

—夏季大学講座内容①—

1. 札幌市の降雪予測システム

札幌総合情報センター株式会社 金 村 直 俊

1. はじめに

札幌ではひと冬の雪の累計降雪量（降り始めから合計した降雪量）が5mにも達します。人口170万人を数える大都市で、これだけの降雪量があるところは世界的にみてもまれです。この降雪量に対して冬季間の都市機能を維持するためには、多大な除雪費用が必要とされます。札幌市では主として、効率的な除雪運用やロードヒーティング（R H）制御に気象情報を取り入れた「冬季道路交通情報システム」の研究開発のため、札幌総合情報センター株式会社（通

称：SNET）を設立し、現在運用に至っています。

「冬季道路交通情報システム」は図1に示すように、4つのサブシステムから成り立っています。

この中から降雪量の予測を行う「降雪予測サブシステム」とび現在の気象状態の監視を行う「マルチセンササブシステム」について説明します。

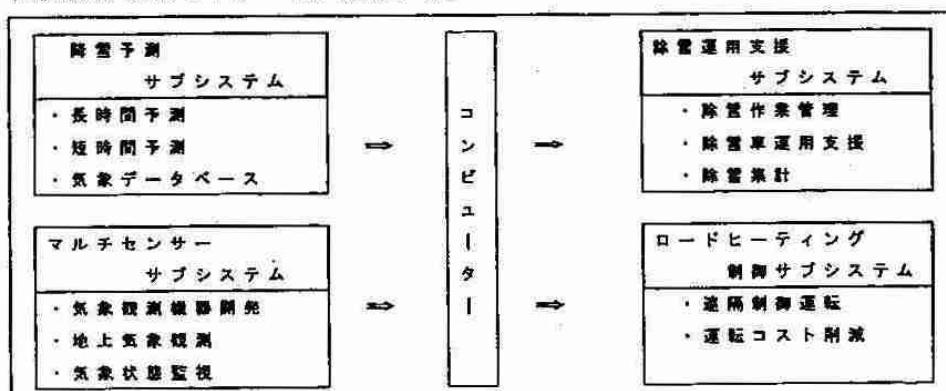


図1 冬季道路交通情報システムの概要

2. 札幌の降雪特性

札幌を含む北海道の日本海側に雪が降る様子をわかりやすく示したのが図2です。シベリア大陸にある冷たく乾いた空気が北西の季節風に乗って日本海を涉ってくる間に、日本海から水蒸気の補給を受けて、雪雲が発生します。この雪雲が徐々に発達し北海道の日本海側に到達し雪が降るわけです。

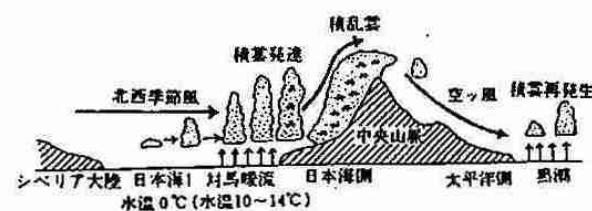


図2 季節風による雪雲発生のモデル

では実際の雪の降り方はどのようにになっているのでしょうか。表1は札幌で1日に降る降雪量を調べた結果です。1日で10cmを超える降雪は、中央区や白石区・厚別区などに比べて、北

区・東区・西区・手稲区で出現日数が多いのが分かります。ひと冬で最も積もった時の雪の量（最深積雪）と合計降雪量の分布図を図3に示します。

表1 日降雪量の出現日数
(単位:日)

区 観測所 降雪階級	中央区 気象台	北区 北土木	東区 東土木	白石区 厚別区 白石土木	豊平区 豊平土木	南区 南土木	西区 中央土木	手稲区 西土木
1~5cm未満	30.1	22.3	24.8	28.0	27.4	26.3	25.7	26.8
5~10cm未満	13.9	13.9	14.5	13.1	14.2	15.1	15.4	14.4
10~20cm未満	12.2	13.5	12.1	12.7	11.4	11.6	12.7	14.3
20~30cm未満	3.0	4.8	5.1	3.0	4.2	4.0	4.7	5.1
30cm以上	2.1	3.0	3.4	2.3	2.3	2.5	3.1	2.9
1cm以上の計	61.3	57.5	59.9	59.1	59.5	59.5	61.6	63.5
10cm以上の計	17.3	21.3	20.6	18.0	17.9	18.1	20.5	22.3
20cm以上の計	5.1	7.8	8.5	5.3	6.5	6.5	7.8	8.0

(注) 1980~1992年の13年間で平均値(準年値)ただし
12月~3月の合計で11月と4月は入っていない

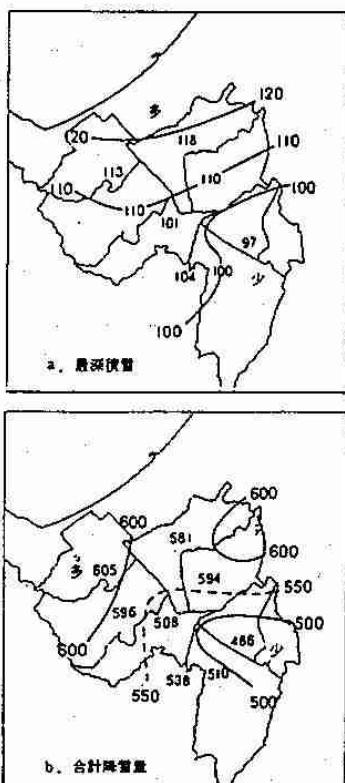


図3 最深積雪(上)と
合計降雪量(下)の分布図

札幌市内でもこのように雪の降り方には地域的な特徴があります。現在気象台で発表される石狩地方または札幌市の天気予報だけでこのような降雪の特徴を予測するのは非常に困難です。後で述べるように効率的な除雪を行おうとすると、自分の地域でだけだけの雪が降るのかを知る必要が出てきます。次に述べる降雪予測システムでは札幌市を地域的に細かく分けて降雪量の予測を行っています。

3. 降雪予測システム

図4に降雪予測システムの概要を示します。降雪予測には札幌市を細分化し、12時間の間の降雪量及び最高・最低気温などを予測する「長時間予測」とレーダーを使用した3時間先までの「短時間予測」があります。予測に用いる資料は、気象レーダー、マルチセンサー、気象衛星(ひまわり)、各種天気図、アメダスなどです。

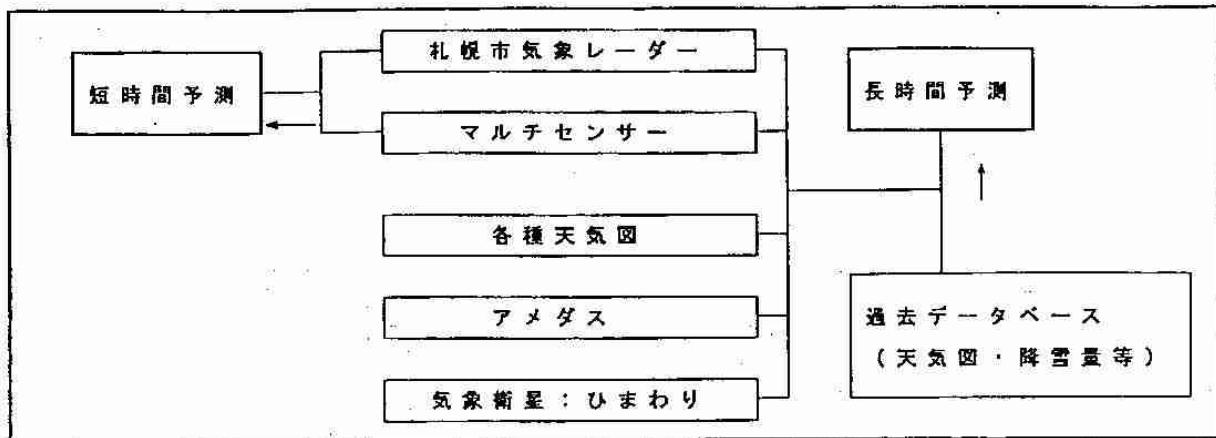


図4 降雪予測システムの概要

気象庁から送られてくる資料の中に、数値予想天気図というものがあります。これは、気象庁のスーパーコンピューターを使って、現在から1日先、2日先の気象状態を計算したものです。この予想天気図には、気圧配置、気温、降水量（雨や雪の量）などが示されています。これらから、降雪の有無や分布について大体の見当をつけるわけですが、人によりその解釈が異なる場合がでてきます。いつでも同一レベルの予測を行うためには、ある程度客観的な手法が必要となります。まず、過去の天気図から予想天気図と似た形をしているものをコンピューターを使って選び出し、その時の雪の降り方を調べます。例えば、予想天気図と似た気圧配置の例が過去10例あったとします。このうち、7例が降雪なしの場合は、今回も雪が降る可能性が小さいだろといえます。この手順をパターンマッチングと呼んでいます。次に天気図の形をいくつかのパターンに分類します。パターンごとに過去の気象状態と降雪量の関係を調べます。例えば、Aというパターンで、気温と降雪量が高い相関関係にある場合、Aパターンでは気温から降雪量を予想する式を作成します。

$$Y = A \times X$$

降雪量 係 数 気 温

このようにして作成した式に、気温の予想値を代入することによって、降雪量を求めるることができます。長時間予測では、そのパターンごとに統計式を作成し降雪量を区別に求めています。実際には、ひまわりやレーダー及びアメダスなどの資料を参考にしながら、予想を担当する人間の判断を経て、予想として発表されることになります。（図5）

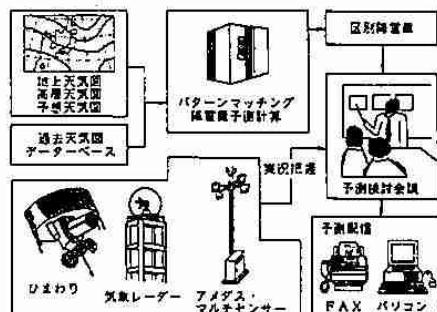


図5 長時間予測の流れ

これと並んで、レーダーを使用した3時間先までの短時間（降雪）予測があります。レーダーとは図6に示されるようなもので、上空の雪や雨の降っている強さを平面的に測定しています。レーダーから電波を発射して、その途中に雪や雨があると電波は反射して、再びレーダーに戻ってきます。反射してきた電波の強さと時間から、雪の降っている強さと距離を計算できます。こうして現在の降雪の状態を平面的に捕らえることができるわけです。このようにレーダーを利

用することに、より広い範囲の降雪状態を（ある程度）定量的に知ることができます。

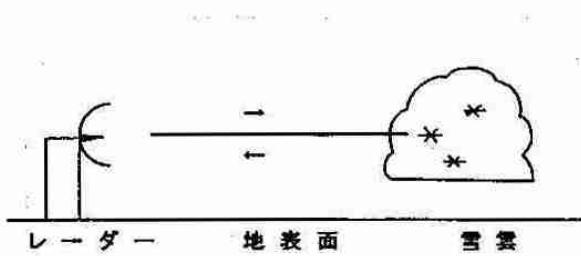


図6 レーダーによる雪雲測定の原理

気象台の予報は発表時刻が決まっている、ふつうはこれから数時間先の天気変化については予報されません。短時間予測では現在から3時間後までの予測を人の手を借りることなく行えます。短時間予測の原理を図7に示します。30分前に日本海にあった雪雲が、現在は石狩湾付近まで移動してきたとします。この30分間の雪雲の移動をコンピューターで計算させることによって、雪雲のこれから先の動きを予測することができます。実際には、図8のような流れで短時間予測が行われています。

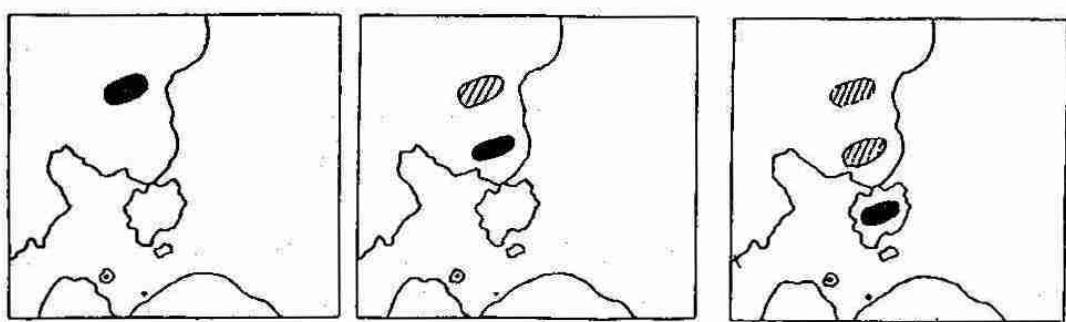


図7 短時間予測の原理

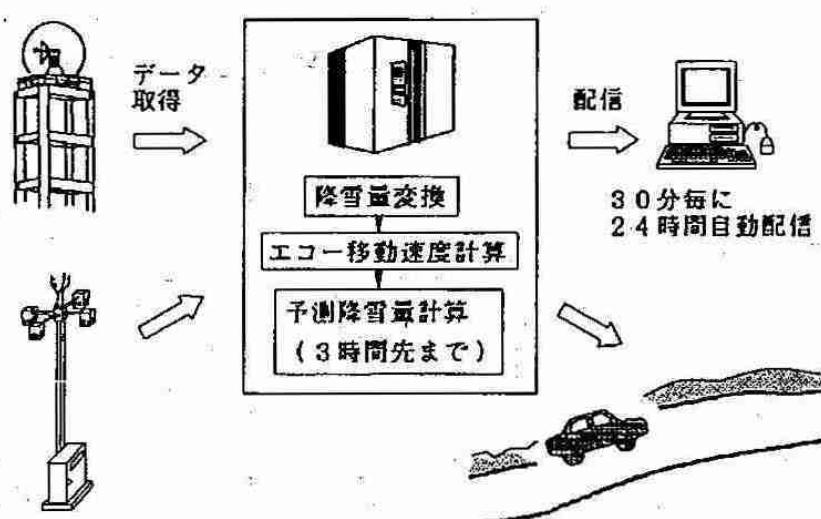


図8 短時間予測の流れ

4. マルチセンサーシステム

気象庁が全国に展開している地上気象観測システム、これはアメダスと呼ばれ、現在ではテレビなどでお馴染みのシステムです。実はこのアメダスの札幌版といえるものがマルチセンサー

システムです。気温・風・降雪などを測定するセンサーを設置した街路灯のようなもの(図9)がマルチセンサーで、10分ごとに気温・風などの気象要素を測定しています。これが図10に示

すように札幌市及び近郊に約4km間隔で51ヶ所あります。

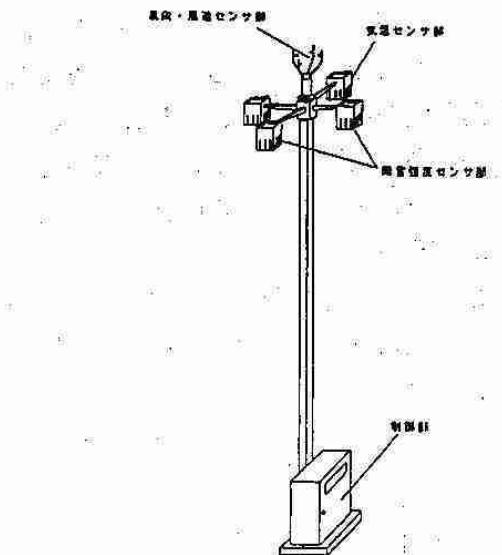


図9 マルチセンサー全体図

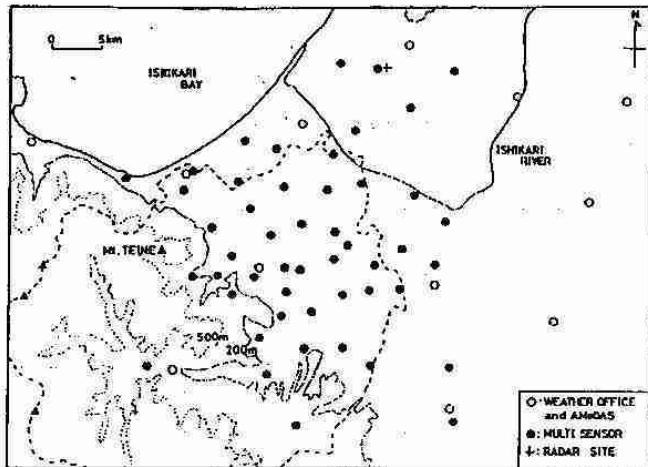


図10 マルチセンサー設置図

マルチセンサーは、主として現在の気象状態がどのようにになっているかを調べるために用いられます。その例を図11に示します。これまでには、アメダス（約17km間隔）による測定に頼っていましたが、このように細かい間隔で地上観測を行うことによって、例えば降雪量の分布についても、細かい地域の正確な気象状態が把握できるようになります。

さらにマルチセンサーによって、今までわからなかった気象現象が明らかになってきました。図12はマルチセンサーによる2月の札幌市の平均最低気温の分布図です。同じ札幌でもあまり気温の下がらない地域とかなり気温の下がる地域のあることがわかります。水道の凍結防止などにはこれらの情報が役に立つでしょう。

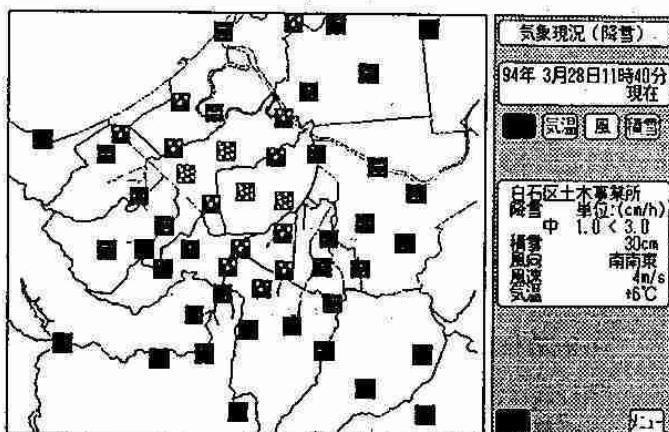


図11 降雪観測例（降雪の強さを3段階で表示）

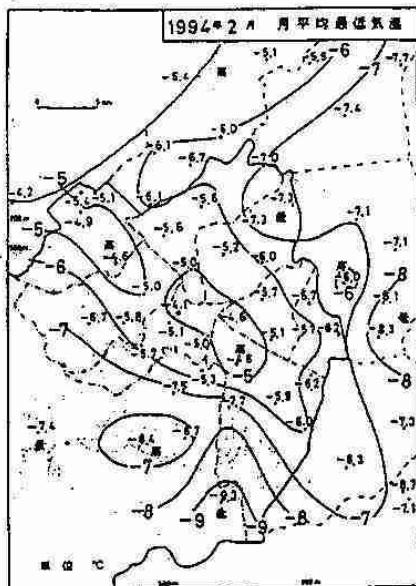


図12 平均最低気温の観測例

5. 除雪と気象

除雪といえば、ほとんど道路の除雪を中心となっています。例えば、図13のような地域を例にとって考えてみましょう。

この地域には主要幹線道路（国道など）から生活道路まで大小様々な種類の道路があります。札幌市では道路の機能、地域特性によって表2のような除雪水準を定め、今後10年間に表3のような除雪のレベルアップを計画しています。このほか、流雪溝、融雪槽、ロードヒーティングなどの整備を進めています。

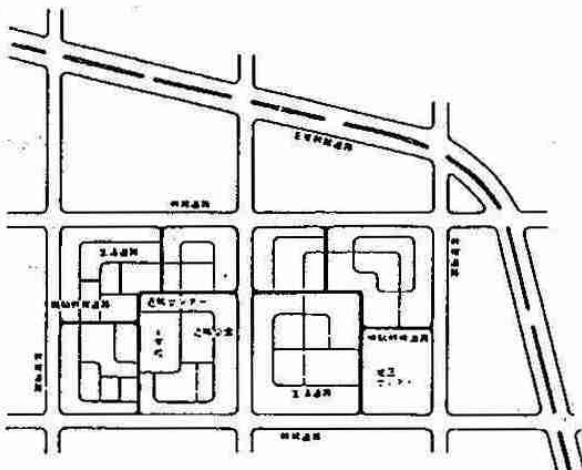


図13 道路種別概念図

表2 除雪水準

除雪水準	除雪幅員水準	路面管理水準
1	3.25m × 車線数の幅員を確保する交通量が極めて多い幹線	除雪幅に対する路面露出率は75%程度ワダチはない 車道端部に狭い帯状の雪氷があるが、走行路面には雪氷がほぼ無い状態
2	9mの幅員を確保する 交通量が多い幹線 往復4車線が、実質的には往復2車線になるが、右折車が頻繁にならない	除雪幅に対する路面露出率は50%程度 ワダチはない 道路センター部と車道端部には、約1m幅で雪氷が帯状にある
3	7mの幅員を確保する 交通量が少ない往復4車線の道路もしくは、若干交通量の多い往復2車線の道路 大型車のすれ違いが容易にできる	除雪幅に対する路面露出率は25%程度ワダチの深さ5cm程度 車道部に50cm程度の狭い帯状の路面が形成されている
4	5~6mの幅員を確保する 交通量が少ない往復2車線 小型車のすれ違いが可能	除雪幅に対する路面露出率は0%程度路面が雪氷で覆われており、暖気にはワダチが形成される ワダチの深さ10cm程度
5	4mの幅員を確保する 交通量が極めて少ない 大型車1台進入可能	除雪幅に対する路面露出率は0%程度路面が雪氷で覆われており、暖気にはワダチが形成される ワダチの深さ15cm程度

表3 今後10年間の除雪水準目標

水準 道路	現在 水準	目標 水準
主要幹線	2	1
幹線道路	3	2
補助幹線A	4	3
補助幹線B	5	4
生活道路	5	4

先に述べた降雪予測システムはどのように活用されているのでしょうか。例えば、気象台から札幌市に10cmの降雪が予想されているとします。しかし、2で述べたように雪の降り方は同じ札幌市内であっても地域的に差があることもあります。もし事前に北部に集中して雪が降り、南部の地域ではあまり雪が降らないとわかっているれば、北部では効率的な除雪の計画を立てる必要がありますし、南部では除雪体制をとる必要があまりないといえます。さらに雪の降る時刻がわかっているれば、これに対応した機材や人員の配備が可能となります。このように無駄のない除雪体制作りのために除雪予測は活用されています。

また、予測にマルチセンサーを加えた気象情

報がロードヒーティング制御に利用されています。雪が降らないのにロードヒーティングを行うのはエネルギーの無駄遣いですから、あらかじめ電源を切るようにするといった制御も取り入れられています。

このように除雪と気象情報を有効に結びつけ、活用しているシステムは全国でも他に類をみないシステムといえるでしょう。

6. おわりに

今年度より「気象予報士」という資格ができます。「気象予報士」の出現によって、気象台の発表する天気予報とは別の独自の天気予報が一般市民の方々にも伝えることができるようになります。また情報の伝達手段も今後のマルチメディア社会では、現在の電話と同じレベルでコンピューターが使えるようになってゆくでしょう。天気予報を含めた様々な気象情報も、今回紹介した降雪予測システムのような形を初めとして、近い将来には一層身近なものになると思われます。

〈参考文献〉

※天気予報について

「新しい天気予報」

186頁

立平良三著、1986年

東京堂出版

「天気予報はどこまで正確にできるか」

164頁

岡村存著、1993年

森北出版

※北海道の天気について

「北海道の自然 雪を知る」

206頁

柏原辰吉著、1993年

北海道新聞社

「北海道の動気候」

246頁

大川隆著、1992年

北海道大学図書刊行会