

鳥取における連続干天日数とその持続性について

野村安治*・四ヶ所四男美*・井上光弘*

昭和51年8月31日受付

Drought Days and their Persistency in Tottori City

Yasuji NOMURA*, Shiomi SHIKASHO* and Mitsuhiro INOUE*

The drought days and the maximum drought days were analyzed statistically by using the data of 41 years in Tottori City. Furthermore, by giving some attention to the problem of why the fine days continue for a long term, studies on the persistency of the fine days were done.

The results obtained were as follow:

1) By analyzing the frequency distribution of the maximum drought days for each period, it was found that the distribution curve could be normalized if the variable transformed into a logarithm. The return period of the maximum drought days and the drought days were obtained. The maximum drought days are expected to last for more than 30 days under the 10 years of return period.

2) In comparison with the return period of the maximum drought days and the drought days, there was not a large difference between them, but the latter had a tendency to be of smaller value.

3) On the persistency of drought days, frequencies of runs of fine days were compared with the random series and the observation series, and the confidence interval of persistency for each period was obtained. Furthermore, the probability of the fine n days following the fine k days was obtained. It was suggested that the probability of consecutive fine days, when the 6-8 days immediately preceding had been fine days, was very high.

緒 言

かんがい計画においては、降水量の統計的解析とともに対象地域にどれ位の期間引続いて雨が降らないかというような確率連続干天日数や、その再現期間等が基礎資料として必要となる。

本論文では、鳥取における最大連続干天日数、連続干天日数について統計的解析を行なうとともに、連続干天日数の立場から干天日(晴天日)の持続性について若干

の考察を行なった。

使用した資料は、鳥取の41年間(1934~1974年)で、鳥取地方気象台の日別降水量記録である。解析の基礎となる干天日数の度数を求めるにあたり、下記の条件のもとに資料を整理した。5mm未満の日降水量は、ほとんど蒸発散で失われ生育に役立たないので、無降水日とみなして干天日数に算入した。調査期間は、鳥取の気候などを考慮して、暖候期(4~9月)を「4~5月」、「6~7月」、「8~9月」の2ヵ月ごとに分け、「10~11月」を

*鳥取大学農学部農業工学科農業水文学研究室

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

秋期、「12～3月」を冬期、また「5～9月」をかんがい期とした。また、干天日数が調査期間の前後にまたがっている場合には、いづれも一続きの干天日数として各々の期間に含めて取扱った。

最大連続干天日数

1. 度数分布

一般に変量(ここでは最大連続干天日数)が、ある特定の値 x または、それ以上に達することが平均して T 年に1回の割合で起ると期待されるとき、 T 年を X の再現期間(return period)という。いま、変量 x の分布関数を $f(x)$ とすれば、超過確率 $Q(x)$ 、非超過確率 $P(x)$ は、

$$Q(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx, \quad P(x) = 1 - Q(x) \quad \dots(1)$$

で与えられ、また x の return period T は、

$$T = \frac{1}{nQ(x)} \quad \dots(2)$$

となる。 n は、調査期間に現われる年平均度数であり、年最大値の場合には $n = 1$ となる。

したがって、分布関数が定まれば、変量とそのreturn periodとの対応は容易に求めることができるから、return periodを推定する問題は結局、変量の分布型をえらび、その母数を資料の平均値、分散、ひずみ等から推定し、いかにして未経験領域まで合理的に外挿するかということが問題となってくる。採用する関数形、母数により多くの理論的方法が提案されている⁴⁾。分布のあてはめに関するこれまでの数多くの研究は、なんらかの方法で正規化を行ない、正規分布の特性を利用する方法と、直接非対称分布関数をあてはめる方法に大別される。

さて、各期間の最大連続干天日数の度数分布を描いてみると、いずれも逆J字型に近い顕著な非対称分布をなしている。そこで正規化するために変量を対数、平方根、立方根、4乗根に変換し、 χ^2 検定により正規分布への適合度の検定を行なった。その結果、各期間における最大連続干天日数は、対数に変量を変換することによって正規化することが可能であり、return periodを求めることができることがわかった。

ここでは、Jenkinson法³⁾によりreturn periodを求めた。Jenkinsonは、Fisher-Tippettが与えた極値の分布関数方程式のすべての型を記述する一般解を理論的に求めた。すなわち、

$$x = a(1 - e^{-ky}) \quad \dots(3)$$

ここで、 a, k は定数、 $ak > 0$ の関係がある。また、年最大値および2年最大値の標準偏差 σ_1, σ_2 を併用して実

際に k を求める方法を述べている。(3)式は、 k の符号によって $k < 0$ (I型)、 $k = 0$ (II型)、 $k > 0$ (III型)の3つに分けられる。

$$\sigma_1/\sigma_2 = 2^k, \quad a = \sigma_1 \{ (2k)! - (k!)^2 \}^{-1/k} \quad \dots(4)$$

(4)式によって、(3)式のパラメータ a, k が決まるから、年最大値とそのreturn periodの対応関係が求まる。その関係は、次式のようなになる⁶⁾

$$\frac{x - \xi_1}{\sigma_1} = \frac{k! - \ln\{T/(T-1)\}}{\pm \{(2k)! - (k!)^2\}^{1/k}} \quad \dots(5)$$

この式で ξ_1 は年最大値の平均値、 T は x に対応するreturn periodである。非超過確率 $P = \exp\{-\exp(-y)\}$ 、超過確率は、 $1 - P = 1 - \exp\{-\exp(-y)\} = 1/T$ となり、 y は次式で表わされる。

$$y = -\ln \cdot \ln\{T/(T-1)\} = -\ln \cdot \ln(1/P) \quad \dots(6)$$

縦軸に y 、横軸に x をとって、 x, y をプロットしてゆけば、これを結んだ曲線は理論曲線となり T に対する x の値を求めることができる。

2. 最大連続干天日数のreturn period

上述の方法で求めた σ_1, σ_2 および ξ_1 の値は Table 1 に、return periodは、Table 2 に示す。これらの推定結果が、実際とどの程度一致するかが問題であり、ここでは経験的確率としてHazen plotを用い、よく一致することがわかった。また、Jenkinson法の適用にあたっては、 χ^2 検定により適合度の検定を行ない分布型にあてはまるということが認められた。

Table 1によると、4～5月、6～7月、1～12月(通年)の各期間はI型曲線となり下限のある曲線型を示し、8～9月、5～9月はIII型曲線となり上限のある曲線型となった。しかし、各期間とも σ_1/σ_2 は1に近くGumbel分布に近いものと考えられる。年最大連続干天日数の大部分は、8～9月に発生しているので、Table 2より明らかなように8～9月、5～9月、1～12月の期間のreturn periodは、ほぼ同じ確率値を示している。return period $T = 10$ 年では、梅雨前の4～5月で20日、梅雨期を含む6～7月は29日、梅雨後の8～9月、5～9月、および1～12月では約32日となる。平均値 ξ_1 も梅雨後の期間の方が大きく、年最大連続干天日数は、梅雨後の方が発生しやすいことがわかった。

連続干天日数

1. 度数分布

最大連続干天日数の解析においては、各調査期間の年最大値のみを取扱ったが、ここでは同期間の連続干天日数をすべて取り上げて解析を行なった。各期間の連続干

Table 1 Value of σ_1 , σ_2 and ξ_1

Term	σ_1 / σ_2	type	σ_1	σ_2	ξ_1
Apr. - May	0.986	I	5.061	5.135	13.09
June - July	0.989	I	7.416	7.502	19.05
Aug. - Sept.	1.067	III	8.184	7.673	21.02
May - Sept.	1.036	III	7.187	6.938	22.44
Jan. - Dec.	0.980	I	6.652	6.791	23.02

Table 2 Return period table of maximum drought days

T (years)	1.58	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50
Y	0	0.37	0.90	1.25	1.50	2.25	2.67	2.97	3.20	3.40	3.70	3.90
Apr. - May	11.5	12.9	15.0	16.4	17.4	20.4	22.1	23.3	24.2	25.0	26.2	27.1
June - July	15.7	17.9	20.7	22.8	24.3	28.7	31.1	32.8	34.2	35.4	37.2	38.5
Aug. - Sept.	17.5	19.7	23.1	25.5	27.2	32.0	34.5	36.0	37.2	38.2	39.7	40.8
May - Sept.	19.3	21.3	24.3	26.2	27.8	32.0	34.4	35.8	36.9	37.9	39.5	40.4
Jan. - Dec.	20.0	21.9	24.5	26.4	27.7	31.6	33.8	35.3	36.7	37.7	39.2	40.6

天日数の度数分布は、最大連続干天日数の場合と同様にいづれも逆J字型に近い非対称分布を示したので、変数変換による正規化を試みたが、単純な方法では変換できない期間があったので、return periodの推定方法として全期間を次に述べる同一方法で解析した。

連続干天日数をD、累積度数をnとし両対数方眼紙にプロットすれば1本の直線では表わせないが大体3本の直線で表わせるので、これらの関係は双曲線の結合と考えて次式を用いた。⁷⁾

$$D = an^{-b} \quad \dots(7)$$

ここで、a, bは定数で最小自乗法によってこれらの値を求めた。その結果は、Table 3に示す。累積度数曲線は、10日、20日付近に変化点をもち、4~5月は4本、8~9月、5~9月は3本の双曲線で表わすことができた。

2. 連続干天日数のreturn period

Table 3の係数表による累積度数曲線式を用いて、return period 1年から50年の間において12種の確率連続干天日数を求めたものがTable 4である。return period 10年では、梅雨前の4~5月では約21日、梅雨後の8~9月および5~9月では32日となる。また、20日以上の連続干天日数は、4~5月では約10年に1回、8~9月および5~9月の期間では約2年に1回は起りうるということがわかり、梅雨後に連続干天日数が長く続くことが多い。

さて、最大連続干天日数と連続干天日数とから算出したreturn periodを5~9月の期間について比較してみると、最大連続干天日数から算出した確率値の方が、連続干天日数の全度数から求めたものよりやや小さい値を

示している。すなわち、return period T=20年で2日、30年で3日、40年で4日、50年で5日の差がある。

連続干天日数よりreturn periodを求めるには多大の労力を要するので、最大連続干天日数のみの統計によってreturn periodを求めた方が有利であり、両者の間に大差のないことがわかった。しかし、水文統計では、統計期間、統計年数により確率値が変ってくることに注意する必要がある。

連続干天日の持続性

最大連続干天日数、連続干天日数の度数分布や確率的な考察を行ってきたが、なぜ長い干天日が続くかという問題に対して持続性の立場から若干の検討を加えてみる。

気象的観測は、連続事象の間の時間間隔の長さによってその依存度は変るけれども、一般的に先行条件に対して独立であるとは限らない。晴天日、雨天日の属性に関する統計結果は、これらの事象が単なる偶然性に基づくものではなく多くの場合、たとえば前日が晴天であれば、その翌日は再び晴天となる確率は、雨天になる場合よりもはるかに大きくなる傾向が認められ、古くから天気の持続性の問題として取扱われてきた。^{1,5,8)}

いま、ここで晴天日(干天日)、雨天日の事象を考え、これらの出現が単に偶然性に基づくものと仮定して、それぞれの出現確率(一般確率)をp, q (= 1-p)とかけば、考える任意の日が晴天日の最初になる確率はqp, さらに引続き次の日も晴天日となる確率はqp², 同様にして少くともn日間連続して晴天となる確率はqpⁿとな

Table 3 Cumulative frequency curve of drought days table of the coefficient a and b. : $D=an^{-b}$

April - May			August - September			May - September		
D (day)	a	b	D (days)	a	b	D (days)	a	b
$D \geq 17$	27.198	0.19103	$D \geq 24$	44.166	0.22764	$D \geq 22$	43.774	0.21266
$17 > D \geq 10$	37.618	0.32538	$24 > D \geq 9$	123.88	0.59459	$22 > D \geq 10$	88.655	0.43264
$10 > D \geq 5$	132.24	0.62384	$9 > D \geq 2$	1022.7	1.06881	$10 > D \geq 2$	1625.0	0.99625
$5 > D \geq 2$	7300.2	1.38025						

Table 4 Return period table of drought days

T (years)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50
Apr. - May	11.2	14.1	16.1	17.4	18.2	20.8	22.5	23.7	24.8	25.6	27.1	28.3
Aug. - Sept.	13.6	20.6	24.4	26.0	27.4	32.0	35.2	37.5	39.5	41.1	43.9	46.2
May - Sept.	17.8	23.0	25.1	26.7	28.0	32.4	35.4	37.6	39.4	41.0	43.5	45.7

Table 5 Probability of fine days and rain days

Term	Total observed days	Total fine days	Runs of fine days	General probability	
				p	q
Apr. - May	2790	2197	420	0.787	0.213
June - July	3005	2377	391	0.791	0.209
Aug. - Sept.	2848	2256	386	0.792	0.208
Oct. - Nov.	2617	1929	449	0.737	0.263
Dec. - Mar.	5141	3201	1038	0.623	0.377

Table 6 Frequencies of runs of the fine days (Aug.- Sept.)

Fine days n	Observed value		Random series	
	Runs of n or more days	Runs of exactly n days	Runs of n or more days	Runs of exactly n days
1	386	72	469.2	97.6
2	314	64	371.6	77.3
3	250	64	294.3	61.2
4	186	35	233.1	48.5
5	151	31	184.6	38.4
6	120	15	146.2	30.4
7	105	14	115.8	24.1
8	91	10	91.7	19.1
9	81	18	72.6	15.1
10	63	7	57.5	11.9
11	56	3	45.6	9.5
12	53	5	36.1	7.5
13	48	7	28.6	6.0
14	41	7	22.6	4.7
15	34	2	17.9	3.7
16	32	3	14.2	3.0
17	29	3	11.2	2.3
18	26	3	8.9	1.8
19	23	1	7.1	1.2
20	22	2	5.9	1.5
21	20	2	4.4	0.9
22	18	2	3.5	0.7
23	16	3	2.8	0.6
24	13	2	2.2	0.5
25	11	2	1.7	0.6
27	9	1	1.1	0.2
28	8	1	0.9	0.4
30	7	2	0.5	0.1
31	5	2	0.4	0.1
32	3	1	0.3	0.2
39	2	1	0.1	0.1
44	1	1	0	0

る。このようにnは晴天日の連の長さとして取扱うことができる。全観測日数をNとすれば、晴天日の連の長さがn日またはそれ以上になると期待される連の数Xは、

$$X = Nqp^n \quad \dots(8)$$

となり、連の長さがちょうどn日になる期待度数は、

$$Nqp^n - Nqp^{n+1} = Nq^2 p^n \quad \text{となる。}$$

また、上述の一般確率pのランダム系列において期待される連の平均の長さは、

$$\sum_{l=0}^{\infty} p^l = 1 + p + p^2 + \dots + p^n + \dots = \frac{1}{1-p} = \frac{1}{q} \quad \dots(9)$$

となる。

さて、鳥取の日降水量資料より、5mm未満は無降水として晴天日と考え、これを干天日とした。期間は2ヵ月ごとに区切り、晴天日が期間の前後の日にまたがる連についてはこれを含めた。Table 5は、調査期間の総観測日数、総晴天日数、晴天日の連の総数および晴天日、雨天日の一般確率を示したもので、偶然性に基づく晴天日の出現確率は、 $p = 0.62 \sim 0.79$ の範囲内にある。Table 6は、晴天日の連の出現度数について持続性がないと仮定して計算した期待値と実際の観測値とを、期間8~9月について比較したものである。Table 6より明らかなよ

うに観測値と期待値との差は大きく、短い連では期待値よりも観測値は非常に度数が少く、長い連になると観測値が期待値よりも度数が多くなっており、より度々起ることがわかる。晴天日の連の出現に関して、その無作為性は認められず持続性があることが明らかである。

そこで、いま任意の考える日の天気、それ以前の日の天気に影響をうけると考えて、このような持続性のある場合の出現確率を p_k ($k=1,2,\dots$)で示すと、 p_k は考えている日より前 k 日間が晴天日の場合に、考えている日が晴天になる確率である。このような系列から期待される連の平均の長さは、(9)式と同様にして $1/(1-p_k)=1/q_k$ で表わせる。したがって、これらの連の総数と晴天の総観測日数が与えられれば、

$$\text{連の平均長さ} = \frac{1}{1-p_k} = \frac{\text{総観測晴天日数}}{\text{晴天日の連の総数}} \quad \dots(10)$$

より p_k を求めることができる。

観測された連の平均長さとして用いられる。いま、持続率を観測系列における連の平均長さとして、任意系列の連における平均長さとの比とする。観測系列において出現確率が p_1 ならば、連の平均長さは、 $1/(1-p_1)$ となり持続率 R は、

$$R = \frac{1}{1-p_1} / \frac{1}{1-p} = \frac{1-p}{1-p_1} = \frac{q}{q_1} \quad \dots(11)$$

で表わされる。もし持続率が1であれば、 $p_1=p$ となって持続性が存在しないことを意味する。Table 5 から、8~9月を例にとると、 $p=2256/2848=0.792, 1/(1-p)=4.81$ 、観測値による平均連の長さは、 $2256/386=5.85$ したがって、持続率 $R=5.85/4.81=1.216$ となる。

さて、ここで持続性の有無に関する検定を行なう。

$$\frac{1}{1-p} (\text{観測値}) / \frac{1}{1-p} (\text{母集団値}) = q (\text{母集団値}) / q (\text{観測値}) \quad \dots(12)$$

とき、正規分布近似によって観測値から得られる q についての信頼度 $(1-\alpha)$ の範囲を求め、(12)式を次のように書きかえる。

$$q / [q \pm t(1-\alpha) \sigma_q] \quad \dots(13)$$

ここで、 $t(1-\alpha)$ は、信頼度 $(1-\alpha)$ の標準正規分布変量、 α は有意水準、 σ_q は q の標準偏差、 $q=1-p$ 、 $\sigma_q=\sigma_p=\sqrt{pq/N}$ であるから、

持続率の95%信頼限界は、 $1/|1 \pm 1.96 \sqrt{p/Nq}|$ となる。

これらの検定結果は、Table 7 に示すように、いずれの期間においても、持続率は、信頼限界の上限を越えていて、持続性の存在を認めることができる。

さて、前述のように p_k を k 日間晴天日が続き、翌日が晴天日となるときに確率とすれば、観測された n 日の連の累積値において、連続する度数間の比は近似的に p_1, p_2, \dots, p_k とすることができる²⁾ (Table 6 参照)。

同様な関係を各期間について図示したものが、Fig. 1~5である。これらの図において、縦軸は考える日の前 k 日間が晴天日であることを示し、横軸は、それに引続く晴天日の継続日数が n であることを示している。したがって、縦軸と横軸上の交わった点に示したそれぞれの数値は、連の長さが $(k+n)$ 日あるいはそれ以上になる確率(%)に相当しており、滑らかな曲線はこれらの等値線を示したものである。Fig. 1~5にみられるように、4~5月は6~8日、梅雨期を含む6~7月は6~8日、梅雨後の8~9月は6~7日、秋期の10~11月は5~6日、12~3月の冬期には8~9日間晴天が継続すれば、さらに長期間の晴天が続く可能性が増大することを示している。

これら天気の持続性は、季節的な気団の動きに関連がある。3月の終りから4~5月、また9月末から10~11月にかけては、移動性高気圧が周期的に本土を東進し、

Table 7 Persistence and confidence interval

Term	Mean length of runs		Persistence ratio	95 % confidence intervals of the persistence ratio
	Random series	Observed series		
	$1/(1-p)$ $=1/q$	$1/(1-p_1)$ $=1/q_1$	$(1-p)/(1-p_1)$ $=q/q_1$	$1/ 1 \pm 1.96 \sqrt{p/Nq} $
Apr. - May	4.69	5.23	1.115	0.934 ~ 1.076
June - July	4.78	6.10	1.276	0.935 ~ 1.075
Aug. - Sept.	4.81	5.85	1.216	0.933 ~ 1.077
Oct. - Nov.	3.80	4.29	1.129	0.940 ~ 1.080
Dec. - Mar.	2.65	3.09	1.166	0.966 ~ 1.036

この高気圧におおわれると好天が続く。8～9月は、南高北低の型がみられ、天気の良い日が続くが、太平洋高気圧がはり出すと2～3日で南下することはないので比較的長い晴天が続きやすい。この高気圧が強い年には干ばつが発生する。12～3月の冬期においては、いわゆる西高東低の型となり、大陸にある高気圧の勢力によって天候が左右され、高気圧が強く移動速度が遅い場合には、長期の晴天が続くことがある。

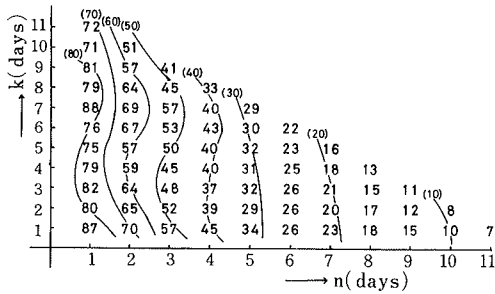


Fig. 1 Probability of n consecutive drought days following a drought period of k days (Apr. - May)

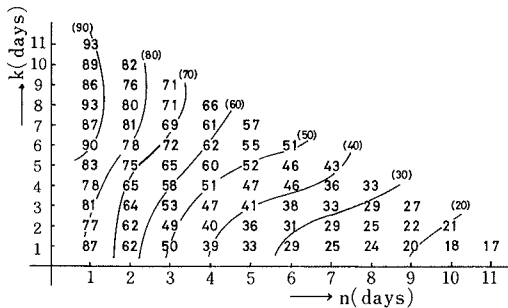


Fig. 2 Probability of n consecutive drought days following a drought period of k days (June - July)

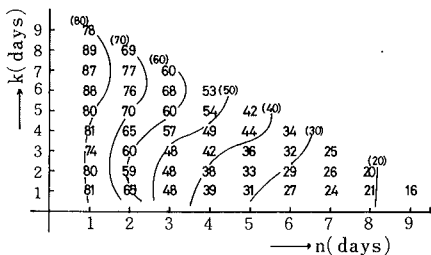


Fig. 3 Probability of n consecutive drought days following a drought period of k days (Aug. - Sept.)

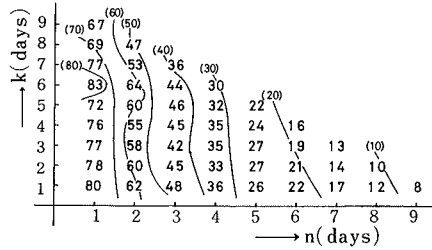


Fig. 4 Probability of n consecutive drought days following a drought period of k days (Oct. - Nov.)

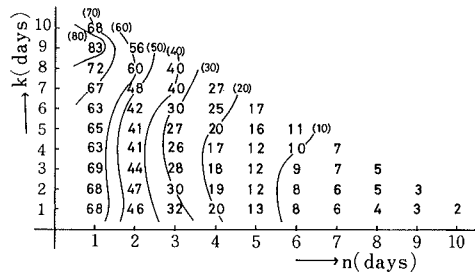


Fig. 5 Probability of n consecutive drought days following a drought period of k days (Dec. - Mar.)

摘 要

かんがい計画における基礎資料をうる目的で、鳥取における最大連続干天日数、連続干天日数について統計的解析を行なうとともに、なぜ長い干天日が続くかという問題に対し干天日(晴天日)の持続性について考察した。

その結果の概要を示すと、

(1) 最大連続干天日数について：その度数分布を調べ、逆J字型に近い非対称分布をすることがわかった。これらの非対称性は、対数変換によって正規化されることがわかった。また、Jenkinson法によってreturn periodを算出した。その結果、最大連続干天日数は、梅雨後の8～9月に起ることが多く、return period 10年で30日以上の連続干天日数が発生する可能性があることがいえる。

(2) 連続干天日数について：度数分布は最大連続干天日数の場合と同じく非対称分布を示し、単純な変換法では正規化されないことがわかった。return periodの算出には、 $D = an^{-b}$ の双曲線の結合と仮定し、各調査期間を同一の方法で解析を行ない、定数a, bを求めて、連続干天日数の曲線式をえた。

最大連続干天日数と連続干天日数より求めたreturn periodを比較すれば、両者の間には大差はなく、前者の

確率値がやや小さいことがわかった。

(3) 連続干天日の持続性について：5mm未満を無降水日として干天日（晴天日）とし、各調査期間に対して晴天日の連の出現度数を任意系列と観測系列について比較検討するとともに、持続率、信頼限界を求め、干天日には持続性があることが明らかになった。また、k日間の晴天日数に引続くn日間の晴天日の出現確率図を作成した。その結果、各季節とも6～8日間晴天が続けばさらに引続いて持続することがわかり、気団との関係についても考察した。

終りにのぞみ本研究に当り、持続性について御教示願った農学部松田昭美教授に深謝いたします。

文 献

- 1) Brooks, C. E. P. and Carruthers, N: *Hand-book of Statistical Methods in Meteorology*.
- 2) Jorgensen, D. L: *Monthly Weather Review*, **77** 303 (1949)
- 3) Jenkinson, A. F: *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.* **81** 158 (1955)
- 4) 角屋 睦：水文統計論，土木学会水理委員会，東京（1964）pp. 2—41
- 5) 松田昭美・鈴木義則：昭和43年度農業気象試験成績書，九農試畑作部，宮崎（1969）pp. 97—110
- 6) 野村安治：土地改良，**10** 17 (1960)
- 7) 野村安治・田辺邦美：九大農学部学芸雑誌，**28** 1 (1973)
- 8) 渡辺次雄：近代気象調査法，技報堂，東京（1958）pp. 25—41

Her Majesty's Stationary Office, London
(1953) pp. 309—329