

岡山市における降雨強度確率分布

— 衛星通信における降雨減衰の時間特性(1) —

入 江 浩 一

岡山理科大学工学部電子工学科

(昭和61年9月30日 受理)

1. まえがき

地上回線の場合と異り、衛星通信ではC/N（受信搬送波電力対雑音電力比）に十分な回線マージンをとることは経済的にむづかしい。C/Nの変動要因の最大なものは電波の降雨減衰である。電波の周波数が高くなるほど降雨減衰は大きくなるから、最近の日本におけるKaバンド帯（20/30GHz）やKuバンド帯（12/14GHz）を使用する衛星通信や衛星放送では、各地における降雨減衰の時間率はシステムの経済性と信頼性の設計に必須のデータとなる。

降雨減衰は電波の周波数、電波伝搬の降雨層の長さ、降雨強度（単位時間あたりの降雨量）によって決まるが、降雨減衰の時間率（確率的特性）は降雨強度の時間的分布によって決まる。降雨減衰の研究は、降雨強度や周波数を与えてその単位通路長あたりの減衰を求めるものと、降雨強度の時間分布特性を求めるものとに大別される。本論文は後者に属するもので、この分野ではすでに森田氏による多くの成果があり、¹⁾²⁾ 日本各地における降雨強度の確率分布を対数正規分布で近似した場合のパラメータ m , s を与えている。

著者は岡山市における衛星通信の降雨減衰の実測データをとることを計画しているが、その準備段階において岡山地方気象台から過去10年間（1976～1985年）の降雨強度の測定データを入手することができた。本論文はこれを整理し、対数正規分布で近似した場合のパラメータを求め、その適用に際しての注意点を明らかにしたものである。

2. 降雨強度の累積分布

使用されている降雨強度計は、雨をロートで受け、これを一定の大きさの水滴として落下させ、落下する水滴の数をカウントし、1分間の降水量の60倍の数値を記録する1分間降雨強度計である。記録計は1982年半ばより打点式に変わっているが、降雨強度記録チャートの1例を図1に示す。これより、スケールのある降雨強度を超える降雨時間を1分の精

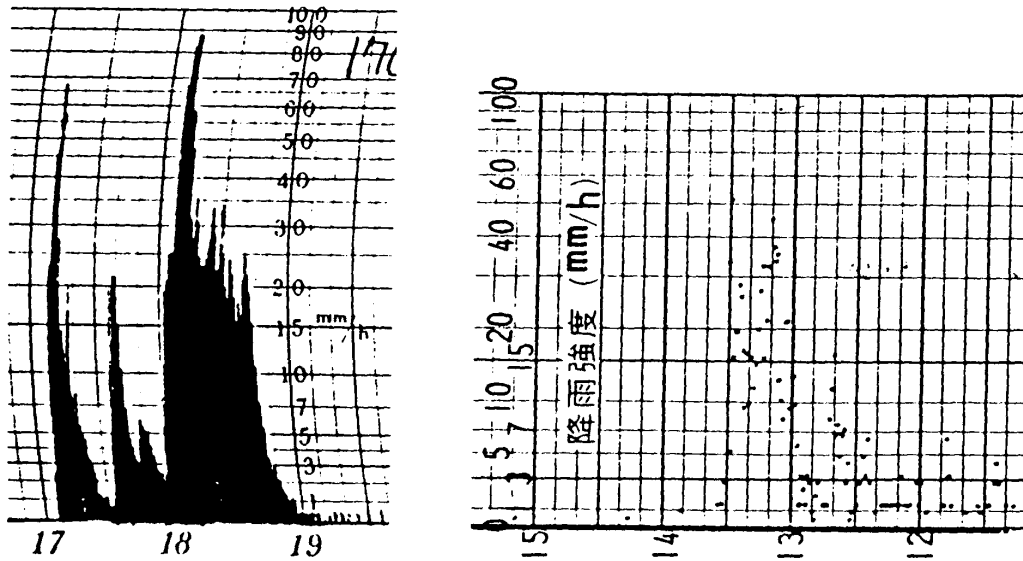


図1 降雨強度記録チャート

度で読み取っていくことができる。これを1カ月ごと、1年ごとに集計していくと、降雨強度の累積時間分布が得られる。分布の形は、降雨強度を求めるための降水量測定の積分時間にも関係する。(積分時間が長いと同じ降雨強度の確率は高い降雨強度では小さくなる。)降雨減衰は瞬時減衰量が問題となるから、短い積分時間が望ましい。図2は、10年間にわたり各年の降雨強度累積分布をプロットしたものである。とくにデータのばらつきの大きい非常に強い降雨である80mm/h以上を除けば、年による降雨強度の時間率のばらつきは標準偏差/平均値で表わして0.22~0.46である。

降雨は年間で一様ではない。強雨期として4月から9月までの6カ月間をとって、同様な分布をプロットしたものが図3である。また、年間の最悪月、10年間の最悪年と最悪月というものを定義することができる。定義の仕方はいろいろあろうが、ここでは、年間時

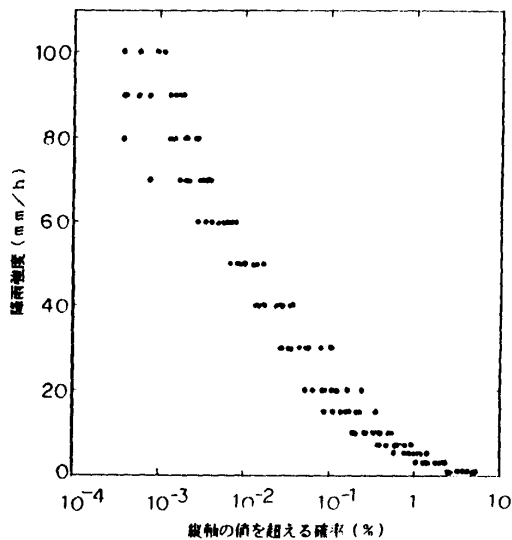


図2 年間降雨強度の累積分布 (1976~1985年)

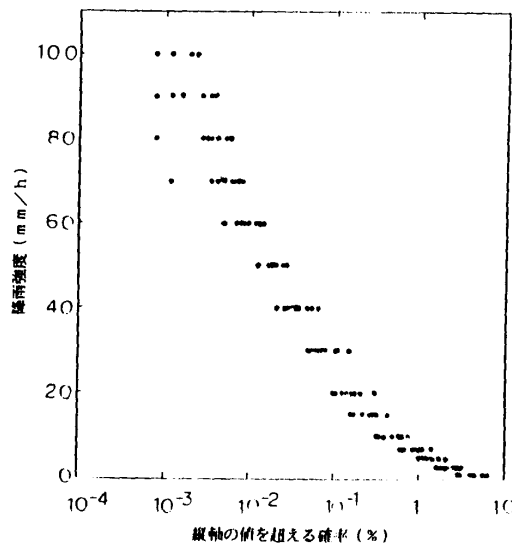


図3 強雨期降雨強度の累積分布 (1976~1985年)

間率でだいたい0.10~0.01%の降雨強度である15~60mm/hについて各降雨強度で平均に降雨時間が長いもの、としている。60mm/h以上を対象としなかったのは、確率的に非常に小さいこと、および降雨減衰のマージンをみる場合には実用上この範囲の降雨強度が問題となるからである。図4は、降雨強度の累積分布を年間分布の10年平均、10年間の最悪年、10年間の最悪月と比較したものである。どの分布で考えるかによって、同じ降雨強度でもその時間率はかなり大きく異なることがわかる。10年間のデータに基づく経験式として、これら相互の関係を降雨強度15~60mm/hで最もよく適合するように求めたものが下記の式である。

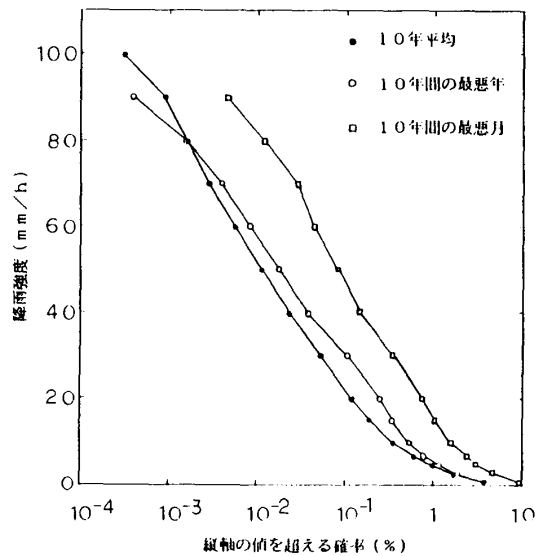


図4 10年間平均、10年間の最悪年、10年間の最悪月の降雨強度累積分布

$$P_{wy}/10y = 2.47 P_{10y}^{1.10}$$

$$P_{w\bar{m}}/10y = 6.37 P_{10y}^{1.06}$$

$$P_{wm}/10y = 5.11 P_{10y}^{0.93}$$

ここで、 P_{10y} は10年間平均累積確率、 $P_{wy}/10y$ は10年間の最悪年の累積確率、 $P_{w\bar{m}}/10y$ は各年の最悪月累積確率の10年平均、 $P_{wm}/10y$ は10年間の最悪月の累積確率である。

3. 降雨強度分布の対数正規分布近似

降雨時における降雨強度の累積分布は対数正規分布で近似されるとの報告がある。³⁾ 対数正規分布の確率密度関数 $f(R)$ は

$$f(R) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi}sR} \exp\left\{-\frac{(\log R - m)^2}{2s^2}\right\} \quad (1)$$

で与えられる。Rは降雨強度、sとmは対数正規分布のパラメータである。降雨強度Rを超える降雨の確率F(R)は(1)式の確率密度関数を用いて

$$F(R) = \int_R^{\infty} f(R) dR \quad (2)$$

と表わされる。実測データより得られる降雨強度累積分布はこのF(R)に相当するものである。実測データより得られる降雨強度累積分布を対数正規分布で近似した場合、そのパラメータm, sを求める方法を以下に述べる。

$$F(R) = \int_R^{\infty} \frac{\log e}{\sqrt{2\pi}sR} \exp\left\{-\frac{(\log R - m)^2}{2s^2}\right\} dR \quad (3)$$

において、変数変換

$$t = \frac{\log R - m}{s} \tag{4}$$

をおこなうと

$$F(R) = \int_{\frac{\log R - m}{s}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-1/2t^2) dt \tag{5}$$

が得られる。これはtの正規分布である。与えられたRに対するF(R)は実測値より求められるから、正規分布表を用いてこのF(R)を与える(log R-m)/sの値αを求めることができる。多くのRについてのF(R)の測定値から、最小二乗法によって

$$\log R_i = s\alpha_i + m$$

の形でm, sの値を定めることができる。文献(3)では計算機を用いるもっと複雑な方法がとられているようであるが、上記の正規分布表を利用する方法は簡単で、以下に示すように十分な精度を与えている。ひとたびm, sの値が定まると、(5)式により対数正規分布と仮定した場合の確率分布が計算でき、近似の度合いの確認ができる。

以上の手法により、10年間平均の年間、強雨期、最悪月の降雨強度累積分布を対数正規分布で近似した場合を図5に示す。いずれの場合も最小二乗法の適用をR = 50mm/hまで(降雨減衰量および時間率よりみて実用上重要な領域)としているので、R = 50mm/h以上ではよい近似を与えていないのは当然である。また、文献(2)と同様に、降雨期を含む対象期間の10%の時間で対数正規分布と仮定したときのパラメータの値を示してある。図6はm, sの値が変わると分布の形がどの程度変わるかを示したもので、年間分布での森田氏の報告²⁾のm, sの値と本論文で求めた値とが異っているのを、10年間のデータのばらつきの範囲とあわせて示した。

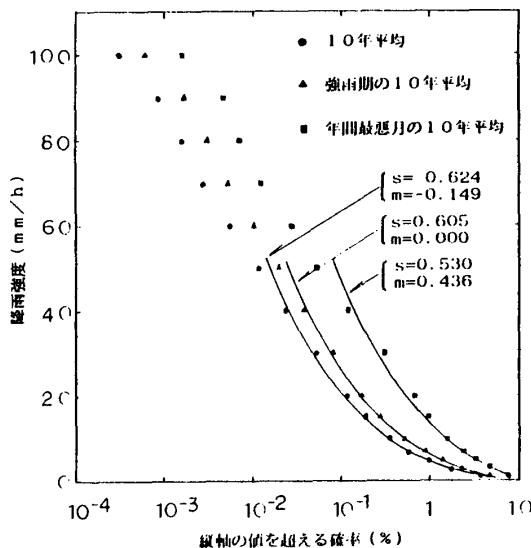


図5 降雨強度累積分布の対数正規分布近似

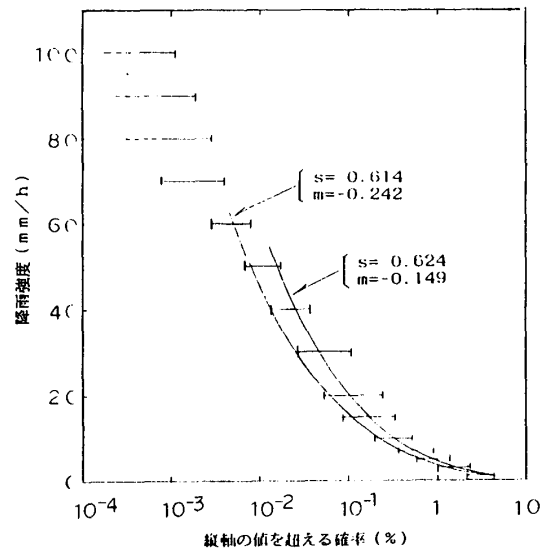


図6 対数正規分布のパラメータと分布の形

4. むすび

岡山市における過去10年間の降雨強度の実測データを整理して降雨強度累積分布を求め、これを対数正規分布で近似した。結果をまとめると

(1) 降雨強度累積分布は対数正規分布で充分よく近似できる。(50mm/h程度まで)どの降雨強度まで近似したかによって m , s の値は変わってくる。100mm/hのような非常に強い降雨まで近似することもできるが、当然近似の精度は悪くなる。

(2) 10年間の年ごとのデータのばらつきはかなり大きい。平均をとって設計の基準とすることができるが、衛星通信のサービス断の時間率(信頼性)の保証をおこなうような場合には、この平均値よりの分散にも十分注意する必要がある。

(3) 年平均, 最悪年, 最悪月の分布の関係を示す経験式を与えた。この関係がどの程度他の地域にも適用できるかは今後の問題である。また、最悪年や最悪月の定義はいろいろ考えられるので、どのように定義されたものかをはっきりさせておかねばならない。

(4) 降雨強度の観測データより得られた降雨強度累積分布を対数正規分布で近似したときのパラメータ m , s を求める方法はいろいろあるようであるが、本論文で示した正規分布表を用いる方法は簡単でかつ十分な精度を与えている。

降雨減衰の観点からは降雨強度は短い積分時間のものが望ましい。従来のデータは利用できた測定器の制約から10分から1時間と長かった。そこで、相関を利用してより短い積分時間の降雨強度を推定している。いまは1分間降雨強度計のデータが得られるから、これを用いて降雨強度分布を再検討することが望ましい。1地方の10年間のデータの整理はひとりではぼ2週間の仕事量である。

謝辞 降雨強度記録チャート閲覧の便を与えていただいた岡山地方気象台防災業務課に感謝いたします。膨大な記録計チャートより降雨強度ごとに降雨継続時間を読みとっていく根気のいる作業は、昭和61年度卒業研究の一部として電子理学科加藤博之君によっておこなわれたものである。

文 献

- 1) 森田和夫：“降雨強度分布についての考察”，通研実報，26，5，. pp.1469-1480 (1977)
- 2) 森田和夫：“衛星通信回線における伝搬特性の推定法(準ミリ～ミリ波の場合)”，通研実報，28，8，pp.1661-1676 (1979)
- 3) S.H.Lin：“A Method for Calculating Rain Attenuation Distributions on Microwave Paths” B.S.T.J., 54，6，pp.1051-1086 (1976)

Statistical Study of Rainfall Rate Distribution

Koichi IRIE

*Department of Electronic Engineering, Okayama University
of Science Ridaicho 1-1, Okayama 700, JAPAN*

(Received September 30, 1986)

Ten-years records of rainfall rate (integration time : 1 min.) measured at Okayama Meteorological Observatory are analyzed statistically in view of rain attenuation on satellite links. The results are :

(1) It is confirmed that rainfall rate distributions are well approximated by the lognormal distribution over the range below 50mm/h. However, its median and deviation parameters depend considerably on the range over which the approximation is intended.

(2) The proposed method for deriving the lognormal parameters is to make use of a table of the normal distribution. It requires simpler procedure and yields sufficient accuracy.

(3) Rainfall rate distribution varies rather yearly. The averaged one is usually used as a reference for link design but this variation must be recognized.

(4) Distributions in the worst year and the worst month for 10 years are expressed empirically as a function of the 10-year averaged distribution.