

三次元レーダー雨量計情報の可視化

VISUALIZATION OF THE INFORMATION FROM A THREE-DimensionALLY SCANNING RADAR RAINGAUGE

中北英一*・椎葉充晴**・池淵周一***・高棹琢馬****

By Eiichi NAKAKITA, Michiharu SHIIBA, Shuichi IKEBUCHI and Takuma TAKASAO

We developed several colour graphic screens which can visually represent both the distribution of echo intensity and the shape of the three dimensionally spread precipitation field, in order to investigate how fine resolution the radar information has.

By the use of VCAPPI (Various Constant Altitude Plan Positions Indicator), which we developed from CAPPI, we can visually investigate three dimensional characteristics of the precipitation phenomena in meso- β scale. Furthermore, by the use of FVCAPPI (VCAPPI for an arbitrary specified domain) and RRHI (in the form of the arrangement of fifteen RHIs), we can visually investigate characteristics in meso- γ scale.

In the case of very heavy rainfall which arose along Baiu front on the 21 July in 1986, from FVCAPPI and RRHI we can find a convective echo consists of several echo cells in various life stages. This means the convective echo is from a multi-cell storm. This fact can be also verified from RHTI (Range Height Time Indicator), which can visually represent the time series of an echo pattern in an arbitrary vertical section, by setting the vertical section along the storm moving direction.

Keywords: radar, rainfall, short-term prediction, storm

1. 序 論

近年、建設省によりデジタルレーダー雨量計が実用化され、それに伴ってレーダー雨量計を用いた種々の短時間降雨予測手法が提案されてきた^{1)~4)}。しかし、現在までに提案されている手法はすべて、二次元平面内の降雨パターンの変化傾向を時間的に外挿するといった運動学的手法に属するもので、この運動学的手法では予測精度に限界があるというのが現状である。

特に、二次元平面内のデータの利用だけでは、利用できる降雨情報は三次元的に広がる降雨場のほんの一部に過ぎず、他の気象データや気象学的知識とあわせて議論する際に必要な、降雨域の鉛直方向の広がり具合や強度分布等の情報は得られない。しかも二次元平面の情報とはいふものの、それはレーダービームの仰角を一定値に固定して得られる情報であるので、観測される現象の高度がレーダーサイトからの距離によって異なるという点にも問題がある。したがって、さらに予測精度を向

上させるためには、三次元レーダー雨量計(仰角可変レーダー雨量計)情報を利用した気象学的根拠のある降雨予測手法の開発が不可欠となる。

一方、国外、特にアメリカにおいてはマルチセルやスーパーセル等の三次元構造の観測調査に関する多くの文献があるものの⁵⁾、わが国で発生する豪雨の降水系の三次元構造およびその変動特性についての調査例はあまり多くなく、調査研究の穴となっている。しかも、湿潤で複雑な地形を有するわが国で発生する強降水系の立体構造やスケールが、平坦な地形上の比較的乾燥した周囲の大気の中で発生するアメリカの強降水系のそれらと異なることが十分予想されるので、三次元レーダーによってわが国の強降水系の三次元構造を解明することも基礎的研究として重要な意味をもつことになる。

さて、三次元レーダー雨量計情報の利用を考えるにあたって、まず第一にレーダー雨量計データの分解能、つまりレーダーデータがどの程度降水構造やその変動特性を表現し得るかを前もって把握しておく必要がある。ところが、三次元空間内のレーダーエコーの強度分布を直観的に把握することは容易ではない。なぜならば、一般に三次元的なエコーの強度分布を二次元平面内に表現しようとするとき、三次元的なエコー域の形態をわかりやすく表現しようとするればその中の強度分布の表現が難し

* 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所
(〒611 宇治市五ヶ庄)

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

**** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

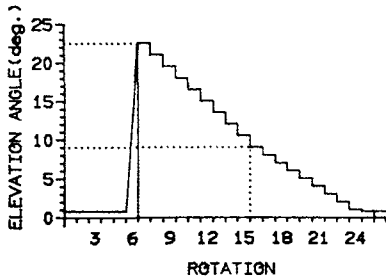


Fig. 1 Beam scanning procedure of the Miyama Radar Raingauge System.

くなるし、反対に強度分布の表現に重点をおけば立体的なエコー域の形態が直観的にはわかりにくいものとなるからである。

こういった点を考慮し、本研究ではカラーグラフィックスを用いて、三次元的なエコーの強度分布を直観的かつ詳細に表現するための画像の開発を行うとともに、それらの画像を用いてレーダー雨量計データの分解能を調べることを目的とする。

なお用いたデータは、昭和 61 年 7 月に京都府南部に生じた集中豪雨時に建設省深山レーダー雨量計システムにより観測されたものである。

2. 三次元レーダー雨量計システム

本章では、三次元レーダー雨量計システムの概要を建設省深山レーダー雨量計システムを例にとって説明するとともに、放射状メッシュ単位に得られる受信電力値から三次元デカルト直交座標系内に設定した格子点上の値への変換方針についても述べる。

(1) 深山レーダー雨量計システムの概要

建設省によって全国に配備運営されているレーダー雨量計の数は 1987 年 3 月 31 日現在 13 台を数える。そのなかで深山レーダー雨量計システムだけが、ビームの仰角を固定した仰角固定観測のほかに、仰角可変観測も行う機能を有する。

観測手順としては Fig. 1 に示すように、1 分間に 5 回転の回転速度で、ビームの最低仰角 (0.8°) とした仰角固定観測を 1 分間と、仰角が 22.5° から 1° までの仰角可変観測を 4 分間の、合計 5 分を 1 サイクルとして連続観測を行う。したがって深山レーダーにおいては、仰角可変観測時に最大仰角と最低仰角とでは観測時点に 4 分の差が生じ、なおかつ仰角固定観測値だけは一分間平均値であるので、定量的な解析を行う場合、対象とする時空間スケールによっては、これらの点に注意を払う必要がある。

仰角固定観測時の受信電力値は、レーダーサイトを中心とする半径 120 km 以内を方位方向に 128 等分、120

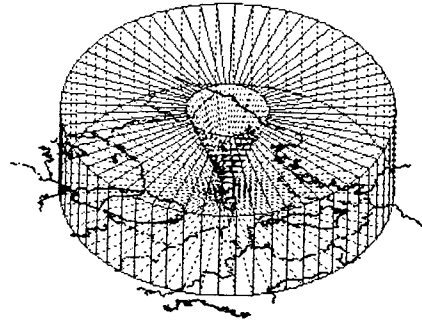


Fig. 2 Observation domain of the Miyama Radar Raingauge System.

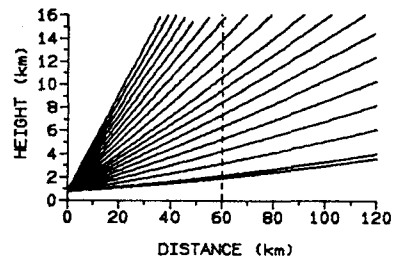


Fig. 3 Vertical section of the observation domain represented by radar lines of sight.

km から 198 km までを 256 等分して、さらにビーム方向を 3 km ごとに等分して得られるメッシュ単位で与えられる。半径 120 km 以内が定量観測範囲、それ以外が定性観測範囲とよばれている。これは、ブライトバンドの高さがおよそ 4 km と想定すると、仰角固定観測時のビームがこの高さを越えない範囲が 120 km 以内となるためである。

一方、仰角可変観測範囲は地表面を平面とすれば Fig. 2 のとおりである。半径 120 km の円筒を、地表から約 15 km の高さで地表面に平行な平面で切った立体にはほぼ等しい。ただしビーム仰角が最大 22.5° という制限から、中心部には逆円錐状のデータのない領域がある。また底面も、ビームの最低仰角が 0° ではないのでレーダーサイトを頂点とした逆円錐状をしている。この観測範囲の鉛直断面をビーム走行線で表わしたのが Fig. 3 である。ビーム仰角は離散的に設定されており、ビームが方位方向に一周する間、仰角は一定値に保たれる。図中、最低仰角のビーム線は仰角固定観測時のものである。各仰角に対する観測範囲をビーム方向の距離で表わしたのが Table 1 である。受信電力値は仰角固定観測時の定量観測範囲と同様、方位方向を 128 等分、ビーム方向を 3 km ごとに等分して得られるメッシュ単位で与えられる。

(2) デカルト直交座標系内に設定した格子点上の

Table 1 Observation range for each elevation angle.

No.	elevation angle(deg.)	observation range along radar lines of sight(km)
1*	0.8	120
2	1.0	120
3	2.0	120
4	3.0	120
5	4.0	120
6	5.0	120
7	6.0	120
8	7.0	120
9	8.0	108
10	9.0	96
11	10.5	84
12	12.0	72
13	13.5	63
14	15.0	57
15	16.5	51
16	18.0	48
17	19.5	45
18	21.0	42
19	22.5	39

*: for the observation with fixed elevation angle

データ値への変換

(1) で述べたように、レーダーの受信電力値は、方位方向と距離方向の極座標系で表現される放射状メッシュ単位で得られる。しかし、降水強度分布の三次元画像を作成したり各種の解析を行うにあたり、データの空間的配置は直交座標系で表わされている方が都合がよい。したがって本研究では、Fig. 4 に示す単位放射状メッシュごとに得られる値を、三次元デカルト直交座標系(以下では単に直交座標系とよぶ)における格子点上の値に変換する。図中、1.35° はアンテナの垂直ビーム幅である。具体的には、各格子点がどの単位放射状メッシュに含まれるかを判断し、その単位放射状メッシュ内の平均受信電力値をもって、格子点上の値とする。

ただし、本研究では三次元的な観測域全体を単位放射状メッシュで分割構成できるようにするために、単位放射状メッシュの上下端は、Table 1 の No. n に対する仰角を $\alpha(n)$ 、この仰角に対する単位放射状メッシュ上面の仰角を $\alpha_u(n)$ 、下面の仰角を $\alpha_l(n)$ 、として

$$\left. \begin{aligned} \alpha_u(n) &= |\alpha(n+1) + \alpha(n)| / 2 \\ \alpha_l(n) &= |\alpha(n) + \alpha(n-1)| / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

のように定めることにする。ただし、

$$\alpha_l(1) = 0.2^\circ, \alpha_u(19) = 23.0^\circ \dots\dots\dots (2)$$

とする。なお、アンテナの垂直ビーム幅は 1.35° であるので、仰角が 9° 以上になると単位放射状メッシュ内にビームの Major Lobe の走行しない領域が若干存在することになるが、これは無視する。

直交座標系および格子点は以下のようにして定める。Fig. 5 に示すように、円筒形をしている観測範囲を含むような 240 km × 240 km × 13 km の直方体を、レーダー

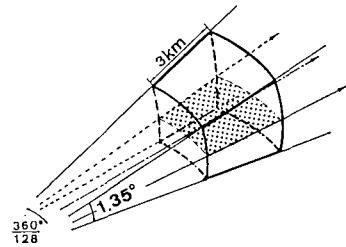


Fig. 4 Illustration of a unit mesh. The electronic power intensity averaged within this unit domain is recorded.

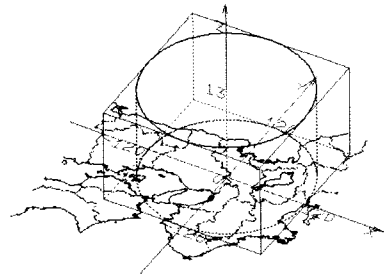


Fig. 5 Rectangular cartesian coordinate system set over the Kinki District.

サイトを中心に東西方向を x 軸、南北方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とした直交座標系に設定する。直方体の高さを 13 km としたのは、対流圏界面のおよその高度と、計算機の記憶領域の節約とを考慮したためである。

次に、設定した直方体を x 軸、y 軸方向にそれぞれ 80 等分、z 軸方向に 13 等分して得られる、3 km × 3 km × 1 km のメッシュで構成し、このメッシュの中心点を格子点とする。ただし、高度 0.5 km の格子点はすべて観測範囲には含まれない。ここで格子点の z 軸方向の間隔を 1 km としたのは、レーダー観測範囲の鉛直方向の平均的な分解能が 1 km であることによる。つまり Fig. 2 で示したように、仰角可変時の観測範囲半径 120 km の中間点、すなわち 60 km 地点におけるレーダービームの鉛直方向の分解能が約 1 km であることによる。

ところで、厳密には地表は平面ではない。そこで、レーダーサイトを中心とした正距方位図上に直交座標系を設定するものとする。そうすれば、地図上の地点 (x, y) はレーダーサイトから方位 $\theta (= \arctan(y/x))$ 方向に地表に沿って距離 $r (= (x^2 + y^2)^{1/2})$ だけ進んだ地点を正確に表現していることになる。

さて、格子点の地表面に沿った距離 r、高さ z が定まると、レーダーサイトからみた格子点の仰角 α 、距離 d (Fig. 6 参照) を

$$\alpha = \arctan \left\{ \cot \phi - \frac{(R+z_0)/(R+z)}{\sin \phi} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$d = (R + z_0) \sin \phi / \cos(\phi + \alpha) \dots \dots \dots (4)$$

$$\phi = r/R \dots \dots \dots (5)$$

に従って求める。ただし、 R は地球の半径、 z_0 はレーダーサイトの標高である。

このようにして、 θ 、 α 、 d が定まれば、格子点を含む単位放射状メッシュが決定できるので、この単位放射状メッシュの平均受信電力値を格子点上の受信電力値とする。

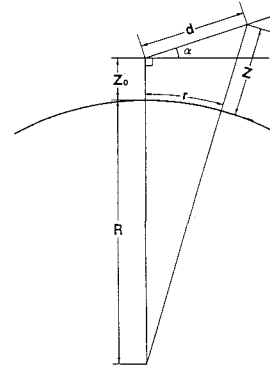


Fig. 6 Explanation of the relation among the elevation angle α , the distance from the grid point to the radar site d and the height of the grid point z .

3. 三次元レーダー雨量計情報の可視画像

本章では、三次元的なエコーの広がりおよび強度分布を表現しようとして、カラーグラフィックスを用いて作成した種々の画像を紹介する。画像はすべて、ソニー・テクトロニクス社製グラフィック・ライブラリー PLOT 10・IGL を利用して FORTRAN 77 でプログラミングし、同社製 4109 型カラーグラフィック端末によって作成した。

(1) 三次元的なエコー域形態の表現画像

Fig. 7 は等価レーダー反射因子強度（以下、単に反射因子強度あるいはエコー強度とよぶ）が 10 dBZ 以上の降水域の最高高度の分布を三次元的に表現して、降水域の三次元的形態を表わそうとしたものである。降水域を雲にたとえれば、雲頂高度の分布図といえる。必ずしもすべての場合とはいえないが、降水域の下にはやはりエコーが存在するとすれば、この図は三次元的な降水域の形をほぼ表現していることになる。なお、図中の半径 120 km の円は、この円内がレーダーの観測範囲であることを表わす。

一方、Fig. 8 は反射因子強度が 20 dBZ 以上の格子点を含む、3 km×3 km の正方形メッシュを高度ごとに色分けして塗りつぶすことによって、降水域の立体的な姿を可視化したものである。高度ごとに異なった色を用い

ることにより、各高度の降水域の重なり具合を表現している。現場においても三次元的形態を即座に判断するのに十分な画像である。ここで、下面の地図上に赤色で描いてある矢印は、アメダス地上風から線形内挿して求めたおよその地上風速場である。これは、降水系の三次元的形態と、主な水蒸気の供給源である下層大気の流れ場⁶⁾との関係をも定性的にはあるが現場においても即座に判断しやすくするために設けたものである。なお、矢印は矢先の地点の風速ベクトルを表わし、その長さは時速で表わした風速の 2 倍にしてある。

これらの画像は任意の閾値を選ぶことによって任意の強度以上の降水域の形態を表現することができる。

(2) 三次元エコー強度分布図 (VCAPPI, RRHI)

降水域の三次元的輪郭と強度分布とを同時に画像に表現すること、つまり降水域の空間的な全体像を生かしつつ内部の強度分布もわかるようにすることは、三次元エコー強度分布を取り扱うにあたって理想とすべきことで

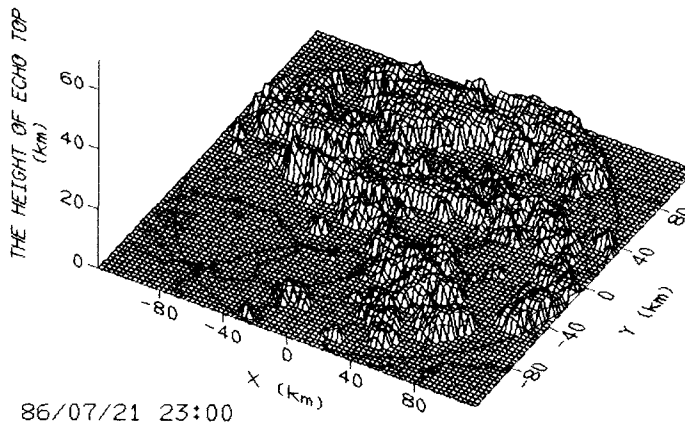


Fig. 7 Distribution of the height of the top grid point at which the radar reflective factor greater than 10 dBZ can be detected.

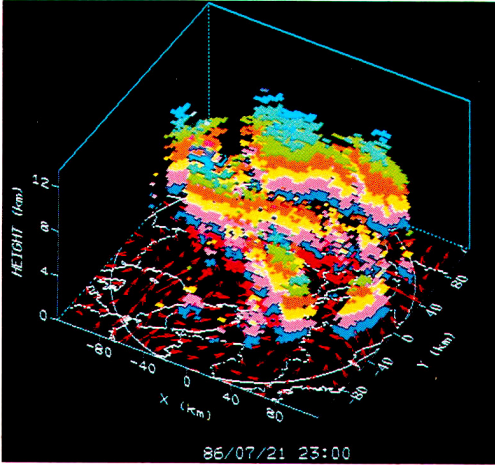


Fig.8 The shape of the three dimensionally spread precipitation field.

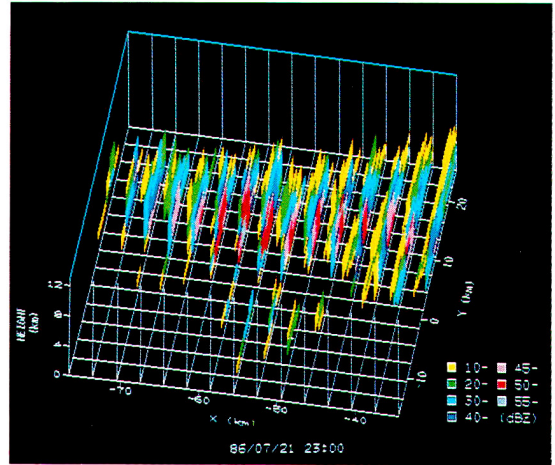


Fig.11 RRHI with north-south vertical sections.

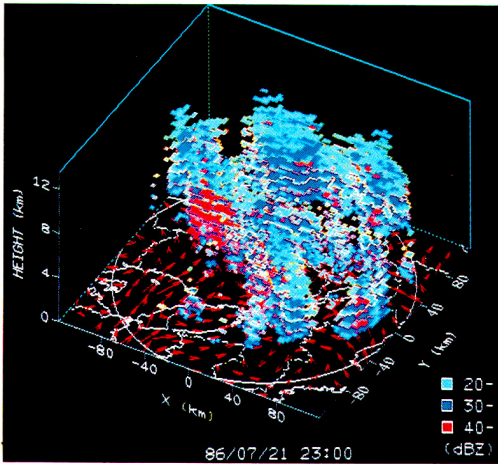


Fig.9 VCAPPI.

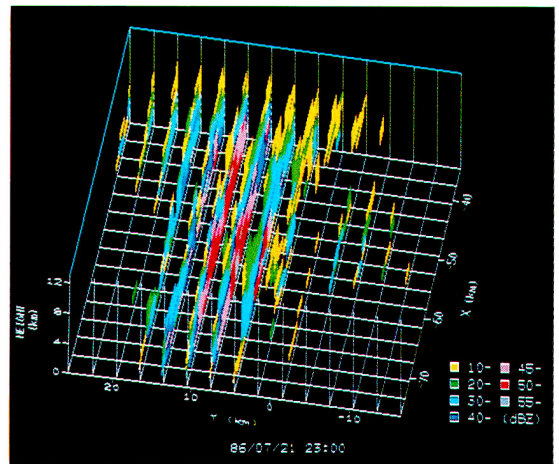


Fig.12 RRHI with east-west vertical sections.

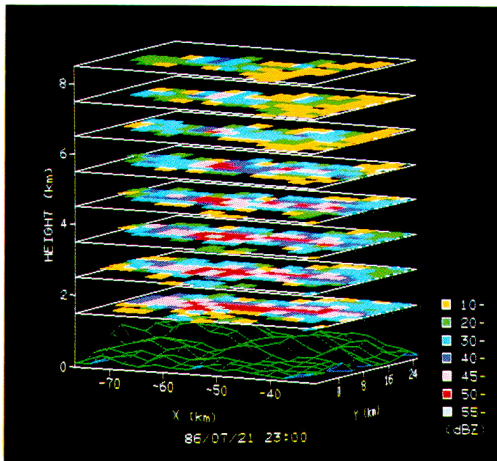


Fig.10 FVCAPPI (VCAPPI for an arbitrary specified domain).

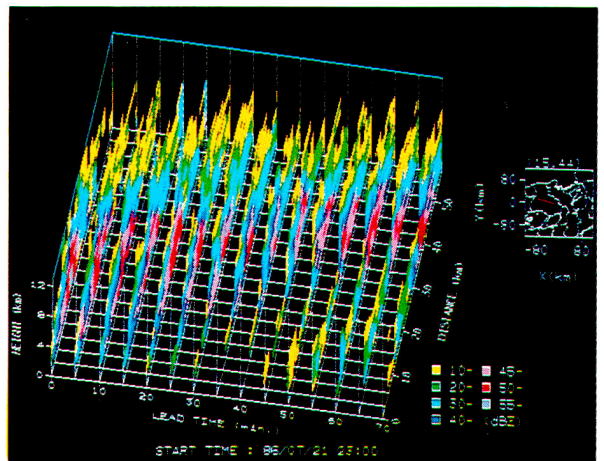


Fig.13 RHTI with the vertical section along the storm moving direction.

ある。本研究では、強度分布を描いた平面を三次元空間に並べて表示することによって、これを実現しようとした。

強度分布を平面に描いたものとしてまず、CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) が挙げられる。これは、レーダービーム走行面の強度分布を表示する PPI (Plan Position Indicator) と異なり、一定高度面のエコーの強度分布を表示するものである。

そこで、各高度の CAPPI を三次元空間に並べて表示したのが Fig. 9 である。これは、降水域を高度ごとに色分けして三次元的形態を表現した Fig. 8 を改良し、おのおの高度の降水域を一色で塗りつぶすのではなく、エコーの強度によって色分けしたものとイえる。ただし、以下に示す強度分布図とは違い、この図だけは煩雑になるのを避けるために3色で表わしてある。さらに、降水域の重なり具合もわかるように Fig. 8 のカラー画像で平面を塗りつぶしたのと同じ色の輪郭線を設けてあるので、降水域の三次元的な輪郭も直観的に読み取ることができる。兵庫県中央部あたりに高高度まで伸びる強降水域が存在するのが読み取れる。前述したようにこの画像は各高度の CAPPI を重ね合わせた図であるので、これを Various Constant Altitude Plan Positions Indicator, すなわち VCAPPI とよぶことにする。

この VCAPPI を限られた範囲内だけに限定し、各高度の強度分布図が互いに重なり合わないようにして高度 1.5 km から 8.5 km までの三次元エコー強度分布を表わしたのが Fig. 10 である。ここで表現されているのは Fig. 9 で兵庫県中央部上空かなりの高度まで 40 dBZ 以上の強エコーがのびていた降水域で、これが実はいくつかのかなり発達した深い対流性エコーからなっていることがわかる。Fig. 9 と異なり、エコー強度が 40 dBZ より大きい部分は 5 dBZ ごとに色分けしてより詳細に強度分布が読み取れるようにしてある。なお最下層の強度分布の下に描いてある緑の網線は山岳地形を表わす。この画像によれば、水平面内の詳細な強度分布のほかその鉛直方向のつながり具合も容易にわかるため、降水域の三次元形態とともにその立体的な強度分布も直観的かつ詳細に把握することができる。

さて、Fig. 9, Fig. 10 とともに分類上は VCAPPI に属するものであるが、前者を VCAPPI, 後者を Fine-VCAPPI つまり FVCAPPI とよぶことにする。

次に、鉛直断面内の強度分布を表示する画像として RHI (Range Height Indicator) がある。本来の RHI とは、レーダーサイトから一定方位方向に沿った距離を横軸に、高度を縦軸にとることによって、レーダーサイトを通る任意方向の鉛直断面内のエコー強度分布を表示するものである⁷⁾。本研究ではレーダーサイトを通る鉛

直断面だけでなく任意の鉛直断面内における強度分布図を RHI とよぶことにする。

この RHI を隠れた部分が生じないように三次元空間内に並べて、Fig. 10 と同じく兵庫県中央部に存在した強降水域の三次元強度分布を表現したのが Fig. 11 および Fig. 12 である。Fig. 11 は南北断面の RHI 15 枚を東西方向に並べたものである。表現されている領域は 42 km × 42 km の正方形領域であり、 x 軸の正方向が東、 y 軸の正方向が北である。この画像によっても、降水域全体の形態や、その中の強降水域の位置や形態がよくわかる。さらに鉛直方向のスケールと水平方向のスケールとがほぼ一致するよう考慮されているので、画像から直観的に読み取れる強度分布形態はより現実に近いものとなっている。一方 Fig. 12 は、同じ領域内の東西断面の RHI を 15 枚並べたものである。図の向きは、Fig. 11 を反時計回りに 90 度回転させてある。したがって、底面の横軸が y 軸、縦軸が x 軸である。南北断面、東西断面のどちらの RHI を並べるかによって若干受ける感じが異なってくるが、どちらの方向のつながりに重きをおくかによって使い分ければよい。通常の RHI が Range Height Indicator であるのに対して、この画像は Height の代わりに Range Height を表現しているので、以後 RRHI とよぶことにする。

さて、Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 に示した画像は、数十 km 四方の領域上空のエコー強度の三次元的な分布を直観的かつ詳細に把握、調査できるという点において、本研究の目的とする画像であり、いくつもの対流セルを含むマルチセル型雷雨など複雑な構造をもつ雷雨の解析等に非常に有効である。特に対流性エコーを力学的あるいは熱力学的に調査する場合には鉛直面内の強度分布が対象の中心となることを考えれば、鉛直面内の強度分布によってエコー強度の三次元構造を表現した RRHI は今後の調査において最も有用な画像といえる。さらに

(3) エコー強度分布の時間推移の表現画像 (RHTI)

ここまでは、ある時刻における降水域の表現画像を示してきた。強度分布の時間推移を知るためにはこれらの画像を時間ごとに並べてゆけばよい。しかし、時間推移をより直観的に把握するためには座標軸の1つに時間軸を取り入れた画像を用いた方がよい。

すでに時間軸を導入した画像の1つとして、横軸に時間、縦軸に高さをとって、ある地点の鉛直軸に沿った強度分布の時間変化を表わした HTI (Height Time Indicator) がある⁷⁾。本研究ではこれを三次元表示画像

に発展させ、鉛直軸方向の強度分布の代わりに任意の鉛直断面の RHI を用いた画像を作成し、これを Range Height Time Indicator, すなわち RHTI とよぶことにした。これは RRHI の x 軸, y 軸のいずれかを距離軸に、もう一方を時間軸にとって、降水域の任意の鉛直断面における強度の時間変化を表わしたものに相当する。しかし、HTI とは異なり RHTI は鉛直平面内の強度分布の時間変化を表わすものであるから、設定される鉛直断面はエコーの進行方向でなければあまり意味がない。なぜならば、画像上の強降水域が発生したり消滅していくのが、エコー自体の消滅によるものなのか、それとも単にエコーが断面を横切ることによって消滅したかのように見えるだけなのか、判断することはできないからである。したがって特定の降水域を追跡してその内部構造の変化を調査する場合、設定する断面はエコー進行方向に沿ったものでなければならない。

そこで、降水域の進行方向に沿った鉛直断面内の強度分布の 5 分ごとの時間推移を表わしたのが Fig. 13 である。地図上に描いてある赤線は、この線上の鉛直断面内の強度分布を描いてあることを意味する。また、この線の左端が距離方向の始点である。時間軸に記してある数値は、START TIME と記してある開始時刻から何分後であるかを意味する。この図の場合、たとえば時間軸で 60 の位置にある断面は、開始時刻の 86 年 07 月 21 日 23 時 00 分から 60 分後、すなわち 22 日 00 時 00 分における RHI である。ここで、降水域の進行方向は、21 日 23 時 00 分から 22 日 00 時 00 分までの 5 分ごとの RRHI 13 枚によって対流性エコーを追跡して定めた。

この図では 50 dBZ 以上の強エコーがほぼ全断面に現われているのが確認できる。これは、進行方向に沿ったものとして設定した鉛直断面をエコーセルがあまり横切って通過しなかったことによるものと考えられる。このように降水域の進行方向をも考慮した RHTI を用いることによって、エコー強度の時間変化や内部のセルの発達・衰弱の様子をより直観的かつ正確に調べることが可能となる。

(4) 三次元レーダー雨量計情報の分解能

さて序論でも述べたように、三次元レーダー雨量計情報を用いるにあたって、まずレーダーデータの分解能、つまりレーダーデータがどの程度小スケールの降水構造や変動特性を表現し得るかを把握しておく必要がある。そこで、ここでは紹介した画像に表わされている降水域の定性的な特徴を述べながら、レーダーデータの分解能を明らかにする。

まず Fig. 10~Fig. 12 からまず気がつくことは、南北方向と東西方向の降水域の広がりの違いで、南北断面は 1 つの対流性エコーから、東西断面は数個の対流性エ

コーから成り立っているのがわかる。最大の対流性エコーのエコー頂高度は 13 km 程度、50 dBZ 以上の部分に注目すればその直径は 10 km を越え、かなり発達した対流性エコーであることがわかる。これらのことは以下のように定性的に説明できる。まず Fig. 10 をみると、上空にエコーが存在するのは南向き斜面あるいはその頂上部付近であることがわかる。このことは地形と高度 2.5 km のエコー強度分布の重ね合わせ図である Fig. 14 をみればよりはっきりと確認される。ただしこの図は強度分布を高度 0 の面内に描いてある。したがって、Fig. 9 とあわせて判断すれば、兵庫県南部の平野を通して流入した湿潤な下層大気が県中央部の山岳斜面によってもともと潜在不安定な場の中で強制上昇させられ、自由対流高度を越えたことが、このかなり発達した対流性エコーの発生あるいはこの位置での発達の一因であることは確かである。一方、米子および潮岬の 21 日 21 時の観測によれば 700 mb 高度から対流圏界面を越えたかなりの高度まで 10 m/s 前後の西ないしは西北西の風が一定して吹いており、発生した対流性エコーがこの風によって東方あるいは東南東に流されるために東西方向に対流性エコーが並んでいるものと考えられる。

さて、この対流性エコーの進行方向 (Fig. 13 参照) に沿った鉛直断面の RHI が Fig. 15 である。エコーの進行方向は右側である。なお横軸に沿って塗りつぶしてある部分は山岳地形を表わす。この図からこの対流性エコーはマルチセル型雷雨によるもので、中心部に存在する強エコー域では下降流が卓越しているものと考えられる。さらに頂上部分に確認される 1 つ 1 つの突起が、マルチセル型雷雨を構成している個々の対流セルに対応しているものと思われる。序論でも述べたようにわが国とアメリカとは周囲の大気湿度が異なることなどから若干スケールの違いがあるものの、この図はしばしば引用されるアメリカで観測されたマルチセル型雷雨の構造図⁹⁾に本質的にはよく対応している。しかも、地上付近では南方風、上空では地上風にはほぼ垂直方向であるエコーの進行方向と同じ風向の風となっており、マルチセル型雷雨が発生しやすい状況であった。さらに、Fig. 15 と同じ断面内の強度分布の時間推移を表わしている Fig. 13 からマルチセル型雷雨の特徴が見出される。必ずしもきれいなパターンにはまったものではないもののこの画像によるとエコー進行方向前方で新たに強エコーが発生し、後方では減衰してゆく様子を読み取ることができる。このことは東西断面を用いた RRHI を時間を追ってみてゆくことでも確認される。

以上より、三次元レーダー雨量計データを用いることにより、いくつかの対流セルから成っている雷雨に関しては内部構造やその変化の様子まで確認できることがわ

かる。さらに、レーダーのもともとの解像度から考えれば1つ1つの積雲に対応する対流セルの内部構造までは確認できないものの、対流セルの存在および発生・消滅はほぼ確認できることもわかる。

4. 結 論

以上、三次元的なエコーの強度分布を直観的に表現するために作成した画像を紹介し、それらの画像を用いて三次元レーダー雨量計データによってどの程度の分解能で降水強度分布特性やその変動特性を表現し得るかを明らかにするとともに、それらの特性とルーチン観測による若干の気象データや地形との定性的な関係について述

べた。

開発した画像は次の3つに分類される。

- ① レーダー観測範囲内全体といった、やや大きなスケールでみた降水域の三次元的な広がり具合を表現する画像 (Fig. 7, Fig. 8),
- ② もう少し小さな範囲内における降水域の強度分布の三次元的な表現画像であるFVCAPPIおよびRRHIとその時間推移の表現画像RHTI (Fig. 10~Fig. 13),
- ③ これらの中間的な意味合いをもつVCAPPI (Fig. 9).

ここで、スケールで分類すれば、①, ③がメソβスケ

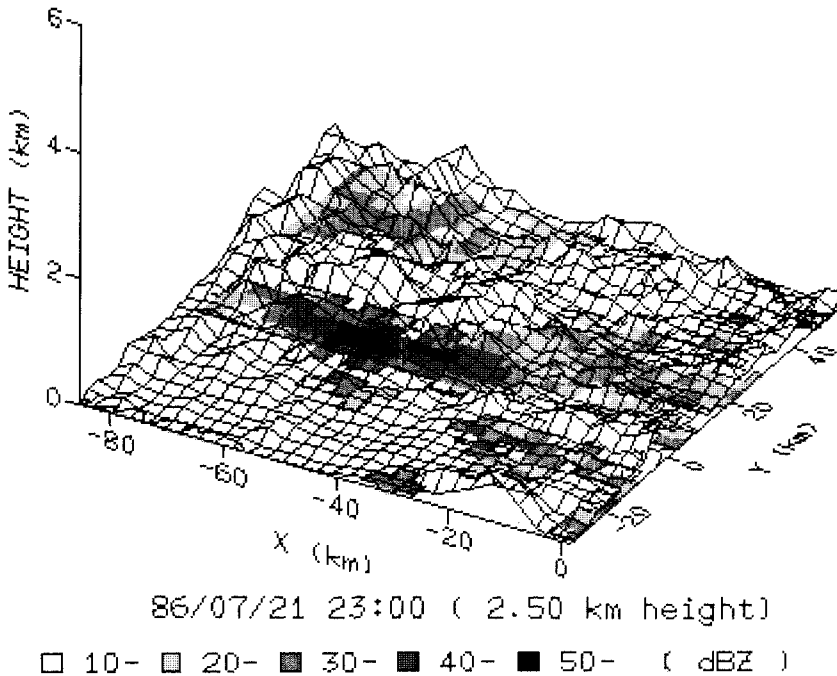


Fig.14 Composition of the distribution of echo intensity at 2.5 km height and the configuration of the ground.

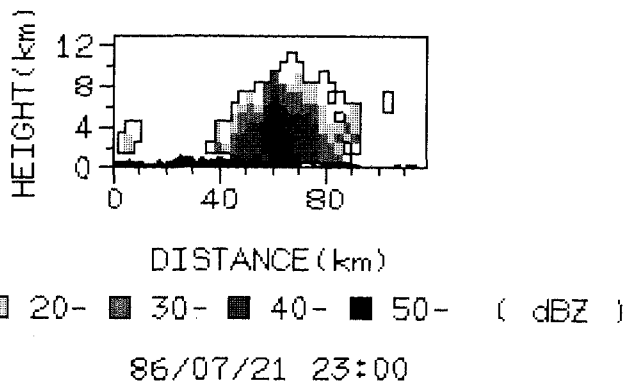


Fig.15 RHI along the storm moving direction.

ル (20~200 km の水平スケール⁹⁾), ②がメソγスケール (2~20 km の水平スケール) でみた現象を表現していることになる。一方, 強度分布も表現されているかどうかで分類すれば, ①は降水域の形態のみの, ②, ③は両者を兼ねた画像である。したがって, ③は①, ②の中間的な特徴をもった画像といえる。

まず, ①, ③の画像の開発により, レーダー観測域全体でみた降水域の三次元形態や強度分布を容易に概観できるようになった。一方, 特定の強降水域の三次元的輪郭と詳細な強度分布とを同時に画像上に表現する FVCAPPI, RRHI の開発により, メソγスケールでみた三次元的なエコー強度分布を直観的に把握することができるようになった。マルチセル型雷雨を例にとりあげれば, それが発達段階の異なるいくつかのセルから成っていることが確認できる程度までの分解能のあることがわかった。また RHTI の開発によって鉛直断面内のエコー強度の時間変化はもとより, エコー進行方向の鉛直断面を設定することで, たとえばマルチセル型雷雨についてはそれを構成している各セルの発生・衰弱の様子をも直観的に追跡調査できるようになった。

中でも, FVCAPPI, RRHI は数十 km 四方の領域上空のエコー強度の三次元的な分布を直観的かつ詳細に把握, 調査できるという点において, 本研究の目的とする画像であり, 特に対流性エコーを力学的あるいは熱力学的に調査する場合には鉛直断面内の強度分布が対象の中心となることを考えれば, 鉛直断面内の強度分布によってエコー強度の三次元構造を表現した RRHI は今後の調査において最も有用な画像といえる。さらに5種類すべての画像をあわせて利用すれば, 巨視的・微視的双方の観点から降水域の三次元構造およびその発達・衰弱の様子を捉えることが可能となる。

今後はこれらの画像を用いて, 他の豪雨現象も含めた

種々の降水域の三次元的構造およびその変動特性を気象データとからめて調査してゆく予定である。

最後に, 本研究で用いた深山レーダー雨量計データは建設省近畿地方建設局淀川ダム統管理事務所から提供して頂きました。その際, 広域水管理課と電気通信課の方々にはたいへんご面倒をおかけしました。心からお礼申し上げます。さらに, 当時京都大学大学院生の筒井雅行君と学部学生の小林 仁君には図表の作成等を手伝って頂きました。ここに, 謝意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 立平良三・牧野義久: デジタル化されたエコーパターンの予測への利用, 研究時報, Vol. 26, pp. 188~199, 1974.
- 2) Austin, G.L. and Bellon, A.: The use of digital weather record for short-term precipitation forecasting, Quart. J.R. Met. Soc., Vol. 100, pp. 658~664, 1974.
- 3) 大倉 博・石崎勝義・中尾宏臣・森本陸世: レーダー雨量計を用いた短時間降雨予測, 第27回水理講演会論文集, pp. 349~354, 1983.
- 4) 椎葉充晴・高棹琢馬・中北英一: 移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討, 第28回水理講演会論文集, pp. 423~428, 1984.
- 5) Agee, E.M. and Asai, T.: Cloud dynamics, D. Reidel Publishing Company, 1982.
- 6) 二宮洗三・秋山孝子: 豪雨の水収支, 気象研究ノート, 第138号, pp. 91~117, 1979.
- 7) Battan, L.J.: Radar observation of atmosphere, The University of Chicago Press, 1973.
- 8) 小倉義光: 一般気象学, 東京大学出版会, 1984.
- 9) Orlanski, I.: A rational subdivision of scale for atmospheric process, Bull. Amer. Met. Soc., Vol. 56, pp. 527~530, 1975.

(1987.10.16・受付)