

II-61 日降水量系列のシミュレーションに関する研究

京都大学工学部 正 員 石原藤次郎

京都大学大学院 学生員 ○北 沢 周 一

1. はしがき

水資源計画における長期間の流出シミュレーション・モデルの確立には、その供給源である降水のシミュレーションが必要である。本研究は、日降水量系列を日降水量と降水間隔日数の2変量独立系列としてシミュレートする方法を提案するとともに、その方法を京都地方へ適用し、考察したものである。

2. 2変量独立系列としての日降水量系列

従来の有効な日降水量シミュレーション・モデルとしては、角屋・犬達の方法¹⁾と室田・端野の方法²⁾があげられる。日降水量系列における連続的な零降水事象を再現するため、前者では晴天日蒸発量を負の降水として系列内に導入しており、後者では日降水量・降水日数および降水間隔日数の3変量を導入している。本文は後者の立場に近いが、日降水量系列における降水間隔日数の指数分布性と降水日数のポアソン分布性が等価であること、および待ち合め理論の概念を導入した流出解析法を展開する際、入力としての日降水量系列が集団到着現象とみなしうることを考慮して、日降水量系列を日降水量および降水間隔日数の2変量独立系列として展開した。すなわち、日降水量系列を日降水量系列 $R(i)$ と降水間隔日数系列 $D(i)$ の連続系列 $\{R(i), D(i)\}$ で表現して、1) $\{R(i), D(i)\}$ 系列は相互に独立であって共通の同時確率密度関数をもち、2) さらに、 R と D は独立である、という2つの仮定を設けることにより、 R と D の2変量独立系列として表現した。なお、 R は連続変量であるが、降水間隔日数と同様、正の整数値で表現するため、 $k-0.5 \leq R < k+0.5$ ($k \geq 1$) の範囲では $R=k$ とし、 $R < 0.5$ では $R=0$ として無降水事象の取扱いをした。つぎに、これらの仮定の検定には、 R 、 D それぞれの系列内での独立性および R 、 D 系列相互の独立性を検定すれば十分であるから、前者については単純相関係数の尤分布検定を、後者についてはR. L. Andersonの巡回式系列相関係数の有意性検定を採用した。

3. 降水母集団の層別化と分布曲線のあてはめ

上記の検定法により独立性が採択されたならば、つぎに、 R および D の確率分布特性を推定しよう。まず、これらの変量が共通の確率分布特性をもつと考える期間、すなわち降水母集団の層別化をはかるなければならないが、これには無相関に関する χ^2 検定を拡張した分布間の一様性検定により、 R 、 D ともに同一とみなしうる期間分割を月相互間で見出し、それによって一年をいくつかの降水母集団に層別化した。

つぎに、これらの降水母集団ごとに R および D の確率分布曲線を推定するのであるが、一般に、両分布とも指数型の分布に従うことが考えられるので、片対数紙上に観測度数の超過確率をプロットすると直線形状が得られる。いま、その直線形状に最小二乗法を適用すると、近似的に指数型分布曲線のあてはめができて、そのとき超過確率 $P_e(k)$ は、

$$P_e(k) = \text{EXP}(\hat{\alpha} \cdot k + \hat{\beta}) \quad (k \geq 1) \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ は最小二乗法から決定される最確値である。なお、標本から得られた超過確率分布曲線が一本の直線で近似できない場合には部分近似をおこなった。

4. 降水シミュレーションの手順

以上を統合すると降水をシミュレートすることができ、その手順をフローチャートで示すと図-1, より具体的には図-2で与えられる。

5. 京都地方への適用と考察

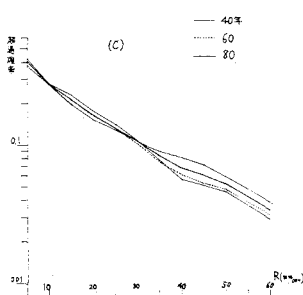
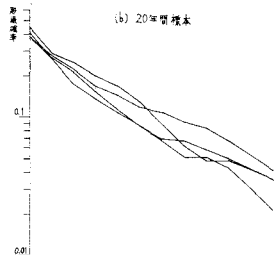
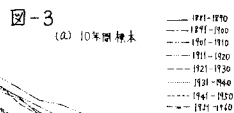
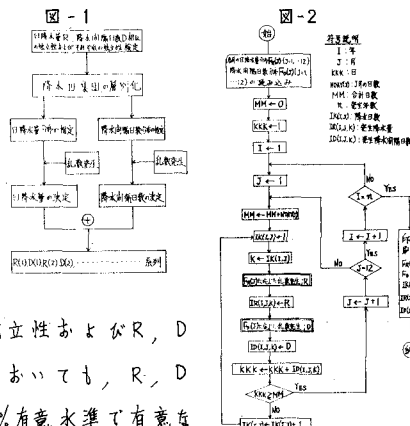
解析に用いた降水標本は京都気象台の1881~1960年の80年間の日降水標本である。a) 独立性の検定 まず、検定の基本単位として月を選ば、R, D それぞれの系列内での独立性およびR, D

相互の独立性を検定した結果、前者についてはいずれの月においても、R, D とともに80年間で1~9年に、後者についてはわずか1~5年に5%有意水準で有意な相関が認められる程度であった。したがって、以下においては筆者らの仮定が成立するとして議論、考察を進めた。b) 度数の安定性 さて、観測標本から得られる経験分布にもとづいてシミュレーションをおこなう際、よく問題になるのが度数の安定性である。検定結果によりRおよびD標本がそれぞれランダム標本であることが認められたので、標本数の増加にともなう両分布とも安定してくることが予想される。図-3はR

の標本数の増加にともなう変化を8月を例に示したものである。10年間の標本では非常に不安定であり、20年になると幾分、安定してくる。40年以上になると、もっとも不安定な8月においても全標本すなわち80年間のものとはほとんどかみ合わない結果を示している。こうした傾向はDについても同様であり、したがって、経験分布にもとづいてシミュレーションをおこなう場合には、少なくとも40~50年の観測標本にもとづいて解析を進めるべきである。降水に関しては40~50年の観測期間をもつ観測所は多く、また電子計算機の発展はこうしたばう大な資料の処理を迅速、容易にしており、40~50年という年数は解析を困難にするものではなく、実際現象に適合するためには不可欠な年数といえよう。

c) 降水母集団の層別化と分布曲線のあてはめ つぎに、1921~1960年の40年間の標本について、各月相互間で一様性検定をおこない、R, D両者が一様とみなせる期間に層別化した。その結果は、I; 12, 1, 2月, II; 3月, III; 4, 5月, IV; 6, 7月, V; 8月, VI; 9月, VII; 10, 11月の7期であり、(有意水準5%) I期は冬の降雪期, II期は春型への移行期, III期は

春型, IV期は梅雨期, V期は雷雨, 台風による強雨はあるが、一般に晴天の多い乾燥期, VI期は台風期, VII期は秋型の少雨期に相当しよう。つぎに、これらの層別化された期間ごとに、RおよびDの分布曲線を推定した。いずれも片対数紙上で直線形状を示し、両分布とも指数型に近い分布をしているこ



とが認められたので、最小二乗法により(1)式の定数 $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ を推定した。表-1はその結果を示したものであり、Rについては一本の直線では適合度が悪いの

表-1

	I	II	III	IV	V	VI	VII											
	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日											
日降水量	$\hat{\alpha}$	-0.119	-0.116	-0.082	-0.067	-0.072	-0.050	-0.028	-0.104	-0.067								
日降水量	$\hat{\beta}$	-0.916	-0.893	-0.762	-1.998	-0.371	-0.417	-0.324	-0.550	-1.195	-0.449	-0.661	-1.224	-0.410	-0.577	-1.212	-0.610	-0.816
日降水量		15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日
日降水量	$\hat{\alpha}$	-0.478	-0.595	-0.485	-0.459	-0.384	-0.632	-0.435	-0.478	-0.476	-0.365	-0.653	-0.490	-0.467	-0.575	-0.478	-0.476	-0.365
日降水量	$\hat{\beta}$	-0.478	-0.476	-0.365	-0.653	-0.490	-0.467	-0.575	-0.478	-0.476	-0.365	-0.653	-0.490	-0.467	-0.575	-0.478	-0.476	-0.365

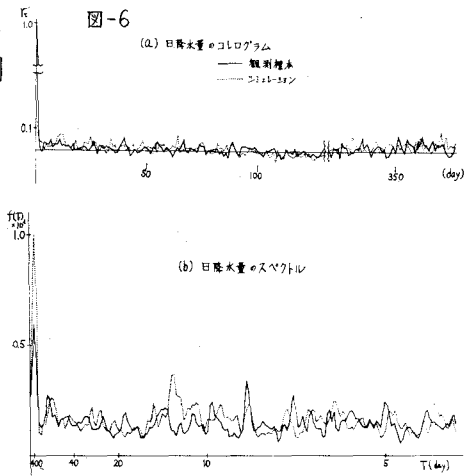
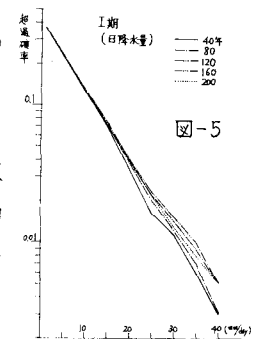
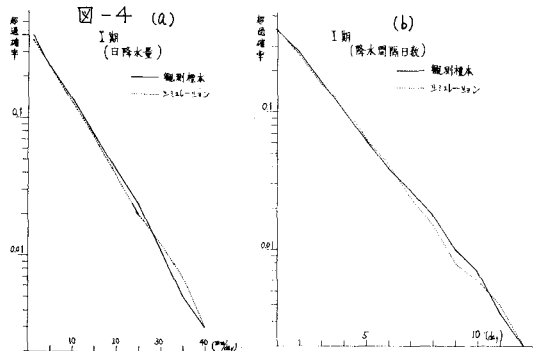
で部分近似によるあてはめをおこなっている。

d) 観測標本とシミュレーション結果との比較検討
表-1の分布曲線に依りて図-2の手順で乱数を発生させていくと、日降水量系列がシミュレートできる。そこで、モデルの有効性をシミュレートされた日降水量系列がもとの観測標本系列をうまく再現しているかどうかによって論じよう。1) RおよびD系列の再現性

図-4は80年シミュレーションと80年観測標本とを比較した一例であり、両者はよく一致している。

また、図-5はシミュレーション年数に依りて、その出現確率がどのように変化するかを示したものであるが、年数による変化はほとんどみられない。これらの結果は、度数が安定する期間以上では標本から導かれた分布曲線に依りて乱数発生をおこなうと、シミュレーション年数をいくつでも増すことができ、しかも、それらシミュレーション結果も有効であることを意味している。つぎに、シミュレートされたRとD系列を合成して日降水量系列とし、その系列のコレログラムおよびスペクトルとものと観測標本系列のそれとを比較、考察した。2) コレログラムおよびスペクトル

図-6は日単位でのコレログラムおよびスペクトルを
観測標本、シミュレーション結果両者について求めた一例である。両者とも同じ形態を示しており、卓越するランダム成分のほかに弱い一年周期成分が認められる。ただ、コレログラムにおける $\tau=1$ での値 γ_1 が標本系列に若干大きくでており、マルコフ性が再現されないとも考えられるが、その値自身も有意な値とはいわがたく、このモデルで十分に日降水系列が再現されていると判断してもよからう。つぎに、旬降水量および月降水量に関して同様にコレログラムおよびスペクトルを求め、比較したものが図-7, 8である。観測時間単位が日、旬、月と長くなるにつれて一年周期性の卓越度が増してき、シミュレーション結果もそうした特性を十分に再現している。ただ、スペクトルをみると、その卓越度はシミュレーション結果に若干大きくでており、観測標本に長期変動特性が内蔵しているとも考えられるが、その相違はあまり大きくなく、このモデルの大きな



問題点とはならないだろう。

3) 平均値および標準偏差曲

線 図-9, 10は80年シミュ

レーション結果と80年観測

標本とから、旬、月降水量

を算出し、それらの平均値

および標準偏差曲線を示したものであ

る。6, 7月すなわちIV期において

は前者の差が大きいが、他の月においては

平均値、標準偏差ともほぼ同じ値をと

っており、十分再現性があるとみなし

てもよさそう。

以上、シミュレーション結果と原観

測標本系列とを比較・検討したが、い

ずれにおいてもシミュレーションは原

系列の特性を十分に再現しており、こ

の意味では有効なシミュレーション・

モデルといえるよう。

6. 結語

最後に得られた結果を要約すると、1) 標本からの経験分布

にもとづいてシミュレートする場合、度数の安定性をうるため、

少なくとも40~50年の観測標本が必要である。2) 降水形態

には季節特性があり、降水母集団をいくつかの部分母集団

に層別化する必要がある。3) 度数が安定する期間以上では、

シミュレーション年数をいくつでも増やすことができ、しかも

それらシミュレーション結果も良好である。長期間の水資源

計画においてはシミュレーション年数は多いほど有効である

が、以後の情報処理を考えると200年程度で十分であろう。4) 観測標本と

シミュレーション結果をコロログラムおよびスペクトルで比較すると、

両者は日、旬、月単位いずれにおいてもよく一致しており、度数ばかり

でなく、時間的な出現性においても十分再現性がある。5) 独立性の検定

には正規母集団から導かれた検定法が近似的に適用できるとして用い

たが、厳密には χ^2 変量指数分布母集団の検定論によるねばならず、その

確立が緊要である。今後は、5)の問題点を解明していくとともに、本シ

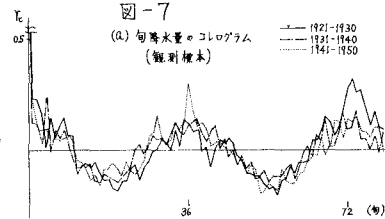
ミュレーション・モデルを流況シミュレーションモデルにまで高めていきたい。

参考文献 1) 角尾・大達：日雨量系列の模擬発生と内水排除計画への適用、土木学会第4回年次学術講演会講演概要、I-41, 昭44.9

2) 室田・端野：土砂輸送に関連するモデル降雨の設定について、昭43年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、I-33, 昭43.5

図-7

(a) 旬降水量のコロログラム
(観測標本)



(b) 旬降水量のコロログラム
(シミュレーション)

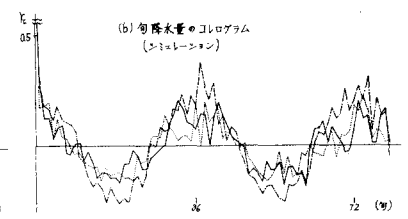
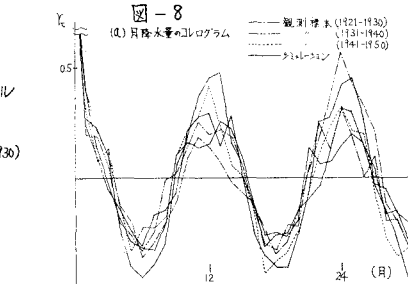
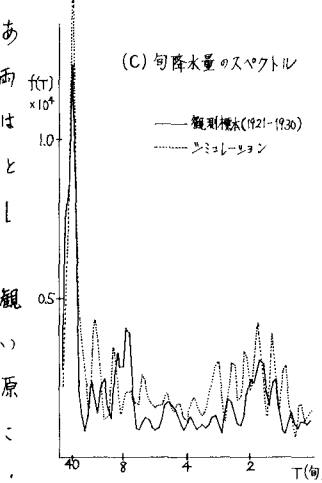


図-8

(a) 月降水量のコロログラム
(観測標本)



(c) 旬降水量のスペクトル



(b) 月降水量のスペクトル

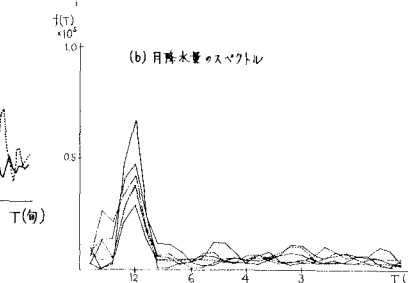


図-9

(a) 旬降水量

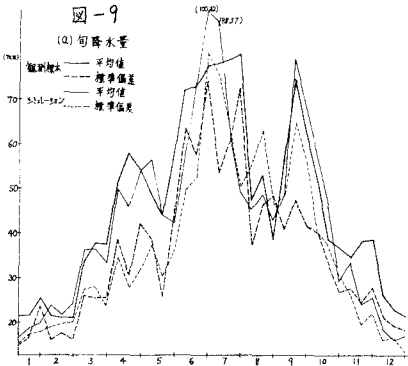


図-10

(b) 月降水量

