

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な  
技術とシステム」  
研究課題「荒廃人工林の管理により流量増加と河  
川環境の改善を図る革新的な技術の開発」

## 研究終了報告書

研究期間 平成21年10月～平成27年3月

研究代表者：恩田裕一  
(筑波大学生命環境系、教授)

## 目次

### § 1. 研究実施の概要

1. 実施概要
2. 顕著な成果
  - (1) 優れた基礎研究としての成果
  - (2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

### § 2. 研究実施体制

1. 研究チームの体制について
2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

### § 3. 研究実施内容及び成果

1. 大規模間伐が森林流域からの水・土砂流出および遮断蒸発に及ぼす影響の解明  
(全グループ)【研究項目 1】
  - (1) 水文素過程の詳細な現地観測
  - (2) 安定同位体手法による遮断プロセス、水涵養プロセスの解明
2. 間伐による水文素過程変化のモデル化【研究項目 2】
  - (1) 蒸発散モデル(九州大学・京都大学グループ)
  - (2) 土壌水分モデル(京都大学グループ)
  - (3) 水土砂流出モデル(農工大グループ)
  - (4) 流出負荷モデル(鳥取大学グループ)
3. 水資源利用効率を最大化させる持続可能な森林管理技術の開発  
(名古屋大学・三重林研グループ)【研究項目 3】
  - (1) 航空機レーザー測量による森林状況の把握
  - (2) 水利用効率を最大化させる森林管理モデルの確立
4. 福島第一原発事故による人工林の放射能汚染状況の把握(筑波大グループ)【研究項目 4】
5. 森林管理と流域水・土砂流出統合モデルの開発(全グループ)【研究項目 5】
6. 研究総括と水供給を増加させる技術の開発(全グループ)【研究項目 6】

### § 4. 成果発表等

1. 原著論文発表
2. その他の著作物(総説、書籍など)
3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表
  - (1) 招待講演
  - (2) 口頭発表
  - (3) ポスター発表
4. 知財出願
  - (1) 国内出願
  - (2) 海外出願
  - (3) プログラムの著作物
  - (4) データベースの著作物
5. 受賞・報道等
  - (1) 受賞
  - (2) マスコミ(新聞・TV等)報道
  - (3) その他
6. 成果展開事例
  - (1) 実用化に向けての展開

(2) 社会還元的な展開活動

(3) 他分野への波及効果

## § 5. 研究期間中の活動

1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

## § 6. 最後に

## § 1. 研究実施の概要

### 1. 実施概要

本プロジェクトは、恩田が研究代表を務めた 2003-2008 年の CREST 採択課題「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」の成果を受け、発展させたものである。前プロジェクトでは、荒廃人工林において、下層植生の衰退に伴って土壌浸透能が低下し、表面流および土砂流出量が増加する実態を示し、さらにこのような諸問題が生じている管理放棄された過密な林分の下層植生を速やかに回復させるには、本数で 50%の強度な間伐が必要であることを明らかにした。間伐によって降雨の樹冠遮断は減少し、林内に供給される雨量は増加することが予想され、最終的には河川流量の増加が期待される。すなわち、荒廃人工林における強度間伐は、水質向上と水供給の安定化を図る画期的な水資源管理法となる可能性がある。しかしながら、このような強度間伐はこれまでほとんど行われておらず、とくに、林内が明るくなることで林床面での蒸発散は増加することなども考えられるため、実証的検討が必要である。そこで、本プロジェクトでは、地質などの環境条件が異なる 5 つの地域(栃木、愛知、三重、高知、福岡)の隣接する複数の調査流域(スギ・ヒノキ林)において、強度間伐を実施し、その前後の水文素過程(遮断蒸発散、浸透、水・土砂流出、河川流量等)の観測を行った。

その結果、強度間伐後 1-2 年では、とくに過密な林分で樹冠の遮断蒸発量が減少すること、林内雨が空間的に均一化することで地下への浸透がゆっくり進み流出が安定化すること、河川流量はとくに渇水期の増加が見込めること、さらに濁質の少ない「きれいな水」の供給が増えることなどが明らかとなり、水資源利用効率が向上することが示された。一方、福岡サイトのように、間伐前の立木密度が 2000 本/ha 以下の比較的立木密度の低い林分では、50%間伐することによって、林床面蒸発散量が大きく増加することが明らかとなった。その量は樹冠遮断および林分蒸散の減少量に匹敵するほどであり、年単位の遮断蒸発散量は間伐前後で変化しなかった。しかしながら、このような場合でも、渇水流量は約 1.27 倍の増加が認められ、林床面蒸発散量が低下している冬季の渇水を緩和する効果はあることが示された。また、間伐期間中の浮遊土砂濃度の上昇や、作業道からの土砂流出などの負の効果も見られたが、作業道へスギとヒノキの枝条被覆を行うことで土砂流出を大幅に抑制できることが確認された。しかしながら、間伐後に林内雨量が増加した流域や、林内雨は大幅に増加しているにも関わらず河川流量の増加は認められない流域もあり、林分スケールで林内雨量を評価する上での観測システムの問題点や、強度間伐の効果が得られない林分特性や流域特性を明らかにする必要性など、今後の課題も示された。

本プロジェクトが目的とする水資源対策としての森林管理を広く実用化するには、施用する林分ごとに間伐によって期待される流量増加が予測できること、また、それを達成するための森林管理シナリオ(間伐率や間伐時期)を提示できる必要がある。樹冠遮断量と林床面蒸発散量および表面流の発生が最小となる森林が水資源効率を最大化すると考えられ、相反するこの条件を満たすには、林内相対照度を 10-20%程度に保つ森林管理が有効であることが明らかとなった。そこで、航空機 LiDAR 測定を実施し、最適な観測密度と解析スケールを検討したところ、LiDAR データから林内相対照度を高精度で推定できるモデルを開発することができた。さらに、得られた林内相対照度と森林政策で一般に用いられている指標である収量比数(樹高と立木密度から算出)の間にも高い相関性が認められ、収量比数 0.6-0.7 を維持する密度管理を目標とすれば良いことが明らかとなった。

これを達成する間伐を行った時の流量変化を予測するには、地下に浸透する雨量の変化を流域スケールで評価する必要がある。そこで、本プロジェクトで得られた観測結果をもとに、各水文素過程のモデル化を行った。実際の森林経営の場で使えるように、簡易に測定可能なパラメータで検討したところ、樹冠遮断率は立木密度で、林分蒸散量の推定に用いる群落コンダクタンスは林分辺材面積(平均胸高直径と立木密度から算出)で、林床面蒸発散量は日射透過率で推定できるモデルが開発された。これらの情報は、いずれも LiDAR データから高精度に推定可能であり、広域的な情報を得ることができる。分布型流出モデルと等高線による地形解析(TOPOTUBE)、および各モデルの空間的な情報(空間的な不均質性)を重ねあわせた統合モデルを用いて、栃木サイトの解析を行った。その結果、モデルによる推定値は観測による実測値を非常に良く再現しており、間伐後には土壌中の貯留量が増加し、基底流量が増加するなど、流域内の流出コンポーネン

トのうち、どの部分が変化するかまで予測可能であると考えられた。従来の研究では、LiDAR データは森林環境の評価のみに用いられていたが、本プロジェクトによって、これらの情報と水流出を統合した、世界に類を見ない飽和不飽和浸透モデルの開発を進めることができた。

さらに、間伐遅れ林に適用できるように改良したシステム収穫表 DDPS に、本プロジェクトで得られた各水文素過程モデルを統合し、目標とする収量比数を維持する森林施業シナリオを提示するとともに、そのときの年間の土壌浸透水量の期待増加量を予測する統合モデルの開発を行った。その結果、間伐遅れ林について、収量比数 0.6~0.7 を維持するためには、樹齢 35 年から 60 年間の間に最大 6 回と初期は比較的短い間隔での間伐を必要が、収量比数の上限を 0.8 とした場合の間伐回数は 3 回となり、初回間伐以降比較的長期の間伐間隔で良いことが示された。また、期待される土壌浸透水量の増加量も、間伐遅れ林の方が間伐の効果が高いものと推定された。この統合モデルは、今後パッケージ化し、ユーザーに提供できるシステムを構築する予定である。

間伐による利水便益の経済評価を行ったところ、身替りダムの実業費からは流量 1m<sup>3</sup>/s 当たり約 200 億円(80 年)または流出量 1mm/day 当たり約 1,000 万円(1年)、渇水被害軽減額からは流量 1m<sup>3</sup>/s 当たり 34 億円(30 年)という推算値が得られた。間伐経費と比較すると、通常管理人工林に比べて過密人工林の間伐は費用対効果が高いといえるが、便益値が単独で費用を上回るものではなかった。しかし、森林の持つ他の機能を全く考慮に入れずにこれらの値が算出されたことからすると、間伐が総合的に正味の便益をもたらす可能性は高いとみられる。高い効果をもたらす流域とそうでない流域は明確に区別されることが予想され、とくに今回の試算で除外されている要因である人口密集地域や水需給逼迫度の高い地域では、間伐による渇水軽減効果はさらに高い。これらの成果から、本プロジェクトで提案する水供給を増加させる革新的な森林管理手法は、技術的にはもちろん、制度や費用の面からも実現可能なものと評価できた。

## 2. 顕著な成果

(1) 優れた基礎研究としての成果

① 原著論文 : Kato, H., Onda, Y., Gomi, T. (2012) Interception of the Fukushima reactor accident-derived <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs and <sup>131</sup>I by coniferous forest canopies. *Geophysical Research Letters*, **39**.

概要: 本プロジェクトの調査地である栃木サイトにおいて、福島第一原発事故によって放出された放射性セシウム及びヨウ素 131 の森林内の動態についての詳細な調査を行い、樹冠が放射性セシウムの二次供給源となり、樹冠から林床への連続的な放射性セシウムの移行・供給によって林床の放射能汚染が長期化する可能性を指摘した。本プロジェクトで培った観測システムと技術を用いることで国内外の研究チームの中でも原発事故後いち早く観測を開始することができ、事故直後の極めて貴重なデータとして国際的に高い評価を受けている。

② 原著論文 : Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi, K. and Onda, Y. (2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest, *Journal of Hydrology*, **444-445**, 51-62.

概要: 本プロジェクトの三重サイトの観測結果を用いて、強度間伐前後のプロットスケールおよび流域スケールでの河川流量の変化を明らかにした。年流出量が間伐後に増加するだけでなく、間伐の影響はスケール依存性があること、間伐後に表面流発生量の増加は見られず、基底流量が顕著に増加していることを示し、水資源対策としての強度間伐の効果を実証した。本論文は国際的にも高い評価を受け、平成 24 年度水文・水資源学会論文奨励賞を受賞した。

③ 原著論文 : Sun, X., Onda, Y., Otsuki K., Kato, H., Hirata, A., Gomi, T. (2014) The effect of strip thinning on tree transpiration in a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, **197**, 123-135.

概要: 栃木サイトにおいて、強度間伐前後の林分蒸散量の変化を評価した。その結果、間伐による樹木本数の減少を反映して、林分蒸散量は間伐後に年間で約 38%減少することが示された。一方、成長期だけを見ると、その減少率は 23%となり、さらに小径木の蒸散量が間伐後に著しく増加

していたことから、間伐によってとくに小径木の成長が促進され、その生理的変化が林分単位の蒸散量に大きく寄与しているものと考えられた。間伐前後の樹木の蒸散量を調べた例は少なく、本論文の価値は非常に高い。

(2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

① 原著論文：五味高志, 宮田秀介, Sidle Roy C., 小杉賢一朗, 恩田裕一, 平岡真合乃, 古市剛久 (2013) 分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林流域における地表流の発生と降雨流出解析, 日本森林学会誌, **95**, 23-31.

概要: 流域スケールでの降雨流出応答を推定する上でこれまで大きな誤差の原因となっていた浸透能の空間的不均質性を組み込んだ分布型流出モデルを開発した。従来のグリッドによる地形分割ではなく、等高線による地形分割(TOPOTUBE)をベースとし、植生被覆量から推定した流域の浸透能分布をモデルパラメータとしたところ、ホートン地表流の発生の空間的不均質性が再現でき、その計算値は実測値に近い値となった。本プロジェクトが目指す統合モデルは、これにさらに相対照度の変化を入れ込んで間伐による流出量変化を予測するものであり、今後も発展していくことが期待される。

② 原著論文: Komatsu, H., Shinohara, Y., Kumagai, T., Kume, T., Tsuruta, K., Xiang, Y., Ichihashi, R., Tateishi, M., Shimizu, T., Miyazawa, Y., Nogata, M., Laplace, S., Han, T., Chiu, C.W., Ogura, A., Saito, T., Otsuki, K. (2014) A model relating transpiration for Japanese cedar and cypress plantations with stand structure. *Forest Ecology and Management*, **334**, 301-312.

概要: 本プロジェクトを中心に得られた計測データを解析し、植物の蒸散量の算出に広く用いられる簡易ペンマン・モンテース式の唯一のパラメータである群落コンダクタンスを林分辺材面積から推定するモデルを開発した。群落コンダクタンスに関する研究は古くから行われているが、簡易なモデル化はこれまで実現しておらず、林分辺材面積(林分の平均胸高直径と立木密度から算定)という一般的なパラメータから算出できる可能性を示した本論文は非常に応用性が高く、実際の森林管理を行っていく上でも有益な情報を提供することが期待される。

## § 2. 研究実施体制

### 1. 研究チームの体制について

#### (1)「筑波大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
恩田 裕一	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	副センター長 (教授)	H21.10～
福島 武彦	筑波大学生命環境系	教授	H21.10～
山中 勤	筑波大学生命環境系	准教授	H21.10～
辻村 真貴	筑波大学生命環境系	教授	H21.10～
田村 憲司	筑波大学生命環境系	教授	H21.10～
上條 隆志	筑波大学生命環境系	教授	H22.4～
白川 直樹	筑波大学システム情報系	准教授	H22.4～
加藤 弘亮	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	准教授	H21.10～
平田 晶子	筑波大学生命環境系	CREST 研究員	H24.3～H.26.2
高橋 純子	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	助教	H25.4～
吉村 和也	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	研究員	H24.3～H.25.12
Jeremy Patin	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	研究員	H21.10～H.25.4
Chiara Stefani	筑波大学生命環境系	CREST 研究員	H26.4～H.26.6
南光 一樹	森林総合研究所 (H22.9 まで筑波大学 生命環境科学研究科)	研究員 (CREST 研究 員)	H25.5～ H21.10～H22.9
Afshin Ghahramani	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	CREST 研究員	H23.10～H.23.11
浦野 忠朗	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	CREST 研究員	H23.4～H24.3
高瀬 麻実子	筑波大学 生命環境科学等支援室	技術補佐員	H21.10～H23.3
前川 典子	筑波大学生命環境系	技術補佐員	H23.4～
小岩 史子	筑波大学生命環境系	技術補佐員	H24.1～
小島 敦子	筑波大学生命環境系	技術補佐員	H25.7～
佐橋 由起子	筑波大学生命環境系	技術補佐員	H22.4～
鄭 磊	筑波大学生命環境系	D3	H21.10～
脇山 義史	筑波大学生命環境系	研究員(離脱時)	H21.10～H23.3
平岡 真合乃	筑波大学大学院 生命環境科学研究科 (H26.4～農工大グループ)	D5 (離脱時)	H21.10～H23.3
Kim, Min Seok	筑波大学大学院生命 環境科学研究科	D5 (離脱時)	H21.10～H23.3
小松 義隆	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D7	H21.10～
Sun Xinchao	筑波大学生命環境系	CREST 研究員 (H26.4～)	H22.12～
成沢 知広	筑波大学大学院	D5	H21.10～H24.3

	生命環境科学研究科		H25.10～
松本 卓大	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2 (離脱時)	H21.10～H.22.3
古川 智美	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2 (離脱時)	H21.10～H.23.3
馬場 茂彰	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2 (離脱時)	H21.10～H.23.3
Teramage Tesfaye	筑波大学アイソトープ 環境動態研究センター	研究員	H21.10～H.26.7
尾花 英一郎	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H23.3
谷川 奈津希	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H.23.3
木村 建夫	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H22.6～H23.3
村松 義昭	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2 (離脱時)	H22.6～H24.3
中泉 堯	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2(離脱時)	H22.6～H25.3
野口 裕介	筑波大学地球学類	B4 (離脱時)	H22.3～H23.3
川口 晋平	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2(離脱時)	H22.3～H25.3
林 浩史	筑波大学地球学類	B4 (離脱時)	H23.4～H24.3
三好 史哉	筑波大学地球学類	B4 (離脱時)	H23.4～H24.3
土田 草思	筑波大学地球学類	B4 (離脱時)	H24.4～H26.3
高橋 真哉	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H22.3
関 英理香	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	D2 (離脱時)	H21.10～H22.3
中谷 哲己	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	M2 (離脱時)	H24.4～H26.3
宮下 央章	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H24.4～H26.3
野口 岳大	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H24.10～H25.3
堀内 宣栄	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2	H24.4～H26.3
八木沼 拓	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2	H25.4～
西野 正高	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2 (離脱時)	H25.4～H26.3
鈴木 尚樹	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M2	H25.4～
山崎 寛史	筑波大学大学院生命環境科学 研究科	M1	H25.4～
黛 絵美	筑波大学大学院生命環境科学 研究科	M2 (離脱時)	H25.4～H26.3
大澤 一輝	筑波大学大学院	M2	H25.4～

	生命環境科学研究科		
青木 孝也	筑波大学地球学類	B4	H26.4～
坂本 貴啓	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	D2	H26.3～
能登 江梨香	筑波大学国際総合学類	B4 (離脱時)	H26.3
向田 隼	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	M1	H26.3～
鴨志田 穂高	生命環境科学研究科	M1	H26.3～
渥美 元貴	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	M1	H26.3～
小沼 亮平	筑波大学 地球学類	B4	H25.6～
渡辺 泰人	筑波大学 地球学類	B3	H26.2～
有木 吾郎	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	M1	H26.4～
坂口 綾	筑波大学数理物質系	准教授	H26.6～
馬目 凌	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	M1	H26.8～
鍋島 美月	筑波大学生物資源学類	B4	H26.8～

研究項目

- ・各試験流域(栃木・高知・福島)における水文観測・解析
- ・同位体および水質分析
- ・河川環境の経済評価
- ・土壌および植生調査

(2)「九州大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
大槻 恭一	九州大学農学研究院	教授	H21.10～
笠原 玉青	九州大学農学研究院	准教授	H23.9～
小松 光	九州大学農学研究院 (H24.4～京大グループ)	助教(離脱時)	H22.4～H24.3
熊谷 朝臣	九州大学農学研究院	准教授(離脱時)	H21.10～H23.3
智和 正明	九州大学農学研究院	助教	H23.4～
篠原 慶規	九州大学農学研究院	助教	H21.10～
立石 麻紀子	九州大学 農学部附属福岡演習林	CREST 研究員	H25.4～H26.11
梅林 利弘	九州大学 農学部附属福岡演習林	CREST 研究員	H26.11～
齋藤 隆実	九州大学	研究員(離脱時)	H22.4～H24.5
趙 在一	九州大学	学振海外特別 研究員(離脱時)	H23.4～H23.9
鶴田 健二	九州大学	研究員(離脱時)	H22.4～H24.1
薛 宝林	九州大学	研究員(離脱時)	H23.4～H23.12
小松 実紗子	九州大学農学部	B4(離脱時)	H22.4～H25.3
片山 歩美	九州大学大学院 生物資源環境科学府	D3(離脱時)	H23.4～H25.3
上原 佳敏	九州大学大学院	D3	H23.4～

	生物資源環境科学府		
邱 滇璋	九州大学大学院 生物資源環境科学府	D3	H23.4～
篠塚 賢一	九州大学大学院 生物資源環境科学府	D3	H23.4～
納富 大介	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H21.10～H23.3
野方 麻里	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H22.4～H25.3
Somsanouk Sodouangdenh	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H23.10～H25.9
孫 昊田	九州大学大学院 生物資源環境科学府	D2	H23.10～
松田 洋樹	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H23.4～H26.3
袖之原 修二	九州大学農学部	B4(離脱時)	H23.4～H26.3
項 楊	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2	H23.10～
HUN Sothy	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H23.10～H25.9
鷺江 祐槻	九州大学農学部	B4	H26.4～
栞晓菁	九州大学農学部	B4(離脱時)	H25.4～H26.3
長野 龍平	九州大学農学部	B4(離脱時)	H23.10～H25.3
安田 悠子	九州大学農学部	B4(離脱時)	H23.10～H25.3
塚澤 善美	九州大学農学部	B4(離脱時)	H22.4～H22.4
藏本 康平	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M2(離脱時)	H21.10～H22.3
Vansath Sisadeth	九州大学大学院 生物資源環境科学府	M1	H26.10～
内田メガン詠子	九州大学農学部	B4	H26.10～

#### 研究項目

- ・福岡サイトにおける水文観測・解析
- ・間伐による蒸発散量・水流出量の変化のモデル化

#### (3)「名古屋大学」グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
竹中 千里	名古屋大学大学院 生命農学研究科	教授	H21.10～
山本 一清	名古屋大学大学院 生命農学研究科	准教授	H21.10～
西本 雄亮	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2	H21.10～H24.3
朱 洪霞	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2	H21.10～H23.3
高崎 洋子	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H22.3
村瀬 泰久	名古屋大学大学院	M2 (離脱時)	H23.4～H25.3

	生命農学研究科		
森下 絵里子	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
石田 卓也	名古屋大学大学院 生命農学研究科	D3	H25.4~
萩原 晟也	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2	H25.4~H25.3
梅藤 幸太郎	名古屋大学大学院 生命農学研究科	M2	H25.4~H25.3
藤田 裕史	名古屋大学農学部	B4	H26.4~H25.3

研究項目

- ・LiDAR データの解析および森林成長モデルの開発
- ・水資源の利用効率を最大化する森林管理手法の開発

(4)「東京大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
蔵治 光一郎	東京大学大学院 農学生命科学研究科	准教授	H21.10~
田中 延亮	東京大学大学院 農学生命科学研究科	助教	H21.10~

研究項目

- ・愛知サイトにおける水文観測・解析

(5)「東京農工大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
五味 高志	東京農工大学 農学研究院	准教授	H21.10~
岩岡 正博	東京農工大学 農学研究院	准教授	H21.10~
松本 武	東京農工大学 農学研究院	講師	H22.10~
戸田 浩人	東京農工大学 農学研究院	准教授	H23.4~
渡辺 直明	東京農工大学 農学研究院	助教	H21.10~
吉田 智弘	東京農工大学 農学研究院	助教	H21.10~
木庭 啓介	東京農工大学 農学研究院	准教授	H24.1~
長塚 結花	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H.21.10~H24.3
熊倉 歩	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H.21.10~H24.3
廣瀬 満	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H.21.10~H24.3
比佐 彩乃	東京農工大学	B4 (離脱時)	H22.4~H23.3

	地域生態システム学科		
坂上 賢	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H22.4~H23.3
Bui Xuan Dung	東京農工大学 連合農学研究科	D3 (離脱時)	H22.10~H25.9
平岡 真合乃	東京農工大学 国際環境農学専攻 (H23.3まで筑波大学グループ)	産学官連携研究員	H26.4~
大平 充	東京農工大学 国際環境農学専攻	産学官連携研究員	H26.4~
Nam SooYoun	東京農工大学 連合農学研究科	D1	H22.10~
Pham Thi Quynh Anh	東京農工大学 連合農学研究科	D2	H23.4~
Than Si Hiep	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H24.10~H26.9
Wan Jigemudo	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H24.1~H26.3
宮田 秀介	東京農工大学 国際環境農学専攻	特別研究員	H21.10~H22.3
渡邊 佑介	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
岩本 愛夢	東京農工大学 国際環境農学専攻	産学官連携研究員	H23.4~
岡田 健吾	東京農工大学 国際環境農学専攻	産学官連携研究員	H23.4~
金岡 慎也	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H23.4~H24.3
山村 理奈	東京農工大学 国際環境農学専攻	M1 (離脱時)	H24.1~H26.3
山口 若菜	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H24.1~H25.3
青戸 一峰	東京農工大学 国際環境農学専攻	M2	H24.1~
久保 佳樹	東京農工大学 国際環境農学専攻	M1	H26.4~
佐野 仁香	東京農工大学 国際環境農学専攻	M1	H26.4~
平林 毅一郎	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
藤原 佳祐	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
古賀 陽三	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
堀口 智也	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
平田 彩	東京農工大学大学院	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3

	自然環境保全学		
辻 千智	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H24.3
片岡 宏介	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
村上 遼	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
山上 直人	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H23.4~H24.3
古池 隆治	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
牧 玄	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H24.3
猪俣 雄大	東京農工大学 連合農学研究科	D3 (離脱時)	H23.4~H25.3
小田原 匠	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
中原 力	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
寺井 直樹	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M1 (離脱時)	H23.4~H25.3
寺田 智哉	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H23.4~H24.3
前嶋 宏美	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H23.4~H24.3
伴 雄大郎	東京農工大学大学院 自然環境保全学	M2 (離脱時)	H23.4~H26.3
若林 甫	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H25.4~H26.3
天野 浩美	東京農工大学 地域生態システム学科	B4 (離脱時)	H25.4~H26.3
細田 幸助	東京農工大学地域地域 生態システム学科	B4	H26.4~
仁平 啓介	東京農工大学 地域生態システム学科	B4	H26.4~
戸塚 邦洋	東京農工大学 地域生態システム学科	B4	H26.4~

#### 研究項目

- ・栃木サイトにおける森林流域および林道からの水土砂流出寄与の解析とモデル化
- ・林道、作業道の設置計画と施業効率の解析
- ・林床生態系および河川生態系への評価

#### (6)「京都大学」グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小杉 賢一朗	京都大学大学院 農学研究科	准教授	H21.10~
藤本 将光	京都大学大学院	特定助教	H21.10~H25.3

	農学研究科		
小松 光	京都大学白眉プロジェクト(H24.3 まで九州大学グループ)	准教授	H24.4～
糸数 哲	京都大学大学院農学研究科	研究補助員	H21.10～
林 祐妃	京都大学大学院農学研究科	研究員	H21.10～
中谷加奈	京都大学大学院農学研究科	助教	H23.4～
山川 陽祐	京都大学大学院農学研究科	研究員	H21.10～H25.3
正岡 直也	京都大学大学院農学研究科	研究員	H21.10～
牧田 直樹	京都大学大学院農学研究科	D3 (離脱時)	H21.4～H25.3
石岡 武	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H23.3
隅田 順	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H23.3
山崎 美穂	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H23.3
道幸 李佳	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H24.3
野本 英裕	京都大学大学院農学研究科	B5 (離脱時)	H21.10～H23.3
前田 大介	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H24.3
三道 義己	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10～H23.3
柴本 晴香	熊本大学大学院社会文化科学研究科	M2 (離脱時)	H22.4～H25.3
谷 寧人	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H22.4～H25.3
藤光 智香	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H22.4～H25.3
山田 拓	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H22.4～H25.3
岩崎 健太	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H22.4～H25.3
坂田 拓朗	京都大学大学院農学研究科	M2 (離脱時)	H23.4～H25.3
関口 真季	京都大学農学部	B4 (離脱時)	H23.4～H24.3
高木 将行	京都大学大学院農学研究科	M2	H23.4～
南 絢子	京都大学農学部	B4 (離脱時)	H23.4～H26.3
梁 偉立	京都大学大学院	研究員 (離脱)	H21.10～H22.3

	農学研究科	時)	
阿部 孝章	京都大学大学院 農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10~H22.3
井元 大希	京都大学大学院 農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10~H22.3
加藤 弘之	京都大学大学院 農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10~H22.3
平澤 良輔	京都大学大学院 農学研究科	M2 (離脱時)	H21.10~H22.3
柿本 篤史	京都大学農学部	M1	H24.4~
杉本 康平	京都大学農学部	M1	H24.4~
増野 祐一郎	京都大学農学部	B4 (離脱時)	H24.4~H25.3
高見 友佑	京都大学農学部	B4	H25.4~
古谷 智彦	京都大学農学部	B4	H25.4~
向井 潤	京都大学農学部	B4	H25.4~

研究項目

- ・三重サイトにおける水文観測、解析
- ・土壌水分測定、解析およびモデルの開発

(7)「鳥取大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
芳賀 弘和	鳥取大学農学部	准教授	H21.10~
米原 朱音	鳥取大学農学部	M2 (離脱時)	H22.4~H24.3
遠藤 祐子	鳥取大学農学部	M2 (離脱時)	H23.4~H25.3
古志野 豪	鳥取大学農学部	M2 (離脱時)	H24.4~H25.3
佐野 貴洋	鳥取大学農学部	M2 (離脱時)	H24.4~H26.3
堂前 瑛	鳥取大学農学部	B4 (離脱時)	H24.4~H25.3
永瀬 興司	鳥取大学農学部	B4	H26.4~

研究項目

- ・流出負荷の評価およびモデル化

(8)「三重林研」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
野々田 稔郎	三重県林業研究所	主幹研究員	H21.10~
島田 博匡	三重県林業研究所	主任研究員	H21.10~H24.3
川北 泰旦	三重県林業研究所	技術員	H21.10~H25.3
井面 美義	三重県林業研究所	技術員	H21.10~
浅井 俊次	三重県林業研究所	技術員	H25.4~
豊田 満	三重県林業研究所	技術員	H21.10~H22.3
河上 芳子	三重県林業研究所	研究補助員	H21.10~H22.3
長谷川 俊二	三重県林業研究所	研究補助員	H21.10~H22.3
辻村 好昭	三重県林業研究所	技術員	H23.4~H23.5
高根 信一	三重県林業研究所	技術員	H23.6~
関 雅之	三重県林業研究所	技術員	H26.4~
奥田 浩次	三重県林業研究所	研究補助員	H23.4~
長谷川 好	三重県林業研究所	研究補助員	H23.4~H25.3

## 研究項目

- ・三重サイトにおける水文観測、解析
- ・水資源の利用効率を最大化する森林管理シナリオの開発

## 2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本プロジェクトを通じ、国内研究者や技術者とのネットワークにより、地方自治体や産業界との連携などを拡張および強化することができた。例えば、(株)サントリーなどでは、基幹事業としての水源涵養機能の評価と森林管理への評価の検証を行っており、本研究で確立してきた観測技術やレーザー計測による評価手法などを適用した新たな観測地の設定を行うとともに、本研究で得られた成果の一部は、サントリーの事業としての持続可能な実施に不可欠な地下水を守るため、森林管理などに活用され始めている。また、(株)コクヨの「結の森」事業と協働し、高知県四万十町のヒノキ林において、間伐費用のうち補助金分をコクヨが負担し、不在地主を含む地主に森林組合が積極的に働きかけ、強度間伐を促進している。地方自治体では森林環境税などによる森林管理の実施とその効果の検証としての取り組みが行われており、その中でも石川県、山口県、神奈川県などでは本研究成果などの情報提供や連携により、水源環境の保全と再生を目指し、手入れ不足によって荒廃した森林に対して間伐などの森林整備などに、研究成果が活用されている。このような目的税に対する効果検証や県民への情報提供として、本研究成果の一部なども活用されている。これらの企業や自治体の動きは、持続的な森林管理と水資源管理への社会からのニーズが拡大しつつある中で、加速化しており本研究成果を有効に活用した、自治体や産業界とのさらなるネットワークの形成も期待できる。

本プロジェクトのテーマである森林と水資源管理については、山地森林を擁する海外の地域においても重要な課題である。とくにアメリカ西海岸や中西部では渇水問題が健在しており、間伐などの森林管理は水資源管理の目的のみならず山火事の管理でも重要となる。そこで、カリフォルニア大学バークレー校の William Stewart 博士とカリフォルニアの民有地や国有地における森林管理における意見交換などを行っている。また、コロラド州立大学およびアメリカ森林局の研究機関とは、森林管理における実験的な伐採や水流出に関する研究を行っている Lee MacDonald 教授などと研究成果の共有や間伐における水流出量の変化における連携を行っている。森林と水に関する研究は、国際森林研究機関連合 (IUFRO) でも活発に議論が進められており、本研究の分担者は、2014 年 10 月に開催された国際研究集会にも参加して意見交換を行った。2015 年 7 月に The 4th International Conference on Forests and Water in a Changing Environment がカナダで開催され、本研究成果からも多くの成果発表を行い、さらなるネットワークの拡大を進めることができると考えている。

これに加え、50%保残木施業を先駆的に行っているカナダのブリティッシュコロンビア州立大学との連携による実験林における研究成果について連携を進めている。とくに森林管理の水温などの河川生態系への影響の評価として、R.D. Moore 教授とネットワークを構築している。アジア地域においては、中国、韓国やベトナムと連携を行っている。中国科学院水利部成都山地災害与環境研究所の Yanhong Wu 博士、韓国地質資源研究院の Sangheon Yi 博士らとともに、山地人工林管理における土壌侵食量の評価や侵食防止技術について共同研究を行っている。ベトナムでは、ベトナム唯一の森林関係の大学であるベトナム林業大学において、本プロジェクト研究の内容で東京農工大学における博士号を取得した BuiXuanDung 博士が中心となり、森林管理と水資源管理に関する技術について展開している。ベトナムでは近年、人工林化が進んでおり、日本における本研究の研究成果などを参考にしながら水源涵養機能の評価に関する森林管理の実施や観測態勢の整備などが進められている。

### § 3. 研究実施内容及び成果

#### 1. 大規模間伐が森林流域からの水・土砂流出および遮断蒸発に及ぼす影響の解明 (全グループ)【研究項目1】

##### (1) 研究のねらい

本研究項目では、強度間伐前後の各水文素過程の詳細な観測に基づき、遮断・蒸発散量、表面流・流出土砂量、河川流量、林床植生の量的な変化を実証的に検証するとともに、水質分析および安定同位体分析を行い、各水文素過程の質的な変化も明らかにすることを目的とした。

##### (2) 研究実施方法

全サイトにおいて、観測期間中に本数で 30-60%程度の強度間伐を実施し、以下の項目について間伐前後の比較・解析を行った。各試験流域の情報は表 1 にまとめた。

##### ① 水文素過程の詳細な現地観測

各サイトの試験流域において、林外雨、蒸発散、表面流、水土砂流出の観測を行った(図 1)。蒸発散の観測では、林内雨・樹幹流の観測から水収支法によって間伐前後の樹冠遮断量を算定した。さらに、愛知サイトでは、大面積の林内雨と樹幹流を一体のものとして観測できるシート雨量計を用い、間伐区と未間伐区の遮断量の比較を行った。流域出口にはパーシャルフリュウムと三角堰を併用して設置し、通年の河川流量を測定した。また、浮遊砂サンプラーを用いて濁質成分を採取し、放射性同位体分析に供試した。栃木・福岡サイトでは、林分蒸発散量推定のためにグラニエ法(Granier, 1987)による樹液流測定とライシメータを用いた林床面蒸発散量の観測を行った。

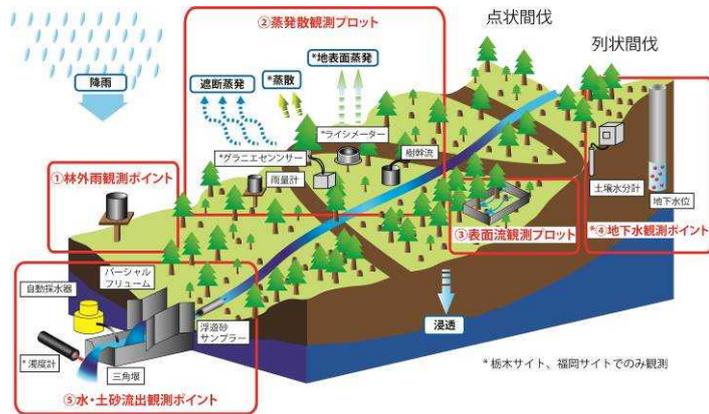


図 1 水文観測システムの概要

##### ② 安定同位体手法による遮断プロセス、水涵養プロセスの解明

各サイトにおいて採取した間伐前後の林外雨・林内雨・樹幹流・流出水について、水質および安定同位体比( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比)の分析を行った。さらに、栃木・福岡サイトでは、源流域の水文観測および地下水、土壤水の観測・採取を行い、安定同位体比の比較に基づいて雨水の遮断プロセス、水涵養プロセスおよび流出経路の推定や流出成分の寄与率の推定を行った。

表 1 試験流域の基本情報

サイト	流域	年平均降水量	基岩	傾斜方角	植栽樹	流域面積 (ha)	樹齢 (年)	間伐方法	本数間伐率 (%)	間伐時期
栃木	KS21	1430 mm	砂岩・チャート	20-30° 南西	スギ・ヒノキ	17.1	31	列状・搬出	50	2011年7-12月
	KS22					10.2	31	列状・搬出	50	2011年7-12月
	KS23					3.7	51	列状・搬出	50	2011年7-12月
	KS24					5.1	40	列状・搬出	50	2011年7-12月
	KS25					1.0	20	列状・搬出	50	2011年7-12月
	KS31					8.9	42	点状・搬出	50	2013年1-2月
	KS32					3.0	43	点状・搬出	50	2013年1-2月
愛知	A1	1650 mm	堆積岩	35-45° 南	ヒノキ	6.5	30-36	点状・切り捨て	27	2007年9月~11月
	A3					2.5	26-29	点状・切り捨て	56	2010年12月-2011年1月, 2011年7-8月
三重	M4	2880 mm	結晶片岩	35-45° 北西	ヒノキ	0.1	27	点状・切り捨て	46	2012年2-3月
	M5					0.4	27	点状・切り捨て	58	2007年2月
高知	Y2	2830 mm	砂岩・泥岩	30-35° 北	スギ・ヒノキ	6.0	43	点状・切り捨て	45	2010年10-11月
	K6					5.7	43-47	点状・切り捨て	30	2001年12月2002年3月, 2008年12月
	K9					6.2	43-47	点状・切り捨て	30	2001年12月2002年3月, 2008年12月
福岡	W1	2190 mm	花崗岩	35-40° 北東	スギ・ヒノキ	3.0	42	点状・搬出	50	2012年3月
	W2					4.1	42	点状・搬出	50	2012年2月
	W3					1.0	42	点状・搬出	50	2012年1月

### (3) 研究成果

#### ① 水文素過程の詳細な現地観測

##### i) 樹冠遮断量の変化

樹冠遮断量は、栃木(ヒノキ 2 林分とスギ 1 林分)、愛知(ヒノキ 1 林分)、三重(ヒノキ 1 林分)、高知(ヒノキ 1 林分)、福岡(ヒノキ 1 林分とスギ 1 林分)の計 8 か所の人工林において、強度間伐前後の現地観測を行った。各サイトに共通して、樹冠遮断量は、林外雨量から林床に滴下する林内雨量と樹幹を伝って地面に流下する樹幹流量の合計量を差し引くことによって観測された。また、愛知サイトのヒノキ人工林では、プロジェクトに共通した観測方法に加えて、空間的に不均一性が高く精度の高いサンプルが難しいとされる林内雨量を大面積(約 7m<sup>2</sup>)で計測し、その不均一性問題を解消するための雨量計(シート雨量計)を用いた樹冠遮断量の観測もおこなわれた。

間伐前の林内雨量は林外雨量の 53.0~80.5%の範囲であり、立木密度が高い林分ほど林内雨の割合が小さくなる傾向を示した。間伐後は、一部(三重 M4 と栃木 KS31)の例外を除いた他の全ての林分において、林外雨量に対する林内雨量の割合が上昇した。強度間伐によって、降雨を遮断する樹冠の一部が除去された影響が素直に現われたと考えられる。その傾向は、降雨イベント単位での林内雨量の変化としても現れている。栃木 KS24 プロットの解析結果では、総雨量が少ない降雨時(< 25mm)に間伐前後の差が顕著に認められ、少ない降雨時でも林内に雨が到達することが示された(図 2)。

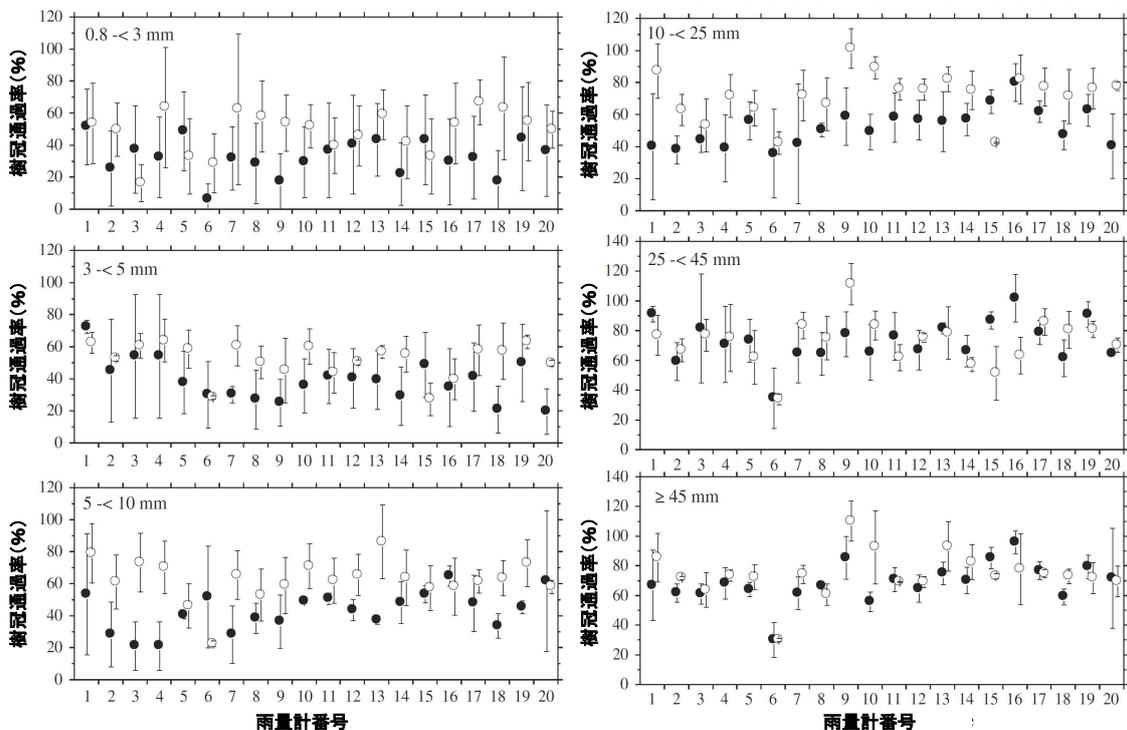


図 2 栃木 KS22 における降雨規模ごとの樹冠通過雨の比較(●:間伐前、○:間伐後)

一方、間伐前の樹幹流量は林外雨量の 7.9~23.3%の範囲であり、その中でも、過密な栃木のヒノキ林分(KS24: 15.5%)、愛知のヒノキ林分(A3: 23.3%)、三重のヒノキ林分(M4: 13.8%)の樹幹流量は、従来考えられてきた通常密度のヒノキ人工林の樹幹流量よりも大きいことがわかり、過密なヒノキ人工林に特徴的な水文過程の一つであることが示唆された。間伐後は、調査林分の例外なく、樹幹流量が林外雨量に占める割合が低下した。強度間伐によって、林内空間から樹幹の約半分を除去したことが、このように樹幹流量を減少させたと考えることができる。強度間伐により、樹幹流量は減少し、林内雨量は増加したが、多くの場合、樹幹流量減少よりも林内雨量増加のほうが顕著であったため、林内の地面に到達する雨量(林内雨量と樹幹流量の合計)は増加し、結果として、一部の林分(三重 M4 と栃木 KS31)を除いて、樹冠遮断量は減少した。例外的な地点に

において、間伐後に樹冠遮断量が増加した原因を調べることは、今後の課題となった。

愛知サイトのヒノキ林分における、シート雨量計とプロジェクト共通方法で測定された樹冠遮断量の比較から、総林外雨量が 50mm 以上の降雨イベントにおいて、プロジェクト共通方法で得られる林内雨量が過小評価される可能性が示唆された。これは、プロジェクトで共通して用いている小型の転倒マス雨量計のパフォーマンスが、高い降雨強度時に低下することが原因と考えられたが、この原因を究明して、すでに取得・整理したデータに対して補正等をおこなうことは今後の課題となった。現時点では、もし、各調査林分の間伐前後のそれぞれの期間の降雨パターンに大きな差がなければ(片方の期間に豪雨が集中したなど)、上で報告したような林内雨量の間伐前後の比較には問題がないと考えている。

#### ii) 林分蒸散量の変化

林分蒸散量は林分内の平均樹液流速と、幹の中の水を流す部分である辺材の合計面積を掛けることで求められる。栃木・福岡両サイトともに本数で 50%の強度間伐を行った結果、辺材面積は、栃木サイトでは 46.4%、福岡サイトではヒノキプロットで 44.5%、スギプロットで 34.4%減少した。また、林分蒸散量と気象条件(飽差)との関係式を求め、間伐前後で比較してみると、飽差が 1kPa の場合で、栃木プロットで 30%、福岡サイトのヒノキプロットでは 42.7%、スギプロットでは 27%減少していた。栃木サイトでは両者に 10%程度の違いがあり、これは単木あたりの蒸散量が増加していたことに起因すると思われる。一方、福岡サイトでは、単木あたりの蒸散量に変化はなく、辺材面積の減少率と同程度の減少率であった。

#### iii) 林床面蒸発散量の変化

林床面蒸発散量は秤量型ライシメータを用いて観測した。2013年5月4日～6月6日の干天日 24 日間のライシメータ土壌面蒸発量は  $1.9 \pm 0.5 \text{mm/day}$ 、2013年7月9日～9月24日の干天日 38 日間のライシメータ蒸発散量は  $2.7 \pm 0.5 \text{mm/d}$  であり、平均林床面日射量との間に正の相関がみられた。栃木サイトにおいて秤量型ライシメータで観測した間伐前の鬱閉したヒノキ林の平均林床面蒸発散量は約  $0.6 \text{mm/d}$  であり、既存研究でもほぼ同等の  $0.4 \text{mm/d}$  を報告している。従って、本数 50%程度の強度間伐により、林床面蒸発散量は 3 倍程度増加することが見込まれた。

#### iv) 林分スケールの遮断蒸発散量の変化

林分蒸散量および林床面蒸発散量の観測を行った栃木および福岡サイトにおいて、年間の林分単位の樹冠遮断、林分蒸散、林床面蒸発散の間伐前後の比較を行った。間伐後 1 年目の降水量が間伐前よりも 200-300mm 少なかったため、降水量に占める割合で示した(図 3)。その結果、いずれのサイトでも間伐後に樹冠遮断、林分蒸散は減少し、林床面蒸発散は増加していた。とくに、福岡サイトでは、間伐後の林内相対照度が 25%を超えており、林床面蒸発散量が全蒸発散量の約 3 割を占め、遮断蒸発量と蒸散量の減少分を林床面蒸発の増加量が相殺する結果となった。一方、栃木サイトでは、間伐後に林分スケールでの遮断蒸発散量は減少していた。これらのことから、福岡サイトのようにもともと過密ではない林分では、強度間伐後の林床面蒸発散量の増加が生じ、遮断蒸発散量を減少させる効果は低い可能性が示された。

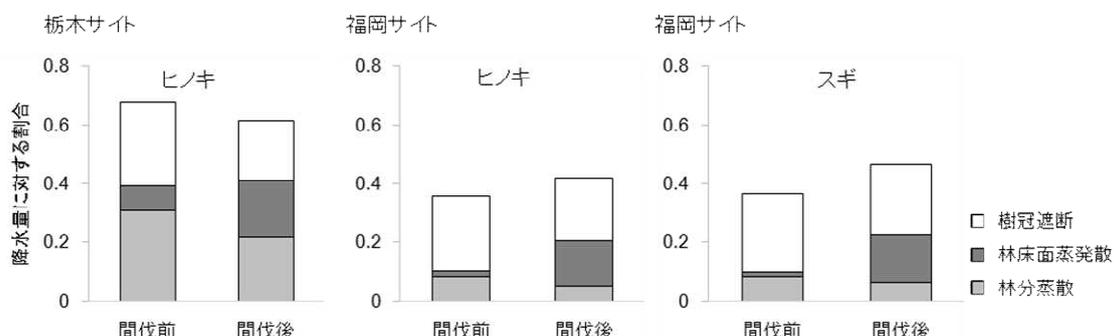


図 3 栃木および福岡サイトにおける間伐前後の林分スケールの年間蒸発散量の変化

v) 斜面ライシメータを用いた流出量・蒸発散量の変化

水収支が精密に測定できる斜面ライシメータ上に生育しているヒノキの強度間伐が流出量に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、愛知県犬山市に設置された斜面ライシメータ(集水面積16.24平方メートル)に過密ヒノキ林区(7389本/ha)と対照区(草地)を設け、BAで62%の強度間伐を行い、生じた幹と枝条は区画内に残置し、間伐前後それぞれ1年以上流出量を観測した。間伐によって流出量は平均的には約1.5倍に増加した(図4左)。特に渇水時には2~3倍に増加した(図4右)。間伐前の日蒸発散量は森林区が草地区より約1.5mm多かった。間伐により多雨季の日蒸発散量は0.5~1.0mm減少したが、なお草地区よりは0.5~1.0mm多かった。少雨季の日蒸発散量には間伐前後であまり差がなかった(図5)。強度間伐により地表面蒸発量、下層植生や枝条の遮断蒸発量が増加したが、それを上回る上層木の樹冠遮断量および蒸散量の減少があり、流出量が増加したと考えられる。

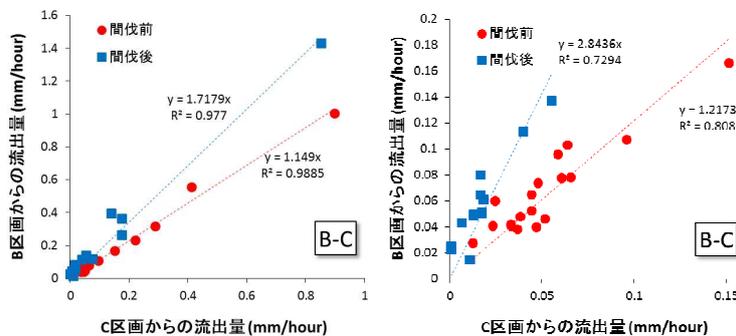


図4 間伐区(B)と対照区(C:草地)の流出量の関係  
(左:通常時、右:渇水時)

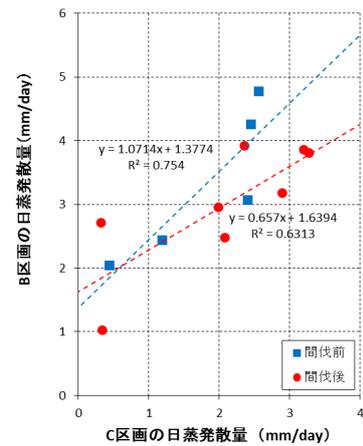


図5 間伐区(B)と対照区(C:草地)の平均日蒸発散量の関係

vi) 土砂流出量の変化

栃木サイトの観測結果では、間伐前の期間には、降雨量の大きいイベントは発生しなかったが、列状間伐期間中に複数回の降雨流出イベントが発生し、浮遊土砂濃度は、間伐期間中で大きくなった。間伐後も継続して浮遊土砂濃度が高い傾向にあることから、降雨強度の違いに加え、間伐のための搬出路などを新規に設置することにより土壌攪乱が顕著に発生し、これらの土壌の攪乱により流出土砂濃度が高くなったと考えられた。

間伐前期間における総浮遊土砂量は、間伐流域で1.1~2800gであり、無間伐流域で0.1~460gであった。間伐後期間には、間伐流域では、最大で43162gとなった。間伐期間の大規模な降雨イベントでは、無間伐流域においても浮遊土砂量は増加していたものの、間伐流域における浮遊土砂量の増加の方が顕著であった。間伐前の年間の総土砂流出量は0.03 t/km<sup>2</sup>/yrと推定される。対象流域法の関係式から算出される、間伐を行わない場合の推定浮遊土砂量は0.02 t/km<sup>2</sup>/yrであり、間伐前期間と同等であった。これに対して、観測された浮遊土砂量は0.55 t/km<sup>2</sup>/yrとなった。従来の研究でも伐採後の浮遊土砂増加量は数倍から数十倍の増加も確認されており、本研究結果も同様な傾向であった。さらに、降雨に対する流量増加と浮遊土砂濃度の増加のピークの時間変化を見ると、間伐前には降雨の初期に浮遊土砂が流出し、河川流量が最大になった時点では浮遊土砂濃度は低下していた。これは、浮遊土砂の起源となる細粒土砂が、河川の河床や河岸部の一部からのみであり、降雨初期に速やかに流されたためであると考えられる。一方、間伐期間中は降雨終了後に河川流量が低下しても浮遊土砂の濃度は高い傾向となり、河川周辺のみではなく、斜面部からの土砂が時間をかけて河川へ到達していることが示唆された。しかし、間伐後にはこのような傾向は見られなくなり、植生回復にともなう土壌被覆の増加により侵食が抑制されているものと考えられた。

vii) 河川流出量の変化

各試験流域における河川流量は日流量に換算し、1年間の日流量を多い順に並べて間伐前後の流況曲線を作成した。流況曲線は、ある流域における1年を通じた河川流量の特徴を表しており、豊水(95日目)、平水(185日目)、低水(275日目)、渇水(355日目)流量を指標とする。観測データに欠測があるため、365日を100%とした表記に換算した。また、間伐前後の1年間で降雨量が異なるため、流量の合計値と各流量指標間の積算値を当該年の総降雨量でそれぞれ割った値を、年流量、豊水、平水、低水、渇水指標とした。図6に各サイトにおける流量指標の間伐前後の増加率を示した。ただし、愛知サイトと高知サイトの渇水流量については、低水時の観測精度が他の流域と異なり、横断的な比較ができないことから、解析から除外した。

栃木サイトでは、列状間伐(K2)流域において、間伐後の流量は全体的に増加しており、年流量指標は間伐前の1.38倍、豊水、平水指標については1.4倍前後となった。観測日数は、間伐前が350日である。一方、点状間伐(K31)流域では、年流量指標では1.46倍となっており、それ以外の指標の増加率はほとんど変わらないか、間伐前よりも小さい傾向が認められた。

福岡サイトでは、間伐前後で流況曲線の差がほとんど見られず、間伐後の年流量、豊水、平水指数は間伐前のそれぞれ1.05倍、0.96倍、0.79倍と減少した。しかしながら、

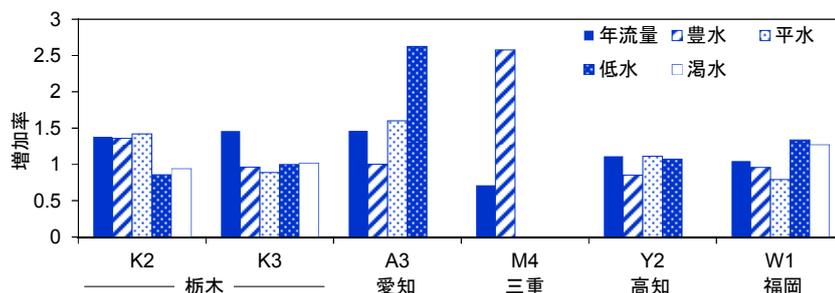


図6 各サイトにおける間伐前後の年流量および豊水、平水、低水、渇水指標の増加率

低水、渇水指標は1.34倍、1.27倍となり、増加がみられた。これは、福岡サイトは間伐前も比較的立木密度が低い林分であり、間伐後の林床面蒸発散量が急増したため、年単位の遮断蒸発散量は間伐前後で変化がなかったものの(4.1(3)①iv参照)、林床面蒸発散量が低下する冬季には地下へ涵養される水の量は間伐後に増加したことが予想されるためである。愛知サイトでは、間伐後の年流量指標は1.47倍となり、豊水、平水、低水指標はそれぞれ1.01倍、1.60倍、2.63倍であった。ただし、観測日数は間伐前が242日である。三重サイトの観測流域は平常時に流量の見られない一次溪流であり、間伐前には年間30%程度の日数でのみ流量が観測されていたが、間伐後は流量の出現日数が41%程度まで増加した。間伐後の年流量指標、豊水指標はそれぞれ0.72倍、2.58倍であった。高知サイトでは、間伐前後の流況曲線に明確な差は認められず、各流量指標は間伐前の0.85~1.12倍となった。

間伐前後で河川流出量に違いが見られた栃木サイトの列状間伐流域において、間伐前後の河川流量を降雨時、無降雨時で比較し、流出量変化のタイミングを評価した(図7)。降雨時の日流量の中央値は、間伐前が0.43mm/day、間伐後が0.88mm/dayであった。無降雨時の日流量の中央値は、間伐前が0.29mm/day、間伐後が0.32mm/dayであった。間伐後の日流量は降雨時には2倍程度の増加が認められたが、無降雨時の日流量

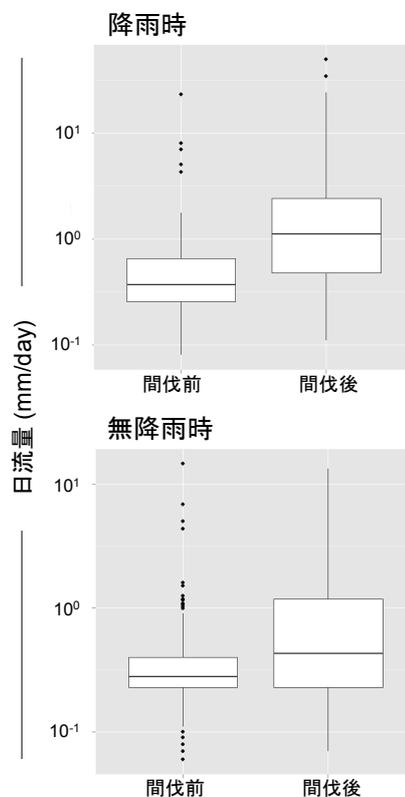


図7 列状間伐流域の間伐前後の日流量:(上)降雨時、(下)無降雨時

は 1.1 倍とほとんど違いが見られなかった。このことは、列状間伐後 1 年目には、降雨時に河川流量が増加する傾向があることを示している。

このように、サイトによって各流量指標の増加率が大きく異なることが示された。そこで、その要因を明らかにするために、間伐前の立木密度と各流量指標の増加率との関係を調べた。その結果、豊水指標と間伐前の立木密度は、ばらつきが大きく明瞭な傾向が見られなかったが、低水流量指標については、立木密度の増加に伴って大きくなった(図 8)。このことは、より過密な林分を間伐した場合には、無降雨時の河川流量がより顕著に変化することを示していると考えられた。

次の要因として、間伐前後の林内相対照度比と年流出量比の関係を検討した。しかし、一般的に林内の相対照度などは点の情報であることが多く、河川流量は流域の情報であり、両者には空間的な広がりには違いがある。そこで、本研究では、流域の相対照度を LiDAR データのレーザー透過率から算出し(4.4(3)②)、流域単位で評価した。ここでは、間伐前後に LiDAR データがある、栃木サイトと福岡サイトの入れ子状流域を対象とした。その結果、間伐前後の相対照度比が相対的に大きい流域では、年流出量比も大きくなる傾向がみられた(図 9)。このことは、十分に樹冠が開空している場合は、遮断量の減少を反映し、顕著に流出量が増加するものと考えられた。これまでにも、森林管理と河川流量変化については様々な研究が行われ、伐採面積と河川流量との関係が報告されている。しかし本研究結果により、河川流量の変化を予測するためには、伐採面積割合のみを用いるのではなく、伐採による樹冠遮断および立木の蒸発散の変化を把握する必要があることを示すことができた。また、河川流量の増加には、施業時の作業道や搬出路の設置も大きく影響していた。とくに、栃木サイト K2 と K3 では、豊水指標の変化が異なっており、K2 流域では、降雨時の搬出路面上において地表流が連続的に流下している様子が確認され、河道に対する流入も認められた。一般に、路面土壌は圧密による浸透能低下が生じ、地表流が発生する。本研究でも、林道における浸透能計測と地表流観測の結果から、林道上の水流出量の 85%以上が路面の地表流成分であることを明らかにし、さらに、路面の車両痕部分が連続的な地表流の流下経路となることを示した。こうした路網設置にともなう流域内の地表の水文プロセスの変化によって、降雨時の河川の増水量が異なると考えられた。

#### viii) 水質の変化

森林を皆伐すると、下流河川でカリウム、マグネシウムなどの無機イオンや硝酸態窒素などの栄養塩、濁質濃度が長期にわたり上昇することが、世界の様々な森林流域での長期観測結果から知られている。本研究では、強度間伐によって窒素、リン、溶存有機物などの流出濃度やその特性がどのように変化するかを観測した。その結果、どの流域とも間伐中にはリン、溶存有機物が、間伐後は窒素濃度が上昇する傾向が見られた。とくに、栃木流域での非間伐流域との比較調査から、50%程度の列状強度間伐により全窒素で  $0.6 \text{ mg l}^{-1}$ 、全リンで  $0.1 \text{ mg l}^{-1}$ 、溶存有機炭素で  $0.5 \text{ mg l}^{-1}$  程度の上昇と推定された。窒素の濃度上昇は間伐面積率にほぼ比例する、という過去の研究を参考にして考えると、皆伐で  $1.2 \text{ mg l}^{-1}$  程度の濃度上昇と推定され、日本各地での皆伐後の報告値の範囲に入る。一般に、栄養塩、溶存有機物は基底流量時、降雨時ともに、流量と正の相関関係にあるが、間伐後に流量が増えたことによりこの相関関係から予想される濃度上昇と比べ、実際に観測された濃度上昇はかなり小さなものであった。この原因としては、森林内での林内雨、

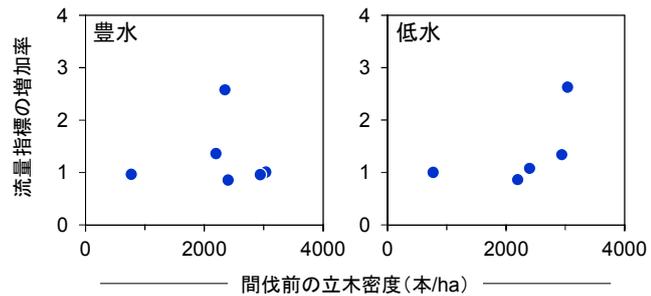


図 8 間伐前の立木密度と流量指数の増加率の関係

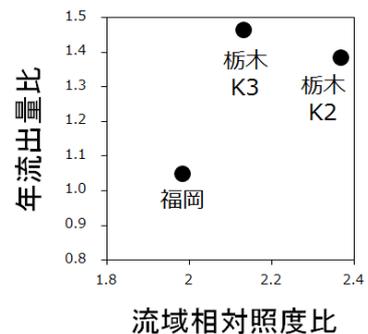


図 9 間伐前後の相対照度比と年流出量比

樹幹流、表面流などの栄養塩濃度は間伐前後でほとんど変化しないことから、間伐後に林内雨割合が増え、樹幹流割合が減少したこと、蒸発散量が減少したことなどが考えられる。

## ②安定同位体手法による遮断プロセス、水涵養プロセスの解明

安定同位体比は、積算雨量とともに、その値を低くしていく。すなわち、降雨強度が比較的小さく、雨量の少ない降雨において安定同位体比は相対的に高い値を示し、降雨強度が大きく、雨量の多い降雨におけるそれは、低い値を示す。間伐により遮断蒸発が減少し、相対的に降雨強度が小さく安定同位体比が高い降雨も土壌面浸透、土壌柱の降下浸透および地下水涵養に寄与することが期待される。

この観点から、栃木および福岡サイトについて、間伐前後における斜面上部の各深度(50、100、140、180cm)の土壌水および湧水の酸素安定同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )変動を整理した。栃木サイト(堆積岩流域)では、林外雨、・林内雨とも、間伐前後の $\delta^{18}\text{O}$ に顕著な変化はみられないが、土壌水および湧水の $\delta^{18}\text{O}$ は間伐後に顕著に高くなった。基盤岩地下水では、このような特徴は認められなかった(図10)。これは、間伐後に比較的雨量が少なく相対的に $\delta^{18}\text{O}$ の高い降雨が降下浸透および湧水近傍の地下水涵養に寄与する割合が高くなり、その結果、土壌水および湧水における $\delta^{18}\text{O}$ が高くなったものと評価される。

このことは、間伐後において地下水位が上昇する傾向にも反映されている。しかし、このような特徴は、まだ基盤岩地下水には及んでおらず、湧水近傍の比較的浅い部分まで基盤が存在している部位における、地下水にその影響が限られているものと想定される。

一方、福岡サイト(花崗岩流域)では、堆積岩流域と同様に林内雨、林外雨とも安定同位体比に違いはみられないが、土壌水の安定同位体比は間伐後に低くなる傾向が認められた(図10)。しかしこの傾向は、地下水や渓流水にはみられない。このように、堆積岩と花崗岩流域では、水循環に伴う水の安定同位体比変動に違いがみられるが、いずれも間伐後に土壌水の安定同位体比は変化しており、間伐が、林床浸透水の同位体比を変化させ、その結果土壌水のそれも変動していることは明確である。

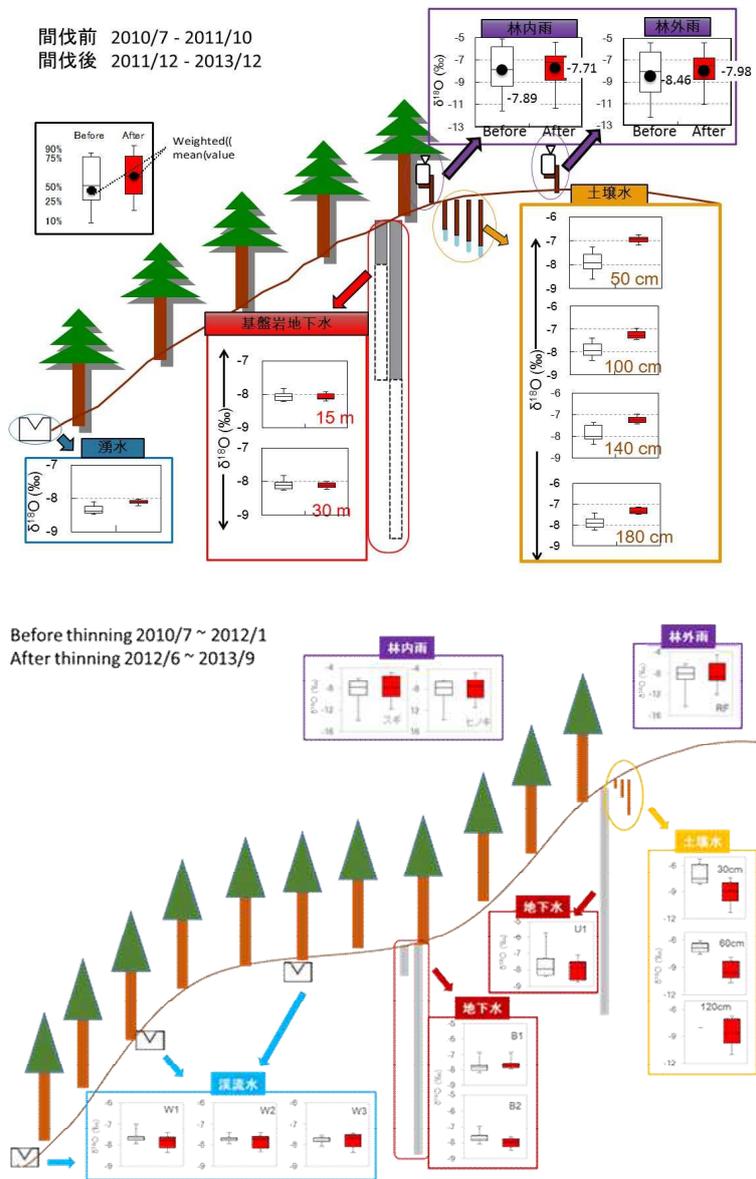


図10 間伐前後の水循環に伴う酸素安定同位体比の変動  
上: 栃木サイト(堆積岩流域)、下: 福岡サイト(花崗岩流域)

## 2. 間伐による水文素過程変化のモデル化【研究項目2】

### (1) 研究のねらい

本研究項目では、現地観測で得られた結果に基づき、各水文素過程をより簡易なパラメータで再現するモデルを開発し、間伐による各水文素過程や流出量の変化を予測することを目的とした。

### (2) 研究実施方法

#### ① 蒸発散モデル(九州大学・京都大学グループ)

各サイトの観測結果から得られたデータを中心に解析を行い、年間の i) 樹冠遮断、ii) 林分蒸散、iii) 林床面蒸発散を降水量等の気象条件や立木密度等の森林環境から簡易に推定するモデルを開発した。

#### ② 土壌水分モデル(京都大学グループ)

森林土壌に供給される雨水の空間分布の間伐による変化を観測し、この変化が雨水の浸透・流出に与える影響を、シミュレーションモデルを用いて解析し、間伐が雨水の流出を増加させるプロセスを定量化した。

#### ③ 水土砂流出モデル(東京農工大学グループ)

分布型流出モデルを用いて流域内での表面流の発生をモデル化し、斜面から河川への表面流の流入量を再現・予測した。

#### ④ 流出負荷モデル(鳥取大学グループ)

間伐による河川水の溶存物質濃度の変化を水の流出経路に基づいて推定するモデルを開発した。

### (3) 研究成果

#### ① 蒸発散モデル(九州大学・京都大学グループ)

蒸発散は、遮断蒸発、植栽木の蒸散、林床面蒸発の三要素からなる。これらについて、森林構造パラメータ(立木密度、樹高、葉面積指数など)と関連付けるモデルを作成することを試みた。

##### i) 樹冠遮断率の推定モデル

遮断蒸発については、本プロジェクトを中心に得られた46の計測データを解析し、遮断蒸発率(遮断蒸発量を降水量で割ったもの)が、立木密度と関係することを確認した(図 11; Komatsu et al., 2014)。この結果をもとに、遮断蒸発率を立木密度の関数としてモデル化した。このモデルによる決定係数は0.55、平均誤差は降水量の4%であった。立木密度以外に、樹種、葉面積、樹体表面積などとの関係も調べたが、明瞭な傾向は認められなかった。樹高との間には若干の関係が認められたので、遮断蒸発率を、立木密度と樹高の関数としたモデルも併せて作成した。

##### ii) 林分蒸散量の推定モデル

植栽木の蒸散については、本プロジェクトを中心に得られた14の計測データを解析した。蒸散データに対して、簡易ペンマン・モンティース式(McNaughton and Black, 1973)を適用することで、同式の唯一のパラメータである群落コンダクタンス(樹木の生理状態を表現するもの)を算出した。群落コンダクタンスは、気象条件への依存性を考慮して、一定気象条件における基準値と、気象条件による変化を表現する関数の積としてモデル化した。既存研究では、この基準値のモデル化の方法が確立されていないが、スギ・ヒノキ林については、林分辺材面積によって極めて

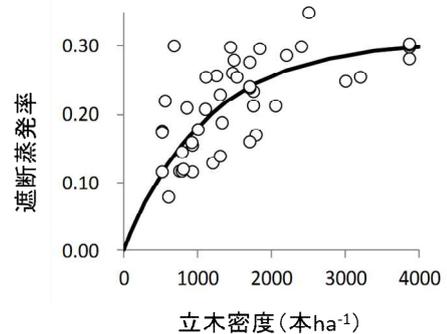


図 11 立木密度と遮断蒸発率の関係

●スギ △ヒノキ

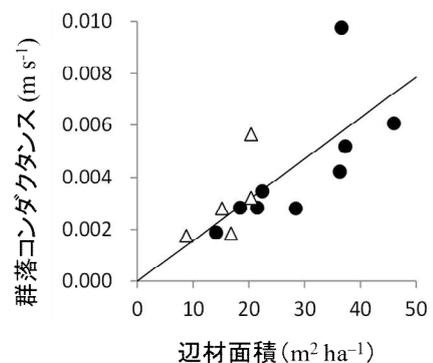


図 12 林分辺材面積と群落コンダクタンスの基準値の関係

高い精度(決定係数が0.49、平均相対誤差が23%)でモデル化できることを明らかにした(図12)。さらに、林分辺材面積が林分の平均胸高直径と立木密度から算定できることも示した。

このように、間伐に伴う遮断蒸発と林分蒸散を予測することが可能となったが、この予測をもとにいくつかの仮定を施すことで、間伐による年間流出量増加の概算値、また年間流出量増加のポテンシャルの予測もできるようになった。この予測は、従来の回帰モデル(Brown et al., 2005)と異なり蒸発散過程を考慮できている点、その結果として間伐方法の違いを考慮できる点、加えて、精度が高い点(従来のモデルより、相対誤差が20%程度小さい)において優れていることも明らかにした。

### iii) 林床面蒸発散量の推定モデル

これまで、樹冠が鬱閉した森林では、林床に到達する日射量が極めて少なく(橋本,1985)、林床の湿度が高く、風速も弱いことから林床面蒸発散量は無視できるほど少ないという仮定が一般的であり(服部, 1983)、林床面蒸発散量を推定するモデルは Daikoku et al. (2008; LAI と関係)などに限られており、針葉樹人工林に関するモデルは未だ確立されていなかった。

本研究では、福岡サイトにおいてライシメータを用いた林床面蒸発量の集中観測を行い、下層植生乾物重と土壌面蒸発に対する林床面蒸発散比の関係を求めた(図13)。また、蒸発散量に大きく影響する気温、飽差および純放射量(ここでは、日射透過率として評価した)のうち、気温と飽差は間伐による変化が小さいのに対して、日射透過率は間伐に寄って大きく変化することを明らかにした。さらに、この日射透過率は南中高度から推定できること、年単位で見ると年平均日射透過率はほぼ相対照度に換算できることを示した。土壌面蒸発量は林床日射量から、下層植生乾物重は相対照度から推定でき、これらの値を図13の関係にあてはめることで林床面蒸発散量が推定できた。さらに、相対照度と立木密度の関係から、年間の林床面蒸発散量と立木密度の関係を示した(図14)。この値は、服部(1983)の報告(年間小型蒸発計蒸発量 147.5~448.4mm/y)と概ね一致しており、ほぼ妥当であると推察される。

以上の結果から、2000本/ha以上の過密林分を50%間伐した場合の林床面蒸発散量の増加量は小さいが、1000本/ha程度の林分に50%間伐を施すと林床面蒸発散量が急激に増加することが分かる。これは福岡サイト(間伐前流域立木密度平均1300本/ha)で間伐後の林床面蒸発散量が非常に高くなった本研究結果とも一致しており、間伐による水資源管理を行う上で非常に有効な知見である。

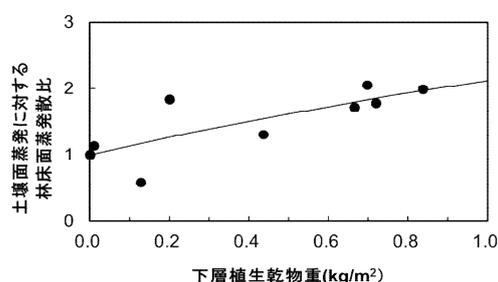


図13 下層植生量と林床面蒸発散比の関係

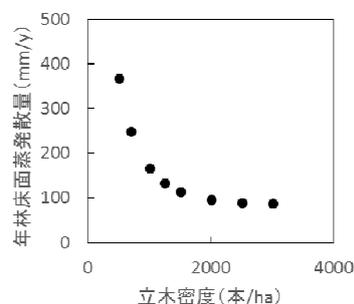


図14 立木密度と林床面蒸発散量の関係

### ② 土壌水分モデル(京都大学グループ)

林内雨量の空間的ばらつきを定量化するために、三重サイトの間伐が遅れたヒノキ林斜面において集中的な観測を行った。図15のように、3×3mの矩形区画に49台の雨量計を格子状に配置して、樹冠通過雨量を10分インターバルで計測した。さらに、区画内にある2本のヒノキ生立木の樹幹流を10分インターバルで計測した。

図16aは、総雨量63.5mmの降雨イベント時の積算林内雨量である。雨量はヒノキ立木の周辺に集



図15 林内雨量と樹幹流の集中観測

中し、林外雨量の積算値を大きく上回った。それ以外の範囲の林内雨量は少なく、林外雨量の半分以下となる地点も多く存在していた。区画全体の平均雨量は 40.8mm であり、林外雨量の 64%であった。また、雨量分布の標準偏差は 26.3mm であった。次に、観測区画中央にあるヒノキを間伐により取り除いた状況を試算した結果が図 16b である。中央部の林内雨集中エリアが無くなっていることがわかる。平均雨量は 52.5mm であり、林外雨量の 83%になった。また標準偏差は 16.8mm となった。このように、間伐によって林内雨量の総量が増加することと、空間的ばらつきが減少することが示された。

間伐前後の林内雨量を入力し、三次元の Richards 式を解くことによって、観測斜面の土壌水分変動と水分移動をシミュレートした。図 17 において、塗りつぶしの濃淡は圧力水頭の分布を表しており、矢印は、浸透流フラックスの方向と相対的な大きさを表している。間伐前の降雨波形を与えた図 18a では、中央の樹木周辺が顕著に湿り、集中的な浸透流が発生している。これに対して間伐後(図 17b)は、ほぼ一様な浸透流が生じている。

斜面下端からの流出量のシミュレーション結果(図 18a)からは、間伐後に流出量が多くなっていることがわかる。次に、間伐前の林内雨に空間的ばらつきが無かったことを想定した場合に算定される流出波形は、流出ピークが小さくなる一方で、長期間に渡ってより多くの流出を生じている(図 18b)。これに対して、間伐後について、林内雨に空間的ばらつきが無かった場合の流出波形は、ばらつきを考慮した場合と比べて大きな変化は生じていない(図 18c)。これは、林内雨のばらつきが元々小さく、不均質な浸透が発生していなかった(図 17b)ためである。以上のことから、間伐後に林内雨の空間的ばらつきが小さくなることは、流出波形を緩慢にし、河川の基底流量を安定化させる効果を持つことが示された。

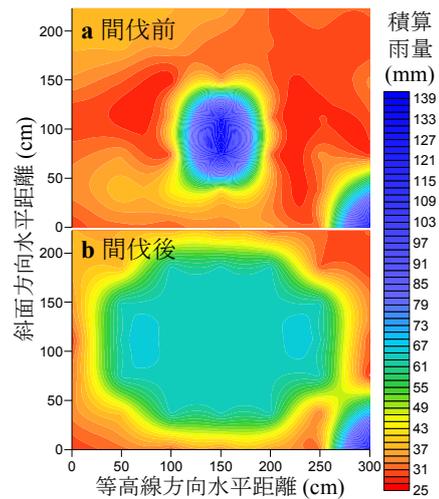


図 16 積算林内雨量の空間分布

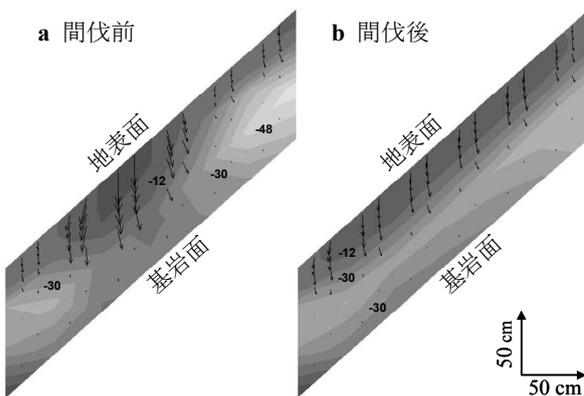


図 17 数値シミュレーションにより得られた雨水浸透の様子 (斜面内の数字は圧力水頭(cm)を表す)

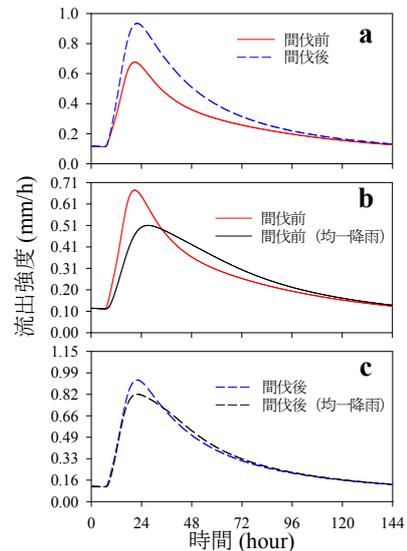


図 18 数値シミュレーションにより得られた流出波形

③ 水土砂流出モデル(東京農工大学グループ)

分布型流出モデルを用いて流域内での表面流の発生をモデル化し、斜面から河川への表面流量の流入量を再現・予測した。分布型流出モデルでは流域地形の要素分割が必要である。本研究では、グリッド(正方形要素)による分割ではなく、等高線の流線から地形分割するTOPOTUBE 地形解析によって流域を分割した。TOPOTUBE 地形解析では各要素の大きさや面積は異なるが、地形に沿った水や土砂の移動ベクトルの方向、尾根部や谷部の表示に適しており、斜面で発生する地表流の流下の方向や連続性を再現できる利点がある。

本研究では分割された各地形の要素をTOPOTUBE エlementと呼び、等高線上で与えられた任意の間隔に、斜面上部から下部へ最短距離を引くアルゴリズムにより作成した(Dhakal and Sidle, 2004)。等高線に対して、直角に交わる線(flow line)を基準にして分割することで、水移動のベクトル方向および、尾根部や谷部における水分配を適切に再現することができる(図 19)。

本研究で用いる流出モデルの基本的な概念は、次の通りである。

- i) 流域の降雨流出解析とともに斜面における Horton 地表流の発生量解析と予測を目的とする。
- ii) 地表面に与えられた降雨強度が浸透強度を上回るとき Horton 地表流が発生するものとする。
- iii) 土壌内の水移動は飽和領域のみを考慮し、ダルシー則で近似できるものとする。
- iv) 土壌特性は深さ方向に 2 層で近似できる構造を持つものとする。
- v) 斜面の表土および土壌の特性は空間的な分布を取り扱うものとする。
- vi) 降雨イベントごとに計算を行う短期水流出を対象とするものとする。

分布型流出モデルでは、表面流の発生量に影響を及ぼす土壌表面の植生量を考慮するものとした。これらは、流域内において空間的に不均質であり、とくに尾根部で浸透能が高い傾向がみられた。このような植生分布は林内の相対照度とも関連していることが示されている。Horton 地表流の水高( $h$ )を算出するための浸透能は、散水試験の結果を用いた。ここで、浸透強度( $f$ )は降雨強度( $i$ )と安定浸透強度(十分に降雨強度が大きい場合の浸透能: $FIR_{max}$ )について以下の関係式[1]が成り立つことから、降雨強度によって浸透能が決定される関係式をモデルに組み込んだ。

$$f(i) = FIR_{max} \tanh\left(\frac{i}{FIR_{max}}\right)$$

解析結果から、本研究によってヒノキ人工林流域における Horton 地表流の発生について以下のような点が明らかとなった(図 20)。短期の降雨流出応答で

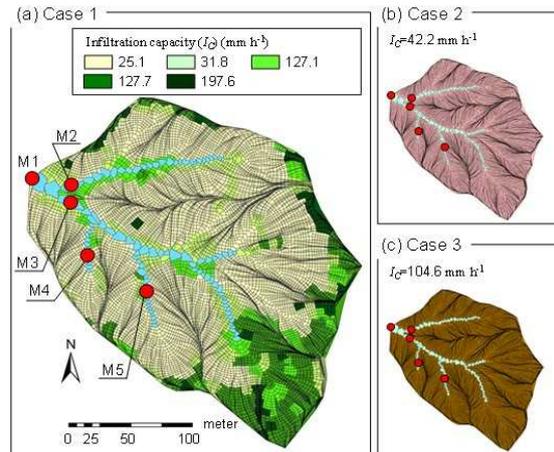


図 19 TOPOYUBE 地形解析と浸透能の空間分布

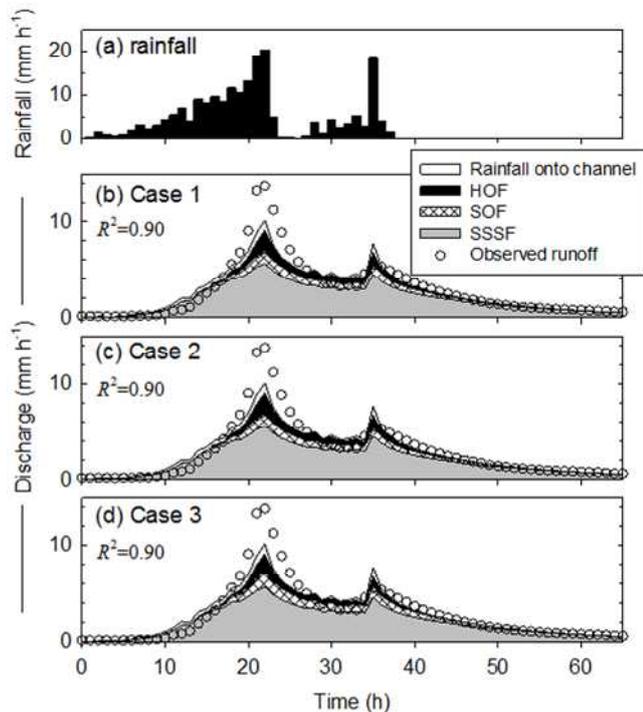


図 20 モデルによる解析による流出成分の寄与

は、流域の斜面が均質で低い浸透能であると仮定した場合、流域全体に一様に Horton 地表流が発生し、その発生量や流域の降雨流出量（ピーク量）も大きくなる傾向にあった。流域の谷部や尾根部で異なる林床植生被覆から浸透能の空間分布を考慮すると、均質で低い浸透能を与えた場合にと比べて流域全体の浸透能は高くなり、流域の流出量の再現性が向上したが、プロットにおける Horton 地表流量については、観測値より計算値が大きかった。谷部や尾根部で異なる林床植生被覆に対応した浸透能の空間分布のみならず、各林床被覆クラス内においてもばらつきが存在するとして不均質性を与えると、流域の流出に加えてプロットの Horton 地表流計算値は観測値に近い値を得ることができた。流域スケールもしくは斜面スケールにより、計算値の再現性向上に寄与するパラメータの空間分布のスケールが異なり、流出プロセスに影響を及ぼすパラメータの不均質性を検討する際には、不均質性のスケールが重要であることが示された。以上のように、斜面浸透能の空間的な不均質性を考慮することによって Horton 地表流量の再現性が向上したと言えるが、今後、流出モデルにおいて、地形、林床被覆、土壌特性などの空間的不均質性をどのように考慮するなどの検討も必要であると考えられた。

#### ④ 流出負荷モデル

流出負荷モデルの開発は鳥取大学グループを中心に行った。流出負荷量を評価するために、観測値から得られる直接流出と基底流出の各成分の栄養塩濃度を基岩の水貯留能が考慮された降雨－流出モデルに組み込んだ。このモデルは、近藤ら(1992)の指数型タンクモデルを応用したものであり、日単位でそれらの各成分を算出できる。これに際して、本課題では福岡サイトの溶存態窒素(DN)の事例に基づいて次の5点を検討した。

- i) 各流出成分によってどのような  $\Sigma L - \Sigma Q$  式が得られるか？
- ii)  $\Sigma L - \Sigma Q$  プロットのばらつきに与える影響は何か？
- iii)  $\Sigma L - \Sigma Q$  式を組み込んだ降雨－流出モデルによる年間流出負荷量はどのくらいか？
- iv) 間伐によってどのくらい  $\Sigma L - \Sigma Q$  式は変化するか？
- v) 間伐による年間負荷量の変化はどのくらいになると見積もられるか？

まず i) については次の関係が得られた。

直接流出:  $\Sigma L = 2.23 \times \Sigma Q$  ( $r^2 = 0.97$ )、基底流出:  $\Sigma L = 2.18 \times \Sigma Q$  ( $r^2 = 0.98$ )

ここで、 $\Sigma L$  と  $\Sigma Q$  の単位はそれぞれ (g)、(m<sup>3</sup>) である。いずれの  $\Sigma L - \Sigma Q$  式も原点を通る直線で十分に近似できたため、 $\Sigma Q$  にかかる係数を出水イベント時の平均濃度 (mg/L) とみなせた。すなわち、DN に関する直接流出と基底流出のイベント平均濃度 ( $EMC_{direct}$ 、 $EMC_{base}$ ) の代表値はそれぞれ 2.23、2.18 mg/L となった。一般に、出水時の流量変動の規模が濃度変動の規模よりも十分に大きい場合、 $\Sigma L - \Sigma Q$  式は直線で近似しやすく、福岡サイトの場合もこれと同様に考えることができる。このような場合、年間流出負荷量の算出において  $\Sigma L - \Sigma Q$  式を用いることで大きな問題は生じない。しかし、メカニズムやプロセスを考慮して厳密に負荷量を評価する場合には、イベント間の濃度変動が重要であり、 $EMC_{direct}$  と  $EMC_{base}$  のばらつきを生じさせる原因を明らかにすることが必要である。この点について ii) で検討した。

ii) については、間伐前の 16 イベントから得られた DN の  $EMC_{direct}$  と  $EMC_{base}$  のばらつきを解析した。 $EMC_{direct}$  と  $EMC_{base}$  の変動範囲はそれぞれ 1.8–3.0、1.9–2.7 mg/L であった。 $EMC_{direct}$  は土壌の先行湿潤条件 (イベント前 15 日間の降雨量、効果の減衰率 0.85) と強い負の相関があったこと、及び対象流域の流出係数 (= 直接流出量/降雨量) は小さかったこと (<0.1)。このことから、福岡サイトの  $EMC_{direct}$  のばらつきは河川近傍土壌の窒素蓄積量に強く影響されていると考えられた。他方、 $EMC_{base}$  は谷底部の地下水流動方向 (上向きか下向きか) には依存しないものの、斜面部の基岩内地下水位に左右されていた。例えば、斜面部の基岩内地下水位が閾値 (375 m a.s.l.) を超えると、 $EMC_{base}$  は顕著に低くなった (<2.1 mg/L)。斜面部の基岩内地下水が閾値を超えると基岩深部への水の涵養と深部からの河川への流出が顕在化すると考えられた。このことから、福岡サイトの  $EMC_{direct}$  のばらつきは基岩深部の地下水の河川水への混合割合に依存すると考えられた。これらの結果は、DN の負荷量評価手法を精緻化するためには、土壌中の栄養塩蓄積量の変動のみならず基岩内地下水の涵養と流出の変動を考慮することの必要性を示している。

iii については、上述の i で得た直接流出と基底流出の  $\Sigma L-\Sigma Q$  式の傾きをそれぞれの流出成分の平均濃度として、降雨－流出モデルに組み込むことにより DN の流出負荷モデルとして使用した。2011 年(間伐前;年降雨量 2469mm)の降雨量と蒸発散量を考慮して計算したところ、DN は直接流出成分として 10.9kg/ha/y、基底流出成分として 20.0kg/ha/y が流出する結果になった。これらの合計値(30.9kg/ha/y)は、Chiwaら(投稿中)が同サイトにおいて算出した無機態溶存窒素の年間流出負荷量(36.1 kg/ha/y)と同程度であった。このことは、直接流出と基底流出を考慮して DN の流出負荷量を簡単に算出できるモデルとして本モデルが有用である可能性を示している。

iv については、間伐後の  $\Sigma L-\Sigma Q$  式を算出した。その結果、次のようになった。

直接流出:  $\Sigma L=2.56 \times \Sigma Q$  ( $r^2=0.97$ )、基底流出:  $\Sigma L=2.94 \times \Sigma Q$  ( $r^2=0.98$ )

ここで、直接流出と基底流出のそれぞれの  $\Sigma Q$  にかかる係数はいずれも間伐前より大きく、それぞれ 15%、35%増加していた。つまり、DN のイベント平均濃度である  $EMC_{direct}$  と  $EMC_{base}$  はいずれも間伐後に増大する結果であり、間伐に伴い土壤中での窒素生産の増大や樹木による窒素吸収量の低下が示唆された。ただし、現時点において解析できている間伐後の出水データは間伐から 4-5 か月経過した時点での 4 イベントに限られており、今回の結果はその後の出水データの解析を通して検証される必要がある。

v については、iii の降雨－流出モデルと i および iv に示した  $\Sigma L-\Sigma Q$  式の傾きを用いて、間伐が年間の流出負荷量に与える影響を評価した。この時、間伐に伴う蒸発散量の変化については、福岡サイトのプロット試験の結果に基づいて遮断蒸発率(遮断蒸発量が年降雨量に占める比率)が 0.1 減少し(間伐前 0.25→間伐後 0.15)、かつ蒸散量の減少が林床面蒸発量の増加によって相殺されると仮定した。2011 年を対象とすると、この遮断蒸発量の減少により直接流出と基底流出の水量においてそれぞれ 28%、10%(それぞれ年降雨量の 6%、4%に相当する)増加するシミュレーション結果となった。まず、間伐前後で  $\Sigma L-\Sigma Q$  式の傾きが変わらない(=間伐後の傾きとして間伐前の傾きを用いる)とすると、直接流出成分として 14.0 kg/ha/y、基底流出成分として 22.1 kg/ha/y、合計で 36.1 kg/ha/y が流出するシミュレーション結果となった。すなわち、間伐に伴う流量増加によって、DN の流出負荷量が間伐前よりも約 20%増加したことになる。次に、間伐による  $\Sigma L-\Sigma Q$  式の傾きの変化を考慮した場合(=間伐後の傾きを用いた場合)、直接流出成分として 16.1 kg/ha/y、基底流出成分として 29.9 kg/ha/y、合計で 46.0 kg/ha/y が流出するシミュレーション結果となった。これは、間伐に伴う流量増加に加えて、土壤中での窒素生産の増大や樹木の窒素吸収量の低下によって、DN の流出負荷量が間伐前よりも約 50%増加したことになる。以上のことから、間伐に伴う遮断蒸発量の減少は、流出水量のみならず DN の流出負荷量の増大につながる可能性は十分に指摘できる。なお、iv と同様、間伐後の出水データの解析事例を増やすことにより、今回の知見の妥当性や適用可能範囲(例えば、間伐後どのくらいの期間に適用できるか)を検討する必要がある。また、知見の一般化に向けて渇水年、平年、多雨年などの年降雨量の違いを考慮した検討も必要である。

### 3. 水資源利用効率を最大化させる持続可能な森林管理技術の開発【研究項目3】

#### (1) 研究のねらい

水資源利用効率を最大化させる森林管理方法として、下層植生の侵入・生育による土壌浸透能の向上や土砂流出抑止のため林内相対照度を上げる必要がある一方で、林床植生の蒸散による水損失も大きいことが明らかになった。そこで、過密人工林に対して、水資源の向上を促す密度管理指標(何を指標に間伐率を決定し、間伐を行うのか?)を明確にするとともに、それを維持する間伐方法(森林管理シナリオ)を検討することを目的とした。

さらに、森林管理シナリオを明確にした上で、森林管理を展開していくためには、森林管理を行うべき林分の抽出、間伐後の森林状況の把握等の森林現況を広域に把握する手法が必要となる。そこで、航空機 LiDAR データを用いて広域的な林分の立木密度、平均樹高、相対照度を推定する手法を検討した。

#### (2) 研究実施方法

##### ① 航空機レーザー測量による森林状況の把握(名古屋大グループ)

本研究で開発した Top Surface 解析手法を基盤とする ALPP(Automated LiDAR-data Processing Procedure)システムでは、従来の解析方法とは異なり、航空機 LiDAR データから自動的かつ直接平均樹高を推定することが可能(Yamamoto et al. 2011)であるとともに、その過程で算出されるレーザー透過率(LPI: %)は LAI(葉面積指数)等の樹冠量の有効な指標であることが多く報告されてきた。しかし、これまでの研究では、相対照度(RI: %)等の林内光環境と直接比較した例は殆どない。そこで本研究では、森林施業(間伐)による林内光環境変化の把握において、ALPP システムにより算出される LPI による RI 推定の有効性を検証するため、愛知サイト内の間伐実施及び間伐未実施林を対象に LPI と RI 及び開空度(OG: %)の関係について比較した。さらに、航空機 LiDAR 観測においては、観測密度はコストに直結するため、その影響及び効果を把握することは広大な森林域を対象とする場合に重要である。そのため本研究では、観測密度による RI・OG 推定精度への影響についても検討した。さらに、本プロジェクトの重要な林分パラメータである立木密度推定精度を検討するため、愛知サイトの間伐実施及び間伐未実施林内に、それぞれ直径 30m の円形プロットを設置し、プロット内の全立木本数を測定し、ALPP システムにより LiDAR データから抽出された樹頂点と比較した。最後に、これまでの結果に基づき ALPP システムにより全観測サイトの RI・OG 及び平均樹高・立木密度マップを作成した。

##### ② 相対照度等を維持する密度管理指標の検討(三重林研グループ)

過密人工林の間伐は、閉鎖した樹冠層に空隙を生じさせ、樹冠層を通過する光量や雨量を増加させると考えられる。そこで、水利用効率を最大化させる森林管理モデルを構築するに当たって、林内相対照度を上昇させ、あるいは樹冠遮断率の低下等を目的とする間伐指標として、樹冠閉鎖度に着目して、現地でプロット調査を行った。調査林分はスギ 18 林分(林齢 34~68 年生、間伐後の経過年数 3~11 年)、ヒノキ 24 林分(36~58 年生、間伐後の経過年数 1~15 年)であり、調査項目は、立木密度  $\rho$ 、胸高直径  $D$ 、樹高  $H$ 、平均枝張り半径  $b$  (4 方向の平均)である。このうち、スギ 8 林分、ヒノキ 6 林分において、相対照度を測定した。ここで、樹冠閉鎖度  $Sc$  を下式により定義した。

$$Sc = \Sigma Ca / A \quad Ca = \pi \cdot b^2$$

ここに、 $\Sigma Ca$ : 調査区内の樹幹投影面積合計、 $Ca$ : 単木の樹幹投影面積、 $A$ : 調査プロット面積である。ここで、定義した樹冠閉鎖度  $Sc$  および他の毎木調査項目を用いて、相対照度の推定を試みるとともに、樹冠閉鎖度を樹高、立木密度等のデータを用いて、推定する方法を検討した。

(3) 研究成果

① 航空機レーザー測量による森林状況の把握

まず、図 22 にあるように、単一のフライト・コースで観測した場合(SFL)に比べ、同じプロットを複数のコースでオーバーラップさせて観測した場合(AFL)のレーザーパルスの点密度は平均 3 倍以上であった。それに対し、相対照度(RI: %)とレーザー透過率(LPI: %)間の関係は、LPI を算出するプロット半径を変化させた場合、半径 5m までは図 23 にあるように、AFL は SFL に比べ決定係数( $R^2$ )は高かったが、半径 7.5m 以上では両者の  $R^2$  に差異は見られなかった。また、RI-LPI 間の回帰直線の傾き及び切片も、統計的に有意な差は認められなかったものの、図 21 に示したように解析プロットの半径 5m までは大きく変化し、半径 7.5m 以上と比べ SFL-AFL 間で比較的大きな差が見られた。本研究で得られた結果では、解析プロットの半径 12.5m の場合が最も高い精度(決定係数 0.81)であったが、解析プロットの半径 10.0m 以上では決定係数( $R^2$ )0.79~0.81 と高い精度で RI を推定可能であることが示された。

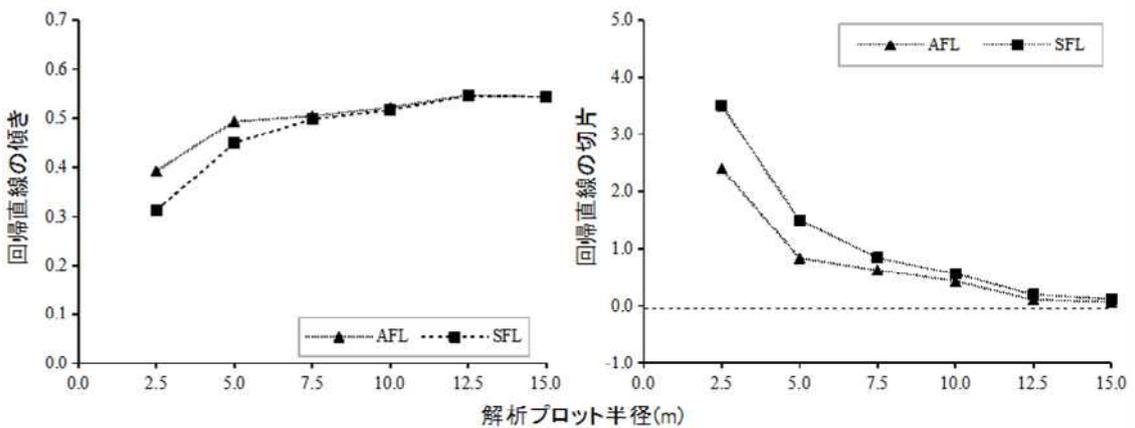


図 21 相対照度(RI)とレーザー透過率(LPI)の回帰分析結果(傾き及び切片)

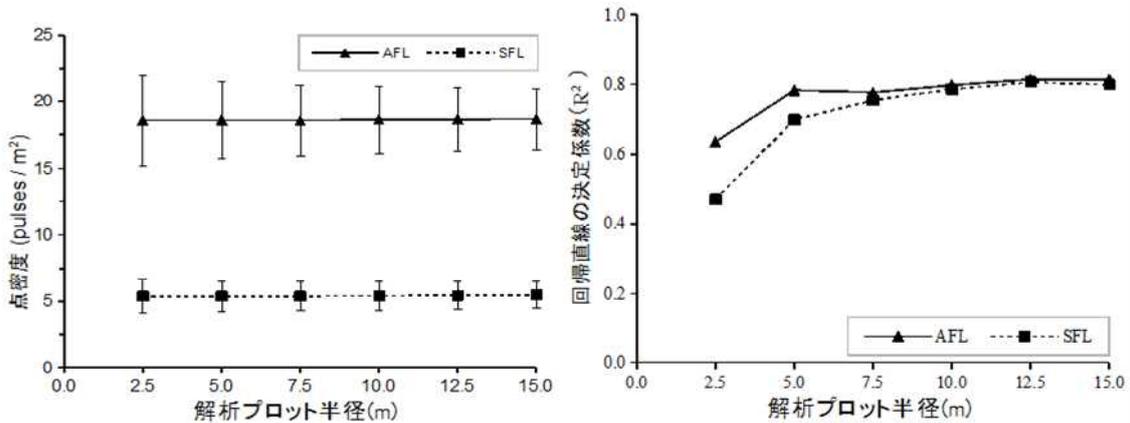


図 22 単一コース(SFL)及び重複コース(AFL)観測によるレーザーパルスの点密度の比較

図 23 相対照度(RI)とレーザー透過率(LPI)の回帰分析結果(決定係数: $R^2$ )

一方、愛知サイトの間伐実施及び間伐未実施林内に、設置した円形プロット内の立木本数はそれぞれ 100 本及び 122 本であった。これに対し、ALPP システムによって抽出された同プロット内の樹頂点数は、それぞれ 97 本と 112 本であり、ともに 90%以上の抽出割合であった(表 2)。

さらに、上記で得られた成果を利用して ALPP を拡張し、LiDAR 観測域を 10m グリッドに分割

し、各グリッド交点において周囲半径 12.5m 内の LPI を算出し、全観測サイトの RI マップを作製した。その結果、栃木サイトの間伐前(2010/11/30)及び間伐後(2012/1/1)において、LPI から推定された RI の値が大きく変化していることが確認できた(図 24)。

以上のように、ALPP System を用いることにより、広域の森林現況を高精度かつ迅速に把握が可能であることが示唆された。

表 2 ALPP による立木抽出結果

プロット	プロット半径	実測本数 (本)	樹頂点数 (本)	抽出割合 (%)
	(m)			
間伐未実施林	15	122	112	91.8
間伐実施林	15	100	97	97.0

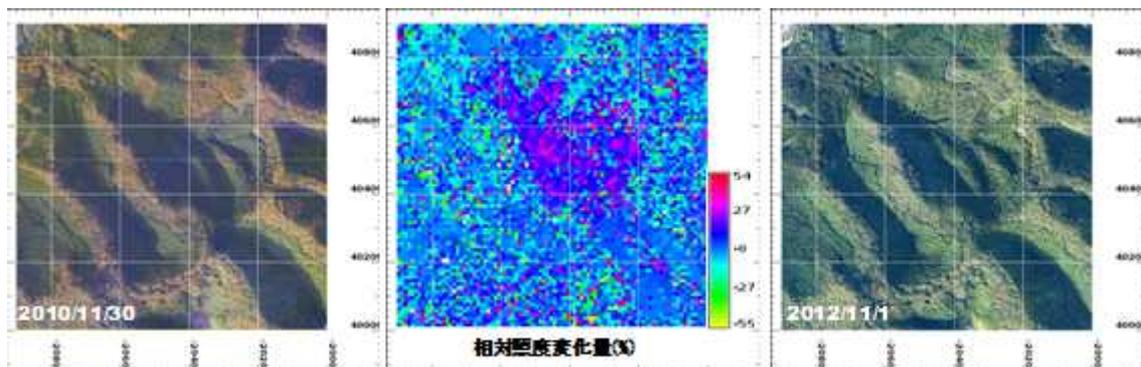


図 24 間伐前(2010/11/30)・後(2012/1/1)のオルソ画像(左・右)及び ALPP System により算出した 2 時期間の相対照度変化量(%) (中央)

② 相対照度等を維持する密度管理指標の検討

図 25 に樹冠閉鎖度 Sc と相対照度 RI の関係を示す。両因子の間には、スギの Δ で示した 2 林分を除くと、下の(1)式の関係が認められ、ある程度の精度で相対照度の推定が可能であった。また、図 26 に示すように、樹冠閉鎖度 Sc、平均樹高 H、立木密度 ρ の 3 変数を用い、重回帰式((2)式)により照度推定を行うと、より精度良く推定が可能であった。①に記述された航空レーザー測定のレーザー透過率は樹冠閉鎖度と同義と考えられるので、相対照度推定に用いる因子(Sc、H、ρ)は、全て測定が可能であり、相対照度の広域推定に利用できる可能性があるものと考えられた。

$$RI = -31.374 Sc + 56.164 \quad (R^2 = 0.653) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$RI = a1 Sc + b1 \rho + c1 H + d1 \quad (R^2 = 0.846) \quad \dots\dots\dots (2)$$

スギ: a1=0.621、b1=-0.00416、c1=-1.675、d1=60.863

ヒノキ: a1=-26.676、b1=-0.0000454、c1=-1.879、d1=76.649

次いで、毎木調査項目から、樹冠閉鎖度推定の可能性を検討した。その結果、H、ρ、間伐後の経過年数 Py の 3 変数を用いた重回帰式((3)式)により、推定が可能であった(図 27)。(3)式の関係を用いれば、間伐後の閉鎖速度の推定が可能となる。ヒノキ地位Ⅱの樹高曲線を用いて、40 年生時に間伐を実施した場合の経過年数と樹冠閉鎖度の関係の推定例を図 4 に示した。赤点線が間伐前の状態であり、間伐率(量)別に、再開鎖時期が異なり、実情を反映するものと考えられる。

$$Sc = a2 H + b2 \rho + c2 Py + d2 \quad (R^2 = 0.618) \quad \dots\dots\dots (3)$$

スギ: a2=0.0135、b2=0.0000859、c2=0.0341、d2=0.468

ヒノキ: a2=-0.0252、b2=-0.000192、c2=0.0286、d2=1.273

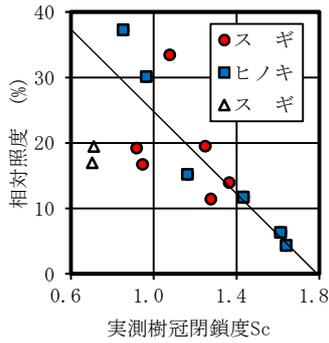


図 25 樹冠閉鎖度と相対照度の関係

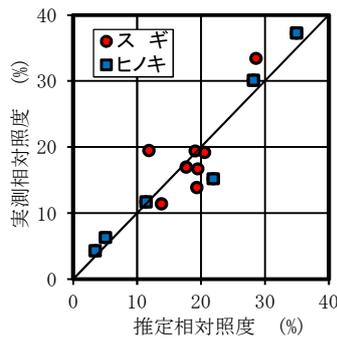


図 26 重回帰式による推定相対照度と実測相対照度の関係

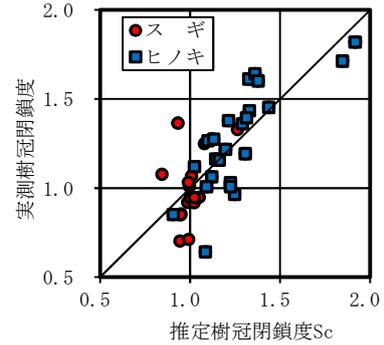


図 27 重回帰式による樹冠閉鎖度の推定

樹冠閉鎖度を用いることにより、図 25～図 26 に示すように、精度良く相対照度の推定が可能である。しかし、航空レーザー測量の透過率把握と異なり、現地調査により樹冠閉鎖度を測定する場合は、現地での測定に労力を要する。図 27 に示した関係を用いれば、樹冠閉鎖度の推定は可能と考えられるが、間伐後の経過年数は不明の場合が多々ある。そこで、林分の過密程度を表す収量比数  $Ry$  を密度管理指標とすることを検討した。収量比数  $Ry$  は、樹高  $H$  と本数密度  $\rho$  を用いて定式化され、この 2 因子から求めることが可能であるからである。収量比数  $Ry$  と図 28 で推定した樹冠閉鎖度  $Sc$  の関係は図 29 に示すとおり、3 次多項式(下記(4)式)で回帰可能であった。

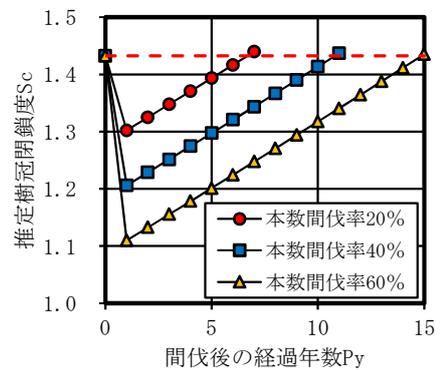


図 28 間伐後の樹冠閉鎖度の変化

$$Sc = a3 Ry^3 + b3 Ry^2 + c3 Ry + d3 \dots\dots\dots (4)$$

(4)式と前述の(1)式の関係に着目すると、相対照度  $RI$  は、 $Ry$  の 3 次多項式により求められることになる。図 30 は、実測した相対照度に、過去の知見を加えた  $Ry$  と  $RI$  の関係である。両因子の関係は下の(5)式により回帰可能であった。

$$RI = 67.007 Ry^3 - 23.571 Ry^2 - 141.169 Ry + 100.000 (R^2 = 0.7687) \dots\dots (5)$$

(5)式の関係を用いれば、相対照度 10～20%を目標として森林管理を行う場合、収量比数  $Ry$  は、0.6( $RI=21\%$ に相当)～0.7( $RI=12\%$ に相当)を目標として森林管理を行えば良いことになる。この管理目標に応じた森林管理シナリオの解析は、後述 ii) に示すとおりである。

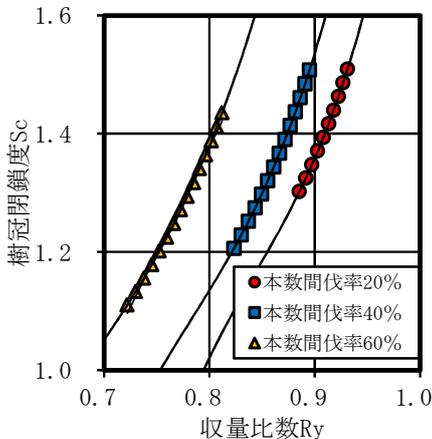


図 29 収量比数と樹冠閉鎖度の関係

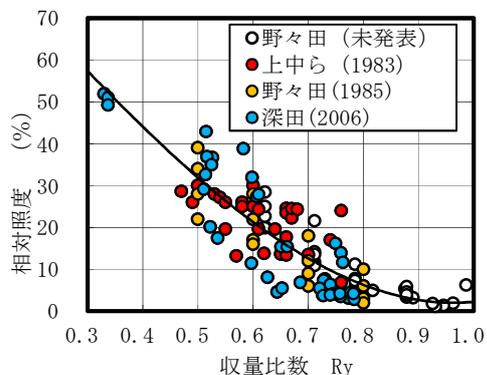


図 30 収量比数と相対照度の関係

#### 4. 福島第一原発事故による人工林の放射能汚染状況の把握(追加項目)【研究項目4】

##### (1) 研究のねらい

原発事故等により森林に降下した放射性核種(特に放射性セシウム)は、森林樹冠の遮断を受けた後に雨水や落葉等にもなって林床に移行することが知られている。東京電力福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムについても、森林環境中の放射性核種の蓄積状況と移行状況を明らかにすることが事故後の急務の課題であり、また長期的な分布予測に不可欠であった。しかし、我が国の森林では放射性セシウムの樹冠遮断や移行状況についての観測例はほとんどないのが現状であった。そこで本研究では、福島原発事故後の森林の放射能汚染状況を定量的に把握するため、低濃度沈着地域にある栃木県佐野市の東京農工大 FM 唐沢山(栃木サイト)と、高濃度沈着地域の福島県伊達郡川俣町山木屋地区(福島サイト)を調査地域に選定し、樹冠から林床への移行フラックスと林内空間線量率の経時変化のモニタリング調査を実施した。

##### (2) 研究実施方法

福島第一原子力発電所事故後の調査対象地域における放射性セシウムの蓄積量は、栃木サイトでは  $10 \text{ kBq/m}^2$  以下で、福島サイトでは  $300 \sim 600 \text{ kBq/m}^2$  であることが報告されている(文部科学省・第3次航空機モニタリングデータによる)。栃木サイトにおいては、ヒノキ林(39年生、2500本/ha)とスギ林(40年生、1300本/ha)を調査対象に選定した。栃木サイトでは、遮断プロット内で林内雨 20 地点、樹幹流 5 カ所、落葉 5 カ所にて定期的にサンプリングを行った。試料の採取は2011年3月11日から2011年8月19日の期間に実施した。

福島サイトでは、スギ林及び広葉樹混交林の各森林に遮断プロットを設置し、林内雨、樹幹流、落葉等にもなって林床に沈着する放射性セシウム移行量を調査した。また、観測タワー(高さ8~12m)を設置し、ポータブルゲルマニウムガンマ線検出器を用いて、森林内の高さ別の空間線量率及び計数率(単位時間あたりに検出された放射線量)の計測を行った。また、高さ別の生葉、枯葉及びリター層を採取し、それらに含まれる放射性セシウム濃度をガンマスペクトロメトリーによって定量分析した。なお、調査期間は、2011年7月から2013年12月の期間とした。

##### (3) 研究成果

##### ① 栃木サイトで観測された放射性セシウム及び $^{131}\text{I}$ の初期樹冠遮断

栃木サイトでは、福島原発事故から5ヶ月間の雨水に含まれる放射性セシウム及び放射性ヨウ素の分析を行った。その結果、林外雨、林内雨、樹幹流及び落葉等から放射性セシウム及び放射性ヨウ素が高い濃度で検出された。

図31に示したように、森林に降下した放射性セシウムは、ヒノキ林及びスギ林では、2011年3月12~28日の期間に沈着した $^{137}\text{Cs}$ のうち90%以上が樹冠に捕捉(樹冠遮断)されたが、 $^{131}\text{I}$ の

樹冠遮断は、ヒノキ林では25.1%、スギ林では50.9%であった。このことから、 $^{131}\text{I}$ は $^{137}\text{Cs}$ と比べて樹冠に吸着しにくく、雨水とともに樹冠を通過しやすい傾向が見られた。樹種による比較では、 $^{137}\text{Cs}$ については樹種の違いは認められなかったが、 $^{131}\text{I}$ についてはスギ林の方が樹冠への吸着が

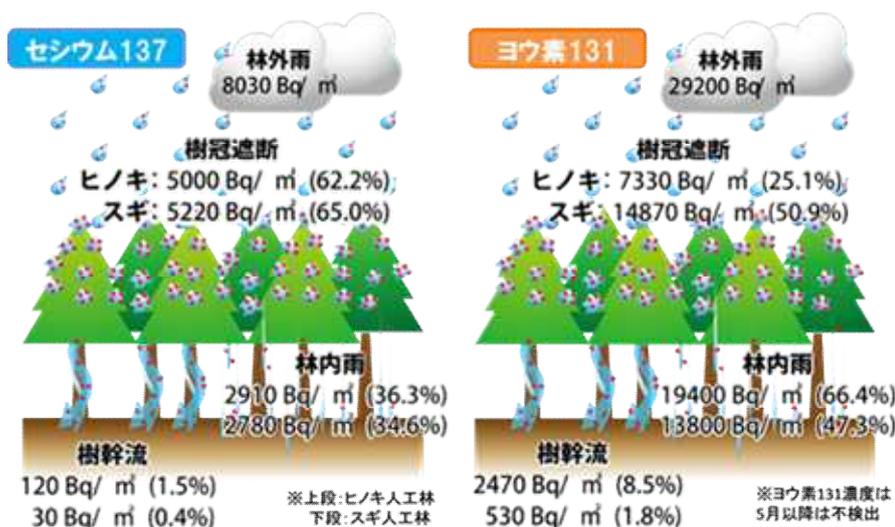


図 31 常緑針葉樹樹冠による放射性核種の初期遮断

顕著であった(Kato et al., 2012)。

2011年3月12日から8月19日の観測期間中に林内雨及び樹幹流により樹冠から林床へ移行した $^{137}\text{Cs}$ は、ヒノキ林及びスギ林では全沈着量の37.8%と35.0%であった。また、ヒノキ林では落葉等の採取を行っており、同期間中に落葉によって樹冠から林床へ移行した $^{137}\text{Cs}$ は全降下量の30%であった(Teramage et al., 2014)。このことから、ヒノキ林では、初期沈着から5ヶ月経過後も全降下量のおよそ3割程度の放射性セシウムが樹冠に補足されていることが明らかになった。本調査により、短半減期の $^{131}\text{I}$ について、森林樹冠による初期遮断の貴重な観測データを示すとともに、樹冠が放射性セシウムの2次供給源となり林床の放射能汚染が長期化する可能性を示した。

② 福島サイトで観測された樹冠から林床への放射性セシウム移行状況

福島サイトでは、樹冠から林床への放射性セシウムの長期的な移行状況を把握することを目的として調査を実施した。各森林において、2011年7月から30ヶ月間の放射性セシウム移行量を調査した結果、スギ林ではおよそ $160\text{ kBq/m}^2$ 、広葉樹混交林では約 $50\text{ kBq/m}^2$ というように樹種によって3倍程度の違いが確認された(図32)。移行経路ごとの寄与率は、スギ壮齢林及び若齢林では、林内雨が40~50%、樹幹流は1~2%、落葉等は50~60%であった。原発事故から200日までの期間は林内雨が主な移行経路であったが、時間経過とともに林内雨による移行量は減少し、落葉等が主要な移行経路となった。一方、広葉樹混交林では林内雨が27.7%、樹幹流が4.7%程度、落葉等は67.7%であった。以上の調査により、森林樹冠から林床への放射性セシウムの長期的な移行状況と移行経路が明らかになった。

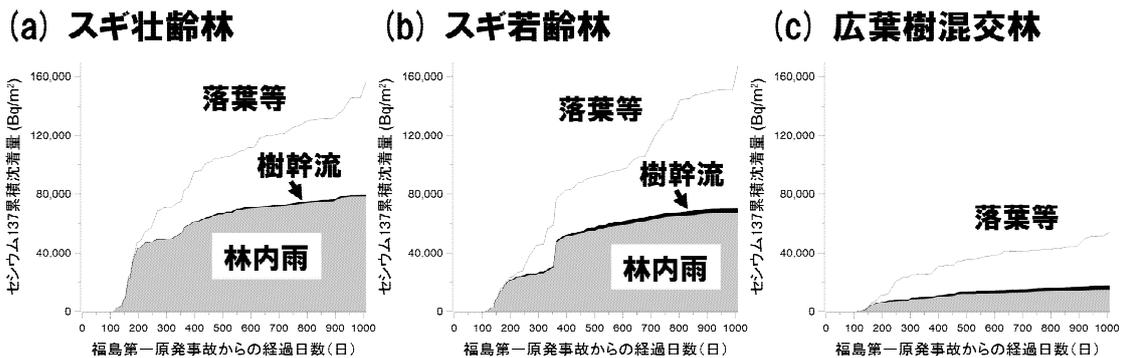


図 32 林床への累積 $^{137}\text{Cs}$ 沈着量の経時変化

③ 福島サイトの森林内空間線量率の時間変化

森林内の高さ別の空間線量率は、スギ若齢林では、樹冠の中央部で高く、林床に向かって減少する傾向を示した。一方、スギ壮齢林では、樹冠の最上部で最も高く、中央に向かってやや減少傾向を示し、林床に向かって再び増加した。広葉樹混交林では、林床の空間線量率が最も高く、高度と共に減少する傾向が見られた。図33に示すように、林床(地表1m)の空間線量率の時間変化傾向は、スギ壮齢林では放射性セシウムの放射壊変による物理減衰速度よりも遅く、林床へ移行する放射性セシウムの影響を受けて空間線量率の低下速度が遅くなったと考えられた。一方、スギ若齢林では、林床の空間線量率の低下速度は物理減衰よりも速いことが分かった。また、広葉樹混交林では、物理減衰速度と同程度であることがわかった。

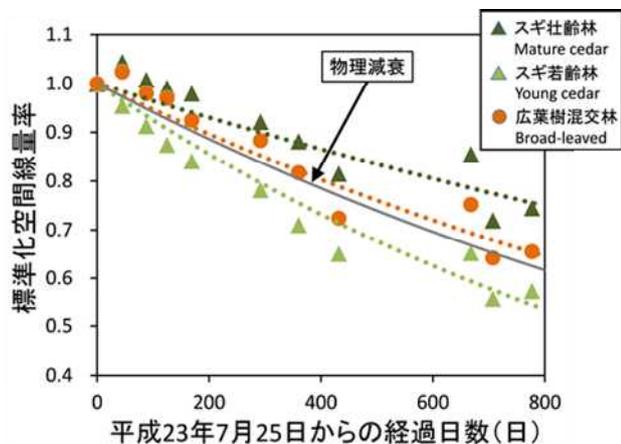


図 33 林床の空間線量率の経時変化

## 5. 森林管理と流域水・土砂流出統合モデル(全グループ)【研究項目5】

### (1) 研究のねらい

本研究項目では、本プロジェクトで得られた観測結果とそれに基づく各水文素過程のモデルを用いて、森林の密度管理による林内環境の変化に伴う水流出の変化を予測するための流出モデルを構築することを目的とした。さらに、既存のシステム収穫表 DDPS を改良して、水資源効率を最大化する森林管理シナリオと、そのときの土壌浸透水量の増加を予測する統合モデルを開発することを目的とした。

### (2) 研究実施方法

#### ① 分布型流出モデルによる流出量変化の予測

全サイトにおいて、観測期間中に本数で 50%程度 of 強度間伐を行った結果について、各水文素過程が間伐後にどのように変化するかを整理した。それぞれの水文素過程のうち、遮断蒸発散は簡易なパラメータを用いたモデルが開発され、そのパラメータとなった立木密度や樹高、林内相対照度などは、航空機 LiDAR 観測による森林計測技術によって推定が可能である。そこで、研究項目 4.2(3)で開発を進めた TOPOTUBE 地形解析に、林内相対照度をはじめとする水文素過程を決めるパラメータを重ねて統合し、分布型流出モデルの解析で必要となる基盤データの構築を試みた。これらのパラメータは LiDAR データによる広域的な情報が得られ、流域スケールの不均質性も反映される。本研究では、開発したこの流出モデルを用いて栃木サイトの流出量の推定を行い、実測値との比較によってモデルの精度を評価した。

#### ② システム収穫表 DDPS による施業シナリオと土壌浸透水量の予測(統合モデル)

システム収穫表 DDPS は、広域対応型のシステムであるため、個別の地域においては他のシステム収穫表等より予測精度が低くなる可能性がある。そのため、三重県新収穫表により DDPS のモデルパラメータの調整を行い、その予測精度を三重県内の間伐遅れ林の間伐前後データと 2007 年の再測データを用いて検証した。さらに、これに研究項目(2)で開発した各モデルを組み込み、森林施業による土壌浸透水量(樹冠部および林床面を通過して土壌へ浸透する雨水)の変化を予測する新たなシナリオ解析システムを作成した(図 34)。なお、土壌浸透水量は土壌表面の浸透能などによっても異なることが本研究成果からも解明されているが、ここでは、間伐後には林床植生が回復することで浸透能も十分に高いと仮定した。そのため、土壌浸透水量は、樹冠通過雨量から樹冠蒸散量と林床面蒸散量の損失を引いた、正味の水量である。これらの土壌浸透水が、土壌中の流出経路によっては岩盤地下水などを涵養する水量になると考えられる。ここでの統合モデルによる解析の予測期間は、人工林の成長による管理保育を実施し、かつ林内環境の変化が起こりうる 60 年とした。

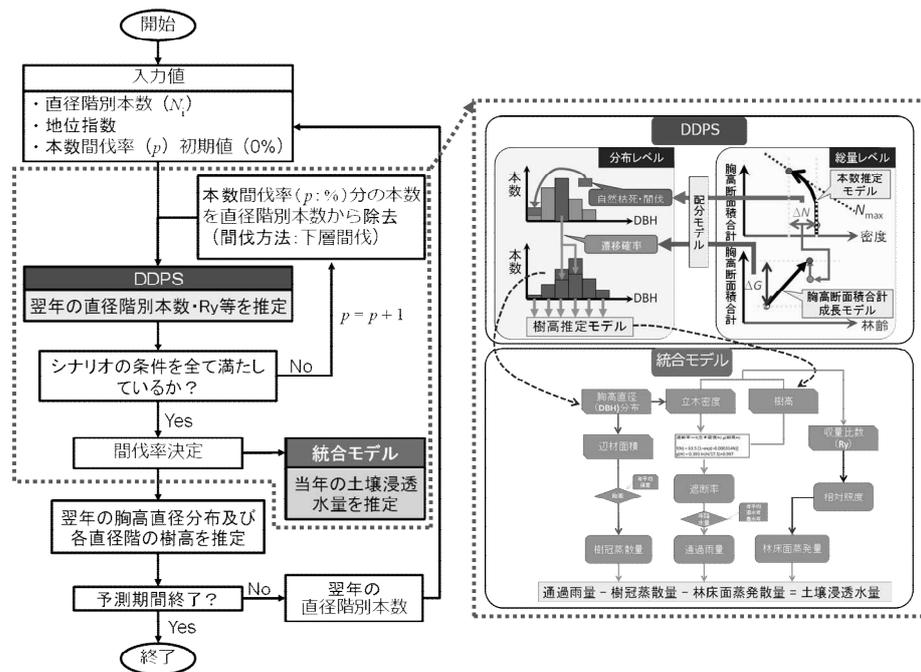


図 34 森林管理と水循環の統合モデルの概要

### (3) 研究成果

間伐などの森林管理が流域の水流出量に及ぼす個別のプロセスは図 35 のようになる。強度間伐による樹冠遮断率の低下、蒸発散量の変化、さらには林内通過雨量と林床植生量の増加による土壌水分量の増加や基岩浸透量の増加などが発生する。

このような間伐前後の水流出量に影響を及ぼす指標として重要となる林内相対照度の空間分布特性について、TOPOTUBE 上に示したところ、間伐前後を比較すると、全体的に観測流域内の相対照度が増加していることが明らかとなった(図 36)。とくに、斜面の河川から斜面中腹にかけての部分で相対照度が増加していた。

TOPOTUBE 地形解析で得られた個別要素に相対照度データを重ね合わせることで、分布型流出モデルの解析で必要となる基盤データを構築した。これらの空間情報について、開空度・立木密度・樹高についても同様の解析を行って空間分布図を作成した(図 37)。この結果、開空度については増加、立木密度については間伐後に減少し、樹高については大きな変化がないなどの傾向が認められた。とくに立木密度については、ヘクタールあたり 600 本程度の箇所が拡大していることが明瞭になり、間伐の効果による林分環境の変化が明瞭となった。

上記のような GIS ベースの入力情報に対して、流出モデルによる解析を行った。モデルの構造は以下のとおりである。モデルの基本的な概念は、①流域の降雨流出解析と予測を目的とし、②土壌内の水移動は飽和領域のみを考慮し、ダルシー則で近似できるものとした。また、③土壌特性は深さ方向に 2 層で近似できる構造を持つものとした。ここでは、斜面の表土および土壌の特性は空間的な分布を取り扱うものであり、また降雨イベントごとに計算を行う短期水流出を対象とするものとした。

本研究では短期水流出を対象とするため、既往研究の水収支調節方法にならない入力降雨量に流出係数を乗じた。これによ

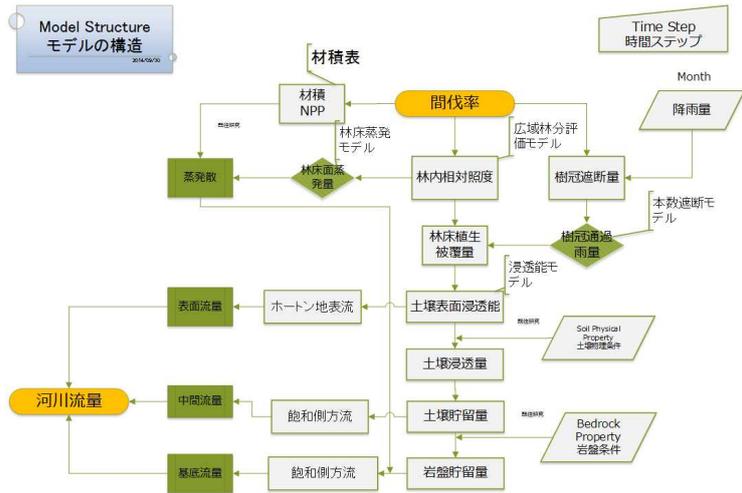


図 35 森林管理による水流出量変化のフロー

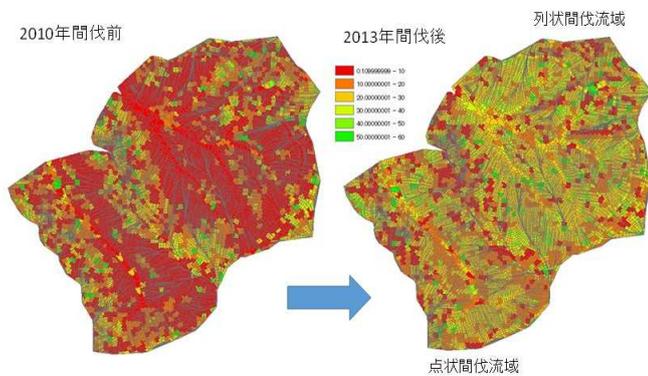


図 36 TOPOTUBE 上に再現された林内相対照度の変化

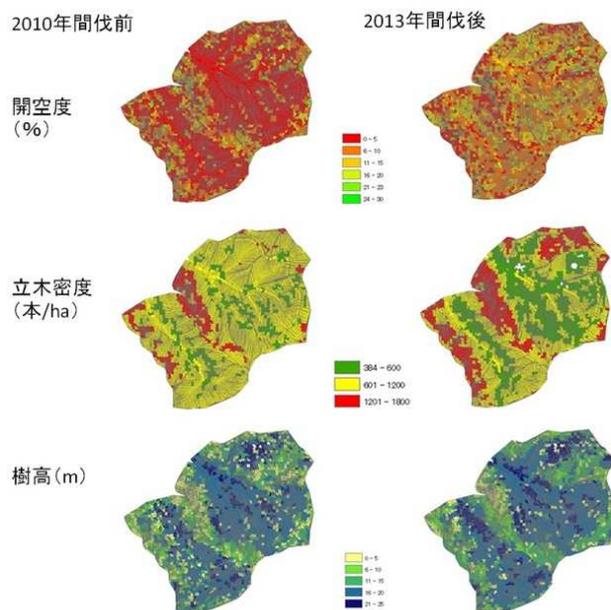


図 37 TOPOTUBE 解析による栃木サイトにおける間伐前後の開空度、立木密度、樹高の変化

り、流域の総流出量は実測値と同様の値が得られる。降雨量と直接流出の関係から算出し、モデル入力値の時間ステップ( $\Delta t$ )ごとに降雨の損失量を計算することで水収支を調節した。このような総降雨量の損失分は樹冠遮断の変化と、それともなう土壤中の貯留や岩盤層への深部浸透などによるものとした。

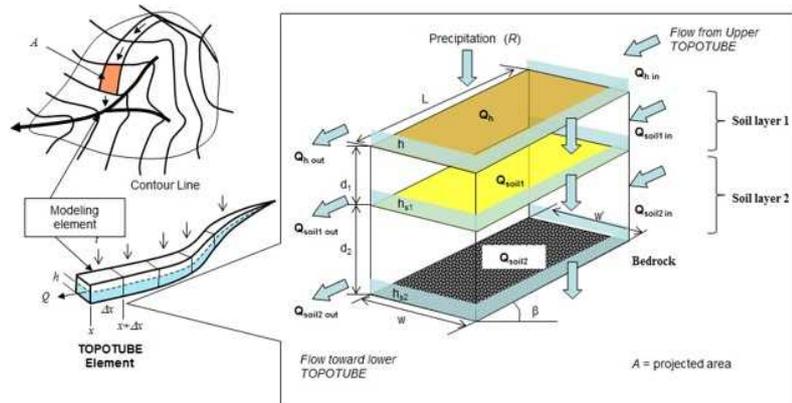


図 38 分布型流出モデルの概要図

分布型流出モデルでは地表流、飽和地下水流、飽和地表流について、モデル化した。土壌層は、土壌の深層部と浅層部の 2 層に分割し、その下には岩盤層を仮定した(図 38)。本研究では、岩盤面は地表面と平行である。すなわち土壌層厚は一定と仮定した。また、本研究は降雨イベント中の流出のみを対象とするため岩盤内への深部浸透は無視した。流路/非流路、土壌水分量などの条件について各時間ステップで処理することによって、地表流量および土壌中の飽和地中流量を計算した。

各 TOPOTUBE エLEMENTの土壌表面には、浸透能およびマンニングの粗度係数が与えられる。土壌層序には、鉛直方向の飽和透水係数と斜面下部方向への飽和透水係数を与え、それぞれ深部斜面への水移動量を制御している。また、各土壌層にはそれぞれ、土壌空隙率と初期土壌含水率のパラメータが存在する。水流出を計算する上で必要となる地形情報は TOPOTUBE 作成時に得られ、各 TOPOTUBE エLEMENTの面積、TOPOTUBE エLEMENTの上端部と下端部の幅、斜面長、斜面勾配が流出計算に用いられる。

各 TOPOTUBE エLEMENTには、固有のパラメータを与えることができる。そのため、パラメータの空間分布による降雨流出過程への影響を考慮することができる。本モデルは、山地森林流域を対象としており、このような流域スケールでは、水流出プロセスにおける流路の影響は斜面での影響に比べて無視し得ると考えられることから、流路内の流出の遅れなどを考慮する洪水追跡の計算は行わなかった。

地表流の水高( $h$ )を算出するための浸透能については、散水試験の結果を用いた。ここで浸透強度( $f$ )は降雨強度( $i$ )と安定浸透強度(十分に降雨強度が大きい場合の浸透能: $FIR_{max}$ )について以下の関係式[1]が成り立つことから、降雨強度によって浸透能が決定される関係式をモデルに組み込んだ。

$$f(i) = FIR_{max} \cdot \tanh\left(\frac{i}{FIR_{max}}\right) \quad [1]$$

地表面に与えられた降雨強度が浸透強度を上回るとき Horton 地表流が発生する。地表流の移動については斜面微地形などを考慮すると大変複雑なプロセスであるが、ここでは浸透しない雨水による流高( $h$ )や斜面粗度( $\alpha$ )などを用いた斜面下方向への水移動量( $Q_h$ )で表した。

$$Q_h = \alpha h^m \quad [2]$$

ここで、 $m$  は地表流の流出形態の係数で、シート流の場合に対して一般的に用いられる 5/3 とした。 $\alpha$  は土壌表面粗度で、マンニング粗度係数( $n$ )と斜面勾配( $\beta$ )、TOPOTUBE エLEMENTの下端の幅( $w$ )により

$$\alpha = n^{-1} w^{-2/3} \tan \beta^{1/2} \quad [3]$$

と計算される。

上記の式の流量計算から各 TOPOTUBE エLEMENTの土壌表面を流下する Horton 地表流を計算する。地表面の水深  $h$  は、各 TOPOTUBE エLEMENTにおける水収支の結果求まる貯留量を面

積で割ることで求めた。ここで、任意の TOPOTUBE エレメント  $j$  における任意の時間  $i$  の土壤表面における地表流としての貯留量 ( $S_{hi}$ ) について、TOPOTUBE エレメント上部からの流入量と下部からの側方方向の地表流の流出量の差  $Q_i$ 、当該時間の降雨強度を  $R_i$ 、当該 TOPOTUBE エレメントの浸透強度を  $I_j$ 、TOPOTUBE エレメントの投影面積を  $A_j$  とした場合、以下の式が成り立つ。

$$\frac{dS_{hi,j}}{dt} = -\frac{dQ_{i,j}}{dt} + (R_i - I_{i,j})A_j \quad [4]$$

$Q_i$  は 1 タイムステップ前 ( $i-1$ ) に算出された上部 TOPOTUBE エレメント ( $j-1$ ) からの地表流流入量 ( $Q_{i-1,j-1}$ ) と当該時間 ( $t$ ) におけるエレメント下部からの流出量 ( $Q_{i-1,j}$ ) の差である。ここで、斜面上部の TOPOTUBE エレメントからの地表流を足し合わせても、 $S_{hi,j}$  が負の値となる場合、流下してきた地表流量はその場ですべて浸透したとみなすことができる。

土壤中の水流出は土壤上層と下層で異なるパラメータを設定し、飽和地下水流出を計算した。飽和地下水流の流積 ( $h_s$ ) は、土壤中に浸透した雨水の水高を  $H$  とすると、

$$h_s = \gamma H \quad [5]$$

で説明される。本研究では、不飽和土壤中の水の動きは考慮せず、土壤中に浸透した雨水は直ちに、土壤上層の下端面に到達することになる。ここで  $\gamma$  は土壤の有効空隙率を示す。ここでの流積は単位面積当たりの土壤中の貯留量を示す。さらに、土壤流の流量 ( $Q_{soil}$ ) は土壤中の平均流速を ( $v$ ) とすると、ダルシー則から、

$$Q_{soil} = \gamma H v = \gamma H \cdot k \sin \theta \quad [6]$$

と表される。地表流と同様に、TOPOTUBE を用いた水流出については、斜面上部から下部方向への水移動で説明することができる。 $k$  は飽和透水係数、 $\theta$  は動水勾配である。ここでは、動水勾配は斜面勾配と同じとした。

上記式[6]の流量計算をもとに任意の TOPOTUBE エレメント  $j$  における任意の時間  $i$  の土壤中の貯留量  $S_{i,j}$  に対して以下の式が成り立つ。

$$\frac{dS_{i,j}}{dt} = -\frac{dQ_{soil,i,j}}{dt} + q_{t,i-1} - q_{u,i} \quad [7]$$

ここでは、土壤鉛直方向のフラックスとして表面から土壤中への浸透量を  $q_t$ 、土壤下層への流量  $q_u$  としている。土壤上層から下層への浸透量は、上層土壤の水位  $H$  と上層と下層土壤の境界面における浸透係数 ( $K$ ) を用いてダルシー則によって求めた。また、 $Q_{soil}$  は、TOPOTUBE エレメントの上部からの流入量を  $Q_i$  と下部からの流出量を  $Q_o$  の差として算出される斜面上部から下部方向(斜面横方向)のフラックスとした。

土壤深を超えた水位が計算された場合には、飽和地表流が発生することとなるが、飽和地表流として算出される水位については、地表流として式[2]にフィードバックされて計算される。土壤深部における貯留量についても、式[7]と同様な計算を行う。ただし、土壤深部では、 $q_u$  が土層上部からの水移動となり、岩盤への深部浸透を  $q_{bed}$  としている。本モデルは岩盤への深部浸透を計算できるが、本研究では岩盤への浸透を考慮せずに計算をおこなった。

流出解析の結果の出力は、流域内の任意の点および任意の時間における全流出量、ホートン型地表流量を出力することができる。また、任意の時間のすべての TOPOTUBE エレメントにおける、地表流の発生箇所および地表流発生量、飽和地表流の発生箇所などを出力することができる。

栃木サイトの間伐前のある降雨イベントについて流出解析を行った結果、その計算値は観測値と比べて概ね良好な整合性を得ることができた(図 39)。とくに、ピーク流出の応答や減速においては観測値と同様な値を示していることから、本流出モデルは、水文プロセスの再現性も良いと判断できた。同じ降雨イベントについて、間伐後の樹冠遮断量の変化を考慮して解析を行った結果、

間伐後の流出量波形については、ピーク流出量には大きな変化は見られないものの、流出逡減の流量が多くなる傾向がみられた(図 39)。これは、間伐による樹冠遮断量の減少による土壌中の貯留量が増加することで、ゆっくりと流出する成分が多くなったと考えられた。今後、これらの解析を複数の降雨イベントで解析することや、入れ子状流域における解析結果に当てはめることにより、間伐による流出量の変化を評価することができると考えられた。

②システム収穫表 DDPS による施業シナリオと土壌浸透水量の予測(統合モデル)

三重県新収穫表により DDPS のモデルパラメータの調整を行い、その予測精度を三重県内の間伐遅れ林の間伐前後データと 2007 年の再測データを用いて検証した。その結果、図 40 に示すように、モデルパラメータを調整した DDPS はスギ・ヒノキともに高い精度で三重県新収穫表の値を再現していた。また間伐遅れ林の成長予測においても調整前パラメータ(旧パラメータ)と比べて改善されていた(図 41)。このことから、シナリオ解析における基礎モデルとしてモデルパラメータを調整した DDPS を利用した。

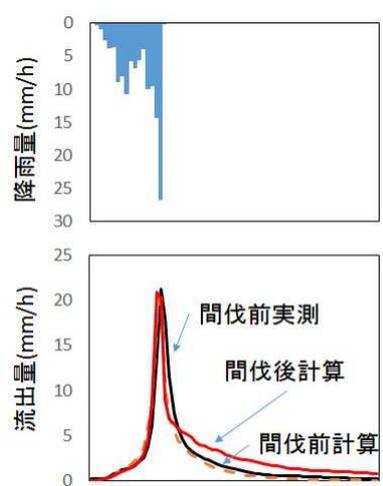


図 39 モデルによる流出解析の結果

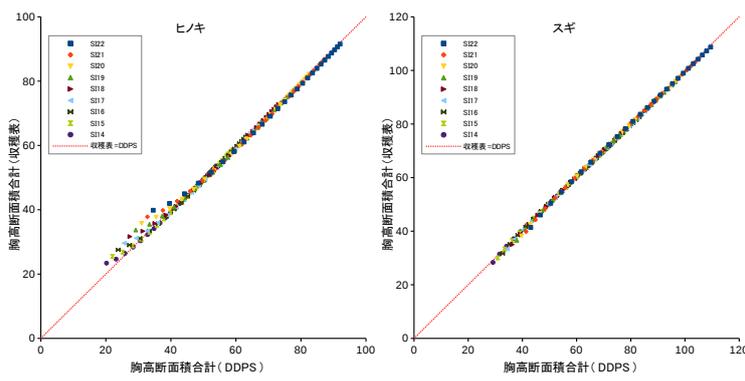


図 40 DDPS のモデルパラメータ調整後結果(三重県新収穫表との比較)

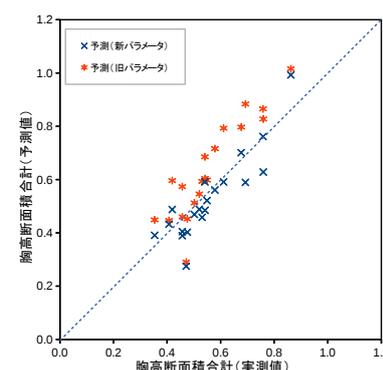


図 41 間伐遅れ林の間伐後の成長予測結果(新旧パラメータ間の比較)

本プロジェクトおよび過去の知見などから、水利用効率を最大化させる森林管理方法として、表面流や土砂流出が生じず、かつ林床面蒸発散量が高くなりすぎないように下層植生を保つことが有効であることがあきらかにされた。これは、収量比数  $R_y$  で 0.6~0.7(相対照度 10~20%程度)に相当する。

そこで、これを維持する森林管理シナリオ(表 3)について DDPS による解析を行った。なお、シナリオ解析では、三重県津市内の保安林改良・保育事業実施林分(H13~H18

表 3 解析で設定したシナリオ

シナリオ	初期値		制約条件 <sup>※1)</sup>	
	収量比数( $R_y$ )	地位指数(m)	上限 $R_y$	下限 $R_y$
I	0.9	18.0 <sup>※2)</sup>	0.8	0.7
II			0.8	0.6
III			0.7	0.6
IV	0.7		0.8	0.7
V			0.8	0.6
VI			0.7	0.6

※1) 翌年の  $R_y$  が上限  $R_y$  を超える場合、当年に下限  $R_y$  まで間伐(下層間伐)を行う  
 ※2) 三重県スギ人工林地位指数表の中央値

年に間伐実施)における間伐実施前の標準地調査データから直径分布モデルを求め、三重県スギ人工林地位指数表と南関東・東海地方 スギ林分密度管理図(林野庁)をもとに、間伐遅れ林として  $R_y=0.9$ 、通常施業林として  $R_y=0.7$  を仮定して生成したモデル林分データを使用した。なお、年降水量(mm)・渇水年雨量(mm)・豊水年雨量(mm)として、それぞれ 2000mm、1700mm、2300mm を仮した。また、予測期間は 60 年とした。

各シナリオ (I ~ VI) における予測期間中の立木密度(本/ha)・相対照度(%)・蓄積( $m^3/ha$ )および土壌浸透水量(mm/年)の推移を図 42 に示す。

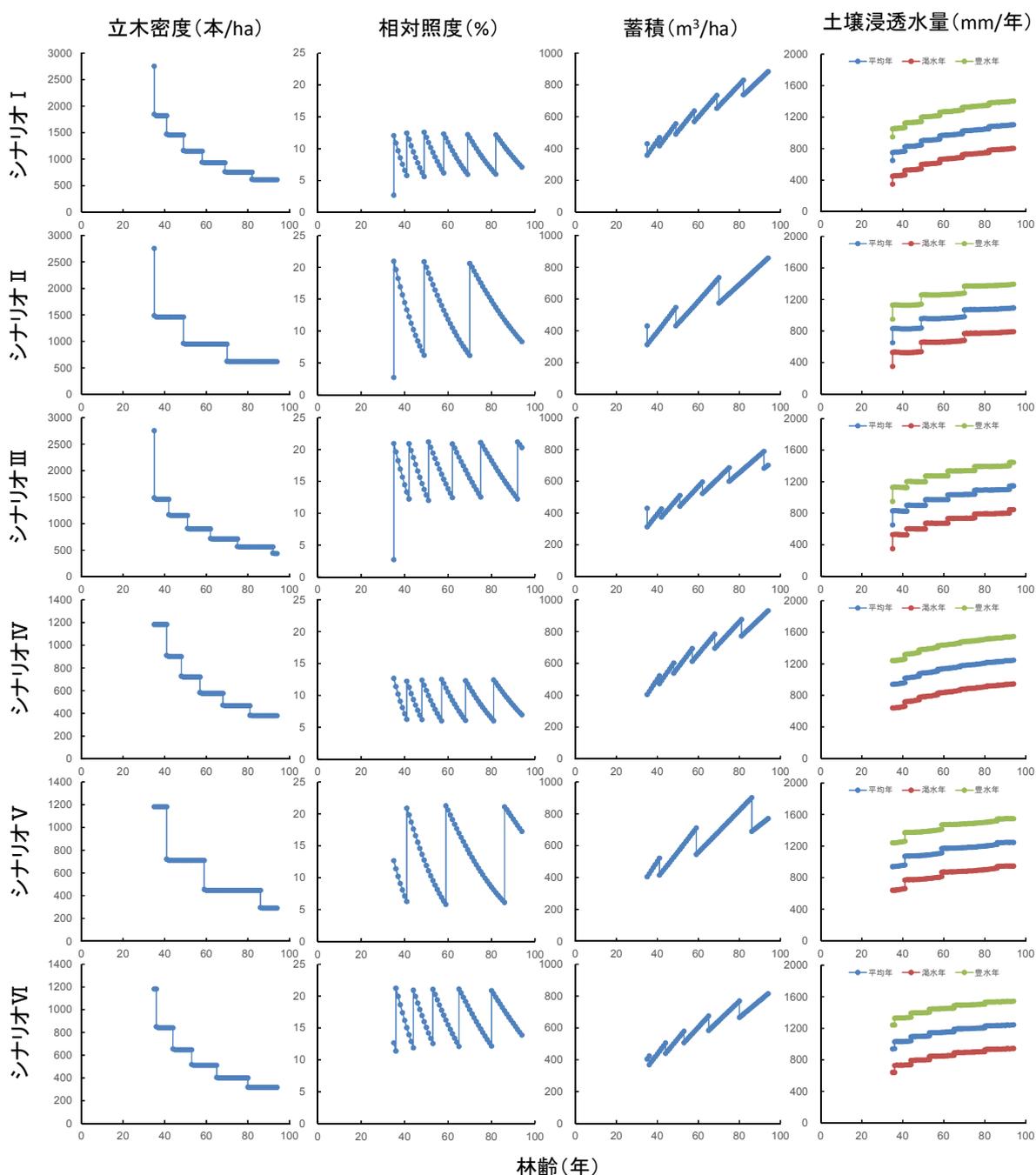


図 42 各シナリオの立木密度・相対照度・蓄積・土壌浸透水量の推移(推定期間 60 年)

間伐遅れ林を仮定したシナリオ I ~ III における予測期間中の間伐回数はシナリオ I 及び III が

6回、シナリオⅡが3回と、維持する  $R_y$  の幅(上限  $R_y$  と下限  $R_y$  の差)とともに増加した。これは、通常施業林を仮定したシナリオⅣ～Ⅵにおいても同様で、シナリオⅣ及びⅥでは5回、シナリオⅤでは3回であった。各回の間伐において、初回の間伐率では、シナリオⅠでは本数間伐率 33% (材積間伐率 16.75%)であったが、シナリオⅡ・Ⅲでは本数間伐率 46%(材積間伐率 27.08%)と5割近くの本数を間伐する必要があった。また、通常施業林を仮定したシナリオⅤにおいても、初回の間伐率は 39%(材積間伐率 20.4%)となり、比較的強度の間伐が必要であった。さらに、間伐間隔(前回の間伐までの経過年数)においては、いずれのシナリオにおいても間伐回数とともに間伐間隔は長くなったが、維持する  $R_y$  の幅が 0.1 であるシナリオⅠでは第4回間伐まで、シナリオⅢ・Ⅳ・Ⅵでは第3回間伐まで間伐間隔は 10 年を下回っており、比較的短い間隔での間伐を繰り返す必要があった。これに対し、維持する  $R_y$  の幅が 0.2 であるシナリオⅡ及びⅤでは、第2回間伐において初回間伐から既にそれぞれ 14 年及び 18 年経過しており、初回間伐以降比較的長期の間伐間隔となった。

次に、蓄積変化を見てみると、予測期間内の最大蓄積を比較すると、間伐遅れ林・通常施業林を仮定したシナリオにおいても、上・下限  $R_y$  とも高いシナリオⅠ・Ⅳがそれぞれ最も大きく、次いで上限  $R_y$  の高いシナリオⅡ・Ⅴが続き、上・下限  $R_y$  とも低いシナリオⅢ・Ⅳがそれぞれ最も小さかった。また、間伐遅れ林・通常施業林間では、同じ上・下限  $R_y$  の制約条件下では、通常施業林の方が最大蓄積は大きかった。

最後に土壌浸透水量(mm/年)については、いずれのシナリオにおいても間伐直後に急激に増加したが、その後次回の間伐まで大きな変化はなかった。また、間伐遅れ林・通常施業林を仮定したシナリオにおいても、予測期間中の土壌浸透水量(mm/年)の合計は、上・下限  $R_y$  とも低いシナリオⅢ・Ⅵがそれぞれ最も大きく、次いで下限  $R_y$  の低いシナリオⅡ・Ⅴが続き、上・下限  $R_y$  とも高いシナリオⅠ・Ⅳがそれぞれ最も小さかった。一方、間伐遅れ林・通常施業林間では、予測期間中の土壌浸透水量の合計は通常施業林の方が大きかったが、予測開始時点からの土壌浸透水量の増加量(予測年土壌浸透水量 - 予測開始年土壌浸透水量)の合計では間伐遅れ林の方が大きく、土壌浸透水量への効果という点で考えれば通常施業林での間伐よりも間伐遅れ林での間伐がより大きな効果が得られる可能性が考えられた。

## 6. 研究総括と水供給を増加させる技術の開発【研究項目6】

### (1) 研究のねらい

本プロジェクトを通じて、本数率で 50%の強度間伐を行うことで、多くの流域で水資源に対する効果、すなわち渇水流量の増加や水供給の安定化などが、少なくとも間伐後初期 1-2 年の間は実現することが実証された。さらに、この効果を維持する森林管理シナリオ(林内相対照度 10-20% = 収量比数 0.6-0.7 の密度管理)の提案や、間伐後の土壌浸透水量や流出量を予測する統合モデルの開発がなされた。この水供給を増加させる森林管理技術を広く普及し、実用化していくためには、制度や費用などの社会的・経済的な評価が必要である。そこで、本研究項目では、間伐経費と河川流量増加がもたらす利水便益を算定し、その実現可能性について検討することを目的とした。

### (2) 研究実施方法

#### ① 間伐経費の算出

近年では、木材価格の低迷のために、ほとんどが何らかの形で補助を受けて間伐を実施している。そこで、まず、現行の間伐補助事業の制度で、本プロジェクトが提案する強度間伐が補助対象となるか確認した。また、三重県造林事業標準単価表を用いて、樹齢 40-70 年までの 30 年間を対象としたときのおおまかな間伐経費を算出した。

#### ② 河川流量増加がもたらす利水便益の経済評価

利水便益の経済評価には、身替りダム建設費を用いる方法と渇水被害軽減額を用いる方法の2通りのやり方で利水便益を算出した。身替りダムとしては 1950 年以降に完成した全国の上水道専

用ダムを対象とし、離島のものや開発水量が極端に少ないものなどを除外して、平均的な開発水量と事業費の関係性を求めた。渇水被害額については給水制限実施時に必要となる家庭の費用（日用品の購入、節水行動の時間価値）と産業の生産額減少量を計算した。計算に用いる各種パラメータは、水道事業評価に用いられている値を基準に定めた。給水制限が開始される流量として10分の1確率の渇水流量をとる。過去30年間の河川流況資料を用いてこれを算出した。対象都市は人口20万人程度の中規模都市とし、付近を流れる河川の流況データが確実に入手できることを条件に全国の各地方から9都市を選んだ。現状より流量が増加した場合について各都市の給水制限発生日数を給水制限率ごとに求め、渇水被害額を計算する。両者の差が被害軽減額であり、評価値となる。なお、いずれの場合も生態系への影響は評価に含めないこととした。

### (3) 研究成果

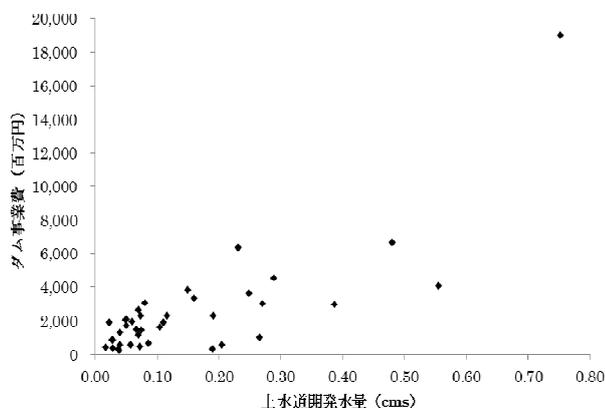
#### ① 間伐経費の算出

間伐等森林管理の実行を対象としている国の森林政策(補助事業)としては、まず、森林環境保全事業があげられ、このうち、一般的な人工林対策の事業は、森林環境保全直接支援事業が行っている。この適用を受けようとする森林所有者は、2011年に改正された森林法において措置された森林経営計画を立案し、認定を受けていることが前提となっているものの、森林経営計画を立てた森林では、間伐率の上限は材積35%と決められていることが確認された。この上限は、本プロジェクトの間伐率でも十分に適用範囲内である。そこで、三重県造林事業標準単価表を用いて、対象樹種をヒノキ(地位中、初期の収量比数0.9)として、樹齢40-70年までの30年間計4回(間伐間隔10年)の間伐を実施したときのおおまかな間伐経費を計算した。期首間伐制約を収量比数0.6とすると、4回の合計の間伐経費は1haあたり約100万円と算出された。実際には、これに最大50~68%の補助を受けることが可能である。また、これは造林事業の場合であり、森林の多面的機能(水源かん養、土砂流出防備、土砂崩壊防備等)を持つ「保安林」として認められ、目的とする機能の発揮が重要な森林と判断されれば、所有形態(国有林、民有林等)等に関係無く区域指定され、その機能維持や低下した機能回復のための対策等が治山事業として全額公費により行われている。本プロジェクトが提案する森林管理技術は、管理放棄された荒廃人工林の水源かん養機能や土砂流出防備に有効であることから、治水事業としての認定も期待される。

#### ② 利水便益に対する経済評価

##### i) 身替りダムの事業費

森林管理と同等の流量増加効果をもたらす身替りダムを想定し、その建設費を開発流量1m<sup>3</sup>/sおよび流出量1mm/dayあたりに換算して評価額単価を求めた。計算対象を単目的の上水道専用ダムに限定し、解析に適したダム39基について、総事業費と上水道開発水量を比較した。事業費は年により異なるので建設工事費デフレーターを用いて2005年度価格に揃えた。開発水量と事業費の関係から線形近似すると、流量1m<sup>3</sup>/sあたりの事業費は約160億円(80年)と計算された(図43)。開発水量を各ダムの集水面積で割り、流出量あたりの事業費を算出すると、大きな値を示すダムがいくつかあるものの、全体の85%は流出量1mm/dayあたりにして20億円以下に収まった。これを農業専用ダム208基について同様の計算を行ったところ、平均値は7.9億円であった。利水ダムの実質的な耐用年数は定かになっていないが、法定耐用年数の80年を採用し、単純に80で割ると流出量1mm/dayの増加に対して約1,000万円/年の便益と算出された。



##### ii) 渇水被害軽減額

渇水被害軽減額を用いる方法では、図43日本の上水道専用ダムにおける開発水量とダム事業費

流量増加の恩恵を受ける場所の特徴が計算結果に大きく影響する。人間社会側の特徴として人口と産業生産額、河川側の特徴として流況、両者の特徴として渇水実績(水需給の逼迫度)がある。森林管理によって渇水時の河川流量が増強されると、取水制限の実施回数が減り、取水制限時にも給水制限率を低く抑えることが可能になる。ここでは、給水制限時に強いられる渇水被害額を推算し、流量増強時にこの支出がどれだけ減らせるかをもって森林管理の評価額とした。

流量  $1\text{m}^3/\text{s}$  当たりの被害軽減額は 4 億円から 805 億円まで大きくばらついた。中央値は 34 億円である(表 4)。このように対象都市によって大きくばらつくのは、渇水の発生パターンが異なるためである。被害額が大きいほど被害軽減額は大きく流量当たり軽減額も大きい結果となっているのは、各河川の流況に基づいた給水制限率の分布に強く依存している。八戸市と加古川市に対応する馬淵川と加古川では高い給水制限率が多く発生しており、渇水時に河川流量がほとんど枯渇することを意味している。久慈川、関川、千代川では低い給水制限率も高い給水制限率もまんべんなく発生している。一方、十勝川、狩野川、吉野川、嘉瀬川では低い給水制限率に日数が集中し、制限率が高くなるほど日数は減る。これは流況が比較的安定した川を表しており、流域面積が大きい地点や降水量が豊富な地点にみられやすい型である。すなわち、間伐対象が位置する流域の河川状況によって便益の大きさは左右される。

表 4 対象 9 都市における渇水被害額(流量増加がない場合)と渇水被害軽減額の計算値

対象都市	人口(千人)	河川名	渇水被害額(億円)	渇水被害軽減額(百万円)	流量最大増加量( $\text{m}^3/\text{s}$ )	流量あたり軽減額(億円/ $\text{m}^3/\text{s}$ )
帯広	169	十勝川	446	362	1.01	4
八戸	234	馬淵川	16,501	70,440	0.87	805
日立	188	久慈川	3,726	17,116	1.72	99
上越	199	関川	3,860	14,646	1.87	78
沼津	196	狩野川	406	183	0.46	4
加古川	268	加古川	38,324	26,896	0.48	564
鳥取	194	千代川	2,140	5,205	1.52	34
徳島	263	吉野川	383	525	0.72	7
佐賀	236	嘉瀬川	951	1,306	0.44	30

### iii) 間伐経費との比較

身替りダムの事業費からは流量  $1\text{m}^3/\text{s}$  当たり約 200 億円(/80 年)または流出量  $1\text{mm}/\text{day}$  当たり約 1,000 万円(/年)、渇水被害軽減額からは流量  $1\text{m}^3/\text{s}$  当たり 34 億円(/30 年)という推算値が得られた。次に、統合モデルから得られた森林管理による土壌浸透水量の増加がもたらす経済効果を検討した。過密人工林の間伐シナリオ I ~ III では流出量増加量はそれぞれ 455、443、495 ( $\text{mm}/\text{y}$ )と見積もられた。同様に通常管理人工林の間伐シナリオ IV ~ VI では 306、306、305 ( $\text{mm}/\text{y}$ )であった。これらは 35 年生時と 94 年生時の流量を比較したもので、最初の間伐直後からこの値の効果が発現するわけではなく、徐々に増加量が増していく。

これに対して間伐無しを仮定した場合、35 年生時の収量比数( $R_y$ )を 0.9 としたシナリオ I ~ III に対応する計算では 5 年後(40 年生時)に収量比数が 1.0 に達し、この 5 年間で流出量は 61 ( $\text{mm}/\text{y}$ )だけ減少する。この後も管理を行わないと収量比数は 1.0 のまま保たれ流出量はこれ以上変化しないため、シナリオ I ~ III の流出量増強効果は先ほどの値に 61 ( $\text{mm}/\text{y}$ )を加えたものとなる。35 年生時の収量比数( $R_y$ )を 0.7 としたシナリオ IV ~ VI に対応する計算では 19 年後(54 年生時)に収量比数が 1.0 に達するが、このときの流出量は当初(35 年生時)に比べ 22 ( $\text{mm}/\text{y}$ )増えている。そのため、シナリオ IV ~ VI の流出量増強効果は先ほどの値から 22 ( $\text{mm}/\text{y}$ )を引いたものと評価される。これらの値を身替りダムの流出量当たり単価にあてはめると、シナリオ I ~ III はそれぞれ 1414、1380、1524(万円/年)、シナリオ IV ~ VI はいずれも 780(万円/年)の効果があるということになる。

渇水被害軽減額の流量当たり単価にあてはめるには間伐面積を設定する必要がある。仮に

1km<sup>2</sup>の間伐を実施したならシナリオ I では0.016m<sup>3</sup>/sの流量増加がもたらされることになり、単純に先ほどの単価を掛けると60年間で1.11億円となる。先述したように効果は徐々に発現していくから、総便益はこの半分とみるのが妥当であろう。するとシナリオ I～IIIの効果はそれぞれ0.56、0.54、0.60(億円/60年)、シナリオIV～VIはいずれも0.31(億円/60年)と計算される。

これに対して間伐費用は、シナリオ I～IIIは約1.50(億円/60年)、シナリオIV～VIは約1.10(億円/60年)と概算される。便益と費用の比(B/C)をとるとシナリオ I～IIIは0.36～0.40、シナリオIV～VIは0.28となる。通常管理人工林に比べて過密人工林の間伐は費用対効果が高いといえるが、便益値が単独で費用を上回るものではない。しかし森林の持つ他の機能を全く考慮に入れずにこれらの値が算出されたことからすると、間伐が総合的に正味の便益をもたらす可能性は高いとみられる。高い効果をもたらす流域とそうでない流域は明確に区別されることが予想される。とくに今回の試算で除外されている要因である人口密集地域や水需給逼迫度の高い地域では間伐による漏水軽減効果はさらに高い。また、補助金は水資源以外の多面的機能をカバーすることが可能であり、ここで示した間伐費用も現行の制度のもとで最大50～68%の補助率を期待できる。河川生態系の改善効果が認められれば、河川環境税のような形で費用を補う可能性も開けるであろう。

### ③ 総括と今後の課題

以上の成果より、本プロジェクト「荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発」は、技術的にはもちろん、制度や費用の面からも実現可能なものと評価できた。しかしながら、実際の森林施業へ強度間伐を組み込み、政策への反映を進めていくためには、確かなフィールド観測という科学的根拠に基づく間伐率や流量増加の効果を提示していくことが重要である。

しかしながら、本プロジェクトでは、比較的小さなスケールの流域における、間伐後1-2年までの変化しか観測できていない。そのため、より広域的かつ樹齢や林分が複合的な流域や、より長期的な変化に対する評価を行う必要がある。また、間伐のみならず、植栽から伐採までにかかる費用や木材の売り上げなどを含めた森林経営全体の経費を考えるとともに、水源かん養などの環境改善や防災面を考慮した利水便益を算出し、評価していくことも重要である。また、この森林管理がより有効な地域や流域を抽出することは、実用化に向けた大きな課題である。本プロジェクトにおいても、林齢が高いほどその効果が現れにくい傾向や、開発されたモデルパラメータの1つであるBmax(基岩の最大地下水貯留能)などはその地域性(地質が持つ水文特性)を表す指標となる可能性が示されている。

今後は、行政や企業と実用化へ向けた共同研究を続け、これらの課題に取り組むとともに、日本各地で適用可能な国土管理技術として展開し、社会・生活全体への技術の還元を図っていく運びである。

## § 4. 成果発表等

### 1. 原著論文発表 (国内(和文)誌 29 件、国際(欧文)誌 68 件)

1. 著者、発行年、論文タイトル、掲載誌 巻、号、

<国内>

1. 篠原慶規, 久米朋宣, 市橋隆自, 小松光, 大槻恭一 (2014) モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響: 総合的理解に向けて. 日本森林学会誌, **96**:351-361.
2. 長塚結花・五味高志・平岡真合乃・宮田秀介・恩田裕一 (2014) 林道路面における浸透能と水流出特性, 日本森林学会誌, **96**:315-322.
3. 篠原慶規・大崎繁・井上一信・壁村勇二・山内康平・古賀信也・大槻恭一 (2014) アベマキ、ミズナラ混交林における遮断蒸発量の観測, 九州大学農学部演習林報告, **95**, 10-15.
4. 鶴田健二・野方麻里・篠原慶規・小松光・大槻恭一 (2014) 光学的手法を用いた葉面積指数の計測—スギ人工林における補正係数の算出—, 九州大学農学部演習林報告, **95**, 88-92.
5. 小松義隆, 恩田裕一, 小倉 晃 (2014) スギおよびアテ人工林における浸透能と林床被覆および透水係数の関係, 水文水資源学会誌, **27**(3), 125-134.
6. 佐野貴洋, 遠藤祐子, 井手淳一郎, 芳賀弘和 (2014) 中国山地中部の源流域河川における出水時の窒素濃度と流量の関係, 水工学論文集, **58**, 445-450.
7. 佐野貴洋, 遠藤祐子, 林文音, 芳賀弘和 (2014) 中国山地中部の源流域河川における融雪期の栄養塩濃度の特徴—1年間を通じた週に1度の採水に基づく無雪期と融雪期の比較—, 水環境学会誌. **37**(4), 119-128.
8. 恩田裕一 (2013) 森林における放射性物質の影響と現状. 学術の動向, **18**(6), 72-77.
9. 恩田裕一, 加藤弘亮 (2013) 山林域の放射能汚染の実態と回復過程, 水環境学会誌, **36A**(3), 84-86.
10. 加藤弘亮, 恩田裕一, 河守歩, 久留景吾 (2013) 森林樹冠から林床への放射性セシウム移行量の時間変化, 第14回「環境放射能」研究会プロシーディングス, 294-299.
11. 渡邊祐介, 五味高志, 布川雅典, 境優 (2013) スギ・ヒノキ人工林溪流における水生昆虫の生息状況: 東京農工大フィールドミュージアム唐沢山における事例, フィールドサイエンス, **11**, 31-40.
12. 久留景吾, 恩田裕一, 河守歩, 加藤弘亮 (2013) 落葉広葉樹—アカマツ混交林およびスギ人工林における落葉に伴う放射性セシウムの移行, 日本森林学会誌 **95**, 267-279.
13. 五名美江, 蔵治光一郎 (2013) 過去の年降水量トレンドの年数依存性と地域代表性との相互関係 —名古屋とその周辺地域を事例として—, 水文・水資源学会誌, **26**(4), 212-216.
14. 小杉賢一朗, 藤本将光, 山川陽祐, 正岡直也, 糸数哲, 水山高久, 木下篤彦 (2013) 山体基岩内部の地下水位変動を解析するための実効雨量に基づく関数モデル, 砂防学会誌, **66**(4), 21-32.
15. 五味高志, 宮田秀介, Sidle Roy C., 小杉賢一朗, 恩田裕一, 平岡真合乃, 古市剛久 (2013) 分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林流域における地表流の発生と降雨流出解析, 日本森林学会誌, **95**, 23-31. (DOI:10.4005/jjfs.95.23)
16. 小松光, 篠原慶規, 大槻恭一 (2013) 管理放棄人工林は洪水を助長するか, 水利科学, **329**, 68-90.
17. 糸数哲, 小杉賢一朗, 恩田裕一, 蔵治光一郎, 田中延亮, 後藤太成, 太田岳史, 水山高久 (2013) 通常降雨イベントにより同定されたタンクモデルを用いた豪雨イベントの再現精度, 水文・水資源学会誌, **26**, 85-98.
18. 土肥和貴, 田中延亮, 蔵治光一郎 (2012) 過密ヒノキ人工林の間伐が樹冠遮断量に及ぼす影響の観測と解析, 中部森林研究, **60**, 133-136.
19. 真下和彦, 横田宏行, 岡山和生, 槇 朗, 平岡 透, 磯部裕介, 恩田裕一, 末次忠司 (2012) 航空レーザー測量データを用いた地形解析による内水浸水想定区域設定手法の開発. 地形, **33**, 281-295.
20. 鶴田健二・久米朋宣・小松光・大槻恭一 (2012) 福岡演習林におけるヒノキの辺材面積と葉面積. 九州大学農学部演習林報告, **93**, 12-16.

21. 山中 勤・恩田裕 (2012) 波長スキャンキャビティリングダウン分光法を用いた水同位体分析計の測定精度について, 筑波大学陸域環境研究センター報告, **12**, 31-40.
22. 小杉賢一朗, 木下篤彦, 藤本将光, 水山高久, 三道義己 (2012) 地形に依存した雨水流動追跡に基づく表層崩壊発生予測の問題点, 砂防学会誌, **65**, 27-38.
23. 井手淳一郎, 森也寸志, 大槻恭一 (2011) ヒノキ人工林を主体とする御手洗水試験流域における土壌の潜在的な撥水性について, 九州大学演習林報告, **92**, 8-12.
24. 藏本康平, 篠原慶規, 小松光, 井手淳一郎, 大槻恭一 (2011) モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) 林における降雨流出過程の解明に向けてー地表流とバイオマットフローの観測ー, 水文・水資源学会誌, **24**, 360-368.
25. 納富大介, 小松光, 井手淳一郎, 大槻恭一 (2011) 森林流域からの流出水における全窒素濃度の長期変動ー日本全国の 48 流域を対象としてー, 水利科学, **54**, 116-131.
26. 鶴田健二, 小松光, 篠原慶規, 久米朋宣, 市橋隆自, 大槻恭一 (2011) 樹液流計測に基づいたスギとヒノキの林分蒸散量算定のための辺材面積推定式, 水文・水資源学会誌, **24**, 261-270.
27. 平岡真合乃, 恩田裕一, 加藤弘亮, 水垣滋, 五味高志, 南光一樹 (2010) ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響, 日本森林学会誌, **92**, 145-150.
28. 南光一樹, 恩田裕一, 深田佳作, 野々田稔郎, 山本一清, 竹中千里, 平岡真合乃 (2010) 荒廃ヒノキ人工林の強度間伐が森林水涵養機能に与える経済効果の試算, 水文・水資源学会誌, **23**, 437-443.
29. 高崎 洋子, 竹中千里, 吉田 智弘 (2010) ヒノキ人工林において間伐施業が土壌動物の群集構成と個体数密度に与える影響-三重県度会郡大紀町における事例-, 日本森林学会誌, **92**, 167-170.

<国際>

1. Nanko, K., Onda, Y., Kato, H., Gomi, T. (2015) Immediate change in throughfall spatial distribution and canopy interception after heavy thinning in a dense mature Japanese cypress plantation. *Ecohydrology* (in press)
2. Sun, X., Onda, Y., Chiara, S., Kato, H., Gomi, T. (2015). The effect of strip thinning on spatial and temporal variability of throughfall in a Japanese cypress plantation. *Hydrological Processes*, in press (DOI: 10.1002/hyp.10425)
3. Yamamoto, K., Murase, Y., Etou, C., Shibuya, K. (2015) Estimation of relative illuminance within forests using small-footprint airborne LiDAR. *Journal of Forest Research*, in press (DOI: 10.1007/s10310-015-0484-3).
4. Komatsu, H., Shinohara, Y., Kumagai, T., Kume, T., Tsuruta, K., Xiang, Y., Ichihashi, R., Tateishi, M., Shimizu, T., Miyazawa, Y., Nogata, M., Laplace, S., Han, T., Chiu, C.W., Ogura, A., Saito, T., Otsuki, K., (2014) A model relating transpiration for Japanese cedar and cypress plantations with stand structure. *Forest Ecology and Management*, **334**, 301-312.
5. Komatsu, H., Kume, T., (2014) Changes in the sapwood area of Japanese cedar and cypress plantations after thinning. *Journal of Forest Research*, **20**, 43-51.
6. Chiwa M., Higashi N., Otsuki K., Kodama H., Miyajima T., Takeda K., Sakugawa H. (2014) Sources of hydroxyl radical in headwater streams from nitrogen-saturated forest. *Chemosphere*, accepted.
7. Ichihashi R., Komatsu H., Kume T., Onozawa Y., Shinohara Y., Tsuruta K., Otsuki K. (2014) Stand-scale transpiration of two Moso bamboo stands with different culm densities, *Ecohydrology*, online (DOI: 10.1002/eco.1515)
8. Sun, X., Onda, Y., Otsuki K., Kato, H., Hirata, A., Gomi, T. (2014) The effect of strip thinning on tree transpiration in a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, **197**, 123-135. (DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.06.011)

9. Loffredo, N., Onda, Y., Kawamori, A., Kato, H. (2014) Modeling of leachable <sup>137</sup>Cs in throughfall and stemflow for Japanese forest canopies after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Science of the Total Environment*, **493**, 701-707. (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.06.059)
10. Teramage, M.T., Onda, Y., Patin, J., Kato, H., Gomi, T., Nam, S. T. (2014) Vertical distribution of radiocesium in coniferous forest soil after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, **137**, 37-45. (DOI: 10.1016/j.jenvrad.2014.06.017)
11. Teramage, M. T., Onda, Y., Kato, H., Gomi, T. (2014) The role of litterfall in transferring Fukushima-derived radiocesium to a coniferous forest floor. *Science of Total Environment*, **490**, 435-439. (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.034)
12. Sun, X., Onda, Y., Kato, H., Otsuki, K., and Gomi, T. (2014) Partitioning of the total evapotranspiration in a Japanese cypress plantation during the growing season, *Ecohydrology*, **7**, 1042-1053. (DOI: 10.1002/eco.1428)
13. Chiwa M., Enoki T., Higashi N., Kumagai T., Otsuki K. (2013) The increased contribution of atmospheric nitrogen deposition to nitrogen cycling in a rural forested area of Kyushu, Japan, *Water, Air, and Soil Pollution*, **224**, 1763 (10.1007/s11270-013-1763-2)
14. Komatsu, H., Shinohara, Y., Nogata, M., Tsuruta, K., Otsuki, K., (2013) Changes in canopy transpiration due to thinning of a *Cryptomeria japonica* plantation, *Hydrological Research Letters*, **7**, 60-65. (DOI: org/10.3178/hrl.7.60).
15. Kato, H., Onda, Y. (2013) Temporal changes in the transfer of accidentally released <sup>137</sup>Cs from tree crown to the forest floor after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, *Progress in Nuclear Science and Technology*, **4**, 18-22.
16. Komatsu H, Kume T, Otsuki K. (2013) Sensitivity of annual runoff to interannual precipitation variations for forested catchments in Japan, *Hydrological Research Letters*, **7**, 42-47. (DOI: 10.3178/hrl.7.42)
17. T., Saito, H., Matsuda, M., Komatsu, Y., Xiang, A., Takahashi, Y., Shinohara, K., Otsuki. (2013) Forest canopy interception loss exceeds wet canopy evaporation in Japanese cypress (Hinoki) and Japanese cedar (Sugi) plantations, *Journal of Hydrology*, **507**, 287-299.(DOI:org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.053)
18. Kato, H., Onda, Y., Nanko, K., Gomi, T., Yamanaka, T., and Kawaguchi, S. (2013) Effect of canopy interception on spatial variability and isotopic composition of throughfall in Japanese cypress plantations, *Journal of Hydrology*, **504**(11), 1-11. (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.09.028)
19. Sun, X., Onda, Y., and Kato, H. (2013) Incident rainfall partitioning and canopy interception modeling for an abandoned Japanese cypress stand. *Journal of Forest Research*, 1-12. (DOI: 10.1007/s10310-013-0421-2)
20. Shinohara Y, Tsuruta K, Ogura A, Noto F, Komatsu H, Otsuki K, Maruyama T. (2013) Azimuthal and radial variations in sap flux density and effects on stand-scale transpiration estimates in a Japanese cedar forest, *Tree Physiology*, **33**, 550-558. (DOI:10.1093/treephys/tpt029)
21. Suryatmojo, H., M. Fujimoto, K. Kosugi, and T. Mizuyama (2013) Effects of selective logging methods on runoff characteristics in paired small headwater catchment, *Procedia Environmental Sciences*, **17**, 221-229.(DOI: 10.1016/j.proenv.2013.02.032, 2013.)
22. Guenther S M, Gomi T., Moore R.D. (2013) Stream and bed temperature variability in a coastal headwater catchment: influences of surface-subsurface interactions and partial-retention forest harvesting, *Hydrological Processes*, **28**, 1238-1249. (DOI: 10.1002/hyp.9673)
23. Chiu, C., Han, T., Wey, T., Kume, T., Otsuki, K. (2013) Seasonal variation of stand-scale transpiration estimates in *Cryptomeria japonica* forest in Taiwan. 9th International Workshop on Sap Flow, *Ghent Belgium*, 4-7 June 2013.

24. Shinohara Y, Komatsu H, Kuramoto K and Otsuki K. (2013) Characteristics of canopy interception loss in Moso bamboo forests of Japan. *Hydrological Processes*, **27**, 2041-2047.
25. Tesfaye,T., Onda,Y., Kato,H., Wakiyama,Y., Mizugaki,S. and Hiramatsu,S., (2013) The relationship of soil organic carbon to <sup>210</sup>Pbex and <sup>137</sup>Cs during surface soil erosion in a hillslope forested environment., *Geoderma*, **192**, 59-67. (DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.08.030)
26. Tanaka, K., Iwatani, H., Sakaguchi, A., Takahashi, Y. and Onda, Y.(2013) Local distribution of radioactivity in tree leaves contaminated by fallout of the radionuclides emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *J Radioanal Nucl Chem.*, **295**, 2007-1014. (DOI:10.1007/s10967-012-2192-1)
27. Kobayashi, S., Gomi, T., Sidle, R. C. and Negishi, J. N. (2013) Distribution of amphipods (*Gammarus nipponensis* Ueno) among mountain headwater streams with different legacies of debris flow occurrence, *Ecohydrology*, **6**, 117-124. (DOI: 10.1002/eco.1249)
28. Sakaguchi, A., Kadokura, A., Steier, P., Tanaka, K., Takahashi, Y., Chiga, H., Matsushima, A., Nakashima, S. and Onda, Y. (2012) Isotopic determination of U, Pu and Cs in environmental waters following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Geochemical Journal*, **46**, 355-360.
29. Qin, H., Yokoyama, Y., Fan, Q., Iwatani, H., Tanaka, K., Sakaguchi, A., Kanai, Y., Zhu, J., Onda, Y. and Takahashi, Y.(2012) Investigation of cesium adsorption on soil and sediment samples from Fukushima Prefecture by sequential extraction and EXAFS technique. *Geochemical Journal*, **46**, 297- 302
30. Cooper, J.R., Wainwright,J., Parsons,A.J., Onda,Y., Fukuwara,T., Obana, E., Kitchener,B., Long,E.J. and Hargrave,G.H. (2012) A New Approach for Simulating the Redistribution of Soil Particles by Water Erosion: a Marker-in-Cell Model., *J. Geophys. Res.*, **117**, 2003-2012. (DOI:10.1029/2012JF002499)
31. Chiwa, M., Onikura, N., Ide, J., and Kume, A.. (2012) Impact of N-Saturated Upland Forests on Downstream N Pollution in the Tataru River Basin, Japan, *Ecosystems*, **15**, 230-241, (DOI:10.1007/s10021-011-9505-z).
32. Cho, J., Oki, T., Yeh, P J F., Kim, W., Kanae, S. and Otsuki, K. (2012) On the relationship between the Bowen ratio and the near-surface air temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, **108**, 135-145. (DOI:10.1007/s00704-011-0520-y)
33. Dercon, G., Mabit, L., Hancock, G., Nguyen, M.L., Dornhofer, P., Bacchi, O.O.S., Benmansour, M., Bernard, C., Froehlich, W., Golosov, V.N., Hacıyakupoglu, S., Hai, P.S., Klik, A., Li, Y., Lobb, D.A., Onda, Y., Popam, N., Rafiq, M., Ritchie, J.C., Schuller, P., Shakhashiro, A., Wallbrink, P., Walling, D.E., Zapata F. and Zhang, X. (2012) Fallout radionuclide-based techniques for assessing the impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality: an overview of the main lessons learnt under an FAO/IAEA Coordinated Research Project, *Journal of Environmental Radioactivity*, **107**, 78-85. (DOI:10.1016/j.jenvrad.2012.01.008)
34. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S. and Sidle, R. C., (2012) Peak flow responses and recession flow characteristics after thinning of Japanese cypress forest in a headwater catchment, *Hydrological Research Letters*, **6**, 25-40.
35. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi, K. and Onda, Y. (2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest, *Journal of Hydrology*, **444-445**, 51-62. (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.03.040)
36. Guo, L., Chen, Y., Zhang, Z. and Fukushima, T. (2012) N: P stoichiometry in a forested runoff during storm events: Comparisons with regions and vegetation types, *The Scientific World Journal*, **2012**, 8 pages. (DOI: 10.1100/2012/257392)

37. Ide, J., Chiwa, M., Higashi, N., Maruno, R., Mori, Y., and Otsuki, K. (2012) Determining storm sampling requirements for improving precision of annual load estimates of nutrients from a small forested watershed, *Environmental Monitoring and Assessment*, **184**(8), 4747-4762.
38. Komatsu, H., Onozawa, Y., Kume, T., Tsuruta, K., Shinohara, Y. and Otsuki, K. (2012) Canopy conductance for a Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest in western Japan, *Agricultural and Forest Meteorology*, **156**, 111-120. (DOI:10.1016/j.agrformet.2012.01.004)
39. Komatsu, H., Cho, J., Matsumoto, K. and Otsuki, K. (2012) Simple modeling of the global variation in annual forest evapotranspiration, *Journal of Hydrology*, **420-421**, 380-390. (DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.12.030)
40. Kume, T., Otsuki, K., Du, S., Yamanaka, N., Wang, Y. L. and Liu, G. B., (2012) Spatial variation in sap flow velocity in semiarid region trees: its impact on stand-scale transpiration estimates, *Hydrological Processes*, **26**, 1161-1168. (DOI: 10.1002/hyp.8205)
41. Leach, J. A., Moore, R. D., Hinch, S. G. and Gomi, T. (2012) Estimation of forest harvesting-induced stream temperature changes and bioenergetic consequences for cutthroat trout in a coastal stream in British Columbia, Canada, *Aquatic Sciences* **74**, 427-441. (DOI: 10.1007/s00027-011-0238-z)
42. Xue, B. L., Komatsu, H., Kumagai, T., Kotani, A., Otsuki, K. and Ohta, T., (2012) Interannual variation of evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest. *Hydrological Processes*, **26**, 2360-2368. (DOI: 10.1002/hyp.9195)
43. Hiraoka, M. and Onda, Y., (2012) Factors affecting the infiltration capacity in bamboo groves, *Journal of Forest Research*, **17**, 403-412. (DOI 10.1007/s10310-011-0311-4)
44. Kato, H., Onda, Y. and Gomi, T. (2012) Interception of the Fukushima reactor accident-derived <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs and <sup>131</sup>I by coniferous forest canopies. *Geophysical Research Letters*, **39**. (DOI:10.1029/2012GL052928)
45. Kato, H., Onda, Y. and Tesfaye, T. (2012) Depth distribution of <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, and <sup>131</sup>I in soil profile after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*. **111**, 59-64. (doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.003)
46. Dung, B. X., Miyata, S. and Gomi, T. (2011) Effect of forest thinning on overland flow generation on hillslopes covered by Japanese cypress, *Ecohydrology*, **4**, 367-378. (DOI: 10.1002/eco.135).
47. Komatsu, H., Kume, T. and Otsuki, K. (2011) Increasing annual runoff-broadleaf or coniferous forests?, *Hydrological Processes*, **25**, 302-318. (DOI: 10.1002/hyp.7898)
48. Komatsu, H., Shinohara, Y., Kume, T. and Otsuki, K. (2011) Changes in peak flow with decreased forestry practices: analysis using watershed runoff data, *Journal of Environmental Management*, **92**, 1528-1536. (DOI:10.1016/j.jenvman.2011.01.010)
49. Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Kumagai, T. and Otsuki, K., (2011) Are measurements from excised leaves suitable for modeling diurnal patterns of gas exchange of intact leaves?, *Hydrological Processes*, **25**, 2924-2930. (DOI:10.1002/hyp.8107)
50. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A. and Moriwaki, H. (2011) Spatial variability of throughfall under a single tree: experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy, *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**, 1173-1182. (DOI:10.1016/j.agrformet.2011.04.006)
51. Yamamoto, K., Takahashi, T., Miyachi, Y., Kondo, N., Morita, S., Nakao, M., Shibayama, T., Takaichi, Y., Tsuzuku, M. and Murate, N. (2011) Estimation of mean tree height using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain model, *Journal of Forest Research*, **16**, 425-431. (DOI: 10.1007/s10310-010-0234-5)

52. Xue, B., Kumagai, T., Iida, S., Nakai, T., Matsumoto, K., Komatsu, H., Otsuki, K. and Ohta, T. (2011) Influences of canopy structure and physiological traits on flux partitioning between understory and overstory in an eastern Siberian boreal larch forest, *Ecological Modelling*, **222**, 1479-1490. (DOI:10.1016/j.ecolmodel.2011.01.021)
53. Chiwa, M., Maruno, R., Ide, J., Miyano, T., Higashi, N., Otsuki, K. (2010) The role of storm flow in reducing N retention in a suburban forested watershed, western Japan. *Journal of Geophysical Research –Biogeosciences*, **115**, G02004, 11. (DOI: 10.1029/2009JG000944)
54. Chiwa M., Onozawa Y. and Otsuki, K. : Hydrochemical characteristics of throughfall and stemflow in a Moso-bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest, *Hydrological Processes*, **24**, 2924-2933, September 2010
55. Fukushima, T., Kamiya, K., Onda, Y., Imai, A., Matsushige, K. (2010) Long-term changes in lake sediments and their influences on lake water quality in Japanese shallow lakes, *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, **177**, 177–188. (10.1127/1863-9135/2010/0177-0177)
56. Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N. (2010) Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides, *Hydrological Processes*, **24**(5), 596-607, doi: 10.1002/hyp.7554
57. Komatsu, H., Kume, T. and Otsuki, K. (2010) A simple model to estimate monthly forest evapotranspiration in Japan from monthly temperature, *Hydrological Processes*, **24**, 1896-1911.
58. Komatsu, H., Kume, T. and Otsuki, K. : Water resource management in Japan—forest management or dam reservoirs? *Journal of Environmental Management*, **91**(4), 814-823, March-April 2010
59. Komatsu, H., Kume, T., Shinohara, Y., Miyazawa, Y. and Otsuki, K. (2010) Did annual runoff and low flow decrease with reduced forestry practices in Japan?, *Hydrological Processes*, **24**, 2440-2451. (DOI:10.1002/hyp.7657)
60. Komatsu, H., Onozawa, Y., Kume, T., Tsuruta, K., Kumagai, T., Shinohara Y. and Otsuki, K. (2010) Stand-scale transpiration estimates in a Moso bamboo forest: (II) Comparison with coniferous forests, *Forest Ecology and Management*, **260**(8), 1295-1302.
61. Shinohara, Y., Kume, T., Komatsu, H. and Otsuki, K. (2010) Spatial and temporal variations in summer precipitation in Japanese mountain areas, *Hydrological Processes*, **24**, 1844-1855.
62. Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T. (2010) Analysis of stream water temperature changes during rainfall events in forested watersheds, *Limnology*, **11**, 115–124. (DOI 10.1007/s10201-009-0296-2)
63. Tsuruta, K., Kume, T., Komatsu, H., Higashi, N., Umebayashi, T., Kumagai, T. and Otsuki K. (2010) Azimuthal variations of sap flux density within Japanese cypress xylem trunks and their effects on tree transpiration estimates, *Journal of Forest Research*, **15**, 398-403. (DOI: 10.1007/s10310-010-0202-0)
64. Wakiyama, Y., Onda, Y., Mizugaki, S., Asai, H., Hiramatsu, S. (2010) Soil erosion rates on forested mountain hillslopes estimated using <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pbex, *Geoderma*, **159**, 39-52. (DOI:10.1016/j.geoderma.2010.06.012)
65. Wakiyama, Y., Onda, Y., Nanko, K., Mizugaki, S., Kim, Y., Kitahara, H., Ono, H. (2010) Estimation of temporal variation in splash detachment in two Japanese cypress plantations of contrasting age, *Earth Surface Processes and Landforms*, **35**(9), 993-1005. (DOI: 10.1002/esp.1844)
66. Yamamoto, K., Kobayashi, K., Nonoda, T., Inoue, A., Mizoue, N. (2010) Effect of setting of digital fisheye photography to estimate relative illuminance within forest under low light conditions, *Journal of Forest Research*, **15**, 283-288.

67. Wang, Y.L., Liu, G.B., Kume, T., Otsuki, K., Yamanaka, N. and Du, S. : Estimating water use of a black locust plantation by the thermal dissipation probe method in the semiarid region of Loess Plateau, China, *Journal of Forest Research*, **15**(4), 241-251, August 2010
68. Zhang, Z., Tao, F., Shi, P., Xu, W., Sun, Y., Fukushima, T., Onda, Y. (2010) Characterizing the flush stream chemical runoff from forested watersheds, *Hydrological Process*, **24**(20), 2960-2970. (DOI: 10.1002/hyp.7717)

## 2. その他の著作物(総説、書籍など)

1. 蔵治光一郎・五名美江(2015)森林の保水力と緑のダム機能、宇沢弘文・関良基(編)『社会的共通資本としての森』, 東大出版会, 印刷中.
2. 恩田裕一ほか編「原発事故環境汚染 福島第一原発事故の地球科学的側面」, 東京大学出版会, 137-141, 2014.
3. 小杉賢一郎, 調整サービス「どのように環境が制御されるのか?」, 日本森林学会(監修)井出雄二・大河内勇・井上真(編), 『教養としての森林学』, 文永堂, 97-105, 2014.
4. 蔵治光一郎・保屋野初子(編)(2014)『緑のダムの科学ー減災・森林・水循環ー』, 築地書館
5. 蔵治光一郎(2014)森と川と人の深いつながり, 矢作川研究, **18**: 95-99
6. 小杉賢一郎, 森林で覆われた山が水を蓄える仕組み, 森林技術, **855**, 2-6, 2013.
7. 蔵治光一郎, 「森林再生の課題と取組み」, 大貝彰・宮田譲・青木伸一 編著『都市・地域・環境概論ー持続可能な社会の創造に向けてー』第15章 15.1, 朝倉書店, 138-143, 2013.
8. 篠原慶規・鶴田健二・久米朋宣, 大槻恭一, 樹液流計測法を用いた林分蒸散量の計測ー森林管理による蒸散量の変化を評価するためにー, 日本森林学会誌, **95**(6), 321-331, 2013.
9. 蔵治光一郎(2012)『森の「恵み」は幻想か 科学者が考える森と人の関係』(DOJIN選書 46), 化学同人, 218pp.
10. 蔵治光一郎(2012)森林生態系の水源涵養機能への社会の期待, 水利科学, **324**: 100-106.
11. 小松光・久米朋宣・大槻恭一(2012)森林水文学を実学として機能させるために. 水利科学 **324**, 62-76.
12. 大槻恭一, 智和正明, 東直子, 熊谷朝臣(2012)蘇る有明海(楠田哲也編), pp217-220, 恒星社厚生閣, 東京.
13. Onda, Y., Mizugaki, S., Kato, H., (2011) Assessment of the contribution from surface erosion of forest floors to suspended sediment in mountainous forested catchments in the Tsuzura watershed, southern Japan, IAEA TECDOC 1665, pp61-72.
14. 蔵治光一郎(2011)何がもたないのかー「森林・林業再生プラン」は防災・水源涵養機能と両立しうるかー, 林業経済, **63**, 13-18.
15. 蔵治光一郎(2011)緑のダム構想とは何か, 月刊自治研, **53**(621), 32-40.
16. 芳賀弘和, 広葉樹林流域における降雨流出と流路内の流れ, 書籍「広葉樹資源の管理と活用」, 第8章, 2010年1月. (ISBN 978-4-86099-258-3)
17. 恩田裕一(2011)原発事故:危機における連携と科学者の役割ー農地土壌へ沈着した放射性物質の広域分布土壌中の放射性物質の分布, 科学, **81**, 939.
18. 小松光(2010)森林と水資源, 水利科学, **314**, 1-29.
19. 大槻恭一(2010)なぜ, どのように森林流域からの蒸発散量を研究するのか?, 木科学情報, **17**(1), 3-6.

## 3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表

(1)招待講演 (国内会議 8 件、国際会議 10 件)

1.発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

<国内>

1. 大槻恭一, 水循環における森林と草原の特性と役割, 阿蘇草原再生フォーラム2013「阿蘇の草原を未来へつなぐ集い」, ホテル熊本日航, 熊本市, 2013年2月1日.
2. 大槻恭一, 森林管理による環境保全, 九州エコフェア 2012「東アジア環境問題フォーラム」,

福岡国際センター, 福岡, 2012年6月20日.

3. 恩田裕一, 森林から土壌・水圏への放射性物質の移行, 「福島原発事故の森林生態系への放射の汚染影響を考える」研究会, 第123回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月26-29日.
4. 恩田裕一, 加藤弘亮, 河守歩, 福島原発より放出された放射性核種の森林環境中での移行. 第123回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月26-29日.
5. 加藤弘亮, 恩田裕一, 五味高志, 針葉樹人工林における福島第一原発事故による放射性物質の樹冠遮断と林内フォールアウト. 第123回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月26-29日.
6. Teramaga, M., Onda, Y., Kato, H. and Gomi, T., Distribution and deposition rate of <sup>137</sup>Cs and <sup>134</sup>Cs from litter to forest soil. 第123回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月26-29日.
7. 大槻恭一, 森林からの蒸発散と水資源(仮題), 日本農業気象学会2011年全国大会・農業気象国際シンポジウム「水と農業 - 食料生産における水資源の役割 - (仮題)」, 鹿児島市, 2011年3月17日.
8. 大槻恭一, 森林からの物質供給, 公開シンポジウム「内湾の機能回復のための海と陸からのアプローチ」, 東京, 2010年11月25日.

<国際>

1. Yuichi Onda, Hiroaki Kato, Jeremy Patin, Kazuya Yoshimura, Maki Tsujimura, Taeko Wakahara, and Takehiko Fukushima, Transfer of fallout radionuclides derived from Fukushima NPP accident: 1 year study on transfer of radionuclides through hydrological processes, European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, 7-12 April 2013.
2. Kosugi, K., M. Fujimoto, Y. Yamakawa, M. Takagi, and T. Mizuyama, Intensive observations of stream flow and bedrock groundwater in headwater catchments with steep topography, US-Japan Joint Seminar on Responses of Catchment Hydrology and Forest Biogeochemistry to Climatic and Environmental Change, Honolulu, Hawaii, USA, 4-7 March 2013.
3. Kosugi, K., M. Fujimoto, Y. Yamakawa, M. Takagi, and T. Mizuyama, Intensive monitoring of streamflow and bedrock groundwater in a granitic headwater catchment with steep topography, Geological Society of America 2012 Annual Meeting, Charlotte, NC, USA, 4-7 November 2012.
4. Otsuki, K., Forest Management and Water Conservation in a Changing Environment, 30th Anniversary of College of Forest and Environmental Sciences, 60th Anniversary Hall, Kangwon University, Chuncheon, October 16 2012.
5. Yuichi Onda, Increasing in Watershed Runoff and Improving Water Quality by the Management Practice of Devastated Forest Plantation, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
6. Otsuki, K., Forest Management and Water Conservation in a Changing Environment, Chuncheon Global Water Forum 2012, Chuncheon Bears Hotel, Chuncheon, Korea, September 8 2012.
7. Otsuki, K., Kasahara, T. and Onda, Y. : Development of Innovative Technologies for Enhancing Low Flow Discharge and Reducing Turbid Material from Overcrowded Forest Plantations by Intensive Thinning in Japan, Annual Conference of Korea Water Resources Association, Kangwon land convention center, Jeongsun, Korea, 17 May 2012.
8. 大槻恭一, 都市水源地生態系管理, 中日首都圏水務技術研究会, 北京, 中国, 2010年11月6日.
9. Otsuki, K., How to Evaluate Forest Transpiration by Sap Flow Measurement, The

- First International Symposium of China-Japan-Korea Sister University on the Recent Advances in Forest and Forest Products, Chuncheon, Korea, 21 August 2010.
10. Shinohara, Y., Ide, J., Komatsu, H., Kume, T. and Otsuki, K., Canopy interception loss in an abandoned conifer plantation in Japan, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010.

(2) 口頭発表 (国内会議 66 件、国際会議 20 件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

〈国内〉

1. 恩田裕一, 荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善は可能か, 北海道大学, 2015年3月26-29日.
2. 加藤弘亮・恩田裕一・Loffredo, Nicolas・久留景吾・河守歩, 森林環境中の放射性セシウムの移行が林内空間線量率に及ぼす影響, 北海道大学, 2015年3月26-29日.
3. 萩原晟也・山本一清・吉田夏樹・都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による林相区分への応用可能性の検討, 第126回日本森林学会, 北海道大学, 2015年3月26-29日.
4. 蔵治光一郎(2015)斜面ライシメータ上のヒノキ林の間伐が蒸発散量に及ぼす影響, 第126回日本森林学会, 北海道大学, 2015年3月26-29日.
5. 五味高志・平岡真合乃・水垣滋, 流域水系ネットワークにおける地形的特徴と土砂流出特性: レビュー, 第125回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014年3月28日.
6. 恩田裕一・加藤弘亮・NICOLAS LOFFREDO・久留景吾・河守歩, 森林からの放射性各種の水循環に伴う移行, 第125回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014年3月29日.
7. 加藤弘亮・恩田裕一・Loffredo Nicolas・久留景吾・河守歩, 森林内の放射性セシウム分布と空間線量率の経時変化, 第125回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014年3月29日.
8. 小松光, 遮断蒸発と流出—森林管理を考えるために—, 第125回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014年3月29日.
9. 田中延亮・蔵治光一郎・五名美江, 森林管理による遮断蒸発と表面流出の変化, 森林水文ワークショップ2014公開シンポジウム, 大宮ソニックシティ, 2014年3月30日.
10. 野々田稔郎・山本一清, 間伐施行後の時間経過にともなう樹冠閉鎖度の変化が林内相対照度, 樹冠遮断率等に及ぼす影響, 森林水文ワークショップ2014公開シンポジウム, 大宮ソニックシティ, 2014年3月30日.
11. 芳賀弘和, 森林流域における水質形成と間伐による影響の評価, 森林水文ワークショップ2014公開シンポジウム, 大宮ソニックシティ, 2014年3月30日.
12. 五味高志・Bui Xuan Dung・恩田裕一, 入れ子状流域観測による地下水涵養と間伐による流量変化の評価, 森林水文ワークショップ2014公開シンポジウム, 大宮ソニックシティ, 2014年3月30日.
13. 萩原晟也, 波形記録式航空機 LiDAR による森林の質的情報の把握～解析スケールの違いによる樹種分類精度への影響～, 森林 GIS フォーラム 学生研究コンテスト, 大宮ソニックシティ, 2014年3月27日.
14. 佐野貴洋, 中国山地中部の源流域河川における出水時の窒素濃度と流量の関係, 第58回水工学講演会, 神戸大学, 2014年3月5日.
15. 渡邊優美・山本一清, 3D カメラによる林分調査手法の開発・テンプレート・マッチングによる立木位置推定可能性の検討, 中部森林学会第3回大会, 岐阜大学, 2013年10月19日.
16. 鶴田健二・小松光・久米朋宣・篠原慶規・大槻恭一, ヒノキ人工林における林分構造の変化が蒸散量に及ぼす影響の評価, 2013年度水文・水資源学会研究発表会, 神戸大学百年記念館, 2013年9月27日.
17. 渡邊祐介・境 優・布川雅典・五味高志, 森林管理による溪流底生動物群集の変化: 強度間

- 伐と降雨流出による影響評価, 応用生態工学会 第17回大阪大会, 大阪府立大学, 2013年9月18-21日.
18. 糸数 哲・小杉賢一朗・恩田裕一・蔵治光一郎・田中延亮・後藤太成・太田岳史・水山高久, 植生回復状況の異なる花崗岩山地小流域における大雨時の降雨流出特性, H25 砂防学会研究発表会, 静岡, 2013年5月29-31日.
  19. 小杉賢一朗・山川陽祐・松四雄騎・藤本将光・高木将行・正岡直也・糸数 哲・水山高久, 花崗岩ならびに堆積岩を地質とする大起伏山地における山体地下水挙動の比較, H25 砂防学会研究発表会, 静岡, 2013年5月29-31日.
  20. 正岡直也・小杉賢一朗・山川陽祐・水山高久・堤 大三・高密度水流観測に基づく斜面水文特性分布の把握, H25 砂防学会研究発表会, 静岡, 2013年5月29-31日.
  21. 萩原晟也・山本一清・千田良道・都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による森林の質的情報の把握 ~樹種分類への適用可能性の検討~, 日本写真測量学会平成 25 年度年次学術講演会, 東京大学生産技術研究所, 2013年5月21日.
  22. 恩田裕一・加藤弘亮・吉村和也・安部豊・ジェレミー パティン・辻村真貴・田村憲司, 川俣町山木屋地区における放射性セシウムの移行状況集中モニタリング, 日本地球惑星科学連合 2013 大会, 幕張メッセ, 2013年5月19-24日.
  23. 加藤弘亮・恩田裕一・河守歩・久留景吾, 森林環境中の福島第一原子力発電所由来の放射性セシウムの移行状況, 日本地球惑星科学連合 2013 大会, 幕張メッセ, 2013年5月19-24日.
  24. 堀内宣栄・辻村真貴・恩田裕一・川口晋平, 堆積岩からなる山地源流域における地形的流域を越えた地下水流動, 日本地球惑星科学連合 2013 大会, 幕張メッセ, 2013年5月19-24日.
  25. 蔵治光一郎, 田中延亮, 五名美江, 小流域全体のヒノキ林の強度間伐が流出に及ぼす影響, 第 124 回日本森林学会大会, 岩手大学, 2013年3月26-27日.
  26. 平田晶子, 恩田裕一, 加藤弘亮, 南光一樹, 五味高志, ヒノキ人工林における列状間伐前後の樹冠通過雨の空間分布特性と安定同位体比の変化. 第 124 回日本森林学会大会, 岩手大学, 2013年3月26-27日.
  27. 齋藤隆実, 松田洋樹, 小松実紗子, 篠原慶規, 大槻恭一, ヒノキ・スギ人工林における降雨の樹冠遮断損失の物理過程, 日本生態学会第 60 回大会, 静岡大学, 2013年3月.
  28. 恩田裕一, 加藤弘亮, 久留景吾, 河守歩, 岩井和加里, 福島県川俣町山木屋地区における森林からの降雨および落葉による放射性物質の移行, 第 14 会「環境放射能」研究会, つくば, 茨城, 2013年2月26-28日.
  29. 萩原晟也, 村瀬泰久, 山本一清, 山下悟, 千田良道, 都竹正志, 波形記録式 LiDAR の反射パルス分析による森林の質的構造の把握—樹種分類への適用可能性の検討—, 第 2 回中部森林学会大会, 信州大学, 2012年10月13日.
  30. 梅藤幸太郎, 村瀬泰久, 山本一清, 航空機 LiDAR による樹冠形変動の把握, 第 2 回中部森林学会大会, 信州大学, 2012年10月13日.
  31. 野々田稔郎, 過密ヒノキ人工林における強度間伐後の林内相対照度の変化, 第 2 回中部森林学会大会, 信州大学, 2012年10月13日.
  32. 小杉賢一朗, 藤本将光, 山川陽祐, 三道義己, 水山高久, 木下篤彦, 下川悦郎, 地頭菌隆, 平松晋也, 福山泰治郎, 桜井亘, 鷺尾洋一, 藤本章次, 深層崩壊の誘因となる山体地下水挙動の解析. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012年5月23~24日.
  33. 正岡直也, 小杉賢一朗, 山川陽祐, 水山高久, 堤大三, 長期高密度観測による斜面水文過程の時間的変化の解明. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012年5月23~24日.
  34. 山川陽祐, 隅田順, 小杉賢一朗, 水山高久, 電気探査法とコイル型 TDR センサを用いた山腹斜面における塩水トレーサー試験. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012年5月23~24日.
  35. 糸数哲, 小杉賢一朗, 恩田裕一, 蔵治光一郎, 田中延亮, 後藤太成, 太田岳史, 水山高久,

- 植生の回復に伴う洪水流出特性の変化. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012 年 5 月 23 ~24 日
36. Nam, S.Y., Gomi T., Onda, Y., Kato H. (2012) Suspended sediment and radionuclides deposition in mountainous catchments with forest management operation. 平成 24 年度砂防学会研究発表会、高知、2012 年 5 月.
  37. Dung B.X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R.C., Kosugi, K., Onda, Y. (2012) Field observation and modeling for the effects of forest thinning on runoff generation in headwater catchments. 平成 24 年度砂防学会研究発表会、高知、2012 年 5 月.
  38. 恩田 裕一, 福島第一原発事故により降下した放射性物質の陸域の水土砂流出に伴う移行, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 幕張, 千葉, 2012 年 5 月 20 日.
  39. 加藤弘亮, 恩田裕一, 小松義隆, 依田優紀, 森林環境における福島第一原発事故による放射性物質の時空間分布特性. 日本地球惑星科学連合 2012 大会, 幕張, 2012 年 5 月 20-24 日.
  40. Tesfaye, T.M., Onda, Y., Kato, H., Gomi, T., Translocation of Fukushima driven  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Cs}$  in forest organic soil layer. 日本地球惑星科学連合 2012 大会, 幕張, 2012 年 5 月 20-24 日.
  41. 邱滇璋, 大槻恭一, 笠原玉青, 広葉樹における樹液流特性, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012 年 4 月 27 日
  42. 森下絵理子, PALSAR によるヒノキ人工林の森林情報把握可能性 地形補正効果の検討, 森林 GIS フォーラム 学生フォーラム in 森林学会, 宇都宮大学, 2012 年 3 月 28.
  43. 恩田裕一, 福島原発より放出された放射性核種の環境中での移行, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 福井大学, 2012 年 3 月 19-21 日.
  44. 篠崎由依, 白川直樹, 全球純一次生産力に基づく環境流量のための地域区分, 第 56 回水工学講演会, 愛媛大学, 2012 年 3 月 6-9 日.
  45. 森下絵理子, 山本一清, PALSAR 画像による森林情報把握可能性の検討ーヒノキ人工林を対象としてー, 第 1 回中部森林学会大会, 石川県地場産業振興センター, 2011 年 10 月 22 日.
  46. 鍋倉賢二, 村瀬康久, 山本一清, 3Dカメラによる樹幹形計測手法の開発, 第 1 回中部森林学会大会, 石川県地場産業振興センター, 2011 年 10 月 22 日.
  47. 片桐奈々, 山本一清, 竹中千里, 肘井直樹, 野々田稔郎, ニホンジカが森林下層植生を利用する節足動物群集に及ぼす影響, 第 1 回中部森林学会大会, 石川県地場産業振興センター, 2011 年 10 月 22 日.
  48. 土肥和貴, 田中延亮, 蔵治光一郎, 過密ヒノキ人工林の間伐が樹冠遮断量に及ぼす影響の観測と解析, 第 1 回中部森林学会研究発表会, 石川県金沢市, 2011 年 10 月 22 日.
  49. 片桐奈々・山本一清・竹中千里・肘井直樹・野々田稔郎 “ニホンジカが森林下層植生を利用する節足動物群集に及ぼす影響”, 第 1 回中部森林学会大会, 石川県地場産業振興センター, 2011 年 10 月 22 日.
  50. 恩田裕一, 放射性核種の陸域分布と拡散ー従来の調査例と福島原発後の調査の取り組みー, 日本地球化学会, 北海道大学, 2011 年 9 月 14-16 日.
  51. 加藤弘亮, 恩田裕一, 針葉樹人工林における福島第一原発事故による放射性物質の林内フォールアウト量と樹冠による再分配, 水文・水資源学会 2011 年度総会・研究発表会, 京都大学, 2011 年 8 月 30-9 月 1 日.
  52. 川口晋平, 辻村真貴, 恩田裕一, 加藤弘亮, 山中勤, 山地源流域の降雨流出過程における土壌層および基盤岩中の地中水流動プロセス, 日本地球惑星科学連合同大会, 幕張メッセ, 2011 年 5 月 27 日.
  53. 田中延亮, 蔵治光一郎, 森林からの蒸発散量と気温の長期変動に関する予備的研究, 日本地球惑星科学連合 2011 年度大会, 千葉市, 2011 年 5 月 23 日.
  54. 糸数哲, 小杉賢一朗, 恩田裕一, 蔵治光一郎, 田中延亮, 後藤大成, 太田岳史, 水山高久,

- 植生回復状況の異なる花崗岩山地小流域の降雨流出シミュレーション, 砂防学会, 神奈川, 2011年5月19日.
55. 井手淳一郎, 智和正明, 東直子, 丸野亮子, 大槻恭一, 森寸志, 流量層別サンプリングを用いた森林流域からの栄養塩年流出負荷量の推定について, 第45回日本水環境学会年会, 札幌, 2011年3月.
  56. 蔵治光一郎, 森林生態系の水源涵養サービスへの社会の期待, 第122回日本森林学会大会, 静岡大学, 2011年3月26-27日.
  57. 加藤弘亮, 恩田裕一, 南光一樹, 五味高志, 針葉樹人工林における樹冠通過雨の時空間分布特性, 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  58. 久米朋宣, 篠原慶規, 邱瀆璋, 野方麻里, 曾涵, 小松光, 大槻恭一, スギ人工林の樹液流特性の地域間差-台湾南投, 九州福岡, 本州石川の比較, 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  59. 智和正明, 井手淳一郎, 東直子, 丸野亮子, 大槻 恭一, 渓流水中の硝酸イオン濃度が隣接した流域間でなぜ異なるのか?, 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  60. 芳賀弘和, 遠藤祐子, 齋藤隆実, 恩田裕一, 加藤弘亮, 大槻恭一, 山地河川の栄養塩濃度と降雨流出特性, 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  61. 平岡真合乃・恩田裕一・金子省一, ヒノキ人工林における強度間伐に対する浸透能の初期応答, 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  62. Mengistu, T. T., Soil organic carbon(SOC) and fallout radionuclides. 第122回日本森林学会, 静岡, 2011年3月26-27日.
  63. 村瀬康久, 山本一清, 竹中千里, 野々田稔郎, 人工林における間伐後の下層植生の生育環境の解析, 第59回日本森林学会中部支部大会, 三重大学, 2010年10月16日.
  64. 森下絵理子, 山本一清, 野々田稔郎, 衛星リモートセンシングによる間伐履歴の抽出, 第59回日本森林学会中部支部大会, 三重大学, 2010年10月16日.
  65. 平岡真合乃, 恩田裕一, 金子省一, 管理放棄された竹林の水浸透特性, 日本森林学会第121回大会, つくば, 2010年4月2-5日.
  66. 脇山義史, 恩田裕一, 平岡真合乃, 南光一樹, 人工斜面観測による母岩の異なるヒノキ林土壌における土壌侵食プロセスの比較, 日本森林学会第121回大会, つくば, 2010年4月2-5日.

〈国際〉

1. Gomi T., Watanabe Y., Sakai M., Onda Y., How does confounding impacts of flood and forest thinning alter benthic macroinvertebrate community in Japanese headwater streams. International Union of Forest Research Organization (IUFRO), XXIV World Congress, Oct 5-11, 2014.
2. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., and Moriwaki, H., Spatial variability of throughfall and raindrops under a single canopy with different canopy structure, European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, 7-12 April 2013.
3. Bui Xuan Dung, Takashi Gomi, Yuichi Onda, Hiroaki Kato, and Marino Hiraoka, Examining the effects of forest thinning on hydrological processes at different catchment scales in forested headwater, European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, 7-12 April 2013.
4. Tsutomu Yamanaka, Integrated use of isotopic tracers and numerical simulation for analyzing water source separation between coexisting plant species. 10<sup>th</sup> Applied Isotope Geochemistry Conference, Budapest (Hungary), 22-27 September 2013.
5. Yamanaka, T. (2013) Root water uptake profiles for plants under competitive environment. The 12th Tunisian-Japanese Symposium on Society, Science & Technology, Yasmine Hammamet, Tunisia, 15-18 November.
6. Kosugi, K., Fujimoto, M., Yamakawa, Y., Takagi, M., Mizuyama, T. and Otsuki I, K.,

- Behavior of Bedrock Groundwater in a Steep Headwater Catchment and Its Effects on Sustainable Forest Water Resources, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
7. Yamanaka, T., Kimura, T., Sun, X. and Onda, Y., Comparative study on methods for estimating root water uptake profile. The 3rd International Conference on Forest & Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  8. Gomi, T., Bui, X.D., Onda, Y., Hiraoka M., How Much Understory Vegetation Matters for Evaluating Changes in Annual Runoff Due to Timber Harvesting? 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  9. Hiraoka, M., Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Kato, H. and Miyata, S., Controlling Factors of Infiltration Capacity on Various Covered Surfaces in a Forested Terrain, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  10. Tanaka, N., Dohi, K., Impact of strong thinning operation on rainfall interception in a Japanese cypress stand. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  11. Kato, H., Onda, Y. and Gomi, T., Initial behavior of Fukushima Daiichi NPP derived radionuclides in coniferous forest plantations. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
  12. Kato, H., Onda, Y., Temporal changes of transfer of fallout radionuclides by Fukushima NPP accident from tree crown to litter layer and forest soil, Join Meeting of 12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-12) and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-2012), Nara Prefectural New Public Hall, Nara, JAPAN, Sept. 2-7, 2012.
  13. Patin, J., Onda, T., Yoda, H., Kato, H., Small scale assessment of spatial and vertical redistribution of Fukushima fallouts radiocaesium in contaminated soil using in-situ HPGe gamma ray spectrometry. AGU 2011 Fall Meeting, San Francisco, December 5-9 2011.
  14. Yamamoto, K., Kondo, N., Takaichi, Y., Tsuzuku, M. and Murate, N., Estimation of LAI and related metrics using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain mode, The Second International Conference on FORCOM: Followup and New Challenge for Coming Generations, Mie University, September 9 2011.
  15. Gomi, T., Asano, Y., Uchida, T., Onda, Y., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi, K., Shigeru, M., Fukuyama, T., Storm runoff pathways in steep nested catchments draining a Japanese cypress forest in central Japan, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010. H23C-02.
  16. Liang, W., Kosugi, K., Mizuyama, T., Effects of tree on hillslope hydrological processes, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010. H23C-04.
  17. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Suwa, S., Moriwaki, H., Fukuzono, T., Inference of water behavior in a tree canopy based on the dense measurements of throughfall rate and throughfall raindrops, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010. H24A-02.
  18. Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Nanko, K., Fukushima, T., Field and modeling studies on the effects of forest devastation on flooding and environmental issues, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010. H23C-01.
  19. Mengistu, T. T., Onda, Y., Kato, H., Wakiyama, Y., Mizugaki, S., Hiramatsu, S., Investigating soil and soil organic carbon (SOC) redistribution in forested area using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  techniques, International Workshop on : Application of isotope tracers to biogeochemical study of soil erosion and carbon export in

mountain ecosystems, Korea, 8-10 April 2010.

20. Onda, Y., Fukuyama, T., Takenaka, C., Hamajima, Y., Use of fallout radionuclides for investigating soil erosion rates and sediment fingerprinting in forested environment, International Workshop on Low-level measurement of radionuclides and its application to Earth and Environmental Sciences, Kanazawa, November 6, 2009.

(3)ポスター発表 (国内会議 102 件、国際会議 61 件)

1.発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

〈国内〉

1. 孫新超・恩田裕一・加藤弘亮・五味高志・高橋純子, The effect of thinning on rainfall partitioning in Japanese coniferous plantations, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
2. 芳賀弘和・遠藤祐子・佐野貴洋・齋藤隆実・恩田裕一・加藤弘亮・大槻恭一, 出水時における河川水の溶存態窒素濃度に与える先行湿潤状態と基岩内地下水位の影響, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
3. 高橋純子・宮下央章・田村憲司・恩田裕一, 荒廃人工林における強度間伐が表層土壌の物理・化学性に及ぼす影響, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
4. 佐野仁香・五味高志・佐藤貴紀・平岡真合乃・恩田裕一, 短期水収支法による森林小流域の水収支評価:50%間伐後 3 年間の観測結果, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
5. 立石麻紀子・項楊・大槻恭一・松田洋樹・齋藤隆実・恩田裕一・谷誠, 福岡県弥山試験地における間伐後の蒸発散量の年変化について, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
6. 平岡真合乃・五味高志・恩田裕一・立石麻紀子・笠原玉青・大槻恭一, 強度間伐によって河川流量はどうなるか?:入れ子状観測による間伐前後 1 年間に注目した解析, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
7. 山崎寛史・上條隆志・五味高志・恩田裕一, 栃木県唐沢山における強度間伐後 3 年間のスギ・ヒノキ人工林の下層植生の変化, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
8. 山本一清・梅籐幸太郎・宇野女草太・吉田夏樹・都竹正志, 早期森林資源利用診断システムの開発—林冠復元解析による LiDAR データ解析システムの構築—, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
9. 梅籐幸太郎・山本一清・吉田夏樹・都竹正志, 早期森林資源利用診断システムの開発—航空機 LiDAR による人工林内未検出木抽出法についての検討—, 第 126 回日本森林学会, 北海道大学, 2015 年 3 月 26-29 日.
10. Xinchao Sun・Yuichi Onda・Hiroaki Kato・Kyoichi Otsuki・Takashi Gomi, Strip Thinning Effects on Partitioning of Evapotranspiration in a Japanese Cypress Plantation, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフィア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
11. 立石麻紀子・項楊・松田弘樹・大槻恭一・齋藤隆実, スギ・ヒノキ人工林における蒸発散量の間伐による変化について, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフィア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
12. 井手淳一郎・智和正明・宗村広昭・森也寸志・武田育郎・作野裕司・大槻 恭一, 針葉樹人工林が河川水質に及ぼす影響の評価に関する研究, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフィア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
13. 篠原慶規・小松光・鶴田健二・野方麻里・大槻恭一, スギ人工林における間伐後の蒸散量と遮断蒸発量の変化, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフィア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
14. Haotian Sun・Tamao Kasahara・Makiko Tateishi・Kyoichi Otsuki・Yuichi Onda, Streamflow Response to Intensive Thinning in a Small Forested Watershed in

- Japan, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフィア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
15. 野々田稔郎・山本一清, ヒノキ人工林における強度間伐後の樹冠閉鎖が樹冠遮断率に及ぼす影響, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  16. 山本一清・近藤直人・村瀬康久・都竹正志・村手直明・江藤稚佳子・渋谷 研一, 航空機 LiDAR によるヒノキ人工林の質的特性把握(V)観測条件の差異による林内相対照度推定への影響について, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  17. 梅藤幸太郎・山本一清・都竹正志・村手直明, 航空機LiDARによる樹冠形変動の把握ー広域樹種判別への応用ー, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  18. 萩原晟也・山本一清・都竹正志・村手直明, 波形記録式航空機 LiDAR による森林の質的情報の把握～解析スケールによる樹種分類精度への影響～, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  19. 山崎寛史・上條隆志・平田晶子・五味高志・恩田裕一, スギ・ヒノキ人工林における間伐前後の下層植生の変化について, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  20. 山村理奈・五味高志・恩田裕一, 強度列状間伐後のヒノキ人工林における二酸化炭素濃度: 土壌とタワー観測の事例, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  21. 若林甫・五味高志・山村理奈・Nam Soo youn・平岡真合乃・恩田裕一, 強度の列状・点状間伐が河川流出へ及ぼす影響の評価: FM 唐沢山における観測事例, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  22. 山本浩之・鶴田健二・小杉縁子・牧田直樹・勝山正則・正岡直也・小杉賢一朗・松尾奈緒子・谷誠, 土壌の乾燥が斜面位置の異なるヒノキの蒸散及び吸水深度に及ぼす影響, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  23. Sothy Hun・Makiko Tateishi・Tamao Kasahara・Kyoichi Otsuki・Yuichi Onda, Analysis of sediment transport in a thinned headwater Yayama catchment in Fukuoka, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  24. Yang Xiang・Makiko Tateishi・Takami Saito・Tamao Kasahara・Kyoichi Otsuki・Yuichi Onda, Changes in evapotranspiration from Cryptomeria Japonica and Chamaecyparis obtuse stands after thinning (1) Transpiration, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  25. 立石麻紀子・松田洋樹・笠原玉青・齋藤隆実・大槻恭一・恩田裕一, スギ、ヒノキ人工林の間伐前後の蒸発散量の変化(2)遮断蒸発, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  26. 大槻恭一・立石麻紀子・笠原玉青・恩田裕一, スギ、ヒノキ人工林の間伐前後の蒸発散量の変化(3)林床面蒸発, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  27. M. Teramage Tesfaye・Onda Yuichi・Kato Hiroaki・Gomi Takashi, Distribution of Fukushima-derived radio-cesium in Forest floor, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  28. Xinchao Sun・Yuichi Onda・Kyoichi Otsuki・Takashi Gomi, The effect of strip thinning on partitioning of evapotranspiration in a Japanese cypress plantation, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 28 日.
  29. 芳賀弘和・佐野貴洋・遠藤祐子・齋藤隆実・恩田裕一・加藤弘亮・Sun Haotian・立石麻紀子・笠原玉青・大槻恭一, 強度間伐が森林流域からの栄養塩流出特性に与える影響, 第 125 回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014 年 3 月 29 日.
  30. Hun S, Tateishi M, Kasahara T, Otsuki K, Onda Y. Analysis of sediment transport in a thinned headwater Yayama catchment in Fukuoka, 第 125 回日本森林学会大会, 大

- 宮ソニックシティ, 2014年3月28日.
31. Chiu C, Otsuki K, Tamao K. Stand-transpiration estimates in a temperate mixed forest based on sap-flux measurement, 第125回日本森林学会大会, 大宮ソニックシティ, 2014年3月28日.
  32. 立石麻紀子・小松光・鶴田健二・片山歩美・久米朋宣・大槻恭一, 御手水試験流域における強度間伐が単木蒸散量に与える影響, 九州大学農学部附属演習林第16回研究発表会, 九州大学附属図書館視聴覚ホール(福岡市), 2014年1月15日.
  33. Chiu C, Tateishi M, Otsuki K, Kasahara T. The preliminary study of sap flux based stand transpiration estimates in a natural broadleaved forest in Fukuoka, 九州大学農学部附属演習林第16回研究発表会, 九州大学附属図書館視聴覚ホール(福岡市), 2014年1月15日.
  34. Watanabe Y., J S. Richardson, T. Gomi, M. Sakai, M. Nunokawa, Inter-site comparison of macroinvertebrate community responses after forest harvesting between Japanese and Canadian headwater streams, 第61回日本生態学会, 広島, 2014年3月14日.
  35. 篠原慶規・小松光・野方麻里・大槻恭一, スギ人工林における強度間伐が雨水配分に与える影響, 2013年度水文・水資源学会研究発表会, 神戸大学百年記念館(神戸市), 2013年9月25-26日.
  36. Chiu Chen-Wei・久米朋宣・小松光・大槻恭一・笠原玉青, Differences in sap flow among five major species in a natural broadleaved forest, 2013年度水文・水資源学会研究発表会, 神戸大学百年記念館(神戸市), 2013年9月25-26日.
  37. Sun H, Kasahara T, Otsuki K, Onda Y, Haga H. Spatio-temporal Variation of Water Yield before and after Forest Thinning in a Small Japanese Forested Catchment, 2013年度水文・水資源学会研究発表会, 神戸大学百年記念館(神戸市), 2013年9月25-26日.
  38. 宮下央章・田村憲司・高橋純子・恩田裕一, 栃木県及び高知県におけるヒノキ人工林土壌の団粒強度並びにせん断強度, 日本土壌肥料学会2013年度名古屋大会, 名古屋大学, 2013年9月11-13日.
  39. 杉本康平・小杉賢一朗・山川陽祐・糸数 哲・正岡直也・藤本将光・水山高久, 花崗岩山地における基岩地下水と降雨流出の対応, H25 砂防学会研究発表会, 静岡, 2013年5月29-31日.
  40. 山田 拓・小杉賢一朗・糸数 哲・藤本将光・谷 誠・小島永裕・水山高久, 堆積岩および花崗岩を母材とする山地小流域における降雨流出の比較, H25 砂防学会研究発表会, 静岡, 2013年5月29-31日.
  41. 野々田稔郎, 樹幹形状から推定したヒノキ林分の生育過程における枝下高変化, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月26-27日.
  42. 山本一清, 村瀬康久, 千田良道, 都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定可能性の検討 (IV) -林冠下部反射パルスの波形解析方法の検討-, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月26-27日.
  43. 村瀬康久, 山本一清, 竹中千里, 片桐奈々, 野々田稔郎, 間伐したヒノキ人工林における下層植生の回復に対する防鹿柵の効果 (II) -間伐から2年間の経過-, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月26-27日.
  44. 芳賀弘和, 出水時における森林河川の栄養塩濃度に与える地下水流出の影響, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月26-27日.
  45. Nam, S.Y., Gomi, T., Onda, Y., Kato, H., Hiraoka, M., Suspended sediment transports after strip thinning: Monitoring of runoff and Analysis of radiocesium concentration 1. 第124回日本森林学会, 盛岡, 2013年3月26-27日.
  46. 田中延亮, 南光一樹, 加藤弘亮, 平田晶子, 恩田裕一, ヒノキ林の林内雨量分布のイベント内変動. 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月26-27日.

47. 中泉堯・上條隆志・五味高志・恩田裕一, 福島・栃木サイトのスギ・ヒノキ人工林における間伐前後の下層植生の変化. 第 124 回日本森林学会大会, 盛岡, 2013 年 3 月 26-27 日.
48. 孫昊田, 笠原玉青, 大槻恭一, 齋藤隆実, 恩田裕一, 芳賀弘和, 九州北部の森林小流域における地下水と連動した流出量の時空間変動, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013 年3月27日.
49. 笠原玉青, Sodouangdenh Somsanouk, 大槻恭一, 恩田裕一, 芳賀弘和, 北部九州の源流域における浸水・湧水区間での河床・河畔域での水の動きの違い, 第124回日本森林学会大会, 盛岡, 2013年3月27日.
50. 孫新超, 恩田裕一, 加藤弘亮, 大槻恭一, 強度間伐による荒廃人工林の蒸発散の変化, 日本森林学会, 盛岡, 第 124 回日本森林学会大会, 盛岡, 2013 年 3 月 26-27 日.
51. Tesfaye, T.M., 恩田裕一, 加藤弘亮, 五味高志, リターを通じた福島第一原発由来の放射性セシウムの針葉樹林樹冠から土壌への移行と分布状況. 第 124 回日本森林学会大会, 盛岡, 2013 年 3 月 26-27 日.
52. 加藤弘亮, 恩田裕一, 河守歩, 小松義隆, 依田優紀, 森林環境における福島原発事故由来の放射性セシウムの移行. 第 124 回日本森林学会大会, 盛岡, 2013 年 3 月 26-27 日.
53. 渡邊祐介, 境優, 布川雅典, 五味高志, 山地森林流域における降雨流出と森林施業の複合攪乱が底生生物群集に与える影響. 日本生態学会第 60 回大会, 静岡, 2013 年 3 月.
54. 芳賀弘和, 山地河川における降雨流出特性と出水時の栄養塩濃度の関係, 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 2013 年 3 月 11 日.
55. 加藤弘亮, 恩田裕一, 河守歩, 久留景吾, 森林樹冠から林床への放射性セシウム移行量の時間変化, 第 14 会「環境放射能」研究会, つくば, 茨城, 2013 年 2 月 26-28 日.
56. 齋藤隆実, 松田洋樹, 小松実紗子, 柚之原修二, 小松光, 大槻恭一, 針葉樹人工林の流域における蒸発散量の見積もり, 日本植物学会第 76 回大会, 兵庫県立大学, 2012 年 9 月.
57. 藤光智香, 小杉賢一郎, 山川陽祐, 水山高久, 木下篤彦, 花崗岩山地における土層厚分布推定. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012 年 5 月 23~24 日.
58. 鶴田健二, 小杉賢一郎, 正岡直也, 吉藤奈津子, 水山高久, ヒノキ人工林における蒸散量の推定—樹液流計測を用いた検討—. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012 年 5 月 23~24 日.
59. 高木将行, 山川陽祐, 藤本将光, 小杉賢一郎, 水山高久, 王林, 矢野晴彦, 風化花崗岩山地における山体地下水が斜面崩壊に与える影響. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012 年 5 月 23~24 日.
60. 山田拓, 小杉賢一郎, 糸数哲, 藤本将光, 谷誠, 小島永裕, 水山高久, 堆積岩および花崗岩の山地斜面における岩盤地下水の降雨応答の解析. H24 砂防学会研究発表会, 高知, 2012 年 5 月 23~24 日.
61. Sun, X., Onda, Y., Otsuki, K., Saito, T., Study of the aboveground hydrological processes in an unmanaged coniferous forest. 日本地球惑星科学連合 2012 大会, 幕張, 2012 年 5 月 20-24 日.
62. 篠原慶規, 鶴田健二, 小倉晃, 能登史和, 大槻恭一, 丸山利輔:スギ人工林における, 樹液流速の樹幹内変動, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012 年 4 月 27 日.
63. 久米朋宣, 篠原慶規, 邱滇璋, 野方麻里, 曾涵, 小松光, 大槻恭一:スギ人工林の樹液流特性の地域間差, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012 年 4 月 27 日.
64. 智和正明, 鬼倉徳雄, 井手淳一郎, 久米篤, 大槻恭一:窒素飽和した森林が下流域の河川水質に与える影響, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012 年 4 月 27 日.
65. 野方麻里, 篠原慶規, 鶴田健二, 小松光, 井上一信, 長澤久視, 扇大輔, 山内康平, 大崎繁, 大槻恭一:スギ人工林における間伐前後の蒸散量の比較, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012 年 4 月 27 日.
66. 西本雄亮, 山本一清, 千田良道, 山下 悟, 都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定方法開発(II)樹種間比較を中心として, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮

- 大学, 2012年3月28日.
67. 山本一清, 村瀬康久, 西本雄亮, 千田良道, 都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定可能性の検討(III) —林床状態とレーザー反射特性の関係比較—, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月28日.
  68. 鍋倉賢二, 村瀬康久, 山本一清, 3D カメラによる樹幹直径計測精度の検証, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月28日.
  69. 片桐奈々, 山本一清, 竹中千里, 肘井直樹, 野々田稔郎, ヒノキ人工林におけるシカの採食が下層植生上の節足動物群集に及ぼす影響, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月28日.
  70. 野々田稔郎, スギ, ヒノキ林分における樹幹形状と枝下高の関係, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2012年3月28日.
  71. 芳賀弘和, 遠藤祐子, 森林源頭部における地下水位変動と河川水の栄養塩濃度との関係, 第 46 回日本水環境学会, 東洋大学, 2012年3月14日.
  72. 中泉 堯, 上條隆志, 福島県湯ノ岳のスギ・ヒノキ人工林における間伐・未間伐区間の下層植生の比較, 植生学会第 16 回大会, 神戸大学, 2011年9月25日.
  73. 齋藤隆実, 小松実紗子, 篠原慶規, 鶴田健二, 小松光, 大槻恭一, “流域における樹木群による蒸散量の見積もり”, 日本植物学会第 75 回大会, 2011年9月17-19日, 東京大学.
  74. 篠崎由依, 斉藤裕佑, 熊野光浩, 白川直樹, 水文気候条件を考慮した環境流量グローバルモデルに関する研究, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会, 京都大学防災研究所, 2011年8月30-9月1日.
  75. 小松義隆, 恩田裕一, 小倉晃, 散水実験に基づく浸透能と透水性の関係について. 水文・水資源学会 2011 年度総会・研究発表会, 京都大学, 2011年8月30-9月1日.
  76. 加藤弘亮, 恩田裕一, 南光一樹, 五味高志, 針葉樹人工林における樹冠通過雨の安定同位体比. 日本地球惑星科学連合 2011 大会, 幕張, 2011年5月22-27日.
  77. Teramage, M., Onda, T., Kato, H. and Wakiyama, Y., Soil organic carbon redistribution in Japanese cypress (Hinoki) using radionuclides. 日本地球惑星科学連合 2011 大会, 幕張, 2011年5月22-27日.
  78. 川口晋平, 辻村真貴, 恩田裕一, 加藤弘亮, 山中勤, 山地源流域の降雨流出過程における土壌層および基盤岩中の地中水流動プロセス. 日本地球惑星科学連合 2011 大会, 幕張, 2011年5月22-27日.
  79. 恩田裕一, 人工林の管理の河川流量および河川環境への影響. 日本地球惑星科学連合 2011 大会, 幕張, 2011年5月22-27日.
  80. 柴本晴香, 小杉賢一朗, 正岡直也, 牧田直樹, 吉藤奈津子, 水山高久, 樹木周辺の不均質な水分動態, 砂防学会, 2011年5月19日.
  81. 山田拓, 小杉賢一朗, 糸数哲, 藤本将光, 水山高久, 谷誠, 小島永裕, 堆積岩流域における基岩地下水の観測研究, 砂防学会, 2011年5月19日.
  82. 道幸李佳, 小杉賢一朗, 藤本将光, 水山高久, 山地斜面における地温観測による水分フラックス挙動の解析, 砂防学会, 2011年5月19日.
  83. 正岡直也, 山川陽祐, 小杉賢一朗, 水山高久, 堤大三, 山地斜面末端の不均質な浸透流出現象の解析, 砂防学会, 2011年5月19日.
  84. 智和 正明, 井手淳一郎, 東直子, 丸野亮子, 大槻恭一: 渓流水中の硝酸イオン濃度が隣接した流域間でなぜ異なるのか?, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011年3月25-28日(震災の為大会は中止).
  85. 土肥和貴・田中延亮・蔵治光一郎, 過密ヒノキ人工林の樹冠遮断量—シート雨量計による測定結果—, 日本森林学会大会, 静岡大学, 2011年3月26-27日.(震災の為大会は中止).
  86. 井上章二, 梶本愛, 河原田裕二, 大槻恭一, 高嶋敦史: 沖縄本島北部の森林小流域における流出特性, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011年3月25-28日(震災

- の為大会は中止).
87. 野方麻里, 篠原慶規, 小松光, 井上一信, 長澤久視, 扇大輔, 山内康平, 大崎繁, 大槻恭一: スギ人工林における間伐前後の蒸散量の比較, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  88. 篠原慶規, 鶴田健二, 小倉晃, 能登史和, 大槻恭一, 丸山利輔: スギ人工林における, 樹液流速の樹幹内変動, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  89. 久米朋宣, 篠原慶規, 邱滇璋, 野方麻里, 曾涵, 小松光, 大槻恭一, スギ人工林の樹液流特性の地域間差, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  90. 野々田稔郎・島田 博匡, ヒノキ林における間伐後の樹冠遮断率の変化, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  91. 小松実紗子, 齋藤隆実, 篠原慶規, 小松光, 大槻恭一: 針葉樹人工林における樹冠遮断の降水強度依存性, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡大学, 静岡市, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  92. 森下絵理子, 山本一清, 島田政信, 栗屋善雄, PALSAR によるヒノキ人工林の森林情報把握可能性 地形補正効果の検討, 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮大学, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  93. 小松実紗子, 齋藤隆実, 篠原慶規, 小松光, 大槻恭一, 針葉樹人工林における樹冠遮断の降水強度依存性, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  94. 野方麻里, 篠原慶規, 小松光, 井上一信, 長澤久視, 扇大輔, 山内康平, 大崎繁, 大槻恭一, スギ人工林における間伐前後の蒸散量の比較, 第 122 回日本森林学会大会, 静岡, 2011 年 3 月 25-28 日 (震災の為大会は中止).
  95. 片山歩美, 小松光, 東直子, 大槻恭一: 観測者の踏圧が土壌と樹木の水分動態に与える影響, 2010 年度水文・水資源学会, 法政大学, 東京, 2010 年 9 月 8 日.
  96. 芳賀弘和, 蒜山地域源頭部におけるササの降雨遮断と雨水流出特性, 第 121 回日本森林学会大会, 筑波大学, 2010 年 4 月 3-5 日.
  97. 長塚 結花, 五味 高志, 宮田 秀介, 平岡 真合乃, 現地散水試験による林道の浸透能測定およびその決定要因の解析, 第 121 回日本森林学会大会, 筑波大学, , 2010 年 4 月 3-5 日.
  98. 西本雄亮, 山本一清, 千田良道, 山下 悟, 都竹正志, 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定可能性の検討, 第 122 回日本森林学会大会, 筑波大学, 2010 年 4 月 3-5 日.
  99. 山本一清, 小林健嗣, 野々田稔郎, 井上昭夫, 溝上展也, 低照度下におけるデジタル全天空画像による林内相対照度推定, 第 122 回日本森林学会大会, 筑波大学, 2010 年 4 月 3-5 日.
  100. 篠原慶規, 藏本康平, 小野 郁佳, 小松光, 大槻恭一: モウソウチク林と隣接する広葉樹林における水循環の違い, 第 121 回日本森林学会大会, 筑波大学, つくば市, 2010 年 4 月 3-5 日.
  101. 鶴田健二, 小松光, 久米朋宣, 大槻恭一: 森林回復が流出に及ぼす影響, 第 121 回日本森林学会大会, 筑波大学, つくば市, 2010 年 4 月 3-5 日.
  102. 脇山義史, 恩田裕一, 平岡真合乃, 加藤 弘亮, 南光一樹, 人工斜面観測による母岩の異なるヒノキ林土壌における土壌侵食プロセスの比較, 筑波大学陸域環境研究センター平成 21 年度年次研究報告会, 筑波大学, 2010 年 3 月 8 日.

〈国際〉

1. Sooyoun Nam, Takashi Gomi, Yuichi Onda, Marino Hiraoka, Bui Xuan Dung, Hiroaki Kato, Examining responses of suspended sediment transports after intense

- thinning in a forested headwater catchment using nested monitoring. American Geophysical Union Fall meeting, San Fransisco, 2014, December.
2. Makiko Tateishi, Yang Xiang, Hiroki Matsuda, Takami Saito, Haotian Sun, Kyoichi Otsuki, Tamao Kasahara, and Yuichi Onda, Comparison of the evapotranspiration and its components before and after thinning in Japanese cedar and Japanese cypress forest, European Geosciences Union General Assembly 2014, Vienna, 27 April–02 May 2014.
  3. Yamanaka, T. Integrated use of isotopic tracers and numerical simulation for analyzing water source separation between coexisting plant species. 10<sup>th</sup> Applied Isotope Geochemistry Conference, Budapest (Hungary), 22-27 September 2013.
  4. Bui Xuan Dung, Takashi Gomi, Yuichi Onda, Hiroaki Kato, Mario Hiraoka, Hydrological responses to strip thinning and catchment scales in Japanese, International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (3rd), Kyoto, 26 September 2013.
  5. Gomi, T., Dung, B.X., Onda, Y., Hiraoka, M., Kato, H., Hirata, A. and Tsujimura M, Scaling effects of catchment runoff responses due to forest harvesting in headwaters. US-Japan Joint Seminar on catchment hydrology and forest biogeochemistry, Hawaii, 4-7 March 2013.
  6. Hiraoka, M., Onda, Y. and Gomi, T, Spatial distributions of infiltration capacity on forest floor: Patterns and controlling factors. US-Japan Joint Seminar on catchment hydrology and forest biogeochemistry, Hawaii, 4-7 March 2013.
  7. Hirata, A., Onda, Y., Kato, H., Nanko, K. and Gomi, T., Changes in rainfall interception and stable isotopic compositions of throughfall after stripe thinning in a Japanese cypress plantation. US-Japan Joint Seminar on Responses of Catchment Hydrology and Forest Biogeochemistry to Climatic and Environmental Change, Hawaii, 4-7 March 2013.
  8. Sun, X., Onda, Y., Kato, H. and Gomi, T., The influence of strip thinning on canopy interception in Japanese cypress plantation. US-Japan Joint Seminar on Responses of Catchment Hydrology and Forest Biogeochemistry to Climatic and Environmental Change, Hawaii, 4-7 March 2013.
  9. Sun, X. and Onda, Y., Fraction of incident rainfall within the canopy of an unmanaged Japanese cypress stand in Central Japan. The 5th Japan-China-Korea Graduate Student Forum, Tsukuba, 23 September 2012.
  10. Onda, Y., Kato, H., Fukushima, T., Wakahara, T., Kita, K., Takahashi, Y., Sakaguchi, A., Tanaka, K., Yamashiki, Y., Yoshida, N., Transfer of fallout radionuclides derived from Fukushima NPP accident: 1 year study on transfer of radionuclides throughfall geomorphic processes. American Geophysical Union Fall Meeting 2012, San Francisco, California, U.S.A., December 3-7 2012.
  11. Onda, Y., Kato, H., Fukushima, T., Wakahara, T., Kita, K., Takahashi, Y., Sakaguchi, A., Tanaka, K., Yamashiki, Y., Yoshida, N. Transfer of fallout radionuclides derived from Fukushima NPP accident: 1 year study on transfer of radionuclides throughfall geomorphic processes. American Geophysical Union Fall Meeting 2012, San Francisco, California, U.S.A., 3-7 December 2012.
  12. Kato, H., Onda, Y., Komatsu, Y., Yoda, H., Spatio-temporal variability of the deposited radioactive materials in forest environments after the Fukushima Daiichi NPP accident. American Geophysical Union Fall Meeting 2012, San Francisco, California, U.S.A., 3-7 December 2012.
  13. Hiraoka, M., Gomi, T. and Onda, Y., Patterns of infiltration at forested hillslope: an in-situ rainfall simulator and numerical estimation. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, 3-7 December 2012.
  14. Sun, X., Onda, Y., Kato, H., Saito, T. and Otsuki, K., Effects of strip thinning on evapotranspiration in an abandoned Japanese cypress plantation, American

- Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, 3-7 December 2012.
15. Sun, H., Kasahara, T., Otsuki, K., Spatial Variation in Seasonal Fluctuation of Water Yield in a Small Forested Catchment, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012.
  16. Matsuda, H., Saito, T., Komatsu, M., Shinohara, Y., Otsuki, K., Spatial and Temporal Variability of Throughfall and Behavior of Dripping Point, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012
  17. Otsuki, K., Nogata, M., Shinohara, Y., Tsuruta, K., Komatsu, H., Changes of Canopy Evapotranspiration of *Cryptomeria japonica* by Intense Thinning, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012.
  18. Saito, T., Matsuda, H., Komatsu, M., Yunohara, S., Komatsu, H., Otsuki, K., Estimating Forest Evapo-transpiration by Multiple Methods in Yayama Experimental Catchment in Fukuoka, West Japan, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012.
  19. Sodouangdenh, S., Kasahara, T., Otsuki, K., Differences in Groundwater-Stream Water Interaction in Losing and Gaining Reaches of a Headwater Stream, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012.
  20. Kasahara, T., Neilson, B.T., Schmadel, S. Stream Water and Groundwater Exchange Characterized by Groundwater Flow Modeling and Stream Tracer Experiment, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, Japan, 18-20 September 2012.
  21. Itokazu, T., Kosugi, K., Onda, Y., Kuraji, K., Tanaka, N., Goto, T., Ohta, T. and Mizuyama, T., Difference of direct runoff characteristics with vegetation recovery in granite watershed, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
  22. Masaoka, N., Kosugi, K., Yamakawa, Y., Mizuyama, T. and Tsutsumi, D., The effect of bedrock groundwater spring on hydrological processes in a forested hillslope, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  23. Nam, S.Y., Gomi, T., Onda, Y., Kato, H., Teramage, M.Y., Hiraoka, M. and Dung B.X., Changes in Suspended Sediment Yields Due to Forest Thinning in the Headwater Catchments, Central Japan: Analysis of Hysteresis Pattern and Radionuclide Fingerprinting Approach, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  24. Gomi, T., Dung B.X., Onda, Y. and Hiraoka M., How Much Understory Vegetation Matters for Evaluating Changes in Annual Runoff Due to Timber Harvesting? 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  25. Watanabe Y., Gomi T., Nunokawa, M. and Sakai1, M., How Did Benthic Macroinvertebrate Community Respond after Floods and Forest Thinning in Headwater Streams? 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
  26. Yamamura, R., Gomi, T. and Hiraoka M., Estimation of CO<sub>2</sub> Fluxes and Evapotranspiration Using Eddy Covariance Method in Forested Catchment: Inter-site Comparison by Literature Review and Field Measurement. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, 18-20 September, Fukuoka, 18-20 September, 2012.

27. Hiraoka M. and Onda, Y., Early response of infiltration capacity to forest thinning in Japanese cypress plantation. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, 18-20 September, Fukuoka, 18-20 September, 2012..
28. Dung, B.X., Gomi T., Onda, Y., Miyata, S., Kato, H., Sidle, R.C. and Hiraoka, M., Paired-Catchment Analysis for Evaluating the Effects of Forest Thinning on Hydrological Processes in Japanese Headwaters. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
29. Tei, R., Fukushima, T., Onda, Y., Kato, H., Gomi, T., Dung, B.X. and Nam, S.Y., Influence of thinning on nutrient dynamics in plantation forested watersheds. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September, 2012.
30. Tesfaye, T.M., Yuichi Onda, Hiroaki Kato and Takashi Gomi, Litter-fed Contribution and Translocation of Fukushima Driven Radiocesium in Coniferous Forest Soil, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
31. Nakatani, T., Sakamoto, T. and Shirakawa, N., An Economic Evaluation of Flow Augmentation Caused by Forest Thinning, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
32. Kawaguchi, S., Tsujimura, M., Onda, Y. and Kato, H., Spatio-temporal Distribution of Spring Water Chemistry and Groundwater Flow System in a Headwater Catchment Underlain by Sedimentary Rock, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
33. Kamijo, T. and Nakaizumi, T., The Influence of Thinning to Understory in Ruined Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtuse*) Plantation in Tochigi and Fukushima Prefecture, 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
34. Hirata, A., Onda, Y., Kato, H., Nanko, K., Kuraji, K., Tanaka, N. and Gomi, T., Effects of Forest Thinning on Canopy Interception in Japanese Cypress Plantations – Changes in the Proportion of Throughfall Components. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
35. Tamura, K., Miyashita, N., Wakabayashi, S., Ohse, K. and Onda, Y., Morphological Characteristics of Brown Forest Soils under Japanese Cypress Plantations. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
36. Komatsu, Y., Onda, Y. and Ogura, A. The Relationship between the Subsurface Infiltration Rate and the Saturated Hydraulic Conductivity in Japanese Cedar and Hiba Plantation of Soils. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
37. Sun, X., Onda, Y., Kato, H., Saito, T. and Otsuki, K., Effects of Thinning on Evapotranspiration in an Abandoned Japanese Cypress Plantation. 3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, Fukuoka, 18-20 September 2012.
38. Murase, Y., Yamamoto, K., Takenaka, C. and Nonoda, T., The effects of deer enclosures to understory vegetation recovery in a thinned hinoki plantation, Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Ryukoku University, 18 March 2012.
39. Nam, S., Gomi, T., Kato, H., Tesfaye, T. and Onda, Y., Radionuclides deposition and fine sediment transport in a forested watershed, central Japan, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2011.
40. Hiraoka, M. and Onda, Y., Response of infiltration capacity to thinning treatment in Japanese cypress plantation. AGU 2011 Fall Meeting, San Francisco, December 5-9

- 2011.
41. Kato, H., Onda, Y., Kawaguchi, S. and Gomi, T. The Roll of Canopy on Interception and Redistribution of Anthropogenic Radionuclides Derived from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in Coniferous Forest Plantations, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2011.
  42. Onda, Y., Kato, H., Wakahara, T., Kawamori, A. and Tsujimura, M., Transfer of fallout radionuclides by Fukushima NPP accident from tree crown to forest ecosystem. AGU 2011 Fall Meeting, San Francisco, December 5-9 2011.
  43. Tsujimura, M., Onda, Y., Abe, Y., Hada, M. and Pun, I., Tracing nuclear elements released by Fukushima Nuclear Power Plant accident. AGU 2011 Fall Meeting, San Francisco, December 5-9 2011.
  44. Gomi, T., Kumakura, A., Mizugaki, S., Takahisa, F., Ishikawa Y. and Uchiyama, Y. Spatial distributions of forest stand condition, vegetation ground cover, and soil erosion for evaluating the linkages of sediment transport from hillslopes to streams in headwater catchments, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2011.
  45. Kume, T., Tsuruta, K., Komatsu, H., Shinohara, Y. and Otsuki, K., Difference of stand-scale transpiration between ridge and riparian area in a watershed with Japanese cypress plantation, AGU Fall Meeting, San Francisco, 7 December 2011.
  46. Teramage, M., Onda, Y., Kato, H and Gomi, T., Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Cs}$  from litter into soil's of Japanese cypress forest after Fukushima nuclear accident in Karasawayama catchment, Tochigi prefecture, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2011.
  47. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi K. and Onda, Y. Hydrologic responses to forest thinning in Japanese headwater catchments, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2011.
  48. Sooyoun, N. and Gomi, T., Suspended sediment yield after logging in mountainous watersheds: clear-cut and selective logging, International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (2nd), Sapporo, 15-16 September 2011.
  49. Kumakura, A., Gomi, T., Mizugaki, S., Furuichi, T., Ishikawa, Y. and Uchiyama, Y., Identifying the sources of fine sediment in headwater catchments with various vegetation ground cover conditions, International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (2nd), Sapporo, 15-16 September 2011.
  50. Murase, Y., Yamamoto, K., Takenaka, C., Nonoda, T. and Yuba, N., Development of method of understory vegetation coverage using two digital cameras, The Second International Conference on FORCOM: Followup and New Challenge for Coming Generations. Mie University, 27 September 2011.
  51. Nonoda, T., Shimada, H., Nishise, M., Tani, M. and Nakata, Y, Estimation of Crown Closure Rate in Sugi and Hinoki Stands after Heavy Thinning, FORCOM2011, Mie University, 28 September 2011.
  52. Chiwa, M., Ide, J., Higashi, N., Maruno, R. and Otsuki, K., Conversion of nitrate to dissolved organic nitrogen in stream water through serpentinite bedrock in a forested watershed, Japan, Geoscience Union Meeting 2011, Chiba, 12 May 2011.
  53. Hiraoka, M., Onda, Y. Factors affecting infiltration rate in steep-hillslope conifer plantation, 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, 13-17 December 2010. H31F-1065.
  54. Kato, H., Onda, Y., Nanko, K., Gomi, T. Field study of rainfall redistribution in Japanese cypress plantations, 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, 13-17 December 2010. H11H-0916.
  55. Dung, B. X., Gomi T., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y., Runoff response to forest thinning from plot to catchment scales in a Japanese headwater, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010.

56. Mengistu, T. T., Onda, Y., Kato, H., Wakiyama, Y., Mizugaki, S., Hiramatsu, S. Investigating soil and soil organic carbon (SOC) redistribution in forested area using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  techniques, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taiwan, 22-25 June 2010. GC23A-014.
57. Kume, T., Onozawa, Y., Komatsu, H., Tsuruta, K., Shinohara, Y. and Otsuki, K. : Stand-scale transpiration estimates in a Moso bamboo forest, American Geophysical Union Western Pacific Geophysocs Meeting, Taipei, Taiwan, 22 June 2010
58. Xue, B.L., Kumagai, T., Iida, S., Nakai, T., Matsumoto, K., Komatsu, H., Otsuki, K. and Ohta, T. : Influences of canopy structure and physiological traits on flux partitioning between under- and over-story in an eastern Siberian boreal larch forest, American Geophysical Union Western Pacific Geophysocs Meeting, Taipei, Taiwan, 22 June 2010.
59. Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Field and modelling studies on the effects of forest devastation on flooding and environmental issues. American Geophysical Union Fall Meeting 2009, San Francisco, U.S.A., December 14-18, 2009.
60. Fukuyama, T., Inoue, M., Yamamoto, M., Onda, Y., Wakiyama Y., Nakashima, T., Mizugaki, S., Distribution coefficient of  $^7\text{Be}$  in overland flow along a forested hillslope: field measurements and laboratory batch experiments, 4th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, Napa, California, USA. November 29–December 4, 2009.
61. Fukuyama, T., Inoue, M., Yamamoto, M., Onda, Y., Nakashima, T., In-situ and laboratory determined distribution coefficient of Beryllium-7 in overland flow on a forested hillslope, International Workshop on Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences. Excel Hotel Tokyu, Kanazawa City, Ishikawa Pref., Japan. November 5-6, 2009.

#### 4. 知財出願及びその他の著作物

(1) 国内出願 (0 件)

なし

(2) 海外出願 (0 件)

なし

(3) プログラムの著作物

なし

(4) データベースの著作物

なし

#### 5. 受賞・報道等

(1) 受賞

1. 2015 年日本森林学会, 日本森林学会賞, 五味高志, 2015 年 3 月 27 日.
2. 2014 年度水文・水資源学会研究発表会ポスター賞銀賞, 立石麻紀子・項楊・松田弘樹・大槻恭一・齋藤隆実, スギ・ヒノキ人工林における蒸発散量の間伐による変化について, 2014 年度水文・水資源学会研究発表会, 宮崎グリーンズフェア壱番館, 2014 年 9 月 25-28 日.
3. \*水文・水資源学会, 学術賞, 恩田裕一, 2013 年 9 月 26 日.
4. 平成 24 年度水文・水資源学会論文奨励賞, Bui Xuan Dung, 2012 年 9 月
5. 平成 24 年度砂防学会「高知大会」, 砂防学会若手優秀発表賞, Nam Soo Youn, Takashi Gomi, Yuichi Onda, Hiroaki Kato, Tesfaye Teramaji. Suspended sediment transport and radionuclide deposition in mountainous catchments with forest management

operation, 2012年5月23-25日.

6. 森林 GIS フォーラム 学生フォーラム in 森林学会 優秀発表賞, 森下絵理子, 2012年3月28日.

(2) マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 日本水道新聞, 荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発, 2013年1月24日.
2. 日本経済新聞, 放射性物質の影響調査拠点, 2012年12月4日.
3. 毎日新聞: 東日本大震災 福島第一原発事故 環境動態研究センター, 筑波大開設 放射能汚染を追跡, 2012年11月23日.
4. 福島民報, 重い「県土の7割」本件の森林除染徹底 かかる時間見当つかず, 2012年10月12日.
5. 朝日新聞(茨城首都圏版): 除染加速に確保必要 住民へデータ公表を-恩田・筑波大教授に聞く, 2012年09月26日.
6. 朝日新聞: 東日本大震災から1年半: 汚染との闘い続く, 2012年09月11日.
7. 日本水道新聞, 荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発, 2011年8月18日.
8. 読売新聞, 森に降下の放射性セシウム...落ち葉や枝に50~90%付着, 2011年9月14日.
9. 朝日新聞, 落ち葉取り除けばセシウム9割減, 森林の除染に手がかり, 2011年9月14日.
10. 水道産業新聞, 荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発, 2011年9月29日.
11. 読売新聞, 放射性物質の拡散 追跡 福島県で日仏調査 水や土の動きに注目, 2012年1月15日
12. 毎日新聞, 福島原発: 放射性物質測定精度向上へ標準試料...筑波大配布, 2012年2月4日.
13. 朝日新聞, 正確な放射能測定へ試料提供 土壌測定のばらつき校正, 2012年2月4日.
14. 読売新聞, 放射線の測定能力, 技能試験を実施へ, 2012年2月5日.
15. 産経新聞, セシウム定着の恐れ 福島の森の除染急務, 2012年3月1日.
16. TBS テレビ, 震災報道スペシャル 原発攻防180日の真実, 2011年9月11日.
17. NHK 総合テレビ: おはよう日本, 放射性物質 樹木で分布に違い, 2011年9月14日.
18. 朝日ニューズレター: 科学朝日, これからどうなる? 土地の放射能汚染, 2012年12月22日.

(3) その他

1. 大槻恭一, 森林に降った水のゆくえ, 放送大学福岡学習センター公開セミナー, 放送大学福岡学習センター, 2013年9月13日.
2. Otsuki K, The Role of Research Forest for Educating Foreign Students, International Forest Cooperation Workshop on "The Role of Research Forest for Educating Foreign Students", Chungnam University, Taejeon, Korea, December 11, 2013.
3. 笠原玉青, 川を支える“つながり”, 放送大学福岡学習センター公開講座, 放送大学福岡学習センター, 2013年11月24日.
4. 大槻恭一, 水源の森から与えられる水と物質, 放送大学福岡学習センター公開講座, 放送大学福岡学習センター, 2013年12月7日. Al Jazeera English: Fukushima forests found to be radioactive, 2013年3月10日.
5. TBS テレビ: 震災報道スペシャル 消えない放射能-最悪事故が残す汚染の実態-, 2012年9月17日.
6. テレビ朝日: 報道ステーション, 特集, 2012年8月22日.
7. MANAGING FORESTS TO IMPROVE RIVER ENVIRONMENTS: EXCLUSIVE INTERVIEW, MaximsNewsNetwork, 10 May 2011.

## 6. 成果展開事例

### (1) 実用化に向けての展開

- 本プロジェクトで構築している観測システムの一部を用いて、公益財団法人 福岡県水源の森基金の受託を受け、「標準伐期を延長した森林の水源かん養機能への影響と管理方法について」として研究を行っている。これは、標準伐期を延長した 40 年生以上の人工林が持つ水源涵養機能の評価を行うものである。
- 得られた統合モデル(流域を視点とした広域レーザー計測技術による林内環境の評価と森林管理による水資源管理)をパッケージ化することで、ユーザーに提供できるシステムの構築準備を進めている。実用化にむけて、水と森林管理を行っているサントリーなどと意見交換を進めながら実用化の方向性を検討している。

### (2) 社会還元的な展開活動

- 2012 年 9 月に福岡で開催された国際会議”3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment”において、本プロジェクト研究に関する JST 特別セッションを設け、研究成果について発表するとともに、観測サイトの現地見学会を行い、国際的な議論を交わした。
- 2014 年 3 月に大宮で行われた日本森林学会の大会において、森林水文ワークショップ「持続的な水供給に向けた森林管理による水資源涵養の向上と地下水利用技術の開発」として関連する CREST と共同して公開シンポジウムを開催し、一般に向けて情報発信した。
- 本プロジェクトの成果の一部は、国際的な学術誌である *Hydrological Processes* の特集号として 2015 年 11 月に発刊予定である。すでに関連論文の幾つかは受理されている。
- 本プロジェクトの成果を取りまとめた書籍を森北出版から 2015 年 6 月に出版できるように準備を進めており、大学生、技術者、行政官などが理解し、実践できる情報発信を行う予定である。
- 地域市民に向けた講演会をプロジェクト期間中におよそ 30 回開催し、本プロジェクトで得られた成果の一部を紹介した。その参加者は延べ 3000 人以上となった。

### (3) 他分野への波及効果

本プロジェクトで開発した森林施業と水循環の統合モデルは、システム収獲表 DDPS に森林施業による土壌浸透水量の期待増加量を組み込んだものであり、水資源対策としての森林管理を広く普及させる上で、非常に有用な情報を提供することが期待される。

## § 5. 研究期間中の活動

### 1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2015年 2月26日	法務省東海北陸矯正 管区協議会講演	名古屋 矯正管区	40名	地域での講演：蔵治光一郎 「森と水と人間の関係～社会的 共通資本の観点から～」
2015年 2月15日	2015年度第1回雑木 林研究会オープンセ ミナー	玄々化学 工業研修 センター 会議室	25名	地域での講演：蔵治光一郎 「実測データに基づく森林と 水と人間の関係」
2014年 11月29日	犬山市民総合大学環 境学部	愛知サイト	40名	愛知サイトの見学と討論
2014年 11月28日	公益社団法人日本水 道協会中部地方支部 平成26年度水道事 務講習会	名鉄トヨタ ホテル	100名	地域での講演：蔵治光一郎 「水源の森づくりの理論と実 践」
2014年 11月8日	(公社)日本山岳会東 海支部・関西支部・京 滋支部各自然保護委 員会第18回森の勉 強会	柿野温泉 八勝園湯 元館 会議室	50名	地域での講演：蔵治光一郎 「森と水の関係を解き明かす」
2014年 11月2日	鳥取県・NPO 法人賀 露おやじの会主催と っとりグリーンウェイブ 森林環境フォーラム	鳥取県福 祉人材研 修センター	50名	地域での講演：蔵治光一郎 「森と川の恵みと私たちの生 活を考える」
2014年 10月26日	豊田市森づくりの日基 調講演・森の健康診 断報告会フロアーディ スカッション	JAあいち 豊田本店 ふれあい ホール	180名	地域での講演：蔵治光一郎 「豊田市の森づくり10年のあ ゆみと森の健康診断」
2014年 10月18日	犬山市民総合大学環 境学部	犬山市役 所205 会議室	42名	地域での講演：蔵治光一郎 「森林の緑のダムとしてのはた らき」
2014年 8月23日	緑のダムと健康な森 づくり講演会	恵那市 中野方コ ミュニティ センター	58名	地域での講演：蔵治光一郎 「緑のダムと健康な森づくり」
2014年 8月2日	水源地域保全シンプ ジウム	じゅうろく プラザ	185名	地域での講演：蔵治光一郎 「森と水と人のかかわり」
2014年 7月19日	「川づくり会議みえ」第 12回総会記念講演	アスト津イ ベント情報 コーナー	約60名	地域での講演：蔵治光一郎 「森林はどれだけ水を貯めら れるのか」
2014年 7月12日	平成26年度 第41回岡崎市民 大学	岡崎市民 会館大ホ ール	約560名	地域での講演：蔵治光一郎 「岡崎市の森と水の過去・現 在・未来」
2014年 6月20日	(公社)新潟県緑化推 進委員会総会記念講	新潟県 自治会館	約150名	地域での講演：蔵治光一郎 「水源の森と私たちの暮らし」

	演会	講堂		
2014年 6月15日	とよた森林学校森林 セミナー	東京大学 演習林生 態水文学 研究所赤 津宿泊施 設	約40人	地域での講演:蔵治光一郎 「森林の持つ公益的機能」
2014年 6月12日	森の健康診断事前学 習	愛知淑徳 中学高校	約150人	小中高での特別授業:蔵治光 一郎
2014年 5月11日	AKAYA プロジェクト 活動報告会	新治農村 環境改善 センター	約100人	地域での講演:蔵治光一郎 「水と森と人の最新科学～水 と森の防人として～」
2014年 6月15日	飯塚サイトミーティ ングおよび第12回恩田 CREST 全体ミーティ ング(非公開)	飯塚サイ ト・九州大 学福岡演 習林	19人	林床面蒸発散量の測定方法 に関する打ち合わせ 各研究グループの成果報告 と今後の課題についての意見 交換
2014年 3月30日	森林水文ワークショッ プ2014	大宮ソニッ クシティ	約80人	学術交流
2014年 3月29日	第11回恩田 CREST 全体ミーティング(非 公開)	大宮ソニッ クシティ	28人	各研究グループの成果報告 と今後の課題についての意見 交換
2014年 2月12日	低コスト造林等導入 促進事業に係る林業 講演会	根羽村老 人福祉セ ンター	約50人	地域での講演:蔵治光一郎 「矢作川流域における森づく り・木づかいを考える」
2014年 1月29日	第10回恩田 CREST 全体ミーティング(非 公開)	東京ビッ グサイ ト	24人	各研究グループの成果報告 と今後の課題についての意見 交換
2013年 10月6日	岡崎きこり塾	ぬかた 会館	約120人	地域での講演:蔵治光一郎 「水とみどりの講演会 これ からの森と人との付き合い 方」
2013年 8月19日	東京農工大 FM 唐沢 山 サイトビジット2013	東京農工 大 FM 唐 沢山	35人	現地観測体制の見学および 討論
2013年 8月19日	第9回恩田 CREST 全体ミーティング(非 公開)	東京農工 大 FM 唐 沢山 宿舎	27人	各研究グループの成果報告 と今後の課題についての意見 交換
2013年 6月30日	岐阜県地方自治研究 センター	岐阜市 ワ ークプラザ	約150人	地域での講演:蔵治光一郎 「環境保全と税 ～清流の国 ぎふ森林・環境税～」
2013年 6月24日	フィールドサイトミーテ ィング(非公開)	飯塚サイ ト	7人	林床面蒸発の観測、作業道 プロットについての打ちわ せ
2013年 6月9日	とよた森林学校森林 セミナー	生態水文学 研究所	約40人	地域での講演:蔵治光一郎 「森林の持つ公益的機能」

		赤津宿泊施設		
2013年 6月8日	グループ代表者ミーティング(非公開)	銀座ルノアール マイスペース	11人	今後の方針についての意見交換
2013年 5月25日	エコネットあんじょう水源の森を考える講演会	安城市 市民会館	約80人	地域での講演:蔵治光一郎「水源の森を考える」
2013年 5月19日	豊かな森川海を育てる会	コープこうべ生活文化センター	約80人	地域での講演:蔵治光一郎「森からの発信ー川や海から森を語る際に知っておきたい森の知識ー」
2013年 5月11日	矢作川「川会議」	古川水辺公園	約200人	地域での講演:蔵治光一郎「森と川と人との深いつながり」
2013年 3月28日	森林水文ワークショップ2013	岩手大学	約50人	学術交流
2013年 3月27日	第6回全体ミーティング(非公開)	ホテルパールシティ盛岡	28人	各研究グループの成果報告と今後の課題についての意見交換
2013年 2月23日	かすがい環境まちづくりパートナーシップ会議	レディヤン春日井	約80人	地域での講義:蔵治光一郎「「森と水」の関係を解き明かす」
2012年 12月2日	第3回森林水文学を考える若手研究者の会	東京大学生態水文学研究所	約50人	若手の学術交流
2012年 11月26日	地上レーザースキャナ講習会、現地計測会(非公開)	東京農工大学 FM唐沢山	19人	地上レーザースキャナの講習会
2012年 9月18-20日	3rd International Conference on Forests and Water in a Changing Environment	福岡工業大学、FITホール、福岡	130名 (13カ国)	森林流域で樹木と水循環に関する研究を行う研究者たちが集い、環境が変化する中で森林・水資源の管理について議論する <a href="http://www.forest.kyushu-u.ac.jp/~ecohydrol/3ForestWater/index.html">http://www.forest.kyushu-u.ac.jp/~ecohydrol/3ForestWater/index.html</a> 「 Innovative Technology and Systems for Sustainable Forest Water Resources 」と題し、JST-CRESTセッションも開かれた
2012年 7月28日	設楽ダム連続公開講座 とよがわ流域県民セミナー第1回	愛知大学	約200人	地域での講義:蔵治光一郎「集水域が一体となって取り組む健全な水循環の再生」

2012年 6月10日	とよた森林学校 森林 セミナー	東京大学 演習林生態水文学 研究所赤 津研究林	約45人	地域での講義:蔵治光一郎 「森林の公益的機能」
2012年 4月21日	第5回全体ミーティン グ(非公開)	筑波大学 東京キャン パス	22人	各研究グループの成果報告 と今後の課題についての意見 交換
2012年 4月19日	かわさき市民アカデミ ー「環境とみどり」講座	川崎 市生涯学習 プラザ	約100人	地域での講義:蔵治光一郎 「森林保全と市民活動」
2011年 11月29日	魚眼・下層植生測定 法講習会(非公開)	名古屋 大学	8人	光環境・下層植生被度測定 及び分析方法を研究グルー プ間で統一するための講習 会
2011年 11月6日	第5回CREST全体ミ ーティング(非公開)	東京農工 大学演習 林 FM 唐 沢山	19人	各研究グループの成果報告 と、今後の課題についての意 見交換
2011年 10月20日	高性能林業機械によ る搬出間伐研修	東京農工 大学演習 林 FM 唐 沢山	25名	間伐作業についての講習会
2011年 10月20日	コープあいち環境セミ ナー	ウイंकあ いち(愛知 県産業労 働センタ ー)	約150人	地域での講義:蔵治光一郎 「過去・現在・未来の森づくり 私たちは未来世代に どのよ うな森を残せるか」
2011年 8月27日	矢作川流域圏懇談会 第4回勉強会	奥矢作レ クリエーシ ョンセン ター	約50人	地域での講義:蔵治光一郎 「矢作川流域の山の現状を 理解するための基礎知識」
2011年 8月19日	福岡サイトミーティン グ(非公開)	九州大学 演習林	5名	間伐方法および測定項目に ついての打ち合わせ
2011年 7月28日	2011年国連国際森 林年 名古屋市立大 学 市民シンポジウム	名古屋 市立大学	約200人	地域での講義:蔵治光一郎 「国の森林・林業政策と 名古 屋・愛知の森林での取り組 み」
2011年 5月29日	とよた森林学校 森林 セミナー	東京大学 演習林生態水文学 研究所赤 津研究林	約45人	地域での講義:蔵治光一郎 「森林の公益的機能」
2011年 4月10日	第4回恩田 CREST 全体ミーティング(非 公開)	名古屋大 学農学部	27名	昨年度の研究成果発表と、今 年度の研究計画の確認

2011年 3月5日	ウォーター・ライフバランス・コーディネーター実地視察講義	多摩川源流大学(山梨県小菅村)	約20人	地域での講義:蔵治光一郎「水と水源と森林 特に、東京の水源について」
2010年 11月28日	第3回恩田CREST全体ミーティング(非公開)	九州大福岡演習林	21人	各研究グループの成果報告と、今後の課題についての意見交換
2010年 11月28日	西播磨地区林業改良普及協会「ふるさとの森講演会」	上郡町生涯学習支援センター(兵庫県上郡町)	約200人	地域での講義:蔵治光一郎「木材生産と公益的機能の両立は可能か」
2010年 11月25日	公開シンポジウム「内湾の機能回復のための海と陸からのアプローチ」(主催:漁業用水問題研究会)	GE カレッジホール, 東京	140名	森から海まで『水によってつながっている』さまざまな関係者が集まり、内湾の環境の現状と課題についての認識を共有し、その課題解決と今後の望ましいあり方を模索 <a href="http://www.gecollege.or.jp/event/lecture/101125symposium.htm">http://www.gecollege.or.jp/event/lecture/101125symposium.htm</a> 大槻恭一:「森林からの物質供給」を講演
2010年 11月6日	日中首都圏水管理国際学術検討会(主催:北京市水利科学研究所)	北京香山飯店, 北京, 中国	200名	逼迫する北京市の水資源問題を解決するために、日本の水管理者・研究者と首都圏の水管理に関して検討 大槻恭一:「都市水源地生態システム管理」を講演
2010年 6月29日	名大・三重県合同グループミーティング(非公開)	三重県林業研究所	7人	三重県大台町内試験地設置についての打合せ
2010年 9月25日	(財)林業経済研究所シンポジウム「森林資源の多様性と山村再生」	東京大学弥生講堂	約170人	地域での講義:蔵治光一郎「何がもったいないのかー「再生プラン」は防災、水資源涵養機能と調和しうるかー」
2010年 5月10日	平成22年度桂川・相模川流域協議会定期総会基調講演	サンエールさがみはら(相模原市)	49人	地域での講義:蔵治光一郎「森林と水量、水質の関係」
2010年 4月5日	第2回恩田CREST全体ミーティング(非公開)	筑波大学総合研究棟	29人	各研究グループの成果報告と、今年度の研究計画についての発表会
2010年 1月15日	九大グループミーティング(非公開)	九州大学	6人	九大グループの成果報告と、今後の課題についての意見交換
2010年 1月14日	筑波大グループミーティング(非公開)	筑波大学総合研究棟	6人	筑波大グループの成果報告と、今後の課題についての意見交換

2009年 12月9日	名古屋グループミー ティング(非公開)	名古屋大 学農学部 A438号室	8人	愛知フィールド観測計画等、 研究打合せ
2009年 11月8日	第1回恩田CREST 全体ミーティング(非 公開)	東京農工 大FM唐 沢山演習 林	23人	恩田CRESTメンバーの顔合 わせと、分担する研究内容の 発表会

## §6. 最後に

5年半ものあいだ、自由に研究活動を進めさせていただき感謝しております。また、適切な評価委員のコメントもこの研究の大きな後押しとなりました。今後とも残された課題、新たな課題を解決すべく努力していく所存です。どうもありがとうございました。

