

降雪強度と路面圧雪予測手法の開発

舟田久之*・仙黒邦行*・松川宗夫*

日本気象協会

石坂 正**

富山県

Development of a method for predicting snowfall intensity and compacted snow on roads

By

Hisayuki FUNADA, Kuniyuki SENKURO, Muneo MATSUKAWA

Hokuriku Center, Japan Weather Association

and

Tadashi ISHISAKA

*Utilization of Snow & Water Resources Office,
Planning & Civic Affairs Department, Toyama Prefecture*

Abstract

Heat balance analysis was carried out using the data which were obtained during three winter seasons, 1988-1991. After classifying measurements of traffic counter according to weekday, Monday-Friday and holiday, Saturday, Sunday, national holiday, we made figures showing relation between snowfall intensity, the road surface minimum temperature and compacted snow. We made an online system in which variables such as present temperature and situation of a road surface at fixed points were automatically gathered. It has been possible to predict road surface minimum temperature by connecting these variables with some other variables given by an existing system, MICOS-LAN. As a result, we have developed a method for predicting icing and compacted snow on roads.

* 北陸センター ** 水雪対策室

Key words : snowfall intensity, compacted snow, road surface temperature, traffic counter, prediction method

キーワード：降雪強度，圧雪，表面路温，交通量カウンター，予測手法

1. はしがき

富山県が科学技術庁防災科学技術研究所長岡雪氷防災実験研究所と、共同で研究を行った「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」(官民特定共同研究)のうち、降雪強度と路面圧雪予測手法の開発に関して、富山県内で昭和 63 年度から 3 ケ年の冬季に観測したデータによって調査を行い、路面圧雪の予測システムの構築を試みた。

2. 降雪強度

この 3 年間は、富山県内では暖冬少雪が続いて解析に有効なデータが得られなかったので、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調査を進めた。

昭和 63 年 12 月から平成元年 2 月末までに 7 回(昭和 63 年 12 月 14~17 日, 12 月 21~22 日, 12 月 24~26 日, 平成元年 1 月 14~15 日, 1 月 27~28 日, 2 月 1~3 日, 2 月 23~24 日)ほどの降雪の期間があった。これらの降雪について、2 ケ所(茶屋町と立山町東中野新)の定点と、富山地方気象台の 4 ケ所(泊・魚津・猪谷・砺波)のアメダス(AMeDAS: 地域気象観測システムの略称)との合計 6 地点の毎時の積雪深データから、1 時間積雪深差(Δh_1)を分布図にして、その移動を調べた。その 1 例を図 1(a)~(e)に示す。

平成元年 1 月 28 日 12 時に、富山県と岐阜県との県境の猪谷の南西に現われた Δh_1 の十域が、28 日 13 時には北東へ進んで東中野新付近に進み、14 時には上市の東へ去った。

一方、28 日 12 時に富山県の西部に現われた一域は 13 時には北東へ進み、伏木の東北東に達し、14 時には魚津の西の海上を通り、15 時には泊の北東海上へ去り、東北東進した。

この一域に伴う別の一域の中心域は、14 時に茶屋町の南西に現われ、15 時には茶屋町の南東へ進み、16 時には東中野新の北東に達し、ほぼ東へ移動した。

平成元年 1 月 28 日と 2 月 2~3 日の Δh_1 の十域および一域の移動をまとめると、図 2 に示しており、富山県の南部(猪谷付近)に現われたものは、ほぼ北東へ進む、西部に現われたものは東ないし東北東へ進んで、移動速度の平均は 26 キロメートル/時であった。なお、その他の日についても、図 2 に示すコースとほとんど似ていた。

富山県は昭和 63 年 1 月 23~25 日と、平成元年 1 月 27~28 日に県内のほぼ中央の中新川郡立山町芦原の三郷において、気象ゾンデによる高層気象観測を行い、アメダスデータと合わせて立体解析を行った。

この解析では、アメダスの地上風分布から求めた 10 キロメッシュの発散や渦度の 1 時間変化量の移動も東ないし北東へ進み、 Δh_1 の移動とよく似ている。

降雪強度および路面圧雪予測手法の開発——舟田ほか

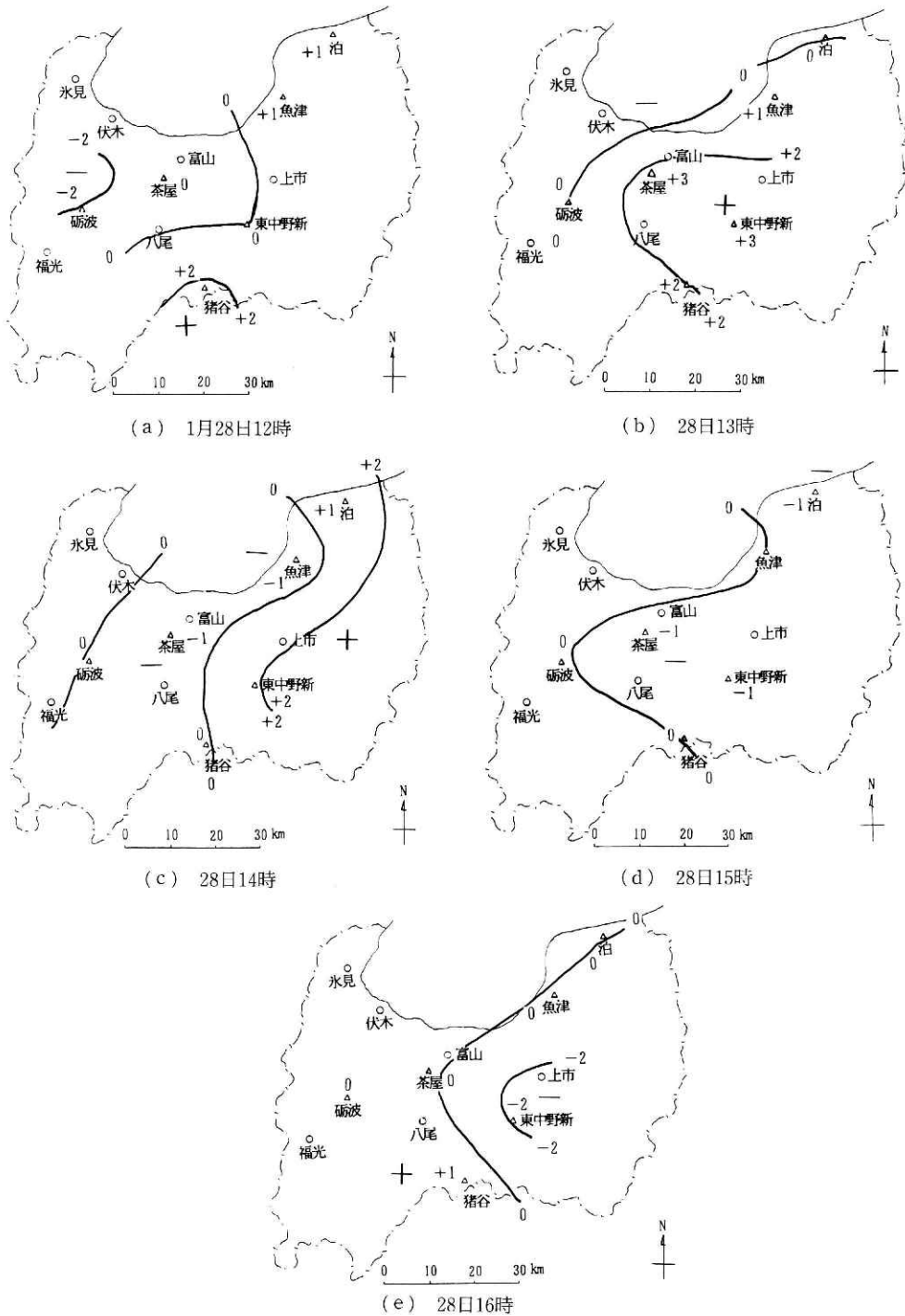


図1 (a)~(e) 1時間積雪深差の分布 (平成元年1月28日12時~16時)

Fig.1 (a)~(e) Distribution of variation of snowfall depth at 1-hourly in Toyama Prefecture

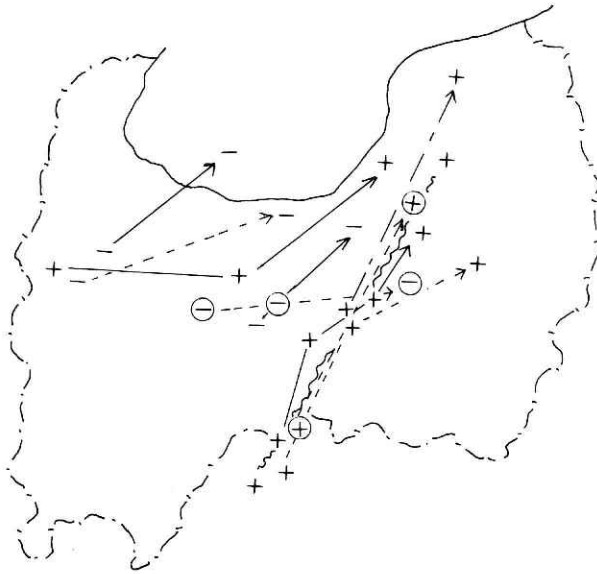


図 2 1 時間積雪深差の移動
Fig. 2 Movement of variation of snowfall depth at 1-hourly

冬の季節風が吹いている時に、 Δh_1 や収束・発散域および渦度が北東へ移動する理由として次のように考えられる。

富山県の東部に高さ3,000メートルに及ぶ立山連峰が南北に走っているため、この山岳の影響によって季節風が迂回し、富山県の北東部では南西風が卓越するようになる。

また、立山連峰の中腹の高さは1,500メートルほどで、その高さに近い輪島における850mbの風が立山連峰に吹く風の代表とすると、1月の30年間の風の平年値は9時が 279° 8.1 m/s, 21時が 276° 8.3 m/sであるので、冬の季節風は西風で、南北に走る立山連峰に対してほぼ直角に吹いているために、連峰の風上においても剝離現象が発生して、立山の西側の山麓では気圧が高くなり、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ものと考えられる。

このような南西風によって、収束・発散や渦度および Δh_1 が富山から東では北東へ進むものと考えられる。

3. 圧雪と路温・気象

高橋・中尾・清水は路面にある積雪表層の有限な厚さ ΔZ の部分について、その温度変化を考慮した熱収支は次式によって示されるとしている。

$$Q_{NR} + Q_S + Q_L + Q_C + Q_X = Q_M + \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \Delta Z \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで Q_{NR} は放射収支量, Q_s は顕熱, Q_L は昇華蒸発による潜熱, Q_c は地中からの伝導熱量, Q_x は自動車の発熱などの熱, Q_M は凍結融解による熱, ρ は積雪の密度, C は積雪の比熱, $\frac{\partial T}{\partial t}$ は積雪の温度の時間変化である。

Q_{NR} については次のように考えられている。

$$Q_{NR} = I(1-A) + Q_{RL \uparrow} + Q_{RL \downarrow} \dots\dots\dots(2)$$

I は水平面日射量, A はアルベド, $Q_{RL \uparrow}$ は長波放射上向き成分, $Q_{RL \downarrow}$ は長波放射下向き成分である。

北陸では一般に湿った雪が降り, 雪が降っている時の積算日射量は立山町では $4\sim 12 MJ \cdot m^{-2}$ で小さいが, 日射は雪面の温度を少々昇温させ, 積雪がシャーベット状またはジャム状になろうとして, 日中は圧雪になりにくい。

しかし, 降雪時の夜間では積算放射収支量は $2 MJ \cdot m^{-2}$ くらいで小さいが, 雪面が冷えて圧雪になり易い。

顕熱 Q_s については, バルク公式(3)を用いることが多い。

$$Q_s = \beta(T_1 - T_0)U_1 \dots\dots\dots(3)$$

ここで β は係数, T_1 は気温, T_0 は雪面温度, U_1 は風速である。

雪が降る時の気温は $2^\circ C$ 以下で, 気温と降雪はほとんど同温とみられ, $T_1 - T_0$ はほぼ0に近似しているので, Q_s は小さいと考えられる。

Q_L については降雪中であるので, 降雪強度(または降雪量)に比例すると考えられる。

また, 路面の積雪は $0^\circ C$ 以下と考えられる。路面温度も積雪の温度と同じとすると, 立山町においては表面路温が $5^\circ C$ 以下の場合には, 深さ11 cmの熱流は地中から地表へ流れたので, 路面に雪がある場合には Q_c は雪を融かすように働く, その熱量は表面路温が $0^\circ C$ の場合には $100 W/m^2$ くらいで, 表面路温が低くなれば大きくなる。

このように表面路温によって地中の熱流の移動方向が決まるので, 表面路温を詳しく調べる必要がある。

自動車の発熱・排気ガス・タイヤの発熱その他融雪剤散布による熱などの Q_x は, 自動車の量に比例すると考えられる。

県道の富山立山公園線の立山町東中野新における時刻別の交通量は, 図3(a), (b)に示すとおりで, 昭和63年12月から平成元年3月までの月曜から金曜までの1時間ごとの車両数は, 図3(a)の例のように時間変化を示している。

朝の通勤時刻の8~9時に300台くらいのピークがあり, 夜半すぎの2時から朝の6時頃までが極めて少く1時間に数台となる。また, 夕方の18時頃に通勤の帰りの小さなピークが見られ, 日平均では2,500~2,700台であった。

ところが, 土曜・日曜および祝日になると, スキーなどの行楽の車が増えて, 日平均では3,200~4,200台と平日より5割ほど増加し, 図3(b)の例のように8時~11時頃まで1時間に

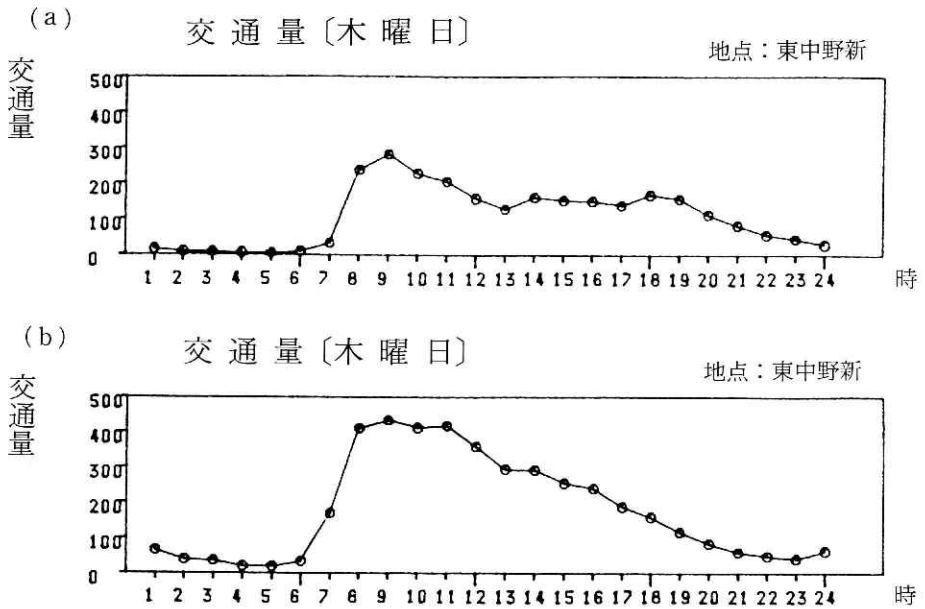


図3 (a), (b) 時刻別の交通量
 Fig.3 Change with time of traffic
 (a) Thursday (b) Holiday, Saturday and Sunday

450台くらいで、ピーク時刻がはっきりせず、夜明け前の4～5時に極小となって10数台となる日変化を示している。

したがって、立山町において日中は1時間に数百台の車による Q_x によって、積雪はジャム状やシャーベット状に変化し、また融解して消えるなどするために、よほどの大雪でない限り日中の圧雪はないものと考えられる。

よって、圧雪の予測は夜間を対称にして研究すればよく、車両数の予測が重要となる。

4. 路面圧雪と降雪強度および路面温度

(1) 車両数

夜間の車両数を予測することは困難であるので、図3(a), (b)の例のように過去の曜日ごとについて統計を取り、それを利用することにした。

立山町における19時から翌朝の7時までの12時間に降雪があった日として、1時間積雪深差(Δh_1)が1cm以上あった日について、夜間の車両数を調べると、朝が月曜から金曜日までは270～600台のことが多く、平均では450台であった。

これに対して、朝が土曜・日曜および祝日の場合には夜間の車両数は480～1,270台で、平

均では780台くらいとなった。

よって、月曜から金曜日までの平日の夜間の車台数を599台以下とし、土・日・祝日は600台以上として、2つに層別化して調べることにする。

(2) 路面状況と降雪強度および路面温度

式(1)において、降雪日の夜間の Q_{NR} はほぼ一定であると考える。

Q_s と Q_c や Q_L および Q_x などの作用した結果として表面路温が変化し、その路温が積雪に与える熱として重要であるので、最低路温(表面)をx軸にとる。

Q_L は夜間(19時～翌朝7時)の降雪強度(1時間積雪深差の12時間の合計： $\sum \Delta h_i$)に関係しているとしてy軸にとる。

朝7時の路面検知器が積雪の場合には、車が通ったところは圧雪になっていると考え、検知器が凍結を示している時にはシャーベットまたは凍結になっているとし、検知器がヌレを示している時には積雪が融けてヌレとなっているとして、3年間のデータによって作図した。

図4(a)は車両数が599台以下(月～金曜日用)、図4(b)は車両数が600台以上(土・日・祝日用)のものである。これらの図から次のことが読取れる。

平日の図4(a)では、最低路温(表面)が 0.1°C 以上の場合には、夜間(19～翌朝7時)の降雪強度が2cmまではヌレ、それ以上の降雪はシャーベットまたはジャム状となる。

最低路温(表面)が 0°C の場合には、夜間の降雪強度が1～15cmはシャーベット、16cm以上は圧雪となる。

また、最低路温が -2°C の場合には(「路面温度および凍結予測手法の開発」を参照)、夜間の降雪強度が10cmまでは凍結、11cm以上が圧雪となる。

なお、最低路温(表面)が -5°C では夜間の降雪強度が1cm以下では凍結、2cm以上が圧雪となる。

土・日・祝日用の図4(b)では、最低路温(表面)が 0°C の場合には夜間の降雪強度が17cmまではシャーベット、18cm以上が圧雪となる。

また、最低路温(表面)が -2°C の場合には夜間の降雪強度が12cmまでは凍結、13cm以上が圧雪となる。

なお、最低路温(表面)が -5°C の場合には夜間の降雪強度が2cmまでは凍結、3cm以上が圧雪となる。

富山高岡線の富山市五福、茶屋町における朝の目視観測による路面状況の報告では、暖冬で雪が少なく、また車両数が非常に多いために、3年間の冬季に路面状況がシャーベット状になったことが5～6回あったが、圧雪となったことがないために、圧雪の条件を見出すことができなかった。

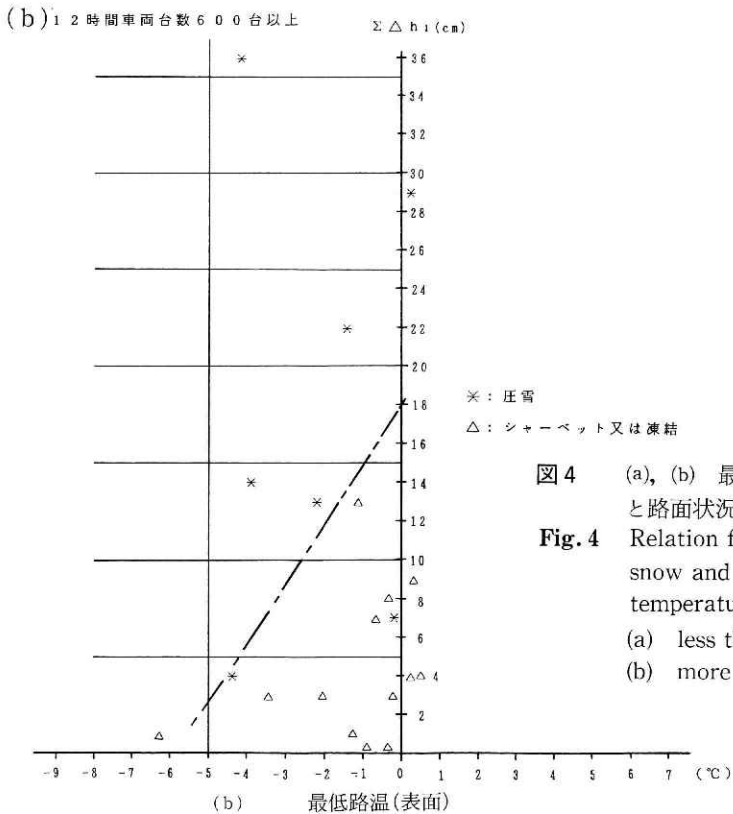
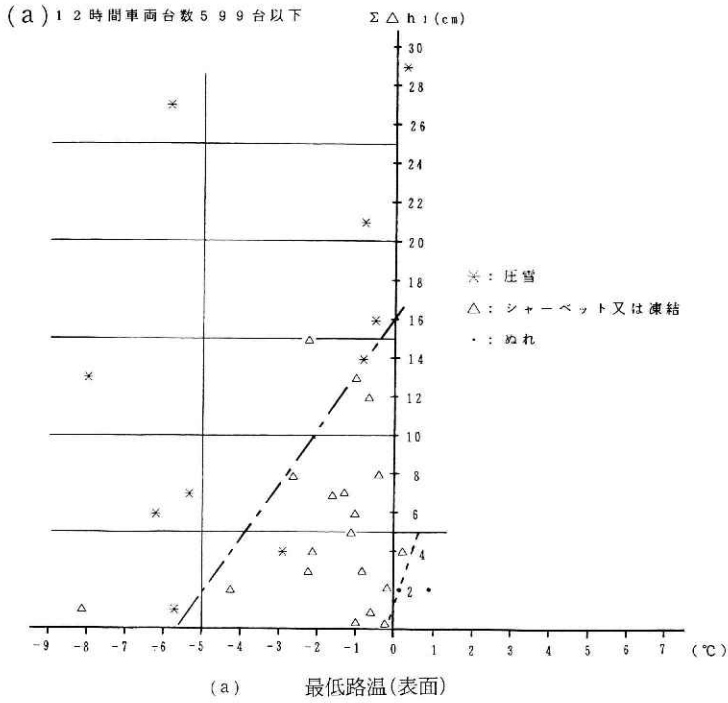


図4 (a), (b) 最低路温・降雪強度と路面状況

Fig. 4 Relation between compacted snow and road surface temperature

(a) less than 599 vehicles

(b) more than 600 vehicles

予測地点の気温や路面状況等をオンライン化し、気象庁や気象協会の既設のシステムを活用し、また、富山県の降積雪情報の降雪量予測を利用し、前記の「路面温度および凍結予測手法の開発」で得られた予測式や方法などをソフト化することによって、最低路温（表面）・凍結・圧雪の予測システムを作ることができた。

平成 3 年度の冬季には、これらの予測を試行したところ、予測が可能であることを確める

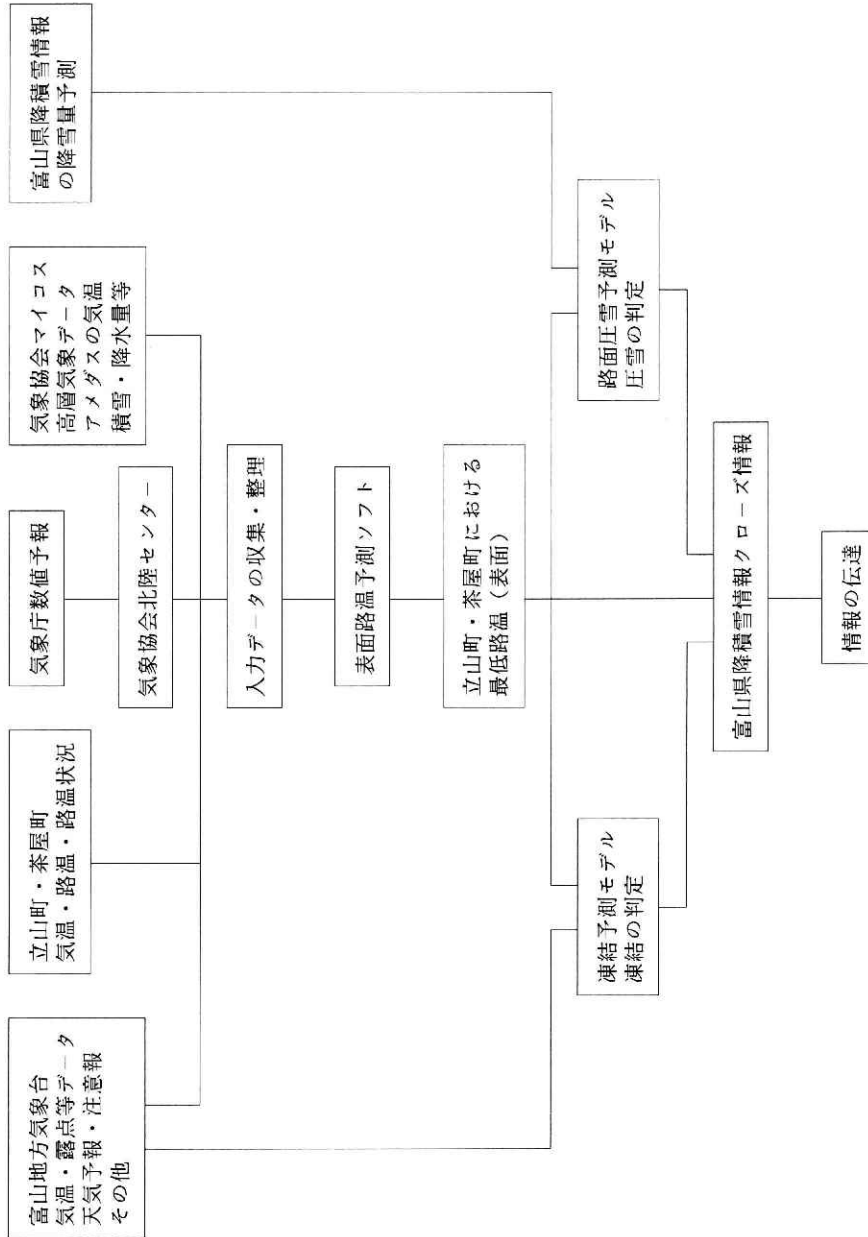


図 5 最低路温・凍結・圧雪予測システム

Fig. 5 Flow Chart of predicting icing and compacted snow on roads

5. 路面圧雪予測モデルとシステム化

前章において、圧雪の予測を行うには降雪強度、最低路温（表面）および車両数の予測が必要であることが分かった。

降雪強度については、富山県が冬季の事業として行っている「富山県降積雪情報」の降雪量予測を利用することが可能である。

また、車両数の予測は困難なので、月曜から金曜までの平日と、土・日・祝日の車両数の多い日とで層別化して調査を行なったので、この図4(a), (b)を路面圧雪予測モデルとして利用することにする。

なお、最低路温（表面）の予測は、前記の「路面温度および凍結予測手法の開発」の中の最低路温（表面）の予測式によって、その予測ソフトを作ることが可能である。

このソフトに入力する予測因子を収集するには、気象庁および気象協会のいろいろなシステムを利用する必要があり、なお、現地の気温や路面状況等についてはオンライン化する必要がある。

このようにして、図5に示すように最低路温（表面）・凍結・圧雪予測のシステムを作ることが可能である。

図5の上部にある気象庁や気象協会等のシステムによってデータを収集し、これらのデータを表面路温予測のソフトに入力することによって、立山町と茶屋町における最低路温（表面）の予測を行なうことができ、これと天気予報を凍結予測モデルに利用することによって、凍結予測が可能である。

なお、最低路温（表面）予測と降雪量（降雪強度とみなす、将来的には降雪量を降雪強度に換算する方法を求める予定）予測を、路面圧雪予測モデルに入力することによって圧雪の判定が得られ、最低路温（表面）予測値、凍結予測、圧雪予測の結果を富山県降積雪情報のクローズ情報に加えることによって、利用者へ伝達することができる。しかし、凍結や圧雪が発生すると予測してクローズ情報で知らせた場合、道路管理者はそれらの防止のために薬剤を散布することによって、凍結・圧雪が発生しないことが考えられる。

6. 結 び

昭和63年度から雪と氷を中心に県道の富山立山公園線の立山町東中野新において、気象や物理量の観測を3冬季に行ってデータを累積した。

1時間積雪深差を降雪強度とみなして、富山県内における降雪強度の移動を調べると、北東ないし東へ進んだ。

圧雪については、降雪強度（1時間積雪深差の12時間合計）と最低路温（表面）との関係図を、月～金曜日用と土・日・祝日用の2つに分けて作成した。

ことができ、この研究の初期の目的を達成することができた。

謝 辞

この研究は科学技術庁防災科学技術研究所と富山県との官民特定共同研究「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」の一環として実施されたものである。

本研究を行うにあたり、防災科学技術研究所長岡雪氷防災実験研究所長の中村博士、第1研究室の山田室長はじめ関係各位の御指導を賜ったことを記し、謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 富山県 (1990) : 富山県雪情報通信システム開発業務報告書—路面凍結予測手法等の開発—1~180
- 2) 富山県 (1989) : 富山県雪情報通信システム開発業務報告書—降雪予測手法の開発—41~187
- 3) 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, 第5回 寒地技術シンポジウム
- 4) 舟田久之・仙黒邦行・松川宗夫・石坂 正 (1992) : 路面温度およ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
- 5) 富山県 (1989) : 富山県雪情報通信システム開発業務報告書—降雪予測手法の開発—188~200
(1992年12月24日 原稿受理)