II-84　渇水持続曲線を用いた渇水対策の手法

東京工業大学土木工学科　正　吉川秀夫
同　正　○竹内邦良

渇水を一言で言えば，自然現象としての降水量が平年に比べて異常に少なく，結果として水の供給量が需要量を大巾に下まわる現象である。したがってこの対策には第一に降水量に関する水文統計的検討を通じて，渇水の統計的性質を知る必要がある。また第二には明らかになった渇水の統計的性質を水管理，ことに貯水池操作に有効に生かす手段を開発する必要がある。本稿はこの二点についてこれまでの成果を報告するものである。

1. 渇水の統計的性質

渇水の指標　渇水の指標としてはこれまでに種々提案されているが，農業関係で広く用いられているPalmer Indexを除いては一般的なものとして信頼されているものはない。筆者らは渇水の厳しさの度合が，ある期間内の日平均降水量に最も集約的に表わされる点に注目して，年最小移動平均日降水量を渇水の指標として選んだ。いまi日の降水量をr_iとすれば，i_0日に至るまでのm日間の平均降水量$r_{i_0}^{(m)}$は

$$r_{i_0}^{(m)} = \frac{1}{m}\sum_{i=i_0-m+1}^{i_0} r_i \qquad (1)$$

で表わされる。またj年の最小m日移動平均降水量$x_j^{(m)}$は

$$x_j^{(m)} = \min_{365*(j-1)+1 \le i_0 \le 365*j} r_{i_0}^{(m)} \qquad (2)$$

で表わされる。$x_j^{(m)}$はj年における相続くm日間のうちで最も降水量の少ないm日間の平均降水量を示すものである。したがって今後m日間の最低降水量として確実に期待出来る量を，$x_j^{(m)}$の中でもさらにjについて最小のもの（これを$y_1^{(m)}$とする）と見込んでおくなら非常に安全率の高いものということになる。このような方法を一般化して確率の概念を導入する。いまmを固定したときのjについての$x_j^{(m)}$の順序統計量を$y_k^{(m)}$とする。すなわち$y_k^{(m)}$は$x_j^{(m)}$のうちで小さい方から数えて第k番目の値である。ここでNを全観測年数とすれば，kは1からNまで変化する。順序統計量$y_k^{(m)}$については次のことが言える。すなわち，年最小m日移動平均降水量$X^{(m)}$が$y_k^{(m)}$より小さい確率（非超過確率）P_kは，経験的に$k/(N+1)$ということが出来る。

$$P_k = Prob.(X^{(m)} \le y_k^{(m)}) = k/(N+1) \qquad (3)$$

なおこの確率の当てはめはWeibull Plotと呼ばれるものである。

$X^{(m)}$の確率分布　利根川流域内の降水量観測網の中から任意に抽出した2地点，思川の草久及び神流川の万場地点の日降水量記録（それぞれ1928~70年，1911~60年に亘るもの）を用いて，年最小m日移動平均降水量$x_j^{(m)}$を計算し，(3)のWeibull Plot法により各種の確率紙にプロットした。この結果，図1に示したごとく，$m \ge 30$についてはほぼWeibull分布すると見られることがわかった。なおWeibull分布は極値分布の第三形式と呼ばれるものであって，次の形をもっている。

$$Prob.(X \le x) = \exp[-\{(x-\varepsilon)/(v-\varepsilon)\}^{k}] \qquad (4)$$

ここにεはXの取り得る最小値であり，kは正，またvはεより大きいパラメーターである。なお図1

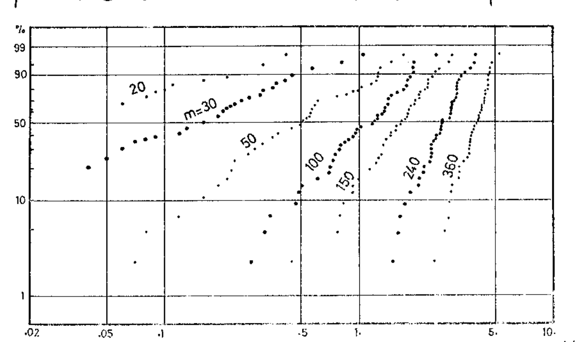

図1. 思川流域草久地点の年最小m日移動平均降水量の分布 — Weibull確率紙への当てはめ

に示されたように確率紙上で直線となる場合は $\varepsilon=0$ を意味しており，直感的事実と一致する。

<u>渇水持続曲線</u>　非超過確率 P_{k} を固定して，年最小 m 日移動平均降水量 $X^{(m)}$ が平均日数 m と共に変化する図を描いたものを渇水持続曲線と呼ぶ。図2は草久地点のものについての持続曲線である。P_{k} が50%以下のものについてはほゞ直線とみなしてさしつかえないことがわかる。ところで非超過確率 P_{k} は，年最小 m 日移動平均降水量 $X^{(m)}$ が $y_{k}^{(m)}$ 以下となる確率を意味するものであるから，それを $y_{k}^{(m)}$ と見込んでおくと，P_{k} の確率でそれより少ない降水量しか得られない場合があることを示している。したがって P_{k} は $y_{k}^{(m)}$ と見込むことに対する危険率と呼んでさしつかえない。この語法に従えば渇水持続曲線は，危険率 P_{k} を覚悟するなら今後の m 日間がこの年の最小の降水となる厳しい期間であるとしても少なくともこれだけは期待しても良いという日平均降水量を与えるものということが出来る。このような期待降水量が，平均日数の増加と共に，また危険率の増加と共に増すことは当然のことゝうなずけるであろう。

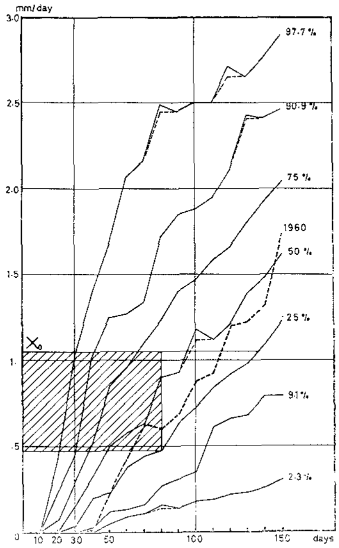

図2．草久地点の渇水持続曲線

2．渇水持続曲線の渇水対策への応用

<u>渇水降水量の予測</u>　今後 m 日間に危険率 P_{k} で日平均降水量としてどれだけ期待出来るかという形で渇水期間中の降水量の時系列予測をする際に，上記の渇水持続曲線をそのまゝ用いることが出来る。たゞしその場合には次の二つの重要な仮定が含まれることゝなる。

(1) 今後の m 日間はこの年の m 日平均降水量の最小を与える厳しい期間であって，その渇水の度合は $1/P_{k}=(N+1)/k$ 年に1度程度のものである。

(2) 今後 m 日間の渇水期間中では，今後のいずれの l 日目まで（こゝに $l<m$）をとっても，やはりこの年の最小で $1/P_{k}$ 年に一度の確率をもつ渇水期間が重なっている。

このうち第(2)の仮定は非常に厳しいものであって一般には成立しないものであるが，渇水対策の立場からすれば，降水量予測が極めて精度の悪いものである限り容認せざるを得ないものであると判断される。

<u>渇水対策用必要準備貯水量の算定</u>　渇水期の降水量予測として渇水持続曲線が用いられるということになれば，その渇水を乗り切る為の必要準備貯水量は極めて容易に算定出来る。いま年最小移動平均降水量が $X^{(m)}=f(m)$ なる関数で示されるとすれば，1日目では最低 $f(1)$ の降水が期待出来る。したがって必要量が X_0 であるとすれば，$X_0-f(1)$ だけあらかじめの貯水があれば良い。2日目までには平均 $f(2)$，総量で $f(2)\cdot 2$ の降水があるが，1日目に $f(1)\cdot 1$ 使っているから，$f(2)\cdot 2-f(1)\cdot 1$ だけ利用出来る。したがって2日目の為の必要貯水量は $X_0-\{f(2)\cdot 2-f(1)\cdot 1\}$ である。このようにして d 日目の為には $X_0-\{f(d)\cdot d-f(d-1)\cdot(d-1)\}$ だけ必要であり，d 日目までの全必要貯水量 $V(d)$ は

$$V(d)=X_0\cdot d-f(d)\cdot d=\{X_0-f(d)\}\cdot d \qquad (5)$$

ということになる。いま渇水期間の長さを D とすれば，この期の為の必要準備貯水量は，$1\leq d\leq D$ の間での $V(d)$ の最大値ということになり，これは図2の斜線の部分の面積として表わされることがわかる。

<u>渇水持続曲線を用いた渇水対策の正当性</u>　渇水持続曲線を渇水期間中の降水量の時系列予測として用いることは，非常に厳しい仮定が設けられた上のことである為，安全であると同時に年によっては厳しすぎる予測ともなりかねない。然しながら渇水対策は本来甘い観測の下に議論されるべき性質のものではなく，少くともこれだけは必ず期待出来るという降水を見積り，その分のみ信頼して対策の行動に出るべきものであることを考えれば，本稿の提案は極めて実用的なものであると言うことが出来よう。