

Bound.-Layer. Meteor., 105, 177-193.
 Kanda, M., R. Moriwaki and F. Kasamatsu, 2004 :
 Large eddy simulation of turbulent organized structure within and above explicitly resolved cube arrays, Bound.-Layer. Meteor., (印刷中).
 森脇 亮, 神田 学, 2003 : 都市接地層における放射・熱・水・CO₂フラックスの長期連続観測, 水文・水資源

学会誌, 16, 477-490.
 Uehara, K., S. Murakami, S. Oikawa and S. Wakamatsu, 2000 : Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons, Atmos. Environ., 34, 1553-1562.

304 : 1052 (ヒートアイランド ; 都市の降水)

4-1 ヒートアイランドが降水におよぼす影響

—夏の対流性降水を中心にして—

藤 部 文 昭*

1. はじめに

都市の気候変化の1つとして、降水の変化の可能性が指摘される(大後・長尾, 1972; Landsberg, 1981; 原田, 1982; 藤部, 2001). 日本の大都市ではここ数年, 100 mm/時を超える豪雨のため地下室が浸水するような災害も起こり, ヒートアイランドによる豪雨増加の可能性が論じられるようになってきた。

しかし, 降水の分布や頻度は自然要因によっても変動するので, 都市の影響の有無については慎重な見極めが必要である。アメリカでは1970年ごろ, シカゴ郊外の降水の増加傾向が都市化(工業化)の影響なのかどうかをめぐって活発な論争が行われた(原田, 1982; Landsberg, 1981). 最近の日本では, 都市の豪雨に対する社会的関心の高まりに実態確認が追いつかず, 「ヒートアイランドの影響で, 市街地を突然襲う“都市型豪雨”が激増している・・・」というイメージが独り歩きするような状況も生まれてきている。

本稿では, 夏の対流性降水に焦点を当て, 「本当に都市化が降水の増加をもたらしているのか」について論じてみたい。前半では一般論として, アメリカを中心とする国外の研究を概観し, 都市が対流性降水の増加をもたらす得るメカニズムを考えてみる。後半では東

京の夏の降水について, 実態と問題点を議論する。

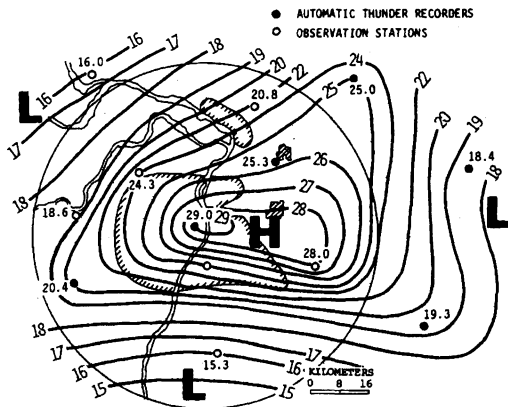
2. 国外の研究

大後・長尾(1972)は都市の降水に関する研究例を紹介し, まとめとして次のように書いている。

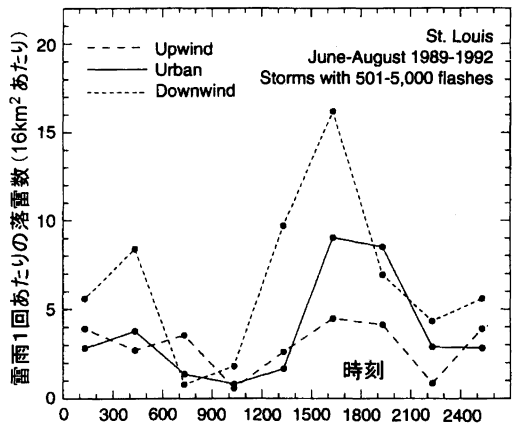
比較的高緯度の地方では層雲系の雲によって都市に雨が多くなる傾向があり, これは凝結核の増加と関係があるらしい。また緯度が低くなるにつれて, 層雲系の雲による都市の多雨はめだたなくなり, かわって対流性の雲による都市の雨が多くなる傾向がある。そしてこのような対流性の雲による雨は夏期に多く, かつ大陸性気候のいちじるしいアメリカなどで顕著にみられ, これは都市気温の上昇とも関係があるらしい。

このうちアメリカの話は1960年代のChangnonらの研究によるところが大きく, その中には論争の種になったシカゴ郊外のものも含まれていた。都市気温の上昇による対流性降水の増加というシナリオは近年よく話題になる「ヒートアイランドによる豪雨増加」に通じるものであり, 30年前にすでにこのような認識が生まれていたことが分かる。しかしChangnon(1969)などを見ると, 当時は一般的にはヒートアイランドの効果よりも凝結核の効果が重視されていたことがうか

* 気象研究所予報研究部, ffujibe@mri-jma.go.jp



第1図 セントルイスとその周辺の雷日数分布 (Changnon ed., 1981). 1973~1975年6~8月の総日数.



第2図 セントルイスの風上(西側)・都市域・風下(東側)における落雷数. 1989~1992年6~8月の中程度のストームを対象にした統計結果 (Westcott, 1995).

がえる.

1970年代になると, Changnon はセントルイスを対象にして, 都市気候の観測プロジェクトである METROMEX (Metropolitan Meteorological Experiment; Changnon ed., 1981) を推進した. これは, 夏の昼間のヒートアイランドに目を向け, 雲や降水に対する都市の影響評価を目的に含めた初めての大きかりな研究であった.

第1図はセントルイス(ミズーリ州)周辺における夏の雷日数の分布図である. 雷日数は都市の風下側(降水系の移動の下流側, すなわち東側)で極大になっている. これと同様の分布は, 夏の降水量や強い降水の頻度にも見られる. 時間的に見ると, 都市風下側の降水増加傾向は午後著しい. このほか, フィニックス(アリゾナ州)やメキシコ市などでも, 都市域やその風下側(メキシコでは西側)で夏の午後を中心とする対流性降水の増加傾向が指摘されている (Balling and Brazel, 1987; Jauregui and Romales, 1996).

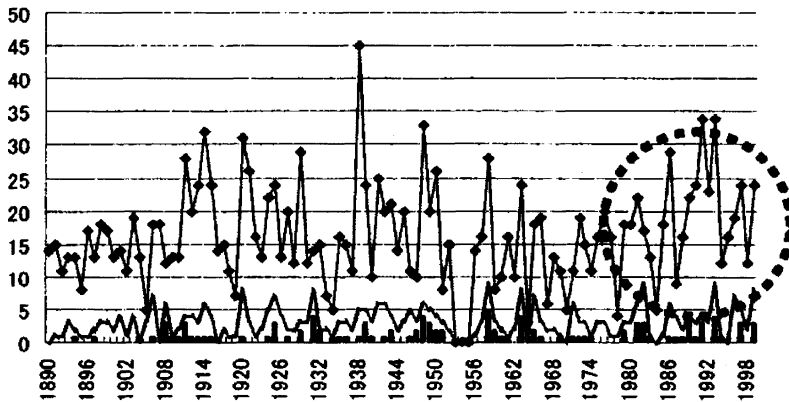
最近リモートセンシング(遠隔観測)のデータを使った解析も行われている. Shepherd *et al.* (2002) はアメリカ南部の6都市を対象にして TRMM 衛星の降水データを統計し, 都市の風下側(東側)では暖候期の降水強度が周囲に比べて平均28%大きいことを示した. Westcott (1995) は落雷探知システムを利用し, アメリカ中西部の16都市(人口50万以上)の多くで, 都市域~風下側の夏の落雷頻度が風上側よりも多いことを示した. 時間帯別に見ると, 増加率は午後大きい(第2図). 一方, 五大湖の西岸に位置し, 東側

が湖になっている都市(シカゴなど)では風下側の増加傾向は不明瞭である.

メキシコ湾に面するヒューストンでも, 都心からその東側に落雷頻度の極大が見られる (Steiger *et al.*, 2002). ヒューストンの雷活動や大気汚染とヒートアイランド・海風との関わりを解明するためのプロジェクトとして, HEAT (Houston Environmental Aerosol Thunderstorm Project; <http://www.met.tamu.edu/ciams/heat/>) が進められている.

以上をまとめると, 暖候期の降水や雷は都市の風下側を中心として増加傾向があり, その傾向は午後著しいこと, ただし風下側が海や湖である場合には風下の増加は必ずしも目立たず, 都市域に極大ができることもあることが分かる. なお Changnon (2001) は海陸・湖陸分布よりも都市の規模を問題にし, 「人口100~200万ぐらいの都市はその風下側に増加域ができるが, シカゴやニューヨークのような巨大都市では都市域内でも増加が起こるのではないかと」言っている. これらは, 「南東側に海を控えた巨大都市」である東京のことを考える上で興味深い.

ここで留意すべきなのは, 都市効果を肯定する情報のほうが, 否定的な情報に比べて発表される機会が多く, 結果として情報の偏りが生ずる可能性があることである. Pittock (1977) は都市効果の証拠とされる報告例にも自然要因で説明できる余地があることを指摘し, 以下のように述べている.



第3図 東京の1時間降水量が10 mm, 20 mm および30 mm を超えた回数の経年変化 (樫田ほか, 2002).

Natural causes would appear to largely account for a number of supposed anthropogenic effects on precipitation. Anthropogenic effects on local climate (e.g., urban heat islands) undoubtedly exist, but the nature and magnitude of the effects on precipitation are seriously questioned. More rigorous analytical, statistical and quantitative treatment is needed if these effects are to be accurately and confidently assessed.

都市の降水については、多くの事例の比較や多様な要因の検討の中から都市効果のシグナルを判別していく努力が必要である。

ここまでで紹介したような統計的研究のほか、都市の降水事例を個別に取り上げた文献もある (Atkinson, 1971; Harnack and Landsberg, 1975; Bornstein and Lin, 2000). これらは、降水系が都市ヒートアイランドやそれに伴う地上収束域で発生・発達したことを示し、降水系に対する都市の熱的効果を論じている。また Dixon and Mote (2003) は、アトランタの都市域で孤立した対流性降水が発生した事例 (5年間で37例) を集め、それらを「ヒートアイランドによって発生した降水」 (urban heat island-initiated precipitation) と見なしてその特徴を記述している。しかし、不安定な総観場のもとで局地的な高温域や収束域が現れ、降水系が発達することは、都市でなくても起こり得ることであり、都市効果はあくまでも降水発生の可能性を高める潜在因子の1つに過ぎない。事例研究の意義は、個々の降水事例がヒートアイランドによるものかどうかというような単純な因果論とは距離を置き

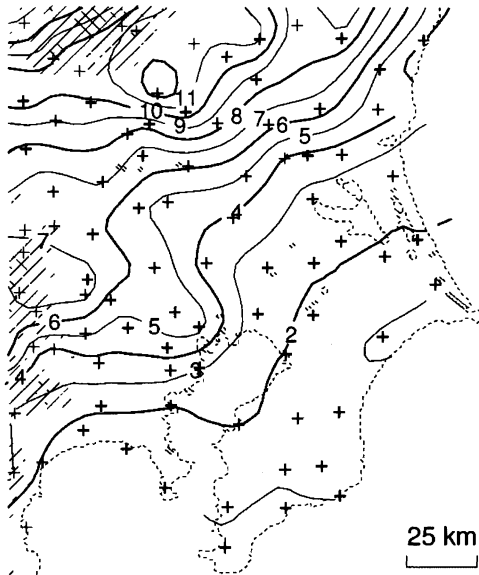
て、都市の降水系の発達過程や内部構造をメソ現象の視点から解明することにあるのではないかと思う。

3. 原因論

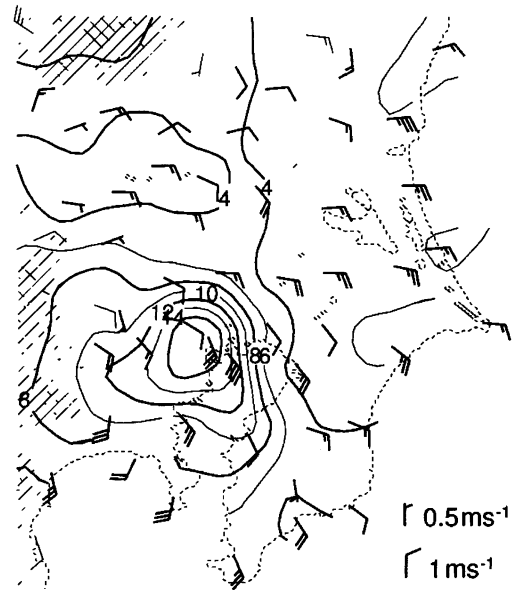
都市の降水に影響する因子としては、(1) 地上の高温に伴う静的安定度の減少、(2) 局地循環 (ヒートアイランド循環) による地上風の収束、(3) 大気汚染に伴う凝結核の増加、(4) 地表面摩擦の増加による強制上昇などが挙げられる (Landsberg, 1981; 原田, 1982)。これらのうち、どれがどう寄与するかについての量的な検討は不十分で、都市降水のメカニズム論は定性的な段階にとどまっている。都市化による豪雨の増加が既定事実のように認識されていく中で、そのメカニズムについても議論を深めていくことが必要であろう。

対流性の強い降水に関しては、大後・長尾 (1972) のまとめにあったようにヒートアイランドの影響を重視し、(2) の収束の效果に注目する見方が多い。海風前線や山の稜線などにできる積雲は、局地循環による収束が対流性降水の発生に影響する例であり、(2) はそのヒートアイランド版である。都市化による地上の気温上昇は夜間に著しい傾向があるが、顕熱フラックスの増加量はむしろ昼間に大きく、ヒートアイランド循環も昼間に強まる傾向がある。このことは対流性降水の増加傾向が午後に着しいことと整合する。また、沿岸の都市では海風循環とヒートアイランド循環が重なり、都市域のやや内陸寄りに強い収束と上昇流が現れる (Yoshikado, 1992)。これは、沿岸都市で都市域に降水活動の極大が現れるとされる傾向と符合する。

地上収束すなわち下層の上昇流が雲の発達を促す理



第4図 関東平野の12~24時の降水量分布 (mm). 統計対象は、海拔150 m以下のアメダス地点で(1)日最高気温が平均 28°C 以上で、(2)06~12時に1 mm以上の降水があった地点が5つ以下であり、かつ12~24時に平均1 mm以上の降水があった日(1979~2001年の239日). 藤部ほか(2003)の第1図gを、表示方法を変えて示したもの.



第5図 東京都心を中心とする降水分布. 12~24時の降水量分布を6つのパターンに分類したものの1つ(藤部ほか(2003)の第1図fを、表示方法を変えて示したもの). その他のパタンのうち4つは北関東を中心とするもの、残る1つは西部山沿いから都心付近にかけてのもの. 風は14時のもの.

由としては、(a) 空気を自由対流高度まで持ち上げることと、(b) 下層の水蒸気の多い空気を持ち上げて上空を湿らせ、雲が発達しやすい状態を作ることが考えられる。(a)は湿った不安定な大気中で積雲発生のきっかけ(トリガー)になるが、比較的安定な場で局地循環が果たす役割としては(b)が注目されている(木村, 1994; Kuwagata, 1997; Iwasaki and Miki, 2002など). この点ももっと突っ込んで議論する価値があるように思う.

4. 東京の場合

東京の降水を扱った統計的研究としては、以下のものがある.

(1) Yonetani (1982)は8月の大雨日数(≥ 31 mm)を統計し、東京23区内では多摩に比べて相対的な増加傾向があることを指摘した. また佐藤・高橋(2000)は8月に東京周辺で強い降水の比率が増加していることを示した. 対象期間はそれぞれ約20年間である. なお8月以外の月についてはこうした傾向は見出されて

いない.

(2) 一方、過去100年間を通して見ると、東京の強い降水の頻度は数十年スケールで変動していて、一貫した増加傾向は見られない(第3図; 榎田ほか, 2002; 坂上ほか, 2002; 高橋, 2003).

(3) 空間分布においては、東京都心~山の手で周囲よりも降水量や降水頻度がやや多い(藤部, 1998). その傾向は弱い降水よりも強い降水(≥ 5 mm/時)のほうが明瞭であり、暖候期の午後にも最も顕著である. また、永保・三上(2001)は東京とその周辺の降水量分布に主成分分析を適用し、第1成分として23区に中心を持つパターンを得ている.

以上のように、強い降水の増加を伺わせる解析結果はいくつか出ているが、大規模場の変動や地形効果による非一様性も大きい. 上記の研究の多くは、台風や前線など大規模擾乱による降水を含んでいる. 自然現象の多様性の中で、都市効果のシグナルをどう見極めるかがポイントである.

ヒートアイランドの影響が一番ありそうなのは、晴れて気温が上がった日の午後にかかる局地的な降雨で

ある。このような日には海風や谷風が発達し、首都圏の都市効果はこれらと影響しあって広域的な気温変化をもたらす。数値シミュレーションによると、夏の午後の都市効果による昇温は関東平野の内陸域に至る数十～100 kmの範囲に及び、これに伴って地上風も広範囲に変化して、東京の内陸側に収束域ができる (Kimura and Takahashi, 1991; 気象庁, 1994; Kusaka *et al.*, 2000; 近藤, 2001)。広域の気温変化や風の変化は長期間の観測データからも検出されている (Fujibe, 2003)。問題は、こうした風系の変化が降雨の発生・発達にどこまで影響するかにかかっていると見えよう。

第4図は夏の高温日の午後に降水があった239日を対象にして、降水量分布を示したものである。西部山沿いの多降水域が南東に延び、23区に弱い極大がある。大手町や練馬の降水量は周囲の平均的な値に比べて数十%多くなっている。東京湾沿岸では降水量は少なく、都市の風下(東～南東)で多降水になる傾向はない。

個々の日の降水量分布をパターン分類してみると、北関東を中心とする分布とともに、東京都心に中心を持つパターンが得られる(第5図)。このパターの降水に先立つ地上風分布は、鹿島灘から吹き込む東風と相模湾からの南寄りの風とが東京付近で収束する状態になっている(藤部ほか, 2002, 2003; 中西・原, 2003)。これは総観場の北高傾向を反映したものであるが、近年はこのような型の風系が現れやすい傾向も見られる (Fujibe, 2003)。このことは、ヒートアイランドによる地上風の収束が、東京の強雨を引き起しやすい状況を作り出している可能性を示唆する。今後、過去のデータの整備・活用を図り、降水の長期変化や空間分布の実態把握を進め、都市による変化を定量的に評価していくことが期待される。

最近では、自治体の細かい観測網やGPS可降水量、ドップラーレーダーなどのデータを利用して、東京の強雨事例の解析や再現実験が行われるようになった(神田ほか, 2000a; 小司・中村, 2000; 瀬古ほか, 2002)。これらは都市効果の検証とは別の立場に基づくものだが、東京の強雨の発生過程やメカニズムの理解を進める上で重要であり、都市気候の研究にとっても有意義である。

国外では、メソモデルに都市効果(顕熱の増加、地面摩擦の増加)を組み込んだ数値的研究も始めている (Thielen and Gadian, 1997; Thielen *et al.*, 2000)。日本でも、雨を降らせるものではないが、東京の西郊

に現れる“環八雲”を対象にした数値シミュレーションが行われている(神田ほか, 2000b; Kanda *et al.*, 2001)。しかし、これまでのモデルは境界値が固定されたものであり、擾乱時の非定常場における降水系の複雑な振舞に対して都市がどう影響するかを調べることはこれからの課題である。

5. まとめ

アメリカなどのいくつかの都市では、その風下側(東側)を中心として夏の対流性降水の増加傾向が見出されていて、その傾向は午後に著しい。しかし、東側が海や湖になっている都市では風下の増加は目立たず、都市の真上にピークが現れるところもある。日本においては、首都圏における広域的な都市効果による昇温が収束を強め、東京都心の強い降水の増加をもたらしている可能性が示唆される。今後は、都市効果の定量的な評価を含めた実態把握とともに、降水増加をもたらすメカニズムの理解や数値モデルを使った都市効果の解明が課題である。

謝辞

研究費の一部として日本学術振興会科学研究費補助金「首都圏の短時間豪雨をもたらす降水システムの研究」(基盤研究(C)(2)課題番号14540411)の交付を受けた。資料の一部として気象庁統計室作成のCD-ROMを利用した。

参考文献

- Atkinson, B. W., 1971: The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm, *J. Appl. Meteor.*, **10**, 47-55.
- Balling, R. C. Jr. and S. W. Brazel, 1987: Recent changes in Phoenix, Arizona summertime diurnal precipitation patterns, *Theor. Appl. Climatol.*, **38**, 50-54.
- Bornstein, R. and Q. Lin, 2000: Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three case studies, *Atmos. Environ.*, **34**, 507-516.
- Changnon, S. A. Jr., 1969: Recent studies of urban effects on precipitation in the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **50**, 411-421.
- Changnon, S. A. Jr. ed., 1981: METROMEX: A review and summary, *Meteor. Monogr.*, **40**, Amer. Meteor. Soc., 181pp.

- Changnon, S. A., 2001: Assessment of historical thunderstorm data for urban effects: The Chicago case, *Climatic Change*, **49**, 161-169.
- 大後美保, 長尾 隆, 1972: 都市気候学, 朝倉書店, 214 pp.
- Dixon, P. G. and T. L. Mote, 2003: Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation, *J. Appl. Meteor.*, **42**, 1273-1284.
- 藤部文昭, 1998: 東京における降水の空間偏差と経年変化の実態, *天気*, **45**, 7-18.
- 藤部文昭, 2001: 都市が降水に及ぼす影響, *水利科学*, **45**(1), 1-14.
- Fujibe, F., 2003: Long-term surface wind changes in the Tokyo metropolitan area in the afternoon of sunny days in the warm season, *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 141-149.
- 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.
- 藤部文昭, 瀬古 弘, 小司禎教, 2003: 関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係, *天気*, **50**, 777-786.
- 原田 朗, 1982: 大気汚染と気候の変化, 東京堂出版, 223pp.
- Harnack, R. P. and H. E. Landsberg, 1975: Selected cases of convective precipitation caused by the metropolitan area of Washington, D. C., *J. Appl. Meteor.*, **14**, 1050-1060.
- Iwasaki, H. and T. Miki, 2002: Diurnal variation of convective activity and precipitable water over the "semi-basin". —Preliminary study on the mechanism responsible for the evening convective activity maximum, *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 439-450.
- Jauregui, E. and E. Romales, 1996: Urban effects on convective precipitation in Mexico City, *Atmos. Environ.*, **30**, 3383-3389.
- 神田 学, 石田知礼, 鹿島正彦, 大石 哲, 2000a: 首都圏における局地的対流性豪雨とGPS可降水量の時空間変動—1997年8月23日の集中豪雨の事例解析—, *天気*, **47**, 7-15.
- 神田 学, 井上裕史, 鶴野伊津志, 2000b: “環八雲”の数値シミュレーション, *天気*, **47**, 83-96.
- Kanda, M., Y. Inoue and I. Uno, 2001: Numerical study on cloud lines over an urban street in Tokyo, *Bound.-Layer Meteor.*, **98**, 251-273.
- 樫田 爽, 鼎 信次郎, 虫明功臣, 沖 大幹, 2002: 東京における1890年～の時間降水量特性の変化とその季節及び時刻依存性, 日本気象学会予稿集, (82), 387.
- 木村富士男, 1994: 局地風による水蒸気の水平輸送—晴天日における日照時間の地形依存性の解析—, *天気*, **41**, 313-320.
- Kimura, F. and S. Takahashi, 1991: The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo Metropolitan area: A numerical experiment, *Atmos. Environ.*, **25B**, 155-164.
- 気象庁, 1994: 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～(V), 気象庁, 444pp., 303-313.
- 近藤裕昭, 2001: 人間空間の気象学, 朝倉書店, 113-124.
- Kusaka, H., F. Kimura, H. Hirakuchi and M. Mizutori, 2000: The effects of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo Metropolitan area, *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 405-420.
- Kuwagata, T., 1997: An analysis of summer rain showers over central Japan and its relation with the thermally induced circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 513-527.
- Landsberg, H. E., 1981: The urban climate, Academic Press, 275pp.
- 永保敏伸, 三上岳彦, 2001: 首都圏を中心をもつ暖候期の短時間強雨の特性, 日本気象学会予稿集, (79), 313.
- 中西幹郎, 原 由紀男, 2003: 東京都心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.
- Pittock, A. B., 1977: On the causes of local climatic anomalies, with special reference to precipitation in Washington State, *J. Appl. Meteor.*, **16**, 223-230.
- 坂上公平, 岸 泰浩, 入福敏行, 近 慎一, 2002: 東京大手町における夏期の短時間強雨の経年変化とその時間特性, 日本気象学会予稿集, (81), 130.
- 佐藤尚毅, 高橋正明, 2000: 首都圏における夏期の降水特性の経年変化, *天気*, **47**, 643-648.
- 瀬古 弘, 川畑拓矢, 露木 義, 小泉 耕, 2002: ドップラーレーダの動径風を用いた同化実験(序報), 日本気象学会予稿集, (82), 392.
- Shepherd, M. J., H. Pierce and A. J. Negri, 2002: Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite, *J. Appl. Meteor.*, **41**, 689-701.
- 小司禎教, 中村 一, 2000: GPSによる局地的豪雨時の可降水量, 及び水蒸気のスケールハイトの解析, 日本気象学会予稿集, (77), 290.
- Steiger, S., R. Orville and G. Huffines, 2002: Cloud-to-ground lightning characteristics over Houston, Texas: 1989-2000, *J. Geophys. Res.*, **107**, 10.1029/2001JD001142.
- 高橋日出男, 2003: 東京とその周辺における夏季(6～9

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