



Title	道路雪氷の構造と新分類
Author(s)	前野, 紀一; MAENO, Norikazu; 成田, 英器 他
Citation	低温科学. 物理篇, 46, 119-133
Issue Date	1988-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18553
Type	departmental bulletin paper
File Information	46_p119-133.pdf



道路雪氷の構造と新分類*

前野紀一・成田英器

西村浩一・成瀬廉二

(低温科学研究所)

(昭和62年10月受理)

I. はしがき

積雪寒冷域の道路には、冬期間、しばしば降雪や吹雪、あるいは雨水の凍結等によって雪や氷が発生し、交通障害の重大な原因の一つとなっている。現在、各地域、各機関の道路管理者達は、それぞれの地域に最も適していると考えられる方法によってこの道路雪氷の問題に対処している。各地域、各機関における道路雪氷対策の方法が必ずしも同じでないのは、むしろ当然である。しかし、道路上の同じ雪氷に対する呼称が地域や機関によって異なるのは不便であり、情報や手法の正確な交換の妨げや混乱の原因となっている可能性がある。道路雪氷の呼称に関しては既にいくつかの試案が発表されているが¹⁻³⁾、それらを含めた種々の名称が各地域、各機関で個別に使用されているのが現状である。本論文の目的の一つは、これまでに発表された道路雪氷の分類を見直し、新たに行なった調査結果をふまえて道路雪氷の新しい分類を提出することである。

道路雪氷の構造は、本質的にきわめて人工的な作用の副産物である。しかし、車両の通行による機械的影響は、外力の作用下における焼結現象、すなわち「加圧焼結」として理解でき⁴⁾、それを調べて得られる知見は自然積雪の構造の理解にも寄与するところが大きいと考えられる。これが本研究の第二の目的である。

本論文では、初めに、これまでに発表された道路雪氷の分類案について概略述べ、その後新しい分類案を提出する。次に、この新分類に基づき、道路雪氷の特徴的な構造について、トピックス的な知見を報告する。なお、本研究の他の課題、特に道路雪氷の消耗・削はく過程の詳細については成瀬他⁵⁾を、また熱収支特性の詳細については石川他⁶⁾を参照されたい。

II. これまでの道路雪氷分類

道路雪氷の構造や物性が自然積雪のそれと異なることは、おそらくかなり昔から認識されており、したがって、各地で多種多様な名称が独立に使われてきたと考えられる。道路雪氷に関する系統的な調査がなされ、それにしたがって分類が組み立てられたのは、昭和30年代後半以降の、いわゆる経済の高度成長期に入ってからである。これは、車両の増加と同時に道路の整備が進んだ結果と考えられる。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第3099号

昭和43年(1968年)に道路除雪委員会が建設機械化協会内に設けられ、北海道、東北、北陸で広範な道路雪氷調査を実施した。この結果をまとめて作成されたのが木下達^{1,2)}の分類である。この分類では、道路雪氷は「新雪」「粉雪」「粒雪」「圧雪」「氷板」「氷膜」「水べた雪」の7種類に分類された。

一方、青木達³⁾は、建設省土木研究所新潟試験所による国道18号藤沢ステーションと新井における調査及び室内実験の結果をもとに、別の分類を作成した。木下達の分類はどちらかというと北海道のような寒冷地に重点を置いたのに対して、青木達の分類は、より積極的に暖地に適用するよう工夫された。そのため、例えば、暖地ではきわめて稀にしか発生しない乾いた「新雪」や「粉雪」等は分類に組み入れられなかった。結局、道路雪氷は、「乾き圧雪」「濡れ圧雪」「乾き粒雪」「濡れ粒雪」「水べた雪」「乾き氷板」「濡れ氷板」「氷膜」の8種類に分類された。なお、青木達の分類では、工学的な要請にも答えるために、滑り特性の目安になる摩擦係数や硬度をも加味しようとしたが、これは必ずしも明瞭な指標とはならなかった。

III. 道路雪氷の新分類

木下達の分類も青木達の分類も、いずれも寒冷地あるいは暖地における豊富な調査結果に基づく分類ではあるが、それぞれの地域での簡便利用という点を強調し過ぎた嫌いがある。しかし、ある地点の特定の道路に限ったとしても、一般に、暖地、寒冷地の区別は難しく、また冬季の期間中多様な気象条件が予想され、発生する道路雪氷の種類は平均的な気象では決まらない場合が多い。また、後でも述べるように、道路雪氷の特徴の一つはその不均質さにあり、同一路面上に極めて異質な雪氷が接近して発生しうる。したがって、道路雪氷の分類は、できるだけ総合的かつ網羅的であるべきである。

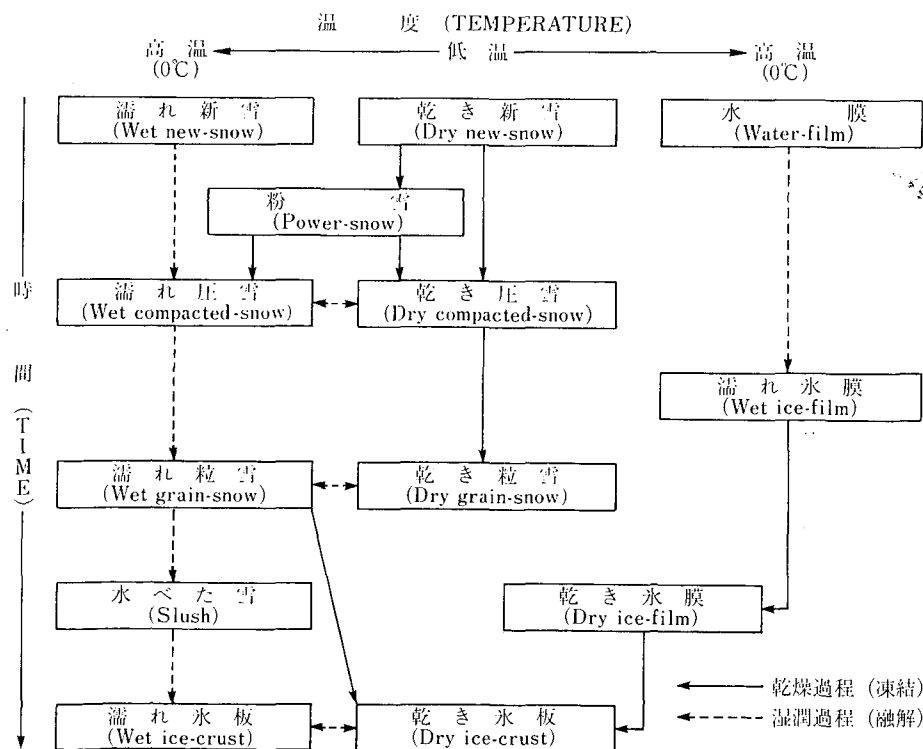
上記のような観点から、われわれは三冬の道路雪氷調査を実施した(1984-1987年)。その結果をふまえて作成したのが、第1表の道路雪氷の新分類である。この分類は、木下達や青木達の分類と同じように、基本的には日本雪氷学会⁷⁾の自然積雪分類を基盤にしている。これは、一方では定性的かつ主観的という難点があるが、肉眼で道路雪氷の構造を分類し変化過程を明確に出来るという利点がある。摩擦係数や硬度等の工学的な特性を用いて分類することも考えたが、これらの物性は、一般に道路雪氷の微妙な構造、例えば雪粒子の大きさや結合の度合、あるいは温度等によって大きく変動するため、道路雪氷分類の基準とするのは現実的ではないようである。

新分類においては、道路雪氷はまず「新雪」「粉雪」「粒雪」「圧雪」「氷板」「氷膜」および「水べた雪」の7種類に大分類される。次に、「粉雪」と「水べた雪」を除く5種類について、融解によって含水する場合を考慮し、それぞれを「乾き」と「濡れ」に小分類する。なお、「乾き圧雪」は余りに広範囲の雪を含むので、更に「乾き軟圧雪」と「乾き硬圧雪」に分ける。両者の区別については後で述べる。

第1図は、道路雪氷の変化系統図である。縦軸は時間の経過を示し、横軸は環境温度の変化を示す。おおざっぱにいうと、道路雪氷の変化は矢印のように進行するが、もちろんそうでない場合もある。なお、実線は0°C以下の条件における乾燥過程、破線は融解・凍結を含む湿

第1表 道路雪氷の新分類

名 称	大 分 類	小 分 類	密 度 (kg/m ³)	硬 度 (kg/cm ²)	別称・通称
新 雪 (new-snow)		乾 き 新 雪 (dry new-snow)	約100	~0	—
		濡 れ 新 雪 (wet new-snow)	100~200		
圧 雪 (compacted-snow)		乾 き 圧 雪 (dry compacted-snow)	250~500	10~50	しまり
		乾 き 軟 圧 雪	250~500	10~50	
		乾 き 硬 圧 雪	500~750	50~200	
粉 雪 (powder-snow)		濡 れ 圧 雪 (wet compacted-snow)	400~800	10~50	—
		粉 雪 (powder-snow)	200~400	~0	
粒 雪 (grain-snow)		乾 き 粒 雪 (dry grain-snow)	250~500	~0	めくれ くざく
		濡 れ 粒 雪 (wet grain-snow)	400~750		
水 べ た 雪 (slush)		水 べ た 雪 (slush)	700~1000	~0	シャーベット
氷 板 (ice-crust)		乾 き 氷 板 (dry ice-crust)	700以上	90~300	アイスバーン 氷 盤
		濡 れ 氷 板 (wet ice-crust)			
氷 膜 (ice-film)		乾 き 氷 膜 (dry ice-film)	800以上	—	アイスバーン つる つる (圧 雪)
		濡 れ 氷 膜 (wet ice-film)			



第1図 道路雪氷の変化系統図

潤過程を示す。

次に、おのおのの道路雪氷について、簡単に説明する。

1. 新雪 (New snow)

降雪直後の雪で、一般に柔らかく軽い。寒冷な気象条件では、角板、六花、樹枝、角柱、針等の結晶形が見られることもあるが、温暖積雪域では、初めから濡れ新雪として降り、また降雪後すぐに融解してしまうことも多い。

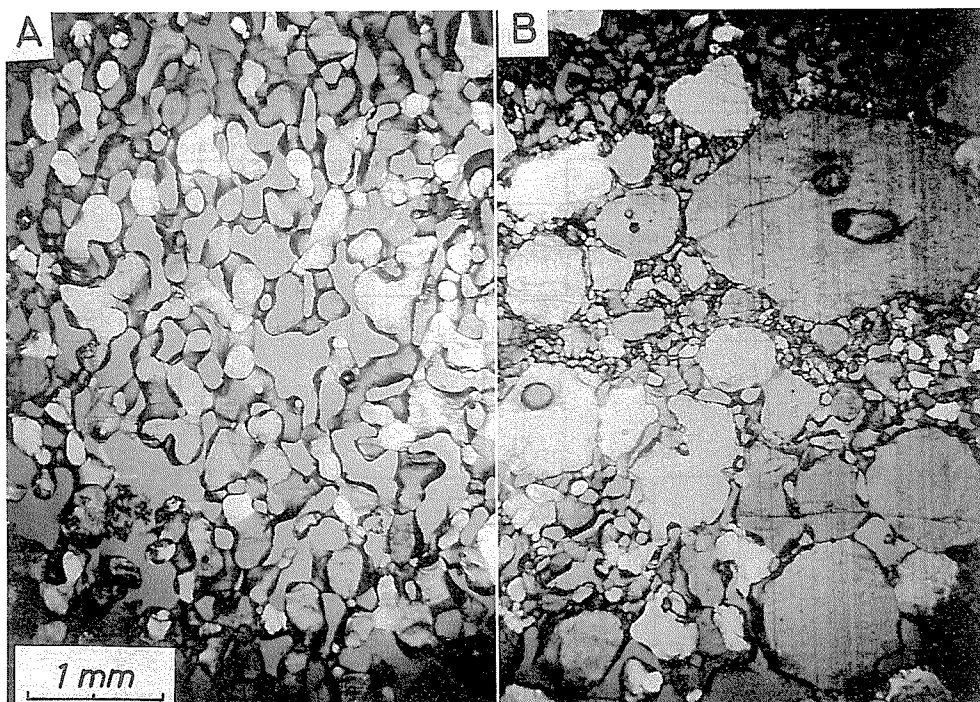
2. 粉雪 (Powder snow)

寒冷域の道路上に積もった乾き新雪は、車両の通行によって破壊され、粉雪に変化することがある。平均粒径は約 0.2 mm 以下で、風や車両の通行によって空中に舞い上がる。

3. 圧雪 (Compacted snow)

通常、新雪や粉雪は、除雪車や車両の走行によって圧密され、次第に緻密で丈夫な圧雪に変わる。これは雪粒子が機械的に充填され、同時に粒子間の結合が発達したためであり、物理的メカニズムは「加圧焼結」の現象として説明される⁴⁾。新雪が圧雪に変わるときの密度と硬度の変化については、後で述べる。

圧雪は、自然積雪分類におけるしまり雪と似ている。違いは、圧雪の場合、車両による雪構造の破壊、再分布、および充填が自然積雪の場合よりも極端に大きい点である。このため圧雪の構造は、一般に非常に不均質である。第 2 図は、北海道の 2 月末に圧雪を掘削回収し、鉛



第 2 図 圧雪の鉛直薄片の写真 (偏光顕微鏡)

(A) 比較的均質な部分, (B) 不均質な部分。写真 A, B の倍率は同じ。試料の掘削は、1986 年 2 月 26 日江別市大麻沢町の道路において行われた

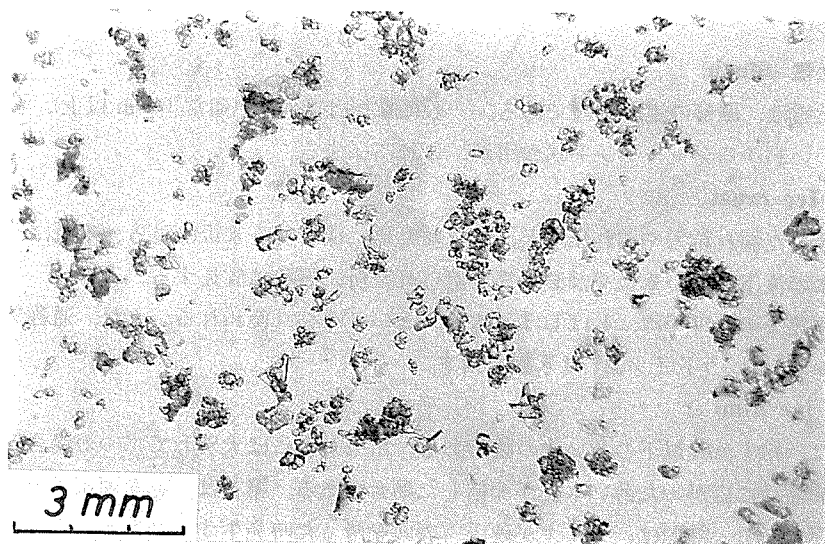
直断面のアニリン薄片試料を偏光顕微鏡で撮影した写真である（平均密度は約 650 kg/m^3 である）。(A) は比較的均質な部分であり、粒径約 0.3 mm の雪粒子が互いに結合して全体として丈夫な構造を形成しているこれは、自然積雪のしまり雪の構造とあまり変わらない。一方、(B) は同じ圧雪試料であるが、粒径 $1\sim 2 \text{ mm}$ の大粒子と粒径 0.1 mm 程度の小粒子が複雑に混在している。

この様な不均質な構造が発達するのは、車両の通行による雪の破壊、攪拌、再分布そして圧密等の機械的効果と、同じく車両の通行による表面の汚れや形態の不均質に起因する熱的効果のためと考えられる。

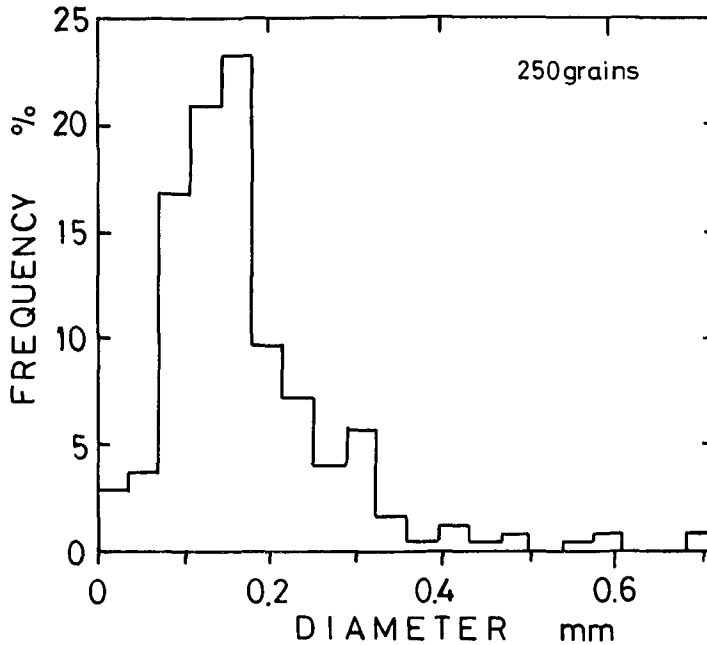
新分類では、乾き圧雪は乾き軟圧雪と乾き硬圧雪の2種類に細分された。両者の区別の境界はそれほど厳密に考える必要はないが、おおよそ密度 500 kg/m^3 、硬度 50 kg/cm^2 と考えてよいであろう。この区別は、一般に目視だけでは困難であるが、大体の目安は次のような簡便な方法で得られる。太さ約 8 mm の通常のボールペンあるいは削った鉛筆を片手で圧雪に突き刺す時、全体が入るのが「軟圧雪」、ボールペンの先端部あるいは鉛筆の削った部分しか入らないのが「硬圧雪」である。片手で突き刺す時の力は約 $2\sim 3 \text{ kg}$ に相当する。

4. 粒雪 (Grain snow)

粒雪は、平均粒径がおおよそ 0.2 mm 以上で、比較的大きな粒子をも含む。粒子間にはほとんど結合がないので、砂浜のように歩行や車両の走行が難しい。粒子間に結合が発達しないのは、粒子の表面に氷以外の不純物が付着しているために粒子間の氷の実質的接触が阻害され、(加圧) 焼結が進行しないためと考えられる。不純物としては、車両が運んできた土砂や路面舗装材、あるいは路面管理のために散布された薬剤等が考えられる。その例を第3図と第4図に示す。これは、2月の札幌市内の道路において、日中、車両、日射、薬剤等で表面融解した雪粒子が夜間に凍結したものである。粒子間に結合はほとんどなく、粗い感じである。しかし、



第3図 粒雪の写真(透過光)



第4図 粒雪の粒径分布

試料は第3図の粒雪。粒径は粒子の投影像の円相当直径を表す。
平均粒径 0.17 mm, 頻度分布は 250 個の粒子について行われた

第4図から明らかなように、粒径の分布は広く、0.4 mm 以上の粒子が個数にして約5%も含まれていると同時に、細かな粒子も多い(平均粒径は 0.17 mm である)。

粒雪は、粉雪の凝集によっても、また圧雪の破壊によっても生じる。しかし、いずれの場合も日射、車両の熱、薬剤散布等による融解・凍結過程が介在する。なお、地方や機関によっては、「ざらめ」、「ざくれ」、「ざくざく雪」と呼ばれる道路雪氷があるが、これらは粒雪を指すことが多い。

5. 水べた雪 (Slush)

水べた雪は、融解の進んだ雪である。一般に粒径は大きく(通常 1 mm 以上)、粒子間に結合はない。いわゆるシャーベット状の雪が、これに属する。

6. 氷板 (Ice crust)

水を含んだ濡れ粒雪や濡れ圧雪が、寒気のために凍ると、氷板になる。氷板は、多くの場合、融解水の流下が下の氷板や舗装面等で遮られた所に層状に成長する。

工学や建築の分野では、しばしば「氷盤」という呼称も使われる。また、通称アイスバーン (Eis Bahn というドイツ語) は氷板を指す。

7. 氷膜 (Ice film)

氷膜は、約 1 mm 以下の薄い氷の膜である。出来かたには大別して二つの場合がある。第一は、舗装面等に広がった薄い氷膜が凍結した場合である。第二は、乾き硬圧雪の表面に生じる薄い氷膜である。熱源は、タイヤが硬圧雪表面を滑った時発生する摩擦熱の場合が多い。この場合、圧雪の表面は、摩擦熱で発生した極く少量の水膜がすぐ凍結して、極めて滑りやすい

鏡面のような氷膜となる(いわゆる「つるつる」圧雪)。なお、通称アイスバーンは氷膜を指すこともある。

IV. 道路雪氷の特徴的構造

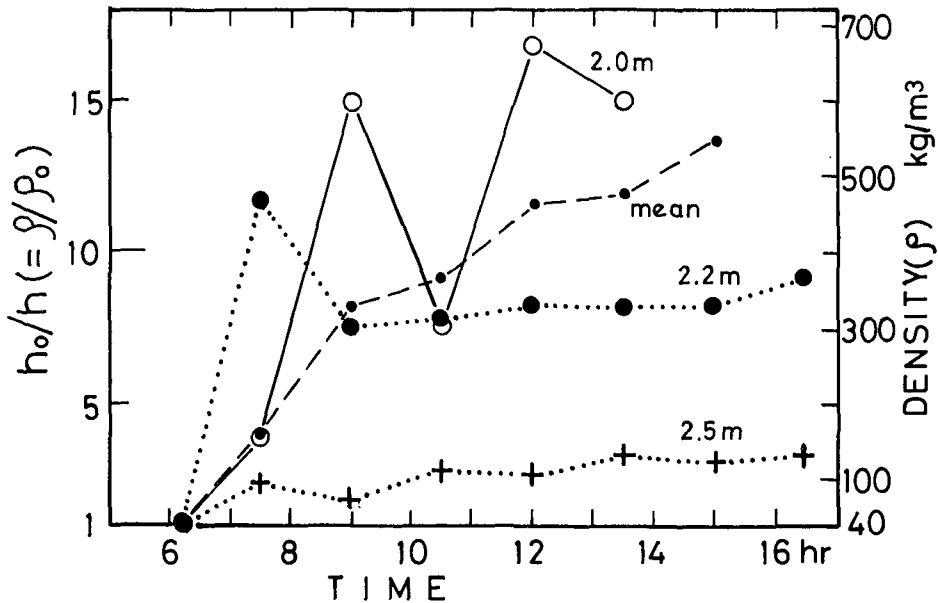
道路雪氷の構造は、自然積雪のそれと比べていろいろの特徴がある。次に、そのような例のいくつかを報告する。

1. 車両走行によるわだち形成と密度増加

道路雪氷のわだち形成も特徴的な現象の一つである。これは、車両が特定の部分だけを繰り返し走行するため、その部分が優先的に削られたり圧密されたりして生じる。

第5図には、乾き新雪が車両の走行によって圧雪に変わり、密度が増加する様子を示した。これは札幌市郊外(篠路)の除雪幅約7.2mの道路における測定結果である。観測前日(1987年2月27日)の夜より観測日の早朝までに、硬圧雪(平均厚さ4.2cm)の上に平均14.5cmの乾き新雪が降った。以後観測の行われた午前6時から午後4時半までの間に降雪はなかった。観測道路に除雪車は一度も入らなかったが、観測期間中、上下あわせて平均56台/時の車両が通過した。日中の天気は晴れ、気温は -8.2°C (06:35)から次第に上昇し -1.8°C (16:40)までなったが、 0°C にはならなかった。

第5図において、縦軸(左)は、最初(午前6時15分)の新雪の厚さ(h_0)と各観測時の厚さ(h)の比、すなわち密度の比($\rho/\rho_0 = h_0/h$)であり、時間(横軸)の経過と共に密度が最初の値の何倍になるかを示している。実線はわだちの凹部、点線はわだちの凸部を示す。車両の通過によ



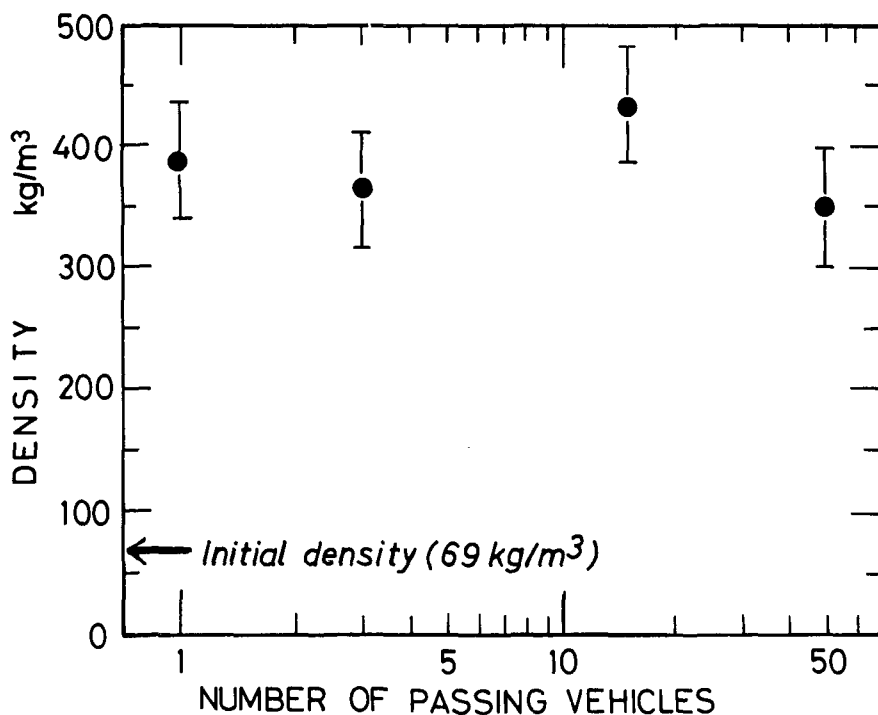
第5図 車両通行による圧雪の密度増加

縦軸は、初期密度に対する比(左)と絶対密度(右)である。実線と点線は、それぞれ、わだち凹部と凸部の値を、また破線は道路幅4mの平均⁵⁾を示す。図中の数字は、道路の端からの距離である。測定は1987年2月28日に札幌市篠路の道路で行われた

り、わだち凸部の雪の厚さは最初の値の $1/3$ から $1/9$ に減少している (すなわち、密度は 3 倍から 9 倍に増加している)。一方、わだち凹部の密度は 15 倍から 17 倍にもなっており、車両通過による急速な圧密の効果を示している。図の右縦軸には、密度の絶対値を示した (初期密度としては、午前 8 時に道路脇の観測露場で測定した新雪密度 40 kg/m^3 を用いた)。この結果からは、車両の通過によって、圧雪の密度が $500 \sim 700 \text{ kg/m}^3$ という大きな値になることがわかる。

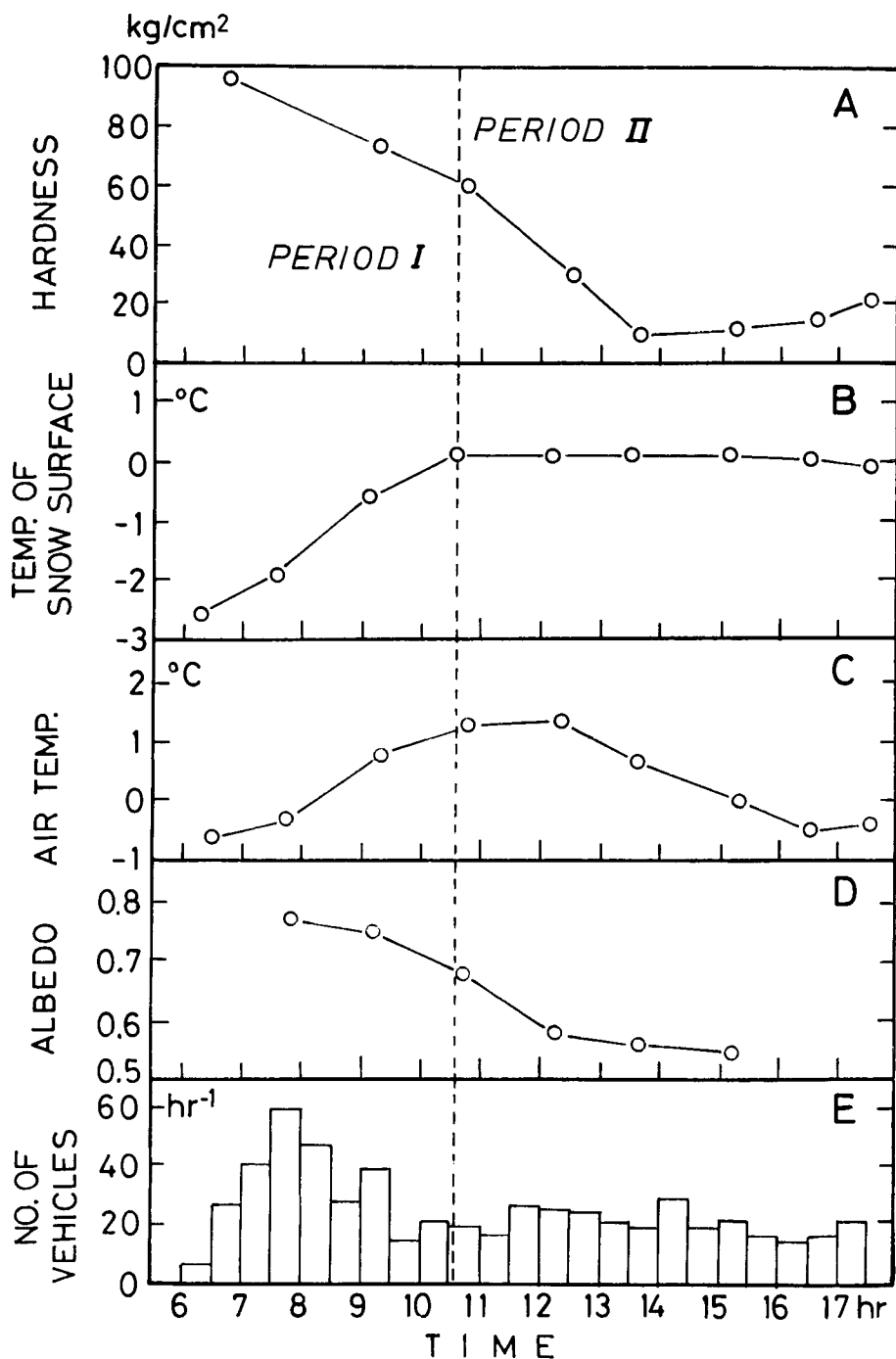
破線は、道路中心部分の幅 4 m における 10 cm 間隔の測定の平均である⁵⁾。これを見ると、わだち凹部、凸部の値が測定時間毎に極度に振れているのは、密度の変化というよりも、車両の走行によって雪が横に移動したためと考えるべきであることが分かる。なお、午後 1 時 20 分に木下硬度計で求めた圧雪表面の硬度は、平均的に、凹部 102 kg/cm^2 、凸部 53 kg/cm^2 であり、密度の変化傾向と符合する。

車両の通過台数と圧雪密度との関係は重要な問題である。第 6 図に予備測定の結果を示す。測定は、深さ 10.5 cm の乾き新雪の上を普通乗用車が速度約 20 km/hr で往復走行して行われた。密度は、第 5 図の場合と同様に雪の厚さ変化から求められた。気温は -10.3°C 、雪の初期密度は 69 kg/m^3 であったが、密度は乗用車の 1 回だけの通過で約 400 kg/m^3 となり、その後 50 回走行してもあまり顕著な増加は見られなかった。この実験はもっと厳密に行う必要があるが、少数の車両走行回数で、密度が約 400 kg/m^3 の圧雪に変化する点は注目に値する。



第 6 図 圧雪の密度と車両通過回数の関係

車両タイヤ通過前の乾き新雪の厚さは 10.5 cm、密度は 69 kg/m^3 、気温は -10.3°C であった。15 回走行後の雪とタイヤの表面温度は、それぞれ -8.4°C および -4.8°C であった。測定は 1987 年 1 月 20 日札幌市篠路の道路で行われた



第7図 圧雪の硬度の減少例

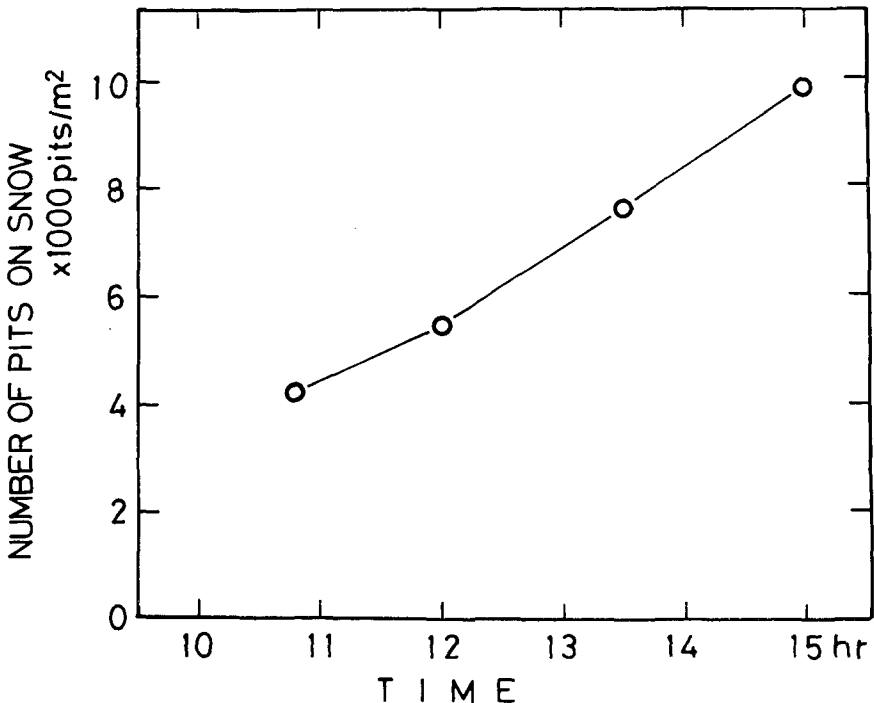
(A) 硬度, (B) 圧雪の表面温度, (C) 気温, (D) 圧雪のアルベド, (E) 車両の通過台数。
 図中の期間 (PERIOD) I は圧雪の表面温度が0°Cになる前, 期間 II は0°Cになってから後を示す。測定は, 1987年3月3日札幌市篠路の道路で行われた

2. 車両の走行による圧雪の硬度減少

車両の走行によって、圧雪の硬度が減少することもある。第7図は、同じく札幌市篠路における測定結果である。図Aの硬度の時間変化は、圧雪の表面温度(図B)が 0°C に達した午前10:35を境に前後二つの期間(PERIOD IおよびPERIOD II)に分けることが出来る。期間IIでは、濡れ圧雪の融解が車両の走行によって助長され、硬度の急速な減少を来している。この時、車両走行の効果としては、濡れ圧雪の構造の機械的破壊のみでなく、雪の汚れの増加に伴うアルベド減少による融解促進も重要である(図D参照)。

融解が始まる前の期間I(第7図の06:00から10:35の間)における硬度の減少は、期間IIにおける硬度の減少よりは遅く、融解以外のメカニズムで説明される。図Bで明らかのように、圧雪の表面温度は時間と共に単調に上昇しているから、硬度の減少は温度上昇によるものと解釈できるかもしれない。しかし、これは定性的な説明に過ぎない。第7図において06:15~10:35の間に、硬度は $96 \rightarrow 60 \text{ kg/cm}^2$ 、表面温度は $-3.6 \rightarrow -1.9^{\circ}\text{C}$ の変化をしているから、温度による硬度の変化率はおおよそ $35\%/^{\circ}\text{C}$ ということになるが、種々の雪の硬度の温度依存性は $3 \sim 12\%/^{\circ}\text{C}$ の範囲にあることが分かっている(前野・黒田⁴⁾, p. 166)。したがって、圧雪の硬度が自然積雪より約3倍大きな変化を示した理由としては、温度以外の原因をも考えるべきである。

その一つの可能性として、車両の通過による圧雪表面の変化が考えられる。すなわち、



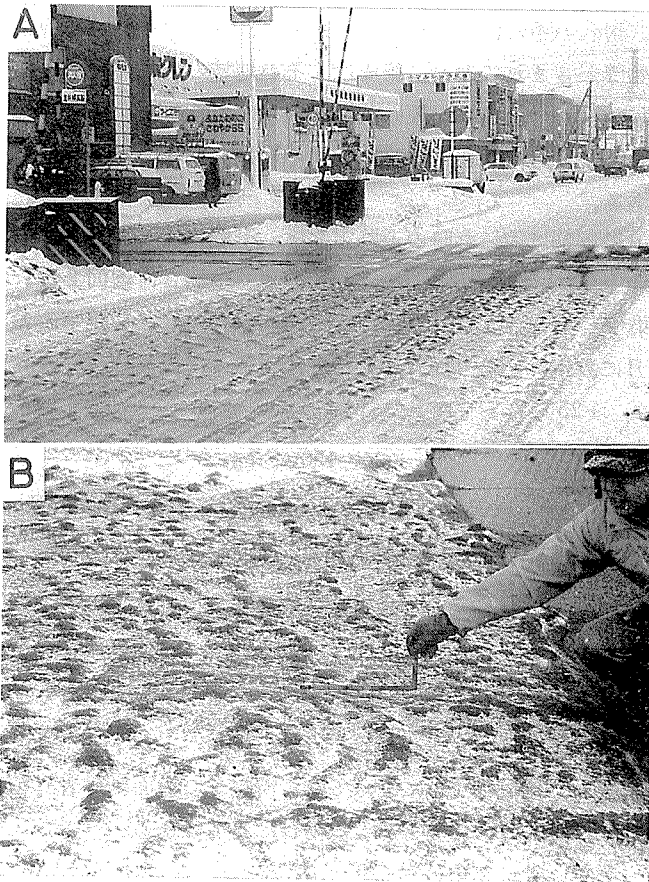
第8図 圧雪表面の孔数の時間変化

測定面積は 361 cm^2 ($19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm}$), 測定は1987年1月20日に札幌市篠路の道路で行われた

圧雪表面の汚染や荒れである。表面の荒れに関する簡単な観測結果を第8図に示した。これは、車両タイヤのスパイクが乾き硬圧雪表面に掘る孔の数を測定したものである。観測時間内(10:00~15:00)の通過台数は余り変動がなく約55台/時で、また圧雪表面温度は $-6.1\sim -13.1^{\circ}\text{C}$ の範囲にあった。スパイクによる孔の数密度は車両の通過によって次第に増え、測定開始後5時間で約 $10,000$ 個/ m^2 に達している。孔の直径と深さをそれぞれ5mmおよび2mmとすると、圧雪表面の表面積は、孔の形成によって約10%増加したことになる。孔形成による表面積の増加は、機械的強度を減少させるとともにアルベドを減少させ、結果として硬度の減少をもたらすであろう。車両走行による雪の汚れについては、別項で述べる。

3. 踏切や交差点の道路雪氷の特徴

踏切や交差点の道路雪氷は、他の場所に比べ独特の状態を示す場合がある。第9図にその典型的な例を示す。これは、厳冬期における札幌市内の電熱装備された踏切の状況である。写真Aにおいて、踏切を横切る手前側の分離道路は、写真の奥手から手前に向かって一方通行で



第9図 鉄道踏切の道路雪氷

- (A) 全体の状況。踏切を分離道路が交差している。手前の道路は、紙面奥から手前側(凹凸が発達)へ一方通行。場所は札幌市新琴似、撮影は1985年1月10日。
 (B) 凹凸部の接近写真。凹凸の平均波長は45cm

ある。道路表面は、踏切を渡る前は滑らかな硬圧雪であるが、踏切を越えた直後は激しい凹凸面を持つ氷板と成っている。凹凸形成には、明らかに車両走行による削はくと融解・再凍結過程が関与していると考えられる。凸部の形態は高さ約5 cmの円錐で、氷は土砂や粉塵を含んで真っ黒に見える。写真Bのクローズ・アップでは凹凸はかなり不規則に見えるが、走行方向に沿って卓越波長は存在し 45 ± 5 cmであった。この時の気温は -5.5°C 、道路雪氷表面の温度は -4.2°C であった。

凹凸が形成されるのは、雪氷面が特に不均質に削はくされるか融解するためと考えられる。不均質な削はくや融解は、車両が急速に加速しようとし、雪氷面を激しく刺激するとき最も起こり易い。踏切や交差点を越えたすぐ後の路面に、凹凸が頻繁に発生するのは、このような事情によるものと考えられる。また、下り坂道よりも登り坂道に凹凸が発生し易いのも、おそらく同じ理由によるものと考えられる。

4. 道路雪氷の汚れ

車両走行等による不均質な汚れも、道路雪氷の特徴の一つである。実際に、汚れた道路雪氷を調べてみると、汚れの中には、固形物の土砂とか、タイヤや舗装面の削り屑、あるいは水溶性の種々の不純物等が含まれており、組成は、その地域の道路や走行車両の特性を反映して一概には決まらない。しかし、道路雪氷には、これらの混合物ないし不純物の存在は非常に重要である。なぜなら、これらの存在は、道路雪氷の構造や物性の変化を促進したり、逆に遅らせたりするからである。

厳冬期が終わり融解期に入った時の道路雪氷は、一般に真っ黒な氷板である。しかし、これらの汚れは氷板の全層に入っているのではなく、多くの場合、表面あるいは内部の昔の表面部分数 cm の層に集中している(多くの場合、厚さは $0.5 \sim 5$ cm)。札幌市内および近郊の道路において2月末と3月に数年にわたり調査した結果によると、表面の特に汚れた氷板層の融解水の電気伝導度(σ)は、 $+25^{\circ}\text{C}$ において、

$$\sigma = 30 \sim 150 \mu\text{S}/\text{cm}$$

という大きな値を示す。これは、NaCl水溶液濃度に換算すると、 $15 \sim 70$ ppmに相当する。また、汚れた表面層の固形物含有率(p)は、

$$p = 0.8 \sim 8.5 \text{ 重量 \%}$$

の範囲にあった。

一般に水溶性の汚れは、溶解と融解の潜熱によって道路雪氷の固化を早めたりもするが、多量の場合にはむしろ融解を促進する。また、汚れがアルベドを下げ、日射の吸収によっても融解が進行する。一方、不純物の種類によっては、雪粒子の表面に付着し粒子間の結合の成長を妨害することもある。前に述べた粒雪がこの場合に当てはまる。

V. おわりに

これまでに発表された道路雪氷の分類を見直し、新しい分類を提案した。分類は、出来る限り総合的かつ網羅的なものとなるよう心がけた。この分類では、道路雪氷はまず7種類に大

分類され、更に乾き、濡れ、および硬い、軟らかい、の区別によって小分類される。結果的に、道路雪氷は13種類に分けられた。

道路雪氷は、気象条件だけでなく、車両の通行や除雪等の人為的影響を強く受ける点が特徴的である。また、その影響は一般に局所的あるいは不均質なため、道路雪氷の構造と物性は、平面的にも深さ方向にも極めて不均質である。

謝 辞

本研究を進めるに当たっては、多くの方々のお世話になった。特に、初期の調査には当時低温科学研究所に所属していた新潟大学の小林俊一教授、日本鋼管株式会社の海老沼孝郎氏および金沢大学の竹井 巖氏に、また後半の調査には北海学園大学の武市 靖助教授、低温科学研究所の石川信敬助教授、大学院生の村上茂樹氏、小杉健二氏およびジノ・カッサ氏にお世話になった。また、木下誠一北大名誉教授からは圧雪の分類に関して、堀内 数北海道工業大学教授からは踏切・交差点の雪氷特性に関して有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表します。なお、本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費補助金と札幌市委託研究費から支弁された。

文 献

- 1) 木下誠一・秋田谷英次 1969 北海道における路面積雪調査 I. 低温科学, 物理篇, **27**, 163-179.
- 2) 木下誠一・秋田谷英次・田沼邦雄 1970 道路上の雪氷の調査 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 311-323.
- 3) 青木忠男・下村忠一・石平貞夫・金子英雄・櫛 彦二郎 1977 雪寒対策調査 (1). 建設省土木研究所資料, 1306号, 1-64.
- 4) 前野紀一・黒田登志雄 雪氷の構造と物性 (基礎雪氷学講座第I巻). 古今書院, 209 pp.
- 5) 成瀬廉二・石川信敬・武市 靖・前野紀一 1987 道路雪氷の消耗過程の特性. 低温科学, 物理篇, **46**, 135-149.
- 6) 石川信敬・成瀬廉二・前野紀一 1987 道路雪氷の熱特性. 低温科学, 物理篇, **46**, 151-162.
- 7) 日本雪氷学会 1970 積雪の分類名称. 雪氷の研究, 日本雪氷学会, No. 4, 31-50.

Summary

Snow and ice on roads show a variety of characteristics and structures depending on meteorological and traffic conditions, which have been noted in the operation of snow removal and control in many local areas and by many local organizations in Japan. Unfortunately, however, many different terms have been used to each of snow/ice types; as a result, it seems that confusion and difficulty have come about in the development of investigations and control techniques of snow and ice on roads as well as exchanging them.

In this study popularly used terms of snow and ice on roads were collected and examined with special reference to the results obtained from physical observations during the four winters. Then a new classification was formed mainly on the basis of internal physical structures of snow and ice, which are distinguishable with the naked eye.

1. New classification of snow and ice on roads

Our new classification is given in Table 1, and the main changes of each type of snow is shown schematically in Figure 1. Snow and ice on roads are first classified into seven types:

new-snow, compacted-snow, powder-snow, grain-snow, slush, ice-crust, and ice-film. Then each of the five types except the two, that is powder-snow and slush, was divided into two subtypes, that is dry and wet. In addition the dry compacted-snow was subdivided into soft and hard ones. A short explanation is given to each of the foregoing as follows :

1) **New-snow** : New-snow is a snow cover just after a snowfall on roads, which is usually soft and light. In colder regions crystallographic shapes can often be recognized, but wet new-snow is rather frequent in warmer regions.

2) **Powder-snow** : In colder regions new-snow is often disintegrated into powder-snow by the mechanical action of vehicles. Mean diameters of composing snow particles are less than about 0.2 mm, and snow particles are blown up by passing vehicles.

3) **Compacted-snow** : New-snow and powder-snow are then compressed repeatedly by various vehicles and transformed into compacted-snow, which is much denser and harder. Usually its structure is composed of ice networks connecting each snow particle. The formation process of the ice networks can be explained as a pressure-sintering, that is a phenomenon of bond-growth between ice particles under external forces.

Appearance of compacted-snow seems similar to that of undisturbed natural snow cover, but its structure is usually much different ; in general, structures of snow and ice on road are inhomogeneous mainly due to the breakage, redistribution and compaction of snow particles during the passage of vehicles ; Figure 2 gives photographs of thin sections of compacted-snow ; compared with homogeneous part (A) composed of snow particles of about 0.3 mm, part (B) is very inhomogeneous, in which larger particles of about 1~2 mm are irregularly embedded in smaller ones of about 0.1 mm.

In the new classification, dry compacted-snow was divided into soft and hard types. This subdivision was necessary since otherwise the dry compacted-snow distributed in too wide ranges of structures ; the critical point dividing the two types is about 500 kg/m³ in density and 50 kg/cm² in hardness.

4) **Grain snow** : Grain-snow is composed of rather larger particles roughly above 0.2 mm in mean diameter. Lack in bonds between particles makes it difficult to walk and drive in the grain-snow ; ice-bonds cannot grow between particles because the direct or effective contact of ice is prohibited by impurities such as soil particles, materials eroded from road surfaces, and other chemicals. An example of grain-snow is shown in Figures 3 and 4.

Grain-snow is formed by coagulation of powder-snow as well as the disintegration of compacted-snow. It should be noted that both the processes require a melt-freeze process by solar radiation, behicle heat, or chemicals sprayed on roads.

5) **Slush** : Slush is melting snow containing water. Generally composing snow particles are larger than about 1 mm, and there are no ice-bonds between them.

6) **Ice-crust** : Normally ice-crusts are formed by freezing of wet grain-snow or compacted-snow. They are often found in forms of layers where the flow of melt water is prevented by other ice-crusts or pavement.

7) **Ice-film** : Usually an ice-film is as thin as 1 mm or less, which is mainly formed by the following two processes : One is the freezing of thin films of rain or meltwater on pavements. The other is a rapid melt-freeze process on the surface of dry hard compacted-snow ; the heat is provided by the violent slippage and friction of vehicle tires. The latter process often produces a very slippery mirror-like ice-film on snow.

2. Several characteristics of snow and ice on roads

1) Rut formation and snow compaction by passing vehicles

Ruts are often formed on compacted-snow roads by predominant compaction due to repeated passing of vehicles. Figure 5 shows that the density of surface snow increases rapidly with time or passing of vehicles; the density of the initial new-snow was 40 kg/m^3 and the air temperature was -8.2°C . It is shown that the density at a rut (indicated as 2 m in the figure) became as large as $500\sim 600 \text{ kg/m}^3$, which is much larger than that of other parts. Figure 6 shows a preliminary results of measurements of the relation between the snow density and the number of passing of vehicles at -10.3°C .

2) Softening of compacted-snow by passing vehicles

The hardness of dry compacted-snow can be decreased by passing of vehicles; an example is shown in Figure 7, in which a decrease in hardness in Period I is explained by chemical contamination and mechanical roughening of the snow surface by passing vehicles; temperature rise was shown to contribute only one third of the decrease in hardness; a decrease in Period II is due to melting of snow. Figure 8 shows an example of an increase in roughness, in which the number of pits formed by studded tires on a compacted-snow surface is plotted against time; on the test road the mean number of passing vehicles was 55 per hour.

3) Characteristics of snow and ice near crossings

In the photographs in Figure 9 the surface of the road is noted to be very rough just after the railroad crossing and smooth before it. The mean wavelength of the rough surface was 45 cm. Such a rough surface is easily formed by inhomogeneous erosion and melting by rapidly accelerated behicles in such places and just after railroad crossings or on climbing slopes.