時間雨量の時・空間分布特性に関する2,3の考察

京都大学工学部　正員　高棹琢馬
京都大学防災研究所　正員　○池淵周一
松尾橋梁　正員　森田芳朗
鹿島建設　正員　斉藤茂

1.はしがき　水資源システムの計画，設計，操作問題において，降雨の時・空間分布特性の分析・綜合は重要である。本研究は，テレメータシステムの整備，拡充にともなう時間雨量データの収集，蓄積状況を考え，1)数年間の時間雨量データから，年，季節といった単位での降雨量分布特性を誘導する問題，および2)時間単位での地点雨量と面積雨量との間の確率統計的関係およびそのシミュレーション法を構成する立場から，時間雨量データの時・空間分布構造を調査する問題を考察したものである。

2.時間雨量データから年あるいは季節降雨量の分布特性を誘導する問題　地点降雨量においては，一定時間内の一連の降雨事象は，ある条件の下で，すなわち，平均無降雨時間数が平均降雨時間数に比べて，非常に大きい場合，それぞれの降雨事象は独立しているとみることができる。そこで，1)一定時間内にある地点の一連の降雨事象の分布は，互いに独立であり，定常であると仮定することによってポアソン分布に従う，2)一定時間内のある一回の降雨事象によってもたらされる降雨量は互いに独立であり，時間に無関係に一様に分布しており，その分布はガンマ分布に従う，3)上記1),2)を用いて，一定時間内の総降雨量は，ポアソン分布とガンマ分布の複合分布として表現できる。このように考えると，ある地点の年あるいは季節単位の降雨量分布特性が時間雨量データの統計量から誘導することができる[参)]。

(1)　$P_{N|t}(\nu)=(\omega t)^{\nu}e^{-\omega t}/\nu!$　，$(\nu=1,2,3,\cdots\cdots)$　：一定時間t内の降雨回数νの確率密度関数（ポアソン分布）

(2)　$f_H(h)=G(k,\lambda)=\lambda(\lambda h)^{k-1}e^{-\lambda k}/\Gamma(k)$　：パラメータk,λをもつ一連降雨量の確率密度関数（ガンマ分布）

(3)　$f_{P(\nu)}(P)=\mathrm{Prob}\left(P(\nu)=\sum_{j=1}^{\nu}h_j\right)$　：ν回の降雨量Pの確率密度関数

(4)　$$\left.\begin{array}{ll} f_{P(t)}(P)=\sum_{\nu=1}^{\infty}f_{P(\nu)}(P)\cdot P_{N|t}(\nu) & ,\ (P>0) \\ P_{N|t}(0)=e^{-\omega t} & \ \ (P=0) \end{array}\right\}$$　一定時間t内の総降雨量Pの確率密度関数（複合分布）

ガンマ分布の再生性を用いると，(4)式は(5)式のようになる。ここに，$\gamma^{-1}=k/\lambda$

(5)　$$\begin{array}{ll} f_{P(t)}(P)=\sum_{\nu=1}^{\infty}\gamma k(\gamma kP)^{\nu k-1}e^{-\gamma kP}/\Gamma(\nu k)\times(\omega t)^{\nu}e^{-\omega t}/\nu! & ,\ (P>0) \\ P_{N|t}(0)=e^{-\omega t} & \ \ (P=0) \end{array}$$

一方，分布関数$F_{P_A}(P)$は，$F_{P_A}(P)=\mathrm{Prob}[P_A(t)<P]=\int_0^P f_{P_A}(x)dx$　として求まる。すなわち，

(6)　$$F_{P_A}(P)=\mathrm{Prob}[P_A<P]=e^{-\omega m_\tau}\left\{1+\sum_{\nu=1}^{\infty}\frac{(\omega m_\tau)^{\nu}}{\nu!}\cdot P[\nu k,\gamma kP]\right\}$$

ここで，一定期間内での平均雨量m_{PA}で無次元化し，$z=P/m_{PA}$を導入すると，

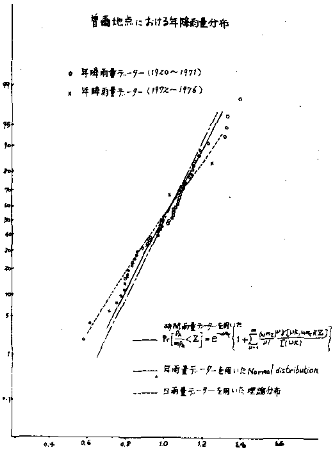
(7)　$$\mathrm{Prob}[P_A/m_{PA}<z]=e^{-\omega m_\tau}\left\{1+\sum_{\nu=1}^{\infty}\frac{(\omega m_\tau)^{\nu}}{\nu!}\cdot P[\nu k,\omega m_\tau kz]\right\}$$

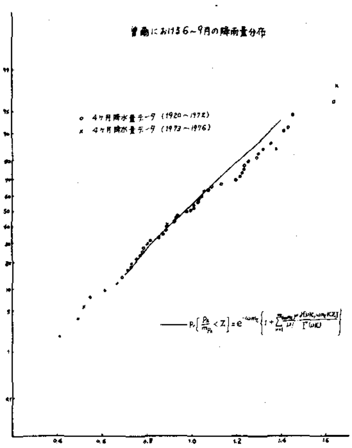
が得られる。ここに，m_τは降雨期間，$P[a,x]$はピアソン不完全ガンマ関数である。

3.木津川流域曽爾，針ヶ別所地点への適用　淀川水系木津川流域でテレメータ観測が実施されている地点は15ヶ所あり，そのなかから過去の年間雨量データが豊富にあり，かつ

時間雨量データに欠測のない観測地点として，曽爾(1920～1977年の年雨量データと1973～1977年の時間雨量データを採用）と針ケ別所(1958～1977年の年雨量データと1973～1977年の時間雨量データを採用）の２地点を選定した。各地点において，理論の前提条件1)，2)を確認するとともに，(7)式中のポアソン分布，ピアソン不完全ガンマ分布の計算においてはνが大きい場合，正規分布で近似できることを用い，理論値を計算した。一方，実測値は次式で求めた。$\mathrm{Prob}[P_A/m_{PA}<z]=m_z/(N+1)$ （m_z：その値の小さいものからの順位，N：データ総数）

右図は曽爾地点における年降雨量および6～9月季節降雨量の理論値と実測値の比較図である。同図には正規分布あてはめ，日雨量データを用いた理論分布曲線も付記してある。図から明らかなように，正規分布曲線よりも本研究で誘導した理論曲線のほうが観測値との適合度がすぐれている。また，日雨量データによる理論曲線の適合度は時間雨量データによる曲線よりも劣っているが，従来の正規分布曲線よりもすぐれていることがわかる。





4.時間雨量の時・空間分布構造　ここでは実際データに基づき，時間雨量の時・空間分布構造を分析し，今後展開する必要のある地点雨量と面積雨量の確率統計的関係，さらには面積雨量シミュレーション法構成の基礎資料を提供したい。解析に用いた資料は木津川流域の15ケ所のテレメータ雨量観測地点の1973～1977年の時間雨量データである。この期間でいずれかの地点で，一連総雨量が30mmを越える場合があると，その時期の全地点の降雨を対象に，流量との対応を調べ，いずれかで流量が立上るとその時刻を出発時として15時間分をとり出し，それを主降雨域と考える。こうして選ばれたケースは67におよび，各ケースについて全地点の主降雨域を解析対象に選んだ。得られた解析結果は以下のようである。1)各地点，各時刻の時間雨量分布はほぼ指数分布に従っている。2)平均的にみれば，各地点の平均値，標準偏差曲線は類似している。3)地域相関と距離の関係をみると，平均的には各地点とも距離が遠くになるにつれて相関は小さくなっている。変化傾向は地点よりも時間ごと，すなわち降雨初期および終期のバラツキの大きさ，時刻$t=3$～6のてい減の急傾向，$t=9$～12の緩まんなてい減傾向に顕著である。4)時間原点のとり方とは無関係に各地点ごとの時間相関をとると，すべての地点でほぼ同様のてい減傾向を示しており，持続性が認められる。5)全体的にみれば，時間ずれτが大きくなり，また距離Lが大きくなるにつれて時・空間同時相関はてい減する傾向を示している。このことが時・空間同時相関$\gamma(L,\tau)$が距離相関$\gamma_1(L)$と時間相関$\gamma_2(\tau)$との分離可能性，いわゆる$\gamma(L,\tau)=\gamma_1(L)\cdot\gamma_2(\tau)$で表現できるかどうか，また，相関構造の時間的，空間的定常性についても検討する必要がある。　参) P.S. Eagleson : Climate, Soil and the Water Balance, M.I.T. 1977.