福岡における降雨日の確率とその持続性

徐, 森雄
台湾省立屏東農業専科学校 : 専修生

坂上, 務
九州大学農学部農業気象学教室

https://doi.org/10.15017/23188

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 29 (4), pp.163-171, 1975-03. 九州大學農學部

九大農学芸誌 (Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.)
第29巻 第4号 163-171 (1975)

福岡における降雨日の確率とその持続性

徐　森雄*・坂上　務
九州大学農学部農業気象学教室

(1974年12月26日 受理)

Probability and Persistence of Rainy Days at Fukuoka

SEN-HSIUNG HSU and TSUTOMU SAKANOUE
Laboratory of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka

緒　　言

一日に0.1mm以上の雨が降つた日を降雨日とし，その持続の出現する現象を持続性という．降雨日となる確率を降雨確率といい，それを求める方法には条件確率と絶対確率の二種類がある．降雨日の多少は絶対確率によつて，またその持続性は条件確率によつて違うことになる．

本論文は福岡の78年間（1890～1967年）の日降雨資料を使用して，降雨確率および持続性を求め，その結果から将来の一定期間の降雨確率予測を試みた．

解析方法と結果および考察

1．降雨連続と無降雨連続

1回の降雨連続を Rainy Sequence (R) とし，1回の無降雨連続を Dry Sequence (D) とする．それぞれの頻度は月単位を対象とし，一つの連続が切れないためにその連続が翌月に重なる場合は，それが起こつた最初の日の月に数える．それぞれの頻度を Table 1, Table 2 にまとめた．それによると，記録された最長の降雨連続は 23日，最長の無降雨連続は30日で，平均時間（日）は降雨連続の2.42日と無降雨連続の 2.97日である．季節的にみれば，無降雨連続は降雨連続より大きく，最大値は降雨連続では6月の 3.12日 (Table 1)，無降雨連続では 7月の3.93日 (Table 2) となつている．

2．降 雨 確 率

降雨確率には二種類ある．すなわち，もし降雨日となる1日前あるいは数日前の天候状況が推定できる場合は条件確率，この仮定条件がない場合は絶対確率である．ここでは，ある降雨日を中心として以下のことを論ずることにする．

P(R) は降雨日の絶対確率を表わし，P(R/R) と P(R/D) はそれぞれ前1日が降雨日と無降雨日の条件に基づく降雨日の条件確率を表わすものとする．

また，P(R/RR) と P(R/DD) はそれぞれ前2日間が連続した降雨日と無降雨日の条件に基づく降雨日条件確率であるとすれば，その一般式は $P(R/X_3X_2X_1)$ となる．X は降雨日 (R) あるいは無降雨日 (D)，添字1，2，3は降雨日から数えて何日目に当たるかを表わす．

各月の降雨確率は次式によつて求められる．

$$P_{na}=\frac{D^{n+1}\text{の数}}{D^{n}\text{の数}}=\frac{\sum_{k=n+1}^{N}(k-n)m_k}{\sum_{k=n}^{N}(k-n+1)m_k}$$

$$P_{nb}=\frac{RD^{n}\text{の数}}{RD^{n-1}}=\frac{P_{n-1,a}(1-P_{na})}{1-P_{n-1,a}}\quad n\geq 2$$

但し　n：当該日の前にとる日数
　　k：降雨（あるいは無降雨）連続の日数
　　m_k：kの頻度
　　N：降雨（あるいは無降雨）連続の最大日数
　　a：nの日数のうち同じ天気が続く場合
　　b：nの日数のうち天気が変わる場合

月別降雨確率値を Table 3 に示す．降雨の絶対確率と前1日が降雨日となつた各種の条件確率は P(R/RRR) の場合を除いて，6月に最大値を示す．

* 台湾省立屏東農業専科学校・現在専修生

3．日降雨発生についてのマルコフ連鎖モデルの χ^2 検定

Gabriel と Neumann (1962) は Tel Aviv の日降雨発生を単純マルコフ連鎖モデルで表わすことができると結論付けている．また，Casky (1963) は Denver の降雨確率分布を求め，同様の結論を得た．しかし，Peng (1967) は Weiss (1964) の結果に χ^2 の適合性検定を応用し，いくつかの連続が単純マルコフ連鎖モデルに合致しないと述べている．

Peng (1967) の論文より，一つの例を引用し，Table 4 に示す．Table 4 は Moncton における 50 年間 (1900～1949年) の降雨連続分布の実測値および計算値ならびに χ^2 検定した結果などを表わしたものである．

但し

$$P_{1a}=P(D/D)=0.725$$
$$P_{2b}=(D/RD)=0.752$$
$$P_{2a}=P(D/DD)=0.714$$
$$P_{1a'}=P(R/R)=0.338$$
$$P_{2b'}=P(R/DR)=0.317$$
$$P_{2a'}=P(R/RR)=0.379$$
$$P_{3b'}=P(R/DRR)=0.327$$
$$P_{3a'}=P(R/RRR)=0.464$$

ここで，$f(\mathrm{k})$ 値（：期待頻度）を次の式によって計算する．

$$f(\mathrm{k})=\left(\prod_{n=2}^{r}P_{nb}\right)(P_{ra})^{k-r}(1-P_{ra}) \quad k\geq r \text{ の時}$$

$$f(\mathrm{k})=\left(\prod_{n=2}^{k}P_{nb}\right)(1-P_{k+1,b}) \quad k<r \text{ の時}$$

但し

n：当該日の前にとる日数

k：降雨（あるいは無降雨）連続の日数

r：マルコフ連鎖モデルの階数

a：nの日数のうち同じ天気が続く場合

b：nの日数のうち天気が変わる場合

Table 5 の福岡における降雨連続の分布を検定した結果からみると，降雨連続と1階あるいは2階のマルコフ連鎖モデルには合わないが，3階のものとは適合する．すなわち，降雨日となる確率はその前の3日間の天候状況と関連していると考えられる (Table 5).

4．既知天候連続後の第n日の降雨確率

Table 5 の結果，福岡における降雨連続の分布は3階のマルコフ連鎖モデルにほぼ合致することがわかる．ここにこの特性を適用して，既知天候連続後の第n日の降雨確率を推定し，3階のマルコフ連鎖モデルに関しては，3日間の天候連続の検討が必要となる．

ある天候連続 XXX (X は R あるいは D を代表し) 後，第n日の降雨確率を $P_n(R/XXX)$ で表わす．すなわち，n＝1 の場合は，以上の条件によって

$$P_1(R/RRR)=P(R/RRR)$$
$$P_1(R/RRD)=P(R/RRD)$$
$$P_1(R/RDD)=P(R/RDD)$$
$$P_1(R/RDR)=P(R/RDR)$$
$$P_1(R/DDD)=P(R/DDD)$$
$$P_1(R/DDR)=P(R/DDR)$$
$$P_1(R/DRD)=P(R/DRD)$$
$$P_1(R/DRR)=P(R/DRR)$$

が考えられる．

次に天候連続の等式は一般に，$n\geq2$ の場合

$$RRR(R+D)^{n-1}R=R\{RRR(R+D)^{n-2}R+RRD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$RRD(R+D)^{n-1}R=R\{RDR(R+D)^{n-2}R+RDD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$RDD(R+D)^{n-1}R=R\{DDR(R+D)^{n-2}R+RDD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$RDR(R+D)^{n-1}R=R\{DRR(R+D)^{n-2}R+DRD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$DDD(R+D)^{n-1}R=D\{DDR(R+D)^{n-2}R+DDD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$DDR(R+D)^{n-1}R=D\{DRR(R+D)^{n-2}R+DRD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$DRD(R+D)^{n-1}R=D\{RDR(R+D)^{n-2}R+RDD(R+D)^{n-2}R\}$$
$$DRR(R+D)^{n-1}R=D\{RRR(R+D)^{n-2}R+RRD(R+D)^{n-2}R\}$$

で表わされる．よって，$P_n(R/XXX)$ の循環式は $n\geq2$ の場合

$$P_n(R/RRR)=P(R/RRR)P_{n-1}(R/RRR)+P(D/RRR)P_{n-1}(R/RRD)$$
$$P_n(R/RRD)=P(R/RRR)P_{n-1}(R/RDR)+P(D/RRD)P_{n-1}(R/RDD)$$
$$P_n(R/RDD)=P(R/RDD)P_{n-1}(R/DDR)+P(D/RDD)P_{n-1}(R/DDD)$$
$$P_n(R/RDR)=P(R/RDR)P_{n-1}(R/DRR)+P(D/RDR)P_{n-1}(R/DRD)$$
$$P_n(R/DDD)=P(R/DDD)P_{n-1}(R/DDR)+P(D/DDD)P_{n-1}(R/DDD)$$

$$P_n(R/DDR) = P(R/DDR)P_{n-1}(R/DRR) + P(D/DDR)P_{n-1}(R/DRD)$$

$$P_n(R/DRD) = P(R/DRD)P_{n-1}(R/RDR) + P(D/DRD)P_{n-1}(R/RDD)$$

$$P_n(R/DRR) = P(R/DRR)P_{n-1}(R/RRR) + P(D/DRR)P_{n-1}(R/RRD)$$

となる．

以上の式を用いて計算した降雨確率について，福岡の1月の例を Table 6 に示す．Table 6 でみられるように，第4日におけるそれぞれの降雨確率の差はまだ1.4％ぐらいで大きいが，第5日あるいは第6日をとつてみると，その差はほとんどない．

5．一定期間の降雨確率

上述の考察により，一定期間内の降雨確率も推定することができる．最初の降雨日以後n日間にさらに少なくとも1日の降雨日がある確率 $P_n(R)$ は次式で表わされる．

$$P_n(R) = 1-[1-P_1(R)]P_1P_{2a}P_{3a}^{n-3} \qquad n \geq 3$$

但し

$$P_1(R) = P(R), \qquad P_1 = P(D/D),$$

$$P_{2a} = P(D/DD), \qquad P_{3a} = P(D/DDD)$$

福岡における10日間までの降雨確率を Table 7 に示す．5日間に少なくとも1日が降雨日となる確率は79～95％，10日間の場合は 94～99％ (Table 7).

6．降雨日の持続性

6.1：各種降雨確率の比較

降雨日の確率を P(R)，降雨日の翌日がまた降雨日である確率を P(R/R) とするとき，その比 P(R/R)/P(R) を降雨日の持続比とすれば，持続比が1より大きい，すなわち，P(R/R)−P(R) が正の場合，持続性があることを意味する．

また降雨日の後続いて降雨日になる確率 P(R/R)，P(R/RR)，P(R/RRR) などが同時期の降雨日から無降雨日に変化する確率 P(D/R)，P(D/RR)，P(D/RRR) などより大きい場合も，降雨日の持続性があることを意味する．それぞれの比較計算を Table 8 に示す．

6.2：持続比およびその信頼限界

Besson の持続係数 (R_B) より，持続比は次の式で表わされる．

$$\text{持続比} = 1+R_B = (1-P)/(1-P_1)$$

但し

$$P = P(R), \qquad P_1 = P(R/R)$$

一つの無作為標本系列の確率 P の平均長さは $1/1-p=1/q$，したがつて，その持続比は次のようになる：

観測した $1/q$/標本の $1/q$ = 標本の q/観測した q

次に,持続比の 95％信頼限界は $q/(1+1.96\sigma_q)$ で表わされる．σ_q は q の標準偏差；$q=1-p$, $\sigma_q=\sigma_p=\sqrt{pq/N}$, N は標本の大きさ．

ゆえに，持続比の信頼限界は

$$1/\{1+1.96\sqrt{P/Nq}\}$$

となる．

福岡の各月の降雨日の持続比およびその信頼限界を Table 9 に示す．

Table 8 に示した P(R/R)−P(R) と P(R/R)−P(D/R) の結果からみると，2日間の降雨持続性がある．しかし，P(R/RR)−P(D/RR) と P(R/RRR)−P(D/RRR) の結果からみると，3日間あるいは4日間の降雨持続性は3月，4月，5月，10月と11月の5個月には負の値となつて，持続性はないことになる．

また，Table 9 に P と P_1 を用いて計算した持続比は，いずれもその信頼限界より大きく，これからも2日間の降雨持続性があることがわかる．

要　約

福岡において，記録された最長の降雨連続は23日，最長の無降雨連続は30日．日降雨発生の χ^2 の適合性検定によつて，福岡の降雨連続分布は3階のマルコフ連鎖モデルでほぼ合致することがわかつた．その結果，3日間の天候状況がわかれば，その後第n日の降雨確率が推定できるが，その期間内は2日間に限定される．同様な考察より，一定期間の降雨確率も推定でき，最初の降雨日以後5日間に少なくとも1日の降雨日がある確率は 79～95％，10日間の場合には 94～99％である．

降雨日の翌日がまた降雨日である確率 P(R/R) は降雨日の絶対確率 P(R) より大きく，また，降雨日後無降雨日に変化する確率 P(D/R) よりも大きい．さらに，各月の持続比はそれぞれの信頼限界より大きい (Table 9)．したがつて，福岡の降雨は2日間にわたつて続く特性があるといえる．

文　献

Beer, A., Drummond, A. J. and Fürth, R. 1946 Sequences of wet and dry months and the theory of probability. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **72**: 74-86

Caskey, J. E. Jr., 1963 A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various lengths. *Mon. Wea. Rev.*, **91**: 298-301

Cooke, D. S. 1953 The duration of wet and dry spells at Moncton. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **79**: 536-539

Eichmeier, A. H. and Baten, W. D. 1962 Rainfall probabilities during the crop season in southern lower Michigan. *Mon. Wea. Rev.*, **90**: 277-281

Gabriel, K. R. and Neumann, J., 1962 A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **88**: 90-95

徐森雄 1970 屏東雨量与雨日的研究. 台湾省立屏東農専学報, 第**11**期: 225~248

Longley, R. W. 1953 The length of dry and wet period. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **79**: 520-527

Peng, L. 1967 Second and heigher order stationary Markov chain model of daily rainfall occurrence. *Bullentin of the Inst. of Geophysics, National Central Univ.* No. 2: 44-55

Peng, L. 1968 Persistence and probability of daily rainfall occurrence at Taipei. *Science Reports of National Taiwan Univ., Dept. of Geo. and Met.*, **5**: 107-114

佐藤正一・船橋義成 1969 九州の梅雨季を中心とする降雨と無降雨. 九州農試研究資料 第40号.

Topil, A. G. 1963 Precipitation probability at Denver related to length of period. *Mon. Wea. Rev.*, **91**: 293-297

渡辺次雄 1960 天気の持続性について. 天気, **7**: 207~211

Weiss, L. L. 1964 Sequences of wet and dry days described by a Markov chain probability model. *Mon. Wea. Rev.*, **92**: 169-176

Yu-Chin, Kang 1968 On the characteristics of the precipitaion in Taiwan. *Science Reports of National Taiwan Univ., Dept. of Geo. and Met.*, **5**: 25-47

Summary

This study analyzed daily rainfall probabilities and its persistence at Fukuoka for 78 years (1890~1967). Here, a rainy day is defined by the daily rainfall when it is over 0.1 mm. The results are as follows:

1. The longest rainy sequence is 23 days and the longest dry sequence 30 days.
2. The daily rainfall occurrence is closely fitted by the third order Markov chain model.
3. The persistence of daily rainfall occurrence is quite evident, and the forecast value of it for one or two day period is significant.
4. The probability of at least one rainy day is 0.79~0.95, in a 5-day period and 0.94~0.99 in a 10-day period.

Table 1. Frequence distribution of monthly rainy sequences.
(Fukuoka, 1890～1967)

Length of sequence	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1	181	172	174	160	162	98	128	166	131	155	198	190	1915
2	133	115	187	145	159	106	92	97	111	145	143	149	1582
3	74	69	74	70	61	79	40	54	62	67	68	67	785
4	54	42	34	43	32	45	40	38	43	22	26	47	466
5	19	26	21	23	12	22	15	16	24	9	11	27	225
6	13	17	5	6	5	18	20	8	12	4	10	13	131
7	10	3	4	5	1	6	11	6	8	5	3	8	70
8	6	2	5	2	1	7	7	6	5	2	2	4	49
9	3	2	2	1	0	5	1	1	2		1	1	19
10	1	0	1	1	1	2	3	3	4		1	2	19
11	2	0			1	3	2	0	0		0	1	9
12	1	1			1	5	1	1	1		1	0	12
13	1					0		1				0	2
14						2						0	2
15						0						1	1
16						1						0	1
17												0	0
18												0	0
19												0	0
20												0	0
21												0	0
22												0	0
23												1	1
>23													0
Total	498	449	507	456	436	399	360	397	403	409	464	511	5289
Mean	2.53	2.40	2.24	2.31	2.13	3.12	2.76	2.41	2.65	2.09	2.10	2.46	2.42

Table 2. Frequence distribution of monthly day sequences.
(Fukuoka, 1890～1967)

Length of sequence	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1	230	170	196	141	129	120	122	128	123	106	142	197	1804
2	121	110	145	103	95	81	72	68	101	75	109	130	1210
3	68	84	70	68	65	63	53	50	55	69	71	79	795
4	36	36	33	52	46	29	24	33	41	50	53	45	478
5	20	23	28	35	38	19	29	22	35	27	23	19	318
6	15	14	12	20	24	15	24	18	15	22	26	9	214
7	9	9	17	14	23	13	15	14	12	18	14	5	163
8	4	2	8	5	12	8	12	19	12	13	3	5	103
9	0	2	4	3	8	5	8	9	3	9	5	4	60
10	1	0	3	3	1	3	5	10	6	4	5	4	45
11	1	0	0	3	6	4	3	2	1	5	1		26
12	1	1	1	0	3	3	4	3	2	3	1		22
13	1			1	2	1	4	1	1	4	2		17
14					0	0	5	2	1	0			8
15					1	1	1	0		3			6
16							0	2		2			4
17							3	0		0			3
18							0	1		1			2
19							3	1		0			4
20							0			0			0
21							2			2			4
22							0			1			1
23							0						0
24							0						0
25							0						0
26							0						0
27							0						0
28							0						0
29							0						0
30							1						1
>30													0
Total	507	451	517	448	453	365	390	383	408	414	455	497	5288
Mean	2.27	2.43	2.52	2.89	3.34	3.04	3.93	3.53	3.06	3.82	2.91	2.36	2.97

Table 3. Monthly probability of rainy day.

(Fukuoka, 1890～1967)

Month \ Probability	P(R)	P(R/D)	P(R/DD)	P(R/DDD)	P(R/RD)	P(R/RDD)	P(R/R)	P(R/DR)	P(R/RR)	P(R/DRR)	P(R/RRR)
Jan.	0.523	0.441	0.430	0.425	0.454	0.437	0.605	0.637	0.584	0.581	0.587
Feb.	0.496	0.412	0.437	0.472	0.377	0.391	0.583	0.617	0.558	0.585	0.537
Mar.	0.466	0.397	0.409	0.380	0.379	0.452	0.554	0.657	0.471	0.438	0.508
Apr.	0.449	0.346	0.363	0.378	0.315	0.336	0.567	0.649	0.504	0.510	0.498
May	0.380	0.299	0.305	0.311	0.285	0.293	0.531	0.629	0.444	0.419	0.475
Jun.	0.529	0.329	0.329	0.328	0.329	0.331	0.679	0.754	0.644	0.648	0.642
Jul.	0.393	0.255	0.235	0.225	0.313	0.269	0.638	0.644	0.634	0.604	0.651
Aug.	0.412	0.281	0.260	0.258	0.334	0.267	0.581	0.582	0.587	0.580	0.592
Sep.	0.461	0.327	0.339	0.332	0.301	0.355	0.623	0.675	0.592	0.592	0.591
Oct.	0.350	0.262	0.264	0.271	0.256	0.244	0.521	0.621	0.429	0.429	0.429
Nov.	0.425	0.344	0.361	0.375	0.312	0.336	0.524	0.573	0.479	0.463	0.498
Dec.	0.517	0.423	0.443	0.186	0.396	0.767	0.593	0.628	0.569	0.536	0.594
Year	0.449	0.337	0.335	0.329	0.341	0.347	0.587	0.638	0.551	0.531	0.567

Table 4. Observed and computed length distribution of rainy sequences.

(Moncton, 1900～1949)

Length of sequence	Observed frequency cooke (1953)	1st order model		2nd order model		3rd order model	
		Expected frequency Weiss (1964)	Chi-square	Expected frequency	Chi-square	Expected frequency	Chi-square
1	2425	2352	2.27	2426	0	2426	0
2	758	795	1.73	699	4.98	758	0
3	203	269	16.19	265	14.51	197	0.18
4	92	91	0.01	100	0.64	92	0
5	38	30	2.13	38	0	42	0.38
6	18	10	6.40	14	1.14	20	0.20
7	5						
8	6						
9	3						
10	3 } 18	5	33.80	10	6.40	17	0.06
11	0						
12	1						
>12	0						
Total	3552	3552	62.53 d.f.=6 $P>P_{0.05}$	3552	27.67 d.f.=4 $P>P_{0.05}$	3552	0.82 d.f.=3 $P<P_{0.05}$

Table 5. Observed and computed legth distribution of rainy sequences.
(Fukuoka, 1890～1967)

Length of sequency	Observed frequency	1st order model		2nd order model		3rd order model	
		Expected frequency	Chi-square	Expected frequency	Chi-square	Expected frequency	Chi-square
1	1915	2185	33.36	1915	0	1915	0
2	1582	1282	70.20	1515	2.96	1582	0
3	782	753	1.36	835	2.99	776	0.10
4	466	442	1.30	461	0.05	440	1.54
5	225	259	4.46	254	3.31	250	2.50
6	131	153	3.16	140	0.58	142	0.85
7	70	89	4.06	77	0.64	80	1.25
8	49	52	0.17	43	0.84	45	0.36
9	19	31	4.65	24	1.04	26	1.88
10	19	18	0.06	13	2.77	15	1.07
11	9						
12	12						
13	2						
14	2						
15	1						
16	1						
17	0 } 28	25	0.36	12	21.33	18	5.56
18	0						
19	0						
20	0						
21	0						
22	0						
23	1						
>23	0						
Total	5289	5289	123.14 d.f.=10 $P>P_{0.05}$	5289	36.51 d.f.=9 $P>P_{0.05}$	5289	15.11 d.f.=8 $P<P_{0.05}$

Table 6. The probability of a rainy day (n) after a given sequence in January.
(Fukuoka, 1890～1967)

n	P (R/RRR)	P (R/RRD)	P (R/RDD)	P (R/RDR)	P (R/DDD)	P (R/DDR)	P (R/DRD)	P (R/DRR)
0	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
1	0.587	0.470	0.437	0.700	0.425	0.664	0.376	0.581
2	0.538	0.560	0.530	0.519	0.527	0.512	0.536	0.538
3	0.547	0.525	0.520	0.537	0.520	0.537	0.526	0.548
4	0.538	0.528	0.528	0.541	0.528	0.540	0.527	0.538
5	0.534	0.534	0.533	0.535	0.533	0.534	0.533	0.534
6	0.534	0.534	0.533	0.534	0.533	0.533	0.534	0.534

Table 7. The probabilty of rainfall during a given period.
(Fukuoka, 1890～1967)

Month \ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jan.	0.523	0.733	0.848	0.913	0.950	0.971	0.983	0.991	0.995	0.997
Feb.	0.496	0.804	0.833	0.912	0.954	0.976	0.987	0.993	0.996	0.998
Mar.	0.467	0.679	0.810	0.882	0.927	0.955	0.972	0.983	0.989	0.993
Apr.	0.449	0.639	0.770	0.857	0.911	0.945	0.966	0.979	0.987	0.991
May	0.380	0.566	0.698	0.792	0.857	0.901	0.932	0.953	0.968	0.978
Jun.	0.529	0.684	0.787	0.857	0.904	0.936	0.957	0.971	0.980	0.987
Jul.	0.393	0.547	0.654	0.732	0.792	0.839	0.875	0.903	0.925	0.942
Aug.	0.412	0.577	0.678	0.768	0.828	0.872	0.905	0.930	0.948	0.961
Sep.	0.461	0.638	0.761	0.840	0.893	0.929	0.952	0.968	0.979	0.986
Oct.	0.350	0.520	0.647	0.742	0.812	0.863	0.900	0.927	0.947	0.961
Nov.	0.425	0.623	0.759	0.849	0.906	0.941	0.963	0.977	0.986	0.991
Dec.	0.517	0.721	0.845	0.874	0.897	0.916	0.932	0.945	0.955	0.963

Table 8. Camparion of probabilities.

(Fukuoka, 1890～1967)

Month	P(R/R)−P(R)	P(R/R)−P(D/R)	P(R/RR)−P(D/RR)	P(R/RRR) −P(D/RRR)
Jan.	0.082	0.210	0.168	0.174
Feb.	0.087	0.166	0.116	0.074
Mar.	0.088	0.108	−0.058	0.016
Apr.	0.118	0.134	0.008	−0.004
May	0.151	0.062	−0.112	−0.050
Jun.	0.150	0.358	0.288	0.284
Jul.	0.245	0.276	0.268	0.302
Aug.	0.169	0.170	0.174	0.184
Sep.	0.162	0.246	0.184	0.182
Oct.	0.171	0.042	−0.142	−0.142
Nov.	0.099	0.048	−0.050	−0.004
Dec.	0.076	0.186	0.138	0.188

Table 9. Confidence limits in each of the persistence ratios.

(Fukuoka, 1890～1967)

Month	P	P_1	Persistence ratio	N	$1.96\sqrt{P/Nq}$	Confidence limit
Jan.	0.523	0.605	1.208	2411	0.042	0.960～1.044
Feb.	0.496	0.583	1.208	2170	0.042	0.960～1.044
Mar.	0.466	0.554	1.197	2438	0.037	0.964～1.039
Apr.	0.449	0.567	1.274	2348	0.037	0.965～1.038
May	0.380	0.531	1.308	2443	0.031	0.970～1.032
Jun.	0.529	0.679	1.471	2355	0.043	0.959～1.045
Jul.	0.393	0.638	1.673	2524	0.031	0.970～1.032
Aug.	0.412	0.585	1.415	2319	0.034	0.967～1.035
Sep.	0.461	0.623	1.429	2317	0.038	0.964～1.039
Oct.	0.350	0.521	1.356	2437	0.029	0.972～1.030
Nov.	0.425	0.524	1.209	2297	0.035	0.966～1.036
Dec.	0.517	0.593	1.188	2430	0.041	0.961～1.043