

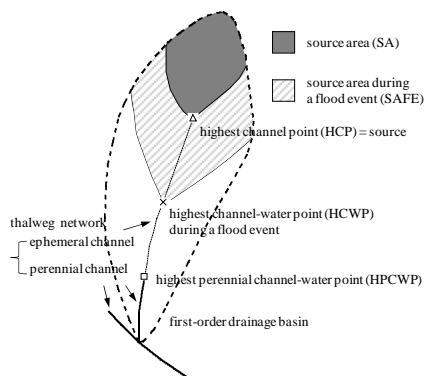
*山本博¹⁾, 杉崎孝一郎²⁾, 中尾誠司¹⁾, 佐々木寛幸¹⁾, 小玉浩³⁾, 田村俊和³⁾, 徳永英二⁴⁾
 (1:農研機構, 2:軽井沢自然地理研究会, 3:立正大学, 4:中央大学)

1. はじめに

豪雨にともなう洪水には多様な要因が関係しているが、近年、洪水の激化に伴い排水域の上流から下流方向への洪水が変動する空間構造を解明する重要性が指摘されている。源流部では多点での水路形状や流量の測定が困難なために実際の洪水流の上~下流の変動について、どこから洪水流が発生するか、水路に接する斜面からどのような影響があるかといった3次元的な実態はほとんどわかっていない。

洪水は斜面から水路へ、また上流から下流へ排水網を通して水と土砂とを系外へ排出している。そのため洪水の空間的構造を排水網から水文地形学的に解明することが必要である。そこで排水網を水流の有無にかかわらずに谷横断面の最も深いところを縦断方向に連続的に連ねた線であるタールベグ網としてとらえこの網上で洪水の発生位置を Fig. 1 のように定義する。

Fig. 1. タールベグ網における水路最標高地点(HCP), 水路水最標高地点(HCWP), および恒常水路水最標高地点(HPCWP)の関係。源流域SA, 洪水対応源流域SAFE。



2. 調査地と洪水の概要

1) 地形・地質・土壌：調査地は浅間火山南麓で、恒常的水路頭Cまでの面積が36.7x10⁴m²の細長い排水域で、火山錐面を開析する谷壁斜面と谷頭凹地から構成される (Fig. 2a). 地質は安山岩質溶岩・凝灰角礫岩とこれを覆う埴壤土~砂壤土質降下火砕物および腐植質黒ボク土壌からなる。

2) 土地利用:土地利用割合は草地 52% 林地 34%, 畑地 12%, その他 2%である。

3) 気候と洪水：気象観測地点 Met (Fig. 2a)における気候は、年平均気温 8.3 , 年降水量 1031mmである。2回の洪水:1999年洪水(総降雨量 190mm)と2007年洪水(総降雨量 349mm)を対象とした。

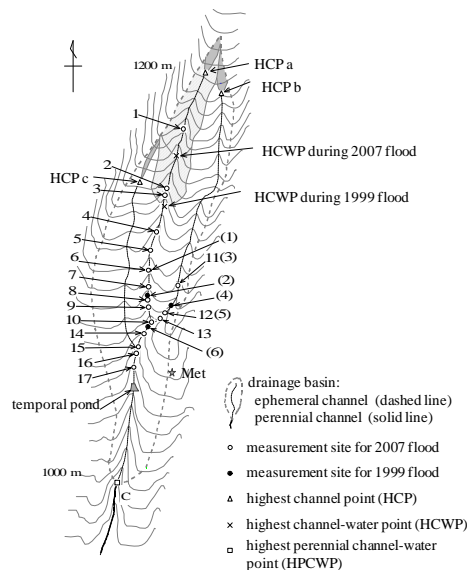


Fig. 2. 調査排水域. a:地形と測点.

3. 調査方法

1) マニング粗度係数:草地での水流の粗度係数 n に関連する変数として径深 r と牧草

草高 h の比, 牧草密度 M , 径深 r , 水路勾配 s を採り上げ, Ree and Palmer(1949)のデータを用いて関係式を検討した。

2) 気象・土壌水分:降水量については Met 地点 (Fig. 2a) と近傍の測定データを用いた。草地の土壌水分については, TDR 水分計データを用いた。

3) 洪水状態:流路に沿って測点を選定し,水路幅 w , 平均水深 d , 水路横断面積 A_c , 水路勾配 s , 牧草平均草高 h , 流速 v , 流量 Q などを測定・算出した。

4. 結果および考察

1) 降雨・土壌水分, 雨水移動経路:2007年洪水最大1時間降雨 47mmh⁻¹ および先行24時間降雨水量 114mm が洪水ピーク流量を発生させたと判断される。1999年洪水 最大1時間降雨強度 30mmh⁻¹ と先行24時間降雨量 153mm によると判断される。

雨水の移動経路は, 土壌水分変動, および土壌の透水性から, 傾斜方向に移動する側方流が集中し地表付近まで水分飽和することにより地表に浸出した復帰流が飽和地表流を形成したことが推定された。

2) 洪水流の流動状況:洪水流は浅い皿状の断面形を示し, 水深, 水路断面積, 流速, 流量, レイノルズ数などが上流で小さく下流で増加した。水深は牧草草高の中間から牧草高の範囲にあった。

3) 洪水流と地形場との関係:流量 $Q(m^3s^{-1})$ と排水域面積 $A (m^2)$ との関係は, 2つの洪水ともに排水域面積の増加に伴って下流方向に流量が増加するが,

その増加は、排水域面積がある値に達してから増える (Fig. 3a). Q と A の関係を一次式で近似し $Q = K(A - A_0)$ で表すと 2007 年洪水と 1999 年洪水は

$$Q = 3.17 \times 10^{-5} (A - 3.33 \times 10^4) \quad (1)$$

$$Q = 1.19 \times 10^{-5} (A - 5.47 \times 10^4) \quad (2)$$

となる. ここに, K : 係数 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$), A_0 : 流量 Q に対する横軸 A の切片 (m^2).

(1), (2) 式で差し引く排水域面積 A_0 は Fig. 1 で示した洪水対応源流域 SAFE の面積にあたり, その水路上の地点が水路水最標高地点 HCWP である. これらの位置を主水路上に図示 (Fig. 2) すると規模の大きい洪水程この面積が小さい.

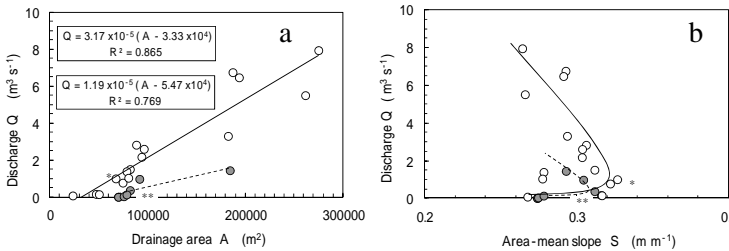


Fig. 3. 排水域面積 A (a) および流域平均勾配 S (b) に対する流量 Q の関係. ○: 2007 年洪水測点, ●: 1999 年洪水測点. *: 最大の排水域平均勾配をもつ 2007 年洪水測点. **: 最大の排水域平均勾配をもつ 1999 年洪水測点.

流量 Q と排水域平均勾配 S との関係は, 流量が勾配の正方向に凸型の分布パターンとなる (Fig. 3b). すなわち 2 回の洪水の S の極大値に*と**の記号を付すと, Q は S の正方向に凸型となる.

4) 洪水発生地の地形構造: 排水域のタールベグ網水路に 25m 間隔で設定した地形測点について主水路での総水路長 L (m) と排水域面積 A (m^2) との関係を図 4a に示す. 両者の間には 2 つの線形回帰式: 原点を通る式と切片をもつ式で表した良好な相関がある. 原点を通る関係は, 排水密度 D_d (m m^{-2}) または水路維持定数 C_m ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$) を用いた式

$$L = D_d A = (1/C_m) A \quad (3)$$

で表される. 切片を持つ式は,

$$L = D_d' (A - A_{0,L}) = (1/C_m') (A - A_{0,L}) \quad (4)$$

と表される. ここに, D_d' : 水路の未発達区域を考慮した修正排水密度 (m m^{-2}), C_m' : 水路の未発達区域を考慮した修正水路維持定数 ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$), $A_{0,L}$: 総水路長 L に対する横軸 A の切片 (m^2).

Fig. 4a 中に, 2 つの洪水の洪水対応源流域 SAFE の面積と総水路長の関係を × 印で示すと, 排水域全体の関係と同じ傾向を示す. すなわち, 洪水発生地

点の地形量は, これらの式の直線上にのり, 洪水時の水路水発生地点は, 源流域から下流の単位水路長が持つと同じ平面的な地形構造を有する.

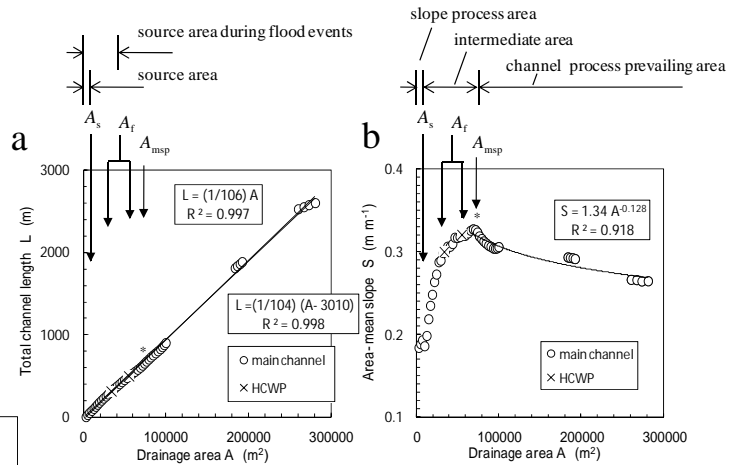


Fig. 4. 排水域面積 A に対する総水路長 L (a) および排水域平均勾配 S (b) の関係. ○: 地形量計測点, ×: 2007 年洪水および 1999 年洪水時の水路水最標高地点, *: 最大排水域平均勾配をもつ地形量計測点.

排水域平均勾配 S と排水域面積 A との関係 (Fig. 4b) では S が $A=68600 \text{ m}^2$ で極大となる凸型の分布パターンを示す. この排水域平均勾配 S が最大を示す最大勾配地点 MSP の排水域面積を A_{msp} であらわすと, 2 つの洪水の洪水対応源流域面積 A_f は, 最大勾配の排水域面積 A_{msp} より小さく, 源流域面積 A_s より大きい. したがって $A_s < A_f < A_{msp}$ (5) である.

排水域平均勾配が最大を示す排水域では, 凹型の斜面形が増加しているため水路のみならず崩壊のような削剥プロセスが活発な領域と推察される. MSP より下流では次のようなべき乗の関係がある.

$$S = 1.34 A^{-0.128} \quad (6)$$

排水域面積の増大とともに排水域平均勾配が減少することから水路プロセスがおもな領域と判断される.

洪水発生に関する水文地形構造は, (1) 平面的に洪水対応源流域 SAFE は排水域内の他の地点と同様の単位水路長あたりの水路維持面積, すなわち斜面長を有し, 水路への排水に係る同様の排水域をもつ. (2) 傾斜の面から洪水時の水路水最標高地点 HCWP は排水域平均勾配の最大地点 MSP の上流側に位置し, 洪水対応源流域 SAFE は斜面プロセスと水路プロセスが卓越する領域の中間的な領域を占める. この HCWP は, 規模の大きい洪水程この中間領域の上流側に位置する. したがって HCWP は, 洪水時に水路プロセスが斜面プロセスからなる領域に侵入していく最前線の地点としてとらえられる.