

I S S N - 1340 - 7368

(社)日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

第22号



2003年 9 月

発行 (社)日本雪氷学会北海道支部

目 次

巻頭言-----	1
2003 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文-----	2
2002 年度事業報告-----	65
2002 年度収支決算書-----	67
2003 年度事業計画案-----	68
2003 年度収支予算-----	70
2003 年度日本雪氷学会北海道支部役員名簿-----	71
日本雪氷学会と道内関係機関のホームページ-----	72
社団法人日本雪氷学会北海道支部規約-----	73

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 河村 俊行（北大低温科学研究所）

本年度から支部幹事長を仰せつかりました。私自身幹事としては10年以上前に会計幹事をさせていただいた以来です。さらに諸事情により私を含め庶務・会計両幹事とも同時に交代致しました。そのため、不慣れでご迷惑をお掛けすると存じますが、皆様のご協力をよろしくお願い申し上げます。ここまで、総会・研究発表会そして当機関紙の発行と、なんとかこなしてきてことができました。感謝しております。

6月に開催された「支部研究発表会」では16件の講演が行われ、約100名の方が参加されました。参加者の内訳は大学・研究機関・コンサルタント中心の企業の方が2：1：1の割合でした。入れ替わり立ち代り多数の方々が熱心に聴講され、盛況のうちに無事事実上の初仕事を終了することができ、正直言って安心いたしました。そこで発表された論文は当冊子に掲載されております。

前号でも支部の切迫している財政事情について書かれておりましたが、うかつにも私自身その状況をよく把握しておりませんでした。このままでは支部の活動に支障がでてくるのが懸念されます。その状況を少しでも打開するために、積極的に活動することにいたしました。具体的には本年度より当機関紙に広告を掲載することに致しました。是非ご覧ください。また当冊子に掲載された論文の別刷りを作成し、希望の著者の方々に購入していただくことにしました。皆様の研究活動をアピールするために積極的に利用していただければ、我々の喜びでもあります。さらに当機関紙を他支部会員や会員以外の方々や企業にも購入していただくよう積極的に努力するつもりです。以上の活動はまだ充分とはいえませんが、今後実績を重ねてゆく所存です。そのためには皆様のご協力が是非必要ですので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

皆様すでにお気づきかと存じますが、懸案であった支部のホームページを立ち上げることができました。これは前会計幹事の豊田威信会員らの尽力によるものです。アクセスされた方をご承知と思いますが、その充実振りは支部としても自慢できるものです。まだご覧になっておられない方は是非 <http://www.seppy.org/~hokkaido/> にアクセスしてください。しかし、ホームページの真価は内容の新しさにあると思いますので、常に更新する必要があります。これは我々に課せられた課題のひとつです。そのため新しい情報がございましたら、是非提供をお願い致します。そしてこのホームページが情報交換の場に有効に使われることを期待しております。

2003 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文 目次

日 時： 2003 年 6 月 26 日 (木) 10:30～15:45

場 所： 北海道大学 学術交流会館 第一会議室

1. オホーツク海沿岸域の海水の漂流メカニズム-----	3
猪上 淳 (オホーツク・ガリコタワー(株))	
2. アルゴスブイと流水レーダによるオホーツク海北海道沿岸の海水観測-----	7
館山一孝、白澤邦男、石川正雄、高塚徹、大坊孝春、豊田威信、猪上淳、高辻慎也、向井祐二、木村詞明 (北大低温研)、中山雅茂 (宇宙開発事業団)、直木和弘 (千葉大学)、下田春人 (海技研)、鈴木英一、杉本綾 (一管本部海洋情報部)、福田明 (静岡大学)	
3. 電気伝導度式氷厚計の開発-----	11
館山一孝、白澤邦男、石川正雄、高塚徹、大坊孝春 (北大低温研)、新井浩成 (道立工業試験場)、鈴木克典、榎本浩之、小嶋真輔 (北見工業大学)、洞口克彦 (DATT ジャパン)	
4. 積雪を考慮した床面のすべり特性と避難行動について その 1 -----	15
～床材料の濡れが歩行に及ぼす影響～	
相茶日出海 (北海道工業大学)、内藤恵 (㈱雪研スノーイーターズ)、細川和彦、苫米地司 (北海道工業大学)	
5. 積雪を考慮した床面のすべり特性と避難行動について その 2 -----	19
～積雪および床のすべりを考慮した避難時間の推定～	
内藤恵 (㈱雪研スノーイーターズ)、相茶日出海、細川和彦、苫米地司 (北海道工業大学)	
6. 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-----	21
斎藤新一郎 (環境林づくり研究所)、小泉重雄 (北海道開発局岩見沢道路事務所)	
7. 人工雪を用いた風洞実験による吹きだまり形成の再現-----	25
中静仁平、細川和彦 (北海道工業大学)、老川進 (清水建設)、苫米地司 (北海道工業大学)	
8. 雪粒子飛び出し風速と雪粒子結晶形-----	29
佐藤研吾、高橋修平 (北見工業大学)	
9. 積雪層構造予測数値シミュレーションの開発と利用について-----	33
齋藤佳彦、榎本浩之 (北見工業大学)	
10. 降雪遮断による酸素同位体比の変化-----	37
山崎学、宍戸真也、石井吉之、児玉裕二 (北大低温研)、橋本哲 (島根大学)	
11. 通風筒を使用しない気温測定に関する問題点と対策-----	41
高山拓也、高橋修平 (北見工業大学)	
12. 膨張収縮する材料を利用した着雪対策について-----	45
千葉隆弘、竹内政夫 (㈱)雪研スノーイーターズ)	
13. 橋梁の着雪・冠雪対策に関する研究-----	49
布施浩司、岳本秀人 (北海道開発土木研究所)	
14. 現地観測による吹き止め式防雪柵の防雪効果について-----	53
伊東靖彦、松澤勝、加治屋安彦 (北海道開発土木研究所)	
15. タクシーGPSデータを活用した札幌市における冬期交通特性分布-----	57
高橋尚人、宗広一徳、浅野基樹 (北海道開発土木研究所)	
16. 道路構造の違いと冬期路面温度との関係に関する一考察-----	61
宮本修司、高橋尚人、舟橋 誠、浅野基樹 (北海道開発土木研究所)	

オホーツク海沿岸域の海水の漂流メカニズム

*猪上 淳 (オホーツク・ガリンコタワー株式会社)

1. はじめに

海水ができる比較的低緯度の海は、海水の生産量が面積として反映されやすいため、地球温暖化など気候変動のパロメーターの一つとして考えられている。その中でもオホーツク海は大気大循環に影響を与える領域の一つとして知られ (Honda et al. 1999), これまで大気・海洋・海水の関係者を中心に関心を集めてきた。

オホーツク海の海水の多寡はローカルな気候変動にも影響を及ぼし、特にオホーツク海沿岸部の気温は海水の有無により著しく変化することが知られている (中村 1996)。沿岸域が海水で覆われると、このような局地気候の変化だけでなく、漁船の操業など沿岸地域に住む人々の日常生活にも影響が及ぶため、海水との共生が重要な課題となっている。例えば、オホーツク海沿岸の重要な漁業の一つにサケ漁があげられるが、海水の影響を直接受けないように放流操作をすることで、サケの回帰率が向上することが分かっている (清水 2002)。また、ホタテ稚貝に関しても同様のことが指摘されている (青田 1986)。したがって、海水の動態とそれを取り巻く気象・海況・水産環境との関係調べることは極めて重要であり、特に沿岸域の海水の漂流メカニズムの理解とその予測は、地域社会全体に役立つ知識・情報を提供することにつながる。

これまで、オホーツク海水の漂流過程に関する研究は、北海道大学低温科学研究所附属流氷研究施設の流氷観測レーダを用いて行なわれてきた。例えば田畑ら (1967) は、約 1 時間間隔の画像から特徴のある流氷の軌跡を調べ、流氷が緩い S 字をなして南東方向へ流れるのは潮流の影響であることを推察している。また、河村ら (1975) は特徴的な氷版を追跡し、沿岸と平行な南東流が存在することを示している。さらに、風速が海水の漂流に与える影響も田畑ら (1970) などによって調べられている。しかしながら、これまでの研究は潮流・海流・風速のそれぞれが漂流速度に対してどれだけ寄与するのかという定量的な解析が行なわれてこなかったため、気候変動予測のための海水のモデリングにおいて極めて重要である海水の漂流過程に関する総合的な理解にまでは至っていない。

そこで本研究では上記の問題点を踏まえ、時間・空間分解能に優れた流氷レーダを運用しているオホーツク・ガリンコタワー (株) の X バンドレーダの画像データを使用し、オホーツク海沿岸域における海水の漂流

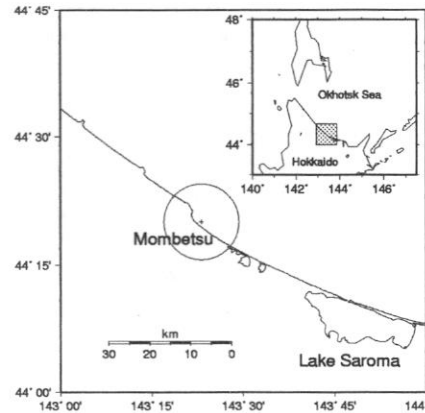


図 1: 観測地域とレーダの観測領域。

メカニズムを詳細に調べることを試みた。

2. 解析手法

オホーツク・ガリンコタワー (株) では氷海状況の基礎データの取得を行なうため、近距離高分解能型の X バンドレーダ (パルス幅 100ns; 公称距離分解能 15m) を設置し 1996 年から運用してきた (図 1)。空中線から発信された電波は、海水等の物体に反射され、その一部を空中線が受信する。不要信号 (雨、雪、雲、海面反射など) は信号処理装置で抑制され、図 2 のような 256 段階のグレースケール画像として記録される (実効空間分解能約 27m)。通常観測では 1 時間毎に画像を収集しているが、2003 年 2 月から 3 月にかけては海水の漂流過程を詳しく調べる目的で記録間隔を 10 分に設定した。本研究では解析期間を 2003 年 2 月 13 日 0 時から 3 月 26 日 23 時までとし、以下の手法で解析を行なった。

海水の漂流速度の見積りは面相関法を用いた (Kimura and Wakatsuchi 2000)。これは画像内に設定した窓画像を参照画像とし、これと最も相関の良い領域を次の時刻における画像から探し出すことにより移動距離を求める手法である。ここで、画像サイズ $M \times N$ の窓画像 $W(m, n)$ と次の時刻における対象画像領域 $T(m, n)$ の相互相関係数 C は以下のように表される。

$$C = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \phi(i, j) \varphi(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \phi(i, j)^2 \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \varphi(i, j)^2}} \quad (1)$$

* 猪上 淳 (INOUE Jun): オホーツク・ガリンコタワー (株)
〒 094-0023 紋別市元紋別 25 番地 2 先 海洋交流館
Phone: 01582-3-1100 (代表)
URL: <http://www.o-tower.co.jp>

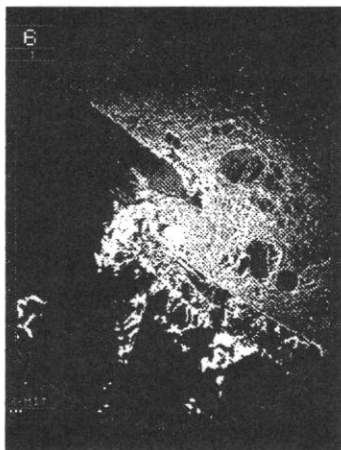


図 2: レーダ画像の例 (2003 年 3 月 5 日 12 時).

ただし,

$$\phi(i, j) = W(i, j) - \left(\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N W(i, j) \right) / (M \times N) \quad (2)$$

$$\varphi(i, j) = T(i, j) - \left(\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N T(i, j) \right) / (M \times N) \quad (3)$$

このとき、 C が最大となる画像間の位置関係が移動ベクトルとして与えられる。ただし、窓画像あるいは対象画像中に海氷が存在しない場合、及び雲や降雪の影響が反射強度として観測されている場合は、移動ベクトルを正確に計算できない。そこで計算精度を保つために C が 0.6 以上の場合のみ計算を行うことにした。画像上での海氷は基本的に白く表示されるが、凹凸の少ない平らな氷版は海面と同様に反射強度が弱く、画像上ではしばしば黒く表示される (図 2)。しかし、面相関法では領域内の輝度分布が重要であるため、画像上の海氷の濃淡は前後の画像でその性質が変化していなければ問題は無い。

流氷観測用のレーダデータにこのような手法を適用した例として石田 (1975) があるが、画像の時間間隔が 3 時間であったため、海氷の漂流に影響を及ぼす風や潮流などの効果を適切に抽出する解析は行なわれていない。画像の時間間隔が長すぎると、上記の問題点に加え、海氷自体の回転や内部応力の影響が大きくなり、漂流速度を求めるための良い相関関係が得られなくなる。また、逆に時間間隔が短すぎると画像の空間分解能以下の漂流速度を算出できない。以上の影響を考慮し、本解析では 30 分の時間間隔が最適であると判断した。窓画像サイズは 75×75 ピクセル (約 2×2 km) とし、メソスケール以下 (≤2km) の海氷の動態に着目した解析を行なった。

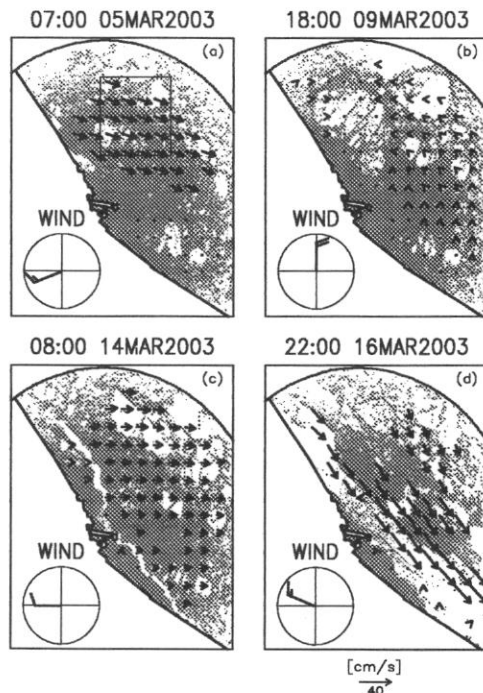


図 3: 海氷の移動ベクトルと反射強度 (陰影部) の水平分布。(a) に示されている矩形領域は平均移動速度の算出に用いた領域を表す。

3. 解析結果

図 3 に海氷最盛期の漂流ベクトルの水平分布を示す。ベクトルは海氷が 30 分間に進む方向と速度を表し、陰影部は主に海氷が存在する部分を示す。3 月 5 日において、北側の観測領域では 15 cm s^{-1} の速度で海氷域全体が西南西へ移動しているが、東側の観測領域では速度はゼロである (図 3 a)。これは沿岸定着氷と漂流してきた海氷との間に強いシア領域が存在することを意味する。実際、5 時間後の海氷の分布 (図 2) によると、北側の 2×2 km の氷板は東方へ約 3km 移動しているが、沿岸域の氷板は停滞しているのが分かる。

3 月 8 日から 3 月 13 日までは観測領域全体が海氷で覆われ、漂流速度は極端に遅くなった ($\sim 0 \text{ cm s}^{-1}$)。その結果、海氷間の内部応力が強化され氷板に亀裂が入る様子が確認できる (図 3 b)。海氷が再び大きく動き出すのは、沿岸から約 1km 沖で岸と並行に大きな割れ目が形成された 3 月 14 日である (図 3 c)。3 月 16 日には移動速度が 30 cm s^{-1} に達し、観測領域内の海氷は次第に減少し始めた (図 3 d)。

4. 潮流と風速の影響

図 4 に解析期間中の海氷の平均移動速度とレーダサイト (海拔 40m) で観測された風速の東西・南北成分の時系列を示す。漂流速度は海氷が停滞した期間 (3

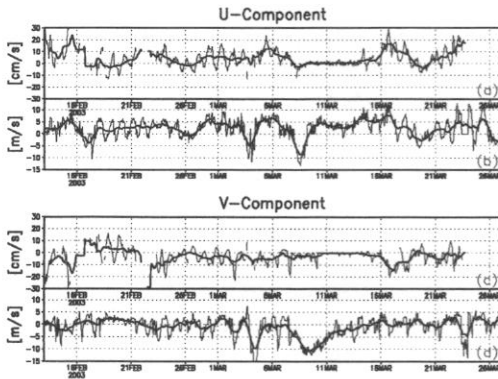


図4: 漂流速度と風速の各成分の時系列. 太線は25時間移動平均.

月8~13日)を除き, 明瞭な日周期成分が卓越している(図4 a-c). これには潮流の影響あるいは日変化する局地風(海陸風)の影響が考えられる. また, 一日以上のスケールに着目すると(図4 太線: 25時間移動平均), 漂流速度は総観規模の風(一般風)と良く対応する(図4 b-d).

そこで海水の移動速度を潮流と風速でどれだけ説明できるかを調べるため, 図3(a)中の矩形内で領域平均した漂流速度に対して調和解析を行なった. 潮流は潮汐波に伴って現れるものであるから, ここで東西方向の海水の移動速度を U とすると,

$$U = \sum_i f_i U_i \cos(V_i(\sigma_i) + u_i - \kappa_i) + U_0 \quad (4)$$

のように i 種類の分潮の変動の和として表すことができる. ここで f_i , u_i は月の運動から定まる因数, V_i は一定の割合 σ_i で増加する量, U_i と κ_i は振幅と遅角, U_0 は残差流である. 本研究の調和解析で求める分潮は主要四大分潮である M2(周期 12.42 時間)・S2(周期 12.00 時間)・K1(周期 23.93 時間), O1(周期 25.82 時間)とし, 各分潮の U_i , κ_i , U_0 は最小自乗法で求める.

残差流 U_0 は解析期間中の平均移動速度を表すが, これには長周期の潮流・海流・気象的要因が含まれている. しかし図4で示した通り, 漂流速度と風速には明瞭な相関関係が認められるため, 一般風($\bar{W}_u$)と局地風($W'_u = W_u - \bar{W}_u$)を説明変数として式(4)に組み込んだ.

$$U = \sum_i f_i U_i \cos(V_i(\sigma_i) + u_i - \kappa_i) + C_D(\bar{W}_u + W'_u) + U'_0 \quad (5)$$

ここで C_D は漂流速度に対する風速の風圧係数, U'_0 は風の影響を除いた残差流である. 式(5)を用いた調和解析は3月13日0時を基準とし, 流氷の動きが活発な3月7日23時までのデータを使用した. また, 漂流速度の振幅が再び大きくなる3月16日以降のデータは調和解析の検証用のデータとして使用した.

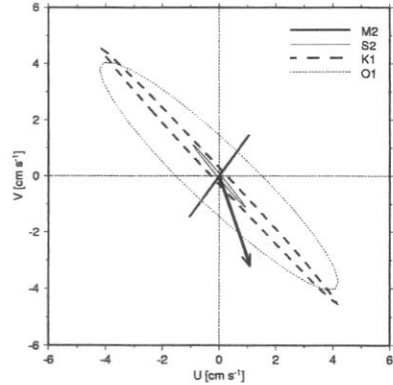


図5: 各分潮流の漂流楕円と残差流ベクトル.

各分潮流について東西・南北成分を合成した海水の‘漂流楕円’と残差流ベクトルを図5に示す. 海水の移動は北西-南東方向の日周潮流(K1及びO1)が卓越し, その影響力は半日周潮の約3倍に相当する. また残差流は南南東向きに 3.3 cm s^{-1} であるが, 日周潮の振幅に比べて小さい. なお各分潮の流向はM2分潮を除き時計回りであった.

調和解析における東西成分と南北成分の相関係数はそれぞれ0.76と0.72で, 式(5)による予測値は観測値を良く再現している(図6 a-c). そこで, 式(5)における潮流・一般風・局地風の寄与を調べると(図6 b-d), 漂流速度の日変動は局地風よりも潮流の影響を強く受けていることが分かる. 潮流は月齢によって変化し大潮の前後で強くなるため, 漂流速度も大潮前後で振幅が大きくなる. 一方, 一般風の効果は東西成分に強く作用し, 小潮時には一般風の効果が潮流の効果を上回り, 大潮時には潮流の効果と同程度になる(図6 b). また, 紋別では西風の頻度が高いことから, 風速の南北成分の効果は潮流の効果よりも小さい(図6 d). 以上の特徴は, 調和解析に使用しなかった3月16日以降のデータにも該当することから, 漂流速度の大部分は潮流の効果と風応力のバランスで説明できることが分かる.

5. 考察

調和解析によって得られた漂流楕円から, 海水の運動は半日周潮よりも日周潮が卓越することが示されたが(図5), これは紋別沖の潮汐が顕著な日周型であることを示唆する. 宗谷暖流域での潮流の特性に関して, Aota and Matsuyama(1987)はオホーツク海沿岸の狼狽で係留計を用いた測流を行ない, 日周期成分のK1・O1分潮が半日周期成分のM2・S2分潮より3倍以上も大きく, 直線的な往復運動に近い潮流楕円が特徴であることを示した. また, 青田と河村(1979)は紋別沖の流水下の海流を調べた結果, 潮流成分は冬季間を通じて日周潮のK1・O1が卓越していることを明らかにした. このような特徴は本解析で得られた漂流楕

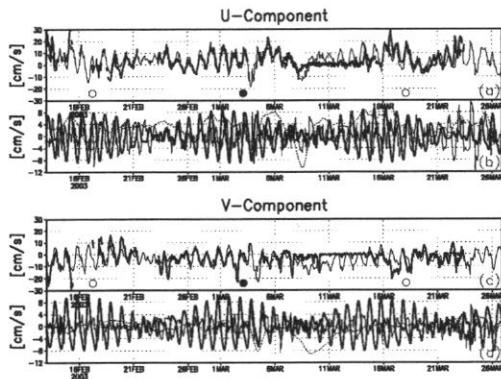


図 6: 漂流速度の各成分における観測値(太線)と予測値(細線)(a-c)と、予測値における潮流(太線), 一般風(点線), 局地風(細線)の寄与(b-d).

円の特徴と良く一致することから、海氷の漂流予測において潮流が重要なパラメータの一つであることが分かる。

青田と河村(1979)はさらに、流氷下の宗谷暖流の恒流成分(残差流)は、冬季間を通じて海岸線にほぼ平行な南南東から南東流であることを示し、流氷最盛期の流速は 4.5 cm s^{-1} と非常に遅いことを明らかにした。したがって、本解析で得られた漂流速度の残差流成分 U_0 (南南東流 3.3 cm s^{-1}) は、冬季宗谷暖流の影響を受けたものと考えられる。

沿岸定着氷が著しく発達した3月8~13日は海氷が運動できる空隙が極端に少ないため、式(5)では漂流速度を予測できない。しかし、大規模な沿岸定着氷が沖へ流され始める3月14~15日において、漂流速度の予測値は観測値よりも過大評価しているものの、ピークの時刻が一致している(図6 a-c)。これは西風応力場到大潮起源の潮流が次第に強化された結果、14日に大規模な沿岸定着氷の剥離が発生したと解釈することができる(図3 c)。これとは逆に、北風応力場に小潮起源の弱い潮流が重なる時期(3月9日頃)では、大規模な沿岸定着氷が形成され始めた(図3 b)。このように潮流は沿岸定着氷の形成・剥離過程にとって重要なトリガーとして作用していることが示唆される。

漂流速度における潮流成分の振幅変動は大潮・小潮の周期で決まるが、局地風の効果($C_D W_u'$)もこれと同位相で変化している(図6 b-d)。本解析で得られた風圧係数は1.5%であり、夜間の陸風が強い場合(例えば西風 5 m s^{-1})では海氷は 8 cm s^{-1} 程度で沖向きに流されるため、漂流速度の予測において局地風の効果は無視できない。局地風の強弱は海陸の温度コントラストで決まるが、それを左右する開放水面の多寡は、潮流によって励起される海氷運動の強弱に依存するはずである。例えば、3月8~13日において局地風の影響が

その他の期間に比べて小さくなるのは(図6 b-d)、大規模な沿岸定着氷が形成されたことによって海陸風を駆動する開放水面が消滅したためと考えられる。このように海氷の漂流過程における潮流の効果は、局地風(海陸風)を変動させることで間接的にも海氷の動態に影響を与えると考えられる。

6. まとめ

本研究ではオホーツク海沿岸の海氷の漂流過程を調べるために、紋別に設置された氷海レーダの画像を用い、面相関法によって海氷の移動ベクトルを求めた。高い時間・空間分解能で画像処理を行なった結果、海氷の漂流速度は日周期成分と風応力による影響が卓越していることが分かった。

そこで、見積もられた漂流速度に対して風速の効果を組み込んだ調和解析を行なった。漂流速度に対する潮流の効果は半日周潮よりも日周潮が卓越し、北西-南東方向に最大 $\pm 10 \text{ cm s}^{-1}$ 程度の振幅で往復運動することが明らかとなった。この漂流槽円の特徴は、過去に紋別沖で行なわれた係留観測の潮流槽円の特徴とも一致していた。残差流成分は南南東向きに 3 cm s^{-1} であるが、これは冬季宗谷暖流の流向・流速と矛盾せず、海流によっても海氷が流されていることが示された。以上の結果は、流氷が緩いS字をなして南東進するという田畑ら(1967)の結果を裏付けるものである。風速に対する漂流速度の比(風圧係数)は1.5%であった。一般風の効果は潮流の効果に弱くなる小潮時に相対的に強く、大潮時では潮流の効果と同程度となった。一方、局地風の効果は潮流・一般風の効果に比べて小さいが、大潮・小潮の周期と同位相で振幅が変動していた。これは潮流が励起する開放水面の多寡が、海陸風の強弱に影響を及ぼすためと推察される。

本研究では沿岸域での海氷の漂流メカニズムを総合的・定量的に解析したが、大規模な沿岸定着氷の形成・剥離の開始には風応力よりも潮流がトリガーとなるため、沿岸域の海氷の動態予測において潮流が極めて重要な役割を果たしていることが示された。

参考文献

- 青田昌秋・河村俊行(1979), 海洋科学, 11, 189-195.
- 青田昌秋(1986), 海洋科学, 18, 107-111.
- Aota M. and M. Matsuyama (1987), J. Oceanogr., 43, 276-282.
- 石田完(1975), 低温科学, 物理篇, 33, 173-177.
- 河村俊行ほか(1975), 低温科学, 物理篇, 33, 179-190.
- Kimura N. and M. Wakatsuchi (2000), Geophys. Res. Lett., 27, 3735-3738.
- 清水幾太郎(2002), 海洋号外, 30, 178-186.
- 田畑忠司ほか(1967), 低温科学, 物理篇, 25, 233-239.
- 田畑忠司ほか(1970), 低温科学, 物理篇, 28, 301-310.
- 中村圭三(1996), 天気, 43, 383-390.
- Honda M. et al. (1999), J. Climate, 12, 3347-3358.

アルゴスプイと流水レーダによるオホーツク海北海道沿岸の海水観測

館山一孝, 白澤邦男, 石川正雄, 高塚徹, 大坊孝春, 豊田威信, 猪上淳, 高辻慎也, 向井祐二, 木村詞明 (北大低温研), 中山雅茂 (宇宙開発事業団), 直木和弘 (千葉大), 下田春人 (海技研), 鈴木英一, 杉本綾 (一管本部海洋情報部), 福田明 (静岡大)

1. はじめに

過去 30 年間におけるオホーツク海海水面積の変動は, 1980~1990 年代に減少傾向を示し, 1998 年以降は急激な回復傾向を示している (館山・青田, 2001). 2003 年の氷況の特徴は, 面積は平年よりもやや大きいという程度に留まったが, Tateyama et al. (2002) の手法でマイクロ波放射計データから推定した海水の厚さに着目すると, 平年よりも厚さ 60~80cm の厚氷の面積が大きかった. これは 12 月と 2 月の気温が平年よりも低く, 特に 12 月下旬と 2 月下旬の平年差はそれぞれ -4.5°C , は -3.2°C とかなり低かったこと (気象庁, 2003a,b,c) が海水の成長を促進したためと考えられる. また, 4 月の気温が平年よりも $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 高かったにもかかわらず, 流水終日が 4 月 28 日と平年より約 2 週間遅かったこと (気象庁, 2003d) から, 海水が厚かったために融けにくく, いつもより長期間残ったと予測される.

このような氷況下で, 2003 年 2 月上旬に海上保安庁の砕氷船「そうや」によるオホーツク海北海道沿岸のアイスパトロールが行われ, 海上保安庁海洋情報部の協力のもとに北海道大, 宇宙開発事業団, 千葉大, 海洋安全技術研究所による海水観測が行われた. このとき雄武町音威子府岬沖 5 マイルと 40 マイルの地点にアルゴスプイを投入し, 新型 GPS 装置のテストと, 北大流水研の流水レーダーによる海水追跡アルゴリズムの実証試験を行った.

2. 使用した機器

海水追跡に用いたアルゴスプイは気圧計と水温計を持つ TOYOCOM 社製 C-2340 型漂流プイを 2 機使用した (図 1(a)). 通信設定は最大頻度のデータが得られる 6 個の衛星受信モードで行った. 受信したアルゴスの位置データは 1 時間から 2 時間に 1 回の頻度で測定され, 3 時間後に E-mail で最新情報を入手することができた.

将来的に安価で高精度な海水漂流追跡装置を開発することを目的として, 今回は渡り鳥調査グループ (代表: 静岡大・福田教授) が開発した小型 GPS データロガー BGDL-II+ をアルゴスプイに付加した (図 1(b)). BGDL-II+ は重量 67g, 全長 6cm 程度の大きさで 600 件の位置情報を記憶する容量がある. ただし, 通信機能を有していないため, データを回収するにはアルゴスプイなど通信機能を持つ機体に設置して装置を回収する必要がある.

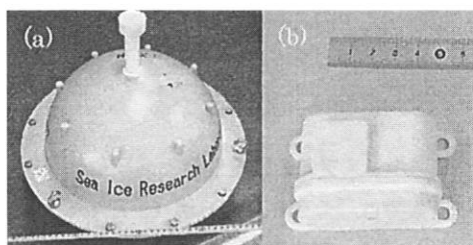


図 1 (a)アルゴスプイと(b)GPS データロガー

アルゴスプイ+GPS データロガーの設置は, 図 2 に示すように「そうや」のクレーンに接続したゴンドラで氷上に降りて行

った。回収時に発見しやすいようにオレンジ色の旗とレーダー反射板も傍らに設置した。



図2 アルゴスブイ設置風景

3. 結果

(1) アルゴスブイの回収結果

2月7日に雄武沖5マイルの地点に投入したアルゴスブイは、予想通り海岸に対して平行に移動し、幸運にも「そうや」の観測航路上に流れてきたので2月13日に回収することができた(図3)。

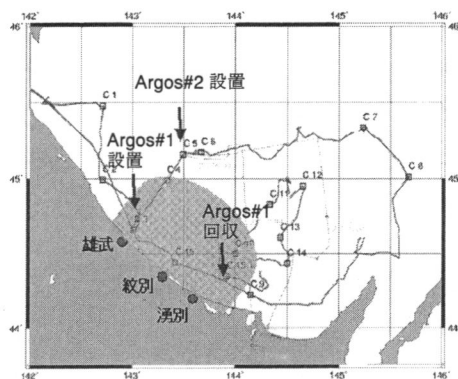


図3 アルゴスブイの設置位置と回収位置。

実線は「そうや」の航跡(2月6日-13日)。影で覆われた部分は北大流水研の紋別レーダー局の観測範囲を示している。

同じく2月7日に雄武沖40マイルの地点に投入したアルゴスブイは「そうや」の航路から大きく離れていたため、観測期間中の回収は断念した。その後、ブイは能取岬沖で陸地に最接近したが海水の密集が激しく、目視で発見することが出来なかった。6月22日現在、ブイはカムチャッカ半島付近まで北上している(図4)。これは海流によって流されたのではなく、風などの表面の影響を大きく受けたためと思われる。

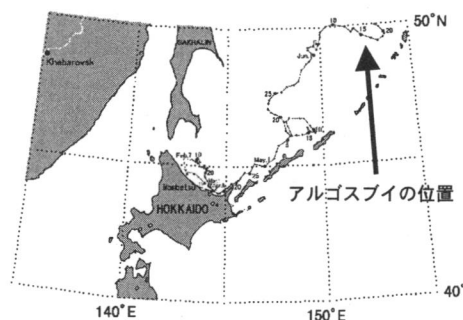


図4 6月22日現在のアルゴスブイの位置

(2) 位置データの比較

アルゴスのドップラー式測位では最大で数kmもの誤差を示したのに対し、GPSは誤差10m程度であった。この結果、海水の移動を追跡する上で風や潮流などの影響を正しく見積もるにはアルゴスによる測位では不十分で、GPSを使用することが必要であることがわかった。

(3) 気象データとの比較

図5にアルゴスブイを設置した2月7日から回収した13日までの1時間毎の(a)ブイGPSによる海水漂流の二次元分布、(b)海水の漂流速度と風速(東西成分)、(c)風向・風速、(d)ブイGPSによる海水漂流の方向・速度、(e)流水レーダーのデータから計

算した海水漂流の方向・速度を示す。風のデータは「そうや」で測定されたデータを用いた。「そうや」は夜間に停泊するため、風向の補正情報となる GPS による船のヘディング情報を得ることが困難となり、日中の風のデータのみ使用している。

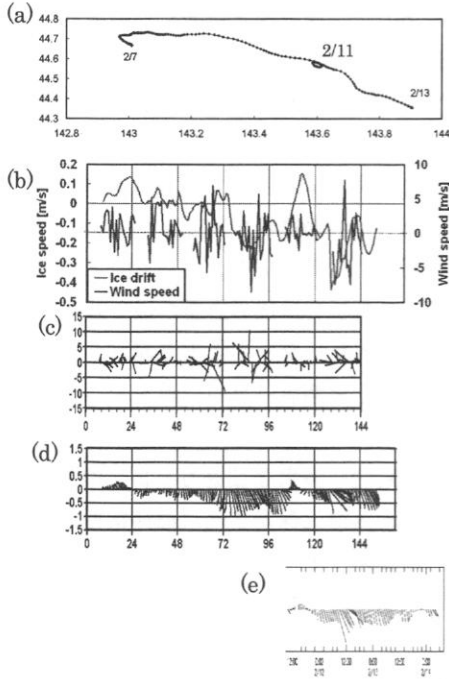


図5 2月7日から13日までの(a)ブイ GPS による海水漂流の二次元分布, (b) ブイ GPS による海水の漂流速度と「そうや」で観測した風速(東西成分), (c)「そうや」で観測した風向・風速, (d)ブイ GPS による海水漂流の方向・速度, (e)流水レーダーのデータから計算した海水漂流の方向・速度。全て1時間毎のデータ。

1時間毎の風と海水漂流を比較すると、風は変動が激しいのに対して海水の変動は小さい。他方では、図6の1日平均の海面

気圧で示される地衡風に対しては良い相関が見られた。

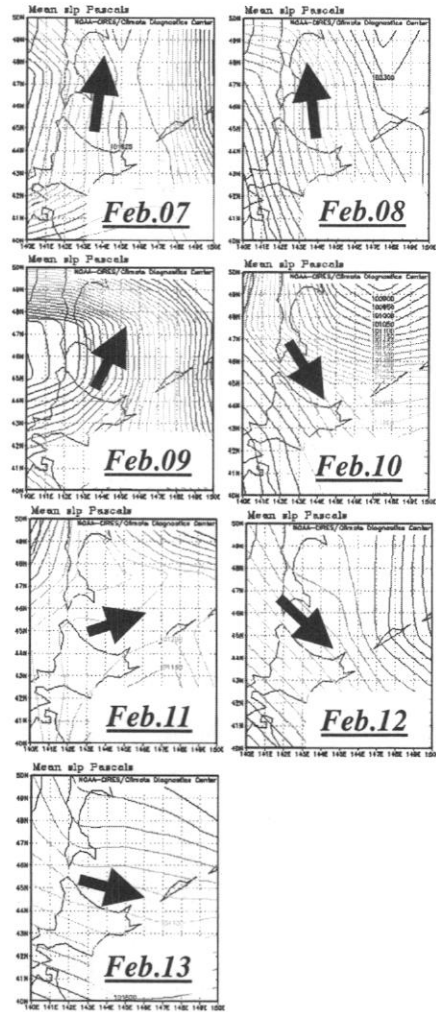


図6 NCEP/NCAR Reanalysis 日平均海面高度気圧データ。図中の矢印は1日の平均地衡風を表す。

観測期間中、1時間平均値で風速 3m/s 以下と最も風が弱かった2月11日に着目する

と、海水はぐるりと円を描くような特徴的な動きを示していた。これは潮流の動きを反映したものと考えられる。つまり、陸地から5マイル程度離れた海水域では潮流の影響はあまり強くなく、風が無風状態のときのみ顕著に現れることが示唆された。しかし解析期間が1週間と短いため、潮流と海水漂流の関係を解明するには、今後さらなる観測が必要である。

(4) 流水レーダーとの比較

通常3時間に1回の北大流水研の流水レーダー観測を、紋別レーダー局のみアルゴスブイ観測と同期して2月11日から13日にかけて、3日間だけ10分毎に行った。北大流水研のレーダーは周波数が5.54GHzのCバンド、空間分解能は約150mである。

図7に流水レーダーから計算した1時間の海水漂流の解析例を示す。

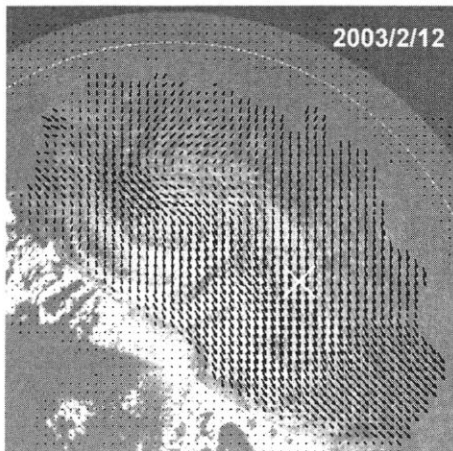


図7 流水レーダーから計算した1時間の海水漂流（北大低温研・木村作成）

図5(e)に図7の白色の×印において計算したある定点上を通過する海水の漂流方向・速

度の時系列を示しているが、図5(d)に示しているブイの実測結果と非常に良い一致が見られた。

4. まとめ

2003年は過去30年間で平年並みの面積であったが厚い海水が多く、結果として後退期も平年より2週間遅かった。アルゴスブイ単体による位置測定は誤差が数kmと精度が不十分であり、誤差が10m程度のGPSを併用することが必要である。

流水の移動は風だけでなく、海流や潮流、内部応力によっても大きく支配されるが、今回の解析では風の影響が最も顕著であった。流水レーダーによる漂流ベクトルの解析結果と実測値は良い一致を示した。

謝辞

本観測に多大なご協力をして頂きました第一管区海上保安本部、海洋情報部ならびに巡視船「そうや」の乗組員の方々に心から感謝致します。

参考文献

- Tateyama K. and H. Enomoto, Y. Toyota, S. Uto: Sea ice thickness estimated from passive microwave radiometers, Polar meteorology and Glaciology, No.16, pp 15-31, 2002
館山一孝, 青田昌秋, 2001年のオホーツク海の氷況, 北海道の雪氷, No.20, p17-20, 2001
気象庁, 札幌管区気象台, 海水概報, 第1報, pp.29, 2003a
気象庁, 札幌管区気象台, 海水概報, 第2報, pp.19, 2003b
気象庁, 札幌管区気象台, 海水概報, 第3報, pp.18, 2003c
気象庁, 札幌管区気象台, 海水概報, 第4報, pp.16, 2003d

電気伝導度式氷厚計の開発

館山一孝, 白澤邦男, 石川正雄, 高塚徹, 大坊孝春 (北大低温研), 新井造成 (道工試), 鈴木克典, 榎本浩之, 小嶋真輔 (北見工大), 洞口克彦 (DATT ジャパン)

1. はじめに

海氷の厚さは温暖化などの環境変動の指標としてだけでなく人間生活に深く関わる重要な情報であるが, 現状の技術では自動連続観測は困難である. 現在行われている海氷の厚さ観測は, 限られた場所および期間, または試験段階ではあるが, ドリルによる掘削, 原子力潜水艦の音響ソナーや Ice Profiling Sonar による水面下の海氷キール部の観測や, 航空機や船舶に搭載したレーザー高度計による海氷マスト部 (氷高) の測定, 及びレーザー距離計と電磁誘導を組み合わせた船舶による EMI (Electromagnetic Inductance) 法による氷厚観測が行われている. これらの手法は導入・運用コストが非常に高く, 現段階では民間レベルでの利用やリアルタイムモニタリングという用途には用いられていない.

氷と海水の電気伝導度の違いが大きく, 電氣的に結氷を判断できることに着目し, 北海道工業試験場と共同で安価な電気伝導度式氷厚測定装置を開発した. 本研究はこの新型氷厚計を用いて北見工大と共同で行った低温室実験とサロマ湖湖氷上で行った現場実験の結果について報告する.

2. 測定方法

本研究で開発した氷厚計測システムは, 測定精度を 1cm 程度の高精度, 日変動を把握することができるために 1 時間に 1 回の自動計測が可能で, 携帯電話を利用したリアルタイムモニタリングを行えるように設定した.

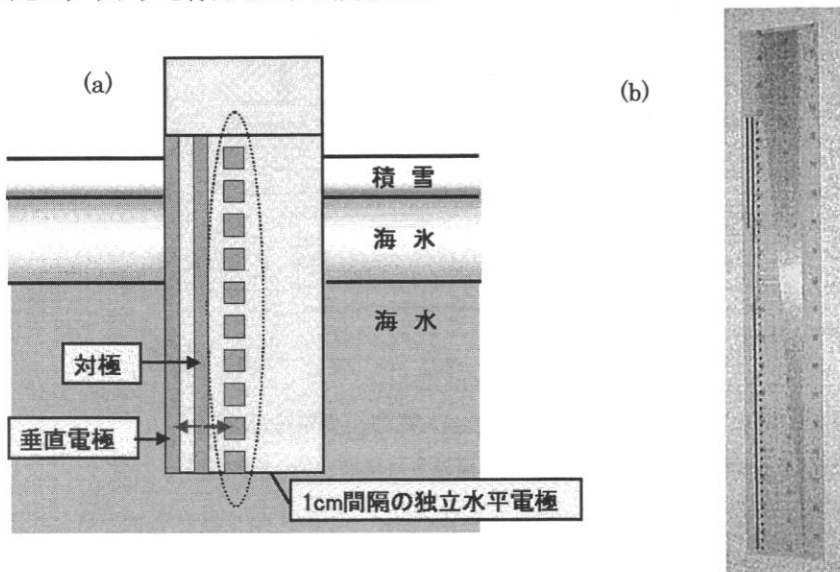


図 1 電気伝導度式氷厚センサーの(a)概念図と(b)実機の写真

電気伝導度式氷厚センサーは、センサーの電極間に電圧を印加し、物質のイオン濃度に対応した電流値を測定する電気伝導度法を用いている。これは海水が生成過程で電流が流れ難い純粋な氷の結晶部分と結晶の間に閉じこめられた濃い塩水の「ブライン」に分かれ、成長とともにブラインの体積が減少することを利用して、電流が流れやすい海水と流れにくい氷の判別および水中のブラインの量を測定している。

センサーは全長 95cm で 79cm の電極部分と 16cm の配線部分から成っている。コンピュータ等の基板と同じ材質のガラスエポキシプリント基板に 15mm 間隔で 54 極の電極を配置した。電極部分はメッキ処理を施しているが、その他には特に防水防錆処理はしていない。

これらの電極からのデータを 1 時間毎に計測・記録し、RS232C 出力から携帯電話端末「Do-pa」を用いて e-mail で計測データを送信する手法を用いた。

3. 結果

(1) 低温室内実験結果

低温室では水槽の深さが浅いため、全長 10cm、電極間隔 1cm、全 10ch の短尺センサーを使用した。最上部の Ch.1 から最下部の Ch.10 まで順に氷に取り込まれていく様子が装置の出力電圧の変化となって表れるようにした。塩水は塩分濃度 32‰ の NaCl 水溶液を使用し、低温室の温度設定は -20℃ である。

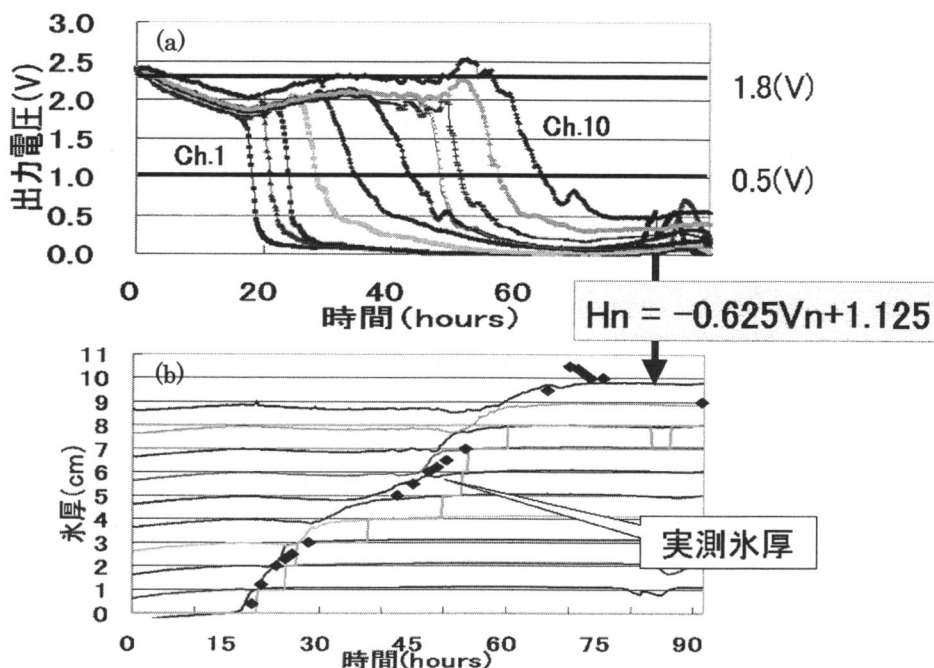


図 2 (a) 低温室の結氷実験から得られた海水成長に伴う出力電圧の変化。

(b) 式(1)によって出力電圧の変化を氷厚に換算した結果。

実験は氷厚が 10cm になるまで行い、センサーからの出力電圧のデータを記録し、一時間毎に氷厚を実測した。その結果を図 2(a)に示す。これらのデータから、結氷前の電圧を 1.8V、結氷後を 0.5V とそれぞれ閾値を設定し、氷厚と電圧の関係の式を求めた結果、次式が得られた。

$$H_n = -0.625V_n + 1.125 \quad (1)$$

ここで、 H_n は $Ch.n$ で検知した氷厚 ($\leq 1\text{cm}$)、 V_n は $Ch.n$ の電圧である。この式から図 2(2)で示すように出力電圧の変化を氷厚に換算することができた。

(2) サロマ湖実験結果

図 3 に示すサロマ湖栄浦付近の氷上に厚さ約 40cm の湖氷に 50cm 四方のプールを作成し、2003 年 2 月 7 日から 3 月 6 日までの約 4 週間、95cm 型の氷厚計センサーと制御・通信ユニットを設置した。プールには氷厚計の他に検証用として深さ 5cm おきにサーミスタ温度計を設置した。ch.14 を水面に合わせ、それよりも下は下方成長、上は上方成長を測定するように設置した。

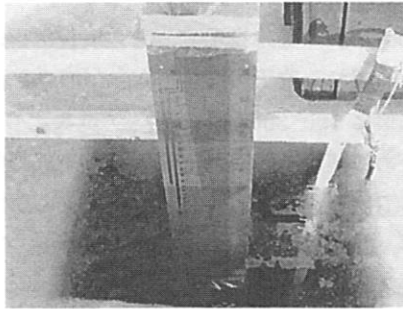


図 3 氷厚計設置位置とセンサーの設置風景

観測期間の気温は -15°C 以下、特に 2 月中旬から下旬にかけて -25°C にも達する寒い日が続いた。この時期は制御部分の装置が夜間になると低温のため毎回停止してしまった。降雪は少なかったが、氷上は遮蔽物が無いためドリフトによってプール上の積雪は 20cm 程度になっていた。

測定終了時には、海水側に 16.5cm の下方成長、地上側に 7.5cm の上方成長が見られ、計 24cm の厚さになっていた。積雪は 15cm で、海水表面から 6cm の高さまでは海水の染み上がりによる塩分を含んだ濡れ雪層が見られた。図 4 に下方成長部分 (ch.14 より下側) の測定結果を示す。2 月中旬から下旬にかけて夜間のデータが取れなかったため、欠測部分は前後のデータから補完してある。また、矢印で示している個所より以前は、ソーラーパネルの結線ミスでバッテリーが充電されず、電力が無くなってしまい 5 日間ほど停止してデータが欠測するトラブルがあった。

この実験では結氷の閾値は電気伝導度で 200mS/cm 以下という結果が得られ, ch.24 (深さ 16cm) までの結氷状態を確認でき, 実測 (16.5cm) と良い一致が見られた.

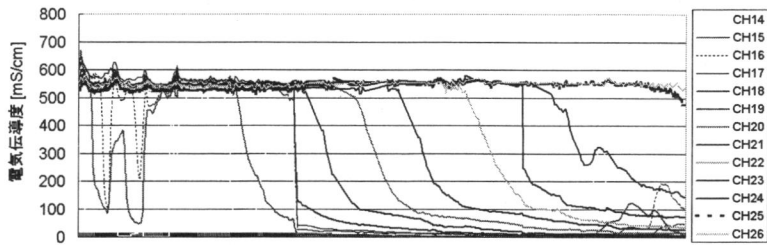


図 4 サロマ湖氷上プール実験における 2003 年 2 月 7 日から 3 月 6 日までの下方成長部分の測定データ. 低温のため欠測した部分のデータは前後のデータから補完して示している. 矢印は電源トラブルのためデータが 5 日間欠測した期間を示す.

図 5 に上方成長部分の測定結果を示す. 上方成長は海水上の積雪に海水が染み上がり, 凍結して Snow ice と呼ばれる粒子状結晶の海水が形成されることで起こる. この実験から, 上方成長の結氷の閾値は 100・300mS/cm と下方成長よりも高い値が得られた. これは表面ブラインの存在のために薄氷では海水下部よりも上部の方が高塩分であるという過去の研究結果と良く一致している. ch.10 (高さ 5cm) までの結氷が確認でき, 実測 (7.5cm) よりも低い値を示したが, これはセンサーが日射を吸収して発熱し, ch.9 付近は氷がえぐれていたことが原因であると考えられる.

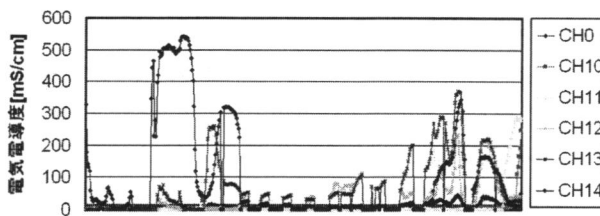


図 5 図 4 と同じ場所・時期の上方成長部分の測定データ.

4. 今後の課題

電気伝導度式による氷厚の測定は有効であることがわかったが, 今回の実験では制御部が低温に弱かったこと, センサーが緑色であるため日射を吸収して発熱することなどの問題点があった. 今後は - 40℃までの低温対策と省電力化などの改善を加え, 将来的にブイ型氷厚計測システムの開発を目指している. 2004 年 1 月に結氷前のサロマ湖において筏をプラットフォームにした氷厚の自動連続観測実験を行う予定である.

積雪を考慮した床面のすべり特性と避難行動について その1 床材料の濡れが歩行に及ぼす影響

北海道工業大学大学院
(株) 雪研スノーイーターズ
北海道工業大学環境デザイン学科
北海道工業大学建築学科

相茶 日出海
内藤 恵
細川 和彦
苫米地 司

1. はじめに

積雪期は、歩行者によって建物内に持ち込まれた水分(雪)により写真1に示す状態となり、建物出入口付近の床材料の濡れは避けられない。商用施設などの出入口付近は、写真2に示すポスターや障害物による注意の促しおよび玄関マットの延長などによる対策を施している例を見る。しかし、実際に転倒者や苦情が出てからの対応がほとんどである。既往の研究では床材料の濡れは、転倒事故のみならず避難行動に影響を与えることが指摘され¹⁾、安全計画上的重要な問題のひとつである。

床材料のすべりに関する研究は、種々の観点からアプローチされている²⁾が、濡れの及ぼす影響を段階的に再現している研究は少ない。このような背景から本研究では、動摩擦係数を用い床面の水分量とすべり抵抗との関係およびそれに付随する表面の凹凸とすべり抵抗との関係を検討した。次に、再現歩行実験を実施し水分量と動摩擦係数の変動との関係について検討した。

2. 研究方法

床材表面の濡れ状況が歩行時のすべりに及ぼす影響を図1に示す流れに従って検討した。図中の「f4」は、一般的な歩行速度である4 km/hにおける動摩擦係数を示す。本研究では、この「f4」を基準として分析した。実験には表1に示す11種類の床材料を使用し実施した。Pタイルについては、歩行者が屋外より持ち込む水分量と歩行者数の関係を見るための再現歩行実験と、湿潤範囲が歩行に及ぼす影響を見るための歩行実験の2種類を北海道工業大学構内にて実施した。

2.1 床材料のすべり抵抗の測定

床材料のすべり抵抗は、DF テスター・S

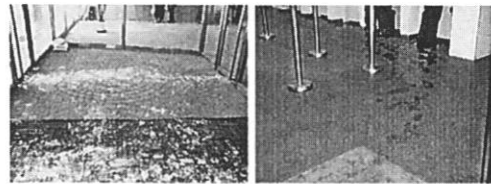


写真1 建物内に持ち込まれる水分



写真2 積雪期間に掲示されるポスターおよび玄関マットによる対策例

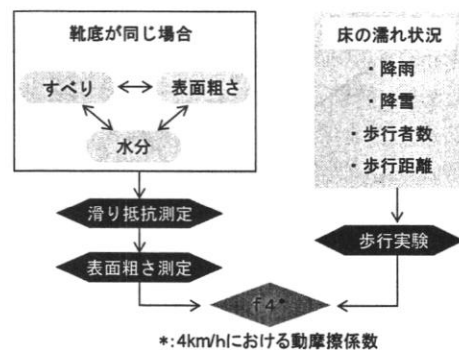


図1 実験の流れ

タイプを用い測定した。本装置は、底部にある回転盤に装着されたテスト用ゴムチップが回転することにより摩擦係数を測定する測定装置である。テスト用ゴムチップは、目的に応じて変更する事でその物の摩擦抵抗を測定する事ができ、対象面に多少の凹凸および多少の傾斜があっても測定が可能

表 1 実験シリーズ

材料	断面模式図	すべり抵抗測定	表面凹凸測定	歩行実験
珪器質		●	●	
磁器質タイル	A B	●	●	●
SRシート		●		●
ビニル床タイル	A B	●	●	
ラバータイル		●	●	
フローリング		●	●	
コルクタイル	A B	●	●	
Pタイル				● △

注) ●および△は測定および実験を実施した床材

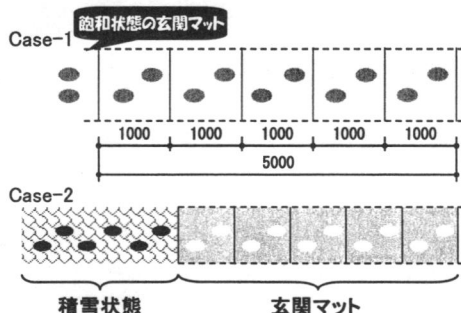


図 2 再現歩行実験に用いた模擬通路概要

という利点を持っている。試験床材表面の濡れは、所定の水分量を霧吹きで表面に吹き付けて再現した。

2.2 床の表面の粗さの測定

床材料の表面凹凸(以下、テクスチャという。)の測定はCTMeterを用いた。本装置は、CCD レーザー変位センサーを回転させ、テクスチャを測定する装置である。これらの測定結果から MPD (Mean Profile Depth: 平均プロファイル深さ) を算出した³⁾。

2.3 再現歩行実験

床材の濡れに関する再現歩行実験は、北海道工業大学構内に使用されている4種類の床材料を対象とした。図2に2種類の模擬通路概要を示す。

Case-1 の実験は降雨条件についての再現実験である。延長5mを1m毎に区間分けし同じ靴底の靴を履いた被験者が靴底を十分に濡らし模擬通路を歩行した後に、1区間毎に拭取り水分量を測定した。Case-2 の実験は積雪

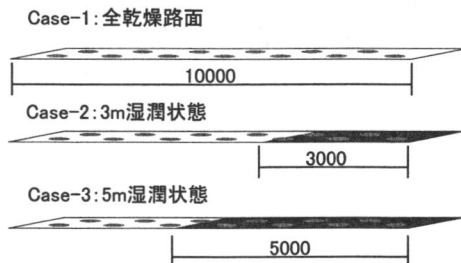


図 3 歩行時間測定に用いた模擬通路概要

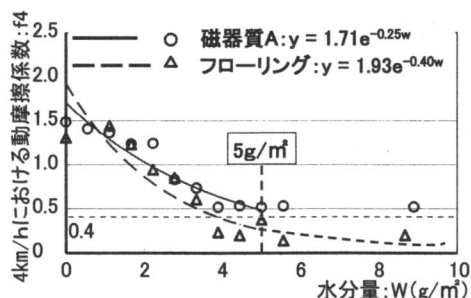


図 4 水分量と f_4 との関係

条件についての再現実験である。新雪を敷いた積雪路面を作製し、長靴を履いた被験者が積雪路面を通り、続いてマット上を歩行した後、玄関マット1枚毎の重量を測定し雪の持ち込み量とした。いずれの実験においても、水分量等の測定は歩行者数10人毎に実施し、100人になるまで実施した。

2.4 歩行時間の測定

床材料の濡れが歩行速度に及ぼす影響を検討するため、大学構内において床材料がPタイルである直線通路に10mの模擬通路を設け、全床面が乾燥状態であるときをCase-1、3m湿潤状態をCase-2、5m湿潤状態をCase-3としそれぞれの床面状況において本学学生(18~20代若者、男女混合)100人を対象に歩行時間を測定した。

3. 研究結果

3.1 床材料のすべり抵抗の測定

図4に、表面の形状に最も差異が見られる磁器質Aおよびフローリングについて、床

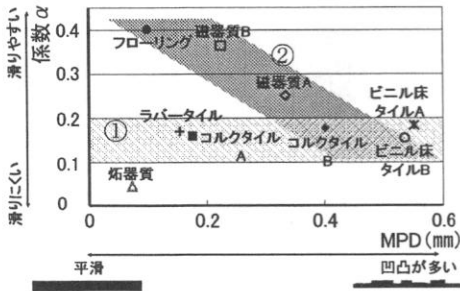


図5 係数 α とMPDとの関係

1 m²当りの水分量と動摩擦係数 f_4 のとの関係を示す。この2種類の床材料は断面模式図からも見てとれるとおり、磁器質Aは表面に細かい凹凸があり、すべりにくい床材料である。また、フローリングは、表面仕上げにクリア塗装されており表面は平滑であるため、すべりやすい床材料である。

図中に示す式は f_4 の減少傾向を示し、回帰式 $f_4 = f_0 e^{-\alpha W}$ と仮定する。式中の α は f_4 の感度を示し、 α の増減により f_4 も変動する。一般的に f_4 は 0.4 を下回るとすべりやすいとされている⁴⁾。磁器質Aは水分量 5g/m²までの間でなだらかな減少が見られるが、その後の大きな変動は見られず水分量が増加しても f_4 は減少しない。それに対しフローリングは少量の水で急激に f_4 が減少し、水分の増加により f_4 は減少し続ける。

3.2 表面粗さとすべりとの関係

図5は、各材料のMPDと f_4 の感度を示す係数 α との関係を示す。MPDの増加に伴い α が減少傾向を示し、水分量と表面粗さが互いに影響していることがわかる。本研究で測定した床材料は、網掛け①のゾーンと網掛け②のゾーンの2種類の傾向が現れた。網掛け①のゾーンはMPDと係数 α の関係が対応しており、凹凸が α に影響を及ぼしている。しかし、ラバータイル、コルクタイルAおよびB、ビニル床タイルAおよびBは、それぞれのMPDに差異が認められるものの、 α は近似しているという結果が得られ、この5種類の床材料は、すべり特性が同等のものであると言える。

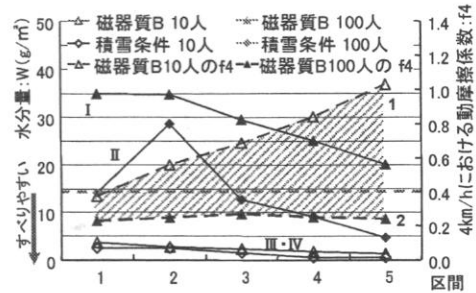


図6 区間毎の水分量および f_4 との関係

3.3 歩行距離と水分量との関係

図6に磁器質Bにおける歩行実験の結果を示す。歩行者数10人と100人の水分量および回帰式から求めた f_4 を併せて示す。図中、実線I、IIおよびIIIならびにIVはそれぞれ磁器質B100人における水分量、積雪条件100人における水分量および磁器質B10人ならびに積雪条件10人における水分量の変動を表している。破線1および2が磁器質B10人における f_4 および磁器質B100人における f_4 を表している。この床材の f_4 の変動は斜線部分において変動する。実験を行った条件下では、10人においては2区間目からすべりにくい状態となり距離が増すにつれ水分量が減少し f_4 が上昇していく。しかし、30人から100人までの人数においては多量の水が床面上に存在し、すべての区間で f_4 が 0.4 を下回るためすべりやすい状態であることが明らかとなった。このことから、断続的または集中して通行のある場所では、短時間にすべりやすい状態に陥ると言える。

積雪条件の場合、持ち込まれる水分量は降雨条件と比較すると少ないが、室温にて融解した雪が床面上にみぞれ状態で存在するため少量でもすべりやすい状態になると言える。また、みぞれ状の雪は靴底に付着しやすくその上を歩くことで水分の移動距離が延長され、広範囲にわたり濡れる状態になると言える。

3.4 濡れた床面における歩行時間

表2に床面の濡れ状況の差異による歩行時間の測定結果を示す。Case-1の全面乾燥時にお

表 2 歩行時間測定結果

条件	速度[sec/m]		平均速度[m/sec]
	乾燥	湿潤	
Case-1 全乾燥	0.71	-	1.41
Case-2 3m湿潤	0.71	1.33	1.12
Case-3 5m湿潤	0.71	1.21	1.04

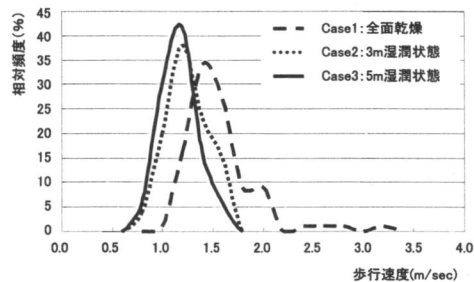


図 7 歩行速度と相対頻度との関係

ける平均歩行速度は 1.41m/sec であった。この Case-1 を基準速度と置くと、Case-2 の 3m 湿潤状態時では 1.12m/sec と歩行速度がおおよそ 2 割減速し、Case-3 の 5m 湿潤状態時には、1.04m/sec とおおよそ 3 割減速することが明らかとなった。

図 7 に歩行速度と相対頻度との関係を示す。濡れ範囲の拡大により頻度の最大値を低速側に移動させかつ頻度も増加させている。ただし本実験結果は、大学構内にて実施したもので被験者も 18～22 歳程度に限定された若者を対象に行った。不特定多数の出入りする建物は、幅広い年齢層かつ様々な身体状況の方々が利用する。高齢者や車いす利用者ならびにハンディキャップを抱えた人の場合、床面の濡れによるさらなる歩行時間の遅延が予測される。このように、床面の濡れ状況が歩行速度に大きく影響を与えることが明らかとなった。

4. まとめ

降雨や積雪により建築物の出入口付近の床材料は、歩行者数が多くなると短時間で多量の水分が持ち込まれ、出入口に近い地点からすべりやすい状況に陥る。また、床材料のすべりに影響を与える要因は表面に施されてい



写真 3 雁木空間

る凹凸だけではなく、材質および仕上げなども密接に関係している。

以上のことから、

- 1) 建物内にできるだけ水分を持ち込ませない建築計画が必要である。
- 2) 現行の床材料におけるすべりへの対策が必要である。

例えば、写真 3 に示すようにアプローチ部分に雁木などの緩衝空間を設置することにより、積雪を緩和することができる。緩衝空間内も水処理をすることで水分の建物内への侵入をある程度抑制できる。また、最も出入口に近い箇所から建物内部へ向かい、すべり特性の異なる数種類の床材料を段階的な使用や、目地の深さおよび幅を段階的に大きくするなど具体的な策が挙げられる。しかし現行の基準では、雁木空間などの囲われた部分が面積に算入されることや、コストの面を考えるとほとんど対策が行われていないのが現状である。これからの課題である。

【参考文献】

- 1) 細川和彦 他 2 名：建築物周辺の積雪が避難行動に及ぼす影響 日本建築学会計画系論文集 第 560 号，pp. 167-172，2002 年 10 月
- 2) 小野英哲 他 3 名：床のすべりおよびその評価方法に関する研究，日本建築学会論文報告書 第 321 号，pp. 1-7，1982. 11
- 3) 安部裕也・亀山修一 他 3 名：Circular Texture Meter (CTM) と DF テスタによる国際摩擦指標 (IFI) の算出，土木学会舗装工学論文集第 4 巻，pp. 15-22，1999. 12
- 4) 牧 恒雄：歩道用摩擦係数測定試験機に関する研究 土木学会第 49 回年次学術講演会 pp. 6-7，1994 年 9 月

積雪を考慮した床面のすべり特性と避難行動について その2 積雪および床のすべりを考慮した避難時間の推定

内藤恵¹、相茶日出海²、細川和彦³、苫米地司³

(1: ㈱雪研スノーイーターズ、2: 道工大大学院、3: 道工大)

1. はじめに

本章では、床のぬれによるすべりと屋外積雪状況が避難行動に与える影響を明らかにするため、システムダイナミックスを用いた避難時間のシミュレーションを行った。

2. 積雪および床のぬれを考慮した避難時間の推定方法

システムダイナミックスによるシミュレーションの有用性は筆者らがこれまで行った研究¹⁾で明らかになっている。本研究で行うシミュレーションでは、建築防災計画指針²⁾(以下、「指針」という。)に示されている避難時間の計算方法における諸条件に加え、床のぬれおよび積雪期における屋外避難経路の管理状況を考慮した。条件および避難時間の評価基準が指針を満たす建築物を基準とし、モデル化して行った。図1に示すモデルは、ある建築物の角の居室と想定し、200 m²の居室に100人の避難者がおり、3つある出入口が出火の影響で2つしか使えない状況である。よって、居室の避難経路は、出口Aを通るパターンおよび出口Bを通るパターンの二通りとなる。この廊下Bの床面を、僅かな水分ですべり抵抗が大きく減少するPタイルであることとし、ぬれ状況により歩行速度を変化させた。廊下Bが乾燥状態では1.0m/s²⁾とし、ぬれている状態では、前報その1における歩行実験の結果から、指針より4割減の0.6m/sとした。次に、積雪条件として、屋外避難経路が圧雪状態で一人分の幅しか確保されていない状況を想定した。既往の研究結果から、歩行速度を1割減の0.9m/sとし、避難経路幅を0.55mとした。これらの条件を組み合わせたシミュレーションパターンを表1に示す。

3. 避難時間の推定結果

シミュレーションの結果、床のぬれおよび積雪状況を考慮しないaのみが、指針法による計算結果と一致した。次に、床面のぬれを考慮したbをみると、aと比較して37秒遅延した146秒であり、指針法による階許容避難時間からも約30秒遅延する結果となった。このように、床面のぬれによる歩行速度の低下が避難時間の増加に繋がり、設計時に想定した避難時間を大幅に上回ることが明らかとなった。積雪による影響の比較は、aおよびcにみることができる。cは、aよりも45秒遅延している。次に、cおよびdをみると、その差6秒と僅かな遅延であった。避難時間の遅延が僅かなのは、このケースにおいては、屋内のぬれ状況よりも積雪の影響を受けた屋外避難経路状況に大きく支配されているためである。このように、屋内のぬれ状況は避難時間の遅延をもたらす、屋外避難経路の管理状態が不十分な場合その遅延はさらに増大することが明らかとなった。

4. まとめ

図3にまとめとして積雪および床のぬれが避難時間の遅延に与える影響を湿潤範囲の増加とともに示す。床の濡れ範囲が増加するとともに、夏および冬を想定した避難

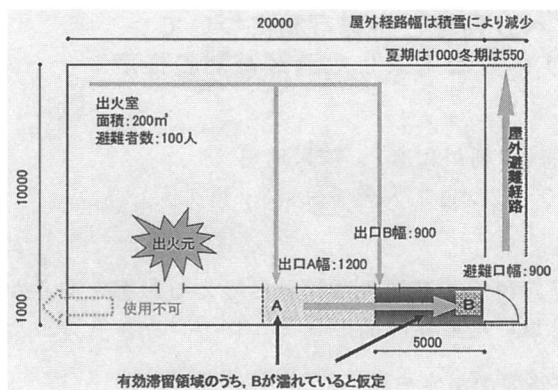


図1 シミュレーションに用いたモデルの平面概要

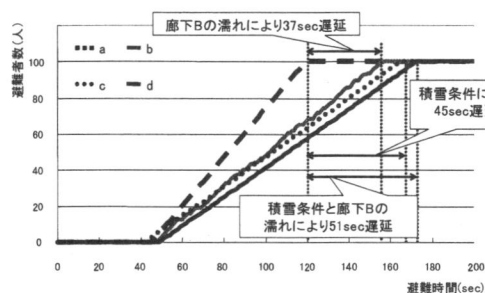


図2 積雪および床の濡れを考慮したシミュレーション結果

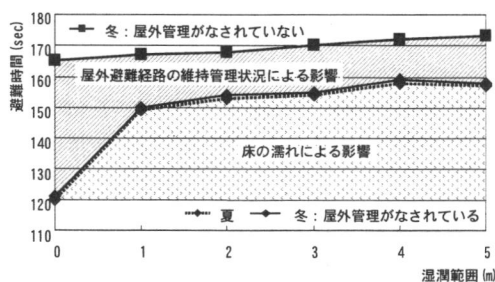


図3 積雪および床の濡れが避難時間の遅延に与える影響

時間は増加する傾向を示す。夏の床の濡れのみによる影響と冬の屋外避難経路に対する維持管理がなされていない場合とでは、避難時間に 10 秒以上の大きな差がみられる。特に、湿潤範囲 1 m においてはその差が顕著である。これに対し、積雪期であっても、維持管理を十分に行い夏と変わらぬ屋外避難経路幅が確保できる場合には、図に示すように夏とほぼ変わらない時間で避難が完了する。このように、積雪期における屋外避難経路の維持管理が避難時間の遅延を軽減することが明らかとなった。

積雪地域における屋外避難経路および施設は露出していることが多く、冬期間の使用が困難である。一因として、屋根等を架けることによって床面積への算入を余儀なくされるといった法的な問題がある。フィンランドでは、非暖房室は床面積に算入しないといった法律の緩和措置が図られている。また、札幌市では商業施設の避難階段を空隙率 50%の有孔板を用いて覆う試みがなされ、効果が確認されている。この場合も、避難階段は床面積に算入されていない。このように、積雪地域に適した法律の緩和も含めた対策が必要であると考える。

【参考文献】

- 1) 細川和彦 内藤恵 吉米地司：建築物周辺の積雪が避難行動に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集 第 560 号、162-172、2002. 10
- 2) 日本建築センター編：新・建築防災計画指針、日本建築センター発行、1996. 11

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

斎藤新一郎（環境林づくり研究所）・小泉重雄（北海道開発局岩見沢道路事務所）

まえがき

郊外における並木（道路樹）は、除雪にともなう被害——幹折れ、幹割れ、幹曲がり、枝抜け——を受けやすく、櫛の歯が欠けるように、年々、枯損してゆく傾向にある（図-1）。けれども、冬季の交通安全から、除雪を止めることは出来ないのであるから、並木を健全に維持管理するためには、除雪による被害への対策を講ずる必要がある。これに関して、筆者たちは、道路路面における除雪+積雪のグライドとその軽減手法を検討してきた（斎藤 2002, 2003a, 2003c, 斎藤ほか 1993, 2001, 2003）。そして、今回、国道 12 号美瑛市茶志内町において、防雪杭の設置試験から、除雪対策に関しての良い成果が得られたので（斎藤 2003b, 札幌開発建設部岩見沢道路事務所 2003）、発表する。

なお、本論の作成に際し、現地検討および資料提供でお世話になった、岩見沢道路事務所および㈱エーティックの関係各位に対して、筆者たちは、感謝の意を表する。

試験地の概況

防雪杭の設置場所は、国道 12 号美瑛市茶志内町の上り線である。ここでは、除雪害が甚だしく、幹折れ木ないし劣勢木が多い（写真-1）。

既往の植栽木を調べたら、それらの多くが、多少とも雪害を受けていて、枝抜けの高さは 3m にも、ノネズの食害の高さは 2m 近くにも達していた。つまり、除雪が水路沿いでは 3m に達するのである（表-1）。

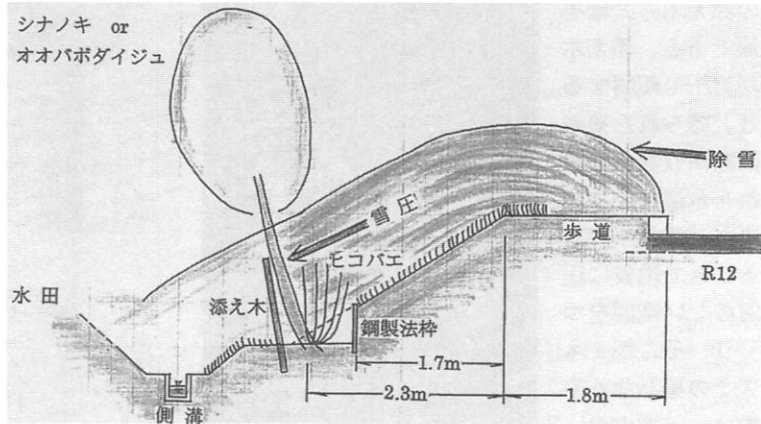


図-1 除雪にともなう植栽木の雪害の模式図

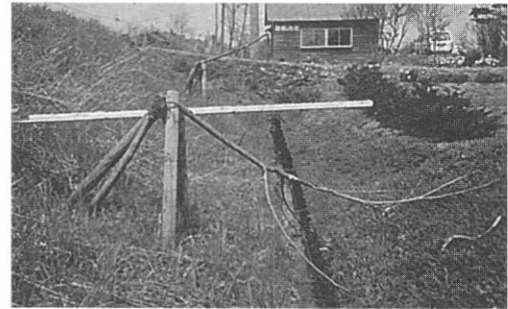


写真-1 除雪による植栽木の幹折れ・枯死

表-1 既往植栽木（シナノキ、オオバボダイジュ）の生育状況

No.	樹種	樹高	胸高直径	雪害高	食害高
1	オオバボダイジュ	3.1m	7.5cm	~2.0m	~1.9m
2	〃	5.5	11.5	~3.2	~1.6
3	シナノキ	5.4	11.0	~1.9	...
4	〃	6.0	11.6	~2.5	...
5	オオバボダイジュ	3.7 折れ	4.5	...	...
6	シナノキ	3.5 枯れ	3.5	...	...
7	〃	4.8	9.7	~1.5	~1.9

試験方法

除雪による雪圧害を防止ないし軽減するには、従来の添え木方式は不適である。添え木が雪圧で傾斜すると、縛られた植栽は曲がりないし折れを余儀なくされ、また、添え木があることで地表に圧雪のない空間をつくり、そこがノネズミの巣となりやすい——樹皮食いが生じやすい（写真-2）。

そこで、除雪圧のみを阻止するた

めに、雪圧防止杭を設置することになった。その仕様は、直径 10cm×長さ 2.5m の 3 本タイプと 2 本タイプである。つまり、植栽木より道路側に 0.5m 離して打ち込むのである。

結果と考察

調査は、除雪および積雪の多い 2003 年 2 月 13 日に行われ、防雪杭の設置区と未設置区とにおいて、2 箇所ずつ、雪断面の観察が行われた。

防雪杭のない場合（添え木付き）には、除雪圧および盛り土法面のグライド圧により、雪の層がほぼ平行に傾斜し、植栽木に覆い被さっていた（写真-3）。この圧力に負けて、添え木が傾斜し、植栽木が幹の根元曲がりを余儀なくされていたし、枝抜けも生じていた。つまり、従来の、除雪にともなう植栽木の雪害が確認されたのである（図-1、写真-1、2、表-1 参照）。

他方、防雪杭が設置された場合（添え木付き）には、ない場合と違い、除雪圧および盛り土法面のグライド圧が加わっても、雪の層は平行でなく、杭の位置で大きく褶曲していた。杭を越えてから、雪の層は植栽木に覆い被さっていたが、添え木も植栽木も、僅かな



写真-2 添え木も植栽木も除雪圧で傾斜したノネズミの樹皮食い

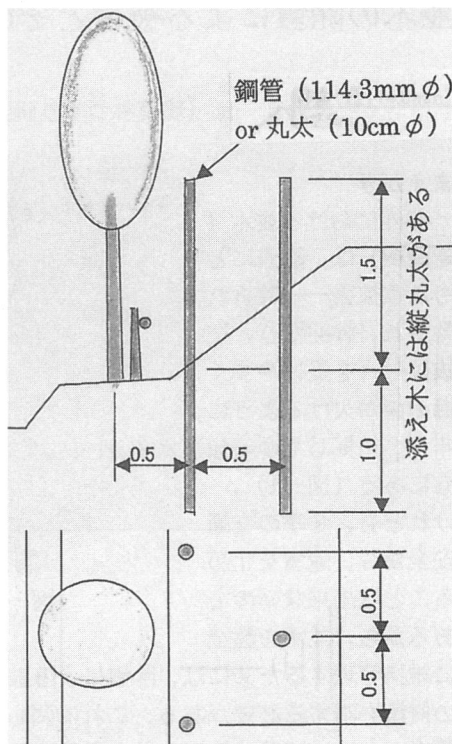


図-2 雪圧防止杭の設置方法（3本1組）

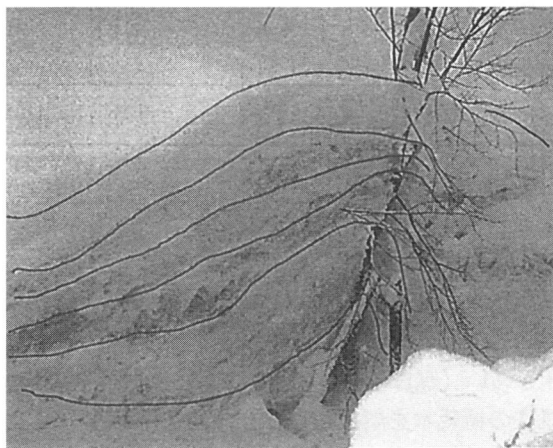


写真-3 従来の防雪杭がなく、添え木に縛られた植栽木は、除雪圧および法面のグライド圧によって、幹の曲りを余儀なくされ、雪害に到りやすくなる

曲がりで済んでいた。つまり、防雪杭を地下に 1.0m 打ち込み、地上に 1.5m 出すだけで、従来型の除雪にとまなう雪害が生じない状態がつくられていた（写真-4）。ただし、雪層内の枝には、雪の沈下にとまなう枝抜けが、融雪後に観察された。

なお、今回の実験では、防雪杭の 3 本 1 組と 2 本 1 組の違いは、確認されなかった。そして、鋼管杭と焼き丸太杭の違いも、耐久性や耐圧性に違いがある筈であるけれども、今回、確認されなかった。

防雪杭の機能は、模式的には、図-3 のようになるであろう（図-1 参照）。

除雪に対する杭打ちの必要性は、筆者たちの関係した場所だけでも、狩勝峠における長大な盛り土法面の木本緑化の除雪害、知床峠における除雪が雪崩・グライドをもたらして下方の天然林を破壊すること、塩狩峠の桜並木の除雪害、道央自動車道の除雪による防雪林の雪害（幹折れ、幹割れ）、等々に知られる（斎藤 2002）。また、雪崩防止林には、杭打ち工法が効果的なことが、いくつかの事例で知られている。

もちろん、ハード工法としての防雪杭のみでなく、ソフ

ト工法としての耐雪性の樹種の選択、裾枝打ち、下刈りなども、並木の育成には不可欠な保育技術である。

今後の課題

雪断面の観察だけでなく、雪圧の観測も必要である。そこから、防雪杭の強度、サイズ、配置、耐性などが判明し、より効果的な防雪杭の改良および設置、また、除雪方法の工夫・改良ができるにちがいない。

さらに、従来型の添え木方式を止める、排水性の改良およびグライド圧の低減のための植栽位置のレベルアップ、景観からみた防雪杭の改良、ほかにも検討してゆくべき課題であろう。

要 約

1. 並木の被害は、除雪にとまなう雪圧が主因であり、幹折れ、幹曲がり、枝抜けが生じる。
2. 除雪は不可避であるから、その対策を講ずる必要があり、杭打ち工法が簡単である。
3. 従来型の添え木縛り方式は、植栽木の正常な成長を妨げ、同時に、雪害を増大させる。

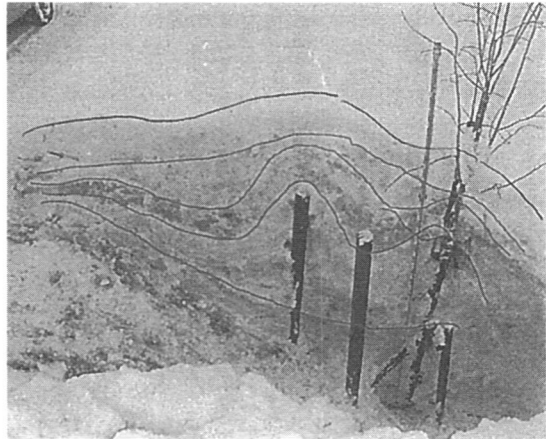


写真-4 防雪杭が設置されると、雪層が乱れ、その分、雪圧が緩和され、植栽木に幹の曲がりほとんど生じなくなる

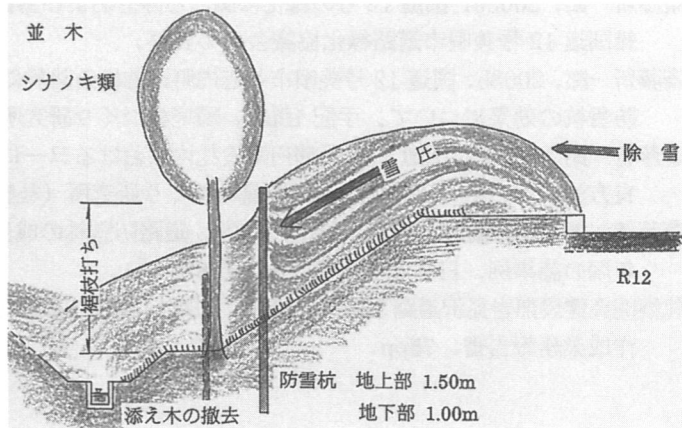


図-3 防雪杭の設置による除雪にとまなう雪圧の防止ないし軽減（模式図）

4. 防雪杭は、植栽木から 0.5m 離して設置することが効果的である。
5. 除雪+積雪の圧力を止めには、防雪杭の地上高が 1.5m 程度で十分である。
6. 防雪杭があると、除雪にともなう雪の層は、乱れて、雪圧が植栽木に当たりにくい。
7. 雪断面の観察のみでなく、雪圧をも観測すれば、防雪杭の改良が促進されよう。
8. 並木のみでなく、長大な切り土法面、盛り土法面における樹林づくりにおいても、グライド圧防止杭の設置が望まれる。
9. この杭打ち方式は、設置が容易であり、群状に配置することによって、鋼製柵工法に替わって、雪崩防止林の造成にも応用されよう。

参考文献

- 斎藤新一郎・林 敏雄, 1993. 雪圧防止杭と裾枝打ちの組み合わせによる排雪にともなう防雪林の雪害の軽減について. 北海道の雪氷, no.12: 37~40.
- 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.
- 斎藤新一郎, 2002. 路傍植栽木の除雪による被害とその対策について. 雪氷大会講予講集, 2002: 111+資料 38pp.
- 斎藤新一郎, 2003a. 国道 12 号の緑化に関わる除雪および雪害対策について. 手記 10pp., 一般国道 12 号美唄市道路緑化協議会への資料.
- 斎藤新一郎, 2003b. 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 19pp., 環境林づくり研究所 (岩見沢道路事務所へ報告).
- 斎藤新一郎, 2003c. 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 (札幌開発建設部へ提案).
- 斎藤新一郎・山崎勝志・佐々木正博, 2003. 道路防雪林の成長経過——札幌～岩見沢間の 20 年間の諸事例. 日林北支論集, no.51: 98~101.
- 札幌開発建設部岩見沢道路事務所, 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.

人工雪を用いた風洞実験による吹きだまり形成の再現

中 静 仁平 (北海道工業大学大学院)

細 川 和彦 (北海道工業大学)

老 川 進 (清水建設)

苫米地 司 (北海道工業大学)

1. はじめに

建築物周辺に形成される吹きだまりは、日常生活の障害になると同時に、避難経路の寸断にも繋がり人命に関わる大きな障害ともなる。このため、積雪地域における建築物の計画段階において吹きだまりの形成位置を予測し、その対策を検討する必要がある。既往の研究では、活性白土等の模擬雪を用いた風洞装置で吹きだまりの再現実験が大きな実績を納めている。しかしながら、これらの再現実験は自然条件下で発生する吹きだまりを十分に再現するに至っていないのが現状である。

筆者らは、これらの問題を検討するために1998年から屋外に試験体を設置し、自然条件下で発生する吹雪によって形成される吹きだまりの形成過程を時系列的に観測してきた。さらに、2000年度から防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所設置の低温風洞装置を用いた人工雪による屋内吹雪風洞実験で前述の屋外観測結果の再現実験を試みている。本報告では、2000年度から2003年度まで実施した人工雪による屋内吹雪風洞実験手法とその再現性について述べる。

2. 吹雪風洞実験の概要

吹雪風洞実験は、防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所設置の低温風洞装置(密閉型回流装置W1.0m×H1.0m×L14.0

m)を用いた。実験には、同研究所内の低温室で作製した自然雪の雪粒子に近い人工雪を用いた。実験室内の気温は -10°C とし、飛雪流量はスノーパーテクルカウンター (SPC)、吹きだまり堆積状況はレーザー変位計でそれぞれ測定した。また、吹きだまり形成状況をデジタルビデオカメラで観察した。以下に各年の実験概要を示す。

2.1. 2000年度の実験概要

2000年度の吹雪風洞実験は、1辺16cmの立方体モデルを対象とし、人工雪の供給は図1(A)に示すように「床面」と「天井」からの2つの方法を採用した。「床面」からの供給は、低温風洞装置の標準的な方法で風洞内の風上側底部に設けた貯雪箱に雪を充填し、貯雪箱を一定の速度で押し上げ、すりきり棒で雪をすりきり、地吹雪を再現する方法である(写真1(A)参照)。また、「天井」からの供給は、風洞内の風上側上部に設けた「ふるい」から雪を供給して降雪を伴う吹雪を再現する方法である(写真1(B)参照)。さらに床面には吹きだまりのきっかけを作るため、雪の付着力を増加させるためガーゼを敷いた。

2.2. 2001年度の実験概要

2001年度の吹雪風洞実験は、1辺10cmの立方体モデルを対象とし、前年と同様に「床

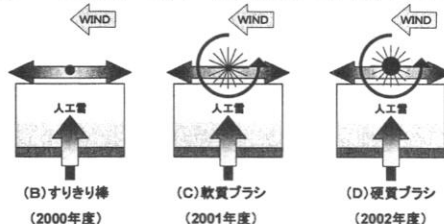
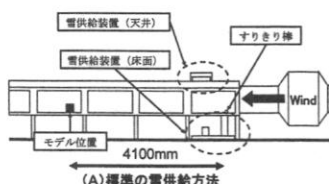
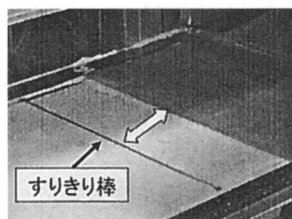
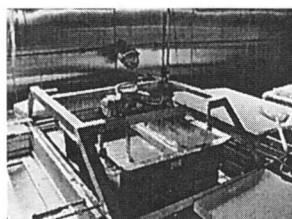


図1 各年度別 低温風洞雪供給方法



(A) 床面



(B) 天井

写真1 2000年度雪供給装置

面」と「天井」からの2つの供給方法を採用した。「床面」の供給については、図1(C)および写真2に示すように前年度の「すりきり棒」から「軟質ブラシ」へ変更し回転数400rpmにて風上側へかき上げ、吹雪を再現させる方法へと改良を加えた。なお、「天井」からの供給方法は前年度と同様である。さらに、モデル周辺の床面には前年度より粗度を大きくし、「ガーゼ」から「1mm メッシュ」のネットに敷き変えた。

2.3. 2002年度の実験概要

2002年度の吹雪風洞実験は、1辺が7cmの立方体モデルを対象とし、人工雪の供給には硬質ブラシを用いた。なお、硬質ブラシの回転数は1600rpmとした。モデル周辺の床面には前年度より粗度を大きくし、「1mm メッシュ」から「4mm メッシュ」のネットに敷き変えた。

2.4. 2003年度の実験概要

2003年度の吹雪風洞実験は、1辺が7.5cmの立方体モデルを対象とし、風上側に一体と風下側に一体モデルを設置しサルテーション高さを制御した。モデル周辺の床面は、1mm メッシュ、2mm メッシュ、4mm メッシュの異なる床面を用意した。これらの床面粗度はCTMeterで計測した。測定した床面粗さからMPD(MeanProfileDepth: 平均プロファイル深さ)を算出した。なお、人工雪の供給、ブラシの回転数は前年度と同様である。

3. 実験結果

3.1 吹雪の再現状況

2000年度は、低温風洞の標準的な雪の供給方

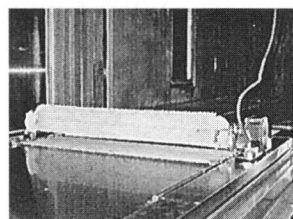


写真2 軟質ブラシ

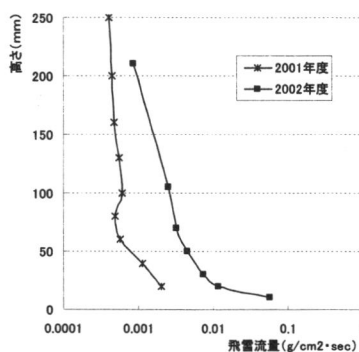


図2 年度別 飛雪流量の鉛直分布

法で実験を行った。床面からのすりきりによる雪の供給では、モデル周辺に目視で確認できる程度のわずかな吹雪が発生した。また、床面からの供給に天井からの供給を加えてもモデル周辺には顕著な吹雪の増加はみられなかった。このように、低温風洞装置の標準的な雪の供給方法では、鉛直分布の飛雪流量を計測するまでの吹雪の再現には至らなかった。

2001年度は、床面からの雪の供給方法を軟質ブラシに変えた結果、モデル周辺の吹雪は、鉛直分布の飛雪流量を計測できるまで吹雪量が増加した。

2002年度における低温風洞の実験では、雪の供給に硬質ブラシを用いた。その結果、モデル周辺の吹雪は、図2に示すように2001年度の結果と比較しても、顕著な増加がみられる。飛雪流量の鉛直分布は、10倍程度増加している。高さもありモデル高さ以上でも目視で確認できるほどまで増加した。各ブラシにおける雪のかき上げ状況を写真3に示す。写真のように軟質ブラシでは、鉛直方向に十分なかき上げを行うことができず、ブラシの



(A) 軟質ブラシ (B) 硬質ブラシ
写真3 ブラシによる雪のかき上げ状況

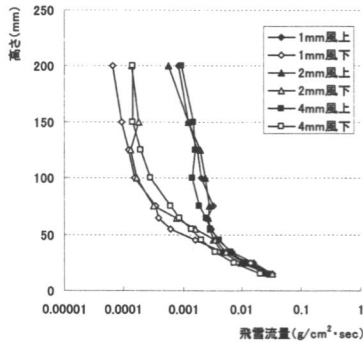


図3 風上・風下の飛雪流量

芯も軟らかいため回転数を増加できない。これに対し硬質ブラシでは、回転数を増すことにより雪を高い位置へ大量にかき上げることが可能となった。

2003年度における低温風洞の実験では、前年度と同様に雪の供給を行った。風上側と風下側のモデル周辺における飛雪流量を、図3に示す。風上側の鉛直分布をみると2002年度と同様にモデル高さ以上にも飛雪流量が供給されているのに対し、風下側ではモデル高さ以下に飛雪流量が供給されている。これは、サルテーション高さの制御がほぼ出来ていると考えられる。

3.2. 吹きだまり再現状況

2000～2002年度の吹きだまりの再現状況を写真4に示す。屋外観測と比較する。写真4 (a) は、1998年度の屋外観測例であり、一辺が1mの立方体モデル周辺に形成される吹きだまりである。2000年度の低温風洞実験では、モデル周辺の床面に吹きだまりのきっかけを作るためガーゼで粗度を大きくした。

写真4 (b) に示す吹きだまり形成状況をみると、Aのモデル風上側の吹きだまりは屋外観測と近似しているものの、Bのモデル近傍風下側およびCのモデル風下側の吹きだまりの形成に相違がみられる。これは、モデル周辺における床面の粗度が小さいため飛雪粒子を捕らえるには至らなかったためと考えられる。この傾向は、実験風速を変化させても同様であった。

2001年度の実験では、モデル周辺の床面を1mmメッシュに変更し粗度を前年度よりも大きくした。屋外観測の結果と写真4 (c) が示す吹きだまり形成状況と比較するとAのモデル風上側およびBのモデル近傍風下側における吹きだまり形成が近似したものの、Cのモデル風下側では吹きだまりの形成には至らなかった。このようにモデル周辺の床面をガーゼから1mmメッシュに敷き変えたもののモデル風下側の吹きだまり形成のきっかけをつくるには粗度が小さいと考えられる。

2002年度の実験では、モデル周辺の床面を4mmメッシュに敷き変えた。モデル周辺の吹きだまりは、写真4 (d) に示すようにAのモデル風上側、Bのモデル近傍風下側およびCのモデル風下側に形成された。

以上のように、モデル周辺の床面の粗度が1mmメッシュの場合、モデル風下側に吹きだまり形成が屋外観測との近似に至らなかった。粗度が小さい1mmメッシュの場合、モデル風下側に流入する雪粒子を捕らえることができず、風に飛ばされ吹きだまりの形成に至らなかった。それに対して、モデル周辺の床面の粗度を4mmメッシュにして粗度を大きくした場合、モデル風下側の吹きだまり形成が屋外観測と近似した。粗度の大きい4mmメッシュの場合、モデル風下側に流入する雪粒子を捕らえることができ、雪粒子を捕らえたところから吹きだまりの形成が促進され屋外観測の吹きだまり形成に近似したと考えられる。

2003年度の実験では、サルテーション高さを制御し床面粗度を1mmメッシュ、2mmメ

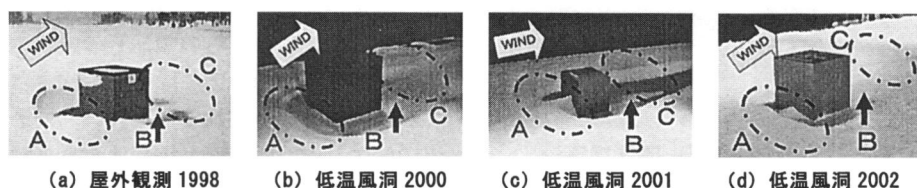


写真4 年度別 吹きだまり形成状況

ツシュ, 4mmメッシュに変化することで吹きだまり形成状況の差異を観測した。

CTMeterの計測結果から得られたMPDを図4に示す。メッシュの目合が大きくなるに伴い, MPD:平均プロファイル深さも大きくなる。このことより, 1mmメッシュより4mmメッシュの方が表面粗度が大きいといえる。次に表面粗度を変化させた吹きだまり形成状況を表1に示す。屋外観測の例と床面粗度が1mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較するとサルテーション高さに関わらずモデル風上側, モデル風下近傍の吹きだまりは形成されたもののモデル後方の吹きだまりは形成されなかった。次に, 屋外観測の例と2mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較すると1mmメッシュと同様であった。屋外観測例と4mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較するとサルテーション高さに関わらずモデル風上側, モデル近傍風下側およびモデル風下側に屋外観測と近似した吹きだまりが形成された。

吹きだまり形成の再現をするには, ある程度の吹雪量とモデル周辺の床面の粗度を大きくすることにより屋外観測で形成された吹きだまりに近似することができると考えられる。

4. まとめ

2000年度から2003年度までに吹雪風洞実験手法の検討を行い, 吹きだまり再現実験を実施してきた。2000年度から2002年度の低温風洞実験では, 吹きだまり形成を目的に実験条件を複数変更したため吹きだまりの形成条件を絞り込むことができなかった。2003年度の低温風洞実験では, 実験条件である供給方法および風速を変えずにモデル周辺の床面粗

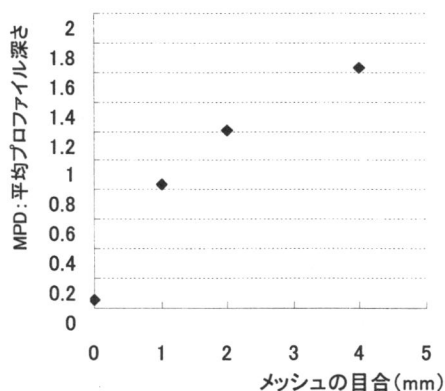
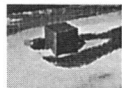


図4 メッシュの目合におけるMPD

表1 各粗度の形成状況

	風上側	風下側
1mm メッシュ		
2mm メッシュ		
4mm メッシュ		

度のみを変えることで吹きだまり形成状況の差異を観測した。

自然雪の雪粒子に近い人工雪を用いて吹きだまりを再現する条件として, 風路内の吹雪量を多くすることが考えられる。さらに, モデル周辺の飛雪粒子を捕らえやすくするためモデル周辺に粗度を4mm程度のメッシュを用いることのふたつの条件が必要であることが明らかとなった。今後の課題として低温風洞による吹きだまり再現実験手法の確立と実現象との相似性の問題がある。

雪粒子飛び出し風速と雪粒子結晶形

北見工業大学 佐藤研吾 高橋修平

1 はじめに

地吹雪の発生条件を調べるために、ミニ風洞を用いて自然雪面の雪粒子飛び出し風速 V_T を測定した。平行して雪粒子終端落下速度 w 、粒径、安息角、結晶形、気温測定を行い、その関連を調べた。飛び出し風速は新雪時 3～5m/s であったが、1～3 日間で約 10m/s となった。雪粒子の安息角測定による摩擦係数および飛び出し風速、終端落下速度から雪面と雪粒子間の結合力比を見積もり、結晶形別に分類した。

2 雪粒子飛び出し風速・終端落下速度

平らな積雪表面の雪粒子の釣合い(図 1)において、風によって抗力を受けて飛び出そうとする時に、雪粒子が受ける空気抗力 F_v は

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

(C : 抵抗係数 S : 断面積)

雪粒子が雪面から受ける力 F_r は

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

(μ : 摩擦係数 F_b : 粒子間結合力)

雪粒子が飛び出す瞬間はこれらの力が釣り合い、 $F_v = F_r$

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

が成り立つ。

静止空気中での雪粒子の運動について考えると

$$C \rho_0 S w^2 = mg \quad (4)$$

(w : 終端落下速度)

雪粒子が雪面から飛び出す時の風速を V_T とすると、 $C \rho_0 S$ を消去することができ、

$$V_T = K \sqrt{\mu + \frac{F_b}{mg}} w \quad (5)$$

(K : 粒子高さの補正係数)

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 は比例関係となる。

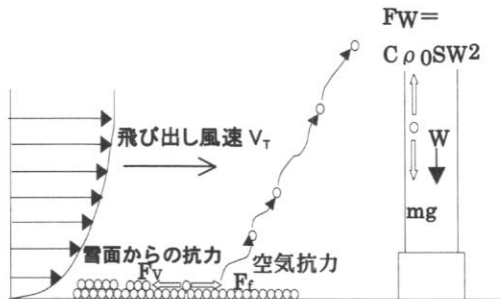


図1 雪粒子にかかる力の概念図

3 観測方法

吹雪発生を想定し、ミニ風洞の中で雪粒子を飛ばす実験を行った。北見工業大学構内グラウンドにおいて、2003 年 1 月 1 日～2 月 28 日、毎朝 7～9 時に観測を行った。積雪表面を乱さない状態で表面積雪サンプルを採取して、ミニ風洞下部(図 2)に設置し、風洞内の風下から吸引し、風速を徐々に上げていき雪粒子が飛び出した時の風速 V_T を得た。同時に終端落下速度 w の測定を行った。終端落下速度測定装置(図 3)は、自然積雪表面より雪粒子を採取し高さ約 180cm、直径 8cm の筒の中を落下させ、間隔 20mm の 2 つの赤外センサーを通過させる。センサーを通過する時間から速度を求め、信号強度により粒径を求める。雪粒子 50～100 個の値の平均を測定結果とした。

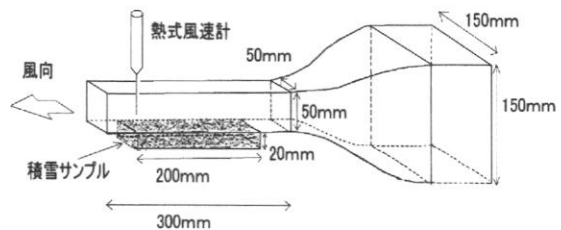


図2 ミニ風洞

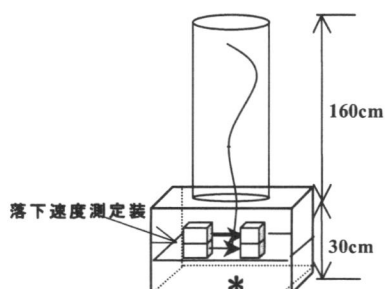


図3 終端落下速度測定装置

4 雪粒子飛び出し風速

図4に雪粒子飛び出し風速 V_T 、実験時気温、日降雪深、毎時間気温を表す。 V_T の*印は表面積雪が乾いた新雪であることを示し、○印はその他の雪粒子形状を示す。2001年1月19、27、30日は1cm以上の降雪があり、 V_T は5m/s前後と小さい値を示したが、それぞれ降雪から1~2日経過すると約10m/sと大きな値となった。降雪後の最高気温はほとんど-5℃以上であり、急に V_T が大きくなったと考えられる。

V_T の増大する原因としては、昇華や表面融解により表面が滑らかな形状に変化して、空気抵抗が小さくなることや、雪面と雪粒子間の結合力が增加することが考えられる。

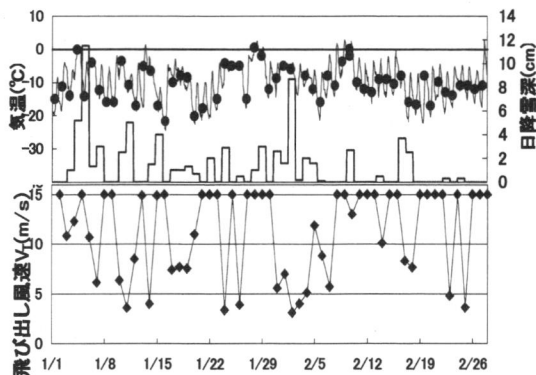


図4 飛び出し風速 V_T と気象条件

5 雪粒子終端落下速度

図5に2001年1月1日~2月28日の終端落下速度と粒径の観測結果を示す。また図6に粒径と終端落下速度の関係を示す。新雪の場合(*印)の終端落下速度は、粒径によらず0。

5~1.2m/sの小さい値を示したのに対し、新雪ではない雪の場合、終端落下速度は1.2m/s以上の値を示し、粒径が大きいほど終端落下速度は大きくなる傾向を示した。これは降雪後時間を経ると、粒子が丸みを帯びて球の場合の関係式に近づくとして説明される。

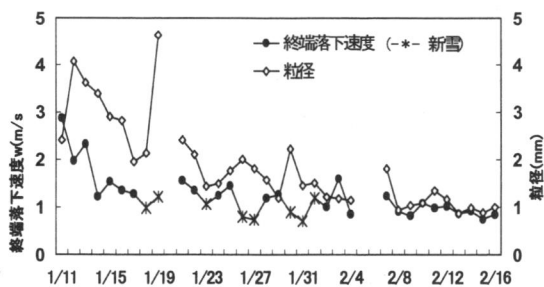


図5 結晶系分類による V_T と W の関係

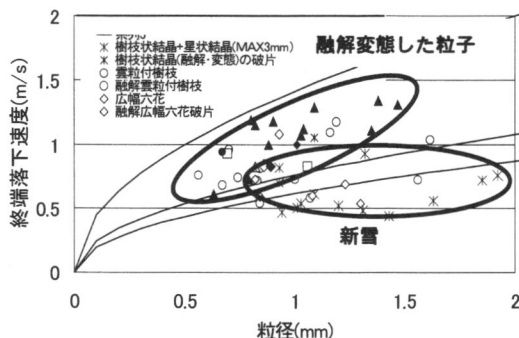


図6 終端落下速度と粒径の関係

6 結晶形による違い

2003年1月1日~2月28日における飛び出し風速 V_T と顕微鏡写真から判断した雪結晶形を示す。ザラメ雪(融解・再凍結の結果、大きい粒径となった雪粒子)は V_T の測定限界である15m/s以上である。

雪粒子結晶形等による違いをさらに明らかにするため、図6に飛び出し風速 V_T と終端落下速度 w の関係を結晶形別に表す。樹枝状結晶の場合は、 $V_T=4\sim6$ m/s, $w=0.6\sim1.0$ m/sであり、広幅六花や雲粒付樹枝は、 $V_T=5\sim10$ m/s, $w=1.0\sim1.5$ m/sの範囲にあった。融解変態粒子の場合、雪粒子結合力 F_b が大きくなったため V_T も大きくなったと考えられる。

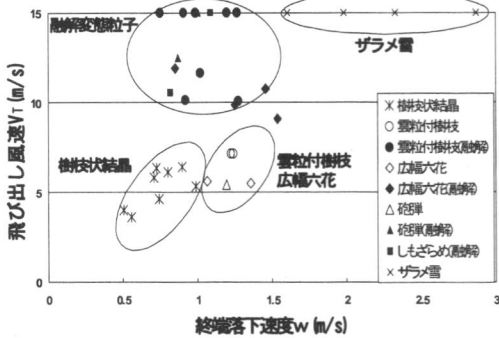


図6 結晶系分類による V_T と W の関係

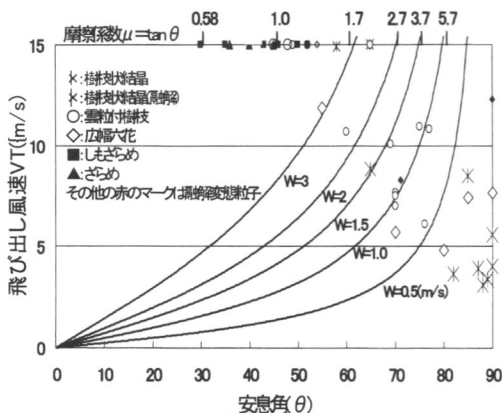
7 安息角による摩擦係数観測

雪粒子間の摩擦力を調べるために安息角の観測を行った。安息角を θ とする時、雪粒子の摩擦係数 μ は

$$\mu = \tan \theta \quad (6)$$

と表される。

安息角の測定は積雪表面の雪粒子を採取し、人工的に雪粒子を落下させて直径 6cm の円板に雪を積もらせ、円錐形の斜面の角度を測定した。図7に安息角実験による摩擦係数 μ と V_T の関係を示す。データ(*印)は $w=0$ 。5m/s 前後の値に相当するが、旧雪はこの関係式から大きくはずれ、大きな V_T を示す。これは融解・再凍結のために、雪粒子結合力 F_b が大きくなり、式(5)において F_b が無視できなくなったためと考えられる。



6 粒子と雪面間の結合力の考察

前述した雪粒子結合力 F_b について考察す

ると、(5)式より F_b/mg は、

$$\frac{F_b}{mg} = \frac{V_T^2}{K^2 W^2} - \mu \quad (7)$$

と表される。 F_b/mg は積雪表面粒子が雪面に対し、どのくらいの強度で付着しているかの指標となる(以後、「結合力比」とする)。安息角 θ から求めた摩擦係数 $\mu (= \tan \theta)$ と、 V_T 、 w の測定値より式(6)を用いて求めた結合力比 F_b/mg を図8に示す。新雪である広幅六花や樹枝状結晶のとき、1~3 と結合力比が小さいのに対し、1月28日以降は融解再凍結を繰り返したため、雪粒子結合力が発生し、結合力比 F_b/mg は 5~10 という大きな値を示したと考えられる(図9)。

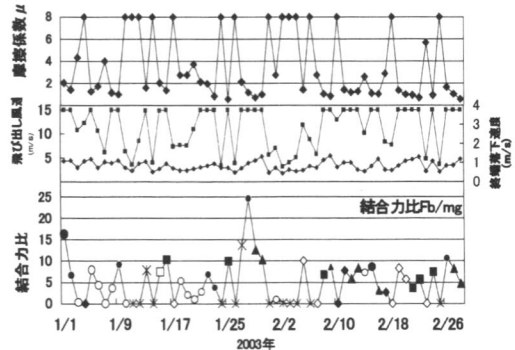


図8 結合力比の時系列

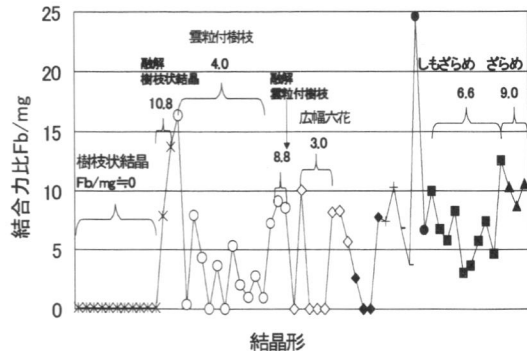


図9 結合力比の結晶形別

7 まとめ

- 1) 自然雪面の雪粒子飛び出し風速 V_T は降雪後、日数を経るに従い大きくなった。樹枝状結晶の場合 5m/s 前後だったが、雪粒子の変態に伴い 1~3 日間で 10m/s 以上に大きくなった。

- 2) 枝状結晶の場合、雪粒子飛び出し風速 V_T は 5m/s 前後と小さく、広幅六花や雲粒付樹枝は 5~10m/s の値を示した。融解変態雪粒子は 10m/s の大きい値を示した。
- 3) 安息角は新雪時で 50° 以上、雲付結晶や旧雪では 50° 以下となった。
- 4) 安息角による摩擦係数 μ と飛び出し風速 V_T 及び終端落下速度 w から、粒子結合力 F_b を自重で割った結合力比 F_b/mg が見積もられ、樹枝状結晶ではほぼ 0 と小さく、融解変態粒子については 5~25 の大きい値を示した。

積雪層構造予測数値シミュレーションの開発と利用について

齋藤佳彦、榎本浩之（北見工業大学）

はじめに

積雪層構造の予測は雪崩予知に有効であり、積雪水文過程や気象モデルの計算における地表面の扱いにも重要な情報である。現在、各種気象データ（気温、積雪深、日射、風速、降水量など）を利用した様々な積雪モデル（有名なものでは、スイスの SNOWPACK やフランスの Crocus）が開発されている。本研究では気温や降水量など比較的入手が容易な気象データを用い、なおかつ少ない気象データの使用で計算可能な積雪層構造モデル開発を目指した。

なお、本研究中で用いたデータはアメダスの降水量、気温（モデル計算で使用）、積雪深、北見工業大学で観測を行った積雪断面データ（比較用）である。

1 モデルのコンセプト

本研究は水津(2002)のモデルを基本に雨雪判定、しもぢらめ化過程、地温の影響など改良を加えて、少ない入力で総合的な出力ができるモデルの開発を目指した。

入力としてアメダスの気温、降水量データ(1時間毎)を利用し、出力データとして、積雪深、積雪水量、雪質を追加した。

そのため、基本となったモデルは乾雪表層雪崩を予測するものであったが、本モデルは流出予測や気象モデルでの利用、過去の事例の検証、再現などが可能であると考えられる。

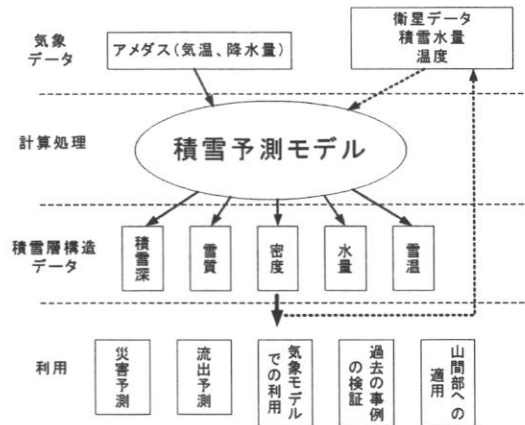


図1 モデルのコンセプト

2 計算の流れ

計算の主な流れを図2に示した。入力は気温、降水量(1時間毎データ)、地形条件(斜度)、主な出力は密度、雪質、各層の厚さ、雪温、積雪の安定度などである。計算過程で積算積雪荷重、粘性係数に関する係数などを求める。

改良として初冬からシミュレートが行えるように気温による雨雪判定、地温の影響を考慮した雪温計算、厳寒地で発生するしもぢらめ化の考慮などを加えた。

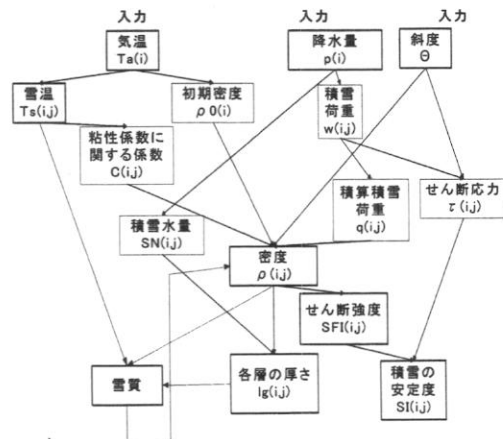


図2 計算の流れ

3 基本となる計算

3.1 密度

モデルでは遠藤(1993)より、各層の密度を以下のように求めた。

$$\rho(t, t_i) = \left\{ \frac{ng}{C} \cdot \cos^2 \theta \cdot Q(t, t_i) + \rho_0^n \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$\rho(t, t_i)$ は t 時間の t_i 層の密度、 g は重力加速度、 θ は斜度、 $Q(t, t_i)$ は層にかかる積算積雪荷重、 ρ_0 はその層の 1 時間前の密度、 C は粘性係数に関する係数、 n は 4 である。

なお、 C は粒径や雪質、温度などに依存するが、Abe(2001)では以下のような式で示した。

$$C = 0.21 \cdot \exp(-0.166 \cdot Ts(t, t_i)) \quad (2)$$

Ts は雪温を示す。

3.2 しもざらめ化に伴う粘性係数の変化

山崎(1998)より、しもざらめ化の判定値となる有効温度勾配の時間積算を以下のように求めた。

$$G_t(t + \Delta t, t_i) = G_t(t, t_i) + g_t(t + \Delta t, t_i) \cdot \Delta t$$

(3)

g_t は有効温度勾配、 G_t は有効温度勾配の時間積算である。有効温度勾配は温度勾配と水蒸気の拡散係数、飽和水蒸気密度の温度微分係数などのファクターとの積で表されるが山崎(1998)では近似的に雪温から求めている。

また、式(2)で求めた C をしもざらめ化が進んでいない雪の粘性係数に関する係数 C_{ndh} とし、しもざらめ化を考慮して C を以下のように表す。

$$C = C_{ndh} \quad (G_t < G_{t0})$$

$$C = C_{ndh} \cdot \frac{(f_v - 1)G_t + G_{tv} - f_v G_{t0}}{G_{tv} - G_{t0}}$$

$$(G_{t0} \leq G_t < G_{tv})$$

$$C = C_{ndh} f_v$$

$$(G_{tv} \leq G_t)$$

(4)

G_{t0} はしもざらめ化し始めた雪の G_t (こしもざらめ)、 G_{tv} はしもざらめ化した雪の G_t (しもざらめ)、 $f_v = 10$ とする。

3.3 雪質の判定

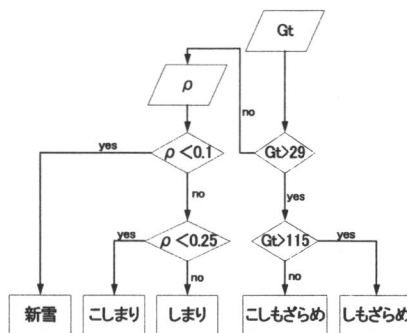


図3 雪質の判定

ρ を雪の密度、 G_t を有効温度勾配の時間積算とする。

図3に雪質の判定方法を示した。

雪質判定としては、まず最初に有効温度勾配の時間積算 G_t でしもざらめ化の判定を行う。ここで、しもざらめ化していると判定したら、しもざらめ化の進行具合によりこしもざらめ雪かしもざらめ雪とという雪質判定となる。

しもざらめ化していなかったら、式(1)で求められた雪の密度 ρ より、新雪、こしまり雪、しまり雪に分類する。

現段階のモデルの雪質の判定では、ざらめ雪、氷板、クラストなどは表現していない。

3.4 その他の計算

・ 雨雪判定

雨雪判定は、入力データが気温と降水量と限られているため、気温に境界値を与えて降雪時の気温によって判定した。

・ 地温の影響

地温の影響についての計算方法は積雪層に2つ層を余分に設け、一つの層は雪の層と同じように計算し、もう一つの層は0℃として計算した。積雪のあるときには地表面の温度がほぼ0℃になることを利用した。

4 モデルの検証

4.1 入力と出力

図4に入力データであるアメダス北見地点の2002年11月11日から2003年4月1日の気温と降水量を示した。このシーズンのデータは、北見の降雪の典型である真冬は少なく、春先に大雪が降るというパターンであった。

また、このデータを入力して行ったモデル計算の結果を図5に示した。積雪深についてみてみると、積雪の圧密過程を表現している

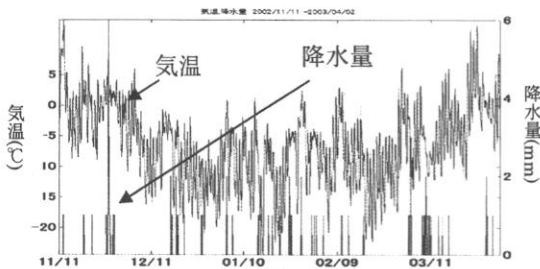


図4 入力データ(アメダス北見地点)
2002/11/11~2003/4/1 期間の降水量、気温データ。縦軸は気温と降水量、横軸は日付を示す。

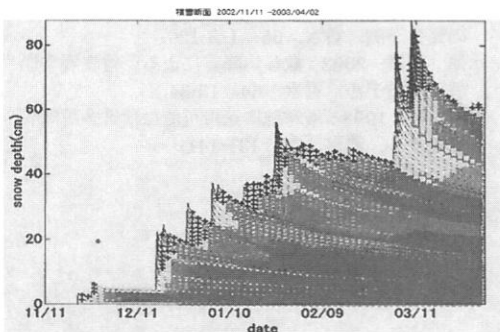


図5 モデルによる出力結果
図4のデータを入力し、モデルに計算させた結果である。縦軸は積雪深、横軸は日付を示す。

のが良くわかる。また、このシーズンの春先に大雪というパターンも表現できている。

4.2 積雪深の比較

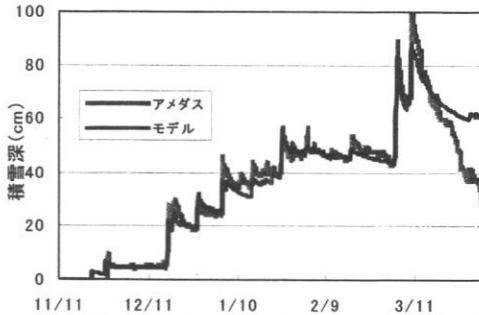


図6 アメダスとモデルの積雪深比較(北見)
2002~2003シーズンの積雪深の比較を示した。縦軸は積雪深、横軸は日付を示す

図6に2002~2003シーズンのアメダスとモデルの積雪深の比較を示した。

比較してみると、よい対応をしていることがわかる。

しかし、よく見てみると、降雪直後の積雪深があまり合っていない。これは、降雪直後の雪の密度の計算に原因があると考えられる。降雪直後の雪の密度(初期密度)は、風速、湿度、気温などに大きな影響を受けるが、モデルでは初期密度の計算を気温だけで行っている。そのため、特に風速が大きい時などは、アメダスの積雪深と大幅にはずれてしまう。

また、現在のモデルでは融雪過程を考慮して計算していないため、春先の融雪時期に大きなずれが生じている。融雪過程を加えることは今後の課題である。

4.2 雪質の比較

図7と図8に断面観測とモデルの出力した断面の比較を示した。

断面観測と比べると、しもざらめ化した、またはしもざらめ化しつつある層が多く出ている。これは図7から図8への流れを見てもわかるとおり、しもざらめ化したと早期に判定してしまうということから、判定基準に

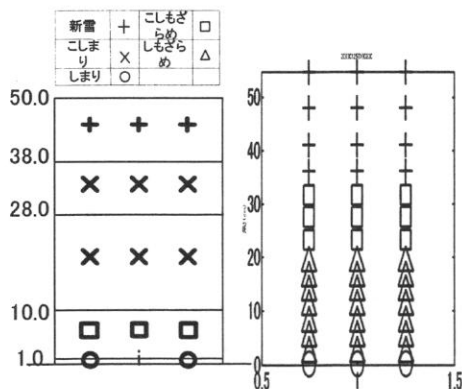


図7 断面観測とモデルの雪質比較(北見 2003/1/25)
2003/1/25の雪質の比較を示した。縦軸は積雪深を示す。左が断面観測、右がモデルである。

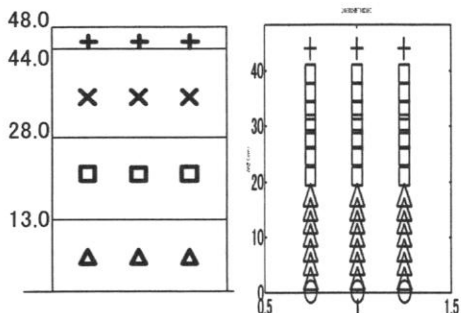


図8 断面観測とモデルの雪質比較(北見 2003/2/5)

問題があると考えられる。

また、観測よりも新雪の割合が大きい。モデルでは新雪、こしまり、しまりの間では、密度の値によって判定している。そのため、実際の観測とは、多少のずれが生じてしまう。

5 まとめ

・アメダスデータを使い、気温と降雪量のみで、積雪層構造を多出力(密度、雪質、積雪深、水量など)によってシミュレートすることができる。また、厳寒地に多く発生するしもぎらめ雪の表現も行える。

・入力に必要なデータが極めて少ないため、データの少ない過去の事例、または遠隔地であっても再現が可能である。

・積雪深はほぼよい一致を見せたが、降雪直後と融雪時期にずれが生じる。降雪直後の積雪深については、初期密度の計算の改良が必

要である。融雪期については、今後、融雪過程も考慮した計算方法の作成が不可欠。

・雪質の判定については、しもぎらめ化を早期に判定してしまう傾向にある。そのため、しもぎらめの判定基準の検討が必要である。

6 今後の課題

今後は衛星データ解析と相互利用して、降水量、気温データのない場所でもシミュレートが行えるようなモデルの開発を行う。衛星データから得た積雪水量、気温から積雪層をシミュレートし、そのデータから衛星データを予測する。これを繰り返して精度を上げるという方法である。

しかし、衛星データは1日のデータ数がアメダスと比べて少ないので、開発の前段階として、1日のデータ数が少ない場合であってもシミュレートが行えるよう現モデルの改良を進める。

また、現在のモデルでは足りなかった融雪過程の計算を加える予定である。

— 謝辞 —

今回、モデルの比較にあたって、断面観測データとして、亀田貴雄助教授、山田直樹氏の観測したデータを利用させていただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- Abe O., 2001: Creep experiments and numerical simulations of very light artificial snowpacks. *Annals of Glaciology*, 32, 39-43.
- 遠藤 八十一, 1993: 降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測. *雪氷*, 55, 113-120.
- 水津 重雄, 2002: 激しい降雪による乾雪表層雪崩危険度モデル. *雪氷*, 64, 15-24.
- 山崎 剛, 1998: 厳寒地に適用可能な積雪多層熱収支モデル. *雪氷*, 60, 131-141.

降雪遮断による酸素同位体比の変化

*山崎学・宋戸真也・石井吉之・児玉裕二(北大低温研)・橋本哲(島根大)

1. はじめに

常緑針葉樹林における樹冠遮断昇華蒸発(以下、遮断蒸発と呼ぶ)は降雪量に対し無視し得ない量であり、林内の積雪水量が一般に開地より少なくなる原因となっている。このため、降雪に対する遮断蒸発の研究は積雪地域における水資源や森林が気候に与える影響を考える上で重要である。しかし、降雪の遮断蒸発量は、森林の不均質性、地形、雪の再配分などの影響により求めることが困難であるため、様々な気象条件や森林状態及びそれらの変化に対する遮断蒸発量の研究は不十分である。

また、酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)は地球上のさまざまな水循環を調べる研究で数多く使われているが、降雪の遮断蒸発に関して $\delta^{18}\text{O}$ の変化を調べた研究は多くない。

そこで本研究では、厳冬期のある一定期間、開地と林内に降り積もった降雪量とその雪の $\delta^{18}\text{O}$ を測定し、林内降雪における $\delta^{18}\text{O}$ の特徴及び遮断蒸発量と $\delta^{18}\text{O}$ の関係を調べた。

2. 観測概要

観測は北海道北部にある母子里試験流域(図1)内の SiteA(開地と林内)、SiteB(林内のみ)で行った。SiteA と SiteB はそれぞれ標高が 290m と 320m、植生がドイツウヒ(樹高 8m)とトマツ(樹高 6m)である。林内は空が直接見えない程度に密に枝葉で覆われている。2 地点の林内気温(雪面上 1.5m ほど)を図2に示す。SiteA は SiteB に比べ朝方の冷え込みがきつくなっている。これは観測地が盆地のため、晴れた日の朝には放射冷却による気温逆転層が生じるためである。日中の気温は 2 地点で差はなかった。林内の平均気温

(1/23~2/26)は SiteA で -11.7°C 、SiteB で -9.7°C であった。

観測方法は、2003/1/23 に SiteA(開地と林内)、SiteB(林内のみ)で雪面上にシートを敷いた。その後、2/26 にシート上に積もった降雪をスノーサンプラーで採取すると共に降雪量を測った。

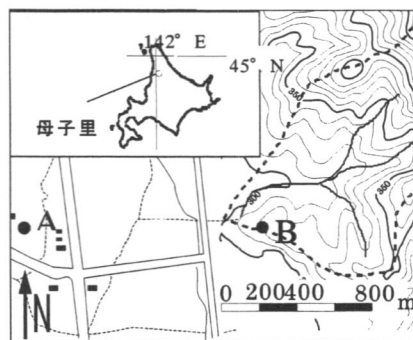


図1 母子里試験流域

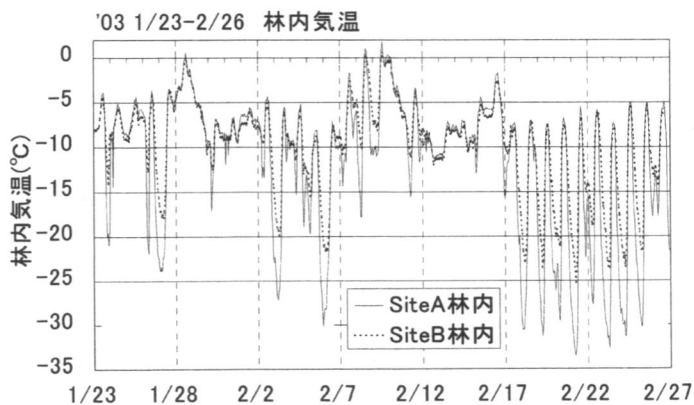


図2 SiteA, SiteB における林内気温

SiteA 開地ではシート上の降雪深が一定であったため、サンプルを2個採取した。SiteA 林内ではシート上を 40cm 四方の小区画(3×6=18 区画)に分け、小区画の中央で降雪量の測定とサンプリングを行った。SiteB 林内ではシート上を 50cm 四方の小区画(4×6=24 区画)に分け、同様の観測を行った。また、2/26 に SiteA において樹冠上の冠雪を採取した(樹冠上 0-4m, 10 個; 4-8m, 3 個)。

採取した雪の化学分析項目は、電気伝導度、pH、主要無機イオン濃度、酸素同位体比である。

3. シート上の降雪量を決定する諸要素

林内のシート上の降雪量は図3で示された要素で決まる。ただし、積雪表層で融雪による流出は起こらないと仮定する。この時、林内の水収支は以下の式で表される。

$$S=P-I_c-\angle C-(E+R) \tag{1}$$

ここで、S はシート上の降雪量、P は降水量、I_c は遮断蒸発量、 $\angle C$ は冠雪量差(=C_{2/26}-C_{1/23})、E は雪面昇華蒸発量、R は積雪の再移動量である。

一方、開地での水収支式は次式であらわされる(添え字 o は開地を表す)。

$$S_o=P_o-(E_o+R_o) \tag{2}$$

上式の各項のうち、本研究で測定したのは S および S_oである。そのため、遮断蒸発量 I_cを直接評価することができない。そこで本研究では、I_cの代わりに開地と林内の降雪量差 I を用いて、δ¹⁸O との関係調べた。式(1), (2)から、I は次式で表される。

$$\begin{aligned} I &= S_o - S = I_c + P_o - P - E_o + E - R_o + R + \angle C \\ &= I_c + N \end{aligned} \tag{3}$$

ここで N は I と I_c の残差であり、I を用いることによる評価誤差をあらわす。

4. 観測結果と考察

SiteA における降雪量と δ¹⁸O の結果を図4に示す。また、それらの平均値を表1に示す。林内は開地に比べて降雪量が 67mm 少なく、δ¹⁸O は 1.66‰重かった。これは遮

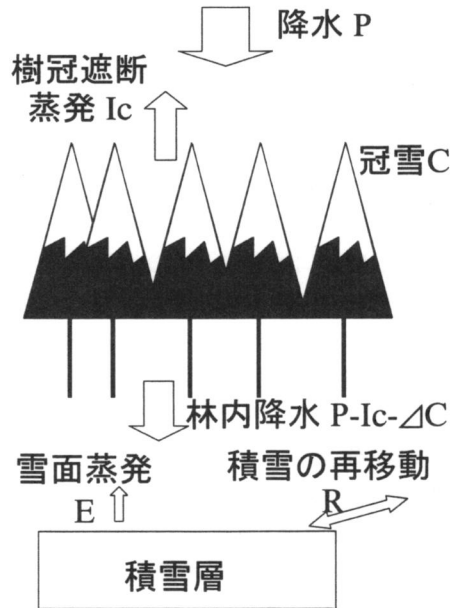


図3 林内の降雪量を決定する諸要素

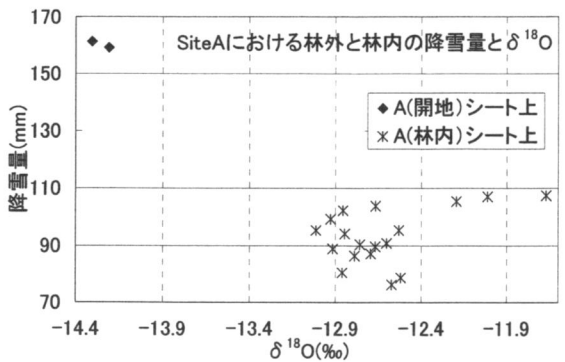


図4 SiteA における開地と林内の降雪量と δ¹⁸O

断蒸発によって $\delta^{18}\text{O}$ の軽い水蒸気が雪から除去され、相対的に残った雪の $\delta^{18}\text{O}$ が重くなるためである。林内の $\delta^{18}\text{O}$ は 15 個のサンプルが $-13.01 \sim -12.52\text{‰}$ のあいだを示したのに対し、3

つのサンプルがとびぬけて重い値を示した。これら 3 つのサンプルはシート上の隣り合った区画で採取されていた。また、林内の降雪量のばらつきと $\delta^{18}\text{O}$ に相関は見られなかった。

次に SiteA のシート上の雪と 2/26 に採取した冠雪の比較を図5に示す。図の縦軸は Cl 濃度である。冠雪の $\delta^{18}\text{O}$ は他と比べて明らかに重く、Cl 濃度も非常に高かった。この結果は冠雪が樹冠上で非常に長い間滞留し

つづけたことを示唆する。これら滞留時間の長い雪が林床に落ちると図4でみられた局所的に $\delta^{18}\text{O}$ の重い雪が観測されと考えられる。すなわち、冠雪には比較的短い滞留時間で林床に落ちるタイプと、長期間樹冠上に滞留するタイプに分けられる。

SiteA と SiteB の結果を図6に示す。SiteB 林内の平均値は降雪量 119.7mm, $\delta^{18}\text{O}$ -12.75‰ で、開地と比べて降雪量が 40.5mm 少なく、 $\delta^{18}\text{O}$ は 1.55‰ 重かった。SiteA 林内と比べると降雪量は約 30mm 多いが $\delta^{18}\text{O}$ は同じような値を示した。このことは同一期間、同一地域で観測された林内降雪であっても開地と林内の降雪水量差 I と酸素同位体比変化には必ずしも関係が見出せないことを示している。2 地点の林内降雪量が 30mm も異なるのは、式(3)より遮断蒸発量 I_c か、残差 N のどちらかが原因と考えられる。残差 N についてはこれ以上論ずることができないので、以下では遮断蒸発量 I_c が林内降雪量差(30mm)の原因だった場合について考察する。

この場合、SiteA と SiteB で遮断蒸発量が 30mm 異なるにもかかわらず酸素同位体比は同じような変化をしたことになる。すなわち氷と水蒸気間で相変化する時の同位体分別係数が 2 地点で異なっていたことになる。一般に氷と水蒸気間における蒸発でも同位体分別係数は気温や湿度などで変わるとされているので、

表 1 SiteA, 開地と林内における平均値

	降雪量(mm)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$
A(開地)シート上平均値	160.2	-14.26
A(林内)シート上平均値	93.2	-12.60

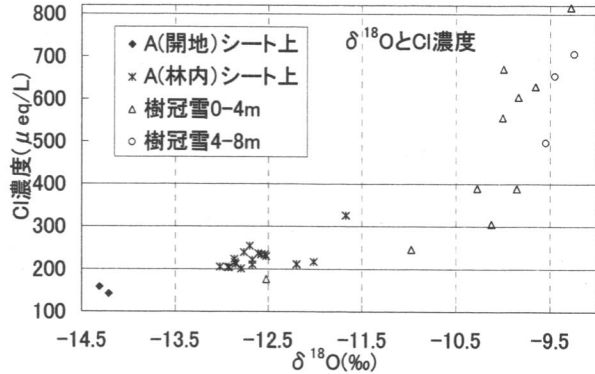


図5 シート上の雪と樹冠上の冠雪(2/26)の比較

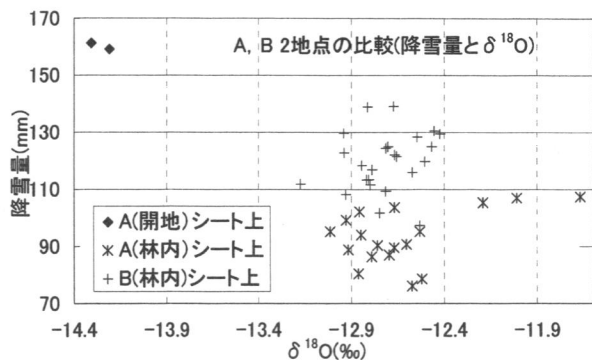


図6 SiteA と SiteB の比較

同様のことが氷と水蒸気間においても十分起こりえると考えられる。

レイリーの式は、同位体分別を伴う物質の除去(蒸発, 凝結など)がある場合の同位体比変化を表すのに使われる。蒸発前を開地のシート上の降雪, 蒸発後を林内のシート上の降雪としてレイリーの式に当てはめると, 2 地点における遮断蒸発時の同位体分別係数をそれぞれ求めることができる(ただし, $E=E_o=R=R_o=\angle C=0$, $P=P_o$, 同位体分別係数は $1/23 \sim 2/26$ のあいだ一定とする)。

レイリーの式は以下のように表される。

$$\ln \left(\frac{1+10^{-3} * \delta^{18}O}{1+10^{-3} * \delta^{18}O_o} \right) = \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) * \ln \left(\frac{S}{S_o} \right)$$

ここで, α は氷-水蒸気における同位体分別係数, $\delta^{18}O$ は降雪の酸素同位体比, S はシート上の降雪量である(添え字 o は開地を表す)。

計算の結果, SiteA 林内での同位体分別係数は 1.0027, SiteB 林内では 1.0054 と見積もられた。遮断蒸発の違いはこのように同位体分別係数を使って表すことができる。

また, 氷-水, 氷-水蒸気のあいだで, 平衡状態のときの同位体分別係数(0°C)を表 2 に示す。SiteA と SiteB の分別係数は氷-水蒸気の分別係数に比べて非常に小さく, 氷-水の分別係数に近い値を示した。

表 2 平衡同位体分別係数

相	a	温度	文献
氷-水	1.0031	$0(^\circ\text{C})$	O'Neil, 1968
氷-水蒸気	1.0117	$0(^\circ\text{C})$	Majoube, 1971

5. おわりに

林内降雪の酸素同位体比($\delta^{18}O$)は開地に比べ重く, ばらつきも大きかった。このばらつきは樹冠上での滞留時間が異なる冠雪が林床に落ちることによって生じると考えられた。2 地点の林内降雪を比較したところ, 開地との降雪量差が異なるにもかかわらず酸素同位体比が同じであった。このような結果が生じる原因の一つとして, 2 地点での同位体分別係数の違いがあげられ, その時の同位体分別係数を求めることができた。

今後は, 残差 N が入ってこない条件下で, 降雪に対する遮断蒸発と酸素同位体比の変化を調べる必要がある。その上で, さまざまな条件下における同位体分別係数の変化を調べていきたい。

参考文献

- O'Neil, J.R., Hydrogen and oxygen isotope fractionation between ice and water, J. Phys. Chem., 72, 3683-3684, 1968.
- Majoube, M., Fractionnement en ^{18}O entre la glace et la vapeur d'eau, J. Chem. Phys. Phys. Chim. Biol., 68, 625-636, 1971.

通風筒を使用しない気温測定に関する問題点と対策

高山拓也, 高橋修平 (北見工業大学)

1. はじめに

無電源地域での無人気象観測に使用される自然通風筒は風が弱いとき、日射によって通風筒が温度上昇し、測定温度が高く現れる問題点がある。南極の無人気象観測においても、夏期に日中の風速 1~2 [m/s] 以下で昇温する現象が見られる。昇温したデータは、太陽高度および風速を考慮して取り除くが、風速データがない時はその判定が難しい。低温のために通風装置動作が難しくなる極地での観測を想定して、通風筒を使用せずに白色と黒色のセンサーおよびステンレスカバー付きセンサーによる測定温度を利用して正しい気温を求める方法を試みた。

2. 観測方法

2002 年 12 月 11~16 日に北見工大寒地気象観測所と 2003 年 1 月 1 日~2 月 28 日に陸別町関地区において気温観測を行った。使用観測機器は強制通風筒に加えて、白色センサー、黒色センサー、ステンレスセンサーを通風筒なしで設置した。(図 1) データロガーは「おんどとり Jr. TR-52」を使用し、10 分毎にデータ収集した。また、日射計は 10 分毎、風速計は 1 時間毎にデータ収集した。

3. 北見での観測例

各センサー温度と強制通風筒(真の温度と考え)との差を「温度偏差」として議論する。図 2 に北見における各センサーの時刻別温度偏差を示す。日中の温度偏差は日射によって、黒色(最大約 5℃)、ステンレス(約 3℃)、白色(約 1℃)の順に大きい値を示した。また、夜間は放射冷却によって、黒色、白色ともに負の偏差(約 -1℃)が生じたが、ステンレスはほぼ 0 であった。

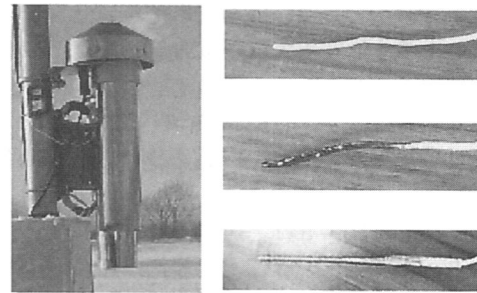


図 1 各種温度計

強制通風筒(左), 白色センサー(右上)
黒色センサー(右中), ステンレスセンサー(右下)

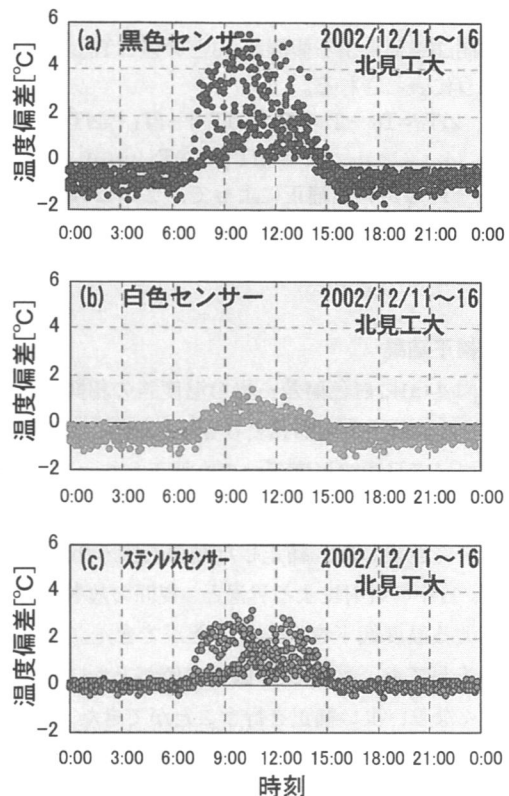


図 2 各種温度計の時刻別温度偏差グラフ

(a) 黒色センサー, (b) 白色センサー
(c) ステンレスセンサー

4. 日中・夜間それぞれの温度補正方法

6～18時の日中においては、黒白温度差によって補正温度を算出する。夜間においては、放射冷却効果の小さいステンレスセンサー観測温度のデータをそのまま使用する。

日中については、白,黒それぞれのセンサーによる測定温度を T_1, T_2 、強制通風筒による測定温度 T_0 (真の気温)との温度差を

$$\Delta T_1 = T_1 - T_0 \cdots (1), \quad \Delta T_2 = T_2 - T_0 \cdots (2)$$

とし、 ΔT_1 が温度差 $T_2 - T_1$ と次のような関係があるとする。

$$\Delta T_1 = a(T_2 - T_1) + b \cdots (3)$$

定数 a, b が強制通風筒との観測から求められているとき、 T_1, T_2 の観測から求まる値 $\Delta T_1'$ 、 T_0' を次式に定義する。

$$\Delta T_1' = a(T_2 - T_1) + b \cdots (4)$$

$$T_0' = T_1 - \Delta T_1' \cdots (5)$$

(5)式の T_1, T_2 のみの観測から推定される T_0' と、強制通風筒による観測値 T_0 との差 $\Delta T_0'$ は次のように表わされる。

$$\Delta T_0' = T_0' - T_0 = (T_1 - \Delta T_1') - (T_1 - \Delta T_1) = \Delta T_1 - \Delta T_1' \cdots (6)$$

$T_2 - T_1$ を用いた補正によって、この $\Delta T_0'$ がどれだけ 0 に近づくかを検討する。

この原理を図 3 のフローチャートに示す。

5. 補正結果

図 4(a) に白色偏差－黒白温度差の相関を示す。この日中の回帰式より a, b を求め、原理に基づいて日中の温度データを補正した。また、夜間はステンレスセンサーでの観測温度のデータに置換した。補正した結果を図 4(b) に示す。日中の日射による昇温と、夜間の放射冷却による温度低下を抑えることができた。図 4(c) を見ても、平均,標準偏差の値がともに 0 に近くなり、よい補正を行うことができた。

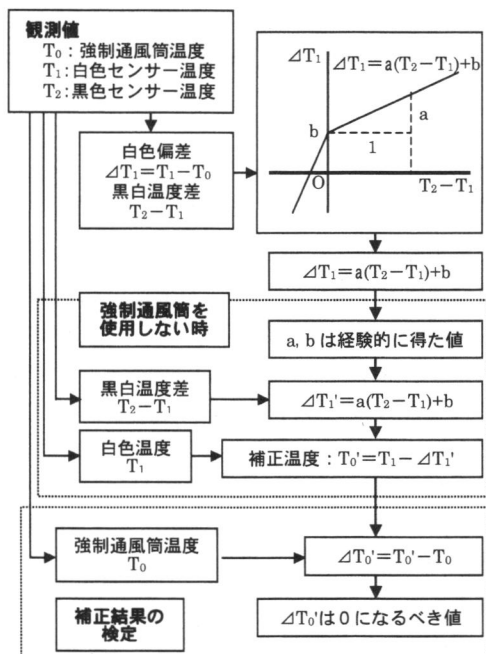


図 3 温度補正原理フローチャート

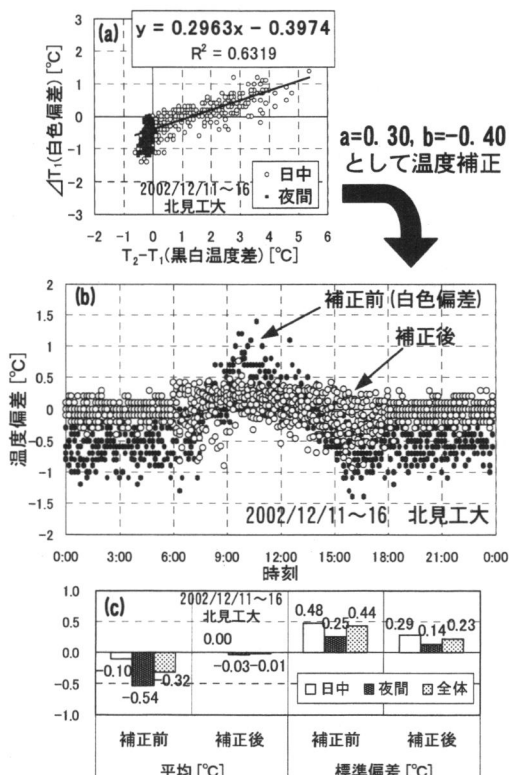


図 4 補正結果 (北見)

- (a) 白色偏差と黒白温度差の相関
- (b) 補正前後の時刻別温度偏差
- (c) 補正前後の平均及び標準偏差

6. 自然通風筒との比較

黒白温度差による補正結果と自然通風筒(図5)での観測結果を比較する。陸別における観測データを温度補正(日中は黒白温度差による補正原理、夜間はステンレスセンサーのデータに置換)し、その結果を図6に示す。これと図7の自然通風筒時刻別温度偏差と比較すると、ほぼ同等の偏差であることが確認された。図8の白色偏差(補正前),黒白補正後,自然通風筒偏差の平均及び標準偏差を見ても、黒白補正は自然通風筒に遜色しない結果となった。

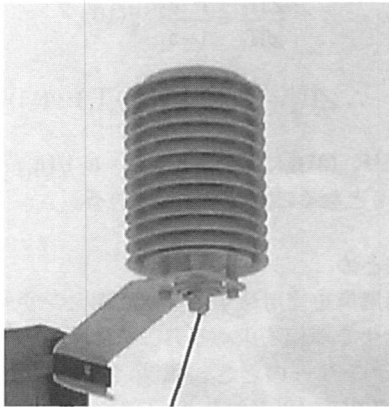


図5 自然通風筒(校舎型)

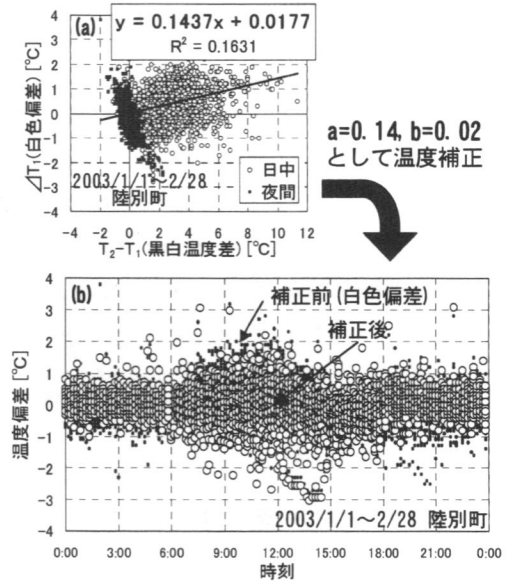


図6 補正結果(陸別)
(a) 白色偏差と黒白温度差の相関
(b) 補正前後の時刻別温度偏差

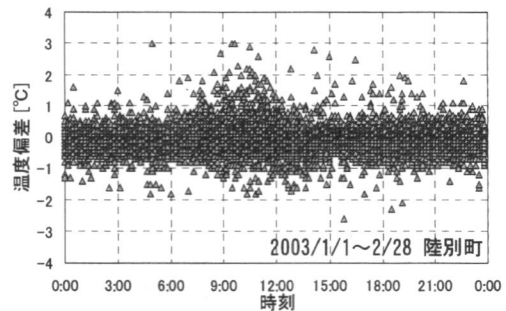


図7 自然通風筒時刻別温度偏差(陸別)

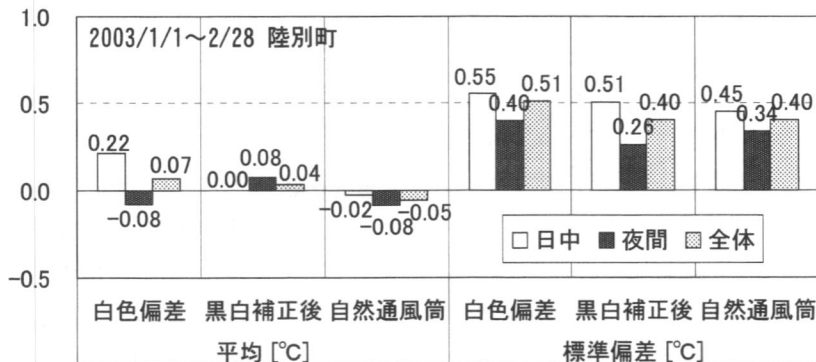


図8 黒白補正後と自然通風筒との比較

7. 風速・日射との関係

北見で観測されたデータから、日射をパラメータとした温度偏差－風速のグラフを図10に示す。風速が小さいと、日射の大きさに伴って温度偏差が生じている傾向が見られる。黒色センサー、白色センサーともに風速 2.0[m/s]以下で、0.1[kW/m²]以上のとき、昇温が確認された。

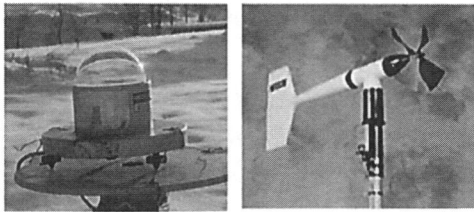


図9 日射計(左)と風速計(右)

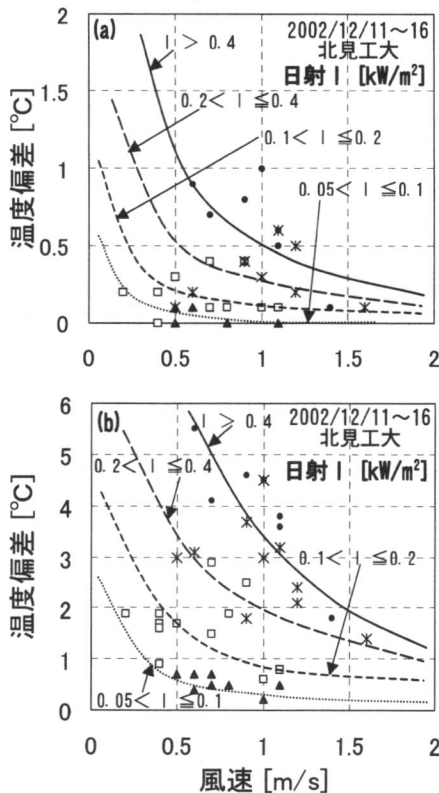


図10 温度偏差－風速グラフ

(a) 白色センサー (b) 黒色センサー

ここで、センサー昇温の熱収支的考察を行う。センサーが ΔT 温度上昇するとき、日射吸収熱と顕熱 $Q_T = \alpha v \Delta T$ による放射熱が等しいとすると、

$$\alpha v \Delta T = (1-a)I \cdots (7)$$

$$\therefore \Delta T = \frac{(1-a)}{\alpha} \cdot \frac{I}{v} \cdots (8)$$

α : 熱交換係数 v : 風速 ΔT : 温度偏差

a : アルベド I : 日射

と表わされる。アルベドのみが異なる2つのセンサーにおいて

$$\Delta T_1 = \frac{(1-a_1)}{\alpha} \cdot \frac{I}{v}, \quad \Delta T_2 = \frac{(1-a_2)}{\alpha} \cdot \frac{I}{v} \cdots (9)$$

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{1-a_2}{1-a_1} \cdots (10)$$

$$\therefore \Delta T_1 = \frac{1-a_1}{a_1-a_2} \cdot (T_2 - T_1) \cdots (11)$$

つまり、(3)式において $a = (1-a_1)/(a_1-a_2)$ 、 $b=0$ となることを意味している。

8. まとめ

通風筒を使用せずに各種温度センサーを露出させて、気温を求める方法を試みた。

- ・裸センサーのとき、風速 2.0[m/s]以下で、0.1[kW/m²]以上のとき、日射による昇温の誤差が大きくなる。
- ・日中の昇温については、白色、黒色センサーの温度差によって補正できる。
- ・夜間の過冷却については、放射冷却効果の小さいステンレスセンサーの温度をほぼ補正なしで使用できる。
- ・これらの方法を用いれば、通風筒を使用しなくても、気温測定が可能である。

参考文献

- 1) 金原寿郎(1961): 大学演習 一般物理学
- 2) 気象ハンドブック編集委員会(1979): 気象ハンドブック
- 3) 佐藤研吾、高橋修平、亀田貴雄(2002): 気温用通風筒の温度特性と問題点
- 4) 高橋修平、佐藤研吾、亀田貴雄(2002): 自然通風筒気温測定における昇温の対策と考察、寒地技術シンポジウム 2002 寒地技術論文・報告集 Vol.18

膨張収縮する材料を利用した着雪対策について

千葉 隆弘, 竹内 政夫 (㈱雪研スノーイーターズ)

1. はじめに

アーチ橋やトラス橋のような構造物が道路上に構築される下路橋では、部材で着雪が発生する。この着雪は時間の経過に伴い密度が増加し雪氷塊となり、この塊が道路へ落下することによって車両を損傷させる等の事故が発生している。このような下路橋で発生する着雪は、弱風時に部材の上にそのまま雪が載る冠雪型と、強風を伴って部材に雪が衝突して着雪する標識板型¹⁾の2つが考えられるが、最近は特に冠雪による被害が多い。この冠雪型の着雪対策には、塗装工法、落雪カバー工法、およびヒーティング工法の3種類があり、いずれも着雪が塊にならないよう早期に落雪・融雪しようとする考え方の対策である。しかし、期待していた効果が得られておらず、通行止めで車両を迂回させることや人力で着雪を取り除くこと等で対応しているのが現状である。また、近年は吊橋や斜張橋のように大きな主塔とケーブルで構成される橋梁が建設されてきた。太い四角形や円形断面等、下路橋には使用されない部材が用いられており、冠雪型の着雪に加えて標識板型の着雪が道路へ落下して車両を損傷させた事例もある。

以上のように、橋梁で発生する着雪対策は不可欠であり、部材形状と着雪機構との関係を十分に検討し、これまでのものに代わる対策の開発が必要となっている。その一例として吊橋や斜張橋に使用されるケーブルの着雪対策について簡単な実験を行い、着雪防止の可能性を確認したので報告する。

2. 着雪対策のフィジビリティスタディーと採用した対策の原理

下路橋での着雪対策には塗装工法、落雪カバー工法、およびヒーティング工法があり、これらをケーブルの着雪対策に適応した場合について考えてみた。塗装工法は撥水性の高い塗装を部材に行って着雪を防止しようとし、着雪した場合は早期に落雪させようとする工法である。しかし、現状をみると着雪防止、早期落雪は期待していたほどではなく、その要因には汚れの付着による撥水性の低下が考えられている²⁾。落雪カバー工法は急勾配のカバーを取り付けて早期に着雪を落雪させようとする工法である。しかし、気温が0℃以上になり雪と部材との凍結付着がなくなると落雪しないことから真冬日が連続するような地域では早期滑落が期待できない。ヒーティング工法は部材にヒーティングパネルを取り付けて強制的に融雪させようとする工法であるが、ケーブルの場合、融雪水が部材下端で凍結してツララができる可能性が高い。ツララの落下は着雪の塊の落下に比べて危険性が高いことから、ヒーティング工法は適応できない。以上のように、これまでの着雪対策をケーブルに適応することは極めて難しい。

ここで、圧縮空気を利用した対策について考えた。弾力のある材料ケーブルに巻き付け、圧縮空気で膨張収縮させて着雪を早期に落雪させる方法である。この方法の落雪原理を図1に示す。図のように、冠雪型の場合は圧縮空気で巻き付けた材料を膨張させ、そのときに雪と材料との界面に発生するせん断応力で雪の結合力を解き、材料が収縮したときに落雪させる。標識板型の場合でも前述と同様である。標識板型は強風を伴った着雪であることから雪の密度が冠雪型に比べて大きくなる、すなわち、雪の結合力が大きく、この力の一部を解くことができればまとまって落雪することになる。このように、原理的にみると冠雪型と標識板型の両方の着雪に対応できる可能を持つ工法であり、標識板型の方が効果を発揮しやすいと考えられる。

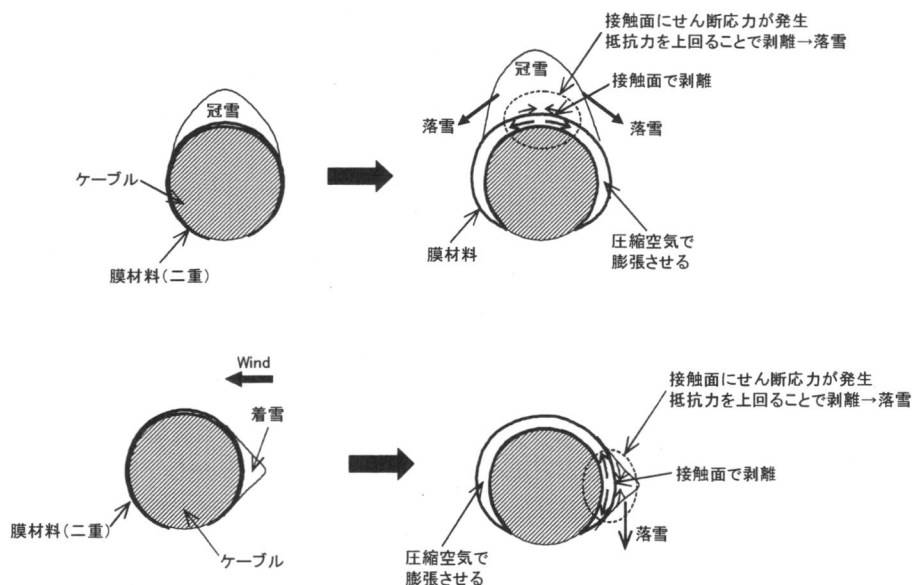


図1 膨張収縮による落雪原理

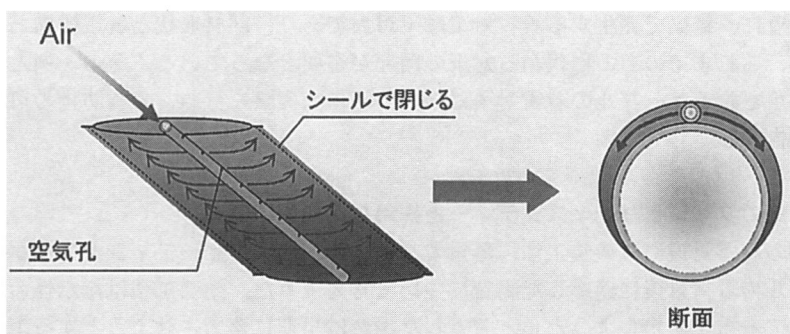


図2 用いた試験体の概要

なお、ケーブルから直接空気を吹き出させて着雪を防止させようとするエアカーテン式についても考えてみたが、今回は実験を行うまでには至らなかった。

3. 屋外実験

3.1 試験体の概要

ケーブルの試験体を作製して屋外実験を行った。試験体は図2に示すように、ケーブルのモデルには長さ2m、直径200mmの塩ビ管を用いた。なお、斜張橋のケーブルの直径は180mmであり、実験に用いたモデルは実際のスケールと近似したものとなっている。膨張収縮する材料にはC種膜材料を用いた。このC種膜材料は一般的にテントのような仮設構造物に使用されるもので、材質は塩ビである。厚さは約0.5mmで耐用年数は10年程度の材料である。この膜材料を2重に加工してそのままケーブルのモデルに巻き付けた。膨張収縮は2重膜の間に直径15mm前後の細い塩ビ管を通し、この塩ビ管に圧縮空気を送って行った。細い塩ビ管には小さな孔を開けており、この孔から吹き出す空気によって膜材料が膨張する仕組みとした。

3.2 実験方法

実験は写真 1 に示すように、屋外に未対策の試験体と膜材料を巻き付けた試験体とを並べて設置し、膨張収縮による落雪効果を観察した。試験体の勾配は斜張橋を想定して 20° とした。実験場所は落雪させるのに不利と考えられる冠雪型の着雪を対象とするため、札幌市豊平区にある北海道開発土木研究所構内の建物に囲まれて風速が小さくなる場所とした。平成 15 年 3 月上旬から下旬までの期間に、自然に冠雪した直後の落雪実験、およびざらめ雪を試験体の一部に堆雪させて行った落雪実験の 2 種類を行った。

3.3 実験結果

実験開始が 3 月上旬と遅かったため降雪があった事例が少なかったものの、自然に冠雪した事例は 1 回であった。実験前における冠雪の密度は 0.08g/cm^2 前後で、新雪であることがわかる。その時の膨張収縮による落雪効果についてみると、写真 2 のように 1 回の膨張収縮で大半が落雪した。落雪しない箇所は試験体と治具との境界等の、落雪し難い箇所であった。このような落雪し難い箇所を作らないことが今後の課題と言える。

次に、ざらめ雪の場合を写真 3 に示す。なお、用いたざらめ雪の密度は 0.40g/cm^2 前後の水分を比較的多く含んだものである。写真のように、2cm 前後堆雪させて膨張収縮を行った結果をみると、ざらめ雪は新雪に比べて雪同士の結合力が大きいため、落雪までに 4 回の膨張収縮を要した。その詳細をみると、2 回の膨張収縮でクラックが発生、3 回目でクラックが大きく発達、4 回目の膨張でクラックから雪が裂けるように切り離れ、収縮した後に落雪した。

このように、結合力の大きいざらめ雪でも膨張収縮を繰り返すことで落雪させることができた。今回は実験開始が 3 月上旬であったため、冠雪が凍結した場合についてのデータを得ることができなかった。しかし、凍結した場合は雪同士の結合力が大きくなり、標識板型の着雪と同様にせん断応力で一部の結合を解くことができれば、まとまった落雪が発生する。すなわち、新雪時の冠雪に比べて有効に落雪させることが可能と考える。また、今回使用した C 種膜材料は滑雪性³⁾に優れたものであるとともに、細い塩ビ管の挿入によって試験体上部の勾配が急になったことも落雪を促したと考える。

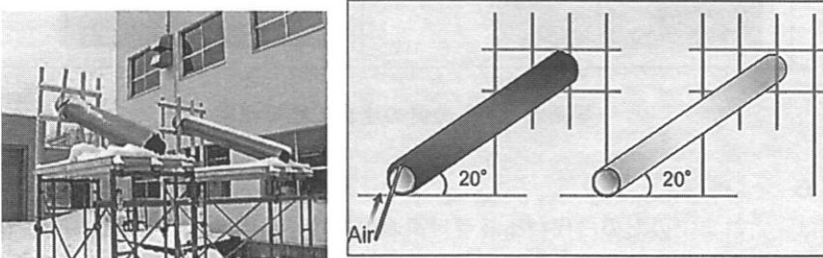


写真 1 試験体の設置

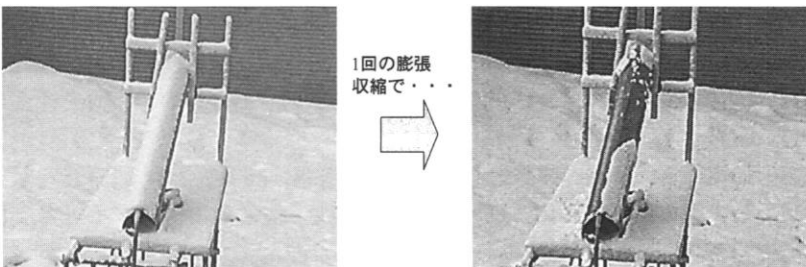


写真 2 冠雪した直後（新雪）の膨張収縮

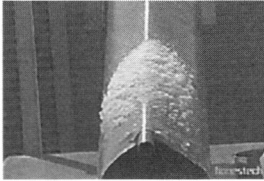
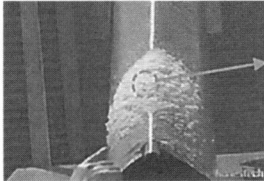
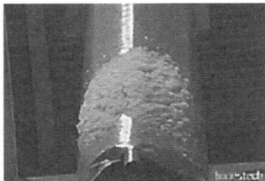
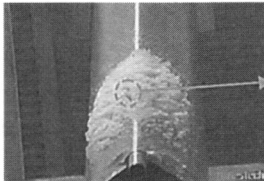
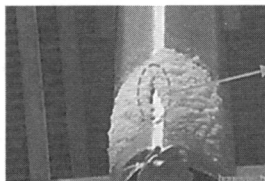
	膨 張	収 縮
1回目		
2回目		
3回目		
4回目		

写真3 ざらめ雪の場合の膨張収縮

4. まとめ

本研究は、これまでのものに代わる着雪対策の可能性を確認することを目的に、吊橋や斜張橋に使用されるケーブルを対象とした対策について検討を行うものである。対策は2重の膜材料をケーブルに巻き付け、圧縮空気で膜材料を膨張収縮させて着雪を早期に落雪させようとするものであり、長さ2mの試験体を屋外に設置して落雪実験を行った。その結果、原理的には早期に落雪させる可能性を確認することができた。今後は、使用する材料の滑雪性や耐用年数について、さらに、実用化に向けて圧縮空気を送るシステムについて検討を行う予定である。

【参考文献】

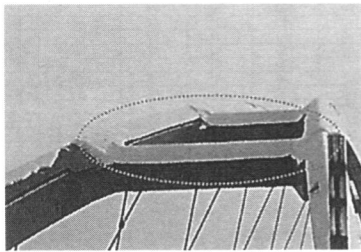
- 1) 竹内政夫, 1978: 道路標識への着雪とその防止, 雪氷, 40巻, 3号, 15-25.
- 2) 布施浩司・岳本秀人・早坂保則, 2003: 橋梁の着雪・冠雪対策に関する研究, 北海道開発局技術研究発表会
- 3) 苫米地司・他4名, 1997: 膜構造物における屋根上積雪荷重評価について, 日本建築学会技術報告集第5号, 31-36.

橋梁の着雪・冠雪対策に関する研究

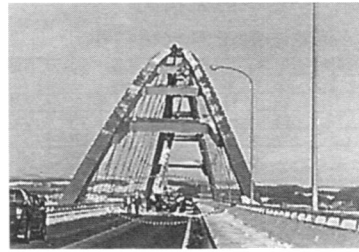
北海道開発土木研究所 道路部 維持管理研究室 ○布施 浩司
 岳本 秀人

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の道路構造物のうち、アーチ・トラス橋梁の上弦材のような道路を横断した形式で設置されている構造物に於いて生じる着氷雪（参照 写－１）が、通行車両の振動や気温の上昇により落下する事故が報告されている。最近、こうした事故等を防止するために様々な対策がなされており、また雪下ろしといった維持作業（参照 写－２）が行われているが、通行規制等の利用者の影響を伴う。そこで本論では、橋梁の着氷雪観測調査、着氷雪対策箇所実地調査及び屋外での着落雪実験結果をもとに、着氷雪対策の特性と適用効果について報告する。



写－１ 橋梁の着氷雪状況



写－２ 着氷雪の除雪状況

2. これまでの着氷雪対策の特徴

2.1 ヒーティング工法

ヒーティング工法は橋梁の着雪・冠雪の発生する箇所を熱エネルギーで強制的に融雪し、落雪を防ぐもの工法である。

2.2 構造面の対策工法

橋梁各部を滑雪性の高い塗装で処理したもの及び、部材そのものを滑雪性の高い材質に変える、着雪・冠雪箇所に落雪カバーを取り付ける等の対策により、着雪及び冠雪量を抑えてその滑落を促そうとするものである。

2.3 除雪工法

最も、多く用いられている方法であるが、高所作業であり全面通行止めを行わないと作業が出来ない等の問題が上げられる。

3. 研究方法

3.1 従来の着氷雪対策の効果実験

従来の対策工法の効果の確認のため、屋外モデル実験及び実橋梁対策の観測試験を行い、その評価と新対策工法の提案をもとに、着氷雪対策の適用検討を行う。

(1) パネルヒーター試験

1) 実験概要

実験は、写－３のようなパネルヒーターを使用して行った。試験のパネルの概要を表－

1に示す。これらの試験体を用いて通電時及び非通電時の観測実験を行った。

ロ)実験結果

通電時の融・滑雪状況結果を表-2に非通電時の滑雪状況結果を表-3に示す。なお、表による着雪率は各パネルに着雪状況を面積比で表している。通電時の融・滑雪状況は、つらら防止ヒーターを設置した②～④のパネルについては融雪に伴い着雪が滑り落ちており、特に形状が曲線型の④のパネルは、ほとんど着雪状況が見られなかった。一方、つらら防止ヒーターを設置していない①のパネルについては、着雪率もっとも多くなっていた。また、非通電時の滑雪状況は、①～③のパネルは冠雪状態が大半を占めたが、④のパネルに於いては、曲面が急勾配の箇所には頻繁な落雪状況が見られた。



写真-3 パネル配置状況

表-2 通電時融滑雪実験結果

着雪日	試験体着雪率 %				気温 ℃	風速 m/s	風向	日照
	①	②	③	④				
2月15日	34	31	22	22	-12	2	SE	あり
2月18日	25	22	22	—	1	5	NW	なし
2月19日	39	—	—	—	-1	6	N	なし
2月22日	56	22	—	—	0	7	NW	なし
2月23日	56	31	—	—	-2	5	ESE	なし

表-1 試験パネル概要

No	1	2	3	4
モデル	平面45°	平面45°	平面30°	曲面R
先端形状	なし	曲面R型	有り	有り
つらら防止ヒーター	なし	有り	有り	有り

表-3 非通電時滑雪実験結果

着雪日	試験体着雪率 %				気温 ℃	風速 m/s	風向	日照
	平面45°	平面45° (端部R)	平面30°	曲面R				
1月24日	86	70	94	38	-3	5	W	なし
1月25日	100	100	100	75	-3	0	なし	なし
1月27日	100	100	100	69	-3	2	N	なし
1月28日	100	100	100	50	-2	4	N	なし
1月31日	100	100	100	88	-4	1	ESE	なし
2月2日	100	100	100	50	-1	2	W	なし
2月2日	100	100	100	25	-1	3	W	なし
2月2日	100	100	100	38	-1	2	W	なし
2月8日	100	100	0	0	1	5	W	なし
2月9日	88	98	100	50	0	7	WNW	なし
2月9日	84	77	84	89	-7	8	W	なし
2月13日	100	100	100	75	-6	2	N	なし
2月14日	100	88	100	53	-14	1	SE	なし
2月14日	100	88	100	0	-4	2	WNW	なし

(2) 表面加工による対策の評価実験

ロ)実験概要

実験は、6種類の塗装鋼板と4種類のシート貼り付け鋼板およびアルミ板、ステンレス板およびチタン板の金属板を用いて、室内試験と屋外試験を行った。

屋外実験：写真-4のように試験板を並べて設置し、着雪・冠雪状況及びその滑落状況を、試験板の勾配を60°・45°・30°と3段階に変更し観測。

室内実験：試験板ごとに表面の撥水性を表す接触角（写真-5）を測定。

ロ)実験結果

屋外試験で測定した着氷雪の落雪回数と室内試験での接触角測定値及び平成12年度から13年度にかけての低下率を表-4に示す。屋外実験において、塗装系試験板で、鋼製ボックス（標準塗装）及び保護塗装鋼板が、シート系では滑雪性塗装鋼板が12～13回と落雪回数が多くっており、試験板の勾配の違いによる落雪回数は設置角度60°の場合で比較的落雪回数が多くになっている。滑雪性塗装鋼板、一方、金属系の試験板では、アルミ板（表面加工あり）が勾配60°で6回落雪したが、45°及び30°では優位性は確認できなかった。また、接触角は平成13年度に測定した値は平成12年度の80%前後と低下していた。

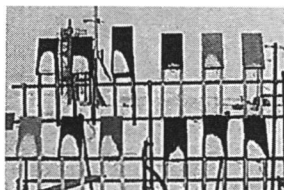


写真-4 試験板配置状況

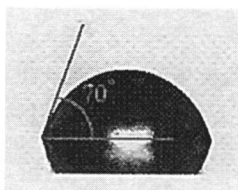


写真-5 接触角測定例

表-4 実験結果（落雪回数・接触角）

試験板 No.	名称	落雪回数(回)			接触角(°)		低下率 (%)
		60°	45°	30°	H12	H13	
鋼製	標準塗装鋼板	4	3	4	90	80	88.8
鋼製	断熱性金属鋼板(両面)	2	3	2	109	82	84.8
鋼製	断熱性金属鋼板(片面)	6	2	5	—	—	—
シ	FRP貼付鋼板	2	3	3	78	80	79.3
シ	ゴム貼付鋼板(裏)	2	3	2	98	73	75.8
ト	ポリエチレン貼付鋼板	2	2	2	98	80	83.1
ス	滑雪性塗装鋼板	6	4	2	147	122	83.2
鋼製	断熱性金属鋼板(片面)	2	2	1	—	—	—
鋼製	断熱性金属鋼板(両面)	2	3	6	88	70	79.7
鋼製	アルミ板(表面加工あり)	6	3	1	83	67	80.9
メ	ステンレス板	2	3	3	98	70	71.7
チ	チタン板	2	2	1	92	43	46.6
チ	チタン板	1	2	1	—	—	—
チ	アルミ板(表面加工なし)	3	3	2	—	—	—

(3) 実橋梁での調査

イ) 実験概要

ニールセンローゼ橋である一般国道 38 号豊頃町豊頃大橋の各部位を滑雪性に優れた塗装を、またアーチ橋である一般国道 452 号三笠市桂沢大橋に於いてアーチリブを接触角の大きいフッ素系の塗装を行う塗装工法と横門構と横構交差部にカバーを取り付ける落雪カバー工法を試験施工して観測調査を行った。

ロ) 実験結果

豊頃大橋：

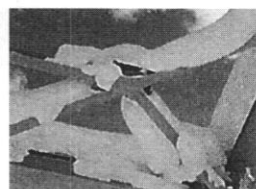
アーチリブの滑雪状況は写-6 左側に示すように、急勾配箇所では頻繁の滑雪が観測されていたが、緩勾配箇所では、滑落しない箇所があった。また、写-6 右側アーチリブと橋門構が交差している箇所では、橋門構が滑落を阻害している状況も見られた。

桂沢大橋：

桂沢大橋のアーチリブでは写-7 左側のように冠雪が多い状況にあり、冠雪が 20cm 前後にまで達した例もあった。また、橋門構のカバー工法についても、大雪等の異常気象時には、写-7 右側のように雪庇が発生している状況にあった。



写-6 冠雪状況（豊頃大橋）



写-7 冠雪状況（桂沢大橋）

3.2 着氷雪対策新工法の提案と効果実験

従来工法の試験結果を基に、新たな着氷雪対策の提案とその効果実験について報告する。なお、今回提案した工法の特徴を以下に示す。

- ・格子フェンス工法：従来の着氷雪の滑落の促進、ヒーティングによる融雪等と違い、着氷雪を落下させないことによる対策工法。
- ・落雪カバー工法（雪切り板設置）：従来のカバー工法の頂上部分の垂直方向に雪切り板をつけることで、着氷雪を分離しやすくさせ、滑落を促進させる工法

イ) 実験概要

実験は、写-8 のようなモデルを作成して、一定期間の屋外暴露実験を行った。試験モデルの概要を表-5 に示す。新工法としてはニールセンローゼ橋の内向き勾配 (3°) やローゼ橋等の水平面を想定したものに格子フェンスを取り付けた試験体を作成しており、また従来工法の改良として、三角断面形状の落雪カバー、雪切り板を設置した落雪カバー、およびスリット状の落雪カバーの試験体を屋外に設置して行った。

ロ) 実験結果

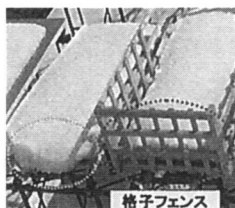
格子フェンスと無対策工法を比較したところ、写-9 のように格子フェンスは今回の実験期間中には冠雪の滑落を完全に防止しており、下層が氷板化した冠雪の滑落を防止することに対して有効であることが明らかになった。一方無対策の工法については勾配があるモデルは3回落雪しており、勾配のないモデルについても、雪庇が発生していた。

また、落雪カバー工法の比較については、雪切り板が無い三角断面の従来カバーでは頂部を跨いで冠雪し、頂部雪の結合力で滑落を阻害するため、冠雪の滑落は部分的なもので

あった。これに対して雪切り板を設置した落雪カバーは、頂部の雪を切断していることから全面にわたって滑落し、雪切り板の有効性が明らかになった。一方、スリット工法については、比較的早い落雪が観測されていたが、今回の試験では、スリットとスリットの間にある水平部の冠雪が発達してカバー下端で雪が繋がり、この雪の結合力によって滑落を阻害されている状況にあった。(参考 写-10)



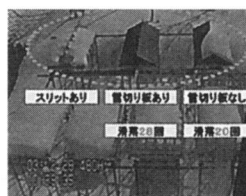
写-8 モデル配置状況



写-9 格子フェンスの状況

表-5 着氷雪モデル概要

NO.	試験モデル種類	勾配
1	落雪カバー	—
2	落雪カバー(雪切り付き)	—
3	スリットカバー	—
4	格子フェンス	無し
5	格子フェンス	有り
6	対策無し	無し
7	対策無し	有り



写-10 落雪カバー状況比較

4. まとめ

・ヒーティング工法：

観測実験の結果から、つらら防止ヒーターを設置することにより、ヒーティングの融雪性能は向上した。しかし完全融雪を行うには、ヒーティングの設計条件を通常より厳しくする必要があるため、部材の形状を急勾配にすることにより、省エネルギー化を図ることが望ましい。

・表面加工対策工法：

屋外及び室内試験及び実橋梁観測の結果から、塗装及びシート、金属部材の一部において頻繁な滑雪が確認されたが、急勾配箇所では効果を発揮している状況にあった。さらに、接触角の低下が著しいことから、年月が経過する上での機能低下を考慮する必要がある。また、カバー工法は、異常気象時には対応できない為、ヒーティング工法等との併用が必要であると考えられる。

・格子フェンス：

観測実験の結果から、着氷雪の落下を完全に防止しており、雪庇も発生していなかったことから、新たな着氷雪対策工法として期待できる。今後は、詳細な設計条件及び実橋梁に設置するためのデザイン等の研究が必要であると考えられる。

・落雪カバー工法（雪切り板設置）

観測実験の結果から、落雪カバーに雪切り板を設置することで、比較的早い段階で滑雪することが確認されており、カバー工法を行う際には雪切り板を設置することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1)平成9年「道路付属物における着氷雪対策に関する調査研究」

現地観測による吹き止め式防雪柵の防雪効果について

○伊東靖彦、松沢勝、加治屋安彦（北海道開発土木研究所）

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地の道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりが、道路交通の安全確保にとって大きな障害となっている。

吹雪対策施設のうち防雪柵には、写真1のように大きく分けて、吹きだめ柵、吹き払い柵、吹き止め柵の3種類ある。吹きだめ柵は、道路の風上側に数十メートルほど離れた位置に設置し、柵の前後に雪を溜めることで道路上への飛雪の吹き込みを防ぐもので、吹きだまり防止効果が高い。吹き払い柵は、風上側の路側に道路に近接して設置し、柵の下部間隙から吹き抜ける強い風で、道路上の雪を吹き飛ばすことで、主として視程障害を防ぐ機能を持つ。吹き止め柵は、柵の下部間隙をなくし、空隙率を低くして柵高を高くすることにより、道路上に吹き込む飛雪を止めると共に風速を低下させ、吹きだまりだけでなく視程障害も緩和するものである。しかし視程障害緩和の度合いについては、継続的に観測した例が無く、定量的な把握は行われていない。そこで本研究では、防雪柵前後で一冬期間を通して視程および風速の観測を行ったものである。

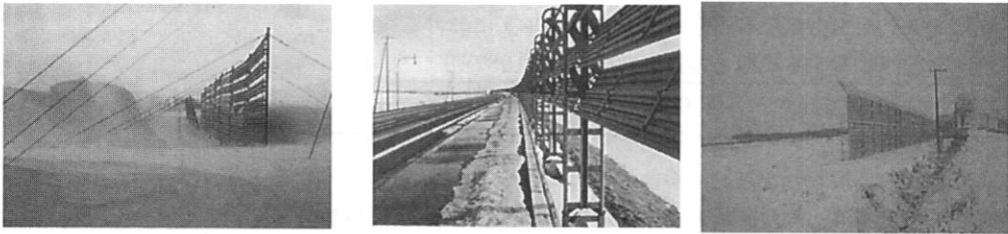


写真1 防雪柵（左：吹きだめ柵、中：吹き払い柵、右：吹き止め柵）

2. 観測場所と防雪柵設置

観測は北海道天塩町雄信内の町道に隣接した牧草地内に観測のため防雪柵を設置した。全道吹きだまり分布図(図1)によると、雄信内地区の最大吹きだまり量は $30 \sim 40 \text{ m}^3/\text{m}$ で、全道の中でも中程度～比較的吹雪の多い地域に分類される(エラー! 参照元が見つかりません。)。ここでいう最大吹きだまり量とはその地域における最大となる吹きだまり箇所での吹きだまり量であり、平均的な吹きだまり量とは意を異にする。設置した雪柵は北海道開発局が国道で用いている柵高5mの標準的なもので、下方が無孔板、上方2分の1が有孔板で構成されている(写真1の右写真)。福沢ら(2001)⁴⁾によると、柵端部からの風や飛雪の巻き込み延長は20m程度とされていることから、設置延長は60mとした。設置位置は北海道内の幹線道路における設置位置に準じて、道路端から8.5mの距離に、方向は道路と平行(南～北方向)に設置した。北北西約1kmにある北海道開発局雄信内道路気象観測所の風向風速計によると冬期間で気温 -2°C 以下、風速5m以上の吹雪の発生が予想される



図1 観測箇所

強風時の主風向は西である。そこで機能を十分発揮でき、設置延長も短くなるよう、風上側の開けた場所を選定し、主風向に直交して柵を設置した。

なお、風向風速について解析を行うにあたり、風向の表現方法は北を0度とし、時計回りに360度とする。なお、柵の方位は175-355度となっている。また正風とは柵に直交する293度方向とし逆風とは113度方向の風を言うことにする。

3. 風速・視程の計測

観測機器は、反射型視程計(明星電気製 TZE-4)と風向風速計(横河ウエザック製 A7401)をそれぞれ2台用意し、各1台を道路上の視程環境を計測するため、防雪柵の風下側の道路脇に高さ2.2mに設置した。またもう1台づつを防雪柵から十分に離れた牧草地上に高さ2.7mに基準点として設置した(図2)(写真2)。

反射型視程計は、投受光器が一体となっていて、飛雪から反射光に比例した出力電圧が得られる。以下、本文における視程とは、出力電圧に対する視程との換算式(福沢ら(1987)iii)

$$V=26.33V_o^{-0.87} \quad (V: \text{視程(m)}, V_o: \text{出力電圧(V)})$$

により、反射型視程計を用いて得たのである。

吹雪時の視程は、飛雪流量と逆比例関係がある。その関係式は竹内(1980)ivなどにより導かれている。同じ飛雪空間濃度であっても、風速により視程は変化し、風速が大きいくほど視程が悪いことになる。

視程の計測では、反射光による出力電圧を対数関数で換算して視程とするため、視程値で考えると変動が大きくなり、わずかの電圧差が視程値になると大きく影響を及ぼす。そこで視程計測を補完する意味から、風速の測定を同時同位置で行った。

測定期間は、平成15年12月27日～平成15年3月17日の一冬期間で、測定間隔は1秒ごとに測定し、解析では10秒ごとに平均化した値を使用した。

4. 測定結果(風速)

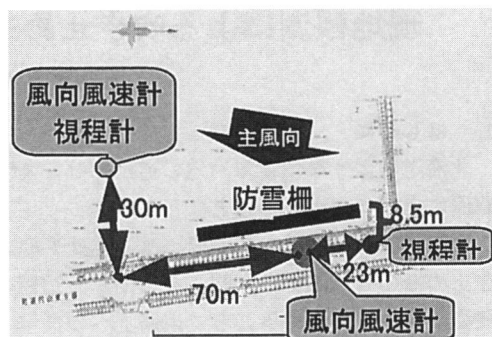


図2 防雪柵、観測機器の配置平面図



写真2 観測機器の設置状況
(上:道路脇、下:基準点)

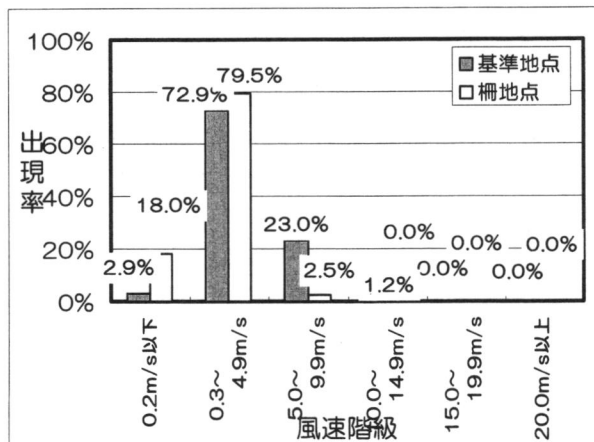


図3 風速階級別の出現頻度

図3に風速階級別の出現頻度を示す。吹雪の発生限界風速は温度、雪質等により異なるが、一般に発生限界 v とされる5m/s以上の風速頻度を見ると、基準地点が24.2%に対して、柵地点では2.5%と10分の1程度に激減しており、吹雪の抑制に貢献していることがわかる。

図4は、基準地点での風速を1とした場合の柵地点での風速比を風向別に平均化したものである。柵と直行方向では風速が大幅に低下し、柵とほぼ直行の270度では0.3に低下しているのに対して、平行方向の360度では1.0と風速の低下は見られない。図4より、概ね柵の直行方向を中心として左右45度合計90度の風向に対して、風速低減効果が確認できた。

図5は、基準地点が風速5m/s以上の場合の基準地点と柵地点の同時刻の風速をプロットしたものである。いずれの観測でも基準地点に比べ、柵地点の方が、風速が低下している。また、柵に直交風では、風速が一定割合で低下しているのに対して、5度程度の入射角の場合斜行風では低下率のばらつきが大きい。しかし、最大風速12m/s程度であった今回の観測では、概ね5m/s以下に低下していることがわかる。

5. 観測結果(視程)

視程観測データについては測定ノイズ除去を目的として得られた電圧値を10秒平均化した後、視程換算を行って解析を行った。換算後の視程500m以上については、観測器の特性を考慮し500mとした。

羽6は得られた2地点の視程の階級別頻度分布である。運転が不安定となる視程200m以下となる頻度は、基準地点が28.8時間に対して、柵地点が21.6時間にと25%ほど減少している。しかし著しい視程障害である視程100m未満では、頻度の減少は見られない。

表1は、代表風向(正風、逆風、平行風)での視程障害階級別視程改善比である。基準地点の視程が悪い方が、逆に改善比は高まり、階級別の頻度からは、改善の状況が認められなかった視程100m未満の著しい視程障害時のほうが視程改善比は大きいことがわかる。視程障害の著しい方が視程改善比が大きいのは、石本ら(1980)の道路防雪林の視程障害緩和効果と同様の傾向である。

また、逆風の場合でも主風向時とほぼ同様な視程改善効果が確認できる。冬期間を通じて一方

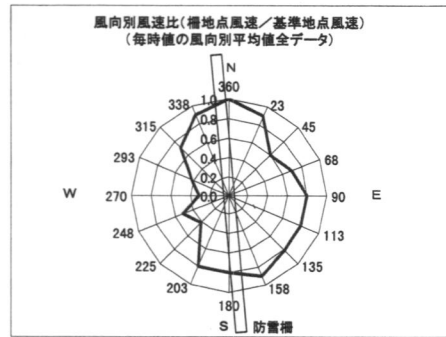


図4 風向別基準地点に対する柵地点の風速比

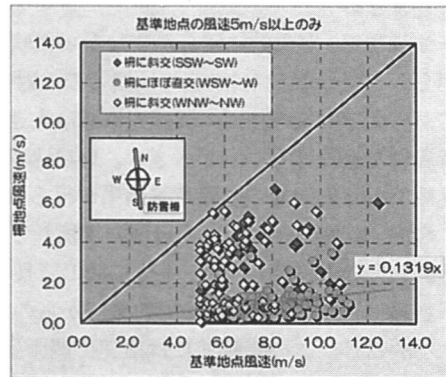


図5 吹き止め柵前後のの風速比較

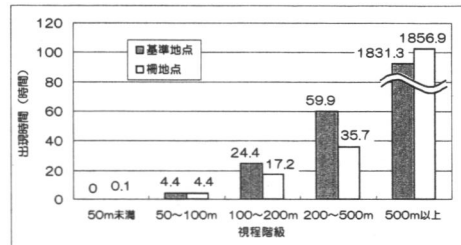


図6 吹き止め柵前後での視程階級別出現時間

向から風を受ける箇所はまれであり、一時的に逆風を受けることも多いが、その場合でも視程悪化することはないとなく、柵設置が視程環境にとって逆効果にならないということを示す。

平行風の場合でも、直交風(正風・逆風)に比べれば小さいが、多少の視程改善効果が見込めることがわかった。特に 360 度方向では風上に吹き溜まりの形成も確認できており、防雪柵が抵抗となって風上に吹き溜まりを形成することにより、飛雪流量が減少したためと考えられる。

表 1 風向別、視程別の視程改善比

		風の方			
基準地点に		113 度	293 度	180 度	360 度
おける視程値		(ESE)	(WNW)	(S)	(N)
200m 以上	視程比	1.4	1.2	1.3	1.2
500m 未満	標本数	(1,153)	(3,302)	(516)	(740)
100m 以上	視程比	2.3	1.4	1.8	1.7
200m 未満	標本数	(576)	(460)	(321)	(86)
	視程比	3.6	3.5	1.6	0
100m 未満	標本数	(32)	(24)	(44)	(0)

6. まとめ

これまで、定量的に明らかでなかった吹き止め柵の視程環境改善効果について、以下のことが明らかとなった。(1)風速では柵との入射角により低減率が大きく異なる。(2)概ね柵直交に対して 45 度以内であれば、風速の低減は大きい。(3)直交風では線形的な風速の低下を示すが、斜行風の場合はばらつきが大きい。(4)視程の悪い状況の方が、柵による視程改善比は大きい。(6)逆風でも正風同様の視程改善効果が得られる。

今回、視程の計測には反射型の視程計を用いたが、観測用に設置した柵の延長よりも視程計の計測範囲の方が長いため、十分に柵の延長を確保できればより視程の改善は高まる可能性がある。

さらに、反射型視程計の出力電圧からの視程値への換算は石狩吹雪実験場における経験式を用いているが、この経験式には風速に関する項が無い。吹雪時の視程(対数値)は飛雪流量(対数値)に反比例する。すなわち、同じ飛雪濃度であれば風速によって実際の人間の目で測定した視程は変化すると考えられるが、本文では機械値をそのまま採用している。経験式の平均風速は 10.5m~15m であり、今回の観測期間における平均的な風速条件よりも速いことから、この点を考慮した解析を行うことで、より正確な視程の改善効果が今後明らかにしてゆきたい。

7. おわりに

本文をとりまとめるに当たり、(財)日本気象協会北海道支社の石本敬志氏、金田安弘氏、(株)雪研スノーイーターズの竹内政夫氏、福沢義文氏からは貴重な助言をいただいた。また現地調査に当たっては、(財)日本気象協会北海道支社の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

i 福沢義文、加治屋安彦、小林利章、苫米地 司:北海道全域の吹きだまり量分布の推定, 雪氷, 62, (社)日本雪氷学会, pp291-300, 2000

ii 福沢義文、加治屋安彦、畠山拓司:防雪柵端部付近における視程障害と対策、第 24 回日本道路会議一般論文集(A)、日本道路協会, p358-359, 2001.10

iii 福沢義文、竹内政夫、石本敬志:反射式視程計による視程計測, 北海道の雪氷, 6, 日本雪氷学会北海道支部, p7, 1987.8

iv 竹内政夫:吹雪時の視程に関する研究, 土木試験所報告, 74, pp31 北海道開発局土木試験所, 1980

v 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限界風速, 昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集

vi 石本敬志、竹内政夫、福澤義文、野原他喜男, 1980: 道路防雪林による吹雪時の視程障害緩和効果, 土木試験所月報, 320, 7-18

タクシーGPS データを活用した札幌市における冬期交通特性分析

(独) 北海道開発土木研究所 交通研究室 ○高橋 尚人

(独) 北海道開発土木研究所 交通研究室 宗広 一徳

(独) 北海道開発土木研究所 交通研究室 浅野 基樹

1. はじめに

札幌市の年間の累計降雪量(平年値)はおよそ 5m に達し、冬期には恒常的な降積雪や気温の低下などの影響により、道路交通機能は著しく低下する。冬期における道路交通機能の確保が非常に重要な課題であるが、この課題に取り組むためには、冬期における交通特性を定量的に把握し、また、除雪や排雪等の各種対策の効果を定量的に把握することが必要である。冬期における代表的な道路交通調査としては冬期道路交通センサスがあるが、数年に一度の調査で調査日数、調査地点数ともに限られており、既往の調査手法だけでは冬期における交通特性を定量的に把握することが困難である。

本稿は、近年様々な旅行速度調査が試みられているプローブカー調査の一例として、札幌市内を走行するタクシー115 台の走行データ(GPS データ)をプローブカーデータとして利用し、札幌市の冬期における交通特性を定量的に把握することを試みたものである。

2. タクシーGPS データの概要

タクシーの走行データを蓄積しているタクシー会社の協力をいただき、時刻、位置等のデータをプローブカーデータとして利用した(表-1)。タクシー115 台の総走行距離は1 日あたり約 6 万km に及ぶ。

表-1 タクシーGPS データの概要

タクシー台数	115台
データ項目	日付、時刻(秒単位まで)
	位置(緯度・経度)
	速度、進行方向(16方位)
	※5秒間隔でメモリーカードに記録

位置データは車載のカーナビゲーションのマップとマッチングされてからメモリーカードに記録され、日々タクシー会社に蓄積される。その後、当該会社の専用システムで異常値の除外や再マップマッチング等の処理を行った上で、集計や分析を行う(図-1)。

タクシーGPS データを利用することにより、約 6 万km/日に及ぶ豊富なデータが日々・昼夜の間断なく取得・蓄積され、また、タクシーの走行路線は営業所から遠い地区の路線の利用頻度が低いなど若干の偏りがあるものの、幹線道路に限らず様々な路線を走行するため、様々な路線の様々な日時の旅行速度が把握可能となる。また、新たな調査機器や調査人員を要さないため、データ取得コストが低廉であるといったメリットもある。

3. 札幌市の冬期交通特性

次に、タクシーGPS データから求められる旅行速度を基に、札幌市における冬期交通特性について考察していくこととしたい。

本稿では、平成 13 年度に取得されたタクシーGPS データを用い、札幌市全域(タクシ

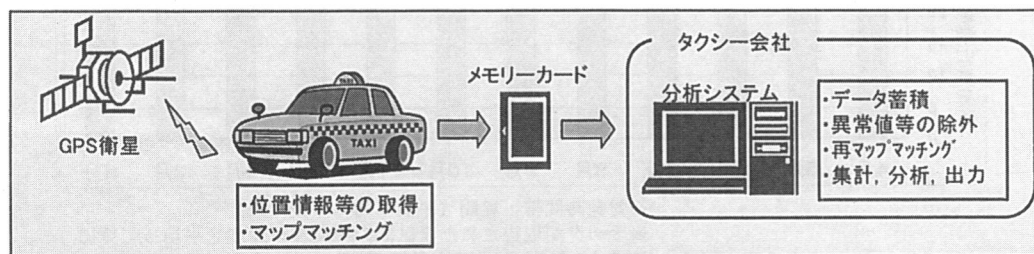


図-1 タクシーGPS データのシステム構成

ーGPSデータが取得された全ての道路区間の平均旅行速度を算出し、その変動の状況を紹介する。なお、平均旅行速度を算出する時間帯は、道路交通センサスで用いている昼間（午前7時から午後7時）とした。これは、札幌市内では道路交通への影響を避けるため除排雪作業を交通量が少ない夜間を実施しており、当該作業に伴う車線規制等による通行への影響（旅行速度の低下）を避ける観点もある。

(1) 平成13年度冬期の気象状況

平成13年度冬期（平成13年10月～平成14年4月）の気温、降積雪の状況を表-2に示す。平成13年度の冬期は、平成13年12月に平年（1971年～2000年の30年間）の2倍近い200cmもの降雪が観測されたが、1月以降の降雪が少なく累計降雪量は415cmと平年（496cm）に比べ約80cm少なかった。雪の初日は11月4日で平年（10月27日）に比べ約1週間遅かった。

気温については、各月の最低気温が平年に比べて低いものの、平均気温と最高気温は平年に比べて高かった。また、平年は4月まで降雪・積雪が観測されているが、平成14年4月には降雪・積雪が無く、概して少雪温暖傾向の冬であった。

(2) 月別・日別の旅行速度の状況

タクシーGPSデータから算出された各日毎の平均旅行速度を各月毎に平均したものを図-2に示す。4月は30km/hをわずかに下回るが、5月から10月にかけて30km/h台で推移し、11月には30km/hを若干下回る。そして、12月に平均旅行速度が22.1km/hと最も低くなり、1月、2月と徐々に平均旅行速度が向上し、3月には29km/h台まで旅行速度が回復している。

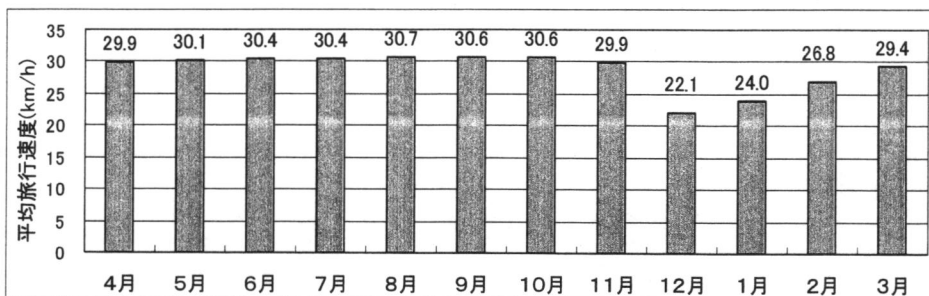
次に、平成13年11月から平成14年3月までの各日毎の平均旅行速度の推移を図-3に示す。この図から、11月の平均旅行速度の若干の低下には、11月下旬の旅行速度の低下が

表-2 平成13年度冬期（平成13年10月～平成14年4月）の気象概況

	平均気温(℃)		最高気温(℃)		最低気温(℃)		降雪量(cm)		最大積雪深(cm)	
10月	12.1	(11.3)	19.8	(15.8)	2.5	(6.9)	0	(1)	0	(1)
11月	5	(4.6)	16.4	(8.1)	-5.1	(0.9)	34	(25)	21	(12)
12月	-3.4	(-1)	5.3	(2.1)	-10.8	(-4.4)	200	(109)	81	(44)
1月	-2.5	(-4.1)	6.9	(-0.9)	-11.7	(-7.7)	71	(158)	76	(73)
2月	-0.6	(-3.5)	9.8	(-0.3)	-10	(-7.2)	73	(132)	83	(98)
3月	2.5	(0.1)	12.8	(3.5)	-8.7	(-3.5)	37	(67)	66	(81)
4月	9.6	(6.7)	20.3	(11.1)	1	(2.7)	0	(8)	0	(22)

資料：気象庁札幌管区気象台

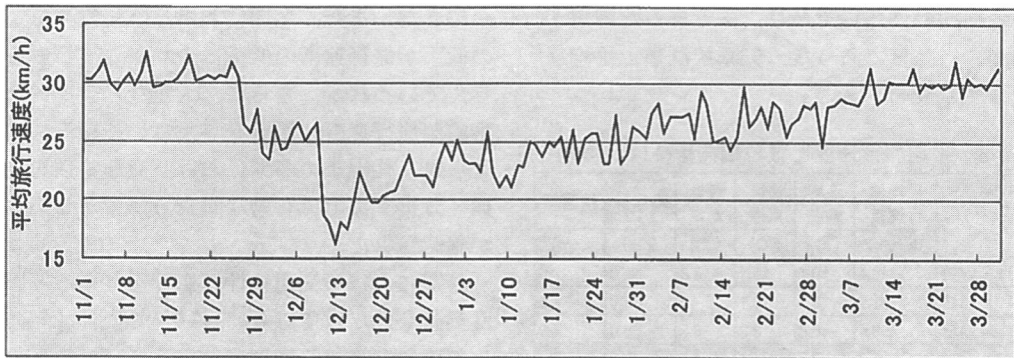
※（ ）内は平年値



※対象時間帯：昼間（午前7時～午後7時）

※データが取得された全区間の平均旅行速度を平均して算出

図-2 平成13年度月別平均旅行速度



※対象時間帯：昼間（午前7時～午後7時）

※データが取得された全区間の平均旅行速度を平均して算出

図-3 平成13年度日別平均旅行速度（平成13年11月～平成14年3月）

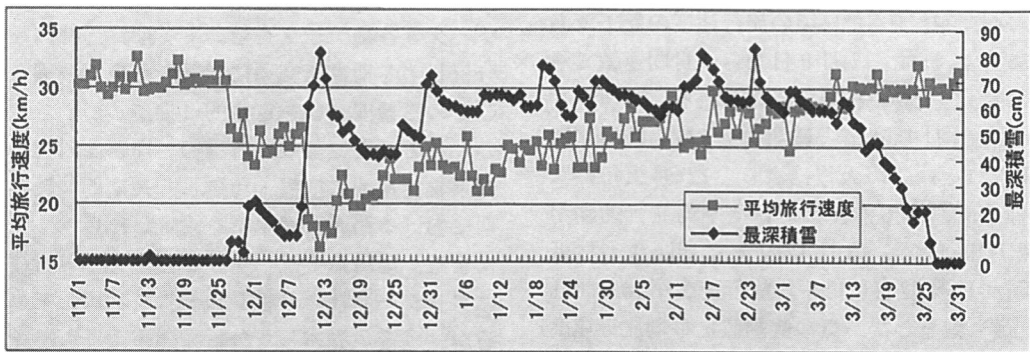


図-4 平均旅行速度と積雪深（平成13年11月～平成14年3月）

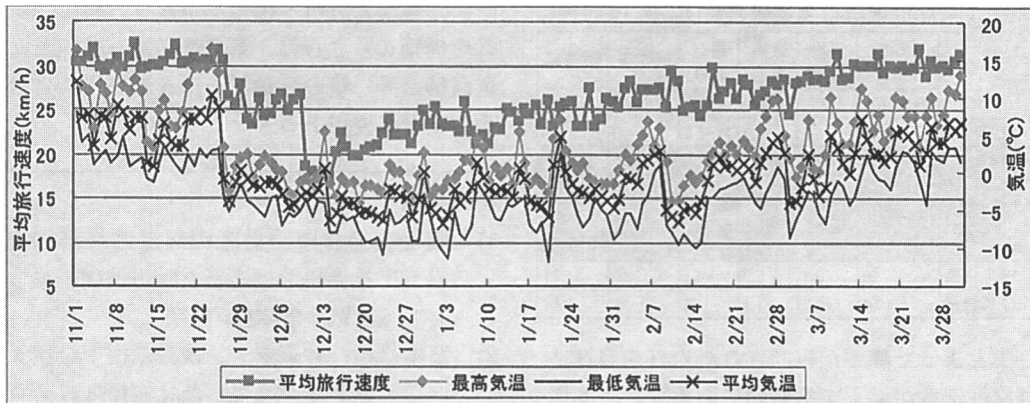


図-5 平均旅行速度と気温（平成13年11月～平成14年3月）

影響していることが分かる。また、12月10日頃には旅行速度が著しく低下している期間があり、その後、旅行速度は変動を繰り返しながら徐々に回復して、3月中旬頃にはほぼ30km/h台に持ち直している。

(3) 積雪・気温と平均旅行速度の状況

日々の旅行速度と積雪深（最深積雪値）との関係を図-4に、気温との関係を図-5に示す。

11月27日を境に旅行速度が低下しているが、この頃から気温が低下し、積雪が観測されている。平成13年11月27日は平成13年

度冬期初の真冬日であり、まとまった降雪が観測された日であった。気象観測値と平均旅行速度を表-3 に示す。

表-3 平均旅行速度と気象観測値(11月末頃)

	平均旅行速度 (km/h)	平均気温 (℃)	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)
11月24日	30.4	10.1	16.4	2.8	0	0
11月25日	31.7	8.5	13.1	3	0	0
11月26日	30.4	-0.8	3.3	-3.3	0	0
11月27日	26.3	-3.7	-2.4	-5.1	5	7
11月28日	25.6	-1.2	0.7	-3.2	8	7
11月29日	27.7	0.3	2	-1.6	0	3
11月30日	23.9	-0.9	2.4	-3.8	18	21

次に、12月10日頃の旅行速度の低下であるが、これは、12月9日から4日間連続で降り続いた大雪の影響と考えられる。12月10日には1日で56cmと観測史上2位の降雪が観測された。この大雪により、12月上旬には25km/h前後で推移していた平均旅行速度が12月10日から12月14日まで10km/h台に低下し、12月12日には平均旅行速度が16.2km/hと最も低下した。気象観測値と平均旅行速度を表-4 に示す。

表-4 平均旅行速度と気象観測値(12月10日頃)

	平均旅行速度 (km/h)	平均気温 (℃)	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)
12月8日	25.9	-4.3	-3.2	-5.8	0	10
12月9日	26.5	-3.2	-1.2	-4.9	15	21
12月10日	18.6	-2.7	-0.8	-3.6	56	60
12月11日	18	-3.2	-1.6	-5.8	22	68
12月12日	16.2	-2.2	-0.4	-3.7	23	81
12月13日	18	0.6	5.3	-4.1	0	71
12月14日	17.4	-6.2	-1.4	-8	12	57

まとまった降雪が観測された当日や翌日には旅行速度が低下する傾向にあるなど、冬期の旅行速度に降積雪等の気象条件が少なからず影響を及ぼしていることが分かる。

4. 今後の課題

タクシーGPSデータを活用することによって、概括的ではあるが、既往の調査手法では把握できなかった旅行速度の変動の状況を通年にわたり詳細（各日毎）に把握すること

ができた。また、冬期における降積雪や気温の低下が旅行速度の低下に少なからず影響を与えている状況、さらに、大雪など突発的な事象が旅行速度に影響を与えている状況も捉えられ、札幌市の冬期における交通特性を把握・分析する上で有効な調査方法であることが確認された。

冬期における交通特性に影響を与える要因は気象条件だけではなく、除雪や排雪、凍結防止剤の散布等道路管理者が行う各種対策も重要な要因であるが、本稿ではそれらの影響(効果)を把握するところまで至らなかったため、今後は、気象データのほか道路管理に関するデータ等各種データを用いて冬期交通特性を分析し、冬期道路交通に影響を与える要因及びその影響度合いを定量的に把握していきたい。このことにより、各種の冬期路面対策の効果を定量的に把握・評価し、長期的には冬期における路面管理水準を設定したい。

また、現時点では、データの処理や分析にはタクシー会社の分析システムを利用しているが、今後、先述した分析を効率よく行うためには大容量データの処理が可能なデータベース、容易に分析・出力が可能な分析システムを構築し、さらに、気象や道路（路線名、道路構造等）等の各種データを整備充実させることが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局企画課道路経済調査室：IT社会における新たな道路調査について：道路，2000年7月
- 2) 宮本修司，林華奈子，浅野基樹：タクシーGPSデータを用いた札幌市内の豪雪時の交通実態調査；第18回寒地技術シンポジウム，2002年

道路構造の違いと冬期路面温度との関係に関する一考察

独立行政法人 北海道開発土木研究所 交通研究室 ○宮本 修司
 独立行政法人 北海道開発土木研究所 交通研究室 高橋 尚人
 独立行政法人 北海道開発土木研究所 交通研究室 舟橋 誠
 独立行政法人 北海道開発土木研究所 交通研究室 浅野 基樹

1. はじめに

凍結防止剤の事前散布は、路面凍結を未然に防ぐ効果的な方法であるが、散布の実施に当たっては、路面凍結の発生しやすい条件を予め把握する必要がある。そこで、サーマルマッピング調査¹⁾を供用開始前の日高自動車道において実施したところ、橋梁部の路面温度が土工部と異なっていることや、橋梁の中でもRC床版橋と鋼床版橋で路面温度が異なっていることが確認できた²⁾。そこで鋼床版橋とRC床版橋に路面温度センサーを設置し、それぞれの路面温度を経時観測するとともに、実際の路面状態と凍結防止剤の散布回数について調査を行った。

2. 路面温度の計測調査

路面温度調査は、RC床版区間と鋼床版区間のそれぞれに路面温度センサー(φ0.5cm、L=2.5cm)を埋設し、1時間毎の路面温度をデータロガーに記録した。この橋梁は全延長1,401.5m、車線数は往復4車線で1車線当たりの幅員は3.5mとなっている。橋梁の付近には建物等が無く風や日射を妨げるものはない。

図-1に路面温度センサーの設置状況を示す。センサーは、橋梁のジョイントから縦断方向にそれぞれ25m、路肩から0.5m、埋設深さ2.5cmの位置に設置した。

表-1に10月～5月における月別の平均路面温度と1日の路面温度差の平均(1日の路面温度の最高値と最低値の差の月毎の平均)をそれぞれ示す。この表より平均路面温度は、ほとんど差がないが、1日の路面温度差については鋼床版橋の方が大きくなっている。鋼床版橋の路面温度のみプラスとな

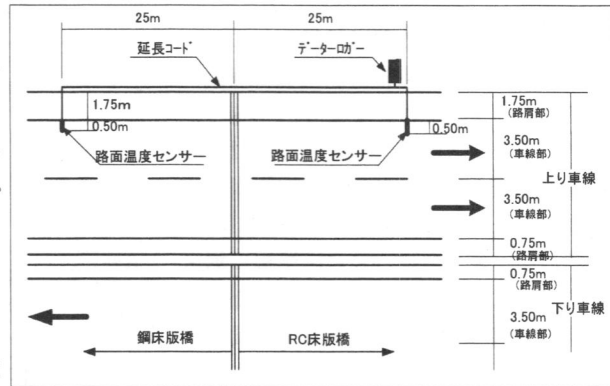


図-1 温度センサーの設置状況

表-1 月別平均路面温度と

1日の路面温度差の平均

	平均路面温度			1日の平均路面温度差		
	鋼床版	RC床版	鋼床-RC	鋼床版	RC床版	鋼床-RC
10月	11.28	11.32	-0.04	16.69	11.40	5.29
11月	2.23	1.97	0.26	8.50	5.42	3.08
12月	-4.83	-5.28	0.45	5.30	3.12	2.18
1月	-7.64	-8.03	0.40	8.17	4.43	3.74
2月	-6.47	-6.95	0.48	14.64	8.82	5.82
3月	1.51	1.09	0.42	15.44	10.69	4.75
4月	9.86	9.99	-0.12	17.07	12.22	4.85
5月	14.47	14.98	-0.51	14.19	10.85	3.34
全平均	2.55	2.39	0.17	12.50	8.37	4.13

キーワード：サーマルマッピング、冬期道路管理、冬期路面管理、路面凍結対策、鋼床版橋

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号

北海道開発土木研究所 交通研究室 tel (011) 841-1738 fax (011) 841-9747

るケース(図-2)や鋼床版橋の路面温度のみマイナスになるケース

(図-3)が発生する。

次に、鋼床版橋のみ路面温度が0℃以上になるケースと、鋼床版橋のみ路面温度が0℃未満になるケースが発生する延べ時間を、月別(図-4)と時間帯別(図-5)に集計した。鋼床版橋のみ路面温度が0℃未満となるのは、初冬期と終冬期に発生し、12月～2月については鋼床版橋の路面温度のみが0℃以上となることが多いことが分かる(図-4)。これを時間帯別に見ると、夜間から早朝にかけて鋼床版橋のみマイナスとなり、日中は鋼床版橋のみプラスとなることが多い(図-5)。

3. 冬期間における路面状態の

発生頻度と凍結防止剤散布回数

日高自動車道では、1日6回(6時、10時、13時、16時、18時30分、21時)の道路巡回を行っており、冬期間(12月～3月)は、路面状態を100m毎に記録している。表-2に、RC床版橋と鋼床版橋の路面状態出現割合を集計した結果を示す。鋼床版橋の方がRC床版橋よりも乾燥路面の出現割合が高く、逆に圧雪路面や積雪路面の出現割合は低くなっている。

同様に凍結防止剤の散布回数についても100m毎に集計を行っており、鋼床版橋部分とRC床版橋部分を集計した結果を表-3に示す。RC床版橋の方が凍結防止剤の散布回数が多くなっている。

表-2から、12月～3月の日中においてはRC床版橋のみ路面温度が0℃未満となるケースが多いことが、また、表-3からは、路面状態の出現割合が凍結防止剤の散布回数に反映されていると考えられる。

しかし今回の路面温度計測の結果から、10月～11月及び3月～5月の夜間から

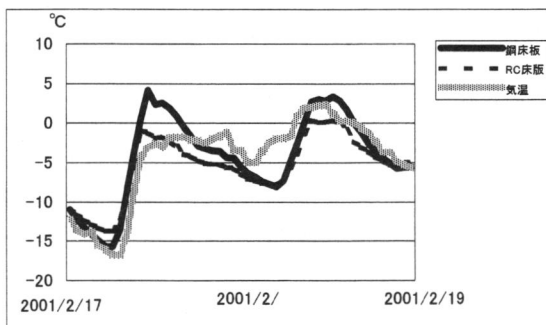


図-2 鋼床版橋の路面温度がプラスになるケース

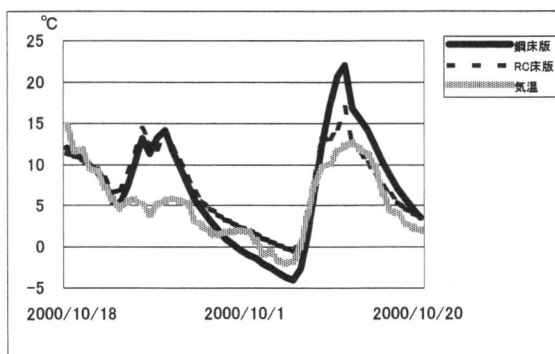


図-3 鋼床版橋の路面温度がマイナスになるケース

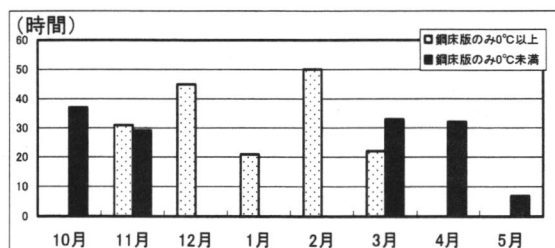


図-4 鋼床版橋のみ路面温度が0℃以上若しくは未満となった延べ時間(月別)

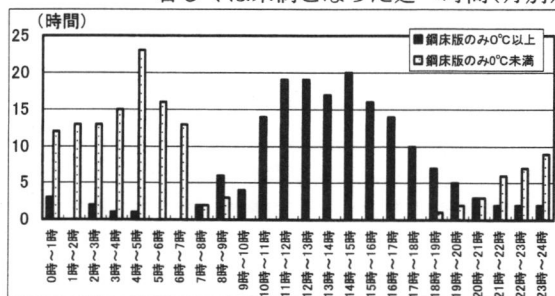


図-5 鋼床版橋のみ路面温度が0℃以上若しくは未満となった延べ時間(時間帯別)

早朝にかけて、鋼床版橋のみ路面温度が0℃未満となる場合があることが明らかとなった。この時期のこの時間帯においては、道路巡回や雪氷巡回が行われておらず、また、この時期には通常、凍結防止剤の散布も行われていない。このため、路面状態に関する資料を得ることができなかったが、10月～11月、3月～5月にかけて、路面凍結の発生を見逃していた可能性がある。

表－2 道路巡回による冬期間の路面状態出現割合（％）

	12 月		1 月		2 月		3 月	
	RC床版	鋼床版	RC床版	鋼床版	RC床版	鋼床版	RC床版	鋼床版
乾燥	49.17	51.92	43.56	48.90	59.07	69.00	72.49	76.40
湿潤	36.84	34.36	40.73	36.23	33.62	23.68	22.68	19.05
シャーベット	2.80	2.85	3.47	3.55	0.68	0.82	1.99	1.75
圧雪	9.15	8.78	6.47	6.25	4.08	3.95	1.14	1.12
非常に滑りやすい圧雪	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
氷膜	0.38	0.44	1.35	0.84	0.68	0.66	0.57	0.56
非常に滑りやすい氷膜	0.00	0.00	0.53	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
積雪	1.66	1.65	3.88	3.72	1.87	1.89	1.14	1.12
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表－3 1998年度から2000年度までの凍結防止剤散布回数

キロポスト	R C 床 版 橋				鋼 床 版 橋			
	12.3	12.4	12.5	平均	12.7	12.8	12.9	平均
1998 年度	59	54	57	56.7	48	46	46	46.7
1999 年度	65	57	61	61.0	37	33	31	33.7
2000 年度	61	51	58	56.7	45	44	51	46.7
合 計	61.7	54.0	58.7	58.1	43.3	41.0	42.7	42.3

4. まとめと考察

4. 1 厳冬期の路面状態と凍結防止剤散布

今回の調査により北海道の12月～3月においては、日中、他の路面温度がマイナスであっても鋼床版橋のみ路面温度がプラスになることが多く、路面状態についても乾燥路面の出現割合が高い。これは熱容量の小さい鋼床版橋は、1日の路面温度の変動が大きく、日中の路面温度は気温やRC床版橋の路面温度より高くなるためである。

また凍結防止剤によって路面の雪氷を融解する事後散布では、雪氷の融解に必要な熱量は散布を行った周囲から吸収される³⁾。そのため熱容量の小さい鋼床版橋は、路面温度が散布効果に与える影響が特に大きいと考えられ、厳冬期の鋼床版橋では、凍結防止剤を日中に散布するのが効果的と考えられる。

4. 2 初冬期、終冬期の路面状態と凍結防止剤散布

初冬期や終冬期の深夜から早朝にかけては、鋼床版のみ路面温度が0℃未満となるケースが発生しているが、これらの時期には深夜から早朝にかけて路面状態監視を目的とした道路巡回等を実施していないため、路面凍結を発見することが困難である。路面温度の監視装置を設置すること等が必要と考えられる。また鋼床版橋のみ路面温度が0℃未満となるケースは、放射冷却現象の起きる日と考えられることから、天候による予測も有効である。

凍結防止剤の散布は、路面凍結の発生しやすい時刻である、夜間から早朝にかけての散布が効果的である。

あとがき

北海道と比べて温度の高い本州方面では、鋼床版橋の路面がＲＣ床版橋の路面よりも路面凍結頻度が高く、交通事故発生の原因となっていることが報告されている^{4) 5)}。北海道においても、初冬期や終冬期の深夜から早朝にかけては、鋼床版橋の路面温度のみ 0°C 未満となることが多く、本州方面の厳冬期と同様に、鋼床版橋の路面のみ凍結していると考えられる。

今後は、鋼床版橋の路面温度に影響する放射冷却現象など天候予報による注意喚起、凍結防止剤の自動散布装置の利用、本州での実施例がある蓄熱材を用いた方法⁵⁾などの各種対策についても検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 松沢勝, 加治屋安彦, 高橋勝宏, 中山峠におけるサーマルマッピングと冬期路面状況, 北海道開発土木研究所月報, No479, 1993年4月
- 2) 宮本修司, 浅野基樹, 高規格幹線道路日高自動車道におけるサーマルマッピングによる路面凍結要注意箇所の抽出, 北海道開発土木研究所月報, No590, 2002年7月
- 3) 村国誠, 冬期道路管理に使用する薬剤(Ⅰ), ゆき 社団法人雪センター発行 No. 10, 1993年1月
- 4) 洲崎治平, 井上要三, 仙黒邦行, 飯塚敏樹, 矢島篤, 橋梁部における路面凍結調査, 雪と道路, No. 21, pp60~70, 1989年10月
- 5) 宮本重信, 室田正雄, 蓄熱材封入による鋼床版橋路面の凍結抑制, 第13回寒地技術シンポジウム, pp121~125, 1997年11月

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2002 年度事業報告

1. 春の講演会の開催

日 時 : 2002 年 4 月 23 日 (火) 13:30~15:00

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 小講堂

参加者 : 95 名

講 演 : 1. 流氷—海からの素晴らしい贈り物— 青田昌秋 (前 北大流氷研究施設長)
2. シベリアサハ族に伝わる口琴について 阿部和厚 (前 北大医学研究科教授)

2. 支部総会

日 時 : 2002 年 4 月 23 日 (火) 15:10~15:40

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 小講堂

主要議題: (1) 2001 年度事業報告・収支決算
(2) 2002 年度支部役員について
(3) 2002 年度事業計画案・収支予算案
(4) その他

3. 役員会議

日 時 : 2002 年 4 月 23 日 (火) 15:40~17:00

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 小講堂

主要議題: (1) 2002 年度地域講演会について
(2) 支部の運営について
(3) 本部理事の推薦について
(4) その他

4. 理事・幹事会議

日 時 : 2003 年 4 月 4 日 (金) 15:00~17:00

場 所 : 北海道大学 低温科学研究所 会議室 (研究棟本館 318 号室)

主要議題: 1. 2002 年度事業報告・収支決算
2. 地域講演会 (沼田町) の報告
3. 2003 年度事業計画案・収支予算案
4. 2003 年度役員について
5. 2003 年度地域講演会について
6. その他

5. 幹事会の開催

第 1 回幹事会: 2002 年 4 月 23 日 (火) 支部研究発表会総括、運営方針等について

第 2 回幹事会: 2002 年 6 月 12 日 (水) 地域講演会について

第3回幹事会：2002年10月15日（火） 支部HPについて、地域講演会について

6. 研究発表会の開催

日時：2002年6月12日（水）10：00～16：00

場所：北海道大学 学術交流会館 第一会議室

発表件数：19件

参加者数：77名

7. 機関誌「北海道の雪氷」21号の発行

発行日：2002年8月10日

発行部数：350部

8. ニュースレターの発行

No.15 (2002年4月5日)：

春の講演会のお知らせ、総会・役員会のお知らせ、地域講演会報告他

No.16 (2002年5月31日)：

支部長あいさつ、研究発表会のお知らせ、新年度役員紹介他

No.17 (2003年2月20日)：

地域講演会報告、支部ホームページ開設のお知らせ、今後の活動予定他

9. 地域講演会

日時：2002年11月9日（土）13:00～17:00

場所：沼田町生涯学習総合センター「ゆめっくる」（雨竜郡沼田町南1条4丁目）

共催：沼田町

参加者：45名

プログラム：

第1部 雪と氷の実験教室（モデル授業）

第2部 トーク&ディスカッション

（話題提供）

総合学習サポートページ「雪たんけん館」の活用 高橋 庸哉、新保 元康

雪を生かした冬季体育

須田 力

雪の冷熱利用をテーマとした総合学習の実践

依田 玲子

（ディスカッション）

雪と氷を利用した総合学習の可能性 司会：西村 浩一

10. 支部ホームページの開設

開設年月日：2003年1月27日

2002年度収支決算書
(2002年4月1日～2003年3月31日)

収入の部 (単位 円)

科 目	決算額	備 考
1.会費収入	0	
支部会員費	0	
2.事業収入	13,000	
研修会等収入	0	
広告収入	0	
出版収入	13,000	「北海道の雪氷」
3.内部移管金収入	275,000	
交付金支部収入	275,000	本部より
事業収支差額収入	0	
広告支部受取金	0	
4.雑収入(預金利子)	9	
当 期 収 入 合 計	288,009	
前期繰り越し収支差額	1,164,648	
収 入 合 計	1,452,657	

支出の部 (単位 円)

科 目	決算額	備 考
1.事業支出	593,198	
研修・見学会支出	20,700	研究発表会
講演・談話会支出	156,106	春の講演会、地域講演会
支部機関誌発行費	416,392	北海道の雪氷、ニュースレター
2.管理費	172,907	
事務費	153,163	交通費、文房具費等
会議費	19,744	お茶、弁当代等
3.内部移管収入勘定	0	
4.予備費	0	
当 期 支 出 合 計	766,105	
当 期 収 支 差 額	▲ 478,096	
次期繰越し収支差額	686,552	
支 出 合 計	1,452,657	

(社) 日本雪氷学会北海道支部 2003 年度事業計画案

1. 春の講演会の開催

日 時 : 2003 年 4 月 25 日 (金) 13 : 30~15 : 00

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 第一会議室

講 演 : 1. 寒地 I T S の研究開発

加治屋安彦 (北海道開発土木研究所 防災雪氷研究室長)

2. 北西太平洋上で急激に発達する低気圧と水蒸気輸送

遊馬芳雄 (北海道大学大学院 理学研究科)

2. 支部総会

日 時 : 2003 年 4 月 25 日 (金) 15 : 10~15 : 40

場 所 : 北海道大学 学術交流会館 第一会議室

主要議題 : (1) 2002 年度事業報告・収支決算

(2) 2003 年度支部役員について

(3) 2003 年度事業計画案・収支予算案

(4) その他

3. 役員会議

日 時 : 2003 年 4 月 25 日 (金) 15 : 40~17 : 00

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 : 2003 年 6 月頃、2004 年 3 月頃 の 2 回を予定

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 : 2003 年 6 月 26 日 (木) 10 : 00~16 : 00 (時間は予定)

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. 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

10. 機関誌「北海道の雪氷」22 号の発行

機関誌「北海道の雪氷」22 号を発行（発行時期：2003 年 8 月頃）、発行部数：350

2003年度収支予算
(2003年4月1日～2004年3月31日)

収入の部		(単位 円)	
科	目	予算額	備考
1.会費収入		0	
支部会員費		0	
2.事業収入		10,000	
研修会等収入		0	
広告収入		0	
出版収入		10,000	「北海道の雪氷」
3.内部移管金収入		250,000	
交付金支部収入		250,000	本部より
事業収支差額収入		0	
広告支部受取金		0	
4.雑収入(預金利子)		100	
当期収入合計		260,100	
前期繰り越し収支差額		686,552	
収入合計		946,652	

支出の部		(単位 円)	
科	目	予算額	備考
1.事業支出		660,000	
研修・見学会支出		30,000	研究発表会
講演・談話会支出		200,000	春の講演会、地域講演会
支部機関誌発行費		430,000	北海道の雪氷、ニュースレター
2.管理費		150,000	
事務費		120,000	
会議費		30,000	
3.内部移管収入勘定		0	
4.予備費		0	
当期支出合計		810,000	
当期収支差額		▲ 549,900	
次期繰越し収支差額		136,652	
支出合計		946,652	

2003 年度（社）日本雪氷学会北海道支部役員名簿

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	
	石丸 幸一	鹿島建設(株)札幌支店営業部	
	斉藤 新一郎	環境林づくり研究所	
	斎藤 有司	(株)ドーコン	新任
	高橋 庸哉	北海道教育大学附属教育実践研究指導センター	
	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	新任
	原 文宏	(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	新任
	山崎 誠	北海水力発電(株)	
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	
	川村 和幸	北海道開発局開発監理部開発調整課	
	小林 利起夫	北海道総合企画部総務課	新任
	小山 芳一	(財)河川情報センター札幌センター	
	田守 雅行	北海道電力(株)総合研究所	新任
	志賀 昭彦	札幌市建設局管理部雪対策室	新任
	高橋 淳	(株)地崎工業北海道本店	
	東海林 明雄	北海道教育大学釧路校	
	前野 紀一	北海道大学低温科学研究所	
	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	
	横田 崇	札幌管区気象台技術部	新任
顧問	秋田谷 英次	北星学園大学・北の生活館	
	小島 賢治	北海道大学名誉教授	
	佐伯 浩	北海道大学工学部	
	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	河村 俊行	北海道大学低温科学研究所	新任
庶務幹事	大槻 政哉	(財)日本気象協会北海道支社	新任
会計幹事	澤柿 教伸	北海道大学地球環境科学研究科	新任
幹事	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	新任
	尾関 俊浩	北海道教育大学岩見沢校	
	金田 安弘	(財)日本気象協会北海道支社	
	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	
	竹谷 敏	独立行政法人産業技術総合研究所	
	鳥田 宏行	北海道立林業試験場 道東支場	
	八久保晶弘	北見工業大学未利用エネルギー研究センター	
	平田勝二郎	(株)雪研スノーイーターズ	
	藤井 雅晴	札幌総合情報センター(株)	
	村崎 慎一	日本道路公団北海道支社 保全部	
	森 淳子	北海道大学大学院 工学研究科	新任
	山田 高嗣	北海道栄高等学校	新任
	和田 章弘	北海道電力(株)総合研究所	

日本雪氷学会と道内関係機関のホームページ

日本雪氷学会のホームページ (<http://www.soc.nii.ac.jp/jssi/>) には、「雪氷学関連の情報 (リンク)」のページが開設されています。このページへ掲載を希望される場合は、学会事務局 (TEL 03-3262-1943) へご連絡下さい。この他に、学会ホームページでは、雪氷メーリングリストへの加入方法、全国大会の最新情報などを入手できます。

雪氷学会ホームページには、雪氷関連の行事を紹介する学会カレンダーのページも開設されています。カレンダーに関連行事の開催案内を掲載するためには、登録してパスワードを取得する必要があります。登録方法については以下のサイトを参照して下さい。
(<http://www.soc.nii.ac.jp/jssi/act/cal/calendar-manual.html>)

道内関係機関のホームページ

1. 日本雪氷学会	
日本雪氷学会本部ホームページ	http://www.soc.nii.ac.jp/jssi/
2. 官公庁・公益法人	
気象庁	http://www.kishou.go.jp/
海上保安庁水路部流水情報センター	http://www.jhd.go.jp/cue/KAN1/1center.html
北海道立オホーツク流水科学センター	http://www.ohotoku26.or.jp/organization/center/index.htm
(社)北海道開発技術センター	http://www.decnec.or.jp/
(財)北海道道路管理技術センター	http://www.rmec.or.jp/
(財)日本気象協会	http://www.jwa.or.jp/index-j.html
3. 大学等	
北海道大学	http://www.hokudai.ac.jp/
北海道大学低温科学研究所	http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/
北海道大学低温科学研究所流水研究施設	http://www.hokudai.ac.jp/lowtemp/sirl/sirl.html
北海学園大学	http://www.hokkai-s-u.ac.jp/
北海道東海大学	http://www.htokai.ac.jp/
北海道工業大学	http://www.hit.ac.jp/
北海道教育大学	http://www.hokkyodai.ac.jp/
室蘭工業大学	http://www.muroran-it.ac.jp/
帯広畜産大学	http://www.obihiro.ac.jp/
北見工業大学	http://www.kitami-it.ac.jp/
4. 研究機関等	
独立行政法人北海道開発土木研究所	http://www.ceri.go.jp/
開発土木研究所国内外の関連サイト	http://www2.ceri.go.jp/link.htm
独立行政法人 農業技術研究機構 北海道農業研究センター	http://www.cryo.affrc.go.jp/
農業低温科学研究会	http://ss.cryo.affrc.go.jp/jacrys/
独立行政法人産業技術総合研究所 北海道センター	http://unit.aist.go.jp/hokkaido/index.htm
北海道立北方建築総合研究所	http://www.hri.pref.hokkaido.jp/
北海道立工業試験場	http://www.hokkaido-iri.go.jp/
北海道立中央農業試験場	http://www.agri.pref.hokkaido.jp/chuo/
北海道立地質研究所	http://www.gsh.pref.hokkaido.jp/
北海道立林業試験場	http://www.hfri.bibai.hokkaido.jp/
5. その他	
国際雪氷学会 (IGS)	http://www.spri.cam.ac.uk/igs/home.htm
雪たんけん館	http://yukipro.sap.hokkyodai.ac.jp/

より充実したものにするために、道内関係機関のアドレスを下記までご連絡下さい。

連絡先：北海道支部庶務幹事 大槻 政哉
TEL 011-272-3540、FAX 011-272-3550
E-mail: otsuki@snow-eaters.com

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 本支部につきの役員を置く。

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

(役員を選出)

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。再任を妨げない。

(顧問、評議員)

第14条 本支部に顧問および評議員を置くことができる。

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

(総会)

第15条 本支部は、毎年1回、通常総会を開くほか、必要に応じ臨時総会を開く。

2 総会においては、下記の事項の承認を受けなければならない。

1. 支部役員
2. 事業計画および収支予算
3. 事業報告および収支決算
4. 財産目録および貸借対照表
5. 重要なる財産の処分
6. 支部規約の変更
7. その他支部理事会において必要と認めた事項

(資産および会計)

第16条 本支部の財産は次のとおりとし、支部長がこれを管理する。

1. 本部からの交付金
 2. 寄付金
 3. その他
- 2 本支部の会計年度は、毎年4月1日より翌年3月31日までとする。

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

北海道の雪氷 No.22

ISSN-1340-7368

2003 年 9 月 12 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