

名古屋工業大学 正員 〇長尾正志
 京都大学大学院 学生員 佐合純造
 清水建設KK 正員 日隈茂男

1. 計画降雨と気象原因別豪雨

従来の計画降雨という概念は、主として利根川・淀川のような大河川流域を対象とし、しかも台風のような大規模な気象擾乱現象が主体に考えられてきたようである。しかし、最近の集中豪雨災害にみられるように、流域開発の進捗とあいまって、いわゆる中規模(Meso scale)以下の気象現象、たとえばメソ低気圧から積乱雲規模にわたる降雨現象が局地的な大災害に結びつきやすいことを考えると、計画降雨の対象も、その流域の規模と流出特性に関連した適切な気象現象が採択されるべきである。

そこで、本研究では、具体的に名古屋における毎時降水量観測値を標本として、気象原因別および各種継続時間別の豪雨諸特性を解析し、その計画降雨との関連性を考察した。なお、豪雨量時系列の母集団には、二変数ガウス分布を仮定し、特性解析は母集団分布の母数推定として議論を進めている。

2. 豪雨資料の抽出と気象原因別分類

治水目的の計画降雨の策定には、降雨量標本の全体よりむしろ上位の部分標本を抽出利用の方が実用的である。これには大別して、a. 年間の上位極値標本の選定、b. 指定下限値以上の上位標本の選定 とが考えられ、それぞれに特色があり¹⁾どちらを選ぶべきかは定かではないが、ここではb.の方法を採用している。

2.1 豪雨資料と標本下限値の設定

基礎資料として、名古屋地方気象台の1926~1968(43年間)の整時降水量観測値を用い、1時間~24時間の解析を行なう。しかも、名古屋では、5月~10月の暖候期が梅雨、台風などを含んだ多雨期に相応していることから、この半年分の資料のみを取扱う。ついで、豪雨の継続時間には、1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24時間を採り、それぞれに豪雨下限値を設定する。この選定は、以後の解析結果と関連して重要な点であるが、継続時間別降雨の出現頻度がほぼ等しいこと、実際の洪水被害と関連した指標であること、および標本選別上使いやすい数値であることなどを勘案して、下記のように、各継続時間に対する標本下限値を設定した。

継続時間 T (hr)	1	2	3	4	6	8	12	24
標本下限値 $X_{1T}(c)$ (mm)	10	15	25	30	40	45	60	80

2.2 標本組の選定

豪雨時系列の統計的特性は確率特性と自己相関特性とに大別できる。前者は周辺分布の母数推定により解明されるが、後者の解析にはある降雨量標本とそれに前後する降雨量標本との標本組を抽出し、その間の相関母数の推定により関連性を解明する必要がある。そこで、ここでは、上記下限値を上回る降雨量時系列 $X_{1T}(t)$ ($t=0, T, 2T, \dots$) とそれに続く降雨量 $X_{1T}(t+T)$ との結合を標本組として用いる。以後、 $X_{1T}(t) - X_{1T}(c) \equiv X_1$, $X_{1T}(t+T) \equiv X_2$ と略記しておく。

2.3 気象原因別特性とその分類

上述の豪雨標本をつぎの5つの気象原因に大別する。

i) 台風(熱帯性低気圧を含む) ii) 温帯性低気圧 iii) 停滞前線(主として梅雨前線) iv) 寒冷・温暖前線 v) 雷雨 気象原因ごとの標本数 N^* と標本総数 N との比 N^*/N を図-1に示す。これより名古屋での豪雨の主体は台風と、主として梅雨と解される停滞前線であること、 $T=1, 2$ hrの短時間では梅雨が最多であるが、3 hr以

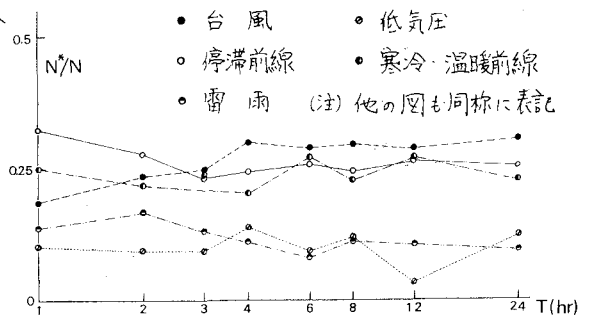


図-1 気象原因別の標本数の比率

上になると台風が若干多くなることなどが分る。

3. 二変数ガンマ分布標本の母数推定式

前記2.2で選定された組標本 (x_1, x_2) を用い、その母集団分布が非対称な二変数ガンマ分布と考え、母数を推定する。この母数には各周辺分布の母数(形状母数 λ_i , 尺度母数 ϕ_i , $i=1, 2$)および相関母数 ρ がある。推定手法には、まず概格的な特性の把握を目標とし、必ずしも最良とはいえないが計算の簡便な積率法を用いる。推定式の誘導過程などは紙数の関係上省略し、最終結果のみを記すと以下のとおりである。²⁾

3.1 周辺分布の母数の推定

形状母数 λ_i および尺度母数 ϕ_i はそれぞれ次式のようにして求められることが知られている。

$$\hat{\lambda}_i = \frac{(\bar{x}_i)^2}{\bar{x}_i^2 - (\bar{x}_i)^2} \quad (1) \quad \hat{\phi}_i = \frac{\bar{x}_i^2 - (\bar{x}_i)^2}{\bar{x}_i} \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

3.2 相関母数の推定

相関母数 ρ の積率解は、 r を標本相関係数、 $\max(a, b)$ を a, b のうち大きい方として次式で求められる。

$$\hat{\rho} = \sqrt{\max(\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2) / \min(\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2) \cdot r} \quad (3)$$

付言すると、相関母数 ρ は $0 \leq \rho \leq 1$ で定義されるから、上記(3)式による積率解の推定結果がこの前提と矛盾する場合も生ずる。これは相関母数の推定に積率解を用いる際の欠点である。しかし現在のところ、最尤解が対称ガンマ分布($\lambda_1 = \lambda_2$)、かつ λ が既知の場合にしか得られていないので、ここでは積率解のみで考えておく。

3.3 母数推定の結果とその考察

i) 周辺分布の母数の推定 実際の解析は x_1, x_2 について行なっているが、ここでは制約付変量 x_1 の結果のみを示す。形状母数 λ および尺度母数 ϕ の推定値は図-2, 3のとおりで、結果を考察してみると以下のようになる。

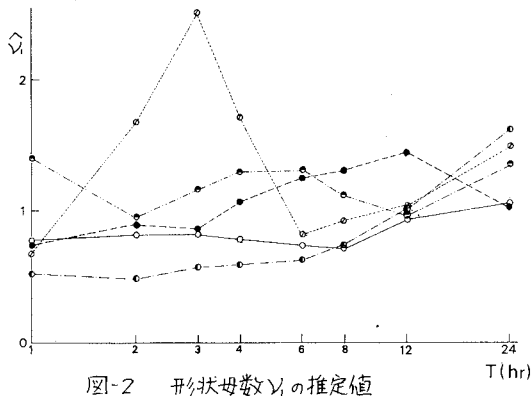


図-2 形状母数 λ の推定値

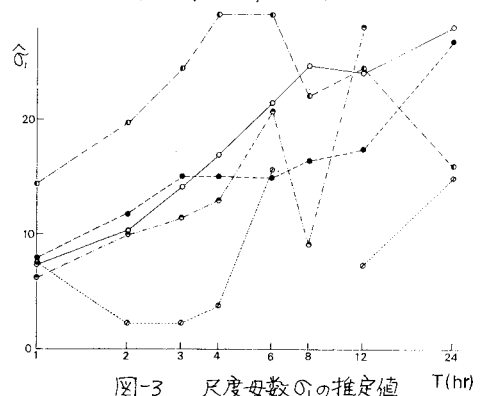


図-3 尺度母数 ϕ の推定値

a. 形状母数 全般的傾向として、継続時間 T が1, 2 hrで $\hat{\lambda} = 0.7 \sim 0.8$ 程度、さらに T の増加とともに $\hat{\lambda}$ は次第に増大し、12 hrで1前後、24 hrで1.6程度となる。ついで、気象原因別により、最も特徴的なのは低気圧で、 $T=3$ hrをピークとして、2~4 hrで λ は1.7~2.5と非常に大きく、この範囲では低気圧に起因する降雨量の密度分布には最頻値が存在することとなる。低気圧を除外した λ の大きさの順位は、 $T=1 \sim 6$ hrで、雷雨、台風、停滞前線、寒暖前線で、8~12 hrでは、台風が主位となる。なお、24 hrになると、傾向がかなり変わるが、これは一連豪雨で、24 hr続くような現象がうまく標本として抽出し得たか否かという点で若干問題が残る。

b. 尺度母数 気象原因によりかなり相違があるが全般的には、継続時間の増加とともに増大の傾向にある。いまの場合、全ての気象原因を平均すると、 $\hat{\phi}$ は $\log T$ に関してほぼ線型的に増大し、台風や前線でもこの傾向に近い。他の原因では変動が激しいが、これらの結果には原因別標本数の相違がかなり関連しているであろう。

なお、形状母数および尺度母数を基礎として、各気象原因ごとの豪雨現象の平均値や分散を検討することも試みているが、詳細は省略しておく。

ii) 相関母数の推定 (3)式の積率解の計算結果を図

-4に示す。これより、全般的に、 $T=1\text{ hr}$ では $\hat{\rho}=0.2\sim 0.4$ 程度の値を示すが、 T の増大に伴ってほぼ一様に減少するようであるが、各気象原因によってかなりの相違が認められる。ところで、積率解で負の値が算出されることは、3.1で述べたように積率解の欠点であるが、 ρ が ± 1 とほぼ等しいとみなせる若干の場合についての最尤解の検討により、この程度の負値は、ほぼ独立に近いとみなしよいと考えている。したがって、概括的な傾向として、 T が 8 hr を越すとほとんど相関は認められなくなる。もちろん、詳細な議論は最尤解の導出を通じて行なうべきであろう。さらに、具体的な気象原因ごとの特性を以下に記述する。

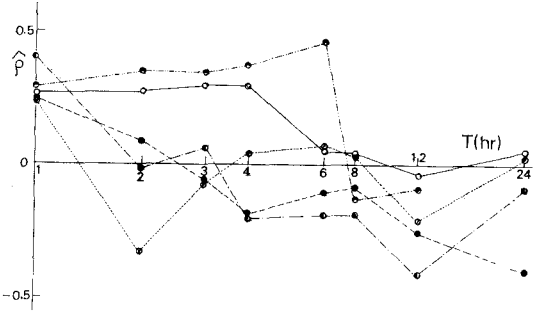


図-4 相関母数の積率解による推定値

a. 台風、停滞前線 $T=1\text{ hr}$ では、台風と停滞前線では、ともに $\hat{\rho}$ は 0.3 弱でほぼ一致している。しかし、台風は T が増すとともに急激に減少し、 $T \geq 3\text{ hr}$ で負値となり相関は認めにくくなる。一方、停滞前線は T が増しても 4 hr 程度まではほぼ 0.3 程度の値を保つが、それ以上の T では急激に相関が小さくなる。

b. 雷雨、低気圧、寒暖前線 雷雨は、 T が 6 hr までは漸増し、 $T=6\text{ hr}$ では最大値 $\hat{\rho}=0.5$ となり非常に相関が大きい。しかし、それ以上の T では急激に減少する。この傾向は停滞前線と類似している。すなわち、雷雨、停滞前線は、それぞれ 6 hr あるいは 4 hr 程度までは雨量時系列間に大きい自己相関を有するが、それ以上は継続しにくい現象といえよう。また、低気圧、前線は、 $T=1\text{ hr}$ を除けば、かなり短時間から相関母数が小さくほとんど独立な時系列に近いといえよう。

4. 気象原因と計画降雨の関連性

解析を通じて明らかにされた各気象原因の特徴と計画降雨との関連性を概括すると以下のようになる。

a. 台風 標本比が 3 hr 以上の継続時間で最大となること、平均値が 8 hr 以上で1, 2位、変動係数が 24 hr で最大となることなどを勘案すると中規模程度以上の計画降雨の主対象といえる。たとえば中規模以上の河川流域の堤防・貯水池での防災システムの計画で最重要となろう。一方、その自己相関性はごく短時間以外では小さいが、これは強風下の精密な雨量観測の困難さと関連しているかも知れない。b. 停滞前線 標本比が1~2 hrで最大、変動係数が2~8 hrで2位、8~12 hrで主位などを勘案すると、台風に次いで計画降雨として重要である。しかも相関母数が1~4 hrである程度の大きさを持続すること、形状母数が各継続時間を通じて変化が小さいことなどにより、継続性の考慮を要する計画対象、たとえば内水処理問題や治水用貯水池の操作と下流との関連問題などにはまず考慮すべき豪雨現象であろう。c. 雷雨 標本として最小の比率であり、規模や変動性からみてもそれほど問題とは考えられない。しかし、相関母数が1~6 hrで 0.3 から 0.5 位に漸増しその後急激に減少すること、形状母数が1~6 hrで1より若干大きいことなどを考えると、数hr以下の局地的豪雨として都市域内の排水計画の対象などには考慮に入れておく必要がある。d. 低気圧、寒冷温暖前線 名古屋地方での本解析の結果によれば、台風、梅雨前線ほどには重要とはいえないようであるが、他の主要な気象原因との関連において、たとえば前期降雨といった形で流出解析の初期条件などとして、考慮すべき場合も出てくるであろう。

参考文献

- 1) 長尾正志: 短時間豪雨分布の推定に関する二変数ガンマ分布の応用, 名工大学報, 第25巻, 1973, pp. 325~334
- 2) 長尾正志・角屋睦: 二変数ガンマ分布とその適用に関する研究(2)——二変数ガンマ分布の母数推定法——, 京大防災研年報, 第14号B, 1971, pp. 43~56