〔論 文〕

日本周辺の雲クラスターの出現特性*

- 1985年から1988年の梅雨期について -

岩崎博之**•武田喬男***

要 旨

1985年から1988年の梅雨期についてメソスケール雲クラスターの出現特性の調査を行った.

雲クラスターの平均寿命は14時間未満,最大直径の平均は 170 km であった.最大直径の大きな雲クラスターほど,長寿命 (>12時間)のものの割合が増えた.

華北地方では総観規模の低気圧と低気圧との間に位置した相対的に気圧が高い期間に、また、華南地方では亜熱 帯高気圧の西進に伴う気圧が高い期間に雲クラスターの出現個数が増加した.日本の南海洋上では、雲量の30日周 期変動に伴う雲量の多い期間に、梅雨前線近傍で出現個数が増加した.

大陸上の雲クラスターは午後から夕方にかけて出現し易く,雲量の多い華南地方に比べて雲量の少ない華北地方 では午後から夕方にかけて出現する頻度が高かった。海洋上の雲クラスターは夜間から早朝に出現し易かった。

寿命が12時間を超える雲クラスターは短期間(5~10日)に集中して現れる傾向があり,その中で移動速度の遅いものは東経110~140度の範囲の梅雨前線付近に比較的多く観測された.

1. はじめに

メソスケール雲クラスターとは積乱雲群とその周辺 に円形状に広がった低温な雲域からなる空間スケール が中規模(数10~数100 km)の雲群を指し,熱帯から 中緯度にかけて頻繁に観測される.人工衛星からの観 測により日本周辺の梅雨前線付近でもメソスケール雲 クラスターが頻繁に出現することが知られるように なった.

梅雨前線帯上では中間規模~総観規模 (1000 km ~数 1000 km) の擾乱に伴う雲域が次々と東進する (例えば Ninomiya, 1989; Akiyama, 1990a と b).本 研究で対象とする規模の雲塊は,それら東進する雲域 の構造の一部として認められる場合も多く,その幾つ かは,大陸から日本列島上まで移動する長寿命雲クラ スター (Ninomiya ら, 1981, 1988 a と b; Akiyama, 1984a と b) や低気圧の暖域内で移動速度が低下した

- * Characteristic features on meso-scale cloud clusters around Japan in the Baiu-season from 1985 to 1988.
- ** Hiroyuki Iwasaki, 名古屋大学水圏科学研究所. 現在の所属:科学技術特別研究員(気象研究所).
- *** Takao Takeda, 名古屋大学水圈科学研究所.

-----1991 年 6 月 13 日受領-----

—1992年10月28日受理——

雲クラスター(Akaeda ら, 1987)として報告されて いる.また, Iwasaki and Takeda (1989, 1993)は梅 雨前線付近の移動速度の遅い雲クラスター内部の積乱 雲群の振舞を解析した結果,東進する既存の積乱雲群 の西側に新しい群が形成される特徴を指摘している.

一方, Takeda and Iwasaki (1987) (以後, T&I)
は, 6時間毎の赤外画像を用いて1980年暖候期におけ
る雲クラスターの出現特性を調査して,次の結果を得ている;

①3月から10月までに日本周辺では509個の雲クラス ターが確認され、平均寿命は17時間未満、平均最大直 径は約150 km であった。

②大陸の北部(C_N 領域),南部(C_s 領域)と日本南方 の海洋上(O_s 領域)で出現個数が多かった.

③雲クラスターは大陸上で午後から夕方に,海洋上で は夜間から早朝に出現し易い. Cs 領域とOs 領域では 出現個数の変動に30日周期が卓越していた.

④寿命が明らかに12時間以上の雲クラスターが30個見 出された。

しかし,1980年の日本は記録的な冷夏の年で,亜熱帯 から中緯度にかけての梅雨前線帯に伴う上層雲域の南 北変動も他の年と傾向を異にしており (Tanaka, 1992),これらの出現特性について検証する必要があ る.



第1図 1986年6月22日21時(日本時間)の GMS 赤外画像 記号1~6の雲塊が解析領域内で雲クラスターの基準を満たしている。

本研究では1985年から1988年の梅雨期について, T&Iの結果を考慮に入れて雲クラスターの出現特性 と雲クラスター出現時の大気場の特徴を調べる.

2. データ

解析には6時間毎(日本時間3,9,15と21時)の気 象衛星ひまわり(GMS)のマイクロフィルムの赤外画 像を用いた、フィルムには放射輝度温度(T_{BB})の分布 が濃淡で記録され、グレイスケールを利用して T_{BB} を 大まかに評価できる.

大気場の解析には気象庁数値予報課で作成された客 観解析データを用いた。解析期間は1985年から1988年 の6月1日~7月31日。解析領域はT&Iと同じ北緯 20~50度,東経100~160度の範囲である。

3. メソスケール雲クラスターの選択基準

対象とするメソスケール雲クラスターの基準はT& Iと同じである.即ち;

① T_{BB} が -50° C以下の雲域が円形ないし楕円形を呈し、その直径が 100 km 以上であること.

②雲塊の縁(特に西側)でT_{BB}の勾配が大きいこと. ③中緯度帯で発生したこと.

雲塊が上記の3つの基準を満した時刻を雲クラス ターの出現時刻,その地点を出現地点とする.逆に, 何れかの条件から外れた場合は雲クラスターが消滅し たと定義する。6時間毎の画像を用いているために、 12時間以上の寿命を持つ雲クラスターは、マイクロ フィルム上で少なくとも2回以上見出される。その場 合は、3時間毎(1985年と1986年)または1時間毎(1987 年と1988年)の赤外画像を利用して、周囲の雲域の移 動も参考に雲クラスターを同定した。

第1図にメソスケール雲クラスターの例を示す.赤 外画像上の雲塊1~6が雲クラスターの基準を満たしている.低気圧に伴う上層雲や前線に伴う雲域も低温な雲塊として観測されるが,前者は非対称で雲域の縁の T_{BB} は緩やかに変化し(雲塊a),後者はバンド状(雲域b)のため雲クラスターの基準を満たしていないことになる.

4. 梅雨期の出現特性

4.1 出現地点

解析期間に観測された1366個の雲クラスターの出現 地点を最大直径と共に第2図に示す。年による出現状 況の変動は大きく,特に海洋上の小さなもので著しい。 しかし,次の共通する特徴が各年の梅雨期に見出され る;

①大陸上での出現個数は海洋上のものに比べて多い.②海洋上では黒潮域などの海面温度が高い領域で出現



第2図 雲クラスターの出現地点
○は最大直径が 200 km 以上,●は 200 km 未満の雲クラスターの出現地点である. 解析領域は T & I に従って C_N 領域, C_s 領域と O_s 領域に分けてある.

第1表 最大直径 200 km 以上の雲クラス
ターの割合
日本列島や孤島上は海洋上に分類

している.

	1985	1986	1987	1988
大陸上	67%	70%	65%	54%
海洋上	36%	20%	42%	21%

第2表 雲クラスターの観測回数

	1985	1986	1987	1988	割合
観測回数1回	243個	385個	246個	287個	85%
観測回数3回以上	14個	16個	15個	14個	4%

第3表 長寿命雲クラスターの占める割合 括弧内の数字は長寿命雲クラスターと全雲ク ラスターの個数を示す

	最大直径			
	200 km 未満	$200 \text{ km} \sim 250 \text{ km}$	250 km 以上	
割合	1 % (7/905)	5 % (15/295)	22% (37/166)	

第4表 15時と21時の画像に出現した雲クラ スターの割合

	1985	1986	1987	1988
C _N 領域	71%	76%	76%	72%
Cs 領域	64%	60%	57%	58%
Os 領域	27%	40%	35%	38%

頻度が比較的高い.

③日本海,オホーツク海や解析領域の東部と南東部で 出現頻度が低い。

④最大直径が 200 km 以上の大きな雲クラスターの割 合は大陸上で高く, 200 km 未満の小さなものの割合は 海洋上で高い(第1表).

海面温度と雲クラスターの出現個数の関係から,海 面からの熱や水蒸気の供給が雲クラスターの形成に寄 与し,逆に低い海面温度と,オホーツク海高気圧や太 平洋高気圧下の大規模沈降流に起因する安定な成層状 態が雲クラスターの出現を抑えていると考えられる.

4.2 寿命(観測回数)

マイクロフィルムデータの時間分解能が6時間と粗



第3図 1986年6月から7月について東経115~125度で平均した雲量の時間緯度断面図
1986年6月から7月の GMS 赤外データを基に1×1度の領域毎に評価された雲量を用いた。
等値線は雲量10,50と80%を示し、影域は雲量80%以上の領域を示す。●はこの経度帯で出現した雲クラスターの緯度を示す。

いため、ここでは同一の雲クラスターが見出された回 数を寿命の代用とする(第2表).観測回数1回(寿命< 12時間)のものが全体の85%を占め、3回以上(寿命> 12時間)のもの(以後,長寿命雲クラスター)は各梅 雨期に14~16個見出されるが、全体の5%に満たない、 熱帯の GATE 領域でのメソスケール雲クラスターの 平均寿命が28時間であること (Martine and Schreiner, 1981) と比べると、日本周辺の雲クラス ターは短寿命である また、雲クラスターの最大直径 が大きくなるに連れて長寿命雲クラスターの占める割 合は増す(第3表). GATE 領域の雲クラスターでも 同様の傾向が認められるが (Martine and Schreiner, 1981),日本周辺では大きな雲クラスターであっても短 寿命のものが著しく多い。また、平均最大直径は170 kmで、熱帯 GATE 領域の 450 km (Martine and Schreiner, 1981) に比べ、小さいものが著しく多い(第 3 表参照).

5. メソスケール雲クラスターの出現時の特徴

大陸上の解析領域をT&Iに従って、 C_N 領域と C_s 領域に区分するが、それぞれ大まかに温帯性大陸気候 区と亜熱帯湿潤気候区に対応する。海洋上の雲クラス ターの出現個数が多い領域を、やはりT&Iに従い O_s 領域とする。また、梅雨前線帯では傾圧性や安定度が 東西方向で大きく異なるため、解析領域の大気条件は 場所により大きく変わる。ここでは O_s 領域で興味あ る特徴が見られた1986年について、各領域の特徴を調 べる。

5.1 雲クラスターの出現時刻

第4表は午後から夕方(15時と21時の画像)に出現

9.00,22 Jun. 1986

した雲クラスターの全体個数に対する割合である.大陸上,特に C_N 領域の雲クラスターは午後から夕方に 出現する割合が多く,この傾向は出現個数の多い期間 で顕著である.例えば,1986年6月19日~23日と7月 8日~20日の期間(第3図と第5図を参照)では, C_N

ある.



領域で90%以上, Cs 領域でも70%の雲クラスターが午後から夕方に出現している。一方,海洋上の Os 領域では夜間から早朝に雲クラスターが出現し易い。

同じ大陸上でも、C[№] 領域と梅雨前線帯に位置する C_s 領域では午後から夕方に出現する割合に有意な差 が見られる.第3図は1986年について東経115~125度



第6図 1986年6月から7月の東経115~125度で平均した850mb 面風の時間緯度断面図 ○は対象領域で長寿命雲クラスターの出現した緯度を示す。

で平均した雲量の時間緯度断面図と各雲クラスターの 出現緯度である.第1図の赤外画像(1986年6月22日 21時)に見られる様に、 C_N 領域では雲クラスター以外 の雲量が少なく、 C_s 領域では梅雨前線に伴う雲域が広 がっている.この傾向を反映して C_N 領域で出現頻度 が高い期間は C_N 領域の雲量が少ない(大まかに50% 以下)、 C_s 領域で出現頻度が高い期間は C_s 領域の雲 量は多い(大まかに80%以上)傾向にある.第4図の 雲量分布を見ると、この12時間後に C_N 領域で雲クラ スター1~4が出現した地点では、雲量が10~40%と 低い.一方、12時間後に C_s 領域で雲クラスター5と 6が出現した地点では雲量は90%を超え、広い雲域内 で雲クラスターが形成されていた。

雲量が多い梅雨前線帯の C_s 領域では、日射による 地面加熱が、雲量の少ない C_N 領域に比べて弱いと考 えられる.また C_N 領域では日射による強い地面加熱 が期待され、 C_s 領域と比べて午後から夕方の出現頻度 が増加すると推測される.

海洋上では夜間から早朝(3時と9時の画像)に雲 クラスターが出現する割合が多い,熱帯ではGary and Jacobson (1977) や McBride and Gary (1980) が述 べている様に、雲域と晴天域の長波放射の差により、

夜間に雲域へ収束するメソスケールの循環が強化され 易い. 梅雨期の O_s 領域でも同じ機構が働き,夜間か ら早朝に雲クラスターが形成され易くなると考えられ る.

5.2 雲クラスター出現時の C_N 領域と C_s領域の大気の特徴

大陸上では北緯25~50度の間で広く雲クラスターの 出現地点が分布する. 第5図は東経115~125度の範囲 で平均した大気状態の時間緯度断面図である.相当温 位の勾配の最大軸を狭むように北側と南側に C_N 領域 と C_s 領域の雲クラスターの出現地点が分かれている (第5図a).しかし、2つの領域とも出現個数が増加 した期間は 500 mb 面高度が上昇すると共に(第5図 a)、下層の比湿が増加するために(第5図b)不安定 の度合が増す(第5図c)という共通性を持つ.多く の雲クラスターが出現した6月20日頃を例に2領域で の総観場の差異を調べる.

 C_N 領域で出現個数が増加した6月20日頃,7月8日 頃と23日頃の前後の C_N 領域は,総観規模の低気圧が 通過してから次の低気圧が通過するまでの相対的に 500 mb 面高度の高い期間である.同じ経度帯で平均し た850 mb 面の風の時間緯度断面図を第6図に示す. 第5図と比較すると,6月20日頃の C_N 領域では850 mb 面で比湿が増加する期間に南風成分が見られる. 第7図に示したように,この6月22日の南風成分は総 観規模の低気圧の前面の風に対応する.2つの総観規 模の低気圧(S)に挟まれたL地点では低気圧性の循 環が見られ,500 mb では中間規模(~1000 km)の低 気圧が解析される.850 mb 面高度において,この中間 規模の低気圧の前面で南風成分が強まっている.これ らの風系が比湿の大きな空気を C_N 領域の大気下層に 輸送し,対流不安定の程度を強めたと考えられる.

一方, C。領域でも出現個数が増加した期間に 500 mb 面高度が増加している. この高度の増加は亜熱帯 高気圧に対応する高圧域の西への移動による. 850 mb 面では高気圧性循環に伴い南~南西風が数日間にわた り卓越し(第6図), 水蒸気移流により下層の比湿が増 加する. これにより対流不安定が強められたと考えら

"天気"40.3.



 第7図 1986年6月22日21時の850mb 面高度と 風の分布
影域は比湿 16g/kg 以上,横線域は14
~16g/kg の領域を示す.雲クラスターの出現地点を1~6で,総観規模の低気 圧の中心をSで示す.

れる.

5.3 Os 領域の特徴

第8図は O_s 領域で雲クラスターの出現個数が少な かった1985年と多かった1986年について、5日間毎に 積算した出現個数の時系列である。約30日の間隔で出 現個数が多い期間($a \ge b$, $c \ge d$)が見られる。こ れらの期間では日本南方海洋上(北緯25~29度一東経 128~132度)の雲量の30日周期変動成分の偏差は正で あった(池山・武田, 1989).雲量の30日周期変動と雲 クラスターの出現個数の変動は時間的に一致してい る。

1986年6月について北緯20~30度の範囲で平均した T_{BB} -30°C以下の雲域の移動を時間経度断面図で第9 図に示す. Os 領域に見られる10~15度/日の速度で東 進する低温域は低気圧に伴う雲域の移動に対応する. この低気圧の周辺で雲クラスターが出現している. 雲 クラスターの出現個数が増加した期間Iに注目する と,低気圧の移動よりも遅い2~5度/日の速度で低温



June 1986 (20-30 N)



 第9図 1986年6月の Os 領域における T_{BB}-30°C以下の時間経度断面図
平均 T_{BB}-30°C以下の領域を縦線で示してある。●はこの緯度帯(北緯20~30度)
で出現した雲クラスターの経度を,期間
I は雲量の30日周期変動に対応して雲クラスターの出現個数が増加した期間(第 8 図のC)を示す.



T &Ⅰに従ってA~Dの4つの群に分類してある.

な雲域全体が位相として伝播している.これに同期し て雲クラスターの出現頻度の高い領域の伝播も認めら れる.Takeda and Ikeyama (1985)は雲量の30日周 期変動が顕著な期間において北緯30度帯の東経 130~180度の範囲で正の偏差域が2~3度/日で東に 伝播することを示している.第9図に見られる低温域 の遅い伝播は、この現象に対応すると考えられる.雲 クラスターの出現頻度の高い期間と領域は共に雲量の 30日周期変動を引き起こす大規模な大気変動の影響を 受けていると考えられる.

6. 長寿命雲クラスター

各梅雨期に14~16個の長寿命雲クラスターが観測さ れた(第2表).第10図はそれらの幾何学的中心で定義 した軌跡で,T&Iが示した4つの群(A~D)に分 類してある.梅雨期は総ての群が出現するのではなく, 年により出現し易い群が異なる.

第6図に1986年の東経115~125度について長寿命雲 クラスターが出現した緯度が重ねてある。7月11日か





第12図 後期速度が 15 km/m 以下の雲クラスターが観測された地点 BとIVは Iwasaki and Takeda (1989) と (1992) で述べられている Cluster BとIVである.

ら15日の5日間に6個の長寿命雲クラスターが出現している.また、1987年7月3日から10日には6個のC 群、1988年7月15日から18日には5個のB群の長寿命 雲クラスターが出現し、同一群の長寿命雲クラスター は数日から10日の短い期間に集中する傾向がある.長 寿命雲クラスターの6時間毎の移動速度を幾何学的中 心で定義し、その頻度分布を第11図に示す.長寿命雲 クラスターの移動速度は0~85 km/hr と様々である が、直径が200 kmよりも小さい期間の移動速度は遅 い傾向にある.

移動速度の遅い10例の雲クラスター(15 km/hr 以 下)が観測された位置を第12図に示す.移動速度の遅 い長寿命雲クラスターの多くが東経115~140度の梅雨 前線帯に分布している.第8 図に□で示したように, 雲クラスターの出現個数が増加した期間に移動速度の 遅い長寿命雲クラスターが観測され易い.また,1986 年6月18日から19日,7月11日から14日や Iwasaki and Takeda (1989)の Cluster AとB (Fig.7参照: 1985年6月11日)では、東シナ海上で移動速度の遅い 長寿命雲クラスターが同時に複数みられた。

雲クラスターの移動速度は、積乱雲群の移動と雲ク ラスター内部での新しい群の形成、及び周辺の雲域の 移動によって決まる.第12図の矢印で示した事例では、 新しい積乱雲群が既存の群の後方に形成されたため、 長寿命雲クラスターの移動速度が低下した (Iwasaki and Takeda, 1989, 1993). また, 9 事例が海洋上で観 測されている. Iwasaki and Takeda (1989) が指摘し たような地形効果が直接関与しない雲クラスターの停 滞が起きていたと考えられる.

7.まとめ

梅雨期の日本周辺で現れたメソスケール雲クラス ターの出現特性には、次の特徴が見出された。

①雲クラスターの平均寿命は14時間未満(平均観測回 数は1.3回),最大直径の平均は170kmであった.最 大直径が大きくなるにつれて,長寿命雲クラスターの 占める割合が増した.

②最大直径が 200 km 以上の大きな雲クラスターは大陸上に、小さな雲クラスターは海洋上で多く形成される傾向にあった。

③大陸北部の C_N 領域(華北地方)では, 2つの総観 規模の低気圧に挟まれた相対的に気圧の高い領域で出 現個数が増加した.

大陸南部の Cs 領域(華南地方)では, 亜熱帯高気 圧の西進に伴う気圧が高い期間に雲クラスターの出現 個数が増加し, その期間に下層への水蒸気の移流が増 加していた.

海洋上の Os 領域では, 雲量の30日周期変動で雲量 の多い期間に, 梅雨前線近傍で出現個数が多かった. ④雲クラスターは大陸上では午後から夕方に, 海洋上 では夜間から早朝に出現し易かった. 雲量の多い C_s 領域に比べて雲量の少ない C_N 領域では雲クラスター が午後から夕方に出現する頻度が高かった.

⑤寿命が12時間以上の雲クラスターは短い期間に集中 して現れる傾向があった。

⑥移動速度の遅い長寿命の雲クラスターは東経 100~140度の範囲の梅雨前線付近で多く観測された.

謝 辞

この解析をするにあたり気象庁より客観解析データ とゾンデデータを提供して頂きました.関係者の方々 に感謝致します.また,名古屋大学水圏科学研究所の 加藤内蔵進氏には有意義な助言と議論をして頂きまし た.ここに厚く感謝致します.

参考文献

- Akaeda, K., K. Ninomiya and T. Takeda, 1987 : Case study of a long-lived cloud cluster. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 129–144.
- Akiyama, T., 1984 a : A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part I : Evolution process and fine structure. J. Meteor. Soc. Japan, 62, 485-504.
- Akiyama, T., 1984b : A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part II : Thermal and kinematic fields and heat budget. J. Meteor. Soc. Japan, 62, 505-521.
- Akiyama, T., 1990a : Large, synoptic and meso scale variations of the Baiu front, during July 1982. Part II : Frontal structure and disturbances. J. Meteor. Soc. Japan, 68, 557-574.
- Akiyama, T., 1990b : Large, synoptic and meso scale variations of the Baiu front, during July 1982. Part III : Space-time scale and structure of frontal disturbances. J. Meteor. Soc. Japan, 68, 705-727.
- Gary, W. M., and R. W. Jacobson, 1977 : Diurnal variation of deep cumulus convection. Mon. Wea. Rev., 105, 1171-1188.
- 池山雅美,武田喬男(1989):日本周辺海洋上域に出現す る雲の分布の時間変化の特徴、天気,36,43-53.
- Iwasaki, H., and T. Takeda, 1989 : Behavior of cumulonimbus-cloud groups in a slow-moving meso

-scale cloud cluster over the ocean. J. Meteor. Soc. Japan, 67, 575-586.

- Iwasaki, H., and T. Takeda, 1993: Structure and behavior of a meso-scale cloud cluster traveling over the Baiu-frontal zone. J. Meteor. Soc. Japan, 71, 投稿中
- Ninomiya, K., M. Ikawa and T. Akiyama, 1981: Long-lived medium-scale cumulonimbus cluster in Asian subtropical humid region. J. Meteor. Soc. Japan, 59, 564-577.
- Ninomiya, K., M. Ikawa and T. Akiyama, 1988a : Evolution and fine structure of long-lived meso- α scale convective system in Baiu frotal zone. Part I : Evolution and meso- β scale characteristics. J. Meteor. Soc. Japan, 66, 331-350.
- Ninomiya, K., M. Ikawa and T. Akiyama, 1988b : Evolution and fine structure of long-lived meso- α scale convective system in Baiu frontal zone. Part II : Meso- β scale characteristics of precipitation. J. Meteor. Soc. Japan. 66, 351-371.
- Ninomiya, K., M. 1989 : Cloud distribution over the East Asia During Baiu Period of 1979, J. Meteor. Soc. Japan, 67, 639-658.
- Martin, D. W., and A. J. Schreiner, 1981 : Characteristics of West Africa and East Atrantic cloud cluster. Mon. Wea. Rev., 109, 1671-1688.
- McBride, J. L., and W. M. Gary, 1980 : Mass divergence in tropical weather system. Part I : Diurnal variation. Quart. J. R. Met. Soc., 106, 501-538.
- Takeda, T., and M. Ikeyama, 1985 : Time variation of cloud amount with about 30-day period in the Western Pacific region. J. Meteor. Soc. Japan, 63, 997-1012.
- Takeda, T., and H. Iwasaki, 1987 : Some characteristics meso-scale cloud clusters observed in East Asia between March and October 1980. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 507-513.
- Tanaka, M., 1992: Interseasonal and interannual oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over East, Southeast Asia and the Western Pacific region using GMS high cloud amount data. Proceedings of International symposium on Asian Monsoon. 151-155.