

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 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

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

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 准教授)

主たる共同研究者：

寺嶋 智己 (京都大学 防災研究所 准教授)

Roy C. Sidle (京都大学 防災研究所 教授)

竹中 千里 (名古屋大学 大学院生命農学研究科 教授)

小杉 賢一朗 (京都大学 大学院農学研究科 助教)

蔵治 光一郎 (東京大学 大学院農学生命科学研究科 講師)

北原 曜 (信州大学 大学院農学研究科 教授)

近森 秀高 (岡山大学 大学院環境理工学研究科 准教授)

野々田 稔郎 (三重県林業研究所 林業研究部 主任研究員)

今井 章雄 ((独)国立環境研究所 室長)

五味 高志 (東京農工大学 大学院国際環境農学研究科 講師)

3. 研究内容及び成果：

本研究は、気候条件と地質条件が類似した山地に人工針葉樹林(ヒノキ、スギ、一部カラマツ)と広葉樹林が隣接する国内5ヶ所(東京、信州、愛知、三重、高知)を観測流域として選び、プロットスケール、小流域スケール、大流域スケールに対して、流出水の量と質の観測を実施し、データ解析とモデリングによって、人工林管理の不備による森林の荒廃が水循環、洪水発生、下流河川環境に与える影響の実態解明と将来予測を行うとともに、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的とした。研究は、次の4つのグループ、すなわち、①フィールド観測グループ、②総合解析グループ、③流出モデリンググループ、④森林維持管理グループ、の緊密な連携のもとに進められた。以下に、主な研究内容と成果の概要をグループ別に列記する。

### ①フィールド観測グループ

- 異なる空間スケールの試験区域を入れ子状に設定した各観測流域において、水流出・降雨・流出物質の観測とともに、最小空間スケールとして流域斜面に設置された区画(プロット)における表面流出水の観測を実施した。約4年間の観測継続により、荒廃人工林における流出の比較に関する他に類を見ないデータセットを得ることができた。
- プロットからの表面流発生は、ヒノキ林からの流出が他の樹種より多いという結果が得られたが、土壌が失われ粗粒化した場合や空隙が大きくなった場合などでは、表面流発生は他の樹種と同様の値となった。いっぽう、斜面長 25 m 程度の大プロットにおいては、荒廃ヒノキ林からの水流出が大きいことが明らかにされた。
- 表面流発生の要因として、林床が裸地化したヒノキ林でのクラストの形成や表層土壌の撥水性が重要な役割を果たすことが示された。
- 大流域スケールについては、小規模降雨イベント時(総雨量 80 mm 以下)では、荒廃したヒノキ人工林流域の方が広葉樹林流域よりも表面流が多く発生するためにピーク流出高が大きく、クイックフローも顕著に大きくなるという知見が得られた。いっぽう、降雨規模が大きくなると(総雨量 80 mm 以上)、土壌が湿潤になり、土壌中の雨水も早く流出する傾向があることから、ホートン型表面流が洪水流出に及ぼす影響は相対的に小さくなり、

ヒノキ林と広葉樹林の違いは現れなくなると推察された。

## ②総合解析グループ

- ・高知・愛知・信州の流域において、流出水中の $\delta^{18}\text{O}$ を用いて分離したところ、降雨時の流出はヒノキ人工林の方が広葉樹流域に比べて「古い水(当該降雨前の流域貯留水)」より「新しい水(当該降雨による水)」の成分が多いことが明らかにされた。また、シリカとカリウムの濃度をトレーサとしてホートン型表面流出の寄与度が分析された。
- ・降雨イベント時の河川水中の栄養塩類(溶存態炭素、硝酸態窒素、溶存態有機窒素、溶存態リン、懸濁態物質)の変化に関する観測を基に各栄養塩全負荷量に対する降雨イベントによる流出寄与率が定量化された。
- ・流域斜面の土壤浸食量の空間分布が、土壤に吸着した放射性同位体濃度(セシウム 137 と鉛 210)の測定と拡散移行モデルによって推定され、ヒノキ林の土壤浸食には表面流の寄与があることなどが指摘された。また、浮遊土砂の起源について、放射性同位体濃度の測定と多変量土砂混合モデルにより推定され、裸地化したヒノキ林および作業道が浮遊土砂の生産源として大きく寄与していることが指摘された。

## ③流出モデリンググループ

- ・土壤の撥水性が不均質に分布する小区画斜面に対して飽和・不飽和浸透一数值シミュレーションを適用することによって、撥水性が表面流出に及ぼす効果を調べ、流下斜面長の増加にともない表面流出率が減少することなど、現地観測結果を再現することができた。
- ・各サイトの小流域に対して、グループ①、②から得られた知見を反映し、また、林内相対照度、土壤被覆量および浸透能の空間分布の推定にはそれぞれの現地調査結果との参照の上で LiDAR リモートセンシングを利用した分布型流出モデル(等高線地形要素型)が構築され、再現性が検証された。
- ・カリウムおよび $\delta^{18}\text{O}$ による流出成分分離の結果をパラメータ同定に用いる新たなタンクモデル構築法を考案し、流域ごとに異なる表面流発生量など再現性を向上させることを可能にした。

## ④森林維持管理グループ

- ・林内雨の雨滴径と雨滴衝撃力を再現でき、急傾斜地にも適応できるように開発された振動ノズル型散水装置(特許出願中)による散水実験を行い、三重サイトにおいて林床被覆度と浸透能の関係を明らかにした。
- ・ヒノキ林の管理を念頭に置いて、林内光環境と下層植生量の関係、密度管理から見た相対照度と下層植生の関係などに関する既往研究のレビューを基に、下層植生の侵入・生育のための間伐施業のあり方が検討された。

## 4. 事後評価結果

### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌 21 件、国際誌 42 件)、学会発表(招待講演:国内 0 件、国際 4 件、口頭発表:国内 57 件、国際 14 件、ポスター発表:国内 121 件、国際 27 件)、書籍出版 1 件、等から判断して妥当な学会報告が行われたと判断される。一般に水循環領域研究は特許を出し難い研究分野であるが、新たな測定装置を開発して1件の特許出願を行った。また、社会的関心が強いテーマであるためにマスコミからの取材も多く、新聞報道やテレビ放映を通して、研究成果を公表し、森林管理の重要性を積極的に主張した。以下に、研究全体を通しての評価をまとめる。

- 1)ヒノキ人工林がある全国 5 箇所に系統的な流域観測体制を整備し、多大な時間と労力を必要とする現地観測・実験を成し遂げて、荒廃人工林、特に土壤劣化が激しいヒノキ林での水・物質流出に関する従来にない詳細なデータが取得された点が、まず評価される。
- 2)酸素安定同位対比や放射性核種をトレーサとする先端的手法なども適用して、斜面と小流域レベルの水流

出・土砂流出のプロセスに関する新たな知見を得ている。特に、裸地化が進んだヒノキ林における表面流出発生メカニズムが、表層土壌の撥水性やクラストの形成などとの関係も含めて明らかにされ、モデル化されたことには新規性がある。

- 3) 観測とデータ解析から得られた知見をモデル構成やモデルパラメータに導入して構築された小流域に対する分布型流出モデルと大流域に対するタンクモデルそれぞれについては、新規性が認められる。しかし、両者のモデル構成要素に関連性がないために小流域での流出特性と大流域の流出特性とを関連付けることが困難(中間評価でも指摘)であり、例えば、流域山地の一部のヒノキ林による裸地化あるいはその改善が、流域全体からの洪水流出にどのような効果を持つかという評価にはこの大流域モデルは適用できない。研究目標の一つ「森林管理が下流域の水循環に与える影響の評価」には、不向きなモデル構成となっているのが残念である。
- 4) 荒廃ヒノキ林の下層植生の生育に着目した間伐方法についての検討はそれなりに意味があるが、今後、森林経営との関係なども考慮に入れて、それをどのように実現できるかについての検討へ発展することを期待する。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究は、森林水文観測研究には従来にない系統的な観測・実験を実施することにより、特に、林床が裸地化したヒノキ人工林における水流出プロセスと土砂流出プロセスの詳細を他の樹種の林地における現象と比較対照しながら明らかにしたもので、森林水文学に新たな一ページを加えた点で評価される。しかし、こうした自然を対象とした観測研究では、5年間という研究期間で所要のデータを得ることは困難であり、例えば、この研究においても強雨時のデータが十分に取れなかったために、大洪水時における森林の効果については推察の域をでない成果になっている。公的機関などとの連携による観測の継続が望まれる。森林管理については、荒廃ヒノキ林の局部を見るだけでなく、流域山地の一部の荒廃が下流域の水循環や土砂流出に及ぼす影響が大局的に明らかにされなければ、森林管理の必要性や公益性の議論につながり難いと考えられる。

#### 4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

##### 1) 受賞

- (1) 平成 19 年度 砂防学会研究発表会 若手優秀発表賞 水垣滋他
- (2) 平成 19 年度 水文・水資源学会 ポスター発表賞 五味高志他
- (3) 平成 20 年度 水文・水資源学会 論文賞 恩田裕一他

##### 2) 書籍出版

恩田裕一編(2008.10):人工林荒廃と水・土砂流出の実態、岩波書店

以上