



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 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   |
| Author(s)        | 加藤, 聖治; KATO, Seiji; 播磨屋, 敏生 他  |
| Citation         | 北海道大学地球物理学研究報告, 49, 331-340   |
| Issue Date       | 1987-03-30  |
| DOI              | <a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.49.331">https://doi.org/10.14943/gbhu.49.331</a> |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/14180">https://hdl.handle.net/2115/14180</a>       |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 49_p331-340.pdf   |



## 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

加藤 聖 治・播磨屋 敏 生・菊 地 勝 弘・谷 口 恭

北海道大学理学部地球物理学教室

(昭和61年11月25日受理)

### Formation Process and Movement of Radar Echo Associated with the Mesoscale Disturbance near the Baiu Front

By Seiji KATO, Toshio HARIMAYA, Katsuhiro KIKUCHI and Takashi TANIGUCHI

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received November 25, 1986)

A characteristic echo pattern was observed near the Baiu front on 26 June 1984 during the radar observation of heavy rainfall in northwestern part of Kyushu Island. The formation process and the movement of the echo were analyzed using data of three radars (Each radar had different observation ranges and resolutions). Mesoscale analysis of the surface pressure showed that the echo was associated with the mesoscale disturbance.

The echo of which horizontal scale was ~100 km from east to west, ~250 km from north to south, had a head portion composed of echo cells and a tail portion of a line echo. In the head portion, new cells developed on the southeast flank of the pre-existing cells. The movement of individual cells was almost in the same direction as the mean wind in the cloud layer, while the cell generating region, which was related to the mesoscale disturbance, moved to east of the direction of the cell movement. The line echo of the tail portion was maintained by low-level convergence. The typical southwesterly wind system near the Baiu front formed an effective convergence zone on the southwestern coast of Kyushu Island.

It was concluded that the echo originated in the mesoscale disturbance and the orographic convergence played an additional role in the formation of the tail portion.

#### I. ま え が き

中規模擾乱によって形成された特徴的なパターンをもつレーダーエコーと、豪雨や豪雪との関係はよく知られている。特に梅雨期の豪雨に関係した鉤状エコーについては、荒川 (1966), 秋山・松本 (1970) 等の報告がある。これらは共に中規模擾乱に伴うもので、後者では地上風の収束域と降雨域が良く対応していることが示されている。

また、北陸や北海道の豪雨や豪雪に関係した渦状エコーについては、Miyazawa (1967), 河野・孫野 (1967), 播磨屋 (1970), Asai and Miura (1981) らが報告している。これらの渦状エコーでは、構成するエコーセルに回転性の運動が認められている。この点は鉤状エコーとはやや性質が異なっているが、どちらの場合も、100 km 程度の水平規模、4 時間程度の寿命をもち、中規模擾乱に伴って形成されたエコーである。

このようなエコーの形成過程や移動について調べることは、形成機構の解明のほかに、降雨 (雪) 域を

予測するうえでも重要であると考えられる。この論文では、梅雨末期にしばしば豪雨が發生する九州北西部で行われた、3大学(北大, 名大, 九大)共同レーダー特別観測期間内の1984年6月26日に見いだされた、特徴あるレーダーエコーの形成過程と移動に注目して解析した結果を報告する。

## II. 観測域と総観場および降雨状況

九州北西部で行われた観測域をFig. 1に示す。観測は1984年6月25日から7月11日まで、北大理学部のレーダーを長崎県西海町(図中H)に移動設置して行われた。この観測では、半径63.5 kmの範囲内のエコーの反射強度デジタルデータを、動径方向250 m, 方位角方向 $1.2^\circ$ のメッシュ上で得、PPIの仰角を $20^\circ$ まで変化させて20分毎に磁気テープに収録した。解析の際は $1 \times 1$  kmメッシュの値に変換し、CAPPIあるいは鉛直断面図(鉛直方向には0.5 kmメッシュ)を作成した。

この他、さらに広い範囲をカバーできる福岡管区気象台の背振山レーダー(Se)と建設省九州地方建設局の釈迦ヶ岳レーダー(Sh)のデータを用いた。背振山レーダーのデータは、半径300 kmの範囲内の2分毎の写真で、釈迦ヶ岳レーダーのデータは、図の矩形領域内の $3 \times 3$  kmメッシュ上の10分毎のデジタルデータの形となっている。なおこの解析では使用しなかったが、名古屋大学のレーダーは福岡県大牟田市(N)で、九州大学のレーダーは福岡市(K)でそれぞれ観測運転された。

また、九州管内の気象官署(図中□)およびアメダス(●, △)の地上要素のデータにより、降雨量・発散量を求めた。風の鉛直分布を知るために、福岡の高層観測のデータを用いた。

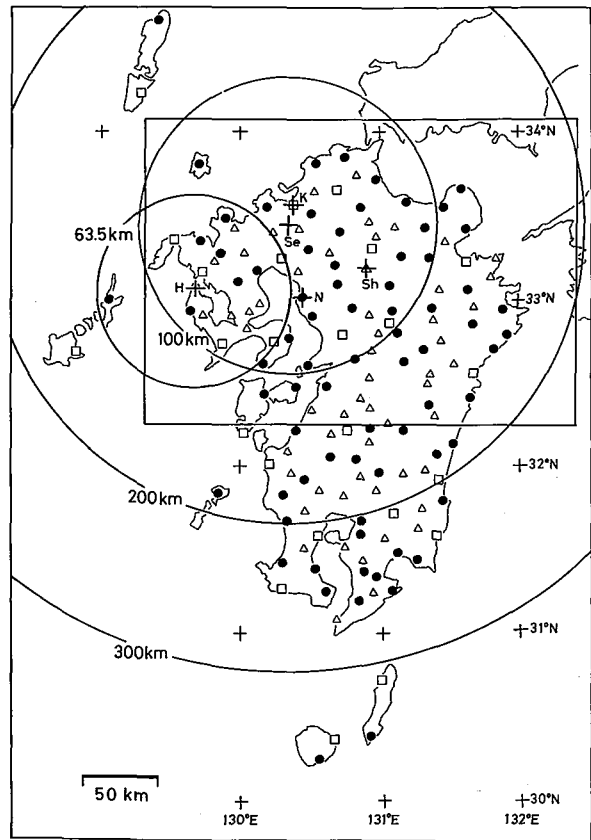


Fig. 1. Map of observation area. + represents the radar sites, □, ● and △ represent the stations of meteorological observations, respectively.

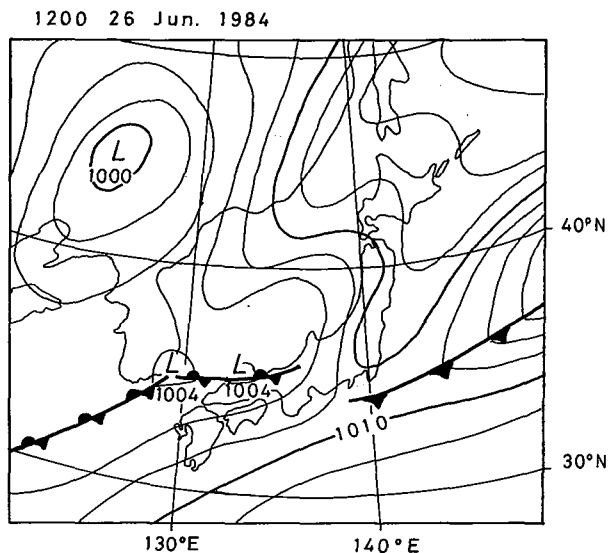


Fig. 2. Surface weather chart on 1200 JST 26 June 1984.

特徴あるエコーが観測された1984年6月26日午前には、Fig. 2に見られるように九州の北の海上に梅雨前線が停滞していた。エコーは前線の南側にあたる九州の陸上で形成されたものであるので、この前線上の低気圧とは明らかに別のエコーである。この時間帯のゾンデの観測によれば、この領域の成層状態は強い対流不安定であったことが示されている。

Fig. 3に背振山レーダーのエコー写真を示す。レンジ円は50 km 毎である。梅雨前線によるエコーが写真の北側に見える。九州の西の海上で発生した2つのエコーセルは(09時10分)、発達しながら北東進し(10時18分)、九州に上陸後は南側の線状エコーと合併して、特徴あるエコーパターンになった(11時30分)。このエコー全体は、東西100 km、南北250 kmのサイズであった。その後、頭部のエコーは次第に衰弱したが、尾部の線状エコーはしばらく持続した。なお、背振山レーダーは東側の一部がシャドウになっており、頭部のエコーの様子は明

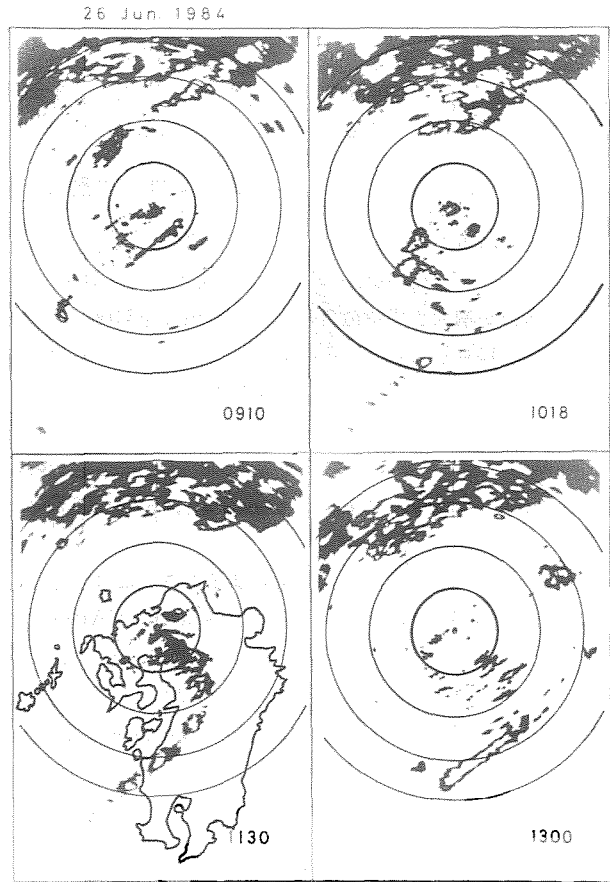


Fig. 3. Time sequence of echo photographs by Mt. Seburi radar.

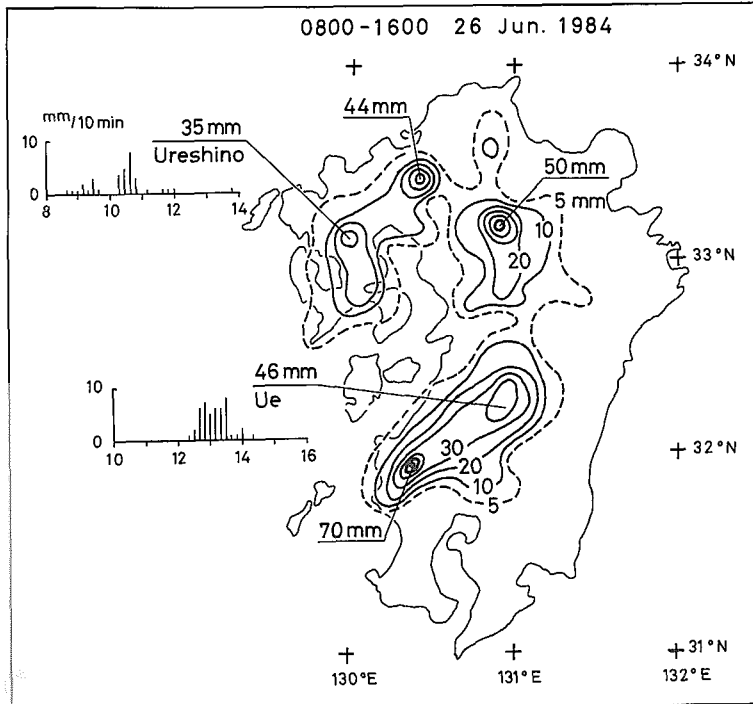


Fig. 4. Distribution of 8 hourly rainfall amount and time variations of 10 min. rainfall amount at Ureshino and Ue.

らかではないが、釈迦ヶ岳レーダーのデータにより、14 時頃まで存在していたことが認められた。

このエコーによる降雨域は、Fig. 4 に示すように、エコーパターンによく似た結果となった。これは頭部のエコーが九州中央部を過ぎて弱くなったことと、尾部の線状エコーがほぼ停滞したことによる。10 分間雨量の時間変化によっても、頭部に比べて尾部ではやや長く継続した降雨であったことがわかる。

### III. エコーの形成過程と移動

#### 1. 頭部のエコー

08 時 30 分頃、五島列島の南の海上で発生したエコーセルは、発達しながら長崎県西海岸に達し、上陸した後は面積が増大して特徴あるエコーの頭部を形成した (Fig. 3)。エコーの頭部は釈迦ヶ岳レーダーの観測範囲内を移動したので、そのデータによってエコーのふるまいについてみる。Fig. 5 には、10 分毎のエコーを、右へ位置をずらして示してある。また矢印は、北大レーダーのエコーを追跡して求めた個々のセルの移動方向 (N 55°E) である。この図によるとエコーは南側へ延びていくように見えるが、これは新しいセルがエコーの南東側で発生するからである。このためエコー全体としては、個々のセルの移動よりも東寄りに移動する結果となった。また、尾部の線状エコーと合併することにより、特徴的なエコーパターンが形成された。

セルの移動と新しいセルの発生の様子をさらに詳しく調べるために、北大レーダーのデータを用いた。Fig. 6 (a) は 10 時と 10 時 20 分の高度 3 km での CAPPI であり、(b) は (a) の一点鎖線で切った鉛直断面図である。これらの図から、新しいセルは既存のセルの南東側で発生していることがわかる。また、セルが北大レーダーの観測範囲内にあった 11 時 20 分までのデータにより、セルの移動方向は 55°、移動速度は 17 m/s と求められた。これを福岡の 09 時の風の鉛直分布と比較したのが Fig. 7 である。矢印が求められたセルの移動ベクトルで、これは 800 mb の高さの風向とほぼ一致している。また雲層の平均風として、1000 mb から 500 mb までの風をベクトル平均すると、方向 56.7°、速度 18.3 m/s となる。このように個々のセルの移動は、雲層の中間高度の風または雲層の平均風とほぼ一致する。

以上のことから、個々のセルはその場の平均的な風と同じ方向へ移動するが、新しいセルが南東側に発生することにより、エコー全体としてはさらに東寄りの方向に移動したとすることができる。このことは、

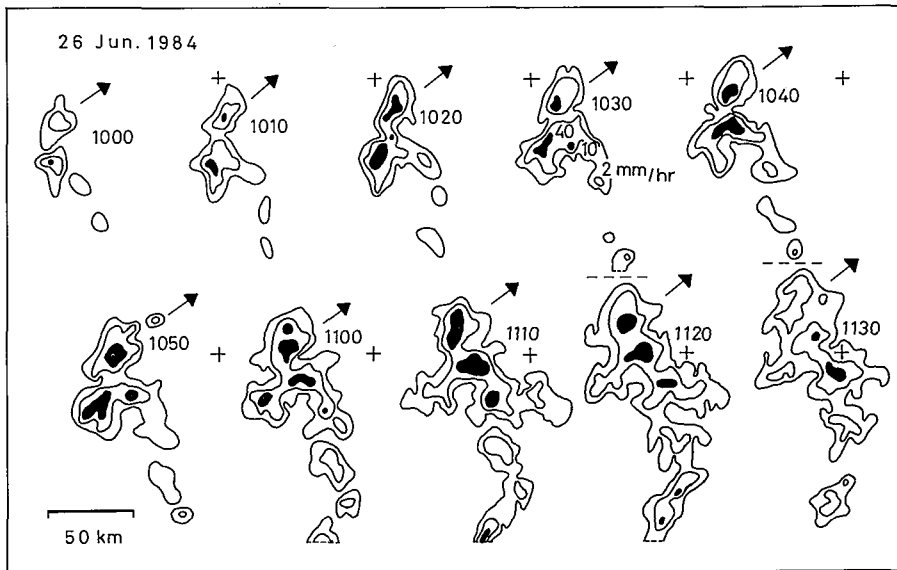


Fig. 5. Time sequence of echoes by Mt. Shaka radar. Arrows indicate the direction of movement of cells.

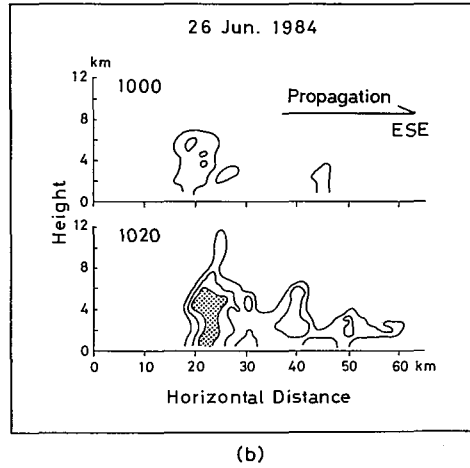
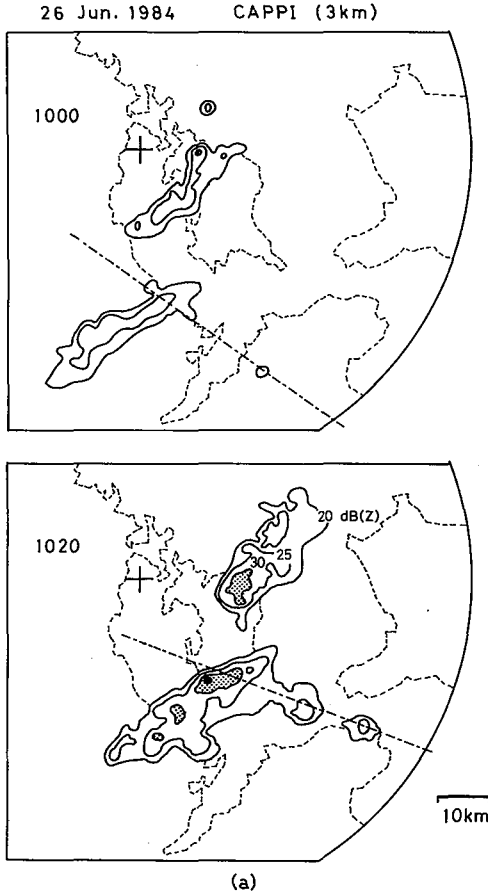


Fig. 6. Echoes by Hokkaido Univ. radar ; (a) : CAPPI at 3 km and (b) : vertical cross sections along the chain lines in (a) at 1000 and 1020 JST.

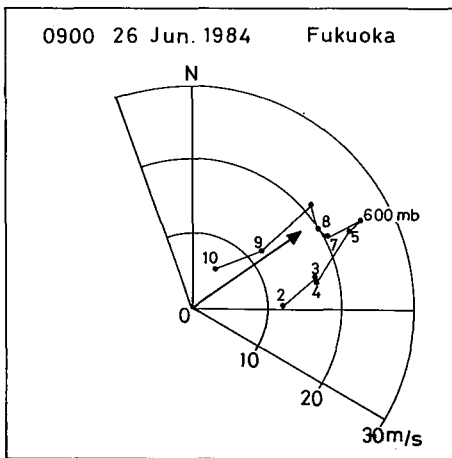


Fig. 7. Hodograph for Fukuoka on 0900 JST 26 June 1984. Arrow indicates the cell movement vector.

セルが発生する領域が、セルの移動方向よりも東寄りの方向へ移動したことを意味する。セルの発生がどのような気象擾乱と関係していたかを調べるために、地上気圧のメソ解析を行った結果が Fig. 8 である。+印で示す 14 の観測点の気圧の自記紙から 30 分毎に値を読みとり、5 項 (2.5 時間) の移動平均からの偏差を求めて、負の領域のみ示してある。また一点鎖線は、各地点での気圧極小起時の等時線である。この図から、エコーに対応する負の気圧偏差の領域が明らかである。また、気圧の極小域の移動もエコーの移動に対応している。Fig. 9 は熊本 (Fig. 8 の ⊕) の地上要素の時間変化である。これを見ると、11 時頃を中心として気圧の低下があり、風についてはあまり顕著ではないが、風速が大きくなる傾向と、風向が南から西へ変化しているのがわかる。これらのことから弱い擾乱が通過したことが明らかである。

Fig. 8 に示した矢印は、気圧偏差分布から求めた擾乱の中心部の経路であり、移動方向は  $70^\circ$ 、速度は約  $19 \text{ m/s}$  ( $70 \text{ km/hr}$ ) と求められる。このことから中規模擾乱は、セルの移動 ( $55^\circ$ ) よりも  $15^\circ$  東寄りの方向に移動したことがわかる。すなわち、セルが発生する領域は中規模擾乱の中心付近であり、この領域が

26 Jun. 1984

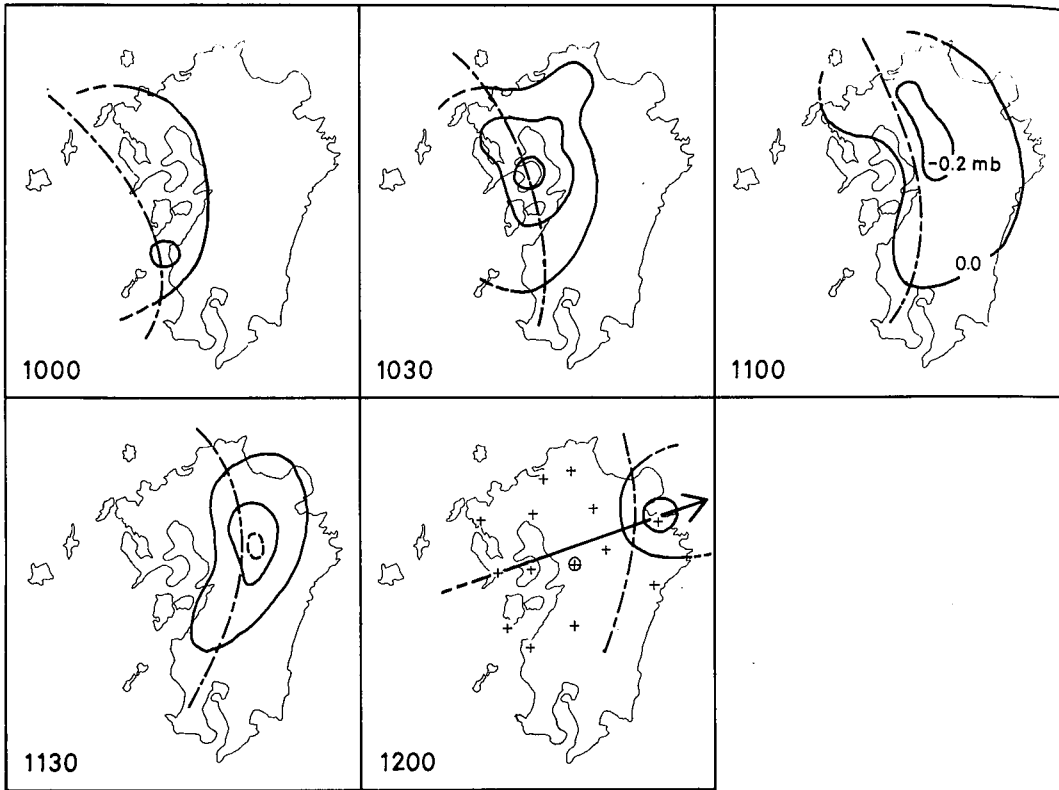


Fig. 8. Distributions of the surface pressure deviation from 2.5 hourly running mean. Chain lines are the isochrone of the minimum pressure. Arrow indicates the movement of the center of the disturbance.

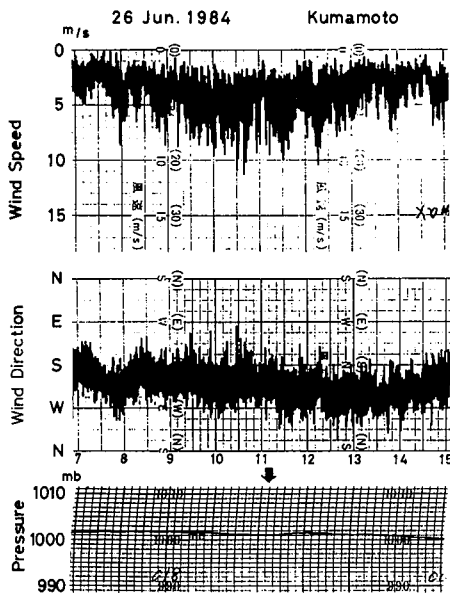


Fig. 9. Time variations of surface pressure, wind direction and wind speed at Kumamoto. Arrow indicates the time of the passage of the disturbance.

70°の方向へ移動するのに対して、発生したセルは平均風とほぼ等しい55°の方向に移動する。そのため新しいセルの発生は、既存のセルの南東側になり、その結果として、エコー全体の移動は個々のセルの移動よりも東寄りになったものと考えられる。

2. 尾部のエコー

頭部のエコーが長崎県西海岸に達した10時頃から、その南側の熊本県から鹿児島県北部にかけての西海岸沿いに、Fig. 3に見られるような小さなエコーセルの列が発生した。この列はやがて明瞭な線状エコーに発達し、特徴的なエコーの尾部を形成した。この線状エコーは、形成されてから約4時間にわたって、ほぼ同じ位置に停滞した。この過程を調べるために、背振山レーダーによる尾部のエコーをFig. 10に示す。上段には20分毎のエコーを右へ位置をずらして示し、エコーセルの追跡に基づいて同じセルを直線で結んである。また、下段は1時間毎のエコーを重ねたもので、

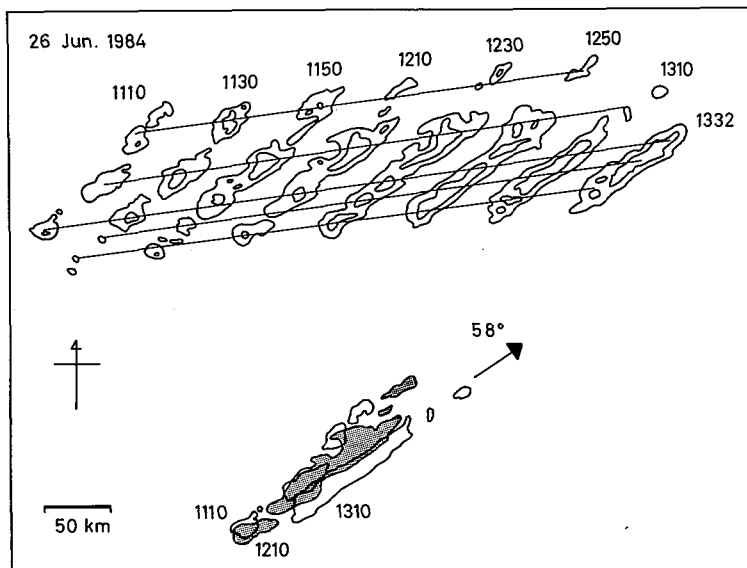


Fig. 10. Echoes of the tail portion by Mt. Seburi radar.

個々のセルの移動方向を矢印で示してある。移動方向と速度を求めると、それぞれ  $58^\circ$ 、 $14 \text{ m/s}$  となり、速度はやや小さいが方向は頭部を構成するセルの移動方向とほぼ等しい。このことから、尾部の線状エコーを構成するセルも、平均的な風と同じ方向へ移動したことがわかる。そして個々のセルの移動方向は、はじめに形成されたエコーセルの列の走向とほぼ等しかった。また、Fig. 10 に示されているように、発達して線状エコーが形成された後には、新しいセルは線状エコーの南西端で発生していた。この2つの理由によって、線状エコーはほぼ同じ位置に停滞した。

尾部の線状エコーは、九州の西海岸に発生したエコーセルの列が発達することによって形成された。このエコーセルの列が発生した時刻は、中規模擾乱が九州に上陸した時刻に対応する。また、Fig. 8 で示した負の気圧偏差の領域と、線状エコーが形成された場所に対応している。これらのことから、尾部の線状エコーも、中規模擾乱に関係して形成されたと考えられる。

しかし擾乱が九州を抜けた12時以降も、線状エコーは約2時間にわたって停滞していた。また線状エコーの走向は、それが発生した付近の海岸線の走向、およびその内陸の山地の走向とほぼ一致している。これらのことから線状エコーの形成には、擾乱の他に地形の効果が加わっていると考えられる。Fig. 11 の上段は、九州内のアメダスによる風ベクトルと背振山レーダーによるエコーを示し、下段はそれから求めた発散分布を示している。ここで、山岳の観測点のような地上の風を代表していないと思われるデータは、発散量の計算には用いなかった。この図から、線状エコーが形成された海岸付近から山地にかけて、収束域があることがわかる。また、線状エコーの南西部では特に強い収束になっている。特に強い収束を示した場所にある3つの三角形での発散量の時間変化を、Fig. 12 に示す。1時間毎の風のデータから求めたので、変化のしかたはあまりなめらかではないが、線状エコーの形成時に対応して収束になっているのがわかる。特にAで顕著であり、12時には強い収束になっている。

以上のように、線状エコーが形成された場所は、海岸付近の収束域と対応していることがわかった。このときの風系は Fig. 11 に示されているように南西風で、梅雨前線近傍では典型的な風系である。これらのことから、擾乱に伴って発生した尾部の線状エコーは、南西風系によって形成された地形的な収束の効果によって強化され、長時間持続したと言える。

26 Jun. 1984

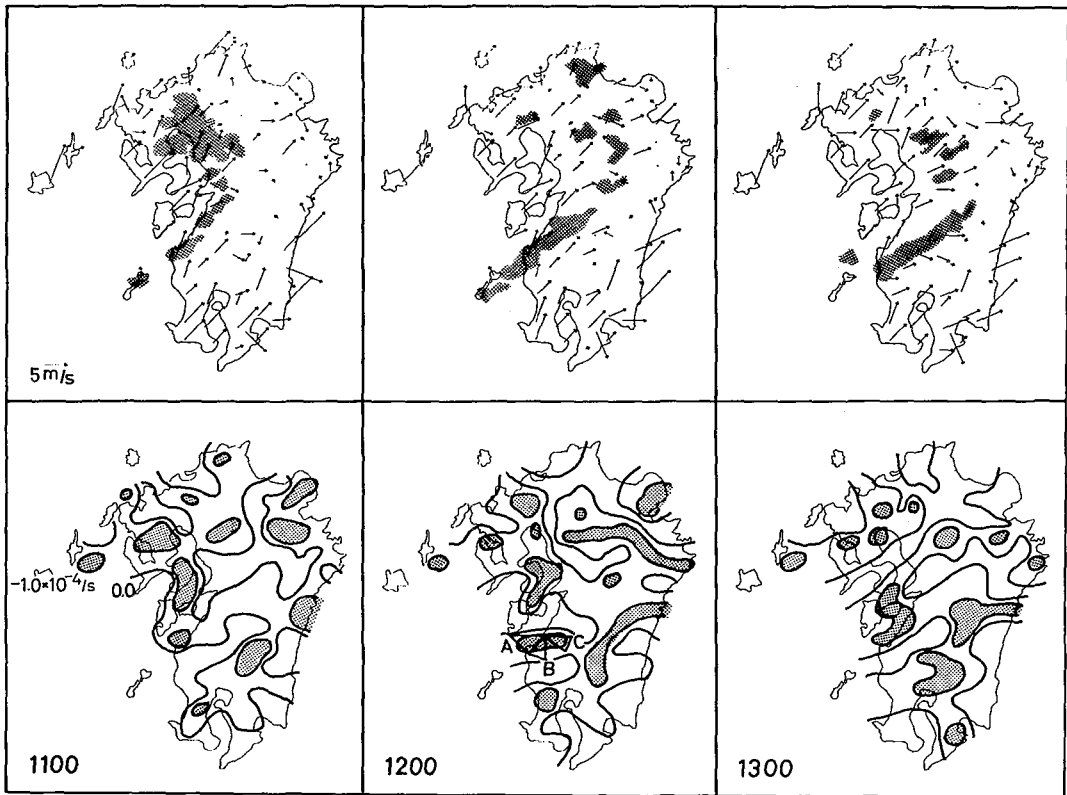


Fig. 11. Upper : Surface wind distributions and echoes by Mt. Seburi radar (stippled). Lower : Divergence distributions. Strong convergence zones ( $\leq -1.0 \times 10^{-4}/s$ ) are stippled.

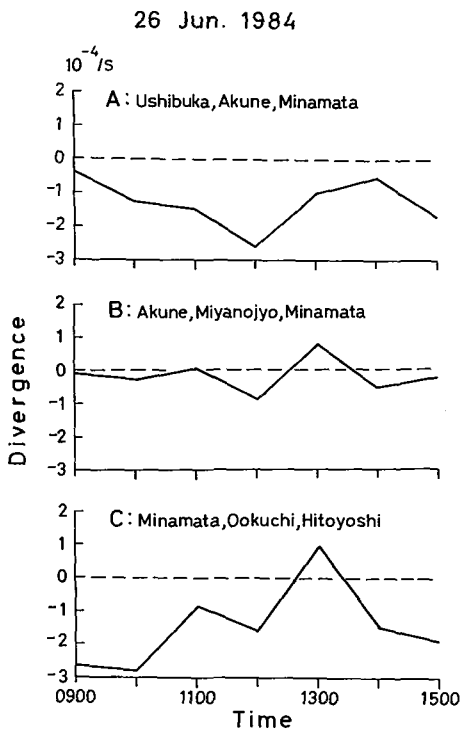


Fig. 12. Time variations of divergence in the triangles (A, B and C) indicated in Fig. 11.

## IV. 考 察

中規模擾乱の移動と、エコーを構成する個々のセルの移動の関係をまとめたのが、Fig. 13である。背振山レーダーによる11時10分と11時50分のエコーを重ね、中規模擾乱の移動(70°)と個々のセルの移動(55°)をベクトルで示してある。中規模擾乱が移動するにつれてその中心付近でエコーセルが発生し、一方セル自身はその場の平均風とほぼ同じ方向へ移動した。そのため新しいセルは既存のセルの南東側で発生し、頭部のエコー全体としては南東方向へ発達していくように見える。この効果は、マルチセル(Multi-cell)タイプのストームでは、propagationと呼ばれている(Newton and Fankhauser, 1975)。今回の例ではメカニズムは異なるが、図に示すように、擾乱の移動とセルの移動の差のベクトルとして、propagationが表わされる。そしてこのpropagationの結果、エコー全体としての移動は個々のセルの移動よりも東寄りになった。

尾部の線状エコーを維持していた海岸付近の収束域は、地形の効果によるものと考えられた。海岸線は線状エコーとほぼ同じ走向を持ち、その内陸部には海岸線に平行な山地がある。この山地には1000 mを越える峰もあるが、全体としては500 m程度の高度しかない。しかし、Ogura et al. (1985)が指摘しているように、十分に不安定な場では数百mの高地でも効果があると考えられる。線状エコーが形成された場所は山地の風上側にあたり、エコー全体も山地にトラップされるように停滞していたので、海岸線および山地の効果による収束域が、線状エコーの維持に関係していたことは明らかである。また、今門・堤(1966)は、この付近が統計的にも線状エコーが発生・停滞しやすい場所であり、梅雨期における南西風が収束する地域に相当すると指摘している。今回の例でも風系は典型的な南西風であったので、このことから、線状エコーの維持のために地形が重要な役割を果たしていたとすることができる。

北陸や北海道沿岸の渦状エコーでは、明らかな渦方向の回転性の運動があることが知られている(Miyazawa, 1967; 河野・孫野, 1967; 元木, 1974; 入田, 1974; 入田等, 1976)。しかしながら、今回のエコーには回転性の運動は見い出せなかった。また、秋山・松本(1970)が報告している鉤状エコーにも回転性の運動は認められなかった。このことから、両者には性質上の違いがあると考えられる。可能性の一つとして、梅雨期のエコーは鉛直的にも発達した構造を持っているので、比較的背の低い冬期のエコーのように、擾乱の回転運動に支配されづらいとすることができる。しかしそのような関係を明らかにするためには、中規模擾乱の構造をさらに詳しく調べる必要がある。

## V. ま と め

梅雨前線近傍で発生した特徴あるレーダーエコーについて、形成過程と移動に注目して調べた。またメソ解析により、このエコーは中規模擾乱に伴うものであることがわかった。

特徴あるエコーの頭部は、擾乱の中心付近で次々とエコーセルが発生することによって形成された。こ

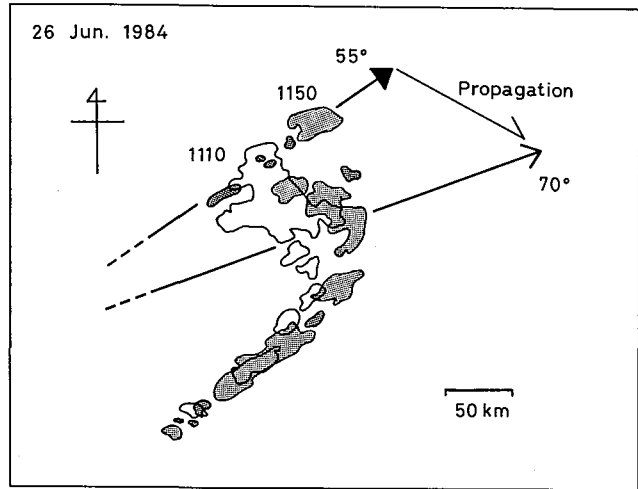


Fig. 13. Echoes at 1110 and 1150 JST by Mt. Seburi radar. Arrows are the movement of cells (55°) and of disturbance (70°), respectively.

これらのセルが発生する様子を詳しく調べた結果、新しいセルは既存のセルの南東側で発生していることがわかった。このことは、セルの移動方向と発生源の移動方向が異なっていることを意味する。すなわち、個々のセルは雲層の平均風とほぼ同じ方向に移動したが、発生源である中規模擾乱はそれよりも東寄りの方向へ移動した。そしてその結果、エコー全体の移動方向は個々のセルの移動方向よりも東寄りとなった。

また、尾部の線状エコーは、走向とセルの移動方向がほぼ一致したために数時間にわたって停滞した。エコー付近の地上風の収束分布を調べることにより、梅雨前線近傍で典型的な南西風の場合には、地形の効果によって九州の西海岸に沿った収束域が形成されることがわかった。線状エコーはこの収束域で発達し、ほぼ停滞していた。このことから、尾部の線状エコーは、擾乱による原因に加えて、地形による収束の効果が働いて形成されたと考えられる。

以上のようにして形成された頭部のエコーと尾部の線状エコーが合併した結果、特徴的なパターンを持つレーダーエコーが形成された。

謝辞 観測を行うにあたり、長崎県西海町ならびに長崎県立西彼青年の家には、多くの便宜を図っていただきました。また、福岡管区気象台ならびに各地方気象台・測候所および建設省九州地方建設局には、データの収集・提供に御協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

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」(研究代表者、名古屋大学武田喬男教授)の一環として行われたものである。

#### 文 献

- 秋山孝子・松本誠一, 1970. 梅雨前線内の鉤状エコーの生涯と構造. 天気, 17, 420-428.
- 荒川秀俊, 1966. 諫早豪雨の際に現われたメソ低気圧. 天気, 13, 175-177.
- ASAI, T. and Y. MIURA, 1981. An analytical study of mesoscale vortex-like disturbances observed around Wakasa Bay area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 59, 832-843.
- 播磨屋敏生, 1970. 北海道西海岸沖で発生する小低気圧について. 北海道大学地球物理学研究報告, 23, 73-81.
- 今門宗夫・堤 良造, 1966. 集中豪雨の場とレーダーエコー. 福岡管区気象台要報, 21, 46-54.
- 河野安威・孫野長治, 1967. 石狩湾小低気圧の研究. 北海道大学地球物理学研究報告, 18, 71-81.
- MIYAZAWA, S., 1967. On vortical mesoscale disturbances observed during the period of heavy snow or rain in the Hokuriku district. *J. Meteor. Soc. Japan*, 45, 166-176.
- 元木敏博, 1974. 石狩平野で発生した小さなうず状エコーについて. 天気, 21, 245-250.
- NEWTON, C. W. and J. C. FANKHAUSER, 1975. Movement and propagation of multicellular convective storms. *Pure and Appl. Geophys.*, 113, 747-764.
- 入田 央, 1974. 高気圧性循環を伴ったうず状エコーの解析. 天気, 21, 207-213.
- 入田 央・深津 林・江口 博, 1976. うず状エコーの解析. 天気, 23, 255-266.
- OGURA, Y., T. ASAI and K. DOHI, 1985. A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in northern Kyushu, 23 July 1982: Nagasaki Heavy Rainfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, 63, 883-900.