



Title	帯状レーダーエコーの形成と降雨
Author(s)	播磨屋, 敏生; 加藤, 聖治
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 52, 65-76
Issue Date	1989-09-14
DOI	10.14943/gbhu.52.65
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14204
Type	bulletin (article)
File Information	52_p65-76.pdf



[Instructions for use](#)

帯状レーダーエコーの形成と降雨

播磨屋敏生・加藤 聖治*

北海道大学理学部地球物理学教室

(1989年5月10日受理)

Formation of Band-Shaped Radar Echoes and Rainfall

Toshio HARIMAYA and Seiji KATO*

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received May 10, 1989)

It is well known by observations that radar echoes are often organized into a band-shaped configuration during heavy rainfalls. We also observed the same band-shaped radar echoes on Kyushu Island during the Baiu season of 1984. Based on the analyses of them, two kinds of formations were found, in which the band-shaped radar echoes were formed through the continuous formations of new echoes in the tail portion of the band or were formed through simultaneous formation of new echoes at different places on a line when echoes travelled while following the life history of generation, growth and decay.

Based on the detailed radar analyses, the formation process of the latter was found to be as follows. New echoes appeared to the southwest side of the echoes during the movement of echoes which were formed simultaneously at different places on a line. As new echoes were formed continuously, the western end of echoes seemed to be stationary there. On the other hand, the eastern end of following echoes went ahead eastward, thus both echoes joined together and changed into a band-shaped radar echo.

Precipitation phenomena, which occurred by the abovementioned band-shaped radar echoes, are characterized as follows. As the echoes were convective clouds, precipitation intensity was strong. On the other hand, the period of precipitation was shorter, because the band-shaped radar echoes travelled. The result was that heavy rainfalls did not occur anywhere. Therefore, it is important for the occurrence of heavy rainfall that band-shaped radar echoes continue to stay in the same place.

* 現在, 札幌市建築局

* Now with, Sapporo Building and Land Readjustment Bureau

I. ま え が き

集中豪雨のレーダー観測によると、多くの場合にはそのエコーが帯状になっていることがよく知られている。その帯状エコーが地形に対して同じ位置に停滞する場合には、甚大な被害を引き起こすような豪雨となることが多い。そのような豪雨について、播磨屋・菊地 (1983) による北海道豪雨の解析がある。それによると、帯状にのびるレーダーエコー域をその走向に沿うように強いエコー域が通過し、ある特定の区間で最大降雨強度をもたらすことによって集中豪雨が形成された。このようなタイプの豪雨は、Takeda (1981) の解析による西三河東濃地区豪雨においてもみられた。移動する帯状レーダーエコーについては、Newton and Fankhauser (1964) や Marwitz (1972) による解析がある。

帯状レーダーエコーの形成過程は、立平・深津 (1963) によって以下のように説明された。帯状エコーは、寒冷前線のすぐ後側に存在するエコーセル発生源から次々に発生するセルが、風下に流されながら発達することによって形成される。したがって帯状エコーの向きは発生源の移動速度とセルの移動速度ベクトルの差ベクトルの方向をとる。最近 Takeda and Seko (1986) はこの考え方の延長として、帯状積乱雲群を構成している積乱雲は、多重セル型で、その内部は新しいセルの形成により入れ換り、そのようにして帯状積乱雲群は二重の組織化された構造を持つことを示した。

帯状レーダーエコーの形成過程は集中豪雨との関係で重要であるが、まだ十分に解明されたとはいえない。特に上記以外の形成過程があるかどうかなどに興味もたれる。

1984年6月26日から27日にかけて、九州で帯状レーダーエコーが観測された。その帯状レーダーエコーは特異な形成過程を示し、長続きしたので、詳細なレーダー観測結果に基づいてその形成過程を以下に詳しく示す。またその帯状レーダーエコーがもたらした降雨の特徴についても述べる。

II. 観 測

北大、名大、九大の3大学によるレーダー共同観測(加藤他, 1987; Kato and Harimaya, 1989; Harimaya et al., 1989) が、梅雨期における集中豪雨解明のために1984年6月下旬から7月中旬にかけて九州北西部で行われた。既存と臨時に設置されたレーダーサイトの位置を Fig. 1 に示す。北大理学部の本バンドレーダーは、長崎県西海町の虚空蔵山山頂(海拔307 m)に臨時に設置された。その探知範囲は半径63.5 kmの円形で、その範囲内のレーダー反射強度のデジタル記録が得られた。観測はアンテナを回転しながら仰角を 0° から 1° 毎に順次に上げて行い、それによって3次元デジタルデータを収録した。原記録は、動径方向が250 mの距離分解能で、方位角方向が 1.2° の角度分解能で収録されたが、解析には水平面上は 1×1 kmメッシュデータ、垂直面上は 0.5×1 kmメッシュデータに変換したものをを用いた。これらの観測は、10分または20分間隔で行われた。

北大レーダーの探知範囲外における現象の解析には、気象庁背振山レーダーと建設省釈迦岳レーダーのデータを用いた。背振山レーダーのデータはPPIの写真の形で、釈迦岳レーダーのデータは3×3 kmメッシュの9段階のデジタルデータの形で入手できた。

帯状レーダーエコーに伴う降雨分布の特徴を調べるために、気象庁AMeDASによる九州全域にわたる1時間降雨量データと部分的には10分間降雨量データも使用した。その他に、AMeDASによる風向、風速データも合わせて解析に用いた。

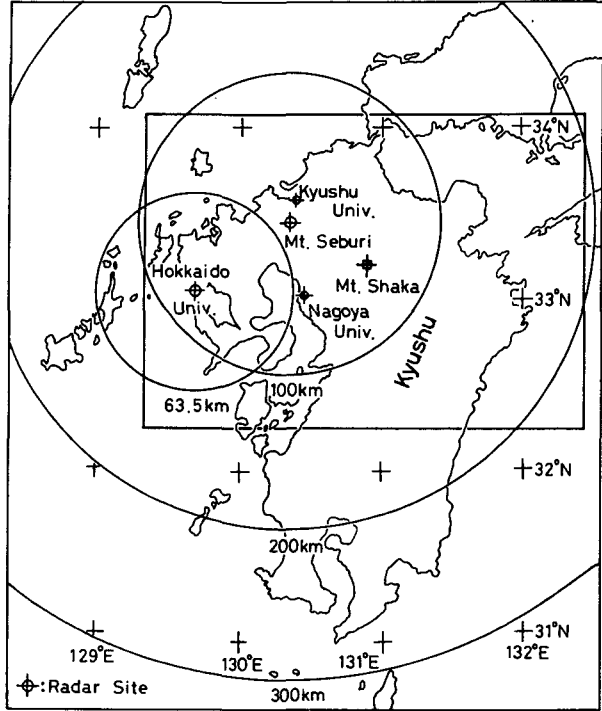


Fig. 1. Radar sites and each observation area (Hokkaido University radar, radar at Mt. Seburi and radar at Mt. Shaka).

III. 総観気象状況と降雨量分布

帯状レーダーエコーが観測された前後の総観気象状況は以下のようであった。Fig. 2に示された梅雨前線の位置のように、7月26日9時には主低気圧からのびる前線が九州北方で波うっていたが、その移動した位置に12時頃に低気圧が発生した。その低気圧の21時及び27日9時の位置が図に示されている。この低気圧の東進に伴って梅雨前線が南下し、27日9時までに九州地方を北から南へほぼ縦断した。

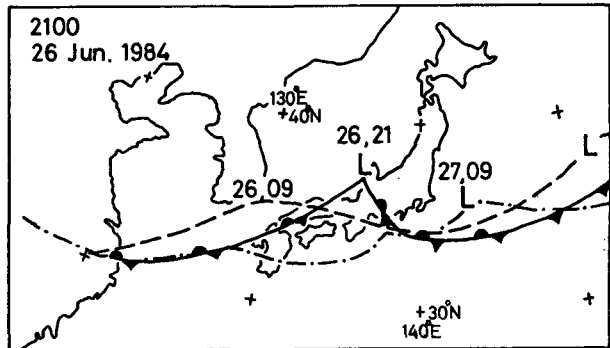


Fig. 2. Movement of the Baiu front.

梅雨前線の南下に伴ってレーダーではどのように見えたかを Fig. 3に示す。この図は、気象庁背振山レーダーによるPPI写真を、背振山を中心にして東西方向の幅約70 kmになるように南北に長い長方形に切りだしたものを、30分間隔に並べた時間合成エコー分布図である。縦軸は背

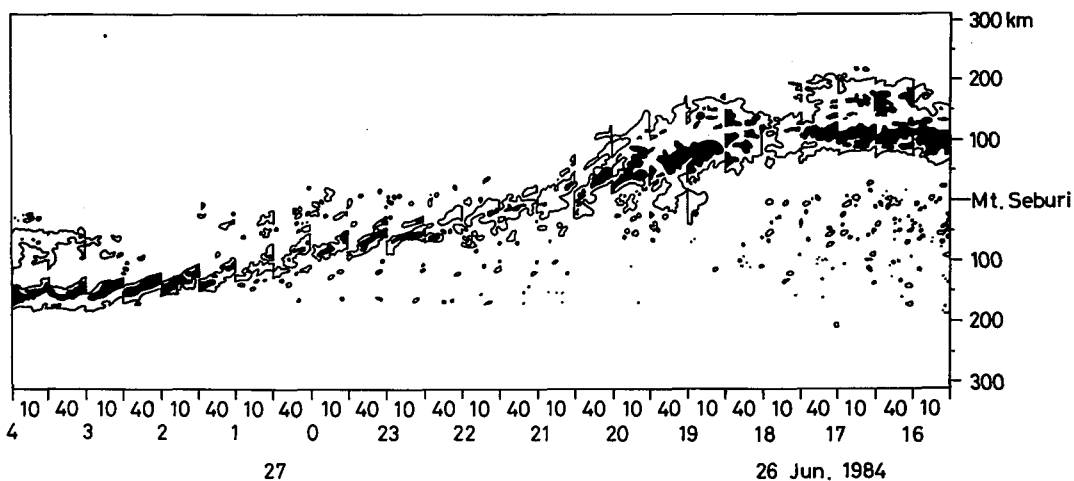


Fig. 3. Time-lapse composite echo map by the radar at Mt. Seburi.

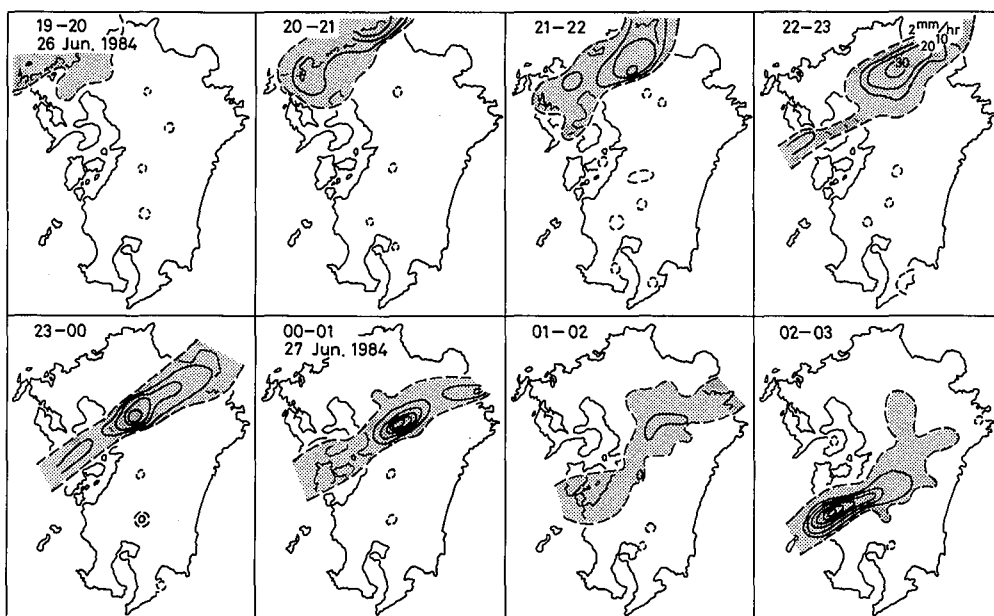


Fig. 4. Time variation of the distributions of hourly rainfall amount.

振山レーダーサイトからの南北方向の距離を、横軸は時刻を示している。梅雨前線に伴うエコーは、26日16時頃には背振山レーダーサイトから約150 kmの九州北方海上に、層状エコーとして観測された。その後20時頃より徐々にその層状エコーが南下し、その移動に伴って九州上では対流性エコーが発生、発達した。本論文での詳細な解析は、その対流性エコーの発生、発達の形成過程についてなされる。この対流性エコーは、背振山レーダーサイトの南方約150 km付近で停滞し、その後は層状エコーに変化していった。

次に梅雨前線の南下に伴って、九州上ではどのような雨の降り方をしたかを Fig. 4 に示す。この図は、気象庁 AMeDAS で得られた降雨量データにより、1時間降雨量分布図の時間変化を表

わしたものである。26日18時頃より九州北部では雨が降り出した。その後、九州上では北東から南西に延びる降雨バンドとして見られ、時間とともに順次南下し、27日3時頃には熊本、鹿児島両県の県境に到達した。その後は、Fig. 3において見られたように幅の広い層状雲が九州中部付近を東へ通過したので、降雨量分布は中部付近に停滞したように見られた。

Fig. 3において見られたように梅雨前線に伴うレーダーエコーは、九州北方海上にある間は層状性を示していたが、26日17時頃から一部が対流性となりその後南下し、熊本、鹿児島県境に停滞した頃はまた層状エコーとなった。そのように移動しながらエコーパターンが変化したのに対応した雨の降り方を、北側の観測点から南側の観測点の順番に上下に並べてFig. 5に示す。レーダーエコーが層状性を示していた対馬の巖原では、12時～19時の7時間にわたってほぼ一樣な降雨であった。しかし、対流性になってから通過した八幡、甘木、菊池 (Fig. 6 参照) では、降雨継続時間が2～3時間と短かったが、2時間降雨量が約60 mmとかなりの降雨量となった。その南側の阿久根では、2時～3時の1時間降雨量60 mmは対流性エコーによるものであり、その後続いた降雨は層状性エコーに変わってからのものである。対流性の降水雲の場合は、降雨強度が強いが、それが移動する場合は降雨継続時間が短い。また層状性の降水雲の場合は、降雨強度はそれほど強くないが、継続時間が比較的に長いという特徴が良く表れている。

対流性エコーに変わり、移動している間の26日18時から27日3時までの9時間降雨量分布をFig. 6に示す。九州北部では、極大値が中央部に見られるが、九州南部では中央部から海岸地方

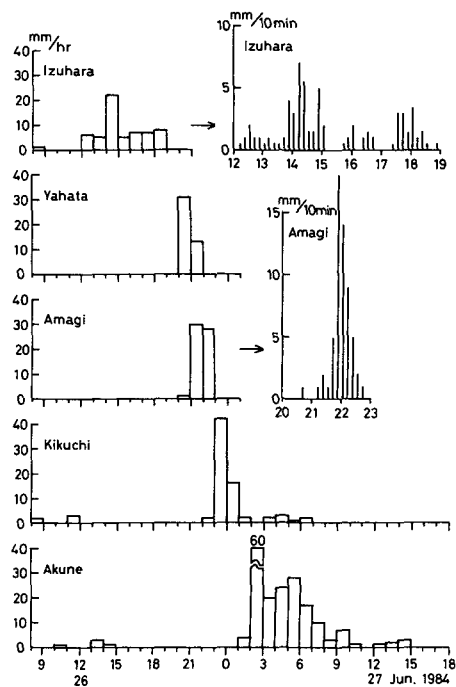


Fig. 5. Time variations of hourly rainfall amount and 10-minute rainfall amount.

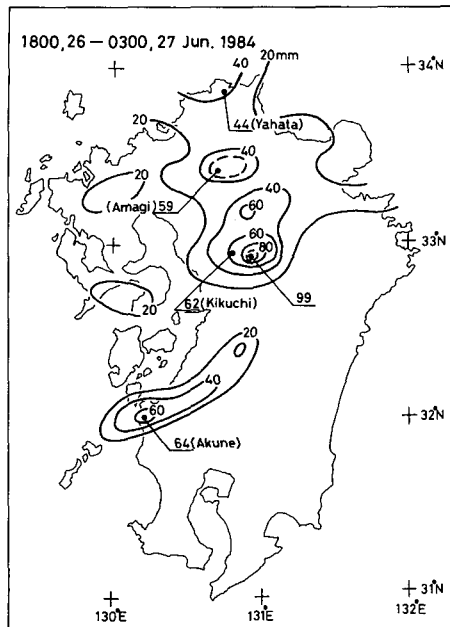


Fig. 6. Distribution of 9-hour rainfall amount from 18 JST 26 to 03 JST 27 June in Kyushu Island.

へ延びていた、そして総降雨量が 100 mm 程度であった。これは降水雲が移動したために、降雨強度が比較的強かったにもかかわらず、ある地点にとっては継続時間が短いために豪雨にはならなかったのである。従って集中豪雨の発生には、降水雲が群として組織化され、数時間維持されることのほかに、その群がある地点に停滞することも必要な条件であることがわかる。

IV. 帯状レーダーエコーの形成

上記の降雨量分布をもたらした帯状レーダーエコーの構造と形成の過程を、レーダー観測に基づいて詳細に示す。広域にわたって定量的解析を行うために、建設省釈迦岳レーダーデータを使用した。このデータは、北部九州地方の 3×3 km メッシュ上で降雨強度にして 9 段階のデジタル値で表わされているので、一つ一つのセルを追跡するためには水平分解能が足りない。そこでセルの移動は、北大レーダーデータから求めた。北大レーダーで観測された帯状レーダーエコーの一部を、レーダー反射強度 25 dB (z) 以上の値の部分で示したのが Fig. 7 である。この図における 10 分間隔のレーダーエコーの対応する点を結ぶことによって得られた移動方向を、矢印で示した。それからレーダーエコーの移動は、方向は $N 80^\circ E$ で速度は約 20 m/sec という値が得られた。これらの値は、700 mb 高度の風と比較すると、方向はほぼ同じであるが、速度は少々遅かった。

上記のようにしてセルの移動方向がわかったので、Fig. 8 に示されるような釈迦岳レーダーの水平分布図上に 25 km 間隔でセルの移動方向に直線 AA', BB', CC', DD', EE' 及び FF' の 6 本の測線をひいた。その測線上をセル群が移動すると仮定して、セル群の発生、

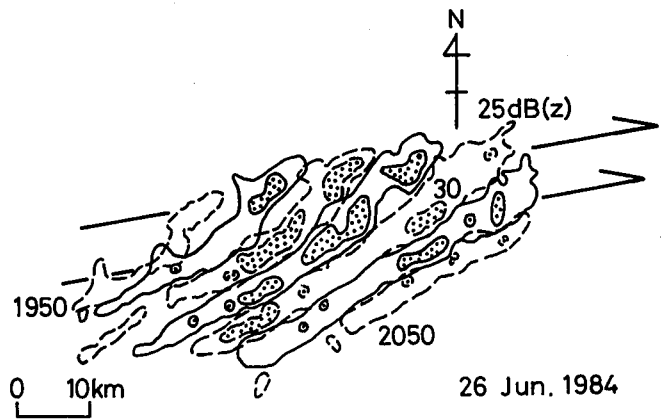


Fig. 7. Movement of cells constituting band-shaped radar echoes. Contours of radar echo intensity are 25 and 30 dB (z). Arrows indicate the direction of movement.

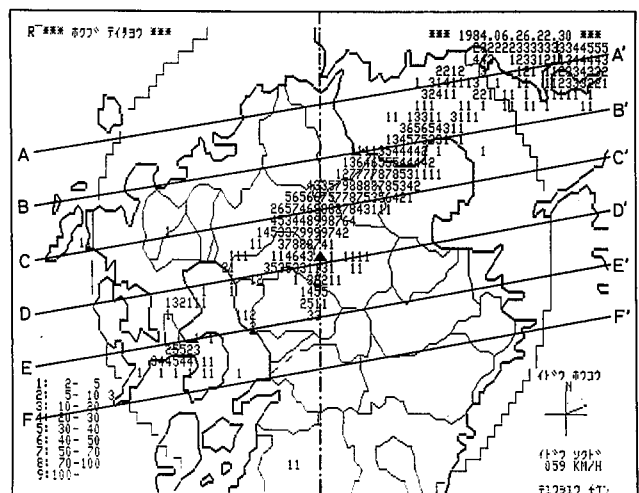


Fig. 8. Horizontal distribution of radar echoes by the radar at Mt. Shaka and six lines used on analyses.

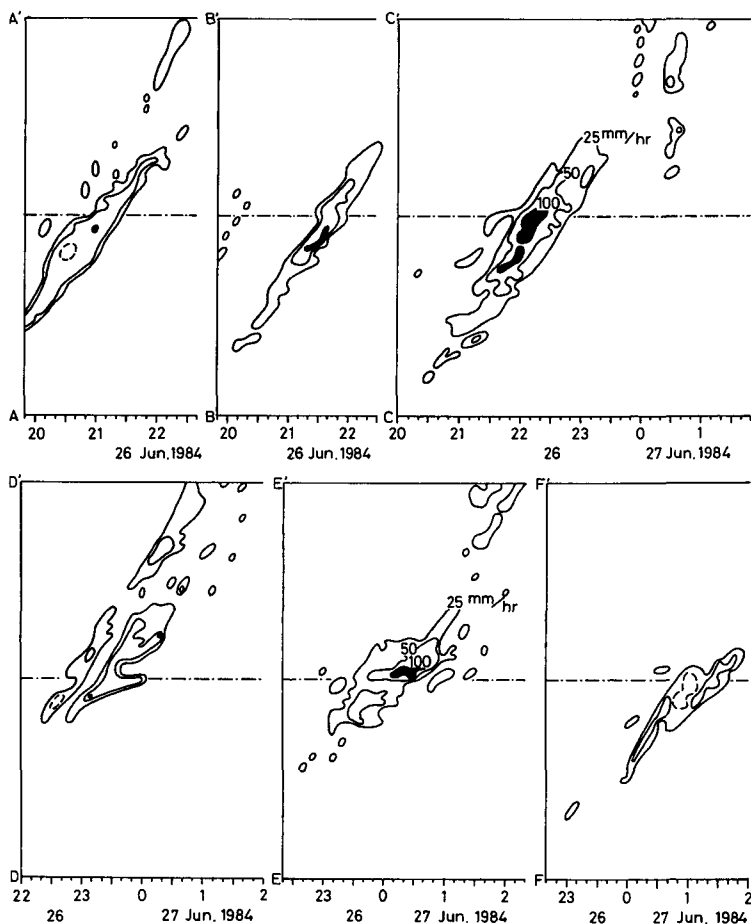


Fig. 9. Growing processes of radar echoes. Contours of radar echo intensity are 25, 50 and 100 mm/hr.

発達及び消滅を解析した。

各測線上を移動するセル群の発達過程を Fig. 9 に示す。横軸は時刻、縦軸は各測線に沿った距離で、一点鎖線の位置が釈迦岳レーダーサイト (Fig. 8 の▲印) を通る子午線を示している。図上ではレーダーエコーの反射強度を降雨量に換算して、25 mm/hr 以上のところを等値線で示している。各測線上のレーダーエコー域の時間軸に対する傾きから移動速度を求めると約 20 m/sec となり、先に求めたセルの移動速度と等しいことが示された。このことより、セル群の移動方向、速度をセルと等しいと仮定してもよいことがわかる。

測線 AA' 上のセル群を除いて、降雨量換算で 25 mm/hr 以上の等値線でみる限り、各セル群はこの解析領域内で発生し、その後徐々に発達した。そしてどの測線上でも九州中央部において最も発達し、その後急速に衰弱していったことが見られる。その最盛期になる時刻は、南の測線上のセル群ほど遅かった。

個々のセル群は移動とともに発生、発達、消滅の過程を経ることがわかったが、それに伴って全体のパターンがどのようなようになるかを次に示す。Fig. 10 は降雨量換算 70 mm/hr 以上のレーダーエコー域を 30 分間隔で示している。そして同時刻のエコーは同じ印の表示をしてある。セル

群Uは、ほぼ測線AA'上を東方へ移動しながら発達し、21時頃に最盛期になった。またセル群Vは、セル群Uの南西側に21時30分頃に現れて、セル群U、Vは北東から南西に並んだ。このように、各セル群はN80°Eに移動するが、その南西側に新しいセル群が現れることによって帯状レーダーエコーが形成された。そしてその過程を繰り返すことによって帯状レーダーエコーは南下することがわかる。このようにセル群が発生、発達、消滅の経過をたどりながら移動する際に、新しいセル群が連続的に発生する場合に帯状レーダーエコーが形成される過程は以前(例えば、立平・深津, 1963)

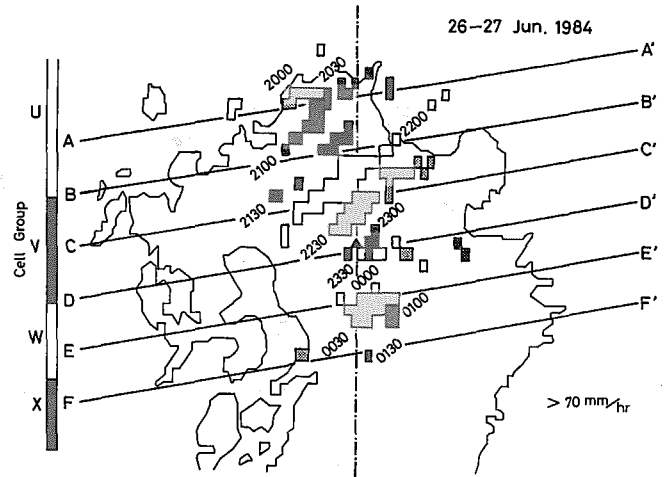


Fig. 10. Movement of radar echoes and formation of band-shaped radar echoes.

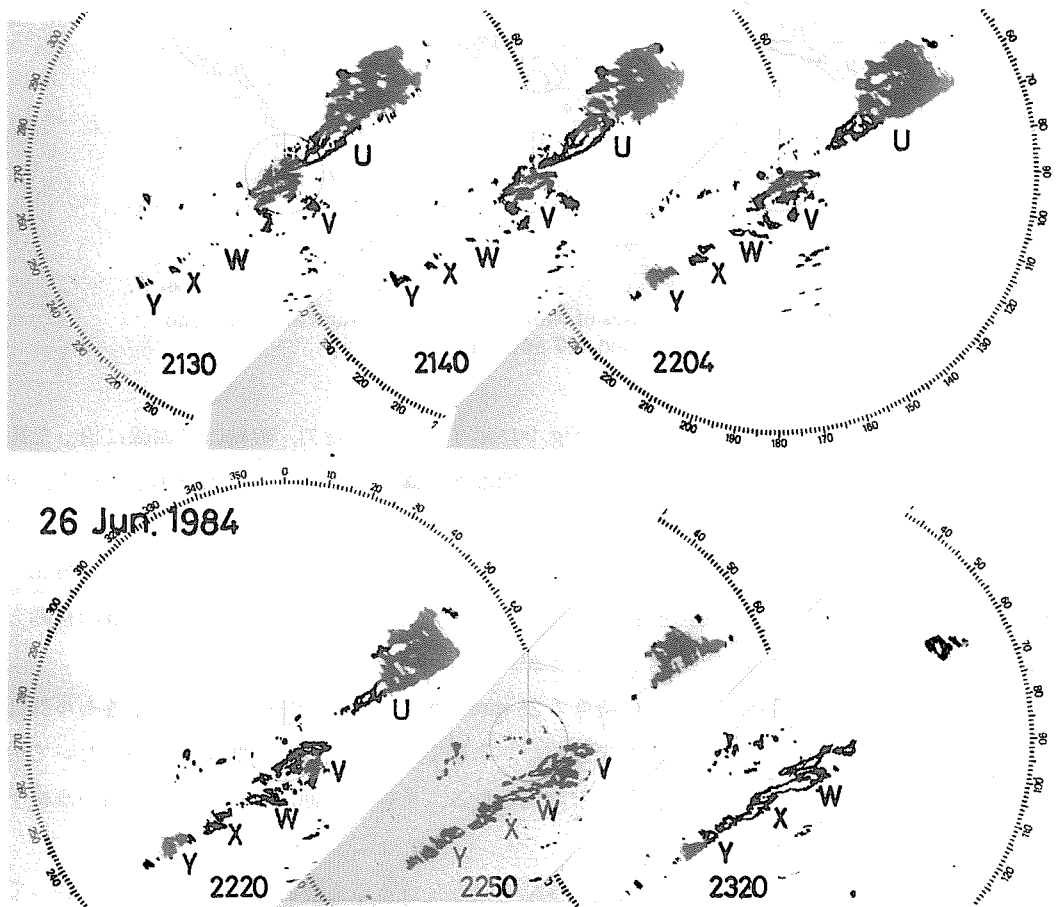


Fig. 11. PPI photographs by the radar at Mt. Seburi.

から指摘されている。しかし、今回の観測では、この形成過程と異なる形成の仕方の例も観測された。

次にその形成過程をみってみる。まずセル群の発生の状況を見るために、気象庁背振山レーダーによるエコーの写真を Fig. 11 に示す。レンジマークは 50 km 毎に描かれていて、北が上になるように写真が配列されている。26 日 21 時 30 分以前には、U、V で示される帯状レーダーエコーのみであったが、突然 W、X、Y と名付けられたエコーが同時に一つの線上に点々と発生した。それぞれのエコーは、ほぼ東に移動しながら発達して大きくなっていった。発生した時には各々のエコーが離れていたが、だんだんと大きくなるにつれてすき間が埋まっていった。そして 23 時 30 分頃には、W、X、Y もやはり帯状レーダーエコーを形成した。ここで重要な事は、新しいセルが連続的に発生したのではなく、同時に線上に発生したという事である。この事は、前に述べた帯状レーダーエコーの形成過程とは異なる。

V. 考 察

後者の形成過程を調べるために、分解能が良く、かつ定量的解析ができる北大レーダーデータを使って次に解析を行う。各時刻のレーダーエコーの水平分布図を、レーダーサイトの位置を点線上を等間隔にずらしながら並べたのが Fig. 12 である。それでこの図面上でも、縦軸は時間となり、横軸は東西方向の距離となる。Fig. 11 のエコーに対応するものにそれぞれ W、X と記号をつけてある。21 時 20 分頃にレーダーの視野に入ってきたセル W は、時間の経過とともに発達し、22 時 30 分にはその南西に新しいセルが発生した。そのセルを含んだセル群 W はさらに発達しながら移動し、22 時 50 分にはその南西にまた新しいセルが発生した。このような新しいセルの発生によって、セル群 W の東端はどんどん東へ移動するのに対して、西端はほぼ東西の位置を変えない結果となった。一方セル群 W の西側にあるセル群 X の移動速度

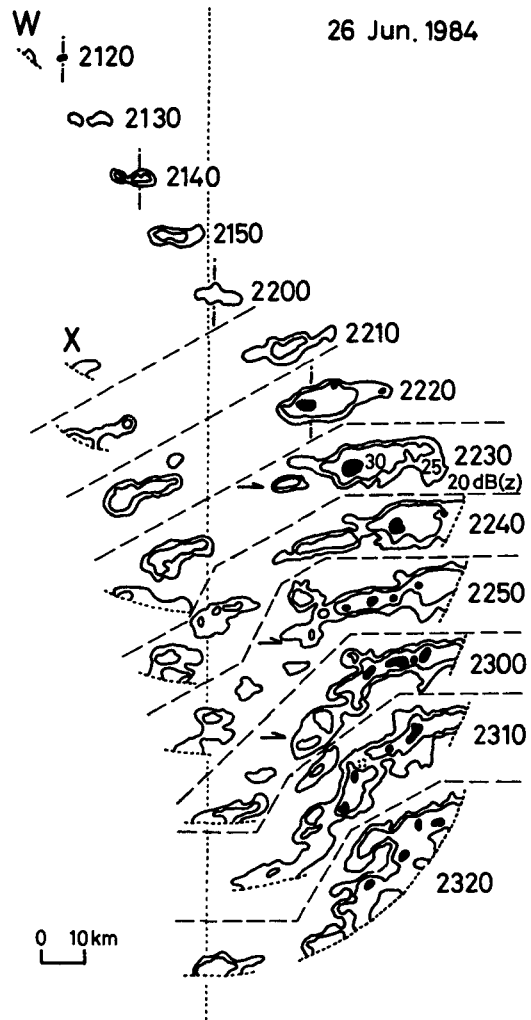


Fig. 12. Time variation of horizontal distributions of radar echoes. Arrows indicate new echoes formed at the time.

は、セル群 W の東端の東方への移動速度とほぼ等しいので、両セル群 W, X は、23 時 10 分には結合することとなる。

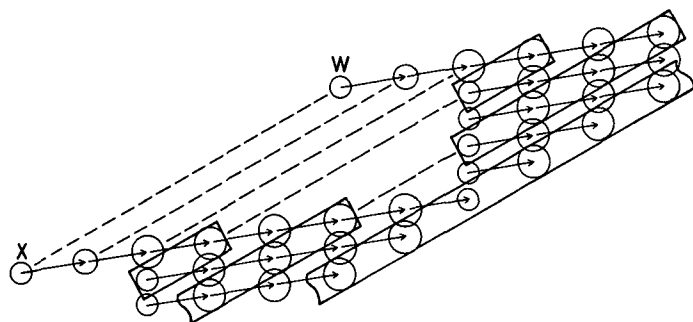


Fig. 13. Model of formation process of band-shaped radar echoes. Circles present echo cells and their sizes show the degree of growth.

上記の過程をモデルとしてまとめた図が、Fig. 13 である。この図では、セルを丸印で表わして、その円の大きさが発達を示している。セル W が $N 80^{\circ} E$ 方向に移動しながら発達し、ある程度の大きさになった以降にその南西側に新しいセルが次々と発生する。そしてそれらはセル群となる。新しいセルが次々と発生するので、そのセル群の西端はその東西方向の位置を変えないことになる。一方セル群 X の東端はどんどん東へ移動してくるので、両者は結合して帯状レーダーエコーとなる。このように、セル群 U, V の場合に見られたように新しいセルの連続発生による帯状レーダーエコー形成の他に、新しいセルの同時発生による帯状レーダーエコーの形成過程があることがわかった。この形成過程は、アメリカ合衆国におけるスコールラインの形成過程として、Bluestein and Jain (1985) によって Broken line タイプとして分類された形成過程に対応していると考えられる。

上記の解析結果によると、新しいセルは、既存のセル群の南西側で常に発生していた。その発生点に関係するものとして、前線上の小低気圧という説（立平・深津, 1963）がある。今回の解析に関して、梅雨前線の位置と風分布の図を Fig. 14 に示す。発生点はほぼ梅雨前線上の位置に対応するが、梅雨前線上には特別擾乱は認められなかった。今回の解析で示された東西方向にずれることなく真南へ移動した新しいセルの発生点、何によるものであるのかは今後の問題となるであろう。

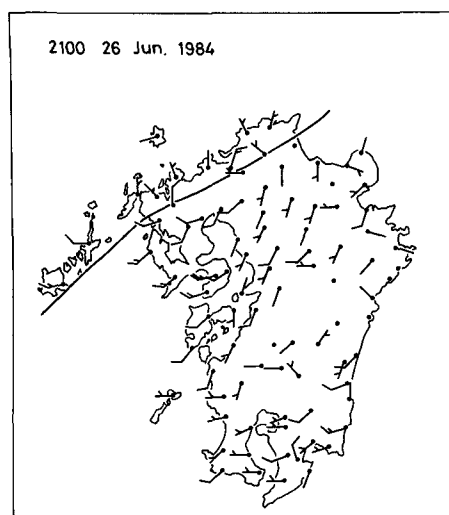


Fig. 14. Position of the Baiu front and distribution of winds.

VI. ま と め

梅雨期に九州で帯状レーダーエコーが観測された。その形成に関しては、セル群が発生、発達、消滅の経過をたどりながら移動する際に、新しいセル群が連続的に発生して帯状レーダーエコーが形成される場合と、新しいセル群が同時に一つの線上である間隔をもって発生して後に各々が発達して帯状レーダーエコーが形成される場合があることがわかった。詳細なレーダー解析に基づいて後者の形成過程について調べた結果、次のようなことが示された。同時にある間隔をもって発生したセルが移動しながら発達し、ある程度の大きさになった以降にその南西側に新しいセルが次々と発生する。そしてそれらはセル群となる。新しいセルが次々と発生するので、そのセル群の西端はその東西方向の位置を変えないことになる。一方、同時にある間隔をもって発生した後続のセル群の東端はどんどん東へ移動してくるので、両者は結合して帯状レーダーエコーとなる。

上記の帯状レーダーエコーによってもたらされた降雨量分布には以下のような特徴があった。エコーは対流性であったので、降雨強度が強かったが、移動したので降雨継続時間が短かった。そのためにある地点にとっては、豪雨にはならなかった。その事から、集中豪雨の発生には、降水雲が群として組織化され、数時間維持されることのほかに、その群がある地点に停滞することも必要な条件であると言える。

謝辞 気象レーダーデータ及び気象庁 AMeDAS データを福岡管区気象台、九州地方建設局及び気象庁から提供していただきました。ここに記して感謝致します。

本研究は、文部省科学研究費自然災害特別研究「降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究」の一環として行われたものである。

文 献

- Bluestein, H. B. and M. H. Jain, 1985. Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711–1732.
- Harimaya, T., S. Kato and K. Kikuchi, 1989. On the confluent phenomena of radar echoes. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, Ser. VII, **8**, 323–332.
- 播磨屋敏生・菊地勝弘, 1983. 1981年8月上旬北海道豪雨の解析(I) — 豪雨の微細構造と形成 —. 北大地球物理学研究報告, **42**, 15–25.
- Kato, S. and T. Harimaya, 1989. Movement and propagation of clusters of cumulonimbus clouds associated with heavy rainfall. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, Ser. VII, **8**, 301–322.
- 加藤聖治・播磨屋敏生・菊地勝弘・谷口恭, 1987. 梅雨前線近傍で中規模擾乱に伴って発生したレーダーエコーの形成過程と移動. 北大地球物理学研究報告, **49**, 331–340.
- Marwitz, J. D., 1972. The structure and motion of severe hailstorms. Part II: Multi-cell storms. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 180–188.
- Newton, C. W. and J. C. Fankhauser, 1964. On the movements of convective storms, with emphasis on size discrimination in relation to water-budget requirements. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 651–668.

- Takeda, T., 1981. Case study of the structure and formation of a heavy-rain band. *Nat. Disast. Sci.*, **3**, 40–51.
- Takeda, T. and K. Seko, 1986. Formation and maintenance of band-shaped convective radar echoes. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 941–955.
- 立平良三・深津林, 1963. 寒冷前線のレーダーおよびメソ解析 (1961年10月6日の場合). *J. Meteor. Soc. Japan*, **41**, 145–157.