

## 0次谷花崗岩流域における流出ピークの遅れと流出経路

山梨大学大学院・医工・日本学術振興会 ○芳賀 弘和  
山梨大学大学院・医工 松本 嘉孝・藤田 昌史・西田 継・坂本 康

## 1. はじめに

降雨に対する流出の遅れ時間は、斜面崩壊発生のタイミング<sup>1)</sup>や崩壊土量<sup>2)</sup>に関係することが報告されている。このため、流出の遅れ時間に関する知見は、崩壊・土石流に対する警戒・避難基準の策定に資することが期待されている<sup>3)</sup>。しかしながら、流出の遅れ時間に影響を与える地中水の挙動や降雨特性については、不明な点が多い。本研究では、複数の降雨イベントについて、雨水の流出経路、流域の初期湿潤状態、及び降雨特性を解析し、それらが0次谷流域から流出する湧水の遅れ時間に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## 2. 調査地

調査地は、山梨県北部の瑞牆山山麓に位置する0次谷流域(0.65ha)である(図1a)。地質は花崗岩であり、土壌表面から岩盤までの深さは、ハンドオーガーを用いた調査によると約0.5~3m(図1b)である。優占樹種は、カラマツ(1960年代に植栽)である。流域下端の常に土壌が飽和した領域(約4m<sup>2</sup>)から水が浸みだし、湧水を形成している。

## 3. 方法

## 3.1 流出ピークの遅れ時間の定義と降雨イベント

降雨に対する流出ピークの遅れ時間は、降雨ピークから流量ピークまでの時間と定義した。解析対象は、総降雨量10mm以上の降雨イベントとした。

## 3.2 水文・水質観測

降雨量(0.2mm tipping bucketによる)、湧水の流量(60° V-notch 堰と圧力式水位計による)、土壌表層(0~30cm)の体積含水率(TDR CS615による)、土壌-基岩境界面の土壌間隙水圧(テンシオメータによる)、及び基岩地下水のピエゾ水頭(ステンレスパイプと圧力式水位計による)に関する計測を10min間隔で行った(図1b)。さらに、湧水及び地点P2近傍の土壌水(深さ0.2, 0.3, 0.5, 1.0m)と基岩地下水(深さ2.0m)を採水した。前者は月に2~13回、後者は観測期間の開始前と終了後の2回採水した。これらのサンプルの溶存有機炭素(DOC)とケイ酸の濃度を測定した。観測期間は、2003年6月から同年12月までであった。

## 3.3 先行湿潤状態

降雨イベント直前における流域の湿潤状態は、地点P1~P4の土壌表層の体積含水率をそれぞれの地点が代表する面積(標高に基づいて流域を区分した面積)で重み付けすることにより、土壌表層の初期貯留高として表現した。これは、いわゆる先行降雨指数(API)よりも直接的に流域の土壌湿潤度を表している。

## 4. 結果

## 4.1 流出ピークの遅れ時間

解析対象となったのは13個の降雨イベントであった。流出の遅れ時間は、0.3~46.5hの範囲であり、且つその範囲の両端に集中していた(9個のイベント<2h, 4個のイベント>24h)。この特徴は、ハイドログラフの形の違いとして表れた。すなわち、遅れ時間の短いイベントはシングルピークタイプであるのに対し、遅れ時間の長いイベントはダブルピークタイプであった(図2)。ただし、遅れ時間の長いイベントでは、同じダブルピークタイプであっても、遅れ時間には20hもの違いがあった。

## 4.2 降雨に対する地中水の応答

すべてのイベントの初期において、地点SPとP2では土壌-基岩境界面上は飽和していたが、その中間地点であるP1では不飽和であった。

遅れ時間の短いイベントでは、降雨ピークと流量ピークに対して明瞭な応答を示したのは、表層土壌の体積含水率と地点P2の土壌-基岩境界面の土壌間隙水圧のみであった。他方、遅れ時間の長いイベントでは、地点P1とP2の土壌-基岩境界

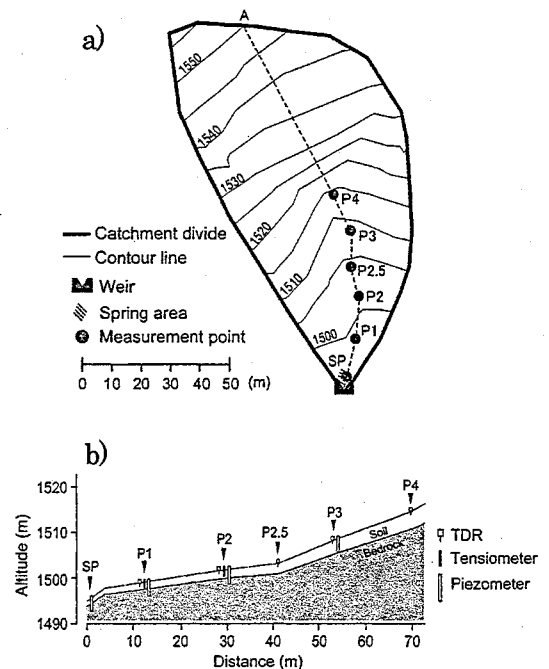


図1. 調査流域の概況(a)と測器の配置(b)

面の土壌間隙水圧、及び地点 P2 の基岩地下水のピエゾ水頭であった。特に、地点 P1 の土壌-基岩境界面上では、流量ピーク時には飽和となっていた。

### 4.3 地中水と湧水のケイ酸濃度と DOC 濃度

土壌水の DOC 濃度は、深さ 0.2m では 1~10 mgL<sup>-1</sup>, 0.3m では 0.5~5 mgL<sup>-1</sup>, 0.5m よりも深い点では 2 mgL<sup>-1</sup>未満であった。湧水の DOC 濃度は、遅れ時間の短いイベントで 2~8 mgL<sup>-1</sup>, 遅れ時間の長いイベントで、2 mgL<sup>-1</sup>未満であった。

土壌水のケイ酸濃度は、深さ 1.0m よりも浅い点で 14 mgL<sup>-1</sup>未満, 2.0m で 19~21 mgL<sup>-1</sup>であった。湧水のケイ酸濃度は、遅れ時間の短いイベントで 11~15 mgL<sup>-1</sup>, 遅れ時間の長いイベントで、9~14 mgL<sup>-1</sup>であった。

## 5. 考察

### 5.1 流出の遅れと流出経路

地中水の応答と水質の特徴から判断すると、遅れ時間の短いイベントにおいて卓越する湧水の構成成分は、湧水点近傍(地点 SP 付近)の土壌表層をソースとする飽和側方流であり、他方、遅れ時間の長いイベントにおいては土壌-基岩境界面上に生じる飽和側方流であると考えられる。つまり、これらは流出の遅れ時間が流出経路の違いによって大きく異なるということを示しており、流出経路の違いを生み出すメカニズムと密接に関わっていることが推察される。

### 5.2 先行湿潤状態と降雨特性が流出の遅れに与える影響

流出経路の違いには、斜面上方に向かって地中の飽和域の拡大するか否か、すなわち、地点 P1 の土壌-基岩境界面上に地下水が生じるか否かという条件が大きく関わっていた。地下水の発生条件は降雨量や降雨強度と関係があると考えられるが、その関係は土壌の先行湿潤状態によって影響を受ける。そこで、土壌表層の初期貯留量を考慮した累積降雨量を解析すると、地点 P1 の地下水の発生条件は約 120mm であることがわかった(図 3)。さらに、その地下水発生までに要する時間はその時点までの平均降雨強度に依存し、地下水発生から流量ピークまでに要する時間は地下水発生後の一連の降雨終了までの平均降雨強度が関係していることがわかった。したがって、今回のように降雨ピークから流量ピークまでの時間を流出の遅れ時間とする場合、降雨ピークの発生時刻が地下水の発生時刻よりも前か後かで流出の遅れ時間の持つ意味が異なる。遅れ時間が長いイベントを比較したとき、遅れ時間に約 20h もの較差が生じる結果となっていたのはこのことが原因と解釈できる。

## 6. おわりに

本研究で観測した降雨イベントは総降雨量で最大 96mm 程度であるため、より大規模な降雨イベントを対象とした解析が今後必要と思われる。しかしながら、本研究は 0 次谷流域における流出経路の違い、及びその違いを生み出す流域の初期湿潤状態と降雨特性を明らかにするとともに、それらが流出の遅れ時間に強く影響することを見いだしており、地中水の挙動と併せて流出の遅れ時間を検討することの重要性を示している。

引用文献: 1) Montgomery *et al.*(2002), *Water Resour. Res.*, 38(12), 1274, doi:10.1029/2002WR001429. 2) 八反地(2003), *砂防学会誌* 55(6), 74-77. 3) 恩田ら(1999), *砂防学会誌*, 51(5), 48-52.

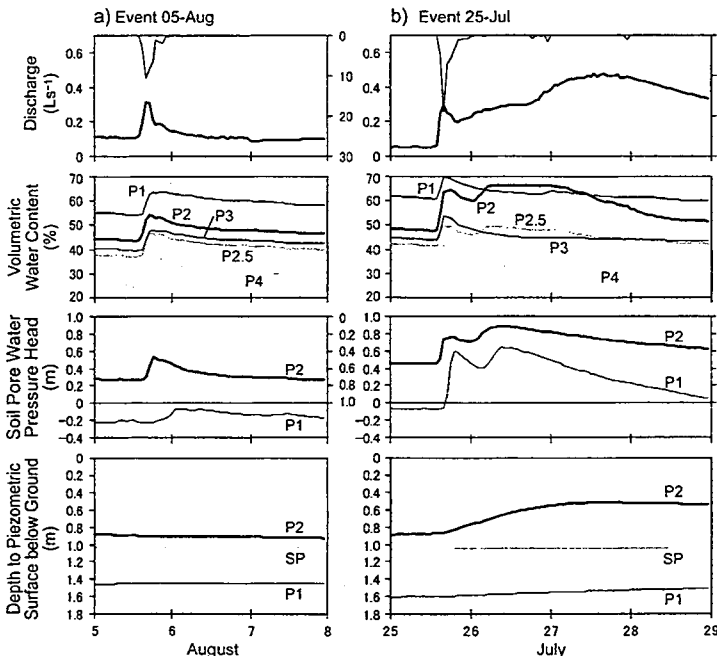


図 2. 降雨に対する地中水の応答の一例。流量ピークの遅れ時間が短いタイプ(a)と長いタイプ(b)のイベント。

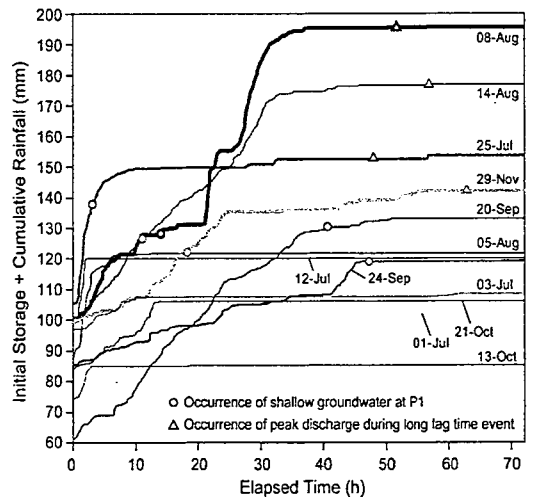


図 3. 流域全体における表層土壌(0-30cm)の初期貯留量から累積された降雨量。

曲線上の日付はイベントの開始日を示している。○は地点 P1 の土層内に地下水が発生する点を、△は遅れ時間が長いタイプのイベントの流量ピークが発生する点を表している。