

梅雨前線付近の雲クラスターの出現特性： 組織化スケールの変動と環境条件

中井 専 人*・川 村 隆 一*

要 旨

1992年6月5日09UTC (00UTC=09JST) から18日06UTC に梅雨前線付近に現れた74個のメソスケール雲クラスターの出現特性を調査した。雲クラスターの寿命と最大雲域面積との間には正相関があり、平均値はそれぞれ12.4時間、 $7.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ であった。これらは日本付近の雲クラスターについて過去に報告された値に近く、熱帯や北米大陸上で報告された値より小さかった。メソ α スケール雲クラスター (MACC) の多くは13時間以上の寿命を持ち、前線付近に出現するものが多かった。また、夜間から早朝にかけて多く出現する弱い傾向があった。メソ β スケール雲クラスター (MBCC) は12時間以下の寿命を持つものが多く、出現には日変化も前線との位置に対する依存性も明瞭ではなかった。MACCの多かった期間は、雲クラスター出現域で前線の影響と考えられる強い鉛直シアアが見られた。MBCCの多かった期間は、雲クラスターの出現域が前線から離れた亜熱帯高気圧の勢力下にあった。

1. はじめに

雲クラスター (クラウド・クラスター, Cbクラスター) は、GMSなどの赤外画像に輪郭の明瞭な低温域として現れた雲塊またはその集団で、水平スケール数百kmから千数百kmのものを指す。この低温域は、通常、メソスケールに組織化された対流雲群によって作られた上層雲であることが事例解析によって示されている (Leary and Houze, 1979; Bosart and Sanders, 1981; 長谷川・二宮, 1984; Akaeda *et al.*, 1991; Mori, 1992; Iwasaki and Takeda, 1993a; Satoh *et al.*, 1995)。等価黒体温度 (T_{BB}) の低い上層雲を長時間にわたって維持し、その発生、消滅に日変化があるため、局所的な雲量変動を通して放射収支にも影響を与えられ、また、北米大陸上に発生するものなどはしばしば竜巻や洪水をもたらすことが報告されており (例えば Maddox, 1980)、日本においても例えば1982年の長崎豪雨は雲クラスターによってもたらされたものである (長谷川・二宮, 1984)。

雲クラスターの出現特性の研究は、まとまったもの

としてはGATE領域を調査したMartin and Schreiner (1981)と北米を対象としたMaddox (1980)に始まる(第1表)。前者は丸いものと線状のものの方を含む。Maddox (1980)は雲クラスターの中でも特に大きくて丸い形状のもの (雲域面積 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上、雲域最大時の軸比 (短軸/長軸) 0.7以上、詳細はMaddox (1980)等を参照)をMCC (mesoscale convective complex)と定義し、これについての調査を行った。Laing and Fritsch (1996)はMCCの出現特性を地域毎に調べたものをまとめた結果、MCCは中緯度の暖候期あるいは熱帯、かつ、OLR極小域の周辺に集中して現れるとした。中国大陸から北西太平洋にかけての領域ではTakeda and Iwasaki (1987)と岩崎・武田 (1993b)の丸い雲クラスターについての研究がある。これらの全てにおいて、雲クラスターの発生頻度の日変化があることが述べられており、Martin and Schreiner (1981)、Takeda and Iwasaki (1987)および岩崎・武田 (1993b)では大きい雲クラスターほど寿命が長いという傾向が述べられている。

個々の雲システムの発生・消滅は総和として雲量変動に反映する。岩崎・武田 (1993b)は、海上で約30日の周期で雲クラスターの出現個数の多い期間がみられ、それが雲量の30日周期変動 (池山・武田, 1989)

* 防災科学技術研究所

—1997年11月13日受領—

—1998年8月28日受理—

第1表 雲クラスターの発達・衰弱に関する統計.

文献	解析領域	寿命の定義	平均寿命	発生時刻の平均値	消滅時刻の平均値	最大雲域面積-寿命の関係
MS0	合衆国中部(陸上)	first stormsからMCCの基準を満たさなくなるまで	16.5時間	2000GMT(現地時間の午後)	1230GMT(現地時間の朝)	寿命の長いものほど最大雲域面積が大きくなる傾向
MRH82	合衆国中東部(陸上)		15.1時間	2240GMT(現地時間の午後)	1345GMT(現地時間の朝)	寿命の長いものほど最大雲域面積が大きくなる弱い傾向
RHJ83	合衆国上(陸上)		14.2時間	2130GMT(現地時間の午後)	1145GMT(現地時間の朝)	寿命の長さとも最大雲域面積の相関ははっきりしない
RMA85	合衆国上(陸上)		15.7時間	2050GMT(現地時間の午後)	1230GMT(現地時間の朝)	寿命の長さとも最大雲域面積の相関ははっきりしない
VF87	南米中緯度(陸/海)		MCCの基準を満たしていた期間	11.5時間	2130LST	0900LST
VF87	熱帯アメリカ(陸上) (海上)	MCCの基準を満たしていた期間	8.5時間	0100LST	0930LST	記述なし
			9.0時間	0230LST	1130LST	
MF91	西太平洋域(陸/海)		11.0時間	2300LST	1000LST	記述なし
LF93a	インド(陸/海)		12.0時間	2200LST	1000LST	記述なし
LF93b	アフリカ及び周辺		11.5時間	2100LST	0830LST	記述なし
MS81	GATE領域(陸/海)	追跡できた期間	28時間	午後のまん中(陸上) 真夜中(海上)	記述なし	simple clustersの寿命は、大きさの関数となる強い傾向
T187	中国本土~日本東海上(陸/海)	面積、形状の基準を満たした期間	<17時間	15JST-21JSTの間(陸上) 21JST-09JSTの間(海上)	記述なし	直径200km以上のものが直径100km-200kmのものに比べて明らかに長寿命
IT93			<14時間	午後から夕方(陸上) 夜間から早朝(海上)	記述なし	雲クラスターの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。
MYK92	南西諸島及びその東方海上	追跡できた期間	12.2時間	夜間から朝にかけて多い	傾向がはっきりしない	ばらつきはあるが、面積の大きいものほど寿命が長い。

MS0: Maddox, 1980 *

MF91: Miller and Fritsch, 1991

IT93: 岩崎・武田, 1993

MRH82: Maddox et al., 1982 *

LF93a: Laing and Fritsch, 1993a

MYK92: 本報告

RHJ83: Rodgers et al., 1983 *

LF93b: Laing and Fritsch, 1993b

RMA85: Rodgers et al., 1985 *

MS81: Martin and Schreiner, 1981

* 最大雲域面積-寿命の関係は記載されていた個々の雲クラスターを著者がプロットした結果。

VF87: Velasco and Fritsch, 1987 *

T187: Takeda and Iwasaki, 1987

と一致していたこと、雲量の多い期間に梅雨前線付近で出現個数が多かったこと、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ことを報告している。

一方, Kato *et al.* (1995) は1979年6~8月の中国大陸上を対象とし, 季節推移による総観場の変化と雲クラスターの出現状況との関連を調査している。彼らによれば, 梅雨最盛期の華中では雲クラスターの出現に日変化がなく, 梅雨前線帯北方に位置する華北~中国東北区, 及び亜熱帯高気圧域に覆われた華中において日変化のある雲クラスターが出現した。

このように, 雲クラスターの出現特性については, 梅雨前線帯の変動や周期的な雲量変動との関連が指摘されている。しかし, 雲クラスターは組織化した対流の集まりであり, その特徴を直接決めているのは安定度, シアーといった局所的な環境条件のはずである。総観場の変化から雲クラスターの日変化, 寿命, 大きさといった特性が決定される過程で, どのようなパラメーターが効いていくのであろうか。

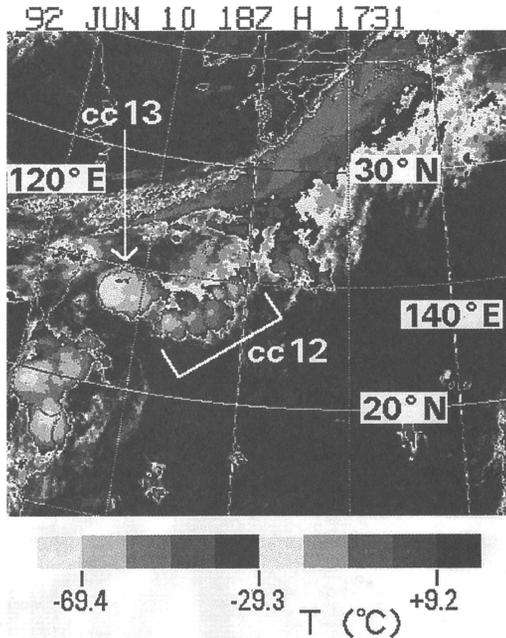
本報告では, 雲クラスターの特性の変化とそれを支配した環境条件を関連付けて述べることを事例解析として試みた。対象とした領域は梅雨期の南西諸島及び

その東方海上である。この領域は雲クラスターの発生頻度の高い領域の一つ (Takeda and Iwasaki, 1987) であるだけでなく, 6月前半の気候学的な梅雨前線の位置であり(加藤, 1985), ここでの雲クラスターの発生は梅雨前線帯の季節推移の中で重要な一段階と考えられる。第2章以降, 使用したデータ, 個々の雲クラスターの定義, その発達・衰弱についての調査結果を述べ, その後に, 雲クラスターの発生・発達と総観スケールの変動との関わりについて言及し, まとめを行う。

2. データ

雲クラスターの解析には防災科学技術研究所で受信した毎時の WEFAX, H 画像を使用した。WEFAX は GMS (ひまわり) が取得したデータを気象衛星センターが座標変換等の加工をしたもので, 解像度や階調は落としてあるが気象解析がしやすいようになっている。H 画像は極東域の赤外画像で, T_{BB} に対応した64階調の輝度レベルで表されている。

解析期間は1992年6月5日09UTC (00UTC=09 JST) から18日06UTC までの310時間(そのうち欠データは10日04UTC, 15日07UTC, 18日05UTCのみ)で



第1図 WEFAX H 画像. cc12, cc13は解析された雲クラスターの例である.

ある。解析領域は20–32°N, 122–140°Eの亜熱帯で、南西諸島付近及びその東方の海上にあたる(第1図)。解析期間は南西諸島の梅雨期に相当し、期間中を通して梅雨前線帯の雲が解析領域にあった。解析領域は122–140°Eの梅雨前線帯上の雲クラスターのほぼ全部を拾い出すように設定した。総観場との比較には気象庁発行の印刷天気図と高層データを主に使用した。

3. 雲クラスター

雲クラスターの定義はMartin and Schreiner (1981)に近いものであり、解析期間中に発生・消滅した、次の選択基準を満たす $T_{BB} < -29.3^{\circ}\text{C}$ (WEFAX輝度レベル34以上)の雲域とした。閾値として -29.3°C を選んだのは、解析領域においてこの値をとる場所は T_{BB} の勾配が大きいことが多く、雲頂高度の高い雲と低い雲との識別に適切と判断されたためである。

- 発生から消滅までの T_{BB} の最小値が -60.7°C 以下 (WEFAX輝度レベル52以上)。
- $T_{BB} < -29.3^{\circ}\text{C}$ で定義した雲域の最大面積が7854 km² (直径100kmの円の大きさ)以上。
- 追跡できた期間全体で定義した寿命が6時間以上。
- 海上で発達した。

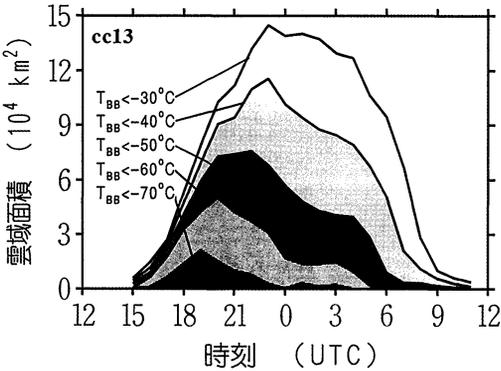
• 複数の雲の群れであっても、同位相、または系統的に発達・消滅したものは1つの雲クラスターとした。

• 領域の周辺部において T_{BB} の勾配が大きく、対流によって発達したと考えられる。

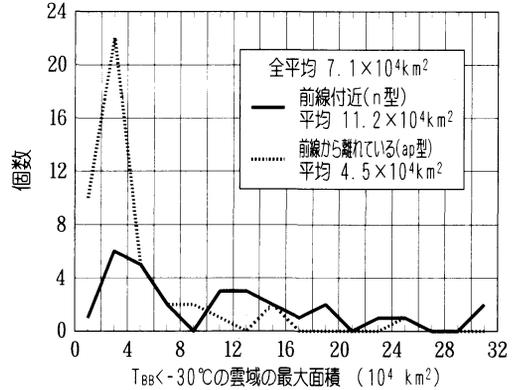
これらの基準は、様々な形や大きさの組織化した対流雲群を選び出すことを目的とした。形を丸いものに限らなかったのは、複数の雲塊が同位相で発達、消滅をする例がしばしばあり、それらは1つに組織化されたと考えられるためである。 T_{BB} の最小値、面積、寿命の閾値は孤立した積乱雲と思われる雲塊や前線に伴う広域の雲が除かれるように設定した。孤立した雲塊は衰弱後の上層雲まで含めても5時間以下しか継続せず、雲クラスター以外の前線上の雲は周囲の T_{BB} の勾配が小さいか、最小 T_{BB} が -60.7°C 以下にならなかったため区別できた。雲クラスターの発生・消滅は必ずしも $T_{BB} < -29.3^{\circ}\text{C}$ の領域の発生・消滅ではなく、衰えた雲の中から新しい対流が発達することもあれば、明らかに対流と異なる雲の中に取り込まれてしまうこともあった。衰えた雲の中から異なる範囲を単位として新しい雲群が発達した場合は、別のものとして扱った。

T_{BB} の閾値は -30°C , -40°C , -50°C , -60°C , -70°C に最も近い値を選んだが、WEFAX輝度温度の温度分解能のため、それぞれ -29.3°C , -39.7°C , -50.2°C , -60.7°C , -69.4°C となった。以後、 T_{BB} の閾値を表すときは前者で表記する。雲クラスターの面積はWEFAX H画像の画素数で測ったものに画素の面積を乗じて求めた。H画像はポラステレオ図法なので画素の面積は緯度の関数であるが、ここでは雲クラスターの中央付近の値で代表させた。また経緯線、海岸線が図中にデータとして埋めこまれているが、これによる面積誤差はそれほど大きくないと思われたので補正しなかった。

定義された雲クラスターは74個である。その中にはcc13(第1図)のような1個の雲塊が独立に発達するものと、cc12(第1図)のように複数の雲塊が連なって発達するものがあった。前者は中緯度の雲クラスターとしてよく知られた形である。後者は雲塊としては1つではないが、発達、衰弱のタイミングが同時かあるいは系統的であり、複数の雲塊が組織化されていたものと考えられる。雲域面積の変化は雲クラスターによる差異が大きいが、最初に $T_{BB} < -60^{\circ}\text{C}$ の領域(以後、低温域と呼ぶ)を中心にして雲クラスターの雲域全体が拡大、低温化し、次に雲域の拡大と低温域の縮



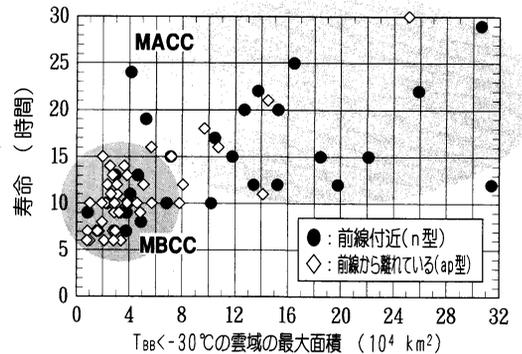
第2図 第1図の雲クラスターcc13の雲域面積の変化.



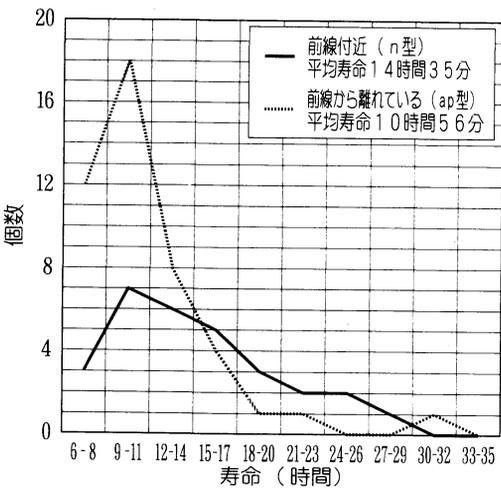
第4図 雲クラスターの最大雲域面積 ($T_{BB} < -30^{\circ}\text{C}$)の頻度分布, 実線: n型, 破線: ap型.

第2表 解析した雲クラスターについての平均値.

雲クラスターの位置	個数 (個)	平均寿命 (時間)	平均最大雲域面積 (10^4 km^2)	
			$< -30^{\circ}\text{C}$	$< -50^{\circ}\text{C}$
全体	74	12.4	7.1	3.2
前線から離れている (ap型)	45	10.9	4.5	2.0
前線付近 (n型)	29	14.6	11.2	5.0



第5図 雲クラスターの寿命と最大雲域面積 ($T_{BB} < -30^{\circ}\text{C}$). \bullet : n型, \diamond : ap型. MACC(メソ α スケール雲クラスター)とMBCC(メソ β スケール雲クラスター)を代表する範囲を影付きで示す.



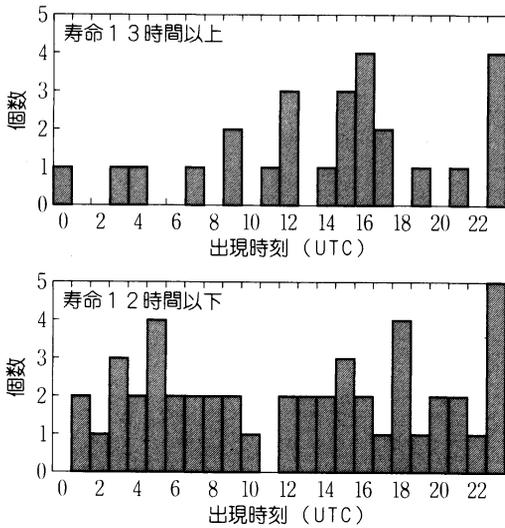
第3図 雲クラスターの寿命の頻度分布. 実線: n型, 破線: ap型.

小が並行し、最後に雲域、低温域ともに縮小するというのが典型的な経過であった(第2図)。低温域のピークと雲域のピークの時間差は1~3時間のものが多かった。

総観場との比較としては、天気図上の寒冷前線または停滞前線と解析されている前線に対する位置関係を用いた。前線から約300km以上離れて出現した雲クラスターをap型、前線付近約300km以内出現した雲クラスターをn型とした。全雲クラスター74個中、n型雲クラスターは29個、約39%、ap型雲クラスターは45個、約61%であった。

4. 1992年6月5日~18日の雲クラスターの出現特性

解析した雲クラスター全体の平均寿命は12.4時間であり、長いものでは30時間に達した。この平均値は中国大陆から北西太平洋にまたがる範囲を調査した岩崎



第6図 雲クラスターの出現時刻別の個数。上：寿命13時間以上のもの。下：寿命12時間以下のもの。

・武田 (1993b) とほぼ等しく、赤道大西洋域に対する Martin and Schreiner (1981) の報告の半分以下であった。ap 型と n 型の寿命の平均値には明瞭な差異があった (第2表)。n 型の雲クラスターは ap 型の雲クラスターに比べて寿命の長いものが多く、平均寿命では4時間近い差があった。寿命のヒストグラムを取ると、ap 型、n 型ともに10時間前後のものが最も多かった (第3図) が、n 型では ap 型に比べて長寿命のものが多く、寿命13時間以上の雲クラスターの比率は ap 型の24%に対して n 型では52%であった。

雲クラスターの最大面積についても同様な特徴が見られた。 $T_{BB} < -50^{\circ}\text{C}$ の領域の平均最大面積は岩崎・武田 (1993b) の値 (約 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$) に近く、 $T_{BB} < -30^{\circ}\text{C}$ の平均最大面積は Martin and Schreiner (1981) の値 ($2 \times 10^5 \text{ km}^2$) の半分以下であった。ap 型雲クラスターはほとんどが 10^4 km^2 のオーダーの大きさを持っていたのに対して、n 型雲クラスターは $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ を中心とする範囲と 10^5 km^2 オーダーのものに分布が分かれていた (第4図)。最大雲域面積と寿命を散布図にすると (第5図)、全体的に大きい雲クラスターほど寿命が長くなる傾向があり (相関係数は 0.67)、分布は最大雲域面積 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、寿命10時間付近を中心とした一群と、それよりも大きく長寿命のものに分かれた。ap 型の雲クラスターはほとんどが前者に属し、n 型の雲クラスターは両方にまたがって分

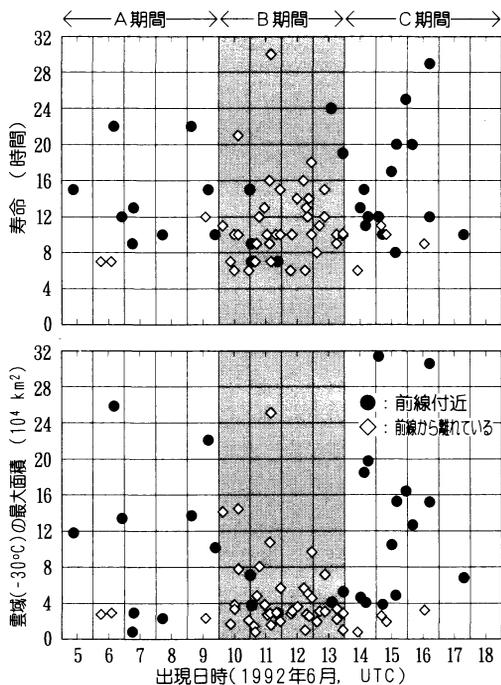
布していた。これらの傾向は、 $T_{BB} < -50^{\circ}\text{C}$ の最大面積、 $T_{BB} < -60^{\circ}\text{C}$ の最大面積についても同様であった。

雲クラスターの発生は夜間から朝にかけて多くなっていたが、その傾向はそれほど明瞭ではなかった。雲クラスターを長寿命 (13時間以上) と短寿命 (12時間以下) のものに分けると、長寿命の雲クラスターには夜間から早朝、特に14-17UTC にかけて多く出現する傾向がみられたが、短寿命の雲クラスターの出現には明瞭な日変化は見られなかった (第6図)。雲クラスターの出現時刻には、前線との位置関係による差異がほとんど見られなかった。ただし23UTC は例外で、出現個数が多いのは ap 型の雲クラスターが多く発生したためである。ap 型の雲クラスターは22UTC と00-02 UTC には1個も出現しておらず、23UTC に集中して現れた。この時刻は日の出から約3時間後にあたるが、出現個数の増加が日射の影響であるかどうかはわからなかった。短寿命、長寿命の雲クラスターの個数はそれぞれ48個、26個であった。

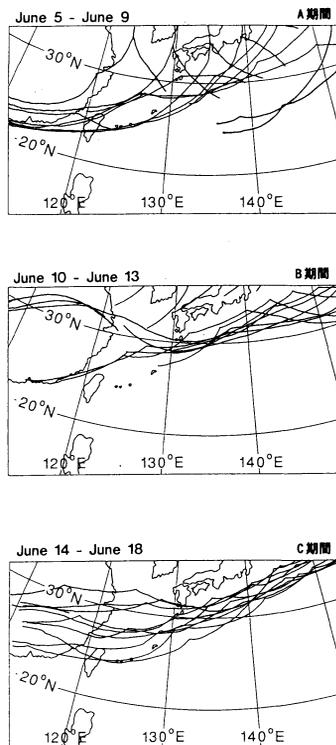
5. 組織化のスケールとその変化

雲クラスターの統計としては、GATE 領域 (Martin and Schreiner, 1981)、ほぼ全球の MCC (Maddox, 1980ほか)、中国大陸～北西太平洋 (岩崎・武田, 1993b 他) といった報告がある (第1表)。これらのうち Maddox (1980)、岩崎・武田 (1993b) などは楕円形に近いもののみを対象としており、Martin and Schreiner (1981) と本報告では細長いものも含めている。雲クラスターの大きさと寿命との関係は、記述のある文献の多く (Maddox, 1980ほかについては個々のデータを著者がプロットした) において正相関という結果になっていた。また、雲クラスターの発生は海上では弱いながら夜間から朝にかけて多くなる傾向があり、陸上では現地時間の午後には発生して夜間に発達する傾向があることも、共通して述べられていた。従って、これらのことは、地域によらない一般的な雲クラスターの特性と考えて良い。本報告は海上の雲クラスターについてのものであるが、上記のような特性は過去に報告された結果と一致していた。

丸い雲クラスターについては、日本付近では赤道大西洋域 (Martin and Schreiner, 1981) に比べて時間・空間スケールの小さい雲クラスターが著しく多い (岩崎・武田, 1993b)。また、Laing and Fritsch (1996) は MCC が全球の様々な地域に出現することを示しているが、彼らによると日本付近では MCC の基準を満



第7図 雲クラスターの出現日時に対する寿命と最大雲域面積 ($T_{BB} < -30^{\circ}\text{C}$) の変化。
●: n型, ◇: ap型.



第8図 地上天気図上の前線の12時間毎(00, 12UTC)の位置.

たす雲クラスターは非常に少ない。本報告では丸くない形状の雲クラスターも含めて解析したが、定義の似た Martin and Schreiner (1981) に比べて時間・空間スケールともに小さな値が平均値として得られた。これらの結果は、雲クラスターとして現れる対流の組織化の平均的なスケールが日本付近では小さいことを示している。

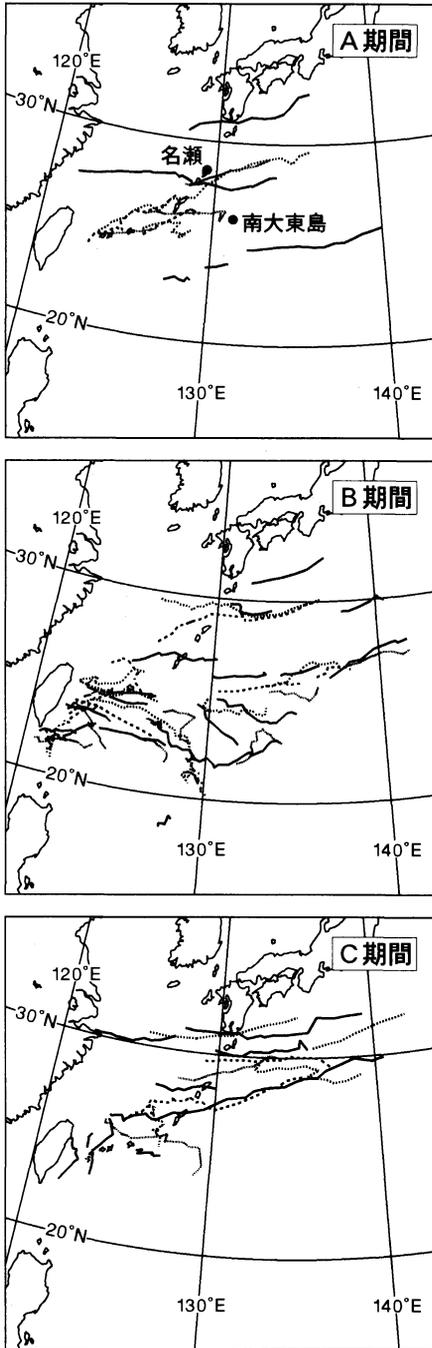
第5図に雲クラスターの平均最大雲域面積と寿命を示したが、これらの値の間には正相関があり、雲クラスターはメソ α スケール雲クラスター (MACC) とメソ β スケール雲クラスター (MBCC) とに大別される。n型雲クラスターの平均最大雲域面積には、このMACCとMBCCに相当する分布のピークがあったが、ap型雲クラスターはほとんどがMBCCに含まれていた(第4図)。出現頻度の日変化はほぼMACCに相当する寿命13時間以上のものについてのみ見られた(第6図)。言い換えると、MACCは 10^5km^2 オーダーの大きさと13時間以上の寿命を持つものが典型的で、多くは前線付近に出現し、夜間から早朝にかけて多く出現するという日変化を持ったものである。これに対し

て、MBCCは 10^4km^2 オーダーの大きさと12時間以下の寿命を持つものが多く、出現には日変化も前線との位置に対する依存性も明瞭ではなかった。MACCとMBCCは時間、空間スケールが異なるだけでなく、雲クラスターの発達に影響する要因も異なっていたと思われる。

雲クラスターの出現状況は、4～5日の間隔で大きな変化があった(第7図)。6月5日から9日にかけての出現個数は少なく(A期間とする)、6月10日から13日の間に集中して現れ(B期間とする)、6月14日から18日にかけてはまた少なくなった(C期間とする)。24時間分のデータのない6月5日と18日を除くと、1日あたりの出現個数は

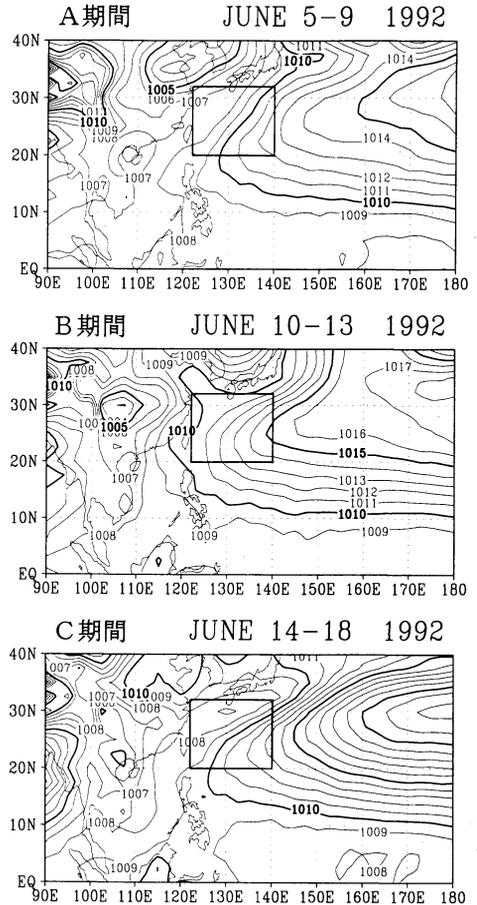
A期間	2.75個/日
B期間	11.00個/日
C期間	4.50個/日

である。B期間はその前後の期間よりも出現個数かなり多かった。



第9図 A, B, C各期間の雲クラスターの軌跡。

雲クラスターの現れ方の期間による差異は、総観場に対する雲クラスターの位置においても顕著であった。B期間ではap型の雲クラスターが多く、A, C期

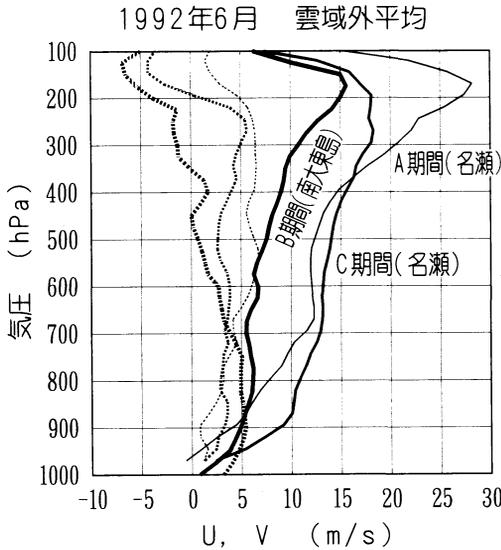


第10図 A, B, C各期間の平均地上気圧分布。図中央付近の四角は解析領域を示す。

間においてはn型の雲クラスターが多かった(第7図)。A, C期間にはMACCが多く出現し、雲塊の集団が広い範囲で系統的な発達をする、すなわちメソ α スケールで組織化される傾向があった。これに対して、B期間の雲クラスターはほとんどがMBCCで、対流の組織化はメソ β スケールにおいて卓越した。

このような雲クラスターの出現個数、および組織化のスケールの差異は、雲クラスターの発達した領域の環境と関係すると考えられる。

前線の位置は、B期間では前線が北緯30度付近で東西に伸びる形となっており、A, C期間では前線がやや南北に立った形で北緯25度付近まで南下していた(第8図)。これを雲クラスターの軌跡(第9図)と比較すると、A, C期間においてはほとんどの雲クラス



第11図 A (細線), B (太線), C (中太線) 各期間の雲クラスター周辺の環境の風速プロファイル。実線は東西風 (U, 東向きが正), 破線は南北風 (V, 北向きが正)。

ターの軌跡が前線の位置とほぼ重なる位置にあったのに対して、B期間では多くの雲クラスターが前線からはるか南に離れた位置にまとまって出現した。B期間では前線の位置が解析領域の北端に近かったが、解析領域より北には雲クラスターの出現はほとんどみられず、ap型の雲クラスターが多かったのは前線と解析領域との位置関係が原因ではない。第7図、第9図は、122–140°Eにおける梅雨前線に伴う雲クラスターの出現位置と個数の変動とを表していると考えて良い。

前線の位置の変化は亜熱帯高気圧のリッジの位置の変化と対応していた。第10図はヨーロッパ中期予報センター全球客観解析データから求めたA, B, C各期間の期間平均地上気圧分布である。亜熱帯高気圧から西に張り出したリッジの位置は、B期間ではA, C期間に比べて5°から10°北に移動していた。雲クラスターが多く出現した領域は、B期間ではリッジ上にあたり、A, C期間ではリッジの北側であった。A, C期間にMACCが多く出現した領域は前線付近、地上の低圧部から亜熱帯高気圧のリッジの北側にかけてであり、前線の影響を強く受けていたと考えられる。これに対して、B期間のMBCCの多くは前線のはるか南、リッジ上に出現し、亜熱帯高気圧の影響下にあった。

雲クラスター周辺の環境場として、名瀬 (A, C期間) と南大東島 (B期間) の高層データから (名瀬と

南大東島の位置は第9図に示した)、観測時に雲クラスター ($T_{BB} < -30^{\circ}\text{C}$) の雲域外にあったものの平均をとった。その結果、風速場には明確な差異が表れ、A, C期間に見られた強い西南西風がB期間では見られなかった (第11図)。鉛直シアーとしてもA, C期間の方が大きかった。ただしB期間では下層の南風成分がA, C期間よりやや強かった。一方、温位には期間による明瞭な差異は見られなかった。比湿は期間ごとの差異よりも短い周期の変動が大きく、やはり期間による差異ははっきりしなかった。A, C期間は、前線活動に伴う風速、鉛直シアーともに大きい環境がMACCの発生に寄与していたと考えられる。B期間では雲クラスターの出現域が前線から離れた亜熱帯高気圧の勢力下であり、MACCが発生しにくい環境場になっていたと考えられる。

梅雨前線帯の環境場は時期によって変化するが、中国大陸上では強い対流不安定と弱い傾圧性で、海上では東へ行くほど対流安定と強い傾圧性で特徴づけられる傾向がある。出現する雲の特徴もそれによる東西差や変化がある (加藤, 1985; Ninomiya *et al.*, 1988; Iwasaki and Takeda, 1993a; Hirasawa *et al.*, 1995ほか)。特に、日本付近は傾圧性や対流安定度の遷移領域であり、その変動が大きい (秋山・二宮, 1991)。Ninomiya (1989) は1979年の梅雨前線帯の雲分布を調査し、深い対流雲を含む組織化された雲システムは120–140°Eに限られ、弱い対流不安定とかなり強い傾圧性の共存下においてのみ現れるとしている。これは1日1回の衛星雲解析図をもとに梅雨前線帯全体の特徴として得られたものである。

本研究は約5日間毎の特徴というかなり短い期間の変動を述べたものであり、環境場の温位や比湿に明瞭な差異は見られなかった。しかし、卓越する雲クラスターがMACCであることには強い鉛直シアー及び地上の前線に近いことが対応していた。一方、卓越する雲クラスターがMBCCであることには弱い鉛直シアー及び亜熱帯高気圧の影響下にあることが対応していた。これらは対流活動と傾圧性の強弱との対応を表しており、雲クラスターをMACCまで組織化させるためには傾圧性のある環境場が重要と考えられる。また、卓越する雲クラスターはMACCとMBCCが4～5日間隔で入れ替わっていた (第7図) が、これは環境場の変化、特に、傾圧性の変動に対応した鉛直シアーの変化に対流活動が敏感に応答した結果と思われる。

B期間では台湾東岸におけるMBCCの出現が著し

く多かった(第9図)。これはA, C期間のこの領域での出現個数と比較して際立っている。台湾の風下には地形の影響による収束域が形成されることが知られており(赤枝・榊原, 1996), 伊藤ほか(1992)は台湾東岸にテーパリングクラウド(細長い三角形をした対流雲群)が多く発生することを示している。しかし, 常に積乱雲群が台湾東岸で発生するわけではない。MBCCの集中的な出現は, B期間が特に台湾東岸におけるMBCCの発生に有利な環境条件であったことを表す。Sakakibara *et al.* (1997)はGMSデータと12時間毎の客観解析データを用い, 125°Eに沿った南北時間断面により, 1992年の梅雨前線の雲帯とその周囲の環境について調べた。彼らによると, B期間には125°Eにおいて弱い850 hPa正温度域が25°N以南に現れていた。台湾の地形効果によるローカルな水平シアア, 収束場がB期間には強められ, それが台湾東岸のMBCCの発生に寄与していたことが考えられる。

6. まとめ

東シナ海～北西太平洋上の領域で, GMS赤外面像を用いて定義した74個の雲クラスターの出現特性を調査した。雲クラスターの平均寿命は12.4時間, 平均最大雲域面積(<-30°C)は 7.1×10^4 km²であった。これらの値は日本付近の雲クラスターとして過去に報告されている値に近く, 熱帯や北米大陸上で報告されている値より小さいものであった。

地上天気図上の前線付近に現れたもの(n型)と前線から離れて現れたもの(ap型)ではn型のほうが寿命, 面積共に大きな値を示した。寿命と最大雲域面積の間には正相関があり, n型雲クラスターはメソ α スケールのもの(MACC)とメソ β スケールのもの(MBCC)とに分かれた。ap型雲クラスターはほとんどがMBCCに属した。MACCは13時間以上の寿命を持つものと前線付近に出現するものが多く, 出現時刻は夜間から早朝にかけてやや多くなる傾向があった。MBCCは12時間以下の寿命を持つものが多く, 出現には日変化も前線との位置に対する依存性も明瞭ではなかった。

雲クラスターの出現状況は, 4～5日の間隔で変動した。6月5～9日と6月14～18日の雲クラスターは, 地上の前線近くに出現し, MACCに組織化される傾向があった。6月10～13日には地上の前線は雲クラスターの近くになく, 組織化はMBCCにおいて卓越した。雲クラスターの位置や組織化のスケールは4～5

日の間隔で変動し, それは解析領域周辺の気象循環の変動と関係していたと考えられる。梅雨フロント上や西部北太平洋モンスーン域では, 2～10日周期帯など様々な周期の擾乱が研究されている(村上・川村, 1996)。今後は, これらの擾乱と雲クラスターの出現特性との関係について研究を進めていく必要がある。

本報告では雲塊の発達, 衰弱の変化を基準に丸いもの以外も含めて雲クラスターを定義し, その出現特性, 及びそれに関係する局所的な環境条件について述べた。特に, 後者については, 個々の雲クラスターの組織化のスケールと雲クラスター近辺の風速及び鉛直シアアとの関係を指摘した。今後は, 様々な周期の擾乱の風速場, 水蒸気場への表れ方などにも注意し, 雲クラスターの発達と組織化のプロセスを大規模な擾乱活動の中で位置付けていきたい。これについては, 現在SSM/I(米国の極軌道衛星DMSPに搭載されたマイクロ波放射計)を用いた水蒸気場の解析を行っている。また, 個々の雲クラスターの構造については, ドップラーレーダー観測結果を中心にしたものを別に報告する予定である。

謝辞

気象庁の赤枝健治氏と榊原均室長はじめ気象研究所台風研究部第3研究室(現・第2研究室)の方々には本研究を進めるために有益な議論や資料をいただきました。この研究は海洋開発及地球科学技術調査研究促進費『雲が地球温暖化に与える影響に関する研究(JACCS)』および『アジアモンスーン機構に関する研究(JEXAM)』によるものです。

参考文献

- Akaeda, K., T. Yokoyama, A. Tabata, M. Ishihara and H. Sakakibara, 1991: Evolution of the kinematic structure within a meso- β -scale convective system in the growing and mature stages, *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2664-2676.
- 赤枝健治, 榊原均, 1996: テーパリングクラウドがもたらす大雨, 研究集会「豪雨システムの形成過程」報告書, 名古屋大学大気水圏科学研究所, 平成7年7月28日, 55-67.
- 秋山孝子, 二宮洸三, 1991: 梅雨前線帯の変動とメソスケール擾乱, メソスケール気象, 気象研究ノート, (172), 75-133.
- Bosart, L. F. and F. Sanders, 1981: The Johnstown Flood of July 1977: A long-lived convective sys-

- tem, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1616-1642.
- 長谷川隆司, 二宮洸三, 1984: 静止気象衛星データからみた長崎豪雨(1982年7月)の特徴, *天気*, **31**, 565-572.
- Hirasawa, N, K. Kato and T. Takeda, 1995: Abrupt change in the characteristics of the cloud zone in subtropical East Asia around the middle of May, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 221-239.
- 伊藤秀喜, 麻生正, 桜田正美, 1992: テーパリングクラウドの発生状況と発生時の雲パターン, *気象衛星センター技術報告*, (24), 1-8.
- 池山雅美, 武田喬男, 1989: 日本周辺海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, 1993a: Structure and behavior of mesoscale cloud clusters traveling over the Baiu-frontal zone. *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 733-747.
- 岩崎博之, 武田喬男, 1993b: 日本周辺の雲クラスターの出現特性, *天気*, **40**, 161-170.
- 加藤内蔵進, 1985: 極東における梅雨現象について一春から夏の梅雨各時期における中国大陸上や日本列島付近の梅雨前線帯の特徴の比較一, *天気*, **32**, 3-16.
- Kato, K., J. Matsumoto and H. Iwasaki, 1995: Diurnal variation of Cb-clusters over China and its relation to large-scale conditions in the summer of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 1219-1234.
- 村上多喜雄, 川村隆一, 1996: 擾乱と平均モンスーン循環との順圧相互作用, *天気*, **43**, 19-27.
- Laing, A. G. and J. M. Fritsch, 1993a: Mesoscale convective complexes over the Indian monsoon region, *J. Climate*, **6**, 911-919.
- Laing, A. G. and J. M. Fritsch, 1993b: Mesoscale convective complexes in Africa, *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2254-2263.
- Laing, A. G. and J. M. Fritsch, 1996: The global properties and environment of mesoscale convective complexes, *Proc., 12th International Conf. on Clouds and Precipitation*, August 19-23, 1996, Zurich, Switzerland, 1277-1280.
- Leary, C. A. and R. A. Houze, Jr., 1979: The structure and evolution of convection in a tropical cloud cluster, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 437-457.
- Maddox, R. A., 1980: Mesoscale convective complexes, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**, 1374-1387.
- Maddox, R. A., D. M. Rodgers and K. W. Howard, 1982: Mesoscale convective complexes over the United States during 1981-Annual summary, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1501-1514.
- Martin, D. W. and A. J. Schreiner, 1981: Characteristics of West African and East Atlantic cloud clusters: A survey from GATE, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1671-1688.
- Miller, D. and J. M. Fritsch, 1991: Mesoscale convective complexes in the western Pacific region, *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2978-2992.
- Mori, K., 1992: Internal structure and time evolution of a cloud cluster in the western tropical Pacific region observed by Keifu Maru, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 1111-1123.
- Ninomiya, K., T. Akiyama and M. Ikawa, 1988: Evolution and fine structure of a long-lived meso- α -scale convective system in Baiu frontal zone, Part I: Evolution and meso- β -scale characteristics, *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 331-350.
- Ninomiya, K., 1989: Cloud distribution over East Asia during Baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 639-658.
- Rodgers, D. M., K. W. Howard and E. C. Johnston, 1983: Mesoscale convective complexes over the United States during 1982, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2363-2369.
- Rodgers, D. M., M. J. Magnano and J. H. Arns, 1985: Mesoscale convective complexes over the United States during 1983, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 888-901.
- Sakakibara, H, H. Okamura, K. Mori, Y. Shimazu, Y. Tanaka and K. Bessho, 1997: Observation of structure of convective clouds in large-scale cloud systems, Japanese experiment on Asian Monsoon (JEXAM): Annual report (April 1996-March 1997), Research and Development Bureau, STA, Japan, I-1-(2).
- Satoh, S., A. Kinoshita and H. Uyeda, 1995: Doppler radar observations on the structure and characteristics of tropical clouds during TOGA-COARE IOP in Manus, Papua New Guinea: Dual-Doppler analysis of mesoscale convective systems, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 443-459.
- Takeda, T. and H. Iwasaki, 1987: Some characteristics of meso-scale cloud clusters observed in East Asia between March and October 1980, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 507-513.
- Velasco, I. and J. M. Fritsch, 1987: Mesoscale convective complexes in the Americas, *J. Geophys. Res.*, **92**, 9591-9613.

Characteristics of Cloud Clusters Appeared around the Baiu
Front : Prevailing Scale of Organized Convection and
Environmental Condition.

Sento Nakai* and Ryuichi Kawamura**

* (*Corresponding author*) *National Research Institute for Earth Science and
Disaster Prevention (NIED), Tsukuba 305, Japan*

** *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED)*

(Received 13 November 1997 ; Accepted 28 August 1998)
