

# 東北地方北部に集中豪雨をもたらした帯状エコーの解析\*

加藤 和夫\*\* 阿部 能明\*\* 伊藤 秀喜\*\*\*

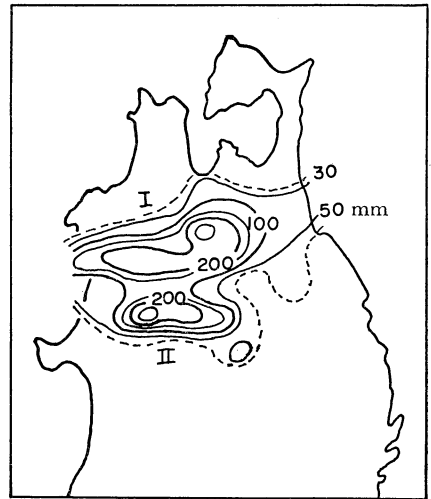
## 要旨

1975年8月20日03時～09時に青森・秋田県境付近で、また09時～15時には秋田県米内沢一湯瀬の地域でそれぞれ6時間に200mmを越える豪雨が発生した。県境付近の豪雨は帯状エコーの東進によるもので、発生初期の海上のエコー解析ならびに陸上のメソ解析によるとこの帯状エコーは4個のメソエコークラスターで構成されている。いっぽう米内沢一湯瀬にかけての豪雨は主帯状エコーに2本の線状エコーが合流する地域で発生しており、合流域で複合セルの発達がみられる。

## 1. はしがき

帯状エコーによる豪雨の解析は数多くあり梅雨末期集中豪雨研究報告(気象庁, 1974)にその大系がまとめられている。また、帯状エコーの合流、あるいは異なるエコー系の交差による集中豪雨は今門ら(1968)の調査に端を発しており、ここ数年のレーダ月例会でもこのことに着眼点がしぼられ多くの事例が報告されている。

1975年8月20日青森県南部から秋田県北部に集中豪雨が発生し秋田県米内沢(以下地点位置は第11図を参照されたい)では6時間に270mmの雨量を記録した。この豪雨は5～6時間周期で発生した2本の対流性帯状エコーによるもので、雨量分布図(第1図)にも2つの極大域が見られる。すなわち03時～09時に最初の帯状エコー(第Iのバンドとよぶ)が県境付近(第1の豪雨域とよぶ)を東西にのび、このエコーの東進後09時すぎから第Iの豪雨域より30～40km南の米内沢一湯瀬の地域(第IIの豪雨域とよぶ)に新たな帯状エコー(第IIのバンドとよぶ)が形成されて15時ころまで停滞した。エコー解析、メソ解析によるとこれら2本の帯状エコーは性質が異なり、第Iのバンドが中規模じょう乱に伴うエコークラスターで構成されているのに対し、第IIのバンドでは顕著な合流現象が見られる。以下それぞれの特徴について報告する。



第1図 24時間雨量分布図(8月20日00時00分～24時00分)。

## 2. 総観場の概況

山陰地方を横断して日本海西部を北上した台風5号くずれの低気圧は20日03時渡島半島西沖に達し、09時には衰えながら苫小牧沖に進んだ(第3図)。

20日09時の南北断面図(第2図)によると500mbより下層で札幌—三沢に水平シアアがあり、三沢—秋田に風向の合流域が存在する。すなわち秋田付近は低気性循環の南側の西北西流と太平洋高気圧の縁辺を廻る南西流との合流場に相当している。

偽湿球温位( $\theta_{sw}$ とよぶ)の鉛直断面は、シアアの北側にあたる北海道には寒冷乾燥気団、また仙台以南にも乾燥気団が存在していて $\theta_{sw}$ 低温域となっている。こ

\* Analyses of rainbands with heavy rainfalls over the Northern Tohoku District.

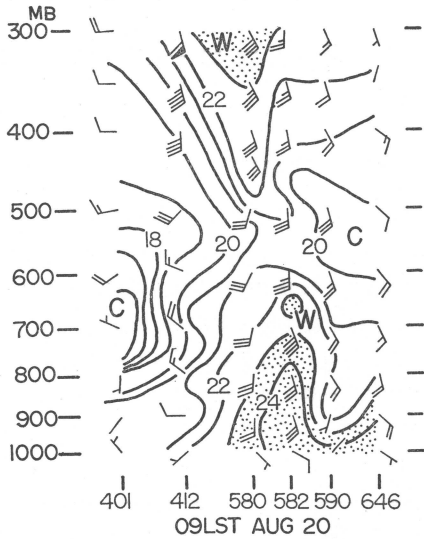
\*\* K. Kato, 秋田地方気象台

\*\* Y. Abe, 秋田地方気象台

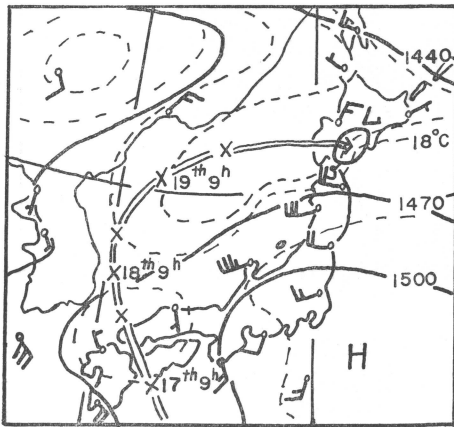
\*\*\* H. Ito, 気象衛星センター

—1976年12月20日受領—

—1977年6月8日受理—



第2図 偽湿球温位  $\theta_{sw}$  と風の南北鉛直断面図。  
 点域は  $\theta_{sw}$  23°C 以上の領域，風速はノット単位，風向は左側が北。  
 地点説明：401稚内，412札幌，580三沢，582秋田，590仙台，646館野。



第3図 850mb 天気図，1975年8月20日09時。  
 実線は等高度線 (30gpm ごと)，破線は等温線 (2°C ごと)。×印は台風5号，または台風くずれの低気圧の12時間ごとの位置。

これら両気団の中間にあたる秋田付近の下層には非常に高温多湿な気塊が流入している。

850mb 天気図(第3図)では前線に対応する16~18°Cの温度集中帯が苫小牧沖の低気圧から東と南西にのびて

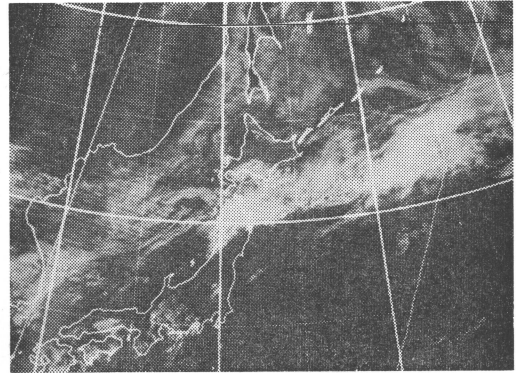
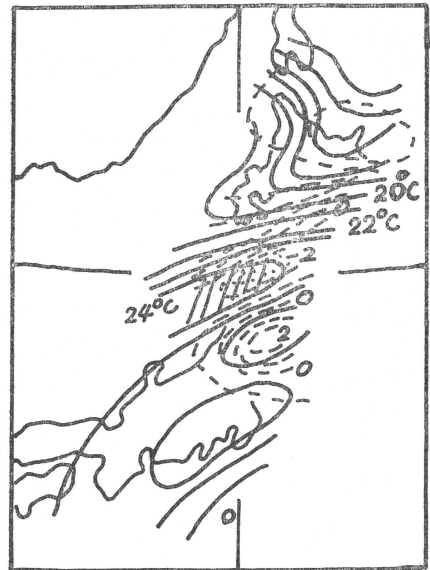
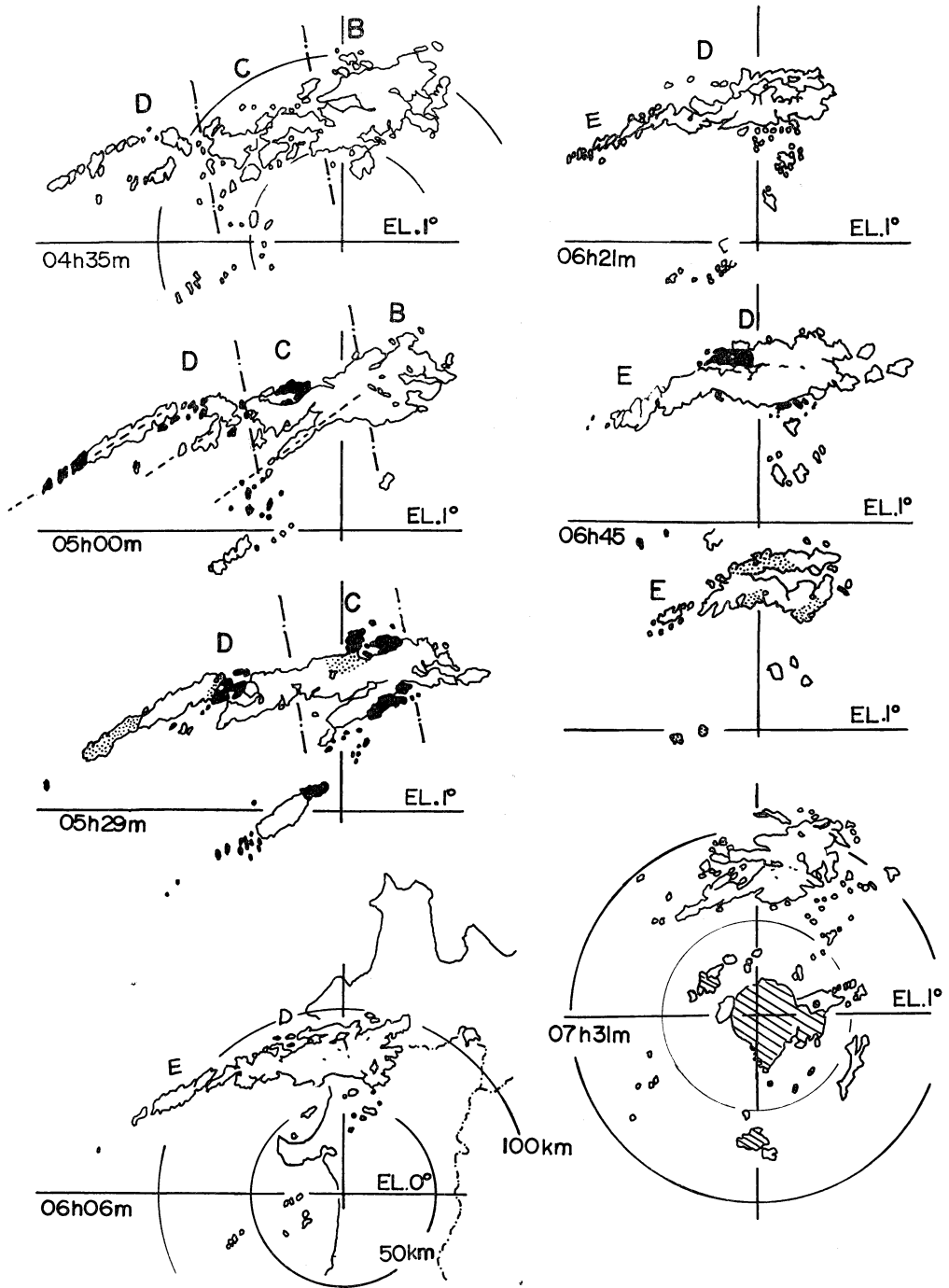


写真1 気象衛星 NOAA の雲写真，1975年8月20日08時44分。



第4図 850mb 面の偽湿球温位  $\theta_{sw}$  の分布 (実線，1°C ごと) と安定度指数 (SSI) の分布 (点線，1°C ごと)。  
 1975年8月20日09時。斜線域は  $\theta_{sw}$  極大域，点域は SSI 極小域を示す。

いる。これに対応して08時44分の NOAA の可視画像(写真1)では、巾300kmの濃密な帯状雲が北海道南岸を東西にのびて東北北部に達している。苫小牧沖には台風くずれの低気圧に相当するうず状の雲塊があり、これより500km離れた秋田沖にもうず状組織をもった雲塊が見られる。秋田付近には帯状雲の南縁に南西から侵入する雲塊があり、西方海上には南西-北東走向の筋状



第5図 第Iのバンドのエコーシーケンス。1975年8月20日04時35分～07時31分。  
 陰影域は前30分内に発生したエコー、点域は前1時間内に発生したエコー、  
 斜線域はグラウンドエコー。

雲が存在する。第 I のバンドは台風くずれの低気圧が渡島半島を東進する時期、第 II のバンドはつぎのうず状雲組織が秋田沖を北東進することに対応して、それぞれ前線の南側の暖域内で発生したと考えられる。

いっぽう、状態曲線によると三沢の 540mb 付近に転移層があり、この周辺はやや低温で乾燥しているがこれより上下層では飽和している。この転移層は不明瞭ながら秋田の 700mb 付近まで達していることから、三沢から秋田にかけて中層に薄い寒気の流入があったと考えられる。安定度指数の水平分布（第 4 図）は豪雨域で極小を示しており、対流不安定降水（野口，1964）は三沢 20 mm/hr，秋田 25mm/hr でそのほかの地点では 0 mm/hr であった。

300mb 天気図では根室沖にコアを伴ったジェットが 20日09時には札幌付近に南下した。09時の秋田，三沢の風速の鉛直分布はほぼ一様化されているが，09時，15時には秋田の 700mb 付近に下層ジェットが認められる。帯状エコーは秋田の 40~60km 北側で発生しており，上層ジェットと下層ジェットならびに豪雨域の位置関係は松本（1972）の研究と一致する。

3. エコー解析

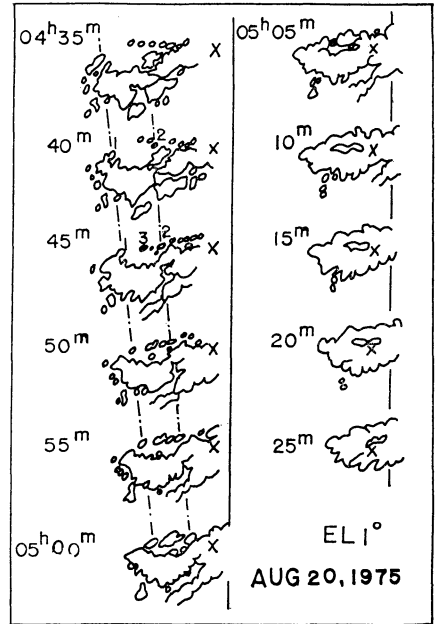
19日21時北海道南部にあった帯状エコーは20日06時以降東進消滅した。21時ころからこの帯状エコーの南側にあたる深浦沖に対流性点エコーが発生しはじめ02時すぎまで散在していたが，04時30分の観測時にはすでに帯状エコーに組織化されていた。この対流性エコーの散在を第 I のバンドの前駆現象とみることができる。

(1) 第 I のバンドの機構

1分ごとの連続写真をもとに作成した30分間隔のエコーシーケンスを第 5 図に示す。黒い部分が前30分以内に発生したエコー，点域が前1時間内に発生したエコー領域である。04時35分の帯状エコーは鎖線で分割されるように3個のエコークラスター，B, C, Dで構成されている（内陸東部はビームカットの影響でわからない）。後述するメソ解析の結果を照合してこれらをメソクラスターB, C, Dとよぶことにする。Dは海上で形成されるメソクラスターの初期の段階であり，Cは発達中のものであると解釈できる。

第 I のバンドの特徴は時間の経過とともに線状構造（05時00分，点線）が強化されてメソクラスターC, Dの北側に新しいエコーが発生することであり，発生域の間隔は 70~80km であった。

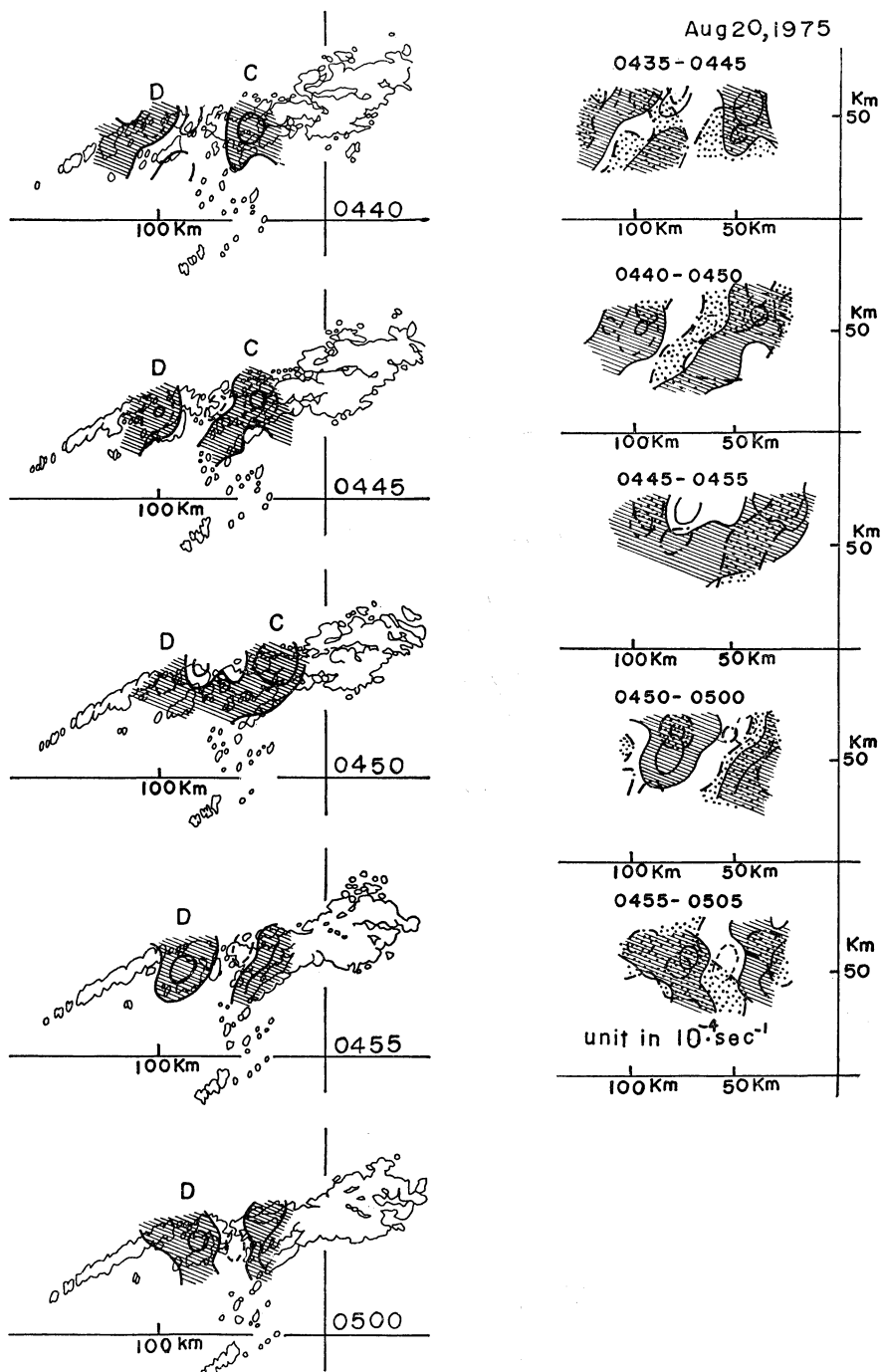
メソクラスターCの北側で発生発達するエコーの状況



第 6 図 メソエコークラスターCのエコーシーケンス。1975年8月20日04時35分~05時25分。数字1, 2, 3はセルの発生順位，×印は八森の位置を示す。

を見るため5分間隔のエコーシーケンスを第 6 図に示す。すなわちエコーセル1と2の中間にセル3が発生（間隔はそれぞれ 12km）し，セル2と3の間にさらに新しいセルがごく短時間で発生発達して，見掛け上西にのびる形で小規模の線状エコーとなってメソクラスターCの前方北側（線状構造の部分）で交差する。八森（×印）ではこの部分が到達した時刻05時00分~20分に20分間雨量 19mm のピークを記録した。

04時35分~45分の10分間のエコーセルの速度分布から 10km メッシュでうず度，発散量を計算し，さらに5分ごとの分布を求めたのが第 7 図である。エコーセルの移動速度は第 1 近似としてビーム走査高度の風に支配される。エコーの存在位置はレーダサイトから 60~150km，アンテナ仰角が 1° なので，エコー領域を走査している平均ビーム高度は 1~3 km でありビーム巾を考慮すると 0.5~4 km となる。したがって，単一時刻の分布のみから下層の運動場を推測することは問題があるが，保存性を確認することによって定性的に可能であると考えられる。短時間ではあるがうず度に持続性が認められ，メソクラスターC, Dの東側半分に正うず度，西側半分に負うず度が対応している（メソクラスターBについて



第7図 10分間のセルの移動から求めた発散量(鎖線), うず度分布図(太実線). 左図は帯状エコーとうず度分布の対応, 右図は発散量分布とうず度分布の対応を示す. 点域は収束域, 斜線域は正うず度域, 等値線は  $2 \times 10^{-4} \cdot \text{sec}^{-1}$  こと.

はセルの追跡が不可能なのでわからない)。しかも線状構造の後面に正うず度の中心が分布する。第7図の右図によると正うず度周辺に収束域が分布しており、メソクラスターDでは正うず度中心の北側に収束の中心が存在する傾向がある。この領域は新しいエコーの発生域に相当する。オーダはともに  $10^{-4} \cdot \text{sec}^{-1}$  であった。

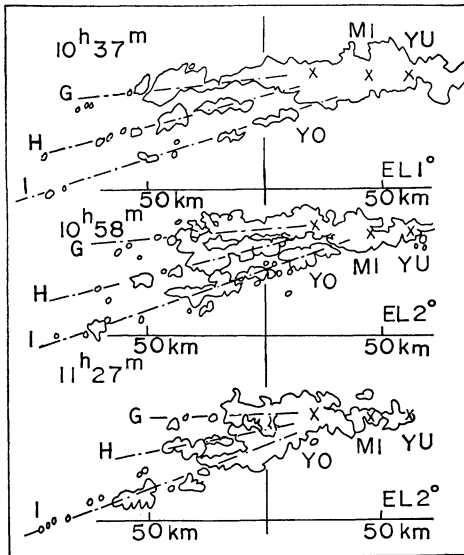
メソクラスターC, Dの移動方向および速度は  $80^\circ$ ,  $70\text{km/hr}$  で秋田における03時の  $1000\sim 200\text{mb}$  の平均風とほぼ一致する。

(2) 第Iのバンドから第IIのバンドへの移行期

メソクラスターDの東進後第Iのバンドから遊離したクラスターEが南よりのコースを通して県境付近の豪雨は解消するが、08時ころからクラスターEの南西端(風上側)に新たな線状エコーが発生する。発生状況は3-(1)で述べたメソクラスターCの北側で発生したエコーの場合と類似しており、3個のエコーセルがそれぞれ十数kmの間隔で発生する。これらの周辺に新たなセルが発生して小規模のクラスターを構成し、やがて線状に組織化されるのに要した時間はわずか30分足らずである。

この線状エコーは09時には巾  $10\text{km}$ 、長さ  $100\text{km}$  に発達して、能代沖から東に延び鷹巣で09時~10時に  $53\text{mm/hr}$  の強雨を記録した。このころから男鹿半島の西方沖に発生源をもつエコー群が内陸に侵入する。

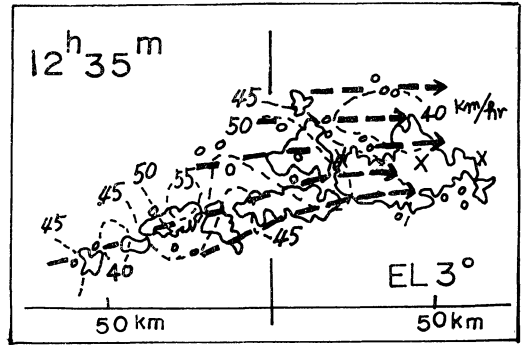
(3) 第IIのバンドの特徴



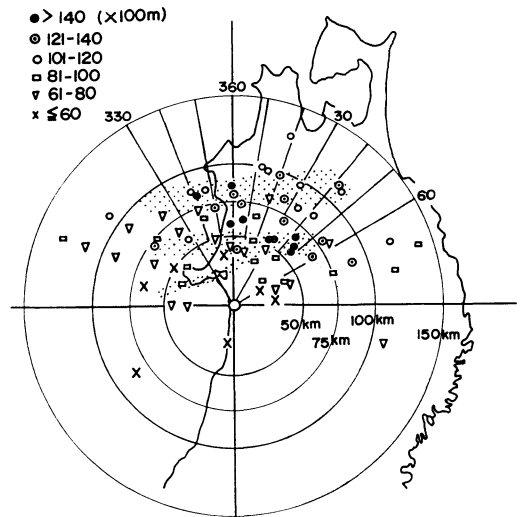
第8図 第IIのバンドにおける合流時のエコーシークエンス。×印はそれぞれ米内沢(YO)、南比内(MI)、湯瀬(YU)の位置を示す。

前記の線状エコーは10時前には巾  $20\text{km}$  の帯状エコー(メインバンドGとよぶ)に発達して能代から  $10\text{km}$  ほど南下した。このメインバンドGに男鹿半島西および南西に発生源をもつ線状エコーH, Iが合流する(第8図)。合流域は米内沢から東の地域であり、セルの速度分布(第9図)は合流域で低速となっている。第10図によるとエコー頂高度は米内沢(方位角  $25^\circ$ ,  $50\text{km}$ )から湯瀬(方位角  $54^\circ$ ,  $76\text{km}$ )の合流域にかけて最も高く  $14\text{km}$  を越えるが、これより西では  $10\text{km}$  より低く高度変化の不連続がみられる。

このときの RHI 観測はほぼ30分間隔で方位角  $330^\circ$



第9図 1975年8月20日12時35分のエコーパターンと10分間のセルの移動方向(太破線矢印)ならびに速度分布(細破線)。



第10図 8回観測によるエコー頂高度分布図。1975年8月20日04時35分~15時00分。点域は北側が第Iのバンド、南側が第IIのバンドのエコー発生域を示す。

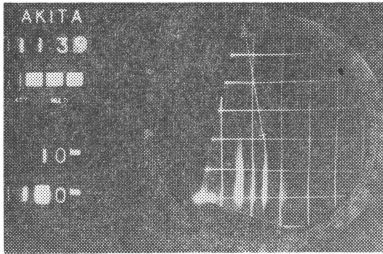


写真 2-1 AZ 350°

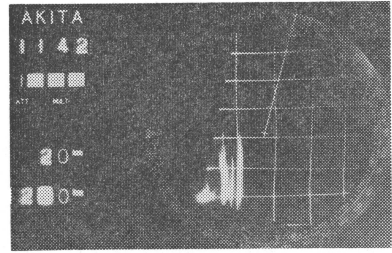


写真 2-2 AZ 15°

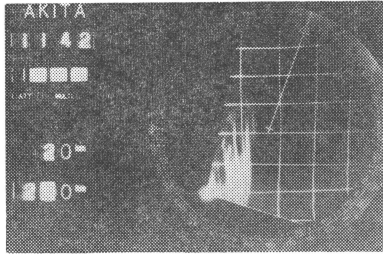


写真 2-3 AZ 20°

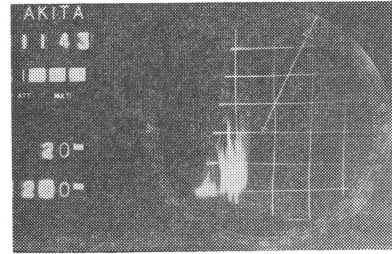


写真 2-4 AZ 25°

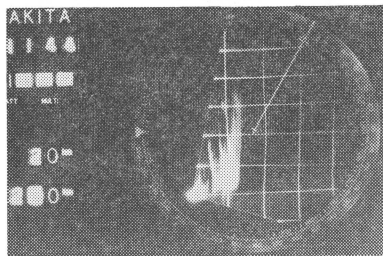


写真 2-5 AZ 30°

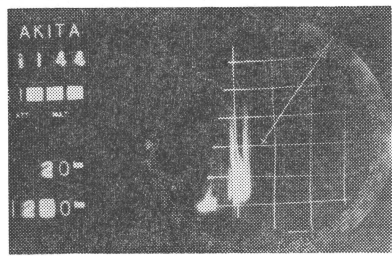


写真 2-6 AZ 35°

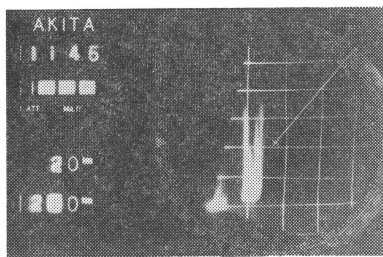


写真 2-7 AZ 40°

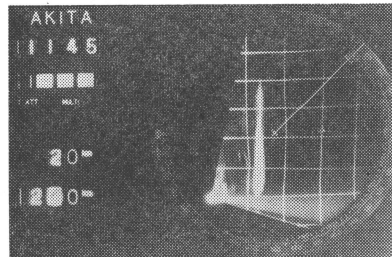


写真 2-8 AZ 45°

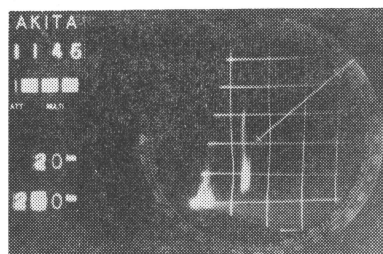


写真 2-9 AZ 50°

写真 2 第Ⅱのバンドの RHI 空間断面, 1975年 8月 20日 11時 39分~11時 46分. 写真 2-1 のみレンジマーカー 100km, ハイトマーカー 10km, そのほかはレンジマーカー 200km, ハイトマーカー 20km,

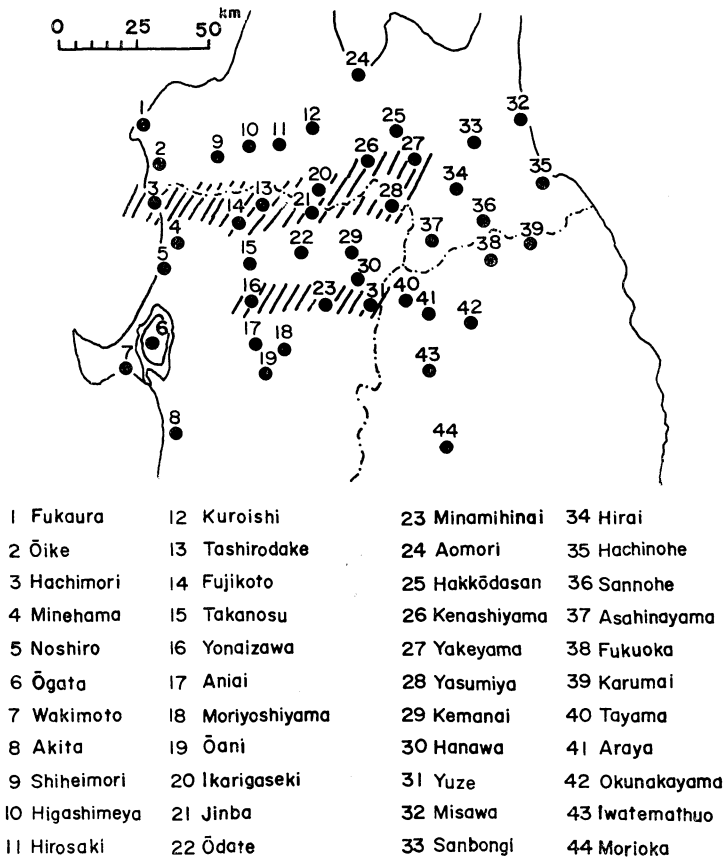
から 60° まで 5° おきに撮影を行なった。带状エコーの存在位置がレーダサイトから 35~75 km であるので带状エコーに沿っておよそ 5 km 前後の間隔で断面を撮影したことになる。そして両サイド間を撮り終えるに要した時間は 7~10 分である。したがって、20~40 km のスケールで眺めるかぎりほぼ静止断面とみて差支えないと考えられる。写真 2-1~写真 2-9 は 11 時 39 分~46 分の RHI 空間断面である。メインバンド G、線状エコー H、I に相当するエコーは海上では径数 km の対流性エコーでそれぞれ 10 km 弱の間隔で独立に存在している(写真 2-1)。合流域にすすむにつれて次第に収束し合流域では 3 個のエコーが複合体となって発達している(写真 2-3~写真 2-7)。12 時 15 分前後の RHI 空間断面によるとこの複合セルは方位角 35~48°, 50~70 km の地域に移動し、南比内(方位角 45°, 65 km)で 12 時 00 分~10 分に 10 分間雨量 18 mm のピークを記録してい

る。10 時 41 分~51 分, 11 時 10 分~20 分の RHI 断面からも合流域における複合セルの発達と降雨ピークの出現との対応をみる事ができる。

このように合流域の風上端で 3 個のセルが複合体となって互いに干渉し合い発達して、風下に移動すること、および合流域が同一地域に停滞したことが今回の集中豪雨の特性であった。複合セルの発達には 40 分の周期があるとみられ移動速度は 40 km/hr である。

いっぽう、合流域より西の写真 2-1, 写真 2-2 によると北側のエコーと南側のエコーはほぼ同じ高度まで発達している。エコーの走向、移動方向と結びつけて考えると、エコーの存在する気層内で組織だった気流の合流があったものと推察される。

13 時以降メインバンド G は次第に消滅して線状エコー H, I が発達したが、15 時ころから北よりの走向となって北上した。



第11図 降雨解析に用いた観測所の配置図。斜線域は北側が第Ⅰの豪雨域、南側が第Ⅱの豪雨域を示す。

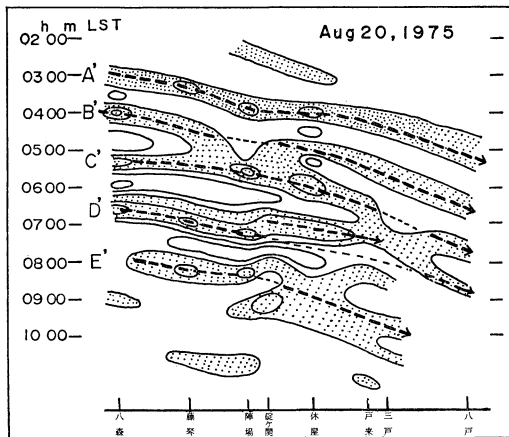


4. メソ解析

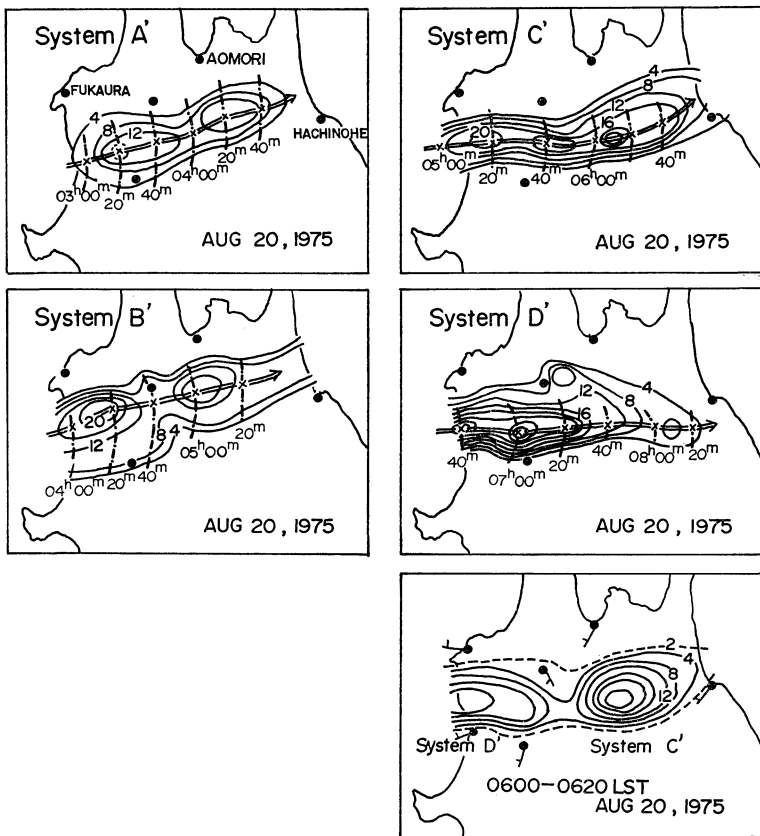
(1) 降雨解析

第 I の豪雨域の場合、10分間降雨強度からは降雨ピークの追跡は困難であったが、20分間降雨強度変化でみるとかなり容易であった。しかし第 II の豪雨域では10分間降雨強度変化の方が整然としている。このことは両者を構成する降雨系のスケールの相違によるものではなからうかと考えられる。各豪雨域について降雨ピークの出現周期に着目して解析を行なった。第11図に降雨解析に使用した観測所の配置図を示す。

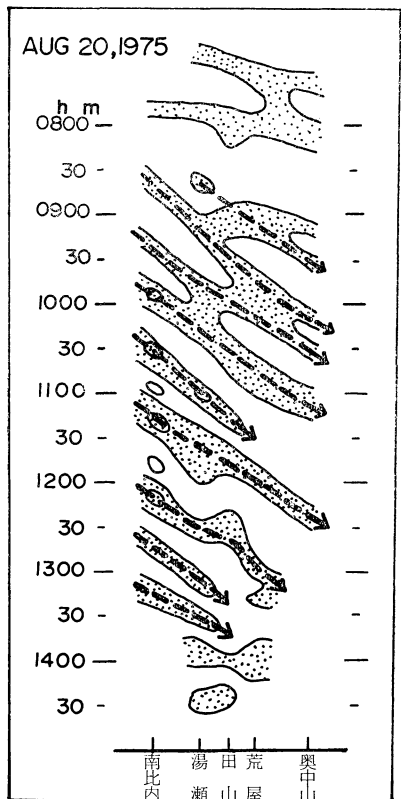
(a) 第 I の豪雨域について各地点の20分間雨量の5項移動平均からの偏差値の時空断面図を第12図に示す。20分間降雨強度変化図、20分間雨量分布図を参照して降雨ピークを追跡した結果、03~07時に4個の降雨系 A' ~D' が八森から侵入して東進しており、これらの移動



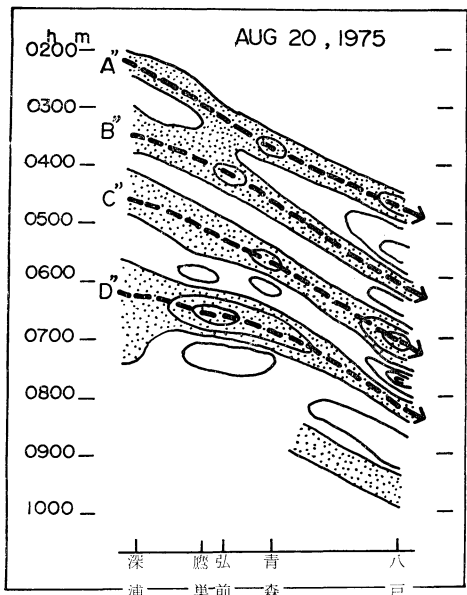
第12図 第 I の豪雨域における雨量偏差の時空断面図。点域は正偏差域、等値線は5 mm ごと。



第13図 第 I の豪雨域における各降雨系 (A'~D') の移動径路 (2重線、矢印) と降雨ピークの等通過時刻線 (鎖線), 20分間極大雨量の等値線 (実線, 4 mm ごと)。右最下段は20分間雨量分布図。



第14図 第Ⅱの豪雨域における雨量偏差の時空断面図。点域は正偏差域，等値線は5mmごと。



第15図 第Ⅰの豪雨域における気圧偏差の時空断面図。点域は負偏差域，等値線は2mbごと。

速度は70~80km/hr，周期は1時間~1時間20分，波長は70~90kmである。なお08時ころのものはバンドから遊離した小規模のクラスターE(第5図)が南よりのコースをとったことによるものであり，それ以降のものは移行期に属し追跡が困難であった。第13図に各降雨系の移動経路と通過時刻ならびに極大雨量の等値線を示した。各降雨系による極大雨量は休屋から西の地域で出現しており，これより東の地域では急速に弱まっている。第13図の右下図は降雨系C'，D'による06時00分~20分の20分間雨量分布図である。

3-(1)のエコー解析と照合すると降雨系C'，D'とメソクラスターC，Dの波長，移動速度はともによい対応があり，クラスターが八森に到達した時刻と降雨ピークの出現が一致する。したがって，第Ⅰのバンドは03時まえから形成されメソクラスターA~Dで構成されたものと考えることができる。

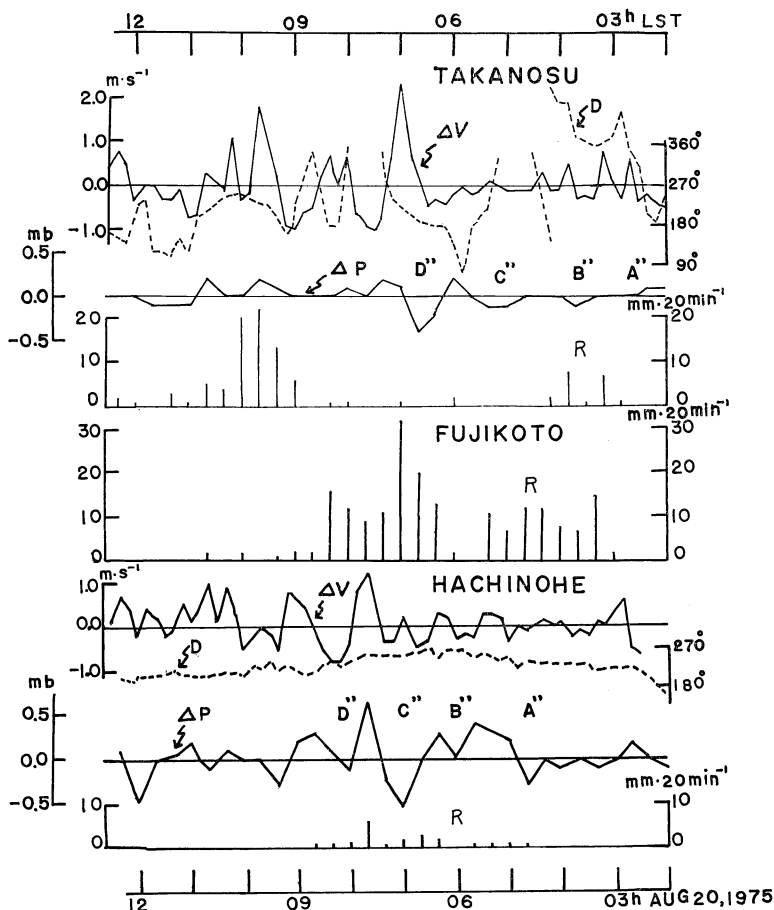
(b) 第Ⅱの豪雨域は米内沢-南比内-湯瀬を中心

に，1時間降雨量10mm以上の領域(10~13時の毎時降雨量分布による)が巾20km，長さ50kmの極めて限られた地域で発生し，1時間最大降雨量は湯瀬で74mm(10~11時)，南比内で66mm(12~13時)を記録した。なお，南比内では14時ころから流木による器械故障のため欠測，米内沢では短時分の雨量は不明である。第14図は第Ⅱの豪雨域における各地点の10分間雨量の5項移動平均からの偏差値の時空断面図である。これによると08時30分~13時30分に8個の降雨系が通過しているが，10時~13時30分のものが最も強かった。これら降雨系の波長は20~40km，移動速度は30~50km/hr，周期は40分で第Ⅰの豪雨域の降雨系に比べるとスケールが一段小さかった。

(2) 地上気象要素の解析

気圧は20分ごとの読み取り値の5項移動平均からの偏差値( $\Delta P$ )，風速は10分ごとの10分間平均風速の9項移動平均からの偏差値( $\Delta v$ )，風向は10分間平均風向を用いた。

第15図は第Ⅰの豪雨域における $\Delta P$ の時空断面であるが，02~07時に4個の $\Delta P$ 極小値A''~D''(気圧じょう乱とよぶ)が日本海沿岸から太平洋沿岸へ東進している。第Ⅰの豪雨域における雨量偏差の時空断面図(第12図)と比較すると，気圧じょう乱A''~D''は降雨系

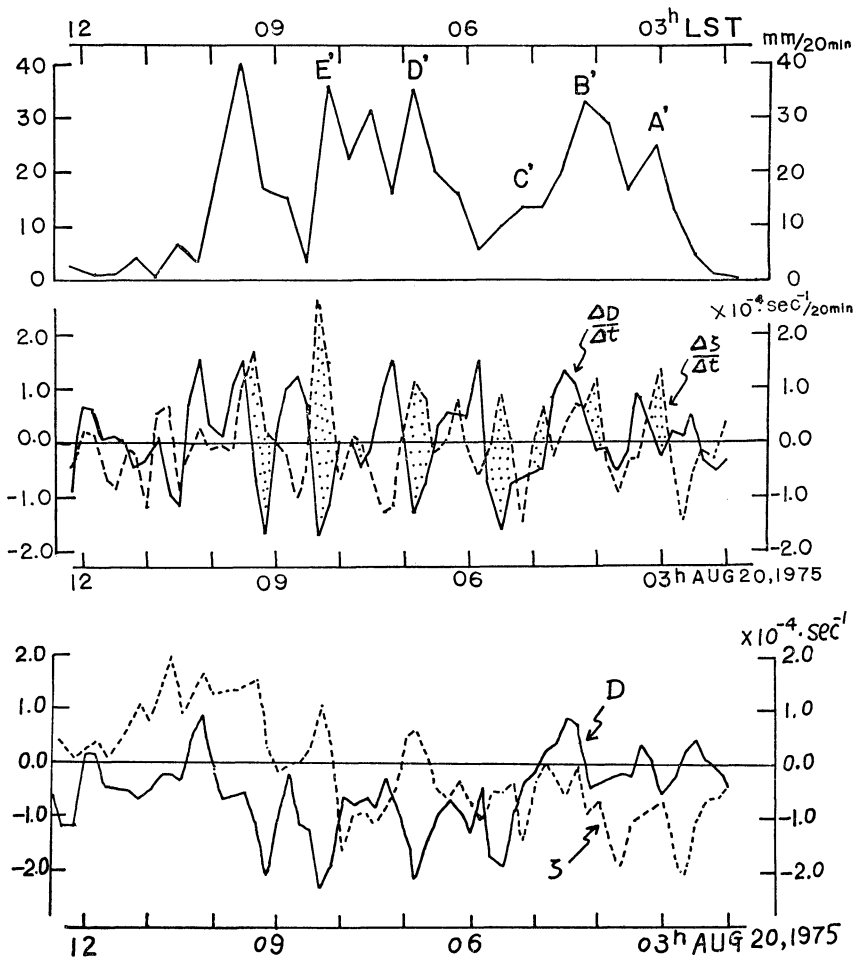


第16図 第Iの豪雨域における鷹巣，藤琴，八戸の地上気象要素の時間変化図（藤琴は降雨量のみ）.  $D$ : 風向,  $\Delta V$ : 風速偏差,  $\Delta P$ : 気圧偏差,  $R$ : 20分間降雨量.

$A'$ ~ $D'$  よりそれぞれ20~40分先行しており、しかも気圧じょう乱と降雨系の波長、周期、移動速度が一致している。

第16図は鷹巣，藤琴，八戸の気象要素の変化図である。鷹巣は帯状エコーの南端に偏るため鷹巣から北北西16kmの地点（藤琴）の降雨量を対比させてある。気圧じょう乱通過前後に風向の変化がみられ、降雨ピークは気圧上昇域で現われる傾向があり強風を伴っている。また、帯状エコー近傍のほかの地点においてもじょう乱通過に伴う風の変化がみられる。能代，鷹巣，弘前3地点の10分間平均風からペラミーの方法でこの領域（面積  $6 \times 10^2 \text{ km}^2$ ）の地上風発散量、うず度（オーダは  $10^{-4} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）を10分ごとに求めその変化を第17図下段に示し

た。そもそも地形の起伏を含んだ領域での発散、うず度の計算量から定量的解析を行なうことは不可能である。しかし、じょう乱の通過に対応して地域性から偏倚する風の変化が発散量、うず度に表現されるものとして定性的に変化傾向をみてゆくことにする。収束量に1時間20分前後の周期が現われており、領域内5地点の合計雨量（第17図上段）のピークの出現と収束、うず度の極大がおおむね一致している。さらに、発散量、うず度の前20分間変化量を第17図中段に示したが、降雨強度の発達は、収束、うず度の増加を同時に伴うことがわかる。なお  $B'$  は降雨系の経路が北に偏ったもの、 $C'$  は藤琴のみ、08時30分以降のものは鷹巣、能代で降ったものである。



第17図 上段：3地点で囲まれた領域 ( $6 \times 10^2 \text{km}^2$ ) 内5地点の20分間合計雨量の時間変化。  
 中段：水平発散量，うず度の前20分間変化量の時間変化。点線は収束，うず度の前20分間変化量の極大が一致していることを示す。  
 下段：能代，鷹巣，弘前の地上風で計算した水平発散量 ( $D$ )，うず度 ( $S$ ) の時間変化。

メソじょう乱とメソ収束域あるいは降雨ピークの位相のずれについては松本ら (1970) の内部重力波に関する研究がある。第Iの豪雨域についても上記のように気圧じょう乱と降雨ピークの関係および風のメソ現象に内部重力波的機構が確かめられる。

秋田の地上相当温度の時間変化は08時30分から湿度とともに急昇しており，06時30分以前よりも $10^\circ\text{C}$ 高く $80^\circ\text{C}$ であった。日本海沿岸の深浦以北および酒田に比べても $7 \sim 8^\circ\text{C}$ 高い。08時30分には南東から南西の風が変わっ

ており，秋田付近の下層に非常に高温多湿な気流が流入したと考えられ，第IIのメインバンドに合流する線状エコーの形成，セルの補給に影響したものと思われる。

### 5. まとめ

(1) 二宮 (1974) は数百 km の帯状エコーは，メソスケールエコークラスターの列状構造であることを指摘している。海上のエコー解析，地上気象要素ならびに降雨解析を照合すると，第Iのバンドは波長 $70 \sim 90 \text{km}$ の4個のメソエコークラスターで構成されており，これら

クラスターはうず度と発散の組織を伴っていた。

(2) 個々のメソクラスターには風下側前方に線状構造のエコー群で示される特異な形態がみられ、クラスターの北側で発達するエコーの交差する部分が到達することによって豪雨が発生している。このことはこの種の豪雨に対する1つのサジェスションとして受けとめられる。

(3) 内陸北東部はビームカットの影響でメソクラスター、複合セルの寿命は確認できないが、バンドの寿命は第I、第IIとも5~6時間であった。

(4) 第IIのバンドの合流現象は同一高度の気流の合流を伴うものと考えられ、背の高いエコーに低いエコーが交差するみかけ上の合流とは形態を異にする。また、合流域で発達する複合セルのスケールは第Iのバンドのメソクラスターより小さく積乱雲スケールの様相を呈している。

(5) 合流現象の発生しやすい地域の有無については検討していないが、第IIの豪雨域における西または南西風向に対する $\nabla H$ はきわめて小さく、合流による豪雨は気流の収束に加えて地形の峡谷効果が大きく影響するのではなからうかと推察されるが、多数例による検証が必要である。

最後に快く資料を提供して下さった各官署の方々、原稿の校閲ならびに種々御指導をいただいた前秋田地方気象台長 山中罔利氏、秋田地方気象台 村上正道 技術課長、土屋正一 予報官、浦江栄 主任技術専門官、レーダグループの方々に厚く御礼申上げる。

## 文 献

- 今門宗夫, 堤 良造, 1966: 集中豪雨の場とレーダエコー, 福岡管区気象台要報, 21.  
 気象庁, 1974: 梅雨末期集中豪雨研究報告, 気象庁技術報告, 86.  
 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.  
 Matsumoto, S, 1972: Unbalanced low-level jet and solenoidal circulation associated with heavy rainfalls, J. Met. Soc. Japan., 50, 194-203.  
 二宮洸三, 1974: 梅雨前線帯の豪雨と中間規模および中規模擾乱, 気象研究ノート, 120, 437-460.  
 野口和則, 1964: 雨量予報, 気象研究ノート, 15, 372-381.