

# A Study on the Distribution of Precipitation by Multivariate Statistical Analysis

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Takase, Nobutada, Hata, Tokio, Tamura, Tokuro メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00011723">https://doi.org/10.24517/00011723</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



## 多変量解析による降水分布に関する研究

高瀬 信忠\* 畑 時男\*\* 田村 徳郎\*\*\*

### A Study on the Distribution of Precipitation by Multivariate Statistical Analysis

by

Nobutada TAKASE, Tokio HATA and Tokuro TAMURA

#### Abstract

Hydrologic quantities, which are the basis of hydraulic engineering plans, depend on many factors of the natural worlds and arise as a result of combining with themselves. Especially, precipitation phenomenon is a basic quantity of hydrologic quantities as a supply source of run-off phenomenon, until now many statistical analysis have been studied on the precipitation phenomenon.

In this paper, we study on the characteristics of regional distribution of precipitation in regard to long term precipitation and short term precipitation by means of multivariate statistical analysis theory. Moreover, we investigate on the estimation methods of mean areal precipitation in the river basin which is necessary to the practical hydraulic engineering plans.

#### 1. はじめに

治水計画や水資源計画などの水工計画において基礎となる水文諸量は自然界の多くの因子によって左右され、これら諸因子の結合結果によって発生するものであるが、これらの現象を解明するには降水現象あるいは流出現象の特性を把握する必要がある。このうち降水現象は流出現象における供給源として水文量の基本量であり、また流出現象のように急激な土地開発や利用などに伴う流出特性の変化というような人為的影響も少ないので、従来から多くの降水現象に対する統計的解析がなされてきた。そして従来の統計解析は一変量の度数分布解析または時系列解析が主であったが、近年では降水現象への多変量解析の手法を用いたアプローチもなされるようになり<sup>1)2)</sup>、降水の時間的・空間的分布特性解明の努力がなされている。

本研究は降水における地域的分布の季節的変動特性を長時間および短期間降水量について、手取川水系、淀川水系（2流域）、大和川水系の地理的・地形的条件および面積規模の異なる4流域を対象として多変量解析の手法を用いて研究考察し、さらに実際の水工計画において必要とされる流域平均降水量の推定法についても考察を加えたものである。すなわち地点降水量は種々の要因が結合した結果

\* 土木工学科

\*\* 石川工業高等専門学校

\*\*\* 神戸市役所（元大学院工学研究科学生）

生じたものと考えられるが、この流域内の地点降水量に影響をおよぼす共通因子を推定し、これに同一流域では季節ごとにどのような差異がみられるかについて考察した。同時に各共通因子に対応する各観測所の因子負荷量により、流域内観測所のグループ化の可能性についても考察を加え、さらに従来より流域平均降水量の算定法としてよく用いられているティーセン法の支配面積率の決定法について検討したものであるが、同法の支配面積率の決定法は経験的な方法であり、降水の地域的な分布特性の考慮がなされておらず、この欠点を修正する方法としてのより合理的な主成分分析の手法を用いた新しい方法をもとにティーセン法の信頼度に検討を加えたものである。

この結果、地点降水量をい換えれば降水の地域的な分布に影響する共通因子は同一流域でも季節によって異なり、また流域平均降水量算定法としてのティーセン法は実用的にはかなり高い信頼度を有することがわかった。

## 2. 因子分析法による降水因子の推定

降水現象は多くの因子によって影響されるものであるが、いま流域内数個の観測所を考えた場合、それらの地点降水量が数種の潜在的な共通因子の1次結合で表わされるものとし、この時の各地点降水量に影響をおよぼす特殊因子を除いた潜在的な共通因子を抽出して、降水の地域的な分布にどのような要因が関係するかについて考察を加えたい。さらにこの共通因子の各観測所に対する影響度を示すパラメータである因子負荷量を求めることが可能ならば、降水因子の降水量の地域的な分布に関する特性を知り、流域内各観測所のグループ化が可能となり、観測所の統廃合や配置計画に対して有用であると考えられる。

次に上記の解析に用いた因子分析法のモデルと手法について考察してみよう<sup>3)</sup>。因子分析法は誤差と特殊因子の影響を除去し、 $p$  個の変量(確率変数)  $X_1, X_2, \dots, X_p$  に共通な  $m$  個の因子  $f_1, f_2, \dots, f_m$  ( $m < p$ ) を見い出そうとするものであり、このとき変量  $X$  と共通因子の間には線型な関係があるものとする。上述の関係を行列表示で表わすと、次式で与えられる。

$$\underline{X} = \underline{\mu} + \underline{\Lambda} \underline{f} + \underline{e} \quad (1)$$

ここで、 $\underline{X}$  は  $p$  次の変量ベクトル、 $\underline{\mu}$  は変量  $X$  の  $p$  次の期待値ベクトル、 $\underline{\Lambda}$  は  $(p \times m)$  次の因子負荷行列、 $\underline{f}$  は  $m$  次の共通因子ベクトル、 $\underline{e}$  は  $p$  次の誤差ベクトルである。

因子分析法は式(1)の因子負荷行列を求めることといえ、この行列の要素である因子負荷量を知ることによって  $p$  種の変量を幾つかのグループにわけ、標本特性の簡略化ができる。この因子負荷行列を推定するには多くの方法が提案されているが、本研究はセントロイド法を採用した。セントロイド法は、その近似性および簡便さからよく使用されてきた方法であるが、変量間に潜在する共通因子を推定するためのセントロイド法の規準は因子負荷量を各成分とする  $p$  個の  $m$  次のベクトルを考えたときに、「第1因子軸は  $p$  個のベクトルの重心を通る」ということであり、この規準より第1因子負荷量ベクトル  $\lambda_1$  が次式で与えられる。

$$\underline{\lambda}_1 = \frac{\underline{\Lambda} \underline{\Lambda}' \underline{1}}{(\underline{1}' \underline{\Lambda} \underline{\Lambda}' \underline{1})^{1/2}}, \quad \underline{\Lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1m} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{p1} & \lambda_{p2} & \dots & \lambda_{pm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{\lambda}^{(1)'} \\ \underline{\lambda}^{(2)'} \\ \vdots \\ \underline{\lambda}^{(p)'} \end{pmatrix} \quad \underline{1}' = \underbrace{(1, 1, \dots, 1)}_{p \text{ 個}} \quad (2)$$

$\lambda_i$  を求めるためには  $\Lambda\Lambda'$  を求める必要があるが、セントロイド法では  $\Lambda\Lambda'$  の推定値としては通常、変量  $X$  の標本相関行列の対角要素を対応する各列の要素（対角要素を除く）のうち最大のものと置き換えたものが用いられる。互いに直交する第2因子軸以下についても同様にして求められるが、残差行列  $\Lambda\Lambda' - \sum_{k=0}^{i-1} \lambda_k \lambda_k'$  において負の量が存在していると、第  $i$  因子軸を決定することが困難となるので、すべての行和が正となるように符号変換の操作を行ない、第2因子以下を抽出することになる。第2因子以下の第  $i$  因子負荷量ベクトル  $\lambda_i$  は次式によって与えられる。

$$\lambda_i = (\Lambda\Lambda' - \sum_{k=0}^{i-1} \lambda_k \lambda_k')^{-1/2} [1'(\Lambda\Lambda' - \sum_{k=0}^{i-1} \lambda_k \lambda_k')^{-1}]^{1/2} \quad (3)$$

上述のようにして得られる  $\lambda_i$  を要素とする因子負荷行列  $\Lambda$  は一意的に定まらず、基準軸の回転の規準を設けることによって  $\Lambda$  を推定しなければならない。本研究ではバリマックス法を用いたが、この方法の規準は次式を最大にする回転である。

$$\varphi^* = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \left[ \frac{\lambda_{ij}^{*2}}{\gamma_{ii}} - \left( \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_{ij}^{*2}}{\gamma_{ii}} \right) \right]^2 \quad (4)$$

ここで、 $\lambda_{ij}^*$  は回転後の因子負荷行列  $\Lambda^*$  の  $(i, j)$  要素であり、 $\gamma_{ii}$  は  $\Lambda\Lambda'$  の第  $i$  対角要素で、共通性と呼ばれている。 $\Lambda^*$  は数値間の間隔が  $\Lambda$  に比して拡大されるために、この因子負荷行列  $\Lambda^*$  をもとに降水の地域的分布に対して影響をおよぼす因子の考察、観測所のグループ化が容易となるであろうと思われる。

### 3. 主成分分析による面積雨量の推定

実際の水工計画において、計画の基礎となる水流量は流出系によって降水から変換された流出ハイドログラフであるが、この流出ハイドログラフの予測や推定を行なうためには、流出解析によって流出系の機構解明と同時に降水分布の推定が必要である。そして流出解析における降水の地域的分布の考慮は面積雨量の使用によってなされるが、面積雨量は未知であって、流域内外の雨量観測所から何らかの方法によって推定された値が使用されている現状である。

面積雨量の推定法としては算術平均法、ティーセン法、等雨量線法などがあるが、なかでもティーセン法はその近似性や客観性からみて、しばしば使われる方法である。ティーセン法による面積雨量（流域平均降水量） $\bar{X}$  は次式によって推定される。

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^p a_i X_i, \quad \sum_{i=1}^p a_i = 1 \quad (5)$$

上式における  $X_i$  は各観測所における地点降水量、 $p$  は観測所の数、 $a_i$  は各観測所の支配面積率である。式(5)は各観測所の降水量は支配面積率に対応する領域（ティーセン・ポリゴンと呼ばれる）を代表するものとし、面積雨量は各地点降水量の加重平均として得られることを示している。ティーセン法では式(5)の支配面積率  $a_i$  が観測所相互の平面的位置関係のみによって決定されており、そこには降水の空間的分布特性が考慮されていない。本来、支配面積率  $a_i$  は降水の地域的な分布特性によって変化し、したがって季節などによっても異なることが考えられるから、支配面積率の決定にあたってはこのようなことが考慮されるべきである。

ところで式(5)は主成分分析の基本式

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p = \underline{X}' \underline{b} \quad (6)$$

と同様な型式である。ここで  $b_i$  は第  $i$  変量の重み係数であるが<sup>4)</sup>、主成分分析法は  $p$  個の観測変量  $X$  に線型変換を施して、変量の変動する状態をできるだけ多く説明し得る新しい 1 組の相関のない合成変量  $Y$  を大きい方から順にとり出そうとする方法であるといえる。式(6)の第 1 主成分に対応する  $\underline{b}$  は合成変量  $Y$  の分散を  $\underline{b}'\underline{b}=1$  の条件のもとで最大にするような  $\underline{b}$  として推定される。このような  $\underline{b}$  は次式を満足する。

$$(\Sigma - \lambda I_p)\underline{b} = \underline{0} \quad (7)$$

ここで  $\Sigma$  は変量  $X$  の分散共分散行列であり、 $\lambda$  はラグランジェの未定係数、 $I_p$  は  $p$  次の単位行列である。式(7)の関係より  $\lambda, \underline{b}$  は  $\Sigma$  の固有値、固有ベクトルであることがわかるが、またこのとき主成分  $Y$  の分散  $\sigma^2$  は  $\Sigma$  の最大固有値  $\lambda_1$  に等しいことになる。

さて流域平均降水量は前述したように降水量の地域的分布を表わす 1 つの指標と考えられるから、それは流域内における降水の地域的分布を十分反映したものでなければならない。一方、ティーセン法によって得られる流域平均降水量は各地点降水量の加重平均であるが、その各変量（地点降水量）の重みに対応する支配面積率は経験的な方法によって決定される。しかしながら流域平均降水量は各地点降水量の変動状況をできるだけ多く説明するように決定されるべきであるという規準を考慮し、また式(5)と式(6)が同一形式であることに注目して、式(6)の係数  $b_i$  に対応した支配面積率を求める方がより合理的であると考えられる。つまり  $b_i$  より求められた支配面積率によって、式(5)から得られる流域平均降水量は流域内の地点降水量の変動状態を説明する主要な合成変量としての性格をもつであろう。実際に式(6)の  $b_i$  より支配面積率  $a_i$  を求めるには次のような変換を行なう。

$$a_i = b_i / \sum_{i=1}^p b_i \quad (8)$$

ここで  $\underline{b}$  を計算により求めるには標本分散共分散行列を用い、また式(8)によって与えられる支配面積率  $a_i$  は、次式の関係

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i = t_r(\Sigma) \quad (9)$$

から、最大固有値  $\lambda_1$  の全固有値の和に占める割合（寄与率）が大きい程、降水量の地域的分布の変動を説明するものといえる。

#### 4. 実際河川への適用

前述の多変量解析の手法を用いて実際河川流域における降水の地域的分布に影響をおよぼす因子の推定および観測所のグループ分け、さらには降水の地域的分布と密接な関係にある面積降水量の推定について考察を加えてみた。解析対象流域は第 1 図、第 2 図に示すような位置、面積規模の異なる 3 水系 4 流域であるが、北陸地方の手取川水系鶴来地点（流域面積 745 km<sup>2</sup>）、近畿地方の淀川水系琵琶湖流域（流域面積 3,680 km<sup>2</sup>）、同水系木津川大河原地点（同 1,120 km<sup>2</sup>）、淀川水系と隣接している大和川水系（同 1,070 km<sup>2</sup>）である。図中の各流域ごとの番号は観測所の変量番号、1 点鎖線は流域界、破線はティーセン法における観測所の支配面積境界線を表わすが、各観測所名と変量番号の対応は第 1 表において与えられている。解析に使用した長期間降水量は第 2 表に与えられている期間の各流域内各観測所の月降水量<sup>5)</sup>であるが、手取川水系においては他の 3 流域の期間に近い期間を選んで資料を調べ、短期間降水量は淀川水系の 2 流域における 1917 年から 1959 年までの 22 個の洪水記録における各

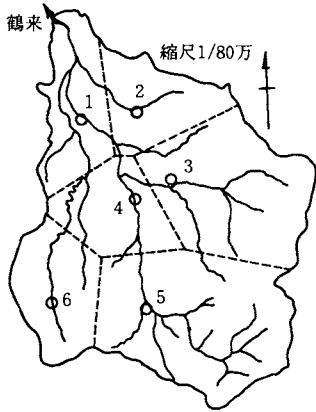


図-1 手取川流域図

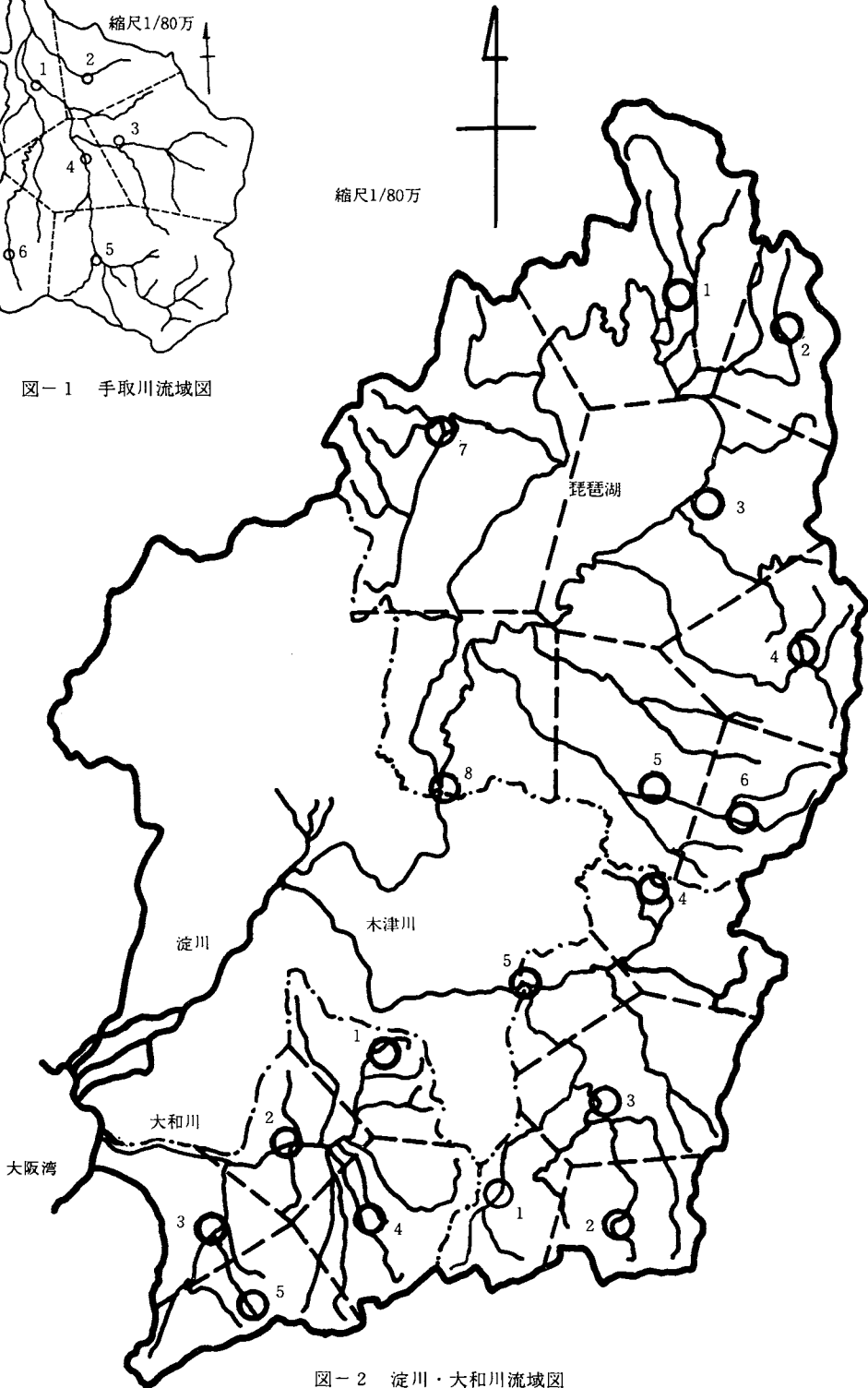


図-2 淀川・大和川流域図

第 1 表 観測所の变量番号

流域 \ 番号	1	2	3	4	5	6	7	8
手取川	鳥越	内尾	中宮	女原	白峰	新保		
琵琶湖	木ノ本	吉規	彦根	政所	水口	土山	市場	大津
木津川	榛原	曾瀬	名張	玉滝	大河原			
大和川	奈良	王寺	富田林	八木	千早			

第 2 表 各流域の資料  
(月降水量) 期間

流域	期間
手取川	1946~1965年
琵琶湖	1942~1966年
木津川	1951~1966年
大和川	1950~1966年

第 3 表 各月ごとの抽出因子数

流域 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
手取川	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	1	1
琵琶湖	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3
木津川	3	2	2	3	2	2	3	2	1	1	1	2
大和川	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

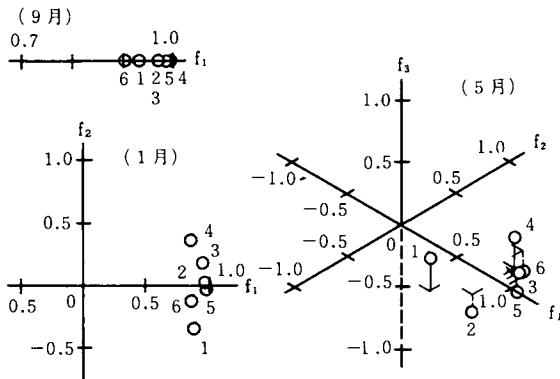


図-3 各観測所の因子負荷量の分布 (手取川)

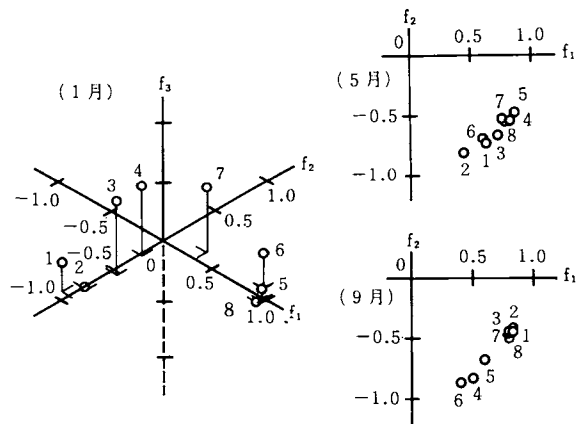


図-4 各観測所の因子負荷量の分布 (琵琶湖)

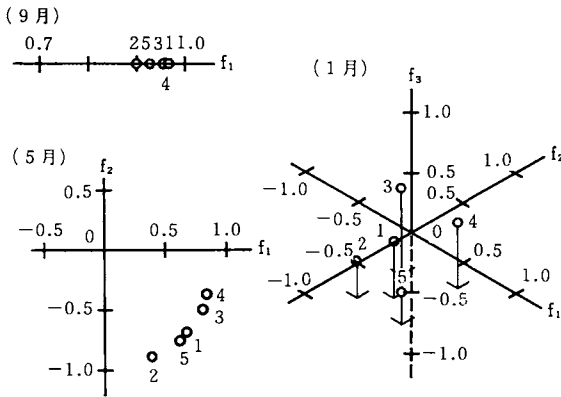


図-5 各観測所の因子負荷量の分布 (木津川)

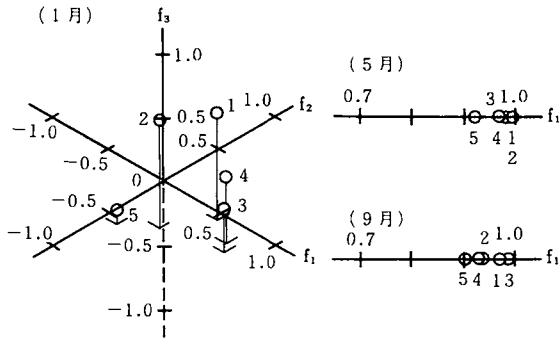


図-6 各観測所の因子負荷量の分布 (大和川)

観測所のそれぞれの洪水時（期間は1～3日）の降水量<sup>6)</sup>である。

(1) 降水因子の推定

解析対象とした資料について、各流域の各月ごとに各地点降水量に影響をおよぼすと考えられる共通因子を抽出した。抽出する因子数は、変数数  $p$  を設けるこの意味のある最大因子数  $m$  との関係式は

$$m \leq \{(2p+1) - \sqrt{8p+1}\} / 2 \tag{10}$$

を考慮して<sup>7)</sup>、最大限3個まで抽出した。このようにして各月の月降水量について各流域ごとの抽出因子数は第3表において与えられるが、また第3図から第6図はこれら因子分析の結果をもとにして得られる因子負荷量の分布を示したものの1例であり、図中の番号は観測所の変数番号、 $f$  は共通因子軸である。これらの結果より、地点降水量の分布に対する要因の影響度は季節によって異なること、また日本海側の河川流域と太平洋側の流域とは異なる様相がみられること、さらに同一地方の河川でも流域面積規模によって差異がみられることなどがわかった。以上のことについて、さらに降水因子の推定、観測所のグループわけについて考察してみよう。

まず月降水量における抽出因子数と降水分布の関係における特徴的な事項は、次のようである。

- i) 各流域とも1～5月の冬・春季の月降水量の分布は2個以上の因子の影響を受け、地域的変動が大きい。
- ii) これに対し、9～11月は1ないし2個の因子が卓越し、比較的地域変動が小さいようである。



iii) 6～8月においては手取川流域, 大和川流域では1因子のみが降水分布に影響しているのに対し, 琵琶湖, 木津川流域では2個以上の因子が降水分布に影響し, 上記2流域に比較して地域的な変動が大きい。

i) の理由については, 冬季における降雪の高度や地形による変化, あるいは春先の気候の不安定による位置や地形による降水量への影響が考えられるであろう。またiii) に関しては, 一般的には夏季は安定な気象状況を考えられるが, 琵琶湖流域のような本州を横断する形での大きな面積規模のところでは, 日本海側の気象特性の地域と太平洋側の気象特性の地域差異の影響が表われてきており, また木津川流域では95%以上の山地部を有するために, 40%近くの平地部がある大和川流域に比して地形変化の影響が降水分布に表われてきているものと考えられる。

次に短期間降水量の洪水時における地域的分布についての解析結果を述べると, 洪水時の降水量分布の因子分析にあたっては, 洪水を原因別に台風性洪水と前線性洪水とにわけ, それぞれ因子の抽出を行なった。この結果, 琵琶湖流域では両者とも3個の因子, 木津川流域では2個の因子が抽出されたが, これらの事実は流域規模の大小によるものと考えられる。第7図と第8図は洪水時の各観測所における因子負荷量分布を示すものであるが, 特徴的なことは台風性洪水では因子負荷量の分布が各因子とも広く分布しているのに対し, 前線性洪水では理由はわからないが, 第1因子軸に集中するグループと第2因子軸に集中するグループとに分離していることである。このことは洪水などの短期間降水量は地域的な変動が大きく, 気象的な因子の他に地形的な因子の影響をうけること, 前線性洪水の場合には, 地域的に降水に影響をおよぼす因子が異なることなどを示しているものといえよう。

さて, それぞれの因子がどのようなものに対応するかという因子の推定は各観測所の因子負荷量の分布から推定されるわけであるが, この因子負荷量の分布は各流域・各季節ごとに大きく異なり, ま

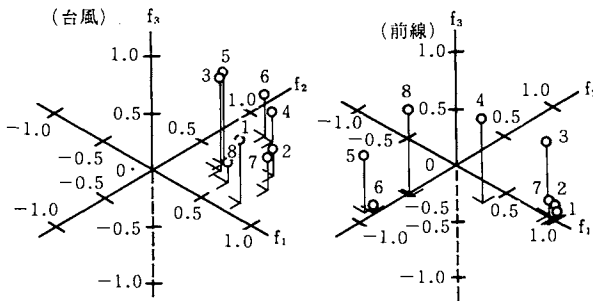


図-7 洪水時の因子負荷量の分布 (琵琶湖)

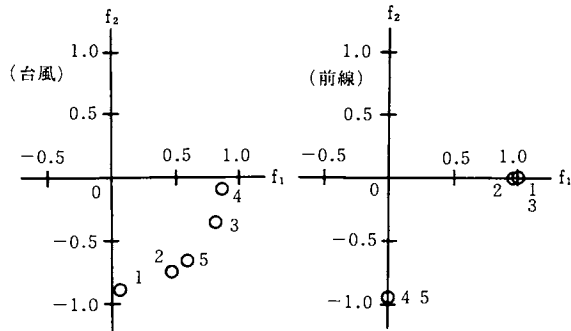


図-8 洪水時の因子負荷量の分布 (木津川)

た流域内観測所の数も少なかったために因子の推定は本研究において十分行なわれなかった。各流域を通じて第1因子のみが抽出された月では各観測所の因子負荷量の大きさは0.9ないしそれ以上の値をとり、そして流域に様に影響する因子とみられるが、平地部の占める割合が35%と大きい大和川流域ではこの現象が顕著であるから、広い範囲に影響のある気象因子と思われる。その他の月においても琵琶湖流域を除いた面積規模の小さい流域では、第1因子は気圧配置などに関する気象因子、第2、第3因子は地形に関する因子とみられ、手取川流域では第2因子には高度の影響、第3因子には観測所の背りょう山脈や斜面の方向などの影響が出ており、木津川流域では第2因子に緯度あるいは南北地域間の差異という地理的な影響が表われているように思われる。一方、大和川流域ではこの関係がほとんどみられないようであるが、これに対して琵琶湖流域の1、2、11月においては第1因子は背りょう山脈や斜面の方向などの総合化された地形因子、第2因子は緯度に関する因子、第3因子は高度に関する因子と思われる。とくに第1因子の因子負荷量の分布は東部地域・西部地域・南部地域のグループにわけられ、また第2因子による因子負荷量も観測所の緯度にしたがって分布している様相が顕著に表われている。琵琶湖流域のその他の月においては、因子負荷量の分布が $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ のグループと他の観測所のグループにわけられ、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ の变量は流域南東部に位置する観測所であることから、第1因子・第2因子はそれぞれ気象因子、地理的位置あるいは背りょう山脈の方向などに関する因子と思われる。

次に観測所のグループ化について因子負荷量に注目して考察すると、これも因子の推定と同様に因子負荷量の分布が月ごとに変化して困難であったが、流域面積に比して観測所の数が少ないために、気象因子が卓越している月を除いては地形的要因その他の影響が観測所ごとに異なり、それぞれ異なった因子負荷量をもつため明確なグループ化が困難になったと考えられる。なお手取川流域においては鳥越( $X_1$ )が他の観測所と大きく異なる性格をもつ一方、中宮( $X_3$ )と女原( $X_4$ )は比較的類似的な性格をもつ観測所といえる。琵琶湖流域では木ノ本( $X_1$ )、吉規( $X_2$ )、彦根( $X_3$ )のグループ、政所( $X_4$ )、水口( $X_5$ )、土山( $X_6$ )のグループがそれぞれ類似点を有するグループといえるようであるが、木津川流域ではこのような傾向を把握することが困難である。さらに大和川流域では春先を除いて第1因子のみが抽出された月がほとんどで因子負荷量がほぼ等しい値をもち、各観測所が地形的要因というよりむしろ気象的因子によって平均化され、類似な性格を表わしているものと思われる。一方、洪水時の場合には台風性の場合には前述したように因子負荷量の分布が各観測所ごとに広い範囲にわたっているが、琵琶湖流域においては彦根( $X_3$ )と水口( $X_5$ )、政所( $X_4$ )と土山( $X_6$ )、吉規( $X_2$ )と市場( $X_7$ )の3つの組み合わせが考えられる。また前線性の場合では各因子負荷量の分布が第1、第2因子軸のどちらかに集中し、グループ化が可能のようであるが、とくに木津川流域では榛原( $X_1$ )、曾禰( $X_2$ )、名張( $X_3$ )と玉滝( $X_4$ )、大河原( $X_5$ )のグループに分離できるようである。

以上、降水分布に影響する因子、観測所のグループ化について考察したが、資料の不十分あるいは観測所数の少ないことなどもあって必ずしも十分な成果が得られたとは限らないけれども、ここで考察されたことは今後の水工計画、とくに降水観測所の配置計画において重要な指針を与えるものであると考えられる。

## (2) 面積雨量の推定

面積雨量(流域平均降水量)を算定するに必要な支配面積率 $a_i$ は主成分分析によって得られる係数ベクトル $\underline{b}$ を用いて(8)から得られることは既に述べたところであるが、この際の主成分に対応する面積雨量が全変量の変動、すなわち地域的な分布をどの程度説明し得るかを示す指標が寄与率である。寄与率が高ければ式(8)の $a_i$ を使って求められる面積降水量は降水分布の地域的な変動をよく表現したものと見えるが、ティーセン法によって得られる面積雨量評価の基準ともなるわけである。第9図

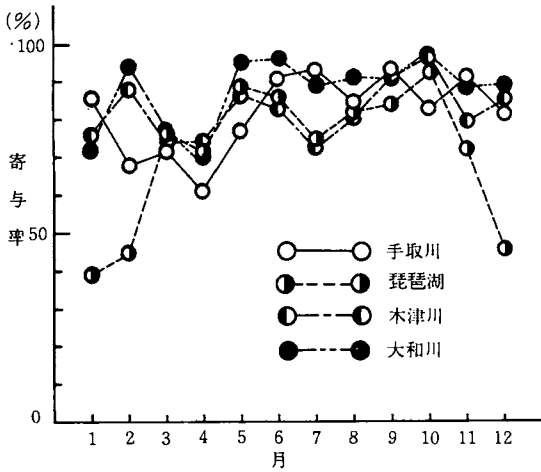


図-9 各流域の第1主成分の寄与率

第4表 洪水原因別の寄与率

流域	洪水の原因	寄与率
琵琶湖	台風	72.5%
	前線	54.7%
木津川	台風	67.6%
	前線	58.4%

は4流域の各月ごとの寄与率の変動を示すものであり、第4表は琵琶湖と木津川の2流域における洪水時の寄与率であるが、琵琶湖の冬期を除いて各流域ともほぼ同じような傾向を示しているが、琵琶湖・木津川の夏季は他の2流域に比較して多少低めであり、70%の寄与率となっている。3月、4月の春季は各流域とも寄与率が低く、因子分析において2因子以上が抽出されたことを考えると、多くの要因が降水分布に影響して地域的な変動が大きくなっているものと思われる。また大和川流域は5月以降90%ないしそれ以上の寄与率を有し単一の要因が降水分布を左右しているものといえるであろう。

次に主成分分析の手法を用いた流域平均降水量と従来のティーセン法による流域平均降水量を比較し、これよりティーセン法の信頼度について考察を加えてみると、第10図から第13図は主成分分析で得られた支配面積率を用いて算定された流域平均降水量と、従来のティーセン法によって得られた流域平均降水量の差の前者に対する割合を示しているが、図中の  $X_T$  はティーセン法による流域平

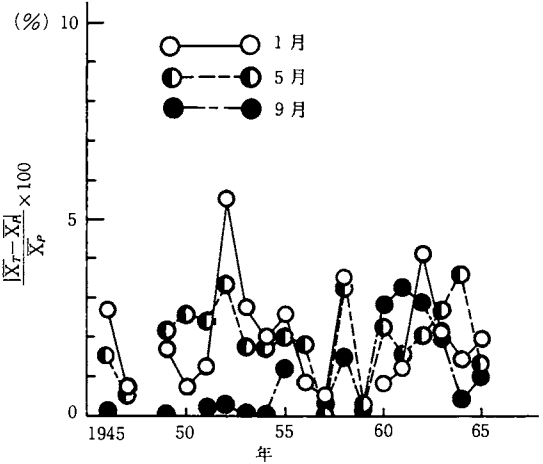


図-10 各年ごとのティーセン法と主成分分析法による面積雨量の差の比率(手取川)

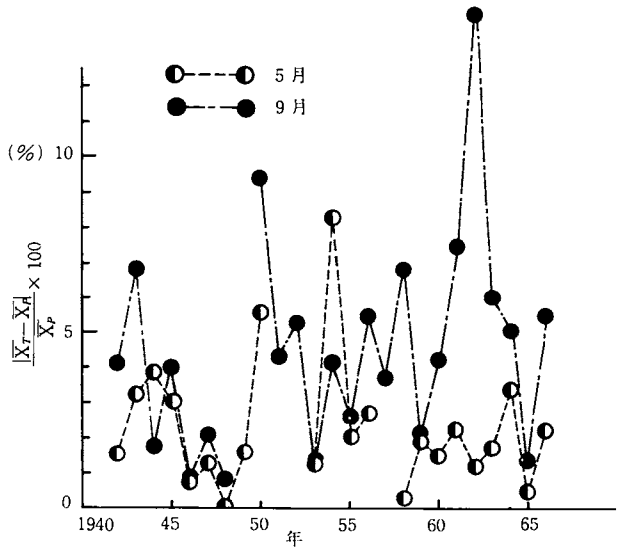


図-11 各年ごとのティーセン法と主成分分析法による面積雨量の差の比率(琵琶湖)

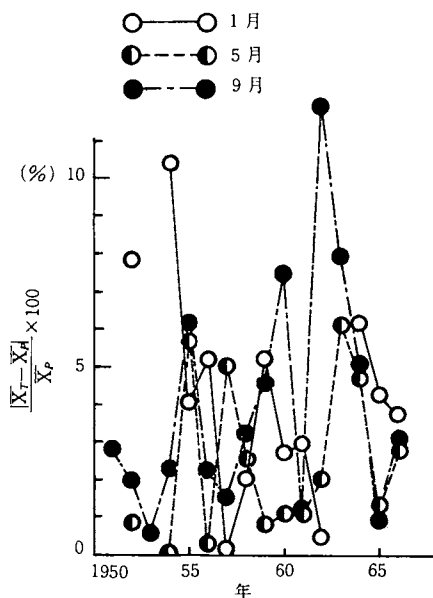


図-12 各年ごとのティーセン法と主成分分析法による面積雨量の差の比率（木津川）

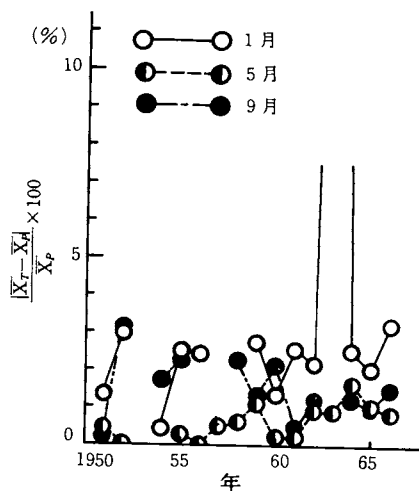


図-13 各年ごとのティーセン法と主成分分析法による面積雨量の差の比率（大和川）

均降水量,  $\bar{X}_p$  は主成分分析を用いた流域平均降水量である。これらの結果より主成分寄与率の高い月程両者の差は小さいが、このことは広範囲に影響をおよぼす安定した要因が比較的一様な降水分布をもたらすことによるものであろうと考えられる。これに対して寄与率の小さい程両者の差は大きい、とくに琵琶湖は冬季の寄与率が0.5以下と小さく、地域的な変動が大きいとため両者の差は総体的に大きく数10%におよんでおり、このため第11図の琵琶湖流域の1月は除外してある。これに対して大和川では1月を除いて両者の差が5%以内と小さく、従来のティーセン法の精度を裏付けているのであるが、これは比較的面積が小さく、また地形的変化も少なく全体として地域的な変動が少ないことによるものであろうと思われる。他の流域においても寄与率が80%を越えている月では大部分の年で両者の差は10%以内におさまっており、手取川流域では5%以内の年が大部分である。以上のことから考えても、一部の降水分布の変動が激しい月を除外すればティーセン法はかなりの精度をもっているものといえるように思われる。

一方、短期間降水量について考察すれば、木津川における前線性の1年間の記録を除いた大部分の年で両者の差は10%以内におさまっているが、これら主成分の寄与率は50~70%であるので洪水時においてはティーセン法の精度が高いとはいえないように思われる。しかし長期・短期間降水量を通じて地域変動を考慮した主成分分析によって得られる面積雨量も寄与率が小さいときは主成分自体が全変量の変動を説明するには不十分であり、したがって降水の地域的な変動が大きいときの面積雨量の推定に問題が残る、これを考慮した方法の開発がさらに必要となるであろう。

## 5. お わ り に

降水の地域的分布を推定し、計画の基本量としての面積降水量を正確に把握することは水工計画においてはとくに重要な課題である。しかしながら、わが国河川における雨量観測所は数が少なく、また地域的にも偏在しており、観測期間も短かったりして量的にも質的にも不十分であるといわなければならない。このような現状に対して降水分布の特性を考慮した雨量観測所の配置計画が必要であろうし、さらに与えられた雨量観測所から空間的な変動特性を考慮した面積雨量の推定が必要であろう。

本研究は以上のような観点から多変量解析の手法を用い、観測所の配置計画において有力な手がかりとなる降水因子の推定および観測所のグループ化、さらに面積雨量の推定などについて考察したものである。その結果、季節や面積規模などによる降水分布の特性が明らかとなり、観測所のグループ化も不可能ではないことがわかった。一方、従来よく使用されて来たティーセン法による面積雨量は一部の例を除いては満足し得る信頼度を有することもわかったが、面積雨量のより合理的な推定を行なうためには、空間的な変動特性をも考慮したこのようなとり扱いが必要であろうと思われる。

最後に本研究を進めるにあたって御協力願った当時学生の高木光男（東京都庁）君に対して、深甚の謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 星清, 風間享: 降水量の流域特性とシュミレーションについて, 第 27 回土木学会年次講演会概要集, 1972.
- 2) 星清, 千葉和幸: 流域平均雨量の算定に関する一考察, 第 29 回土木学会年次講演会概要集, 1974.
- 3) 井口晴弘: 多変量解析とコンピュータープログラム, 日刊工業新聞社, 1972.
- 4) 前出 3)
- 5) 経済企画庁総合開発局: 淀川・大和川・紀の川水系調査書, 1970.
- 6) 淀川・大和川洪水予報連絡会: 淀川・大和川の洪水, 1960.
- 7) 芝祐順: 因子分析法, 東京大学出版会, 1972.

(昭和52年9月20日受理)