日本主要都市の確率降雨強度式について*

正員　石　黒　政　儀**

ON THE FORMULA FOR PROBABLE RAINFALL INTENSITIES IN MAIN CITIES IN JAPAN

By Masayoshi Ishiguro, C.E. Member

Synopsis : In this paper, the author proposes a new method of computing the rainfall intensity formula of short duration, basing on the "Theory of Probability", the author has named this new method "Probable rainfall intensity formula".

Furthermore, as a result of applying the new method to the cases in the main cities in Japan, a new formula for the rainfall intensity of short duration in Japan has been derived, that is in the form; $I=a/(b+\sqrt{t})$ in which, I=rainfall intensity (mm/hr), t=duration of rainfall (5～120 min)a and b=Constants.

The constants are determined on the basis of the data obtained from more than 26 cities, such as SDNDAI in TOHOKU region down to NAHA in OKINAWA Island in Japan.

This formula may be advantageously applicable to the estimation of flood discharges in small drainage areas, especially suitable for estimating the storm sewage.

要旨　本論文は確率理論によつて短時間の降雨強度式を算定する方法を提唱し，これを確率降雨強度式と呼ぶことにした。ついでこの方法を本邦主要都市に適用した結果，日本における短時間降雨強度式に関する新しい公式を提示した。その式は $I=a/(b+\sqrt{t})$ で I は降雨強度（mm/hr）．a, b は常数，t は継続時間（min）である。これらの常数と式型は本邦の東北地方，仙台市より沖縄島，那覇市まで26都市の降雨資料によつて決定したものである。この式は小流域の河川洪水流量算定にも応用でき，特に都市下水道の雨水流出量の算定にはラショナル式によつて有効に適用することができると思われる。

1. 緒　言

都市下水道，小河川洪水流量，小区域排水工等の設計計画をなすには，当該地方における短時間強雨の特性を明らかにする事が最も重要である。本研究では短時間強雨の特性について，本邦主要都市 26 市の降雨記録を資料とし総計 7 700 個の強雨を対象としてこの問題を究明した。旧来の短時間降雨強度式の推定法では，降雨の特性を正確に明示できるとはいえず，更に資料統計年数以上の強雨も推定できないので，水文統計学の応用である超過確率算法による確率降雨強度式の算定法を研究し，各地の確率降雨強度式を 2 年～100 年確率まで算出決定した。従来の降雨強度式算定法では，ただ一回の最小自乗法の適用によつて一個の標準降雨強度式を決定し，それを利用しているが，本法によれば工事区域の重要度に応じて降雨強度を変え雨水流量の算定ができ，より合理的な設計計画が可能となり，中小河川の洪水流量の算定にも確率洪水流量として利用することができる。

更に本法を各都市に適用した結果，本邦の短時間強雨の強度式としては，従来広くわが国で用いられているタルボート・シャーマン両式型の中間型ともいえる次式 $I=a/(b+\sqrt{t})$ すなわち降雨強度は継続時間の平方根とある常数を加わえたものが，ある常数に逆比例する式が，東京，水戸を除いたすべての都市で最も簡易にして精度の高い式である事を確かめた。

本法で算定した確率降雨強度式では，合理式または滞流式を用うる場合は，ただちに何年確率雨水流量として算出されるが，ビュルクリ系実験公式でも $\sqrt{t}$ に $t=60$ とおけば 時間雨量（強度）となるので，確率雨水流量の算定ができ，現用都市の採用時間雨量および流出量の全国比較も可能である。

2. 確率降雨強度式の算定法

短時間強雨の特性については古くより，主に都市下水道を対象として多くの研究がなされているが，大別してビュルクリ系実験公式と合理式との 2 つに分けられる[1]。ビュルクリ系実験式は時間雨量のみを対象とせる式で

* 第 7 回日本工学会大会（昭.31.5.27）および，土木学会第 13 回年次学術講演会（昭.33.5.）にて一部発表
** 宮崎大学助手，工学部土木工学教室

あり，継続時間によつて降雨強度が変化する事実よりすればこれは不完全で，降雨特性の立場からは合理式に用いられて来た降雨強度式が最もよく表示できるので，これについて論究する。

旧来の降雨強度式の決定で最も不安定な点は，各都市一個の標準降雨強度式の算出過程において[2,3]，各継続時間における降雨の最大値より，第何位かを一個とり出して式を決定しているが，これは降雨資料を多く集めても，その上位数個のみが対象となり下位の降雨は順位のみ関係し，強度は無関係となり，全降雨の形態すなわち降雨の性格を表示することはできない。これらの欠点を除去するために最大値から最小値までの全資料を統計学的に処理し，確率理論を用いて順位すなわち確率値を算出し，しかる後に式形を決定する確率降雨強度式の算定法を提唱する。

都市下水道計画では一般に 2～5 年確率程度の強雨を対象としているが，これのみであれば最も簡単な経験確率算法を用いればよい。しかしこの方法では統計年数以上に大きな強雨は推定できないし，重要工場地帯周辺の排水工や，小河川洪水流量のごとく50～100 年確率降雨の算出は不可能であるから，超過確率計算法を用いるとこれらの両者を同時に算定する事ができる。以下確率降雨強度式の算定法をその算出順序に従つて列記する。

1）雨量記録の採り方　各継続時間ごと，5，10，20，30，40，60，80，120 分の年最大降雨量を降雨記録より摘出する。記録年数は長期にわたるものほどよい。この場合ほとんどの気象台，測候所では年最大の時間雨量および 10 分または 20 分雨量が気象年報，月報に年月日と共に記入してあるので摘出は容易である。しかし他の継続時間に対するものは必らず自記紙上より読定算出する。

2）降雨量順位表の作製　1）にて摘出された降雨量を大きいものより各継続時間ごとに年代順に関係なく列記する。

3）降雨強度への換算　降雨量 R を降雨強度 I にすべての値を換算する，計算は次式による。

$$I=R\times\frac{60}{t}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

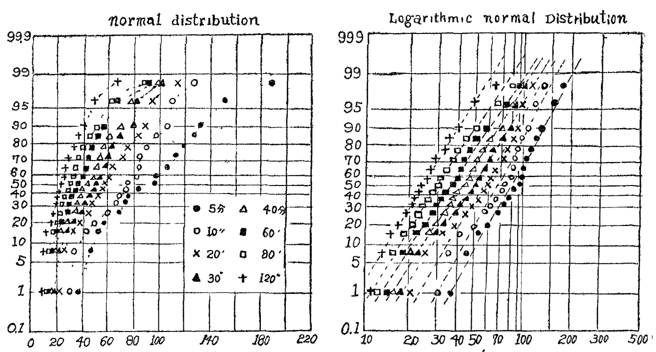
ここに　I：降雨強度（mm/hr），R：降雨量（mm），t：継続時間（min）

4）各継続時間ごとの降雨形態の分布検定　確率計算を行うにはデーターがいかなる分布に属するかを検定せねばならぬが，水文現象，特に降雨分布については，すでに多くの研究や討議がなされ大体において対数正規分布が多いが[4,5,8,9,10]，正規分布の方が適当な場合もあるので[6]，ここでは対数正規分布と正規分布との両者について比較検定する。まず全資料（または適当な小区間代表値）を次式すなわち Hazen plot にて算出する。

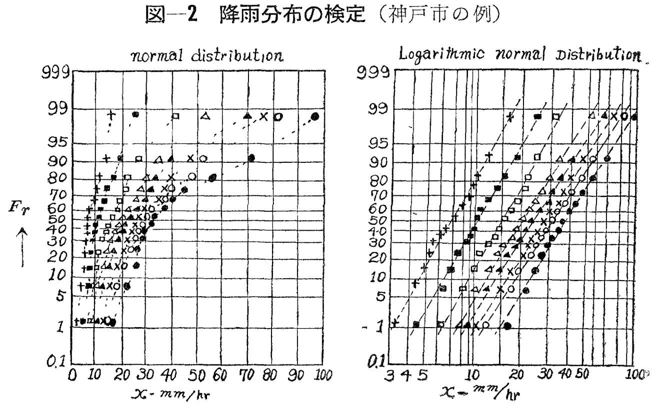
$$F_r=(2r-1)/2n\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

F_r は非超過の確率，r は資料の小さいものから，大きい順に並べたときの順位（大きい方からの順位でも可），n は資料総数である。(2) 式にて算出された値を，確率紙（正規分布）および Hazen 紙（横軸対数目盛で対数正規分布）にプロットする。測定点がより直線に近い程，その分布に従つているので[7]，いずれの分布かを判定する。この場合いずれの分布か判定困難な場合または厳密に行う場合は，適合度の検定法として V. Mises や N. Smirnov，x^2 検定法[7] によればよいが，高瀬氏の研究[5] になる変動理論による実用的な支配曲線の定め方が最適である。図—1,2 はこの検定の一例で，明らかに対数正規分布に属し，本研究においては，ほとんどの場合対数正規分布であつた。

図—1　降雨分布の検定（名古屋市の例）



図—2　降雨分布の検定（神戸市の例）



5）棄却検定 図上の直線性による判定または，計算にてかけ離れて大，小の測定値に対しては，Thompson の方法か棄却限界法，高瀬氏の変動理論による方法にて棄却する。

6）正規分布の場合の超過確率計算 ガウスの正規分布関数であり一般統計で広く用いられている次式による

$$\Phi(x)=\frac{h}{\sqrt{\pi}}e^{-h^2x^2}$$

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma}e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$W=\frac{1}{2}-\Phi(t) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$S=1-W=\frac{1}{2}+\Phi(t) \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\left.\begin{aligned}&\text{平均値}\cdots m=\bar{x}=\sum_{i=1}^{N}x_i/N\\&\text{不偏分散}\cdots\sigma^2=u^2=\sum_{i=1}^{N}(x_i^2-N.\bar{x}^2)/(N-1)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(6)$$

(6) 式から母数 m,σ^2, を算出し，(3)，(4) 式よりWを決定し t を求め，t より W に対する x を求めればよい。

7）対数正規分布の場合の超過確率計算 正規分布の変量xの代りに $\log x$ を用いればよいので

$$f(x)=\frac{\log e}{x\sqrt{2\pi}\,\sigma_t}e^{-\frac{(\log x-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\left.\begin{aligned}&\text{平均値}\cdots m=\log\bar{x}=\sum_{i=1}^{N}\log x_i/N\\&\text{不偏分散}\cdots\sigma_t^2=u_t^2=\sum_{i=1}^{N}(\log x_i-\log\bar{x})^2/(N-1)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(8)$$

岩井法による場合は[8)]

$$W_0(x)=\frac{1}{2}[1-\Phi_0(\xi)]$$

$$\Phi_0(\xi)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\xi}e^{-\xi^2}d\xi \quad \cdots\cdots(9)$$

$$\xi=C\cdot\log\{(x+b)/(x_0+b)\} \quad \cdots\cdots(10)$$

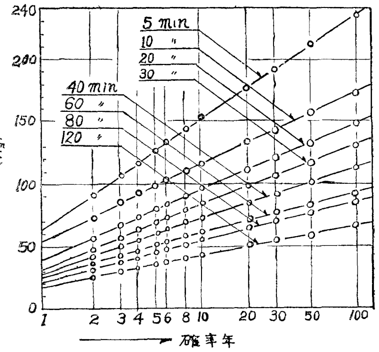
$$\left.\begin{aligned}&\text{平均値}\cdots m=\log(x_0+b)\\&\text{不偏分散}\cdots\sigma_t^2=\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\{\log(x_i+b)-\log(x_0+b)\}^2/(N-1)}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(11)$$

本法による場合は，特に短時間強雨では下限値 b の算出値が不安定となることが多いので，本文のごとく短時間降雨では標本値が小さいので算定の最初から $b=0$ として算出すると，算出は非常に簡略化される[14)]。

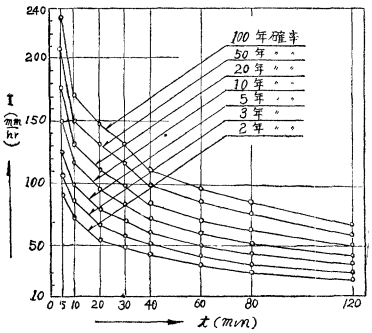
8） 各継続時間ごとに（5 min～120 min）計 8 回の超過確率計算を，正規または対数正規かいずれかに従つて (3)～(11) 式を用いて行う。

9） 各継続時間ごとの超過確率値が算出されれば，同一確率年値を第 2 データーとして配列する。図―3 は各継続時間（min）ごとに算出した確率値である（旧来の降雨強度式決定にて生じていた継続時間の相違にもかかわらず降雨強度同値のごとき不合理は解消する[2)]）。これを同一確率年で縦軸の値をデーターとして採用する。図―4 は名古屋市における同一確率年値を各継続時間を横軸とし強度を縦軸として配列したものである。

図―3 継続時間別確率値（名古屋市の例）



図―4 同一確率値の配列図（名古屋市の例）



表—1 本邦主要都市確率降雨強度式一覧表

番号	都市名	確率年別降雨強度式 2 年	3 年	5 年	10 年	15 年	20 年	30 年
1	仙台市	$I_2=\frac{225}{0.44+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{280}{0.44+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{345}{0.45+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{430}{0.46+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{475}{0.46+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{510}{0.47+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{560}{0.47+\sqrt{t}}$
2	水戸市	$I_2=\frac{3\,460}{36.7+t}$	$I_3=\frac{4\,170}{38.7+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{4\,950}{40.5+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{6\,075}{43.7+t}$	$I_{15}=\frac{6\,640}{44.1+t}$	$I_{20}=\frac{7\,010}{44.7+t}$	$I_{30}=\frac{7\,700}{46.5+t}$
3	東京都	$I_2=\frac{3\,350}{27.0+t}$	$I_3=\frac{4\,000}{28.0+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{4\,770}{29.0+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{5\,730}{30.0+t}$	$I_{15}=\frac{6\,260}{30.0+t}$	$I_{20}=\frac{6\,630}{30.5+t}$	$I_{30}=\frac{7\,150}{30.7+t}$
4	横浜市	$I_2=\frac{290}{0.64+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{335}{0.68+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{390}{0.72+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{455}{0.76+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{490}{0.78+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{515}{0.79+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{550}{0.81+\sqrt{t}}$
5	浜松市	$I_2=\frac{315}{1.19+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{380}{1.15+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{460}{1.14+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{560}{1.13+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{655}{1.12+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{675}{1.11+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{715}{1.10+\sqrt{t}}$
6	名古屋市	$I_2=\frac{320}{1.26+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{385}{1.29+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{450}{1.35+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{550}{1.40+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{605}{1.42+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{645}{1.44+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{700}{1.45+\sqrt{t}}$
7	尾鷲市	$I_2=\frac{720}{3.20+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{860}{3.35+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{1\,160}{5.09+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{1\,350}{5.12+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{1\,510}{5.50+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{1\,620}{5.74+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{1\,775}{6.07+\sqrt{t}}$
8	京都市	$I_2=\frac{290}{0.49+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{340}{0.71+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{400}{0.77+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{490}{0.95+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{510}{1.02+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{535}{1.04+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{580}{1.09+\sqrt{t}}$
9	大阪市	$I_2=\frac{235}{0.39+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{285}{0.36+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{340}{0.32+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{410}{0.27+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{450}{0.24+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{480}{0.22+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{515}{0.19+\sqrt{t}}$
10	神戸市	$I_2=\frac{210}{0.21+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{250}{0.22+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{300}{0.22+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{360}{0.22+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{400}{0.23+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{420}{0.23+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{455}{0.23+\sqrt{t}}$
11	和歌山市	$I_2=\frac{335}{3.04+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{390}{2.36+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{440}{1.71+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{500}{1.10+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{535}{0.80+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{580}{0.86+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{625}{0.68+\sqrt{t}}$
12	潮　岬	$I_2=\frac{340}{2.74+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{420}{2.37+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{520}{2.07+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{655}{1.83+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{730}{1.61+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{780}{1.52+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{860}{1.39+\sqrt{t}}$
13	多度津	$I_2=\frac{200}{0.59+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{230}{0.29+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{260}{0.04+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{300}{\sqrt{t}-0.20}$	$I_{15}=\frac{330}{\sqrt{t}-0.38}$	$I_{20}=\frac{350}{\sqrt{t}-0.38}$	$I_{30}=\frac{370}{\sqrt{t}-0.45}$
14	徳島市	$I_2=\frac{310}{1.28+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{366}{1.29+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{430}{1.31+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{510}{1.33+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{560}{1.34+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{590}{1.35+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{640}{1.35+\sqrt{t}}$
15	松山市	$I_2=\frac{215}{1.05+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{245}{9.83+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{280}{0.63+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{320}{0.43+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{340}{0.35+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{360}{0.32+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{380}{0.20+\sqrt{t}}$
16	高知市	$I_2=\frac{490}{1.75+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{590}{2.13+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{670}{2.21+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{780}{2.32+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{850}{2.35+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{885}{2.37+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{950}{2.41+\sqrt{t}}$
17	広島市	$I_2=\frac{220}{1.62+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{225}{1.29+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{300}{1.00+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{350}{0.73+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{380}{0.60+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{400}{0.51+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{435}{0.41+\sqrt{t}}$
18	福岡市	$I_2=\frac{305}{1.18+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{345}{0.79+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{390}{0.76+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{450}{0.53+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{485}{0.41+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{505}{0.34+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{535}{0.25+\sqrt{t}}$
19	佐賀市	$I_2=\frac{290}{\sqrt{t}+0.52}$	$I_3=\frac{330}{\sqrt{t}+0.32}$	$I_5=\frac{380}{0.11+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{435}{\sqrt{t}-0.075}$	$I_{15}=\frac{470}{\sqrt{t}-0.21}$	$I_{20}=\frac{490}{\sqrt{t}-0.27}$	$I_{30}=\frac{520}{\sqrt{t}-0.34}$
20	長崎市	$I_2=\frac{380}{2.10+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{430}{1.69+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{490}{1.26+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{570}{0.91+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{620}{0.73+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{650}{0.65+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{700}{0.51+\sqrt{t}}$
21	熊本市	$I_2=\frac{290}{0.60+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{340}{0.66+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{390}{0.70+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{450}{0.73+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{490}{0.74+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{515}{0.75+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{550}{0.76+\sqrt{t}}$
22	大分市	$I_2=\frac{2\,650}{1.76+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{320}{1.26+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{390}{1.17+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{490}{1.08+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{550}{1.03+\sqrt{t}}$	$I_{25}=\frac{590}{0.98+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{605}{0.79+\sqrt{t}}$
23	宮崎市	$I_2=\frac{470}{2.02+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{570}{2.10+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{720}{2.16+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{955}{3.23+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{1\,090}{3.22+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{1\,210}{3.88+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{1\,345}{4.03+\sqrt{t}}$
24	鹿児島市	$I_2=\frac{430}{2.07+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{500}{2.09+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{550}{2.11+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{630}{2.13+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{670}{2.14+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{700}{2.14+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{740}{2.15+\sqrt{t}}$
25	屋久島	$I_2=\frac{530}{2.26+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{620}{2.88+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{700}{3.18+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{820}{3.75+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{870}{3.93+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{930}{4.27+\sqrt{t}}$	$I_{30}=\frac{990}{4.56+\sqrt{t}}$
26	那覇市	$I_2=\frac{360}{0.06+\sqrt{t}}$	$I_3=\frac{425}{0.32+\sqrt{t}}$	$I_5=\frac{500}{0.58+\sqrt{t}}$	$I_{10}=\frac{600}{0.87+\sqrt{t}}$	$I_{15}=\frac{650}{1.01+\sqrt{t}}$	$I_{20}=\frac{690}{1.11+\sqrt{t}}$	—

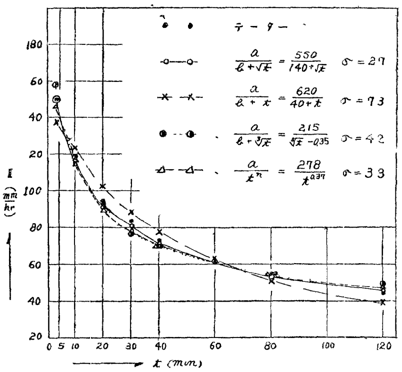
10) 配列されたる降雨強度（第2データー値）を用いて各確率年ごとの式の決定を最小自乗法にて行う。式型決定は従来降雨強度式に用いていた各式すなわち[3)]

$$I=a/(b+t),\ I=a/(b^n+t),\ I=a/t^n,\ I=a/(b+\sqrt{t}),\ I=a/(b+\sqrt[3]{t})\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

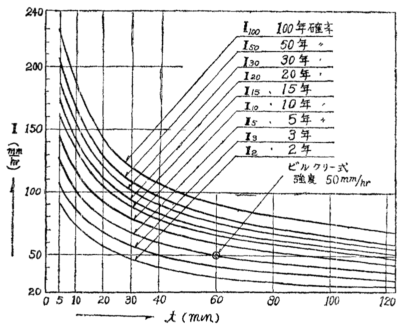
等について比較決定するが，観測値と計算値との母分散を計算し標準偏差 σ を算出し σ の小なるもの，または図上判別を行う。ほとんどの場合各確率年ごとのデーターは同一勾配となつているので，いずれか一つについて式型決定を行えばよいことになる。図—5 は名古屋市における 10 年確率の式型決定の例である。

50 年	100 年	記録年	統計年数	現用式
$I_{50}=\frac{630}{0.47+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{720}{0.47+\sqrt{t}}$	1927～1956	30	ビルクリチーグラー式 50 mm/hr
$I_{50}=\frac{8\,360}{46.9+t}$	$I_{100}=\frac{9\,400}{48.4+t}$	1936～1956	21	ビルクリチーグラー式 50 mm/hr
$I_{50}=\frac{7\,800}{35.9+t}$	$I_{100}=\frac{8\,680}{31.1+t}$	1925～1956	32	$I=\frac{5\,000}{40+t}$
$I_{50}=\frac{600}{0.82+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{655}{0.84+\sqrt{t}}$	1926～1956	31	ビルクリチーグラー式 60 mm/hr
$I_{50}=\frac{790}{1.09+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{890}{1.07+\sqrt{t}}$	1908～1956	49	$I=\frac{5\,000}{40+t}$
$I_{50}=\frac{770}{1.49+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{660}{1.49+\sqrt{t}}$	1898～1956	59	ビルクリチーグラー式 50 mm/hr
$I_{50}=\frac{1\,960}{6.39+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{2\,225}{6.87+\sqrt{t}}$	1937～1956	20	決定式なし
$I_{50}=\frac{630}{1.20+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{690}{1.21+\sqrt{t}}$	1916～1956	41	フリックス式 52 mm/hr
$I_{50}=\frac{570}{0.17+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{640}{0.13+\sqrt{t}}$	1911～1956	45	ブリックス式 60 mm/hr
$I_{50}=\frac{500}{0.23+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{560}{0.23+\sqrt{t}}$	1903～1955	53	$I=\frac{400}{t^{0.45}}$
$I_{50}=\frac{640}{0.24+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{700}{0.005+\sqrt{t}}$	1916～1955	40	$I=\frac{5\,000}{40+t}$
$I_{50}=\frac{950}{1.23+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{1\,110}{1.12+\sqrt{t}}$	1913～1955	43	決定式なし
$I_{50}=\frac{400}{\sqrt{t}-0.53}$	$I_{100}=\frac{450}{\sqrt{t}-0.63}$	1911～1955	45	決定式なし 45 mm/hr
$I_{50}=\frac{700}{1.35+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{770}{1.36+\sqrt{t}}$	1906～1955	50	ビルクリチークラー式 60 mm/hr
$I_{50}=\frac{400}{0.11+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{445}{0.008+\sqrt{t}}$	1936～1954	19	ビルクリチークラー式 40 mm/hr
$I_{50}=\frac{1\,020}{2.45+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{1\,125}{2.47+\sqrt{t}}$	1905～1954	50	ビルクリチーグラー式 70 mm/hr
$I_{50}=\frac{470}{0.30+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{530}{0.16+\sqrt{t}}$	1913～1955	43	ビルクリチークラー式 45 mm/hr
$I_{50}=\frac{575}{0.14+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{630}{0.01+\sqrt{t}}$	1926～1954	29	$I=\frac{5\,100}{50+t}$
$I_{50}=\frac{565}{\sqrt{t}-0.42}$	$I_{100}=\frac{620}{\sqrt{t}-0.552}$	1922～1954	33	決定式なし
$I_{50}=\frac{760}{0.38+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{840}{0.21+\sqrt{t}}$	1921～1954	34	$I=\frac{5\,000}{40+t}$
$I_{50}=\frac{600}{0.76+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{680}{0.90+\sqrt{t}}$	1928～1954	27	$I=\frac{5\,800}{56+t}$
$I_{50}=\frac{705}{0.72+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{850}{0.88+\sqrt{t}}$	1887～1953	67	$I=\frac{4\,000}{40+t}$
$I_{50}=\frac{1\,535}{4.31+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{1\,815}{4.07+\sqrt{t}}$	1914～1952	39	$I=\frac{7\,150}{70+t}$
$I_{50}=\frac{790}{2.16+\sqrt{t}}$	$I_{100}=\frac{855}{2.17+\sqrt{t}}$	1916～1953	38	$I=\frac{6\,600}{50+t}$
$I_{50}=\frac{1\,080}{4.92+\sqrt{t}}$	—	1938～1954	17	決定式なし
—	—	1951～1956	6	$I=\frac{357}{(t-2)^{0.49}}$

図―5　降雨強度式の比較決定図
（10 年確率，名古屋市の例）



図―6　確率年別降雨強度式図



11） 本邦では **表―1** のごとくほとんどの都市で Talbot 型と Sherman 型との中間型ともいえる次式が，精度が高く簡易な式であることを確かめた。

$$I=a/(b+\sqrt{t})\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

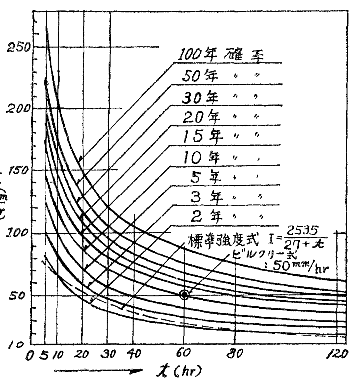
12） 以上の計算により確率年ごとの式は所望の確率年に応じて 2 年～100 年確率等が算出決定できる。**図―6** は名古屋市の確率降雨強度式決定の例である。

3．本邦主要都市の確率降雨強度式

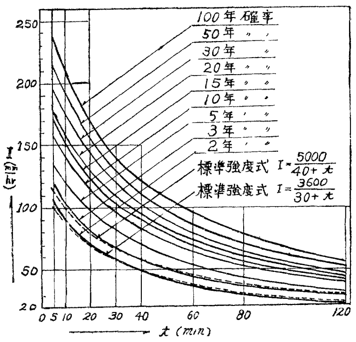
確率降雨強度式を本邦主要都市 26 市について算出決定した結果は **表―1** のようである。これらを **図―7～11** まで各地方の代表都市，仙台，東京，名古屋，広島，高知，宮崎について示した。これによると合理式を用いていた都市の標準降雨強度式は 2～5 年確率がほとんどであり，時間雨量のみで雨水流量決定を行つているビュルクリ系実験公式の都市では 5～20 年の確率時間雨量に相当する雨量を採用している。このことは同一雨量を用いて合理式とビュルクリ式で算出される雨水流量は合理式が大きい値を与え，不経済であるとの長期の論争も，わが国における都市下水道では雨量のとり方によつて相殺され，ほぼ同一の流量算定を行つているのではないかと思われる。

図―12 は尾鷲，高知，宮崎，東京，鹿児島，名古屋，大阪，仙台，神戸，松山，広島の代表的都市 11 市を選び都市下水道計画で最も多く使用される 3 年確率降雨強度式の比較図である。これより各地の強度は時間が短かい程強くなり，その割合は一定している。しかし東京等のように他の都市と異なつた変化をなす所があり，板倉

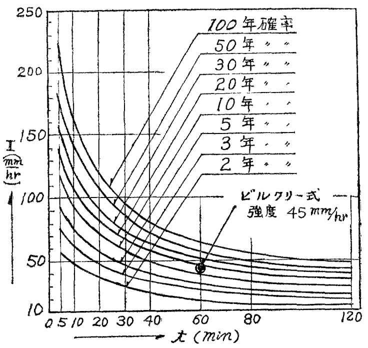
図—7　仙台市の確率降雨強度図



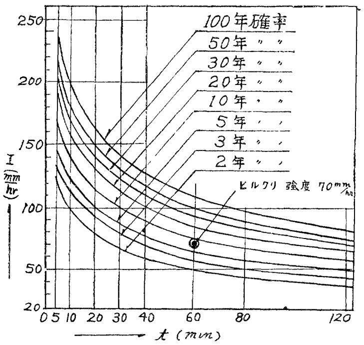
図—8　東京都の確率降雨強度図



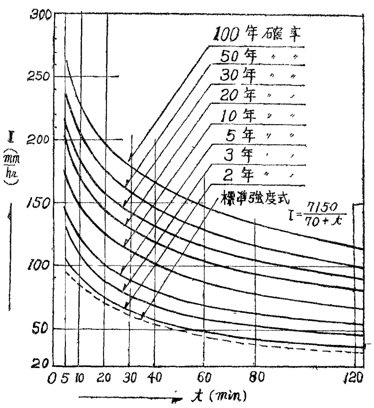
図—9　広島市の確率降雨強度図



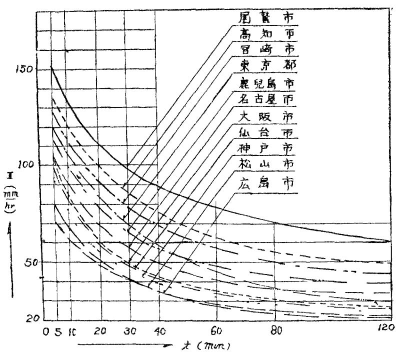
図—10　高知市の確率降雨強度図



図—11　宮崎市の確率降雨強度図



図—12　3年確率降雨強度比較図



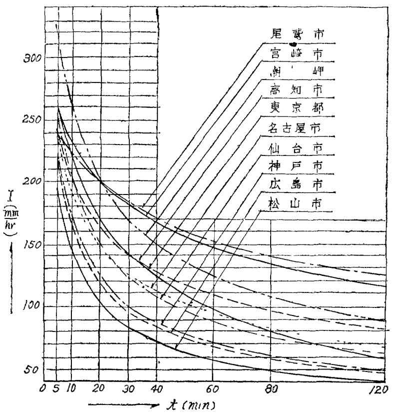
博士の研究のごとくいく種類かに分類できる。このことはビュルクリ系実験公式などで，時間雨量のみによつて強度は時間的に変化する事実を無視している流量式は不合理なものといえよう。

図—13 は小河川，上流域ダムまたは重要工場地帯周辺下水等を対象とせる場合に必要な 100 年確率降雨強度を代表 10 都市について示したものである。**図—14** は決定式に $t=60$ を代入，すなわち時間雨量（強度）の確率年図を示したものであるが，本文でとり扱つた都市では尾鷲，宮崎が最も強く瀬戸内海沿岸の松山，高松では前者の約 1/3.5 の強度であることを判然と示している。全国の都市下水道計画の強度比較は本図によりただちに大小を判断することができる。なお，現在ビュルクリ系公式を採用している多くの都市では，本図および決定式に $t=60$ min を代入すれば確率時間雨量が算出されビュルクリ系公式より確率雨水流量の算定ができる。

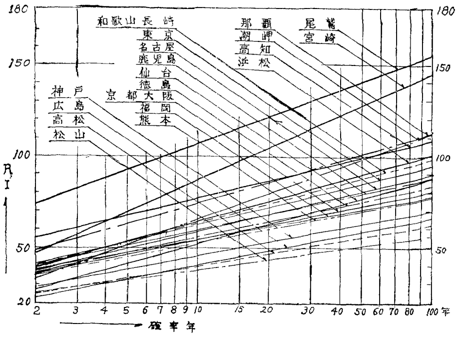
4. 結　言

本文では最も降雨の特性を良く表示できるラショナル式に用いられて来た降雨強度式に全国統一し，更に従来の降雨強度式算定における欠点を除去し，最も良く降雨特性を表示できる式型を得たが，これらの要点をあげると，

図—13　100 年確率降雨強度比較図



図—14　確率時間雨量比較図



1)　従来の降雨強度式算定において主観的になりがちであつた順位選定法を改め，全降雨資料を用いて統計学的処理法を導入し確率降雨強度式算定法を提唱した。

2)　各都市にて標準降雨強度式一個のみによつて設計計画を行つていた従来の方法と異なり，所要の工事重要度に応じて採用しうる。確率強度 2 年～100 年等が算出でき，より合理的な設計が可能である。

3)　降雨強度式型は Talbot, Sherman, Cleveland 型等のすべてを含有している $I=a/(b+\sqrt{t})$ が最も簡易にして精度が高く，これを本邦代表式とした。

4)　流達時間 2 時間以内の小河川洪水流量算定や，小流域排水暗キョ等の一般的な算定式はあまりないので，本文ではこれにも利用できるごとく各地の式を算出決定した。

5)　短時間の降雨強度は 60 分（更に 10 分）の降雨量が判明すれば，本邦では数個の式で示すことが可能である。これについては目下「日本短時間強雨の特性係数式に関する研究」として資料整理研究中である。

6)　従来のビュルクリ系実験公式は降雨特性の立場よりすれば，時間雨量のみで左右され他の任意継続時間に対する強度係数がないので全く不完全といえる。

7)　従来のビュルクリ系実験公式を用いて雨水量算出の場合は，本法の算出決定式へ，$t=60$ を代入すれば時間雨量の確率値であるから，確率雨水流量が算出され，従来よりも合理的となる。

8)　本法算出決定式で $t=60$ を代入した値は確率時間雨量であるから，ビュルクリ系公式を採用している各都市降雨量の比較（何年確率）が全国可能である。

9)　現用各都市の合理式に用いている標準降雨強度式は，2～5 年確率強度がほとんどである。

10)　ビュルクリ系公式を用いている都市の現用時間雨量は 5～20 年確率である。

11)　9),10) および計算比較の結果，ビュルクリ系実験公式は合理式よりも少ない流量を算出する論議は，日本においては雨量のとりかたによつて，結果的にはほとんど大差のない雨水流量を算定していた事が判明した。

本研究は昭和 27 年度より「日本降雨特性の研究」として続けて来たものの一部であるが，その間すべての資料は現地気象台測候所の記録より摘出し，気象庁，各気象台，日本水道協会，各都市水道局，下水部等の助力にあづかり，本学 29,31,32,33 年度卒業生 21 名の労に感謝すると共に，終始御指導頂いた，宮崎大学川上教授，小林教授，気象庁統計課長 斎藤博士，および本文の御高閲，御指導を賜わつた京都大学教授岩井博士に深謝し，あわせて昭和 31 年度文部省科学研究費を受けた事を付記する。

参考文献

1)　日本水道協会編・下水道統計，第 12 号，4，設計基準
2)　下水工学，田中寅界著，p. 18
3)　水理公式集，昭和 32 年改訂版，第 3 編上下水道，p. 197，土木学会編
4)　石原，高瀬：対数正規分布とその積率による解法，土木学会論文集，47 号，1957 年
5)　高瀬：対数正規分布に関する順序統計学的考察，土木学会論文集，47 号，1957 年
6)　新井，鈴木，田川　発電計画における基礎流量資料の取扱いについて，電力気象連絡会彙報 4 巻 1 号
7)　統計ハンドブック，1 観測整理，p. 217，東京工大統計工学研究会編
8)　岩井：Slade 型分布の非対称性の吟味及びその 2,3 の解法，土木学会論文集，第 4 号，1949 年
9)　J.J. Slade : An Asymmetric Probability Function, Trans. A.S.C.E. Vol. 101. p.p. 35～104. 1936
10)　E.J.Gumbel. : The retrn Period of flood flows, Ann. Math. Stat. Vol. 12. p.p. 163～190. 1928
11)　川上，石黒：宮崎市に於ける台風性連続降雨並びに短時間強雨の特性に関する研究，宮崎大学開学記念論文集，1553，7
12)　川上，石黒：東南九州地方の降雨特性，宮崎大学工学部研究報告条 1 号，1955，3
13)　川上，石黒：西北九州地方の降雨特性，同第 3 号，1957，3
14)　川上，石黒：中国四国地方の降雨特性，同第 4 号，1958，3
15)　川上，石黒：九州および西南四国地方の降雨特性について，第 7 回・日本工学会大会第Ⅲ部講演概要 1956，5.25

（昭.34. 2. 6）