

# 流域等における洪水緩和機能の一般的指標：ピーク流量緩和時間 (農地の洪水緩和機能の研究 1)

A General Index for Flood Mitigation Capacity of Watersheds: Peak Relaxation Time

塩沢 昌\*  
Sho Shiozawa

## 1. はじめに

農地や森林の多面的機能の一つとして洪水緩和機能が注目されている。ここで洪水緩和機能とは、大降雨を一時的に貯留してピーク流出を緩和する機能と考えるが、これを定量的に評価する共通の指標が確立されていない。流域水収支から貯留量変化を求めれば、現に生じた洪水緩和機能を評価することは可能であるが、このように測定された貯留量変化は、測定時の降雨パターンに依存するため、降雨パターンが異なる流域間での比較が困難である。流域特性としての降雨貯留機能を比較するには、降雨パターンに依存しない共通の指標が必要である。ところで、ある流域に最適化された流出解析モデルは、降雨パターンに依存しない流出特性を表現しており、降雨貯留機能も内包している。

一般に入力(降雨強度)変化に対して貯留量  $S$  が変化して出力(流出比流量)  $Q$  の変化を緩和する機能は、時定数  $dQ/dS=a$  によって表される(逆数  $1/a$  が緩和時間)。モデルが線形であれば  $a$  は定数である。しかし、洪水流出は強い非線形現象であり、また一変数貯留量で決まる単純な系( $Q=Q(S)$ )ではないため、線形モデルの指標をそのまま使うことはできない。ここに提案する評価方法は、流域の流出特性をまず流出モデルで表し(モデルを問わないが、タンクモデルが簡単である)モデル上で、仮想的な基準化した瞬間降雨実験を行ってピーク流量を求め、「ピーク流量緩和時間」と名付けた指標で豪雨に対する降雨貯留機能(洪水緩和機能)を表すものである。

## 2. 瞬間降雨実験とピーク緩和時間の定義

現実の降雨パターンは多様であり、総降雨量が同じでも降雨パターンによって流出ピーク流量は異なる。降雨強度が大きく継続時間が短い降雨は、強度が小さく継続時間が長い降雨よりもピーク流量が大きい。また、降雨継続時間が同じでも、その後半に降雨強度が大きい方が、前半に降雨強度が大きい場合よりもピーク流量が大きくなることは簡単な貯留モデルで示すことができる。このようにピーク流出流量は総降雨量とともに降雨パターンに依存するため、異なる流域で測定された降雨パターンの異

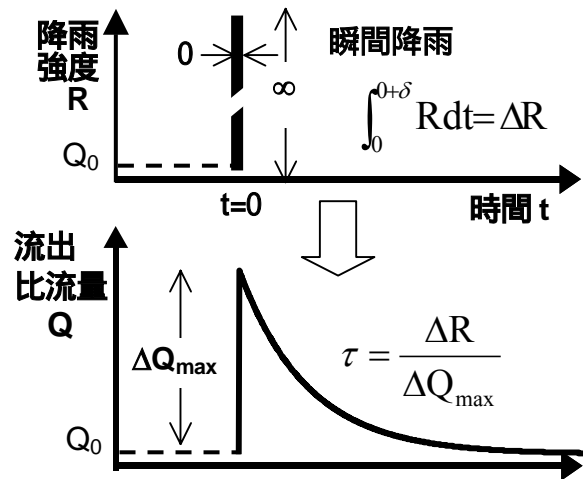


図1. 瞬間降雨実験とピーク流量緩和時間  
Rain pulse experiment and peak relaxation time

なる降雨に対するピーク流量や最大貯留量を比較しても、流域特性としてのピーク流出流量緩和機能を比較できない。

これを比較するには、共通の降雨パターンを与えてピーク流量を比較する必要がある。最も単純化された降雨パターンは瞬間降雨(降雨パルス)である。瞬間降雨は継続時間がゼロ、降雨強度が無限大で、総降雨量が  $R$  [mm] の降雨とする。瞬間降雨は抽象化された仮想降雨で現実には生じない。そこで、流出モデル上での仮想実験として、流域に  $R$  の瞬間降雨を与え、これに応じて生じる比流量  $Q(t)$  のピーク値の初期値定常流量  $Q_0$  からの増分  $Q_{max}$  を求め、

$$\tau = \Delta R / \Delta Q_{max} \quad [1]$$

を「流量ピーク緩和時間」と定義し、この  $\tau$  をもって洪水緩和機能の指標とする(図1)。  $R$  の瞬間降雨に対するピーク流量増分は  $Q_{max} = R/a$  であり、  $a$  が大きいほどピーク流量が小さく洪水緩和機能が大きい。

## 3. 線型モデル( $Q=aS$ , $a$ : 定数)の

流出流量  $Q(t)$  が、流域貯留量 ( $S$ ) で決まり、さらに、  $S$  に比例する線形モデルを考える ( $Q=aS$ ,  $a$ : 定数)。これは一つ穴一段タンクモデルに相当する。ここに、  $t=0$  に与えられた瞬間降雨  $R$  に対する  $Q(t)$  の通減曲線は、  $Q=dS/dt$ ,  $t=0$  にて  $Q=Q_0+aR$  より、

\* 東京大学農学生命科学研究科 The Univ. of Tokyo [キーワード] 洪水流出、流出特性、タンクモデル

$$Q(t) = (Q_0 + a\Delta R)\exp(-at) \quad [2]$$

である。[2]より  $Q_{\max}=a R$ 、[1]より $\tau=1/a$ であるから、線形モデルでは  $Q_{\max}$  は  $R$  に比例し、 $a$  は  $R$  に依存しない定数である。また、[2]式より  $\log Q-t$  曲線の傾きが  $a=1/\tau$  であり ( $Q_0 \approx 0$ ) 任意の時間の傾きから  $a$  が求まる。しかし、洪水流出は非線形現象であり、 $\log Q-t$  の傾きは一定ではなく (図 2(2))  $dQ/dS$  を一意に定義できない。さらに、多段タンクの貯留で  $Q$  が決まる場合 ( $Q=Q(S_1, S_2, \dots)$ )、降雨直後の  $Q(t)$  の傾きとピークの大きさは対応しない場合がある (図 2(3))。このため線形モデルの指標 ( $dQ/dS$ ) を使うことはできず、瞬間降雨実験によってピーク緩和を評価する必要がある。

#### 4. 瞬間降雨 $R$ と初期状態の基準化

「瞬間降雨実験」におけるピーク流量緩和時間は一般に瞬間降雨  $R$  の値に依存するため、 $R$  を基準化 (共通化) する必要がある。これを洪水緩和の指標とする目的は、異なる流域間の定量的な比較、および一つの流域での土地被覆変化やダム建設等の影響による洪水緩和機能の変化を比較することであるから、 $R$  を共通にして  $Q$  を比較すればよい。洪水ピーク流量を与える  $R$  としては、 $R=50 \sim 100\text{mm}$  が適当であろう。 $R=50\text{mm}$ 、 $R=75\text{mm}$ 、 $R=100\text{mm}$  に対する  $t_{50}$ 、 $t_{75}$ 、 $t_{100}$  などと表すことにする。大雑把に言って、 $t_{50}$  ( $R=50\text{mm}$ ) は我が国の流域で年に 2-3 回生じる程度の降雨のピーク流量を与え、 $t_{100}$  ( $R=100\text{mm}$ ) は 2-3 年に一度生じる程度の大降雨に対するピーク流量を与えらる。

また、瞬間降雨を与える時点の流域貯留の状態 (初期状態) もピーク流量に影響する (現実には対象豪雨以前の降雨・蒸発散によって決まり多様である) から、基準化する必要がある。初期状態としては、基底流量または年間の平均流出量程度の定常流量  $Q_0$  を想定するのが適切であろう。 $Q_0$  として  $1-3\text{mm/day}$  が適当であるが、この程度の小さな流量であれば、どの値でも洪水の  $t$  の算出値にあまり影響はなく、 $Q_0=1\text{mm/day}$  を基準初期定常流とする。

#### 5. タンクモデル上の瞬間降雨実験

流域の流出特性がタンクモデルで表されれば、ピーク流量緩和時間は容易に算出できる。定常流流量  $Q_0$  を入力に与えて流出も定常状態となる初期状態を作り、最上段タンクの貯留量を  $R$  だけ瞬時に上げた後、ピーク流量を求めればよい (図 3)。最上段タンク底穴が横穴に比べて大きくなければ、ピーク流量は瞬間降雨の直後 (と同時) に、最上段タンク横穴か

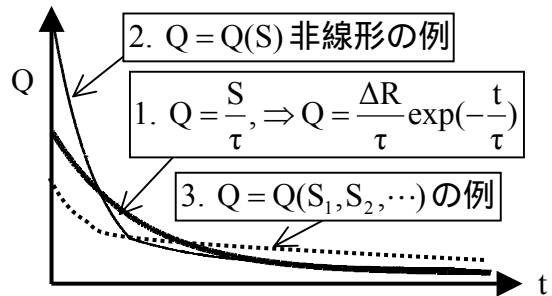


図 2. (1)線形モデル、(2)非線形一段タンク、(3)直列多段タンクモデルの透減曲線  $Q(t)$   
Decreasing curves  $Q(t)$  of (1) linear, (2) non-linear, and (3) multistage serial tank model.

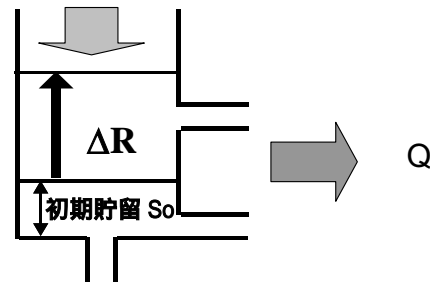


図 3. タンクモデル上の瞬間降雨実験  
Rain pulse experiment on a tank model

らの流出によって生じ、最上段タンク横穴の大きさと高さで  $t$  が決まる。しかし、底穴が大きいとピーク流出の発生に時間遅れが生じ、ピーク流量は下段タンクの特性的にも支配される。

#### 6. 日本の河川流域の

表 1 に文献のタンクモデルから求めた河川流域の  $t_{50}$  と  $t_{100}$  を示す。およそ  $t_{50}=15 \sim 30$  時間、 $t_{100}=5 \sim 20$  時間である。日本の河川流域の土地被覆は山間地森林の割合が大きいから、この  $t$  の値は、およそ山間地森林の  $t$  の値を表すとみてよいであろう。

表 1. タンクモデル (菅原正巳, 1972, 流出解析法) から求めた河川流域のピーク流量緩和時間  
Peak relaxation times of river watersheds calculated from tank models by Sugawara, 1972

流域	50 (hour)	100 (hour)
石狩川	23	18
荒川	15	8.8
伊南川	26	10
只見川	29	17
天竜川	31	15
十津川	9.1	5.0
北山川	20	14
仁淀川	16	9.1
球磨川	65	22