



# 天 気

1987年12月  
Vol. 34, No. 12

105 (梅雨前線の降水系)

## 梅雨前線上の中間規模低気圧にともなう降水系\*

——昭和62年度日本気象学会賞受賞記念講演——

秋 山 孝 子\*\*

学会賞をありがとうございました。私の梅雨前線研究がこのようなかたちで評価されたことを嬉しく思っております。

1968～1972年の期間、気象研究所は松本・二宮両会員を中心に、梅雨末期集中豪雨の特別観測を九州地方で実施しました。その研究成果は学会誌に発表され、また総合報告は気研ノート(1979)にまとめられています。当時、私は松本・二宮両氏の研究室にあり、両氏からメソ(～100 km 規模)解析をするようにとの指示をうけました。これが私の梅雨前線研究のきっかけです。そこで私は特別観測の資料を使い、メソじょう乱・メソ降水系を解析し、メソ系が中間規模(～1000 km)降水系を構成していることを示しました。特別観測の資料に基づく成果が一段落した時点で、いくつかの問題点が浮び上がりました。日本列島に降雨をもたらす中間規模じょう乱(雲クラスター)の発達過程はどうか、あるいは大陸上の梅雨前線の実体はどうかなどです。気研ノート(1979)以後は、おもにこれらの疑問に対する答を見出すべく努力を続けて来ました。ここでは私のこれまでに行ってきた梅雨前線研究を、受賞の表題に焦点を合わせながら、review したいと思います\*1。

### 1. 大規模的にみた梅雨前線帯の特徴

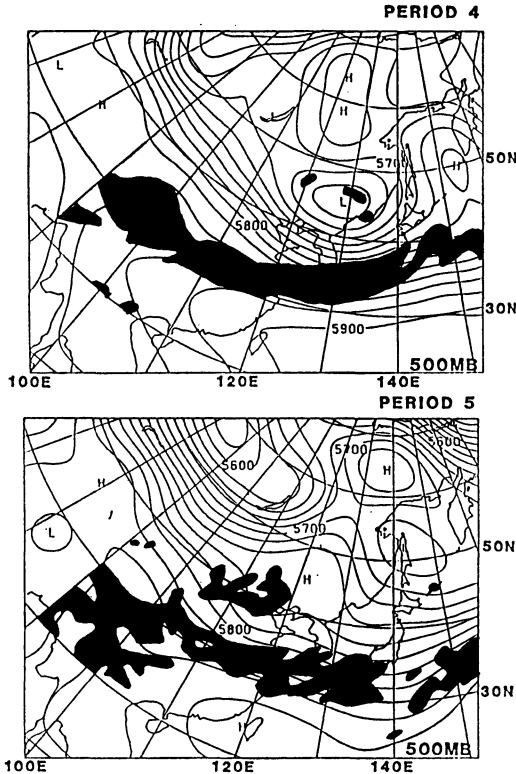
まず、極東スケールでみた梅雨前線帯(大陸から日本

列島、太平洋上にかけての梅雨前線)の特徴を、1982年7月の解析例を引用しながら示す。第1図は5日平均500 mb 高度場と同雲量極大帯である。この雲量極大帯を梅雨前線と定義する。前線帯近傍の高度水平傾度は、大陸で小さく日本列島から太平洋上にかけて増大している。しかし教科書の寒帯前線(polar front)と比較すると、傾度は遙かに小さい。下層の熱的状况を850 mbの相当温位(第2図)でみる。大陸上の前線は高温多湿の熱帯的気団の北縁に形成され、一方、太平洋上の前線は寒帯的気団の南縁に形成されている。日本列島付近の前線は両域の中間にあって、熱帯的気団と中緯度的気団の境に形成されている。梅雨前線帯の垂直構造を相対湿度場(第3図)でみる。雲量極大帯は下層の正渦度極大帯とほぼ一致する。つまり、梅雨前線帯は大陸から日本列島、太平洋上まで、下層の強風軸(相対湿度 $\approx 0$ )の北側に形成されている。しかしその垂直構造は大陸と太平洋上では大きく異なる。大陸では下層にのみ正渦度帯が形成され、太平洋上では上層へいくにしたがって北へシフトする正渦度帯が対流圏を通して形成されている。両域の中間に位置する日本列島付近では時期により垂直構造は異なる。大陸上あるいは太平洋上と同じ構造の時期、または、両域間の転移部にあたり複雑な構造を示す時期とがある。日本付近で特徴的なのは、前線活動の盛んな(雲量の多い)時期に、上層の強風軸が前線帯の北縁に沿って走っていることである。

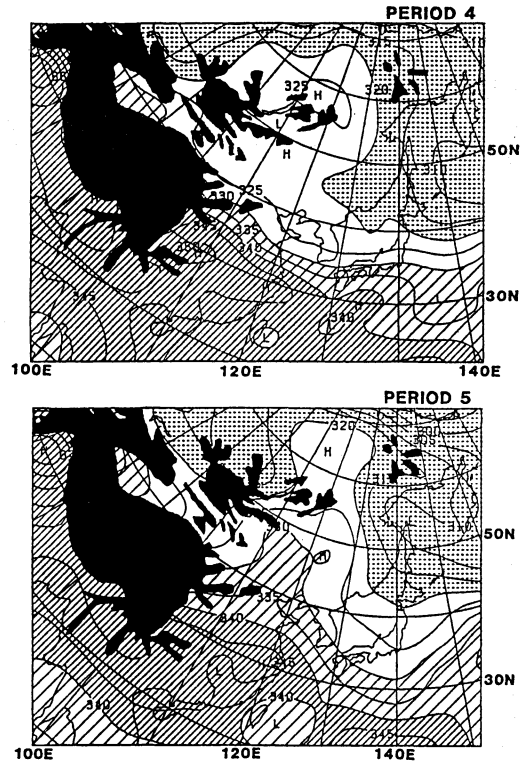
\* Precipitating systems associated with medium-scale disturbances in the Baiu frontal zone.

\*\* Takako Akiyama, 気象研究所予報研究部。

\*1 引用文献はまとめて本稿末尾に記載。



第1図 5日平均500 mb 高度および同Ch(雲頂高度400 mb以上)雲量40%以上の領域(黒色). 期間は1982年7月16日~20日(Period 4)および21日~25日(Period 5). 等値線の間隔は20 gpm.



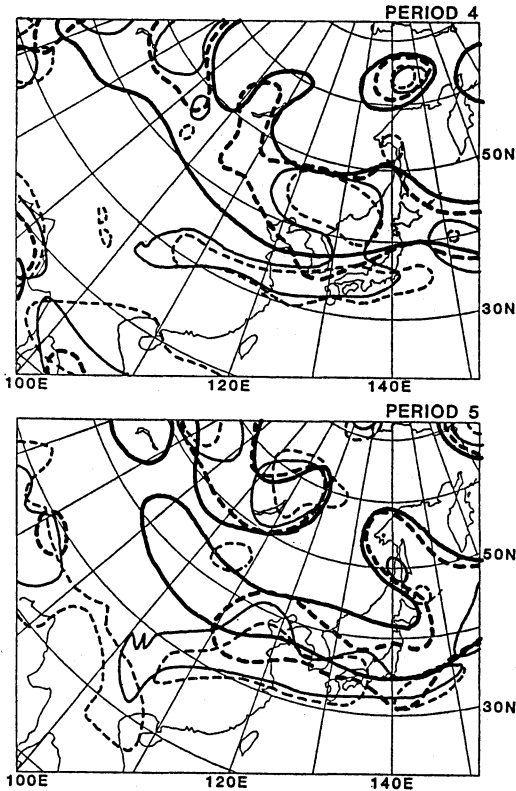
第2図 第1図と同期間の5日平均850 mb 相当温度. 黒色域は標高1500 m以上. 細斜線と点領域はそれぞれ熱帯気団域と寒帯気団域.

以上のように、平均場でみると梅雨前線帯は、大陸、日本列島、太平洋上とそれぞれ異なった状況を示している。大まかにいえば、大陸の前線は熱帯的気団と下層の水平シャーにより特徴づけられ、太平洋上の中緯度前線帯(垂直シャー)的な性格で特徴づけられる。両域の間の転移部にあたる日本列島近傍の前線は、亜熱帯的な性格をもつ。しかし垂直構造は時期によって異なるので、一言でいうのはむずかしい。これは日本の梅雨前線活動の複雑さの顕われであることを、ここでは強調したい。このような前線帯の経度方向にその性格の変化は、前線活動、つまり雲・降水の変動状況あるいはじょう乱の発達過程にも、当然のことながら反映している。

## 2. 梅雨前線上のじょう乱と雲分布の変動

まず、前線上で発達するじょう乱のふるまいを示そ

う。梅雨前線帯は下層の正渦度帯と一致しているので、850 mb の渦度場により前線上のじょう乱の時間変化をみる。第4図は~110E、~120E および~130E の前線上の状況である。大陸上の前線では常時正渦度(陰影部)が観察される。その上に振幅の小さい1~3日周期の変動が重なっている。120E~130E に向かって、それら短周期的変動の振幅は増大する。つまり、前線上のじょう乱は大陸で発生し、東支那海から日本列島にかけて発達する傾向にある。渦度場に出現しているこのようなじょう乱と雲分布の関係を第5図に示す。前線帯は約1000 km(中間規模)の雲クラスターの並びで構成されている。正渦度の中心は、それぞれのクラスター後面(左端)に位置している。つまり、1~3日周期の変動は前線上の中間規模雲クラスターに伴う小低気圧に相当する。それらは大陸で発生し、日本列島に近づくにつれ発



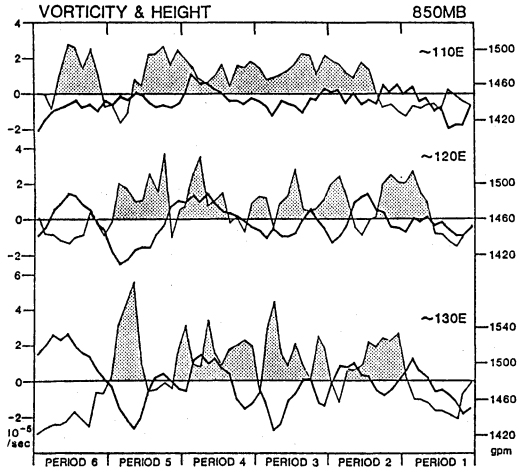
第3図 第1図と同期間の5日平均相対渦度極大域 ( $1 \times 10^{-5}/s$  以上). 太実線と太破線はそれぞれ 300 mb と 500 mb 面の, 細実線と細破線は 700 mb と 850 mb 面のものを表わす.

達することが明らかとなった。じょう乱の発達は、§1で述べた前線帯の垂直構造の変化と関連したものである。

じょう乱の発達段階・前線帯の垂直構造および前線近傍の気団特性の東西の差異は、前線上の雲分布の変動にもよく顕われている。第6図は  $T_{BB}$  の特定経度線上の緯度時間断面図である。以下に大陸・太平洋および日本列島域の特徴を指摘する。

(1) 大陸上の経度帯 (95E~115E) では、梅雨前線の南北蛇行は小さく、ほぼ東西に帯状に延びている。前線上では南北数 100 km の広がりをもつ雲クラスターが約 1日周期で発達衰弱を繰り返している。クラスター内の  $T_{BB}$  水平傾度は大きく、中心部の  $T_{BB}$  最低値は低い。これらは発達した積雲の集合体の特徴である。

(2) 太平洋上 (145E~165E) では、梅雨前線の雲帯



第4図 梅雨前線帯内の ~110E~120E および ~130E 線上のグリッドにおける 850 mb 相対渦度 (細線) および高度 (太線) の時間変化. 期間は1982年7月1日~30日.

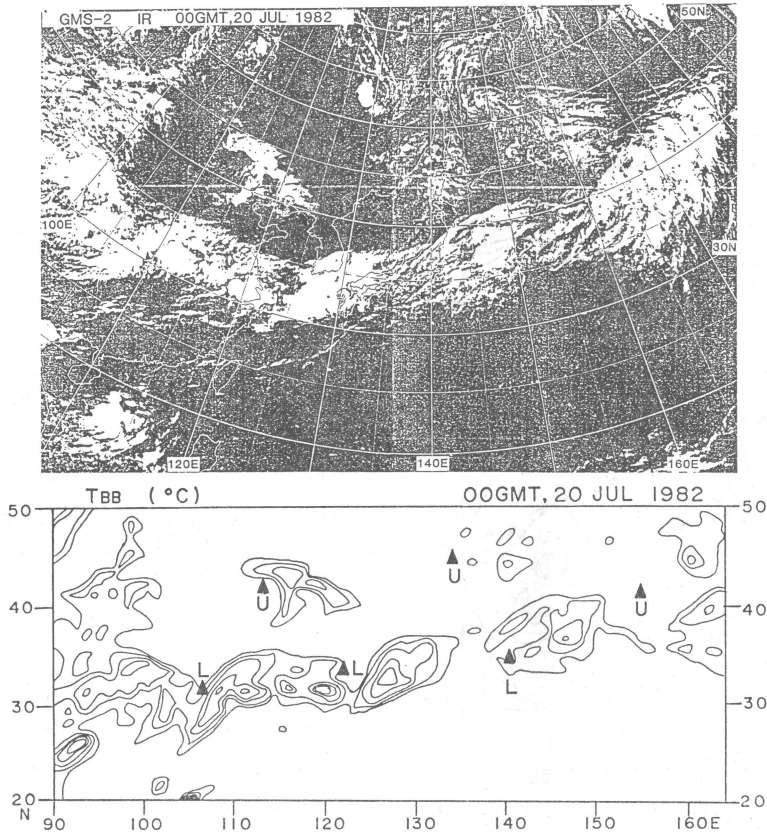
は10日前後の周期で大きく南北に蛇行し、蛇行した前線上に2~3日周期の雲変動が観察される。各観測時の  $T_{BB}$  分布図上でみると、個々のクラスターの空間スケールは約 1000 km である。クラスター内の  $T_{BB}$  水平傾度は小さく  $T_{BB}$  の最低値はやや高めで、大陸上のクラスターと大きく異なった状況を示している。

(3) 東支那海から日本列島上 (120E~140E) にかけては、前線帯の南北蛇行も前線帯を構成する雲クラスターも、大陸の状況から太平洋上のそれへと移行する過程にある。つまり、前線帯の南北蛇行は東に向かって徐々に増幅し、前線上の短周期的雲変動も、120E の約 1日から 140E の 2~3日周期へと移行する。また個々のクラスターの空間スケールも増加する傾向を示している。

以上のように、§1で述べた梅雨前線帯の東西方向に沿う変化は、前線帯の南北蛇行と中間規模雲クラスターの時・空間スケールおよびクラスターを構成する雲分布特性の差異として顕われている。

### 3. 日本列島上の中間規模降水系の微細構造

前節で述べた中間規模雲クラスター (降水系) について、ここでは日本列島上で観測されたものの微細構造を示す。1982年7月の解析例では、クラスターの微細構造を調べてないので、ここでは前述した特別観測期間に九州で観測された中間規模じょう乱の降水系としての微細

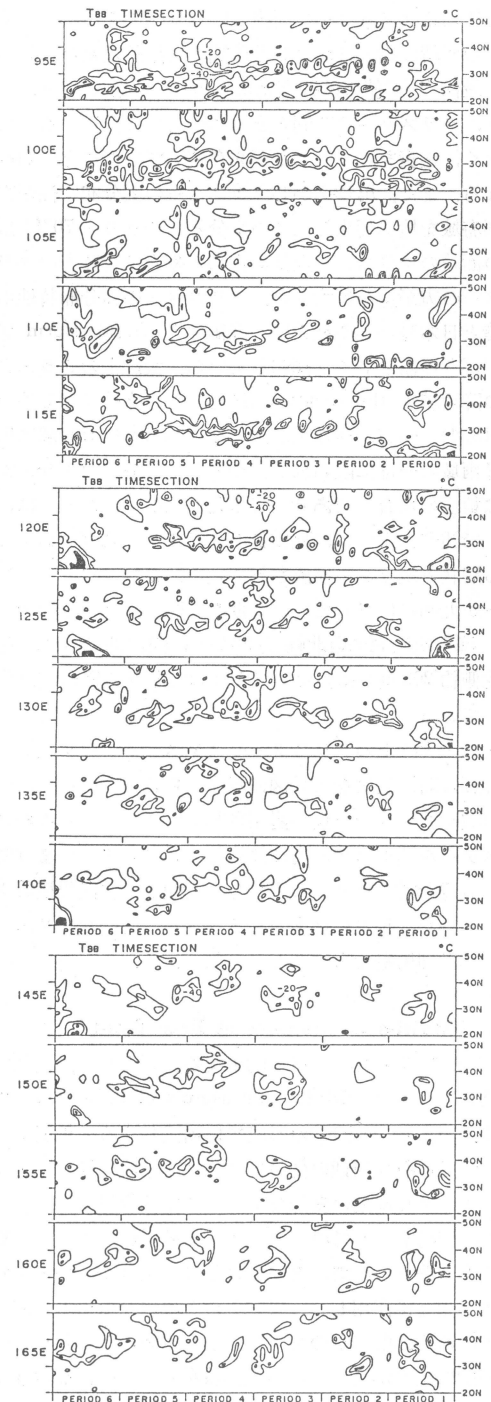


第5図 1982年7月20日 00 GMT の IR 雲写真と同時刻の  $T_{BB} - 20^{\circ}\text{C}$  以下の雲域. 等値線は  $10^{\circ}\text{C}$  間隔. ▲印は同時刻の 700 mb 面正渦度の中心位置.

構造を, レーダー・降雨量によって示そう. まずここで, 3種類の subsynoptic-scale を第1表に定義する. いうまでもないが, これらのスケールの現象は梅雨前線の降水系の解析(秋山・松本, 1970; Ninomiya and Akiyama, 1974; Akiyama, 1978) から見出された. つまり, 第1表のスケールの細分は概念的なものではなく事実に基づいている. 第7図は1968年7月9日の雲分布と輝度分布図である. 梅雨前線上に約 1000 km の雲クラスターが数個並んでいる. このような状況下, 約1日の周期で3個の中間規模じょう乱が九州を通過し, それぞれが数時間にわたる降雨をもたらした. そのうちの1例について, クラスターの内部構造をレーダー合成図で示す(第8図). 数 100 km の広がりをもった中間規模エコー系の北側には, 広範囲にわたって層状エコーが分布し, 一方, 南側には複数個のメソスケールの対流エ

コー系が存在している. 個々のメソエコー系について, エコー分布の時間変化を約1分間隔の資料で追跡すると, それぞれは2~3時間の寿命をもち, 中間規模クラスターの内部で発達・衰弱を繰り返しながら, 中間規模降水系の長い寿命を維持していることが観察された. さらに, 個々のメソエコー系もその内部で複数の対流性エコーの発達・衰弱が繰り返されることにより2~3時間に及ぶ寿命を維持していることが明らかとなった.

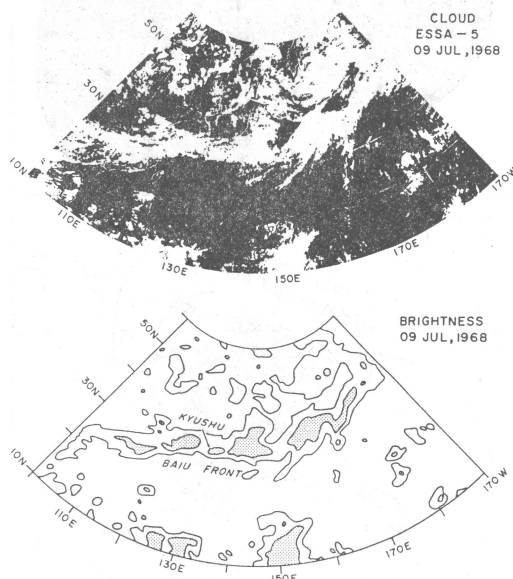
第8図のエコー分布は特定の時刻の中間規模降水系の内部構造を示しているに過ぎない. 次に, 中間規模降水系のもたらす降水の時空間変動を示そう. 第9図は第8図の中間規模降水系が九州を通過した時間帯の10分間降雨量の時間変化である. エコーの空間分布に見合った降雨状況が観察される. 降雨域のほぼ中央部に境に, その南側では対流性の強い降雨が1~2時間の周期的変動を



第6図 各経度線上の  $T_{BB}$  の時間-緯度断面. 外側の等値線は  $-20^{\circ}\text{C}$ . 等値線の間隔は  $20^{\circ}\text{C}$ . 期間は1982年7月1日~7月30日.

第1表 Subsynoptic-scale の細分類

規模	空間	時間
中間規模	~1000 km	~1日
中規模 (メソスケール)	~100 km	2~3時間
積雲規模	~10 km	~30分

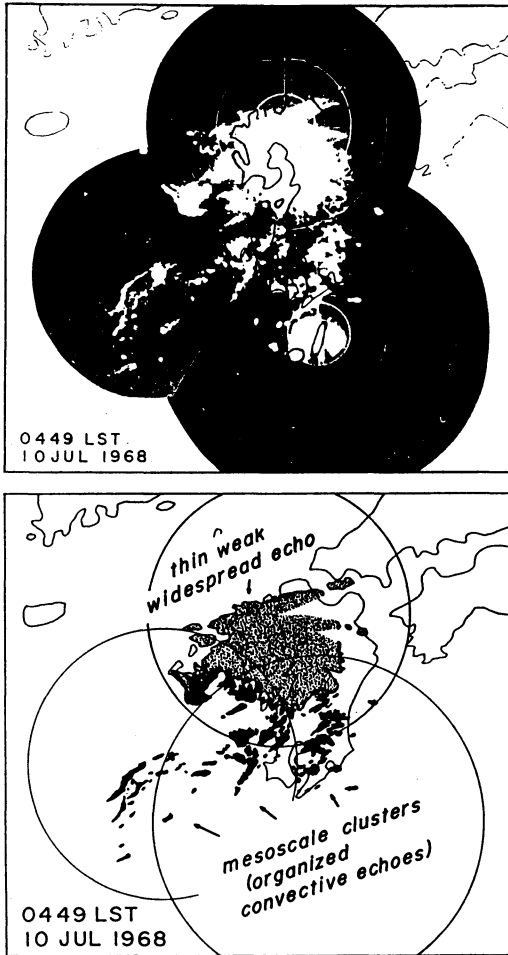


第7図 1968年7月09日の雲分布と同日の輝度分布. (Akiyama, 1978)

示すのに対し、北側では相対的にみて時間変動の小さい弱い降雨 ( $1\sim 2\text{ mm}/10\text{ min}$ ) が継続している。熱帯的な背の高い対流エコー群と中緯度的な層状エコーが共存して一個の中間規模じょう乱 (降水系) を構成している状況は、日本列島近傍の梅雨前線帯の特性を反映したものである。

#### 4. 中間規模雲クラスターの大陸から日本列島へいたる変化過程

チベット高原東端で発生し、梅雨前線を東へ、さらに日本列島上へと移動した中間規模雲クラスターの解析例 (Akiyama, 1984 a, b) を引用しながら、クラスターの発達過程およびクラスターの雲分布特性の大陸上と日本列島上との相違点を指摘したい。同クラスターは約2.5日間中間規模雲クラスターとして identify すること



第8図 1968年7月10日04時49分の合成レーダーエコー図(上図)とエコーの説明(下図)。(Akiyama, 1978)

が可能であった。この間、クラスターは下層の強風軸の北側を東へ移動した(第10図)。前線帯の垂直構造は、§1で述べた状況を示している。つまり大陸では下層の水平シャーで特徴づけられる。東支那海域で垂直構造は変化し、 $\sim 140\text{E}$  以東の前線帯は垂直シャーで特徴づけられている。第11図は同雲クラスターの3時間ごとの $T_{\text{BB}}$ 分布である。クラスターの形状は $\sim 120\text{E}$ までは円～楕円型、それより東へ向かってバンド状へと変化している。また、クラスターはその発達過程で発達・衰弱を繰り返していること、ある段階ではメソスケールのセル状構造を示していることが観察される。以下にこれらの状況の詳細を示そう。

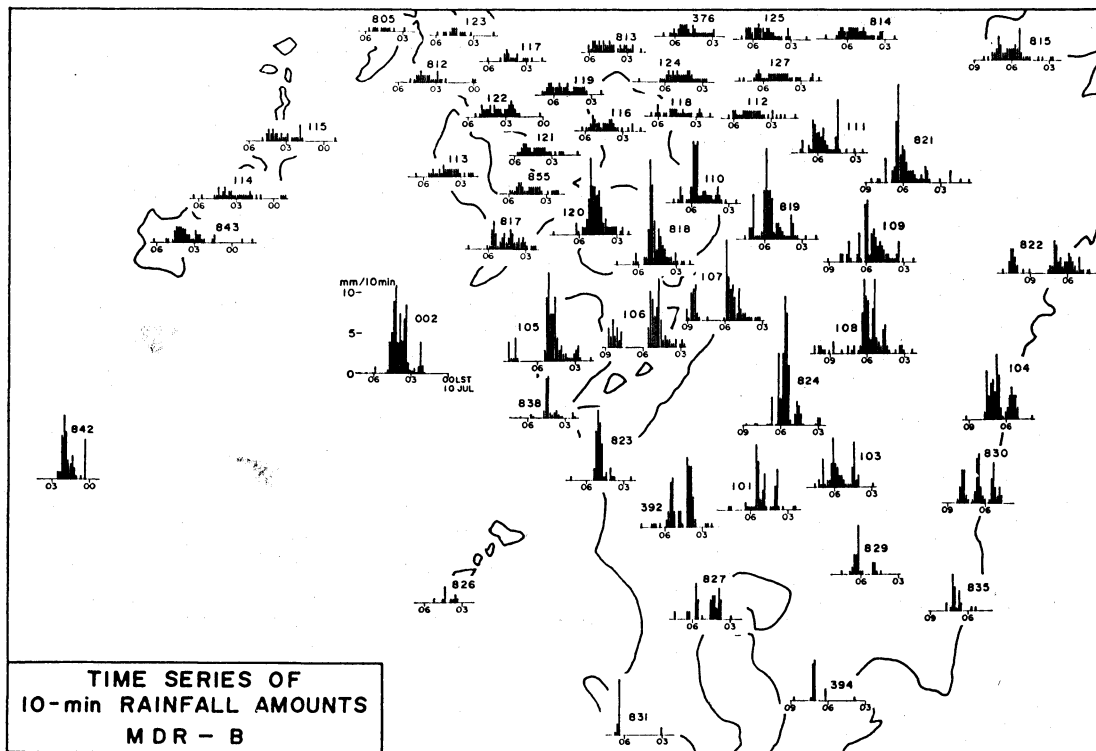
第12図はクラスターの面積の時間変化である。 $-70^\circ\text{C}$ 以下の面積に約1日および数時間の周期的変動がみられる。最低 $T_{\text{BB}}$ 値の時間変化にも同様の周期的変動がみられ、クラスターは時間とともに一方的に発達するのではなく、盛衰を繰り返しながら存続していたことが明確となる。また、第12図からクラスターの雲分布特性が東支那海域を境に変化したことも分る。つまり $-70^\circ\text{C}$ 以下の面積のクラスター全体に占める割合は大陸上のクラスターの方が遙かに大きい。クラスターの雲分布特性の大陸と日本列島との差異は、降雨域とthunderstorm域の広がりとの差としても顕われている。大陸上のクラスターの降雨域はthunderstorm域あるいは雲域に比し狭い(第13図)。一方、日本列島上ではthunderstorm域は広い降雨域の一部に限られる。つまり、大陸上のクラスターは積雲の集合体であり、日本列島上のクラスターは、§3で述べたように、積雲群とクラスター北部を広く占める層状雲域とから構成されている。第14図は同クラスターが九州に位置していた時期の1時間降雨量分布である。降雨域南部に南北幅約50kmの強雨帯があり、その北側約200kmにわたって10mm以下の降雨域が広がっている。

次に、大陸上のクラスターのメソスケールセル状構造の詳細な時間変化を第15図に示す。数個の約100km規模の雲システムの盛衰が観察される。さらに、個々のメソスケール雲システム内には複数の低温コア、つまり対流の活発な所、があることから、大陸上の中間規模雲クラスターも、日本列島上のクラスターと同様なメソスケールの微細構造をもつことが推測される。

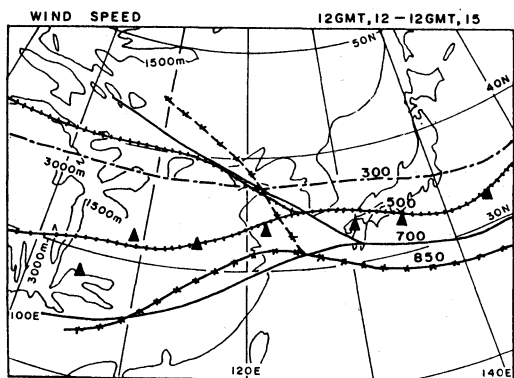
##### 5. "Multi-scale aspects of Baiu front"

§1から§4までの解析的事実の総括として、最後に強調したいのは、"Multi-scale aspects of Baiu front"である。つまり、前線帯の形成維持に関する大規模場、前線活動の数日周期の変動に関係する総観規模\*2じょう乱、1～2日周期の変動をもたらす中間規模じょう乱とその微細構造としてのメソスケール積雲群およびそれを構成する個々の積雲、というように、各種スケールの現象が相互に作用し合っている複合現象そのものが梅雨前線帯の実体的姿なのである。しかもその複合状況には地域的に差異がある。この複合状況の差異は、梅雨前線帯上の雲量のスペクトル解析からも知ることが出来る。第16図にみられるように、卓越周期は大陸・日本列島・太

\*2 本稿ではふれなかった。引用文献はAkiyama(1987)



第9図 1968年7月10日00時から10時までの間の各雨量観測点における10分間降雨量の時間変化。(Akiyama, 1978)

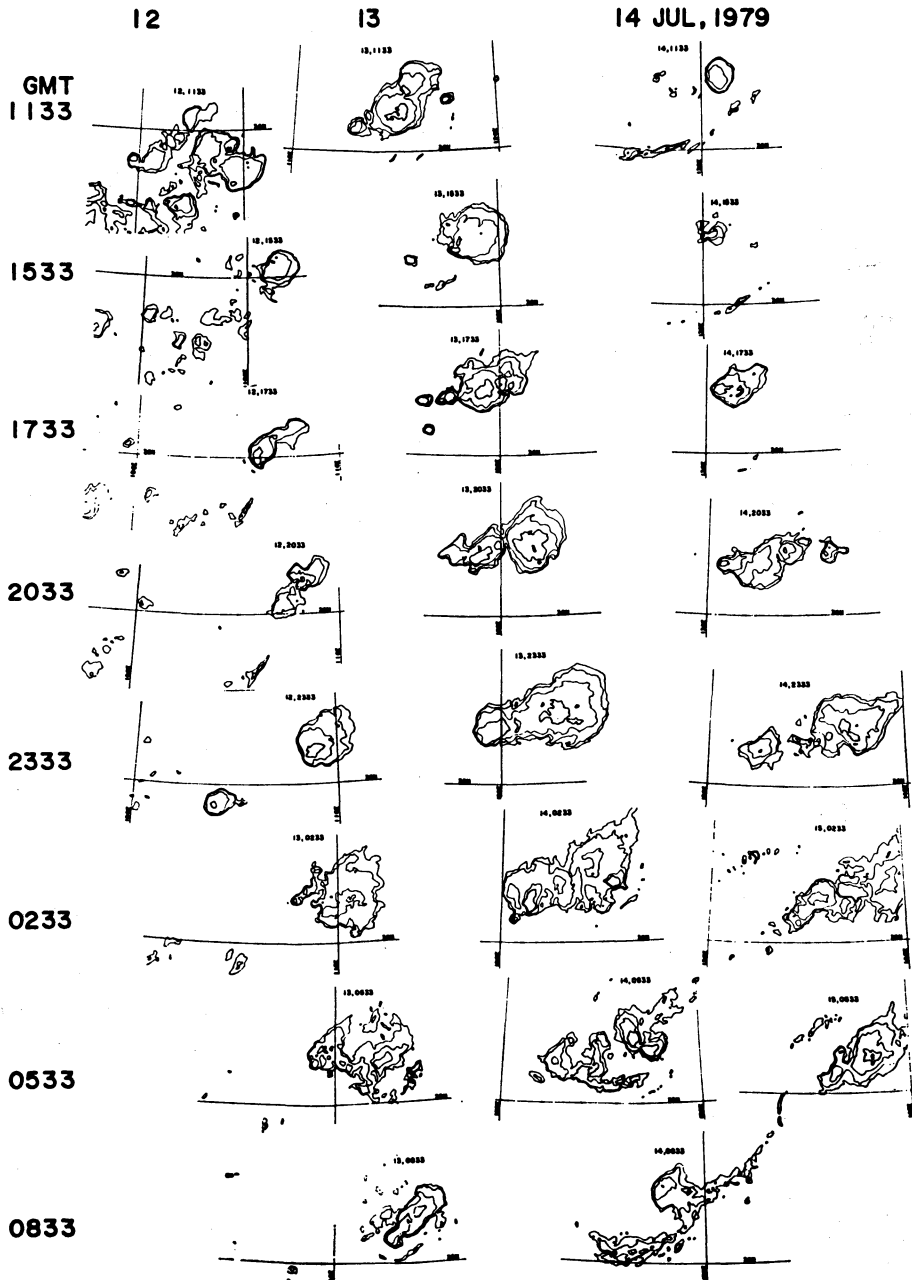


第10図 1979年7月12日12 GMT~15日 12 GMT間の平均風速極大軸と中間規模雲クラスターの12時間ごとの位置 (▲印). 1500 mと3000 mの線は標高をあらわす。(Akiyama, 1984 a)

平洋上でそれぞれ異なる。特に日本列島近傍では卓越周期が他の地域に比べ多様である。つまり、日本の梅雨は複雑である。図の卓越周期それぞれについて、雲変動およびそれとかかわるじょう乱の実体を明らかにすることは、梅雨前線研究の今後の課題の一つであろう。

### 6. あとがき

以上述べました私の梅雨研究は、おもに梅雨期後半を対象としたものです。これからの課題として、前半との比較もあげられるでしょう。このようなことを念頭におきながら梅雨前線の研究を続けたいと思っています。おわりにあたり、解析的研究者として待ち望んでいることを書きそえます。それは、ここに提出した解析の事実——梅雨前線上で発達する中間規模じょう乱にともなる降水系の微細構造——の数値モデルによる再現あるいは理論的裏付けが、現実に即した物理的条件のもとで実現されることです。



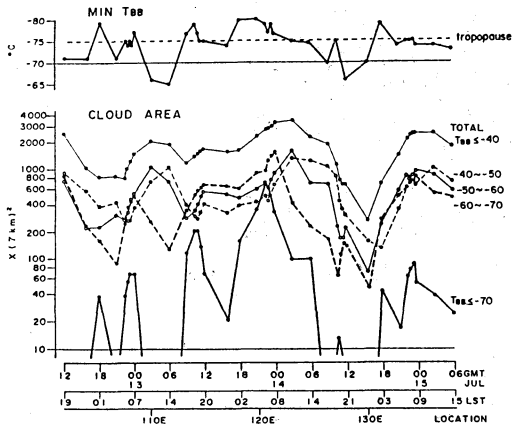
第11図 3時間おきの雲クラスターの  $T_{BB}$  分布図。期間は1979年7月12日12 GMT～15日06 GMT。外側の等値線は  $-40^{\circ}\text{C}$ 。等値線の間隔は  $10^{\circ}\text{C}$ 。(Akiyama, 1984 a)

### 謝 辞

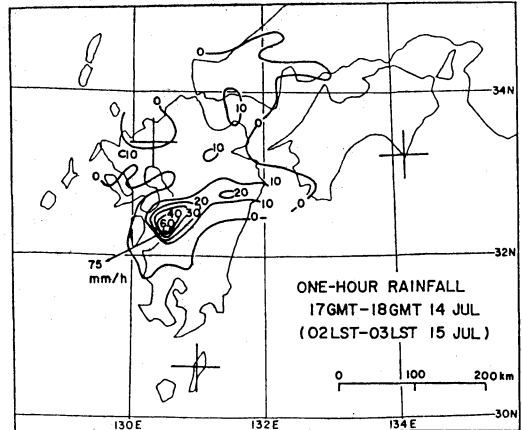
梅雨前線研究の機会をあたえて下さるとともに、長い間ご指導と励ましを戴いた松本誠一・二宮洸三両博士に

厚くお礼を申し上げます。また、資料収集でしばしばお世話になっている気象庁各官署の方々には、ここにあらためて感謝の意を表明いたします。さらに、気象研究所

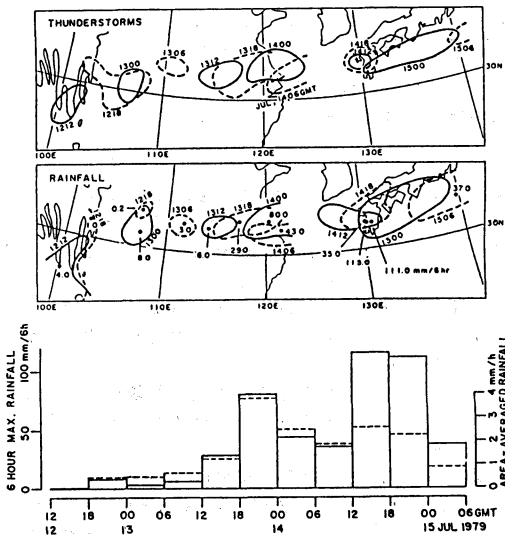




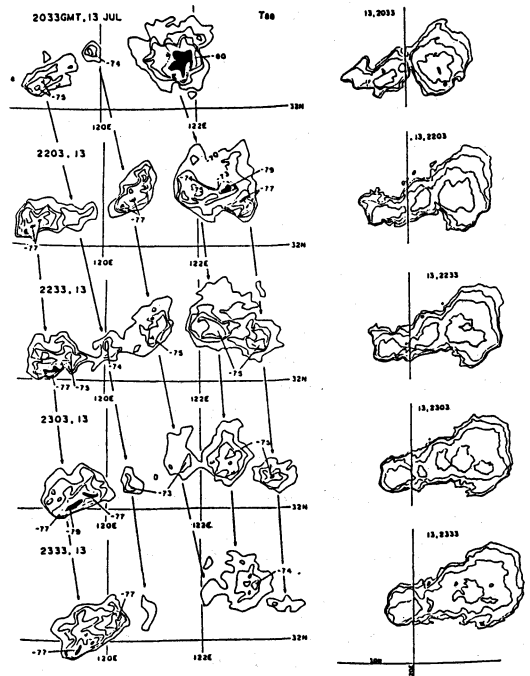
第12図 特定の  $T_{BB}$  等値線で囲まれたクラスターの面積とクラスター内の最低  $T_{BB}$  値の時間変化。期間は1979年7月12日12 GMT~7月15日06 GMT。(Akiyama, 1984 a)



第14図 1979年7月14日17 GMT~18 GMT間の1時間降雨量分布図。(Akiyama, 1984 a)

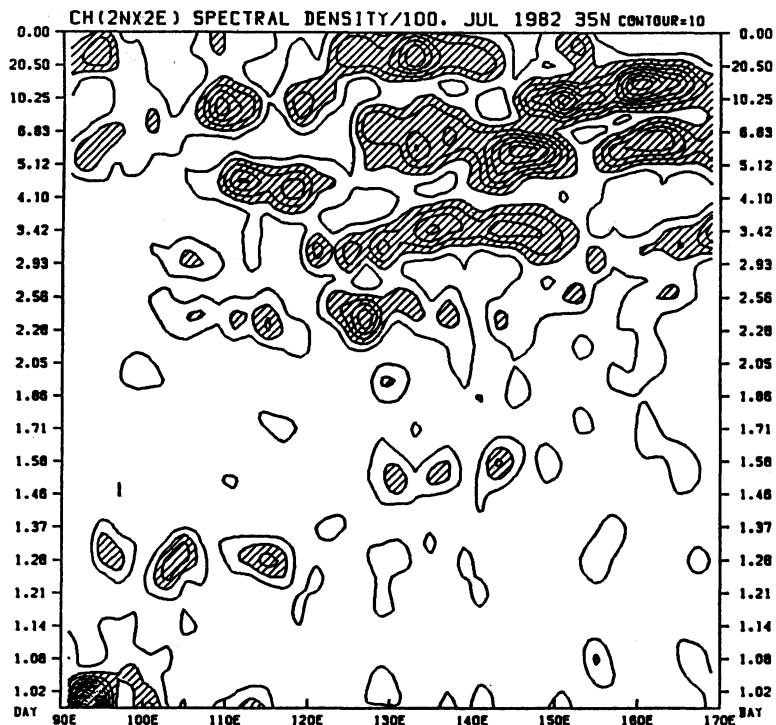


第13図 6時間ごとのクラスターに伴う thunderstorm 域と降雨域および面積平均降雨量(破線)と6時間降雨量極大値(実線)の時間変化。(Akiyama, 1984 a)



第15図 雲クラスターの短時間(1979年7月13日2033 GMT~2333 GMT)内の变化。右図;  $T_{BB} - 40^{\circ}\text{C}$  以下の雲域。左図; 右図中の  $T_{BB} - 70^{\circ}\text{C}$  以下の領域を取り出したもの。(Akiyama, 1984 a)

の多数の方々のご助力にもお礼を申し上げます。



第16図 1982年7月1日から31日までの、35°N線沿いCh(雲頂高度400mb以上)雲量のパワースペクトル。縦軸は周期、横軸は経度。(秋山, 1986a)

### 文献

- Akiyama, T., 1973 a: The large-scale aspects of the characteristic features of the Baiu front, *Papers Met. Geophys.*, 24, 157-188.
- , 1973 b: Frequent occurrence of heavy rainfall along the north side to the low-level jet stream in the Baiu season, *Papers. Met. Geophys.*, 24, 379-388.
- , 1974: Mesoscale organization of cumulus convection in large-scale rainband in the Baiu season, *J. Met. Soc. Japan*, 52, 448-451.
- , 1978: Mesoscale pulsation of convective rain in medium-scale disturbances developed in Baiu front, *J. Met. Soc. Japan*, 56, 267-283.
- 秋山孝子, 1983: 梅雨前線の全体像とその降水特性, 1983年秋季大会講演予稿集, 日本気象学会, p 81.
- Akiyama, T., 1984 a: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part 1 Evolution process and fine structure, *J. Met. Soc. Japan*, 62, 485-504.

Akiyama, T., 1984 b: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part 2 Thermal and kinematic fields and heat budget, *J. Met. Soc. Japan*, 62, 505-521.

秋山孝子, 1986 a: 1982年7月の極東域における雲量のスペクトル解析, 1986年秋季大会講演予稿集, 日本気象学会, p 112.

———, 1986 b: 梅雨前線活動の周期的変動とじょう乱Ⅱ 相対渦度場, 1986年秋季大会講演予稿集, 日本気象学会, p 115.

Akiyama, T., 1987: Conceptual models of Baiu front and Baiu frontal disturbances in multi-scale characteristics, *Proceedings of Symposium on Mesoscale Analysis and Forecasting, IAMAP, Vancouver*, 189-194.

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.

気象研究ノート, 1979: 梅雨前線帯の豪雨, 日本気象学会, No 138, pp 277.

Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1974: Band structure of meso-scale echoclusters associated with low-level jet stream, *J. Met. Soc. Japan*, 52, 300-313.