

梅雨前線内の鉤状エコーの生涯と構造*

秋山孝子** 松本誠一**

要旨

1968年7月に実施された梅雨末期集中豪雨特別観測の資料を用いて、梅雨前線帯の降雨現象のメソ解析を行なった。7月10日の早朝、九州中部に停滞していた梅雨前線上を1000km波長の低気圧が東進した。その低気圧域内で、顕著な鉤状エコーが約1時間の間隔をもって2個発生するのが、レーダスコープ上に見出された。2個のうち1個は北側にあった線状エコーと合流し、人吉付近に1時間46mmに達する豪雨をもたらした。それらのエコーの合流過程を明らかにし、さらに鉤状エコーの発生から消滅までを降雨状況や運動場とともに詳細に調べた。鉤状エコーを形成している対流性エコーセルの大きさと持続時間の関係、鉤状エコーおよびエコーセルの移動と上層風の関係についても検討した。

1. はしがき

豪雨雪時に存在する中規模の線状エコーについての調査は数多い。たとえば梅雨前線帯の降雨をとりあげた山中(1963)は、下層に強い南西風がはいって来ると、暖域内に定着性バンドができやすく、これによって大雨がもたらされることを示し、また牛島(1958)は、梅雨時、移動性のバンド状エコーが通過すると、通過地点の地上気象要素に、対応する変化のあらわれることを指摘、さらにメソロウとエコーの関係を明らかにしている(牛島, 1966)。

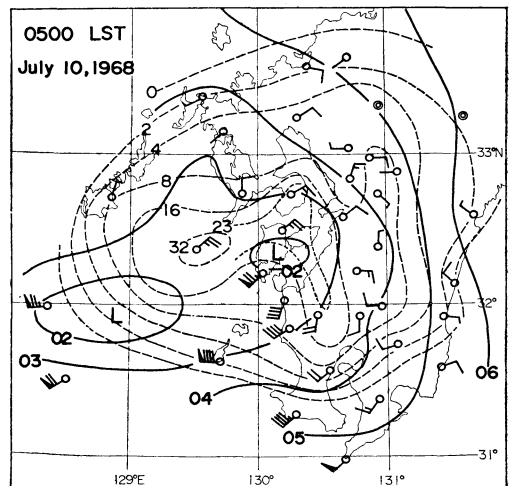
メソスケールの特異な形をしたエコー型についてはフックエコーと諫早豪雨を結びつけた荒川(1966)、豪雪時にスパイラルバンドを伴う渦状じょう乱を見出したMiyazawa(1967)らがある。筆者らは、昭和43年度の梅雨末期集中豪雨特別観測資料を用いて、梅雨前線帯のメソ解析をなし、(Matsumoto and Akiyama, 1970)、7月9日の降雨をとりあげ降雨が波長100~200kmの波状に分布されたエコーによってもたらされたことを述べた。これらの波状エコーは鉤状や渦状をしているエコーパターンによって構成されているようにみえるが、明確

な形でそれをとり出すことはできなかった。

ここでは同資料のうち7月10日の凌風丸(31°30'N, 128°30'E)レーダーPPI写真のなかに見出した極めて特徴あるエコー型についての解析を報告する。このエコーパターンは、従来フックエコーといわれているものに形が類似しているので、以下の報告では鉤状エコーと呼ぶことにする。

2. メソ降雨系の追跡

昭和43年7月10日、早朝02~08時ごろにかけて、九州中部にかなりの降雨が観測された。降雨は、停滞性の梅



第1図 局地天気図 1968年7月10日05時実線は等圧線(1mbおき)、破線は等雨量線(mm/hr)、風は矢羽1本2m/sec

* The Life Cycle and Structure of Hook Echoes Observed in the "Baiu Front". この研究は集中豪雨特別研究—GARPの一環をなすものである。

** T. Akiyama and S. Matsumoto. 気象研究所。
—1970年3月7日受理—
—1970年5月14日改稿受理—

雨前線を波長1000kmの低気圧が時速約50kmで東進し(Matsumoto, Yoshizumi and Takeuchi, 1970),九州中部を通過する際にもたらされたものである。

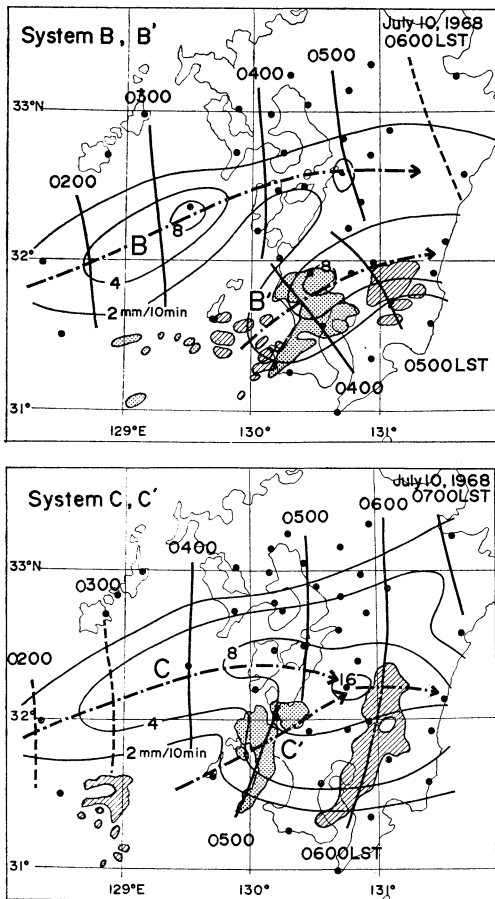
第1図は同日05時の局地天気図で,1時間降雨量分布も記入してある。上記低気圧の中心部が九州西岸にあり,降雨はそれに対応した分布をしている。この図に現われた1時間降雨量は総観規模の特徴をもっているが,実際の降雨現象は多くの場合メソ現象に伴っていると考えられる(たとえば Fujita, 1963)から,メソ降雨域を追跡するために,各地上観測地点の雨量自記紙から10分間雨量を読み取り,その値を用いて解析を行なった。雨量観測点の分布は必ずしも解析に好適ではなく,また対流セルの影響をうけやすいので,10分間雨量分布だけから降雨系を判定,追跡することは時として困難で主観的になりやすい。そこで背振山,種子島,凌風丸の連続レ-

ダ写真,および同レーダ1分間隔コマどり16mmムービーを参照して,いくつかの降雨系を判別した。

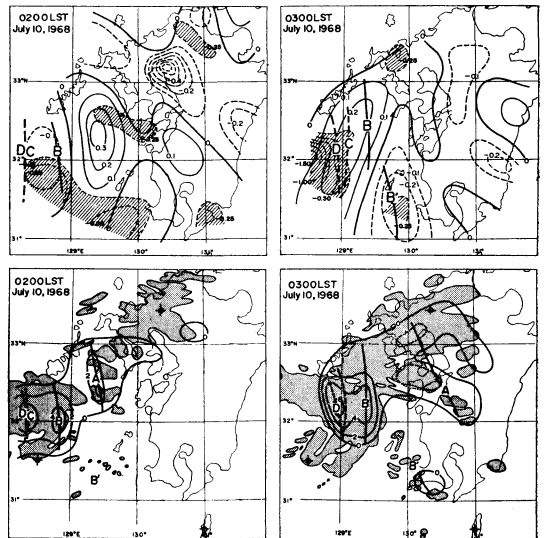
第2図はこのようにして判別した降雨系のそれぞれの生涯を示したものである。降雨系B'とC'については,後でくわしくその生涯と構造をのべる。太線は降雨系通過の等時線,細線はそれぞれの降雨系が各観測地点(図中黒丸)を通過した時刻の10分間雨量を示す。この図から各降雨系の盛衰をみることができる。上図の降雨系Bは九州西部の海上に主な降雨をもたらした。下図の北側の降雨系Cと南側の降雨系C'は,はじめ経路を異にしているが,九州上陸前後雨域が合流し,またそれぞれの最盛期も一致したことにより,その交点で豪雨となっている。05時40分ごろ,人吉では10分間雨量は16mm(1時間46mm)に達した。

降雨系BとB'の場合,南北にはほぼ同時刻に九州地方を通過している点では降雨系C,C'と同様であるが,経路は平行線であり,最盛期も違っているので,降雨系C,C'に較べて降雨量は少ない。

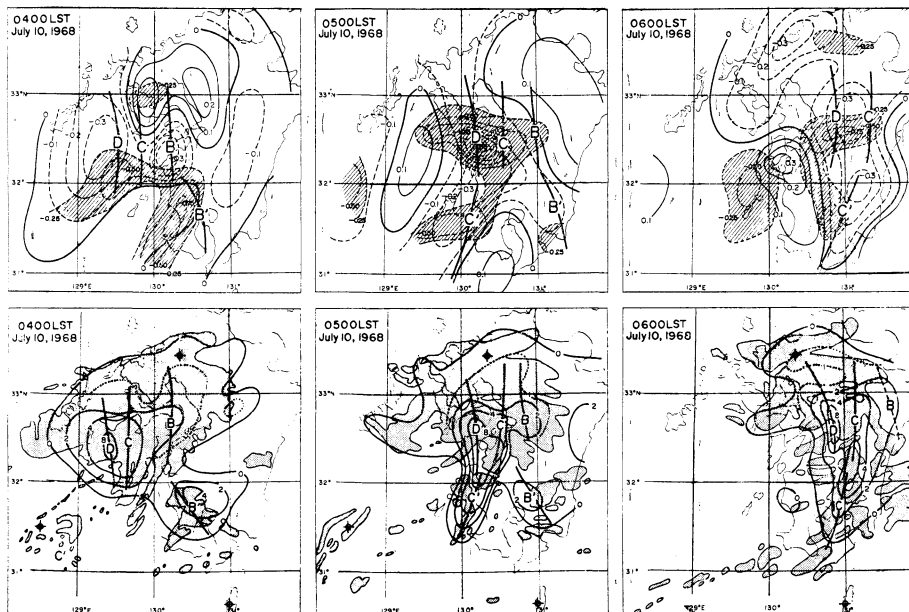
降雨系B'と降雨系C'のそれぞれに対しては,降雨をもたらしたエコーの1時間おきのスケッチを第2図中に記入してある。両者はいづれも,後で述べるように凌風丸(31°30'N,128°30'E)付近の海上で,はじめはいくつかの対流性エコーセルから成立っていたが,1~2時間後に大きさ東西60~70kmの鉤状に組織化された。降雨はその時期からはじまり,さらに約1時間後に降雨の最盛期をむかえ,以後降雨は減少し,エコーも変化縮



第2図 降雨系の移動と極大雨量分布(mm/10min) 網目と斜線部はエコー系B',C'の1時間おきのエコー。黒丸は雨量観測地点



第3図-1 上図メソ天気図1968年7月10日02~06時



第3図-2 細い実線と破線は等圧線 (0.1mb おき), B,C,D などのついた太い実線は気圧極少起時の等時線。斜線部はメソ収束域 ($0.25 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ 以上)
 下図 10分間降雨量とエコー分布 細い実線は等雨量線。太い実線は降雨系の等時線。網目部は3地点レーダ合成エコー。

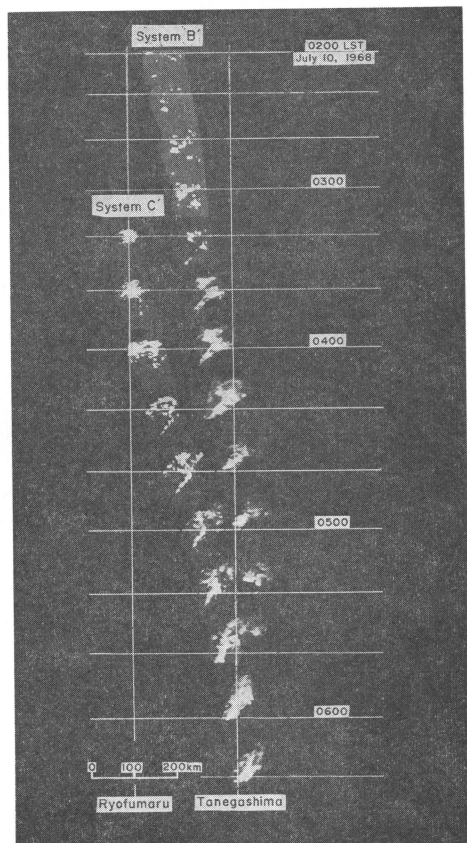
少するという経過をたどっている。移動速度は東北東に系 B' では 65km/hr , 系 C' は 95km/hr , いずれも寿命は 3~4 時間程度である。降雨域とエコー分布を対比してみると、降雨系の中心の経路はエコー系の北側部分に偏っていることが分る。

3. メソ天気図とエコー分布, および10分間降雨分布

前記の降雨系は寿命, 規模ともにメソ現象の特徴とよく一致している。そこで次に各地上観測点の自記紙のうち, 気圧, 風 (10分間平均) の30分間隔読取り値を用いて, Matsumoto and Ninomiya (1965) の方法にしたがい, 偏差値 (1.5時間移動平均) によるメソ天気図をつくった。第3図の上図がそれである。これを見るとおよそ $100 \sim 150 \text{km}$ の間隔でメソ低圧部が配列し西から東へ移動しているのがわかる。図中斜線の部分は $0.25 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ 以上の大きさをもつメソ収束域 (収束量の計算に用いた三角形については Matsumoto and Akiyama, 1970 を参照) である。この収束域は筆者らが多くの例につき主張しているようにメソ低気圧の約 $1/4$ 波長ほど西側に位置している。B, C, B', C' 等の記号をつけた太線は自記紙上の気圧極小起時の等時線で, 30分読取り値を用いて解析した分布図における低圧域とほぼ一致していることがわかる。下図には上段と同時刻の3地点 (06時のみ

2地点) のレーダエコー合成写真のエコースケッチを示してある。この図には同時刻以後の10分間降雨分布が記入してある。エコー分布と降雨域はよく対応しており, また降雨の中心部は上図の収束域ともほぼ対応している。B', C' などの記号のついた太線は第2図の降雨系の等時線を再録したものであるが, 上図に示された気圧極小起時の等時線とそれぞれに該当していることを指摘できる。

すでに述べたように, この期間は 1000km 波長の低気圧が九州中部を東進したが, このことに着目して, Matsumoto and Tsuneoka (1970) はエコーのタイムセクションを作成し, 波状のエコー分布が低気圧群に伴って現われることを示した。この波状分布の波頭の部分に当る位置におけるメソスケールの微細構造が, 第3図のエコースケッチである。スケッチする元のレーダ合成写真から判断すると, 北部は主として層状エコーと考えられ, その部分では降雨量も少ないことが分る。一方降雨系 B, C, D には北北東から南南西にのびる線状エコーの付随しているのが認められる (03, 04時の図に明確に表われている) が, これらの線状エコーは対流性エコーセルから成立っている。この状況は一見, 野角 (1966) によって指摘された低気圧暖域内のスコールラ



第4図 鉤状エコーのレーダ PPI 合成写真 (20 分間隔) 横線は各時刻の凌風丸レーダーの位置。

インとよく類似しているが、地上温度分布から温暖前線と寒冷前線を明確に規定することはできなかった。

降雨系 B' および C' のエコーは上述の 1000km の波長をもつ低気圧の中心部を構成する層状および線状エコーとは発生段階からはっきりと別個のものであることが認められる (第2図参照)。このうち降雨系 C' のエコーは 04 時に、C' の北東にあって北北東から線状にのびているエコーの南端と、その後合流しはじめ、05 時には両者はほぼ完全に併合したとみられる。その合流点付近で 05~06 時にかけて前記の豪雨を降らせたことは注目すべきである。今門、堤 (1966) は豪雨時のエコー型を分類して、合流型の場合、発生源の異なる 2 つ以上の系統の線状エコーが合流交叉し、その交叉点が通過した地域で集中豪雨があることを指摘している。ここにとりあげた例では、2 系統のエコーが合流し、合流点を中心に豪雨のあったという点で、今門らのいう合流型に類似して

いるが、合流の過程を詳細に解析した結果 2 系統のエコーのうち 1 つは降雨系 C' に付随する線状エコーであり、他の 1 つは降雨系 C' を伴った鉤状エコーであることが明らかにされた。

4. 鉤状エコーの生涯と構造

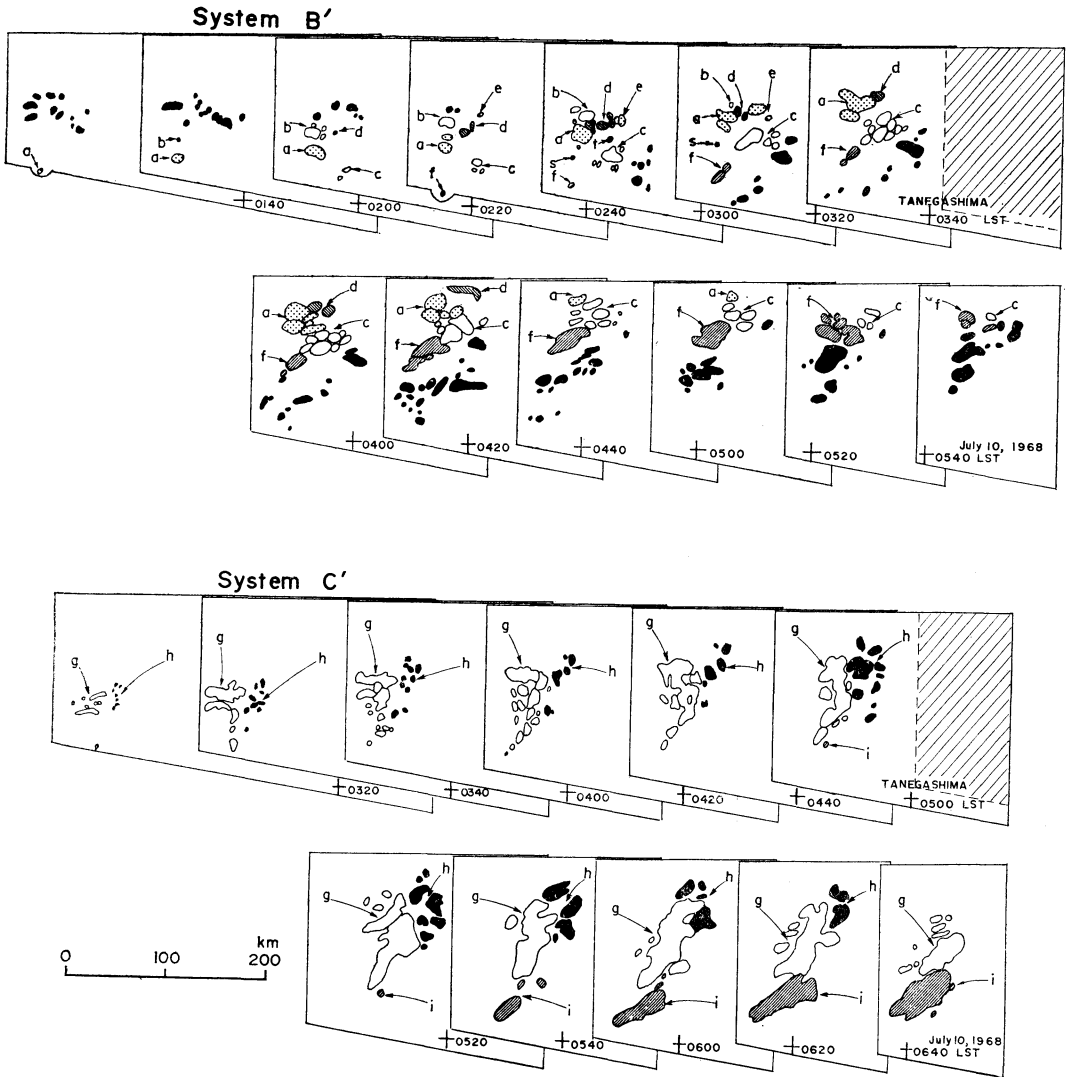
すでに述べたように降雨系 B' と C' は顕著な鉤状エコーに付随するものであり、とくに系 C' は人吉における集中豪雨の主役をなしたと考えてよいであろう。そこで鉤状エコー系 B' および C' を詳細に追跡することを試みた。第4図は関係のない周辺のエコーと、グランドエコーを抹消し、鉤状エコーの生涯を明らかにしたものである。この図には凌風丸と種子島レーダーの合成写真のうち 20 分間隔のものをとりだして上から下に配列させた。縦線は凌風丸、種子島の位置、横線は各時刻の凌風丸の位置を示す。

4.1 エコーの発生

すでに述べたように鉤状エコー系 B', C' がともに凌風丸付近の海域で対流性小エコー群として発生したことが明らかに認められる。このことは非常に興味のある事実であろう。観測期間中の九州西方海域の表面水温分布をみると、凌風丸観測点の付近に黒潮の分岐が流入しており、表面水温に乱れが観測されている。ただし温度差は 1°C 前後であってさほど大きくはないが、海面よりの補給量が積雲の発生に影響を持つことが最近しばしば指摘されているので (たとえば Matsumoto, Ninomiya and Akiyama, 1968), この場合も対流性エコーの発生の一因として表面水温の分布状況を考慮に入れるべきであろう。山田 (1969) は九州地方の 6~9 月における線状エコーの出現度数分布図を作成し、九州西海岸から約 100km の海域に多頻度域を見出している。

4.2 移動と降雨

発生した小エコー群はその後移動しながら発達し、エコー発生後約 1 時間、系 B' では 03 時 20 分ごろ、系 C' は 04 時 20 分ごろ、東西 60~70km の鉤状にかたちづくられる。この時期のエコー頂高度はエコーが凌風丸レーダスコープから移動して種子島レーダスコープに出現した地点の距離と仰角とから 5~6km 以上と推定される。降雨はエコーが鉤状に組織化された時刻にはじまっている。両系の通過経路上にある甌列島の観測点、釣掛崎 ($31^{\circ}37'\text{N}$, $129^{\circ}42'\text{E}$) の雨量日記紙は 03 時 20 分~03 時 40 分に 2.0mm, 04 時 20 分~04 時 30 分に 2.5mm の値を記録しているが、これらは降雨系 B', C' の降雨量をそれぞれ示している。その後両エコー系はさらに発達しな



第5図 鉤状エコーのセル追跡模図 (20分間隔)

がら、エコー系 B' は03時50分ごろ、エコー系 C' は05時ごろに九州南部に上陸し、上陸後30~40分で降雨の最盛期となる。(降雨系の最盛期は B' では04時20分ごろ、C' では05時40分ごろである。) 最盛期をすぎるといづれの鉤状エコー系も変形、縮少する。発生から衰弱までの寿命は3~4時間であった。ただし降雨系 C' のエコーは04時40分ごろから鉤状エコーの北東部と、その東北にある霽雨系 C に付随する線状エコーの南端とが、合併しはじめたため降雨系 B' に較べて降雨量は多く、またエコーおよび降雨の継続時間も長かったことが指摘される(第2図参照)。

4.3 鉤状エコーを構成するエコーセルの追跡

鉤状エコーを構成する個々のエコーセルをさらに詳細に追跡し、その時間的経過を模図的に示したのが、第5図である。上図はエコー系 B'、下図はエコー系 C' に関するものである。セルの追跡にはほぼ1分間隔のレーダ写真を用いた、またこれを16mmフィルムにプリントしてムービーの手法で連続性のチェックを試みた。(凌風丸のレーダ写真については、レーダスコープ上の死角のためエコーセルがかくされ、追跡に支障を生ずることがある。さいわいエコーが死角に入る時間は、2~3分間であったので補外が可能であったが、これが5分間

上になると、エコーセルの判別に誤りをおかす危険性があつた。）

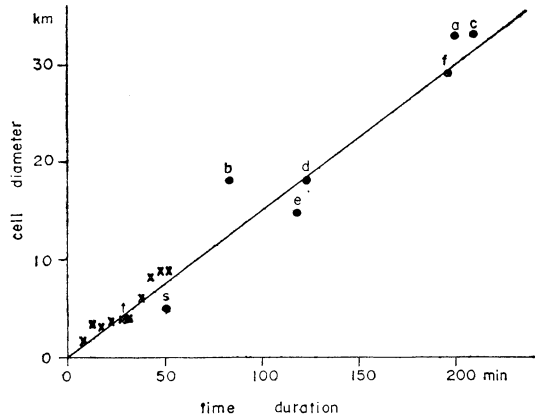
エコーセルの追跡の困難さは多くの人々によって指摘されている。孤立したエコーセル以外は、いくつかの積雲の集合を一とかたまりとして追跡せざるを得ない。エコーのかたまりは其中で構成セルが分裂や併合、消滅や発生をたえずくり返しているものと考えられる。また隣接のエコーのかたまりとの間にも相互作用があるらしい。

上図に示したエコー系 B' について、はじめに孤立して発生した対流性の小エコーセルに着目し（図中 a, b ……の記号を付してある）、それらが時間と共に発達し、どのような経過をたどって最終的に鉤状エコーを形成したかを明らかにした。ある時刻に、着目したエコーセル、たとえば c に隣接し孤立して発生したエコーセルを判別できる（図中 03 時）が、次の時刻には C の一部に併合して（図中 03 時 20 分）いるというような場合は C が発達したとみなした。そのために、はじめの小エコーセルは小エコーセルの集合体へと成長する。集合体を形成している小エコーセルの数は、レーダ位置からの距離やゲインの違い、仰角のわずかな差、および連続 PPI 写真の不均一性のために変化する。こうして小エコーセルの集合を一つのエコーセルとしてみる時、その持続時間も規模も大きいものとなることは後述の通りである。

第 5 図の下図はエコー系 C'（図中の g）が線状エコー h（図中黒色）と合流する過程を明らかにしている。05 時には両者はほぼ合併したので（第 4 図参照）、それ以後のエコーの判別はレーダスコープ写真のムービーを用いて特徴的な移動の模様から推定した。図中 i の記号の付してあるエコーは、北側のエコー系 C' が衰弱するにしたがい急速に発達したエコーである。これと同様の現象はエコー系 B' の場合にもみられる。

4.3.1 エコーの大きさと持続時間

第 6 図にエコー系 B' を構成したエコーセル a, b ……などの持続時間と大きさとの関係を示した（図中の黒丸）。大きさはそれぞれのセルが最大になった時のエコー面積を円型に換算し、その直径を求めたものである。Battan (1953) は孤立した対流性エコーセルの持続時間とその大きさとの関係を統計的にしらべ、セルの平均寿命は 23 分であり、大きいエコーセルほど持続時間の長いことを示した。Battan の統計資料を用い、持続時間別にセルの平均の大きさを計算して第 6 図に記した（図中×印）。この資料では分裂や併合をしたセルをのぞいているので



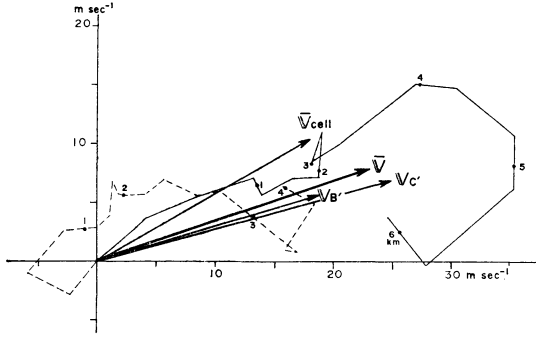
第 6 図 エコーセルの持続時間と大きさの関係
 黒丸は鉤状エコーを形成しているセル。
 ×印は Battan の資料のセル。

持続時間は最長 50 分程度、大きさも 8 マイルのものまでである。一方エコー系 B' を形成しているエコーセルの場合、発達過程で分裂や併合したものも含めて一個のセルとみなしたので、持続時間、大きさともに大きいものが含まれている。第 6 図をみると明らかに持続時間はエコーの大きさに比例していることがわかる。このことは Battan の結論が対流性小エコーセルの集合を一つのセルとみた場合にも適用されることをものがたっている。

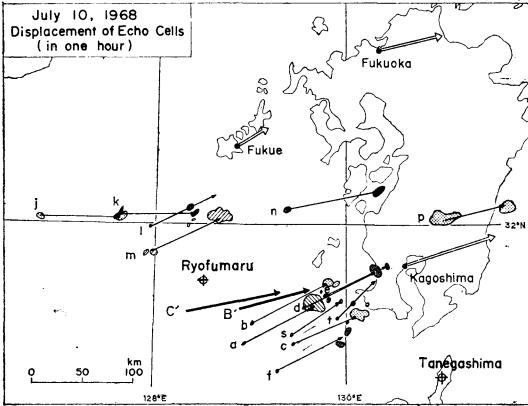
4.3.2 エコー系の移動と上層風

Newton and Fankhauser (1964) は上層風が高度とともに順転している時、個々の小さな対流性エコーセルは雲層平均風より左よりの方向に直径の大きな複合エコーほど平均風より右よりの方向に移動し、雲層平均風向からエコーの移動方向の偏倚の範囲はほぼ右に 60° から左に 30° 以内であることを指摘し、エコーを養う水収支の立場からみて妥当であるとした。すなわち直径の大きいエコーほどその直径に比べて多くの水蒸気を必要とするため、積雲に流入する下層の湿いゆん空気を増さねばならず、積雲系は下層風の相対的な流入速度成分を増加させる方向に進むものと考えた。

上記の観点からエコー系 B', C' とセルの動きを検討してみる。第 7 図は同日 03 時の鹿兒島（実線）福江（破線）の上層風 hodograph である。図中にエコー系 B', C' の移動速度 ($\vec{V}_{B'}, \vec{V}_{C'}$)、B' を構成しているエコーセル a, b ……などの平均移動速度 (\vec{V}_{cell})、および鹿兒島の雲層平均風 (\vec{V}) を記入した。雲層平均風は、鉤状エコーのエコー頂高度が 5~6 km であることから、1 km ごとの風を 6 km まで平均したものである。第 8 図にはエコー



第7図 1968年7月10日03時 鹿児島(実線)と福江(破線)の上層風ホドグラフ。Vは鹿児島の雲層平均風。V_{B'}、V_{C'}はエコー系の移動速度。V_{cell}はエコーセルの平均移動速度。



第8図 エコーセル、エコー系、三地点雲層平均風の時間変位とエコーセルの移動。

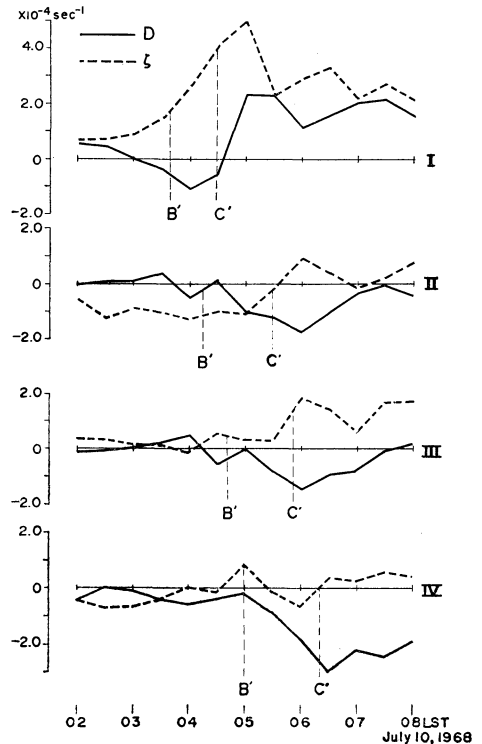
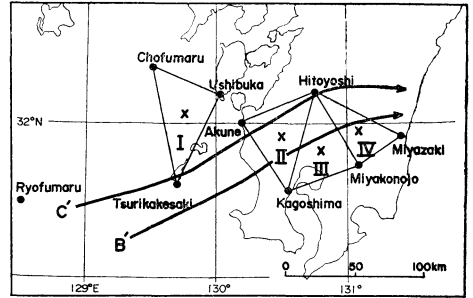
セルと系の移動速度、および福岡、鹿児島、福江(1~4 km まで)の雲層平均風ベクトル(いずれも1時間の変位で表わしてある)が示してある。図にはまた追跡したエコーセルの発生時と1時間後の形(1時間持続しないものはセルとして判別した最終の形)が記入してある。j, k, l, m, n の記号のついたセルは 1000km 波長の低気圧中心部のエコーに合併されるエコーである。第5図も参照して次の結論が導かれる。

1. エコー系 B' と C' の通過する鹿児島の上空風は順転している。
2. エコー系の移動方向に較べて、セルの平均移動方向は左よりである。しかし雲層平均風からの偏りはいずれもわずかである。
3. エコー系 B' の構成セルのうち s, t は大きいセル a, b などに比べて左向き速度成分が多い。

4. 新しいエコーは進行方向の右側に形成され、充分に発達したセルは系の進行方向左側に移行し、その位置で衰弱し降雨をもたらす(第5図の系 B' のセル c 参照)。エコー系の降雨域は系の北側部にある(第2図参照)。

Newton らは上層風が順転している時、大きいエコーほど雲層平均風の方向より右よりの向きに進み、エコーの右端に新たな上昇流域をつくる結果、エコーの見かけ上の動きを右向きにすると推論しているが、上記の結論はこれとよく一致している。

寒冷前線に伴って現れる線状エコーや、スコールライ



第9図 降雨系 B', C' の経路および地上風の収束(D)と渦度(ζ)の時間変化。

ンに当る線状エコーの場合、線状エコーは上層風の風上にあたる端で新しいエコーセルが発生し、発生したセルは次第に線状エコーの風下側に移り消滅することが、立平、深津 (1963), Newton and Fankhauser (1964) らによって示されている。鉤状エコー系 B', C' の尾部については上述のような線状エコーの形態を示していることが分る。

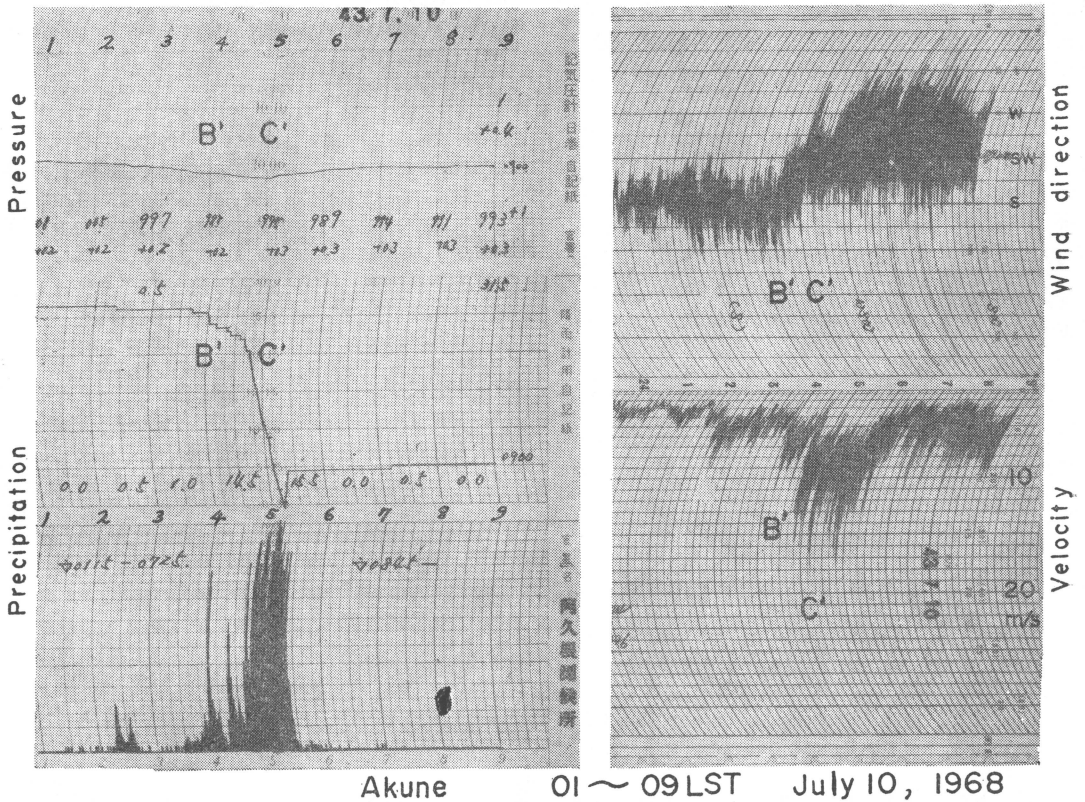
4.4 鉤状エコーに関連する運動場、その他の特徴

すでに鉤状エコー系 B' と C' には降雨系 B', C' が伴っていることを述べ、またそれぞれの降雨系に対応してメソ低圧部とメソ収束域の存在することを示した。第9図に両降雨系の経路と地上風収束、渦度の計算に用いた三角形の観測網のうち、経路の週辺にある4つを図示した。図の下には各三角形の観測網(I, II, III, IV)で計算した発散 D, 渦度 ζ の時間変化を示してある。三角形の重心(図中×印)に近い位置を降雨系が通過した時刻に系の記号をつけて示した。この図から降雨系 B', C' はともに地上風収束と正渦度によって特徴づけられる風

系を伴った、かなり明瞭な構造をもつメソ現象であったことが推定される。収束の値はメソじょう乱に特有な 10^{-4}sec^{-1} のオーダーの大きさを持っていることがわかる。

Miyazawa (1967) は冬期北陸沿岸で渦状エコーを伴うメソじょう乱を見出した。そのメソじょう乱は直径50~80km, 持続時間は1.5~4時間, かなりの降雪をもたらし、じょう乱の通過に際して、地上風は時計廻りの変化を示し突風が観測されている。渦状エコーの移動速度は60~80km/hr で700mbの風速とほぼ一致し、移動方向は700mbの風向より右に10~20° 偏よるといふ。また渦状エコーは回転性を持ち、このことに着目しエコーの動きから低気圧性循環のあることを示した。

筆者らの扱っている鉤状エコーを伴うメソじょう乱は、大きさ、持続時間、移動速度、および移動方向ともに Miyazawa の渦状メソじょう乱とよく類似していることがわかる。鉤状エコーには顕著な回転性は認められなかったが、地上風は正渦度を示している。第10図に鉤状エ



第10図 阿久根測候所の自記紙 1968年7月10日01~09時 左 気圧, 雨量, 降雨強度, 右 風向, 風速

コーを伴ったメソじょう乱 B', C' の通過近辺にある観測地点阿久根の同日01~09時の地上自記紙を掲載した。メソじょう乱の通過時に気圧は0.2~0.3mb 下り、風向の変化は系 B' ではわずかであるが、系 C' で南南西→南西→西→南西となっている。風速はいづれの系の場合も、気圧極小の後に、強風が記録されている。系 B' の最大瞬間風速は11m/sec, 系 C' は18m/sec に達している。系 B' に伴う降雨量は、2.5mm/30min, 系 C' は27.0mm/50min である。このように地上気象要素の各変化にも Miyazawa の渦状じょう乱と同様な特徴がみられる。

5. むすび

梅雨前線を東進する 1000km 波長の低気圧内に見出された鉤状エコーについて、発生から消滅までの過程を追跡し、その構造、運動場の検討をおこなった結果、鉤状エコーのメソ現象としての構造が明らかとなった。

梅雨前線と下層ジェットが密接な関係にあることは多くの人々により指摘されている。鉤状エコーの発生や、移動にも下層ジェットのはたす役割は大きいものと考えられる。鉤状エコー系 B' と C' は約 1 時間の間隔で発生しほぼ同じ経路を進行したが、その移動速度には 30km/hr の差があり、また両者のエコー頂高度、および大きさには大差のないことを考慮に入れると、下層ジェットは複雑な分布をしていると推定することができよう。鉤状エコー型がどうして形成されたかという問に対して、今回入手できた資料では明確な答をみちびくことは困難である。これらの問題解決のための手がかりとしては、今後下層ジェットなどの微細構造を究明しなければならぬのではないであろうか。

終りに、筆者らはレーダーについて御指導をいただいた気象研究所の柳沢善次氏、および梅雨末期集中豪雨特別観測に参加し多くの資料を収集提供して下さった方々に、深く感謝します。

参考文献

- 1) 荒川秀俊, 1966: 諫早豪雨に際して現れたメソ低気圧, 天気, **13**, 175-177.
- 2) Battan, L.J., 1953: Duration of convective radar cloud units, Bull. Amer. Meteor. Soc., **34**, 227-228.
- 3) Fujita, T., 1963: Analytical mesometeorology: A review, Meteorological Monographs, **5**, 77-125.
- 4) 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.
- 5) Matsumoto, S. and T. Akiyama, 1970: Mesoscale disturbances and related rainfall cells embedded in the 'Baiu front.' with a proposal on the role of convective momentum transfer, J. Met. Soc. Japan, **48**, 91-102.
- 6) Matsumoto, S., S. Yoshizumi and M. Takeuchi, 1970: On the structure of the 'Baiu front' and the associated intermediate-scale disturbances in the lower atmosphere, J. Met. Soc. Japan.
- 7) Matsumoto, S. and K. Ninomiya, 1965: Mesoscale disturbance observed in the vicinity of a cold vortex center, Pap. Met. Geophys., **16**, 9-22.
- 8) Matsumoto, S. and Y. Tsuneoka, 1970: Time-lapse composite echo pattern of wave disturbances embedded in the Baiu front, J. Met. Soc. Japan.
- 9) Matsumoto, S., K. Ninomiya and T. Akiyama, 1968: A statistical study on the relation between cloud amount and supply from the Japan sea surface in January, Pap. Met. Geophys., **19**, 551-558.
- 10) Miyazawa, S., 1967: On vertical mesoscale disturbances observed during the period of heavy snow or rain in the Hokuriku district, J. Met. Soc. Japan, **45**, 166-176.
- 11) 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.
- 12) 野角吉憲, 1966: 種子島レーダーで観測した低気圧の特性について, 福岡管区気象台要報, **21**, 74-82.
- 13) 立平良三, 深津 林, 1963: 寒冷前線のレーダーおよびメソ解析, 気象集誌, **41**, 145-157.
- 14) 牛島敏光, 1958: 梅雨のレーダ解析, 福岡管区気象台要報, **14**, 53-62.
- 15) 牛島敏光, 1966: 梅雨前線に伴う典型的なレーダーエコー, 福岡管区気象台要報, **21**, 83-92.
- 16) 山田三朗, 1969: 九州における強雨と大雨のメソスケールの降雨機構, 天気, **16**, 1-6.
- 17) 山中隆男, 1963: 大雨エコーの盛衰, 西部管区気象研究会誌, **24**, 66-71.