



# 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2）：予測実験例
Author(s)	遊馬, 芳雄; ASUMA, Yoshio; 菊地, 勝弘 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 44, 53-65
Issue Date	1984-10-05
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.44.53">https://doi.org/10.14943/gbhu.44.53</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14127">https://hdl.handle.net/2115/14127</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	44_p53-65.pdf



## 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 ——

遊馬 芳雄・菊地 勝弘・今 久\*・谷口 恭

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 2. — Examples of Actual Prediction —**

By Yoshio ASUMA, Katsuhiko KIKUCHI,

Hisashi KON\* and Takashi TANIGUCHI

(Received June 13, 1984)

This paper describes examples of actual prediction by a definite and objective very-short-range prediction of snowfall using a simple weather radar system for the winter monsoon snowfall in Sapporo, Hokkaido, Japan. The prediction method used in this work is a simple linear extrapolation of two suitable sequential radar echoes over the Ishikari Bay.

In this case, the radar echoes over the bay alone were adopted for the calculation of advection velocity. Carrying out the extrapolation, two kinds of simple corrections were also considered. One of them is that of the growth rate of radar echoes, and other is a topographic correction by the mountainous regions of Shakotan Peninsula mainly. According to the C. S. I. (Critical Success Index) assessment, the very-short-range prediction of snowfall with these corrections in Sapporo showed higher a percentage of the C. S. I. than without them. Prediction patterns of snowfall with these corrections agreed with actual observations timely and spatially. It is concluded, therefore, that the very-short-range prediction 1 to 2 hours prior to the beginning of a snowfall and snowfall areas in Sapporo using a simple weather radar system is practical.

---

\*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

先の論文(遊馬等, 1984 b)では, 簡易気象レーダーを用いて, 札幌市内域(20 km×20 km)の特に関節風卓越時の降雪の短時間予測は, 降雪雲が進入してくる石狩湾上, 及び, その周辺を常時レーダーで監視し観測されたエコーの補外によってもある程度可能であることを述べた. このような1~6時間程度の短時間予測に関する研究は, 特に欧米諸国で盛んであり, カナダのAustinやBellonらが中心となっているSHARP (SHort-term Automated Radar Prediction), イギリスのBrowningが中心となっているFRONTIERS計画 (Forecasting Rain Optimized using New Techniques of Interactively Enhanced Radar and Satellite)がある. これらの詳しいことは, Browning(1982)にまとめられている. また, 我が国では, 立平・牧野(1974), Uyeda and Yagi (1983)等の研究がある.

短時間予測は, "Nowcasting"と呼ばれ, 予測の対象時間を数時間程度に絞っているため, 現況をすばやく認知して, 即座に予測結果を出さなければ, 予測としての価値がなくなる. その意味で, 短時間予測は, センサーであるレーダーや気象衛星と電子計算機が, 直接接続されていなくてはならず, 観測されたデータは, オンラインで必要な形に処理されなければならないし, また, 予測後の利用法も含めたトータルシステムとして短時間予測を考えなければならない. ここでは, 札幌市青少年科学館に設置された簡易気象レーダーのデータが, 1983年2, 3月の2ヵ月間磁気テープに収録されたので, それを用いて短時間予測の検討を行った. レーダー及びそのデータについては, 他の論文(遊馬等, 1984 a, b)を参照されたい.

この論文では, まず, 短時間予測の手順を示し, 次に予測例とその評価の結果について報告する. 短時間予測の定量的評価の方法としては, Bellon and Austin(1978), Browning et al. (1982), Uyeda and Yagi (1983)等が採用したC. S. I. (Critical Success Index)を用いた.

## II. 短時間予測実験のフローチャート

短時間予測実験を行うためのフローチャートをFig. 1に示した. 以下, 図中に示した番号に従って説明する.

(1) 磁気テープに収録されてある15分毎の2枚のレーダーエコー,  $R_1$ ,  $R_2$ を読み込む. エコーは, レーダーを中心に200km×200kmの範囲が得られるが, この研究では第1段階として冬期の季節風による降雪のみを対象としているので, レーダー観測点の風上にあたる北西部の100 km×100 kmの範囲のデータだけを用いた. また, 磁気テープに収録された4つの仰角のエコーのうち, 予測に用いるのは, 地表の降雪状態を観測していると考えられる仰角 $-0.2^\circ$ のエコーのみを用いた(遊馬等, 1984 b).

(2) エコー全体の移動速度を求める. この場合, 海上のエコーだけを用いて相互相関係数から求める方法を用いた(遊馬等, 1984 a).

(3) エコーの成長を考慮するか否かを判別させる. エコーを成長させない場合は(6)に進む.

(4) エコーの成長を考慮する場合は成長率を求める。すなわち、(1)で読み込んだデータの早い方のエコー ( $R_1$ ) を(2)で求めた移動速度で15分間進めて、( $R_1$ )のエコーを作り、( $R_2$ )とのエコーの差を求めることによって成長率 ( $\Delta R$ ) を決める ( $\Delta R = (R_2 - R_1) / 900 \text{ mm/h/sec}$ )。

(5) エコーの成長を求める。本来、ある時間後の降水強度の予測は、テーラー級数展開を利用して予測すべきであるが、収録されたエコーデータは、0～6までの7段階の降水強度で示されているため、量子化が粗すぎるのと、対象としている降雪雲が主として対流雲であるので、エコーが線型的な振舞いをしないことから、もっと直観的にエコーの成長を求めることにした。すなわち、降水強度 ( $R$ ) と、先に求めた成長率 ( $\Delta R$ ) の拡散方程式を連立させた。

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial t} = K_R \nabla^2 R + \Delta R \\ \frac{\partial (\Delta R)}{\partial t} = K_G \nabla^2 (\Delta R) \end{cases}$$

ここで用いた拡散係数は、それぞれ  $K_R = 500 \text{ m}^2/\text{sec}$ 、 $K_G = 1500 \text{ m}^2/\text{sec}$  とした。すなわち、成長率 ( $\Delta R$ ) の拡散の方を大きくしてある。この2つの拡散方程式を ( $R_2$ ) のエコーと、(4)で求めた ( $\Delta R$ ) を初期条件として解くことによって、観測されたエコーの15分間に成長した周囲の領域が成長することになる。この拡散方程式を差分式で書き直し、必要な時間まで解く。このようにして得られた結果は、エコー面積が拡がって、みかけ上現実のものに近くなるが、量子化が粗いためもあって、その大きさは、非常に大きくなり、非現実的なものになってしまう。そこで、大きさは無視して、グレースケールで1以上 (雨の  $Z-R$  関係で降水強度にして、 $1.8 \text{ mm/h}$  以上) の降雪のある部分だけを予報することにした。

(6) (5)の結果のエコー、あるいは、( $R_2$ )のエコーを(2)で求めた移動速度で、ラグランジュ的に移動させる。これは、オイラー的に移流させることに比べて、エコーの潜在的拡散を防ぎ、計算時間を短縮させることができる。また、(3)の判別にかかわらず、同じ方法でエコーを移流させることができる。

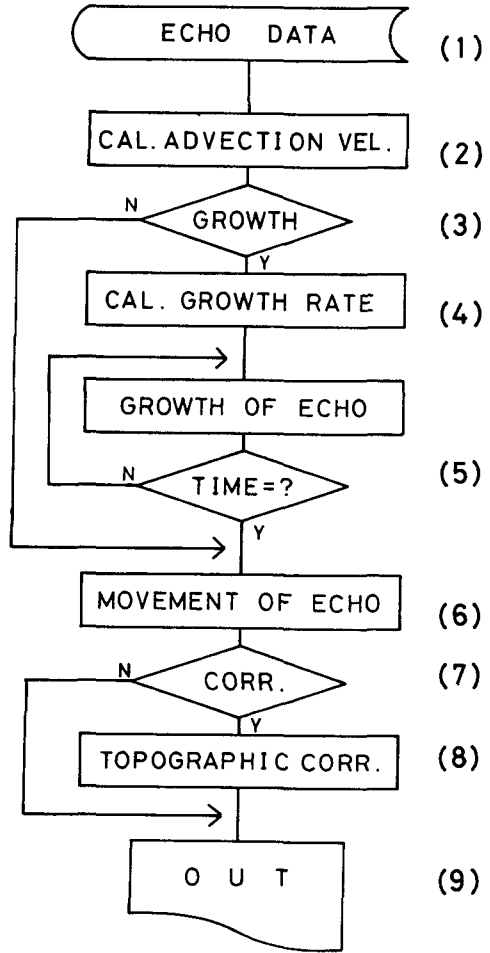


Fig. 1. A flow chart of the experiments of snowfall prediction.

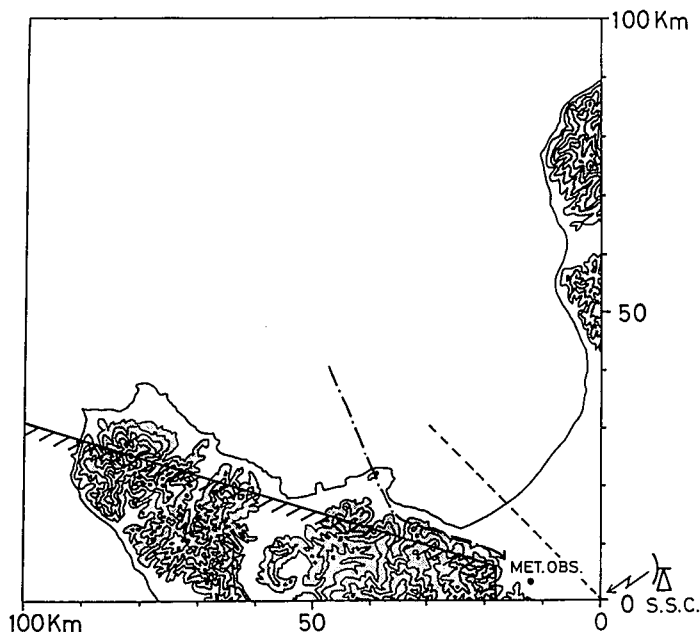


Fig. 2. Radar coverage area of the Sapporo Science Center radar and topographic correction by the Shakotan Peninsula.

(7) 地形的補正を行うかどうかを判別させ、行わなくてもよい場合は、(9)で結果を出力させる。

(8) 地形的補正が必要な場合は補正する。東根等(1983)が指摘しているように、積丹半島周辺部での降雪雲の振舞いは、地形による影響を大きく受け、半島に沿って進んでゆくことがしばしば観測される。また、Magono et al. (1964)も述べているように、Fig. 2のように、石狩平野は、西と北東の両側を山岳地帯にはさまれているので、季節風である北西風を収束させる効果がある。これらの効果を考慮して、予測したエコーが、Fig. 2の斜線を施した部分に進入した場合は、エコーを斜線の東側まで移動させる。しかし、この場合でも、破線より東側には移動しないようにした。したがって、エコーはFig. 2の一点鎖線の矢印のように、みかけ上移動するような補正を行う。このエコーの進行の地形的補正は暫定的なものであり、この領域の流れのパターンをさらに解析して、将来はより現実に近いエコーの移動をさせる必要がある。

(9) 結果を出力させる。この際、出力結果を必要に応じていろいろな形に加工する。例えば、エコーを積算することによって、降積雪予想域を出すことができる。しかし、この場合、既に述べたように、降積雪量を深さ(例えばcm)で直接出させるのではなく、グレースケールのレベル1以上の降雪のある範囲の時間的な積算量が求まることになる。

### III. 予 測 実 験

実際の予測は、レーダーデータが15分毎に収録されているので、15分毎に出すことができる。1983年2月26日から27日にかけて、札幌市内に大雪が降った。この大雪を26日01時47分と15分後の02時02分の2枚のエコーを用いて予測した例を Fig. 1 で示したフローチャートにそって説明する。

01時47分と02時02分のエコーを Fig. 3(a), (b)に示した。図中、点線は石狩湾を囲む海岸線を表し、右下の座標軸の原点は札幌市青少年科学館の位置である。エコーは、グレースケールのレベル1から3まで現れていて、それぞれのレベルは、雨の  $Z-R$  関係を用いて、1.8~2.3 mm/h, 2.3~3.0 mm/h, 3.0~4.0 mm/hの降水量を示している。この2枚のエコーの内、海上にあるエコーのみから、移動速度を求めると、東に3.6 m/sec, 南に8 m/secとなる。この移動速度を用いて、01時47分のエコーを15分間移動させ、02時02分のエコーとの差を求めることで、エコーの成長率を求めたのが Fig. 4 である。図中、黒い部分が成長した部分、影の部分が減衰した部分である。この図から、石狩湾の北西部で主として成長し北東部で減衰が多いことがわかる。これらを用いて予測を行った結

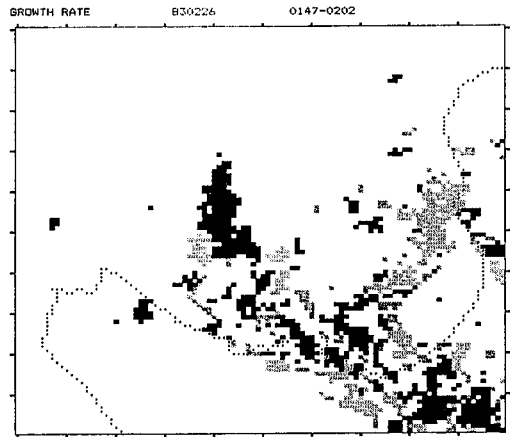
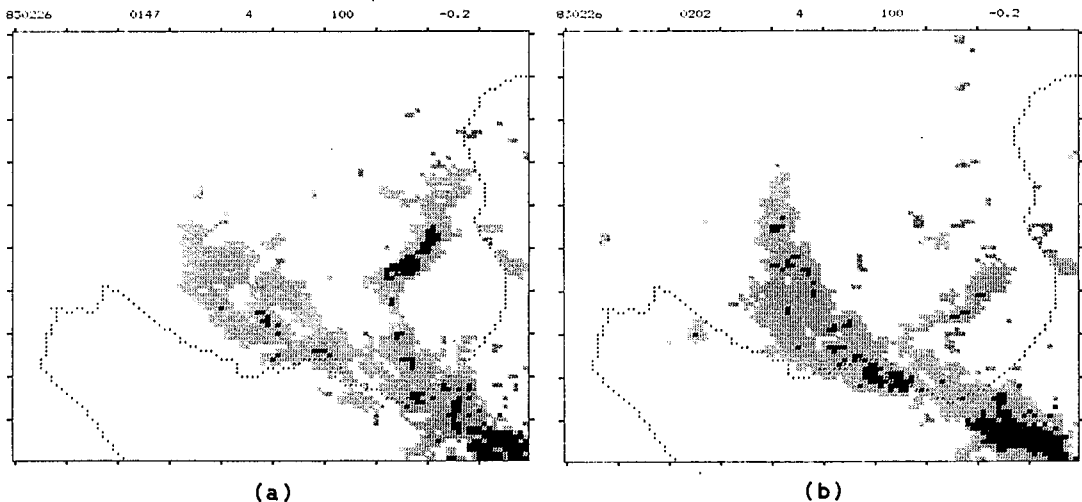


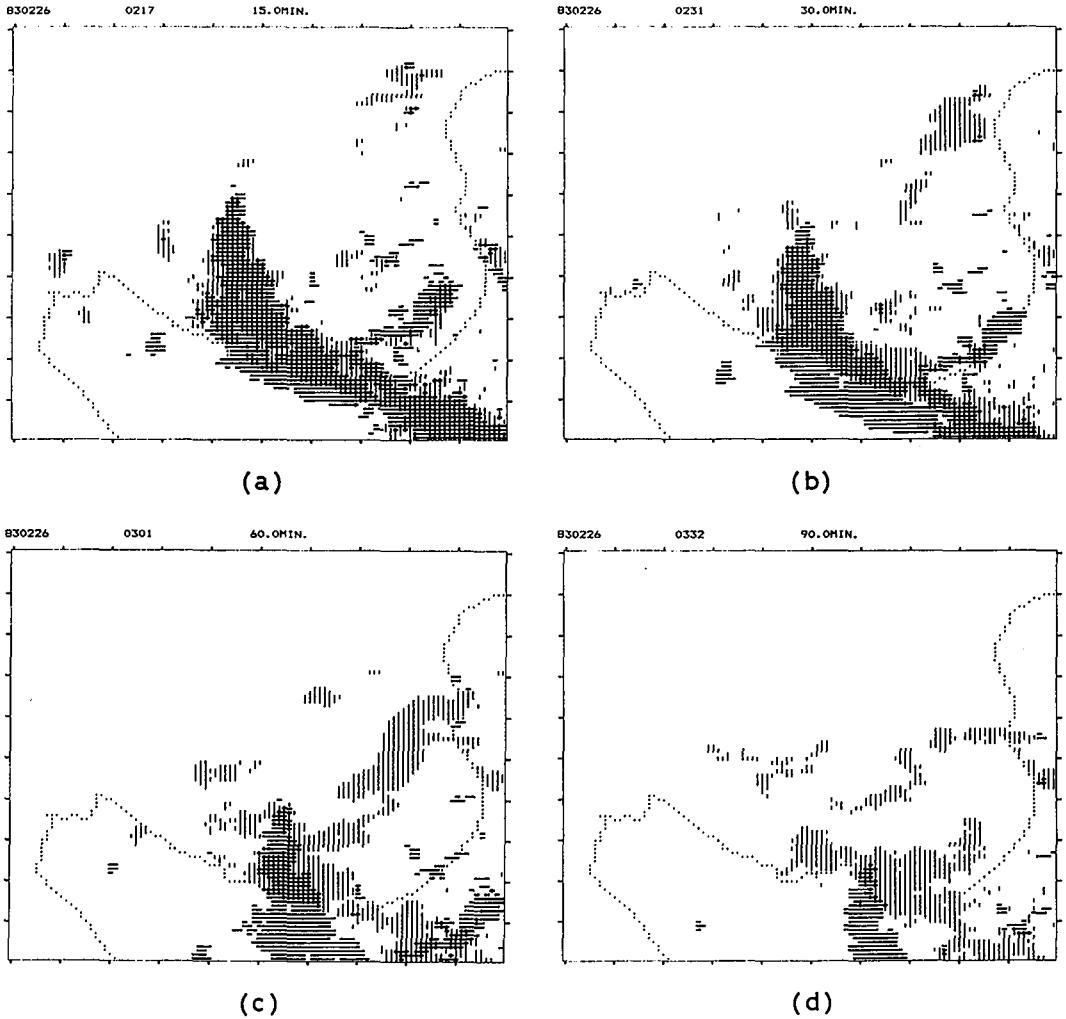
Fig. 4. Growth rate of radar echoes obtained from Fig. 3.



(a) (b)

Fig. 3. Radar echo distributions on Feb. 26, 1983.

(a) 01 : 47, (b) 02 : 02.



**Fig. 5.** Examples of the experiments of snowfall prediction without growth rate and topographic corrections on Feb. 26, 1983.

(a) after 15 min, (b) after 30 min, (c) after 60 min, and (d) after 90 min.

果が, Figs. 5, 6 である。Fig. 5 は, エコーの成長および地形の補正を行わなかった場合で, それぞれ, (a) 15 分後, (b) 30 分後, (c) 60 分後, (d) 90 分後を示している。図中, 予測エコーは, 横縞と格子縞の部分であり, 実際に, その時間に観測されたエコーは, 縦縞と格子縞の部分である。したがって, 格子縞の部分は予測と観測が一致して的中した部分である。そして, 横縞の部分は空振りの部分で, 縦縞の部分は見逃しの部分ということになる。予測エコーは成長も地形補正も考慮していないので, Fig. 3 (b) の 02 時 02 分のエコーが形を変えずに移動したものである。

次に, エコーの成長および地形補正を考慮して予測を行ったのが Fig. 6 で(a), (b), (c), (d) はそれぞれ 15, 30, 60, 90 分後を示している。エコーは成長あるいは減衰しながら進行してゆき, 積丹半島の山岳部をさけて, 石狩平野に進入している。Fig. 5 に比べると明らかに予測エコーと実際

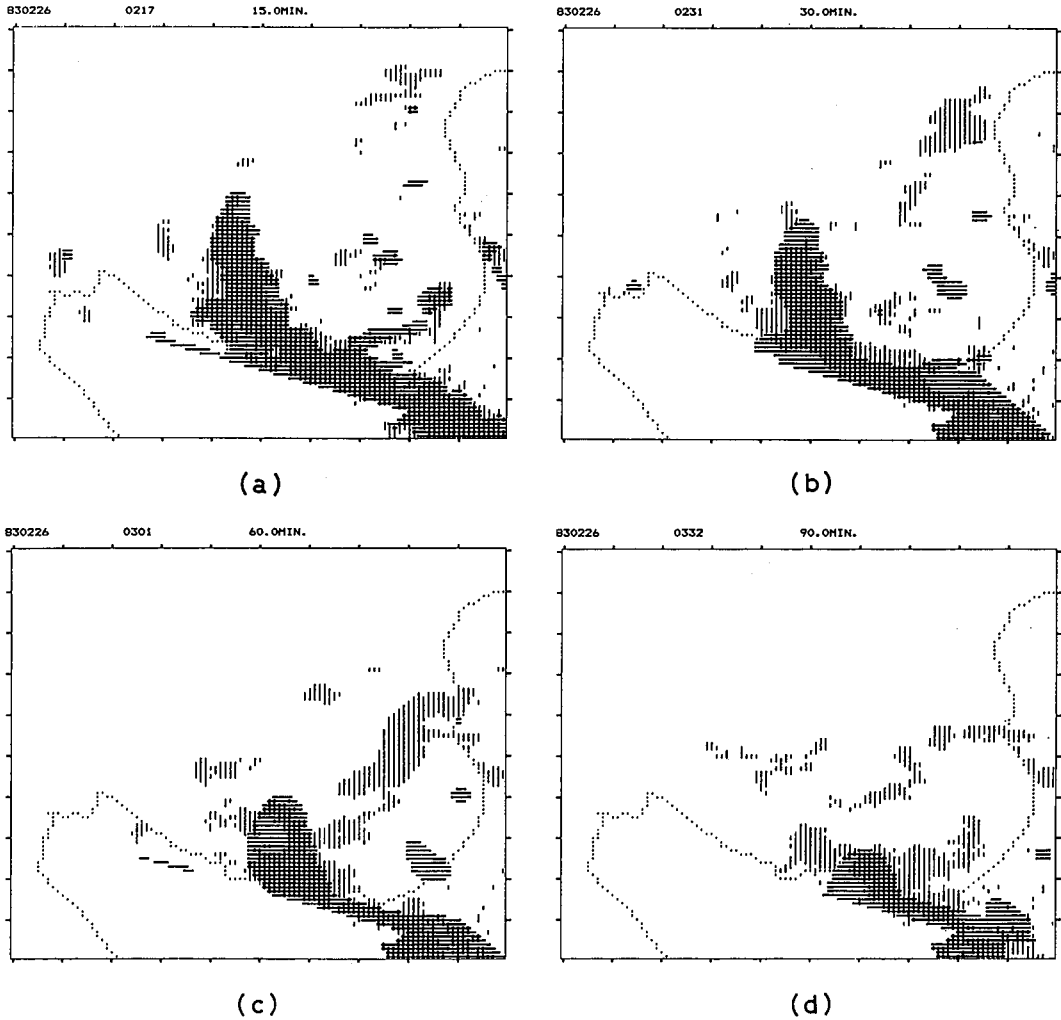


Fig. 6. Examples of the experiments of snowfall prediction with growth rate and topographic corrections on Feb. 26, 1983.

(a) after 15 min, (b) after 30 min, (c) after 60 min, and (d) after 90 min.

のエコーの一致した部分（格子縞の部分）が多くなっていることがわかる。これを数量的に評価するために、よく用いられている C. S. I. ( Critical Success Index ) で表すと、

$$C. S. I. = \frac{\text{(的中面積)}}{\text{(的中面積)} + \text{(空振り面積)} + \text{(見逃し面積)}} \times 100$$

で与えられる。Figs. 5, 6 で説明すると、格子縞と横縞と縦縞の部分の面積を分母にとり、格子縞の部分をも分子にとって 100 倍してパーセントで表したものである。その結果を Fig. 7 に示した。図の縦軸は C. S. I. の評価を、横軸は、予測時間を分で表している。図中の実線、点線、破線、一点鎖線は、成長の有無、地形補正の有無をそれぞれ図中上部に○、×で表している。図から明らかのように、全ての場合において予測時間が長くなると、C. S. I. の評価は落ちるが、成長も地形補

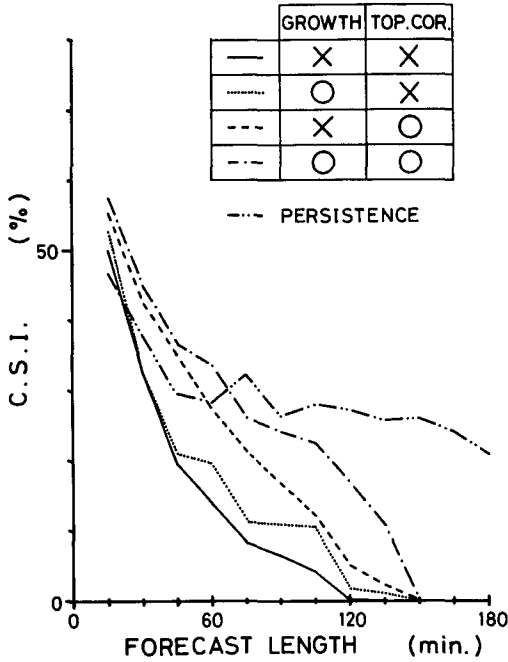


Fig. 7. Changes on the forecast length of the Critical Success Index (C. S. I.) in the case of snowfall on 02 : 02 Feb. 26, 1983.

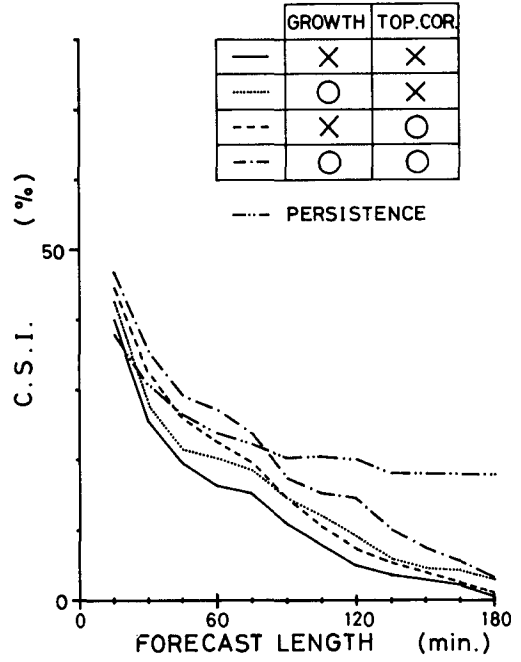


Fig. 8. Same as Fig. 7 except for 23 : 00 Feb. 25~02 : 00 Feb. 26, 1983.

正もともに考慮しない場合(実線)が最も悪く、成長だけを考慮した場合(点線)、地形補正だけの場合(破線)、成長も地形補正も考慮した場合(一点鎖線)の順に評価が良くなっていることがわかる。また、図中の2点鎖線は、02時02分のエコーとそれぞれの時刻のエコーのC.S.I.をとったものである。予測時間が長くなると、C.S.I.の評価が他のものに比べて良くなっているが、これは、エコーが偶然重なったり、また、地形の影響等で、定常的に存在するエコーと重なって、みかけ上評価を高くしているだけのことである。さらに、C.S.I.の評価を平均化してみるために、エコーの多かった25日23時から26日05時までの15分毎の24回の予測実験に対するC.S.I.の評価の平均をFig.8に示した。この結果もFig.7と同様に、成長と地形補正を考慮した方(一点鎖線)がC.S.I.の評価が高いことが分る。したがって、これ以降は、全てについて、エコーの成長と地形補正を考慮して議論を進めることにする。

Fig.9は、札幌市内域におけるエコーを時間的に積分した結果を示している。図中(a)は、01時47分と02時02分のエコーを用いて予測した1時間後の02時02分から03時02分までの積算であり、(b)は、1~2時間後の03時02分から04時02分まで、(c)は、2~3時間後の04時02分から05時02分まで、(d)は、3時間全体の積算である。図中の数字は、それぞれの時間帯の内、何割の時間、グレースケールにして、レベル1以上の降雪があったかを示している。この予測によると、今後、2時間後の04時頃まで、主に札幌市内南西部に降雪があるが、その後は、徐々に弱くなっていくことを示している。

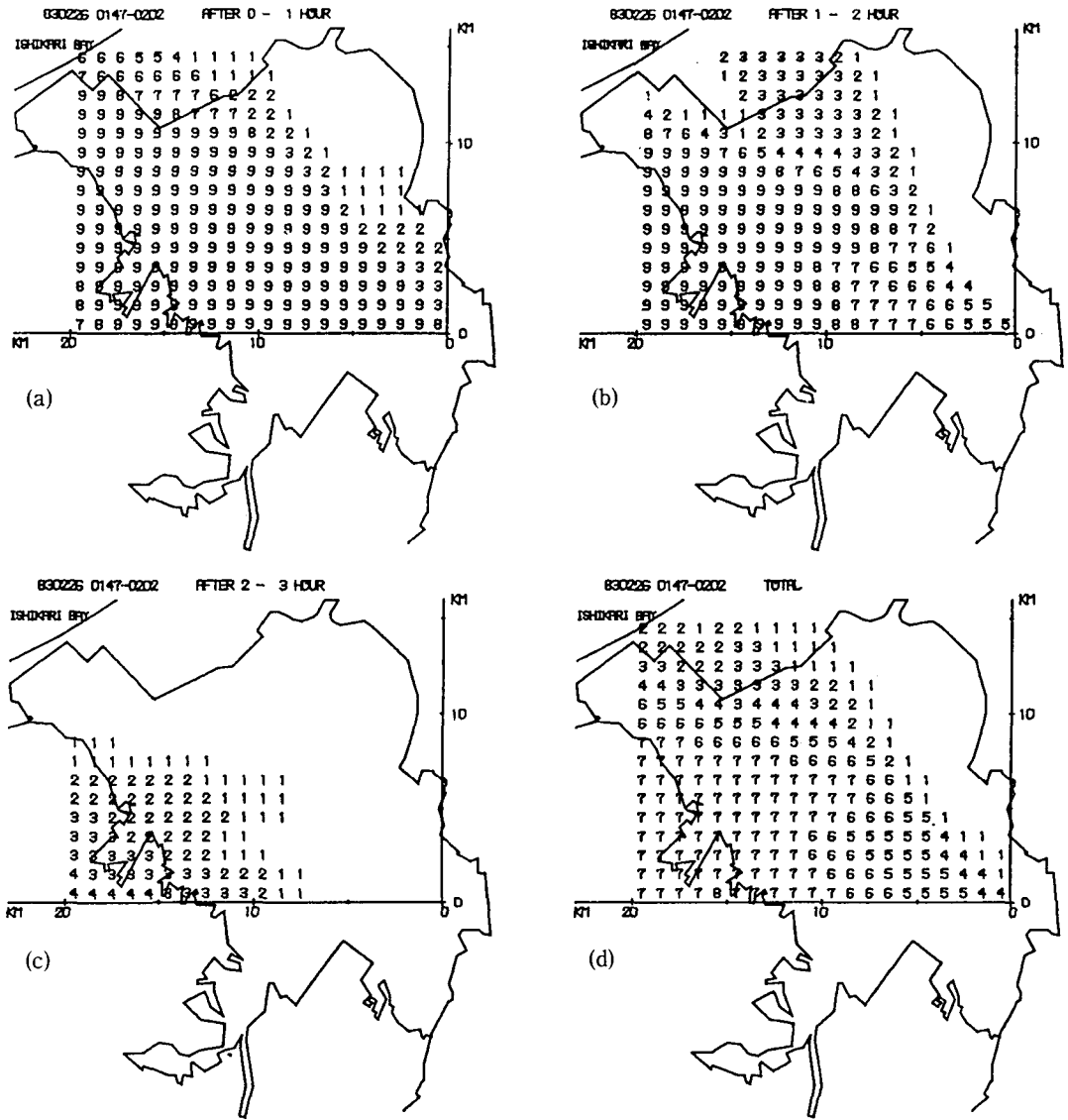
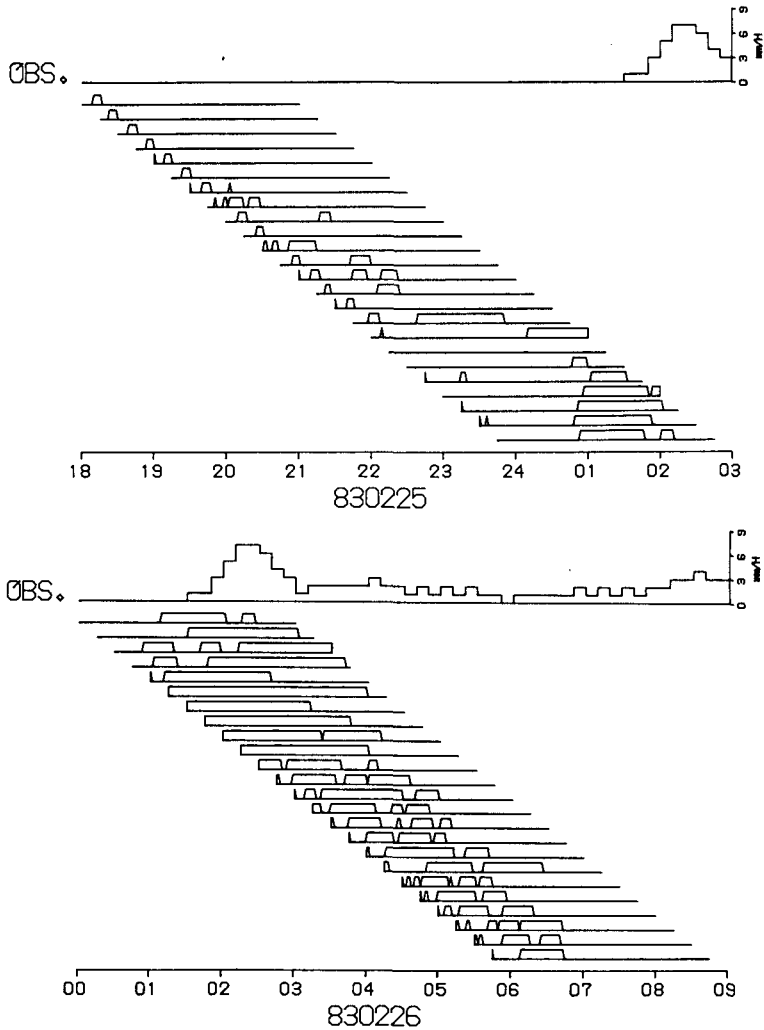


Fig. 9. Percentages of snowfall duration ( $\times 10$ ) calculated by the rader echoes of Fig. 3. (a) after 0~1 hour, (b) after 1~2 hours, (c) after 2~3 hours, and (d) total of 3 hours.

次に、Fig. 2 で MET. OBS. で示した札幌管区気象台の上空を予測して、2月25日18時から26日09時までの降水量のデータと比較したのが、Fig. 10である。図中、OBS. と書いてあるグラフが気象台での実際の降水量である。降水量は、10分ごとに記録されているので、30分ごとに移動平均を求めてグラフに示した。その下に書かれてある線が、15分毎に降雪の有無を予測した図である。この予測によると、2月26日01時頃から雪が降ると予測している。気象台の観測では、01時過ぎからかなりの雪が降っているので、降雪の始まる時間をほぼ予測できたといってよい。

最後に、実際の降雪量と予測との比較を試みてみる。Fig. 11は、札幌市内域52校の小・中学校



**Fig. 10.** Time changes of precipitation at the Sapporo District Meteorological Observatory (histograms) and prediction of snowfall at Sapporo from 18 : 00 Feb. 25 to 09 : 00 Feb. 26, 1983.

の協力を得て観測された積雪深の記録をもとに画いた新積雪深である。すなわち、2月26日09時の観測値から、2月25日09時の観測値を差引いた値の等値線を引いたものである。この図から、新積雪深は、市の南西部で30 cm以上と多く、北東部で10 cm以下と少なくなる傾向が現れており、また、その分布が帯状をしていることがわかる。Fig. 10の降水量の観測記録からもわかるように、この降雪は、実際には、2月26日01時頃から降り始めたものであるから、予測では2月26日00時から09時までの予測を積算して表した。その図がFig. 12である。図中の数字は、Fig. 9と同様、予測した9時間内の降雪時間の割合を示している。降雪の時間と新積雪深は直接には比較できないが、Fig. 12のパターンは、新積雪域の軸はやや傾いてはいるが、南西部で多く、北東部で少ないといった傾向をよく表現していると思われる。

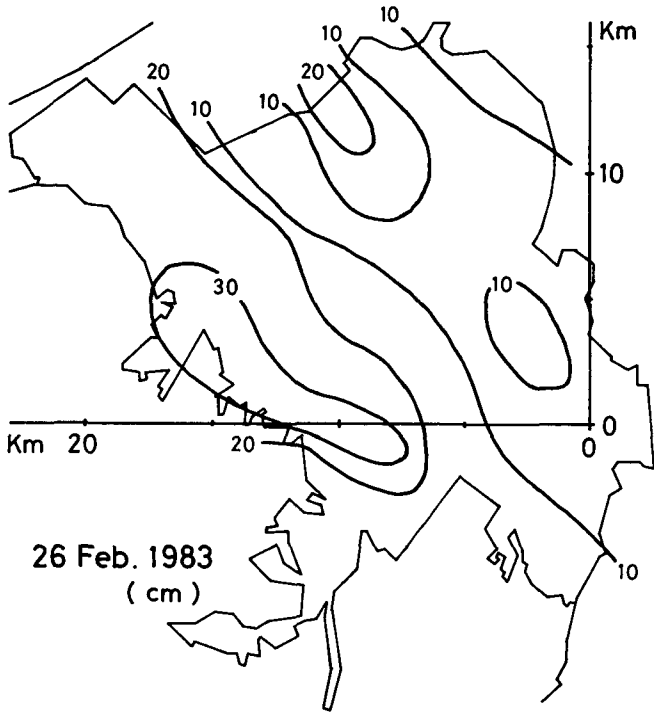


Fig. 11. A distribution of fresh snow cover from 09 : 00 Feb. 25 to 09 : 00 Feb. 26, 1983.

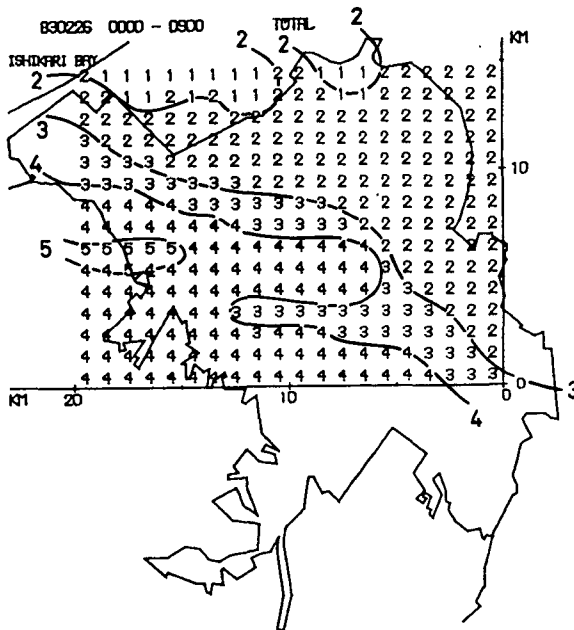


Fig. 12. A distribution of percent (x10) of snowfall duration by the prediction.

#### IV. お わ り に

簡易気象レーダーを使った札幌市内域の冬期間の降雪の短時間予測について報告した。レーダーの探知範囲が100 kmであること、およびエコーの移動速度が10 m/s程度であることから、1～2時間程度の子測は可能であると思われる。子測の手法としては、レーダーエコーの単純補外で行い、エコーの成長や減衰、エコーの動きに対する地形の補正を考慮した方が、評価の高い子測ができることがわかった。しかし、今後解決しなければならない問題もいくつか出てきた。それらは、

- ① 降雪強度とレーダーエコー強度との対応、すなわち、雪に対してできるだけ正確な  $Z-R$  関係を定めること。
- ② 石狩湾付近の風の流れの場を正確に掴み、地形的な収束・発散をも含めたエコーの動きに対する地形補正をもっと正確に行うこと。
- ③ エコーの成長・減衰を単純に拡散方程式を連立させることで代用させたが、もっと物理的な方法に置き換えなくてはならない。しかし、完全な方程式系を解くことは、データ入手、演算速度を考え、1～2時間程度の子測に利用するのは現段階では難しいであろうから、大まかな大気状態（高層観測からの気温、湿度、風向、風速の垂直プロファイル、あるいは、気圧配置等）をパラメータ化して、エコーの成長・減衰に利用することなどがあげられる。

これらの問題を解決するためには、降雪現象の振舞いについての情報をさらに得なければならない。特に、レーダーや気象衛星をとおしての降雪現象の理解を高める必要がある。例えば、López et al. (1984)で行っているような南フロリダでのレーダーをとおしての積雲の系統的な分類のような“Radar Climatology”と呼ばれるデータ解析も必要であろう。このような解析は、現在データが蓄積され、進行中であるので、今後の研究成果に期待したい。

最後に、本研究のような、理学的研究（気象学）と工学的研究（情報工学・都市環境工学・土木工学）の接点となる研究は、社会が複雑化してゆく将来、益々増え続けることであろう。その意味で降雪の子測を行う初期の計画の段階から、子測後の利用方法、例えば、効率的除雪体制の確立、交通情報の適確性や迅速性等、拡張性を考慮したシステムをデザインする必要がある。これ等が確立されれば、利用価値は格段に上がるものと期待される。

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、及び、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、降水量の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, 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1）—概要と予測の可能性—, 北海道大学地球物理学研究報告, **44**, 35-51.
- 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-Part 1), 日本気象学会秋季大会講演予稿集, **44**, p. 229.
- BELLON, A. and G. L. AUSTIN, 1978. The evaluation of two years of real-time operation of a short-term precipitation forecasting procedure (SHARP). *J. Appl. Meteor.*, **17**, 1778-1787.
- BROWNING, K. A. (ed.), 1982. Nowcasting. Academic Press, 256pp.
- BROWING, K. A., C. G. COLLIER, P. R. LARKE, P. MENMUIR, G. A. Monk and R. G. Owens, 1982. On the forecasting of frontal rain using a weather radar network. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 534-552.
- LÓPEZ, R., D. O. BLANCHARD, D. ROSENFELD, W. L. HISCOX and H. J. CASEY, 1984. Population characteristics, development processes and structure of radar echoes in South Florida. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 56-75.
- 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.
- 立平良三・牧野義久, 1974. デジタル化されたエコーパターンの子報への利用. 研究時報, **26**, 188-199.
- UYEDA, H. and T. YAGI, 1983. Evaluation of upper winds as a translation vector for the short-term forecast of precipitation echoes. *Rep. Nat. Res. Cen. Disaster. Prev.*, **30**, 1-24.