岡山における日降雨特性の経年変化

Long-term Change in Daily Rainfall Characteristics at Okayama

近森秀高*・永井明博* (岡山大学環境理工学部)

Hidetaka CHIKAMORI・Akihiro NAGAI Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

Rainfall characteristics is said to be changed in recent decades due to global climate change. In order to find the changes, a statistical analysis was performed for 100-year (1898-1997) daily rainfall record at Okayama Meteorological Observatory. For this purpose, a storm is defined as a succession of rainy days, and we examined frequency and distribution of total rainfall and duration of a storm, storm inter-arrival time and interval between storms. The result of frequency analysis shows that frequency of 100-year storm rainfall during 1899-1931 becomes almost thirteen times larger during 1965-1997. Besides frequency of 100-year interval between storms during 1899-1931 becomes five times larger during 1965-1997. The change in frequency of these hydrological characteristics shows us necessity to reconsider magnitude of design floods and/or droughts for constructing hydraulic structures.

Key words: Daily rainfall characteristics, Total rainfall of a storm, Annual maximum daily rainfall, Interval between storms, Gumbel distribution

岡山における日雨量データを対象に統計的解析を行い、日降雨特性の経年変化を調べた。降雨日が連続する期間の降雨量をひと雨雨量と定義し、年最大ひと雨雨量の確率年の変化を調べた結果、1899～1931年の100年確率のひと雨雨量255.8mmは1965～1997年では確率年が7.6年となり、発生頻度がほぼ13倍になっていることが分かった。また、ひと雨とひと雨との間の連続無降雨期間について同様の解析を行った結果、1899～1931年の100年確率の連続無降雨期間35.5日は1965～1997年では確率年が19.7年となり、発生頻度がほぼ5倍になっていることが分かった。これらの結果は、水工施設を設計・建設する際に、設計の対象とする水文学量の取扱に十分注意する必要があることを示している。

キーワード: 日降雨特性、ひと雨雨量、年最大日雨量、連続無降雨期間、Gumbel分布

I. はじめに

近年、雨の降り方が変わったと言われる。降雨量の変動が大きくなり洪水も渇水も起こりやすくなった、と言われることが多い。例えば、首都圏では、夏期に発生する集中豪雨が問題になっている。一方、渇水も頻発するようになってきており、毎年どこかでダムの貯水量不足による取水制限が行われている。

これらの水に関する問題の原因として、例えば、都市化に伴うヒートアイランド現象や地球温暖化などによる気候・気象条件の変化の可能性が指摘されている(平成13年版 防災白書、内閣府、2001)。

もし、近年の気候または気象条件に経年的な変化

が見られるならば、水工計画策定の基本となる確率水文学量の取扱について根本的に見直す必要がある。すなわち、このことは、過去に建設された治水施設の確率年が変わってきている可能性があることを意味し、水工計画を策定する際にも留意する必要があることになる。

本研究では、日降雨量の特性の経年変化を調べることを目的として、1898年から1997年までの100年間に岡山地方気象台で観測された日降雨量データを対象に、時間的に連続した降雨事象である「ひと雨」に着目し、年最大ひと雨雨量、ひと雨の期間の長さ、雨量、ひと雨の発生間隔の経年的変化について調べた。また、年最大日雨量の経年的変化についても吟

*岡山大学環境理工学部 〒700-8530 岡山市津島中3-1-1

Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

味した。

II. 解析対象資料

本研究で対象としたのは、1898～1997年の100年間に岡山地方気象台で観測された日雨量データである。

降雨特性の経年変化を調べるために、この100年間のデータを以下の2通りの方法で期間分割した。

(1) 各期50年の2期(1898～1947年, 1948～1997年)に分割しそれぞれ第Ⅰ₅₀期, 第Ⅱ₅₀期と呼ぶことにする。

(2) 各期33年の3期(1899～1931年, 1932～1964年, 1965～1997年)に分割しそれぞれ第Ⅰ₃₃期, 第Ⅱ₃₃期, 第Ⅲ₃₃期と呼ぶことにする。この場合は1898年のデータは検討対象から除外する。

降雨特性に影響を与える要因として、経年的な気候・気象条件の変化以外に、観測点の移動、日雨量の日界の変更などが考えられるが、本研究では、これらはいずれも考慮しないことにする。Table 1に示すように、対象期間内に、岡山地方気象台は1949年、1982年の2度移転している。しかし、いずれの地点も同じ平野内で近接しており気象観測の条件はあまり変わっていないので、この移転が降雨特性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。また、日雨量の日界は1964年に午前9時から午前0時に変更されているが、これが観測日雨量の統計的特性に及ぼす影響も極めて小さいものと考えている。

III. 降雨時系列のモデル化

本研究では、日単位の降雨データを対象とし、日降雨量が0でない降雨日が連続した期間の総雨量を「ひと雨雨量(total rainfall of a storm)」(r)として取扱うことにする。例えば数時間単位の1日未満の降雨の中断があったとしてもここでは考慮しない。

このひと雨雨量以外に、以下のような特性量を定義する。

降雨継続期間 (duration of precipitation, t_r):

ひと雨の期間の長さ。

降雨発生間隔 (storm inter-arrival time, t_a):

降雨事象であるひと雨の発生する間隔。あるひと雨の発生から次のひと雨が発生するまでの時間。

連続無降雨期間 (interval between storms, t_b):

あるひと雨の終了から次のひと雨の発生までの時間。

Table 1 Address change of Okayama Meteorological Observatory

Change	Address
June, 1896	58 Uchisange, Okayama (岡山市内山下 58 番地)
April, 1949	1-16, Tsushima-kuwanoki-cho, Okayama (岡山市津島桑の木町 1-16)
October, 1982	1-36, Kuwata-cho, Okayama (岡山市桑田町 1-36 岡山地方合同庁舎)

t_a : storm inter-arrival time, t_r : duration of precipitation, t_b : interval between storms, r : total rainfall depth of a storm.

Fig. 1 Model of precipitation event series (after P.S. Eagleson, 1978)

これらの特性値についての概念図をFig. 1に示す。

なお、ひと雨や無降雨期間は、ある年の年末から次年の年初めまで年をまたいで発生する場合があるが、この場合は検討の対象から除外し、いずれの年のひと雨にも無降雨期間にも加えないことにする。

IV. 確率ひと雨雨量の経年変化

ひと雨の経年変化を調べるために、まず、年最大ひと雨雨量の経年変化を調べることにした。

1. 年最大ひと雨雨量の分布

年最大ひと雨雨量と非超過確率との関係を極値確率紙にプロットした結果をFig. 2に示す。(a), (b)に

Fig. 2 Annual maximum of total rainfall of a storm at Okayama

それぞれ全期間を50年ごとの2期に分割した場合、33年ごとの3期に分割した場合の結果を示している。なお、非超過確率は次式で示されるWeibullプロットで計算した。

$$F_j = \frac{N+1-j}{N+1}$$

ここに、 F_j は非超過確率、 j :順位、 N :データ数。

また、Fig. 2には、各期の年最大ひと雨雨量のデータに、代表的な極値分布の一例として、Gumbel分布を角屋の方法(角屋, 1964)により当てはめた結果を併示している。Gumbel分布は、確率変数を x 、確率分布関数を $F(x)$ 、確率密度関数を $f(x)$ とすると、以下のように表される。

$$F(x) = \exp(-e^{-y})$$

$$f(x) = a \cdot \exp(-y - e^{-y})$$

$$y = a(x - x_0), -\infty < x < \infty$$

ここに、 a, x_0 は定数(パラメータ)。

これらのデータには、もちろん、他の極値分布を当てはめることもできるが、本論文ではGumbel分布を適用した結果のみについて検討した。

Fig. 2のいずれの結果を見ても、最近になるに従ってプロットの位置は右方向へ移動しており、このことは、近年になるに従ってある非超過確率(確率年)に対応する雨量が次第に大きくなっているこ

とを示すと同時に、同じひと雨雨量に対する確率年が経年的に小さくなってきていることを示す。また、各プロット上に描いたGumbel分布の直線の勾配が時期を追うに従って小さくなっている。これは、確率雨量が大きくなる傾向が雨量が大きいほど顕著であることを示している。

2. 確率ひと雨雨量

Table 2にGumbel分布を当てはめた結果得られたパラメータとこれを基に計算した10, 20, 50, 100年確率値を示す。

1) 50年ごとの2期に分割した場合

Table 2を見ると、10年確率ひと雨雨量は、第I₅₀期の185.2mmから第II₅₀期の253.7mmに37%増加している。また、100年確率ひと雨雨量は、第I₅₀期の

Table 2 Estimates of annual maximum of one-storm rainfall

Duration	Parameters of Gumbel Distribution		Estimates(mm)			
	a	x_0	Return period in years			
			10	20	50	100
1898-1947	0.02846	106.15	185.2	210.5	243.2	267.8
1948-1997	0.01764	126.12	253.7	294.5	347.4	386.9
1899-1931	0.03074	106.14	179.4	202.8	233.1	255.8
1932-1964	0.02496	114.30	204.5	233.3	270.6	298.6
1965-1997	0.01545	129.37	275.0	321.6	381.9	427.1

267.8mmから第Ⅱ₃₃期の386.9mmに44%増加しており、10年確率の場合よりも増加率が大きくなっていることが分かる。

2) 33年ごとの3期に分割した場合

Table 2を見ると、10年確率ひと雨雨量は、第Ⅰ₃₃期は179.4mm、第Ⅱ₃₃期は204.5mm、第Ⅲ₃₃期は275.0mmと経年的に増加している。増加率について見てみると、第Ⅰ₃₃期を基準にすると第Ⅱ₃₃期の10年確率ひと雨雨量は114%、第Ⅲ₃₃期は153%となるから、第Ⅱ₃₃期は第Ⅰ₃₃期に対して14ポイントの増加、第Ⅲ₃₃期は第Ⅱ₃₃期に対して39ポイントの増加となる。このことから、近年になるに従って10年確率ひと雨雨量の増加率が大きくなる傾向が窺える。

100年確率ひと雨雨量は、第Ⅰ₃₃期は255.8mm、第Ⅱ₃₃期は298.6mm、第Ⅲ₃₃期は427.1mmと10年確率の場合と同様に経年的に増加している。増加率について見てみると、第Ⅰ₃₃期を基準にすると第Ⅱ₃₃期の100年確率ひと雨雨量は117%、第Ⅲ₃₃期は167%となるから、第Ⅱ₃₃期は第Ⅰ₃₃期に対して17ポイントの増加、第Ⅲ₃₃期は第Ⅱ₃₃期に対して50ポイントの増加となる。このことから、100年確率ひと雨雨量の場合、近年になるに従って増加率が大きくなる傾向は10年確率の場合と同様であるが、10年確率の場合よりも増加率が大きくなっていることが分かる。

以上の結果から、同じ確率年に対するひと雨雨量は特に近年増加する傾向にあり、確率年の長い大規模な豪雨ほどひと雨雨量が年々増加する傾向が強いと言える。

3. ひと雨雨量の確率年

ひと雨雨量の確率年の経年的変化を、Table 2に示したGumbel分布のパラメータ値を用いて計算し調べた。

まず、50年ごとの2期に分割した場合について調べると、第Ⅰ₅₀期の10年確率ひと雨雨量である185.2mmの確率年は、第Ⅱ₅₀期には3.4年と約1/3になる。また、第Ⅰ₅₀期の100年確率ひと雨雨量である267.8mmの確率年は、第Ⅱ₅₀期には12.7年で約1/8になる。いずれの場合も確率年は短くなっており、この傾向は確率年が長くなるほど大きい。

33年ごとの3期に分割した場合について調べると、第Ⅰ₃₃期の10年確率ひと雨雨量である179.4mmの確率年は、第Ⅱ₃₃期には5.6年、第Ⅲ₃₃期には2.7年となる。また、第Ⅰ₃₃期の100年確率ひと雨雨量である255.8mmの確率年は、第Ⅱ₃₃期には34.7年、第Ⅲ₃₃期には

7.6年になる。

このように過去のある期間のデータに基づいて計算された確率雨量の確率年が経年的に短くなっていることが分かる。

V. 確率日雨量の経年変化

水工計画等でよく用いられる確率日雨量の経年変化についても調べた。

1. 年最大日雨量の分布

確率ひと雨雨量の場合と同様に、対象期間を50年ごとに分割した場合および33年ごとに分割した場合について年最大日雨量と非超過確率との関係を極値確率紙にプロットした結果を、それぞれFig. 3(a)および(b)に示す。この図でも、確率ひと雨雨量の場合と同様に、非超過確率の計算にWeibullプロットを用いた。また、Gumbel分布を適用した結果も併示した。

これらの図を見ると、Fig. 2の場合と同様に、最近になるに従ってプロットの位置は右方向へ移動しており、同じ確率年に対応する年最大日雨量が次第に大きくなっていることが分かる。各プロット上に描いたGumbel分布の直線の勾配は、年を追うに従って若干小さくなっているが、この傾向はFig. 2の確率ひと雨雨量の場合ほど顕著ではない。

2. 確率日雨量

Table 3にGumbel分布を当てはめた結果得られたパラメータとこれを基に計算した10, 20, 50, 100年確率値を示す。

1) 50年ごとの2期に分割した場合

Table 3を見ると、10年確率日雨量は、第Ⅰ₅₀期の99.0mm/dから第Ⅱ₅₀期の119.0mm/dに20%増加している。また、100年確率日雨量は、第Ⅰ₅₀期の135.9mm/dから第Ⅱ₅₀期の163.0mm/dに20%増加しており、10年確率の場合と同じ増加率であることが分かる。

2) 33年ごとの3期に分割した場合

Table 3を見ると、10年確率日雨量は、第Ⅰ₃₃期は98.3mm/d、第Ⅱ₃₃期は107.0mm/d、第Ⅲ₃₃期は123.3mm/dと経年的に増加している。増加率について見てみると、第Ⅰ₃₃期を基準にすると、第Ⅱ₃₃期の10年確率日雨量は109%、第Ⅲ₃₃期は125%となるから、第Ⅱ₃₃期は第Ⅰ₃₃期に対して9ポイントの増加、第Ⅲ₃₃期は第Ⅱ₃₃期に対して16ポイントの増加となる。

Fig. 3 Annual maximum daily rainfall at Okayama

Table 3 Estimates of annual maximum daily rainfall

Duration	Parameters of Gumbel Distribution		Estimates(mm)			
	a	x_0	Return period in years			
1898-1947	0.06359	63.56	10	20	50	100
1948-1997	0.05346	76.94	119.0	132.5	149.9	163.0
1899-1931	0.06623	64.37	98.3	109.2	123.3	133.8
1932-1964	0.05688	67.40	107.0	119.6	136.0	148.3
1965-1997	0.05181	79.89	123.3	137.2	155.2	168.7

このことから、近年になるに従って10年確率日雨量の増加率が大きくなる傾向が窺える。

100年確率日雨量は、第Ⅰ₃₃期は133.8mm/d、第Ⅱ₃₃期は148.3mm/d、第Ⅲ₃₃期は168.7mm/dと10年確率の場合と同様に増加している。増加率について見てみると、第Ⅰ₃₃期を基準にすると第Ⅱ₃₃期の100年確率日雨量は111%、第Ⅲ₃₃期は126%となるから、第Ⅱ₃₃期は第Ⅰ₃₃期に対して11ポイントの増加、第Ⅲ₃₃期は第Ⅱ₃₃期に対して15ポイントの増加となる。このことから、100年確率日雨量の増加率は、10年確率の場合と同様に近年になるに従って大きくなっており、また、増加率は10年確率の場合とほとんど同じであることが分かる。

以上の結果から、確率ひと雨雨量と同様に、確率日雨量の値も近年次第に大きくなってきていること

が分かる。ただし、確率ひと雨雨量の場合と異なり、確率年による増加率の違いは小さいようである。

3) 確率日雨量の連続的变化

次に、確率日雨量の経年変化を連続的に示した結果をFig. 4に示す。この図では、ある年から過去50年間または33年間遡った期間内の年最大雨量データから計算された10, 20, 50, 100年確率日雨量の変化を示している。

(a), (b)いずれの図でもこれらの確率雨量は、多少の小さな変動はあるものの明らかに年々増加している。とくに、1970年代後半から現在までの50年間の年最大日雨量の増加が大きいように思われる。

3. 日雨量の確率年

日雨量の確率年の経年的変化を、Table 3に示したGumbel分布のパラメータ値を用いて計算し調べた。

まず、50年ごとの2期に分割した場合について調べると、第Ⅰ₅₀期の10年確率日雨量である99.0mmの確率年は、第Ⅱ₅₀期には3.8年となる。また、第Ⅰ₅₀期の100年確率日雨量である135.9mmの確率年は、第Ⅱ₅₀期には23.9年になり、いずれの場合も確率年は短くなっていることが分かる。

33年ごとの3期に分割した場合について調べると、

(a) Two periods of 50 years

(b) Three periods of 33 years

Fig. 4 Change in probabilistic annual maximum daily rainfall at Okayama

第Ⅰ₃₃期の10年確率日雨量である98.3mmの確率年は、第Ⅱ₃₃期には6.3年、第Ⅲ₃₃期には3.1年となる。また、第Ⅰ₃₃期の100年確率日雨量である133.8mmの確率年は、第Ⅱ₃₃期には44.2年、第Ⅲ₃₃期には16.9年になる。

このように、確率ひと雨雨量の場合と同様に確率日雨量でも、過去のデータに基づいて計算された確率雨量の確率年が経年的に短くなってきていることが分かる。

Ⅵ. 日降雨量特性の経年変化

Ⅲ. でモデル化したひと雨の発生回数、ひと雨雨量、降雨継続期間、降雨発生間隔、連続無降雨期間の経年変化を調べた。

1. ひと雨の発生回数

各期別のひと雨の発生回数をひと雨雨量で分類した結果をTable 4に示す。

まず、50年ごとに分割した場合の結果を示したTable 4(a)でひと雨の発生回数を見てみると、第Ⅰ₅₀期(1898~1947年)では3133回であるのに対し、第Ⅱ₅₀期(1948~1997年)では3007回と減少していることが分かる。

次に、33年ごとに分割した場合の結果を示したTable 4(b)を見てみると、第Ⅰ₃₃期(1899~1931年)、第Ⅱ₃₃期(1932~1964年)、第Ⅲ₃₃期(1965~1997年)のひと雨の発生回数は、それぞれ2101回、2069回、1904回であり、次第に減少している。各期におけるひと

Table 4 Frequency of total rainfall of a storm at Okayama

(a) Two periods of 50 years

Periods	Total rainfall of a storm (mm)				
	0-50*	50-100	100-150	150-	Total
1898-1947	2883	200	33	17	3133
1948-1997	2738	194	48	27	3007

* "0-50" means "greater than or equal to 0 and less than 50".

(b) Three periods of 33 years

Periods	Total rainfall of a storm (mm)				
	0-50	50-100	100-150	150-	Total
1899-1931	1931	139	21	10	2101
1932-1964	1891	134	30	14	2069
1965-1997	1739	116	29	20	1904

雨発生回数の割合は、第Ⅰ₃₃期を基準にすると、第Ⅱ₃₃期は98.5%、第Ⅲ₃₃期90.6%である。すなわち、第Ⅱ₃₃期のひと雨発生回数は第Ⅰ₃₃期に比べて1.5ポイント減少しているが、第Ⅲ₃₃期では第Ⅱ₃₃期に比べて7.9ポイント減少しており、減少率が大きくなっていることが分かる。

このことから、ひと雨発生回数の減少傾向は、近年顕著になってきているのではないと思われる。

2. ひと雨雨量

各雨量分類について、対象期間を50年ごとに分割した場合の結果を示したTable 4(a)から次のことが分かる。

(1) 第Ⅰ₅₀期と第Ⅱ₅₀期とを比べると、雨量が0～50mmのひと雨発生回数が2883回から2738回、50～100mmが200回から194回に減少している。

(2) これに対し、100～500mmの発生回数は33回から48回、150mm以上のひと雨の発生回数が17回から27回へと、それぞれ約1.5倍に増えている。

このことから、雨量が少ないひと雨の発生回数が減り、雨量が多いひと雨の発生回数が増える傾向が窺える。

33年ごとに分割した場合の結果を示したTable 4(b)を見てみると、次のことが分かる。

(1) 雨量が0～50mmのひと雨発生回数は次第に減少している。

(2) 50～100mmのひと雨の発生回数は近年減少する傾向にある。第Ⅰ₃₃期は139回、第Ⅱ₃₃期は134回でほとんど変化していないが、第Ⅲ₃₃期は116回で10%以上減少している。

(3) 雨量が100～150mmのひと雨の発生回数は、以前は増加の傾向にあったが、近年はあまり変化していないようである。第Ⅰ₃₃期の21回から第Ⅱ₃₃期の30回に増えているが、第Ⅲ₃₃期は29回で、第Ⅱ₃₃期とほとんど変わっていない。

(4) 150mmを越すひと雨の発生回数は10回、14回、20回と経年的に増えてきている。

以上のように、50年2期、33年3期いずれの場合を見ても、雨量の少ないひと雨の発生回数は減り、雨量の多いひと雨の発生回数は増える傾向が窺える。

また、ひと雨雨量の平均値の変化を見てみると、第Ⅰ₃₃、第Ⅱ₃₃、第Ⅲ₃₃期の順にそれぞれ17.5、18.2、20.5mm/dと経年的に大きくなっており、上述の傾向を裏付けている。

3. 降雨継続期間

各期別のひと雨の発生回数を降雨継続期間の長さで分類した結果をTable 5に示す。対象期間を50年ごとに分割した場合((a))、33年ごとに分割した場合((b))いずれの場合も、継続期間が0～4日間および5～9日間のひと雨の発生回数が減少している。これは、前述の、ひと雨の発生回数が経年的に減少している傾向を反映している。

各継続期間の割合(%)について見てみる。50年の

Table 5 Frequency of duration of precipitation

(a) Two periods of 50 years

Periods	Duration (days)				
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-
1898-1947	2962	165	6	0	0
1948-1997	2904	99	3	1	0

(b) Three periods of 33 years

Periods	Duration (days)				
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-
1899-1931	1983	115	3	0	0
1932-1964	1966	97	5	1	0
1965-1997	1852	51	1	0	0

2期の場合、第Ⅰ₅₀、第Ⅱ₅₀期の順に0～4日間のひと雨の割合は94.5%から96.6%に増加しているのに対し、5日間以上の割合は5.5%から3.4%に減少している。

また、33年の3期の場合、第Ⅰ₃₃、第Ⅱ₃₃、第Ⅲ₃₃期の順に、0～4日間のひと雨の割合は、94.4%、95.0%、97.3%と次第に増加しているのに対し、5日間以上の割合は5.6%、5.0%、2.7%と次第に減少している。

以上の結果から、継続期間の短い降雨の割合が次第に増加しているのに対し、長い降雨の割合は次第に減少していることが分かる。

4. 降雨発生間隔

降雨の発生間隔をその長さで分類した結果をTable 6に示す。対象期間を50年ごとに分割した場

Table 6 Frequency of storm inter-arrival time

(a) Two periods of 50 years

Periods	Inter-arrival time (days)			
	0-9	10-19	20-29	30-
1898-1947	2773	331	25	4
1948-1997	2592	372	38	5

(b) Three periods of 33 years

Periods	Inter-arrival time (days)			
	0-9	10-19	20-29	30-
1899-1931	1874	211	14	2
1932-1964	1830	221	16	2
1965-1997	1604	262	33	5

合((a)), 33年ごとに分割した場合((b))いずれの場合も、降雨発生間隔が0～9日の場合が減少しているのに対し、10日以上の場合が増えている。

とくに、33年の3期((b))の場合を見ると、第Ⅱ₃₃期から第Ⅲ₃₃期にかけてこの傾向が顕著である。第Ⅰ₃₃期を基準にすると、降雨発生間隔が0～9日の場合の回数は、第Ⅱ₃₃期は97.7%、第Ⅲ₃₃期は85.6%である。すなわち、第Ⅱ₃₃期は第Ⅰ₃₃期に比べて2.3ポイントの減少であるのに対し、第Ⅲ₃₃期は第Ⅱ₃₃期に比べて12.1ポイントの減少であり、減少率が大きくなっていることが分かる。

一方、10日以上の場合の回数は、第Ⅰ₃₃期を基準にすると、第Ⅱ₃₃期は105.3%、第Ⅲ₃₃期は132.2%である。すなわち、第Ⅰ₃₃期から第Ⅱ₃₃期にかけて5.3ポイントの増加であるのに対し、第Ⅱ₃₃期から第Ⅲ₃₃期にかけては26.9ポイントの増加であり、増加率が大きくなっていることが分かる。

以上のことから、とくに近年、ひと雨の発生間隔が長くなっていると考えられる。

5. 連続無降雨期間

連続無降雨期間をその長さで分類した結果をTable 7に示す。

まず、50年ごとに分割した場合((a)), 33年ごとに分割した場合((b))いずれの場合も、連続無降雨期間が0～9日の場合が減少している。とくに、33年ごとに分割した場合((b))を見ると、第Ⅰ₃₃期は1980回、第Ⅱ₃₃期は1952回であり変化はないが、第Ⅲ₃₃期は1713回と大きく減少している。

10日以上の場合、50年ごとの2期に分割した場

合の表((a))を見ると、第Ⅱ₅₀期に増えていることが分かる。33年ごとの3期に分割した場合の表((b))を見ると、第Ⅰ₃₃期には121回、第Ⅱ₃₃期は117回でほとんど変わらないが、第Ⅲ₃₃期には191回となり大幅に増えている。このことから、とくに近年、連続無降雨期間が長くなっていると考えられる。

このように、連続無降雨期間が0～9日の場合が次第に減少しているのに対して10日以上の場合が増加していることが分かるが、これは、降雨発生間隔が次第に長くなり、降雨継続時間が次第に短くなるという前述の結果を反映したものである。

Ⅶ. 考 察

1. ひと雨雨量および日雨量の経年変化

Fig. 2およびFig. 3にそれぞれ示したように、5～100年確率のひと雨雨量および日雨量は、過去100年を50年2期または33年3期に分けたいずれの場合も最近になるほど大きくなっている。

また、同一のひと雨雨量および日雨量に対する確率年の変化を見ると、いずれの場合も近年になるに従って短くなってきている。

これらの結果はいずれも、近年、豪雨の頻度が高くなってきていることを示唆している。

このことは、過去に建設された水工施設が建設当初設計の対象とされた確率年に対応できなくなる危険性を示唆している。実際には、水工施設の設計では安全率が考慮されているので、このことが直ちに水工施設の容量不足にはつながらないだろう。しかし、とくに過去に建設された水工施設の設計豪雨の確率年が短くなってきている点には、今後、総合的な水工計画を策定する上で、十分留意する必要があるだろう。

2. ひと雨の特性

ひと雨に関する特性値について得られた結果では、雨量が多いひと雨の頻度が増え、かつ継続期間の短いひと雨の割合が高くなっている。この結果から、ひと雨における降雨強度が大きくなっていることが推測される。

ひと雨期間中の平均降雨強度の分布を調べた結果をTable 8に示す。この表を見ると、ひと雨平均降雨強度が0～20mm/dのひと雨が次第に減ってきているのに対し、20～80mm/dのひと雨は次第に増えており、ひと雨における降雨強度が大きくなっていることを示している。

Table 7 Frequency of interval between storms

(a) Two periods of 50 years				
Periods	Interval (days)			
	0-9	10-19	20-29	30-
1898-1947	2946	174	10	3
1948-1997	2762	216	24	5

(b) Three periods of 33 years				
Periods	Interval (days)			
	0-9	10-19	20-29	30-
1899-1931	1980	115	4	2
1932-1964	1952	108	8	1
1965-1997	1713	164	22	5

Table 8 Frequency of average rainfall intensity in a storm

Periods	Average rainfall intensity in a storm (mm/d)					
	0-20*	20-40	40-60	60-80	80-100	100-
1899-1931	1932	148	17	1	3	0
1932-1964	1873	171	18	5	1	1
1965-1997	1636	214	44	8	1	1

* "0-20" means "greater than or equal to 0 and less than 20".

また、連続無降雨期間が長くなる傾向が見られたが、これは、渇水が発生しやすくなってきていることを窺わせるものである。Fig. 5に、年最大連続無降雨日数を極値確率紙にプロットした結果を示す。この図は、全期間を33年ごとに分割した場合の変化を示したものである。各期のプロットにGumbel分布を適用した結果も並記している。この図では、第

Fig. 5 Annual maximum interval between storms at Okayama

I₃₃期から第II₃₃期にかけては、プロット位置にあまり大きな変化はないが、第III₃₃期ではプロット位置が大きく右へ移動しており、連続無降雨期間がとくに近年長くなる傾向を裏付けていると言える。例えば、適用したGumbel分布から得られる第I₃₃期の100年確率の連続無降雨期間35.5日は第III₃₃期では確率年が19.7年となり、発生頻度がほぼ5倍になっている。

Ⅶ. おわりに

岡山における100年の日降雨データを対象に、近年の日降雨特性の経年変化について吟味した。得られた結果は以下のようである。

- (1) 同じ確率年に対する確率ひと雨雨量および確率日雨量はいずれも経年的に増加している。この傾向は、近年になるほど強くなっている。この結果は、水工施設における確率水文学量について再検討する必要性を示している。
- (2) ひと雨の継続期間は次第に短く、また、ひと雨雨量は次第に大きくなる傾向にあり、これを反映してひと雨期間中の平均降雨強度は年々大きくなる傾向にある。
- (3) 連続無降雨期間は特に近年長くなってきており、渇水が発生しやすくなってきていることを示唆している。

本研究に際し、貴重な資料を御提供いただいた岡山地方気象台に深謝する。

参考文献

- Eagleson, P.S. (1978): Climate, Soil, and Vegetation, 1. Introduction to Water Balance Dynamics, Water Resources Research, Vol. 14, No. 5, pp. 705-712.
- 角屋 睦(1964): 水文統計論, 土木学会水理委員会水工学シリーズ, pp. 64-02.
- 内閣府(2001): 平成13年版 防災白書.
- (受付: 2002年2月28日, 受理: 2002年5月10日)