



Title	中国黒竜江省蘿北(ローペー)県の気象と積雪調査
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi; 成田, 英器 他
Citation	低温科学. 物理篇, 52, 51-61
Issue Date	1994-03-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18630
Type	departmental bulletin paper
File Information	52_p51-61.pdf



中国黒竜江省萝北（ローペー）県の積雪と気象観測*

秋田谷英次・成田 英器

(低温科学研究所)

小林 俊一・和泉 薫

(新潟大学積雪地域災害研究センター)

対馬 勝年

(富山大学理学部)

石坂 雅昭

(富山市科学文化センター)

楽 鵬 飛

(黒竜江省交通庁)

(平成5年11月受理)

Abstract : Observations of weather conditions from January to March and snow pit studies in the beginning of March of 1993 were performed in Heilongjiang, China. The snow cover in this area consisted of well developed depth hoar under weather conditions of low temperature and little snowfall. Additionally, a very hard layer of snow was observed. This hard layer, named hard depth hoar, was densely redeposited snow from the fragile depth hoar layer by a strong snow storm called the continental snow storm. It was known that a dense snow layer can metamorphose to hard depth hoar under large temperature gradient.

The importance of transportation by road is increasing in China but the technology of snow road maintenance and traffic equipment remain insufficient there. A counter-plan for the continental snow storm on roads is an important problem in Heilongjian.

要旨：中国黒竜江省は冬期の降水は少なく寒冷な気候帯にある。現地で冬期間の気象観測、さらに3月には積雪調査と道路状況を視察した。その結果次の事が明らかとなった。積雪が少なく寒冷なため、積雪はしもぎらめ雪の発達著しい。また、しもぎらめ雪は結合力が弱い。そのため、いったん堆積した雪が強風下で大陸性地吹雪と呼ばれる吹雪となる。この吹雪が堆積すると寒冷な気象の下で硬しもぎらめ雪を形成する。近年、中国では道路交通の重要性が増したが、道路の維持管理や車の性能が冬道には不十分である。そのため、道路上の吹き溜りは量が少なくても大きな交通障害となったり、大事故の恐れがある。その対策には吹き溜り防止工、道路の維持管理および車の冬期装備を考慮しなければならない。

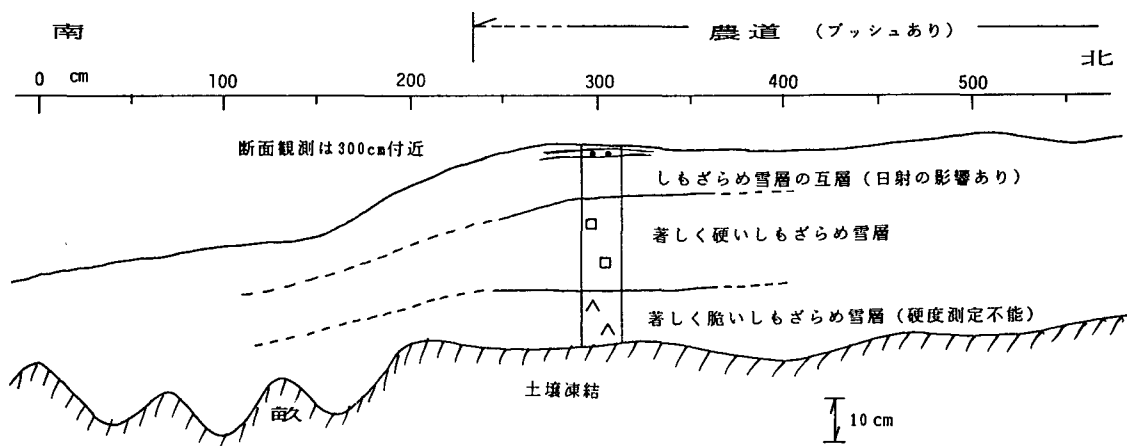
* 北海道大学低温科学研究所業績 第3693号

度と少なく、積雪全体が「しもざらめ雪」で寡雪寒冷な気候帯であることが分かる¹⁾。調査地域一帯は広大な農業地帯で、積雪は更に少なく、3月上旬には田畑は地面が露出している所が多かった。多少雪がある所でも収穫後の麦・稲や豆等の作物の切株が雪面上に出ていて、一面真っ白な雪景色はむしろ少なかった。ただし、道路の路肩や防風林の周囲や畑を横切る農道の近くには、しばしば吹き溜が見られた。積雪観測位置は萝北（ローペー）県名山の気象測器を設置した場所に隣接した耕地中である。そこには幅6~7mの農道が東西にはしり、農道の両側には枯れた背丈の大きな草が列状に生えていて、農道上には明らかに吹き溜った雪がほぼ一様な厚さで堆積していた。

気象データの回収と積雪観測は1993年3月8日の午前中に行った。当日は朝から無風快晴で太陽が登るにつれ気温が上がり、正午頃には0℃近くまで上昇した。積雪断面観測はこの農道の上でおこなった。

II. 積雪の特徴

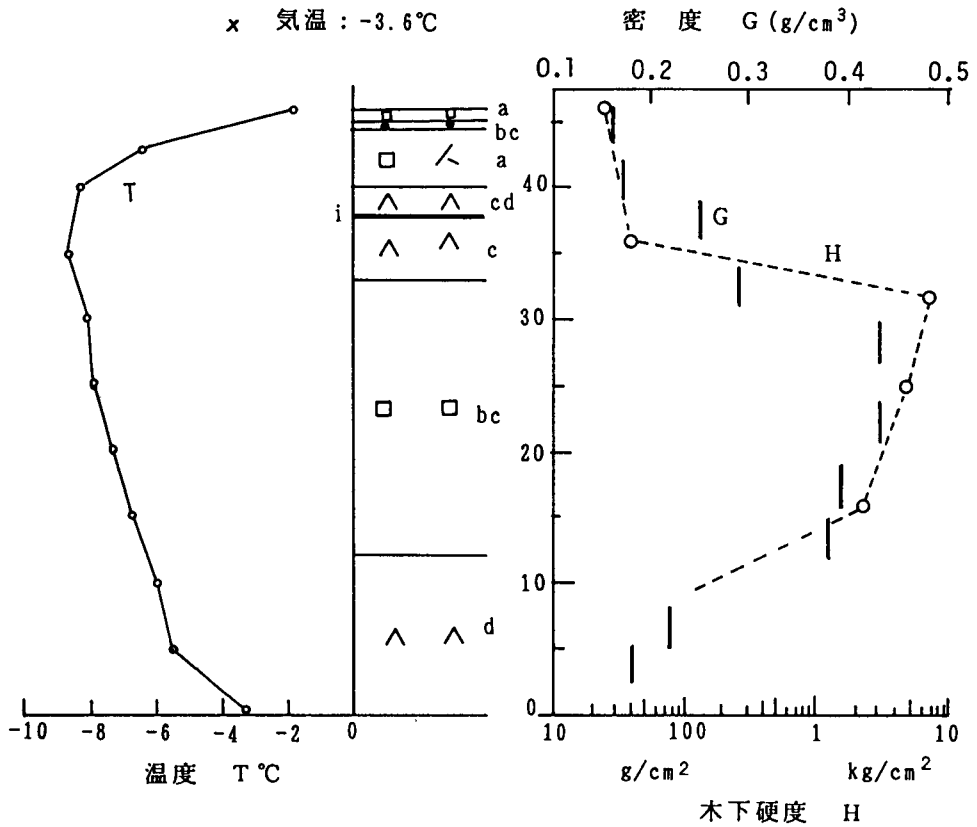
第2図に農道上の積雪の横断面を、第3図に断面観測結果を示した。積雪深は40cmあまりで、雪質と硬さから明瞭に3層に区分できた。すなわち、上層と下層は密度と硬度が著しく小さい「しもざらめ雪」、中央の層が密度と硬度が著しく大きな「硬しもざらめ雪」からなっていた。地面は凍結し地表温度は-3℃あまりであった。これら3層の積雪の特徴は以下のとおりである。



第2図 農道上の積雪の横断面

1. 下層のしもざらめ雪

地面から10cmあまりは、粒度 d (2~4 mm)の大きな骸晶状の典型的なしもざらめ雪で、密度と硬度はそれぞれ 0.2 g/cm^3 以下と 100 g/cm^2 以下で、非常に脆いため、これらの測定が困難であった。密度が小さいことから、この雪は風の弱い時につもり、さらに、しもざらめ雪の著しい発達から、堆積後に低温が続く積雪中に大きな温度勾配が持続したことがわかる³⁾。



第3図 積雪断面観測結果 1993/3/8

2. 中央の硬しもぎらめ雪

地上10~30cm付近にある硬い雪は融解の形跡がなく、しかも雪粒は小さく（粒度b・c：1~2 mm）、密度が $0.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ と大きいことから、風で運ばれて堆積した吹き溜りに間違いはない。また硬度が数 kg/cm^2 と大きく、雪質はこしもぎらめ雪であった。粒度が小さく、密度の大きい雪は温度勾配の作用で硬いしもぎらめ雪やこしもぎらめ雪に変化する。このような温度勾配によって硬化した雪を「硬いしもぎらめ雪」と呼び、極地や高山の強風地帯でしばしば見られる^{4~6)}。

3. 上層の氷板を含むしもぎらめ雪

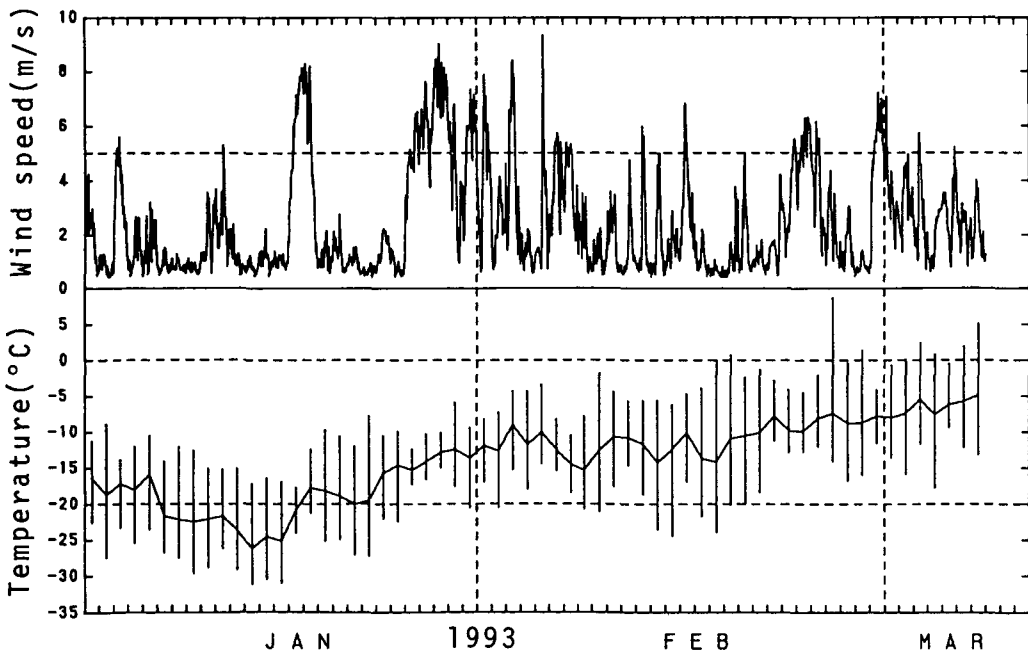
上層15 cmあまりは密度、硬度とも小さい。全体としてはしもぎらめ雪であるが、細かく観察するとやや複雑な成層構造をしている。表面直下に薄いしもぎらめ雪の層があり、この層はごく最近の日射による内部融解でできたことは明らかである。表面から約10 cm下方に明瞭な氷板が見られた。この氷板の形成は次のように説明できる。この位置が表面近くにあった時、表面付近でかなり融解がおり、その融け水が保水力の大きな薄い層内に滞水した。その後の寒気

で滞水した層が凍結して氷板になった。保水力の大きな雪は小さな粒子が密に詰まった雪である。この氷板の上下は発達したしもぎらめ雪で融解の形跡はない。このことから、氷板が形成される前の層構造と氷板の形成過程が次の様に推測できる。すなわち、表面にはわずかな厚さの密度の小さな雪があり、すぐ下に保水力の大きなウインドクラスト（薄い風成雪：地吹雪で形成された小さな粒子が密に詰まった薄い層）が、さらにその下にも密度の小さな雪があった。気温が氷点下でも、強い日射があると、日射の大部分は最上部の小密度の雪を通過してウインドクラストで吸収され、そこで内部融解がおこる⁷⁾。融け水は上下の小密度の雪には吸収されず、ウインドクラスト内に留まっている。その後の寒気で水を含んだクラストが凍結し氷板になり、氷板の上下の雪は大きな温度勾配にさらされてしもぎらめ雪に変態した。

III. 気象の特徴と積雪の変態

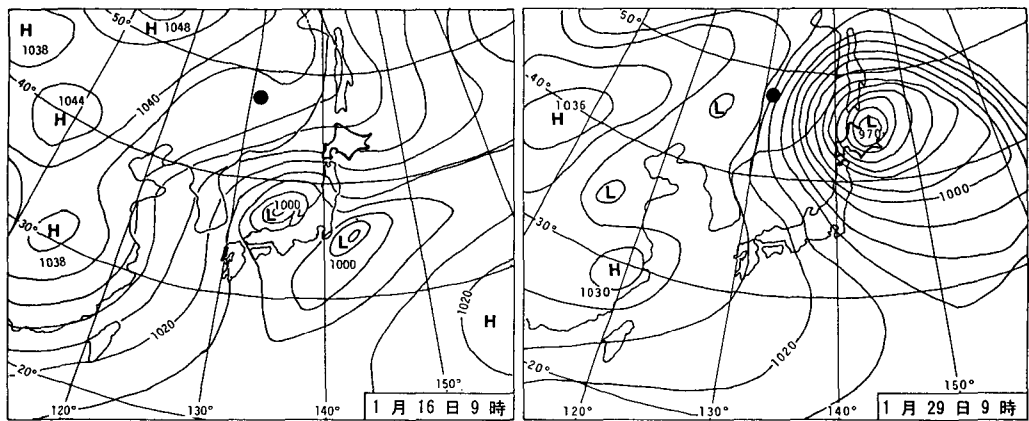
第4図に萝北（ローペー）の1月5日～3月7日までの気温と風速を示した。気温は通風なしで日除けのみをつけたサーミスタ温度計によった。10分毎の計測の日平均を折れ線で、日最高と最低気温を縦棒で示した。風速は3杯式風速計で10分毎にデータを取り込み、1時間毎の平均風速を折れ線で示した。なお、風速計の起動風速は0.4 m/sなので風速計の出力が0でも0.4 m/sと計算されている。

1月は気温が低く中旬には最低気温が -30°C に達している。平均風速が1 m/s以下の弱い日



第4図 萝北（ローペー）の気象 1993/1/5～3/7
日平均気温（折線）と日最高・最低気温（縦棒）および毎時平均風速（折線）

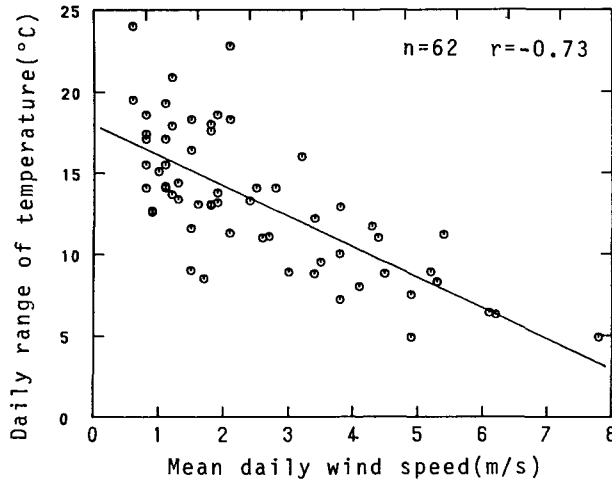
が3～5日継続し、その期間には気温も低下している。しかし、2、3月では無風に近い状態が2日以上続くことはない。1月末から2月上旬に6～8 m/sの強風が1週間程続き、この冬一番の暴風となっている。2、3月は気温が次第に上昇し2月下旬以降は平均気温が -10°C より高くなっている。1月中旬の低温時と下旬の暴風時の気象状況を第5図の地上天気図で示した⁸⁾。1月15、16日には日本列島は2つ玉低気圧に挟まれ本州では荒天であったが、北海道では等圧線の間隔も広く、晴れの所が多く、16日には北海道の内陸で -28.8°C とこの冬の最低気温を記録した。一方、28日から29日には発達した低気圧が三陸沖から北上して北日本は大荒れの天気となり、北海道各地で30 m/s以上の最大瞬間風速を記録した。第5図のような天気図で好天や荒天が2、3日継続する天気状況は北海道と中国北東部とでは相関の高いことが分かった。



第5図 1月16日と29日の地上天気図 黒丸(●)が調査地域

第4図から風速が小さな日には気温の日較差が大きく、風速が大きな日には小さいことが読み取れる。晴れた日で風速が小さな日は日中は気温が高く、夜間は放射冷却で気温が下がり、日較差が大きくなる。一方風速が大きいと空気が攪拌されるため、日較差は小さくなる。すなわち風速と気温の日較差は反比例の関係にあることが予想できる。第6図には気温の日較差と平均風速の関係をプロットした。ただし較差 20°C 以上と大きな値は、温度センサーが通風式でないため、日射で感温部が暖められた事も考えられるので、実際より大きめに計測されている可能性がある。図から気温日較差と風速の間に負の相関が見られる(相関係数 -0.73)。

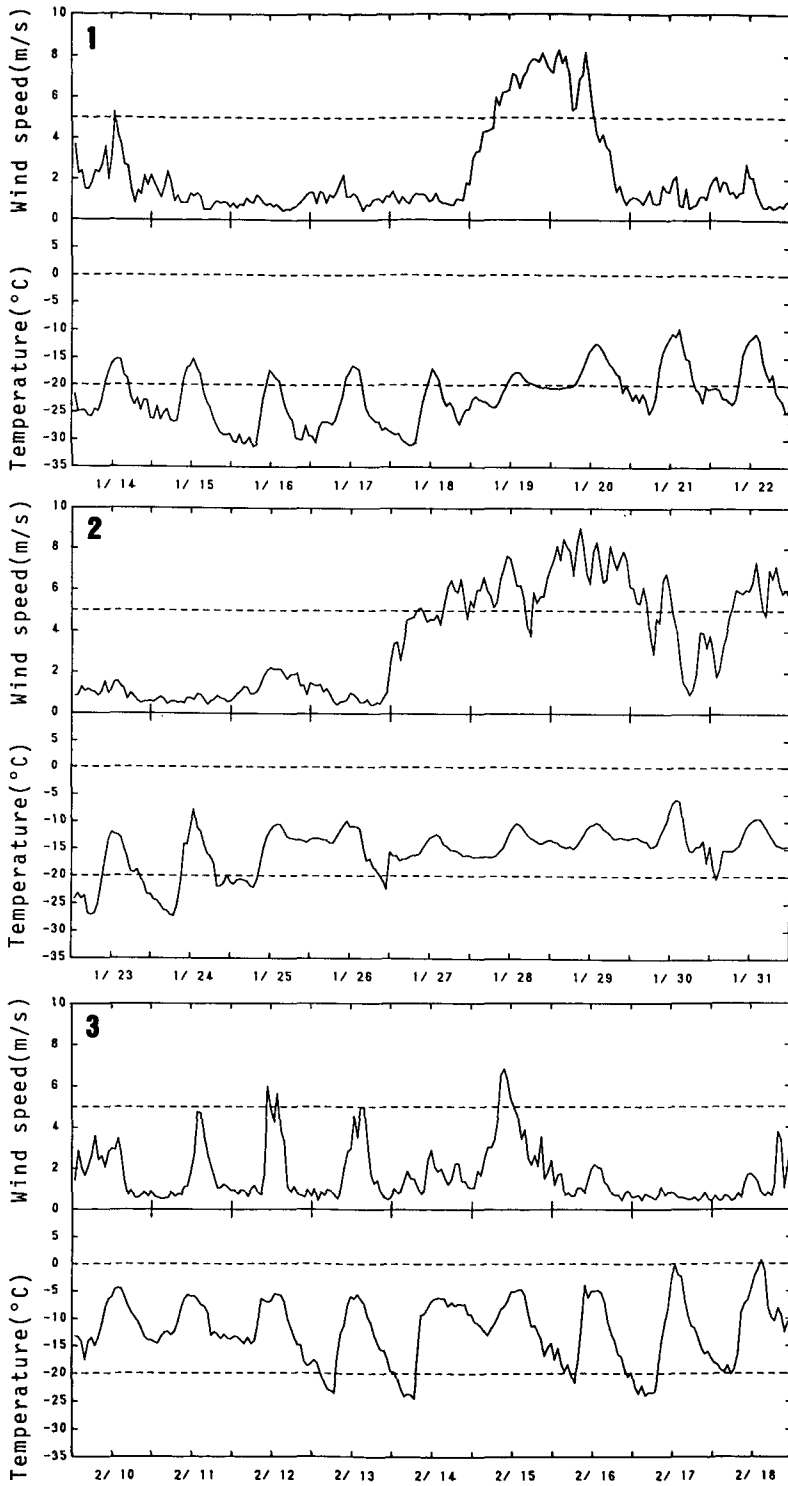
次に毎日の気象の推移と積雪の変態を第4図および、第7図1～3から検討する。第7図は気象の日変化を詳細にみるため第4図の時間軸を拡大したものである。1月についてみると、風速が一日中小さい時には気温が早朝に最低、正午過ぎに最高に達し、その後急激に低下している規則的なパターンが見られる。この様な気温の変化は晴天・弱風時の典型的な放射冷却の効果によるもので、当然この様な日は晴れているので降雪はない。したがって、雪が降った可能性のある日は早朝に最低、正午過ぎに最高という、気温の規則的な変化がない日ということになる。



第6図 気温の日較差と日平均風速

1月10～13日, 15～18日(第7図1), 21～24日と快晴が続き低温が継続しているのでこれらの時期にはしもざらめ雪が発達する。1月27日から30日までは連続して強風が吹き(第7図2), この冬最大の嵐となり, 積雪断面観測で見られた硬い中間層はこの時の吹雪でつくられた可能性が高い。2月にはいと風速の日変動がはげしくなり, 日中の気温の上昇に同期して風速も強くなる傾向が見られる。2月11, 12, 13日(第7図3)および2月19日はその典型的な例である。一般に風の弱い日に, 雪のない地表面が日射によって局地的に加熱されると, そこでは上昇気流がおこる。すると補償流として周囲から風が吹き込み局地的な空気の循環がおこる。2月になると, 日ざしも強くなり, 蒸発や風による飛雪で農地上の雪が少なくなり, ついには地面が露出する。その結果, 日中は農地が日射を吸収し加熱される。一方すぐ近くを流れる黒竜江はまだ全面凍結し, 日射による加熱がないため, この様な局地風が発生するものと考えられる。

2月25日には気温の日較差が大きく(第4図), 最高気温は10°C近くまで上昇している事から強い日射が予想できる。上層に見られる氷板は, 積雪の特徴でのべたような経過で, この日に内部融解で形成された可能性が高い。また, 上層の表面直下の薄いしもざらめ雪は, その上の雪があまり変態が進んでいないこと, および, 日射を考慮すると観測前日の3月7日の内部融解によってできたと考えられる。



第7図 気温と風速の変化 1. 風が弱いときの気温の規則的な変化 (1/15~1/18) 2. 強風時の気温変化 (1/27~1/29) 3. 気温に同期した風速変化 (2/11~2/13)

IV. 気象と積雪構造の関係

積雪層構造と気象データから、ここでの積雪層の形成と変態過程を考察すると次のように説明される。

1. 前回の観測日の1月4日には積雪断面観測は行わなかったが、積雪深は十数 cm で際だった吹き溜りはなかった。雪粒子は小さく非常にさらさらした雪粒相互の結合が極めて弱い雪であった。この雪は低温・弱風下で積もり、積もってからあまり時間が経過していないと考えられる。

2. 下層の脆いしもぎらめ雪は密度が小さいことから、1月4日にすでに積もっていた雪や、1月8、9日の風が弱く、気温が低く日変化の少ない時に積もった雪であろう。気温が低い時の降雪結晶は小さく、積もった時の密度も小さい。その後、快晴とこの冬一番の低温が続き(1/15～1/18) 典型的な「しもぎらめ雪」へと変態した。

3. 中間層の硬いしもぎらめ雪は、すでに積もっていた雪や1月25、26日の降雪が、27日以降の嵐で飛ばされてできた風成雪（ウインドスラブ）である。吹き溜りは一般に粒径が小さく密度は最初から大きい。この硬い雪が温度勾配下で、さらに硬度が大きな「硬いしもぎらめ雪」へと変態した。

4. 上層の積雪はしもぎらめ雪が主体であるが、さらに細かな成層をしていることから、2月以降の数回の降雪によるものと考えられる。気象の特徴で述べた様に「氷板」は2月25日の内部融解によると考えられる。また、氷板を挟んだ上下の層は発達したしもぎらめ雪であった。しもぎらめ雪は短期間では発達しないことを考えると、2月25日よりかなり以前の降雪がこのしもぎらめ雪と氷板に変化した可能性が大きい。第4図の気象データから2月2、3日または2月6、7日等の降雪が考えられる。表面付近の雪は粒度が小さく、また変態も進んでいないことから観測日直前の降雪、例えば3月4、5日の降雪の可能性がある。

雪質や成層構造からそれらの成因を解析するには、現地の天候や風向・湿度・日射（日照時間）等のデータが有力な情報となる。しかし今回は測器のトラブルで風速と気温のデータしか得られなかった。

V. 大陸性吹雪

大陸性吹雪としてこの地方で問題となる雪害を、日本の吹雪による雪害と比較して考える。日本で吹雪が問題となる地域は、主に北海道や東北の気温が低い地域である。これらの地域では吹雪が発生すると視界が極端に悪くなったり⁹⁾、路上に一日で1 m 以上の吹き溜りができることも希ではなく、交通機関に著しく支障をきたす。吹雪が発生するためには、雪粒子が雪面上を自由に運動できなければならない。しかし気温が高いと雪粒子間の付着力が大きくなり、吹雪は起きにくい。さらに吹雪には降雪を伴ったものと、降雪がない時のいわゆる地吹雪とがある。北日本の日本海岸では西高東低の気圧配置で強い冬期季節風が吹く時には降雪を伴った吹雪が頻発し交通の大きな障害となっている¹⁰⁾。一方、中国のこの地方は冬期の降雪は日本に比

べ極端に少ないので、降雪を伴った吹雪はむしろ少く、吹雪の多くは一旦積もった積雪表面の雪が削剝される、いわゆる地吹雪が大部分を占めると考えられる。札幌とハルピンの冬期の気象を比較すると、12, 1, 2の3ヶ月の平均降水量は札幌が約100mmに対しハルピンは10mm、1月の平均気温は前者が -8.9°C 、後者が -19.7°C となっている。気温がこの様に低いと、積雪は焼結により雪粒子間の結合が発達せずに、しもざらめ化により結合力が弱い状態が続く。我々の1月上旬の現地観測でも小さな粒子の非常にさらさらした雪質を確認している。気温と雪質から見ると、北日本より地吹雪は発生しやすく、強風下では積雪表面が容易に削剝されて地吹雪が発生し、これが大陸性吹雪として特徴づけられる。

VI. 中国の雪害対策の問題点

元来この地方は積雪が非常に少なく、また地吹雪の発生頻度も日本ほど多くないので道路交通に与える影響は大きくないと考えられる。しかし、現地の交通事情や道路構造、および道路の管理面を考えると、日本とは異なった次の3点が問題としてあげられる。

1. 冬用タイヤの普及が遅れていること。調査期間中に会ったすべての車輦は冬期も夏タイヤを使用していた。我々の3月の調査では車で1700kmを走行したが、その多くの路上に雪はなく路面が露出していた。しかし場所により吹き溜りや圧雪が路上に残っていた。特に小興安嶺周辺山間部の道路には圧雪が多く見られた。ところが、夏タイヤにもかかわらず、多くの車はかなりの速度で走行していた。我々が乗った夏タイヤの日本製四輪駆動車も数回スリップしてスピンしたり路外に飛び出し、自力で脱出できないこともあった。

2. 道路の除雪体制が不備なこと。除雪車の普及は非常に遅れ、機械力で路上の積雪を除去する作業は皆無と思われる。

3. 既存の道路構造に問題がある。この地方の典型的な道路構造は路肩に沿って、両側に植林がなされ、これが中国大陸独特の景観を呈している。植林の多くはポプラであるが、現地の説明では樹木は夏の間、地下の水分を吸収・蒸散し、土壤水分が減少するので冬期には凍上抑制効果が大きいとのことである。景観や凍上対策として、これらの並木は有効であっても、吹雪の面からはむしろ逆効果である。すなわち、並木は道路と接しているため吹き溜りと同じ効果で、道路上に積雪を溜める作用をしている。理想的な道路構造としては、両側に側溝を設け、その掘削土で道路を盛土とし、側溝の外側に植林をすることである。その結果、吹雪は林によって効果的に側溝内に溜り、道路までは到達しない。側溝が十分機能すれば道路下部の地下水位も下がり、凍上も軽減される。

現地担当者のお話では、広大な面積の中国でも、農地をつぶして道路用地にすることは、簡単ではないとのことである。我々の調査研究を通じ、この地方の自然や人々の生活に適した、かつ自然景観を損なわない、よりよい対策が見つかることを期待している。

この調査は文部省国際学術研究「中国黒竜江省の大陸性吹雪に起因する雪害の総合研究」(代表 新潟大学・積雪地域災害研究センター・教授・小林俊一)としてなされ、研究に要した費用はそこから支出された。調査には中国黒竜江省交通庁から多大の便宜をはかって頂き、また

多くの方々の支援を得た。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 和泉薫・秋田谷英次 1986 本州におけるしもざらめ雪の分布. 雪氷, **48**, 199-206.
- 2) 秋田谷英次・石井吉之 1992 硬さを考慮した北海道の積雪特性. 低温科学, 物理篇, **51**, 31-39.
- 3) 秋田谷英次・遠藤八十一 1979 北海道の平地積雪の特性. 低温科学, 物理篇, **38**, 33-39.
- 4) Akitaya, E 1974 Studies on depth hoar. *Contr. Inst. Low Temp. Sci.*, **A 26**, 1-67.
- 5) 油川英明・村馬勝年・佐藤尚之 1972 大雪山旭岳における硬化雪の研究 II. 低温科学, 物理篇, **30**, 129-142.
- 6) 若濱五郎・秋田谷英次・田畑忠司 1974 北極地域の積雪調査(1973年3月). 低温科学, 物理篇, **32**, 177-183.
- 7) 福沢卓也・秋田谷英次 1991 しもざらめ雪層の急速形成過程の観測. 低温科学, 物理篇, **50**, 1-7.
- 8) 奥平明義 1993 天気図日記 (1993年1月). 気象, **37**・3, 24-25.
- 9) 福沢義文・竹内政夫・石本敬志・磯部圭吾 1990 吹雪時の凍結路面における安全速度. 雪氷, **52**, 171-178.
- 10) 石本敬志 1990 北海道の国道における吹雪対策とビデオカメラによる視程計測装置の開発. 雪氷 **52**, 195-202.