

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「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」

研究終了報告書

研究期間 平成15年10月～平成21年3月

研究代表者：恩田 裕一

(筑波大学大学院生命環境科学研究科 准教授)

§ 1 研究実施の概要

1) 研究のねらい

日本の国土の約 40%は人工林であり，そのうち半数以上がスギ・ヒノキ林であると報告されている．特に，日本各地の 30～40 年生のヒノキ人工林では，材価の低迷や林業労働力の不足により，下枝打ちや間伐等の管理が放棄された森林が多い．このような森林では，立木密度が大きく林冠が閉塞しており，日射量の不足により林床の植生が消失して，表面流の発生や表土の流亡が生じている．

森林管理状態と水・土砂・栄養塩類等の流出状況とその機構の解明，将来的な森林管理のあり方に向けた提言のために，全国 5 カ所（東京，信州，愛知，三重，高知）に異なる空間スケールの観測流域を入れ子状に設定し，水流出・降雨・流出物質の観測及び解析を行うことを目的とした．流域サイズはサイトによって異なるが，入れ子状に設定した流域末端部に水文観測施設を配置している（図 1-1）．小試験流域では，ヒノキやスギなどの人工林，広葉樹林，また，信州サイトに特徴的な人工林であるカラマツ林に分類され，河川流出水に加えて，最小空間スケールとして流域斜面に小区画（プロット）を設置し，表面流出水も観測することとした．

2) 研究実施方法

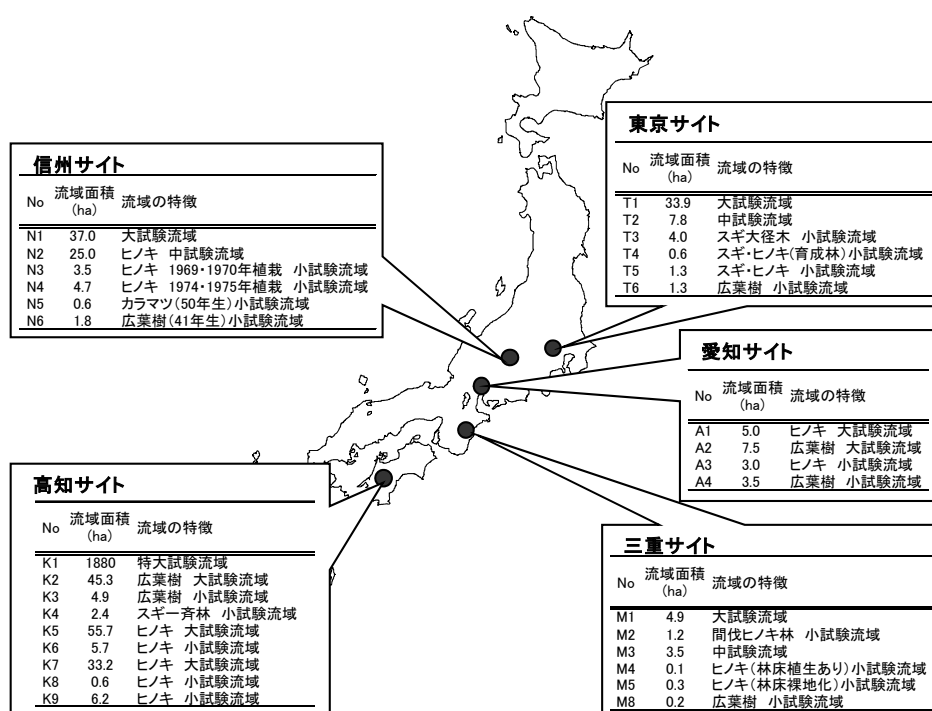


図 1-1 観測流域の概要

観測サイトの概況

人工林の面積割合は各地域の気候・立地・地質・地形などの場の条件や林業政策的背景によって異なっている．図 1-2 に観測対象サイトが属する都県の人工林面積の割合を示す．都県の人工林面積の割合を見ると，高知県・三重県・愛知県などの西日本において，ヒノキ人工林面積の割合が大きくなっていることがわかる．各一方，長野県ではカラマツ林面積（その他の項目に含まれる），東京都ではスギ林面積の割合が大きい．

このような植生分布の地域的特徴によって、表面流の発生が下流域の洪水発生に及ぼす影響や森林における土壌流亡の問題に対するヒノキ人工林の社会的位置付けは異なってくると予想される。

観測流域の概況と観測設備

それぞれの流域の地質は、東京サイトが砂岩・泥岩を主とする秩父帯の堆積岩、信州サイトが領家帯の花崗岩、三重サイトは頁岩が変成された結晶片岩、愛知サイトが新第三紀堆積岩、高知サイトが砂岩・泥岩からなる四万十帯の堆積岩である。

各サイトでは、森林管理履歴・立木密度・林床植生の異なる小試験流域を入れ子状に配置した観測を行った。図 1-3 は代表的な林分の写真を示したものである。

高密度に植栽された 40 年生のヒノキ林の林床では植生や有機物層がほとんどみられず、土壌が裸地化している。ヒノキ林の林冠は閉塞しており、林床の光条件はよくない。ヒノキの落葉は、細片化しやすく、雨滴や表面流によって運搬されやすいために、裸地化しやすい。それに対し、植栽後、複数回間伐された流域の斜面では、シダ類が繁殖しており、有機物層が発達している。一方、広葉樹では、低木の広葉樹林や林床植生の被覆が認められる。スギ林では、スギの枝や落葉などが見られ、林床植生の生育も確認できることが多い（図 1-3）。

対象流域の末端部では、パーシャルフリュームを設置し（図 1-4）、TruTrack 社製の水位センサーを用いて水位を 5 分毎に計測し、流量を計算した。観測流域付近で樹冠に覆われていない場所で、転倒マス雨量計によって雨量を計測した。また、降雨サンプラーにより雨水サンプルを採取した（図 1-4）。降雨サンプラーは 2 リットルのボトル 4 本によって構成されており、降雨が継続し 1 本目のボトルが満水すると 2 本目のボトルに自動的に水が分配される仕組みになっている。各観測流域には、自動採水機（アメリカン SIGMA 社製）を設置している。自動採水機は、降雨イベント時の水位の上昇を感知することで、採水を開始し、設定によって 30

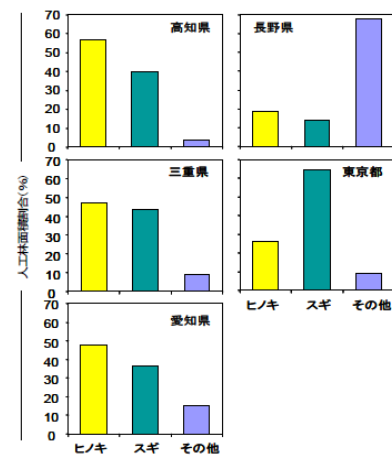


図 1-2 観測対象サイトが属する都県の人工林に占める樹種の面積割合



図1-3 各サイトの林床の様子とヒノキ林の林冠



図1-4 観測設備の概況

分から 1 時間間隔で洪水イベント時の水を採取した。各サイトでは、林床植生などの条件の異なる各流域の斜面に幅 0.5 m× 長さ 2 m の小区画（プロット）を配置し表面流の発生を観測した。プロット表面を流下した水が、プロット下端の樋に集められ、それが 100 リットルタンクへ溜められる仕組みである。タンクの水位を 5 分ごとに計測することによって、降雨と表面流流出量の時系列変化を把握した。

3) 研究結果

本プロジェクトにおいて、特に荒廃人工林における流出の比較に関する初めてのデータを取得することができた。全国の 4 流域において、 $\delta^{18}\text{O}$ を用いて降雨時の流出を分離したところ、ヒノキ人工林の方が広葉樹流域に比べ当該降雨による流出成分（「新しい水」成分）が多かった。プロットからの表面流発生はヒノキ林からの流出が他の樹種より多いという結果が得られた。現地観察によると新しい水は、ホートン型表面流（降雨強度が浸透強度を上回ることによって発生する表面流）のことが多いが、土壌劣化が進んだところでは根系流（土壌表層部の根系層に沿った浅い側方流）が卓越する場所もあった。また、新しい水の割合は流域面積にはあまり依存せず、流域の荒廃人工林の面積率と関連があることがわかった。データ数や降雨・流出イベントの規模は一般論として語るには未だ充分ではないものの、小規模降雨イベント時（総雨量 80 mm 以下）では、荒廃したヒノキ人工林流域の方が広葉樹林流域よりも表面流が多く発生するためにピーク流出高が大きく、早い流出成分（クイックフロー）も明らかに大きくなった。一方、降雨規模が大きくなると（総雨量 80 mm 以上）、土壌が湿潤になり、土壌中の雨水もすばやく流出する傾向があることから、ホートン型表面流が洪水流出に及ぼす影響は相対的に小さくなる可能性がある。

現地観測で得られた情報は流出モデルのパラメータなどの入力条件として活用し、流出成分分離結果をモデルのパラメータ同定に活用する新しい試みも行われ、良い結果を得ることができた。林床被覆度と浸透能の関係を明らかにするために、振動ノズル型散水装置を開発し、三重フィールドの異なる林床被覆度地点において現地浸透能試験をおこなった。その結果、浸透能は下層植生による被覆度が大きいほど高くなる傾向が認められた。相対照度が大きくなると、流域スケールの表面流や表面侵食土砂の寄与が小さくなる傾向が見られた。間伐による光環境の改善が下層植生の侵入、生育を促すことで、雨滴衝撃が緩和されて雨水が地下に浸透しやすくなり、地表面からの水、土砂流出の寄与が減少することが示された。また、森林荒廃から回復した場合、森林荒廃面積が増加した場合のシナリオについて、シミュレーションで流出特性の変化を予測できた。本研究では、リモートセンシングで推定される浸透能の空間分布や森林の荒廃度を考慮することによって、より広域を対象とした森林状態を考慮したモデル化を進める手法を提案することができた。この結果と森林維持管理モデルを組み合わせることで、間伐などの森林管理が森林の公益的機能に与える影響を定量的に評価できる。また、システム収穫表を用いることで、間伐基準の明確な施業計画による水資源に配慮した新たな人工林管理の指針を作成することができた。

§ 2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

1. 研究目的

本研究は、人工林の荒廃という人為的土地改変が将来の水循環、洪水発生、下流域の河川環境に与える影響等の予測のための観測、シミュレーションを行うことで、現在は全森林面積の 40%以上を占めるに至った人工林の維持・管理方法について提言を行い、今後の水資源の循環予測・持続的利用のための基礎資料を提示する。また、リモートセンシングによる分析等、広域をカバーする様々な手法を組み合わせ、プロットスケール、源流域スケール、大試験流域スケールについて洪水流出や水質形成（特に $\text{NO}_3\text{-N}$ 、濁質、水温、溶存有機物）、森林の変化に関してのモデリングを行い、将来的な影響の予測をする。また、森林からの細粒土砂の流出量を測定するとともに、放射性核種を用いて、森林流域から流出する細粒土砂の生産源を推定する。さらに、将来予測シミュレーションを通じて、その森林をどのように管理するか（間伐の時期・強度、天然林化等）についても提言を行う。その際、林床において降雨時と同様な雨滴衝撃を与えることのできる人工降雨装置を開発し、林床植生と浸透能との関連を調査することにより、水資源に配慮した施業計画を提案する。

2. 研究方法

本プロジェクトでは、人工林の荒廃による洪水発生メカニズムの解明およびそのモデリングと予測技術の開発のため、まず日本の各地に人工林の荒廃が著しい 5 つの大試験流域を設定し、その中からヒノキ人工林、スギ人工林、カラマツ人工林地を対象として施業履

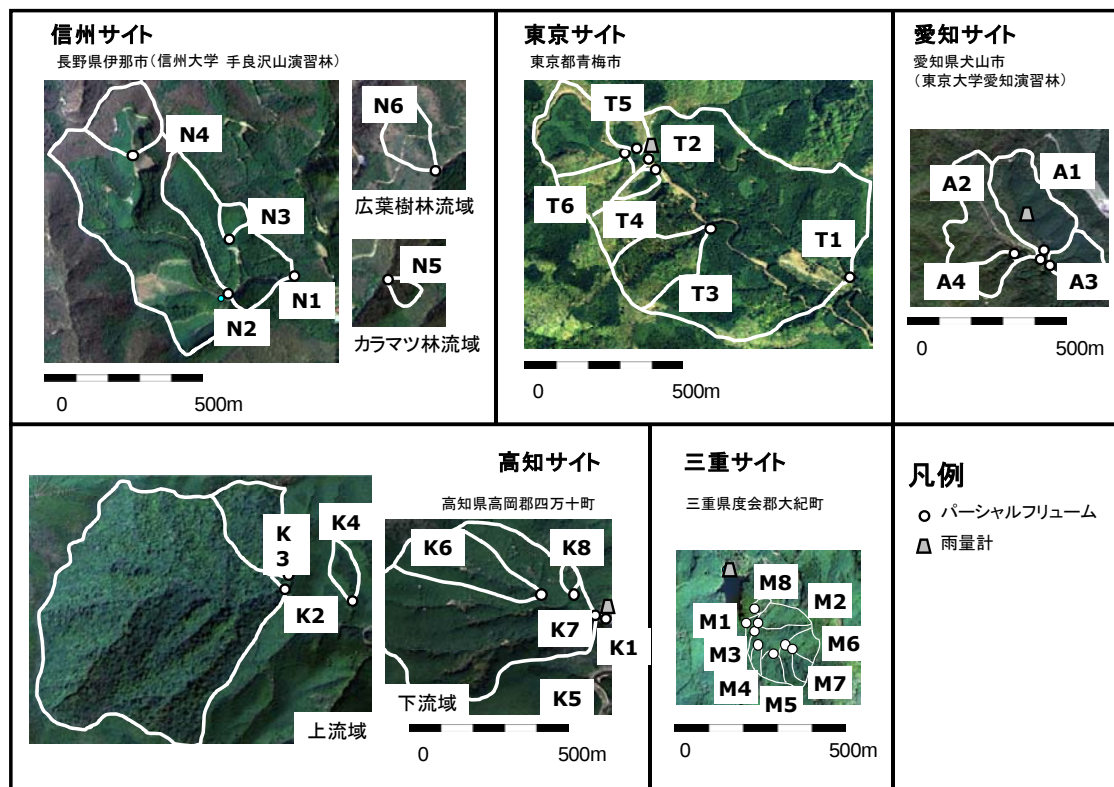


図 2-1 各観測サイトの調査流域

歴の異なる荒廃した林分を選定した（図 2-1）。対象とする大試験流域は、高知県のヒノキおよびスギ林からなる流域、三重県のヒノキ林流域、長野県のカラマツおよびヒノキ林流域、東京都のスギ、ヒノキ林流域、愛知県のヒノキ林流域である。

水資源上もっとも問題が大きいと思われるヒノキ林についてはすべての流域で観測を行い、比較対象としての広葉樹林における観測も併せて行うこととする。ヒノキ林流域に関しては各大試験流域内において、荒廃していると思われるプロットや源流域を選定し、それらのデータを統合化することにより、その地域の地形・気象等の影響もあわせて、洪水流出に及ぼす影響を総合的に評価する。

各調査流域においては、図 2-1 に示すような流域を新たに設定した。具体的には、1) 樹種、荒廃度の異なる 3-4 箇所の流出観測用プロットを設定する（表 2-1）、また 2) 樹種、荒廃度の異なる 3-4 箇所の源流域（1ha 程度）を設定し、流量、土壌水・地下水位（一部の流域）を測定する。また、3) 1-2 箇所の試験流域（10ha 程度以上）における流量測定を行う。これらの観測流域は入れ子状に配置し（図 2-1）、それぞれのスケールでの現象の解明とともにスケールアップによる現象の変化も観測できるようにした。

各観測地点では、斜面からの水流出が河川流出にどのような影響があるかを観測するとともに、洪水時における流出水を採水し $\delta^{18}\text{O}$ の分析や化学分析（K, Ca や SiO_2 ）を行い、大試験流域からの流出水の flow path を明らかにした。そして、各空間スケールでの水流出メカニズムと、人工林荒廃が流出メカニズムのスケール効果や洪水発生に及ぼす影響について検討した。また、各試験流域において、林床の被覆と浸透能を測定した。

これらの結果を基に、斜面土壌および浸透モデリング、源流域の分布型モデリング、大試験流域における洪水発生モデリング、森林成長モデルと土壌変化モデルを組み合わせた森林成長・荒廃予測モデル、水質形成モデル、について 3 つの空間スケールにおいてモデル化を行い、洪水の予知、将来予測等を通じて、今後の河川洪水対策・および流域管理計画に資することを目的とする。また、人工林からの水・土砂流出を抑えるための森林施業モデルを現地データに基づいて構築した。

3. 研究の進め方

研究の項目、手順を表 2-2 にまとめた。本研究遂行上最も重要な点は観測、流域の設置場所である。そのためには、十分な予備調査により荒廃の著しい流域を選定した。また、大試験流域においてはすべてが同一の森林管理状態である場合は少ないので、モデリングの際は分布型モデルを用いて大試験流域における、樹種・施業の影響についてモデル化した。

表 2-1 各観測サイトと斜面プロットの概要

高知サイト				
場所	高知県高岡郡四万十町・葛籠川流域			
地質	砂岩・泥岩からなる堆積岩			
プロット	樹種	立木密度 (本/ha)	林床被覆度	斜面勾配 (°)
K11	常緑広葉樹	2200	4	30.0
K11-2	常緑広葉樹	2200	4	30.0
K12	スギ	1430	4	32.0
K12-2	スギ	1430	4	32.0
K14	ヒノキ	no data	1	31.0
K15	ヒノキ	1500	+	34.8
K16	ヒノキ	1600	1	38.8

三重サイト				
場所	三重県度会郡大紀町・宮川流域			
地質	頁岩が変成された結晶片岩			
プロット	樹種	立木密度 (本/ha)	林床被覆度	斜面勾配 (°)
M14	落葉広葉樹	no data	5	43.0
M11	ヒノキ	1500	5	38.5
M13	ヒノキ	4500	+	46.0

東京サイト				
場所	東京都青梅市・荒川支流成木川流域			
地質	砂岩・泥岩を主とする堆積岩			
プロット	樹種	立木密度 (本/ha)	林床被覆度	斜面勾配 (°)
T15	落葉広葉樹	700	2	31.8
T13	スギ	2100	5	33.0
T14	ヒノキ	2500	r	38.0

*林床被覆度はブラウン・ブランケ（1971）の区分による（表 3.5-1 参照）

現地データの取得の際には、測器はすべて同一のものをを用い、データの解析等も標準化し、質の高いデータの取得に留意した。流域の維持管理については、各流域グループのリーダーが責任をもって行う体制をとった。また、データの共有にはサーバーを用い、速やかなデータの共有化を図った。

また将来予測においては、国土利用を決定づける重要な問題と位置づけ、間伐・天然林化等あらゆる選択肢の中から、望ましい人工林の施業についての提言を行う。

表 2-2 研究開発スケジュール

		15年度	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
準備研究	1) 現地予察	←→					
	2) 観測機器の準備・設置	←→					
	3) 詳細地図の作成	←→					
現状説明研究	1) プロット・源流域、流域スケールにおける現地観測		←→	←→	←→	←→	
	2) リモートセンシングによる 荒廃森林抽出		←→	←→	←→	←→	
	2) プロットスケールにおける モデリング		←→	←→	←→	←→	
	3) 源流域スケールにおける 分布型モデリング		←→	←→	←→	←→	
	4) 洪水流出モデリング		←→	←→	←→	←→	
将来予測研究	1) 森林の成長・森林施業と 洪水流出シミュレーション				←→	←→	
中間総括と問題整理				←→			
研究総括と望ましい人工林の施業についての提言						←→	

(2) 実施体制

総合解析グループ	恩田裕一	筑波大学大学院生命環境科学研究科 准教授	総括、濁水起源
流出観測グループ	寺嶋智巳	京都大学防災研究所 准教授	東京における観測
流出モデリング グループ	Roy Sidle	京都大学防災研究所 教授	分布型流出モデリング
森林維持管理 グループ	竹中千里	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授	森林成長モデリング

§ 3 研究実施内容及び成果

3. 1 研究チーム全体として

本プロジェクトにおいて、特に荒廃人工林における流出の比較に関する初めてのデータを取得することができた。全国の4流域（東京、信州、愛知、高知）において、 $\delta^{18}\text{O}$ を用いて降雨時の流出成分を分離したところ、ヒノキ人工林の方が広葉樹流域に比べ「新しい水」の成分が多かった。プロットからの表面流発生はヒノキ林からの流出が他の樹種より多いという結果が得られたが、土壌が失われ粗粒化した場合、空隙が大きくなった場合などは、表面流発生は他の樹種と同様の値となった。しかし、斜面長の25 m程度の大プロットにおいては、荒廃ヒノキ林からの水流出が大きいことがわかった。表面流発生の要因として、林床が裸地化したヒノキ林でのクラストの形成や表層土壌の撥水性が重要な役割を果たすことが示された。

現地観察によると新しい水は、ホートン型地表流であることが多いが、土壌荒廃が進んだところでは根系流が卓越する場所もあった。また、新しい水の割合は流域面積にはあまり依存せず、流域の荒廃人工林の面積率と関連があることがわかった。データ数や降雨・流出イベントの規模は一般論として語るには未だ充分ではないものの、小規模降雨イベント時（総雨量80 mm以下）では、荒廃したヒノキ人工林流域の方が広葉樹林流域よりも表面流が多く発生するためにピーク流出高が大きく、クイックフローも明らかに大きくなった。一方、降雨規模が大きくなると（総雨量80 mm以上）、土壌が湿潤になり、土壌中の雨水もすばやく流出する傾向があることから、ホートン型表面流が洪水流出に及ぼす影響は相対的に小さくなり、ヒノキ林と広葉樹林の違いは現れなくなると考えられる。

モデリンググループでは、現地観測で得られた情報を流出モデルのパラメータなどの入力条件として活用し、流出成分分離結果をモデルのパラメータ同定に活用する新しい試みも行われ、良い結果を得ることができた。また、森林荒廃から回復した場合や、森林荒廃面積が増加した場合のシナリオについて、シミュレーションで流出特性の変化を予測できた。リモートセンシングから推定した浸透能の空間分布や森林の荒廃度を考慮することで、より広域の森林状態を考慮したモデルの展開手法を提案することができた。提案したモデルは、森林管理による浸透能変化を予測できるとともに、流域内で表面流が発生しやすい箇所を予測することで、森林管理が必要な地域の特定・選定が可能となり、水流出プロセスから考慮した森林管理の方向性を検討するツールとなると考えられた。

林床被覆度と浸透能の関係を明らかにするために、振動ノズル型散水装置を開発し、三重フィールドにおいて現地浸透能試験を行った。森林荒廃度の指標となる相対照度と、表面流出水や表面侵食土砂との関係について、三重サイトのヒノキ林流域を対象に検討した。その結果、流域内の相対照度が大きくなると、降雨流出に対する表面流の寄与や渓流水中の浮遊土砂における表面侵食土砂の寄与が小さくなる傾向が見られた。間伐による光環境の改善が下層植生の侵入、生育を促すことで、雨滴衝撃が緩和されて雨水が地下に浸透しやすくなり、地表面からの水、土砂流出の寄与が減少することが示された。この結果と森林維持管理モデルを組み合わせることで、間伐などの森林管理が森林の公益的機能に与える影響を定量的に評価できる。また、システム収穫表を用いて、間伐基準の明確な施業計画により、水資源に配慮した新たな人工林管理の指針を作成することができた。

3. 2 フィールド観測グループ（千葉大学，信州大学，京都大学，高知大学，筑波大学）

(1) 研究実施内容及び成果

1) 研究のねらい

フィールドグループでは，森林管理状態と水・土砂・栄養塩類等の流出状況とその機構の解明，将来的な森林管理のあり方に向けた提言のために，全国 5 カ所（東京，信州，愛知，三重，高知）に異なる空間スケールの観測流域を入れ子状に設定し，水流出・降雨・流出物質の観測及び解析を行うことを目的とした．また，河川流出水に加えて，最小空間スケールとして流域斜面の区画（プロット）を設置し，表面流出水も観測した．

2) 研究実施方法・成果

①プロットからの表面流出

森林斜面における表面流発生については研究例が少なく，樹種や林相が表面流発生に与える影響については基礎的な情報が不足している．そこで高知・三重・東京サイトの樹種，林相，土壌特性の異なる斜面において表面流出量を観測し，樹種および林相，土壌の特性が表面流発生に及ぼす影響について検討することを目的として研究を行った．各プロットの概要は表 2-1 に詳しい．

降雨イベントにおける総降雨量に対する総表面流出量を図 3.2-1 に示す．林床が裸地化したヒノキプロット K14, K15, K16, M13, T14 の平均表面流出率（降雨イベントごとの総表面流出量／総降雨量の平均）は 0.20, 0.58, 0.37, 0.31, 0.09 であった．一方，広葉樹プロット K11, K11-2, M14, T15 の平均表面流出率は，0.13, 0.07, 0.14, 0.05 であった．こ

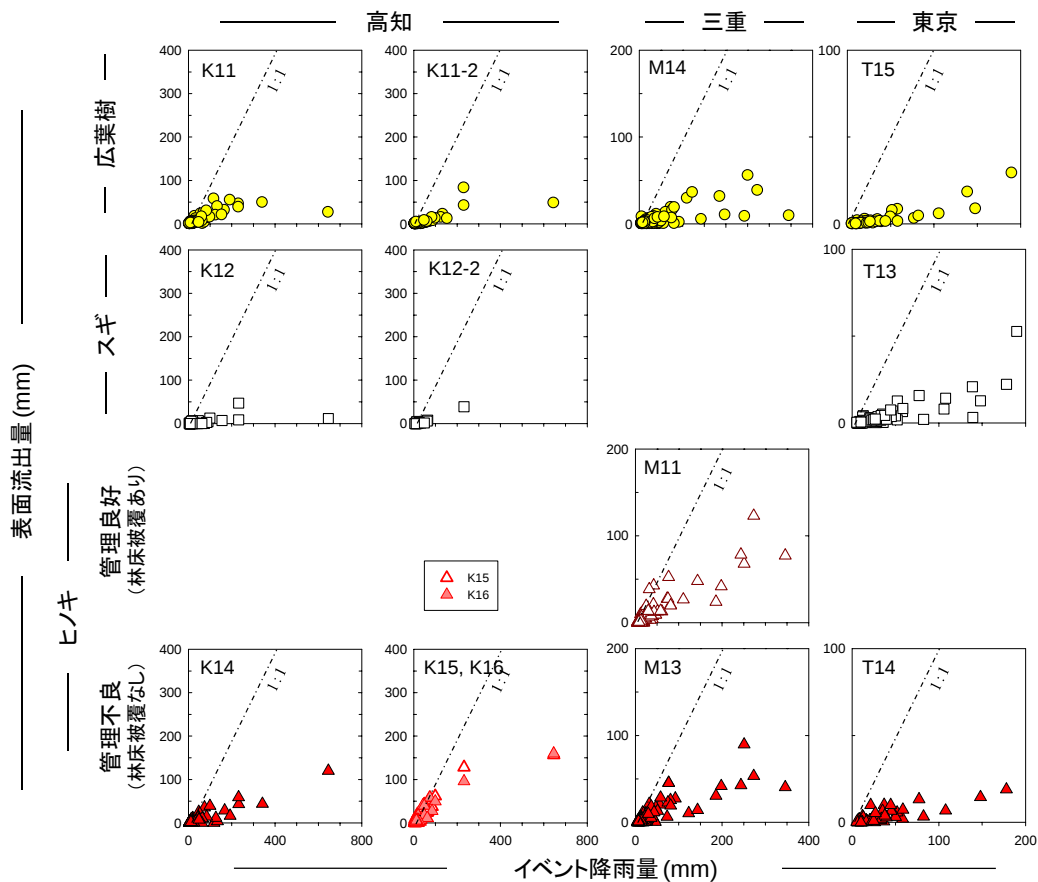


図 3.2-1 各斜面プロットにおける表面流出量

これらの結果は、林床が裸地化したヒノキ林の方が、広葉樹林斜面よりも表面流の発生が多いことを示している。また林床がほぼ完全に下層植生とリターで被覆されていたスギプロット K12, K12-2, T11 においても表面流が発生していた。三重サイトの管理施業が良好なヒノキプロット (M11) と放置されたヒノキプロット (M13) について比較すると、管理施業が行われ下層植生が繁茂する M11 においても表面流が発生し、林床が裸地化した M13 よりも大きい表面流出量がしばしば観測された。この一因として、ヒノキ林土壤のもつ強い撥水性によって雨水の浸透が妨げられ、表面流が発生するためと考えられる (Miyata et al., 2007)。M11 および M13 において、深度 0–5 cm の表層土壤が強い撥水性をもつことが示されていることから (Gomi et al., 2008)、林床被覆度の違いに関わらず M11 と M13 において多くの表面流が発生したと考えられる。

このような各プロットにおける浸透特性の違いについて検討する。浸透特性を定量化するために、田中・時岡 (2007) の提案した下式を用いて最大浸透能 FIR_{max} を求めた。

$$= \tanh \quad (3.2.1)$$

ここで、 FIR は各降雨イベントの最大降雨強度からそれに対応する表面流出量を差し引いて求めた浸透強度 [mm/h]、 FIR_{max} は降雨強度が十分に大きい時の浸透能 [mm/h]、 R は降雨強度 [mm/h] を示す。各プロットについて求めた最大浸透能はヒノキ林のプロットにおいて小さい傾向がみられるものの、ヒノキ林においても最終浸透能が高いプロットもみられるなどのばらつきがあった。

図 3.2-2 に 3 サイトの各プロットで採取した土壤の有効粒径 (粒径加積曲線の 10% 粒径) と最終浸透能の関係を示す。有効粒径が 0.02 mm 以下の土壤では、算出された FIR_{max} は 1 点を除いて広葉樹林・スギ林よりもヒノキ林で低い値を示した。これは、雨滴衝撃により裸地化した地表面にクラストが形成されていることを示唆する。1 点のみヒノキ林で高い FIR_{max} を示した地点 (東京サイト) は、土壤のかさ密度が 0.51 と他の地点 (約 0.7 程度) よりかなり低く、表層土壤に根系が多くみられ、根系をつたう浅い土壤中の流れが認められた (図 3.2-3)。また、強度の撥水性が見られた三重サイトにおいて、降雨に対する浸透強度を土壤が非常に湿潤な状態 (半減期が 7 日の API が 150 mm を超えるとき) と通常時 (API < 150 mm) とを比較すると、非常に湿潤なときに最終浸透能が高くなることが示された (図 3.2-4)。このように、自然降雨に対しては土壤の撥水性も浸透能に影響を及ぼすことが明らかとなった。

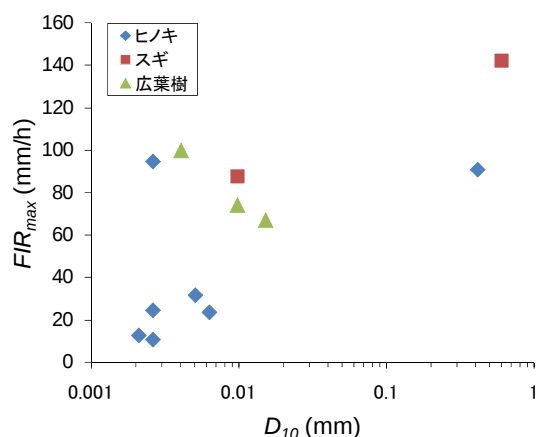


図 3.2-2 土壤の有効粒径 D_{10} と最大最終浸透能 FIR_{max} の関係



図 3.2-3 東京サイトにおける管理放棄されたヒノキ林斜面下部のバイオマットに沿った水の流出。万能ナイフの長さは約 10 cm、根の直径は数 mm 以下。

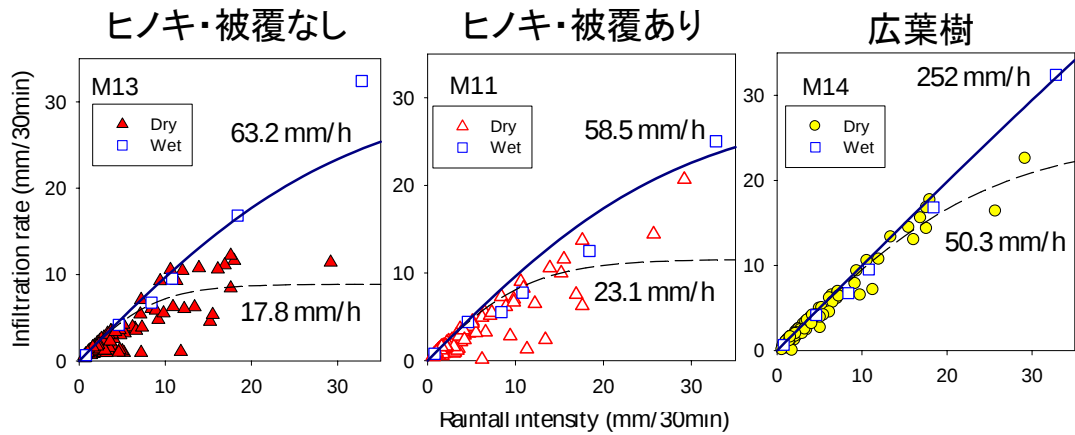


図 3.2-4 降雨強度と浸透強度の関係
実線、破線はそれぞれ湿潤、乾燥状態での関係を式 3.2.1 より求めた近似曲線をあらわす。

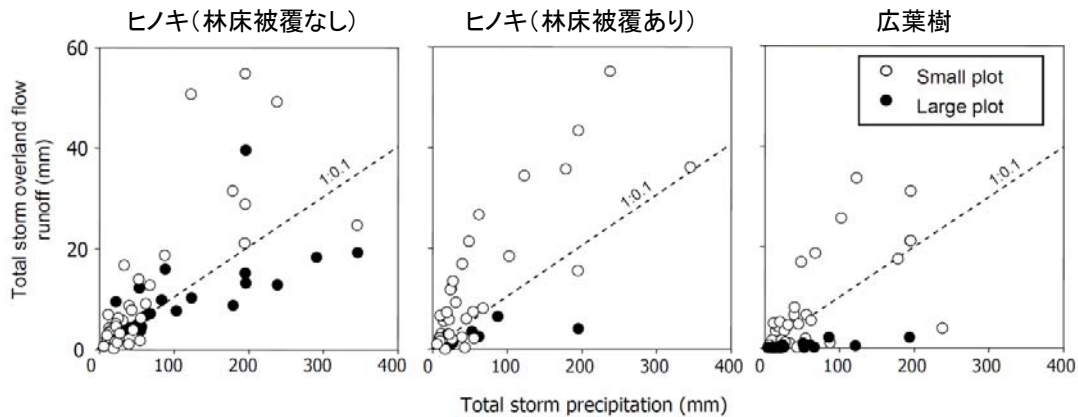


図 3.2-5 三重サイトの 3 斜面における斜面プロットと大プロットの表面流出量比較

斜面プロットの小さいスケールにおいては、下層植生で覆われたプロット（たとえば M11）でも多量の表面流が発生していた（図 3.2-1）。しかしながら、三重サイトにおいて斜面プロット（M14, M11, M13；幅 0.5m×斜面長 2m）と同じ 3 斜面に設置した大プロット（幅 8m×斜面長約 20m）における表面流出量を比較すると、いずれの斜面においても大プロットの方が単位面積あたりの表面流出量が小さかった（図 3.2-4）。ただし、斜面プロットと大プロットの流出量比は、林床被覆に富む他の 2 斜面において林床被覆のないヒノキ林斜面よりも大きかった。このことから、下層植生などの林床被覆のある斜面では表面流の流れの連続性が低く、斜面で発生した表面流は斜面を流下する過程で大部分が土壤に浸透したと考えられた（図 3.2-6）。

東京サイトのヒノキ林斜面においては、浸透能は比較的高いが、土壤空隙が多く、土壤の表層部に存在する根系層（バイオマット；図 3.2-3）に沿

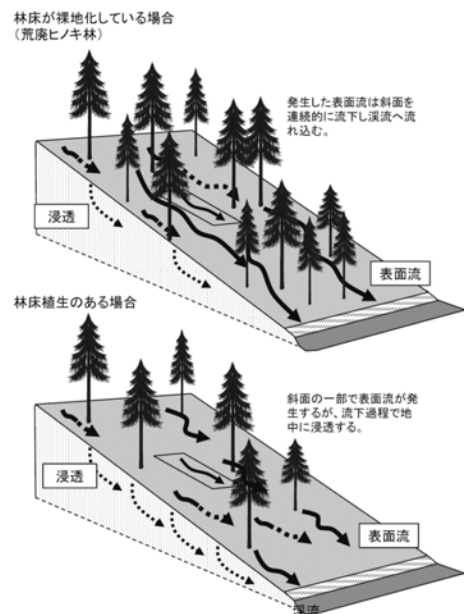


図 3.2-6 斜面での表面流の連続性

った，表面流とは異なる速い側方の流れが観測された(平野ら，2008)．ここでいうバイオマットとは，土壌の表層から深さ 20 cm 程度の範囲において，落葉層・有機質の土壌・鉱物質の土壌や基岩由来のレキなどが樹木の細根で緊縛されてマット状になった層のことである．このような土壌表層部での速い側方流の流出特性などについては今後の課題である．

②流域の波形と流出量の特徴

小規模降雨イベントにおける流出応答

図 3.2-7 に，4 つのサイトで観測された小規模降雨イベント（総雨量 30～50 mm 程度）でのハイドログラフの例を示した．東京サイトでは，2006 年 8 月 9 日に観測された小規模降雨イベント時（総雨量 51.8 mm，最大時間雨量 49 mm）におけるヒノキ林小流域（T5）と広葉樹林小流域（T6）のハイドログラフを示した．ヒノキ林流域における降雨に対する応答は広葉樹 T6 流域よりも早く，かつ大きかった．高知サイトにおける，2004 年 6 月 30 日に観測された降雨イベント（総雨量 40.6mm，最大時間雨量 32.8mm，最大 10 分雨量 13.4mm）においてもヒノキ林小流域（K6）と広葉樹林小流域（K3）を比べると，ヒノキ林流域では降雨に対する流出応答が鋭く，降雨ピークの 5 分後に一次流出ピークがみられ，その後に最大流出ピークが出現した．一方，広葉樹林流域では，流出ピークはヒノキ林流域と比べて遅れて出現し（40 分後），かつ降雨後の流出の減少（逓減）も緩やかであった．愛知サイトと信州サイトの小流域を比べても，東京サイトと高知サイトと同様に，ヒノキ林流域では降雨に対する流出の応答が広葉樹林流域よりも敏感であり，かつ大きなピーク流出量が観測された．総雨量が小さく降雨強度が強いイベントにおいては，全サイトにおいてヒノキ林流域の流出ピークが広葉樹林流域に比べて大きく，かつ降雨に対する流出応答も早いというデータが認められた．

一般に，流域の流出応答は，地質条件によって異なることが指摘されている（虫明ら，1981; Onda et al., 2001）．4 つのサイトの地質は，愛知サイトが新第三紀堆積岩，信州サイト

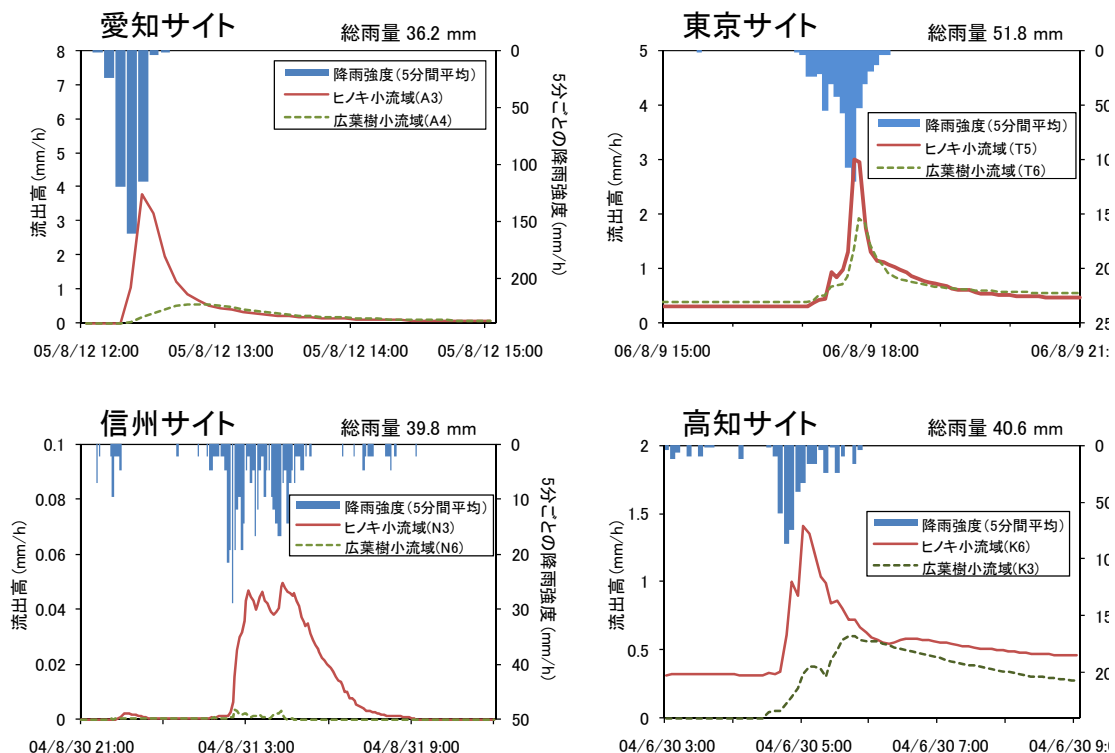


図 3.2-7 小規模降雨イベント時のヒノキ林，広葉樹林小流域の降雨流出

が領家帯の花崗岩，東京サイトは秩父帯（古生代石炭紀～中生代ジュラ紀）の砂岩・泥岩・チャート，高知サイトが砂岩・泥岩からなる四万十帯の堆積岩と異なっている．それにもかかわらず，小規模な降雨イベントではヒノキ林と広葉樹林との比較において，ヒノキ林流域のピーク流量が高いという共通点がみられる．

降雨とクイックフロー

次に流域の流出特性を表す指標のひとつであるクイックフローについて検討する．ここで，クイックフローとは降雨に対応して増加した流出成分のことであり，ハイドログラフの立ち上がりを起点とした直線と流出ハイドログラフの差の積分として求められる（Hewlett and Hibbert, 1967）．高知サイトと東京サイトともに，降雨が大きくなるとクイックフロー成分が大きくなる傾向がみられる（図 3.2-8）．これは，降雨が小さい場合は雨水は土壌中に貯留され，降雨が多くなると土壌中の雨水の貯留量が限界に達し，洪水流出としてすばやく流下する量が増加するためである．とくに，東京サイト，高知サイトともに，総降雨量が 80mm を超えた場合に，降雨に対するクイックフローの増加割合が大きくなる傾向がみられた．

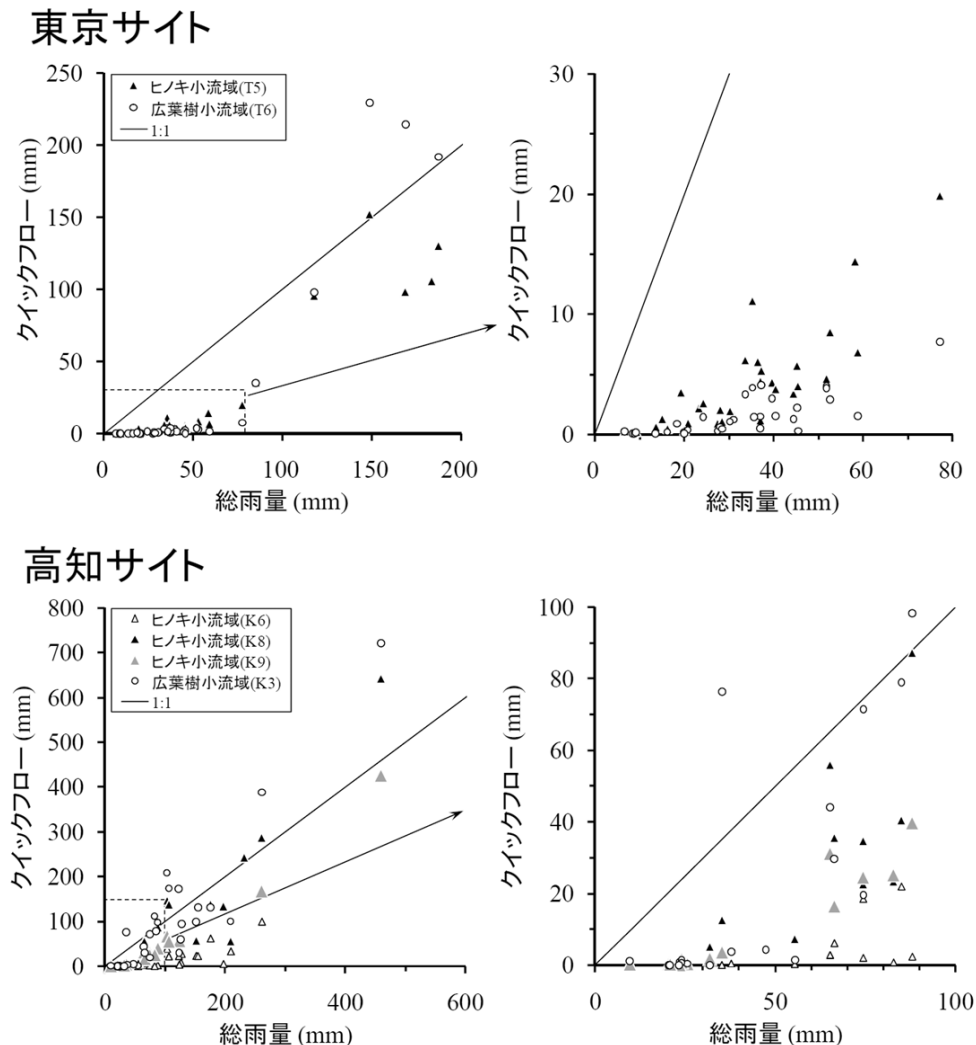


図 3.2-8 東京サイトと高知サイトのクイックフローと総雨量との関係

③表面流の発生要因の特定

従来の森林水文学では、森林土壌は透水性が高いためにホートン型表面流は発生しないと認識されていた。しかしながら、斜面プロットでの表面流観測などにより、森林斜面、とくにヒノキ林斜面において表面流が発生することが明らかとなった。そこで森林斜面における表面流の発生メカニズムについて検討した。

ヒノキ林内における雨滴の特徴とクラスト形成

農地などでは雨滴衝撃によって土壌の団粒構造が破壊されることでクラストが形成され、浸透能の低下が問題となることがある。ここでいうクラストとは、土壌表面の難透水性皮膜のことである（図 3.2-9）。林床被覆の乏しい林内においても同様にクラスト形成によって浸透能が低下し、表面流が発生することが考えられる。そこで林床が裸地化しやすいヒノキ林内において雨滴特性について検討する。本研究は、雨滴径と速度を測定することのできるレーザー雨滴計（Nanko et al., 2006）を用いて、高知サイトのヒノキ林を対象に雨滴観測を行った。

林内では、樹冠内で雨滴同士が結合して大きくなった雨滴が滴下しするため、林外に比べて雨滴が大きかった（図 3.2-10）。さらに、林内雨の雨滴は、落下速度も変化することから、雨滴衝撃力が林外雨と異なっていた。林床が裸地化した森林斜面ではクラストが形成され、土壌の浸透能が低下する（＝表面流量が増加する）可能性が考えられた。

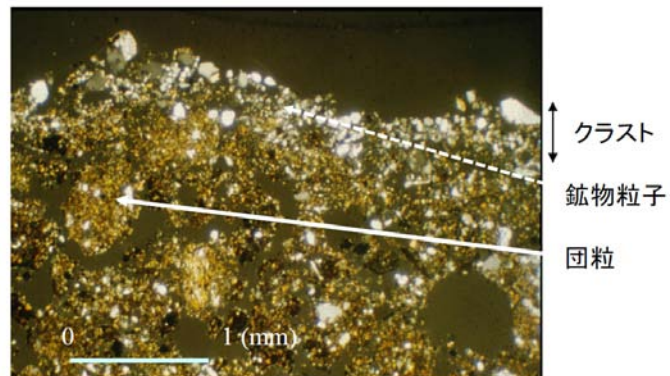


図 3.2-9 クラストの偏光顕微鏡写真
土壌の表面付近に薄い細粒物質の集積層（0.2 mm 程度）が形成

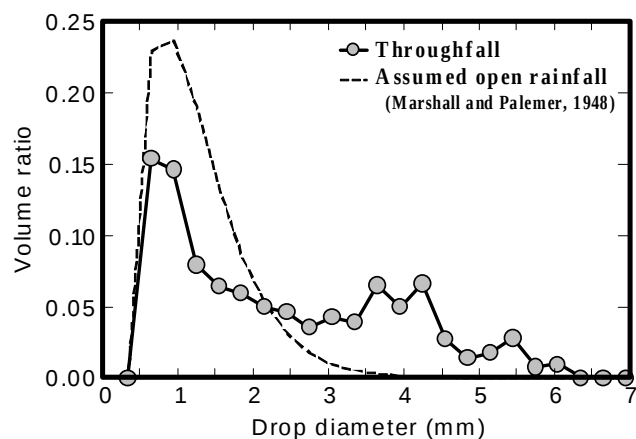
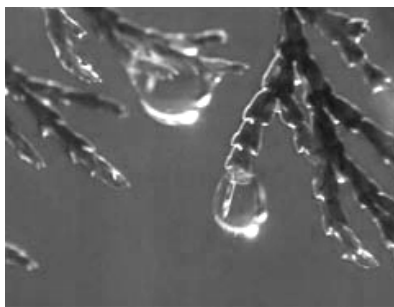


図 3.2-10 （左）ヒノキの葉先で大粒径化する雨滴の様子と（右）高知サイトでの林外雨とヒノキ林内雨の雨滴粒径分布の観測例
林外雨の粒径分布は Marshall and Palmer (1948) のモデルより推定。

しかしながら、林内の雨滴径・雨滴エネルギーと浸透能との関係について実測データを基に議論した研究はほとんどない。そこで、無風条件下で、かつ様々な降雨強度、雨滴衝撃条件を設定できるように、防災科学技術研究所（茨城県つくば市）の大型降雨実験施設内にヒノキを植栽し、林床が裸地化したヒノキ人工林を模擬的に再現して人工降雨実験を行った（図 3.2-11）。このヒノキ樹冠下において人工降雨に対する雨滴衝撃や雨滴径を測定し、プロットからの表面流出量を測定することで浸透能を算出した。関東ローームからなる実験斜面に、高さ 11 m のヒノキを植栽したプロット A と、高さ 3 m のヒノキを植栽したプロット B、およびヒノキを植栽しないプロット C を設けた。人工降雨は、降雨強度 20 mm/h で与えた。

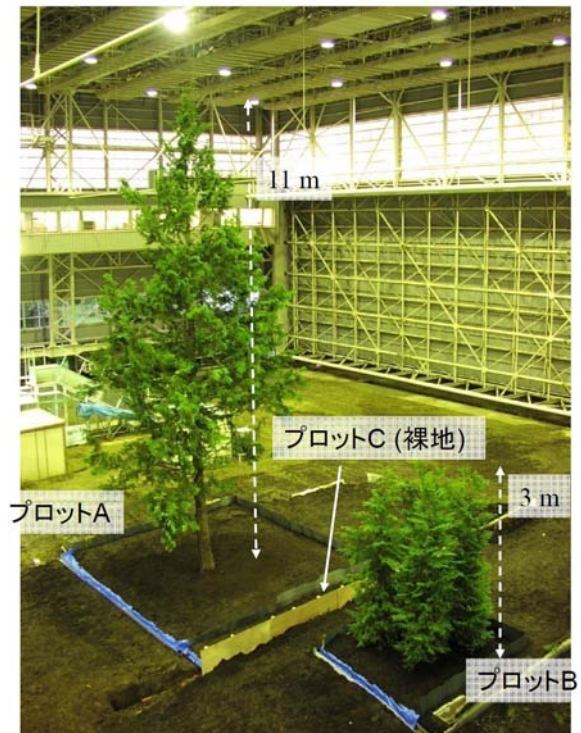


図 3.2-11 室内降雨実験の様子

降雨強度から表面流出量を差し引いて求めた浸透能曲線を図 3.2-12 に示す。プロット A では浸透能低下が早く起こり、最終浸透能も 4 mm/h と非常に低い値を示した。これに対し、プロット B、プロット C ではそれぞれ 9, 10 mm/h と高い浸透能を示した。ヒノキ林内においては雨滴が巨大化するものの、育成林など樹高が低く雨滴の落下高が低い場合は、運動エネルギーが十分でないため、浸透能の低下が少ないことが考えられる。一方、成長したヒノキ林では、巨大化した雨滴が十分な高さから落下するために雨滴エネルギーが大きく、地表面の浸透能を低下させ、裸地以上に表面流が発生しやすいことが示唆された。

このように、大規模室内実験により、降雨が樹冠を通過して雨滴衝撃力が増加することによって、土壌の浸透能が低下し、表面流発生につながることを確認された。このことは、浸透能を測定する場合には、林内雨と同程度の雨滴衝撃を再現しなければならないことも示唆している。現地において樹冠上から散水するのは非常に労力を必要とするため、小型

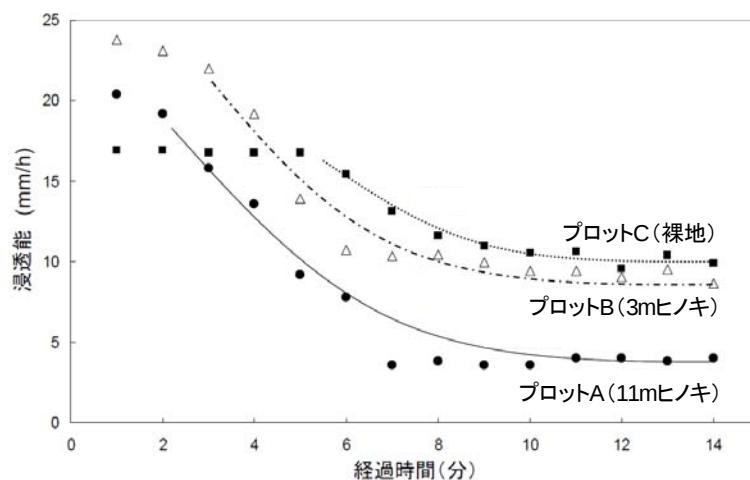


図 3.2-12 各プロットの浸透能の経時変化

で林内雨の雨滴衝撃力を再現できる改良型振動ノズル型散水装置を開発した（加藤ら，2008）．本散水装置は，森林維持管理モデリンググループの現地での浸透能測定において用いられ，林床被覆と浸透能に関する重要な情報の取得に貢献した（3.5 森林維持管理モデリンググループ参照）．

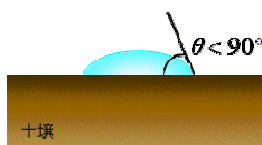
土壌の撥水性

上に示されたように，林床被覆が乏しい森林斜面ではクラストの形成により浸透能が低下し，表面流が発生すると考えられるが，プロットからの表面流出でも示されたように，林床被覆が乏しいヒノキ林に限らず下層植生が繁茂する場合でも相当量の表面流が発生した．また，2004 年 7 月の台風 10 号による降雨イベント中（積算雨量：250 mm；最大時間雨量：32 mm）に三重サイトにおいて表面流の実態について観察すると，降雨開始から 32 時間後，積算雨量が 150 mm を超えた時点であるにも関わらず，リター層直下の鉱質土層表面では，斜面上方のリター内を伝って流れてきた雨水が，鉱質土層の表面で弾かれて，玉状となって斜面を転がるように流下していた．さらに，積算雨量が 150 mm に達しているにもかかわらず，鉱質土層はほとんど湿っていない状態であった．これらの原因として，樹木のリター（落葉・落枝）や林床の菌糸などに由来する有機化合物が土粒子をコーティングすることによって土壌が撥水性をもつことが考えられる．日本ではヒノキ林土壌が撥水性を示すことが古くより経験的に知られていたが，近年の研究により，ヒノキ林土壌はとくに潜在的な撥水性が強いことが報告されている（小林ら，2006）．そこで三重サイトにおいて，土壌サンプルを用いた各種試験，数 m^2 規模のプロットからの表面流出量観測を行い，撥水性に起因する表面流の発生について検討した．固体平面における撥水性の強度は液体と固体の接触角（図 3.2-13 中 θ ）が指標として用いられ，水に対する接触角が 90 度以上の場合に撥水性と定義される（図 3.2-13）．三重サイトの土壌について撥水性を CST test により測定した結果，土壌の表層（深度 0 cm）と深度 5cm ではエタノール濃度が 5～36%（撥水性強度“弱い”～“極度に強い”）と，非常に強い撥水性がみられた（図 3.2-14）．

ヒノキ林斜面において行った簡便な散水実験から，表層土壌の撥水性が実際に降雨の浸透・表面流出に寄与することが示された．本実験の特徴は，通常の水および撥水性土壌にも浸透しやすいエタノール溶液を人工降雨として用い，両者の結果を比較したことにある．ヒノキ林斜面にこの実験プロットを 6 つ設定し，このうち 3 プロットには通常の水を，残りの 3 プロットには濃度 36% のエタノール溶液を撒布した．本実験では雨滴衝撃によるクラストの形成を防ぎ，撥水性の影響のみを評価するために，非常に小さい雨滴径が得られる噴霧器を用いて人工降雨を与えた．その結果，水を噴霧したプロットの平均浸透強度は 138 mm/h であり，エタノール溶液を噴霧した場合の 214 mm/h 比べて有意に浸透強度が小さかった（ $p < 0.01$ ）．このように，表層土壌の撥水性が雨水

親水性(非撥水性)土壌

水滴は広がり，すぐに浸透する



撥水性土壌

水滴は球状を保ち，容易に浸透しない

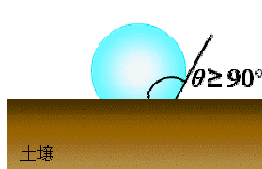


図 3.2-13 （上）親水性土壌と（下）撥水性土壌に滴下された水滴の様子
写真は撥水性土壌を充填した皿（直径 5cm）に水滴を滴下した様子を示す．

浸透を妨げ、表面流の発生を促進する要因として機能していることがわかった。

ヒノキ林斜面に設置した 3 つの表面流観測プロット（幅 1m×斜面長 2m）における表面流観測から、降雨イベント開始前に土壌が乾燥していた場合ほど流出量が大きくなること（図 3.2-15）. これは撥水性の強さが土壌水分に依存する（乾燥するほど撥水性が強い）という特徴があるためと考えられる. このような撥水性の土壌水分依存性の影響は降雨イベント中にも現れた。

このように、表層土壌の撥水性が表面流発生の大きな要因の一つであり、その水分依存性が表面流出量に影響を及ぼすことが示された. 従来考えられてきた雨滴衝撃によるクラスト形

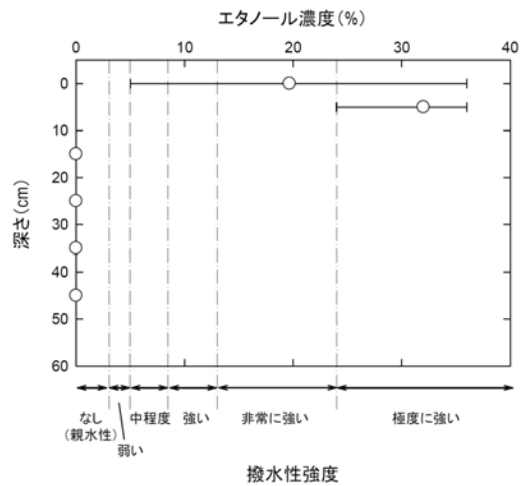


図 3.2-14 ヒノキ林地において深度ごとに採取された土壌サンプルの土壌撥水性
各深度につき 3 サンプルの測定結果の平均値を示し、バーは最小値および最大値を示す. エタノール濃度が高いほど撥水性の強度が強いことを示し、撥水性強度の定義は Doerr et al. (1998)による.

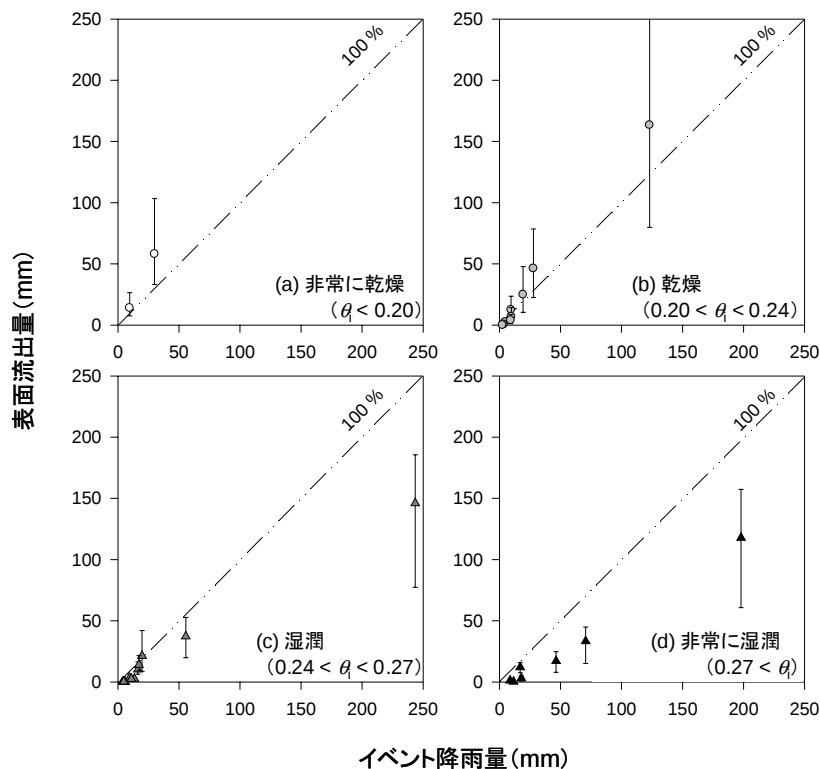


図 3.2-15 降雨イベントごとの小プロットにおける表面流出量
深度 5 cm で測定された降雨直前の体積土壌含水率 θ_i により (a) 非常に乾燥, (b) 乾燥, (c) 湿潤, (d) 非常に湿潤と分類した. 各点は 3 プロットの観測結果の平均値を示し、バーは最小値および最大値を示す.

成に加えて、土壌の撥水性により、林床が被覆され、クラストが形成されにくい斜面においても表面流が発生しうることが明らかとなった。これらの成果を分布型流出モデルに組み込むことで、表面流をより正確に再現することができると期待される。土壌撥水性とクラスト形成の相互作用についてさらなる研究が必要であろう。

(2) 研究成果の今後期待される効果

プロットからの表面流発生はヒノキ林からの流出が他の樹種より多いという結果が得られたが、土壌が失われ粗粒化した場合、空隙が大きくなった場合などは、表面流発生は他の樹種と同様の値となった。しかし、斜面長 25 m 程度の大プロットにおいては、荒廃ヒノキ林からの水流出が大きいことがわかった。表面流発生の要因として、林床が裸地化したヒノキ林でのクラストの形成や表層土壌の撥水性が重要な役割を果たすことが示された。これら表面流発生の要因に関する知見は、流出モデリンググループ、特に分布型流出モデルに浸透能の関数として組み込まれ、流出の詳細な再現性の向上に寄与することができた。

これまでの森林と表面流発生および水流出に関する研究の多くは斜面のみが対象であり、流域スケールについて研究した例は、皆無であった。本プロジェクトでは、データ数や降雨・流出イベントの規模は一般論として語るには未だ十分ではないものの、荒廃人工林における流出の比較に関する初めてのデータを取得することができた。小規模降雨イベント時（総雨量 80 mm 以下）では、荒廃したヒノキ人工林流域の方が広葉樹林流域よりも表面流が多く発生するためにピーク流出高が大きく、クイックフローも明らかに大きくなるという知見が得られた。一方、降雨規模が大きくなると（総雨量 80 mm 以上）、土壌が湿潤になり、土壌中の雨水もすばやく流出する傾向があることから、ホートン型表面流が洪水流出に及ぼす影響は相対的に小さくなり、ヒノキ林と広葉樹林の違いは現れなくなると考えられる。これらは異なるスケールを入れ子状に配置することではじめて得られる知見であり、このような観測をさまざまな流域で行いその観測成果を積み重ねていくことで、現在全国的に見られる間伐放棄林の水流出に及ぼす影響とその対策を定量的に評価することができると考える。

引用文献

- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. 1998. Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Science* **163**(4): 313–324.
- Hewlett, J. D., Hibbert, A. R. 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. International symposium on forest hydrology. Oxford.
- 平野智章・寺嶋智巳・中村智博・青木文聡・境優. 2008. 管理放棄されたヒノキ人工林および天然生落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構. *地形* **29**(3): 255–280.
- 加藤弘亮・恩田裕一・伊藤俊・南光一樹. 2008. 振動ノズル式降雨実験装置を用いた荒廃ヒノキ人工林における浸透能の野外測定. *水文・水資源学会誌* (印刷中)
- 小林政広・釣田竜也・伊藤優子・加藤正樹. 2006. ヒノキ人工林および隣接する落葉広葉樹林における土壌の撥水の空間分布. *日本林学会誌* **88**: 354–362.
- Marshall, J.S., Palmer, M.W., 1948. The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology* **5**: 165–166.
- Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Onda, Y., Mizuyama, T. 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. *Hydrological Processes* **21**: 2365–2376.
- 虫明功臣・高橋裕・安藤義久. 1981. 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果. *土木学会論文報告集* **309**: 51–62.
- Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M., 2006. Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. *Journal of Hydrology* **329**: 422–431.
- Onda, Y., Komatsu, Y., Tsujimura, M., and Fujihara, J. 2001. The role of subsurface runoff through bedrock on storm flow generation, *Hydrological Processes* **15**: 1693–1706.
- 田中茂信, 時岡利和. 2007. 現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討. *土木学会第 62 回年次学術講演会公演概要集* (CD-ROM) **2-003**: 5–6.

3. 3 総合解析グループ（筑波大学，防災科学技術研究所，国立環境研究所）

（1） 研究実施内容及び成果

1) 研究のねらい

荒廃した人工林における表面流の発生が洪水および河川環境に及ぼす影響を解明するためには，河川流出水における表面流成分の寄与を明らかにする必要がある．さらに，表面流発生 の視点から流域スケールでの荒廃人工林の評価を加えるには，リモートセンシング手法による広域な人工林の荒廃度評価や，表面流に伴う栄養塩や土砂といった物質の流出の把握が必要である．そこで総合解析グループでは，表面流成分の分離手法を確立すること，洪水流出における表面流の寄与と，栄養塩や土砂の流出実態を把握すること，また，人工林の健全度評価を行うことを目標に研究を進めてきた．

2) 研究実施方法・成果

①同位体と水質を用いた流出成分分離

トレーサには，時間的な水の由来（流域にいつ降った雨か）の追跡に適した物質と，地理的な水の由来（流域内での水の貯留場所や移動経路）の追跡に適した物質がある（図 3.3-1）．いつ降った雨かを追跡するトレーサとして降水の同位体比が用いられることが多い（Buttle, 1994）．一方，水の貯留場所や移動経路の追跡に適したトレーサとして，溶存成分であるシリカ（Si）や塩素イオン（Cl⁻）などが用いられることが多い（Asano et al., 2003）．いずれの場合も，流域スケールを対象とした研究では，コストや環境への配慮から人工的なトレーサの散布は容易ではないため，自然条件下で得られる水の安定同位体比の時間変化や，溶存成分の濃度分布が用いられている．

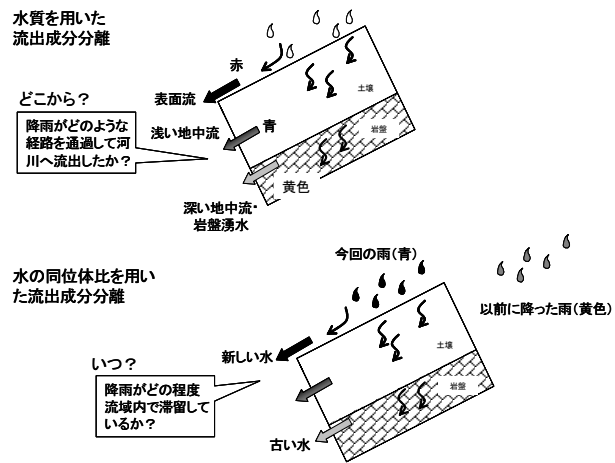


図 3.3-1 新しい水と古い水

ここでは，流出応答などの物理水

文観測に加えて，水移動のトレーサとして水の安定同位体比や溶存成分を用い，（１）地表面を流れる水が Horton 型表面流（バイオマツフローを含む）である事を確認し，（２）流域からの流出に Horton 型表面流が及ぼす影響の評価を進めていく．また，ヒノキ林における林床の裸地化が，Horton 型表面流の発生や流域流出に及ぼす影響について考察する．

イベント流出と「新しい水」成分の分離

降雨イベント中の流出に寄与する成分は，「新しい水（今回の降雨によってもたらされた水）」と「古い水（降雨前から流域に貯留されていた水）」の 2 成分に分離することができる．ここでは，ヒノキ林流域と広葉樹林流域においてそれぞれ新しい水成分がどの程度寄与しているのかを検討した．高知サイトにおいて 2005 年 9 月 5 日から 7 日に総降雨量 646 mm（気象庁アメダス大正観測地点）の非常に大きな降雨イベントを観測した．四万十川下流域の四万十市で 1 名の死者を出し，流域全体で 370 世帯が床上・床下浸水の被害を受けた．また，周辺の農地の冠水などの農業被害も報告されている．その際，現地でのイベント観

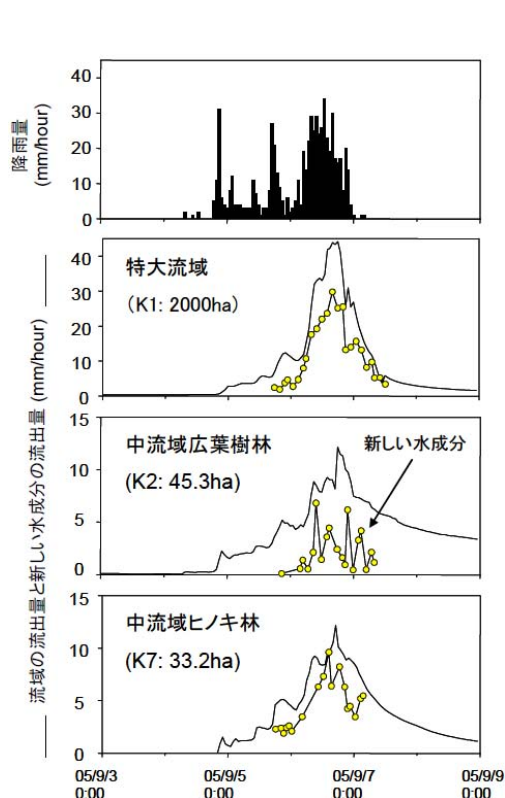


図 3.3-2 高知サイトの 2005 年 9 月 5—7 日の洪水イベントにおける新しい水成分の流出

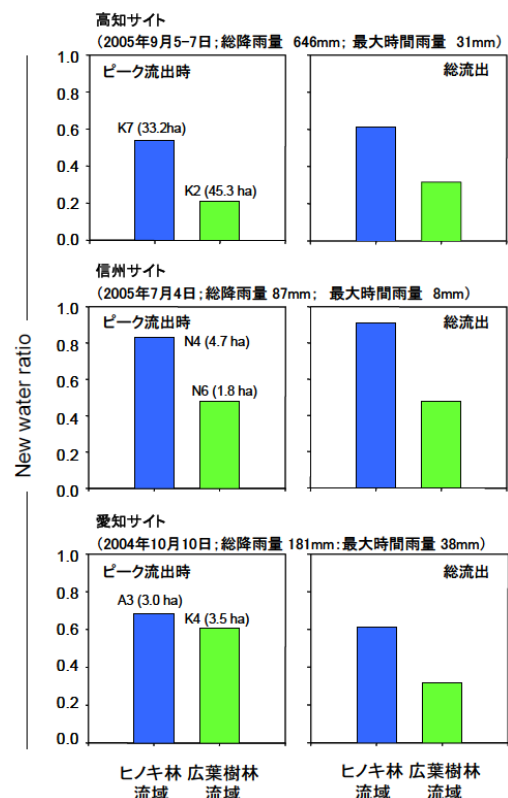


図 3.3-3 高知・信州・愛知サイトのイベントピーク流出時と総流出に占める新しい水の割合

測によって降雨ピークとその前後で、流域の水サンプルを採集することに成功した。そのイベントにおける各流域の流出波形は、流出解析の項目を確認していただきたい。図 3.3-2 では、特大流域 (K1) とヒノキ林中流域 (K7) と広葉樹中流域 (K2) の流出と新しい水成分を示した。広葉樹では、新しい水成分の変動が大きいものの、ヒノキ林と比べて新しい水成分の量は少ない。特に、流出ピークの近傍では、ヒノキ林流域で新しい水成分の寄与が大きい。特大流域の流出ピークと新しい水成分のピークは中流域と比べて時間的な遅れがみられたが、特大流域の新しい水成分の流出波形は、ヒノキ林流域の流出波形と似ていることから、ヒノキ林流域からの新しい水成分の流出が、特大流域の新しい水成分に寄与していることも考えられた。

高知・信州・愛知の各サイトのヒノキ林と広葉樹林流域におけるイベントピーク流出時の新しい水成分の割合を示した (図 3.3-3)。各サイトで観測対象となった降雨の規模に違いがあるが、ヒノキ林流域では、広葉樹林流域に対して新しい水成分の割合が大きい傾向がみられた。総流出量に対しても同様の傾向が見られた。また、流出解析の項目で示したように、ヒノキ林流域では広葉樹林流域よりピーク流出量や総流出も大きくなっていた。これらのことから、ヒノキ林流域と広葉樹林では、表面流発生などによるクイックフローが、洪水流量の増加を引き起こしていることが予想された。

流域の大きさと降雨時水流出の由来

降雨時水流出に寄与する水の由来は流域の大きさによって変化する可能性がある。ここでは、酸素の安定同位体比を用いて、洪水流出を 2 つの成分、今回の降雨イベントでもた

らされた「新しい水」と降雨前から流域に存在していた「古い水」に分け、流域の大きさとの関係を考察する。降雨時水流出の由来を、ホートン型表面流とそれ以外の2つに分け、考察した。

三重サイトの M4 や M5 などの小流域では、「新しい水」成分の割合が平均で 60～70%と洪水流出の大部分を占めていた（図 3.3-4）。一方で、流域面積の少し大きい M2 流域やさらに大きい M3, M1 流域では、「古い水」の割合が 60～70%と降雨時流出の大部分を占めていた。林床植生の有無による「新しい水」成分の寄与の違いは明瞭でなく、流域面積の影響が大きいと考えられた。さらに、「新しい水」の絶対量は平均 30～40mm で、流域面積の大きさによらず、どの流域でもほぼ同様の値を示した。

解析の対象となった総降水量 80mm を超える降雨イベントでは、流域面積が大きい M1, M2, M3 流域では、クイックフローが M4, M5 流域のおよそ 2 倍であったにもかかわらず、流域面積によらず「新しい水」の量はほぼ同じであった。つまり、流域面積が大きいほど、増加したクイックフローの大部分が「古い水」で占められていたことがわかる。面積の小さい流域で降雨前に地中に貯留されていた水の一部は小流域の流量観測地点で流出せず、おそらく岩盤中を通過して下流のより大流域の流量観測地点との間で流出していると考えられる。M4, M5 流域では雨がしばらく降らないと水が涸れるが、M1, M2, M3 流域では一年を通じて湧水していることから、このような流出経路は降雨イベント時のみだけでなく、無降雨時にも寄与していると考えられる。

流域面積が同程度で林床の状態が異なる M4 と M5 流域を比較したときに、洪水流出に占める「新しい水」の寄与に差が無いことは興味深い現象である。これまで見てきたように、林床の荒廃している M5 流域ではホートン型表面流が洪水流出の 40%程度を占めており、このホートン型表面流はすべて「新しい水」から構成されている。逆に見ると、M4 流域ではホートン型表面流が降雨時流出にほとんど寄与しないのにもかかわらず、「新しい水」は M5 流域と同程度に流出に寄与していた。これらの結果は、M4 と M5 の流域では林床の状態によって主要な流出経路は異なっていたが、いずれの流域でも降雨イベント時には雨が素早く流出するメカニズムが備わっていることを示す。荒廃人工林斜面における降雨一流出の重要な課題、降雨時に多量の水をいかにして速やかに排水しているのかを考えるにあたり示唆的な結果である。

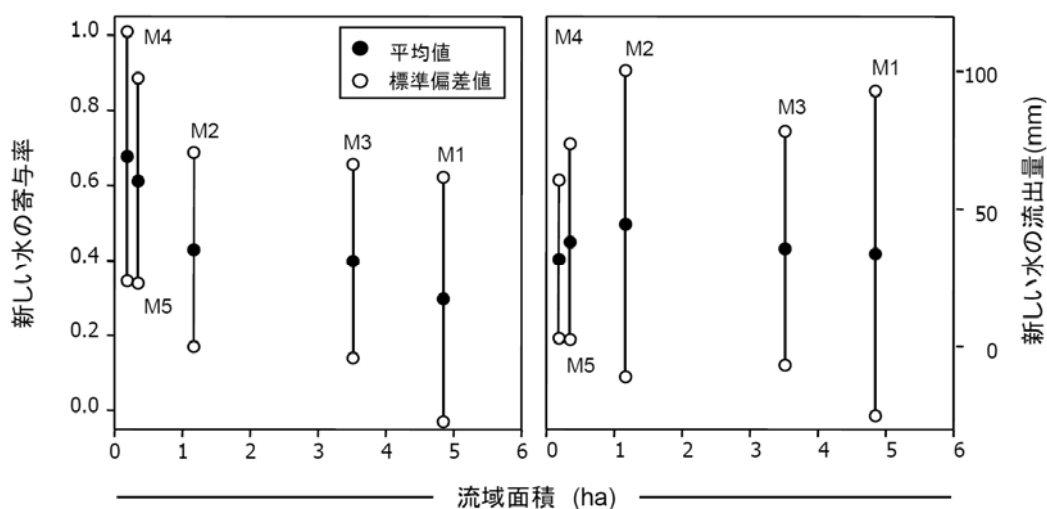


図 3.3-4 流域面積と新しい水の寄与およびその量

表面流が洪水流出に及ぼす影響を評価するために有効なトレーサ

表面流が洪水流出に及ぼす影響についてトレーサを用いて追跡した研究例は少なく、最適なトレーサに関する情報も限られている。例えば、表面流のカリウム (K^+) 濃度が高い特徴を把握し、表面流の洪水流出への寄与を推定した研究 (Elsenbeer et al., 1995) や、降雨や表面流に塩素イオン (Cl^-) が多い特徴を用いて、表面流の洪水流出への寄与を推定した研究 (Eshelman et al., 1993) がある。また、シリカ (Si) と硝酸態窒素 (NO_3-N) 濃度の関係から、洪水流出時の表面流出量の推定を行なった例もある (Soulsby et al., 2003)。しかし、これらの研究の問題点は、ホートン型表面流と飽和地表流を分離できないことである。唯一、辻村ら (2006) は、塩素イオン (Cl^-) と電気伝導度 (EC) を用いてホートン型表面流の占める割合が 24~82% と示した。しかし、ホートン型表面流の分離に適したトレーサに関する情報は限られており、海水の塩分に由来する塩素イオン (Cl^-) や主に植物など有機物由来であると考えられるカリウムイオン (K^+) や硝酸態窒素 (NO_3-N) は観測地の地理的な位置や植生のタイプによって、流域内での濃度分布が異なる可能性が高い。そのため、対象としたヒノキ林流域で有効なトレーサについて抽出する作業が必要となる。

降雨流出時のホートン型表面流の寄与

小プロット表面流が、降雨強度が浸透能を上まわって発生するホートン型表面流であれば、そのときの降雨のみから形成された表面流の同位体比は、降雨の同位体比と同じであると予想される。一方、小プロット表面流の一部、もしくは全部が飽和地表流であれば、降雨前から土壤中に存在していた水と混合する結果、表面流と降雨の同位体比は異なると予想される。そこで、降雨中の雨の同位体比の時間変化と、小プロットからの表面流の流出量の時間変化を用いて、小プロット表面流の同位体比を推定し、実際に小プロットで採取された水サンプルの同位体比と比較した結果、小プロット表面流は降雨が土壤中を通過せず地表面を流れたことを示し、酸素安定同位体比の結果と一致した。

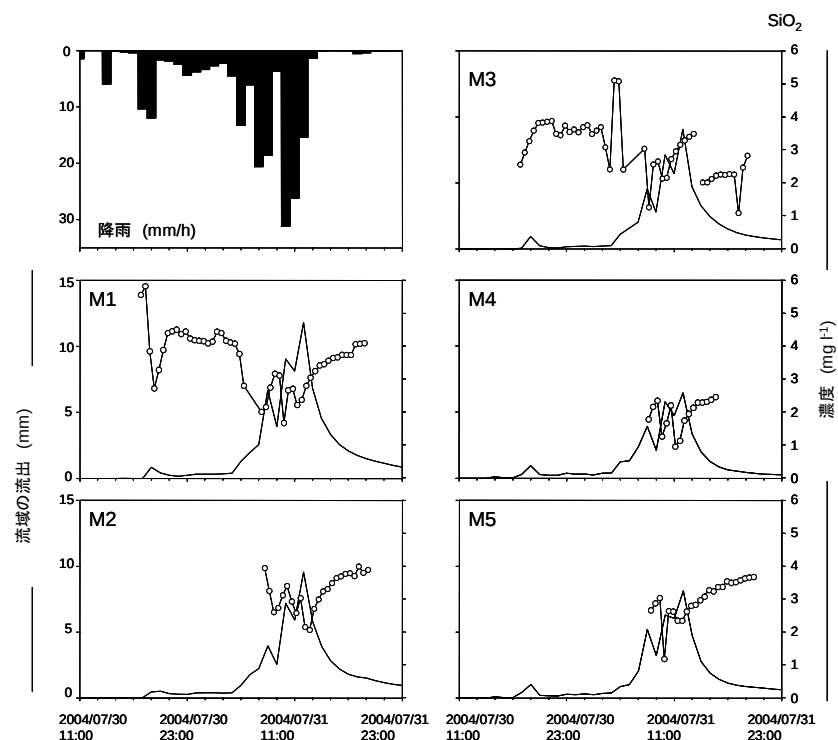


図 3.3-5 2004 年 7 月の降雨イベント中の、ハイトグラフ、ハイドログラフ、シリカ濃度の変化。

初めに降雨イベント時におけるトレーサ濃度の変動について検討する。降雨イベント時に各溪流で降雨時流出水を短い時間間隔で採取し、トレーサ濃度を測ると図 3.3-5 のような結果が得られた。例えばシリカ濃度は降雨中に低下し、流出ピーク付近で濃度がもっとも低くなり、降雨後にはまた濃度が上昇した。これは、降雨中にはシリカ濃度の高い地下水流出とともに、地下水よりシリカ濃度が低いホートン型表面流や、溪流への直接の降雨などの寄与が大きいことを示している。また、降雨後にはシリカ濃度の低い水移動経路の寄与が次第に小さくなり、降雨前と同様に地下水の寄与が大きくなると考えられる。

次に、エンドメンバーミキシング分析 (End Member Mixing Analysis, Hooper et al., 1990) を用いて、降雨時流出に寄与する水移動経路を評価する。降雨時流出に寄与している可能性の高い水移動経路 (エンドメンバー) のトレーサ濃度と、洪水時溪流水のトレーサ濃度を図上にプロットする (図 3.3-6)。ここでは、ホートン型表面流の寄与に着目しているため、カリウムイオンとシリカを用いた。降雨時水流出に寄与する可能性のある流出経路のうち、ホートン型表面流は小プロット表面流のトレーサ濃度、地下水流は降雨前溪流水、河道に直接降る雨は林内雨バルクサンプルのトレーサ濃度で代表させた。復帰流・飽和地表流と飽和不飽和地中流の水サンプルは採取できなかった。

図 3.3-5 から、降雨時流出にホートン型表面流が寄与していることが示唆された。M5 流域からの降雨時流出のほとんど、M1 から M4 流域の一部の観測値は、小プロット地表水、降雨前溪流水、林内雨を結んでできる三角形の内側の、降雨前溪流水に近いエリアにあった。この結果は、降雨流出時の主要な流出成分が地下水流であるが、M5 流域では観測期間のほとんどで、M1、M2、M3 及び M4 流域では一時的に、ホートン型表面流が降雨時流出に寄与していた可能性を示している。M5 流域の洪水時溪流水は小プロット表面流にもっとも近いエリアにあったことから、M5 流域では他の流域に比べてホートン型表面流の寄与が大きかったと考えられる。また、M1、M2、M3 及び M4 流域の観測値は図の三角形の外にあることが多く、今回とらえられなかった水移動経路 (復帰流・飽和地表流と飽和不飽和地中流) の寄与も大きいことが示唆される。

さらに、カリウムイオンをトレーサに用いて、降雨時流出にホートン型表面流が占める割合の定量化を試みた。降雨時流出はホートン型表面流とそれ以外 (降雨、地下水流、飽和不飽和地中流、復帰流・飽和地表流) の二つの成分からなると考え、水の量、カリウムイオンの質量についての収支式からホートン型表面流の割合と量について降雨イベントごとの平均値を算出した。小流域に着目すると、林床が荒廃したヒノキ林の成立する M5 流域でホートン型表面流の寄与は最も大きく平均で 40% 程度であった (図 3.3-7)。一方、林床植生のあるヒノキ林 (M4) や間伐ヒノキ林での寄与率は 0%~数%であり、ホートン型表面流の寄与はほとんど無かったと考えられる。このことから、林床植生の有無によってホートン型表面流の寄与が大きく異なることが明らかとなった。また、流域面積が大きな M1

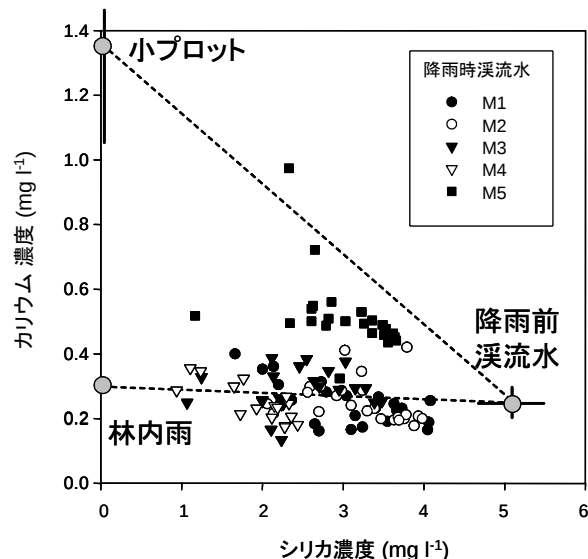


図 3.3-6 エンドメンバーミキシング図

や M3 流域でもホートン型表面流の寄与は、それぞれ 3%、10%と小さかった（図 3.3-7）。ホートン型表面流量についても、林床が荒廃している M5 流域では平均で 22 mm とかなり多いものの、それ以外の林床の荒廃していない小流域や面積の大きい流域では 5 mm 以下と小さかった。これらは流出イベントの総量についての議論であり、流出ピーク時に限って言えば、荒廃人工林においてかなりのホートン型表面流が発生していると思われる。今後

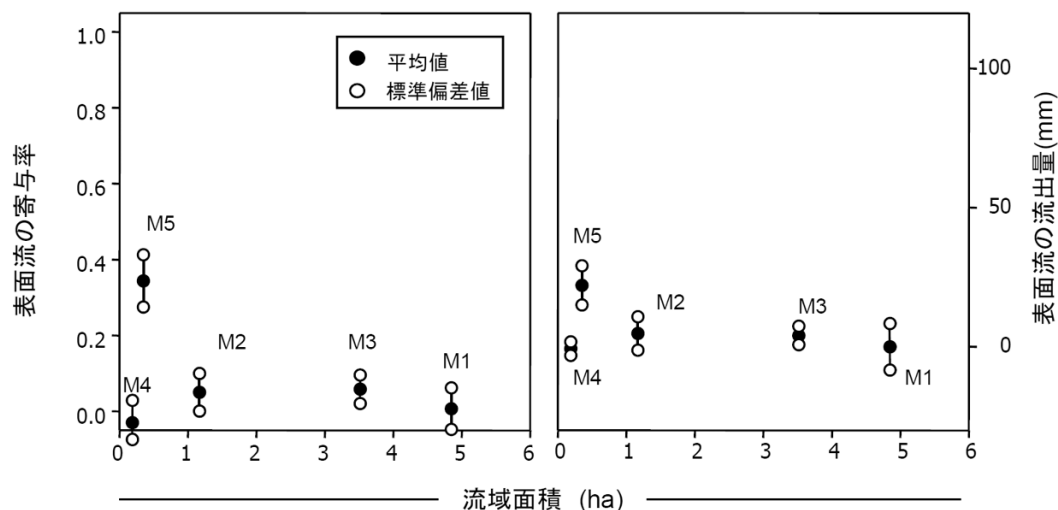


図 3.3-7 流域面積とホートン型表面流の寄与およびその量

は流出ピーク時のホートン型表面流の割合を解析できる手法の開発を行いたい。

②森林流域からの栄養塩流出の違い

常緑針葉樹林（スギとヒノキ林）と落葉広葉樹林に分け、溶存態栄養塩の基底流時流出濃度を比較すると、前者では後者と比べ、窒素が高く、有機炭素、リンが明らかに低かった。この原因としては、ヒノキの方が樹表面にエアロゾル（大気中に浮遊している液体や固体粒子）が吸着しやすいこと、リター層の厚さが広葉樹林の方が厚いこと（岩坪・堤, 1968）が挙げられている。広葉樹林の方が水流出に時間を要し、基底流比率が高まることで、窒素の低下、リンの増加をもたらしている可能性もある。したがって、針葉樹人工林が増えた場合には、下流水域で溶存有機物、リンが減少し、そうした水域での生物生産力が落ちる可能性がある。

図 3.3-8 に三重サイトの M1 流域における大降雨時の水質変化例（NO₃-N は硝酸態窒素、DON は溶存態有機窒素、TN は全窒素、PN は懸濁態窒素）を示す。降雨時には水質変化が激しく、懸濁態栄養塩濃度は流量の増加とともに上昇し、減少とともに低下した。溶存態窒素は

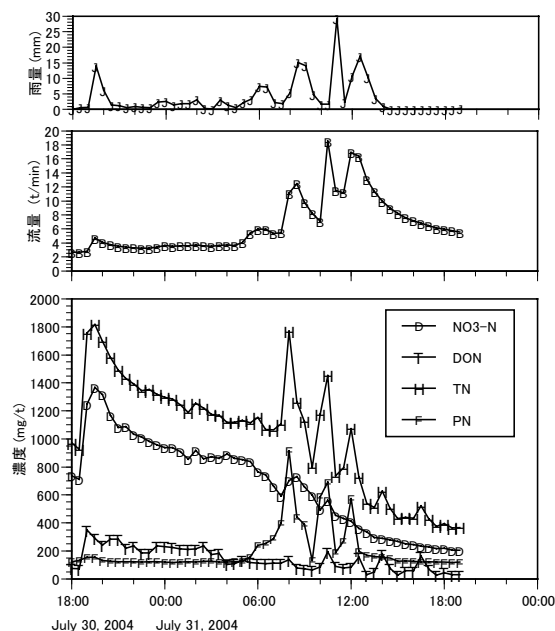


図 3.3-8 三重 M1 流域での降雨イベント時の栄養塩濃度変化

それほど明白ではないが似たような傾向を有していた。また断続的な降雨ピークに対応した栄養塩濃度ピークは徐々に低下していた。

年間負荷量に占める降雨イベント負荷の大きさについて明らかにするために、毎日の流量測定値と以下に述べるモデルを用いて解析を行った。本モデルでは、基底流時負荷量は基底流時平均栄養塩濃度に毎日の流量を乗じて推定し、降雨イベント時の総流量と総負荷量の関係式から降雨イベント時の負荷量を算定した。対象は一年間のデータがある愛知、高知、三重サイトのヒノキ林流域とした。DOC、硝酸態窒素、溶存窒素、溶存リン、懸濁態物質（SS）について降雨イベント時の割合を比較したものを表 3.3-1 に示す。愛知サイトの溶存リンは降雨時比率が比較的小さいが、それでも 40%以上であり、他水質はほぼ 90%以上となった。上記の計算において降雨イベント時と基底流時の区分などあいまいな部分があるものの、本研究の結果は、降雨イベント時を無視しては負荷量推定の意味がないことを表している。

表 3.3-1 全負荷量に占める降雨イベント寄与分の割合

	DOC	NO ₃ -N	DN	DP	SS
愛知	93%	93%	94%	43%	97%
高知	96%	90%	89%	77%	84%
三重	94%	90%	90%	78%	99%

③荒廃人工林における土壌侵食の実態解明

森林斜面の土壌侵食

樹種による土壌侵食量の違いを調べることを目的に、侵食プロットを無間伐の 22 年生および 37 年生ヒノキ人工林（それぞれヒノキ 22、ヒノキ 37）、カラマツ人工林（カラマツ）、および広葉樹二次林（広葉樹）に設置した。2005 年と 2006 年の 6～11 月に観測した土壌侵食量を各プロット間で比べると、土壌侵食量は、ヒノキ 37 で最も多く、広葉樹、カラマツと比べ、約 34～44 倍であった（図 3.3-9）。ヒノキ林と他樹種との間でこのような差が生じ

表 3.3-2 プロットの林分の特徴と堆積リター量

樹種	林齢	立木密度 (本/ha)	堆積リター量 (t/ha)
ヒノキ22	22	2830	1.7
ヒノキ37	37	2636	1.5
カラマツ	50	820	16.8
広葉樹	35	743	15.5

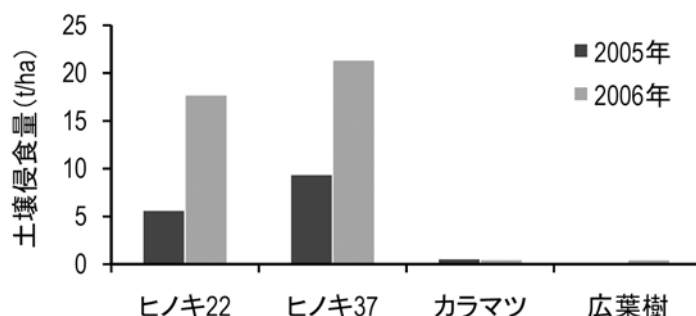


図 3.3-9 森林による土壌侵食量の違い（2005 年 6～11 月，2006 年 6～11 月）

るのは、林床の堆積リター量と下層植生の多寡によるものと考えられる（表 3.3-2）。

放射性降下物を用いた侵食量の推定

斜面の侵食量を定量的に評価するには面的に侵食量を把握する必要がある。大気核実験起源のセシウム 137 (^{137}Cs) や岩石起源の鉛 210 (^{210}Pb) などの放射性降下物を用いることで、面的な土壌移動量を把握することができる。これらの放射性降下物は、地表に降下す

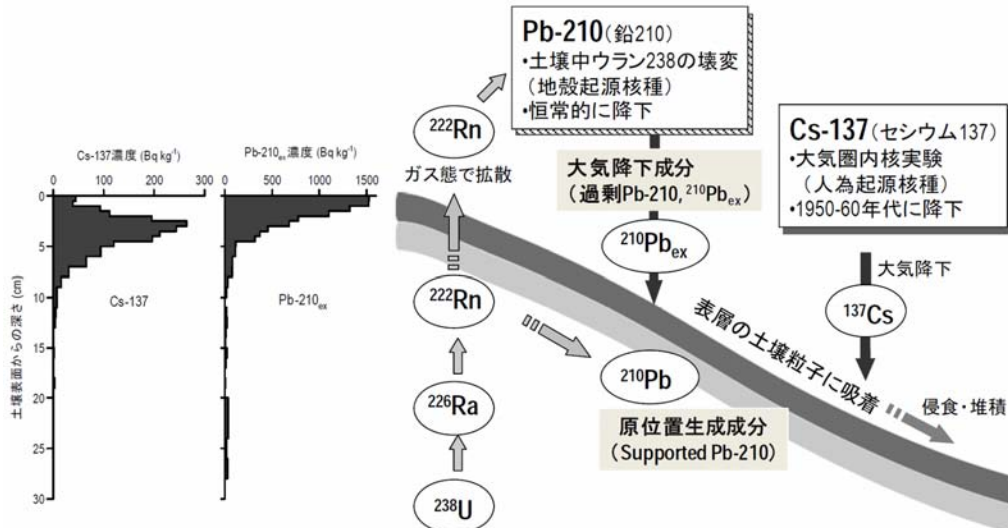


図 3.3-10 放射性降下物セシウム 137 と鉛 210 の陸域での挙動と未かく乱土壌での深度分布

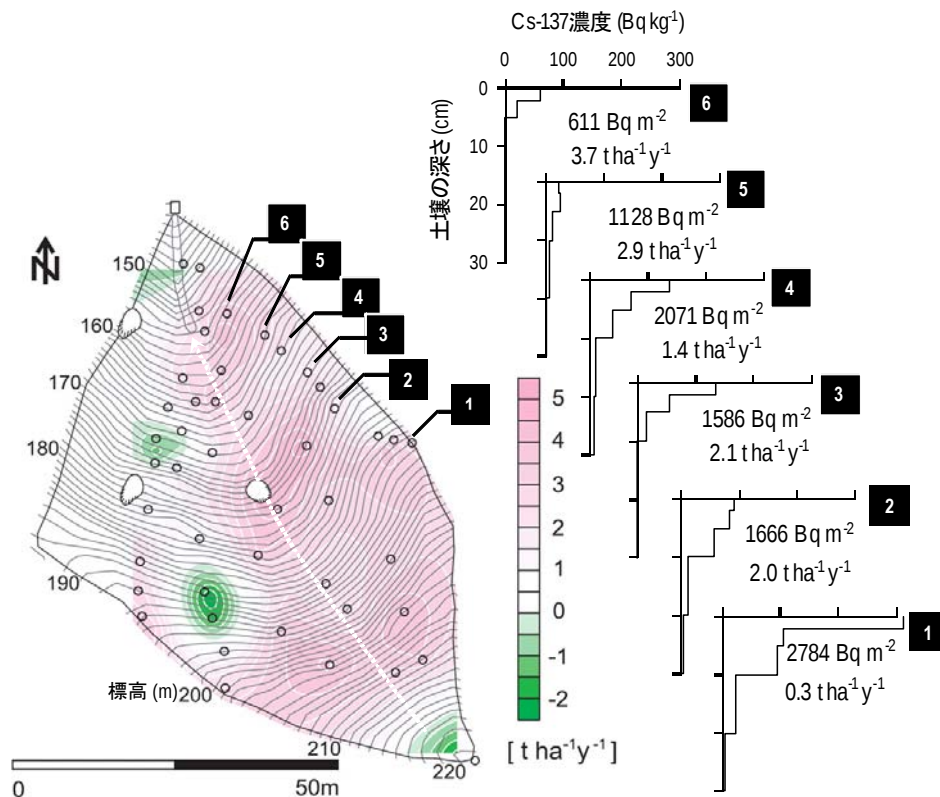


図 3.3-11 セシウム 137 の深度分布と侵食土砂量の平面分布

グラフ右上の番号は採取地点を、数値はそれぞれセシウム 137 の現存量と侵食速度を表す。

ると表層の微細土壌粒子にすばやく強固に吸着し、容易に脱着せず、土壌粒子とともに移動する。そのため、未かく乱土壌では、表層に高濃度で蓄積され（図 3.3-10）、土壌粒子と共に移動する。これら放射性降下物の特性を利用した拡散移行モデル（Diffusion and Migration Model; He and Walling, 1997）を用い、三重サイトの M5 流域（流域面積：0.43 ha）において侵食土砂量の空間分布を推定した。右岸斜面上のトランセクトにおけるセシウム 137 濃度の深度分布は、尾根に近い斜面上部では深度分布形状や現存量が保持され、侵食量が比較的少ないが、谷筋に近い斜面下部では、セシウム 137 の減少が著しく（図 3.3-11）、侵食量が多いことがわかる。平面分布を見ると、年間侵食量は -2.5 t ha^{-1} から 4.8 t ha^{-1} （変動係数：85%）で、空間的に不均一に侵食されていることが明らかとなった（図 3.3-11）。左岸斜面の表層崩壊跡地の周辺に局地的な堆積域が見られるが、概ね斜面下部や谷筋で侵食量が多い。流域の平均侵食量は、 $2.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ （侵食深 0.2 mm year^{-1} ）と見積もられた。また、セシウムから推定した侵食土砂量は、地形から推定した表面流のせん断応力 τ と正の相関を示したことから、ヒノキ林の土壌侵食には表面流の寄与があると考えられた。このことから、林床が裸地化したヒノキ林では、雨滴侵食による土壌の剥離に加えて、表面流が土壌侵食に寄与していると考えられる。

流域の浮遊土砂の起源推定

森林流域の長期的な土砂流出特性を把握することは森林の公益的機能を評価する上で非常に重要であるが、出水期間中の土砂流出量観測はかなりの困難と労力を伴い、長期観測も人的・経済的な負担が大きい。そこで侵食プロセスの異なる複数の生産源土壌と浮遊土砂の放射性同位体濃度を調べ、多変量土砂混合モデル（Multivariate sediment-mixing model; Collins et al., 1998）により、高知サイトにおいて河川の浮遊土砂の生産源を推定した。本研究では、分析に十分量の浮遊土砂試料を得るために、浮遊土砂サンプラー（Time-integrated suspended sediment sampler）を河床に設置した（図 3.3-12）。浮遊土砂の生産源と考えられる林床・作業道（林道）・河岸において、表層 1 cm の土壌サンプリングを行った（図 3.3-13）。浮遊土砂の観測期間は 2004 年 6 月 4 日から 9 月 8 日までの 97 日間である。土壌中のセシウム、過剰鉛 210 濃度は、土壌粒子の粒度組成や有機物含量によっても異なるため、Mizugaki et al. (2008)の方法により有機物含量による補正と粒径による補正を行った。

流出プロットより実際に生産された土砂を分析した結果は、林床から直接サンプリング



図 3.3-12 （上）浮遊土砂サンプラーの採取口の構造と（下）河床に設置したサンプラー

した土砂のセシウム 137、過剰鉛 210 濃度とほぼ同様の値を示した。これに対し、河岸および作業道表面のセシウム 137、過剰鉛 210 濃度は、きわめて低い値を示した。このことから、森林表土と作業道または河岸とは、セシウム 137、過剰鉛 210 濃度特性により明瞭に分離できることが示された。多変量土砂混合モデルにより、森林表土および河岸のセシウム 137 および過剰鉛 210 濃度をエンドメンバーとして、浮遊土砂に対する森林表土の寄与を推定したところ、流域によって浮遊土砂に対する森林表土の寄与は大きく異なった（図 3.3-14）。流出する浮遊土砂量やその生産源は、降雨や流量などの水文条件、土壌や植生、地質といった流域の特性によって変動する。作業道網のないヒノキ林流域（K5）では、降雨量とともに森林表土の寄与が増加する傾向が見られ

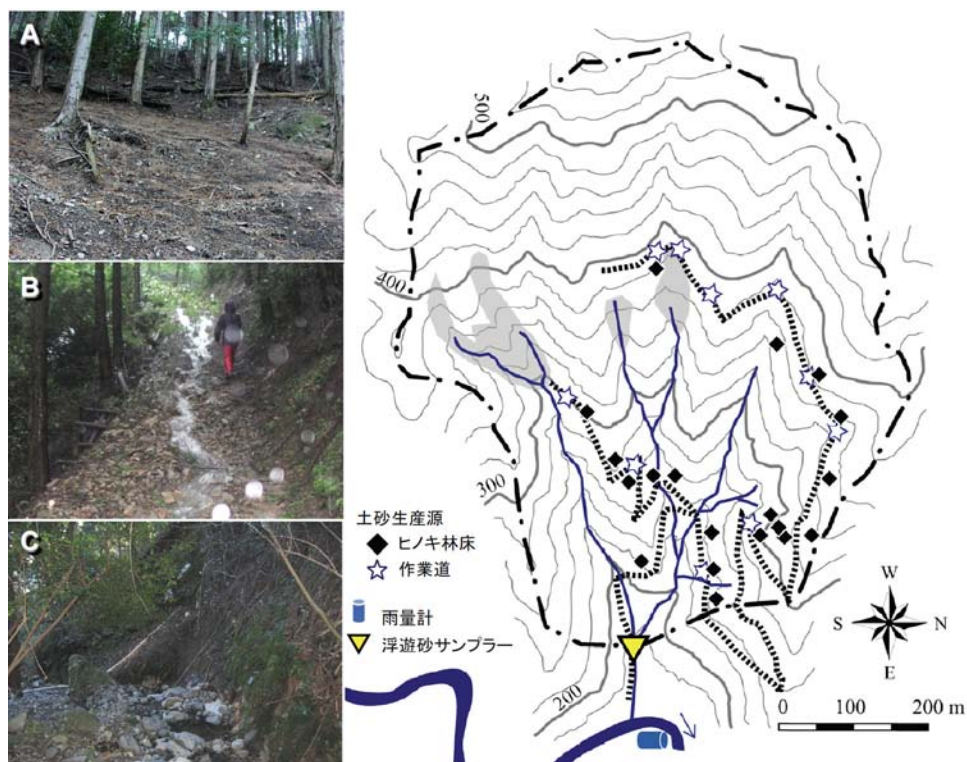


図 3.3-13 高知サイトヒノキ林流域 (K7) における主な土砂生産源と調査地点
(A: ヒノキ林床, B: 作業道, C: 河岸側壁)

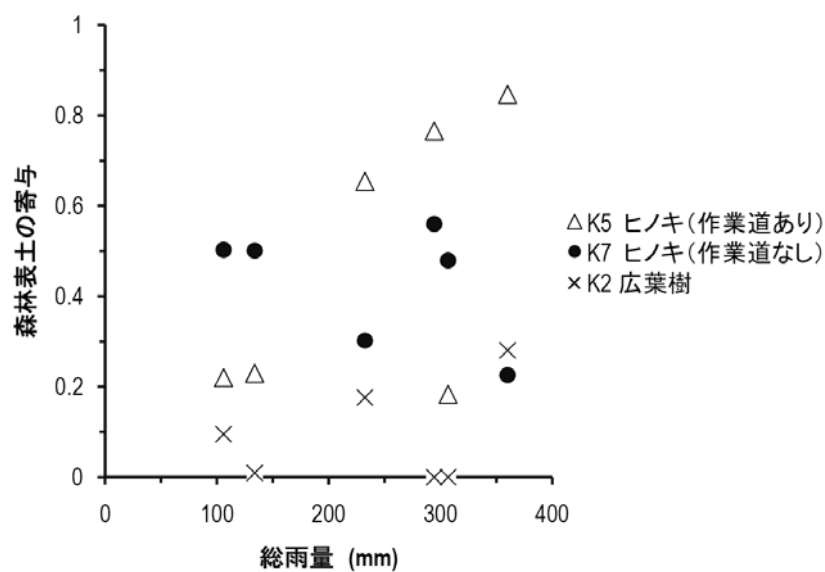


図 3.3-14 降雨量と河川中の浮遊土砂に対する森林表土の割合

た. これは, 降雨量が多いほど, 雨滴侵食や表面流によって生産・運搬された土砂が流路に供給されるためと考えられる. 裸地化した林床をもつヒノキ林流域では, 森林表土が浮遊土砂の生産源として重要であることがわかる. ヒノキ林流域 (K7) においては, 2004 年 8 月 30 日の台風イベント時 (総雨量 232 mm, 最大降雨強度 38 mm/h) に大規模な作業道の侵食が発生しており, 森林表土の寄与は 30%と, 他の期間に比べて低かった. また, 同じイベント時の作業道のないヒノキ林流域 (K5) では, 森林表土の寄与は 65%と, K7 流域に

対して大きい。したがって、K7 流域では作業道は土砂生産源として大きく寄与している可能性がある。

これらのことから、森林流域、とくに地表が裸地化したヒノキ林流域では、斜面で侵食された土砂が流域の土砂流出に大きく寄与していることが明らかとなった。また、森林作業のための作業道からの土砂が多く流出している可能性が高いことがわかった。ヒノキ人工林流域からの土砂流出を考えた場合、強度の間伐と、できるだけ作業道を開設しない森林施業が、有効な土砂流出防止対策となるだろう。

(2) 研究成果の今後期待される効果

森林荒廃度の指標となる相対照度と、表面流出水や表面侵食土砂との関係について、三重サイトのヒノキ林流域を対象に検討した（図 3.3-15）。相対照度が大きくなると、流域スケールの表面流や表面侵食土砂の寄与が小さくなる傾向が見られた。間伐による光環境の改善が下層植生の侵入、生育を促すことで、雨滴衝撃が緩和されて雨水が地下に浸透しやすくなり、地表面からの水、土砂流出の寄与が減少することが示された。

林床の裸地化した土壌では、雨滴衝撃によって剥離された土壌粒子が、雨滴の飛沫や表面流によって斜面下方へと運搬される。土壌表面の細粒成分のみが選択的に運搬され、粗粒成分は運搬されずに残る。そのため、このような土壌侵食がある期間継続すると、土壌表面に粗粒土砂が集積した状態がみられるようになる（図 3.3-16 上）。本研究では、三重サイトや高知サイトの一部でこのように裸地化している土壌表面に礫が集まっている状況が確認された。粗粒土砂成分が少ない裸地化した土壌表面でも、同様に、雨滴や表面流による土壌侵食が進行するが、細粒成分が多いために、侵食深は、樹木の水平根系層まで達することとなる。そのため、土壌表面には樹木の根系層が露出することとなり、これらの根系層は間隙が多いことから、裸地化しているにもかかわらず、浸透能が高い傾向がみられる。また、東京サイトにみられるようなバイオマットフローが観察されることもある。以上のように、森林土壌がどのような粒径の土砂で構成されているかによって、裸地化したヒノキ林斜面の状態が異なってくることがわかってきた。このように、土壌条件が異なることで、散水試験やプロット表面流出解析から得られる土壌の浸透能の値に違いが生じる可能性がある。すなわち、浸透能の定量化のみならず、初期土壌条件と土壌侵食プロセスなどを含めた森林荒廃の履歴を考慮することで、荒廃している森林土壌のより適切な現状評価につながると考えられる。侵食メカニズムと水流出メカニズムを相互に検討していくことが、森林流域における洪水流出の定量化とモデル化において重要であることが示唆された。

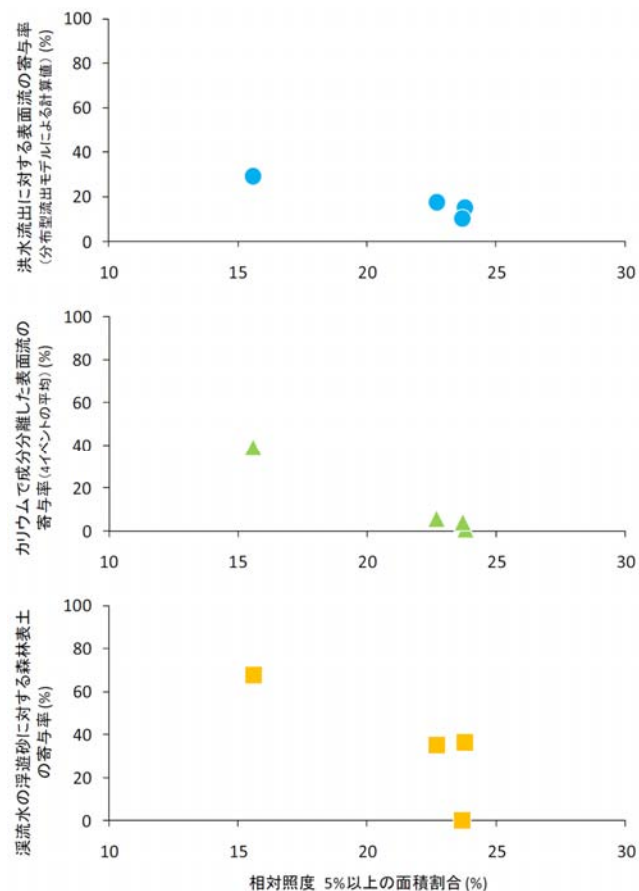


図 3.3-15 森林荒廃の程度と水土砂流出との関係

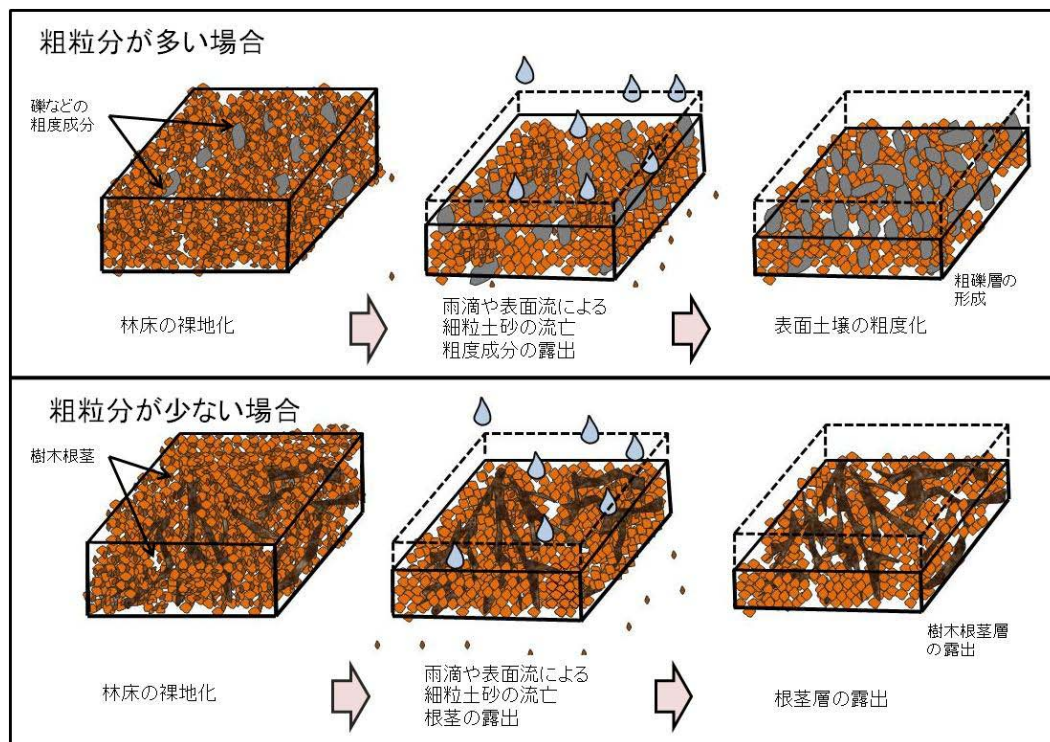


図 3.3-16 土壌タイプによる侵食プロセスと表土状態の変化についての概念図

引用文献

- Asano, Y., Uchida, T., Ohte, N. 2003. Hydrologic and geochemical influence on the dissolved silica concentration in natural water in a steep headwater catchment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **67**(11): 1973-1989.
- Buttle, J. M. 1994. Isotope hydrograph separations and rapid delivery of pre-event water from drainage basins. *Progress of Physical Geography* **18**(1): 16-41.
- Collins, A. L., Walling, D. E., Leeks, G. J. L. 1998. Use of composite fingerprints to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* **23**: 31-52.
- Elsenbeer, H., Lack, A., Cassel, K. 1995. Chemical fingerprints of hydrological compartments and flow path at La Cuenca, western Amazonia. *Water Resources Research* **31**(12): 3051-3058.
- Eshleman, K. H., Pollard, J. S., O'Brien, A. K. 1993. Determination of contributing area for saturated overland flow from chemical hydrograph separations. *Water Resources Research* **29**(10): 3577-3587.
- He, Q., Walling, D. E. 1997. The distribution of fallout ^{137}Cs and ^{210}Pb in undisturbed and cultivated soils. *Applied Radiation and Isotopes* **48**: 677-690.
- Hooper, R. P., Christophersen, N., Peters, N. E. 1990. Modeling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members- An application to the Panola Mountain catchment, Georgia, USA. *Journal of Hydrology* **116**: 321-343.
- 岩坪五郎・堤利夫. 1968. 森林内外の降水量の養分量について (3) 流亡水中の養分量について. *京都大学農学部演習林報告* **40**: 140-155.
- Mizugaki, S., Onda, Y., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., Hiramatsu, S. 2008. Estimation of suspended sediment sources using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds in southern Japan. *Hydrological Processes* **22**: 4519-4531. 2008.
- Soulsby, C., Petry, J., Brewer, M. J., Dunn, S.M., Ott, B., Malcom, I. A. 2003. Identifying and assessing uncertainty in hydrological pathways: a novel approach to end member mixing in a Scottish agricultural catchment. *Journal of Hydrology* **274**: 109-128.
- 辻村真貴・恩田裕一・原田大路. 2006. 荒廃したヒノキ林における降雨流出におよぼす地表流の影響. *水文・水資源学会誌* **19**(1): 17-24.

3. 4 モデリンググループ（京都大学，岡山大学，東京農工大学）

(1) 研究実施内容及び成果

1) グループの構成

モデリンググループは，フィールド観測や総合解析で得られた成果などをパラメータ化し，水文モデルによる現象の再現および，森林や林床条件の変化による水流出の変化，将来的な水流出予測を行うための研究を進めてきた。

モデリンググループの特長として，モデルの開発やパラメータ設定に当たり，斜面や流域スケールで観測されたプロセスを考慮し，フィールド観測とモデリングの「両輪による相互連携」の強化を重視してきた．観測やモデリングの手法により，3つの異なる水文モデル手法を用いて解析を進めた．モデリンググループの構成を図 3.4-1 に模式的に示した．斜面スケールでは斜面土壌の不均質性や土壌の撥水性を考慮した飽和・不飽和浸透モデル（担当：京都大学大学院，小杉 東京農工大，宮田）により表面流の発生と流量について明らかにした．源流域スケールでは，地表面形状に沿った表面流の流下を再現するために TOPOTUBE による地形解析方法を適用し，分布型流出モデル（担当：京都大学防災研究

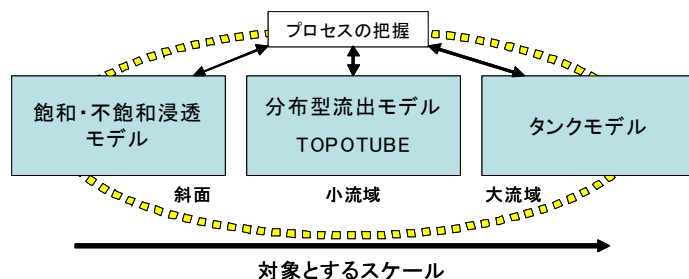


図 3.4-1 異なるスケールを対象とした水文モデルのアプローチ

所，サイドル 東京農工大，五味・宮田）を用いて流域内での表面流の発生モデル化，斜面から河川への表面流量の流入量を再現し予測することを進めた．タンクモデルによる流出解析（担当：岡山大学大学院，近森）では，各タンクへの水配分に関するパラメータについて水質や同位体を

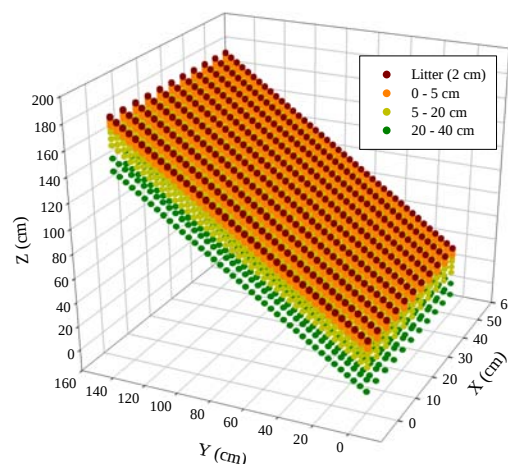
用いた流出成分の分離結果を適応し，フィールド観測結果をモデルに反映させた，より適切な流出波形を再現することができるようになった。

2) 土壌撥水性が不均質に分布する場合の表面流発生数値シミュレーション

①実施方法と内容

ヒノキ林地における表面流の発生に，土壌の撥水性が大きく関与していることが観測により確認された(Miyata et al., 2007)．ここでは，計測された土壌の撥水性空間分布を与えた場合の表面流発生プロセスを，数値シミュレーションモデルを用いて検討した。

数値シミュレーションは，三次元のリチャーズ式を有限要素法



		Litter	0-5cm	5-20cm	20-40cm
θ_s		0.348	0.525	0.527	0.536
θ_r		0.000	0.258	0.262	0.281
ψ_m	cm	-260.1	-13.0	-13.5	-14.7
σ		3.24	1.21	1.21	1.22
Ks	cm/s	4.400	0.045	0.025	0.082

図 3.4-2 計算を行ったモデル斜面とパラメータ．図中の丸印は節点の位置を表す．三層の土層（それぞれ深度 0～5，5～20，20～40 cm）の上に，厚さ 2 cm のリター層を想定した。

を用いて解くことにより行った．計算領域は，幅 50 cm，斜面長 200 cm，勾配 40 度の斜面である（図 3.4-2）．三層の土層（それぞれ深度 0～5，5～20，20～40 cm）の上に，厚さ 2 cm のリター層を想定した．各層の水分特性は次式で表されると仮定し，パラメータの値は実測データ（撥水性の無い状態で計測された値）に基づき図 3.4-2 の通りに定めた．

$$K = K_s S_e^{0.5} \{Q[Q^{-1}(S_e) + \sigma]\}^2 \quad (3.4.1)$$

$$S_e \equiv (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = Q[\ln(\psi / \psi_m) / \sigma] \quad (3.4.2)$$

ここで， θ ：体積含水率， ψ ：圧力水頭， S_e ：有効飽和度， θ_s ：飽和体積含水率， θ_r ：残留体積含水率， ψ_m と σ ：水分特性曲線の形状を決めるパラメータ， K ：透水係数， K_s ：飽和透水係数である．

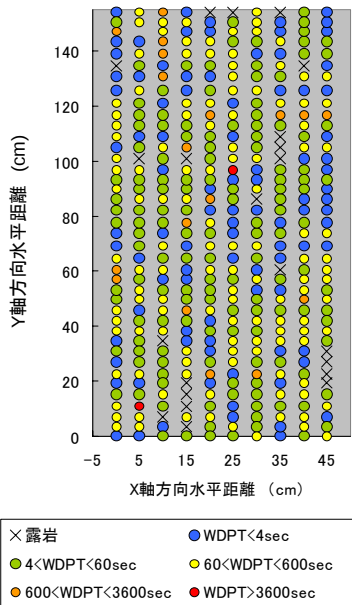


図 3.4-3 土層表面の撥水性強度の空間分布．Water Drop Penetration Time (WDPT：土層の表面に垂らした純水が浸透するまでの時間)の計測結果．WDPT が大きいほど撥水性が強いことを表す．×印で示した地点では，レキが存在し WDPT 試験を行うことができなかった箇所を示す．

三重サイトで土壌の撥水性を調べた結果，深度 0～5 cm の土層について撥水性が確認された．その空間分布を図 3.4-3 に示す．本研究では，次式により WDPT (s) の計測値に応じて深度 0～5 cm の土層の K_s を減少させる事によって，土壌の撥水性を数値シミュレーションに組み込んだ．

$$K_{s,WR} = K_s / (\alpha \text{WDPT}) \quad (3.4.3)$$

パラメータ α は，試行錯誤の結果 8 s^{-1} とした．(3)式の適応範囲は $\text{WDPT} \geq 2 \text{ s}$ であり，それ以外の地点では図 3.4-2 の K_s を与えた．また，露岩が認められた地点（図 3.4-3）では， $K_s = 0$ とした．計算の初期条件は全領域において $\psi = -50 \text{ cm}$ とした．境界条件は，下流端ならびにリター層表面に浸潤条件を与え，他の面は不透水とした．リター表面には図 3.4-4 に示した降雨（図中の青線）を与えた．

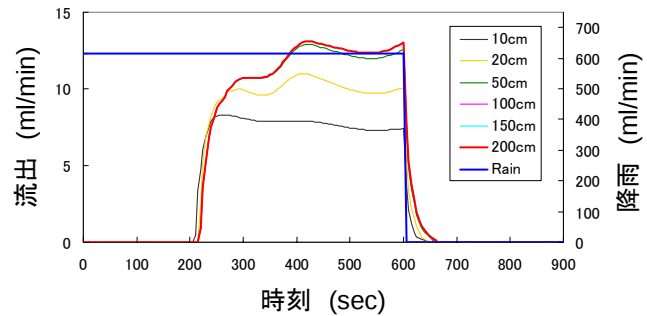


図 3.4-4 入力降雨条件と表面流出の計算結果．凡例の数字は，計算で与えた斜面長を表す．斜面長 100，150，200 cm の表面流出量は同一となった．

②結果と考察

計算された表面流出波形を図 3.4-4 に示した（図中の赤線）．200 s に発生した表面流は急増し，その後，波打つ形状を示しながら約 12.5 ml/min まで上昇した．降雨終了後は直ちに減少した．図 3.4-5 には，降雨が終了した時点（600 s）での，土壌表面ならびに深さ 5 cm における圧力水頭の空間分布を示した．土壌表面において飽和帯が不均質に形成されている

ることがわかる (図 3.4-5a)．図 3.4-4 に示した表面流出量の増加は、これらの飽和帯の一部が次第に連結することによってもたらされていた．深さ 5 cm では、撥水性の小さな部位において、雨水の浸潤による圧力水頭の増加が計算された (図 3.4-5b)．

図 3.4-2 に示した計算領域において、斜面長のみを変化させた場合についても検討を行った．計算された表面流出は、図 3.4-4 に示されている．斜面長が 10～50 cm の範囲では、斜面長の増加によって表面流出が増加した．一方、斜面長が 50 cm より長くなっても、表面流出はそれ以上の増加を示さなかった．これは、与えられた降雨条件ならびに土壤撥水性条件の下で、表面流の流下距離には上限値が存在し、地表面の飽和帯が一定規模以上には連結しないためである．この結果は、表面流出率が斜面長の増加に伴って減少するという野外観測結果 (Gomi et al., 2008a) と、良好に一致した．本研究によって、現地観測で得られた撥水性の空間分布を用いることによって地表面の水の移動を再現することができた．本研究結果は、斜面の小プロットと大プロットの比較で得られた、表面流発生空間的な不均質性とも一致していることから、ヒノキ林斜面における水の移動プロセスを良好に再現していると考えられる．従来の研究では、土壤の撥水性を考慮したモデル化そのものが難しかったが、斜面スケールでモデル化するとともに、不均質性を考慮する、世界に類を見ない飽和飽和浸透モデルの開発を進めることができた．

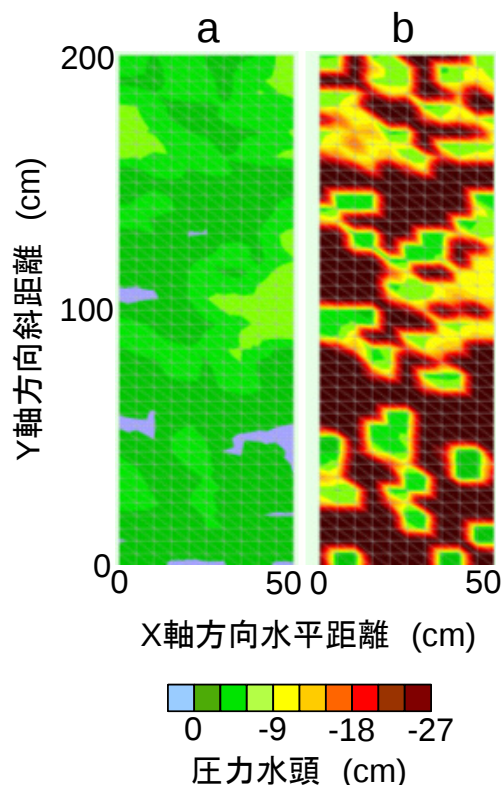


図 3.4-5 時刻 600 s における土壤表面 (a) と深さ 5 cm (b) における圧力水頭分布の計算結果

3) 分布型流出モデルに用いた流出解析

①実施方法と内容

TOPOTUBE 地形解析：

分布型流出モデルで必要となる流域地形の要素分割として、従来のグリッド (正方形要素) による分割ではなく、等高線による地形要素の分割を行った．各要素の大きさや面積には差が生じるが、地表面の構造に沿った水や土砂の移動ベクトル (TOPOTUBE) の方向、尾根部や谷部の適切な表示に適しており、分布型水文モデルにおいて斜面で発生する表面流の流下の方向や連続性を再現することができる利点がある．従来の TOPOTUBE では、10 m 等高線への適用が中心であったが、本研究では、LiDAR 地形図から得られた詳細な地図情報を基に 1～5m 等高線から TOPOTUBE の作成を行った (図 3.4-6)．その結果、地表面な詳細な地形情報、表面流の流れの方向、水の集まり具合などを再現することができた．

モデルの構造：

分布型流出モデルでは表面流、飽和地下水流、飽和地表流の流出を考慮し、モデル化を行った．土壤中の水流出については、土壤の深層部と浅層部の 2 層に分けてモデルの開発

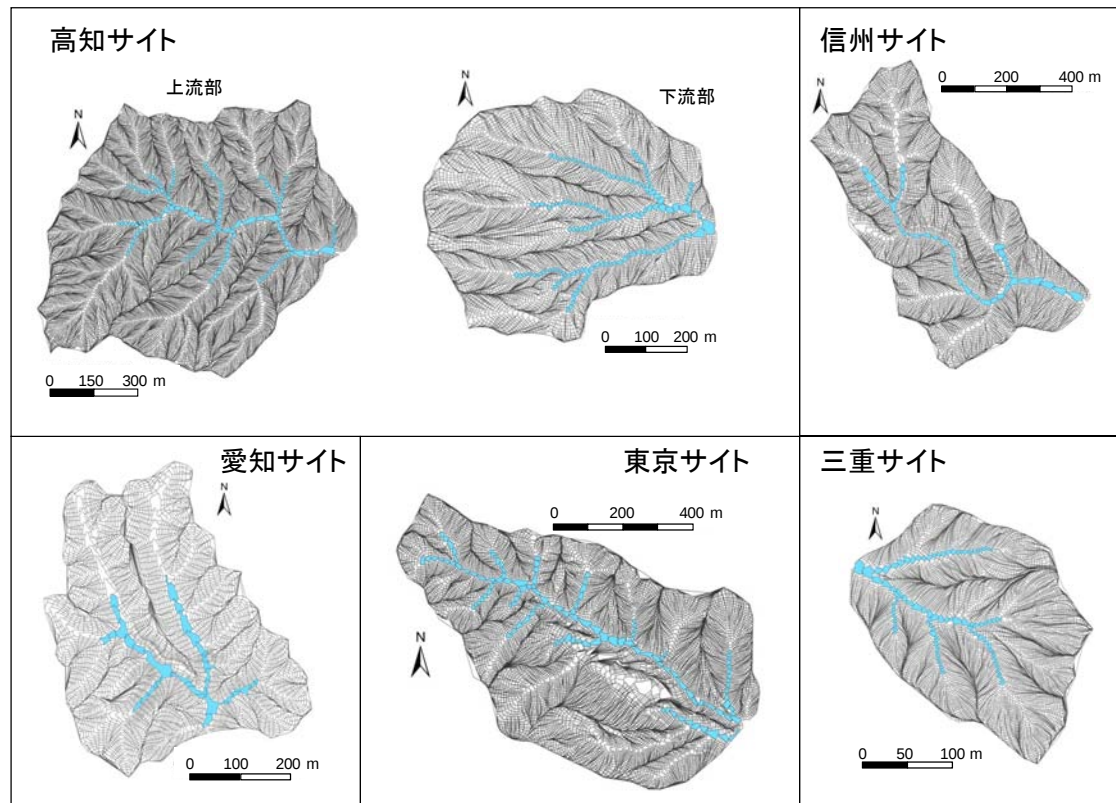


図 3.4-6 各サイトにおける TOPOTUBE 地形解析の結果

を行った。

地表面に到達した雨水は、ホートンの浸透式(Horton, 1933)に応じて表面流が発生するが、現地での散水試験の結果、プロットでの表面流の観測から浸透能 IR は降雨強度 R と安定浸透能 FIR_{max} について以下の関係が成り立つことがわかった (田中・時岡, 2007)。そこで、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。

$$IR = FIR_{max} \tanh\left(\frac{R}{FIR_{max}}\right) \quad (3.4.4)$$

ホートン型表面流の発生に土壌の撥水性が密接に関与していることが明らかとなってきた。特に、撥水性は降雨初期の土壌が乾燥している状態において表面流の発生に影響していることが明らかとなってきた。本モデルでは、降雨前には FIR_{max} が小さく、降雨の経過とともに FIR_{max} が一定値まで上昇する関数を組み込んだ。開発されたモデルでは、流域内の任意の点における全流出量、ホートン型表面流の寄与量などを計算することができる。また、流域内における表面流の発生箇所、飽和地下水帯の発生位置を計算することができる。

林内相対照度・土壌被覆量・浸透能の空間分布：

分布型流出モデルで必要となる土壌被覆量と浸透能の空間分布を把握するために、まず、LiDAR データから 10×10 m プロットを作成し、レーザーの地表面到達率から相対的な透過率を算出し、相対照度の推定を行った (図 3.4-7)。得られた結果については概ね現地の情報と一致した林冠の閉塞状況や林床面の照度の空間分を再現していると考えられた。相対照度のクラスを、0~2%、2~5%、5~10%、10~20%、20%以上の 5 段階に分けた。 10×10 m のメッシュで推定された相対照度の空間分布を用いることによって、土壌被覆量の空間分

布を推定することができる。相対照度と土壌被覆量については、従来の研究成果から図 3.4-8 に示したような関係式が成り立つことが報告されている。そこで、この関係式を用いて、各メッシュの相対照度から土壌表面の被覆量分布を推定した。ここでは、本手法を三重サイトに適用した事例を示す（図 3.4-8）。10m メッシュで得られた 5 段階の土壌被覆量について、現地調査した結果と比較すると、リモートセンシング手法で推定された被覆分布と概ね一致した。森林維持管理グループの現地観測の結果、現地斜面における土壌被覆量と浸透能の関係が得られていることから、この関係を用いることによって浸透能の空間分布を与えることができる。土壌被覆量については 5 段階で評価されていることから、土壌浸透能

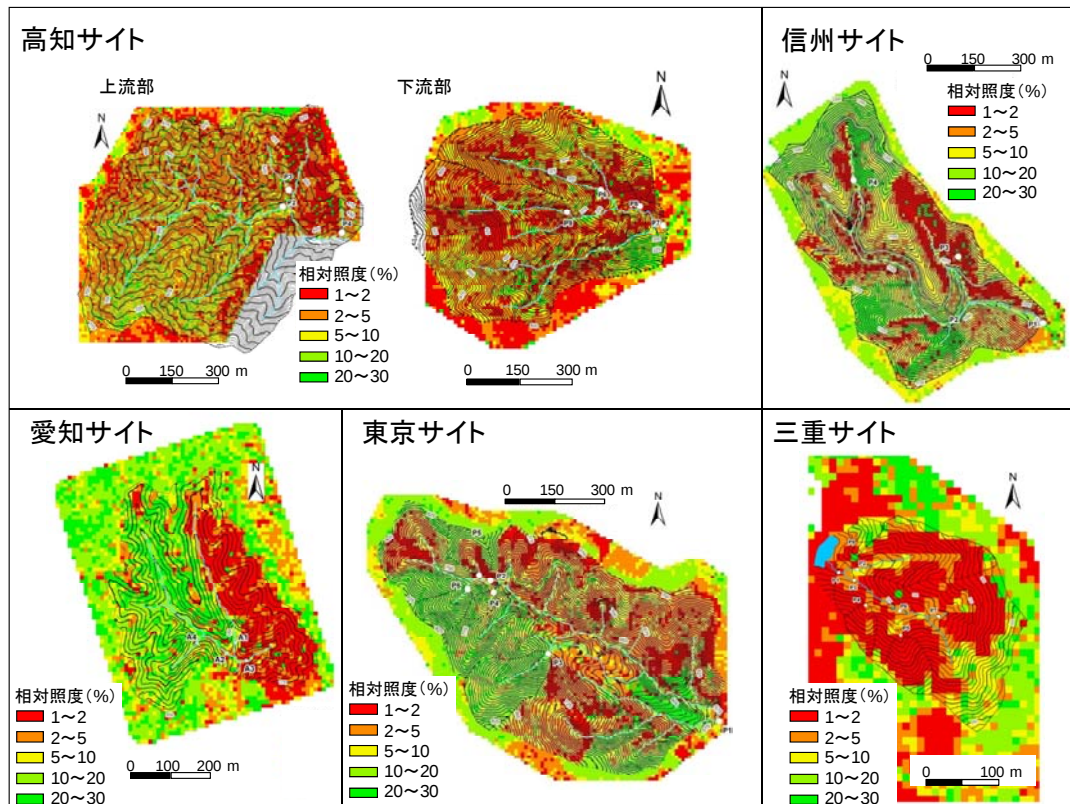


図 3.4-7 10×10m メッシュで計算した各サイトにおける相対照度の空間分布。赤色が相対照度の低い箇所を示し、緑色が相対照度の高い箇所を示す。

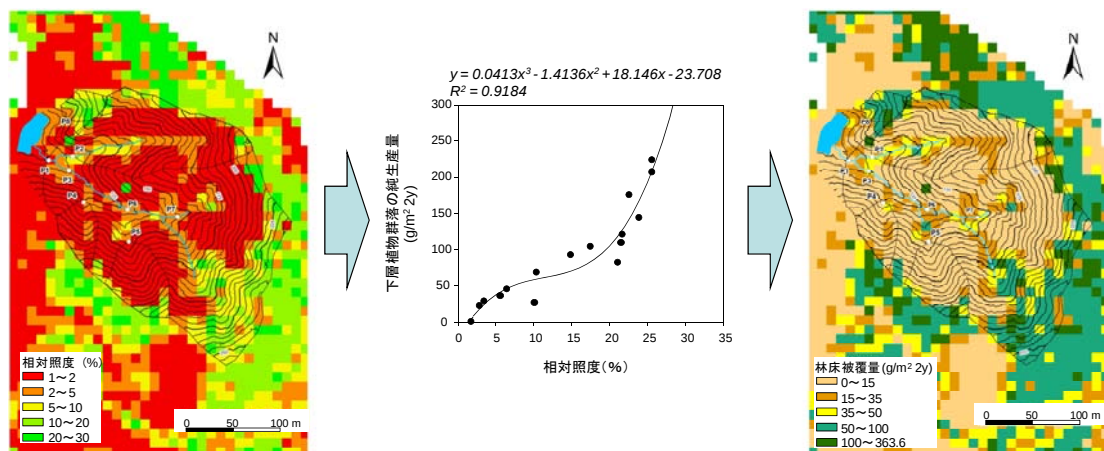


図 3.4-8 三重サイトにおける相対照度（左）から推定した林床植生被覆量の空間分布（右）。緑色の箇所は植生量が多いことを示す。

についても 5 段階で評価することとした。これらの空間分布について、さらに分布型流出モデルで活用する TOPOTUBE エレメント毎に個別の浸透能を与えることによって、流出モデルにおける浸透能の空間分布を考慮することができる。

②結果と考察

三重サイトにおける解析：

浸透能の空間分布を考慮した三重サイトにおける TOPOTUBE を図 3.4-9 に示す。色の濃い箇所は高い浸透能があることを示し、色の薄い箇所については浸透能が低い箇所であることを示す。現地の観察結果とほぼ同様な分布を得ることができた。

流出解析の結果、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。特に、ピーク流出の応答や逓減においては観測値と同様の値を示していることから、今回のプロジェクトで開発したモデルは、表面流や地下水流などのプロセスの再現性が良いと判断できた。

各流域における相対照度と斜面から溪流へ流入する表面流量を比べると、相対照度が大きいほど、表面流流入量が小さくなる傾向がみられた（図 3.4-10）。これは、各流域における林床植生と対応して表面流の流入量が計算される結果であると考えられる。このような林床植生量（相対照度の割合）との関係では、斜面からの浮遊土砂流出の寄与(Fukuyama et al., 2008), カリウムを用いた表面流の流出成分分離結果(Gomi et al., 2008b)でも、同様な傾向がみられる。

一方、流域全体に相対照度が減少して植生被覆量および浸透能が低下した場合、ピーク流出時における表面流量の寄与が増加し、全体として表面流の流入量も増えていた（図 3.4-11）。また、流域全体の被覆量が増加した場合、流出波形に大きな変化は見られないが、斜面から河川へ流入する表面流量は低下した。浸透能の空間分布を考慮することによって、斜面から溪流への表面流の流入をより適切に評価することができるようになった。同様にピーク流量についても、林床被覆状態が小さいほど、洪水ピーク時における表面流の寄与が大きくなっていた。

浸透能の空間的不均質性の考慮：

浸透能や土壌撥水性は空間的に不均質であることが報告されている。これらの不均質性は

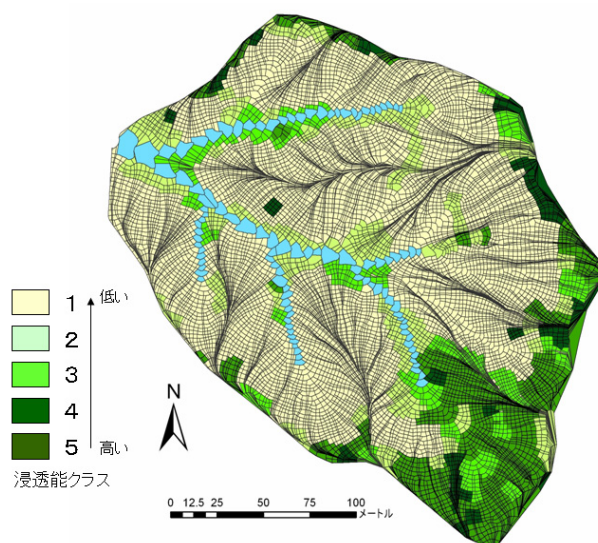


図 3.4-9 三重サイトにおける浸透能の空間分布。青色は流路を示す。

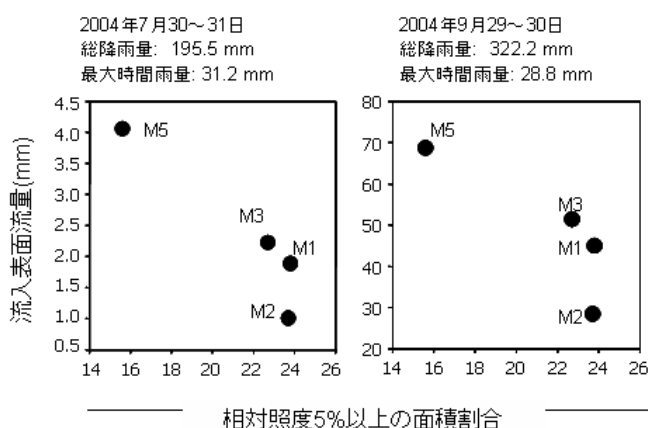


図 3.4-10 モデル計算より得られた、降雨イベント時の表面流流入量

にランダムに存在すると仮定して、計算を行った。

浸透能の不均質性を考慮した結果、表面流の発生の空間的なばらつきをモデル上に再現できるようになった。流域全体に均質な浸透能を与えた場合と比べ、浸透能の空間分を考慮した場合は、プロットの表面流流出量の計算値は実測値に近い値となった(図 3.4-13)。分布型流出モデルを用いて、ヒノキ林斜面における表面流の発生量とその分布の再現を行った。土壌浸透能の空間的な分布などの土壌の不均質性を考慮することによって、表面流発生量の再現性が向上した。

間伐による表面流量の変化：

三重サイトの高密度ヒノキ林において 2007 年 2 月に間伐試験を行い、間伐後の浸透能の変化と表面流の発生についての調査観測を行っている。間伐地では、間伐した樹木を等高線に平行に配置することから、林内雨が直接地面へ到達することを抑える効果がある。また、間伐木は表面流に対して粗度を増加させる効果もあり、表面流の土壌中への浸透を促す。実際に間伐地で行った散水実験では林床植生の少ない箇所でも相対的に高い浸透能を得ることができた。そこで、放置間伐木を土壌被覆とし、間伐の前後で流域を 5 m×5 m のグリッドで被覆調査すると、間伐後は間伐前と比べて、土壌被覆量が増加していることがわかった。また、間伐前に裸地化していた流路周辺部でも被覆量が増加していた。これらの土壌被覆量の調査から、浸透能の空間分布を示すと図 3.4-14 のようになった。間伐によって林内照度が増加していることから、今後林床植生も回復し、より浸透能が増加することも予想される。今後、継続的な観測及びモデリング解析が必要である。

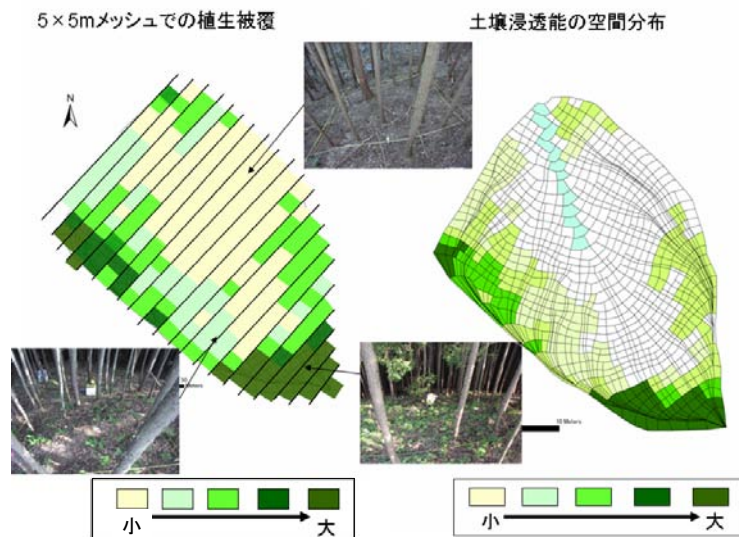


図 3.4-12 林床植生被覆(左)と浸透能(右)の空間分布

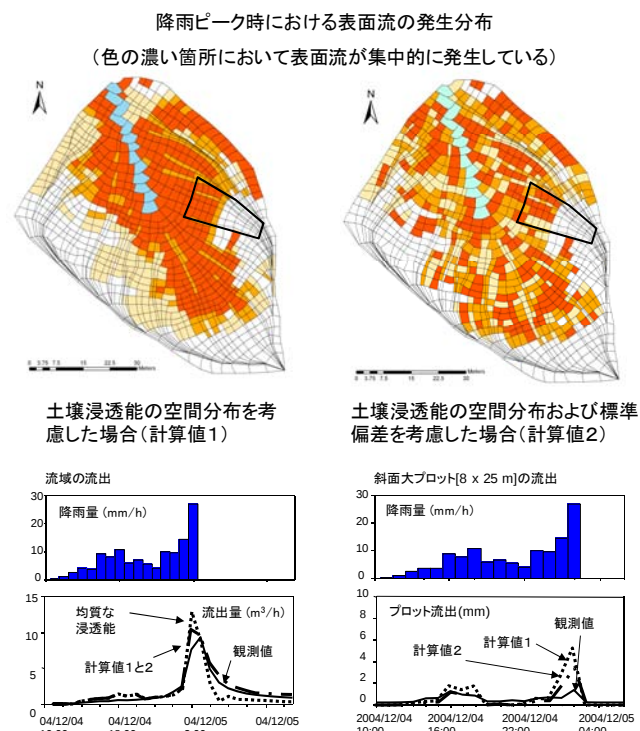


図 3.4-13 不均質性を考慮した分布型流出モデルによる流出解析結果

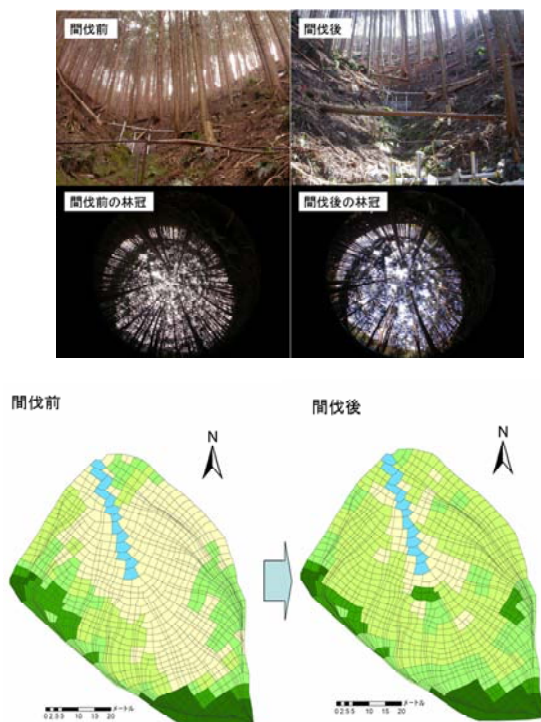


図 3.4-14 三重サイトにおける間伐前後の浸透能の変化

③研究の位置づけと類似研究との比較

本研究によって、詳細な地形情報を用いた TOPOTUBE 地形解析を行うことができ、それを基にした流域全体の分布型流出モデルの開発を進めることができた。総合解析などで得られた情報をモデルのパラメータとして用いることによって、現地観測とモデルの連携を強化することができた。浸透能の空間分布を把握するために、LiDAR リモートセンシングで得られた相対照度の情報を用いることによって、対象流域全体の土壌被覆量や浸透能の空間分布を考慮したモデル化を進めた。分布型流出モデルの開発や入力値については、プロジェクトの他のグループの成果を積極的に活用することができた。このようなフィールド観測およびリモートセンシング解析の相互と連携をした分布型流出モデルによる解析例は他に類をみないものとなった。これらの情報の活用によって、モデルを用いた森林斜面における水文プロセスの再現性を向上することができた。

3) 流出成分分離結果を用いたタンクモデルのパラメータ同定

① 研究実施方法と内容

通常、洪水流出モデルを同定するときは、対象とする流域の流域平均雨量と流量の時系列データに基づいて最適化することが多いが、同定に用いるモデルや水文データの精度の影響により、流域の土壌や地形の条件等から客観的には考えにくいモデルが同定されることも少なくない。ここでは、三重サイトにおいて総合解析から得られた K^+ の濃度から推定される「古い水」の比率と $\delta^{18}O$ から推定される「古い水」の比率(Gomi et al., 2008b)を考慮できる降雨-流出モデルを構築した。

流出解析には、角屋・永井(1988)によって開発された長短期流出両用モデル(LST2モデル)の第1段および第2段タンクに「古い水」を貯留する保水層を設けたものを用いた(図 3.4-15)。LST2モデルは、長期と短期の流出解析を同時に連続的に行うために開発されたモデルで、第1段タンクが上層と下層とに分かれており、Hortonの浸入能式に従って浸入現象を再現できる点がその特徴の一つである。LST2モデルの同定には、大域的多点探索法の一つである Differential Evolution (DE) (Storn, 1997; Price, 2005)を

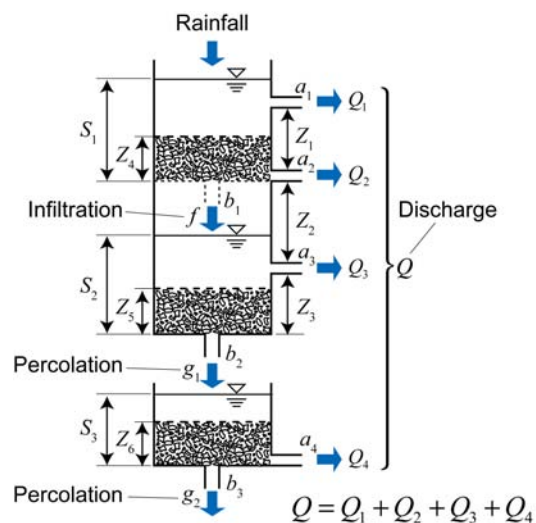


図 3.4-15 「古い水」を考慮したタンクモデルの概念図

用いた。

② 結果と考察

この LST2 モデルをそのまま各対象出水に対して同定し流出計算を行った結果、計算流量については十分な再現精度は得られたものの、 $\delta^{18}\text{O}$ を用いて得られる「古い水」の比率を再現することはできなかった（図 3.4-16）。これは、流域の貯留をタンクの貯留だけで表現する従来のタンクモデルの構造では、「古い水」に相当する貯留量をあらかじめ十分に保持しておくことができないためである。そこで、降雨前に流域内に貯留水を十分に保持できるようにするために、第 1 段タンクの上層および下層、第 2 段タンクのそれぞれに貯留水を保持する保水層を設け、この保水層内の貯留水は自重で流出や浸透はしないものとした（図 3.4-15）。第 1 段タンク上層の保水層の厚さは Z_4 であり、上から 2 番目の流出孔からの流出高 Q_2 は次式で表される。

$$Q_2 = \begin{cases} a_2(S_1 - Z_4) & (S_1 \geq Z_4) \\ 0 & (S_1 < Z_4) \end{cases} \quad (3.4-5)$$

保水層内の貯留水は、保水層上側の雨水貯留によってのみ移動する構造になっており、言い換えれば保水層の上に載る雨水貯留によって保水層内の貯留水が押し出される構造になっている。保水層厚以上の雨水貯留がなければ、流出、浸入、浸透はいずれも発生しない。出水前にモデル中に貯留されている雨水に由来する流出成分を「古い水」として扱った。

同定したモデルから、M2、M4 および M5 流域の流出特性の相違と流域の植生状態（施業管理状態を含む）との関係について検討した。まず、地表面およびその近くの表層を流れる流出との関連が強いと思われる流出孔係数 a_1 、 a_2 、浸入孔係数 b_1 および第 1 段下層の保水層厚 z_5 の分布について調べた結果を図 3.4-17 に示す。 a_1 、 a_2 は M2 および M4 流域で小さい傾向にあり表面近くの流れが抑えられる傾向にあること、 b_1 はばらつきが大きいものの、最大値についてみると M2 が他の 2 流域よりも小さく、やや浸入が抑えられる傾向にあることが伺える。なお、保水層厚 z_5 については流域間であまり大きな違いは見られなかった。

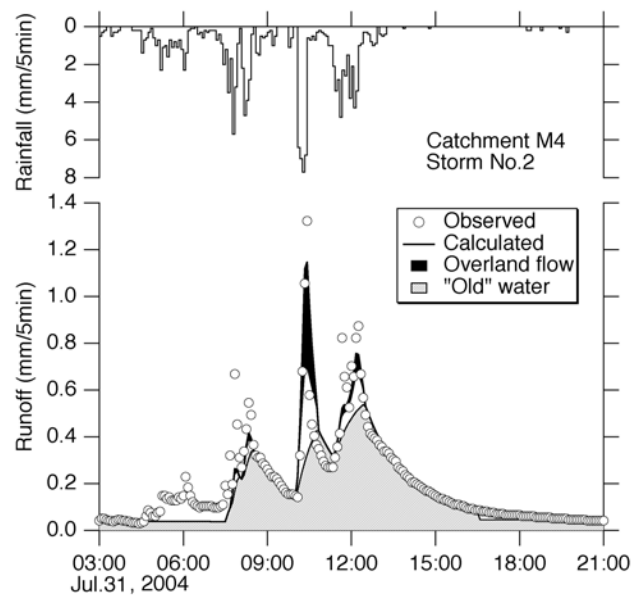


図 3.4-16 実測値と計算値の例

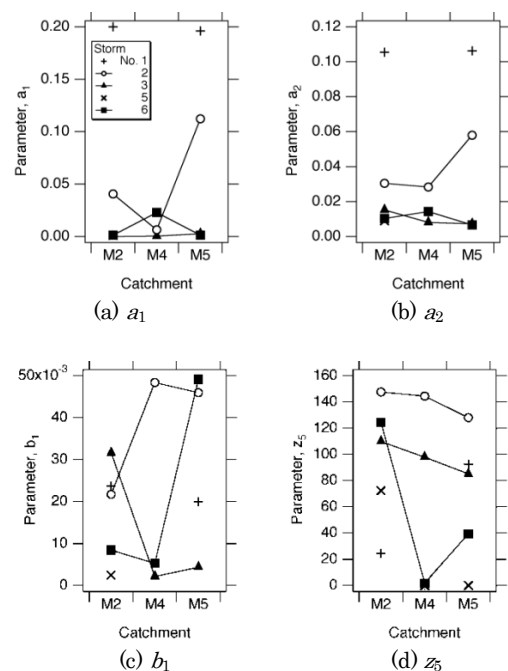


図 3.4-17 各流域のパラメータ

③ 結果の位置づけと類似研究との比較

従来のタンクモデルではパラメータの同定について、現地で得られた情報を用いることや、アルゴリズムを用いて、解析する方法などが用いられてきた。本研究では、流出成分分離の結果をタンクモデルのパラメータ同定に用いることによって、実際に流域で起こっている水流出プロセスを考慮したモデル化を進めることができた。その結果、流域ごとに異なる表面流発生量など整合性を向上させることができた。このような成分分離結果をタンクモデルに反映させた研究は、これまでにない。

(2) 研究成果の今後期待される効果

モデリンググループでは、斜面スケール、流域スケールで森林斜面における水流出のモデル化を進めてきた。モデリンググループのすべてにおいて、現地観測で得られた情報をモデルのパラメータ設定などの入力条件として活用することができた。それらの現地情報は、土壌撥水性などの小さいスケールのものから、流域の植生被覆分布などのより大きなスケールと様々であった。流出成分分離をモデルのパラメータ同定に活用する新しい試みも行われ、よい結果を得ることができた。このような現地情報を用いることによって、斜面や流域の自然現象としての空間的不均質性を考慮した、より高度なモデルの条件設定と現象の再現を進めることができた。森林流域における水流出プロセスの解明とモデル化において、このような不均質性を考慮することの重要性を示すとともに、モデルによる現象の再現性を向上するなどの成果を得た。これらの成果は、海外や国内の学会等でも高い評価を得ることができたと考えている。現在、水文学において、水流出予測や土壌侵食予測などをする上で、土壌条件などの空間的不均質性をどのように把握し、モデル化していくかが、重要な課題となっている。本研究が今後も国内外で注目され、また、論文成果などが引用されていくことが期待される。

水流出予測といった技術面では、リモートセンシングで推定した浸透能の空間分布や森林の荒廃度を考慮することで、より広域の森林状態を考慮したモデル化を進めるための手法を提案することができた。提案したモデルは、森林管理による浸透能変化を予測することができるとともに、流域内で表面流が発生しやすい箇所を予測できる。モデルによる予測結果に基づき、森林管理が必要となる対象地域の特選や選定を行うことができ、今後の水流出プロセスを考慮した森林管理の方向性を検討するツールとなると考えられる。

引用文献

- Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N. 2008. Erosion processes in Japanese cypress plantation catchment estimated from measurement of Cs-137 and Pb-210ex activities in suspended sediment. *Hydrological Processes* (accepted).
- Gomi, T., Sidle, R.C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y. 2008a. Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslope: scaling effects and runoff transfer. *Water Resources Research* **44**: W08411.
- Gomi, T., Asano, Y., Onda, Y., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Fukushima, T. 2008b. Evaluation of storm runoff pathway in steep nested catchments draining a Japanese cypress forest in central Japan: a hydrometric, geochemical, and isotopic approaches. *Hydrological Processes* (in review).
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Transactions, American Geophysical Union* **14**: 460-466.
- 角屋睦・永井明博. 1988. 長短期流出両用モデルの開発改良研究. *農業土木学会論文集* **136**: 31-38.
- Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Onda Y., Mizuyama, T. 2007. Occurrence of surface runoff affected by soil water repellency at a hillslope covered with Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Hydrological Processes* **21**: 2365-2376.
- Price, K., Storn, R., Lampinen, J. 2005. *Differential evolution-a practical approach to global optimization*, Springer-Verlag.
- Storn, R., Price, K. 1997. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization* **11**: 341-359.
- 田中茂信・時岡利和. 2007. 現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討. *土木学会第 62 回年次学術講演会公演概要集 (CD-ROM)* **2-003**: 5-6.

3. 5 森林維持管理モデリンググループ（名古屋大学，三重県林業研究所，東京大学，筑波大学）

（1） 研究実施内容及び成果

1) 研究のねらい

人工林荒廃問題の解決には，水循環や物質循環の観点から，適正な状態に人工林を維持管理していくための具体策を提言する必要がある．そのためには，まず人工林の現状（密度管理状態等）を広域的に把握し，そこから抽出された管理の必要な森林に対して，適切な間伐と管理の方策を提示できるようにしなくてはならない．本研究グループでは，森林管理のための，林床被覆と浸透能との関係（①），汎用性の高い森林成長モデルを用いた実際の間伐効果に関する実証的研究（②）を行なうことを目標としている．

2) 研究実施方法・成果

① 林床被覆と浸透能

一般に森林土壌は浸透能が高く（村井・岩崎 1975），ほとんど表面流は発生しないと考えられてきたが，管理不足のヒノキ林では下層植生が消失し，雨滴衝撃によるクラスト形成により浸透能が低下すると考えられる．このことから，雨滴衝撃を緩和する林床被覆（下層植生およびリター）は実際の浸透能と密接に関連していると考えられる．そこで，林内の雨滴衝撃力を再現した急峻な森林斜面にも対応するように開発した散水装置（図 3.5-1；特願 2007 - 312784；加藤ら，2008）を用いることによって，林床被覆と浸透能の定量化を試みた．

散水実験では，一定の散水強度で表面流出水量を計測し，散水強度と流出量の差分から単位時間当たりの浸透強度を算出する．浸透強度は時間の経過とともに一定の値に漸近する．この一定となった浸透強度を最終浸透能という．単に浸透能という場合，多くはこの最終浸透能を指している．

最終浸透能は，降雨強度が強くなるにしたがって高くなることが指摘されている（村井・岩崎，1975；Hawkins, 1982）．降雨強度が増大するにしたがって一定の値（最大最終浸透能 FIR_{max} ）に漸近することを示しており， FIR_{max} を地表面全体の平均浸透能として用いていた研究例もある（Dunne et al., 1991）．田中・時岡（2007）は，振動ノズル式散水装置を用いて元牧草地，公園グラウンド，公園の自然状態の平地，山地斜面において浸透能測定を行い，降雨強度と浸透強度の関係が以下の双曲線関数で近似できることを示した（図 3.5-2）．



図 3.5-1 振動ノズル式散水装置
左：実験プロット概況，右：ノズル部拡大写真．

$$FIR = FIR_{max} \tanh\left(R/FIR_{max}\right) \quad (3.5.1)$$

ここで、 FIR は実験で得られた最終浸透能 [mm/h]、 FIR_{max} は降雨強度が十分に大きい時の最終浸透能 [mm/h]、 R は実験の降雨強度 [mm/h] を示す。図 3.5-2 は FIR_{max} が 50 mm/h、100 mm/h の土壌について R と FIR の関係を示している。例えば FIR_{max} が 100 mm/h の土壌に 75 mm/h の降雨を与えた場合、最終浸透能 FIR は約 65 mm/h であり、10 mm/h の降雨余剰が発生することになる。

浸透能測定は、三重サイトにおいて被覆状態の異なる 14 地点において行った。斜面傾斜などの林床被覆以外の条件がほぼ同じとなるように測定プロットを設置した。林床被覆はブラウン-ブランケによる 7 段階の被度指標により決定した（表 3.5-1）。ここで、下層植生は地表面から地上高 50 cm の範囲に生育する木本および草本類、リターは落枝葉、および有機物層を合わせたものとした。プロット内の下層植生およびリターは浸透能測定後に回収し、乾燥重量を測定した。

各プロットでの浸透能測定結果からもとめた最大最終浸透能と林床被覆の関係を図 3.5-3 に示す。最大最終浸透能は下層植生量および林床被覆量に対してそれぞれ強い正の相関および弱い正の相関を示した。被覆面積が大きいほどクラスト形成を抑止する効果が高いことが知られており（恩田・湯川, 1995）、実際の森林斜面においても浸透能が下層植生による被覆に強く影響されることが示された。被度指標と浸透能の関係を調べると、被度が大きくなるにつれて浸透能が高くなる傾向が見られた（図 3.5-4）。被度 3 以下の地点では浸透能が 45 mm/h 以下を示し、被度 4 以上の

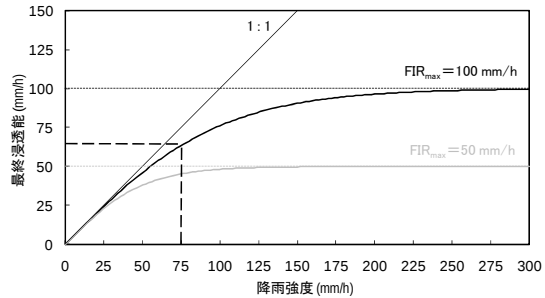


図 3.5-2 降雨強度と最終浸透能の関係（式 3.5.1 より算出。）

表 3.5 - 1 ブラウン-ブランケ（1971）による林床被覆状況の被度区分

被度指標	定義
r	ほぼ裸地
+	裸地化に近い状態であるが、下層植生が少し有（5% 以下）
1	下層植生が少なく、被度が 10% 以下
2	下層植生が多い、または少ないが、被度が 25% 以下
3	被度が 25-50%
4	被度が 50-75%
5	被度が 75-100%

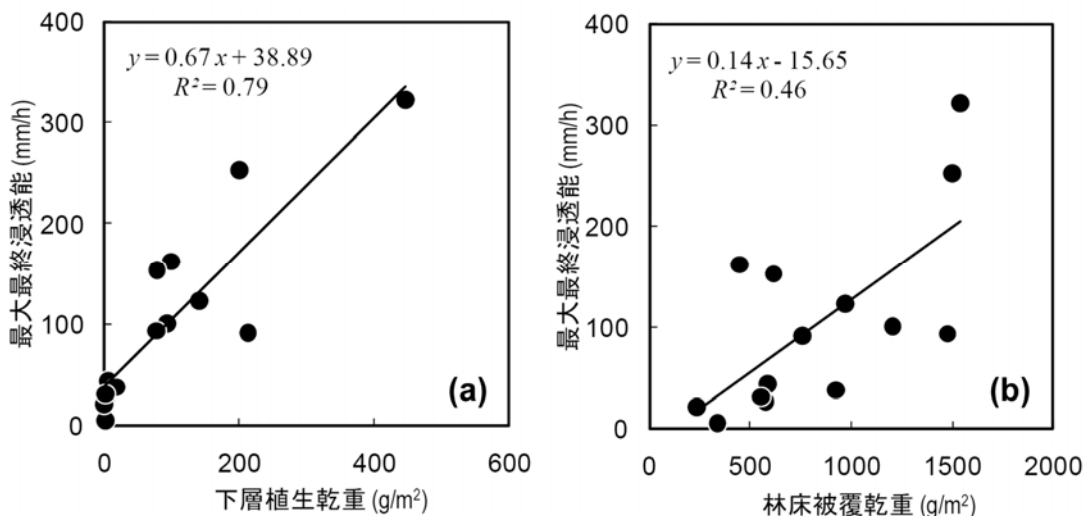


図 3.5-3 現地散水実験による (a) 下層植生乾重 (b) 林床被覆量と最大最終浸透能の関係

地点では浸透能はおおむね 90 mm/h 以上であった。このように、浸透能は林床被覆の被度によって大きく変化することがわかった。林床の被覆率が 70–80 % 程度あれば雨滴衝撃が減殺されると報告されており（佐藤, 1971）、今回高い浸透能を示した被度と一致していた。ブラウンブランケによる被度指標は、施業現場で使用できる簡便な指標であることから、ある地点の被度を調べることで浸透能を把握できる可能性がある。

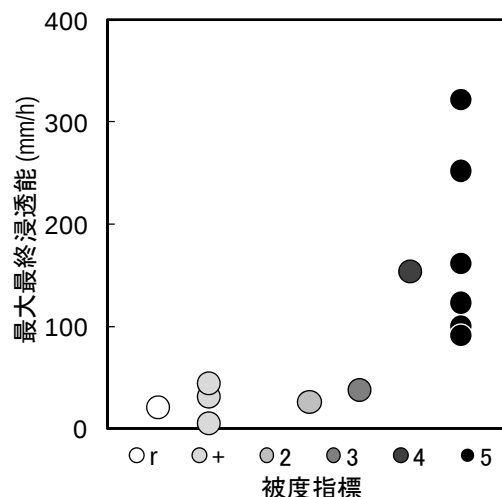


図 3.5-4 現地散水実験による被度指標と最大最終浸透能の関係

※被度 1 にはプロットを設置していない。

山地斜面の浸透能測定では、さまざまな散水型試験装置が考案されているものの、その測定値については、測器による差が生じることが指摘されている。これら従来の測定方法に対し、本研究では振動ノズル型散水装置を用いて林内雨の雨滴径および雨滴衝撃力を再現することで、自然降雨に近い状態での浸透能を測定することができた。今後のヒノキ人工林管理計画に浸透能を一つの指標として取り組む場合、目標とする浸透能を維持できるような、林床の下層植生や被度の管理が有効と考えられる。たとえば図 3.5-3b の回帰式を用いて算出を行うと、 $FIR_{max} = 100$ mm/h を目標に設定した場合、必要な林床被覆乾重は 805 g/m^2 程度であり、 $FIR_{max} = 150$ mm/h の場合、 1155 g/m^2 程度の林床被覆が必要とわかる。被度を指標とすると、図 3.5-4 より $FIR_{max} = 100$ mm/h の場合、被度 4 以上を目標とすればよいことになる。また現状の評価を下す場合、被度 3 以下であれば荒廃している可能性が考えられ、間伐による植生侵入を促す必要があると判断できる。このように、現地で簡単に評価できる被度指標から、浸透能を基準とした荒廃度評価を行うことで、森林機能回復を目的とした間伐計画の策定が可能となる。

② 林床植生と保全に配慮した森林管理の検討

ヒノキ林における下層植生の侵入・生育を目指した密度管理

間伐等が適切に行われず管理不足となった過密人工林では、林内光環境の悪化により下層植生の衰退・林床の裸地化が進行し、林床土壌の流亡や土壌浸透能の低下等の現象が発生している。この解決は間伐により林内光環境を改善し、下層植生を侵入・生育させ、林床を被覆・保護することである。しかし、管理不足の人工林に対して、光環境の改善がどの程度必要であり、そのための間伐率をどのように決定するか等の具体的方法は必ずしも明らかにされていなかった。そこで、ヒノキ林を対象として下層植生の侵入・生育を目的とした森林管理方法について、既往研究のレビューおよび現地調査により検討を行った。

林内光環境と下層植生量の関係は、様々な研究が行われている。古くは 1980 代に行われた人工林の複層林施業に関する研究である。複層林施業研究班（1983）は、林地保全上の観点からではなく、複層林施業による下草刈り等の省力化の観点から林内光環境と下層植生量の関係を調査している。図 3.5-5 に同報告のデータを基にした相対照度と下層植生量の関係を示した。この調査結果から、以下の結論が得られている。

1. 林内相対照度 2% 以下で林床植生は殆ど発生しない。
2. 5～10% で若干の植生が発生するが下刈の必要はない。
3. 20～30% で下層植生はかなり増加する。

4. 40～50%で陽生の雑草木が繁茂して下刈りが必要となる。

相対照度と下層植生の関係を密度管理の観点から考えると、間伐等初期に下層植生が侵入・定着する量と相対照度の関係を明らかにしておくことが重要であると考えられる。このことから、複層林施業班(1983)、清野(1990)の報告に基づいた、「相対照度を少なくとも10%以上、理想的には20%以上」を密度管理の目標とすることは妥当であると考えられる。複層林施業研究班(1983)のヒノキ林の下層植生データ、清野(1990)の下層植生全体データに、三島木・真田(1994)のアカツ-ヒノキ林の下層植生データを加え、相対照度との関係を図 3.5-5 に図示した。同図に示すように、相対照度と下層植生量の関係は3次式によって近似できる ($r^2=0.9081$)。近似線の編曲点は相対照度相対照度 11%前後にある。また、20%を超えると下層植生量が急激に増加する傾向を示し、複層林施業班(1983)、清野(1990)の報告を3次式によって表現可能であると考えられる。

前述の「相対照度を少なくとも10%以上、理想的には20%以上」を行うための間伐率について考察する。図 3.5-6 は、三重県津市白山町地内のヒノキ 37 年生人工林における材積間伐率と林内相対照度の関係を示している。このヒノキ林に、20m×20mのプロットを設け(立木本数: 2575 本/ha, 平均樹高: 13.0m, 平均胸高直径: 14.8cm), プロット内の樹木を間伐率を 5%, 15%, 35%, 50%と徐々に上げて間伐し、その都度、林内相対照度を測定した(測点は5箇所の固定点)。同図では、間伐前5%前後であった相対照度が、間伐率が高くなるにつれて上昇している。林内相対照度 20%を確保するには、材積間伐率で 40-50%前後(本数間伐率では 50-60%前後)の間伐

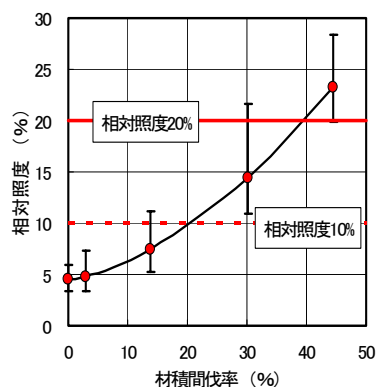


図 3.5-6 材積間伐率と相対照度の関係

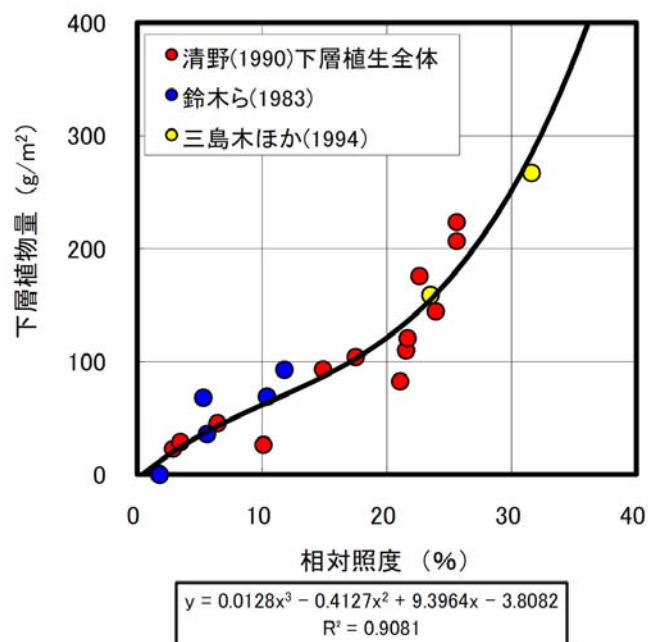


図 3.5-5 相対照度と下層植生量の関係

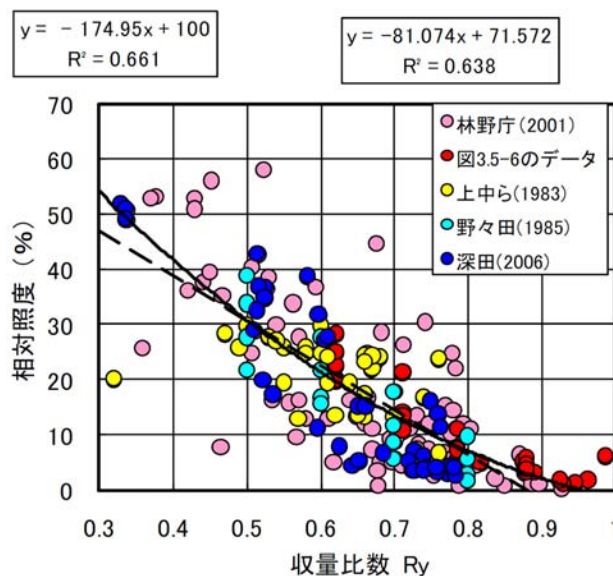


図 3.5-7 収量比数と相対照度の関係

が必要である。

密度管理計画を立案する場合に、人工林密度管理図により管理するとわかりやすい。密度管理図では林分密度を収量比数 R_y によって表されるので、収量比数 R_y と相対照度の関係を図 3.5-7 に示した。収量比数と相対照度の関係では、収量比数が等しくとも、斜面方位や枝下高の違い等によって相対照度が多少異なることが報告されている（野々田, 1985; 林野庁, 2001）。そのために、図 3.5-7 では全てを示したので多少ばらつきが見られるが、収量比数 R_y の増加に伴って相対照度が減少する傾向が認められる。同図の収量比数 R_y と相対照度の関係を $0.3 \leq R_y \leq 1.0$ の範囲において、1 次式(破線, $r^2=0.638$)と 2 次式(実線, $r^2=0.661$)で近似させてもあまり大きな差は認められないが切片から考えると(1 次式; 71.6, 2 次式; 102.7), 2 次式の方がより適合性があるものと考えられる。なお、図中の実線は切片を 100 (収量比数 $R_y=0$ で相対照度 100%) に調整して図示している。相対照度を 10%以上とするためには $R_y=0.75$ を上限とし、20%以上とするためには $R_y=0.65$ を上限として密度管理を行う必要がある。

このことを念頭において図 3.5-8 に人工林林分密度管理図（南近畿・四国地方 ヒノキ林分密度管理図）に基づく密度管理の例を示す。植栽本数 4000 本/ha, 第 1 回間伐 15 年生前後の例である。なお、国有林の密度管理は $R_y=0.7$ を保つように間伐を繰り返すことが一般的であり、 $R_y=0.6$ 疎仕立て、 $R_y=0.8$ 密仕立てとしているので、初回の間伐から通常に施業が行われる場合は、特に問題がない間伐率であると考えられる。

下層植生の生育に適した森林管理モデルの検討を行うため、システム収穫表 DDPS（図 3.5-9; Hayashi and Yamamoto, 2006）を用い、幾つかの施業シナリオを満たす間伐方式について検討した。解析には三重県において行われた林分調査結果を用いた。通常施業林分（20 年生以上の林分）と間伐遅れ林分について、平均直径と平均樹高を初期値として与えてシステム収穫表 DDPS により間伐後 20 年間の収量比数 R_y の変化を求めた。間伐の条件は、本数間伐率で 10~60% で与えた。さらに森林管理モデル（図 3.5-10）から以下のシナリオを満たす間伐方法を求めた。

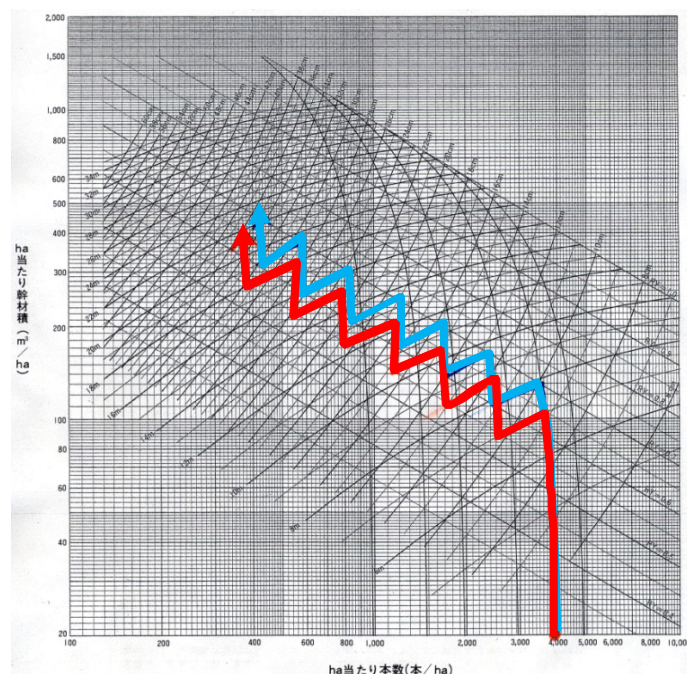
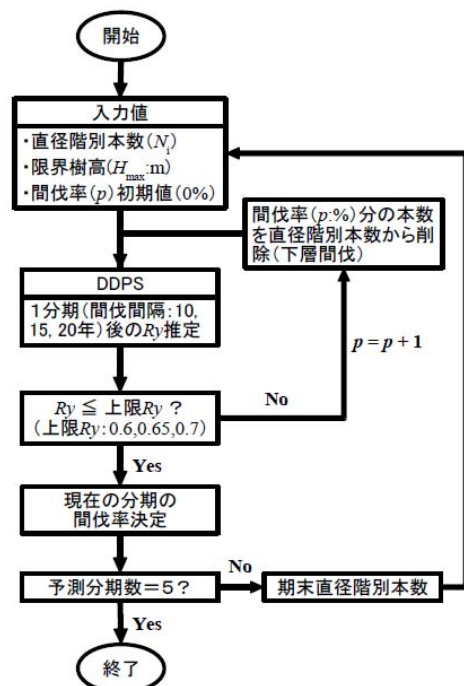
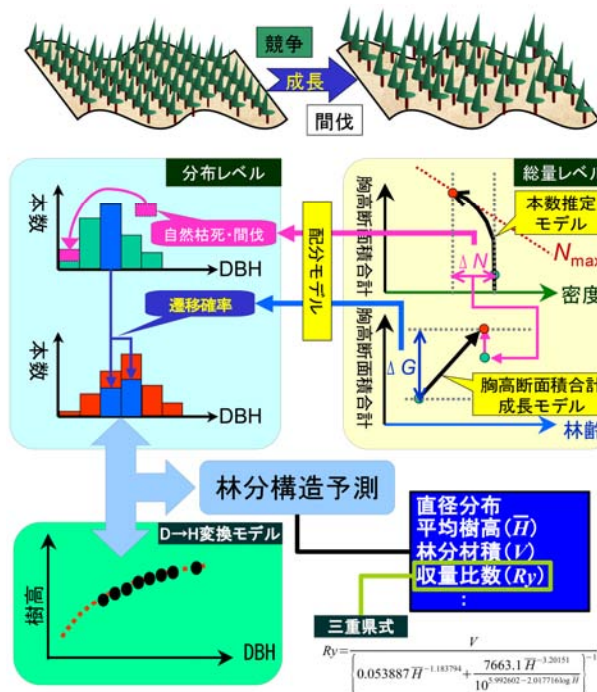


図 3.5-8 人工林林分密度管理図による管理例（南近畿・四国地方 ヒノキ林分密度管理図）

赤線：収量比数 $R_y=0.55 \sim 0.65$ での密度管理例（図 3.5-7 から相対照度 20~30%と推定）

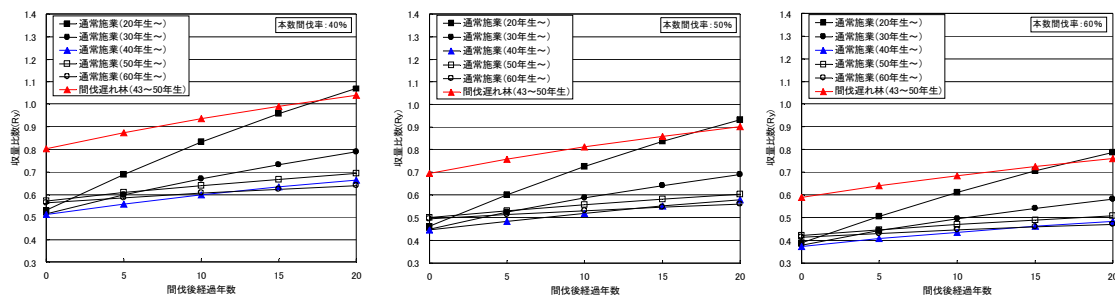
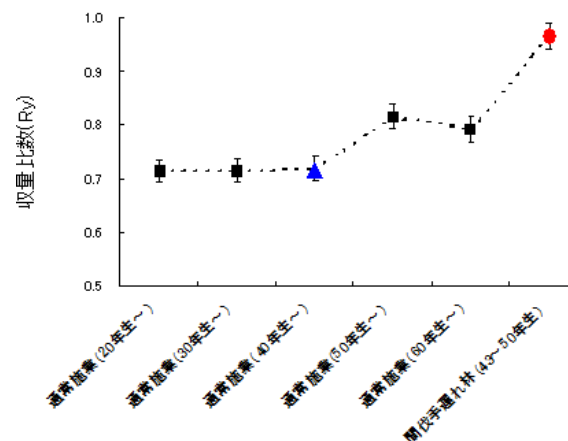
青線：収量比数 $R_y=0.6 \sim 0.7$ での密度管理例（同じく相対照度 15~20%と推定）



- i) 間伐間隔（分り）：10 年，上限収量比数：0.6, 0.65, 0.7，予測期間：5 分り（50 年）
- ii) 間伐間隔（分り）：15 年，上限収量比数：0.6, 0.65, 0.7，予測期間：5 分り（75 年）
- iii) 間伐間隔（分り）：20 年，上限収量比数：0.6, 0.65, 0.7，予測期間：5 分り（100 年）

間伐遅れ林における収量比数（ R_y ）はほぼ 1 に近く，明らかに通常施業に相当する林齢（40 年生～50 年生）と比べて高い値を示した（図 3.5-11）．したがって，今回対象とした間伐手遅れ林は，間伐実施前には最多密度に近い状態であったことが分かる．また間伐遅れ林においては，本数間伐率 50%で初めて間伐直後の R_y が 0.7 を下回った（図 3.5-12）．したがって，予測誤差を考慮しても，下層間伐を前提にした場合，本数間伐率 50%未満では R_y が 0.7 を下回することは期待できないと考えられる．

予測の第 1 分りの期首における間伐率（初回間伐率）は，間伐遅れ林（40 年生～50 年生）と若齢（20 年生）の通常施業林分ではほぼ一致していた．一方，初回間伐



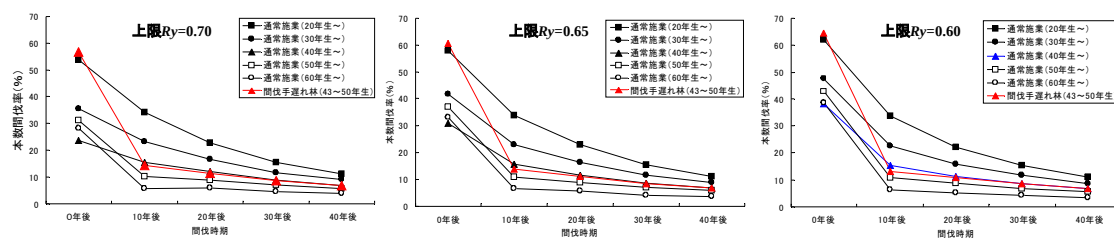


図 3.5-13 上限収量比数 (R_y) を維持するのに必要な間伐方法の予想結果

以後は、間伐遅れ林においても同一林齢の通常施業林の間伐率と同様、間伐率は 10%前後で緩やかに減少する傾向を示した。したがって、一定の収量比数を維持するためには、若齢林を除き、初回の間伐率に大きく依存することが示された。

40 年生以上まで間伐が行われず、過密状態となった林分に対して $R_y=0.65$ を上限として密度管理を行う場合、本数間伐率 60%が必要との計算結果となった (図 3.5-6, 図 3.5-13)。

一度、相対照度を確保する間伐を実施した後、林冠は徐々に閉鎖するので、再度間伐が必要となる。図 3.5-14 はヒノキ林の間伐後経過年数と、相対照度の関係の観測例である。相対照度 20%以上を確保するには材積間伐率 40%、相対照度 10%以上を確保するには材積間伐率 30%が必要と考えられる。また材積間伐率 40%では、間伐後 7 年程度で、間伐率 30%では 4 年程度で相対照度 10%以下となっている。これらの結果は、下層植生を保つための相対照度 (最低 10%以上) を維持するための再間伐の時期を判断する一例であると言える。

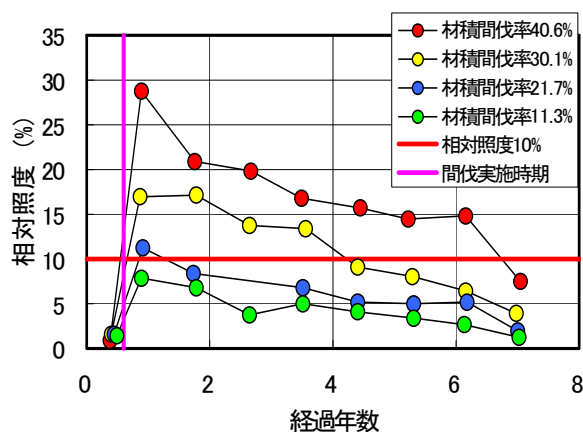


図 3.5-14 間伐後経過年数と相対照度の関係 (兵頭・入口, 1986 より)

実際に間伐を行って植生の回復を調べた事例について示す (図 3.5-15)。対象地は、三重県津市白山町内の、間伐等が一度も行われず過密状態となった 36 年生ヒノキ人工林である。対象地において強度の間伐 (本数間伐率 61%, 材積間伐率 51%) を 2006 年 1～3 月に行い、下層植生による被度の変化を追跡調査した。調査林分の概況は以下のとおりである。林床の被度は固

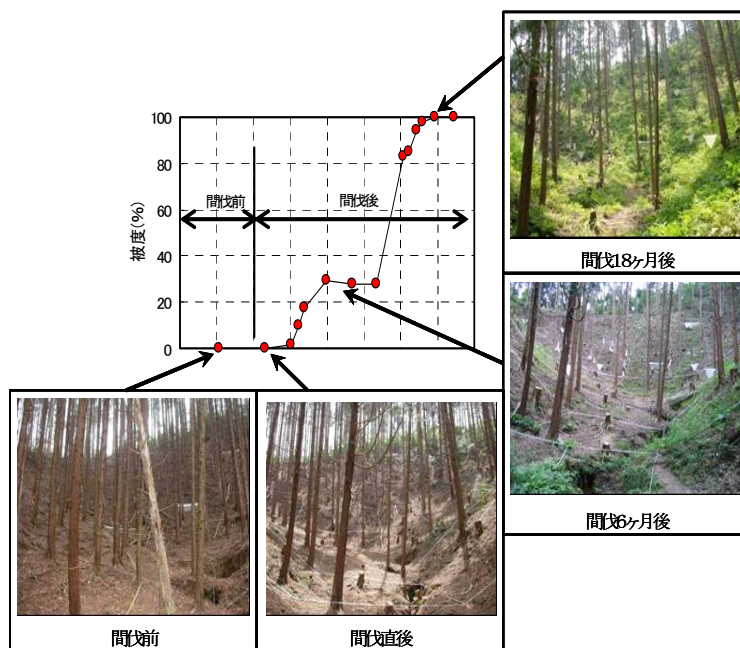


図 3.5-15 強度間伐後の被度変化

定プロット (2m×5m) にて測定した。林内の相対照度は、間伐前の 0.6～10.6% から間伐後には大部分で 25% 以上 (最大 43.3) まで上昇した。間伐後 18 ヶ月経過した時点で下層植生 (主に草本類) が林床の全面を覆い被度 100% となった。強度間伐後良好な条件の場合は 2～3 年程度で下層植生の侵入・生育が見込めることが示唆された。また、被度の増加に伴って林地からの流出土砂量も減少した (図 3.5-16)。間伐実施 4～5 年後に下層植生が侵入・生育しない場合は、再度の間伐を行うか播種・植栽等の追加的措置を検討する必要があると考えられる。

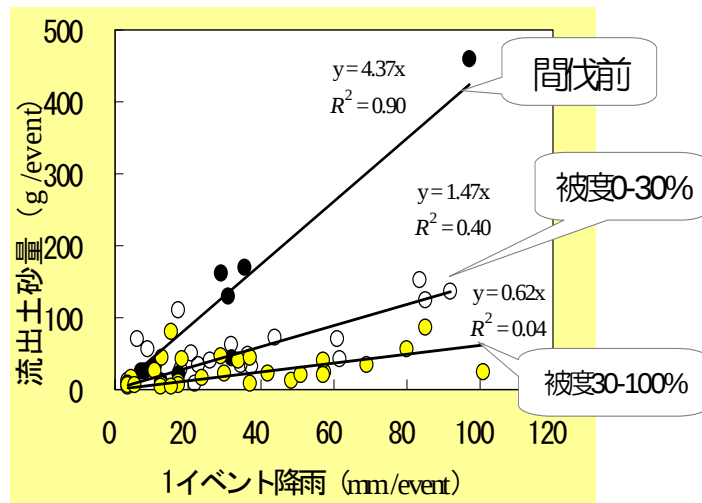


図 3.5-16 強度間伐後の被度変化と流出土砂量の関係

(2) 研究成果の今後期待される効果

人工林が管理放棄されている現状に対して、森林・林業政策として間伐対策が重点的に行われている。林野庁では緊急間伐 5 カ年対策 (2000～2004 年)、間伐等推進 3 カ年対策 (2005 年～) を実施している (石橋, 2005)。その結果、間伐実施面積が落ち込んでいた 1994 年前後に比べて、2000～2006 年は約 1.5 倍程度の実績をあげている (19 年版森林・林業白書)。しかしながら、現状では荒廃人工林における公益的機能回復のための条件が明確化されていない。したがって機能低下の現象・メカニズムの解明、および実態と影響の定量的評価等を行う必要がある。さらに、低下した公益的機能を回復させる条件・方法を定量的に提示する必要がある。本研究により林床被覆度と浸透能の関係が明らかとなり、これと森林維持管理モデルを組み合わせることで、間伐などの森林管理が森林の公益的機能に与える影響を定量的に評価できると考えられる。山口県では、ノズル型散水試験機を用いて散水実験を行い、浸透能を一指標とした間伐による森林の機能回復評価に取り組んでいる (山口県, 2008)。従来の森林環境税を使用した間伐事業では、間伐後の下層植生回復量を評価してきたものの、それが森林機能の回復にどのような効果をどの程度もたらすかは、明確でなかった。ここで紹介した浸透能の評価手法を間伐前後で適用すれば、間伐による森林の水源涵養機能の回復効果を定量的に提示することが可能となるだろう。こうした試みが結果として現れれば、間伐基準の明確な施業計画により、新たな人工林管理が期待できる。

引用文献

- Dunne, T., Zhang, W.H., Aubry, B.F. 1991. Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. *Water Resources Research* **27**(9):2271-2285.
- 深田英久. 2006. 人工林の低コスト育林施業の体系化と環境保全機能への影響調査 (ヒノキ人工林の強度間伐施業が残存木の成長と林内環境に与える影響). *高知県立森林技術センター研究報告* **31**: 24-91.
- 複層林施業研究班. 1983. 人工林の複層林施業に関する研究 (IV) 庇陰下雑草木の再生量と下刈りの要否. *林業試験場研究報告* **323**: 153-179.
- Hawkins, R.H. 1982. Interpretations of source area variability in rainfall-runoff relations. *Agricultural Experiment Station (Project 696) Journal* **2652**.
- Hayashi, T., Yamamoto, K. 2006. A system to predict diameter distribution in pure even-aged hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Seib.) plantations (II) Application to sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. *Journal of Forest Planning* **11**(2): 67-76.
- 兵藤博・入口誠. 1986. 間伐率をかえた林内相対照度の変化と樹下植栽木の生長. *日本林学会関西支部大会講演集* **37**: 171-174.
- 石橋岳志. 2005. 国は今後の間伐をどう推進していくのか. *森林科学* **44**: 9-12.

- 上中作次郎・尾方信夫・安藤貴. 1983. ヒノキ林間伐後の林内の相対照度. 人工林の複層林施業に関する研究 (II) 林内光環境の変動. 林業試験場研究報告 **323**: 55-57.
- 過密人工林における間伐手法研究会. 2008. 過密人工林の間伐－研究成果と行政の取り組みに関する事例集－. 関東・中部林業試験研究機関連絡協議会, 47pp.
- 加藤弘亮・恩田裕一・伊藤俊・南光一樹. 2008. 振動ノズル式降雨実験装置を用いた荒廃ヒノキ人工林における浸透能の野外測定. 水文・水資源学会誌. 印刷中.
- 三島木進・真田廣樹. 1994. 複層林の造成管理技術の開発. 宮城県林業試験場業務報告 **27**: 7-9.
- 村井宏・岩崎勇作. 1975. 林地の水および土壌保全機能に関する研究 (第1報) 森林状態の差異が地表流下, 浸透および侵食に及ぼす影響. 林業試験場研究報告 **274**: 23-84.
- 西山嘉寛・阿部剛俊. 2002. 長伐期施業に対応する森林管理技術の研究－高齢林内における下層植生の現存量の推定と林分収穫予想表の作成－. 岡山県林業試験場研究報告 **18**: 33-66.
- 野々田三郎. 1985. 間伐, 枝打ちによる林内照度調節. 森林立地 **27(1)**: 1-5.
- 恩田裕一・湯川典子. 1995. ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響 (II) 下層植生の効果に関する室内実験－. 日本林学会誌 **77(5)**: 399-407.
- 林野庁. 2001. 災害に強い国土づくりのための間伐方法に関する調査報告書. 林野庁, 東京.
- 佐藤敬二. 1971. 日本のヒノキ<上巻>. 全国林業改良普及協会, 東京, 221-222.
- 清野嘉之. 1990. ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. 森林総合研究所研究報告 **359**: 1-122.
- 島田博匡・野々田稔郎. 2007. ヒノキ人工林における強度間伐後の広葉樹更新に及ぼす光環境と微地形の影響. 第118回森林学会大会学術講演集 **118**: 604.
- 田中茂信・時岡利和. 2007. 現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討. 土木学会第62回年次学術講演会公演概要集 (CD-ROM) **2-003**: 5-6.
- 山口県. 2008. やまぐち森林づくり県民税関連事業評価システム報告書, 1-56.

§ 4 研究参加者

(1) 総合解析グループ

① 研究者名(所属, 役職, JST が雇用, 派遣した研究者を含む.)

グループ リーダー	氏名	所属	役職	参加時期
○	恩田裕一	筑波大学大学院 生命環境科学研究科生命共存 科学専攻 (以下筑波大, 生環)	准教授	H15,10～H21,03
	福島武彦	筑波大, 生環	教授	H15,10～H21,03
	松下文経	筑波大, 生環	講師	H15,10～H21,03
	田村憲司	筑波大, 生環	准教授	H15,10～H21,03
	大瀬健嗣	農業環境技術研究所	研究員	H15,10～H21,03
	今井章雄	国立環境研究所	室長	H15,10～H21,03
	松重一夫	国立環境研究所	主任研究員	H15,10～H21,03
	福山泰治郎	金沢大学環日本海域環境研究 センター	非常勤研究員	H16,01～H21,03
	古賀聡子	筑波大学大学院 環境科学研究科 (以下筑波大, 環境)	M2	H15,10～H17,03
	豊田麻衣	筑波大, 環境	M2	H15,10～H17,03
	田中高志	筑波大, 生環	D2	H15,10～H18,03
	木原孝志	筑波大学自然学類	4 年生	H16,05～H18,03
	伊藤茜	筑波大, 生環	D2	H16,05～H20,03
	澤綾子	筑波大学生物学類	3 年生	H16,03～H17,03
	高橋正恵	筑波大, 環境	M2	H16,08～H17,03
	宇賀達哉	筑波大学自然学類	4 年生	H16,08～H18,03
	伊藤俊	筑波大, 環境	M2	H16,08～H18,03
	服部聡子	筑波大, 生環	D2	H16,09～H19,03
	張朝	筑波大, 生環	D3	H16,12～H19,03
	春田和成	筑波大学自然学類	4 年生	H16,12～H18,03
	古谷麻美	筑波大学, 生環	D1	H16,12～H21,03
	直井美里	筑波大学自然学類	チーム事務員	H15,11～H18,03
	清永孝子	筑波大, 生環	研究補助員	H16,08～H18,06
	高田佳恵子	筑波大, 生環	研究補助員	H16,04～H18,03
	浅井宏紀	筑波大, 環境	M2	H15,10～H20,03
	水垣滋	筑波大, 生環	研究員	H17,04～H21,03
	Luki Subehi	筑波大, 生環	D2	H17,04～H21,03
	河上強志	筑波大, 生環	D3	H17,05～H18,03
	安田恵	筑波大, 生環	M2	H17,05～H18,03
	大槻ゆう菜	筑波大, 生環	D2	H17,05～H20,03
	加藤弘亮	筑波大, 生環	D4	H17,05～H21,03

	高橋史	筑波大学自然学類	4 年生	H17,06～H18,03
	岡西良憲	筑波大, 環境	M2	H17,06～H19,03
	大内佳江	筑波大, 生環	研究補助員	H17,10～H17,12
	滝口垂紀	筑波大, 生環	研究補助員	H17,10～H17,12
	小林利佳	筑波大, 生環	研究補助員	H17,10～H17,12
	山田陽平	筑波大, 環境	M2	H17,11～H18,03
	脇山義史	筑波大, 生環	D3	H18,02～H21,03
	成沢知広	筑波大, 生環	M1	H18,02～H21,03
	田中靖	駒澤大学地理学科	講師	H18,04～H20,03
	植村奈緒美	筑波大, 生環	チーム事務員	H18,02～H19,03
	小山由香	筑波大, 生環	研究実験補助	H18,02～H19,10
	平舘芳栄	筑波大, 生環	事務補佐員	H19,04～H19,09
	小山和江	筑波大, 生環	事務補佐員	H19,10～H20,03
	岡本裕子	筑波大, 生環	事務補佐員	H20,04～H21,03
	若林正吉	筑波大, 生環	M2	H18,04～H21,03
	五味田悠	筑波大, 環境	M1	H18,05～H18,08
	平岡真合乃	筑波大, 生環	D1	H18,05～H21,03
	神谷航一	筑波大, 生環	M2	H18,08～H20,03
	斎藤健志	筑波大, 環境	M2	H18,08～H20,03
	吉田瞳	筑波大, 生環	M2	H18,08～H21,03
	関 絵里香	筑波大, 生環	M1	H18,11～H21,03
	南光一樹	筑波大, 生環	研究員	H19,04～H20,08
	金 啓錫	筑波大, 生環	D1	H20,04～H21,03
	高瀬麻実子	筑波大, 生環	事務補佐員	H20,05～H21,03

② 研究項目

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

(2) 流出観測グループ

① 研究者名(所属, 役職, JST が雇用, 派遣した研究者を含む.)

グループ リーダー	氏名	所属	役職	参加時期
○	寺嶋智巳	京都大学防災研究所	准教授	H15,10～H21,03
	佐倉保夫	千葉大学理学部	教授	H15,10～H18,09
	唐常源	千葉大学園芸学部	教授	H15,10～H18,09
	小野沙々	千葉大学理学部	4 年生	H15,10～H16,03
	藤倉裕子	千葉大学理学部	4 年生	H15,10～H16,03
	遠藤漠	千葉大学大学院	M2	H16,04～H18,08
	小林健太	千葉大学理学部	M2	H16,04～H18,09
	石川大紀	千葉大学理学部	4 年生	H16,04～H17,03
	平野智章	千葉大学大学院	D3	H16,11～H21,03
	山本鮎美	千葉大学理学部	研究補助員	H15,11～H18,03

	野木竜也	千葉大学理学部	4年生	H17,04～H19,03
	中村智博	千葉大学理学部	M2	H17,04～H20,03
	青木文聡	千葉大学理学部	M2	H18,04～H21,03
	境優	千葉大学理学部	4年生	H18,04～H19,03
	名波明菜	千葉大学理学部	4年生	H18,04～H19,03
	井上龍一	千葉大学大学院	M1	H19,04～H21,03
	原 俊樹	千葉大学理学部	4年生	H19,04～H20,03
	中原隆一	千葉大学大学院	M1	H19,04～H21,03
	南雲康一郎	千葉大学理学部	4年生	H20,04～H21,03
	黒岩知恵	高知大学大学院	D1	H15,10～H17,04
	宮前崇	高知大学大学院	M2	H15,10～H17,04
	中井健太	高知大学大学院	M1	H15,10～H17,04
	荻野香	高知大学農学部	4年生	H16,05～H17,04
	河本亜矢子	高知大学農学部	4年生	H16,05～H17,04
	新納輝久	高知大学農学部	4年生	H16,05～H17,04
	北原曜	信州大学農学部	教授	H15,10～H21,03
	平松晋也	信州大学農学部	教授	H15,10～H21,03
	小野裕	信州大学農学部	助教	H15,10～H21,03
	明石浩司	岐阜連大(信大)	D3	H15,10～H18,03
	富沢亮	信州大学農学部	M2	H15,10～H17,04
	比嘉祐子	信州大学農学部	M2	H15,10～H17,04
	小西啓仁	信州大学農学部	M2	H15,10～H17,04
	五名美江	信州大学農学部	M1	H15,10～H17,04
	杉田ゆきえ	信州大学農学部	4年生	H16,04～H17,04
	中川愛子	信州大学農学部	4年生	H16,04～H17,04
	二塚勇吾	信州大学大学院農学研究科	M2	H16,01～H20,03
	飯田美穂	信州大学大学院農学研究科	M2	H16,10～H19,03
	金栄麒	信州大学大学院農学研究科	M2	H16,10～H20,03
	竹ノ内大樹	信州大学農学部	4年生	H19,04～H20,03
	伊豫田倫啓	信州大学農学部	M1	H19,04～H21,03
	長嶺真理子	信州大学大学院総合工学系研究科	D3	H15,10～H21,03
	中尾恭子	信州大学大学院農学研究科	M2	H17,04～H18,03
	佐伯響一	信州大学大学院農学研究科	M2	H17,04～H21,03
	牛窓雄太	高知大学農学部	4年生	H17,04～H18,03
	山田直人	高知大学農学部	4年生	H17,04～H18,03
	菊本勝	高知大学大学院	M1	H17,08～H18,03
	加島智也	高知大学大学院	M1	H17,08～H18,03
	西岡宗一郎	高知大学理学部	4年生	H17,08～H18,03
	山本俊一	高知大学理学部	4年生	H17,08～H18,03
	中嶋勇晴	高知大学理学部	4年生	H17,08～H18,03

	高橋 遥	信州大学農学部	4 年生	H17,09～H19,03
--	------	---------	------	---------------

② 研究項目:東京, 信州, 高知における流域流出観測

(3) 流出モデリンググループ

① 研究者名(所属, 役職, JST が雇用, 派遣した研究者を含む.)

グループ リーダー	氏名	所属	役職	参加時期
○	Roy Sidle	京都大学防災研究所	教授	H15,10～H20,11
	小杉賢一朗	京都大学大学院農学研究科	准教授	H15,10～H21,03
	近森秀高	岡山大学環境理工学部	准教授	H15,10～H21,03
	五味高志	東京農工大学農学府	講師	H16,04～H21,03
	宮田秀介	東京農工大学農学府	産学連携研究員	H15,10～H21,03
	山尾深佳	京都大学大学院理学研究科	M2	H16,04～H20,03
	中西明日香	京都大学防災研究所	モデリング補助	H15,02～H17,03
	上野全保	京都大学大学院	M2	H16,05～H17,10
	亀井理依子	京都大学大学院理学研究科	M2	H16,04～H18,03
	西本憲夫	京都大学農学部	5 年生	H16,04～H18,03
	今泉文寿	京都大学大学院理学研究科	COE 研究員	H17,03～H17,12
	Tewodros A, Taddese	京都大学防災研究所	講師 (研究機関研究員)	H16,04～H17,03
	小林草平	京都大学防災研究所	非常勤教務補佐員	H17,05～H18,03
	Aurelian C. Trandafir	京都大学防災研究所	学振ポスドク研究員	H17,05～H16,06
	西陽太郎	京都大学大学院農学研究科	M2	H17,05～H19,03
	根岸淳二郎	京都大学防災研究所	事務補佐員	H17,05～H18,03
	Daniel Werde Woldie	京都大学防災研究所	D1	H18,04～H21,03
	Alan Ziegler	京都大学防災研究所	JSPS 外国人特別研究 員	H18,04～H18,05
	Kirill Mironovich Gerke	京都大学理学研究科 (京都大学大学院理学研究科)	D3	H18,10～H21,03
	藤本知世	京都大学防災研究所	技術補佐員	H19,01～H20,01
	Gholamreza Shoaei	京都大学防災研究所 (京都大学大学院理学研究科)	D3	H20,03～H21,03
	桂真也	京都大学大学院農学研究科	PD	H18,06～H21,03
	山川陽祐	京都大学大学院農学研究科	D1	H18,06～H21,03
	倉田麻里	京都大学大学院農学研究科	M2	H19,04～H20,03
	正岡直也	京都大学大学院農学研究科	M2	H19,04～H21,03
	水谷太郎	京都大学大学院農学研究科	M2	H19,06～H21,03

	藤本将光	京都大学大学院農学研究科	PD	H20,04～H21,03
	和田孝志	京都大学大学院農学研究科	M2	H20,04～H21,03
	加藤弘之	京都大学大学院農学研究科	M1	H20,04～H21,03
	平澤良輔	京都大学大学院農学研究科	M1	H20,04～H21,03
	古市剛久	京都大学防災研究所	研究員	H20,06～H21,03

②研究項目:三重における流出観測および土壌プロット観測, 各スケールのモデリング

(4) 森林維持管理モデリンググループ

① 研究者名(所属, 役職, JST が雇用, 派遣した研究者を含む.)

グループ リーダー	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 (以下名大, 生農)	教授	H15,10～H21,03
	山本一清	名大, 生農	准教授	H15,10～H21,03
	蔵治光一郎	東京大学大学院農学生命科学研究科(以下東大, 農生)	講師	H15,10～H21,03
	芝野博文	東大, 農生	准教授 愛知演習林長	H15,10～H20,03
	春田泰次	東大, 農生	助教	H15,10～H18,03
	浅野友子	東大, 農生	助教	H16,04～H21,03
	南光一樹	東大, 農生	D3	H16,12～H19,03
	南波陽平	東大, 農生	D1	H17,06～H18,03
	厚井高志	東大, 農生	D1	H17,06～H18,03
	澤島薫	東大・農生	M2	H18,04～H18,12
	諏訪 俊	東大農学部	4 年生	H18,05～H19,03
	田中延亮	東大・農生	助教	H19,07～H21,03
	岡庭清人	東京農業大学地域環境科学部 森林総合科学科	4 年生	H19,07～H20,03
	野々田稔郎	三重県林業研究所 林業研究部	主任研究員	H16,05～H21,03
	林隆男	名大, 生農	D4	H15,10～H19,03
	高橋與明	名大, 生農	D3	H15,10～H17,04
	宮地洋輔	名大, 生農	M2	H15,10～H18,03
	小川祥子	名大, 生農	4 年生	H16,08～H17,04
	小川滋	九州大学大学院農学研究科	教授	H17,02～H17,04
	坪沼宣行	名大, 生農	D1	H18,04～H19,03
	近藤直人	名大, 生農	M2	H18,05～H20,03
	鈴木勇貴	名大, 生農	M2	H18,05～H20,03
	佐伯武士	名古屋大学農学部	4 年生	H18,05～H20,03
	山寄領	名古屋大学農学部	4 年生	H18,05～H19,03
	村田亜紀	名古屋大学農学部	4 年生	H18,05～H19,03
	加藤正人	信州大学農学部	教授	H18,06～H21,03
	小林健嗣	名古屋大学農学部	4 年生	H19,04～H20,03

	高崎洋子	名古屋大学農学部	M1	H19,04～H21,03
--	------	----------	----	---------------

②研究項目:森林維持管理と流出特性に関するモデリングを構築する

§ 5 招聘した研究者等

氏名（所属役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Amod S Dhakal(ブリティッシュコロンビア大学森林資源管理学科（研究員）)	恩田チーム流出モデリンググループにおいて研究の方向性を明確にするため研究成果・情報・意見交換に参加してもらう。	京都大学防災研究所（京都府宇治市五ヶ庄）	H16.1.6～H16.1.13
五味 高志(ブリティッシュコロンビア大学森林資源管理学科（研究員）)	恩田チーム流出モデリンググループにおいて研究の方向性を明確にするため研究成果・情報・意見交換に参加してもらう。	京都大学防災研究所（京都府宇治市五ヶ庄）	H16.1.6～H16.1.10
Farida(世界アグロフォレストリーセンター流域モデリング研究員)	研究プロジェクトで共催する国際ワークショップに参加し、「シンカラ湖周辺の環境保全を考える上での、森林の取扱法の迅速な水文学的評価」のタイトルで発表し、討議参加もしてもらって研究推進に貢献してもらう。	コタキナバル，マレーシア	H16.7.8～H16.7.14
Hendrayanto(ボゴール農科大学森林学部)	研究プロジェクトで共催する国際ワークショップに参加し、「湿潤地域のマツ林源流域からの流出観測結果及びそのモデルシミュレーション」のタイトルで発表し、討議に参加してもらい、研究推進に貢献してもらう。	コタキナバル，マレーシア	H16.7.8～H16.7.14
Hidayat Pawitan(ボゴール農科大学地理・気象学担当教授)	研究プロジェクトで共催する国際ワークショップに参加し、「ジャワ流域における土地利用変化が水循環に及ぼす影響」のタイトルで発表し、討議に参加してもらい、研究推進に貢献してもらう。	コタキナバル，マレーシア	H16.7.8～H16.7.14
James Buttle (トレント	研究プロジェクトで主催	名古屋大学野依記	H18.7.28～H18.7.29

大学地理学部教授)	する国際シンポジウムに参加し、「カナダ東海岸の試験流域における森林伐採と水流出の変化」のタイトルで発表し、討議に参加してもらい、研究推進に貢献してもらう。	念学術交流館	
Charles Luce (アメリカ農務省山林局)	研究プロジェクトで主催する国際シンポジウムに参加し、「アメリカ西海岸における山火事が異なる流域スケールの水流出に及ぼす影響」のタイトルで発表し、討議に参加してもらい、研究推進に貢献してもらう。	名古屋大学野依記念学術交流館	H18.7.28～H18.7.29

§ 6 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 21 件, 国際(欧文)誌 42 件)

【国内誌】

1. 小杉賢一朗. 森林における水循環研究への土壌物理学の応用. 土壌の物理性 100: 15-26. 2005
2. 恩田裕一. 森林の荒廃は河川にどんな影響があるのか. 科学 75(12): 1381-1386. 2005
3. 恩田裕一・辻村真貴・野々田稔郎・竹中千里. 荒廃したヒノキ人工林における浸透能測定法の検討. 水文・水資源学会誌 18: 688-694. 2005
4. 福山泰治郎・恩田裕一・竹中千里・加藤弘亮. Cs-137 と Pb-210ex を用いた三重県大紀町におけるヒノキ人工林流域の土壌侵食量. Proceedings of the Seventh Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings 2006-5: 150-158. 2006
5. 二塚勇吾・北原曜・小野裕. 2つの林齢のヒノキ林における樹幹流下量と樹木サイズの関係. 中部森林研究 55: 145-148. 2006
6. 金栄麒・北原曜・小野裕. ヒノキ林における土壌侵食量の測定結果. 中部森林研究 55: 131-134. 2006
7. 五味高志. 土壌侵食と森林－森林斜面から流域の視点へ－. 森林科学.47: 10-14. 2006
8. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・平松晋也. 放射性同位体を用いた浮遊砂起源の推定法－葛籠川流域における事例－. Proceedings of the seventh Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings 2006-5: 159-167. 2006
9. 竹中千里・田中拓朗・福山泰治郎. 荒廃したヒノキ人工林における物質循環-リンの流亡. 水利科学 288: 32-41. 2006
10. 辻村真貴・恩田裕一・原田大路. 荒廃したヒノキ林における雨水流出に及ぼすホートン地表流の影響. 水文・水資源学会誌 19(1): 17-24. 2006

11. 恩田裕一. 森林の荒廃による表面流出の発生および細粒土砂の河川への流出. 地盤工学会誌 55(8): 16-19. 2007
12. 恩田裕一・五味高志・水垣 滋. 観測の現場を訪ねて(その2)JST/CREST プロジェクト“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”研究サイト. 砂防学会誌 59(5): 70-73. 2007
13. 金栄麒・北原曜・小野裕. 林地条件の異なるヒノキ林における侵食土砂量. 中部森林研究 56: 259-262. 2007
14. 二塚勇吾・北原曜・小野裕. 樹冠構造が樹幹流下量に与える影響について. 中部森林研究 56: 245-248. 2007
15. 平野智章・寺嶋智巳・中村智博・青木文聡・境優. 管理放棄されたヒノキ人工林および天然生落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構. 地形 29(3): 255-280. 2008
16. 伊藤茜・恩田裕一・南光一樹・福山泰治郎・森脇寛. ヒノキ樹冠通過雨の空間分布に関する実験的研究. 水文・水資源学会誌 21(4): 273-284. 2008
17. 加藤弘亮・恩田裕一・伊藤俊・南光一樹. 振動ノズル式降雨実験装置を用いた荒廃ヒノキ人工林における浸透能の野外測定. 水文水資源学会誌. (印刷中)
18. 南光一樹. 雨滴の大きさをはかる. シリーズ: 森をはかる. 森林科学 52: 55. 2008
19. 恩田裕一・蔵治光一郎・五味高志・水垣滋. 国際シンポジウム「山岳地域の水資源管理と洪水軽減のための持続可能な森林管理」開催報告. 水文・水資源学会誌 21(1):69-71. 2008
20. 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. 荒廃ヒノキ人工林の強度間伐が森林水源涵養機能に与える経済効果の試算. 水文水資源学会誌.(投稿中)
21. 平野智章・寺嶋智巳・中村智博・境優・青木文聡・名波明菜. 針葉樹林流域と広葉樹林流域の短期流出特性の違いー降雨イベントの規模が森林流域の水流発生機構に及ぼす影響ー. 水文水資源学会誌. (査読中)

【国際誌】

1. Dhakal, A.S., Sidle, R.C. Pore water pressure assessment in a forest watershed: Simulations and distributed field measurements related to forest practices. Water Resources Research 40: W02405. 2004
2. Kosugi, K., Katsuyama, M. Controlled-suction period lysimeter for measuring vertical water flux and convective chemical fluxes. Soil Science Society of America Journal 68: 371-382. 2004
3. Kosugi, K., Uchida T., Mizuyama, T. Numerical calculation of soil pipe flow and its effect on water dynamics in a slope. Hydrological Processes 18: 777-789. 2004
4. Onda, Y., Tsujimura, M., Tabuchi, H. The role of subsurface water flow paths on hillslope hydrological processes, landslides and landform development in steep mountains of Japan. Hydrological Processes 18: 637-650. 2004
5. Sidle, R.C. New concepts in hydrogeomorphic processes across various scales of time and space. Transactions, Japanese Geomorphological Union 25(4): 331-340. 2004
6. Fukuyama, T., Takenaka, C., Onda, Y. ¹³⁷Cs loss via soil erosion from a mountainous headwater catchment in central Japan. Science of the Total Environment 350: 238-247. 2005
7. Gomi, T., Moore, R.D., Hassan, M. Suspended sediment dynamics in small forested streams

- of the Pacific Northwest. Journal of American Water Resources Association 41: 877-898
2005
8. Matsushita, B., Onda, Y., Xu, M., Otsuki, Y. Detecting forest degradation in western Japan using airborne hyperspectral data. Proceedings of the 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing: 544-546. 2005
 9. Takahashi, T., Yamamoto, K., Senda, Y., Tsuzuku, M. Predicting individual stem volumes of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in mountainous areas using small-footprint airborne LiDAR. Journal of Forest Research 10: 135-142. 2005
 10. Endo, H., Moriizumi, M., Hirano, T., Kobayashi, K., Terajima, T. Origine of humic substances in stream flows during storm events in forested head watersheds, central Japan. IHSS Publication 45: 645-648. 2006
 11. Gomi, T., Sidle, R.C., Noguchi, S., Negishi, J., Nik, A.R., Sasak, S. Sediment and wood accumulation in humid tropical headwater streams: Effects of Logging and riparian buffer. Forest Ecology and Management 224: 166-175. 2006
 12. Hayashi, T., Yamamoto, K. A system to predict diameter distribution in pure even-aged hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Seib.) plantations (II) Application to sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. Journal of Forest Planning 11(2): 67-76. 2006
 13. Sidle, R.C. Field observations and process understanding in hydrology: essential components in scaling. Hydrological Processes 20: 1439-1445. 2006
 14. Takahashi, T., Yamamoto, K., Miyachi, Y., Senda, Y., Tsuzuku, M. The penetration rate of laser pulses transmitted from a small-footprint airborne LiDAR: A case study in closed canopy, middle-aged pure sugi (*Cryptomeria japonica* D. don) and hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.). Journal of Forest Research 11(2): 112-123. 2006
 15. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Mizugaki, S., Onda, Y. Is MUSLE apt to small steeply reforested watershed? Journal of Forest Research. 12(4): 270-277. 2007
 16. Sidle, R.C., Hirano, T., Gomi, T., Terajima, T. Hortonian overland flow from Japanese forest plantations - an aberration, the real thing, or something in between? Hydrological Processes 21(23): 3237-3247. 2007
 17. Zhang, Z., Fukushima, T., Onda, Y., Gomi, T., Fukuyama, T., Sidle, R.C., Kosugi, K., Matsushige, K. Nutrient runoff from forested watersheds in central Japan during typhoon storms: Implications for understanding runoff mechanisms during storm events. Hydrological Processes 21: 1167-1178. 2007
 18. Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Onda, Y., Mizuyama, T. Surface run-off as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. Hydrological Processes 21(17): 2365-2376. 2007
 19. Zhang, Z., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T., Matsushige, K., Tao F. Characterisation of diffuse pollutions from forested watersheds in Japan during storm events - Its association with rainfall and watershed features. Science of the Total Environment 390: 215-226. 2008
 20. Fukuyama, T., Onda, Y., Takenaka, C., Walling, D. E. Investigating erosion rates within a Japanese cypress plantation using Cs-137 and Pb-210ex measurements. Journal of Geophysical Research - Earth Surface 113: F02007. 2007
 21. Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G. Sensitivity of the enhanced vegetation

- index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors* 7: 2636-2651. 2007
22. Gomi, T., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y. Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: scale effects and runoff transfer. *Water Resources Research* 44: W08411. 2008
 23. Gomi, T., Sidle, R. C., Ueno, M., Miyata, S., Kosugi, K. Characteristics of overland flow generation on steep forested hillslopes of central Japan. *Journal of Hydrology* 361: 275-290. 2008
 24. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., Onda, Y. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. *Journal of Hydrology* 356: 271-282. 2008
 25. Trandafir, A. C., Sidle, R.C., Gomi, T., Kamai, T. Monitored and simulated variations in matric suction during rainfall in a residual soil slope. *Environmental Geology* 55(5): 951-961. 2008
 26. Zhang, Z., Fukushima, T., Onda, T., Gomi, T., Mizugaki, S., Asano, A., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T., Matsushige, K. Baseflow concentrations of nitrogen and phosphorus in forested headwaters in Japan. *Science of the Total Environments* 402: 113-122. 2008
 27. Kosugi, K., Katsura, S., Mizuyama, T., Okunaka, S., Mizutani, T. Anomalous behavior of soil mantle groundwater demonstrates the major effects of bedrock groundwater on surface hydrological processes. *Water Resources Research* 44: W01407. 2008
 28. Nanko, K., Mizugaki, S., Onda, Y. Estimation of splash detachment rate based on quantification of throughfall kinetic energy in an unmanaged Japanese cypress plantation. *Catena* 72: 348-361. 2008
 29. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Moriwaki, H. Effect of canopy thickness and canopy saturation on the amount and kinetic energy of throughfall: an experimental approach. *Geophysical Research Letters* 45: L05401. 2008
 30. Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., Onda, Y. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. *Geoderma* 144: 198-211. 2008
 31. Mizugaki, S., Onda, Y., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., Hiramatsu, S. Estimation of sediment sources using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds, southern Japan. *Hydrological Processes* 22: 4519-4531. 2008
 32. Zhang, Z., Fukushima, T., Shi, P., Tao, F., Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Asano, Y., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T., Matsushige, K. (2008) Seasonal changes of nitrate concentrations in baseflow headwaters of coniferous forests in Japan: a significant indicator for N saturation. *Catena* (in press). 2008
 33. Matsushita, B., Xu, M., Onda, Y., Otsuki, Y., Toyota, M. Detecting forest degradation in Kochi, Japan: ground-based measurements versus satellite (Terra/ASTER) remote sensing. *Hydrological Processes* (accepted). 2008
 34. Miyata, S., Kosugi, K., Nishi, Y., Gomi, T., Sidle, R. C., Mizuyama, T. Spatial pattern of infiltration rate and its effect on hydrological processes in a small headwater catchment. *Hydrological Processes* (accepted). 2008
 35. Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K.,

- Mizugaki, S., Tsubonuma, N. Erosion processes in Japanese cypress plantation catchment estimated from measurement of Cs-137 and Pb-210ex activities in suspended sediment. Hydrological Processes (accepted). 2008
36. Mizugaki, S., Nanko, K., Onda, Y. The effect of slope angle on splash detachment in an unmanaged Japanese cypress plantation. Hydrological Processes (accepted). 2008
 37. Gomi, T., Asano, Y., Uchida, T., Onda, Y., Sidle, R.C., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Fukuyama, T., Fukushima, T. Evaluation of storm runoff pathways in steep nested catchments draining Japanese Cypress forest, central Japan: a geochemical approach. Hydrological Processes (in review)
 38. Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Mizuyama, T. Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests. Water Resources Research (in review)
 39. Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Nonoda, T., Sidle, R.C. An overview of the field and modeling studies on the effect of forest devastation on flooding and environmental issues. Hydrological Processes (in review)
 40. Onda, Y., Mizugaki, S., Kato, H. Estimation of the contribution from surface erosion of forest floor to suspended sediment in mountainous forested catchments in the Tsuzura watershed, southern Japan. IAEA-TECDOC (in review)
 41. Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T., Ozaki, N. Influences of forested watershed conditions on stream water temperature fluctuations with special reference to watershed area and forest type. Limnology (in review)
 42. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Ito, S., Mizugaki, S., Moriwaki, H. Variability of surface runoff generation and infiltration rate under a tree canopy: indoor artificial rainfall experiment using a stand of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). Hydrological Processes (in review)

(2) 学会発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

《発表者, タイトル, 学会名, 場所, 月日等》

- | | |
|----------|-------------------------|
| ① 招待講演 | (国内会議 1 件, 国際会議 4 件) |
| ② 口頭発表 | (国内会議 59 件, 国際会議 14 件) |
| ③ ポスター発表 | (国内会議 120 件, 国際会議 34 件) |

① 招待講演

1. Sidle, R.C.: How do riparian zones and geomorphic hollows affect stormflow generation in headwater catchments? ASABE (American Society of Agriculture and Biological Engineering) International Conference on Hydrology and Management of Forested Wetlands, New Bern in North Carolina, USA. April 10th 2006.
2. Sidle, R.C.: Topographic effects on runoff and sediment generation from mountain roads. AGU (American Geophysical Union) 2006 Joint Assembly, Baltimore, Maryland, USA. May 25th 2006.

3. Sidle, R.C.: Landslides and surface erosion from road -experiences in Asia. IAG (International Association of Geomorphologist), Goiania, Brazil, September 10th 2006.
4. Onda, Y.: Investigating infiltration rate, erosion rates and erosion processes within a Japanese cypress plantation using Cs-137 and Pb-210ex measurements. 3rd Korea-Japan Joint International Workshop “Present Earth Surface Processes and Historical Environment Changes in East Asia”, Seoul, Korea, September 26th-30th, 2006.
5. 宮田秀介: ヒノキ林斜面の水文過程における土壌撥水性の役割, 2008 年度土壌物理学学会シンポジウム, 三重大大学, 2008.10.18

② 口頭発表

1. 山本一清・高橋與明・宮地洋輔・都竹正志・千田良道・宮坂聡 : Hyper Mapper を利用した都市緑地の樹木個体抽出, 日本林学会, 東京大学, 2004.4.2
2. 福山泰治郎・恩田裕一・竹中千里 : Cs-137 と Pb-210ex の動態に基づくヒノキ人工林の土壌侵食履歴の推定, 砂防学会, 宮崎観光ホテル, 2004.5.18
3. Kuraji, K., Shibata, H., Takagi, M., Nakashizuka, T. : Japan Ecosystem Research Network (JERN) and Japanese Long-Term Ecological Research (JaLTER), International Long-Term Ecological Research, China, 2004.9.6
4. 豊田麻衣・松下文経・恩田裕一 : リモートセンシングによる荒廃した人工林の抽出可能性の検討, 日本リモートセンシング学会, 日立シビックセンター, 2004.12.1
5. Onda, Y., Koga, S., Fukuyama, T., Hiramatsu, S. : Fingerprinting suspended sediment sources using fallout and in-situ radionuclides in forested watershed in Japan, AGU, San Francisco, USA, 2004.12.17
6. 遠藤漠・平野智章・小林健太・石川大紀・寺嶋智巳 : 広葉樹林および針葉樹林からなる小流域における渓流水の陰イオン濃度の変化と土壌抽出溶液の組成－東京都成木川常磐沢における一例－, 陸水物理研究会, 千葉大学, 2004.12.11
7. 恩田裕一・伊藤茜・福山泰治郎 : ヒノキの林内雨が雨滴衝撃, 浸透能に及ぼす影響－大型降雨実験による研究－, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.29
8. 小杉賢一郎・宮田秀介・上野全保・五味高志・Sidle, R. C. ・浅野友子・恩田裕一・福島武彦 : 荒廃ヒノキ林における降雨流出過程－三重県大宮町実験地における各種空間スケールでの水文観測に基づく解析－, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.29
9. 山本一清・高橋與明・宮地洋輔 : 航空機 LiDAR のレーザーパルス地上到達特性－樹種及び林相の影響に関して－, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.29
10. Miyata, S., Kosugi, K., Nishimoto, N., Gomi, T., Ueno, M., Sidle, R. C., Onda, Y., Mizuyama, T.: Occurrence of overland flow affected by soil water repellency at forested hillslopes covered by Japanese cypress, European Geosciences Union General Assembly 2005, Wien, Austria, 2005.4.29
11. 宮田秀介・小杉賢一郎・西本憲夫・水山高久・上野全保・五味高志・Sidle, R. C. ・恩田裕一: ヒノキ林斜面における表面流発生と土砂生産に関する研究, 砂防学会研究発表会, 愛知厚生年金会館, 2005.5.26
12. 長嶺真理子・平松晋也・恩田裕一・古賀聡子・福山泰治郎・浅井宏紀 : 流出に対する森林の構成樹種の変化や荒廃状況の影響度評価の試み, 砂防学会研究発表会, 愛知厚生年金会館, 2005.5.25
13. 五味高志・Sidle, R. C. ・Tewodros, A. T. ・小杉賢一郎・宮田秀介・恩田裕一・福山泰

- 治郎：荒廃ヒノキ人工林流域における地表面流発生と浮遊土砂流出の応答，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.25
14. 今泉文寿・Sidle, R. C.：山地流域における土砂生産と土砂流出の量的，時間的な関係，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.26
 15. 福山泰治郎・恩田裕一：Cs-137 と Pb-210ex の空間分布と動態に基づいて推定したヒノキ人工林地の荒廃プロセス，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.25
 16. 恩田裕一・古賀聡子・福山泰治郎・平松晋也・長嶺真理子：四万十川上流域における放射性同位体を指標とした浮遊砂起源の推定，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.25
 17. 伊藤俊・恩田裕一・加藤弘亮：森林における浸透能測定のための散水型人工降雨装置について，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.25
 18. 伊藤茜・恩田裕一・福山泰治郎・森脇寛：ヒノキ林における林内雨の雨滴衝撃力が浸透能に及ぼす影響に関する実験的研究，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.25
 19. 山本一清・高橋與明・宮地洋輔・森田真一・中尾元彦・柴山卓史：山地におけるレーザースキャナによる数値標高モデル作成時の留意点，砂防学会研究発表会，愛知厚生年金会館，2005.5.26
 20. Kuraji, K.：Green dam – a concept based on the myths of benefits of forests on water, Headwater 2005, Bergen, Norway, 2005.6.23
 21. 恩田裕一・伊藤茜・福山泰治郎・森脇寛：ヒノキ林における林内雨の雨滴衝撃力が浸透能に及ぼす影響，水文・水資源学会，筑波大学，2005.8.3-5
 22. 五味高志・恩田裕一・Sidle, R. C.・小杉賢一朗：荒廃ヒノキ林における表面流の発生と流域の流出寄与．森林総合研究所東北支所ワークショップ「間伐が森林の水土保持機能に与える影響の評価」，森林総合研究所東北支所，2005.9.8
 23. Gomi, T., Miyata, S., Ueno, M., Kosugi, K., Sidle, R.C., Onda, Y., Fukushima, T.：Overland flow in temperate forested hillslopes of South Central Japan, Slope Interspersion Experiment (SLICE) Workshop, HJ Andrews Experimental Forest, Oregon, USA, 2005.9.26-28
 24. Matsushita, B, Onda, Y., Xu, M., Toyota, M.：Detecting forest degradation in Kochi, Japan：Combining *In Situ* Field Measurements with Remote Sensing Techniques, IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium 2005, Seoul, Korea, 2005.7.27
 25. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・平松晋也：ヒノキ人工林流域における放射性同位体を用いた浮遊土砂起源の推定．平成 17 年度砂防学会ワークショップ「流域土砂管理にむけた細粒土砂動態解析手法の開発」，（財）砂防・地すべり技術センター，2006.2.25
 26. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・森脇寛：樹幹通過雨がヒノキ裸地林床に与える影響についての実験的検討ー雨量，雨滴の時空間分布特性について，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
 27. Hirano, T., Endo, B., Kobayashi, K., Terajima, T., Onda, Y., Mizugaki, S.: Process of overland flow generation at slopes in natural deciduous and man-made coniferous forests, Tokyo, central Japan, Western Pacific Geophysics Meeting 2006, Beijing, China, 2006.7.24
 28. Endo, B., Hirano, T., Kobayashi, K., Moriizumi, M., Terajima, T.: Origine of humic substances in stream flows during storm events in forested head watersheds, central

- Japan, 13th Meetings of the International Humic Substances Society, Karlsruhe, Germany, 2006.8.1
29. 小杉賢一朗：森林の水源涵養機能の解析－降雨流出過程に土層が果たす役割について，水文・水資源学会，岡山大学，2006.8.29
 30. 蔵治光一郎：一級河川における基本高水の変遷と概往最大洪水との関係，水文・水資源学会，岡山大学，2006.8.30
 31. Luki, S.・福島武彦・恩田裕一・水垣滋・五味高志・小杉賢一朗・平松晋也・北原曜・蔵治光一郎・寺嶋智己：Analysis of Stream Water Temperature in Forested Watersheds, 日本陸水学会, 2006.9.16
 32. Onda, Y.: Investigating infiltration rate, erosion rates and erosion processes within a Japanese cypress plantation using Cs-137 and Pb-210ex measurements, 3rd Korea-Japan Joint International Workshop “Present Earth Surface Processes and Historical Environment Changes in East Asia” Seoul, Korea, 2006.9.26
 33. Yamamoto, K., Takahashi, T., Miyachi, Y., Kondo, N., Morita, S., Nakao, M., Shibayama, T.: Estimation of stand tree height in poor laser penetration stands using airborne Lidar, International Conference Silvilaser 2006, Matsuyama, Japan, 2006.11.8
 34. Yamamoto, K., Takaichi, Y., Tsuzuku, M., Murate, N.: Power line detection in forest area using airborne Lidar, International Conference Silvilaser 2006, Matsuyama, Japan, 2006.11.9
 35. Onda, Y., Mizugaki, S., Nanko, K., Asai, H.: Estimating sediment sources by multiple scale field measurements and fingerprinting using radionuclides, AGU 2006 Fall Meeting, San Fransisco, USA, 2006.12.11
 36. Gomi, T., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y.: Scaling effects of Hortonian overland flow transfer and modeling in forested watershed, AGU 2006 Fall Meeting, San Fransisco, USA, 2006.12.11
 37. Matsushita, B., Onda, Y., Xu, M., Otsuki, Y., Toyota, M.: Detecting forest degradation in Kochi, Japan using visible, near-IR, mid-IR, and thermal-IR data from ASTER, AGU 2006 Fall Meeting, San Fransisco, USA, 2006.12.14
 38. 恩田裕一・水垣滋・南光一樹・浅井宏紀・長嶺真理子・五味高志・平松晋也：ヒノキ人工林流域における土砂生産・流出過程の解明—入れ子状試験流域での現地観測と同位体トレーサによる解析—，日本地形学連合 2007 年春季大会，京都大学防災研究所，2007.3.18
 39. Gomi, T., Sidle, R. C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y.: Contribution of overland flow on storm runoff generation on Japanese cypress forest: Observation and distributed runoff modeling, 日本地形学連合 2007 年春季大会，京都大学防災研究所，2007.3.18
 40. 脇山義史・恩田裕一・水垣滋・南光一樹・北原曜・小野裕・金栄麒：ヒノキ人工林に対する管理の放棄が土壌に及ぼす影響，日本森林学会，九州大学，2007.4.3
 41. 蔵治光一郎：森林と洪水，日本森林学会，九州大学，2007.4.2
 42. 桂真也・水谷佑・小杉賢一朗・水山高久：風化花崗岩山地源流域における土層内地下水形成プロセスの解明，日本森林学会，九州大学，2007.4.3
 43. 福山泰治郎・恩田裕一・五味高志・竹中千里：ヒノキ人工林における侵食量推定—水文観測・放射性核種調査に基づいた検証，日本森林学会，九州大学，2007.4.3
 44. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・長嶺真理子・平松晋也：浮遊砂に対する森林表土の寄与 ヒノキ人工林流域と広葉樹流域の比較，日本森林学会，九州大

学, 2007.4.3

45. 園田美恵子・小杉賢一朗・水山高久：風化花崗岩森林斜面における流出 2 次ピーク形成についての浸透流解析, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
46. 福山泰治郎・恩田裕一・五味高志・水垣滋・坪沼宣行・Sidle, R. C.・宮田秀介・小杉賢一朗：浮遊砂の放射能濃度から推定したヒノキ林流域の侵食プロセス, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.23
47. 小杉賢一朗：花崗岩山地における降雨流出と表層崩壊に森林土壌層と風化基岩層が及ぼす影響, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.23
48. 五味高志・Sidle, R. C.・宮田秀介・小杉賢一朗・恩田裕一：TOPOTUBE 地形解析と分布型流出モデルを用いたヒノキ林流域における表面流の発生予測, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.23
49. 水垣滋・五味高志・恩田裕一・浅井宏紀・南光一樹・浅野友子・長嶺真理子・平松晋也：ヒノキ人工林における表面侵食と河川への土砂流出過程, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.23
50. 宮田秀介・小杉賢一朗・水山高久・五味高志：土壌撥水性を示す斜面における表面流出・雨水浸透のモデル化, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.24
51. 恩田裕一・平岡真合乃・伊藤俊・加藤弘亮・水垣滋：振動ノズル型散水装置を用いた人工林斜面における浸透能測定と浸透能測定法の提案, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.27
52. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・森脇寛：雨滴衝撃エネルギー測定に基づくヒノキ樹冠下の表面流発生についての空間分布評価, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.27
53. 水垣滋：水文観測と同位体トレーサーによる土砂生産・流出過程の解析, 土砂生産の地域・地質的な特性とそのモデリング, 京都大学, 2007.9.28
54. 野々田稔郎・島田博匡・小林健嗣・山本一清・竹中千里：スギ・ヒノキ間伐実施林分の堆積リター量と諸因子の関係-間伐経過年数 6 年以内の事例-, 日本森林学会中部支部大会, 信州大学, 2007.10.13
55. 高崎洋子・竹中千里：荒廃したヒノキ人工林におけるリンの蓄積・循環, 日本森林学会中部支部大会, 信州大学, 2007.10.13
56. 小林健嗣・山本一清・竹中千里・野々田稔郎・島田博匡：荒廃したヒノキ人工林におけるリンの蓄積・循環, 日本森林学会中部支部大会, 信州大学, 2007.10.13
57. 水垣滋・恩田裕一・五味高志・浅井宏紀・南光一樹・長嶺真理子・平松晋也：山地ヒノキ林流域における台風イベント時の水・土砂流出過程, 日本地形学連合 2007 秋季大会, 筑波大学, 2007.11.10
58. 恩田裕一・浅井宏紀・水垣滋・南光一樹：森林による表面侵食プロセスの違い, 日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
59. 洲崎燈子・蔵治光一郎・丹羽健司：市民主導の「森の健康診断」と人工林管理の将来展望, 日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
60. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・長嶺真理子・平松晋也：森林流域の浮遊土砂に対する林床の寄与, 日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
61. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・水垣滋・森脇寛：林内雨の大粒径雨滴の衝突が表面流発生に及ぼす影響, 日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
62. 福山泰治郎・恩田裕一・五味高志・山本一清・近藤直人・宮田秀介・小杉賢一朗・水垣滋・坪沼宣行：Cs-137, Pb-210ex 濃度に基づいたヒノキ林流域の浮遊砂生産源

- の推定, 日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
63. 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・伊藤俊・水垣滋・五味高志・南光一樹：現地散水実験によるヒノキ人工林の浸透能と表面被覆との関係, 日本森林学会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 64. 脇山義史・恩田裕一・水垣滋・浅井宏紀・平松晋也：ヒノキ・スギ人工林および広葉樹林における放射性同位体を用いた土壌侵食量の推定, 日本森林学会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 65. 五味高志・ロイ・サイドル・平岡真合乃・恩田裕一・宮田秀介・小杉賢一朗：ヒノキ人工林流域における浸透能の空間分布が表面流の発生と流下におよぼす影響の評価, 日本森林学会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 66. 宮田秀介・小杉賢一朗・五味高志・水山高久：ヒノキ林斜面において下層植生が土壌侵食に及ぼす影響の解析, 日本森林学会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 67. 平野智章：管理放棄された針葉樹人工林が大流域の流出特性に及ぼす影響, 日本森林学会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 68. 福山泰治郎・恩田裕一・水垣滋：貯水池堆積物の解析に基づいたヒノキ人工林流域の侵食履歴推定, 砂防学会, 札幌, 2008.5.14-16
 69. 水垣滋・恩田裕一・加藤弘亮・笹子千穂：放射性降下物を用いた斜面の細粒土砂移動モデル, 砂防学会, 札幌, 2008.5.14-16
 70. 水垣滋・恩田裕一・加藤弘亮・笹子千穂：放射性降下物を用いた表面侵食モデルの問題点と改良, 日本地球惑星科学連合, 千葉, 2008.5.28-29
 71. 恩田裕一・脇山義史・水垣滋・福山泰治郎：Cs-137 と Pb-210ex の現存量に基づいて推定したヒノキ・スギ人工林および広葉樹林における土壌侵食量および侵食プロセス, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
 72. 水垣滋・恩田裕一・浅井宏紀：ヒノキ人工林の表面侵食における雨滴侵食・表面流の寄与, 日本地形学連合秋季大会, 駒澤大学, 2008.10. 19
 73. 水垣滋：放射性・安定同位体によって解明される森林流域からの水・土砂の動態, 寒地土木研究所セミナー「水, 土砂, 生物を介した森, 川, 海をつなぐ物質の動態と機能に関するセミナー」, 札幌市教育文化会館, 2008.10.31

③ ポスター発表

1. Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M. : Surface erosion in mature Japanese cypress plantation and measurement of throughfall raindrops, US-Japan joint workshop on biogeochemistry and hydrology in forest watershed associated with LTER (Long-Term Ecological Research), 東大愛知演習林, 北大雨龍研究林, 2004.3.15
2. 福山泰治郎・恩田裕一・古賀聡子・平松晋也・長嶺真理子：荒廃した人工林流域における放射性同位体を指標とした浮遊土砂生産源の推定, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.27-30
3. Zhang, Z., Fukusima, T., Gomi, T., Fukuyama, T., Sidle R.C., Kosugi, K., Kuraji, K., Kitahara, H., Hiramatsu, S., Terajima, T., Matusige, K. : Runoff characteristics of carbon, nitrogen, and phosphorus from forested watersheds, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.27-30
4. 伊藤茜・恩田裕一・福山泰治郎・森脇寛：ヒノキ林における林内雨の分布特性および雨滴衝撃力に関する実験的研究, 日本森林学会, 北海道大学, 2005.3.27-30
5. 松下文経・豊田麻衣・恩田裕一：ASTER データによる荒廃した人工林の抽出—高知

- のヒノキ人工林を例として、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
6. 長嶺真理子・平松晋也・恩田裕一・福島武彦・浅井宏紀・福山泰治郎：森林の構成樹種の変化や荒廃が流出に及ぼす影響度評価の試み、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 7. 二塚勇吾・杉田ゆきえ・日嘉祐子・小野裕・北原曜：ヒノキ林における樹幹流下量の決定要因、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 8. 小林建太・石川大紀・遠藤漠・平野智章・寺嶋智巳・恩田裕一・福島武彦：広葉樹および針葉樹からなる小流域での浮流土砂流出の特徴、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 9. 平野智章・石川大紀・遠藤漠・小林建太・寺嶋智巳・森泉美穂子：成木川流域における水質の空間分布について、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 10. 浅井宏紀・平松晋也・長嶺真理子・恩田裕一・古賀聡子・福山泰治郎：森林樹種の相違が斜面における表面侵食に及ぼす影響度評価、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 11. 遠藤漠・小林建太・寺嶋智巳・石川大紀・平野智章・森泉美穂子：広葉樹林及び針葉樹林からなる小流域における渓流水の陰イオン濃度の変化と土壌の化学性の関係、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 12. 宮田秀介・小杉賢一朗・西本憲夫・水山高久・五味高志・恩田裕一・福島武彦：ヒノキ人工林斜面における表面流発生要因、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 13. 五味高志・宮田秀介・上野全保・小杉賢一朗・Sidle, R.C.・浅野友子・恩田裕一・福島武彦：荒廃ヒノキ林流域の洪水流出における地表面流の寄与と流出特性と成分分離法を用いた解析、日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 14. Ueno, M., Gomi, T., Sidle R.C., Miyata, S., Kosugi, K. : Characteristics of Surface Runoff Generation and Soil Erosion on Different Forest-type Hillslopes, 日本森林学会、北海道大学, 2005.3.27-30
 15. 宮田秀介・小杉賢一朗・西本憲夫・水山高久・上野全保・五味高志・Sidle R. C・恩田裕一：ヒノキ林斜面における表面流発生と土砂生産に関する研究、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.26
 16. 今泉文寿・Sidle R. C：山地流域における土砂生産と土砂流出の量的、時間的な関係、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.26
 17. 福山泰治郎・恩田裕一：Cs-137 と Pb-210ex の空間分布と動態に基づいて推定したヒノキ人工林地の荒廃プロセス、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.25
 18. 恩田裕一・古賀聡子・福山泰治郎・平松晋也・長嶺真理子：四万十川上流域における放射性同位体を指標とした浮遊砂起源の推定、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.25
 19. 伊藤俊・恩田裕一・加藤弘亮：森林における浸透能測定のための散水型人工降雨装置について、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.25
 20. 伊藤茜・恩田裕一・福山泰治郎・森脇寛：ヒノキ林における林内雨の雨滴衝撃力が浸透能に及ぼす影響に関する実験的研究、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.25
 21. 山本一清・高橋與明・宮地洋輔・森田真一・中尾元彦・柴山卓史：山地におけるレーザースキャナによる数値標高モデル作成時の留意点、(社) 砂防学会研究発表会、愛知厚生年金会館, 2005.5.26

22. 南光一樹・堀田紀文・鈴木雅一：林内の雨滴粒径分布の評価による樹冠内の雨水動態メカニズムの理解，水文・水資源学会，筑波大学，2005.8.3-5
23. Gomi, T., Miyata, S., Ueno, M., Kosugi, K., Sidle, R.C., Onda, Y., Fukushima, T. : Overland flow in temperate forested hillslopes of South Central Japan, Slope Interspersion Experiment (SLICE) Workshop, HJ Andrews Experimental Forest, Oregon, USA, 2005.9.26-28
24. Nanko, K., Mizugaki, S., Onda, Y., Hiramatsu, S.: Evaluation of splash erosion at forest floor in mature Japanese cypress plantations, AGU2005 Fall Meeting, San Francisco, U.S.A. 2005.12.9
25. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・平松晋也：Cs-137 をトレーサーとした浮遊土砂起源の推定～ヒノキ林流域での事例～，環境放射能研究会，高エネルギー加速器研究機構，2006.3.7-9
26. 五味高志・宮田秀介・上野全保・小杉賢一郎・Sydle R. C・浅野友子・恩田裕一・福島武彦：成分分離手法による洪水流出に占める表面流与率の推定，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
27. 伊藤茜・南光一樹・恩田裕一・伊藤俊・森脇寛：樹幹通過雨がヒノキ裸地林床に与える影響についての実験的検討－異なった森林土壌を用いた浸透能，侵食土砂量の比較，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
28. 水垣滋・南光一樹・恩田裕一・平松晋也：ヒノキ林の斜面土砂流出過程における雨滴侵食の寄与，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
29. 大槻ゆう菜・松下文経・恩田裕一・水垣滋：ヒノキの分校反射特性を用いた森林荒廃度検出可能性の検討，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
30. 野々田稔郎・林拙郎・近藤観慈・島田博匡・沼本晋也・吉岡小百合：樹木引き倒し試験から推定した根帰り発生モデル，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
31. 二塚勇吾・飯田美穂・金栄麒・小野裕・北原曜：林齢の異なるヒノキ林の樹幹流量，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
32. 小杉賢一郎・町田尚子・水山高久：森林土層内の鉛直浸透過程における鉛直一次元浸透過程の解析，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
33. 西陽太郎・宮田秀介・小杉賢一郎・水山高久：撥水性土壌における鉛直一次元浸透過程の解析，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
34. 恩田裕一・伊藤俊・加藤弘亮・水垣滋：振動ノズル型散水装置を用いた各地のヒノキ林における浸透能の比較，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
35. 長嶺真理子・平松晋也・恩田裕一・浅井宏紀・水垣滋：森林樹種の相違が斜面侵食や流出に及ぼす影響に関する現象論的研究，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
36. 宮田秀介・小杉賢一郎・五味高志・上野全保・恩田裕一・福島武彦・水山高久：撥水性をもつヒノキ林斜面における表面流の発生に下層植生の被覆が及ぼす影響の解析，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
37. 福山泰治郎・恩田裕一・水垣滋・五味高志・宮田秀介・上野全保・Sidle R. C・小杉賢一郎：土壌と流出土砂の Cs-137 と Pb-210ex から推定したヒノキ人工林流域の侵食プロセス，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
38. 金栄麒・小野裕・北原曜：林相の異なる森林における侵食土砂量，日本森林学会，東京農業大学，2006.4.2
39. 近藤直人・山本一清・高橋與明・宮地洋輔・森田真一・中尾元彦・柴山卓史：ヒノキ人工林における航空機 LiDAR のレーザー反射位置特性－施業の差異による林分

- 間の比較, 日本森林学会, 東京農業大学, 2006.4.2
40. 高橋與明・山本一清・宮地洋輔・近藤直人・森田真一・中尾元彦・柴山卓史 : 航空機 LiDAR による森林パラメータ推定ー最適な変数のスクリーニング, 日本森林学会, 東京農業大学, 2006.4.2
 41. 山本一清・高橋與明・宮地洋輔・近藤直人・中尾元彦・柴山卓史 : 航空機 LiDAR によるヒノキ人工林の林分平均樹高推定, 日本森林学会, 東京農業大学, 2006.4.2
 42. 島田博匡・野々田稔郎 : ヒノキ人工林下層の広葉樹分布に及ぼす光環境と微地形の影響, 日本森林学会, 東京農業大学, 2006.4.2
 43. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・平松晋也 : ヒノキ人工林流域における放射性同位体を用いた浮遊土砂起源の推定, 地球惑星科学連合 2006 年大会, 幕張メッセ, 2006.5.18
 44. 福山泰治郎・恩田裕一・水垣滋 : Cs-137 と Pb-210ex の空間分布から推定したヒノキ人工林流域の侵食プロセス, 地球惑星科学連合 2006 年大会, 幕張メッセ, 2006.5.18
 45. 伊藤茜・南光一樹・恩田裕一・伊藤俊・森脇寛 : 林内雨が裸地林床の浸透能・土壌侵食に与える影響についての実験的検討, 地球惑星科学連合 2006 年大会, 幕張メッセ, 2006.5.18
 46. 恩田裕一・伊藤俊・加藤弘亮・水垣滋 : 震動ノズル型散水装置を用いた各地のヒノキ林における浸透能比較, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 47. 水垣滋・恩田裕一・福山泰治郎・古賀聡子・平松晋也 : ヒノキ人工林流域における放射性同位体を用いた浮遊土砂起源の推定, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 48. 福山泰治郎・恩田裕一・水垣滋・五味高志・上野全保・Sidle R. C・宮田秀介・小杉賢一朗 : Cs-137 と Pb-210ex の現存量に基づいて推定したヒノキ人工林流域の侵食プロセス, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 49. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・森脇寛 : 林内雨が裸地林床の浸透能・土砂侵食に与える影響の評価ーヒノキ単木への人工降雨実験の解析, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 50. 脇山義史・井手淳一郎・大槻恭一・智和正明・恩田裕一・江頭和彦 : 御手洗水流域ヒノキ人工林における放射性核種を用いた土壌侵食量の推定, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 51. 長嶺真理子・平松晋也・恩田裕一・水垣滋・浅井宏紀 : 森林樹種の相違が斜面侵食や流出に及ぼす影響に関する現象論的研究, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 52. 五味高志・Sidle R. C・上野全保・小杉賢一朗・宮田秀介・浅野友子・張朝・恩田裕一・福島武彦 : ヒノキ人工林斜面における表面流の発生と溶存態・懸濁態物質の流出, (社) 砂防学会研究発表会, 和歌山県民文化会館, 2006.5.25
 53. 浅野友子・五味高志・水垣滋・小杉賢一朗・宮田秀介・張朝・恩田裕一・福島武彦 : 山地の斜面に発生する地表面流の水質特性ー小プロット(0.5×2m)の観測結果ー, 水文・水資源学会 2006 年総会・研究発表会, 岡山大学, 2006.8.30
 54. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・森脇寛 : 林内の雨量・雨滴の分布に与える樹幹構造の影響についての実験的検討, 水文・水資源学会 2006 年総会・研究発表会, 岡山大学, 2006.8.30
 55. 宮田秀介・小杉賢一朗・五味高志・恩田裕一・西陽太郎・Sidle R.C.: 小流域における空間

- スケールの違いによる流出特性の変化－三重県大紀町の人工ヒノキ林流域における事例－, 水文・水資源学会 2006 年総会・研究発表会, 岡山大学, 2006.8.30
56. 近森秀高: 降雨日発生パターンを経年変化, 水文・水資源学会, 岡山大学, 2006.8.30
57. Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T.: Analysis of stream water temperature in forested watersheds, 日本陸水学会第 71 回大会, 愛媛大学, 2006.9.16
58. 近森秀高・上岡崇之: 森林植生の異なる流域における洪水流出特性の比較, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
59. 二塚勇吾・金栄麒・高橋遙・小野裕・北原曜: 荒廃したヒノキ人工林における樹幹流量と林分形態との関係, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
60. 金栄麒・北原曜・小野裕: 林齢の異なるヒノキ林の侵食土砂量, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
61. 水垣滋・恩田裕一・古賀聡子・福山泰治郎・浅井宏紀・南光一樹・長嶺真理子・平松晋也: ヒノキ人工林および広葉樹林流域における浮遊砂に対する林床の寄与, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
62. 成沢知広・水垣滋・恩田裕一・浅井宏紀・長嶺真理子・平松晋也: ヒノキ人工林および広葉樹林流域における流出特性, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
63. Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T.: The Effects of Watershed and Forest Conditions on Stream Water Temperature, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
64. Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Tsubonuma, N., Miyata, S., Kosugi, K., Sidle, R.C., Mizugaki, S.: Erosion process in Japanese cypress plantation catchment estimated from measurement of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activities in suspended sediment, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
65. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・森脇寛: 枝の切り上げ実験による林内雨の侵食能形成プロセスの評価, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
66. 伊藤茜・南光一樹・恩田裕一・水垣滋: 野外ヒノキ樹冠下における雨量の時間変化および空間分布特性, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
67. 平野智章・寺嶋智巳・水垣滋・恩田裕一: ヒノキ人工林と広葉樹天然林における地表流およびバイオマツフローの流出メカニズムの検討, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 2007.3.18
68. 境優・平野智章・寺嶋智巳・福島武彦・恩田裕一: 渓流水の流出成分分離と斜面における地表流および表層流の流出との関係, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
69. 名波明菜・野木竜也・平野智章・寺嶋智巳: 林内雨の量・水質と表層土壌水中の無機イオンの動態, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
70. 中村智博・平野智章・寺嶋智巳: 森林小流域における河川近傍の浅層地下水から渓流水への水質変化, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 2007.3.18
71. 青木文聡・平野智章・寺嶋智巳・福島武彦・恩田裕一: 針葉樹林流域および広葉樹

- 林流域からの浮流土砂と粒状態有機物の流出, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
72. 脇山義史・恩田裕一・水垣滋・北原曜・小野裕・平松晋也: ヒノキ・スギ人工林および広葉樹林における放射性同位体を用いた土壌侵食量の推定, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 73. 平岡真合乃・恩田裕一・水垣滋・五味高志・加藤弘亮: 異なる林床被覆の荒廃人工林における浸透能について, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 74. 大槻ゆう菜・松下文経・恩田裕一・水垣滋: 現地調査・実験とリモートセンシングを組み合わせた荒廃人工林の抽出, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 75. 宮田秀介・小杉賢一郎・五味高志・水山高久: ヒノキ林斜面における表面流のスケール効果と表面流・雨水浸透のモデル化, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 76. 浅井宏紀・恩田裕一・水垣滋・平松晋也・長嶺真理子: 樹種の相違が森林斜面における表面流出および表面侵食現象に及ぼす影響度評価, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 77. 長嶺真理子・平松晋也・恩田裕一・水垣滋・浅井宏紀: 森林樹種の相違が流域からの水・土砂流出に及ぼす影響, 日本地形学連合 2007 年春季大会, 京都大学防災研究所, 2007.3.18
 78. 五味高志・サイドル ロイ・恩田裕一: TOPOTUBE による地形分割と分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林における表面流の流出解析, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 79. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・森脇寛: 枝の切り上げが樹冠通過雨の雨量・雨滴分布に与える影響, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 80. 坪沼宣行・竹中千里・恩田裕一・水垣滋・福山泰治郎・福島武彦: ヒノキ人工林における浮遊土砂としてのリンの移動, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 81. 林 祐妃・小杉賢一郎・渡邊哲弘・水山高久: 天然林斜面における土壌の物理性と化学性の対応, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 82. 渥美功介・沼本晋也・野々田稔郎・島田博匡・近藤観慈・林拙郎・武井量宏: ヒノキ人工林における樹体サイズと樹幹流下量の関係ー三重県津市白山町における事例ー, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 83. サイドル ロイ・五味高志・寺嶋智己・平野智章: What's happening to that overland flow?, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 84. 正岡直也・小杉賢一郎・山川陽祐・水山高久: 土壌水分計付貫入計による斜面土壌水分空間分布計測, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 85. 小杉賢一郎: 森林の水源涵養機能に斜面土層と風化基岩が果たす役割について, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 86. 金栄麒・北原曜・小野裕: 林況別によるヒノキ林の侵食土砂量, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 87. 二塚勇吾・小野裕・北原曜: ヒノキ人工林における樹幹流下量の時空間分布, 日本森林学会, 九州大学, 2007.4.3
 88. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Ito, S., Moriwaki, H.: Influence of canopy structures on generating throughfall erosivity, an experimental approach 2007 EGU General Assembly,

- Vienna, Austria, 2007.4.18
89. Mizugaki, S., Onda, Y., Koga, S., Fukuyama, T., Nanko, K., Asai, H., Nagamine, M., Hiramatsu, S.: Contribution of forest floor to suspended sediment in conifer (Japanese cypress) plantation and broadleaf forest watersheds, 2007 EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2007.4.18
 90. Onda, Y., Mizugaki, S., Nanko, K., Asai, H., Nagamine, M., Gomi, T., Hiramatsu, S.: Sediment yield and transportation in a humid forest plantation catchment through various scale field monitoring and FRN analysis, 2007 EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2007.4.20
 91. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・森脇寛: ヒノキ樹冠通過による降雨の侵食能の変化, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 幕張メッセ 国際会議場, 2007.5.20
 92. 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸哉: 振動ノズル式降雨実験装置を用いたモンゴル半乾燥地域における土壌浸透能の野外測定, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 幕張メッセ 国際会議場, 2007.5.20
 93. 脇山義史・恩田裕一・水垣滋・南光一樹・北原曜・小野裕・金栄麒: 若齢ヒノキ人工林におけるスプラッシュと地表流の関係, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 幕張メッセ 国際会議場, 2007.5.20
 94. 山川陽祐・正岡直也・小杉賢一朗・水山高久・梅川豊文: 土壌水分計付貫入計の改良と現位置における適用例, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.24
 95. 正岡直也・小杉賢一朗・山川陽祐・水山高久: 土壌水分計付貫入計を用いた斜面土壌水分空間分布の計測, 砂防学会研究発表会, 福井県, 2007.5.24
 96. 五味高志・Roy Sidle・藤本知世・宮田秀介・小杉賢一朗・恩田裕一: 分布型流出モデルにおいて土壌浸透能の空間的不均一性と撥水性を考慮した表面流出解析: ヒノキ人工林流域への適応, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 97. 水垣滋・五味高志・恩田裕一・浅井宏紀・南光一樹・浅野友子・長嶺真理子・平松晋也: 水文観測・同位体分析によるヒノキ人工林の豪雨時水土砂流出過程の解析, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 98. 脇山義史・恩田裕一・南光一樹・水垣滋・金栄麒・北原曜・小野裕: 若齢ヒノキ人工林における雨滴侵食の実態解明, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 99. 大槻ゆう菜・松下文経・恩田裕一・水垣滋: 現地調査・実験とリモートセンシングを用いた荒廃人工林の抽出, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 100. 近森秀高・上岡崇之: 樹種および施業状態が森林流域の洪水流出特性に及ぼす影響, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 101. 二塚勇吾・小野裕・北原曜: 樹木・林分形態がヒノキ林の樹幹流下量に与える影響について, 水文・水資源学会, 名古屋大学, 2007.7.25
 102. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Moriwaki, H. Influence of canopy structures on generating throughfall erosivity: an experimental approach, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 103. Futatsuka, Y., Ono, Y., Kitahara, H.: The influence of tree and tree stand characteristics to stemflow discharge, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 104. Sidle, R.C.: What is the Hortonian overland flow coming from?, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in

- mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
105. Miyata, S., Kosugi, K., Gomi, T., Nishi, Y., Sidle, R.C., Onda, Y., Mizuyama, T.: Analysis of scale effect of surface runoff on steep forested hillslopes, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 106. Gomi, T., Sidle, R.C., Fujimoto, C., Miyata, S., Kosugi, K., Onda, Y.: Runoff modeling of overland flow generation with spatially heterogynous soil infiltration, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 107. Kosugi, K., Katsura, S.: Buffer function of soil layer controlling flood and baseflow discharges from headwater catchment underlain by permeable bedrock, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 108. Asai, H., Onda, Y., Mizugaki, S., Hiramatsu, S., Nagamine, M.: The effect of tree species on overland flow generation and surface erosion on forest hillslope, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 109. Wakiyama, Y., Onda, Y., Nanko, K., Mizugaki, S., Kim, Y., Kitahara, H., Ono, H.: Temporal variation of rain splash at forest floor of young Japanese Cypress plantations, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya,, 2007.7.28
 110. Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Tsubonuma, N., Miyata, S., Kosugi, K., Sidle, R. C., Mizugaki, S.: Erosion process in Japanese cypress plantation catchment estimated from measurement of Cs-137 and Pb-210ex activities in suspended sediment, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 111. Mizugaki, S., Gomi, T., Onda, Y., Asai, H., Nanko, K., Asano, Y., Nagamine, M., Hiramatsu, S.: Runoff and sediment routing in a Japanese cypress plantation watershed estimated from field observation and fingerprinting techniques, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 112. Chikamori, H. : Long-and-short term runoff analysis in cypress and broadleaf forests, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 113. Zhang, Z., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T., Matsushige, K.: What controls N and P leaching from Japanese forested headwater?, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 114. Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiramatsu, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T. The effects of watershed conditions on stream water temperature, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 115. Kobayashi, K., Yamamoto, K., Takenaka, C., Nonoda, T., Shimada, H.: Changes of light

- environment after thinning in hinoki cypress forest. International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
116. Hiraoka, M., Onda, Y., Kato, H., Mizugaki, S., Gomi, T.: Measurement of infiltration rate using oscillating nozzle portable rainfall simulator in devastated artificial forest, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 117. Nonoda, T., Shimada, H., Takenaka, C., Yamamoto, K., Kobayashi, K.: The litter mass changes after thinning in the artificial forest, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 118. Ohtsuki, Y., Matsushita, B., Onda, Y., Mizugaki, S.: Detecting forest degradation combining in situ field survey and experiment with remote sensing. International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 119. Wakabayashi, S., Ose, K., Tamura, K., Onda, Y., Higashi, T.: Comparison between *Camaecyparis Obtusa* forest soils and broadleaved forest soils in Japan, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 120. Kim, J., Yang, D., Onda, Y., Kim, M.: Differences of interrill erosion process between canopy conditions, International Symposium on “Sustainable forestry for water resources management and flood mitigation in mountainous regions”, Nagoya, 2007.7.28
 121. 宮田秀介・小杉賢一朗・五味高志・水山高久：土壌撥水性を示す斜面における表面流の流下および浸透に関する実験的研究，第 49 回土壌物理学会，九州大学，2007.10.13
 122. 浅井宏紀・恩田裕一・水垣滋・平松晋也・長嶺真理子：森林斜面における表面流出および表面侵食現象解明，日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 123. Kim, J., Yang, D., Onda, Y., Kim, M. Overland flow generation under various canopies in same lithologically mountainous slope, Anseoung, middle of Korea, 日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 124. 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・水垣滋・伊藤俊・南光一樹：振動ノズル式散水装置によるヒノキ人口林の浸透能と被覆状態の関係，日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 125. 脇山義史・恩田裕一・水垣滋・浅井宏紀・平松晋也：森林における放射性同位体を用いた土壌侵食量推定値と土壌侵食実測値の比較，日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 126. 大槻ゆう菜・松下文経・恩田裕一・福島武彦・水垣滋：リモートセンシングを用いた荒廃人口林の抽出，日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 127. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・水垣滋・森脇寛：ヒノキ単木樹冠下における表面流発生の空間不均一性，日本地形学連合 2007 秋季大会，筑波大学，2007.11.10
 128. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Moriwaki, H. : Influence of canopy thickness on throughfall amount and kinetic energy under different canopy saturation conditions : an indoor experiment with a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) stand, AGU2007 Fall

- Meeting, San Francisco, USA, 2007.12.10-14
129. Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y.: Comparison of Topographic Effects between the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), AGU2007 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2007.12.10-14
 130. Hiraoka, M., Onda, Y., Kato, H., Ito, S., Mizugaki, S.: The effect of surface cover on infiltration rate in steep forest plantations, AGU2007 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2007.12.10-14
 131. Onda, Y., Mizugaki, S., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., Hiramatsu, S.: Estimation of suspended sediment sources using Cs-137 and Pb210ex in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds of southern Japan, AGU2007 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2007.12.10-14
 132. Mizugaki, S., Onda, Y., Nanko, K.: The effect of slope angle on splash detachment in steep forest plantation, AGU2007 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2007.12.10-14
 133. Kato, H., Onda, Y., Mizugaki, S., Tanaka, Y.: Determining soil erosion rate and sediment residence time on hillslopes using radionuclides in semiarid grassland of Mongolia, American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, California, USA, 2007.12.10-14
 134. 高崎洋子・竹中千里: 森林荒廃がヒノキ林におけるリンの動態に与える影響, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 135. 山本一清・近藤直人・千田良道・山下悟・村手直明・都竹正志: 航空機 LiDAR によるヒノキ人工林の質的特性把握(III)ー波形記録式レーザの反射位置特性, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 136. 福島武彦・張朝・恩田裕一・水垣滋・五味高志・小杉賢一朗・平松晋也・北原曜・蔵治光一郎・寺嶋智己・松重一夫: 森林の種類による栄養塩流出の違い, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 137. 松下文経・大槻ゆう菜・恩田裕一・水垣滋: 航空機ハイパースペクトルデータを用いた荒廃ヒノキ人工林の検出, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 138. 井上龍一: 森林斜面におけるバイオマットフローの流出特性, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 139. 近森秀高: 森林流域の植生と施業管理が流出特性に与える影響, 第 119 回日本森林学会大会, 東京農工大学, 2008.3.27-28
 140. Mizugaki, S., Onda, Y., Gomi, T., Nanko, K., Asai, H., Nagamine, M., Hiramatsu, S.: Sediment transport by surface erosion in a mountain catchment draining Japanese cypress forest –understanding connectivity of sediment from hillslope to channel–, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, 2008. 4.14-18
 141. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Ito, S., Mizugaki, S., Moriwaki, H.: Variability of surface runoff and infiltration rate under a tree canopy: indoor rainfall experiment using a stand of Japanese cypress, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, 2008. 4.14-18
 142. Wakiyama, Y., Onda, Y., Nanko, K., Mizugaki, S.: Temporal variations of rain splash at the forest floor of Japanese cypress plantations, European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, 2008. 4.14-18
 143. 脇山義史・恩田裕一・南光一樹・水垣滋・金栄麒・北原曜・小野裕: ヒノキ人工林における土壌構造劣化プロセスの検討, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張

メッセ 国際会議場, 2008.5.28-29

144. 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・伊藤俊・水垣滋・五味高志・南光一樹: 荒廃ヒノキ人工林における表面被覆が浸透能に与える影響, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張メッセ 国際会議場, 2008.5.28-29
145. 南光一樹・恩田裕一・伊藤茜・伊藤俊・水垣滋・森脇寛: 林内雨の雨滴形成過程の差異が裸地化林床の表面流発生に与える影響, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張メッセ 国際会議場, 2008.5.28-29
146. 福山泰治郎・恩田裕一・水垣滋: 貯水池堆積物中の放射性降下物から推定したヒノキ人工林流域の侵食履歴, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
147. 南光一樹・恩田裕一・平岡真合乃・野々田稔郎・山本一清・竹中千里・五味高志: 間伐事業が森林水源涵養機能に与える影響の経済的評価手法の確立に向けて, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.26
148. 宮田秀介・五味高志・恩田裕一・小杉賢一朗・Roy C. Sidle・平野智章・寺嶋智巳・水垣滋・浅井宏紀・平松晋也: 森林の構成樹種・林相が表面流発生に及ぼす影響, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
149. 五味高志・Roy C. Sidle・藤本知世・宮田秀介・小杉賢一朗・平岡真合乃・恩田裕一: 分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林流域における表面流の発生および河川への流出量の評価, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
150. 脇山義史・恩田裕一・南光一樹・北原曜・小野裕: ヒノキ人工林における土壌構造劣化プロセスの検討, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
151. 水垣滋・恩田裕一・福島武彦・張朝・五味高志・平松晋也: 森林流域からの栄養塩流出とスケール効果, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
152. 平岡真合乃・恩田裕一・加藤弘亮・水垣滋・五味高志・南光一樹: 浸透能を基準としたヒノキ人工林の荒廃度評価の検討, 水文・水資源学会, 東京大学, 2008.8.27
153. Fukuyama, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Miyata, S., Yamamoto, K., Kondo, N., Kosugi, K. Erosion processes in Japanese cypress plantation catchment estimated from the Cs-137 and Pb-210ex activities in suspended sediment, HydroChange 2008, Kyoto, 2008.10.1-3
154. 成沢知広・恩田裕一・水垣滋・五味高志・浅井宏紀・長嶺真理子・平松晋也: 高知県葛籠川流域における異なる森林流域の降雨流出特性の比較, 日本地形学連合秋季大会, 駒澤大学, 2008. 10. 18-19

(3) 特許出願

①国内出願 (1 件)

1. 急傾斜地用浸透能測定装置, 恩田裕一・加藤弘亮・菅野修平, 2007 年 12 月 21 日, 特願 2007-312784.

②海外出願 (0 件)

(4) 受賞等

① 受賞

1. 平成 19 年度 砂防学会研究発表会 若手優秀発表賞 水垣滋
水垣滋・五味高志・恩田裕一・浅井宏紀・南光一樹・浅野友子・長嶺真理子・平松晋也: ヒノキ人工林における表面侵食と河川への土砂流出過程, 砂防

学会, 福井. 2007.5

2. 平成 19 年度 水文・水資源学会 ポスター発表賞 五味高志
五味高志・Sidle, R.C.・藤本知世・宮田秀介・小杉賢一朗・恩田裕一: 分布型流出モデルにおいて土壌浸透能の空間的不均一性と撥水性を考慮した表面流流出解析: ヒノキ人工林流域への適応, 水文・水資源学会, 名古屋. 2007. 7.
3. 平成 20 年度 水文・水資源学会 論文賞 恩田裕一
恩田裕一・辻村真貴・野々田稔郎・竹中千里: 荒廃したヒノキ人工林における浸透能測定法の検討. 水文・水資源学会誌, 18(6), 688-694. 2005.
辻村真貴・恩田裕一・原田大路 (2006): 荒廃したヒノキ林における雨水流出に及ぼすホートン地表流の影響. 水文・水資源学会誌, 19(1), 17-24.

② 新聞報道

1. 茨城新聞: 洪水予測で森林人工雨 (平成 16 年 10 月 16 日)
2. 読売新聞: 森林→大雨→洪水 大型施設で実験 (平成 16 年 10 月 16 日)
3. 東京新聞: 森林雨量分布など実験 (平成 16 年 10 月 16 日)
4. 日本農業新聞: 洪水発生の仕組みを調べる (平成 16 年 10 月 16 日)
5. 朝日新聞: 窓—論説委員室から—, 森に降る雨 (平成 17 年 7 月 16 日)
6. 毎日新聞: 人工針葉樹林, 保水広葉樹の 3 割, 大学共同チーム治水議論に一石 (平成 18 年 1 月 27 日)
7. 毎日新聞: 緑のダム: 人工針葉樹林の保水力回復, 6 割間伐で—大学研究チーム調査で実証 (平成 18 年 10 月 21 日)

③ その他

蔵治光一郎 (東京大学大学院農学生命科学研究科愛知演習林): 「里山文化と森林の保水, 治水機能の実態」, 掲載 HP:<http://www.mizu.gr.jp/people/index.html>, 取材日: 平成 16 年 8 月 5 日 (平成 16 年 9 月より掲載)

蔵治光一郎 (東京大学大学院農学生命科学研究科愛知演習林): 緑のダム どう理解すればよいのか, 掲載紙: 登山時報 2004 年 11 月号, 出版日: 平成 16 年 10 月 18 日

蔵治光一郎 (東京大学大学院農学生命科学研究科愛知演習林): 緑のダム —森林, 河川, 水循環, 防災, 築地書館, 2004

恩田裕一 (筑波大学大学院生命環境科学研究科): 森林の荒廃は洪水や河川環境にどう影響しているか, 掲載紙: 森林, 河川, 水循環, 防災「緑のダム」, 築地書館, 出版日: 平成 16 年 12 月 20 日

NHK ラジオ第一: ラジオ深夜便ニュース (平成 16 年 10 月 15 日)

NHK 教育テレビ: サイエンス ZERO, シリーズ環境 (1) 森の機能を解明せよ (平成 17 年 6 月 4 日)

五味高志 (JST/CREST 研究員): 森林水文若手研究者の会 2006 の報告, 砂防学会誌 58(6), 2006

蔵治光一郎 (東京大学大学院農学生命科学研究科愛知演習林): 「森の健康診断〜100 円グッズで始める市民と研究者の愉快的森林調査〜」 築地書館 (2006. 4)

NHK 総合テレビ: おはよう日本首都圏, 水滴から洪水のメカニズムを探れ (平成 18 年 9 月 1 日)

NHK デジタル放送: いばらきワイワイスタジオ, 水滴から洪水のメカニズムを探れ

(平成 18 年 9 月 4 日)

Roy C. Sidle (京都大学防災研究所) : Landslides: Processes, Prediction, and Land Use, Water Resources Monograph 18, 2006.

(5) その他特記事項

・ 恩田裕一編『人工林荒廃と水・土砂流出の実態』, 岩波書店(2008 年 10 月刊行)

§ 7 研究期間中の主な活動
ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H16. 1. 24	CREST「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」第1回全体ミーティング	東京	15	1) フィールド観測の進捗状況報告 2) 全体計画と各メンバーの研究方針
H16. 5. 23	CREST「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」第2回全体ミーティング	高知大学農学部	15	1) フィールド観測の進捗状況報告 2) プロジェクトの今後の予定
H16. 7. 29	CREST「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」第3回全体ミーティング	信州大学農学部手良沢山演習林	15	1) フィールド観測手順の確認, 進捗状況報告 2) 全体計画と各メンバーの研究方針
H17. 1. 7-8	CREST「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」第4回全体ミーティング	東京・八王子セミナーハウス	30	1) フィールド観測・水質分析の進捗状況報告 2) ポスターセッション 3) フィールドグループ・モデリンググループのデータ共有について意見交換.
H17. 3. 29	CREST「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」第5回全体ミーティング	北海道大学文系総合研究棟2階	28	1) フィールド観測・水質分析の進捗状況報告・観測目標 2) 論文執筆計画 3) 今後のミーティング予定
H17. 4. 19	フィールドグループミーティング	信州大学農学部	11	1) フィールド観測手法の修正・観測体制の再確認 2) 今年度の研究計画 3) 論文執筆計画
H18.1.10-11	CREST「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」第6回全体ミーティング	東京大学愛知演習林	30	1) フィールド観測・水質分析の進捗状況報告・観測目標 2) 論文執筆計画 3) 各グループの今後の予定

H18. 3. 17	流出モデリングミーティング	京都大学吉田キャンパス	7	1) 各メンバー進捗状況報告 2) 土壌侵食モデル 3) 四万十川へのタンクモデルの適用 4) モデル化のスケジュール
H18. 7. 27	流出モデリングミーティング	京都大学防災研究所	6	1) 中間評価に向けた取り組み 2) 各モデルの進捗状況報告 3) 三重フィールドの調査予定 4) プロジェクトの今後の関連行事・予定
H18. 10. 29	CREST「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」第7回全体ミーティング	浜松町海員会館	33	1) 中間報告にむけた取り組み 2) フィールド観測・水質分析の進捗状況報告 3) 次年度の研究・論文執筆計画 4) プロジェクトの今後の関連行事・予定 5) ポスターセッション・総合討論
H19. 1. 29	流出モデリングミーティング	京都大学防災研究所	6	1) 中間評価をうけた今後の方針 2) 各種モデルの進捗状況 3) 各種モデルの相互関係 4) 今後のモデル化スケジュール
H19. 1. 30	森林維持管理モデリングミーティング	名古屋大学農学部	10	1) 三重サイトの間伐計画 2) 中間評価を受けた今後の方針 3) 各メンバーの進捗状況と今後の研究計画
H19. 3. 18	CREST「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」第8回全体ミーティング	京都大学防災研究所	33	1) 中間報告結果について 2) 各グループの進捗状況報告 3) 論文など研究成果の進捗報告 4) 今後の関連行事・予定 5) ポスターセッション・総合討論
H19. 7. 27	CREST「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」第9回全体ミーティング	名古屋大学農学部大会議室	28	1) 本の出版計画 2) Hydrological Processes 特集号について 3) 論文執筆計画・進捗 4) 各グループの進捗状況報告 5) プロジェクトの今後の関連行事・予定 6) ポスターセッション・総合討論
H19. 9. 19	流出モデリングミーティング	京都大学防災研究所	7	1) 分布型モデルのスケールアップについて 2) タンクモデルの位置づけ 3) フィールド観測結果とモデルとの

				連携強化 4) 今後のスケジュール
H19. 10. 23	流出モデリングミーティング	コクヨ品川オフィス	8	1) 分布型モデルのバーチャル実験 2) 三重サイトのタンクモデル 3) 今後のスケジュール
H20. 3. 28	CREST「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」第10回全体ミーティング	東京農工大学 50周年記念ホール	22	1) 本の出版計画・進捗 2) Hydrological Processes 特集号・進捗 3) 論文執筆計画・進捗 4) 各グループの進捗状況報告 5) プロジェクトの今後の関連行事・予定 6) ポスターセッション・総合討論 7) 最終報告書の計画
H20. 4. 23	森林維持管理モデリングミーティング	名古屋大学農学部 A437	5	1) 分布型流出モデルのパラメータ設定について 2) 大流域タンクモデル 3) プロットスケールモデルへの撥水性の組み込み
H20. 5. 30	流出モデリングミーティング	ホテル法華クラブ京都	9	1) 分布型流出モデルのパラメータ設定について 2) 大流域タンクモデル 3) プロットスケールモデルへの撥水性の組み込み
H20. 6. 30	森林維持管理モデリングミーティング	名古屋大学農学部 A554	5	1) 下層植生の侵入を目的とした密度管理 2) 密度管理に基づく収穫材積の推定 3) 間伐効果についての経済的評価の手法確立
H20. 8. 26	CREST「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」第11回全体ミーティング	筑波大学東京キャンパス秋葉原地区	29	1) 最終評価に向けた取り組みについての説明 2) JST 備品の移管手続きについて 3) 本の出版計画・進捗報告 4) Hydrological Processes 特集号進捗報告 5) 論文執筆計画・進捗 6) 各グループの進捗状況報告・ポスターセッション 7) 総合討論 8) プロジェクトの今後の関連行事・予定

§ 8 結び

今回のプロジェクトは、日本各地の優秀で個性のある多数の研究者に参画いただき、なんとか終了するに至った(図 8-1). 初期の仮説である、林床の裸地化によるクラスト形成が表面流を発生させる、という点についても、現地観測データの蓄積、共同研究者の様々な意見により、新たな知見が次々と明らかとなってきた。たとえば、表面流出率が斜面スケールによって異なることや、永年の人工林化による土地荒廃により表層土壌の劣化が進み、礫質土壌になり空隙率が大きくなって表面流が発生しなくなること、また根系流(バイオマットフロー)が発生すること、などである。このような状況となった荒廃人工林の水・土砂の挙動については、今後さらなる研究が必要とされる。

この研究を行ってみて、研究対象の大きさ、問題の大きさのゆえに、これらに立ち向かうには甚だ欲張った研究計画を立てたことに気づかされた。フィールドサイトの研究者の方々には、標準化の名の下に統一された測定法を強制し、多くの共通項目データの取得に努めていただいた。その労力の割には研究資金の配分も少なく、大変なご苦勞をしていた。改めて感謝いたします。

本プロジェクトは、5 年計画の研究であったが、初年度設置直後の 2004 年には幸いにも多くの雨に恵まれ、計画目標に掲げた降雨イベントを採取することができた。また、多くの研究者、福山泰治郎氏(現金沢大)、五味高志氏(現東京農工大)、水垣滋氏、宮田秀介氏、南光一樹氏(現 South Carolina 大)の PD の皆さん、学生の努力もあり、きわめて難しい大規模降雨イベント時のデータを採取することができた。ただ、現地調査には、非常に苦勞が多かった。例えば、降雨イベント時の採水のために、台風の予報があると試験地にかけつけ、オートサンプラーをスタートさせても、結局は空振りに終わることも多かった。逆に、雨が降りすぎて、流量測定装置が壊れたり、水位センサーや観測機器が壊れたり、といったトラブルが続出した。研究が5年間と短く、期間内に観測データを解析しなけ



図 8-1 国際シンポジウム・現地見学会 (2007 年 7 月 29 日、東京大学愛知演習林)。CREST メンバーのみならず、国内外の著名な研究者と有意義な議論が交わされた。



図 8-2 パーシャルフリュームの設置作業 (高知サイト)。車から調査地点までは、さまざまな調査・観測機材を人力で運搬しなければならない。

ればならないこともあり、野外におけるデータ収集は、主に 2004-2006 年度に行った(図 8-2)。各サイトで得られたデータを解析する際は、より多くのデータが得られれば、よりよい成果が得られたのに、と思うこともしばしばであった。しかしながら、今回のプロジェクトで得られたデータは、従来にない、出水時の、かつ荒廃人工林の斜面から河川までをつなぐ初めてのデータであることは、素直に誇りに思いたい。

降雨流出水の成分分離といった点に関しては、各サイト 1-2 イベントサンプルが得られ、解析がなされたが、降雨のパターンの面で、一般化するにはまだまだデータ数が少ないのが現状である。特に最近のゲリラ豪雨と呼ばれるような、短時間降雨強度がきわめて強い降雨については、どのサイトにおいてもデータを取得できなかった。実際の降雨イベントの中でもこのようなパターンの降雨がもっとも荒廃人工林の影響が出やすいと考えられるため、きわめて残念なところである。ぜひとも、新たな研究費、もしくは公的機関によって、荒廃人工林の水・土砂流出に及ぼす影響について観測を継続していけることを期待している。

流出水の成分分離について、採取した大量の水サンプルの水質分析および同位体分析にも多大な労力を必要とした。筑波大の福島武彦先生には大変ご苦勞をかけることになった。水サンプルを保管する冷蔵庫は絶えずパンク状態で、4000 以上のサンプルを 30 項目にわたって分析する大変さを思い知らされた。また、分析機器も頻繁に故障し、並大抵でない努力と忍耐を必要とした。学生のみなさんの努力はもとより、研究補助員として働いていただいた高田佳恵子さん、清永孝子さんらには休日にも出勤していただき、水試料の分析にあたっていただいた。改めて感謝申し上げる。

森林荒廃によるモデリングを行う過程で、現地浸透能のデータ取得が必要となり、振動ノズル型散水装置による浸透能試験を多数行った(図 8-3)。装置の開発に携わった筑波大学大学院生の加藤弘亮君には、大変お世話になった。また、我々の実験にいち早く注目していただき、県の森林環境税評価手法に用いていただいた山口県の方々に感謝申し上げます。実際に技術を利用していただくことで、我々の技術もますます改良されるというフィードバックを得られる結果となった。

今回、プロジェクト研究の場を与えていただいた科学技術振興機構および水循環系領域の研究総括の虫明功臣先生に深く感謝いたします。また、野外調査を円滑に行うために、JST 水循環領域の事務局の皆様には大変ご苦勞いただいた。最後に、本プロジェクトを支えていただいた、歴代のクレスト事務員、事務補佐員の直井美里さん、植村奈緒美さん、小山由香さん、小山和江さん、岡本裕子さん、高瀬麻実子さんには、大変ご苦勞をおかけした。感謝申し上げます。



図 8-3 振動ノズル式散水装置による現地浸透能試験の様子(三重サイト)。それぞれが役割分担しながら、表面流出水を 1 分ごと計測する。