

# 登山道上で生起する土砂流出特性の定量的把握と流出土砂量予測の試み

信州大学農学部 ○針生 沙綾 平松 晋也 福山 泰治郎

## 1. はじめに

近年、アウトドア人口の増加にともない森林や草原などの山岳地域の荒廃化が、顕著にみられるようになってきた。本研究対象地である霧ヶ峰でも、登山者の踏圧により荒廃化した登山道からの土砂流入が、湿原の陸化の一因とも言われている。本研究では、登山道上で生じる土砂流出の実態を定量的に把握するとともに、表面流出土砂量(湿原内への流入土砂量)の将来予測を行うことを目的として、降雨時に表面流出水量と表面流出土砂量の観測を行った。



図-1 研究対象地

## 2. 研究対象地の概要

研究対象地は、長野県諏訪市の霧ヶ峰・車山湿原である。車山湿原は、八ヶ岳中信高原国定公園内に位置し、標高 1,769 m にある。降雨時には、登山道上に表面流が発生し、土砂を伴う濁水が湿原内へと流入している状況が頻繁に確認されている。



写真-1 表面流出水量の観測装置の概要

## 3. 表面流出水量と表面流出土砂量の観測

表面流出水量は、登山客の通行に配慮し、写真-1 に示すように木道下の登山道に設置した三角堰と静電容量式水位計によって越流水深を自動計測し、別途同地点で求めた H-Q 曲線を用いて越流水深を流量に変換することにより求めた。表面流出土砂量は、降雨時に手動採水した表面流出水の土砂濃度と表面流出水量(自動計測)より求めた。観測期間は、2009 年 4 月 12 日から 11 月 31 日までの約 8 ヶ月間である。降雨量は、近傍の八島ヶ原湿原流域内で観測した(図-1)。

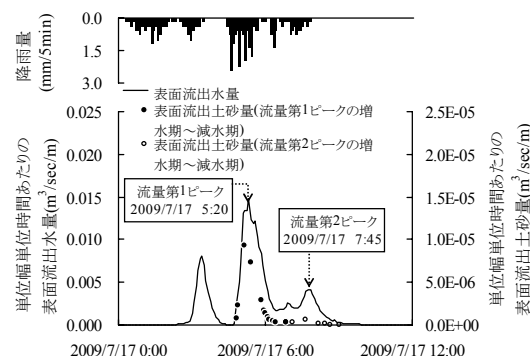


図-2 表面流出水量と表面流出土砂量の時系列変化(7月17日)

## 4. 観測結果

本研究により観測した表面流出イベント(計 23 イベント)の内、一例として 2009 年 7 月 17 日と 7 月 28 日の表面流出水量と表面流出土砂量の時系列変化を図-2~3 に示す。表面流出水量は降雨に対して鋭敏に反応し、表面流出土砂量は表面流出水量の最初のピーク(以後、流量第 1 ピークと示す)に対しては鋭敏に反応しているものの、次のピーク(以後、流量第 2 ピークと示す)に対する反応は流量第 1 ピークに対する反応に比べて鈍くなっていることがわかる。

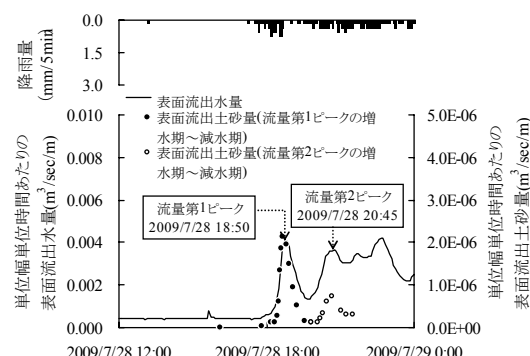


図-3 表面流出水量と表面流出土砂量の時系列変化(7月28日)

7 月 17 日と 7 月 28 日の表面流出イベントを例として、表面流出水量と表面流出土砂量との関係をとりとまとめたものを図-4 に示す。7 月 17 日の出水時には流量第 1 ピークを境に増水期と減水期において明瞭なヒステリシスが認められた。これに対して 7 月 28 日の出水時には流量第 1 ピークの増水期と減水期でヒステリシスは認められない。しかし、流量第 2 ピーク時の流出土砂量は流量第 1 ピーク時の 1/3 程度にまで減少し、流量第 2 ピークの増水期と減水期には明瞭なヒステリシスが認められた。

以上の結果は、7 月 17 日の出水時の流量第 1 ピークの増水期や 7 月 28 日の出水時の流量第 1 ピークの増水期と減水期には、表面流出水量に対する流出可能土砂(不安定土砂)が登山道上に十分存在していたことを示唆するものであり、表面流出土砂量は表面流出水の掃流力と登山道上に存在する不安定土砂量とのバランスによって変化する事実が明らかとなった。さらに、表面流出水量と表面流出土砂量との関係を示す図-5 より、登山道を構成する表層土壌の凍上・融解現象が確認された時期(以後、凍上・融解期と示す)に流出した土砂量は、凍上・融解現象のみられない時期(以降、通常期と示す)よりも最大で 2 オーダー程度大きな値を示したため、登山道上の不

安定土砂は、登山者の踏みつけに加え登山道を構成する表層土壌の凍上・融解現象により多量に生産される(凍上・融解期には、不安定土砂が多量に生産される)事実が確認された。

### 5. 表面流出土砂量の再現計算

登山道上で生起する表面流出土砂の動態を再現することを目的とし、表面流出土砂量推定式を構築した。表面流出土砂量推定式は、式形が簡便で取り扱いやすい流砂量式である Brown 式と、流出土砂の大部分が浮遊であることを考慮し、芦田・道上式(浮遊砂量式)を变形することにより構築した。また、凍上が確認された 2009 年 10 月 26 日と 11 月 11 日の流出土砂量は、通常期の流出土砂量と比較して最大で 2 オーダー程度大きな値を示したため、通常期((1)~(2)式)と凍上期((3)~(4)式)それぞれに対して推定式を構築した。

【Brown 型推定式】

$$q_b / (u_* \cdot d) = 0.004 \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^{1.38} \dots (1)$$

【芦田・道上型推定式】

$$q_s = \frac{\left\{ 0.25 \cdot \left[ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right] \right\} \cdot q}{\sigma} \dots (2)$$

$$q_b / (u_* \cdot d) = 0.016 \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^{1.57} \dots (3)$$

$$q_s = \frac{\left\{ 1.48 \cdot \left[ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right] \right\} \cdot q}{\sigma} \dots (4)$$

ここに、 $q_b$  : 単位幅単位時間あたりの表面流出土砂量( $\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ ),  $u_*$  : 摩擦速度 ( $\text{cm}/\text{sec}$ ),  $d$  : 代表粒径( $\text{cm}$ ),  $\tau_*$  : 無次元掃流力,  $\tau_{*c}$  : 無次元限界掃流力,  $q_s$  : 単位幅単位時間あたりの表面流出土砂量( $\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ ),  $\sigma$  : 土粒子の密度( $\text{g}/\text{m}^3$ ),  $q$  : 単位幅単位時間あたりの清水流量( $\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ ),  $g(\xi_0)$ ,  $\xi_0$ ,  $G(\xi_0)$  : 別途算定式より求められる値である。表面流出土砂量の実測値と(1)~(4)式より得られた再現値との関係を示す図-6 より、再現値は両式ともに実測値と 1 オーダー以内の差にとどまっており、本研究で得られた登山道上における表面流出土砂量推定式を用いることにより表面流出土砂量の将来予測が可能となることが確認された。

(1)~(4)式により得られた本観測期間(2009 年 4 月 12 日~11 月 30 日)内の表面流出土砂の事後評価結果を図-7 に示す。事後評価を行った結果、 $0.883 \sim 1.170 \text{m}^3$  もの土砂が観測期間内に本登山道上から流出していたであろう事実が確認された。しかしながら、本事後評価対象期間内には、表面流出土砂量の算定に必要な表面流出水量の欠測期間が多く、凍上・融解により一年で最も多くの土砂が流出すると推察される融雪期(3~5 月)が含まれていない。このため、一年間で実際に登山道を流下し湿原内へと流入していた土砂量は、本研究により得られた事後評価値( $0.883 \sim 1.170 \text{m}^3$ )をはるかに上回っていたであろう。

### 6. まとめ

表面流出土砂は融雪期に多量に発生している事実が確認された。このため、精度の高い表面流出土砂量推定式を確立し表面流出土砂量の将来予測を行う上で、登山道上の不安定土砂が活発に生産されることになる融雪期のデータを蓄積するとともに、登山道上の不安定土砂量を把握することが不可欠である。今後は、湿原内へと流入する土砂量の将来予測を行い登山道侵食対策事業支援ツールとして活用するとともに、効果的な登山道侵食対策工法の提案や配置および事前評価などを行うことを前提に、本研究で提示した表面流出土砂量推定式により得られる地点通過土砂量と河床変動計算を組み合わせることにより、湿原内へと流入する土砂量の予測モデルを構築する予定である。

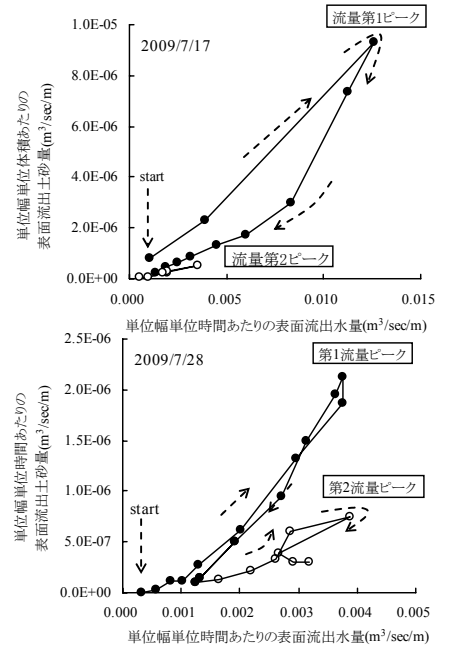


図-4 表面流出水量と表面流出土砂量との関係

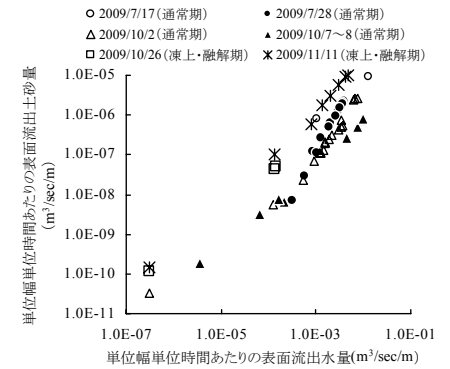


図-5 各観測イベントの表面流出水量と表面流出土砂量との関係

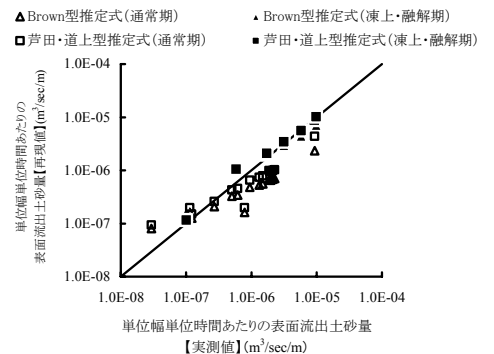


図-6 表面流出土砂量の実測値と再現値との関係

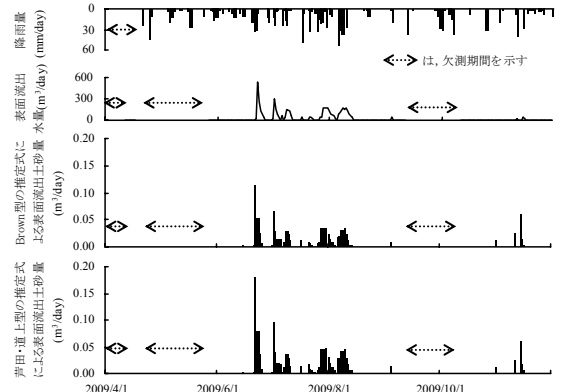


図-7 表面流出土砂量の事後評価 (2009 年 4 月 12 日~11 月 30 日)