

# AMeDAS時間降水量データより推定した 日本全国の1分間降雨強度特性

唐沢好男\* 松戸孝\*

Statistics of One-Minute Rain Rate Distribution in Japan  
Predicted from AMeDAS Rain Data

By

Yoshio KARASAWA and Takashi MATSUDO : Applied Radio Systems Group  
R&D Laboratories

By examining measured one-minute rain rate data reported so far and one-hour rain rate data obtained by AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) in Japan, a simple conversion method of one-hour rain rate data to one-minute rain rate distribution was presented. Prediction accuracy of the method was evaluated, and a good agreement between the predicted and measured data was confirmed. Moreover, the effect of a record-breaking heavy rain event on long-term statistics was discussed. Finally, we showed a map of one-minute rain rate for 0.01% of time using AMeDAS data in Japan. Since the method presented here has been successfully applied to various locations in Japan, it can be expected to be applicable to regions of the world where one-minute rain rate data have not yet been available.

## 1. まえがき

10GHz以上の高い周波数が使用される無線通信では降雨による影響が大きく、信頼性のあるサービス提供のためには降雨減衰やXPD（交差偏波識別度）劣化量を正確に把握する必要がある。このためには、精度のよい伝搬推定法の確立とともに、当該地域の降雨の統計的性質を把握することが重要となる。特に、降雨減衰やXPDの推定法で用いられる1分間降雨強度（積分時間1分間の降雨強度；3.1節で定義）の定量的な把握が必要とな

る。

しかしながら、実測データにより1分間降雨強度特性が把握されている地域は極めて限られており、大部分の地域ではなんらかの方法により1分間降雨強度分布の推定が必要となる。このため、実測データのない地点に対する降雨強度については年間総降水量や夏期3カ月の降雨データ等比較的入手の容易な降雨データから推定する方法が試みられている<sup>(1)~(3)</sup>。

ところで、日本では1975年から気象庁による地域気象観測システム：AMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）が稼動しており、これによる気象データの充実が目覚

\* 研究所 無線応用グループ

ましい. AMeDASの降水量測定は1時間ごとに行われるため、ここで得られる降雨データは1時間降雨強度データである. そこで、年間総降水量よりはるかに情報量の多い1時間降雨強度データを用いた1分間降雨強度特性の推定に関する研究が盛んになっている<sup>(4)~(6)</sup>.

筆者らは前稿において<sup>(7)</sup>、AMeDASデータを利用する年間1時間降雨強度順位データ（1年間のデータを強度の大きい順に並べ換えたデータ）の上位五つのデータを用いた1分間降雨強度の年間時間率0.01%値の簡易な推定法を提案している. しかしながら、この手法は限られた実測データに基づく経験的なものであるため、理論面での妥当性、推定値の精度等を明確にするには至っていなかった.

本稿では、まず実測データにより1分間降雨強度と1時間降雨強度の関係を表す簡易なモデルを示す. 次に、極値統計理論に基づく1時間降雨強度各種順序統計量と1時間降雨強度0.01%値の関係を明らかにし、ここで得られる関係を利用した、より汎用的な1分間降雨強度推定法を提案する. さらに、この手法によりAMeDASデータの処理を行い、日本各地の1分間降雨強度特性を明らかにする.

## 2. データベース

本章では、次章以降で利用する3種類のデータベース（実測データ）について述べる.

### 【データ1】：1分間降雨強度の長期統計データ

これまでに報告されている日本各地の1分間降雨強度（10分間降雨強度からの換算データも含む）は気象庁の測定データ（気象台または測候所のデータ）を解析して得たもの<sup>(2)(8)(9)</sup>と、伝搬実験と関連して独自に取得されたもの<sup>(4)(10)~(12)</sup>の二つに大別される. 近年データは充実されつつあるが、まだ十分ではなくその結果はいずれも貴重である.

本稿では日本各地における実測データのうち、統計が安定する測定期間3年以上のものを利用す

る. 報告されているデータは地点数で27、データ数で48ある. この一覧は参考文献<sup>(13)</sup>の表1に示してあるので、ここでは割愛する.

### 【データ2】：1時間降雨強度極値データ

本稿では極値統計理論<sup>(14)</sup>を用いて極値データからの推論を試みるが、その評価検証用のデータとして、札幌・東京・大阪・福岡・那覇の各気象台の過去31年間（1956～1986）の各年上位10位までの1時間降雨強度データ（ $R_{ih} : i = 1, 2, \dots, 10$ ）を用いる.

### 【データ3】：日本全国のAMeDAS 1時間降雨強度データ

AMeDASは集中豪雨などの局地的現象を常時観測するために、日本全国約1,300箇所（平均17km間隔）の無人観測による降水量・風向・風速・気温・日照時間等のデータを自動的に収集する気象庁のシステムである. 観測結果は電話回線で地域気象観測センター（東京大手町）に集められ、電子計算機で編集し、気象官署や放送局などに配信して天気予報等に利用されている. このシステムは1975年より稼動しており、現在まで十数年間の膨大なデータが蓄積されている.

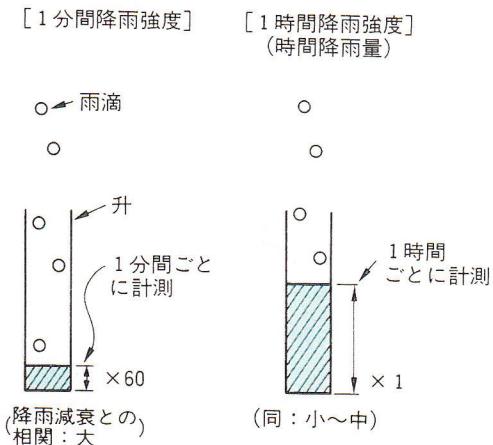
このシステムで取得される降水量データは60分の積算降水量であるため1時間降雨強度データである. ここでは、1976～1988年の13年間の降雨データを利用する.

## 3. 1分間降雨強度推定法

### 3.1 言葉・記号の定義

本稿では種々の降雨量・降雨強度に言及するので、その定義と表記を以下にまとめて示す.

- ・**降雨量**と**降水量**：前者は雨の量をいい、後者は雪・あられ・ひょうをすべて水になおして雨と区別なくひとまとめに取り扱ったときの水量をいう（単位は共にmm）
- ・**1時間降雨強度（時間降雨量）**：1時間ごとに計測される降雨量（単位はmm/h）



(1分間降雨強度と1時間降雨強度の単位は同じであるが、前者は1時間の中でも種々の値を持つので、両者の統計値は異なることに注意)

図1 1分間降雨強度と1時間降雨強度

- ・ **1分間降雨強度**：1分間ごとに計測される降雨量を60倍して1時間当たりの降雨量（このまま同じ強さの雨が1時間連続すると仮定した降雨量）に換算したもの（単位はmm/h）（図1参照）
- ・  $R_{h,i}$ ：1時間降雨強度年間順序データの上位*i*番目の値 ( $i = 1, 2, \dots$ ) (mm/h)
- ・  $R_{h,jh}$ ：1時間降雨強度年間順序データの上位*i*番目から*j*番目までの値の平均値 (mm/h)
- ・  $R_{h,p}$ ：1時間降雨強度の累積時間分布の*p*%値 (mm/h)
- ・  $R_{m,p}$ ：1分間降雨強度の累積時間分布の*p*%値 (mm/h)

### 3.2 実測データに基づく1時間降雨強度分布と1分間降雨強度分布の関係

日本の降雨強度分布（1分間降雨強度および1時間降雨強度共）はMoupfouma分布<sup>(15)</sup>の特殊形である次式（ $f$ ：確率密度関数、 $F$ ：累積分布関数）によく近似されることが明らかにされている。以下、これを特殊Moupfouma分布と呼ぶ。

$$f(R, r, u) = \frac{r}{R} \exp(-uR) \left( \frac{1}{R} + u \right) \quad (1a)$$

$$F(R, r, u) = \frac{r}{R} \exp(-uR) \quad (1b)$$

ここで、 $r$ 、 $u$ は分布のパラメータである。式(1)は時間率0.01%以下ではGamma分布に、これ以上では対数正規分布に近い分布である。

AMeDASで観測される1時間の積算降水量データは、雨だけでなく雪による降水量も含まれるので、豪雪地域では、年間の1時間降水量分布(AMeDASデータ；雨と雪の合成)と1時間降雨強度分布(伝搬推定法に利用するデータ；雨のみ)の差が大きくなることが予想される。筆者らは参考文献(16)において、豪雪地域の例として[データ3]より高田(新潟県上越市)のデータを解析し、以下の結論を得ている。

- ① 年間時間率0.1%以下の1時間降水量(無線通信で問題になる強い雨が含まれる)の分布は式(1)で与えられる特殊Moupfouma分布に一致する。
- ② 年間の1時間降水量データ(AMeDASで得られるデータ)の上位10位までに着目すると、豪雪地域でもこれらのデータはほとんど降雨によると見なすことができる。

まず、1分間降雨強度実測値[データ1]とAMeDAS 1時間降雨強度データ[データ3]から、時間率0.01%値と0.1%値( $R_{m,0.01}$ 、 $R_{m,0.1}$ 、 $R_{h,0.01}$ 、 $R_{h,0.1}$ )の相互の関係を調べる。1分間降雨強度および1時間降雨強度のそれぞれの0.01%値と0.1%値の比の平均値は[データ1]の27地点について、[データ1]、[データ3]より、

$$R_{m,0.01}/R_{m,0.1} = 2.80 \quad (2a)$$

$$R_{h,0.01}/R_{h,0.1} = 2.23 \quad (2b)$$

となる。1分間降雨強度および1時間降雨強度のそれぞれの実測データについて、時間率0.01%値と0.1%値の比に関する地域的な特徴を調べてみたが、両データとも有意な傾向を見いだし得なかったので、日本全国の降雨を式(2)の単一モデルで表す。

時間率 $p_1$ 、 $p_2$ における降雨強度を $R_1$ 、 $R_2$ とすると、この2点により特殊Moupfouma分布のパラメータ $r$ 、 $u$ は次式により定められる。

$$u = \frac{1}{R_2 - R_1} \ln \left( \frac{p_1 R_1}{p_2 R_2} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (3a)$$

$$r = (p_2 R_2 / 100) \exp(u R_2) \quad \dots \dots \dots \quad (3b)$$

上式および式(2a)より、1分間降雨強度に対する特殊Moupfouma分布のパラメータ $r_m$ 、 $u_m$ は $R_{m,0.01}$ を用いて決定でき、

$$r_m = 7.24 \times 10^{-4} R_{m,0.01} \quad \dots \dots \dots \quad (4a)$$

$$u_m = 1.98 / R_{m,0.01} \quad \dots \dots \dots \quad (4b)$$

となる。また、同様に式(2b)から1時間降雨強度に対する $r_h$ 、 $u_h$ は $R_{h,0.01}$ を用いて、

$$r_h = 1.52 \times 10^{-3} R_{h,0.01} \quad \dots \dots \dots \quad (5a)$$

$$u_h = 2.72 / R_{h,0.01} \quad \dots \dots \dots \quad (5b)$$

となる。

さらに、1分間降雨強度と1時間降雨強度の関係を調べるため【データ1】と【データ3】を同時間率値同士で比較した結果、以下の値を得た。

$$R_{m,0.01} / R_{h,0.01} = 1.79 \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

式(6)の関係は全地点の平均値であるが、1分間降雨強度と1時間降雨強度の比のばらつきに地域的な特徴は認められなかった。

#### 4. 1時間降雨強度順序統計諸量と $R_{h,0.01}$ の関係

##### 4.1 極値統計理論に基づく解析

時間率の小さい部分の1分間降雨強度を精度良く推定するためには、その情報が多く含まれる時間率が小さい部分の1時間降雨強度データの利用が効率的であると考えられる。そこでまず、統計的に十分な1時間降雨強度データがあると仮定して1時間降雨強度諸量と $R_{h,0.01}$ の漸近的な関係を極値統計理論<sup>(14)</sup>により導く。

前述の検討結果に基づき、以下の二つの仮定を行ふ。

(仮定1) 1時間降雨強度の母集団は特殊

Moupfouma分布し、そのパラメータ $r$ 、 $u$ は式(5)で与えられる（注：参考文献(4)で指摘されているとおり、この分布は $R$ が0に近いある値以下になると $F$ が1を超えるので、適用範囲が限定される。しかしながら、ここで問題とする時間率1%以下を対象にする場合には全く問題ない）。

(仮定2) 年間の1時間降雨強度データの累積分布は母集団から無作為に抽出した8,760個（年間総時間数に相当）のデータの累積分布に一致する。

ここでは有限個の順位データの組合せ諸量と $R_{h,0.01}$ との関係を導く。極値統計理論より母集団から無作為に $n$ 個集められたデータ中の上位 $i$ 番目の値 $(R_{ih})$ の確率密度関数は次式で与えられる<sup>(14)</sup>。

$$g_{ih} = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} F^{i-1}(R) \cdot \left\{ 1 - F(R) \right\}^{n-i} f(R) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

図2の一・一は $n=8,760$ として $i=1 \sim 10$ について上式から $R$ の平均値（1次のモーメント）を求めたものである。図の縦軸は $R_{h,0.01}$ で正規化した1時間降雨強度である。同図には【データ2】の

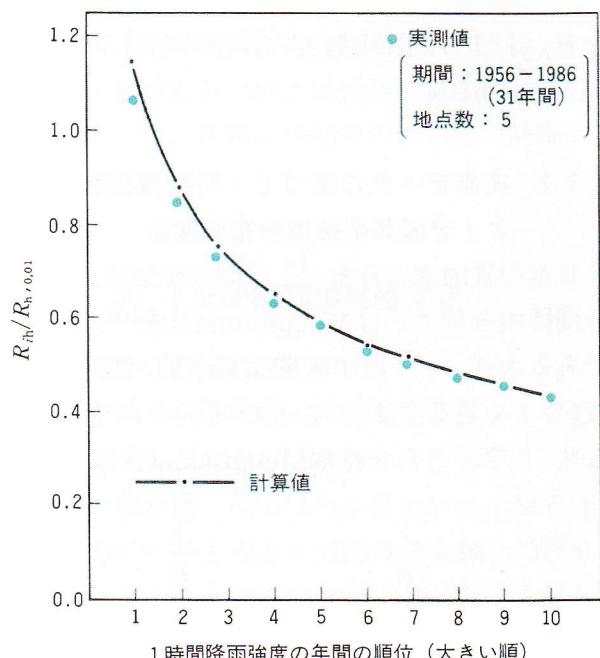


図2 各地点の $R_{h,0.01}$ で正規化した $R_{ih}$ の平均値

表1 1時間降雨強度順序統計諸量と $R_{h,0.01}$ および $R_{m,0.01}$ との関係（計算値）

	$R_{1h}$	$R_{2h}$	$R_{3h}$	$R_{1-3h}$	$R_{1-5h}$	$R_{1-10h}$
$R_{h,0.01}/R_{i-jh}$	0.88	1.16	1.36	1.10	1.26	1.56
$R_{m,0.01}/R_{i-jh}$	1.58	2.08	2.44	1.97	2.25	2.79

5地点155個の $R_{ih}$ データをそれぞれの地点の $R_{h,0.01}$ （[データ3]より求めた）で正規化した実測値も●印で示している。図より計算値と実測値は非常によく一致している。仮定2の妥当性は十分な吟味が必要であるが（実際、データのばらつきを吟味する2次のモーメントを求めるにはこの仮定では不十分であるが<sup>(16)</sup>）、1時間降雨強度順序統計量の漸近的関係（1次のモーメント）を導く場合には十分といえる。

次に、1時間降雨強度単独値でなくその組合せによる諸量、例えば上位*i*番目から*j*番目までの値の平均値により1分間降雨強度を推定する場合を考える。その諸量が $R_{ih}$ の線形結合であるならば、その平均値も各々の平均値の線形結合で表される。例えば $R_{1-5h}$ の平均値（ $\overline{R_{1-5h}}$ ）は $R_{1h} \sim R_{5h}$ の各々の平均値（ $\overline{R_{1h}} \sim \overline{R_{5h}}$ ）の平均値で与えられる。

*i*, *j*の幾つかの組合せについて数値計算を行った結果から1時間降雨強度統計諸量と $R_{h,0.01}$ の比、さらに式(6)による $R_{m,0.01}$ との比をまとめると表1になる。筆者らが以前に提案した経験式（ $R_{m,0.01} = 2.3\overline{R_{1-5h}}$ ）<sup>(5)~(7)</sup>とも整合がとれている。表1および式(4)の関係を用いれば、種々の1時間降雨強度順位データの組合せ諸量から1分間降雨強度分布を推定することができる。年間で1分間降雨強度がしきい値 $R_m$ 以上となる時間率 $p$ は結局次式となる。

$$p(R_m) = 0.0724 \frac{R_{m,0.01}}{R_m} \cdot \exp\left(-\frac{1.98R_m}{R_{m,0.01}}\right) \quad (\%) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$R_{m,0.01} = a_{i-jh} \cdot \overline{R_{i-jh}}$$

（*i*=*j*の場合は $a_{ih}$ ,  $\overline{R_{ih}}$ ）

ここで、定数 $a_{i-jh}$ （= $R_{m,0.01}/\overline{R_{i-jh}}$ ）の値は*i*, *j*の組合せによって異なるが、その代表的なものは表1に与えられている。

#### 4.2 推定精度

筆者らの方法は任意の*i*, *j*の組合せ（ただし*i*≤*j*）が可能であるが、ここでは表1に示した方法を評価する。さらに、年間総降水量<sup>(2)(17)</sup>や夏期3カ月のデータ<sup>(3)</sup>、あるいは筆者らと異なる方法による1時間降雨強度データからの推定法<sup>(4)</sup>も評価の対象とする。

推定精度の評価は[データ1]に対応する各地点*k*（*k*=1~48：ただし同一地点データがあるので、実際の地点数はこれよりも少ない）の推定値（ $R_{\text{pred},k}$ ）を求め、これと実測値（ $R_{\text{meas},k}$ ）との比較により推定精度の評価を行う。この場合、各々のデータに対する誤差 $E_k$ は次式で定義する相対誤差（%）による。

$$E_k = (R_{\text{pred},k} - R_{\text{meas},k}) / R_{\text{meas},k} \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (9)$$

推定値の質の良さの決め手として次の二つの要素が挙げられる。

まず第一に個々の $E_k$ の平均値（平均誤差）が0に近い（すなわち偏りが小さい）ほど良い。第二に $E_k$ の2乗平均誤差（またはrms誤差）が小さいほど良い。

各種推定法の平均誤差とrms誤差は参考文献<sup>(16)</sup>に与えられているので、ここでは、この結果のみを示す。

①  $\overline{R_{1-3h}}$ ,  $\overline{R_{1-5h}}$ ,  $\overline{R_{1-10h}}$ から推定する方法では時間率0.001~0.1%の総合評価で平均誤差が

3 %以内, rms誤差16%程度となり, これら三者の間では精度のうえで大きな優劣はない。これらに比較して,  $\overline{R_{1h}}$ から推定する方法はやや誤差が大きい。

- ② 時間率ごとの評価で見ると, 時間率0.01%での推定誤差が最も小さく, 例えは $\overline{R_{1-5h}}$ を用いる方法では平均誤差が2 %, rms誤差が13 %である〔これは上位5位(あるいは10位)までのデータに0.01%値を決定するのに必要な情報が十分含まれていることと, 実測データのばらつき(相対値)が他の時間率に比較して小さいこと<sup>(16)</sup>, によると考えられる〕。
- ③ 本稿で述べた手法〔1時間降雨強度の年間の上位10位以内のデータ(順序統計量)を処理して求める方法〕は, これまでに提案されている各種既存推定法に比較して精度的に優れている。

上述のとおり, 1時間降雨強度年間上位3位, 同5位, 同10位までの平均値を用いる方法については, 有意な差異がないことが分かったので, これまでの筆者らの発表論文<sup>(6)(7)</sup>との整合性を考慮し, 上位5位までのデータの平均値を用いる方法(すなわち $R_{m,0.01} = 2.3\overline{R_{1-5h}}$ )をここでの提案手法とし, これをPROP-R(Procedure for Rain-

induced Outage Prediction-Rainrate version)と呼ぶ。図3にPROP-Rによる推定値と対応する実測値の散布図を示す。幾つかにずれの大きなものも見られるが, 大部分が精度10%程度の推定値を得ていることが分かる。

### 5. 集中豪雨が統計に与える影響 (1983年浜田の山陰豪雨の例)

降雨による減衰を推定する場合, その地域の1分間降雨強度分布の平年値を正確に把握することが第一であるが, 平年値から大きくずれた場合についても調べておくことは, 信頼性の高い回線設計を行う上で重要である。

本章では, 統計処理期間内に記録的な豪雨があった場合, その統計値が平年値から大きくずれる様子, また, このような場合でも1時間降雨強度データから対応する年の1分間降雨強度分布を比較的精度良く推定できることを示す。ここでは, 豪雨の例として1983年7月に山陰地方を襲った集中豪雨を含む1983年のデータについて島根県浜田の場合を述べる。

この豪雨は1983年7月21日から23日にかけて, 島根, 山口両県で死者行方不明119人, 浸水1万戸を超す大災害をもたらしたもので, 浜田測候所の記録によれば7月23日には午前中だけで雨量は330mmに達し, 1時間降水量も最大75mm/h(AMeDASデータでは72mm/h)となった。このため, 年間の1時間降水量の上位5位はすべてこの豪雨によって占められた。この年はちょうどKDD研究所が浜田において伝搬実験を実施していた年であり<sup>(18)</sup>, 1分間降雨強度データも取得されている。

この年の1時間降雨強度データから1分間降雨強度の累積時間分布をPROP-Rで推定すると図4の実線となる。同図にはこれに対応する実測値も示している。時間率0.003%以上の降雨強度ではかなり良く一致している。これより小さい時間率ではそれが大きくなるが, 理由として, ①降雨強度計(雨滴計数型)の測定限界, ②特定の集中豪

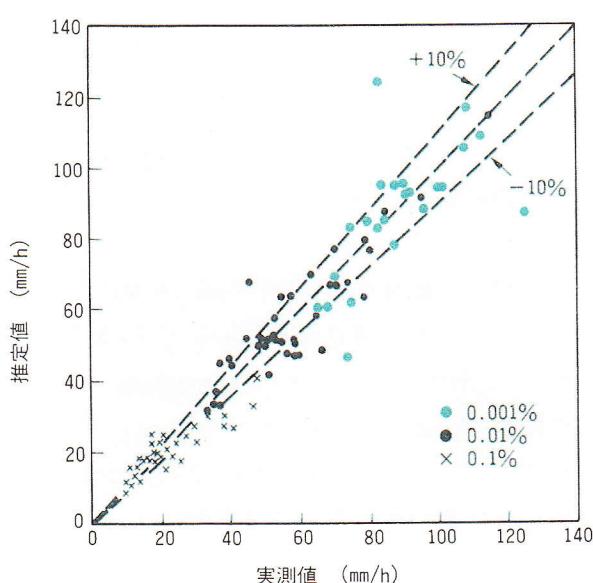


図3 1分間降雨強度の推定値(PROP-R)と実測値の散布図

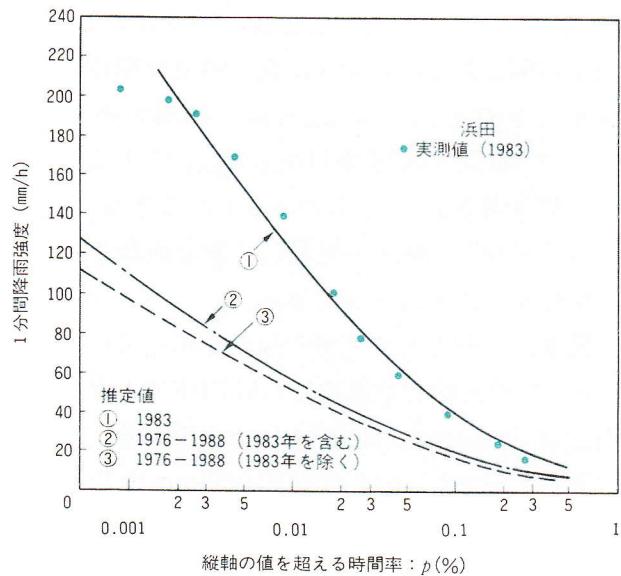


図4 浜田における1分間降雨強度特性  
(1983年の山陰豪雨の影響)

雨を含む年間の降雨強度分布を0.003%以下まで式(1)の特殊Moupfouma分布で近似することの無理、等が考えられる。

図4には1976~1987年のデータのうち1983年のデータを含む平均分布【②一点鎖線】と含まない分布【③破線】をAMeDASデータよりPROP-Rで推定したものも示している。たった1回の豪雨が12年間の統計値を約10%も変えてしまうことが分かる。

このように記録破りの集中豪雨を含んだ特別な年であっても1分間降雨強度の推定に関してはAMeDASデータを利用したPROP-Rの適用が可能であることが分かる。

## 6. AMeDASデータより求めた日本各地の1分間降雨強度

### 6.1 データ解析ソフトウェア

AMeDASデータを利用して日本各地の1分間降雨強度を推定するソフトウェアを開発したので、これを述べる。

日本気象協会からMTにコピーされて提供されるAMeDAS降雨データ【データ3】を大型計算機の磁気ディスク上にキー順データセットの

VSAM (Virtual Storage Access Method) ファイル形式で作成し、これを1次データベースとした。その容量は約650MBである。キーは地点番号、観測年月日等に設定している。また、新データは容易に追加が可能にしてある。

この1次データを処理して日本各地の降雨統計量に関する以下の2次データベースを作成した。

- (1) 年間総降水量、月別降水量
- (2) 1時間降雨強度の年間累積時間分布
- (3) 1分間降雨強度の年間累積時間分布
- (4) 安全係数を考慮した1分間降雨強度分布<sup>(6)(7)</sup>

データベース中の欠測データや不良データの影響を除くために統計処理に関して暫定的に以下の基準を設けた。すなわち、

- ① 1カ月の中で100時間以上の欠測(欠測率14%)があるとき、その月は欠測月とする。
- ② 1年間に欠測月が二つ以上あるとき、その年は欠測年とする。
- ③ 欠測月が0または1であっても年間500時間以上の欠測(欠測率5.7%)がある年は欠測年とする。
- ④ その地点に5年以上の有効年データがないとき、その地点は欠測点とする。

上述の基準はかなり厳しい条件になっているので、欠測に対する処理は十分と考えられる。また、この基準は観測開始時期が異なる地点のデータ処理の開始条件でもある。

さらに、欠測点のデータ補間のための図形出力上の処理として、

- ⑤ 緯度、経度方向に10km四方のメッシュを作り、この中に観測点があればそのデータで、観測点がなければ周りのデータの平均値で埋める。

### 6.2 解析結果

前節で述べたソフトウェアを実行することによって降雨に関する種々の情報を得ることができる(6.1節(1)~(4)等)。AMeDASデータは【データ3】そのものを用いた(期間:1976年1月~1988年12

月の13年間). ここでは解析結果の一例を示す.

図5は日本各地の1分間降雨強度の年間の0.01%値(平年値)を地図上に表示したものである. 図より,  $R_{m,0.01}$ が80mm/h以上となる地域が静岡県, 高知県の一部および九州西南部, 南西諸島に見られる. この種のマップとして年間総降水量に基づく推定値が森田によって示されているが<sup>(2)</sup>, AMeDASデータの利用によって, より高精度かつきめ細かい降雨強度の把握が可能となった.

本推定手法は, 基本的には長期間データを用いて平年値を推定するものであるが, 1年ごとの

$R_{1-5h}$ からその年の $R_{m,0.01}$ を推定することもでき, 図4の例に見られるように良い精度が期待される. 各年ごとの $R_{1-5h}$ が $R_{m,0.01}$ と良い相関があると仮定して<sup>(6)</sup>  $R_{1-5h}$ の標準偏差から $R_{m,0.01}$ の年ごとの変化の標準偏差 $\sigma_{Rm,0.01}$ を求めることができる. これによって前稿<sup>(7)</sup>で概念を提示した安全係数を考慮した特性を求めることができる.

図6は一例として東京の場合を示している. 図で $n$ は参考文献(7)で定義したMTBFであり, 再現期間値(return period)は $n+1$ である. 東京では平年( $n=1$ )の0.01%値が52mm/hであるが,

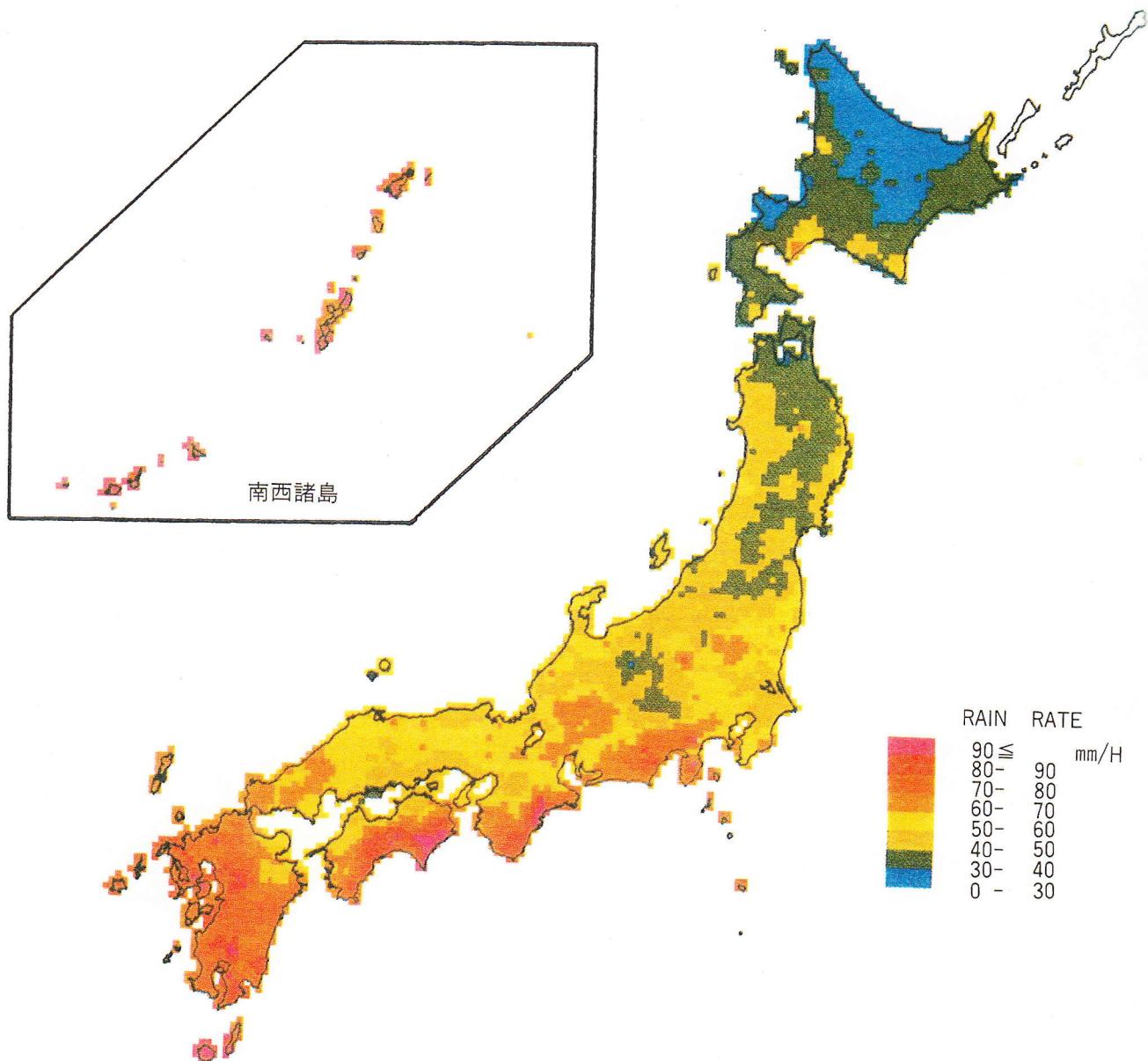


図5 日本各地の1分間降雨強度0.01%値の推定値

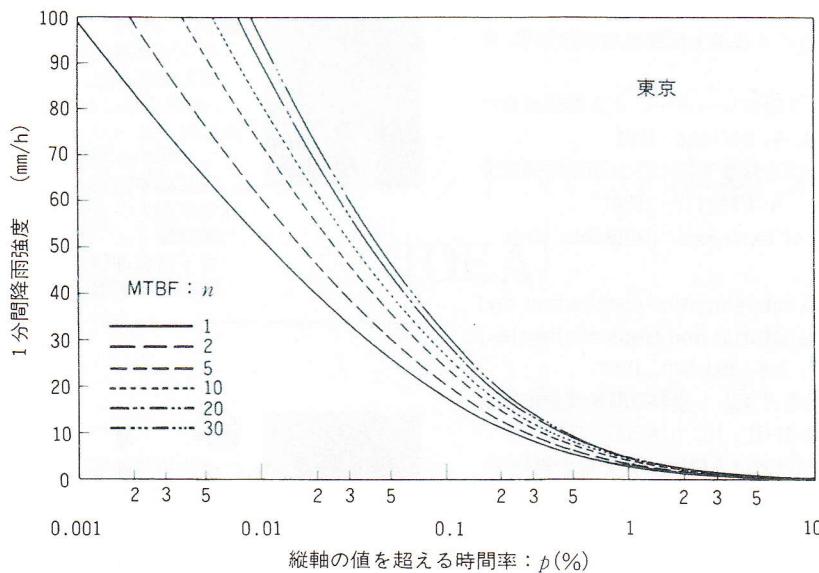


図6 安全係数を考慮した東京の1分間降雨強度特性（推定値）  
( $n+1$ 年に1回程度発生する最悪年統計)

この値を稼動・不稼動状態のしきい値とした場合、平均2年に1回は稼動率99.99%を満たさないことになる。一方、しきい値を $n=10$ に相当する83 mm/hとすれば平均10年間連続して規定の稼動率(99.99%)が満たされることになる。すなわち、年間統計で $R_{m,0.01} > 83$  mm/hとなるような年は平均的に11年( $=n+1$ )に1回発生することを意味する。

作成したソフトウェアにより、これらの処理結果はすべて2次データベースとして保存されているので、日本各地の降雨に起因する伝搬劣化量の推定に大いに利用可能である。

## 7. むすび

AMeDASの1時間降雨強度データより1分間降雨強度を求める手法(PROP-R)を提案し、その精度の評価を行った。その結果、平均誤差は3%以内、rms誤差16%であり、十分に実用に供し得ることが確認できた。また、実際にAMeDASデータを処理することにより日本各地の1分間降雨強度0.01%値の地理的分布を示した。

このように日本では1時間降雨強度から1分間降雨強度の推定が非常にうまくいっているので、

世界的に1分間降雨強度データが不足している地域で、かつ、1時間降雨強度データが存在する地域では、上記手法または、その若干の修正により1分間降雨強度の推定ができるものと期待される。

## 参考文献

- (1) P.L.Rice and N.R.Holmberg : Cumulative time statics of surface-point rainfall rates, IEEE Trans. Commun., COM-21, 10, 1131-1136, 1973.
- (2) 森田：年間及び強雨期における降雨強度分布の推定法、研実報, 27, 10, 2249-2266, 1978.
- (3) 森田、樋口：ミリメートル波帯降雨減衰の推定、研実報, 24, 9, 2061-2071, 1975.
- (4) 細矢：日本各地の1分雨量分布の一推定法、信学論(B), J71-B, 2, 256-262, 1988.
- (5) Y.Karasawa, T.Matsudo and T.Shiokawa : Statistics of one-minute rain rate distributions in Japan based on AMeDAS one-hour rain rate data, IEICE Int. Symp. Ant. Propagat. (ISAP'89), ID2-1, Tokyo, Japan, Aug. 1989.
- (6) 唐沢、松戸：降雨減衰推定における安全係数の概念、信学論(B), J71-B, 6, 772-778, 1988.
- (7) 唐沢、安永、松戸、山田：安全係数の概念を導入した降雨減衰推定法、国際通信の研究, No.139, 1-9 (Jan. 1989).
- (8) 入江：1分間降雨強度累積時間率分布とその推定法、信学論(B-II), J72-B-II, 10, 577-579, 1989.
- (9) 土井：日本各地における1分間降雨強度の累積時間分布(その1)、テレビジョン学会技報, 12, 47, 1988.
- (10) H.Fukuchi et al. : Centimeter wave propagation experiments using the signals of CS and BSE satellites, IEEE

Trans. Antennas Propagat., AP-31, 4, 603-613, 1983.

- (11) 阿波加他：5年間にわたるミリ波地上伝搬実験統計結果, 信学技報, A.P86-5, 1986.
- (12) 山田, 古田, 横井, 小川: 2周波レーダーによる降雨減衰の測定, 信学論(B), J64-B, 9, 947-954, 1981.
- (13) 唐沢, 松戸, 早川: 日本全国を対象とする1分間降雨強度分布推定法 [II], 信学技報, A.P89-112, 1990.
- (14) E.J.Gumbel: Statistics of extremes, Columbia Univ., New York, 1958.
- (15) P.Moupfouma: Rainfall rate statistics distribution and induced attenuation in equatorial and tropical climates, Ann. Telecommun., 37, 3-4, 493-500, 1982.
- (16) 唐沢, 松戸: 日本全国を対象とする1分間降雨強度分布推定法, 信学論(B-II), J73-B-II, 10, 518-527, 1990.
- (17) 森田: 準ミリ波帯中継回線における降雨減衰分布の推定法, 信学論(B), J67-B, 7, 768-774, 1984.
- (18) M.Yamada et al.: A propagation experiment on earth-space paths of low elevation angles in the 14 and 11 GHz bands using the INTELSAT-V satellite, IEICE Int. Symp. Ant. Propagat. (ISAP'85), Kyoto, Aug. 1985.



からさわ よしお  
唐沢 好男

研究所無線応用グループ主任研究員  
昭和52年入社。海事衛星通信用小型アンテナ、衛星通信における電波伝搬の研究、特に海面反射フェージング、降雨減衰、シンチレーションに関する理論および実験的研究に従事。

昭和48年山梨大学工学部電気工学科卒業。  
52年京都大学大学院工学研究科(電子工学)修士課程修了。

電子情報通信学会、IEEE、AIAA会員。  
昭和58年度電子通信学会学術奨励賞受賞。



まつど たかし  
松戸 孝

研究所無線応用グループ

昭和61年入社。衛星通信および端末系広帯域無線の電波伝搬の研究に従事。  
昭和59年電気通信大学電気通信学部応用電子工学科卒業。61年同大学院電気通信学研究科(応用電子工学専攻)修士課程修了。

電子情報通信学会会員。