

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

高橋 日出男*

要旨

本研究では、東京都心部における夏季の降水特性を、日降水量の階級別積算値に基づいて把握し、その経年変化傾向を提示する。

114年間の夏季日降水量の階級別積算値に主成分分析を施した結果、大きい日降水量の階級(上位階級)と小さい日降水量の階級(下位階級)との間における降水量の逆傾向の変化成分が得られた。その得点時系列によると、1880年代から1940年代にかけて、段階的に上位(下位)階級の降水量による寄与が増加(減少)したが、1940年代以降、1960年頃を除き減少(増加)している。しかし、1980年頃から上位(下位)階級の降水量による寄与が増加(減少)に転じ、1980年前後における下位階級の日降水量が卓越する状態から、上位階級の日降水量による総降水量への寄与が大きい状態に変化している。1980年頃以降におけるこの傾向は、南関東において人口稠密地域で顕著であり、何らかの都市による影響が含まれている可能性が示唆される。しかし、南関東全域で同様の傾向を示し、最近20年間程度の傾向であることから、これは基本的により大きな空間スケールを有する decadal スケールの変動の一部であると考えられる。

1. はじめに

降水現象に関する経年変化については、水資源・水需要や災害などの観点からこれまでに多くの調査がなされてきた。特に近年では都市ヒートアイランド現象あるいは地球温暖化などとの関係から、降水特性(雨の降り方)の経年変化に関する研究が行われている。

従来、都市による降水現象への影響としては、エロゾル等の増加と関連して微雨日数の増加が論じられることが多かった(吉野, 1957, 1977; Landsberg, 1981)。しかし、東京都心部における強雨頻度の増加が指摘され(Yonetani, 1982)、近年では短時間強雨に伴う都市型水害の頻発とも関連して、時間降水量の解析などから都市化の影響の可能性が調べられている(藤部, 1998; 佐藤・高橋, 2000)。また、他の大都市においても、日降水量の最大値や強い降水の頻度の増加(Dettwiller and Changnon, 1976; Sanderson and

Gorski, 1978など)、夕刻頃における降水頻度・降水量の増大傾向(Balling and Brazel, 1987)などが指摘されている。このような降水特性の経年変化の要因として、都市ヒートアイランド現象に伴う高温域により積雲活動が活発になる可能性(Yonetani, 1983)や地上風の収束(Fujibe, 1988など)などが想定され、未解明の部分が多いものの都市化の進展は対流活動を活発化させる要因のひとつにあげられている。

他方、対象とする空間スケールを国・地域とした解析として、合衆国についてKarl *et al.* (1995)は年降水量に対して50.8 mmを越える降水量の占める割合が増加していること、Karl and Knight (1998)は降水量の極端な値や頻度が増大していることを指摘している。さらに、インド(Rakhecha and Soman, 1994)やオーストラリア(Nichokks and Kariko, 1993; Haylock and Nicholls, 2000)などでは、各年の降水量極値や降水頻度などの降水特性の経年変化傾向が地域によって異なることが指摘されている。日本においても、日降水量極値の出現年代から, Iwashima and Yamamoto (1993)は地球規模の気候変化によって極

* 東京学芸大学地理学研究室。

—2002年8月29日受領—

—2002年11月25日受理—

端な降水量の出現が増加している可能性を示唆している。また、Yu and Neil (1993) は、オーストラリア南西部における日降水強度の変化と南半球平均気温の推移との関連性を議論している。

以上のように、観測資料に基づく降水特性の経年変化傾向の議論には、総降水量や総降水日数以外の指標として、ある基準値以上（以下）の降水量・降水日数とそれが全体に占める割合、あるいは年ごとの極値などが用いられている。これらはある期間における降水の一部を取り上げて得られる指標であるが、さらに降水量の内訳全体を把握することによって、情報の損失が小さく、より代表性の高い降水特性の経年変化を抽出できる可能性がある。

例えば、Brunetti *et al.* (2000) はイタリア北部地域を対象に、日降水量の階級ごとに季節別総降水量に対する寄与の大きさを求め、1830年代からの傾向として小さい日降水量の階級では寄与率が減少し、大きい日降水量階級では増加していることを示している。同様な観点から、高橋 (1993) では東アジアについて、高橋 (2001) では日本について、日降水量の階級ごとに総降水量に対する寄与率を求め、それによって梅雨季における降水特性の地域性を提示している。ただし、これらの解析では、総降水量に対する階級別日降水量の寄与率を用いているため、降水量そのものの多寡とその期間の降水特性（日降水量の階級別寄与率分布）との関係が明確にされていない。そこで本研究では、日降水量の階級別積算値に基づいて統計的な手法により両者の分離を試み、降水特性の経年変化の抽出を行う。

前述した藤部 (1998) や佐藤・高橋 (2000) では、主としてアメダス時間降水量資料を用いて1970年代後半以降の期間を対象としている。降水特性の変化と都市ヒートアイランド現象や地球温暖化などとの関連性を考えるためには、さらに長期間における降水特性の経年変化を求める必要がある。また、時間降水量だけでなく、より長い時間スケールの降水に現れる降水特性についても明確にしておく必要がある。

以上の諸点をふまえ、本研究では東京とその周辺における降水特性の経年変化を明らかにすることを目的とし、次の解析を行う。まず、東京都心部（大手町）の夏季（6～9月）における降水特性の経年変化傾向を、1886～1999年の日降水量資料を用いて抽出する。その結果として、1980年頃以降に認められた夏季総降水量に対する大きい（小さい）日降水量階級の寄与の

第1表 解析に用いたアメダス観測点。

寄居	熊谷	上吉田	鴻巣	久喜
三峰	秩父	浦山	鳩山	飯能
浦和	越谷	所沢	小河内	小沢
青梅	練馬	府中	世田谷	東京
新木場	羽田	佐原	我孫子	東庄
佐倉	横芝	茂原	木更津	牛久
坂畑	黒原	佐久間	鴨川	勝浦
館山	相模湖	相模原	日吉	丹沢湖
海老名	横浜	平塚	箱根	小田原
三浦				

増大（減少）傾向に着目し、近年の南関東における降水特性の変化傾向について、その地域性を提示する。

2. 資料

2.1. 東京都心部における降水特性の経年変化

東京都心部（大手町）における降水特性の経年変化の解析では、1886～1999年の114年間における6～9月の日降水量資料（地点名：東京）を用いた。1922年までの観測場所は現在の皇居東御苑内にあったが、以下ではこの地点を便宜的に大手町と称する。参照した資料は、1955年までは「東京都の気候」（東京管区気象台編、1957）、それ以降は気象庁月報および地上気象観測時日別編集データ CD-ROM、地上気象観測原簿データ（気象庁年報） CD-ROM である。

大手町における降水量の観測は1870年代より行われているが、初期には測器の規格や日界が頻繁に変更され、観測場所も変更されている（東京管区気象台編、1957）ことから、1886年以降の資料を用いた。その上で特に問題とされるのは、1968年から転倒型降雨計による観測に移行したことで、それ以前は降水量観測値の最小単位が0.1 mm であったに対して、1968年以降は0.5 mm 単位の記録になっていることである。すなわち、降水量の分解能が1968年を境に低下したことになり、このような資料の質的变化は長期間にわたる降水特性の経年変化を考える上で無視できない可能性がある。特に日降水量が少ない日の場合には、例えば従来は0.5～0.9 mm の日降水量が0.5 mm と記録されているわけで、0.5 mm の記録に対して最大0.4 mm の差異があることになる。そこで、以下の解析では1968年以降の0.5 mm 単位の日降水量にそれ以前の資料を合わせることにし、1967年までの資料については、小数点以下第一位の値が0～4である場合は0、5～9である場合は5として扱うことにした。本研究では6～9月を対象とし、この期間における（総）降水量を

夏季（総）降水量と称する。

2.2. 南関東における降水特性の変化傾向

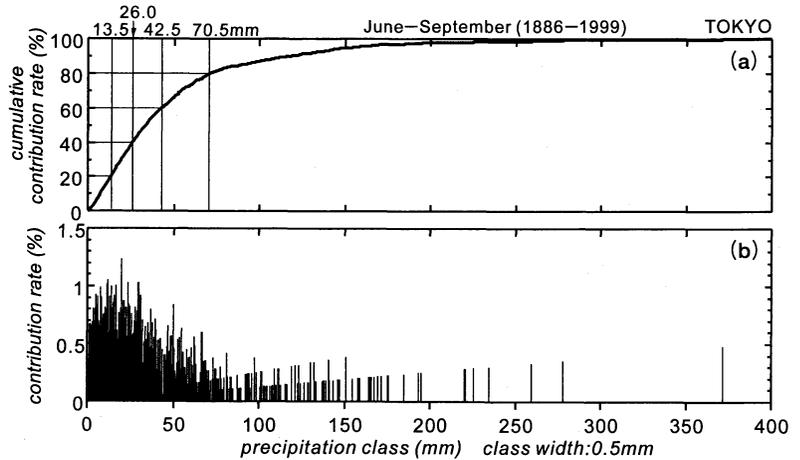
近年の南関東における降水特性の変化傾向の解析にあたっては、東京都、埼玉県、千葉県および神奈川県における1978～1999年（22年間）の6～9月の日降水量資料を用いた。アメダス観測年報CD-ROMに収録されている資料のうち、欠測日数が全体の5%未満であり、地点番号が変更されていないなど大幅な観測点の移転がないとみなされる46地点（第1表）を採用して解析を行った。なお、これに関する日降水量資料の最小単位（分解能）は1mmである。

3. 降水特性の経年変化

3.1. 降水特性の抽出方法

第1図bは、大手町における114年間の夏季降水量全体に対して、階級幅0.5mmの各階級に属する日降水量が有する寄与率の分布を示している。個々の階級における寄与率はほとんどの階級において1%以下であるが、日降水量10～20mm付近において寄与率が大きくなる。なお、日本全体のアメダス観測地点の降水量を一括した場合であるが、高橋（2001）において月ごとに同様な解析を行った結果、6～9月の各月について総降水量に対する日降水量の階級別寄与率分布は類似していた。それゆえ本研究では6～9月を一括して扱っている。

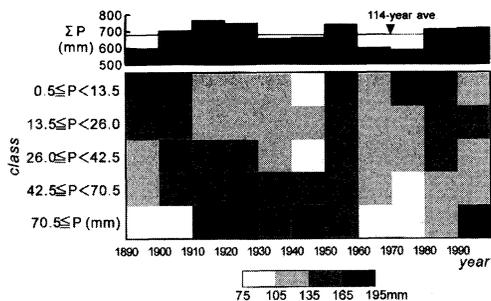
分析に用いる日降水量階級の設定方法は、高橋（1993, 2001）と同様に、各階級における降水量の寄与率が等分になるように設定した。ただし、夏季4か月を一括しているものの1地点のみの資料であるため、階級の個数を多くするとそれぞれの階級に属する降水日数が小さくなる。そこで、降水日数が最小となる最も日降水量の大きい階級についても、1夏季あたりの降水日数の平均値が1日以上になるように日降水量の階級数を5個とした。ここで第1図aに示した累積寄与率について20%ごとになる降水量を求めると、図上部に示した降水量となり、これを各階級の境界（上端



第1図 大手町における夏季（6～9月）総降水量に対する日降水量の階級別寄与率(b図：階級幅0.5mm)とその累積寄与率(a図)。累積寄与率が20%ごとになる日降水量を図の上端に示した。

と下端)とした。すなわち、「0.5～13.0mm」, 「13.5～25.5mm」, …, 「70.5mm以上」の積算降水量は、それぞれ夏季降水量全体の20%を占めることになる。なお、対象とした114年間の大手町における夏季総降水量の平均値は676.9mmであり、その20%は約135mmである。また、各階級に属する降水日数の平均値は、最も日降水量の小さい階級から順に1夏季あたり32.3日、7.2日、4.1日、2.5日、1.2日である。

この日降水量階級に基づいて降水特性の経年変化を求めるために、まず114年間の各年について、5個の日降水量階級それぞれに属する夏季降水量の和を求め、そして、10年ごとの平均値によって各日降水量階級に属する降水量の経年変化様式を概観し（第2図）、さらに定量的な考察を行うために114年×5階級の階級別降水量行列に対して主成分分析を施した。ここで、各階級に属する降水量の標準偏差は、最小が0.5～13.0mmの階級における32.0mm、最大が70.5mm以上の階級の130.5mmと階級による差が大きい。変量相互間で標準偏差が大幅に異なる場合には、分散共分散行列に基づく主成分分析は有意義な結果をもたらさないことがある（三土, 1997）。そこで、本研究では変量が規準化される相関行列を用いた主成分分析を行う。また、相関行列による主成分分析では、すべての変量に対する固有値の平均は1となり、もとの変量1個分よりも多くの情報を表現する成分として、固有値が1以上となる成分を採用する（三土, 1997）ことにした。以上のようにして得られた固有ベクトル（第3図）と



第2図 階級別降水量の経年変化（10年ごとの平均値）。図上部には夏季総降水量の経年変化を示してある。

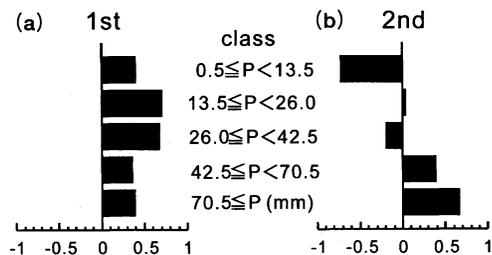
成分得点の時系列（第5図）に基づいて降水特性の経年変化の議論を行う。

3.2. 降水特性とその経年変化

まず、各日降水量階級に属する降水量の経年変化を概観するために、1890年から10年ごとに平均した階級別降水量を第2図に示した。各階級に属する降水量の平均値が約135 mmであることから、135 mmを中心とした30 mm間隔の4段階により階級別降水量の多寡を表現した。また、夏季総降水量についても10年ごとの平均値を示してある。なお、ここでは例えば1900年から1909年までの10年間に1900年代と称する。

第2図によれば、1910・1920年代や1940年代、1990年代には70.5 mm以上の階級の降水量が多く、0.5～13.0 mmの階級の降水量が少ない傾向がある。これらの年代では夏季総降水量の多い場合がめだつが、1940年代については全期間の平均値を若干下回っている。一方、1900年代は70.5 mm以上の階級の降水量が少ないがそれ以外の階級の降水量が多く、1950年代ではすべての階級にわたって比較的降水量が多いことから、それぞれの年代では夏季総降水量が114年間の平均より多くなっている。このように、階級別降水量には年代ごとの特徴が認められる一方で、夏季総降水量との関係は多様である。以下では、階級別降水量に基づく降水特性を定量的に把握するために、年々の階級別降水量に対して統計的解析を行った。

114年×5階級の階級別降水量行列に対して主成分分析を施した結果、固有値が1以上となる成分として第2成分までを取り上げる。第1成分と第2成分の固有ベクトルを第3図に示した。第1成分（成分の寄与率：28.7%）は、すべての階級について同符号であり、各階級の降水量が全体として同時に増減することを表す成分である。一方、第2成分（成分の寄与率：23.5%）

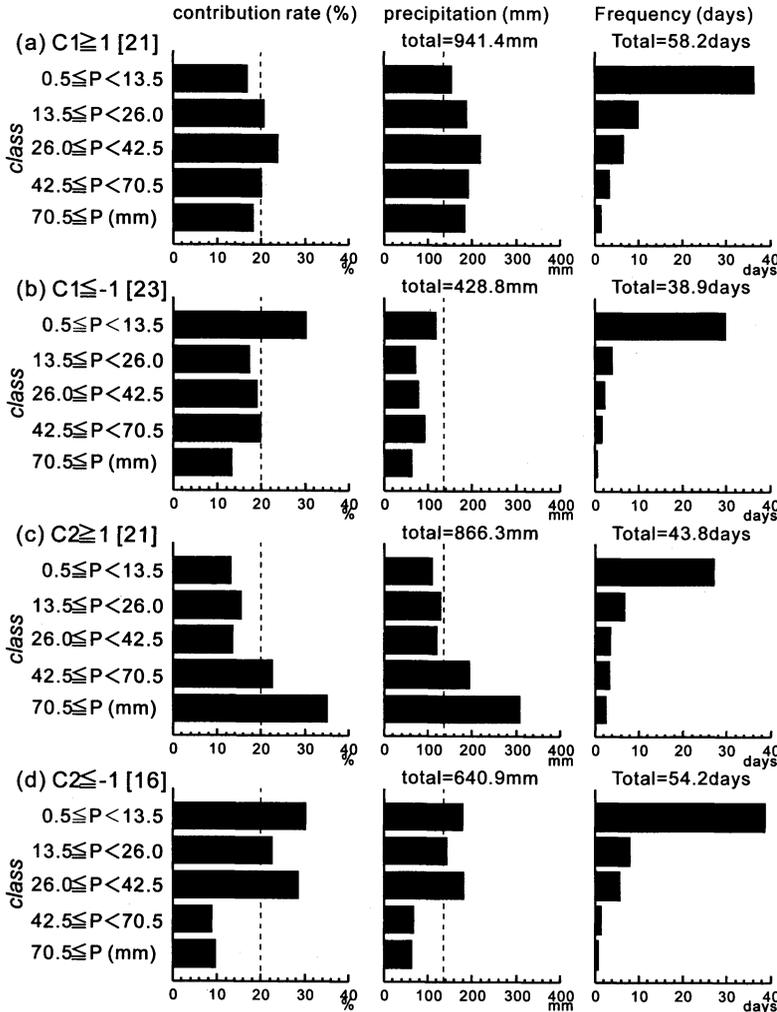


第3図 階級別降水量の主成分分析から得られた第1成分（a図）と第2成分（b図）の固有ベクトル。

は、小さい日降水量の階級（以下では下位階級と表現する）と大きい日降水量の階級（以下では上位階級と表現する）の降水量との間における逆傾向の変動を表す成分とみなされる。

このことを年々における階級別日降水量から確認するために、第4図では第1成分の得点（C1）と第2成分の得点（C2）のカテゴリ別に、総降水量に対する階級別の寄与率（左列）、階級別の降水量（中央列）、および階級別の降水頻度（右列）を求めた。（a）は第1成分の得点が1以上（ $C1 \geq 1$ ）の場合であり、21例（年）の平均として示してある。総降水量に対する階級別の寄与率は、階級ごとに大きな差異がなく20%前後であるが、夏季総降水量の平均値は941.4 mmと114年間の平均値と比べて大きく、どの階級においても平均値の135 mmを上回っている。これに対して第1成分の得点が-1以下（ $C1 \leq -1$ ）の場合（b）には、0.5～13.0 mmの階級で総降水量に対する寄与率が大きく、70.5 mm以上の階級では寄与率が小さいが、階級別の降水量はすべての階級において135 mmを下回っている。また、（b）の場合、夏季総降水量は428.8 mmであり、（a）の場合の45.5%となっている。このような両者の差異は、階級別の降水頻度からわかるように、6～9月の4か月間において（b）と比べて（a）の降水頻度の方が約20日も大きく、しかもすべての階級において降水頻度が大きいことに対応している。以上のことは（a）、（b）両カテゴリに属する各年にもほぼ共通しており、例えば（a）では夏季総降水量が114年間の平均値以下となる年はなく、（b）では平均値以上となる年はない。すなわち、第1成分は特定の日降水量階級に偏らない降水頻度の全体的な増減に伴う夏季総降水量の変化を表していると考えられる。

一方、第2成分に関しては、夏季総降水量に対する階級別寄与率や階級別降水量について、上位階級と下



第4図 成分得点のカテゴリ別に求めた総降水量に対する階級別の寄与率（左列）、降水量（中央列）および降水頻度（右列）。 $C1$ と $C2$ はそれぞれ第1成分と第2成分を意味する。(a)～(d)の各カテゴリに該当する事例数（年数）は [] 内に示してある。

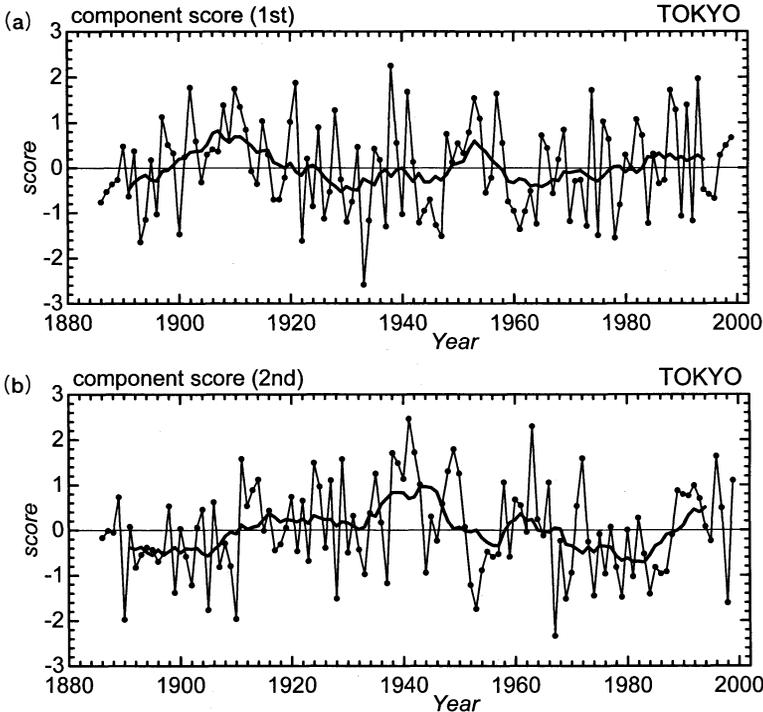
位階級との差が大きく、得点が1以上 ($C2 \geq 1$) の場合と-1以下 ($C2 \leq -1$) の場合とで上位階級と下位階級の値の大小関係が逆転している。すなわち、第2成分の得点が1以上 ($C2 \geq 1$) の場合(c)には、上位階級で夏季総降水量に対する寄与率や階級別降水量が大きく、下位階級では小さい。逆に第2成分の得点が-1以下 ($C2 \leq -1$) の場合(d)には、上位階級で夏季総降水量に対する寄与率や階級別降水量が小さく、下位階級では大きい。ここで、第2成分の得点が1以上 ($C2 \geq 1$) の場合(c)の方が、1以下 ($C2 \leq -1$) の場合(d)に比べて総降水量は約1.35倍であるが、逆

に降水頻度は小さく約0.81倍であり、1降水日あたりの降水量が大きく異なっていることになる。階級別の降水頻度分布においても、(c)では上位階級、(d)では下位階級の降水頻度が相対的に高くなっている。これらのことは(c)、(d)両カテゴリに属する各年においてもやはりほぼ共通しており、(c)では上位2階級のいずれもが135 mmを下回る年はない。また、(d)では下位2階級のいずれもが135 mmを下回る年は1年(1937年)のみで、この年は(b)のすべての階級において降水量が少ない場合に属し、上位2階級の降水量はいずれも0 mmである。以上のことから、第2成分は上位階級と下位階級に属する日降水量が年によって逆傾向の変化をすることを表す成分と考えられる。

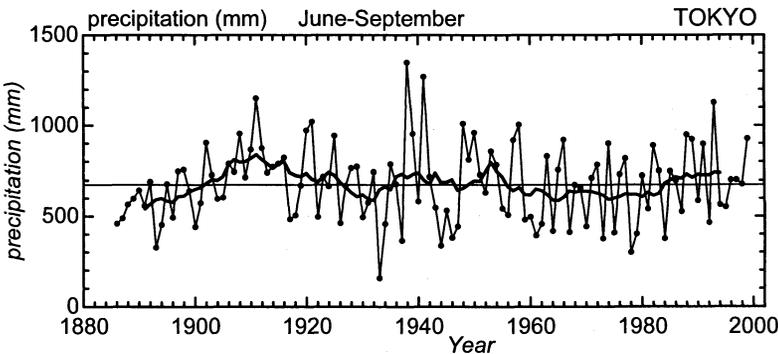
第5図は第1成分と第2成分に関する成分得点の時系列であり、図中の太線はそれぞれに関する11年移動平均値を表している。また、第6図は大手町における夏季総降水量の時系列であり、太線は同様に11年移動平均値を示している。まず第6図により夏季総

降水量の経年変化を概観すると以下の傾向がみてとれる。すなわち、1890年から1910年頃にかけて夏季総降水量が増加し、1910年以降は減少している。1940年頃や1950年代に多少夏季総降水量の多い時期があるが、1960年代から1980年代初頭はやや夏季総降水量の少ない時期であった。そして、1980年代中頃以降、夏季総降水量は増加傾向にある。

このような夏季総降水量の経年変化傾向(第6図)は、第1成分の得点時系列(第5図a)に関する経年変化傾向とさきわめてよく一致している。さらに、年々の値についても、第7図aに示した第1成分の得点と夏



第5図 階級別降水量の主成分分析から得られた第1成分(a図)と第2成分(b図)の得点時系列。太実線は11年移動平均値を表す。



第6図 大手町における夏季（6～9月）総降水量の経年変化。太実線は11年移動平均値、細い水平線は114年間の平均値を表す。

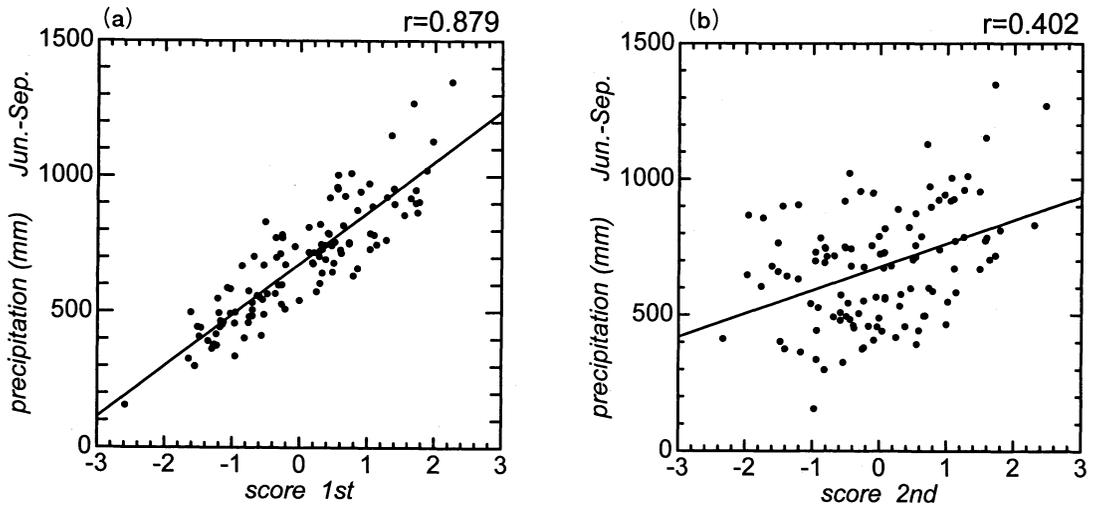
季降水量との散布図からわかるように、両者の間には非常に高い正の相関 ($r=0.879$ ($n=114$)) がある。以上のように、第1成分は各階級における降水頻度の増減に起因する夏季総降水量そのものの多寡を表す成分とみなされる。

一方、第2成分は、前述したようにそれぞれの年における上位階級と下位階級に属する日降水量の出現様式の差異を示しており、第1成分によって表現される

夏季総降水量そのものの多寡とは独立した夏季の降水特性の指標とみなすことができる。ただし、第7図bによれば第2成分の成分得点も夏季総降水量と危険率0.5%で有意な正の相関関係 ($r=0.402$ ($n=114$)) にある。つまり、上位階級の日降水量が大きい(小さい)場合は、下位階級の日降水量が小さく(大きく)ても多雨(少雨)になりやすい傾向がある。以下では、第2成分の得点時系列に基づいて、夏季降水特性の経年変化に関する議論を行う。

第5図bの11年移動平均値(太線)によれば、大手町における夏季降水特性の経年変化傾向として以下の特徴が指摘でき、それは第2図に認められる階級別降水量の経年変化をよく代表している。まず、対象期間の始まりから1940年代にかけて段階的に成分得点が大きくなり、上位(下位)階級の日降水量による寄与が増加(減少)した。1940年代中頃以降については、1960年頃を除いて成分得点が小さくなる傾向を示し、上位(下位)階級の日降水量による寄与が減少(増加)したとみなされる。しかし、1980年頃から成分得点は増大傾向に転じ、上位(下位)階級の日降水量による寄与が増加(減少)している。すなわち、1980年頃における下位階級の日

降水量が卓越する状態から、近年では上位階級の日降水量による夏季総降水量への寄与が大きい状態に降水特性が変化していると考えられる。時間降水量に基づく佐藤・高橋(2000)では、8月にのみ10 mm/hr以上の階級による総降水量への寄与の増大傾向が認められている。日降水量を用いた本研究では、月ごとに調べているわけではないが、夏季全体(6～9月)においても上位(下位)階級の日降水量による寄与の増加(減



第7図 成分得点と総降水量との関係、第1成分：a図、第2成分：b図。図中の実線は回帰直線であり、相関係数を図の上部に示してある。

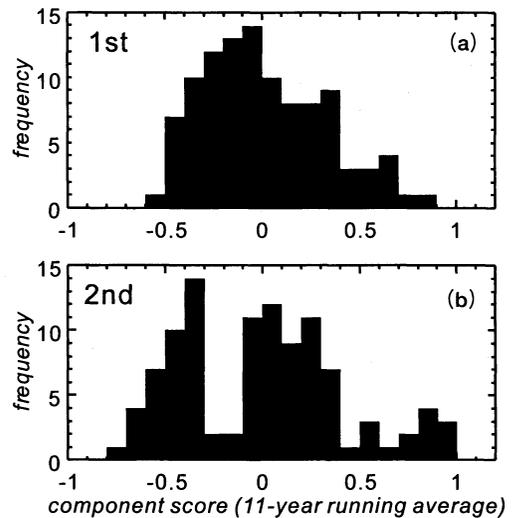
少) 傾向が現れている。

なお、第5図bに関する11年移動平均値（太線）には、上述したように段階的な変化が認められる。ここで、第1成分と第2成分の得点について11年移動平均値のヒストグラム（ $n=104$ ）を求めると第8図になる。第1成分については、ヒストグラムの正の側において階段状の頻度分布をしているが、0を最大とするほぼ対称的な頻度分布をしている。これに対して、第2成分のヒストグラムには3個程度の現れやすい階級群が存在する。このことから、第2成分に対応する上位階級と下位階級における日降水量の相反的な増減には、複数の平均状態の間を経年的に遷移する変動（ぐらつき）が含まれていると考えられる。このぐらつきは、第5図bから判断すれば decadal スケールの変動であり、天候レジームの長期変動などを考える上できわめて興味深い現象と考えられる。

4. 近年における降水特性の変化傾向の地域性

大手町における夏季降水特性の経年変化傾向として、上位（下位）階級の日降水量による総降水量への寄与の増加（減少）が1980年頃以降に認められた。以下では南関東を対象として、この期間における降水特性の経年変化傾向の地域性を検討する。

主成分分析によって得られた第1成分と第2成分の成分得点は、全対象期間に対しては無相関である。ところが、15年間の期間について1年ずつずらしながら両者の相関係数を求めると、第9図に示したように両者



第8図 成分得点の11年移動平均値に関するヒストグラム、第1成分：a図、第2成分：b図。

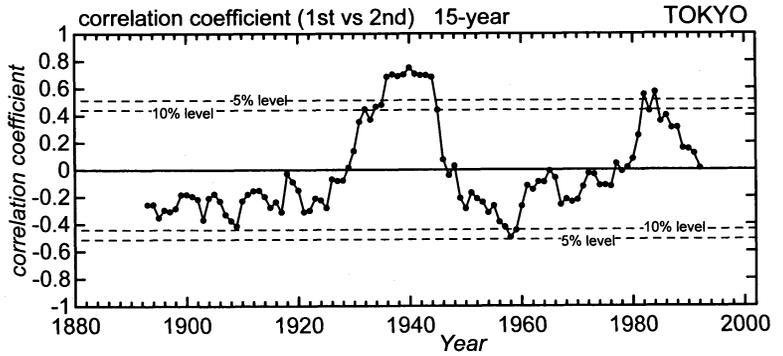
の相関関係は時期によって変化していることがわかる。すなわち、夏季総降水量の多寡（第1成分）と降水特性（第2成分）との関係は時期によって変化していることになる。例えば1930～1940年代や1980年代には、両者は危険率5%で有意な正相関となる期間があり、多（少）降水年において上位（下位）階級の日降水量が卓越していたことになる。これに対して1950年代後半には、危険率10%で有意な負相関となる期間があり、多（少）降水年において下位（上位）階級の日降

水が卓越する傾向があったとみなされる。このような夏季降水量の多寡と降水特性との間における相関関係の逆転も長期間の気候変化を考える上できわめて興味深い現象であり、今後の検討を要する課題である。しかし、このことは、本研究で用いた主成分分析による解析手法を踏襲した場合に、対象期間を変えると得られる結果が異なることを意味している。すなわち、1970年代後半以降に展開したアメダス観測による資料を用いて、同じ方法によって降水特性の変化傾向を抽出しようとする、これまでの議論との間に不整合が発生することが避けられない。そこで以下では、アメダス観測資料を用いて近年における降水特性の変化傾向（上位（下位）階級の日降水量による寄与の増加（減少））に関する地域性を知るために、主成分分析で得られた第2成分得点の変化傾向に相当する指標（TI：Trend Index）を導入した。TIの算出は以下の手順（①～⑤）で行った。

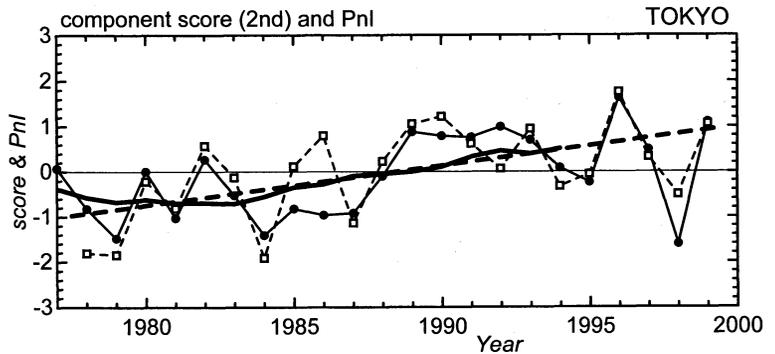
① アメダス観測地点ごとに、毎年の夏季総降水量に対する日降水量の階級別寄与率を求める。ここで、階級の数は5個とし、対象期間（1978～1999年）全体では5個の階級それぞれについて夏季総降水量に対する寄与率が20%に最も近くなるように地点ごとに階級を設定する。

② 地点ごとに、①で求めた年ごとの階級別寄与率と対象期間全体における階級別寄与率（≒20%）との偏差 d_i ($i=1\sim 5$ ：ただし、数字が小さい（大きい）ものを下位（上位）階級とする）を算出する。

③ 地点ごとに、 $PI = -2d_1 - d_2 + d_4 + 2d_5$ によって毎年のPI（Precipitation Index）を求める。ここではPIが正の大きな値を示すほど上位（下位）階級の日降水量の寄与が大きい（小さい）ことになる。



第9図 第1成分と第2成分の成分得点間における相関関係の経年変化。1年ずつ期間をずらしながら求めた15年間の相関係数を示してある。破線は15個の資料に対して危険率5%および10%で有意とみなせる相関係数を表す。



第10図 大手町における1978～1999年のPnI（破線）とPnIの年次に対する回帰直線（太破線）。第2成分得点（実線）およびその11年移動平均（太実線）も示してある。

④ 主成分分析で得られる成分得点は規準化されているため、それと比較する降水特性の指標も規準化しておく必要がある。そこで、地点ごとに22年間分のPIについて平均値と標準偏差を求め、それにより規準化した年々の値をPnI（normalized PI）とする。

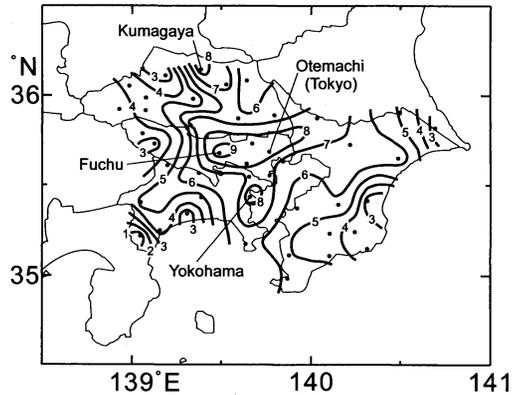
⑤ PnIについて年次との回帰直線を求め、1年あたりのPnIの変化率（傾き）を算出し、それをTIとする。

第10図には、大手町についての1978～1999年におけるPnI（破線と□）と年次に対する回帰直線（太破線）を、第2成分の得点（実線と●）およびその11年移動平均値（太実線）とともに示した。これによるとPnIの年々の値は第2成分の得点とよく平行しており（ $r=0.801$ （ $n=22$ ））、年次に対するPnIの回帰直線も第2成分得点の11年移動平均値ときわめてよく一致している（ $TI=8.80 \times 10^{-2}$ [年⁻¹]）。そこで、以上の手順によ

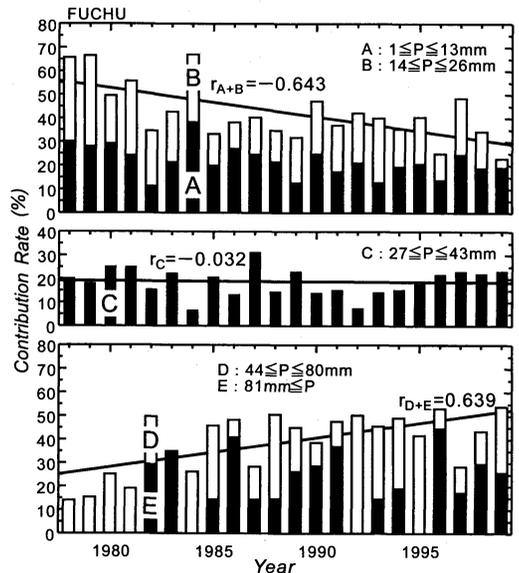
り求めた各地点の TI を、近年における上位（下位）階級の日降水量の増加（減少）傾向の程度を表す指標とし、同様の手順で南関東のアメダス観測点における TI を求めた。

第11図は南関東における TI の分布であり、TI が正の大きな値を示すほど、近年上位（下位）階級の日降水量による寄与の増加（減少）傾向が顕著であることを示す。南関東の全域で TI は正の値を示し、大手町で認められた近年における上位（下位）階級の日降水量による寄与が増加（減少）する傾向は、東京都心部にのみ認められる現象ではないと判断される。一方、TI の大きさは南関東においても地点による差異が認められる。TI が最も大きい地点は多摩南東部の府中であり、そこから TI の大きい領域が東京都心部に向かって東方へ延びている。第12図は、府中における夏季総降水量に対する日降水量の階級別寄与率の経年変化を示しており、実線は年次に対する階級別寄与率の回帰直線である。これによると、 $27 \leq P \leq 43$ mm の階級 (C) では、寄与率の経年的な増減の傾向は認められない。これに対して、日降水量26 mm 以下の下位階級 (A, B) に関する寄与率は、1980年頃の50～60%から1990年代後半の30%程度へと減少している。一方、44 mm 以上の上位階級 (D, E) の寄与率は、20～30%から50%程度へと増大している。このような降水特性の変化が顕著であるとみなされる TI の極大域は、府中～東京都心部の他にも横浜や熊谷などの東京周辺の都市において認められる。すなわち、TI は人口稠密地域で大きい値を示すことから、近年における上位（下位）階級の日降水量の増加（減少）傾向には、何らかの都市による影響が含まれている可能性が示唆される。

このような降水特性の変化傾向は、アメダス時間降水量を用いて近年における短時間強雨の増加傾向を指摘した佐藤・高橋（2000）とも調和的である。しかしここで留意すべきことは、第5図bで示されるように、上位（下位）階級の日降水量による寄与の増加（減少）傾向は1980年頃以降の特徴であって、全対象期間における第2成分の得点と年次との相関係数を求めると $r=0.05$ ($n=114$) となり、有意な増加傾向は認められないことである。すなわち、東京都心部における降水特性の経年変化は、decadal スケールのぐらつき（第8図）を基本としており、近年の約20年間は強雨の割合が増加する phase に相当していたと考えることができる。



第11図 南関東における TI ($\times 100$) [年^{-1}] の分布。TI が正の大きな値を示すほど、近年において下位階級の寄与が減少し、上位階級の寄与が増大していることを表す。



第12図 TI が最も大きい府中における階級別寄与率の経年変化傾向。実線は年次に対する階級別寄与率 (A+B, C, D+E) の回帰直線であり、 r はそれぞれの相関係数を表す。

5. まとめ

本研究では、夏季（6～9月）の東京都心部（大手町）における降水特性（雨の降り方）を、年々の夏季総降水量を構成する日降水量の階級別積算値に基づいて把握し、その経年変化傾向を明らかにすることを目的とした。1886～1999年の114年間を対象とし、毎年夏

季における日降水量の階級別積算値に主成分分析を施すことによって、総降水量の多寡に関する成分と、総降水量を構成する日降水量の大小に関する成分との分離を試みた。この結果をもとに、降水特性として夏季総降水量に対する大きい日降水量階級(上位階級)と小さい日降水量階級(下位階級)の寄与の仕方に着目し、近年の南関東における経年変化傾向の地域性を提示した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

① 東京都心部では、1880年代から1940年代にかけて、段階的に上位(下位)階級の日降水量による寄与が増加(減少)したが、1940年代以降、1960年頃を除き減少(増加)した。しかし、1980年頃から上位(下位)階級の日降水量による寄与が増加(減少)に転じている。すなわち、1980年頃の下位階級の日降水量が卓越する状態から、近年では上位階級の日降水量による夏季総降水量への寄与が大きい状態に降水特性が変化している。このように、降水特性は decadal スケールの変動をしていると考えられる。

② 近年における上位(下位)階級の日降水量の増加(減少)傾向は、特に人口稠密地域で顕著であることから、何らかの都市による影響が含まれている可能性が示唆される。しかし、南関東全域で同様の傾向を示し、最近20年間程度の傾向であることから、この変動は基本的により大きな空間スケールを有する decadal スケールの変動の一部であると考えられる。今後このような経年変化あるいは年々変化の地域性や空間スケールを明らかにする必要がある。

本論文では、解析によって得られた降水特性の経年変化傾向を提示するにとどめた。これは、藤部(1998)が指摘するように、変化の要因には空間スケールを異にする自然のおよび人為的要因が含まれ、それぞれの影響を単純には分離できないためであり、今後さらに調査が必要とされる。

謝 辞

貴重なご意見を頂いた2名の査読者と編集委員の方々に篤くお礼申し上げます。なお、本研究で用いたアメダス等の資料は、すべて気象庁から提供を受けたものである。

参 考 文 献

Balling, R. C. and S. W. Brazel, 1987: Recent changes in Phoenix, Arizona summertime diurnal precipitation patterns, *Theor. Appl. Climatol.*, **38**, 50-54.

- Brunetti, M., L. Buffoni, M. Maugeri and T. Nanni, 2000: Precipitation intensity trends in northern Italy, *Int. J. Climatol.*, **20**, 1017-1031.
- 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.
- Fujibe, F., 1988: Weekday-weekend differences of urban climates. Part 3: Temperature and wind field around Tokyo and Osaka, *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 377-385.
- 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.
- Haylock, M. and N. Nicholls, 2000: Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998, *Int. J. Climatol.*, **20**, 1533-1541.
- Iwashima, T. and R. Yamamoto, 1993: A statistical analysis of the extreme events: Long-term trend of heavy daily precipitation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 637-640.
- Karl, T. and R. W. Knight, 1998: Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 231-241.
- Karl, T., R. W. Knight and N. Plummer, 1995: Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, **377**, 217-220.
- 東京管区気象台編, 1957: 東京都の気候, 565 pp.
- Landsberg, H. E., 1981: The urban climate, Academic Press, 275 pp.
- 三土修平, 1997: 初歩からの多変量統計, 日本評論社, 442 pp.
- Nichokks, N. and A. Kariko, 1993: East Australian rainfall events: Interannual variations, trends, and relationships with the southern oscillation, *J. Climate*, **6**, 1141-1152.
- Rakhecha, P. R. and M. K. Soman, 1994: Trends in the annual extreme rainfall events of 1 to 3 days duration over India, *Theor. Appl. Climatol.*, **48**, 227-237.
- Sanderson, M. and R. Gorski, 1978: The effect of metropolitan Detroit-Windsor on precipitation, *J. Appl. Meteor.*, **17**, 423-427.
- 佐藤尚毅, 高橋正明, 2000: 首都圏における夏の降水特性の経年変化, *天気*, **47**, 643-647.
- 高橋日出男, 1993: 東アジアの梅雨季降水量に対する日降水量寄与の地域性と変動性, *地理科学*, **48**, 20-32.
- 高橋日出男, 2001: 梅雨季総降水量に対する日降水量の

- 階級別寄与について—日本における地域性と年々の差異—, 地理学評論, 74A, 217-232.
- Yonetani, T., 1982: Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area, *J. Appl. Meteor.*, 21, 1466-1471.
- Yonetani, T., 1983: Enhancement and initiation of a cumulus by heat island, *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 244-253.
- 吉野正敏, 1957: 東京都内における雨の分布と微雨日数の増加, 天気特別号, 日本気象学会創立75周年記念論文集, 121-125.
- 吉野正敏, 1977: 日本および外国の諸都市における気候の変化, 気象研究ノート, (133), 1-25.
- Yu, B. and T. Neil, 1993: Long-term variation in regional rainfall in the south-west of western Australia and the difference between average and high intensity rainfalls, *Int. J. Climatol.*, 13, 77-88.

Secular Variation in the Occurrence Property of Summertime Daily Rainfall Amount in and Around the Tokyo Metropolitan Area

Hideo TAKAHASHI*

* *Department of Geography, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita Koganei Tokyo, 184-8501 Japan.*

(Received 29 August 2002 ; Accepted 25 November 2002)

Abstract

In this study, secular variation in the occurrence property of summertime daily rainfall amount in and around the Tokyo metropolitan area was demonstrated based on the accumulated rainfall amount in five daily rainfall classes. The geographical structure of the increase tendency of heavy daily rainfall, which is found in recent years at the central part of Tokyo, has been also presented.

Contribution of large daily rainfall classes (high-order classes) to total rainfall amount increased from 1880's to 1940's, and then decreases except around 1960. Contribution of high-order classes, however, changed to an increase in around 1980. Namely, the rainfall property has changed from the stage with daily rainfall of low-order classes prevailed in late 1970's-early 1980's to the stage with large contribution of daily rainfall of high-order classes to total rainfall amount in recent years. It is noted that the secular variation in the summertime rainfall property of Tokyo is characterized by decadal scale vacillation.

The possibility of urban influence is suggested since the recent increasing tendency of rainfall amount of high-order classes is more obvious in the densely populated areas. However, this increasing tendency is considered to be affected basically by larger scale atmospheric variation, because the trend is recognized in the whole area of southern part of Kanto district and is corresponding to only the recent part of decadal scale variation in rainfall property.