京都盆地における日降水特性の経年変化

Secular Variation in the Property of Daily Rainfall at Kyoto Basin

竹下伸一¹⁾ 三野 徹¹⁾
Shinichi TAKESHITA Toru MITSUNO

¹⁾ 京都大学大学院農学研究科
Graduate School of Agriculture, Kyoto University

本研究では、京都盆地内に位置し、かつ観測地点間の距離がごく狭い範囲で66年間にわたる観測が行われてきた3地点の日雨量データを用いて、降水特性の経年変化傾向の解析を行った。とくに雨の降り方について検討するために、「ひと雨」に着目し、降雨強度や降雨継続期間等について階級別寄与の観点から検討を行った。その結果、観測点が隣接しているにもかかわらず、多くの降水指標の変化傾向が異なっていたが、冬の降雨日数の増加傾向などは3地点で共通していた。市街地に位置する観測点では、秋に降雨の集中化が認められ、都市化による影響の可能性が示唆された。また都市域と山林域の観測点で無降雨期間が長期化する傾向が確認された。

これらの解析結果は、いずれも長期間の観測に基づくもので、これまでこのような研究報告がないことから、局地的な降水特性の変化に対して貴重な情報を提供するものである。

キーワード: 降水特性, 経年変化, 京都盆地, 長期観測データ

Secular variation in the property of daily rainfall over 66 years were examined by using meteorological 3 stations data in Kyoto basin. Especially, in order to find the change of precipitation mechanisms, the characteristics of "a storm" was analyzed by using the method of several class intervals for rainfall intensity, succession of rainy days, and so on. As a result, rainfall characteristics at 3 stations showed different trends in many respects despite close stations. However, we found a tendency toward the concentration of rainfall in autumn at 2 stations which are urban area. This concentration may be caused by the influence of urbanization. Moreover, the trend of the interval between storms was significantly positive at 2 stations, which are in urban area and forest area. Such valuable long-term gauge measurements data are very valuable for studying local secular variation in the property of rainfall.

Key words: Property of rainfall, Secular variation, Kyoto basin, Long-term gauge measurements data

．はじめに

近年、逼迫する水資源・水需要の問題や多発する水災害などを背景として、降雨現象に関する経年変化への関心が高まってきており、これに関する研究も多くなされるようになってきている。とくに、地球温暖化や都市ヒートアイランド等による雨の降り方の変化に関する研究が多く行われている。

地球温暖化に関する降雨特性の変化に関わる研究としては、国・地域スケールの解析が多く行われている。Karl *et al.* (1995) はアメリカ、旧ソ連、中国における日降雨量の経年変化を解析しており、アメリカにおいて50.8mm以上の降雨の占める割合が増加していることを指摘している。さらに Karl and

Knight (1998) は、アメリカ合衆国全土で降雨強度の激しい雨の頻度が増加していると指摘している。その他にもオーストラリア (Suppiah and Hennessy, 1998; Haylock and Nicholls, 2000), 南アフリカ (Mason *et al.*, 1999), イギリス (Osborn *et al.*, 2000), イタリア (Brunetti *et al.*, 2001) などでも降雨強度の経年変化傾向が調べられ、概ね激しい降雨の発生頻度が増加傾向にあるとしている。日本においては Iwashima and Yamamoto (1993), 気象庁 (2002) などの報告があり、気象庁 (2002) は極端な大雨の発生頻度が増えている地域と減っている地域の両方が存在し、一概には言えないとしつつも、大雨の発生頻度が増えている原因としてヒートアイランドなどの影響があるとしている。都市化によって降雨特

1) 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 Kyoto 606-8502, Japan

性が変化する可能性は以前から報告されている(大後・長尾, 1972; Landsberg, 1981; 原田, 1982). 古くは Changnon らを中心とするセントルイスでの都市気候観測プロジェクト METROMEX (Metropolitan Meteorological Experiment; Changnon *et al.*, 1981) による一連の研究によって, 都市の風下側で夏の降雨量や雷日数が極大となる傾向にあることを指摘している. わが国における都市気候に関わる降雨特性の研究は首都圏を中心に行われている. たとえば Yonetani (1982) は都市化に伴い夏の大雨日数が増加したと報告している. また佐藤・高橋 (2000) も8月に東京周辺で強い降雨の比率が増加していることを示した.

京阪神地域は, 大阪・神戸・京都といった大都市が立地しているにもかかわらず, 降雨特性の変化に関する研究は, 首都圏のそれに比べて非常に少ない. 大阪平野の水平スケールは, 関東平野に比べて格段に小さく, 近畿山岳地帯や中国山地の標高も関東甲信越地域に比べて低い. また大阪・京都を結ぶ平野部は比較的細長く, 谷地形となっており, その終端部に京都という大都市が立地しているなど複雑な地表面を構成している. 藤部 (1998) は首都圏において暖候期に降雨強度の強い対流性の降雨が増える傾向にあるのはヒートアイランドが原因となっている可能性があることを示しつつも, 地形効果や自然の気候変動による効果の可能性もあるとして, 空間的偏差, 経年変化のすべてを都市効果によって説明することはできないと指摘している. このことから, 地表面の複雑な京阪地域における降雨特性の変化と都市化の因果関係は, さらに慎重な議論を要する.

京都市は内陸盆地に位置する人口約150万人を有する大都市である. そのため盆地特有の局地循環に加え, 都市気候の効果も合わさってさらに複雑な循環を形成していると考えられるが, その実態は未解明である. このような局地的な効果が卓越する地域における気象・気候学的な特徴を検討するには, 空間スケールの小さな観測点が必要である.

今回, 京都盆地内に立地し, かつ観測地点間の距離がそれぞれ6 km 弱というごく狭い範囲で, 66年間にわたる観測が行われてきた3地点の貴重な日降雨量データを得ることができた. 通常, ごく近傍の観測地点間の降雨量は, たとえ降雨イベント毎の降雨量は異なっても, 経年的な変化傾向に大きな差は現れないと考えられる. しかし, 先に述べたような効果により, 局地的な循環機構が変化しているとす

れば, これら3地点の降雨特性が変化してきている可能性も考えられる. そこで, 本研究では, 66年間の日降雨量データを用いて京都盆地内の降雨特性の経年変化傾向の解析を行った. とくに, 「雨の降り方」について検討するために「ひと雨」に着目し, 階級別寄与という観点から解析した. また, 降雨の起源に関する情報を得るために降雨継続期間についても解析した.

・資料と解析方法

本研究では, 図-1に位置を示した京都地方気象台と京都大学北部構内圃場気象観測露場および京都大学フィールド科学教育研究センター上賀茂試験地気象観測露場で観測された資料を用いた.

1. 京都地方気象台

京都地方気象台(以下, 気象台と称す)は, 東経135度44分, 北緯35度01分, 海拔41.5 m に位置している. 1880年から観測が開始されているが, 現在地での観測は1913年から行われている. 観測開始当初, 気象台周辺には田畑が広がっていたが, 現在は完全に市街地となっている.

図-1 観測地点の位置図.

Fig. 1 Location map of stations used in this study.

2. 京都大学北部構内圃場

京都大学北部構内圃場気象観測露場（以下、京大圃場と称す）は、東経135度47分、北緯35度02分に位置する。海拔は約60 mで、圃場はおよそ100 m四方の面積を有し、夏期には水稻、秋季には麦が栽培されている。周囲は大学校舎および住宅街に囲まれている。観測露場は圃場のほぼ中央にあり、日当たり、風通し共に良い。観測は1929年から行われている。

3. 上賀茂試験地

京都大学フィールド科学教育研究センター上賀茂試験地内観測露場（以下、上賀茂と称す）は、東経135度45分、北緯35度04分、海拔140 mに位置している。試験地は大正15年に京都市北区上賀茂本山（現、京都ゴルフクラブ）に設立され、昭和24年に農林水産省より所管換えを受けて現在地に移転した。現在地は山と山の谷間にあり、その谷は北東に向かって広がり、水田地帯へつながっているが、近年水田地帯の宅地化が進行しつつある。昭和3年（1928年）から観測が開始されているが、移転に伴う欠測（1949年）が約4ヶ月ほどある。旧試験地における観測露場と現試験地における観測露場の距離は約600 m程であるため、移転に伴う影響は小さいものと考えられる。

4. 解析資料と欠測値の処理

解析対象期間は、すべての地点において日単位の降雨資料が入手できた1935年12月から2001年11月までの66年間とした。この対象期間内において、気象台では1968年に転倒升型雨量計による観測に移行している。よって降雨資料の分解能を統一するために、本研究ではすべての資料について0.5 mm単位の日降雨量に合わせることにした。すなわち、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。

欠測値については、Karl *et al.*, (1995)およびKarl and Knight (1998)の方法を採用した。その手順は以下の通りである。まず、各観測点における各月の日降雨量の頻度分布は、(1)式のGamma分布に従うと仮定し、各月毎に(1)式を当てはめる。

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \left(\frac{x}{\mu}\right)^{\mu-1} e^{-x/\mu} \quad 0 \leq x < \infty \quad (1)$$

ここで、 $\Gamma(\mu)$ はガンマ関数、 μ はパラメータである。パラメータ μ は平均値を μ 、分散を σ^2 とすると、積率法により以下の式で求まる。

$$\mu = \sigma^2 / \mu \quad (2)$$

$$\mu = \sigma^2 / \sigma^2 \quad (3)$$

次に、当てはめたGamma分布に従う乱数を発生させることにより、欠測日における降雨量を推測し、他の2地点の降雨量を勘案して値を決定した。

上賀茂においては移転に伴う4ヶ月間の欠測がある。この場合は、データが完全に揃っている年について1月～4月のGamma分布を全観測点に当てはめ、比較した結果、上賀茂のGamma分布は京大圃場のそれとほぼ同じであること、また京大圃場より上賀茂の方がやや平均値および分散が大きいたことが明らかとなった。よって、1949年1月～4月の各月の京大圃場のGamma分布を用いて降雨を模擬発生させ、1ヶ月間の平均および分散を計算し、京大圃場よりもやや大きな値になる一連の模擬降雨を上賀茂のデータとして用いることとした。なお、上賀茂・京大圃場とも観測期間に占める欠測値の割合は1%未満である。

5. 降雨指標の抽出法

本研究では年単位の降雨特性の抽出に際して、1年を12月1日から翌年11月30日までとした。たとえば、1999年12月1日から2000年11月30日までを2000年として取り扱った。また季節単位の降雨特性の抽出の際には各季節を、冬：12月～2月、春：3月～5月、夏：6月～8月、秋：9月～11月、とした。

検討する降雨指標としては、年および季節降雨量、1 mmおよび30 mm以上降雨日数といった日単位データに基づく指標のほか、ひと雨降雨強度、降雨継続期間、連続無降雨期間といった指標についても検討した。ここではひと雨を、時間的に連続した降雨事象で（Eagleson, 1978；近森, 2002）、日降雨量が0でない降雨日が連続した期間の総降雨量と定義する。また、降雨継続期間とはひと雨の期間の長さを表し、ひと雨降雨量を降雨継続期間で除したものをひと雨降雨強度と定義する。連続無降雨期間は、あるひと雨の終了から次のひと雨の発生までの時間を表す。

6. ひと雨降雨強度の階級区分

本研究ではそもそも3地点の降雨量が異なることからそれぞれの階級の閾値を区分する方法として、Karl and Knight (1998)のものを採用した。すなわち、地点毎および季節毎に66年間の全ひと雨降雨強度データを小さい順に並べ、全データ数の20%とな

るところまでを Class 1 とする．次の Class 2 はさきほどの全データ数の20%を超えたところから40%となるところまで，Class 3 は40%～60%，Class 4 は60%～80%，Class 5 は80%～100%とした．

7. トレンド解析法

各降雨特性の経年トレンドの検出にはノンパラメトリックのトレンド検定法である Mann-Kendall 検定法を用いた．

Mann-Kendall 検定法では統計量を以下のような手順で求める．まず，ランダムで独立な n 個の観測値を $x_1, x_2, \dots, x_n$ とする．ここで，符号関数を(4)式のように定義する．

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & > 0 \\ 0 & = 0 \\ -1 & < 0 \end{cases} \quad (4)$$

これを用いて，

$$U_{ij} = \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

とする．これは，もし x に上昇傾向があれば， U_{ij} は正，下降傾向があれば負となる．この(5)式を用いて，以下の統計量を求める．

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n U_{ij} \quad (6)$$

これらは n が大きいとき，その分布は正規分布となる．ここでは，仮説 H_0 として「データには傾向がない」とし，有意水準を α % (信頼度 $(100 - \alpha)$ %)，統計量については以下ようになる．

$$u_c = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

もし， $|u_c| > u_{1-\alpha/2}$ が成立すれば， H_0 は有意水準 α % で棄却される．なお，解析結果で示すトレンドの傾きについては，線形回帰直線を最小2乗法によりフィッティングしたものを示した．

・解析結果と考察

1. 降雨特性の年・季節変化

図-2に3地点の年降雨量の経年変化と線形回帰直線を示した．これをみると3地点ともほとんど変化していないことがわかる．気象台，京大圃場，上賀茂の年降雨量の平均値はそれぞれ1553.6 mm，1557.1 mm，1614.2 mm となっており，上賀茂の降雨量が若干多くなっている．これは気象台，京大

図-2 気象台，京大圃場，上賀茂における年降水量の経年変化と線形回帰直線．

Fig. 2 Time series of annual precipitation at Koyto Local Meteorological Observatory, Experimental Farm Kyoto University and Kamigamo Experimental Station. The straight line represents a least-squares fit to the data.

圃場が盆地底部の平坦な場所に位置している一方で，上賀茂は盆地を囲む山沿いに位置しているために地形に起因する降雨が多くなるためであると思われる．表-1に年単位，季節単位の総降雨量と1 mm以上，30 mm以上の降雨日数に対して行ったトレンド解析の結果と線形回帰式の傾きを示した．

年降雨量について見ると，気象台で増加傾向，京大圃場および上賀茂で減少傾向にあるもののトレンドは検出されず，雨の総量はほとんど変化していないことがわかる．1 mm以上の降雨日数については3地点とも減少傾向にあり，とくに気象台，上賀茂については90%の信頼度で減少トレンドを示している．30 mm以上の降雨日数については，京大圃場と上賀茂では有意なトレンドは検出されていないのに対して気象台では，99%の信頼度で増加トレンドを示している．

次に季節毎の経年変化傾向に関して見ていく．まず総降雨量については，気象台は夏を除く冬・春・秋に増加傾向が見られるもののいずれも有意なトレンドを検出していない．京大圃場は春・夏に減少傾向，秋・冬に増加傾向を示しているが，やはり有意なトレンドを示していない．上賀茂については，すべての季節で降雨量が減少する傾向にあり，とくに秋の降雨量は95%の信頼度で減少トレンドが示され

表 - 1 総降雨量，降水日数（1 mm，30mm 以上）の Mann-Kendall 検定の結果と線形回帰による傾き。
 Table 1 Results of the application of the Mann-Kendall test and slope values of least square linear fitting to the total precipitation and number of daily precipitation (1 mm, 30 mm) series.

	Observatory	Farmsted	Kamigamo
Total Precipitation			
Annual	0.067	-1.457	-1.204
Winter	0.084	0.310	-0.101
Spring	0.060	-1.494	-0.433
Summer	-0.196	-0.419	-0.217
Autumn	0.124	0.168	-0.404 **
Number of Daily Precipitation (≥ 1 mm)			
Annual	-0.099 *	-0.029	-0.045 *
Winter	0.012	0.029 **	0.016 **
Spring	-0.007	0.003	0.010
Summer	-0.029 **	-0.011	-0.002
Autumn	-0.078 **	-0.054 ***	-0.071 ***
Number of Daily Precipitation (≥ 30 mm)			
Annual	0.034 ***	-0.016	-0.012
Winter	-0.001	-0.004 **	-0.009 ***
Spring	0.006 **	-0.004	-0.007 *
Summer	0.020 *	-0.019 **	-0.004
Autumn	0.009 ***	0.011	0.009

*:significance level greater than 90%

**:significance level greater than 95%

***:significance level greater than 99%

た。

季節毎の 1 mm 以上の降雨日数の経年変化について見てみると、まず気象台では、冬に増加傾向、春・夏・秋に減少傾向が示され、とくに夏・秋については 95% の信頼度で減少トレンドが示された。京大圃場では、冬・春に増加傾向、夏・秋に減少傾向を示し、とくに冬の増加トレンドは 95% の信頼度で、また秋の減少トレンドは 99% の信頼度で有意であることがわかる。上賀茂については、冬・春に増加傾向、夏・秋に減少傾向があり、とくに冬の増加トレンドが 95% の信頼度で、また秋の減少トレンドが 99% の信頼度で有意であることがわかる。観測地点間に共通する傾向は、冬の降雨日数の増加トレンド

が京大圃場と上賀茂で見られること、また秋の降雨日数の減少トレンドが 3 地点共に見られることである。

30 mm 以上の降雨日数の経年変化については、気象台で春・夏・秋にそれぞれ信頼度 95%、90%、99% で有意な増加トレンドを示している。また、京大圃場では冬と夏に 95% の信頼度で減少トレンドが、上賀茂では冬に 99%、春に 90% の信頼度で減少トレンドが見られる。観測地点間に共通して見られる傾向は、冬に京大圃場と上賀茂で減少トレンドが示されている程度で、他の季節ではトレンドの出現具合、増加・減少の傾向の違いなどが 3 地点とも異なっている。

ここでの結果をまとめる．まず気象台については，年単位・季節単位の総降雨量はほとんど変化が無い．しかし，夏・秋の降雨日数に減少トレンドが見られる一方で，30 mm 以上の降雨日数に増加トレンドが示されているため，全体として降雨が短時間に集中して降る傾向にあり，とくに，秋にその傾向が顕著であることと推測される．京大園場についても，やはり年単位・季節単位の総降雨量にほとんど変化は見られない．降雨日数については冬に増加トレンドが，秋に減少トレンドが見られ，これらが相殺された結果，年間の降雨日数のトレンドが見えなくなっている．さらに，30 mm 以上の降雨日数について冬・夏に減少トレンドが示されていることから，冬にシトシトと降る雨の量が増えていると推測される．また，秋については総雨量や30 mm 以上の降雨日数には変化はないものの，降水日数が強い減少トレンドを示していることから，ややまとまって雨が降る傾向にあると推測される．上賀茂については，年単位の降雨量の変化は顕著ではないが，秋の降雨量に減少トレンドが見られた．冬に降雨日数の増加トレンドが見られるが，30 mm 以上の降雨日数には減少トレンドが見られることから，比較的降雨強度の弱い雨が頻繁に降る傾向にあると推測される．一方，秋に降雨日数の減少トレンドが示されているものの，30 mm 以上の降雨日数はほとんど変化していないことから，降雨日の減少によって全体の降雨量が減少していると推測される．

このように，本研究の解析で用いた3地点の観測地点間は，それぞれ6 km 弱しか離れていないにも関わらず，総降雨量・降雨日数の経年変化傾向がそれぞれ異なる結果となった．

2. ひと雨降雨強度の経年変化

図-3には，各観測点における年間の階級別ひと雨降雨強度寄与率の経年変化と線形回帰直線を示した．これを見ると気象台では，95%の信頼度でClass 4が減少トレンド，Class 2・Class 5が増加トレンドを示している．とくにClass 5の発生割合は信頼度99%でも有意な増加トレンドを示し，降雨強度の強い雨が增加する傾向にあることを示している．京大園場では，95%の信頼度で，Class 2・Class 5が減少トレンド，Class 3・Class 4が増加トレンドを示していることから，降雨強度の弱い雨や強い雨の発生割合が減る傾向にはあるものの，1回のイベントでの降雨はややまとまって降る傾向にあるとい

図-3 気象台，京大園場，上賀茂における階級別ひと雨降雨強度寄与率の経年変化と線形回帰直線．なお太線は95%の信頼度で有意なトレンド．

Fig. 3 Each class time series, expressed as percentage contribution to total storm events, at Koyto Local Meteorological Observatory, Experimental Farm Kyoto University and Kamigamo Experimental Station. The straight line represents a least-squares fit to the data. Statistically significant trends (significant level greater than 95%) are depicted in bold.

える．上賀茂については，95%の信頼度でClass 3が減少トレンド，Class 4が増加トレンドを示しており，やや降雨強度が強くなる傾向にあるという．

図-4には，観測点毎，季節毎の階級別ひと雨降雨強度寄与率の66年間の傾きと，トレンド解析の結果を示した．また，図-3に示した年間の傾きとトレンド解析の結果もあわせて示している．

図-4を見ると，気象台では冬・秋の傾きが比較的大きいのがわかる．冬はClass 2に減少トレンド，Class 3に増加トレンドが見られ，トレンドは検出されていないものの他のClassの傾きとあわせて考えると，ややひと雨降雨強度が強くなっていると推測される．秋も同様に，Class 3が減少トレンド，Class 4に増加トレンドが見られ，降雨強度が強くなっていると考えられる．また，春・夏についてはあまりトレンドがみられないものの秋の傾向と良く似通っている．

京大園場では，冬・秋でClass 1・Class 2・Class 5といったひと雨降雨強度のごく弱い雨や，逆にご

図 - 4 気象台, 京大圃場, 上賀茂の年間および季節毎の階級別ひと雨降雨強度寄与率の66年間の傾き。黒点は95%の信頼度で有意なトレンド。

Fig. 4 1936-2001 trends (fraction per 66 years) in the contribution of events falling in each class to the annual or seasonal storm events at Koyto Local Meteorological Observatory, Experimental Farm Kyoto University and Kamigamo Experimental Station. Those trends that are statistically significant with 95% confidence are indicated by black dots.

く強い雨の発生割合に比較的多く減少トレンドが示されている一方で, Class 3・Class 4 の中程度からやや強い雨の発生割合に増加トレンドが示されている。夏は Class 1・Class 2 の減少トレンドは見られないものの, Class 4 の増加トレンド, Class 5 の減少トレンドが示され, 冬・秋同様にひと雨降雨強度の中程度の雨の発生割合が多くなる傾向が示されている。

上賀茂については, 気象台や京大圃場に比べると季節によって階級間の変化の様子が大きく異なっている。冬は, Class 1 が有意な減少トレンドを示していることから, ややひと雨の降雨強度が強まっていると推測される。春は, Class 2・Class 4 が増加トレンドを, Class 3 が減少トレンドを示し非常に複雑な変化をしている。また, 夏には Class 1・Class 4 に増加トレンドが示されており, テンドは検出されていないものの京大圃場でも夏に Class 1 の減少

傾向が示されていること, また他の地点・季節では Class 1 に増加トレンドが示されたことはないことを合わせて考えると興味深い結果といえる。秋では, Class 3 に増加トレンド, Class 4 に減少トレンドが示され, 京大圃場と同様にひと雨の降雨強度が中程度のイベントが増える傾向にあることが示されている。

3. 降雨継続期間の経年変化

ひと雨降雨強度の強弱は, 1 回の降雨の多寡もさることながら, 降雨の継続期間にも大きく左右される。とくに降雨継続期間は降雨の発生要因とも深く関与していることから, 降雨継続期間に関する傾向を解析することにより, ひと雨降雨強度トレンドの差異をもたらした原因を推測する有益な情報を提供するものと考えられる。ここでは降雨継続期間を 1 - 2 日間, 3 - 4 日間, 5 - 6 日間, 7 日間以上の 4 段階に区分し, 年間および各季節の総降雨日数に対するそれぞれの降雨継続期間区分の占める割合を 66 年間について求め, テンド検定を行った。図 - 5 には年間および各季節における寄与率の 66 年間の傾きとテンド解析結果を示す。

気象台では, 冬に 1 - 2 日間のひと雨が減少トレンドを, 7 日以上の一雨が増加トレンドを示しており降雨期間の長期化傾向が見られる。この傾向は夏にも見られ, とくに, 7 日間以上継続するひと雨の増加トレンドが顕著である。降水日数やひと雨降雨強度の解析では秋に降雨の集中化傾向が見られたが, 降雨継続期間では 1 - 2 日間と 7 日間以上のひと雨が増加トレンドを示しており降雨継続期間が 2 極化する傾向にあるといえる。

京大圃場では, 気象台同様冬の降雨継続期間の長期化が見られる。しかし春と夏では, 7 日間以上のひと雨が減少トレンドを示しており, やや降雨継続期間が短くなる傾向を示している。

上賀茂については, 全季節で 1 - 2 日の降雨継続期間の短いひと雨が減少トレンドを示しておりその傾きも非常に大きくなっている。また, 3 - 4 日間やそれ以上のひと雨に多く増加トレンドが現れていることから, 全体的に降雨が長期化する傾向にあることがわかる。ただし, 夏はさらに 5 - 6 日間の一雨が減少トレンドを, 7 日間以上のひと雨が増加トレンドを示しており, かなり複雑な変化傾向を示している。

全体的に見て, 冬と夏に傾きが大きくなる傾向に

図 - 5 気象台, 京大圃場, 上賀茂の年間および季節毎の降雨継続期間寄与率の66年間の傾き. 黒点は95%の信頼度で有意なトレンド.

Fig. 5 1936-2001 trends (fraction per 66 years) in the contribution of events falling in duration of precipitation at Koyto Local Meteorological Observatory, Experimental Farm Kyoto University and Kamigamo Experimental Station. Those trends that are statistically significant with 95% confidence are indicated by black dots.

ある. また, 冬は3地点とも1-2日間のひと雨が減り, 3日間以上のひと雨が增える傾向にあることから降雨の長期化が共通してみられる. 夏については1-2日間のひと雨が減る傾向にあるものの, 3日間以上続くひと雨のトレンドは3地点でそれぞれ異なっている.

4. 考 察

今回検討した3地点間は, 同じ京都盆地内に位置し, かつ距離も近いにもかかわらず, 多くの降雨指標で変化傾向が異なっていた. これまで, これだけ隣接した地点において, しかも長期にわたって日降雨量が観測されていた例は報告されていない. したがって, 本解析結果そのものが関連するこの種の研究に対して, 貴重な情報を提供しているものといえる.

しかし, 本研究では降雨特性の変化傾向を統計的に検討したにすぎないため, それぞれの変化に対す

る物理的な要因を十分に議論できない. しかし, ここではこれまでに報告されている降雨特性に関わる知見を元にいくつかの可能性について述べてみたい.

多くの降雨指標について変化傾向が3地点で異なっていたが, 共通して見られる事項もいくつか確認された. まず, 年単位・季節単位の総降雨量がほとんど変化していない点である. これは雨の降り方の変化を考える上で重要な情報である. 次に, 京大圃場・上賀茂では冬の1 mm以上の降雨日数の増加トレンドと, 30 mm以上の降雨日数の減少トレンドが共に示された. また, 気象台では有意なトレンドは検出されなかったものの, 変化の傾きは2地点と同じ向きを示している. 磯部(2003)は, 近畿・北陸地方の冬の降雨量と降雨日数(2 mm以上)の減少を指摘しているが, 本解析結果と矛盾している. また, 降雨強度がやや強くなる傾向や降雨継続期間の長期化傾向も共通して見られることから, 京都市北部地域で広く見られる傾向であるといえる. しかし, 冬の降雨現象は, シベリアからの冬のモンスーンとの関わりが深いため, 今後, 大気循環場との関連で検討する必要がある.

秋では1 mm以上の降雨日数の減少トレンドが3地点共に示された. さらに市街地に位置する気象台と京大圃場では, 降雨強度が強くなる傾向が確認されたことから, 市街地を中心に降雨が集中化していることを示唆する結果となっている. 従来, こうした都市域の降雨の集中化傾向は夏季に現れることが多く(藤部, 1998; 佐藤・高橋, 2002), やや特異な傾向であるといえる. 首都圏では降雨強度の強い対流性降雨の多発傾向が指摘され, ヒートアイランドによる収束風が存在との関連性が検討されている(藤部, 1998; 藤部ら, 2002; 中西・原, 2003). 季節が若干異なるものの, 京都盆地でも夏季にヒートアイランドに伴う風の収束域ができやすくなっていると大橋・木田(2000)の報告があり, 興味深い. しかし, 首都圏に比べ近畿地方とくに京都市域におけるこの種の研究例は非常に少ないため, 今後慎重に解析を進めていく必要がある.

気象台と上賀茂では, 1 mm以上の降雨日数の減少トレンドと降雨継続期間の長期化傾向が確認された. 総降雨量が変化していないこととあわせて考えると, 無降雨期間が長期化している可能性がある. そこで, これら2地点における10日以上連続無降雨期間寄与率と連続無降雨期間の最大値について, それぞれトレンド解析を行ったところ, 表-2に示

表 - 2 無降雨期間の Mann-Kendall 検定の結果と線形回帰による傾き .

Table 2 Results of the application of the Mann-Kendall test and slope values of least square linear fitting to interval between storms.

	Annual	Winter	Spring	Summer	Autumn
Observatory					
MAX	0.0697 **	0.0264	0.0115 ***	0.0248 ***	0.0691 ***
10day~	0.0545 ***	0.0200	0.0656 ***	0.0447 ***	0.1115 ***
Kamigamo					
MAX	0.0899 ***	0.0530 ***	0.0104	0.0205	0.0732 ***
10day~	0.0518 ***	0.0287 *	0.0543 ***	0.0347 ***	0.0989 ***

*:significance level greater than 90%

**:significance level greater than 95%

***:significance level greater than 99%

すような結果を得た．このように両地点共に連続無降雨期間に増加トレンドが示された．このような無降雨期間の増加は，たとえば農業生産に大きな影響を与える．農業気象・作物生産の分野では，日降雨量が5 mmを下回る日を「干天日」といい，干天日が20日を超えると「干害」と定義し，注意深く監視されている．そこで，周囲に農地が比較的多く残る上賀茂の観測値を用いて，確率年最大連続干天日数を検討した．66年間の観測期間を1936年から1968年

までの前33年と1969年から2001年までの後33年間に分け，年最大連続干天日数を図 - 6 のようにプロットして Gumbel 分布を当てはめた．その結果，干害（連続干天日20日）の発生確率が前期に1.5年に一度であったものが，後期に1.2年に一度となっており，発生頻度が高くなっていた．また，利水計画上重要な10年確率の最大連続干天日数について検討したところ，前期の10年確率連続干天日34.0日が，後期では3.9年確率となっていた．このことから，干害発生頻度が増加する傾向にあり，また，より深刻な干害の発生が懸念される状況になっていることが明らかとなった．

まとめ

本研究では，京都盆地内に位置する3地点の日降雨量観測データを用いて，66年間の降雨特性の経年変化傾向について検討した．とくに雨の降り方に着目して解析を行った．その結果，観測点が隣接しているにもかかわらず，多くの降雨指標の変化傾向が異なっていた．しかし，冬の1 mm以上の降雨日数の増加傾向や降雨強度の変化などは共通して見られた．市街地に位置する気象台と京大園場では，秋に降雨が集中化していることが示唆され，都市化の影響による可能性が考えられた．気象台と上賀茂では無降雨期間が長期化する傾向が確認され，とくに上賀茂では近年干害の発生頻度が増加していることが明らかとなった．

これらの解析結果は，いずれも長期間の観測に基

図 - 6 上賀茂における年最大連続干天日数 .

Fig. 6 Annual maximum drought days at Kamigamo.

づくものであり，局地的な降雨特性の変化に関する貴重な情報を提供しているものである．

謝辞：本研究をまとめるにあたり，京都大学フィールド科学教育研究センターには上賀茂試験地の気象観測値を提供して頂いた．また京都地方気象台には長期間にわたる降雨資料を閲覧させて頂いた．ここに記して感謝の意を表す．

引用文献

- Brunetti, M., Coacino, M., Maugeri, M., Nanni, T. (2001): Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996, *International Journal of Climatology*, **21**, pp. 299-316.
- Changnon, S. A. Jr. ed (1981): METROMEX review and summary, *Meteor. Monogr.*, **40**, American Meteor. Soc., 181p.
- 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**, pp. 517-519.
- Eagleson, P. S. (1978): Climate, Soil, and Vegetation, 1. Introduction to Water Balance Dynamics, *Water Resources Research*, **14**, pp. 705-712.
- 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**, pp. 7-18.
- 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降雨に先立つ地上風系の特徴, *天気*, **49**, pp. 31-41.
- 原田 朗(1982): 大気汚染と気候の変化, 223p, 東京堂出版.
- 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**, pp. 1533-1541.
- 磯部英彦(2003): 日本における極端な大雨のトレンド, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp. 585-590.
- 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**, pp. 637-640.
- Karl, T. R. and Knight, R. W. (1998): Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, pp. 231-241.
- Karl, T. R., Knight, R. W. and Plummer, N. (1995): Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, **377**, pp. 217-220.
- 気象庁(2002): 20世紀の日本の気候, pp. 34-40, 気象庁.
- Landsberg, H. E. (1981): The Urban Climate, 275p, Academic Press.
- Mason, S. J., Waylen, P. R., Mimmack, G. M., Rajaratnam, B., Harrison, J. M., (1999): Changes in extreme rainfall events in South Africa, *Climate Change*, **41**, pp. 249-257.
- 中西幹郎・原由紀男(2003): 東京都市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**, pp. 13-25.
- 大橋唯太・木田秀次(2000): 京阪神地域における海陸風・山谷風の数値シミュレーション 都市と山地の効果について, 京大防災研年報, 43B-1, pp. 249-257.
- 大後美保・長尾 隆(1972): 都市気候学, 214p, 朝倉書店.
- Osborn, T. J., Humle, M., Jones, P. D., Basnett, T. A. (2000): Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation, *Int. J. Climatol.*, **20**, pp. 347-364.
- Suppiah, R. and Hennessy, K. J. (1998): Trends in total rainfall heavy rain events and numbers of dry days in Australia, 1910-1990, *Int. J. Climatol.*, **18**, pp. 1141-1164.
- 近森秀高・永井明博(2002): 岡山における日降雨特性の経年変化, 水文・水資源学会誌, **15**(5), pp. 513-521.
- 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**, pp. 643-648.
- Yonetani, T. (1983): Enhancement and initiation of a cumulus by a heat island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, pp. 244-253.

(受付: 2004年1月7日, 受理: 2004年4月24日)