HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	簡易気象レーダーによる降雪の短時間予測実験（その1）：概要と予測の可能性
Author(s)	遊馬, 芳雄; 菊地, 勝弘; 今, 久
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 44, 35-51
Issue Date	1984-10-05
DOI	10.14943/gbhu.44.35
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14126
Type	bulletin (article)
File Information	44_p35-51.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
Vol. 44. October, 1984, p. 35−51.

簡易気象レーダーによる降雪の短時間予測実験（その1）
―― 概要と予測の可能性 ――

遊馬　芳雄・菊地　勝弘・今　　久*
北海道大学理学部地球物理学教室

（昭和59年6月13日受理）

Experiments for a Very-short-range Prediction of Snowfall Using a Simple Weather Radar System
Part 1. —— Outline and Possibility ——

By Yoshio ASUMA, Katsuhiro KIKUCHI and Hisashi KON*
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received June 13, 1984)

This paper intends to examine the possibility for a very-short-range prediction of snowfall using a simple weather radar system for the winter monsoon snowfall in Sapporo, Hokkaido, Japan. As a characteristic of snowfall in Sapporo area, monsoon snowfalls with northwest to north-northwest of the wind directions account for mostly in the winter precipitation. Therefore, it is an effective measure to watch the radar echoes over the Ishikari Bay located on the northwest side of Sapporo for a very-short-range prediction 1 to 2 hours prior to the beginning of snowfall in Sapporo. Over the Ishikari Bay, the radar echoes from precipitating snow clouds showed an increasing and decreasing tendency which were affected by the mountainous regions of Shakotan Peninsula at the west side and Shokanbetsu mountainous regions at the east side of the bay and were changed their advancing directions. So, it would be possible to predict the snowfall area in Sapporo to some extent if the watching a close survey of radar echoes over the bay during day and night was carried out. It is thought that the most suitable method of prediction from the view point of the acquisition time and computation time for radar echo data is a kinematic simple extrapolation of two suitable sequential radar echoes over the bay.

* 現在所属：千葉大学園芸学部園芸学科農業気象学講座

I. はじめに

雪国に住む人々にとって，降積雪が日常生活に与える影響は非常に大きい．それは，道路や鉄道などの交通機関の麻痺状態が招く，直接被害のほか，それに伴う間接被害が更に大きいことが予想されるからである．しかし，現在行われている降水予報は数 100 km×数 100 km の範囲内を対象としており，局地的な現象に対しては，ほとんど行われていない．北海道の全人口の約 1/4 が集中している札幌市に限ってみると，その市内域は，ほぼ 20 km×20 km であるが，冬期季節風による降雪は，非常に局地性が強く，僅か数 km 離れただけで，数 10 cm もの差があることがある．したがって，もし，これらの局地性の強い降雪に対しての短時間予測が可能であれば，降雪に対する事前の対策を立てることも可能であり，その波及効果ははかり知れないものとなろう．今日，世界各国で注目されている短時間予測は“Nowcasting”と呼ばれ (Browning, 1982)，多くの国で研究が進められている。

この論文では，それらが対象にしている領域，時間よりも，さらに狭い範囲の短時間予測を，簡易気象レーダーを用いて可能か否かを検討した結果を括めたものであり，具体的な例は次の論文（遊馬等，1984 b）で取扱っている．

II. 石狩平野の降積雪特性

北海道に大雪をもたらす時の総観場の特徴は，次の 4 つに大別される．

(1) 低気圧前面の流れによる降雪

(2) 低気圧後面の流れによる降雪

(3) 季節風卓越時の降雪

(4) 季節風末期の降雪

この中で，特に札幌を含む石狩平野に大雪をもたらすのは，季節風卓越時が圧倒的に多い．札幌管区気象台で 1970 年から 1981 年までの 10 冬期間で，日降雪量が 20 cm をこえた日の地上風の風向を見ると，その大部分は西から北にかけての第 2 象限で特に北西風の頻度が極端に多い（菊地等，1984）．一方，この季節風卓越時の石狩平野の降積雪の特徴は多かれ少なかれ帯状の分布を示すことである．そして，この方向は，850 mb の風向にほぼ平行であり，1 本の帯状降積雪域は幅約 5 km，長さ約 10 km 毎に多降雪のピークを持ち，さらに帯と帯との間隔が 6 ～10 km の分布をしていることがわかっている．季節風卓越時のこのような局地性の強い帯状の降積雪をもたらす降雪雲についての詳細な報告は，Higuchi (1963)，Magono et al. (1964)，Magono et al. (1966)，菊地等 (1973) になされており，降雪雲の構造にも，収束，発散場の形で対応している (Lee, 1973)．

降積雪分布の対象域を札幌市内域 (20 km×20 km) に限ると，この範囲の面積は，先に述べた 1 本の帯状降積雪域とほぼ同じ大きさにあたり，したがって，この帯状降積雪域をもたらす帯状降雪雲が，札幌市のどこにかかるかによって，数 km 離れただけで，数 10 cm もの降積雪量に差

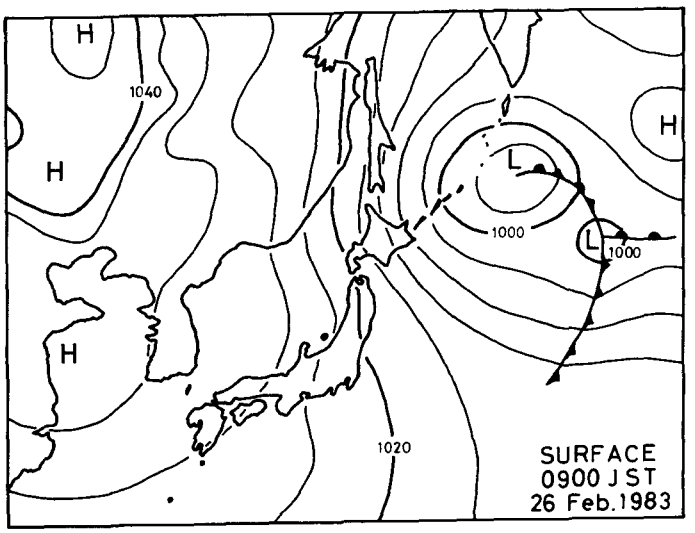


Fig. 1. Surface weather chart. 09 JST Feb. 26, 1983.

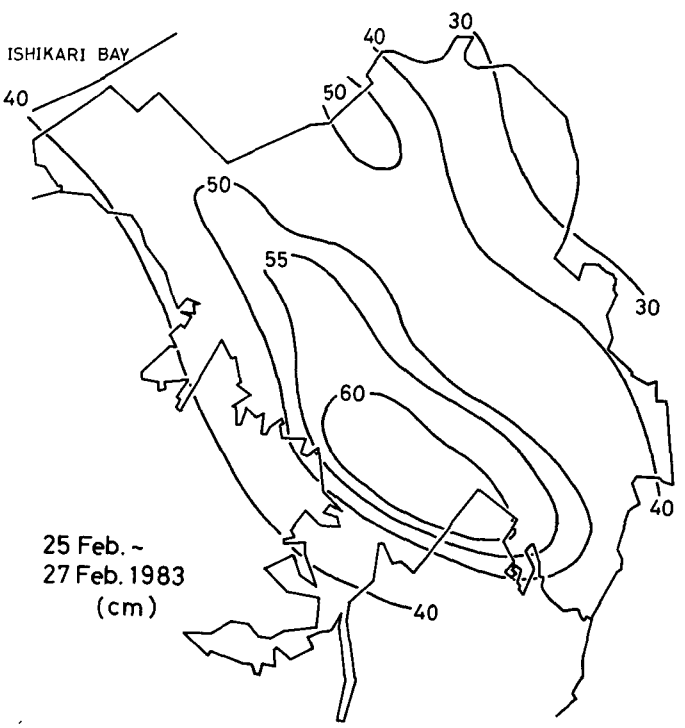


Fig. 2. 48 hrs snowfall amount (cm). 09 Feb. 25～09 Feb. 27, 1983.

がでることがあるのである．たとえば，最近の例では1983年2月26日未明から，2月27日にかけて，かなりの降雪が札幌市内域で観測された．この時の総観場は，Fig. 1に示したように，典型的な冬型の気圧配置であり，北海道付近は季節風が卓越していることがうかがえる．この時の降雪分布を知るために，札幌市内の適当な間隔にある小・中学校50校を選んで観測点として得られた積雪深の記録から（菊地等，1984），2月25日09時から27日09時までの48時間の降積雪深の分布図をFig. 2に示した．この図から，降積雪分布は，北西から南東への帯状の分布をしているのがわかる．Fig. 3で示した26日09時の気象衛星〝ひまわり〟の赤外写真でもこの様子がわかる．

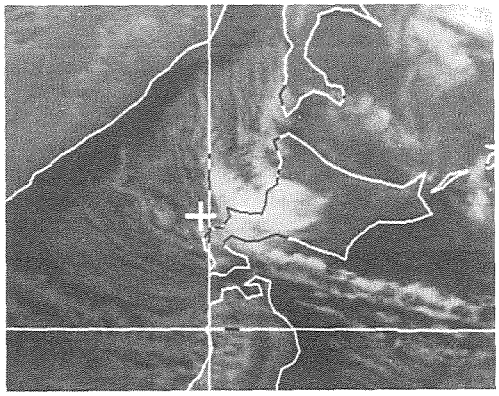


Fig. 3. GMS photograph (IR). 09 Feb. 26, 1983.

III．レーダーデータ

この研究に用いたレーダーデータは，札幌市の東部に位置する札幌市青少年科学館（北緯43度02分01秒，東経141度28分34秒）に設置された簡易気象レーダーのものを用いた．このレーダーの性能は，Table 1に示した通りである．実際の運用にあたって，−0.2°，0.4°，1.0°，2.0°の4つの仰角のデータが15分毎に収録されている．エコーは，直交座標軸になおして，1 km×1 kmのメッシュ毎に，雨のZ-R関係を使って，Table 1のように，0～6の7段階のグレースケールの値で磁気テープに収録されている．磁気テープに収録されたエコーは，プロセッサーに内蔵されたM. T. I.（Moving Target Indicator）処理によって，グラウンドエコーが除去されるので，画面上のエコーはすべて降水粒子からのエコーということになる．

Table 1. Quality of the Sapporo Science Center radar.

RADAR DATA (MT)

WAVE LENGTH	3.2 cm
RANGE	100 Km
TIME INTERVAL	15 min.
ELEVATION ANGLE	-0.2°,0.4°,1.0°,2.0°

M.T.I. ON
1 Km MESH
0-6 GRAY SCALE

0	< 1.8 mm/H
1	< 2.3 mm/H
2	< 3.0 mm/H
3	< 4.0 mm/H
4	< 8.0 mm/H
5	< 16.0 mm/H
6	> 16.0 mm/H

Fig. 4(a)は，このレーダーのカバーしている範囲を示している．この写真には，海岸線と札幌市の境界を間隔の狭い点線で示してある．レーダーの置かれている札幌市青少年科学館の位置は，写真ほぼ中央の十字の間隔の広い点線の交点である．今回、対象とした降雪は，季節風の卓越時のものであるので，札幌市の風上にあたるレーダー視野の1/4（Fig. 4(b)の北西部のハッチした100

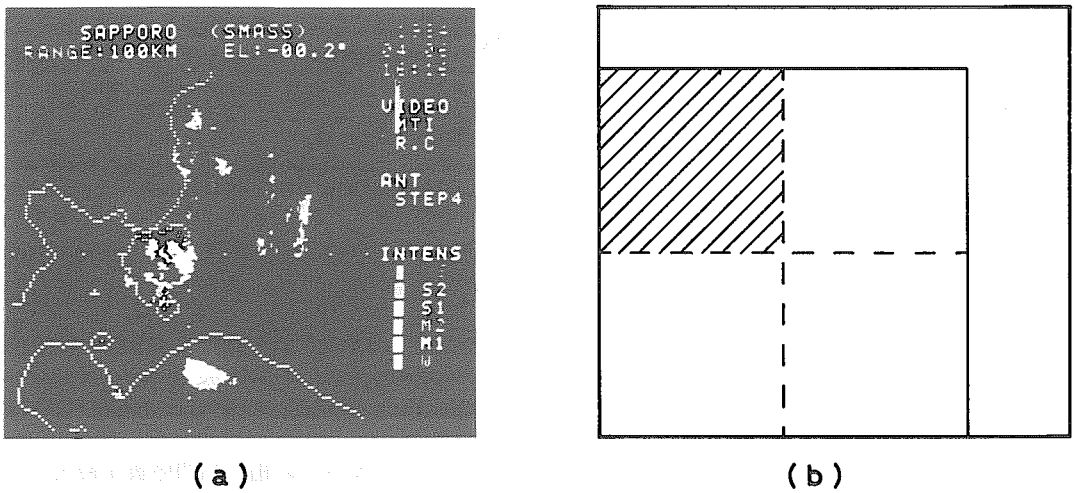


Fig. 4. A video-photograph of the radar coverage area of the Sapporo Science Center Radar (a) and analyzed area (b).

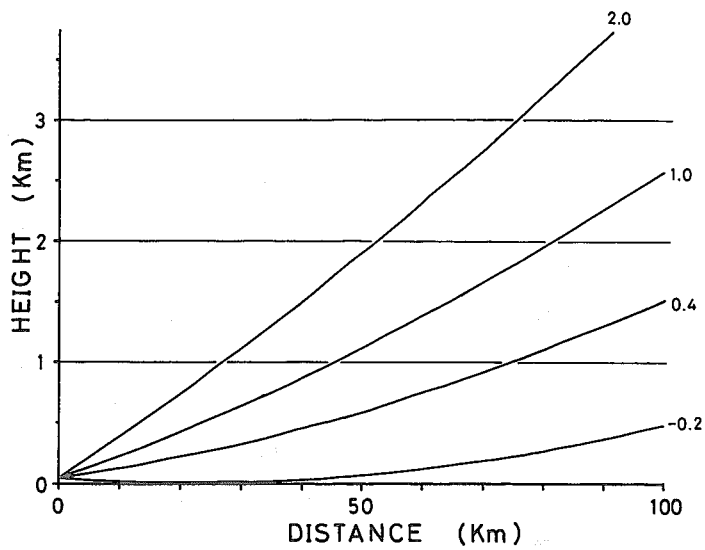


Fig. 5. Relation between height and distance by the different elevation angles of radar beam.

km×100 km の領域）のデータを用いた．この領域，及び，周囲の地形図は，遊馬等（1984 a）の Fig. 1 に示してある．先に示した各仰角に対するレーダービームの高さと距離の関係を Fig. 5 に示した．仰角−0.2°のエコーは，探知範囲内の最も高いところでも，地上 500 m 程度なので，ほとんど地表付近の降雪粒子を観測していると考えられるので，以後の解析には，仰角−0.2°で得られたエコーを用いた．

IV. 短時間予測の可能性

1983年の冬期間に収録されたデータを用いて，季節風卓越時の短時間予測の可能性を検討した．

1983年2月～3月のうちで札幌市内では日降雪深が20 cmをこえた日は，10日間であり，そのうち代表的であると思われる2月15, 16, 25, 26, 27日の5日間と，3月17日の計6日間の例について述べる．仰角－0.2°の15分毎に得られたレーダー画面ごとに，100 km×100 kmの対象領域内に含まれているグレースケールのレベル1以上のエコー面積（$km^2/10000km^2$）と，札幌管区気象台の10分間降水量の30分間の移動平均を行った降水量(mm/h)をFigs. 6, 7, 8, 9, 10, 11の上段と下段に示してある．また，図中に，03, 09, 15, 21時の高層観測で得られた850 mbの風向をその時刻の上に16方位で示してある．さらに，15分毎のエコーの相互相関係数が最大となる位置を求め，その位置から，エコーの動きを求める方法(遊馬等，1984 a)でエコーの移動速度(m/sec)，移動方向(deg)が求められたものに対しては，その結果をFigs. 12, 13, 14, 15, 16の上段と下段に示した．移動方向は風上を表わしており例えば270°というのは，エコーが，西から東へ進行してくることを示している．Fig. 11の3月17日の例に対しては，一日中ほとんど海上部分にエコーがあらわれなかったので，エコーの移動速度及び方向を求めることができなかった．

これらの図から，全体を通して言えることは，札幌市内域の中心部に近い札幌管区気象台に降雪のある場合には，その1～2時間前にエコー面積の増加がみられることが多い．しかし，1983年2月27日(Fig. 10)，3月17日(Fig. 11)のように，降水量とエコーの増加が必ずしも対応しないものもある．エコー面積のピークと降水量のピークとの間に，はっきりとした対応のみられる例としては，2月15日20時，22時(Fig. 6)，2月16日09時(Fig. 7)，2月26日02時30分(Fig. 9)のものがある．したがって，これらの例に関しては，ある程度の短時間予測は可能であろう．この時の850 mbの風向をみると，北から北西の場合が多く，既に述べたように，札幌市で観測される季節風時の風向と一致している．そして，Figs. 12～16で示したように，エコーの動きからも同様なことがいえる．エコーの移動方向と850 mbの風向と一致することは，従来からよく指摘されているように，季節風時に石狩平野に降雪をもたらす降雪雲の高度は，500～2000 m位で，ちょうど850 mbの風に対応するからである．このことは，短時間予測が実用化された際，レーダーエコーの成長，消滅が激しく，相互相関係数法で自動的にエコーの移動方向が決定できない場合や，手動で風向・風速のデータを入れる必要が生じた場合には，850 mbの値をそのまま使っても比較的妥当な結果が得られることを意味している．

さて，次に，エコー面積が大きいが，降雪がなかったか，あるいは，少なかった場合について考察してみよう．この例に相当するものとして，2月25日02時，05時30分、16時頃(Fig. 8)があげられる．この前後の風向をみると，西成分が卓越していることが多い．したがって，石狩湾上空のエコーは直接札幌市内域には進入せずに，もっと北の方に上陸したものと思われる．Figs. 14, 15に示した2月25日，26日の一連のエコーの動きに注目してみよう．Fig. 14に見られ

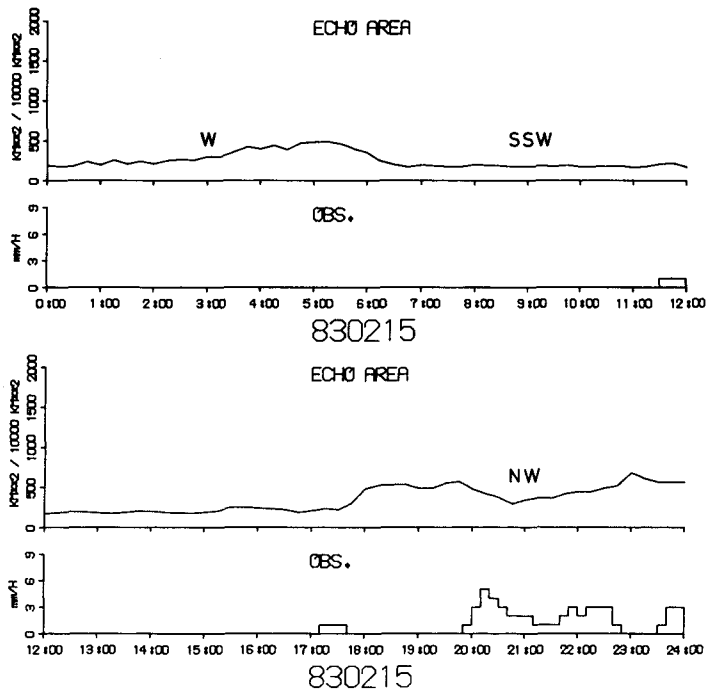


Fig. 6. Time variations of echo coverage area (upper) and precipitation intensity at the Sapporo District Meteorological Observatory (lower), Feb. 15, 1983.

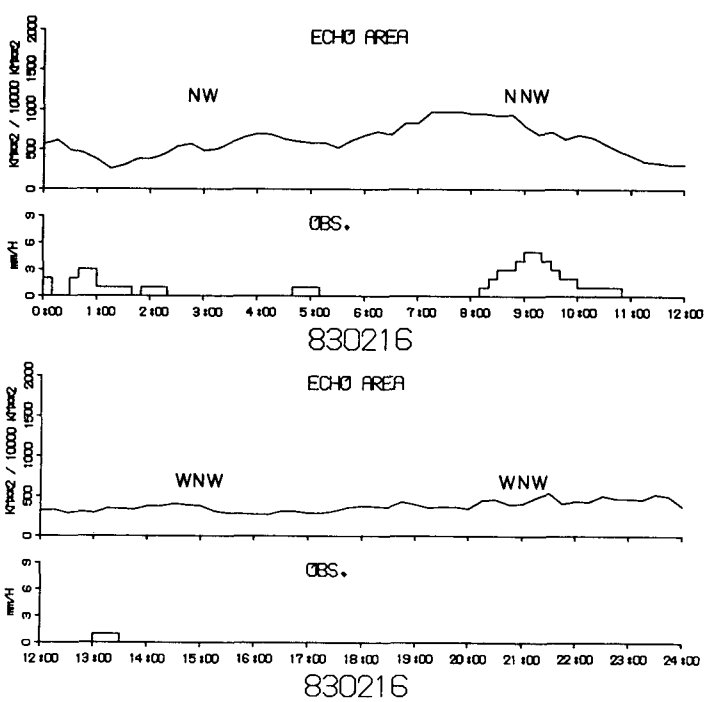


Fig. 7. Same as Fig. 6 except for Feb. 16, 1983.

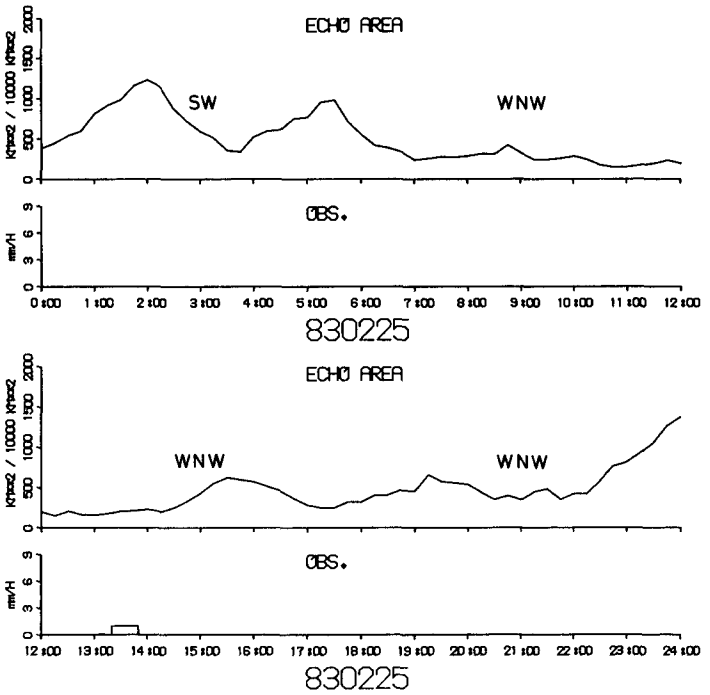


Fig. 8. Same as Fig. 6 except for Feb. 25, 1983.

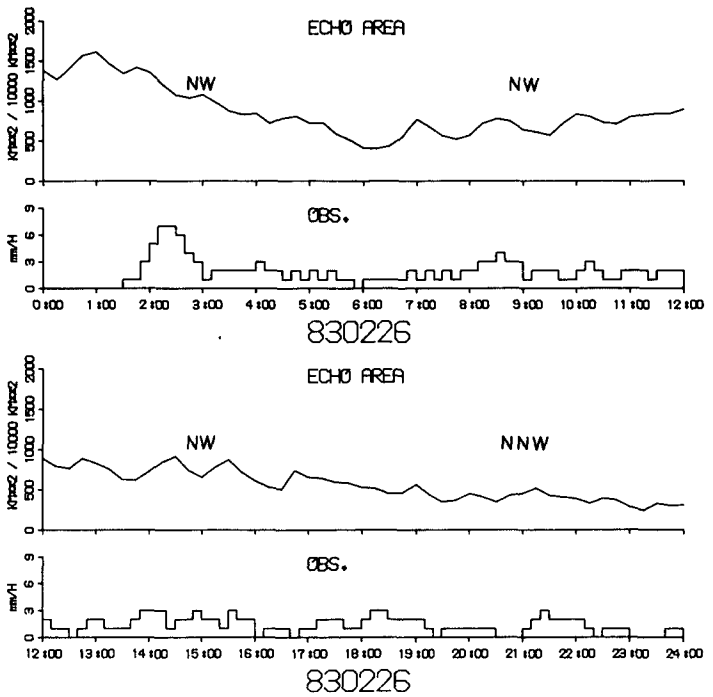


Fig. 9. Same as Fig. 6 except for Feb. 26, 1983.

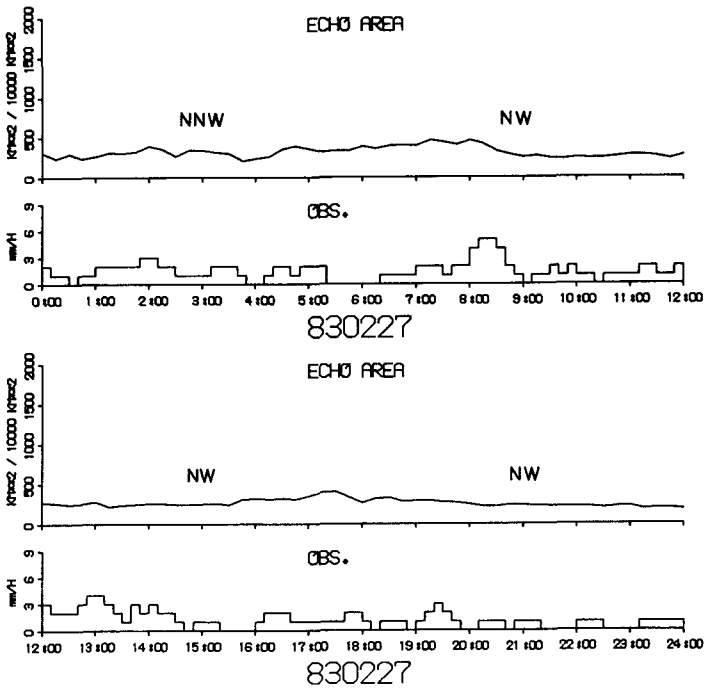
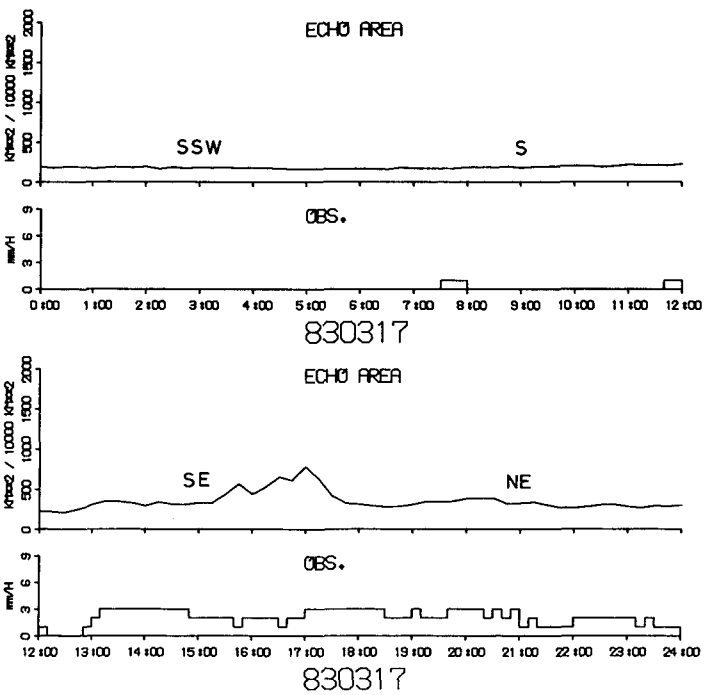


Fig. 10. Same as Fig. 6 except for Feb. 27, 1983.



Fig, 11. Same as Fig. 6 except for March 17, 1983.

るように，2月25日01時頃は，西南西からエコーが移動してきていたが，徐々に北寄りにその方向を変え，2月26日00時頃（Fig. 15）からは，北北西になり，それから，長時間にわたってこの方向から移動してくるエコーが持続し，札幌市内域に大雪をもたらした．このように，石狩湾上のエコー面積が増加し，かつ風向が北北西の時に札幌市内が大雪になる場合が多いので，大雪を予測するには石狩湾上のエコーおよびその移動方向を常時監視していればよいことになる．風向が北西から北北西になると，札幌市内に雪が降りやすくなる原因については，札幌の西側が，手稲山，積丹岳を含む山岳地帯が積丹半島まで続いていることが考えられ，菊地等（1975）が指摘しているように，帯状のレーダーエコーの走向が315°の時に札幌市内に大雪をもたらしやすいことを裏付けている．石狩湾の西側，積丹半島付近の降雪雲の動きを，知ることは，降雪の短期予測を行う上において，大変重要なことである（東根等，1983）．

最後に降雪があったにもかかわらず，エコー面積の増加がほとんど認められなかったケースについて考えてみる．このようなケースの場合は，レーダーエコーからの予測は非常に難しい．このケースに相当するものとして2月27日（Fig. 10）や3月17日（Fig. 11）の午後の場合がある．このときのレーダーエコーを見ると，石狩湾上にはほとんどエコーが存在していないにもかかわらず，市内には，かなりのエコーが常にみられた．そして，両日とも降水量は少ないが，長時間の降雪があったことがわかる．まず，2月27日の例では，高層データより，風向は，北北西あるいは北西であり，前日かなりの降雪があったので，この日もかなり降雪が予想されたが，石狩湾上ではエコーはほとんど確認されていない．この降雪は，前日の26日と同様、季節風で雪をもたらしていると思われるが，もし，得られたエコーに測定の誤りがないものとすると，石狩湾上では弱いエコー，あるいは降雪をもたらさないほどの雪雲が，地形的に収束させられて，長時間降雪をもたらせた可能性が考えられる．このような降雪を予測するには，地形的な風の場を知る必要があることはもちろんであるが，石狩湾上での弱いエコーを何とか検知しなければならない．Table 1に示したように，今回のレーダーのグレースケールの最小値は，雨のZ−R関係に換算して1.8 mm/hであるので，雪の場合は，更に大きく，3 mm/h程度の検知能力になると考えられる．したがって，このような弱い降水強度を検出するためには，グレースケールのレベルをもう少し下げる必要がある．または，このような研究のためにはグレースケールよりはむしろ直接，受信電力の強さ(dB)を用いるべきであろう．また，3月17日の例についても，エコーは市内にしか認められなかった．この降雪の場合は，南あるいは東成分を持った風であり，天気図から低気圧の前面への吹き込みによる降雪であったので，今回の対象外の降雪であった．このような降雪に対しては，将来検知すべき範囲を風向によって変える必要がでてこよう．

以上のように，季節風卓越時の降雪についてはある程度の予測ができるであろうことが示唆された．

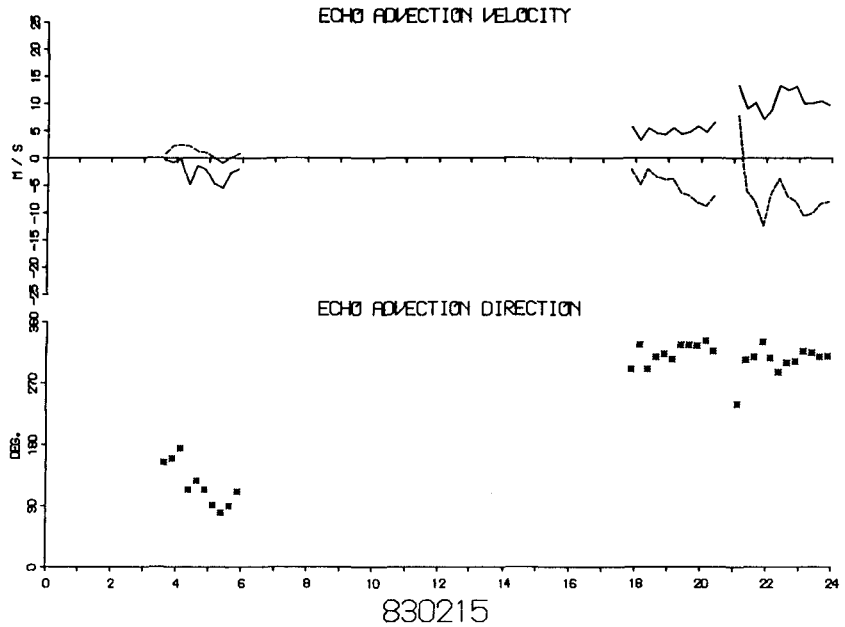


Fig. 12. Time variations of advection velocity (upper) and direction (lower), Feb. 15, 1983.

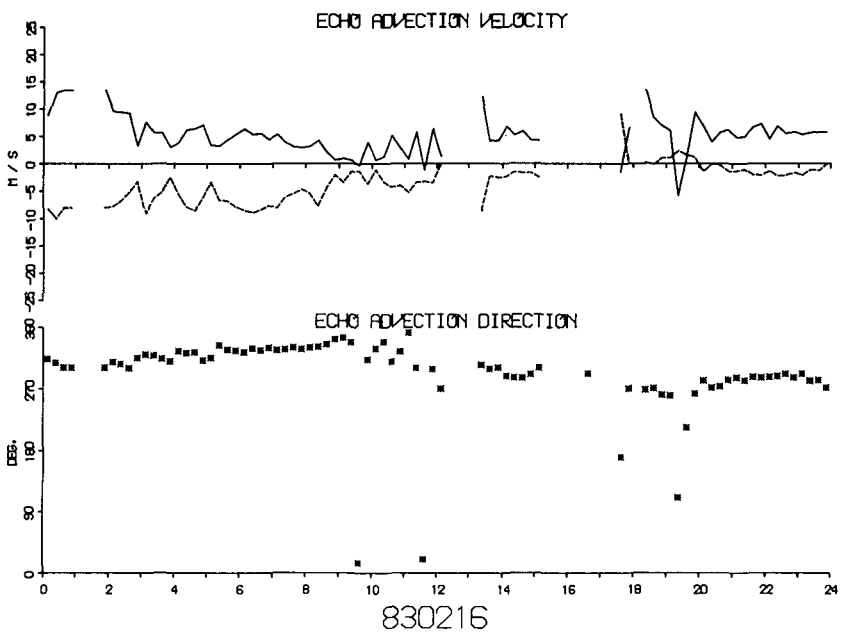


Fig. 13. Same as Fig. 12 except for Feb. 16, 1983.

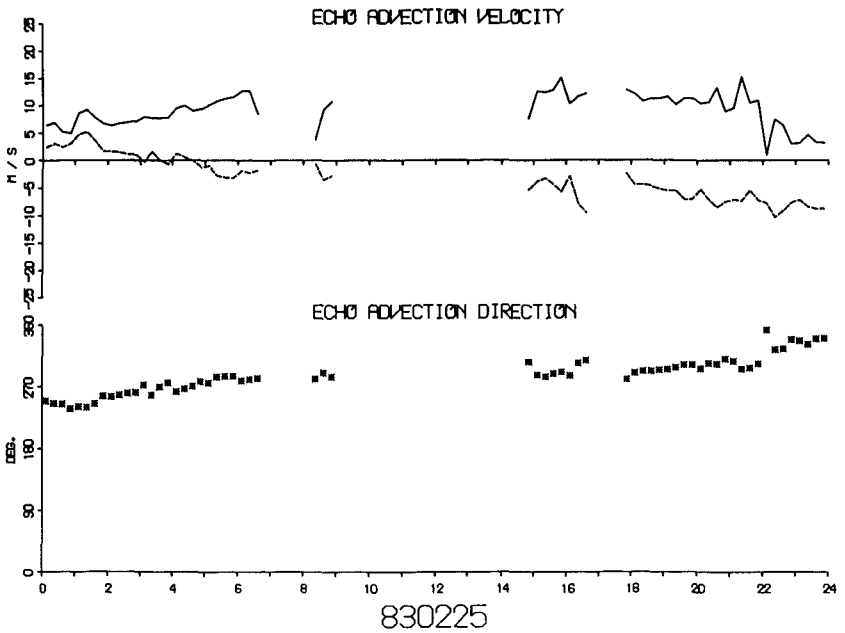


Fig. 14. Same as Fig. 12 except for Feb. 25, 1983.

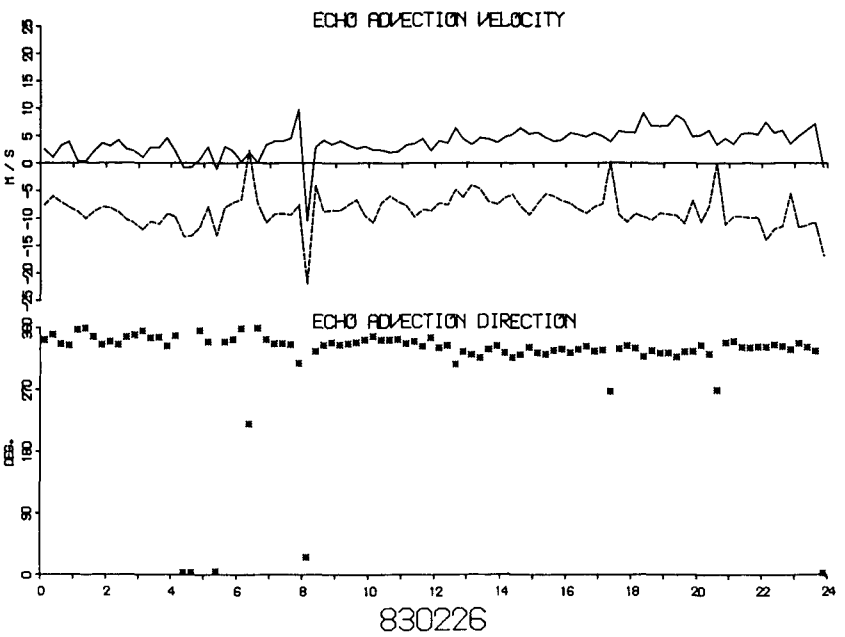


Fig. 15. Same as Fig. 12 except for Feb. 26, 1983.

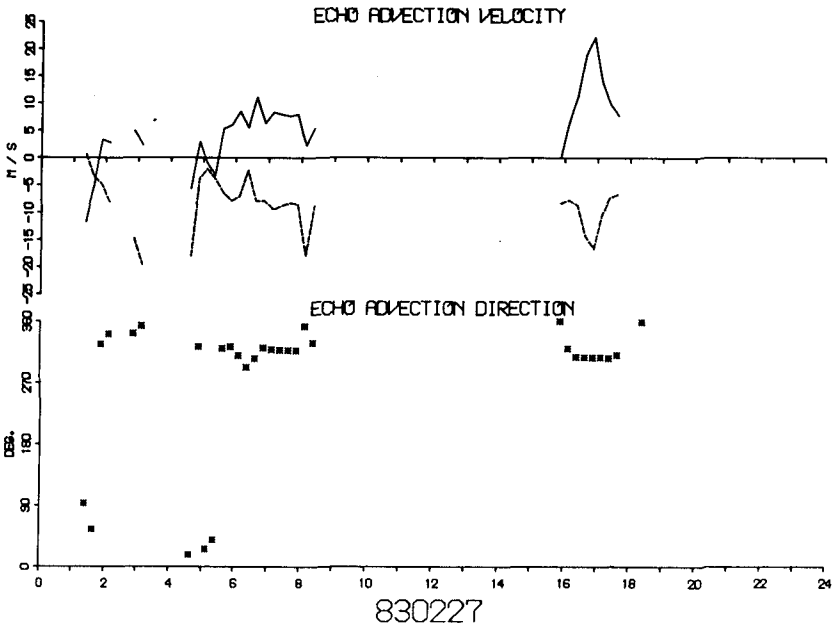


Fig. 16. Same as Fig. 12 except for Feb. 27, 1983.

V．予測の手法について

札幌市内域における季節風卓越時の降雪の短時間予測は，レーダーで，常時石狩湾上空及び，その周辺を監視することによって，ある程度可能であることが示唆されたので次に，その手法について考察する．

気象状態を予測する方法は大別すると２種類ある．１つは，大気現象を支配する物理法則を正確に記述し，現在の状態を初期条件として，解いてゆく物理学的な方法と，もう１つは，現在起っている現象をできるだけ正確に詳しく把握し，それを，時間的に外挿してゆく運動学的な方法である．前者の方法は，広範囲の観測網から，各地の気象学上必要な物理量（風向，風速，気圧，温度，湿度等）を用いて，物理的に予想される場を算出するものであり，すでに，各気象台を通して，半日あるいは，６時間程度の間隔で出されている．だが，この方法は各地のデーターを集め，結果を出すまでにかなりの時間を要し，１～数時間先といった短時間予測をするには不向きである．これに対し，後者は，リモートセンシングの技術が進歩した現在，気象衛星や，レーダーを通して，きめこまかい現在の状況が大量に入手できるようになったことから，最近急激に注目され始めてきた．そこで，現在われわれが考えている程度の狭い範囲で，しかも，１～数時間程度の予測であれば，現状の時間補外による予測でも，十分現実視される．例えば，今回のように降水状態の短時間予測を行うのであれば，レーダーによって得られた現在の降水状態の情報を時間的に補外して予測する．もちろん，補外の際には，初めは，単に移流による補外であって

も，将来的には，可能な限りの物理法則をとりいれた補外をすべきである．このような方法による予測が可能かどうかを検討するために，次のような簡単な試みを行った．

1982年2月26日02時50分から，05時30分までの5分毎のレーダー写真から札幌市内域に降雪をもたらしている領域のエコーに注目して，その変化を追跡した．すなわち，Fig. 17に示したようにエコーの移動方向に沿って，幅15 km，長さ53 kmの帯状の領域を考え，その帯をさらに移動方向に垂直に約2.4 km毎に切り，その各線分上にあるエコーの幅の時間変化を追跡した．その結果がFig. 18である．03時と04時頃に石狩湾上に大きなエコーが存在し，それがほぼ等速で札幌市内域上空に移動している様子がわかる．また，レーダー観測点に近づくにつれて，エコーは小さくなっているが，これは，石狩湾から平野部に上陸した後の降雪雲の消衰によるためと考えられる．

このように，1～数時間程度の予測であれば，レーダーデータを単純に補外することによって，また，必要に応じて補正等を加えることによって十分可能であることがわかった．具体的な手法と結果については，次の論文（遊馬等，1984 b）を参照されたい．

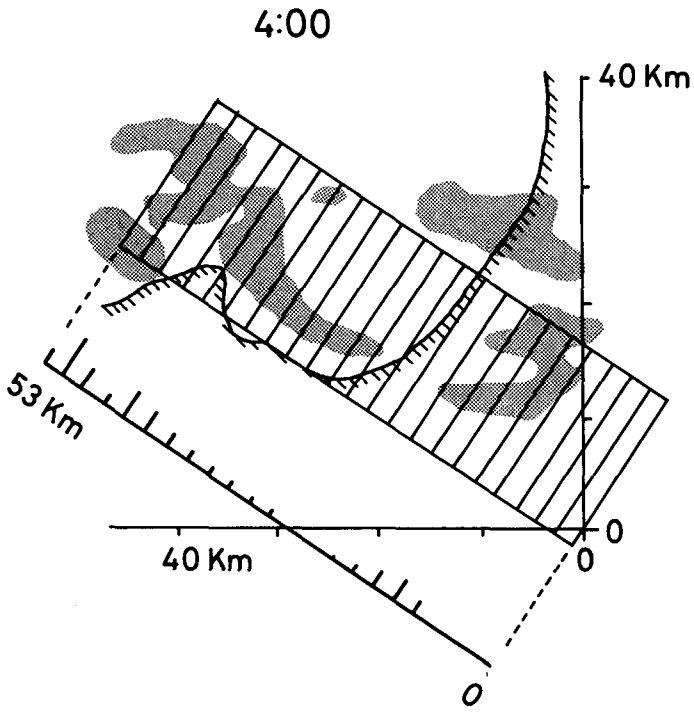


Fig. 17. An example of sketch and histograms of echo coverage area. 04 Feb. 26, 1983.

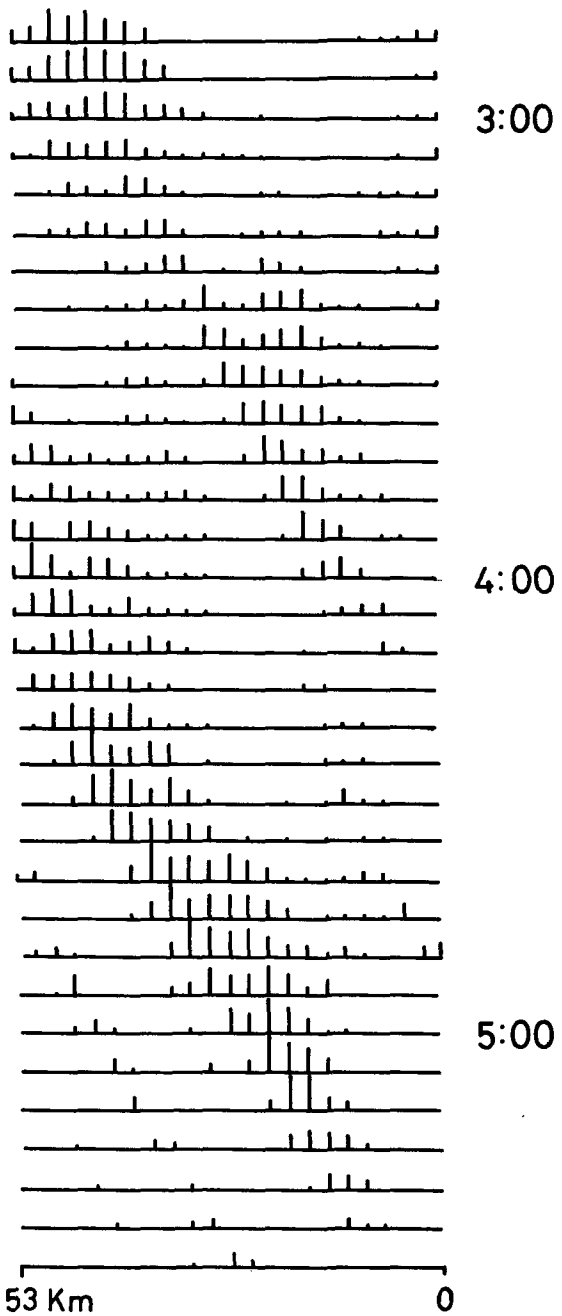


Fig. 18. Time variations of echo coverage area in each rectangle shown in Fig. 17 from 02:50 to 05:30 Feb. 26, 1983.

VI. お わ り に

札幌市青少年科学館の簡易気象レーダーを用いて，狭い範囲内の短時間降雪予測の可能性を検討した．本研究で対象にした降雪は，札幌市の季節風時の降雪である．その結果，札幌市内域に大雪をもたらすような場合には，1～2時間前に風上である石狩湾上のエコーの増加が認められ，さらに，エコーは北西～北北西の方向から移動してくることが確認された．したがって，石狩湾上，及び，その周辺のレーダーエコーを常時監視していれば，短時間降雪予測が可能であることがわかった．しかしながら，季節風卓越時の大雪でも降雪量が少ないが，長時間降り続く場合には，石狩湾上のエコーの増加が認められない例もあった．この原因として，石狩湾上で弱かった降雪が，地形的に収束させられて降雪をもたらした可能性も考えられ，この種の降雪をも予測の対象にするためには，データ収録の際，エコー検知の最小値をもう少し下げる必要のあることがわかった．

予測の手法としては，データの入手や計算時間を考慮して，観測された降雪の現況を，運動学的に単純に補外することで，ある程度実用的な予測ができるであろうことが示唆された．本研究で検討した結果をさらに発展させ，具体的な短時間予測実験は，次の論文（遊馬等，1984 b）を参照されたい．

謝辞　本研究に用いたレーダーデータは，全て札幌市青少年科学館レーダーのものであり，札幌市建設局土木部に感謝の意を表します．また，計算機の入出力，および適切な助言を与えて下さった北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻の藤井智史氏、降水量と高層データの提供をいただいた札幌管区気象台，降積雪深の観測に協力して下さった札幌市内の小，中学校に厚く感謝いたします．

文　　献

遊馬芳雄・菊地勝弘・今　久，1984 a．簡易気象レーダーによるエコーの移動速度について．北海道大学地球物理学研究報告，**44**，23－34．

遊馬芳雄・菊地勝弘・今　久・谷口恭，1984 b．簡易気象レーダーによる降雪の短時間予測実験（その2）―予測実験例―．北海道大学地球物理学研究報告，**44**，53－65．

東根聡・村上正隆・吉弘雅士・菊地勝弘・谷口恭・佐藤昇・遊馬芳雄，1983．石狩湾上の降雪雲のレーダー観測（SHAROP－Part1）．日本気象学会秋季大会講演予稿集，**44**，p. 229．

BROWNING, K. A. (ed.), 1982. Nowcasting. Academic Press, 256pp.

HIGUCHI, K. , 1963. The band structure of snowfalls. *J. Meteor. Soc. Japan*, **41**, 53-70.

菊地勝弘・播磨屋敏生・石川照高・足立俊三，1973．石狩平野における積雪分布の観測（II）．北海道大学地球物理学研究報告，**30**，1－14．

菊地勝弘・石川照高・七沢謙・由田建勝，1975．豪雪，台風，集中豪雨雪の防災計画モデルに関する研究．文部省科学研究費自然災害特別研究成果．No. A－50－8，77－111．

菊地勝弘・今　久・谷口恭・遊馬芳雄，1984．札幌市における最近10冬期間の降水の特徴．北海道大学地球物理学研究報告，**44**，1－21．

LEE, C. W, 1973. Analysis of mesoscale structure of snow clouds by stereoscopic treatment of radar pictures. *J. Meteor. Soc. Japan*, **51**, 273-282.

MAGONO, C. , K. KIKUCHI, S. LEE, T. ENDO and T. KASAI, 1964. An observation of snow crystals and their mother cloud. *J. Fac. Sci. , Hokkaido Univ. Ser. VII (Geophysics),* **2** , 123-148.

MAGONO, C. , K. KIKUCHI, T. KIMURA, S. TAZAWA and T. KASAI, 1965. A study on the snowfall in the winter monsoon seasons in Hokkaido with special reference to low land snowfall (Investigation of natural snow crystals VI). *J. Fac. Sci. , Hokkaido Univ. , Ser. VII (Geophysics),* **2** , 287-308.