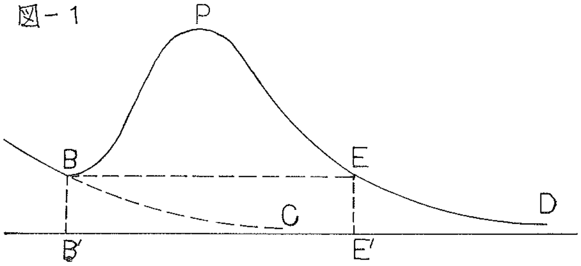
対応流量と平均的減水曲線に関する一考察

東京大学名誉教授　　荻原　貞夫
国土防災技術株式会社　　申　潤植
〃　　○田中　清司

1．対応流量とその求め方

従来一般に行われてきた方法は、年・月・日などの各期間内の降雨量と流量との対比であった。しかしこの場合には、流出の遅れという問題があり、期間が短かくなるにつれてその両端における繰越しの差の影響の割合は増加するので、比較的短期間内の種々の型の孤立雨に基く流量に関する多くの資料が要求される。孤立雨に基く増水の前後に相当の長さの連続無降雨日があって、その間に地下水流出のみからなるいわゆる正常減水曲線が図－1のように描かれれば、問題の降雨に基く流量は地表流下、中間流および地下水流出の全てを含むＣＢＰＥＤであって、これが厳密な意味における対応流量である。しかし、ＢＣとＥＤが地下流出水のみの正常減水曲線であり、その定義された性格を容認すれば互に平行で、　面積CBPED＝面積B′BPEE′＝BE（あるいはB′E′）間の総流量となる。

図－1

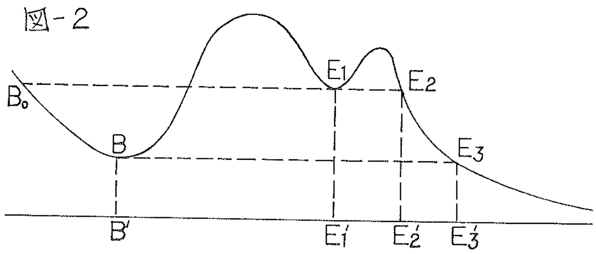


Ｂ：増水開始時の流量
Ｅ：増水ピーク後の減水曲線上でBに等しい流量
ＢＣ：降雨がなかった場合の推定減水曲線
ＥＤ：Ｅの後に降雨がなかった場合の減水曲線
Ｃ，Ｄ：流量が０となる推定点

2．減水流量の計算

これには、Ａ．前記モデル的な例に示した最も簡易な場合、Ｂ．問題の降雨後の減水曲線が図－２に示すごとく増水開始時の流量Ｂまで下降する前に次の降雨で上昇する場合とがある。この場合、種々の解法が考えられるが、増水前の減水曲線とその推定延長に全く等しいものが得難いことから、増水後については平均的な減水曲線を用いることが合理的といえよう。この意味から後述する平均的減水曲線式を利用して、計算によりE_1とE_3に相当する流量の間の総流量を求め、これをＢE_1間の総流量に加算する方法が有効である。

図－2



Ｂ：最初の雨による増水開始時の流量
E_1：減水後の次の雨による増水開始時の流量
E_2：後の雨による増水後の減水がE_1に等しい点
E_3：後の雨による増水後の減水がＢに等しい点
B'，E_1'，E_2'，E_3'：Ｂ，E_1，E_2，E_3の各点から流量０の横軸に下した垂線の趾

3．減水曲線の求め方

減水曲線の研究に際して直面する最大の問題点は、希望の長さを持つ連続無降雨日の充分な資料が得られないことである。そこで減水が降雨で中断される場合などの代表的な減水曲線の決め方としては．数本の減水曲線をトレーシングペーパーに描いて重ね合せや継ぎ合せを行う方法などである。しかるに筆者らは１つ１つの曲線を描かず数学的統計による一層簡単で客観性の高い方法を考案した。

具体的には 0.1 mm間隔の当日流量について翌日流量との差D（日減水量）を求める。同一当日流量Rに対するDの値の中で著しく異なるものは．この段階で棄却した上で残りのものの平均値を求める。さらにR－Dが翌日流量の平均値R′が計算される。RとDあるいはR′との関係式は種々考えられるが、多くの型の式を検討した結果から、合理性と簡明な点で勝れているものとして次式を採用する。

$\log|D| = k + \alpha R$ ……(1) ， $|D| = K\cdot e^{\beta R}$ ------(2) ， 但し $K = e^{2.30k}$ ， $\beta = 2.30\alpha$ ------(i)

ところで、Dは単位期間（日）当りの流量差であるから、$D \fallingdotseq -dR/dt$ とおけば

$-\frac{dR}{dt} = K\cdot e^{\beta R}$ ，$-e^{-\beta R}\cdot dR = K\cdot dt$ 　辺々積分して $\frac{1}{\beta}e^{-\beta R} = K\cdot t + C$ ------(3)

$t=0$ での流量を R_0 とすれば．$C = \frac{1}{\beta}e^{-\beta R_0}$ ------(ii)， 式(3)を変形して $R = -\frac{1}{\beta}\ln[\beta(K\cdot t + C)]$ ----(4)

$t = 0 \sim t$ 対応の総流量を R_T とすれば．$R_T = \int_0^t R\cdot dt = -\frac{1}{\beta}\int_0^t \ln[\beta(Kt + C)]dt$ ，ここで $T = \beta(K\cdot t + C)$

とおけば、$dT = \beta K\cdot dt$ ， $t = 0$ で $T = \beta C$ ， $t = t$ で $T = T$

よって．$R_T = -\frac{1}{\beta^2 K}\int_{\beta C}^{T}(T\cdot \ln T - 1)dt = -\frac{1}{\beta^2 K}[T(\ln T - 1) - \beta C\{\ln(\beta\cdot C) - 1\}]$ ------(5)

4．減水曲線式の応用と試算例

東京大学愛知演習林白坂量水ダムの昭和33～51年間の日流量記録（５月分）の資料を使用し．種々の場合における k，α を決定し、回帰式を求めると次のとおりである。

① 各R対応のDとしての平均値をとったもの　$n = 21$　$\log|D| = -0.89 + 0.48R$　$r = 0.96$

② 日流量の全データを使用した場合　$n = 118$　$\log|D| = -1.45 + 0.28R$　$r = 0.68$

③ $R \leqq 3.0$ のみのデータを使用した場合　$n = 100$　$\log|D| = -1.68 + 0.38R$　$r = 0.64$

試算例として42，48年の資料をとり、台形公式による総流量ΣRと各式による R_T とを比較して示す。

Rの値

No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Σ
42年	4.0	3.5	3.1	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	32.90
48年	3.0	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9										11.65

総流量の比較

	R_T		ΣR		R_T		ΣR
42年	①	29.18	32.90	48年	①	11.92	11.65
	②	33.30			②	12.52	
	③	31.75			③	12.35	

5．従来の方法の批判と本法の特長

従来の方法による減水曲線は．日流量の場合には．日次に対する流量の変化を表わしているのに対して．今回提案の方法では当日流量に対する翌日流量を取扱っている。前法では各資料に対する共通な日次は定め難く．それぞれの日数の間に類似の減水状態を示す資料を重ね合わせたり継いだりするもので、できるだけ多くの資料によって平均的な減水曲線を求めるための客観性の高い決め手を欠く弱点がある．筆者らの提案する方法では、0.1mm間隔の当日流量に対する翌日流量との差を用いる関係上、すべての資料は長短にかかわらずそれらの位置づけとさらには平均値を求める手続も確定している。この方法によれば降雨により中断される減水曲線の継ぎ合せの必要はなくなる。