

寿命の長いシングルセル型対流雲の構造の解析*

田 畑 明**・中 澤 栄***・安 富 裕 二****
 榊 原 均**・石 原 正 仁**・赤 枝 健 治**

要 旨

2台のドップラーレーダーを用いて、関東地方に発生したシングルセル型の対流雲の構造を調べた。

弱い鉛直シアの状況下で発生したシングルセル型のこの対流雲は、エコー頂が最高7kmと小型であったが、寿命は2時間程度と長く、また、衰弱する際に分裂を伴っていた。レーダーエコーの反射強度およびドップラーレーダーから求めた水平流と鉛直流の分布から対流雲のライフサイクルを、発達期、成熟期、衰弱期と3段階に分けることができた。鉛直流の時間変化を調べた結果、発達初期にはほぼ鉛直であった上昇流の軸が、ステージの進行とともに次第に進行方向後方に傾き、下降流が上昇流を弱めない構造になっていることがわかった。対流雲の分裂・消滅にあたって、上昇流の分裂・消滅が明瞭に認められた。

1. はじめに

落雷、突風、豪雨などを伴う対流雲については、早くから関心もたれ、その内部構造が研究されてきている。

1940年代には、アメリカにおいて、レーダーと航空機による総合的な気団 (air mass) 型の対流雲についての観測が行われた。その結果、対流雲のライフサイクルを、鉛直流に着目してみると、主に上昇流だけが存在する発達期 (developing stage または、積雲期; cumulus stage) を経て、上昇流と下降流とが共存する成熟期 (mature stage) となり、さらに上昇流が下降流と入れかわり全体が下降流となる衰弱期 (dissipating stage) へと変化し消滅していくことが分かった (Byers and Braham, 1949)。

1960年代になると、対流雲についての観測は、レーダー、航空機、ゾンデおよび地上観測とさらに総合的なものとなり、主な対流雲の分類として、寿命があまり長くないせいぜい1時間程度であるシングルセル型 (単細胞型)、寿命が長く数時間も持続することもあるマルチセル型 (多細胞型)、スーパーセル型 (単一巨大細胞型) と大きく3種類であることがわかり、その構造もしだいに明らかになってきた。しかし、これらはあくまでもレーダーエコーや周辺の状態などから間接的に調べられたものであり、直接その構造を明らかに示すようなものではなかった (Browning, 1964; Fankhauser, 1971)。

1970年代には、ドップラーレーダーによる観測が行われるようになり、直接対流雲などの内部構造が確かめられるようになった。特に、トルネード (竜巻) やガストフロントを伴うような大規模なマルチセル型やスーパーセル型の対流雲についての研究が数多くなされており、その内部構造がしだいに明らかになりモデルも考案されてきている (Kropff and Miller, 1976; Browning et al., 1976; Brandes, 1977a; Brandes, 1977b; Miller and Fankhauser, 1983)。

日本でも、気象研究所において、1983年から2台のドップラーレーダーを用いて、雷雲の観測が行われており、関東地方に発生したマルチセル型の対流雲の内部構

* The structure of a long-lasting single cell convective cloud.

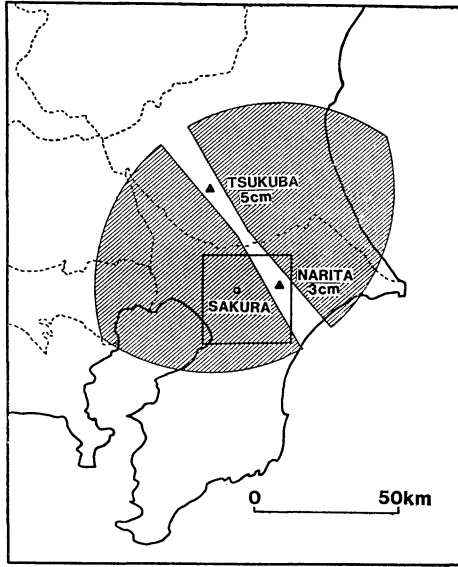
** Akira Tabata・Hitoshi Sakakibara・Masahito Ishihara・Kenji Akaeda, 気象研究所。

*** Sakae Nakazawa, 気象大学校 (現在 網走地方気象台)。

**** Yuji Yasutomi, 気象大学校 (現在 気象庁予報課)。

—1988年9月5日受領—

—1989年6月1日受理—



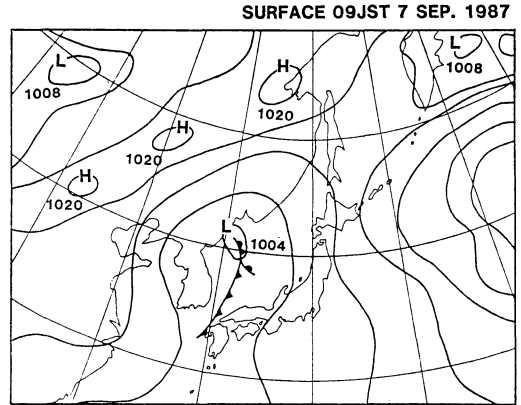
第1図 2台のドップラーレーダーの配置と観測範囲。実線で囲んだ部分は水平風などの分布を示す領域。

造が明らかになってきている（気象研究所，1986；石原ら，1987）。

このように大規模なマルチセル型とスーパーセル型の対流雲については、災害を伴うこともあり、多くの研究がなされてきているが、小規模なシングルセル型の対流雲は、大きな災害をもたらすこともなくあまり注目されていない。しかし、小規模な対流雲の内部構造を知るとは対流雲の力学について理解を深めるために重要である。更に、米国、ヨーロッパとは環境の異なる日本において、これまでの対流雲の分類がそのまま当てはまるかどうかは、実際の観測を待たねばならない。この論文は、1987年9月7日に関東地方で発生した小規模なシングルセル型の対流雲の内部構造を、2台のドップラーレーダーのデータを用いて調べることがを目的としている。解析した対流雲はシングルセル型としては寿命が2時間程度と長く、さらに衰弱する際に分裂するという特徴を持っていた。

2. 観測と解析の方法

解析に使用した気象研究所の2台のドップラーレーダーの性能は石原ら（1987）に述べてある。第1図はこの論文で用いた2台のドップラーレーダーの観測領域と、レーダーの位置を示す。固定型の波長5cmのレーダー



第2図 1987年9月7日9時の地上天気図。実線は海面気圧，mb。

は筑波の気象研究所屋上に、可搬型の波長3cmのレーダーは成田空港内に設置した。2台のレーダーの間の距離は41kmである。

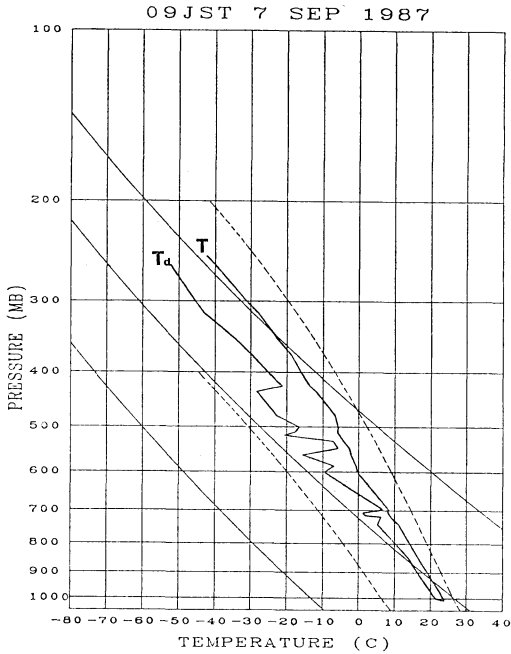
風の算出方法は石原ら（1987）と同じ方法を用いた。ただしここでは、格子点間隔は水平方向780m、鉛直方向1kmを用いた。1回の観測に要した時間は約6分である。

3. 総観場の状況と対流雲の概要

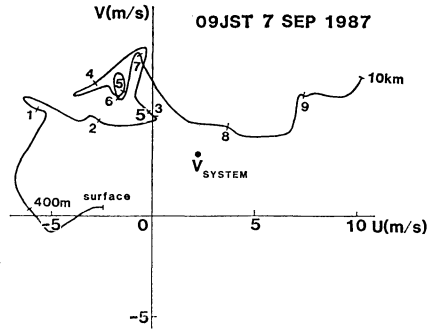
第2図は、1987年9月7日9時の地上天気図である。日本付近は朝鮮半島付近にある低気圧の前面にあたり、南西流が卓越している。しかし、関東地方についてみると、気圧傾度は小さく、風は全般に弱く、下層に強い暖湿気流が流入する場ではない。

第3図は同時刻の茨城県つくば市（館野）上空の成層状態を示したエマグラムである。地上から750mbあたりまでは、気温がほぼ湿潤断熱線に平行に降下しており中立の状態にある。750mbから600mbにかけては、湿潤断熱線よりも急に気温が降下しており条件付不安定になっている。600mbより上層では、再びほぼ中立となっている。この時のSSI (Shcwalter Stability Index) を求めると10.3°Cであり、このindexを見る限り安定な状態である。しかし、850mb層を仮想的に飽和させて求めたショワルターの安定指数 (SSI*) は-1.3°Cとなり、局所的に飽和に近い気塊が存在すると、対流雲が発達する状況であったことを示している。

第4図は同時刻のつくば市上空の hodograph である。風向は地表付近では東よりであるが、400mあたりから



第3図 1987年9月7日9時のつくば市(館野)上空の気温 T 、露点温度 T_d の鉛直分布。実線の曲線は乾燥断熱線、破線は湿潤断熱線を示す。

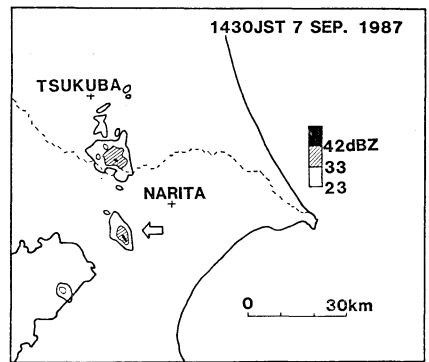


第4図 1987年9月7日9時のつくば市(館野)におけるホドグラフ。 V_{system} は対流雲の平均移動速度を示す。

徐々に南よりに向きを変え、1 km では、ほぼ南東風となっている。2 km から 7 km 付近までは、ほぼ南南東の風となり鉛直シア率は非常に小さい。ただし、1 km から見ると 6, 7 km までは東北東に弱いシア率(約 $1 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$)となっている。この値は、シングルセル型の対流雲が発生しやすいシア率であることを示している(Chisholm and Renick, 1972)。

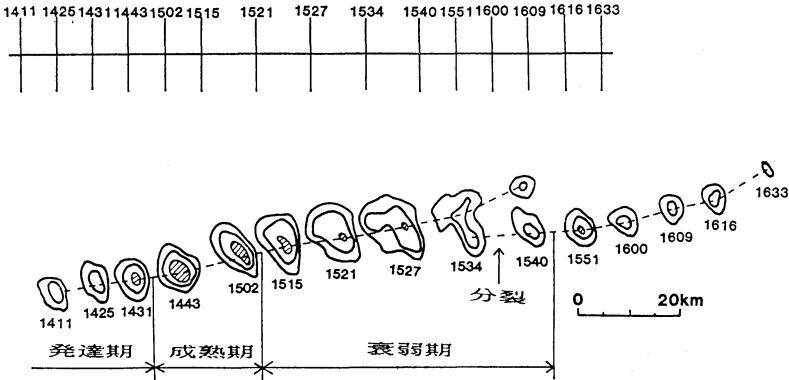
このように、周囲の状況は強い暖湿気流の流入場ではないが、局所的に飽和した空気塊に対しては、不安定な状態であり、鉛直シア率も弱い場であった。したがって、対流雲が発生しても大規模なものとはならず、小規模なシングルセル型になると予想される状態であった。

第5図は成田の空港気象レーダーで観測した9月7日14時30分のエコー分布を示している。数個のシングルセル型のエコーが見られる。この論文で解析するエコーは、矢印で示した成田の南西約 17 km に存在している。大きさが 10 km 程度のシングルセルである。このエコーの時間変化を示したものが、第6図である。図の上部の時間軸は、各時刻の気象研究所の位置である。対流雲のエコーは14時11分にはすでに存在していた。この対流

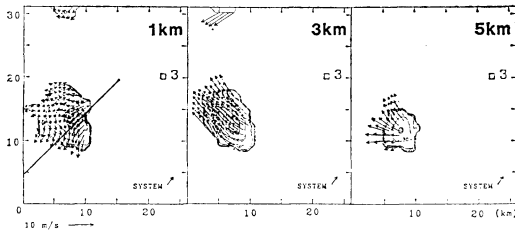


第5図 1987年9月7日14時30分の成田の空港気象レーダーにより観測された反射強度分布。矢印は今回解析した対流雲を示す。

雲は、ほぼ北東へ向かって約 3.8 ms^{-1} とゆっくりとした速度で移動している。対流雲が最も発達したのは、14時40分から15時10分頃にかけてであり、この時間には、エコー頂高度も 7 km と最も高くなっている。その後すぐに衰弱し、15時45分頃に消滅した。しかし、15時30分頃から、この対流雲の南側に新たな対流雲が分裂する形で発生している。新たに発生した対流雲はその後、15時50分頃に最も発達し、16時40分頃消滅している。解析する対流雲は、14時頃発生し15時45分頃消滅しているので、寿命は2時間程度であった。単純なシングルセル型の対流雲の寿命は、45分から1時間程度であるといわれているので(Bennetts et al., 1986)、この型の対流雲としては比較的長時間持続している。



第6図 気象研究所のレーダーで観測されたエコーの時間変化. 図の上部の時間軸は各時刻における気象研究所の位置を示す. 反射強度の等値線は25 dBZ から5 dB 毎, 35 dBZ 以上の領域に陰をつけた.



第7図 2台のドップラーレーダーで求めた対流雲に相対的な水平風(相対風) $V-V_{system}$ と反射強度の分布. 反射強度の等値線は15 dBZ から5 dB ごと, 35 dBZ 以上の領域に陰をつけた(1987年9月7日14時31分, 高度1, 3, 5 km). 対流雲の移動速度を図の右下に示す. 図中の□3は, 波長3 cm のレーダーの位置(成田空港)を示す.

4. 各ステージの内部構造

2台のドップラーレーダーによる観測は, 14時11分から15時27分まで13回行ったが, この時間帯は, 対流雲が発達期から成熟期を経て, 衰弱期へと変化している時期にあたる. この中から各ステージの特徴を示す時刻について対流雲の内部構造を見ていく. 14時11分から15時27分までの高度1 km における反射強度が30 dBZ を越える領域を追跡した結果, 対流雲の平均移動速度は 36° , 3.8ms^{-1} であった. 観測された水平風(V)と対流雲の平均移動速度(V_{system})との差, つまり $V-V_{system}$ により対流雲に相対的な水平風(相対風)を定義し, 以下の議論ではこれを用いる.

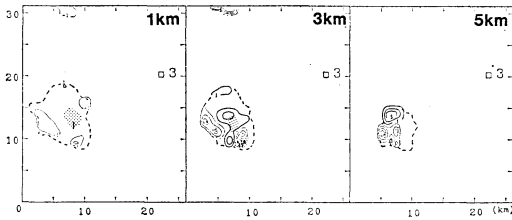
4.1 発達期

第7図は, 14時31分の反射強度と相対風の分布を示したものである. この時刻にはエコー頂高度は5 km であり, 強い反射強度域(35 dBZ 以上, 以下コアと言う)も高度5 km まで存在している. このことは, 大きな雨粒が上空まで存在していることを示唆する. エコーの大きさは, 高度1 km で直径10 km である.

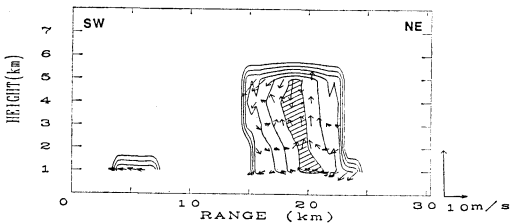
次に相対風の分布を調べる*. 高度1 km では, 前方(対流雲の移動方向前方, すなわち北東)から空気が流入している. 一方, 対流雲の北側では北西に, 南側では南西に発散する流れがみられる. 特にコアの後方で風向の変化が大きくなっている. 高度3 km では, 前方からの流入はみられなくなり, ほぼ一様な南東風であるが, コアの後方は収束域になっている. 高度5 km では顕著な発散場となっており, 発散の極大値は, $+4.5 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ である.

第8図は, 同時刻の反射強度と鉛直流の分布を示したものである. 高度1 km では, 上昇流は弱くこの図でははっきりしない. コアの周囲には 1ms^{-1} の下降流域が存在している. 高度3 km では, コアと上昇流域の位置がほぼ一致している. また, 下降流域は上昇流域の南西側(後面)に存在している. 南東側にも大きな下降流が存在しているが, これはデータの境界における計算誤差によるものと考えられる. 5 km では上昇流域はコアの北側になり, コア付近は下降流域になっている.

* 以下の相対風の分布図で風ベクトルが描かれていない領域は, 風データの得られない領域である.



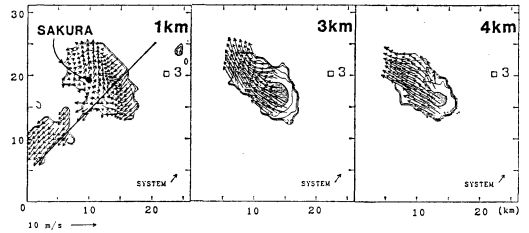
第8図 1987年9月7日14時31分の対流雲内の鉛直流と反射強度の分布. 太い実線は上昇流域, 細い実線は下降流域を示す. それぞれの等値線は $\pm 1 \text{ ms}^{-1}$ から 2 ms^{-1} 毎に引かれている. 破線は反射強度 15 dBZ の等値線. 35 dBZ 以上の領域に陰をつけた.



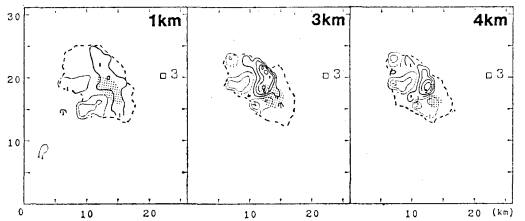
第9図 1987年9月7日14時31分の対流雲の鉛直断面内の反射強度と風の分布. 図の右が北東, 左が南西である. 反射強度の等値線は 15 dBZ から 5 dB 毎に引かれている. 35 dBZ 以上の領域に陰をつけてある. 断面の位置は第7図の高度 1 km の水平断面に実線で示した. 図の右下に風ベクトルのスケールを示す.

第7, 8図から, 対流雲の下層前方から流入した空気が, コア付近で上昇し, またコアの後面では下降流があることがわかった. したがって, 上昇流, 下降流の構造など対流雲を維持しているメカニズムを調べるには, 移動方向の断面が最も適していると考えられる. 第9図は移動方向に切った対流雲の鉛直断面である. 断面をとった位置は第7図の高度 1 km の水平断面に実線で示した. 図の右側が移動方向 (北東) である. この面内でコアは, やや後方に傾き, その傾きは水平から約 80° である. 前方から流入してきた空気と高度 2 km で後方から流入してきた空気が, コアで収束し, 第7図からわかるように北西へ上昇している. 上昇流域の軸は, 2 km まででは, 鉛直で, その上で後方に傾いている. コアの後面には下降流が存在しており, 下層で後方に流出している.

以上のように, コアが比較的上層まで存在しており,



第10図 第7図と同様. ただし15時02分.



第11図 第8図と同様. ただし15時02分.

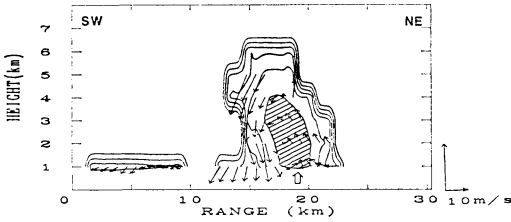
上昇流域が卓越していたということから考えて, この時刻には, 対流雲は発達期であると考えられる.

4.2 成熟期

第10図は, 15時02分の反射強度と相対風の分布である. この時刻には, エコー頂は高度 7 km であったが, コアは高度 4 km までになった. エコー頂の高さは, 14時31分に比べて 2 km 程高くなっているが, コアは 1 km 低くなっている. コアの面積は 14時31分に比べ, 高度 1, 3 km で大きくなっている. このことは上空に存在していた雨粒が成長し, 落下し始めたことを示唆する.

高度 1 km では, 14時31分より収束が顕著になった. 前方から流入した空気とコアの後方から前方に吹き出している下降流がコア北東付近で収束し, ガストフロントを形成している. 対流雲の前半分は収束域になり, 発散の極小値は $-2.5 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ となっている. 後方からの空気の一部は北へと流出している. 高度 3 km では空気は南東から流入し, 北西へと流出しており, 高気圧性の曲率をもっている. 4 km ではコアの北西側で発散がみられる.

第11図は, 同時刻の反射強度と鉛直流の分布である. 高度 1 km では, コア付近からセル前方にかけて組織化された上昇流が形成され, 一方下降流はセル後方に存在し, 上昇流と下降流ははっきり分離されたパターンになっている. ところが高度 3, 4 km では, 上昇流の中心がコアの北西側になっている. そして, コア付近には下

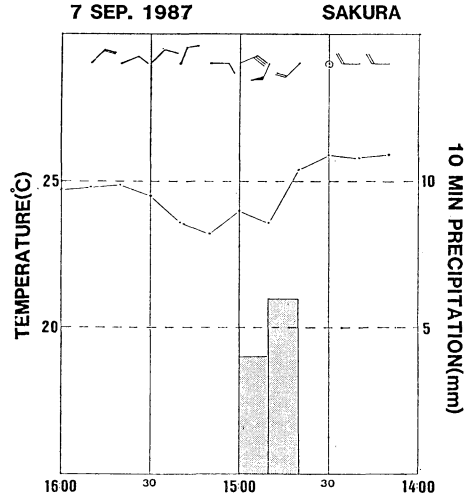


第12図 第9図と同様。ただし15時02分。図の中央の白矢印はガストフロントの位置を示す。

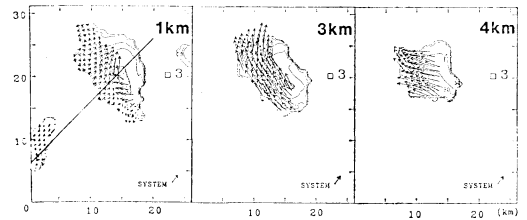
降流が入り込んでいる。このことは、この時刻にはコア付近の上空に下降流が発達し始めたことを示している。この時刻には、上昇流、下降流ともに14時31分のそれより強くなっている。例えば高度 3 km の上昇流を比較すると14時31分には最大 3 ms^{-1} であったものが、15時02分には 7 ms^{-1} となっている。

第12図は、第9図と同様に切った鉛直断面図である。コアの傾きは約 55° と14時31分より大きくなり後方へ傾いている。後面の高度 2 km から 4 km にかけてエコーのへこんだ部分が見られるが、これは乾燥した空気が対流雲の後面から流入し、雨滴が蒸発したためエコーが弱くなっていると考えられる。風の分布を見ると、対流雲の下層前方から流入した空気はコアの中央より前半分で上昇している。一方、コアの後方には、顕著な下降流がある。横軸の 18 km の高度 4 km ではコア内も下降流になっており、このことは前にも述べたように、上空ではコア内にも下降流が発達してきたことを示している。上昇、下降流とも14時31分と比較して強くなっている。また、下層後方には発散が存在しており、発散した空気の一部は対流雲前方に流出している。このためにコアの下層前端付近には、前方から流入してきた空気との間にガストフロントが、図の白矢印のところに形成されている。

この時刻に対流雲は、千葉県佐倉市を通過している。第13図は、佐倉でのアメダスデータ（風向・風速、気温、雨量）の時間変化を示したものである。14時40分から50分にかけて気温が 1.8°C 低下し、14時40分から15時の20分間に 10 mm という比較的強い雨（降雨強度 30 mmh^{-1} ）が降っている。14時50分から15時00分にかけて風は、南南西 5 ms^{-1} から東北東 3 ms^{-1} に急変している。これは、対流雲の下層後面の冷たい空気の発散域が佐倉を通過したことを示唆する。ガストフロントは第10図の高度 1 km の風の分布から15時前には佐倉を通過したと考えられるが、第13図のアメダスの10分間平均の



第13図 千葉県佐倉における地上要素の時間変化。矢羽は 1 ms^{-1} 、旗は 5 ms^{-1} 。風向は図の上を北にした。折れ線グラフは気温 ($^\circ\text{C}$) 棒グラフは10分間雨量 (mm) を示す。



第14図 第7図と同様。ただし15時15分。

風のデータでは、佐倉でのガストフロントの通過は、はっきり出していない。

第12図で見たように、対流雲内には上昇流と下降流が存在し両者とも発達期のそれより強くなっていること、また第13図で示されるような強い降雨を伴っていることから、この時刻には、対流雲は成熟期にあると考えられる。

4.3 衰弱期

第14図は、15時15分の反射強度と相対風の分布である。エコー頂は、高度 6 km になり、コアは高度 3 km まで存在している。エコー頂高度、コアとも15時02分よりも 1 km 低くなっており、コアの面積も15時02分比べて小さくなっている。相対風は高度 1 km において、15時02分では前方から流入していたが、15時15分では、コアの北部では前方へ流出している。コアの南西の部分

で収束がみられるが、他は弱い発散域になっている。高度 3 km では全体が高気圧性の曲率を持った南東風になっている。高度 4 km では対流雲の北西側で空気が収束している。

第15図は、同時刻の反射強度と鉛直流の分布である。各高度とも上昇流は弱くなり、範囲も狭くなっている。コアの北側の上昇流は、4 km にわずかに残っているだけである。コアの位置は、この時刻には下層 1 km でも下降流域とはほぼ一致して、南の一部を除くと、コア全体が下降流域になっている。

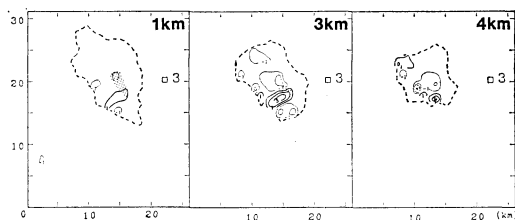
第16図は、今までの2つの時刻と同様な鉛直断面図である。この断面はコアの北部を通っているが、コアは高さがこの面では 2 km となり、範囲も狭くなっている。またこの面内では対流雲全体に下降流が卓越し、下層で前方に向かって吹き出している。成熟期にみられた、対流雲の前面全体にみられた下層前方からの流入はこの面にはない。コア前面では2台のドップラーレーダーによる風のデータが得られていないので、成田のドップラーレーダーのみのデータで調べると15時02分にははっきり認められた前方からの流入が、15時15分には弱くなり、コア南部のみであることが確かめられた(図省略)。また成田空港のドップラーレーダーの設置点での地上要素の時間変化を調べると(図省略)、15時30分に風向が南東から北西に急変し、気温が10分間に約 1° 低下した。この時には対流雲は空港の西約 5 km にあった。以上の事実は、対流雲の北の部分ではガストフロントが対流雲からはなれて前方に進んだ事を示唆する。

以上のように、全体として下降流が、卓越しており、コアも背が低くなっていることから、この時刻には、対流雲は衰弱期にあると考えられる。

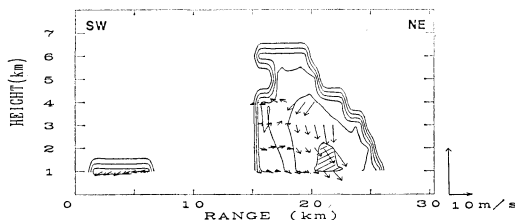
5. 考察

対流雲の維持機構と、分裂に到る経過を考察し、今回観測されたシングルセル型の対流雲のモデル構築を試みる。

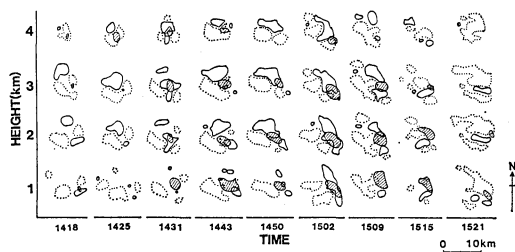
一般のシングルセル型の対流雲の寿命は、45分から1時間程度であると報告されている(Bennetts *et al.*, 1986)、しかし、9月7日に観測されたシングルセル型の対流雲は、発生から消滅まで2時間程度と寿命が長かった。初めて対流雲が長寿命であった原因を考察する。第17図は、鉛直流とコアの分布の時間変化を各高度ごとに示したものである。発達期(14時31分)では、コア(斜線部)と上昇流域(実線)がほぼ一致しており、上



第15図 第8図と同様。ただし15時15分。

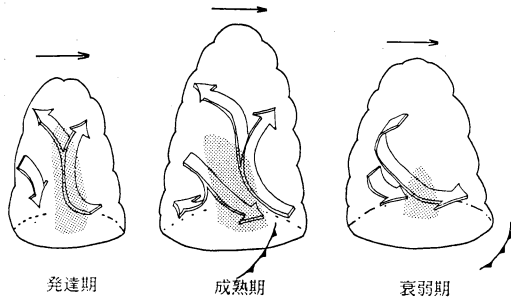


第16図 第9図と同様。ただし15時15分。



第17図 鉛直流と強い反射強度 35 dBZ 以上の領域(斜線部)の時間変化。実線は 1 ms^{-1} の上昇流。破線は 1 ms^{-1} の下降流の等値線。

昇流の傾きも小さい。しかし、成熟期に入り(14時43分~15時02分)、上昇流域が移動方向前方(北東)に、下降流域(点線)が後方(南西)に移動し後方に傾いている。これは下降流が上昇流を弱めないような鉛直流の分布である。さらに衰弱期(15時09分~15時21分)になると、コアは、ほぼ下降流域と一致している。以上の事実から、対流雲がシングルセル型として長寿命であったのは、発達期にはほぼ鉛直であった上昇流の軸が、成熟期には後方に傾き、前方に上昇流域、後方に下降流域と分離し、下降流が上昇流を弱めない鉛直流の分布になったためと考えられる。しかし、衰弱期(15時09分)にはいと、4.3で述べたように、北部でガストフロントが、対流雲の前方に進み、下層の収束が対流雲の前方で生じ、雲内の上昇流に結び付かなくなり、上昇流が弱まる



第18図 対流雲の内部構造の時間変化のモデル。反射強度 35 dBZ 以上の領域を陰で示す。対流雲の移動方向は図の左から右である。寒冷前線の印はガストフロントの位置を示す。

と共に、主として雨滴の重みによって、コア付近に下降流が発達し、対流雲が衰弱していったと考えられる。

次に、対流雲が分裂に到る過程を考察する第17図の鉛直流の分布を調べると発達期から成熟期にかけて(14時18分～15時02分)は、大きな上昇流域は1つである。しかし、15時09分に下降流が上昇流の間に割り込み上昇流域を分断するようになり、衰弱期(15時15分)以降には、北側の上昇流域はほぼ消滅し、南側の上昇流域だけが残存している。反射強度でみた対流雲が分裂したのは、15時35分頃からであり、分裂した北側の対流雲は消滅し、南側のものは発達している(第6図参照)。Klemp and Wilhelmson (1978), Rotunno and Klemp (1982) は数値実験や線形理論により、シアが存在する風の間では上昇流の分裂が生ずることを示した。また、Rotunno and Klemp (1982) は、シアベクトルが下層で veering していると、分裂した上昇流のうちで右側に進む上昇流が、左側へ進む上昇流より発達することを示した。今回の対流雲の場合は、下層 3 km までは風が veering しており、それより上層は 7 km までシアが弱くなっていた。上昇流の分裂は成熟期を過ぎてから、対流雲のコア付近に生じている。Klemp and Wilhelmson (1978) のモデルでは、雨滴の重みによって作られた下降流が上昇流を分裂させている。今回の対流雲でも、対流雲が成熟期に達した後、コアの背が低くなり始めた時と、上昇流の分裂が始まった時が一致している。このことは、上昇流を分裂させた下降流の形成には、雨滴の重みが重要であったことを示唆する。また分裂後、南側(進行方向右側)のセルの方が強く、長寿命であったことは Rotunno and Klemp (1982) の結果を支持する。

これらの対流雲の維持機構を考慮し、第18図に寿命の長いシングルセル型の対流雲の各ステージにおける雲内の流れをモデル的に示した。

発達期では、下層で流入した空気はコア付近で上昇し、上層で発散する。上昇流の軸は下層は鉛直で、上空で後方に傾く。コアは狭いが上層にまで存在している。

成熟期では、下層前方で流入した空気は、コア付近で軸の傾きが発達期のそれより大きい上昇流となって上昇し、上層で発散する。一方中層の後方から流入した乾燥した空気は雨滴を蒸発させ冷たい下降流となって下層で発散する。コアは、発達期に比べ太くなり、後方へ傾いている。

衰弱期では、全体としては下降流となっており、下層では前方に流出している。コアは、下層にわずかに存在しているだけである。

ドップラーレーダーで得られた風の分布から推定した成熟期および衰弱期のガストフロントの位置を図に記入してある。成熟期にはコアの前端にあったガストフロントが、衰弱期には対流雲からはなれて前方に進んでいる。

6. まとめ

1987年9月7日に発生したシングルセル型の対流雲の構造を2台のドップラーレーダーのデータを用いて調べた結果、次のことがわかった。

- (1) 鉛直シアの弱い場で発生したシングルセル型の対流雲であった。
- (2) シングルセル型の対流雲としては寿命が2時間程度と長かった。
- (3) ライフサイクルを発達期、成熟期、衰弱期と3段階に分けることができた。
- (4) 発達期にはほぼ鉛直だった上昇流の軸が成熟期には、後方に傾き、下降流が上昇流を弱めなかったため対流雲の寿命が長かったと考えられる。
- (5) 対流雲の分裂する前に、上昇流域の分裂が見られた。

このように、シングルセル型の対流雲の構造の時間変化が明らかになった。さらに、他のいろいろな対流雲の事例解析を行い、総合的な対流雲の研究を行っていく必要がある。また今回解析したようなシングルセル型の対流雲は数値モデルとの比較にも適しており、今後数値モデルとの比較を行う必要もあるだろう。

謝 辞

アメダスのデータは、銚子地方気象台より、成田の空港気象レーダーのデータは、新東京航空地方気象台より提供していただきました。3 cm ドップラーレーダーは新東京空港公園のご好意により成田空港内に設置しました。ドップラーレーダーのデータの解析には、気象研究所の計算機 HITAC M-280H を使用しました。

参考文献

Bennetts, D.A., E. McCallum and J.R. Grant, 1986: Cumulonimbus clouds, an introductory review. *Meteorol. Mag.*, 115, 242-256.
 Brandes, E.A., 1977a: Flow in severe thunderstorms observed by dual-Doppler radar. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 113-120.
 —, —, 1977b: Gust front evolution and tornado genesis as viewed by Doppler radar. *J. Appl. Meteorol.*, 16, 333-338.
 Browning, K.A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Sci.*, 21, 634-639.
 —, —, J.C. Fankhauser, J-P. Chalon, P.J. Eccles, R.G. Strauch, F.H. Merrem, D.J. Musil, E.L. May and W.R. Sand, 1976: Structure of an evolving hailstorm. Part 5: Synthesis and implications for hail growth and hail suppression. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 603-610.
 Byers, H.R., and R.R. Braham, Jr., 1949: *The Thunderstorm*. U.S. Government Printing Office,

Washington, D.C., 287 pp.
 Chisholm, A.J., and J.H. Renick, 1972: The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms. *Alberta Hail Studies*, 1972, Research Council of Alberta Hail Studies Rep. No. 72-2, 24-31.
 Fankhauser, J. C., 1971: Thunderstorm-environment interactions determined from aircraft and radar observations. *Mon. Wea. Rev.*, 99, 171-192.
 石原正仁, 榊原 均, 柳沢善次, 松浦和夫, 青柳二郎, 今泉孝男, 1987: 2 台のドップラーレーダーによって観測された関東地方の雷雲の内部構造, *天気*, 34, 321-332.
 気象研究所, 1986: 雷雲の構造の解析, 気象研究所技術報告, 19, 145-165.
 Klemp, J.B., and R.B. Wilhelmson, 1978: The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. *J. Atmos. Sci.*, 35, 1070-1096.
 Kropfli, R.A., and L.J. Miller, 1976: Kinematic structure and flux quantities in a convective storm from dual-Doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*, 33, 520-529.
 Miller, L.J., and J.C. Fankhauser, 1983: Radar echo structure, air motion and hail formation in a large stationary multicellular thunderstorm. *J. Atmos. Sci.*, 40, 2399-2418.
 Rotunno, R., and J.B. Klemp, 1982: The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 136-151.

講演企画委員会からのお知らせ——「スペシャル・セッション」のテーマ募集

平成2年度春季大会(東京)のスペシャル・セッションを下記の要領で募集します。テーマや申込総数によっては講演企画委員会で調整をする場合もあり得ますので、ご了承下さい。

- 記入事項: 1. セッションのテーマ
 2. 趣旨説明(400字程度)
 3. 呼びかけ人およびその連絡先
 以上は春季大会告示の際に「天気」に掲載さ

れます。

申込先: 〒305 茨城県つくば市長峰 1-1
 気象研究所 予報研究部内
 講演企画委員会(藤部文昭)

申込期限: 元年11月15日(水) 必着

なお、スペシャル・セッション等に対するご意見・ご要望がありましたら、随時講演企画委員会(上記宛て先)へお寄せ下さい。