

14. 山地流域における土砂発生源の広域評価に向けた取り組み

池田英史^{1*}・石井孝¹・中屋耕¹・若松孝志¹

1 一般財団法人 電力中央研究所 環境科学研究所

(〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

* E-mail : ik@criepi.denken.or.jp

近年では日本国内においても、森林機能の劣化に伴う出水や土砂流出が懸念されている。電力中央研究所では、これまで森林および土壌に関する調査・検討手法を開発してきた。すなわち、航空機・衛星を用いた森林の評価、土壌侵食を招く降雨エネルギーのモデル化、異なる森林条件における土壌流出を評価するシステムの開発、さらには将来における土壌流出を予測し対策提案を可能とする予測モデルの開発などである。ここでは、これらの手法を統合した観測・評価システムの構築に向けた取り組みを紹介する。

Key Words: Mountainous Watershed, Precipitation, Canopy, Soil Erosion, Laser Profiling

1. はじめに

近年、国内の森林においては大規模伐採地の増加や林床の裸地化、シカなどの食害が報告されている。その結果、森林から河川への土壌流出量が増加することが危惧され、濁水や堆砂等による水資源・環境への影響が懸念されている。この山地森林斜面における土壌流出の発生機構を図-1に示す。林冠に接触した降雨の一部は滴下雨となり、土壌の雨滴剥離を発生させる。また降雨の一部は表面流出となり、流出剥離が発生する。電力中央研究所では、この山地流域からの土壌流出現象を予測し有効な対策を立案するために、衛星・航空機による森林のリモート・センシング技術の開発、土壌侵食を招く林内雨の評価、林床植生による土壌侵食抑制作用の評価、土壌侵食モデルの適用性の検討などのツールの開発に取り組んできた。これら4種の評価ツールと土壌流出支配因子との関係を図-2に示す。本報では、これらの手法を用いて構築中の山地流域における降雨および土壌の移行に関する統合観測システムを紹介する。山地の地形や林冠、林床植生については航空機によるLaser Profilerにより面的に観測する。次に雨滴浸食を引き起こす滴下雨については有効降雨エネルギーをモデルを用いて算出する。また雨滴浸食および表面流による侵食量の合算値は林床に作

成した観測プロットを用いた手法で評価する。さらに土壌侵食予測手法を用いて降雨浸透過程を評価することにより、土壌流出の予測および対策の立案が可能となる。

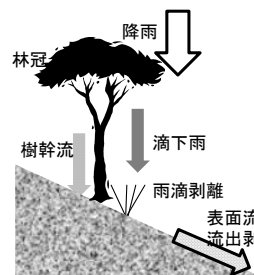


図-1 山地森林斜面における土壌流出の発生機構

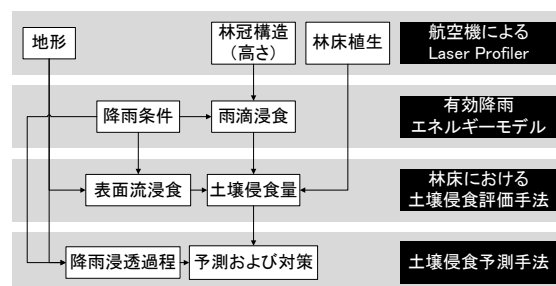


図-2 土壌流出の支配因子と検討に用いたツール

2. 方法

(1) 雨滴侵食を引き起こす降雨の運動エネルギー評価

林床植生の消失等により、森林で生じる土壌侵食が問題となっている。しかし、雨滴侵食を引き起こす降雨の運動エネルギーは、背の高い森林内では適切に推定できなかった。そこで、3種類の森林（ヒノキ、コナラ、ダケカンバ）における雨滴粒径の観測および林内雨についてのモンテカルロシミュレーションを行った。その結果、以下の点が明らかになった。(1) 従来の降雨の運動エネルギー推定式（Brandt,1990）は、林内雨のモンテカルロシミュレーション結果のうち、高さ7mまでの雨滴再落下高度までを対象としたフィッティングで求められたため、樹高が高くなると過大評価となる。(2) 雨滴の一部は、樹冠に衝突して粒径の小さな飛沫となり、その割合は降雨強度に応じて増加する。(3) 飛散した飛沫は、土壌を剥離するに足る有効運動エネルギーを持たず、雨滴侵食に寄与しない。そこで、従来のモデルで用いられてきた、（林内雨）＝（通過雨）＋（滴下雨）という関係を（林内雨）＝（通過雨）＋（滴下雨）＋（飛散成分）と改良するとともに、高い樹高にも対応した有効運動エネルギー推定式を新たに求めた(中屋ら、2011))。これにより、降雨強度が増すに連れて林内雨の運動エネルギーが漸減する現象と、7mを超える樹高でも運動エネルギーのポテンシャルを評価できるようになった(図-3)。

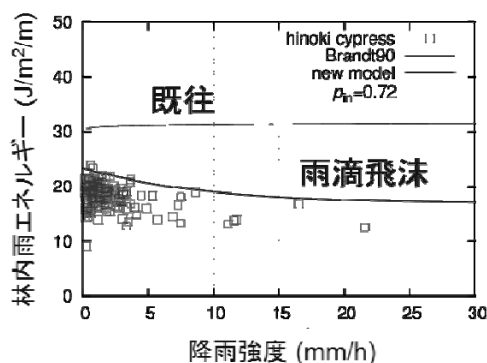


図-3 降雨強度に対する林内雨の運動エネルギー

(2) 林床被覆による侵食防止作用の評価手法

林床植生や落葉層などから構成される林床被覆は、地表面に与えられる雨滴の衝撃力を抑制する作用などにより、山地流域からの土壌流出現象と密接に関係しているといわれている。しかし、林床被覆の状態が土壌流出に影響するメカニズムの詳細については不明な点が多く残されている。当所では、林床被覆の相違が土壌流出に

およぼす影響を評価するため、土壌侵食量を観測・評価するためのシステムを開発してきた(若松ら、2012)。本システムによる観測項目は、レーザー雨滴計による雨滴の降雨運動エネルギー、スプラッシュカップを用いた土壌剥離飛散量、およびプロットスケール（幅：0.5m、斜面長2m）での表面流と土壌流出量(図-4)、デジタルカラー画像判別による林床被覆の評価などから構成される(図-4)。上記システムを関東地方北部の森林斜面に適用することにより、林床被覆には土壌の剥離飛散と表面流をとともに抑制する効果があり、それによって土壌流出量が軽減されることを明らかにした。これより本手法は、林床被覆における侵食防止作用を評価するための有力なツールになりうることを確認した。

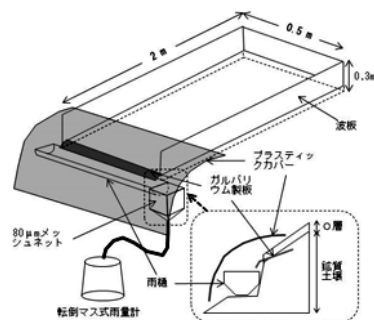


図-4 土壌流出計測システムの概要

(3) レーザープロファイラーによる森林広域評価

(1)有効降雨エネルギーモデルや(2)林床被覆による侵食防止作用をダム流域スケールで評価するためには、広域の森林パラメータ（樹高、遮断率、および林床被覆）が必要である。そこで、航空レーザープロファイラー(LP)計測データを活用し、土砂生産に関連する樹冠遮断率や下層植生高の計測可能性について検討した(石井ら、2010)。図-5は、スギ・ヒノキ人工林での調査ラインにおける比較結果(8月)である。スギ人工林ではLPデータと下層植生高との対応関係は概ね良い一致を示したが、ヒノキ人工林ではレーザの樹冠層通過率が低く、下層植生高が計測できていない部分が見られた。LP計測データの反射高さを活用することで、樹高(群落高)や、樹冠遮断率、下層遮断率、地表面到達率などが算出できるので、今後、有効降雨エネルギーの算出や林床被覆の効果評価に役立てる予定である。

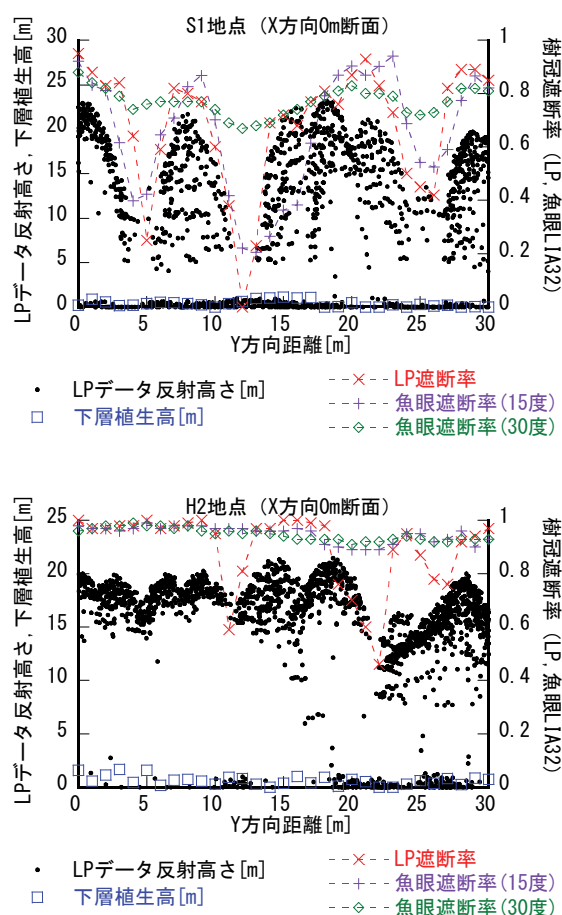


図-5 下層植生高とLPデータの比較結果例
(上図：スギ人工林、下図：ヒノキ人工林)

(4) 土壌侵食モデルの適用

従来、日本国内の森林斜面からは土壌流出が発生しないとされ、欧米の農耕地においてなされたような土壌流出モデルによる対策の立案などは行われてこなかった。しかし、近年では人工林を中心に土壌流出が報告されていることから、電力中央研究所ではヨーロッパの農地を対象に開発され、世界各国の農耕地や森林への適用事例が豊富なEUROSEM (EUROpean Soil Erosion Model)モデルの日本国内の山地流域への適用性を検討した。ここでは関東地方北部で観測された降雨において、降水の表面流出ならびに土壌流出を計測し、その再現性を基にモデルの適用性を検討した。その結果、降水量および降雨強度がある一定値を上回る降雨については、EUROSEMは表面流出を良好に再現できるツールであることが明らかになった。また、土壌流出についても、表面流による土壌輸送力を適切にモデル化することにより、予測評価に有力なツールであることが確認された(池田ら、2013)。このように、山地流域からの土壌流出を予測し、その防止策

を立案するためのツールとして有効と考えられるEUROSEMモデルであるが、発電用貯水池などを下端とする流域全体からの土壌流出を評価するためには、対象範囲の拡大などの課題が残されている。

3. 現在の開発状況と今後の予定

以上で紹介した計測・評価ツールの流域全体への拡張を目指して、降雨および土壌の移行を観測するシステムの構築を行っている。対象流域での調査地点は、流域の上流部に位置するスギ林ならびにヒノキ林内に各1地点、中流部のスギ林に各1ヶ所である。調査項目は林外降水量、林内気象(林内日射量、温湿度、風向・風速)、森林水文(滴下雨、樹幹流、土壌水分、地温、表面流出量)、土壌流出量である(図-6)。このうち土壌流出量については約2週間に1度の回収を行い、その他の項目については連続観測結果を自記記録している。また、土壌サンプルの状態をWEBカメラにより遠隔から監視することができ、土壌サンプルの回収や観測機器のメンテナンスを効率的に行うことを可能とした(図-7)。その結果を用いて、林床環境が土壌流出量におよぼす影響評価を実施する計画である。



図-6 現地観測概要図



図-7 WEBカメラの概要(左)と観測結果(右)

参考文献

- Brandt,C., 1990. The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies, CATENA, 16(4-5):507-524.
- 石井孝、佐藤隆宏、豊田康嗣、山本亮介、2010. レーザープロファイラーによる下層植生高の計測, 森林学会, L07
- 池田英史、若松孝志、中屋耕、阿部聖哉、2013. 森林からの土壌流出予測におけるEUROSEMの適用性の検討, 電力中央研究所研究報告V13001.
- 中屋耕、若松孝志、池田英史、阿部聖哉、豊田康嗣、2011. 森林における土壌侵食量評価のための林内雨運動エネルギーモデルの開発、電力中央研究所研究報告V11001.
- 若松孝志、池田英史、中屋耕、阿部聖哉、2012. 林床被覆が森林斜面における土壌流出プロセスに及ぼす影響, 電力中央研究所研究報告V11030.