

T_{BB} データとレーダーデータから見た Cb クラスターの ライフサイクル

The representation of Cb Cluster's life cycle using T_{BB} data and radar data.

桜田 正美 *
Masami Sakurada

Abstract

We attempted to describe roughly life stage of a Cb cluster by using some indices derived from GMS T_{BB} data. To extract objectively Cb cluster areas, we set following five criteria ; ① temperature of the area is composed of -30°C or colder, ② at the boundary of the cloud area, ∇T is greater than $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$, ③ the area is greater than $1,250\text{km}^2$, ④ cluster tracking is possible on hourly images, ⑤ cluster does not separate or merge. T_{BB} indices are examined comparing with coincident radar data within extracted area through life cycle. Result shows that the areal increment/decrement of $T_{BB} \leq -50^{\circ}\text{C}$ is the best index of developing/weakening of a Cb cluster. And difference between the highest and the lowest temperature is also a good index of Cb cluster's life stage.

Relationships between maximum areal size and life time, and between the size and coldest temperature reached during life cycle is also investigated. Cb clusters smaller than $10,000\text{km}^2$ have a short life time of about 3 hours, and coldest temperatures do not reach the tropopause temperature. Cb clusters with size of $10,000-30,000\text{km}^2$ and greater than $30,000\text{km}^2$ have life time of 5 to 7 hours and 7 to 10 hours respectively. The coldest temperatures reach the tropopause temperature when Cb clusters have sizes greater than $10,000\text{km}^2$.

1. はじめに

衛星の雲解析から得られる情報の中で、最も重要な一つは発達した積乱雲群 (Cb クラスター) に関する情報である。Cb クラスターの発生や移動はもちろん重要な情報であるが、ライフサイクルのどの段階にあるかを知ることも重要である。これまでは主に画像上で雲頂の輝度や、雲域の形状から定性的に発達や衰弱が推測されてきた。しかし、このような定性的な判断には必ずしも明確な基準がなく、また十分な検証も行われていない。日本付近で見られる Cb クラスターは一般的に数時間から10時間くらいの寿命であり、GMS の観測が3時間間隔であった時代にはライフサイクルを的確に捉えることは無理であった。現在は GMS は1時間ごとの観測を行っており、また同じ1時間間隔でデジタルレーダーの観測データが得られるので、GMS の T_{BB} (赤外輝度温度) とレーダーエコーを同じ時間

分解能で比較することが可能になった。

この調査では、まず GMS の T_{BB} データから Cb クラスターに対応する領域を客観的に抽出し、次いで T_{BB} から求めたパラメータとレーダーエコーを比較することにより、Cb クラスターの発達・衰弱を客観的に判断することを試みた。また、Cb クラスターの水平スケールによるライフサイクルの違いについても調査した。

2. 調査データ

衛星データとレーダーエコーを定量的に比較するために、毎時の T_{BB} と合成されたデジタルレーダーを使用した。そのデータの詳細及び、今回調査対象とした Cb クラスターは次の通りである。

(1) T_{BB} 格子点値 (赤外輝度温度)

ランベルト変換されているレーダーエコーと一対一の対応を取るために位置座標はランベルト変換したデ

* 気象衛星センター解析課

ータを使用した。範囲は32.4N 123.6Eから39.0N 152.4Eで、格子点間隔5 km、250×480の格子を設定し、この中のレーダー探知範囲に限定した。T_{BB}値は格子点の位置座標に最も近い画素の値を採用した。

(2) レーダーエコー

エコー強度は0～15レベルで使用した。合成基準は「レーダーエコー合成図」と同じである。

(3) 対象としたCbクラスター

① 1988年7月13日18UTC～7月16日06UTC

総観場では梅雨前線が朝鮮半島南部から中国、四国地方に停滞し、前線上で活発なCbクラスターが発生して山陰地方に豪雨をもたらした。

② 1988年8月17日

日本海西部に弱い熱帯低気圧がありこの周辺でCbクラスターが多数発生した。

③ 1989年7月22日～8月19日

7月の事例は太平洋高気圧におおわれていたが上空500mbでは-6°C以下の寒気が入り込み対流不安定により日本全土でCbが多数発生した時期である。8月の事例は熱的要因によるCb及び海上で発生したCbを対象とした。主にこの時期は孤立した小さなCbを対象としている。

3. T_{BB}分布の変化で見たCbクラスターのライフサイクル

一般的に雲画像から観測されるCbクラスターのライフサイクルは、雲頂温度の変化や雲域の増減などを判断して定性的に見ている場合が多い。また、雲画像は平面的に上から見ており、立体構造は観察されない。T_{BB}値を適当な温度で区切ればその面積の変化や雲頂温度の変化を客観的に知ることができ、また、T_{BB}断面図を作成すると立体的な構造が良くわかる。

ライフサイクルを見る場合、構造が複雑なマルチセルタイプのCbクラスターより孤立したシングルセルタイプのCbの方が簡単である。Fig.1は1989年7月22日四国高松付近で発生したシングルセルタイプのCbの例である。このCbは4時間持続し、レーダーから判断すると08UTCが最盛期であった。図の(a)はT_{BB}の-30°C以下の領域と-50°C以下の領域にハッチを付けて時間変化を見たもので、(b)、(c)には時じ時間の直交する2方向のT_{BB}断面の変化を示した。この例でCbクラスターのT_{BB}分布及びT_{BB}断面は次のような変化を示した。

(1) T_{BB}分布の時間変化

T_{BB}分布図を見ると-30°C以下の領域は、07～09 UTCまではほぼ雲域全体を占めているが、衰弱した時期(10UTC)では-30°Cより暖かい温度領域が多く現れた。一方、-50°C以下の温度領域は08UTCで面積が最大となり、09UTCでは減少し、さらに衰弱が進むにつれてこの領域がなくなっているのがわかる。

(2) 断面の時間変化

T_{BB}断面図の時間変化を見ると、発生時の07UTCでは雲頂が高く直径が短い細く立った形で雲頂は鋭い山形をしている。08UTCには雲頂高度は07UTCと同程度に高いが雲頂はやや平らになり始め、直径が07UTCより大きくなっている。これは、上層の発散によるアンビルCiの広がりを意味している。衰弱時(09、10UTC)では雲頂高度が下がり雲頂の形が崩れている。これはアンビルCiがさらに広がって薄くなり、中心の低温核以外は地表の放射の一部が透過してT_{BB}が高く観測されるのが原因と考えられる。

このように、雲画像上で定性的に見ていたCbクラスターの発達・衰弱が、あるしきい値のT_{BB}の面積の変化や雲頂の変化から客観的に判断できると考えられる。そこで次にはこのような変化を表現するT_{BB}のパラメータを用いて発達・衰弱を客観的に表現することを試みる。

4. Cbクラスターの抽出

T_{BB}の面積などをパラメータとして使うためには、Cbクラスターの領域を客観的に決める必要がある。そこでCbクラスターをある条件のもとで自動抽出することを考えた。

4.1 抽出条件

Cbクラスターは赤外画像上では白く輝いた低温域として見られ、きわだった縁を持つ雲域として認められる。この温度の基準としては、例えばMaddox(1980)は米大陸上のMCC(Mesoscale Convective Complexes)の判定基準として-32°C以下の低温域とすることを提案している。また、元木(1983)はティパリングクラウドに関する調査で、ティパリングクラウドの領域は-30°C以下の温度に対応するとして調査をしている。このように活発な対流雲の領域の判定基準値として-30°C以下としている例が多い。境界を決める条件としては、Cbクラスターの雲域の周囲で等温線が密で温度傾度が大きい特徴を利用する。長谷川、

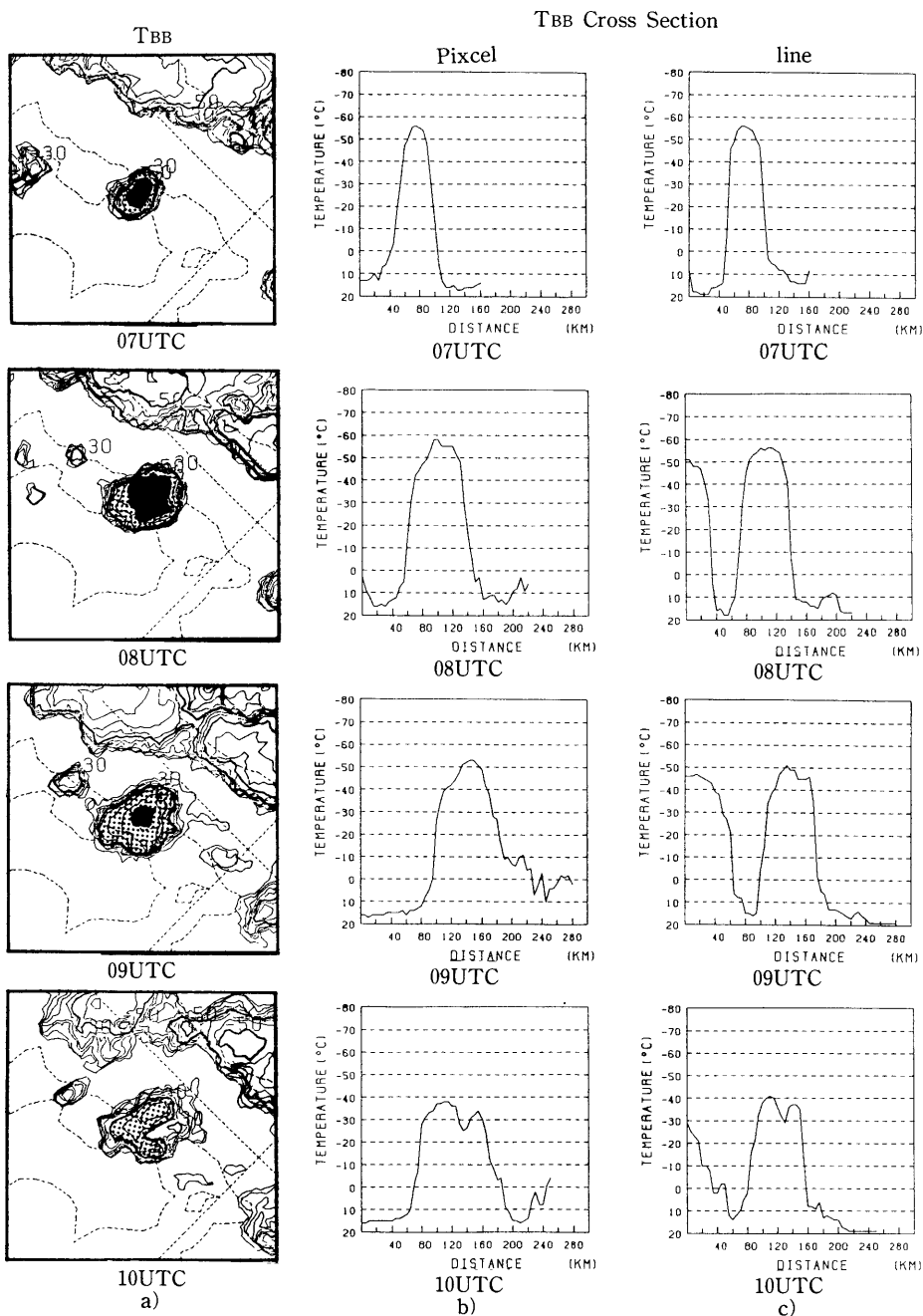


Fig.1 Temporal variation of TBB horizontal distribution (a) and cross section (b,c) of a Cb-cluster. The Cb-cluster was observed on July 22, 1989 at sikoku district. In (a) hatched area and blacked area represent areas below -30°C and -50°C respectively. (b) and (c) shows TBB variation both crossing the gravity center along the pixel and the line respectively.

二宮(1984)の長崎豪雨の調査ではCbクラスターの風上側の温度傾度の大きい領域は豪雨域に良く対応することを示している。また、単に -30°C 以下の領域をあてはめると、Ci域、特に厚いCi域を数多く拾うことになるので温度傾度の大きい領域を探す方が効率的である。衛星からCbクラスターの特徴を抽出するためにはある程度の大きさがないとTBBからの特徴がつかみにくい。従って、次の(1)~(3)を客観的抽出条件とした。

- (1) -30°C 以下の格子のみで構成されている。
- (2) 雲域の境界で温度傾度が $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ より大きい。
- (3) 面積が 1250km^2 (50格子) 以上である。

Cbクラスターを発達から衰弱にかけて追跡する必要があること、できるだけ単純な例を調べた方が特徴がつかみやすいことから雲域の分裂、併合がないことを条件とした。このため次の二つの条件を加えた。

- (4) 毎時の画像で追跡が可能である。
 - (5) 雲域の分裂、併合がない。
- (4)、(5)の判断は自動化が難しく、人間の判断が必要である。

4. 2 抽出方法

4. 1項の条件を満たすCbクラスターに対応する雲域を抽出するために、肆矢、鈴木(1988)と同様に次の手法を用いた。

第1ステップ：低温なTBBで構成されている格子点を探し、その内最も冷たい温度を T_0 とする。 T_0 で囲まれる面積 S_0 を設定する。

第2ステップ：温度傾度の算出

T_0 の等温線で囲まれる面積 S_0 と T_1 ($T_1 > T_0$)の等温線で囲まれる面積 S_1 から、温度傾度 dT/dr を求める。

dT/dr は、抽出した雲域の等温線が円形で温度傾度は方向によらないと仮定して、次のように計算する。

ここで、 $S = \pi r^2$

$$dr = \frac{ds}{2\pi r} = \frac{ds}{2\sqrt{\pi S}}$$

$$\text{温度傾度は } \frac{dT}{dr} = 2\sqrt{\pi S} \frac{dT}{dS}$$

従って、

$$\frac{dT}{dr} = 2\sqrt{\pi S_0} \frac{\Delta T}{\Delta S} = 2\sqrt{\pi S_0} \frac{(T_1 - T_0)}{(S_1 - S_0)}$$

$T_1 = T_0 + 1^{\circ}\text{C}$ として dT/dr を求める。

第3ステップ：「境界温度」の決定

Cbクラスターに対応する境界を決める温度傾度のしきい値は $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ とした。この値は画像上で認識されるCbとこの方法で切り出す雲域が合致するよう経験的に決めた。 $T_0 = T_1$ として温度を 1°C ずつ順次大きくし、 dT/dr がこのしきい値より小さくなったときの温度、すなわち切り出された領域の最高温度を「境界温度」とする。

第4ステップ：抽出の対象とする雲域の決定

「境界温度」で囲まれる雲域を抽出する対象の雲域とする。ただし、「境界温度」が -30°C より高い場合は、 -30°C の等温線で囲まれる雲域を抽出対象とする。

第5ステップ：「抽出雲域」の決定

ある程度組織化したCbクラスターを解析対象とするため、面積 1250km^2 (50格子) 以上の雲域のみを対象とし、これを「抽出雲域」とする。

レーダー探知領域内を抽出対象範囲とし、第1ステップから第5ステップまで繰り返す。以上まとめた処理フローをFig.2に示す。

「抽出雲域」を取り出す際には、人間の判断によって同一の雲域であるかどうかをチェックする。この方法を毎時の画像に適用して一つの雲域の発生から消滅までの「抽出雲域」を得る。

4. 3 抽出雲域の例

TBB分布からCbクラスターの領域を抽出した例を次に示す。

Photo.1は1989年7月12日12UTCのIR画像である。山口県付近に輝度の高いCbクラスターがある。また、岡山県付近、対馬の東海上にはCg(注参照)程度の雲域がある。これをTBBの等値線図(Fig.3)で見ると、山口県付近の輝度の高い領域は -50°C 以下の低温域で構成されている。その他は -50°C 以下の温度を観測していない。このTBB分布からCbクラスターの領域を抽出したのがFig.4である。この中にはレーダーエコーも合わせて表示してある。Cbクラスターに対応する領域(図上の番号6)とCg(図上の番号1、2、8)の領域が抽出されており、レーダーエコーも良い対応を示す。しかし、九州及び四国の南海上の塊上のCi域(注)気象衛星センターでは積雲(Cu: ☁)と羽毛状巻雲を伴った積乱雲(Cb: ☉)の間の段階の「発達した積雲又は無毛状積乱雲」をCg(☉)と分類している。

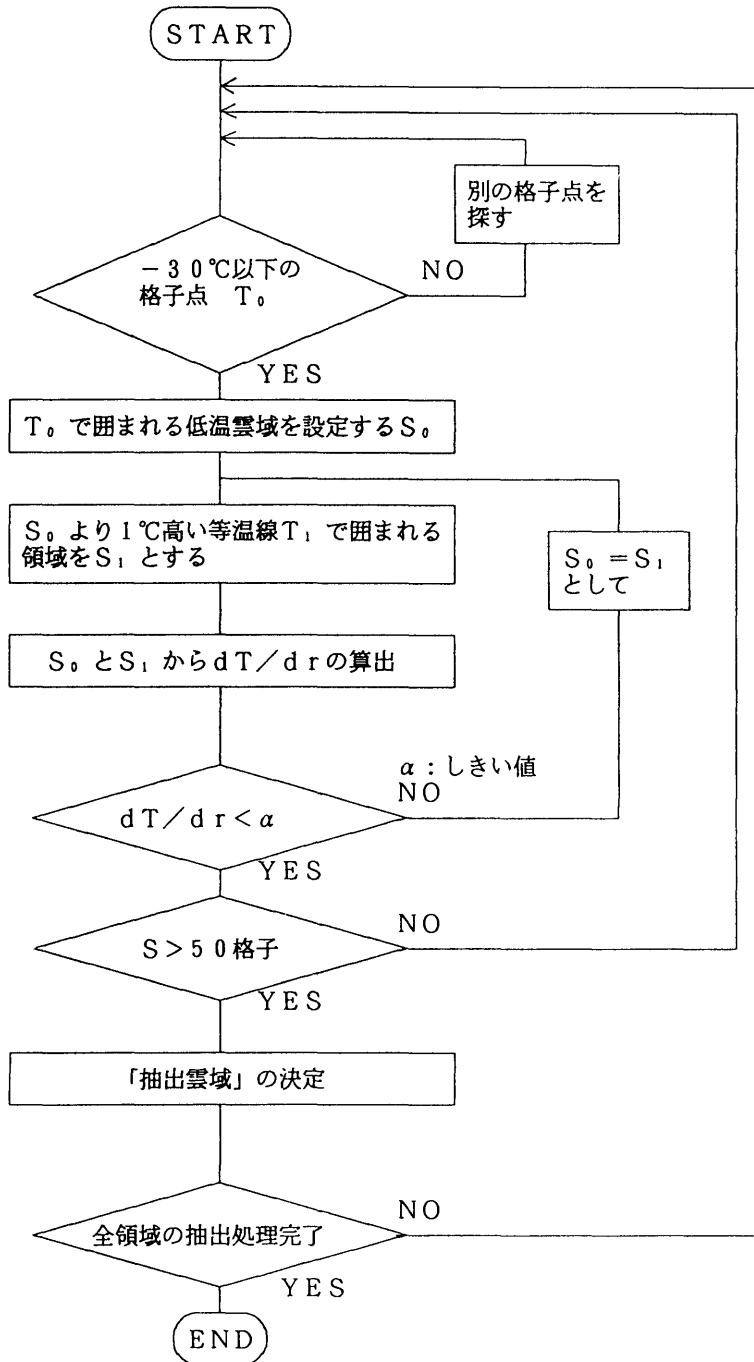


Fig.2 Schematic flow of subjective extraction of Cb-clusters from TBB field.

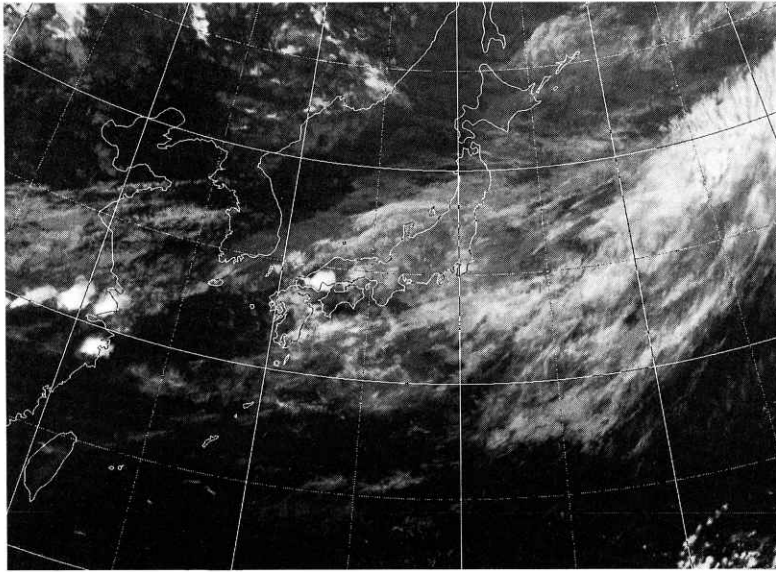


Photo. 1 GMS infrared image at 12UTC on July 12, 1989.

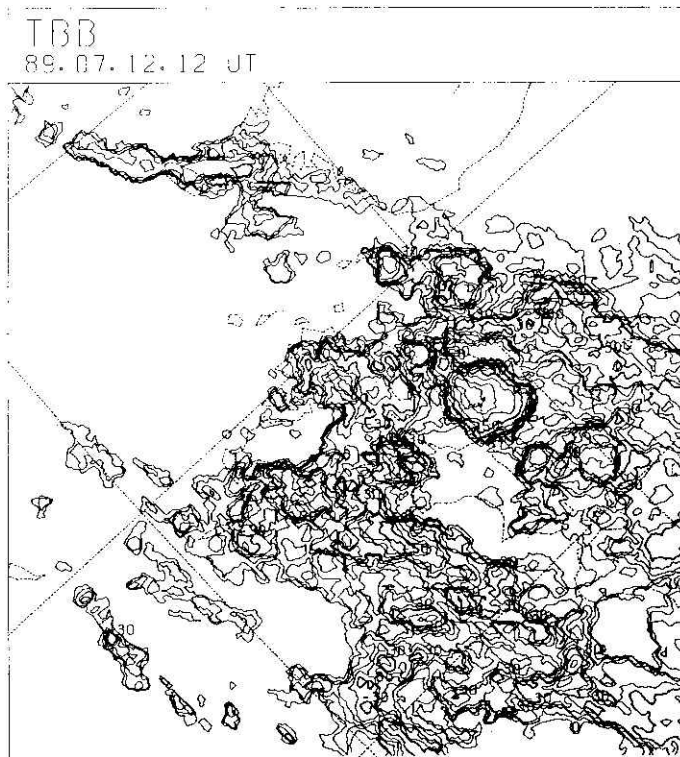


Fig.3 TBB contour map at 12UTC on July 12, 1989

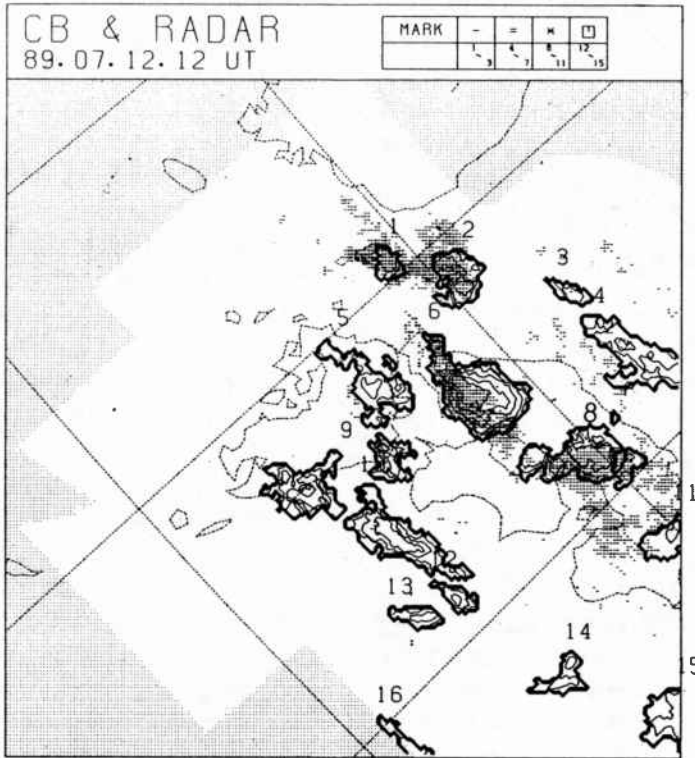


Fig.4 Automatically extracted Cb-cluster areas (solid lines) and composited radar echo (hatched pattern) chart at 12UTC on July 12, 1989.
 Symbols of hatched pattern denote : -below 3mm/h. =4 to 15mm/h. * 16 to 63 mm/h.
 □ over 64mm/h.

も合わせて抽出している。従って、この方法で抽出した雲域がCbかCiかの最終的な判断は人間が行う必要がある。

5. TBBのパラメータから見たCbクラスターの発達・衰弱の特徴

発達・衰弱を判断するためには基準となる値が必要である。ここでは抽出した雲域に含まれるレーダーエコーの格子数の増減を発達・衰弱の判断基準としてライフサイクルを考察する。即ち、レーダーエコーの格子数が最も多いときを最盛期とする。

5. 1 TBBのパラメータとレーダーエコーのパラメータ

自動抽出したCbクラスターのTBB分布とレーダーエコーを毎時の画像で定量的に比較するためにレー

ダーエコーとTBBについてパラメータを設定した。TBBのパラメータはCbクラスターの面積と雲頂の状態を表すパラメータである。

(1) TBBのパラメータ

- N C1 : 「抽出雲域」内の格子総数
- N C2 : 「抽出雲域」内の -50°C 以下の格子数
- T LO : 「抽出雲域」内の最低温度
- T HI : 「境界温度」
- T DV : 「抽出雲域」内の温度分散

(2) レーダーエコーのパラメータ

- N E1 : 「抽出雲域」内のレーダーエコーの格子総数
- N E2 : 「抽出雲域」内の4 m/hr以上の強度を持つレーダーエコーの格子数

N C2の温度を -50°C にした理由は、基礎調査の段階で -50°C の温度は発生から衰弱までの各段階に共通し

て現れる温度であり、 -60°C 、 -70°C の温度はある時間では現れるが、ライフサイクルをとうして常には現れないことが分かったことによる。Maddox (1980) も MCC 中の対流活動の強い部分は -52°C 以下の低温域と対応することを示している。ただし、冬季など圏界面が低く Cb クラスターの雲頂が低い場合はもっと暖かい温度にする必要がある。

5. 2 パラメータの時間変化

対象とした Cb クラスターは 7 月 8 日に発生したものであり、前線上に発生した水平スケールの大きな Cb クラスターと不安定による比較的的水平スケールの小さい孤立した Cb とタイプの違う Cb クラスターを含んでいる。以下に、このタイプの違う Cb クラスターのパラメータの時間変化の例を示す。

(1) 前線上に発生した Cb クラスター

① 隠岐島付近で発生した Cb クラスター

(1988年7月14日10UTC-16UTC)

隠岐島付近で発生した Cb クラスターが発達しながら南東し、大阪付近で衰弱した。この時は梅雨前線が朝鮮半島南部から紀伊半島を通り日本の南海上まで伸びており、Cb クラスターはこの前線上で発生している。この時の Cb クラスターの時間変化を調べるために雲画像と抽出雲域とを比較したのが Fig.5 である。雲画像から 7 月 14 日 09 UTC に発生した Cb クラスターは、12 UTC で最も発達して 16 UTC では消滅した。これに対して、「抽出雲域」は 10 UTC で表れその後面積が増加し 13 UTC で最大になり 14 UTC 以降減少して 16 UTC には消滅した。

Cb クラスターの各パラメータの時間変化図 (Fig.6) では、レーダーエコーの格子総数 (N_{E1}) は、13 UTC で最大になり 14 UTC から減少している。4mm/h 以上の強度を持つレーダーエコー数 (N_{E2}) も同じである。この例では、「抽出雲域」内の格子総数 (N_{C1})、「抽出雲域」内の -50°C 以下の格子数 (N_{C2})とも N_{E1} 、 N_{E2} と同じ時間変化をしている。特に N_{E1} と N_{C1} 、 N_{E2} と N_{C2} の時間変化が一致した傾向を示している。

「境界温度」(T_{HI})は N_{E1} のピーク時 (13 UTC) まで -30°C から -35°C のほぼ一定温度を示していたが、 N_{E1} の減少時には -50°C まで温度が急速に低下している。「抽出雲域」内の最低温度 (T_{LO}) は発現時にライフサイクルの中で最低を観測しており、そ

の後 N_{E1} 最大を境に上昇している。 T_{HI} と T_{LO} の温度差は N_{E1} の減少時に急速に小さくなる。「抽出雲域」の温度分散 (T_{DV}) は N_{E1} の増加時には高い値を示し、 N_{E1} 、 N_{C1} の減少時には急速に減少している。

② 福岡県で発生した Cb クラスター

(1988年7月15日07UTC-16UTC)

福岡県で発生した Cb クラスターが発達しながら雲域を拡大し、南東進して四国沖で衰弱した。梅雨前線が九州北部を通り東海沖に達しており、この Cb クラスターはこの前線近傍で発生している。

各パラメータの時間変化図 (Fig.7) では、レーダーエコーのパラメータ N_{E1} は 11 UTC で最大になり 13 UTC まで減少、14 UTC ではほぼ横ばいになりその後減少している。一方、 N_{E2} は 11 UTC で最大になりその後一様に減少している。これに対して、 T_{BB} のパラメータ N_{C1} の変化は 12 UTC で第 1 のピークを持ち、その後減少して 14 UTC で第 2 のピークを持っている。 N_{C2} は 12 UTC でピークを持ちその後減少している。 N_{C1} の第 2 のピークで N_{E1} はほぼ横ばいの変化であり、 N_{C1} ほどの大きな増加を示していない。雲画像から判断すると、14 UTC の N_{C1} のピークは C_i 域の拡大を反映したもので、必ずしも雲域の再発達を示していない。この例では、 N_{C1} は N_{E1} の最大までは対応が良いが、 N_{E1} の減少期にはうまく対応しない。 N_{C2} の時間変化はピークが N_{E1} よりも 1 時間後に現れること、及び 14 UTC の N_{E1} の変化を除けば N_{C2} と N_{E1} 、 N_{E2} との対応が良く表れている。

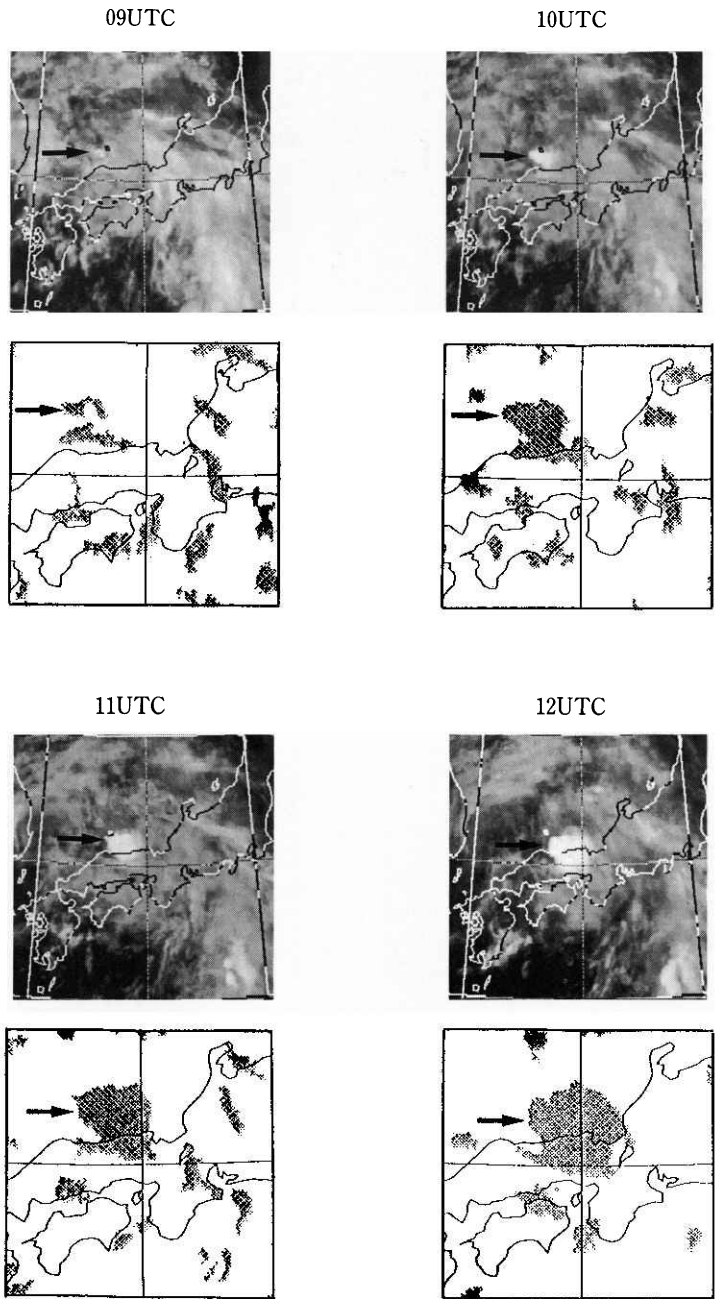
T_{HI} は N_{E1} のピーク時に最も上昇しておりその後低下し第 2 のピークで再び上昇している。 T_{LO} は N_{E1} 最大の 1 時間前に観測され、その後上昇している。 T_{HI} と T_{LO} の温度差は N_{E1} の減少期に急速に小さくなるが、この例では N_{C1} の第 2 のピークに大きくなっている。 T_{DV} は N_{E1} の増加時には増加し、 N_{E1} の最大時に最大を示し対応が良い。 N_{C1} の第 2 のピーク時には再び大きな値を示すが、その後急激に減少している。

(2) 孤立した比較的小きな Cb クラスター

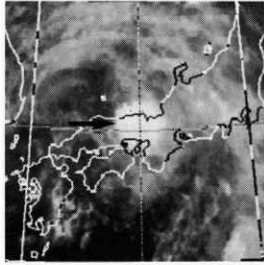
(1989年7月22日07UTC-10UTC)

四国高松付近で発生した Cb の特徴パラメータの時間変化 (Fig.8) を示す。地上天気図では太平洋高気圧に覆われていたが、500mb の天気図では -6°C の寒気が日本上空に入り込んでいることから、成層不安定の

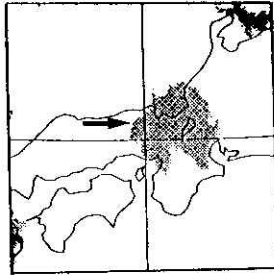
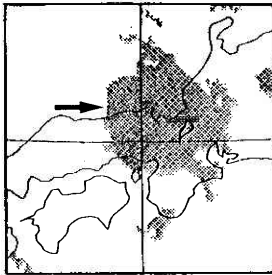
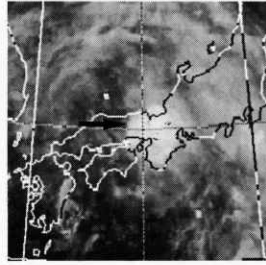
Fig.5 An example of time series of automatically extracted Cb-clusters.
Arrows both on the IR image (upper) and extracted Cb-clusters chart (lower) indicate corresponding areas.



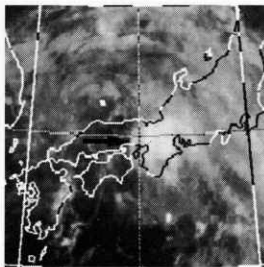
13UTC



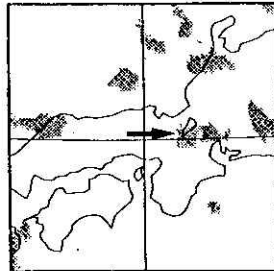
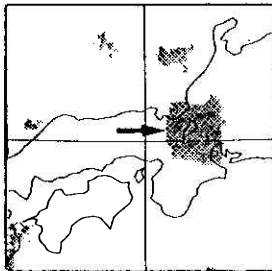
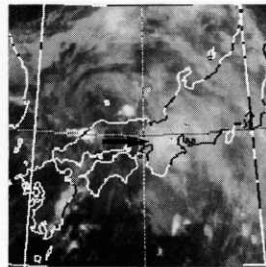
14UTC



15UTC



16UTC



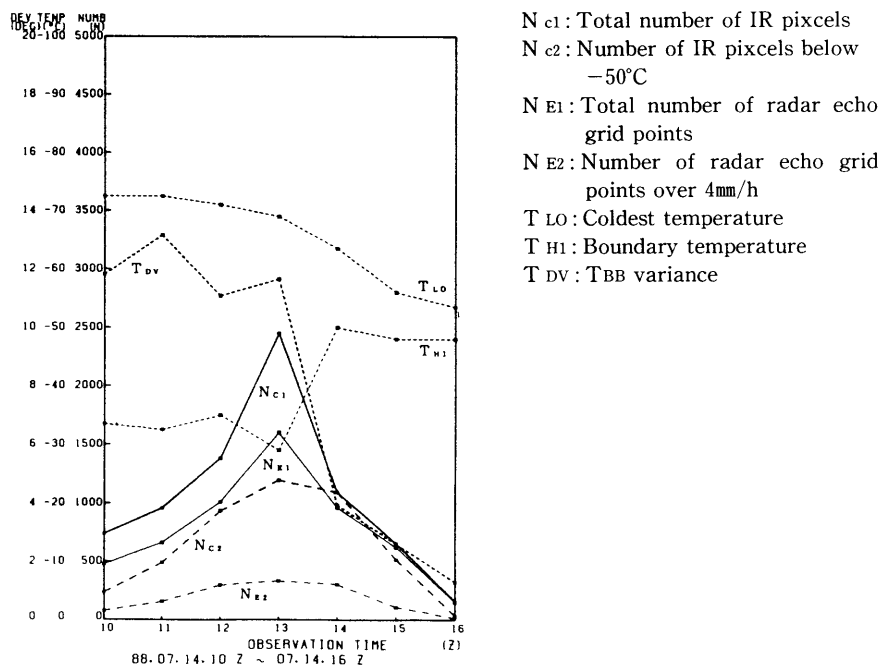


Fig.6 Time sequence of TBB-parameters and radar data within an extracted Cb-cluster through its life cycle. The Cb-cluster was observed on July 14, 1988 at western Japan.

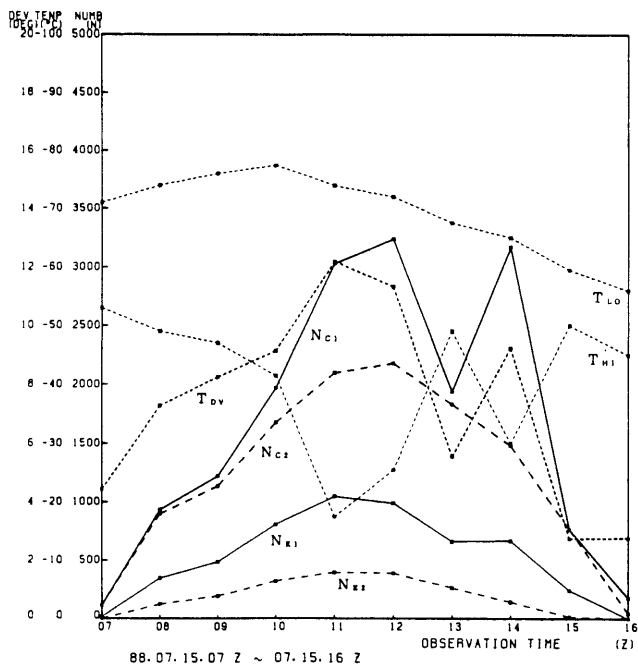


Fig.7 Same as Fig.6 expt for Cb-cluster observed on July 15, 1988 at Hukuoka prefecture.

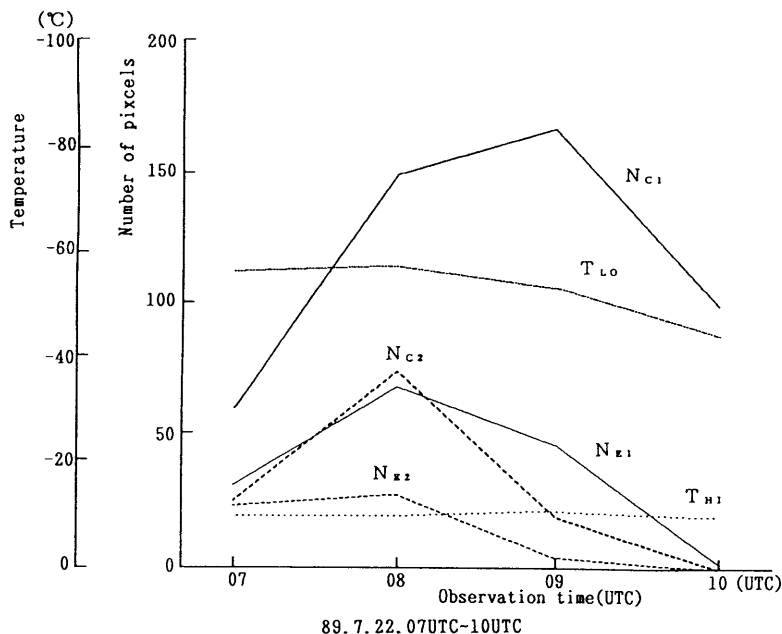


Fig.8 Same as Fig.6 except for Cb-cluster overved on July 22, 1989 at Shikoku district.

よって発生 Cb であると判断される。この時の特徴パラメータの時間変化は N_{E1} 、 N_{E2} とも08UTCで最大となり09UTCで減少に転じている。また、 N_{C2} の変化はやはり08UTCで最大になり09UTC、10UTCと減少している。これから N_{C2} は N_{E1} 、 N_{E2} との対応が良いが、 N_{C1} とレーダーエコーの対応は良くない。

T_{LO} は N_{E1} の最大時に最低温度を観測し、その後上昇している。 T_{HI} は発生時から変化なく一定の温度を示している。これは孤立した Cb の場合、温度傾度の大きい場所は常に雲域の境界と一致しており、雲域の最高温度そのものが「境界温度」として観測されるためである。

(3) 特徴のまとめ

前線上に発生した水平スケールの大きな Cb クラスタと水平スケールの小さい孤立した Cb の違うタイプの Cb クラスタで3例を示したが、その他の例でもほぼ同様の特徴が見られた。これらの特徴をまとめると次の通りである。

① 前線上に発生した Cb クラスタの場合、 N_{C1} は C_i に影響されるため、レーダーエコー (N_{E1}) の減少時にはうまく対応しないことがある。これに対して N_{C2} の増減は C_i 域の変化に影響されず、レー

ダーエコーの時間変化と良く一致する。また、比較的小さな孤立した Cb でも N_{C2} はレーダーエコーと良く対応した時間変化を示す。従って N_{C2} ($T_{BB} < -50^{\circ}C$ の面積)の変化は Cb クラスタの発達・衰弱を示す良い指標となる。

② ライフサイクルの最低温度 (T_{LO}) の極小値はレーダーエコーが最大になる時刻か、それ以前に現れ、レーダーエコーが減少するにつれて上昇する。

③ 前線上に発生した水平スケールの大きなクラスタでは最低温度 (T_{LO}) と「境界温度」(T_{HI}) の差が衰弱すると急速に小さくなる。これは最低温度の上昇と「境界温度」の低温側への移動のために起こる。しかし、孤立した小さなクラスタではこの特徴が現れないことがある。

④ 温度分散 (T_{DV}) は発達期 (レーダーエコー数が最大に達するまで) に大きく、衰弱するに従って小さくなる。または、発達期に増加し衰弱するに従って小さくなる。

これらの特徴は、Fig.1に示した T_{BB} の分布と断面図に見られる時間変化やこれまで定性的に言われてきた Cb クラスタの発達・衰弱の様相と合致しており、

TBBのパラメータでCbクラスターのライフサイクルがある程度表現することが可能である。

6. Cb クラスターの水平スケールによる特徴

一般的に前線上やその近傍に発生するCbクラスターは総観規模の場に影響を受け、水平スケールが大きい。一方孤立して発生するCbは熱雷などのように日射による場合、また上空に寒気が入り対流不安定により発生する場合等が考えられ水平スケールは小さい。

このように水平スケールの異なるCbクラスターをTBBやレーダーエコーのパラメータでライフサイクルの違いを見つめる。ここでは、自動抽出したCbクラスターの雲域について発生から消滅までの特徴を見る。ただし、抽出条件で雲域の大きさを1250km²以上としているため発生初期のごく早い段階のCbは除かれる。

6. 1 Cb クラスターの分類

今回抽出したCbクラスターをライフタイムを通した最大面積(Smax)に注目して、次の3つに分類した。

S : Smax < 10,000km²

M : 10,000km² ≤ Smax < 30,000km²

L : Smax ≥ 30,000km²

その結果Table.1のように分けられた。Sの事例8例の内6例は陸上で日射によって発生したCbで、2例は夜間から早朝に海上で発生したCbである。Mの3例は同じ日に発生したCbクラスターで日本海西部に弱い熱帯低気圧があって、その周辺と南側の四国の陸上で発生した。Lの3例はいずれも梅雨前線上に発生したCbクラスターである。

6. 2 レーダーで見たCbクラスターのライフタイム

Table.1のレーダーエコーの比率のAは抽出した雲域全体に含まれるレーダーエコーの比率で、Bはレーダーエコーの総数に対する4mm/hの強度を持つレーダーエコーの比率である。

Sのグループでは雲域が抽出されてから3時間程度まではレーダーエコーが含まれるが、それ以降はレーダーエコーの含まれる比率が下がる傾向にある。強いレーダーエコーの含まれる比率も抽出直後の1、2時間では比率が大きいがそれ以降は急速に低下する。従って、Sグループのライフタイムは雲域が抽出されてから約3時間と見ることが出来る。

Mのグループでは雲域が抽出されてから5時間程度まではレーダーエコーの含まれる比率が30%以上あるがそれ以降減少する。従って、ライフタイムは5～7時間程度と見る。また、強いレーダーエコーの含まれる比率は3時間くらいまでは30%以上(1例はさらに長い)を保っている。

Lのグループのライフタイムは抽出後7～10時間と見ることが出来る。また、強いレーダーエコーの含まれる比率も他のグループに比べて長い。

6. 3 水平スケールと雲域の最低温度

Table.1の中の最低温度は抽出した雲域がライフサイクルの中で到達した最も低い雲頂温度である。これを水平スケール別に見ると、Sのグループでは-50.0°C～-62.5°Cの間にあり平均は-56.9°Cである。一方、Mのグループは-66.0°C～-70.0°Cで平均は-67.8°C、Lのグループは-72.5°C～-78.0°Cで平均は-76.0°Cである。

抽出した雲域の最大面積と最低温度の関係はFig.9のようになった。この図から明らかに水平スケールと到達できる最低温度には強い関係がある事がわかる。これについて次のように考えることが出来る。到達できる最低温度はCbクラスターの中心部の上昇流の強弱に支配されると考えられるが、水平スケールが大きいほど中心部ではエントレインメントの効果が小さく、効率的に高い高度まで雲頂を伸ばすことができる。これに対して小さいスケールのCbクラスターはエントレインメントの効果が中心部まで及びやすく十分に成長できない。このため水平スケールによって到達できる雲頂高度が制限されるためであると考えられる。なお、抽出した雲域に最も近い高層観測のエマグラムで雲頂温度と圏界面温度を比較した結果、M、Lのグループでは雲頂は圏界面まで達していたが、Sのグループでは圏界面まで達せず、その下の安定層で雲頂が押しえられていた。

7. まとめと問題点

Cbクラスターの発達・衰弱を表すために、TBB分布からCbクラスターに対応する領域を客観的に抽出し、その領域に含まれるTBB分布とレーダーデータからパラメータを求めて比較し、その時間変化を調査した。また、抽出したCbクラスターの水平スケールによる雲頂温度と面積の比較及びそのライフサイクルの中のレーダーエコーの変化を調べた。その結果は以下の

Table 1 Summary of maximum areal sizes, coldest temperatures and involved radar echo percentages of extracted Cb cluster during the life cycle.
 S : Smaller Cb clustre group, M : Medium Cb clustre group, L : Greater Cb cluster group.

A and B of radar echoes percentage mean that ;

A : percentage of radar echoes to extracted Cb-cluster area.

B : percentage of radar echoes of which intensity over 4mm/h to whole echoes.

Type	No	Date	Time (UTC)	Maximum area (km ²)	Coldest temp(°C)	Tropopause temp(°C)	Percentage of grid point number (%) A/B (Life time)													
							1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h				
S	1	23Jul,89	11~14	3,325	-52.5	-64.7	73/66	37/50	31/50	0/0										
	2	22Jul,89	10~12	3,800	-56.0	-64.8	60/51	51/21	51/6											
	3	19Aug,89	08~12	4,125	-57.0	-71.0	41/25	43/20	30/4	26/0	12/0									
	4	22Jul,89	07~10	4,150	-57.5	-64.8	15/50	23/50	4/0	0/0										
	5	18Aug,89	09~11	4,450	-50.0	-70.6	38/72	19/50	1/0											
	6	18Aug,89	21~19/00	6,050	-59.5	-69.8	63/40	57/53	68/39	47/31										
	7	23Jul,89	07~10	6,425	-62.5	-63.6	53/61	52/20	19/0	2/0										
	8	16Aug,88	17~21	8,075	-60.5	-65.8	52/34	46/15	43/7	34/7	17/0									
			Mean	5,050	-56.9		50/49	39/33	30/13	16/6										
M	1	17Aug,88	05~11	15,775	-66.0	-70.2	64/52	56/40	42/33	30/5	30/7	22/0	13/0							
	2	17Aug,89	06~12	16,050	-70.0	-67.1	32/68	26/30	21/35	20/18	14/21	9/9	6/0							
	3	17Aug,88	12~18	22,700	-67.5	-67.1	61/58	42/54	53/61	52/61	45/52	40/31	33/13							
			Mean	18,175	-67.8		52/59	41/41	39/43	34/28	30/27	24/13	17/4							
L	1	14Jul,88	10~16	56,175	-72.5	-71.8	65/16	69/23	73/30	71/21	94/32	95/17	94/11							
	2	15Jul,88	21~16/06	76,025	-78.0	-74.1	41/68	39/50	30/48	25/58	26/52	25/59	19/58	18/49	25/58	5/0				
	3	15Jul,88	07~16	80,925	-77.5	-73.1	14/7	37/34	40/39	41/40	35/38	31/39	34/40	21/20	31/7	5/0				
			Mean	71,042	-76.0		40/30	48/36	48/39	46/40	52/41	50/38	49/36							

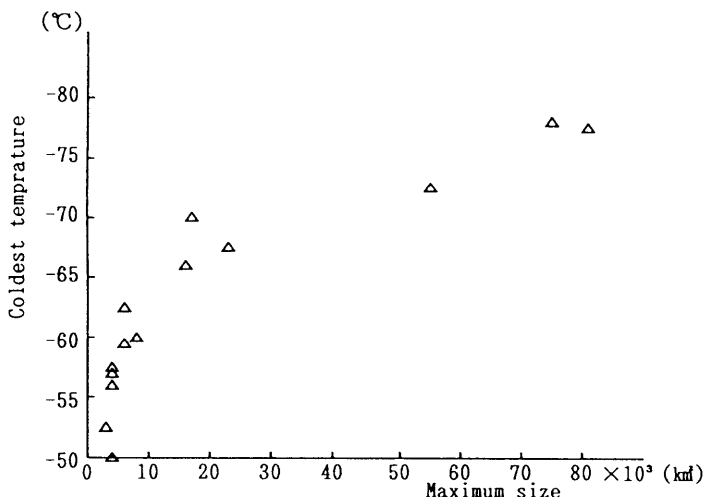


Fig.9 Relationship between the coldest temprature and the maximum size through life cycle of the extracted Cb-clusters.

通りにまとめられる。

- (1) 自動抽出した Cb クラスターの -50°C 以下の領域の変化はアンビル Ci に影響されず抽出雲域内のレーダーエコーの増減と良く一致する。従って -50°C 以下の領域の変化は Cb クラスターの発達・衰弱を表す一つの指標となる。
- (2) ライフサイクルの中で雲頂の最低温度の極小値は抽出雲域に含まれるレーダーエコーの最大時かそれ以前に観測される。
- (3) 前線上に発生する水平スケールの大きな Cb クラスターは、最低温度と境界温度の差がレーダーエコーの減少時に急速に小さくなる。
- (4) Cb クラスターを水平スケール別で見るとその特徴は次の通りである。

① 最大面積が $10,000\text{km}^2$ 未満の小さなクラスターはライフタイムが短く、抽出雲域の中に含まれるレーダーエコーの割合は 3 時間程度まで高い。従って、ライフタイムは 3 時間程度と見ることができる。 $10,000\text{km}^2$ 以上 $30,000\text{km}^2$ 未満の Cb クラスターは 5～7 時間程度、 $30,000\text{km}^2$ 以上の Cb クラスターでは 7～10 時間程度持続する。

② Cb クラスターが鉛直方向に発達する程度は水平スケールによって制限され、 $10,000\text{km}^2$ 以上のスケールを持つ Cb クラスターは圏界面に達したがそれ以下では圏界面に達しなかった。

しかし、今回の調査ではまだ以下の問題点がありさらに調査を進める必要がある。

- (1) 抽出条件として $1,250\text{km}^2$ 以上の面積を持つ Cb クラスターを対象としたため、水平スケールの小さい Cb クラスターの発生初期では抽出されないことがある。
- (2) ライフタイムの短い Cb クラスターは 3 時間程度で衰弱するため、毎時の画像でも最盛期を的確に捉えられないことがある。

Cb クラスターの発達・衰弱の特徴から定量的に取り扱う方法を開発するためには、発生要因等による分類、持続時間、レーダーエコーとの対応などについて更に多くの事例を集める必要がある。

謝 辞

まとめに関する有益なコメントに対し、気象衛星センターデータ処理部解析課の萩原武士課長、麻生正先任主任技術専門官、内藤成規調査官、同部システム管理課大沢和裕技官及び気象庁予報課の鈴木和史予報官に謝意を表する。

参考文献

- 長谷川隆司・二宮洸三 (1984) : 静止気象衛星データから見た長崎豪雨 (1982年7月) の特徴。天気, 31, 565-572
- Maddox.R.A (1980) : Mesoscale convective complexes. Bull. Amer. Meteor. Soc, 61, 1374-1387

- 元木敏博 (1983) : ティパリングクラウドの発達・衰弱
と赤外データの時間変動。天気, 30, 565-569
- 肆矢雄三・鈴木和史 (1988) : 活発な対流活動を伴う低
温雲域の発達・衰弱について。日本気象学会春季
大会予稿集, 53, 171