

# 降水量予報のためのレーダーの利用\*

七 沢 謙\*\*

## 要 旨

レーダーエコー強度の観測から数時間先までの地上降水量を予想するための試みとして、北海道渡島半島に観測点4点を定め、昭和44年6月から8月までの期間に降った個々の雨について、函館山レーダーで測った雨エコーの強さと、レーダー観測時後3時間に降った地上雨量との関係を調査した。3時間先までの降雨量を予想するので、雷雨のように強度変化が激しく、しかも寿命の短いものは調査対象から除くこととし、低気圧のような中規模以上のじょう乱によって降る雨を対象として、上述の調査を行ない、これから雨エコー強度とその後3時間雨量との関係図を作成し、この関係図から求めた雨量分布と実際の雨量分布とを比較したところ、エコーパターン全体の動きを考慮に入れるならば、予報上かなり有力な資料となることがわかった。この方法に対流性の強い短時間集中豪雨に適用することになると、先にも述べたとおり問題は別となる。

## 1. はじめに

昭和43年度全国予報技術検討会で、予警報実施面の必要から大雨の前兆を早期に発見する方法について検討が加えられた。席上、地上観測網や観測結果速報体制の不備がとりあげられ、そのため予警報が後手に廻り易い点が指摘された。

レーダーは降水エコーの分布、強さ、高さなどを三次的に観測し、その変化の状態を時々刻々と予報者に提供してくれるが、瞬間値であるエコー強度と、積算値である地上降水量との対応が良くないので、雨の量的予報にはあまり利用されていないのが現状である。もちろんエコーから大雨を予想しようとする試みはこれまでも数多く行なわれているが、そのうちもっとも多いのは、エコーパターンから推測する方法、あるいはエコー高度から見当づける方法で、エコー強度から今後の降水量を予想する方法に関する調査は案外数が少ない。

筆者は予報に利用することを目的として、エコー強度から降水量を予想する方法について調査を進めてきたので、これまでに得られた結果をここに報告する。予報利用に主眼を置いたので、時として無理をしてまで実用に走り過ぎた点も多くあるが、これについても大方のご叱

声を期待したい。

## 2. 調査の方法

### (1) 調査対象日の設定

昭和44年5月から8月までの間に雨に関する注意報および警報が発表され、それが解除されるまでの間を対象として、特別に指示しなくても下記の観測所で自動的に所要の観測を行なうこととした。

### (2) 雨量観測

気象官署3ヶ所(函館、江差、森)、乙種観測所3ヶ所(松前、館、今金)農業気象観測所11ヶ所(八雲、濁川、七飯、尻岸内、知内、長万部、南茅部、瀬棚、熊石、鶉、中須田)では、上述対象期間について降水自記紙から毎時降雨量を観測する。その他日雨量分布図作成のため、対象期間の甲種観測所および国鉄の日雨量観測値(それぞれ9時および8時日界)も収集した。

### (3) レーダー観測

対象期間について、下記の観測を毎3時間ごとに行なった。

#### イ. スケッチ観測

通常の測定を行なってそれを300km用スケッチシートに記入したほか、エコー強度と地上降雨量との対応をみるため特定観測点を4点定めて、そこにおけるエコーの高さ、強さ、特性、移動状況、変化傾向も併せてシートに記入した。

特定観測点と、それらの函館山レーダーからの方位および距離はそれぞれ次のとおりである。

\* Use of Radar for Quantitative Precipitation Forecast.

\*\* K. Nanasawa 函館海洋気象台

—1970年3月7日受理—

—1970年4月20日改稿受理—

東瀬棚：方位317°，距離102km

江 差：// 284°，// 50km

松 前：// 235°，// 63km

森 : // 343°，// 41km

特定観測点の選定に当っては、観測点で毎時雨量が得られること、それぞれ条件の異なる山の反対側に当ること（山によるビームカットの差異をみるため）、レーダーから100km以内にあること（ただしあまり至近距離にある場合は正しくエコー強度が観測されないもので少なくとも20km以内の観測所を除く）などを考慮して定めている。

ロ、写真観測

PPI 撮影：アンテナ高度角+0.5°，距離範囲100kmで撮影。

A スコープ撮影：特定観測点をねらって、その観測点

上でもっともエコー強度が強くてるところにアンテナ高度角を固定し、Log 特性にして撮影。

(4) 資料

この調査で必要とする資料としては、観測点直上のエコー強度とその観測点における1時間あるいは3時間降水量とを比較し、できれば地形による影響も調査するためのものと、エコー強度から推定した降水量分布と、実際の地上降水量分布とを比較するためのものとの二種類を考えた。

エコー強度と地上降水量の比較のため、前述の特定観測点を定めたが、観測上の都合により利用できた資料数は、松前34ヶ、江差36ヶ、瀬棚24ヶ、森36ヶの合計130ヶであった。

次に、エコー強度から推定した降水量分布と実際の3時間あるいは総降水量分布とを比較するための資料は、

第1表 観測一覧表

月 日 時	観測所													
	5.25 07 }	6.2 20 }	6.6 11 }	6.25 22 }	6.29 14 }	7.13 21 }	7.28 15 }	8.3 10 }	8.12 21 }	8.23 23 }	8.26 19 }	8.27 14 }	8.28 11 }	8.31 21 }
種別 観測所	5.26 12	6.4 08	6.7 12	6.26 16	6.30 06	7.14 06	7.28 19	8.3 20	8.13 22	8.24 06	8.27 06	8.28 06	8.29 05	9.1 07
地上 観測	函 館	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	*江 差	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	*森	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	八 雲							○	○	○	○			○
	濁 川							○	○	○	○			○
	七 飯							○	○	○	○			○
	尻岸内							○	○	○	○			○
	知 内							○	○	○	○			○
	*松 前	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	長万部							△	△	△	△			△
	南茅部							△	△	△	△			△
	*瀬 棚		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
今 金	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
熊 石		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
鶉 館	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
中須田		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
レーダーエコー スケッチ	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎		◎			
A スコープフィ ルム	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎					
総降水量 mm (函館)	56.0	25.5	21.0	7.0	15.5	15.5	39.5	71.0	23.5	79.0	20	19.0	10.0	25.0

註 (1) ○：風、降水観測値共にあり，△：降水観測値のみ，空欄：観測なし

(2) \*印観測所：指定観測地点

観測時後1時間の降水量						レ ー ダ ー 雨 量 強 度	観測時後3時間の降水量											
0	mm 1~2	mm 3~4	mm 5~6	mm 7~8	mm 9~10		0	mm 1~2	mm 3~4	mm 5~6	mm 7~8	mm 9~10	mm 10~15					
7:30	5 5 3 4	1 17 1	2			0	4 6 4 7	21	7 3 2	12	2 4 3	9	1 2 2	5		1 1	2	
3:17	8 12 10 5	35	3 1 2 3	9 1	1	1~2	3 3 3	9	4 6 6 7	23	2 1 3	6	3 3 4 1	8	3 1 1 3	8	2 4 6 1	2
1	1	1 2	3 1	5		3~4		2	2	1 1	2	1	1 1	1	1 1	1	1 1	2
			2 2			5~6				1 1	1				1 1	1		
						7~8												
	1 1 1	1				9~10				1 1 1	1							
	1 1 1	1 1	1			11~15		1 1 1	1						1 1	1		
	1 1	1		1 1	2	16~20				1 1	1					1 1	2	
						41~45										1 1 1	1	
						46~50												
						51~55												
	1 1 1	1				56~60							1 1 1	1				

表の説明：点線の左側，第1段 松前の回数 第2段 江差 第3段 瀬棚 第4段 森；点線の右側，その合計

第1表に示した通り、十分に資料が揃ったのは8月3日と8月12~13日の分だけで、総降水量分布との比較では、5月25日~26日の分が利用できたが、上記以外の日については、特定観測点上にエコーが無かった場合に、途中でエコーがあってもAスコープ撮影をしなかったためエコー強度積算に不都合ができて利用できなかった。

3. 観測結果の検討

(1) エコー強度と地上降水量との関係

エコー強度から相当降水量を求めるには Probert Jones のレーダー方程式

$$P_r = \frac{\pi^3}{16 \log^2} \frac{P_{th}}{\lambda^2} G^2 \theta_1 \phi_1 \frac{1}{r^2} \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right|^2 \sum \left( \frac{D}{2} \right)^6$$

に函館山レーダーの諸元を入れて

$$R^\beta = \frac{1}{0.508 \times 10^{-7}} \times \frac{1}{B} \frac{P_r \cdot r^2}{10^{-0.002r}}$$

で得られる。

ここで、 $P_r$ :受信電力、 $r$ :目標までの距離、 $R$ :相当降水量強度であり、 $B$ 、 $\beta$ については

$$\sum \left( \frac{D}{2} \right)^6 = BR^\beta$$

と置いている。ここで、 $D$ は目標降水粒子の直径であ

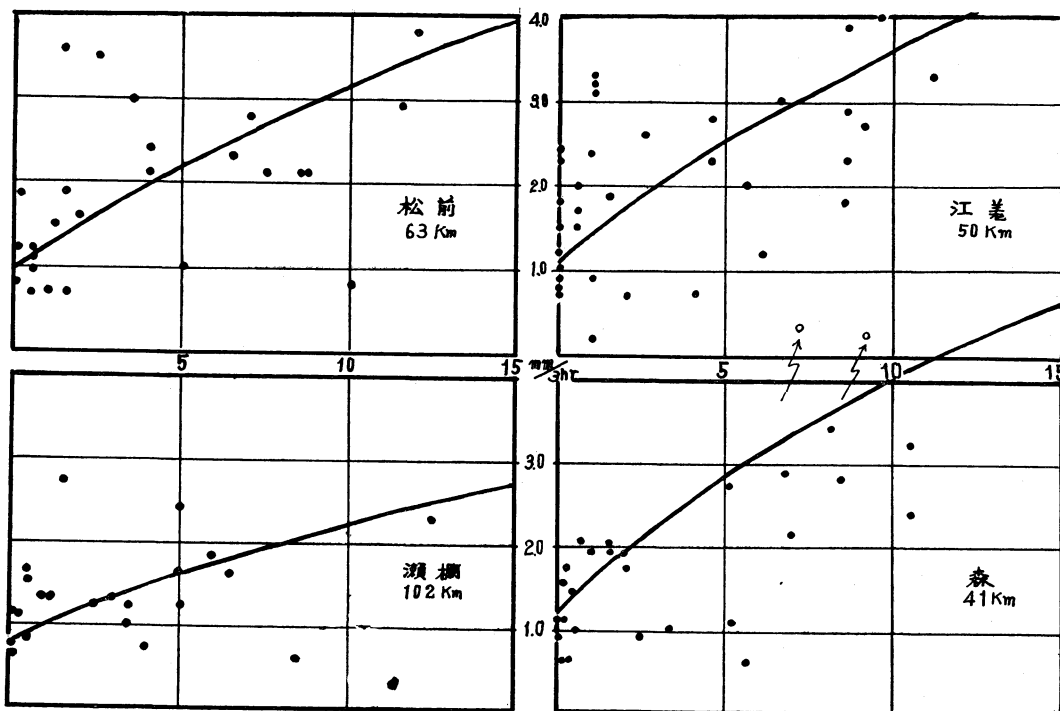
る。また、 $B$ 、 $\beta$ は降水の性質によっておおむね次の値をとるとされている。

ほゞ一様な降雨:	$B=200$ , $\beta=1.6$
雷 雨:	$B=450$ , $\beta=1.5$
しゅう雨:	$B=300$ , $\beta=1.4$
雪:	$B=2000$ , $\beta=1.6$

レーダー観測指針では、エコー強度を雨量強度に換算する場合は、すべて一様降雨の場合の  $B$ 、 $\beta$  の値を用いることとしており、当台の場合もAスコープで観測された受信電力から直ちに雨量強度が求められるようグラフが作成されているので、まず第1段階として、このグラフによって求めた雨量強度と、観測時後1時間内および3時間内の実際の地上降水量とを階級別にかけて発現回数をみたのが第2表である。

なおAスコープの読取りは後日ニコンフルで撮影されたフィルムから行なったので(約2秒露光)瞬間的な強度変動が消されて、この時間内の平均的強度が読取られている。実際にAスコープから直接読取をする場合はこの点に問題が残ることも考えられる。

第2表から、レーダー雨量強度が2 mm/hr 以下なら



第1図 エコー強度 (Aスコープ読取値縦軸) とその後3時間降雨量 (横軸) との関係

ば、観測時後1時間雨量も3時間雨量もわりあい良く対応しているが、3 mm/hr 以上からは実際の降水量よりもレーダー雨量強度が強く出過ぎる傾向にあり、特に3時間降水量で著しい。さらにレーダー雨量強度 10mm/hr 以上になると実際の地上降水量との差が非常に大きく、実用上ほとんど使用できない状況である。

次に、山によるビームカットの影響をみるため、各観測点ごとに発現回数を第2表に記してみたが、表でみる限りでは特徴的なものが現われていないので、この点については、後日さらに詳細な調査が必要と考えている。

東京管区気象台技術課では、埼玉県下の降水についてレーダーによる雨量強度分布と実際の10分間降水量分布

とを比較してかなり良く一致することを示しており、また小花等(1968)は札幌レーダーで10~30分間隔のレーダー観測を行なって、積算エコー強度分布と地上降水量分布とを比較し、これも良好な結果を得ている。これらの調査はいずれも Probert Jones のレーダー方程式に並雨の場合の係数を入れてレーダー雨量強度を求めたものであるが、良結果を得た原因としては時間間隔をできるだけ短かくしたことが挙げられる。今回の調査でレーダー雨量強度が強くなるほど地上降雨量との対応が悪くなっているのは、強度が強ければ強いほど変動が激しく、そのため1時間さらには3時間降雨量をこれに対応させること自体が不当であることにほかならない。ところで日常の予報にレーダーを利用する側としては、瞬間のエコー強度から、その後少なくとも3時間程度の地上降水量の見当づけが必要である。

(2) エコー強度からその後3時間降雨量を求める方法。

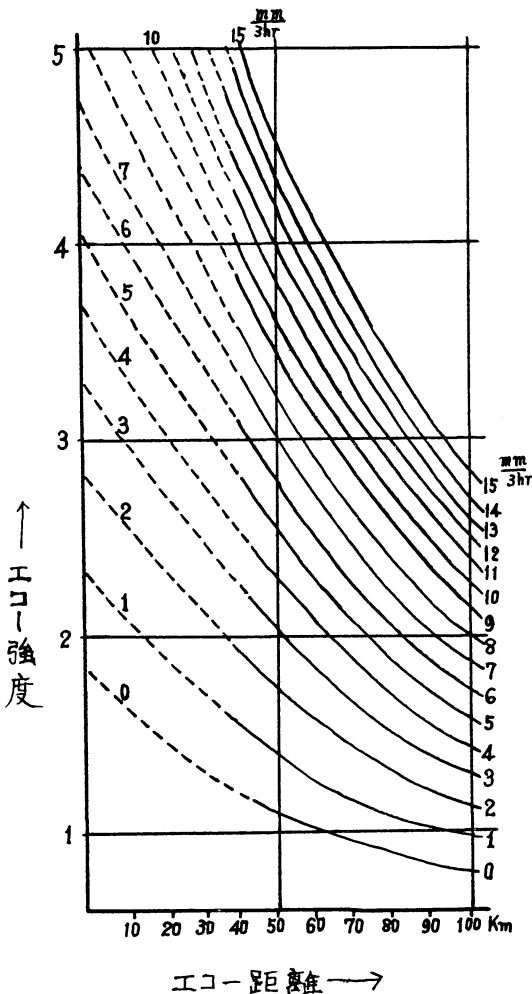
上述の考えかたから、レーダー方程式から雨量強度を求める方法をあきらめて、統計的に求めてみることにした。

第1段階として、特定観測点上空のエコー強度をAスコープの縦目盛でそのまま読みとった値を縦軸に、またその地点のその後3時間の雨量を横軸にとって、観測地点別にプロットしたのが第1図である。

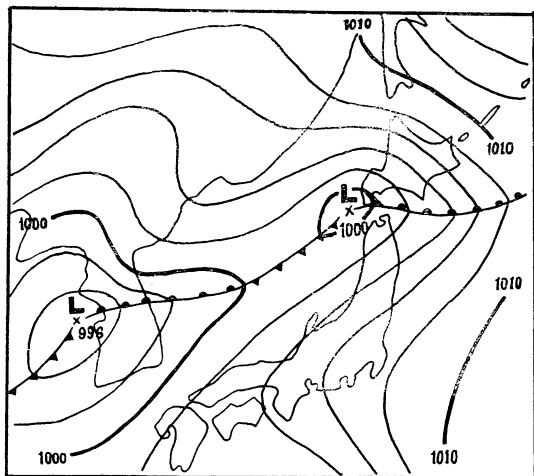
当初、この図から山によるビームカットの影響が地点ごとに特徴的に出ると期待していたが、各地点とも点のバラつきが大き過ぎて地形による違いが判断できなかった。いって言えば、高さ1140mの駒ヶ岳を近くに控えている森測候所でバラつきがやゝ大きくなっているのが目立つ程度である。また雨滴のビーム充满率の違いによる影響も、これだけの資料からは明らかにできない。そこでこれら4地点の観測を1つにまとめて、エコー強度からその後3時間の降雨量を求める図を作成することとした。

作成の方法として、まず各観測点ごとにエコー強度と3時間降雨量との相関曲線を求めた。本来なら、最小自乗法によって相関曲線を求めるべきであるが、この場合は次に述べる「3時間雨量を求める図」の作成に都合が良いように作為的な求め方をしている。

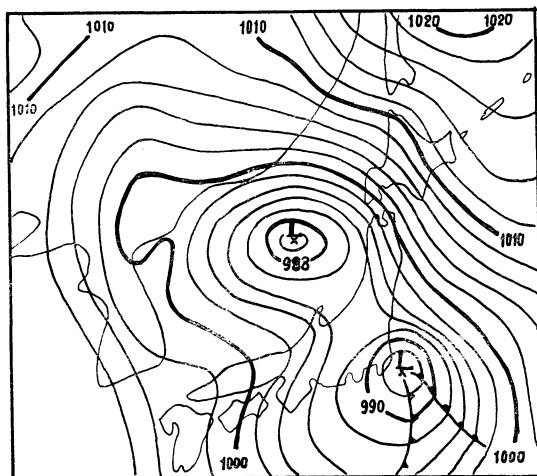
次に、各観測点ごとに1 mm ごとの3時間雨量と、それに対応するエコー強度を相関曲線から読みとり、横軸にエコーまでの距離を、縦軸にエコーの強さをとった図に記入していった、1 mm ごとの雨量等値線をひいたの



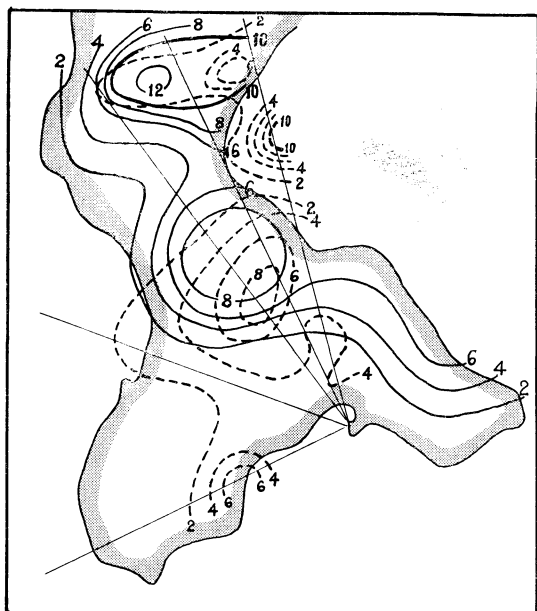
第2図 3時間降雨量を求める図  
縦目盛：Aスコープで読みとったエコーの強さ、横目盛：エコーまでの距離



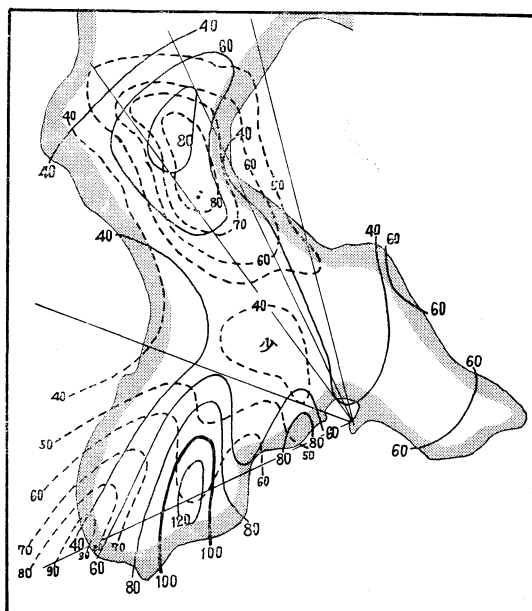
第3図 地上天気図昭和44年8月3日09時



第5図 地上天気図昭和44年5月25日15時



第4図 3時間降雨量分布の実測値と推定値との比較 (昭和44年8月3日09~12時) 実線は実測値, 破線は推定値



第6図 日雨量分布の実測値と推定値との比較 (昭和44年5月25~26日) 実線は実測値, 破線は推定値

が第2図である。

この図で、0~40km までの間は、適当な観測値が無かったので、100km から40km までで求めた等値線をそのまま外挿している。

#### 4. 適用例

今回の観測で、函館山の北々西から西南西の間を5方向のビームが切る形となっていたので、その時のAスコ

ープの写真から10km ごとにエコー強度を読みとって第2図で3時間降水量を求め等値線をひけば、ほぼ渡島半島全域にわたってエコー強度から求めた3時間降水量分布がわかる。これと実際の3時間降水量分布とを比較した例を次に示す。

- (1) 昭和44年8月3日09時の例 (3時間雨量分布推定例)

低気圧が日本海を東進してきて、8月3日09時に津軽海峡西方沖に達し、これから温暖前線が津軽海峡北部をほぼ東西にのびていた時の例である。この時の雨は、温暖前線の北側の渡島半島全域にわたって、一様に降っていた。

第4図で、渡島半島の北部や中部で雨量が多くなっているが、この傾向はエコー雨量分布にも認められ、特に中部では量的にも良い結果を示している。北部や南部では量的一致が認められないが、地上観測網がもっと細くなれば、あるいは良い結果が得られるかも知れない。特に津軽海峡沿いの地方で、レーダーからはかなりの雨量が期待されるにもかかわらず、実際の雨量がほとんど無いようになっているのは、従来の調査で地上風系が南東のときはこの方面でかなりの雨が降ることが示されているので、この時も雨が少なかったのではなくて、むしろ観測所が無かったためにおこる誤りであると考えたい。

次に推定多雨地域と実際の多雨地域に若干のずれが認められるが、この時の地上風系が先にも述べたとおり南東～東であり、850mbで南々西であったこと、レーダーエコーが北に1時間10kmぐらいい動いていたことからズレと考えたほうが良いように思う。

このように上層の風系やエコーの動きも考慮に入れて推定多雨地域をズラして考えるならば、安定性降水についてはエコー強度から3時間雨量分布の模様を推定することも一応可能と考えられる。

#### (2) 昭和44年5月25日～26日の例(日雨量推定例)

昭和44年5月25日から26日にかけて渡島半島に大雨を降らせた低気圧の場合を例にとる。この低気圧は25日、日本海を東に進み26日津軽沖で停滞して、太平洋側の低気圧に勢力を吸収されて消滅の経過をたどっている。この時の雨も、所々対流性のエコーが混在していたが大体は層状エコーからのもので、雨量は南部と北部で多く、多いところでは日雨量100mm以上に達している。

この場合も前と同様、まずAスコープで読みとった10kmごとのエコー強度を第2図を用いて3時間降水量に換算し、3時間ごとの降水量を積算していった25日9時から26日9時までの推定日雨量を求め、図上にプロットして分布図を作り、実際の日雨量分布と比較することとした。

北部の多雨地域については、その地域、量とも大体一致しているが、南部の地域ではレーダーから推定される場所よりも約30kmほど東に現われている。この時の

エコーが東北東に動いているのに、観測時のエコーの強さをそのままその直下の3時間先の雨量に換算していったことからくる違いとも考えられるが、それならば北部の多雨域の一致の説明がつけられない。この問題についてはもっと突込んだ検討が必要であるが、予報のための実用性からいえば、ある程度このような推定法も有効であると考えている。

#### 5. むすび

前記2例はいずれも低気圧前面の層状、あるいは層状に若干セル状エコーが混在していた場合の雨で、例数が少ないので断定的にはいえないが、このような場合はエコー強度から降水量を推定することができそうである。これは一つには層状に広がったエコーなので、雨滴のビーム充填率の差や、エコー強度の変化をそれほど考慮しないですむためと考えられる。一方、対流性エコーについては、これがそのまま適用できないのではなからうか。今回の調査では、対流性降水について十分な観測資料が無かったので、この点について調べられなかった。しかし、このような場合には、エコー強度の激しい変化、ビーム幅やビーム充填率の差のほか、落下雨滴の風による吹き分けなどの要素が大きくきいてくるはずで、今後はこの種の問題に重点を置いて調査を進めてゆきたい。また集中豪雨の予報のためには、レーダーエコー強度のほかエコー高度やエコーパターンの類型化、風の流線とエコーパターンの関係、豪雨時の天気図パターンの検討なども調査し、相互の関連づけが必要である。

この調査は函館海洋気象台が計画し、江差・森両測候所の協力を得て実施したもので、観測及びデータ収集に尽力された各位、ならびにデータ整理と解析に協力された予報課塚塚巧技官に対し、厚くお礼もうしあげる。

#### 文 献

- 黒沢眞喜人、三浦忠勝、1967：降水の量的観測の技術上の検討。昭和42年度レーダー技術打合せ函館資料、21。
- 小花隆司、松田一、1968：現業用気象レーダーによる降水量の観測。研究時報20、293～301。
- 気象庁、1968：レーダー気象観測指針。
- 太田芳夫、長尾茂隆、1961：レーダーエコーと雨量モデル地区における降水の関係について。昭和36年度レーダー技術打合せ東管資料、10～36。
- 鳥居賢、1968：大雨じょう乱を早期に遠方で捕捉するためのレーダーの利用。昭和43年度全国予報技術検討会函館資料。