

三次元レーダを用いた首都圏における 雷雨性集中豪雨の解析事例

Analysis of Thunderstorm-like Rainfall in the Tokyo
Metropolitan Area by a 3D Radar System

藤岡和夫^{*} 玉嶋克彦^{**} 平山孝浩^{***} 石井敏雅^{****}

By Kazuo NADAOKA, Katsuhiko TAMASHIMA, Takahiro HIRAYAMA and Toshimasa ISHII

Recently the Tokyo urbanized area becomes more vulnerable to thunderstorm-like heavy rain rather than the rain accompanied with typhoon (Tamashima et al. 1990). Hence in the present study an attempt has been made to analyze the characteristics of the generation and evolutional process of cloud cells in the Tokyo metropolitan area by using of a 3D radar system. The results of the analyses for typical three cases of 31 July 1987, 13 August 1988, and 17 August 1988 suggest that in addition to the heat island effect due to the urbanized area, the existence of Tokyo Bay as a cool island and a source of water vapor also affects the evolutional process of cloud cells.

Keywords: thunderstorm, 3D radar system, cloud cell, the Tokyo metropolitan area, Tokyo Bay

1. はじめに

大都市における水害発生形態は、近年、従来見られなかった特徴を見せ始めている。すなわち、従来大半を占めていた台風、低気圧に伴う豪雨による水害が相対的に減少してきたのに対し、雷雨性の集中豪雨による水害が目立ってきている。例えば玉嶋ら¹⁾は、東京都における浸水被害の中で生起要因が雷雨性の降雨であるものの割合が近年増加してきていることを示している。この雷雨性集中豪雨は、その大きな特徴として、ごく短時間に高強度の降雨が狭い領域に集中する降雨形態を示す。したがって、雷雨性集中豪雨の発生は、都市化の進んだ中小河川流域での災害ポテンシャルの増加に直接結びつくものと考えられる。しかしながらこのような雷雨性集中豪雨は、その時空間スケールの小ささからいって現在の予測システムで予測することはかなり困難であり、特に近年の首都圏のような大都市圏での集中豪雨となるとその実態把握も十分に行われていない段階にある。

-
- * 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)
- ** 学生員 東京工業大学大学院 (同上)
- *** 東京工業大学 (同上)
- **** 東京電力(株)技術研究所 構造研究室 副主任
(〒182 東京都調布市西つつじが丘2-4-1)

そこで本研究では、この種の問題へのアプローチとして、まず大都市圏での降雨特性そのものを把握することが重要であると考え、その実態把握を行うことを試みた。具体的には、ここでは現在東京電力によって設置されている三次元雷レーダを用いて解析を行うことにした。このレーダはもともと秩父や日光地方などによく発生する雷をモニターする目的で1973年に設置されたものであるが、その性能は十分今回の解析目的に合致するものである。また今回は、降雨セルに伴う地上風系の対応を調べる目的で、この雷レーダデータ以外に首都圏の各自治体が測定している地上気象データを用いた解析も行った。これは首都圏の場合、各自治体はかなり細かい観測網を設けており、気象庁のアメダスデータでは十分把握できないメソスケールの降雨セルに対応した地上風系データが得られる可能性があるという首都圏の降雨解析を行う上での大きな利点を積極的に活かそうとしたものである。これらのデータはともに現在解析中であるが、ここではこれまでのところ特に興味深い結果が得られている3つのケースについて報告する。

2. 雷レーダについて

表-1 雷レーダの諸元

表-1 に東京電力によって設置されている雷レーダの諸元を示す。多くの気象レーダは仰角が固定であるのに対して、この雷レーダは仰角が可変であり、立体的な観測を行うことができる。この雷レーダは東京本店と柏崎と福島に合計三台が設置されている。この雷レーダから

受信信部 中心送信周波数 ピーク送信出力	5,685 MHz (C バンド) 175 kW
空中線装置 形状 直径 水平回転 ビーム幅	パラボラアンテナ 3 m 6 rpm (10秒/1回転) 1.7°

得られる情報は、高度1km～15kmまでの各1km高度ごとのレーダ雨量強度 (mm/h) である。観測単位メッシュは、東西方向に3.75km×南北方向5.5kmであり、観測周期は3分となっている。

3. 事例解析結果

ここでは3つの解析事例について述べる。まず最初は、西方から東方に進んで来た降雨セルが東京都上空で多重セル型のセルに発達した後減衰し、その後東京湾上を抜けて千葉上空にさしかかって再び発達するパターンを示したCASE-A (1987年7月31日)。次は、周辺には全く雨域がみられない状況で東京湾近傍の千葉上空に突如として降雨セルが出現・発達したCASE-B (1988年8月13日)。最後が、伊豆半島から北東方向に延びるレインバンドが東京・神奈川地方にさしかかったときに、東京湾岸沿いに降雨セルが生成されたCASE-C (1988年8月17日) である。

3.1 CASE-A: 1987年7月31日

このケースでは梅雨前線が15時から16時にかけて南下し、その前線の通過に伴い東京地方では大気の状態が不安定となり雷雲が発達し、局地的に大雨をもたらした。図-1はこのときの練馬と豊島の地上10分間雨量の経時変化を示したものである。この図より両地点とも10分間に10mmを越える強い雨がかなり短い時間に集中して降ったことが分かる。

図-2はレーダによって観測された各高度ごとの雨量強度を、高さ1kmから15kmまで高さ方向に合計して強度150mm/h以上の値を示した領域の時間移動を示したものである。このときの上空での風向きは館野の高層観測によればほぼ西風であり、これに対応して降水セルは図に示すように都心部を通り東京湾、房総半島を横断し、太平洋に抜けていくパターンを示した。この降水セルは東京の多摩東部から区部にかけて発達、停滞し、高強度の雨をもたらした。図から分かるように、降水セルはその後衰弱しながら東京湾を横断するが、房総半島に上陸した後再び発達しはじめ、新たに発生した他の降水セルと合体するに至ってかなり上空にまで成長するという形態を示している。

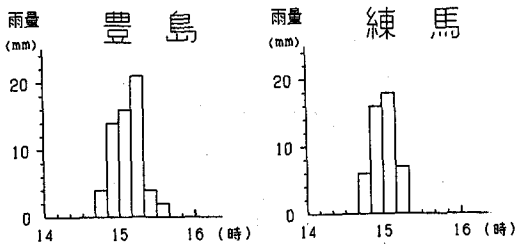


図-1 地上雨量 (1987年7月31日)

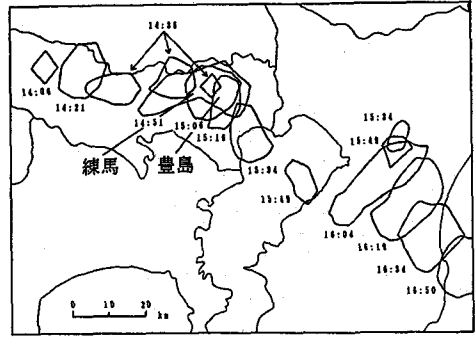


図-2 等雨量強度域の移動図
(1987年7月31日)

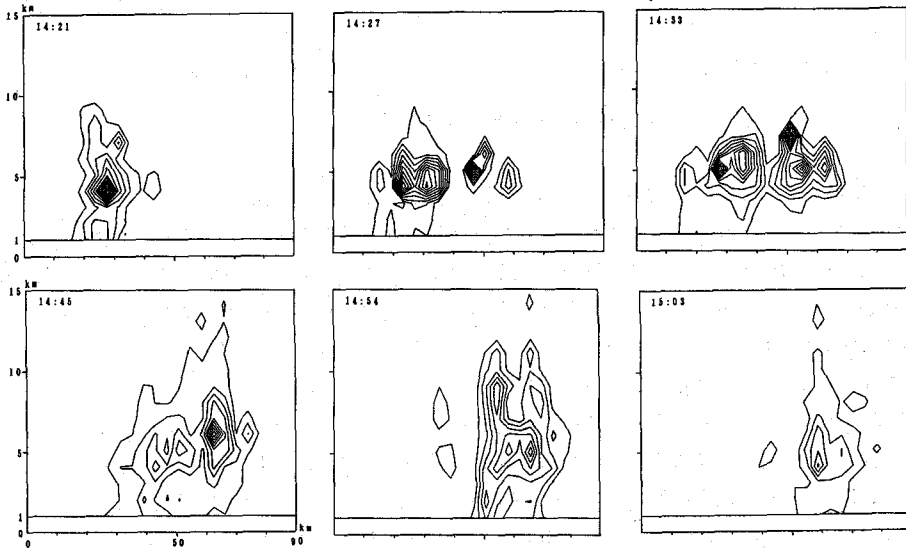


図-3 雨量強度の鉛直断面図 (東京上空) (1987年7月31日)

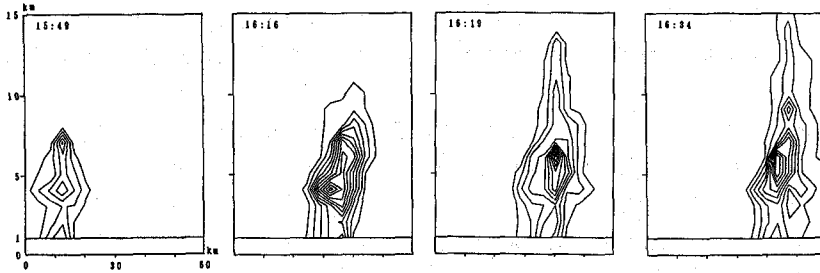


図-4 雨量強度の鉛直断面図 (房総半島上空) (1987年7月31日)

図-3は、14:21~15:03までの東京の多摩東部から区部にかけてのレーダ雨量強度の東西方向鉛直断面図の経時変化を示したものであり、10mm/h毎の等強度線の形で描いたものである。この図は、積乱雲が都市部上空で発達、停滞、衰弱する様子をよく表している。特に、この図の14:21~14:33を見ると最初にできた降水セルの前に新しい降水セルが次々とできており、この段階では組織化された多重セル型の構造を持っていたことが分かる。さらに14:45、14:54においては、降水域が高度15km付近まで存在し、この積乱雲の雲頂高度がかなり高くなっていることが分かる。図-4は千葉県房総半島上での雨量強度の東西方向鉛直断面図の経時変化で、一度衰弱した降水セルが他のセルと合体し再び発達したときの様子を示したものである。このときもセル頂高度がかなり高くなっている。

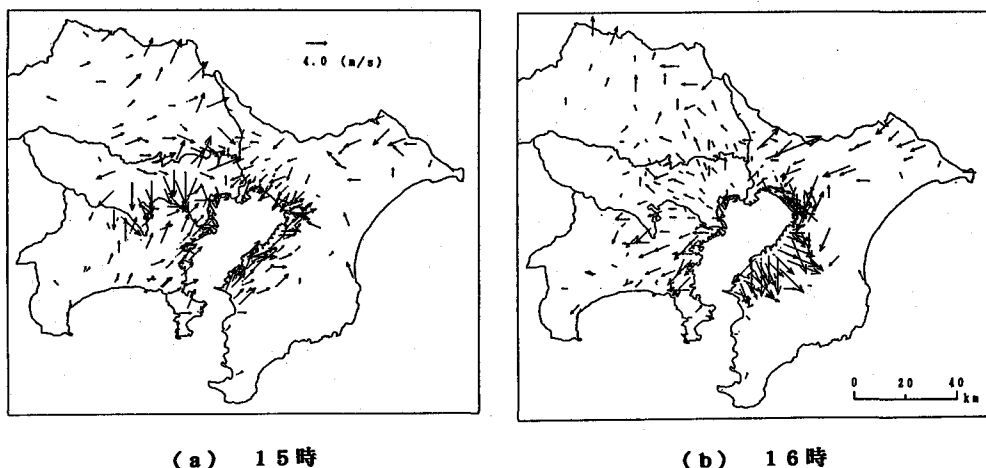


図-5 地上風系(1987年7月31日)

この日の地上風系を示したものが図-5である。15時の図を見ると、図-2の降水域に対応した場所で地上風が発散していることが分かる。これは降水に伴う強い下降流が地表付近で周囲に発散する形で現れたものと考えられる。16時の図では15時の図と比べると東京湾周辺の風向きが一変しており、東京湾から吹き出すような風系となっている。この東京湾から吹き出す比較的強い風は、千葉県側で収束域を形成しており、この収束域は降水セルの通過直前に形成されていたことが分かる。

3.2 CASE-B: 1988年8月13日

図-6は千葉市上空付近に突然発生し、発達・衰弱した降水セルを三次元レーダによって捕らえたものであり、レーダ雨量強度を高さ方向に合計したものと鉛直断面図の形で示したものである。等雨量強度線は平面図では10mm/h毎に、そして鉛直断面図では2mm/h毎に描いてある。この図より、突然発生した降水セルはその後その北側にもう一つの降水セルを作り出していることが分かる。このときの上空の風は館野の高層観測によれば弱い南風であり、この場合も風下側に新しい降水セルができたことになる。しかしこのときの降水セルは先ほどのケースとは異なり、ほとんど移動することなしに発達・減衰している。雷レーダによれば、このとき首都圏の他の地域では降水域が全く観測されておらず、この千葉市付近でのみ降水域が観測されている。

この日の地上風系を示したものが図-7である。この図を見ると千葉市付近に明瞭な風の収束域が存在することが分かる。そしてこの収束域は、降水セルが発生した場所とよく一致している。

3.3 CASE-C: 1988年8月17日

このケースでは他のケースと異なり、図-9の気象庁のレーダ・アメダス合成図に示されているように、太平洋岸に明瞭な筋状の降雨域が存在していた。この場合に興味深いのは、レインバンド中の強雨域が海域と陸地の境界付近に集中していることである。そこで東京湾付近の雷レーダデータをピックアップして示したものが図-8で、3時24分の雨量強度を示している。描き方は図-6と同様である。これを見るとこのときのセル頂高度はあまり高くなかったことが分かる。図-9のレーダ・アメダス合成図では東京湾付近において最初の強雨域が北上した後6時ごろ再び強雨域が現れていることが分かるが、雷レーダデータによるとその後さらに8時ころやや弱い降雨セルが現れていることが確認されている。レインバンド中の降雨セルの相対的な移動・発生パターンの存在はすでに多くの報告例があるが、ここでは陸域と海域の境界近傍にその発生・移動パターンが現れていることがその大きな特徴となっている。

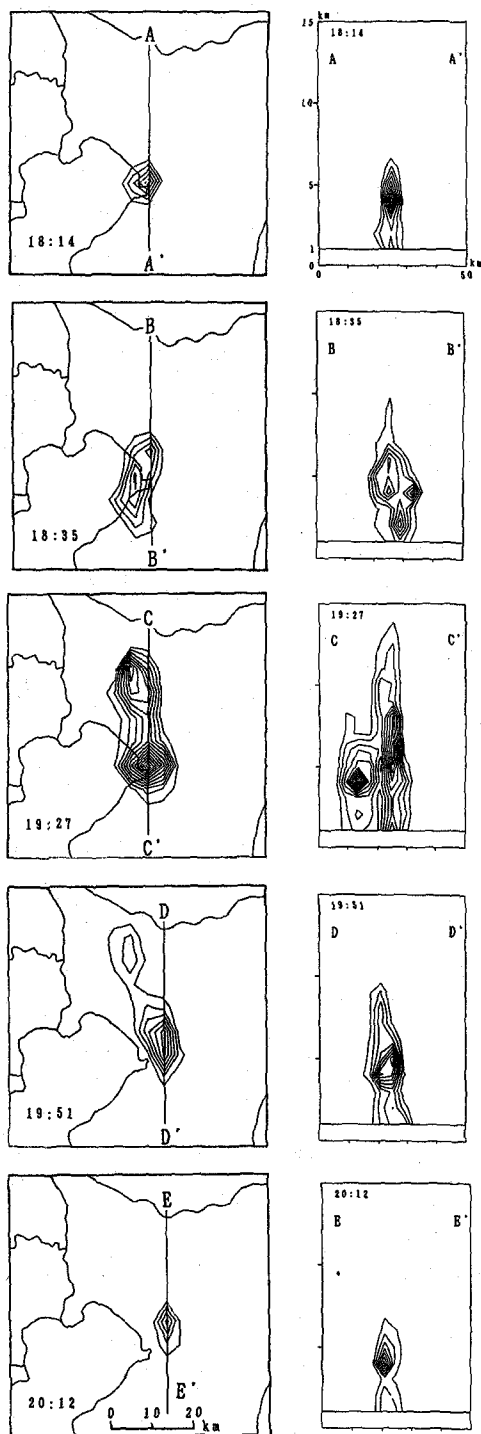
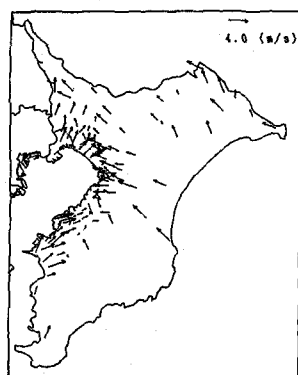
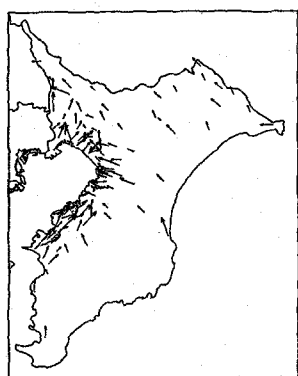


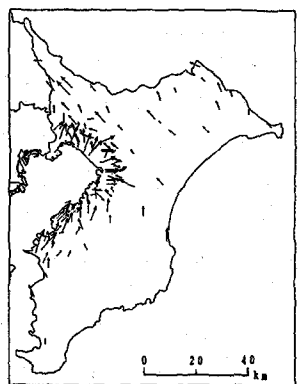
図-6 雨量強度の水平及び鉛直分布
(1988年8月13日)



(a) 17時



(b) 18時



(c) 19時

図-7 地上風系(1988年8月13日)

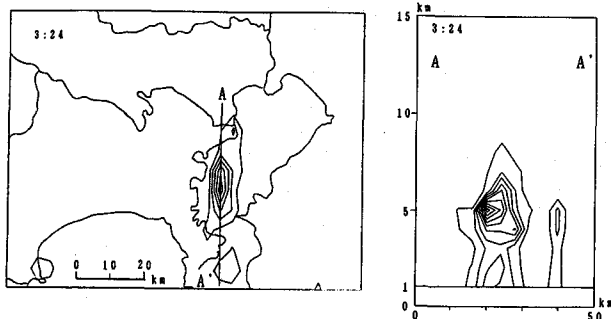


図-8 雨量強度の水平及び鉛直分布
(1988年8月17日)

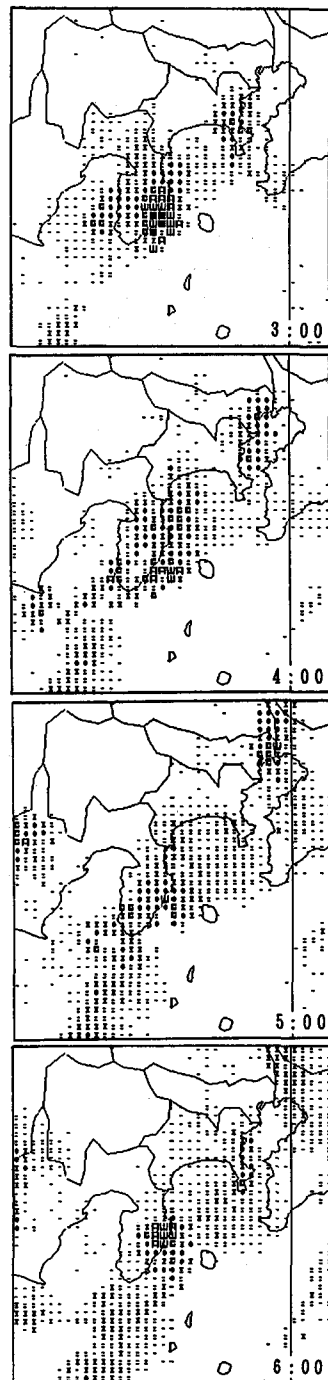
4. おわりに

CASE-Aでは、降水セルが東京上空を西から東へ横断し、さらに東京湾から房総半島へ抜けていくケースを示したが、そこでは、東京上空でのマルチセル型降水セルの発達 → その後の急激なセル頂高度の増大と減衰 → 東京湾通過後の地上風収束域での降水セルの再発達、というプロセスが見いだされた。この過程の解釈としては、次のような仮説が可能ではないかと考えられる。すなわち、当初東京上空で降水セルがヒートアイランド効果と一般風のシアの効果により発達した後、水蒸気供給の減少により一旦減衰する。しかし、東京湾上の通過に際して再び水蒸気供給を受けたのち、千葉上陸後の地上風の収束域を経て再び急激に発達するというプロセスをたどったものと考えられる。

このような東京湾沿いの海域と陸域の境界近くで形成される地上風の収束域に対応して降水セルが発生・発達するパターンはCASE-BやCASE-Cでも明瞭に見られる。このことは、首都圏での降水セルの発生・発達にはたんにヒートアイランド効果だけではなく、海域すなわち東京湾の存在が密接に関与しているものと考えられる。すなわち、東京湾は陸域と逆にクールアイランドとしての効果を持つことから陸域との境界に収束域を生じ易いこと、また水蒸気の大きな供給源になるといった効果を持つことが考えられ、それが降雨セルの発生・発達に大きく関係する可能性がある。ただし、これらは今のところたんなる推測の域を出ていない。今後解析事例を増やしていくと同時に、数値解析等により詳細に検討していきたいと考えている。

[参考文献]

- 1) 玉嶋・灘岡・石井：大都市圏における雷雨性集中豪雨解析の雷レーダの利用可能性の検討、第45回年次学術講演会講演概要集第2部、pp4～5、1990。



記号	-	二	三	※	□	山	田	■
mm	0～	1～	5～	10～	20～	30～	40～	60～

図-9 レーダ・アメダス合成図
(1988年8月17日)