

2000年7月4日に起きた東京都心における 短時間強雨の発生機構

上 杉 忠 孝*・田 中 恵 信**

要 旨

2000年7月4日、東京都心を中心に東京大手町で時間雨量82.5 mm、新木場で104.0 mm という短時間強雨（1時間雨量が警報基準を超えているため短時間強雨とした）があった。この強雨のプロセスを羽田、成田両空港のドップラー気象レーダーのデータと、アメダス、東京都の大気汚染常時監視測定局等のデータを使用して解析した。短時間強雨発生のプロセスは次のように考えられる。まず鹿島灘・九十九里浜方面からと相模湾・東京湾方面からの2つの海風とが収束して降水エコーが発生・発達した。この降水エコーが東京都・神奈川県境付近で発生した降水エコーとマージを2回起こし、新木場付近で強雨をもたらした。さらに大手町付近における18時30分の強雨は、中部山岳で発生し、南東進したメソβスケールの降水系が衰弱しエコー強度が30 dBZ以下になって生じた外出流が、新木場付近に強雨を起こした降水セルからの外出流と収束して、降水セルを強化したことによって起きたことがわかった。

1. はじめに

2000年7月4日の17時20分から19時30分にかけて、東京都心で記録的な短時間強雨が発生した。東京大手町（以後大手町と書く）では18時37分に前1時間の日最大1時間降水量が1886年以来第2位の82.5 mmを観測し、日最大10分間降水量も18時31分までの前10分間に1940年以来第2位の34.0 mmを観測した。総降水量は112.5 mmだった。また17時43分から1分間、直径7 mmの雹を観測した。この短時間強雨により、東京都港区赤坂二丁目の溜池交差点で、一時は深さ約1 mの水が溜まり、営団地下鉄（現在東京メトロ）丸の内線では午後6時41分に全線で運転を見合わせた。東京消防庁が4日午後11時半現在までにまとめたところ、住宅や商店など床上浸水29棟、床下浸水55棟、地

下浸水29箇所被害が出た（朝日、読売、毎日新聞社調べ）。

このように東京都心における短時間強雨による水害が社会的な問題となっているが、この問題は都市化との関連が佐藤ほか（2006）によって指摘されている。佐藤ほか（2006）は、統計的に都心域において降水頻度が高くなり、都市が降水システムを強化していることを示しているが、具体的な原因については述べていない。中西ほか（2003）は東京都心において短時間強雨が強化されることがあることに注目した。その原因として降雨開始前の海風系の局地風（鹿島灘からの東寄りの風と相模湾からの南寄りの風）による強い収束の継続と降雨開始頃の主に発散風による収束の増強が挙げられることが示された。藤部ほか（2002）も東京都心において夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風系の特徴として、降水系の発生場所が鹿島灘からの風と相模湾からの風の収束域になっていることを挙げている。また東京都心に短時間の強雨をもたらす降水系が、数十 km 以上のスケールを持つ降水系（メソβスケールの降水系ということにする）の接近に付随して、発生・発達する傾向があることも示している。

* 気象庁地磁気観測所鹿屋出張所。
tadayuki_uesugi@met.kishou.go.jp

** 気象研究所台風研究部（現：気象研究所気候研究部）。

—2002年12月2日受領—

—2007年10月29日受理—

その原因として、メソ β スケールの降水系からの外出流と東京・相模湾方面からの風との収束によって降水が強化された可能性を述べている。本研究で取り上げる事例は藤部ほか(2002)でも取り上げられているように、メソ β スケールの降水系の接近に付随して発生・発達する事例であった。

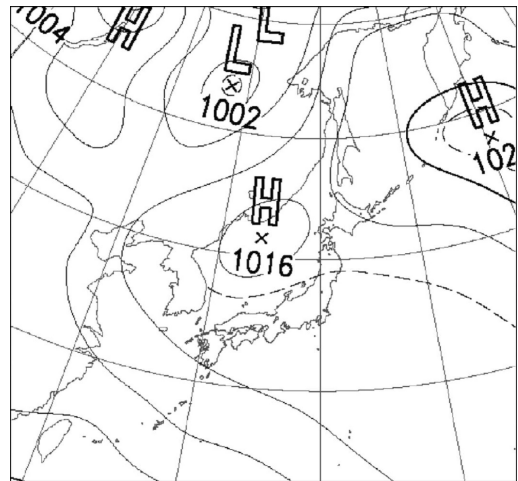
しかし、中西ほか(2003)、藤部ほか(2002)のいずれの報告もアメダスと気象庁東京レーダーのデータを使用して解析を行っており、どうしても空間的分解能に限界があった。本論文はその点を克服すべく、空間分解能が高い羽田空港と成田空港に設置された気象庁ドップラーレーダーデータを用いて解析を行った。さらに降水系の内部の風を調べるため、デュアル解析も行った。

藤部ほか(2002)は、2000年7月4日の事例で、メソ β スケールの降水系が東京都心で発生・発達した降水系にマージして短時間強雨になったと述べている。マージとは「合併する」という意味で、ここでは近傍にある2つ以上の雲が合併し、発達する現象をいう。短時間強雨が発生する際には、マージがしばしば報告される。1972年7月に起きた西三河での強雨の解析(小花 1976)では、降水系のマージ後、10から20分で強雨になったと報告している。小元ほか(1976)は短時間強雨が起る前に、レーダーエコーがマージした事例を示した。また1982年の長崎豪雨の解析(Ogura *et al.* 1985)では、降雨バンドが長崎地域で団塊状に変化した後、長崎の西方約300 kmの海上で発生した積乱雲のクラスターが移動してきてマージしたと報告している。このように短時間強雨の発生要因として、マージが重要な事例が多く見られることがわかる。しかし、マージをその内部構造から解析した論文は必ずしも多くない(Iwanami *et al.* 1988)。今回解析する事例では羽田空港と成田空港に設置された気象庁ドップラーレーダーを用いてマージしたエコーの断面を見ることが可能であった。もしマージに伴う内部構造の変化が把握できれば、マージの理解は進み短時間強雨の予報に役立つことが期待される。

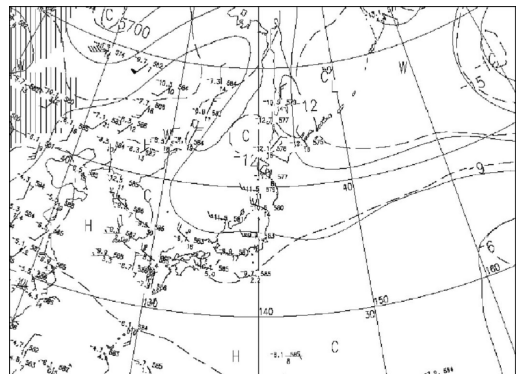
前述したように本研究では降水系のマージ前後の内部構造の変化に注目してドップラーレーダーで詳細に強雨の原因を探ることを目的とする。使用したデータは、羽田空港と成田空港ドップラーレーダーデータと千葉県柏市にある東京レーダーの関東地方合成レーダーデータ、アメダスデータ、及び東京都大気汚染常時測定局の風向、風速データである。

2. 大規模場の特徴

第1図に2000年7月4日09時(以下時間はJST)の地上天気図を示す。本州付近は日本海に中心をもつ高気圧に覆われていた。この日の最高気温は大手町での31.7°Cを始め、関東各地で30°Cを超えていた。同日09時の500 hPa高層天気図(第2図)を見ると、本州付近は、北海道付近から南西に伸びるトラフと-10°C前後の寒気に覆われている。09時の館野のエマグラム(第3図)を見ると、大気下層は湿潤であり、400~630 hPaは乾燥して、大気は対流不安定の成層をしていた。09時の地上の空気を持ち上げた場合の対流有効位置エネルギー(CAPE)は1312J/kgであった。この値は過去10年間の統計(Chuda and Niino 2005)によると、6月としては上位10%以内、7月としては上位25~50%にあたっている。また第3



第1図 2000年7月4日09時(JST)の地上天気図。



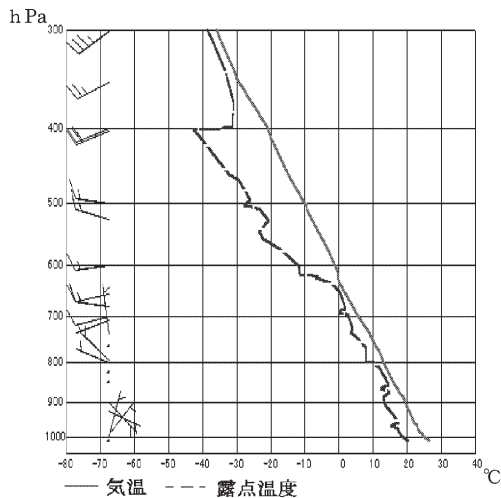
第2図 2000年7月4日09時の500 hPa高層天気図。

図より、下層の風は、高度が増すとともに時計回りに回転するシアを伴っていた（風の順転）。風の順転は暖気移流場に起こる。以上から、今回の短時間強雨をもたらした環境場の特徴的な点は、地表の日射加熱と、大気下層に温暖で湿潤な空気存在と、中層に冷たい乾燥した空気存在の3点である。

同じ館野の高層観測データから、バルク・リチャードソン数 Ri は、Bluestein and Jain (1985) を参考にすると

$$Ri \equiv \frac{CAPE}{\frac{1}{2} \left[\left(\overline{u_6 - u_{0.5}} \right)^2 + \left(\overline{v_6 - v_{0.5}} \right)^2 \right]}$$

のように与えられるので、これを計算すると $Ri \approx 42$ であった。ここで \overline{u} と \overline{v} はそれぞれ東西及び南北方向の環境風の成分、添字6と0.5はそれぞれ高度6 km から地上まで及び0.5 km から地上までの密度を荷重としてとった平均を意味する。Weisman and Klemp (1982) は、 $15 < Ri < 35$ の時はスーパーセルが発達しやすく、 $Ri > 40$ の時はマルチセルが発達しやすいことを報告している。これから今回の環境場では（約9時間前の60 km 離れた場所の高層観測ではあるものの）、比較的マルチセルが発達しやすいような環境場であったことがわかる。



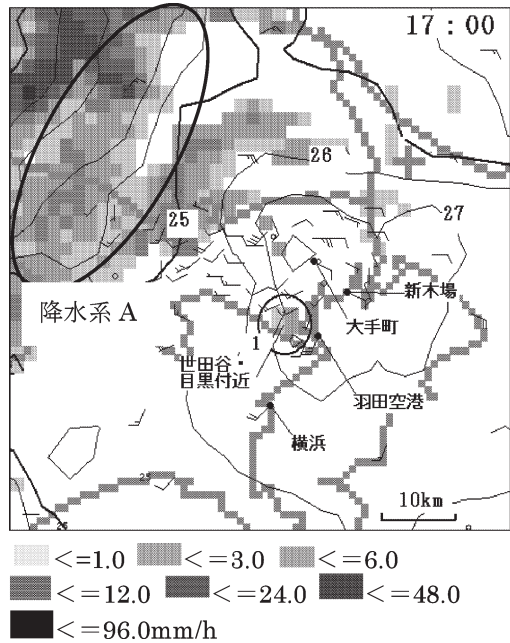
第3図 2000年7月4日09時の館野のエマグラム。矢羽根の最も長いものは5 m/s を示している。

3. 降水系の発生から強雨までのメカニズム

3.1 降水系の発生

東京レーダーによると、東京都心で強雨をもたらした積乱雲は、17時頃に世田谷・目黒付近にその最初のエコーが観測されている（第4図丸1）。このエコーが次第に成長しているところに、第4図の楕円で表された中部山岳地方で発生した長さ200から300 km のメソ β スケールの降水系（これを降水系 A と呼ぶ）が西から接近した時刻に強雨が降った。第4図のアメダスの風向・風速及び東京都大気汚染常時測定局の風向・風速を見ると、エコーが発生した世田谷・目黒付近（第4図丸1）は相模湾方面からの風と、東京湾方面からの風との収束域になっていることがわかる。

降水系 A が西から近づく際に、世田谷・目黒付近でエコーが発生したと述べた。しかし、そこで第4図

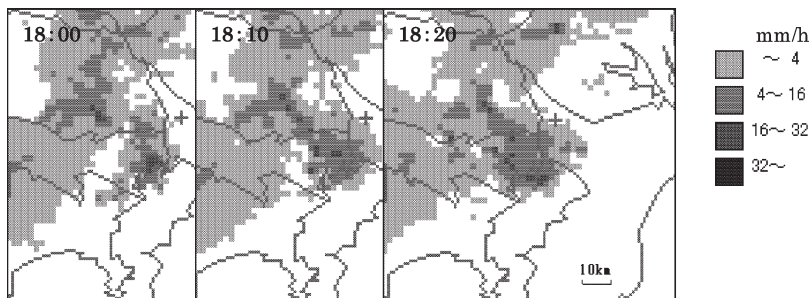


第4図 2000年7月4日17時のレーダーエコー合成図と東京都の大気汚染常時監視測定局のデータ（風向、風速、気温）、そしてアメダスのデータ（風向、風速）との合成図。陰影はエコー強度からの推定雨量を表し、矢羽根は東京都大気汚染常時監視測定局とアメダスの風向風速を表す。等温線は1°Cごとに引いてある。実線の丸1は17時に世田谷・目黒付近に発生したエコーを示している。楕円は中部山岳地方で発生した長さ200から300 km の降水系を指し、これを降水系 A と呼ぶ。

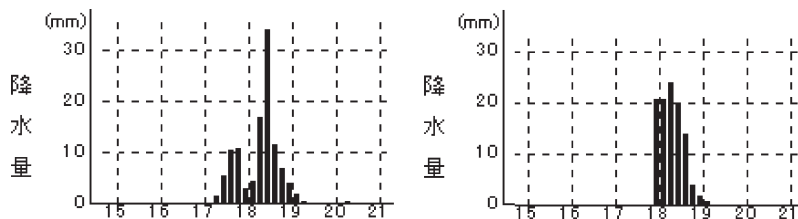
の丸1の北西側を見ると、その風向は南西であり、降水系Aから吹き出している風の風向ではない。すなわち東京都心に近い領域では、降水系Aからの外出流はこの時刻には認められない。したがって世田谷・目黒付近でエコーが発生したのは、降水系Aからの流出流によるものではないことがわかる。

3.2 降水系発達の概要と特徴

第5図は、東京レーダーによる18時、18時10分、18時20分の東京都心の降水状況をエコー合成図で見たものである。17時頃に世田谷・目黒付近で発生したエコーは発達しながら大手町付近に移動し、北西から移動してきた降水系Aと18時10分にマージしている。このときの大手町と新木場の10分間降水量をその前後を含めて、第6図に示してある。18時20分から30分は大手町、新木場共に10分間降水量の中では最大値を示している。このことから、藤部ほか(2002)は東京都心で発達した降水系が、降水系Aに追いつかれてマージし、強雨が降ったとしている。しかし第5図をよく見ると、東京都心の降水系は時間ごとにエコー面積が大きくなり、強度も増し、そして、このエコー下の大手町では17mm/10分もの短時間強雨が観測された。そこで強雨の発生原因をはっきりさせるために、東京



第5図 2000年7月4日18時から18時20分までの東京レーダーのエコー合成図。陰影はエコーの強度からの推定雨量を表す。



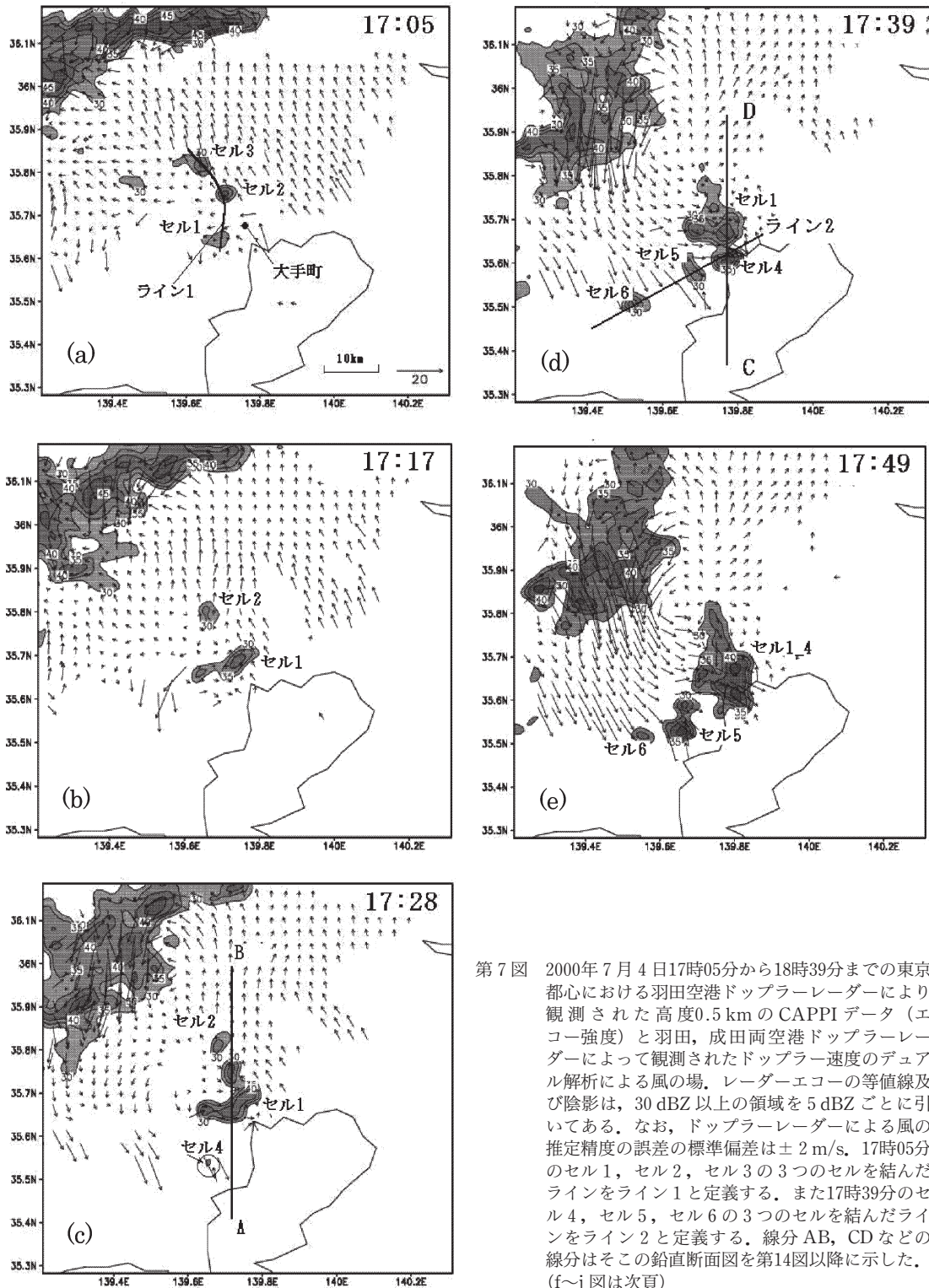
第6図 2000年7月4日の大手町と新木場の10分間降水量の時間変化。新木場の17時40分までの10分間降水量は欠測。

レーダーよりも解像度の高い羽田空港ドップラーレーダーのエコーを使って解析した。

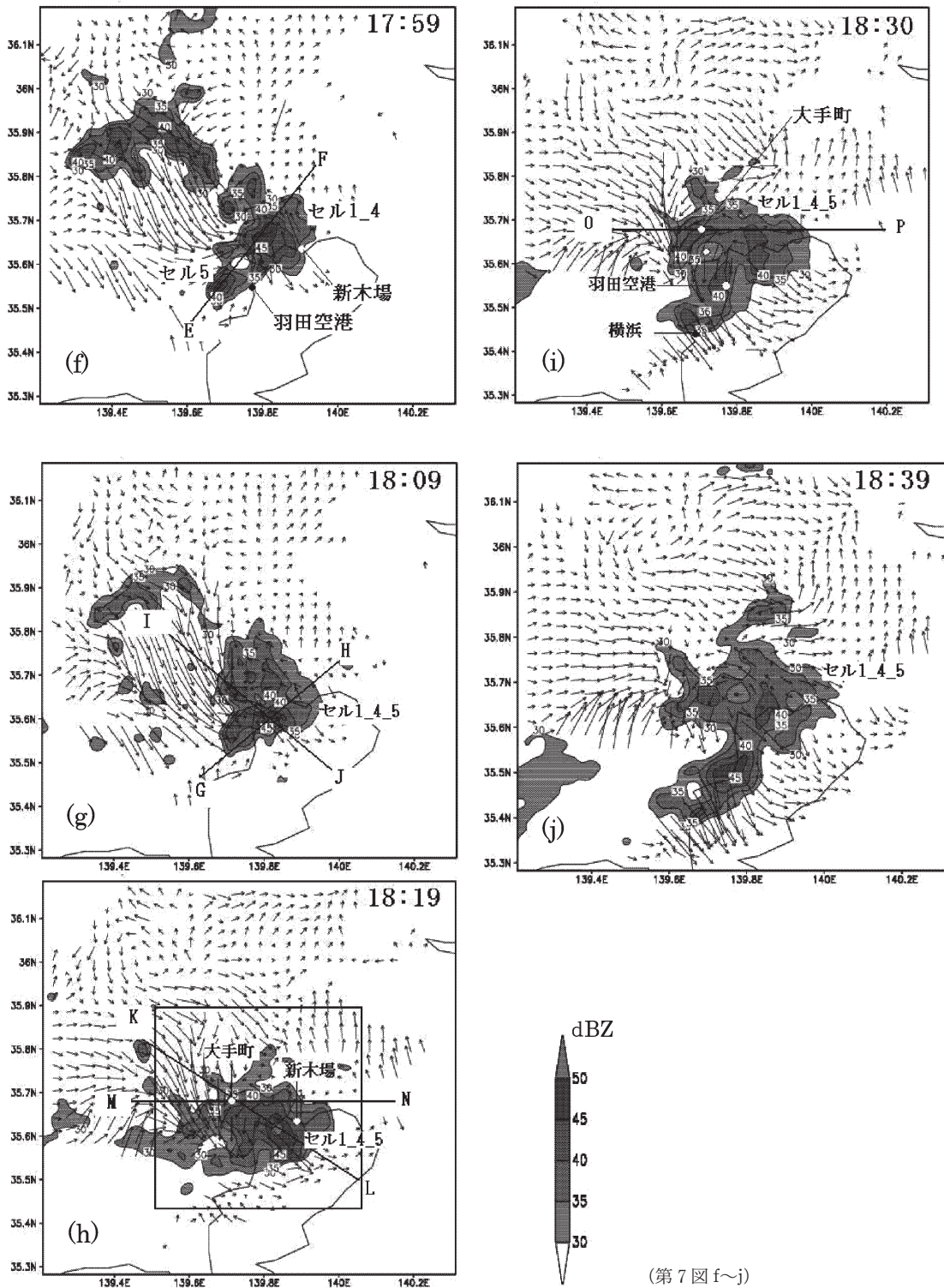
第7図は、東京都心に目立ったエコーが出現した17時ごろから、東京都心のエコーが衰弱した18時39分頃までの羽田空港ドップラーレーダーの高度0.5kmのCAPPIのエコーを示したものである。17時05分(第7図a)には東京都心から北にかけてセル1, セル2, セル3の3つのセルが発生している。これらのセルを結んだ線をライン1と呼ぶことにする。ライン1上のセルは第8図より地上風から、相模湾・東京湾方面からの風と鹿島灘・九十九里浜方面からの風との収束によって発生し、ライン1上のエコーは、セル1は17時05分から17時49分まで、セル2は17時05分から17時28分までほとんど動いていない。しかし、セル3は17時17分には消えてしまっている(第7図b)。

17時28分(第7図c)にはセル4が、17時39分(第7図d)にはセル5, セル6が発生、発達している。17時39分のセル4, セル5, セル6を結んだ線をライン2と呼ぶことにする(AB, CDなどは、後に第14図から第17図までで見る鉛直断面図の走向を表す)。

次にライン2上のセルの発生について考えることにする。この領域は羽田、成田両空港ドップラーレーダーの基線に近く(第9図)、デュアルドップラーレーダー解析によって得られる風ベクトルの信頼性は低い。第10図は、羽田のドップラーレーダーのみによるドップラー速度を示したものである。セル4は南側にドップラー速度のプラスと北側にマイナスの領域が接しているところにある(第10図実線丸印内)。第7図dを参考にすると、マイナス領域は降水系Aからの外出流に対応していることがわかる。一方、プラス領域は第11図(アメダスの風向・風速から求めたグリッドデータ)を参考にすると、相模湾・東京湾方面からの風である。よって相模湾・東京湾方面の風と降



第7図 2000年7月4日17時05分から18時39分までの東京都心における羽田空港ドップラーレーダーにより観測された高度0.5 kmのCAPPIデータ（エコー強度）と羽田、成田両空港ドップラーレーダーによって観測されたドップラー速度のデュアル解析による風の場。レーダーエコーの等値線及び陰影は、30 dBZ以上の領域を5 dBZごとに引いてある。なお、ドップラーレーダーによる風の推定精度の誤差の標準偏差は±2 m/s。17時05分のセル1、セル2、セル3の3つのセルを結んだラインをライン1と定義する。また17時39分のセル4、セル5、セル6の3つのセルを結んだラインをライン2と定義する。線分AB、CDなどの線分はその鉛直断面図を第14図以降に示した。（f～j図は次頁）



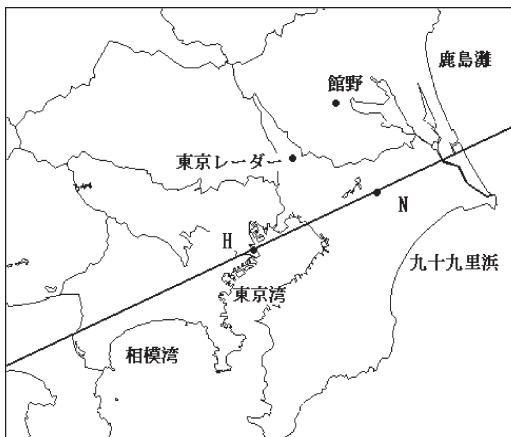
水系 A からの外出流とが収束して発生，発達したと考えられる。

セル5は第10図より，ドップラー速度のマイナス領域にある（第10図点線丸印内）。アメダスの風向・風速から求めたグリッドデータ（第11図）を参考にすると，第11図の丸印内にあるセル5は，セル4と同様相模湾・東京湾方面からの風と降水系 A からの外出流とが収束している位置に存在することがわかる。これらライン2上のセル（セル4，セル5，セル6）はやがて発達しながらセル1が存在する大手町方面へ流されていく。第12図は高度5 km の CAPPI データ

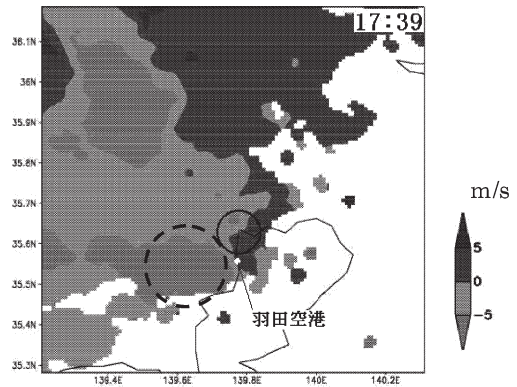
（ドップラー速度）であるが，セル5，セル6は第12図の実線丸印内にあり，いずれもドップラー速度のマイナス領域にある。すなわち，中層風は南西風であり，この風に乗って大手町方面へ流されたと考えられる。ライン1上で発生・発達したセルの一部（セル1）はほとんど動かなかったのて，セル1とライン2上で発生・発達したセルの一部（セル4）は，17時39



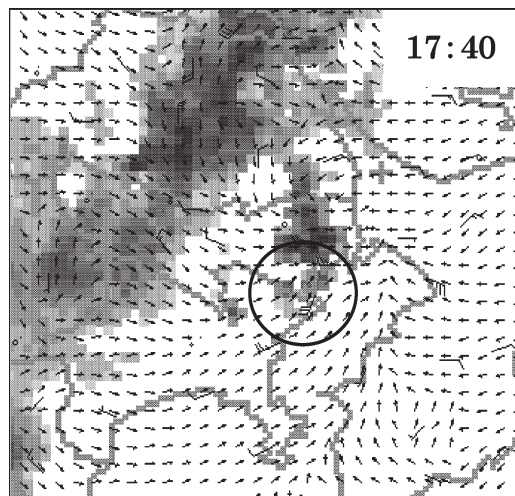
第8図 2000年7月4日17時00分のアメダス（風向，風速）。矢羽根はアメダスの風向風速を表す。



第9図 羽田，成田両空港の位置と基線，Hは羽田空港，Nは成田空港を表す。



第10図 17時39分の羽田空港ドップラーレーダーのドップラー速度図。プラスはレーダーから遠ざかる方向に，マイナスはレーダーへ近づく方向に風が吹いていることを示している。この図は高度0.5 km のCAPPI データ（風のドップラー速度）を使用している。

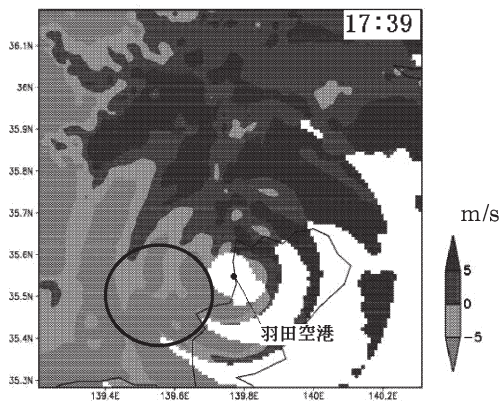


第11図 17時40分におけるアメダスが観測した風向・風速から求めたグリッドデータ。陰影はエコー強度からの推定雨量を表し，ベクトルは風向を示している。矢羽根はアメダスの風向・風速を示す。

分頃に大手町付近でマージした。

これまでの議論をまとめると、マージはライン1とライン2の2つのライン上で発生したセルの間に起きた。ライン1のセルは、相模湾・東京湾方面からの風と鹿島灘・九十九里浜方面からの風との収束線上に形成された。800 hPa以下の高度の風は西向きで、ライン1上のセルはほとんど停滞していた。ライン2上のセルは、降水系Aから吹き出す下層の風と相模湾・東京湾方面からの風との収束によって発生し、発達しながら北東方向へ流されていき、ライン1上のセル1に近づき、その付近にあった相模湾・東京湾方面からの風と鹿島・九十九里浜方面からの風との収束によって、さらに発達したと考えられる。

次に、マージ前後での降水量変化について見ておこう。セル1がマージ前の17時17分からマージを終える17時49分(第7図b~e)まで、ほとんど同一地点に止まっていたことは以前に述べた。17時39分にセル4とマージしてから10分後、セル1_4(セル1とセル4とのマージ後のセルをセル1_4と表示する)は少しその水平スケールを拡大した。セル5、6も強化されている(第7図e)。そしてさらに10分後、セル1_4はその水平スケールを更に拡大して約7 kmほど東の新木場(第7図f参照)にかかり、21 mm/10分の降水をもたらした。降水セルがマージしてから10~20分後にレーダーで見たとき、強雨のピークが出る事例につい



第12図 17時39分の羽田空港ドップラーレーダーのドップラー速度図。プラスはレーダーから遠ざかる方向に、マイナスはレーダーへ近づく方向に風が吹いていることを示している。この図は高度5 kmのCAPPIデータ(風のドップラー速度)を使用している。

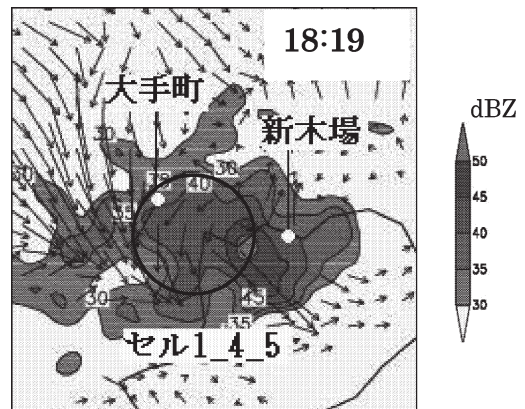
ては小花(1976)も報告している。18時09分(第7図g)には、さらにセル1_4とセル5が新木場付近でマージした。その10分後にはエコー強度が最大値で50 dBZ以上になり、新木場では24 mm/10分の降水があった。このころからセル1_4_5は顕著な外出流を生じ始めた(第13図実線丸印内)。18時30分になると(第7図i)、降水系Aからの外出流による大手町付近の収束域は、10~15 kmほど南へずれ、その収束域にあたる羽田空港から横浜市にかけての地域で、40 dBZのエコーが出現した。この頃の大手町では34.0 mm/10分の降水を記録した。この降水の原因について後ほど詳細に記述する。18時39分(第7図j)になると、セル1_4_5の南側半分のエコーは更に発達し、45 dBZにまで強まった。その後、このエコーは南下した。

3.3 マージについて

3.2節では東京都心で発生したエコーが、マージの後に強雨を生じたことを述べた。しかし、マージに伴ってどのようなプロセスでセルが発達するのかは不明のままである。そこでセル1とセル4のマージが起きた17時39分、セル1_4とセル5のマージが起きた18時09分の鉛直断面図と水平断面図(第7図)を用いて、詳細に解析する。

(1) 17時39分のマージ

第14図はセル1とセル4がマージする直前の17時28分と直後の17時39分の反射強度と風速ベクトルを表したもので、第14図a, bは第7図cのA-B、第14図c, dは第7図dのC-Dにおける南北-鉛直断面を示



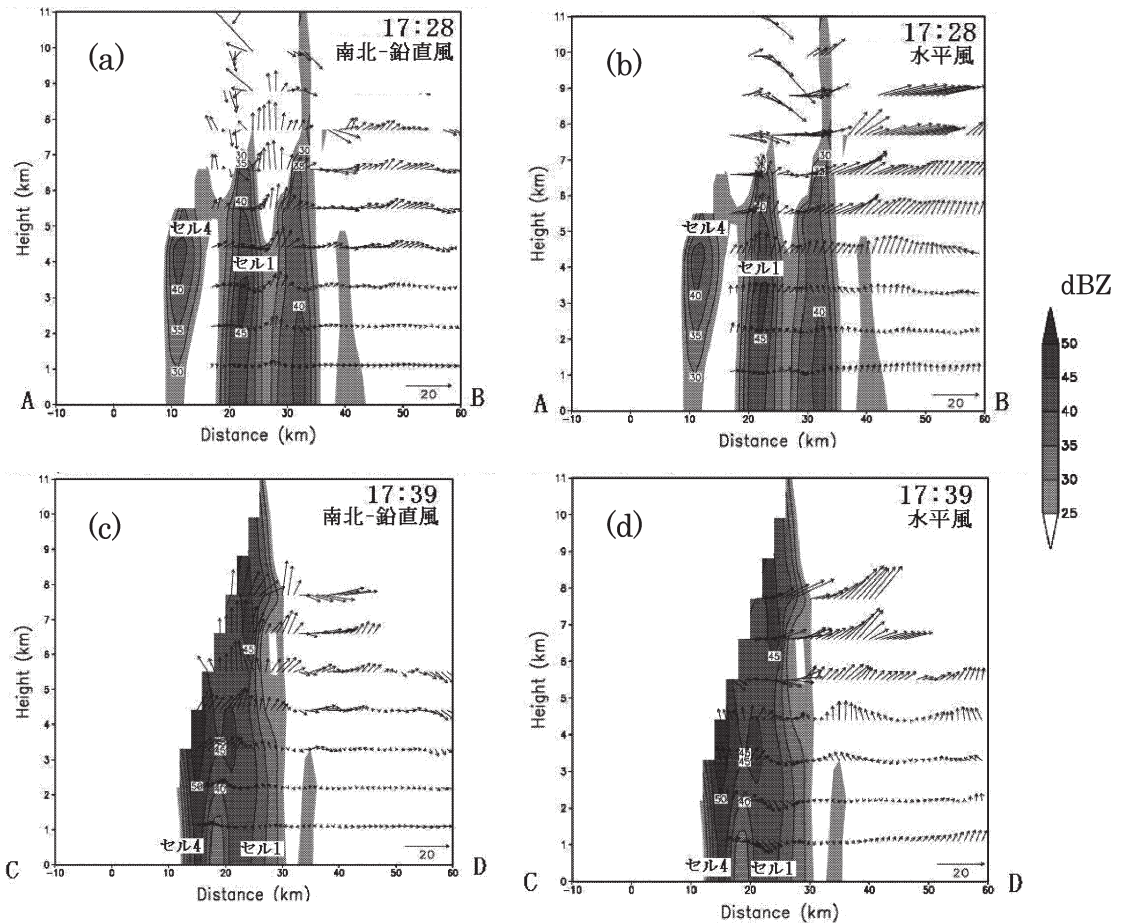
第13図 第7図(h)の四角い枠の中の拡大図。実線の丸印はセル1_4_5から出ている外出流を表している。

したものである。なお、第14図においてマージしたセルの上端から中ほどまでの一部が不自然に切れているのは、これ以上大きな仰角のデータが観測されていない領域である。セル1は17時28分には高さが6~7 kmくらいしかないが(第14図 a), 17時39分に、セル4とマージした後は(第14図 c), 確認できる最大の高さは11 kmにまで達している。これは以下のような理由によると考えられる。第14図 dのセル1とセル4の水平成分の風を見ると、高度3 km~4.4 kmの風向は南風である。第7図 dを見ると、セル4の真北にセル1があり、つまりセル4からセル1へ風が吹いている。第14図 cを見ると、17時39分の高度3

km~5 kmの風はセル4からセル1へ向かう上昇流となっている。ここで第14図 dから南風は高度3~5 km付近は約7 m/sである。この風速で10分間で移動できる距離は

$$7 \text{ (m/s)} \times 10 \times 60 \text{ (s)} = 4200 \text{ (m)}$$

であるので、セル4に伴う45 dBZ以上のエコー付近の降水粒子は、セル1の45 dBZ以上のエコー領域へ移動できるものとする。すなわち、単純なエコーの移流のみを考えてもセル1とセル4とはマージ可能であったと考えられる。



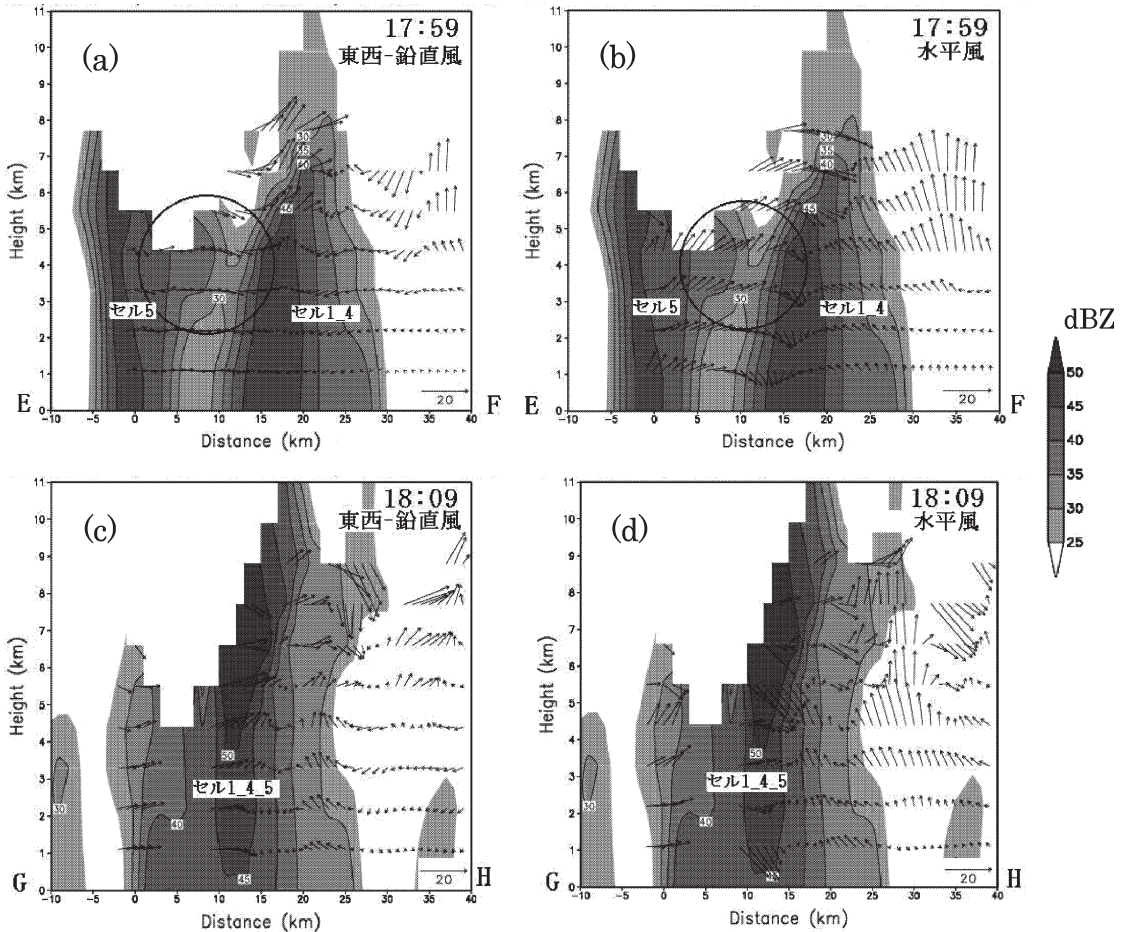
第14図 セル1とセル4のマージ直前、直後のそれぞれ線分A-B, C-Dに沿った鉛直断面図。この鉛直断面図は、第7図の該当時間におけるセル1とセル4を通るように南北に切ったものである。雲の中の風を示すベクトルは、羽田、成田両空港にあるドップラーレーダーのドップラー速度から計算して求めたものである。なお、レーダーエコーの等値線及び陰影は30 dBZ以上の領域を5 dBZごとに引いてある。ただし、「南北-鉛直風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の南北、鉛直成分を示す。「水平風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西、南北成分を示す。

(2) 18時09分のマージ

セル1_4とセル5は18時09分頃マージした。この過程を詳しく見てみよう。第15図はマージの起きる18時09分とその前の17時59分の南西-北東方向にとった鉛直断面(第7図gのG-H及び第7図fのE-F)を示したものである。注目すべきは高度3 km~6 km付近における第15図a, bの丸印で示されたセル5のエコー強度のセル1_4側への張り出しである。これは今回の場合、マージが高度3 km~6 km付近から始まっていることを示している。そしてその結果、高度3 km~8 kmに50 dBZものエコー強度をもつセルが生じた。このセルに近い新木場では20 mm/10分を超

える雨量があった。

第16図は新木場で10分間降水量がピークを迎えた時刻に近い18時09分と18時19分の北西-南東方向の鉛直断面(それぞれ第7図g, h参照)を示したものである。18時09分にはマージによって最大で50 dBZもあるエコーが生成されている(第16図a, b)。しかし、10分後の18時19分には50 dBZを超える強エコーは高度2 km以下を占め、地上に落下しているように見える。この強エコー領域に対応する降水は、本当に10分間で落下したのかどうか検討してみることにする。18時09分のエコー強度50 dBZの最下端の高度は約5 kmであり、その気圧は約500 hPaである。水滴を球とみ



第15図 セル1_4とセル5のマージ直前の17時59分と、直後の18時09分のそれぞれ線分E-F(第7図f)、G-H(第7図g)に沿った鉛直断面図。この鉛直断面図は、第7図の該当時間におけるセル1_4とセル5を通るように切ったものである。エコー、風ベクトルは第14図と同じである。ただし、「東西-鉛直風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西、鉛直成分を示す。「水平風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西、南北成分を示す。

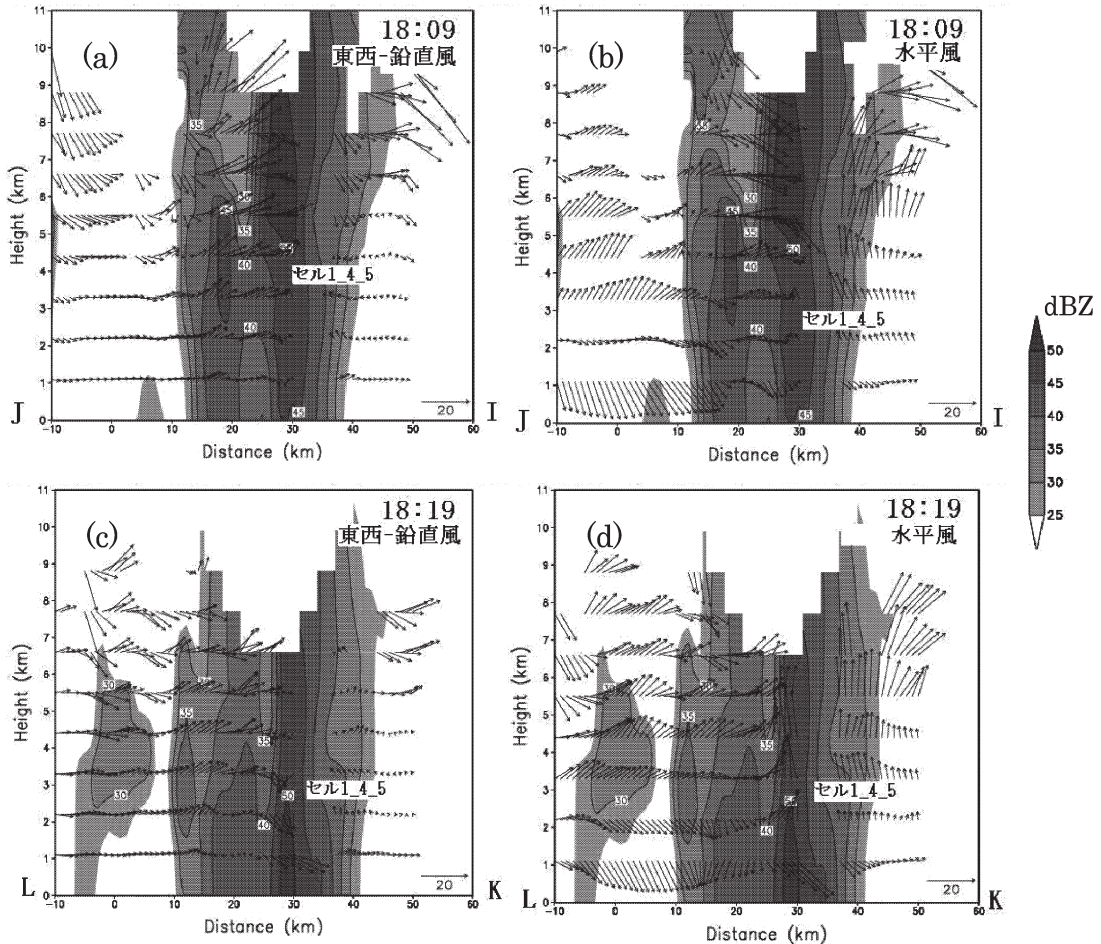
なしたとき、自然の大気中の雨滴では最大でも直径6～7mmが限度である。大気圧が500 hPaで雨滴の直径が7mmとすると、この時の水滴の終末落下速度は、Beard (1976) から推定すると、約12 m/sである。降水粒子がこの速度で落ちると仮定すると10分間で約7 km落下することになる。第16図 a, cによると雲内の上昇気流の速度はたかだか8 m/sであるので、上昇流を考慮に入れても10分間で少なくとも2.4 km程度落下することになる。このことから18時19分の高度2 km以下の50 dBZのエコーは18時09分の高度5 km以上にある50 dBZのエコーが落下してきたものであると考えても不自然ではなく、これが強雨の原因であろうと考えられる。

原因であろうと考えられる。

3.4 18時30分に降った大手町の短時間強雨について

前節の解析から、新木場の強雨は18時09分～19分に生じたマージに伴い上空で形成された降水コアによるものであると考えられる。ところが大手町では18時30分に34.0 mm/10分の強雨が降っている。この時間帯のマージは新木場付近だけで起きていたのでこれはマージの影響とは考えにくい。この強雨はどういうプロセスで降ったのであろうか。

18時19分頃の大手町を通る東西-鉛直断面(第17図 a, b)を調べると、第17図 bの高度1.1 km(横軸



第16図 18時09分、18時19分におけるそれぞれ線分I-J(第7図g)、K-L(第7図h)に沿ったセル1_4_5の鉛直断面図。この鉛直断面図は、第7図の該当時間におけるセル1_4_5を通るように切ったものである。エコー、風ベクトルは第14図と同じである。ただし、「東西-鉛直風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西、鉛直成分を示す。「水平風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西、南北成分を示す。

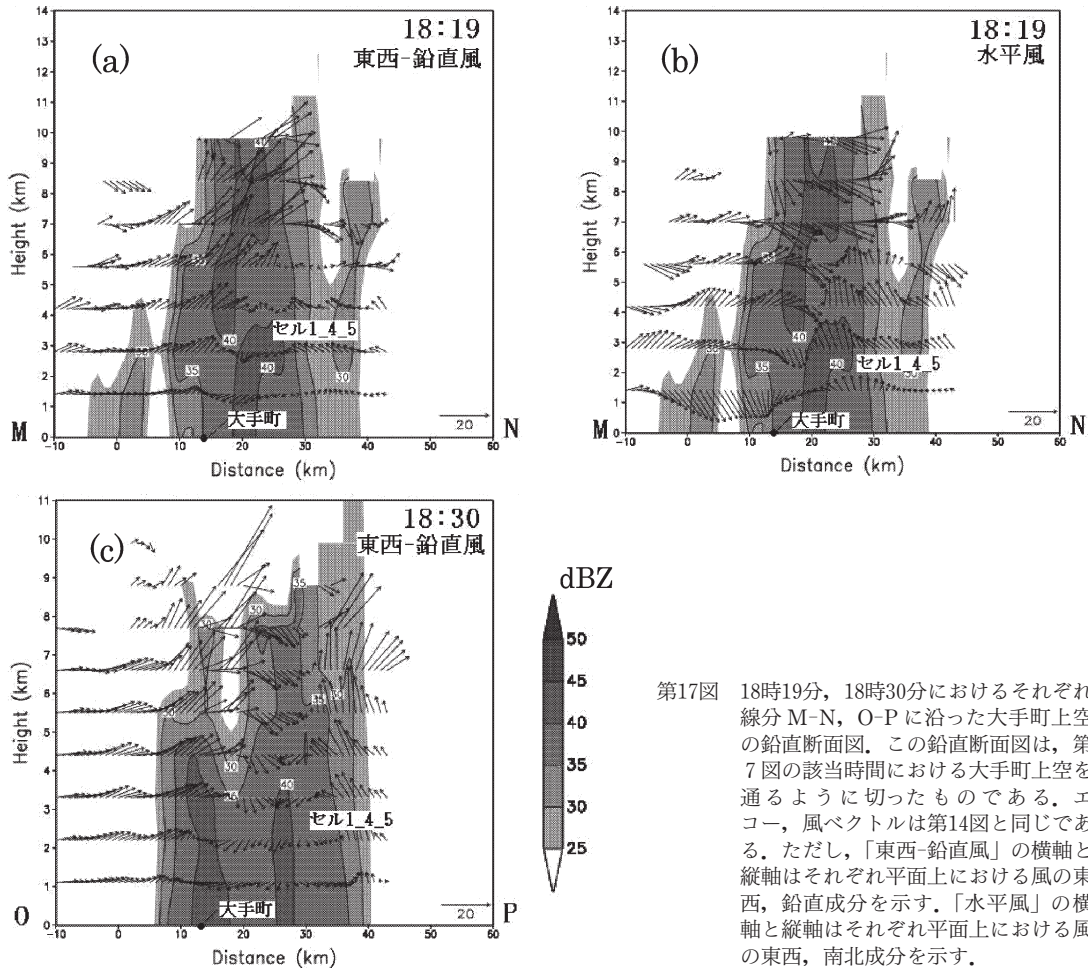
ー10~20 km) 付近の北寄りの気流はセルの西側 (第17図 a の横軸11 km 付近) で急激に持ち上げられている。第7図 g, h を見ると降水系 A のエコーは30 dBZ 以下に弱まってしまっているの、この下層の北寄りの気流は降水系 A の外出流の名残と考えられる。そして急激に持ち上げられているのは、第13図からセル1_4_5の外出流と収束しているからである。一方、第17図 a で40 dBZ のエコー強度を示している部分 (横軸19~27 km, 縦軸0~3.7 km) では、下降気流が見られる。この構造は雷雨のライフサイクル (Byers and Braham 1949) でいう最盛期にあたるものと考えられ、ほぼ停滞していることによって、その下では強雨になっていると考えられる。

18時30分の大手町を通る東西-鉛直断面 (第7図 i の O-P) を見ると (第17図 c), 2つのセルがある。

このうち東側のセル (横軸20~40 km 付近) は、確認できる全ての高度で下降流となっている。一方、西側のセル (第17図 c の横軸9~19 km 付近) の高度0~2.2 km では上昇流とわずかではあるが下降流が見られる。上昇流とわずかな下降流が同一セルの中で見られるということは、雷雨のライフサイクルでいう最盛期の初期 (Byers and Braham 1949) にあたるものと考えられる。大手町上空は東側のセルに含まれるので、18時30分は最盛期の初期にあたる。

4. まとめ

2000年7月4日に東京都心で短時間強雨をもたらした降水系を羽田・成田両空港のドップラー気象レーダー、アメダス、東京都大気汚染常時監視局のデータに基づいて解析した。解析の結果は以下のようにまと



第17図 18時19分, 18時30分におけるそれぞれ線分 M-N, O-P に沿った大手町上空の鉛直断面図。この鉛直断面図は、第7図の該当時間における大手町上空を通るように切ったものである。エコー, 風ベクトルは第14図と同じである。ただし、「東西-鉛直風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西, 鉛直成分を示す。「水平風」の横軸と縦軸はそれぞれ平面上における風の東西, 南北成分を示す。

められる。

- 1) 東京都心に短時間強雨をもたらした降水系は、相模湾・東京湾方面からの風と、鹿島灘・九十九里浜方面からの風とが収束している場において発生・発達していた。
- 2) 新木場で100 mm/hを超える強雨が降った原因は、相模湾・東京湾方面の風と鹿島灘・九十九里浜方面の風との収束によって発生したセル1と相模湾・東京湾方面の風と降水系Aからの外出流の収束によって発生したセル4とがマージし、さらに、マージの結果生じたセル1_4が相模湾・東京湾方面の風と降水系Aからの外出流との収束によって発生したセル5とマージして強化されたことによると考えられる。
- 3) 大手町で17時37分から18時37分までの1時間に82.5 mm/hもの強雨が降った過程は、18時を境に大きく2つに分けることができる。18時前までは、停滞していたセル1とセル4とがマージして強化されたことによるもので、18時以降、とりわけ18時30分の強雨は、エコー強度が30 dBZ以下に減衰した降水系Aからの外出流がセル1_4_5の外出流と収束してセルを強化したことによることが示された。

謝 辞

ドップラーレーダーを調査研究に使用できるように便宜を図っていただいた東京管区気象台気候・調査課中鉢幸悦調査官（現：鹿児島地方気象台）にまずお礼申し上げます。そして東京航空（羽田）地方気象台及び新東京航空（成田）地方気象台のドップラーレーダーの1次データを提供していただいた浅沼文友技術専門官（現：東京航空地方気象台通信課）、栗田智己主任技術専門官（現：東京管区気象台技術課）両氏にそれぞれ感謝いたします。レーダーエコーとアメダスを同時に表示させるプログラムを開発した東京管区気象台技術課高橋 宙技官（現：気象研究所環境・応用気象研究部）にお礼申し上げます。アメダス以外の東京都内の風向、風速データは、東京都の大気汚染常時監視測定局作成のCD-ROMのデータを使用しました。

なお、本論文に対して有益な助言を与えてくださった担当編集委員とレビューワ－2氏にも感謝いたします。

参 考 文 献

- Beard, K. V., 1976: Terminal velocity and shape of cloud and precipitation drops aloft. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 851-864.
- Bluestein, H. B. and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation—Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711-1731.
- Byers, H. R. and R. B. Braham, 1949: *The Thunderstorm*. U. S. Government Printing Office, 287pp.
- Chuda, T. and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 391-408.
- 藤部文昭, 坂上公平, 中鉢幸悦, 山下浩史, 2002: 東京23区における夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風系の特徴. *天気*, **49**, 395-405.
- Iwanami, K., K. Kikuchi and T. Taniguchi, 1988: A possible rainfall mechanism in the Orofure mountain range Hokkaido, Japan—The rainfall enhancement by a two-layer cloud structure. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 497-504.
- 小花隆司, 1976: 47.7西三河集中豪雨のときに現われたレーダーエコーの合流現象. *天気*, **23**, 347-361.
- 小元敬男, 八木鶴平, 清野 豁, 1976: 昭和50年6月9日の群馬県の降ひょう. 国立防災科学技術センター研究速報, (22), 31pp.
- 中西幹郎, 原 由紀男, 2003: 東京都市部に短時間強雨をもたらした降水系の降雨強化に結びつく局地風の特徴. *天気*, **50**, 91-103.
- Ogura, Y., T. Asai and K. Dohi, 1985: A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in northern Kyushu, 23 July 1982—Nagasaki heavy rainfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 883-900.
- 佐藤友徳, 寺島 司, 井上忠雄, 木村富士男, 2006: 東京都市域における夏季の降水システムの強化. *天気*, **53**, 479-484.
- Weisman, M. L. and J. B. Klemp 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 504-520.

Occurrence Structure of Short-time Heavy Rainfall in the Center of
Tokyo on 4 July 2000

Tadayuki UESUGI* and Yoshinobu TANAKA**

* *Kanoya Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency,
Higashibaru-cho 5962, Kanoya-shi, Kagoshima-ken, 893-0021, Japan.*

E-mail : tadayuki_uesugi@met.kishou.go.jp

** *Meteorological Research Institute, Tsukuba 305-0052, Japan.*

(Received 2 December 2002 ; Accepted 29 October 2007)
