

気象レーダーのデジタル化について*

迫 田 優 一**

1. はじめに

気象庁では富士山レーダーを初めとして全国に20カ所の気象レーダーを配置し、台風や集中豪雨の異常気象の監視、予報の精度向上のために運用している。これらのレーダーによる気象観測の精度向上および運用の効率化のために、昭和56年度から気象レーダーのデジタル化を推進してきた。平成元年度で、沖縄地方を除く17のレーダーのデジタル化が完了した。デジタル化レーダー網の拡大に伴って、レーダーデータは降水短時間予報を中心にして広い分野で利用されるようになった。そこで、このように広く利用されているデジタル化レーダーデータがどのようにして作成されているかについて、レーダー観測所における処理内容を中心にして解説したい。

2. デジタル化とは何か

デジタル化が開始されるまでのレーダー気象観測は、主としてスケッチ観測によってきた。これは、レーダーの主指示装置の CRT (Cathode Ray Tube: 円形の画像表示管) 上に写し出されたエコーから観測者が気象エコーを抽出してスケッチ図を作成し、エコーの位置、形強さ、移動等についてコメントを付して予報担当官署にレーダー情報伝送網(電話ファックス)を経由して伝送するものである。観測は0時を起点として3時間毎に定時観測を、また、必要に応じて毎時の臨時観測を行うことになっている。ところが、近年、気象事業に対する社会の要請の高度化に対応して、レーダーに対しても、より詳細で迅速なデータ提供が求められるようになり、それまでのレーダーでの運用形態では以下のような問題点が指摘されるようになってきた。

(1) コンピュータ処理に適合しないのでアメダスデータとの合成解析等の定量的、総合的処理や雨量予測への

適用ができない。

(2) スケッチ図作成、情報伝送にかなりの時間を要するため、レーダー観測の本来の長所である即時性を十分に生かせない。

(3) スケッチ図の作成には気象エコーと地形からのエコーとの識別にかなりの経験を要するため、スケッチ図が均質化しにくい。

(4) スケッチ図はレーダー情報伝送網(電話ファックス)を経由して伝送しているが、伝送先を拡大することがかなり困難である。

これらの問題点を解消し、レーダーの長所を生かした有効なデータ利用を図るために、気象庁では以下の項目を内容とするレーダーエコーのデジタル化を行うこととした。

(1) 既設のレーダー機器にレーダーエコーデジタル化装置(以下デジタル化装置)を付加し、空中線仰角を自動制御してデータ収集を行い、得られたアナログ信号をデジタル信号に変換(A/D変換)した上で地形エコーを除去し、さらに降水強度の算出等の自動処理を行う。

(2) デジタル化装置とL-ADESS(気象資料自動編集継装置地方中枢システム:以下L/A)を接続し、観測時におけるエコーの強度、前1時間内における積算降水強度(1時間降水量に該当)のデータをオンラインで伝送する。このデータはC-ADESS(同全国中枢システム:以下C/A)を経由して本庁の大型計算機に入力される。

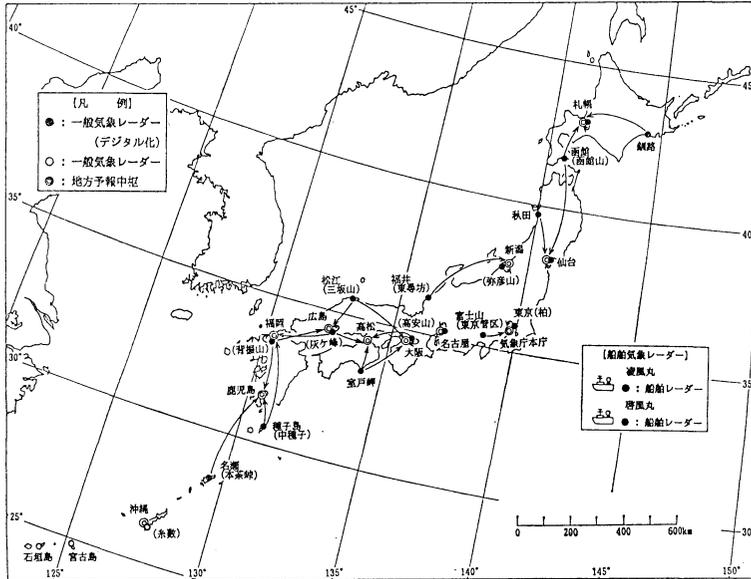
(3) デジタル化装置と地方予報中枢官署を接続し、監視用の画像データをオンラインで送信する。

この結果、予報体制が以下のように強化される。

(1) 本庁においては全国のレーダーエコーデータを合成したレーダーエコー合成図、レーダーとアメダスの長所を生かした詳細な雨量解析図であるレーダー・アメダス合成図が作成される(レーダーデータの総合的電算機処理)。

* Radar Echo Digitizing and Disseminating System.

** Sakoda yuichi, 気象庁観測部測候課.



第1図 気象庁の気象レーダー観測網。
(地方予報中樞官署の監視用ディスプレイの伝送)

(2) 作成された資料は高速ファックス (CDF) で地方官署に伝送され、現地での予報業務に有効に利用される (伝送の高速化、伝送範囲の拡大)。

(3) 地方予報中樞官署 (第1図に示す官署) では上のデータとは別にディスプレイ装置にリアルタイムでエコーの状況が表示される (監視機能の強化)。

デジタル化は、ある程度まとまった範囲で実施したほうが上記の合成図の作成等での有効性が増すことから、初年度の名古屋、福井レーダーに始まって、関東、近畿、九州、東北、北海道地方というように計画的に実施された。デジタル化レーダー網の展開に伴って、上記のような利用体制が整えられ、昭和63年度から、降水短時間予報業務が開始されるなどデジタル化レーダーデータは広い分野でさまざまな形で利用されるようになり、なくてはならないものになってきている。

3. デジタル化装置の構成

デジタル化装置は気象レーダー官署において既存の気象レーダーに接続される機器であり、両者を一体としてシステム運用することによって、効率的にデータを取得し、利用しやすい形にデータ処理を行って、L/A および監視用ディスプレイに伝送するものである。これは第2図に示すように、接続箱によってレーダー装置に接続

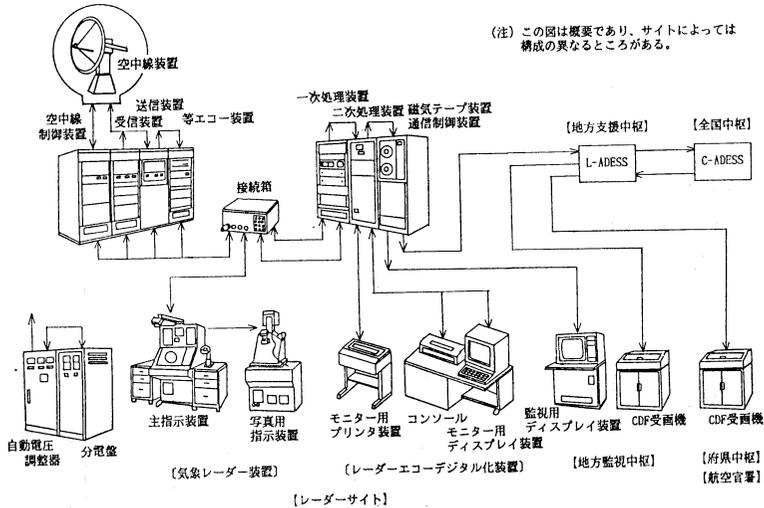
され、また、通信接続装置によって外部 (L/A、地方予報中樞官署) と接続されている。デジタル化処理の中心的な働きをするのは一次処理装置と二次処理装置であり、レーダーの運用の制御と取得されたデータの処理を行う。そのほか、磁気テープ装置はデータの収録に、システムコンソールは観測者による装置への指示入力に、モニタ用ディスプレイは処理後のデータの表示・保存に、モニタ用プリンタは同データの印字出力に使用する。レーダー官署以外では地方予報中樞官署に監視用ディスプレイ装置が設置される。以下においては、一次処理装置および二次処理装置ではどのようなデータ処理が行われているかを中心に話を進める。

4. 観測種目とスケジュール (観測モード)

4.1 観測種目

デジタル化装置の機能の説明の前に、デジタル化レーダーで作成・伝送されるデータの内容について触れておきたい。

レーダー観測の目的は送信機から発射され、降水によって散乱された電波を受信することで降水の状況 (降水の範囲、強さ、移動、盛衰等) を知ることにある。デジタル化以前のスケッチ観測では観測者が画像を見ながらそのときの降水が最もよく表現されるようにレーダーの



第2図 気象レーダー及びデジタル化装置機器構成系統図。

空中線（方位角，仰角）を適切に操作して，スケッチ観測を行っていた。一方，デジタル化レーダーにおいては，得られた情報を限られた観測時間で利用しやすい形にまとめるために，予め定められたスケジュールに沿って空中線仰角を自動的に制御して電波の散乱状況を収集し，得られたデータに対して適切な処理を行って以下の3種類のデータを作成する。

(1) エコー強度

デジタル化処理範囲（500 km×500 km の正方形）内の降水の強度を示すデータである。このデータは画像として表示するほか，(3) のデータ作成にも使用する。

(2) エコー頂高度

(1) に示した降水がどのくらいの高さ（標高）まで達しているかを示すデータである。

(3) 1時間積算降水強度

(1) の観測を1時間に8回繰り返して，それぞれの降水強度を積算することにより，正時からの1時間にどのくらいの降水があったかを示すデータである。

デジタル化レーダーから伝送されるデータには L/A 向けと監視用ディスプレイ向けの2種類があり，いずれのデータにも上記(1)～(3)のデータが含まれるが，それぞれのデータの利用目的に沿って，その形式は異なっている。すなわち，L/A 向けのデータは本庁でのレーダーエコー合成図，レーダー・アメダス合成図の作成，降水短時間予報の計算実施のためのデータであり，

広範囲にわたるデータ処理のためのデータである。このため，メッシュのサイズは5 km，また伝送時間間隔は1時間毎とやや粗くなっているが，降水強度の定量性を高めるために降水強度，1時間積算降水強度の区分が細かくなっている。一方，監視用ディスプレイ向けのデータは，そのレーダーの属する地方予報中継官署での CRT (Cathode Ray Tube：この場合はテレビ画面の様なカラー表示装置) 上での降水状況監視のための表示を目的としているため，エコー強度のメッシュは2.5 km と細かく，また1時間に8回と伝送間隔が短い。逆に，降水強度の区分は画像表示に必要なだけの荒い設定になっており，エコー頂高度も50 km 四方に1個のデータとなるとともに，1時間積算降水強度についても基準値を越えたかどうかのみを示すようになっている。

第1表にそれぞれのデータに含まれる要素，レベル区分等を示す。

4.2 スケジュール（観測モード）

1時間積算降水強度を算出するためには，ほぼ等間隔でエコー強度観測を1時間に8回繰り返して行いその結果を積算する必要がある。しかし，エコー頂高度観測は1時間に1回の観測データを取得すればよいのでこのように繰り返す必要はない。また，天気の状態によってレーダーデータの必要性も変動し，連続運用が必要な場合もあれば3時間毎の観測でよいときもある。これらの点を考慮して，下に示すように1から3まで3つのモード（観

第1表 処理データの内容及びレベル等

種 類	範 囲	単 位	レ ベ ル 数	レ ベ ル 内 容 ・ プ リ ン タ 印 字 ・ 画 像 表 示 内 容
レーダー エコー強度	500km × 500km	4ビット 5km × 5km	16	降水強度 (mm/hr) 0 <1 1≦ 2≦ 4≦ 8≦ 12≦ 16≦ 24≦ 32≦ 40≦ 48≦ 56≦ 64≦ 80≦ 96≦
				レ ベ ル 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
エコー頂高度	500km × 500km	4ビット 5km × 5km	9	プリンタ表示 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F エコー頂高度 (km) 0 <2 2≦ 4≦ 6≦ 8≦ 10≦ 12≦ 14≦ レ ベ ル 0 1 2 3 4 5 6 7 8 プリンタ表示 1 2 3 4 5 6 7 8
1時間積算 降水強度	500km × 500km	6ビット 5km × 5km	6.4	降水強度 (mm/hr) 0 <0.5 0.5≦ ... 2.5≦ ... 3≦ ... 6≦ ... 9≦ ... 10≦ ... 12≦ ... 148≦ 152≦
				レ ベ ル 0 1 2 ... 6 7 ... 10 ... 13 14 ... 33 ... 40 41 ... 62 63
エコー強度	500km × 500km	3ビット 2.5km × 2.5km	7	プリンタ表示 1 2 ... 6 7 ... A ... D E ... Z ... Z ... Z 降水強度 (mm/hr) 0 <1 1≦ 4≦ 16≦ 32≦ 64≦ レ ベ ル 0 1 2 3 4 5 6 レベル表示色 青 空 緑 黄 紫 赤
エコー頂高度	500km × 500km	4ビット 50km × 50km	9	エコー頂高度 9レベル (レベル区分はレーダーA.D.E.S.S.向けと同じ, 50km × 50km領域のアロックスごとに最高高度レベル検出) 表 示 レベル数を領域ごとに右側欄に白色数字で表示
1時間積算 降水強度	500km × 500km	(アラーム 領域)	2	アラームレベル アラームレベル基準は、現地でレベルを決定して設定する 表 示 アラームレベル基準を越えたメッセージは白色で表示、 「ECHO ALARM」および「赤色点滅」をキャラクター領域に表示

区 分		23z					00z					01z					02z									
		10	20	30	40	50	00	10	20	30	40	50	00	10	20	30	40	50	00	10	20	30	40	50		
モード1	動作	電波発射・空中線回転																								
	観測	空中線(仰角)動作																								
		エコー強度																								
		エコー頂高度																								
		1時間積算強度																								
モード2	動作	電波発射・空中線回転																								
	観測	空中線(仰角)動作																								
		エコー強度																								
		エコー頂高度																								
		1時間積算強度																								
モード3	動作	電波発射・空中線回転																								
	観測	空中線(仰角)動作																								
		エコー強度																								
		エコー頂高度																								
		1時間積算強度																								
伝送		監視用ディスプレイ																								
伝送		L-ADESS																								
マニュアルモード		1. モード1とモード2の空き時間にかぎり、エコー強度及びエコー頂高度を連続して観測する。 2. データは監視用ディスプレイ装置、モニターディスプレイ装置等に出力される。																								

第3図 各観測モードにおける装置動作、観測種目及びデータ伝送。

測項目とその頻度を定めたスケジュール)を決めて、これらの中から天気の状態によって設定するモードを選択するようにしている。あるモードに設定されるとデジタル化装置がスケジュールに沿って自動的な制御を行う。その様子を第3図に示す。

(1) モード1

00Z から3時間毎にエコー強度(2回)とエコー頂高度を観測する。

(2) モード2

00Z から3時間毎にエコー強度(8回)とエコー頂高度を観測し、1時間積算降水強度を算出する。また、その前1時間にはエコー強度(2回)とエコー頂高度を観測する。

(3) モード3

エコー強度(8回)とエコー頂高度を毎時観測し、1時間積算降水強度を算出する。すなわち、連続観測である。

(4) マニュアルモード

モード1とモード2の空き時間に限り、エコー強度とエコー頂高度を連続して観測する。このデータはモニター用、および監視用ディスプレイ装置には出力されるが、L/Aには出力されない。

5. 一次処理装置の機能

上に述べたスケジュールに沿って必要なデータを送出するために、一次処理装置は、観測モードに合わせてスケジュールに沿ってレーダー装置を制御して最適なデー

タ収集を行う制御機能と、収集されたエコーデータから必要なデータを作成して伝送するデータの処理機能2つの機能を有している。

5.1 制御機能

(1) 空中線回転と電波発射の制御

第3図にあるように、モード1の場合は00Zから3時間ごとの30分前、モード2の場合は1時間30分になると、空中線が4回/分の速度で回転を開始し、設定された予熱時間の後に電波が発射される。モード3の場合は連続運転となるので、空中線の回転・電波の発射は常時となる。

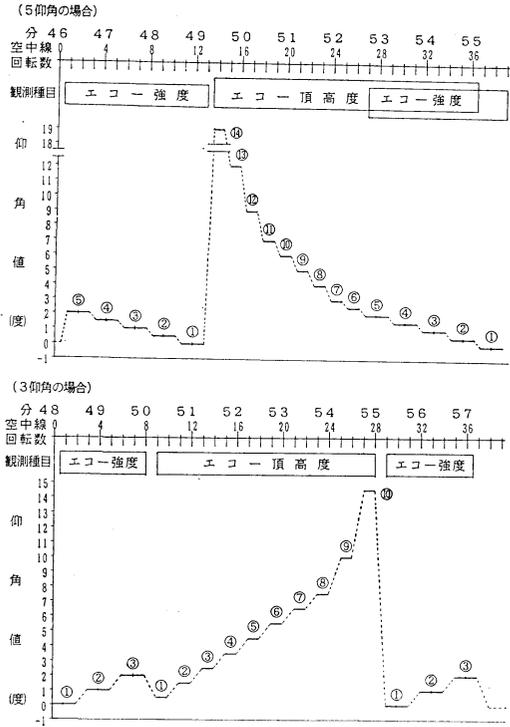
電波が発射されている状態で4, 12, 19, 27, 34, 42, 48分になるとデータの収集を開始する。このうち4~42分にはエコー強度観測を、48分にはエコー強度・エコー頂高度観測を行う。

(2) 仰角の制御

一次処理装置は、限られた観測時間の中で均質なデータを効率的に得るために、空中線の仰角を制御する。第4図に正時前約15分の仰角制御手順を示す。仰角制御には以下に示すエコー強度観測用とエコー頂高度観測用の2種類がある。さらにエコー強度に3仰角を使う方式と、品質向上のために5仰角に増やした方式がある。5仰角方式の場合は限られた時間内にデータを収集するために、エコー強度とエコー頂高度観測用の仰角を重複させるとともに、仰角変更の時間を少なくしている。

① エコー強度の仰角制御

レーダー観測による雨量推定の観測精度を上げるため



第4図 仰角制御 (5仰角の場合, 3仰角の場合)。

にはなるべく地表に近い高度にビームを発射する必要がある。ところが、ビーム高度をあまり低くすると、地形によるエコーが混入する。またビームの一部が地物で遮られる場合にはビーム全体が降水粒子で満たされず降水強度算出式の仮定が成立しなくなるため測定精度を低下させる。このためデジタル化装置では、 $-0.3 \sim 3^\circ$ の3個の仰角でデータを収集し、得られたデータからビームの高さがほぼ2 kmとなるようにサイトからの距離によって合成して一つのデータとする (簡易 CAPPI)。

② エコー頂高度の仰角制御

デジタル化以前は、対象とする降雨の方位に空中線に向けてその仰角を上下させてエコーを取得し、断面図 (RHI 画像) として表示することによって降水の高さを測定してきたが、これではその方位しか観測できないため、短い時間に全ての方位について測定することは不可能であった。このため、デジタル化処理においては、 $0^\circ \sim 15^\circ$ の10個 (エコー強度に5仰角を使用する方式では13個) の仰角を用いてデータを収集し、各メッシュにおいて得られたデータで低い方から数えてどの仰角まで降水エコーが観測されたかによって、そのメッシュにおけ

るエコー頂の高さを算出するようにした。この結果、探知範囲全域において頂高さを取得することが可能となった。一方、使用する仰角値の数が限られているので、測定された頂高さもとびとびの値となる。このため、結果は2 km 単位の階級値で表示される (第1表参照)。

5.2 データ処理機能

レーダー装置で受信されたエコーの信号は対数特性映像信号 (LOG ビデオ) として一次処理装置に入力される。一次処理装置ではこれを A/D 変換し、地形エコーの除去、平均化処理、座標変換を行って、 $2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$ メッシュのエコー強度のデータとして二次処理装置に出力する。二次処理装置では各仰角毎のメッシュデータを基にして、3 (または5) 仰角によるエコー強度画像の合成、エコー頂高さを算出を行い伝送のために必要な階級値への変換を行う。これらのデータ処理の流れを第5図に示す。以下、各処理毎に順を追って説明する。

レーダー装置から伝送される対数特性映像信号 (アナログ信号) を時間間隔 $1.67 \mu\text{s}$ (レーダー画像では距離0.25 km に該当) 毎にサンプリングし、A/D 変換器によって10ビットのデジタル信号に変換する。

映像信号入力はフルスケールで約5 V (受信電力ではノイズ下端から S_{min} 上約80 dB) であるので、デジタル変換したデータの LSB (Least Significant Bit) に対応する電圧差は

$$5,000[\text{mV}] / (2^{10} - 1) \approx 4.89[\text{mV}]$$

あるいは電力で表すと

$$80[\text{dB}] / (2^{10} - 1) \approx 0.078[\text{dB}]$$

である。10ビット変換は約 $1 \mu\text{s}$ の高速で行われる。

(2) 距離補正

レーダー方程式から明らかなように、受信電力はレーダーからの距離の2乗に比例して弱まり、また、大気ガスによる減衰も受ける。このため、エコーの強さを距離に関係なく定量的に求めるために、受信電力に補正を行う。距離補正は次の式で計算される補正值 $A(r)$ をROM から読み出し、A/D 変換されたデジタル信号から差し引く方法で行う。

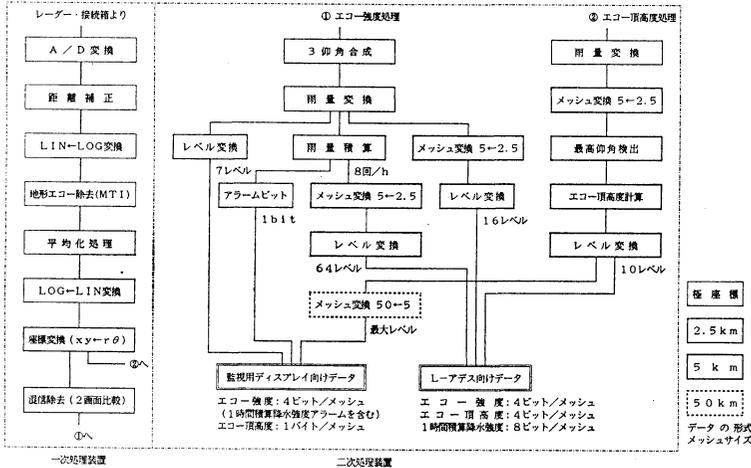
$$A(r) = 20 \log r_0/r + 2 \text{ kg}(r_0 - r) \quad [\text{dB}]$$

r : レーダーから目標物までの距離

r_0 : 基準とする距離 (175 km または 120 km)

kg : 大気ガスによる減衰定数 (0.01 dB/km)

基準距離 r_0 は通常 175 km とする。r が4 km 未満の近距離では4 km と同じ補正值を用い、また、 r_0 より遠距離では補正しない (補正值は0 dB)。これによって



第5図 一次処理装置，二次処理装置の処理概要。

4~175 km の範囲ではそのエコーが 175 km にあるとみなしてその強度を定量的に測定することが可能になる。

(3) 地形エコーの除去

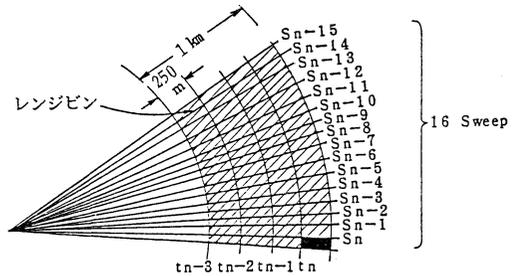
レーダーの画像には降水によるエコーのほか、周囲の山岳、建物等によるエコーが併せて受信される。これらが混入した画像から気象エコーのみを取り出す必要がある。これが地形エコー除去処理であり、MTI フィルタによってこの機能を実現している。

① LOG/LIN 変換

地形エコー除去にはエコー強度の絶対値のパルスごとの差をとる必要があるため、これに先だって距離補正済みのデジタル信号 (LOG 特性) を直線特性に変換する (LOG/LIN 変換)。また、強い地形エコーの除去を確実にするため、直線特性に変換した信号を K 乗する場合もある (Kth Power, K は 1 より小さい数)。どちらの変換も ROM を用いた回路によって行っている。

② MTI フィルタ

降水エコーはパルス幅と空中線のビーム幅とでできる目標体積中に存在する多数の降水粒子による後方散乱波の合成波である。このため、降水エコーからの受信電力の瞬時値は空間的・時間的に激しく変動する。一方、地形エコーからの受信電力の変動は小さく、短時間内ではその振幅はほとんど一定 (直流分のみ) とみなすことができる。このような性質の違いを利用して、レーダーの受信電力を遅延回路を用いた特殊なハイパスフィルタ (MTI フィルタ) を通すことによって交流電力のみを検出する。この結果、地形エコーは低周波数成分のみで



第6図 信号の平均。

あるので除去され、降水エコーのみが検出される。

(4) 信号の平均

レーダーで受信される電力の値は激しく変動する。レーダー気象観測の主な目的である降水強度を推定するためには、降水エコーからの受信電力の平均値が必要である。このための平均化処理を行う。

受信電力の平均値は MTI フィルタによって検出された信号の変動分を単極化 (検波) した後、平均 (積算) することによって得ている。平均は第6図に示すような距離方向および方位角方向について行う。

① 距離方向の平均

0.25 km (1.67 μs) ごとにサンプリング処理したデータを 1 単位 (1 レンジビン) とし、4 レンジビン分、すなわち 1 km について平均する。この平均は 1 レンジビンずつずらしながら 0~400 km にわたって行い、1 レ

レンジごとに出力する。平均の方法は、加算器において最も古いレンジのデータを消去し、残った3レンジ分のデータに新しいレンジ分のデータを加え4で割るといふ移動・単純加算平均である。

② 方位角方向の平均

パルス繰返し周期 (1/260 秒) 毎にサンプリングしたデータを1単位 (1スイープ) とし、16スイープについて平均する。通常のレーダーにおいては繰返し周期が260 PPS, 空中線の回転が4 rpm であるので、16スイープ間に空中線は約 1.5° 回転することになる ($360 \times 4 \div 60 \div 260 \times 16 = 1.5^\circ$)。

この平均は $0^\circ \sim 360^\circ$ にわたって行い、①と同様に古いデータ15スイープ分と最高のデータ1スイープ分を次々に加算して16で割るといふ移動・単純加算平均である。

距離方向、方位角方向の平均が終了すると、最終的に出力されるデータは $4 \times 16 = 64$ 個のデータを平均して得ていることになる。

③ LIN/LOG 変換

平均処理したデータは、5.2 (3) ①で述べたとおり LOG/LIN 変換および Kth Power が施されているので、ROM を用いた回路によってこの逆の変換を行い、対数特性のデジタル信号に変換する。

(5) 座標変換

前項までで得られた平均処理した対数特性の降水エコー強度デジタルデータは極座標 (r, θ) 型式であるので、これを $500 \text{ km} \times 500 \text{ km}$ の範囲の $2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$ 格子 (メッシュ) データに変換する。変換の方法は次の二通りがあり、どちらかを選択できるようになっている。

通常は LAST IN を用いる。

① LAST IN データ

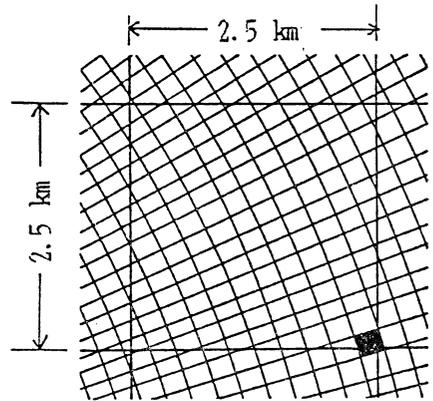
第7図のように $2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$ メッシュの中には1レンジ、1スイープごとに多数の極座標型式のデータが含まれるが、そのうち r, θ が共に最大の値をそのメッシュのデータとする。すなわち、座標変換の処理において最後にそのメッシュに対応したデータを使うことになる。

② PEAK データ

$2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$ メッシュに含まれる極座標型式のすべてのデータの中での最大値をそのメッシュのデータとする。

(6) 混信の除去

レーダーの受信信号に混信等がある場合は、画面上に



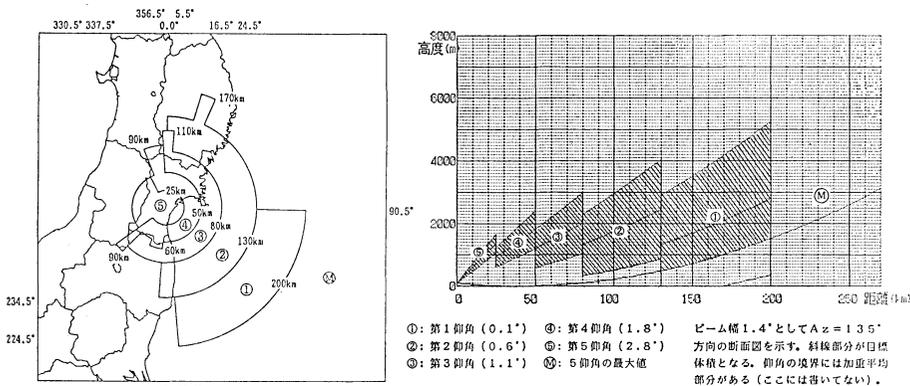
第7図 座標変換。

螺旋状の小さなドットとして現れることが多く、同一仰角で空中線を2回スキャンすることで得られた2枚の画面において同じ位置 (メッシュ) にこのドットがくることはほとんどない。このことを利用して、混信等による誤データを除去する。処理の手順としては、1回目のスキャンで得られた観測データを基本とし、2回目のデータの対応するメッシュにエコーがないときは、仮に1回目のデータにエコーがあってもそのエコーはなかったとして除去し、両方ともエコーがあるメッシュでは1回目の観測データを有効として採用する。この結果、エコーの無いエリアに混入したドット状の混信を除去することができる。この処理はエコー強度観測データの場合のみ行い、エコー頂高度の場合は行わない。

混信の除去は精度の維持のために重要な手法であるため、効果をあげるために2画面比較以外の手法も併用しているメーカーもある。

6. 二次処理装置の機能

一次処理装置から送られてくるデータは仰角毎の 2.5 km メッシュの受信電力のデータ (生データ) である。二次処理装置はこのデータから、エコー強度データ、エコー頂高度データを作成するとともに、エコー強度データを積算して1時間積算降水強度データを作成して通信接続装置に出力する。二次処理装置は中央処理装置 (CPU)、固定ディスク・フレキシブルディスクの補助記憶装置およびコンソール (システムタイプライタ) で構成される。以下、その機能について述べる。



第8図 エコー強度の合成範囲及び断面図(仙台)。

6.1 エコー強度, 1時間積算降水強度データの作成

(1) 3 (5) 仰角の合成

第4図に例示したように, 探知範囲全体にわたってなるべく低い一定高度での画像を取得するために, 仰角値の異なる3画面(または5画面)のエコー強度データを用いてビーム高度が約2,000mとなるようにエコー強度の合成を行う。合成はおよそ次の条件で行う。仰角値, 各仰角の接合部分までの距離は官署によって異なる。合成範囲および合成の状況を示す断面図の例を第8図に示す。

① 等ビーム高度が2,000m以上となる遠距離の領域については, 3 (5) 仰角のうちで最も強いデータをそのメッシュのデータとする。

② 近距離の領域については, 最も高い仰角のデータを用いる。

③ ①と②の中間の領域については, できるだけ高度2,000mに近くなるような仰角のデータを用いる。

④ 各領域の接合部分(境界となるメッシュ)については, データが不連続とならないように一定範囲(幅約20km)で加重平均を行う。

(2) 雨量変換

上で述べた合成データは各メッシュ(2.5km×2.5km)の8ビットの受信電力のデータ(単位: dBm)である。これを次式によって降水強度(単位: mm/h)に変換する。

$$R = (200/B) \cdot 10^{(n-n_0)/10\beta}$$

R: 降水強度 (mm/h)

n: 8ビットのエコー強度データ (0~255)

α : 8ビットのエコー強度データと受信電力

[dBm] との換算係数 (0.3125)

n_0 : B=200としたときの R=1[mm/h] に対応する定数(レーダー毎に定める)

B, α : 雨量変換定数

B, β はシステムタイプライタによって設定できるが, B=200, $\beta=1.6$ の標準値を使用する。

(3) 雨量積算

2.5km×2.5kmメッシュの雨量変換値を積算ファイルに加算する。このファイルへの1時間のエコー強度観測8回分の雨量値積算が終了したら, これを積算回数で割って平均値を算出する。

(4) 監視用ディスプレイ向けデータファイルの作成

2.5km×2.5kmメッシュの降水強度値を第1表に示す7レベル値に変換する。また, そのメッシュにおける雨量積算値が基準値(通常20mm/h)を越えているときには1時間積算降水強度アラーム(当該メッシュのエコー強度データ値のMSB(Most Significant Bit))を1とする。

(5) L/A 向けデータファイルの作成

雨量変換値, 雨量積算値とも2.5km×2.5kmメッシュの値であるので, これを5km×5kmメッシュの雨量変換値に変換する。変換の方法は4メッシュの平均値または最大値の2通りが選択可能であるが, 最大値を用いる。さらに第1表に示すようなレベル値に変換する。

6.2 エコー頂高度データの処理

(1) 雨量変換, メッシュ変換

一次処理装置から入力されるエコー頂高度のデータ

は、エコー強度と同じ、 $2.5\text{ km} \times 2.5\text{ km}$ メッシュの受信電力のデータであるので、これを 6.1 (2) と同様の方法で雨量値に変換した後で、 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ メッシュの雨量値に変換する。変換は 4 メッシュの最大値とする。

(2) エコー有無の判定、最高仰角の決定

10 仰角 (または 13 仰角) の全メッシュについて、雨量値が一定の基準以上となるメッシュをエコー有り、それ以下のメッシュをエコー無しと判定し、全仰角の同じ位置のメッシュの中でエコー有りとなった最高の仰角を決定する。

(3) エコー頂高度の計算

各メッシュ毎に検出された最高仰角から、次式によって各メッシュのエコー頂高度値 $H(\text{m})$ を求める。

$$H = H_0 + r \cdot \sin\theta + 3r^2/8R$$

H : エコー頂高度値 $H(\text{m})$

H_0 : 空中線海拔高度 (m)

r : レーダーとメッシュ間の距離 (m)

θ : 検出したそのメッシュの最高仰角 ($^\circ$)

R : 地球の半径 ($6.37 \times 10^6\text{m}$)

(4) レベル変換、L/A・監視用ディスプレイ向けデータファイルの作成

得られた高度値を第 1 表に示す 10 レベル値に変換し、L/A 向けデータファイルに転送する。また、 $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ の範囲内における最大レベル値を求め、これを監視用ディスプレイ向けデータファイルに転送する。

7. 通信制御装置

この装置は、二次処理装置で作成・保持しているデータを決められたフォーマットに組み立てて、定められた手順で送出するものである。伝送先は ① L/A、② 監視用ディスプレイ装置、③ モニタ用ディスプレイ装置、④ その他 (部外分岐等) である。このうち ①、②、④ はモデムを通し、③ は直接伝送する。

7.1 L/A 向け伝送

L/A 向けの伝送は L/A 側から送信要求があったときに行われる。レーダーサイトと L/A 間の通信回線の規格などは次のとおりである。

(1) 回線の種別と規格: 構内回線または NTT 専用回線

(2) 伝送速度: 4,800 bps

(3) 伝送制御手順: HDLC (NRM)

HDLC (High Level Data Link Control) はフレームの形式ですべてのデータ転送を行う高水準伝送制御手

順であり、NRM (Normal Response Mode) は一次局 (この場合は L/A) からの許可を受けたときのみ二次局 (レーダーサイト) が応答できるモードである。

L/A は接続されている全部のレーダーサイトに対してタイムチャートに従って毎時 00 分から順次集信制御を行う。集信は毎時 2 巡実施され、1 回目でエコー強度データおよびエコー頂高度データを、2 回目で 1 時間降水強度データを収集する。伝送データは、システムの効率と伝送制御手順の必要からエコー強度などの 1 画面のデータを複数 (通およびフレーム) に分割して行う。L/A ではデータが正しく伝送されたかどうかをチェックし、C/A に送信する。

7.2 監視用ディスプレイ装置向け伝送

監視用ディスプレイ装置向けデータはエコー強度観測に合わせて 1 時間に 8 回伝送される。通信回線の規格などは次のとおりである。

(1) 回線の種別と規格: 構内回線、NTT 専用回線、または自営無線回線

(2) 伝送速度: 2,400 bps

(3) 伝送制御手順: フリーラン

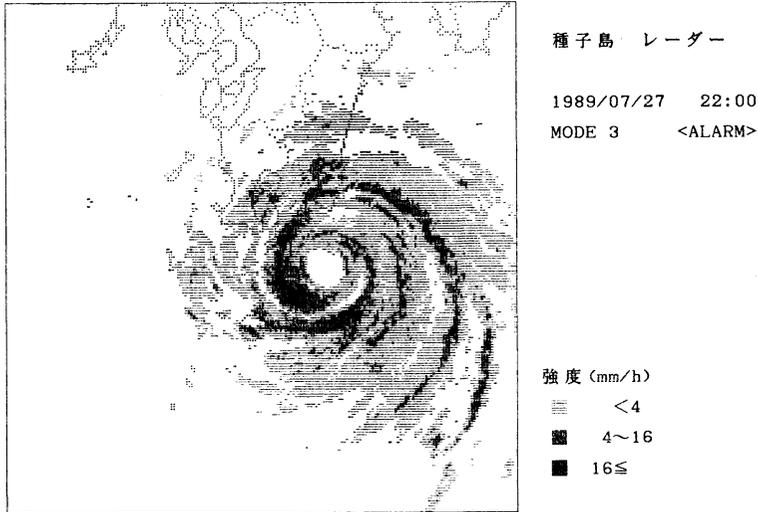
二次処理装置内に伝送データが作成されると直ちに一方的に伝送し、時間の制御、再送等は行わない。第 3 図からわかるように、エコー頂高度を含む場合 (毎正時) とエコー強度のみの場合 (毎正時以外) がある。エコー強度データは 10 個のブロックに分割され、この前後にスタートブロック、エンドブロックを付加して伝送する。エコー頂高度の観測がある場合は、エコー強度の伝送終了後に 1 ブロックのエコー頂高度データの前後にスタートブロック、エンドブロックを付加して伝送する。1 時間積算降水強度データはアラームビットとして、エコー強度データに含めて伝送される。レーダーサイトのモニタ用ディスプレイ装置へは監視用ディスプレイ装置と全く同じデータが伝送される。

7.3 監視用、モニタ用ディスプレイ装置の映像表示

これらのディスプレイ装置においては次のような画像が表示される。この画像のハードコピー例 (白黒: 3 階調表示) を第 9 図に示す。

① 表示管は 20 インチカラー CRT である。この中で画面左にレーダーデータが画像表示される。また、右側にキャラクタ表示域が確保される。画像表示域では 1 個のメッシュ ($2.5\text{ km} \times 2.5\text{ km}$) が 2×2 ドットで表示される。

② エコー強度は第 1 表に示す色で 6 段階に表示され



第9図 監視用ディスプレイの表示例(台風8910)。

る。

③ エコー頂高度 データがある場合には、50 km×50 km のメッシュ毎にその中の最高エコー頂高度レベルを数字で表示する。

④ 1時間積算降水強度が設定値を越えたメッシュがある場合には、キャラクタ領域に ALARM の文字が点滅表示される。また、そのメッシュがエコー強度にかえて白色で表示される機器もある。

⑤ エコーパターンに重ねて地図(海岸線と県境)およびレーダーサイトを中心とする東西・南北の方向 50 km 毎の距離 マークが白色ドットで表示される。これは「MAP」スイッチにより ON, OFF できる。

⑥ キャラクタ領域にはサイト名、観測モード、観測時刻などのステータス、エコー強度表示色と相当降水強度、エコー頂高度レベルと高度区分の対応が表示される。また、NO ECHO (エコーがない)、NO OPERATION (運用休止)、FAULT (故障)なども表示される。

8. おわりに

8.1 デジタル化レーダーデータの利用の広がり

文頭で述べたようにレーダーのデジタル化の第1の目的は迅速なデータ収集と電算機処理であった。このためのデータが L/A を経由して気象庁本庁に集められ、降水短時間予報の初期値データとして使用されているのは前に述べたとおりである。

ところで、デジタル化レーダーから伝送されるもう一つのデータである監視用ディスプレイ向けデータは昨今のコンピュータ技術の進歩につれて当初の予想を超えて積極的に利用されるようになってきている。すなわち、デジタル化計画の当初においては、このデータを表示するための監視用ディスプレイは表示専用の機器で価格も高いものであった。そのためにこれが設置されたのは地方予報中樞官署に限られていた。ところが、近年、16ビットパソコンが急速に普及し、また、このデータの伝送フォーマットがパソコンで対応可能で分岐が容易な単方向通信であったことから、気象庁でデータのオンライン受信、表示を行うパソコン用プログラムが開発されたことがきっかけとなって、業務実験という位置づけではあったが、無線通信網(VHF)を用いて地方気象台等に伝送し、パソコンで画像表示して降水現象の監視に利用するようになった。さらに、複数のレーダー官署からデータが伝送されてくる地方予報中樞官署において、これらを合成して、互いに探知しにくいエリアを補いあって、より利用価値の高いデータとすることも開始された。今ではほとんどの気象官署において、注意報・警報の的確な発表等、予報業務上の重要な資料となっている。

さらに、このデータはリアルタイムで入手できるため利用価値が高く、また画像で理解しやすいため、気象関連会社、報道機関等の部外機関からも分岐の希望が強くなり、昭和59年の富士山レーダーのデータ分岐に始まっ

て、現在では全国で65の機関に対してオンラインで分岐を行っている。このように、デジタル化レーダーのデータは気象庁内部にももちろん、部外機関においても積極的に利用され、なくてはならないデータとなってきた。

8.2 データの保存

レーダーのデータはリアルタイムで利用して最大の効果をあげるものであるが、取得されたデータは後日の各種調査等のためにレーダー観測官署において保存されている。保存されるデータは監視用ディスプレイ向けデータであり、MS-DOSのファイルの形でFDに収録されている。

また、処理データの品質確保のための資料として、MTに次のデータを短期的に収録している。

- ① 混信除去後のエコー強度3仰角生データ
- ② L/A 向けエコー強度データ
- ③ L/A 向けエコー頂高度データ
- ④ L/A 向け1時間積算降水強度データ

8.3 デジタル化レーダーの今後の展望

現在、沖縄管内のレーダーがまだデジタル化されていないため、これらを含むネットワークを早期に完成させることが現在の目標であって、その後の計画として決定したものは無い。

一方、これまでに取得されたデータを基にして考察すればデジタル化処理の内容に対しては今後の展望をいくつか提示することができよう。まず、第1には、地形エコーの消え残りやシークラッタの混入を完全に除去しデ

ータの品質をさらに高めることである。これは観測者の経験と判断によって除去していたものをデジタル処理に置き換えたものであるが、除去能力を向上させようとするれば、データ収集の時間が長くなりまた弱い降水が探知しにくくなるという関係があるため、現在は時として完全な除去が困難な場合がある。次に、データの定量性を向上させることである。例えば、統計的手法に基づいている受信電力から降水強度への変換誤差を減少させるための新たな手法を導入するとか、ビームの広がり起因する誤差やレドーム（空中線の覆い）表面に付着した雨滴や電波伝搬路の降水粒子による電波の減衰に基づく誤差を補正するといった方法の開発によって観測値の量的精度を向上することが可能と考えられる。

データの利用の面では、現在はエコー強度とエコー頂高度をそれぞれに表示しているけれども、これらを統合した、直感的にとらえやすいデータ表示方法の開発が考えられる。さらに、仮にレーダーがドップラー化されれば、降水系の構造をリアルタイムで各地の予報担当者が解析できるようになるかもしれない。

これらの改善はすぐには困難であろうが、今後の技術開発により実現の可能性は高いと思われる。

参考文献

- 気象庁、1986：レーダー気象観測指針—デジタル化編—気象庁1980・1982・1983、観測部レーダー観測技術資料、29、31、32、レーダーエコーデジタル化特集。

訂正表（下記の通り誤植がありましたのでお詫びして訂正させていただきます）

巻号	頁	位	誤	正
37. 8	目次	9	浜田周平	浜田周作
〃	目次	31	山本龍三郎	山元龍三郎