

## 溪流調査に関する文献調査について

溪流河川において、実際に流量・SSを計測した事例やデータは、一般的に入手できる情報では公開されていない。

独立行政法人森林総合研究所によって計測・公開されている、「森林降水溪流水質データベース (FASC-DB)」にも、溪流のSSは計測されていない。

一方、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) の研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の一課題「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」では、数か所の観測流域において 2003～2008 年にかけて得られた観測データを解析し、樹種による流出量の相違、森林の整備状況による土壌侵食量の相違が明らかにされており、論文などに発表されている。流量およびSS調査の代替として、発表されたこれらのデータを、収集し整理する。出典書籍は次のとおり。(巻末資料参照)

◆人工林荒廃と水・土砂流出の実態 恩田裕一編 2008年10月 岩波書店

### 1. ヒノキ林流域と広葉樹林流域の降雨流出の違い (文献 P73-79)

樹種や林内状況の相違による森林からの流出量の違いを評価するため、試験流域を設定し、森林ごとの出水時の流出の比較に関するデータ取得を行った。ここでは、流域のハイドログラフに着目し、降雨と流出の応答に関する解析結果を示す。

なお、降雨と流出の応答は、降雨の規模によっても変化することが一般に知られているため、降雨タイプを以下に示すとおりに規模毎に区分して整理を行った。

- ・小規模降雨 … 日常的に発生する降雨で、常時の水量や水質に影響を及ぼす
- ・大規模降雨 … 洪水レベルの降雨で、年に1度程度以下の頻度で発生する

#### (1) 小規模降雨における流出の応答

##### 調査目的

4つの流域で観測されたハイドログラフに着目し、ヒノキ林流域と広葉樹林流域における「時間と流出の応答」、「ピーク流出の相違」に関して解析した。

##### 調査手法

以下に示す4つの流域で観測された小規模降雨(総雨量30～50mm程度)におけるハイドログラフを、1時間あたりの流出高(mm/h)、降雨強度(mm)/hとして、ヒノキ林と広葉樹林とに区分して表示した。

- ・東京サイト 2006年8月9日観測 総雨量51.8mm 最大時間雨量49mm

- ・高知サイト 2004年6月30日観測 総雨量40.6mm 最大時間雨量32.8mm
- ・信州サイト 2004年8月30～31日観測 総雨量39.8mm
- ・愛知サイト 2005年8月12日観測 総雨量36.2mm

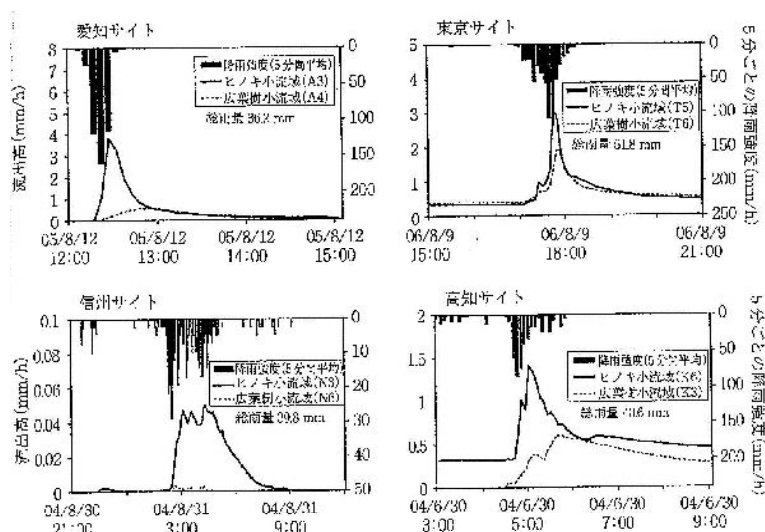


図 2-1 小規模降雨時のヒノキ林、広葉樹林小流域の降雨流出

## 調査結果

- ① 東京サイトでは、ヒノキ林小流域と広葉樹林小流域の比較では、ヒノキ林流域における降雨に対する応答が広葉樹林流域よりも早く、かつ大きかった。
- ② 高知サイトにおいても、ヒノキ林小流域と広葉樹林小流域を比べると、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分後に一時流出ピークが見られ、その後に最大ピークが出現した。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、かつ降雨後の流出の減少も緩やかであった。
- ③ 愛知サイト・信州サイトの小流域をみても同様に、ヒノキ林流域では広葉樹林流域に比べて降雨に対する流出の応答が鋭敏であり、かつ大きなピーク流量が観測された。
  - 総雨量が小さく、降雨強度が強い降雨においては、全ての調査対象流域において、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速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。4つのサイトの地質は全て異なるにも関わらず、小規模な降雨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大きいという共通点が見られた。

小規模降雨では、ヒノキ林流域では、広葉樹林流域に比べ、降雨に対する流出が速く、かつ大きなピーク流量が発生する。

## (2) 大規模な降雨における流出ハイドログラフ

### 調査目的

2つの流域で観測された大規模降雨における流出ハイドログラフについて、ヒノキ林流域と広葉樹林流域における「時間と流出の応答」、「ピーク流出の相違」に関して解析した。

### 調査手法

以下に示す2つの流域で観測された大規模降雨（総雨量 200mm 以上）におけるハイドログラフを、1時間あたりの流出高（mm/h）、降雨強度（mm）/hとして、ヒノキ林と広葉樹林とに区分して表示した。

- ・東京サイト 2005年7月25～26日観測 台風に伴う降雨  
総雨量 204.5mm 最大時間雨量 24.5mm 最大10分間雨量 7.0mm
- ・高知サイト 2005年9月4～7日観測 台風14号に伴う降雨  
総雨量 646mm 最大時間雨量 37mm 最大10分間雨量 12mm

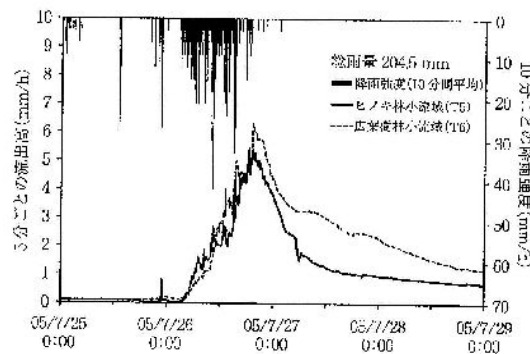


図 2-2 東京サイトにおける台風時の流出ハイドログラフ

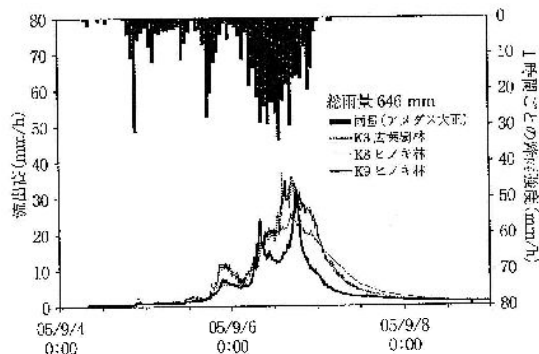


図 2-3 高知サイトにおける台風時の流出ハイドログラフ

### 調査結果

- ① 東京サイトでは、ヒノキ林流域と広葉樹林流域とで、降雨に対する流出の応答はほぼ同じであり、広葉樹林流域の流出ピークは、ヒノキ林流域よりもやや大きい傾向が見られた。ただし、降雨停止後の広葉樹林流域の流量の逓減は、ヒノキ林流域よ

りもかなり穏やかであった。

- ② 高知サイトにおいても、ヒノキ林流域と広葉樹林流域ともに降雨に対して同様な流出波形を示し、広葉樹林流域の流出ピークはヒノキ林流域よりもやや大きくなる傾向が見られた。

→ 大規模降雨における流出波形やピーク流出量では、小規模降雨イベントで見られた流域植生の違いによる流出の違いほどには、明瞭な流域間の違いは見られない。

大規模降雨においては、降雨に対する流出の速さやピーク流量に、ヒノキ林流域と広葉樹林流域とで、大きな変化が見られない。

## 2. 森林を構成する樹種、林齢・間伐による土壌侵食の違い (文献 P134-140)

林地に多数の調査プロットを設置し、樹種別、間伐および林齢別の土壌侵食量を自然の降雨で実測することで、ヒノキ林を中心とした森林の土壌侵食の実態を評価した。

### (1) 樹種による土壌侵食の違い

#### 調査目的

樹種による土壌侵食量の違いの把握を目的として、調査プロットにおける土壌侵食量を調査・比較した。

#### 調査手法

以下のプロットを設置し、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較した。調査プロットの林分の特徴と堆積リター量を下表に示す。

- ◆無間伐 22年生 ヒノキ人工林 (ヒノキ22)
- ◆無間伐 37年生 ヒノキ人工林 (ヒノキ37)
- ◆カラマツ人工林 (カラマツ)
- ◆広葉樹二次林 (広葉樹)

表 1-1 調査プロットにおける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	2636	1.7
ヒノキ37	37	2175	1.5
カラマツ	50	820	16.8
広葉樹	35	743	15.5

#### 調査結果

- ① 土壌侵食量は、ヒノキ林22・37ともに多く発生しているが、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。

→ ヒノキ林と他樹種との間でこのような差が生じるのは、林床の堆積リター量と下層植生の多寡によるもので、ヒノキ林の堆積リター量と下層植生が他樹種に比較して少ないためと考えられる。

- ② ヒノキ林では、2006年の土壌侵食量が2005年に対して約2～3倍程度増加した。

→ 2006年7月の集中豪雨で約400mmの降雨が観測され、この降雨だけで2006年夏季の4～6割の土壌侵食量が発生したことが影響している。ヒノキ林では堆積リター量が他樹種と比較して少ないため、集中豪雨の影響を特に受けやすいものと考えられる。

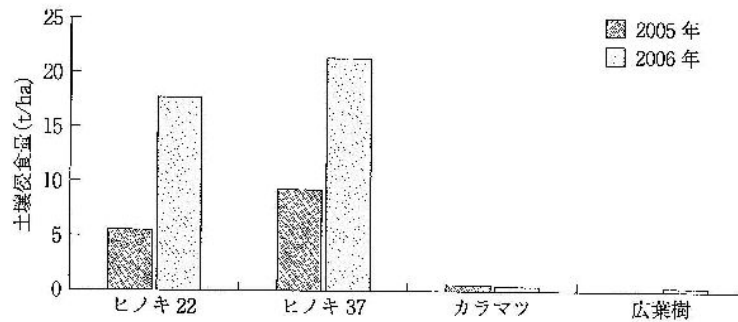


図 1-1 樹種による土壌侵食量の違い (2005 年 6~11 月、2006 年 6~11 月)

土壌侵食は、無間伐のヒノキ人工林において著しく発生し、広葉樹林やカラマツ林の 30 倍以上の値となる。

## (2) 林齢・間伐による土壌侵食の違い

### 調査目的

ヒノキ 12 年生林の土壌侵食量を始点とし、人工林の施業の有無と林齢による土壌侵食量の推移調査により、ヒノキ林の土壌侵食量が他樹種と比べ多くなる時期を明らかにすることを目的とした。

### 調査手法

以下のプロットを設置し、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較した。調査プロットの諸元を下表に示す。

- ◆ヒノキ人工林 12 年生林 (ヒノキ 12)
- ◆ヒノキ人工林 22 年生林 (ヒノキ 22)
- ◆ヒノキ人工林 37 年生林 (ヒノキ 37)
- ◆ヒノキ人工林 22 年生間伐林 (ヒノキ 22 間)
- ◆ヒノキ人工林 32 年生間伐林 (ヒノキ 32 間)

表 1-2 調査プロットの諸元

プロット	林齢	間伐	立木密度 (本/ha)	堆積リター量 (t/ha)
ヒノキ 12	12	無	2830	11.6
ヒノキ 22	22	無	2636	1.7
ヒノキ 22 間	22	有	1397	10.4
ヒノキ 37	37	無	2175	1.5
ヒノキ 32 間	32	有	1651	7.7

### 調査結果

① 間伐が行われている「ヒノキ 22 間」と「ヒノキ 32 間」の土壌侵食量は、それぞれ「ヒノキ 22」「ヒノキ 37」と比べると 0.1~0.15 倍と、極めて少なかった。

→ 間伐が実施されているプロットは、間伐による光環境の改善により、下層植

生が繁茂しているため、土壌侵食量が軽減されたと考えられる。

② 「ヒノキ 12」の土壌侵食量は、カラマツ林、広葉樹林と殆ど差が無かった。(図 1-1～2 参照)

→ ヒノキ林の土壌侵食は、植栽直後から多いわけではなく、ヒノキの成長に伴い樹冠が閉塞し、下層植生が無くなるために増加すると考えられる。その増加量は非常に大きく、今回の調査では、ヒノキ 12 とヒノキ 22 の土壌侵食量では、30 倍も差が出た。(植林後 10～20 年前後の間伐等の施業を行うことはヒノキ林における土壌侵食量の増加抑制の面で重要となる。)

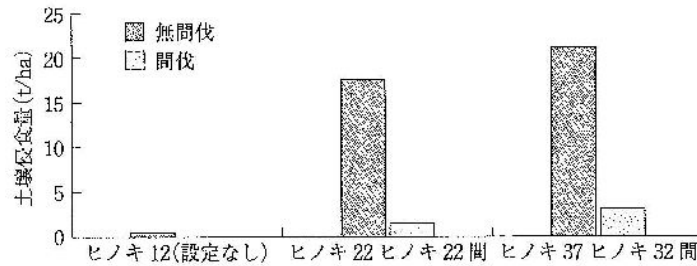


図 1-2 林齢と間伐による土壌侵食量の違い (2006 年 6～11 月)

間伐が行われているヒノキ人工林における土壌侵食量は、無間伐のヒノキ人工林の 1/10 程度である。

**(参考) 林床被覆状況による森林の浸透能 (文献 P196-200)**

林床植生と森林の浸透能との関連性を把握するため、三重サイトの 40 年生ヒノキ人工林において現地散水試験を実施した。

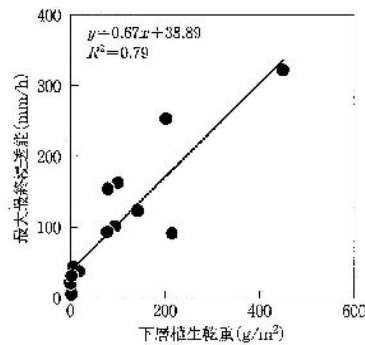
散水試験区は、プロット内の被覆状況のみが異なるよう、ブラウーンブランケによる 7 段階の被度指標 (参考表-1) を目測して均等になるように、無間伐区において 14 箇所選定した。

ここでいう下層植生とは、地表面から地上高 50cm の範囲に生育する木本類および草本類を指し、リターとは、殆ど分解の行われていない落枝葉、および土壌動物や微生物の作用によって細かく破砕された有機物層を併せたものとした。これら下層植生とリターを併せ、「林床被覆」と呼ぶことにする。

参考表-1 ブラウンブランケ (1971) による林床被覆状況の被度

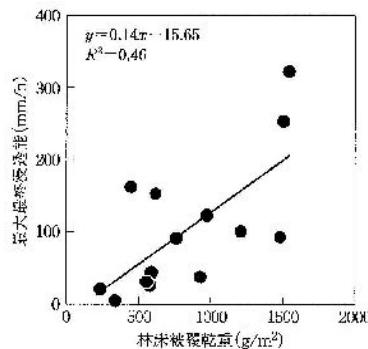
被度指標	定義
r	ほぼ裸地
1	裸地に近い状態であるが、下層植生が少し有 (5% 以下)
2	下層植生が少なく、被度が 10% 以下
3	下層植生が多い、または少ないが、被度が 25% 以下
4	被度が 25～50%
5	被度が 50～75%
6	被度が 75～100%

試験区において、降雨強度 168.2～339.9mm/h で浸透能を測定した結果、最大最終浸透能は、下層植生に対して、強い正の相関が得られ（参考図-1）、浸透能が下層植生による被覆に強く影響されることを示している。



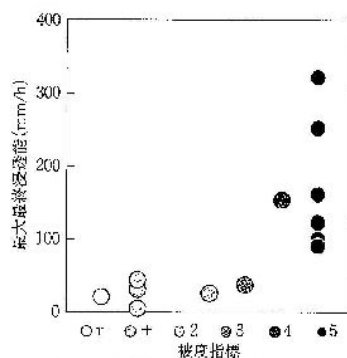
参考図-1 現地散水実験による下層植生乾重と最大最終浸透能の関係

また、下層植生とリターを含んだ林床被覆量と最大最終浸透能との関係を調べたところ、ややばらつきは大きいですが、有意な正の相関が見られた（参考図-2）。



参考図-2 現地散水実験による林床被覆乾重と最大最終浸透能の関係

森林施業計画において、一般的に使用されている被度指標と浸透能との関係を調べてみると、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（参考図-3）。被度 3 以下の地点では浸透能が 45mm/h 以下を示し、被度 4 以上の地点では浸透能はおおむね 90mm/h 以上と、浸透能は林床の被度によって大きく変化することが分かった。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ため、これを調べることによって浸透能を把握できる可能性があると考えられる。



参考図-3 現地散水実験による被度指標と最大最終浸透能の関係



## 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

代表 恩田裕一

### 【概要】

本研究プロジェクトは、科学技術振興機構における戦略的創造研究推進事業（CREST）として遂行されるものである。

本プロジェクトは、人工林の管理の不備による森林の荒廃が将来の水循環、洪水発生、下流河川環境に与える影響について、その実態の解明と予測を行うことを目的とする。そのため、国内において気候や地質の条件が類似した山地を選定し、そのうち人工針葉樹林と広葉樹林が隣接しており研究遂行に適していると考えられる3地域（高知・三重・東京）、およびその3地域とは気象条件だけが異なる1地域（長野）を試験研究地として設定した。各試験研究地においては、斜面プロットスケール、源流域スケール、大流域スケールそれぞれについて、流出水量を測定し、一般水質・同位体分析等と組み合わせて表面流出水量の割合を定量化しり。

### 【具体的な背景】

日本の森林域は現在でも国土の約65%を占め、その面積割合は過去100年来ほとんど変化していないが、現在では40%以上が人工林となっているため、水資源は人工林地からの水流出に大きく依存するようになるとともに、下流域の洪水発生に及ぼす人工林の影響についても無視することができない。また、戦後の拡大造林ブームにより植栽された杉・ヒノキ等の人工林が除伐・間伐の時期を迎えており、適切な施行・管理が強く望まれている時期である。

図1aのような間伐遅れのヒノキ造林地も豊かな緑の山地に見える。

しかし、林内をみると、(図1b)、林内は非常に暗く天然林で見られるような下草（下層植生）もなく、落ち葉や有機物に富む土壌もない。ただ鉱物質の花崗岩の風化物（マサ土）が広がっているのみである。

表面をよくみると、小規模なリル（水が流れた後の小溝）が観察されることから、森林土壌では起こりえないとされている表面流が発生している。

施行放棄等により荒廃した人工林には、下流域での洪水発生などの水災害、渇水時の水量や水質の確保といった水資源の問題、さらには河川や海洋の生態に対する影響、森林管理における費用負担といった経済学的な側面など、様々な問題が内包されている。

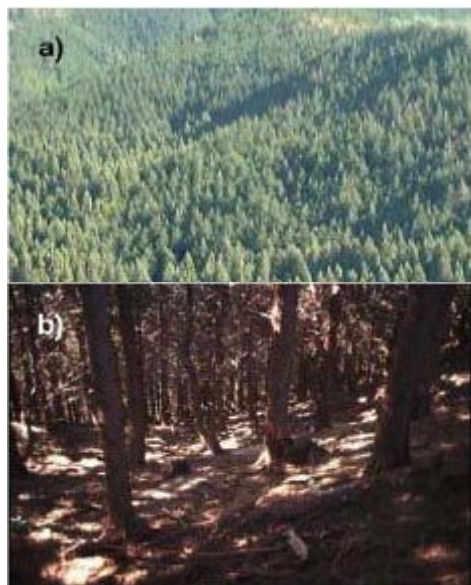


図1 密植したヒノキ林 a)林外 b)林内

ヒノキ林においては表面流出が発生するケースが多いと考えられ、それが洪水流出の大きな原因になると想定される。

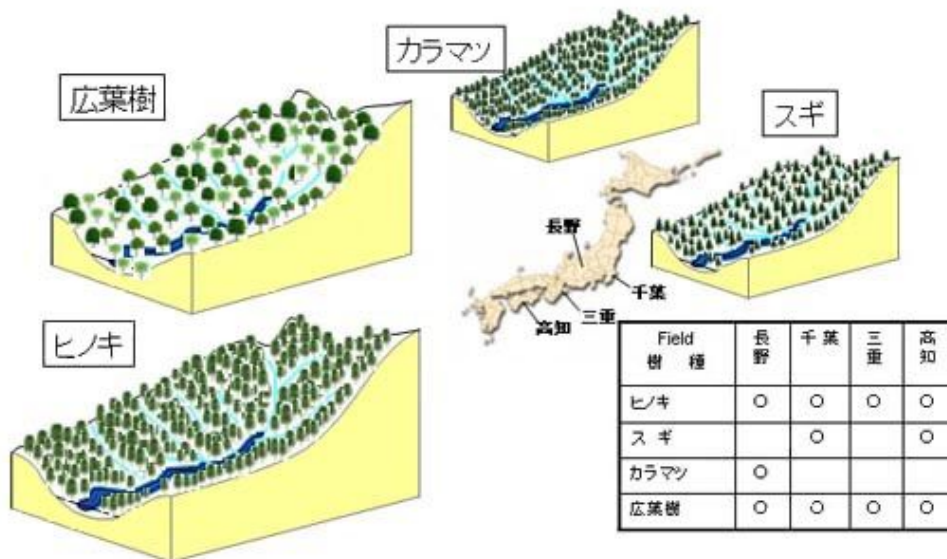
先述したように、現在日本では森林の40%以上が人工林となっており、水資源は人工林からの水流出に大きく依存しているとともに、人工林が洪水発生に及ぼす影響も無視できなくなっている。このため、林床の異なるさまざまな人工林において、洪水発生の大原因となる表面流出量を測定し、それが流域全体としての洪水流出にどの程度寄与しているのかということをはっきりとすることが、学術的にも社会ニーズとしてもきわめて重要である。

### 【研究目的】

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などの予測のための観測、シミュレーションを行う。

現在は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、大流域スケールについて洪水流出や水質形成（特にNO<sub>3</sub>-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、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。

## 異なる樹種、地域において観測を実施



### 【研究方法】

まず日本の各地に人工林の荒廃が著しい4つの大流域を設定しその中からヒノキ人工林、スギ人工林、カラマツ人工林を対象として施業履歴の異なる荒廃した林分を測定する。

対象とする大流域は以下の4地域である。

- ・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
- ・千葉県のスギ、ヒノキ林流域

水質上最も問題が大きいと思われるヒノキ林についてはすべての流域で観測を行い、比較対象としての広葉樹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、下図に示すような計画に基づいて観測を行う。

1. 樹種、荒廃度の異なる3-4ヶ所の流出プロットを設定する。
2. 樹種、荒廃度の異なる3-4箇所の源流域（1h a程度）を設定し、流量、土壌水・地下水水位（一部の流域）を測定する。
3. 1-2箇所の大流域（10h a程度以上）における流量測定を行う。

# スケールを異にする入れ子型の観測流域



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(CaやSiO<sub>2</sub>)を行い、大流域からの流出水のflow pathを明らかにする。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。

これらの結果を基に斜面土壌および浸透モデリング、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、将来予測などを通じて、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。

		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	←→					
現状解明研究	1) プロット・源流域、流域スケールにおける流出観測		←→				
	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						←→	