交通路における雪氷防災情報システムの開発に関する研究の概説

著者	中村 勉, 木村 忠志
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	52
ページ	81-105
発行年	1993-12
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001050

551. 578. 4, 614. 8

交通路における雪氷防災情報システムの開発に関する研究の概説

中村　勉
長岡雪氷防災実験研究所
木村　忠志
新庄雪氷防災研究支所

Summary of the research project entitled "Study on the development of the information system of snow and icing on the pavements for road maintenance"

By
Tsutomu NAKAMURA
Nagaoka Institute of Snow and Ice Studies, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, STA, Suyosi, Nagaoka 940, Japan
and
Tadashi KIMURA
Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, STA, Tokamachi, Shinjo 996, Japan

Abstract

This paper summarizes the results of the research project entitled "Study on the development of the information system of snow and icing on the pavements for road maintenance," as follows :

In the Toyama and Nagaoka research group, through heat balance analyses it was recognized that atmospheric radiation, which corresponds to long wave radiation from the atmosphere, was a key variable for predicting icing on the road surface. The atmospheric radiation depended largely on the type of weather. Therefore, statistical equations based on the multiple regression analysis to predict the minimum temperature of the road surface were derived for five different types of weather at two locations in Toyama Prefecture.

The average density of the daily fallen snow calculated by a rain/snow gauge showed a smaller value than the snow density measured by the snow board with a vertical scale. A multiple

regression analysis was best among the five analytical methods used to calculate the newly fallen snow depth. The information network system on snow and ice conducted in Toyama Prefecture was revealed as one of the best in Japan through this survey.

In the Yamagata and Shinjo research group, a proto-type of an information system for snow management of road maintenance was designed by the analysis of the weather patterns and specific conditions creating snow and ice troubles in winter. To adopt this information system, the following four techniques were derived :

(1) Based on the data obtained by a snow-weight meter a technique to calculate the snowfall intensity was derived.

(2) A technique to judge the snow/ice type on the road surface was derived.

(3) Based on the minimum air temperature of the previous day a technique to judge if the road surface would be covered by snow or water was derived.

(4) Based on the intensity difference of the polarized light reflected from the road surface a detection technique to determine if the road surface was wet or dry was derived.

A numerical simulation of drifting snow onto the road was carried out by which the degree of the danger of snow drifting on the road could be predicted.

Key words : Prediction of snow/ice, Snow/ice/water detection, Information network system of snow/ice, Snow drifting, Snowfall intensity

キーワード：雪氷予測，雪，氷，水の探知，雪氷情報ネットワークシステム，吹雪・地吹雪，降雪強度

1．はしがき

標記の研究が，富山県，山形県，そして当研究所の共同研究として，官民特定共同研究の枠組みの中で，昭和63年度から平成２年度までの３カ年間行われた．当防災研究所には，長岡と新庄の地それぞれに雪氷の研究機関があるので，具体的な共同調査研究としては，富山県とは長岡雪氷防災実験研究所が，山形県とは新庄雪氷防災研究支所が共同で行った．参加した研究者氏名を付表１に示す．また，この研究を推し進めるために，付表２にある様な研究推進委員会を発足させ，毎年１回これを開催した．

2．研究の背景と目的

富山・長岡，山形・新庄グループ共に，標記研究課題の下に研究を進めた訳であるが，両グループにおける雪氷情報システムに関する展開の度合が研究開始時点で異なっていたので，研究内容も異なった．

富山・長岡グループの最大のポイントは，既に富山県の方で運用していた降積雪情報システム（富山県，1987）の中にある路面温度の凍結予測をすることであった．富山県の方で既に到達していた路面凍結温度の予測法というのは，対象路面の在る地点の最低気温が０℃以下であれば路面も凍結するとしていたところである．しかし，最低気温が０℃以下になったとしても路面がすぐ凍結するとは限らない．路面凍結の必要条件としては，路面に水面があること，その表面温度が０℃であること，そしてこの０℃温度がある程度持続することである．また，圧雪をどう取り扱うかということも問題であった．それ故，研究の立案の段階で，熱収支法により路面凍結予測をすることにした．

もう一つの具体的な研究課題は，降雪強度の予測である．即ち，積雪深の差から日降雪強度，もしくは時間降雪強度を推定することである．これは積雪深は自動的に測定することができるので，この積雪深差から降雪強度を求めようとするものである．

山形・新庄グループにおいては，山形県内に雪氷防災情報システムがいまだ無いという事情から，雪氷防災情報システムそのものに関する研究を雪処理情報システムの内容で実施することとした．また，将来雪処理情報システムに組み込む要素として，最近実用化した積雪重量計の自動測定値にもとづく降雪強度の推定手法，移動観測車による道路雪氷の判別法，降雪時路面の積雪もしくはぬれ状態への移行判別を前日の最低気温から推定する手法，路面反射光中の偏光成分の強度差利用による路面の「ぬれ」検出法等を開発することとした．また，山形県では，吹雪に伴う路上吹き溜りによる交通障害が多発するところから，路上吹き溜り発生危険度予測を目標とした数値シミュレーションを行うこととした．

3．研究方法

富山・長岡グループは，富山市内の２カ所に，気象・降積雪・路面温度等の観測点を設置し，そこで得た測定値の相関から路面状況，即ち路面の凍結，ぬれ，圧雪，及び降雪強度を推定しようとした．図１にはこの定点観測点を，図２には定点観測点における観測の様子をそれぞれ示した．また，上記の２点における点観測以外に，測器をつけた移動観測車によって路線沿いに諸気象要素を観測し，データを入手し解析した．降雪強度推定の一環として，国内の気象官署等で得られる新積雪深の密度の性質，及びそれと時間積雪深差との関係などについて調査することにした．

山形・新庄グループは，雪処理情報システムのプトロタイプの設計を計画し，山形県内全域の冬期の気象資料と雪氷障害資料を，最長30冬期にわたって解析した．また，各種の路面雪氷状況を推定もしくは検知するために，定点観測ならびに観測車による移動観測により，各種の道路気象観測値を得てこれを解析した．

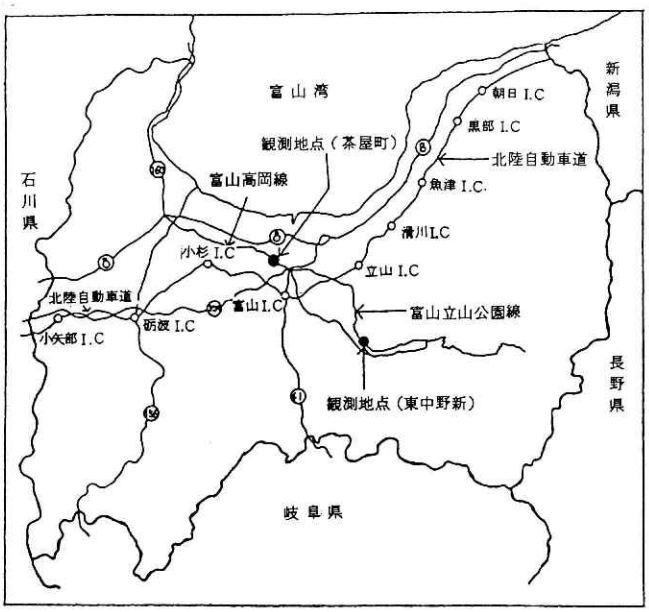


図1　富山県内の主要路線と定点観測地点（中尾ほか，1992）

Fig.1　Principal roads in Toyama prefecture and positions of micrometeorological observation.

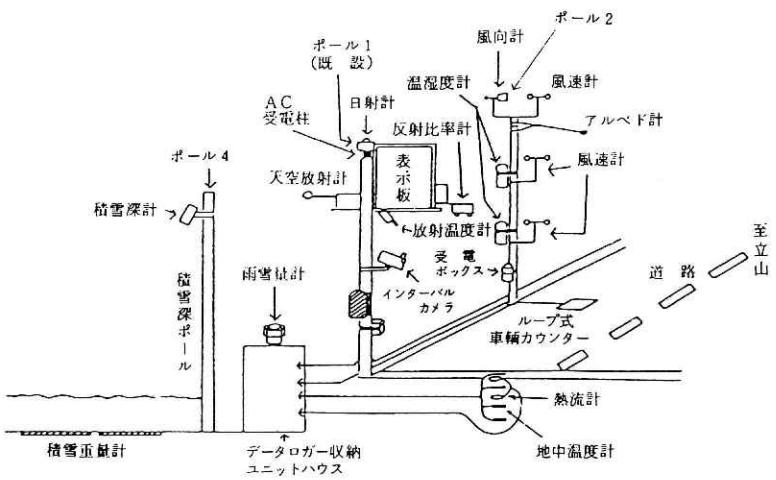


図2　定点観測概略図（富山立山公園線：東中野新）（中尾ほか，1992）

Fig.2　Schematic view of the micrometeorological observation (at Higashi-Nakanoshin on the Toyama-Tateyama Park road).

4．研究成果（富山・長岡グループ）

共同研究を行った昭和63年度から平成２年度までの３カ年は，特に寡雪年が続いたため，必要な観測データが十分には入手できなかった．このため当初予定していた予測式の検証を十分に出来なかったことは誠に残念であった．

路面凍結は路面への熱の収支で決まるであろうと考えたので，これを観測するため，３冬期間富山県内に定点観測所を２カ所設け（図１参照），そこで路面凍結に影響を与える気象学的物理学的要素を観測し（図２参照），データを収集し，これを解析した（舟田ほか，1992，1993；中尾ほか，1992；清水ほか，1989；Shimizu et al.，1991，1993；高橋ほか，1989）．この結果判明したことは，路面凍結に寄与する大きな要素は，天空からの放射（天空放射と略記する．大気放射に同じ）と路面からの長波長放射であることが確認された．特に，天空放射は天気パターンにより大きく異なるので（図３参照），天気を４つの型に分類し，これらの４天気型に応じて低下する路面温度を当日16時の路面温度から予測しようと試みた（図４参照）（中尾ほか，1992；清水ほか，1989；Shimizu et al.，1991）．この最低路面温度と最低気温の関係は天気によって異なるが，おおよそ，①晴または曇のグループと②雨か雪のグループとの二つのグループに分けて考えられる．その関係を図５に示す（中尾ほか，1992）．この最低路面温度を予測するために，４つの天気型及び天気型に分類しない場合の５型態の

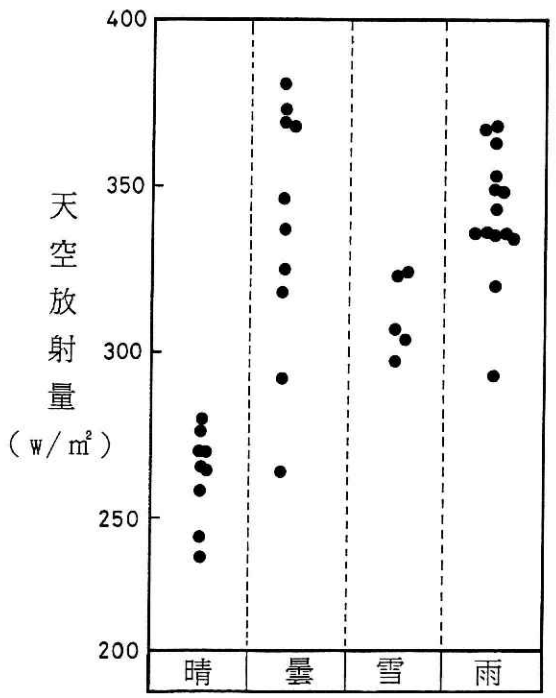


図３　天空放射量と天気との関係（中尾ほか，1992）

Fig. 3　Atmospheric radiation for various types of weather.

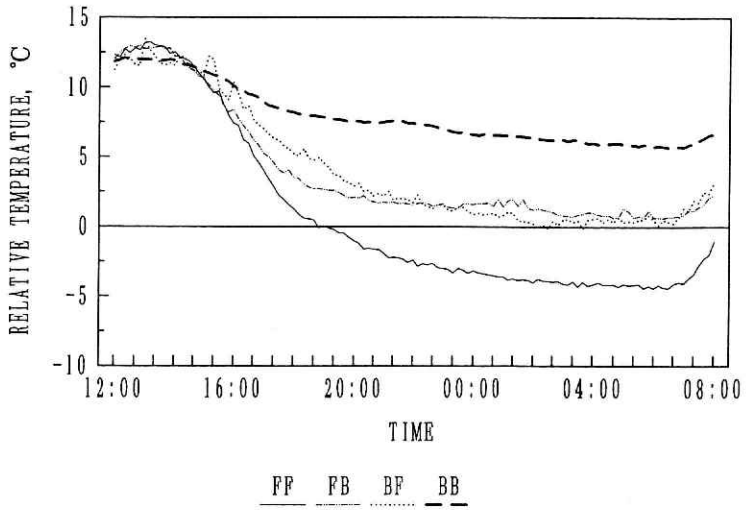


図4　天気パターン毎の路面温度の低下（中尾ほか，1992）
Fig. 4　Temperature drop for different weather patterns.

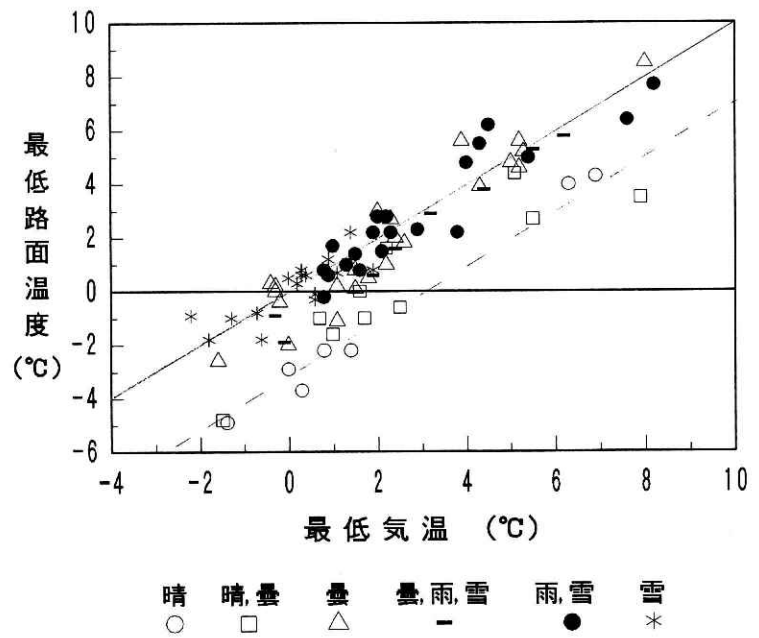


図5　日最低路面温度と日最低気温との関係．図9と同じデータに，天気による区分けをしたもの（中尾ほか，1992）
Fig. 5　Lowest values of road surface temperature and air temperature for various types of weather.

表1　立山町における最低路温（表面）の予測式中の係数の数値（舟田ほか，1992）

Table. 1 Constants in the equations to predict the minimum temperature of the road surface at Tateyama-cho, and some statistical coefficients corresponding to each equation.

状況型	天気型	回帰係数 立山T15 a1	富-TD15 a2	9h-T85 a3	9h-T70 a4	21h-T85 a5	定数	データ数	相関係数	分散	標準偏差
無し	無晴	0.1706	0.2145	0.0921	0.0272	0.3332	1.2128	260	0.832	4.9	2.2
	しれり	0.1674	-0.0050	0.0233	0.0911	0.3432	-0.0796	112	0.777	2.4	1.5
	曇	0.2995	0.1990	0.1409	0.0052	0.2198	0.0173	200	0.865	2.1	1.4
	雨	0.2760	0.1158	0.1037	-0.1766	0.3527	0.1212	132	0.868	1.7	1.3
	雪	0.2337	0.1910	-0.0133	0.0537	0.2419	0.0343	76	0.823	1.4	1.2
乾燥	無晴	0.4458	0.2657	-0.0395	-0.1524	0.3818	-3.8605	75	0.772	6.7	2.6
	しれり	0.4720	0.1948	-0.0665	-0.1240	0.2414	-5.5844	31	0.758	5.4	2.3
	曇	0.4615	0.2968	0.0288	-0.1077	0.2971	-2.7100	39	0.847	5.2	2.3
	雨	-0.8208	-0.4640	1.8422	0.1569	0.1150	22.0144	4	1.000	-0.0	0.0
	雪	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	***	*.***	**.*	**.*
湿潤	無晴	0.1722	0.2585	0.0287	-0.0579	0.3427	0.9846	88	0.794	4.0	2.0
	しれり	0.4708	0.1634	-0.0511	0.0196	0.0489	-4.7095	8	0.666	6.1	2.5
	曇	0.3365	0.4575	-0.0165	-0.1790	0.1825	-2.7548	28	0.859	3.0	1.7
	雨	0.0124	0.0463	0.1804	-0.0942	0.3749	3.6360	52	0.765	2.3	1.5
	雪	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	***	*.***	**.*	**.*
凍結	無晴	-0.0453	-0.0463	0.3490	0.0612	0.2484	3.4442	67	0.630	3.9	2.0
	しれり	0.0752	-0.1474	0.4087	-0.1267	0.8744	4.1471	16	0.849	2.6	1.6
	曇	-0.0115	-0.1519	0.4180	0.0971	0.1629	3.6639	29	0.577	4.0	2.0
	雨	0.1128	0.1504	-0.1713	0.0506	-0.1145	-1.4733	8	0.816	0.2	0.4
	雪	0.3494	-0.0569	0.1031	0.1531	0.0588	1.5125	14	0.686	3.6	1.9
積雪	無晴	0.0800	0.1124	0.0298	0.0904	0.2811	1.4644	29	0.779	2.2	1.5
	しれり	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	**.****	***	*.***	**.*	**.*
	曇	-0.1580	0.2600	0.4704	-0.0057	-0.0973	1.5925	4	1.000	-0.0	0.0
	雨	-0.0029	0.0871	-0.0082	-0.0157	0.0599	-0.1754	2	1.000	-0.0	0.0
	雪	0.1626	0.0889	-0.0878	0.1915	0.3256	2.5076	23	0.764	2.5	1.6

下で，上記の２定点，即ち茶屋町と立山町に対する予測式として，最低路面温度データと５種の気象要素とから重回帰式を導出した（舟田ほか，1992）．表１には立山町における重回帰式の係数を示す．路面温度を測定するためには放射温度計が簡便であるが，この放射温度計の読取値には注意を要する．即ち，読取り直後の値は特に必ずしも正しい値を示さない．即ち，正しい値を示すまでに要する時間がメーカーによって長短様々であるからである．ちなみにそれを図６にして示す（中尾ほか，1992；清水ほか，1989）．

降雪強度に関与する新積雪密度の性質については，日本海沿岸地域に気象官署の所在する22の都市における測定値について解析を進め，次の事が判明した．即ち，雨雪量計法による新積雪密度の統計的性質は雪板法と同等と考えてよい．しかし，その平均密度は雨雪量計法による値が雪板法よりも小さく，標準偏差は大きい．又，その平均密度は緯度が下がると増加し，同緯度では内陸ほど小さい．気温が高いところでの平均密度ほど大きい（山田，1993a；Yamada，1990；Yamada and Ikarashi，1992）．

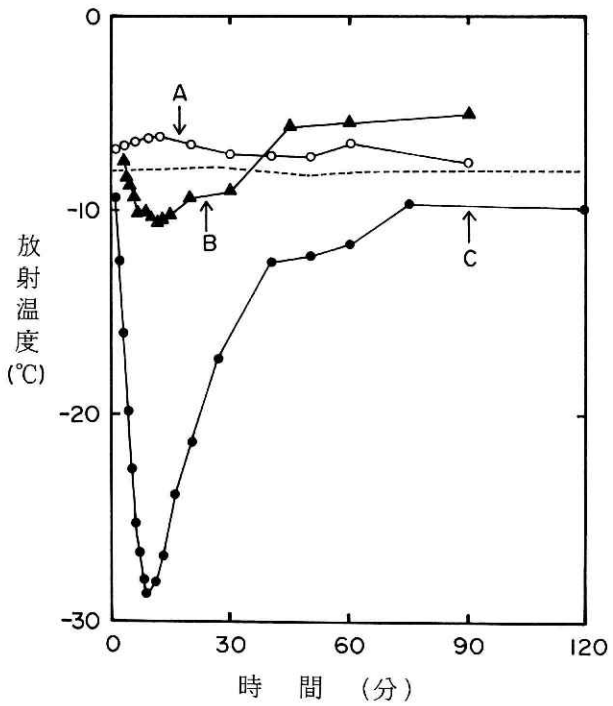


図６　温度計に温度変化を与えた場合の，放射温度計測定値の時間変化．破線は接触型温度計による測定対象の温度変化を示す．A, B, Cはそれぞれ異なるタイプの放射温度計である．A, B, Cの内では，Aが最良．（中尾ほか，1992）

Fig. 6　Temperature readings of different types of infra-red thermometers, after a sudden change of the ambient temperature. The Infra-red thermometer type A is the best among the three.

新積雪深の推定法については，従来使われている３種の方法，即ち，日積雪深差法[1]，積雪深差日計法[2]，及び統計的積雪深差日計法[3]の夫々について，長岡雪氷防災実験研究所のデータを用い比較検討をした（山田，1993b）．即ち，これら３種類の方法のうち，前２者につき，新たに48点のデータを使い，新積雪深とこれら２種類の方法による値との比較を行ったが，あまり良い相関関係は得られないことが判明した．積雪深差日計と日新積雪深との相関は図７の通りである．それで，新たな２つの方法，即ち雨雪量法（雨雪量計による値が正しいと仮定して新雪密度から求める方法）と重回帰分析法を考案し，測定された日新積雪深と計算式によって求められた推定新積雪深とを比較検討した．それによると，雨雪量計法では推定値に±10cm位の誤差が発生すること，しかし，重回帰分析法では比較的良い値を推定することが判明した．以上述べた５種類の方法のうち，最善のものは重回帰分析法であった．これによる標準誤差は±6.2cm程度である．図８にはこの重回帰分析法による結果を示す．

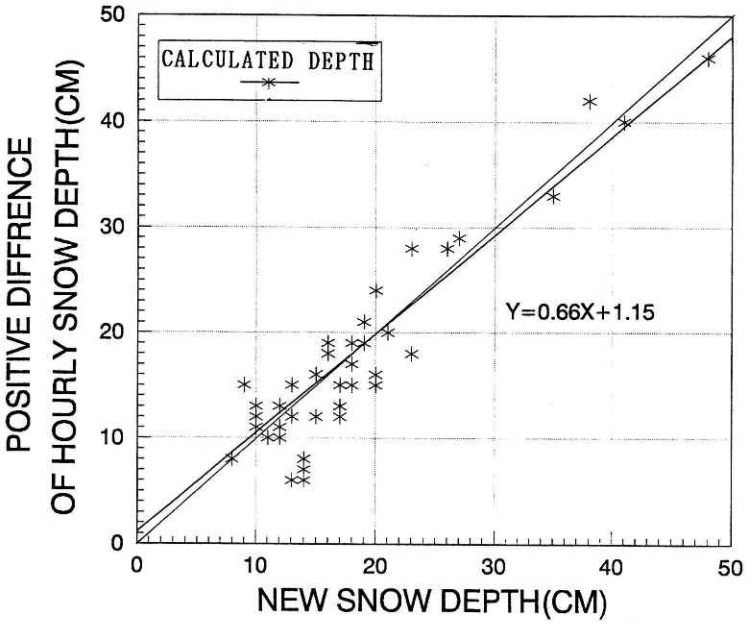


図７　積雪深差日計と日新積雪深との比較（山田，1993）
Fig. 7 Relationship between the positive difference of hourly snow depth and daily fallen snow depth.

[1] 日界を０時とした24時間ごとの積雪深の差
[2] 毎正時ごとの積雪深差の正の部分の24時間分の和
[3] 当日の新積雪深を，前日のクラス分けした積雪深差日計ごとに求められている回帰式により，当日の積雪深差日計の関数として求める方法

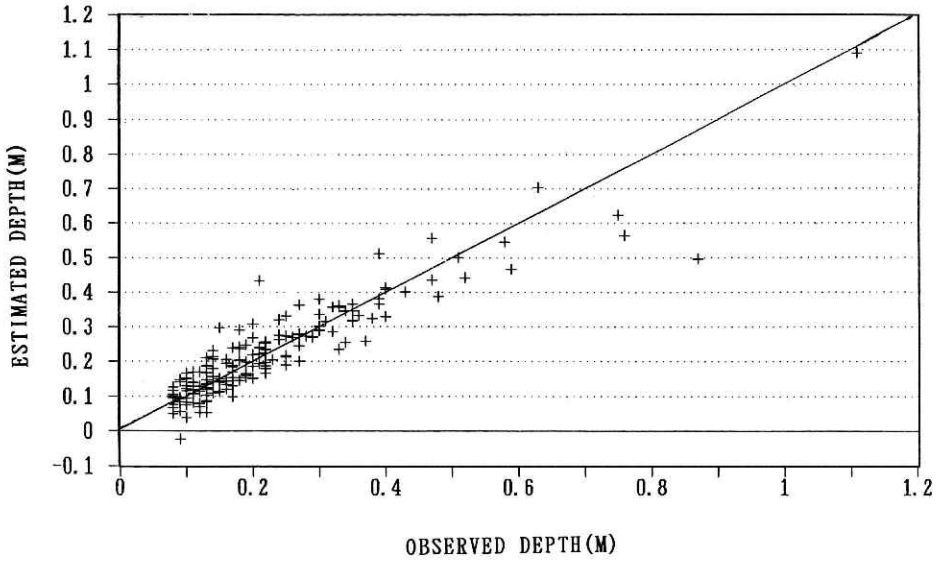


図8　重回帰分析法による日新積雪深の推定値と観測値との比較（山田，1993）

Fig. 8　Comparison of the daily depth of newly fallen snow estimated by multiple regression analysis with observed depth.

他方降雪強度の予測については，次に述べる方法で研究を進めた（舟田ほか，1993）．研究期間の３カ年は暖冬の雪が続き，解析に有効なデータが取得出来なかったので，１時間積雪深差（毎時の自動積雪深計の１時間差）を降雪強度とみなして進めた．昭和63年12月から平成元年２月までの７回の降雪を対象として，茶屋町と立山東中野新の定点観測地点及びアメダス４地点の値を用いて，その１時間積雪深差の時空間的移動を調査した．これらの移動をまとめたものを図９に示す（平成元年１月28日～２月２～３日のもの）．この図から明かなように，富山県の南部に現れた積雪深差は，ほぼ北東へ進み，西部に現れたものは，東ないし東北東へ進んだ．その移動の平均速度は26km／時であった．上記の日以外の移動もほぼ同じであった．この方向への移動の原因としては，富山県の東部にほぼ南北に連なる立山連峰に対して，ほぼ直角に吹く季節風（西風）の影響で，富山付近から山麓にかけての下層では南西風が卓越するためと考えられる．

富山県の気象を考えると，圧雪の発生に特に寄与するのは降雪量と路温であり，路温に関与するのは気温と走行する車輌から発散される熱であると考えられたので，これらの間の関係を調べた．図10は立山町における車輌台数が599台以下（月曜から金曜日迄の夜間に相当する）の場合の最低路温と路面状況を示す（舟田ほか，1993）．

上記の通り，降雪強度と圧雪に関する基本概念を得たので，これらを基にして，前報「路

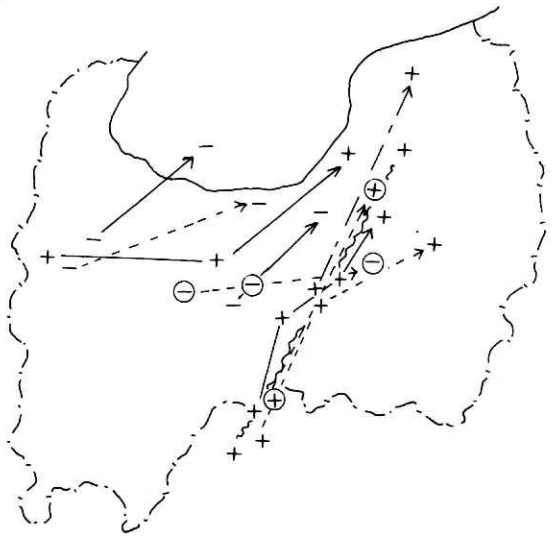


図9　1時間積雪深差の移動（舟田ほか，1993）
Fig. 9 Movement of the hourly snow depth difference.

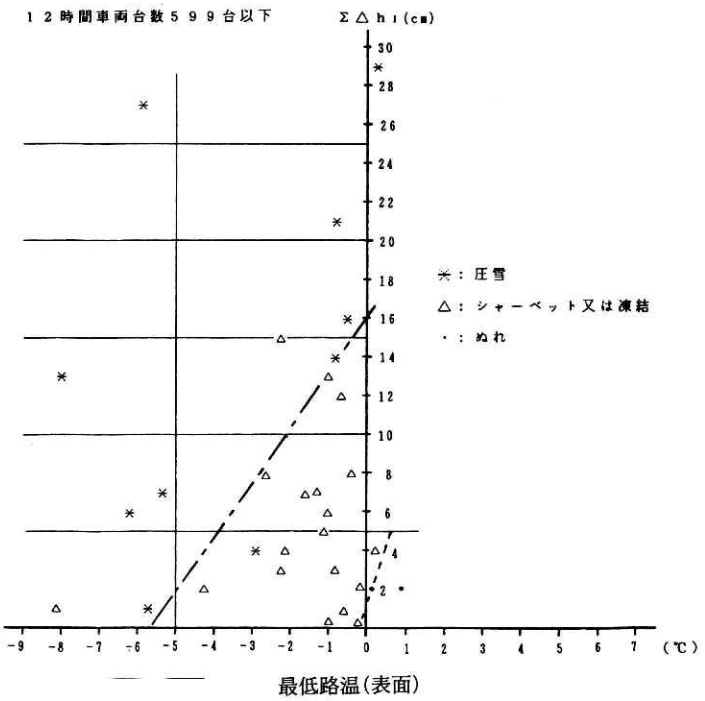


図10　最低路温と降雪強度と路面状況（舟田ほか，1993）
Fig. 10 Relationship between compacted snow and the minimum road surface temperature (more than 600 vehicles).

面温度および凍結予測手法の開発」で得られた手法を活用することによって，降雪強度と路面圧雪予測が可能であると考えている．この圧雪予測システム（含最低路温・凍結予測）を

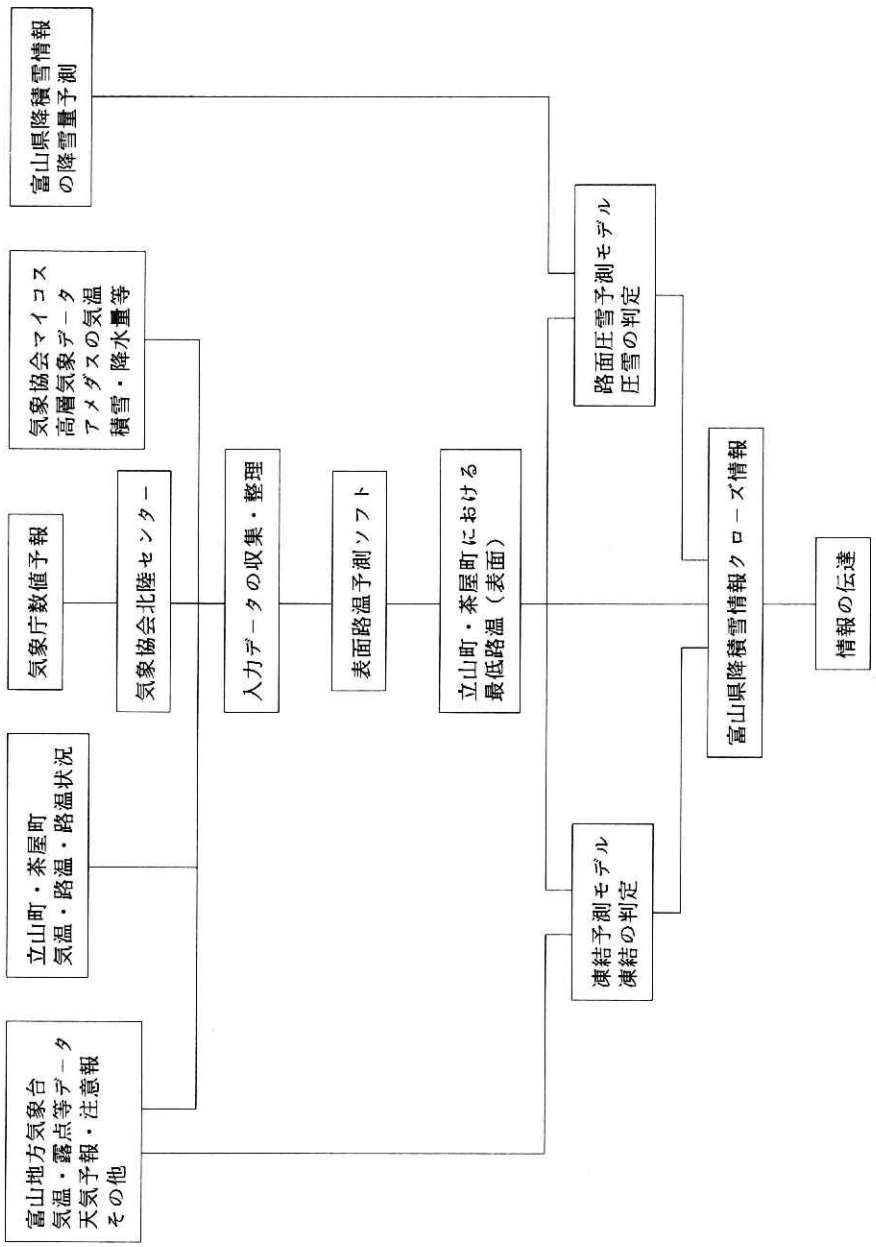


図11　最低路面・凍結・圧雪予測システム（舟田ほか，1993）
Fig. 11　Flow Chart of predicting icing and compacted snow on roads

図11に示す（舟田ほか，1993）．

また，現在富山県で運用中の雪氷情報システムの開発を意図して，現在日本で運用中のもの，及び計画中のものを調査し，それらと富山システムとを比較し，富山雪氷情報システムは他に比べて遜色のないものであることを確認すると共に，これらを将来維持発展させてゆくために必要な４点を提言した．即ち，

(1) 現体制は，エキスパートにより運用されているが，その維持管理の為には当エキスパートシステムが将来共維持されるような配慮が必要である．

(2) 人間は生身であるから，予報者（エキスパート）を複数名確保すること，又，そのための財源的裏付けが必要である．

(3) 情報の質と量の向上のためにはそれなりの手当が必要である．

(4) 現在，富山雪情報通信システムは，県内の人々を対象としているようであるが，高速道路網の発展により，県域外の人々にどのようにこのシステムの恩恵に浴させるか，法的なしばりの緩和の検討なども重要であろう．また，情報伝達の基本概念をフロー図の中で考案した（図12）（中村，1992）．

5．研究成果（山形・新庄グループ）

雪処理情報システムのプロトタイプの構築を目指して，次のことを行った．

山形・新庄グループは，山形県内の気象官署等から58点，計354点のデータを１冬期から最長30冬期分収集し，年最大積雪深の分布，日降雪深年間累計値の分布，日降雪深が除雪作業開始の基準値積雪深である10cmを越える年間日数の分布を図化した．また，年間で最も気温が低下する１月について，その平均気温分布図，気温と共に路面凍結に深く関与する日照時間分布図，降雪量分布や路面凍結，吹雪等に関係する最多風向分布図，及び月平均風速分布図を作成した．他方，県内道路の降雪状況と吹雪，地吹雪時の視程障害並びに吹き溜り障害それぞれの最近の10年間の発現状況等について資料を収集し分布図にまとめた．これらにもとづいて，新庄および酒田地区をモデル地域に設定した雪処理情報システムのプロトタイプを設計した．その概念図と処理機能を表２と表３にそれぞれ示す．

本プロトタイプは，モデル地域の降雪量，吹き溜り危険度，路面凍結危険度の３項目の，24時間先までの予測処理をリアルタイムで行うとともに，予測のために収集された各種データと予測結果をデータベースに収録する機能を有することを特徴とする．

除雪作業等の現況と本システム導入後の活用効果を，① 降雪時の除雪車の出動判断，② 薬剤散布等の路面凍結対策作業の実施判断，③ 交通規制の判断，④ 道路利用者（ドライバー）への情報伝達の４項目について整理した．その結果を表４に示す．どの項目において

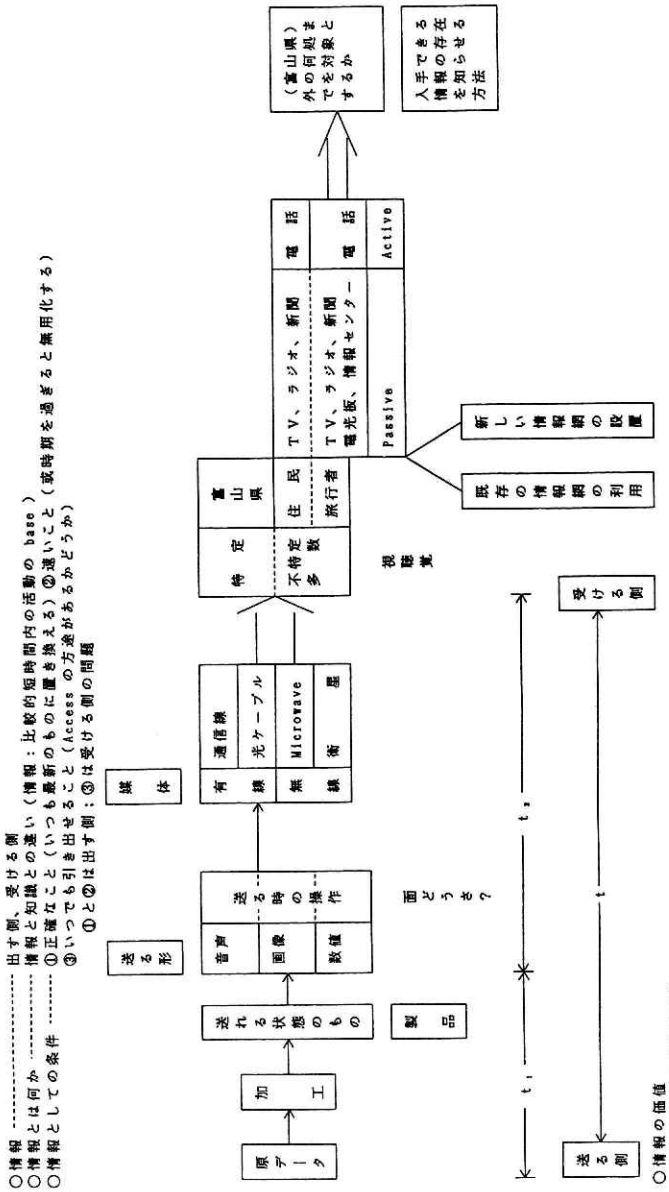


図12　情報の原データから受け取り手までのフロー図（中村，1992）
Fig. 12　Flow chart showing a transportation system of information from raw data to the public through analyses and the mass media.

も本システムの導入によって客観化と効率化が図られ，道路管理水準の高度化を期待できることが判明した（松岡ほか，1993）．

積雪重量計による降雪強度の推定法に関しては，雪処理情報システムに組み込む要素として，まず，最近実用化したメタルウェファー型積雪重量計の測定値の増加量から１日当りの降雪重量を求め，一方，定時観測による日降雪重量の実測を並行して実施し，これを基準値として積雪重量計による日降雪重量測定値と比較し，かつライシメーターによる積雪底面よ

表2　雪処理情報システムのプロトタイプの概念図（松田ほか，1993）
Table. 2 Schematic diagram of a prototype of the snow information network system

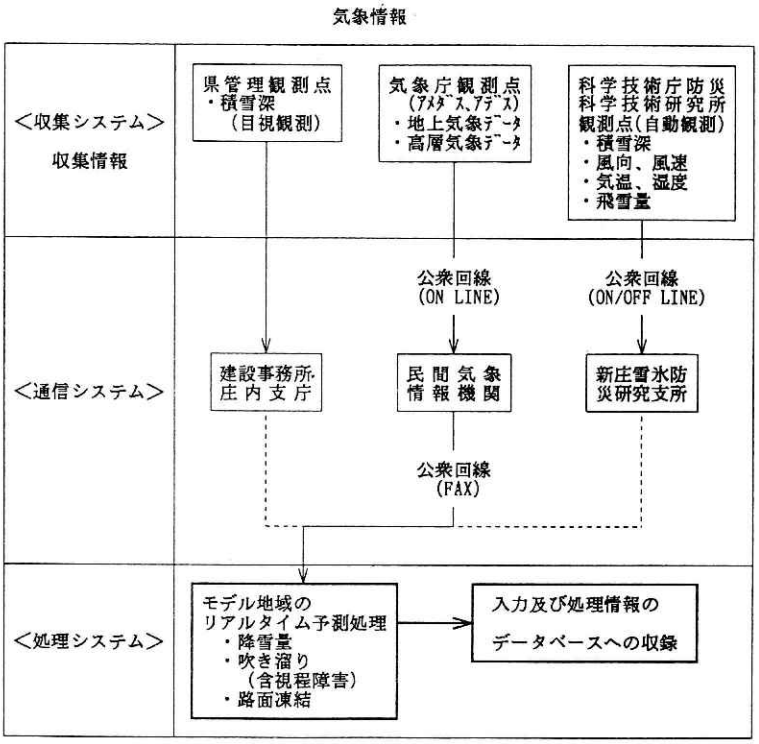


表3　雪処理情報システムのプロトタイプの処理機能（松田ほか，1993）
Table. 3 Function of the prototype of the snow information network system.

<table>
<tr><th colspan="2">項　　目</th><th>機　　能</th></tr>
<tr><td rowspan="2">入　力</td><td>気象情報の受信</td><td>① 県管理観測点の積雪深
・FAXまたはTELにより入手したデータをキーボード入力
② 気象庁観測点の気象データ
・民間気象情報機関を通じFAXにて入手したデータをキーボード入力
③ 科学技術庁新庄雪氷防災研究支所データ
・オンラインによる自動受信</td></tr>
<tr><td rowspan="3">演　算
処　理</td><td>予測対象地域及び項目</td><td>リアルタイム予測対象地域と項目は以下の通り。
<table>
<tr><th>予測項目 / モデル地域</th><th>路上吹き溜り</th><th>路面凍結</th><th>降雪量</th></tr>
<tr><td>酒田市</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td></tr>
<tr><td>新庄市</td><td>－</td><td>○</td><td>○</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>予測対象時刻</td><td>目先２４時間までの毎正時</td></tr>
<tr><td>データベースへの収納</td><td>受信情報と処理情報を一定の企画に合わせてデータベースに収納する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">出　力</td><td>現況状況の表示</td><td>受信情報に基づき、現在気象状況をＣＲＴ画面及びプリンターに表示する。</td></tr>
<tr><td>予測情報の表示</td><td>予測された気象値に従い、予測気象情報をＣＲＴ画面及びプリンターに表示する。</td></tr>
<tr><td>その他</td><td>予測作業時刻</td><td>２回／日（11:00，17:00）</td></tr>
</table>

表4　雪処理情報システム導入の効果（松田ほか，1993）

Table. 4　Possible improvements for the introduction of the snow information network system.

項　目	現在の状況	システム導入の活用効果	システム導入の間接的効果
降雪時の除雪車の出動判断	・除雪は通常午前3時の除雪基地における降雪深等の観測（目視）結果基づき出動判断が行われている。出動判断は最多雪区間の降雪量と、除雪車到着時の積雪量を経験的に推定し、出動のタイミングを判定している。	・除雪基地での気象観測値（降雪深、地吹雪、気温）のみに基づき経験的に除雪車出動の判断を行っている現状を、担当路線の沿線の定量的かつ客観的な降雪量情報（実測値または推算値）に基づいて行えるように改良される。（点情報→線情報） ・除雪基地には発生していない地吹雪に対してもその発生区間や強度についての情報が得られる。	・降雪量情報を除雪基地だけでなく建設事務所や道路維持課でも受信でき、県内全域の降雪状況を常に面的に把握できるので交通規制等の判断に役立つ。 ・各除雪区間での線的な降雪量情報が得られることから、除雪作業が行われた場合に各区間毎に総除雪量（ボリューム）を簡単に集計でき、除雪経費の積算に対しても有効に利用できる。
薬剤散布等の路面凍結対策作業の実施判断	・道路パトロールによる情報と除雪基地での気温に基づき、経験的に出動のタイミングと作業区間を判断している。	・スパイクタイヤの禁止に向け、路面の凍結に対する管理基準を上げることが要請されている。融雪剤は凍結後の散布よりも凍結前の散布が効果的であり、路面凍結防止のための融雪剤散布は、路面温度の的確な把握と数時間先の温度低下傾向の予測が必要となる。沿線の気温の現況の予測に基づいて融氷剤の散布のタイミングと集中散布区間の判断を、客観的に行うことができるようになる。	・薬剤散布のコスト・パーホーマンスを高めることができる。
交通規制の判断	・過去の大規模な冬期道路気象災害はすべて対応が後手に回ったときに発生しており、道路閉鎖等の交通規制は、実態としては車両が立ち往生して動けなくなり、実質的に交通不能になった後に行われたものであり、従って回復が遅れて長時間に及んでいる。	・地吹雪、路面凍結、降雪量の予測情報が得られることにより、障害発生の危険性と対象区間を予知でき、対応を先手で打てるようになる。 ・予測情報が入手できることにより迂回路のドライバーへの提示や交通規制の開始時刻を早めると同時に終了時刻も早めることができ、結果として規制時間を大幅に短縮することが可能になる。	・放置車両の解消 ・渋滞の軽減
道路利用者への情報伝達	・道路情報板、立て札等の手段によっているが、地吹雪障害は障害の発生を知らないドライバーが障害区間内に入り込み立ち往生してしまう場合が多く、それによって車両が路上に放置され各種対策の妨げとなり、障害を拡大させる結果になりやすい	・情報内容がより正確で豊富になる。また現況情報であってもドライバーに伝達しうる情報が線情報化することによってドライバーにとっては、路線を移動する時間があることから実質的には予測情報に等しい価値となり、道路除雪行政上のサービス水準向上となる。 ・将来的には、道路情報板や路側ラジオが充実するにつれ、路線の気象状況に対する正確な情報の入手とドライバーへの提供が必要となるが、人のいない区間に対しても対応が可能になる。	

りの水の流出量，雨量計による降雨量等の観測値により，積雪層の底面融雪と降雨による影響の補正をこころみた．

本推定方法では，降雨の影響が強く，これを補正するためには雨雪判別手法の開発，積雪の保水能力の見積り手法の開発が必要であり，現段階では困難であるが，降雨補正の必要の無い真冬日の場合は，基準値との標準偏差が1.8kg/m²・日となり，一方，底面融雪量は0.16kg/m²・日程度であるため，本推定方法では，±2kg/m²・日程度の精度を有することが判明した．この精度は除雪作業開始の基準積雪深10cmの積雪重量が約10kg/m²であることから，実用上充分と考えられる（阿部ほか，1992）．

移動路面観測車による道路雪氷の判別法を確立するために，新庄雪氷防災研究支所を起点として，国道13号線の山形県新庄市から同金山町日当および秋田県雄勝町上院内にかけての平地および山間地，ならびにこの国道に接続する県道，市道の新庄市街地，同郊外地を対象として，路面温度計，長波放射計，気温計，アルベドメーターをつけた移動路面観測車によ

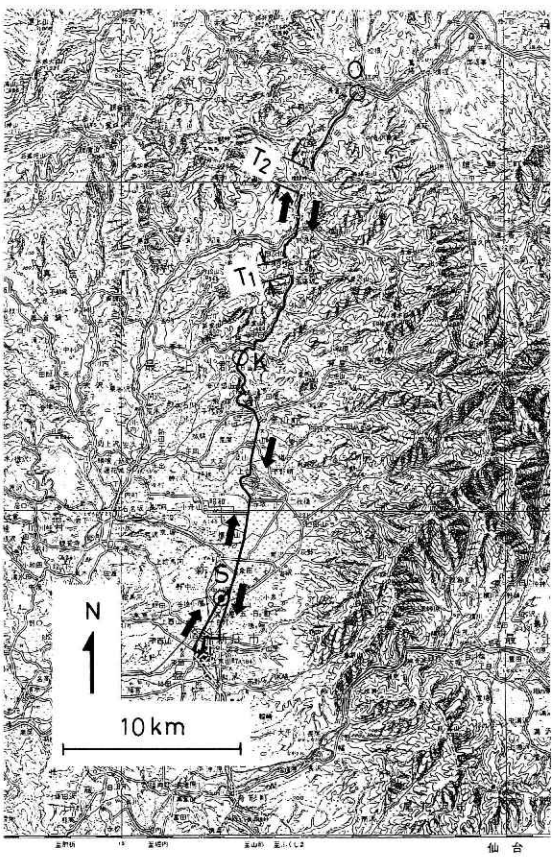


図13　調査対象道路（阿部，1992a）
S：新庄雪氷防災研究支所，
K：金山町日当，
O：雄勝町上院内，
T：トンネル

Fig. 13 Route along which snow and ice conditions on the road surface were surveyed to establish a new discrimination method for road maintenance.

り路線沿いの気象要素を観測した．そして，そのデータを解析して路面状態の判別を行った．観測コースを図13に示す．

道路沿いに測定したアルベドと路面温度から，路面状態を８種類に分類し，これに基づいて観測路面の状態を簡便かつ定量的に評価できることが判明した．路面状態の判別模式図を図14に示す．図中のＩ，Ｊ，Ｋは判別対象から除外した．記号Ａ～Ｈの８種類の分類内容は表５に示す．これら８種類の分類のいずれにも適合しなかった路面の区間延長は最大でも全区間の24%，通常は10%以下であり，この手法は道路管理上きわめて有効な手段となり得る（阿部，1992a）．

除雪道路における積雪路面の形成条件に関しては，新庄雪氷防災研究支所のそばを通る幅7.4mの，除雪が実施されている市道の路面を当支所２階から，８mmシネフィルムカメラにより５分毎に１コマずつ，昭和63年度冬期および平成元年度冬期の２冬期にわたって連続撮影し，この画像を日降雪深と日最低気温にもとづいて解析した．

図15は２冬期間の午前９時における路面状態を，前日の午前９時から当日９時までの日最低気温を横軸にとり，同じく日降雪深を縦軸にとってプロットしたもので，Ｓは積雪路面，Ｂは水でぬれた薄雪路面，Ｐは部分積雪路面，Ｗはぬれ路面，Ｄは乾き路面をそれぞれ意味する．図中の直線ｃ，ｄが判別式のグラフであり，直線ｄの下側はぬれ路面の領域で判別率は83%である．

直線ｃは積雪路面とぬれ路面の境界であり左側が積雪路面になるが，この場合は−2.7℃の

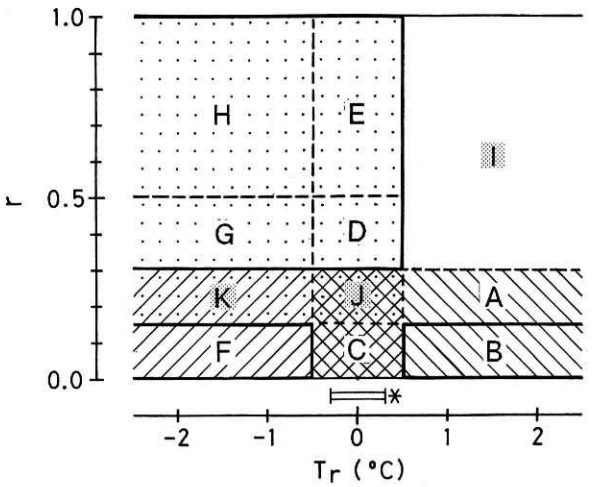


図14　路面温度（T_r）およびアルベド（r）とからの路面状態の判別模式図
＊：使用放射温度計の氷点における修正済み指示範囲（阿部，1992a）
Fig.14 Classification of road conditions based on the surface temperature (T_r) and albedo (r) on the road.

表5　雪氷で覆われた路面の新分類法．AからHまでの夫々は，路面温度とアルベドの組合せできめられる（阿部，1992a）

Table.5　New classification of the road condition covered with snow and ice. Each zone of A to H is defined by the combination of the road surface temperature and albedo.

本報で使用した分類名称（自動分類）	木下・秋田谷の分類名称（標準分類）
A：温乾（半乾きを含む）	該当無し
B：水ぬれ	該当無し
C：ぬれ氷板	氷板，氷膜，水べた
D：ぬれ混雪	2種類以上の混合
E：ぬれ積雪	新雪，粉雪，粒雪，圧雪
F：乾き氷坂	氷板，氷膜
G：乾き混雪	2種類以上の混合
H：乾き積雪	新雪，粉雪，粒雪，圧雪

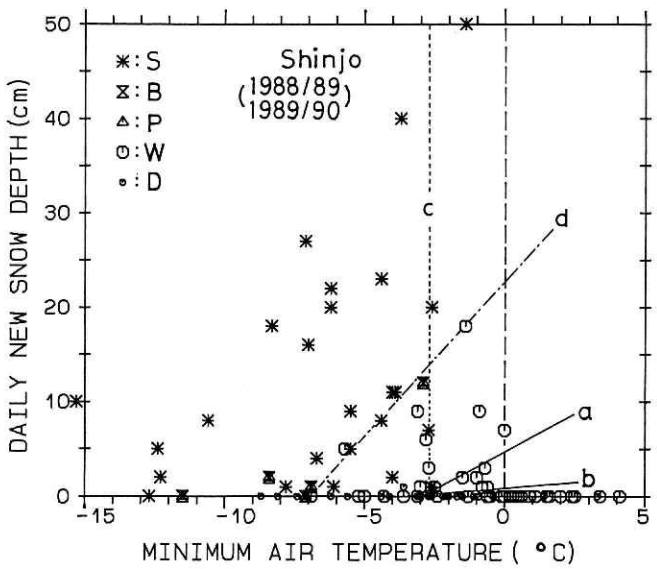


図15　日最低気温と日降雪深による午前9時の路面状態の判別（阿部，1992b）

Fig.15　Discrimination of the snow road condition based on the minimum air temperature in the last 24 hours and daily new snow depth at 9 o'clock on the present day.
c : Boundary predicting snow or wet road surface based only on the minimum air temperature in the early morning. d : Boundary predicting snow or wet road surface based on the minimum air temperature and daily fallen snow depth.

日最低気温のみで決まり，判別率は81％である．直線ｃの判別によっても実用に耐え得ると考えられる（阿部，1992b）．

偏光による路面のぬれの検出法については，図16に示す実験装置によりコンクリート路面上の短径1.3m，長径2.6mの楕円形の部分からの反射光に含まれる，水平・垂直両方の偏光成分の強度差に比例した出力電圧を測定した．この結果，ぬれ路面の場合最大14.4Ｖ，しめった状態で11.0Ｖの出力が得られ，乾燥路面の場合2.4Ｖであったところから，この検出手法にもとづいて，道路上方の交通に支障の無い位置に設置して，路面の数m²の範囲を，非接触で監視できるぬれ検出装置のデザインが可能なことが判明した．本実験は太陽光で行ったが，水銀灯等の高輝度の変調光を使用して，太陽光と無関係に昼夜を通して作動する装置も製作可能と考えられる（木村，1993）．

路上吹き溜りの数値シミュレーションに関しては，昭和63年度より平成２年度の３冬期間，山形県庄内平野の県道，藤塚八幡線において，路上吹き溜りの野外観測を実施した．この期間は，全国的な暖冬少雪で路上吹き溜りは２回より発生しなかった．そこで，気象協会モデルを使用して，風速と降雪強度にもとづく吹雪の数値シミュレーションを試みた．

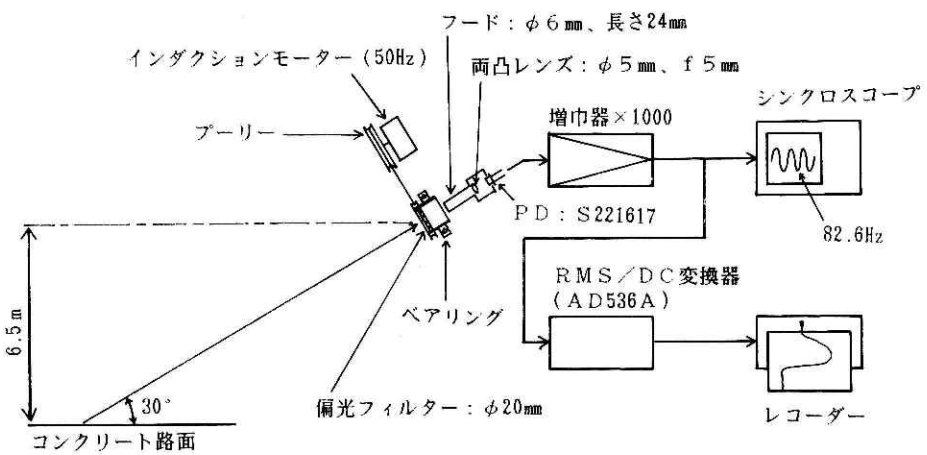


図16　実験装置概念図（木村，1993）
Fig. 16 Schematic diagram of an experimental set up to obtain reflected light from the road surface.

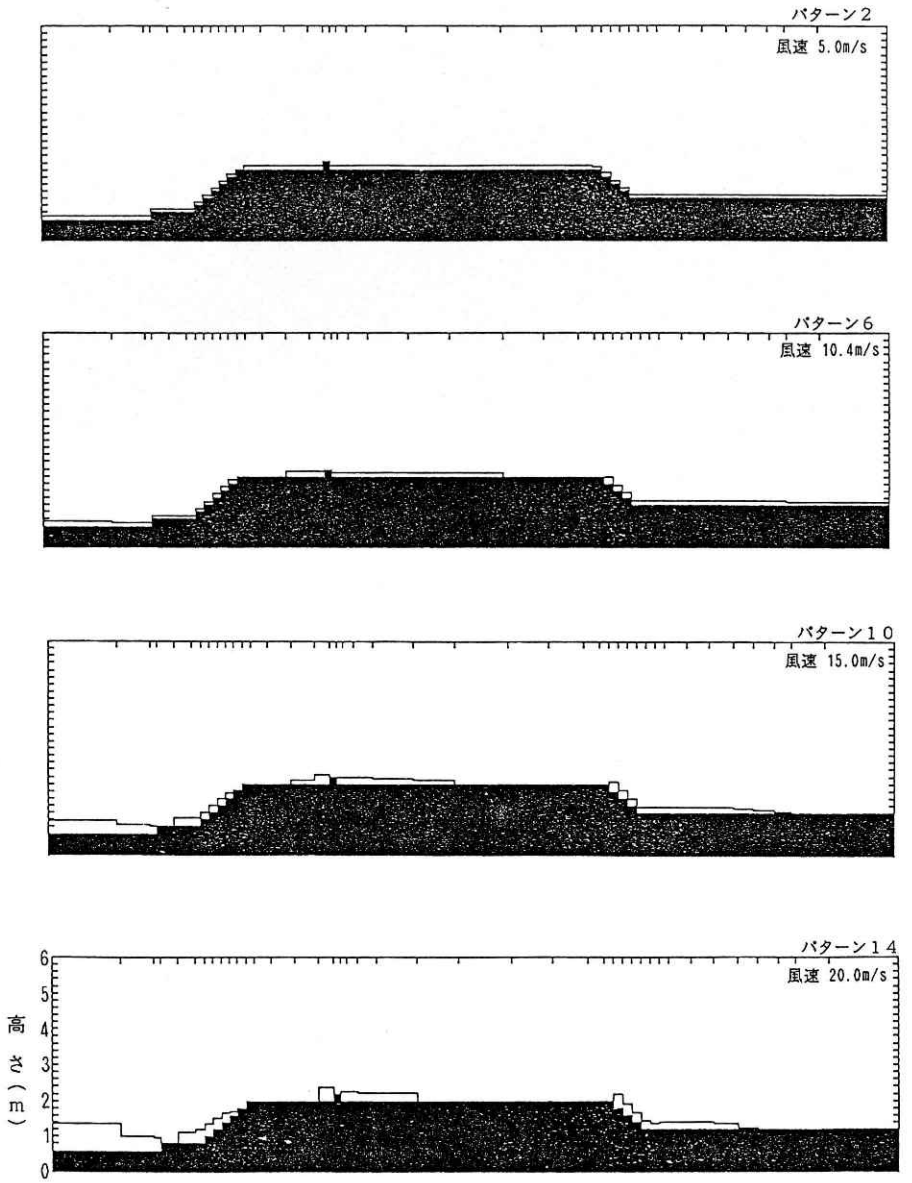


図17 計算によって得られた吹溜り．地形の上の白い部分が積雪であり，積雪の高さを３倍の縮尺にしてある．（佐藤ほか，1992）

Fig.17 Calculated snowdrift on the road, shown as the white part on the road. The height of the snow is extended three times as large as the cross section of the road.

この結果，風速別に図17のような道路横断パターンが得られた．この場合風は左から右に吹き，黒くぬりつぶした部分が路体，白ぬき部分が吹き溜りを示す，垂直方向は３倍に拡大

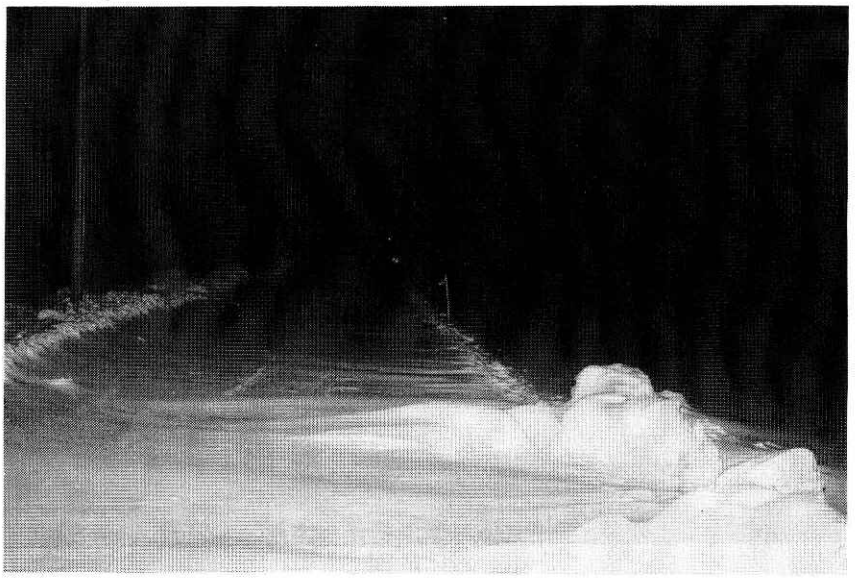


図18　1990年１月26日に発生した路上吹溜り．阿部建設（株）提供．（佐藤ほか，1992）
Fig. 18 Photograph of a snowdrift on a road, occurring on January 26, 1990, courtesy of Abe Construction Co., Inc.

して示した．図17に示すように，路側の縁石が吹き溜りの形成に大きく影響しており，その風上側と風下側に吹き溜りが形成されている．風速15m/s以上のパターンは，図18に示す現場写真と良く一致した．また，本シミュレーションによって，路上吹き溜りの最深積雪，降雪強度および風速の相互依存性を，縁石の風上側と風下側に分けて計算した結果降雪強度と風向から，路上吹き溜りの危険度を予測することは可能と考えられる（佐藤ほか，1992）．

6．おわりに

現在，富山県には雪氷情報システムは存在し，運用されている．しかし，山形県ではまだ無い．この研究成果は，寡雪年のわずか３カ年の成果であるが，この研究の中で数多くの新

しい知見が得られた．現用の情報システムの開発もしくは新しい情報システムの計画時には，これらの研究成果が大いに役立つことを期待している．

最後に，この研究を遂行するに当たり御尽力下さった関係各位に深謝するものである．

参考文献

1）阿部　修（1992a）：移動路面観測車による道路雪氷の判別．防災科学技術研究所研究報告，第50号，145-167.
2）阿部　修（1992b）：除雪道路における積雪路面形成の簡略判別．防災科学技術研究所研究報告，第50号，137-143.
3）阿部　修・木村忠志・沼野夏生・中村秀臣（1992）：積雪重量計による降雪強度の推定．防災科学技術研究所研究報告，第50号，115-122.
4）舟田久之・仙黒邦行・松川宗夫・石坂　正（1992）：路面温度及び凍結予測手法の開発．防災科学技術研究所研究報告，第50号，193-231.
5）舟田久之・仙黒邦行・松川宗夫・石坂　正（1993）：降雪強度と路面圧雪予測手法の開発．防災科学技術研究所研究報告，第51号，209-219.
6）木村忠志（1993）：偏光による路面の「ぬれ」の検出．防災科学技術研究所研究報告，第51号，203-208.
7）松田益義・西村　寛・中島次男（1993）：山形県内の雪処理情報システムの構想．防災科学技術研究所研究報告，第51号，221-246.
8）中尾正義・清水増治郎・高橋修平（1992）：積雪域交通路における路面凍結に関する研究．防災科学技術研究所研究報告，第50号，169-191.
9）中村　勉（1992）：雪氷情報システムの開発に関する研究．防災科学技術研究所研究報告，第50号，233-250.
10）佐藤篤司・植松孝彦（1992）：路上吹溜り数値シミュレーション．防災科学技術研究所研究報告，第50号，123-135.
11）清水増治郎・中尾正義・高橋修平（1989）：積雪域交通路の路面温度特性．寒地技術シンポジウム'89講演論文集，199-203.
12）Shimizu, M., Nakawo, M. and Takahashi, S.（1991）：Characteristics of road surface temperatures in a snowy region, Japan. Proceedings of Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, held in Tsukuba, Japan, 125-132.
13）Shimizu, M., Nakawo, M. and Takahashi, S.（1993）：Measurement of atmospheric radiation for winter road management. Proceedings of the International Work-shop on Winter Road Management (IWWRM), held in Sapporo, 1993. in printing
14）高橋修平・中尾正義・清水増治郎（1989）：積雪域交通路の熱収支特性．寒地技術シンポジウム'89講演論文集，195-198.
15）富山県（1987）：富山県雪情報通信システム開発業務報告書．1-189.
16）山田　穣（1993a）：日本海沿岸22都市における新積雪密度の度数分布と平均値について．防災科学技術研究所研究報告，第52号，51-67.
17）山田　穣（1993b）：時間気象データに基づく新積雪深の推定法についてⅠ－雨雪量計法と重回帰分析法－．防災科学技術研究所研究報告，第52号，69-80.
18）Yamada, Y.（1990）：Distribution of new snow density in Japan. Proceedings of the 5th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures(IWAIS'90), B5-2-(1)-B5-2-(7), Tokyo, Japan.
19）Yamada, Y. and Ikarashi, T.（1992）：Simulation on depth of newly fallen snow based on AMeDAS data. Proceedings of the Second International Conference on Snow Engineering(Special Report 92-27 of the CRREL), edited by Wayne Tobiasson and Edmund Wright, 169-178, Santa Barbara, California.

（1993年8月9日原稿受理）

付表１　　研究参加者名簿
Appendix 1　　Colleagues incorporated in the project.

氏　名	所　属　お　よ　び　役　職
中村　勉	防災科学技術研究所　長岡雪氷防災実験研究所長
木村　忠志	同上　新庄雪氷防災研究支所長
山田　穣	同上　長岡雪氷防災実験研究所第１研究室長
中尾　正義	同上　長岡雪氷防災実験研究所第２研究室長
納口　恭明	同上　長岡雪氷防災実験研究所主任研究官
清水増治郎	同上　長岡雪氷防災実験研究所主任研究官
沼野　夏生	同上　新庄雪氷防災研究支所雪氷防災第１研究室長
東浦　将夫	同上　新庄雪氷防災研究支所雪氷防災第２研究室長
阿部　修	同上　新庄雪氷防災研究支所主任研究官
佐藤　篤司	同上　新庄雪氷防災研究支所主任研究官
佐藤　威	同上　新庄雪氷防災研究支所主任研究官
高橋　修平	北見工業大学・教授
佐藤　和秀	長岡工業高等専門学校・助教授
名古屋英二	富山県企画県民部・水雪対策室主幹（昭和63年度）
西島　正博	富山県企画県民部・水雪対策室副主幹（平成元年度）
石坂　正	富山県企画県民部・水雪対策室副主幹（平成２年度）
赤津　邦夫	日本気象協会・研究所第１研究部長
舟田　久之	日本気象協会・北陸センター・富山支部調査役
仙黒　邦行	日本気象協会・北陸センター調査課長
木村　昌史	日本気象協会・中央本部大気第二課
飯塚　敏樹	日本気象協会・北陸センター調査課技師
松川　宗夫	日本気象協会・北陸センター調査課主事
高橋　通昌	山形県企画調整部地域整備課長（昭和63年度・平成元年度）
加藤　正信	山形県企画調整部地域整備課長（平成２年度）
大門　弘	山形県企画調整部地域整備課長補佐（昭和63年度）
井上　紀夫	山形県企画調整部地域整備課長補佐（平成元年度）
松田　益義	ＭＴＳ雪氷研究所・取締役

付表 2　研究推進委員会の名簿
Appendix 2　Members of the promotive committee.

氏　　名	所　　属
委員長　早川典生	長岡技術科学大学教授
委　員　畠山重信（中村　公）	富山県企画県民部長
委　員　花屋和夫（我孫子敏雄）	山形県企画調整部長
委　員　山崎市郎（北神　智）	新潟県企画調整部長
委　員　小林　俊一	新潟大学教授
委　員　対馬勝年	富山大学教授
委　員　赤塚孝雄	山形大学教授
委　員　中村　勉	長岡雪氷防災実験研究所長
委　員　木村忠志	新庄雪氷防災研究支所長

※（　）内は前任者