

首都圏における夏期の降水特性の経年変化

佐藤 尚毅*・高橋 正明*

1. はじめに

梅雨期から盛夏期にかけて、日本の各地でしばしば集中豪雨が発生する。こうした集中豪雨は山間部だけでなく、都市部においても、都市型洪水という形で大きな被害をもたらしている。このような集中豪雨の発生頻度は、気候変動によって変化する可能性があるとして指摘されている。例えば、Iwashima and Yamamoto (1993) や山崎ほか (1999) は日本における日降水量の極値順位データを用いて、日降水量の極端な値の長期変動を調べ、過去100年間に日降水量の極端な値の出現頻度が増加していることを示した。Iwashima and Yamamoto (1993) は、この原因としては、地球温暖化、都市化、台風の襲来頻度の変化が考えられるが、多くの観測地点では都市化や台風の襲来頻度の変化の影響は小さい、と述べている。また、数値実験による研究として、足立ほか (1999) は、地域気象モデルによる二酸化炭素漸増実験の結果として、二酸化炭素が増加すると、夏期の日本では全般的に降水量が減少することを示した。一方で、Gordon *et al.* (1992) は、全球モデルによる数値実験の結果として、二酸化炭素倍増の条件のもとでは、日最大降水量極値が増大、つまり激しい降水が増加することを示した。

一方、ヒートアイランドによって降水特性が変化する可能性も指摘されている。例えば、Yonetani (1983) は、ヒートアイランドによって積雲対流が活発化し、降水をもたらしやすいことを数値実験によって示した。また、Dettwiller and Changnon (1976) は、パリ、セントルイス、シカゴの3都市での過去100年間の降水量データを調べて暖候期には日最大降水量が増加する傾向にあることを示し、その原因のひとつとし

て、ヒートアイランドを指摘した。さらに、首都圏においては、藤部 (1998) が、降水量や降水日数などの空間的偏差やその経年変化を調べている。藤部 (1998) は、ヒートアイランドによる対流性降水の増加の可能性を指摘したが、その一方で、地形効果や自然の気候変動の効果が働いている可能性があるため、空間的偏差や経年変化のすべてを都市効果によって説明できるわけではなく、慎重な検討が必要であると述べている。しかし、都市気候に伴う降水特性の長期的な変動を観測データから調べるためには、空間分解能が十分に細かく、かつ長期間にわたるデータの蓄積が必要である。このため、都市部での局地的な降水特性の変化は、まだ十分には調べられていない。

そこで本研究では、首都圏 (都心からおおむね100 km 以内の地域) での夏期の降水特性の経年変化やその原因について、AMeDAS (地域気象観測網) の降水量データを用いて調べる。

2. 方法

まず、梅雨や秋霖、台風の影響の少ない8月の首都圏におけるAMeDASの降水量データを解析した。AMeDASは1976年頃から本格的に運用されていて、すべての観測地点で降水量が観測されている。また、いくつかの観測地点では、風向・風速や気温、日照時間も測定されている。

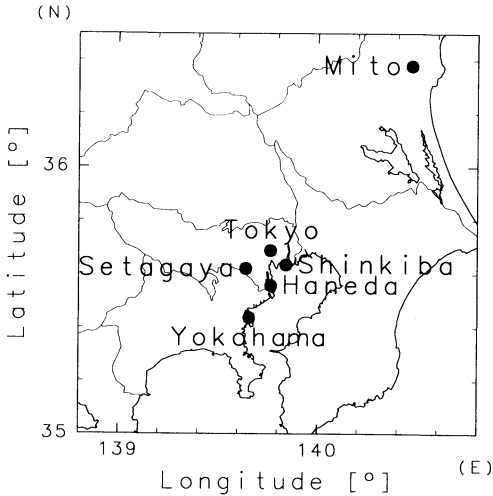
東京の中でも特に都市化の進んでいる地域に位置する観測地点として世田谷、東京、新木場、羽田の4地点を選んで解析した (第1図参照)。まず、降水量の年々変化を調べた。ここでは、降水の強さを時間雨量で階級別に分け、全降水量の他に、各階級の降水量が全降水量に占める割合も調べた。

次に、首都圏の各地点における毎時10 mm を超える強い降水の割合の経年変化を調べた。ここでは、1976年から1986年までの11年間の平均に対して、1987年か

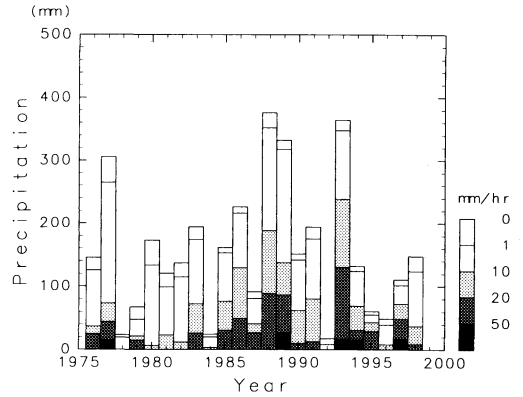
* 東京大学気候システム研究センター。

—2000年2月17日受領—

—2000年7月14日受理—



第1図 主な観測地点の分布。



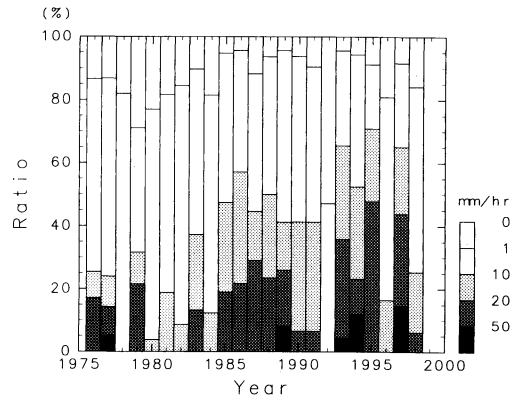
第2図 8月における全降水量の年々変化。降水の強さを時間雨量によって階級に分けた。階級は図の右に示す。

ら1997年までの11年間の平均がどう変化したかを調べた。

降水特性の経年変化の原因を都市化によるヒートアイランドとの関連に注目して理解するために、首都圏での8月の平均気温と風向・風速の経年変化を調べた。平均気温に関しては、ヒートアイランドの強さの指標として、都市部の東京、横浜と郊外の水戸との気温差に注目した。水戸は、気象庁(1994)が、都市化の影響の比較的少ない地点として選んだ国内15地点のうちの1つである。

3. 結果

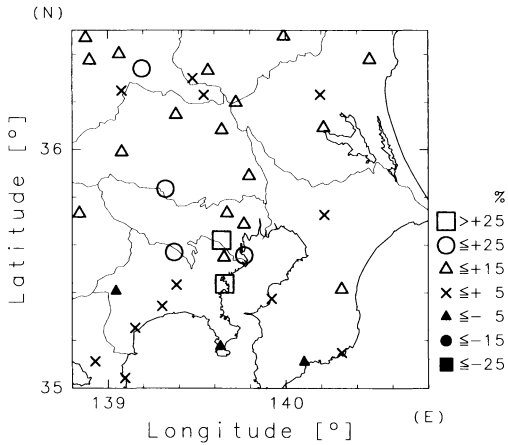
世田谷、東京、新木場、羽田の4地点で平均した全降水量の年々変化を第2図に示す。降水の強さを時間



第3図 8月における降水強度の年々変化。各階級の降水量が全降水量に占める割合を示した。階級は図の右に示す。

第1表 毎時50mmを超える激しい降水の事例。日時、場所、時間雨量、当日の日最高気温、気温の日較差、日照時間、気圧配置の特徴を示す。気温と日照時間を測定していない地点もあるので、気温と日照時間に関しては、すべて東京における値を示す。

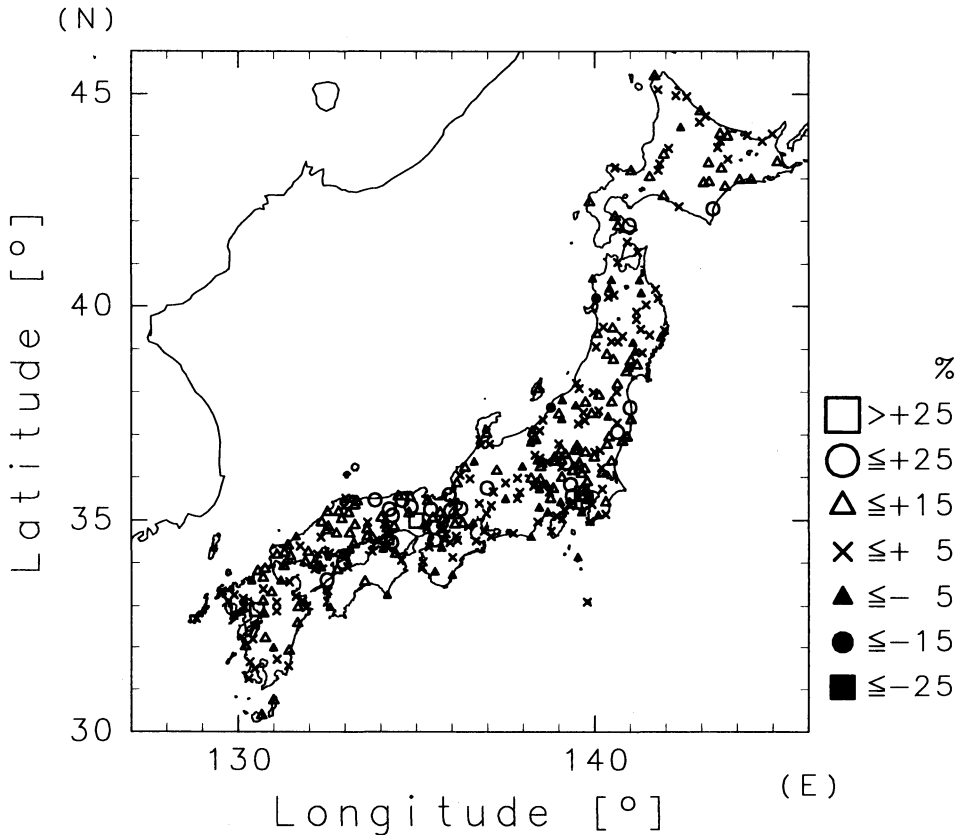
年	月日	時刻	場所	時間雨量 [mm/hr]	最高気温 [°C]	日較差 [°C]	日照 [hr]	気圧配置
1977	8/19	4	羽田	61	25.0	4.4	0.0	南岸に前線と低気圧
1989	8/1	4	東京	52	25.0	1.6	0.0	北日本で寒冷前線通過
1989	8/10	18	世田谷	56	33.2	7.4	8.0	寒冷前線通過
1993	8/27	13	東京	64	26.0	3.7	0.0	台風
1994	8/20	15	世田谷	63	30.2	8.0	1.0	東北地方に停滞前線
1997	8/23	22	世田谷	65	33.4	9.6	3.5	北日本で寒冷前線通過



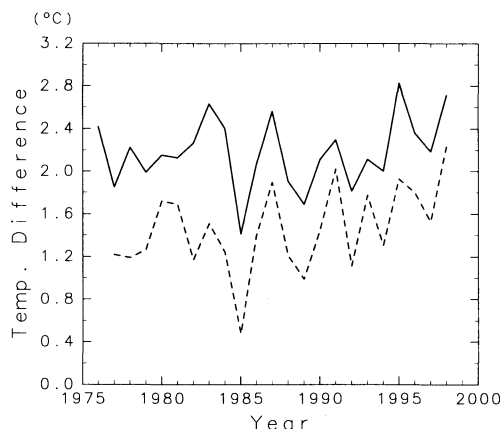
第4図 8月における毎時10mmを超える強い降水の割合の経年変化。1976年から1986年までの平均と1987年から1997年までの平均との差を計算した。正の値は強い降水の割合の増加を示す。

雨量で階級別に分けて示している。年々変動は大きいですが、全体的な増加あるいは減少の傾向は特に見られない。

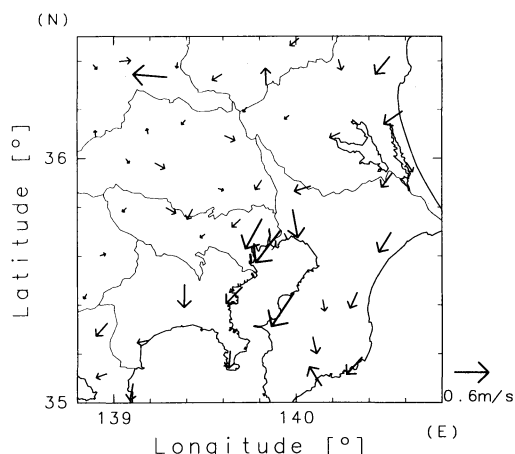
各階級の降水量が全降水量に占める割合を第3図に示す。毎時10mmを超える降水の割合は、1980年代前半までは、20%程度だったのに対し、1990年代には、50%程度に増加している。毎時10mmを超える降水の割合の、1976年から1986年までの値と1987年から1997年までの値について、順位と検定を行った (cf. 東京大学教養学部統計学教室, 1992)。その結果、前半の11年間と後半の11年間との間で強い降水の割合は変化していないという帰無仮説は、危険率2%で棄却された。強い降水の割合の増加は、統計学的に有意であると言える。これらの4地点では、毎時50mmを超える激しい降水が、1990年代に入ってから多発している。毎時50mmを超える降水が発生した時の地上天気図を調べたところ (第1表)、8月中の豪雨の多くは、前線の



第5図 8月における毎時10mmを超える強い降水の割合の経年変化。第4図と同様にして、全国について示した。



第6図 8月における平均気温の差の年々変化。東京(実線)、横浜(破線)における平均気温の値と水戸における値との差を求めた。正の値は東京、横浜の方が高温であることを示す。



第7図 8月における平均風速の経年変化。平均風ベクトルについて、1978年から1986年までの平均と1987年から1997年までの平均との差を計算した。矢印の方向と大きさがそれぞれ、求められた差のベクトルの方向と大きさを示す。矢印の大きさのスケールは、図の右に示す。

接近または通過によって大気が不安定になっている日の午後には発生していることが分かった。

次に、首都圏の各地点における毎時10mmを超える強い降水の割合の経年変化を第4図に示す。東京23区から横浜にかけて、強い降水の割合が増えている。特に世田谷では、強い降水の割合は、23%から49%に増えている。一方、首都圏の他の地域では、はっきりとした増加は見られない。また、梅雨期など他の季節には、8月に見られたような明瞭な変化は見られない。全国的に見ると(第5図)、例えば近畿地方の西部のように、強い降水の割合の増加が見られる地方もあるが、首都圏で見られるほど局地的な変化は見られない。

さらに、8月における都市部の東京、横浜と郊外の水戸との平均気温の差を第6図に示す。特に横浜では、水戸との気温差が1980年代半ば以降、大きくなる傾向にある。また、東京の方が横浜よりも高温だが、近年ではその差は小さくなっている。

平均風速の経年変化を第7図に示す。ここでは、1978年から1986年の平均に対して、1987年から1997年の平均がどう変化したかを調べた。1977年以前は欠損が多いので、前半の期間を1978年から1986年の9年間とした。8月の都心では、平均風速は南よりの風約1.5~2.0 m/sとなっている。これは、昼間に海風が卓越するためである。図より、近年では、都心で平均風である南風が弱くなっている(~0.6 m/s)ことが分かる。その結果、東京23区南部から横浜にかけて、水平風の収束が生じている。なお、1日の中の個別の時刻について

平均を求めた場合でも、同様の収束が見られる。

4. 考察

データ解析で明らかになった強い降水の割合の増加は、対流性降水の増加を示していると考えられる。また、このような降水特性の経年変化には、局地性が非常に大きい。したがって、地球温暖化のような全球規模の変動というよりは、むしろ人工排熱の増加などによる都市気候の変動が原因となっている可能性が高い。降水特性の変化が最も大きい世田谷は、人為的な大気環境の変化によって生じると言われている「環八雲」が見られる場所である(甲斐ほか、1995)。この地域でのヒートアイランドが実際に積雲対流に影響を与えている可能性は十分に考えられる(神田ほか、2000)。

藤部(1998)は、午後の降水の増加から対流性降水の増加を指摘したが、今回は降水の強度から、これと矛盾しない結果が得られた。解析方法が異なるので単純な比較はできないものの、統計学的な有意性に注目すると、今回の解析では、より明瞭に降水特性の変化が示されたと言える。

郊外との気温差の変化から、実際にヒートアイランドが強化されている可能性が示された。また東京23区南部から横浜にかけて水平風の収束が見られた。これらのことから、集中豪雨が多発するようになった原因として、ヒートアイランドの強化による上昇気流の局

地的な活発化が考えられる。1980年代半ば以降の都市部、特に横浜での昇温は、降水特性の変化とある程度は対応している。しかし、1980年代前半までの変動や、細かい変動パターンは、降水強度の年々変動のパターンと必ずしもよく一致しているとは言えず、ヒートアイランドだけによって降水強度が変化しているとは断言できない。

8月の首都圏で見られるような局地的な降水特性の変化は、8月と同様に高温多湿な7月や9月には見られない。Dettwiller and Changnon(1976)や藤部(1998)は暖候期全体の傾向を調べたが、今回の解析では、暖候期全体ではなく、特に8月だけに明瞭な傾向が検出された。また、東京と同様に都市化の進んでいる名古屋、大阪、福岡などの大都市でもはっきりとした変化は見られなかった。藤部(1998)が指摘しているように、単なるヒートアイランドの強化だけで首都圏で見られる降水特性の変化をすべて説明できるわけではなく、夏期の首都圏に特有の気象条件や地理条件が関係している可能性も考えられる。この点に関しては、大気汚染監視局のデータなど、他のデータも含めた詳細な解析が必要であろう。

5. 結論

首都圏での夏期の降水特性の変化やその原因について、AMeDASの降水データを用いて調べた。その結果、都心では近年、強い降水の割合が増えていることが分かった。気温、風向・風速データの解析結果から、その原因としては、ヒートアイランドの拡大による積雲対流の強化が考えられる。しかし、降水特性の変化の機構について正確に理解するためには、さらに詳しいデータ解析が必要である。

謝 辞

図の作成には地球流体電脳ライブラリをもちいた。

参 考 文 献

- 足立万代, 佐藤康雄, 佐々木秀孝, 行本誠史, 野田 彰, 1999: 気象研地域気象モデルによる温暖化時の日本域の気候変化予測実験 2~夏, 1999年日本気象学会秋季大会講演予稿集, 40.
- Dettwiller, J. and S. A. Changnon Jr., 1976: Possible urban effects on maximum daily rainfall at Paris, St. Louis and Chicago, *J. Appl. Meteor.*, **15**, 517-519.
- 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—都市効果についての検討—, *天気*, **45**, 7-18.
- Gordon, H. B., P. H. Whetton, A. B. Pittock, A. M. Fowler and M. R. Haylock, 1992: Simulated changes in daily rainfall intensity due to the enhanced green house effect: implications for extreme rainfall events, *Climate Dyna.*, **8**, 83-102.
- Iwashima, T. and R. Yamamoto, 1993: A statistical analysis of the extreme events: Long-term trends of heavy daily precipitation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 637-640.
- 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**, 417-427.
- 神田 学, 井上裕史, 鶴野伊津志, 2000: ”環八雲”の数値シミュレーション, *天気*, **47**, 83-96.
- 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), 91-92.
- 東京大学教養学部統計学教室, 1992: 基礎統計学III, 自然科学の統計学, 東京大学出版会, 366pp.
- 山崎信雄, 河原幹雄, 1999: 日本における日降水量の極端な値の経年変化, 1999年日本気象学会春季大会講演予稿集, 95.
- Yonetani, T., 1983: Enhancement and initiation of a cumulus by a heat island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 244-253.

Long-Term Changes in the Properties of Summer Precipitation in the Tokyo Area

Naoki Sato* and Masaaki Takahashi**

* (*Corresponding author*) *Center for Climate System Research, The University of Tokyo,
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan*
(*E-mail* : naoki@ccsr.u-tokyo.ac.jp)

** *Center for Climate System Research, The University of Tokyo*

(Received 17 February 2000 ; Accepted 14 July 2000)

Abstract

Local heavy rainfall events often occur in the Baiu and midsummer seasons in Japan. These rainfall events sometimes cause severe disasters, not only in the rural areas, but also in the urban areas. Some authors mention that global and local climate changes may cause long-term changes in the frequency of heavy rainfall events. In the present study, changes in the properties of summer precipitation over 23 years (1976–1998) in the Tokyo area were examined, by using AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) data. Our results show that the ratio of heavy precipitation to the total amount has increased in the Tokyo area in August, although the total amount itself has not changed significantly. The changes in the ratio are highly localized, and cannot be seen during the other periods of the year. The mean temperature has increased in the center of the Tokyo area, corresponding to the changes in the precipitation properties. Further analyses of the AMeDAS wind data show stronger convergence of the horizontal wind in recent years. From these results, it can be reduced that the changes in the precipitation properties may have been caused by stronger cumulus convection over the urban area in 1990s resulted from the strengthening of the heat island.
