

月)日降水量の階級別出現特性の経年変化, 天気, 50, 31-41.

Thielen, J. and A. Gadian, 1997: Influence of topography and urban heat island effects on the outbreak of convective storms under unstable meteorological conditions: A numerical study, Meteor. Appl., 4, 139-149.

Thielen, J., W. Wobrock, A. Gadian, P. G. Mestayer and J. D. Creutin, 2000: The possible influence of urban surfaces on rainfall development: A sensitivity study in 2D in the meso- γ -scale, Atmos. Res.,

54, 15-39.

Westcott, N. E., 1995: Summertime cloud-to-ground lightning activity around major Midwestern urban areas, J. Appl. Meteor., 34, 1633-1642.

Yonetani, T., 1982: Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area, J. Appl. Meteor., 21, 1466-1471.

Yoshikado, H., 1992: Numerical study of the daytime urban effect and its interaction with the sea breeze, J. Appl. Meteor., 31, 1146-1164.

105:109 (ヒートアイランド; 豪雨; 積乱雲; ファーストレダールエコー)

4-2. ヒートアイランドが降水におよぼす影響

—東京周辺における積乱雲の発達—

小林 文明*

1. はじめに

都市によるヒートアイランドは熱対流を形成し、また凝結核が増加することで雲量や降水が増加するといわれている。ヒートアイランドが積雲対流におよぼす影響は例えば Yonetani (1983) で議論されているが、積乱雲との因果関係を明確に提示することは難しい。ここでは東京周辺で観られる積乱雲の観測的事実を紹介し問題点や課題を述べたい。

2. 何が問題なのか?

北関東の山岳域で発生した雷雲が移動して、東京周辺が“夕立”にみまわれることは良く知られている。ところが、しばしば都心周辺で積乱雲が発生し、局地的に短時間強雨を記録することがある。しかも、時間降水量が100 mm/hに達するような豪雨であるために都市生活に与えるインパクトが大きく、近年“都市型水害”とか“都市型豪雨”などと呼ばれている。このような豪雨をもたらす積乱雲は何時何処で発生、発達



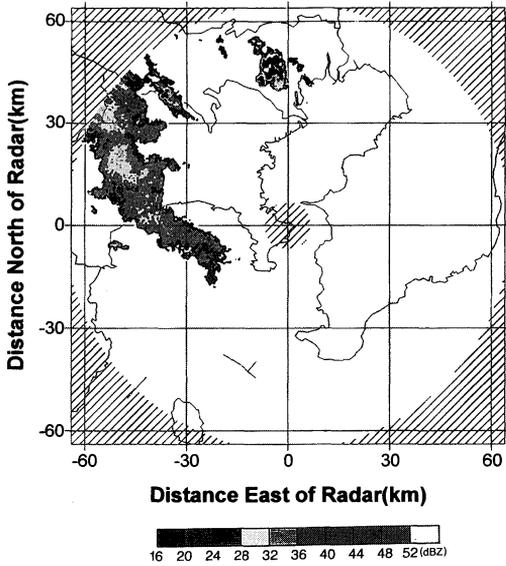
第1図 1999年7月22日15時01分における東京上空の積乱雲 (横須賀から撮影)。

するのであろうか? 例えば、“環八雲”の形成には海風の収束が重要であることが指摘されているが(甲斐ほか, 1995), 晴天積雲がその後どのような過程で巨大な積乱雲にまで成長するのであろうか?

夏型の日には東京周辺の平野における積乱雲の発生要因は、加熱された地表面と海風が浸入した相対的低温域による温度コントラストすなわち地表面の部分(差別)加熱による熱雷(広義の熱雷; 小倉ほか, 2002)

* 防衛大学地球海洋学科, kobayasi@nda.ac.jp

© 2004 日本気象学会



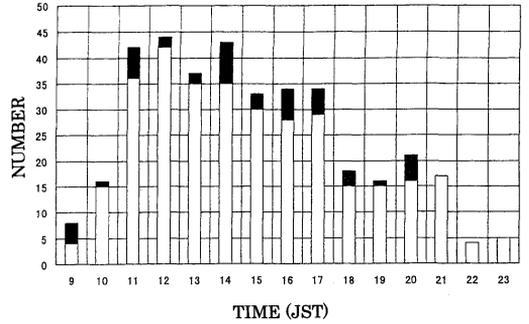
第2図 1999年7月22日14時55分の高度3 kmにおけるレーダー-CAPPI画像。

といえる。しかしながら、10 km 程度のメソスケールでみた場合、都市からの熱や水蒸気輸送が積乱雲発生にどの程度寄与しているのか、地表付近の気流の収束によりどの程度の上昇流が形成されるかなど不明な点が多い。

3. 1999年7月21日、22日の事例

1999年7月21日15時すぎに東京上空で急速に発達を始めた積乱雲はわずか10分足らずで圏界面にまで達した。次々と同じ場所で積乱雲が発生した結果、東京都の雨量計では練馬で16時13分までの1時間に131 mmを記録した。最も発達した練馬上空のレーダーエコーセルは最大反射強度が50 dBZ を超え、エコー頂は17 km に達した。積乱雲発生から1時間後にはエコー内でひとつの循環系が形成され、ライン状に組織化されたエコーシステムは南へ伝播を始めた。この積乱雲に伴う雷活動は活発で1時間当たり2000回に達した。降水同様に落雷も練馬上空の発達した積乱雲周辺に集中していた(小林ほか, 2001)。すなわち、練馬上空で積乱雲発生から巨大積乱雲へ成長する間エコーは停滞し、その結果降水や落雷が局地的に集中したといえる。

翌7月22日も14時30分から東京上空で積乱雲の発生、発達が観測された(第1図)。この積乱雲を約50 km 離れた横須賀(防大屋上、標高100 m)に設置したドップラーレーダーで観ると、既存の丹沢山系周辺のエ



第3図 防大レーダーレンジ内で発生した積乱雲ファーストエコーの時刻別発生頻度。影は都心周辺で発生したエコーを示す。

コーとは別に、東京上空に孤立したレーダーエコーセルの発達を確認された(第2図)。

4. 夏季東京周辺における積乱雲の発生

横須賀(防大)における、1999年、2000年のそれぞれ7、8月2か月間のレーダー観測データをもとに、レーダーレンジ内(東京、神奈川、千葉南部)で発生した積乱雲(熱雷時の28 dBZ 以上の対流性エコー)の初期エコー(ファーストレーダーエコー)を検出した(Kobayashi and Inatomi, 2003)。

夏型の日のうち積乱雲エコーが認められた10日間、計350個のファーストエコーの発生場所をみると、丹沢山系や房総半島の山岳域に集中していたが、都心周辺でも相対的に数は少ないものの発生していた。ファーストエコーの発生時刻では、11JST~17JST に大部分が発生した(第3図)。午後の早い時間に房総半島、丹沢山系、その後多摩や都心周辺の平野で発生し、夕方頃東京湾、相模湾で発生するという特徴が認められた。都心周辺のファーストエコーも一部を除けば午後に限定されていた。

ファーストエコーの内、最終的にエコー頂が10 km 以上に達したものを、“発達したエコー”と定義すると、約1割が発達したエコーの範疇に入った。発達したエコーは前述の各地域で発生が認められたが、換言すると平野部や海上で発生するファーストエコーは発達する割合が高いことを意味している。平野部での発達は12JST~15JST であり、夕方積乱雲の発達がみられる北関東と異なっている。また、ファーストエコーの発生高度は、丹沢山系等の山岳域周辺ではほとんどが高度2 km と低いものに対して、平野部では4 km~5 km であった。これは東京周辺における積乱雲の構造やメ

カニズムが、山岳の斜面上昇による積乱雲とは異なることを示唆している。

さらに、“発達したエコー”のその後を追うと、最大エコー面積が500 km²未満のグループと1000 km²を超えるような面積的にも発達したグループに大別されることがわかった。最終的な発達の仕方は面積だけでなく、寿命(前者は1~2時間なのに対し、後者は4~5時間)や発達率(前者が1時間程度、後者が20分足らずで急成長)にも表れた。すなわち、“発達する積乱雲”の中で“巨大積乱雲”にまで成長する場合は急速に成長し組織化(長続き)することが特徴といえる。ファーストエコーが巨大積乱雲に成長する割合は丹沢では約1%程度なのに対して、都心周辺では約10%に達した。すなわち、都心周辺では一度積乱雲が発生すると発達しやすいということが言える。

5. まとめ

夏季東京周辺で観られる積乱雲の特徴は以下のよう

- 1) 夏季熱雷発生時には、相対的に山岳域に比べて発生頻度は少ないものの、東京周辺の平野でも積乱雲は発生する。
- 2) 積乱雲の発生時刻は午後から夕方であり、特に平野部で発達する積乱雲は12JST~15JSTに集中している。
- 3) 東京周辺の平野部では一度積乱雲が発生すると発達しやすく、急成長、長続きする“巨大積乱雲”にまで成長する傾向にある。
- 4) 局地的な集中豪雨や落雷の集中は、発生した積乱雲が同じ場所で成長(組織化)する過程と理解される。

6. 今後の課題

関東平野における積乱雲発生とヒートアイランドの関係を明瞭にするためには、

- 地形を含んだ局地風の振る舞い(収束)
- 周囲の積乱雲との相互作用
- ヒートアイランドによる加熱(水蒸気)強化

これら要因がどのように寄与しているか定量的に見積もる必要がある。特に、積乱雲発生直前(発生前1時間位か)の上昇流や大気安定度、可降水量などの直接観測は重要と考えられる。陸上で、しかも場所や時期がある程度限定される現象だけに、組織的な観測研究のアプローチが望まれる。一方で、住民や行政関係者の立場からいえば、最大どのくらいの雨が何処で降りやすいかといった防災マップのような情報が求められているのではなかろうか。例えば、大阪平野でも強雨の発生場所に偏りがあることが指摘されている(小西, 2001)ように、都市防災の観点からも各地域に応じた情報を提供することが求められている。

参考文献

- 甲斐憲次, 浦 健一, 河村 武, 朴(小野)恵淑, 1995: 東京環状八号線道路付近の上空に発生する雲(環八雲)の事例解析-1989年8月21日の例-, 天気, **42**, 417-428.
- Kobayashi, F. and N. Inatomi, 2003: First radar echo formation of summer thunderclouds in southern Kanto, Japan, *J. Atmos. Electricity*, **23**, 9-19.
- 小林文明, 上野洋介, 稲富成子, 紫村孝嗣, 2001: 1999年7月21日東京都心周辺に豪雨をもたらした積乱雲, 天気, **48**, 3-4
- 小西啓之, 2001: 大阪北部の強雨事例, 2001年夏の研究集会「豪雨・豪雪をもたらす気象擾乱」, 科学技術振興事業団・戦略的基礎研究報告書, 140.
- 小倉義光, 奥山和彦, 田口晶彦, 2002: SAFIRで観測した夏期の関東地方における雷雨と大気環境. I: 雷雨活動の概観と雷雨発生メカニズム, 天気, **49**, 541-553.
- Yonetani, T., 1983: Enhancement and initiation of a cumulus by a heat island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 244-253.