

降水観測網の統計的検討

石原 藤次郎・池 渕 周一

A STATISTICAL STUDY ON NETWORK OF PRECIPITATION STATIONS

By *Tōjiro* ISHIHARA and *Shūichi* IKEBUCHI

Synopsis

For the development and the utilization of water resources, it is necessary to predict the long-range precipitation. As the precipitation has the regional and seasonal fluctuation, there is a need for the long record in many stations. In this paper, an analysis of the inter-station correlation coefficients between the base station and the every other station is proposed to complement and extend the precipitation record, to make clear the regional distribution of precipitation and moreover to determine the adequate network of stations.

From Kinki district, 10 base stations with a length of record more than 50 years and 139 stations with a length of record from 10 to 15 years are selected as research data. A summary of the results is shown below. 1) the regional distribution of precipitation differs seasonally. 2) topography has a large influence upon the distribution of the inter-station correlation coefficients. that's, though a high correlation area expands in the plain, it is restricted by the mountainous region. 3) the longer a time scale of observation becomes, the more a high correlation area expands. this tendency is remarkable in the plain regionally and in spring, summer and fall seasonally.

1. は し が き

経済の高度発展、人口の都市集中による水需要の急激な増加と偏在化は、大都市を中心とする水不足を激化し、河川表流水の資源としての価値を高めつつある。その結果、河川水の水資源としての効率的利用、さらには河川上流域を主とする大規模開発が本格的に進められようとしているが、そのためには長期間流出機構の解明が必要であり、それと同時に、その供給源である降水量の適確な把握が不可欠であることはいうまでもない。長期間流出機構については、筆者らがすでに提案した情報理論的方法が有効であり¹⁾、これをさらに流況シミュレーションにまで高めるためには、長期間にわたる降水現象を適確に把握しなければならない。

降水は空間的、時間的にその性状を異にし、従来も短期間の異常な降雨、いわゆる豪雨の解明には気象学の分野で力が注がれているが、日単位以上の長期間にわたる降水現象となると、そこには複雑かつ不確定な要素が介在し、決定論的立場だけでは解析は不可能であり、確率・統計論的な面からのアプローチを考慮する必要がある。われわれはこうした観点から、降水の地形との関係に考慮を払いながら、降水を一つの確率現象としてとらえた。

一般に確率現象においては、観測・測定された資料を母集団からの標本とみなして、その確率・統計的性状を把握するのであるが、降水現象においても多数の地点で長期にわたって降水資料が整っていることが必

要であることはいうまでもない。そのために、従来から各所に雨量観測所が設けられているが、これら観測所においては、1) 観測期間の長短、2) 観測値の欠測・不良、3) まばらな観測所位置、といった問題があり、現象を適確に把握することができない。そこで本研究では1) まず、これらの問題を解決するために、降水資料を補足・拡充するための一方法として観測所間の地域的相関に注目した地域相関分析を提案するとともに、2) 各所の雨量観測所をいくつかの欠測のない長期間観測所（基幹観測所）に結びつけるために、さらには相関係数の地域的分布から降水量の空間的性状を把握するために、基幹観測所を中心とした観測所相互の相関係数を算出し、その値の等しい地点を結んだ降水量の等相関係数線図を考え、これを近畿地方に適用した。3) 最後に、これらの相関係数と地形要素との関係を定量的に評価して、適切な観測所配置の基準を提供することを試みた。

こうした研究が基幹観測所の時系列解析とあわせて、降水の広域的な長期間シミュレーション法の確立に寄与することはいうまでもない。

2. 地域相関分析

2.1. 地域相関係数

治水・利水を含めた河川計画においては、水文資料の存在が不可欠であり、従来から観測・測定がなされているが、観測の容易さから水位・流量資料に比べると降水資料はより長期間にわたり、より精度よく観測されている。したがって、水位・流量も降水資料から流出解析法を通じて推定されることが多い。しかし、その降水資料も現象を把握しうる程度にまで適切な地点にわたって整備されていることは少なく、その多くは短期間のものであり、冬期においては欠測・不良が多く、さらに未開発地で計画をたてる際にはまったく資料がないといっても過言でない。こうした事情を考えると、現存する資料は最大限に利用して、資料を補足・拡充する整備法が確立されなければならない、ここではその一つの方法として地域相関分析なる統計的手法を提案した。

いま、長期・短期両観測所間の地域的相関に注目すると、両者の地域相関係数 r は次式で与えられる。

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2)}} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

ここに、 x_i, y_i は両地点で同時に観測された降水量、 n は観測数、 $\bar{x}, \bar{y}$ はそれぞれの平均値である。この r を用いて、

$$\hat{\alpha} = r \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2)}{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2)}} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\hat{\beta} = \bar{y} - \hat{\alpha} \cdot \bar{x} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

を計算し、両者に直線回帰があると仮定すると、

$$y_i = \hat{\alpha} \cdot x_i + \hat{\beta} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

が得られる²⁾。したがって、欠測のない長期間にわたる x_i を与えれば、それに対応する y_i が補足・拡充できるのである。さらに、地域的相関が認められる範囲内で、より長い期間のものへと地域相関分析を繰り返していくなれば、短期間の資料でも時系列解析が十分おこなえる程度にまで資料を拡充することができよう。

2.2. 等相関係数線図

つぎに、いくつかの欠測のない長期間観測所（以後、基幹観測所とよぶ）を中心として、その周囲にある多数の観測地点との間で(2.1)式で与えられる地域相関係数 r を算出し、その値の等しい地点を結ぶと、降水量の等相関係数線図を描くことができる³⁾。この等相関係数線の形態は相関の地域的な変動傾向を示すも

のであり、観測所相互の距離・方向・高度差などの地形要素、さらには風向・水蒸気流などと関連づけることによって、降水量の地域的分布性状を量的に把握することができ、しかも高相関の範囲は基幹観測所の支配圏とみなせるので、既設観測所の配置が適切かどうかを検討することができる。このことは水需要立地との関連も考えて、新たに設ける観測所を適切な観測網に組み入れる際の基準を提供することになる。なお、この係数線は観測単位のとり方により、その性状を異にし、また同一の時間単位でも季節ごとの係数線を描くと、それぞれの季節の特徴が見出せる。

一方、(2.2) 式で与えられる $\hat{\alpha}$ の値からは、各観測地点と基幹観測所の間の降水量の多少を推察することができ、さらに図上で $r=1$, $\hat{\alpha}=1$, $\hat{\beta}=0$ であるような範囲に含まれる地域では、欠測の多い冬期の、さらには降水資料のまったくない地点での基礎資料を提供しえよう。

2.3. 観測時間単位と地域相関係数

前節で相関係数線が観測時間単位のとり方により、その性状を異にすることを述べたが、一般に観測時間単位を長くすると変動現象が消殺され、地域相関係数は大きくなると考えられる。そこで以下では日を基本単位として、降水の観測時間単位と地域相関係数の関係を理論的に考察しよう⁴⁾。

いま、日単位で観測された基幹観測所および周辺観測所の降水系列を $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m$ とし、資料数 n, m が大きいとすると、両地点の時間おくれ τ に関する時差相関係数 φ_τ は近似的に次式で表わされる。

$$\varphi_\tau = \frac{\overline{x_i \cdot y_{i+\tau}} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x_i^2} - \bar{x}^2) \cdot (\overline{y_i^2} - \bar{y}^2)}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

さらに、それぞれの地点における時間おくれ τ に関する自己相関係数も同じく次式で近似できよう。

$$\text{基幹観測所; } \rho_\tau = \frac{\overline{x_i \cdot x_{i+\tau}} - \bar{x}^2}{\overline{x_i^2} - \bar{x}^2} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{周辺観測所; } \gamma_\tau = \frac{\overline{y_i \cdot y_{i+\tau}} - \bar{y}^2}{\overline{y_i^2} - \bar{y}^2} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに、 $\bar{x}, \bar{y}$ はそれぞれの平均値である。

つぎに、この資料を k 個づつ合計した値を $X_1, X_2, \dots, X_N; Y_1, Y_2, \dots, Y_M$ とする。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \sum_{i=1}^k x_i, X_2 = \sum_{i=k+1}^{2k} x_i, \dots, X_j = \sum_{i=(j-1)k+1}^{jk} x_i, \dots \\ Y_1 &= \sum_{i=1}^k y_i, Y_2 = \sum_{i=k+1}^{2k} y_i, \dots, Y_j = \sum_{i=(j-1)k+1}^{jk} y_i, \dots \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

この系列の時間おくれ p の時差相関係数 Φ_p は同じく次式で与えられよう。

$$\Phi_p = \frac{\overline{X_l \cdot Y_{l+p}} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sqrt{(\overline{X_l^2} - \bar{X}^2) \cdot (\overline{Y_l^2} - \bar{Y}^2)}} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

そこで $X_l \cdot Y_{l+p}$ を l に関して加えて平均をとった後、(2.5) 式を代入すると、

$$\overline{X_l \cdot Y_{l+p}} - \bar{X} \cdot \bar{Y} = (\varphi_{pk-k+1} + 2\varphi_{pk-k+2} + \dots + k\varphi_{pk} + \dots + \varphi_{pk+k-1}) \sqrt{(\overline{x_i^2} - \bar{x}^2)(\overline{y_i^2} - \bar{y}^2)} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

が得られ、一方、同様に $\overline{X_l \cdot X_{l+p}}, \overline{Y_l \cdot Y_{l+p}}$ をもとめて $p=0$ とおくと、

$$\overline{X_l^2} - \bar{X}^2 = \{k + 2(k-1)\rho_1 + \dots + 2\rho_{k-1}\} (\overline{x_i^2} - \bar{x}^2) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\overline{Y_l^2} - \bar{Y}^2 = \{k + 2(k-1)\gamma_1 + \dots + 2\gamma_{k-1}\} (\overline{y_i^2} - \bar{y}^2) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

が得られる。したがって、(2.10)、(2.11)、(2.12) 式を (2.9) 式に代入すると近似的に次式が得られる。

$$\Phi_p = \frac{\varphi_{pk-k+1} + 2\varphi_{pk-k+2} + \dots + k\varphi_{pk} + \dots + \varphi_{pk+k-1}}{\sqrt{\{k + 2(k-1)\rho_1 + \dots + 2\rho_{k-1}\} \{k + 2(k-1)\gamma_1 + \dots + 2\gamma_{k-1}\}}} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

ところで、いま問題にしている地域相関係数は (2.13) 式において $p=0$ としたものにほかならないから、結局、

$$\phi_0 = \frac{\varphi_{-k+1} + 2\varphi_{-k+2} + \cdots + k\varphi_0 + (k-1)\varphi_1 + \cdots + \varphi_{k-1}}{\sqrt{\{k+2(k-1)\rho_1 + \cdots + 2\rho_{k-1}\} \{k+2(k-1)\gamma_1 + \cdots + 2\gamma_{k-1}\}}} \quad \cdots \cdots (2.14)$$

となる。すなわち、 k 日降水量の地域相関係数はそれぞれの地点の日単位に関する自己相関係数 ρ_τ, γ_τ および両地点の時差相関係数 φ_τ によって近似的に表現されたことになる。

つぎに (2.14) 式において k の増大による ϕ_0 の漸近的性質をみてみよう。筆者らの研究によれば、日単位の降水量は概して独立なランダム現象であるとみなせるので⁵⁾,

$$\left. \begin{array}{l} \rho_\tau, \gamma_\tau = 1 : \tau = 0 \\ \rho_\tau, \gamma_\tau = 0 : \tau \neq 0 \end{array} \right\} \quad \cdots \cdots (2.15)$$

なる仮定を設けると、(2.14) 式は次式に変換される。

$$\phi_0 = \varphi_0 + \left(1 - \frac{1}{k}\right)(\varphi_{-1} + \varphi_1) + \left(1 - \frac{2}{k}\right)(\varphi_{-2} + \varphi_2) + \cdots + \left(1 - \frac{k-1}{k}\right)(\varphi_{-k+1} + \varphi_{k-1}) \quad \cdots \cdots (2.16)$$

上式は k の増加につれて地域相関係数は増加の傾向にあるが、ある極限をもつことを意味していよう。

3. 近畿地方への適用と考察

3.1. 降 水 資 料

近畿地方の表流水源は琵琶湖をはじめ淀川・紀ノ川・由良川・揖保川・市川・加古川など広域的に分布しており、その供給源である降水量を把握するためには、多数の地点での長期間観測資料が必要である。本研究の適用にあたっては以下の基準にもとずいて観測所を選定した。すなわち、1) 基幹観測所としては50年以上の観測期間があり、欠測の少ないこと、2) 基幹観測所の支配圏が大きく重複しないこと、3) 基幹観測所の地域特性を考慮すること、4) 周辺観測所としては欠測が少なく、10～15年間の観測期間があること、5) 観測所数は資料収集、計算時間を考慮して100～150箇所に限定すること。

現在、三重県・福井県を含めて近畿地方には、気象庁・各県庁・建設省所轄の雨量観測所が約400箇所あるが、上記の基準で選定、抽出した観測所を Table 1 に、その位置を Fig. 1 に示す。図で明らかなように、基幹観測所には京都気象台・大阪管区気象台・神戸海洋気象台・和歌山気象台、彦根気象台・豊岡候候所・敦賀測候所・生野観測所・福知山観測所および洞川観測所を選んだ。なお、資料の採用期間は日、旬単位については昭和38, 39年の2年間、月、年単位については昭和25年頃から39年までの10～15年間のものを用い、計算は京都大学大型計算機 FACOM 230-60 によった。

3.2. 平均降水量の分布

近畿地方は気候的には北から裏日本・内陸・瀬戸内・表日本型の特色を示し、降水量の地域的分布も顕著である。Fig. 2 (a), (b), (c), (d), (e) は上記の資料から算出した平均月降水量の分布図であり、図上の各値を $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$, 12倍するとそれぞれ平均日・旬・年降水量の分布図となる。なお、季節は全年(1～12月)、冬(12～2月)、春(3～5月)、夏(6～8月)、秋(9～11月)に分けた。

全年でみると姫路・神戸・大阪・和歌山をはじめとする瀬戸内沿岸は少雨域であり、尾鷲を中心とする紀南、および若狭湾沿岸・山陰が多雨域、内陸部はその中間域となっている。ここで注目すべきは少雨域が京都近くまで深入していることであり、次節の等相関係数線図にもその影響があらわれている。さらに季節ごとにみると、冬は若狭湾沿岸・山陰が多く、春も比良山地・生野・丹後山地に多雨域がみられるものの、多雨域は南下しており、この傾向は夏において紀南に多雨域を集中させている。秋になると多雨域が日本海側にも現われてきており、冬の降水量分布に移行していくものと考えられる。瀬戸内はいずれの季節においても少雨であるが、冬はきわめて少なくなっている。これら降水量分布の特徴には、冬は降雪の、夏、秋は梅雨、台風による豪雨の影響が大きいものと考えられ、量的には梅雨、台風によるものが多い。さらに、これらの降水量分布性状には地形、とくに高標高地帯の影響が大きく、その存在が分布の境界を形成しているが詳細は次節で述べる。

3.3. 等相関係数線図

Table 1 Precipitation station

No.	Station	Equipment	Height	Beginning time
HYOGO PREFECTURE				
1	TOYOOKO	A. R, N. R	4	T 9. 1.1
2	KINOSAKI	N. R	8	M 31. 1.1
3	IZUSHI	N. R	19	M 31. 1.1
4	SASAYAMA	N. R	200	M 31. 1.1
5	YOKA	N. R	40	M 31. 7.1
6	SAJI	N. R	130	M 31. 1.1
7	SUENO	A. R, N. R	195	S 31. 4.1
8	KAIBARA	N. R	120	M 31. 1.1
9	NISHINOMIYA	N. R	19	S 37. 9.1
10	AKASHI	N. R	6	M 32. 1.1
11	KOBE	A. R, N. R	58	M 30. 1.1
12	NISHIWAKI	N. R	60	S 15. 8.1
13	MIKI	N. R	40	M 31. 1.1
14	AMAGASAKI	N. R		
15	HIMEJI	A. R, N. R	38	S 23. 1.1
16	IKUNO	A. R, N. R	300	M 31. 1.1
17	TATSUNO	N. R	40	S 15. 8.1
18	YAMASAKI	N. R	85	S 26. 1.1
19	KAMIGORI	A. R, N. R	30	S 26. 1.1
20	ICHINOMIYA	N. R	175	M 31. 1.1
21	MURAOKA	N. R	213	M 31. 1.1
22	IWAYA	N. R	5	M 36. 1.1
23	SUMOTO	A. R, N. R	109	T 9. 1.1
24	TOSHI	N. R	12	
25	SAYO	N. R		
26	SANDA	N. R		
27	FUKUZAKI	N. R	75	M 31. 1.1
28	WADAYAMA	N. R	72	M 31. 1.1
29	ARINO	N. R	220	S 25.11.1
KYOTO PREFECTURE				
30	MAIZURU	A. R	30	S 22. 4.1
31	MIYAZU	N. R	2	S 25.12.1
32	KYOTO	A. R	41	M 13.10.1
33	FUKUCHIYAMA	N. R	18	M 23.11.1
34	KAMOGAWA	A. R		S 28. 1.1
35	KAMEOKA	N. R	110	M 23.11.1
36	UJI	A. R	14	S 29. 5.1
37	SHUZAN	N. R		M 24. 6.1
38	HANASE	A. R		S 28. 1.1
39	TANABE	N. R	50	S 28. 1.1
40	HONME	A. R	200	S 29. 5.1

No.	Station	Equipment	Height	Beginning time
41	IDECHO	A. R		S 28. 1.1
42	SONOBE	N. R	132	M 23.11.1
43	YOTSUYA	A. R		S 28. 1.1
44	UBUNE	A. R		S 28. 1.1
45	KIZU	R. R	55	M 23. 3.1
46	HIRAYAASHU	A. R		S 27. 1.1
47	MIZUHO	A. R	359	T 14. 1.1
48	WACHI	N. R	175	S 26. 4.1
49	AYABE	N. R	100	S 16. 8.1
50	KOYAOKA	N. R	40	M 23.11.1
51	OE	A. R		S 33. 1.1
52	KURODA	A. R		S 23. 1.1
53	HIEIZAN	A. R	320	S 27. 9.1
54	MINEYAMA	N. R	832	S 2. 2.1
55	KYOGAMISAKI	N. R	23	M 23.11.1
56	WATSUKA	N. R	140	S 22. 7.1
57	KURAMA	N. R		
58	KUMO	N. R	568	S 28. 1.1
59	GAHATA	N. R	250	M 41. 6.1
60	UBARA	A. R		S 28. 1.1
61	TAKAHARA	A. R		S 29. 1.1

OSAKA PREFECTURE

62	OSAKA	A. R	7	
63	UENOGO	N. R	34	T 4. 6.1
64	NISHINOSE	A. R		S 22. 1.1
65	IKEDA	A. R		S 21. 1.1
66	TOGO	N. R	235	M 25. 4.1
67	IBARAKI	A. R		S 21. 1.1
68	HIRAKATA	A. R		S 21. 1.1
69	ISHIKIRI	A. R		S 25. 1.1
70	YAO	A. R		S 21. 1.1
71	CHIHAYA	A. R		S 25. 1.1
72	YOKOHAMA	A. R		S 25. 1.1
73	YAMATAKI	A. R		S 25. 1.1
74	KISHIWADA	N. R	20	M 24. 4.1
75	TONDABAYASHI	N. R	60	M 24. 4.1
76	TAHARA	A. R		S 21. 1.1
77	OTORI	N. R	20	M 24. 4.1
78	MIKUNI	A. R		S 34. 1.1
79	HARA	A. R		S 31. 1.1
80	MIYAMA	A. R		S 21. 1.1
81	KANAKUMADERA	A. R		S 22. 1.1
82	HIGASHINOSE	A. R		S 23. 1.1

No.	Station	Equipment	Height	Beginning time
WAKAYAMA PREFECTURE				
83	WAKAYAMA	A. R, N. R	14	M 12. 7.1
84	HIGASHINOGAMI	A. R, N. R	65	S 26. 1.1
85	KOYASAN	A. R, N. R	820	M 15. 7.1
86	YAWATA	A. R, N. R	230	M 26. 1.1
87	GOBO	N. R	4	M 15. 7.1
88	RYUJIN	A. R. N. R	403	M 44. 7.5
89	KIYOKAWA	N. R	174	S 2. 1.1
90	KURUSUGAWA	A. R. N. R	99	M 26. 6.1
91	ICHIKANO	N. R	85	S 22.11.1
92	SHICHIKAWA	N. R	110	M 44.12.1
93	SHINGU	N. R	9	M 15. 7.1
94	SHIONOMISAKI	A. R, N. R	73	T 12. 1.1
95	SHIRAHAMA	A. R, N. R	14	S 29. 6.1
96	HASEKEBARA	A. R		S 25. 7.1
97	SASHIMOTO	A. R		S 27. 5.1
98	IROKAWA	A. R, N. R	260	T 14. 7.1
SHIGA PREFECTURE				
99	MIZUGUCHI	N. R	174	M 27. 1.1
100	HONJYO	N. R		S 17. 1.1
101	KUMOI	N. R		S 17. 1.1
102	SAMEGAL	A. R		R 33. 1.1
103	KINOMOTO	N. R	107	M 27. 1.1
104	MAKINO	A. R		S 30. 1.1
105	HIKONE	A. R, N. R	87	M 26. 1.1
106	IMAZU	N, R	88	M 27. 1.1
107	TARAO	N. R	485	M 40. 1.1
108	TSUCHIYAMA	A. R, N. R	263	M 38. 5.1
109	HACHIMAN	N. R	88	M 27. 1.1
110	HINO	A. R, N. R	163	T 4. 1.1
111	MANSOKORO	A. R, N. R	300	M 44. 1.1
112	YOSHITSUKI	N. R	270	M 44. 1.1
113	OTSU	N, R	140	M 27. 1.1
114	ICHIBA	N. R	185	M 44. 1.1
115	KATADA	N. R	87	M 39. 5.1
116	KITAKOMATSU	A. R, N. R	87	M 40. 1.1
117	CHIKUBUZIMA	A. R	101	M 31. 4.1
NARA PREFECTURE				
118	NARA	A. R, N. R	63	S 15. 1.1
119	KAWAKAMI	A. R. N. R	365	S 29. 5.1
120	TAKAMI	A. R	380	S 30. 6.1
121	OYODO	N. R	160	M 30. 1.1

No.	Station	Equipment	Height	Beginning time
122	GOJYO	A. R	105	T 8. 6.1
123	HAIBARA	N. R	330	T 9. 6.1
124	SONI	N. R	420	M 30. 1.1
125	OYAMA	N. R	230	T 9. 1.1
126	ZENKI	N. R	839	M 30. 1.1
127	TERAKAITO	A. R, N. R	360	M 30. 1.1
128	KOJINDAKE	N. R	1190	T 10. 1.1
129	DOROGAWA	A. R, N. R	820	M 30. 1.1
130	MINAMINOSHO	N. R	470	M 30. 1.1
131	KOTSUBOSE	A. R		S 27. 1.1
132	OJI	A. R, N. R	45	M 30. 1.1

FUKUI PREFECTURE

133	TSURUGA	A. R, N. R	1	M 31. 1.1
134	OBAMA	A. R, N. R	2	M 30. 7.1
135	TAKAHAMA	N. R	5	M 30. 7.1
136	KUMAGAWA	A. R, N. R	90	M 30. 7.1
137	MIKATA	N. R	50	M 30. 7.1
138	SUGHASHI	N. R	180	S 16. 1.1

MIE PREFECTURE

139	TAMATAKI	N. R		S 17. 1.1
140	ABO	N. R		S 25. 1.1
141	MABARI	N. R	199	M 24. 2.1
142	UENO	A. R, N. R	159	M 23. 1.1
143	OKUTSU	N. R	254	M 33. 7.1
144	TSU	A. R, N. R	2	M 22. 7.1
145	OWASE	A. R, N. R	14	M 24. 4.1
146	AKAGI	N. R	110	S 17. 2.1
147	TOKKAICHI	A. R, N. R	47	M 24. 2.1
148	ISE	N. R	2	M 24. 2.1
149	HAMAJIMA	N. R	3	M 33. 4.1

A. R...Automatic Recorder N. R...Normal Recorder M...Meiji

T...Taisho S...Showa

10箇の基幹観測所を中心として、その周囲にある多数の観測所との間で(2.1)式で与えられる地域相関係数を算出し、その値の等しい地点を結んだ等相関係数線図を Fig. 3.1~Fig. 3.12 に示す。相関係数 r が0.800以下のものについては、本研究では意味がないと考え、相関係数 $r=0.900, 0.850, 0.800$ を対象とした。

1) 係数線の形状

いずれの基幹観測所においても、各観測時間単位、各季節とも相関係数が0.900, 0.850, 0.800と小さくなるにつれ、その相関の支配面積は大きくなっているが、その大きさ、その増加傾向にはそれぞれ基幹観測所ごとの、また季節ごとの特徴が見出せる。ここでは日単位の係数線を中心に考察する。

(a) 全年 (Fig. 3.1)

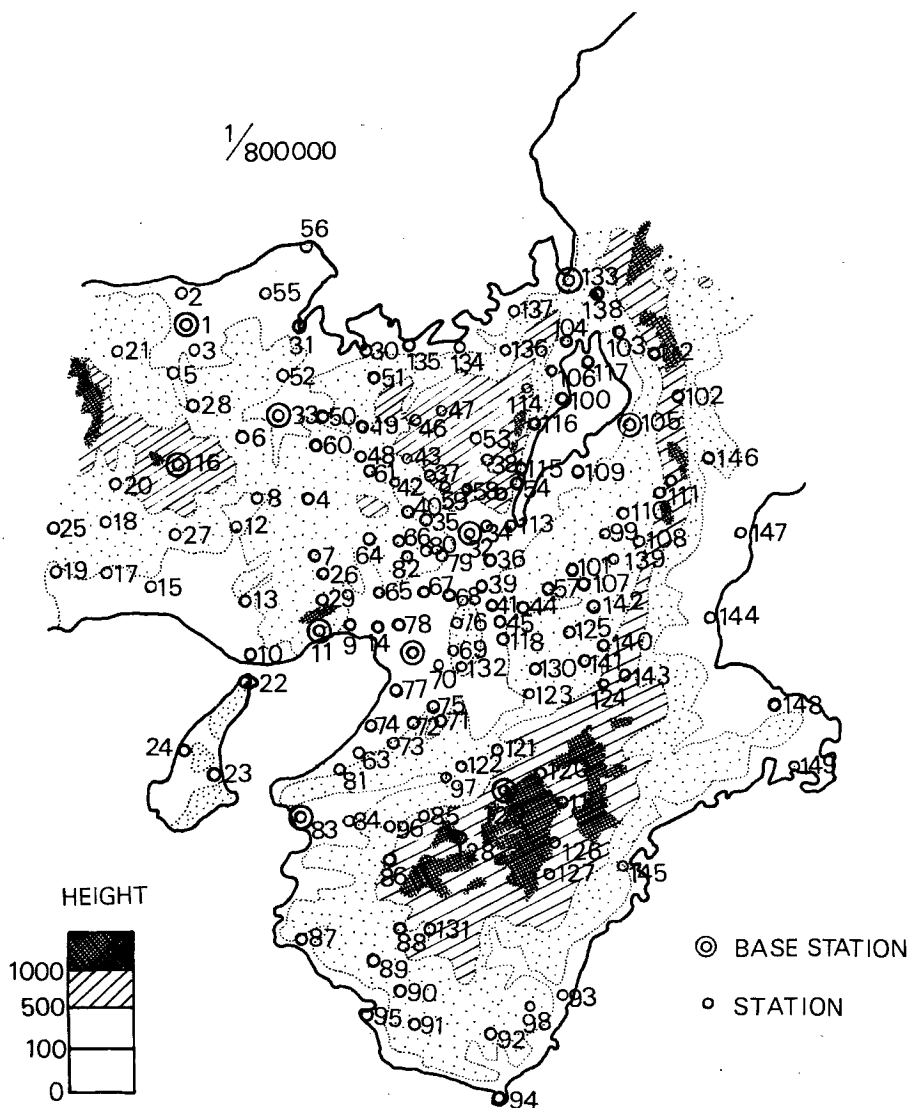


Fig. 1 Location of precipitation stations.

まず、年間を通じての平均的な特徴を示す全年においては、 $r=0.900$ の支配面積が大阪・神戸・福知山のごく狭い範囲に限られているが、相関係数の減少とともに和歌山・彦根・豊岡にもその範囲が広がり、 $r=0.800$ では丹波・比良・伊吹・鈴鹿・紀伊山地などの高標高地帯での制限はあるが、平野部において相当広く分布している。また r の減少による支配面積の増加も、その周囲に平野部が広がっている地点では顕著であり、周囲を高標高地帯で制限されている地点ではその増加は緩まんである。

(b) 冬 (Fig. 3.2)

冬においては高相関は大阪・和歌山を中心とした瀬戸内沿岸に広がっているが、それも紀伊・丹波山地などで制限され、他の基幹観測所では相関があってもごく狭い範囲である。この季節は降水が降雪の形態をとることが多く、日本海側や高標高地帯では相関の範囲がきわめて狭くなっている。

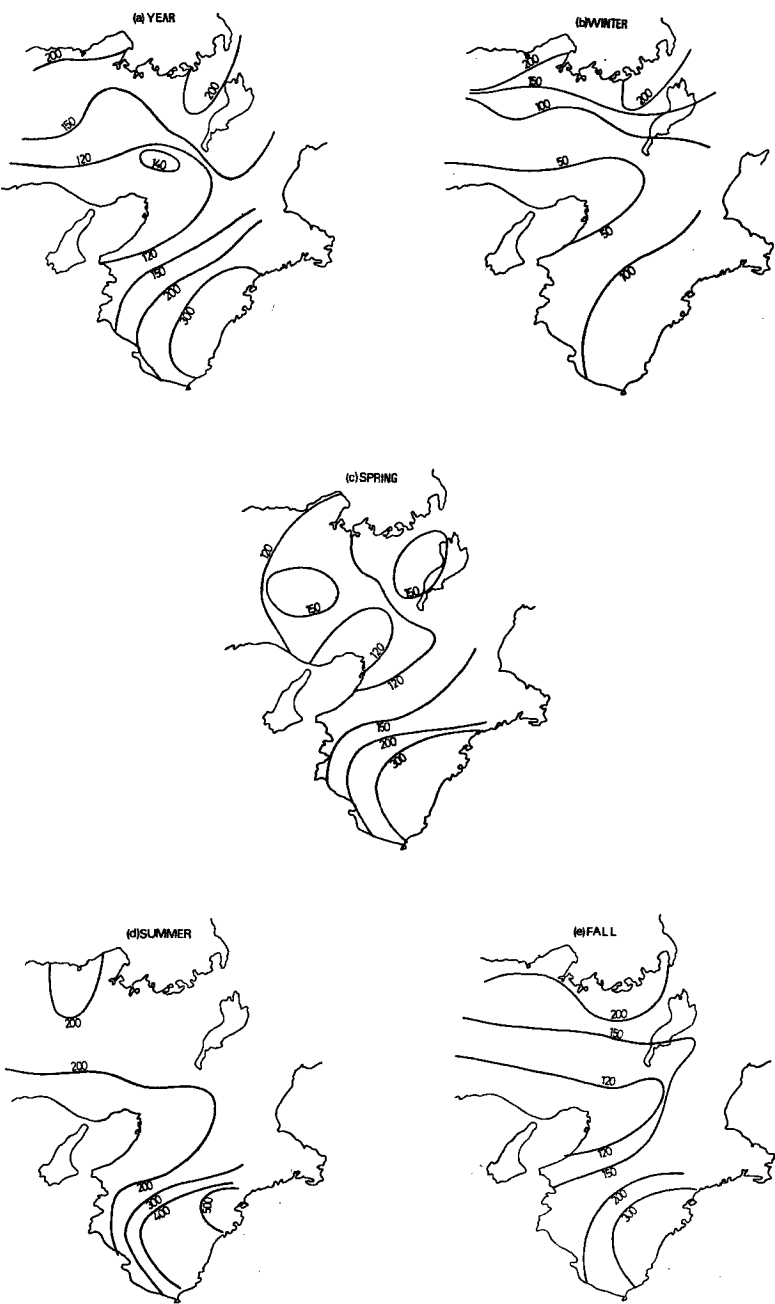
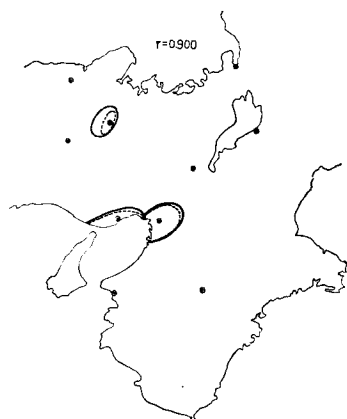
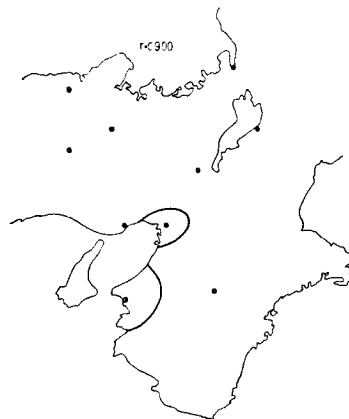


Fig. 2 Regional distribution of monthly precipitation.



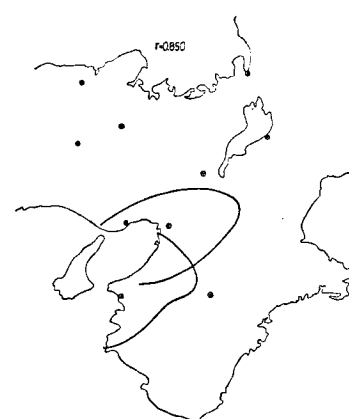
(daily precipitation; year)



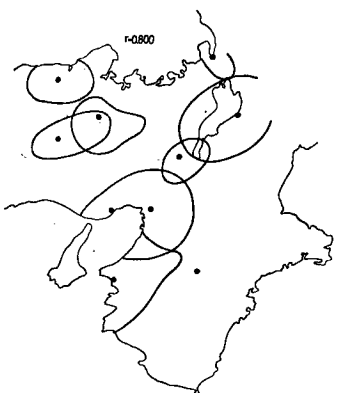
(daily precipitation; winter)



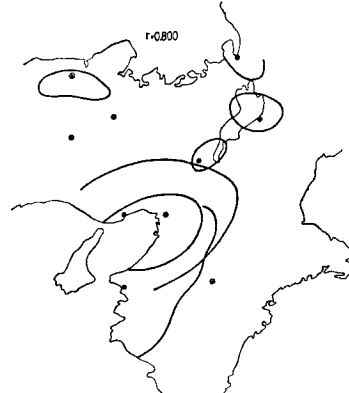
(daily precipitation; year)



(daily precipitation; winter)



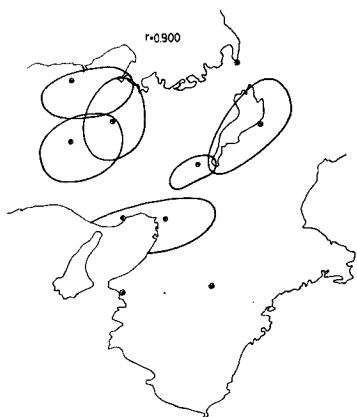
(daily precipitation; year)



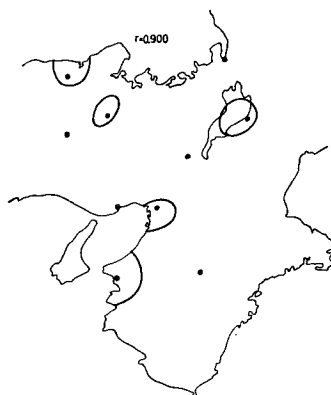
(daily precipitation; winter)

Fig. 3.1 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

Fig. 3.2 Isolines of the inter-station correlation coefficients.



(daily precipitation; spring)



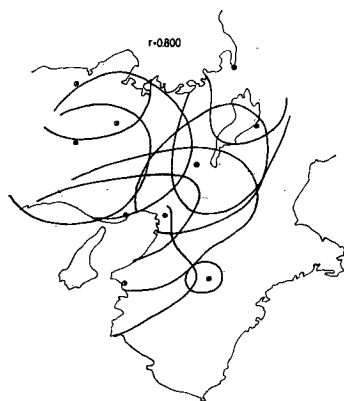
(daily precipitation; summer)



(daily precipitation; spring)



(daily precipitation; summer)



(daily precipitation; spring)



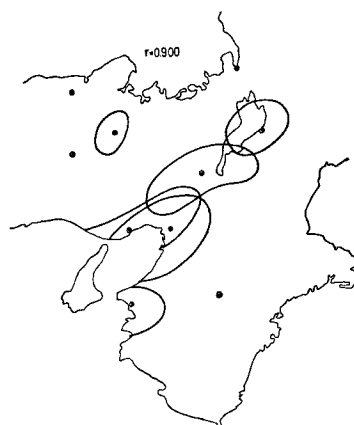
(daily precipitation; summer)

Fig. 3.3 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

Fig. 3.4 Isolines of the inter-station correlation coefficients.



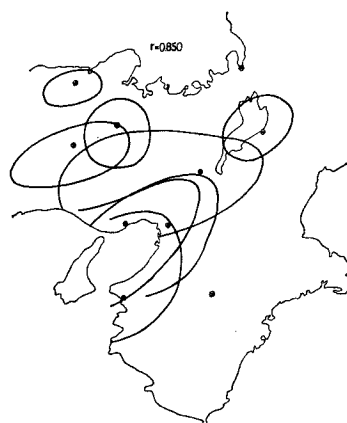
(daily precipitation; fall)



(10 days precipitation; year)



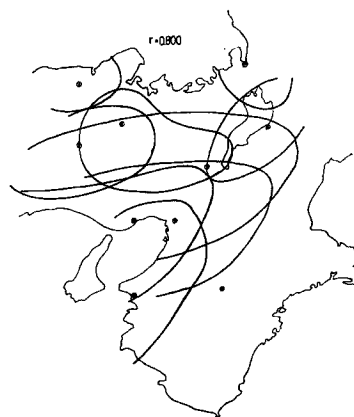
(daily precipitation; fall)



(10 days precipitation; year)



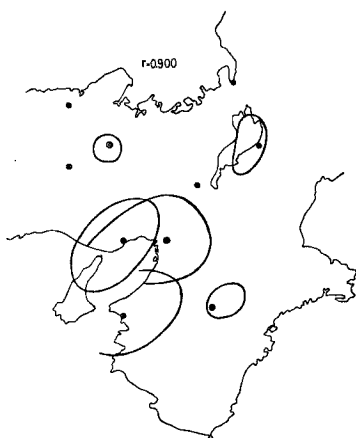
(daily precipitation; fall)



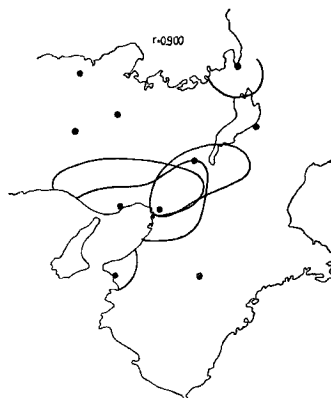
(10 days precipitation; year)

Fig. 3.5 Isoline of the inter-station correlation coefficients.

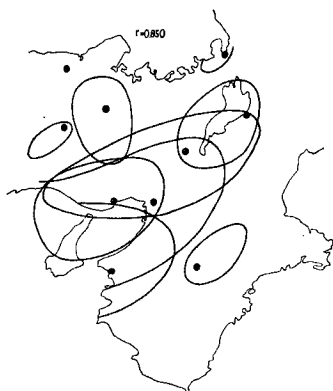
Fig. 3.6 Isoline of the inter-station correlation coefficients.



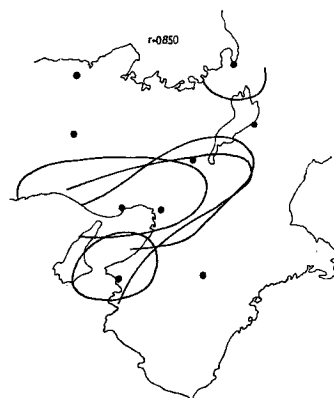
(monthly precipitation ; year)



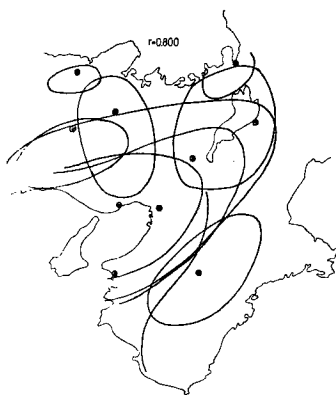
(monthly precipitation ; winter)



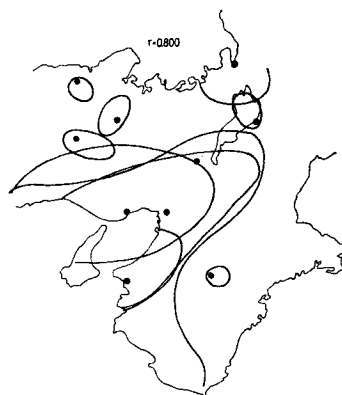
(monthly precipitation ; year)



(monthly precipitation ; winter)



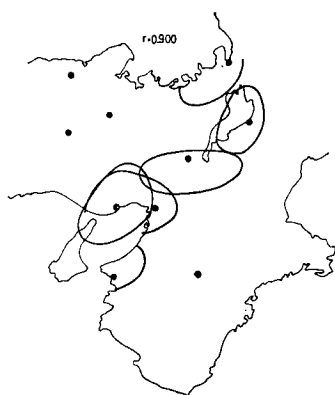
(monthly precipitation ; year)



(monthly precipitation ; winter)

Fig. 3.7 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

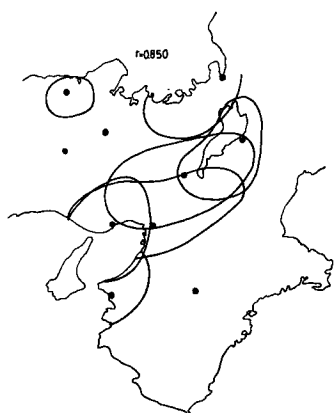
Fig. 3.8 Isolines of the inter-station correlation coefficients.



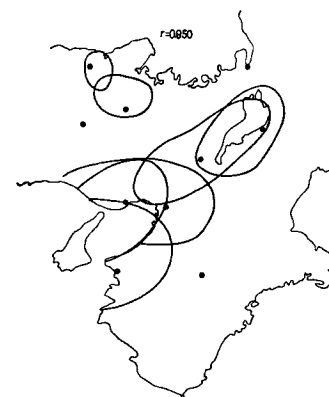
(monthly precipitation; spring)



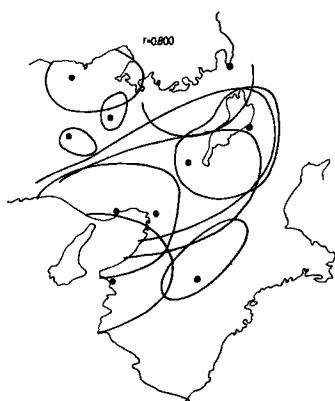
(monthly precipitation; summer)



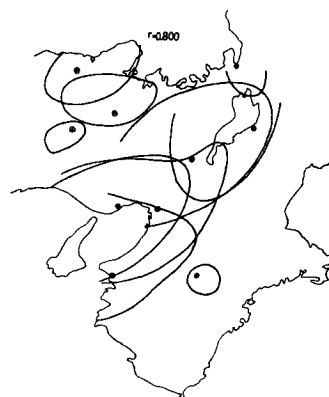
(monthly precipitation; spring)



(monthly precipitation; summer)



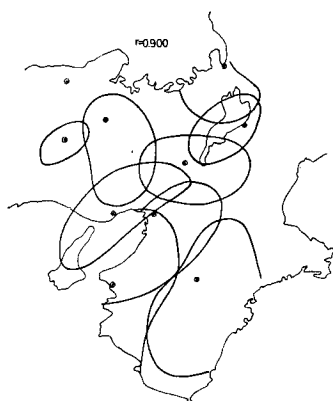
(monthly precipitation; spring)



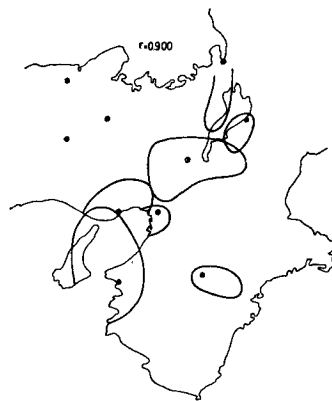
(monthly precipitation; summer)

Fig. 3.9 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

Fig. 3.10 Isolines of the inter-station correlation coefficients.



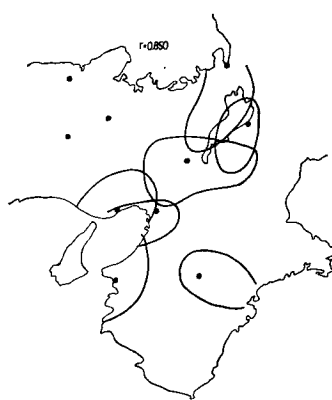
(monthly precipitation ; fall)



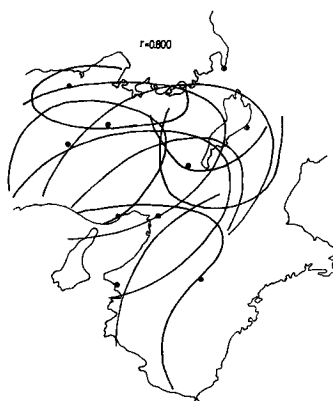
(annual precipitation)



(monthly precipitation ; fall)



(annual precipitation)



(monthly precipitation ; fall)



(annual precipitation)

Fig. 3.11 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

Fig. 3.12 Isolines of the inter-station correlation coefficients.

(c) 春 (Fig. 3.3)

春においては、 $r=0.900$ の支配面積は豊岡・福知山・生野中心と、琵琶湖・淀川沿いの彦根・京都・大阪中心にある。 r の減少による支配面積の増加が著しく、ほぼ近畿一円をおおっており、洞川中心にもごく狭いが高相関の範囲が出現している。

(d) 夏 (Fig. 3.4)

$r=0.900$ の範囲は大阪・和歌山・彦根・福知山・豊岡中心にごく狭い範囲に限られており、 r の減少による支配面積の増加も小さい。この季節は前半は梅雨、後半は台風の襲来があり、それら豪雨の局地性がこれら係数線の特徴づけていよう。

(e) 秋 (Fig. 3.5)

$r=0.900$ の範囲は夏とよく似た形態を示しているが、 $r=0.850, 0.800$ になると夏に比べて相関の支配面積の増加が著しく、洞川中心にも高相関が広がり、近畿一円をおおっている。この季節は9月に台風の襲来が多く、局地性を示すと考えられるが、10, 11月の降水も対象としており、 $r=0.850, 0.800$ ではその影響が小さく、春同様、高相関が広がっている。

2) 係数線と観測時間単位

つぎに、観測時間単位を日・旬・月・年と長くとると係数線がいかにかわるかを考察しよう。2.3. で述べたように、一般には観測時間単位が長くなると地域相関係数が大きくなり、それらを連ねた等相関係数線図も広がるものと考えられる。

(a) 全年 (Fig. 3.1, 3.6, 3.7, 3.12)

$r=0.900$ でみると日から旬単位になると、その支配面積が著しく増加するが、旬から月、年単位へはその広がりの増大は小さく、彦根、大阪などは逆に減少している。 r が0.850, 800となると、この傾向がますます強くなり、年単位では敦賀、洞川など一部を除いて、支配面積が減少している。また、いずれの図においても、和歌山・大阪・京都・彦根を結ぶ方向への広がりが支配的であり、他の基幹観測所の広がり具合とも考え合わせると、観測時間単位が旬、月、年と長くなっても降水は地形と密接な関係にあるようである。ただ、ここで問題となるのは、多くの基幹観測所で年降水量の相関支配面積が減少していることであり、2.3. で述べた理論的考察と若干異なる結果をもたらしている。この問題は年降水量になると現象論的に降水の地域的独立性が出現するのか、計算過程にその原因があるのか、今後、さらに実証的、理論的に追求すべきであろう。

つぎに、日単位と月単位の比較から、季節ごとの係数線を考察しよう。

(b) 冬 (Fig. 3.2, 3.8)

日から月単位になると、相関の支配面積は大きくなるが、平野部での広がりが大きく、日本海側や高標高地帯では大きな広がりは認められない。降雪の地域的分布が激しく、降雪形態の類似範囲がごく狭いことを意味していよう。

(c) 春 (Fig. 3.3, 3.9)

いずれの係数線においても敦賀・彦根・京都・大阪・神戸・和歌山中心の平野部・盆地部で相関の支配面積の拡大が見られるが、豊岡・生野・福知山・洞川では減少するか、相関の範囲が消失している。

(d) 夏 (Fig. 3.4, 3.10)

この季節においては月単位の係数線は、日単位のものをそのまま広げた形になっており、その拡大率は平野部において大きい。

(e) 秋 (Fig. 3.5, 3.11)

$r=0.900$ では日から旬単位への支配面積の増加が急激であり、 $r=0.850, 0.800$ では基幹観測所の支配面積がかなりの部分重複している。

以上、近畿地方の等相関係数線図について考察したが、それらを要約すると、つぎのようになる。

(1) 降水の地域的な相関は季節的に異なっており、降雪形態をとる冬期は降雨形態をとる他の季節に比

べて高相関の範囲が狭い。

(2) 地域的相関は同心円的には広がらず、地形と密接に関係しており、平野部では相当広い範囲にまで高相関が分布するが、高標高地帯では制限され、それを境に相関はきわめて悪くなる。

(3) 観測時間単位が長くなるにつれて降水の地域的な変動が減少して、高相関の範囲が広がる。しかも、この傾向は日から旬単位への変化において、地域的には平野部において、また季節的には春、夏、秋において著しい。

(4) 年降水量においては、観測時間単位を長くとると高相関の範囲が広がるという理論的考察に適合しない基幹観測所がいくつかあり、今後、検討しなければならない。

なお、Fig. 3.1 $r=0.900$ には $r=1, \hat{\alpha}=1, \hat{\beta}=0$ の範囲が破線で示されている。 $r=0.900$ の実線の範囲よりもさらに狭くなっているが、この範囲に含まれる地域では基幹観測所の資料をそのまま用いても大きな誤差はなかろう。他の観測時間単位、季節においても、各図の $r=0.900$ の支配面積の大きさに応じて $r=1, \hat{\alpha}=1, \hat{\beta}=0$ の範囲が決定されよう。

3.4. 相関係数と地形要素

等相関係数線図の考察から相関係数が地形と密接に関係していることが明らかとなった。そこで相関係数と地形要素との関係を量的に評価するため、地形要素として基幹観測所と周辺観測所の水平距離 L 、および高度差 H を選び、地域相関係数 r とともに図示したのが Fig. 4 である。資料数を多くするため図にはすべての基幹観測所の $r=0.800$ 以上を図示した。基幹観測所から離れるにつれ、また高度差が大きくなるにつれて相関が悪くなる傾向は認められるが、基幹観測所の支配圏を量的に評価するまでにはいたっていない。相関係数が水平距離と高度差の2変数のみでは十分に表現しえないことも考えられるので、今後は他の地形要素を導入するとともに、さらに資料数の増加をはかり量的評価をおこなっていきたい。

3.5. 観測網配置の基準

本節では地域相関分析から得られた降水の空間的性状と水需要立地を考慮して、既設の観測網についてそ

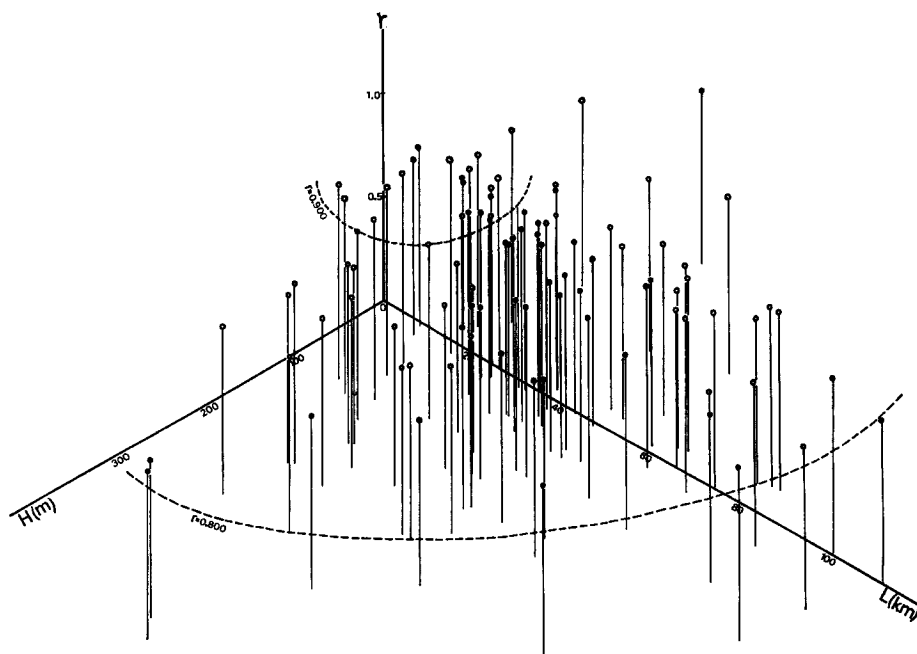


Fig. 4 Relation correlation coefficients to the distance and the difference of height between the base station and the every other station.

の配置の妥当性を検討しよう。

水資源開発が緊急を要する淀川流域では、本研究で選ばれた基幹観測所、周辺観測所でもかなりの範囲にわたっての降水量把握が可能であり、旬・月・年となると、彦根・京都・大阪基幹観測所の地域代表性が大きく、十分、降水性状がとらえられる。ただ冬における京都・彦根基幹観測所の支配面積が狭いこと、地域的には木津川上流域の降水量が十分とらえられていないことを考えると、これらの地域でさらに基幹観測所を選ぶ必要があり、予測単位が年・月・旬・日と短くなるにつれ、基幹観測所の数を増やすとともに、多くの周辺観測所を抽出、さらには新設する必要がある。

紀ノ川流域では和歌山の支配圏が紀伊山地で制限されている。紀伊山地の多雨は豊富な水資源をもたらすので、洞川の他にもいくつかの基幹観測所を選定し、夏、秋の梅雨、台風、冬の降雪の高標高地からくる局地性を考え、さらに降水観測所を密に抽出、新設する必要がある。

由良川、円山川は日本海側に面し、今後、水資源開発が促進される地域であり、冬期の降雪量が多いことは水資源開発地域として有望である。降雪の性状把握は観測・測定技術の困難もともなうが、高標高地の地域的相関の狭小さを考えると、さらに密なる基幹観測所、周辺観測所網を組立てていくべきであろう。

揖保川、市川、加古川などは瀬戸内の小雨域を流下しているが、臨海地の重化学工業の飛躍的發展を考えると水需要の急激な増大が見込まれ、降水量の適確な把握が必要である。これらの地域の平野部は降水性状がかなり似ており、姫路を基幹観測所に選べば十分であるが、水源地付近ではさらに細かく基幹観測所、周辺観測所を配置する必要がある。

以上は主に日単位で降水量を把握しようとする場合の配置基準であったが、把握・予測の時間単位がさらに長くなるとこの限りでなく、配置基準は幾分ゆるめられよう。

4. 結 語

本研究は降水資料の整備法の確立、降水の空間的性状の把握を対象とし、その一つの方法として降水の地域相関分析を提案したものである。基幹観測所を中心として描いた等相関係数線図は、降水の空間的性状を把握するのに有効であり、さらに基幹観測所の支配圏の大きさがとらえられるので、適切な観測網配置の基準を提供しうる。

今後は、相関係数と地形要素の量的評価をはかっていくとともに、基幹観測所の時系列解析を進め、地域相関分析と合わせて、より精度の高くかつ普遍的な長期間降水シミュレーション・モデルを組立てていきたい。

最後に、本研究にあたって適切な御助言をいただいた京都大学工学部の高棹琢馬助教授に感謝の意をささげるとともに、降水資料収集に御協力下さった各气象台、各県庁の諸氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 高棹琢馬・池淵周一：長期間流出機構の情報理論的研究，京都大学防災研究所年報，第12号B，昭和44.3.
- 2) 鈴木栄一：気象統計学，地人書館，昭和43.8，pp.87.
- 3) J. E. Caffey: Inter-Station Correlations in Annual Precipitation and in Annual Effective Precipitation, Colorado State Univ., 1965. 6.
- 4) 前出2) pp.154.
- 5) 前出1).