



Title	簡易気象レーダーによる降積雪量の見積について
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, 52, 55-64
Issue Date	1989-09-14
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.52.55
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14203
Type	departmental bulletin paper
File Information	52_p55-64.pdf



簡易気象レーダーによる降積雪量の見積について

遊馬 芳雄・菊地 勝弘

北海道大学理学部地球物理学教室

(1989年5月10日受理)

A Method for Estimation of Fresh Snow Cover Using a Simple Weather Radar System

Yoshio ASUMA and Katsuhiro KIKUCHI

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received May 10, 1989)

Using a simple weather radar system, the occurrence frequency of radar echoes over the Ishikari plain was statistically investigated during three winter seasons from 1983 to 1985. As a result, it was found that the occurrence frequency of radar echoes showed a characteristic pattern with respect to its invasion direction. Next, the expected values of snowfall intensity related to the gray scale of radar echo were estimated. Using these values, the daily amount of fresh snow cover was also estimated by means of the accumulation of radar echoes. As a result, they showed a good correspondence each other in the case of snowfalls in typical winter monsoon patterns.

I. はじめに

レーダー・エコーからの降水量の見積については、気象学的な分野からの興味ばかりではなく、ダムや治水管理等の水資源を調査するために、土木工学や農業工学的な分野からも興味あることである。特に、山岳地帯等の直接雨量計を設置できない場所や、広範囲の降水量をモニターするためのリモートセンシングの手段としてレーダーを利用することも新しいレーダーの活用方法として有効なことである。

札幌市東部に位置する札幌市青少年科学館に簡易気象レーダーを設置して以来レーダーの有効利用について検討を行っている。その一つとして、冬期間の効率的な除雪体制の確立を目的として、2～3時間先の降雪状態を予測する短時間予測の可能性の検討が行なわれてきた(遊馬等, 1984 a, b)。これは現在、ロードヒーティングの制御とも組み合わせられて実用化へと進められてい

る(河合等, 1988)。さらに、これらの情報は札幌市が計画している情報システムである“スノーピア計画”の一部にも取り上げられていて他の情報と共に活用できる計画もなされている(山, 1985; 菊地, 1988)。

石狩平野の降積雪の水平分布について菊地等(1972, 1973, 1975)は、石狩平野内の道路沿いに並ぶ電柱を雪尺のかわりに利用して降積雪量の水平分布の測定を行った。また、石狩平野内の100校の小・中学校に雪尺を設置して降雪毎の水平分布を明らかにした(菊地等, 1975)。その結果、平野内に一様に降積雪の分布があるのではなく、帯状に多降雪域が集中することが報告されている。この帯の間隔は、約6 kmから7 kmで、幅も約5 kmであることも報告されている。また、帯状の降積雪域とエコーの走向、またそれらと850 mbの風向との関連も議論されている(菊地等, 1975)。本論文では、札幌市の簡易気象レーダーを用いて北海道石狩地方、特に、札幌市内の降積雪量の状態を見積る方法の検討と、レーダー・エコーから見積られた降雪量と札幌市の小・中学校の協力を得て観測された降積雪分布との比較について報告する。

II. 解析 データ

1983年2月, 3月, 1984年1月, 2月, 3月, 1985年1月, 2月, 3月の3冬期間8カ月のデータについて解析を行った。解析に用いたレーダー・データは札幌市内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によるものである。このデータは15分毎に得られ、磁気テープに1 km×1 kmメッシュ毎の降雪エコー強度が7段階のグレー・スケールのレベルで収められている。レーダーの性能及びグレー・スケールと雨のZ-R関係を使つての降水強度との対応は、遊馬等(1984 a)を参照されたい。本論文の解析には磁気テープに収録された4つの仰角(-0.2°, 0.4°, 1.0°, 2.0°)のうち、仰角0.4°のデータを用いた。これまでの研究報告(遊馬等, 1984 a, b; 遊馬・菊地, 1987, 1988)で報告した解析データは主に仰角-0.2°のデータを用いたが、グラウンド・クラッターが完全には消えていないので陸上のレーダー・エコーを議論する本論文の解析では仰角0.4°を用いた。仰角0.4°のレーダー・ビームはレーダー・サイトからの水平距離50 km離れたところでの高さは約500 mであるので得られたエコーはほぼ地表の降雪状態を観測しているものと考えられる。

III. エコーの進入方向別にみた出現頻度分布

遊馬・菊地(1987)では、仰角-0.2°のデータを用いてレーダー・サイトから北西方向にあたる第2象限の石狩湾上空にあたる主に海上の領域についてのレーダー・エコーの出現分布について報告した。本論文では、陸上部に注目してレーダー・サイトを中心に東西に100 km, 南北に100 kmの範囲で進入方向別のレーダー・エコーの出現分布についての解析を行った。レーダー・エコーの進入方向は仰角-0.2°の石狩湾上のレーダー・エコーから相互相関法によって計算された移動速度の計算結果を用いた(遊馬等, 1984 a)。

3冬期間に収録された17968画面のすべてのレーダー画像からグレー・スケール1以上のエ

コーの 1 km×1 km メッシュ毎の出現頻度分布を Fig. 1 に示した。図の中心がレーダー・サイトの札幌市青少年科学館の位置である。この画面の一辺が 100 km であり、点線で海岸線及び支笏湖を示している。出現頻度は濃淡で表示している。レーダー・サイトから遠ざかるにつれて出現頻度が減少しているのはレーダーの性能とビームの高さが高くなるためである。

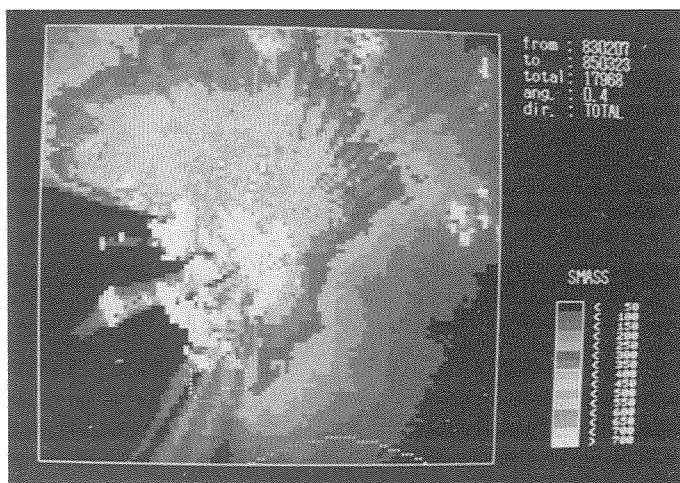


Fig. 1. Occurrence frequency of radar echoes of all invasion directions over the Ishikari Plain.

レーダー画面の西から南の小樽から支笏湖にかけての山岳地帯はレーダー・ビームの死角になっていてエコーが現れていない。一方、レーダー・サイト付近、厚田、月形、美唄（常盤台）、夕張の山地には M. T. I. (Moving Target Indicator) の処理がなされているもののグラウンド・エコーが完全には除去されず、消え残っている部分も認められる。エコーの出現頻度は、石狩湾の南部及び石狩平野内に多く出現する分布がみられた。

次に、エコーの進入方向別に分けたエコーの出現頻度分布を Fig. 2 (a)~(f) に示した。それぞれ西南西から進入の場合(a)、西からの場合(b)、西北西(c)、北西(d)、北北西(e)、北からの場合(f)である。いずれも画面の中心部の白い部分はグラウンド・エコーである。進入方向が西南西からの場合(a)は、エコーが石狩湾の海上に広がっているが、内陸には海岸線から 10 km 程度までで、ほとんど内陸にはエコーが存在していない。遊馬・菊地 (1987) の仰角 -0.2° のレーダー画面から、エコーの出現は石狩湾上の少し沖合いで多くなっている。西からの進入の場合(b)は、エコーがやはり石狩湾上空で多い。特に湾上で東西方向にのびてエコーの出現がやや多くなっている。厚田付近でエコーの出現が多くなっているが、あまり内陸にまでは多くなく、月形付近で少なくなっている。西北西からの進入の場合(c)は、小樽の高島岬沖の先端付近から石狩町付近にのびている多頻度分布域のバンドがそのまま夕張岳の方にまで内陸奥深くまで進入している。(b)の西からの場合は厚田と月形付近の山岳域で進入を阻まれてしまうのに対し、西北西からの進入の場合は石狩平野の奥にまで進入し、夕張付近にまで到達している。これは、李等 (1972) で報告された降雪の水平分布と一致している。北西からの進入の場合(d)は、高島岬から銭函、札幌市西部を通り、支笏湖の東付近にまで達している。エコーの出現分布が内陸の奥にまで進入し、分布が比較的広がって石狩湾南部から石狩平野の西部に多く分布している。北北西からの進入の場合(e)は、多頻度分布の帯が小樽から銭函の海岸線上、そして、札幌西部の山岳域を通り、苫小牧方面に抜けている。この場合も多頻度の領域が内陸の奥まで進入している。多頻度の帯が北西の場合(d)よ

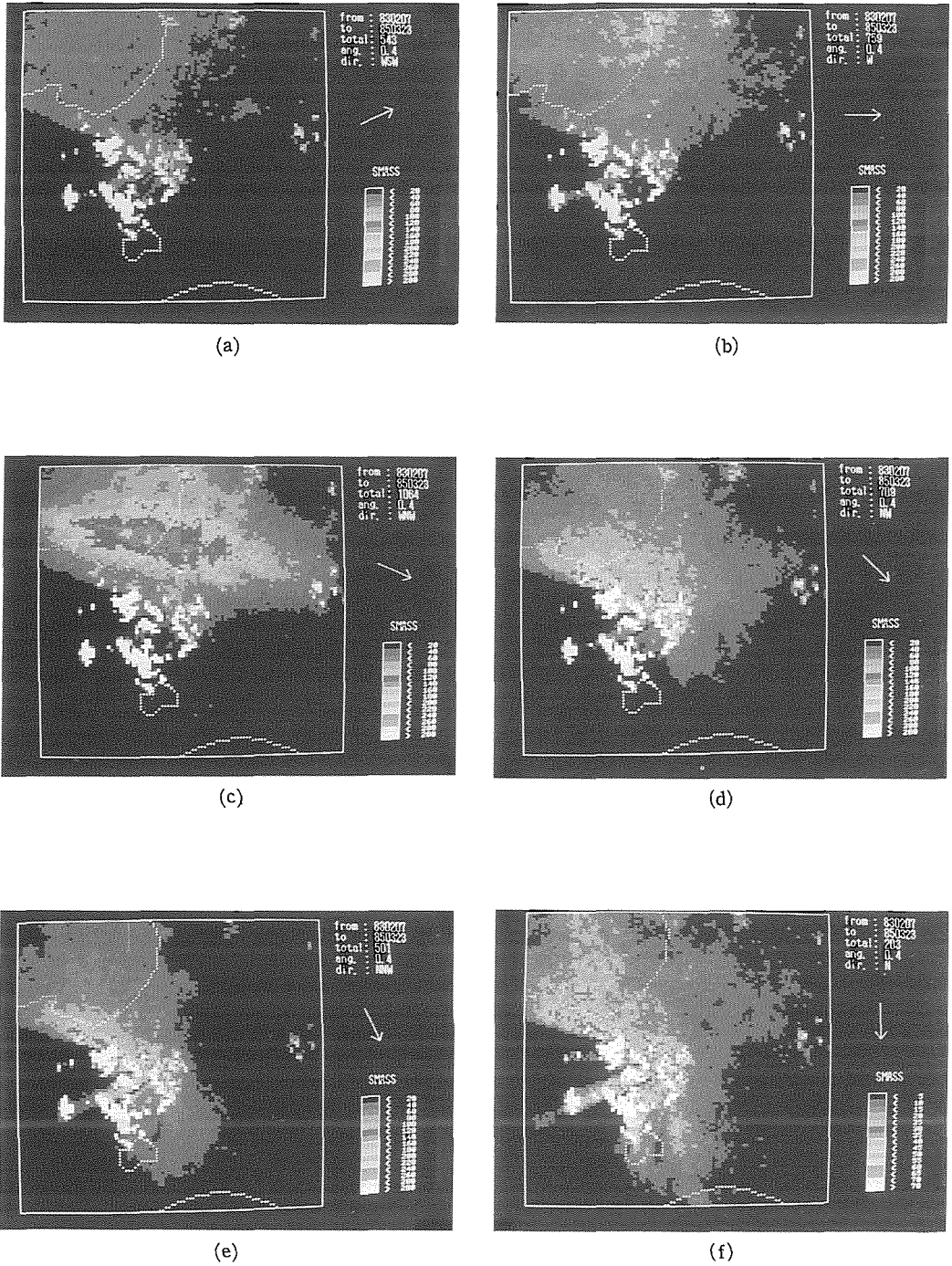


Fig. 2. Occurrence frequency of radar echoes of each invasion direction over the Ishikari Plain. (a)West-southwest, (b)West, (c)West-northwest, (d)Northwest, (e)North-northwest, (f)North.

りも幅が狭く、山岳地帯に沿って分布している。北からの進入の場合(f)は、石狩湾上で南北にのびる多頻度の領域が銭函付近で上陸し、小樽から札幌市内西部の山岳域にぶつかり、札幌市内上空を通り苫小牧方面に抜けて太平洋に達する分布がみられた。遊馬・菊地 (1987) で、エコーの進入方向によって石狩湾付近のエコーの出現分布に特徴があることが報告されたが、内陸においても進入方向によってエコーの出現頻度分布に特徴のあることがわかった。

IV. 日降雪深とエコーから求めた日降雪深との比較

降雪量をレーダー・エコーから見積るために、レーダー・サイトから西へ 12 km、北へ 3 km の場所に位置する札幌管区気象台での 10 分間降水量と仰角 0.4°におけるエコーとの関係について調べた。エコー強度と降水強度との関係は一般には Z-R 関係として知られ、雨の Z-R 関係 ($Z = 200 R^{1.6}$) を用いて設定されているが、今回解析を行った期間は雪の場合であり、この Z-R 関係が必ずしも成立しない。

それで気象台での降水量とエコーの反射強度との比較を行った。仰角 0.4°のレーダー・ビームの気象台上空での高さは約 150 m である。1983 年から 85 年までの 3 冬期間レーダー・データが収録され、かつ、降雪のあった日は 1983 年が 10 例、84 年が 8 例、85 年が 20 例の合計 38 例あり、それらの日についての解析を行った。エコーのグレー・スケールのレベルと降水量のヒストグラムを Fig. 3 に示した。ヒストグラムの縦軸は図中右側に N で示した数を総数とする百分率で示してある。各棒グラフの上に数字で回数を示してある。総数 N の下の AVE.

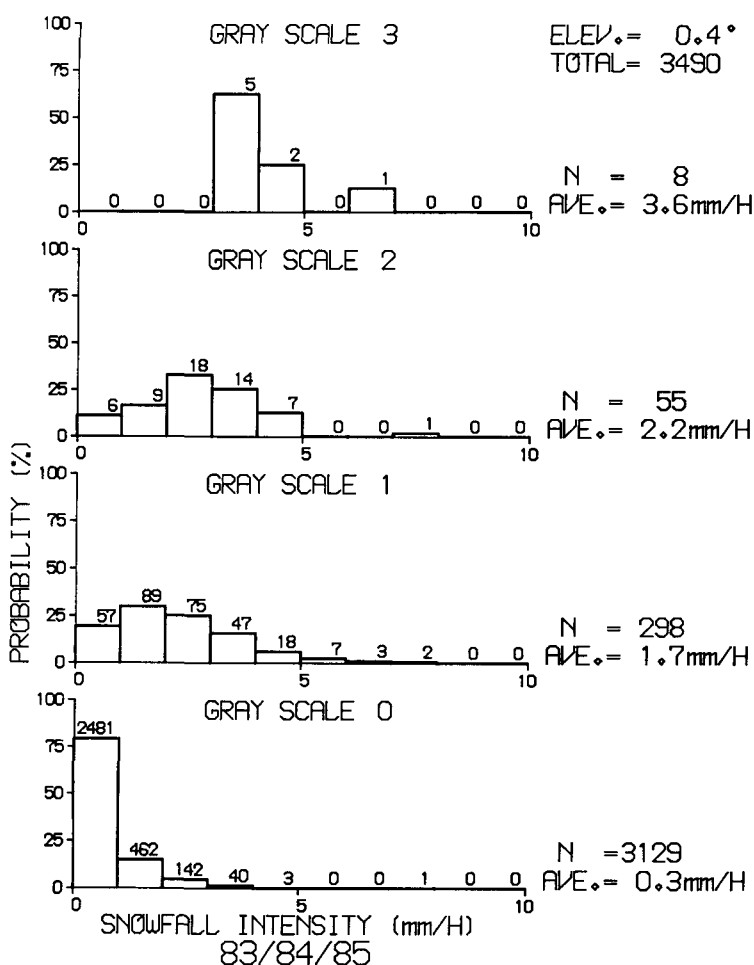


Fig. 3. Number distribution between levels of gray scale and snowfall intensity.

は各エコーのグレー・スケールのレベルにおける期待値である。期待値は $\Sigma(\text{降水強度}) \times (\text{頻度}) / (\text{総数})$ より求めた。それぞれのグレー・スケールのレベルに対する期待値はレベル0 (NO ECHO) の場合が 0.3 mm/h 、レベル1の場合が 1.7 mm/h 、レベル2の場合が 2.2 mm/h 、レベル3の場合が 3.6 mm/h である。エコーのレベルが0 (NO ECHO) の場合で実際に降水強度が 0 mm/h であった場合は約80%であった。すなわち、レーダー画面上にエコーが現れていないにもかかわらず約20%の場合について 1 mm/h 以上の降雪を記録していることになり、降水量の期待値も 0.3 mm/h となっている。この解析は1983年から85年までの降雪のあった38日分について解析を行ったが、エコーがなくて(レベル0)、しかも降雪のない場合、すなわち、晴天日のデータも含めると、レベル0のエコーで降水のない場合の比率がずっと高くなり降水量の期待値も 0 mm/h に近づくと考えられる。したがって、次にレーダー・エコーの積算から日降雪量を見積るがその場合はレベル0の期待値として 0 mm/h を用い、他のレベルについては Fig. 3 に示した期待値を使用した。

菊地等(1984)に報告されているように、1983年、84年については札幌市内の小・中学校の協力を得て札幌市内の日降積雪深の分布が得られているので、レーダー・エコーの分布との比較を行った。レーダーから得られる日降雪量はエコーを当日09時から翌日の09時までを積算し、上述した期待値から日降水量を求め、さらに、菊地等(1984)による気温をパラメータにして降水量を降雪深に変換して比較を行った。比較例として1983年2月25日と1984年2月11日のものをあげた。

1983年2月25日の09時から26日の09時までのエコーの積算を Fig. 4 に示した。積算エコーは、高島岬から石狩町、夕張へのびる帯状に分布し、幅は約20 km である。また、銭函から札幌市西部にもエコーの積算がのびている。Fig. 5 の日降積雪深の実測によると札幌市内の南西部の山側に多くの降雪があったことを示している。エコーから求めた日降積雪深を見積った分布パターンの Fig. 6 とよく一致していることがわかる。

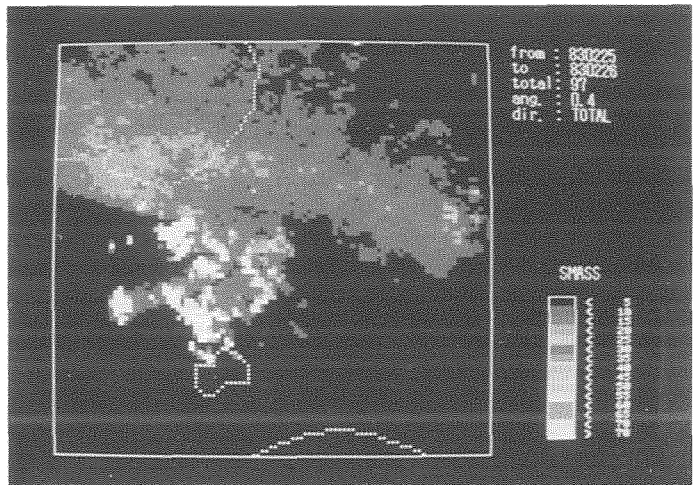


Fig. 4. Occurrence frequency of radar echoes from 09:00 Feb. 25 to 09:00 Feb. 26, 1983.

1984年2月11日の例を Figs. 7~9 に示した。Fig. 7 よりエコーの出現は小樽上空、銭函、札幌市西部に多く、またそのすぐ北側にもバンドがみられる。バンドの幅は南西側が約15 km、北東側が約10 km で、バンドの間隔は約20 km であった。Fig. 8 の実測による降積雪深は西部と中

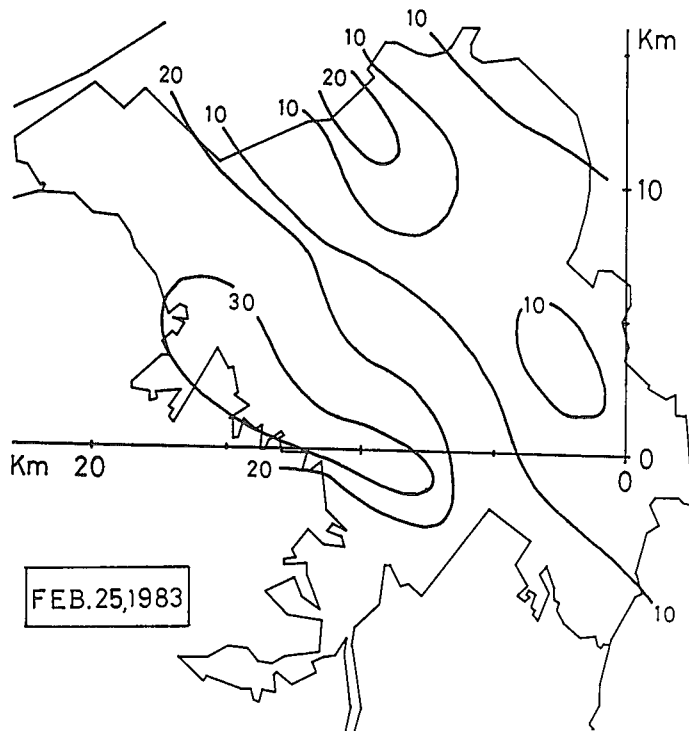


Fig. 5. A distribution of fresh snow cover from 09:00 Feb. 25 to 09:00 Feb. 26, 1983.

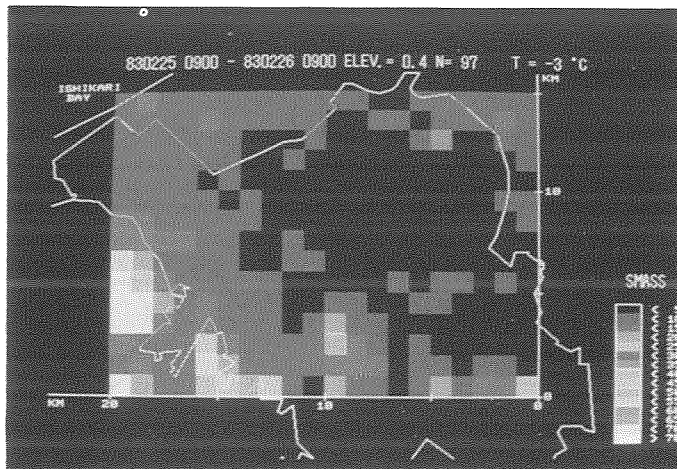


Fig. 6. An estimated distribution of fresh snow cover by radar echoes.

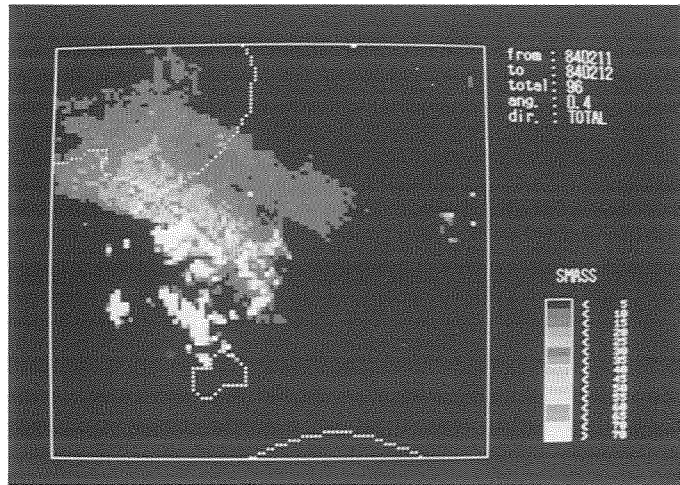


Fig. 7. As in Fig. 4 but for from Feb. 11 to Feb. 12, 1984.

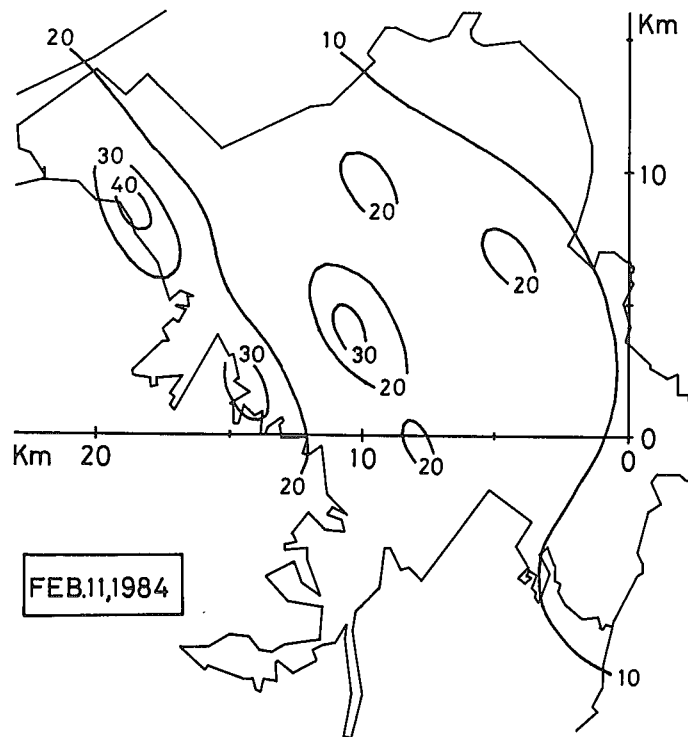


Fig. 8. As in Fig. 5 but for from Feb. 11 to Feb. 12, 1984.

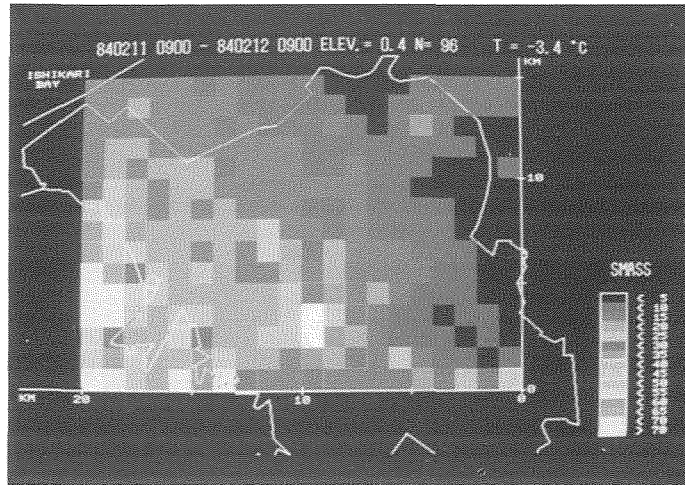


Fig. 9. As in Fig. 6.

中央部に多い分布パターンを示している。Fig. 9にレーダーから求めた降雪深分布を示した。西部と中央部に多い降雪がみられ、この場合も実測とよく一致した分布が得られた。

以上、レーダー・エコーの積算から降積雪深の見積について述べた。先にあげた2例とも季節風時の例であったが、季節風時の降雪は移流によるエコーの追跡が比較的行いやすく、解析に用いた札幌市のレーダーは季節風時に雪雲が進入してくる石狩湾、及び、石狩平野での降雪状況をレーダーでとらえやすく、それから得られた降積雪深分布も実測とよく一致することがわかった。

V. ま と め

札幌市青少年科学館の簡易気象レーダーのデータを用い、1983年2、3月、1984年1月～3月、1985年1月～3月の3冬期間8カ月の内陸におけるレーダー・エコーの振舞いと、レーダー・エコーによる降積雪深の見積について検討した。

進入方向別にみた石狩平野内のエコーの出現頻度分布は、エコーの進入方向によって特徴的な傾向のあることがわかった。また、エコーを積算することにより日降積雪深を見積った。その結果、札幌市内の小・中学校の協力を得て得られた札幌市内の日積降雪深の観測結果とのよい一致がみられた。これらは、いずれも季節風時の例であり、菊地等(1972, 1973, 1975, 1984)が強調してきた季節風や季節風末期パターン時の降雪予測の可能性(遊馬等, 1984 a, b)を改めて量的にも明確にしたことになる。

謝辞 本研究にあたって気象レーダーのデータを提供していただいた札幌市建設局土木部、及び、降水量データを提供していただいた札幌管区気象台に厚く感謝いたします。

文 献

- 遊馬芳雄・菊地勝弘, 1987. レーダー・エコーの進入方向別にみた札幌市内域の降雪特性とエコーの出現頻度特性について. 北海道大学地球物理学研究報告, **49**, 317-330.
- 遊馬芳雄・菊地勝弘, 1988. 石狩湾上の降雪雲のレーダー・エコーからみた特徴 - 高層データとの比較 -. 北海道大学地球物理学研究報告, **50**, 1-13.
- 遊馬芳雄・菊地勝弘・今久, 1984 a. 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.
- 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.
- 河合高行・池田政幸・加藤聖治, 1988. 札幌市降雪予測システムの紹介. 地方自治コンピュータ, **18**, 79-84.
- 菊地勝弘, 1988. 季節風時の集中豪雪の発生機構と短時間予測に関する研究. 文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」ワーキンググループ研究成果報告書, 1-45.
- 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研究成果, 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 (付: 市内小・中学校50校による3冬期間の積雪深観測データ). 北海道大学地球物理学研究報告, **44**, 1-21.
- 菊地勝弘・孫野長治・播磨屋敏生・梶川正弘・石川照高, 1972. 石狩平野における積雪分布の観測. 北海道大学地球物理学研究報告, **28**, 1-12.
- 李 柱雨・菊地勝弘・孫野長治, 1972. 石狩平野の降雪の水平分布 (I) (内陸部の降雪と風). 北海道大学地球物理学研究報告, **27**, 13-23.
- 山 恒雄, 1985. 札幌市のSNOWTOPIA計画. 寒地技術シンポジウム'85講演論文集, 37-40.