

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

研究代表者
恩田 裕一

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

研究代表者 筑波大学大学院生命環境科学研究科 恩田裕一

1. 全体構想

現在わが国の森林の40%以上をしめる人工林が放置されている現実があり、特にヒノキ林においては、土壌侵食・表面流出が存在することが知られている。しかしながら、人工林の荒廃が、流域スケールで与えるさまざまな影響、特に洪水発生に与える影響については不明のままである。そこで提案者は、人工林の荒廃という人為的変化が将来の水循環、洪水発生、下流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。

具体的には、日本の5カ所の試験地において、プロット、源流域、大流域の各空間スケールで流出水を測定し、同位体分析等と組み合わせ、表面流出の割合を定量化する。また、リモートセンシングによる分析等様々な手法により、それぞれの空間スケールにおいてモデリングを行う。これらの理解を通じて、今後の水資源水資源の循環予測・維持のために貢献し、そのための人工林の維持・管理について提言を行う。

2. 研究手法・体制

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及び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歴の異なる荒廃した林分を選定した(図-1)。

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に示すような計画に基づいて観測を行う。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、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、土壌水の測定を行う。さらに、3) 1-2箇所の大流域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、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する。

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 $\delta^{18}O$ の分析や化学分析を行い、大流域からの流出水のflow pathを明らかにする。

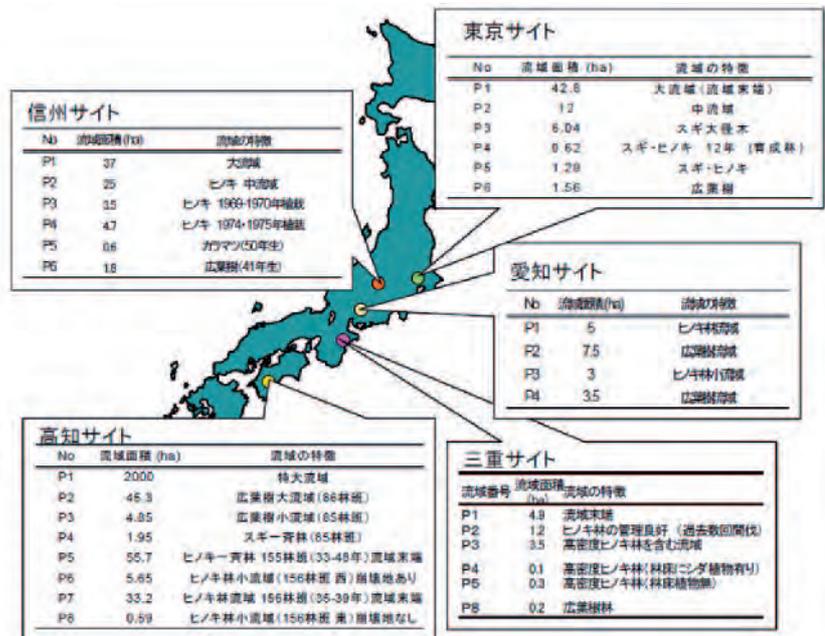


図-1 観測流域の概要

そして、人工林の荒廃による各空間スケールでの水流出メカニズムの解明とそれらが洪水発生に及ぼす影響を明らかにする。

各サイトともに、2004年5月から観測を行った。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-3)、TruTrack社製の水位センサーを用いて水位を5分毎に計測、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。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、降雨が継続し一本目のボトルが満水すると2本目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分から1時間間隔で洪水イベント時の水を採取した。ただし、自動採水機は採水開始や洪水時の採水などでトラブルも多いことから、多くの場合、観測担当者は洪水イベント時に観測サイトのメンテナンスを行う必要があった。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0.5m×長さ2mの小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200リットルタンクへた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。

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。

本研究チームは、筑波大学、京都大学、名古屋大学、東京大学、千葉大学、信州大学、岡山大学、国立環境研究所、三重県等より、約20名の研究者が参加している。

3. 主な研究成果と考察

3.1. フィールド観測結果

1) 洪水流出採水状況

フィールドサイトにおいて、降雨イベント時の流出水サンプル採取を2~4回行った(図-4)。水サンプルの採取基準としては、観測地の近隣のアメダス地点のデータから、目安となる3時間降雨の回帰年を

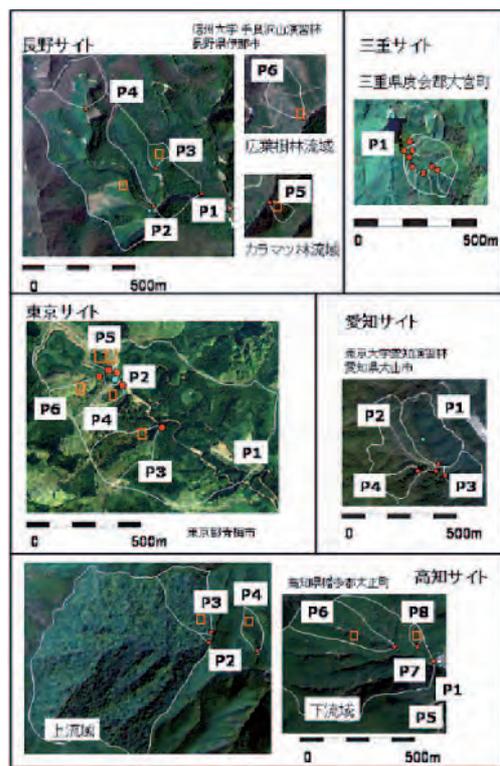


図-2 調査サイトの空中写真



図-3 観測設備の概況

設定し、1年以上の回帰年の降雨をイベント水サンプル採取の対象としている。各サイトで、3時間降雨で1～3年の回帰年をもつイベントでサンプルが行われている。各サイトで3回のイベント水サンプル採取を目標としているが、地域による降雨の年傾向などが異なるために、現時点までで採水3回の基準をクリアしているのは信州と三重サイトである。他のサイトは、今後残り1回のイベントサンプリングが必要な状況にある。

ヒノキ・スギ・カラマツ・広葉樹からなる観測サイトを設定し、斜面に幅0.5m×長さ2mの表面流観測プロットを設置して表面流の流出量を比較することとした。表面流は東京・信州・三重・高知のすべての観測サイトおよびすべての植生において観測された。愛知サイトで、プロットの表面流流出データの観測は行っていない。特に注目すべき点は、従来は水保全機能が相対的に高いと考えられていた広葉樹林地においても表面流の発生が確認されたことである。また、林床が裸地化しているヒノキ林においては表面流の発生量が多くなる傾向にあり、その流出形態も降雨強度の変化とよく対応していた。図-5に各観測サイトの総降雨量と表面流出量の関係を示す。信州と高知では、ヒノキ林は小規模な降雨に対しても表面流が発生する傾向にあったが、広葉樹、カラマツ林、スギ林では、表面流が顕著に発生するには、総降雨量が信州でおよそ50 mm以上、高知ではほぼ100 mm以上になる必要があった。このことは、信州と高知の広葉樹林・スギ林・カラマツ林ではヒノキ林に比較して相対的に土壌の浸透能が高く地中水成分となる降雨の割合が高いことを示唆するものである。

一方、東京と三重では、すべての植生プロットで降雨の初期から（小規模な降雨でも）表面流が発生する傾向があった。三重サイトの斜面ではプロット間のばらつきが大きいため、雨滴により土壌表面に一樣に土壌クラストが形成されて表面流出が生じるだけでなく、土壌クラスト以外の何らかの要因が表面流発生に影響したことにより、データのばらつきが生じたのではないかと考えた。現時点ではこの原因を土壌撥水性によるものと考えているが、詳細については鋭意調査中である。

2) 各観測サイトにおける流域の流出応答

各サイトの降雨に対する流出応答では、総降雨量が比較的小さく集中的な降雨イベントでは、ヒノキ林の流出ピークが広葉樹林の流出ピークに対して大きくなり、かつ降雨に対する応答も早くなっていた（図-6）。特に、愛知サイトではこの傾向が強かった。堆積岩の中でも第三紀堆積岩で、より粘土質の土壌が発達しており、流出の違いに影響を及ぼしていると考えられた。また、長野サイトでは、広葉樹でほとんど

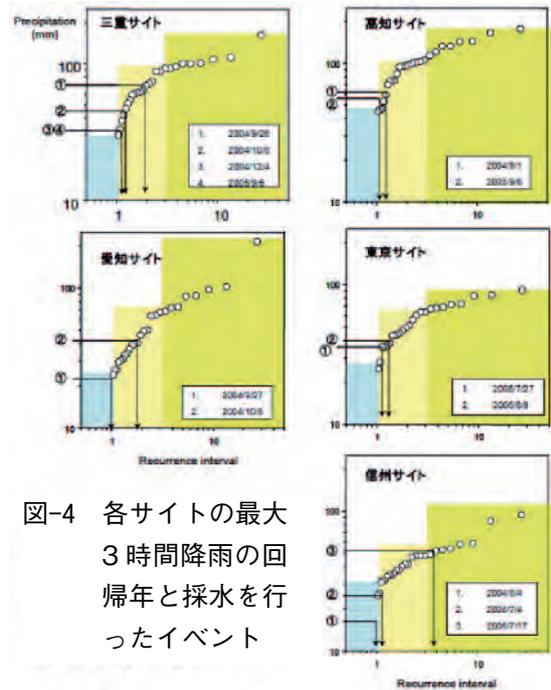


図-4 各サイトの最大3時間降雨の回帰年と採水を行ったイベント

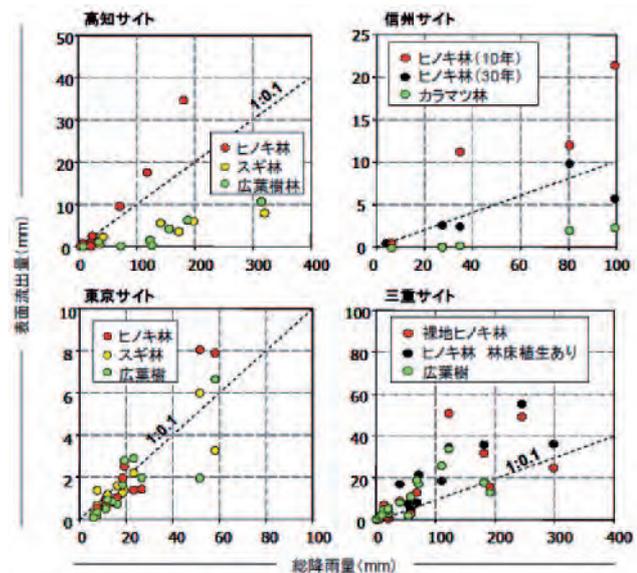


図-5 各観測サイトの総降雨量とプロット表面流出量の関係

ど流出が確認されなかった。長野サイトは花崗岩土壌であることから、他の流域と異なる応答を示していると予想された。高知サイトでは、ヒノキ林流域でもっとも早い応答がみられ、その後にスギ林と広葉樹流域で流出ピークがみられた。ヒノキ林の逡減の減少がもっとも早かった。このように、比較的小さな降雨規模の場合には、全国のサイトにおいてヒノキ林と広葉樹林の森林で明瞭な違いが見られるが、より大きな降雨イベントでは、その応答の違いは減少していた。

3.2. 流出総合解析

1) 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。四万十川下流域では、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取することに成功した。図-7では、流域1（特大流域）、ヒノキ林中流域および広葉樹中流域における流量および新しい水成分の流量を示した。広葉樹では、新しい水成分の変動が大きいものの、ヒノキ林とくらべて新しい水成分の量は少ない。とくに、

流出ピークの近傍ではヒノキ林流域で新しい水

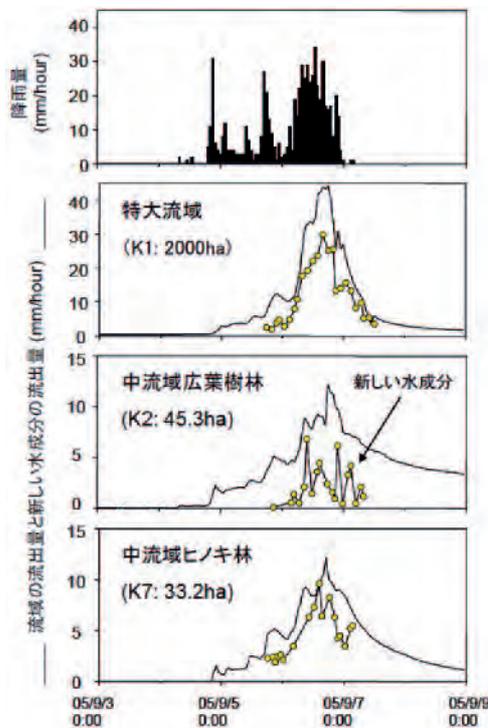


図-7 高知サイトの2005年9月5-7日の洪水イベントにおける新しい水成分の流出

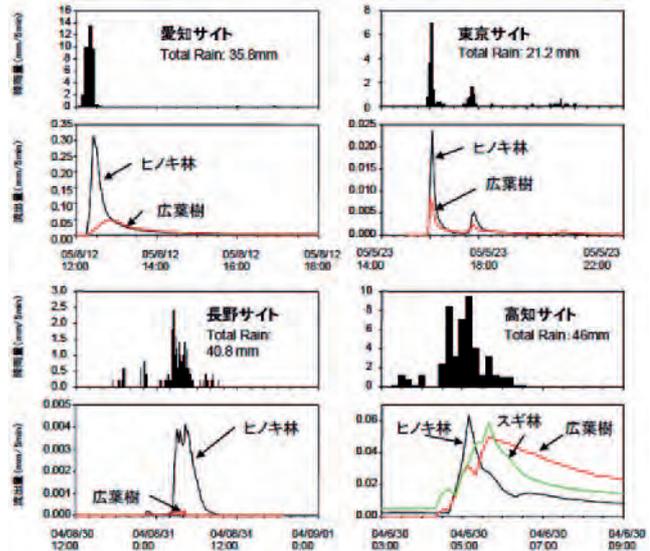


図-6 各サイトのヒノキと広葉樹小流域における流出応答例

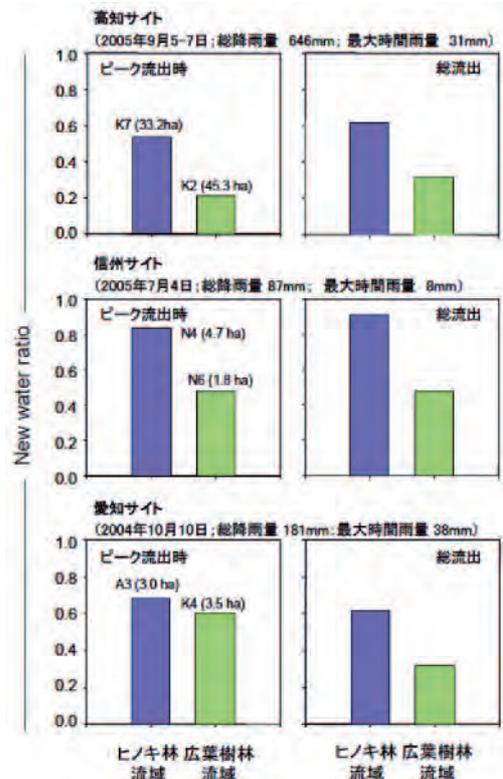


図-8 高知・信州・愛知サイトのイベントピーク流出時と総流出に占める新しい水の割合

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可能性がある。

高知・愛知・長野の各サイトのヒノキ林と広葉樹林流域における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-8)。各サイトで観測対象となった降雨の規模に違いはあるが、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。総流出量にたいしても同様の傾向が見られた。また、流出応答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った。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って降雨が直接流出を引き起こし、洪水流量の増加を引き起こしていることが予想された。

2) 水質比較と成分分離

代表的なトレーサについて降雨、表面流、土壌溶液、基底流の比較を行った(図-9)。 K^+ 、DOCは地表面流で特異的に濃度が高いことから、 K^+ 、DOCは表面流を分離するトレーサとして有効であると考えられる。降雨イベント中の渓流水の K^+ 濃度は、主として深い地下水(基底流時採水の渓流水)と、地表面流(および浅い地下水)濃度の間に分布していた。DOCについても、ほぼ同様の傾向があった。

そこで、これらの K^+ とDOCの濃度を用いて、降雨イベント期間の総流域流出量を地表面流とそれ以外の要素に分離する。ただし、土壌溶液中の K^+ 、DOC濃度は地表面流よりは低いが、基底流時の渓流水より高い傾向があり、降雨イベント中には地表面流以外の成分中の濃度は少し高くなる可能性があるが、ここでは地表面流以外の成分中の K^+ 、DOCは基底流時の渓流水濃度と同じであると仮定して地表面流の分離をおこなった。まず、図-10に示した観測期間中の渓流水の加重平均トレーサ濃度を計算し、図-9に示した地表面流と、深い地下水のトレーサ濃度を用いて分離した。

その結果、用いるトレーサによって、得られる結果が大きく異なる場合があることがわかってきた。また、地表面流以外の要素に含まれるトレーサ濃度が深い地下水より高くなる可能性が大きいことを考慮すると、実際より地表面流の寄与が大きく見積もられる可能性が高い。解析対象とした降雨イベントについて、この方法で推定した各流域における地表面流の寄与は最大で5~35%と、推定値に大きな幅が見積もられた。今後、流域間比較を行うために、流出成分分離手法の現実性を検討していく必要もある。

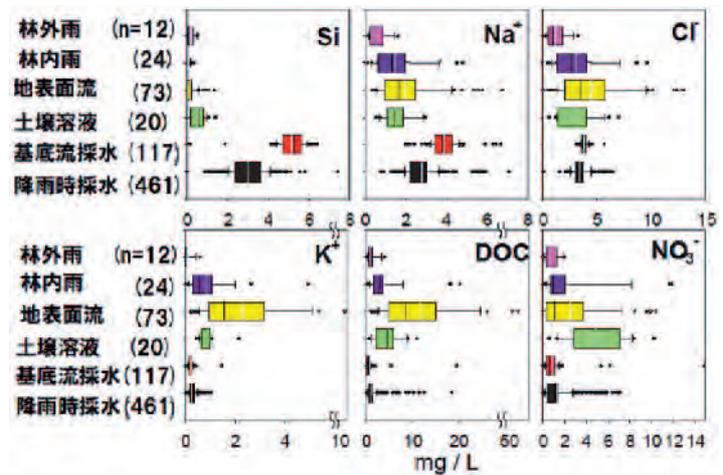


図-9 流域からの流出に寄与する可能性のある要素および降雨時の渓流水中の溶存成分濃度の Box Plot

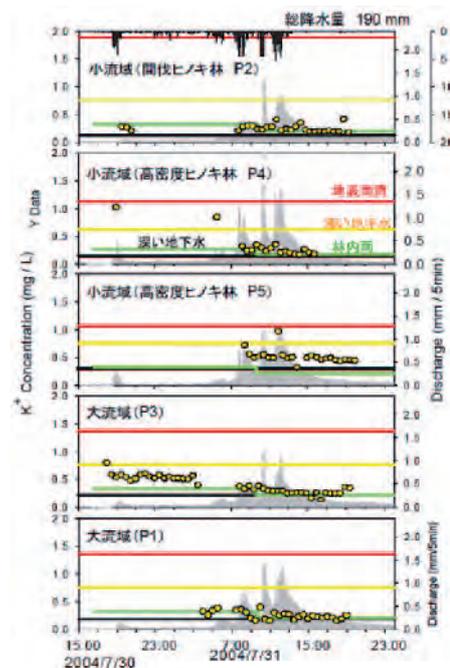


図-10 三重サイトの降雨イベントにおける表面流成分の分離

3.3. 流出モデリング

1) 流域の要素分割と分布型流出モデル

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。この分割方法では、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、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。TOPOTUBEは、斜面上部から下部へ、与えられた間隔で最短の等高線を引くようにアルゴリズムで作成されている。従来のTOPOTUBEでは、5m等高線への適応が中心であったが、本研究では1～2m等高線への適応を進め、地表面の不均一性の表現を進めた。各サイトで作成された等高線を基に、各流域におけるTOPOTUBEの作成を行い、分布型流出モデルを適応していく。

分布型流出モデルではキネマティックウェーブ法を適応し、浸透した水は岩盤上を飽和地下水帯として、TOPOTUBEによって再現されたベクトルに流下する。土壌が完全に飽和している状態において、飽和地表流が発生する。斜面において、地中流と表面流が発生する場合は、地中流はDarcyの法則を適応し、表面流が発生する場合にはManningの法則を考慮している。各TOPOTUBEの要素において、与えられた時間 t に対して、斜面上部と下部の境界における流出変化を以下の関係式によって表した。

$$bQ_4 + (1-a)A_4 \left(\frac{\Delta x_e}{\Delta t} \right) = bQ_3 + (1-a)A_3 \left(\frac{\Delta x_e}{\Delta t} \right) - Q_3 - bQ_3 + aA_1 \left(\frac{\Delta x_e}{\Delta t} \right) + Q_1 + bQ_2 - aA_2 \left(\frac{\Delta x_e}{\Delta t} \right) + iA_e$$

ここで、 A と Q は各断面の面積と流量を表す。 A_e は要素の面積を表し、 Δt は時間ステップを表す。添え字の1と3は、時間 t における x と $x + \Delta x$ での条件を示し、添え字2と4は、時間 $t + \Delta t$ における x と $x + \Delta x$ での条件を示している。係数 a と b は、それぞれ時間的・空間的な加重換算係数である。飽和地中流のみを考慮する場合には、 A と Q については、以下の2式を用いる。

$$A = \omega \varepsilon h, \quad 0 \leq A < \omega \varepsilon D \text{ or } 0 \leq h < D$$

$$Q = K(A/\varepsilon) \sin \beta = \omega h K \sin \beta, \quad 0 \leq A \geq \omega \varepsilon D, \quad 0 \leq h < D$$

飽和地中流と飽和地表流を表す場合は以下の2式を用いる。

$$A = \omega \varepsilon D + A_c, \quad A > \omega \varepsilon D$$

$$Q = \omega D K \sin \beta + \varepsilon A_c^m, \quad A > \xi \in D$$

ここで、 ω は各地形要素の幅、 ε は有効間隙率、 D は鉛直土壌深度、 h は飽和地下水帯の水深、 A_c は地表面流の流水断面 $[\omega(h-D)]$ 、 K は飽和透水係数、 β は斜面傾斜、 a は表面流の場合、 $a = n^{-1} \omega^{-2/3} \tan^{1/2} \beta$ （ただし $m=5/3$ ）であり、流路の場合 $a = n^{-1} \xi^{-2/3} \tan^{1/2} \beta$ （ただし $m=4/3$ ）となる。 ξ は、流路円周と流路断面の関係から $R = \xi A_c^{1/2}$ として表す。

本モデルを用いて、流域における飽和地下水帯の発生位置を予測すると、斜面の谷頭部および斜面の一部に拡大していく地表面流が発生していた。この飽和地表流の発生場所は、現地観測によって発生する飽和地表流の位置と一致していることから、本モデルでは飽和地表流に関しては良好に再現できた（図-11）。

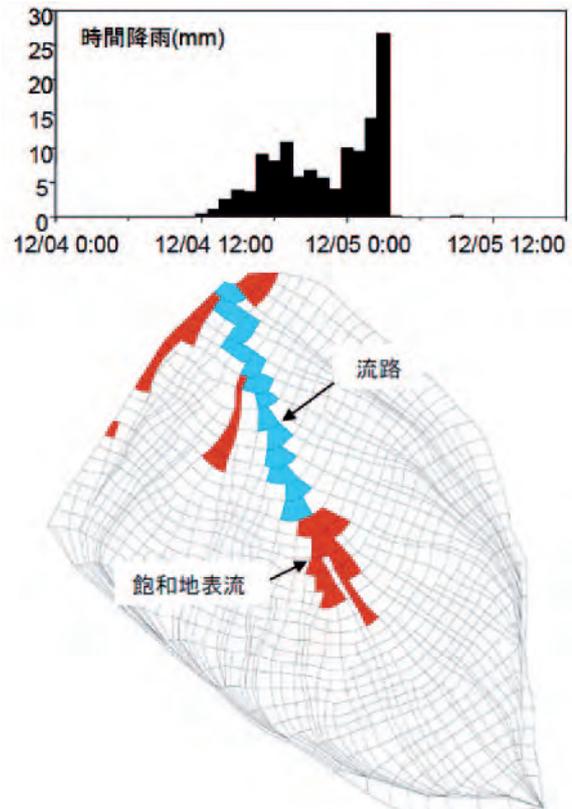


図-11 2004年12月の降雨イベントのピーク時における飽和地表流の発生場（モデルの結果）

しかし、土壌複雑性や表面の浸透条件などがモデルに組み込まれていないため、現在、ホートン型の表面流の発生と流下を再現するためのアルゴリズムの改良を行っている。

3.4. 森林維持管理モデリング

1) 林床被覆と浸透能との関係

林床の下層植生や有機物の土壌被覆は、土壌表面への雨滴衝撃を減少させ、土壌表面から土壌層への浸透を促す効果がある。この林床条件と土壌浸透能の関係を定量化するために、原位置散水実験を行った。しかし、従来の研究によって森林内の降雨（林内雨）は森林外の降雨（林外雨）と比べて、雨滴径と雨滴衝撃が増加することが知られている。雨滴衝撃は、土壌表面の物理的条件やクラストの形成に影響を及ぼすことから、林床での浸透能を評価する実験においても雨滴径と雨滴衝撃を再現することが重要となってくる。そこで、振動ノズル式散水装置を使用した（図-12）。急斜面の日本の山地でも使用できるように、ノズル振動動力部の小型化や散水台座を折りたたみ式にするなど、改良を加えた。山地での実験前に、雨滴径や雨滴衝撃、降雨量などのキャリブレーションを行った。

長野・三重・高知・東京の各サイトで斜面傾斜 32～41°で、林床の被覆状態の異なる斜面を対象とし、幅 1 m × 斜面長 2 m のプロットを設置した。180 mm/h 程度の降雨強度を 20 分間散水し、斜面下端で流出量を 5 分間隔で計測した。実験後プロット内の林床植生とリターを採取した。林床の植生被覆が小さい荒廃したヒノキ人工林の浸透能は、長野 110 mm/h、三重 39 mm/h、高知 85 mm/h、東京 78 mm/h となり、林床植生のあるヒノキ林や広葉樹林とくらべて小さくなっていった。図-13 にヒノキ林における各地の浸透能と下層植生およびリター乾重量の関係を示した。この結果から、地質・地域が異なっている各サイトのデータを比較したものであっても、リター量が増加すると浸透能も上昇する傾向が示された。下層植生とリター量が 1000 g/m² 以下で浸透能が顕著に低下することから、今後の森林管理における下層植生とリター量の指針を示すことできた。現在も散水実験は進められており、より具体的な森林管理の指針を示すデータを提示していく予定である。

2) リモートセンシングによる森林情報把握の高精度化

近年、欧米を中心に森林計測、特に現地調査で最も時間と労力を要する樹高計測における航空機 LiDAR の有効性を示す報告がなされてきた。しかし、壮齢スギ及びヒノキ林分での比較から、荒廃問題が深刻なヒノキ林においては、スギ林に比べてレーザーパルスの透過率（地上まで到達する率）が有意に低く、地表面モデル（Digital Terrain Model: DTM）の精度が低下する可能性が示唆されている。さらに、様々な林分状態にあるヒノキ林を対象に、レーザーパルスの透過率の差異を比較・検討した結果においても、純林状態の老齢林を除き、ヒノキ林ではレーザーパルスの透過率が低く十分な DTM 精度が期待できない。本研究ではヒノキ林を対象として、DTM に拠らない新たな航空機 LiDAR データの解析手法の開発を目指した。本研究では、まず、Top Surface（樹冠頂部のみを通過するサーフェス）という新たな概念を提案した（図-14）。Top Surface の概念に基づく林分平均樹高推定手法の有効性を検証するため、信州大学農学部附属手良沢山ステーション内の様々な林分状態にあるヒノキ林 7 プロットに関して、推定結果と現地調査結果を比較・検討した。



図-12 振動ノズル散水装置による現地実験の様子

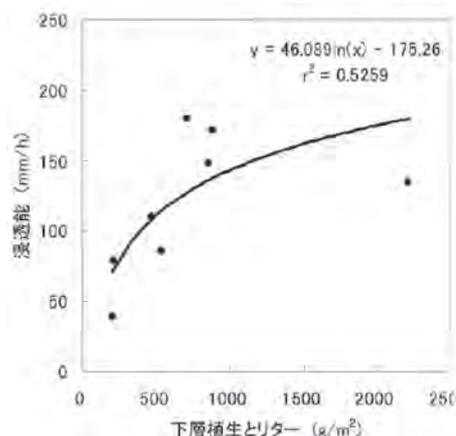


図-13 ヒノキ林の下層植生とリター乾重量と浸透能の関係

図-14に、新たに提案した手法で推定された推定値と実測値の関係を示す。林分平均樹高は実測値と有意な差が認められず、Top Surface の概念がヒノキ林における航空機LiDARデータの解析に有効な概念であることが示唆された。今後、この成果を基に、浸透能試験で得られた適切な表面被覆を維持できる「広域対応型人工林システム収穫表」の開発を行っていききたい。

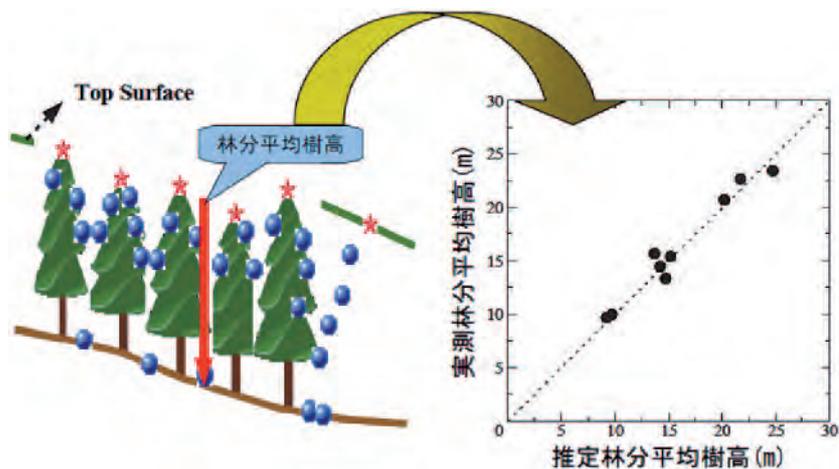


図-14 Top Surface による樹高推定結果

3.5. ヒノキ人工林における土砂生産と下流への影響

1) 林床表面の侵食素過程の解明

従来の研究において、ヒノキ林表層の土砂移動には表面流より雨滴侵食による影響が大きいといわれている。しかし、実際にヒノキ林内において地表流及び雨滴侵食の同時計測を行った事例はなく、表面侵食の素過程については明らかにされていない。そこで、本研究では林床が荒廃したヒノキ人工林を対象に雨滴侵食及び表面流の観測を行った。調査地は高知サイト内の36～40年生ヒノキ人工林斜面とした。林内雨特性と雨滴侵食量の観測は高知サイトで行った。スプラッシュカップを用いて雨滴による土壌剥離量を観測した。また林内雨の雨滴エネルギーはレーザー雨滴計(Nanko et al., 2004)により計測し、林内雨量は転倒ます式雨量計で観測した。表面流及び侵食土砂観測のために、土壌表層を枠で囲ったプロット(幅50cm, 斜面長2m)と貯留タンクを設置し、貯留水量及び捕捉土砂量を測定した。

林内雨特性について、雨滴エネルギーは1時間雨量との回帰係数が最も高いことがわかった。林内の平均雨滴侵食量と降雨特性との関係は、最大1時間雨滴エネルギーの回帰係数が最も高く(図-15)、実際の斜面においても雨滴衝撃が土砂生産に大きく寄与していることがわかった。

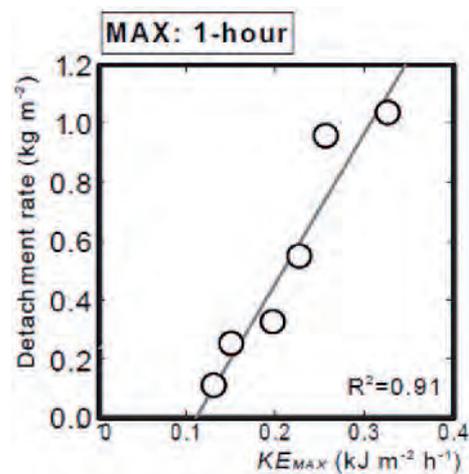


図-15 雨滴衝撃エネルギーと雨滴剥離量の関係

2) 濁水起源の推定

ヒノキ林の荒廃が河川環境に及ぼす影響を解明するためには、森林斜面から侵食された林床表土が河川濁度成分に対してどの程度寄与するのかを明らかにする必要がある。Time-integrated 浮遊砂サンプラーを河床内に設置することにより、台風イベント含む降雨出水時の浮遊砂を採取することができた。試料の粒径および有機物含量の違いを考慮したCs-137, Pb-210ex濃度は、林床表層土壌に大きなばらつきを含むものの、林床の流出土砂と作業道または河岸側壁とは明

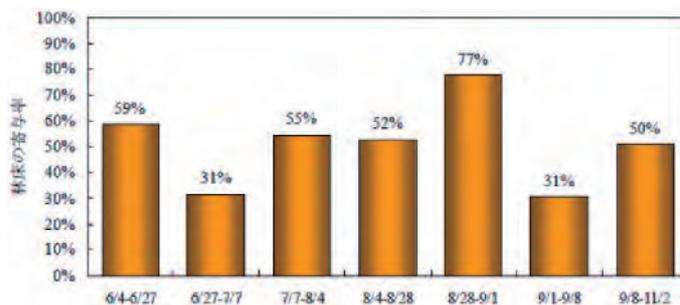


図-16 浮遊砂に対する林床土砂の寄与率

瞭に分離でき、これらをエンドメンバーにした浮遊砂起源推定の可能性が示された。そこで、浮遊砂が森林表土と河道側壁の土砂で構成されると仮定し、それぞれの Cs-137 濃度をエンドメンバーとすると、浮遊砂に対する森林表土の寄与率は 31 ~ 77% の範囲で推定された (図-16)。比較的低い寄与を示した 6/27-7/7 と 9/1-9/8 の期間は最大降雨イベント雨量が約 60 mm 程度と規模が小さく、その他の期間は 150 mm 以上の大きなイベントが認められた。

上記のように、森林表土の寄与率が観測期間毎に異なるのは、降雨特性が森林斜面の土砂生産量及び表面流出土砂量を変化させることが一因であると考えられる。ヒノキ林表層から土砂が表面流に伴って下流河川に流出していることが明らかとなり、表土の侵食が下流の河川環境に大きな影響を及ぼしていることを示唆している。

4. 今後の展開

これまでの結果から、ヒノキ人工林においては、広葉樹と比較して洪水時に“新しい水”の寄与が有意に高いことが認められた。また、研究の遂行の途中において、表面流流出の素過程の解明が重要ではないかという結論に達し、野外実験および室内実験により、表面流発生メカニズムの解明に努めている。今後、これらの素過程の研究成果と同位体および化学成分による成分分離の成果を併せて解析し、荒廃したヒノキ人工林において表面流出がどの程度洪水流出に寄与しているか定量化を行う。

また、現地における観測をさらに継続するとともに、得られた成果の解析に努めたい。本研究課題の最終目標は、森林施業による流出の変化をモデル化し、望ましい人工林の維持・管理指針について提言を行うことである。今後、素過程の研究成果を、流出モデルおよび施業管理シミュレーションに関連づけ、正確なモデル構築に努めたい。また、荒廃した人工林における表土の流亡と下流の濁水との関係についても解析を進めたい。

5. 主要な成果報告等

(1) 査読付き論文発表 (国内 6 件, 海外 10 件)

Fukuyama, T. Takenaka, C. and Onda, Y. (2005): ¹³⁷Cs loss via soil erosion from a mountainous headwater catchment in central Japan, *Science of The Total Environment*, 350:238-247.

小杉賢一郎 (2005): 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.

蔵治光一郎 (2005): 緑のダムと青の革命, *四万十・流域圏学会誌* 4(1), 3-9.

Matsushita B, Onda Y, Xu M, Otsuki Y. (2005): Detecting forest degradation in western Japan using airborne hyperspectral data. *Proceedings of the 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, 544-546 (Beijing, China 2005).

恩田裕一 (2005): 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.

Endo H, Moriizumi M, Hirano T, Kobayashi K, Terajima T (2006): Origine of humic substances in stream flows during storm events in forested head watersheds, central Japan. *IHSS Publ.*, 645-648.

五味高志 (2006): 土壌侵食と森林—森林斜面から流域の視点へ—, *森林科学* 47 号, 10-14p. 6.

Gomi T, Sidle R.C, Noguchi S, Negishi N. J, Abdule R. N, Sasaki S (2006): Sediment and wood accumulation in humid tropical headwater streams: Effects of Logging and riparian buffer. *Forest Ecology and Management*, 224, 1-2, 15 March, 166-175.

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*, Vol. 11, no. 2, March, 67-76.

Sidle R. C (2006): Field observations and process understanding in hydrology: essential components in scaling. *Hydrological Processes* Volume 20, April, 1439-1445.

Takahashi T, Yamamoto K, Miyachi Y, Senda Y, Tsuzuku M (2006): 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 Vol.11, no. 2, April, 112-123.

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. (in press)

Miyata S, Kosugi K, Gomi T, Onda Y, Mizuyama T: Occurrence of surface runoff affected by soil water repellency at a hillslope covered with Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). Hydrological Processes (in press)

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. (in press)

Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M. (2006) Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall dropsize distribution. Journal of Hydrology (in press)

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 (in press)

(2) 口頭 (含むポスター) 発表 国内 75 編, 海外 10 編

国際学会招待講演のみ以下に示す

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 April 10th 2006)

Sidle R. C. : Topographic Effects on Runoff and Sediment Generation from Mountain Roads. AGU (American Geophysical Union) 2006 Joint Assembly, (Baltimore, Maryland May 25th 2006)

Sidle R.C. : Landslides and Surface Erosion from Road - Experiences in Asia. IAG (International Association of Geomorphologist), (Goiania, Brazil, September 10th 2006)

Onda, Yuichi. : 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 26-30 Sep. 2006)

(3) 受賞など

① 受賞

② 新聞報道

茨城新聞: 洪水予測で森林人工雨 (平成 16 年 10 月 16 日)

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)

東京新聞: 森林雨量分布など実験 (平成 16 年 10 月 16 日)

日本農業新聞: 洪水発生の仕組みを探る (平成 16 年 10 月 16 日)

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)

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)

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 Vol. 58 No. 6 March 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, Vol. 18, 2006.