

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成 15 年度採択研究代表者

恩田 裕一

(筑波大学大学院生命環境科学研究科 助教授)

「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」

1. 研究実施の概要

現在わが国の森林の 40%以上をしめる人工林が放置され、特にヒノキ林における土壌侵食・表面流出が指摘されているが、これらが流域スケールの洪水発生に及ぼす影響については明らかでない。そこで、本研究チームは、表面流出メカニズムの解明と森林施業による流出変化のモデル化により、望ましい人工林の維持・管理について提言を行うことを目指している。

荒廃が著しいヒノキ人工林を含む 5 つの観測サイト（愛知，高知，三重，長野，東京）を設定し、施業履歴の異なるヒノキ人工林，スギ人工林，カラマツ人工林の他，比較対象として広葉樹林について水文観測，水質分析及びリモートセンシングによる森林情報把握を行った。研究は、1) フィールド観測グループ，2) モデリンググループ，3) 森林維持管理モデリンググループ，及び 4) 総合解析グループによって進められている。これまでに、フィールド観測グループ及び総合解析グループにより、データの蓄積と表面流発生メカニズムの解明が着実に進んでいる。その中で、特筆すべき成果は、1) プロットスケールの観測結果から、従来、十分な浸透能があるとされてきた広葉樹林においても表面流発生が認められたこと、2) ヒノキ人工林の浸透能低下の要因として雨滴衝撃や土壌クラストの他に、撥水性の影響が示唆されたこと、3) 流出水の酸素同位体比から、洪水イベントのピーク流出時において、ヒノキ林の方が広葉樹より「新しい水」の寄与が高いこと、などがあげられる。また、水流出モデリングについては、Topotubeを用いた分布型モデルにより、小流域スケールでの飽和地表流を再現できることが確認された。現在、浸透能の空間分布を考慮した不飽和地表流を再現できるモデルへと改良が進んでいる。森林維持管理モデリンググループについて、リモートセンシングによる Top Surface という新しい概念を提案し、山地斜面の林分平均樹高の推定が可能となったこと、高汎用性森林成長モデルを開発したことが、主な成果としてあげられる。

現在、野外・室内実験により、撥水性を含めた表面流発生の素過程の解明を進めるとともに、これらの新たなメカニズムを考慮した斜面・流域スケールの水流出モデルの開発も進めている。また、今後の森林維持管理の指針として、林床植生量による土壌浸透能の指標化を進めている。また、土壌流出評価のために放射性同位体を用いた濁度成分の起源推定

も併せて行っている。これらの結果から、現在の森林状態と今後の森林管理が流域の水土保全機能や河川環境へ与える影響の評価を行っていく。

2. 研究実施内容

日本では、森林が国土の約 65% を占め、その 40% 以上が人工林であり、適切に管理されずに放置され荒廃した人工林は、下流域での洪水発生などの災害、渇水時の水量や水質の確保といった水資源の問題、河川や海洋の生態系に対する影響、森林管理の費用負担など、様々な問題と関わっている。しかしながら、荒廃した人工林地の水流出特性の変化について、相対的に大きな流域スケールで実測した例がほとんどなく、それらが河川や海洋の環境へ及ぼす影響が十分に理解されていない。そこで、プロットスケール、源流域スケール、大流域スケールにおいて洪水流出や水質の観測を行い、リモートセンシングによる分析等、広域をカバーする手法を組み合わせることで、人工林の荒廃が水循環、洪水発生、水質など下流域の河川環境に与える影響を予測する。これらの理解を通じて、人工林の維持・管理方法について提言を行い、今後の水資源の循環予測・持続的利用のための基礎資料を提示することを目的として研究を行う。

日本の 5 カ所（愛知，高知，三重，長野，東京）に荒廃が著しいヒノキ人工林を含む大流域を対象流域として設定し、その中からヒノキ人工林，スギ人工林，カラマツ人工林の施業履歴や林床植生が異なる林分を測定し、比較対象として広葉樹についても観測を行った。本研究は、1) フィールド観測グループ、2) モデリンググループ、3) 森林維持管理モデリンググループ、及び 4) 総合解析グループによって進められている。

1) フィールド観測グループ

本グループでは、森林管理状態と水・土砂・栄養塩類などの流出状況とその機構の解明のため、各サイトに異なる空間スケール（プロット，小流域，大流域）の異なる観測流域を入れ子状に配置し、水流出・降雨・流出物質の観測及び解析を行った。その結果、以下のような知見が得られた。(1) プロットスケールの水流出観測から、従来浸透能が十分に高いとされていた広葉樹林においても表面流が発生すること。(2) ヒノキ人工林での表面流発生には、雨滴衝撃による土壌クラストの他に、撥水性が影響している可能性があること。(3) 空間スケールの違いによって直接流出量が異なっていた。これらのことから、表面流の発生要因および流下の素過程を解明する必要があると考えられた。

2) モデリンググループ

本グループでは、水文モデルによる現象の再現及び森林や林床条件の変化による水・土砂流出量の変化、将来的な水流出予測を行うため、斜面及び流域スケールで観測された水流出プロセスを考慮し、モデル開発と新たなパラメータ設定を行った。主な成果は以下の通りである。(1) 斜面スケールの飽和・不飽和浸透モデルにおいて、土壌の撥水性を考慮した場合に、現場散水実験による実測の浸透量変化を再現することができた。(2) 異なる空間スケールの斜面プロット観測から、より大きな空間スケールでは飽和及び不飽和表面流が

発生していることが示唆された。(3) TOPOTUBE により要素分割した分布型流出モデルを構築し、小流域スケールにおける飽和地表流の発生位置を再現できた。また流域内の浸透能をランダムに変化させることにより、不飽和地表流を考慮した流出を再現できた。現在、実際の浸透能の空間分布を考慮したモデルの改良を進めている。(4)タンクモデルによる大流域スケールの降雨-流出解析から、1980年代半ば以降に流出率の増加傾向が認められた。しかし、蒸発散量が過少であることから、年平均降水量などのパラメータ設定を再吟味するとともに、表面流による影響を評価するためには、流出プロセスを考慮したモデルの改良が必要である。

3) 森林維持管理モデリンググループ

本グループでは、森林管理のための、林床被覆と浸透能との関係、リモートセンシングを用いた広域的な森林情報の高精度な定量的把握、および高汎用性森林成長モデルの開発、また、実際の間伐効果に関する実証的研究を行なうことを目的としている。主な成果は以下の通りである。(1) 雨滴衝撃を考慮した現位置人工降雨実験から、裸地化したヒノキ人工林の浸透能は、下層植生のあるヒノキ人工林や広葉樹林より低いこと、下層植生+リター量が 1000 g/m^2 以下で浸透能が低くなることが示された。(2) 新たに提案した Top Surface の概念によって航空機 LiDAR データによるヒノキ林の平均樹高の推定が可能であることが示された。(3) 従来の、地域限定型の人工林に対する森林成長モデルから、広域対応型の森林成長モデルを構築し、検証用データにより、その汎用性及び広域対応性が確認された。(4) 強度間伐前後の林床到達雨量、樹幹流量及び流出土砂量の観測から、間伐後における流出土砂量の減少が見られた。間伐による水・土砂流出への影響を確認するためには、無間伐林との比較検討が必要である。

4) 総合解析グループ

本グループでは、表面流発生の視点から流域スケールでの荒廃人工林の評価を行うため、表面流成分の分離手法の確立、洪水流出における表面流の寄与推定、人工林の健全度評価を行うことを目的としている。主な成果は以下の通りである。(1) 酸素同位体を用い表面流成分の分離手法を確立するため、プロット観測で得られた表面流出水の同位体特性を降雨

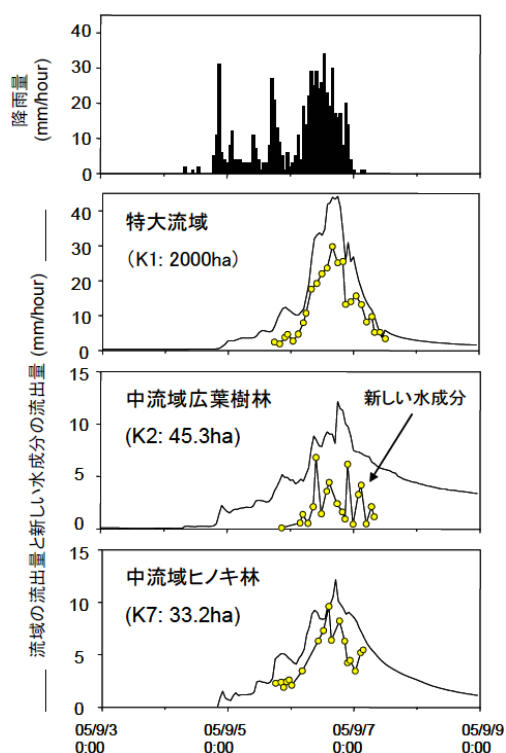


図-1 高知サイトの 2005 年 9 月 5—7 日の洪水イベントにおける新しい水成分の流出

水、基底流出水と比較したところ、表面流出水が土壤中に浸透せず流下するホートン型地表流であることが確認された。(2) 高知サイトでは、実際に下流域で洪水被害が発生した台風イベント時（2005年9月4-7日；総雨量 646 mm）に、流量と水質データを取得することができた。同位対比を用いて流域末端、ヒノキ林中流域及び広葉樹中流域の新しい水成分の寄与を調べたところ、ヒノキ林では新しい水成分による流出ピークの形成が認められ、それに比して広葉樹では新しい水成分の寄与が小さいことが明らかとなった（図-1）。同様の手法で、高知・愛知・長野の各サイトのヒノキ林と広葉樹林流域におけるピーク流出時の新しい水成分割合を比較すると、ヒノキ林の方が広葉樹林流域に対して新しい水成分の割合が大きくなる傾向がみられた。これらのことから、ヒノキ林流域と広葉樹林では、表面流発生などによる直接流出が洪水流量の増加を引き起こしていることが示唆された。

3. 研究実施体制

(1) 「総合解析」グループ

①研究者名

恩田 裕一（筑波大学大学院生命環境科学研究科生命共存科学専攻（以下筑波大・生環） 助教授）

②研究項目

- ・ 研究実施項目 総括，高知・多摩流域における現地調査，環境影響モデリング，リモートセンシングによる荒廃森林の抽出

(2) 「流出観測」グループ

①研究者名

寺嶋 智巳（千葉大学理学部 助教授）

②研究項目

- ・ 多摩，長野，高知における流域流出観測

(3) 「流出モデリング」グループ

①研究者名

Roy Sidle（京都大学防災研究所 教授）

②研究項目

- ・ 三重における流出観測および土壌プロット観測，各スケールのモデリング

(4) 「森林維持管理モデリング」グループ

①研究者名

竹中 千里（名古屋大学大学院生命農学研究科 教授）

②研究項目

- ・ 森林荒廃と水流出の関係を基に, 森林維持管理のモデリング

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- 辻村真貴, 恩田裕一, 原田大路: 荒廃したヒノキ林における雨水流出に及ぼすホートン地表面流の影響, 水文, 水資源学会誌, 19(1). 17-24. (2006)
- Takahashi T, Yamamoto K, Miyachi Y, Senda Y, Tsuzuku M: The penetration rate of laser pulses transmitted from a small-footprint airborne LiDAR: A case study in closed canopy, middle-aged pure sugi(*Cryptomeria japonica* D. don) and hinoki cypress (*Chamaecyparis obusa* Sieb. et Zucc.). Journal of Forest Research Vol.11, no.2, April, 112-123. (2006)
- Sidle R.C.: Field observations and process understanding in hydrology: essential components in scaling. Hydrological Processes Volume 20, April, 1439-1445. (2006)
- Hayashi T, Yamamoto K: A system to predict diameter distribution in pure even-aged hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Seib.) plantations (II) Application to sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. Journal of Forest Planning, Vol. 11, no. 2, March, 67-76. (2006)
- Endo H, Moriizumi M, Hirano T, Kobayashi K, Terajima T : Origine of humic substances in stream flows during storm events in forested head watersheds, central Japan. IHSS Publ., 645-648. (2006)
- Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M.: Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. Journal of Hydrology 329: 422-431. (2006)
- 五味高志: 土壌侵食と森林－森林斜面から流域の視点へ－, 森林科学 47 号, 10-14. (2006)
- 福山泰治郎, 恩田裕一, 竹中千里, 加藤弘亮: Cs-137 と Pb-210ex を用いた三重県大紀町におけるヒノキ人工林流域の土壌侵食量. Proceedings of the Seventh Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings2006-5, November, 150-158.(2006)
- 水垣滋, 恩田裕一, 福山泰治郎, 古賀聡子, 平松晋也: 放射性同位体を用いた浮遊砂起源の推定法－葛籠川流域における事例－, Proceedings of the seventh Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings2006-5, November, 159-167.(2006)