

II-45

小流域における降雨流出の
時間応答特性

北海道大学工学部 正員 藤田 睦博

北海道大学工学部 正員 道口 敏幸

秋田工業高等専門学校 正員 榎 国夫

1.はじめに 近年、レーダー雨量計が整備されるにともない、分布型の流出モデルあるいは分布型の流出モデルを念頭においた国土数値情報利用に関する研究がなされている^{1,2,3)}。すなわち、流域のランピングスケールをどのように定めるかが、主要な課題の一つになっている。一方、空間に関するランピングスケールが定まると、それに応じて時間領域におけるランピングスケールも変化させる必要がある。これらの二つのスケールを結び付ける指標の一つが到達時間である。降雨量や流量の測定時間間隔をゲイン特性から検討しようとするならば、到達時間だけでは不十分である。

2.理論 一般に、降雨流出系に限らず物理系はローパスフィルターの性質をもっている。例えば、流出系が式(2.1)のような線形貯留方程式で記述できるならば、その周波数特性は容易にゲイン(G)～周波数(ω)図(ボード線図)より得られ、これを式(2.2)に示す。流域の規模が小さくなるにともない、一般に時定数 K も小さくなる。いま、二つの時定数 $K_1, K_2 (K_1 > K_2)$ を考え、式(2.2)のある値のゲイン G を満足する周波数をそれぞれ ω_1, ω_2 とすると、 $\omega_1 < \omega_2$ となり時定数の減少にともない高周波成分まで考慮する必要がある。

$$Kdq/dt + q = r(t) \quad k: \text{貯留係数(時定数)} \quad (2.1) \quad G(\omega) = 1 / \{1 + (K\omega)^2\}^{0.5} \quad (2.2)$$

しかし、式(2.1)を次のようにすると理論的には周波数特性を求めることができない。

$$Kdq^P/dt + q = r(t) \quad (P \neq 1) \quad (2.3)$$

いま、 $r(t)$ を式(2.4)のように表すと、初期条件の影響が消失するまで十分な時間経過後の $q(t)$ は式(2.5)のように近似できる。定常状態では $B=B'$ になることに着目して、式(2.3)～(2.5)より微小項を省略して A' を求めると式(2.6)のようになる。

$$r(t) = A \cdot \sin(\omega t) + B \quad A, B: \text{定数} \quad A \geq B \quad (2.4)$$

$$q(t) = A' \cdot \sin(\omega t + \phi) + B' \quad A', B': \text{定数} \quad \phi: \text{位相} \quad (2.5)$$

$$A'/A = 1 / \{1 + (K\omega P B^{P-1})^2\}^{0.5} = G \quad (2.6)$$

式(2.6)は、降雨に対する流出量のゲインを示している。式(2.2)と比較すると降雨量の平均値に相当する定数 B が含まれている。また、 $P=1$ とすると、この式は式(2.2)に一致する。図-2.1は省略した微小項の影響を検討したものである。まず、式(2.4)の定数 A, B および K, P を適当に設定し、一度式(2.3)を解いて式(2.5)の定数 A' を推定して、これより得られた A'/A と式(2.6)を示している。両者はよく一致している。

式(2.3)は集中定数系のモデルなので、空間軸に関するパラメータが含まれていない。いま、分布系のモデルとして定勾配、矩形斜面に関するkinematic wave式を考えるてみよう。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial X} = r(t) \\ q = \alpha h^m \quad 0 \leq X \leq L \quad (2.7)$$

h :水深 q :単位幅流出量 r :降雨量 α, m :定数

L :斜面長

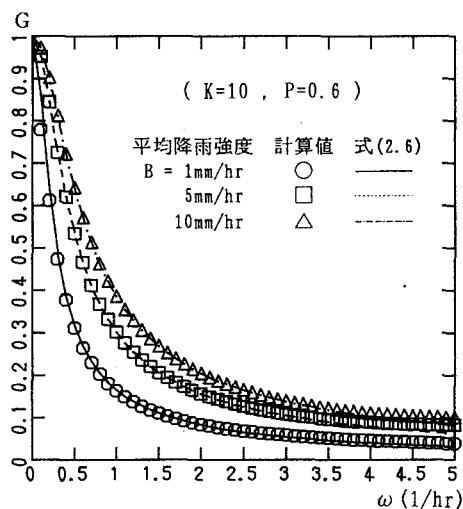


図-2.1 周波数 ω とゲイン G

藤田⁴⁾は式(2.7)を式(2.3)の貯留型の流出モデルに置換し、貯留係数 K , 貯留指数 P に関して次式を誘導している。

$$K=m\{1000^{m-2}L/(3.6\alpha)\}^{1/m}/(m+1) \quad p=1/m \quad (2.8)$$

L :メートル単位 α :メートル、秒単位

式(2.8)は式(2.3)の $q(t)$, $r(t)$ をmm/hr単位で表示するように次元が調整されている。

一方、本流長 L_m と集水面積 A に関するHackの式(2.9)を用いて、本流の左右岸に長さ L の矩形斜面を想定して式(2.10)を得る。

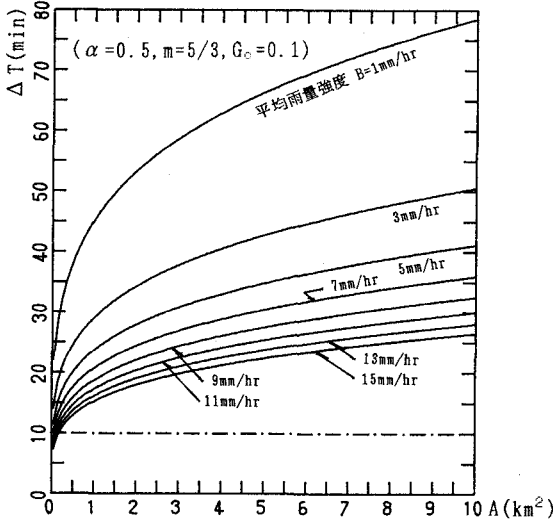


図-2.2 観測時間間隔 ΔT と流域面積 A

$$L_m=1.273A^{0.6} \quad (\text{km, km}^2) \quad (2.9)$$

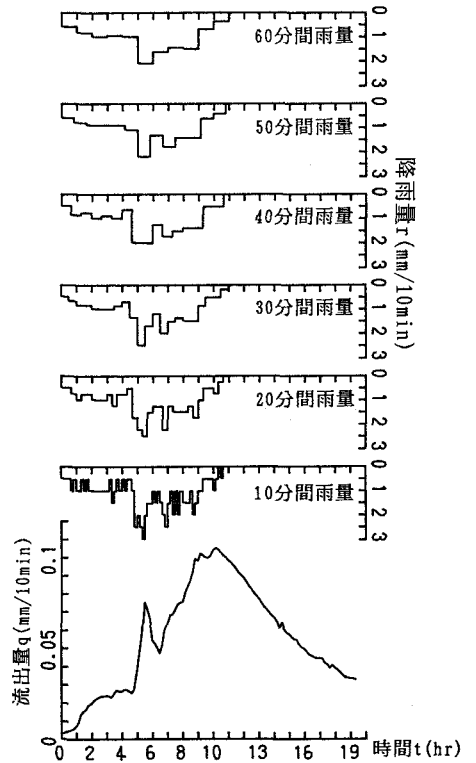


図-2.3 宮ノ森試験地での観測値

$$L=1000A^{0.4}/2.546 \quad (L:\text{メートル}) \quad (2.10)$$

式(2.9), (2.10)を式(2.8)に代入して、次式を得る。

$$K=m\{1000^{m-1}A^{0.4}/(9.166\alpha)\}^{1/m}/(m+1) \quad P=1/m \quad (2.11)$$

式(2.6)において限界のゲインを G_0 とすると G_0 に対応するカットオフ周波数 ω_0 は、式(2.12)となる。一方、降雨量や流量の観測時間間隔を ΔT とすると、カットオフ周波数 ω_0 を用いて式(2.13)が得られる。

$$\omega_0=B^{1-P}(1-G_0^2)^{0.5}/(KPG_0) \quad (2.12) \quad \Delta T=\pi/\omega_0=\pi KPG_0/(B^{1-P}(1-G_0^2)^{0.5}) \quad (2.13)$$

したがって、式(2.11), (2.13)を用いると、流域の特性に依存する m , α 、平均降雨強度 B 、流域の規模を表す集水面積 A および限界ゲイン値 G_0 が与えられると、観測時間間隔 ΔT を定めることができる。図-2.2は、上記の各種のパラメータをあたえて、 $\Delta T \sim A$ の関係をプロットしている。平均降雨強度 B の増大、また、流域面積の減少にともない観測時間間隔を短くしなければならないことが分かる。図-2.3は小流域における観測例として宮ノ森試験地(0.026km²)の降雨量と流出量を示している。降雨量は10, 20, 30, ..., 60分間雨量を平均化した場合を示している。ハイドロの第一ピークに注目すると ΔT で20分以上になると降雨量とハイドロの対応が悪くなる。平均降雨強度は6.7mm/hrで、図-2.2より判断すると、 $\Delta T=8$ 分程度であり、現象を説明している。(宮ノ森試験地において、パラメータ α , m が図-2.2の値が適用できるとした。)

【参考文献】

- 1) 高棹、椎葉、立川; TIN-DEMデータ形式による流域地形の表現について, 水工学論文集, 35巻, 75~80, 1991
- 2) 藤田、道口、榎; 小流域の疑似河道網と流出, 水工学論文集, 35巻, 149~154, 1991
- 3) 陸、小池、早川、益倉; 分布型流出モデルのための河道特性の評価, 水工学論文集, 35巻, 161~166, 1991
- 4) 藤田; 斜面長の変動を考慮した貯留関数法に関する研究, 土木学会論文報告集, 314号, 75~86, 1981