

時間降雨時系列のシミュレーションに関する研究

藤原 輝男*・久井 守*・安平 幸治**

A Study on the Simulation of Hourly Precipitation Series

Teruo FUJIWARA, Mamoru HISAI and Koji YASUHIRA

Abstract

In the calculation of R value included in the universal soil loss equation, the data of hourly precipitation is needed, and more accurate R values will be obtained by the analysis using the long term precipitation data.

Most of the meteorological observatories in Japan do not have sufficiently long records of hourly precipitation to obtain accurate R values.

There is some research on the simulation of daily precipitation, but very little on hourly precipitation, and the objective of this paper is put the emphasis on the simulation of hourly precipitation.

The authors found the initial probability, transision probability of hourly precipitation and the number of consecutive dry days by using the hourly precipitation data for 30 years from the Simonoseki Local Meteorological Observatory, and then tried the generation of hourly precipitation data dependent on the assumption of time-independent process and autoregressive process.

We obtained good simulated hourly precipitation of the natural rainfall in the months, like Feburuary, with less rainfall.

1. 緒 言

近年、降雨による土壌侵食問題が提起され、有効な対策を講ずる必要に迫られている。そのためには土壌侵食の誘因である降雨の諸特性を知り、土壌侵食量を予測する必要がある。

すでに Wischmeier と Smith は土壌侵食流亡土量予測式 (Universal Soil Loss Equation)¹⁾ を提案しており、この式を用いて現在多くの地域で土壌侵食量の予測が行なわれている。この予測式の中には5つの因子が含まれており、それらの因子のうち降雨因子 (R値) の推定には1時間降雨量が必要であり、また、平均的なR値の推定にはできるだけ長期間の時間降雨量のデータを必要とするが、一般にわが国の1時間降雨量のデータは観測期間が短いため時間降雨量の推定が必要となっている。一方、降雨現象は時間的に著しく不規則に変化するためその法則性を見出すことが困難で

あり、現在日雨量の予測は数多く行なわれているものの時間降雨量の予測はほとんど行なわれていない状態である。^{2)~7)}

本論文では、下関地方気象台における約30年間の降雨観測記録から、まず無降雨継続日数、時間降雨発生初期確率および推移確率、自己相関係数など降雨の諸特性を月別に求め、これらを用いて降雨のシミュレーションを行なった。なお、シミュレーションモデルは独立過程および自己回帰過程⁸⁾の2つの仮定に基づいて作成し、このシミュレーションによって得られた時間降雨量のデータと実際の降雨量を比較するため、月別に時間降雨量と日雨量の平均、分散およびその累積分布を求め、シミュレーションの再現性を検討した。また、特に本報では2月、7月の場合を代表例として比較検討を行なった。

2. 下関降雨データの解析

わが国の複雑な降雨現象をシミュレーションで再現するため、降雨データの諸特性を調べる必要がある。そこで、まず下関地方気象台における1956~83年の28

*土木工学科

**大学院土木工学専攻

年間の降雨データを月別に解析した。

2.1 下関降雨データの予備処理

下関地方気象台の降雨データは、1967年までは時間雨量を0.1mm単位で、それ以後は0.5mm単位でそれぞれ記録されているため、解析上これを0.5mm単位に統一する必要があった。そこで、降雨日ごとに各時刻の時間雨量のうち0.5mm未満の端数の雨量部分（例えば、時間雨量が1.7mmの場合0.2mm）を逐次加算し、これが0.5mm以上となった時その時刻の時間雨量に0.5mmを加え、24時の時刻での端数は切り捨て翌日の雨量には持ち越さないという方法で降雨データの予備処理を行なった。

2.2 下関の降雨特性

下関の降雨データを加工して、シミュレーションに必要な無降雨継続日数の累積分布 (Fig. 1), 任意時刻 T ($T=1, 2, \dots, 24$) に降雨が生起する確率 (初期確率) (Fig. 2), 任意時刻 $T-1$ に降雨がありかつ時刻 T にも降雨が継続する確率 (推移確率) (Fig. 3) を月別に求めた。時間雨量 X (mm) は一般に次式に示すガンマ分布に従うとされている。

$$f(X) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta X} \quad (1)$$

ここで、

- X : 時間雨量 (mm)
- α : 形状母数
- β : 尺度母数

そこで、下関のデータよりガンマ分布の形状母数、尺度母数を月別に求め参考のためTable 1に示した。

3. シミュレーションによる降雨量時系列の発生

Fig. 4に示すシミュレーション全体のフローチャートに従って、まずFig. 1の無降雨継続日数の実績分布と一様乱数の比較から降雨日を決定し、さらに決定された降雨日についてFig. 2およびFig. 3の初期確率、推移確率より降雨発生時刻と降雨継続時間を求める。

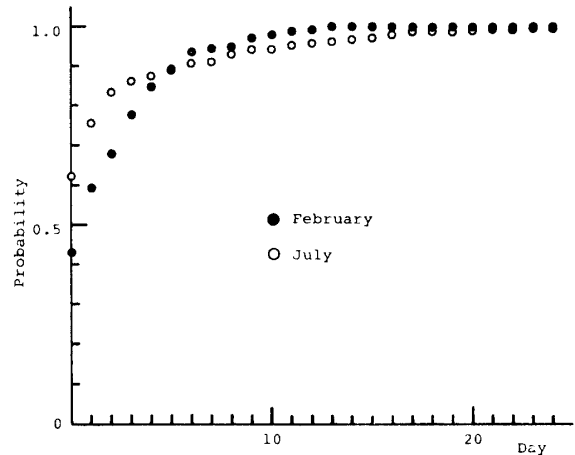


Fig. 1 Accumulated distribution of the number of consecutive dry days.

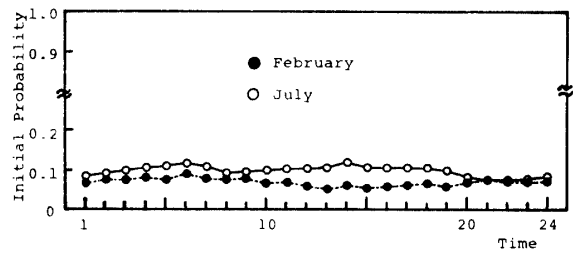


Fig. 2 Initial probability in February and July.

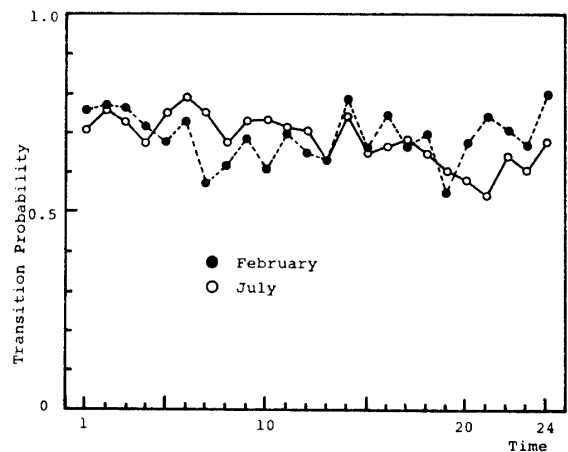
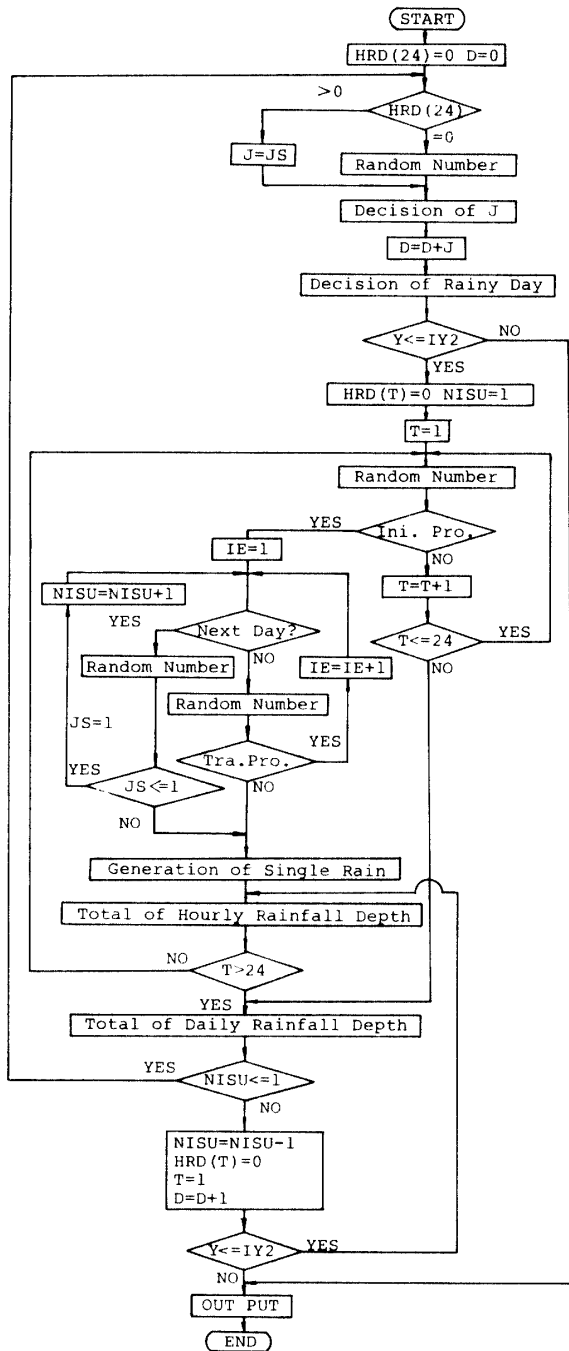


Fig. 3 Transition probability in February and July.

Table 1 Shape parameter α and scale parameter β of Gumma distribution obtained from the data of hourly precipitation. (28 Years; Shimonoseki Local Meteorological Observatory)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Shape parameter α	1.2082	0.9564	0.9187	0.6862	0.7445	0.5287	0.5310	0.4699	0.4736	0.6336	0.7720	0.8638
Scale parameter β	0.0933	0.0713	0.0584	0.0337	0.0346	0.0182	0.0137	0.0137	0.0170	0.0299	0.0452	0.0568

なお、時間雨量の発生は次に示す独立過程および自己回帰過程の2通りの方法により行った。



HRD : Hourly Rainfall Depth
 D : Date of Rain
 NISU : Number of Consecutive Rainy Days
 T : Time of Day
 IE : Duration Time
 J, JS : Number of Consecutive Dry Days
 Ini. Pro.: Initial Probability
 Tra. Pro.: Transition Probability

Fig. 4 Flow chart of Simulation

3.1 独立過程によるシミュレーション

任意時刻 T における時間雨量 X_T と時刻 $T+1$ の時間

雨量 X_{T+1} が互いに独立であり相関がないと仮定し、各時刻の時間雨量をそれぞれ独立に実績分布に従うように発生させる。日雨量は1日ごとに時間雨量を合計して求める。この手法により発生させた降雨量データから月別に時間雨量、日雨量の平均および分散を求め Table 2, Table 3に示した。

3.2 自己回帰過程によるシミュレーション

次に、時間雨量に自己相関があると仮定し、降雨の降り始めから降りおさめまでを一雨降雨⁵⁾と考え次の(2)式により月別の自己相関係数 (Fig. 5) を求めた。これを用いて自己回帰過程としてシミュレーションを行なった。

$$\rho_X = \frac{1}{n-1} \sum_{T=1}^n (X_T - \bar{X})(X_{T+1} - \bar{X}) / \sigma_X^2 \quad (2)$$

ここで、

- ρ_X : 自己相関係数
- X_T : 時間雨量 (mm)
- \bar{X} : 時間雨量の平均 (mm)
- σ_X^2 : 時間雨量の分散

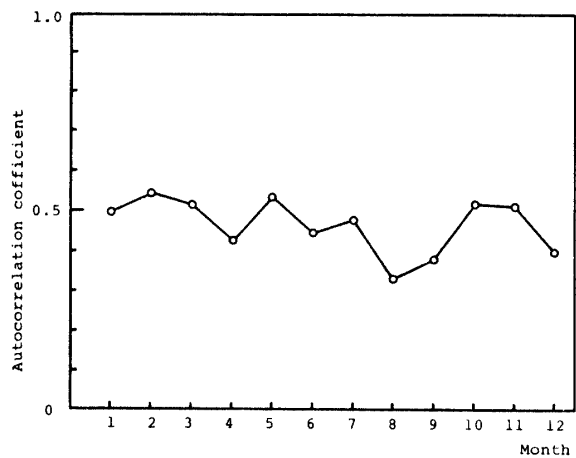


Fig. 5 Autocorrelation coefficient of each month.

3.2.1 一雨降雨の発生

下関地方気象台のデータを解析した結果、一雨降雨の中でも1時間降雨(降雨継続時間が1時間以下である降雨)は、一般に2時間以上の降雨に比べて雨量が小さい。また、一雨降雨の降り始め時刻の時間雨量および降りおさめ時刻の時間雨量は、その両者間の時刻の雨量に比べて小さい。従って、まず下関データを用いて月別に1時間降雨、降り始めおよび降りおさめ時刻の時間雨量の累積分布をそれぞれ求め、Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8に示した。

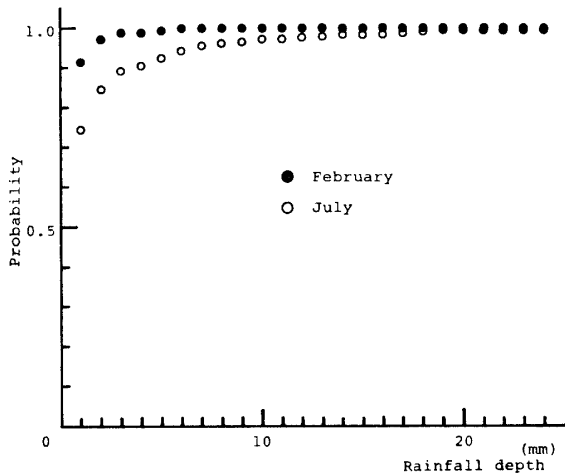


Fig. 6 Accumulated distribution of 1 hour rainfall depth in February and July.

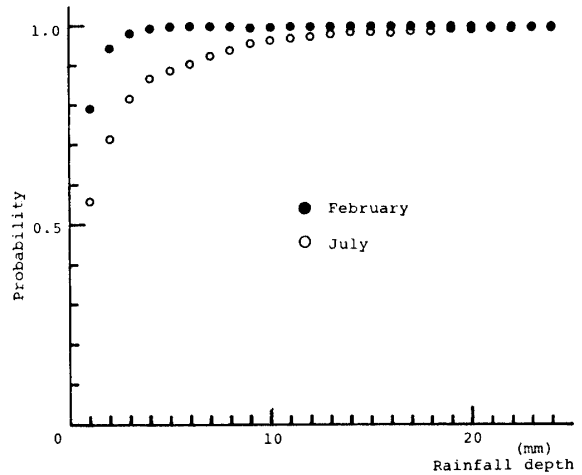


Fig. 8 Accumulated distribution of final hour rainfall depth in February and July.

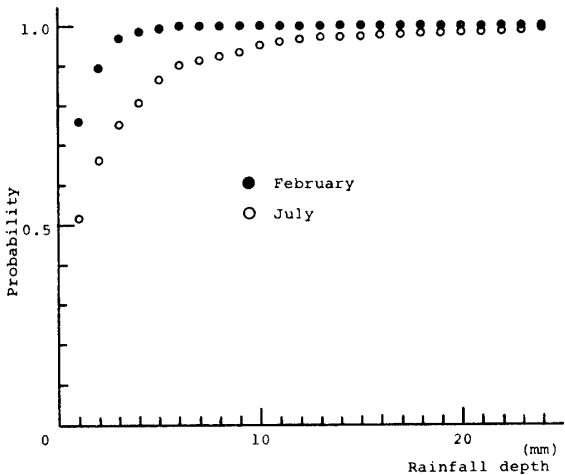


Fig. 7 Accumulated distribution of initial hour rainfall depth in February and July.

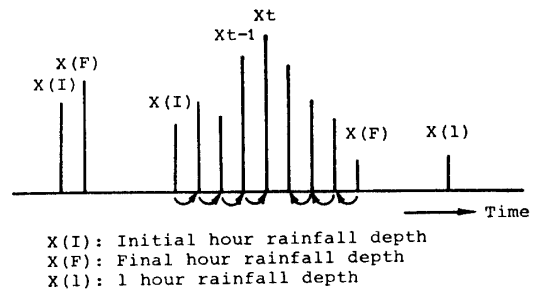


Fig. 9 Illustration of an autoregression model

1 時間降雨に関する時間雨量の実績分布と一様乱数の比較から時間雨量を発生させた。

(2) 2 時間降雨の発生

降り始め雨量の実績分布および降りおさめ雨量の実績分布と一様乱数の比較から、降り始め雨量および降りおさめ雨量を発生させた。

(3) 3 時間以上降雨の発生

STEP 1: 一雨降雨の継続時間を中間点 (例えば、9 時間継続降雨の場合は前半 5 時間、後半 4 時間) で分けた。

STEP 2: (2) と同様にして降り始めの時間雨量および降りおさめの時間雨量を発生させた。

STEP 3: 前半の降雨については降り始めの時間雨量から Fig. 5 に示す自己相関係数を用い次式により中間点まで逐次時間雨量を発生させた⁸⁾。(Fig. 9 参照)。

一雨降雨の発生に際してはこれら 3 種類の時間雨量の実績分布を用いて

- 1) 1 時間降雨
- 2) 2 時間降雨
- 3) 3 時間以上降雨

の 3 種類に分け、自己回帰過程に基づくシミュレーション (Fig. 9) により以下の手順で時間雨量を発生させた。

- (1) 1 時間降雨の発生

$$X_T = \bar{X} + \rho_X(X_{T-1} - \bar{X}) + \xi_i \cdot \sigma_X \sqrt{1 - \rho_X^2} \quad (3)$$

$$\xi_i = \frac{2}{\beta_\xi} \left(1 + \frac{\beta_\xi \cdot t_i}{6} - \frac{\beta_\xi^2}{36} \right)^3 - \frac{2}{\beta_\xi} \quad (4)$$

$$\beta_\xi = \frac{1 - \beta_X^3}{(1 - \rho_X^2)^{3/2} \beta_X} \quad (5)$$

$$\beta_X = m_3 / \sigma_X^3 \quad (6)$$

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{T=1}^n X_T^3 - 3\bar{X} \frac{1}{n} \sum_{T=1}^n X_T^2 + 2\bar{X}^3 \quad (7)$$

ここで、
 t_i : 独立な標準正規変量
 β_ξ : ξ のひずみ係数
 β_X : X のひずみ係数
 m_3 : 平均値のまわりの積率

STEP 4: 後半の降雨については降りおさめの時間雨量を基にして、STEP 3と同様に中間点まで逆向きに逐次発生させた (Fig. 9参照).

以上のようにして発生させた時間雨量から、月別の時間雨量および日雨量の平均、分散を求めTable 2, Table 3に示した.

4. 検 討

独立過程および自己回帰過程により発生させた時間降雨量時系列から時間雨量の累積分布および日雨量の累積分布を求め、その中から代表的に、雨量の少ない2月と雨量の多い7月を選び、Fig. 10 (a), (b), Fig. 11 (a), (b)に示した。なお、比較のため下関地方気象台の降水データから求めた時間雨量、日雨量の実績分布を同図中に白丸印で示した

Table 2, Fig. 10 (a), (b)より、時間雨量に関しては独立過程、自己回帰過程の平均、分散、分布のいずれも実際の降雨とよく一致している。

Table 3は日雨量の平均、分散を示したものであるが、平均は独立過程、自己回帰過程とも実際の降雨量とほぼ一致している。しかし、分散は独立過程では相当少なく算出されており、自己回帰過程では独立過程の場合より改善されているものの、いずれの月も実績に比べてなお少なく算出されている。

Fig. 11 (a), (b)をみると、独立過程による結果は、2月、7月ともに実績分布との一致度が良くない。これに対して、自己回帰過程による結果ではかなり改善されており、特に比較的降雨量の少ない2月は実績

Table 2 Mean and variance values for 28 years of observed and simulated hourly rainfall depth for each month. (Shimonoseki Local Meteorological Observatory) (1/10 mm)

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Observed	Mean	13.0	13.4	15.7	20.4	21.5	29.0	38.7	34.2	27.8	21.2	17.0	13.1
	Variance	138.9	187.9	269.0	604.7	621.2	1595.9	2827.2	2491.0	1632.8	710.1	375.9	199.7
Simulated data by independent process	Mean	15.5	16.3	18.4	22.6	24.7	30.5	37.3	34.8	28.7	21.9	18.7	16.0
	Variance	123.4	194.4	261.5	517.4	594.3	1309.1	1907.0	1914.2	1171.6	586.0	316.5	206.2
Simulated data by autoregressive process	Mean	12.5	12.6	16.4	19.4	20.6	26.7	39.7	34.0	27.6	18.9	16.8	12.3
	Variance	98.7	125.3	334.5	537.7	595.5	1216.6	2540.2	2108.6	1702.9	633.6	328.7	158.0

Table 3 Mean and variance values for 28 years of observed and simulated daily rainfall depth for each month. (Shimonoseki Local Meteorological Observatory) (1/10 mm)

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Observed	Mean	64	71	89	135	136	206	243	154	155	126	85	54
	Variance	6044	6654	9476	22127	24911	74884	110148	46710	37975	23978	12844	4480
Simulated data by independent process	Mean	69	84	95	161	158	228	215	145	157	102	90	55
	Variance	2758	3450	4583	11899	13733	25313	27367	19597	15330	7344	5847	2359
Simulated data by autoregressive process	Mean	57	73	91	151	146	222	274	143	161	99	91	51
	Variance	2826	4182	7376	16462	21888	40220	69940	20050	32164	12255	9160	2102

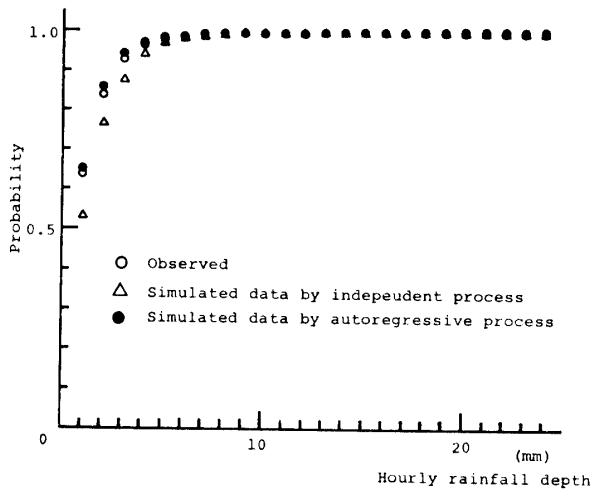


Fig. 10(a) Comparison between observed and simulated distribution of accumulated hourly rainfall depth in February.

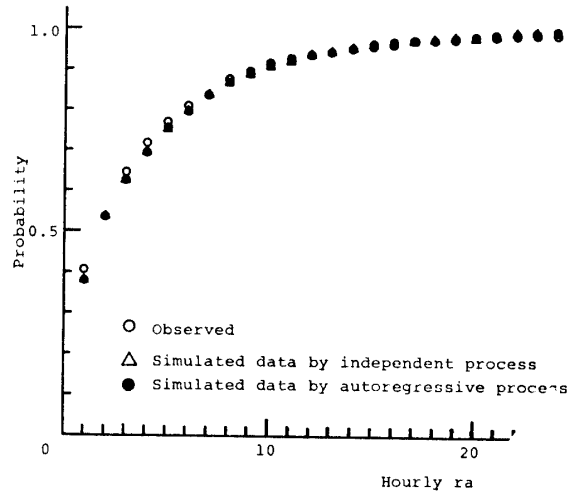


Fig. 10(b) Comparison between observed and simulated distribution of accumulated hourly rainfall depth in July.

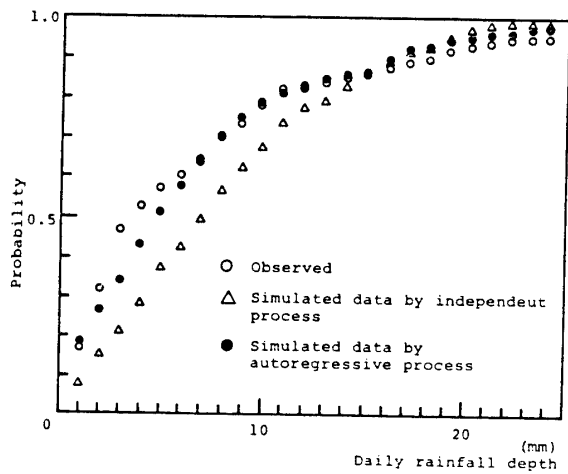


Fig. 11(a) Comparison between observed and simulated distribution of accumulated daily rainfall depth in February.

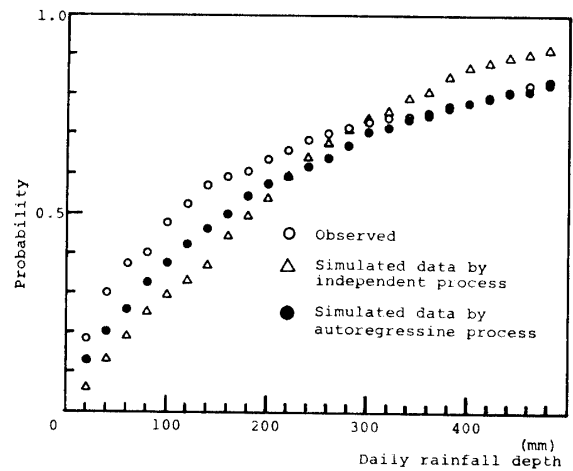


Fig. 11(b) Comparison between observed and simulated distribution of accumulated daily rainfall depth in July.

布とよく一致している。雨量の多い7月については実績分布との一致度はいま一步である。

5. 結 び

下関地方气象台における降雨データを基にして、独立過程および自己回帰過程の2つの仮定によりシミュレーションを行ない、次のような結果を得た。

(1) 時間雨量に関しては独立過程、自己回帰過

程のいずれの仮定によるシミュレーションでも、実際の降雨の平均、分散および分布とよく一致した結果を得た。

(2) 日雨量に関しては独立過程によるシミュレーションでは分散が相当小さい値を示したが、自己回帰過程によるシミュレーションでは改善された。しかし、なお実際の降雨より小さい値を示す月があるため、今後さらにモデルを検討する必要があると考えられる。

本研究を行なうにあたり降雨データを提供して下さいました下関地方気象台の方々および解析協力してくれた高村堅二君に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Wischmeier, W. H & Smith, D. D: Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss, AGU Trans. 39, 285~291(1958)
- 2) 角屋睦他: 日雨量系列の模擬発生と内水排除計画への適用, 土木学会年次学術講演会講演集, 第2部, 105~108 (1969)
- 3) 端野道夫, 室田明: 豪雨による山腹崩壊土砂生産に関する推計学的研究, 土木学会論文集, 第188号, 33-43 (1971)
- 4) 石原藤次郎, 池淵周一: 日降水量の空間的・時間的確率構造とそのシュミレーションに関する研究, 土木学会論文集, 第197号, 57-69 (1972)
- 5) 西村克己, 江藤剛治: Marked Point Process モデルによる降水量時系列の解析, 第25回水理講演会論文集, 191~197 (1981)
- 6) 江藤剛治, 西村克己: MPPモデルによる日降水時系列の解析, 土木学会論文集, 第342号, 171~177 (1984)
- 7) 長尾正志: 確率雨量配分曲線の理論的推定, 土木学会論文集, 第243号, 33~46 (1975)
- 8) 藤田睦博, 神田徹: 新体系土木工学26, 水文学, 技報堂出版, 129~130

(昭和59年10月12日受理)