

I S S N 0386—5878

土木研究所資料 第1539号

マイクロフィルム 第 号

# 道路気象情報システムの実用開発計画(3)

—降雪の中期予測手法(3~24時間)—

昭和54年12月

**建設省土木研究所**

## まえがき

当試験所では、国土の61%を占める雪寒地域における冬期間の道路交通の確保をはかるため制定された「積雪寒冷地域における道路交通の確保に関する特別措置法」にもとづく、除雪、防雪、凍雪害防止の各事業を合理的に実施するため雪寒対策に関するいくつかの技術的研究を実施してきた。

そのうち、本研究は、雪寒対策の特質上、必要不可欠の問題として道路交通管理、および、維持管理上において要請されている降雪の検知、降雪の予測について調査研究を行い、この成果を具体的に雪寒対策の実施体制、および気象障害の防止対策としての交通規制等の実施に際しての有効的な判断資料を得ることを目的とし実施したものである。

ここで言う降雪情報は、道路交通維持管理者が雪寒対策時において対策、出動時間等の判断のために常時念頭から離れ得ない気象情報の一つである。それにもかかわらず降雪予測の情報としては気象庁が発表するスケールの大きい範囲の、すなわち比較的長い時間の予報や注意報、警報のみに頼っているのが現状である。このため気象庁から発表される気象情報は、雪寒体制の目安にはなっても今日は何時から雪寒体制をしくかといった的確な判断を行うための情報としては不足の面が多く、雪のある地方の道路管理者は、降雪情報の不適確さが重い精神的に負担としてかかっている。

雪寒対策で除雪作業の開始時に今からどの方面に何台の除雪車を出動させれば効果的な除雪が適切に行えるかといった状況判断に要する降雪情報は、常時、必要に応じて最新のものが容易に入手できなくては本来の役には立たない。そして、その情報ができるだけ正確であることが望ましく、さらに地域分布としては狭い範囲を対象としての降雪予測や降雪実況が必要である。すなわち、降雪情報は、気象庁から発表されるシノプチックスケールの気象情報や、天気予報を主体とした降雪予報と、数キロメートル程度の範囲で時期、量ともに変化するメソスケール以下の降雪予測とに大別される。特に後者のような狭い範囲の降雪情報は、地形、気象条件などによって大きく変動するため難しい問題となっていて、多くの予知手法が研究されてきたが、決定的な予測手法は開発されておらず、将来も狭い範囲の降雪予測は雪の特性上難しい要因をかかえていることを認識しなくてはならない。

道路管理に用いる降雪予測としては、①除雪計画のための長期的（1～2日）なもの、②除雪作業の時期、機種を選定等のための中期的（3～24時間）なもの、③時々刻々と変化する降雪状況に対し適確な運用が計られる短期的（0～3時間）なものがある。現在①については既述の通り気象庁のマクロ的かつ面的な情報である程度カバーされているが②、③については大気中に存在する移動性の中規模擾乱に大きく支配されることと、地形要素の影響もあって降雪変動が大きいために場所的、量的な降雪予測の解明は非常に難しいものとなっている。特に、短期現象の方が中期予測に比べて細分化した空間的な要素が必要なため、かえって難しいものと言わざるを得ない。しかし道路管理としては、これらを含め降雪の有無、降雪量、降雪分布等が的確に判断できるものが最も欲しい情報であり、さらに対象とするそれぞれの地点での情報が必要になる。

このような状況から降雪予測手法を展開するためには次のような調査研究が必要とされ、さらに雪寒対策に用いる降雪予測の方向づけとして精度が良く安定した予測方式が必要となろう。

- ① 雪寒地方の道路維持管理上、重要な情報である降雪の検知、降雪の予測についての手法の開発を行うこと
- ② 降雪の検知、降雪の予測をもとにした道路気象障害対策を合理化すること、および交通運用対策を検討すること。
- ③ 道路気象情報システムによる冬期の総合管理についての検証を行うこと。

そこで、当試験所では、この目的を達成するための基礎的調査として昭和49年度から下記項目（結果については資料欄に記載したので参照されたい）について実施し、さらに各種統計的手法による降雪

- ① 降雪予測に関する文献調査
- ② 冬期降水現象の解析
- ③ 冬期降水現象の判別手法に関する調査
- ④ 季節風吹き出し特性に関する調査
- ⑤ 降雪を伴う擾乱系の解析
- ⑥ 季節風による国道18号線の降雪特性
- ⑦ 重回帰式による降雪予測
- ⑧ 降雪の判別関数による予測
- ⑨ 国道18号線における降雪の地域分布パターン解析

予測の可能性についての検討も行ってきた。その結果、道路管理において使い易く、かつ精度が期待できるものとして判別関数法による降雪予測手法を作成することができた。これは、今後3、6、12、24時間以内に降雪があるか、無いか、あるいは何cm以上降るかどうかと言う降雪量の判断を行うものであり、いわゆる中期予測方式である。今回は観測資料の関係から国道18号線藤沢地区のみについて行ったものであるが、この開発過程においては、要因数の増減による精度の検討、道路管理として最も必要とされる時間、つまり夕方4時頃から今後の降雪状況を判定するため、予測時刻別による検討、あるいは降雪の確率予測手法の検討、藤沢における予測式の適用範囲の検討等を加え外部データの検証結果とから降雪の中期予測手法を開発したものである。

新潟試験所 所長 五十嵐 武

研究員 下村 忠一

石平 貞夫

金子 英雄

# 道路気象情報システムの実用開発計画(3)

## —降雪の中期予測手法(3~24時間)—

### 目 次

第1章 序 論	1
1. 降雪情報の必要性とその精度	1
1-1 降雪情報の入手方法と問題点	2
1-2 期待される降雪情報	7
2. 降雪予測計画	9
第2章 上越地方の降雪特性	15
1. 概 要	15
2. 気象パターン	17
2-1 一般的な降雪時の気圧配置	17
2-2 降雪分布特性	20
3. 国道18号沿線の降雪分布	21
第3章 降雪予測手法とその可能性	29
1. 中期予測の概要	29
2. 中期予測の現状とその可能性	29
3. 多変量解析法の概要	30
4. 重回帰分析	32
4-1 重回帰分析とは何か	33
4-2 重回帰式の求め方	33
4-3 偏回帰係数について	34
4-4 分類尺度による説明変数	34
4-5 説明変数の選択	35
5. 判別関数による降雪予測	35
5-1 マハラノビス(汎)距離の考え方	36
5-2 多変量による多群の判別	37
5-3 尤度法	38
5-4 判別確率(尤度比)	39
第4章 判別関数法による降雪予測の検討(1)	41

— 基礎的解析 —

1. 概 要	41
2. 各因子（説明変数）の入手法とその概説	41
3. 判別関数による降雪のカテゴリー予測方法	46
3-1 1変数による予測例	47
3-2 2変数による予測例	48
4. 多変数による降雪予測の検討	49
4-1 変数数別による3時間降雪予測式とその精度	49
4-2 時間別降雪予測式による精度（12変数）	51
5. 藤沢における降雪量の階級別判別関数の検討	53
6. 独立データによる検証	58
第5章 判別関数による降雪予測(2)	63

— 確率予測を考慮した実用化のための解析 —

1. 概 要	63
2. 確率予測の利用方法	65
3. 予測方式および使用データ	66
4. 各変数についての考察	68
5. 判別関数の精度	69
5-1 変数の増減による精度の検討	69
5-2 予測天気図による予測値と実況値を用いた場合の精度の検討	70
6. 各予測時間別による判別精度	72
6-1 24時間予測	72
6-2 12時間予測	74
6-2-1 夕方18時から翌朝6時までの12時間降雪予測	74
6-2-2 翌朝6時から18時までの12時間降雪予測	76
6-3 6時間予測	76
6-3-1 夕方18時から24時までの6時間降雪予測	77
6-3-2 0時から6時までの6時間降雪予測	77
6-3-3 朝6時から12時までの降雪予測	80
6-3-4 12時から18時までの降雪予測	82
7. 最適精度における予測式と解析結果の考察	83
第6章 線としての降雪予測の適応範囲および有効的な機器の設置点の検討	89
1. 概 要	89

2. 解析方法 .....	90
3. 解析結果 .....	91
3-1 藤沢における予測式の適用範囲 .....	91
3-2 現在設置（積雪深計）されている地点での代表性について .....	93
3-3 最適予測地点（積雪深計の設置場所）の検討 .....	94
3-3-1 現在設置（積雪深計）されている地点を考慮した場合 .....	94
3-3-2 最適代表地点の検討 .....	95
4. まとめおよび問題点 .....	95
第7章 道路管理への応用 .....	97
1. 判別関数法による降雪予測式の利用方法 .....	97
2. 道路沿線を対象とした降雪予測 .....	100
3. 他地域への応用と問題点 .....	102
むすび .....	103
参考文献 .....	104

## 資料編

### 〔上越地方における降雪特性に関する解析〕

資料-1 予測に関する文献整理調査 .....	106
資料-2 冬期降水現象の解析 .....	110
資料-3 冬期降水現象の判別手法に関する調査 .....	114
資料-4 降雪予測に伴う季節風吹き出し特性等に関する調査 .....	135
資料-5 降雪を伴う擾乱型（季節風）の解析 .....	143
資料-6 国道18号沿線の降水特性 .....	158

### 〔国道18号線をモデルとした各種予測手法の解析〕

資料-7 山雪，里雪または混合型に関する予測の検討 .....	170
資料-8 降雪深に関する予測の検討 .....	191

# 第1章 序 論

## 1. 降雪情報の必要性和その精度

多雪地では、雪がもたらす交通障害として、積雪、なだれ、地ふぶき、圧雪、凍結などが直接、間接に影響を及ぼす。このため降積雪の情報は、積雪に伴う交通障害を除去するための除雪時期、除雪体制を判断するのに重要な意味をもっている。

一般に降積雪は、常時、現地において観測することができるが、ある地域に降る雪の量は気温、気圧、風向、風速、地形の起伏、高層気象の影響を強く受け、極めて局地性がつよいものである。したがって、限られた少ない観測点の降積雪の状況から対象とする地域の降雪状況を的確に把握できるものとはいえない。

このため道路管理者が除雪体制、除雪作業の時期判断を実施するためには、まず天気予報などにより降雪の可能性を判断し、パトロールの強化を通じて積雪状況を把握したり、雪尺や積雪深計により積雪深を検知し必要な体制をとるといった経過をたどる場合が多い。

降積雪情報が必要なのは、主に次のような場合である。

- a) 降雪初期の車線部の積雪による障害……………当日、警戒体制をとるかどうかの判断、降雪初期で除雪初期の除雪作業、交通規制、ドライバーへの情報提供
- b) 降雪中の車線部の積雪による障害……………今後の除雪体制の検討（地域性の考慮）、除雪作業のサイクル検討
- c) 降雪終了後の路面圧雪による障害……………圧雪処理作業の開始時期（圧雪の発生している区間）
- d) 降雪終了後の路面不陸による障害……………路面整正作業の開始時期（管理区間内での路面状態）
- e) なだれによる障害……………交通規制（危険地点の事前把握）
- f) ふぶき、地ふぶきによる視程障害……………地ふぶき発生地点の事前把握と、警戒体制、交通規制、情報提供

降積雪による障害の対策にとつては、降雪予知が降雪量や、積雪深の観測値より先に必要な情報であることは自明の理である。

降雪の予知に関する研究は、過去の降積雪深、風向、風速、気圧、気温、高層気象資料等を説明変数とする回帰式、モデル式がいくつか検討され、日降雪深については気象庁でとりまとめられたもの

である。しかし、精度の問題や、気象の急変などに対する影響除去などの問題があり、精度の向上が要望されている現状である。このように道路管理上では、除雪体制および除雪時期の判断は、パトロールを通じての情報をもとにした現場技術者の判断に頼る場合が多い。

最近、いくつかの積雪深計が開発され、雪量観測システムができていた北陸地建では、時間積雪深のデータが蓄積され始めた。降雪データが数多く収集されると次のようなことが可能となる。

- a) 降積雪の経年的な変化を知ることにより長期的な除雪体制が整備できる。
- b) 積雪データの蓄積により今後の降雪予知の資料とすることができる。
- c) 広域的な豪雪に際して各道路管理者間および地域間の相互協力体制をとるための判断基準をつくることことができる。
- d) 降雪予知ができる効率的な雪寒対策が実施できる。

道路気象情報としての降雪予知の必要性は、「道路管理者が気象の変化、道路状況の変化に即応した管理体制をとり必要な措置を講ずることにより道路の有効、かつ安全な利用をはかること」という道路管理の目的のうち、必要な措置として次の項目に関連するものである。

- a) 道路構造の保全および道路通行障害の除去

除雪、排雪、凍結防止、災害復旧など

- b) 道路の事前通行規制

異常気象通行規制区間

道路交通障害の発生を可能な限り正確に予知する。

- c) 道路気象情報の提供

### 1-1 降雪情報の入手方法と問題点

雪寒対策や雪氷対策を行うために用いる降雪情報は、降雪の予測としての情報と降雪現況としての情報の2種に分けられる。この降雪情報はどれも不確実なものである。気象予測は、多かれ少なかれ不確実性を伴うが、特に降雪予測は大気中に存在する移動性の中規模擾乱に大きく支配されるため、長時間的な予測が不確実性の大きなものにならざるを得ない。また、短時間的な予測であっても地形要素の影響などにより降雪変動が大きいものであり、場所的、量的な降雪予測を困難なものにしている。そこで不確実な予測をいかに使いこなすかということ、降雪予測の精度向上のための検討が問題となってくる。雪寒対策や道路管理に用いられる降雪情報としては、降雪が何時ごろ、どの地域に、どれだけの量が降るかどうかわかるという情報が必要なわけである。

一方、降雪現況としては、対象とする道路区間内において雪が降っているかどうか、降っていればどれ位の量か、降雪の範囲はどこからどこまでかといった降雪の有無、降雪量、降雪強度、降雪分布などが要求される。

すなわち、降雪は積雪、吹き溜り、圧雪、路面不陸などの道路交通障害として現れるほか吹雪、



地吹雪による視程障害をひきおこすため、この障害防除のための対策判断に用いる降雪情報は道路管理上重要な役割りを果たすものである。

この降雪情報の入手方法は、広い範囲のマクロ的気象情報を主体とする気象官署からのものと、道路沿線に設置された気象観測機器や降雪観測機器によるテレメータを通じての即時情報とがある。これらの資料をもとにして降雪予測もさまざまな形で行われているが精度や利用法の不便さが問題として残っている。気象官署と道路管理とでの降雪情報は次の相違がある。

気象官署から出される天気予報や注意報、警報は、一般的に次のようにして出されている。すなわち、予報を出す主な資料は各種（地上、高層<sup>3)、4)、5)</sup>の天気図である。予報官の経験による総観予報にしる、数値予報にしる、天気図解析によって予報している。天気図に描かれる高気圧や低気圧は、1,000 km、2,000 km、大きいものは 10,000 kmの規模をもっている。これに対し、我々の生活している頭上の空間はせいぜい直径30 km程度であり、実際の天気は、天気図には示されない雪雲や積雲群といったじょう乱の小さなスケールの現象に支配されることが多い。このため、寿命が短かく、天気図にも現れない局地的降雪現象などは、事前に的確に予測することが難しい。そこで、気象庁では短時間予報をキメ細かく出す方法を実用化しようNWW計画<sup>6)</sup>が進められている。

現在、道路管理として必要となる降雪予測は、次の資料と情報をもとに行われている。

- 1) 気象庁 F A Xによる各種気象図
- 2) 気象庁放送のテレタイプデータ
- 3) テレメータによる観測所の測定値
- 4) レーダーエコー
- 5) 気象台発表の天気予報、注意報、警報
- 6) パトロールカーや各観測所からの天気、気温、路面状態、降雪などに関する情報
- 7) その他、関係機関からの天気情報

気象官署から出される気象注意報、警報の発令基準値は、各地域ごとに異なるが、それを大略一覧表にしたのが表1-1である。気象注意報、警報は、比較的範囲が広いので、雪寒対策の目安の一つとしては役立っているが、粗すぎて具体的な用に供さない場合が多い。

道路管理に用いる降雪情報は、気象庁から発表された気象概況、天気予報、気象注意報、警報と道路沿線に設置された気象観測機器、降積雪観測機器を通じて入手する方法と道路パトロールカーや道路モニタを通じて入手する降雪状況、道路状況などが主である。その他の入手方法としては、他の道路や河川監視のための気象情報、国鉄、警察などの気象情報がある。こうした気象情報は、もともと得られる情報の内容や、入手条件、入手時期、精度、範囲などが異なるため、雪寒対策や交通規制を行うために資するものとしては不満足な面が多い。この気象情報の種類と項目の一例<sup>2)</sup>を示すと表1-2のようになる。この中には、使われる情報の大部分が示されているが、実際には道路の降雪情報として最も必要とされる具体的な降雪予測が、即時的に、的確に利用できるようには

表1-1 気象注意報・警報発令基準値一覧表

気象台名	大 雪 (cm)		(暴) 風 雪 (m/s)		大 雨 (mm)						異常低温 注意報	摘 要
	注意報	警 報	注意報	警 報	注 意 報			警 報				
					R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>24</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>24</sub>		
熊本	平地 50 山地 20	≧100	≧13m/s	≧23m/s	≧25	≧40	≧80	≧45 (RT150以下)	≧80	≧250	平地で -5℃以下	① 注意報・警報は表記基準値以上(異常低温注意報は以下)で発令される。  ② P <sub>1</sub> …1時間降雨量 P <sub>3</sub> …3時間降雨量 P <sub>24</sub> …24時間降雨量 RT…日降雨量でR <sub>1</sub> 、R <sub>2</sub> 規定における充足条件日降雨量である。 50 従ってR <sub>2</sub> (RT平地100、山地200)とは、平地部24h100mm以上、山地部24h200mm以上の降雨予想で3h降雨量が50mmに達する見込みを基準値とすることを言う。  ③ 風雪注意報は雪を伴う場合とされているが、暴風雪警報では雪を伴わない場合も多い。大雪のほかには強風を伴う時は風雪注意報とせず大雪強風注意報となる。
福岡	10	50	12	20	20	40	80	40 (RT>100)	80	150	-4	
広島	10	30	陸上 12 海上 15	陸上 20 海上 25	20 (RT 50)	30 (RT 30)	平地 70 山地 150	40 (RT 100)	60 (RT 100)	平地 150 山地 300	-4	
松江	20	60	陸上 12 海上 15	陸上 20 海上 25	20 (RT平地50 山地70)	30 (RT平地50 山地70)	平地 70 山地 100	40 (RT平地100 山地150)	60 (RT平地100 山地150)	平地 150 山地 200	-4	
鳥取	平地 30 山地 60	平地 60 山地 20	陸上 12 海上 15	陸上 20 海上 25	20 (RT平地50 山地100)	25 (RT平地50 山地100)	平地 70 山地 150	30 (RT平地100 山地200)	50 (RT平地100 山地200)	平地 150 山地 300	沿岸部 -6	
京都	平地 10 山地 30	平地 30 山地 60	12	20	20	30	平地 70 山地 150	40 (RT 100)	70 (RT 100)	平地 150 山地 300	-	
彦根	北西部 15 北東部 30	北西部 40 北東部 60	12	20	20	平地30 (RT60) 山地80	平地 70 山地 150	40 (RT 100)	平地60 (RT120) 山地100 (RT250)	平地 150 山地 300	-	
福井	平地 30 山地 50	70	12	陸上 20 海上 25	20	30	70	30 (RT 100)	55	150	冬期 -5	
金沢	平地 30 山地 50	平地 70 山地 100	陸上 15 海上 18	陸上 20 海上 25	20	30	平地 70 山地 100	40 (RT 100)	60	平地 150 山地 200	-4	
富山	平地 30 山地 50	平地 60 山地 90	陸上 12 海上 15	20	20	30	70	30 (RT平地100 山地140)	60	140	-6	
岐阜	20 北西部 50	50 北東部 100	15	20	20	40	平地 70 山地 120	50 (RT 120)	80	平地 150 山地 250	-15	
東京	平地 5	平地 20	13	25	20	30	平地 60 山地 120	40 (RT平地80 山地150)	平地 70 山地 150	平地 120 山地 250	-4	
前橋	北西部 10 北東部 40	北西部 30 北東部 100	13	18	40	60	80	80 (RT 130)	120	200	-6	
新潟	東部 20 西部 30 山地 40 山地 60	東部 50 西部 70 山地 100	陸上 12 海上 15 海上 15	陸上 20 海上 25	20	35	70	40 (RT 100)	70	140	-4	
富山	砂越中 平地10 金澤中 平地20 中津山 平地30 金澤山 谷50	砂越中 平地30 金澤中 平地50 中津山 平地100 金澤山 谷150	白河 12 14	18	30	50	50 (RT 70)	50	70	110	-	
山形	平地 20 山地 30	平地 50 山地 100	山形 10 新庄 13 酒田(冬) 17	山形 18 新庄 20 酒田(冬) 25 北西風型 30	25	45	北西部 50 南西部 40	45 (RT 90)	80	北西部 100 南西部 70	-	
盛岡	平地 20 山地 30	平地 50 山地 80	盛岡 14 宮古・大船 0	20	25	40	北川谷 50 沿岸 60	50 (RT 100)	80	北川谷 80 沿岸 100	-	
秋田	30	60	13	20	北西部 25 東部 30 西部 25	40 35 35	70 60 60	50 (RT 80) 55 (RT 80) 45 (RT 70)	70 60 60	110 100 90	-	
青森	平地 20 山地 30 山地 75	平地 50 連 50 連 75 連 150	15	20	25	40	40	40 (RT 70)	60	津軽方面 70 北上 100	-	
札幌	30	50 山地部 80	陸上 12 海上 15	18 25	20	30	50	40	60	90	-10	
釧路	30	50	陸上 10 海上 15	20 25	平地 10 海岸山 谷20	20 40	40 60	20	40	100	-	
旭川	平地 30	50	内陸 10 海岸(冬) 15	内陸 18 海岸 25	15	30	50	30	60	100	-	
稚内	30	50	10	20	20	30	50	30	50	100	冬期 -10	

表 1-2 気象情報の種類と項目

入手情報先	気象情報源	情報内容	情報媒体・機器
気象庁 (各気象台)	気象概況 天気予報 気象通報 防災気象情報 長期予報 週間天気予報	大規模な天気の変動 1~2日の天気 各地の天気、気象 災害の恐れある注意報、警報 1ヶ月、3ヶ月の各天気予報 1週間内の天気予報	ラジオ、テレビ、新聞 " ラジオ 専用電話 印刷紙、新聞、ラジオ、テレビ "
気象技術者	気象予測情報	全般天気概況 管内道路気象概況 管内の今夜明日の天気、風 最低気温 最大風速、降水量、霧発生 注意報、警報 (一般に10時、17時に毎日提供)	管内気象台、電話 気象庁FAX テレファクス 気象テレタイプ
道路巡回車	交通管理巡回 特別巡回 警察巡回 による通報	道路沿線における気象現象 気象障害の状況 気象観測データ その他の状況	携帯電話 無線機
定点観測者	見張所の観測者 による通報	道路の一地点の気象情報 気象障害の状況 気象観測データ	専用電話
自動気象観測 (テレメータ)	道路各点に設置 された自動気象 観測機器  地点により情 報内容の疎密 が異なる。	気温 路温 地中温度 路面水分 降雨・降雪 積雪・ふき溜り 風向風速 霧・地ふぶき (ITV) 透過率、視程 放射・日射 露点・湿度 その他 何れも現状の指示値、トレンド記録からの検知情報	気象情報専用線 記路計盤 警報表示盤 監視盤 表示盤 データロガー CPU ITV専用線 ITVモニタ  現地制御盤 情報板

図1 気象情報の種類と項目

なっていない。

これまでの雪寒対策や雪氷対策では、降雪情報として使われている総観気象による予測方法、つまり流れ図は、図1-1のように用いられている。高速道路などでは、このような手順で気象データ<sup>8)</sup>を収集し、降雪の予測を行っている。また、国道17号線では、積雪深計を道路沿線に多数設置し積雪の実況把握を行い降雪量イソプレットを作成し、除雪時期判断に用いるよう計画が実行され実験研究が進められている。しかし短時間予測のみであり体制をとるための判断に用いる長時間予測はできていない。

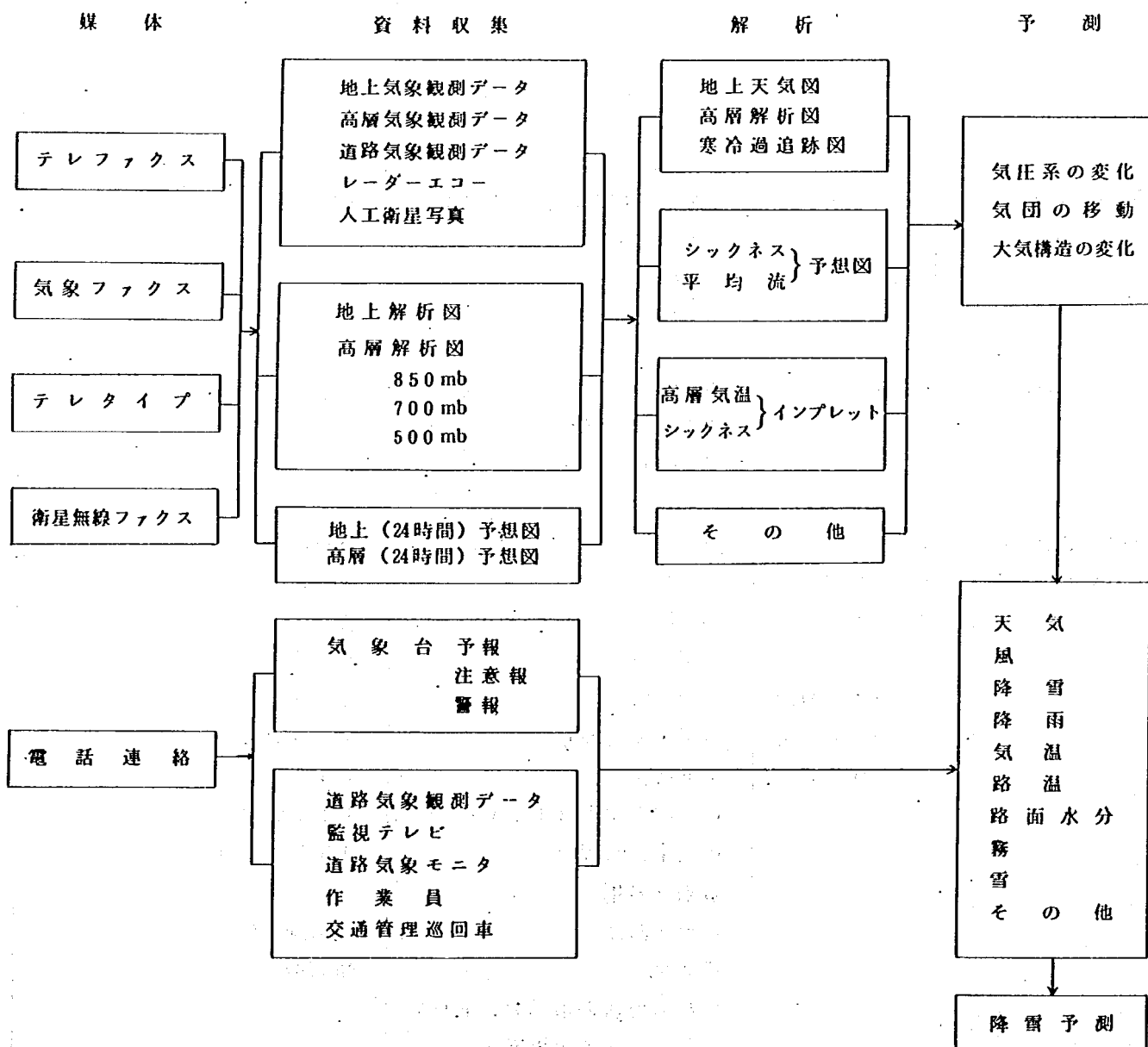


図1-1 現在使用されている降雪予測の流れ図

## 1-2 期待される降雪情報

わが国では、その大部分の地域において冬期、降雪に見まわれ、その降雪、積雪、あるいは圧雪凍結についての対策は重要なものとなっている。

雪氷障害として現われる度合いは、東北地方や北陸地方のように全体が雪寒地域である場合と、関東地方や近畿地方のように極く一部が雪寒地方であるところでは大きな違いがあり、雪寒対策もその障害の形態や度合いに応じて変化している。しかし、近年の道路交通は、社会的にみて質的、量的に安定した流通機構を支えるための重要な役割りを果せられているため道路の雪寒対策も障害の形態や、現象の強弱にかかわらず万全の策を施す必要がある。

現在の雪寒対策は、道路の維持管理を行う事務所で定められた雪寒対策領域や維持管理領域によって、その地域の道路条件、交通条件、気象条件に即応できるような形で実施されている。

この雪寒対策のうち、除雪作業の面から降雪情報<sup>9)</sup>が要求されるのは次に示すいくつかの事項である。

- ① 気象条件により降雪が予測され作業のため待機を必要とする場合
- ② 気象情報により降雪が予測されまたは現実に起り作業等が必要となる場合
- ③ 降雪が激しく除雪作業等が難行し長時間に及ぶ道路閉鎖が続くか、または予測され特別な対策が必要となる場合
- ④ 除雪作業は、路面積雪が生じた場合には路面状況、車両条件等を考慮した上、除雪作業を行う。
- ⑤ 新雪除雪を積雪深がおおむね5 cm以上をこえないように実施するとき
- ⑥ 圧雪処理を路面状況、気象条件、交通量、車両条件等を考慮した上で実施するとき
- ⑦ 拡巾除雪を地ふぶき、吹き溜りの発生する区間とか多雪地帯で高雪堤となる区間で行うとき

次に、降雪等の気象条件により交通規制を行うための判断に必要な降雪情報には、次のようなものがある。

- ① 降雪の初期で視界が悪くなりつつある場合
- ② 降雪のため視界がかなり悪く、通常走行では危険が予測される場合
- ③ 異常な強雪で視界が極度に低下した場合
- ④ 地ふぶきのため視界が悪く、通常走行では危険が予想される場合
- ⑤ 異常な地ふぶきのため視界が極度に低下した場合
- ⑥ 降雪のため路面が湿潤となってきた場合
- ⑦ 降雪のため路面に圧雪が発生した場合
- ⑧ 降雪のため路面にかなりの積雪がある場合
- ⑨ 降雪が激しく路面の積雪が多くなったり、吹き溜りが発生し走行が困難な場合

㊸ 　なだれ危険ヶ所の積雪が増大しなだれの発生が予測される場合

㊹ 　道路沿線の家屋等の屋根雪が増大し危険が伴う場合等

雪寒対策や交通規制にかかわる降雪予測の情報としてどのような時に、どこまでの範囲で入手間隔は何時間ごとに必要となるかについてまとめると次のようなものが考えられる。また、これは雪寒地域における多くの道路管理者が要求しているものと言えよう。

### 1) 広域な気象の実況、一般気象予報および地域予報

この気象情報は、雪寒対策をその日に実施するかどうかの判断に用いるものである。また、除雪作業対象としては、降雪の短期予測としても必要となる。気象情報の入手方法としては、気象庁や気象解説者から出される半日から1日単位の予報であるが、ラジオ、テレビ、専用電話、気象ファクスなどの媒体を通じて行う場合と委託契約した気象解説者を通じて出される場合とがある。

### 2) 局地気象現象や路線上の気象状況

この気象情報は、雪寒体制に入ったあと雪寒対策上の作業時期をいつから開始するかの判断に用いるもので、現状における気象状況と、2～3時間内の降雪予測情報が重要である。これは除雪開始時期、除雪地域を定めるのにも必要である。また、ふぶきや地ふぶきが発見した場合や霧が発見した場合（日昼路面に蒸気霧の形で発現することがある）は、事故防止のため直ちに検知し視程障害の度合いとともに、その情報を入手し交通規制や情報提供の措置をとるための判断、実施に供する。

この短時間の気象情報は、対策、作業に直ぐにつながるため検知、予測までの時間は即時性が要求される。したがって、降雪に関しても気象観測機器（降雪計、積算計、気温計、風向風速計など）から得られる情報が有効、的確なものとして利用されている。

このような気象情報のうち、降雪情報は大別して当日の対策が必要かどうかの判断に必要な情報と、具体的な作業時間、規制時期などの判断に要する情報とがある。

降雪情報は、この2種類の長期予測、短期予測が的確なものであれば、雪寒対策上多大の労力を省くことができるようになり、さらに雪寒対策に従事する人々の過酷なまでに大きい精神的負担を軽減することができることにつながっている。

降雪予測システムの開発は、このような観点から誰でも利用できる降雪予測方式を開発することを目的とし実施したものである。したがって、ここでは雪寒対策時における最大の情報である降雪予測方式の研究とその利用方法についてとりまとめた。

## 2. 降雪予測計画

降雪情報を的確に把握し雪寒対策にこれを活用することにより、除雪作業の合理化、道路利用者に対する情報伝達などの向上に資することは、積雪寒冷地域においての交通運輸面、流通面に大きな利益をもたらすことになる。

降雪情報は、除雪作業、凍結防止剤散布、消雪施設などの稼動にかかわるものや、交通規制面への適用などに用いるから確実な検知情報と精度のよい予測情報が必要である。したがって、降雪の検知から降雪の予測までを実施するには、地上観測機器による気象データと高層気象データが必要でありこのデータを如何に処理するかが予測手法の開発に大きなポイントとなろう。この時の地上気象観測機器は次のようなものがある。

- 降雪計 …………… 降雪状況の観測
- 積雪深計 …………… 積雪深の観測
- 降水判別計 …………… 雨、雪、霧等の判別
- 降水検知器 …………… 雨、雪の検知
- 自動気象観測装置……………気温、路温、風向、風速

降雪予測の方法としては、次の方法がある。

- 総観的方法……………天気図による判断
- 力学的方法 …………… 物理過程を考慮した予測であるが実行には問題多い。  
モデル化の困難性、細かい観測ネットワークが必要。
- 統計的方法……………時間的、空間的に細分化された観測値をもとにしている。
  - 重相関回帰法……………量的予測、説明変数や目的変数は間隔尺度で測る。
  - 判別関数法……………カテゴリー判別
  - 多重分割法……………分割表を用い予測に利用する。
  - 分散分析法……………モデルは重相関回帰と同じであるが、AかBかという分類尺度である。
  - クラスター分析法…判別すべきグループが与えられていなく、ある類似性に基いて、いくつかの集落に分類する。
  - 因子分析法……………目的変数が仮説的である。
  - 潜在構造解析法……………因子分析に比べ説明度数が Yes、No で与えられる点が異なる。
- その他の方法
  - 成長曲線外挿法……………ロジスティックカーブ
  - 周期分析法……………自己相関、調和分析

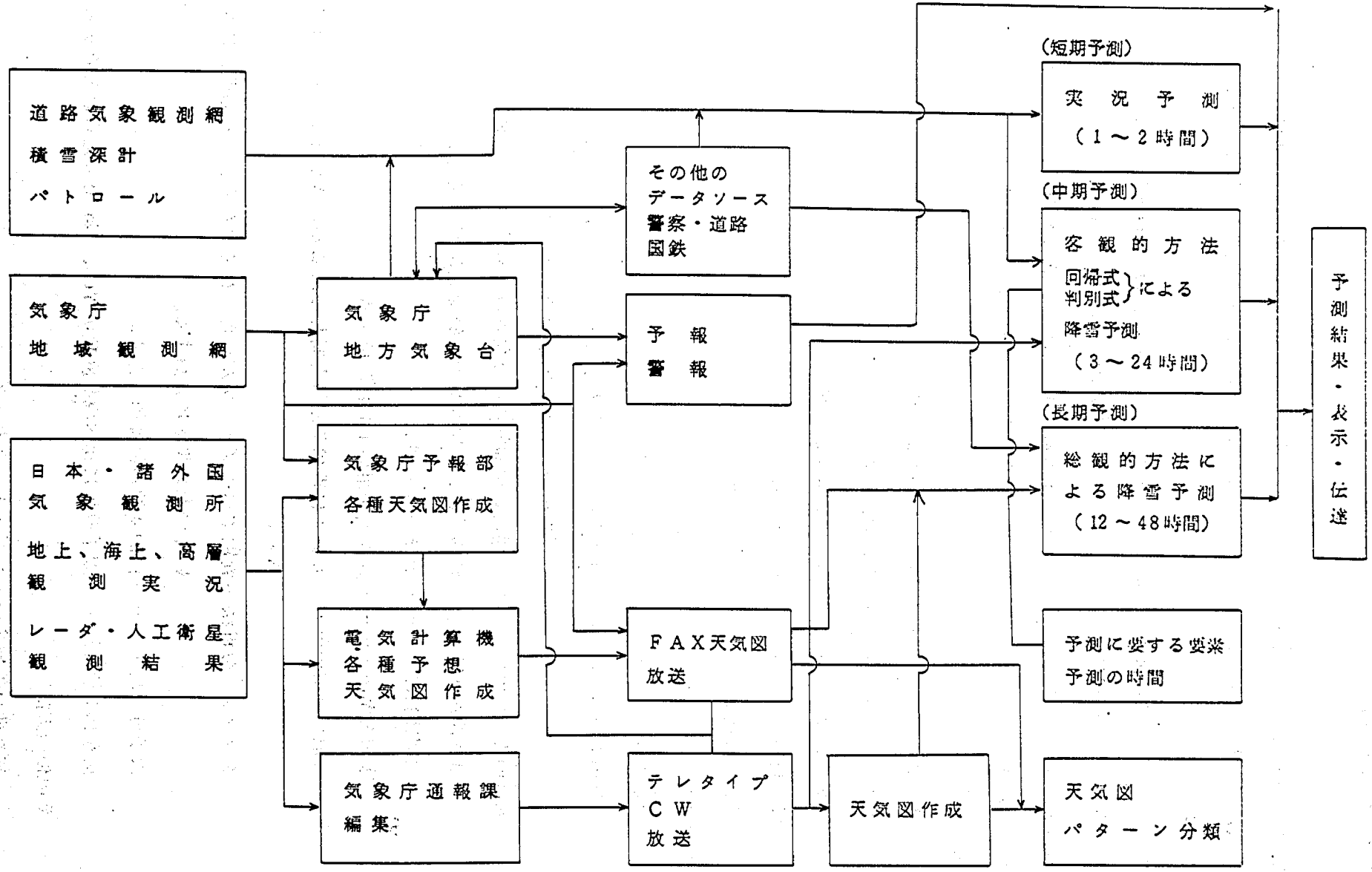


図1-2 道路降雪予測のための情報フローチャート



## 特殊な予測方法

### デルファイ法

これらの降雪予測手法のうち、道路交通管理に適用可能と考えられる方法は、これまで解析した種々の検討結果と検証から重相関回帰法と判別関数法が適当であると判定した。

そこで降雪の予測については、図1—2のような順序で行うようにした。すなわち、気象データとしては、道路気象観測網、パトロール、委託観測などによる気象観測値や積雪深、路面積雪状況などを用い、実況予測や現況把握のためとか予測資料として利用することとした。

気象庁の地域気象観測網による気象データは、各気象台や気象庁に収集され各種の天気図、予想天気図などの作成に用いられる。また各気象官署で観測された地上気象観測、海上気象観測、高層気象観測の諸データや、レーダ、人工衛星による気象観測資料などは、気象庁で編集され、テレタイプで通報される。あるいは、天気図作成に用いられ各種の予報、警報、注意報として報道される。

一方、道路、警察、国鉄、その他からの気象情報は、主に実況予測、現状把握に用いられる。このような各種の気象データは、容易に入手できるものと、そうでないものがあり比較的容易に入手できる気象資料と、道路気象観測網から得られる気象資料をもとに自動的、即時的に予測できるようにすることを目的として必要な範囲の予測時間を定めることとした。

降雪予測は、雪寒対策時においてこれから3～24時間位の間を除雪作業を実施すべき降積雪があるかどうか、作業員の確保、待機、除雪機械の準備、除雪機材の重点配備などは、中期予測として除雪ステーションや管理中枢において最も重要な情報となる。

次に対策のための体制をとった場合にはいつ除雪作業を行うために出動すべきか、何台の除雪車がどちらの方向にどの程度の速度で移動すればよいか、また降雪による交通渋滞や交通事故を防止するための規制や情報伝達を時期を失せず行うための実況予測は、1～2時間の短期予測が有効である。一方、降雪が持続する場合には、24～48時間の降雪状況はどうなるのか、今日は降雪はないか、明日や明後日の降雪状況はどうなのかといった比較的長い時間の降雪予測も必要となる。この程度の長い時間の予測となる長期予測は、気象庁の天気予報や防災予報でも与えられるので、それらも利用するようにしたいと考えた。したがって、ここで検討するのは重相関回帰式と判別関数法による客観的降雪予測（3～12時間）である中期予測と、実況（短期）予測の1～2時間予測についてである。

なお、今回解析検討を行った降雪予測は、流れ図1—3に示したように中期予測についてであり、主として国道18号線藤沢観測点の降雪深データをもとにして予測計算を行った。降雪予測計算は、高層気象要素と地上気象要素のうち降雪に関係する要素を選び、その中から総合的にみて予測精度が高くなるような説明変数を電子計算機でStep—Wise Regression法を用いて選び出した。さらに重相関回帰式と判別関数式の説明変数は、このような手順で定めた。

現在、気象観測を行う上で、気象官署が出す気象予報があり、この情報も降雪予測として参考としさらに道路気象情報としての道路作業に密着したきめ細かい降雪予測も必要となってきている。

そこで雪寒対策に必要な降雪予測全体の関連をみると図1-4のように表せる。さらに、雪寒対策の中期予測は図1-3で示したが、短期予測の開発研究の考え方を図1-6で示した。とくに短期予測は難しく問題も多いので積雪深計や降雪計などによる降積雪の即時データ入手ができるような機器を配置することにより実況予測は可能となろう。

さらに、降雪予測手法が確立されれば、図1-6のように雪寒対策に利用し易いように表示記録処理する検討が必要となろう。

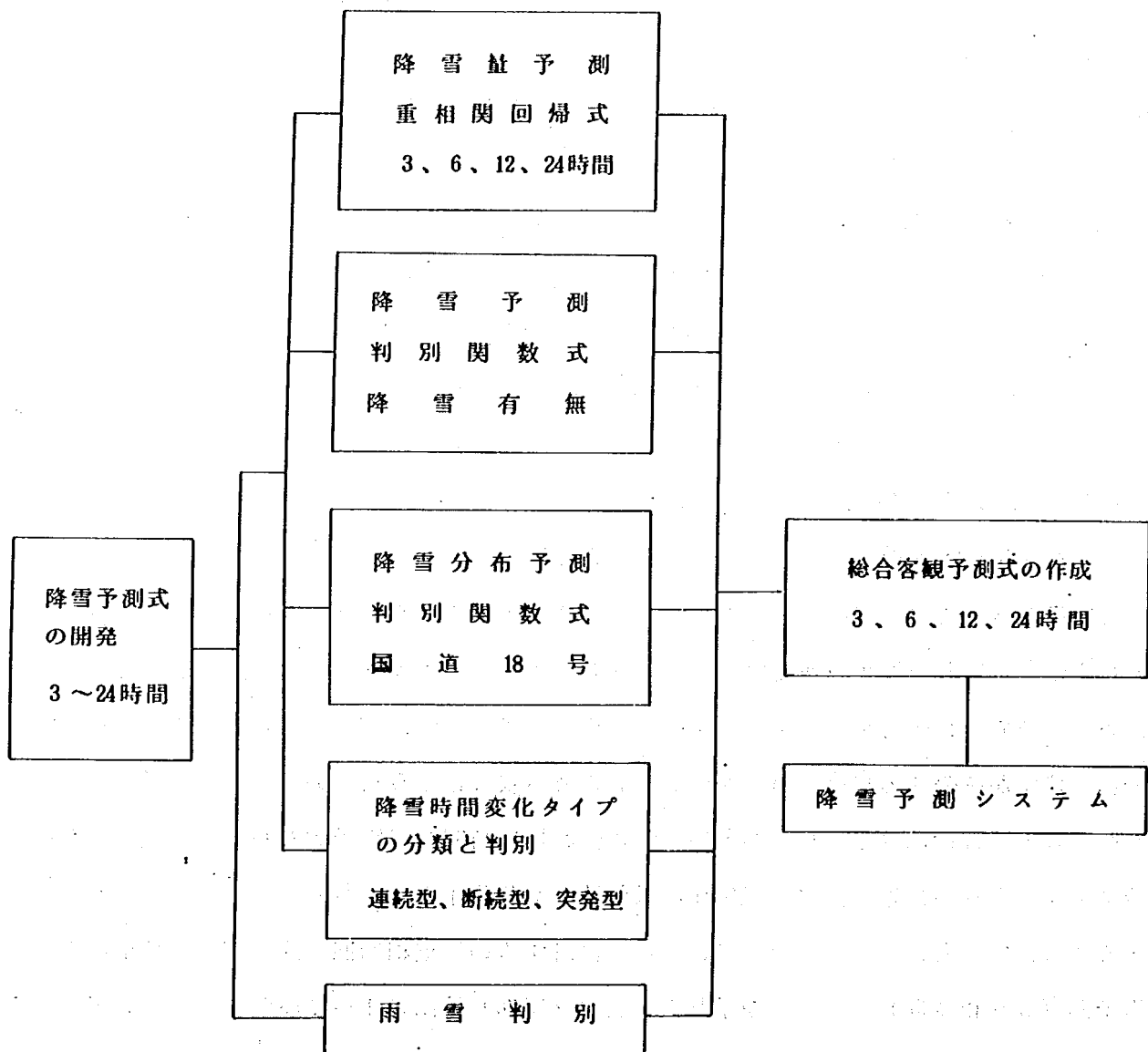


図1-3 降雪の中期予測式の開発手順

(判別式, 回帰式の作成)

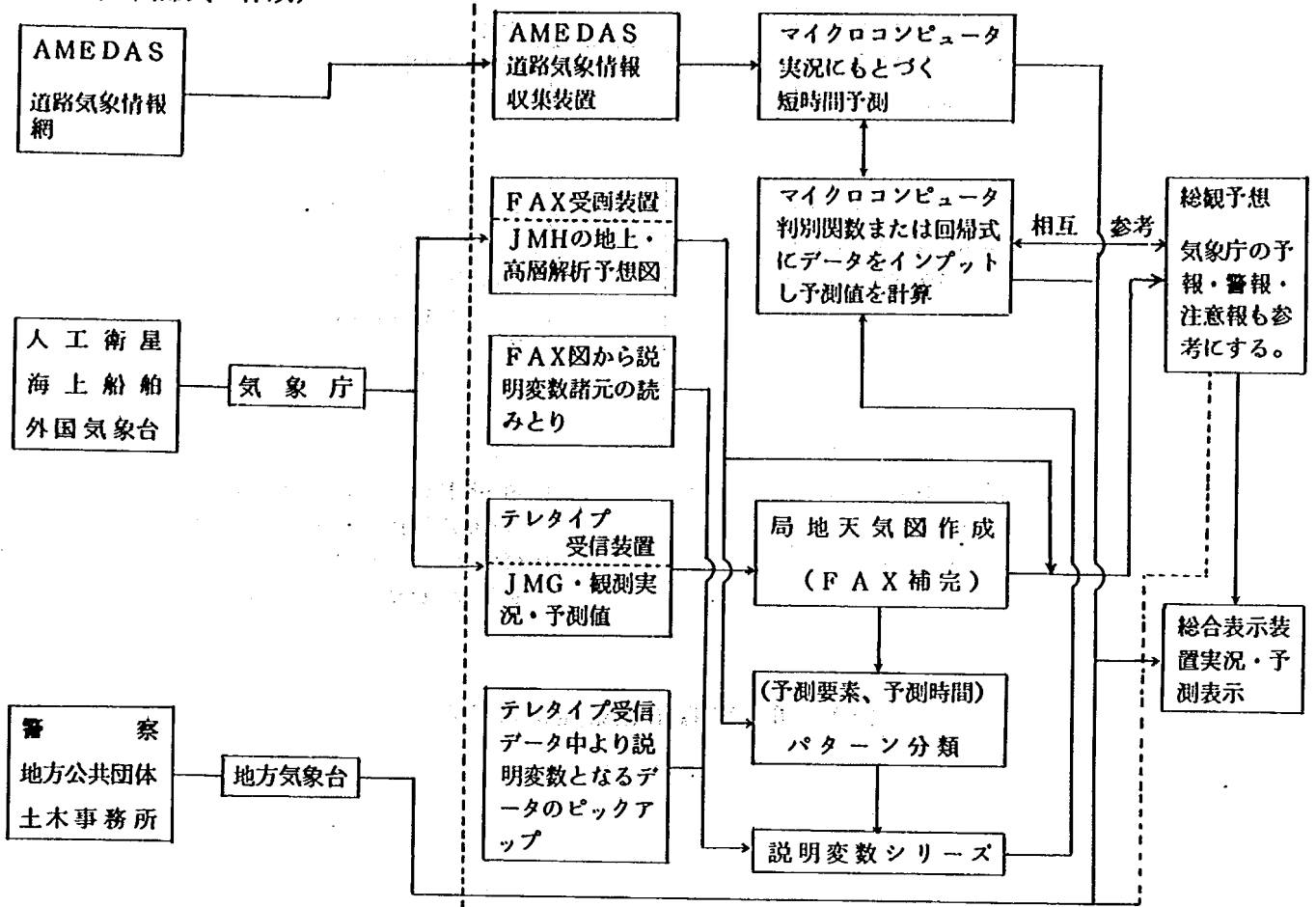


図1-4 気象予報の資料と道路気象情報の予測・資料の関連

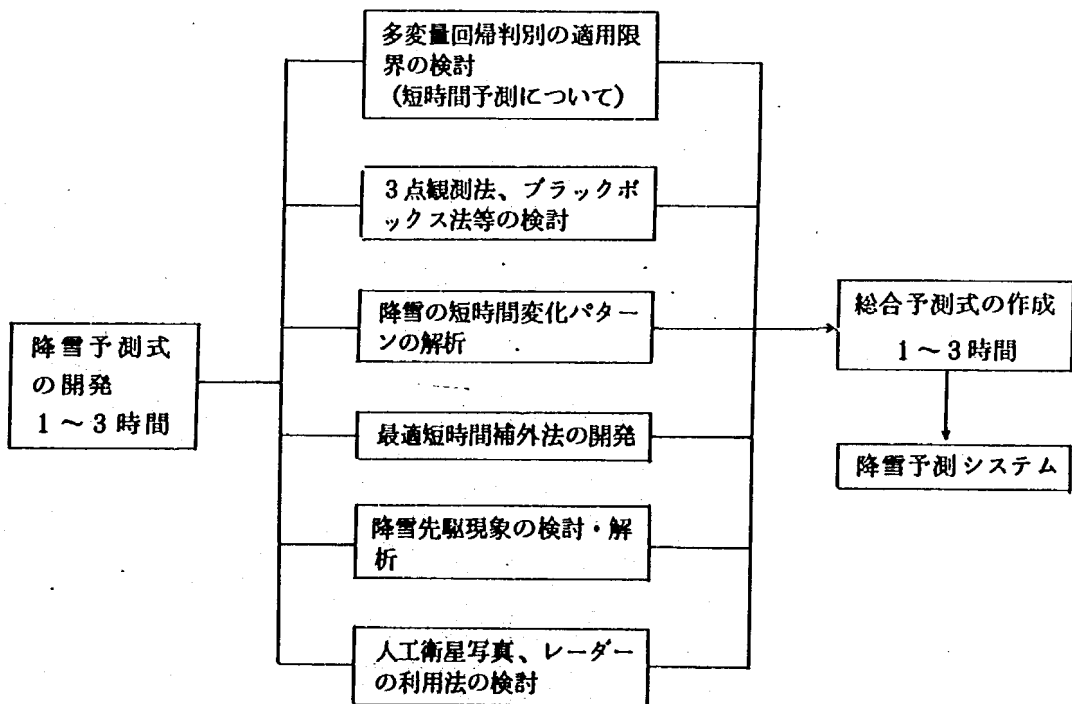


図1-5 降雪の短期予測式の開発手順

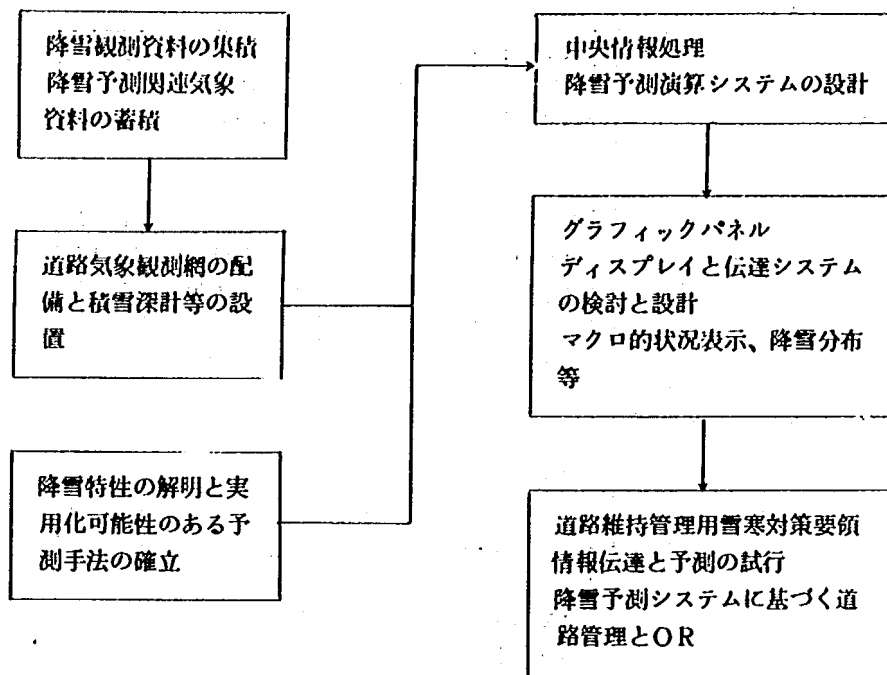


図 1 - 6 降雪情報管理システム

## 第2章 上越地方の降雪特性

### 1. 概要

上越地方では、本格的な冬となるのは12月中旬から3月下旬の間である。この期間は北日本特有の西高東低の冬型の気圧配置が多発し大雪を降らせ多い所では積雪深が3～5mに達する所もある。しかし気温は北海道とか東北地方のように極端には下らずせいぜい $-7^{\circ}\text{C}$ 程度が最低である。平均的には国道18号線藤沢地区の例(図2-1)を見てもわかるように $-1^{\circ}\text{C}$ ～ $5^{\circ}\text{C}$ 程度の所が多く比較的温

度の高い地方となっている。このため雪は湿った雪片の大きなものが多く密度が高いのが特長である。また、この地点の時間当りの降雪および風速の出現頻度を図2-2、図2-3に示した。

一方、地形的には海岸から山間部までの距離は短く標高差は700m近くもある。このようなことから降雪パターンも海岸部、平野部、山間部の3つに分類され、さらに局地的に非常に大きく左右される所も多い。このため線として降雪予測を展開するに当っては非常に難しい地形ともなっている。

以下、上越地方を主体とした降雪状況等について述べる。

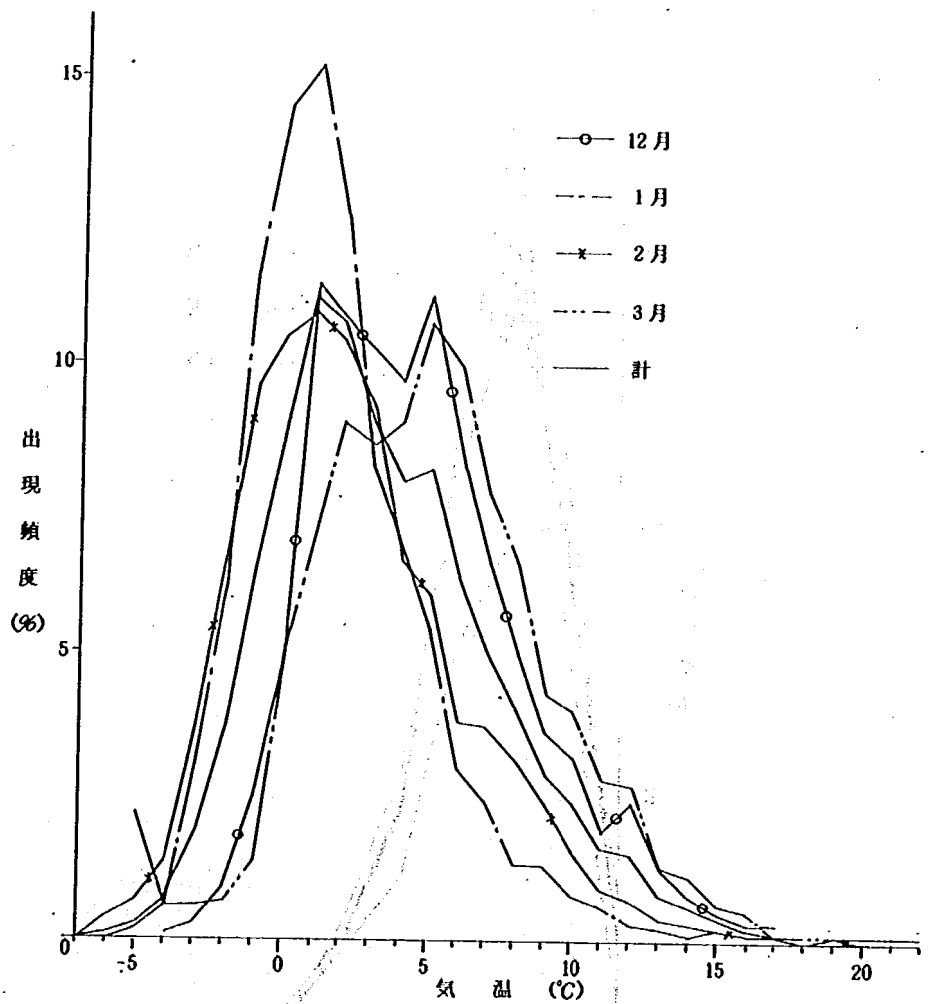


図2-1 藤沢における気温の出現頻度 (S49年12月～S53年3月)

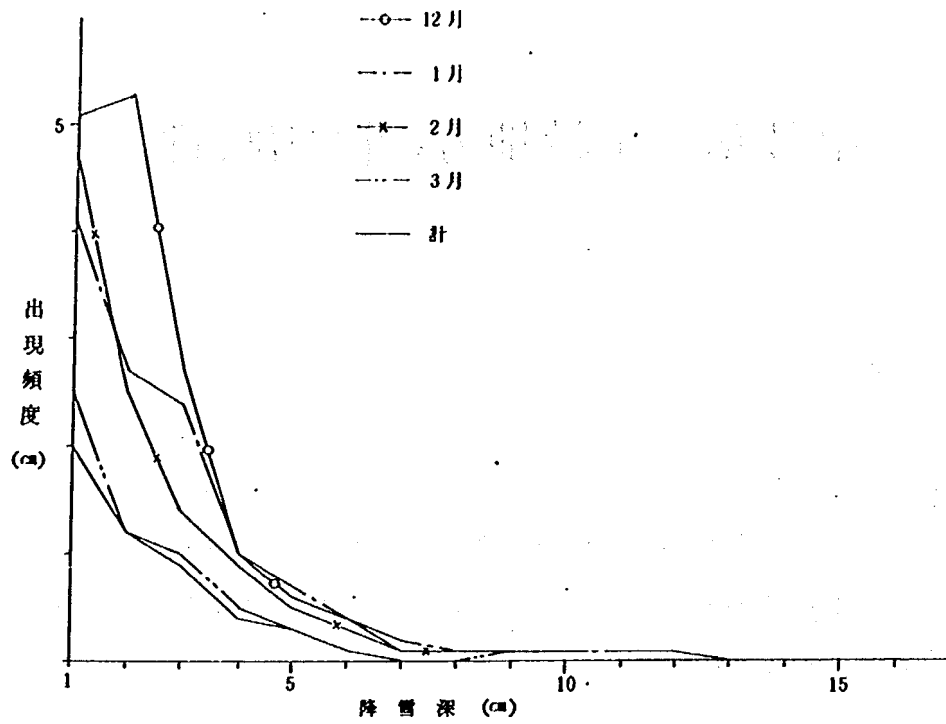


図2-2 藤沢における時間当りの降雪出現頻度 (S49年12月～S53年3月)

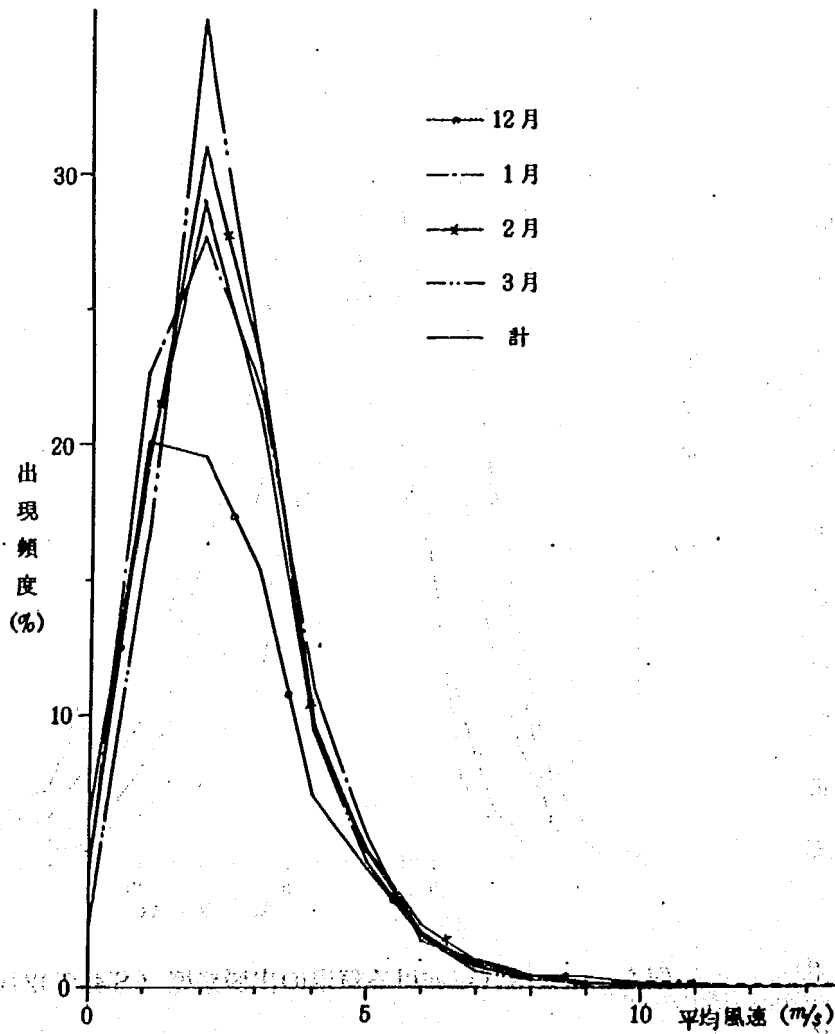
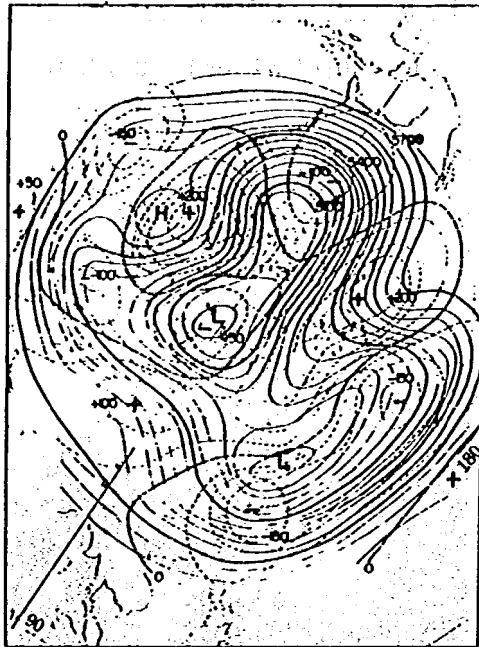


図2-3 藤沢における時間当りの平均風速出現状況 (S49年12月～S53年3月)

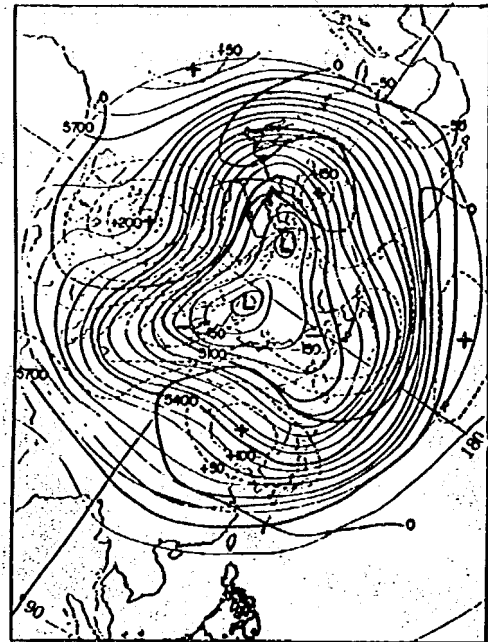
## 2. 気象パターン

### 2-1 一般的な降雪時の気圧配置

図2-4は1963年と1964年1月の500ミリバールにおける北半球の1ヶ月平均天気図を示した。この図の(a)は豪雪時のものであり、(b)は少雪時のものである。この図から明らかなことは(a)では、東経90度付近が峯となり本邦付近が谷となっているのに対し(b)では、そのような傾向を見ることができないことである。



(a) 1963年1月

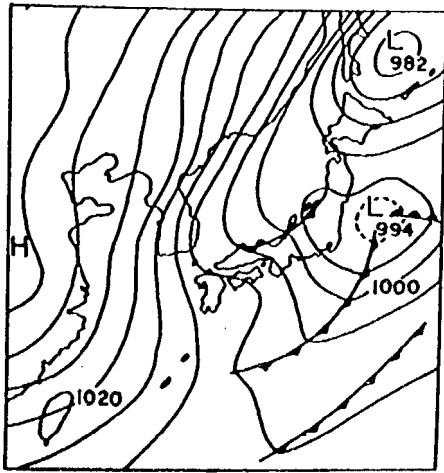


(b) 1964年1月

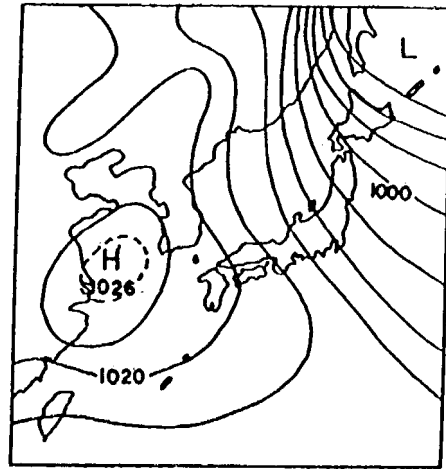
図2-4 北半球の500ミリバールにおける1ヶ月平均天気図  
(図中土のついた数字は気温を示す)(文献10による)

これを地上の気圧配置で考えて見ると図2-5に示すようになる。一般に北陸地方では既述の通り冬型の気圧配置の時に降雪が多く見られ、この図は、その代表的なパターンを示したものである。図2-5(a)は山雪型で山間部を中心に大雪を降らせるタイプであり、図(b)は里雪型で平野部に多く降雪を伴う気圧配置である。また、この時の雪雲の吹き出し状況を写真-1に示す。

一般的気圧配置と降雪について福田は擾乱型をA~Fの5つのタイプに区分し、さらにそれぞれを細分化するための調査を行った。その結果は表2-1に示したが豪雪の55パーセントがF型(季節風)によって発生することを示している。これら気圧配置型に伴う降雪状況について主なものを示すと次の通りである。

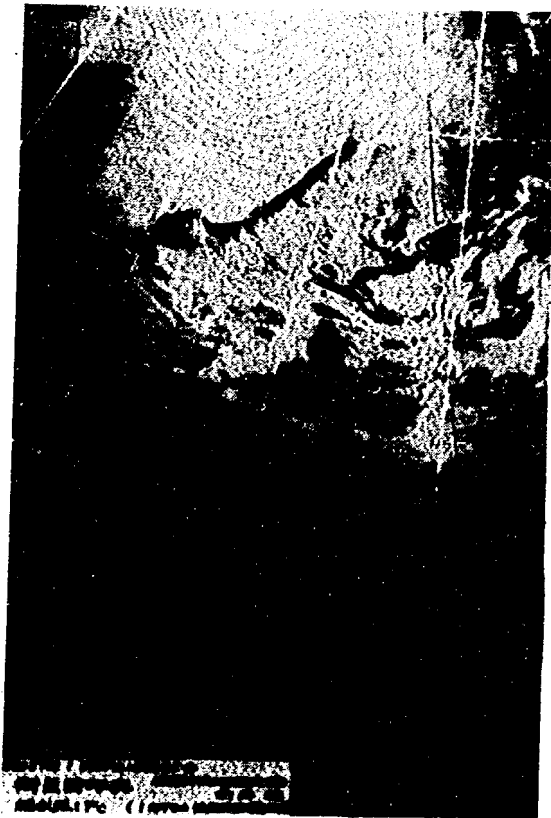


(a) 2100 LST 1960年12月29日



(b) 2100 LST 1961年2月15日

図2-5 大雪時の天気図(文献10による)



(a) S 51年1月20日18時



(b) S 51年1月22日19時

写-1 昭和51年の大雪時の雪雲の吹き出し状況



表 2-1 気圧配置型と豪雪域分布 (福田氏, 文献<sup>11)</sup>による)

じょう乱型	気圧配置	豪雪域	出現回数 (%)
A. 南海低気圧	発達した低気圧が南海を通過	日本列島のせきりょう山脈の山中、甲信地方、東北地方、太平洋側並びに北海道東部	36 (6.1%)
B. ニツ玉低気圧	発達した低気圧が南海と日本海を同時に通過		35 (5.9%)
C. 日本海低気圧の東側	a. 非季節風型	せきりょう山脈の山中とその西部内陸に局地的	35 (5.9%)
	b. 持続した季節風場に低気圧発生	地域は上記より広くなり、日本海岸地方を含む	10 (1.7%)
D. 日本海低気圧	a. 非季節風型	せきりょう山脈山中とその西側内陸	45 (7.6%)
	b. 持続した季節風場を低気圧通過	上記に加え日本海岸地方を広く含む	12 (2.0%)
E. 寒冷前線	a. 非季節風型	せきりょう山脈山中とその西側内陸	60 (10.2%)
	b. 持続した季節風場を前線通過	上記に加え日本海岸地方を広く含む	32 (5.3%)
F. 季節風	a. 本州は高気圧で季節風場は北偏	北海道は日本海岸を含め内陸の大部分、本州はせきりょう山脈付近内陸に局地的	79 (13.4%)
	b. 等圧線は日本海で湾曲、北海道西方海上に小低気圧	せきりょう山脈山中とその西側内陸および日本海岸地方を含む	77 (13.0%)
	c. 発達した季節風	せきりょう山脈山中、日本海側地方内陸並びに隣接県では県域付近	99 (16.8%)
	d. 季節風衰弱	内陸に局地的	70 (11.9%)

1) A および B 型

発達した低気圧によるもので甲信、関東、東北地方太平洋側ならびに北海道東部に豪雪があり、北陸地方の平野部にはまれである。

2) C b, D b, E b 型

これらは季節風型で F b に似た降雪分布を示し、山岳地帯並びにその西側の内陸に加え北陸海岸地方にも豪雪域がある。

3) F b 型

季節風型で等圧線は日本海で湾曲、北海道西方海上に小低気圧のときの降雪分布を示し豪雪域は北陸地方平野部に集中しているいわゆる里雪型の降雪分布パターンである。

4) F c 型

これは発達した季節風によるものであり降雪分布は豪雪域が山間部に多い、いわゆる山雪型の降雪パターンを示す。最大降雪分布は本州脊りょう山脈沿いの北もしくは北西斜面に分布することが多い。

5) その他の型

上述の気圧配置以外の場合では本州脊りょう山脈中またはその西斜面に局地的に豪雪が伴

うケースである。

また、高層気象データと降雪状況については図 2-6 のような分布図 (Scatter Diagram) と

しての一例を挙げている。この図では 500 ミリバール等圧面（5200 ~ 5500 m）の北緯40度における最低気温と、その位置の経度に対する日本海沿岸地方の気圧配置パターン別の降雪分布をシンボルで区分し表示したものである。

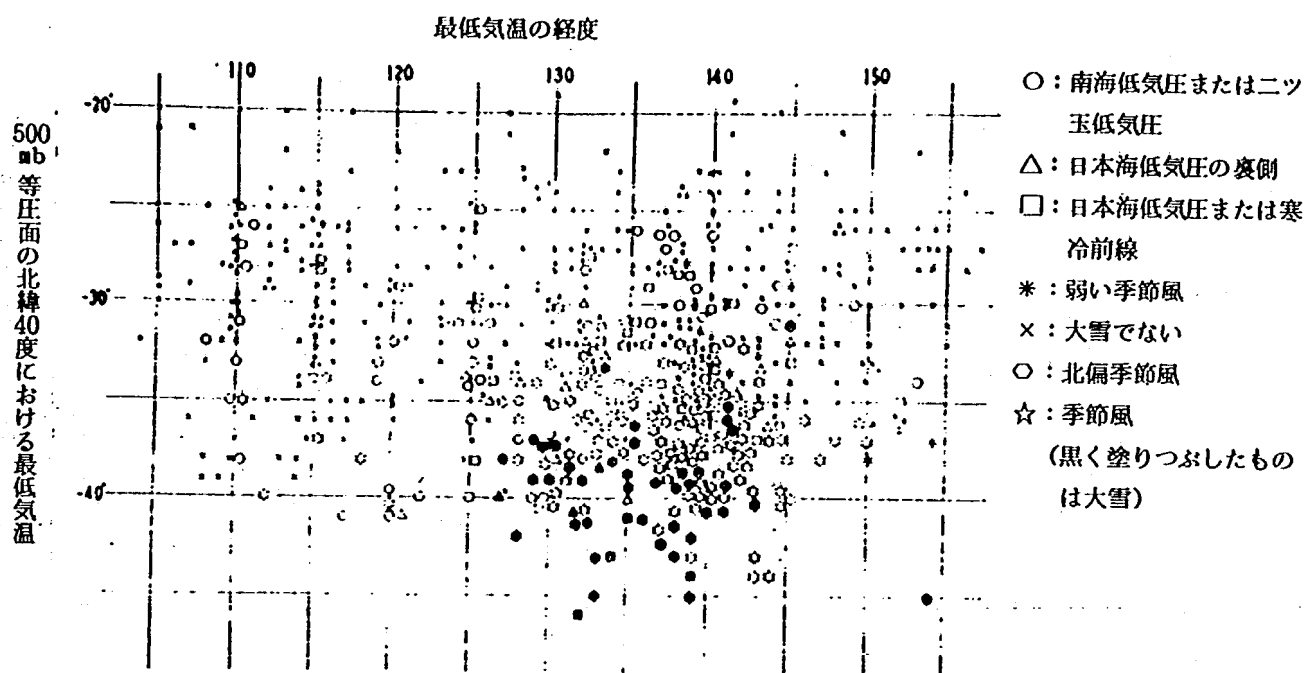


図 2-6 大雪と 500 ミリバールの寒気との関係

(文献10による)

これによると 500 ミリバール面の北緯40度線上における最低気温が $-40^{\circ}\text{C}$ 前後で、かつその最低気温域が東経 127 度から 145 度（北海道釧路）の間に位置した場合に大雪（図中黒く塗りつぶしたものが発生している。また、気温が $-30^{\circ}\text{C}$ より高いとほとんど大雪の発生はないことを示している。つまり強い寒気の場合が東経 135 度付近（日本海中部）に入ってくると大雪が北陸地方に発生する。逆に寒気の場合が東へ抜け東経 145 度以東に去ればほとんど大雪は止む。このように、この図では大陸からの寒気の流出と移動に伴う降雪状況を間接的に表わしたものである。

## 2-2 降雪分布特性

図 2-7, 8 は北陸地方の平均年最大積雪深分布図と、その50年再現期待値の分布を示したものである。

この図で見ると北陸地方の山間部、特に脊りょう山脈の北側斜面に最大積雪域が存在していることが一見してわかる。

一方、これらの特性は気圧配置によって降雪深、分布状況がかなり変化する。たとえば、図 2-9, 10 に示したように気圧配置によっては里雪型となり海岸部、平野部に集中して降るタイプと、

山間部に集中して降るタイプとがある。

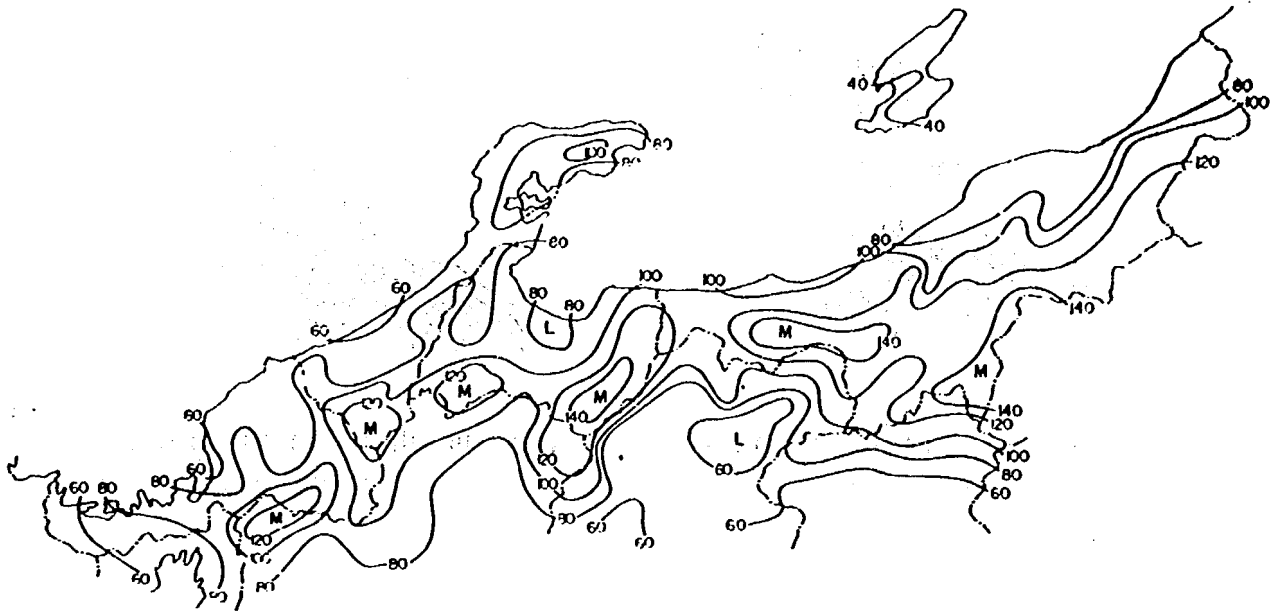


図 2 - 7 年間最大積雪深分布 (平均値)

(文献10による)

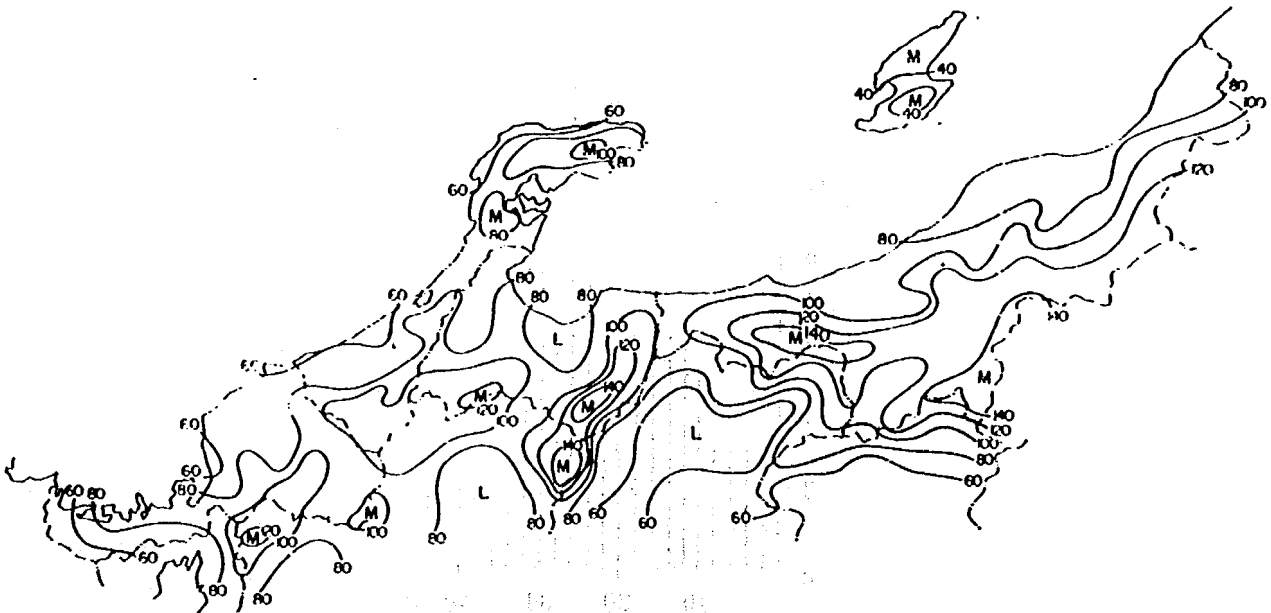


図 2 - 8 年間最大積雪深分布 (再現期間50年)

(文献10による)

### 3. 国道 18 号沿線の降雪分布

国道 18 号線は直江津からほぼ南の方角で長野の方に向かって延びているため、18号線沿いの降雪分布は南北の降雪分布プロフィールに近いものとなる。

図 2 - 11 は路線上の最大日降雪量を直江津からの距離別出現回数で示したものである。これによる

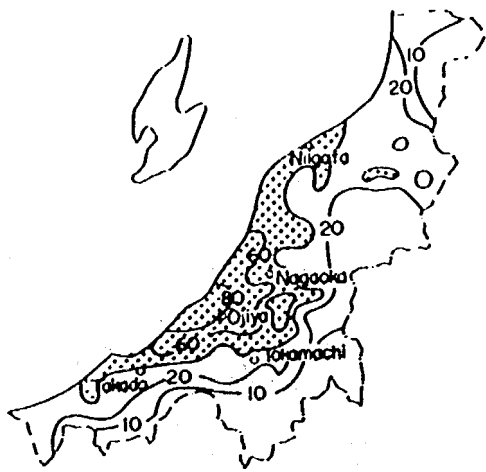


図 2 - 9 里雪型 (1956年1月9日)  
(文献10による)

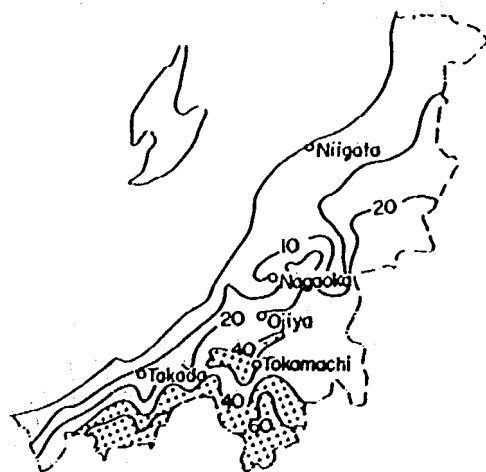


図 2 - 10 山雪型 (1953年12月31日)  
(文献10による)

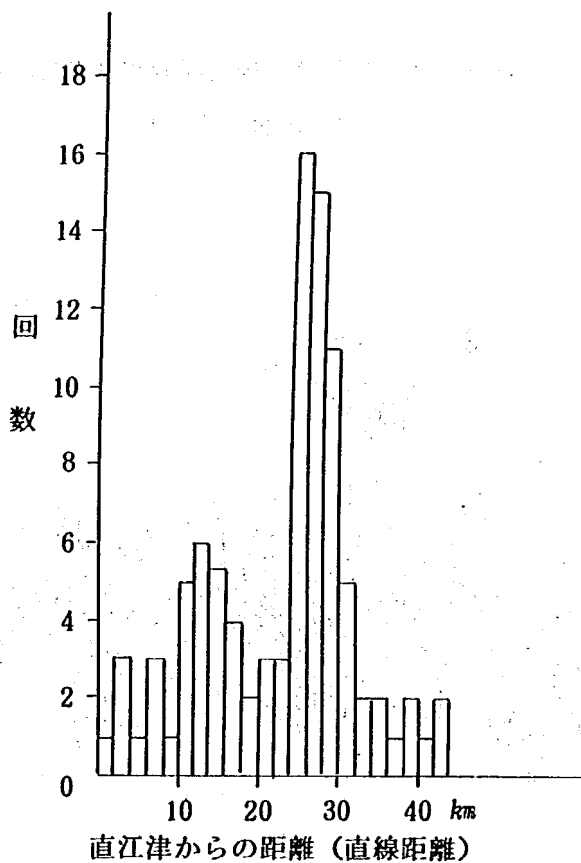


図 2 - 11 路線上の最大降雪が伴う位置と出現回数

と直江津から24~26 km付近に降雪のピークが現われることが多い。この地区は三本木と関山付近にあたる。第2のピークが12~16 kmの高田と新井の中間付近となっている。また図 2 - 12 に、この路線での最大降雪の発生位置と、その深さについて示したものであるが、かなりバラツキが多くなっている。つまり最大降雪を伴うのは気圧配置によって、その位置が大きく異なるものと言えよう。

図 2 - 13 は、路線上で最大降雪の出現回数を示したものである。

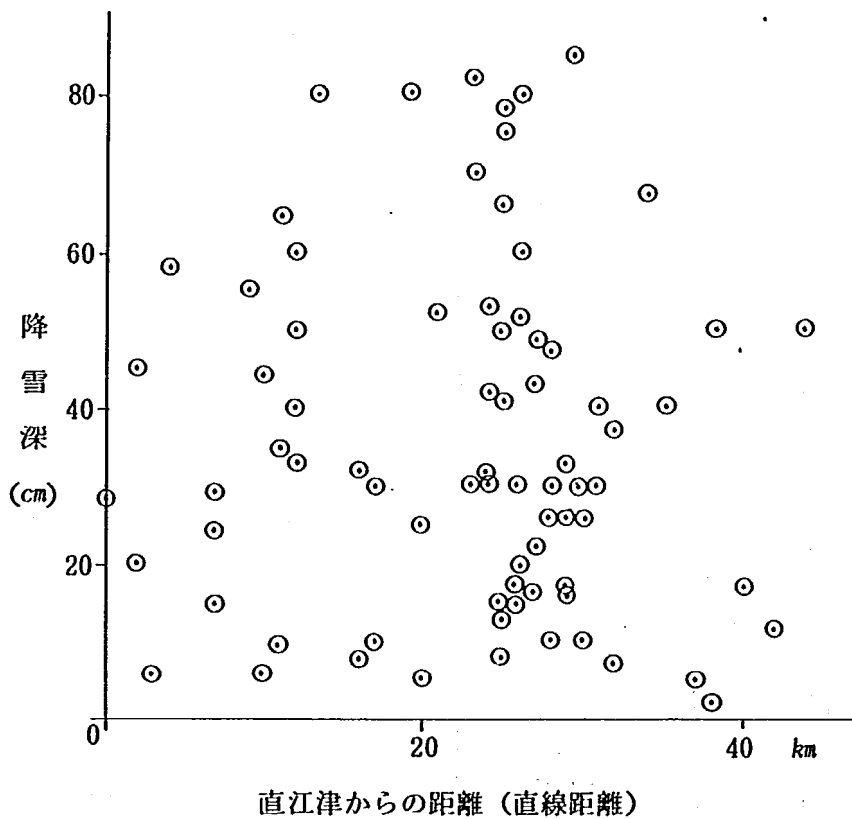


図2-12 最大降雪の発生位置とその深さの関係

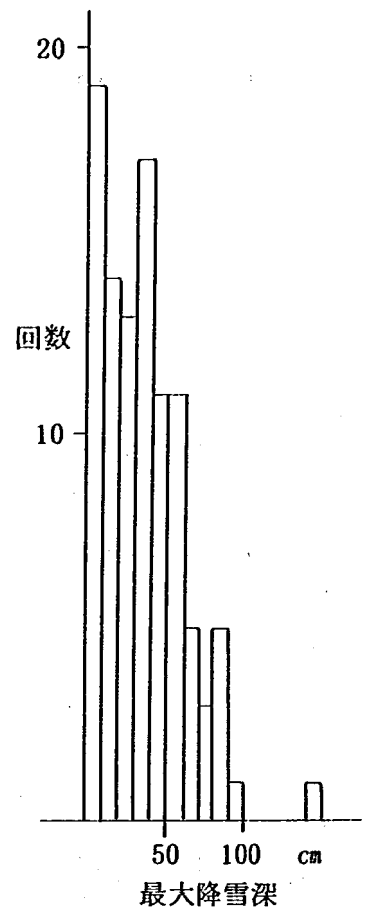


図2-13 路線上の最大降雪出現回数

(自昭和46年～至昭和51年)

このような現状から国道18号線沿いの降雪分布状況についてまとめると表2-2のように6つに区分することができる。(調査方法等については資料-2, 6, 7参照されたい)

表2-2 国道18号線の降雪分布パターン

分布型	基準
I	降雪のピークが信濃町付近
II	降雪のピークが信濃町と関山付近
III	降雪のピークが妙高々原付近
IV	降雪のピークが二本木 — 関山付近
V	降雪のピークが関山と高田付近
VI	降雪のピークが高田付近

降雪の発生位置とその深さの関係 (図2-12参照)

(資料-2, 6, 7参照されたい)

また、分布型による代表例は図2-14に示した。この表2-2からVIが里雪型、Vが中間型(または里雪型)、I~IVが山雪型となる。

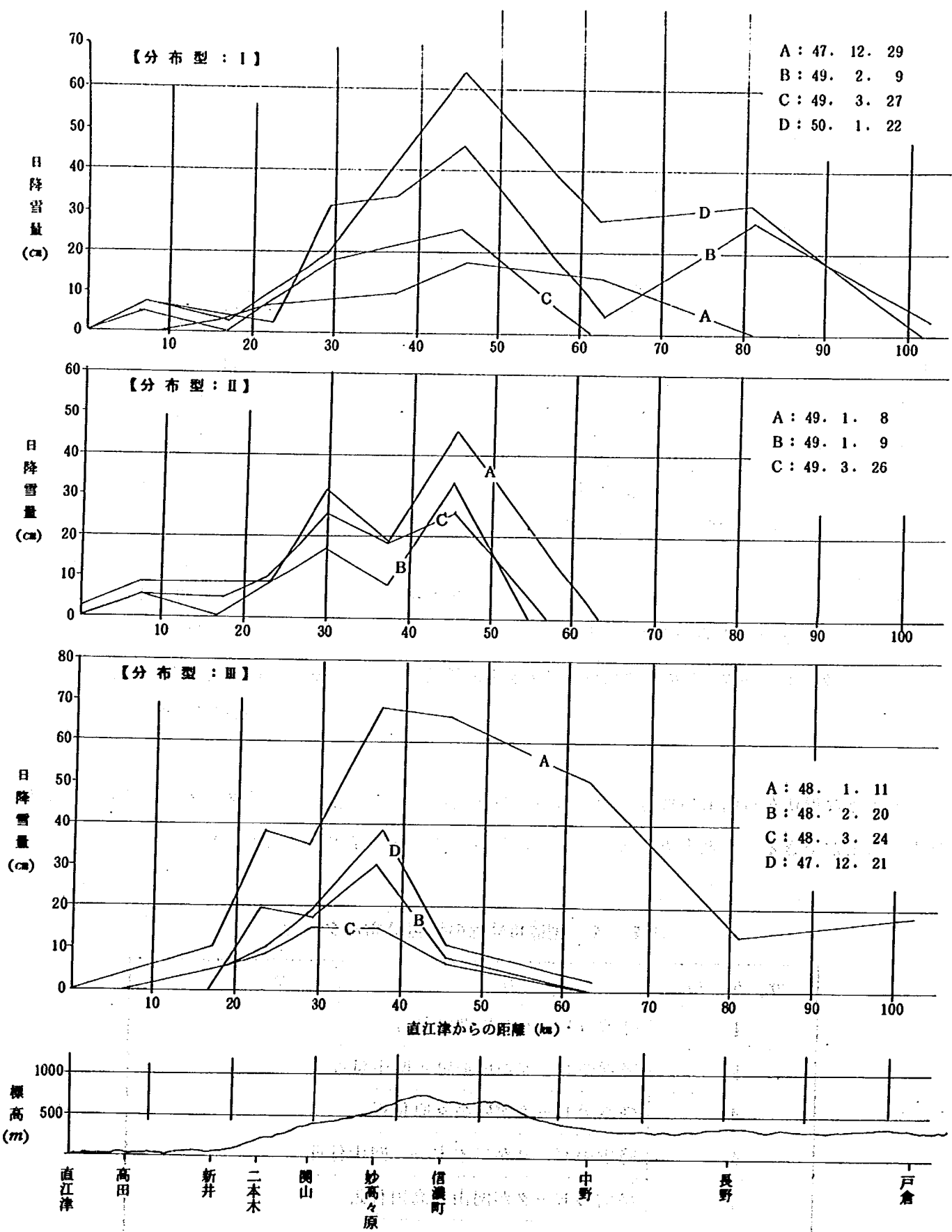


図2-14-(1) 国道18号線の降雪分布型

(A, B……は出現年、月、日を示す)

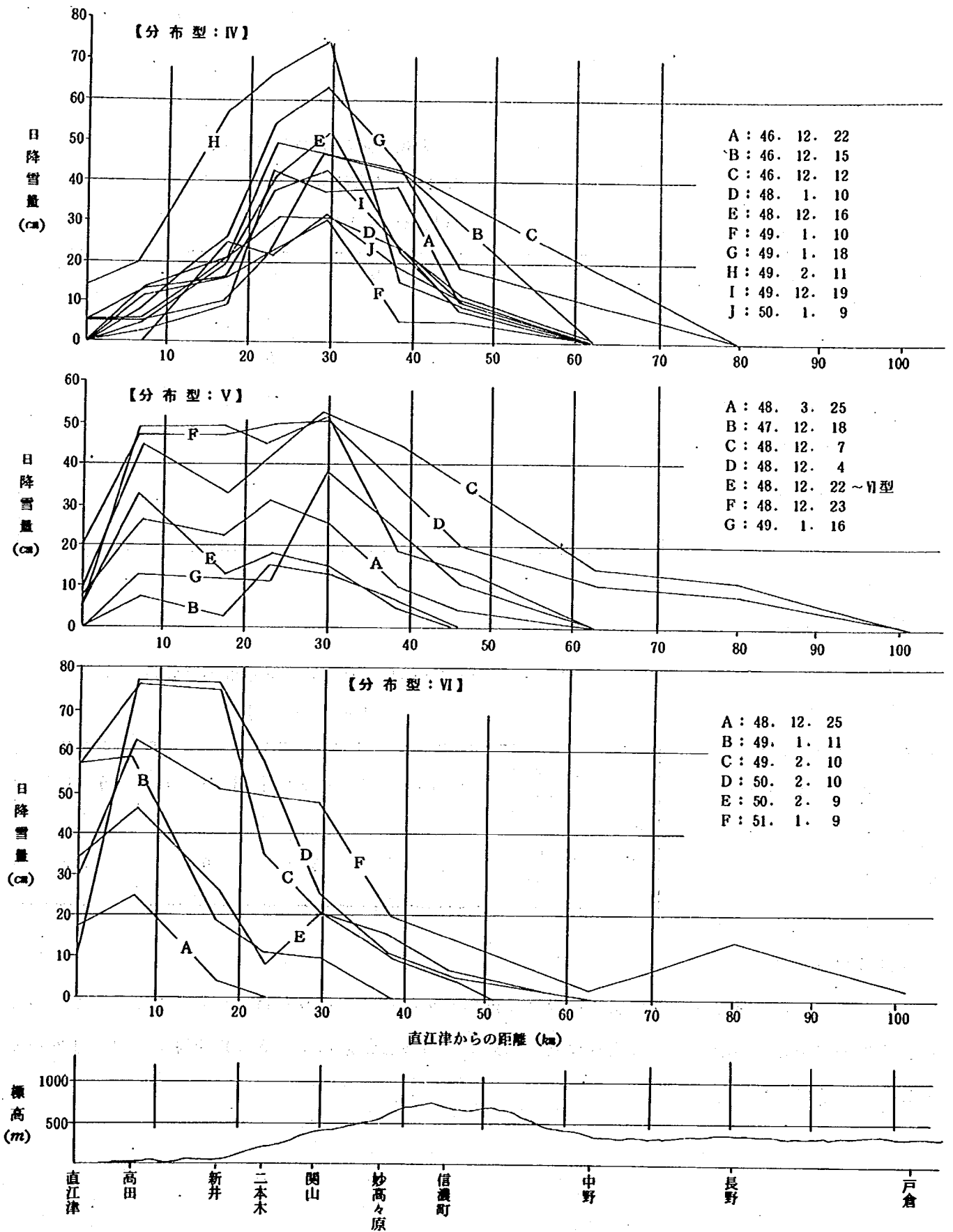


図2-14-(2) 国道18号線の降雪分布型  
(A, B……は出現年、月、日を示す)

図2-14等から国道18号線上における降雪分布型と擾乱型との関係についてまとめたのが表2-3である。これによると大部分がFc（発達した季節風型）となっているが、同じFc型でも降雪分布はかなり異なっている。

このため局地的に、かつ詳細な降雪分布の情報を必要とする道路管理上の立場からは、さらに気圧配置型を区分する必要があるものと考えられる。

表2-3 高田の時間降水量が5cm以上あった日  
および、その翌日の降雪分布型と擾乱型  
(自昭和46年12月～至昭和51年3月)

分布型 \ 擾乱型	Fa	Fb	Fc	Fd	その他
I			4	1	2
II	1		5	2	3
III			4	1	1
IV	2		23	2	2
V			13	2	2
VI	1		7	3	2

次に、昭和47年から51年までの5年間について高田測候所の観測値を時刻別による冬期降水の種類別発生回数および強度別の発生回数を表2-4, 5, 6に示した。

表2-7 高田地区における1時間降雪量出現分布 (cm)  
(12月～3月)

これらの表によると冬期降水の時刻との関係、つまり降水の日変化についてはあまり明瞭でないが、月別に見ると12月、3月は雪より雨が多く、2月は雪が多くなっている。

降雪量 (cm)	0 ~ 0.5	1 ~ 2.5	3 ~ 4.5	5 以上
出現頻度 (%)	65	23	0.7	0.3

一方、高田の時間降雪量の出現頻度について表2-5からまとめると表2-7のようになる。つまり、高田地区では1時間当りの降雪量は0.5cm以下は65%と非常に多く5cm以上降るのは0.3%程度となっている。



表 2 - 4 高田における降水現象の出現回数 (自昭和47年~至昭和51年冬期)

【12月】

時刻 降水現象	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備 考
雨	44	43	43	42	47	49	49	46	42	40	43	44	50	45	49	51	54	55	52	49	47	47	41	48	
雪	28	25	27	29	27	32	30	28	36	31	27	24	25	27	23	25	26	23	23	22	22	25	27	23	
みぞれ	10	6	8	8	7	6	8	10	7	7	10	12	10	8	11	12	6	12	10	12	12	9	11	7	
あられ	5	5	6	7	9	6	7	5	5	7	2	1	2	3	3	2	1	1	2	1	2	3	4	5	
凍 雨		1			1			1				1					1		1		2			1	
計	87	80	84	86	91	93	94	90	90	85	82	82	87	83	86	90	88	91	88	84	85	84	83	84	

【1月】

時刻 降水現象	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備 考
雨	32	32	31	26	27	27	26	25	26	23	26	28	32	32	35	35	36	39	44	43	37	28	34	29	
雪	51	50	52	55	55	55	59	56	63	63	62	58	57	55	56	56	58	54	48	47	51	57	56	54	
みぞれ	3	3	3	5	4	3	2	4	2	5	3	2	1	4	5	7	4	1	4	3	3	5	3	4	
あられ		3	4	5	4	2		3	3			3	3	3		2	2	2	3	5	3	3	2	3	
凍 雨	1			1						1				1			1							1	
計	87	88	90	92	90	87	87	88	94	92	91	91	93	95	96	100	101	96	91	98	94	93	95	91	

【2月】

時刻 降水現象	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備 考
雨	30	25	21	21	23	23	25	22	25	28	26	28	27	29	29	30	32	33	33	34	36	35	32	34	
雪	42	48	47	49	49	49	44	51	53	49	44	48	48	50	47	49	46	42	44	42	41	42	38	42	
みぞれ	1		1			2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	3	3	4	4	4	3	4	2	
あられ	4	5	4	2													2	3	1	1	3	3	2	2	
凍 雨															1								1		
計	77	78	73	72	72	74	70	74	79	78	72	78	77	81	78	82	83	81	82	81	84	83	77	80	

【3月】

時刻 降水現象	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備 考
雨	32	28	33	25	31	35	33	34	31	34	35	40	34	37	39	38	39	41	42	37	37	34	37	35	
雪	31	31	34	37	35	34	39	40	41	33	33	31	30	28	34	26	22	22	24	23	26	30	26	28	
みぞれ	4	6	5	3	2	1	3	4	7	5	3		2	1	3	4	6	5	6	5	6	8	5	6	
あられ	3	2	1	2	4	1	3				2	1	1			1	1	1	1	1	1	1	2	1	
凍 雨																		1			1				
計	70	67	73	67	72	71	78	78	79	72	73	72	67	66	66	69	68	70	73	66	71	73	70	70	

【年降雪期：12~3月】

時刻 降水現象	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備 考
雨	138	128	128	114	128	134	133	127	124	125	130	140	143	143	152	154	161	168	171	163	157	144	144	146	
雪	152	154	160	170	166	170	172	175	193	176	166	161	160	160	150	156	152	141	139	134	140	154	147	147	
みぞれ	18	15	17	16	13	12	14	19	17	18	18	16	15	15	20	26	19	21	24	24	25	26	22	19	
あられ	12	15	15	16	17	9	10	8	8	7	4	5	6	6	3	5	6	7	7	8	9	10	10	11	
凍 雨	1	1		1	1			1		1		1		1	1		2	1	1		3		1	2	
計	321	313	320	317	325	325	329	330	342	327	318	323	324	325	326	341	340	338	342	329	334	334	324	325	

表 2 - 5 高田における降雪の出現回数

降雪量区分	時刻 降水期区分	時刻																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.0~0.5	昭和47年	19	18	21	21	21	12	16	16	20	11	17	14	12	15	12	15	16	14	15	15	18	16	14	15
	48年	20	16	20	18	15	15	21	26	26	21	21	19	18	19	12	14	12	16	14	14	12	17	13	16
	49年	23	26	30	28	30	33	34	37	40	29	40	37	31	36	28	28	35	29	27	32	33	38	31	26
	50年	17	23	20	22	24	27	26	26	26	25	22	22	25	18	23	25	19	17	18	21	19	16	19	16
	51年	24	19	17	22	20	19	20	19	20	26	24	18	19	17	16	18	16	13	13	12	16	22	22	20
	計	103	102	98	111	110	106	117	124	132	122	104	110	105	106	91	100	98	89	87	94	98	109	99	93
1.0~2.5	昭和47年	2	4	6	6	6	12	6	8	6	8	5	4	8	5	4	3	5	7	2	3	1	4	6	9
	48年	2	8	5	10	9	10	7	4	8	6	3	7	7	5	8	4	5	1	4	2	4	3	3	1
	49年	10	12	8	9	4	6	10	7	11	10	6	10	12	10	14	10	9	9	12	7	7	6	11	7
	50年	12	9	8	7	7	7	7	9	8	8	5	7	6	7	10	9	11	8	9	9	9	8	6	11
	51年	6	9	7	6	9	7	11	12	12	4	8	9	7	9	11	10	11	9	9	12	5	10	10	11
	計	32	42	34	38	35	42	41	40	45	36	27	37	40	36	47	36	42	34	38	33	26	31	36	39
3.0~4.5	昭和47年	3	1	1	1	1	2	1		2	3	2	1		1	1	2		2	2	2	1			
	48年	4	3	3	3	2	2	3	2	1	3	3		1	2	1	4	1	1		1	3	2	2	4
	49年	2	1	2	3	5	5		2	3	4	2	3	2	2	3	8	3	4	2		2	3	2	4
	50年	2	2	3	4	6	3	5	1	3	1	5	5	4	3	3	1	1	4	2	1	2	2	2	
	51年		1	3	2	1	4	3	1	2	4	1	1	3	4	1	1	1	4	3	1	4	2	3	1
	計	11	8	12	13	15	16	12	6	11	15	13	10	10	12	9	16	6	16	9	5	12	9	9	9
5.0以上	昭和47年		1	2		1					1			2	1		1	2				1		1	
	48年	2		1	1	1	2		1	1										1			1	1	2
	49年	3	1	1	3	3		2	2	1		1	2		2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	
	50年			1	3		2		1	1	2	1	1	2	3	1	1	2	1			1	2		
	51年	1		1	1	1	2		1	2			1	1			1	1	1	2	1	1	2		1
	計	6	2	6	8	6	6	2	5	5	3	2	4	5	6	3	4	6	3	4	2	4	5	3	6
合計		152	154	160	170	166	170	172	175	193	176	166	161	160	160	150	156	152	141	139	134	140	154	147	147
年平均		30.4	30.8	32.0	34.0	33.2	34.0	34.4	35.0	38.6	35.2	33.2	32.2	32.0	32.0	30.0	31.2	30.4	28.2	27.8	26.8	28.0	30.8	29.4	29.4

表 2 - 6 高田におけるあられの出現回数

降雪量区分	時刻 降水期区分	時刻																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.0~0.5	昭和47年		1	1	1	1		2	1	1		1	1	1			2	2	1	1	1	1	1		
	48年	3	1	2	2	3	2	2	2		1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1		1	3	3
	49年	1	3	2	4	4	3	2	1	1	1	1			1			1	1	2	2	1	1	1	3
	50年	2	2	2	3	2	1		1	1				1				2	2	2	1	2	4	3	1
	51年	2	2	3	4	2	1	3	1	2	1					1	1		1	1		1	2		
	計	8	9	10	14	12	8	9	6	5	3	2	4	3	2	3	5	5	6	5	5	6	9	7	7
1.0~2.5	昭和47年	1			1	1					1										1			1	
	48年	1	1							2	1	1		2	1						1	1		1	
	49年		2	1		1		1	1									1		1					2
	50年	1		1								1		1	2						1		1	1	1
	51年		2			2	2		1		1												1		
	計	3	5	2	1	4	2	1	2	2	3	2		3	3				1		1	3	2	1	3
3.0~4.5	昭和47年			1							1														1
	48年																								
	49年	1											1												
	50年					1										1							1		
	51年			2	1						1									1					
	計	1		3	1	1					1	1		1	1				1				1		1
5.0以上	昭和47年		1																						
	48年																								
	49年																								
	50年																								
	51年																								
	計		1																						
合計		12	15	15	16	17	9	10	8	8	7	4	5	6	6	3	5	6	7	7	8	9	10	10	11
年平均		2.4	3.0	3.0	3.2	3.4	1.8	2.0	1.6	1.6	1.4	0.8	1.0	1.2	1.2	0.6	1.0	1.2	1.4	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0	2.2

## 第3章 降雪予測手法とその可能性

### 1. 中期予測の概要

ここで言う中期予測とは、今後3時間から24時間位までの降雪状況を予測することである。従来、気象庁の関係ではルーチンの予報として1日単位程度で新潟県下一円とか、山間部、平野部、あるいは上越、中越、下越地方位の時間、空間スケールでおおよその降雪量などを予報するのが普通である。

これは気象庁の予報が、特定の点および地区の道路、港湾などのスポットを対象にしていなかったためである。また、時間、空間々隔をせばめると精度の低下が避けられないため、技術的な困難性が存在するためでもある。たとえば、予報作業指針（その7）—気象庁予報部（1973）—に“対象地域が小さくなるほど、また対象時間が短いほどそれに対する予報は困難となる”とある。しかし、道路を管理する場合には、路線上で少なくとも10kmおき位に数時間から1日単位の降雪量の予測が必要となる。たとえば、除雪要員の帰宅休養の可否について考えてみると、その日の夕方に明朝までの除雪を必要とするかどうか、つまり降雪があるか否かの予測が必要となる。また、降雪が予想された場合、路線上のどの部分にどの程度の降雪があるかがわかれば事前に除雪機械や人員を最も効果的に配分することも可能となろう。

以上のような事情により、気象庁の発表する予報は元来道路管理を目的としたものでないこともあって、道路の降雪管理にはそれ専用の予測方式の開発が必要と言えよう。

### 2. 中期予測の現状とその可能性

気象庁関係では中期予測法の研究開発の例はあまり多くない。大部分の降雪予測方法は天気図による総観的方法を主体とし、それに類似法やいくつかのワークシートや散布図を加えて1日から半旬（5日間）位の降雪量を求めるものである。気象庁の予報作業指針（その7）中には8時間降雪量を使って山雪、里雪の判別をする例が1例挙げられてはいるが、もちろんこの程度のもものでは道路管理上あまり有効とは言えない。各気象台でノモグラムやワークシートを作って使用している例もあるが中期予測に属するものは少なく、また、重相関回帰式による降雪予測の例もあるが、これはあるエリアについての日降雪量の予測式である。中期予測の困難である点は空間、時間スケールが小さくなるに従って予測に使用するデータ（例えば輪島500ミリバール高度）とその局地の降雪量との相関が低

下してしまうことによる。また、力学的モデルを作ることも困難であり、短期予測のように現況を外挿することもあまり良い結果をもたらさない（現在の降雪量と今後の降雪量間にいくらか関係がみられるのは3時間後程度までである）。

降雪量の中期予測は、このようになかなか困難な点が多いが、実用になる程度の予測方式を作成できる可能性は多変量解析法を適用することではないかと考えられる。すなわち、個々では相関係数のあまり大きくない要素（0.4～0.6位）を集め、これらの要素を一体として総合的に予測値の精度を向上させる方法をとることである。

元来、自然現象は非常に多くの要素、原因が複雑にからみ合った結果の産物であり、たとえば北陸地方で豪雪の発生する条件として輪島上空の500ミリバールの気温が $-35^{\circ}\text{C}$ 以下であると言った予報則は一般によく知られているが、輪島の500ミリバール気温と藤沢の降雪量（3時間～24時間）との相関係数は0.3～0.4位でしかない（つまり他の多くの要素を考えなくてはならない）。その他の予報則も大同小異であり、これらの要素の1つや2つをそのまま使用したり、紙面上にノモグラムとして曲線を引いたりしても、それだけではあまり精度の高い予測式は作成できない。理論的には要素を増加して行けば、それらを一体とした精度（重相関係数）は次第に向上するが、元来人間の思考能力は奥野が多変量解析法の中で述べているように1～2変量的にしか働かない。そのため中期予測には電子計算機を使用してデータを多変量的に処理し、結果を人間の理解し得る形で提示することが必須となる。予測のために使用されている多変量解析法の代表的なものとしては、重相関回帰と判別関数がある。重相関回帰は説明変数（降雪予測の例では気温、風、etc）を一次式として結合し、目的変数を量的に求めようとするものであり、判別関数は同じく一次式でも目的変数はカテゴリー（雪か雨かとか）であり、ある日またはある時刻に得られたデータ群がいずれのカテゴリーに属するかを判別するものである。

### 3. 多変量解析法の概要

計測方法とデータの種類と処理方法

多変量解析方法について述べる前に、ここでは、これに使用される変数（または因子、気象要素）がどのような尺度で測られているかについて説明する。ここで言う尺度は下記のような種類がある。

- 1) 分類尺度 (nominal scale) これは、AであるかBであるかCであるかを定める尺度で、それぞれの間に存在する関係は同等関係だけである。天気や天気図型はこれに属する（気象通報式では天気を0.0から9.9までの100通りに分類している）。
- 2) 順序尺度 (ordinal scale) 同等関係のほか順序関係が定義される尺度で品質の等級などがこれに当り、気象

では快晴, 晴, 曇, 雨を 0, 1, 2, 3 の数字で表わしたとすれば、それは順序尺度になる。

### 3) 間隔尺度 (interval scale)

順序尺度の順位の間距離 (間隔) が定義された尺度のことで、普通の計測器で測る長さや重さ、気温 $^{\circ}\text{C}$ はこれに属する。

### 4) 比尺度 (ratio scale)

間隔尺度のなかでとくに原点 (絶対零) をもつものを言い、または差以外に割算が意味を持つ尺度と言っても良い (摂氏温度は比尺度ではない)。

これらの尺度を目的変数または説明変数とする多変量解析法による予測法としては表 3-1 のようなものがある。

表 3-1 予測に用いるための多変量解析法の分類

目的変数 説明変数	観測可能		仮説的	
	分類尺度	間隔尺度	分類尺度	間隔尺度
分類尺度	多重分割表	分散分析法	クラスター分析	潜在構造解析法
間隔尺度	判別関数表	重回帰分析法	クラスター分析	因子分析法

#### 1) 重回帰分析法 (Multiple Regression)

説明変数も目的変数もともに間隔尺度で測られているが説明変数の一部に分類尺度が入って来ても計算は全く同様に行える。

#### 2) 分散分析法 (Analysis of Variance)

モデルは重回帰と同じであるが説明変数がすべて分類尺度である (たとえば、実験計画法モデルでは各説明変数はある因子が、ある水準をとるときとし、そうでないときには 0 で与えられる)。

#### 3) 判別関数法 (Discriminant Function)

目的変数の方を分類尺度とするものである。たとえば良品と不良品、病名、天気の時曇などがある。この方法は、P 個の説明変数のもつ情報にもとづいてそのサンプルがどの範囲に属するかを判別しようとするものである。

#### 4) 多重分割法 (Multiple Contingency Table)

説明変数、目的変数の双方とも分類尺度で与えられる場合、これを分割表にして予測に利用する。

#### 5) 因子分析法 (Factor Analysis)

この方法は目的変数が仮説明 ( $y = a_0 + a_1 x_1 + \dots$ ) 等において  $y$  のデータが皆無の場合である。

#### 6) 潜在構造解析法 (Latent Structure Analysis)

因子分析に比べて説明変数が各項目について Yes と No によって与えられる点が異なる。

#### 7) クラスタ分析 (Cluster Analysis)

判別関数に似ているが判別すべきグループがあらかじめ与えられておらず、 $P$  個の特性を持つ  $n$  個のサンプルをいくつかの方式で定義したサンプル間の類似性にもとづいて、いくつかの集落 (cluster) に分類する方法である。これは、いわば似たもの同志を集めるので集落の大きさや数は最初にも分からない。つまり、目的変数は観測不能の分類尺度でもある。

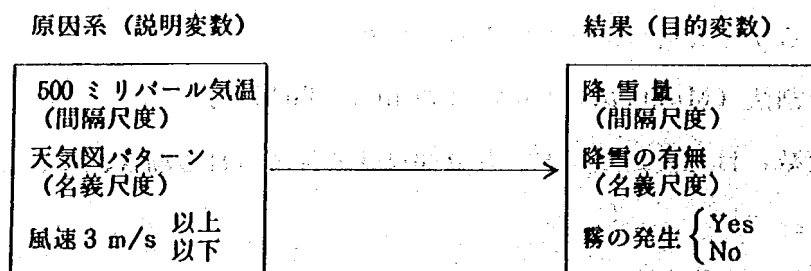
道路管理に必要とする気象予測情報を得るためには、前記の各方法のうち重回帰分析と判別関数が便利である。前者は降雪量や最低気温などの量的情報を得ることができるし、判別関数では降雪の有無や霧、凍結などの発生可能性を特定の地点毎に知ることができる。

分割表による予測もまた道路サイドにおいては有効である。たとえば、霧の発生予測において風速  $3 \text{ m/s}$  以上かどうかに対して Yes または No, 気温と露点温度の差が  $1^\circ\text{C}$  以上かどうかについて Yes または No, 等を繰返して行けば良いことになり、予測実施にあたり手間のかかる計算を必要としない点は優れている。

これに対して、回帰や判別は説明変数が 2 ~ 3 個位までならば手計算も可能であるが、10 個位の説明変数を持つ式になるとプログラム電卓位ではメモリーがオーバーするため少なくともマイクロコンピュータ程度のものは必要となる。

## 4. 重回帰分析

本論に入る前に説明変数と目的変数について説明する。下表のように自然現象、人為的現象を問わず因果関係は普遍的に成立するはずである。しかし、一つの結果を生じる原因は単一でないことが多く、さらに原因同志にもまた因果関係が内在しているはずである。



#### 4-1 重回帰分析とは何か

P個の説明変数  $x_1, x_2, \dots, x_p$  に関する知識にもとづいて1つ以上 ( $q$ 個)の目的変数  $y_1, y_2, \dots, y_q$  に関する情報を得るための研究はあらゆる分野〔社会科学を含めて、たとえば Fisher の物価についての古典的な式  $P = (MV + M_1 V_1) / T$  など〕にわたって試みられ多くの数式モデルが作られて来た。これらの数式は限定された場では物理学的法則などにより導くことができることもあり、極端に単純化したモデルにより実験式が作られたこともある。

しかし、多くの場合複雑なシステムの input としての説明変数と out put としての目的変数の間に正確なモデルを設定することは不可能であるため回帰分析の方法で統計的モデルを作成することが多い。

#### 4-2 重回帰式の求め方

目的変数を1個にしてこれを  $y$  とすれば、 $y$  は下式のように書くことができる。

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p) + \epsilon' \dots\dots\dots (1)$$

ここで、通常関数  $f(x_1, x_2, \dots, x_p)$  の形は不明であるがこれを  $x_1, x_2, \dots, x_p$  の平均値  $m_1, m_2, \dots, m_p$  の回りにテーラー展開し、その一次の項のみを取ると、

$$y = my + \sum_{i=1}^p \frac{\partial f}{\partial x_i} \Big|_{m_1, m_2, \dots, m_p} (x_i - m_i) + \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

と書くことができ、

$$\beta_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Big|_{x_1 = m_1, x_2 = m_2, \dots, x_p = m_p} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta_0 = my - \sum_{i=1}^p \beta_i m_i \dots\dots\dots (4)$$

とすると、 $y$  は次のようになる。

$$y = my + \beta_1 (x_1 - m_1) + \beta_2 (x_2 - m_2) + \dots\dots\dots + \beta_p (x_p - m_p) + \epsilon \dots\dots (5)$$

(5)式を(線形)重回帰モデルと呼ぶ。この式は未知パラメーター  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$  に関して一次式であれば良いので  $x$  について2次以上の変数があっても差支えない。たとえば、 $x_1^2 \rightarrow x_2$  を  $\log x_n = x_{n+1}$  のようにおきかえられるからである。

なお、これを使用する上でデータ数を  $n$  とし、説明変数を  $P$  とすれば  $P = n - 1$  のとき重相関係数 = 1、誤差 0 となるため重回帰分析の実施にあたっては必ず  $n > P + 1$  でなくてはならず、実際には  $n - P - 1$  は10以上必要でありできれば20以上あることが望ましいとされている。また、この時の  $n - P - 1$  は回帰からの自由度と呼ばれている。これは、データ総数から推定したパラメータ

一の数を差し引くと言う原則により、データ数が  $n$ 、説明変数が  $P$  個であれば  $x_1, \dots, x_p$  のそれぞれの係数  $b_1, \dots, b_p$  の  $P$  個と定数  $b_0$  の合計  $P + 1$  個のパラメーターを推定するためである。また、使用した変数の数  $P$  を回帰による自由度と言う。

#### 4-3 偏回帰係数について

重相関係数は説明変数の一組 ( $x_1, x_2, \dots, x_p$ ) がひとかたまりとなれば目的変数  $y$  をどこまで説明できるかと言うことであって個々の説明変数の係数 (偏回帰係数) が目的変数に対する寄与度を示すものではない。たとえば、あるガラス加工工程において生産量  $y$  を材料  $x_1$ 、工数  $x_2$  で推定する重回帰式を作成したところ

$$y = -2.42 + 1.47x_1 - 0.89x_2, \dots\dots\dots(6)$$

となり、 $x_2$  (工数) の係数がマイナスとなっているため一見工数を減少させると生産量が増加するように見える。しかし、これは " $y$  の  $x_1, x_2$  に対する重回帰式における  $x_2$  の偏回帰係数  $b_2$  は  $y$  および  $x_2$  から  $x_1$  の影響を除去したのちにおける  $y$  の  $x_2$  に対する偏回帰係数  $b_2$  に等しい" ためである。したがって、ガラス加工の式において常に良品のみが生産されて居れば、 $y = x_1$  になってしまう訳である。この場合不良品を生産するのに要した工数は良品を生産するのに要した工数より大となることを  $x_2$  のマイナスの偏回帰係数は示している。

気象予測式にも同様なことが起り得る。最近の例で、霧の予測式で15時から24時の間の露点温度の低下を説明変数としたものの霧発生に対する係数が正となり、露点温度が低下するほど霧が発生し易いような印象を与え、一般には露点温度が低下すると空気中の水蒸気量が減少し、霧が発生し難くなると考えられ常識に反している。しかし、これは露点温度の低下の小さい夜は気温の低下も小さく空気中の水蒸気が飽和に達しないため霧の発生はなかったものとするのが妥当であり、個々の偏回帰係数を独立に取り上げて目的変数との関係を考える場合には時として誤まった結論に到達する恐れがあることの一例である。

また、偏回帰係数の大小を以って目的変数に対する寄与の度合を比較してはならない。何故ならば、説明変数として気圧、気温、風速などの単位はそれぞれ異なったものが1組として使われるのが通例である。たとえば、500ミリバール高度と気温は単位が全く異なるものであり、気温の係数が高度の係数より大であるとしても気温の寄与率がより大であることにはならない。

#### 4-4 分類尺度による説明変数

この場合の変数を層別因子と呼び、層ごとの回帰式を作るかダミー変数を使用するかのいずれかによる。たとえば、風速3%以上のときの霧予測式と3%以下のときの霧予測式の2つを作るか、または風速3%以上を1、3%以下を0と言うようにダミー変数を使用するものである。



#### 4-5 説明変数の選択

20も30もの説明変数を含む回帰式はあまり実用的とはいえない、現場で役に立つ回帰式はたかだか4~5個の説明変数を含むものであるとされている(100個以上の説明変数を含む降雪予測回帰式の例もある)。また、多くの場合入手できるすべての説明変数を使用する必要はなく、説明変数間に相関の高いものも存在するので、どの変数を採用すれば良いかと言うことが問題となる。この変数選択の基準として次のようなものが考えられる。

- (1)  $Y$ の予測に役立つこと。
- (2) 入手(または観測、測定)が容易であること。
- (3) 説明変数間の相関はなるべく小さいこと。

以上の3点について(2)は別として、(1)と(3)の基準により電子計算機を利用して逐次変数の選択を実施するステップワイスリグレッション法が広く利用されている。

### 5. 判別関数による降雪予測

気象予測には、今夜雪が降るかどう、路面が凍結するかしないかなど目的変数が名義尺度であるものが多い。このような予測には判別関数を利用するのが有効と考えられる。

在来型の天気予報ではまず天気図を画き、出来上った天気図で今夜雪を降らせるタイプに属するか否かを判断する分割的思考過程にもとづいて予報を作成する方法が一般的であり、このプロセスがワークシートの形で作られているか、または、予報者の知識、経験とか、勘の総合で実施されると言うことはあるが本質的には同一のものである。

判別関数は目的変数が分類尺度で与えられた場合で、これは2つ以上の群(母集団)から取り出した多変量のデータにもとづいて所属不明の新しいサンプルを、そのいずれかの群に属するかを判別しようとするものである。

たとえば、その一例として1変数による判別(病名の診断)について示すと、検査の種類を1( $P=1$ )、この検査結果を $x$ とし、患者を $G_1$ または $G_2$ のいずれの病気であるかを診断することを試みた場合、この2つの病気の $x$ の平均値は $\mu^{(1)}$ 、 $\mu^{(2)}$ 分散は両群共通で $\sigma^2$ であるとする。新しい患者について検査結果 $x$ が得られるとこの $x$ から両群の母平均 $\mu^{(1)}$ 、 $\mu^{(2)}$ までの基準化された距離は、

$$D_1^2 = (x - \mu^{(1)})^2 / \sigma^2, \quad D_2^2 = (x - \mu^{(2)})^2 / \sigma^2 \dots\dots\dots (7)$$

でもし、 $D_1^2 > D_2^2$  ならば  $x \in G_2$

$D_1^2 < D_2^2$  ならば  $x \in G_1$

と診断されるものである。

5-1 マハラノビス (汎) 距離の考え方

平均  $\mu$ , 分散  $\sigma^2$  の正規母集団  $N(\mu, \sigma^2)$  から大きさ 1 のサンプルをとり、その値が  $x$  であったとする、このときこのサンプルと母集団の重心 (母平均) との基準化された距離は、

$$u = (x - \mu) / \sigma \dots\dots\dots(8)$$

とおくと、その絶対値  $|u|$  で定義される。この  $u$  は平均 0, 分散 1 の標準正規分布  $N(0, 1)$  にしたがうので、いま一つのサンプル  $x_0$  が与えられた  $\mu, \sigma^2$  を持つ  $N(\mu, \sigma^2)$  に属するとすればその重心からある距離以上離れる確率は、

$$\Pr \left\{ |x - \mu| \geq |x_0 - \mu| \right\} = \Pr \left\{ |u| \geq |u_0| \right\} \dots\dots\dots(9)$$

但し、 $u_0 = (x_0 - \mu) / \sigma$

となる。今、あるサンプルについてその特性値  $x_1$  と  $x_2$  が測定され、この 2 変量間に 0.5 の正相関があるものとする (図 3-1, 2 参照)。

$x_1$  については  $N(50, 5^2)$ ,  $x_2$  は  $N(15, 3^2)$  として、

サンプル No 1 : ( $x_1 = 41, x_2 = 10$ )

サンプル No 2 : ( $x_1 = 59, x_2 = 10$ )

と言うデータが得られたものとする。

サンプル No 1 :

$$u_1 = (41 - 50) / 5 = -1.80 \quad \Pr \left\{ |u_1| > 1.80 \right\} = 0.072$$

$$u_2 = (10 - 15) / 3 = -1.67 \quad \Pr \left\{ |u_2| > 1.67 \right\} = 0.095$$

サンプル No 2 :

$$u_1 = (59 - 50) / 5 = 1.80 \quad \Pr \left\{ |u_1| > 1.80 \right\} = 0.072$$

$$u_2 = (10 - 15) / 3 = -1.67 \quad \Pr \left\{ |u_2| > 1.67 \right\} = 0.095$$

となり、2 つのサンプルの重心からの距離は等しいことになる。図 3-1 は  $x_1, x_2$  平面上の等確率長円を示しているが、サンプル No 1 は明らかに No 2 よりも高い確率長円上にある。また、 $x_1, x_2$  を基準化して  $u_1, u_2$  としてみると図 3-2 のようになり長円の主軸は  $45^\circ$  の方向を向

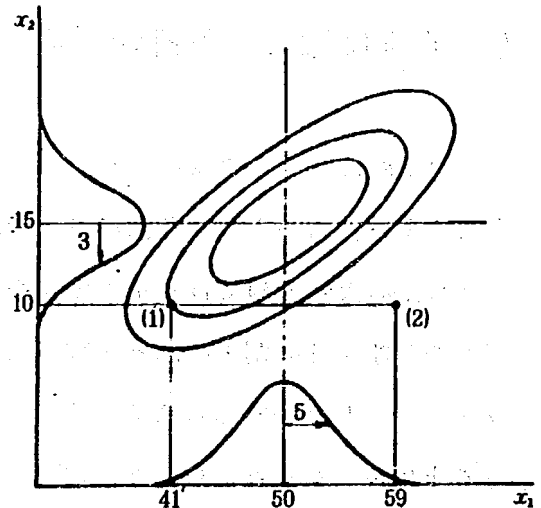


図 3-1  $x_1, x_2$  平面上での等確率長円

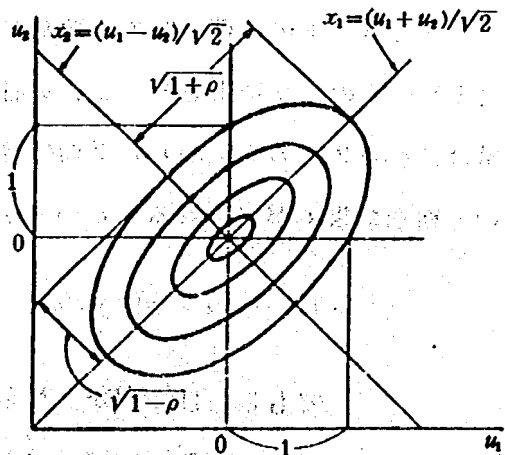


図 3-2  $u_1, u_2$  平面上での等確率長円

く。主成分分析法の理論により、この主軸の方向は第1主成分、第2主成分の方向に当たり、これらを  $Z_1, Z_2$  で表わすとそれぞれ

$$Z_1 = (u_1 + u_2)/\sqrt{2} \dots\dots\dots(10)$$

$$Z_2 = (u_1 - u_2)/\sqrt{2} \dots\dots\dots(11)$$

と書くことができる。

ここで、 $Z_1, Z_2$  を座標軸に用い、かつ、それぞれの2乗を分散で割って合成した値を点 ( $Z_1, Z_2$ ) と重心 (0, 0) との平方距離  $D^2$  と定義すると、

$$D^2 = d_1^2 + d_2^2 \dots\dots\dots(12)$$

$$d_1^2 = \frac{Z_1^2}{V(Z_1)}, \quad d_2^2 = \frac{Z_2^2}{V(Z_2)}$$

$V(Z_1), V(Z_2)$  は  $V_1, V_2$  の分散

この  $D$  をマハラノビス (汎) の距離 (Mahalanobis' Generalized distance) と呼ぶ。

### 5-2 多変量による多群の判別

原理的には  $x_1, x_2, \dots, x_p$  の作る  $P$  次元空間内であるサンプルに対する各群重心からのマハラノビス距離  $D_k^2$  ( $k=1, 2, \dots, g$ ;  $g$  は群の数) を求め、 $D_k^2$  の最少となる群にこのサンプルが属すると判定される、その都度マハラノビス距離を計算する代りにあらかじめ判別関数を作っておき、その正負、大小により判別することが一般に行なわれている。

今、 $g=3$  とすれば、判別関数  $Z$  は

$$Z_{1,2} = D_1^2 - D_2^2 = \sum_{i=1}^p (a_i^{(2)} - a_i^{(1)}) x_i + (C^{(1)} - C^{(2)}) \dots\dots\dots(13)$$

$$Z_{2,3} = D_2^2 - D_3^2 = \sum_{i=1}^p (a_i^{(3)} - a_i^{(2)}) x_i + (C^{(2)} - C^{(3)}) \dots\dots\dots(14)$$

$$Z_{3,1} = D_3^2 - D_1^2 = \sum_{i=1}^p (a_i^{(1)} - a_i^{(3)}) x_i + (C^{(3)} - C^{(1)}) \dots\dots\dots(15)$$

この判別関数の正負によってサンプルがいずれの群に属するかが定められる。すなわち、

$Z_{1,2} < 0$  ならば  $G_2$  に属しない。

$Z_{2,3} > 0$  ならば  $G_3$  に属しない。

(とこまでで  $G_1$  または  $G_2$  のどちらかに属することになる)。

$Z_{3,1} > 0$  ならば  $G_1$  に属しない。

故に、このサンプルは  $G_1$  に属する。

### 6-3 尤度法

マハラノビス汎距離による判別を別の表現にすると尤度（ユウド）の大小による判別になる。尤度とはある母集団から得られたサンプルがどのような可能性でその母集団に属しているかと言うことでそのサンプルが母集団の重心から離れるほど、つまりマハラノビス汎距離が大きくなるほど尤度は小さくなる。簡単にするため説明変数が2個で2群に判別しようとする場合は、図3-3に示すように $x, y$ 平面上で $P(x, y)$ なる頻度分布を持つ2つの山を考えると分かり易い。この2つの山は一部で重なっている。今ここで一組のデータ $x_0, y_0$ が与えられると、その点での高さはそれぞれ $L_1(x_0, y_0), L_2(x_0, y_0)$ になり、この図では $L_2 > L_1$ であるから当然 $x_0, y_0$ は集団 $g_2$ に属すると判別される。

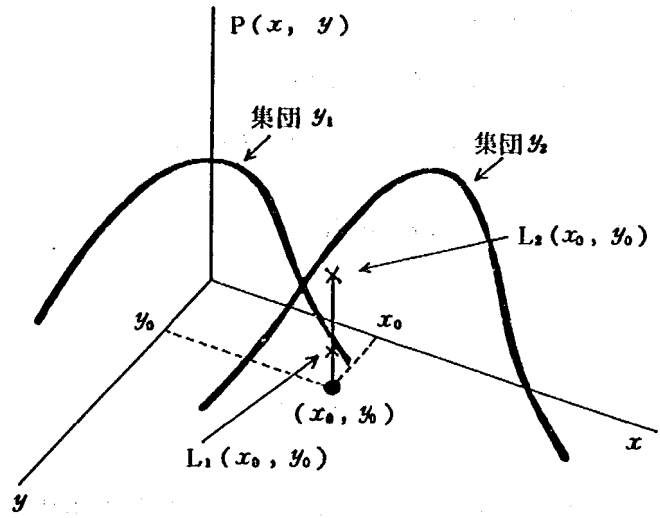


図3-3 二次元における尤度法

また $L_1$ と $L_2$ の差は当然 $x_0, y_0$ が集団 $g_2$ に属する確率となるはずである。これを二、三の数式を使用して説明すると次のようになる。

2つの変数 $x, y$ は2つの群1, 2において母平均 $\mu_{x1}, \mu_{y1}, \mu_{x2}, \mu_{y2}$ 、母分散 $\sigma_{x1}^2, \sigma_{y1}^2, \sigma_{x2}^2, \sigma_{y2}^2$ 、母相関係数 $\rho_{x1, y1}, \rho_{x2, y2}$ を持つ2変数正規分布

$$\frac{1}{2\pi\sigma_{x1}y_1\sqrt{1-\rho_{x1, y1}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2}D_1\right) \dots\dots\dots (16)$$

または、

$$\frac{1}{2\pi\sigma_{x2}y_2\sqrt{1-\rho_{x2, y2}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2}D_2\right) \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{1}{1-\rho_{xi, yi}^2} \left\{ \left(\frac{x-\mu_{xi}}{\sigma_{xi}}\right)^2 - 2\rho_{xi, yi} \frac{x-\mu_{xi}}{\sigma_{xi}} \cdot \frac{y-\mu_{yi}}{\sigma_{yi}} + \left(\frac{y-\mu_{yi}}{\sigma_{yi}}\right)^2 \right\} \dots\dots (18)$$

但し  $D_i = i = 1, 2$

従うものとする。

ここで $D$ は $x, y$ と母平均 $\mu_{xi}, \mu_{yi}$ とのマハラノビス汎距離を示すものである。あるケースのデータ $x = x_0, y = y_0$ が与えられた場合、このケースは $f_1(x_0, y_0) > f_2(x_0, y_0)$ ならば群1,  $f_1(x_0, y_0) < f_2(x_0, y_0)$ ならば群2に含まれるものと考えることができよう。この2群の判別は $f_1(x, y) = f_2(x, y)$ を境界となる訳で $\exp\left\{-\frac{1}{2}D_i\right\}$ は $\log$ が単調増加関数であるから両辺の対数をとってその差を比較してもよい。すなわち、

$$L_{12} = \log f_1(x, y) - \log f_2(x, y)$$

$$= -\frac{1}{2} (D_1 - D_2) - \log \frac{\sigma_{x_1}}{\sigma_{x_2}} - \log \frac{\sigma_{y_1}}{\sigma_{y_2}} - \frac{1}{2} \log \frac{1 - \rho_{x_1 y_1}}{1 - \rho_{x_2 y_2}} \dots\dots\dots (19)$$

両群の母分散と母相関係数が全く等しいものと仮定できるとき、つまり  $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2}$  ,  $\sigma_{y_1} = \sigma_{y_2}$  ,  $\rho_{x_1 y_1} = \rho_{x_2 y_2}$  ならば上式第2項以下は零となるので、

$$L_{12} = -\frac{1}{2} (D_1 - D_2) = ax + by + c \dots\dots\dots (20)$$

となる。この  $ax + by + c$  の正負である  $x$  ,  $y$  の値  $x_0$  ,  $y_0$  を持つ個体が1群, 2群のいずれに属するかが判別できる。この報告書では  $-\frac{1}{2} D_1$  ,  $\frac{1}{2} D_2$  について  $a_1 x + b_1 y + c_1$  と  $a_2 x + b_2 y + c_2$  を求めてあり、当然  $a = a_1 - a_2$  ,  $b = b_1 - b_2$  ,  $c = c_1 - c_2$  となっている。つまり  $f_1 = a_1 x + b_1 y + c_1$  と  $f_2 = a_2 x + b_2 y + c_2$  の2つの判別関数の大小によってこのサンプルは関数値の大きい方(尤度の大きい方で重心からのマハラノビス汎距離の小さい方)に属すると判別される訳である。

#### 5-4 判別確率(尤度比)

判別関数の正負, 大小によって機械的にあるケースがいずれの群に属するかのみを判別する方式は実際の場合において必ずしも有効ではなく、その群に属する確率を求めた方がよい場合が多い。たとえば群1, 又は群2のいずれかに属することが不明なケースの観測データ群  $x_1 = (x_1, \dots, x_p)$  が与えられているとき、これが群1に属する確率(尤度)は判別関数  $f_1(x)$  , 群2に属する確率は判別関数  $f_2(x)$  に比例する。このため、このケースが群2(例えば降雪あり)に属する確率は、

$$\frac{f_2(x)}{f_1(x) + f_2(x)} = \frac{1}{f_1(x)/f_2(x) + 1} \dots\dots\dots (21)$$

$\log(f_1(x)/f_2(x)) = u_1 - u_2$  であるから、( $u_1$   $u_2$  は判別関数)

$$f_1(x)/f_2(x) = \text{EXP}(u_1 - u_2) \dots\dots\dots (22)$$

故に

$$\frac{f_2(x)}{f_1(x) + f_2(x)} = \frac{1}{1 + \text{EXP}(u_1 - u_2)} \dots\dots\dots (23)$$

となる。この結果による予測を表示するには次の2つの方式が考えられる

1) 判別優先方式

2) 確率優先方式

1) は通常の判別関数の原理により関数  $u_1$  ,  $u_2$  が  $u_1 > u_2$  か  $u_1 < u_2$  によって雪が降るか降らないかを判断し、その判断の確からしさ  $P$  を (23) 式から

$$P = \frac{1}{\exp(u_1 - u_2) + 1} \quad (u_1 < u_2) \dots\dots\dots(24)$$

$$P = \frac{1}{\exp(u_2 - u_1) + 1} \quad (u_1 > u_2) \dots\dots\dots(25)$$

により計算するものである。この時、もし  $u_1 = u_2$  ならば

$$P = \frac{1}{\exp(u_2 - u_1) + 1} = \frac{1}{\exp(0) + 1} = \frac{1}{1 + 1} = \frac{1}{2} = 0.5 \dots\dots\dots(26)$$

すなわち雪の降る確率も降らない確率も50%となる。

この方式での確率は判別の確率であるから常に確率のより高い方の確率が計算されるため確率が0.5以下になることはない。つまり、雪と判別予測したら雪の確率、雪なしと予測したら雪の降らない確率を表示することになる。

この方法によると例えば確率が0.51で No と云う予測は逆に言えば0.49で Yes , つまり雪の降る確率は49%あることを意味する。2) の場合は  $u_1$  ,  $u_2$  の大小にかかわらず常に (23) 式のみを表示するものである。この方式では降雪の可能性が50%以下であってもその確率を表示することになり、 $P = 0.3$  ならば降雪の可能性が30%あることとなる。

# 第4章 判別関数法による降雪予測の検討〔1〕

## — 基礎的解析 —

### 1 概要

ある地点で今後降雪があるかどうかと言うことは分類尺度にあたる。これに対して、現時点までに得られた各種の気象データ（例えば風速や気温）は大部分間隔尺度にあたることから、表3-1に見られるように、この問題は判別関数による処理が最も適当であると思われる。

また、降雪の有無のみでなく除雪作業を必要とする程度の降雪の有無を予測することも判別関数によって可能である。たとえば、ある日の夕刻にそれまでに集められた、その日の一群の気象データ、つまり輪島上空500ミリバールの気温、風向、米子の1,000ミリバールの気温等が、翌朝までに藤沢で降雪のあるグループに属するか、または雪の降らないグループに属するかを判別しようとするものである。

ここでは、昭和49年12月から昭和52年3月までの国道18号線藤沢における各種の気象観測値と、これに関連する高層気象値とにもとづいて作成した判別関数法により降雪予測方法を説明する。ここで求めた判別関数法による降雪予測手法は基礎的な解析として実施したものであり、その解析過程では変数数別、予測方法別等の各種方法についての検証も行った。以下、その主な解析結果と外部データによる検証（外部検証）、つまり、ここで求めた判別式を用い昭和53年1月～3月間の40日分のデータを用い検証した結果も併せて説明する。

### 2 各因子（説明変数）の入手法とその概説

ここで使用した入力諸元は表4-1に示した。この表の $x_0$ から $x_8$ までは藤沢における観測値である。 $x_0$ の過去3時間の降雪量は天気現象の持続性からみて短時間未来の降雪とはその間に大幅に気温などが変化しない限りかなりの相関があるとみてよい。 $x_6$ 、 $x_7$ は同じく藤沢の地上風向と風速で、雪との関係は不明であるが降雪や積雪と同一地点で毎時間得られるデータであり、降雪との相関をみておくのも無駄ではないと考えられる。 $x_8$ は藤沢の気温である。気温と降雪量との関係も明らかではないが、少なくとも気温が4℃程度以上では雪の降ることはまずないので短時間予測のためには有効と考えられる。以上の $x_0 \sim x_8$ の因子は局地観測値による降雪予測の可能性をみるために加えたものである。

表 4-1-1(1) 入力諸元の単位と読み取り方

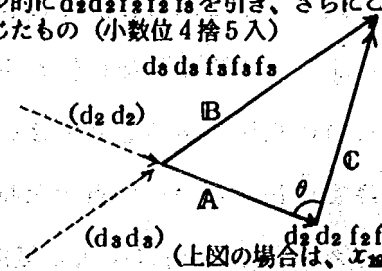
変数記号	定 義	単 位	概 要
$x_1 \sim x_4$	目的変数としての降雪量階級		
$x_5$	(以下説明変数) 過去3時間の藤沢の降雪量	cm	藤沢の過去3時間の総降雪量
$x_6$	藤沢の地上風向 (16方位)		藤沢の風向、16方位
$x_7$	藤沢の地上風速	0.1m/s	藤沢の風速 (0.1m/s) で2.5m/sは25とした。
$x_8$	藤沢の地上気温	0.1℃	藤沢の気温で0.1℃単位を表わす。氷点下はマイナスをつける。 (-2.5℃は-25となる)
$x_9$	輪島の850ミリバール気温		USJPで入電するテレタイプによる気象庁のデータ中地点番号47600に続く P <sub>2</sub> P <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> T <sub>2</sub> T <sub>2</sub> T <sub>02</sub> D <sub>2</sub> D <sub>2</sub> d <sub>2</sub> d <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> 中で P <sub>2</sub> P <sub>2</sub> = 85 (850ミリバール) のグループについて T <sub>2</sub> T <sub>2</sub> T <sub>02</sub> の数字そのまま、但し、T <sub>02</sub> が偶数ならマイナスを付ける。(実際の正負の逆)
$x_{10}$	輪島の850ミリバール 露点温度	-0.1℃	$x_9 + D_2 D_2$ 、 $x_9$ が負なら $x_9 - D_2 D_2$
$x_{11}$	輪島の1,000 mb ~ 850 mb 高度差 (層厚)	$\frac{m}{(1,000位)}$ (省略)	USJPの電文中の47600について70 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> から 00 h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> の h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> を引いたものである。
$x_{12}$	輪島の850 mb ~ 700 mb 高度差 (層厚)	同 上	$x_{11}$ と同じデータ (47600) について、50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> × 10 から70 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> を引き、その答えの1,000位を省略したものである。 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> = 536 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> = 993 ならば $x_{12} = 367$
$x_{13}$	輪島の500ミリバール高度	10 m	USJPの電文中47600について50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の数字そのままの値
$x_{14}$	同上の気温		$x_{13}$ と同じデータについて50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の次の群の初めの3数字。つまり、T <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub>
$x_{15}$	輪島の1,000 mb ~ 700 mb 安定度	℃	USJPの電文中47600について、00 h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> 、T <sub>1</sub> T <sub>1</sub> T <sub>01</sub> D <sub>1</sub> D <sub>1</sub> のうちの T <sub>1</sub> T <sub>1</sub> T <sub>01</sub> と D <sub>1</sub> D <sub>1</sub> および70 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> 、T <sub>3</sub> T <sub>3</sub> T <sub>03</sub> D <sub>3</sub> D <sub>3</sub> の T <sub>3</sub> T <sub>3</sub> T <sub>03</sub> により図4-1の手順により求める。
$x_{16}$	輪島の500ミリバール 風速東西成分	knots	USJPの電文中47600について、50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> 、T <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub> D <sub>4</sub> D <sub>4</sub> の次の d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> により $f_4 f_4 f_4 \times \{-\sin(d_4 d_4 \times 10)\}$ ただし、風向 d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> の次に端数5°が f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> に加えられていた場合、d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> × 10 + 5 とする。つまり、d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> が 2800 b であるときは $b \times \{-\sin(28 \times 10)\}$ となり、28603 のときは $103 \times \{-\cos(28 \times 10 + 5)\}$ となる。
$x_{17}$	輪島の500ミリバール 風速南北成分	knots	$x_{16}$ と同じく、d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> f <sub>4</sub> について $f_4 f_4 f_4 \times \cos(d_4 d_4 \times 10)$ または、d <sub>4</sub> d <sub>4</sub> × 10 + 5° で求める。
$x_{18}$	輪島の850ミリバール 風速北西成分	knots	USJPのうち47600について、85 h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> 、T <sub>2</sub> T <sub>2</sub> T <sub>02</sub> D <sub>2</sub> D <sub>2</sub> 、d <sub>2</sub> d <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> により、 $f_2 f_2 f_2 \times \cos(d_2 d_2 \times 10 - 315)\}$ の値
$x_{19}$	輪島の850 mb ~ 700 mb 温度移流	knots <sup>2</sup>	USJPのうち47600について85 h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> h <sub>2</sub> 、T <sub>2</sub> T <sub>2</sub> T <sub>02</sub> D <sub>2</sub> D <sub>2</sub> 、d <sub>2</sub> d <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> 、70 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> 、T <sub>3</sub> T <sub>3</sub> T <sub>03</sub> D <sub>3</sub> D <sub>3</sub> 、d <sub>3</sub> d <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> より d <sub>3</sub> d <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> f <sub>3</sub> からベクトル的に d <sub>2</sub> d <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> を引き、さらにこれに d <sub>2</sub> d <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> f <sub>2</sub> をベクトル的に乗じたもの (小数位4捨5入)  $x_{19}$ について、ベクトルCは温度風と呼ばれるもので、この場合850,700ミリバール間の平均等温線と平行に風下側に向かって寒気側を左に見るように吹き、風速は等温線の混み方に比例する。したがって、温度風下に向かって左手側より850ミリバールの風が吹けば寒気側より850ミリバールの風が吹いて来ることになり、これは寒気移流となり、大気下層の気温は低下に向う。 (寒気移流にはプラス、暖気移流にはマイナスをつける)



表 4-1-(2) 入力諸元の単位と読み取り方

変数記号	定 義	単 位	概 要
$x_{20}$	輪島の500 mb 高度 12時間変化量	10 m	USJPのうち47600について50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の12時間前のh <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> との差。 (h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> ) 現在 — (h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> ) 12時間前
$x_{21}$	秋田の500 mb 気温	-0.1°C	USJPのうち47582の50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> の次のT <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub> (小数点はつけない) (そのまま)
$x_{22}$	館野の500 mb 気温	-0.1°C	USJPのうち47646の $x_{21}$ と同じくT <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub> (小数点はつけない) (そのまま)
$x_{23}$	米子の1,000 mb 風速 東西成分	knots	USJPのうち47744について00 h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> , T <sub>1</sub> T <sub>1</sub> T <sub>01</sub> D <sub>1</sub> D <sub>1</sub> , d <sub>1</sub> d <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> により f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> × cos (d <sub>1</sub> d <sub>1</sub> × 10 - 270)° または、 f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> × cos (d <sub>1</sub> d <sub>1</sub> × 10 + 5 - 270)°
$x_{24}$	鳥取 — 銚子 地上気圧差	0.1 mb	SMJPのうち47746のPPPマイナス47648のPPP (気圧) 0.1 mb 単 位 Iii NddfffVVwwWPPPTT……のうちPPPの差そのまま
$x_{25}$	輪島 — 名古屋 地上気圧差	0.1 mb	SMJPのうち47600のPPPマイナス47636のPPP
$x_{26}$	Pyon yang (北鮮) の12時間 前の500 mb 気温		USKOの47058の12時間前の50 h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> h <sub>4</sub> , T <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub> D <sub>4</sub> D <sub>4</sub> のうちT <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub>
$x_{27}$	相川地上風速 南北成分	knots	SMJPのうち47602のNddfffにより ff × cos (dd × 10)°
$x_{28}$	Pyon yang (北鮮) の24時間 前の500 mb 気温		USKOのうち47058の $x_{26}$ と同じくT <sub>4</sub> T <sub>4</sub> T <sub>04</sub> の24時間前の値

$x_9$  の輪島 850 ミリバールの気温、 $x_{10}$  の輪島 850 ミリバールの露点温度については特に説明の必要はないと思われるが、大気下層の気温と水蒸気量を示したものである。

$x_{11}$  と  $x_{12}$  は 1,000 ~ 850 ミリバール、850 ~ 700 ミリバール間の高度差、つまり層厚のことである。層厚は等圧面間の平均温度に関係した量で気温が低下すると層厚も小さくなる。簡単に数式で示すと静力学の式で

$$g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial Z} \dots\dots\dots (27)$$

ここで、 $g$  = 重力       $\rho$  = 大気の密度

$P$  = 気圧       $Z$  = 高度

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (\text{ボイル・シャルルの法則}) \dots\dots\dots (28)$$

を代入して、

$$\frac{g}{T} = -R \frac{\partial \log P}{\partial Z} \dots\dots\dots (29)$$

$$\partial Z = -\frac{RT}{g} \partial \log P \dots\dots\dots (30)$$

となり、等圧面、 $P_1$ 、 $P_2$ の間の層厚  $\partial Z$  は温度  $T$  の関数となることがわかる (寒気が入って来ると層

厚は小さくなる)。

$x_{13}$  と  $x_{14}$  は 500 ミリバール面高度と気温である。輪島の 500 ミリバール面気温と降雪との間に関係が深いことは良く知られている。これは、500 ミリバール高度が地表から 500 ミリバール面までの各層の層厚の積み上げられた結果であり、当然、その間の気温と比例関係にある。そのため、500 ミリバール面高度と気温との間の相関も大きくなり、因子としてはどちらか一方のみの採用で良い訳であるが、どちらの方が降雪との相関が高いか不明なので一応両方ともリストアップしてある。

$x_{15}$  と  $x_{16}$  は大気安定度を示す因子である。従来、安定度として 2 層間の気温差をとったものが多いが、積乱雲の発生するような場では水蒸気の凝結熱の影響を無視できない。一般に、海上における対流や山の斜面での気流の強制上昇は断熱変化と考えられ、気塊の上昇に伴う気温の変化は湿度が 100 パーセントに達しないときは近似的に次のように表わされる。

$$\frac{dT}{dZ} = -r_d \quad (r_d = 0.977 \text{ } ^\circ\text{C} / 100 \text{ m}) \dots\dots\dots (31)$$

気塊が水蒸気で飽和している場合 (湿度 100 %、または、気温 = 露点温度)  $\frac{dT}{dZ}$  は下式により表わされる。

$$\frac{dT}{dZ} = -r_m \quad \left( r_m = \frac{g}{C_p d} \frac{1 + \frac{r_{vs} L_v}{R_d T}}{1 + \frac{\epsilon r_{vs} L_{v2}}{C_p d R_d T^2}} \right) \dots\dots\dots (32)$$

これらをその都度計算するのは面倒なので実際には P-T 座標に曲線を引いた断熱図 (図 4-1, 2) が使用されている (説明図は図 4-3 に示す)。この図を使用して No.12 のショクルターインデック

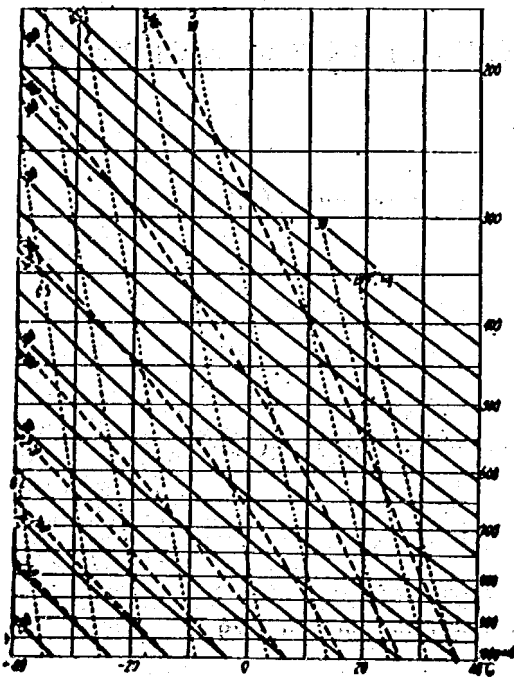


図 4-1 エマグラム

- 水平な直線：等圧線
- 垂直な直線：等温線
- 左にあがる実線：乾燥断熱線
- 左にあがる破線：湿潤断熱線
- 点線：飽和混合比線

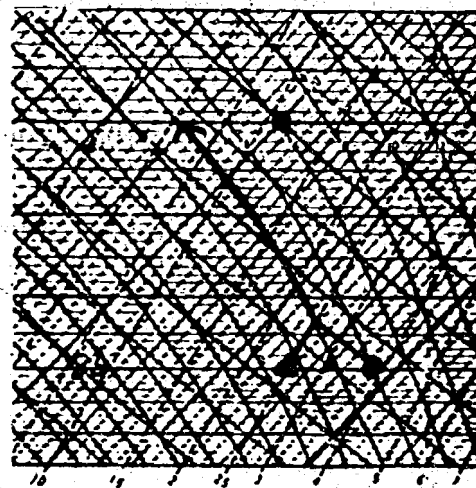


図 4-2 斜交エマグラムによるショクルターインデックスを求めた例 (文献13)による)

斜交エマグラムはエマグラムの温度と気圧の座標軸を使用するのに便利のように斜交させたものである。

スは下記の手順で計算される。

断熱図 (たとえばエマグラム)

に 850 ミリバールの気温と露点

温度をプロットする。気温のプ

ロット点を乾燥断熱線に沿って、

露点温度を通る飽和混合比線と

乾燥断熱線との交点まで持ち上

げる。交点に達した後は湿潤断

熱線に沿って 500 ミリバール

で持ち上げる。500 ミリバール

に達したら、その点の温度を讀

み取る。この温度と 500 ミリバ

ール気温との差をショワルターのインデックスと呼び、この値が小さいほど大気の安定は悪く、積乱雲や雷が発生し易い。このインデックスは元来米国で雷やトルネードの発生の予測に使われていたものであるが、冬期の日本海側に雪を降らせる積乱雲は高度が低く雲頂が 700 ミリバール (3,000 メートル) 位までしかない。その点を考慮し、今回は 850 ミリバールの代わりに 1,000 ミリバール、500 ミリバールの代わりに 700 ミリバールを使ったインデックスを計算した。これが  $x_{15}$  である。

$x_{17} \sim x_{20}$  はとくに説明の必要はないと考えられる。 $x_{19}$  は 850 ミリバール面での温度移流量を示す因子である。温度風とは 2 層間の風のベクトル差であり、これが温度風と呼ばれる所以は次式による。

$$\frac{\partial V}{\partial Z} = \frac{V}{T} \frac{\partial T}{\partial Z} + \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial X} \quad (33)$$

$$\frac{\partial U}{\partial Z} = \frac{U}{T} \frac{\partial T}{\partial Z} + \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial Y} \quad (34)$$

ここで、 $V$ 、 $U$  は風速の南北成分と東西成分、 $T$  は気温 ( $^{\circ}\text{K}$ ) で上の 2 つの式の

右辺第 1 項は第 2 項に比べて  $10^4$  ほどオーダーが小さいのでこれを省略すると、

$$\frac{\partial V}{\partial Z} = \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial X} \quad (35)$$

$$\frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial Y} \quad (36)$$

となる。つまり上下 2 層間の風速差は水平方向の温度傾度の関数である。ある層の水平温度傾度と風速のベクトル積はその層の水平温度移流の強さ、つまり温度変化の程度を示す。そこで  $x_{19}$  は 850 ミリバールと 700 ミリバール間の温度移流をみるために  $(V_7 - V_8) \times V_8$  (700 ミリバールの風と 850 ミリバールの風のベクトル差に 850 ミリバールの風のベクトル乗積) を計算してある。なお、プラスは

ショワルターインデックス

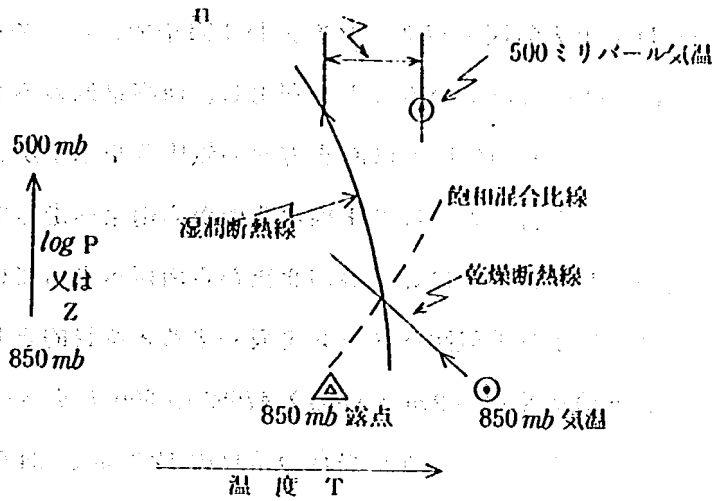


図 4-3 説明図

寒気移流、マイナスは暖気移流を示している。

$x_{24}$  と  $x_{25}$  は地上天気図のパターンを表わす因子である。 $x_{24}$  の鳥取一銚子の地上気圧差はこの2点  
がほぼ東西に 680 km 離れていることを利用し、西高東低の冬型の気圧配置の強さを表わす因子である。  
 $x_{25}$  (輪島一名古屋) の気圧差は南北方向の気圧差を示すが、この値がマイナス、つまり輪島の気圧  
が名古屋より低いと言うことは等圧線が北西から南東へ走っており、どちらかと言えば里雪型となる。  
また、輪島の方が高い場合は等圧線が北東から南西へ走っていることになり、この  $x_{24}$ 、 $x_{25}$  の2つの  
因子の組み合わせにより天気図パターンを表わすことを目的としている。

$x_{26}$  と  $x_{28}$  は北鮮の平壤 (Pyong yang) 47058 の 500 ミリバールの 12 時間と 24 時間前の気温で、寒  
気が北西方向から流れ出してきた場合の輪島の 12 時間、24 時間後の 500 ミリバール気温との相関が  
あると考えられる因子である。

以上のような因子がセレクトされているが、これらについての基本的な考え方としては熱力学的要  
素  $x_{15}$ 、 $x_{16}$ 、 $x_{23}$ 、変化傾向  $x_{19}$ 、 $x_{20}$ 、天気図パターン  $x_{24}$ 、 $x_{25}$ 、未集値  $x_{26}$ 、 $x_{28}$ 、局地観測値  $x_5$ 、  
 $x_6$ 、 $x_7$ 、 $x_8$  と言った因子を加えてある点にみられるように在来の高層気象データのみによる計算の  
欠点を少しでも補うことを目的としているところにある。

### 3 判別関数による降雪のカテゴリー予測方法

判別関数の理論については省略 (一部第 3 章の 5 節を参照) し、ここでは、簡単な具体例として 1  
および 2 変数による判別方法および結果を示し説明する。

まず、1 変数の判別例としては藤沢の気温から 12 時間後の降雪予測を行う場合、降雪を 0、1~4、  
 $5 \leq cm$  の 3 つのカテゴリーに分けると 1 変数 3 群の判別では次のような 3 つの 1 次式ができる。

$$z = a_1 x + b_1, \quad z_2 = a_2 x + b_2, \quad z_3 = a_3 x + b_3, \dots \dots (37)$$

これらの 3 式は  $x \sim z$  平面上で 図 4-4 に示すように 3 本の直線となる。

この図でわかるように  $x < x_a$

では  $z_1 > z_2 > z_3$ 、 $x_a < x < x_b$

の範囲では  $z_2$  が  $z_1$ 、 $z_3$  より大

きい。これによって、ある観測

値が  $x < x_a$  なら 1 群、 $x_a < x$

$< x_b$  なら 2 群に属すると判別さ

れることになる。判別すべき群

が 4 群以上になった場合には、

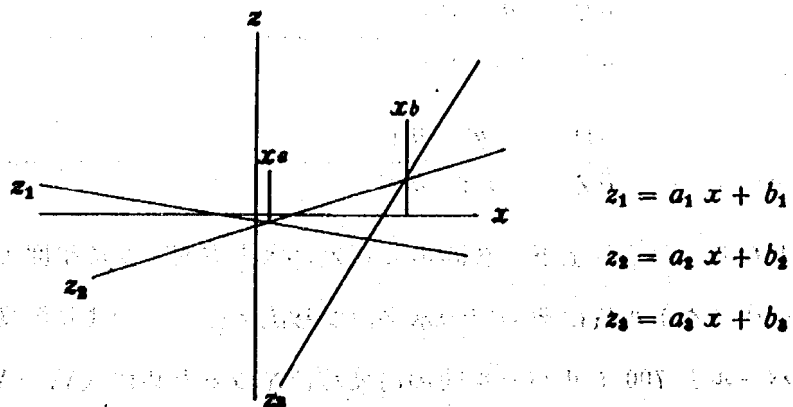


図 4-4 1 変数による略図

その分だけ  $x-z$  平面上の直線が多くなることになる。

一方、判別に使用する変数が  $x_1, x_2$  の2つになれば判別関数  $z_n = a_n x_1 + b_n x_2 + e_n$  は  $x_1, x_2, z$  空間内での平面となる。これを紙面上に図示するためには  $z_a = z_b$  である空間直線の  $x_1, x_2$  平面へ投影（図4-5参照）するしかない。この投影された直線によって  $z_1 - z_2 > 0$  と  $z_1 - z_2 < 0$  の2つのエリアに  $x_1 \sim x_2$  平面は区分されるので、これにより判別することができる。

このような考え方から、1変数および2変数による藤沢の降雪状況、つまり前述の通り降雪のカテゴリーを3つに分けた場合の判別結果について紹介する。なお、ここで使用したデータは藤沢における昭和50年1月から52年3月までに測定された結果から条件に合ったものを抽出し、12時間後の降雪状況の判別計算を行ったものである。

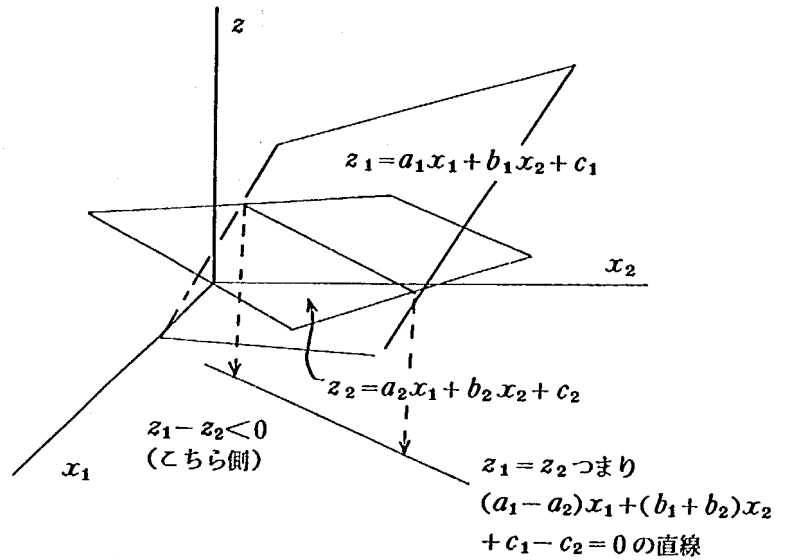


図4-5 2変数による略図

### 3-1 1変数による予測例

ここでは藤沢の気温 ( $x_8$ ) のみによる12時間降雪量カテゴリーを判別する方法について考えてみる。この時のグループは降雪5cm以上、1~4cm、0cmについて行った。この時の判別式は、

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= -0.0038 x_8 - 0.00512 \\ z_2 &= 0.03490 x_8 - 0.43248 \\ z_3 &= 0.08402 x_8 - 2.50718 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (38)$$

となった。つまり、ここで  $z_1 > z_2, z_3$  ならばグループ1の5cm以上の降雪、 $z_3 > z_1, z_2$  ならばグループ3の降雪なしと判別される。この場合、 $x_8$  が11 (1.1℃) 以下なら、 $z_1 > z_2, z_3$  で降雪5cm以上、 $x_8$  が42 (4.2℃) 以上なら  $z_3 > z_1, z_2$  で降雪なしと判定される。

この式から判別結果の検証 (12時降雪量) を行くと表4-2のとおりとなった。

この結果から5cm以上の降雪があった56ケース中の場合、降雪零と判別したのが1、1~4cmであると判別したのが12ケースあった。それ以外の数、つまり的中率は77%となった。

また、1~4cmの降雪時に対し1~4cmと判定したのは14ケース中4ケースであり的中率は29%と非常に悪い結果となった。一方、降雪なしについての結果では62ケース中降雪ありと判定した数

17 ケースとなりの中率は 7.3 % と言う結果となった。

表 4-2 1 変数 (気温) による検証結果

5 cm 以上の降雪			1 ~ 4 cm の降雪			降雪なし		
	回数	%		回数	%		回数	%
5 cm 以上と判定	43	77	5 cm 以上と判定	7	50	5 cm 以上と判定	2	3
1 ~ 4 cm と判定	12	21	1 ~ 4 cm と判定	4	29	1 ~ 4 cm と判定	15	24
0 cm と判定	1	2	0 cm と判定	3	21	0 cm と判定	45	73
計	56	100	計	14	100	計	62	100

3-2 2 変数による予測例

ここでは、変数を 2 つにした場合について説明する。変数は藤沢の過去 3 時間の降雪量 ( $x_5$ ) と前出の  $x_8$  (気温) とを用い 3 時間後に降雪があるか無いかの判別について試みた。これによって得られた判別式は、

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= 0.31951 x_5 + 0.00205 x_8 - 0.83107 \\ z_2 &= 0.06657 x_5 + 0.06302 x_8 - 1.65905 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (39)$$

となった。この式からの中率について検討すると表 4-3 のとおりとなった。また、これを図で示すと図 4-6 のとおりである。

表 4-3 2 変数による降雪有無の検証 (3 時間後の検証)

的中率: 85.6 %

予 測 \ 実 況	実 況		計
	降雪あり	降雪なし	
降雪ありと判定	48 (87%)	12 (16%)	60
降雪なしと判定	7 (13%)	65 (84%)	72
計	55	77	132

グループ 1 (降雪あり) をなしと判定したものは 7 個での中率 87.2 %、グループ 2 (降雪なし) をありと判定したものの 77 ケース中 12 個での中率 84.4 %となる。

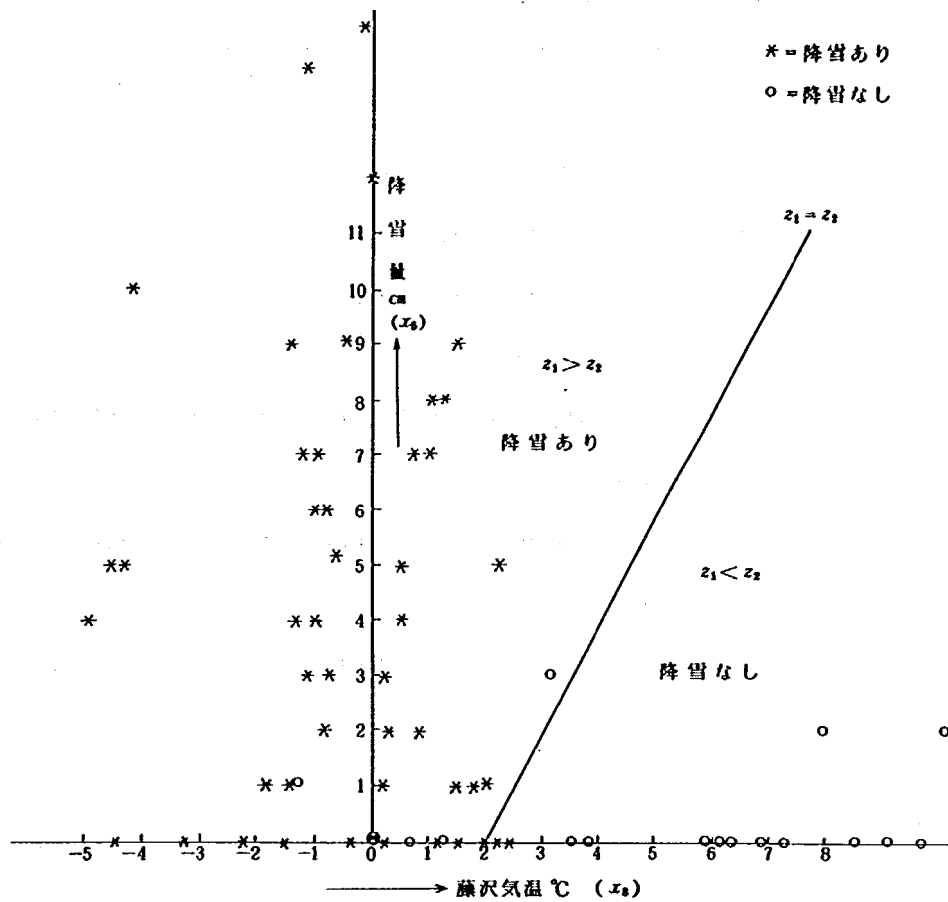


図 4 - 6 3 時間後の降雪有無の判別関数の図示例

#### 4 多変数による降雪予測の検討

前項までは判別関数の概念とその応用例についての概要を説明してきた。ここでは具体的な判別関数の降雪予測への適用について説明する。なお、予測時間は現時点から 3 時間、6 時間、12 時間、24 時間後に降雪があるか、無いか、あるとしたら 5 cm 以上か以下についてであり、予測時刻は 12 時時点のものである。また、使用データは昭和 49 年 12 月から 52 年 3 月における藤沢および気象データを用いた。

##### 4 - 1 変数数別による 3 時間降雪予測式とその精度

ここでは 3 時間降雪量で降雪が 5 cm またはそれ以上、1 ~ 4 cm、0 cm の 3 群についての判別を藤沢の降雪観測値を基に変数数 (元) によって的中率がどのように左右されるか、つまり、最適変数数を究明するためのものである。

ここで使用した変数は高相関を示す順に各変数数ごとに抽出したものである。これによって求めた式は表 4 - 4 に示す。

表 4-4 変数数別による 3 時間降雪予測式

変数数	変数記号	判別関数式 ( $z_1 = 5 \text{ cm}$ 以上, $z_2 = 1 \sim 4 \text{ cm}$ , $z_3 = 0 \text{ cm}$ )
2	$x_5$ $x_{27}$	$z_1 = -3.04213 + 0.36127 x_5 + 0.28197 x_{27}$ $z_2 = -1.91436 + 0.29618 x_5 + 0.21971 x_{27}$ $z_3 = -0.08079 + 0.01815 x_5 + 0.05540 x_{27}$
6	$x_5$ $x_8$ $x_{13}$ $x_{16}$ $x_{24}$ $x_{27}$	$z_1 = -2425.78906 + 0.89052 x_5 - 1.15771 x_8 + 9.07749 x_{13} - 0.95903 x_{16} + 1.17134 x_{24} - 0.32398 x_{27}$ $z_2 = -2452.96484 + 0.81702 x_5 - 1.16600 x_8 + 9.12989 x_{13} - 0.96898 x_{16} + 1.18973 x_{24} - 0.41745 x_{27}$ $z_3 = -2442.86523 + 0.58859 x_5 - 1.11465 x_8 + 9.11101 x_{13} - 0.95611 x_{16} + 1.17608 x_{24} - 0.50779 x_{27}$
9	$x_5$ $x_8$ $x_{10}$ $x_{13}$ $x_{16}$ $x_{18}$ $x_{24}$ $x_{27}$ $x_{28}$	$z_1 = -4275.94531 + 0.92783 x_5 - 0.79824 x_8 + 1.04298 x_{10} + 15.36459 x_{13} - 9.48454 x_{16} - 0.88652 x_{18} + 0.91746 x_{24} - 0.89113 x_{27} + 0.85349 x_{28}$ $z_2 = -4317.87109 + 0.85464 x_5 - 0.79268 x_8 + 1.06959 x_{10} + 15.43456 x_{13} - 9.26919 x_{16} - 0.89074 x_{18} + 0.93226 x_{24} + 0.98322 x_{27} + 0.86024 x_{28}$ $z_3 = -4304.50391 + 0.62705 x_5 - 0.73668 x_8 + 1.07270 x_{10} + 15.40477 x_{13} - 9.12392 x_{16} - 0.87342 x_{18} + 0.91822 x_{24} - 1.06549 x_{27} + 0.86499 x_{28}$
12	$x_5$ $x_7$ $x_8$ $x_{10}$ $x_{11}$ $x_{13}$ $x_{15}$ $x_{16}$ $x_{24}$ $x_{25}$ $x_{27}$ $x_{28}$	$z_1 = -5041.44922 + 1.77354 x_5 + 1.94436 x_7 - 1.18343 x_8 + 1.58045 x_{10} + 0.70346 x_{11} + 16.98654 x_{13} - 8.81062 x_{15} - 1.00066 x_{16} + 0.96650 x_{24} - 0.48660 x_{25} - 0.66937 x_{27} + 0.99306 x_{28}$ $z_2 = -5098.82442 + 1.70989 x_5 + 1.95631 x_7 - 1.18330 x_8 + 1.61397 x_{10} + 0.70955 x_{11} + 17.07362 x_{13} - 8.57066 x_{15} - 1.00687 x_{16} + 0.98353 x_{24} - 0.50106 x_{25} - 0.75813 x_{27} + 1.00036 x_{28}$ $z_3 = -5078.60938 + 1.47915 x_5 + 1.97197 x_7 - 1.12316 x_8 + 1.61218 x_{10} + 0.70785 x_{11} + 17.03873 x_{13} - 8.45810 x_{15} - 0.98660 x_{16} + 0.96590 x_{24} - 0.48365 x_{25} - 0.84490 x_{27} + 1.00652 x_{28}$



以上の各式についての的中率をまとめてみると表4-6のようになる。

この結果から、

12変数判別式でも充分実用になることが分る。これ以上変数を増加させても計算や資料収集の手間が増大し、さらには一つでもデータに欠測があると計算不能になる可能性が出てくる。このため、こ

表4-5 変数数別による判別関数的中率(3時間降雪予測)

変数数	3カテゴリー的中率	降雪5cm以下の中率	降雪の有無的中率
2	59.3 %	78.7 %	81.5 %
6	76.5	84.1	88.9
9	78.7	85.6	89.4
12	76.5	87.9	90.9
(24)	—	—	(92.4)

こでは6, 12, 24時間降雪判別式はすべて12変数で作成した。その式は表4-6に示す。なお、この計算の過程でも変数選択がベストになるようにステップワイスリグレッションの方法を適用した。

#### 4-2 時間別降雪予測式による的中率(12変数)

ここでは表4-6で求めた判別式により3, 6, 12, 24時間予測の的中率について3カテゴリーから検討を加えた。その結果表4-7に示すとおりとなった。

これによると全般的に一応の高精度が期待できることがうかがえる。特に降雪の有無についての的中率は90%以上、つまり10回予想するごとに9回以上は的中することが可能となっている。また5cm以上か以下に

表4-7 予測時間別による判別関数的中率(12変数)

時間	3カテゴリー(1)	5cm以下 以上(2)	有 無(3)
3	76.5 %	87.9 %	90.9 %
6	79.5	82.5	92.3
12	85.6	89.4	90.3
24	87.8	96.2	93.2

注 (1) 5cm以上, 1~4cm, 0cmに分ける。

(2) 5cm以上, 以下に分ける。

(3) 1cm以上と0cmに分ける。

については予測時間が長くなればなるほど高い精度が期待でき、24時間降雪量の予測では96%台という結果となった。このような結果によって実用化という観点から見ると一応「役立ち得る」と考えられよう。

表 4-6 予測時間別による降雪判別式 (12 変数)

予測時間	使用変数	判別式
6	$x_5 \quad x_6 \quad x_8$	$z_1 = -39.43481 + 0.33983 x_5 + 0.43138 x_6 + 0.19083 x_8 - 0.12211 x_{17} + 0.07842 x_{18}$ $- 0.00494 x_{19} - 0.22736 x_{20} + 0.19895 x_{21} - 0.28057 x_{23} - 0.05698 x_{24} + 0.08280 x_{25}$ $+ 0.51670 x_{27}$
	$x_{17} \quad x_{18} \quad x_{19}$	$z_2 = -38.92139 + 0.41670 x_5 + 0.49646 x_6 + 0.18146 x_8 - 0.13590 x_{17} + 0.03049 x_{18}$ $- 0.00528 x_{19} - 0.06674 x_{20} + 0.19966 x_{21} - 0.32118 x_{23} - 0.03717 x_{24} + 0.07028 x_{25}$ $+ 0.38678 x_{27}$
	$x_{20} \quad x_{21} \quad x_{23}$	$z_3 = -37.46117 + 0.14699 x_5 + 0.45093 x_6 + 0.25176 x_8 - 0.13688 x_{17} + 0.02638 x_{18}$ $- 0.00722 x_{19} - 0.13368 x_{20} + 0.19681 x_{21} - 0.33643 x_{23} - 0.05062 x_{24} + 0.07972 x_{25}$ $+ 0.38623 x_{27}$
12	$x_5 \quad x_6 \quad x_8$	$z_1 = -8741.80078 + 2.55049 x_5 + 0.30845 x_6 + 0.02893 x_8 + 1.41316 x_{10} + 29.83380 x_{13}$ $- 5.57427 x_{17} + 0.94457 x_{18} + 0.02268 x_{19} + 2.69879 x_{21} + 1.23584 x_{22} + 1.42965 x_{24}$ $+ 1.70357 x_{27}$
	$x_{10} \quad x_{13} \quad x_{17}$	$z_2 = -8722.78125 + 2.30315 x_5 + 0.35356 x_6 + 0.07197 x_8 + 1.41440 x_{10} + 29.79541 x_{13}$ $- 5.59292 x_{17} + 0.84777 x_{18} + 0.02278 x_{19} + 2.71018 x_{21} + 1.23268 x_{22} + 1.43303 x_{24}$ $+ 1.61028 x_{27}$
	$x_{18} \quad x_{19} \quad x_{21}$	$z_3 = -8814.78125 + 2.2874 x_5 + 0.24102 x_6 + 0.10400 x_8 + 1.44191 x_{10} + 29.9629 x_{13}$ $- 5.59898 x_{17} + 0.88712 x_{18} + 0.01891 x_{19} + 2.69675 x_{21} + 1.24632 x_{22} + 1.42394 x_{24}$ $+ 1.60668 x_{27}$
24	$x_5 \quad x_6 \quad x_8$	$z_1 = -6266.99219 + 2.53596 x_5 - 0.05483 x_6 - 0.71330 x_8 + 2.31972 x_{10} + 22.3680 x_{13}$ $- 10.99490 x_{15} - 0.64532 x_{16} - 4.18026 x_{17} + 2.92938 x_{18} + 0.05491 x_{19} + 1.38737 x_{22}$ $- 0.35088 x_{25}$
	$x_{10} \quad x_{13} \quad x_{15}$	$z_2 = -6288.32031 + 2.40084 x_5 - 0.12373 x_6 - 0.64718 x_8 + 2.34126 x_{10} + 22.37062 x_{13}$ $- 10.44902 x_{15} - 0.57524 x_{16} - 4.19705 x_{17} + 2.92805 x_{18} + 0.05106 x_{19} + 1.42308 x_{22}$ $- 0.37283 x_{25}$
	$x_{16} \quad x_{17} \quad x_{18}$	$z_3 = -6369.76563 + 2.39268 x_5 - 0.14874 x_6 - 0.62932 x_8 + 2.33375 x_{10} + 22.53394 x_{13}$ $- 10.66848 x_{15} - 0.62208 x_{16} - 4.19113 x_{17} + 2.89370 x_{18} + 0.05005 x_{19} + 1.41211 x_{22}$ $- 0.31722 x_{25}$

## 5 藤沢における降雪量の階級別判別関数の検討

前項までは、藤沢における判別関数による予測として降雪が0, 1~4 cm, 5 cmまたはそれ以上のランク付による判別関数の予測式を作成し一応の成果を収めてきた。ここでは、道路管理の実用化を図る上で必要となるであろう降雪予測区分を考慮、たとえば6時間降雪予測としては10cm以上か以下か、12時間降雪量で20cm以上, 以下, 24時間降雪量で30cm以上, 以下についての階級を追加し、その判別式の作成、および検証を行ったものである。なお、ここで使用した変数数は降雪の階級を多く設定したことから表4-1の $x_9, x_{20}$ を除く20変数を使用し解析したものである。また、ここでは3時間当たりの降雪量が10cm以上となった回数が少なかったため省略した。式の求め方については前項参照されたい。

6時間降雪量の判別関数による計算結果は、係数および変数の平均値は表4-8に、判別結果（的中率）は表4-9に示した。

表4-9 6時間降雪予測の判別と実況一覧（20変数）

実況 予測判別	10 cm 以上	5 ~ 9 cm	1 ~ 4 cm	0	計
降雪 10 cm 以上	16 64%	6	1	2	25
" 5 ~ 9 cm	6	12 46%	4	4	26
" 1 ~ 4 cm	1	5	10 53%	3	19
" 0	0	0	0	62 100%	62
計	23	23	15	71	132

この表から降雪量が10cmまたはそれ以上であると判別した場合、的中したのは16（64%）で降雪量が5~9cmの範囲であったのが6例あった。また、降雪が5~9cmと判別されて的中したのは12例（46%）で10cm以上と判別したのが6例あった。一般に10cm以上と5~9cmの間では誤まりが生じ易いが、10cm以上または5~9cmを1~4cmまたは0cmと判別するケースは少ない。特に降雪0cmを他の分類で判別した例は皆無で降雪の有無の判別は割合効率よく予測できるようである。

表 4-8 6時間降雪の判別関数係数と平均値 (藤沢地区)

変数	降雪が10cm以上, 以下		降雪が 5 ~ 9 cm		降雪が 1 ~ 4 cm		降雪が 0 cm	
	平均値	係数	平均値	係数	平均値	係数	平均値	係数
$x_6$	5.783	2.94209	3.348	2.71639	3.467	2.73265	0.225	2.58530
$x_6$	7.522	-0.23826	8.696	-0.22539	9.800	-0.22884	8.113	-0.28385
$x_7$	19.304	1.46909	25.478	1.50522	23.800	1.50817	19.141	1.53257
$x_8$	0.130	-1.32725	-2.565	-1.33121	-5.400	-1.33715	56.803	-1.24996
$x_{10}$	102.000	2.23339	120.609	2.25544	121.333	2.26603	68.239	2.25283
$x_{11}$	747.652	0.97324	742.435	0.98327	739.533	0.98314	808.704	0.98281
$x_{13}$	532.565	33.71542	530.348	33.68646	530.866	33.73117	547.281	33.69818
$x_{15}$	0.087	-5.58189	1.087	-5.36871	2.133	-5.16606	5.042	-5.26427
$x_{16}$	67.609	-2.00769	54.609	-2.01175	44.467	-2.00801	57.451	-1.92693
$x_{17}$	5.696	-4.97717	13.174	-4.95195	5.000	-4.98410	2.901	-4.95383
$x_{18}$	19.174	0.66375	19.478	0.62376	15.133	0.61205	7.803	0.53414
$x_{19}$	361.435	0.08050	264.261	0.07959	228.733	0.08071	-27.394	0.07597
$x_{20}$	-3.174	-7.51747	-2.217	-7.50297	1.200	-7.34857	0.718	-7.43177
$x_{21}$	365.087	3.02957	374.565	3.02027	369.933	3.00959	294.422	3.01034
$x_{22}$	265.956	0.65662	290.478	0.66106	299.267	0.66343	241.169	0.69212
$x_{23}$	9.130	-0.09301	7.696	-0.07802	6.333	-0.14113	0.873	-0.13283
$x_{24}$	74.087	1.15183	84.000	1.16651	76.333	1.18400	18.521	1.16330
$x_{25}$	5.087	-0.19938	5.870	-0.21186	5.000	-0.22792	-5.225	-0.21389
$x_{27}$	14.261	1.45494	12.913	1.40538	7.467	1.28617	2.437	1.26675
$x_{28}$	315.435	0.29606	324.000	0.30054	364.866	0.32730	265.760	0.30607

次に、12時間および24時間降雪量予測の判別解析結果は表4-10, 11 (係数表), 表4-12, 13 (予測判別の実況一覧表) に示した。

表4-10 12時間降雪の判別係数 (藤沢地区)

変数	降雪量が20cm以上	降雪量が10~19cm	降雪量が5~9cm	降雪量が1~4cm	降雪量が0cm
$x_5$	1.96522	1.63082	1.72831	1.79374	1.57331
$x_6$	-0.82229	-0.88200	-0.89914	-0.93387	-1.04403
$x_7$	1.55436	1.51230	1.55380	1.56421	1.55774
$x_8$	-0.95627	-0.95146	-0.95606	-0.95051	-0.86801
$x_{10}$	2.23759	2.24081	2.25812	2.26662	2.25851
$x_{11}$	0.95180	0.95303	0.96697	0.96633	0.95155
$x_{13}$	34.15355	34.19389	34.23907	34.17976	34.33556
$x_{15}$	-3.95055	-4.06173	-3.87497	-4.02458	-3.69200
$x_{16}$	-1.87817	-1.91712	-1.88790	-1.86837	-1.86090
$x_{17}$	-4.96431	-4.90910	-4.92145	-4.89122	-4.91764
$x_{18}$	0.42507	0.35125	0.34225	0.32244	0.29217
$x_{19}$	0.05273	0.05286	0.05072	0.05031	0.04617
$x_{20}$	-7.55440	-7.65646	-7.55583	-7.50220	-7.53755
$x_{21}$	3.04993	3.02635	3.02379	3.00153	3.01903
$x_{22}$	0.85484	0.85507	0.87241	0.86408	0.90019
$x_{23}$	-0.26907	-0.18721	-0.31841	-0.28438	-0.27246
$x_{24}$	1.20104	1.21124	1.23928	1.23810	1.23471
$x_{25}$	-0.14517	-0.13385	-0.17160	-0.17375	-0.13951
$x_{27}$	1.43839	1.40175	1.30545	1.17027	1.23536
$x_{28}$	0.18280	0.19538	0.19215	0.20126	0.18327

表 4 - 11 24 時間降雪量判別関数係数表 (藤沢地区)

変 数	降雪量が30cm以上	降雪量が20~29cm	降雪量が5~19cm	降雪量が1~4cm	降雪量が0cm
$x_5$	2.66845	2.35950	2.52373	2.29798	2.36590
$x_6$	-0.92483	-0.91262	-0.95693	-1.02769	1.07110
$x_7$	1.83706	1.78650	1.84847	1.83113	1.87294
$x_8$	-0.84913	-0.84491	-0.84562	-0.78832	0.75725
$x_{10}$	2.18893	2.20854	2.21725	2.24861	2.22533
$x_{11}$	0.89711	0.89312	0.90838	0.90973	0.89422
$x_{13}$	34.87411	34.88795	34.91051	34.85660	35.08476
$x_{15}$	-5.39568	-5.43012	-5.29865	-4.85070	-5.08342
$x_{16}$	-1.96541	-1.99209	-1.95828	-1.89559	-1.93567
$x_{17}$	-5.01384	-4.98666	-4.98430	-4.98831	-5.00712
$x_{18}$	0.55530	0.23484	0.26540	0.27711	0.22600
$x_{19}$	0.04459	0.04543	0.04307	0.04014	0.03795
$x_{20}$	-7.49585	-7.57862	-7.45709	-7.45714	-7.46550
$x_{21}$	3.06921	3.05198	3.04414	3.02989	3.04794
$x_{22}$	0.77395	0.78246	0.78898	0.82281	0.81868
$x_{23}$	-0.56825	-0.47888	-0.61796	-0.47854	-0.59245
$x_{24}$	1.14155	1.14620	1.17102	1.15868	1.15998
$x_{25}$	0.09424	0.08576	0.06398	0.05212	0.10328
$x_{27}$	1.29047	1.34483	1.17310	1.10416	1.15195
$x_{28}$	0.19735	0.19663	0.20259	0.19317	0.18867

表 4 - 12 12 時間降雪予測の判別と実況一覧  
(20 変数の場合)

予測判別 \ 実況	20 cm 以上	10 ~ 19 cm	5 ~ 9 cm	1 ~ 4 cm	0 cm	計
20 cm 以上	8 / 53%	4	3	0	0	15
10 ~ 19 cm	1	12 / 67%	4	1	0	18
5 ~ 9 cm	1	2	11 / 61%	3	1	18
1 ~ 4 cm	1	1	5	12 / 52%	4	23
0 cm	0	0	2	1	55 / 95%	58
計	11	19	25	17	60	132

表 4 - 13 24 時間降雪予測の判別と実況一覧  
(20 変数の場合)

予測判別 \ 実況	30 cm 以上	20 ~ 29 cm	5 ~ 19 cm	1 ~ 4 cm	0 cm	計
30 cm 以上	9 / 50%	4	5	0	0	18
20 ~ 29 cm	2	10 / 53%	6	0	1	19
5 ~ 19 cm	4	1	22 / 73%	1	2	30
1 ~ 4 cm	0	1	4	7 / 41%	5	17
0 cm	0	0	2	1	45 / 94%	48
計	15	16	39	9	53	132

12時間予測でも6時間と同じように、20 cm以上と10～19 cm、10～19 cmと5～9 cm、5～9 cmと1～4 cmとのカテゴリー間に多少の混合がみられ、さらに判別が降雪零の場合に5～9 cmの降雪があったものが2例あった。これは日本海に低気圧が発生したケースである。降雪が零と予想されたにもかかわらず5 cm以上等と言うように雪が伴う場合には道路管理上大きな問題となろう。

このようなケースの時間予測について見ると、

6時間予測では	:	0回
12時間予測では	:	2回(5～9 cm)
24時間予測では	:	2回(5～19 cm)

の合計4回発生していることになる。この4例の発生日は次のとおりである。

12時間予測	昭和49年12月26日24時(21時のデータ)
	昭和50年2月25日12時(9時のデータ)
24時間予測	昭和50年2月10日24時(21時のデータ)
	昭和52年2月15日12時(9時のデータ)

この4例はいずれも冬型がゆるんだのちに日本海に低気圧が発生したもので、判別関数により降雪零と判別されても日本海に低気圧が発生すればまとまった降雪があり得ることを示している。逆に日本海に低気圧の発生がなければ判別関数で降雪零と判別された場合は5 cm以上の降雪の発生する可能性は極めて少ないと断定しても差し支えないと言える。

## 6 独立データによる検証

これは判別関数式を作成するために用いた昭和49年12月～52年3月までのデータ以外のもの、つまり、昭和53年1月～3月において観測(同一場所)されたデータを用い検証を行ったものである。藤沢における昭和53年1月～3月の3ヶ月間の測定で1日(24時間)分の降雪量、気温、風向、風速のデータが1回も欠測しなかった日は46日間あった。しかし、この中で輪島の高層気象データに欠測のあった日があり、それを差し引いて結局40日分のデータについての検証を行った。この40日分のデータは検証のためにはほぼ十分な量であると考えられる。また、判別関数の作成は輪島の9時、21時の高層データと、藤沢の12時、24時の地上データ、相川、輪島、鳥取、名古屋の9時の地上データを使用し、3時間予測については3時間間隔に、6時間予測については6時間間隔、12時間予測については1日に2回、24時間予測については1日1回予測する方式を取り各々計算した。この時の変数は20(前項と同じ)用い3時間予測では降雪が零、1～5 cm、5 cm以上の3カテゴリーとし、6時間予測では降雪零、1～4 cm、5～9 cm、10 cm以上の4カテゴリー、12時間、24時間予測では降雪零、1～4 cm、5～20 cm、20 cm以上の4カテゴリーを採用した。その結果、判別状況は表4-14に示し、的中



率については表4-15に示した。また、月日、時刻別による判別状況についての一例は図4-7に示した。

表4-14 判別状況(20変数)

※( )内はパーセントを示す。

3 時間 予 測

実測 予測	降雪量 が5cm 以上	1~4cm	0cm	計
5cm 以上	41 (32.3)	33 (26.0)	53 (41.7)	127
1~ 4cm	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0
0cm	1 (0.6)	4 (2.2)	176 (97.2)	181
計	42	37	229	308

6 時間 予 測

実測 予測	降雪量 が10cm 以上	5~9cm	1~4cm	0cm	計
10cm 以上	14 (41.2)	5 (14.7)	8 (23.5)	7 (20.6)	34
5~ 9cm	5 (6.4)	8 (10.3)	6 (7.7)	59 (75.6)	78
1~ 4cm	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0
0cm	0 (0)	1 (2.4)	1 (2.4)	40 (95.2)	42
計	19	14	15	106	154

12 時間 予 測

実測 予測	降雪量 が20cm 以上	5~19cm	1~4cm	0cm	計
20cm 以上	10 (58.8)	4 (23.5)	1 (5.9)	2 (11.8)	17
5~ 19cm	3 (20.0)	5 (33.3)	3 (20.0)	4 (26.7)	15
1~ 4cm	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0
0cm	0 (0)	1 (2.3)	0 (0)	43 (97.7)	44
計	13	10	4	49	76

24 時間 予 測

実測 予測	降雪量 が20cm 以上	5~19cm	1~4cm	0cm	計
20cm 以上	1 (33.3)	2 (66.7)	0 (0)	0 (0)	3
5~ 19cm	2 (40.0)	1 (20.0)	1 (20.0)	1 (20.0)	5
1~ 4cm	2 (25.0)	2 (25.0)	1 (12.5)	3 (37.5)	8
0cm	1 (5.0)	1 (5.0)	0 (0)	19 (90.0)	21
計	6	6	2	23	37

表 4 - 15 検証結果の的中率 (20 変数)

(数値は%を示す)

項目 \ 予測時間	3	6	12	24
降雪の有無	81	61	90	84
降雪なし	97	95	98	90
5 cm以上の的中率	32	29	69	75
10 cm以上の的中率	—	41	—	—
20 cm以上の的中率	—	—	59	33

外部データによる検証結果 (的中率)

(53年1月～3月までの40日分)

以上の結果から降雪予測の的中率は6時間予測の場合、3時間予測の場合と言うように短い時間での的中率は少し悪い結果となったが12時間、24時間予測については降雪の有無、つまり今日雪が降るか降らないかを予測した場合90%の率で的中することがわかった。また、5 cm以上降るかどうかについても70%程度、あるいはこれ以上の的中率を得ることができた。さらに、12時間降雪予測の場合20 cm以上降るかどうかについては60%程度の高い的中率も期待できる結果となった。

このように本章では中期予測の基礎的解析ということで3～24時間範囲について実施し一応の成果は得られたものと考えられる。したがって以後は、降雪が短い周期で発生するためかなり精度が悪くなることから短時間予測手法(現在各地で設置されている降雪深計からの情報により予測する方法)の検討および要因数の減少等による全体的な精度の向上が必要となろう。

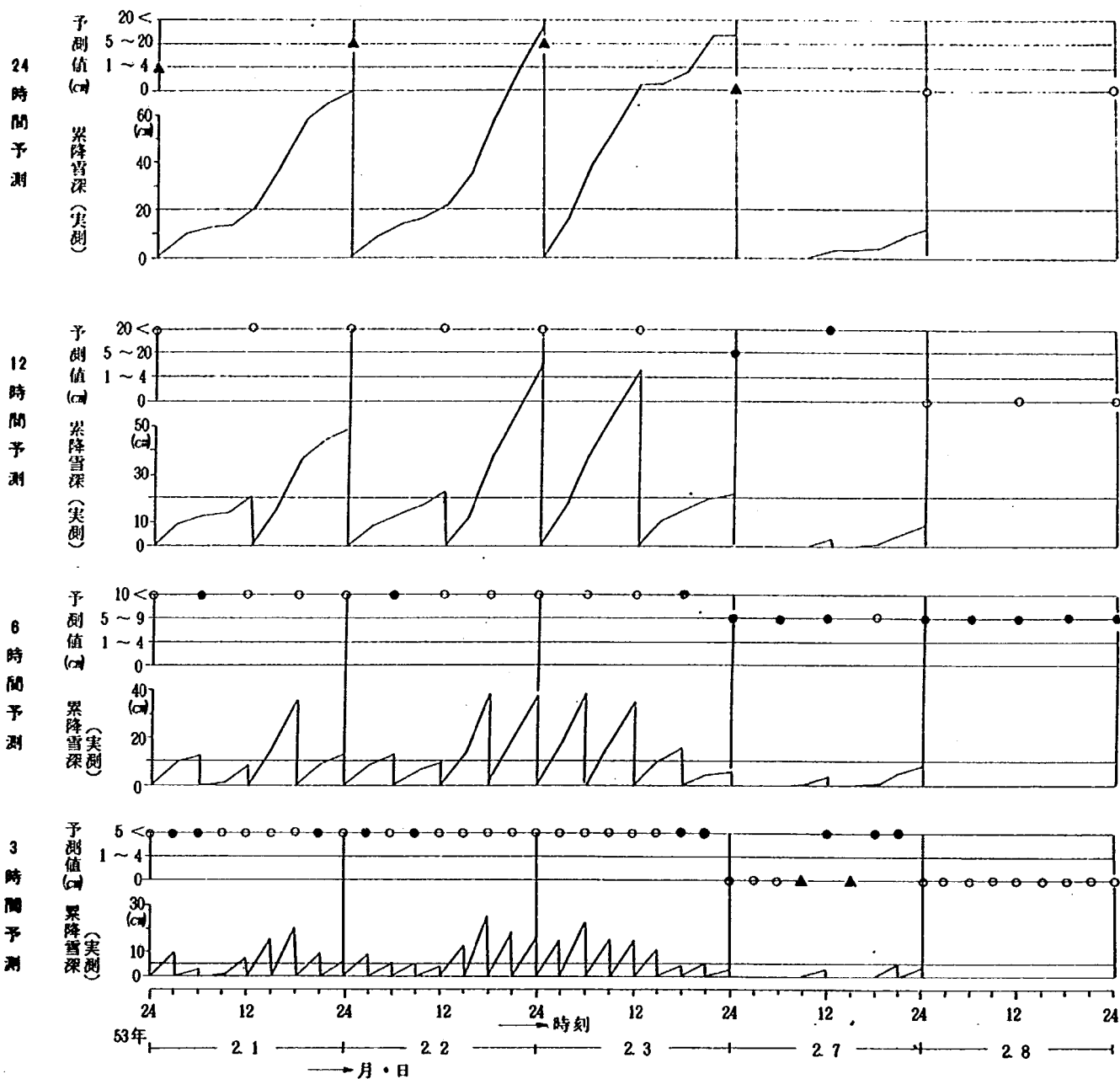


図4-7 国道18号線藤沢地区の降雪状況と各時間ごとによる予測実態の一例

図説：横軸に月日、時刻、縦軸に予測時間別の予測値と降雪の実況（累積雪深）を示した。また、予測実況は、ある時点から向う3、6、12、24時間に対する的中状況を予測時刻上に示した。この時の○印は的中したもの、●印は安全側（降ると言って降らない場合）の外れ、▲印は危険側（降らないと言って降った場合）の外れを示したものである。たとえば2月1日24時に12時間後の予測をした場合20cm以上雪が降るといふ予測値に対し、実況では22cm降った。このため、的中したので○となり、24時間では5cm～20cmの範囲であると予測したのに対し、85cm降ったため▲と表示してある。



# 第5章 判別関数による降雪予測〔2〕

## — 確率予測を考慮した実用化のための解析 —

### 1 概 要

第4章では判別関数による降雪予測の基礎的な解析を実施し降雪予測としての一応の成果を得ることができた。しかし実際の道路管理としての実用化を計るためには、

- ④ 第4章での結果では独立データに適用した場合、大巾に精度が低下することがあるため安定し、さらに高い精度が得られる手法を作成する必要がある。
- ⑤ 説明変数が12～20個とかなり多く実際の運用上、非常に不便であると同時に、1データが入手されない場合でも予測が不可能となるため、できるだけ少ない要因数による予測式の作成が必要である。

等の問題が残されている。そこで、本章では、これらの改善と道路管理に結びつけた手法の開発および降雪の確率予測化を計ることを目的とし、下記項目についての検討も加え予測式の作成を行った。

- ① 上記2点を解析するに当って「統多変量解析法」の中で奥野氏は、多変量による予測で最終的に予測式にとり込まれる変数の数は3～7個位が適当であり、変数の数が過大であると見かけ上の精度（的中率）は向上するものの個々の変数の偏相関係数の誤差により予測式は不安定なものとなる、との見解を示している。このため、今回は可能な限り変数の数を減らし見かけの的中率（つまり予測式の作成に使用されたデータによる検証結果）よりも独立データによる検証で大巾に精度が低下しないことを主眼に予測式の作成を進めた。

- ② 天候には日変化があり、一つの予測式を1日（24時間）にわたって使用する事はあまり適当ではないので予測式は各時間帯毎に作成することとし、さらに雪寒体制上、最も要求の高い夕刻日没前（今回は、16時頃とした）にその夜にどの程度の降雪があるかを判断するための予測判別関数の作成を試みることにした。

- ③ 新しい試みとして説明変数を今までの地上および高層の実況値に加えて、気象庁が電子計算機を使用し数値予報により作成した高層天気図から輪島上空の値を読み取り解析を行ってみた。これは実測値として夕方16時30分までに得られるデータは朝9時に観測されたものであり、18時～06時の予測期間の中間点である24時では実に16時間のずれとなり、さらに24時間予測で18時～翌日18時の間の降雪を予測しようとするると予測中間点と観測時刻とのずれは21時間となっ

てしまうことが一つの難点となるためである。たとえば、等圧面の高度や気温は地上のものに比べると急激に変化しないと言われているが、実際にはどの程度変化するかを昭和49年2月から52年3月の間について輪島の500ミリバール高度の12、24時間変化量でチェックしてみると表5-1のようになる。この表によると12、24時間の輪島500ミリバール高度の12~24時間の変化はそれほど大きくはないが、中には100メートル以上変化した例もある、

表5-1 輪島上空500ミリバール高度の階級別出現頻度

a) 12時間の場合 (12月~3月)

(S 49年~52年)

12時間 ΔH 500(m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140 以上
回数	19	37	34	20	19	12	15	10	5	6	6	1	3	2	5

平均 42 m

b) 24時間の場合

24時間 ΔH 500(m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140 以上
回数	5	15	7	16	12	14	15	6	13	5	7	7	6	3	15

平均 52 m

④ 第4章では単に判別関数の大小によりいずれかの群に属するかを判別するものであって、どの程度の確からしさで降雪がある、ないと判別したかは不明であった。このような方法は、米国等で天気予報の確率化としてすでに実施されており、わが国でも最近確率予測の实用化について研究が進められ、従来の“曇り時々雨”と言う天気予報と並行し“あしたの朝、東京地方に雨が降る確率は30%ですよ”<sup>15)</sup>と言った天気予報を昭和56年4月から開始される予定である。

このようなことから、本章でも気象庁のそれとは異なるが降雪の確率予測手法として尤度法(第3章参照)を用い降雪の有無、または降雪 $x$ cm以上、以下の期待確率を算出する方法について検討した。

なお、この解析には第4章で用いた国道18号線藤沢地区の地上気象データ(昭和49年12月~昭和52年3月)により各予測式を作成し内部検証を行うと共に昭和52年12月~昭和53年3月までのデータを用い外部データの検証も併せて実施したものである。さらに降雪予測の的中率の中で降雪が無いと予測し、降雪があった場合、危険側のはずれとなるため、このようなケースは極力少なくするように解

析を行ったものである。つまり、危険側のはずれは、一般的には雪寒体制をとらないケースであるがはずれると対策の必要がでてくる。このため極力小さくする必要がある。また、逆に雪が降る、あるいは5 cm以上降ると予測した場合、その実況が降らなかつたり、5 cm以下であった場合には安全側のはずれである。しかし、このケースも数多くなると雪寒対策の空振りが増すことになるので、これも小さくなるように考慮し解析を行ったものである。今回の検証結果の中では、こうしたケースがいくつか出てくるが、これは実際に降雪があっても積雪深として表われなかつたとか、観測点の近くに降つた場合（観測点を含めあるエリア内に降雪があつた場合）、あるいは、あられ、みぞれ等の形態で降つた場合等が含まれており、結果としてははずれの形になっているが完全なはずれでない場合が多い。

## 2 確率予測の利用方法

降雪の予測が確率で出された場合、除雪準備体制を確率何パーセント以上で取るか、または何パーセント以下なら取らないかと言う基準を定める上で非常に参考となろう。

これに関する研究として前記のように気象庁では最近確率予報の実用化について研究が進められており、さらに高橋浩一郎は風の予報についてシミュレーションを実施した例を鈴木（栄）が「気象統計学」に引用している。しかし、シミュレーションの結果では決定予報よりも確率予報の方が被害リスクが小さく、とくに $\pm 6 \text{ m/s}$ の誤差を考えた場合リスクが最小になるとしている。

このようなことから本稿でも、この確率予測を取り入れ実施したものであるが、その方法は第3章でも述べているように気象庁の確率予測とは異なり尤度法により降雪の有無、または降雪 $x \text{ cm}$ 以上か以下の期待確率を計算する方式を取っている。

一般に的中率の考え方として、単に、これを最大にする目的であれば確率50%を基準として50%を少しでも越えると降雪あり、以下ならば降雪なしとすれば良いのであるが、実際の除雪体制で最小の費用で最大の効果を得たい場合は、50%を基準とする判別では不適當である。このため、ここでは、一応50%基準法を取って計算を行ったが、使い易くするため降雪が降る、あるいは、 $x \text{ cm}$ 以上の降雪確率として0～100%の範囲で表等を作成した。

この確率予測を用いるためには雪寒対策の基準（確率を何%にするか）をどこに設けるかが大きな問題となる。そこで、その考え方（使用方法）の一例を次に示す。

今、雪が降ると言つて除雪等の体制に入ったとした場合、これにかかる費用を $C$ 円とし、このために減少した被害額を $L$ 円とすると $C=L$ が最も有効的な体制となる。しかし雪が降ると言つて降らなかつた場合には $C$ は無駄になる。また逆に体制を取らなければ費用 $C$ はセーブされるが、被害額 $L$ が発生することとなる。このようなことから鈴木によれば、

$$\text{的中率} = \text{予測確率} > C/L \dots\dots\dots (40)$$

になるように確率を設定し体制を組めば良いとされている、たとえば、被害(L)の平均金額を1,000万円とし、対策費(C)を200万円とした場合  $C/L = 0.2$  つまり降雪の可能性20%でも体制を取った方がよいこととなる。ここでは、使用方法の一例を示したに過ぎないが、実際には問題はこれほど単純ではなく、ゲームの理論によれば降雪予測は、“自然の戦略”を察知する事に外ならない。これに対して人間の最適戦略を定める問題についてはゲームの理論を応用してシミュレーションなどを実施し、予測判別基準を決定する事が必要となる。

### 3 予測方式および使用データ

今回の予測方式は既述の通り雪寒対策上最も必要とされる夜間の降雪予測を主体としたものである。その方法は表5-2に示したように16時時点で24時間予測を行い、16時30分に12時間予測を18時～翌朝6時までの予測と翌朝6時～18時までの2回行う方式を取った。また、夜間降雪が予想される場合、6時間間隔で予測できる方式として6時間予測を18時～24時、0時～朝の6時、6時～12時、12時から18時の4回分の予測式を作成した。この式は、予測時間に応じたえず新しい情報を入手し降雪予測ができるものとなっている。

表5-2 予測時刻および時間

予測方式	No	予測時刻	予測時間	判別項目	備考
24時間予測	①	16:00分	18時～翌日の18時	<ul style="list-style-type: none"> <li>降雪の有無</li> <li>9 cm以上か以下か</li> </ul>	
12時間予測	②	16:30分	18時～"06時	<ul style="list-style-type: none"> <li>降雪の有無</li> </ul>	この場合のみ予測値を使用
	③	16:30分	06時～"18時	<ul style="list-style-type: none"> <li>90 cm以上か以下か</li> </ul>	
6時間予測	④	18時	18時～"24時	<ul style="list-style-type: none"> <li>降雪の有無</li> </ul>	
	⑤	0時	0時～"06時	<ul style="list-style-type: none"> <li>降雪が5 cm以上か以下か</li> </ul>	
	⑥	6時	06時～"12時		
	⑦	12時	12時～"18時		

一方、この式を作成するに当って使用した変数は表4-1に示した24変数から夕方16時、16時30分、18時、0時、6時、12時に予測するために最も適した因子・数(7変数程度)を選出、あるいは組合せによって抽出したものである。その組合せ(予測方式)と使用した変数は表5-3に示した。なおこの組合せは予測精度の最も高い予測式の組合せであり、変数の増減等による基礎的解析に用いた組合せについては省略(文中で個々に述べている)した。



表 6 - 3 予測時間別の使用データ一覧

変数 No	内 容	単 位	24時間 予 測	12時間予測		6 時 間 予 測			
			① 18~ 翌18時	② 18~ 翌 6時	③ 翌 6 ~18時	④ 18~ 24時	⑤ 翌 0 ~ 6時	⑥ 翌 6 ~12時	⑦ 翌 12 ~18時
A	1 14~16時の藤沢の降雪量	cm	○	○					
	2 16~18時の "	"				○			
	3 22~24時の "	"					○		
	4 翌日 4~6時の "	"						○	
	5 翌日 10~12時の "	"							○
B	1 16時の藤沢の気温	℃	○	○					
	2 18時の "	"				○			
	3 24時の "	"					○		
	4 翌日 6時の "	"						○	
	5 翌日 12時の "	"							○
C	1 15時の輪島と相川の地上気圧差	mb	○	○		○			
	2 21時の "	"			●		○		
	3 翌日 3時の "	"						○	
	4 翌日 9時の "	"							○
D	1 9時の秋田500ミリバル気温	℃	○	○		○			
	2 21時の "	"			●		○	○	
	3 翌日 9時の "	"							○
E	1 9時の輪島500ミリバル気温	℃	○	○		○			
	2 21時の "	"			●		○	○	
	3 翌日 9時の "	"			●				○
F	1 9時の輪島850ミリバル気温	℃	○	○		○			
	2 21時の "	"			●		○	○	
	3 翌日 9時の "	"							○
G	1 15時の鳥取と銚子の気圧差	mb	○	○		○			
	2 21時の "	"					○		
	3 翌日 3時の "	"						○	
	4 翌日 9時の "	"							○

○；実況値，●；予報値

#### 4 各変数についての考察

ここでは表5-3で使用した説明変数間および目的変数との関連について、主な解析結果と考察を述べるものである。その結果の一例は表6-4に示した。

表5-4 目的変数と説明変数間の相関(12時間予測の場合)

	H <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	G <sub>2</sub>
H <sub>1</sub>	1.000	0.388	0.415	0.321	0.340	-0.559	-0.491	-0.568	-0.528	-0.480	0.325
A <sub>1</sub>		1.000	-0.348	0.195	0.177	-0.379	-0.321	-0.383	-0.333	-0.355	0.219
B <sub>1</sub>			1.000	-0.277	-0.276	0.639	0.474	0.618	0.667	0.814	-0.356
H <sub>2</sub>				1.000	0.306	-0.315	-0.451	-0.419	-0.403	-0.299	0.276
C <sub>2</sub>					1.000	-0.334	-0.413	-0.524	-0.524	-0.386	0.624
D <sub>2</sub>						1.000	0.632	0.823	0.702	0.799	-0.382
E <sub>1</sub>							1.000	0.905	0.752	0.613	-0.481
E <sub>2</sub>								1.000	0.815	0.777	-0.564
F <sub>1</sub>									1.000	0.821	-0.619
F <sub>2</sub>										1.000	-0.482
G <sub>2</sub>											1.000

H<sub>1</sub>: 18~6時における藤沢の降雪深 (cm) } 目的変数  
 H<sub>2</sub>: 6~18時 " " }

これによると、目的変数であるH<sub>1</sub>とH<sub>2</sub>の相関係数(偏相関係数)は0.321であり夜間と昼間の降雪量の相関はあまり高くないことを示している。また目的変数のH<sub>1</sub>に対し説明変数が比較的相関の高いものは、D<sub>2</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>でこれらは輪島および秋田の850, 500ミリバールのデータである。次いでB<sub>1</sub>である藤沢の16時の地上気温とH<sub>1</sub>との相関が高いが、B<sub>1</sub>はF<sub>2</sub>の850ミリバール気温と0.814と言う高い相関を持っているためF<sub>2</sub>を予測式にとり入れた場合、B<sub>1</sub>は予測式にとり入れてもあまり効果はないと言えよう。

さらに、変数の選出方法としては、第4章と同じ方法で判別関数にとり込むべき変数について重回

帰式のステップワイズリグレーション法の結果を参考にしたが、その後の調査で判別関係にとり込まれる変数の順序と組み合わせは必ずしもステップワイズの結果とは一致しないことが判明した。その理由ははっきりしないが、今回使用したデータは66%まで降雪零のデータであるため、これによって作られた回帰式や相関係数をそのままストレートに降雪とその変数（因子）との関係を示すのはかなり危険である。例えば18～06時の間の降雪量( $H_1$ )と06時～18時( $H_2$ )の間の降雪量との相関係数は0.321であるが、全体の66%が降雪量零であるから、この分のデータについては相関係数は1.000となるはずである。このため残り34%の降雪のあったケースのみについて相関を求めてみると0.321よりはかなり低下することとなる。

このようにデータがかなり偏った分布となっているため回帰式の作成過程をストレートに判別式作成の際の変数選択に採用することには問題がある。それに回帰式では相関零の変数でない限りその変数を回帰式にとり込むことにより多少でも重相関係数は向上する。しかし判別関数では不適当な変数を加えると判別能力が低下することがしばしば発生する。このようなことから、表5-3の高い相関を持つ因子から変数数の増減により判別式を求める方法を取った。

## 5 判別関数の精度

判別方法としては第4章では1回で3～4のカテゴリーに区分したが、これでは1カテゴリー当りのデータ数が目的変数の数に対して十分な自由度を確保できないケースが発生し得ることがあるため、今回は2区分判別を2回くり返して“降雪なし”、“降雪あり”、“降雪9cm以下”、“降雪9cm以上”の4式作成することとした。その判別方法は(7)式参照されたい。なお、ここで降雪量を10cmでなく9cmで区分したのは、10cm区分よりも精度が向上するためである。

これを基に、ここでは変数数の決定等のための解析、つまり変数数による的中率の検討および実測値を用いた精度の検討を12時間予測方式（18時から翌日の6時）について行ったものである。

### 6-1 変数の増減による精度の検討

既に述べたように降雪予測を行う場合、取り込む因子が少ないことは操作上非常に有効なものとなるが、そのために精度が低下することは問題がある。そこで、ここでは変数の増減による的中率がどの程度変化するかを検討したものである。その方法としては、前述の通り12時間予測方式により夕方の18時から翌朝6時までの予測について変数数を4～9個の範囲で、かつ変数の入れ換えによる精度の検証を行ったものである。その結果表5-5では高い的中率が得られたものについてののみ表記した。また、データの解析方法としては内部データ（藤沢における昭和49年12月から昭和52年3月までのデータ）による検証を主体とし、ここで得られた代表的な2例について外部データ

(同場所の昭和53年1月から3月のデータ)の検証も行ったものである。組合せ、要因名等は表5-3参照されたい。

表5-5 変数数別による判別結果(12時間予測の場合)

予測区分	使用変数		内部データの検証		外部データの検証		備考
	数	内 訳	データ数	的中率(%)	データ数	的中率(%)	
降雪の有無	9	A <sub>1</sub> ・B <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・E <sub>2</sub> ・F <sub>1</sub> ・G・K	198	85.9	50	—	
	7	C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・F <sub>2</sub> ・G <sub>1</sub> ・K	〃	83.8	〃	—	
	7	A <sub>1</sub> ・B <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	86.3	〃	86.9	最も精度が良い
	6	A <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	82.3	〃	—	
	6	A <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E・F・G <sub>1</sub>	〃	80.8	〃	—	
	5	C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>2</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	85.3	〃	76.0	
	5	C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	80.3	〃	—	
降雪が 9cm以上か 以下か	4	A <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub>	〃	82.3	〃	—	
	7	A <sub>1</sub> ・B <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	89.9	〃	82.5	最も精度が良い
	6	A <sub>1</sub> ・C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	80.8	〃	—	
	5	C <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub> ・G <sub>1</sub>	〃	86.9	〃	80.0	
	4	A <sub>1</sub> ・D <sub>1</sub> ・E <sub>1</sub> ・F <sub>1</sub>	〃	80.3	〃	—	

※ Kは輪島850mbの高度(m)を示す。

この結果から最も高い的中率が得られたのは降雪の有無の場合、7変数によるものであり内部データでの的中率は86.3%、外部データでは86.9%となった。さらに降雪が9cm以上か以下かの判別式では、7変数によるものがやはり高く内部データで89.9%、外部データで82.5%となった。一方、少ない変数でも内部データによる的中率は高いものがあるが、外部データの検証で低下する結果となり安定性に乏しい結果となった。

#### 6-2 予想天気図による予測値と実況値を用いた場合の精度の検討

前項では16時までには得られた気象の実況値を用い18時から翌日の6時までの降雪予測の的中率について検討を行ったものであるが、ここで使用したデータには9時に得られた高層気象データが含

まれている。これは18時から翌日の6時までの間の降雪予測を行うデータとしては時間が経過しすぎていることから、ここでは既述の通り新しい試みの一つとして9時に得られた気象データのみを16時に入手される21時の予想天気図によって解析した高層気象予測値を用いて外部データによる検討を行ったものである。その結果は表5-6に示す。なお、使用変数は前項で得られた7変数とした。

表5-6 外部データによる実況値と予測値による的中率(7変数の場合)

(外部データ：昭和53年1月～3月)

データ数：40

予 測 方 式	使 用 変 数	外部データによる的中率(%)	
		降雪の有無	降雪が9cm以上、以下
実況値の予測 (9時の高層気象データを使用した場合)	$A_1 \cdot B_1 \cdot C_1 \cdot D_1 \cdot E_1 \cdot F_1 \cdot G_1$	86.9	82.5
予測値による予測 (21時の高層気象予測値を使用)	$A_1 \cdot B_1 \cdot C_2 \cdot D_2 \cdot E_2 \cdot F_2 \cdot G_2$	84.7	80.4

★12時間予測(18時～翌日の6時)

この表で、 $A_1, B_1$ は藤沢における16時の実測値であり  $D_1, E_1, F_1$  ( $D_2, E_2, F_2$ は21時の予測値)は9時、 $C_1, G_1$  ( $C_2, G_2$ は21時の予測値)は15時の実測値を示す。この結果から気象庁が電計により数値予報を作成した予想天気図から読み取った高層気象予測値を説明変数として使用するより9時の高層気象実況をそのまま使用した方が好結果を得ることがわかった。このため12時間予測の6時から18時予測についての予測手法は一応参考として表示したものであるが、気象が急変するような天候パターン、たとえば前線の通過で気温が午後になって急に低下し冬型になった場合等には、この予測方式を使うとより精度が期待できる。

以上のことから夕方16時頃において夜間あるいはそれ以後の降雪予測を行うための変数数としては7変数が最も高い的中率が期待できることがわかった。このため以下の予測式では、7変数の実況値を主体に解析を進めることとした。なお、12時間予測の翌日6時から18時までの予測式においては、予測値を使用している。

## 6 各予測時間別による判別精度

ここでは表5-2に示した各予測方式を基に藤沢における内部データ（昭和49年12月～昭和52年3月）と外部データ（昭和52年12月～昭和53年3月）の的中率の検証を行ったものである。

### 6-1 24時間予測

これは表5-2に示したように16時までに実測された気象データ（実測値）を基に18時から翌日の18時までの降雪の有無、降雪が9cm以上か以下かについて予測式の作成を行ったものである。この時の使用変数は表5-3に示したようにA<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、D<sub>1</sub>、E<sub>1</sub>、F<sub>1</sub>、G<sub>1</sub>の7変数のみを使用した。その結果内部データによる的中率は表5-7に示し、外部データによる的中率を表5-8に示した。また、外部データによる降雪の確率予測状況については表5-9に示した。この表の予測確率では、雪が降る確率と、9cm以上降る確率を示したものである。

表5-7 24時間予測の内部データによる的中率（7変数）

（表中の予測とは、予測した結果を示し観測とは実測値を示す）

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	112	18	120
有	15	54	69
計	127	72	189

a) 降雪の有無（的中率：87.8%）

予測 観測	(降雪) 9 cm 以下	9 cm 以上	計
(降雪) 9 cm 以下	129	17	146
9 cm 以上	3	40	43
計	132	57	189

b) 降雪が9cm以上か以下か（的中率：89.4%）

表5-8 24時間予測の外部データによる的中率（7変数）

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	15	3	18
有	5	22	27
計	20	25	45

a) 降雪の有無（的中率：82%）

予測 観測	(降雪) 9 cm 以下	9 cm 以上	計
(降雪) 9 cm 以下	20	8	28
9 cm 以上	1	16	17
計	21	24	45

b) 降雪が9cm以上か以下か（的中率：80%）

表5-9 外部データによる予測確率(7変数)

年.月.日	降雪量の実測値(cm) (18時~翌日の18時間)	雪が降る予測確率(%)	雪が9cm以上降る予測確率(%)
52. 12. 21	19	80.5	75.8
12. 22	5	25.5	11.0
12. 23	0	19.9	7.7
12. 24	7	8.9	9.6
12. 25	22	88.8	96.5
53. 1. 11	0	44.9	60.9
1. 12	0	50.6	34.2
1. 13	0	16.8	8.2
1. 14	0	19.6	25.8
1. 15	22	33.0	42.0
1. 16	10	81.8	53.8
1. 17	0	52.1	15.5
1. 18	7	82.1	65.9
1. 19	23	85.8	84.9
1. 21	15	98.3	98.2
1. 22	4	89.4	94.7
1. 23	0	43.1	28.4
1. 26	1	52.8	34.4
1. 27	23	51.9	58.6
1. 28	4	82.3	50.9
1. 29	6	88.1	63.3
1. 30	60	95.3	95.8
1. 31	24	98.0	98.2
2. 01	18	97.5	94.3
2. 02	89	99.8	99.6
2. 03	21	99.5	99.3
2. 07	9	33.2	28.5
2. 08	0	37.1	10.1
2. 15	35	100.0	99.8
2. 21	21	99.8	99.6
3. 10	0	70.4	62.6
3. 11	2	80.5	75.6
3. 12	13	94.6	93.4
3. 14	14	81.3	67.7
3. 16	0	44.2	27.6
3. 17	0	24.3	10.0
3. 18	0	12.1	7.5
3. 19	0	6.4	2.3
3. 20	0	6.0	2.1
3. 21	0	7.4	0.5
3. 22	0	79.9	87.3
3. 23	1	67.7	80.1
3. 25	0	17.6	19.0
3. 26	0	3.6	3.2
3. 29	0	4.6	3.3

表5-7の内部データによる判別結果(データ数:189)では90%に近い的中率を得ることができたのに対し、表5-8に示す外部データによる検証結果では8~9%程度低下する結果となった。

この結果は第4章で述べた24時間予測の的中率に対し内部データの検証では数パーセント低下した程度であるが、外部データでは数十パーセントアップされている。これは入手する変数をむやみに多くせず、関連する要因を有効的に取り出したためと思われる。

一方、表5-9に示した確率予測値では、だいたい50%を境に降るケースと降らないケースに分かれており、特に90%以上のものに対してはほとんど降ると言う結果となった。

## 6-2 12時間予測

12時間予測は16時30分までに実測された気象データを18時から翌日の6時までの間の降雪の有無、9cm以上か以下かについて予測するものと、同じ16時30分時点に入手される21時と翌日9時の天気図による高層気象予測値を用い翌日の6時から夕方の16時までの予測を行うものとした。これに用いた変数は、前者は24時間予測のものと同じであるが、後者についてはC<sub>2</sub>、D<sub>2</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>、F<sub>2</sub>(表5-3参照)の5変数を用いて行ったものである。

### 6-2-1 夕方18時から翌朝6時までの12時間降雪予測

これに関する的中率の検証は前節(判別関数の精度)で述べているので、ここでは、その一例(表5-10, 11)と確率予測値(表5-12)について示す。したがって変数数および因子数別による検証結果については表5-5を参照されたい。

表5-10 内部データによる的中率(7変数)

予測 \ 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	123	16	139
有	11	48	59
計	134	64	198

a) 降雪の有無 (的中率: 86.3%)

予測 \ 観測	(降雪) 9cm以下	9cm以上	計
(降雪) 9cm以下	149	16	165
9cm以上	4	29	33
計	153	45	198

b) 降雪が9cm以上か以下か (的中率: 89.9%)

表5-11 外部データによる的中率(7変数)

予測 \ 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	21	3	24
有	3	19	22
計	24	22	46

a) 降雪の有無 (的中率: 87.0%)

予測 \ 観測	(降雪) 9cm以下	9cm以上	計
(降雪) 9cm以下	26	7	33
9cm以上	0	13	13
計	26	20	46

b) 降雪が9cm以上か以下か (的中率: 84.8%)



表 5 - 12 外部データによる予測確率

年 月 日	18時～06時 実測降雪量 (cm)	雪が降る予測確率 (%)	雪が9cm以上降る予測確率(%)
52. 12. 21	1 2	82. 7	67. 4
12. 22	5	26. 1	26. 7
12. 23	0	12. 2	18. 4
12. 24	2	99. 1	15. 3
12. 25	2 2	94. 5	55. 1
53. 1. 10	6	96. 3	96. 7
1. 11	0	57. 0	15. 2
1. 12	0	45. 0	44. 0
1. 13	0	8. 4	6. 7
1. 14	0	23. 6	21. 0
1. 15	1	27. 6	36. 4
1. 16	6	75. 8	17. 3
1. 18	0	45. 6	24. 3
1. 19	2 1	80. 7	88. 2
1. 21	1 5	92. 4	84. 2
1. 22	3	93. 8	98. 4
1. 23	0	38. 7	42. 7
1. 26	0	24. 9	10. 2
1. 27	9	68. 4	68. 1
1. 28	3	68. 0	52. 0
1. 29	3	76. 8	39. 1
1. 30	1 8	93. 4	66. 6
1. 31	1 0	97. 4	91. 3
2. 01	3	94. 9	98. 8
2. 02	3 8	99. 9	94. 4
2. 03	6	99. 9	97. 9
2. 07	9	54. 2	79. 9
2. 08	0	15. 5	17. 0
2. 15	1 8	100. 0	90. 1
2. 21	2 1	99. 9	93. 2
3. 10	0	27. 7	4. 7
3. 11	0	66. 3	66. 3
3. 12	5	92. 6	94. 7
3. 14	9	68. 3	83. 2
3. 16	0	34. 1	41. 4
3. 17	0	14. 3	24. 5
3. 18	0	8. 4	12. 8
3. 19	0	6. 3	21. 9
3. 20	0	6. 0	11. 4
3. 21	0	0. 7	0. 9
3. 22	0	56. 7	19. 3
3. 23	0	76. 3	87. 7
3. 25	0	17. 6	9. 4
3. 26	0	3. 7	23. 4
3. 29	0	5. 9	13. 7
3. 30	0	23. 0	31. 1

ここでの結果は、最も的中率の良い組合せを選出し示したものであるため内部、外部データ共かなりの的中率を得る結果となっている。

### 6-2-2 翌朝6時から18時までの12時間予測

前項で24時間予測の的中率について述べたが、ここでは12時間予測を2回行うことで24時間をカバー、つまり、少しでも新しい情報（21時、翌朝の9時の予想天気図の予測値）を用い翌日の6時から18時の予測値の精度を向上させることを意図し実施したものである。この予測式を作成するに当たっては、種々の変数の組合せにより解析したが最終的には前記の通り5変数式となった。その結果の的中率は表5-13、14に示す。

表5-13 内部データによる的中率（5変数）

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	123	24	147
有	11	40	51
計	134	64	198

a) 降雪の有無（的中率：82.3%）

予測 観測	(降雪) 9 cm以下	9 cm以上	計
(降雪) 9 cm以下	142	41	183
9 cm以上	2	13	15
計	144	54	198

b) 降雪が9 cm以上か以下か（的中率：78.3%）

表5-14 外部データによる的中率（5変数）

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	17	10	27
有	2	17	19
計	19	27	46

a) 降雪の有無（的中率：73.9%）

予測 観測	(降雪) 9 cm以下	9 cm以上	計
(降雪) 9 cm以下	28	10	38
9 cm以上	0	8	8
計	28	18	46

b) 降雪が9 cm以上か以下か（的中率：78.3%）

この結果からの中率では18時から翌日の6時までの12時間予測に比べかなり低下することがわかった。たとえば表5-13の内部データの降雪が9 cm以上か以下について見ると降雪が9 cm以上であると予測したのに対し的中したのが13件、9 cm以下であったのが41件あり3倍弱の外れとなった。これは表5-10と比較してもわかるようにながりの差が見られる。

このため、この予測式は通常の降雪予測として使用することは多少の問題が残されるものと考えられるが、前でも述べたように気象が急変するような状況においては有効的な手法の一つと考えられる。

### 6-3 6時間予測

この方法は、24時間もしくは12時間降雪予測式によって今後、降雪があると言う判定に対し18時

から24時、翌日の0時から6時、6時から12時、12時から18時の1日4回に区分し、その都度新しいデータにより降雪状況を予測するものである。この時の降雪の判別方法は、降雪の有無、降雪が5cm以上か以下かについて行ったものである。以下、予測時間別による精度の検証結果について述べる。

### 6-3-1 夕方18時から24時までの6時間降雪予測

使用データは9時の高層気象データに18時の藤沢の観測値を加え18時から向う6時間の降雪予測を行ったものである。その結果は表5-15, 16に示す。なお、変数数は7変数を用い記号は表5-3に示したように  $A_2, B_2, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1$  を使用した。

表5-15 内部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	126	25	151
有	10	33	43
計	136	58	194

a) 降雪の有無 (的中率: 82.0%)

予測 観測	(降雪) 5cm以下	5cm以上	計
(降雪) 5cm以下	148	22	170
5cm以上	7	17	24
計	155	39	194

b) 降雪が5cm以上か以下か (的中率: 85.1%)

表5-16 外部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	21	7	28
有	2	4	6
計	23	11	34

a) 降雪の有無 (的中率: 73.5%)

予測 観測	(降雪) 5cm以下	5cm以上	計
(降雪) 5cm以下	24	6	30
5cm以上	3	1	4
計	27	7	34

b) 降雪が5cm以上か以下か (的中率: 73.6%)

この結果から見る限りでは的中率は少し低い値となった。これは12時間予測の場合と同じように午前9時の高層気象データを使用しているため予測時点ではかなり時間が経過していることと、降雪の周期が短時間で変化する場合、6時間では把握できないことが多くなるため精度が低下したものと考えられる。

### 6-3-2 0時から6時までの6時間降雪予測

これは夜半0時までに入手したデータ、つまり、 $A_3, B_3, C_2, D_2, E_2, F_2, G_2$  の7変数あるいは、 $E_2$ を除いた6変数を用い夜半0時から朝6時までの降雪予測の検討を行うものである。この結果は表5-17, 18, 19および表5-20に示す。この予測は12時間予測の18時~朝6時までの予

測時間の中央点に当り、0時に残りの半分について行うものである。

表 5-17 内部データによる的中率 (7 変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	140	11	151
有	9	40	49
計	149	51	200

a) 降雪の有無 (的中率: 90.0%)

予測 観測	(降雪) 5 cm 以下	5 cm 以上	計
(降雪) 5 cm 以下	159	9	168
5 cm 以上	9	23	32
計	168	32	200

b) 降雪が 5 cm 以上か以下か (的中率: 91.0%)

表 5-18 外部データによる的中率 (7 変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	26	4	30
有	2	5	7
計	28	9	37

a) 降雪の有無 (的中率: 83.8%)

予測 観測	(降雪) 5 cm 以下	5 cm 以上	計
(降雪) 5 cm 以下	30	1	31
5 cm 以上	2	4	6
計	32	5	37

b) 降雪が 5 cm 以上か以下か (的中率: 91.9%)

表 5-19 6 変化による降雪 5 cm 以上か以下かの的中率

予測 観測	5 cm 以下	5 cm 以上	計
(降雪) 5 cm 以下	160	8	168
5 cm 以上	8	24	32
計	168	32	200

a) 内部データによる結果 (的中率: 92.0%)

予測 観測	(降雪) 5 cm 以下	5 cm 以上	計
(降雪) 5 cm 以下	30	1	31
5 cm 以上	2	4	6
計	32	5	37

b) 外部データによる結果 (的中率: 91.9%)

入手データが新しいための的中率もかなり高く降雪が 5 cm 以上か以下かについては 90% 以上の結果が得られた。一方、ここでは 6 変数による精度の検証も行ったが降雪が 5 cm 以上か以下かについては 7 変数の場合とほとんど変わらない値が得られている。しかし降雪の有無の検証を行った場合、6 変数はかなり低下しており安定性に乏しいことがわかった。

表 5 - 20 外部データによる予測確率 (7 変数)

年.月.日	0 時 ~ 6 時 実測降雪量 (cm)	雪が降る予測確率 (%)	雪が 5 cm 以上降る予測確率 (%)
52. 12. 22	5	95. 0	67. 0
12. 23	0	20. 1	12. 2
12. 24	0	7. 1	0. 6
53. 1. 12	0	58. 8	15. 0
1. 13	0	45. 0	16. 9
1. 14	0	2. 7	3. 2
1. 15	0	28. 6	11. 5
1. 16	1	23. 4	8. 0
1. 17	0	73. 8	27. 1
1. 18	0	16. 7	11. 9
1. 19	0	22. 8	5. 5
1. 21	0	11. 3	5. 0
1. 22	15	98. 3	65. 1
1. 23	3	98. 1	53. 1
1. 24	0	19. 4	8. 0
1. 27	0	7. 3	3. 8
1. 28	9	67. 2	18. 0
1. 30	3	49. 3	18. 1
1. 31	8	99. 9	99. 1
2. 09	0	27. 4	16. 3
2. 14	9	99. 3	96. 0
3. 10	0	0. 2	2. 0
3. 11	0	50. 2	5. 5
3. 12	0	80. 0	21. 3
3. 13	5	95. 7	32. 5
3. 17	0	41. 5	12. 0
3. 18	0	11. 5	6. 9
3. 19	0	7. 0	4. 1
3. 20	0	10. 5	8. 9
3. 21	0	9. 1	8. 5
3. 22	0	0. 8	2. 2
3. 26	0	6. 3	3. 2
3. 27	0	2. 1	2. 8
3. 28	0	3. 7	2. 7
3. 29	0	41. 5	12. 0
3. 30	0	5. 4	3. 9
3. 31	0	41. 8	16. 5

6-3-3 朝6時から12時までの降雪予測

朝6時の時点で使用した高層気象データは前夜の21時に観測されたものと、地上データは朝6時までに入手されたものである。その変数名は  $A_4, B_4, C_3, D_2, E_2, F_2, G_3$  である。予測は朝6時の時点で計算し、その時点から向う6時間、つまり12時までである。この時の解析結果は表5-21, 22 および表5-23に降雪の予測確率値について示した。

表5-21 内部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	154	8	162
有	8	30	38
計	162	38	200

a) 降雪の有無 (的中率: 92.0%)

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	150	33	183
5 cm以上	2	15	17
計	152	48	200

b) 降雪が5 cm以上か以下か (的中率: 82.5%)

表5-22 外部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	25	1	26
有	4	7	11
計	29	8	37

a) 降雪の有無 (的中率: 86.5%)

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	28	4	32
5 cm以上	1	4	5
計	29	8	37

b) 降雪が5 cm以上か以下か (的中率: 86.5%)

表5-21で降雪が5 cm以上か以下の判別では降雪の有無の判別に比べ的中率が10%近く低下する結果となった。これは1~4 cmの降雪を降雪5 cm以上に判別してしまったためである。また外部データによる検証結果では内部データの的中率に比べ多少差は見られたが外部データの場合、データ数が少なかったことから有意であるとは考え難い。

さらに、この予測方式では21時の高層データを使用しているため朝の6時ですでに9時間経過している。このため、この判別関数の的中率は実用可能な限度と思われるので、これ以上、予測時間を延長することはかなり問題となろう。

表 5 - 23 外部データによる予測確率 (7 変数)

年.月.日	朝 6 時 ~ 12 時 実測降雪量 (cm)	雪が降る予測確率 (%)	雪が 5 cm 以上降る予測確率 (%)
52. 12. 22	7	92.3	75.3
12. 23	0	3.8	20.7
12. 24	0	2.6	17.3
53. 1. 12	0	9.0	38.8
1. 13	0	6.2	27.6
1. 14	0	1.0	10.4
1. 15	0	4.3	26.4
1. 16	1.2	1.4	11.6
1. 17	4	9.8	27.7
1. 18	0	4.6	19.3
1. 19	4	3.3	19.0
1. 21	0	8.6	35.0
1. 22	0	42.0	68.1
1. 23	1	99.3	89.6
1. 24	0	5.4	29.0
1. 27	1	1.6	15.6
1. 28	1.4	85.0	70.1
1. 30	3	98.0	78.9
1. 31	2.9	100.0	96.7
2. 09	0	2.5	11.5
2. 14	1.6	91.9	75.7
3. 10	0	0.3	3.7
3. 11	0	3.3	17.1
3. 12	2	16.3	44.6
3. 13	0	97.0	86.8
3. 17	0	15.4	43.9
3. 18	0	2.4	16.5
3. 19	0	1.2	12.4
3. 20	0	2.6	16.3
3. 21	0	2.3	15.3
3. 22	0	0.4	3.9
3. 26	0	1.2	16.1
3. 27	0	0.4	6.5
3. 28	0	0.8	8.9
3. 29	0	2.7	17.6
3. 30	0	1.6	16.1
3. 31	0	9.1	29.7

6-3-4 12時から18時までの降雪予測

9時に観測された高層気象資料は12時前後にテレタイプにより入電されるため、ここでは、このデータを利用し12時から夕方18時までの6時間降雪予測式を作成し検証を行ったものである。その結果は表5-24, 25 (以上7変数の場合), 26 (6変数の場合)に示し、降雪の確率予測値は表5-27に示した。なお、この時の使用データは7変数の場合 A<sub>5</sub>, B<sub>5</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>3</sub>, F<sub>3</sub>, G<sub>4</sub>とし、6変数の場合は F<sub>3</sub>を除いたものとした。さらに判別区分は前と同じように降雪の有無、降雪が5 cm以上か以下とした。

表5-24 内部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	151	11	162
有	5	27	32
計	156	38	194

a) 降雪の有無 (的中率: 91.8%)

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	149	27	176
5 cm以上	5	13	18
計	154	40	194

b) 降雪が5 cm以上か以下か (的中率: 83.5%)

表5-25 外部データによる的中率(7変数)

予測 観測	(降雪) 無	有	計
(降雪) 無	28	3	31
有	0	3	3
計	28	6	34

a) 降雪の有無 (的中率: 91.2%)

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	27	5	32
5 cm以上	0	2	2
計	27	7	34

b) 降雪が5 cm以上か以下か (的中率: 85.3%)

表5-26 6変数による5 cm以上か以下かの的中率

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	151	25	176
5 cm以上	4	14	18
計	155	39	194

a) 内部データの結果 (的中率: 85.1%)

予測 観測	(降雪) 5 cm以下	5 cm以上	計
(降雪) 5 cm以下	29	3	32
5 cm以上	0	2	2
計	29	5	34

b) 外部データの結果 (的中率: 91.2%)



表 5-27 外部データによる予測確率 (7 変数)

年.月.日	12時～18時 実測降雪量(cm)	雪が降る予測確率 (%)	雪が5cm以上降る予測確率(%)
52. 12. 21	5	96.3	82.8
12. 22	0	100.0	98.8
12. 23	0	8.1	20.4
54. 1. 12	0	21.4	43.6
1. 13	0	8.8	19.1
1. 14	0	5.7	19.6
1. 15	0	5.6	18.9
1. 16	9	51.6	66.9
1. 18	0	3.2	17.3
1. 20	0	23.2	40.1
1. 21	0	25.2	51.3
1. 22	0	98.4	88.1
1. 23	0	24.5	40.4
1. 27	0	57.8	67.4
1. 30	0	7.5	45.1
2. 06	0	18.4	24.4
3. 10	0	0.7	5.4
3. 12	0	52.0	60.7
3. 14	2	45.2	46.0
3. 16	0	18.1	36.0
3. 17	0	15.4	28.1
3. 18	0	4.9	17.0
3. 19	0	10.1	30.1
3. 20	0	17.0	24.6
3. 21	0	1.0	12.9
3. 22	0	19.4	46.9
3. 24	0	9.3	21.7
3. 25	0	1.6	9.8
3. 26	0	1.6	13.8
3. 27	0	0.2	3.6
3. 28	0	0.9	6.9
3. 29	0	7.3	29.0
3. 30	0	28.2	35.5
3. 31	0	16.5	22.7

内部データ、外部データによる検証結果からでは、降雪の有無による予測は7変数によるものが的中率が高く、さらに5cm以上とか以下については6変数によるものが数パーセントではあるが、高い的中率を得ることができた。

## 7 最適精度における予測式と解析結果の考察

前節までは、変数数の増減、各種変数による組合せ等による的中率の検証結果について述べてきた

が、ここでは最適精度の一覧（表5-28に示す）と、これらの解析結果から最も適中率が良く安定性に富んだ降雪の判別予測式および判別方法等について示し、さらに二～三の考察を述べる。

各予測時間別による判別予測式は表5-29, 30, 31, 32, 33, 34, 35に示す。なお予測時刻は表5-2, 使用変数名等は表5-3参照されたい。また表中、参考として変数数別の予測式も一部示した。

表5-28 予測時間別による的中率の一覧

使用データ：7変数（12時間予測の翌日の6時から18時の予測は5変数）

予測方式 予測区分		24時間予測 (18時～翌18時)	12時間予測		6時間予測			
			18時～翌日の6時	翌日の6時～18時	18時～24時	翌日の0時～6時	翌日の6時～12時	翌日の12時～18時
内的部 デ中 1 タ 率 の (%)	降雪の有無	89.4 <sup>(%)</sup>	86.3	82.3	81.9	90.0	92.0	91.7
	降雪が5cm以上, 以下	—	—	—	85.0	91.0	82.5	83.5
	降雪が9cm以上, 以下	87.8	89.9	78.2	—	—	—	—
外的部 デ中 1 タ 率 の (%)	降雪の有無	82.0	86.9	73.9	73.6	84.0	86.5	91.2
	降雪が5cm以上, 以下	—	—	—	73.6	92.0	86.5	85.7
	降雪が9cm以上, 以下	80.0	84.7	78.3	—	—	—	—

注 内部データは昭和49年12月～53年3月までのもの  
外部データは昭和53年1月～53年3月までのもの

表5-29 24時間予測式（18時から翌日の18時までの予測）

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 変 数 数
降雪の	有	$Y_1 = -4334.535 + 4.711 A_1 + 3.044 B_1 + 18.560 C_1 - 6.559 D_1 + 15.428 E_1 - 15.258 F_1 + 4.805 G_1$	7
	無	$Y_2 = -4424.652 + 4.333 A_1 + 3.173 B_1 + 18.411 C_1 - 6.560 D_1 + 15.594 E_1 - 15.181 F_1 + 4.817 G_1$	
降雪が9cm	以上	$Z_1 = -4229.195 + 5.680 A_1 + 2.852 B_1 + 15.396 C_1 - 5.842 D_1 + 15.093 E_1 - 16.849 F_1 + 4.524 G_1$	7
	以下	$Z_2 = -4319.266 + 5.318 A_1 + 2.944 B_1 + 14.785 C_1 - 5.774 D_1 + 15.264 E_1 - 16.960 F_1 + 4.502 G_1$	

表 5 - 30 12 時間予測式 (18 時から翌日の 6 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 変 数 数
降 雪 の	有	$Y_3 = -6450.898 + 36.164 A_1 - 10.427 B_1 - 25.386 C_1$ $+ 30.611 D_1 - 3.221 E_1 - 8.517 F_1 + 5.814 G_1$	7
	無	$Y_4 = -6474.797 + 33.904 A_1 - 10.259 B_1 - 25.190 C_1$ $+ 30.670 D_1 - 3.202 E_1 - 8.517 F_1 + 5.806 G_1$	
降 雪 が 9 cm	以上	$Z_3 = -5216.770 + 4.538 A_1 + 1.316 B_1 + 26.184 C_1$ $- 18.793 D_1 + 17.995 E_1 - 7.644 F_1 + 7.121 G_1$	7
	以下	$Z_4 = -5258.305 + 4.031 A_1 + 1.370 B_1 + 25.702 C_1$ $- 18.601 D_1 + 18.084 E_1 - 7.755 F_1 + 7.101 G_1$	

表 5 - 31 12 時間予測 (翌朝 6 時から 18 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 変 数 数
降 雪 の	有	$Y_7 = -2859.158 + 1.381 C_2 - 6.740 D_2$ $+ 6.159 E_2 + 10.052 E_3 - 15.493 F_2$	5
	無	$Y_8 = -2889.977 + 1.096 C_2 - 6.651 D_2$ $+ 6.144 E_2 + 10.116 E_3 - 15.355 F_2$	
降 雪 が 9 cm	以上	$Z_7 = -2849.317 + 2.317 C_2 - 6.869 D_2$ $+ 5.874 E_2 + 10.045 E_3 - 15.648 F_2$	5
	以下	$Z_8 = -2898.412 + 2.317 C_2 - 6.790 D_2$ $+ 5.716 E_2 + 10.141 E_3 - 15.508 F_2$	

表 5 - 32 6 時間予測 (18 時から 24 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 変 数 数
降 雪 の	有	$Y_9 = -4625.918 + 4.538 A_2 + 0.920 B_2 + 18.360 C_1$ $- 15.359 D_1 + 16.071 E_1 - 8.343 F_1 + 4.271 G_1$	7
	無	$Y_{10} = -4688.160 + 4.042 A_2 + 1.110 B_1 + 18.297 C_1$ $- 15.297 D_1 + 16.189 E_1 - 8.430 F_1 + 4.313 G_1$	
降 雪 が 5 cm	以 上	$Z_9 = -4545.094 + 5.296 A_2 + 0.265 B_2 + 17.546 C_1$ $- 15.775 D_1 + 15.764 E_1 - 8.003 F_1 + 4.283 G_1$	7
	以 下	$Z_{10} = -4603.504 + 4.706 A_2 - 0.400 B_2 + 17.247 C_1$ $- 15.780 D_1 + 15.872 E_1 - 8.055 F_1 + 4.353 G_1$	

表 5 - 33 6 時間予測 (翌日 0 時から 6 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 変 数 数
降 雪 の	有	$Y_{11} = -5529.824 + 2.196 A_3 + 1.286 B_3 + 27.041 C_2$ $- 20.773 D_2 + 19.031 E_2 - 6.443 F_2 + 8.748 G_2$	7
	無	$Y_{12} = -5570.934 + 1.564 A_3 + 1.029 B_3 + 26.682 C_2$ $- 20.676 D_2 + 19.119 E_2 - 6.207 F_2 + 8.755 G_2$	
降 雪 が 5 cm	以 上	$Z_{11} = -5475.309 + 3.809 A_3 + 2.065 B_3 + 27.936 C_2$ $- 21.072 D_2 + 18.767 E_2 - 7.126 F_2 + 8.757 G_2$	7
	以 下	$Z_{12} = -5489.730 + 2.913 A_3 + 1.967 B_3 + 27.382 C_2$ $- 21.048 D_2 + 18.801 E_2 - 6.965 F_2$	
降 雪 が 5 cm	以 上	$Z'_{11} = -34.998 + 0.039 A_3 + 2.419 B_3 + 0.371 C_2$ $- 1.915 D_2 - 0.009 F_2 + 0.020 G_2$	6
	以 下	$Z'_{12} = -29.630 - 0.864 A_3 + 2.321 B_3 - 0.234 C_2$ $- 1.857 D_2 + 0.165 F_2 + 0.076 G_2$	

( $Z'_{11}$   $Z'_{12}$  は 6 変数でもかなり高い精度が得られたため参考として示した。)

表 5 - 34 6 時間予測 (翌日 6 時から 12 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 数 変 数 数
降雪の	有	$Y_{13} = -5515.652 + 8.843 A_4 + 0.987 B_4 + 27.718 C_3$ $- 21.165 D_2 + 18.917 E_2 - 6.452 F_2 + 8.969 G_3$	7
	無	$Y_{14} = -5531.984 + 7.096 A_4 + 0.754 B_4 + 27.355 C_3$ $- 20.997 D_2 + 18.965 E_2 - 6.253 F_2$	
降雪が 5 cm	以上	$Z_{13} = -5510.945 + 9.945 A_4 + 1.160 B_4 + 27.987 C_3$ $- 21.303 D_2 + 18.882 E_2 - 6.589 F_2 + 8.960 G_3$	7
	以下	$Z_{14} = -5519.762 + 9.502 A_4 + 1.012 B_4 + 27.747 C_3$ $- 21.142 D_2 + 18.911 E_2 - 6.507 F_2 + 8.967 G_3$	

表 5 - 35 6 時間予測 (翌日 12 時から 18 時までの予測)

判別区分		判 別 予 測 式	使 用 数 変 数 数
降雪の	有	$Y_{15} = -4412.609 + 2.578 A_5 + 0.243 B_5 + 17.707 C_4$ $- 15.904 D_3 + 15.228 E_3 - 7.682 F_3 + 4.051 G_4$	7
	無	$Y_{16} = -4442.715 + 0.934 A_5 + 0.447 B_5 + 16.960 C_4$ $- 15.866 D_3 + 15.288 E_3 - 7.755 F_3 + 4.010 G_4$	
降雪が 5 cm	以上	$Z_{15} = -4402.367 + 4.350 A_5 - 0.005 B_5 + 18.800 C_4$ $- 15.943 D_3 + 15.192 E_3 - 7.669 F_3 + 4.081 G_4$	7
	以下	$Z_{16} = -4430.613 + 3.542 A_5 + 0.169 B_5 + 18.680 C_4$ $- 15.922 D_3 + 15.246 E_3 - 7.760 F_3 + 3.933 G_4$	
降雪が 5 cm	以上	$Z'_{15} = -28.178 + 1.108 A_5 + 1.283 B_5 - 0.025 C_4$ $- 1.559 D_3 + 0.412 F_3 + 0.286 G_4$	6
	以下	$Z'_{16} = -25.414 + 0.288 A_5 + 1.409 B_5 - 0.211 C_4$ $- 1.487 D_3 + 0.349 F_3 + 0.188 G_4$	

ここで示した予測式は、各々の予測時間別によって計算し降雪の有無、 $x$  cm以上か以下の分類を行うものである。その時の判別方法は、

$$Y_n > Y_{n+1} \quad \text{降雪あり (逆の場合は降雪なしを表わす)} \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$Z_n > Z_{n+1} \quad \text{降雪が } x \text{ cm 以上ある (逆の場合はそれ以下を表わす)} \quad \dots\dots (42)$$

$n$  : 予測式の数値

で表わされる。さらに降雪の予測確率値 (P) は第3章でも述べたように次式によって求めることができる。

$$P = 1 / \{ \exp (Y_{n+1} - Y_n) + 1 \} \text{ または } 1 / \{ \exp (Z_{n+1} - Z_n) + 1 \} \quad \dots\dots (43)$$

以上は、実用化のための降雪判別予測の結果、式等について述べてきたが、ここで作成した予測式は、第4章で求めたものに比べると的中率で見ると数パーセント低下している。これらの原因について考察すると次のことが考えられる。

① 予測時刻を変更したことにある。たとえば、第4章のものは9時の新しい気象データを用い12時からの予測を行う方式を取ったのに対し、今回は既述の通り雪寒対策、特に夜間の予測を主体としたため18時からの予測方式を取っている。この時の高層気象データは第4章と同じ9時のものを使用しているため情報としてはかなり古いものとなっているためと考えられる。

② 使用変数を  $1/3$  以下に減少させたことによる。これは今回の解析の主目的が変数の減少により実用性と安定性を向上させ、かつ的中率の低下を最少限に止めることにあつたためである。

しかし、これらの結果としては6, 12, 24時間予測での内部データによる検証では的中率の低下が5%以下に止まり、外部データ (独立データ) による検証でもほとんど独立データと同一の的中率を保つことができた。このような変数の減少は予測のためのデータ収集に要する時間と労力を大巾に節約することとなり大きな利点となる。また、当然のことながら計算実行のためのプログラムも  $1/10$  位に短くなり、CPUやメモリーの負担が軽減される。これは将来多数の地点の予測を実施する場合には大きな利点となろう。

したがって、第4章での解析によって作成された予測式は説明変数が12ヶ以上とやや過大ではあるが一応90%以上の的中率を得ており、この点では利用価値は存在する。しかし、実用性にやや難点があることから、予測式としてはかなり難しいものとなろう。

# 第6章 線としての降雪予測の適応範囲および有効的な機器の設置点の検討

## 1. 概要

道路管理として必要とされる降雪情報は既述の通り時々刻々と変化する降雪量を適確に予知できることと線としての適確な情報が必要となろう。前者については、本稿において降雪予測の一手法として判別関数法による国道18号線藤沢地区の降雪予測方式を述べてきたが、後者の場合、線としての予測式を展開するためには数多くの地点で、かつ3～4年程度の気象データ、特に毎時間ごとによる気象データが必要とされている。しかし現在では、藤沢以外の点での気象データはほとんどないため予測式の展開は非常に難しいものとなっている。

そこで、本章では、今回求めた藤沢地区での降雪予測式がどの範囲まで使用可能か、あるいは図6-1に示すような地形において今後予測式を展開する上で、どの地点の降雪情報を入手すれば合理的かつ有効的な線としての降雪情報が得られるかについて検討したものである。なお、18号線の気象概要は第2章を参照されたい。

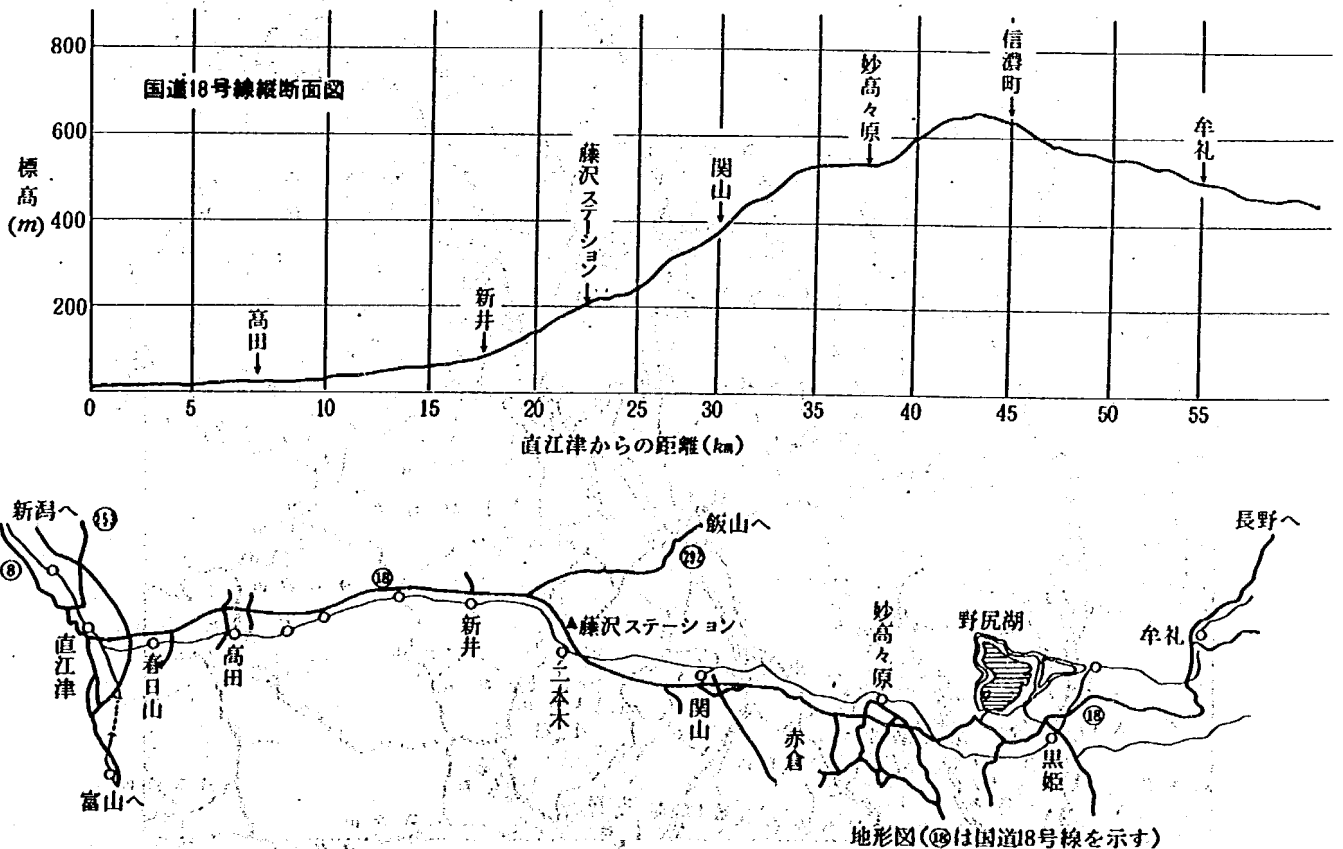


図6-1 国道18号線(直江津～野尻湖間)の概略図

## 2. 解析方法

これを解析するに当っては、数多くの観測データが必要とされるが、上記で述べたように国道18号線（直江津～野尻湖間）では、毎時間ごとによる降雪データがほとんどないことから、ここでは、その近傍（国道沿線では8地点）の観測点（国鉄、気象庁）で毎日一回観測されたデータ（昭和46年～昭和51年の間の5冬期分）を用い上越地方の日降雪深分布図（資図1-1～5参照）を作成し、これを基に国道18号線の降雪深分布図を求めた。これによって各地点間の降雪特性について相関解析し代表し

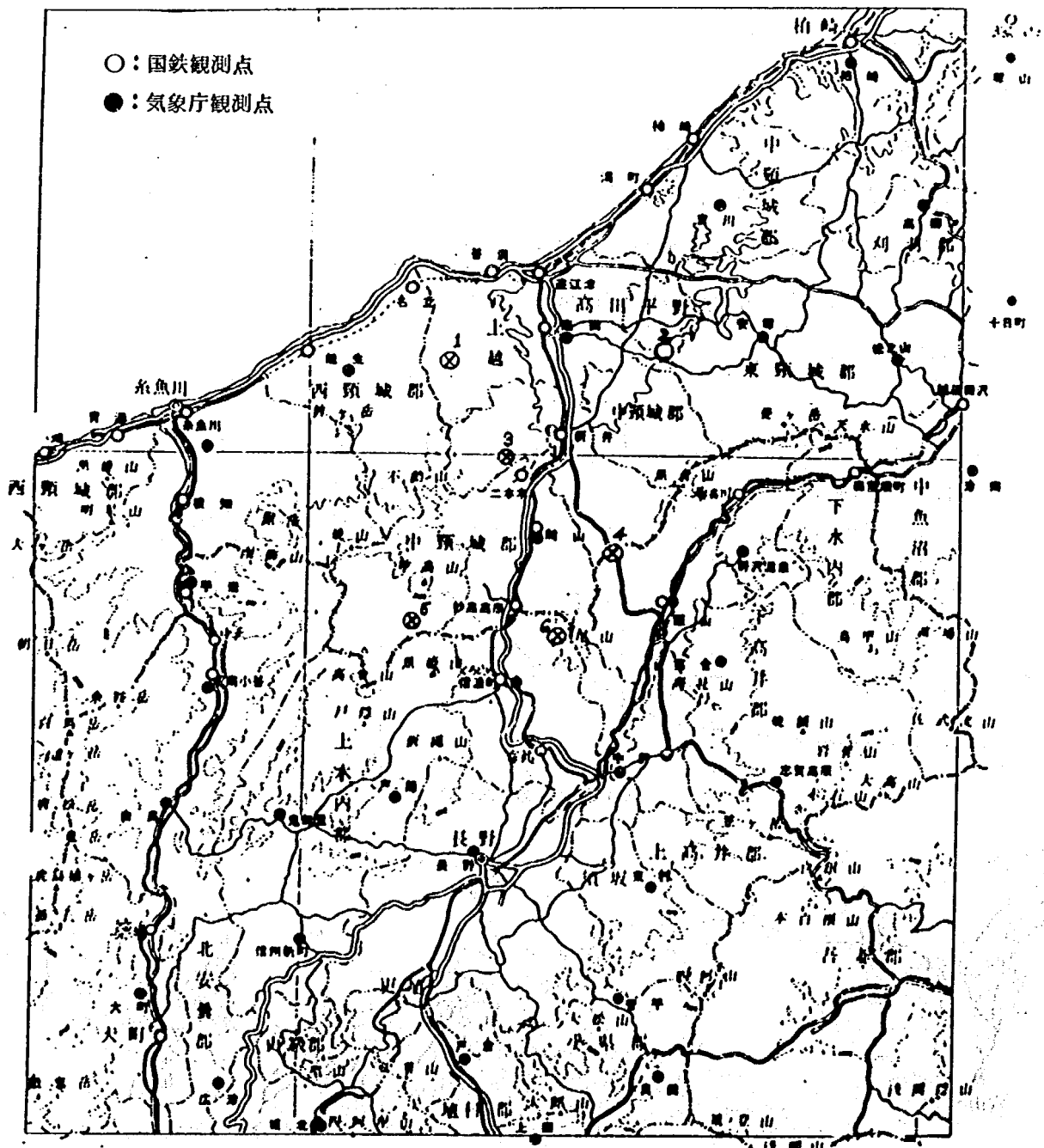


図6-2 観測地点の略図（66地点）



うる地点、および、藤沢の適用範囲を求めたものである。つまり相関解析により高相関地区を抽出することは、いつも同じような雪の降り方を示す地区を選出することとなる。また逆に低相関地区は他の地点とは同じような雪の降り方をしない地点であり一方で雪が降ると一方ではくもりとなっている等で相関が悪くなる地区である。このため、この地区では代表する地点とは考えられない。

以上のことから降雪分布図により2.5 kmピッチで読み取ったデータの各地点間の解析を相関行列式(計算式は省略する)により求め、この値から適用範囲の検討を行ったものである。なお、解析に当たっての調査地点(計56地点)は表6-2に示した。また、ここで使用したデータは上越地方に最も多く雪を降らせる降雪パターンであるFC型(季節風の吹き出し時)の100日分を抽出した。

### 3. 解析結果

降雪の分布状況の一例については表2-14に示したので、ここでは省略する。また、これらの結果を基に各地点間での相関解析を行った結果は表6-1に示した。この表の見方としては直江津から17.5 km地点の新井市(縦軸)の例で示すと相関係数90%以上の地区は12.5 kmから藤沢の22.5 km(横軸)の間に示し、80%以上の地区は5 kmから22.5 km区間を示している。また低相関地区(50%以下)は35 kmから55 km区間となっていることを示すものである。このように各地点間では高相関地区と低相関地区とが明確に分類されていることがわかる。これらの結果から藤沢の予測式の適用できる範囲、あるいは現在設置されている積雪深計の適用範囲等について相関係数の大小を指標として以下述べるものである。

#### 3-1 藤沢における予測式の適用範囲

表6-1で示した相関係数から今回解析した藤沢地区の降雪予測式が国道18号線(直江津から牟礼間)のどの地区まで代表できるかについて相関係数別に示したのが表6-2である。ここで示した相関係数の区分は一応5段階にセットしたが、この値は情報の必要精度によって決まるものである。

表6-2 相関係数別による藤沢を基点とした予測可能な範囲

相 関 係 数	90%以上	← ○ →											○は基点
	80%以上	← ○ →											
	70%以上	← ○ →											
	60%以上	← ○ →											
	50%以上	← ○ →											
	直江津からの距離 (km)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
主 な 地 名	直江津	高田		新井	藤沢	ジョン	関山	妙高原		信濃町		牟礼	

表 6 - 1 国道18号線における降雪分布の相関解析(46年~51年分)

データ数: N = 100

ポイント No.	0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	地点名
0 km		0.94	0.87	0.77	0.77	0.71	0.69	0.62	0.53	0.46	0.34	0.32	0.29	0.24	0.14	0.13	0.10	0.05	0.04	0.02	0.02	0.00	0.07	直江津
2.5			0.97	0.91	0.90	0.85	0.83	0.77	0.67	0.58	0.44	0.39	0.36	0.29	0.17	0.14	0.10	0.06	0.05	0.02	0.02	0.00	0.05	
5.0				0.96	0.94	0.91	0.88	0.83	0.73	0.65	0.50	0.45	0.41	0.34	0.21	0.17	0.12	0.06	0.04	0.02	0.04	0.00	0.03	
7.5					0.98	0.96	0.92	0.87	0.77	0.68	0.53	0.47	0.42	0.36	0.22	0.19	0.12	0.07	0.06	0.03	0.02	0.00	0.03	高田
10.0						0.97	0.94	0.89	0.76	0.71	0.55	0.51	0.47	0.40	0.28	0.23	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.00	0.07	
12.5							0.97	0.93	0.85	0.78	0.64	0.58	0.53	0.47	0.35	0.28	0.23	0.15	0.13	0.09	0.07	0.00	0.09	
15.0								0.97	0.90	0.84	0.69	0.64	0.59	0.52	0.40	0.33	0.29	0.20	0.19	0.12	0.12	0.03	0.14	
17.5									0.96	0.91	0.78	0.72	0.69	0.62	0.49	0.42	0.39	0.30	0.27	0.19	0.17	0.08	0.20	新井市
20.0										0.97	0.89	0.83	0.78	0.71	0.58	0.50	0.49	0.39	0.34	0.25	0.24	0.15	0.26	
22.5											0.95	0.91	0.84	0.76	0.64	0.57	0.57	0.45	0.41	0.32	0.31	0.21	0.32	藤沢 駅
25.0												0.97	0.91	0.84	0.72	0.66	0.67	0.57	0.50	0.41	0.38	0.28	0.38	
27.5													0.96	0.89	0.80	0.73	0.74	0.63	0.55	0.46	0.42	0.32	0.40	
30.0														0.96	0.86	0.80	0.80	0.70	0.62	0.53	0.50	0.40	0.47	関山
32.5															0.95	0.89	0.87	0.78	0.67	0.60	0.57	0.47	0.53	
35.0																0.94	0.91	0.81	0.68	0.64	0.60	0.51	0.55	
37.5																	0.95	0.88	0.75	0.72	0.67	0.59	0.61	妙高々原
40.0																		0.95	0.85	0.80	0.75	0.69	0.72	
42.5																			0.94	0.89	0.84	0.79	0.81	
45.0																				0.93	0.90	0.84	0.88	信濃町
47.5																					0.98	0.91	0.92	
50.0																						0.94	0.96	
52.5																							0.95	
55.0																								牟礼

etawid

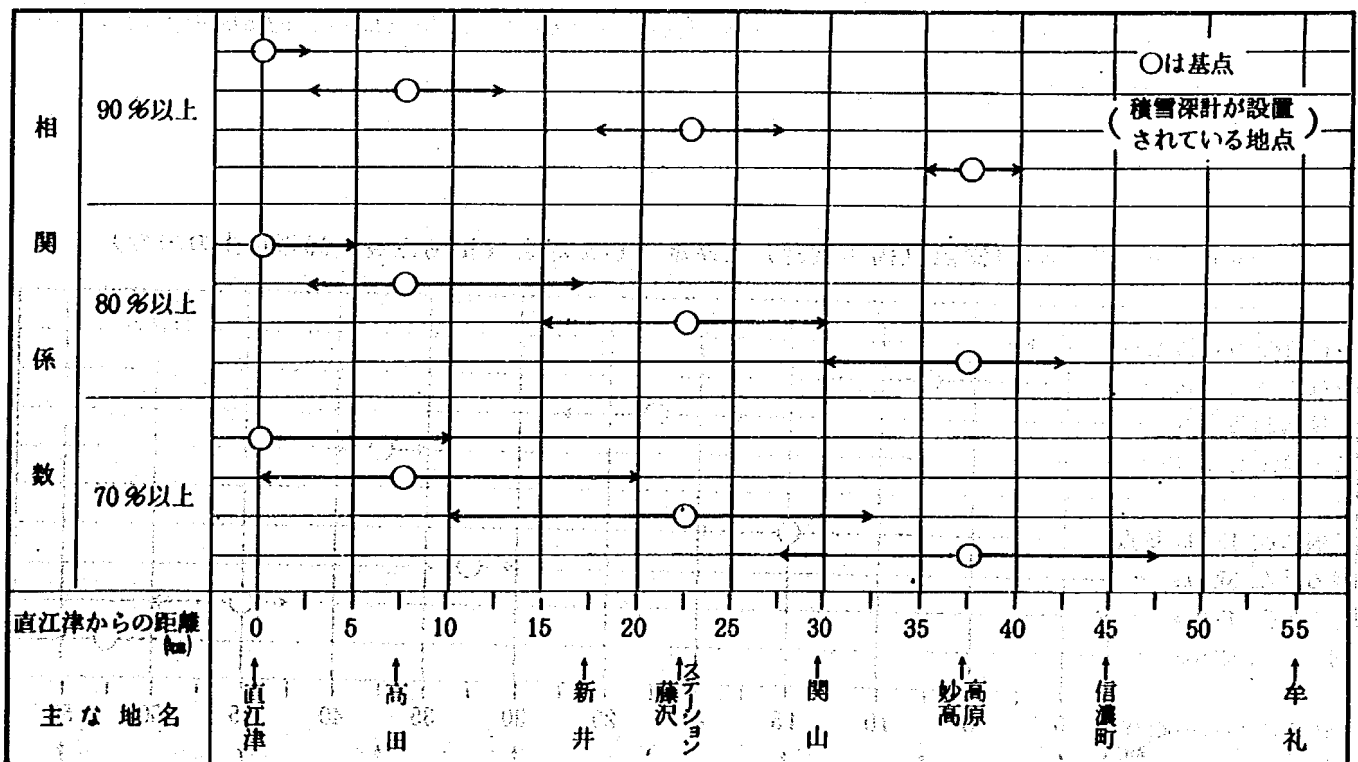
この結果から藤沢と最も高い相関(90%以上)を示す地域は、新井市(17.5km)から27.5km地点の10km区間となり相関係数が低下するにつれ、その範囲は増大し50%程度になると2.5kmから40km区間も代表できることになる。しかし、その精度はかなり低下する。一般には降雪情報の精度は高いほどよく90%以上となるとその情報もかなり期待できよう。したがって、これを基準とすると今回解析した藤沢の予測式は相関係数が90%以上の地区、つまり新井から27.5kmの10km区間はかなり高い精度でカバーできるものとなる。

### 3-2 現在設置(積雪深計)されている地点での代表性について

現在、国道18号線には直江津、高田、藤沢ステーション、妙高々原ステーションに積雪深計が設置されている。今回の解析ではデータが蓄積されている藤沢ステーションについてのみ判別関数法による降雪予測式の作成を行ったが、今後、線として予測式を展開するためには他の3地点でのデータが大いに有効となる。そこで、ここでは、今後この地点で予測式を作成した場合、どの地点まで代表性があり、かつ18号線をどの程度までカバーできるかについて検討したものである。その結果は表6-3に示す。

この結果から相関係数が90%以上を示す地区は、直江津に設置されている機器で0~2.5km区間、高田で2.5km~12.5kmの10km区間、藤沢では前述の通り17.5~27.5kmの10km区間、妙高々原では

表6-3 相関係数別による現在の設置点(積雪深計)別の適用範囲



かなり局地的な変動を示すため35.0~40kmの5km区間となった。このため、90%の精度で全線をカバ

-- するためには12.5~17.5 km 区間、27.5~35 km 区間、40~55 km 区間が不足となる。つまりこの間に、新規の積雪深計を設置する必要がある。一方、相関係数を80%以上の範囲で良いとすると4台設置されている機器によって0~42.5 km 区間はカバーされる。これを、さらに低下させて50%以上とすると各測定点のものとかなり重複するが一応全線(0~55 km 区間)はカバーできることになる。しかし、精度上ではかなり問題となろう。

### 3-3 最適予測地点(積雪深計の設置場所)の検討

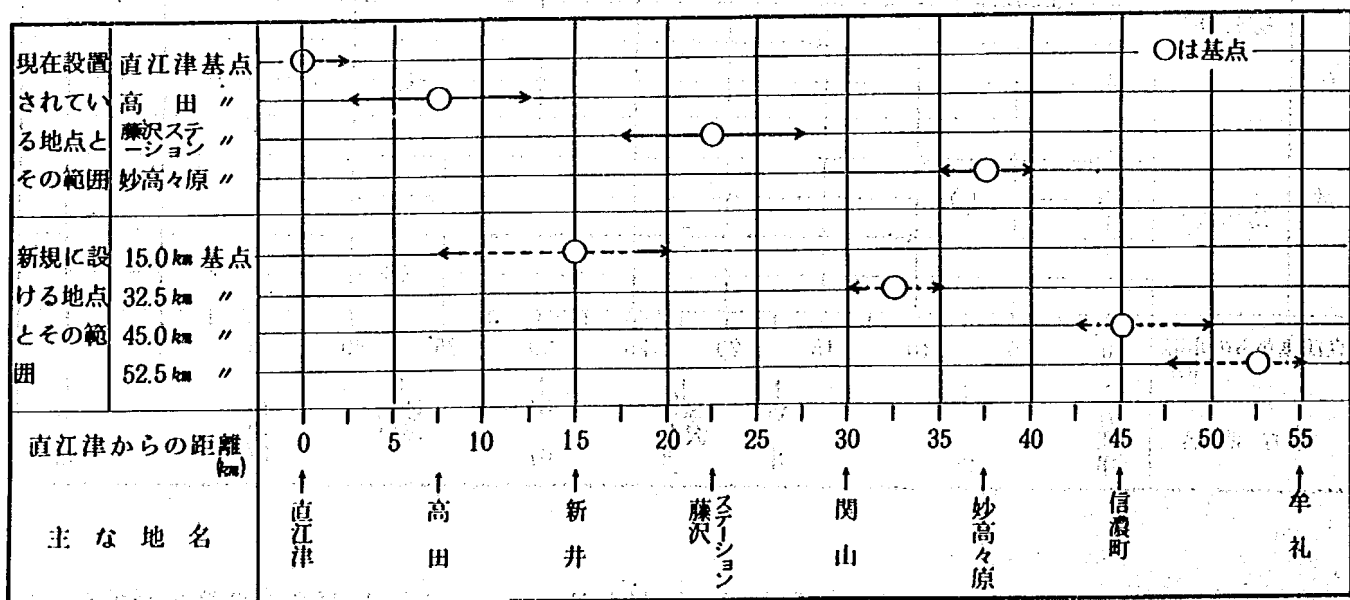
国道18号線直江津から55 km(牟礼)地点間の降雪予測を行う場合、どの地点に機器を設定したら最も有効的に予測等が行えるかを次の2点について検討した。なお、ここでは最も高い精度が期待できるものとし相関係数を90%以上に設定した。

#### 3-3-1 現在設置(積雪深計)されている地点を考慮した場合

現在、設置されている積雪深計は4ヶ所であり、この積雪深計の代表しうる地点は上記でも示しているが、全線をカバーするためには表6-4の上段に示すように空白部分を予測できるような積雪深計等の設置点を選定する必要がある。そこで、空白部分の代表できる地点を表6-1によって求めると表6-4の下段(点線)のような設置点(○印が設置点で、点線は相関係数が90%以上を示す区域である)が設定できる。

これらの結果から、現在設置されている積雪深計を基準として全線をカバーするために必要となる基準点は8点必要となる。つまり、15 km 地点、32.5 km 地点、45 km 地点、52.5 km 地点の4ヶ所に新しく基準点を設ける必要がある。

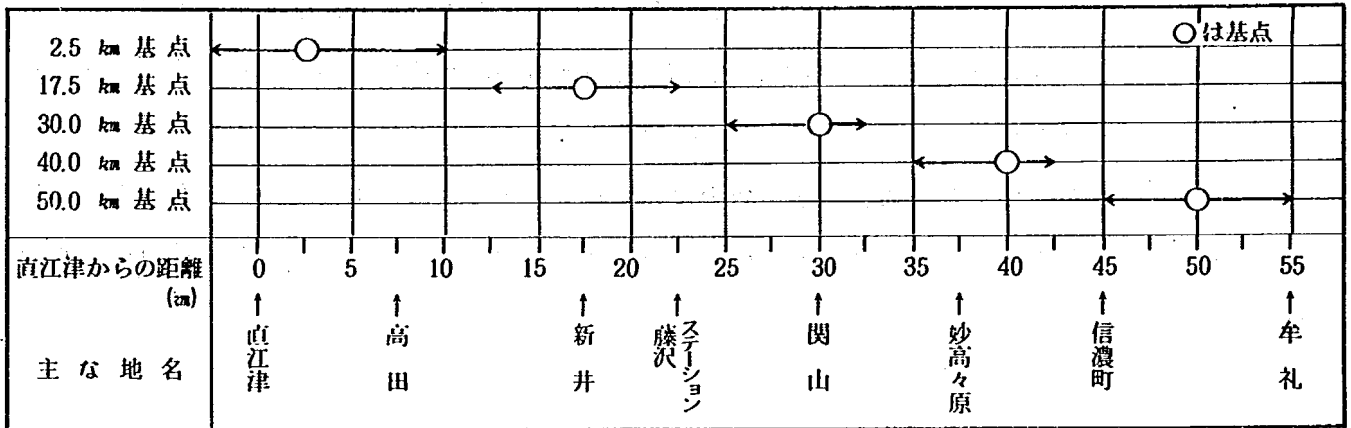
表6-4 現在の設置点(積雪深計)を基準とした場合(相関係数:90%以上の場合)



### 3-3-2 最適代表地点の検討

表6-4では現在積雪深計が設置されている地点を基準とし全線をカバーするために不足とする地点での代表地点の検討を行ったものであるが、ここでは既設点を白紙に戻し、この路線の最適設置点の検討を表6-1の相関解析結果から検討したものである。その結果は表6-5に示した。これは設置点が最少になるように選定したものである。

表6-5 有効的な設置個所(積雪深計)および予測地点  
(相関係数:90%以上の場合)



つまり、この結果から0~55km間の積雪分布(予測も含む)を高い精度でカバーするための、最も有効的な設置場所(予測地点)は2.5km地点、17.5km地点(新井)、30km地点(関山)、40km地点、50km地点の5ヶ所となった。逆に言えば表6-4に比べると設置点数が3ヶ所軽減できると言うことにもなる。

## 4. まとめおよび問題点

本章では国道18号線藤沢地区において作成した判別関数法による降雪予測手法が線としてどの程度の範囲まで適用可能か、また今後の予測手法を展開するためには、どの地点でかつ何ヶ所程度で実施すれば18号線(直江津~牟礼間)の降雪予測が可能となるかについて各地点間の相関係数から検討したものである。その結果を要約すると次の通りである。

- ① 藤沢で求めた降雪予測手法は精度をあまり期待しなければ表6-2に示すようにかなりの範囲について可能であるが、高い精度(相関係数:90%以上)を期待するためには17.5km(新井)から27.5kmの10km区間である。
- ② 現在設置されている積雪深計の設置点を利用し、今後、線としての予測式を展開するため

には、さらに15 km地点、35 km地点、45 km地点、52.5 km地点の4点を追加し検討する必要がある。

③ 一方、最も少ない、つまり、合理的かつ経済的な基準点で線としての予測を展開するためには、表6-5に示すような5ヶ所(2.5 km、17.5 km、30 km、40 km、50 km)となろう。

④ ここでは判別回数法による降雪予測を線として展開するための考え方について述べたが、相関が高い地点間、つまり表6-5で示したようなブロックでは、その基準点に積雪深計を一台設置することによって、そのグループ内の降雪状況の把握も可能となろう。

以上は、予測可能な範囲、有効的な降雪予測の基準点等について述べてきたが、ここで使用したデータは、一応5ヶ年分の季節風の張り出し時の100点についてのものであり、全ての降雪パターンのものではなく、また、路線上で実測値のない所では上越地方の56ヶ所の観測所におけるデータを気象技術者によってコンタを描き、その路線内での降雪分布としたこと等で多少の不安が残る。したがって、今後は、これらの検証も含め、いかに数少ない地点で最大の効果を上げるか、また、ここでは日単位の降雪状況のものであり時々刻々と変化する降雪パターンに対応できるような基準点の設定方法の検討も必要となろう。

# 第7章 道路管理への応用

## 1 判別関数法による降雪予測式の利用方法

雪寒対策の体制（警戒体制、出動体制等）を決定するに要する判断は、気象情報が大きな比重を占めることをこれまで述べてきた。そして、多雪地域を始め除雪作業にかかわる気象情報の中で降雪予測は最も必要度が高いものであり、その降雪予測の中でも大別すると2種類の降雪情報が要望されている。

その一つは本稿の中で説明している中期予測で、もう一つは今後展開されるであろう短期予測である。これらについてとりまとめると次のようになる。

- 1) 中期予測は判断基準にもとづき対策の体制を事前に決定する時必要な降雪予測情報であり“今晚降雪があるか”“当日降雪があるか”といった半日か1日位の予測である。一般に当日の夜間に警戒体制をとるかどうかの判断を行うために用いられるものであり、17時の段階で翌朝9時頃までの降雪の予知が要求される場合が多い。また、降雪が継続中のときは、再除雪時期の判断用として降雪予測が必要となる。さらに、今後の除雪体制の継続または解除にかかわる検討のためにも今後予想される降雪量が必要な情報となる。
- 2) 短期予測は、除雪作業体制をとったあと、実際の除雪作業をいつ行えばよいかと言う実況予測的な情報である。すなわち、

“1～2時間後に降雪の可能性があるとき”

“路面積雪が開始し、積雪が増加傾向にあるとき”

“降雪強度が除雪能力を上回るようなとき”

“降雪量が多く交通の閉鎖が必要なとき”

等のような時の対策判断のために短期降雪予測が必要とされる。

この降雪予測は、まず当たることが必要な条件であり、もう一つは使いやすい形で利用できるようまとめられることが大事な要件である。しかし、降雪予測は、各種の気象予測の中で、もっとも難しいものの一つである。たとえば、気象庁が発表する雨の予報は、気温や風などに比べ難しいものとされており、その難しい原因の一つは、雨の降り方が複雑なことにある。東京都を例にとると、都全体を対象とした場合、都全体が雨のときは30%しかなく、所々雨が降るのは全体の42%ある。東京

都全体が雨と予報しても低気圧が近づかずはずれる場合もある。

雪の場合は、降雪経路の中での風速の状況次第で、相当遠方に運ばれたり、近くに降ったりする場合もあり、下層大気の気温が高いと融解して雨に変わるなど、雨の予測より難しい要因をもっており、地域が狭いほど、時間が短いほど予測は難しくなる。このような雪の予測については、気象庁でも各地でいろいろと研究されているが気象庁の降雪予報といわれるものは、ある地域全体を含んで出されるものであり、“曇ときどき晴、ところによってにわか雪”といった表現の予報とならざるを得ない性格をもっている。もっとも、気象注意報・警報によると大雪注意報や大雪警報などは、対象とする地域の最大値を何cmの雪という量的表現で現わされるが、“今晚から明日にかけて海岸地方では50cm

入力

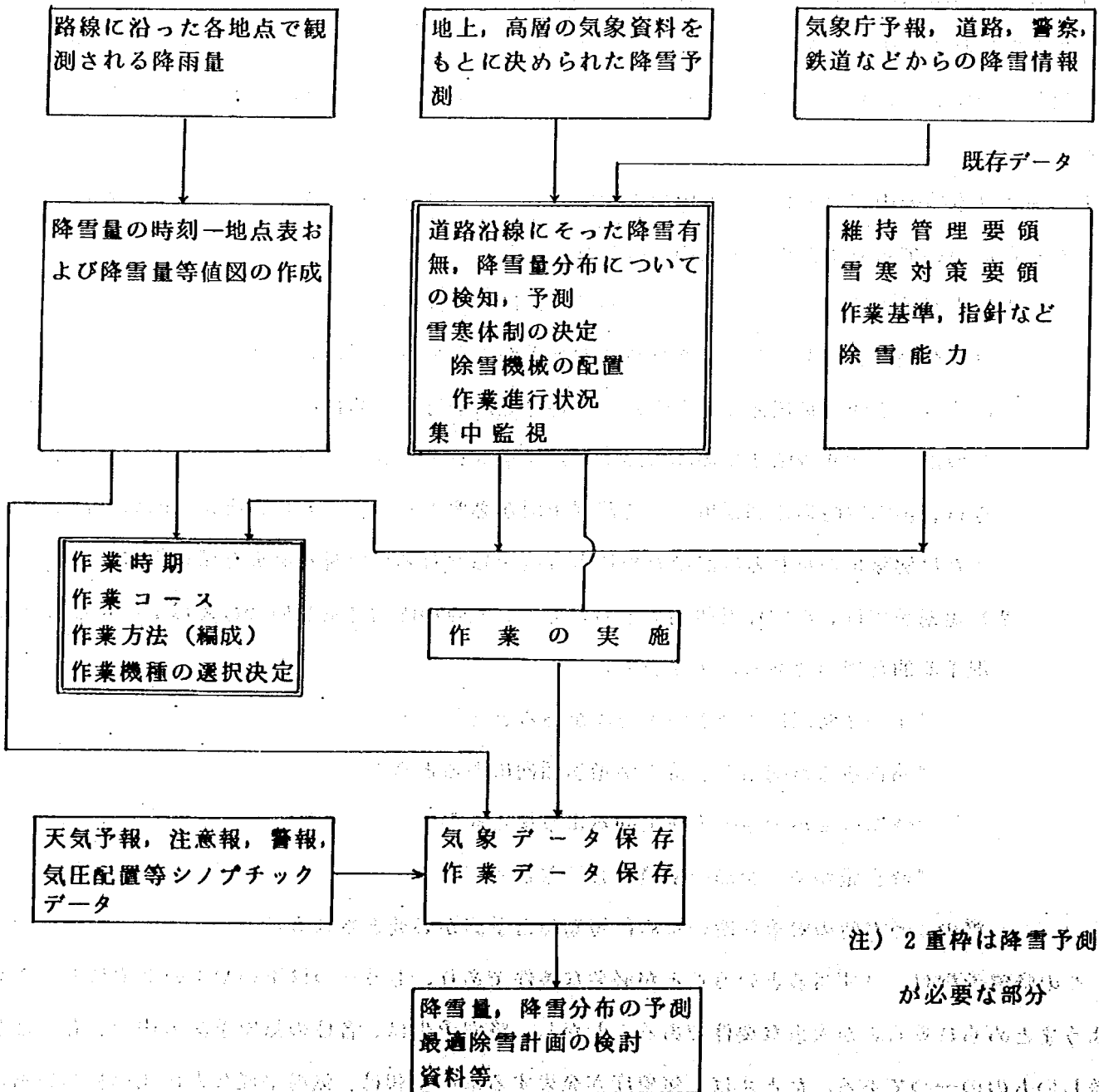


図7-1 雪害体制、除雪作業決定のフローチャート



の大雪が降る見込みです”といった大雪警報は、時間的限度が明確でないため、道路管理に用いるには、一つの目安としてしか利用できない。

除雪計画に必要な降雪予測は、図7-1のような雪寒体制、除雪作業決定のフローチャートに示される2重枠の部分で必要とされている。これからみてもわかるように雪寒対策は、降雪情報の的確な把握次第によって、除雪作業効率や道路の運用効率が左右されるといってもよい。

このようなことから今回は、図7-2に示すような利用方法を前提とし降雪予測の一つである中期予測方式の開発を行ってきた。その方式は夕方の16時頃から向う24時間、12時間、6時間あるいは午前0時から向う6時間、午前6時から向う6時間、12時から向う6時間についての降雪予測を行うこ

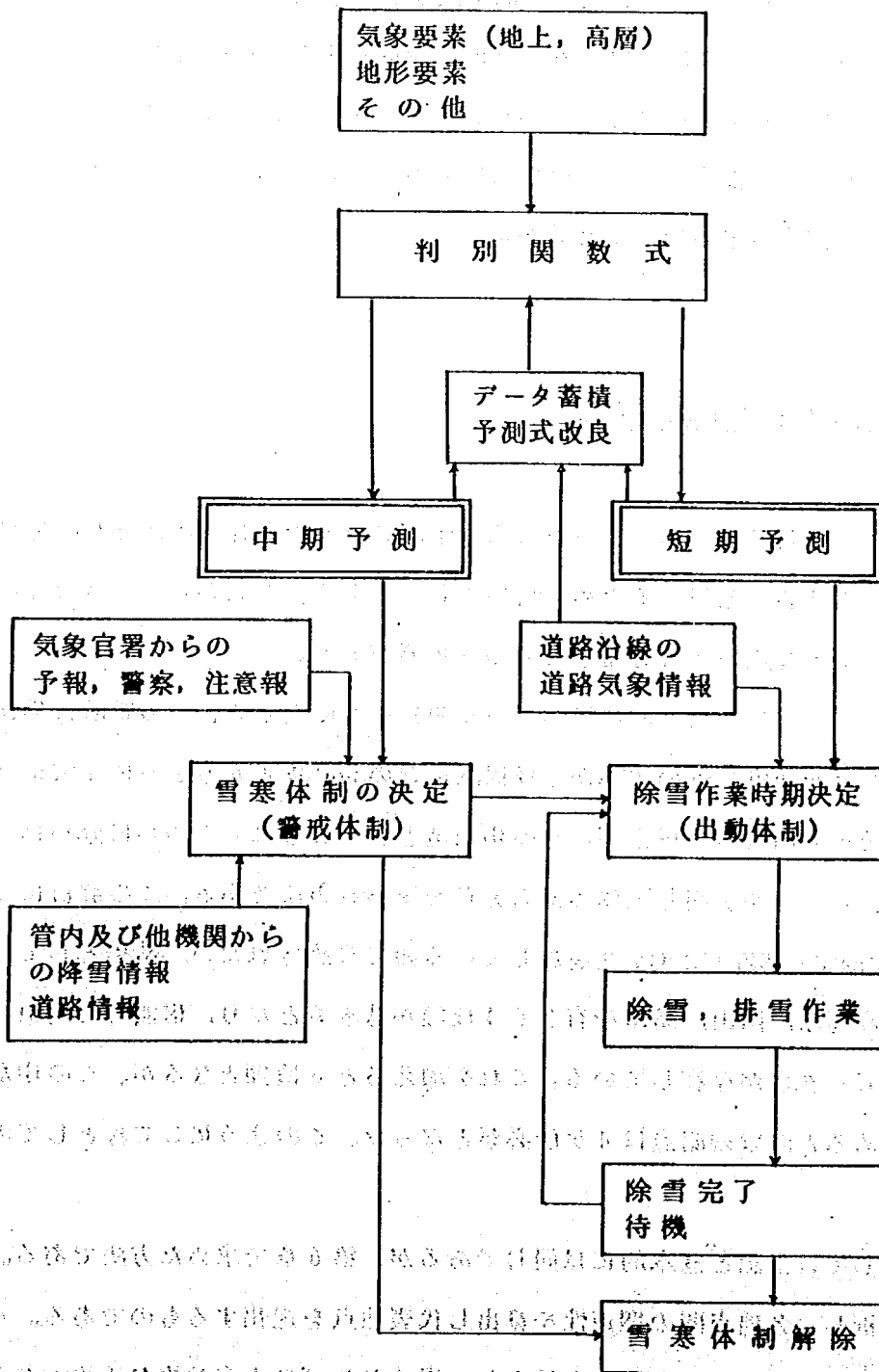


図7-2 降雪予測と雪寒体制

とにより6時間間隔で降雪の予測が可能となる。また、この作業手順としては表7-3に示すように夕方4時30分時点で24時間予測を行い降雪が無と判定したら出勤等が解除される。雪が降ると予測した場合、12時間、6時間予測を行いどの時間帯で降るかを確認する。もし、その時間内で雪が降らないとすると次の時間帯まで待機し、その確認を行う。降雪量によっては出勤準備一出勤となる。今回のこの方式は、表7-3に示すような一連の作業を実施することによって降雪予測が可能となる。なお、降雪の中期予測(藤沢地区)は表5-13, 14, 15, 16, 17, 18, 19の式および(41)式によって求めることができる。

一方、ここで求めた予測式はあくまでも中期予測であり短時間、いわゆる時々刻々と変化する降雪量を適確に入手するためには前述のように短期予測方式が必要となろう。さらに今回では確率予測方式も取り入れ検討しているが、実際に運用するためには設定基準をどの程度にするか等の検討も必要となろう。また今回は外部データの検証として40日分のデータから、その的中率について検討を行い一応の成果は得ているが、まだ安定性、確実性について多少不安があることから今後、さらに検証、修正等を行い有効的な予測式へと展開する必要がある。

## 2 道路沿線を対象とした降雪予測

雪寒対策に用いる気象情報は、道路のある点の降雪予測のみで除雪作業を行うものでなく、対象とする道路沿線全体の降雪状態を把握するために用いるものである。したがって降雪の実況予測と中期予測は、それぞれ道路沿線各点の降雪分布として知る必要がある。

その方法の一つとして国道18号線(直江津から牟礼間)を例にとると、その距離は約55Kmあり、この区間内でも海拔高度が高田付近の13mから野尻湖付近の660mと言うように非常に高低差を有することから、降雪の分布も山雪型、里雪型、その中間型というようにいくつかに分かれている。このため、これらの降雪分布特性を解明し全体の降雪分布を求める方法である。この解析については「資料-7の降雪予測等に関する解析」において実施しているので参照されたい。結果としては降雪分布のピークが信濃町、妙高高原、関山、高田を有する4種類が基本型となり、信濃町と関山、関山と高田の2種類が降雪の双ピーク型が存在している。これを加えると6種類となるが、この中から最低となる組合せについて求めると降雪観測点は4ヶ所必要となった。このようにして線としての降雪分布を求めるものである。

もう一つの方法としては上記と基本的には同じであるが、第6章で求めた方法である。つまり各地点での降雪分布を解析し、各地点間の関連性を算出し代表地点を選出するものである。この方法等については省略するが、数多くの降雪データが線として得られれば最も有効的な手法となろう。

以記のいずれかを使用するかはデータの量、質によって異なるが、今回の国道18号線直江津から牟

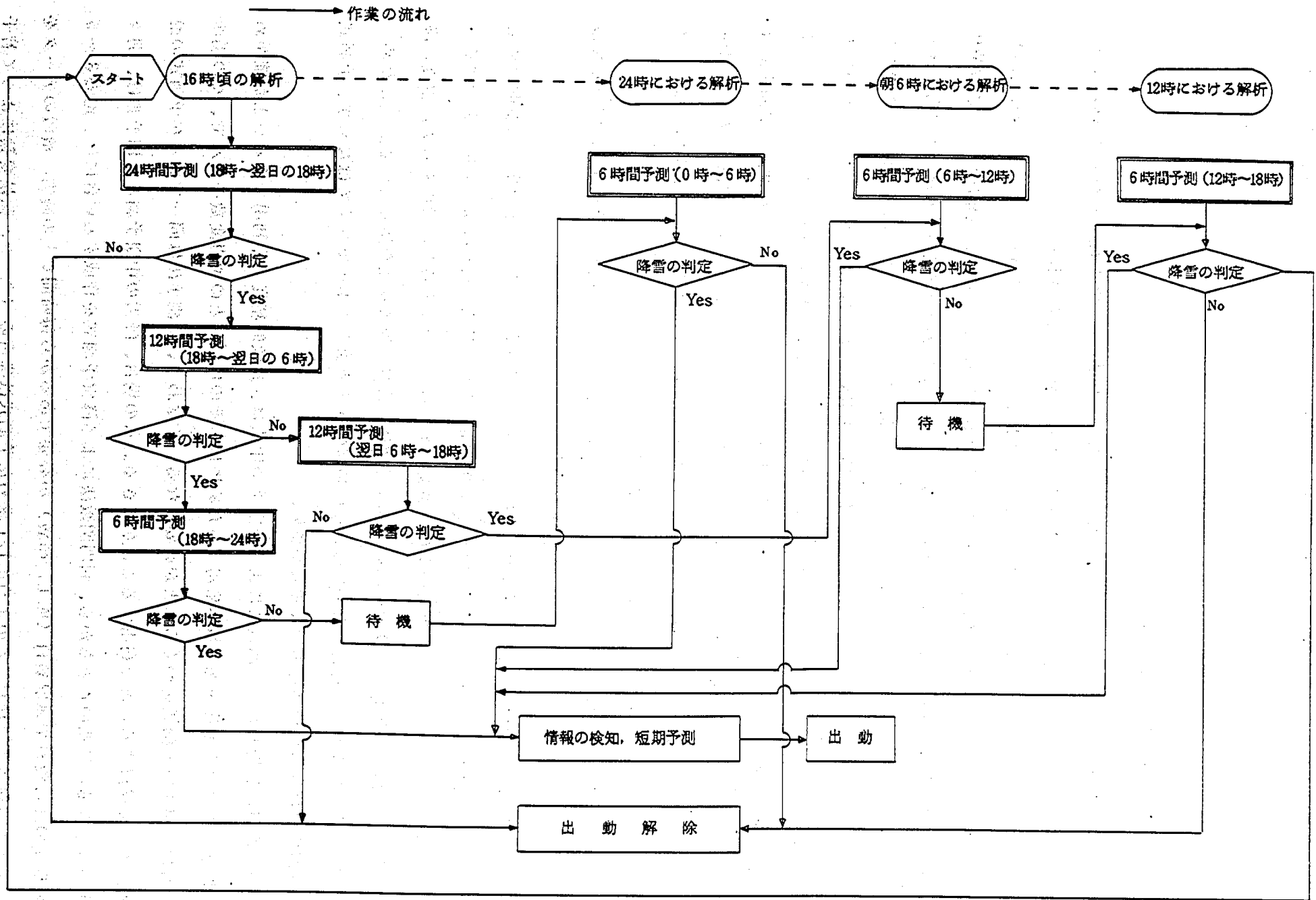


図7-3 降雪の予測手順

礼間の予測では後者の方法により代表地点ごとの降雪分布に係のある気象要素（説明変数）を選択し予測式を展開する予定である。

### 3 他地域への応用と問題点

降雪予測を行う上でまず考えられるのは、予測そのものが時間的空間的に広がりをもつもので、その広がりスケールによって大規模現象、メソ現象、対流現象とに分類される。

大規模現象の予測は、日本の技術が世界の最高レベルにあるといわれているが、これは数日にわたる時間スケールの予測であり空間的には1,000Kmに及ぶものである。これは、気象庁ではすでにNWP (Numerical Weather Prediction)が開発され、予想天気図の作成が慣れない人でもできるようになってきている。しかしこのNWPでも予測は困難なものがある。それは集中豪雨に代表される局所的、短時間的な現象である。すなわち、空間的に10Km、時間的に数十分の広がりをもつ現象は、地形性じょう乱が発生したりするため予測が困難なものである。とくに雪の場合は雨よりさらに難しい問題をかかえている。この大規模現象と対流現象の間にあるメソスケール現象は、空間的には100Km、時間的には数時間のスケールをもっているが、このメソ現象については最近になって問題となり、その現象解明が急がれている。大規模現象とメソ現象の間には必ずしも相関関係はなくメソ現象の扱いがますます難しいものとなっている。

道路に必要な降雪情報は、大規模現象とメソ現象が主体となる。この両者の予測方法は同一のものではないため、それぞれ別の予測方法が必要となる。

降雪予測は、降雪現象が短時間の現象であるほど、長い時間の予測に比べて細分化した空間的要素が必要となるためかえって難しくなっている。この空間的要素は地域、場所によって影響を受ける。したがって、地域が異なると降雪現象の度合いが違ってくる。いいかえると、雪の降り方、雪質、降雪量などが、北海道、東北、北陸でそれぞれ違っており、特有の地域特性を持っている。このため、このような地域で降雪予測を行うためには、その地域特性を考慮したものでなくてはならず、予測式も地域が変われば変わった要素を用いる場合が多い。

今回、検討、解析した判別関数法による降雪予測手法は、比較的精度よく利用できることが確かめられたが、この予測手法を他地域へ応用するためには、その地域ごとの説明変数を選んで、その場所で最も精度がよい予測式をつくる必要がある。すなわち、予測手法は同一であるが予測式の説明変数のみを選択することで利用することができる。この場合、降雪の中期予測と短期予測は、別々の予測式となる。当然のことながら、判別関数法による降雪予測式を作成する場合には、過去3～5年分程度の降雪資料や気象資料（地上、高層）が必要であるから毎時間ごとの降雪、積雪のデータを集積する必要がある。なお、このようにして求めた予測式は降雪のパターン、気候変動によって若干変わるため、降雪予測式の係数は、数年ごとにチェックする方がよいと思われる。

## む す び

道路の雪寒対策を実施するに当って最も重要な情報は、既述の通り降積雪情報である。この降積雪情報は、除雪体制を決める時や除雪作業を行う際、あるいは、交通規制の実施の際などに時期を失せず的確に入手でき、容易に利用できることが道路管理者の要請でもある。

降積雪情報は現況から3時間くらいまでの短期予測と雪寒体制をとるための3～24時間予測、つまり中期予測とが必要とされている。とくに16時の時点で翌朝までの間の降雪の有無、降雪の時期、降雪量、降雪分布について知ることが雪寒体制をしくかどうかの判断に大きく寄与するものであり、雪寒地域では必要不可欠のものである。降雪情報は、これまで気象庁から出される予報により入手、あるいは気象解説者の手を経由して収集し雪寒対策の重要な地域では、自動気象観測機器（積雪深計、気温計、風向風速計、降水検知器、V-I計等）が一部ではあるが設置され降積雪量や気象現象の即時情報を収集している。しかし、一般的には気象庁の広域的な情報が主体となっている。このため、雪寒対策に用いるには不十分なものとなり、道路管理に適應するためには、地域的にも時間的にも詳細な具体的気象情報が入手でき、かつ対策に利用できる手法の開発が要望されている。

こうした背景から道路気象情報システムの実用開発のうち、降雪予測情報を確立する意味で最も難しい問題が多い降雪の中期予測手法の検討を行ってきた。この解析では各種の降雪予測手法を吟味し、利用しやすく精度があがる方法として重相関回帰式と判別関数式について検討、解析し、一部のデータではあるが検証を行い当初見込んだ通りの成果をあげることができた。さらに、この解析過程では予測式を使いやすくするために変数数の減少、あるいは確率予測方法を取り入れ現場での判断が容易にできるための検討も加え、一応現場での予測が可能な方法でまとめることができた。したがって今後は、これらの精度の向上を図るための検証を行うと共に数十cm以上の予測が可能な方法の検討、あるいは線としての解析、および短期予測手法の開発も併せて実施し時々刻々と変化する降雪予測に対応できるシステムとして展開して行く予定である。

おわりにこの降雪予測手法を展開するに当ってシャープ株式会社情報処理事業本部の高田氏および北陸地建高田工事事務所の御協力を得たことをここに付記する。

## 参 考 文 献

- 1) シャープ(株)：道路気象情報システム P 1～11 (1976)
- 2) 高速道路調査会：道路気象情報システムに関する調査研究報告書 (昭和52年)
- 3) 倉嶋厚：天気予報、新しい気象学 P 74～76 (1968)
- 4) 竹永一雄：天気予報、新しい気象学 P 26～29 (1969)
- 5) 光野一：天気予報の実際、日本気象学会、新しい気象学 P 10～16 (1971)
- 6) 総務部企画課：国内気象監視(NWW)システム計画について測候時報 第45巻 第1～2号 P 1～7 (1978)
- 7) 高速道路調査会：道路気象情報システムに関する調査研究報告書 (昭和51年)
- 8) 阿部勉：国道17号の降積雪情報システム (1977)
- 9) 高速道路調査会：道路気象情報システムに関する調査研究報告書 (昭和53年)
- 10) 気象庁技術報告：第66号
- 11) 福田喜代志：豪雪、気象研究ノート 第16巻 第2号 P 200～224 (1965・11)
- 12) 北陸地方予報作業指針：大雪 4-1～4-10 (昭和46年)
- 13) 気象熱力学
- 14) 岩崎三夫：WNO世界気象監視計画 (1976～1979), 測候時報VOL. XLⅢ、NO. 11～12 P 308～330 (1976)
- 15) 立原良三：短時間雨量予報の技術について、測候時報 第42巻 第4-5号 P 131～134

※ その他の参考文献としては資料-1によった。



# 〔上越地方における降雪性に関する解析〕

## 資料一 1 降雪予測に関する文献整理調査

これまでに、北陸、東北、北海道地方等を主題とした雪に関する論文および、調査報告書は多数発表されている。なかでも、気象庁の各機関および気象研究所が発表した「北陸豪雪調査報告」（気象庁技術報告第66号 昭和43年11月）には既往論文等約400編が含まれている。

本調査ではこの中から調査に関連ある文献を収集し参考とした。

### 1 主な文献

#### 1) 降雪機構

- 日本海航空気象の調査 上松 清 航空気象報告3巻 202～250、 1939  
日本海横断観測飛行報告 上松 清他 航空気象報告4巻 44～110、 1940  
冬季日本海横断観測報告 石原健二他 北陸地方気象研究会誌2巻  
季節風下の浦塩一敦賀間の海上気象について 川崎英男 舞鶴海洋気象台 1959

#### 2) 北陸前線

裏日本の季節風に伴う降雨量の成因について

気象集誌第38号 1919

冬季新潟地方沿岸に発生する不連続線の蛇行と間歇的降雨雪の一原因

杉山一之 研究時報1巻 1949

北陸不連続線による豪雪について

川本敏夫、宮沢清治、藤田兼吉 気象研究ノート14巻 1963

豪雪に関する研究および北陸不連続線論の沿革

川本敏夫 気象庁技術報告第66号 1968

北陸不連続線に関する解析(1)

力武恒雄 研究時報16巻 1964

北陸沿岸における風と降雪

福田喜代志 気象庁技術報告第66号 1968

#### 3) 地形効果

On the Mechanism of heavy Monsoon Snowfall in the Vicinity of Nagano and  
Shinetsu Bordet By Kitagawa S.

気象庁欧文彙報23巻 1952

秋田県の豪雪について 梅田三郎 研究時報5巻 1953

高山——高気圧 宇田川和夫 気象庁技術報告第5巻 1953



高山 — 高気圧の構造 力武恒夫 気象庁技術報告第5巻 1968

1963年1月の高山 — 高気圧と積雪分布について

市川寿之 気象庁技術報告第66号 1968

松本の南風の発生機構 宇田川和夫 気象庁技術報告第66号 1968

38. 1 豪雪時の内陸の南風 百瀬悦也 気象庁技術報告第66号 1968

#### 4) 山雪・里雪

北陸不連続線による豪雪について (前出)

Synoptic Study on the Mechanism of heavy Snowfall By. Fukuda K.

気象庁欧文集報32巻 1965

山雪と里雪 藤田敏夫 気象庁技術報告第66号 1968

降雪量と降雪の地域分布 福原耕三 気象庁技術報告第66号 1968

上層寒気と降雪 倉島 厚 気象庁技術報告第66号 1968

#### 5) 小規模擾乱のメソ解析

豪雪 福田喜代志 気象研究ノート第16巻 1965

冬季若狭湾に形成される不連続線について

井野英雄 気象研究ノート第16巻 1965

日本海における寒気吹出しと小擾乱の発生

井野英雄 気象庁技術報告第66号 1968

降雪のメソ気象解析 力武恒雄 気象研究ノート16巻 1965

擾乱の発達・移動 力武恒雄 気象庁技術報告第66号 1986

降雪細胞 瀬下慶長 気象庁技術報告第66号 1986

うず状擾乱 宮沢清治 気象庁技術報告第66号 1986

積雲対流と中規模擾乱 二宮洸三 気象庁技術報告第66号 1986

A mesoclimatological Study on heavy Snowfall

気象研究欧文報告19巻 1968

#### 6) 寒気うず

1960年12月北陸地方大雪のシノップティック研究 天気8巻 1961

北陸不連続線による豪雪について (前出)

A synoptic and dynamic study on the three dimensional structure of meso-scale Disturbance observed in the Vicinity of cold Vortex center

By Matsumoto S. K. Ninomiya, T. Akiyana.

気象集誌第2輯45巻 1967

Cumulus Activities in Relation to the Mesoscale Convergence Field

- 寒冷うずの立体構造 松本誠一 気象庁技術報告 1968  
寒気核の下層構造 中原春雄 気象庁技術報告 1968  
寒気うずの力学的解析 竹内衛夫 気象庁技術報告 1968

7) 海面の影響

- 日本海の海の熱収支と水収支 藤田敏夫 気象庁技術報告 1968  
日本海および日本列島上空の熱および水の収支解析  
二宮洸三 気象庁技術報告 1968  
日本海における積雲の発生 二宮洸三 気象庁技術報告 1968

8) レーダ観測

- 北陸豪雪のレーダ解析 立平良三, 深津 林 天気12巻 1965  
Cloud Band over the Japan Sea off the Hokuriku District during a cold Air  
Outburst By Asai T 気象研究所欧文報告16巻 1966  
北陸西部における雪エコーの移動と高層風について  
中村道輝 研究時報19巻 1967  
雪エコーの発生, 移動 立原良三 気象庁技術報告第66号 1968  
レーダーによる北陸南西部の雪の解析  
藤原鉄郎 気象庁技術報告第66号 1968

9) 気象衛星の雲写真

- A proposed Mechanism of Snowstorm, Mesojet over Japan and the Influence of the  
Winter Monsoon By Fujita, T, T. Tsuchiya  
気象集誌第2輯45巻 1967  
Some Aspect of the Cloud Formation and Air-Mass Modification over the Japan  
Sea in Winter revealed by TIROS Observation (1), (2)  
By Ninomiya, K 気象研究所欧文報告16巻 1966(1)  
気象研究所欧文報告17巻 1967(2)  
The Morphology of Winter Monsoon Clouds around Japan  
By Tsuchiya, K 気象庁欧文彙報34巻 1969

10) 降雪モデル

- 総観モデル 福田喜代志 気象庁技術報告第66号 1968  
北陸豪雪の総観モデル 松本誠一 気象庁技術報告第66号 1968  
北陸平野部豪雪モデル 川本敏雄 気象庁技術報告第66号 1968  
北陸豪雪の中規模モデル 瀬下慶長 気象庁技術報告第66号 1968

11) 北陸地方の積雪に関する統計

気象庁、積雪累年気候表（1963年版） 気象庁技術報告第34号 1963

北陸地方の新積雪に関する統計

石原健二、野口敏正、気象庁技術報告第66号 1968

平野、山地別日降雪量

新潟地方気象台「北陸地方予報作業指針」第1部 1971

12) 統計的相関予報

Study of statistical Analysis and Forecast of Snowfall on the Area of Japan Sea Side of central Japan By Ishihara, K.

気象庁欧文彙報 1968

新潟県における降雪量と気象因子との相関

石原健二、野口敏正、広瀬元孝

気象庁技術報告第66号 1968

13) 予報指針

新潟地方気象台 北陸地方予報作業指針 1971

気象庁 予報指針 その7 雨量予報（雪を含む） 1973

14) 雪の密度

雪質と密度 尾田敏男、工藤 清 雪氷第3巻 1941

松下清夫、和泉正哲 建築

2 降雪予測システム開発についての文献上からの考察

局地における降雪を量的に予測する方法には次のようなものがある。

① 一般場の予報を用いる方法

気象官署が発表する降雪に関する注意報や警報には予想降雪量が含まれる。この量を基準として対象地点の降雪量を統計的相関によって求める方法である。

② 重相関回帰方程式による予測法

降雪の有無および降雪量に関係する数多くの気象要素の中から目的に最も良く適合する要素を選び、それによる重相関回帰方程式を作り、その式に予想時点のデータを入れて予測値を得る方法である。関係気象要素の中から目的のために最も良い相関を示す数個の要素を選び出す作業、およびその要素から精度のよい予測値を得る方程式の作成にはかなりの労力と時間を要するが局地降雪の量的（客観的）予想法としては最良のものである。

③ 実況値による補外法（気象レーダーによる方法を含む）

ある時間の降雪実況を捕え、状況の変化を加味しながら補外的に延長して将来の予想値を求める方法である。状況の変化が少なく、かつ、短時間の場合良い精度で予測できる。

気象レーダーによる降雪予測もこの方法に含まれる。すなわち、レーダーによって降雪細胞の範囲、高度、移動方向、速度を観測し、それを補足して対象地点の降雪を予測する。

レーダーの場合降水現象が雨であるか雪であるかの判定はエコーのみからでは不確実であり、また、その強度の予測も困難であるなど研究課題が残されているが短時間の局地的予想法としては極めて有効である。

平

## 資料一 2 冬期降水現象の解析

### 1 概要

国道18号線は、裏日本気候帯に属する上越市から、表日本気候帯に属する高崎までの215.2 kmに及ぶ本邦横断道路の一つである。そのため、道路沿線の地形は複雑であり道路構造も多岐にわたっている。標高についてみると高田附近の約13 mから黒姫附近の約600 mの間に分布し、その周辺には標高2,446 mの妙高山をはじめ、2,000 m級の山岳が林立しているため、わが国でも有数の多雪地帯の一つとなっており、しかも、積雪その他の降水量の分布も複雑である。したがって、調査のためには沿線上の多くの地点での長期にわたる気象観測資料が必要であるが、残念ながら高田測候所以外には適当な資料は得られなかった。

そのため、今回は主として高田測候所の資料によって、降雪をもたらす擾乱の型、降雪現象発現後の気象、擾乱型の出現回数、降雪の持続時間、降雪の起時分布、降雪量の日最大値、および、初雪日、終雪日、根雪初日の分布等についての解析を降雪予測法の検討にし得るように解析した。本節では、擾乱の型についてのべ他は資料一6で記述する。

### 2 降水と擾乱の型

調査区に降水（降雪）をもたらす擾乱の型は大別すると、低気圧と季節風の吹き出しとに分けられるが、同じ低気圧でも日本海を北東に進むもの、太平洋岸を通るもの、この両方が複合した2つ玉低気圧等その経路、強度等多岐にわたり、季節風にしても強弱、遅・速様々あり、それらによって調査区の降雪には、強弱・持続時間等に相違を生ずる。

過去の降水現象を $5.00 \text{ mm/h}$ （降雪量換算約5 cm）以上の場合について擾乱の形態を分類すると次のようになる。

#### 2-1 擾乱型：A型（本州南岸を進む低気圧）

① この場合の降水は雨に始まり通過後雪となる。

② 気象要素の時間的変化

a 気温は6時間前から3時間前にと下降するが、発現時には上昇する。そして、3時間後

にかけて再び下降する。

- b 露点温度は発現時まで上昇するが、その後は下降する。
- c 風速はこの9時間の間次第に強まっている。風向は6時間前はSを中心としてESE～SW、3時間前ではSの他にWNW、NW等が見られ、発現時ではNWが最多である。出現回数は少ないがS、SWの風向もある。これは多分局地的擾乱が加わったものと考察される。3時間後にはNNW～WNWが多い。
- d これらの状況をまとめると6時間前は殆んど南の風の間となっていて、3時間前においてはNW風が入るようになり、この傾向は発現時さらに3時間後と強まる。その他の要素を総合すると5.00mm/h以上の降水現象は、低気圧の過ぎた直後に寒気が流入することによって発現している。

## 2-2 擾乱型：B型（本州南岸および日本海岸沿にそれぞれ中心を有する低気圧・2つ玉低気圧ともいう）

- ① この擾乱型では降水は総べて雨である。
- ② 気象要素の変化は次のようになっている。
  - a 気温は6時間前から3時間前にと上昇するが発現時には急に下降して、3時間後も同様に下降している。
  - b 露点温度は6時間前から発現時までは上昇となっているが、その後は下降する。
  - c 風速は発現時においては弱くなるが、その前後の時間においては殆んど同じ場合が多い。風向の変化を見ると、6時間前、3時間前ともに南寄りの風が卓越するが発現時には西寄りとなる。3時間後においてはWNW～NWとSW～SSEとの2通りとなっている。
  - d これらの状況は、2つ玉の場合には低気圧の東側では暖気の流入があり、降水強度の強まる発現時にあっては風向は西寄りとなって寒気が流入して気温は下降する。3時間後には、この傾向は一層明瞭となる。すなわち、風向はWNW～NW、風速は強まっている。

## 2-3 擾乱型：Ca型（後面に発達した季節風を伴っていない日本海低気圧の東側の場合）

- ① この擾乱型の降水現象は雪または雨となっているが、ただ、全資料は催かに4例に過ぎないから解析の結果は必ずしも充分なものとは言い得ない。
- ② 気象要素の変化
  - a 気温は各例毎に大きな差異があるが、全平均で見ると時間の経過と共に連続して下降している。
  - b 露点温度は発現時までは上昇している。
  - c 風速は時間の経過と共に僅かではあるが弱まる傾向となっている。風向は1例を除いて6時間前はE～S、3時間前はS（1例はNNW）となり、発現時にはN～WNWと大きく変わり、3時間後にはESE～SSEと南分をもつ風向に急変している。

d これらの状況を概観すると、季節風を中心となっていた高気圧の一部が低気圧の進行によって切断されて移動性となり、本州に位置するために南寄りの風系が持続する場合、または、低気圧が日本海に進むと共に発達するときに比較的長時間南寄りの風系が持続する場合の2つの過程がある。

2-4 擾乱型：Cb型（持続している季節風の場合の中に低気圧が発生し、この低気圧が季節風の場合の中を進行し日本海に現われて、この低気圧の東側の場合）

① この擾乱型は僅か2例であって、気候要素の変化も相違する点が大で、共通する点としては、

i) 2例ともに雪である。

ii) 2例ともに3時間後は北分の風系となっている。

の2点である。

2-5 擾乱型：Da型（季節風が解消した条件中に日本海の中央部付近を低気圧が進行する場合）

① この擾乱型の例も僅か2例であり、かつ気象要素の変化も相違しており、共通している点は降水現象は共に雨であること。3時間後の風系はNWおよびWNWで共に風速が強まっている事等である。

2-6 擾乱型：Db型（持続している季節風の場合の中を低気圧が進行し、日本海に現われた場合）

① この擾乱型の例も僅かに2例に過ぎず、降水現象も雨と雪とに分れているが、共通する点とは、

i) 6時間前の風向は共にSSE、3時間前はWおよびNEとやや相似性があり、また、3時間後は共にNWである。風速は発現時までは弱いがその後は強まっている。

ii) 気温は発現時には共にやや上昇している。

2-7 擾乱型：Ea型（季節風が弱まっている気圧系の場合で、寒冷前線が日本海を南下し北陸地方を通りさらに太平洋に進む場合）

① 発現時の降水現象を見ると6例は雨、2例は雪となっている。発現時前の時刻では6時間前の3例は雨、1例は雪で、4例は無降水であり、3時間前の5例は雨、1例は雪、2例は無降水である。また、3時間後の4例は雨、3例は雪、1例は無降水となっている。この擾乱型では、3時間後という短時間で降水は終ることもある。

② その他の気象要素を見ると次の各項のようになっている。

a 3時間前まで気温は次第に上昇するが発現時には急下降する。例の中には6.5℃の大きな下降を示した場合もある。3時間後の多くの場合気温はさらに下降している。

b 露点温度は発現時まで次第に上昇しているが、それ以後は一般に下降して寒気の流入を示している。

c 風向の変化を統括すると次の通りである。

	(6時間前)	(3時間前)	(発現時)	(3時間後)
(全般)	WSW~WNW	W~NNE	W~N	W~NW
(例外)	S(3回)	S(1回), SW(2回)なし		SW(2回)

これらの状況は、寒冷前線の通過時に見られる風向の変化である。なお、6時間前に風向Sの3例は日本海で発達した低気圧からSW方向にのびる寒冷前線があり、前線の北側と南側とでは気温の差が大きい場合となっている。

風速の変化は雨の場合と雪の場合とでは異なっており、雨の場合は発現時の風速は最も強くなっているが、雪の場合の風速は最も弱くなっている。降水は、前線が通過して風速が強まる時点でその強度は最も強まっている。

③ 降雪期の寒冷前線の移動の速度は、他の季節の寒冷前線と同様の経過をとる。

2-8 擾乱型：Eb型（季節風が持続している場の中に、日本海北部等で発達した低気圧からW~SWにのびる寒冷前線が深く入り込み、次第に南下して太平洋に出る場合）

- ① 季節風の場合であるからEa型にくらべると、雪の発現回数が多い。
- ② 発現時の気温の下降量はEa型よりは小である。
- ③ 風系はEa型よりは北の成分が明瞭である。
- ④ その他はおおむねEa型と同じである。

2-9 擾乱型：Fa型（季節風の場合で、本州は高気圧の範囲内ではあるが弱まっており、東北地方北部および北海道等ではなお強く、季節風の強い場が北偏している場合）

- ① Ea型の定義で示してあるように、この場合東北地方北部及び北海道では強い雨となる。時として北陸地方にも強い雨が発現する。この雨は局地的擾乱によるものである。
- ② 気温の変化は様々で、雨の場合は時間の経過と共に下降を続けるが、雪の場合発現時に上昇する。
- ③ 露点温度は、雨の場合には3時間前に上昇を示し暖気の侵入が認められるが、雪の場合にはこの傾向はなく連続して下降しており、雨の場合との相違を示している。みぞれの場合は発現時までは殆んど変化はないが、発現時後3時間にあってはやや上昇している。
- ④ 次に風系の変化を見ると、各現象間に規則性を見出し難い。風速の変化を強いて解析すると、雨の場合は3時間前からやや強まってその後は時間と共に僅かに弱くなっている。雪の場合はこれとはほぼ反対で3時間前は弱くなっているが、その他の時間は比較的強くなっている。
- ⑤ この擾乱系では一般的に見て、強い降水を伴うことはないが局地的擾乱が加わると強い降水となることがある。

2-10 擾乱型：Fb型（全般的には季節風の場合を示しているが、北海道の西方海上には小さい低気圧が発生、あるいは位置し、日本海を通る等圧線は湾曲して凹形を示している場合）

- ① 本例は僅か2例のみである。定義で示した条件では、北陸地方に強い降水を生ずる直接の原因はない。

2-11 擾乱型：Fc型（発達した季節風の場合）

- ① この型は降雪期に豪雪を見る典型的のものである。この型で季節風の吹き出しが始まると多くの場合は雪となるが、温暖な空気が広く残存している時には、吹き出しの初めは雨であることもある。

- ② 降水と風系の変化の関係をみると、W~NWの持続の場合となっていて多いが時に南寄りの風系が見られる。この現象は季節風の吹き出しが始まって相当時間後に現われ、同時に強い雪を伴うことがしばしばある。

2-12 擾乱型：Fd型（季節風が衰弱した場合）

この型による強い降水は、Fc型に次いで多く現われている。Fc型にあっては場を季節風が支配しているので、降水についての規則性が強く現われているが、この型では不規則的な場合が多い。

代表的な擾乱型の例を示すと資図1-1~5のようになる。このように擾乱のパターンはいくつにも分けられるが、それぞれによる降雪パターンは必ずしも明確には擾乱のパターンを特徴づけられないようである。強いてあげれば擾乱のA、B型では、いわゆる山雪型が多く出現しC、D型が山、里雪の複合型、E型では里雪が多い。また、F型は全般に関与している。降雪量と擾乱型との間には大きな相関は見られないが、C、D型の場合には降雪量は比較的多くなる。

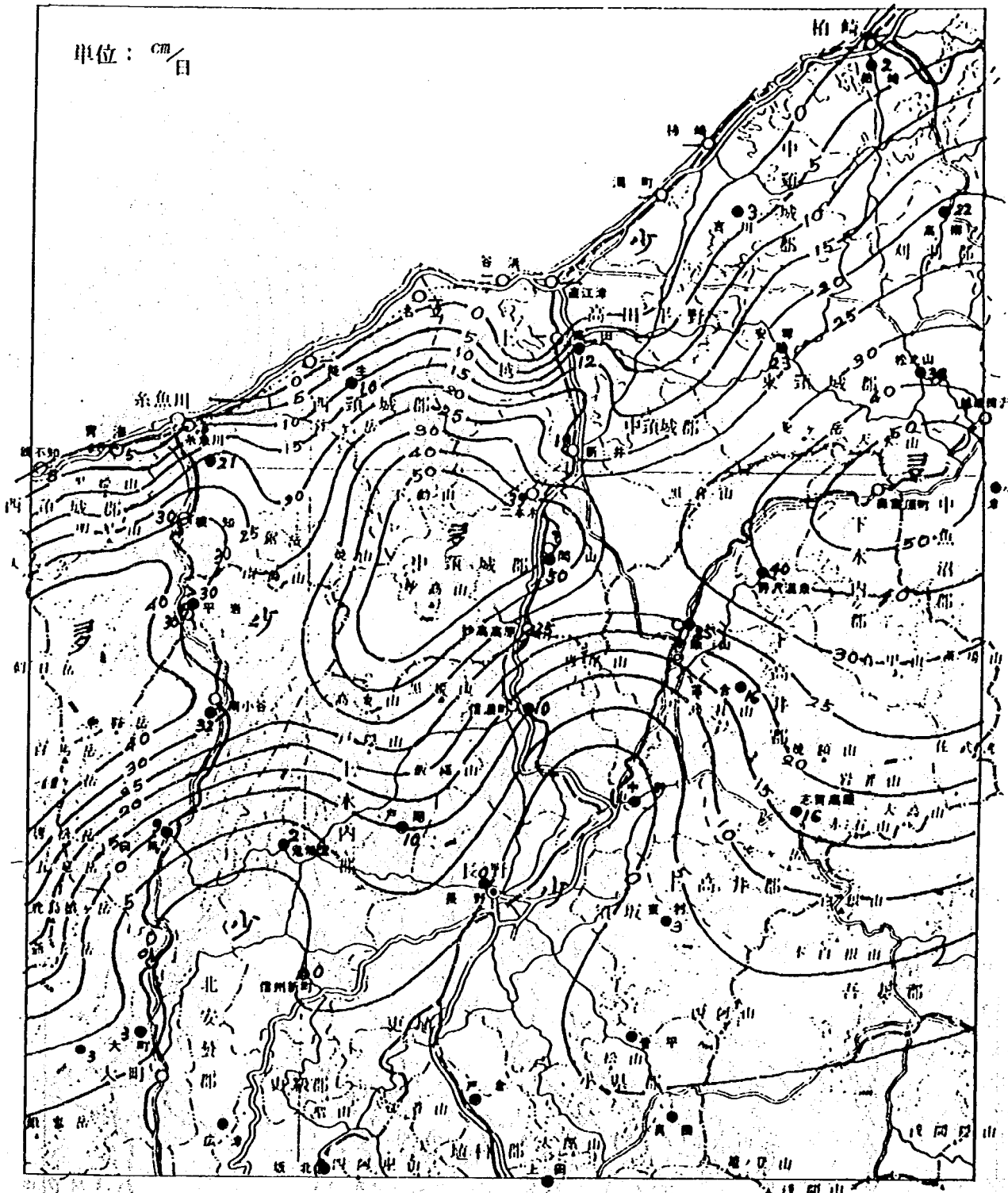
### 資料-3 冬季降水現象の判別手法に関する調査

#### 1 概要

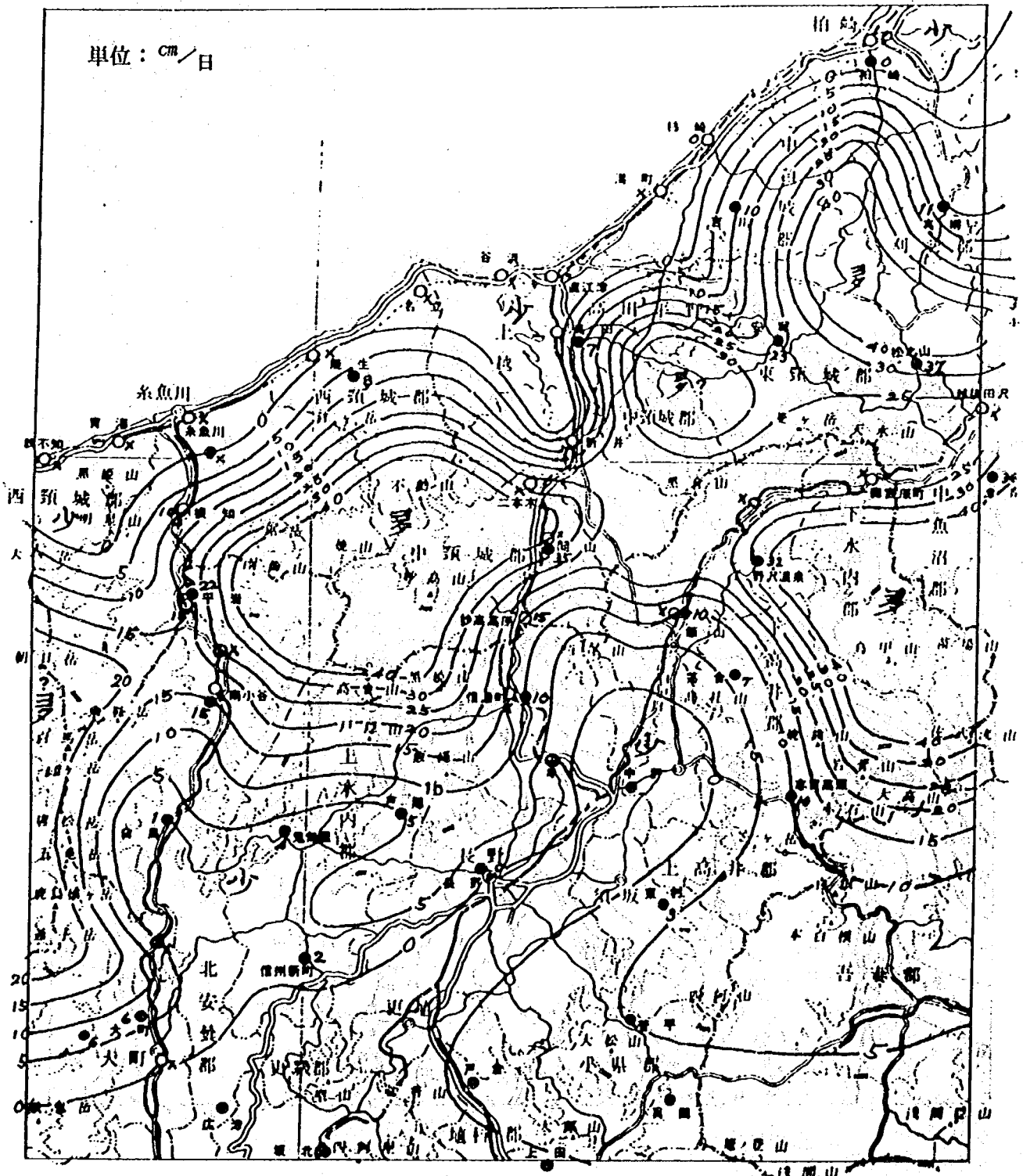
冬季降水現象の予測において知りたいことは、降水現象の有無である。もしあるとすれば、それが雨であるか、みぞれであるか、あるいは雪であるかということであり、次にそれらの量はどれ位かということである。判別手法の考え方の一例として、資料-1の文献中の降雪予測のための重相関方報式に関する論文“Study of statistical Analysis and Forecast of Snowfall on the Area of Japan Sea Side of Central Japan” 1968を節尾に示した。

これからもわかるように、精度のよい判別法を確立するためには降水機構および降水地域分布に係ると考えられる。あらゆる気象要素を集めある現象のもとで（例えば雪が降ったという条件で）

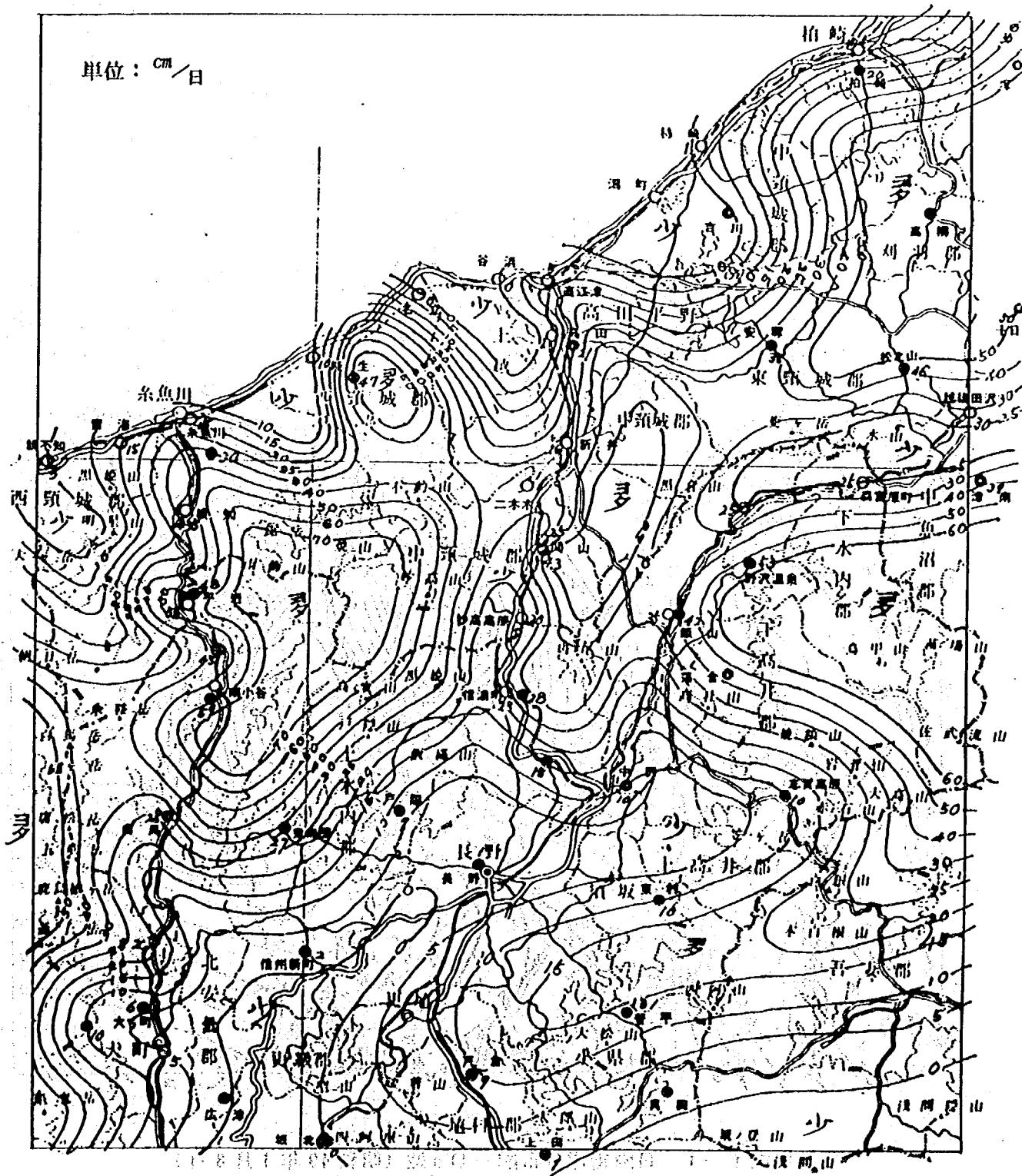




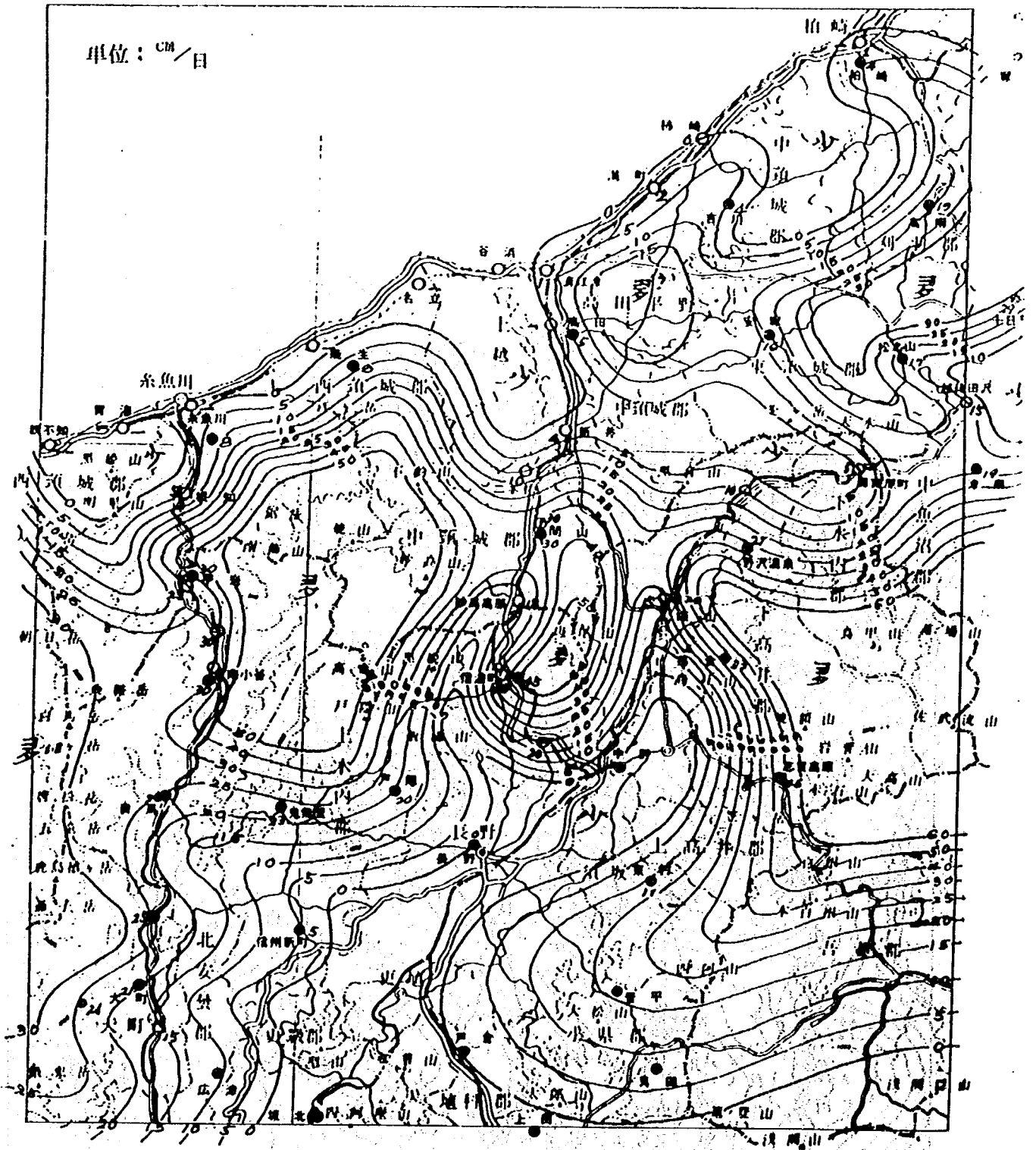
資圖 1-1 日降雪深分布圖-A型 (昭和 48 年 12 月 16 日)  
 (山雪型)



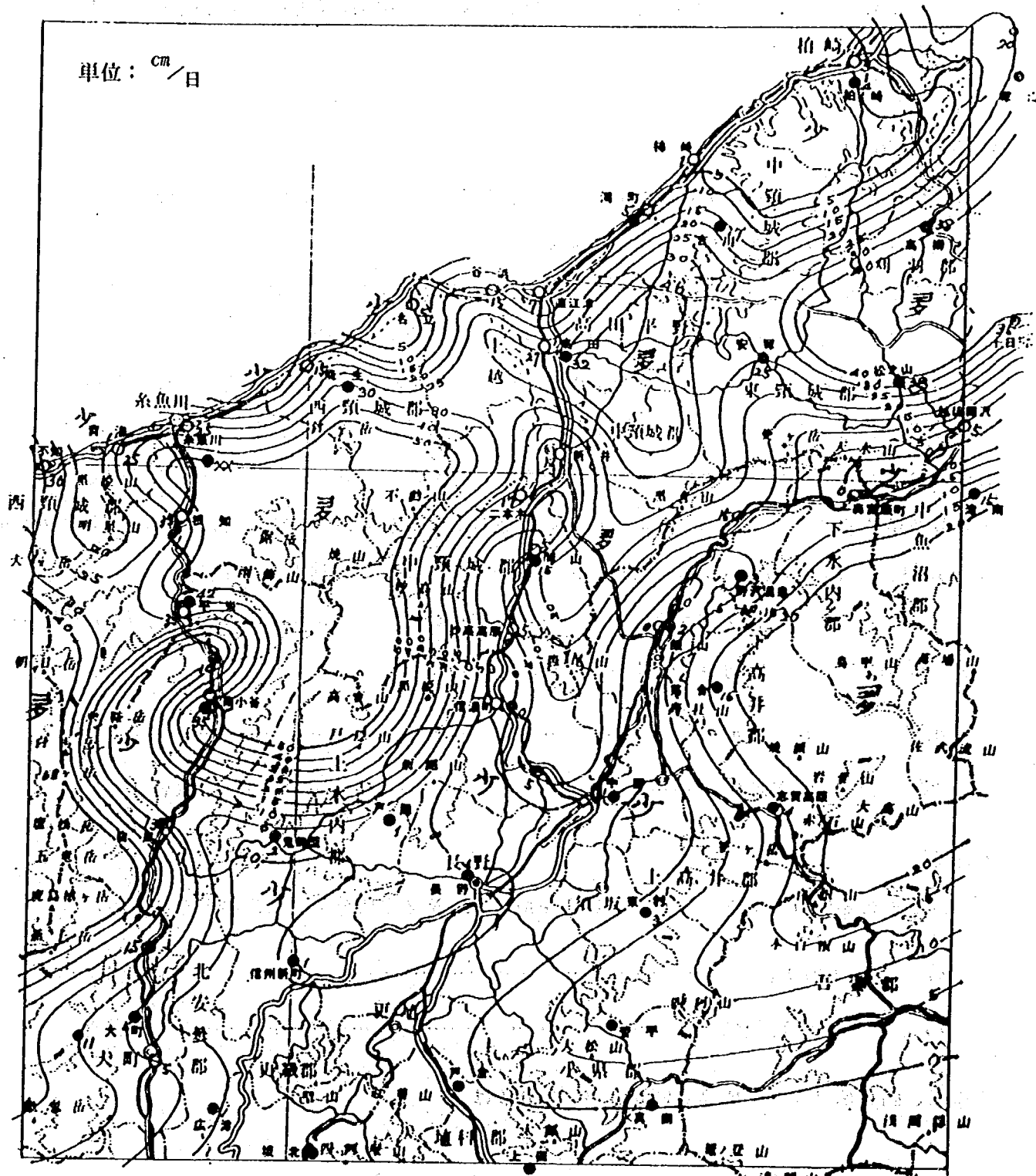
資圖 1-2 日降雪深分布圖—B型 (昭和 49 年 3 月 23 日)  
(山雪型)



資圖1-3 日降雪深分布圖 — Cd型(昭和51年1月11日)  
(混合型)



資圖1—4 日降雪深分布図—Da型(昭和49年1月8日)  
(混合型)



資圖 1-5 日降雪深分布圖-Ea型 (昭和48年12月22日)  
(里雪型)

各気象要素間の相関を求めて用いる気象要素を選択する（同等の相関を有する要素はその中のどれか一つだけを使用しても精度にはほとんど影響がない）。選択した要素を予想因子（説明変数）として予想する現象（雨、みぞれ、雪などの群）判別のための重相関回帰方程式を作成するわけである。これをより詳細に解説すると次のようになる。

## 2 判別関数

判別関数についての概念を知るために、その簡単な例として、2 説明変数、2 群の場合について説明する。（これは本文第3章と一部重複する。）

2つの説明変数  $x_1, x_2$  は  $x_1$  軸、 $x_2$  軸で作られる2次元平面上に2群に分れて分布しているものとする。この2群をそれぞれ  $a, b$  のいずれに属するかを判定するものである。もし、 $a, b$  2つのグループの母平均（重心）が異なり、母分散が等しいものとすれば  $P$  は  $a, b$  それぞれの重心からの距離がより近い方に属すると判定するのが妥当であろうと考えられる。しかし、2群  $a, b$  の母集団の分散～母分散が異なる場合、単純に  $a, b$  の重心からの距離のみで判別することは不可能であり、また  $a, b$  を構成する  $x_1, x_2$  の間にある程度の相関がある事が多い。この場合にはマハラノビス汎距離（Mahalanobis' Genoraliyod Distance）の大小によって判別を実施する。

今、説明変数  $x_1, x_2$  の属するグループ  $a, b$  について、その母平均を  $\mu_1, \mu_2$ 、母分散を  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  とすれば  $x_1, x_2$  の母平均からの基準化された距離  $u_1, u_2$  は

$$u_1^2 = (x_1 - \mu_1)^2 / \sigma_1^2 \quad \dots\dots\dots (資-1)$$

$$u_2^2 = (x_2 - \mu_2)^2 / \sigma_2^2 \quad \dots\dots\dots (資-2)$$

となる。

$x_1$  と  $x_2$  との相関  $\rho$  を 0.5 とすると、第1主成分  $z_1$ 、第2主成分  $z_2$  は次のようになる。

$$z_1 = (u_1 + u_2) / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (資-3)$$

$$z_2 = (u_1 - u_2) / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (資-4)$$

ここで、固有値  $\lambda_1, \lambda_2$  に等しい  $z_1, z_2$  の分散は

$$\lambda_1 = V(z_1) = \{ V(u_1) + V(u_2) + 2 \text{cov}(u_1, u_2) \} / 2 \quad \dots\dots\dots (資-5)$$

$$= \{ 1 + 1 + 2\rho \} / 2 = 1 + \rho$$

$$\lambda_2 = V(z_2) = \{ V(u_1) + V(u_2) - 2 \text{cov}(u_1, u_2) \} / 2 \quad \dots\dots\dots (資-6)$$

$$= \{ 1 + 1 - 2\rho \} / 2 = 1 - \rho$$

ここで直交する主成分  $z_1, z_2$  は互に無相関である。よって、 $z_1, z_2$  を座標軸として、それぞれの 2 乗を分散で割って合成した値を点  $(z_1, z_2)$  と重心  $(0, 0)$  との平方距離  $D^2$  と定義すれば、

$$D^2 = d_1^2 + d_2^2 \dots\dots\dots (資-7)$$

但し、

$$d_1^2 = \frac{z_1^2}{\sqrt{\{z_1\}}}$$

$$d_2^2 = \frac{z_2^2}{\sqrt{\{z_2\}}}$$

この  $D$  はマハラノビス (汎) 距離と呼ぶものである。これにより 2 群  $a, b$  の重心からのマハラノビス汎距離  $D_a, D_b$  を求め、その小さい方の群にサンプル  $P$  が属すると判定すればよいこととなる。しかしながら、計算に当たってサンプル毎に実際に計算することは手数を要することである。 $D_a = D_b$  なる点の軌跡 (直線になる) を表わす式を求めることによって解決することができる。

すなわち、この式  $z$  は  $z = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$  の形をとるので、ここで、 $a_0$  を点  $(x_1, x_2)$  が境界線上にあるとき  $z = 0$  となるように定めておけば  $z$  の正負でサンプル  $P$  がいずれの群に属するかを判定できる。また、群が 3 群以上になるときは 3 つの判別式を作り、 $z$  の値が最大となる式の群に属すると判定する。

### 3 判別関数の計算

#### 計算機とプログラム

IBM の 370 CALL システムを利用し、かつ用いるプログラムは STATPACK を使用した。

#### 3-1 計算

初めに次のような説明変数および判別変数を設定して計算を行った。

説明変数  $j = 1, 2, 3, 4, 5$  とし

- $j = 1$  : 地上気温
- 2 : 地上露点温度
- 3 : 850 mb の気温
- 4 : 850 mb の露点温度
- 5 : 700 - 850 mb の層厚

判別変数  $k = 1, 2, 3$  とし

- $k = 1$  : 雨
- 2 : みぞれ
- 3 : 雪 (あられを含む)

	823.0	900.0		
	508.0	901.1	308.0	
	330.0	900.1	103.0	587.0
	000.1	002.0	875.0	031.0
	000.0	000.0	608.0	008.0

これらにより、次の各計算を行う。

- ① 各変数間の相関マトリックス
- ② マハラノビス  $D^2$  値 (一般化された)

$$V = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{ij} \sum_{k=1}^3 n_k (\bar{X}_{jk} - \bar{X}_i)(\bar{X}_{jk} - \bar{X}_j) \dots\dots\dots (資-8)$$

- ③ 各判別関数  $k = 1, 2, 3$  の係数

係数

$$C_{ik} = \sum_{j=1}^3 d_{ij} \bar{X}_{jk}$$

定数項

$$L_{ok} = \frac{1}{Z} \left( \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^3 d_{jl} \bar{X}_{jk} \bar{X}_{lk} \right)$$

- ④  $i$  番目の観測値について、3 個の判別関数の最大になるものの番号と判別関数  $f_k$  の値

### 3-2. 計算の結果(1)——9時および21時の高層気象資料と同一時刻の地上気温および露点温度とによる時間降水現象の判別

- ① 各気象要素間の相関と判別式

前項で示したとおり

- $x_1$  : 地上気温
- $x_2$  : 地上露点温度
- $x_3$  : 850 mb の気温
- $x_4$  : 850 mb の露点温度
- $x_5$  : 700 - 850 mb の層厚

相関係数は資表 1-1 に示すとおりである。この表で知られるように  $x_3$  と  $x_5$  (850 mb の気温と 700 - 850 mb の層厚) とは相関は極めて高い。この相関係数からすれば、 $x_3$  と  $x_5$  のいずれか一方を採っても判別の精度は大差ないと考えられるのであるが、ここでは気象要素 5 個のすべてを用いた判別式を求めると、次の各式が得られる。

資表 1-1 各変数間の相関

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$x_1$	1.000	0.832	0.833	0.719	0.806
$x_2$	0.832	1.100	0.804	0.672	0.805
$x_3$	0.833	0.804	1.000	0.856	0.959
$x_4$	0.719	0.672	0.856	1.000	0.855
$x_5$	0.806	0.805	0.959	0.855	1.000



雨

$$z_1 = -35780.25000 + 21.45274 x_1 - 51.34822 x_2 - 240.56233 x_3 \\ - 42.34256 x_4 + 46.72105 x_5$$

みぞれ

$$z_2 = -35851.87500 + 20.83957 x_1 - 52.00806 x_2 - 240.23329 x_3 \\ - 42.86826 x_4 + 46.76923 x_5$$

雪

$$z_3 = -35740.40625 + 20.59921 x_1 - 51.58481 x_2 - 240.43118 x_3 \\ - 42.66089 x_4 + 46.69444 x_5$$

..... (資-9)

以上の3式について  $x_1, x_2, x_3, x_4$  および  $x_5$  の測定値により計算し、得られた  $z_1, z_2, z_3$  のうち最も大なる値を示したのがその降水現象となる。

- ② 一般化されたマハラノビス  $D^2$  の値は、188.19849 となった。
- ③ 上記の判別式によって得られる降水現象と、実際の観測によって得られた時間降水現象と対比してこの結果を資表1-2として示す。

3-3 計算の結果(2) — 前項において、時間降水現象の予測に使用する場合には説明変数  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  の所定時間後の値を予測しなければならないが、 $x_2$  (地上露点温度) および  $x_4$  (850 mb 露点温度) とは、予測値の精度が劣るのでこれを省き、説明変数を  $x_1, x_3, x_5$  の3個について計算する。

- ① 求め得られた判別式は、次の各式のとおりである。

資表1-2 各現象別による的中状況

(使用変数: 5)

現象の比較	回数	的中率
雨をみぞれと判別したもの	11	
雨を雪と判別したもの	4	
雨を雨と判別したもの	38	
計	53	72%
みぞれを雨と判別したもの	1	
みぞれを雪と判別したもの	3	
みぞれをみぞれと判別したもの	6	
計	10	60%
雪を雨と判別したもの	1	
雪をみぞれと判別したもの	8	
雪を雪と判別したもの	62	
計	71	87%

雨

$$z_1 = -32152.57813 + 3.00063 x_1 - 260.72876 x_2 + 41.97287 x_3$$

みぞれ

$$z_2 = -32132.21094 + 2.14898 x_1 - 260.65039 x_2 + 41.96118 x_3$$

雪

$$z_3 = -32067.11328 + 2.07114 x_1 - 260.74658 x_2 + 41.91667 x_3$$

..... (資-10)

- ② 一般化されたマハラノビス  $D^2$  の値は、173.43042 となった。
- ③ 上記の判別式によって得られる降水現象と実際に観測によって得られた降水現象とを対比してこの結果を資表 1-3 に示す。

3-4 計算の結果(3) — 9時および21時の高層気象資料中 850 mb 高度面の気温、同一時刻の地上気温および露点温度とによる時間降水現象の判別、 $x_2$  (層厚) と  $x_3$  (850 mb の露点温度)との相関係数は 0.959 と大であり、 $x_2$  と  $x_4$  (850 mb の露点温度)との相関係数は 0.856 大であることから、 $x_4$  と  $x_3$  を省略し、 $x_1, x_2, x_3$  の3変数について計算するものである。

資表 1-3 各現象別による的中状況

(使用変数: 3)

現象の比較	回数	的中率
雨をみぞれと判別したもの	15	
雨を雪と判別したもの	0	
雨を雨と判別したもの	38	
計	53	72%
みぞれを雨と判別したもの	0	
みぞれを雪と判別したもの	2	
みぞれをみぞれと判別したもの	8	
計	10	80%
雪を雨と判別したもの	1	
雪をみぞれと判別したもの	15	
雪を雪と判別したもの	55	
計	71	78%

① 求め得られた判別式は、次の各式のとおりである。

雨

$$z_1 = -15.47040 + 3.09593 x_1 + 1.17526 x_2 - 3.10018 x_3$$

みぞれ

$$z_2 = -12.26955 + 2.46896 x_1 + 0.64066 x_2 - 2.95033 x_3$$

雪

$$z_3 = -15.67519 + 2.25650 x_1 + 0.95925 x_2 - 3.40551 x_3$$

..... (資-11)

② 一般化されたマハラノビス  $D_2$  の値は、174.30730 となった。

③ 上記の判別式によって得られる降水現象と、実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表 1-4 として示す。

資表 1-4 各現象別による的中状況

(使用変数: 3)

現象の比較	回数	的中率
雨をみぞれと判別したもの	14	
雨を雪と判別したもの	1	
雨を雨と判別したもの	38	
計	53	72%
みぞれを雨に判別したもの	0	
みぞれを雪に判別したもの	2	
みぞれをみぞれに判別したもの	8	
計	10	80%
雪を雨に判別したもの	0	
雪をみぞれに判別したもの	15	
雪を雪に判別したもの	56	
計	71	79%

### 3-6 計算結果(1), (2), (3)の取りまとめ

3 ケースについての計算の結果を取りまとめて一覧表にすると資表 1-5 となる。気象現象として見る場合、雨とみぞれ、みぞれと雪との成因は明確に区分し得られない状況はしばしば生ずるので、これらの判別結果は別として資表 1-5 をみると、各結果とも判別効率に大差はないことが認められる。3 計算に共量する欠陥は雪をみぞれと判定し易いことであるが、みぞれの生成には 850

mb 高度面以外の高高度面の気象因子が大きく影響していると考えられ、今後検討を要する事項である。

判別式による計算によって、時間降水現象を予測するには所定時間後の説明変数  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  の値を予測することが必要となるが、この5つの説明変数のうちでは  $x_2, x_4$  の露点温度の予測精度は比較的低いことを考えると、計算(2)による地上気温、850 mb の気温および700~850 mb の層厚の3説明変数による判定式を用いるのが適用である。

資表1-5において知られるように、判別結果において道路管理に影響するおそれのある判別となった日時を次に摘出しておく。

資表1-5 9時, 21時の高層気象資料と地上の気温及び、露点温度による降水現象判別結果

判別結果	地上気温	地上気温	地上気温
	地上露点温度	——	地上露点温度
	850 mb 気温	850 mb 気温	850 mb 気温
	850 mb 露点温度	——	——
	850~700 mb 層厚	850~700 mb 層厚	
雨をみぞれと判別	11	15	14
雨を雪と判別	4	0	1
雨を雨と判別	38	38	38
的中率(%)	72	72	72
みぞれを雨と判別	1	0	0
みぞれを雪と判別	3	2	2
みぞれをみぞれと判別	6	8	8
的中率(%)	60	80	80
雪を雨と判別	1	1	0
雪をみぞれと判別	8	15	15
雪を雪と判別	62	55	56
的中率(%)	87	77	79

(雨を雪と判別した日時)

昭和47年12月18日 21時

昭和48年12月8日 21時

昭和49年1月1日 9時

昭和50年2月27日 21時

(雪を雨と判別した日時)

昭和46年12月10日 9時

3-6 計算の結果(4)——9時および21時の高層気象資料と0時または、12時の地上気温および露点温度とによる0時または12時の時間降水現象の判別

① 各気象要素間の相関と判別式

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  は3-3の場合と同じである。計算し得られた相関係数は次に資表1-6に示すとおりである。

資表1-1に比べると相関は幾分低くなり、相関係数は0.7~0.86の間となるが $x_3$ と $x_5$ の間の相関は0.851と高い値を示している。このことは、3-3で説明のように $x_3$ または $x_5$ のいずれか一方を採っても判別の精度は大差のないものと考えられるが、ここでは、説明変数5個の全て

資表1-6 各変数間の相関

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$x_1$	1.000	0.742	0.782	0.700	0.801
$x_2$	0.742	1.000	0.731	0.706	0.808
$x_3$	0.782	0.731	1.000	0.728	0.851
$x_4$	0.700	0.706	0.728	1.000	0.847
$x_5$	0.801	0.808	0.851	0.847	1.000

を用い判別式を求めると次の各式が得られる。

雨

$$z_1 = -22476.27344 - 2.086205x_1 - 40.87151x_2 - 53.85181x_3 - 61.34972x_4 + 29.59659x_5$$

みぞれ

$$z_2 = -22317.87109 - 21.34685x_1 - 40.75804x_2 - 53.72675x_3 - 61.05153x_4 + 29.49332x_5$$

雪

$$z_3 = -22270.09766 - 20.90923x_1 - 41.03685x_2 - 53.78529x_3 - 61.50430x_4 - 29.45734x_5$$

…(資-12)

② 一般化されたマハラノビス $D^2$ の値は、174.34302となった。

③ 上記の判別式によって得られる降水現象と、実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表1-7に示した。

資表1-7 各現象別による的中回数

現象の比較	回数
雨をみぞれと判別したもの	18
雨を雪と判別したもの	3
雨を雨と判別したもの	25
計	46
みぞれを雨と判別したもの	1
みぞれを雪と判別したもの	2
みぞれをみぞれと判別したもの	12
計	15
雪を雨と判別したもの	1
雪をみぞれと判別したもの	13
雪を雪と判別したもの	57
計	71

3-7 計算の結果(5)——計算(2)の場合と同じ時刻について、地上気温、850mb高度面の気温の気温および、700-850mb層厚とによる時間降水現象の判別。

① 求め得られた判別式は、次の各式の通りである。

雨

$$z_1 = -15037.71094 - 37.81416 x_1 - 55.78041 x_2 + 19.94228 x_3$$

みぞれ

$$z_2 = -14943.37891 - 38.23817 x_1 - 55.65021 x_2 + 19.88048 x_3$$

雪

$$z_3 = -14785.17188 - 37.92160 x_1 - 55.72246 x_2 + 19.77286 x_3$$

... (資-13)

② 一般化されたマハラノビス  $D^2$  の値は、162.52065と計算(2)の場合に比べ、10.91977小となった。

③ 上記の判別式によって得られる降水現象と、実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表1-8として示す。

3-8 計算の結果(6)——計算の結果(4)と同じ時刻について、地上気温および、露点温度、850mb高度面の気温および、700-850mb層厚とによる時間降水現象の判別。

資表 1-8 各現象別による的中回数

現象の比較	回数
雨をみぞれと判別したもの	16
雨を雪と判別したもの	3
雨を雨と判別したもの	27
計	46
みぞれを雨と判別したもの	2
みぞれを雪と判別したもの	2
みぞれをみぞれと判別したもの	11
計	15
雪を雨と判別したもの	1
雪をみぞれと判別したもの	13
雪を雪と判別したもの	57
計	71

資表 1-6 (相関マトリックス) によると、 $x_3$  (850 mb 気温) と  $x_4$  (850 mb) 間の係数は 0.851 と大であり、また  $x_3$  と  $x_5$  (700-850 mb 層厚) 間の係数は 0.847 と大であることから  $x_5$  を省き、説明変数  $x_1, x_2, x_3, x_4$  の 4 変数について計算するものである。

① 求め得られた判別式は、次のとおりである。

雨

$$z_1 = -15.42397 + 2.72939 x_1 + 0.91618 x_2 - 1.55679 x_3 - 1.73230 x_4$$

みぞれ

$$z_2 = -13.49606 + 2.16227 x_1 + 0.88382 x_2 - 1.61421 x_3 - 1.64216 x_4$$

雪

$$z_3 = -20.11122 + 2.57122 x_1 + 0.55422 x_2 - 1.73695 x_3 - 2.18353 x_4$$

…(資-14)

- ② 一般化されたマハラノビス  $D^2$  の値は、146.34335 となり、全変数による場合にくらべて、27.99967 小となった。
- ③ 上記の判別式によって得られる降水現象と実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表 1-9 として示す。

### 3-9 計算結果 (4), (5), (6) の取りまとめ

3 ケースについての計算結果を取りまとめて一覧表にすると資表 1-10 となる。降水現象の成因から見るに、雨とみぞれ、みぞれと雪とはそれぞれ明確に区分し得られない状況がしばしば生ずるので、これらの判別結果を別として、資表 1-10 について考察すると、各計算結果ともに判別効率には大差のないことが認められる。また、資表 1-6 と見比べると、「雨をみぞれ」に「雪をみぞ

資表 1-9 各現象別による的中回数

現象の比較	回数
雨をみぞれと判別したもの	18
雨を雪と判別したもの	2
雨を雨と判別したもの	26
計	46
みぞれを雨と判別したもの	1
みぞれを雪と判別したもの	3
みぞれをみぞれと判別したもの	11
計	15
雪を雨と判別したもの	2
雪をみぞれと判別したもの	14
雪を雪と判別したもの	55
計	71

資表 1-10 9時, 21時の高層気象資料と12時または0時の地上気温及び露点温度による降水現象の判別結果

判別結果 使用因子	地上気温	地上気温	地上気温
	地上露点温度	——	地上露点温度
	850mb 気温	850mb 気温	850mb 気温
	850mb 露点温度	——	850mb 露点温度
	850~700mb 高層	850~700mb 高層	——
雨をみぞれと判別	18	16	18
雨を雪と判別	3	3	2
雨を雨と判別	25	27	26
的中率(%)	54	53	51
みぞれを雨と判別	1	2	1
みぞれを雪と判別	2	2	3
みぞれをみぞれと判別	12	11	11
的中率(%)	80	73	73
雪を雨と判別	1	1	2
雪をみぞれと判別	13	13	14
雪を雪と判別	57	57	55
的中率(%)	80	80	77



れ」に誤判別する頻度はやや大になり、さらに「雨を雪」に誤判別の回数も僅かに増加の傾向を示しているが、その他はおおむね同様になっている。

ここでは高層気象観測が行われた時刻の3時間後の地上の気温と露点湿度を用いて降水現象の判別を計算した例であるが、この結果から次のことが言えよう。

- i) 計算(4), (5), (6)を通じて、「雨をみぞれと判別」および「雪をみぞれと判別」する回数が多く、この点の改良を必要とする。
- ii) 計算(4), (5), (6)の3方法のいずれの結果でも、その判別効率は大差はない。
- iii) 計算(5)にあっては比較的变化するのは地上気温で、その他の要素は数時間内であれば変化はないとして取扱い得る利便がある。

なお、資表1-10において知られるように、判別結果において、道路管理上に影響するおそれのある判別となった日時を次に摘出した。

(雨を雪と判別した日時)

昭和47年 3月13日 9時の資料による12時

昭和49年12月 5日21時の資料による6日00時

昭和50年 2月21日21時の資料による22日00時

(雪を雨と判別した日時)

昭和48年 1月10日21時の資料による11日00時

3-10 計算の結果(7)——9時および21時の高層気象資料と、3時または15時の地上気温および露点温度とによる時間降水現象の判別。

① 各気象要素間の相関と判別式

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  は、3-3の場合と同じである。この間について計算し得られた相関係数は資表1-11のとおりである。

資表1-11 各変数間の相関

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$x_1$	1.000	0.721	0.710	0.704	0.756
$x_2$	0.721	1.000	0.673	0.643	0.690
$x_3$	0.710	0.673	1.000	0.775	0.840
$x_4$	0.704	0.643	0.775	1.000	0.879
$x_5$	0.756	0.690	0.840	0.879	1.000

資表1-1, 資表1-6に比べると幾分低くなり、特に地上気象要素である $x_1, x_2$ と高

層気象要素である $x_1, x_2, x_3$ の各相互間では、この傾向が大きいのであるが、高層気象と地上気象の観測時刻の間には6時間の時間差があって、地上気象要素にあっては著しい日変化があることがこの結果の主たる原因と見られる。

高層気象要素相互間は、当然のことではあるが、相関係数は0.78~0.88と大であって3-3で説明のように、 $x_1$ または $x_2$ のいずれか一方を採っても判別の精度は大差ないものと考えられるのであるが、ここでは説明変数5個の全てを用いた判別式を求めると、次に示す各式が得られる。

雨

$$z_1 = -15992.16797 - 16.65262 x_1 - 5.59181 x_2 - 40.54831 x_3 - 65.09048 x_4 + 20.94434 x_5$$

みぞれ

$$z_2 = -15977.52344 - 17.41650 x_1 - 5.47161 x_2 - 40.62866 x_3 - 65.09850 x_4 + 20.93597 x_5$$

雪

$$z_3 = -15898.21875 - 17.31477 x_1 - 5.70407 x_2 - 40.51828 x_3 - 65.21312 x_4 + 20.88214 x_5$$

(資15)

- ② 一般化されたマハラノビス $D^2$ の値は、136.17595となり、計算(1)の場合に比べると52.02254小となる。
- ③ 上記の判別式によって得られる降水現象と、実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表1-12に示す。

資表1-12 各現象別による的中回数

現象の比較	回数
雨をみぞれと判別したもの	9
雨を雪と判別したもの	1
雨を雨と判別したもの	17
計	27
みぞれを雨と判別したもの	1
みぞれを雪と判別したもの	2
みぞれをみぞれと判別したもの	14
計	17
雪を雨と判別したもの	2
雪をみぞれと判別したもの	15
雪を雪と判別したもの	62
計	79

3-11 計算の結果(8)——計算の結果(7)と同一時刻について、地上気温および露点温度と850 mb 高度面の気温および700-850 mb 層高とによる時間降水現象の判別。

資表1-11(相関マトリックス)によると、 $x_5$  に対して  $x_4$  を省略しても判別の効率に対する影響は少ないと見られるので、説明変数  $x_1, x_2, x_3, x_5$  の4変数について計算するものである。

① 求め得られた判別式は、次のとおりである。

雨

$$z_1 = -10419.58594 - 20.60129 x_1 - 7.26894 x_2 - 47.04395 x_3 + 13.77799 x_5$$

みぞれ

$$z_2 = -10403.57031 - 21.36565 x_1 - 7.14895 x_2 - 47.12509 x_3 + 13.76874 x_5$$

雪

$$z_3 = -10304.61719 - 21.270870 x_1 - 7.38436 x_2 - 47.02615 x_3 + 13.70229 x_5$$

…(資-16)

② 一般化されたマハラノビス  $D^2$  の値は、135.11211となり、計算(7)の場合に比べ、1.06384 小で、同様の4説明変数による計算(3)の場合に比べると、38.31831 小となっている。

③ 上記の判別式によって得られる降水現象と実際に観測によって得られた時間降水現象とを対比して、この結果を資表1-13として示す。

### 3-12 計算結果(7), (8)の取りまとめ

2ケースについての計算結果を取りまとめて一覧表にすると、資表1-14となる。この表についての説明事項は、3-9, 3-12で述べたところとおおむね同じであるからこれを省略する。

### 3-13 判別について取りまとめ

計算の結果については、その都度とりまとめてあるが、これを集約すると次のとおりである。

i) 各計算結果を通じて、「雨をみぞれと判別」および「雪をみぞれと判別」する回数が多いので、この点の改良が必要となる。

すなわち、本計算においては高層気象資料として850 mbを採用したが、これと相違する高度面の高層気象の適当な要素についても検討することがあることを示すものである。

ii) 計算された8ケースを見ると、判別の精度に著しい差異は認め難い。高層気象要素であっても時間と共に変化するので、6時間後の地上気温、露点温度を用いる場合には、3時間後の場合にくらべてその精度が低くなるべきであるが、判別結果を見るとその間の差異は僅少である。

iii) 計算に使用する説明変数としては、

$x_1$  : 地上気温

$x_3$  : 850 mb の気温

$x_5$  : 700 - 850 mb の層厚

の3変数のみで一応判別し得られる。 $x_2, x_4$  は9時または21時の輪島における高層気象観測資料をそのまま使用すれば良いが、 $x_1$  については3時間、6時間後の値を予測する

資表1-13 各現象別による的中回数

現象の比較	回数
雨をみぞれと判別したもの	9
雨を雪と判別したもの	0
雨を雨と判別したもの	18
計	27
みぞれを雨と判別したもの	1
みぞれを雪と判別したもの	2
みぞれをみぞれと判別したもの	14
計	17
雪を雨と判別したもの	4
雪をみぞれと判別したもの	14
雪を雪と判別したもの	61
計	79

資表1-14 9時, 21時の高層気象資料と15時  
または翌3時の地上気温および露  
点温度による降水現象の判別結果

判別結果 使用因子	地上気温	地上気温
	地上露点温度	地上露点温度
	850mb 気温	850mb 気温
	850mb露点温度	850mb露点温度
	850~750mb 層厚	—
雨をみぞれと判別	9	9
雨を雪と判別	1	0
雨を雨と判別	17	18
的中率(%)	63	67
みぞれを雨と判別	1	1
みぞれを雪と判別	2	2
みぞれをみぞれと判別	14	14
的中率(%)	82	82
雪を雨と判別	2	4
雪をみぞれと判別	15	14
雪を雪と判別	62	61
的中率(%)	78	77

ことが必要である。

(註) 気温の予測方法は数種の方法があるが、この場合は、気温の変化を支配する天気現象は「降雨」、「降雪」等と限定されているので、比較的精度よく予測し得られる。

#### 資料－4 降雪予測に伴う季節風吹き出し特性等に関する調査

北陸地方の降雪は、季節風の吹き出しとの間に深い関係があることが知られており、季節風の吹き出し数時間後に降雪を見ることが多い。したがって、季節風の吹き出し時刻を予測することができれば、降雪開始時刻の予測がおおよそ可能となる。

季節風は大規模な大気の流れであるから、各気象観測所の吹き出し時刻を追跡することによって各

資表1-15 豪雪を伴った気圧型の分類

擾乱型	気圧配置	豪雪
A. 南海低気圧	発達した低気圧が本州太平洋岸通過	日本列島のせきりょう山脈の山中、甲信地方、東北地方太平洋側並びに北海道東部
B. ニツ玉低気圧	発達した低気圧が本州太平洋岸と日本海とを通過	
C. 日本海低気圧の東側	a. 非季節風型	せきりょう山脈の山中とその西部内陸部に局地的
	b. 持続した季節風場に低気圧発生	地域は上記より広くなり、日本海岸地方を含む。
D. 日本海低気圧	a. 非季節風型	せきりょう山脈の山中とその西側内陸
	b. 持続した季節風場を低気圧通過	上記に加え日本海岸地方を広く含む
E. 寒冷前線	a. 非季節風型	せきりょう山脈とその西側内陸
	b. 持続した季節風場を前線通過	上記に加え日本海岸地方を広く含む
F. 季節風	a. 本州は高気圧で季節風場は北偏	北海道は日本海岸を含め内陸の大部分 本州はせきりょう山脈付近内陸に局地的
	b. 等圧線は日本海で湾曲、北海道西方海上に小低気圧	せきりょう山脈山中、日本海岸地方内陸および日本海地方を含む
	c. 発達した季節風	せきりょう山脈山中、日本海岸地方内陸並びに隣接県では県境付近
	d. 季節風衰弱	内部に局地的

観測所間の平均的な移動速度を知ることができる。この速度で移動させれば、特定地点における季節風吹き出しの時刻を概算することが可能となる。

このようなことから、本項では高田における降雪開始時刻を予測する一手法として、季節風の吹き出し時刻を予測することを目的とし、高田測候所の資料を基礎資料として、北京、瀋陽、ウラジオストック、平壤（京城）、輪島、金沢、西郷の過去5ヶ年間の地上気象観測資料から季節風の平均的な移動速度を知り、高田の季節風吹き出し時刻を予測するものである。

## 1 季節風の定義

気節風の条件として

- ① W～N～NNEの風向が6時間以上持続
- ② この風向の持続する時間内の最大風速が4.0 m/s以上を満たすものとする。

## 2 気圧配置型と季節風

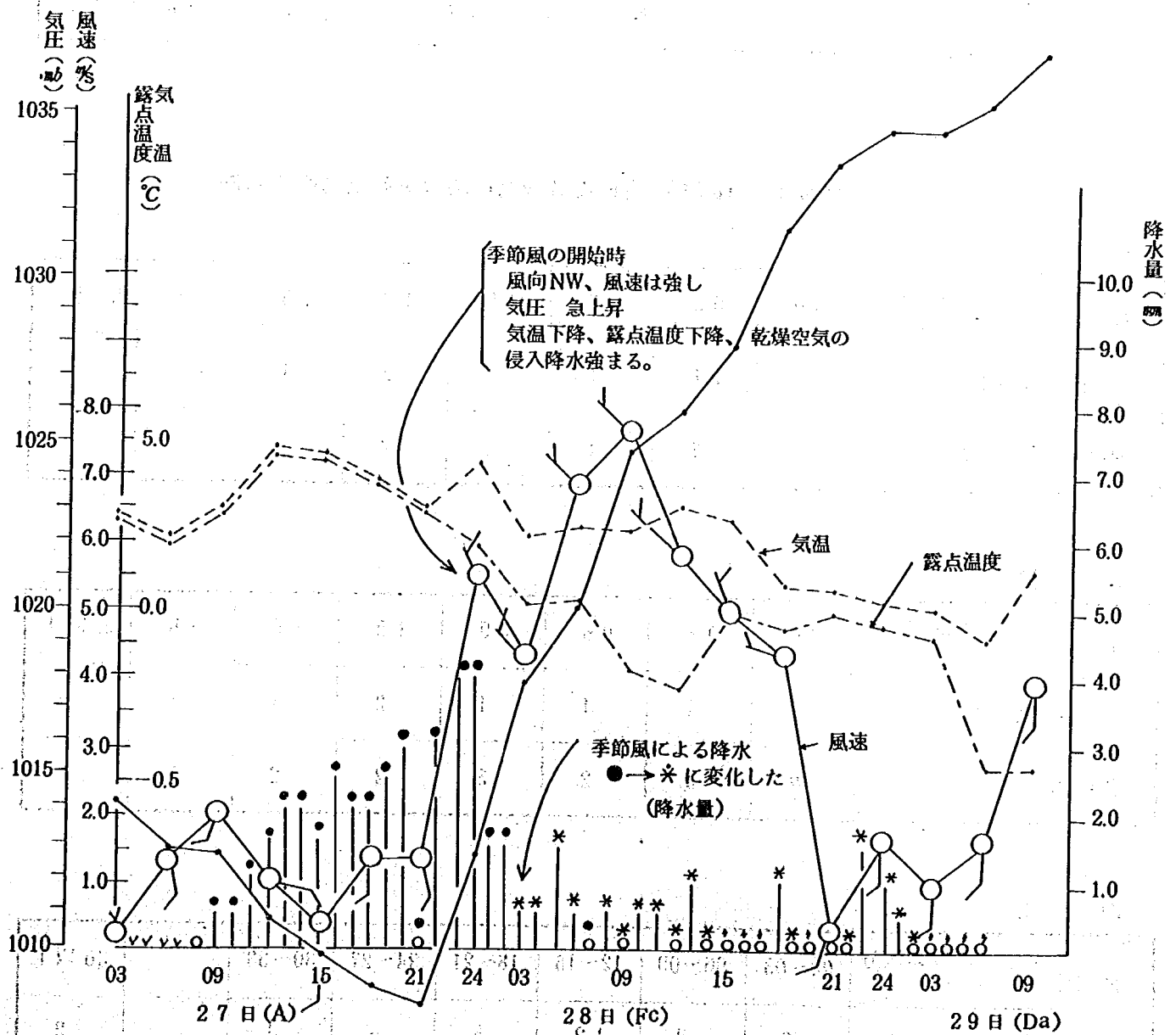
季節風は発達した低気圧の通過後に発現するが、低気圧の通過経路によって、低気圧系と季節風とは同風系を示すことがあり、風系の変化のみでは季節風の吹き出し時刻を判定できないことがある。このため、本項では資表1-15に示すような気圧配置型に分類し、これらと季節風との関係を調べ季節風吹き出し判定の手懸りとし、資表1-16に季節風の特徴を示した。また、資図1-6に擾乱型Aの季節風吹き出しの判別例を示す。

資表1-16 気圧配置型と季節風の関係

型	季節風の特徴	判定要素
A	低気圧系、季節風は同風向を示す。また、風速も接近した時刻に発現する。	気温、露点温度の変化
B	日本海沿岸に低気圧の中心が接近した後、一時的に季節風が流入することである。	"
Ca	全般に弱いが前線を形成している場合は強い。	風系の変化
Cb	低気圧が至近点通過後、吹き出し開始	"
Da	吹き出しは一般に暖かい	気温、露点温度の変化
Db	前線とともに到達	"
Ea	"	風系、気温、露点温度の変化
Eb	"	気温、露点温度の変化
Fa	強風場は北偏し、高田付近は一般に弱い。	"
Fb	全般に弱い。	各気象要素の変化
Fc	長時間吹続き、風速も強い最大風速は吹き出し初期に出現することが多い。	気温、露点温度、水蒸気張力の変化
Fd	Fe型に引き続き持続しない。一時的に強まる。	"

### 3. 擾乱型の分類

季節風は低気圧または、寒冷前線に伴って発現するとして、それらを一群の季節風を伴う擾乱型として地上天気図（9時）より分類し、資表1-17に月別出現回数を示す。これによると、A型が最も多く、次いでFb、BおよびDaの順となっている。月別にみると、A、B型は2月、Eb型は12月、Da型は1月に多く出現している。



資図1-6 昭和46年12月27日~28日の季節風の解析図  
 (擾乱型: A(27日) → Fc(28日) → Da(29日))

資表 1 - 17 月別擾乱型出現回数

月別	A	B	Ca	Da	Db	Ea	Eb	合 計			
								総合計	A+B	Da+Ea	Db+Eb
12月	4	2	1	2	2	3	6	19	6	5	8
1月	4	2	-	5	3	1	2	18	6	6	5
2月	8	4	-	-	1	2	3	18	12	2	4
3月	2	1	-	2	-	1	1	7	3	3	1
合計	18	9	1	9	6	7	12	62	27	16	18

資表 1 - 18(1) 高田と各観測所間の季節風到達時間差

輪 島

種 別 \ 時間差区分	00	03	06	09	12	15	18	21以上
季節風開始時	10	11	4	1	2	1	1	2
Pmax 発 現 時	14	7	4	1	2	-	-	4

金 沢

種 別 \ 時間差区分	00	03	06	09	12	15	18	21以上
季節風開始時	7	4	1	1	2	-	1	-
Pmax 発 現 時	2	4	2	3	2	2	1	1

西 郷

種 別 \ 時間差区分	00~03	06~09	12~15	18~21	24~27	30~33	36以上
季節風開始時	2	8	12	5	-	1	2
Pmax 発 現 時	13	14	18	-	-	3	2



資表 1 - 18 (2)

平 壤

時間差区分 種 別	03以下	06~09	12~15	18~21	24~27	30~33	36~39	42~45	48以上
季節風開始時	6	3	1	5	7	3	2	2	9
Pmax 発現時	1	1	7	4	2	6	1	2	6

北 京

時間差区分 種 別	15以下	18~21	24~27	30~33	36~39	42~45	48~51	54~57	60~63	66~69	72以上
季節風開始時	1	—	3	9	7	4	3	2	2	—	5
Pmax 発現時	4	3	2	5	8	2	6	2	1	1	5

瀋 陽

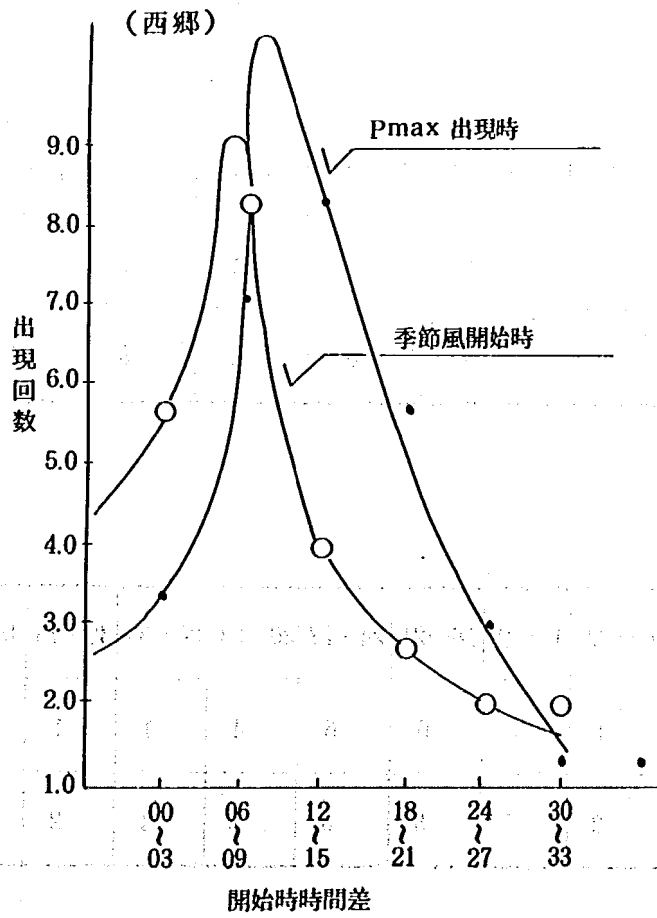
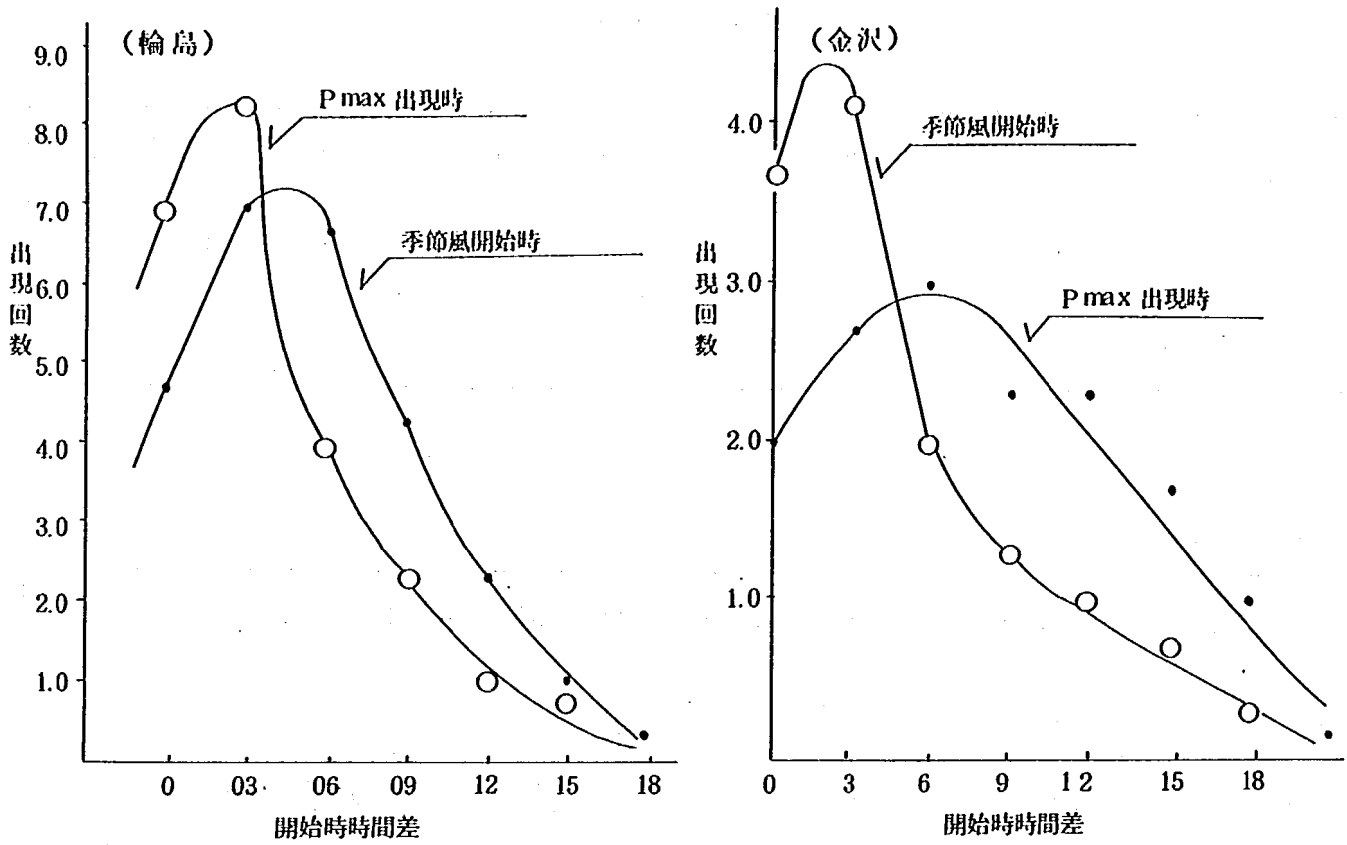
時間差区分 種 別	09以下	12~15	18~21	24~27	30~33	36~39	42~45	48~51	54~57	60以上
季節風開始時	1	1	6	9	4	1	5	—	2	5
Pmax 発現時	2	6	4	3	8	3	1	—	3	6

ウラジオストック

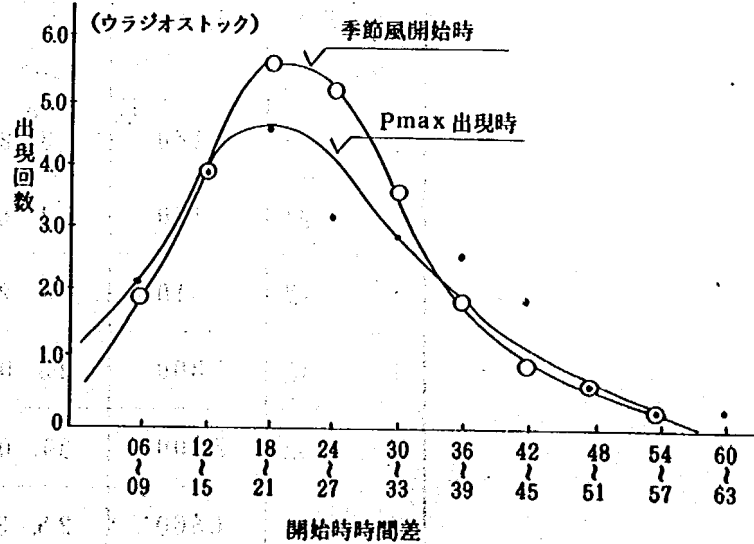
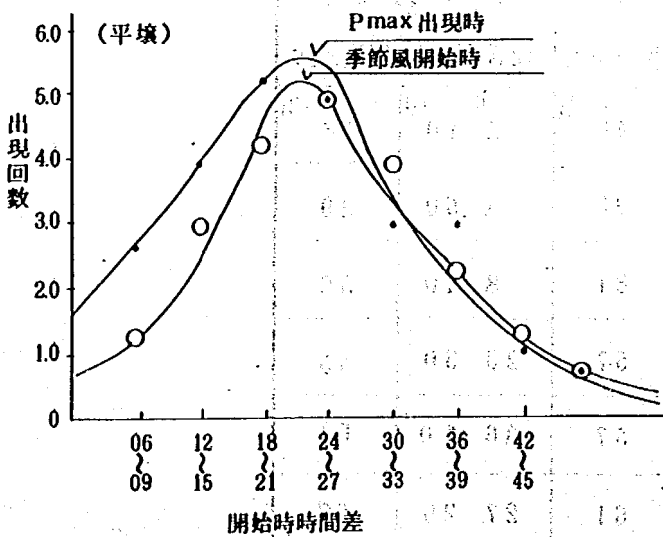
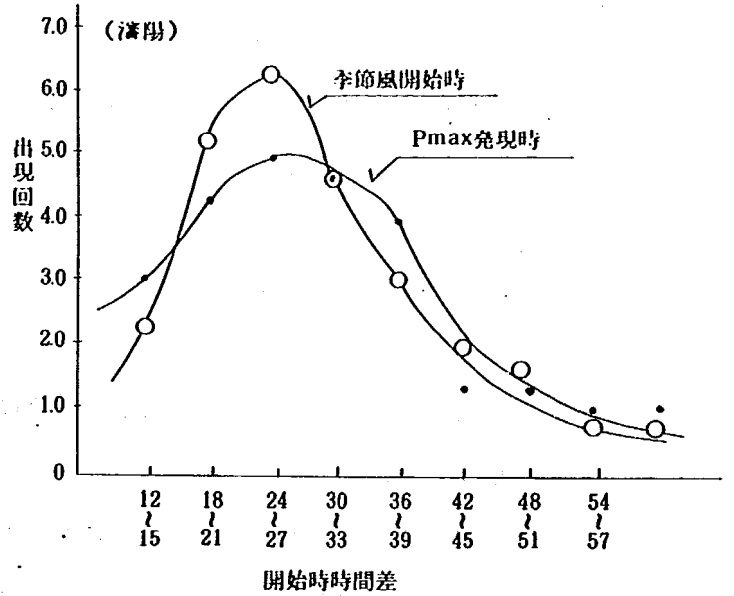
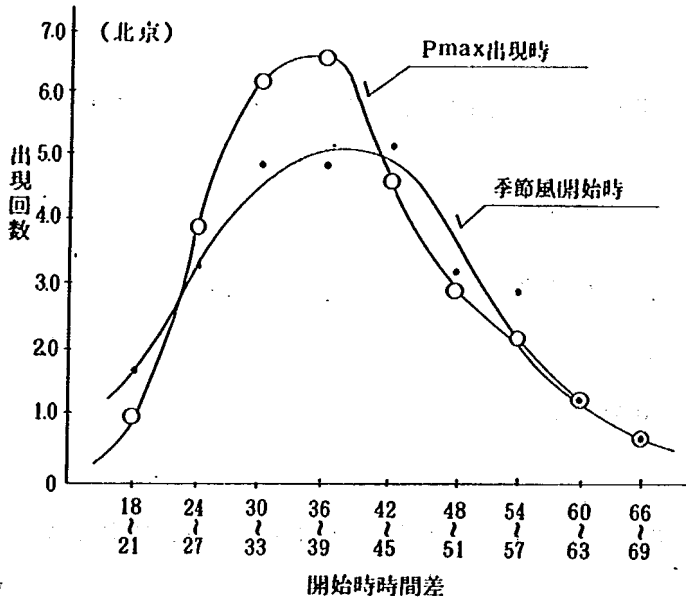
時間差区分 種 別	03以下	06~09	12~15	18~21	24~27	30~33	36~39	42~45	48~51	54~57	60~63	66以上
季節風開始時	5	1	5	6	6	4	1	1	1	—	—	5
Pmax 発現時	10	2	6	5	3	2	4	2	—	—	1	2

ウラジオストック

(期間別統計表) 季節風開始時刻表 (1) 1 - (1) 頁



資圖 1 - 7 (1) 季節風到達時間差分布(高田と各観測所間)



實圖 1-7 (2)

#### 4 季節風の到達時間

高田と各観測所との季節風吹き出し時刻および最大気圧差（観測所—高田）の出現時間差を観測資料から求め、資表1-18 および、資図1-7（移動平均）に示す。

これらから次のようなことが言える。

##### 1) 輪島—高田

時間分布は比較的明瞭となっており、季節風の開始時間差は3時間20分、最大気圧差の出現時間差は2時間10分となっている。

##### 2) 金沢—高田

輪島同様に分布は明瞭で、季節風開始時で1時間50分、最大気圧差で5時間50分となっており、季節風開始時が最大気圧差出現時に先行している。

##### 3) 西郷—高田

季節風開始時で6時間20分、最大気圧差で8時間40分である。

##### 4) 平壤—高田

季節風開始時で23時間、最大気圧差で8時間40分である。

##### 5) 北京—高田

分布は明瞭性に欠くが、季節風開始時で39時間、最大気圧差で36時間となっており、輪島同様に最大気圧差が先行している。

##### 6) 瀋陽—高田

一般に季節風の発達が弱いので開始時の判定が困難な場合が多いが、分布は比較的明瞭である。

資表1-19 高田と各観測所間の平均移動速度

事項 地点名	高田との 距離	季節風開始時		Pmax出現時	
		到達時間	平均速度	到達時間	平均速度
輪島	160 km	h m 3. 20	km/h 48	h m 2. 10	km/h 74
金沢	170	1. 50	93	5. 50	29
西郷	510	6. 20	81	8. 40	59
平壤	1,300	23. 00	57	23. 30	55
北京	2,200	39. 00	57	36. 00	61
瀋陽	1,560	25. 30	61	27. 20	57
ウラジオ ストック	1,010	20. 00	50	19. 00	53

## 7) ウラジオストック—高田

季節風開始時で20時間、最大気圧差で19時間となっており、両者の差はほとんどない。

### 5 季節風の平均移動速度

各観測所—高田間の到達時間と距離から平均移動速度を求めると、資表1—19のようになる。

### 6 まとめ

資図1—8～9に示すように、高田の季節風吹き出し開始時刻は大陸東岸に発現後、約20時間経過後である。また、輪島との間では、おおよそ3時間後である。

## 資料—5 降雪を伴う擾乱型(季節風)の解析

本調査は、国道18号路線上の降雪深の予測に利用しえるように、降雪を伴う擾乱型のうち、季節風の発達する型(擾乱型Fc)について中分類(高層天気図)、小分類(地上天気図)し、特性をつかむものである。

降雪深の予測法は大別すると、

- ① 理論的計算法
- ② 重相関計算法
- ③ 擾乱型分類法

の3法が基本となっている。降雪の量的予測は、各種気象要素の量的予測の中でも困難なものとされており、上記の予測法にも一長一短であって、十分な成果は得られていないのが現状である。本調査では予測に使用する資料が容易に入手することができるという観点から、擾乱型分類法で実施した。

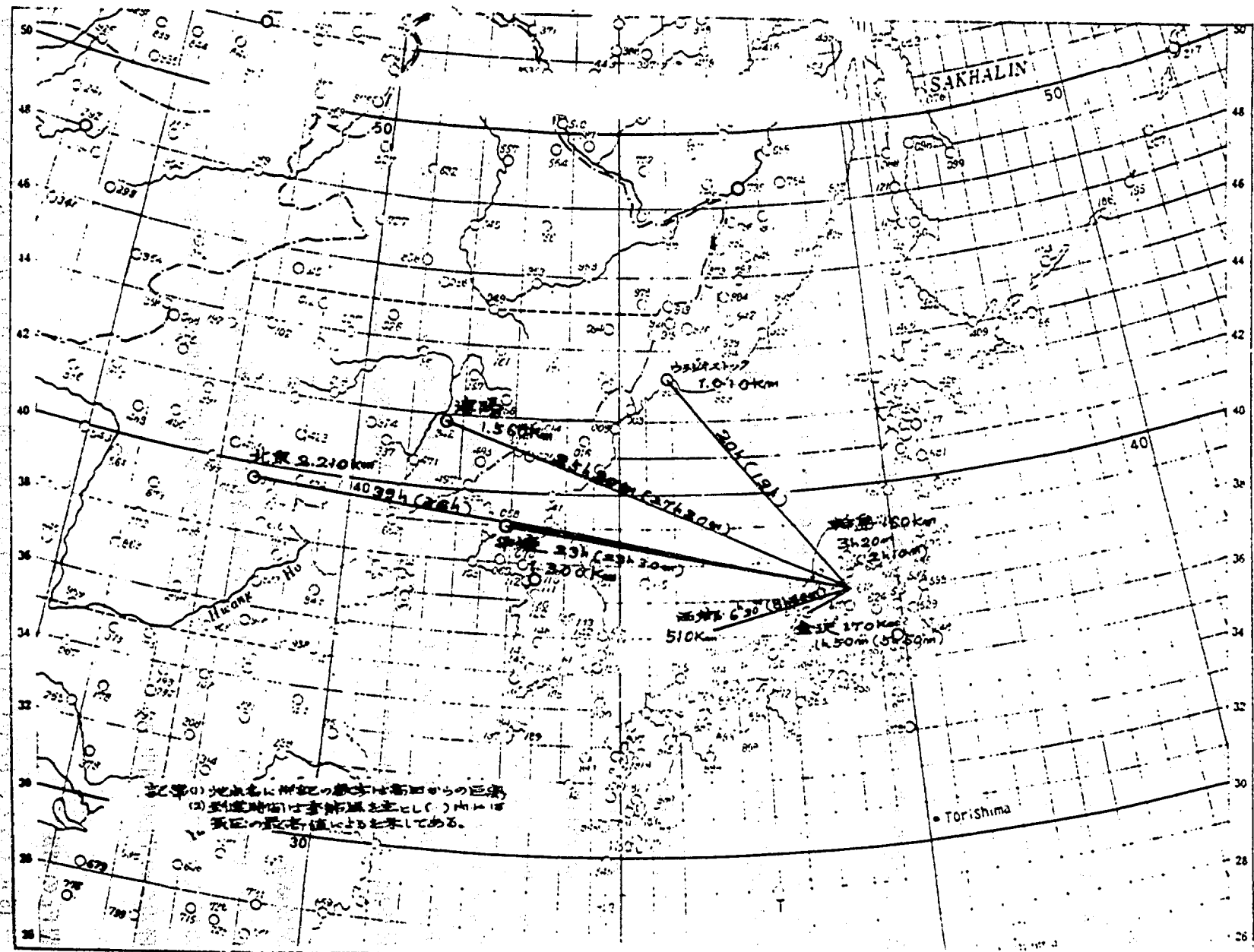
### 1 擾乱型分類法

この方法は、気象状態の変化型が類似している場合には、降水量の分布は相似性の強い型をとると言う考え方に立つものである。したがって、気象状態の変化型の類似したものを容易に索引することにより、降雪深の予測に利用できる。

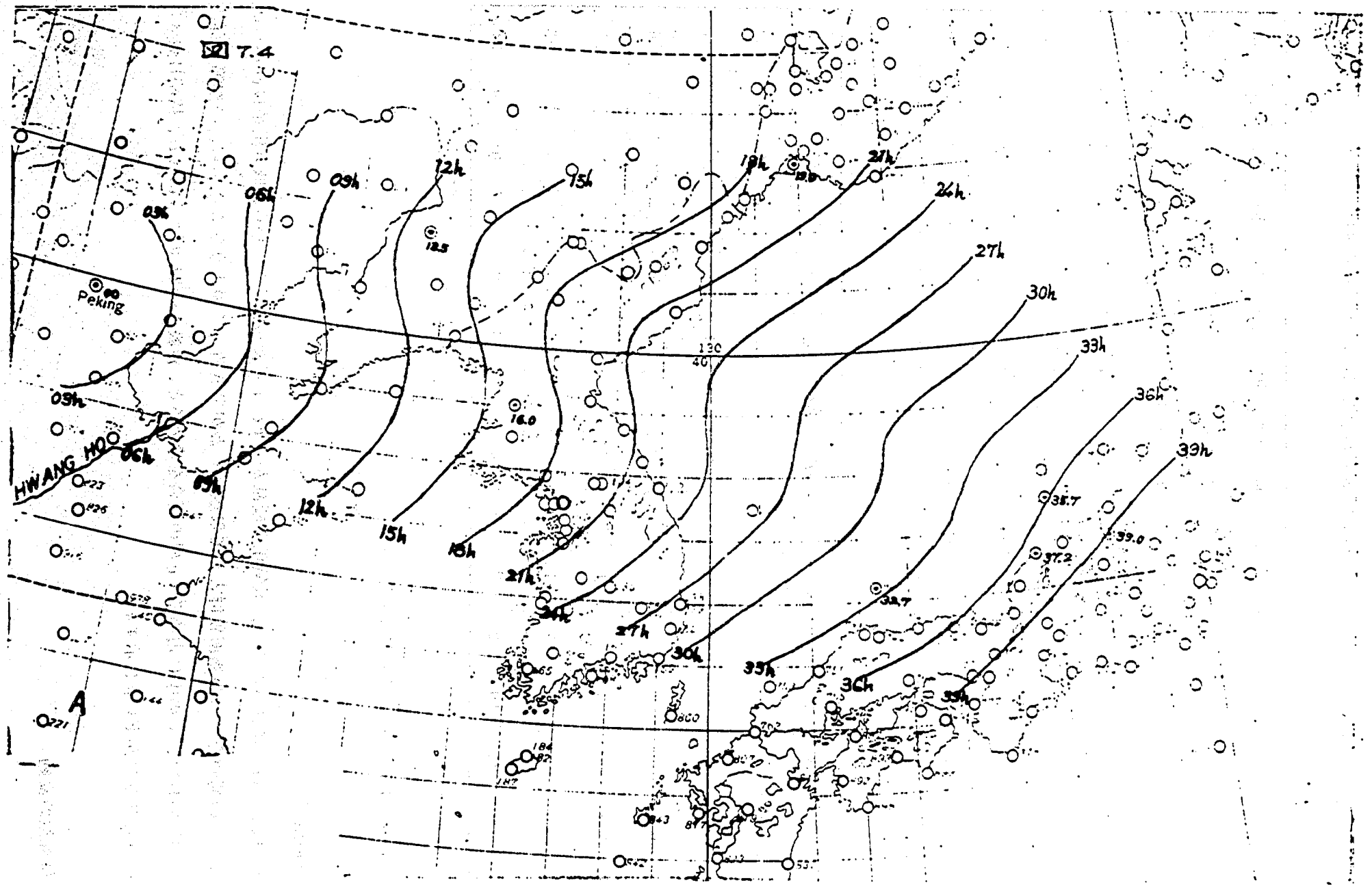
### 2 擾乱型Fcの判定

資表1—15によって、Fc型(当日)となった前日および前々日について分類した結果を資表1—20に示す。これから次のようなことが言える。

- ④ 前々日の擾乱型には移動性高気圧(H)の出現回数が多く、これに続く低気圧系擾乱では、



資圖1-8 季節風到達時間關係圖



資圖1-9 標準型季節風等發現時刻線圖

資表 1 - 20 擾乱型 Fc に対する前々日, 前日の出現回数

(I) 前々日

前日の擾乱型 降雪年区分	A	B	Ca	Cb	Da	Db	Ea	Eb	Fa	Fb	Fc	Fd	(高気圧) H	計
昭和 46 年	6	2	-	-	3	2	-	4	1	-	4	7	1	30
昭和 47 年	5	2	-	-	2	4	1	-	3	-	2	4	4	27
昭和 48 年	4	-	-	-	2	-	-	4	2	-	17	2	3	34
昭和 49 年	2	1	-	-	1	2	-	2	-	-	8	-	6	23
昭和 50 年	1	-	1	-	4	-	-	2	3	2	6	4	2	25
計	18	6	1	-	12	8	1	12	9	2	37	17	16	139

(II) 前日

前日の擾乱型 降雪年区分	A	B	Ca	Cb	Da	Db	Ea	Eb	Fa	Fb	Fc	Fd	計
昭和 46 年	7	3	-	-	2	1	1	3	-	-	11	2	30
昭和 47 年	3	2	-	-	2	3	1	1	1	1	12	1	27
昭和 48 年	4	1	-	-	1	-	2	3	1	-	20	2	34
昭和 49 年	4	3	-	1	1	2	-	-	-	1	8	3	23
昭和 50 年	3	1	2	1	3	-	1	3	-	1	9	1	25
計	21	10	2	2	9	6	5	10	2	3	60	9	139

A, Ea, Fb が多くなっている。

3 季節風群

擾乱型 Fc に到る経過をみると、低気圧系擾乱から Fc 型に変移することから、低気圧系擾乱から次の擾乱までの期間を一つの季節風群として取扱うことができる。このようなことから、一季節風群当りの平均持続日数、その中に占める Fc 型の割合を求めると、資表 1-21 のようになり、持続日数 3.3 日そのうち 2.0 日が Fc 型を示す。

4 擾乱型の変動



資表 1-21 低気圧系擾乱型の出現から次の擾乱型出現までの日数・擾乱型：Fc等の出現日数

月別	擾乱型 事項区分	A	B	Ca	Cb	Da	Db	Ea	Eb
		12月 ～ 3月 (5降雪年計)	低気圧系擾乱 から擾乱までの日数A	61	26	8	6	31	24
	Fcの出現日数B	37	16	4	3	21	17	11	31
	対象となる擾乱 の出現回数	22	10	2	2	9	7	5	12
	擾乱出現1回当り 平均A 平均B	2.8 1.7	2.6 1.6	4.0 2.0	3.0 1.5	3.4 2.3	3.4 2.4	3.6 2.2	4.3 2.6
	Fcの出現率 $B/A$	0.61	0.62	0.50	0.50	0.68	0.71	0.58	0.61
5降雪年 全月 平均	低気圧系擾乱 から擾乱までの日数A	12.2	5.2	1.6	1.2	6.2	4.8	3.8	10.2
	Fcの出現日数B	7.4	3.2	0.8	0.6	4.2	3.4	2.2	6.2
	対象となる擾乱 の出現回数	4.4	2.0	0.4	0.4	1.8	1.4	1.0	2.4
	擾乱出現1回当り 平均A 平均B	2.77 1.68	2.60 1.60	4.00 2.00	3.00 1.50	3.44 2.33	3.42 2.43	3.80 2.20	4.25 2.58
	Fcの出現率 $B/A$	0.61	0.62	0.50	0.50	0.68	0.71	0.58	0.61

資料 1-22 に示すように、前々日から当日までの変移系についてみると、Fc - Fc - Fc 型が最も多い。また、前々日の擾乱型を低気圧系擾乱（季節風吹き出しの原因として）を対象としてみると、Eb - Fc - Fc 型が多い。

### 5 擾乱型と日降水量

Fc 型発現時の日降水量を階級別に区分すると資表 1-23 になる。この表から、おおよそ次の 3 降雨群に分けることができる。

第 I 降雨群 (0.0 ~ 29.5 mm)

第 II 降雨群 (30.0 ~ 59.5 mm)

第 III 降雨群 (60.0 ~ )

資表 1-22 擾乱型：Fc が出現した日の前日および  
前々日の擾乱型の比較表（月合計）

月別	擾乱型 前々日 前日	A	B	Ca	Cb	Da	D	Ea	E	Fa	Fb	Fc	Fd	高気 圧系		
		12 月	A	8					1					3	3	5
B			2			2			1					5	10	
Ca											1		1		2	
Cb												2			2	
Da	1					2				3		2	1		9	
Db						1	1					1	1	2	6	
Ea										1			1	3	5	
Eb	1									1	3	1	1	2	2	11
Fa							1						1		2	
Fb										1	1				2	
Fc	6		4	1		6	5	1	8	3		22	4		60	
Fd	2									1			5	2	10	
高気 圧系																
			18	6	1		11	8	1	12	11	2	37	15	17	139

備考：「高気圧系」と区分してあるのは、移動性高気圧の圏内、帯状高気圧の圏内等の北陸地方が高気圧系の圏内にあった日数を示す。

この降雨群の発生要因は次のように考えられる。

- ① 第Ⅰ降雨群は季節風の通常の降水機構で発生するもの。
- ② 第Ⅱ降雨群は基礎降水量としての第Ⅰ群と、小規模または局地的擾乱が加わって対流を強めることによって発生するもの。
- ③ 第Ⅲ降雨群は基礎降水量としての第Ⅰ、Ⅱ群に第Ⅲ群特有の強い降水が加わるか、あるいは、第Ⅰ群に直接強い降水が加わって発生するもの（第Ⅲ降雨群の強い降水の発生機構は季節風には直接関係のない強い対流性降水とみられる。）

資表 1 - 23 降水量階級区分による擾乱型：Fc(当日)  
の降雪年別出現回数

降雪年区分 降水量 階級区分	昭和46	昭和47	昭和48	昭和49	昭和50	計
降水なし	-	-	-	1	1	2
0.0 ~ 4.5	8	4	5	-	2	19
5.0 ~ 9.5	7	3	10	4	4	28
10.0 ~ 14.5	4	7	2	5	2	20
15.0 ~ 19.5	2	4	4	1	5	16
20.0 ~ 24.5	4	1	3	4	4	17
25.0 ~ 29.5	2	1	1	3	-	7
30.0 ~ 34.5	1	5	3	-	3	12
35.0 ~ 39.5	1	1	3	1	1	7
40.0 ~ 44.5	-	1	-	2	-	3
45.0 ~ 49.5	-	-	-	1	1	2
50.0 ~ 54.5	-	-	-	-	1	1
55.0 ~ 59.5	-	-	-	-	-	-
60.0 ~ 64.5	1	-	2	-	-	3
65.0 ~ 69.5	-	-	-	-	-	-
70.0 ~ 74.5	-	-	-	-	-	-
75.0 ~ 79.5	-	-	-	1	-	1
80.0 ~ 84.5	-	-	1	-	-	1
計	30	27	34	23	25	139

備考：降雪年区分で昭和46年とあるのは、

昭和46年12月から昭和47年3月

までの期間を指し、以下各年同様である。

なお、第Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ降雨群を各々通常降水、強降水、豪降水と呼ぶこととする。

## 6 擾乱型別日降水量の分類 (擾乱型の小分類)

季節風による降水現象の分類は、前項までの調査より季節風の発生原因となる低気圧系擾乱別に行うことが適当であると考えられるので、資表1-24により、降水量を予測する際の擾乱型の小分類を行う。

資表1-24 擾乱型小分類

(大分類)	(中分類)	(小分類)
Fc	(Ⅰ~Ⅳ)	A
		B
		Ca
		Cb
		Da
		Db
		Ea
		Eb

## 7 擾乱型変移系からみた降水特性

低気圧擾乱型の発現日の前後日の擾乱型の変移を分類し、変移系別の降水状況を資表1-25に示す。この表から次のことが言える。

① 小分類Ea、Eb型に起因する

季節風によって日降水量30mm

以上となる割合は高い。

② Da型の季節風による日降水量30mm以上となる割合は大きくないが、変位系がFa - Da - Fc型の場合に限っては、すべて30mm以上となる。

③ Db型によって日降水量30mm以上となる割合は比較的高い。とくに、変移系がH - Db - Fc、Fc - Db - Fc型となった場合は注意を要する。

④ 前々日が移動性高気圧(H)の場合には、前日の擾乱の型にかかわらず高い割合で日降水量30mm以上となる。

## 8 高層天気図による擾乱型の中分類

降雪現象(強豪雪時)において重要な因子である500mb等高度面の寒冷渦はトラフの中に存在するので、資表1-26により分類することによって寒冷渦の位置、消長等も同時に解決しえられるとして、トラフに着目して分類を実施した。

資表1-27に擾乱型別の小分類区分日降水量を示す。これから、次のようなことがいえる。

① 出現数の最も多いのはFc - Ⅱ型、逆に少ないのはFc - Ⅲ型である。

② Fc - Ⅰ型のときはB型、Fc - Ⅳ型のときはA、Db型の出現率が高い。

③ 日降水量30mm以上の発現率を求めると、強豪降水の発現はFc - Ⅰ - Ea、Fc - Ⅰ

資表1-25(1) - 擾乱型別にみた強・豪降水量の出現状況

出現年月日	低気圧系 擾乱型	前々日からの 擾乱型	出現回数	30.0 mm/日以上 の出現延日数	備 考
46. 12. 5 51. 1. 17	Eb	Fa - Eb - Fc	2	6	擾乱型：Ebでは本表以外の通常降水量のものは次の2季節風群 があるにとどまる。 47. 2. 19 Fb - Eb - Fc 51. 3. 27 A - Eb - Fc その日降水量の最大は№14 12.5 mm/日、№67 28.0 mm/日 と比較的多い。 強・豪降水量の本表における総出現回数10に対し、この擾乱型 : Ebによる出現回数10に達していることは、予測上注意すべ きである。
46. 12. 13		Fa - Eb - Fc	1	1	
47. 12. 12 48. 12. 28		H - Eb - Fc	2	4	
49. 1. 15		Fc - Eb - Fc	1	1	
49. 2. 23		Eb - Eb - Fc	1	1	
50. 12. 26		Fb - Eb - Fc	1	2	
49. 12. 13		Fd - Eb - Fd	1	2	
49. 12. 24	Ea	H - Eb - Fb	1	1	擾乱型：Eaでは本表以外の通常水量のものは次の1季節風群が あるにとどまる。 51. 1. 14 Fa - Ea - Fc この日降水量の最大は28.5 mm/日である。 この擾乱型：Eaの出現回数5回のうち4回は強・豪降水になっ ている点は注意すべきである。
46. 12. 19 48. 12. 3 48. 12. 21		H - Ea - Fc	3	6	
48. 3. 23		F - Ea - Fc	1	1	
48. 1. 8	A	B - A - Fa	1	1	擾乱型：Aは出現回数は多く、左表以外の強・豪降水を伴わな ない季節風群は次の通りである。 48. 2. 27, 49. 3. 9 Fa - A - Fc 46. 12. 27, 49. 1. 22, 48. 2. 19 A - A - Fc 50. 2. 15, 50. 1. 16 H - A - Fc 47. 2. 1 Db - A - Fc 47. 2. 4 Fc - A - Fc 47. 2. 9 Fc - A - Fc 47. 3. 12 Da - A - Fc
48. 12. 15		Fa - A - Fc	1	1	
48. 2. 19 49. 2. 8		A - A - Fc	2	2	
50. 2. 7		H - A - Fc	1	2	

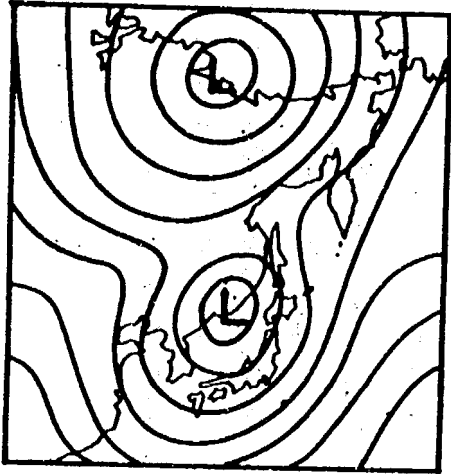
資表 1 - 25 (2)

出現年月日	低気圧系 擾乱型	前々日からの 擾乱型	出現回数	30.0mm/日以上 の出現延日数	備 考
					即ち、この擾乱型：Aの出現回数18のうち強・豪降水を伴うものは5回となっている。
47. 12. 17 50. 1. 8	B	H-B-Fc	2	4	擾乱型：Bは出現回数は比較的多い。左表以外の強・豪降水を伴わない季節風群は次の通りである。 47. 12. 28 H-B-Fc 47. 1. 15 Eb-B-Fc 47. 2. 13 Fa-B-Fc 47. 2. 27, 50. 2. 21 B-B-Fc 49. 3. 22, 51. 2. 23 Da-B-Fc 即ち、この擾乱型：Bの出現回数10のうち強・豪降水を伴うものは2回と少ない。ただし、擾乱型の変移H-B-Fcに限るならば出現回数3回のうち、強・豪降水は2回であり、予測上一応注意すべき点である。
51. 1. 26	Ca	Eb - Ca - Fc	1	1	擾乱型：Caの出現回数は少い。しかも左表以外には強・豪降水を伴わない季節風群として 50. 3. 6 Fd - Ca - Fc の1回が出現しているにとどまる。
50. 1. 19	Cb	Fc - Cb - Fc	1	1	擾乱型：Cbは出現回数は少く、左表以外の強・豪降水を伴わない季節風群は次の1回のみである。 51. 1. 11 Fc - Cb - Fc 合計回数2回であり、予測上の問題点を摘出することはできないが、Caと併せて考察すると、この種の擾乱は出現回数は少ないが、出現した場合には、強降水を伴うものとして一応注意すべきである。

資表 1 - 25 (3)

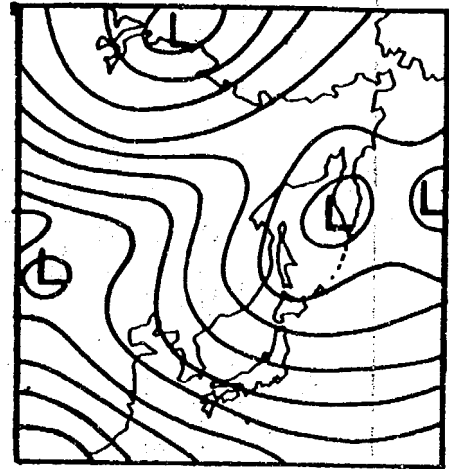
出現年月日	低気圧系 擾乱型	前々日から 擾乱型	出現回数	30.0 mm/日 以上 の出現延日数	備 考
48. 3. 4 49. 1. 8 51. 1. 8	Da	Fa - Da - Fc	3	3	<p>擾乱型：Da は比較的出現回数が多い。左表以外の強・豪降水を伴わない季節風群は次の通りである。</p> <p>47. 3. 2                      Fc - Da - Fc 48. 1. 2                      A - Da - Fc 50. 12. 15                    Fd - Da - Fc 47. 1. 4, 51. 1. 6        Da - Da - Fc</p> <p>即ちこの擾乱型の出現回数8のうち、強・豪降水を伴うものは3回であって、この3回とも Fa-Da-Fc の変移となっている点は、出現回数は少ないのであるが、予測上注意すべきである。</p>
48. 1. 24 48. 2. 6 49. 12. 18	Db	H - Da - Fc	3	3	<p>擾乱型：Db は比較的出現回数が多い。左表以外の強・豪降水を伴わない季節風群は次の通りである。</p> <p>47. 1. 25, 48. 1. 24    Db - Db - Fc 47. 11. 30                Da - Db - Fc</p> <p>即ちこの擾乱型の出現回数7のうち強・豪降水を伴うものは4回となっている。しかもその中は H-Db-Fc の変移となっていることは、予測上注意すべき点である。</p>
50. 1. 12		Fc - Db - Fc	1	1	

(川本氏による)



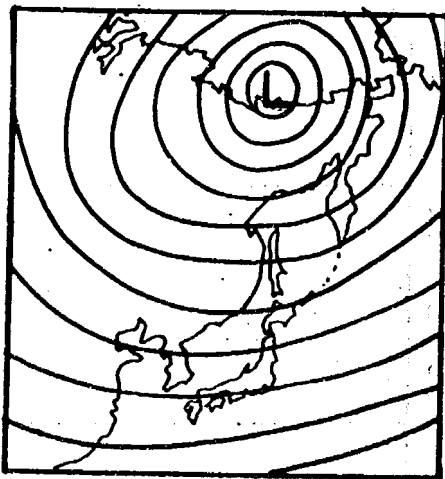
I型： 極が低圧部で、そこから分離した寒冷渦が朝鮮から日本海にまで南下しているもの。

本邦では最も寒気が強く北陸で豪雪を起こす典型的な型。発現率は 44/155。

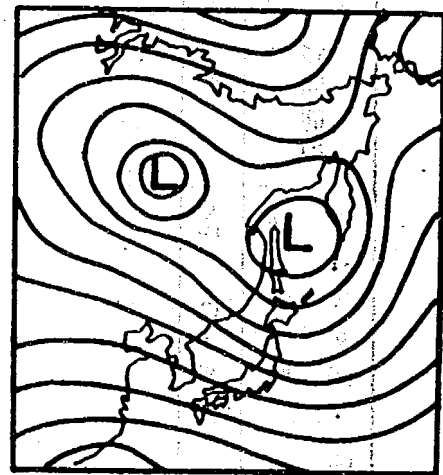


II型： 北極ではI型と同じく低圧部であるが、分離した寒冷渦がオホーツク海方面にあるもの。

本邦はI型ほどではないが、かなりの寒気はいる。しかし豪雪となることはない。発現率は 59/155と高い。



III型： 北極はI, II型と同じく低圧部であるが、寒冷渦の分離がなく、本邦は一般的な偏西風帯になる。寒気は日本海まで南下せず、あまり寒くはならない。発現率は 22/155と低い。



IV型： 北極は高圧部となり、低圧部はシベリア北部に移り、本邦は一般的な偏西風帯になる。極の寒気は弱く、本邦はあまり寒くはならない。発現率は 21/155と低い。



資表 1 - 27 (1) 擾乱型 : Fc - I の小分類区分降水量

小分類	擾乱型と日降水量			
A	11 (49.3) Fc - I - A 17.0	11 (49.2) Fc - I - A 60.0	18 (50.1) Fc - I - A 23.0	(例) 日(年, 月) 擾乱型 日降水量
B	14 (47.2) Fc - I - B 2.0	28 (47.2) Fc - I - B 25.5	29 (47.2) Fc - I - B 3.0	9/1 (47.3)
	18 (47.12) Fc - I - B 19.5	19 (47.12) Fc - I - B 39.0	29 (47.12) Fc - I - B 9.5	30 (47.12) Fc - I - B 4.5
	10 (50.1) Fc - I - B 21.5	11 (50.1) Fc - I - B 44.0	22 (50.2) Fc - I - B 13.5	
Ca	この小分類に属する資料はない。			
Cb				
Da	3 (47.3) Fc - I - Da 8.0	4 (47.3) Fc - I - Da 13.5	3 (48.1) Fc - I - Da 11.5	6 (51.1) Fc - I - Da 11.5
	9 (51.1) Fc - I - Da 54.0	10 (51.1) Fc - I - Da 13.0		
Db	7 (48.2) Fc - I - Db 12.0			
Ea	19 (46.12) Fc - I - Ea 18.0	4 (48.12) Fc - I - Ea 84.0	6 (48.12) Fc - I - Ea 1.5	7 (48.12) Fc - I - Ea 64.0
	22 (48.12) Fc - I - Ea 37.5	24 (48.12) Fc - I - Ea 36.5		
Eb	6 (46.12) Fc - I - Eb 6.5	7 (46.12) Fc - I - Eb 24.5	13 (47.12) Fc - I - Eb 33.5	20 (47.2) Fc - I - Eb 8.5
	21 (47.2) Fc - I - Eb 3.5	26 (49.2) Fc - I - Eb 34.5	18 (51.1) Fc - I - Eb 82.5	20 (51.1) Fc - I - Eb 31.0
	21 (51.1) Fc - I - Eb 34.0	22 (51.1) Fc - I - Eb 32.5		

資表 1 - 27(2) 擾乱型 : Fc - II の小分類区分降水量(1)

小分類	擾乱型と日降水量			
A	2 (47.2) Fc - II - A 1 9.5	5 (47.2) Fc - II - A 1.5	7 (47.2) Fc - II - A 4.5	8 (47.2) Fc - II - A 7.0
	11 (47.2) Fc - II - A 1 4.5	13 (47.3) Fc - II - A 8.0	25 (47.12) Fc - II - A 2 3.5	11 (48.1) Fc - II - A 0.5
	10 (48.1) Fc - II - A 2 9.0	20 (48.2) Fc - II - A 3 0.0	16 (48.12) Fc - II - A 3 5.5	23 (49.1) Fc - II - A 1 5.0
	24 (49.1) Fc - II - A 9.0	25 (49.1) Fc - II - A 2.0	26 (49.1) Fc - II - A 8.5	27 (49.1) Fc - II - A 8.0
	28 (49.1) Fc - II - A 8.5	9 (49.2) Fc - II - A 5.0	10 (49.3) Fc - II - A 2 5.0	12 (49.3) Fc - II - A 2 3.5
	4 (49.12) Fc - II - A 1 6.5	17 (50.1) Fc - II - A 1 1.5	8 (50.2) Fc - II - A 1 1.0	10 (50.2) Fc - II - A 7 6.0
	16 (50.2) Fc - II - A 8.5	30 (50.12) Fc - II - A 1 9.0		
B	9 (50.1) Fc - II - B 4 7.0	7 (50.3) Fc - II - B 9.0	23 (49.3) Fc - II - B 1 1.5	
Ca	12 (50.12) Fc - II - Ca 2 8.5	13 (50.12) Fc - II - Ca 2 2.5	27 (51.1) Fc - II - Ca 1 7.5	30 (51.1) Fc - II - Ca 4 7.0
Cb	20 (50.1) Fc - II - Ca 2 6.5	22 (50.1) Fc - II - Cb -	12 (51.1) Fc - II - Cb 8.5	
Da	5 (48.3) Fc - II - Da 3 0.0	6 (48.3) Fc - II - Da 1 4.5	9 (48.3) Fc - II - Da 2.0	9 (49.1) Fc - II - Da 5.5
	10 (49.1) Fc - II - Da 2.5	11 (49.1) Fc - II - Da 2 3.0	12 (49.1) Fc - II - Da 3 3.0	13 (49.1) Fc - II - Da 1 8.0
	14 (49.1) Fc - II - Da 2 2.0	6 (49.12) Fc - I - Da 8.5	7 (49.12) F - II - Da 3 8.0	16 (50.12) F - II - Da 9.5
	17 (50.12) Fc - II - Da 2 0.0			
Db	12/1 (47.12) Fc - II - Db 2 0.5	12/2 (47.12) Fc - II - Db 1 6.0	27 (48.1) Fc - II - Db 1 0.0	28 (48.1) Fc - II - Db 1 2.0
	2/2 (48.2) Fc - II - Db 1 2.5	2/3 (98.2) Fc - II - Db 3.5	8 (48.2) Fc - II - Db 3 2.5	9 (98.2) Fc - II - Db 1 7.5
	13 (50.1) Fc - II - Db 2 6.5	14 (50.1) Fc - II - Db 8.0	15 (50.1) Fc - II - Db -	

資表 1 - 27 (3) 擾乱型 : Fc - II の小分類区分降水量(2)

小分類	擾乱型 と 日 降 水 量			
Ea	24 (48.3) Fc - II - Ea 4 2.5	25 (48.3) Fc - II - Ea 1 0.5	15 (51.1) Fc - II - Ea 7.5	14 (46.12) Fc - II - Ea 1.0
	15 (46.12) Fc - II - Ea 6 4.5	15 (49.12) Fc - II - Ea 2 8.0	16 (49.1) Fc - II - Ea 3 4.0	
Eb	17 (44.1) Fc - II - Eb 1 3.5	18 (49.1) Fc - II - Eb 9.5	19 (49.1) Fc - II - Eb 9.5	24 (49.2) Fc - II - Eb 1.5
	25 (49.2) Fc - II - Eb 0.0	27 (50.12) Fc - II - Eb 3 5.5	28 (50.12) Fc - II - Eb 1.0	20 (51.3) Fc - II - Eb 2 1.0
	21 (51.3) Fc - II - Eb 2 0.0	23 (51.1) Fc - II - Eb 1 6.5		

資表 1 - 27 (4) 擾乱型 : Fc - III の小分類区分日降水量

小分類	擾乱型 と 日 降 水 量	
A	19 (51.2) Fc - III - A 1 7.0	
B	} この小分類に属する降雨はない。	
Ca		
Cb		
Da		
Db	26 (47.1) Fc - III - Db 2 4.0	
Ea	22 (46.12) Fc - III - Ea 3 9.5	
Eb	10 (46.12) Fc - III - Eb 3 4.0	11 (46.12) Fc - III - Eb 1.5

- E<sub>b</sub> 型に多い。

※印は出現数が5以下で信用度の極めて低いことを示す。

	A	B	Ca	C	Da	D	Ea	Eb
Fc - I	33※	18	-	-	17	0※	83	60
Fc - II	8	33※	25※	0※	15	9	33※	19
Fc - III	0※	-	-			0※	100※	50※
Fc - IV	0	0※	-			50※	0※	0※

## 9 まとめ

- ① Fc 型の持続日数は低気圧系擾乱型によって差はあるが、2～3日である。
- ② Ea、Eb 型によって出現する Fc 型の場合の強・豪降水の発現率は非常に高い。
- ③ 擾乱型の変移型が、Fa - Da - Fc 型、H - Db - Fc 型、Fc - Db - Fc 型の場合は Fc 当日における強・豪降水発現率は高い。
- ④ 擾乱型の如何にかかわらず、変移系が H - X - Fc 型となった場合、強・豪降水発現率は非常に高い。
- ⑤ 500 mb 等高度面の擾乱型を採用した分類の Fc - I - Ea、Fc - I - Eb 型は、強・豪降水発現率は高い。

## 資料 - 6 国道18号沿線の降水特性

国道18号沿線における降雪特性をみるために、資料-3でのべた各擾乱型に伴う日降雪量の分布、降雪現象発現前後の気象、降水現象の持続時間、降水現象の出現時刻、日降雪量の階級別最大値出現回数初雪日、終雪日、根雪初日等の分布について解析した。

### 1 国道18号沿線における日降雪量の分布

資料-3で、擾乱型に伴う代表的な日降雪分布を示した。本調査で分類した擾乱型だけでは国道18号沿線における降雪パターンを明確に特徴づけるには十分とはいえないが大体の傾向として次のように言える。

すなわち、擾乱型AおよびBでは山雪となる場合が多く、C、D型では山、里混合となり、E型の場合は里雪が多い。F型(季節風)はこれら全てを含む。降雪量では、擾乱の型との間に大きな相関はみられない。また、多・寡雪線に見られるように降雪は脊稜山脈沿いの東西方向と国道18号線沿いの南北方向に分布し、東西方向の多雪線が二本木附近以南を通る場合は山雪となり、里雪の場合は高田附近を通る。さらに、南北方向寡雪線はB、C、D型の場合、ほぼ国道18号線沿いとなり、A、E型では国道18号線の東側を通る。従って、B、C、D型降雪の場合には、一般的に国道18号線上の降雪量はその周辺に比べて少ないと言える。

## 2 降雪現象発現前後の気象

昭和46年12月8日から昭和51年3月20日までの間、高田測候所で観測した5 mm/h以上(降雪換算約5 cm/h)の降雪日について、現象発現を基準に、その前6時間、3時間、およびその後3時間の気温、露点、風向・風速の推移を資表1-28~29および資図1-10~11に示した。

まず、風速についてみると、資図1-10の風配図に見られるように5 mm/h以上のかかなり強い降雪の始まる前は勿論、3時間後までもかなりの東~南成分が入っている。これは擾乱が通過しない状態(気圧配置)の中でも5 mm/h以上の降雪があることも少なくないことを示すものである。このことは気温、露点の変化傾向にもはっきり現われており、平均および最低気温は3時間後で若干ではあるが上昇している。平均気温では1.6℃~0℃、最低で-2℃~-4℃位に分布する(黒姫付近ではこれよりも4~5℃低くなる)。風速は一般に弱く、平均で約2~3 m/s、最大でも6~7 m/sである。

## 3 5 mm/h以上の降水持続時間別出現回数

資表1-30および資図1-12に降水量5 mm/h以上の持続時間別出現回数を示した。これからわかるように、5 mm/h以上の出現回数は比較的少ない。持続時間も3時間以内が多く全体の約89%を占めており、最も長く続いて7~8時間である。出現回数でみると、12、1月がほぼ同様で最も多く、この2ヶ月で全体の約72%となり、2月がこれに次いで全体の約18%である。

すなわち、5 mm/hの降水(これには雨も含まれる)は、12、1月に最も多く出現し、持続時間は1時間以内が多も多く、大部分は3時間以内である。最も長時間のものでも1日8時間を越えることは少ないといえる。

## 4 降水量3 mm/h以上の降水現象の時刻別出現回数

昭和47年から昭和51年までの高田における3 mm/h以上の降水現象の出現回数を現象別に示したのが資図1-13である。この図で移動平均というのは、ある時間を中心としてその前2時間とその後2時間計5時間の各時刻に出現した回数の平均である。これからわかるように、雪の場合5時頃最も多く出現して、21時頃は少なくなる傾向がみられる。

## 5 月別・階級別最大降雪量の出現回数

大正12年から昭和47年までの50年間の高田における日降雪量を、月別、階級別出現回数で示すと資表1-31、資図1-14のようになる。これによると、降雪量は12、1、2月に多く中でも1月が最も多い。1月降雪量としては30 cm以内が全体の約51%を占め、11~15 cmがこの中の22%で最も多く出現している。これを各月の特徴でみると、11月は1~5 cmが全体の60%を占め2.6 cm以上の日降雪量を見ることがめったにない。12月では11~15 cmが最も多く(約18%)、1~3.5 cmが全体の約65%を占めるが、時として10.1~12.5 cmの日降雪をみることもあ

資表 1 - 28 (1) 高田における 5mm/h以上の降水現象発現時前後の気象表

年月日	6 時 間 前				3 時 間 前				発現時又は至近時 h				3 時 間 後				
	気温	露点	風向	風速	気温	露点	風向	風速	起時	気温	露点	風向	風速	気温	露点	風向	風速
46.12.8	2.2	0.2	S	2.3	2.2	-0.2	NNW	2.3	03	0.7	0.2	SSW	1.8	0.6	0.1	SSW	2.8
10	1.8	-1.3	W	1.5	3.5	2.1	NNW	3.8	03	1.1	0.3	SSW	3.5	0.6	0.1	SSE	1.8
22	3.7	1.9	W	4.5	2.4	1.7	NE	3.3	02	0.5	0.0	—	0.2	0.5	0.0	SSE	0.7
47.1.2	1.4	-6.6	WNW	5.3	0.8	-3.6	W	4.8	23	-0.2	-3.8	WNW	5.8	-0.2	-1.3	WNW	4.5
18	1.3	-0.5	SSE	1.3	0.8	-1.8	S	2.0	04	-0.8	-5.2	S	3.0	-0.3	-6.2	S	4.3
28	4.4	1.0	WNW	3.3	1.9	0.2	WSW	0.7	17	0.7	0.0	S	0.7	0.5	-0.1	SSW	0.7
2.24	-4.3	-6.7	S	1.3	-3.3	-4.3	E	0.7	09	-0.7	-1.0	S	2.0	0.1	-1.2	NW	2.8
3.10	2.4	1.0	SSW	0.8	1.1	0.6	E	0.8	12	1.0	0.5	NNW	1.2	1.9	1.2	SW	0.3
12.12	9.9	8.4	WSW	1.7	7.7	4.4	W	8.5	21	4.3	1.1	WNW	7.8	1.8	-2.1	NW	5.2
14	-0.2	-0.7	SW	1.5	-0.3	-1.1	SSE	1.0	01	-0.4	-0.9	S	2.5	-0.9	-1.8	WSW	4.2
19	3.8	2.2	NW	3.2	2.4	1.2	W	2.3	03	1.0	0.5	W	0.5	0.4	-0.1	WSW	0.5
48.1.10	3.7	1.9	NNW	2.3	1.9	1.2	NW	2.2	24	0.8	0.3	WSW	1.3	0.9	0.4	NW	2.8
2.23	4.7	2.3	S	0.8	4.5	2.5	W	3.5	24	0.8	0.3	NW	1.0	0.3	-0.1	E	0.8
3.24	4.3	2.5	NNW	2.2	3.8	1.8	NW	6.7	19	2.4	0.7	WNW	3.7	2.3	-0.4	W	5.8
12.4	1.7	-0.5	WSW	4.5	0.6	-1.0	W	2.8	07	0.4	-0.9	W	3.0	-0.3	-0.6	SW	2.7
7	3.5	-0.7	W	8.0	1.2	-1.0	W	4.8	05	0.6	-0.7	WSW	3.3	0.6	-0.5	WNW	2.3
10	2.1	0.4	SW	1.0	0.4	-0.6	SSW	0.7	11	0.9	0.4	NNW	1.0	-0.7	-0.2	WNW	0.8
19	0.4	-0.1	SSE	0.8	0.7	0.0	SSW	3.2	09	1.4	0.0	WNW	3.7	2.6	1.1	ENE	0.7
23	0.8	-0.8	S	2.5	0.5	+0.1	SW	1.2	23	0.1	-0.4	—	0.0	-0.4	-1.0	NW	1.2
49.1.11	0.5	-3.0	S	1.0	-0.3	-0.9	E	2.2	16	-0.1	-1.0	SSE	0.8	0.1	-0.6	NE	0.7
14	-1.5	-2.1	SE	1.7	1.6	-0.6	NW	2.8	15	0.5	-0.3	WNW	0.8	1.6	-4.1	NW	5.5
16	2.4	-2.0	NW	3.8	0.8	-1.0	WSW	1.3	09	0.5	-0.5	W	1.5	0.3	-0.2	SSW	0.8
2.10	-3.3	-5.6	S	1.2	-4.8	-7.6	SSW	2.7	24	-1.3	-1.8	WNW	2.3	-2.5	-3.3	SSW	1.5
26	2.2	0.4	S	0.8	1.8	-2.5	WSW	2.8	04	0.2	-1.7	W	4.2	-0.5	-2.3	WNW	2.7
23	3.5	-0.1	W	1.8	3.5	-1.3	WSW	1.3	24	0.6	-0.4	W	2.3	0.5	-0.8	NW	1.5
12.16	0.6	-0.7	—	0.2	0.2	-0.7	S	0.8	04	0.1	-0.6	—	0.0	0.0	-0.6	SSE	0.3
26	4.0	-3.4	WNW	7.2	1.9	-1.1	S	6.0	02	3.3	-1.6	NW	6.8	2.7	-1.6	NNW	4.2

資表 1 - 28 (2)

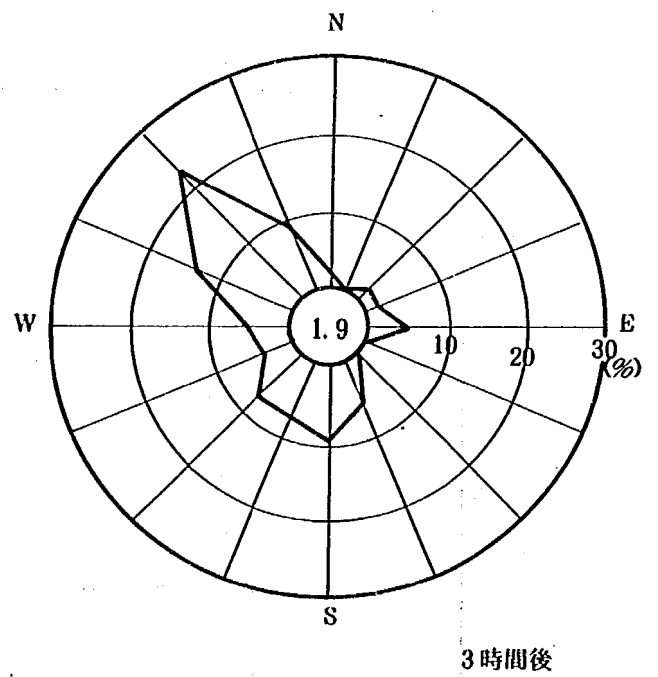
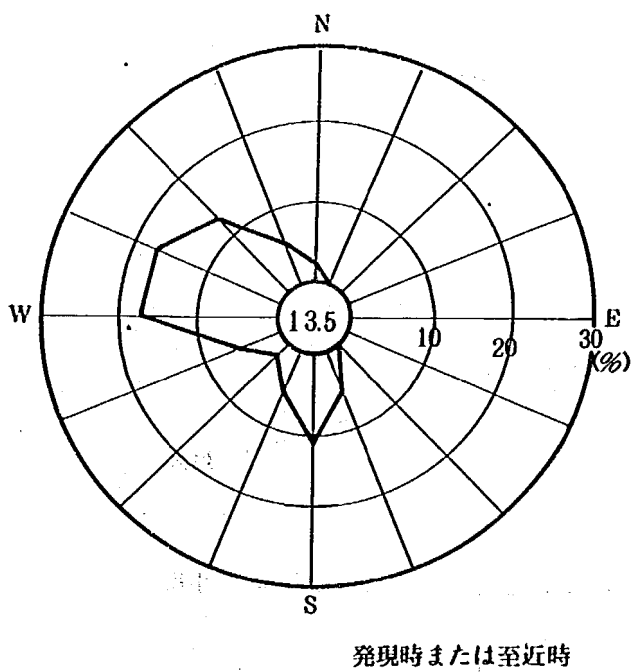
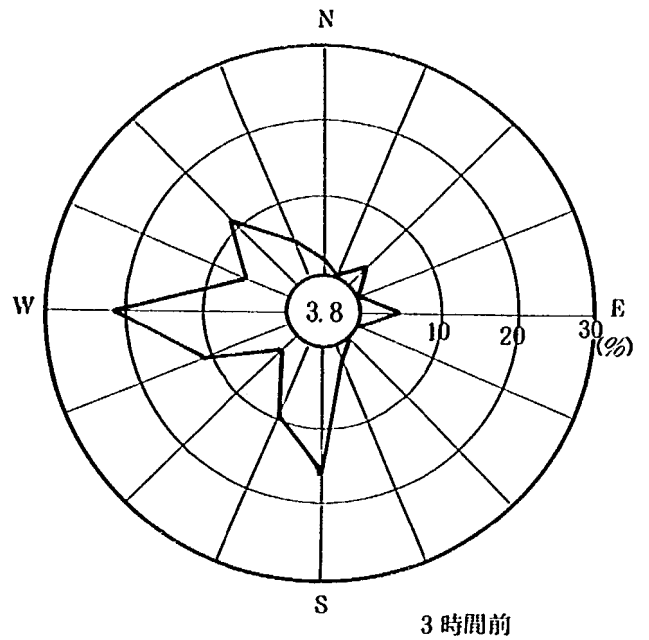
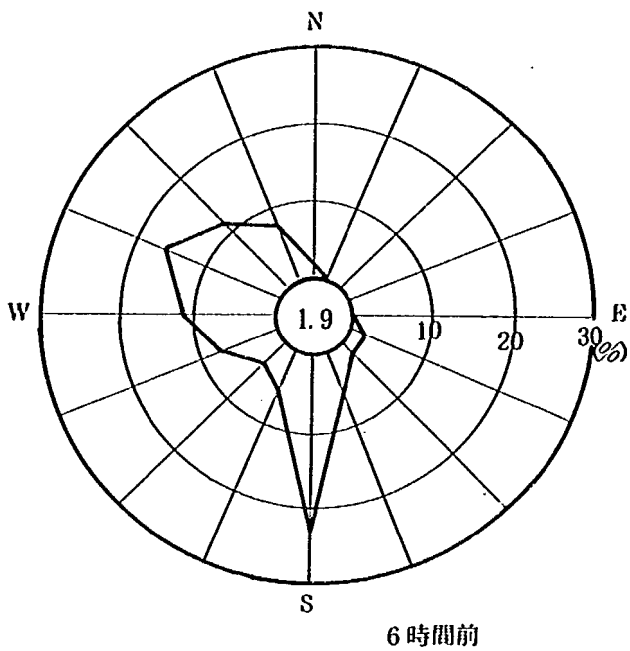
年月日	6 時 間 前				3 時 間 前				発現時又は至近時 h				3 時 間 後				
	気温	露点	風向	風速	気温	露点	風向	風速	起時	気温	露点	風向	風速	気温	露点	風向	風速
50. 1. 3	0.6	-0.1	ESE	1.2	0.7	-0.9	WNW	2.4	14	1.6	-1.3	NW	3.9	1.3	-2.1	NNW	4.1
11	-0.7	-1.7	S	1.1	-0.6	-2.1	WSW	0.5	18	-0.5	-2.0	WSW	2.6	0.6	-3.1	WNW	2.2
12	-1.3	-2.0	SSE	1.5	-0.9	-1.5	NE	0.4	12	-1.1	-1.7	—	0.0	0.6	-1.2	NW	2.1
13	-0.7	-4.8	WSW	3.3	0.6	-4.3	NW	6.1	10	-0.7	-2.2	WNW	3.9	-0.3	-2.1	NW	5.7
19	-0.5	-1.8	WSW	2.2	-1.6	-2.7	S	1.0	03	-1.5	-2.3	W	1.2	-1.9	-3.1	W	1.8
22	3.2	-4.6	S	1.8	4.2	-2.9	SSW	1.6	16	0.4	-0.9	SSE	2.2	0.6	-0.6	NW	0.6
30	-0.6	-2.2	WNW	0.9	0.6	-2.1	N	0.8	17	-0.8	-1.7	—	0.2	-1.0	-2.2	SW	3.0
2. 9	-1.9	-3.6	S	1.4	-1.7	-3.2	SSW	1.5	09	-1.5	-2.2	SSW	0.3	1.3	-1.1	E	2.1
10	-0.8	-1.7	NW	1.1	-1.3	-2.2	—	0.0	06	-1.3	-2.3	NNW	1.4	-1.5	-2.0	—	0.0
12	-2.5	-5.6	S	2.1	-0.9	-6.1	S	1.6	04	0.5	-1.0	WNW	1.2	-0.7	-1.7	S	1.5
18	-1.6	-5.2	SSW	3.1	0.6	-0.4	S	2.8	14	1.4	0.6	SW	1.5	0.6	-1.0	E	0.3
25	10.1	-2.0	S	4.4	10.2	-0.6	S	3.3	19	4.5	2.5	NW	4.7	0.5	-1.4	NW	5.0
3. 1	-0.9	-2.1	WNW	1.4	-1.2	-2.5	S	1.6	22	-1.4	-2.4	—	0.0	-1.3	-2.3	S	0.7
12.19	0.1	-2.3	NW	1.6	0.3	-0.7	WSW	0.4	09	0.3	-0.1	SSE	1.0	2.6	2.4	S	1.4
51. 1. 9	1.7	-0.2	NNW	5.1	0.1	-0.4	—	0.0	12	0.2	-0.4	NW	1.4	0.0	-0.6	WNW	0.4
11	3.3	-5.5	SSW	2.6	2.8	-5.2	WNW	1.9	19	-0.2	-1.3	S	2.1	-0.6	-1.6	NNW	4.8
14	5.3	0.1	WNW	5.0	4.5	0.2	W	4.1	18	0.4	-0.6	NW	2.7	0.2	-0.8	NW	3.6
18	2.9	1.5	WNW	1.4	2.8	0.5	WNW	3.4	08	1.5	0.3	WNW	3.5	0.8	-0.8	WNW	3.8
19	-1.1	-1.7	N	1.8	-1.3	-2.0	S	0.3	01	-1.5	-2.1	—	0.0	-2.3	-3.0	NNW	0.8
20	-0.4	-3.3	W	6.0	-0.6	-4.0	W	2.9	03	-1.5	-2.3	W	2.5	-0.6	-3.8	NW	4.7
21	-1.8	-6.9	NW	6.6	-1.5	-5.3	NW	4.3	19	-1.9	-3.6	W	3.4	-2.3	-3.5	NNW	4.0
22	-2.3	-3.5	NNW	4.0	-2.1	-4.0	NNW	3.1	04	-2.7	-3.6	S	2.8	-2.7	-3.5	S	0.9
25	5.1	0.0	W	3.8	5.1	-2.2	W	5.2	22	0.4	-0.7	NW	2.1	0.2	-0.6	SW	0.3
30	6.7	0.4	WNW	5.6	6.4	-0.7	W	2.3	04	1.6	0.1	N	3.5	0.1	-0.9	N	1.8
3.20	-1.2	-2.7	NW	2.4	-0.7	-3.0	NW	0.9	06	-1.6	-2.8	W	2.2	1.9	-6.1	W	4.6
平 均	1.5	-1.4		2.7	1.2	-1.4		2.5		0.2	-1.0		2.2	0.2	-1.4		2.4
最 高	10.1	8.4		7.2	10.2	4.4		8.5		4.5	3.5		7.8	2.7	2.4		5.8
最 低	-4.3	-6.9		0.2	-4.8	-7.6		0.0		-2.7	-5.2		0.0	-2.7	-6.2		0.0

資表 1 - 29 5 mm/h以上の降水現象発現時前後における風向別出現度数(高田地区)

( ) 内は%

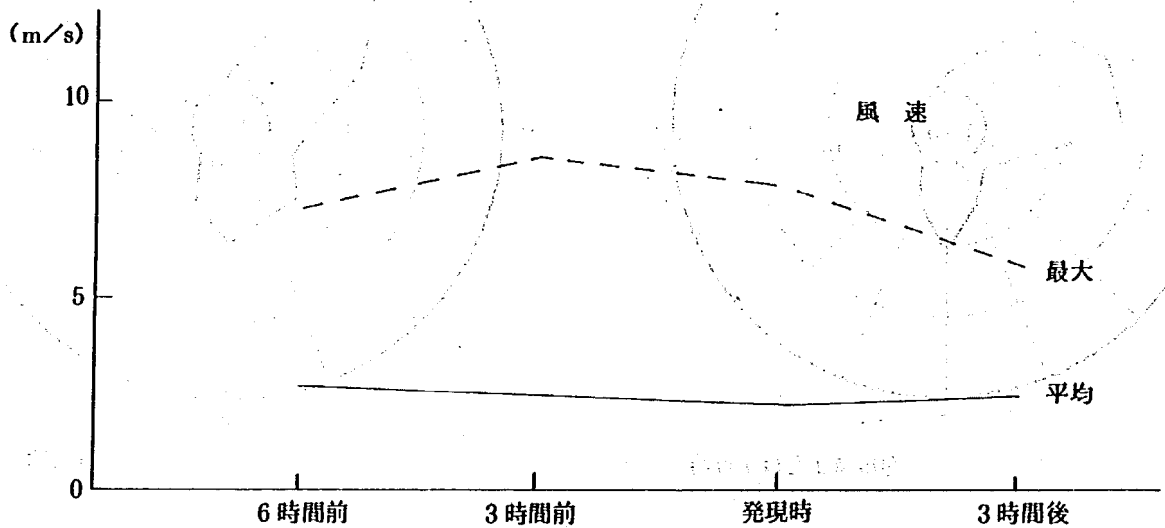
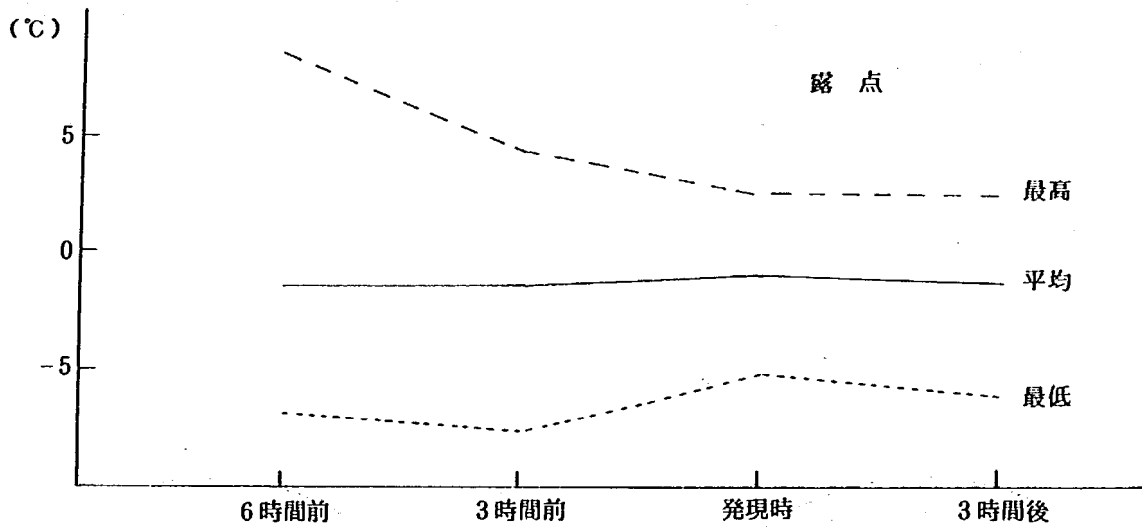
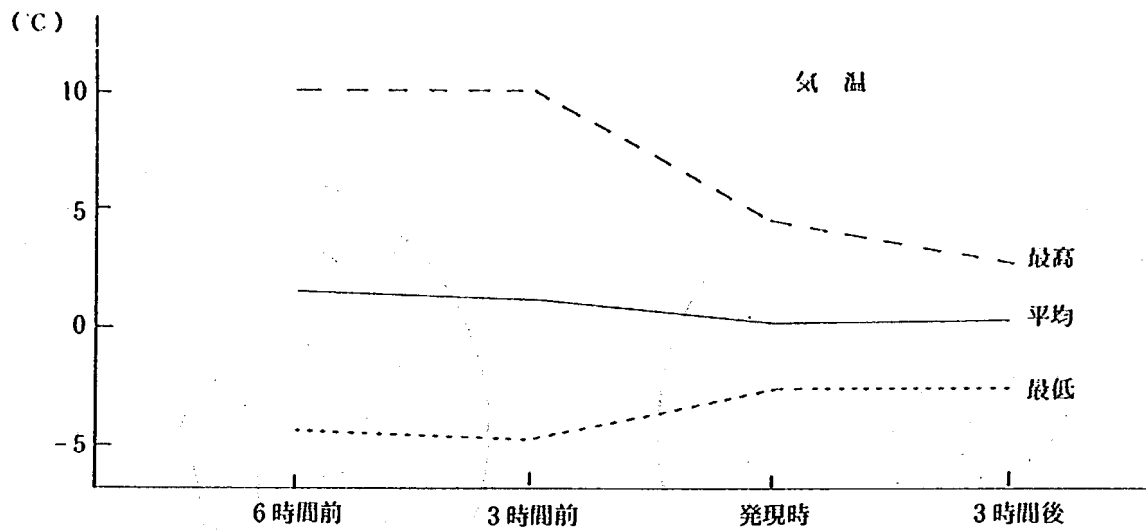
風 向 \ 時	6 時間前	3 時間前	発 現 時 又は至近時	3 時間後
N N E				
N E		2 ( 3.8)		1 ( 1.9)
E N E				1 ( 1.9)
E		3 ( 5.8)		3 ( 5.8)
E S E	1 ( 1.9)			
S E	1 ( 1.9)			
S S E	3 ( 5.8)	1 ( 1.9)	3 ( 5.8)	3 ( 5.8)
S	12 (23.1)	8 (15.4)	6 (11.5)	5 ( 9.6)
S S W	3 ( 5.8)	5 ( 9.6)	3 ( 5.8)	4 ( 7.7)
S W	2 ( 3.8)	1 ( 1.9)	1 ( 1.9)	4 ( 7.7)
W S W	4 ( 7.7)	6 (11.5)	3 ( 5.8)	2 ( 3.8)
W	6 (11.5)	11 (21.2)	9 (17.3)	3 ( 5.8)
W N W	8 (15.4)	3 ( 5.8)	9 (17.3)	7 (13.5)
N W	6 (11.5)	6 (11.5)	7 (13.5)	12 (23.1)
N N W	4 ( 7.7)	3 ( 5.8)	3 ( 5.8)	5 ( 9.6)
N	1 ( 1.9)	1 ( 1.9)	1 ( 1.9)	1 ( 1.9)
CALM	1 ( 1.9)	2 ( 3.8)	7 (13.5)	1 ( 1.9)
合 計	52 (99.9)	52 (99.9)	52 (100.1)	52 (100.0)





資図1-10 5mm/h以上の降水現象発現時前後における風配図(高田地区)

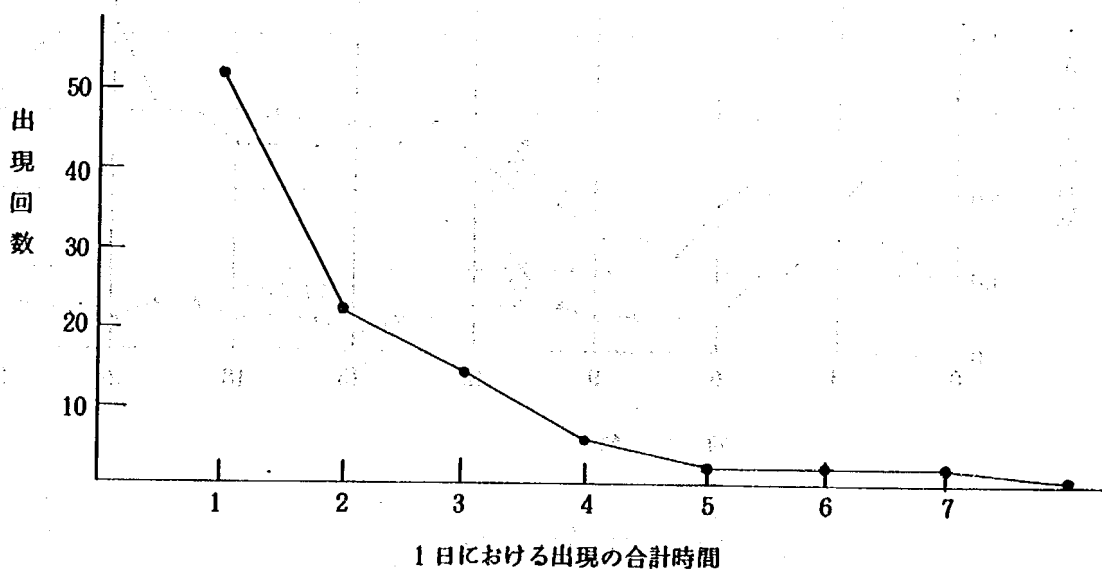
(資料提供) 群馬県気象観測所(群馬県気象観測所) 1971年11月1日



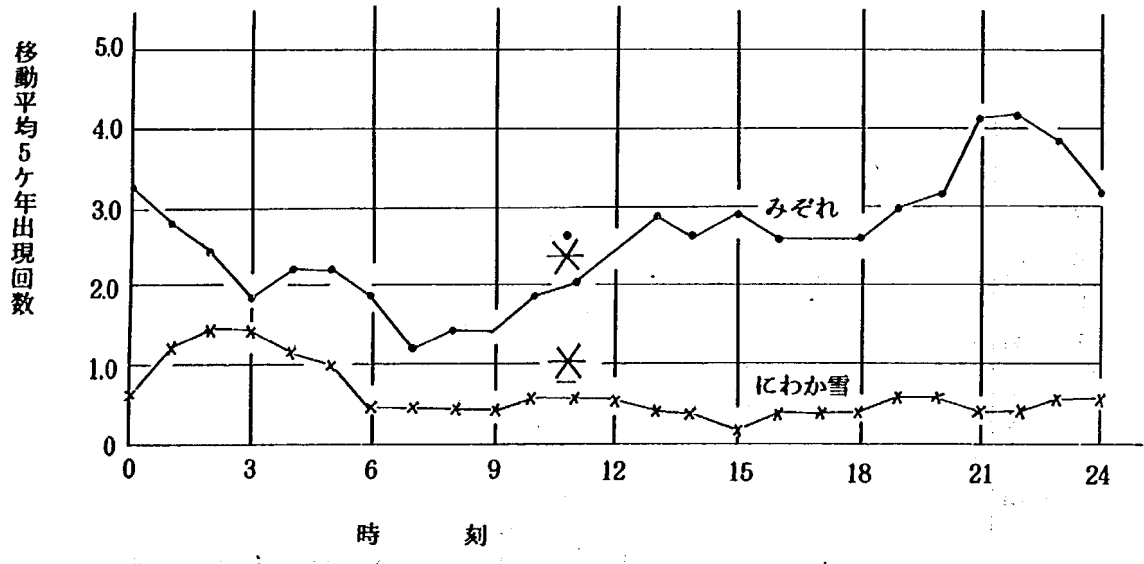
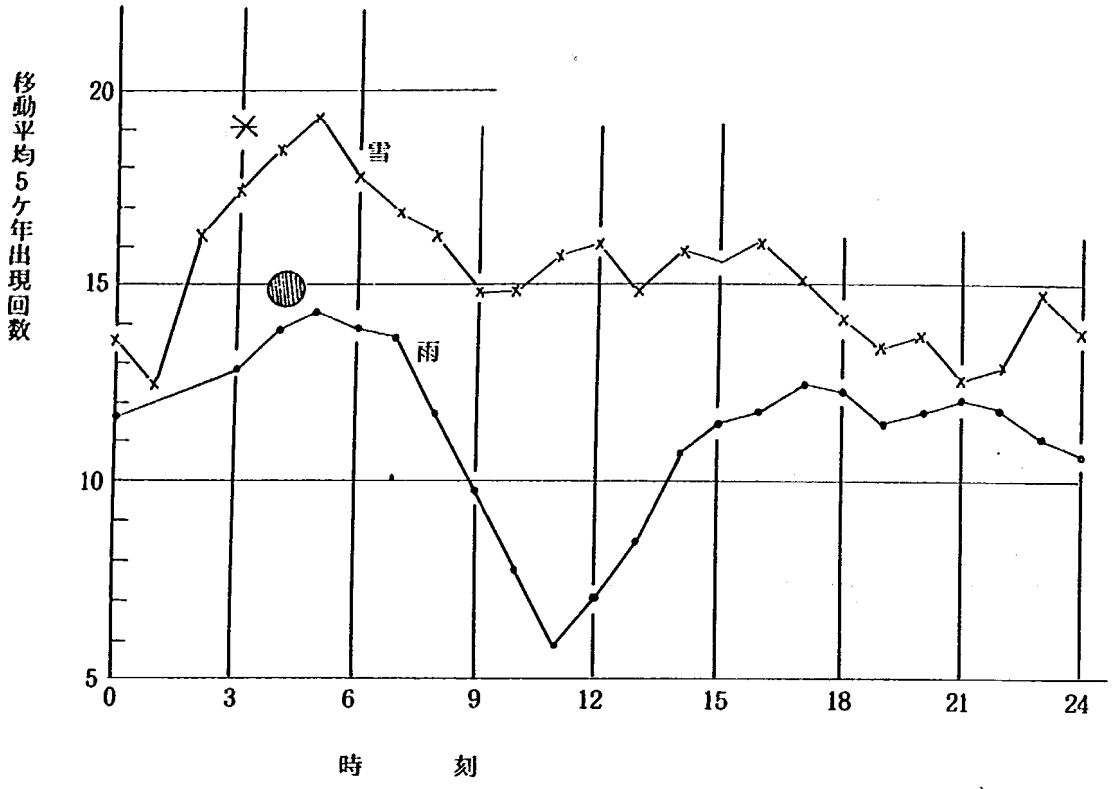
資図 1 - 11 5 mm/h 以上降雪時刻前後の気象要素の推移 (高田地区)

資表 1 - 30 高田における月別、5mm/h以上降水の  
持続時間別出現度数（率）

出現時間 \ 月別	12月	1月	2月	3月	合計
1	17 (47) <sup>%</sup>	16 (46) <sup>%</sup>	10 (59) <sup>%</sup>	9 (82) <sup>%</sup>	52 (53) <sup>%</sup>
2	8 (22)	9 (26)	4 (24)	1 (9)	22 (22)
3	5 (14)	7 (20)	1 (6)	1 (9)	14 (14)
4	3 (8)	2 (6)	0 (0)	0	5 (5)
5	1 (3)	0 (0)	1 (6)	0	2 (2)
6	1 (3)	1 (3)	0 (0)	0	2 (2)
7	1 (3)	0 (0)	1 (6)	0	2 (2)
合計	36	35	17	11	99



資図 1 - 12 高田における 5mm/h以上降水の持続時間別出現状況



資図1-13 高田における3mm/h以上の降水現象の出現回数

資表 1 - 31 高田における月別・日降雪深の最大値の出現回数

(大正 12 年～昭和 47 年)

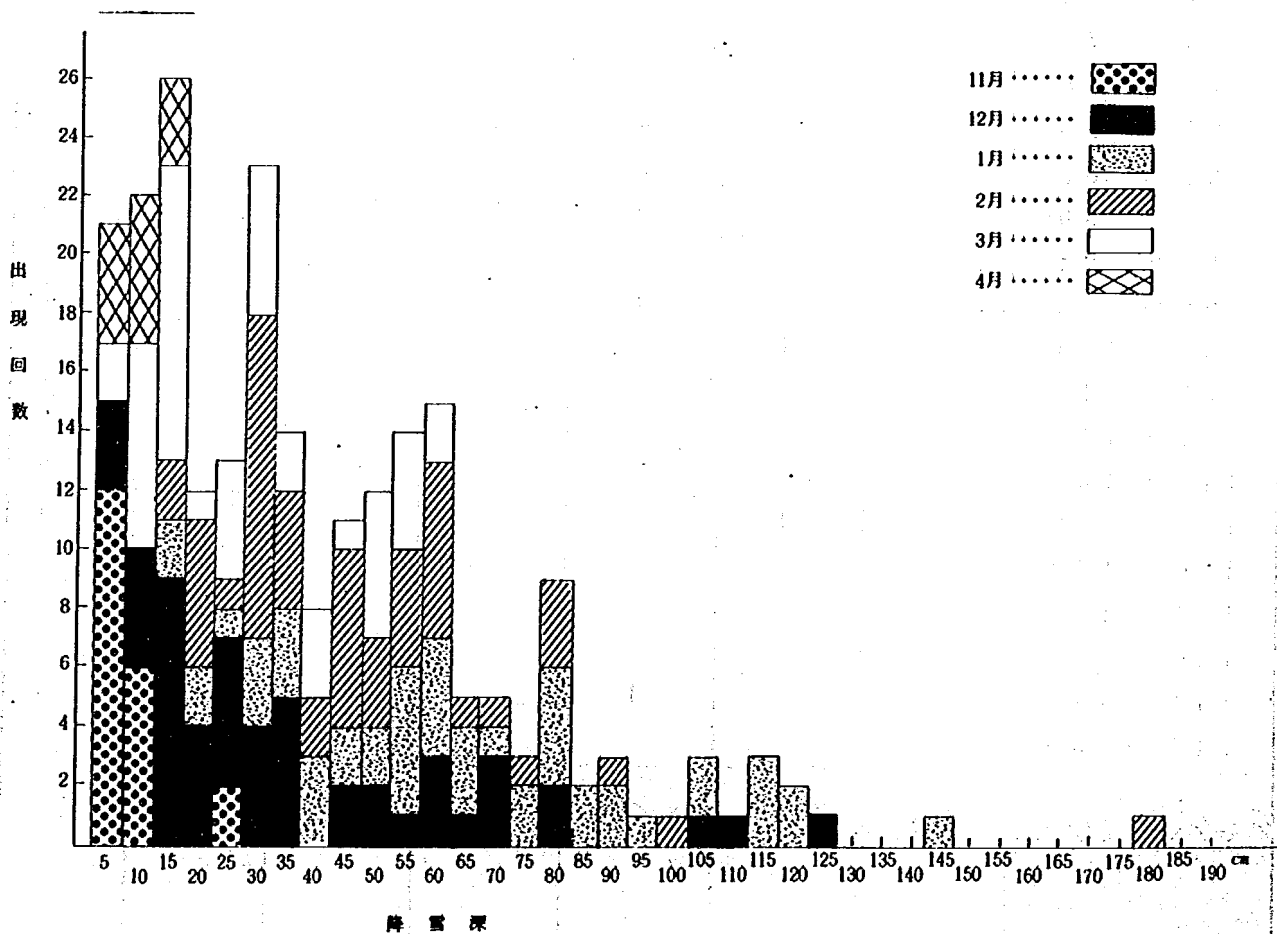
降雪深区分 月別	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計
1 ~ 5 <sup>cm</sup>	12	3			2	4	21
6 ~ 10	6	4			7	5	22
11 ~ 15		9	2	2	10	3	26
16 ~ 20		2	2	2	5	1	12
21 ~ 25	2	5	1	1	4		13
26 ~ 30		4	3	11	5		23
31 ~ 35		5	3	4	2		14
36 ~ 40			3	2	3		8
41 ~ 45		2	2	6	1		11
46 ~ 50		2	2	3	5		12
51 ~ 55		1	5	4	4		14
56 ~ 60		3	4	6	2		15
61 ~ 65		1	3	1			5
66 ~ 70		3	1	1			5
71 ~ 75			2	1			3
76 ~ 80		2	4	3			9
81 ~ 85			2				2
86 ~ 90			2	1			3
91 ~ 95				1			1
96 ~ 100			1				1
101 ~ 105		1	2				3
106 ~ 110		1					1
111 ~ 115			3				3
116 ~ 120			2				2
121 ~ 125		1					1
126 ~ 130							
131 ~ 135							
136 ~ 140							
141 ~ 145			1				1
146 ~ 150							
171 ~ 175							
176 ~ 180				1			1

る。1月になると、51～55 cmが最も多いがその出現率は10%にすぎない。これは、この月の日降雪量の分布巾が広がる傾向を示している。最大は141～145 cmである。2月では、31～60 cmの出現が多くなり全体の50%を占めるようになる。時として176～180 cmのドカ雪をみることもある。3月になると、日降雪量は急に減少して11～15 cmが最多で全体の20%を占め、60 cm以上の日降雪をみることはめったになくなる。4月に入ると降雪回数もぐっと少なくなり、日降雪量も1～10 cmまでが大部分（約69%）で、21 cm以上の日降雪量はほとんど現われない。

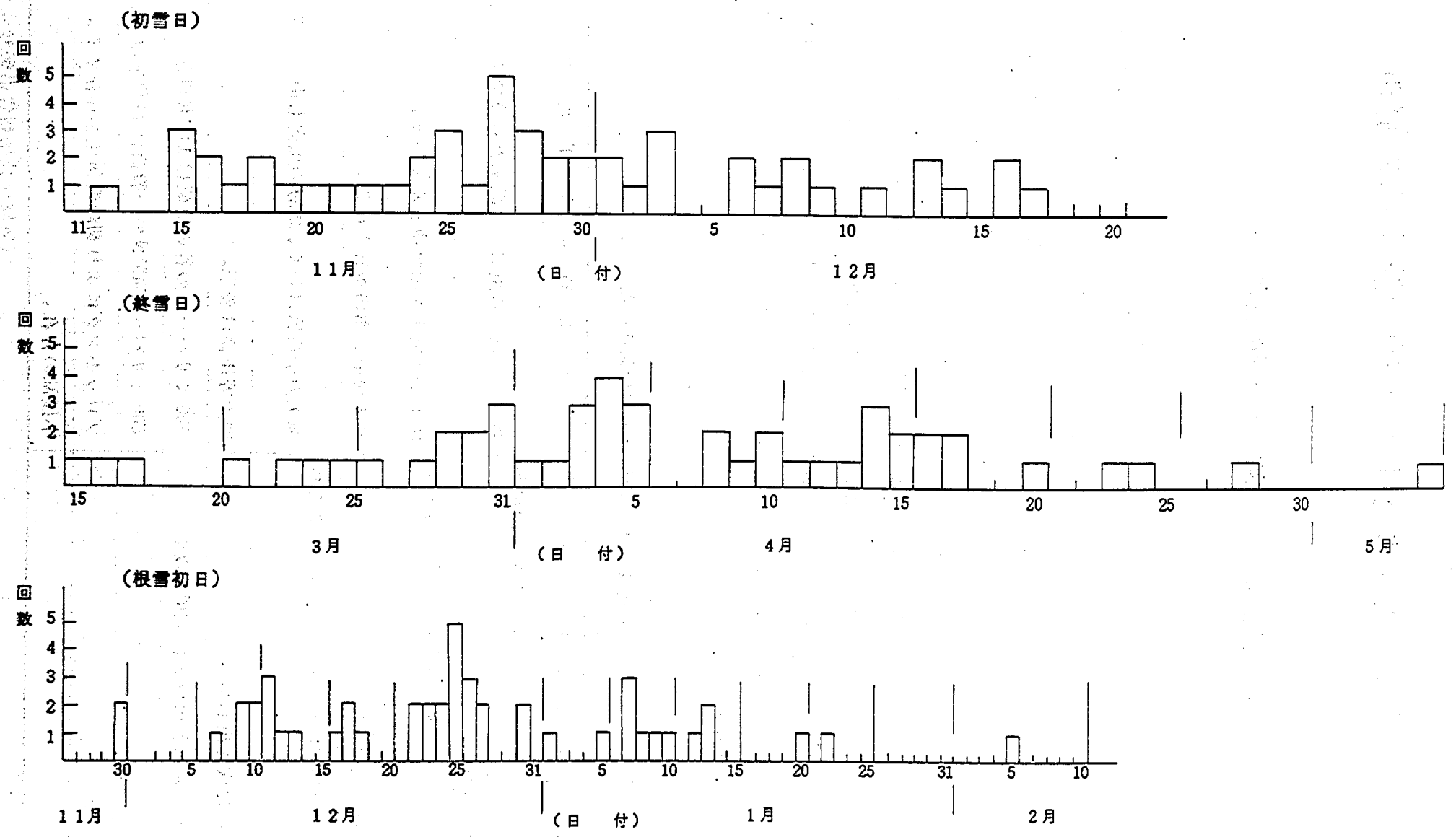
## 6 初雪日、根雪初日、および終雪日の分布

資図1—15に高田における初雪日、根雪初日および終雪日の分布を度数で示した。これからわかるように、初雪日は11月15日以降から12月17日の間に分布し、11月24日から11月30日までの出現が最も多くなっている。根雪初日は大体、11月末から1月13日頃の間に分布し、12月25日頃の出現が最も多くなっている。終雪日は、3月15日頃から4月17日頃の間に分布し、3月末から4月17日頃のが最も多くなり、ごくまれではあるが5月初めまで降雪をみる年もある。

このように、初雪日、根雪初日、および終雪日はその年により約1ヶ月の中で分布することがわかる。



資図1—14 高田における最大日降雪深出現分布



資図 1 - 15 高田における初雪日・終雪日および根雪初日の日付別集計

# 〔国道18号線をモデルとした各種予測手法の解析〕

## 資料—7 山雪，里雪または混合型に関する予測の検討

### 1 概 要

北陸地方の雪の降り方（降雪の地域分布）には山雪型と里雪型とがあることは良く知られており、深石等はこの山雪型と里雪型の典型的な降雪の地域分布パターンを報告している。このように降雪の地域分布パターンが平野部に降雪の多い里雪型と山間部に降雪の多い山雪型に分かれることについてそれぞれの気圧配置に特徴があるとされている。これを気象庁技術報告No.66の記述からまとめてみると、資表2-1および資表2-2のようになる。

一般的に言って山雪型のケースでは西高東低の気圧配置が強化され、季節風も強いのに比して里雪型では地上の季節風は弱く、地上の等圧線は袋型となっていることが多い。また、福田によると、Fb型の気圧配置，等圧線は日本海で湾曲し、北海道西方海上に小低気圧で豪雪域は脊りょう山脈中とその西側内陸部および日本海岸地方にあるとし、Fc型の気圧配置は発達した季節風で脊りょう山脈中に豪雪が伴うとされている。

資表2-1 山雪，里雪の気圧配置

山 雪 時 の 気 圧 配 置	里 雪 時 の 気 圧 配 置
寒気を中心（500ミリバール）は北海道南部から東北地方にある。	寒気は九州から東海，沖縄あたりまで広がる。
135°E 140°Eの間で気圧勾配がけわしくなっている。	地上では気圧勾配がゆるんでいる。
日本海は谷の後面となっている。	日本海中，西部が谷となる。
海上および高層で風が強いほど山沿いに降雪が多い。	地上の季節風は弱く、高層の風向も南分を持つ。
地上等圧線は吹き出し型。	地上等圧線は袋型。
500ミリバールの谷の位置は140°E以東。	500ミリバールの谷の位置は140°E以西。
	500ミリバール45°Nの一般流は14 m/s以下。
	ブロッキングにより切離低気圧が存在する。
	小擾乱の存在。

（気象庁技術報告第66号より）



資表 2 - 2 山雪, 里雪時の大気成層

山 雪 時 の 大 気 成 層	里 雪 時 の 大 気 成 層
	高層は里雪の方が低温
平均ショワルターインデックス + 9.9	平均ショワルターインデックス + 5.5
下層は乾燥断熱減率に近い	下層は湿潤断熱減率に近い

国道18号沿線についての降雪分布の分類とその予測を考えるにあたっては、国道18号線上の分布のみを対象にすれば良いことになる。このため、資図2-1のように合計6通りの降雪パターンに区分することとし、区分対象は昭和48年12月から51年3月の間に高田で $0.5\text{ mm/hr}$ 以上の降水があった日およびその翌日を採用した。予測の方法としては判別関数を使用し、付近の高層および地上の観測データから国道18号線上の降雪分布が何型に属するかを判別させることにした。

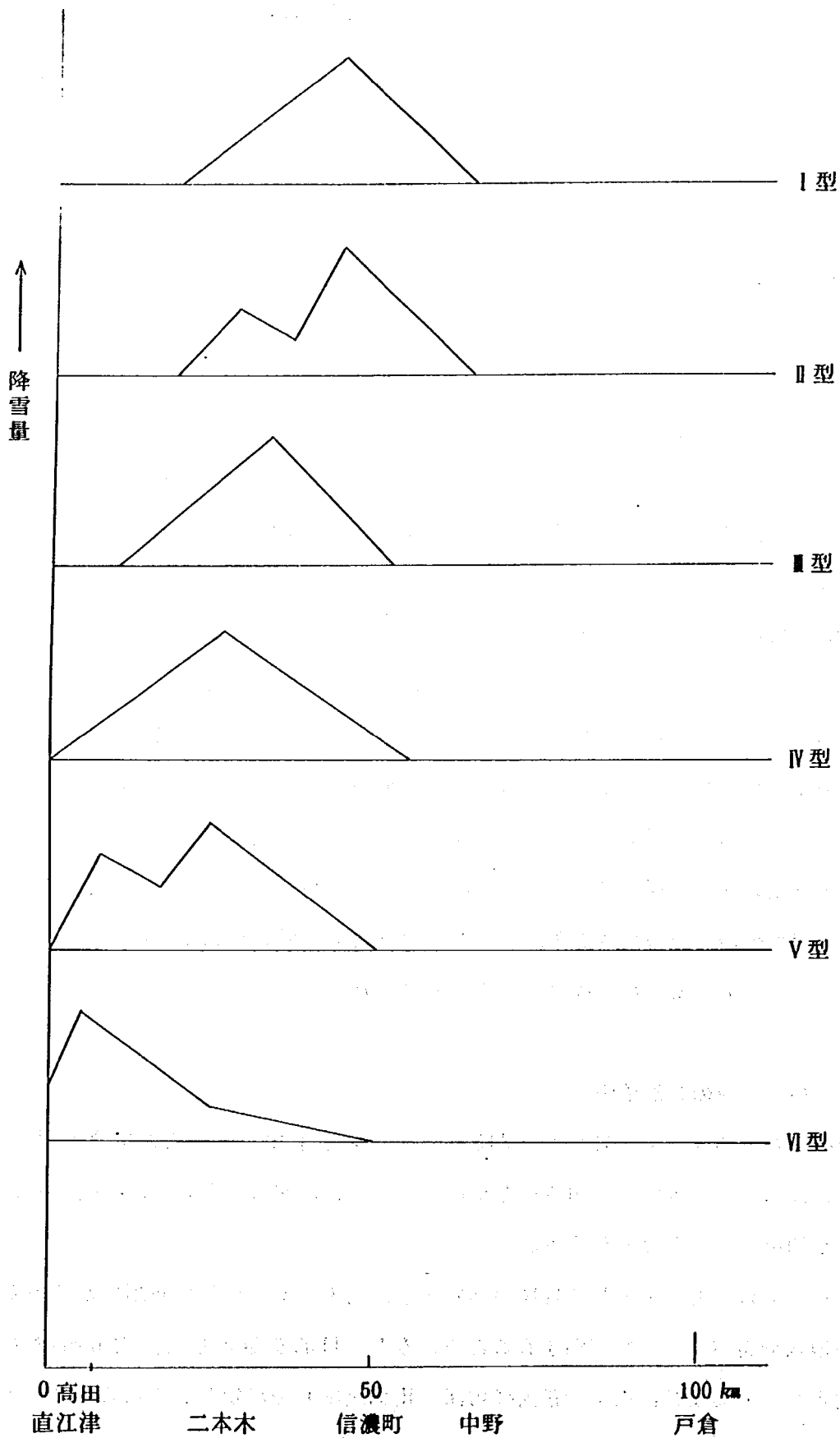
解析の経過と結果については後述するが、各型の判別で的中率は50%、山雪、里雪の判別で66~67%位の適中率となり、あまり良好な成績は得られなかった。また、気圧配置との関係も検討したがとくに有意な関係は得られず、福田によるA~F型の分類も降雪の局地的分布に適用することは困難のようである。したがって、天気図型を分類尺度として同じく分類尺度で表現した地域降雪分布を予測する方法——分割表または樹形図などの方法は採用できなかった。さらに、地域降雪量の最大値つまり資図2-1での分布の山の高さを予測するための重相関回帰式を試作したが、こちらの方も標準誤差10cm位となり一応の目安となる程度の予測式となった。

## 2 地域降雪パターンの判別予測

前節で説明した6通り(I~VI)の地域降雪パターンを予知することができれば、国道18号線のどの部分に最も降雪が多いかを知ることが可能となり、道路管理としての機械の配置等の決定にも大きな効果が期待できるものとなろう。

そこで、ここでは付近(主として輪島の高層気象観測データ)の気象観測値から多変量判別関数により降雪の地域分布パターンを判別することを試みた。目的変数として降雪分布パターンI~VI型(名義尺度として)および沿線上の最大降雪深(比例尺度)を設定し、これらの2つの目的変数により国道18号線上のどこにどれだけの降雪があるかを予測するために判別関数と回帰式を作成し検討を加えたものである。

予測式のために必要とする気象観測値は前日の21時のもの(当日の00時までには入電するのでこの時点から向う24時間の降雪分布とその量を予測することができる)および、当日09時のものがある。



資図 2-1 国道18号線沿線の日降雪量分布パターンモデル

(昭和48年12月～51年3月)

09時の気象観測値は正午（12時）頃までに入電するがその時点では予測期間（00時～00時）の半分が終了している。そのため前日の午後にファクシミリで送られて来る予想天気図から翌日09時の各種諸元を読み取り、夕方までに翌日の降雪パターンを予測するシステムを採用することが考えられる。

予測式（判別および回帰）の作成のためには目的変数とできるだけ相関の大きい説明変数を探し当てなくてはならない。目的変数に対して相関係数が大きく（その正負にかかわらず）説明変数相互間の相関があまり大きくない変数を数個探し当てることができれば予測式の作成はほぼ成功である。I～VI型の降雪の地域分布パターンは、元来赤、青、黄色とか、男女と言った分類と同じく名義尺度である。これを1, 2, ……………, 5, 6と言う比例尺度と考えると説明変数との相関を求めることは多少の問題がある。しかし、赤、青、黄ではなく、赤、黄、青の順にしてその光の波長で考えると色分けが比例尺度に変わるように地域降雪パターンも元来最深降雪域の直江津からの距離によって区分されているので一種の比例尺度として考えてもそれほどの不都合は生じないであろう。

以上の理由により、まず手始めに前日21時の高層気象観測データと降雪分布パターンとの相関を計算してみた。その結果は資表2-3にまとめた。この表によると、全体としてあまり良い相関を示すものはなく、ただ700ミリバール（約3,000メートル）と500ミリバール（約5,500メートル）の風向、風速が降雪分布パターンと多少の関係があるらしいことが示されている。ところが、風速と分布パターンは正相関を示しており、これは上空の風速が大きいほど降雪最大域が直江津に近づく、つまり、里雪型になると言うことで従来の定説とは逆の結果となった。次に資表2-2の諸元から誘導値を作り、それらについての降雪分布パターンとの相関係数を計算した。その結果は、資表2-4に示す。

これらの誘導諸元のほとんどが元の諸元よりも相関が低くなっていることに注目されたい。この原因は、降雪分布パターンと関係のあるのは上空の風速のみであって、風向はほとんど関係なく、風の東西、南北成分と言うのは風速と風向の組み合わせであるためかえって相関が悪くなるものと考えられる。また、850～500ミリバール間の気温差、つまり安定度や秋田—米子間の500ミリバールの気温差もほとんど目的変数との相関はない。これは、藤田らの調査によれば里雪型のときには寒気が九州方面まで広がるため秋田—米子の温度差が小となり、逆に山雪型のときには温度差が大となるはずであるが、少なくとも今回の調査データからそのような傾向はないことになる。

#### 〔当日09時の観測値との相関〕

資表2-5に09時の高層および地上観測諸元および目的変数である国道18号線沿線の日降雪深分布パターンおよび路線上の最大降雪深間の相関係数表を示す。なお、変数はNo.1からNo.24まであり、その定義は資表2-6のとおりである。

資表 2-3 前日21時の高層気象観測諸元と降雪の地域分布  
パターンとの相関表

気 象 諸 元			相 関 係 数
輪 島	1000 ミリバール	気 温	- 0. 021
"	"	露 点	0. 025
"	"	風 向	0. 089
"	"	風 速	0. 159
"	850 ミリバール	気 温	0. 013
"	"	露 点	0. 085
"	"	風 向	0. 011
"	"	風 速	0. 146
"	700 ミリバール	気 温	- 0. 145
"	"	風 向	- 0. 157
"	"	風 速	0. 259
"	500 ミリバール	気 温	- 0. 055
"	"	風 向	- 0. 175
"	"	風 速	0. 245
秋 田	500 ミリバール	気 温	0. 024
米 子	"	"	0. 055
館 野	"	"	0. 113
島 取 - 銚 子	気 圧 差		0. 116
輪 島 - 名 古 屋	"		- 0. 106
相 川	風 向		0. 024
"	風 速		0. 024

資表 2-4 降雪パターンと誘導諸元との相関係数

誘 導 諸 元	相 関 係 数
1000 ミリバール 気温 露点の差	-0.044
1000 ミリバール 風速 南北成分	0.021
” ” 東西成分	0.041
850 ミリバール ” 南北成分	-0.134
” ” 東西成分	-0.021
700 ミリバール ” 南北成分	0.002
” ” 東西成分	-0.032
500 ミリバール ” 南北成分	-0.134
” ” 東西成分	0.138
850 ~ 700 ミリバール 温度 移流	0.060
秋田 - 米子 500 ミリバール 温度差	0.027
850 ~ 500 ミリバール 温度差	-0.134
相 川 地 上 風速 南北成分	-0.042

(地名のないものはいずれも輪島)

資表2-5 各要因間の相関

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1.000	0.163	-0.138	0.028	-0.256	0.042	-0.022	0.313	-0.158	0.106	-0.307	-0.009	0.114	0.182	-0.033	0.104	-0.118	0.123	0.246	0.070	-0.146	0.112	0.061	0.041
2		1.000	-0.300	-0.020	-0.211	0.008	0.101	0.330	-0.088	-0.045	-0.417	-0.135	0.192	0.274	0.044	0.219	-0.210	-0.180	0.365	0.193	-0.272	-0.181	0.075	0.185
3			1.000	0.009	0.788	-0.244	0.155	-0.732	-0.202	0.220	0.474	-0.373	-0.010	-0.492	-0.319	-0.254	-0.131	0.061	-0.297	0.181	0.149	0.087	0.239	-0.045
4				1.000	-0.192	0.117	0.415	0.150	0.035	0.065	-0.184	0.091	0.056	0.201	0.126	0.325	-0.063	0.123	0.114	0.271	0.047	-0.244	0.276	0.109
5					1.000	-0.303	0.082	-0.876	-0.245	0.111	0.549	-0.565	-0.007	-0.569	-0.378	-0.431	-0.237	-0.026	-0.272	0.216	0.034	0.041	0.122	0.011
6						1.000	0.040	0.384	0.205	-0.039	-0.235	0.337	0.011	0.319	0.285	0.270	-0.092	0.020	0.320	-0.105	-0.138	-0.065	-0.005	0.175
7							1.000	0.075	0.068	0.274	-0.346	-0.125	0.112	0.191	0.119	-0.018	-0.568	-0.102	0.271	-0.504	-0.241	-0.482	0.746	0.290
8								1.000	0.134	-0.170	-0.761	0.474	-0.016	0.756	0.492	0.429	-0.049	-0.031	0.702	-0.063	-0.279	-0.209	-0.076	0.303
9									1.000	0.096	0.044	0.507	-0.123	0.056	0.346	0.102	0.208	-0.046	-0.095	-0.095	0.176	0.038	0.104	-0.104
10										1.000	0.123	-0.189	0.537	-0.186	-0.431	0.044	-0.101	0.155	-0.175	0.279	-0.032	0.711	0.845	-0.149
11											1.000	-0.131	0.115	-0.702	-0.489	-0.398	0.386	0.932	-0.709	-0.228	0.487	0.366	-0.107	-0.468
12												1.000	-0.225	0.396	0.510	0.180	0.244	-0.118	0.110	-0.338	0.100	-0.081	-0.200	0.085
13													1.000	0.962	-0.475	0.033	-0.092	0.120	-0.043	0.218	-0.074	0.407	0.434	0.070
14														1.000	0.614	0.216	-0.333	-0.044	0.669	0.042	-0.408	-0.310	-0.023	0.816
15															1.000	0.050	-0.250	-0.186	0.425	-0.140	-0.301	-0.480	-0.232	0.481
16																1.000	0.347	0.045	0.219	0.145	0.022	0.054	0.020	-0.040
17																	1.000	0.050	-0.448	-0.436	0.720	0.324	-0.385	-0.571
18																		1.000	-0.101	-0.063	-0.003	0.216	0.050	-0.072
19																			1.000	0.195	-0.508	-0.358	0.029	0.622
20																				1.000	-0.106	-0.181	0.524	0.203
21																					1.000	0.147	-0.156	-0.472
22																						1.000	0.224	-0.348
23																							1.000	0.058
24																								1.000

資表 2 - 6 使 用 デ ー タ

No	定 義	No	定 義
1	降雪分布型 (1 ~ 6)	13	輪島 500 ミリバール 風速 (Knots)
2	路線上最大降雪深 cm	14	秋田 " 気温 (×(-10)°C)
3	輪島 1,000 ミリバール 気温 0.1°C単位	15	館野 " " ( " )
4	" " 風速 (Knots)	16	鳥取 ~ 銚子 気圧差 (× 10 mb)
5	" 850 ミリバール 気温 0.1°C単位	17	輪島 ~ 名古屋 " ( " )
6	" " 風向 (度)	18	⑦ × ⑩ × sin (⑥ - ⑨)
7	" " 風速 (Knots)	19	⑥ + ⑧
8	" 700 ミリバール 気温 (×(-10)°C)	20	{(⑩/632.7) <sup>2</sup> + (⑬/255) <sup>2</sup> }
9	" " 風向 (度)	21	tan <sup>-1</sup> {⑬/255 / ⑩/632.7 }
10	" " 風速 (Knots)	22	⑩ - ⑦ (輪島 700 mb 風速 - 850 mb 風速)
11	" 500 ミリバール 高度 (÷ 10 m)	23	⑩ + ⑦
12	" " 風向 (度)	24	⑬ + ⑦

※：○内数字は変数Naを示す。

以上の結果から、変数Na 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 17, 18, 21, 24を説明変数として降雪パターンである I ~ III, IV, V, VI型の 4 群とし判別を試みた。この結果は資表 2 - 7 に各要因の平均値と各降雪パターンによる判別係数を示した。この時の判別式は次のように表わされる。

$$z_1 = - 8873.20313 + 0.01401 x_3 + 0.88207 x_5 \dots\dots + 0.56049 x_{24} \dots\dots (資-17)$$

各データについて判別関数の中的具合をチェックしてみると資表 2 - 8 のようになった。ここでグループ 1 は分布 I ~ III 型をまとめたもので、降雪のピーク域は直江津から 30 km 以遠となる。的中しているものは 12 例で 50 % の的中率にしかならない。グループ 4 (V型) は里雪型 (分布 IV型) であり、4 と判別したものが 3 例、12.5 % ある。グループ 2 は分布 IV型で降雪のピークが直江津から 20 ~ 30 km の間、つまり二本木、関山付近にあるものである。的中したものは 28 例中 13 で 46.4 % の的中率である。山雪、里雪と言うことでみるとグループ 1 (I ~ III型) と 2 (IV型) が山雪なので  $\frac{20}{28} = 71.4\%$  の的中率となる。グループ 3 は分布 V型で、山雪型と里雪型の中間型となる。的中したものは 20 例中 8 例で 40 % の的中率となり、山雪型と判別したもの (1 と 2) 8 例、里雪型と判別したもの

資表 2 - 7 降雪パターン別の変数の平均値, 係数

変数No	降雪パターン I ~ III		降雪パターン IV		降雪パターン V		降雪パターン VI	
	平均値	係数	平均値	係数	平均値	係数	平均値	係数
5	18.375	0.01401	11.821	0.02217	9.500	0.00137	8.588	0.05043
5	-77.417	0.88207	-89.857	0.85775	-84.000	0.88817		0.87628
6	262.083	-0.24530	279.464	-0.24339	281.250	-0.24379	256.176	-0.25204
7		6.11676	23.607	6.16540		6.03932		6.03889
8		4.98805	185.571	4.98875		5.00826		5.02602
10		-0.93754	35.857	-0.91628		-0.92812		-0.00173
11		31.08316	533.357	31.04027	534.050	31.04990		30.93604
15		0.35358	201.321	0.34041	262.600	0.34014		0.34377
17	- 4.458	-0.60148	-10.036	-0.58723	-17.650	-0.66174		-0.61017
18		0.01161	0.893	0.01153	- 5.522	0.01150		0.01223
21		-50.55391	- 0.270	-51.41112	- 0.257	-49.72615		-50.22946
24	255.167	0.56049	258.714	0.56248	261.600	0.55315		0.54630

定数 (- 8873.20313) (- 8851.48828) (- 8852.5546) (- 8794.2304)

資表 2 - 8 (1) グループ I を基準とした場合の的中状況

グループNo	1	2	3	4	計
計	12	2	7	3	24
%	50	8.5	29	12.5	100



4例である。グループ4、これは分布VI型の直江津から10km以内に降雪の多い里雪型である。17例中10例的中し、58.8%の的中率となり、山雪型と判別したもの5例、中間型と判別したもの2例である。以上のように当日9時のデータによる判別はあまり精度は良好でない結果となった。判別関数として、このままでは実用になり難いので前日21時の観測値と当日9時の観測値（予想天気図から読みとる）から目的変数に対する相関の良い因子のみを取り出して組み合わせることにした。資表2-3、資表2-5の2つの相関数を比べてみると、たとえば前日21時のデータでは700ミリバール風速と分布型との相関係数が0.259であるのに対して当日9時のデータでは0.106と低下し、逆に前日21時では850ミリバール気温と分布型の相関係数が0.013であったのに当日9時のデータでは-0.256となっている。つまり、風速については前日21時、気温については当日9時のデータと分布型はより相関係数が高い。これは総観気象的に考えると資図2-2のようになっているためであろう。たとえば、この図から見るように高層天気図では気圧の谷

資表2-8(2) グループIIを基準とした場合の的中状況

グループNo	1	2	3	4	計
計	7	13	4	4	28
%	25	47	14	14	100

資表2-8(3) グループIIIを基準とした場合の的中状況

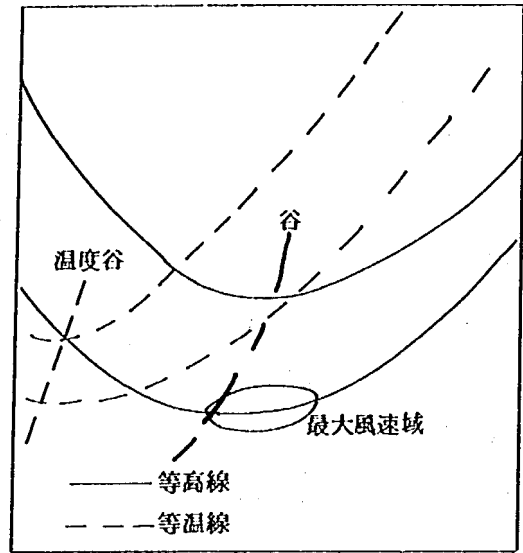
グループNo	1	2	3	4	計
計	4	4	8	4	20
%	20	20	40	20	100

資表2-9(4) グループIVを基準とした場合の的中状況

グループNo	1	2	3	4	計
計	2	3	2	10	17
%	11.5	18	11.5	59	100

より西側に温度の谷がある。谷は西から東へ移動するため、温度谷は気圧谷よりおくれに到着する。風の場合は気圧場に支配され、通常谷に強風域が伴いそのため雪の降り方は当日温度場と前日の気圧場（風の場合）に支配されることになる。

このような事実を利用して前日21時の風データと当日09時の温度データを組み合わせて判別関数を作り直したものを次ページ以下で説明する。



資図2-2 高層天気図のモデル

### 3 09時の温度データと21時の風データによる

#### 降雪分布の判別

$x$ 日の日降雪量の地域分布パターンの判別を  $x$ 日09時の温度データ（ $x-1$ 日に予想天気図から読み取る）と  $x-1$ 日の21時の風データ（ $x$ 日00時までテレタイプにより入電する）合計15個の変数（因子）と9個の誘導変数により実施することを試みた。結果は山雪型、里雪型の区別と大体の降雪量を予測する。目安としては一応の有効性を持つものが得られたようである。なお、使用データの一覧は資表2-9に示す。

#### 3-1 変数（因子）間の相関

判別関数の作成に先立って有効な変数の見当をつけるために相関表を作成することとステップワイズリグレッション法により仮に多重回帰式を作り、因子の有効順位を定めておく都合が良い。そこで降雪型I~VIをそのまま変数としてNa1にし、Na2として路線上の最大積雪深（cm）をとり、24個の説明変数に加えて合計26行、26列の相関行列を作成した。その結果は資表2-10に示す。この表でRow. 1は第1行を示し、横1行に並ぶはずのものを折り返して3行にしてある。以下Row. 2, Row. 3, ……Row. 26まで同様である。

Row. 1は、国道18号線沿線についての日降雪分布パターン1~6に対する各因子間の相関係数である。元来分布パターンは名義尺度であるため、この相関係数を通常の比例尺度間の相関係数と同一に考えることはできないが、ここではあくまで判別関数作成のための有効因子を決定する目安としてこの相関表を使用することにする。さて、Row. 1で第1行左端は変数Na1とNa1の分布パターンそれ自身の相関係数で同一のもの同志間の相関であるから当然1.000となり、以下右へNa1とNa2, Na1とNa3, ……Na1とNa10との相関係数を示す。第2行目はNa1とNa11~Na20の変数間の相関係数で、第3行はNa1とNa21~Na26の相関係数である。各因子のうちで比較的相関係数の高いものを拾い出すと資表2-11のようになる。

資表 2 - 9 使用した変数 (因子)

No	定	義
3	1000ミリバール	気温 0.1℃単位
4	*1000ミリバール	風速 knots 単位
5	850ミリバール	気温 0.1℃単位
6	〃	風向 度単位
7	*850ミリバール	風速 knots 単位
8	700ミリバール	気温 - 0.1℃単位
9	*700ミリバール	風向 度単位
10	*700ミリバール	風速 knots 単位
11	500ミリバール	高度 10 m 単位
12	*500ミリバール	風向 度単位
13	*500ミリバール	風速 knots 単位
14	秋田 500ミリバール	気温 - 0.1℃単位
15	館野 〃	〃 〃
16	鳥取 ~ 銚子	気圧差 (0.1 mb)
17	輪島 ~ 名古屋	〃 ( 〃 )
18	7 × 10 × sin(6 - 9) の絶対値	
19	5 + 8 (850 ~ 700 mb 温度差)	
20	$\left\{ (16 \div 632 \text{ km})^2 + (17 \div 255 \text{ km})^2 \right\}^{1/2}$	
21	$\sin^{-1} \left\{ (17 \div 255 \text{ km}) \div 20 \right\}$	
22	10 - 7 (850 ~ 700 mb 風速差)	
23	3 - 5 (1000 ~ 850 mb 気温差)	
24	3 + 8 (1000 ~ 700 mb 〃 )	
25	13 - 10 (500 ~ 700 mb 風速差)	
26	13 + 5 秋田 500 mb と 850 mb 温度差	

\*印は21時のデータ、地名のないものは輪島

資表 2 -10 各因子 (変数) 間の相関行列表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	1.000	0.163	-0.138	0.136	-0.256	0.042	0.117	0.313	-0.106	0.206	-0.307	-0.143	0.206	0.182	-0.033	0.104	-0.118	0.211	0.246	0.070	-0.118	0.105	0.236	0.332	0.111	0.041
2		1.000	-0.300	-0.058	-0.211	0.008	0.040	0.339	-0.201	-0.001	-0.417	-0.033	0.123	0.274	0.044	0.219	-0.210	0.091	0.365	0.193	-0.193	-0.044	-0.047	0.231	0.138	0.185
3			1.000	-0.227	0.788	-0.244	0.171	-0.732	-0.229	0.061	0.474	-0.290	-0.109	-0.492	-0.319	-0.254	-0.131	0.113	-0.297	0.181	-0.093	-0.111	0.020	-0.201	-0.156	-0.045
4				1.000	-0.234	0.282	0.370	0.264	0.027	0.370	-0.133	-0.013	0.234	0.233	0.143	-0.068	-0.139	0.235	0.182	-0.070	-0.165	0.022	0.086	0.187	0.048	0.119
5					1.000	-0.303	0.089	-0.876	-0.115	0.003	0.549	-0.152	-0.131	-0.569	-0.378	-0.431	-0.237	0.055	-0.272	0.216	-0.217	-0.088	-0.600	-0.589	-0.148	0.011
6						1.000	0.157	0.384	0.210	0.117	-0.235	0.170	-0.102	0.319	0.285	0.270	-0.092	0.087	0.320	-0.105	-0.082	-0.035	0.175	0.345	-0.181	0.175
7							1.000	0.049	-0.198	0.562	-0.253	-0.269	0.201	0.181	-0.033	0.134	-0.347	0.740	0.230	0.422	-0.297	-0.421	0.078	0.217	-0.100	0.282
8								1.000	-0.003	-0.023	-0.761	0.082	0.059	0.756	0.492	0.429	-0.049	0.037	0.702	-0.063	-0.084	-0.076	0.472	0.815	0.079	0.303
9									1.000	-0.248	0.124	0.670	-0.437	-0.013	0.300	-0.075	0.137	-0.285	-0.177	-0.265	0.118	-0.066	-0.111	-0.250	-0.344	-0.097
10										1.000	0.009	-0.285	0.448	-0.023	-0.255	0.050	-0.055	0.663	-0.040	0.087	-0.059	0.514	0.073	0.019	-0.076	-0.026
11											1.000	0.105	0.033	-0.702	-0.489	-0.398	0.386	-0.120	-0.709	-0.228	0.396	0.272	-0.275	-0.691	0.032	-0.468
12												1.000	-0.316	0.066	0.325	-0.167	0.057	0.313	-0.061	-0.227	0.032	-0.033	-0.130	-0.129	-0.189	-0.026
13													1.000	-0.032	-0.447	-0.047	0.051	0.329	-0.076	0.028	0.061	0.283	0.072	-0.007	0.857	-0.131
14														1.000	0.614	0.216	-0.333	0.088	0.669	0.042	-0.329	-0.212	0.284	0.668	-0.023	0.816
15															1.000	0.050	-0.250	-0.148	0.425	-0.140	-0.265	-0.245	0.199	0.436	-0.352	0.481
16																1.000	0.347	0.074	0.219	0.145	0.321	-0.085	0.369	0.400	-0.080	-0.040
17																	1.000	-0.101	-0.448	-0.436	0.955	0.299	0.214	-0.182	0.089	-0.571
18																		1.000	0.156	0.278	-0.152	-0.040	0.057	0.149	-0.015	0.145
19																			1.000	0.195	-0.489	-0.283	0.055	0.756	-0.061	0.622
20																				1.000	-0.326	-0.342	-0.117	0.063	-0.010	0.203
21																					1.000	0.244	0.232	-0.200	0.102	-0.553
22																						1.000	-0.001	-0.204	0.020	-0.320
23																							1.000	0.696	0.038	-0.076
24																								1.000	-0.019	0.398
25																									1.000	-0.132
26																										1.000

資表 2 - 11 相関係数順位表

順位	No	相 関 係 数	説 明
1	24	0.332	1,000 ~ 700 mb 気温差
2	8	0.313	700 mb 気温
3	11	-0.307	500 mb 高度
4	5	-0.256	850 mb 気温
5	19	0.246	850 ~ 700 mb 気温差
6	23	0.236	1,000 ~ 850 mb //
7	18	0.211	850 ~ 700 mb 移流
8	10	0.206	700 mb 風速
9	13	0.206	500 mb //
10	14	0.182	秋田 500 mb 気温
11	12	-0.143	500 mb 風向
12	3	-0.138	1,000 mb 気温

この表から言えることは高層の気温が低く（700 mb, 500 mb の気温はマイナスを省略してあるため正相関となっているものである）安定度が悪く上層と下層の気温差が大であるほど、また、上層の風速が大きいほど降雪の最深域は海岸寄りとなることである。相関マトリックスを利用して相関係数の大きな変数を組み合わせて判別関数を作成しても良いが、実際には説明変数間の相関の問題があり、人間の判断で変数をセレクトすることは困難である。それで、ステップワイズリグレッション法で仮に多重回帰式を作り、その変数の組み合わせを参考とした。

### 3 - 2 判 別 関 数

パターン I ~ III は出現回数が少ないのでひとまとめにしてグループ 1 とし、IV をグループ 2, V をグループ 3, VI をグループ 4 とした。判別関数は 8 変数式と 12 変数式の 2 つを作成してある。変数数の定義は資表 2 - 12 に示した。また、各グループ別の判別関数は資表 2 - 13 のとおりである。

資表 2 - 12 各変数の定義

変数	定	義
$x_6$	輪島 850 mb 風向 度単位	(09時)
$x_9$	" 700 mb " "	(21時)
$x_{11}$	" 500 mb 高度 10 m単位	(09時)
$x_{13}$	" 500 mb 風速 Knots単位	(21時)
$x_{15}$	館野 500 mb 気温 0.1 °C単位 (-30 °C = 300)	(09時)
$x_{16}$	鳥取の気圧 マイナス 銚子の気圧 (0.1 mb 単位)	
$x_{17}$	輪島の " マイナス 名古屋 " ( " )	
$x_{18}$	輪島 700 mb 風速 × 850 mb 風速 × $\sin(850 \text{ mb 風向} - 700 \text{ mb 風向})$	(21時)
$x_{22}$	" 850 ~ 700 mb 風速差 Knots単位	(21時)
$x_{24}$	" 1,000 ~ 700 mb 気温差 0.1 °C単位	(09時)
$x_{25}$	" 500 ~ 700 mb 風速 Knots単位	(21時)
$x_{26}$	秋田の 500 mb 気温と輪島 850 mb 気温差 0.1 °C単位	(09時)

### 3 - 3 検 証

判別関数による検証結果を資表 2 - 14, 15 に示した。完全的中率は、8 変数式で  $45/89 = 50.6\%$ 、12 変数式で  $48/89 = 54\%$  となる。また、山雪型、里雪型としての的中率はグループ 1 と 2 の合計を山雪型、グループ 3 と 4 を里雪型として、グループ 1 と 2 で 1 または 2 と判別されたものと、グループ 3 と 4 で 3 または 4 と判別されたもののが的中となり、的中率は、8 変数式で  $60/89 = 67.4\%$ 、12 変数式で  $59/89 = 66.7\%$  となった。

一方、8 変数判別法による実測値と予測値の比較結果は資表 2 - 16, 17, 18, 19 に示す。この結果の的中率は 12 変数判別関数と変わらない。

資表 2 - 13

	使用変数	判 別 式
8 変 数 の 場 合		$Z_1 = -5891.40625 - 0.04605 x_9 + 20.16547 x_{11} + 1.35637 x_{13}$ $+ 1.27621 x_{15} + 1.11716 x_{16} + 0.00370 x_{18} - 2.232959 x_{22}$ $+ 2.5209 x_{24}$
	$x_9$ $x_{11}$ $x_{13}$	$Z_2 = -5859.15625 - 0.03734 x_9 + 20.09500 x_{11} + 1.38913 x_{13}$ $+ 1.27017 x_{15} + 1.12757 x_{16} + 0.00388 x_{18} - 2.31413 x_{22}$ $+ 2.60121 x_{24}$
	$x_{15}$ $x_{16}$ $x_{18}$	$Z_3 = -5831.04688 - 0.03734 x_9 + 20.04140 x_{11} + 1.37553 x_{13}$ $+ 1.26287 x_{15} + 1.10140 x_{16} + 0.00393 x_{18} - 2.28292 x_{22}$ $+ 2.60621 x_{24}$
	$x_{22}$ $x_{24}$	$Z_4 = -5822.32422 - 0.02778 x_9 + 20.02229 x_{11} + 1.35452 x_{13}$ $+ 1.25602 x_{15} + 1.11446 x_{16} + 0.00469 x_{18} - 2.26463 x_{22}$ $+ 2.62748 x_{24}$
12 変 数 の 場 合		$Z_1 = -8068.07030 - 0.32974 x_6 + 0.81349 x_9 + 27.30592 x_{11} + 2.50037 x_{13}$ $+ 1.28647 x_{15} + 3.09525 x_{16} - 3.58846 x_{17} - 0.03144 x_{18} - 0.62442 x_{22}$ $+ 3.01690 x_{24} - 0.30728 x_{25} + 0.37217 x_{26}$
	$x_6$ $x_9$ $x_{11}$	$Z_2 = -8058.79297 - 0.32948 x_6 + 0.82585 x_9 + 27.27588 x_{11} + 2.49333 x_{13}$ $+ 1.28113 x_{15} + 3.11889 x_{16} - 3.61687 x_{17} - 0.03086 x_{18} - 0.57161 x_{22}$ $+ 3.02754 x_{24} - 0.25952 x_{25} + 0.36892 x_{26}$
	$x_{13}$ $x_{15}$ $x_{16}$	$Z_3 = -8033.91016 - 0.32793 x_6 + 0.83880 x_9 + 27.22736 x_{11} + 2.50942 x_{13}$ $+ 1.27354 x_{15} + 3.09219 x_{16} - 3.61694 x_{17} - 0.03127 x_{18} - 0.055854 x_{22}$ $+ 0.03071 x_{24} - 0.29024 x_{25} + 0.37040 x_{26}$
	$x_{17}$ $x_{18}$ $x_{22}$	$Z_4 = -7987.45313 - 0.33881 x_6 + 0.83648 x_9 + 27.14424 x_{11} + 2.45305 x_{13}$ $+ 1.27020 x_{15} + 3.09270 x_{16} - 3.58781 x_{17} - 0.02950 x_{18} - 0.53384 x_{22}$ $+ 3.06353 x_{24} - 0.26220 x_{25} + 0.35978 x_{26}$
	$x_{24}$ $x_{25}$ $x_{26}$	

資表 2-14 8変数式による判別結果

グループ	分布型	判 別 グループ1	判 別 グループ2	判 別 グループ3	判 別 グループ4	計
1	I II III	16	3	2	3	24
2	IV	5	11	8	4	28
3	V	4	3	9	4	20
4	VI	1	4	3	9	17

資表 2-15 12変数式による判別結果

グループ	分布型	判 別 グループ1	判 別 グループ2	判 別 グループ3	判 別 グループ4	計
1	I II III	16	2	2	4	24
2	IV	4	13	7	4	28
3	V	4	3	10	3	20
4	VI	2	2	2	9	17

資表 2-16 グループ1 (I, II, III) を基準とした場合の的中状況

(8変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	16	3	2	3	24
%	67	13	8	12	100



資表 2 -17 グループ 2 (Ⅳ) を基準とした場合の的中状況

(8変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	5	11	8	4	24
%	18	39	29	14	100

資表 2 -18 グループ 3 (Ⅴ) を基準とした場合の的中状況

(8変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	4	3	9	4	20
%	20	15	45	20	100

資表 2 -19 グループ 4 (Ⅵ) を基準とした場合の的中状況

(8変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	1	4	3	9	17
%	6	23.5	17.5	53	100

判別関数による予測値と実測値の対比を資表2-20, 21, 22, 23に示す。グループ1は分布I, II, III型の合計で最大降雪深の位置は直江津の30km以遠にある。的中率は $16/24$ で66.7%となり、里雪型(グループ4)と判別したものは4例16.7%である。グループ2は分布IV型で直江津から20~30km

資表2-20 グループ1を基準とした場合の的中状況 (12変数)

グループNo.	1	2	3	4	計
計	16	2	2	4	24
%	66.5	8.5	8.5	16.5	100

のところは降雪のピークが来るもので、一般に山雪型と呼ばれているものである。資表2-21に示すようにグループ3としたものが7例もある。グループ3は分布V型で直江津から20~30kmの区間

資表2-21 グループ2を基準とした場合の的中状況 (12変数)

グループNo.	1	2	3	4	計
計	4	13	7	4	28
%	14	47	25	14	100

に最大降雪深域、直江津から10km以内に第2の降雪のピークが出るタイプで両者の気象条件は類似していることを示している。グループ3はグループ2とグループ4の中間型に属する。グループ4は直江津の10km以内に降雪のピークが来る里雪型である。資表2-23で、とくにその中の一つで、昭和51年1月18日の高田において130cmの降雪をみた例である。つまり、17例中4例を山雪と判別している。

資表 2 - 22 グループ 3 を基準とした場合の的中状況 (12変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	4	3	10	3	20
%	20	15	50	15	100

資表 2 - 23 グループ 4 を基準とした場合の的中状況 (12変数)

グループNo	1	2	3	4	計
計	2	2	2	11	17
%	12	12	12	64	100

#### 4 最大積雪深を求めるための重回帰式

路線における日最大積雪深 (cm) を求める重回帰式 (各変数の定義は資表 2 - 24 に示す) をステップワイズリグレッション法により作成したものを次式に示す。なお、この回帰式は 10 変数式であっ

資表 2 - 24 各変数の定義

変 数	定 義			
$x_3$	輪島	1,000 mb	気温	0.1 °C 単位
$x_4$	"	"	風速	Knots 単位
$x_{12}$	"	500 mb	風向	度
$x_{19}$	"	850 ~ 700 mb	気温差	

( $x_6, x_{11}, x_{13}, x_{16}, x_{18}, x_{22}$  は判別関数と同じ)

て、これ以上変数を追加してもこれ以上の精度向上は望めないようである。

$$\begin{aligned}
 y = & -0.20633 x_3 - 0.59161 x_4 - 0.03388 x_6 - 0.55396 x_{11} \\
 & - 0.23464 x_{12} + 0.29948 x_{13} + 0.13813 x_{16} - 0.00628 x_{18} \\
 & + 0.16009 x_{19} - 0.37240 x_{22} + 376.65826 \dots\dots\dots (資-18)
 \end{aligned}$$

この時の重相関係数は 0.608, 標準誤差は 20.2 cm であった。

## 5 結 論

降雪の地域分布パターンを把握することが道路管理上の重要なポイントとなることから、どの区間に最も降雪が多いか、またその量はどれ位であるかについて予測する方法を国道18号線について試みた。予測精度は50~60% (山雪型, 里雪型について66~67%) 4区間区分について50%程度であり良好ではない。また、最大積雪深の予測も標準誤差20cm位で一応の目安を立てるのに役立つ程度である。予測式の変数の組み合わせについては考え得る限りの組み合わせを試みたが、相関の高い因子を発見することはできなかった。予測式の作成に当って、現在気象庁で予報に使用されている予報則を参考にしたが、それらの多くのものは相関が極めて悪く、中には現在、一般に使用されている予報則なるものと全く逆の傾向すら見られた。たとえば、少なくともこの調査に使用したデータの範囲内で国道18号線沿線については高層の風速が大きいほど降雪の最大域は直江津に接近、つまり里雪型となった。また、銚子と鳥取の気圧差と里雪型傾向とは低いながらも正相関を示した。このように従来知られている予報則中には根拠の不確実なもの、信頼性の低いものもいくつか存在するようであり、この調査で作成された判別式は精度不十分とは言え客観的に降雪分布の予測をすることが可能となった点について、在来の主観的判断法に比すれば一つの進歩と行うことができるであろう。

変数	係数	標準誤差	t値	検定
$x_3$	-0.20633	0.045	-4.58	0.0001
$x_4$	-0.59161	0.055	-10.75	<0.0001
$x_6$	-0.03388	0.015	-2.26	0.025
$x_{11}$	-0.55396	0.065	-8.51	<0.0001
$x_{12}$	-0.23464	0.055	-4.27	0.0001
$x_{13}$	0.29948	0.055	5.44	<0.0001
$x_{16}$	0.13813	0.055	2.51	0.012
$x_{18}$	-0.00628	0.015	-0.42	0.675
$x_{19}$	0.16009	0.055	2.91	0.004
$x_{22}$	-0.37240	0.055	-6.77	<0.0001
定数	376.65826	10.0	37.67	<0.0001

# 資料-8 降雪深に関する予測の検討

## 1 概 要

降雪深は比例尺度であるため重相関回帰の手法を適用した方が便利である。重相関回帰式による降雪予測は、石原等によって新潟県下一円にわたってこれをいくつかの小区域に区分したものや、国道17号線を3区間に区分したものについて24時間(日)降雪量の予測回帰式が作られている。これらのものはデータ数に比して変数の数がやや過大な傾向もみられるが、かなり良好な予測精度が得られている。藤沢の観測値によって試みた重回帰予測式は時間空間的に範囲をせばめたため(実用上の要求から)石原の例に比べ精度は良好とは言えない。これは説明変数(気象因子)の目的変数(降雪量)に対する相関が時間空間スケールを小さくしたために相当低下してしまうことに原因がある。説明変数として使用した気象因子としては石原等の採用している因子とほぼ同じようなものが大部分であり、この点についてはとくに意味はないが、ただ、藤沢の過去3時間の降雪量は時間スケールが小さくなるほど目的変数に対する相関が高まり、他の因子の相関低下を緩和する働きを示したのは好都合であった(作成した回帰式の係数は資表2-25, 26, 27, 28にまとめた)。

## 2 予測式(重回帰式)のための説明変数のえらび出し

まず、使用したプログラムは目的変数を含め変数の数が30個に制限を受けることになっているので4個の目的変数(向う3時間, 6時間, 12時間および24時間の降雪量予測値)を除き、26個の説明変数しか設定できない。それで、まず96個の因子をとり上げその中から有効とみられる26個の因子をえらび出し、計算の経過により順次入れ換え、または合成を実施した。また、短期予測には高層気象データのみでは充分でないので現地の地上観測データをできるだけとり上げる事にした。説明変数のえらび出しに当って我が国および周辺地域のすべての高層観測資料を網羅することもできる。しかしそれぞれの要素単独で降雪量に対してかなり高い相関があっても説明変数間の相関係数も高い場合はトータルとしての目的変数に対する重相関係数はあまり向上しない。たとえば、X, Y, Zの3つの変数間にそれぞれ0.9の相関があれば、ZをX, Yから求めるための3つの回帰式

$$\left. \begin{aligned} Z &= a_1 X + c_1 \\ Z &= a_2 Y + c_2 \\ Z &= a_3 X + b_1 Y + c_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (資-19)$$

によって得られるZの値に大差はなく、実用上は求め易い説明変数より簡単な式を使った方が良いことは明白である。つまり、使い易く、その上予測精度の高い回帰式を作成するためには目的変数との

相関係数になるべく大きく、説明変数間の相関ができるだけ低いものを説明変数としなければならない。もちろん現在では電子計算機により Step-Wise Regression を使って自動的に最的因子をえらび出すことは可能であるが、不適当とみられる因子は最初から省略しておいた方が手間は省ける。

たとえば、冬期日本海側における重回帰式による24時間降雪量予測の例で、変数1つの単回帰式で相関係数が0.634とまずまずであるのに説明変数を3個に増加しても重相関係数は、0.670と0.036の増加に止まった例もあり、あらかじめ適当な変数を選定しておくことの重要性を示している。

### 3 因子間の相関

4個の目的変数と24個の説明変数との合計28個の因子について  $28 \times 28 = 784$  個の相関係数を計算した結果を資表2-29として示す。

この相関マトリックスはたとえば、 $x_1, x_2, x_3$  の3つの変数があったとき資表2-30のようになる。

資表2-30 相関マトリックスの例

	$x_1$ ( $x_4$ )	$x_2$ ( $x_5$ )	$x_3$ ( $x_6$ )
$x_1$	$R_{11}$ ( $R_{14}$ )	$R_{12}$ ( $R_{15}$ )	$R_{13}$ ( $R_{16}$ )
$x_2$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$
$x_3$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$

$R_{ij}$  は変数  $x_i$  と  $x_j$  の相関係数で、当然  $R_{ij}$  と同じ値になる。  
また、 $R_{11}, R_{22}, R_{33}, \dots, R_{ii}$  は同じ変数自身の相関係数であるため1となる。

$y_1$  と言うのは変数  $No. 1$  の3時間降雪量に対する  $No. 2$  以下の変数のそれぞれの相関係数である。つまり、 $No. 2$  は6時間、 $No. 3$  は12時間、 $No. 4$  は24時間の降雪量で  $No. 5$  以下はそれぞれ  $x_4, x_5, x_6, \dots, x_{28}$  を表わす。 $y_1$  の最初の数字が1000であるのは3時間降雪量の同一データの相関なので当然1になる。以下、3時間と6時間、3時間と12時間、3時間と24時間降雪量との相関で割合高い値を示している。5番目は過去3時間の降間の降雪量  $x_4$  と3時間(12~15時と24~3時)の降雪量との間の相関で0.445とあまり高い値を示してはいない。6番、7番は藤沢の風向、風速でこの値は藤沢の地上風と3時間降雪量とはほとんど関係がない事を示している。ただ、 $y_1$  (24時間降雪量)の行の6、7番をみると藤沢の地上風は24時間降雪量とは多少の関係があることが認められる。

$y_1$  から  $y_3$  まで、つまり3、6、12時間降雪量に対して共通して相関の高いものは8番目  $x_8$  の藤沢の地上気温である。ところが、 $y_1$  の24時間降雪量と相関の大きい因子は  $x_{10} \sim 850 \sim 700$  ミリバールの温度移流量となる。

資表 2 - 25 3 時間降雪量予測式係数表

係数 変数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24
$x_5$	0.4296	0.3357	0.2988	0.1312	0.3053	0.2862	0.2806	0.2783	0.2691	0.2607	0.2557	0.2538	0.2378
$x_6$													0.0425
$x_7$										-0.0330	-0.0341	-0.0292	-0.0307
$x_8$						-0.0150	-0.0194	-0.0211	-0.1244	-0.0330	-0.0204	-0.0180	-0.0110
$x_9$													0.0199
$x_{10}$							-0.0155	-0.0150	-0.0160	-0.0156	-0.0207	-0.0234	-0.0253
$x_{11}$											-0.0085	-0.0083	-0.0064
$x_{12}$													-0.0144
$x_{13}$			-0.0558	-0.0941	-0.1109	-0.0894	-0.1122	-0.1376	-0.1120	-0.1248	-0.1314	-0.1365	-0.0506
$x_{14}$													-0.0348
$x_{15}$									-0.1798	-0.1734	-0.1714	-0.1959	-0.1784
$x_{16}$					0.0199	0.0180	0.0184	0.0155	0.0106	0.0079	0.0108	0.0117	-0.0367
$x_{17}$													-0.0462
$x_{18}$													0.0652
$x_{19}$													0.0007
$x_{20}$													-0.0220
$x_{21}$													0.0290
$x_{22}$													-0.0039
$x_{23}$													0.0602
$x_{24}$				-0.0201	-0.0216	-0.0237	-0.0211	-0.0204	-0.0202	-0.0186	-0.0193	-0.0214	-0.0280
$x_{25}$												0.0136	0.0293
$x_{26}$													-0.0053
$x_{27}$		0.1815	0.1507	0.1932	0.1727	0.1614	0.1639	0.1589	0.1432	0.1464	0.1401	0.1387	0.1584
$x_{28}$								-0.0085	-0.0123	-0.0141	-0.0147	-0.0139	-0.0150
定数	1.3797	0.3442	30.7707	52.0329	60.2105	49.3784	63.0119	79.4265	67.9085	76.0399	80.6590	89.2289	51.7240
重相関 係数	0.445	0.555	0.571	0.585	0.594	0.599	0.607	0.612	0.620	0.625	0.630	0.634	0.666
標準誤 差(cm)	4.097	3.821	3.784	3.753	3.740	3.735	3.722	3.718	3.705	3.700	3.696	3.700	3.758

資表 2 - 26 6 時間降雪量予測式係數表

係數 變數數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24
$x_5$				0.2273	0.2138	0.2143	0.2165	0.2281	0.2196	0.2247	0.2331	0.2294	0.1721
$x_6$											0.1206	0.1187	0.1071
$x_7$													-0.0145
$x_8$	-0.0928	-0.0690	-0.0533	-0.0438	-0.0401	-0.0415	-0.0295	-0.0363	-0.0261	-0.0274	-0.0227	-0.0243	-0.0223
$x_9$													0.0167
$x_{10}$													-0.0309
$x_{11}$													-0.0101
$x_{12}$													-0.0146
$x_{13}$													-0.0571
$x_{14}$													-0.0212
$x_{15}$													-0.1625
$x_{16}$													-0.0458
$x_{17}$						-0.0346	-0.0486	-0.0486	-0.0412	-0.0571	-0.0587	-0.0405	-0.0559
$x_{18}$										0.1214	0.1317	0.1235	0.1283
$x_{19}$		0.0068	0.0055	0.0051	0.0042	0.0043	0.0037	0.0035	0.0036	0.0029	0.0028	0.0025	0.0027
$x_{20}$												-0.1208	-0.0700
$x_{21}$							0.0148	0.0190	0.0222	0.0205	0.0208	0.0233	0.0363
$x_{22}$													-0.0142
$x_{23}$					0.1144	0.0972	0.0594	0.0677	0.1156	0.1071	0.1044	0.0961	0.1214
$x_{24}$								-0.0214	-0.0286	-0.0425	-0.0429	-0.0484	-0.0469
$x_{25}$									0.0391	0.0510	0.0527	0.0530	0.0631
$x_{26}$													-0.0051
$x_{27}$			0.1715	0.1664	0.1581	0.1808	0.1929	0.2362	0.2297	0.2220	0.2403	0.2344	0.2208
$x_{28}$													-0.0126
定 數	7.1316	5.5810	4.0939	3.3739	2.9850	3.1254	-1.8833	-2.4322	-3.6204	-3.6683	-5.1228	-5.5478	55.8354
重相 係 數	0.533	0.589	0.614	0.630	0.642	0.649	0.655	0.662	0.672	0.683	0.688	0.694	0.712
標準 誤 差 (cm)	5.874	5.631	5.520	5.454	5.407	5.385	5.368	5.348	5.306	5.257	5.240	5.226	5.365



資表 2 - 27 12 時間降雪量予測式係数表

係数 変数数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24
$x_3$						0.2154	0.2310	0.2406	0.2467	0.2203	0.2082	0.2008	0.1460
$x_6$								0.1451	0.1610	0.1674	0.1664	0.1597	0.1551
$x_7$													-0.0162
$x_8$	-0.1183	-0.0816	-0.0629	-0.0645	-0.0384	-0.0297	-0.0380	-0.0326	-0.0366	-0.0377	-0.0342	-0.0401	-0.0287
$x_9$													0.0269
$x_{10}$												-0.0254	-0.0470
$x_{11}$													-0.0120
$x_{12}$													-0.0151
$x_{13}$											-0.1248	-0.1571	-0.0998
$x_{14}$													0.0032
$x_{15}$													-0.1181
$x_{16}$													-0.0252
$x_{17}$				-0.0666	-0.0886	-0.0879	-0.0892	-0.0892	-0.1035	-0.1028	-0.0818	-0.0653	-0.0818
$x_{18}$									0.1126	0.1114	0.1092	0.0989	0.1158
$x_{19}$		0.0106	0.0090	0.0088	0.0071	0.0067	0.0065	0.0065	0.0057	0.0054	0.0052	0.0049	0.0052
$x_{20}$													-0.0203
$x_{21}$					0.0288	0.0286	0.0345	0.0348	0.0311	0.0464	0.0336	0.0379	0.0412
$x_{22}$										-0.0193	-0.0244	-0.0250	-0.0350
$x_{23}$													0.0627
$x_{24}$							-0.0268	-0.0259	-0.0370	-0.0362	-0.0439	-0.0404	-0.0440
$x_{25}$													0.0261
$x_{26}$													-0.0031
$x_{27}$			0.2038	0.2450	0.2599	0.2546	0.3105	0.3331	0.3279	0.3100	0.3028	0.3036	0.2679
$x_{28}$													-0.0176
定数	9.4312	7.0358	5.2689	5.4175	-4.6172	-5.2115	-6.0893	-7.7570	-7.2668	-7.1452	66.0590	84.6632	78.7064
重相関 係数	0.561	0.646	0.669	0.687	0.705	0.714	0.720	0.726	0.732	0.738	0.741	0.744	0.757
標準誤 差(cm)	6.954	6.435	6.296	6.180	6.051	6.003	5.968	5.944	5.908	5.880	5.874	5.863	6.044

資表 2 - 28 24 時間降雪量予測式係数表

係数 变数数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24
$x_5$						0.3328	0.3744	0.3896					0.3911
$x_6$				0.4723	0.5159	0.5203	0.5131	0.5230					0.5626
$x_7$													-0.0564
$x_8$													-0.0093
$x_9$													0.0763
$x_{10}$													0.0189
$x_{11}$													0.0006
$x_{12}$													0.0661
$x_{13}$		-0.4258	-0.7238	-0.7312	0.6270	-0.5790	-0.6204	-0.6168					-0.5961
$x_{14}$													0.0276
$x_{15}$					-0.6446	-0.6034	-0.5203	-0.3924					-0.4754
$x_{16}$								0.0641					0.0339
$x_{17}$													-0.0644
$x_{18}$													0.1712
$x_{19}$	0.0299	0.0204	0.0185	0.0188	0.0171	0.0165	0.0164	0.0148					0.0138
$x_{20}$													0.0153
$x_{21}$													-0.0968
$x_{22}$			-0.0784	-0.0824	-0.0870	-0.0810	-0.0836	-0.0645					-0.0732
$x_{23}$													0.1239
$x_{24}$													-0.0707
$x_{25}$							-0.0583	-0.0621					-0.0831
$x_{26}$													0.0263
$x_{27}$													0.1480
$x_{28}$													-0.0174
定 数	8.1912	239.2807	420.6789	421.7314	368.5005	340.2073	362.9245	352.0785					299.2220
重相 係 数	0.569	0.648	0.686	0.705	0.714	0.721	0.727	0.731					0.758
標準誤 差(cm)	12.590	11.705	11.218	10.977	10.877	10.822	10.766	10.742					10.996

資表2-29 相関マトリックス

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$	$x_{26}$	$x_{27}$	$x_{28}$
$x_1$	1.000	0.896	0.831	0.609	0.445	-0.003	0.009	-0.442	0.376	0.271	-0.312	-0.358	-0.392	0.285	-0.383	0.153	0.029	0.296	0.373	-0.184	0.351	0.139	0.282	0.323	0.175	0.193	0.443	0.201
$x_2$		1.000	0.939	0.694	0.385	0.041	0.102	-0.533	0.464	0.363	-0.389	-0.458	-0.514	0.431	-0.448	0.100	0.017	0.371	0.475	-0.238	0.462	0.255	0.383	0.407	0.221	0.315	0.486	0.338
$x_3$			1.000	0.787	0.380	0.054	0.136	-0.561	0.483	0.370	-0.389	-0.494	-0.561	0.460	-0.484	0.157	-0.013	0.392	0.550	-0.252	0.511	0.255	0.421	0.431	0.137	0.342	0.514	0.370
$x_4$				1.000	0.367	0.137	0.105	-0.491	0.461	0.383	-0.319	-0.431	-0.554	0.402	-0.492	0.213	-0.030	0.389	0.569	-0.245	0.476	0.203	0.437	0.401	0.009	0.369	0.395	0.407
$x_5$					1.000	-0.038	0.015	-0.425	0.361	0.289	-0.291	-0.344	-0.349	0.286	-0.307	0.066	0.073	0.225	0.298	-0.112	0.307	0.121	0.235	0.353	0.170	0.253	0.282	0.242
$x_6$						1.000	0.043	-0.066	0.007	-0.020	-0.081	-0.014	-0.013	0.027	0.083	-0.115	-0.045	-0.128	-0.035	0.026	0.009	0.063	-0.002	-0.065	-0.014	0.006	-0.165	0.065
$x_7$							1.000	-0.169	0.183	0.230	-0.187	-0.280	-0.296	0.268	-0.135	-0.144	0.108	0.298	0.206	-0.071	0.249	0.237	0.023	0.273	-0.051	0.189	0.173	0.096
$x_8$								1.000	-0.808	-0.668	0.596	0.639	0.699	-0.610	0.505	-0.076	-0.169	-0.429	-0.477	0.111	-0.655	-0.457	-0.353	-0.664	-0.360	-0.542	-0.542	-0.544
$x_9$									1.000	0.922	-0.694	-0.793	-0.790	0.720	-0.616	0.037	0.375	0.507	0.434	-0.012	0.792	0.596	0.280	0.740	0.388	-0.616	0.551	0.599
$x_{10}$										1.000	-0.653	-0.763	-0.723	0.686	-0.559	-0.011	0.408	0.491	0.363	0.054	0.762	0.586	0.184	0.652	0.355	0.598	0.459	0.550
$x_{11}$											1.000	0.539	0.534	-0.524	0.418	0.084	-0.296	-0.376	-0.333	0.018	-0.542	-0.446	-0.172	-0.529	-0.292	-0.406	-0.420	-0.452
$x_{12}$												1.000	0.864	-0.888	0.734	0.167	-0.306	-0.534	-0.444	0.034	-0.906	-0.773	-0.462	-0.609	-0.055	-0.718	-0.414	-0.679
$x_{13}$													1.000	-0.878	0.705	0.153	-0.048	-0.513	-0.502	0.240	-0.858	-0.712	-0.508	-0.706	-0.156	-0.720	-0.441	-0.733
$x_{14}$														1.000	-0.666	-0.376	0.138	0.451	0.403	-0.067	0.882	0.883	0.510	0.572	0.109	0.793	0.338	0.742
$x_{15}$															1.000	-0.060	-0.200	-0.543	-0.496	0.115	-0.729	-0.536	-0.479	-0.572	-0.002	-0.609	-0.474	-0.640
$x_{16}$																1.000	-0.029	0.125	0.238	-0.154	-0.086	-0.496	0.067	0.086	0.051	-0.283	0.276	-0.235
$x_{17}$																	1.000	0.417	0.098	0.431	0.328	0.248	-0.084	0.227	-0.026	0.130	0.268	-0.012
$x_{18}$																		1.000	0.445	-0.101	0.571	0.387	0.386	0.631	-0.078	0.406	0.479	0.312
$x_{19}$																			1.000	-0.208	0.497	0.271	0.397	0.415	0.058	0.311	0.455	0.387
$x_{20}$																				1.000	0.011	0.135	-0.261	-0.258	-0.079	-0.003	-0.169	-0.098
$x_{21}$																					1.000	0.763	0.492	0.619	0.037	0.746	0.399	0.686
$x_{22}$																						1.000	0.324	0.423	0.031	0.704	0.176	0.607
$x_{23}$																							1.000	0.397	-0.200	0.484	0.301	0.527
$x_{24}$																								1.000	0.326	0.546	0.630	0.522
$x_{25}$																									1.000	0.061	0.244	0.057
$x_{26}$																										1.000	0.263	0.724
$x_{27}$																											1.000	0.265
$x_{28}$																												1.000

No 9 ( $x_9$ ) から No 22 ( $x_{22}$ ) までが主として輪島の高層気象諸元であるが、この 9 から 22 までの 14 個の因子は表に示されているように内部相関がかなり大きく、この種の因子の数を増加させても予測式の改善にはあまり役立ちそうにない。

その他 No 8 地上気温と No 9, 850 ミリバール気温との相関係数は 0.808 とかなり高いのは当然と言えば当然と言える。輪島上空 500 ミリバールの気温と降雪との関係について多くの研究が深い関係のある事を報告しているが、今回の例では 3~24 時間降雪量に対して (No 14) 0.285, 0.431, 0.460, 0.402 (データからマイナス符号を省略してあるため正相関になった) となり、それほど高い値にならなかった。むしろ、No 13 の 500 ミリバール高度の方が  $-0.392$ ,  $-0.514$ ,  $-0.561$ ,  $-0.554$  と良い相関を示している。重回帰式を使って気象予測を実施しようとする場合の問題点は目的変数との相関が大きく、そして説明変数間の相関の小さい因子を得ることが困難なことである。たとえば、500 ミリバールの高度の低下、気温の低下、低気圧性循環の強化、正うず度の増大と言う一連の現象の発生はほとんど相互に不可分であり、独立性に乏しい。このことが 100 個以上の因子を使っても重相関係数はあまり高くないと言った結果をもたらすのである。それに変数 (元) が 10 以上の予測式はこれに投入する因子の収集に多大の労力を要し、実際にこの式を使って予測計算をするには不適當である。文献によると、現実に使用に耐えるような回帰式は精々 6~8 元程度のものであるとされている。

#### 4 ステップワイスリグレッション法による重回帰式の作成

電子計算機を使用する場合、変数増加法による回帰式の作成過程は自動的に計算機によって有効性の高い因子——つまり、寄与率の高いものから順にとり込まれて行く、計算の打ち切りは重相関係数、標準誤差、F 値などの状況を見ながら人間が判断しなければならない。このようにして変数 1 個の式から順に 12 個の変数を含む式まで作成して行ったが、大体変数 6~8 個あたりから精度的にはあまり向上しなくなり、自由度を考えると逆に低下する傾向すら出て来る。自由度とはトータルのデータ数から使用された変数数を引いたもので単回帰式ではトータルマイナス 2 となる ( $x$  と  $y$  の 2 個を引く)。

100 個に近い因子を使った回帰式は多くの場合、自由度を考慮に入れると無意味であることが多い。12 個以上の変数を使ってステップワイスリグレッションの手順を続行することはあまり意味がないので、12 元で計算を打ち切り 12 元の式を使った予測値と実測値の対比を実施している (回帰式係数表は資表 2-26~28 に示した)。

なお、データの配列は降雪のあったケースとなかったケースをふり分けたため日付順には配列されていない。

#### 6 現場における予測のための気象資料の収集と解説

輪島の高層気象観測資料等予測因子として必要とする資料は各測候所または、気象台で観測された

後に、気象庁に集められ ADeSS により編集されて、有線、テレタイプ、無線テレタイプ、無線 CW (モールス通信) などにより各地へ送り返される。毎日、予測因子を電話などで地方気象台などへ問い合わせることは先方、当方ともに煩雑であり気象庁本庁からの放送を受信するシステムを取った方が便利である。

前記の 3 つの放送システム中 CW 放送が一番経費的には安い、毎分 120 字の速度で送信されて来る数字を受信するには相当な熟練を要するので、通信員を数名交代勤務で当直させなければならない。また、有線テレタイプはそのための回線を確保しなければならず、結局のところ無線テレタイプが最も便利である。これは、最初に周波数をセットしておけばあとは自動的に気象データを受信して紙上に印字するもので新聞社等で外電を受信している装置と全く同じである。無線テレタイプ一式はそれほど高価なものではなく、1~30メガヘルツ位の受信機、コンバーターとプリンターの組合せで総価格 200 万円位である (これとマイクロコンピューターがあれば降雪予測は可能である)。

#### ・受信されたデータの解読

気象通信文は 5 数字 1 群ずつの数字群で構成されており各数字について、何番目の数字が何を意味するかと言うことはあらかじめ定められている。また、各測候所は下記のように固有の地点番号を有している。

47600	輪島
47582	秋田
47646	館野
47602	相川
47604	新潟
47648	銚子
47636	名古屋
47746	鳥取
47744	米子
(47058)	(平壤) (PYONGYANG)

以上が予測式のために必要とする観測点である。

高層気象資料は、はじめに US J P と言う文字が入電するので容易に区別できる (US が高層資料を、JP が日本を示す。また、ピョウヤンは US KO で入電する)。本文は F M 35 と呼ばれる形式で A 部を示す T T A A と言う文字のあとに数字が続く。これらの数字の構成を記号シンボルで示すと次のとおりになっている。

Y Y G G I a 001 (000) L I I I S V C 99 P P P P  
 T T T D D d d f f f \ P P P h h h  
 T T T D D (d d f f f) h h h

Pn Pn hn hn hn Tn Tn Ton Dn Dn dn dn fn fn fn

各シンボルの持つ意味について必要なもののみ説明すると次のようになる。

Y Y G G Id; Y Yは観測プラス50、56日は6日を示す。

G Gはグリニッチ時間による観測時刻で00は00グリニッチ時で日本と9時間の時差があるので00は日本時間09時

I I iii; I Iは測候所ブロック番号で日本、朝鮮は47。

iiiは測候所地点番号 (II iii = 47600は輪島)。

9 9 P<sub>0</sub> P<sub>0</sub> P<sub>0</sub> T<sub>0</sub> T<sub>0</sub> T<sub>0</sub> D<sub>0</sub> D<sub>0</sub> d<sub>0</sub> d<sub>0</sub> f<sub>0</sub> f<sub>0</sub> f<sub>0</sub>;

地上データを示す。地上データはより早い時刻にFM-IIの形式で入電するためここでは不要

P<sub>1</sub> P<sub>1</sub> h<sub>1</sub> h<sub>1</sub> h<sub>1</sub> T<sub>1</sub> T<sub>1</sub> T<sub>1n</sub> D<sub>1</sub> D<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub>

P<sub>n</sub> P<sub>n</sub> h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>0n</sub> D<sub>n</sub> D<sub>n</sub> dn dn fn fn fn;

5数字3群で各等圧面の気象データを示す。まず、P<sub>1</sub> P<sub>1</sub> = 00は1000ミリバール、P<sub>2</sub> P<sub>2</sub> = 85は850ミリバール、P<sub>3</sub> P<sub>3</sub> = 70は700ミリバール、P<sub>4</sub> P<sub>4</sub> = 50は500ミリバールを示す。

h<sub>1</sub> h<sub>2</sub> h<sub>3</sub> ~ h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> は等圧面高度をメートルで示す(厳密にはGeopotential meterである)。但し、1000、850、700ミリバールはメートル単位で1000を省略してあるが850ミリバールの高度は1500メートル、700ミリバールは3000メートル前後であるため、これで充分で、700ミリバール高度が990となっていれば明らかに2990メートルであって4990や1990ではない。500ミリバール面の高度は10メートル単位となっていて、たとえば547は5470メートルを表わす。

T<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>0n</sub> D<sub>n</sub> D<sub>n</sub>; T<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>0n</sub>で等圧面の気温を示す。T<sub>0n</sub>は小数位を表わすが、これが奇数であれば気温はマイナス、偶数はプラスを示す。たとえば、168は+16.8°C、167は-16.7°Cとなる。D<sub>n</sub> D<sub>n</sub>は気温と露点温度との差を小数1位まで報じる。以上により、たとえば27318と入電すれば、気温+27.3°C、露点温度-29.1°Cとなる。

dn dn fn fn fn; dn dnは風向で北を36、東を09、南を18、西を27とする36方位である。fn fn fnは風速をノット単位で表わしている。なお、風向に5度の端数がついた場合、風速の100位にこれを加えてある(自然界に500ノットと言うような風速は存在しないので区別できる)。たとえば、270度(西)56ノットの風は27056、275度

56ノットの風は27556, 285度123ノットの風は28623と報じられる。  
 例、1977年2月1日の輪島の高層気象データは次のようになっている。

T T A A    51001    47600    99014    00313    25002    00114  
                   ①②                   ③                                   ④                                   ⑤ ⑥

01110    29512    85378    10704    28512  
                   ⑦ ⑧                   ⑨ ⑩                   ⑪ ⑫                   ⑬ ⑭                   ⑮ ⑯

70824    20550    26058    50526    36511  
                   ⑰ ⑱                   ⑲                   ⑳                   ㉑ ㉒                   ㉓

26074    40678    43911    26105    .....  
                   ㉔                   ㉕

- |                  |               |
|------------------|---------------|
| ① 1日             | ⑩ 気温と露点の差0.4℃ |
| ② 00時            | ⑮ 風向2850      |
| ③ 輪島             | ⑯ 風速12ノット     |
| ④ 地上データ          | ⑰ 700mb       |
| ⑤ 1000mb         | ⑱ 高度2824m     |
| ⑥ 1000mb 高度114m  | ⑲ 気温, 露点      |
| ⑦ 1000mb 気温-1.1℃ | ㉑ 風           |
| ⑧ 気温と露点の差1.0℃    | ㉒ 500mb       |
| ⑨ 1000mb 風向2950  | ㉓ 高度5260m     |
| ⑩ 1000mb 風速12ノット | ㉔ 気温          |
| ⑪ 850mb          | ㉕ 風           |
| ⑫ 850mb 高度1378m  | ㉖ 400mb       |
| ⑬ 850mb 気温-10.7℃ |               |

地上データ SMJP :

地上データは、FM-11と言う型式で送られてくる。FM-11の構成は次のとおりである。

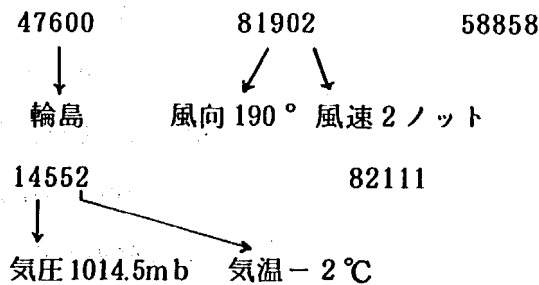
- |           |         |           |             |
|-----------|---------|-----------|-------------|
| IIiii     | —— 地点番号 | Nddff     | —— 雲量風向風速   |
| VVwwW     | —— 視程天気 | PPPTT     | —— 気圧気温     |
| NhCchCnCh | —— 雲    | Td Td APP | —— 露点気圧変化傾向 |
| 7RRjj     | —— 雨量他  |           |             |

予測式に関係するのは2番目のグループの dd (風向36方位), ff (風速ノット)、4番目のグループの PPP (気圧ミリバールの10位, 1位,  $\frac{1}{10}$ 位), TT (気温)である。

dd は北を36とする時間回りの10度単位で、風なしは dd=00, ff はノットそのまま。

PPPはたとえば1013.2ミリバールは132と報じられる。ところが、たとえば568と報じられた場合1056.8か956.8か不明であるが、1056.8ミリバールと言った気圧は極めて優勢な高気圧域内、956.8ミリバールは非常に発達した低気圧または、台風の中心付近の気圧と言うことで10位以下しか報じられなくてもその時の状況により100位, 1000位を誤まるおそれはまずない。

TTは気温の10位, 1位を報じるが氷点下の気温については気温絶対値に50を加えて報じてられる(56は $-6^{\circ}\text{C}$ と言うことで、これもプラス $50^{\circ}\text{C}$ を越す気温は日本ではまず有り得ないので $+56^{\circ}\text{C}$ と誤まることはない)。次にデータの例を示す。



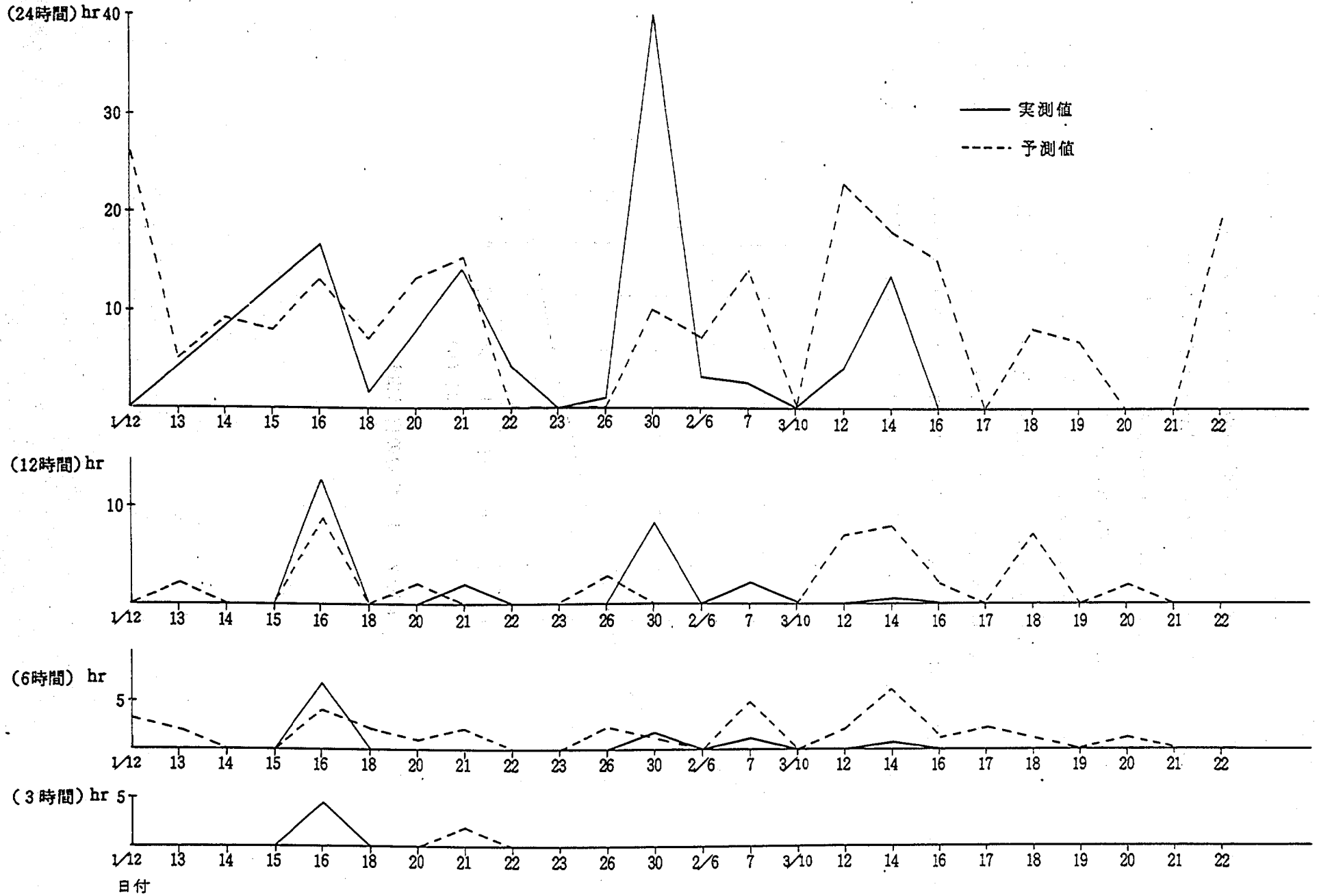
蛇足であるが3グループの3番, 4番目の数字85は俄雪を示す(コートwwは天気を示し、60台は雨, 70台は雪, そして80台は俄雨または俄雪, しう雨/雪である)。

## 6 結 論

当初予測式の検証は、52年12月から53年3月の間のデータで実施する予定であったが、この期間は欠測が多く、検証に使うには十分でないことがわかった。それでも欠測のない部分を拾い集めて20数日分について予測と実況との対比を実施し、これを資図2-3にまとめた。この表によれば、3時間予測値は1月16日, 21日を除き的中している。6時間以上の予測については降雪のあった日の予測値と実測値の間には割合良い対応がみられるが、無降雪日に降雪量を予測として算出しているケースが多い。この原因は、6時間以上の予測については降雪の有無の判別関数が作成されておらず、回帰式による計算の前に降雪のケースをフィルターアウトできなかったためである。

この結果について、精度はあまり高いとは言えないが、何とか実用化できそうなレベルに達してい

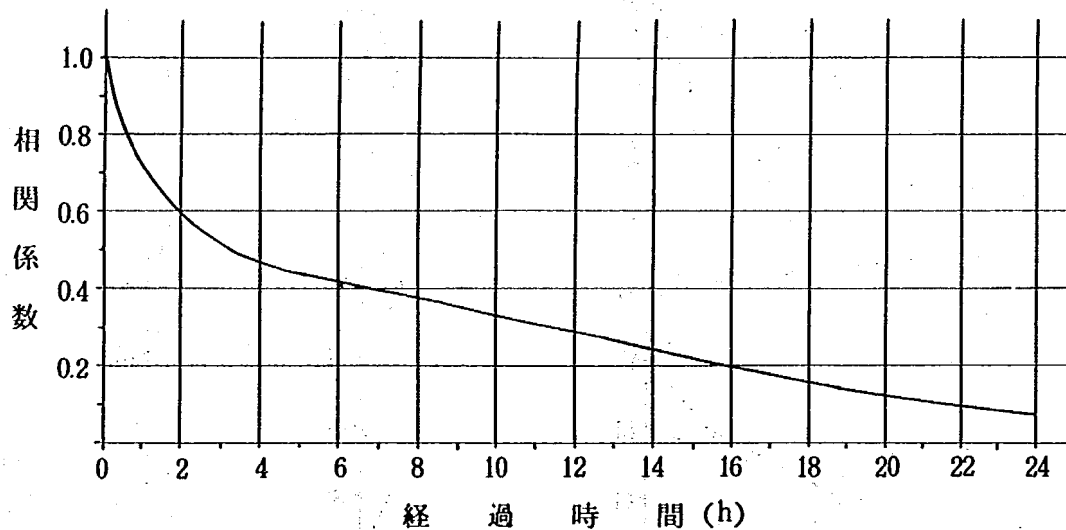




資圖 2 - 3 昭和 53 年のデータによる検証例

るとみられる。今後、実用化を進めるにあたって降雪の有無の判別関数を作成し、プログラムに組み込むことが精度向上のために有効であるとみられる。すでに3時間予測には判別関数を組み込んであり、かなり有効に作用している。このように判別関数の組み込みが有効である原因の一つに藤沢の地上気温がある。地上気温と降雪との関係を見ると、大体 $+2^{\circ}\text{C}$ あたりを境として以下なら雪、以上なら雨となる。しかし、気温が低下すれば降雪量が増加するという関係は存在しない。このため、判別関数の因子としてはかなり有効に働くのではないかと思われる。

蛇足であるが、短時間予測の可能性を探るため毎時間の降雪量の経過の自己相関を計算してみた(資図2-4)。使用したデータは12月14日からの10日間 $\times$ 24時間の240個の藤沢の降雪量観測値である。この表で経過時間0は同一観測値自身の相関で当然1.000となる。以下1時間後の降雪量、2時間後の降雪量との相関の順に続く。これによると、2時間での相関係数が0.6もあるということはこれに気温などの要素を加えるとある程度の精度で2時間予測式の作成が可能であることを示唆している。



資図2-4 降雪の自己相関