

1. はじめに

荒廃したヒノキ人工林では、雨滴侵食による土壌の剥離、表面流の発生による表面侵食、雨滴侵食、表面流発生、リル間侵食が起きている。河川流域への土砂流出が確認されている (Mizugaki et al., in press)。従来、斜面での表面侵食量の評価は、プロットスケールでおこなわれてきたが、プロットサイズにより侵食量が異なることが指摘されている (福山ら, 2003)。一方、放射性降下物 (セシウム-137; ^{137}Cs や過剰鉛-210; $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) を用いた侵食モデルは、放射性降下物の降下量と任意の地点での現存量の差、すなわち損失量から過去数十年間の年平均侵食量を推定できるため、侵食量を空間的に評価することができる (Fukuyama et al., in press)。しかし、リル間侵食では微細粒子が選択的に移動することが知られており (Parsons et al., 2004)、微細粒子に特異吸着する ^{137}Cs の損失量は、侵食土砂の粒径組成に大きく依存する可能性がある。放射性降下物を用いた侵食モデルにより斜面の侵食量をより正確に評価するためには、リル間侵食による土砂移動プロセスと放射性降下物の損失量との関係をあきらかにする必要がある。本研究の目的は、リル間侵食の土砂移動プロセスを考慮した侵食モデルが放射性降下物の損失量に及ぼす影響を評価することである。本研究は (独) 科学技術振興機構 CREST「森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化」の一部として行われた。

2. 土壌粒子の輸送距離

Parsons et al. (1998) は、雨滴衝撃と雨滴による表面流を想定した水路実験により、土壌粒子の輸送距離 (travel distance) を測定し、粒子の質量 M (g) と輸送距離 L (cm min^{-1}) との積は、雨滴エネルギー RE ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$) のべき乗と流水エネルギー FE ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$) のべき乗との積で表すことができることを明らかにした。すなわち、

$$ML = kRE^a FE^b \quad (1)$$

である。ここに k, a, b は定数である。

粒径による輸送距離の違いを考えるために、式 (1) を L についての式に変形することとする。ここで、質量 M の土砂が粒子密度 ρ (g cm^{-3})、粒径 d (cm) の土壌粒子のみで構成されるとすると、

$$M = d^3 \pi \rho / 6 \quad (2)$$

と表される。この式 (2) を式 (1) に代入し、て、 L について表すと、以下の式となる。

$$L = 6kRE^a FE^b / d^3 \pi \rho = K_1 d^{-3} \quad (3)$$

ここに $K_1 = 6kRE^a FE^b / \pi \rho$ であり、降雨エネルギー、流水エネルギーに関する係数である。降雨・流水の条件が一定であれば、粒径が小さいほど輸送距離が劇的に増加することを示している。

3. 土壌中の ^{137}Cs 濃度の粒径依存性

大気から降下した ^{137}Cs が表層土壌の微細粒子に強く吸着されることはよく知られている。He & Walling (1996) は、土壌試料の ^{137}Cs 濃度が粒度分布から算出した見かけ上の比表面積 (m^2g^{-1}) に対して増加傾向を示し、指数近似できることを実験によって示した。 ^{137}Cs 溶液 1 cm^3 中の ^{137}Cs 量に対する土壌粒子 1 g に吸着した ^{137}Cs 量の比を分配係数 K_d (cm^3g^{-1}) とし、

$$K_d = K_2 S_d^{0.60} \quad (4)$$

で表される。ここに、 S_d : 粒径 d の等価球体を仮定した比表面積、 K_2 : 係数、である。粒径 d 、粒子密度 ρ の土粒子の比表面積 S_d は

$$S_d = 6/d\rho \quad (5)$$

として表されるので、式 (5) を式 (4) に代入すると、

$$K_d = K_3 d^{-0.60} \quad (6)$$

となる。ここに K_3 は鉱物粒子の物理化学特性に関する係数である。粒径が大きくなるにつれて分配係数が小さくなることがわかる。すなわち、粒径が小さいほど、 ^{137}Cs 濃度は高くなることを示している。

4. 土粒子の移動による放射性降下物の損失量

リル間侵食による土粒子の移動を考えた場合、粒径が小さい粒子ほど、雨滴衝撃や表面流による輸送距離が大きく、また、大気から降下した ^{137}Cs を高濃度に吸着している可能性がある。式 (3) と式 (6) から、粒径 d の土粒子について ^{137}Cs の分配係数と輸送距離との関係は、

$$K_d = K_3 (L/K_1)^{0.2} \quad (7)$$

と表せる。分配係数が輸送距離にしたがって増加し、頭打ちになることがわかる (図-1)。すなわち、高濃度の ^{137}Cs を吸着した土粒子が斜面のより遠方 (下方) へと輸送されることが示唆された。

5. まとめ

リル間侵食による粒径別の土砂輸送距離を考慮した土壌侵食量モデルと、放射性降下物の微細粒子に対する吸着特性を考慮した、土砂流出に伴う同位体損失量を評価した。その結果、斜面位置による侵食土砂の粒度組成の違いは、同位体損失量に大きく影響を及ぼす

可能性を指摘できた。ただし、斜面傾斜や降雨強度、粒度を一定と仮定した場合の計算結果であり、実際の斜面にそのまま適用することはできない。従来の同位体を用いた侵食モデルに、リル間侵食による土砂流出プロセスを反映させるためには、様々な斜面傾斜、降雨強度、混合粒径条件下における侵食土砂の粒度特性と同位体損失量を検討する必要がある。

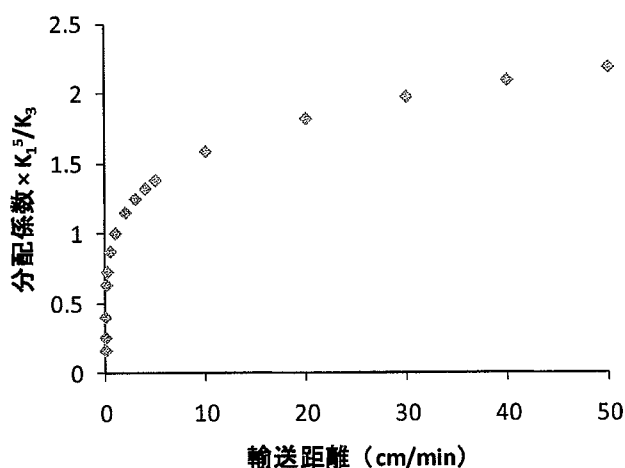


図-1 輸送距離と ^{137}Cs 分配係数の関係

【引用文献】

- 福山泰治郎, 恩田裕一, 森脇寛, 2003. ヒノキ林におけるプロットサイズ (斜面長) と土壌流亡量の関係. 地形, 24(4): 397-406.
- Fukuyama T, Onda Y, Takenaka C, Walling DE. 2008. Investigating erosion rates within a Japanese cypress plantation using Cs-137 and Pb-210ex measurements. Journal of Geophysical Research - Earth Surface (in press)
- He Q, Walling DE. 1996. Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. Journal of Environmental Radioactivity, 30(2): 117-137.
- Mizugaki S, Onda Y, Fukuyama T, Koga S, Asai H, Hiramatsu S. 2008. Estimation of sediment sources using ^{137}Cs and ^{210}Pb in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds, southern Japan. Hydrological Processes (in press) DOI: 10.1002/hyp.7053
- Parsons AJ, Stromberg SGL, Greener M. 1998. Sediment-transport competence of rain-impacted interrill overland flow. Earth Surface Processes and Landforms, 23(4): 365-375.