

「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とモデル化」

1. 研究実施の概要

Group1 総合解析グループ

概要：全調査流域において、流域の選定を行い、測器設置を観測グループと共同で行った。また、データ取得が効率的にできるよう、測器の選定、使用法の確認、データ収集方法の議論を行い、有効にデータが採取できるよう心がけた。また、全調査流域の定常時、流出時の表流水を全国から一括して総合解析グループに送付するシステムを構築した。現在、水質分析、溶存物質測定を行い、解析中である。さらに、各地の流域について、衛星画像と現地調査を基に荒廃している流域を衛星データより判読する手法を試みている。

Group2 流出観測グループ

概要：多摩地域の流域について、プロットスケールから大流域スケールまで観測を行い、多摩地域における荒廃した人工林の流出特性への影響を明らかにする。また、高知地域の流域について、プロットスケールから大流域スケールまで観測を行い、高知地域において、広葉樹林、荒廃した人工林の流出特性を測定し、水質用サンプルを採取した。また、長野地区における荒廃した人工林の流出特性を測定し、水質用サンプルを採取した。さらに、全国の流出データを集め、データベース化している。

Group 3 流出モデリンググループ

概要：長野・三重流域について源流域の流出水の観測、および土壌水、地下水涵養量について調査を行う。また全流域のデータについて、分布型モデル(dSLAM II)を用いたモデリングを開始した。また、各地で集積された、土壌水分データより、プロットにおける流出発生モデルを構築する。さらに、全国の調査地域のデータを集積して、洪水予測シミュレーションを開始した。

Group4 森林維持管理モデリンググループ

概要：森林施業、森林成長と失われる森林の機能について、全国のデータをもとにモデリングを行った。航空機測量のデータから、樹高の推定を行った。また、東京大学愛知演習林において、施業と流出特性の変化について、実践的な調査を行った。

2. 研究実施内容

観測フィールドとして、日本の各地に人工林の荒廃が著しい 5 つの大流域を設定し、その中からヒノキ人工林、スギ人工林、カラマツ人工林を対象として施業履歴の異なる荒廃した林分を測定した。水資源上、最も問題が大きいと思われるヒノキ林についてはすべての流域で観測を行い、比較対象として広葉樹、またスギ・カラ松の人工林についても観測を行った。

対象とする大流域は以下の 5 地域である。

- ・ 愛知フィールド 東京大学愛知演習林 犬山研究林（愛知県犬山市）
- ・ 高知フィールド 四万十川支流葛籬川流域（高知県幡多郡大正町）
- ・ 三重フィールド 宮川上流（三重県度会郡大宮町）
- ・ 長野フィールド 信州大学農学部手良沢山演習林（長野県伊那市）
- ・ 東京フィールド 荒川支流成木川流域（東京都青梅市）

各フィールドでの観測体制は以下の通りである。

1. 樹種、荒廃度の異なる 3-4 ヶ所の流出プロットを設定
2. 樹種、荒廃度の異なる 3-4 箇所の源流域を設定し、流量、土壌水を測定
3. 1 から 2 箇所の大流域における流量測定

これらの観測流域は入れ子状に配置し、それぞれのスケールでの現象の解明とともにスケールアップによる現象の変化も観測できるようにしている。これは、全国で水位センサーが 51 本および、自動採水器を 25 カ所設置する極めて大規模な観測体制となった。

各観測地点では、斜面からの水流出が河川流出にどのような影響があるかを観測するとともに、洪水時における流出水を採水し、 $\delta^{18}\text{O}$ の分析や化学分析（Ca や SiO_2 ）を行い、大流域からの流出水の flow path を明らかにし、人工林の荒廃による各空間スケールでの水流出メカニズムの解明とそれらが洪水発生に及ぼす影響の解明を目指している。さらに、全調査流域の定常時、流出時の表流水を収集し水質分析を行っている。分析項目は、浮遊砂濃度、pH、EC、水温、陰イオン（ PO_4^{3-} 、 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} ）、陽イオン（ Li^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ）、Total Phosphorus、Total Nitrogen、DOC、UV-DOC、Fe、Mg、Al、Ca、Mn、Na、Si、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD の各項目である。今年度は、栄養塩、イオンクロマト分析の一部をのぞくほぼすべてのサンプルの分析を完了した。また、流出時の浮遊土砂を採取し、Cs-137 および Pb-210ex 同位体分析によりその土砂の起源について推定を行った。

フィールドグループおよび総合解析グループにおいては、全国の試験流域よりデータの収集に努めた。昨年からの、総サンプル量は約 3300 個に及んだ。降雨時のデータは、確率降雨によって整理し、各サイトとも確率降雨 1 年未満の降雨イベントに対応する出水は 1 - 3 回、愛知、高知、三重のサイトにおいては、降雨確率 1 年以上の大規模出水の洪水中の水の採取に成功した。特に、三重フィールドでは、11 の降雨イベントについて流出量な

どの観測を行ない、そのうち 7 回のイベントで、洪水中の採水サンプルを行ない水質や浮遊土砂流出のデータを収集することができた。その結果、 Na^+ と Cl^- は、降雨・地表流・基底流とイベント水には明確な違いが見られた。 Mg^{2+} と NO_3^- は流域間で大きな違いがみられた。これらの違いは、ヒノキ林の流域ではかなり多くの地表流が発生していることを示唆している。

リモートセンシング部門においては、上記 5 つの研究対象地域の人工衛星データや (Aster, Landsat TM 等) 航空機データ (CASI) を入手し、精密幾何補正や地形補正などの前処理を行う。そして、植生の活性度を表す指標 NDVI, PRI, などを計算することによって、荒廃した森林の場所を推定する。さらに、現地調査によって、衛星データから推定した結果を検証し、現存指標の有効性を検討している。また、現地から採取した荒廃林の葉のサンプルに対して、ハイパースペクトルの計測によって、森林の荒廃度を有効的に表せる新たな指標の開発を試みている。

フィールドグループにおいては、上記の共通項目に加え、下記の調査項目を重点的に調査している。多摩地域では、本年度は対象流域において、水流出量計測と水質分析を精力的に行った。また、高知地区および三重地区においては、ヒノキ、スギ及び広葉樹林内に小プロットを設置し、降雨量、通過雨量、表面流出量、侵食土砂量等を計測した。そして、各プロットにおいてトレンチ掘削を行い、土層断面からのマトリックス流量や土壌水分の挙動を観測した。さらに、上記小プロットを包含する大流域スケールでの流量観測を行い、森林の状態を考慮した水循環モデルや土砂生産モデルを構築する上での基礎情報とした。信州地区においては、ヒノキ、カラマツ、広葉樹林にプロットを作り、通過雨量、樹幹流下量、地表流量、侵食量などを測定した。愛知演習林においては、ヒノキ・広葉樹の流量観測を継続的に行った。

森林維持管理モデリンググループにおいては、人工林の施業方式が、土砂流出・水流出といった環境コストと資源としての経済的価値に及ぼす影響を、広域的に評価する手法の開発を、東京大学愛知演習林犬山研究林、信州大学演習林および三重フィールドサイトにおいて施業方式を異にしたヒノキ人工林小試験流域において、以下のアプローチによる調査を行っている。

- ① リモートセンシング（航空機レーザースキャナー）による林分構造の広域的評価
- ② 施業方式が土砂流出・水流出に与える影響のメカニズム解明とモデル化
- ③ 土砂流出・水流出といった環境コストの経済的評価方法の確立

3. 研究実施体制

総合解析グループ

- ① 研究分担グループ長：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、助教授）
- ② 研究項目：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

流出観測グループ

- ①研究分担グループ長：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

流出モデリンググループ

- ①研究分担グループ長：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

森林維持管理モデリンググループ

- ①研究分担グループ長：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：森林維持管理と流出特性に関するモデリングを構築する

4. 主な研究成果の発表

（1）論文（原著論文）発表

- 高橋與明，山本一清（名古屋大），千田良道，都竹政志(中日本航空):Predicting individual stem volumes of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in mountainous areas using small-footprint airborne LiDAR , Journal of Forest Research. 10:135-142(2005)
- 小杉賢一朗（京都大）：森林における水循環研究への土壌物理学の応用，土壌の物理性，No.100.p.15～26(2005)
- 恩田裕一：森林の荒廃は河川にどんな影響があるのか. 科学，75(12)，1381-1386, (2005)
- Takashi Gomi (JST), R, Dan Moore (University of British Columbia, Canada), and Marwan Hassan (University of British Columbia, Canada): Suspended sediment dynamics in small forested streams of the Pacific Northwest, Journal of American Water Resources Association, 41, 877-898 (2005)
- Bunkei Matsushita(University of Tsukuba), Yuichi Onda(University of Tsukuba), Ming Xu(Rutgers University. USA), Yuna Otsuki(University of Tsukuba): Detecting forest degradation in western Japan using airborne hyperspectral data. Proceedings of the 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, 544-546 (Beijing. China 2005)
- 恩田裕一，辻村真貴（筑波大），野々田稔郎（三重県科学技術振興センター），竹中千里（名古屋大）：荒廃したヒノキ人工林における浸透能測定法の検討，水文・水資

- 源学会, 水文・水資源学会誌 18 : 688-694 (2005)
- 福山泰治郎 (JST), 竹中千里 (名古屋大), 恩田裕 (筑波大) : ^{137}Cs loss via soil erosion from a mountainous headwater catchment in central Japan, Science of The Total Environment, 350:238-247 (2005)
 - 高橋與明 (名古屋大), 山本一清 (名古屋大/JST), 千田良道, 都竹政志(中日本航空) : Predicting individual stem volumes of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in mountainous areas using small-footprint airborne LiDAR, Journal of Forest Research, 10:135-142 (2005)
 - 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流の影響, 水文・水資源学会誌, 19(1). 17-24. (2006)
 - Takashi Gomi(JST), Roy C. Sidle, Shoji Noguchi, Junjiro N. Negishi, Abdule Rahim Nik, Shozo Sasaki, (Kyoto Universty) : Sediment and wood accumulation in humid tropical headwater streams: Effects of Logging and riparian buffer, . Forest Ecology and Management, 224:166-175 (2006)