

地点毎時記録から認識される降水・無降水時間の連の 確率過程的特性

友 杉 邦 雄

STOCHASTIC PROPERTIES OF RUNS OF WET AND DRY HOUR RECOGNIZED ON HOURLY PRECIPITATION RECORDS

By *Kunio TOMOSUGI*

Synopsis

An investigation of stochastic or statistical properties of precipitation events would be important in the meaning that they could be scientific criterion in water planning or management.

This study is a part of such an investigation, and takes up a problem about runs of wet and dry hour recognized on hourly precipitation records, which were obtained for several decades at the two points in the Kinki District.

Empirical distributions of lengths of those runs are shown, dividing into two seasons, *i.e.*, flood season (June~Oct.) and non-flood one (Nov.~May) to see the difference. Applying the concept of *failure rate* in the field of 'reliability' to the distributions, stochastic properties and transition probabilities of those runs are examined.

Most interesting result is that both failure processes of wet hour run and of dry one are qualitatively like to typical one of life-time of manhood or machine, independently of observation point and season mentioned above.

1. ま え が き

降水事象の状態・挙動に関する確率・統計的特性の究明は、降水の予測能力（内容、時間、精度等の点での）が不十分である現状下では、治水・利水計画の策定や同施設の運用に際して、そうした特性が科学的な判定条件あるいは補助的知識となり得るといふ意味で重要と考えられる。

ここでとりあげるある地点の降水時間および無降水時間の連は、降水量の規模を無視して、ある地点で単に降水が有るか無いかの2つの状態の1時間単位でみた連に関するもので、その意味では上記の応用上の目的にとって直接的にはさほど有用ではないかもしれないが、降水時系列の特性を究明する過程での基本的なものとして意義があろう。

この種の研究は、Newnham¹⁾(1916)以来、諸外国で数多くなされているが、そのほとんどは、蓄積資料数の関係のためか、日単位以上の連に関するものであり、1時間単位またはそれ以下のものが取扱われるようになったのは近年になってからで、ごく最近のものとしては、Lund ら²⁾(1977)の研究がある。これらのうち、10分単位の記録を扱った Grace ら³⁾(1966)の研究は、その単位の短かさの故に興味深い。わが国における1時間単位でみたこの種の研究については、著者らが数年前に試みたもの⁴⁾(1974)しか知らないが、その研究では、資料数の関係で、異なる十数地点の記録をまとめて一つの標本集合としたという問題があった。いずれにせよ、これらの研究結果で共通することは、連の持続性(persistence)あるいは従属性の存在を指摘していることである。

今回は、近畿地方におけるたった2地点についてではあるが、それぞれ数十年にわたる使い易く整理された毎時降水量記録を入手したので、あらためて、従来とは若干異なる概念(failure rate)に基づいて解析・検

討し、いささか興味のある結果を得たのでここに報告する次第である。以下、本研究の内容の概略を記すと次のようである。

まず、2. では、2.1 で、地点における降水・無降水継続時間について一般的考察を加え、2.2 では毎時記録から認識される降水・無降水時間の連の長さの意味・内容について、瞬間記録から認識されるであろう継続時間との比較によって若干検討し、本研究の解析結果の解釈上の留意事項とする。3. では、連の長さの経験分布から、連の確率過程的特性を読み取ったり、遷移確率を評価したりするための予備知識として、信頼性工学の分野における failure rate (故障率) の概念等について略述する。4. では、まず 4.1 で資料の統計的概要を述べ、4.2 では、各地点の降水時間および無降水時間の連長の経験分布を、通年 (1~12月)、洪水期 (6~10月)、非洪水期 (11~5月) ごとに示し、主に確率過程的な特性について比較検討する。ついで、4.3 で各遷移確率が具体的にどの程度の値になるか評価した結果を示し、若干の検討を加える。また、その他の検討として、4.4 では、先行無降水時間の連長が、降水時間の連長の分布に及ぼす効果、および 4.5 では無降水時間の連長が短いものを無降水と認めずに降水時間の連の中に入れてしまった場合の降水時間の連長の分布がどのようになるかについて例示し、若干の検討を加える。最後に、5. では以上の結果をまとめて、問題点等を述べ、あとがきとしている。

2. 地点・毎時記録から認識される継続時間に関する一般的考察

2.1 地点における継続時間について

降水事象は面的な広がりすなわち降水域をもつものであり、降水域は気象条件、地形等の影響を受けてその大きさ、形等を刻々変化させつつ、一般に様々な速度で移動する。従って、地点で観測される降水の継続時間は、それらの諸要素、即ち大きさ、形、移動速度等が複合したのによって支配される確率変数であって、ラグランジュ的にみた、いわゆる降水の寿命とは、一般的には対応しない。また、無降水の継続時間も、降水事象の余事象のものということから、同様な性格を有する確率変数と考えられる。

なお、応用面からは面積平均的降水のものが必要なが多いが、1つの地点で観測される降水記録といえども、殊に降水の有無については、かなりの面積をカバーすることが知られており、両者の継続時間の確率過程的特性は定性的に類似のものとなると思われる。

2.2 毎時記録から認識される継続時間について

降水・無降水事象は明らかに時間的に連続するものであり、厳密な意味での継続時間を知るには瞬間記録が必要であるが、本研究では、資料上の制約および工学的な観点から、毎時記録から認識される継続時間を取扱うわけである。なお、ここでいう工学的な観点というのは、たとえばダムの治水操作に際して、予測的な判定を下す場合、あまり短い時間後の予測は、確率・統計的な知識よりも、気象情報の方が有効であり、その意味で、確率・統計的な知識としては1時間単位でもよいであろうということ、やはり時間単位が短いに越したことはなく、積極的な理由ではない。

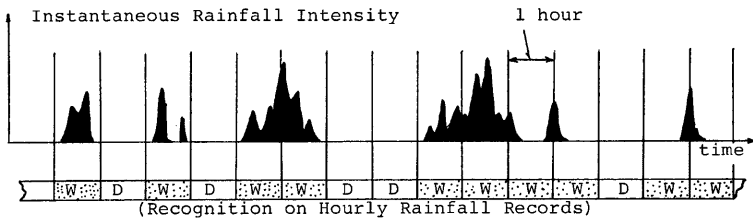


Fig. 1. An example of relation between instantaneous records and recognition on hourly records.

ここでは、毎時記録から認識される継続時間、すなわち離散変数である連の長さとして、厳密な意味での継続時間との関係について検討し、本研究の解析結果の解釈に際し留意すべき事項としたい。

Fig. 1 は瞬間雨量強度の時間変化（仮想）に、1時間毎の時界を縦線で示し、その場合に毎時雨量記録で認識される状態を、降水量がゼロでない1時間（wet hour）を W 、ゼロの1時間（dry hour）を D として下に示したものである。この図で、例えば右端を見れば、実際には20分程度の継続時間の降水でも、毎時記録からは2時間と認識され、また逆に、その直前の実際には2時間以上の無降水状態の継続時間は、毎時記録からは1時間としか認識されないことになる。

このような関係を一般的に示すために、瞬間記録における降水および無降水の継続時間をそれぞれ t_w (hr.)、 t_d (hr.) とし、上記の W および D の連長をそれぞれ t_W (hr.)、 t_D (hr.) とすると、つぎようになる。

まず、 t_w と t_W の関係は、小刻みに降ったり止んだりする場合を想定すればわかるように、

$$0 < \sum_{i=1}^n t_{wi} \leq t_W \quad (t_W=1, 2, \dots) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 n は t_W 内に含まれる降水回数であり、 n の値は毎時記録からは不明である。(1)式は関係といえるほどのものではないが、もし、 $n=1$ であればつぎようになる。

$$\left. \begin{aligned} 0 < t_w \leq t_W \quad (\text{for } t_W=1) \\ t_W - 2 < t_w \leq t_W \quad (\text{for } t_W=2, 3, \dots) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

一方、 t_d と t_D の関係は、比較的簡単で、つぎようになる。

$$t_D \leq t_d < t_D + 2 \quad (t_D=1, 2, \dots) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $0 < t_d < 1$ となる t_d は毎時記録からは全く認識できず、また、 $t_W \geq 2$ の t_W 内では $1 \leq t_d < 2$ なる t_d をも含む可能性がある。

毎時記録から認識される継続時間は、このようにあいまいなものであり、あくまでも W または D の連の長さに過ぎない。ただ、 t_D の比較的大きい値（たとえば24 hr.）以上のものだけの分布は、同様の t_d の分布に近似したものとなることは(3)式よりわかる。 t_W についても、(1)式におけるような小刻みの降水を1つの降水事象とみなすことにすれば、(2)式より、同様のことがいえるであろう。

3. Failure Rate の概念について

ここでは、分布形から確率過程的な特性を読み取ったり、遷移確率を評価するための予備知識として、信頼性工学の分野における failure rate (故障率) の概念について簡単に説明しておこう。

failure rate というのは、例えば、ある種の工業製品が故障するまでの時間 t の確率密度、確率分布をそれぞれ $f(t)$ 、 $F(t)$ とすると、次式の $\varphi(t)$ で定義されるものである⁹⁾。

$$\varphi(t) \equiv \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

これは、 t 時間故障しなかったものが、次の瞬間に故障する割合で、いわば条件付確率密度である。従って、これに dt を乗じたものは、 t 時間故障しなかったものが、次の dt 時間内に故障する条件付確率ということになる。これはまた、2つの状態しかない確率過程におけるある状態から他の状態への条件付遷移確率とも見なせる。

ところで、 $f(t)$ と $F(t)$ の間には次の関係、

$$f(t) = -\frac{d\{1-F(t)\}}{dt} \quad \dots\dots\dots(5)$$

があるから、(4)式は次のように変形できる。

$$\varphi(t) = -\frac{d[\log\{1-F(t)\}]}{dt} \quad \dots\dots\dots(6)$$

従って、 $\varphi(t)$ は超過確率分布 $1-F(t)$ の対数値と t の関係図における接線勾配の絶対値に相当することになる。例えば、指数分布の超過確率分布を上記のように片対数紙に描けば直線となるが、それは (6) 式から $\varphi(t)$ が t にかかわらず一定であることを意味し、そのような確率過程が独立過程であるといわれるゆえんである。

なお、工業製品や人間の寿命の分布から求められる $\varphi(t)$ と t の関係図の典型的なものは、Fig. 2 の一番下に示すような洋式浴槽 (bath tub) の形をしており、信頼性工学の分野では、 φ が初期に減少する期間を初期故障期、次に φ が一定になる期間を偶発故障期、最後に φ が増加する期間を摩耗故障期と称している。また、生命保険の分野では、それらをそれぞれ、幼児死亡期、青壮年期、および老人期と称している⁵⁾。

4. 連の統計解析の結果と
その検討

4.1 資料の統計的概要

観測地点は京都 (気象台) と伊賀上野 (測候所) の 2 地点で、相互の直線距離は約 47 km、いずれも盆地内に位置しており、年平均降水量

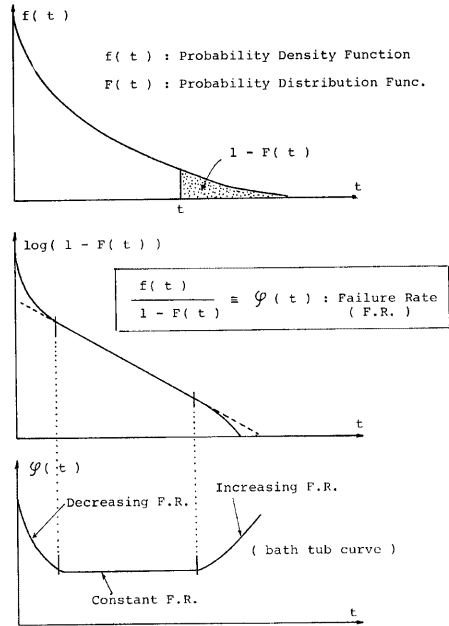


Fig. 2. Schematic explanation of concept of failure rate in reliability.

Table 1. Abstract of statistics of samples. Where, N_r is number of runs, and t_W, t_D represents run Length of wet hour (W) and dry hour (D), respectively.

Observation Point		Kyoto	Iga Ueno
Record Length (year)		1929~1969 (41)	1938~1969 (32)
N_r	Flood Season (Jun.~Oct.)	4558 (22.2/month)	3645 (22.8/month)
	Non-Flood S. (Nov.~May)	5259 (18.3/month)	3582 (16.0/month)
	Through Year (Jan.~Dec.)	9817 (293.4/year)	7227 (225.8/year)
Max. of t_W		55 hr.	52 hr.
Max. of t_D		597 hr. (24.9 days)	1099 hr. (45.8 days)
Occurrence Probability of W		0.1109	0.1111

は、前者が 1550 mm, 後者が 1500 mm 程度でわが国では中程度である。

この 2 地点を選んだ理由は、使い易い豊富な毎時降水量記録(近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所発行)が手元にあったという以外に特はない。

Table 1 に示すように統計期間は京都については、1929～1969 年の 41 年間、伊賀上野については 1938～1969 年の 32 年間で、同表に、それぞれの地点について、洪水期(6～10月)、非洪水期(11～5月)、およびそれらの和である通年(1～12月)別の連の総数 N_r (W の連の数と D の連の数は相等しい)、 t_W と t_D の最大値、および W の平均的出現確率を示す。 N_r については、月平均値、および通年の場合は年平均値も並示してあるが、これより、両地点とも洪水期の方が月当りの連の数が多く、年平均で京都の方が多いのは、非洪水期の連数の差によることがわかる。なお、両地点とも、 t_W の最大値は洪水期に、 t_D の最大値は非洪水期に現われたものである。また、両地点とも、 W の出現確率は 9 時間に 1 回ということであるが、ちなみに、日単位で調べてみると、wet day の出現率は、京都では 0.425、伊賀上野では 0.405 となり、10 日間に 4 日間の割合である。

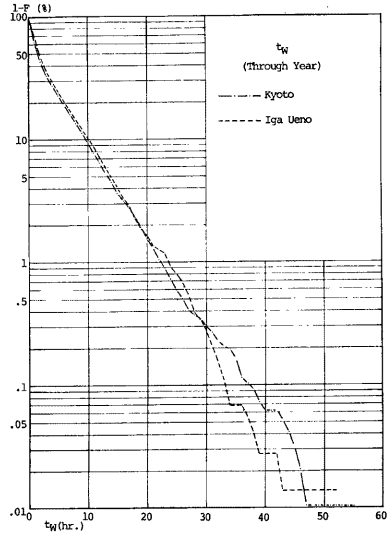


Fig. 3. Comparison between distributions of t_W in through year at the two points.

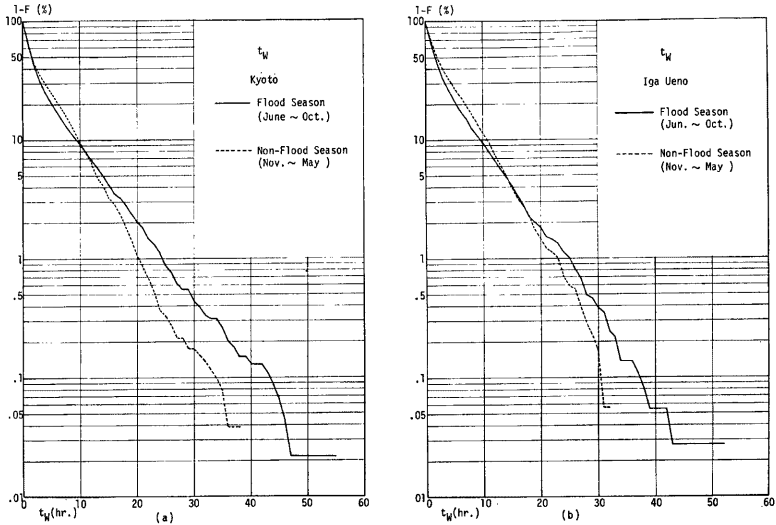


Fig. 4. Comparison between distributions of t_W in the two seasons. (a) is of Kyoto and (b) is of Iga Ueno.

4.2 降水・無降水時間の連の確率過程的特性

(1) 降水時間の連

Fig. 3 は W の連長 t_W (hr.) の超過確率分布を片対数紙に描いたもので、通年の場合の両地点の比較図である。一点鎖線が京都で、破線が伊賀上野であるが、いずれも 3. で述べた初期故障期 (Fig. 2 参照) に相当する部分があり、4~5 時間から20数時間まではほぼ直線で、偶発故障期的となっていて両地点の差はほとんどないが、その後は、程度の差はあるが、failure rate が減少する期間があり、また摩耗故障期的に増加しているという傾向が共にみられる。

Fig. 4 は洪水期と非洪水期の t_W の超過確率分布を比較したもので、(a) が京都、(b) が伊賀上野の場合である。いずれも実線が洪水期、点線が非洪水期のものである。まず、(a) の京都の場合をみると、洪水期のものは、failure rate の変化の定性的傾向は前述の通年の場合とよく似ているが、非洪水期のものは、初期故障期的なところから偶発故障期的なところに移るところ (4~8 時間) で、failure rate が一旦、偶発故障期的なところ (8~24 時間) のそれよりも小さくなるのが特徴的である。また、偶発故障期的なところ

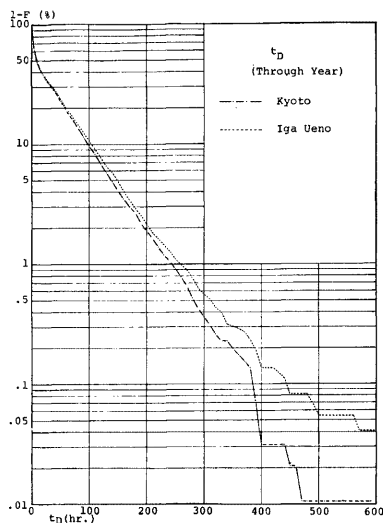


Fig. 5. Comparison between distributions of t_W in through year at the two points.

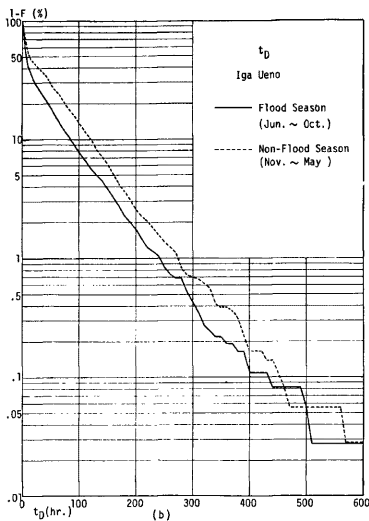
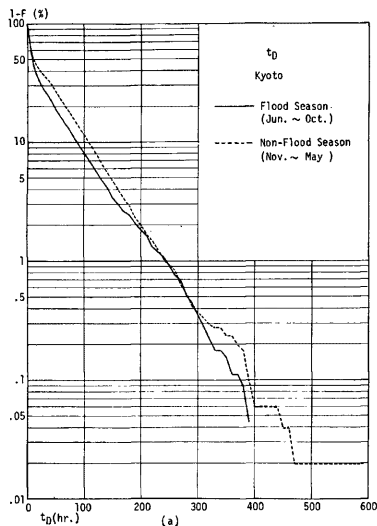


Fig. 6. Comparison between distributions of t_W in the two seasons. (a) is of Kyoto and (b) is of Iga Ueno.

ろの failure rate は非洪水期の方が大きいことがわかるが、これは、梅雨や台風性降雨のように比較的長い降水を含んでいるかいないかの差であろう。つぎに、(b) の伊賀上野の場合であるが、定性的に京都と同じことがいえることがわかる。

以上のことから、降水時間の連の継続・中断過程は、全体として従属過程であること、また洪水期と非洪水期の分布に差があることから非定常過程であることがわかる。ただし、従属性が強いのは初期の数時間と、後期の方で、その中間（数時間～20数時間）はほぼ独立過程とみなし得るようである。なお、2.1 で述べたように、地点降水の継続時間は、降水の寿命とは対応しないが、3. で述べたような工業製品や人間の寿命とほぼ似た性状を示すことは興味深い。

(2) 無降水時間の連

Fig.5 は D の連長 t_D (hr.) の超過確率分布を片対数表示したもので、通年の場合の両地点の比較図である。一点鎖線が京都で、点線が伊賀上野であり、横軸は t_D の場合の1/10に縮めてある。 $t_D=24$ (hr.) 程度までは両地点の差はほとんどなく、しかも初期故障期的になっており、その後、京都では150時間（約1週間）程度まで、伊賀上野では210時間（約9日）程度までが、それぞれほぼ直線で、さらにその後、前者より勾配のやや緩やかな直線的な部分が続き、京都では380時間（約16日）程度以後、摩耗故障期的様相を呈し、伊賀上野ではさらにゆるやかな勾配の部分が続いている。ただし、この後尾の方は、出現度数がわず

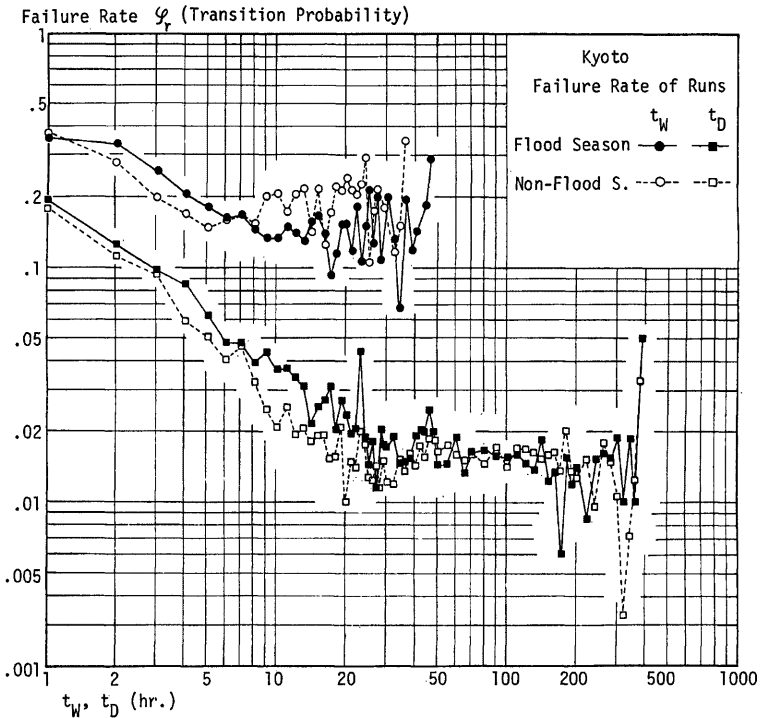


Fig. 7. Conditional transition probabilities from W to D (condition: t_W) and from D to W (condition: t_D) in the two seasons at Kyoto.

かに変動しても、超過確率が比較的に大きく変わるという意味で統計的に不安定であるため、あまりはっきりしたことはいえない。このことは他の場合も同様である。

Fig. 6 は洪水期と非洪水期の t_D の超過確率分布を比較したもので、(a) が京都、(b) が伊賀上野の場合である。いずれも実線が洪水期、点線が非洪水期のものである。まず、(a) の京都の場合をみると、洪水期のものは、failure rate の変化の定性的傾向は前述の同地点の通年の場合とほぼ似ている。非洪水期の方は、初期故障期的なところ (24時間程度まで) から偶発故障期的なところに移るところ (24~40時間) で、failure rate が一旦、偶発故障期的なところ (40~300時間) のそれよりも小さくなっており、非洪水期の t_W の場合と定性的に似ている。なお、両期のほぼ直線とみなせる部分の勾配がほぼ相等しいという点は t_W の場合と異なる。つぎに、(b) の伊賀上野の場合であるが、両期とも、定性的に京都のそれぞれのものにほぼ似ている。ただ超過確率の値の差の程度は、京都の場合より大きくなっているが、これは主に非洪水期の分布の両地点間の差のためで、洪水期のものは、両地点であまり差がない。

以上のことから、無降水時間の連の継続・中断過程も、非定常従属過程であること、従属性が強いのは初期の20数時間と、後期の方で、その中間 (20数時間から200ないし300時間) はほぼ独立過程とみなし得ること、また、直線的区間の勾配が洪水期と非洪水期でほぼ等しいことから、その区間の過程はほぼ定常であるといえることがわかる。なお、無降水時間の連長も降水時間の連長と同様、工業製品や人間の寿命とほぼ似た性状を示すことは興味深い。

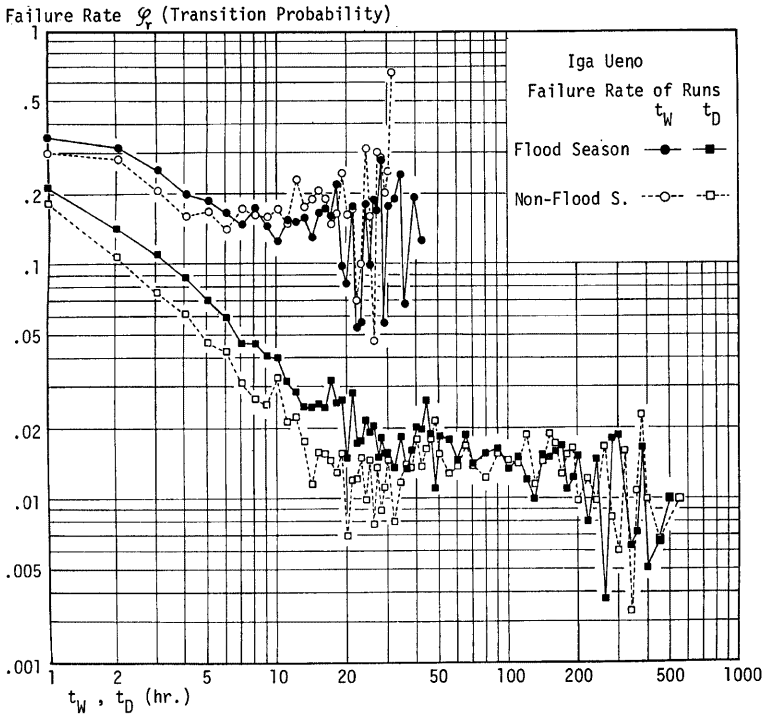


Fig. 8. Conditional transition probabilities at Iga Ueno.

4.3 遷移確率の評価と検討

前節では、 W と D の連の確率過程的特性について、主に定性的かつ概括的にみてきたが、ここでは、(4) 式に dt を乗じて得られる条件付遷移確率を、 $dt=1$ (hr.) として求めてみた結果を示し、若干の検討を加える。

Fig. 7, Fig. 8 がその結果で、前者が京都、後者が伊賀上野のものである。いずれも、丸印が W から D への遷移確率、四角印が D から W へのものであって、黒い方が洪水期のものである。これらの遷移確率は、いわば1時間単位の連の failure rate φ_r でもあり、従って、先行条件 (t_W または t_D) による定性的変化傾向は前節で述べたのと同じであるが、ここでは、定量的にどの程度になるかを見るために示したわけである。かなりでこぼこしているが、それでも、後尾の方は、 t_W の場合は数時間、 t_D の場合は数10時間ごとにそれぞれ平均化を施してある。また、両対数表示した理由は、 t_W と t_D のものが並示でき、かつ t_D の従属性の強いところもよくわかることによるが、Grace ら²⁾ のように連長の分布が Weibull 分布に従う場合、 $\varphi(t)$ と t の関係が両対数紙上で直線になるため、Weibull 分布に従うかどうかの判定が容易であることにもよる。なお、 W から W または D から D への条件付遷移確率は $1-\varphi_r$ となることは明らかであり、同図から読みとれよう。

これらの条件付遷移確率の値を用いて、例えば次のような場合の確率を計算できる。すなわち、 W が3時間続いた時点において、その後ちょうど2時間 W が続いて D となる確率は、 $(1-\varphi_r(3)) \cdot (1-\varphi_r(4)) \cdot \varphi_r(5)$ であり、京都の洪水期の数値を代入してみると、 $0.74 \times 0.80 \times 0.18 = 0.11$ となる。またこの場合、 W が2時間で途切れるのでなくて、2時間以上続く確率は、 $0.74 \times 0.80 \times 0.82 = 0.49$ となるといった具合である。

ところで、Fig. 7 の洪水期の $t_D=23$ (hr.) の φ_r は、顕著なピークとなっているが、この場合、もとの資料を調べてみると、真夏の雷雨が連日同じ時間帯に発生することが多かったためであることがわかった。このことから、統計的に不安定な後尾の方は別として、 φ_r のピークあるいは初期の φ_r が大きいところは、降水およびその interval の周期特性を反映したものであるという見方もできよう。例えば、洪水期の t_W の φ_r についてみれば、京都の $t_W=7$ (hr.) と伊賀上野の $t_W=8$ (hr.) のように同じようなところに不自然な山ができています。また同じく洪水期の t_D の φ_r についてみれば、京都の $t_D=46$ (hr.) と伊賀上野の $t_D=44$ (hr.) にも目立つ山がある。このうち、後者は、前述の $t_D=23$ (hr.) の場合と類似の原因によると思われるが、前者の t_W の場合は、2.で述べたことを考えると、地点で観測して6~7時間程度の固有のスケール（もちろん、 $t_W=1\sim 5$ (hr.) の φ_r の方が大きいことから、それ以下のスケールのものが集合したものとしてであろうか）の降水現象が発生し易いためと思われるが、いづれにしろ、その φ_r のピークはあまり明確なものではなく、むしろ $t_W=1\sim 2$ (hr.) の φ_r のがずっと大きいということの方が、周期特性との関連を理解し易い。

4.4 先行無降水時間の連長が降水時間の連長の分布に及ぼす効果について

以上は、 W または D だけの連について、その先行

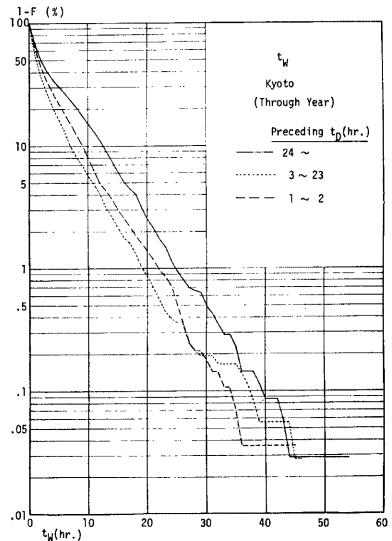


Fig. 9. Comparison of distributions of t_W classified by preceding t_D .

する連の長さによって、failure rate あるいは遷移確率がどのようになるかを調べてきたが、ここでは、先行する D の連長によって W の連長の分布がどのようになるかを調べてみた一例を示し、若干の検討を加える。

Fig. 9 は京都の通年の場合で、 t_W の超過確率分布を片対数表示したもので、実線は先行する t_D が24時間以上のもの、点線は3~23時間のもの、破線が1~2時間のものである。同じ t_W に対する超過確率の値としては、 t_W が20数時間程度までは、先行する t_D が、24時間以上のものが一番大きく、ついで1~2時間、そして3~23時間のものという順になっている。また、failure rate でみると、 t_W が10時間程度までは、 t_D が24時間以上のものが一番小さく、3~23時間のもが一番大きくなっており、それ以後は20数時間までそれほど差はなく、ほぼ直線状である。なお、 t_W が20数時間以上のところは統計的に不安定なので考えないことにする。

以上のように、先行する t_D は、 t_W の分布に影響を与えるわけであるが、超過確率の値が、先行する t_D が1~2時間のものの方が、3~23時間のものより大きくなるという点は、興味深い。また、failure rate についていえば、 t_W が10時間程度以下の従属性の強い部分でだけではあるが、先行する t_D による差が現われるということであり、前節で例示したような確率計算において、先行する t_D の条件も無視し得ないということになる。

なお、ここでは調べていないが、逆に、先行する t_W も t_D の分布に影響することが十分考えられ、降水・無降水時系列の確率過程の特性の複雑さがあらためて痛感される。

4.5 短い無降水時間の連を包含する降水継続時間の分布について

ここでは、4.3 の Fig. 7 や Fig. 8 で示したように、短い t_D の ϕ_r が偶発故障期的なところのものに

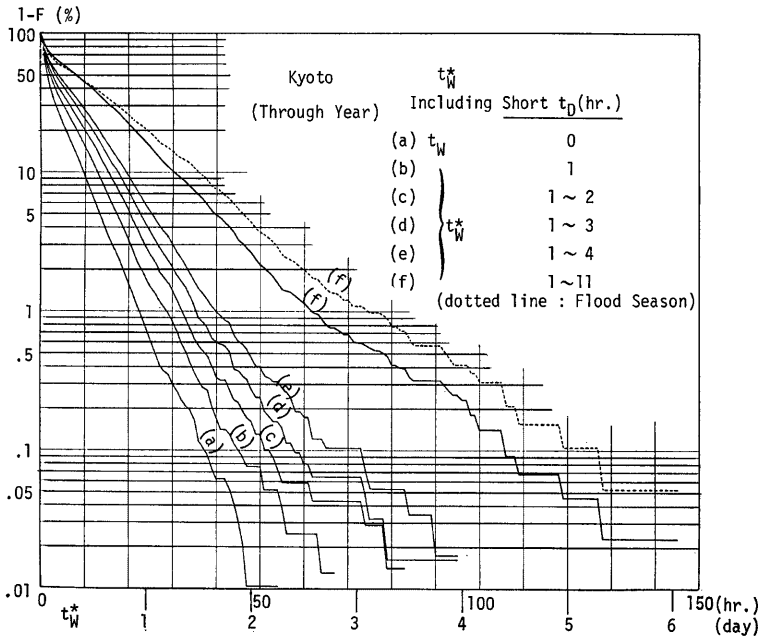


Fig. 10. Distributions of t_W^* which includes various short t_D .

比して、かなり大きい（例えば、 $t_D = 1$ hr. のものは10倍以上、 $t_D = 11$ hr. のものでも2倍程度である）ことから、そのような t_D では降水が止んだとは認めないとした場合の、降水継続時間 t_W の分布を求めてみた例を示し、若干の考察を行う。

Fig. 10 は、京都の主に通年の場合で、 t_W および t_W^* の超過確率分布を片対数表示したものである。(a) はこれまで通りの t_W のもので、**2.2** で述べたことからわかるように、 $t_W \geq 2$ (hr.) のものは、 $0 < t_D < 2$ (hr.) の瞬間単位でみた t_D をいくつか包含している可能性がもともとある場合のものである。(b) は短かい t_D として $t_D = 1$ hr. のみを包含させた t_W^* のものであり、 $t_W^* \geq 3$ (hr.) のものは $0 < t_D < 3$ (hr.) の t_D を包含している可能性がある。同様に (c), (d), (e) および (f) は、それぞれ短かい t_D として、2時間以下、3時間以下、4時間以下および11時間以下のものである。なお、点線で示したのは (f) の洪水期のものである。

当然のことながら、(a) から (f) の順に、超過確率は大きくなり、 t_W^* の最大値は (f) の場合で144時間（6日間）となる。また failure rate も当然、順次小さくなるが、その定性的変化傾向がほぼ保持されていることは興味深い。すなわち、このように短かい t_D を包含させるということは、面積平均降水の t_W を求めるのと同様な効果があると考えられ、面積平均降水の t_W も定性的に同じような確率過程的特性を示すと推定せしめることである。なお、降水継続時間の定義として、このような t_W^* 、殊に (f) のような場合のものは、われわれの日常感覚にとって妥当と思われるが、降水の降り方の特性をよりよく理解し、応用面に活用するためには、やはり、1時間よりさらに短い時間単位でみた、なるべく厳密な継続時間に近いものを継続時間として取扱うことを出発点とすべきであると考えられる。

5. あとがき

以上、たった2地点のものではあるが、比較的豊富な毎時降水量記録の統計解析によって、各地点の降水および無降水時間の連長の経験分布を求め、failure rate の概念を準用して各連の継続・中断に関する確率過程の特性の検討と具体的な遷移確率の評価を、主に洪水期と非洪水期に分けて行い、さらに付加的検討として、先行無降水時間が降水時間の連長の分布に及ぼす効果および短かい無降水時間の連を包含する降水継続時間の分布の特性の検討を試みた。

主な結果を列挙すると以下の通りである。

- 1) 降水時間の連の継続・中断過程は、非定常従属過程であるが、数時間から20数時間の連についてはほぼ独立過程とみなすことができ、その場合の failure rate は洪水期のものの方が小さい。
- 2) 無降水時間の連の継続・中断過程も、非定常従属過程であるが、20数時間から200ないし300時間の連についてはほぼ定常独立過程とみなすことができる。
- 3) failure rate の特に大きいところ、あるいはピークは、降水および無降水事象の周期特性と関連するようである。
- 4) 先行無降水時間の連長によって降水時間の連長の分布が異なるが、failure rate でみた場合、それは初期の従属性の強い期間のもの差となって現われる。
- 5) 短かい無降水時間の連を包含する降水継続時間の failure rate の定性的変化傾向は、包含させる無降水時間の連長の最大値を増加させてもほぼ保持される。
- 6) 殊に、降水時間の連長、無降水時間の連長は共に、地点別、洪水期・非洪水期別にかかわらず、定性的に、工業製品や人間の寿命とほぼ似た確率過程の性状を示すこと、また、同じことが、先行無降水時間別や短かい無降水時間を包含した降水時間の連長にも当てはまることは興味深い結果である。

以上のような結果を得て、降水の降り方の特性についての理解をいささか深めたと考えているが、今後の課題として、同様な解析を、i) 他の地域の地点についても行うこと、ii) 季節をさらに細く分けて行うか、気象原因別に行うこと、iii) 出来得ればさらに短い時間単位の記録について行うこと、また iv) 面積平均の降水についても行う必要があろう。なお、応用面からは、降水の量的変動特性の解明がより重要であることは

いうまでもない。

最後に、貴重な資料を提供頂いた、建設省近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所に対し深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Newnham, E.V.: The Persistence of Wet and Dry Weather, *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.*, Vol. 42, No. 179, 1916, pp. 153~162.
- 2) Lund, I.A. and D.D. Grantham: Persistence, Runs and Recurrence of Precipitation, *Journ. Applied Meteorology*, Vol. 16, 1977, pp. 346~358.
- 3) Grace, R.A. and P.S. Eagleson: The Synthesis of Short-Time-Increment Rainfall Sequences, *Hydro. Labo. Report*, No. 91, *Dep. of Civil Eng., MIT*, 1966.
- 4) 石原安雄・友杉邦雄：降雨および無降雨の継続時間に関する確率論的考察，土木学会関西支部年次学術講演会概要集，1974，pp. I-36-1~2.
- 5) たとえば，塩見 弘：信頼性の基礎，コロナ社，電気・電子工学大系 2，1975，pp. 17~25.