速度で後退が続いていと仮定すると、110 年前より前には台地全体が氷に覆われており、その後氷から開放され、周氷河地形の発達が始まったと推定される。過去の気温データから、この見積もりが妥当かどうかを考察した。

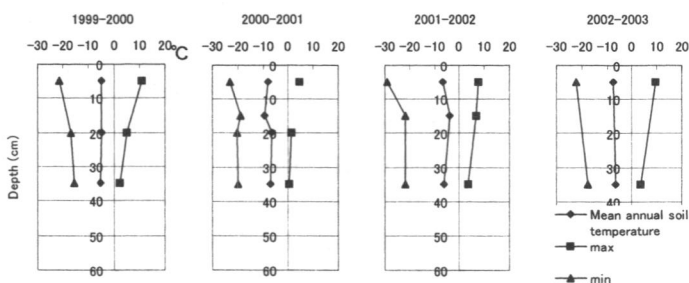


図 4 粗粒部の地温プロファイル。7 月から翌年の 6 月までの一年間における年平均地温と最高及び最低地温を示す。

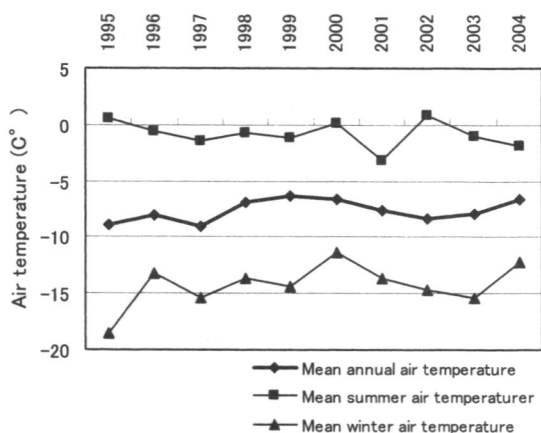


図 5 Marambio 基地の 1995 年以降の年平均気温と夏期及び冬期間の平均気温。

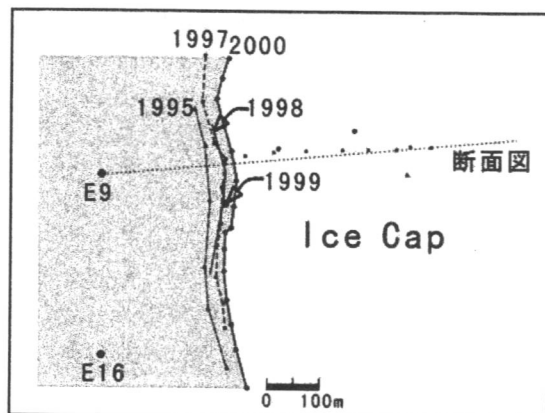


図 6 氷帽の縁の位置変化 (森ほか、2000)。

氷帽の後退量の変化と Marambio 基地の夏期平均気温変化を比較すると、氷帽の後退量が大きかった年は、融解期間である夏期の月平均気温が Marambio 基地において 0℃以上の年(図 3)であった。夏期の平均気温の過去 35 年間の変化をみると、夏期の平均気温が 0℃を超えたのは 1995 年以降であり、それ以前はより寒冷であった。

降水量は、本調査地では調査されていないが、James Ross 島のほぼ中央部 (Rink の南東側約 20km) に位置する Dalinger Dome における氷床コアの涵養量 (Aristarain et al. 2004) の変化を見ると、70 年以降はほとんど変化が無い。これらの結果から、氷帽の現在の後退速度を用いて、Rink 台地が氷から解放されはじめた時期を 110 年前とすることは、実際よりも新しく見積もられすぎていると考えられる。

おわりに

Rink 台地で気温・地温観測をおこなった。その結果、本調査地では気温の数日間周期の変動が大きく、凍結融解が活動層深くまで年に数回起こっていた。このことは本調査地で周氷河地形の発達が良いこととよく対応する。本調査地の気温データを Marambio 基地の 1971 年以降の気温データと比較した結果、最近 10 年間は特に温暖であり、活動層厚の増加や氷帽の融解が進んだと推定された。そのため、本調査地での周氷河作用の強度は、最近 10 年間より前には今ほど活発ではなかったと考えられる。

引用文献

- Antarctic Cooperative Research Centre: <http://www.antcrc.utas.edu.au/~jacka/>
- Aristarain, J. A., Delmas, R. J. and Stievenard, M., 2004: Ice-core study of the link between sea-salt aerosol, sea-ice cover and climate in the Antarctic Peninsula area. *Climatic Change*, 67, 63-86.
- 森 淳子・曾根敏雄・Strelin, J. A., 2000: 南極半島 James Ross 島 Rink における地表面付近の物質移動と環境条件. 2000 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 109.
- NCDC National Climatic Data Center website: www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html
- Skvarca, P., Rack, W., Rott, H. and Donángelo, T. I., 1998: Evidence of recent climatic warming on the eastern Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27, 628-632.
- Strelin, J. A. and Malagnino, E. C., 1992: Geomorfología de la isla James Ross. In *Geología de la Isla James Ross*, Buenos Aires, Instituto Antártico Argentino, 7-36.
- 高橋喜平, 1968: 最深積雪指示計について. 雪氷, 30 (4) 11-14.

積雪表面雪粒子の飛び出し風速の気温依存

佐藤研吾 高橋修平(北見工業大学)

はじめに

地吹雪の発生する条件を調べるため、積雪表面にミニ風洞を設置して、雪粒子の飛び出す時の風速を計測した。同時に、積雪表面から採取した雪粒子の終端落下速度などを観測した。また降雪時に積雪表面からサンプルを採取し、低温室に保存し、屋外の積雪と比較を行った

雪粒子飛び出し風速

ワーキングセクションは高さ 50mm×幅 50mm×長さ 300mm のミニ風洞低部を自然積雪表面上に設置し、風洞内風速を徐々にあげ、雪粒子が動き出したときの、風洞中央風速を測定した(図 1)。

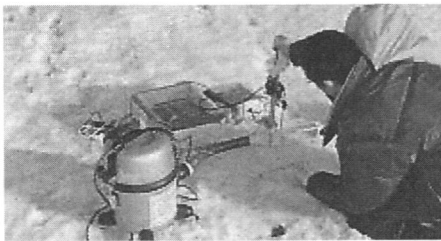


図 1 観測風景

雪粒子終端落下速度

積雪表面から採取した雪粒子を落下させて終端落下速度を測定した。

雪粒子は高さ 160cm の円筒上部から落下させ(図 2)、円筒下部の落下速度測定装置により雪粒子の終端落下速度と粒径を測定した。落下速度装置の、2 つの赤外センサー(図 3)を通過する時間差から終端落下速度を求め、その遮蔽率から雪粒子の粒径を求めた。

また雪粒子間結合力の影響を調べるために、新雪の降雪直後から、屋外、低温室 1(-5℃)、低温室(-20℃)の 3 箇所で終端落下速度と粒径を測定した。

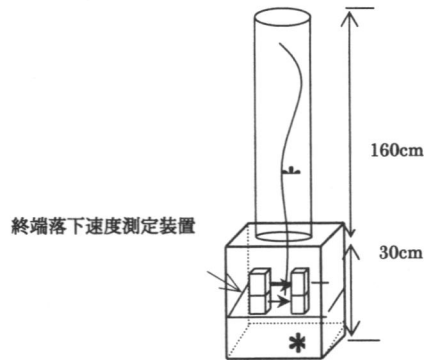


図 2 終端落下速度測定概略図

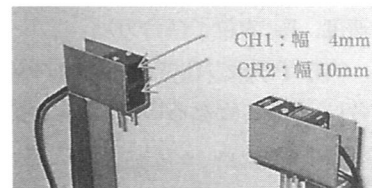


図 3 赤外センサー

低温室における保存雪実験

飛び出し風速、終端速度の変化の温度依存を調べるために、自然積雪表面から採取したサンプル(25cm×40cm×10cm)を-20℃と-5℃の低温室に新雪を保存し、屋外の積雪表面粒子との日経過の比較を行った。

飛び出し風速と終端落下速度との関係

飛び出し風速と終端落下速度の関係を考慮するために、雪粒子にかかる力の概念を図 4 に示す。

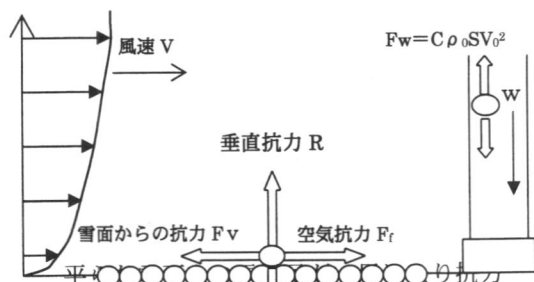


図 4 雪粒子にかかる力の概念図

雪粒子間の結合力 F_b (雪粒子結合力) に打ち勝ち、飛び出そうとする時について考える (図 5)。

雪粒子が受ける空気抗力を F_v とすると、

$$F_v = \frac{1}{2} C \rho_0 S V_0^2 \quad (1)$$

(C : 抵抗係数, ρ_0 : 空気密度, S : 粒子の面積, V_0 : 粒子が受ける風速)

雪粒子が雪面から受ける力 F_f は、摩擦力 μmg および雪粒子結合力 F_b との和であるので

$$F_f = \mu mg + F_b \quad (2)$$

(μ : 摩擦係数, m : 雪粒子の質量, g : 重力加速度, F_b : 雪粒子結合力)

雪粒子が飛び出す瞬間は 2 つの力が釣り合い, $F_v = F_f$ となるので、次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} C \rho_0 S V_0^2 = \mu mg + F_b \quad (3)$$

抵抗係数 C は雪粒子の形状に大きく依存し、その抵抗係数の変化を表す指標として、終端落下速度を考える。

静止空気中での雪粒子の運動について考えると、空気抗力と重力が釣り合うため次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} C \rho_0 S w^2 = mg \quad (4)$$

(w : 終端落下速度)

$$w = \sqrt{\frac{2mg}{C \rho_0 S}} \quad (5)$$

一般に吹雪観測に用いられる風速は、高さ 1.5m ~ 数 m の風速であり、粒子の高さの風速 V_0 とは異なる。風速計による風速を V とする時、 V は V_0 に比例し、

$$V = KV_0 \quad (6)$$

と表される。 K は風速分布が対数分布しているとして粒径、観測高から求められる。

(表面粗度 = 0.05mm、粒径中央高さ

$Z_1 = 0.5\text{mm}$ 、

測定高 $Z_2 = 25\text{mm}$ より

$K = \ln(Z_2/Z_0)/\ln(Z_1/Z_0) = 2.7$ とした)。

雪粒子が飛び始める風速を飛び出し風速 V_T とすると、式 (3)、(4) から C 、 ρ_0 、 S を消去することができ、式(6)を用いて、

$$V_T = K \sqrt{\mu + \frac{F_b}{mg}} \cdot w \quad (7)$$

飛び出し風速と終端落下速度 w は比例関係となる。雪面と雪粒子結合力 F_b がなければ ($F_b = 0$)、式(8)となる。

$$V_T = K \sqrt{\mu} \cdot w \quad (8)$$

以上のように理論上では、飛び出し風速 V_T と静止空気中における終端落下速度 w は比例関係となり、粒子によって異なる抵抗係数 C を終端落下速度 w に含ませることができる。この観点から V_T 、 w 、 μ について観測を行った。

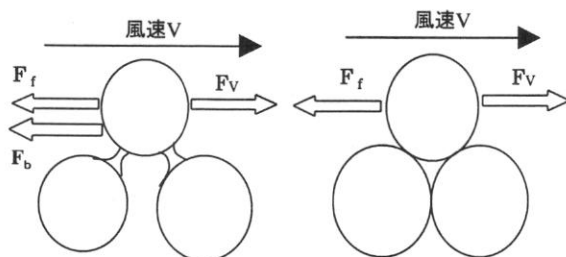


図 5 粒子間に結合力がある場合(右)と粒子間に結合力がない場合(左図)の概略図

観測結果

1) 枝状結晶は飛び出し風速はおおよそ 5(m/s)、終端落下速度は、ほぼ一定の 0.5 ~ 0.9(m/s) となり、広幅六花は飛び出し風速は 7 から 13(m/s)、終端落下速度は 0.6 ~ 1.5(m/s) となった (図 6、図 7)。

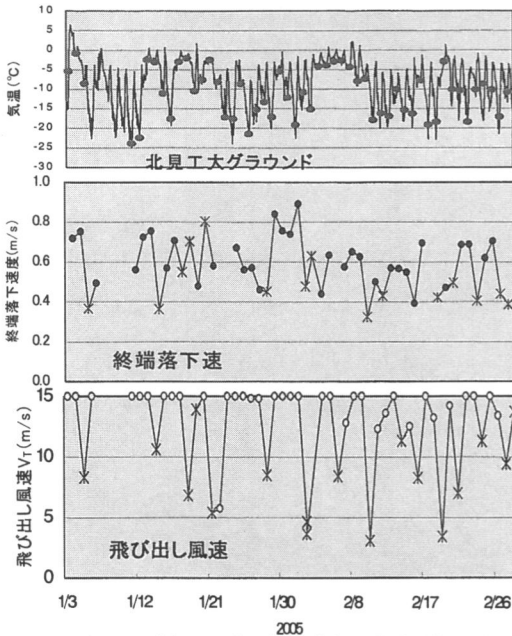


図 6 飛び出し風速、終端速度、実験時気温時系列

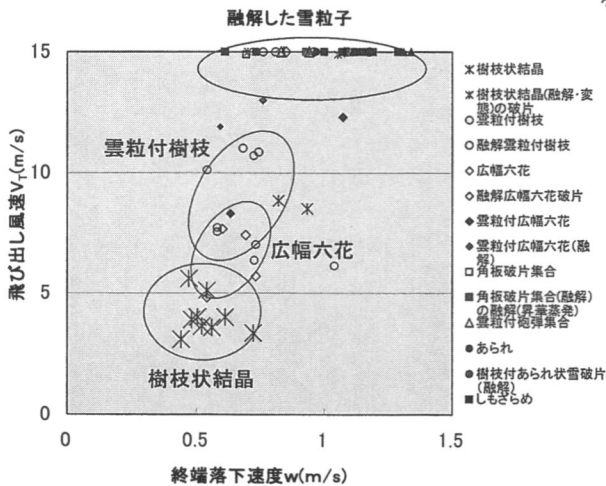


図 7 自然積雪と低温室保存雪の飛び出し風速

2) 飛び出し風速と新雪密度は、比例関係となり、樹枝状などの新雪の場合は、密度が 0.05g/cm^3 以下で飛び出し風速は 0.5m/s 以下となった。

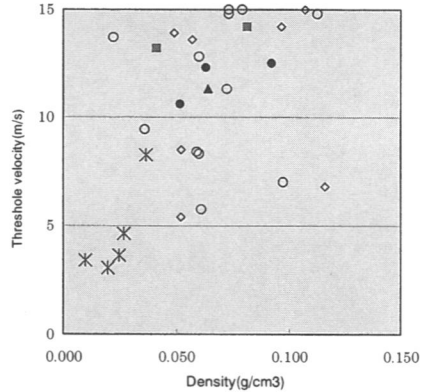
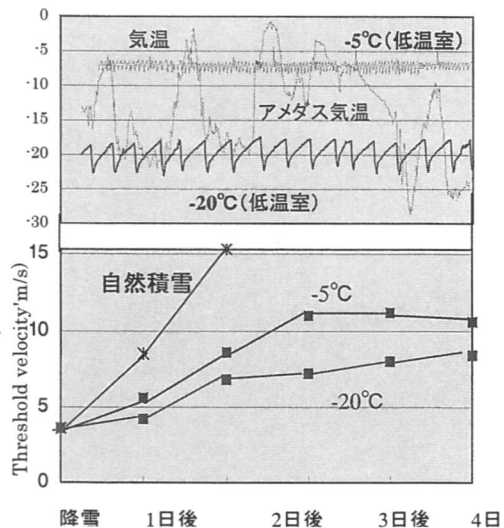


図 8 飛び出し風速と新雪密度

3) 低温室に保存した雪は、屋外の自然積雪より、飛び出し風速と終端速度の増加は緩やかである。また、 -5°C の保存雪より -20°C の保存雪のほうが緩やかに変化する。



参考文献

- 1) 谷藤崇・高橋修平・佐藤研吾(2001): 雪粒の飛び出し風速と終端落下速度の関係、2001 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、134.
- 2) 前野紀一・遠藤八十一・秋田谷英次・小林俊一・竹内政夫(2000): 雪崩と吹雪、古今書院、121—236.
- 3) 竹内政夫・石本敬志・野原他喜男・福沢義文(1986): 降雪時の高い地吹雪の発生風速、昭和 61 年度日本 季大会講演予稿集、252.
- 4) 日本建設機械化協会(1977): 新防雪工学ハンドブック、511 pp.

柵上端からの剥離渦の挙動に関する基礎研究

学 廣田 充伸（北海道工大，院） 正 白濱 芳朗（北海道工大）

1. はじめに

吹き溜まりや視程障害など冬期間の交通障害緩和策として防雪柵が設置されているが、柵の性能を十分に評価する方法は少ない。防雪柵の性能は柵まわりの流れの挙動に大きく影響されると思われるが、この点については十分な検討が行われていないのが現状である。また、柵の性能は柵の設置環境の流れ状況にも影響を受けることから、柵まわりの流れを明らかにすることは、柵の性能を評価する上で重要と考えられる。柵まわりの流れは、柵によって広範囲な領域に影響を受けるが、柵上端から発生する剥離渦も柵まわりの流れの挙動に大きく影響を与えると考えられる。しかし、この点についても不明な点が多い。

本報告では、吹き止め柵に着目し、柵上端から発生する剥離渦の挙動を調べた。実験は柵まわりの流れ模様の可視化を行うとともに、平均速度および変動速度による渦周波数の測定を行い、渦の挙動を調べている。その結果、剥離渦は成長しやがて崩壊に至る。また、渦の周波数は各下流位置で異なる。

2. 実験装置および方法

図1に防雪柵模型を示す。柵の垂直部の上部には有孔板の忍び返しが 90° の角度で設けられ、さらにその上部に有孔板の誘導板が取り付けられている。この防雪柵は誘導板によって柵の上端からの吹き上げ効果をねらったものである。模型柵の縮尺は $1/20$ であり柵高さ H は 250mm であり、有孔板の空隙率は 30% である。柵まわりの流れ模様の可視化は煙可視化法を用いた。平均速度および変動速度波形の測定には I 型熱線プローブを使用した。渦周波数の測定は、変動速度信号の波形解析によって求められている。図2に座標および周波数の測定点を示す。座標は流れ方向を X 、 X に垂直方向を Y としている。縦軸 Y 、横軸 X は柵高さで無次元化されている。測定点は可視化結果によってあらかじめ特定されている。

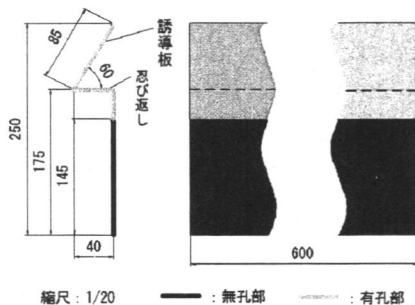


図1 模型防雪柵

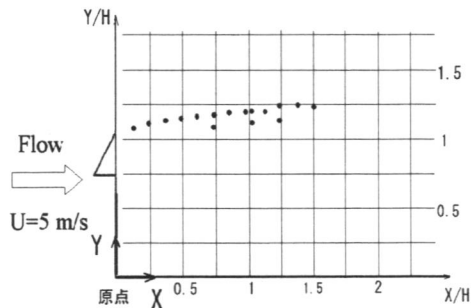


図2 渦周波数の測定点

3. 実験結果および考察

3-1 柵まわりの流れ模様

図3(a), (b)に柵周りの流れ模様の可視化結果を示す。図(a)は柵後方の流れ模様である。柵を通過した流れは誘導板により吹き上げられ、柵後方に分離流線によって囲まれた大きな渦領域が形成されている。また、柵の直後に有孔板より吹き抜けた流れによって形成された大きな渦が認められる。図(b)は柵近傍の流れ模様である。柵の垂直有孔部より噴出す流れが見られ、この流れによって形成されつつある流れ(①)、忍び返し部および誘導板より

噴出する流れ (②), そして柵上端部より剥離した渦 (③) の存在が認められる. この剥離渦はこれまでの結果より, 分離流線に沿って成長しながら流れ, やがて崩壊に至る.

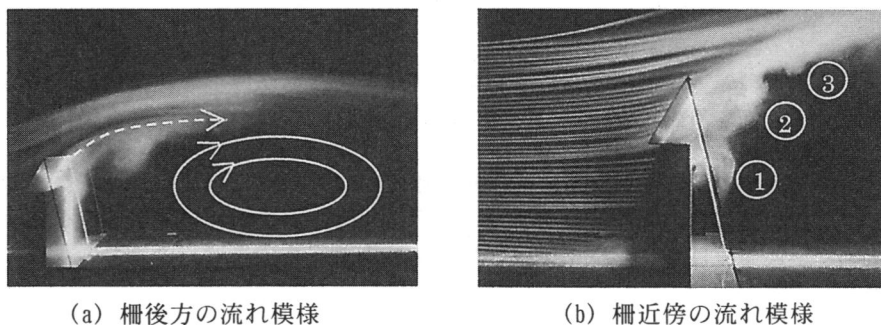


図 3 柵周りの流れ模様

3-2 平均速度分布

図 4 (a) ~ (d) に $X/H=0.12, 0.24, 0.36, 1.08$ における平均速度分布を示す. 横軸は測定速度 u を風洞出口の速度 U で無次元化されている. 図 (a) の場合, $Y/H \leq 0.6$ では無孔板の下流部になっており, 速度が非常に小さくなっている. $0.6 < Y/H < 1.0$ では有孔部から吹き抜けた流れにより速度分布は複雑になっている. $Y/H=1.0$ 付近 (丸印) で速度が大きく減少しているのは柵上端からの剥離渦の存在によるものと考えられる. この丸印の位置は, 下流に行くに従い, 上方および下流方向に移動している. 図 4 (b), (c) は図 (a) より下流の $X/H=0.24, 0.36$ の場合であり, $Y/H < 1.0$ で垂直無孔部の影響で減少した速度は, 有孔部に移行するとともに増加し, 剥離渦の影響で大きく減少している. 図 (d) の場合は柵よりかなり後方のため, 図 (a) ~ (c) のような分布にはならないが, $1.0 < Y/H < 1.2$ の速度の減衰は渦の存在を示すものと考えられる.

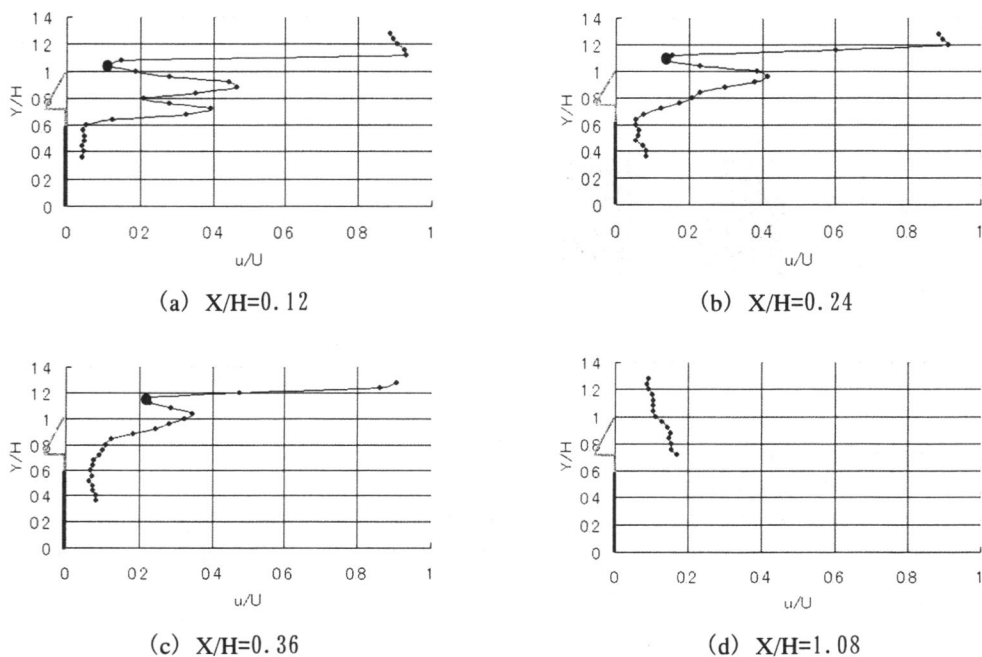
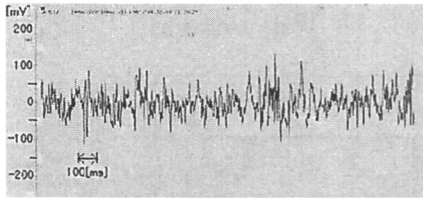


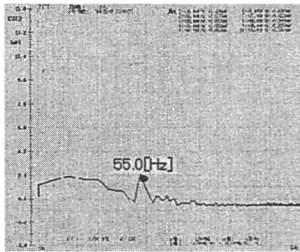
図 4 平均速度分布

3-3 時間波形およびパワースペクトル密度

図5(a)～(d)に各下流位置における変動速度の時間波形およびパワースペクトル密度(PSD)の結果を示す。各図ともに時間波形には鋭いスパイクが確認でき、渦の存在が認められる。また時間波形の振幅が、(a)～(c)では下流に行くとともに増大している。このことは渦の成長を表している。また、振幅は(d)で(c)より減少しているが、これは渦の減少を示している。PSDの結果より顕著な周波数ピークが見られ、その周波数は図(a)～(d)でそれぞれ55[Hz]、30[Hz]、20[Hz]、15[Hz]である。この周波数は渦の周波数を示していると考えられ、渦の周波数は下流に行くにしたがって減少している。

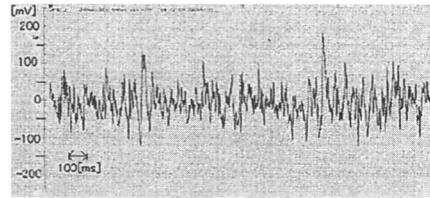


時間波形

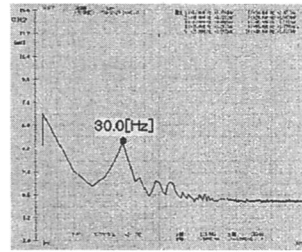


PSD

(a) $X/H=0.12$ $Y/H=1.04$

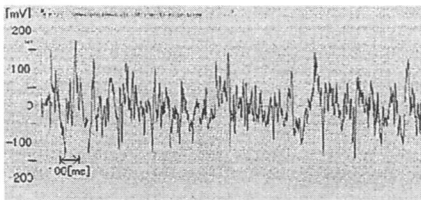


時間波形

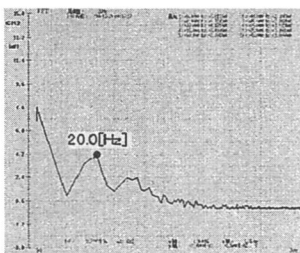


PSD

(b) $X/H=0.36$ $Y/H=1.09$

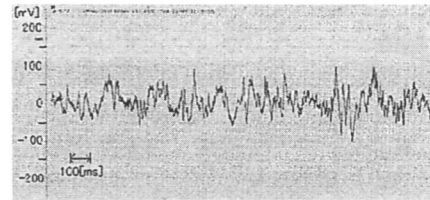


時間波形

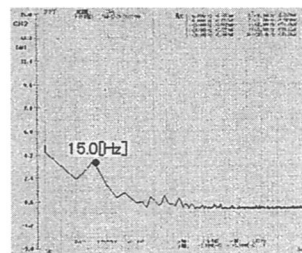


PSD

(c) $X/H=0.72$ $Y/H=1.12$



時間波形



PSD

(d) $X/H=1.2$ $Y/H=1.1$

図5 各下流位置における時間波形およびPSD

3-4 柵上端からの剥離渦の挙動

図 6 に実験結果より類推した渦の挙動を示す。図中の数値は、最初の渦の大きさを基準としたときの、各下流位置における渦の大きさを示している。時間波形の振幅の大きさは渦エネルギーを反映しており、この振幅を渦の大きさと仮定している。すなわち、それぞれの数値は、(各位置での時間波形の振幅 dx) / (最初の位置での時間波形の振幅 d_1) である。図より柵上端より剥離した渦は $X/H=0.75$ まで徐々に成長し、最初の渦の 1.4 倍程度まで大きくなり、その後崩壊しながら小さくなって行く。渦の位置は、図 4 の結果に示されているように、下流に行くに従い上方へ移動する。

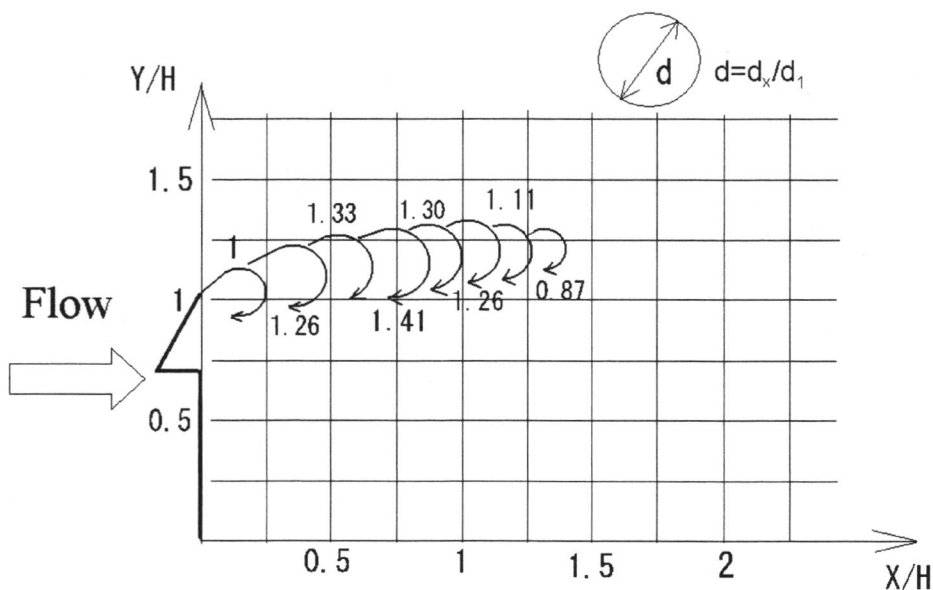


図 6 柵近傍の渦の挙動

4. 結論

本実験によって得られた結果を要約すると、

- (1) 柵上端より発生した剥離渦は成長しながら下流に移動し、 $X/H=0.75$ で最大となる。その後は減衰し、やがて崩壊への過程をたどる。
- (2) 渦の周波数は常に変化し、時間の経過とともに小さくなる。

畜舎施設の屋根上積雪荷重について－屋外観測の結果

○千葉 隆弘 (株雪研スノーイーターズ)

小林 敏道 (コバ建築事務所)

苫米地 司 (北海道工業大学建築学科)

干場 信司 (酪農学園大学)

1. はじめに

畜舎施設は、一般建築物に比べてその建築物を利用する人間が少なくいとともに、内部に滞在する時間が短い。このような畜舎施設では、利用状況・形態に応じた独自の規準（国土交通省告示第474号、以下「告示」という。）が2002年に規定された。告示に示す内容のうち、積雪荷重は、畜舎施設の種類に応じて決定される降雪を考慮した軽減係数を用いた独自の算定式で評価できるとされている。

告示で示す降雪を考慮した積雪荷重の適用範囲としては、屋根葺材の材料と構造および屋根勾配が所定の条件に該当し、各地域の気温特性から推定した屋根雪の堆積日数が7日以下であることが原則である。従って、気温が低い地域で推定した屋根雪の堆積日数が7日を上回る場合は、屋根葺材や屋根勾配および屋根葺材の経年劣化に伴う降雪性の低下などに対する配慮が必要となる。

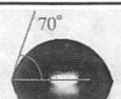
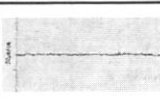
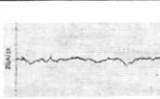
本研究では、積雪寒冷地である北海道内の既存牛舎を対象とした降雪の屋外観測を行い、実大規模の屋根で発生する降雪状況と屋根葺材の表面劣化との関係等について検討した。さらに、降雪状況からその発生条件を検討し、積雪寒冷地における降雪を考慮した積雪荷重の評価方法について検討した。

2. 観測方法

観測は、北海道江別市にある酪農学園大学構内の既存牛舎を対象とし、2000～2004年度冬の5年間行った。図1に示すように、牛舎の屋根形状は切妻型であり、片側の屋根の大きさは幅19m、長さ4.7m、屋根勾配は3/10（約17°）である。この屋根を3分割し、新品の塗装鋼板および劣化を想定した塗装鋼板を施工した。なお、各屋根葺材の境界には降雪状況が互い干渉しないように高さ0.5mの縁切りを設置している。

使用した新品および劣化を想定した塗装鋼板の表面性状を表1に示す。なお、劣化を想定した塗装鋼板は、実際の劣化材を得られなかった

表1 使用した塗装鋼板の表面性状

	接触角	表面粗さ		粗さの波形
		Ra	Rz	
新品	70° 	0.7	3.2	
劣化	64° 	1.4	10.6	

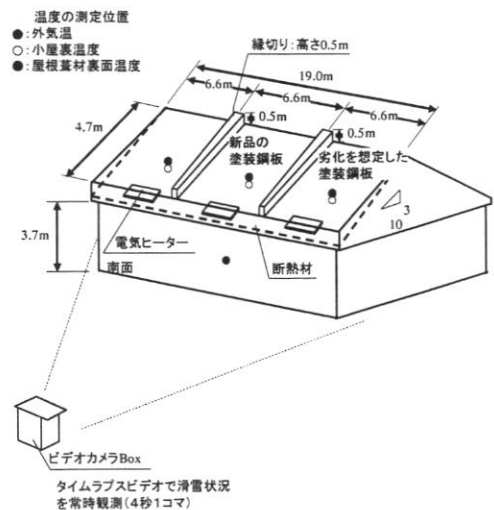


図1 観測概要

ため、ブラシで目荒らしを行って作製した。表のように、この劣化を想定した塗装鋼板は、塗膜が全く劣化していないため接触角の再現にまで至っていないものの、表面荒さは 18 年程度の劣化状況を再現している。

以上に示す屋根葺材を対象に、滑雪状況を観測した。観測には、タイムラプスビデオを用い、4 秒 1 コマの映像を撮影した。同時に、外気温と各屋根葺材で小屋裏温度および屋根葺材裏面温度を測定した。また、牛舎内に家畜が存在したことを想定するため、小屋裏をヒーターで加熱し、温度を 3℃ 前後に保った状態で滑雪の観測を行った。

これら観測した映像および温度から滑雪までの堆積日数、滑雪時の積雪荷重および温度条件を整理した。屋根上の積雪深は映像から読み取った数値とし、積雪荷重は日数との関数で求められる単位積雪重量 ($\rho = 2.22t + 160$ ρ : 単位積雪重量 (kg/m^3), t : 日数) を乗じて算定した。

3. 観測結果

3.1 滑雪と気象条件との関係

滑雪状況の一例を写真 1 に示す。写真のように、滑雪は日中に発生する傾向があるとともに、劣化を想定した塗装鋼板ほど滑雪し難い傾向があった。これら観測で得られた各年度の滑雪状況から積雪荷重の評価に関わる滑雪回数、最大堆積日数、および最大積雪荷重を整理し、気象条件との関わりについて検討した。なお、観測期間中の平均気温および年最大積雪深は、最寄りの気象観測地点である札幌管区気象台のデータを引用した。

図 2 に滑雪状況と気象条件との関係を示す。図のように、最大堆積日数と年最大積雪深との関係以外は、平均気温と年最大積雪深に比例関係あるいは反比例関係が概ね確認できる。特に、

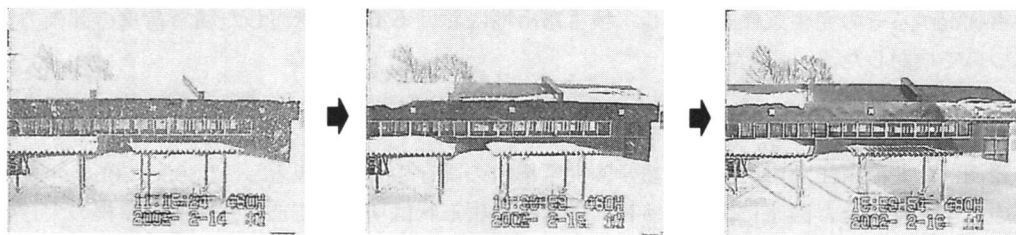


写真 1 滑雪状況の一例

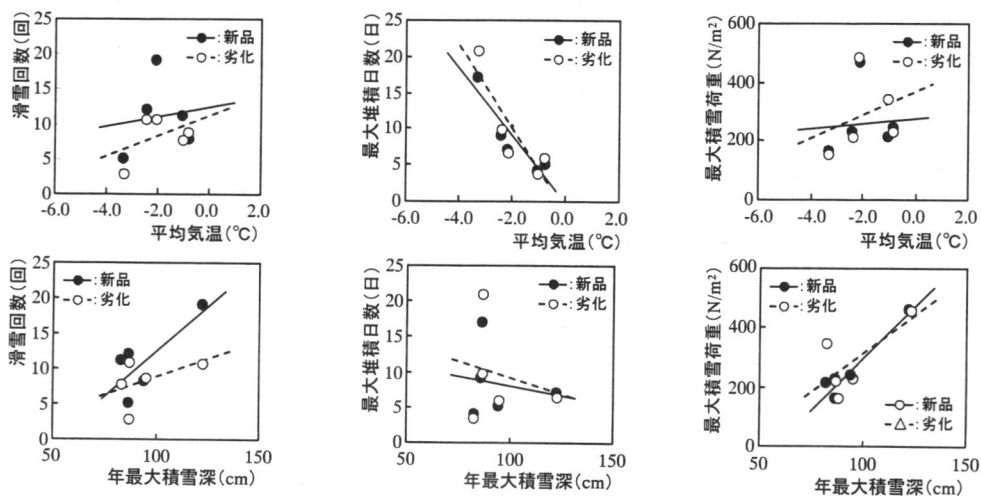


図 2 滑雪状況と気象条件との関係

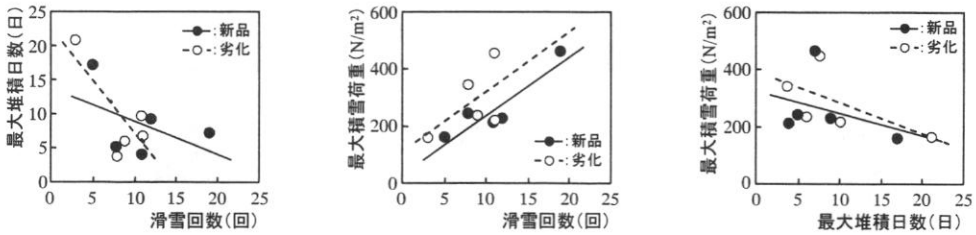


図3 最大堆積日数と最大積雪荷重との関係

平均気温と最大堆積日数および年最大積雪深と最大積雪荷重との関係は相関が強い。さらに、これらの関係は、新品と劣化との両者において確認できる。このように、屋根上積雪荷重の評価に関わる屋根雪の堆積日数および積雪荷重は、気温と積雪の関係から評価できると考えられる。

次に、各年で得られた滑雪回数、最大堆積日数、および最大積雪荷重の関係を図3に示す。図のように、滑雪回数が多いほど最大堆積日数は少ない関係を示すものの、最大積雪荷重が多くなる関係を示す。このため、最大堆積日数と

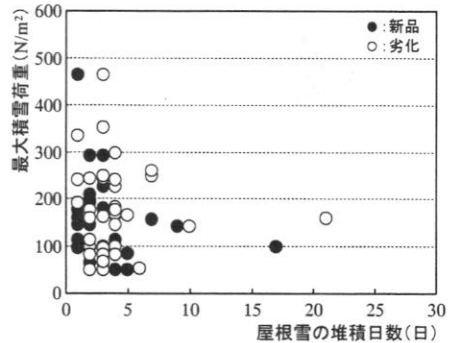


図4 屋根雪の堆積日数と積雪荷重

最大積雪荷重との関係は、日数の増加に伴い最大積雪荷重が減少する関係を示す。この傾向は、図4に示す滑雪1事例毎に示した屋根雪の堆積日数と最大積雪荷重との関係をみても同様である。このように、屋根雪の堆積日数は気温に加えて滑雪時の積雪荷重との相関が強い傾向を示し、積雪荷重が大きいほど駆動力が増加し早期に滑雪するものと考えられる。

以上に示す傾向は、家畜からの放熱によって屋根面温度が保たれやすく滑雪が発生し易いという牛舎固有の条件¹⁾を再現するため、牛舎の小屋裏温度を0℃以上に確保した状況下で得られた結果である。このような場合は、積雪荷重が大きいほど短期間に滑雪が発生しており、現行の告示に示す堆積日数7日を下回っている。また、その日数が7日を上回る事例をみると、劣化を想定した塗装鋼板の積雪荷重が新品より多くなる傾向を示すものの、積雪荷重は小さく構造物の設計に直接影響する値に達していない。すなわち、積雪寒冷地においても牛舎固有の構造や温熱環境によって屋根雪の堆積日数が7日以内になると評価できると考えられる。さらに、屋根雪の堆積日数が短い場合は、新品と劣化で大きな差異も現れていない状況である。しかし、本観測では、屋根雪の堆積日数が長く劣化の影響が大きくなることによって積雪荷重が大きく評価される寒冷で多雪の気象条件に遭遇していないことが要因の一つと考えられる。従って、過去の気象データから屋根雪の堆積日数と積雪荷重を推定し、これらと気象特性との関係を明確にしておく必要があると考えられる。

3.2 滑雪時の温度条件

過去の気象データから屋根雪の堆積日数および積雪荷重を推定するためには、滑雪の発生条件を設定する必要がある。既往の研究をみると、日最高気温を滑雪発生の指標として屋根雪の堆積日数を評価する手法が提案されている²⁾。さらに、滑雪発生の温度条件として滑雪までの積算暖度が観測結果との相関が高いことが指摘されている³⁾。ここでは、滑雪時の日平均気温、

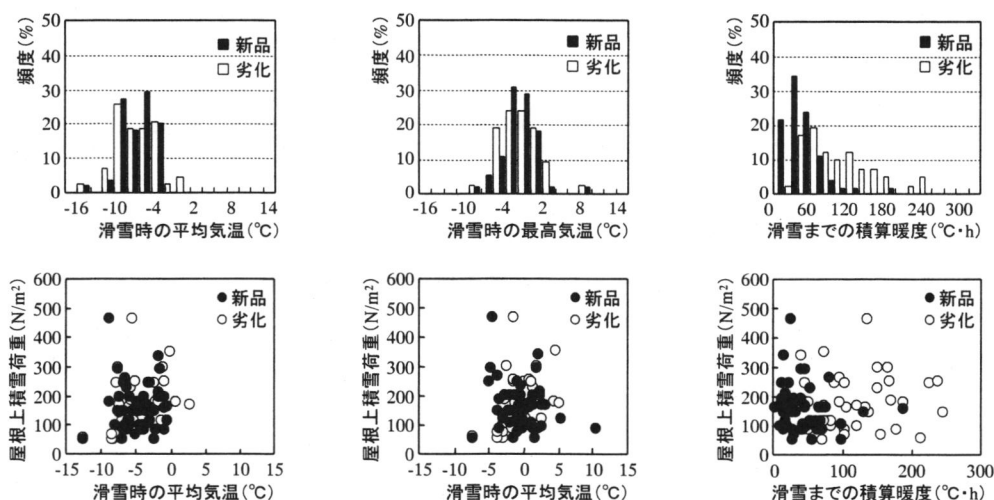


図5 滑雪時の温度状況

日最高気温、および滑雪までの積算暖度を整理し、滑雪発生の温度条件を検討する。

図5に、本観測で得られた滑雪時の日平均気温、日最高気温、および滑雪までの積算暖度の頻度分布と滑雪時の積雪荷重との関係を示す。図のように、滑雪時の日平均気温および日最高気温をみると、日平均気温は -6°C 前後、日最高気温は 0°C 付近に多く分布している。しかし、積雪荷重と明瞭な相関関係は確認されないとともに、新品と劣化と差が小さい。これは、滑雪が数日に渡って移動を繰り返して完了するためと考えられ、1日間の気温状況を示す指標あるいは瞬間的な気温状況を示す指標で評価することが困難な状況を示していると考えられる。次に、滑雪までの積算暖度をみると、新品の場合は $50^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ に多くの事例が分布する。これに対して劣化の場合は分散する傾向がある。積雪荷重との関係においても、新品の場合は滑雪までの積算暖度の増加に伴い積雪荷重が減少する傾向を示し、劣化の場合は分散する傾向を示す。このように、屋根雪の堆積日数内の温度推移を考慮した滑雪までの積算暖度が新品と劣化の差が現れ、数日に渡って移動を繰り返し滑雪が完了する状況に即した指標であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、畜舎施設の屋根上積雪荷重評価を検討するため5年間に渡って滑雪観測を行った。観測の対象としたのは既存牛舎であり、新品および劣化を想定した塗装鋼板の滑雪状況や温度推移等を測定した。その結果、滑雪時の積雪荷重が大きいほど屋根雪の堆積日数が短くなり、新品と劣化との差が小さくなる傾向を示した。しかし、観測期間中に積雪荷重が大きくなると考えられる寒冷で多雪の気象条件に遭遇しなかった。このため、過去の気象データから推定するための滑雪の温度条件を検討した。その結果、滑雪は数日に渡って移動を繰り返し完了に至ることから、屋根雪の堆積日数内の温度推移を考慮した滑雪までの積算暖度が、その滑雪状況に即した指標になる可能性があることがわかった。

1) 日本畜産施設機械協会編：畜舎設計規準・同解説、1997.3

2) 高倉政寛、千葉隆弘、伊東敏幸、苫米地司：制御積雪荷重を用いる勾配屋根における制御日数について、日本建築学会構造系論文集 No.528, pp.53-58, 2000.2

3) 千葉隆弘、苫米地司：勾配屋根における屋根上積雪荷重の評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集 No.539, pp.37-42, 2001.1

冠雪と格子フェンス

竹内 政夫 (雪研スノーイーターズ)

1. はじめに

ローゼやトラス橋の上弦材に積もった冠雪から成長した雪庇や冠雪自体が落下して、車両や歩行者に損傷を与える事故が増えている。その対策として、格子フェンスを提案している。格子フェンスは橋梁等にできる冠雪を落下しないようにするという考えから開発され、実橋でも効果が確認されている。格子間隔や太さによってはグライドの大きい橋梁の傾斜した部材からの雪が格子をすり抜けることを防止できることなどがわかった。雪のすり抜け防止はすなわち雪庇防止にもなる。このことから、冠雪の落雪と雪庇防止を目的とした、橋梁の美観を損なわず経済的な、格子フェンスの設計のための基礎実験として、冠雪の実験観測を行った。

2. 実験目的

冠雪の落雪防止や雪庇の成長抑止機構を知ること、および冠雪のグライドによる格子フェンスからのすり抜け対策のために、以下のことについて観測した。

- 1) 格子フェンスの落雪防止機構：冠雪の成長から落雪までを記録し落雪および格子フェンスによる落雪防止機構を明らかにした。
 - 2) 雪庇成長抑止効果：美観等を考慮しできるだけ小さい高さ、間隔、太さのフェンスで格子フェンスのクリープ抑止効果を確認した。
 - 3) グライドの有無によるすり抜けの違い：傾斜部材の雪のすり抜け防止のために、グライドを防止したものとグライドのある傾斜板ですり抜け状況を比較観測した。
- その他：ツララの形成状況やクリープによる格子すり抜けに注目した。

3. 実験方法

冠雪を載せる実験台として、40x40cm の二つの水平台と 30℃に傾けた傾斜台を用いた。水平台は一方を格子フェンスで囲み、フェンスのない台との冠雪状況を比較観測した。傾斜台は下端にフェンスを取り付けた。実験に使った格子フェンスは出来るだけ厳しい条件を与えることにして、格子間隔は 4x4cm、格子の太さは 0.2cm のステンレス製(台所用品)、フェンスの高さは 15cm とした。野外観測は札幌で、期間は平成 16 年 12 月 30 日～4 月 3 日、開始時の積雪は 58cm であった。2004～2005 年の札幌は多雪で落雪するまでの 1 月間で新たに約 1m 積雪が増加した。

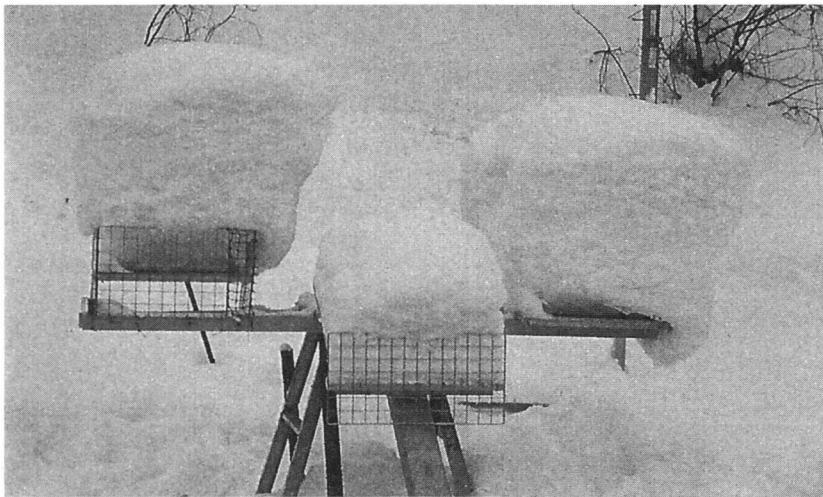


写真1 実験状況

左右の水平台と中央の傾斜台。傾斜台は1月22日に付け加えた。上は1月24日の状況で、積雪深は137cmで実験開始してから80cm以上増加した。

冠雪の観測は目視と写真によったが、降積雪については雪尺と雪板で積雪深と新積雪深を測定した。また、雪底の密度と落下した直後（1月30日）に冠雪の密度分布を測定した。

4. 冠雪から成長する雪底を防ぐ格子フェンス

橋梁に限らず構造物上の冠雪が重力によるクリープで潰れる時に水平方向に張り出して雪底になる。写真2は両側のアーチリブを結ぶ橋門構と呼ばれる部

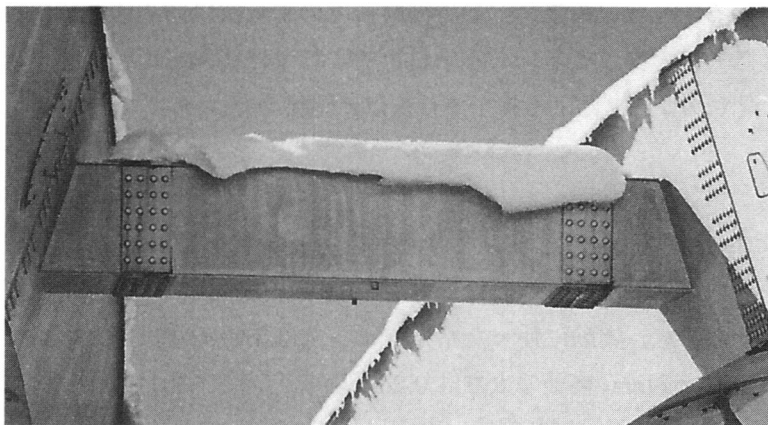


写真2. 冠雪と冠雪からの雪底、右の雪底部分を残し落雪した破断面が見られる

分に出来た冠雪である。冠雪からはみ出した雪底が橋門構に被さっているが、中央部から左側にかけて雪底の一部が落下している。このはみ出た部分の雪は底が氷や密度の高い雪

になるケースが多く大きな塊になりやすい。破断面から判断すると、恐らく一度ではないにしても大きな塊となって落下したように考えられる。高い所からこのような大きな雪氷塊が落下すると危険は大きい。そのため橋梁では高所作業車を使って人力で除雪することが行われている。

写真3はフェンスの有無による冠雪の違いをみたものである。降雪時の風向によって雪底の成長が異なるが、フェンスを超えて積もった雪は雪底に成長することやフェンスで囲まれている基部は後退して縮んでいるのがわかる。これは熱的な影響もあるが、雪がクリープによってフェンスを抜けることがなく、雪底ができることも無いことを示している。写真の右に垂れ下がった雪底は日射を受けてフレイク状に薄く剥がれ落ち、1週間後には写真2のように小さくなった。

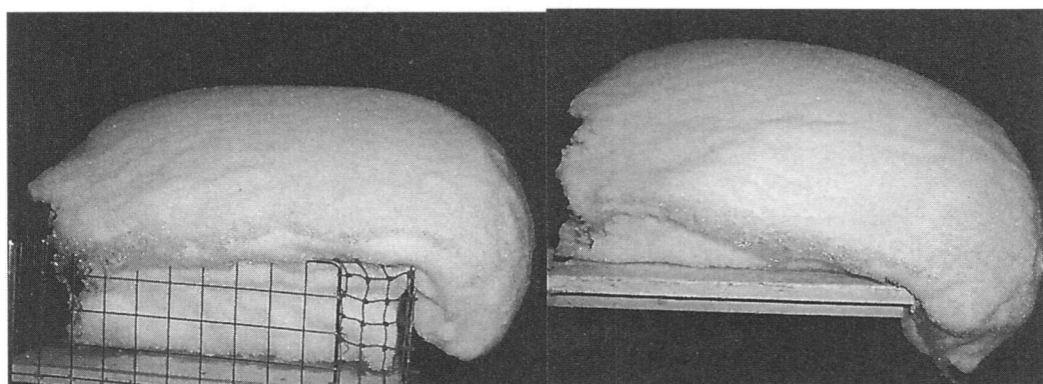


写真3. フェンスの有無による冠雪と雪底の違い (1/17)

雪底状に溢れた雪は表面が日射を受けてフレイク状に薄く剥がれ落ちて小さくなった。2mmの細かい格子でも雪のクリープを止められることが分かった。

一本の細い鉄線だけでは回り込むクリープを防ぐことは出来なくても、面的な格子になると三次元の網目構造で繋がっている積雪のクリープを抑える効果が発生する。格子フェンスはこの性質を利用したものである。即ち適当な格子間隔、格子の太さであれば網目構造で繋がっている雪は、液体や砂のような粉粒体のように、格子の間を抜けることはない。橋梁で考えられる最も細く小さな格子でも雪底の成長を防ぐこと等が分かった。

5. 冠雪と雪底の密度

格子フェンスで囲まれていない冠雪は、強風雨によって1月29日、夜から30日早朝の間に落下した。冠雪の密度は薄い氷板が混じった底部で最も高く 0.25g/m^3 、雪底部を除いた冠雪全体の密度は平均して $0.22\sim 0.23\text{g/m}^3$ であった。格子フェンスで測定した雪底部の密度は1月22日の測定で、先端部の 0.11 から最大で 0.17g/m^3 であった。フェンスが無い場合の雪底の底は、実験台から繋がる融解等による氷板や密度の高い雪となっている。橋梁の場合の雪底の落下が危険なのはこのためであろう。フェンスで囲まれた冠雪からでき

る雪底は空中に浮いた状態になっているため、時間の経過にもかかわらず密度が 0.1 台と小さい。小さい塊で落下するかまたは落下途中でバラバラに小さくなるので危険は小さいと考えられるが、実験では塊にはならず日射の影響で薄い表面だけが融解・凍結してフレイク状の氷になって落下して消えた。

6. 格子フェンスからの雪のすり抜け（グライドの大きな傾斜板）

勾配 30° にした傾斜板からは、グライドが大きいので、写真4のように冠雪が格子フェンスを抜けている。グライドを防ぐことによってすり抜けは簡単に防止できた。

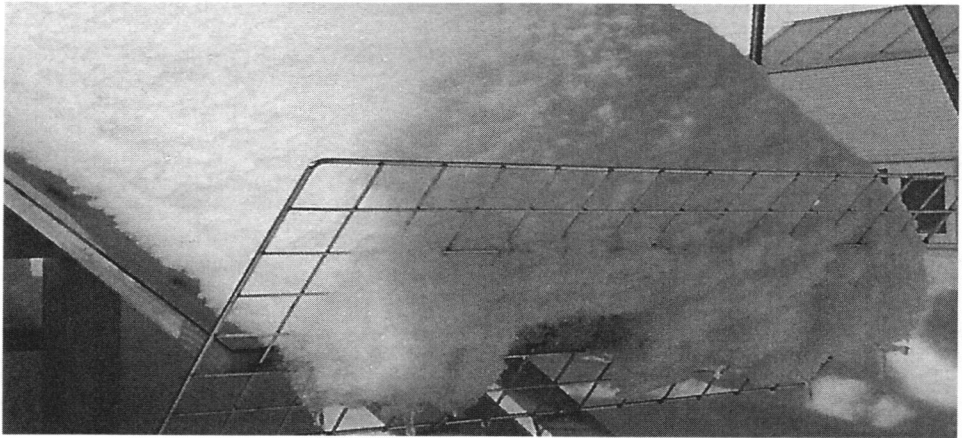


写真4. 格子フェンスからの雪のすり抜け（傾斜板 30° ）

グライドが大きい傾斜板からは雪がすり抜ける、グライドも雪のすり抜けも雪止めで簡単に防止できる

7. おわりに

直径 2mm の鉄線は細いのでクリープに対する影響範囲は小さいと考えたが、面的な格子になると意外にクリープ抑制に効くことがわかった。これは雪の内部が三次元の網目構造になっているからではある。この雪の性質を利用した格子フェンスは橋梁でも効果が実証されているが、細い格子でも傾斜した部材でもグライドを防ぐことによって利用できることがわかり、設計の自由度を高めることが出来た。また、格子フェンスを越えてはみ出した雪底部分の密度は小さく雪粒子同士の結合力も小さいが、フェンスがなければ底部の密度が大きくなるので落下すると危険なこともわかった。雪は水をよく吸うので水平板の場合は融雪水が縁まで流れないので危険なツララの発生は見られなかった。傾斜板の場合は水切りが必要であろう。冠雪は強風雨時に全体が一塊になって落下したが、高さ 15cm の低いフェンスでも落雪を防止する。また、重要なことは密度の高い冠雪のコア部分を落下させないことであることもわかった。

雪氷体験を通じた子供達の防災・環境保全の意識向上について

○中村一樹、小坂克己

(財団法人 日本気象協会北海道支社 防災気象グループ)

1. はじめに

災害（環境問題）の段階的な考え方を図 1 に示す。例えば災害（環境問題）が起こることが予想された時に、現状の注意点や現象の予測情報を危険だと判断される地域の方へ伝えたとしても、非難行動（環境保全行動）に結びつかなければ、情報を伝達する意味は半減する。

情報が行動に結びつくか否かは、平常時の体験に基づいた知識に依存しているのではないかと考えられる。

このような考えに基づき、子供達の防災・環境保全の意識向上に寄与することを目的として行った雪氷体験（実験、観察）の取り組みを報告する。

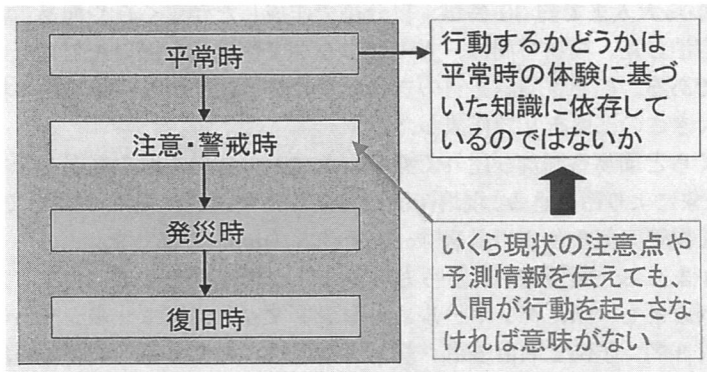


図 1 災害（環境問題）の段階的な考え方

2. 取り組み内容

(1) 北海道大学構内における野外雪氷観察と室内雪氷実験の取り組み^{注1}

合計 2 時間程度の親子・子供向けプログラムである。前半 1 時間は、北海道大学構内での野外積雪断面観察（図 2 参照）、後半 1 時間は、北海道大学クラーク会館屋内で、階段を利用した積雪断面観察のまとめと、平松(1997)の方法によるペットボトル内での雪結晶作り（図 3 参照）、前野と平松（1999）の方法による試験管を用いた過冷却実験等を行った。

1 日で野外観察と屋内実験の両方を同時に体験できる数少ない取り組みのため、毎回定員を上回る 30～60 名の参加者がある。



雪掘り



断面観察



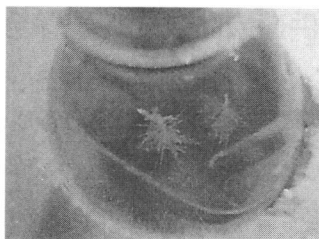
結晶観察

図 2 屋外での取り組み写真

^{注1} 北海道自然観察協議会主催の自然観察会として、山田（北海道栄高等学校）らと共に、2002 年から毎年 1 月に実施している。



階段を利用した断面観察のまとめ
(層毎に並び自分の観測結果を発表する)



ペットボトルを用いた雪の結晶作り



図3 屋内での取り組み写真

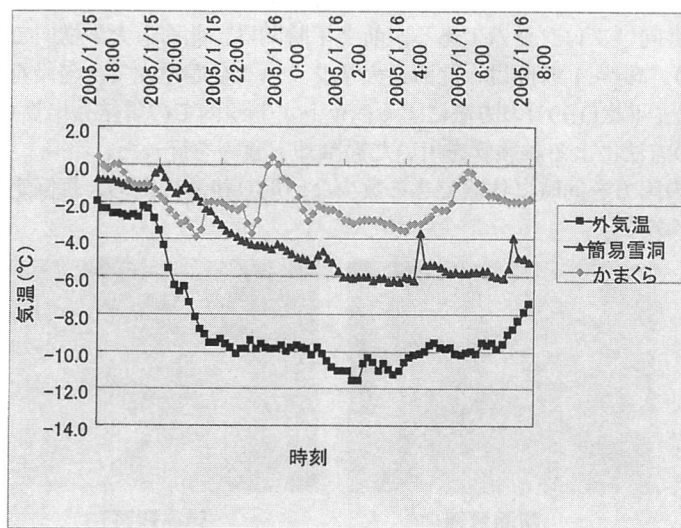
(2) 地震の被害を想定した札幌市広域避難場所公園での雪中泊体験^{注2}

積雪寒冷地の冬期の地震を想定し、地震直後の1~2日を生き延びるための雪中泊体験として、平成17年1月15日(土)~16日(日)に札幌市旭山記念公園にて実施した。

最年少4歳から大人まで約30名が、自分達で作成したかまくらや簡易雪洞(雪を考える会, 1992)に宿泊した。簡易雪洞は、雪のブロックで作成した囲いをビニールシートの屋根で覆ったものである。簡易雪洞内を雪のブロックで2つに仕切り、幅2m×奥行き4m×高さ1mほどの大きさの部屋を2つ作成した。

図4にかまくらと簡易雪洞及び屋外で測定した10分毎の気温の経過を示す。当日は晴天で、放射冷却現象により冷え込み、現地で測定した屋外の最低気温は-11.6℃であった。なお、この時間帯の札幌管区気象台での風速は、0.8~2.5(m/s)であった。

就寝時は、かまくら、簡易雪洞どちらも3シーズン用寝袋を2重にして、スキーウェア等を着込んだ。両方とも、床にダンボール、キャンプマット、ビニールシート等を敷いた。かまくらには大人3名、子供2名計5名、簡易雪洞には、大人2名、子供4名計6名が宿泊した。なお、かまくらと簡易雪洞での急激な気温変化は、出入り等、宿泊者の内部での行動に対応している。



かまくら



簡易雪洞

図4 雪中泊気温の経過

注2 市民団体の旭山公園キッズが主催する冬の公園利用のイベント(札幌市の許可取得)を利用して実施した。なお、実施に際しては、注意事項や緊急時の対処などを記述した計画書を作成し、安全に配慮した。

表1にかまくらと簡易雪洞を簡単に比較評価した結果を示す。かまくらの方が保温性は高いが、雪山を作成する設営労力が大きい。1基当りの収容人員は簡易雪洞の方が多く、基本的な設営準備物として、スコップ、ビニールシート、ダンボール（簡易雪洞はさらにのこぎり）が必要である。

宿泊の結果として、やや寒さを感じた者もいたが、大人、子供を含め、どちらの宿泊者も問題なく過ごすことができた。今後は、イグルー等他の雪構造物についても作成し、余震が起きた場合の耐久性も含めて検討したい。

表1 かまくらと簡易雪洞の比較

種類	保温	設営労力	1基当りの収容人員	設営準備物 （最低限）
かまくら 外の高さ約 2.5m（地面から）、直径約5 mほど	◎ （内部最低 気温： -3.3℃）	△（前日に雪山作成、内部に 1～2時間ほど） 	4～5名	◎ （スコップ、ビ ニールシート、 ダンボール）
簡易雪洞 外：5m×5m ×高さ1m 内：2部屋あ り、1部屋2 m×4m×高 さ1mほど	○ （内部最低 気温： -6.3℃）	○（3～4時間） 	10名以上	○ （ビニールシ ート、ダンボ ール、スコッ プ、のこぎり）

なお、このイベントでは、阪神淡路大震災、新潟県中越地震等の震災を想うキャンドルナイトとして、アイスクャンドル、スノーランタンを灯したほか、雪中幻燈会など、冬の公園で楽しめる取り組みを実施した。

震災対策として考えると、冬期に公園でイベントを実施するという行為そのものが、避難所設営等の訓練を行っていることと同等の意味をなすのではないかと考えられる。

(3) 実験と観察による小学校での防災教育の取り組み

札幌市内に存在する小学校の5年生の理科の授業を2時間ほど使って、2003年より実施している。ちょうど教科書で天気のことを学び始めるタイミングに1時間目の授業を行った。また、一通り天気のことを学び、教科書で気象情報を防災に役立てることを取り上げるタイミングに2時間目の授業を行った。授業の中での取り組みは以下の通りである。

＜1時間目の内容＞

- ・ 空気中には水分が含まれていることを冷たい水を入れたコップの水滴で実感する。
- ・ 雲の観察をする前に子供たちに興味を持ってもらえるようにするため、炭酸保持用のフィズキーパーを用いてペットボトル内の空気を圧縮して急激に減圧することにより、ペットボトル内の水分を凝結させ、雲を作る。
- ・ 実際の雲を観察してみる（学校の屋上へ、図5参照）。

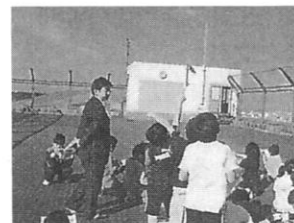


図5 雲の観察の様子

- ・ 雲の動きや形によって天気を予想してみる。
- ・ 当日の天気図や衛星写真、天気予報と雲の観察結果を比較する。
- ・ 実際の雲や風向き等の観察と気象情報を結びつけて考えることということが大切であることを実感してもらう。

＜2 時間目の内容＞

- ・ 天気クイズで子供たちの興味を引く。
- ・ 実際の雨量計と風向風速計を見て、触って、雨・風の測り方を理解する。
- ・ 平成 16 年台風第 18 号によって学校の周りがどうなったか、自分たちの調査結果（予め出しておいた宿題）などを参考に、台風が来たらどうなるかを考える。
- ・ 融雪や大雨による災害の種類（河川氾濫、土砂災害等）と被害の概要を映像を交えて説明する。
- ・ 自分たちの学校が災害時の収容避難場所となっていることを知る。
- ・ 気象協会の仕事の内容を紹介する。
- ・ 南極ドーム基地から小学校 5 年生宛てにもらったメールや、北海道内の気温の変化グラフを見ながら、地球環境の変化（地球温暖化、ヒートアイランド等）を考える。

(4) 廃校グラウンドを利用した酸性雪の観察^{注3}

札幌市中央区内の廃校になった小学校のグラウンドを利用して、2005 年 2 月に実施した。実際に積もっている積雪を掘り、断面観察をして各層の積雪をフィルムケースに採取した。フィルムケース内の雪を各自の体温で融解させ、pH の試験紙（図 6 参照）や pH 計を用い

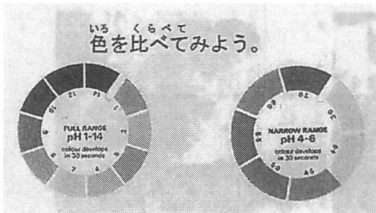


図 6 試験紙の比色による pH の把握

て札幌に積もっている雪の酸性度を測定した。実際の測定結果では、全ての層で pH4.5～5.0 程度の値を示し、札幌の積雪は酸性雪であることを実感した。

また、これまでの北海道内の観測結果を見ながら経年的な降水酸性度の状況を把握した。さらに冬の天気図パターン、上空の空気の流れなどを考慮すると、北海道内起源だけではなく、国外起源の汚染も考えられることを説明した。

4. まとめ

アンケートや感想文を参照すると、実際の体験に基づいた知識は、特に子供たちの印象に残るようである。したがって、このような実際の体験が、防災・減災行動や環境保全行動を起こすきっかけとなることが期待される。

雪氷学会全国大会が開催される旭川市科学館の低温室も活用し、体験・実験を中心にした子供たち向けの取り組みを今後も継続したいと考えている。

参考文献

- 平松和彦 1997：ペットボトルで雪の結晶をつくる，日本雪氷学会講演予稿集，216。
前野紀一，平松和彦 1999：一瞬で氷を作る？，化学，11月号，39-40。
雪を考える会，1992：雪と遊ぶ本 改訂版，社団法人雪センター，140pp。

注3 市民団体の旭山森と人の会、及び旭山公園キッズ主催、札幌市緑化推進部共催の取り組みとして、平成 17 年 2 月 12 日（土）に札幌市旧曙小学校で実施した。

並木の雪害対策としての防雪杭の設置およびヒコバエ更新について

国道 12 号美唄市茶志内町地区の 1 事例

斎 藤 新一郎 (環境林づくり研究所)

まえがき

除雪は、冬期の道路交通を確保するために、不可欠な作業である。けれども、これまで、除雪による並木の被害（雪害：グライド圧による幹曲がり、幹折れ）がいちじるしかった。それゆえ、除雪をしても並木が損なわれない手法が要求されてきた。

そのため、並木の直上に、2 本ないし 3 本の防雪杭を設置することが考案され、試験施工されてた結果、除雪にともなう並木の雪害は、かなりの程度まで軽減されることが明らかになった（斎藤・小泉 2003, 斎藤 2004）。この防雪杭は、全道各地の国道において、採用されつつある。

けれども、既往の並木において、防雪杭の設置より以前から、除雪にともなう被害を受けてきて、幹曲がり、幹の倒伏、あるいは幹折れしている木々に関しては、対策が提案されてこなかった。

広葉樹類の大半は、雪害木の多くの個体において、頂芽優勢が衰えたり、失われると、幹の基部から、ヒコバエ（孫生え、萌芽幹、蘖, epicormic shoots, daughter trunks）が立ち上がって、生き残りを図る能力を有している（斎藤 2005a, 2005b）。

それゆえ、親株を伐り、ヒコバエを後継木として育成することが可能であり、このヒコバエ更新の採用が推奨される。この方式は、道路緑化関係の、生きた工作物を扱う維持管理において、技術的にも、経費的にも、新たに植え替えするより、はるかに望ましい。

調査地の概要

調査地は、国道 12 号美唄市茶志内町地区にあり、シナノキおよびオオバポダイジュの並木が造成されている。この一部において、2002 年初冬に、試験的に、防雪杭（鋼管ないし焼き丸太）の設置が実施された。そして、2003 年の厳冬期の、積雪+除雪の最大深のところに、積雪断面を観察して、並木を除雪害から保護する——除雪のグライド圧を軽減ないし阻止する——、防雪杭の効果が確認された（岩見沢道路事務所 2003, 斎藤 2003）。

その後、茶志内町地区一帯に、事業的に、並木を保護するための防雪杭（ほとんどが焼き丸太）が設置され、除雪をしても、生きた工作物に従来のような重度の雪害が生じなくなった。

筆者は、この防雪杭の効果を、継続して確認するために、その後も、成長期および積雪期に、観察を続けてきた。そして、2 冬が過ぎた、2005 年春に、やや詳しく観察して、ヒコバエ更新の可能性および必要性を提案することになった。その上で、初夏に、維持管理担当者および受注予定者と、現地において、ヒコバエ更新の技術的な手法について検討した。

本研究の発表にあたり、2 年前から現地検討および防雪杭の設置を実施された、岩見沢道路事務所の関係各位に、筆者は感謝の意を表する。

調査結果と小考察

2005 年 6 月下旬に、筆者は、この年の 3 回目の観察をし、ごく一部ながら、草刈り、ヒコバエの本数整理、折れた幹の縦断面作成などを実施した。

雪害形態には、大まかに、2 種類あった。その 1 つは、幹が根元曲がりした個体であり、あるいは

幹が斜に、半倒伏した個体である(写真-1)。こうした木々は、添え木+縄縛りが失われて、グライド圧で傾いたのであって、道路から見えなくなり、視線誘導、修景、あるいは遮断効果を失い、樹冠が農耕地の上に懸かり、日陰を投げている(図-1)。

もう1つは、幹折れした個体である。こうした木々は、添え木+縄縛りが残り(強化されて)、幹が縊れ、グライド圧で幹折れしたのであって、並木の機能の全てを失った状態である(写真-2)。

けれども、どちらの個体においても、それぞれの幹の基部から、多数のヒコバエが発生していて、それらが立ち上がり、個体を再生し(子株として親株に代わり)つつある(写真-3)。

そこで、この旺盛なヒコバエによる個体の回復力を活用した、雪害並木の更新方法が検討された。

ここで、里山林業の施業方法が参考にされた。幸いなことに、並木の樹種がシナノキおよびオオバボダイジュであり、ヒコバエが旺盛に発生しやすい。ヒコバエ更新に適しているのである。

それゆえ、発生してきた多数のヒコバエの本数調整伐(間引き)を図るのである。先ず、優勢な2~3本を残す(写真-4, 5)。

「3本の矢」の故事に因むわけではないが、防雪杭があるとしても、なお、杭越しのグライド圧に対して、ある程度の抵抗が可能な太さまで、少数のヒコバエを立てておくのである。特に、ヒコバエは、1~2年目に、親株の樹皮を外側へ排除するための、基部の肥大が遅れるから、強風や雪圧に対して、基部の折れが生じやすいからでもある。ヒコバエの基部が十分に肥大成長してから、第2回の本数調整伐が実施されることが望ましい。

そして、第2回の間引きによって、里山林施業の最終段階と同様に、最良の1本のみを残して、親



写真-1 並木の幹曲がりおよび半倒伏 (2005.6.25)

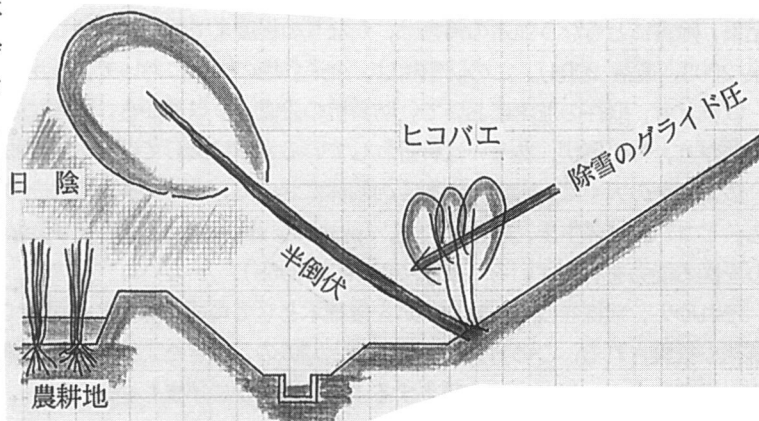


図-1 除雪のグライド圧により、樹幹が倒伏を余儀なくされた並木の機能が喪失し、農耕地へ日陰を投げる、ほか



写真-2 横木に縄縛りされたままで、幹折れしたオオバボダイジュ (同上)

大事なヒコバエ (◎) が刈り払われた

写真-3 幹が倒伏すると、広葉樹類では、頂芽優勢 (apical dominance) が失われ、多数のヒコバエ (萌芽幹) が発生して、親株に代わろうとする (2005.5.12)

防雪杭を設置しても、幹の半倒伏は元に戻らない；多数のヒコバエが立ち上がると、やがて、自重で、幹の倒伏が進む；最良の1本を残す→幹の基部から発生した最大のヒコバエを残す



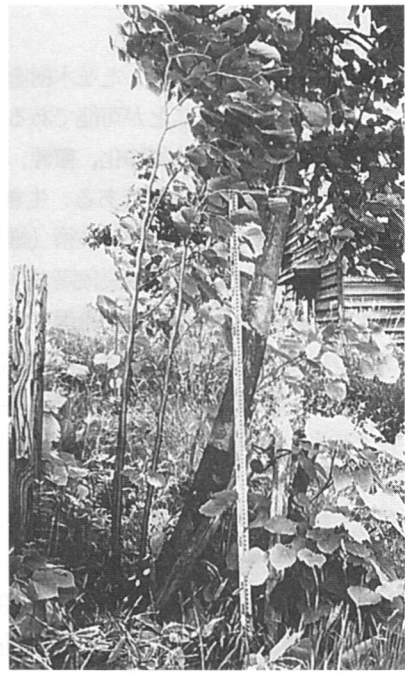
写真-4 幹曲がりオ

オバボダイジュに多数のヒコバエが発生した (左；2005.6.25)

幹曲がり+野ネズミの樹皮食いが、ヒコバエ更新を促進している

写真-5 ヒコバエの整理伐の実施後 (右；同左)

勢いの良い3本が残された；防雪杭の効果の下に、ヒコバエの基部の肥大成長を図る



株なみに仕立て上げる。

そして、半倒伏した親幹を伐る。こうすると、ヒコバエの成長にともない、失われていた並木の諸機能が回復する (図-2)。

ただし、ヒコバエ更新には、重要な留意点がある。それは、草刈りの弊害である。ここの盛り土法面には、オオイトドリ、オオヨモギ、アキタブキ、牧草類などの、大型草本が繁茂し、ヒコバエを抑制しやすいので、草刈りの遅れが、ヒコバエの光合成を妨げ、成長を抑制してしまう。1年目には、親株からの栄養分で旺盛に伸びても、2年目から、自らの光合成で成長しなければならないから。

それ以上に、草刈りがブラッシュカッターで実施されるため、草本とともに、貴重なヒコバエを刈り払ってしまう事例が、きわめて多い (写真-2)。これでは、ヒコバエ更新が困難である。作業員に注意するとともに、ヒコバエの刈り出し作業と、全体の草刈り作業とを、明確に区分する必要がある。

草刈りは、野ネズミの樹皮食いに関係する。特に、晩秋～初冬の草刈りを実施して、野ネズミの越冬場所を排除する必要がある。そうすれば、樹皮食いの被害を大幅に抑制することが可能である。

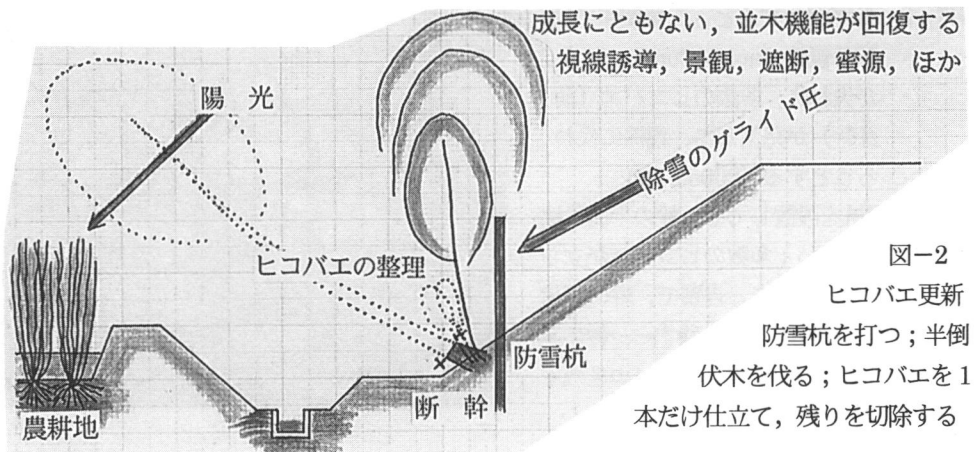


図-2

ヒコバエ更新

防雪杭を打つ；半倒

伏木を伐る；ヒコバエを1

本だけ仕立て、残りを切除する

まとめ

幹曲がりないし半倒伏した並木樹を——広葉樹類に限定されるけれども——、ヒコバエを仕立てることで、更新させることが可能である。そうすることで、植え替え無しに、並木としての機能（視線誘導、景観、遮断、大気浄化、蜜源、ほか）を再生させることができる。

並木は、生きた工作物である。生きもの（樹木）を扱うには——子育ても同様であるように——、その成長段階に合わせた保育技術（維持管理手法）が不可欠である。そのためにも、人事異動にともなう担当者の交代では、成長段階を弁えた、十分な引継ぎが要望されよう。

他方、除雪は、道路交通を確保するために、不可欠な作業である。それゆえ、除雪をしても並木が損なわれない、並木の保護のための、防雪杭の設置が重要であり、その効果が実証されてきた。

ただし、草刈り作業の改善、ヒコバエの本数調整、親株の断幹の適期、ほかの実験ないし試行が必要である。その成果の検討から、こうした現場対応の「技術マニュアル」が作成されてゆくことになるであろう。

参考文献

- 岩見沢道路事務所, 2003. 平成14年度一般国道12号美唄市積雪状況調査資料作成業務報告書. 75pp.
- 斎藤新一郎, 2003. 国道12号美唄市茶志内町における除雪にともなう並木の被害を軽減する防雪杭の効果について. 手記13pp., 環境林づくり研究所 (札幌開発建設部へ提案).
- ・小泉重雄, 2003. 並木の除雪による被害とその対策としての防雪杭の効果. 北海道の雪氷, no.22: 21~24.
- , 2004. 寒乾害および除雪対策を兼ねた道路緑化における越冬方法について. 北海道の雪氷, no.23: 40~43.
- ・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.
- , 2005a. 道路緑化における伐り株移植の考え方と手法. 日林北支論集, no.53: 91~94.
- , 2005b. 風倒木および樹皮食われ木のヒコバエ回復を応用した再生手法について. 野生生物と交通, vol.4: 27~32.
- , 2005c. 国道38号南富良野町狩勝地区における視線誘導樹植栽を診て. 手記7pp., 環境林づくり研究所 (旭川開発建設部への提案書).

ヨーロッパトウヒ並木の雪害および保育管理手法について

国道 275 号浦臼町於札内地区の 1 事例

斎藤新一郎 (環境林づくり研究所)

まえがき

北海道の全域において、国道の並木づくりは、四半世紀を越えて、それなりに成果が挙がりつつある。けれども、それらには、技術的に、あと 1 歩ないしあと 2 歩のケースが、まことに多い。

すなわち、除雪による並木の被害、添え木・縄外しの遅れに由来する移植木の幹折れ、枝抜け、枯死などが目立つのである。

生きた工作物の成長にともなう保育管理マニュアルの欠如 (あるいは不十分さ)、緑化担当者 (多くが土木技術者) による生きた材料に関する取り扱いの不慣れ、人事異動に由来する保育管理の引継ぎの不十分さ、等々が、成功に到らない要因である。筆者は、こうした諸事例への保育管理手法を提案して、そのマニュアル化に貢献したい。

調査地の概要

調査地は、国道 275 号浦臼町於札内地区にあり、ヨーロッパトウヒの半成木を移植して、並木が造成されてきた。ここでは、大きい、ほぼ成功した木々と、小さい、雪害がいちじるしい木々とは、1 列に並んでいる (写真-1)。

そして、冬期にも、夏期にも、堂々とした樹冠をもつ木々が、視線誘導、景観、大気浄化などに貢献している (写真-2)。

ただし、大きい木々にも、氷片や滑り止め礫を含む投雪によって、幹の樹皮剥け・内部の材の腐朽が診られる (写真-3)。

なお、この地区における並木の雪害状況とその対策について、筆者は、既に 2 年前に、担当者に提案している (斎藤 2003a)。

また、ここにおける調査ないし観察は、筆者により、2003 年から継続されている。

調査結果と小考察

まず、除雪の影響が大きい。路面から排除された雪塊は、路側に積み上がり、並木樹に枝抜け、幹曲がり、幹折れを余儀なくしてきた (写真-4)。

それゆえ、小さい木々にも、大きい木々にさえも、除雪 (押し圧、飛雪) 対策としての防雪杭の設置が不可欠である。



写真-1 ヨーロッパトウヒ並木 ('05.6.16)



写真-2 大きい樹冠をもつヨーロッパトウヒ

左：夏期 (無雪期)、右：冬期 (降雪期)



写真-3 飛雪氷・礫による樹皮の傷害
樹皮剥けと内部の材の腐朽

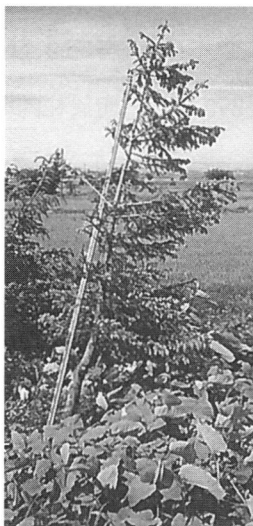


写真-4 除雪に押された片側樹冠の並木樹
左: 夏期 (+草負け), 右: 積雪の沈降圧

次に、こうした雪害を助長した要素に、添え木+縄縛りがある。移植木の添え木+縄外しが放置されると、肥大成長の結果、幹が縊れ、枯死する。また、添え木の横木のために、幹が折れる。そうすると、幹が枯れた位置、折れた位置より下方の輪生枝が立ち上がって、幹化する(娘幹, daughter trunks)。これが繰り返されると、通直な高木に発達する筈の並木樹が、ハイマツ状の叢生株を強い

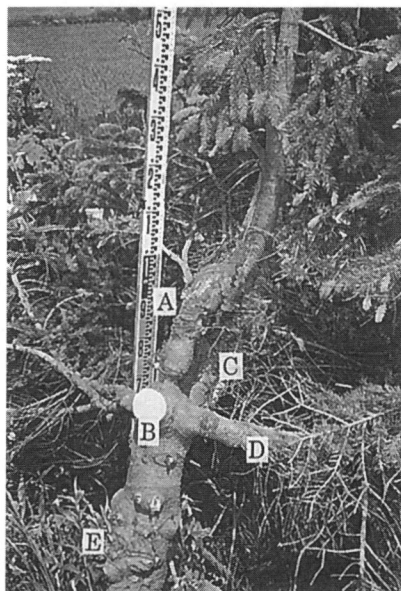


写真-5 縄縛りの放置によって生じた元の幹の縊れ

A: 縊れた幹, B: 輪生枝の立ち上がり(剪定), C: 芯代わり,
D: 輪生枝, E: 裾枝打ち

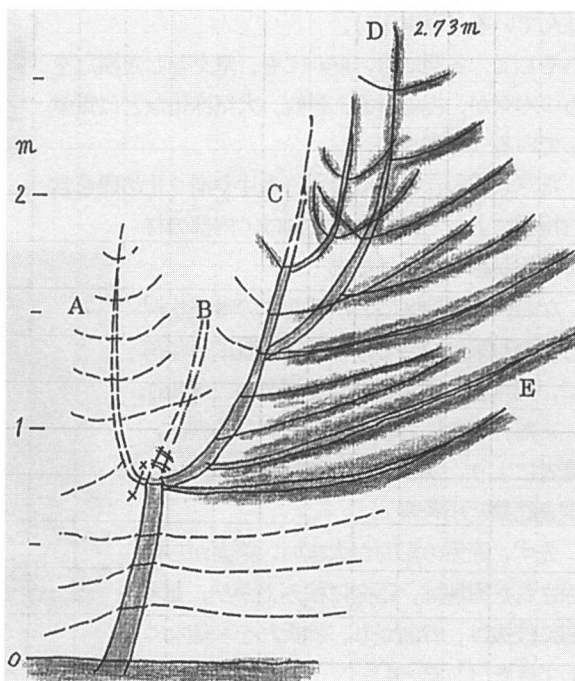


図-1 添え木+縄縛りで叢生株状となった並木樹

A: 輪生枝の立ち上がり(剪定), B: 縊れて折れた本来の幹, C: 芯代わり, D: 再度の芯代わり, E: 輪生枝群

られてしまう(写真-5, 図-1)。

なお、蛇足ながら、広葉樹類と異なり、針葉樹類では、ヒコバエ回復が望めないで、除雪対策および添え木+縄外しが、より重要である。

添え木+縄縛りの放置による、幹の縊れの悲惨さが、図-2に示される。添え木の縦丸太が、地下で腐朽し、移植木を支持できなくなっても、幹を縛ったシュロ縄は、切れることなく、幹の肥大成長とともに、材中に食い込んでゆき、しかも、枝打ちと異なり、縄の外側における材の癒合が成立しない。

縊れた幹の縦断面を観ると、縄が食い込み、縄より上では、光合成産物の降下による肥大成長があるけれども、縄より下では、その降下が妨げられ、肥大成長できないで、細いままである。年輪を読むと、縄外しの適期は、移植後の2~3年後である。

このことは、国道335号標津町薫別および国道39号上川町層雲峡四の岩における2事例からも、明らかである。縄外しは、移植後、3年目に旺盛に伸び出していて、当然、肥大成長も盛んになるから、2~4年後に縄外しを実施する必要がある(斎藤 2005a, 2005c)。

除雪害対策には、防雪杭を設置する(斎藤・小泉 2003)。新しい視線誘導樹の好例が、国道38号南富良野町狩勝地区にある(写真-6)。残念ながら、添え木が旧式であった。改良鳥居型添え木(横木2本、縦丸丸太に縛る)の採用が望まれる(斎藤 2004a; 図-3)。



写真-6 新しい視線誘導樹 (防雪杭つき)

この国道275号の現地においては、向後の対策として、次のような手法が提案される。

①雪害を繰り返し受けてきた、小さい、低木状を余儀なくされた並木樹について、急いで、添え木+縄外しを行う。次に、防雪杭を設置する。さらに、それぞれの樹形・樹勢に合わせて、順次、複梢

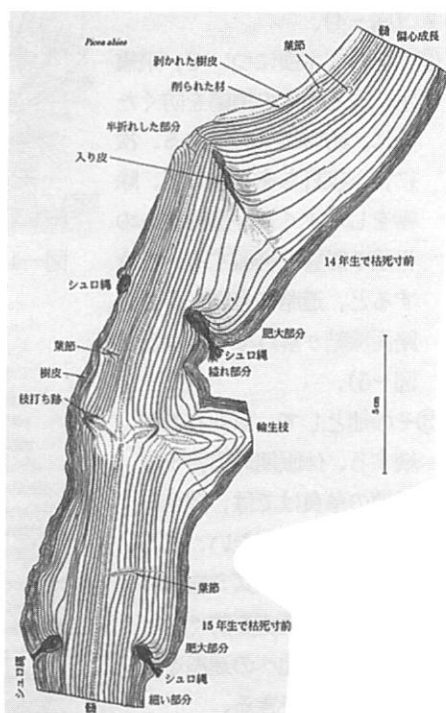


図-2 縄縛りの放置による幹の縊れ

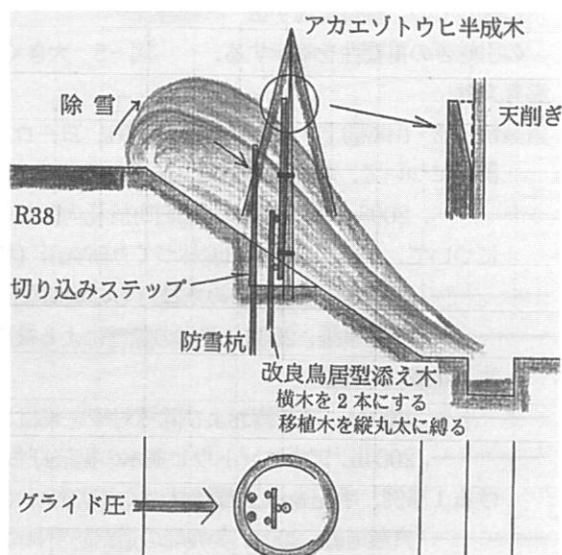


図-3 並木ないし視線誘導樹の基礎工 (案)
防雪杭+改良鳥居型添え木+縦丸太の天削ぎ

の整理、裾枝打ちを実施する(図-4)。

- ②大きい並木樹について、飛雪氷による樹皮の損傷を防ぐために、防雪杭を設置する。次に、下枝打ちを実施して、除雪をしやすくし、農耕地への日陰の影響を軽減する。そうすると、道路にも陽光が届き、路面凍結が解けやすくなる(図-5)。

- ③その他として、草刈りを継続する。休眠期の雪害+成長期の草負けでは、健全な並木が育つ筈がない。また、草刈りは、野ネズミを減らし、並木の食害を防ぐとともに、農耕地への迷惑を減らすことができる。

- ④これらのことは、人事異動に際しての、維持管理手法の引継ぎの重要性を暗示する。

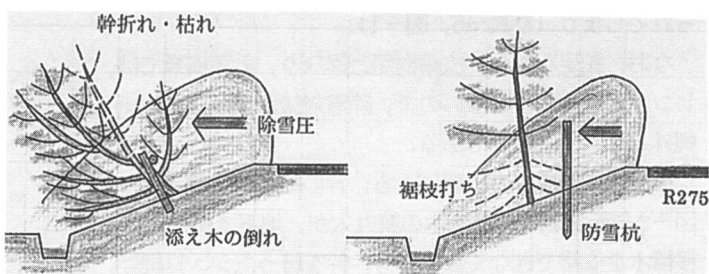


図-4 並木の雪害対策：添え木+縄外し、防雪杭の設置、複梢整理、裾枝打ち(樹形・樹勢に応じて、数年かけて)

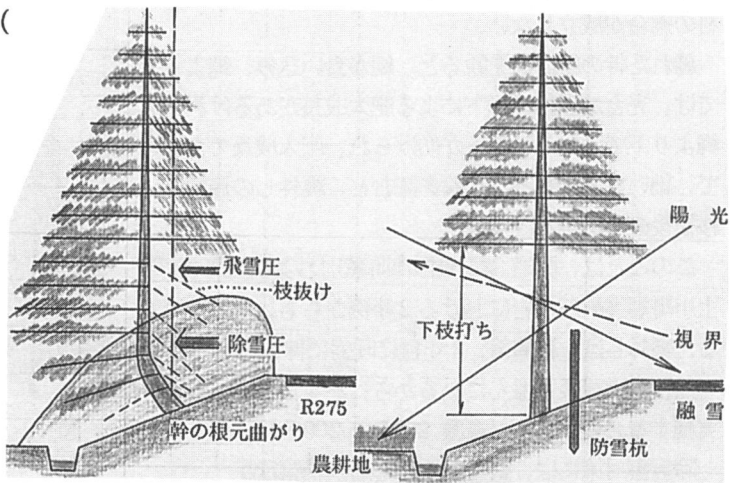


図-5 大きく育った並木への防雪杭の設置および下枝打ち

参考文献

- 斎藤新一郎・山崎勝志・佐々木正博, 2001. ヨーロッパトウヒ防雪林の幹曲がり・幹割れと塩害との関係について. 北海道の雪氷, no.20: 85-88.
- , 2003a. 国道 275 号浦臼町於札内におけるヨーロッパトウヒ並木の雪害状況と改良方法について. 手記 13pp., 環境林づくり研究所(札幌開発建設部への提案書).
- , 2003b. 枝瘤からみた枝打ちの適切な部位について. 北方林業, vol.55: 223-226.
- ・小泉重雄, 2003. 並木の除雪による被害とその対策としての防雪杭の効果. 北海道の雪氷, no.22: 21-24. 『雪氷, no.23: 40-43.
- , 2004a. 寒乾害および除雪対策を兼ねた道路緑化における越冬方法について. 北海道の
- , 2004b. アカエゾトウヒ並木の裾枝打ちについて——国道 38 号富良野市西達布地区における 1 事例. 手記 8pp., 環境林づくり研究所(旭川開発建設部へ提案). 『44-47.
- ・齊藤道義, 2004. 美幌峠の道路防雪林の雪害とその対策について. 北海道の雪氷, no.23:
- , 2005a. 国道 335 号標津町薫別における薫別トンネル入り口の防雪林を視察してのコメント. 手記 9pp., 環境林づくり研究所(釧路開発建設部への提案書).
- , 2005b. 国道 38 号南富良野町狩勝地区における視線誘導樹植栽を診て. 手記 7pp., 環境林づくり研究所(旭川開発建設部への提案書).
- , 2005c. 国道 39 号上川町層雲峡(四の岩覆道ふきん)におけるアカエゾトウヒ半成木の移植による旧道緑化を視察して. 手記 16pp., 環境林づくり研究所(旭川開発建設部への提案書).

視線誘導樹の視認性とドライバーの視線誘導樹への注視特性調査

○武知洋太,伊東靖彦,松沢勝,加治屋安彦 ((独) 北海道開発土木研究所)

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路では、ドライバーは降雪や吹雪による視程障害によって視覚情報が著しく低下した厳しい状態での走行を強いられている。そのため、北海道では吹雪時の視程障害対策として道路の視認性を高めることを目的にデリニエータ、スノーポール、固定式視線誘導柱（以下：矢羽根）、視線誘導樹などの視線誘導施設が整備されている。

近年、その1つである視線誘導樹は道路景観、環境保全などへの配慮から道路管理者によって利用が検討されている。しかし、整備や研究事例¹⁾は少なく、視線誘導樹の視線誘導効果や視線誘導施設として必要な仕様について明確になっていない。

そこで本稿では、被験者実験によって視線誘導樹の大きさの差異による視認性や適切な設置間隔について調査を行ったのでその結果を報告する。

2. 視線誘導樹の視認性調査

(1) 調査方法

著者らは、図1に示す石狩吹雪実験場（石狩市）において、平成16年1月29日～2月27日のうち吹雪の発生が予想された4日間に調査を実施した。

調査は、樹高2.0m及び3.0mと高さの異なる2種類の樹木（トドマツ）を20m間隔で各9本設置し（写真1）、1本目の樹木から手前20mに停車させた車内から被験者に各樹木を見せ（図2）視認性の比較を行った。なお、視認性の評価方法は視程変動を考慮し、被験者に30秒間連続して樹木を見せ、「何本目の樹木まではっきり視認できるか」、「何本目の樹木までわずかに視認できるか」という2つのアンケートにより行った。また、視程は実験場内の透過型視程計（設置高2.0m）により被験者が視認した30秒間に計測された値を平均し把握した。

被験者は1日当たり男女あわせた10名（計40名）で、調査は同一被験者に対し日中、薄暮、夜間と3つの時間帯に実施した。



図1 調査箇所



写真1 視線誘導樹

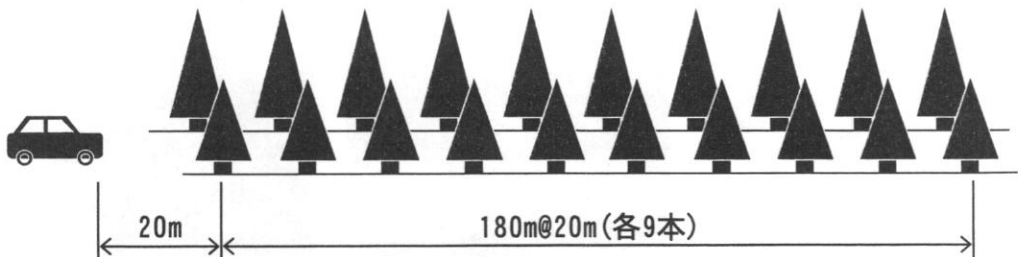


図2 調査方法の概要

(2) 調査結果

本調査において、吹雪環境下（視程 200-100m）で実施できた調査は薄暮の時間帯のみであった。そこで吹雪時の薄暮において、被験者からの距離が異なる各樹木を「はっきりと視認できた」と回答した被験者の割合を図 3 に、「わずかに視認できた」と回答した被験者の割合を図 4 に示す。

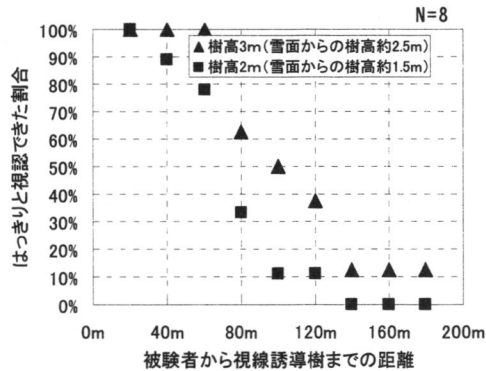


図 3 視線誘導樹の視認性①
(薄暮：視程 200-100m)

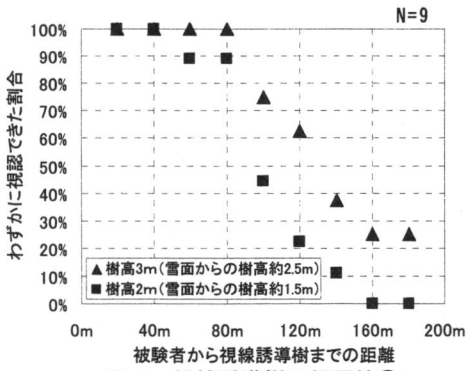


図 4 視線誘導樹の視認性②
(薄暮：視程 200-100m)

図 3 より、樹高に関係なく、被験者から 80m 離れた樹木をはっきりと視認できた割合は 60m のそれに比べ大きく (37~45%) 低下している。また、図 4 より被験者から樹木までの距離が 100m になると、わずかに視認できた割合も 80m のそれに比べ大きく (25~45%) 低下している。このことから、薄暮時の吹雪環境下でドライバーに 1 本以上の樹木をはっきり視認させるためには、樹木の設置間隔を 60m 以下にする必要があると考える。

また、被験者と樹木までの距離が 60m 以下の範囲においては樹高の違いによる視認性に大きな差は見られない。調査当日、樹木周辺の積雪深は 0.5m 程度で、それぞれの樹木は積雪面上から 1.5、2.5m 分見える状態であった。積雪面上 1.5m 以上ある樹木の吹雪時での視認性は、高さの差が 1.0m 程度であれば大きく変化しないことがわかった。

3. 視線誘導樹への注視特性調査

(1) 調査方法

著者らは、冬期間（平成 17 年 1 月 27 日～2 月 22 日）のうち吹雪発生が予想された 4 日間、図 5 に示す一般国道 40 号（豊富町）の約 4.5km 区間においてドライバーの注視特性調査を実施した。調査区間は図 6 に示す通り、樹高 3m の視線誘導樹（アカエゾマツ）が



図 5 調査箇所



写真 2 視線誘導樹



写真 3 アイマークカメラ

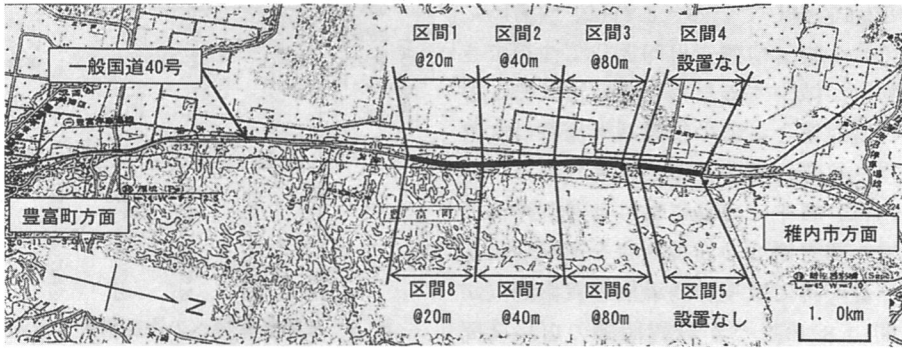


図 6 調査対象区間

は写真 2 に示すように郊外部での道路の外側線から約 4m 離れた盛土法面に設置され、調査時には除雪による雪提のため道路上からは 1m 程度の高さのみが視認できる状態であった。

調査方法は、写真 3 に示すアイマークカメラ (EMR8B:株式会社ナック製) を左目に装着した被験者に、全調査区間 (約 4.5 km) を連続して往復走行させ視線挙動の計測を行った。なお、同一の被験者に対して日中、薄暮、夜間の時間帯に調査を行った。

被験者は 1 日当たり 5 名、4 日間で延べ 20 名、老若男女と幅広く集めた。

(2) データの解析方法

吹雪による視界不良時において、ドライバーは周辺視だけでなく注視可能な目標物も減少すると推測される。そこで本稿では、吹雪対策としての視線誘導施設は吹雪時に注視されることが重要と考え、被験者の注視に注目した。なお、本稿では既存研究²⁾ に倣い半径 1° 以内に 0.1 秒以上停留した場合を注視と定義した。

はじめに、吹雪による視程障害がドライバーの注視行動にどう影響しているかを把握するため、調査区間毎における被験者の全注視点数を解析した。次に、視線誘導樹への注視を把握するため、各調査区間の全走行数に対して区間内に視線誘導樹を 1 回でも注視した走行数が占める割合を、視線誘導樹への注視割合として算出した。

(3) 調査結果

はじめに、ドライバーの走行中の注視特性を把握するため調査区間毎の平均注視点数を時間帯や天候別に図 7, 8 に示す。図 7 より、走行中の注視点数は時間帯により異なり、日中に比べ夜間では平均 1.6 倍に増加している。周囲の暗い夜間には、周辺視による視覚情報の取得が困難となり、注視点数が増加していると考えられる。

図 8 は、各時間帯の平均注視点数を晴・曇、降雪、吹雪と天候を区分し示したものである。図 8 より日中、薄暮の吹雪時における走行中の注視点数は、晴・曇天時に比べそれぞれ

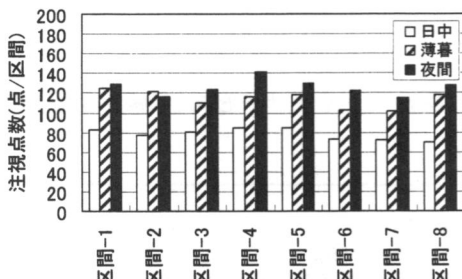


図 7 走行区間と注視点数 (時間帯別)

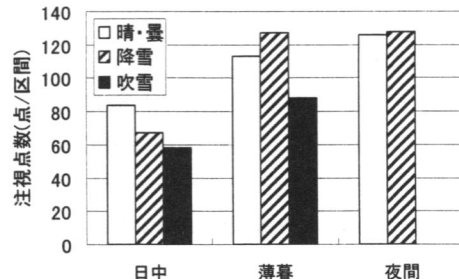


図 8 時間帯と注視点数 (天候別)

* 調査時夜間に吹雪が発生しなかったため夜間の吹雪データは存在しない

れ 31、22%減少している。これは、吹雪時には取得できる視覚情報（目印として注視できる対象物）が減少するためと考えられる。つまり、吹雪対策としての視線誘導施設は吹雪時に注視されることが必要と考えられる。

図 9 には、日中・薄暮における設置間隔の異なる視線誘導樹への注視割合を天候別に示す。晴・曇天時には視線誘導樹の設置間隔が狭い区間 1,8 のほうが設置間隔の広い区間 2,3,7 に比べ視線誘導樹への注視割合が高い。

一方、区間 6 では設置間隔が 80m と広いにも関わらず視線誘導樹への注視割合が高い。区間 1,6,8 では他の区間に比べ視線誘導樹の背景が白い雪面となる箇所が多く、黒っぽい視線誘導樹とのコントラストが大きくなり視認し易かったとことが一因と考えられる。つまり設置間隔の外に、背景の違いも視線誘導樹への注視に影響する要因と考えられる。

つぎに、降雪、吹雪時について見ると区間 6 を除く区間で視線誘導樹は注視されていない。この原因としては、今回調査した視線誘導樹の設置位置が道路から離れていたことや、除雪による雪提のため視認できる高さが低かったことなどが考えられる。今後は視線誘導樹の設置位置、道路から視認可能な樹高、樹種など、視認性に影響する複数の要因を考慮した上で、背景の影響を受けにくい吹雪時において視線誘導樹の最適な設置間隔を調査検討して行きたい。

4. まとめ

調査結果から以下のことがいえる。

- ・ 積雪面上の高さが 1.5～2.5m 程度の樹木は、被験者からの距離が 80m 以上離れると吹雪時（視程 200-100m）の薄暮にはっきりと視認できる割合が大きく（約 40%）低下する。
- ・ 吹雪時（視程 200-100m）の薄暮に樹木までの距離が 60m までの近距離では、積雪面上の樹木の高さが 1.5m, 2.5m と異なっても 70% 以上の被験者は樹木をはっきりと視認することができ、その割合に大きな違いは見られない。
- ・ 晴・曇天時の日中・薄暮には設置間隔 20m と狭い視線誘導樹への注視割合が高い傾向が見られたが、降雪・吹雪時には設置間隔の違いに関係なく注視されなかった。

今後は視線誘導樹の設置位置、道路から視認可能な樹高、樹種など、視認性に影響する複数の要因を考慮した上で、背景の影響を受けにくい吹雪時において視線誘導樹の最適な設置間隔を調査検討して行きたい。

5. おわりに

本文をとりまとめるに当たり、現地調査では（株）シーイーサービス、（株）ジオスケープの協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 石本敬志, 奥谷智博, 福澤義文, 金田安弘, 丹治和博; 視程障害時の道路上における視線誘導効果, 寒地技術論文・報告書, vol.8, 489-493, (社) 北海道開発技術センター, 1992
- 2) 丹治和博, 金田安弘, 福澤義文, 加治屋安彦; アイカメラによる冬期道路でのドライバーの視線挙動について, 寒地技術論文・報告集, 12, 331-337, (社) 北海道開発技術センター, 1996

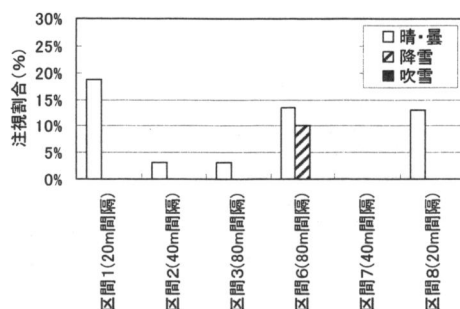


図 9 視線誘導樹への注視割合（区間別）
（時間帯：日中・薄暮）

トピックス

鹿が起こしたか？支笏湖畔の雪崩

竹内 政夫（雪研スノーイーターズ）、山田 知充（北海道工業大学）

1. はじめに

平成 17 年 2 月 19-20 日、支笏湖畔の約 40° の急なカルデラ斜面の湖岸を通る国道 453 号の約 4km の間で、31 カ所の道路を埋める雪崩が発生した。雪崩は急斜面に短時間(12~24 時間)で大量(30cm 以上)の降雪のあった時に発生する乾雪表層雪崩であった。新雪の層全体がなだれることや地山に降った場合は全層雪崩となることから、表層、全層を区別せずに新雪雪崩と呼ぶことが多い。同時に複数箇所が発生する特徴はあるが、平成 13 年 2 月にほぼ同じ箇所が発生した 16 箇所も、今回の 31 箇所も異常に多い。また、平成 13 年にも数頭のエゾシカが雪崩に巻き込まれていたが、今年 2 月の雪崩には最終的に 44 頭のエゾシカが雪崩に巻き込まれていたことが確認されている。鹿の行動は雪崩の引き金にもなり、逆に斜面の雪の安定化にも働く、ここでは鹿と雪崩の関わりについて述べる。尚、本文はトピックスとして発表したもので、研究論文とは異なり内容に多少の厳密さに欠けるところがある。

2. 新雪雪崩

最近北海道では急なためこれまで雪が積もらなかったような斜面にも、短時間に 40cm を超える新雪が積もり、雪崩となった事例が多数報告されるようになった。北海道の急斜面では、数センチも新雪が積もると写真 1 のような無数の点発生表層雪崩（スラフ）が間断なく発生するため、大量に新雪が積もることはないと考えられてきた。しかし、これまで大量の雪が積もることも無く雪崩の発生履歴も無かった、北海道でも寒冷な地方の勾配 45 度の急斜面からも、厳冬期に雪崩の発生事例が報告されている。急斜面に大量の雪が積もるのは発達した低気圧の通過に寄ることが多く、その際の降雪時の気温は-5~0℃の間で高めに推移していることが多い（竹内ほか、2005）。最近になって、このような新雪雪崩の発生が非常に多くなっていることから、地球の温暖化の影響をも連想させられる。新雪雪崩は一旦発生すると流動性が高く、樹林密度の大きい自然斜面や従来の雪崩予防柵（吊柵）の横張部材の隙間や列間をもすり抜けて流れ下る（写真 2）。このため雪崩対策を難しくしており、新雪雪崩に対応し得る雪崩予防柵の開発が急務とされている。



写真1 点発生乾雪表層雪崩（スラフ）

急斜面に積もるさらさらした雪は無数のスラフとなって滑り落ちるので急斜面には雪が積もらない。雪崩の規模を大きくしない一種の安全弁の働きをする。



写真2 雪崩予防柵をすり抜けた雪崩

大量の新雪が崩れる新雪雪崩は流動化するため、樹林密度の高い森林や雪崩予防柵をすり抜けて流れることがある。

3. 鹿が起こした雪崩

大量の新雪が積もって不安定になっても雪崩になるとは限らない。地震、動

物やスキーヤーなどが引き金となって発生することが多いとされている。写真3は自然に発生した雪崩の破断面と鹿の足跡であるが、足跡からも雪崩が発生しているのが分かる。このことから、31の雪崩の幾つかは鹿が引き金になったと考えられる。また、図1は推定された、雪崩の発生時刻と雪崩の発生件数を示したものである。最初の発生は19日23:00であったが、約12時間の間に特に20日9:00以降に発生件数が多くなっている。降雪は11:00には止んでいたのですが、11時30分に約60cmと計測された新雪の量によるものか鹿の活動が活発になってきた時間帯に相当するかは定かではない。

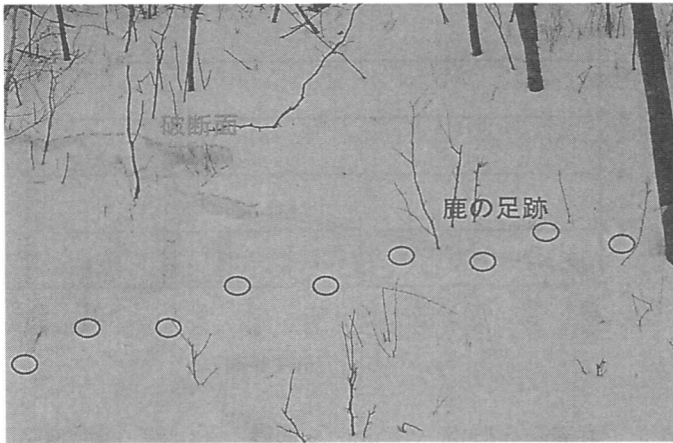


写真3 雪崩発生の上端を示す破断面と鹿の足跡

道路から見えた雪崩の発生点には鹿の足跡も残っていた。雪崩は小規模であったが道路を埋めた

新雪雪崩は新積雪深が40~50cmで発生することが知られるようになってきた。しかし、最初の雪崩が発生した19日23:00は支笏湖畔のテレメータでは降雪は10cm強と記録されている。また、最初の雪崩発生から7時間後の20日6:00には発生地点での断面観測で新雪の深さが40cmと報告されている。同様に、20日11:30でもテレメータの値は35cmで現地実測(60cm)と比べて小さく出る傾向はある。そのことを考慮して大きく見積もっても、最初の雪崩は30~40cmに満たない新雪が崩れた可能性が高い。鹿の行動が引き金になったのであろうか？もしそうであれば、雪崩の発生条件に鹿の行動も考慮する必要がある、雪崩の安全管理にも影響を与えることになる。

逆に鹿の行動が雪崩管理に役に立つこともある。一般的には雪崩が発生した区間では、安全のため降雪が止んだ後も積雪が安定するまでの例えば12時間は通行止めにすることが望ましいと考えてきた。鹿の活発な行動は、雪崩の引き

金となって雪崩エネルギーの解放になり、脆い新雪をかき回すことによって斜面の積雪を安定化することにもなる。そのため、支笏湖畔のように鹿の行動が活発な場合は待機時間を短縮できる。今回の雪崩危険度調査では斜面に鹿の群れや足跡が道路に平行に随所に見られ、それが決め手になって雪崩の危険は小さいと評価され、直ぐに除雪作業に入ることができた。鹿の効能ともいえよう。

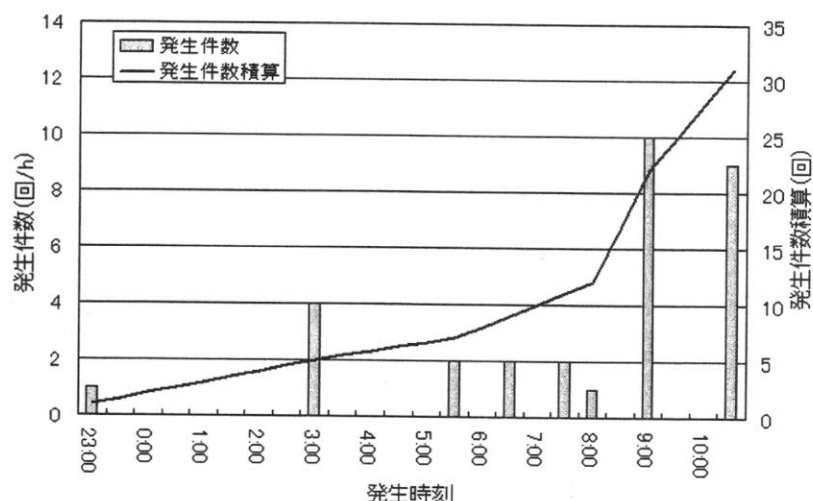


図1 雪崩発生時間(推定)と件数(453号支笏湖畔)

最初の雪崩が発生した2月19日23:00から20日10:30の11時間30分の間に31カ所で雪崩が発生したが、降雪が止んだ11時には治まった。

4. あとがき

国道453号支笏湖湖畔の約4km区間で道路に達する雪崩が31箇所が発生した。支笏湖湖畔では鹿が大繁殖し、雪崩発生後の調査にも20~30頭の群れが幾つも見られたが、雪崩の跡には多数の鹿の死骸が残されていた。鹿の足跡から発生した形跡も見られた。鹿の行動が幾つかの雪崩を誘発したと考えられるが、鹿は雪崩の引き金になるとともに斜面の雪の安定化にも役立っている。

5. 文献

竹内、大槻、山田、石本、2005、北海道の道路雪崩と現場対応、雪工学会誌 2005-4 掲載予定

北欧における冬期道路管理業務の民間委託と性能発注について

浅野基樹 (独) 北海道開発土木研究所 道路部 交通研究室

1. はじめに

北欧諸国では、道路管理の効率化とコスト削減等のため、道路庁の分割と公社化等、道路維持管理業務の市場化、性能発注の導入、摩擦係数による路面管理水準の設定および気象データに基づいた冬期道路維持管理業務の見積・入札等を実施。本報告では、2005年3月にこれらに関して現地にてヒアリングを行ってきたのでその内容を報告する。

2. スウェーデン

(1) 国土と道路の概要

南北1,572kmに亘る国土。人口900万人(2004秋)。面積45万km²(湖を除いて41万1千km²)。人口密度19.8人/km²(340人/km²=日本)。国土の3分の1は未住地域。

道路庁が管轄する公道(国道)は98,222km。そのうち、日交通量2,000台以上で公道の約4分の1を占める22,039kmで薬剤散布。

(2) 道路庁の改革

1992年、道路庁を生産部門と発注部門に2分割。9,000人のうち、6,000人を生産部門(公社化)へ。公社の職員数は、1992年から2005年までに、6,000人から3,000人へ削減。従来、職長1名+副職長2名+部下15~20名であったものが、現在、職長1名+副職長2名+部下約5名+外部勢力という体制。なお、発注部門も生産部門(公社)もトップは道路庁の長(General Director)。生産部門への政府からの助成金はない。

生産部門(公社)の名称は、SNRA's C&Mで、株式は国が保有。2006年の総選挙で与党の勝利次第では資本金が小さいため、大手に売却される可能性も。ちなみに、ノルウェーの場合は国有株式会社。

(3) 道路維持管理の民間委託

舗装は従前から請負化していたが、1991年9月、国会で道路維持管理(Road Operation and Maintenance(草刈りなども含む))は全て民間委託することが決定。性能規定で発注。発注者側は作業方法ではなく、性能規定として管理目標を示し、作業方法は業者側の自由。

1999年、全ての業務を、1管理区域(1契約)あたり600km~1,000kmの単位で管理区域分割し、民間委託。道路庁の生産部門(公社)も含め競争入札。現在の代表的な参加企業者は、SNRA's C&M(道路庁が公社化された企業)、SKANSKA、NCC、PEAB、その他。

(4) 契約方法(パッケージ契約)

実際には、独占を防止することが大事であり、完全競争入札は難しい状態。そのため、2003年までは、道路維持管理1本全体を請負社は1社で行っていたが、2004年以降、年間維持をパッケージ契約という形式で契約。

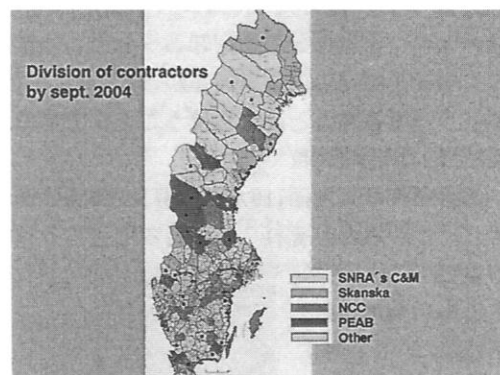


図-1 契約区域と請負者

パッケージ契約では、業務を大きく4つに分割（①冬期道路管理、②草刈り、③照明・標識清掃外、④その他）してそれぞれ見積もり・入札させ、費用の最も大きな部分（通常、冬期道路管理で全体の60～80%）で落札した者が全体を落札。2番手以降の者はその下請けに入るよう規定（発注時の条件であり、元請け契約に明記）するもの。なお、契約方法は現在も模索中ということである。発注の際、発注者側は予定価格を作らない。

契約期間は、基本的に3年契約。根拠は、請負者の経済状況や競争させやすい適当な年数であるという判断から。特に問題がなければ、2年間の延長が可能で、最長5年。企業資格は ISO9000取得および現地に事務所があること。管理区域（発注単位（トラックステーション（米語））は当初256箇所だったものが一度136カ所になり、現在146。そのうち、61%がSNRA's C&M、16%がNCC、10%がPEAB、8%がSKANSKA、5%がその他。

（5）性能規定

発注者側は、管理目標のみを提示。生産者側の維持管理作業手法は、機械の調達も含めて全て生産者側（請負側）で決定。除雪機械は業者持ち（リース、レンタルもあり）。標識の設置などでは、発注者側は設置箇所のみ指示し、設置方法は請負側で決定。標識等の清掃も手法や回数は請負者が決定。

契約事項の履行確認は、抜き打ち検査によって実施。契約事項が守られていなければ、罰金を課す。

路面管理目標に摩擦係数を用いているが、測定装置はコラルバ社製の加速度計。測定訓練は行っていないが、全国に3から4台所有しているトレーラータイプで毎年キャリブレーション。

性能規定2003年版が道路庁から出される予定。

・スウェーデンの冬期道路管理水準									
交通量 AADT	道路区分			摩擦係数			摩擦係数		
	国道・地方道ネットワーク			良好な状態 滑りやすい 非常に滑りやすい			μ ≥ 0.25 μ < 0.25 μ ≤ 0.15		
≥ 16,000	A1	A2	A3						
8,000-15,999	A2	A3	A4						
2,000-7,999	B1	B2	B3						
500-1,999	B1	B2	B3						
< 500	B1	B2	B3						
車種の別	等級			測定の種類			測定の回数		
	A1	A2	A3				B1	B2	C1 C2 C3
乗用車(乗客)の割合	2	4	6	摩擦係数			6		
最大積載量(トン)の割合	1	2	3						
降雪後、降雪停止後1時間以内	2	4	6	最大積載量(トン)の割合			6		
降雪が止まり、最低気温が0℃以下	-8	-6	-3	最大積載量(トン)の割合			3		
上述の範囲温度より低く、降雪が止まり、最低気温が0℃以下	1	2	3	最大積載量(トン)の割合			6		
上述の範囲温度より低く、降雪が止まり、最低気温が0℃以下	2	4	6	最大積載量(トン)の割合			6		
降雪が止まり、最低気温が0℃以下	1	1	2	最大積載量(トン)の割合			6		

図-2 スウェーデンの管理目標

（6）見積もりおよび請負者への支払い方法について

見積もりは2段方式（待機コストを含む基本部分と作業部分に分けられる）。基本部分が通例30～60%、作業部分が通例70%～40%。作業部分は、各月の気象条件から各冬期道路分類毎の発生頻度を推定し作業単価をかける方法。この方法は計算ソフトがネット上で公開されており、ユーザー登録すると誰でも使うことができる。支払いは月単位で精算し、年末で調整。異常気象時は、稼働時間数で別払い。

気象条件は、全国710カ所のRWISとMESANデータ（22km×22kmメッシュの気象データ（約1,000区分）から取得。それらから各冬期道路分類発生頻度が計算され、各冬期道路分類別年作業回数から見積もりを得る（146地域毎）。RWISは、すべりやすい路面が発生しやすい地点に設置。積算の根拠となる気象条件は過去3年分のデータであり、来年4年分となる。

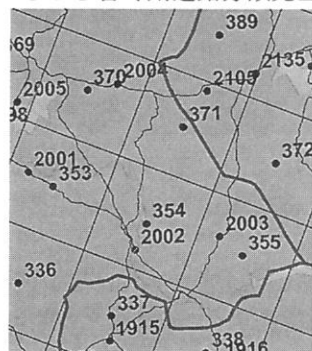


図-3 MESANおよびRWIS箇所

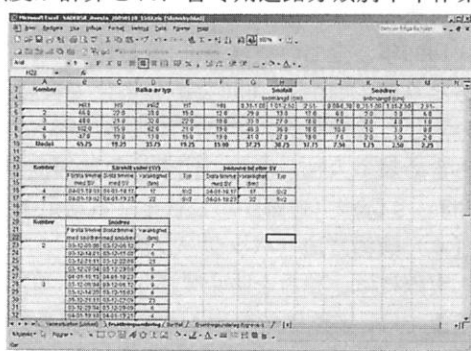


図-4 見積もり計算ソフト

作業単価の見積もり額には大きな差。予定価格の算定や最低入札価格の設定はないが、ダンピング行為は契約不履行時の罰金で対応。罰金の計算方法は、発注者が決定し、契約書に記載。抜き打ち検査（頻度は月2回）により判断。9割程度OKなら許容範囲と判断しており、実際には罰金適用はほとんど無い。

また、検査員（コントローラー）を育成中であり、7地区計20人程度を予定。

3. フィンランド

(1) 国土と道路の概要

面積は、34万km²。人口522万人。15.3人/km²、人口の大半は南部に集中。78,000kmが公道（＝国道（道路庁が管轄））。

(2) 道路庁の改革

フィンランド道路庁は200年の歴史。

1950～1960年代は、すべての業務を直営で実施。1970年から80年代には、計画部門を内部に残しつつ、作業を外部に発注。1970年の職員数は25,000人程度。

1990年に道路庁を2つに分割（発注部門（道路庁（FINNRA）と生産部門（FRE）））。

2001年から生産部門は株式会社ではない国有公社（FRE）化し、同時に作業を民間と競争となる外部発注化へ。2005年までに道路計画や建設も含めて外注化へ。2007年を目処に株式会社化する案が出ている。鉄道、郵政などは80年代に公社化済み。

発注部門（FINNRA）は現在1,050人で、平均年齢55歳、女性が43%、男性が57%、学卒23%。2007年までに、新規採用せず自然退職でさらに850名まで削減予定。一方、生産部門（FRE）は現在2,300人。結局、1970年代に全体で25,000人いた職員が、2001年公社化時約6,000人となり、現在はその約半数。

道路庁の地方部局は9つの区域（1区域40人から100人）。本部はヘッドオフィスの45名とエキスパート部門の200名。上部委員会は、2001年から国・地方自治体・民間で構成され、ヘッドは保険会社の役員であり、戦略的な決定をする。職員の業務は、大きく①計画、②調達、③顧客サービスの3つに分けられ、②の調達業務に約350人が携わっており、調達競争が完全になれば、これら職員がさらに削減される。

予算配分は、①冬期道路管理を含む日常の保守・管理、②構造物、舗装、橋梁などの道路網の良好な維持、③交通安全対策が主で、道路の改良や拡幅への予算は限られている。成長部門は交通管理の部分で、交通センター等の道路利用度を高める部門。

道路のライフサイクル全体を外部委託でカバーする動きもあり、ラハテ自動車道では、国が毎年一定額（30年）を民間に出し、PPPで民間が設計、建設、保守全てを実施。

(3) 道路維持管理の民間委託

道路補修は、全国を約90の保守区に分割。管理延長は、1区当たり550～2,000km。当初は3カ年契約で始まった（2001年）が、発注者側のコスト削減と業者側の技術革新を可能とならしめるため、経験の結果、契約区域の拡大と契約期間の延長（5～7年へ）を行ってきている。

現在、区の数88。2007年までに統合して86区にする予定。98区の契約のうち75%が公社（FRE）が受注しており、残りの25%が大手ゼネコン。

契約期間を長くし、延長も大きくしたため、気象変動リスクが小さくなり、コストを下げる事が出来た（気象リスクは請負者側が負う）。外注化はスウェーデンと似ている。カナダのブリティッシュコロンビアも1988年～1990年代後半から請負化。北欧諸国は同じ方向にある。

(4) 契約内容

維持管理コストの割合は、①冬期道路管理 55%、②緑地維持補修 12%、③付属施設・標識類補修 7%、④砂利道補修 16%、⑤排水・ガードレール補修 7%、⑥その他 3%。

現在、保守区のエリアメンテナンス契約は、区画線、照明、排水ポンプ、交通信号およびその他ルーティング作業以外の日々の維持作業。エリアメンテナンスに含まれない維持作業は、別途発注。舗装の更新も別途発注である。マーキング（路面表示）を、契約期間の延長と区域の拡大とともに試行的に含めている工区もある。

(5) 入札方法（ツー・エンベロプ（二封）方式）

エリアメンテナンス契約の入札は二封方式。第一封が技術提案、第二封が価格入札。第一封で、応札希望者の技術提案を見て、その内容を項目別重み付けにより点数化。400 点未満の者は失格。400 点以上 700 点未満の者は審査（ヒアリング有り）を行い、品質約束が十分であった場合に第二封を開く。700 点以上の者は審査無しで第二封を開く。各社の応札金額は、上記得点に応じた調整係数により調整後比較。ただし、700 点以上の者は調整係数は一定。技術提案と価格の評価の重み付けは、技術力 25%、価格 75%。応札者はだいたい 5~7 社。

ダンピングは禁止。落札額が二位の者と 35%以上の差があった場合には、履行可能性を聞き取り調査し、誓約書を書かせる。負けた会社は民々で提訴可能。

2005 年の契約スケジュールの例では、04 年 11 月 8 日に公告、12 月 15 日業者選択、05 年 1 月公示、2 月情報提供、3~4 月入札、6~8 月契約交渉、8~9 月契約、10 月 1 日履行。

(6) 支払い方法（ハイブリッドシステム）

一括支払いと単価契約支払いを合わせた方式（ハイブリッドシステム）。請負金額の 75%~80%が一括支払いで、冬期道路管理、砂利道保守、パッチング、道路植栽管理、排水保守が含まれる。20~25%が単価契約方式で、道路標識更新、大規模舗装修繕、排水修繕、砂利道修繕、砂利道凍結融解修繕が含まれる。いくつかの契約では、総一括払いを試行。

1 ヶ月毎に精算払い。一括支払いの工種は、支払い額の設計変更による変更は行われず、総額を月割にして月払いを受ける。ただし、冬期道路管理は契約当初の 10 月~12 月に全冬期間の額の 40%を受けることができる。

(7) 摩擦係数による路面管理の実態

気象変動による路面変化が激しい場合、通常、路面管理（薬剤散布）の意志決定には摩擦係数を用いていない。気象予測によって意志決定している。

摩擦係数による意志決定は、安定した気象状態の時で、凍結と交通状況によって摩擦レベルが徐々に下がっていく場合に行っている。摩擦係数測定装置は加速度計。

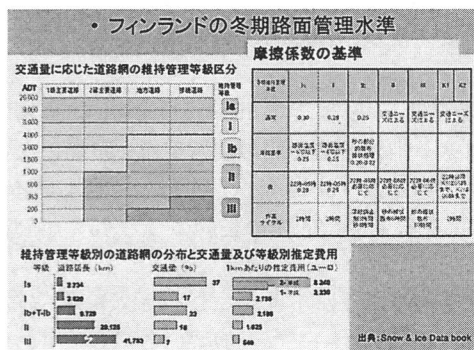


図-5 フィンランドの管理目標

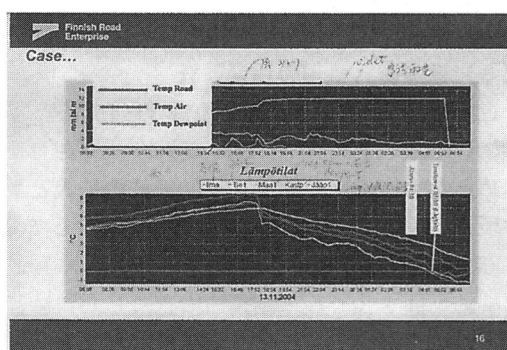


図-6 路面凍結予測システム

冬期歩行者空間における客観的評価手法について

北海道開発土木研究所道路部交通研究室	○舟橋 誠
北海道開発土木研究所道路部交通研究室	徳永 ロバート
北海道開発土木研究所道路部交通研究室	高橋 尚人
北海道開発土木研究所道路部交通研究室	浅野 基樹
国土交通省北海道開発局旭川開発建設部	桜庭 満

1. はじめに

近年、冬期歩行者空間において滑りやすい凍結路面の発生による転倒事故の増加などにより、冬期の歩行環境の改善に対するニーズが高まっている。当研究所では、冬期歩行者空間の歩きやすさを評価する手法について、歩道利用者の感じ方や歩行者挙動や路面状態による評価の両方から研究を進めている¹⁾。

本報告は、平成17年2月に旭川市で開催された「2005 ふゆトピア・フェア in 旭川」の実験コースにおいて、歩行者挙動や路面状態を表す客観的な評価指標から冬期歩行者空間の確保対策効果の把握が可能であるか検討を行った結果について報告する。

2. 調査概要

(1) 実験コース

本調査は、平成17年2月3日～5日にかけて旭川市で開催された「2005 ふゆトピア・フェア in 旭川」の歩行者挙動実験コースで実施した。体験者数（被験者）468名で、年齢層は半数以上が30～40代、道内居住者が約8割であった。

実験コース（図-1）は、「歩きやすさ」の判断で重要視される非常に滑りやすい路面を基本に、歩行幅・路面状況・路面対策の3つの要因とそれぞれ2つの水準による組合せの8つの冬期歩行者空間を再現した。

(2) 評価指標の設定

冬期歩行者空間を的確に反映し、わかりやすく信頼性があり、観測や測定が容易かつ客観性の高い指標を設定する必要がある。そこで、歩行者挙動として転倒等の歩行異常の頻度と歩行速度を、路面状態として路面のすべり摩擦係数を評価指標として設定した。

(3) 調査方法

歩行者挙動の調査方法は、実験コースに設置したビデオカメラで被験者の歩行者挙動を記録し、後日その画像を用いて観測・解析を行った。各評価指標の解析方法として、歩行異常は、被験者が歩行の継続が危険であると感じて立ち止まる「立ち止まり」、転倒しそうになる「ニアミス」、転倒した「転倒」の3つに分類（写真-1）し、コース毎に集計した。

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撮影された画像を見ながらストップウォッチで計測・算出した。

路面状態の調査方法は、測定機器の構造上の問題から凸凹路面での計測が困難であることや路面の幅には影響を受けないことから、平坦かつ路面対策（すべり止め材散布）が異なる路面であるコース1及びコース3を対象にすべり摩擦係数を計測した。計測機器（写真-2）は、小型で持ち運びが容易な振り子式のポータブルスキッドテスター（PST）と引張力式のポータブル静摩擦係数測定器を用いた。

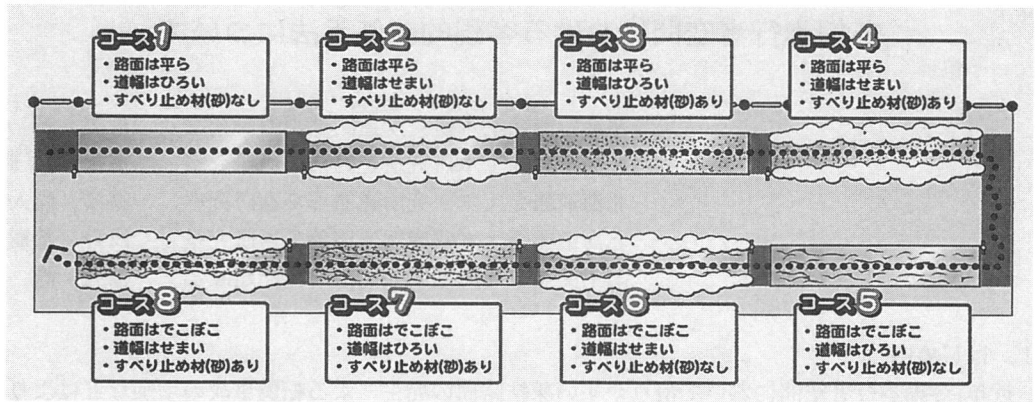


図-1 実験コース概要図

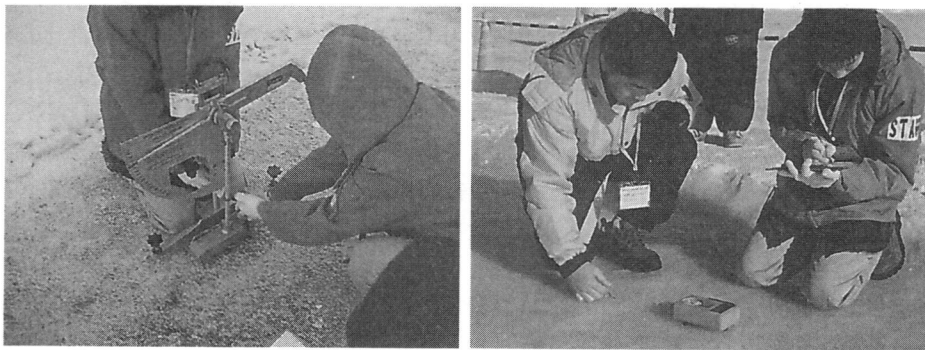


立ち止まり

ニアミス

転倒

写真-1 歩行異常の分類



ポータブルスキッドテスター

ポータブル静摩擦係数測定器

写真-2 すべり摩擦係数の計測機器

3. 調査結果

(1) 歩行異常頻度

調査方法で述べた歩行異常(「立ち止まり」「ニアミス」「転倒」の3分類)の頻度を図-2に集計した。この図では、歩行異常頻度を各コースの全被験者数に対する割合で示している。

歩行幅については、例えばコース1とコース2を比較すると幅が狭いコース2の方が歩行異常頻度は少ないことがわかる。この傾向は、他のコースにおいても同様に現れている。この理

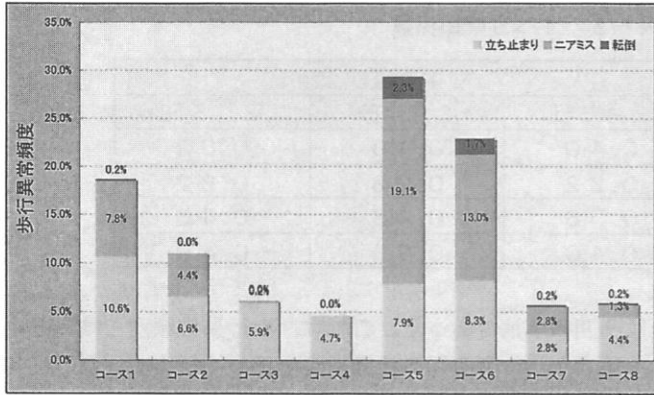


図-2 コース別の歩行異常頻度

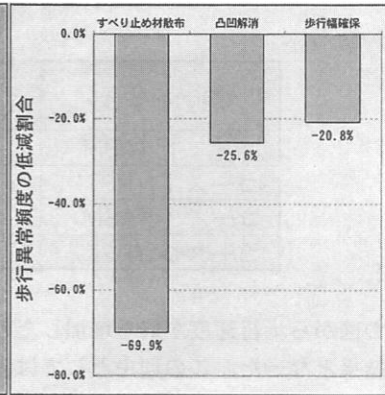


図-3 歩行異常頻度の低減割合

由としては、歩行幅が狭くなったことにより被験者が幅の広いコースよりも注意深く歩行を行った結果であると思われる。また、路面状況については、コース1とコース5を見比べると、路面に凸凹がある方が歩行異常頻度は高く、「転倒」そのものも多くなっていることがわかる。路面对策については、コース1とコース3、又はコース5とコース7から明らかに路面对策(すべり止め材の散布)を行うことで歩行異常頻度が少ない。

また、歩行条件別による歩行異常頻度の低減割合を図-3に示す。この図は、比較する歩行条件だけが異なるコース毎に低減割合を算出し、その平均をとった値である。この図より、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のある歩行者空間確保対策であることがわかる。

(2) 歩行速度

歩行速度については、表-1のような結果が得られた。歩行異常頻度と同様にそれぞれのコースを比較すると、この表から歩行幅の違い(コース1とコース2など)により、歩行速度にほとんど違いはない。また、路面状況(コース1とコース5など)を比較すると、路面が平らである方が歩行速度は速いことがわかる。路面对策(コース1とコース3など)では、路面对策を行っている方が明白に歩行速度は高い。このことから、歩行速度は路面状況や路面对策が大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。

また、歩行異常頻度と同様に、歩行確保対策別での歩行速度の増加割合を図-4に示す。こ

表-1 歩行条件と歩行速度

コース番号	歩行条件			歩行速度 (m/s)
コース1	平ら	広い	砂なし	0.77
コース2	平ら	狭い	砂なし	0.74
コース3	平ら	広い	砂あり	0.90
コース4	平ら	狭い	砂あり	0.90
コース5	凸凹	広い	砂なし	0.57
コース6	凸凹	狭い	砂なし	0.53
コース7	凸凹	広い	砂あり	0.61
コース8	凸凹	狭い	砂あり	0.68

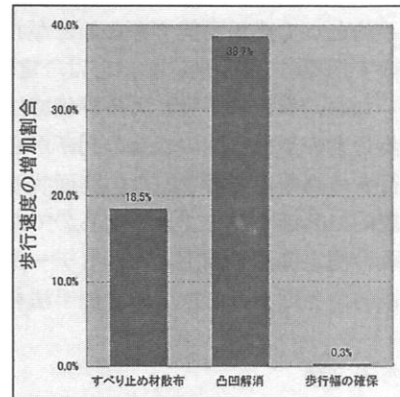


図-4 歩行速度の増加割合

表-2 すべり摩擦係数

コース番号	中央値		
	2月3日	2月4日	2月5日
コース1 (ASM)	0.40	0.40	0.32
コース1 (PST)	0.22	0.23	0.22
コース3 (ASM)	0.58	0.48	0.40
コース3 (PST)	0.40	0.30	0.40

の図から歩行速度が最も増加したのは凸凹の解消であった。これは、歩行異常頻度とは異なる結果となった。この理由としては、被験者が歩行者空間の状態判断を正しく行えず、歩行速度を過度に高くしたため、結果としてより転倒しやすくなったのではないかと考えられる。

以上のことから、冬期歩行者空間の歩行者挙動に関する評価指標として歩行異常頻度や歩行速度は有効であるが、冬期歩行者空間確保対策の効果の評価という点では異なる結果が現れることがわかった。

(3) 路面のすべり摩擦係数

路面のすべり摩擦係数の測定は、1日1回、被験者体験実験終了後のほぼ同時刻に実施した。各コース・1測定当たり5回のすべり摩擦係数計測を行ない、異常値を除いた中央値をそのコースのすべり摩擦係数として採用した。その結果を表-2に示す。この表から路面对策（すべり止め材の散布）を行っていないコース1は、機器の計測原理により計測値に違いがあるものの、測定日ではすべり摩擦係数値にあまり違いがない。しかし、路面对策を行ったコース3では、測定日により計測値が大きく異なっている。これは、路面对策（すべり止め材の散布）による影響が現れたものと思われる。

しかしながら、ポータブルスキッドテスター（PST）やポータブル静摩擦係数測定器（ASM）の両方ともに路面对策を行ったコース3の方がすべり摩擦計数値が高いことから、一定の路面状態の評価は可能であることがわかる。

4. まとめ

本研究では、冬期歩行者空間の確保対策効果の把握に歩行者挙動や路面状態を示す評価指標が適用可能であるのか検討を行った。その結果、歩行異常頻度や歩行速度といった歩行者挙動に関する指標は、歩行条件の影響を把握できることから、冬期歩行者空間を客観的に評価する手法として適用可能であることがわかった。また、路面のすべり摩擦係数のような路面状態を表す指標は、現段階においては一定の路面状態評価指標として適用可能であることがわかった。

なお、歩行者挙動による評価では、対策の効果の評価が一定しない部分があった。これは、歩行者の歩行空間の状態の判断が必ずしも正しくないことを示すと考えられる。そのため、歩行者の判断に影響されない路面状態を表すすべり摩擦係数は、冬期歩行者空間の確保対策を客観的に評価する上で重要なものであると考えている。今後は測定場所を選ばないすべり摩擦係数の測定機器や測定におけるデータの信頼性を高めるための測定方法を確立することでより客観的な冬期歩行者空間の評価手法を提案したい。

参考文献

- 1) 徳永ハルト, 高橋尚人, 浅野基樹: 積雪寒冷地における冬期歩行空間のモビリティ評価に関する研究; 第19回寒地技術シンポジウム, 2003年

冬季積雪路面の変化に関する研究

藤井 崇(北海道大学低温科学研究所)

岡村智明(日本気象協会北海道支社)

石川信敬(北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

積雪寒冷地においては、冬季の凍結路面による車両の物損事故や歩行者の転倒事故は重大な社会問題となっている。そのため、北海道開発局や札幌市は安全な交通・運輸の確保のため、除雪や排雪とともに薬剤散布を施している。しかし、現状では薬剤散布の基準は目視による判断が主であり、個々の経験による差が生じたり客観的な判断に欠けたりするという問題が存在する(舟橋・浅野, 2005)。また、過度の薬剤散布は土壌や地下水あるいは生態に影響を与えており(Dobson, 1991; Blomqvist, 1998), 効率的な薬剤散布が要求される。

凍結路面の発生予測に関する研究は精力的に行われている。凍結路面の予測に重要なのは道路の表面温度であるが、現状では表面温度の実測は少なく、気温を用いる場合が多い。また表面温度を用いる場合でも、表面温度は熱収支あるいは統計的なモデルを用いて算出している。しかし、広域での表面温度算出には多点の気象データや地理学的パラメータが必要であり、作業が煩雑になる。そこで本研究では、もっと簡便な方法として、通常観測される気温から表面温度を推定する方法を開発するために、表面温度を実測し、まず気温と表面温度の関係を求めることを目的とした。

2. 観測方法

観測は2004年12月から3月にかけて、

札幌市清田区美しが丘の国道36号線で行った(図1)。観測項目は、道路の表面温度、気温、路温、湿度、風速、日射量、降水量、交通量、路面状態である。なお表面温度は放射温度計を用いて観測した。また観測項目と使用測器を表1に、観測の模式図を図2に示す。



図1. 観測場所。札幌市清田区美しが丘。

表1. 観測項目と使用測器。

観測項目	使用測器	観測項目	使用測器
気温	白金抵抗温度計	表面温度	放射温度計
風速	3杯式風速計	路面温度	白金抵抗温度計
湿度	静電容量式湿度計	路面状況	ビデオカメラ
日射量	全天日射計	交通量	ビデオデッキ
降水量	転倒マス雨量計	記録装置	データマーク

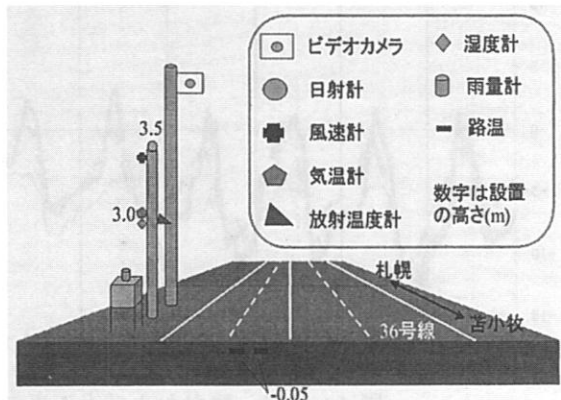


図2. 観測の模式図。

3. 路面状態の分類とその時間変化

気温や表面温度の変化に伴う路面状態の変化を見るために、ビデオカメラで得られた画像から路面状態を乾燥、湿潤、積雪、凍結の4つに分類した。分類の基準を表2に示し、各状態の画像を図3に示す。

表2. 路面状態分類の基準。

乾燥	路面全体が乾燥している。
湿潤	降水、残雪の融解で濡れている。 車による水しぶきが見られる。
積雪	積雪による凹凸がある。
凍結	凹凸が見られず、氷板がある。

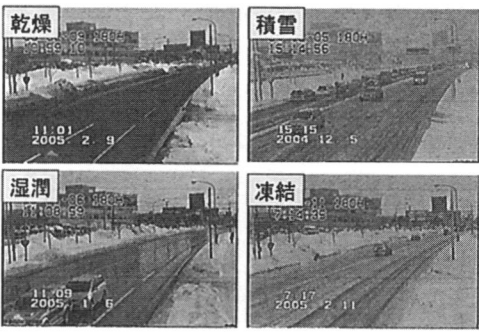


図3. 各路面状態の画像。

次に、気温、路温および表面温度の時間変化と路面状態の2月11日から20日までの時系列変化を図4に示す。図にお

いて、太実線は表面温度、点線は路温、細実線は気温である。またグラフ上段の帯は路面状態を表しており、灰色が乾燥と湿潤、黒色が積雪と凍結を表している。なお表面温度の観測値の妥当性を示すため手動で観測を行い、その値を三角印で示した。

路面状態の変化に着目すると、夜間凍結→日中湿潤→夜間凍結という変化が多く見られる。一方、表面温度の変化は、凍結から湿潤に変化するときには0℃以上となり、湿潤から凍結に変化するときには0℃以下となっており、路面状態の変化に対応している。しかし、この期間の気温は常に氷点下であり、気温のみでは路面状態の変化を説明することはできない。路面状態の変化を予測するには、表面温度の変化を捉えることが重要であることが分かる。

4. 気温と表面温度の相関

気温から表面温度を推定するため、気温と表面温度の相関図を図5に示す。図中の値は1時間平均値である。気温と表面温度の相関は高い。しかし、気温に対して表面温度は約10℃ばらついており、

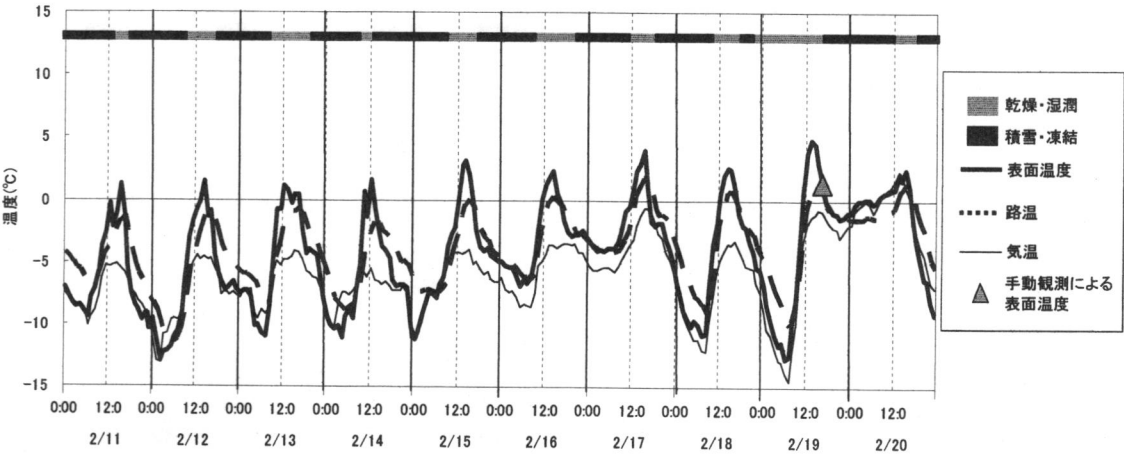


図4. 気温、路温および表面温度と路面状態の時系列変化

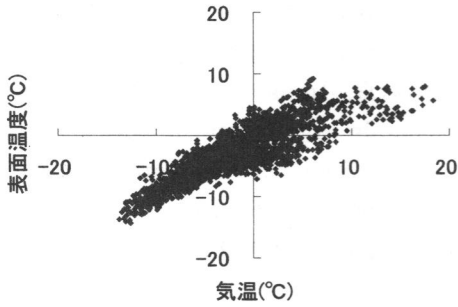


図 5. 気温と表面温度の相関。

このままでは表面温度を推定することはできない。そこで、データをさらに路面状態と気象条件で場合分けして両者の関係を見ることにする。

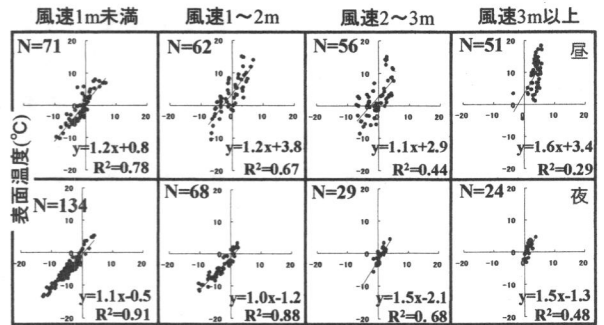
5. 場合分けの方法とその結果と考察

以下に示すように場合分けを行った。まず気温と表面温度の全データを、4種類の路面状態(乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結)に分けた。次にそれぞれの路面状態において、昼(日射量>0)と夜(日射量=0)に分け、さらに、風速別(1m/s 未満, 1~2m/s, 2~3m/s, 3m/s 以上)に分けた。

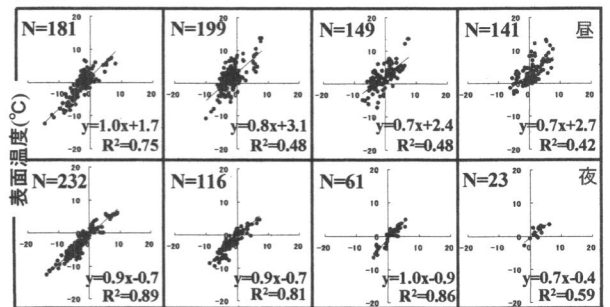
図 6 は条件別に分けた気温と表面温度の関係を示したものである。上から順に乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結である。それぞれの図において、上段は昼、下段は夜であり、左から右に風速別に示した。いずれの図においても横軸は気温、縦軸は表面温度である。さらに、気温と表面温度の回帰式と相関係数 R^2 および用いたデータ個数 N も図中に示した。

いずれの路面状態においても日中より夜間、気温と表面温度の相関は高くなった。特に風速 2m/s の場合に両者の相関は高く(0.81 以上)、気温から表面温度が推定できることが推察される。なお夜間で風速が大きくなると両者の相関が幾分低くなるが、これは用いたデータ個数が少ないためであり、さらにデータを増やし

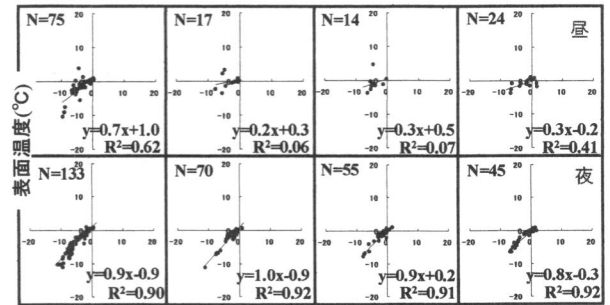
乾燥



湿潤



積雪



凍結

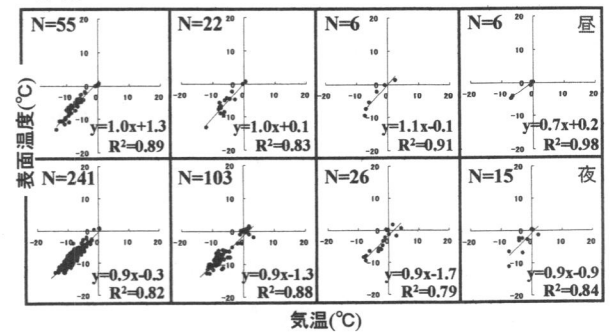


図 6. 場合分け後の気温と表面温度の相関。

て考察する必要がある。さらに、日中は凍結路面以外の路面状態では気温と表面温度の相関が低くなっている。その原因解明は進んでいないが、日射量や交通量の影響が考えられる。これらの条件も場合分けの要因として考慮する必要がある。う。

6.まとめ

札幌市内の国道沿いに定点を定め長期の道路気象観測を行い、以下の結果を得た。

- ・ 表面温度と気温を実測し、路面状態別、気象条件別に両者の相関を求めた。
- ・ 夜間、特に風速 2m/s 以下で気温と表面温度の相関が高く、これは路面状態によらない。
- ・ 得られた回帰式を用いて気温から表面温度を推定できる可能性が示唆された。
- ・ 日中においては凍結路面以外では気温と表面温度の相関は低くなった。昼間の表面温度を気温から推定するには、日射量や交通状況を考慮した解析が必要である。

7. 謝辞

現地観測において北大低温科学研究所 田中夕美子博士には多大な援助を頂いた。さらに低温科学研究所水文気象グループの皆様には解析、結果、考察に関して有益な助言を頂いた。ここに深く感謝致します。

引用文献

- 舟橋、浅野：加速度計を用いた雪氷路面のすべり摩擦係数、日本雪工学会誌、Vol21.No.2, pp116-120, 2005.4
- Dobson, M.C. : De-icing salt damage to trees and shrubs. *Forestry*

Commission Bulletin 101. HSMO, London. 64pp. 1991.

Blomqvist, G. : Impact of de-icing salt on roadside vegetation—a literature review. *Swedish National Road and Transport Research Institute*, 427A. 1998.

気象の時間変動と道路構造別冬期路面温度特性に関する研究

(独) 北海道開発土木研究所道路部交通研究室 ○秋 元 清 寿
舟 橋 誠
徳 永 ロベルト
高 橋 尚 人
浅 野 基 樹

1. はじめに

北海道の冬期道路は、スリップ事故等の誘発要因の一つである非常に滑りやすい雪氷路面の出現が多く、冬期道路の安全確保には路面管理が冬期道路管理の重要な課題の一つである。路面温度は、気温や日射などの気象の影響を受ける他、土工部や橋梁部といった道路構造による熱特性の影響も受ける¹⁾。凍結防止剤の事前散布等のより適切な路面管理を行うためには、予め路面温度特性を把握することが重要である。

本研究では、気象の時間変動に伴う道路構造別の路面温度特性を把握するために、定点において気象観測と深度別の路体温度観測を行った。本報告では、観測の概要を紹介するとともに、その結果について述べる。

2. 観測方法

観測は、平成 16 年 12 月 13 日から平成 17 年 2 月 28 日までの 75 日間、一般国道 5 号札幌市西区発寒で行った。表 1 に観測地点の諸元を示す。観測項目は、路体温度、気温、風速の 3 項目とした。路体温度は、車線中央部付近に舗装面から抜きとった舗装コアに CC (タイプ T) 熱電対を土工部 8 深度 (5mm、10mm、20mm、30mm、50mm、100mm、150mm、300mm) に埋め込み、専用の接着剤で処理した後、抜き取った箇所に再度埋設した。橋梁部 1 深度 (5mm) は、舗装を切削して熱電対を埋設した。気温計は、堆雪による影響を考慮して地上からの高さ 2.5m の位置に、風速計は、地上からの高さ 3.0m の位置に設置した(図 1 参照)。これら観測データは、データロガーに 10 分毎に記録した。

表 1 観測地点の諸元

路線名	観測地点	地点標表示	観測地点 No.	路線方向	道路構造	詳細
一般国道 5 号	発寒	KP=273.6 ~ KP=273.9	No. 1	東向車線 (日陰)	土工部	単路部
			No. 2			交差点部
			No. 3	西向車線 (日向)	土工部	単路部
			No. 4			交差点部
			No. 5	東向車線 (日陰)	橋梁部	鉄筋コンクリート (RC) 橋
			No. 6	西向車線 (日向)		鉄筋コンクリート (RC) 橋

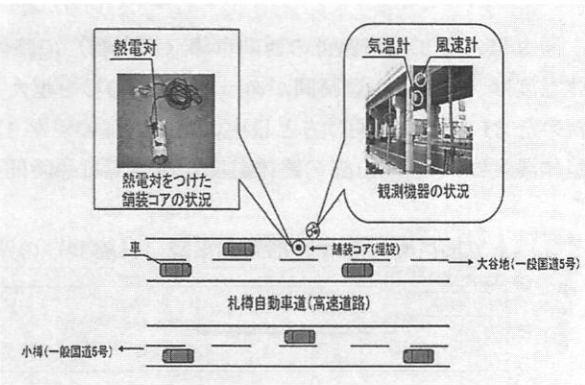


図 1 調査地点のレイアウト

3. 観測結果

観測期間中において、厳冬期の平成 17 年 1 月 16 日から 1 月 31 日までの気象観測結果及び道路構造別路体温度（深度 5mm、150mm）の観測結果を以下に示す。

1) 気象観測の結果

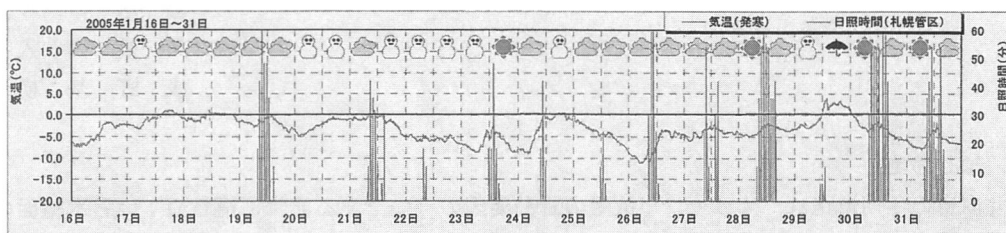


図 2 観測地点における気象観測の結果

図 2 は、観測地点における気象観測の結果である。縦軸左側に気温、右側に日照時間、横軸に日付を示した。また、図の上部に、各日の天気（曇、雪、晴、雨）を示した。気温は、1 月 16 日から 31 日までは、降雨のあった 29 日の午後を除いて、 -5.0°C を中心に -10°C から 0°C の間で推移した。

2) 土工部における単路部西向車線（日向側）の路体温度観測結果

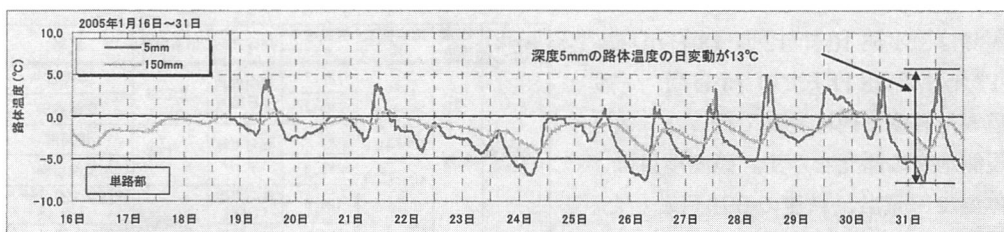


図 3 土工部の単路部西側車線（日向側）の路体温度変化

図 3 は、土工部単路部の西向車線（日向側）の路体温度変化を示している。深度 5mm の路体温度は、一定の日照時間があった日に、 0°C を越え 5°C 付近まで推移した。また、晴れの日が続いた 31 日には、明け方と日中の路体温度の差が 13°C と最も大きくなった。深度 150mm の路体温度は、深度 5mm の路体温度と比べて日照時間の長かった日でも緩やかな変化であった。

3) 土工部における単路部東向車線（日陰側）の路体温度観測結果

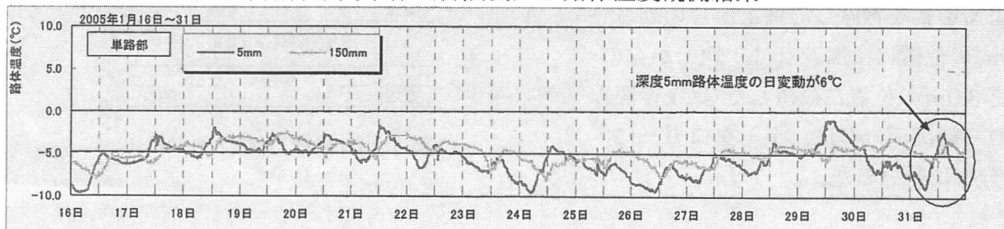


図 4 土工部の単路部東向車線（日陰側）の路体温度変化

図4は、土工部単路部の東向車線（日陰側）の路体温度変化を示している。深度5mmの路体温度は、深度150mmの温度とほぼ同じ-5℃前後で変化した。深度5mmにおける31日早朝から日中にかけての路体温度差は、6℃と日向側に比べて小さかった。

4) 土工部における交差点部西向車線（日向側）の結果

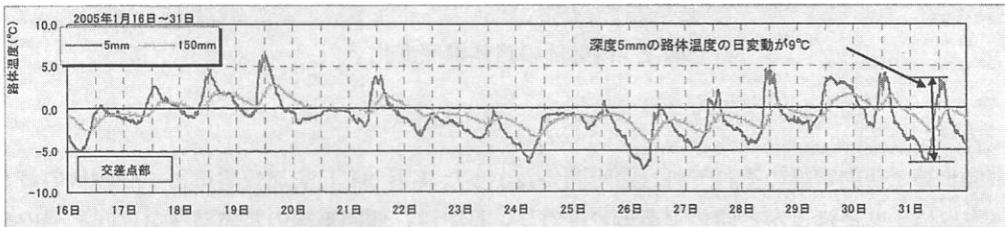


図5 交差点部の西向車線（日向側）の路体温度変化

図5は、交差点部の西向車線（日向側）の路体温度変化を示している。深度5mmの路体温度は、0℃を越え5℃付近まで上昇する傾向があった。また、晴れの日が続いた31日の明け方と日中の路体温度の差が9℃と最も大きくなった。深度150mmの路体温度は、深度5mmと比べて緩やかな変化であった。

5) 土工部における交差点部東向車線（日陰側）の結果

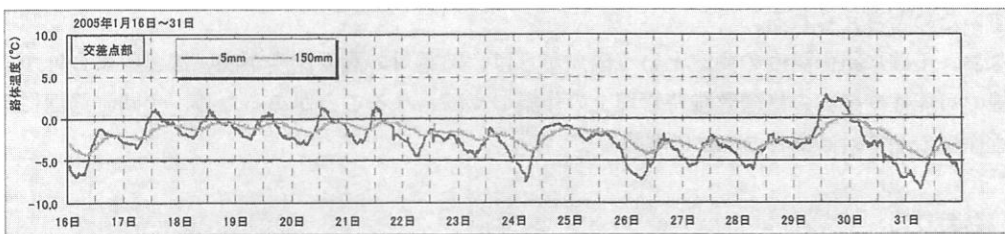


図6 交差点部の東向車線（日陰側）の路体温度変化

図6は、交差点部東向車線（日陰側）の路体温度変化を示している。深度5mmの路体温度は、0℃前後で変化した。また、深度150mmの路体温度は、-5℃から0℃の間で緩やかに変化した。

6) 橋梁部の結果

図7は、橋梁部の温度変化を示している。西向車線の路体温度は、日向側で一定の日照時間があった日の日中は、0℃を越えて5℃付近まで上昇し、夜は-10℃付近まで下降していた。特に、1月31日早朝から日中にかけて路体温度の差は16℃あった。一方日陰側の東向車線の路体温度は、明け方に-10℃付近まで下降しているものの日中も-5℃までしか上昇していない。

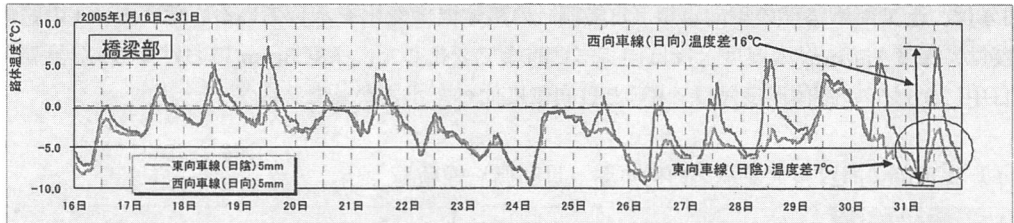


図7 橋梁部の路体温度変化

4. 考察

東向車線と西向車線のそれぞれ日照時間の長かった 1 月 31 日を比較すると、その日の最低路体温度は、共にほとんど同じであるのに対し、日中は、西向車線の路体温度が東向車線の路体温度より高いことがわかる。これは、日照による影響を受けたものと考えられる。

次に、単路部と交差点部を比較すると、西向車線では、単路部、交差点部ともに同じような変動を示している(図・3、図・5)。その一方で、東向車線の単路部と交差点部を見てみると、交差点部の方が単路部より路体温度が全体的に高い(図・4、図・6)。これは、交差点の信号待ち等で車両停止中の車両から放出される熱の影響を受けているためと考えられる²⁾。

土工部(単路部)と橋梁部を比較すると、西向車線において、橋梁部の路体温度変化の差が最大 16°C(図・7)、土工部(単路部)の路体温度変化の差が最大 13°C(図・3)あり、その差は約 3°Cあった。この温度差が現れた理由として、橋梁部は、土工部に比べて気象の変動を受けやすいためと考えられる。

なお、正確な路面温度の測定という観点からは、熱電対の設置深度が浅いほど望ましいが、断線の可能性や舗装の修繕等維持管理上の作業の支障となることがあるため、今回、路面に最も近深度の熱電対は深さ 5mm に埋設している。

5. おわりに

本研究では、温度計、風速計と熱電対を用いて定点における気象観測と深度別路体温度観測を行った。その結果、気象の時間変動による各調査地点の路体温度は、道路構造や日射によって異なった路面温度特性を示すことがわかった。この結果は、今後のより適正な冬期路面管理確立において非常に重要であるといえる。しかし、今回の調査では初冬期や終冬期の観測及び議論が行われていないため、このような期間も含めた更なるデータの蓄積や分析を進めると共に、これらのデータを基に道路構造、日射、および交通量等に応じた路面状況予測手法の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) 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、平成 14 年 2 月第 45 回北海道開発局技術研究発表会
- 2) 石川信敬、成田英器、加治屋安彦：凍結路面の発生メカニズムに関する熱収支的考察、第 16 回寒地技術シンポジウム、2000 年 11 月

異なる森林生態系における積雪表面 CO₂フラックスと積雪特性の考察

○北海道大学大学院 栗田 孝

北海道大学低温科学研究所 兒玉 裕二

北海道大学低温科学研究所 石川 信敬

JST/CREST 中井 太郎

1. はじめに

1997年のCOP3において地球温暖化対策として京都議定書が採択され、「森林等の吸収源による温室効果ガス吸収量を算入」が明記された。そして2005年2月、京都議定書が発効となり、森林生態系における炭素動態の解明がさらに重要視されてきている。しかし、北半球の陸地の半分近くを占める積雪地帯の土壌内の炭素量が世界の約30%に相当すると指摘されているにもかかわらず、積雪時の土壌-積雪-大気間におけるCO₂放出過程の解明は測定が困難なことからあまり進んでいない。特に、積雪の圧密・融雪現象が積雪を通して放出するCO₂フラックスに及ぼす効果や、寒冷積雪地帯の森林における積雪期間中の林床積雪表面からのCO₂放出量の定量化に関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、寒冷積雪地帯の2つの森林において、林床積雪から大気へのCO₂放出過程における積雪の効果の解明と、積雪期間中の両林における積雪表面からのCO₂放出量の定量化を目的とする。

2. 観測方法

2004年11月から2005年4月まで、北海道大学雨龍研究林(44°21′44″N, 142°15′54″E)におけるヨーロッパトウヒ林と針広混交林を対象に観測を行った。ヨーロッパ

トウヒ林の林床はリター層が約5cmであり、林床植生はほとんど見られない。針広混交林はアカエゾマツ・トドマツ・ミズナラ・カンバ等の樹木で構成されており、林床はリター層が約3cm、林床はササや低木が群生している。

現地では、11・12月が積雪初期、1・2月が厳冬期、3・4月が融雪期である。

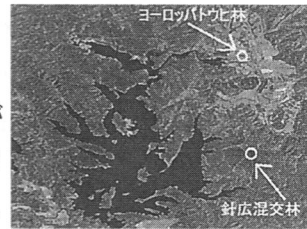


図1 雨龍研究林 周辺図

両林において積雪表面から大気へのCO₂フラックスを測定するため、クローズドチャンバー法とフィックの拡散則を用いたCO₂濃度勾配法により測定した。

観測に用いたクローズドチャンバー(図2a)は、高さ40cm、底面積491cm²の塩化ビニール製(Gas Analyzer:LI-COR社製, LI-820)であり積雪に15cm挿入した。ヨーロッパトウヒ林では11月から1月までは一台で、2月から4月は5台で測定した。

針広混交林では全期間5台で測定した。

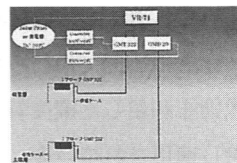


図2a チャンバー配置 b 濃度計配置

また、積雪表面と土壌表面（積雪下）CO₂濃度を測定するために、CO₂濃度計（VAISALA社製,GMT220,GMD20）を両林の積雪表面と積雪下に設置し、1反復ずつ測定した。（図2b）

気象データの観測項目は気温・地温・風速・風向・気圧であり、積雪データの観測項目は積雪深・全層平均密度・積雪水量・含水率である。

また、月に一回程度、積雪断面観測を行った。

3. 積雪表面 CO₂フラックス算出方法

3. 1. クローズドチャンバー法（CC法）

チャンバー密閉後の経過時間とチャンバー内 CO₂濃度の関係を直線回帰してチャンバー内 CO₂濃度の平均増加速度を求め、以下の式を用いてフラックスを算出した。

$$F_{CO_2} = \rho \times \frac{273}{T} \times \frac{dC}{dt} \times \frac{V}{A}$$

ここで、F_{CO₂}はCO₂フラックス(mgCm⁻²h⁻¹)、 ρ は標準状態におけるCO₂密度(=1.96mgm⁻³×(12/44))、Tは密閉時のチャンバー内部平均気温(K)、dC/dtは密閉時のチャンバー内CO₂濃度の平均増加速度(10⁻⁶m³m⁻³h⁻¹)、Vはチャンバーのサンプリング体積(m³)、Aはチャンバーの底面積(m²)である。

3. 2. CO₂濃度勾配法（FD法）

フィックの拡散則は以下の式で表される。

$$F = \frac{Q}{A} = -D_p \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

ここで、Fはガスフラックス(gm⁻²s⁻¹)、Qは流量(gs⁻¹)、Aは面積(m²)、D_pはガス拡散係数(m²s⁻¹)、dC/dxは濃度勾配(gm⁻³m⁻¹)である。

過去の研究で用いられているフィックの拡散則を利用した濃度勾配法の多くは土壌層に対し適用されている。

本研究では、積雪層中のCO₂拡散係数を決

定するために、Currie(1970)による土壌におけるガス拡散係数と気層率の関係を表した以下の経験式を積雪層に適用する。

$$D_p = \left(\frac{a}{n}\right)^4 n^{\frac{3}{2}} D_a \quad (2)$$

ここで、D_pは積雪層中のCO₂拡散係数(m²s⁻¹)、aは積雪の気層率(m³m⁻³)、nは積雪の空隙率(m³m⁻³)、D_aは標準状態の大気中におけるCO₂拡散係数(=0.138m²s⁻¹)である。そして空隙率nは気層率aに等しいと仮定した。

よって(2)式は、

$$D_p = n^{\frac{3}{2}} D_a \quad (3)$$

となる。積雪層中のCO₂拡散係数は空隙率の関数で表現した。以上の式(1)(3)より、濃度勾配法によるCO₂フラックスの算出式は以下のように表される。

$$F_{CO_2} = n^{\frac{3}{2}} \times D_a \times \left(\frac{T}{273}\right)^{1.83} \times \left(\frac{1013}{P}\right) \times \left(\frac{dC}{dx}\right)$$

ここで、F_{CO₂}はCO₂フラックス(mgCm⁻²h⁻¹)、Tは気温(K)、Pは気圧(hPa)である。

4. 観測結果

4. 1. CO₂データと気象・積雪状態

図3、図4はそれぞれ観測期間中のヨーロッパパトウヒ林、針広混交林におけるCO₂フラックス・CO₂濃度・気温・地温・積雪深・全層積雪密度の推移を示す。ヨーロッパパトウヒ林・針広混交林の最大積雪深は2月に146cm、171cmを記録し、気温が1月に-27℃、-19℃まで下がったが、地温は期間中を通して0℃以上を保った。これは、1m以上の積雪が堆積することで、地中の熱を保持したためであると考えられる。

また、期間中の平均積雪表面CO₂濃度はそれぞれ463ppm、454ppmであり、観測中ほとん

ど変化しなかった。土壌表面 CO_2 濃度は両林とも11月から2月にかけて増加し、濃度計の限界値を超えて2,400ppm以上であった。よって解析には2,400ppm未満のデータを用いた。なお3月・4月において濃度は大きく変動した。

積雪表面 CO_2 フラックスはヨーロッパトウヒ林において $0\sim122\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 、針広混交林において $0\sim98\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ の範囲であった。

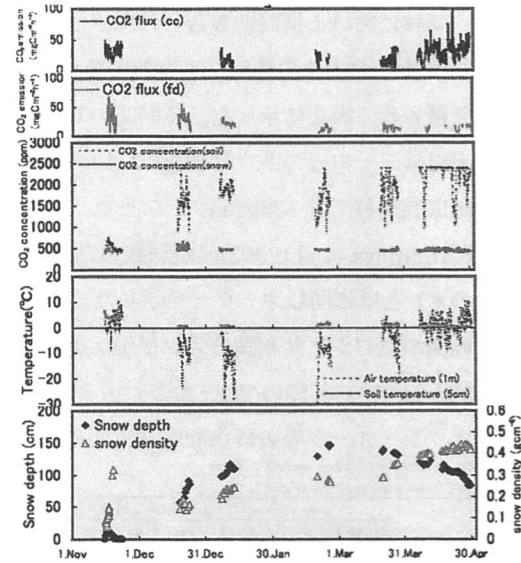


図3 ヨーロッパトウヒ林における観測結果

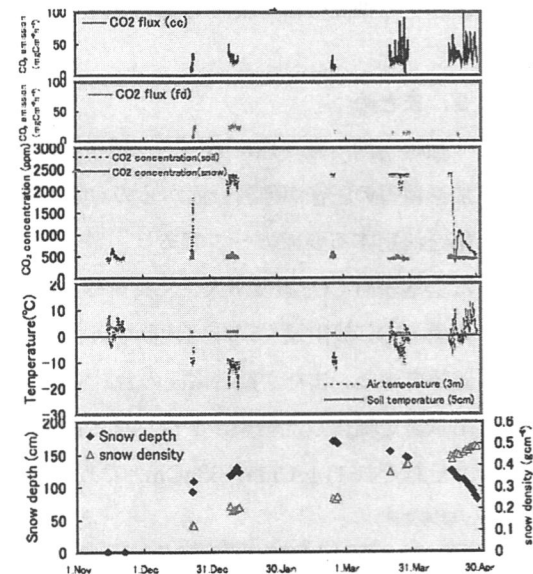


図4 針広混交林における観測結果

4. 2. 土壌表面 CO_2 濃度と積雪状態量

図5～7に示したグラフは、全層平均密度 $\rho = 0.25\text{gcm}^{-3}$ を閾値として低密度雪と高密度雪に分類したヨーロッパトウヒ林の積雪深・全層積雪密度・積雪水量に対する土壌表面 CO_2 濃度の応答である。低密度雪(図中●)は11月～2月のデータ、高密度雪(図中▲)は3月と4月のデータである。これらによると、積雪初期・厳冬期は積雪深・全層平均密度・積雪水量が増加するにつれて土壌表面 CO_2 濃度も増加している。しかし、融雪期では各項目とも値に関係なく土壌表面 CO_2 濃度のばらつきが大きかった。

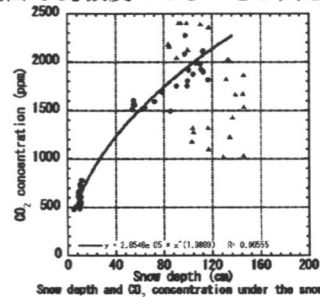


図5 積雪深と土壌表面 CO_2 濃度

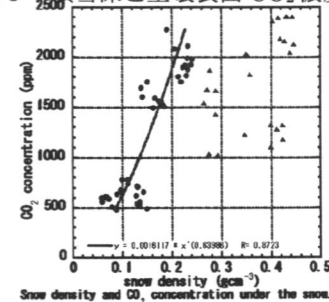


図6 全層積雪密度と土壌表面 CO_2 濃度

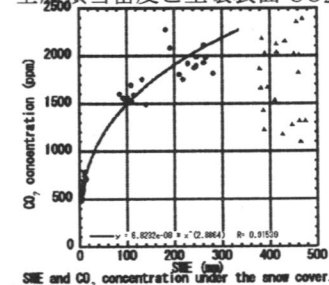


図7 積雪水量と土壌表面 CO_2 濃度

針広混交林の結果も同様の傾向を示した。したがって、積雪初期・厳冬期において、積雪深

や積雪の圧密が土壌表面 CO_2 濃度を決定し、結果として積雪表面からの CO_2 放出量を左右する要因の一つであると考えられる。また融雪期において、土壌表面 CO_2 濃度は大きく変動しており、積雪表面 CO_2 放出量が同様に変動する可能性を示唆した。

4. 3. 月別日平均 CO_2 フラックス

表1にCC法とFD法によって算出した両林の月別日平均積雪表面 CO_2 フラックスを示す。

11・12月から1・2月にかけて両林の CO_2 フラックスは減少傾向にあることが分かった。さらに、3・4月になるとCC法では増加傾向にあり、特にこの期間の CO_2 フラックスの偏差が他の月と比較して大きかった。これは、融雪期において土壌表面 CO_2 濃度が大きく変動した結果(図5、6、7)と合致した。

また、ヨーロッパトウヒ林の4月(図8)と針広混交林の3月・4月(図9)において、FD法とCC法のフラックス変動傾向を比較した。その結果、融雪期にFD法はCC法に対し過小評価することが明らかになった。

Period	snow surface CO_2 fluxes, ($\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$)			
	Spruce Forest		Mixed Forest	
	CC method	FD method	CC method	FD method
November	0.74±0.10	0.86±0.23		
December		0.76±0.05	0.42±0.14	0.32±0.17
January	0.36±0.06	0.57±0.04	0.64±0.07	0.63±0.03
February	0.51±0.05	0.31±0.05	0.37±0.08	0.44±0.01
March	0.42±0.09	0.36±0.03	0.72±0.14	0.36±0.01
April	0.75±0.17	0.37±0.09	0.86±0.16	0.29±0.05

Table 1. Mean month CO_2 fluxes from different forest snow cover (mean ± s.d.)

表1 両林の月別日平均 CO_2 フラックス

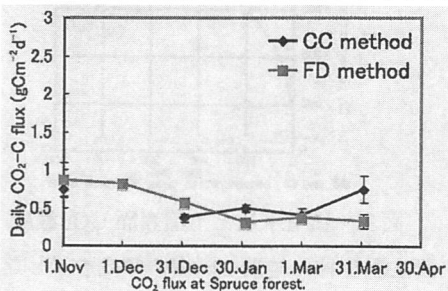


図8 ヨーロッパトウヒ林の月別日平均値

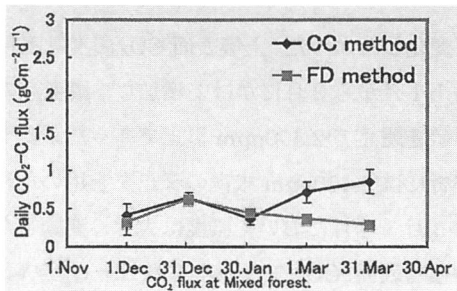


図9 針広混交林の月別日平均値

4. 4. 積雪期間中の CO_2 放出量

両林における期間別の合計積雪表面 CO_2 放出量をCC法の月別日平均値の結果から見積もり、表2に示した。冬期間の CO_2 放出量はヨーロッパトウヒ林では 114gCm^{-2} 、針広混交林では 133gCm^{-2} となった。また、Kurganova et al.(2003)の観測結果(表2中の*)とほぼ同じオーダーを示した。なお、観測地はロシア共和国モスクワ地区($54^{\circ}50' \text{N}$, $37^{\circ}35' \text{E}$)のマツ・カンバ・ライム・ポプラ・オーク等の針広混交林である。

Table 2. Mean cold and snow cover period CO_2 fluxes from different forest snow cover (mean ± s.d.)

Period	snow surface CO_2 fluxes, ($\text{gCm}^{-2}\text{period}^{-1}$)			
	Spruce Forest	Mixed Forest	Mixed forest *	Mixed forest *
December-February	48±16	48±15	63±38	55±34
November-April (cold)	114±36	133±46	150±66	143±69

表2 冬期間の積雪表面 CO_2 放出量

5. まとめ

積雪初期・厳冬期において、積雪深の増加や積雪の圧密が積雪表面からの CO_2 放出量を決定する要因の一つであり、融雪期には土壌表面 CO_2 濃度が大きく変動し、積雪表面 CO_2 放出量も同時に変動することが確認できた。また、積雪期間の合計 CO_2 放出量を定量化した結果、トウヒ林・混交林でそれぞれ 114gCm^{-2} , 133gCm^{-2} であった。

[参考文献]

- 1)パソコンで学ぶ土の物理学(自然環境管理の基礎), 鹿島出版会 (1987)ゲイロン S.キャンベル著 中野政詩・東山勇 監訳
- 2) I.KURGANOVA et al.2003: Annual and seasonal CO_2 fluxes from Russian southern taiga soils, Tellus, 55B, 338-344

森林樹冠による降雪の遮断蒸発量に関する研究

津滝俊^{1,2)}, 兒玉裕二¹⁾, 中井太郎³⁾, 鈴木和良⁴⁾, 石井吉之²⁾, 石川信敬²⁾

1) 北海道大学大学院地球環境科学研究科 2) 北海道大学低温科学研究所

3) JST / CREST 4) 海洋研究開発機構地球環境観測研究センター

1. はじめに

降雪の遮断蒸発は、森林の枝や葉などの樹冠部に付着、堆積した降雪が昇華蒸発する現象である。北半球の場合、昇華蒸発量は極域周辺で最大となる。また、これらの地域ではタイガをはじめとした北方林が広く分布しており、遮断蒸発による水資源の損失は大きな問題として挙げられる。

遮断蒸発量に関する過去の研究において、わが国での遮断蒸発量は降水量の 13 ~ 40 % に達するという報告がある一方、森林内外の積雪量差は小さく、降雪の遮断蒸発量は無視できるとした事例も多い。これは、特に森林内において降雪量の空間分布のばらつきが降雨に比べて大きく、測定精度が不十分な為に定量的な議論が困難であったと考えられる。

本研究では、森林内における降雪量の空間分布のばらつきを評価するため、開空率などの森林樹冠構造の違いに着目して、林外、林内それぞれにおいて積雪水量の多点観測を厳冬期～融雪期にかけて行い、遮断蒸発量の評価を目的とする。

2. 観測地概要

本研究の観測は北海道雨竜郡幌加内町母子里にある、北海道大学森林圏ステーション雨龍研究林内で行った(図1)。母子里は北緯 44 度 21 分 44 秒、東経 142 度 15 分 54 秒に位置し、周辺を山に囲まれた盆地地

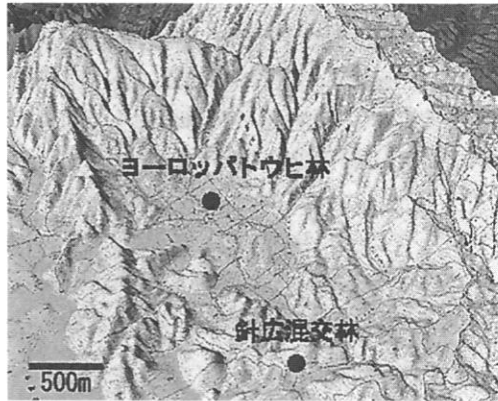


図1: 観測地点(母子里)周辺の地図

形である。冬期の気温は-30℃以下まで低下し、積雪は2m以上になる。この中で、アカエゾマツ、トドマツ、ミズナラ、カンバ類、ハルニレ、シナ、ヤチダモ等で構成される標高 350 m の針広混交林と、標高 287 m のヨーロッパトウヒ林において観測を行った。

3. 本研究における遮断蒸発量の定義

本研究では、降雪の遮断蒸発量を森林内外の積雪水量差として定義した。すなわち

$$I = S_o - S_f \quad (1)$$

ここで、I は降雪遮断量、 S_o 、 S_f はそれぞれ森林外、森林内の積雪水量を表す。

また、森林内外の積雪水量は、それぞれ次

式で表される.

$$S_F = P_F - (I_{CF} + M_{SF} + M_{BF} + E_{SF} + S_{RF} + \Delta C_F) \quad (2)$$

$$S_O = P_O - (I_{CO} + M_{SO} + M_{BO} + E_{SO} + S_{RO} + \Delta C_O) \quad (3)$$

ここで、各項の末尾についている F, O はそれぞれ森林内、森林外を表し、P:降水量, I_C :樹冠遮断蒸発量, M_S :表層融雪(流出)量, M_B :地面融雪(流出)量, E_S :積雪表面蒸発量, S_R :積雪の再移動量, ΔC :樹冠上の積雪貯留量を表す. これを(1)に代入すると,

$$I = P_O - P_F + (I_{CF} - I_{CO} + M_{SF} - M_{SO} + M_{BF} - M_{BO} + E_{SF} - E_{SO} + S_{RF} - S_{RO} + \Delta C_F - \Delta C_O) \quad (4)$$

森林外では樹冠が無いため, $I_{CO} = \Delta C_O = 0$ である.

また、本研究観測地点の母子里は盆地地形のため風が弱いと考え、降水量の空間的なばらつき、地吹雪などの積雪の再移動量を見無視すると、 $P_O - P_F = 0$ 及び $S_{RF} - S_{RO} = 0$ となる.

中井(1996)は $M_{SF} - M_{SO}$, $M_{BF} - M_{BO}$, $E_{SF} - E_{SO}$ の合計は $-15(\text{mm}) \sim -45(\text{mm})$ であると試算しており、 I は I_{CF} よりも $15 \sim 45 \text{ mm}$ 小さいことに留意すれば、これらの項の計算を省略できるとしている. このことが母子里にも適用されると仮定すると、(4)は以下のように表される.

$$I = I_{CF} + \Delta C_F \quad (5)$$

$\Delta C_F \neq 0$ の場合、 I は単に遮断量となる. 樹冠上に積雪が見られない ($\Delta C_F = 0$) 場合、(5)は $I = I_{CF}$ となり、森林内外の積雪水量差 S_O

$-S_F$ から遮断蒸発量 I_{CF} が算出される. さらに、林外積雪量に対する林内積雪量の割合を表した降雪遮断(蒸発)率 I_R は次式で表される.

$$I_R = (S_O - S_F) / S_O \quad (6)$$

4. 観測方法

遮断蒸発量を算出するために、針広混交林において森林内外の積雪水量調査を実施した. 観測は厳冬期から融雪期にかけての1月25日、2月1日、2月9日、3月13日、3月30日、4月11日、4月29日、5月9日の合計8回行っている.

森林内の積雪量は場所によって大きく異なるため、林内に5mグリッドを約40×100mの広さに設け、グリッドの交点189箇所において積雪深観測を実施した. また全層平均密度はグリッドの交点9箇所において計18回測定した. 全層平均密度の平均値を用いて、それぞれの積雪深値から積雪水量を算出した.

林外の積雪水量は、針広混交林付近にある開地に100mの直線を設け、1mごとに積雪深を測定した. 全層平均密度は5箇所で計10回測定し、林内と同様の方法で積雪水量を算出した.

また、一降雪イベントごとの降雪遮断量を測定するため、1月27日～2月10日の期間に90×90cmのビニールシート(写真1)をヨーロッパトウヒ林の林外2箇所、林内4箇所を設置し、降雪後にシート上に積もった雪の重量を量り、それぞれの降雪量を比較した.

積雪水量調査、一降雪に対する遮断量調査に付随して、それぞれ調査を行った林内で開空率、LAIの算出も行っている. 全天空写真にはNikon COOLPIX4500と魚眼レンズを使用した.

その他に、昇華蒸発量を直接測定するため、1月27日～2月10日の期間に針広混交林内

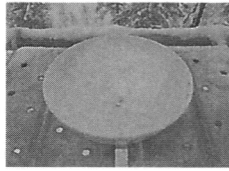
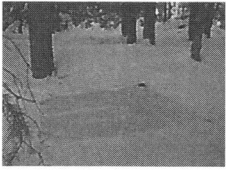


写真 1: 降雪遮断量測定 写真 2: 昇華蒸発量測定

の観測タワー(高さ 30m)の 30 m, 25 m, 12 m, 3 m, 0 m (地表面) に大きさ 15×12×4 cm の氷を設置し(写真 2), 数時間~1 日おきに重量を測定し, 昇華蒸発量を算出した。

5. 降雪遮断率算出結果

林外積雪量の正確性を確認するため, 針広混交林に設置された雨雪量計データとの比較を行った(図 3)。林外積雪量, 降雪量ともに水量に換算して表示している。また, 両者を比較しやすくするため 1 月 25 日の積雪量を 0 とし, その後は日積算して表示している。その結果, 積雪量は降水量とよく一致し, 林外積雪量を降水量として仮定

することが可能であると示唆された。

上の結果から, 林外, 林内積雪量の差から遮断(蒸発)量を算出し, その時系列変化を示した(図 3)。林外, 林内積雪量については標準偏差をバーで表示している。林外積雪量はそれほど値のばらつきは見られないが, 林内積雪量はばらつきが非常に大きく, 林外に比べて非一様に分布していることが推測される。また, 融雪期前までの森林内外の積雪量差は期間が進むとともに大きくなっていて, その結果積雪量全体が増加しても, 遮断(蒸発)率は全期間を通して 0.2-0.3 とほぼ一定の値であった。樹冠上に冠雪が見られなかった 3 月 30 日の遮断蒸発率は 0.29 であった。

次に, 上空の開空率の違いによる林内降雪量の変化を, 一降雪イベントごとに見た場合, 降雪量が多い時に, 開空率が増加するにつれて降雪量も増加する結果となった(図 4)。林外降雪量と比較し, それぞれの降雪遮断率を算出した結果, 降雪遮断率は 0.1-0.7 と, スノーサーバイで得られた結果

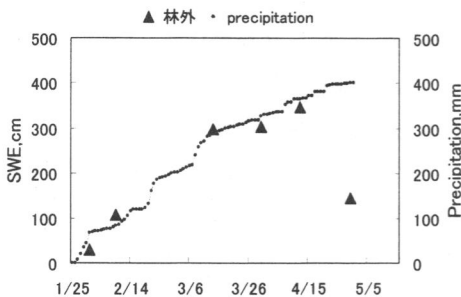


図 2: 林外積雪量と雨雪量計の比較

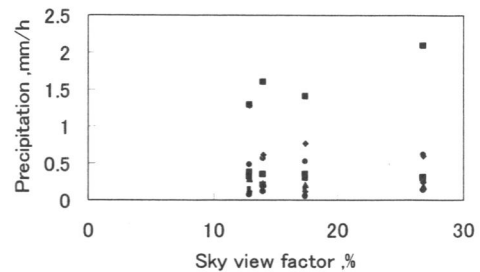


図 4: 開空率で見た林内降雪量の変化

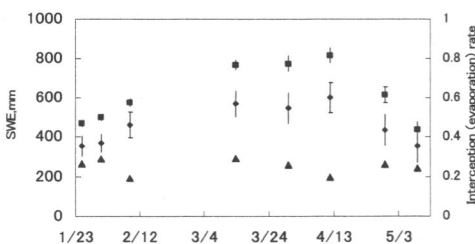


図 3: 森林内外積雪量と降雪遮断率の変化
(■林外 ◆林内 ▲遮断蒸発率)

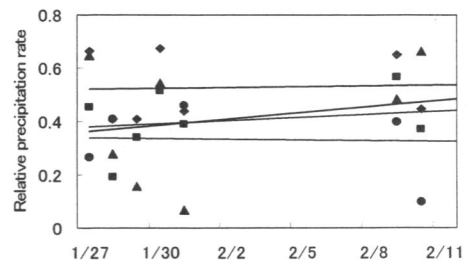


図 5: 一降雪イベントから見た降雪遮断率の時間変化

と比較すると非常にばらつきが大きくなった。これは観測数 100 点以上を平均したスノーサーベイと異なり、樹冠上から落雪があった場合、遮断率が著しく減少するなどを反映していると考えられる。また、それぞれの観測箇所における平均値は概ね 0.3-0.5 であった。

6. 氷の昇華蒸発量観測結果

昇華蒸発量の高度依存性を見るために、観測タワーを用いて高度別に氷の昇華蒸発量を測定した(図 6)。30 m の値に対する 25 m, 12 m, 3 m, 0 m それぞれの昇華蒸発量の割合を図 7 に示した。図中の直線はそれぞれ同時刻に測定された値の近似直線であり、高い場所ほど昇華蒸発量が大きくなるという傾向が多くの測定結果から得られ、小南による同種の野外観測結果(Lundberg, 2001)と同様の傾向を示した。しかし、高い場所よりも低い場所の昇華蒸発量が大きくなるという例外もあった。

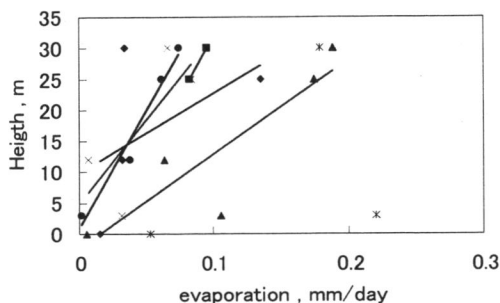


図 6：各高度の昇華蒸発量

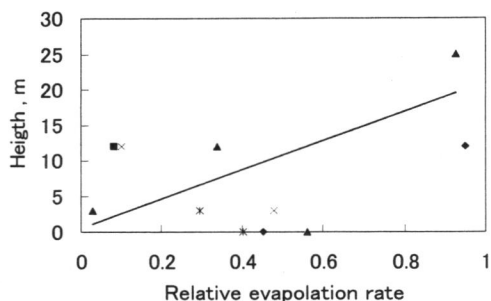


図 7：各高度の相対昇華蒸発率

これは降雪などによる氷への着雪の影響と考えられる。

7. まとめ

樹冠による降雪の遮断蒸発や、それに伴う森林林床部の降雪量のばらつきを評価するため、北海道母子里の針広混交林とヨーロッパトウヒ林において観測を行った。森林内外の積雪水量測定の結果、以下の項目が明らかになった。

森林内積雪量の空間的ばらつきは大きく、融雪期前の内外の積雪水量差は時間が経つにつれ増加した。また、降雪遮断率は概ね 0.2-0.3 の範囲で変化した。

一降雪イベントごとの降雪遮断率を測定点の開空率と比較した結果、開空率の増加に伴って林床での降雪量が増加する傾向が見られた。降雪遮断率は概ね 0.1-0.7 となり、積雪水量差からの結果よりもばらつきが大きかった。これは樹冠上からの落雪の有無など、著しい降雪量の増加・減少が起こるためであると考えられる。

観測タワーを用いた氷の高度別昇華蒸発量観測の結果、蒸発量は高い場所ほど大きいという高度依存性が見られ、過去の研究結果と同様の傾向が見られた。

氷の昇華蒸発量と森林内外の積雪水量差の間には大きな差が見られ、遮断された降雪がどのような要因で消失していくか、今後更に解析を進める必要がある。

参考文献

- Lundberg, A. 2001: Snow Interception evaporation. Review of measurement techniques, and models. Theoretical and applied Climatology 70: 117-133
- Nakai, Y. 1996: An observational study on evaporation from intercepted snow on forest canopies. Doctoral thesis, Department of Agriculture, Kyoto University, 107pp. (In Japanese, Tables and Figures in English).

地中探査レーダーによる知床峠の積雪観測

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 2005 年 3 月 30 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。

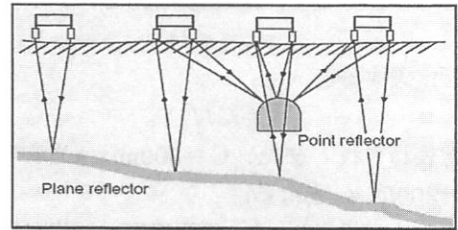


図 1 観測原理図.

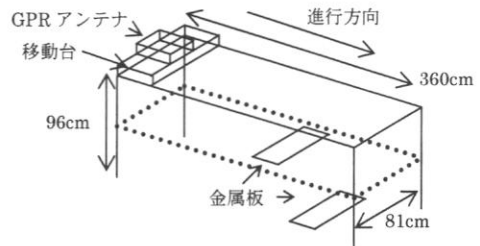


図 2 木製レール概略図.

3. 観測例

北見工業大学グラウンドにおいて木製レールを用いて定点観測を行った。

図 2 に示すように定点観測では木製レール（長さ 360cm 高さ 96cm、幅 81cm）を用いて観測を行った。図 3 の定点観測風景に示すように木製レール上に GPR とパソコンを載せた台を設置し、離れた場所から全体を引張り、レール下の積雪層を観測した。また観測の際、雪面に及び地面に金属板を設置し雪面、地面の検出をおこなった。

図 4 に 2005 年 2 月 3 日定点観測結果を示す。

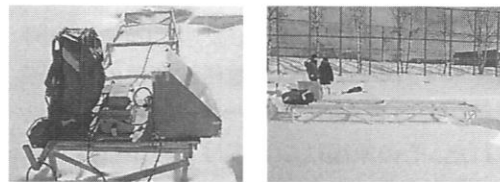


図 3 定点観測風景.

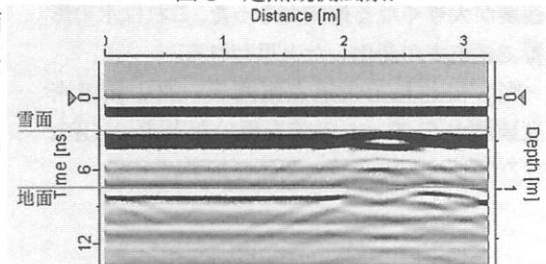


図 4 GPR 観測画像.

(2005 年 2 月 3 日 積雪深 62.8cm)

4. 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、

$$C=1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \quad (\epsilon_0: \text{真空中の誘電率}, \mu_0: \text{真空中の透磁率})$$

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、

$$V/C=\sqrt{\epsilon_0/\epsilon} \quad (\epsilon: \text{物質の誘電率})$$

となる。ここで、比誘電率 ϵ_r を

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$$

と定義すると、

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

と表わされ、また、 $C=300\text{m}/\mu\text{s}$ なので $V=300/\sqrt{\epsilon_r}$ となる。

また比誘電率 ϵ_r は、積雪密度 ρ に依存し、

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

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5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6に積雪深と反射時間の関係を示す。図中の直線は電磁波速度を示している。各観測データは積雪中の電磁波速度が200~300 (m/ μ s) の範囲内になった。

図7に積雪密度と電磁波速度(m/ μ s)の関係を示す。図中の曲線は電磁波速度の理論線を示している。各観測データはばらつきが見られた。その原因についてはこれから検討する。3月下旬のぬれざらめ層データは電磁波速度が大きくなる傾向があった。これは水の影響で誘電率が変化したと思われる。

図8に北見工大定点観測データの積雪密度観測から Tiuri の式を用いたときの GPR 読み取り値と実測値の関係を示す。

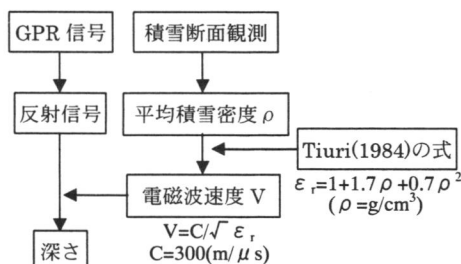


図5 観測原理フローチャート。

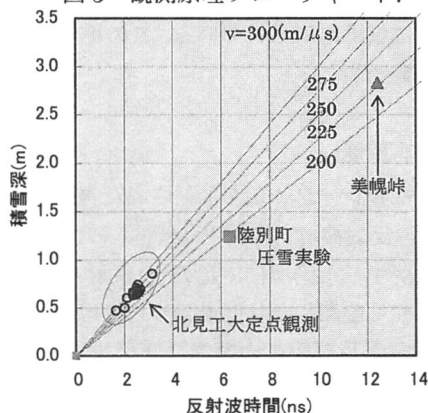


図6 積雪深と反射時間の関係。

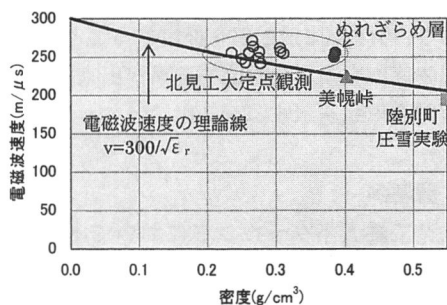


図7 電磁波速度と密度の関係。

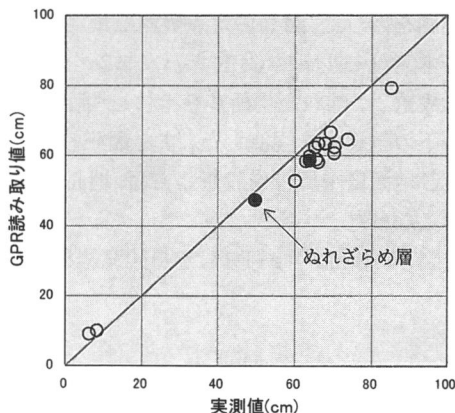


図8 GPR 読み取り値と実測値の関係。

5. 知床峠観測方法

2005 年 3 月 30 日に知床峠の宇登呂ー羅臼を横断する国道上の自然積雪を観測した。図 9 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 1.4km の国道上を行き観測コース A、観測コース B、帰りは観測コース C で観測をおこなった。悪天候の為、知床峠頂上までは観測を行うことができなかった。

図 10 に示すように GPR 観測機器、パソコン、GPS をそりに載せてスノーモービルで牽引して観測をおこなった。GPR は 1 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 3 つのポイント (①: 観測開始地点、②: 中間地点、③: 折り返し地点) で測深棒を用いて積雪深を測定し、出発地点では図 11 に示すように積雪断面観測をおこなった。

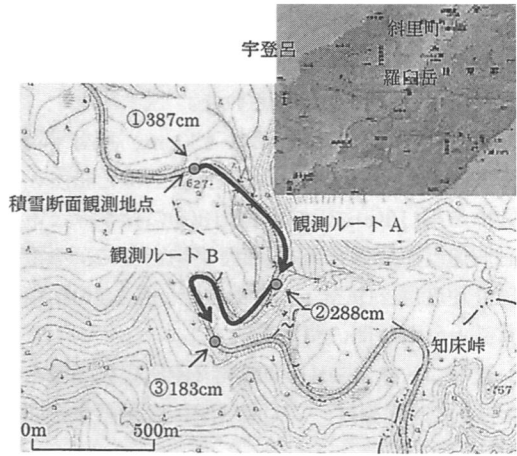


図 9 知床峠観測ルート。
A: ①→②, B: ②→③, C: ③→①



図 10 知床峠観測風景。
(そりの上に GPR を搭載してある)

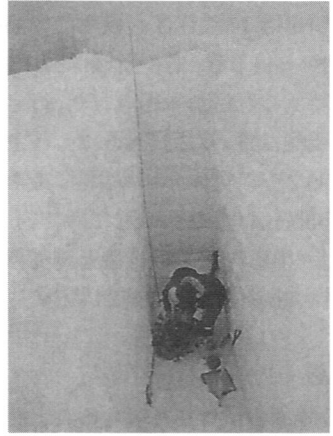


図 11 積雪断面観測風景。

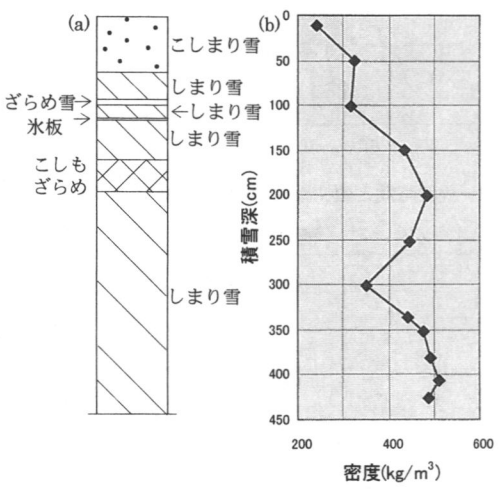


図 12 (a)積雪層構造, (b)積雪深と密度の関係。

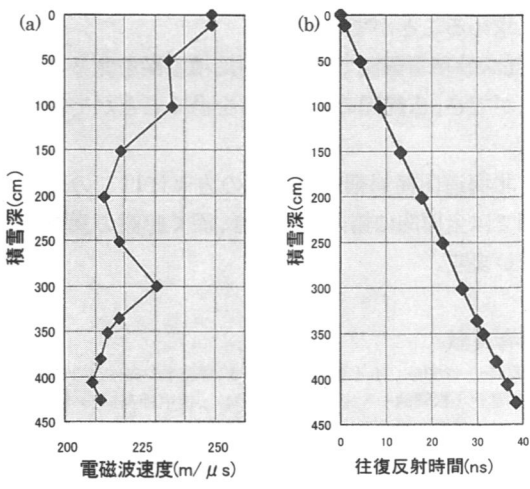


図 13 (a)積雪深と電磁波速度の関係,
(b)積雪深と反射時間の関係。

6. 知床峠観測結果

出発地点における積雪断面観測より、図 12(a)の積雪層構造が得られた。

積雪断面地点の積雪深は 430cm、積雪平均密度は $0.437(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。積雪深と密度の関係を図 12(b)に示す。図 13(a)に積雪深と電磁波速度の関係を示す。積雪平均密度による電磁波速度は $219(\text{m}/\mu\text{s})$ であった。図 13(b)に積雪深と反射時間の関係を示す。

観測コース A、B の知床峠 GPR 観測画像を図 14 に、観測コース C の GPR 観測画像を図 15 に示す。

観測コース A、B の反射時間と観測距離の関係を図 16 に、観測コース C の反射時間と観測距離の関係を図 17 に示す。横軸の観測距離は GPS 観測から得られ、右の縦軸は図 15 の積雪深と反射時間の関係から得られた。行きの観測と帰りの観測は良い対応を示した。GPR 観測による観測コース全体の積雪深は、最も浅いところで約 50cm、最も深いところで約 430cm であった。GPR の読み取り値と測深棒による実測値では 4cm~11cm の差が生じた。

7. まとめ

- ・雪面及び地面の信号をとらえることができ積雪深を測ることができた。
- ・深さは Tiuri による密度と電磁波速度の式から求めることができる。
- ・知床峠積雪観測では効率的に積雪深を測ることができ、広範囲の積雪分布を得ることができた。

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 Snow at Microwave Frequencies. IEEE Journal of Oceanic Engineering Vol OE-9, No 5, 377-381.

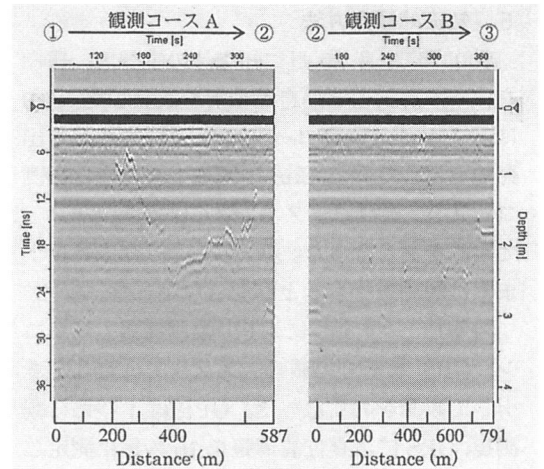


図 14 知床峠 GPR 観測画像.(観測コース A,B)

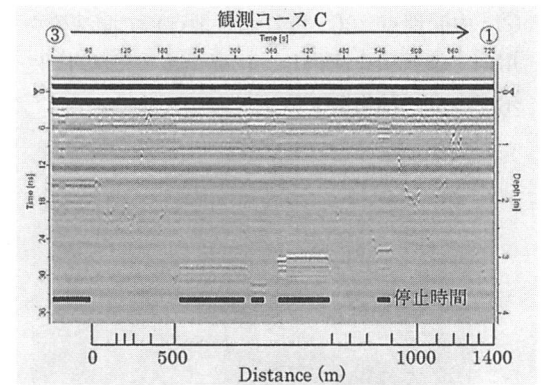


図 15 知床峠 GPR 観測画像.(観測コース C)

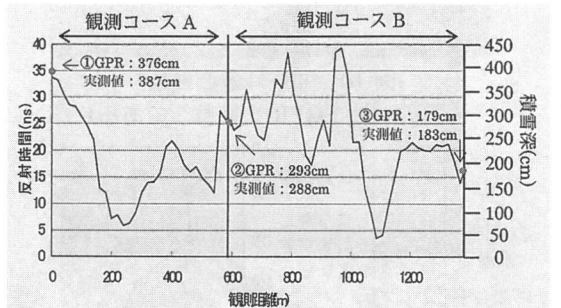


図 16 反射時間と観測距離の関係.(観測コース A,B)

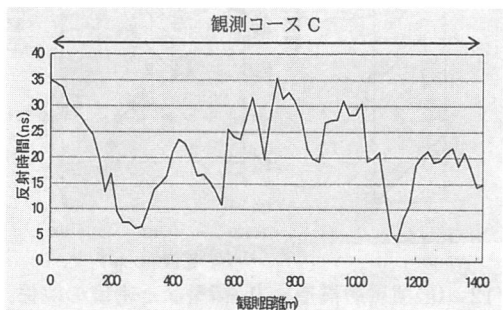


図 17 反射時間と観測距離の関係.(観測コース C)

AMeDAS で計算可能な積雪層構造モデルの作成と積雪装構造の推定

齋藤佳彦 (㈱雪研スノーイーターズ)、榎本浩之 (北見工業大学)

1 はじめに

積雪層構造モデルは雪崩予測、積雪地帯での熱、水収支を把握などに有効であるが、現在開発されているモデルは、多くの気象要素を利用して可能な限り詳細に表現したモデルから用途を特定した簡易的なものまで様々である。

本研究では、入手が容易な気象データを利用して、詳細に積雪層構造を表現できる実用的で多用途なモデルを作成し、北海道などの寒冷地の積雪内部構造の推定と作成したモデル検証を目的とする。

2 モデル概要と基本式

作成のコンセプトとは利用する観測データが比較的容易に入手可能であり、できる限り詳細に積雪の層構造、積雪の物理量(雪温、密度など)を表現できるモデルである。そのため、入力として全国各地に観測地点があり、継続的なデータが取得可能である AMeDAS のデータを利用することを前提に作成した。

モデルで考慮する物理過程は、熱収支、降雪、融解流下による水収支、雪の圧密過程を基本とした。

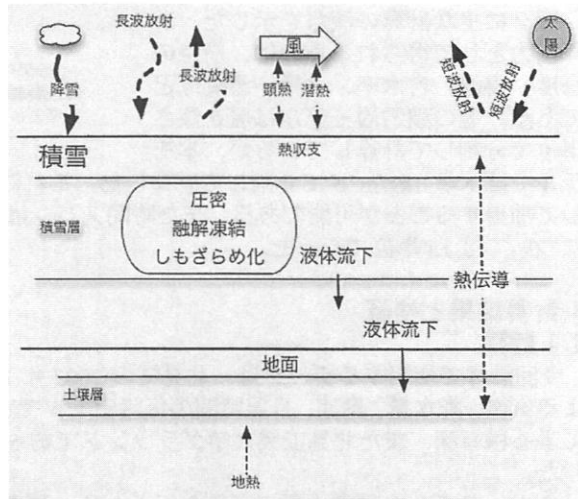


図1 モデルでの積雪の熱、水収支
作成したモデル上での積雪の熱と水収支を示す。実線は水の移動、破線は熱の移動を示す。

2.1 基本式

熱に関する基本式は、熱伝導方程式に熱収支を考慮した

$$c_s \rho_s \frac{dT_s}{dt} dz = \lambda_s \frac{dT_s}{dz} + Q_S + Q_L + Q_H + Q_{LE} - l_F F dz \quad \dots\dots\dots(1)$$

である。ここで、 $c_s \cdot \rho_s \cdot \lambda_s$: 雪の比熱・密度・熱伝導率、 T_s : 雪温、 Q_S : 正味短波放射量(入力を正)、 Q_L : 正味長波放射量(入力を正)、 Q_H : 潜熱(入力を正)、 Q_{LE} : 顕熱(入力を正)、 l_F : 氷の融解潜熱、 F : 単位時間、単位体積当りの融解量である。ただし、(1)式は積雪表面での基本式であり、積雪内部では熱伝導方程式に融解潜熱を考慮した式とした。雪の融解は雪温 $T_s=0^{\circ}\text{C}$ になったときに始まるものとして考える。図1はモデルで考慮した熱、水収支過程を示す。図1では地面も描かれているが、計算上、土壌からの熱量も考慮するため、地中のある深さまで数層仮定し、地中の熱伝導も計算している。

圧密現象については、遠藤ら(1990)より

$$\int_{t-1}^t W(t,ti)dt \cdot g \cdot \cos^2 \theta = (C/n)(\rho_t^n - \rho_{t-1}^n) \quad \dots\dots\dots(2)$$

を用いた。ここで $W(t,ti)$: t 時間の ti 層にかかる荷重、 g : 重力加速度、 θ : 地面の斜度、 $C \cdot n$: 圧縮粘性係数に関する係数、 ρ : 雪の密度。

2.2 計算の流れ

モデルで入力として使用した観測データは、標準的な AMeDAS 地点で観測されている毎時間の気温、降水量、風速、日照時間である。気温、風速、日照時間より、熱収支に関する気象要素を推定する。地面からの伝導熱については、積雪期に積雪と地面の境界温度がほぼ 0°C になることから境界条件を与えた。雪崩の発生原因となり、他の雪に比べ圧縮粘性係数の低いしもぎらめ雪は、積雪内部の温度勾配の積算より検出する。

図2に主な計算の流れを示した。計算出力として得られるものは、層毎の密度、雪温、含水率、水量、雪質などである。他の積雪層モデルは層を深さ単位で分割して計算しているが、本モデルでは水量 $1\text{kg}/\text{m}^2$ で分割して計算した。これにより層の構造が明確になり、1層を継続して抽出することが可能である。また時間スパンは、熱収支については1s、その他の過程については1h単位で行った。

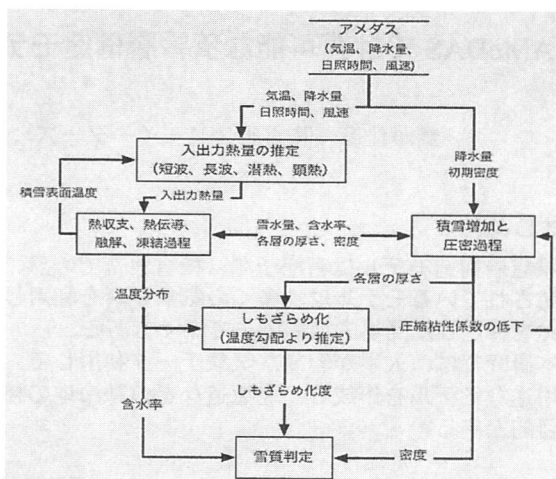


図2 計算の流れ

モデルの計算の流れを示す。熱収支、熱伝導、凍結融解は各層ごと1秒、その他の過程については1時間を1ステップとして計算。層の分割方法は水量 $1\text{kg}/\text{m}^2$ とした。

3 計算結果と検証

3.1 計算

今回計算で使用するデータは、北見での2003年12月から2004年4月までのAMeDASによる気温、降水量、風速、日照時間の毎時データとした。またモデル検証のため、AMeDASによる積雪深、また北見工業大学グラウンドで約5日ごとに行った積雪断面観測データを使用した。

なお、モデルの積雪水量の評価も行うため、積雪水量の断面観測での測定を行っている北見の2000-2001シーズンについても計算を行った。

3.2 結果と比較

図3にモデルの計算結果を示した。各色は雪質を示す。なお雪質判定は密度と含水率、しもぎらめ化の進行具合により行った。積雪深の2つのピークは大雪時のものである。雪質はこしもぎらめ雪としもぎらめ雪が占めているが、これは北見の積雪の傾向をよく表していると言える。

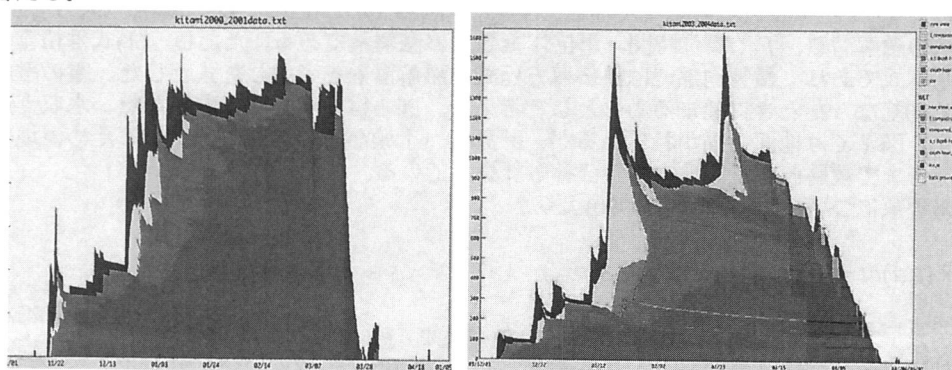


図3 モデルでの出力結果(雪質)

モデルでの北見2000-2001(左図)及び2003-2004シーズンの計算結果。縦軸は積雪深、横軸は時間、各色は雪質を示す。積雪深の2つのピークは大雪を示す。

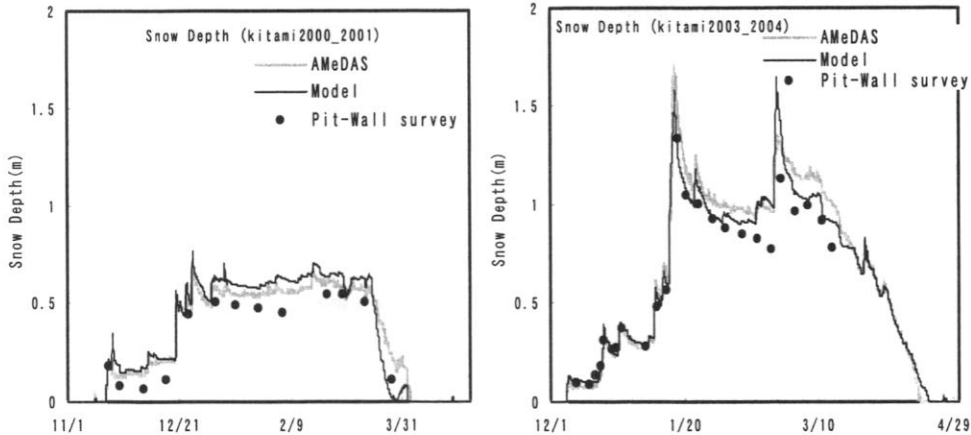


図4 積雪深比較
北見 2000-2001(左図)及び 2003-2004(右図)シーズンの AMeDAS、積雪断面観測、モデルの積雪深比較。縦軸は積雪深、横軸は時間を示す。2つの観測データ (AMeDAS と断面観測) の間でもずれが生じている。

図4は、計算した期間の AMeDAS、断面観測、モデルでの積雪深を比較したものである。2003-2004 シーズンについて、1/16 ごろ短期間に積雪深が1m以上増加しているのが分かる。モデルと2つ観測データを比較してみると、大まかな傾向は一致しているが、大量降雪時(大雪時)や融雪開始時に若干のずれが生じている。積雪が消滅する時期についてはほぼ一致している。

図5に、北見での2000-2001シーズンのモデルと断面観測の積雪水量の比較を示した。積雪開始時は断面観測よりも10mm程度大きく見積もっている傾向であったが、12/20ごろの降水後より、実測値よりも過小評価する傾向が現れ、最大で30mm程度小さく表現していた。また、3月下旬からの融雪時にも、モデルが20mm程度小さく見積もる傾向にあった。モデルで誤差が現れる原因としては、蒸発散過程を考慮していないこと、積雪内部での水分移動の推定、降雪の捕捉率を考慮していないことが考えられる。

図6は北見での1月大雪直後の積雪断面観測とモデルの密度比較である。断面観測、モデルとも積雪深20cm以下は下部であるにも関わらず密度が低い。この部分はしもぎらめ化しているものと思われる。また、2つのデータを比較してみると下部に多少のばらつきが見られるが、20cm以上ではよく一致している。

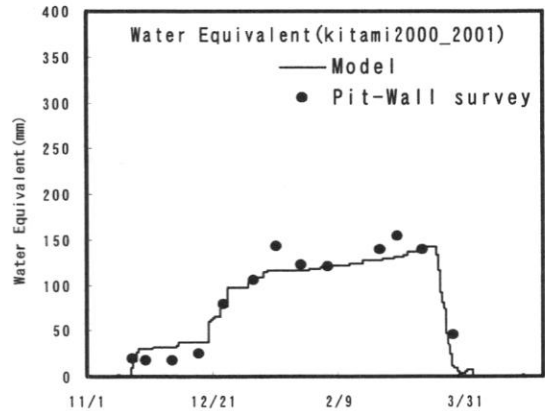


図5 積雪水量の比較(北見 2000 2001)
北見 2004/1/17 11:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の積雪密度比較。縦軸は積雪高さ、横軸は密度を示す。積雪深20cm以下は密度が低く、しもぎらめ化していると思われる。

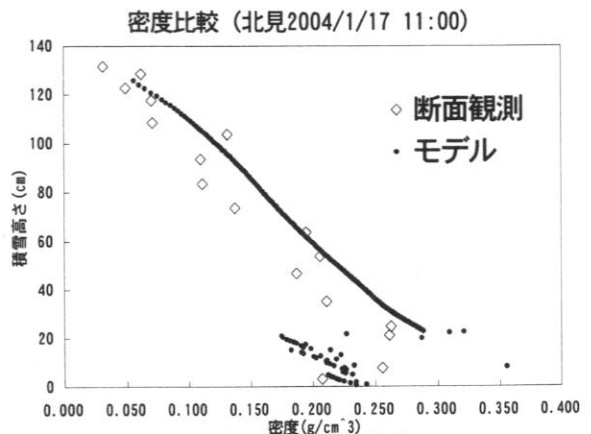


図6 積雪密度の比較
北見 2004/1/17 11:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の積雪密度比較。縦軸は積雪高さ、横軸は密度を示す。積雪深20cm以下は密度が低く、しもぎらめ化していると思われる。

図7に北見 2004/1/17 の断面観測とモデルの雪温の比較を示した。地表面との境界では、断面観測、モデルとの雪温が0℃付近になっており、雪温の現象を表現することが出来ていると思われるが、積雪表面になるにつれ観測値とモデルの間でずれが大きくなり、最大で8℃近くのずれが生じている。また、雪温の分布についても、観測値では表面付近で温度が表面下部よりも低い値となっているが、モデルでは表面付近で表面下部よりも高い雪温となっている。これらのモデルと断面観測値とのずれは、モデルでの熱収支（積雪表面及び地表面境界での）の推定法、積雪の熱伝導率推定のずれなどが原因となって生じたものであると考えられる。

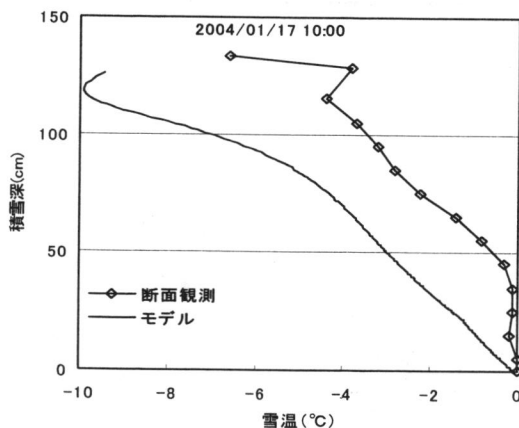


図7 雪温の比較
北見 2004/1/17 10:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の雪温比較。縦軸は積雪深、横軸は温度を示す。

4 まとめ

モデルで計算した積雪深については、降雪時、融雪開始時などの若干のずれは見られるが、2つの観測データと比較した結果よく一致していた。密度についても大まかな傾向は表現していた。また、寒冷地の積雪に発生しやすく、北見の積雪の特徴であるしもざらめ雪の発生を良く表現していた。しかし、水収支、熱収支に依存している積雪水量や雪温では観測値と大きくずれが生じていることも確認した。

このように作成したモデルを使用して、AMeDASのように比較的入手が容易なデータより、大まかな積雪、積雪層構造の傾向を表現することができたが、雪温や積雪水量などの詳細な物理量は、実際とのずれが生じていた。

更に推定精度を向上させるためには、熱収支、熱収支の推定法を見直す必要があると思われる。

文献

遠藤ら,1990：低密度の雪の圧縮粘性係数と密度の関係 雪氷,52 p267-274

北海道の冬期における大雨・大雪事例出現頻度の経年変化について

谷口 恭・齊藤 正美・須藤 哲寛・中村 一樹（財・日本気象協会北海道支社）
中津川 誠（北海道開発局 石狩川開発建設部 豊平川ダム統合管理事務所）

1. はじめに

冬期間の降水は夏期ほど多くはないが、災害を起こすだけではなく、積雪層に蓄積されるので春先の融雪量などの水文量に影響する要素でもある。

そこで、北海道内における冬期間の大雪・大雨事例を抽出して事例の出現頻度の地域分布や経年変化を調査し、長期的な降水特性の変化について検討する。また、天気図の特徴をパターン分類し、大雪・大雨事例日をパターン別に集計して、どのような気象条件の場合に雪としての降水量または雨としての降水量が多くなるのかを全道的・地域別の特徴を把握する。

事例を抽出する際に使用するデータの観測点は、道内のアメダス 160 ヶ所と気象官署（特別地域気象観測所を含む）22 ヶ所である。支庁（地域）別に出現頻度を比較する場合は、支庁（地域）内の地点数で正規化した。

事例を抽出する期間は 12 月～2 月の冬期間とし、前年の 12 月から当年の 2 月までの冬期間をその年の冬と呼ぶことにする。1962 年の冬～2004 年の冬について事例抽出したが、アメダスについては 1978 年の冬以降のデータしか得られない。

大雪事例を抽出する条件として、日平均気温が 0℃未満 かつ 日降水量が 30mm 以上の日 とし、大雨事例を抽出する条件として、日平均気温が 0℃以上 かつ 日降水量が 30mm 以上の日 とした。その結果抽出された大雪事例は 283 事例、大雨事例は 132 事例であった。

2. 大雪事例の出現特性

抽出された大雪事例の出現頻度の経年変化を示したのが図 1 である。アメダスデータが加わった 1978 年以降で事例数が多くなるのは当然だが、後半の期間内だけでも増える傾向が見られる。

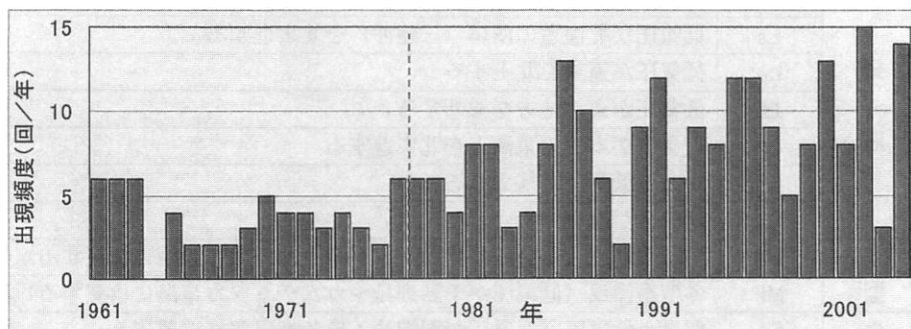


図 1 全道での大雪事例出現頻度の経年変化(1977 年までは官署データのみ)

観測地点を 4 つの地域（道北：宗谷・上川・留萌、道東：網走・十勝・釧路・根室、道央：石狩・空知・後志、道南：胆振・日高・渡島・檜山）に分けて地域別に比較すると、道南で大雪事例が少ないのは当

然としても、道北でも少なく、道央や道東で多かった。10年毎の年代別に集計して、地域特性と経年変化を見たのが図2である。2000年代は4年分のデータしかないので、2000年代を2.5倍すると他の年代と同程度になり、1980年代以降だけでも、増加する傾向が見られる。地域によって違いが大きく、1980年代と1990年代は道央で多いが、2000年代は道東で多かった。

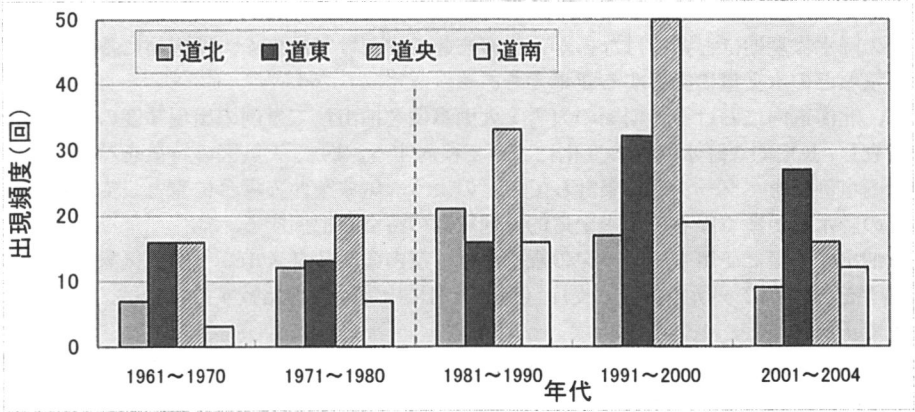


図2 大雪事例の出現頻度の経年変化(地域別)

大雪事例が出現した時の気象条件を分類し(表1)、それぞれの天気図パターン別に大雪事例が出現した頻度を年代別に比較した(図3)。

表1 天気図のパターン分類

大分類	小分類	判 別 条 件 の 説 明
気 圧	Lj	低気圧が日本海を北東進し、サハリン付近に達する
	Ln	低気圧が宗谷海峡を東進する
	Ls	低気圧が北海道の南岸(三陸沖)を北東進する
	Le	低気圧が道東を北上する
	Lt	低気圧が東北地方を横断する
	Lp	低気圧が本州の東海上を北東進する
	Ld	二つ玉低気圧に挟まれる
	L	低気圧が直撃する
冬 型	Mo	冬型季節風(低気圧がオホーツク海:知床半島以西に位置する)
	Mk	冬型季節風(低気圧が千島列島~カムチャツカ半島に位置する)
小 低 気 圧	S1	西岸小低気圧(低気圧が羽幌沖:雄冬岬以北に位置する)
	S2	西岸小低気圧(低気圧が石狩湾:積丹半島以北に位置する)
	S3	西岸小低気圧(低気圧が檜山沖:積丹半島以南に位置する)
	S4	小低気圧(低気圧が日本海に位置する)
前線	F	前線が停滞する

大雪の原因として低気圧が主になるのは当然であろうが、その中でも南岸低気圧が多く、次いで冬型、二つ玉低気圧が多かった。2000 年代は 4 年分しかデータが無いが、年代別の変化を見ると、南岸低気圧が増え、冬型が減っているように見える。

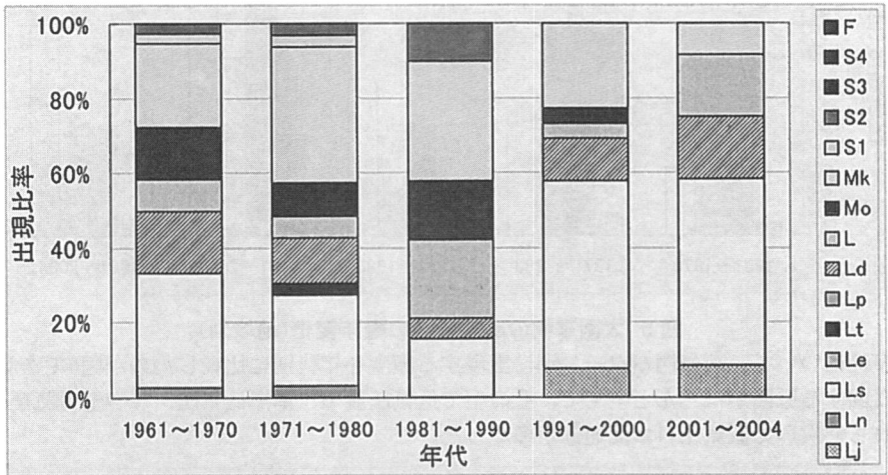


図 3 大雪事例の天気図パターン別出現率の年代変化

3. 大雨事例の出現特性

大雨事例についても同様に、出現頻度の経年変化を示した(図4)。アメダスデータが加わった1978年以降の期間内だけでも事例数が増える傾向が見られる。ただし、1980年代は少なかった。2004年の冬は、大雪事例も大雨事例も多かったことになる。

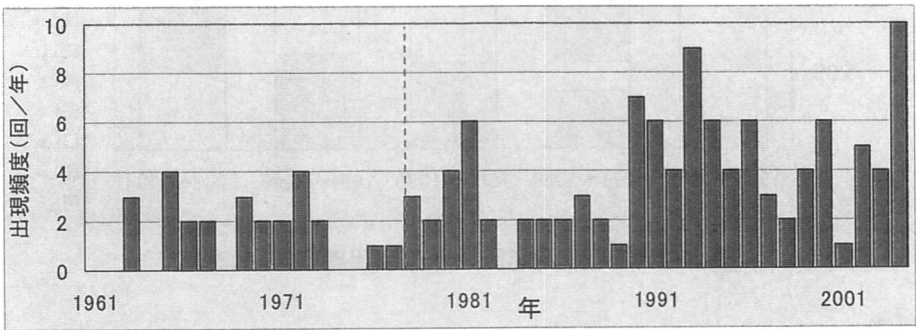


図 4 全道での大雨事例出現頻度の経年変化(1977 年までは官署データのみ)

4 つの地域別に分け、10 年毎の年代別に集計して、地域特性と経年変化を見たのが図 5 である。大雨の事例なので、道北では少なく、道南、道東、道央の順で多くなっている。1990 年代以降で多くなる傾向が見られるが、大雪事例の場合に比較して地域差は少なかった。

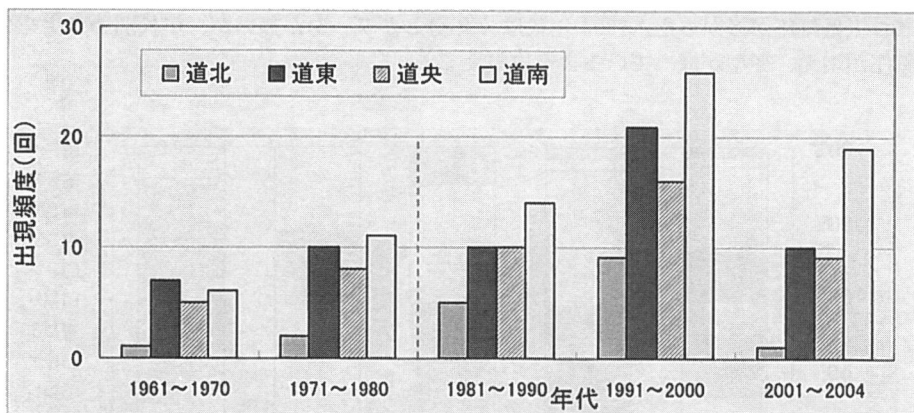


図5 大雨事例の出現頻度の経年変化(地域別)

大雨事例について、天気図パターン別に出現する頻度を年代別に比較したのが図6である。低気圧に関する原因がほとんど全てで、その中で低気圧直撃、南岸低気圧、二つ玉低気圧が多かった。それらに次いで低気圧日本海通過が多かった。

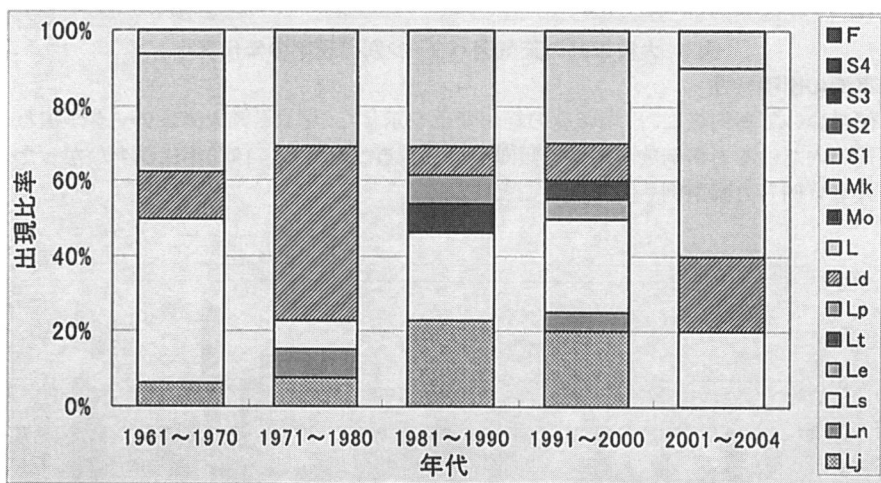


図6 大雪事例の天気図パターン別出現率の年代変化

4. まとめ

冬期間における大雪事例や大雨事例の出現頻度は、(特に 1990 年代以降に) やや増える傾向が見られた。大雪事例は出現頻度に地域差が大きく、道央や道東で多かったが、大雨事例は地域差があまりなく、道南で多くて道北で少なかった。

大雪の原因は低気圧が多く、冬型が次いでいたが、大雨の原因はほとんど全てが低気圧であった。擾乱の移動速度や降水の継続時間の違いによって、事例としての抽出され易さに違いがあった。

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2004 年度事業報告

1. 春の講演会の開催

日 時 : 2004 年 4 月 22 日 (木) 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. 「ヒマラヤを襲う氷河湖決壊洪水 ―氷河湖研究の来し方・行く末―」
山田 知充 氏 (北海道工業大学、元北海道大学低温科学研究所)
2. 「雪氷学の誤った“常識”三題」
前野 紀一 氏 (北海道大学名誉教授)

2. 支部総会

日 時 : 2004 年 4 月 22 日 (木) 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) 2003 年度事業報告・収支決算
(2) 2004 年度支部役員について
(3) 2004 年度事業計画案・収支予算案
(4) その他

3. 役員会議

日 時 : 2004 年 4 月 22 日 (木) 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) 2004 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 4 月 6 日

5. 幹事会の開催

日 時 : 2004 年 9 月 30 日, 2005 年 2 月 20 日

6. 研究発表会の開催

日 時 : 2004 年 7 月 1 日 (木) 10:00～16:30

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 第一会議室

7. ニュースレターの発行

No.20: 2004 年 11 月 9 日 (地域講演会案内・中越地震雪氷災害調査検討委員会お知らせ etc)

No.21: 2004 年 2 月 10 日 (雪氷調査法実習案内・地域講演会報告 etc)

8. 地域講演会

日 時 : 2004 年 11 月 26 日

場 所 : 北見工業大学総合研究棟 2 階多目的講義室

内 容 : 資料-2 参照

9. 積雪調査法実習

日 時 : 2005 年 2 月 20 日

場 所 : 北海道大学低温科学研究所構内

内 容 : 資料-3 参照

10. 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 2005 年度事業計画

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 小講堂

講 演 :

1. 「新潟県中越地震と雪氷災害」

西村 浩一 氏 (独立行政法人防災科学技術研究所長岡雪氷研究所)

2. 「雪の気象学」

播磨屋 敏生氏 (酪農学園大学環境システム学部)

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 小講堂

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

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 小講堂

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 7 月、2006 年 3 月 (予定)

5. 幹事会の開催

年度内に 2～3 回程度開催

6. 研究発表会の開催

日 時 : 2005 年 6 月 29 日 (水) 10:00～16:00 (時間は未定)

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 第一会議室

7. ニュースレターの発行

発行回数: 2～3 回

8. 地域講演会

日 時 : 未定

場 所 : 未定

9. 積雪調査法講習会

日 時 : 未定

場 所 : 北海道大学低温科学研究所構内

10. 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

※ 2005 年 9 月に 2005 年度日本雪氷学会全国大会（旭川大会）を開催するが、支部主催ではなく、本部事業であるため、ここには記載しない（ただし実行委員会を別途組織している）。

2004 年度収支決算 及び 2005 年度収支予算

2004年度収支決算

2005年度収支予算

(2004年4月1日～2005年3月31日)

(2005年4月1日～
2006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17年度予算
1.会費収入	0	0	0			0
支部会費	0	0	0			0
2.事業収入	250,000	240,285	9,715			250,000
研修会等収入	150,000	51,000	99,000		積雪観察講習会	100,000
広告収入	50,000	62,500	△ 12,500			50,000
出版収入	50,000	126,785	△ 76,785		「北海道の雪氷」	100,000
3.内部移管金収入	306,000	306,000	0			290,000
交付金支部収入	306,000	306,000	0		本部より	290,000
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.雑収入(預金利子)	100	3	97			100
当 期 収 入 合 計	556,100	546,288	9,812			540,100
前期繰り越し収支差額	598,057	598,057	0			555,996
収 入 合 計	1,154,157	1,144,345	9,812			1,096,096

支出の部

(単位 円)

科 目	予算額	決算額	差額	執行率	備 考	平成17年度予算
1.事業支出	620,000	538,329	81,671	87%		550,000
研修・見学会支出	120,000	53,722	66,278	45%	研究発表会・積雪講習会	50,000
講演・談話会支出	100,000	40,574	59,426	41%	春の講演会・地域講演会	50,000
支部機関誌発行費	400,000	444,033	▲ 44,033	111%	北海道の雪氷・ニュースレター	450,000
2.管理費	110,000	50,020	59,980	45%		60,000
事務費	10,000	2,517	7,483	25%	文房具費等	10,000
旅費・交通費	90,000	41,160	48,840	46%		40,000
会議費	10,000	6,343	3,657	63%	お茶、弁当代等	10,000
雑費	0	0	0			0
3.内部移管収入勘定	0	0	0			0
4.予備費	0	0	0			0
当 期 支 出 合 計	730,000	588,349	141,651	81%		610,000
当 期 収 支 差 額	▲ 173,900	▲ 42,061	△ 131,839		差額:赤字圧縮効果	▲ 69,900
次期繰越し収支差額	424,157	555,996	△ 131,839		差額:繰り越し増額	486,096
支 出 合 計	1,154,157	1,144,345	9,812			1,096,096

(社) 日本雪氷学会北海道支部役員 (平成17年度)

役 職	氏 名	所 属	備 考
支部長	竹内 政夫	(株)雪研スノーイーターズ	
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	北海道開発土木研究所	
	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	
	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	
	成瀬 廉二	北海道大学低温科学研究所	
	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	
	山田 知充	北海道工業大学	
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	道立オホーツク流水科学センター	
	池田 保夫	(株)ドーコン	
	小笠原 憲生	北海道旅客鉄道(株)工務部	
	小笠原 章	北海道開発局開発監理部開発調整課	
	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	
	猿田 昭治	札幌市建設局管理部雪対策室	
	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	
	古谷 恵一	北海道電力(株)土木部	
	矢作 裕	北海道教育大学名誉教授	
	中井 公太	札幌管区気象台技術部	
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所	
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	
	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	北海道開発土木研究所	
	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 道東支場	
	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	
	藤井 雅晴	札幌総合情報センター(株)	
	沼崎 正徳	日本道路公団北海道支社 札幌技術事務所	
	森 淳子	北海道大学大学院 工学研究科	
	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.24

ISSN-1340-7368

2005 年 9 月 21 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