

凍結融解による裸地斜面からの土砂生産量推定法

京都大学防災研究所

○堤大三・藤田正治

株式会社 IHI (元京都大学大学院工学研究科) 手島宏之

1. はじめに

流域の総合的土砂管理を実践する上で、山地流域において生産される土砂の量や質を詳細に評価し、予測につなげることが、重要な課題となっている。土砂生産の主要因のひとつとして凍結融解による基岩風化や土層の侵食が挙げられるが、発表者らはこれまで、滋賀県田上山地の裸地斜面をはじめとした現地観測を行なうと同時に、熱伝導解析と凍結融解履歴を考慮した土砂生産モデルを組み合わせ、凍結融解による裸地斜面からの土砂生産量推定手法の開発を行ってきた¹⁾。

本研究では、従来の推定法をさらに拡張し、広範囲からの土砂生産量を面的に推定することを想定して、気温、風速、斜面日射量、積雪などの一般的な気象要素を入力値として用いた熱伝導解析による土砂生産量推定手法を開発した。ここでは、新たに開発した手法について紹介する。

2. 数値シミュレーションの方法

2.1 地表面における大気 - 地盤間の熱収支法

地表面は、大気層と地盤層との境界であり、日射、潜熱、顕熱といった熱の出入りがバランスしている。それらの熱収支をとることにより、地表面温度と同時に地盤内の温度分布を求めることが可能である。地表面における地盤と大気層への熱移動収支を表す式を以下に示す²⁾。

$$\int_0^D \frac{d(c_G \rho_G T_G)}{dt} dz + \int_0^D \frac{d(\rho_i L_w \phi)}{dt} dz \quad (1)$$

$$= S \downarrow - S \uparrow + \sigma T_s^4 - \sigma T^4 - c_p \rho C_H U (T_s - T)$$

ここで、 $S \downarrow$ ：水平面日射量、 $S \uparrow$ ：反射量、 σ ：ステファンボルツマン定数、 T_s ：地表面温度、 T ：気温、 c_p ： ρ ：大気の体積熱容量、 U ：風速、 C_H ：バルク定数、 ρ ： c_G ：基岩の体積熱容量、 T_G ：基岩温度、 ρ_i ：氷の密度、 ϕ ：含水率、 L_w ：水の潜熱である。式(1)の左辺は、地盤への熱流入量を地盤温度変化の積分値として表した項、右辺は大気から地盤への熱流入量の総和を表している。 T_s は未知数であるが、仮定値を与えることで、地盤の温度分布が従来の熱伝導解析により既知となり左辺が求まる。そこで、左辺と右辺が等しくなるような T_s を繰り返し計算により求めることで、地盤の温度分布を求める方法である。

2.2 斜面日射量

一般に観測されている日射量は、水平面に対するものであり、上記の式(1)中の日射量 $S \downarrow$ も水平面日射量である。そのため、斜面からの土砂生産量を予測するためには、斜面日射量に変換しなければならない。入射角が分かれば、大気透過率や太陽定数を仮定することにより日射量を求めることができる。以下に斜面への日射の入射角を求める式を示す³⁾。

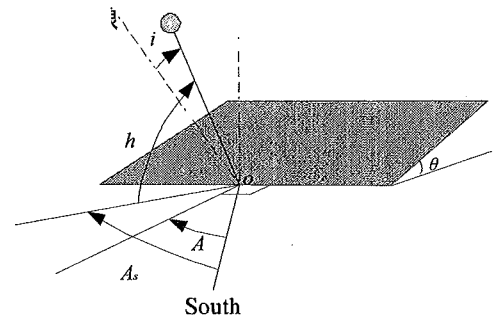


図-1 斜面入射角を表す各パラメータ

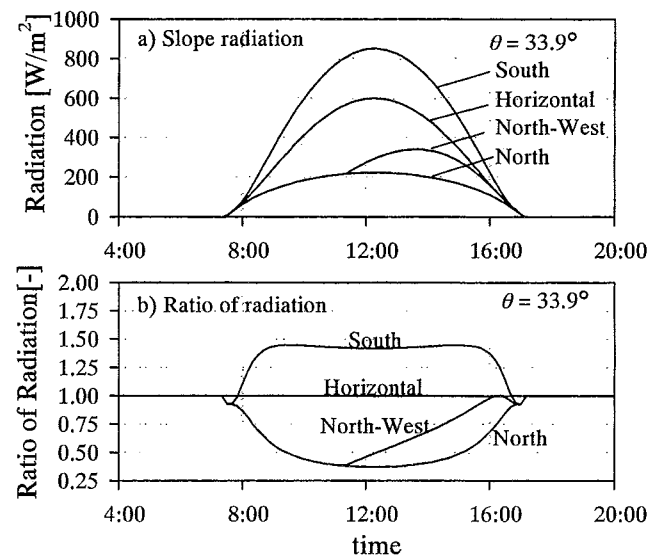


図-2 a)各斜面向きにおける斜面日射量の時間変化と b)水平面日射に対する斜面日射の比

$$\cos i = \cos \theta \sin h + \sin \theta \cosh \cos(A_s - A) \quad (2)$$

ここで、 i は入射方向の斜面に対する垂線からのずれ、 h は太陽高度、 A_s は太陽方位角、 A は南を基準方位とした斜面向き、 θ は斜面傾斜角度である。図-1に、各パラメータを示す。

式(2)より求めた各斜面向きでの斜面日射量の時間変化と水平面日射に対する斜面日射の比を図-2に示す。ここでは、雲や樹木等、日射をさえぎるものが無いと仮定している。観測された水平面日射量を用いる場合、図-2に示した様な水平面日射に対する斜面日射の比を観測された水平面日射量変化に乗じることで斜面日射量に変換することができる。

2.3 計算条件

2006 - 2007年の冬期に、滋賀県田上山地の若女裸地谷の裸地斜面(北西向き、傾斜角 33.9°)において観測された気象データ(気温、湿度、日射量、風速)を基にシミュレーションを行い、地表面温度と地盤の温度分布を求めた。なお、計算に用いるパラメータとし

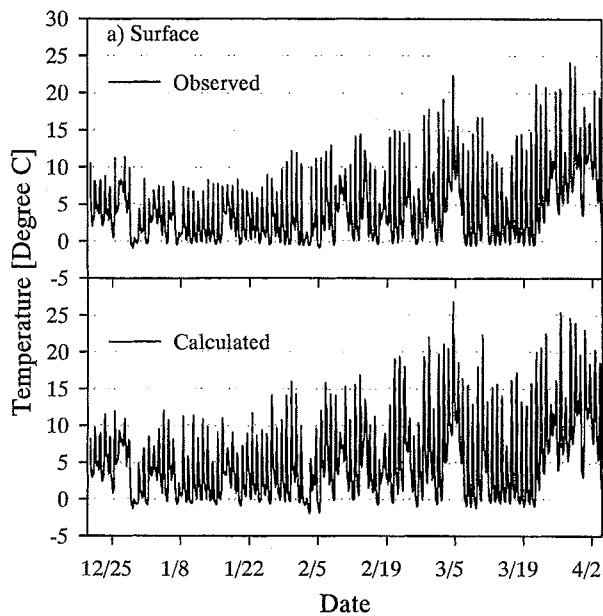


図-3 地表面温度の観測値と計算値の比較

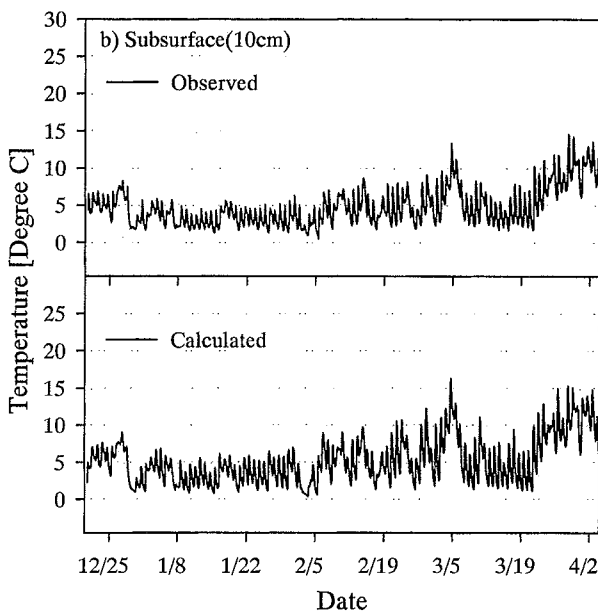


図-4 地盤温度 (10 cm) の観測値と計算値の比較

て, $\rho_c p = 1210 \text{ JK}^{-1}\text{m}^{-3}$, $\rho_G c_G = 2.44 \times 10^6 \text{ JK}^{-1}\text{m}^{-3}$, $C_H = 0.0015$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, $L_w = 332.8 \text{ kJ/kg}$, $\rho_i = 1000 \text{ kg/m}^3$ を与えた。

3. 数値シミュレーションの結果と考察

図-3, 4にそれぞれ地表面温度と地盤温度 (10 cm) の観測値と計算値の比較を示す。地表面、地盤温度共に、良好な再現計算ができており、ここで示した地表面における大気-地盤間の熱収支法による数値シミュレーションが機能していることがわかる。また、従来の方法 (地表面温度を入力値とした熱伝導解析) とここで示した地表面における大気-地盤間の熱収支法を用いた解析により得られた地盤内凍結面進行曲線を図-5示す。図-5から、従来の方法とここで示した新た

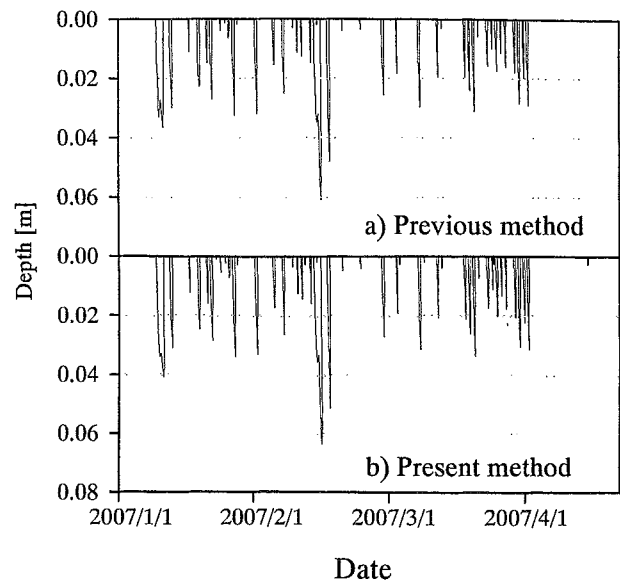


図-5 従来法と地表面熱収支法で得られた地盤内凍結面進行曲線の比較

な方法で、ほぼ等しい地盤の凍結融解現象が再現計算できており、地表面温度のデータがなくても、一般的な気象要素を用いて、凍結融解による土砂生産量の推定が可能であることが示された。

4. おわりに

本稿で示した、地表面における大気-地盤間の熱収支法によるモデルを用いれば、一般的な気象データ (気温、日射量、風速) を入力値として地盤の温度分布を求めることができ、凍結融解とそれによる土砂生産現象を推定することが可能である。よって、各地に存在する斜面を対象として斜面向きや、緯度経度の違いによる凍結融解作用と土砂生産量の違いなどを数値実験に検証することが可能となった。また、ひとつの流域全体における土砂生産量分布の推定を行うことも可能である。ただし、地盤が凍結融解作用から受ける物理的破壊メカニズムの地質ごとの差異や、リター・積雪等による地表面被覆の影響、地盤内の浸透水移動の検討など、克服すべき課題がいくつか残されている。今後はこれらについての検討もさらに進め、より高精度かつ広範囲に適用できる土砂生産量推定モデルに発展させていく予定である。

参考文献

- 1) 凍結融解による土砂生産に関する基礎的研究-田上山地裸地斜面における現地観測と数値シミュレーション-：堤大三，藤田正治，伊藤元洋，手島宏之，澤田豊明，小杉賢一朗，水山高久，砂防学会誌，59(6)，p.3-13，2007
- 2) 近藤純正，水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支，朝倉書店
- 3) 小倉義光，一般気象学，東京大学出版