

デジタル合成エコー図から見た梅雨前線の降雨域*

立平良三** 牧野義久**

要旨

17箇所のレーダーのエコースケッチ図をデジタル化し、電子計算機によってデジタル合成エコー図を試作した。エコースケッチ図の観測時刻は、1972年7月13日09時で、いわゆる47豪雨の末期にあたる。

作成された合成エコー図には、梅雨前線に伴う大型帯状エコーの全貌がよく表現されている。この大型帯状エコーと各種の総観因子との関連は、これまでの調査で得られた大型帯状エコーの一般的性質とよく一致していた。またこの大型帯状エコーに伴う豪雨は、総観スケールの上昇流では説明が困難だが、簡単なメソ擾乱のモデルに基づく雨量の見積りとはよく一致していた。

また合成エコー図をフーリエ解析した結果では、大型帯状エコー内の細部構造として、大型帯状エコーと同様にはほぼ対流圏の一般風向(SW→NE)に沿う帯状構造が卓越していることが明らかにされた。

1. まえがき

梅雨前線に伴う降雨分布は数多くの調査研究で取扱われている。しかしその大部分は、調査領域が狭く総観スケールの梅雨前線降雨の一部分の特性を論じたものである。また雨量計の資料だけでは海上まで伸びる雨域の把握は困難である。

現在の観測網の状況では、Z-R 関係などによる誤差は含まれるものの、レーダー観測によるのが梅雨前線の全貌の把握に最も簡便な方法であろう。

しかし、単一のレーダーでは探知範囲がせまく、どうしても合成されたエコー図による調査が必要である。幸い我国は20台のレーダーによる充実したレーダー観測網があり、この種の調査に適している。

合成エコー図は、PPI 写真やエコースケッチ図を使って作成されるが、その労力は大きく、このためまだ数少ない研究しか発表されていない(立平, 1971, Ninomiya・Akiyama, 1972, 1973)。

しかし、エコースケッチ図が適当なメッシュでデジタル化されれば、合成エコー図はコンピュータにより簡単に作成される(立平・牧野, 1974)。この論文では、このようにして得られたデジタル合成エコー図について考

察した結果を報告する。

デジタル合成エコー図は作成が容易なだけでなく、この図から色々な特性を抽出する解析作業も、コンピュータで迅速かつ客観的に行えるという大きな利点を持っている。

2. デジタル合成エコー図の作成

合成図の作成に使用したエコースケッチ図は次のとおりである。

(1) 日時: 1972年7月13日09時。

この日は日本南部で梅雨前線による集中豪雨があり、気象庁予報課で調査のため各レーダーのスケッチ図が集められていた。

(2) レーダー官署名 (17)

釧路・札幌・函館・秋田・仙台・新潟・東京・富士山・福井・名古屋・大阪・室戸・松江・広島・福岡・種子島・名瀬。

以上の17枚のスケッチ図を10×10km メッシュでデジタル化し、レーダー官署の位置に応じて地図上にタイプさせると第1図のようなデジタル合成エコー図が得られる。

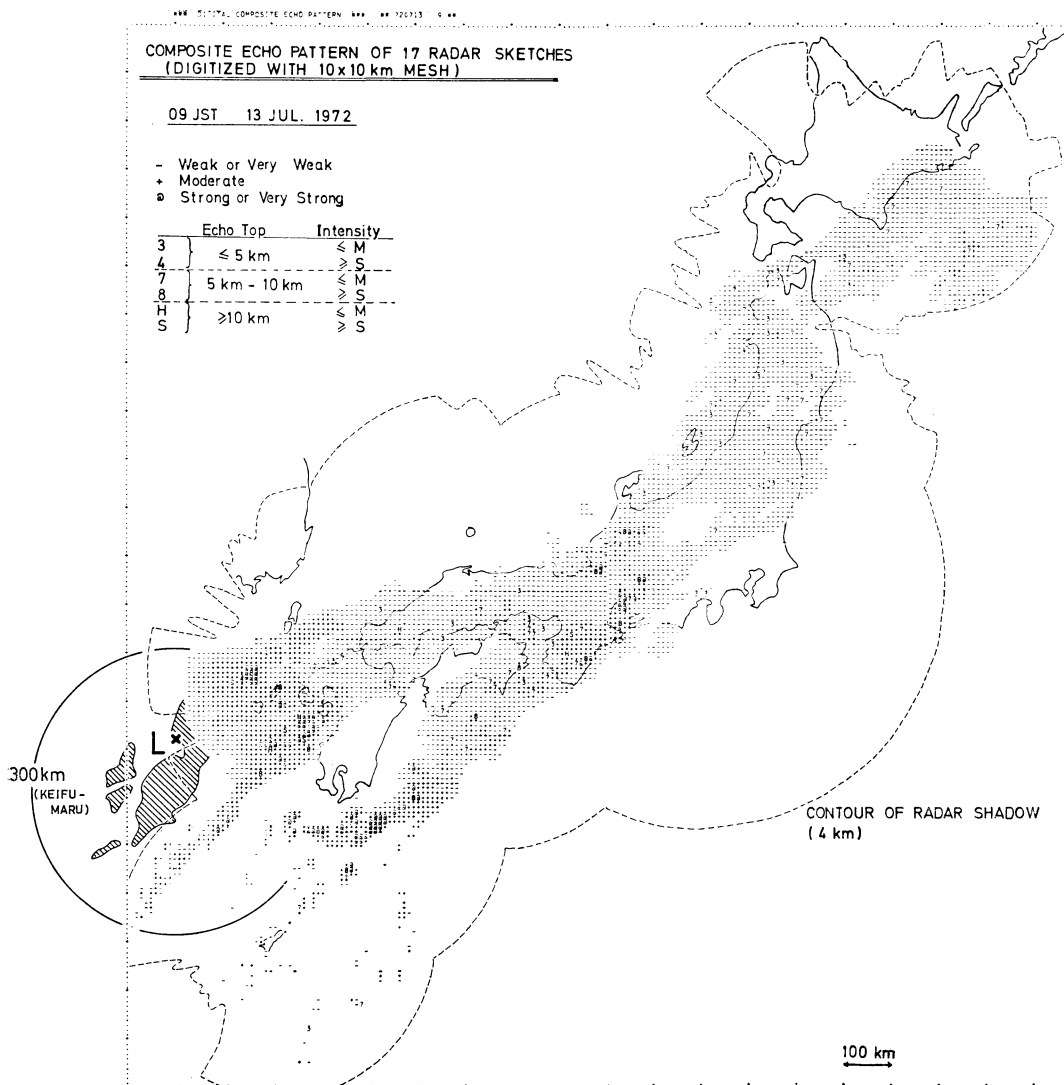
エコー強度はスケッチ図の三色表示に対応して(-, +, @)の記号で表現し、またエコー頂高度の測定点では第1図中の凡例のように三段階で高度を表示している。なお2つ以上のレーダーで同一エコーを観測しているときは、その最高のエコー強度を合成図に表示した。

スケッチ図のデジタル化について、くわしくは立平・牧野(1974)を参照されたい。

* Precipitation Patterns Associated with Bai-u Front as Seen by Digital Echo Composite.

** R. Tatehira and Y. Makino, 気象庁電子計算室

—1974年1月18日受理—



第1図 デジタル合成エコー図 (1972年7月13日09時)。斜線域は同時刻の啓風丸レーダーのエコーのアウトライン。九州西方の×印は地上低気圧の位置。

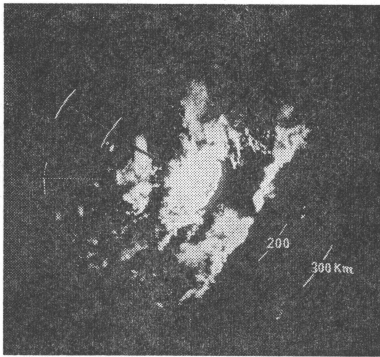
3. 総観場との関連

第1図の合成されたエコーパターンは全体として長さ2,000km以上、幅約300kmの長大な帯状構造を示している。図中の破線は4,000mの等ビーム高度線で、暖候期はこの破線内が日本のレーダー観測網の探知範囲と見てよい。この探知範囲から判断すると、帯状パターンの北東端(北海道の南東海上)はまだその先にエコー域がつづいている可能性を示している。

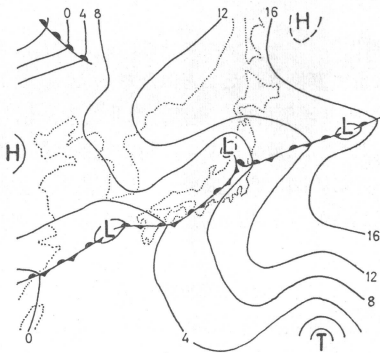
帯状パターンの南西端は二本に枝分れしており、九州の南に伸びる方は、奄美大島付近に終端を持っているこ

とは明らかである。九州の西へ伸びているものは探知限界まで達しているので、この合成図からは終端の状況はわからない。

幸いなことに、この日は気象庁の啓風丸が、九州西方海上の31°01'N, 127°10'Eにあってレーダー観測をしており、9時のエコーの状況は第2図のPPI写真のようであった。このエコーパターンの概略は第1図の合成図中に斜線域で補足してある。啓風丸レーダーの探知範囲(4,000m等ビーム高度線は距離約280km)から見て、大型の組織的な帯状エコー域は、この啓風丸の探知範囲



第2図 啓風丸レーダーの PPI 写真 (1972年7月13日09時, 仰角0°, 距離円50km 毎). 位置31°01' N, 127°10' E.



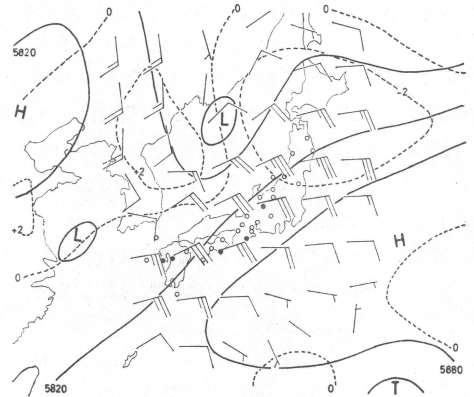
第3図 予報部で作成した地上天気図 (1972年7月13日09時).

内で終わっていると考えられる。

つまり第1図の合成図は、北海道沖をのぞいて、梅雨前線に伴う帯状エコーパターンの全貌を表現していると考えてよからう。

第1図の合成エコーパターンを第3図の地上天気図と比較すると、帯状パターンは大勢として地上前線のやや北側に位置していることがわかる。また帯状パターンの南西端付近 (九州西方海上) には前線上に発生した小低気圧が存在しているが、これは立平 (1971) が21例の大型帯状エコーに共通する性質として指摘したことである。

第4図にはこの時の500mb 等高線 (実線) および600mb の鉛直 κ 速度分布 (破線) が示してある。第3図に見られる九州西方の小低気圧は、スケールは小さいながら500mb にも対応する低圧部を持ち、しかも軸が西へ傾斜していることがわかる。つまりこの小低気圧は下層だけの現象でなく、はっきりした傾圧波的な構造を持



第4図 1973年7月13日09時における500mb 等高線 (実線) および600mb 鉛直 κ 速度 (破線, mb/hr). 矢羽根は各格子点におけるメソスケールの降雨指数 Im (羽根1本は1 mm/hr に相当する). ●および○はそれぞれ 20mm/3hr 以上および 5 mm/3hr 以上の降雨のあつた観測点を示す。

っているわけである。

また、帯状パターンの走向が500mb の等高線にほぼ平行していることも認められる。従って帯状パターンの南西端は風上端とみなせるが、この付近のエコーがはっきりと対流性の特長を示し、一方風下側の北日本では層状性のものが卓越していることはデジタル化されたエコーからでも十分うかがえる。このようなエコー特性の流れに沿う変化は、これまでの調査でも、帯状エコーの一般的特性として指摘されている (立平, 1971; Tatchira, 1968)。

ところで600mb の鉛直 κ 速度 (破線) を見ると、上昇流の最大域は北日本にあり、その値はわずかに -2mb/hr である。豪雨の起こっている中部地方以南では、一応上昇流域にはなっているがその値は -2mb/hr よりも小さく、実況の豪雨を定性的にも説明できるようなものではない。なお第3図中の●と○は、それぞれ $20\text{mm}/3\text{hr}$ 以上および $5\text{mm}/3\text{hr}$ 以上の雨量を報じた観測点である。

第4図で、304.8km の格子点に記入してある矢羽根は、立平・斎藤 (1973) で提案されたメソスケールの降雨指数 Im (ベクトル) の値を表している。羽根1本は 1mm/hr を表している。この Im の値が大きく、しかも500mb 等高線との交角が大きいほど豪雨が期待されるが、第4図では明らかにそのような関係が成立している。

1972年の梅雨期について、 I_m と豪雨実況を比較し、 I_m による豪雨判定基準が作られているが、第4図の日本付近の I_m はこの基準をかなり上廻るものであった(立平・斎藤, 1973). つまりこの日の豪雨は、メソスケールの降雨指数 I_m を導く際に仮定した簡単なメソ擾乱のモデル(ブラックボックスモデル)でよく近似されるものであったことが推論される。

4. 帯状エコーパターンのフーリエ解析

第1図の合成エコーパターンは、大勢として帯状をなしているが、細かく見ると複雑な細部構造を持っている。特に+や@で示されている強エコー域は 100km 程度のいわゆるメソスケールの構造を持っている。

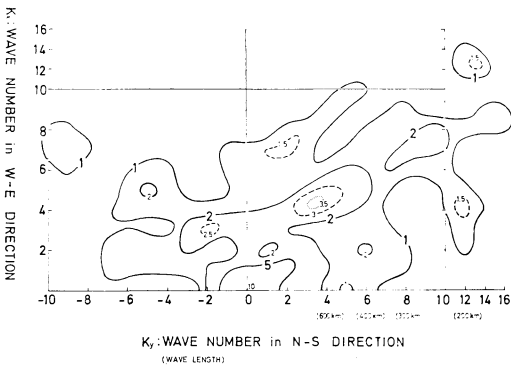
このような総観スケールのエコー域中の細部構造について、Austin (1972) はスケール別にその性質を調査している。しかしそのスケール別の分類はかなり主観性の強いものであった。

この論文では、梅雨前線に伴う総観スケールのエコー域の細部構造を客観的に求めるため、第1図のデジタル合成エコー図を二重フーリエ解析して、各スケールの波長の振幅を求めてみた。

フーリエ解析の具体的方法は次のとおりである。

- (1) 第1図の領域を含んで、しかもそれよりやや大きい、 $2,400 \times 2,400$ km の領域について解析した。
- (2) データは勿論、10km 格子毎に与えられるわけであるが、そのとき、第1図の各格子点のデジタルエコー強度は次のように数字に変換される。

- NO ECHO 0
- (WEAK 以下) 1
- + (MODERATE) 4
- @ (STRONG 以上) 16



第5図 第1図の合成エコー図のフーリエ成分(直
流成分を10とした相対振幅で示す)。

第1表 相対振幅1以上のピークを持つフーリエ成分波の特性

	相対振幅の ピーク値	成分波の走向	走向に垂直に 計った波長 (km)
一般風向に ほぼ平行	3.7	40°~220°	436
	2.3	50°~230°	214
	2.1	70°~250°	375
	1.8	70°~250°	190
	1.6	10°~190°	333
	1.5	50°~230°	133
一般風向に ほぼ垂直	2.7	330°~150°	686
	2.1	320°~140°	348
	1.4	310°~130°	212

この操作で、レーダーエコーは、近似的に降雨強度に比例する量に変換されたことになる。

(3) フーリエ解析は、東西、南北成分とも、波数28まで実施した。二重フーリエ解析の結果は第5図に示されている。この図は直流成分(図の原点)の振幅を10として、それに対する相対的な振幅を各波数(波長)について表示してある。

大勢として右半分領域の振幅が大きいことは、NE~SW 方向の帯状構造が卓越していることを示している。

第5図中の細部構造に着目すると、最も顕著なピークは $k_x=4, k_y=4$ 付近にある。このピークと原点を結ぶ線はこの波の走向を表わすことになるが、ほぼNE~SWである。この波の法線方向の波数 k_n は

$$\sqrt{k_x^2 + k_y^2}$$

として求められるが、およそ6で、波長にして400kmである。

このほか幾つかのピークが見られるが、これらを第1表にまとめておく。

計算は波数28まで行ったが、相対振幅1以上のものは第5図に示されるように、すべて波数14以下である。第1表には振幅1以上のピークのみを示してある。

第5図および第1表の結果からみると、第1図の梅雨前線に伴うエコーパターンの細部構造としては、色々の波長の NE~SW 走向の帯状構造が卓越していることがわかる。このときの対流圏の一般流は SW であるから、ほぼこの方向に沿う細部構造が卓越しているわけである。

しかし、一般流にほぼ直角に交わる細部構造も比較的小さな振幅の波として存在している。第5図および第1表に示した以外の、振幅1以下の波は、波数14~28の間に10個位のピーク(0.5以上)を示しているがやはり一般流に沿う走向のものが卓越している。

Ninomiya (1972) は梅雨前線に伴うスケールの大きいエコー域が、ほぼ一般流の方向に配列する中間スケール(直径200~300km)のエコークラスターによって構成されていたことを解析している。この種の梅雨前線の場合は、フーリエ解析すれば、一般流に直角な波が顕著に現われることが予想される。

今後、エコーパターンの客観的解析が積重ねられ、梅雨前線に伴う降雨域の特性も一段と明確になってくることが期待されるが、その基礎技術として、デジタルエコーのコンピュータ処理技術に負う所が大きいだらう。

謝 辞

この研究を進める上で、数多くの有益な助言を頂いた、窪田正八電計室長を始めとするレーダー利用技術研究会の方々に感謝の意を表す。また資料を貸与して下さった、予報課岡林子報官に感謝する。

なおこの研究は、気象研究所予報研究部との地方共同研究の一部として実施したものである。

文 献

- Austin, P.M. and R.A. Houze, 1972: Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, *Jour. Appl. Met.*, **11**, 926-935.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1972: Medium-scale echo clusters in the Baiu front as revealed by multi-radar composite echo maps (Part I), *Jour. Met. Soc. Japan*, **50**, 558-569.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1973: Medium-scale echo clusters in the Baiu fronts as revealed by multi-radar composite echo maps (Part II), *Jour. Met. Soc. Japan*, **51**, 108-118.
- 立平良三, 1971: 帯状エコーの生成・維持に必要な総観場の条件, *研究時報*, **23**, 341-355.
- 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予報への利用, *研究時報*, **26**, 5号.
- Tatehira, R., 1968: A study of rainband, *Geophys. Mag.*, **34**, 115-137.
- 立平良三・斎藤直輔, 1973: 豪雨予想の一方法(ブラックボックス法), *研究時報*, **25**, 31-42.