

# 雷雨性豪雨の発生と気象状況

## —1994年・関東平野での解析事例—

### STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN THE OCCURENCE OF A THUNDERSTORM AND THE WEATHER CONDITION

—A CASE OF THE KANTO PLAINS IN 1994—

谷岡 康<sup>1</sup>・福岡捷二<sup>2</sup>・渡辺明英<sup>3</sup>

Yasushi TANIOKA, Shoji FUKUOKA, and Akihide WATANABE

<sup>1</sup>工博 パシフィックコンサルタンツ 工部 (〒163-0730 新宿区西新宿 2-7-1)

<sup>2</sup>Ph.D 工博 広島大学教授 工学部第四類 建設系 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>3</sup>工博 広島大学助教授 工学部第四類 建設系 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

Almost every year small rivers and drainage basins in urban areas suffer from flooding as a result of large-scale typhoons or concentrated thunderstorms. To minimize damage from such urban flooding, it is very important to predict rainfall and to take appropriate flood-fighting measures quickly. In this study, the relationship between the occurrence of a thunderstorm and the weather condition of the site is investigated. The place where a thunderstorm occurs may be related to updraft affected by wind convergence and topography, and to the spatial distribution of temperature. Furthermore, the occurrence of a thunderstorm is influenced by not only the lower-layer short-term weather condition but also the upper-layer condition and the long-term condition.

*Key Words : thunderstorm, rainfall prediction, weather condition*

#### 1. はじめに

1999年夏、東京では7月21日練馬で1時間に131ミリ、8月29日には、港区で114ミリの雷を伴う記録的集中豪雨が来襲し、ビルの地下では死者1名、都市部各所で浸水被害を受けた。また、6月29日、九州博多で1時間に100ミリを超える、これも雷を伴った集中豪雨により地下街の浸水で死者を出すと共に梅雨前線の影響による大雨の被害は24府県に広がった。

近年都市域では、流域の市街化が進み、その洪水流出は速く大きくなっており<sup>1)</sup>、集中的な豪雨の発生によりいわゆる都市水害<sup>2)</sup>が多く発生している。そのため、河川改修や洪水調節施設建設、下水道施設整備等の治水対策が進められているが、流域沿川の高度土地利用のため、改修事業の早期完成は困難となっている。この頻発する都市型洪水による浸水被害を最小限にとどめるための迅速、かつ適切な水防活動が必要となっている。このためにも中小河川流域スケールでの的確な降雨予測情報が求

められるようになっているが、都市部の浸水被害の一因である雷雨の発生機構や変動特性はその時空間スケールも小さく非常に複雑で、その細かな観測が困難であったこともあり、未だ明らかにされていない点が多い。このような雷雨の特性を明らかにし、的確に予測、公表していく事が水防活動にとって重要な課題である。

短時間降雨予測手法は中北ら<sup>3)</sup>が提案しているが、メソ $\alpha$ スケールの現象を対象としており、過去の降雨分布の時系列からの不安定場の移流モデルによる時間外挿で予測を行う方法であり、発生から30分以内でピークを迎え、30分内外のサイクルで消長しながら移動することもある時空間スケールの小さい雷雨<sup>4)</sup>の発生予測にはおそらく適用が難しいと思われる。また、積雲スケールの気象力学的な物理過程を解く数値解析も、細かな境界条件や初期条件の与え方で結果が大きく変わるとされており、実現象との検証と実用性に課題を残しているのが現状であると思われる。本研究では、まずこれらの物理過程の数値解析を介さずとも、現在容易に得られる気象情

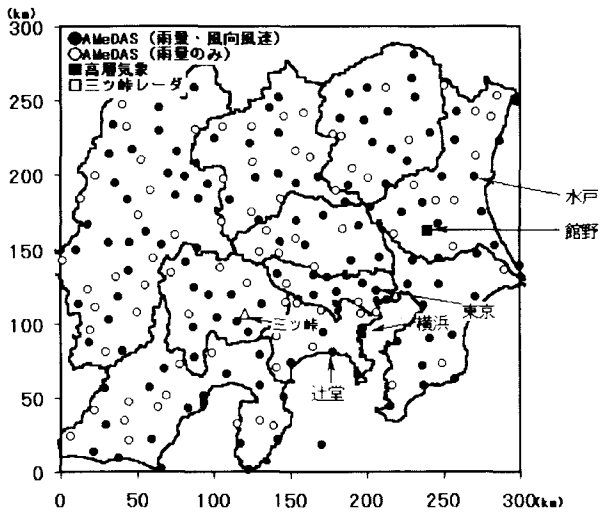


図-1 AMeDAS 気象観測所、高層気象観測所位置

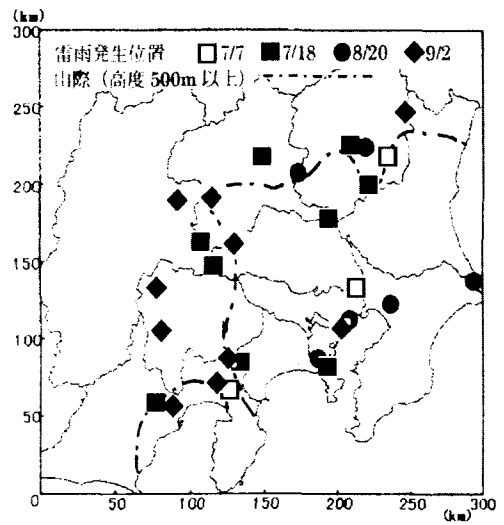


図-2 雷雨の発生位置

報 (AMeDAS 等) を用いて、雷雨の発生に先立つ予兆となる気象状況を把握し、それらから直接的に、雷雨の発生する位置、時刻を予測する事が出来ないか、と考えている。

近年では、関東平野の雷雨を対象として地上・高層の気象の状況とレーダ雨量等を用いた解析<sup>5) -11)</sup>が行われてきており、雷雨の発生や移動とその場での気象状況についていくつかの事例解析を中心とした研究成果があがってきている。しかし、現段階で、都市水害に関連する中小河川流域スケールでの雷雨の予測をいかに行うかという観点での整理は不十分であると思われる。本研究では、まず関東平野を対象に時空間的に連続したレーダ雨量データを用いて、雷雨の発生、移動の特性を調べ、それに関わるさまざまな時空間スケールの気象状況との関連性を調査した。

## 2. 研究対象

本研究では、日本列島のほぼ中央に位置し太平洋に面して広大に広がる関東平野を含む約 300km 四方の範囲を研究対象地域とする。ここには、東京を中心に約 150km 四方の範囲に標高 200m 以下の平坦な地形が広がっている。解析対象期間は、記録的猛暑となった 1994 年夏季の 7 月から 9 月とした。この年は、日本各地で深刻な水不足に見舞われたが、関東平野においては規模の大きい雷雨が頻発している。

降雨情報として、図-1に示す三ツ峠 (山梨県三ツ峠山) に設置されたレーダ観測所の雨量データ及び AMeDAS 雨量計の 1 時間ごとのデータを用いる。気象に関する情報として、AMeDAS による 1 時間毎の地上の気温や風向・風速のデータ、また館野の高層気象観測所で

観測された 6 時間ごとの気温や気圧、相対湿度及び風向・風速のデータを用いる。

## 3. 雷雨の発生と移動の実態<sup>12)</sup>

### (1) 雷雨の発生位置

図-2に、対象とした'94 年の 4 つの降雨期間内に発生している 10mm/hr 以上の雷雨を抽出し、各々の発生位置を調べ整理した。図中の点線部は標高 500m の等高線を意味する。この図から、吉崎<sup>13)</sup>が述べているように、ほとんどの雷雨が山際で発生していることがわかる。またそれ以外の地形的に平坦な地域で発生している雷雨は、地上風の収束している地域や周囲に比べて 2~4℃ほど地上気温の高い地域で発生している事がわかった。これらの現象は、①風の収束による上昇風の発生、②地形による地上風の強制上昇や、また③地表面の高温化による風の集まりと上昇風の発生に起因していると考えられる。

### (2) 雷雨の移動

対象とした 4 つの雷雨について雨域の移動の様子を調べた。図-3は、対象期間内に発生した全雷雨について 10mm/hr 以上の雨域のおよそ中心をトレースし、その時間変化を整理・図化したものである。プロットは 1 時間おきとした。ひとたび発生した雷雨は、連続的におよそ一定方向でおよそ 10~30km/hr の速度で移動し、3~5 時間程で消滅するようである。移動方向は、関東平野内で同時期に発生する雷雨でもさまざまであり、雷雨発生によるダウンバーストと地上風による収束により次々発生する (自己増殖) 場合や、もともと地上風の収束している位置につながって発生していく場合<sup>7)</sup>等さまざまに見られ、対象とした雷雨の中では、地上風や高層風の方角との一定した関連は見られない。

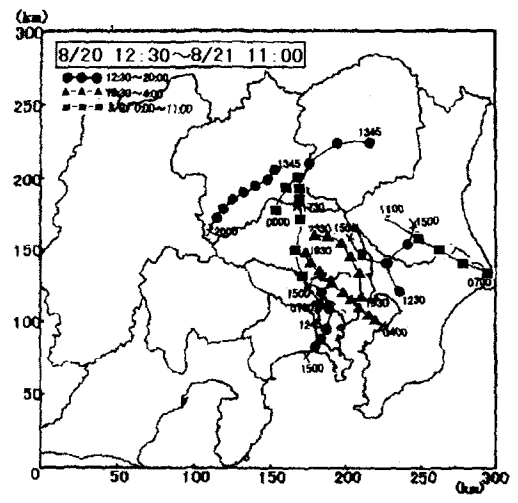
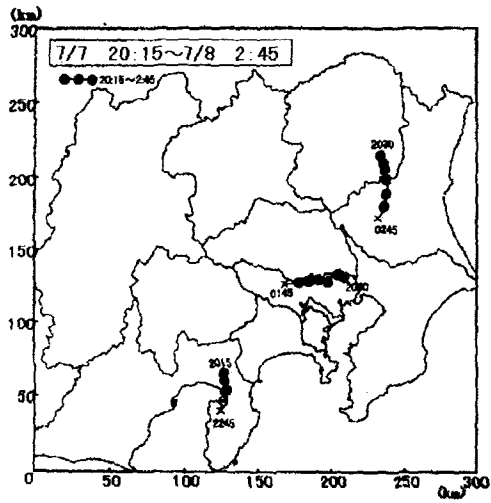
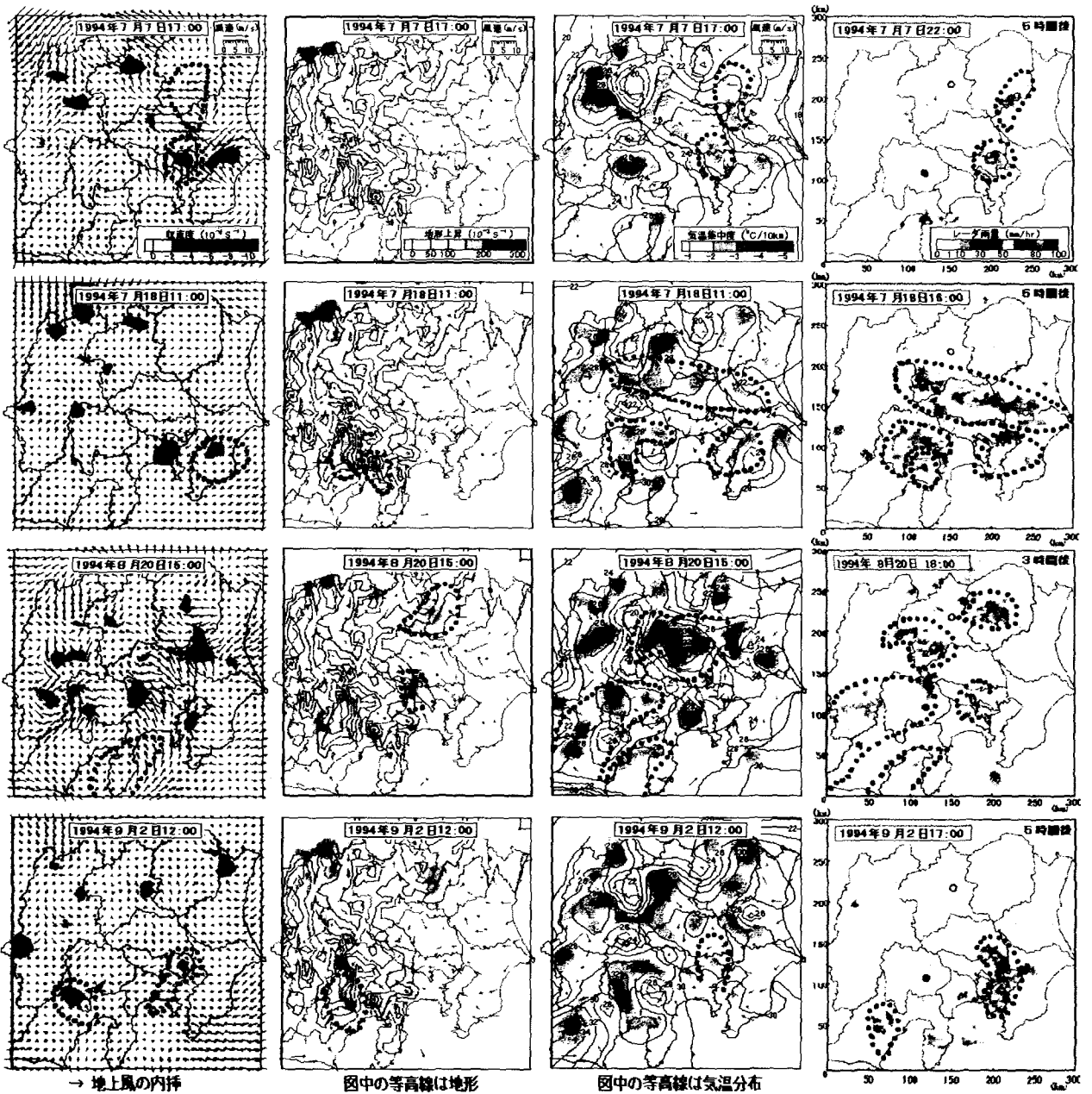


図-3 雷雨の移動



①地上風の収束

②地形による上昇風

③気温の集中度

④レーダ雨量

図-4 地上気象と雷雨の分布状況

#### 4. 雷雨発生と地上気象（地上風、気温）

雷雨の発生位置は、地上風、気温の分布との関連があり、それが事前に察知出来れば、ある程度雷雨発生予測が可能となると考えられる。本研究では、次の3つの観点で雷雨発生の起因となりうる要因の空間的な度合を計算し、その分布とその後の雷雨発生の関係を調べた。

①地上風の収束<sup>5)</sup>：本検討では対象領域を雷雨域の空間スケールや、地上風データの密度を考慮し、10km 四方の格子点を設定し、各地上風観測所の風向・風速を  $x, y$  方向の  $u, v$  とし、格子点に内挿し各メッシュの風の収束度  $div u$  ( $10^{-3} s^{-1}$ ) を以下の式で計算した。

$$div u = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y \quad (1)$$

ここに、 $u, v$  (m/s) は、 $x, y$  方向の風速、 $x, y$  (km) は東西、南北方向の距離に相当する。

②地形による上昇風：対象領域の地形の勾配を計算し、その時々地上風の向きと大きさにより上昇風の起こる範囲と度合を計算した。地形勾配は、「数値地図 50mメッシュ (標高)」(国土地理院) をもとに 10km 四方のメッシュごとで次式で平面回帰を行った。

$$z = ax + by + c \quad (2)$$

ここに、 $z$  は標高、 $a, b, c$  は平面形を示す係数でこの回帰式を基に上昇流  $w$  は図-5に示すように時々の地上風 ( $u, v$ ) により、

$$w = au + bv \quad (3)$$

で計算するものとした。

③気温の空間的な集中度：先の 10km の格子に AMeDAS の地上気温を内挿し、東西南北に隣り合う格子点の気温の差 ( $\Delta tx, \Delta ty$ ) を求め、それを (1) 式における地上風の ( $u, v$ ) とおきかえて計算を行い、気温の集中度 (気温勾配の収束度) として評価するものとした。

以上の各要因の度合の分布とその3時間あるいは5時間後のレーダ雨量の分布を図-4に示す。各々の降雨で、黒点線で囲うような地域で、①地上風の収束や②地形による上昇風、③気温の集中が見られた後にその位置で雷雨が発生していることがわかる。4降雨の各々で、3つの要因の度合がさまざま、これらの要因が複合して雷雨の発生位置をきめているようである。各要因でこれらの前兆がみられても雨量が認められない地点もみられるが、他時間に発生している場合が、その後移動していく

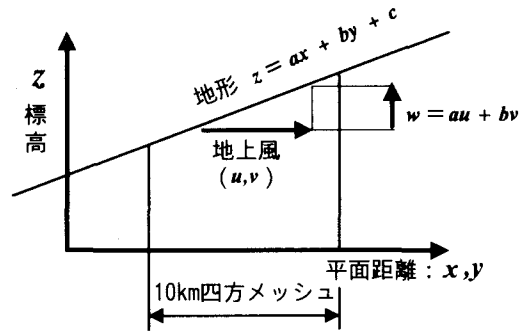


図-5 地形による上昇風 ( $w$ ) の計算概念図

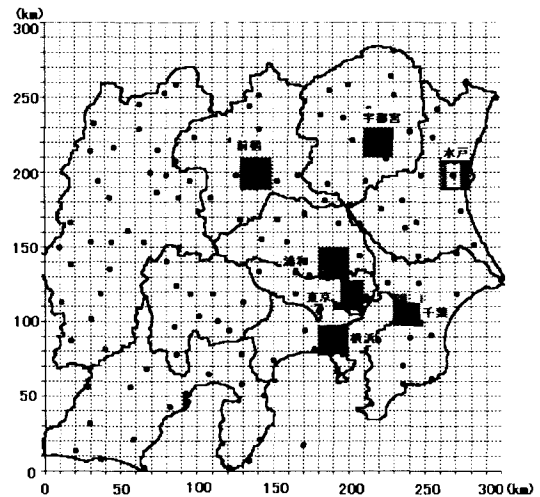


図-6 ブロック設定図

こともあり、今後総合的に調べていく必要がある。関東平野の主要都市部を中心に 20km 四方の範囲をブロック設定 (図-6) し、メッシュごとにこの3つの指標を計算し、その中での各指標と雨量の経時変化の一例を図-7に示す。(a), (d)で示す東京ブロックでは地上風の収束が、(b)前橋、(c)宇都宮では地形による上昇風が顕著であり、雷雨発生5~6時間前から起きはじめていることがわかる。これら、都市部では恒常的に気温の集中度は高いようであり、雷雨発生前にいったん下降する傾向が4つの降雨でみられた。これらの都市部各ブロックでの雷雨発生前の地上気象の兆候が計算出来れば雷雨発生の位置、時刻の予測が可能になると考えられる。図-8は、1999年8月29日に東京都東部に記録的集中豪雨を記録し、甚大な被害をもたらした雷雨の状況である。東京ブロックでは、12時頃から地上風が収束しはじめ、17時にその度合が大きくなる。その後、19時に雷雨発生、20時にピークを向かえる。この例では、雷雨ピークの約3時間前には、その危険を予測出来た可能性が示唆される。

図-9に1994年8月20日前後10日間の図-6に示す東京ブロックでの地上風の収束度と、その期間中の雨量の状況を例として示す。前節で整理した地上風の収束状況は、降雨発生の2~3日前より以前では海陸風の周期によると思われる規則的な日周期変動がみられ、降雨発

7(a)東京ブロック (94.7.7) 7(b)前橋ブロック (94.7.18) 7(c)宇都宮ブロック (94.8.20) 7(d)東京ブロック (94.9.2)

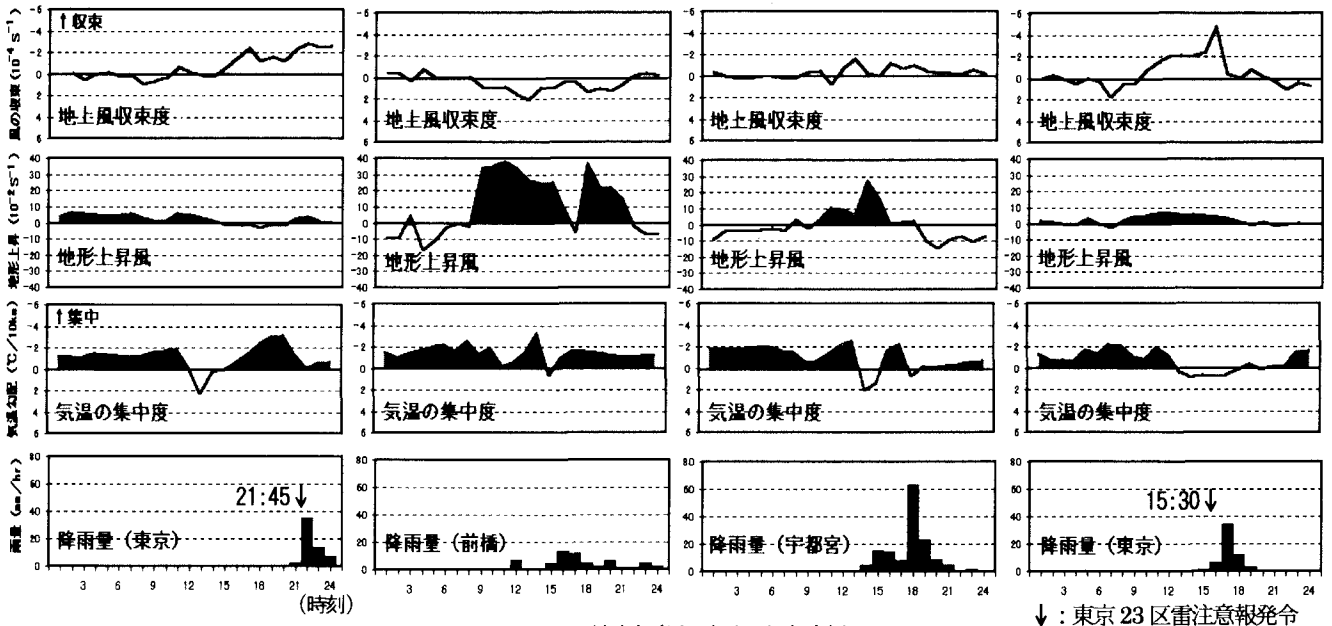
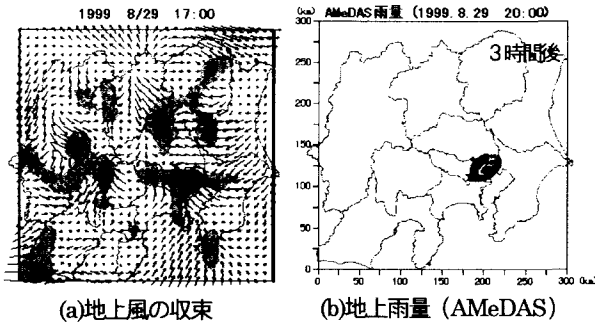


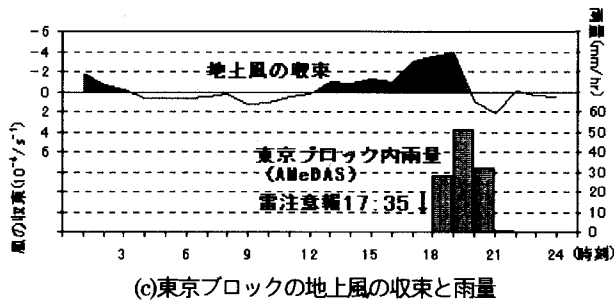
図-7 地上気象と雷雨の発生時刻

↓ : 東京 23 区雷注意報発令



(a)地上風の収束

(b)地上雨量 (AMeDAS)



(c)東京ブロックの地上風の収束と雨量

図-8 1999年8月29日雷雨の状況

生2~3日前にそのパターンが乱れ、その後に雷雨が発生している。このような傾向は、他降雨、他地点でもみられ、そのときの総観場の気象概況からは、前線の通過、停滞や関東上空の寒気流入等の変化がみられ、大気不安定となっている。雷雨発生前の地上風の収束は、周期的に日常繰り返されており、このことだけが起因として雷雨が発生するのではなく、さらに大きい時空間スケールの長期的な気象の場が雷雨の発生条件として関連してくるものと考えられる。

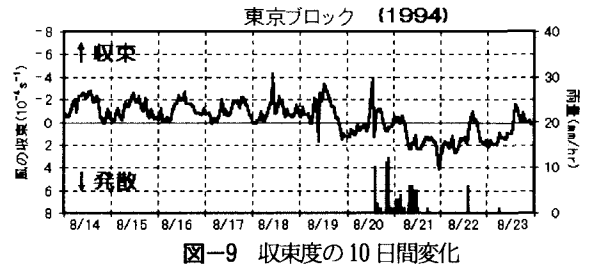


図-9 収束度の10日間変化

### 5. 雷雨発生時の気象の場<sup>12)</sup>

図-10 に7月~9月の3ヶ月間の気圧、高層気温、高層湿度、降雨量の経時変化を示す。図-10(a)は、館野高層気象観測所における3ヶ月間の地上気圧の変化と雷雨発生の様子を示す。また図中には天気図から読み取った関東平野を前線が通過・停滞する日を示す。この図から、前線の通過日と雷雨発生日とが概ね一致している事がわかる。また、地上気圧と雷雨の関係を見ると、図中のA~Dに示す様な雷雨発生の3~5日程前から気圧の低下が生じている事がわかる。図-10(b)に対象期間3ヶ月の各日の9:00の高層気温の変化を示した。図-10(d)の関東平野における日雨量変化と比べると、図中A~Dの雷雨発生の5日程前から気温の低下が見られ、その気温の低下にはおよそ10日前後の周期がある事がわかる。また、それらは特に上層の気温にて明確であり、また低層に比べて、上層の方が早い段階から気温が低下しはじめている。図-10(c)は相対湿度の時系列変化を示したものである。相対湿度は図中A~Dでみられるように雷雨発生の1~2日前に上昇する事がわかる。この傾向は地上から

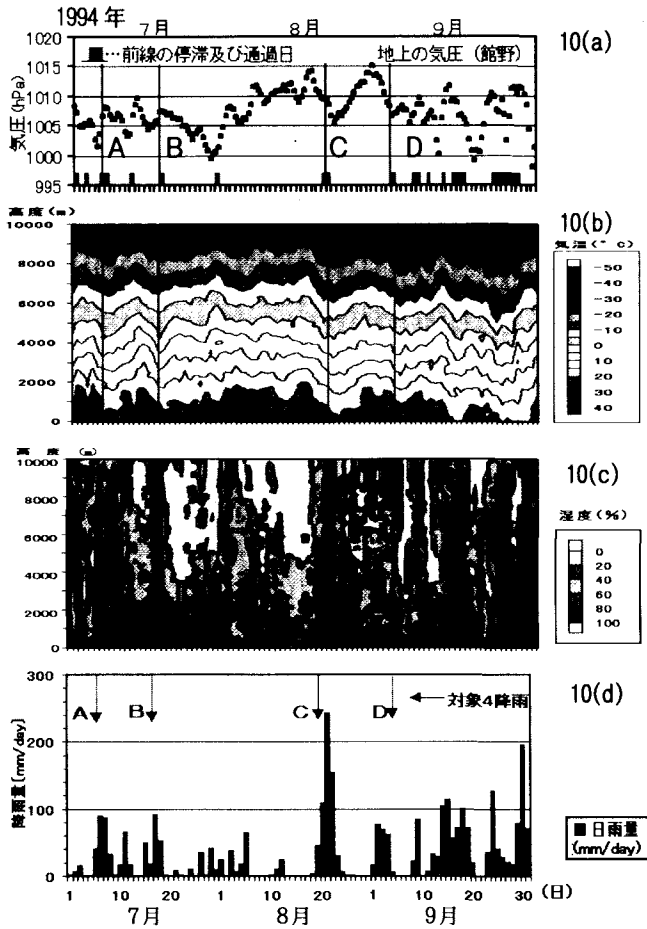


図-10 雷雨と気圧、気温、湿度

3,000~4,000m までの中低層で顕著であり、これより高層になるとあまり見られない。前線の通過、気圧の低下時でも、大雨とならないケースもみられ、これら総観場の気象状況のみで雷雨が発生するとは限らず、地上気象との相互的な関連があると思われる。また、図-10で示した日雨量は、関東平野域にある AMeDAS 雨量のうちの各日での最大を示したものであり、雨量観測網で捉えきれない雷雨があったことも考えられる。雷雨発生の数日前に起こるこうした気圧、気温や相対湿度の変化は、寒気の流入などにより上層が徐々に低温となる事により、関東平野一帯に鉛直方向での不安定な場が形成されることを示し、その上で先に示したローカルな地上気象の変化や偏りをきっかけとして雷雨が発生していると考えられる。総観場の気象状況と、地上気象の相互関係を今後さらに明らかにしていく必要がある。

## 6. おわりに

関東平野の雷雨発生に先んじる地上気象、高層気象の予兆ともいえるさまざまな現象を解析した。現段階で容易にオンラインで得られる気象情報と、雷雨発生との関連はおそらく強い関係にあり、今後さらに検討、事例追跡

を進めれば、気象情報を取り入れた雷雨性集中豪雨の予測は、ある程度可能になると考えられる。

一方、発生した雷雨は消長を繰り返しつつ雨域を移動させていく。その移動方向については地上風や高層風の風向、地上風の収束等と関連している<sup>7),8)</sup>といわれているが、現段階では、双方の関係を明確にする事はできなかった。雷雨は、その場で発生するのみでなく、周辺から移動してくる場合もあるため、今後は移動特性を含めてさらに統計的、定量的な気象状況と雷雨特性の関連付けを行い、より確かな雷雨予測に結び付けていく必要がある。また、雷雨発生と関連が強いと言われている大気の大安定性等と雷雨発生、その予測方法との関連も総合的に調べていく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、(財)河川情報センターから、平成10年度研究開発助成を受け、対象のレータ雨量情報等の提供を受けました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 谷岡康, 福岡捷二, 谷口将俊, 小山幸也: 都市中小河川の洪水流出特性, 土木学会論文集 NO.586/II-42, pp.1-12, 1998.2
- 2) NHK放送文化研究所編: 新版NHK気象ハンドブック, pp.94, 1995.
- 3) 中北英一, 杉本, 池淵, 中村, 奥田, 山路, 高棹: 3次元レーダー及びGPVデータを用いた短時間降雨予測手法, 水工学論文集, 第40巻, pp.303-308, 1996.
- 4) 谷岡康, 福岡捷二, 伊藤繁之, 小山幸也, 傳雲飛: 都市中小河川流域規模を対象とした短時間雨量の特性, 土木学会論文集第579号/II-41, pp.29-45, 1997.11
- 5) 谷岡康, 福岡捷二, 尾崎友彦, 渡辺毅: 関東平野の雷雨発生時の気象状況, 水工学論文集第42巻, pp.25-30, 1998.
- 6) 吉崎正憲, 上清直隆, 瀬古弘, 高山大, 楠研一, つくば域降雨観測実験グループ: 1995年8月10日に関東平野に発生した雷雨の解析, 気象, 日本気象学会, pp.19-32, 1998.
- 7) 堀江晴男, 遠藤菊郎: 関東平野における熱雷の発生と移動について-1995年夏期の解析-, 天気 vol.45, No.6, 日本気象学会, pp.441-453, 1998.6.
- 8) 岩崎博之, 福田保, 荻野剛朗: 夏期の関東地方における積乱雲の出現特性, 平成7年度河川情報センター助成研究成果報告集, (財)河川情報センター, pp.24-36, 1996.
- 9) 山田ら: ドップラーレーダを用いた降雨観測と降雨特性の解析, 平成9年度河川情報センター助成研究成果報告集, (財)河川情報センター, pp.11-21, 1998.
- 10) 原久弥, 志村光一, 山田正, 天野繁, 森田寛: 関東平野における雷雨発生機構に関する研究, 土木学会第53回年次学術講演会概要集II, pp.20-21, 1998.10.
- 11) 志村光一, 森田寛, 原久弥, 山田正: 関東平野における対流性降雨の移動形態に関する研究, 土木学会第53回年次学術講演会概要集II, pp.22-23, 1998.10.
- 12) 谷岡康, 小松徹, 福岡捷二: 雷雨発生に関わる気象要因, 土木学会第54回年次学術講演会概要集II, pp.664-665, 1999.9.
- 13) 吉崎正憲: 雷雨の発生環境について, 天気 vol.43, No.11, pp.734-736, 1996.11. (1999.9.30受付)