

裸地斜面における冬期土砂生産の実態把握と予測モデルの提案

信州大学農学部（現 山梨県庁森林環境部） ○田澤 侑士  
 信州大学学術研究院農学系 平松 晋也・福山泰治郎

1. はじめに

凍結融解による土砂生産は発生規模が小さいものの毎年恒常的に発生するため、流域内での不安定土砂の堆積量は年数経過とともに増大することになる。不安定土砂が降雨、融雪、地震等により再移動すると、土石流化し下流に甚大な被害を及ぼす恐れがある。このため、本研究では凍結融解に起因した生産土砂量を予測し、山地流域における冬期土砂管理に資することを目的として与田切川流域内にモデル断面を作成し、凍結融解による土砂生産の実態を把握した。

2. 研究対象地と観測概要

本研究では長野県上伊那郡飯島町に位置する与田切川流域内の広葉樹森林内(標高 1,140m, 傾斜 38°)に高さ 140cm×幅 100cm の観測断面(図-1)を設け、気温、地温、土壌体積含水率、日射量、風速を観測するとともに、凍結融解により生産される土砂量を計測した。

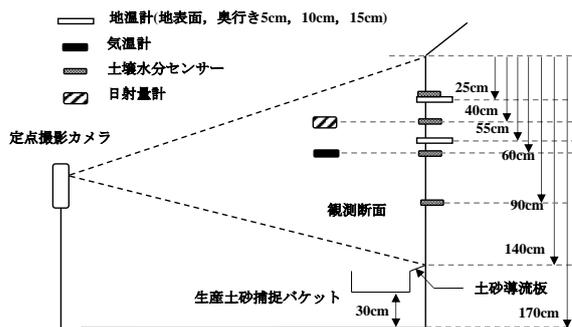


図-1 モデル断面と観測機器の概要

3. 観測結果

観測項目の経時変化を示す図-2より、気温が低下し地表面地温が継続して0℃を下った2016年12月28日~2017年2月22日では、断面の凍結が進行し、土砂生産は抑制されていることがわかる。2月23日以降は、気温と地表面地温が0℃を境に上昇と下降を繰り返し、1日サイクルで断面の凍結と融解が繰り返され、土砂生産が活発化するようになった。特に、地温上昇が断面の奥行5cmや10cm深度まで及ぶようになった3月中旬以降では多量の生産土砂量が確認された。

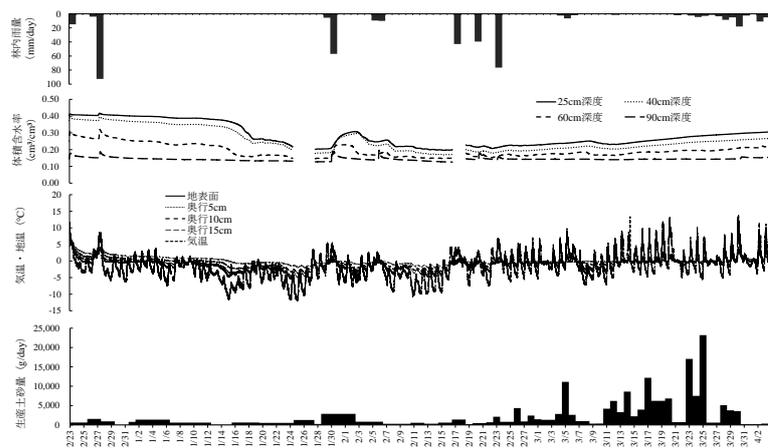


図-2 観測期間における各観測データの経時変化

4. 凍結融解に起因した生産土砂量予測式の提案

凍結融解に起因した土砂生産現象の影響要因として、土層の凍結や融解に使用される伝熱量と、土層の凍結量を規定することとなる体積含水率に着目した。本研究では伝熱量を地表面付近のパラメータを用いた「大気から地表面への伝熱量」と地表面と断面内部での地温差に基づく「地表面から土層内部への伝熱量」の2種類に区分し、生産土砂量予測式を構築した。大気から地表面への伝熱量は(1)式に示す熱収支式を用いて算出した。

$$R_n = H + IE + G \dots \dots \dots (1)$$

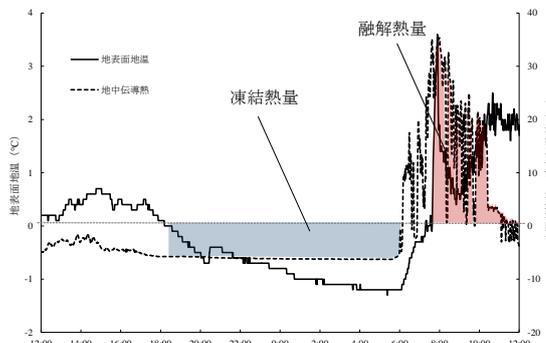


図-3 凍結熱量と融解熱量算出の模式図

ここに、 $R_n$  : 正味放射量,  $H$  : 顕熱輸送量,  $IE$  : 潜熱輸送量,  $G$  : 大気から地表面への伝熱量である。地表面地温と(1)式により得られる大気から地表面への伝熱量を用いて、図-3に示すように地表面地温と伝熱量が負の値を示した期間における伝熱量の積算値である「地表面凍結熱量：凍結指標」と地表面地温と伝熱量が正の値を示した期間における伝熱量の積算値である「地表面融解熱量：融解指標」の経時変化を求めた。

以上の結果得られた土砂生産イベント毎の地表面凍結熱量と地表面融解熱量及び生産土砂量の経時変化を図-4に示す。

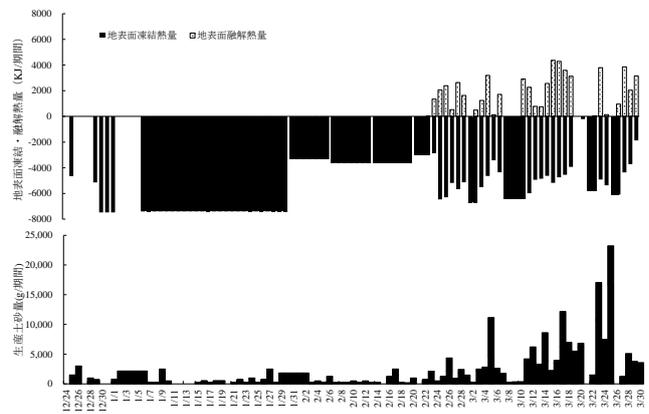


図-4 地表面凍結，融解熱量の経時変化

図-4より、2016年12月23日~2017年2月22日では断面の凍結が進行し、地表面融解熱量はほとんど発生しなかったため、土砂生産は抑制された事実が明らかになった。2月23日以降になると地表面融解熱量と地表面凍結熱量は1日サイクルで繰り返し交互に発生し、土砂生産が活発化ようになった。「地表面凍結熱量」, 「地表面融解熱量」, 「断面凍結直前の体積含水率」を説明変数として構築した生産土砂量予測式を(2)式に示す。

$$S = 6.55 \cdot E_c^{0.15} \cdot E_w^{0.70} \cdot \theta^{0.26} \quad (2)$$

ここに、 $S$  : 生産土砂量(g/期間),  $E_c$  : 地表面凍結熱量(KJ),  $E_w$  : 地表面融解熱量(KJ),  $\theta$  : 断面凍結直前の体積含水率( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )である。(2)式より算出された生産土砂量の計算値と実測値の関係を示す図-5より、(2)式による土砂生産の実測値と計算値の間にはバラツキが若干ながらみられた。この原因としては、「熱収支式((1)式)で算出した大気から地表面への伝熱量では断面内部の地温変動が考慮されていない」といった事実が挙げられる。

上記の事項を勘案し、(2)式中の大気から地表面への伝熱量の代わりに地表面と奥行10cm地点の地温変化を用いて求めた「地表面から断面内部への伝熱量」を土砂生産の説明変数として用いて構築した土砂生産予測式を(3)式に示す。

$$S = 2.1 \cdot 10^4 \cdot E_{c0-10}^{0.01} \cdot E_{w0-10}^{0.31} \cdot \theta^{1.06} \quad (3)$$

ここに、 $E_{c0-10}$  : 地表面→10cm凍結熱量(KJ),  $E_{w0-10}$  : 地表面→10cm融解熱量(KJ)である。(3)式より得られた生産土砂量の計算値と実測値の関係を示す図-6より、(3)式の再現精度は良好である事実が確認された。(2)~(3)式を比較すると、(3)式は(2)式よりも凍結熱量、融解熱量の影響が小さいことがわかる。これは地表面と土層内部の熱移動は大気と地表面の熱移動ほど鋭敏ではないことによるものであると推察される。

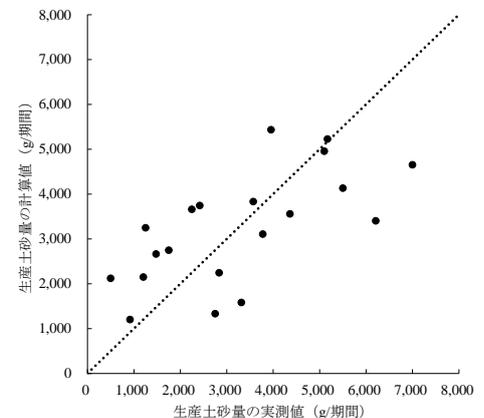


図-5 実測値と計算値の関係

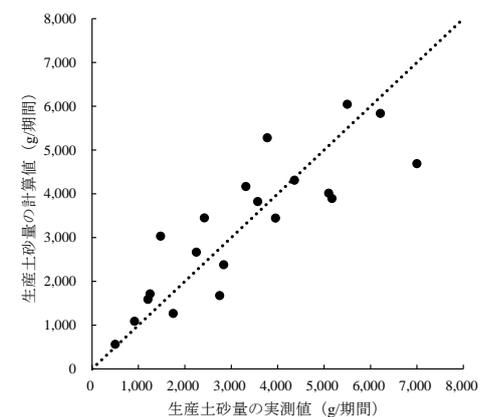


図-6 実測値と計算値の関係

## 5. おわりに

気温と地表面地温が $0^\circ\text{C}$ を境に上昇と下降を繰り返すことで土砂生産が活発化する事実が確認された。また、本研究で提示した(2)~(3)式より、断面の凍結量を規定する体積含水率が凍結融解による土砂生産現象に強く影響している事実が明らかになった。今後は、土砂生産予測式の精度向上や物理的妥当性の検討を図り、裸地斜面における冬期間での土砂生産現象に対する予測モデルを活用した土砂生産管理手法の提案へと研究を展開していく予定である。